

空港土木施設設計要領 (舗装設計編)

平成31年4月
(令和7年4月一部改正)

国土交通省航空局

空港土木施設設計要領（舗装設計編）

改正履歴表

改正番号	改正年月日	適用年月日	項番号	改正概要
国空計第 135 号 国空空技第 561 号	平成 31 年 3 月 29 日	平成 31 年 4 月 1 日	全体	空港土木施設設計 要領の制定
国空計第 29 号 国空空技第 34 号	令和 3 年 4 月 28 日	令和 3 年 4 月 30 日	Ⅱ-4.6 Ⅲ-2.3.2 Ⅲ-3.2.1 Ⅲ-3.3.2 Ⅲ-4.6 Ⅴ-4.3	一部改正
国空計第 288 号 国空空技第 540 号	令和 4 年 3 月 18 日	令和 4 年 4 月 1 日	Ⅰ-2.1 Ⅱ-4.6 Ⅳ-2.2.4 Ⅳ-2.3.2 付録-12 付録-23 設計例	一部改正
国空計第 212 号 国空空技第 556 号	令和 5 年 3 月 28 日	令和 5 年 4 月 1 日	Ⅰ-2.6 Ⅰ-4.4 Ⅱ-4.6 Ⅲ-4.2 Ⅲ-4.6 付録-7 付録-24 例-4	一部改正
国空計第 231 号 国空空技第 623 号	令和 6 年 3 月 21 日	令和 6 年 4 月 1 日	Ⅰ-3.6 Ⅳ-4.4 Ⅴ-4.6	一部改正
国空空技第 576 号	令和 7 年 3 月 19 日	令和 7 年 4 月 1 日	Ⅱ-4.6 Ⅲ-4.6 Ⅲ-4.7	一部改正

序

背 景

空港土木に関する技術基準は、昭和 43 年 9 月に「空港土木施設設計施工基準作成委員会」を設置して検討を開始し、「空港アスファルト舗装構造設計要領」及び「空港コンクリート舗装構造設計要領」を作成した後、昭和 48 年 3 月に最初の「空港土木施設設計基準」をとりまとめ、その後、航空輸送需要の増大などの航空界の発展に伴う空港を取りまく情勢の変化を踏まえ、昭和 56 年 3 月に「空港土木に関する技術問題協議会」及びその下部機関の「空港土木技術基準等整備委員会」を設置して技術基準の整備体系の強化を図り、昭和 57 年 10 月に「空港土木施設設計基準」を全面的に見直し、昭和 59 年 10 月には「空港舗装補修要領（案）」を、昭和 60 年 8 月には「空港排水施設・地下道・共同溝設計要領」を作成し、その後も、新型航空機の導入や国際民間航空条約第 14 付属書の改正に呼応して、平成 11 年 4 月に「空港舗装構造設計要領」を作成し、適時「空港土木施設設計基準」等の一部改訂を実施している。

平成 20 年 3 月、WTO（世界貿易機構）における「政府調達協定」や、TBT 協定（貿易の技術的障害に関する協定）などを背景とした国際規格との整合を図りつつ、「土木・建築にかかる設計の基本」に基づく性能設計に沿った設計手法（性能規定）を導入するため、外部有識者で構成する「空港土木施設の設計手法検討委員会」を設置し、平成 20 年 6 月に、空港土木施設の要求性能を示す基準（航空法施行規則第 79 条）と性能の照査に必要な事項を定めた告示（国土交通省告示第 800 号）を定め、これまでの「空港土木施設設計基準」を、基準（航空法施行規則第 79 条）の解説書と位置付けて「空港土木施設の設置基準解説」に改め、性能の照査の方法の例などを示す「空港舗装設計要領」、「空港土木施設構造設計要領」及び「空港土木施設耐震設計要領」をとりまとめ、抜本的な技術基準の体系の見直しを図っている。

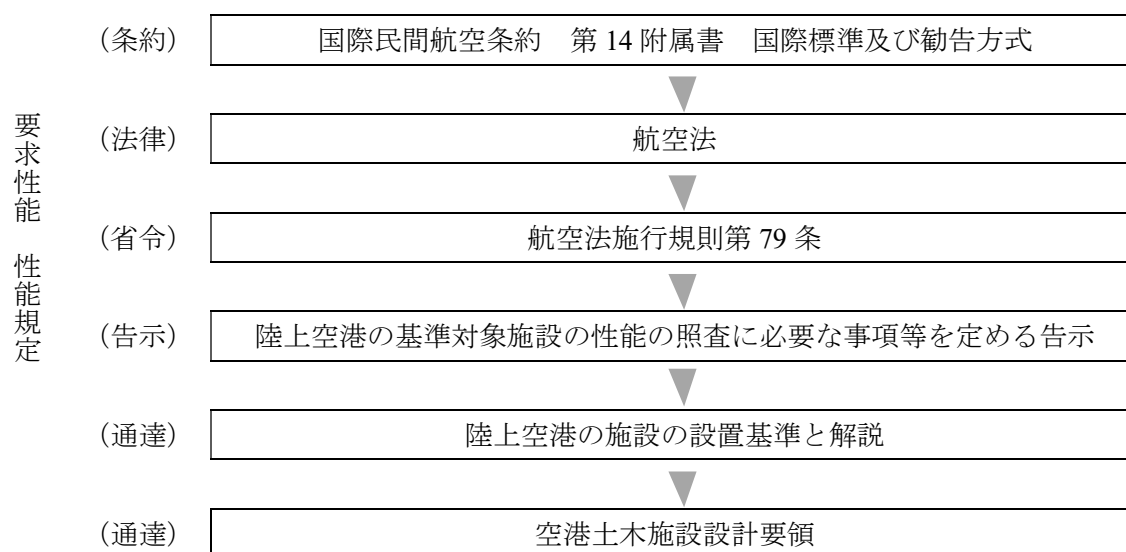
基準（航空法施行規則第 79 条）の解説書の「空港土木施設の設置基準解説」は、空港土木施設の設計に際して各施設が具備すべき位置、形状、強度等を決定するための事項を示すとともに設計の合理化並びに効率化を図ることを目的として定めたものであるが、近年、国際民間航空機関（ICAO）では、ICAO USOAP（国際航空安全監視監査プログラム）等を導入して、さらなる航空の安全の確保や規制の強化に取り組んでおり、このような国際的な動向を踏まえ、航空機の航行の安全の確保ために最低限遵守しなければならない事項をより明確に示すことを目的として、平成 31 年 3 月に規制の内容に特化した基準（航空法施行規則第 79 条）の解説書となる「陸上空港の施設の設置基準と解説（以下「基準解説」という.）」が策定された。

「基準解説」の策定に伴い、これまで設計の合理化並びに効率化を図ることを目的として作成した「空港土木施設の設置基準解説」は、「基準解説」の規定や、計画・設計上の留意事項等を示す「空港土木施設設計要領（施設設計編）」に改め、また、施設に求められる性能の照査方法の例などを示す「空港舗装設計要領・空港舗装補修要領」、「空港土木施設構造設計要領」及び「空港土木施設耐震設計要領」は、「空港土木施設設計要領（舗装設計編）」、「空港土木施設設計要領（構造設計編）」及び「空港土木施設設計要領（耐震設計編）」に改め、全 4 編で構成する「空港土木施設設計要領（以下「設計要領」という.）」を定めて、基準と要領の明確化を図ることとした。

基準体系

わが国の空港土木に関する基準は、下図に示すとおり、国際民間航空条約の規定並びに同条約の附属書として採択された国際標準及び勧告方式に準拠して定めた航空法、陸上空港等の設置の基準を規定する航空法施行規則第 79 条、陸上空港の基準対象施設の性能の照査に必要な事項等を定める告示、「基準解説」により構成している。

「設計要領」は、「基準解説」の下部に位置付けられているが、その内容は、空港土木施設の計画・設計の合理化並びに効率化を図ることを目的とし、これまでの実績を踏まえた標準的な考え方や推奨する方法、施設に求められる性能の照査方法の例などを示すものであって、計画・設計の方法等を拘束するものではない。



要領の構成

「設計要領」は、次の 4 編により構成する。

施設設計編：「基準解説」の規定（施設の要求性能、性能規定）、計画・設計上の留意事項 等

舗装設計編：舗装の設計方法、性能照査の方法の例 等

構造設計編：構造物の設計方法、性能照査の方法の例 等

耐震設計編：空港の施設等の耐震設計方法 等

施設設計編は、「基準解説」の規定を明記した上で、計画・設計上の留意事項等を併記する構成を基本とし、実線枠囲いに【基準】を、その下に【解説】と【要領】を示している。なお、「基準解説」に規定されていない施設については、「設計要領」のみの記載となるが、この場合の実線枠囲いには、設計上の原則や基本的な事項を示している。また、舗装設計編、構造設計編及び耐震設計編については、実線枠囲いに設計上の原則や基本的な事項を示し、枠囲いの下に、細部の手法や考え方を示している。

字句の意味

「設計要領」で用いる字句の意味は、下表に示すとおりとする。

分類	適用上の位置づけ	末尾に置く字句の例
必須	技術的に明確であり遵守すべき事項	～とする（こと）. ～である（こと）.
考え方	目的や概念，考え方を記述した事項	～としている. ～必要がある.
標準	条件によって一律に規制することはできないが，特段の事情がない限り記述に従い実施すべき事項	～を標準とする. ～による.
推奨	条件によって実施することがよい事項	～望ましい. ～することができる. ～としてもよい.
例示	・適用範囲や実施効果について確定している段階ではないが，条件等によっては導入することが可能な技術等の例示 ・条件等によって限定的に実施できる技術等の例示 ・具体的に例示することにより，技術的な理解を助ける事項	～場合がある. ～に示している. 例えば～.

目次

空港土木施設設計要領（舗装設計編）

第Ⅰ章 共通

I-1	総則	1
I-1.1	目的	1
I-1.2	適用範囲	1
I-1.3	舗装の設計	3
I-2	設計の基本	4
I-2.1	舗装の構成	4
I-2.2	設計の原則	5
I-2.3	設計限界値	7
I-2.4	設計条件	7
I-2.5	設計供用期間	8
I-2.6	舗装区域の区分	8
I-2.7	安全係数	9
I-3	設計用値	10
I-3.1	総則	10
I-3.2	アスファルト混合物	11
I-3.2.1	総則	11
I-3.2.2	強度	12
I-3.2.3	変形係数	12
I-3.2.4	ポアソン比	13
I-3.2.5	疲労特性	13
I-3.2.6	クリープ	14
I-3.2.7	熱特性	16
I-3.3	コンクリート	17
I-3.3.1	総則	17
I-3.3.2	強度	17
I-3.3.3	疲労強度	17
I-3.3.4	弾性係数	18
I-3.3.5	ポアソン比	19
I-3.3.6	熱特性	19
I-3.3.7	乾燥収縮	19
I-3.3.8	クリープ	19
I-3.4	鋼材	20
I-3.4.1	総則	20
I-3.4.2	強度	20

I-3.4.3	ヤング係数	20
I-3.4.4	ポアソン比	21
I-3.4.5	線膨張係数	21
I-3.5	路盤	21
I-3.5.1	総則	21
I-3.5.2	荷重支持特性	21
I-3.5.3	変形特性	22
I-3.5.4	熱特性	22
I-3.6	路床	23
I-3.6.1	総則	23
I-3.6.2	路床改良	23
I-3.6.3	荷重支持特性	24
I-3.6.4	変形特性	26
I-3.6.5	熱特性	27
I-3.7	凍結深さ	27
I-4	荷重	29
I-4.1	総則	29
I-4.2	荷重の特性値	29
I-4.3	荷重係数	29
I-4.4	荷重の種類	29
I-4.4.1	交通荷重	29
I-4.4.1.1	総則	29
I-4.4.1.2	交通量及び荷重の大きさ	30
I-4.4.1.3	荷重の作用頻度	32
I-4.4.1.4	載荷速度	32
I-4.4.2	環境の影響	33
I-5	構造解析	33
I-5.1	総則	33
I-5.2	アスファルト舗装の解析	34
I-5.3	コンクリート舗装の解析	35
I-5.3.1	交通荷重による応力	35
I-5.3.2	温度応力	36
I-5.3.3	路盤支持力係数	37
I-5.3.4	荷重伝達率	37
第Ⅱ章	アスファルト舗装の新設	
Ⅱ-1	総則	39
Ⅱ-2	荷重支持性能の照査	39

Ⅱ-2.1	総則	39
Ⅱ-2.2	路床の支持力に対する照査	39
Ⅱ-2.2.1	総則	39
Ⅱ-2.2.2	路床上面の鉛直圧縮ひずみの算定	40
Ⅱ-2.2.3	路床の支持力の照査方法	41
Ⅱ-2.3	路盤の支持力に対する照査	42
Ⅱ-2.4	凍上に対する照査	43
Ⅱ-2.5	疲労ひび割れに対する照査	44
Ⅱ-2.5.1	総則	44
Ⅱ-2.5.2	アスファルト混合物層のひずみの算定	44
Ⅱ-2.5.3	アスファルト混合物層の疲労ひび割れの照査	45
Ⅱ-2.6	温度ひび割れに対する照査	45
Ⅱ-2.6.1	総則	45
Ⅱ-2.6.2	アスファルト混合物の引張強度の設定	46
Ⅱ-2.6.3	温度応力の算定	46
Ⅱ-3	走行安全性能の照査	46
Ⅱ-3.1	総則	46
Ⅱ-3.2	すべりに対する照査	47
Ⅱ-3.3	アスファルト舗装のわだち掘れに対する照査	48
Ⅱ-4	表層の耐久性能の照査	49
Ⅱ-4.1	総則	49
Ⅱ-4.2	気象劣化に対する照査	49
Ⅱ-4.3	アスファルト混合物の剥離に対する照査	49
Ⅱ-4.4	アスファルト混合物の骨材飛散に対する照査	49
Ⅱ-4.5	アスファルト混合物層の層間剥離に対する照査	50
Ⅱ-4.6	アスファルト混合物に関する細目	50
第Ⅲ章 アスファルト舗装の補修		
Ⅲ-1	総則	53
Ⅲ-2	アスファルト舗装の調査	55
Ⅲ-2.1	総則	55
Ⅲ-2.2	路面の調査	55
Ⅲ-2.2.1	路面性状調査	55
Ⅲ-2.2.2	すべり摩擦係数調査	62
Ⅲ-2.3	構造の調査	62
Ⅲ-2.3.1	非破壊調査	62
Ⅲ-2.3.2	解体調査	64

Ⅲ-3	アスファルト舗装の評価	68
Ⅲ-3.1	総則	68
Ⅲ-3.2	路面の評価	70
Ⅲ-3.2.1	路面性状調査に基づく評価	70
Ⅲ-3.2.2	すべり摩擦係数調査に基づく評価	71
Ⅲ-3.3	構造の評価	71
Ⅲ-3.3.1	非破壊調査に基づく評価	71
Ⅲ-3.3.2	解体調査に基づく評価	73
Ⅲ-4	アスファルト舗装の補修	75
Ⅲ-4.1	総則	75
Ⅲ-4.2	補修工法の選定	75
Ⅲ-4.2.1	総則	75
Ⅲ-4.2.2	補修工法	76
Ⅲ-4.3	構造上問題のない場合の補修	77
Ⅲ-4.4	構造上問題のある場合の補修	79
Ⅲ-4.5	構造設計	82
Ⅲ-4.6	材料設計	82
Ⅲ-4.7	施工計画	83

第Ⅳ章 コンクリート舗装の新設

Ⅳ-1	総則	85
Ⅳ-2	荷重支持性能の照査	85
Ⅳ-2.1	総則	85
Ⅳ-2.2	路床・路盤の支持力に対する照査	85
Ⅳ-2.2.1	総則	85
Ⅳ-2.2.2	路盤	86
Ⅳ-2.2.3	たわみの設計限界値	87
Ⅳ-2.2.4	たわみの算定	87
Ⅳ-2.3	コンクリート版の疲労ひび割れに対する照査	88
Ⅳ-2.3.1	総則	88
Ⅳ-2.3.2	応力度の算定	89
Ⅳ-2.4	凍上に対する照査	91
Ⅳ-3	走行安全性能の照査	91
Ⅳ-3.1	総則	91
Ⅳ-3.2	すべりに対する照査	91
Ⅳ-3.3	段差に対する照査	92
Ⅳ-3.3.1	総則	92
Ⅳ-3.3.2	段差量の設計限界値	92

IV-3.3.3 段差量の算定	93
IV-4 構造細目	93
IV-4.1 異種舗装接続部の構造	93
IV-4.2 コンクリート版の補強	94
IV-4.3 目地	95
IV-4.3.1 総則	95
IV-4.3.2 目地の種類と配置	95
IV-4.3.3 縦方向目地	96
IV-4.3.4 横方向目地	98
IV-4.3.5 膨張目地	100
IV-4.3.6 タイバー, ダウエルバー	103
IV-4.4 コンクリートに関する細目	103
 第V章 コンクリート舗装の補修	
V-1 総則	104
V-2 コンクリート舗装の調査	106
V-2.1 総則	106
V-2.2 路面の調査	106
V-2.2.1 路面性状調査	106
V-2.2.2 すべり摩擦係数調査	109
V-2.3 構造の調査	110
V-2.3.1 非破壊調査	110
V-2.3.2 解体調査	111
V-3 コンクリート舗装の評価	114
V-3.1 総則	114
V-3.2 路面の評価	116
V-3.2.1 路面性状調査に基づく評価	116
V-3.2.2 すべり摩擦係数調査に基づく評価	117
V-3.3 構造の評価	118
V-3.3.1 非破壊調査に基づく評価	118
V-3.3.2 解体調査に基づく評価	119
V-4 コンクリート舗装の補修	120
V-4.1 総則	120
V-4.2 補修工法の選定	120
V-4.2.1 総則	120
V-4.2.2 補修工法	121
V-4.3 構造上問題のない場合の補修	123
V-4.4 構造上問題のある場合の補修	124

V-4.5	構造設計	124
V-4.6	材料設計	124
V-4.7	施工計画	124

付録

付録-1	用語の説明	付 -1
付録-2	試験方法	付 -13
付録-3	試験値の棄却判定の方法	付 -16
付録-4	凍結指数の求め方	付 -18
付録-5	経験的設計法のための交通条件の設定方法	付 -19
付録-6	ESWL の求め方	付 -24
付録-7	経験的設計法によるアスファルト舗装の構造設計	付 -31
付録-8	経験的設計法によるコンクリート舗装の構造設計	付 -42
付録-9	パス／カバレッジ率の算定方法	付 -50
付録-10	プレストレストコンクリート舗装の構造設計	付 -53
付録-11	連続鉄筋コンクリート舗装の構造設計	付 -63
付録-12	PC プレキャスト舗装の構造設計	付 -81
付録-13	タイバーの設計法	付 -89
付録-14	ダウエルバーの設計法	付 -92
付録-15	経験的設計手法によるアスファルト舗装の 構造上問題のある場合の補修設計	付 -95
付録-16	アスファルト舗装の補修施工中における 仮設切削すり付け方法	付 -97
付録-17	補修の施工上の留意点	付 -99
付録-18	舗装の路面性状に基づく破損の解説	付-104
付録-19	すべり摩擦係数調査	付-106
付録-20	FWD 調査	付-107
付録-21	熱赤外線調査	付-115
付録-22	わだち掘れ量及び BBI 算出方法	付-117
付録-23	RC プレキャスト舗装の構造設計	付-123
付録-24	ヘリポート用舗装の構造設計	付-136

参考文献

設計例

例-1	付録-6 の方法による各航空機の ESWL 曲線算定結果（アスファルト舗装）	例 -1
例-2	付録-7 の方法によるアスファルト舗装の基準舗装厚算定結果	例 -12

例-3	航空機及びトーイングトラクターの荷重諸元-----	例 -15
例-4	理論的設計法によるアスファルト舗装の構造設計例-----	例 -22
例-5	理論的設計法による無筋コンクリート舗装の構造設計例-----	例 -59
例-6	アスファルト舗装補修設計例-----	例 -86
例-7	アスファルト舗装補修事例-----	例 -88
例-8	コンクリート舗装補修設計例-----	例-101
例-9	コンクリート舗装補修事例-----	例-105

第Ⅰ章 共通

Ⅰ-1 総則

Ⅰ-1.1 目的

舗装設計編は、空港舗装の新設及びに補修設計において、設計手順の例や、求められる性能の詳細、性能照査の方法の例、舗装の評価方法、補修方法等を示したものであり、設計の合理化並びに効率化を図ることを目的としている。

- (1) 舗装設計編の目的は、空港舗装が満たすべき性能の詳細を技術的な観点より示すとともに、現在の技術水準を考慮した性能照査の方法の例を示したものであり、設計者において、空港舗装に求められる性能を十分理解し、その性能を満足することが合理的に証明できれば、必ずしも設計方法にある一定の方法に限定するものではない。
- (2) 空港舗装が破損した場合には、空港の特殊性から、代替を求めるよりも供用しながら補修する方法をとるのが通常である。すなわち、一度舗装が建設されると、補修を加えながら供用寿命を延ばして行くこととなる。舗装設計編は、既設舗装の荷重や気象作用等による破損や劣化の程度の判定法と、それらに基づく舗装の補修の必要性の判断基準及び補修の設計方法等を示すとともに、より大きな航空機を設計荷重とする場合の既存舗装の評価及び舗装強度を増強するためのオーバーレイ等の設計手法等について示すものである。
- (3) 空港舗装の補修では、高速でかつ大型の航空機が離着陸するという他の交通にない特殊性から、一層の安全性に対して配慮されるべきであり、適宜、適切な補修を行うことにより舗装機能の保持を第一とした予防的な措置を講じておくことが必要である。
- (4) 舗装設計編は、過去の実績や研究成果に基づいて作成されたものであるが、これに満足することなく、常により合理的なものを目指して研究的・開発的な態度で臨み、施工後の追跡データを求める等の努力が必要である。
- (5) 舗装設計編によらない補修方法を行う場合には、試験結果や実績等のデータに基づく客観的な根拠により、十分施設の機能が果せることを確認しておくことが必要である。

Ⅰ-1.2 適用範囲

舗装設計編は、「空港土木施設設計要領（施設設計編）⁵⁷⁾」に掲げる施設のうち、空港の施設及び GSE 通行帯等におけるアスファルト舗装及びコンクリート舗装（以下、「空港舗装」という。）を対象としている。なお、維持補修に関する事柄は、舗装設計編を参考として検討するものとする。

- (1) 舗装設計編は、空港舗装の設計の一般的な手法を示すものであり、気象条件、使用条件、工事規模によってはさらに厳しい性能が求められる場合があり、逆に緩和してよい場合もある。
- (2) 空港の施設及び GSE 通行帯等において、一般的に舗装される施設は、滑走路、誘導路、エプロン、過走帯、GSE 通行帯等である。
- (3) 場周道路、保安道路、構内道路、駐車場等の舗装は舗装設計編の対象外で、これらの舗装設計法として「空港土木施設設計要領（構造設計編）⁵⁶⁾」を参照することができる。
- (4) 舗装設計編においてコンクリート舗装としてあげているものは、空港舗装において一般的

に用いられている無筋コンクリート舗装であり，連続鉄筋コンクリート舗装，プレストレストコンクリート舗装，プレキャストコンクリート舗装は付録において扱っている。

- (5) 舗装設計編のほか空港舗装に関する詳細には，形状，寸法等の規格について「陸上空港の施設の設置基準と解説⁵⁵⁾」を，材料，施工等について「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」，「空港土木施設施工要領⁵⁹⁾」を参照することができる。
- (6) 舗装を補修するに至るまでの経過は，舗装に繰返し作用する荷重あるいは気象等の履歴によって舗装路面及び舗装体に及ぼす影響が大きくなって，所要の機能が維持できない状態になり，これを工学的に定量化することにより把握し，必要な機能回復への手当てを行うまでの流れとなる。空港舗装の補修フローは図 I-1.1 に示すようになる。

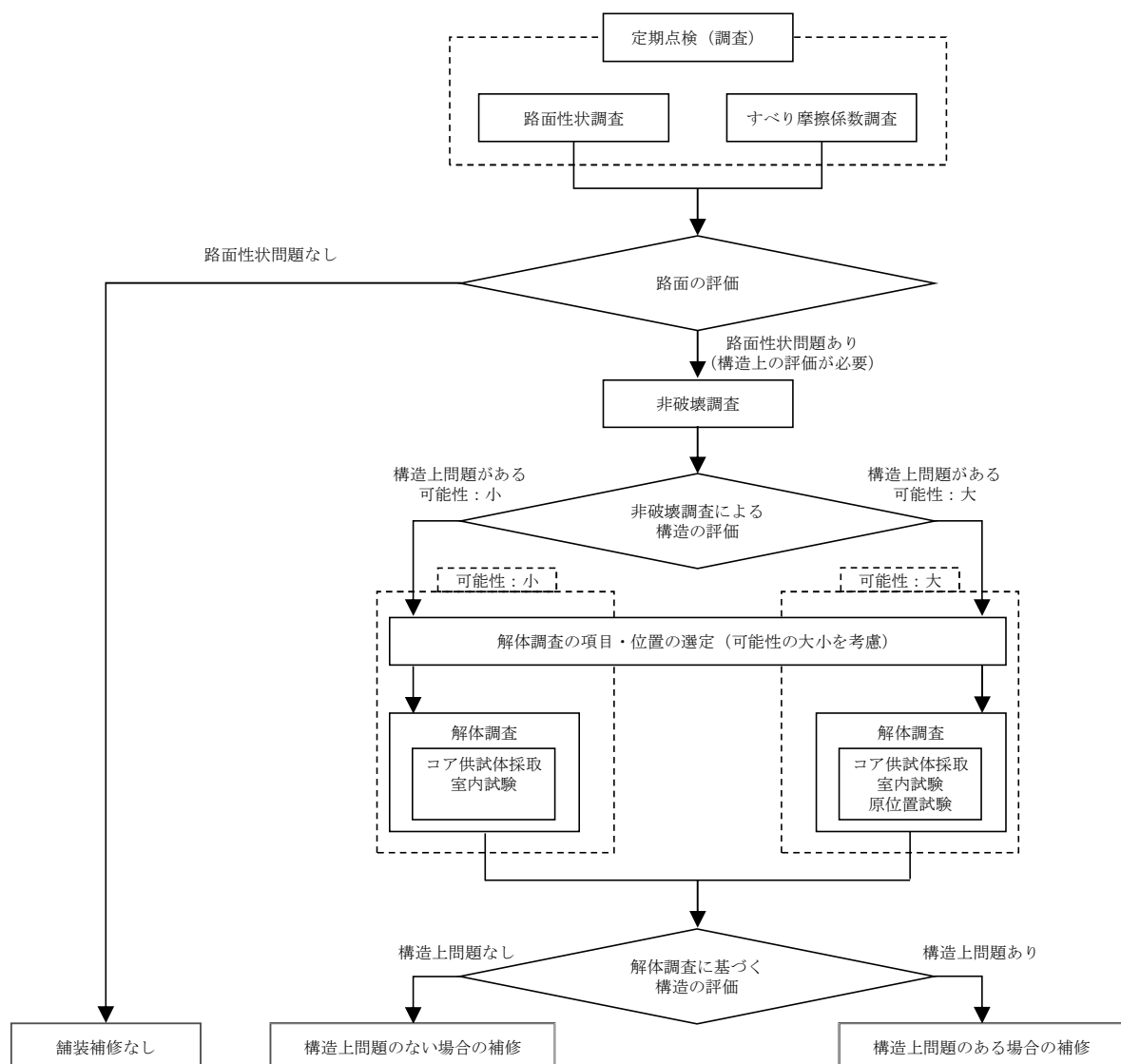


図 I-1.1 空港舗装の補修フロー

- (7) 舗装設計編の記載内容を図 I-1.2 に示す。「第Ⅱ章 アスファルト舗装の新設」、「第Ⅳ章 コンクリート舗装の新設」は新設舗装の設計、「第Ⅲ章 アスファルト舗装の補修」、「第Ⅴ章 コンクリート舗装の補修」は、そのアフターケアとしての舗装の補修における設計・施工に利用されるようにまとめたものである。

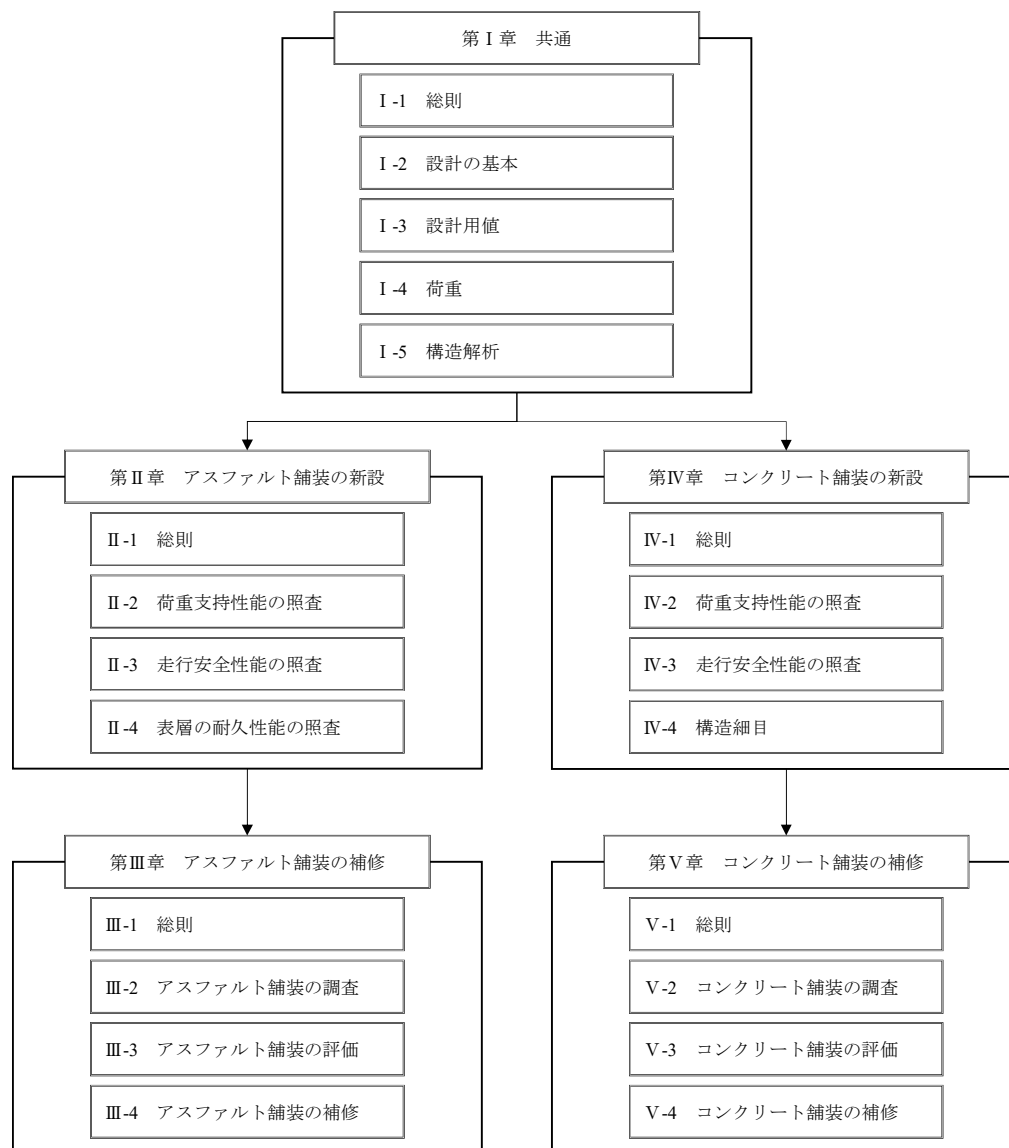


図 I-1.2 舗装設計編の記載内容

I-1.3 舗装の設計

空港舗装の設計は、各施設に求められる性能とそれに対する設計供用期間を適切に定めた上で、設計供用期間において求められる性能を満足するように設計するものとする。

- (1) 舗装設計編は、空港舗装の使用目的に応じて求められる性能を設定し、それに対する照査を実施する性能照査型設計法を基本としており、空港舗装の設計は、求められる性能並びに設計供用期間を適切に定め、その期間中において、求められる性能を満足するように実施する必要がある。

- (2) 舗装設計編において、舗装に求められる性能として、荷重支持性能、走行安全性能、表層の耐久性能を取り上げている。空港舗装の新設設計は、これらの性能に応じて設定される照査項目の設計限界値を満足することを適切な方法により照査するものとする。空港舗装の補修設計は、これらの求められる性能を回復することを適切な方法により照査するものとする。
- (3) 求められる性能に対する照査項目、設計限界値、照査方法等の例は、「**第Ⅱ章 アスファルト舗装の新設**」及び「**第Ⅳ章 コンクリート舗装の新設**」に記載している理論的設計法を用いることができる。

I-2 設計の基本

I-2.1 舗装の構成

- (1) アスファルト舗装は、一般に図 I-2.1 (a) に示すように上から表層、基層、路盤の順に構成することとしている。
- (2) コンクリート舗装は、コンクリート版を表層とする舗装であって、一般に図 I-2.1 (b) に示すようにコンクリート版と路盤により構成することとしている。
- (3) 路床は、一般には盛土又は切土で、舗装下面から下方のある厚さの範囲とする。

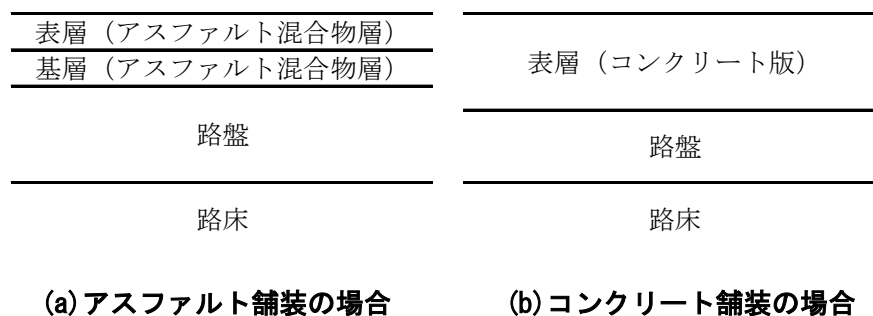


図 I-2.1 一般的な舗装構成

- (1) 舗装種別の選定にあたっては、設計荷重、設計交通量、地盤や路床の土質、気象、現地の材料条件、施工性、完成後の補修の難易等を総合的に判断して決定しなければならない。一般に、補修における長時間の閉鎖が困難な滑走路や誘導路では、補修容易性を重視し、アスファルト舗装が採用されることが多い。また、エプロン、大型ジェット機の交通量が多い空港の滑走路端部や誘導路、大型ジェット機が就航する空港の GSE 通行帯や機材置場では、わだち掘れ対策を重視し、コンクリート舗装が採用されることが多い。なお、小型機用エプロン等では、経済性を重視し、コンクリート舗装ではなく、半たわみ性舗装を採用することがある。
- (2) アスファルト舗装は表層、基層、路盤から、コンクリート舗装はコンクリート版と路盤から構成され、路床は含まない。したがって、舗装厚とは路盤より上の全厚のことである。
- (3) アスファルト舗装の表層及びコンクリート舗装のコンクリート版は舗装の最上部にあって直接荷重の作用を受けるとともに、風化作用、ジェットブラストや燃料油などの影響を

受ける部分である。したがって、表層は、作用する荷重に対して健全であり、適切なすべり抵抗を保持するとともに舗装としての十分な機能を発揮し、温度、湿度、塩分、凍害、日射等の環境によく適合する必要がある。

- (4) コンクリート版には、温度変化や含水量変化などにより応力が生じるので、これらを軽減するため適当な目地を設ける。目地は通常ダウエルバーやタイバーで補強される。
- (5) アスファルト舗装の基層は、上層路盤の凹凸を修正し、表層と一体となって、荷重を均一に路盤に分布させるためのものである。
- (6) 路盤は、アスファルト舗装においては舗装面に加わる荷重を路床に広く安全に分散させるためのもので、経済的なしかも力学的に釣合いのとれた構造にするため、通常下層路盤と上層路盤に分けられる。コンクリート舗装では、コンクリート版を支持し、コンクリート版から伝えられる荷重を分散して路床に伝えるとともに、路床土のポンピングを防止する役目を持ち、路盤が厚くなる場合には、上層路盤と下層路盤に分けられる。
- (7) アスファルト舗装では、下層路盤が厚くなる場合には、経済性を高めるため、下層路盤を多層にし、下側部分にセレクト材と称する低廉な材料を使用することがある。
- (8) コンクリート舗装では、路盤の耐水性や耐久性を改善するために、路盤の一部として最上部にアスファルト中間層を設けることもある。アスファルト中間層は、構造安定性を向上させるだけでなく、路盤を平坦に仕上げることによってコンクリート版厚を均等にすること、降雨後の作業の休止時間を短くできることなど施工上の有利さがある。
- (9) 路床は、舗装により分散された荷重を支持するためのものである。コンクリート舗装では、コンクリート版の剛性が大きいことにより荷重が広範に分散され、路床に生ずる応力は極めて小さいことから、路床厚はアスファルト舗装に比べて小さくすることができる。
- (10) 路盤に路床土が侵入するのを防ぐために用いるしゃ断層や、局部的な埋戻しや置き換え、あるいは凍上対策のために設ける凍上抑制層などは路床とみなすことができる。
- (11) 路床は舗装に含まれないが、路床は舗装の構造に大きく影響し、路床の支持力が小さい場合には路床を改良することにより舗装も含めた経済性が有利になることもあることから、舗装設計において考慮する必要がある。

I-2.2 設計の原則

- (1) 空港舗装の設計は、その舗装が設計供用期間中にわたって求められる性能を満足するように行うものとする。
- (2) 空港舗装に求められる性能は、一般に、荷重支持性能、走行安全性能、走行快適性能、表層の耐久性能、環境負荷軽減性能としている。設計においては、舗装の使用目的に応じて、これらのうちから適切なものを選定するものとする。
- (3) 空港舗装に求められる性能を照査するときには、照査項目を適切に定め、行うものとする。

- (1) 空港舗装に求められる性能は、荷重支持性能、走行安全性能、表層の耐久性能とすることができる。
- (2) 求められる性能を照査する場合には、**図 I-2.2**、**図 I-2.3**に示すように、求められる性能

毎に定められた照査項目から適切なものを選定し，行う必要がある．

- (3) 設計条件が舗装設計編で想定したものと大きく異なる場合にはもちろんのこと，新たに開発された技術を導入することが合理的・経済的である場合には，他の事例を参照したり，試験研究を十分に行うことにより，舗装設計編に示された設計方法と異なるものを用いることができる．また，舗装設計編に示していない材料や工法であっても，現場の環境や施工条件及び経済性などを総合的に判断して適当と考えられるものについては，積極的に採用することが望ましい．

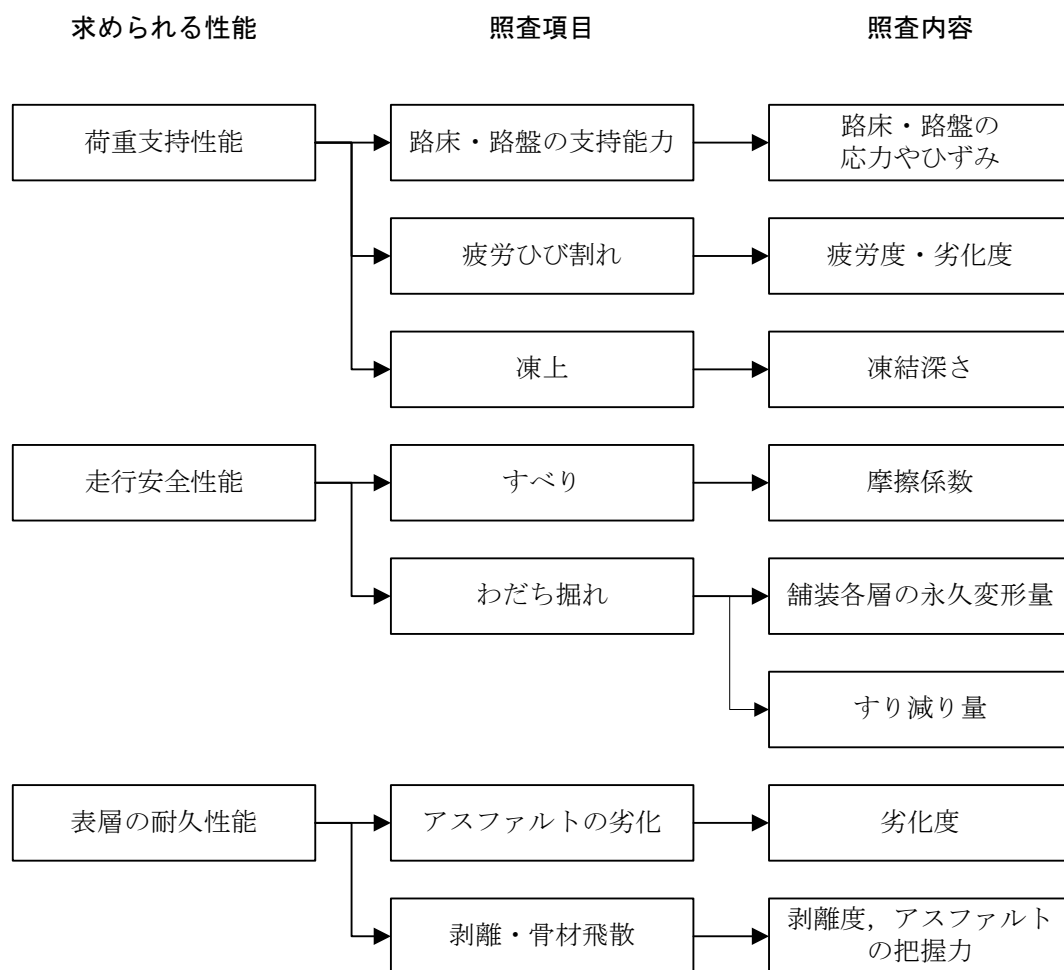


図 I -2.2 空港アスファルト舗装に求められる性能と照査項目

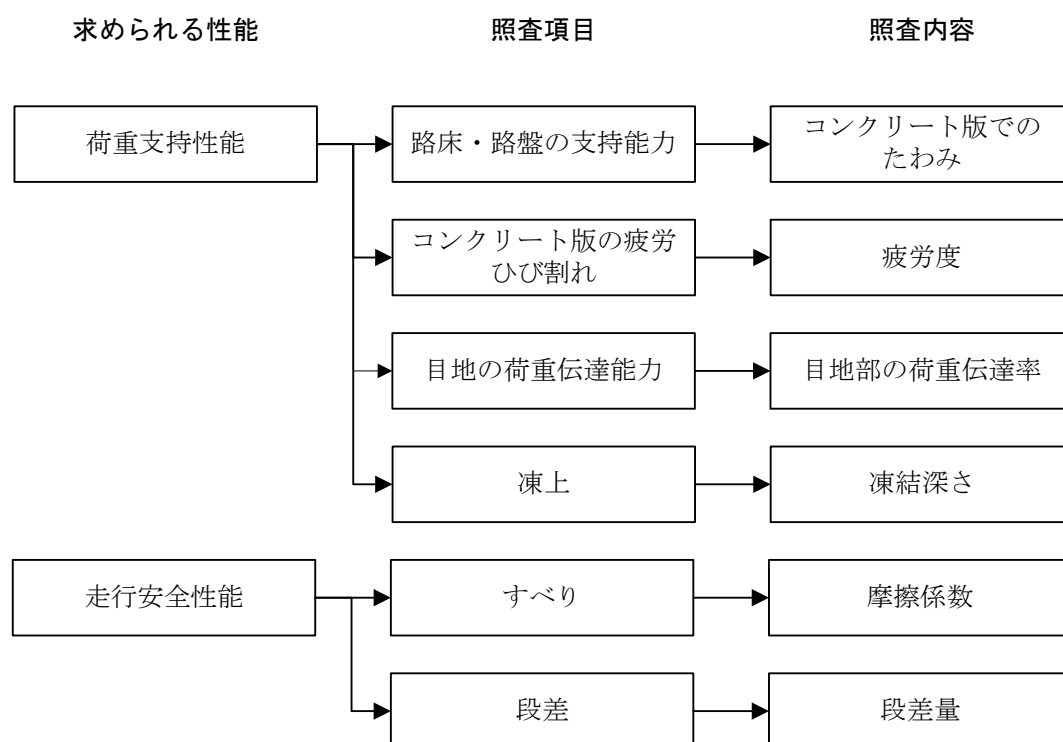


図 I-2.3 空港コンクリート舗装に求められる性能と照査項目

I-2.3 設計限界値

求められる性能に対する各照査項目の設計限界値は、その舗装の使用目的、重要度などに応じて適切に設定するものとする。

- (1) 設計限界値は、照査する際の基準値となるものであり、その値は施設の使用目的、重要度に応じて適切に設定する必要がある。
- (2) アスファルト舗装の設計限界値は、一般に疲労度、わだち掘れ量、摩擦係数、凍上深さについて設定することとしている。
- (3) コンクリート舗装の設計限界値は、一般にたわみ量、疲労度、摩擦係数、凍上深さ、段差量について設定することとしている。

I-2.4 設計条件

空港舗装設計に先立ち、交通条件、路床条件、環境条件及び材料条件等の設計条件を明らかにするものとする。

- (1) 交通条件としては、航空機や車両の種類、荷重の大きさ、交通量、走行速度や走行時の横断方向走行分布等の走行特性の設定が必要となる。
- (2) 路床条件としては、荷重支持性能に関する特性、変形特性、凍結深さ等設定が必要となる。
- (3) 環境条件としては、気温等の設定が必要となる。
- (4) 材料条件としては、舗装材料の荷重支持性能に関する特性、変形特性、疲労特性等の設定が必要となる。
- (5) 空港舗装に密接に関係する付帯構造物、たとえば排水施設などは、舗装構造の設計と並行

して考えておくことが望ましく、それらに必要な諸条件も明らかにしておくことが望ましい。

I-2.5 設計供用期間

空港舗装の設計供用期間は、舗装の使用目的並びにライフサイクルコストなどを考慮して適切に設定するものとする。

- (1) 空港舗装の設計供用期間は、求められる性能が満足される期間であり、舗装の使用目的、ライフサイクルコスト、環境条件及び耐久性能等を考慮して設定するものとする。
- (2) 設計供用期間内にすべての性能が満足できるように設計するとコストが高くなる場合もあることから、求められる性能ごとに設計供用期間を定めて、それぞれについて設計を行うことができる。
- (3) 設計供用期間としては、わが国におけるこれまでの破損事例の調査結果¹⁾等から、一般にアスファルト舗装とコンクリート舗装の荷重支持性能及びコンクリート舗装の走行安全性能に対する設計供用期間は 20 年、アスファルト舗装の走行安全性能及び表層の耐久性能に対する設計供用期間は 10 年としているが、空港の運用形態やライフサイクルコストを考慮して設定することもできる。
- (4) 構造設計における経済性の検討にあたっては、一般に新設時又は補修時に要する工事費用を対象とする。ただし、舗装の重要度や供用後の維持補修の難易度によっては、ライフサイクルコストに配慮することが望ましい。
- (5) 空港舗装は、供用開始後の大規模な補修工事が困難な場合が多いことから、新設時に高い耐久性を有する舗装を建設して、メンテナンスフリーとなるような設計方法も考えられる。

I-2.6 舗装区域の区分

舗装設計編が対象とする各施設の舗装区域は、次のように区分するものとする。

- (1) 滑走路：端部中央帯、端部縁端帯、中間部中央帯、中間部縁端帯、ショルダー、過走帯
- (2) 誘導路：本体部、ショルダー
- (3) エプロン：本体部、ショルダー
- (4) GSE 通行帯等

- (1) 舗装区域は、求められる性能と交通条件により分類されるものである。
- (2) 設計に際し舗装区域の種類を明確にするのは、各区域で求められる性能と交通条件が異なり、それに対応して舗装厚を変える必要があるからである。
- (3) 滑走路端部とは、長さ方向に滑走路の端から（滑走路の長さ）÷5 までの部分である。この中には、ターニングパッドも含まれる。また、中央帯とは、滑走路中心線から両側 10m の範囲をいう。
- (4) 誘導路には、取付誘導路、高速離脱誘導路、平行誘導路、連絡誘導路等が、また、エプロンには、ローディングエプロン、ナイトステイエプロン、メンテナンスエプロン等があるが、舗装設計においてこれらの違いは、交通条件で考慮する必要がある。
- (5) 図 I-2.4 に各舗装区域の区分の例を示す。

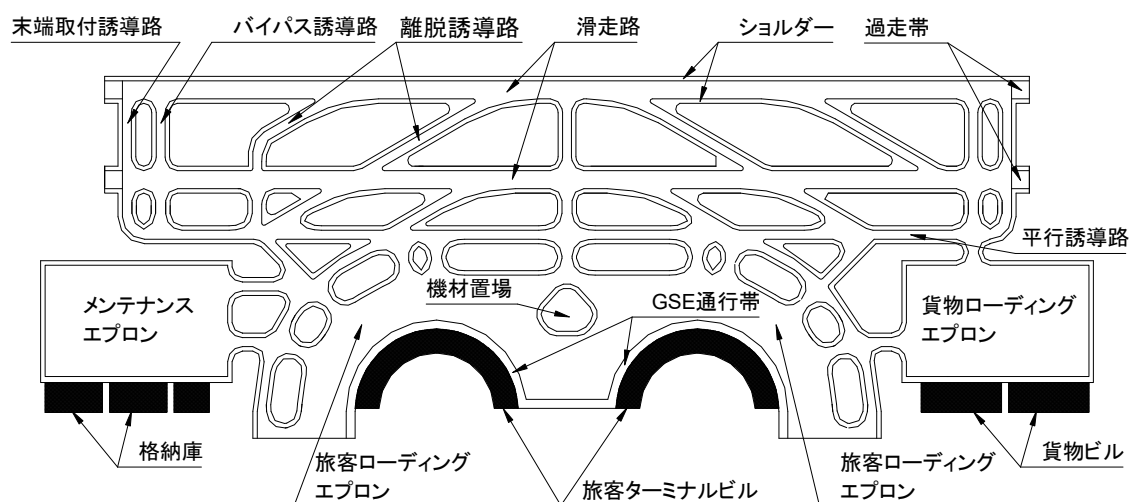


図 I-2.4 舗装区域の種類

I-2.7 安全係数

- (1) 安全係数は、材料係数 γ_m 、荷重係数 γ_f 、構造解析係数 γ_a 、構成層係数 γ_b 、及び重要度係数 γ_i とするものとする。
- (2) 材料係数 γ_m は、材料の力学諸性質の特性値からの望ましくない方向への変動、供試体として舗装構成層との材料特性の差異、材料特性が求められる性能に及ぼす影響、材料特性の経時変化等を考慮して設定するものとする。
- (3) 荷重係数 γ_f は、荷重の大きさにかかわる γ_{fl} と荷重の度数にかかわる γ_{fr} とからなり、荷重の特性値から望ましくない方向への変動、荷重の算定方法の不確実性、設計供用期間中の荷重の変化、荷重特性が限界状態に及ぼす影響、環境作用の変動等を考慮して設定するものとする。
- (4) 構造解析係数 γ_a は、断面力算定時の構造解析の不確実性などを考慮して設定するものとする。
- (5) 構成層係数 γ_b は、舗装構成層の応力などの計算上の不確実性、層厚などの寸法のばらつきの影響、舗装構成層の重要度、すなわち、対象とする層がある状態に達したときに舗装全体に与える影響等を考慮して設定するものとする。
- (6) 重要度係数 γ_i は、舗装構造の重要度、限界状態に達したときの社会的影響等を考慮して設定するものとする。

- (1) 安全係数は、対象とする限界状態に応じて設定するものであり、必ずしも同一の値をとるものではない。
- (2) 安全係数は、考えられる不確実性を分割して割り付けたものであるが、これらをまとめて取り扱うことができる。

- (3) 安全係数は、表 I-2.1 に示す値を用いることができるが、過去の実績や経験などに基づいて割り増すことができる。なお、舗装設計編では全ての安全係数を 1.0 としている。

表 I-2.1 安全係数の値

材料係数			荷重係数		構造解析 係数	構成層 係数	重要度 係数
アスファルト混合物・コンクリート	鋼材	路床・路盤	大きさ	頻度			
1.0～1.3	1.0 又は 1.05	1.0～1.3	1.0～1.2	1.0～1.2	1.0	1.0	1.0～1.2

I-3 設計用値

I-3.1 総則

- (1) 舗装の設計にあたっては、使用材料及び舗装構造に対応した適切な設計用値を用いるものとする。
 - (2) アスファルト混合物の性質は、疲労特性、変形係数、熱特性、耐久性等の材料特性によって表すものとする。
 - (3) コンクリートの性質は、曲げ強度、疲労強度、ヤング係数、その他の変形特性、熱特性等によって表すものとする。
 - (4) 固化系路盤材の性質は、圧縮強度、曲げ強度、疲労特性、変形係数等によって表すものとする。
 - (5) 粒状路盤・路床の性質は、設計上の必要に応じて、強度、CBR、地盤反力係数等の荷重支持特性、変形係数、レジリエントモデュラス、ポアソン比等の変形特性によって表すものとする。
 - (6) 材料強度の特性値 f_k は、試験値のばらつきを想定した上で、大部分の試験値がその値を下回らないことが保証される値とするものとする。
 - (7) 材料の設計強度 f_d は、材料強度の特性値 f_k を材料係数 γ_m で除した値とするものとする。
 - (8) 路床及び粒状路盤の支持特性及び変形特性の特性値は、試験値のばらつきを想定した上で、部分の試験値がその値を下回らないことが保証される値とするものとする。
 - (9) 路床及び粒状路盤の支持特性及び変形特性の設計用値は、特性値を材料係数で除した値とするものとする。
- (1) 舗装設計編で示される性能以外について照査を行う場合、もしくは、舗装設計編で扱っていない構造モデルを用いるため舗装設計編で示す以外の設計用値が必要な場合には、舗装設計編に準じて適切に設計用値を設定する必要がある。
 - (2) 空港舗装に用いられるコンクリート、アスファルト混合物には各種のものがあ、使用目的、環境条件、設計供用期間、施工条件等を考慮して、適切な種類・品質のものを選定する必要がある。
 - (3) 固化系路盤材としては、各種安定処理路盤、スラグ路盤等がある。安定処理材としては、セメント、石灰、アスファルト等が用いられる。また、コンクリート舗装では、路盤の耐久性、耐水性を向上させる目的で路盤の一部としてアスファルト混合物による中間層を設

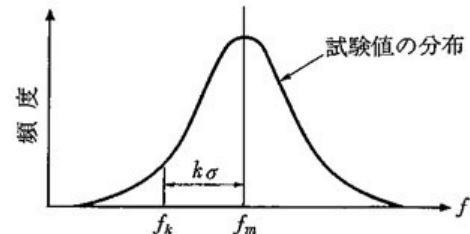
ける場合がある。

- (4) 材料強度の特性値 f_k は、次式により求めることができる。

$$f_k = f_m - k\sigma$$

ここに、

f_m : 試験の平均値
 σ : 試験値の標準偏差
 k : 係数



係数 k は、特性値より小さい試験値が得られる確率と試験値の分布形より定まるものであり、試験値の分布形を正規分布とし、試験値の非超過確率を 5%とすると係数 k は 1.64 となる。係数 k は、材料に応じて適切に設定する必要がある。

- (5) 路床・粒状路盤の支持特性及び変形特性の特性値は、材料強度の特性値と同様の方法で求めることができる。
- (6) 路床・粒状路盤の支持特性及び変形特性の設計用値は、材料強度の設計強度を算定するときと同様の方法で求めることができる。

I-3.2 アスファルト混合物

I-3.2.1 総則

- (1) アスファルト混合物は、加熱混合方式アスファルトコンクリートを用いるものとし、アスファルト混合物の種類は、求められる性能に応じて適切に選定するものとする。

(2) アスファルト混合物の設計用値としては、強度特性、疲労特性、変形特性、熱特性等に関するものがあり、求められる性能の照査項目に応じて適切な試験により求めるものとする。
- (1) 一般に表層には密粒度アスファルト混合物、基層には粗粒度アスファルト混合物が使用されるが、適用する施設に求められる性能に応じて、これ以外の混合物を使用することもできる。
- (2) アスファルト混合物の種類は、混合物の合成粒度、骨材の最大粒径及び使用するアスファルトにより分類するものとする。
- (3) 交通量が極めて少ない滑走路縁端帯やショルダー及び過走帯では、荷重によるこねかえし作用がないため、表層のアスファルトコンクリートの老化速度が相対的に速くなることがある。
- (4) 大きな静止荷重あるいは緩速走行荷重が集中するエプロン、誘導路、滑走路端部等では、表層や基層のアスファルトコンクリートのわだち掘れが大きくなることが多い。このような場合には、改質アスファルトを使用するなどの配慮をすることが望ましい。
- (5) 資源の有効利用、舗装発生材の活用などの観点から、剥離に対する抵抗性を確認した上で、

再生加熱アスファルト混合物を利用することができる。

- (6) アスファルトコンクリート発生材については、補足材と混合することにより表層、基層並びにアスファルト安定処理材として上・下層路盤に適用することができるが、基本施設に使用する場合はⅡ-4.6、Ⅲ-4.6に示している。

I-3.2.2 強度

アスファルト混合物の強度は、求められる性能の照査項目に応じて適切な試験方法により求めるものとする。

- (1) 照査項目に応じてアスファルト混合物の強度特性が必要となる場合は、適切な方法にしたがって強度試験を実施する必要がある。なお、アスファルト混合物の強度特性は、混合物の温度、載荷速度等の試験条件により著しく変化するため、強度試験は照査項目に応じた適切な条件で実施する必要がある。

I-3.2.3 変形係数

アスファルト混合物の変形係数は、載荷速度及び混合物の温度などを考慮し、室内試験などにより適切な値を用いるものとする。

- (1) アスファルト混合物の変形係数は、載荷速度及び混合物の温度により著しく変化する。また、変形係数は、アスファルト舗装の荷重支持性能、走行安全性能の照査内容に大きく影響する。したがって、アスファルト混合物の変形係数は、使用するアスファルト混合物の種類、荷重の載荷速度及び気象特性等に十分配慮して設定する必要がある。
- (2) アスファルト混合物の変形係数を室内試験により求める場合は、「舗装調査・試験法便覧²⁾：アスファルト混合物のレジリエントモデュラス試験方法」に準じることができるが、載荷時間や供試体温度等の条件は、使用条件を考慮して設定する必要がある。なお、室内試験によってアスファルト混合物の変形係数を求める場合には、一般に試験値の調和平均を用いることとしている。これは、荷重支持性能の照査において、変形係数の特性値を用いることが一概に安全側の設計とならないためである。
- (3) アスファルト混合物の変形係数を室内試験によらずに求める場合には、アスファルトの変形係数とアスファルト混合物の材料特性などから求めることもできる。例えば、以下の方法がある³⁾。

$$S_{bit} = 1.157 \times 10^{-7} \cdot t_w^{-0.368} \cdot \exp(-PI) \cdot (T_{RB} - T)^5 \quad \dots \dots \dots \text{(式 I-3.1)}$$

ここで、

S_{bit} : アスファルトの変形係数 (MPa)
 t_w : 載荷時間 (0.01～0.1 秒)
 PI : 針入度指数 (-1～1)
 T_{RB} : 軟化点温度 (10～70℃)
 T : 載荷時の温度 (℃)

$$S_{mix} = S_{bit} \cdot \left[1 + \left(\frac{2.5}{n} \right) \cdot \left(\frac{C_v}{1 - C_v} \right) \right]^n \quad \dots \dots \dots \text{(式 I-3.2)}$$

ここで,

S_{mix} : アスファルト混合物の変形係数 (MPa)

$$n = 0.83 \cdot \log \left(\frac{4 \times 10^4}{S_{bit}} \right)$$

$$C_v = \frac{V_A}{V_A + V_B} \quad \text{空隙率 3\%未満の場合}$$

$$C_v = \frac{1}{0.97 + 0.01 \times (100 - (V_A + V_B))} \cdot \frac{V_A}{V_A + V_B} \quad \text{空隙率 3\%以上の場合}$$

V_A : 骨材の容積率

V_B : アスファルトの容積率

I-3.2.4 ポアソン比

アスファルト混合物のポアソン比は、室内試験などにより求めた適切な値を用いるものとする。

- (1) アスファルト混合物のポアソン比は、一般に室内試験などにより求めることとするが、これが困難な場合には、既往の研究成果に基づいて設定することができる。
- (2) 既往研究によるとアスファルト混合物のポアソン比は、一般に弾性範囲内にあれば 0.25～0.45 の値をとることがわかっており、かつ、アスファルト混合物のポアソン比が照査内容へ及ぼす影響は比較的小さいことからポアソン比は 0.35 とすることができる。

I-3.2.5 疲労特性

アスファルト混合物の設計疲労曲線は、アスファルト混合物の種類、使用条件等を考慮して設定するものとする。

- (1) アスファルト混合物の疲労ひび割れには、層下面から進行する底面ひび割れと表面から進行する表面ひび割れがある。
- (2) 疲労ひび割れの照査に用いる設計疲労曲線は、底面ひび割れあるいは表面ひび割れを適切に評価するものでなければならず、アスファルト混合物の種類、使用条件を考慮して設定する必要がある。
- (3) アスファルト混合物の曲げ疲労特性を室内試験により設定する場合には、「舗装調査・試験法便覧²⁾：アスファルト混合物の曲げ疲労試験方法」に準じることができる。ただし、載荷時間や供試体温度等の条件は、使用条件を考慮し設定する必要がある。
- (4) 疲労ひび割れの照査に用いる設計疲労曲線は、(式 I-3.3) を用いることができる。ただし、室内試験から求めたアスファルト混合物の変形係数を使用する場合には、室内試験から設定した設計疲労曲線を使用する必要がある。

$$N_f = \alpha \times \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^\beta \times \left(\frac{1}{E}\right)^\gamma \quad \dots \dots \dots \quad \text{(式 I-3.3)}$$

ここで,

- N_f : 破壊に至るまでの繰返し回数
- ε : アスファルト混合物に発生する引張ひずみ
- E : アスファルト混合物の弾性係数 (MPa)
- α, β, γ : 係数で, $\alpha = 7.681 \times 10^{-6}$ $\beta = 6.333$ $\gamma = 3.374$ を用いることができる

I-3.2.6 クリープ

アスファルト混合物のクリープ特性は、載荷速度及び混合物温度などを考慮し、室内試験などにより求めた適切な値を用いるものとする。

- (1) アスファルト混合物層の永久変形を照査する際には、必要に応じてアスファルト混合物のクリープ変形量を求めることができる。ただし、クリープ変形量を求めるにあたっては、載荷速度及び混合物温度などの条件を考慮する必要がある。
- (2) 交通履歴時間を考慮したアスファルトの変形係数は、交通履歴時間が長く、(式 I-3.1)を適用できない。この場合には、図 I-3.1 のノモグラム⁴⁾及び図 I-3.2 による関係図⁵⁾を用いてアスファルト及びアスファルト混合物の変形係数を算定することができる。

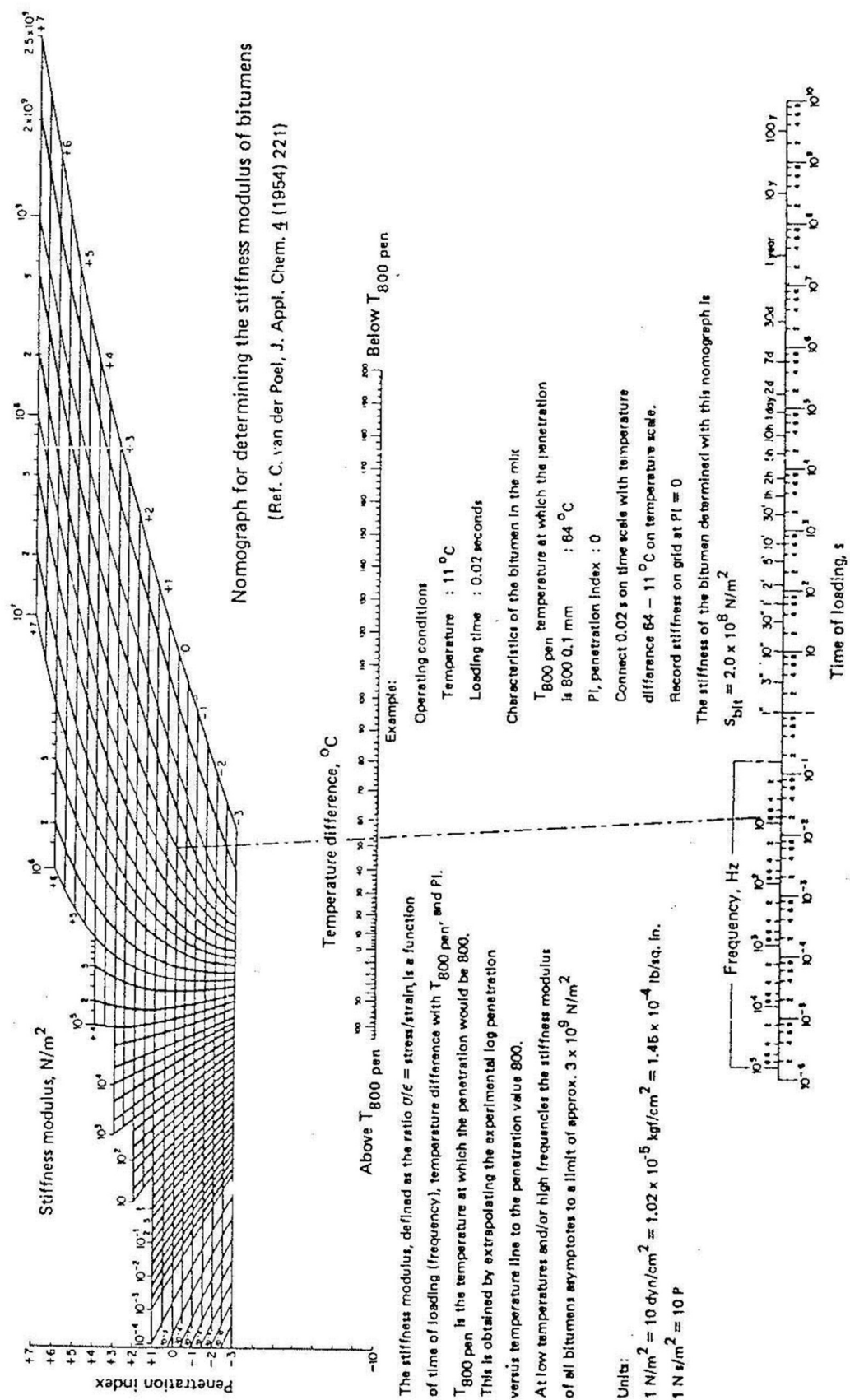


図 I-3.1 アスファルトのスティフネス (S_{bit}) 算定ノモグラム

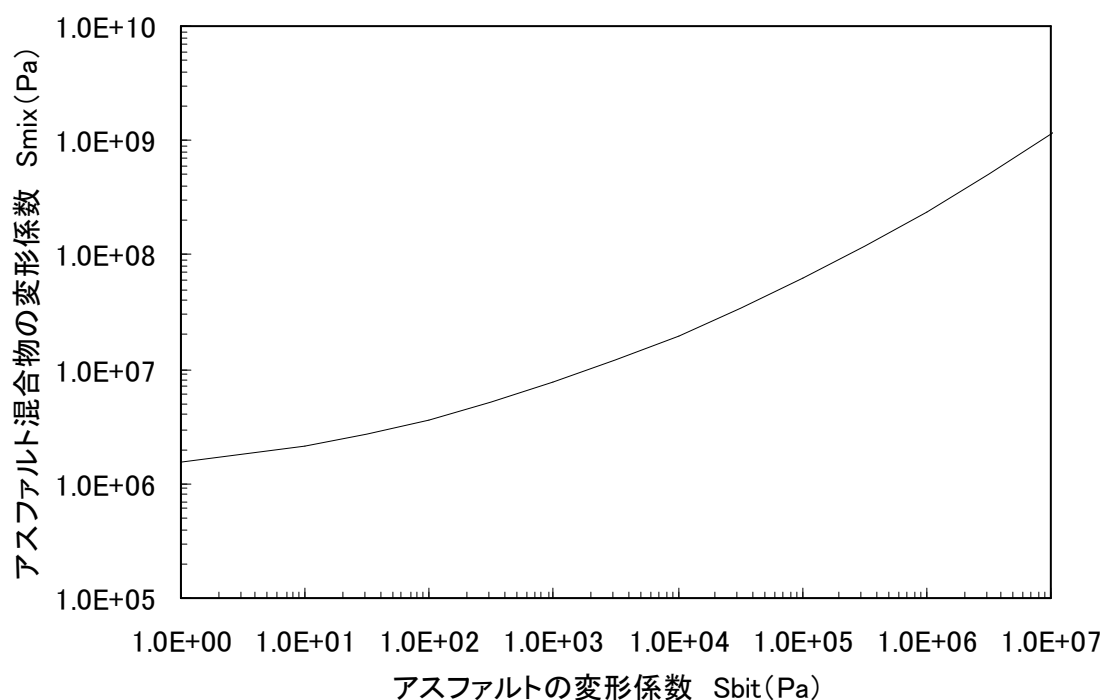


図 I -3.2 $S_{bit} \sim S_{mix}$ の関係図

I -3.2.7 熱特性

アスファルト混合物の熱特性は、試験あるいは既往のデータに基づいて設定するものとする。

- (1) アスファルト混合物の熱特性は、アスファルト舗装体内の温度を推定する場合等に必要となる。アスファルト混合物の熱特性は、使用するアスファルトの種類と量、空隙の大小、使用する骨材の材質等によって変動するため、室内試験によって求めることとするが、試験によらない場合、表 I -3.1 に示す値を用いることができる。

表 I -3.1 アスファルト混合物の熱特性値

比熱	830～920 (J/kg・℃)
熱伝導率	1.1～1.6 (W/m・℃)
熱伝達率	15～28 (W/m ² ・℃)
線膨張係数	2～3×10 ⁻⁵ (1/℃)

- (2) アスファルト混合物層の内部温度は、熱伝導問題より解析的に求めることができるが、内部温度を外気温から簡易に推定する方法として次式がある⁶⁾。

$$M_p = M_a \left(1 + \frac{2.54}{z + 10.16} \right) - \frac{25.4}{9(z + 10.16)} + \frac{10}{3} \quad \dots \dots \dots \text{(式 I -3.4)}$$

ここに、

M_p : 月平均舗装温度 (°C)

M_a : 月平均気温 (°C)

z : 温度を推定する点の舗装表面からの深さ (cm)

※ある層の平均温度は、その層（厚さ h ）の上面から $h/3$ の位置での温度とする

I-3.3 コンクリート

I-3.3.1 総則

コンクリートの設計用値としては、強度特性、疲労特性、変形特性、熱特性等に関するものがあり、求められる性能の照査項目に応じて適切な試験により求めるものとする。

- (1) 舗装用コンクリートとしては、一般に普通ポルトランドセメントコンクリート及び高炉セメントコンクリートを使用することとしている。このほかにコンクリート舗装用セメントとして、中庸熱ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、場合によっては超早強ポルトランドセメント、アルミナセメント、膨張セメントを使用することもできる。

I-3.3.2 強度

- (1) コンクリートの曲げ強度の特性値は、材齢 28 日における試験強度に基づいて設定するものとする。ただし、舗装の種別、使用目的、対象施設、施工計画等に応じた適切な材齢における試験強度に基づくこともできる。曲げ試験は、JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」及び JIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」によるものとする。
- (2) JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」に適合するレディーミクストコンクリートを用いる場合には、購入者が指定する呼び強度を、一般に曲げ強度の特性値 f_{bk} としている。
- (3) コンクリートの曲げ強度以外の特性値は、材齢 28 日における試験強度に基づいて設定するものとする。ただし、舗装の種別、使用目的、対象施設、施工計画等に応じた適切な材齢における試験強度に基づくことができる。
- 圧縮試験は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」によることができる。
- 引張試験は、JIS A 1113「コンクリートの引張強度試験方法」によることができる。

- (1) 試験強度の材齢については、早強セメントを用いた場合には 7 日、中庸熱セメントを用いた場合には 91 日とすることがある。

I-3.3.3 疲労強度

コンクリートの設計疲労曲線は、コンクリートの種類、使用条件等を考慮して行った疲労試験に基づいて設定するものとする。

- (1) コンクリート版の曲げ疲労に関するデータは少なく、その性質は十分に解明されていないため、曲げ疲労特性については、舗装に求められる性能に応じた試験によって得られたデータに基づいて設定することとする。特に交通荷重による載荷速度の影響を受けること

が指摘されていることから、試験条件を適切に設定する必要がある。

- (2) 一般に曲げ疲労破壊回数は大きなばらつきを示す。このばらつきの中には静的強度のばらつきも含まれているが、曲げ疲労現象に固有のばらつきが存在し、曲げ疲労寿命は確率事象であるとの指摘もある。そして、応力レベル（繰返し曲げ応力／曲げ強度）ごとの曲げ疲労回数分布はワイブル分布、もしくは対数正規分布に従うことが知られている。したがって、疲労寿命の特性値は、疲労試験結果により疲労寿命の確率分布を決定し、所要の破壊確率を考慮して設定する必要がある。
- (3) 設計疲労寿命は、次式により求めることができる。

$$\log N_d = \frac{a - \sigma_{rd}/f_{bd,h}}{b} \cdot \frac{1}{\gamma_{cr}} \quad \dots \dots \dots \text{(式 I-3.5)}$$

ここで、

- N_d : 疲労破壊回数
 σ_{rd} : 繰返し最大曲げ応力
 $f_{bd,h}$: 設計曲げ強度
 γ_{cr} : 疲労寿命に関する材料係数で、一般に 1.0 としている
 a, b : 係数で、 $a = 1.19614$ $b = 0.08672$ を用いることができる

- (4) (式 I-3.6) において用いる設計曲げ強度は、供試体とコンクリート版の寸法の違いを考慮して適切に設定するものとし、試験によらない場合は次式によって求めることができる。

$$f_{bd,h} = 0.8 \cdot \left(0.6 + \frac{2.25}{h^{1/4}} \right) \cdot f_{bd,h_0} \quad \dots \dots \dots \text{(式 I-3.6)}$$

ここで、

- $f_{bd,h}$: 版厚 h (mm) の設計曲げ強度
 f_{bd,h_0} : 版厚 h_0 (mm) の設計曲げ強度で、 f_{bk}/γ_c で求められる。
 h_0 は一般に 150mm としている

I-3.3.4 弾性係数

コンクリートの弾性係数は、曲げ試験における荷重－たわみ関係から算出するものとする。

- (1) コンクリートの弾性係数の測定方法は圧縮試験によるものが一般的であるが、舗装の構造設計の基準を曲げ強度とすることから、一般に曲げ試験から弾性係数を得る方法を用いている。このときの弾性係数は、一般に曲げ強度の 1/2 のときのたわみ量から逆算される値の平均値を用いている。また、土木学会規準 JSCE-G502「コンクリートの静弾性係数試験方法」によって試験を行い、応力－ひずみ関係を求め、圧縮強度の 1/3 の点とひずみが 50×10^{-6} を結ぶ割線弾性係数の試験値の平均値とすることもできる。
- (2) 試験によらない場合、曲げ強度の特性値 5N/mm^2 のコンクリートの弾性係数は、 $34,000\text{MPa}$ を用いることができる。

- (3) 弾性係数の値は、舗装構造の解析に直接影響を及ぼす。すなわち、弾性係数を大きく設定するとたわみは小さくなるが、舗装版内の応力は大きく計算されることになる。

I-3.3.5 ポアソン比

コンクリートのポアソン比は、室内試験などにより求めた適切な値を用いるものとする。

- (1) コンクリートのポアソン比は、弾性範囲内では、0.15 を用いることができる。

I-3.3.6 熱特性

コンクリートの熱特性は、試験あるいは既往のデータに基づいて設定するものとする。

- (1) コンクリートの熱特性については、一般にコンクリート舗装の種別、配合及び使用条件を考慮した試験あるいは既往のデータに基づいて設定することとするが、試験あるいは既往のデータによらない場合、表 I-3.2 に示す値を用いることができる。

表 I-3.2 コンクリートの熱特性値

比熱	1,050～1,260 (J/kg・℃)
熱伝導率	2.6～2.8 (W/m・℃)
熱伝達率	12～14 (W/m ² ・℃)
線膨張係数	10×10 ⁻⁶ (1/℃)

I-3.3.7 乾燥収縮

コンクリートの乾燥収縮は、舗装周辺の温度、湿度、降雨、舗装断面の形状寸法、コンクリートの配合等の影響を考慮して行った試験に基づいて設定するものとする。

- (1) コンクリートの乾燥収縮は、舗装周辺の温度、湿度、降雨、舗装断面の形状寸法、コンクリートの配合のほか、骨材の性質、セメントの性質、コンクリートの締固め、養生条件等の種々の要因によって影響を受ける。したがって、設計に用いるコンクリートの乾燥収縮ひずみは、これらの要因を考慮した実測に基づいたデータによることが望ましい。
- (2) コンクリート舗装版では、舗装表面からの乾燥収縮によるその影響が考えられる。しかし、舗装に作用する温度応力の観点から見ると、交通量の比較的多い日中はこれを打ち消す方向に作用するため有利になるものと考えられる。

I-3.3.8 クリープ

- (1) コンクリートのクリープひずみは、作用する応力による弾性ひずみに比例するとして、一般に次式により求めるものとする。

$$\varepsilon_{cc} = \phi \sigma_{cp} / E_c$$

ε_{cc} : コンクリートの圧縮ひずみ

ϕ : クリープ係数

σ_{cp} : 作用する圧縮応力度

E_c : ヤング係数

(2) コンクリートのクリープ係数は、舗装周辺の温度、舗装断面の形状寸法、コンクリートの配合、応力が作用するときのコンクリートの材齢等の影響を考慮して行った試験により求めるものとする。

- (1) コンクリートのクリープひずみが作用応力による弾性ひずみに比例すると考えてよいのは、コンクリート応力度が圧縮強度の約 40%以下の場合である。

I-3.4 鋼材

I-3.4.1 総則

鋼材の設計用値としては、強度特性、疲労特性、変形特性、熱特性等に関するものがあり、求められる性能の照査項目に応じて適切な試験により求めるものとする。

- (1) 無筋コンクリート舗装においては、タイバー、ダウエルバーとして鉄筋が使用される。
- (2) タイバー及び鉄網には、コンクリートとの付着をよくするため、一般に異形棒鋼を用いることとしている。
- (3) チェアーなどコンクリート版の構造強度の補強を目的としないものは設計用値を設定する必要はない。

I-3.4.2 強度

(1) 鋼材の引張降伏強度の特性値 f_{yk} 及び引張強度の特性値 f_{uk} は、それぞれの試験強度に基づいて設定するものとする。

(2) JIS 規格に適合するものは、特性値 f_{yk} 及び f_{uk} を JIS 規格の下限值とすることができる。また、設計に用いる鋼材の断面積は、一般に公称断面積としている。

(3) 鋼材の材料係数 γ_s は、一般に 1.0 としている。

- (1) 一般に鉄筋は JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」に、鉄網は、JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」、JIS G 3111「再生鋼材」、あるいは JIS G 3551「溶接金網」に適合するものが使用される。また、鋼材の流通状況などから、JIS G 3117「鉄筋コンクリート用再生棒鋼」に適合するものを用いることもできる。
- (2) 鋼材の引張降伏強度及び引張強度の特性値は、コンクリートの圧縮強度と同様に試験に基づいて設定するものとするが、既往の試験結果では、JIS 規格の下限值とほぼ等しいか、若干大きな値を示しており、一般に該当する JIS 規格の下限値を特性値としている。

I-3.4.3 ヤング係数

鋼材のヤング係数は、JIS Z 2241「金属材料引張試験方法」によって引張試験を行い、応力-ひずみ曲線を求め、この結果に基づいて設定するものとする。

- (1) 鋼材のヤング係数は、200GPa を用いることができる。

I-3.4.4 ポアソン比

鋼材のポアソン比は、室内試験などにより求めた適切な値を用いるものとする。

- (1) 鋼材のポアソン比は、0.3 を用いることができる。

I-3.4.5 線膨張係数

鋼材の線膨張係数は、室内試験などにより求めた適切な値を用いるものとする。

- (1) 鋼材の線膨張係数は、 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ を用いることができる。

I-3.5 路盤

I-3.5.1 総則

路盤の設計用値としては、荷重支持特性、変形特性、熱特性等に関するものがあり、求められる性能の照査項目に応じて適切な試験により求めるものとする。

- (1) 路盤材料としては、一般に粒状材、セメント安定処理材、石灰安定処理材、アスファルト安定処理材、鉄鋼スラグを用いることとしている。
- (2) 路盤材料については、名称は同じでも使用材料の品質の規定は、コンクリート舗装とアスファルト舗装とでは相違がある場合がある。
- (3) 路盤は通常、下層路盤と上層路盤に分けられるが、一般に比較的支持力の小さい安価な材料を下層路盤に、支持力の大きい良質な材料を上層路盤に用いることとしている。
- (4) 鉄鋼スラグには、クラッシャーラン鉄鋼スラグ、粒度調整鉄鋼スラグ、水硬性粒度調整鉄鋼スラグがある。
- (5) 路盤材料には、資源の有効利用、舗装発生材活用などの観点から、地域産材料や再生路盤材料を積極的に利用することが望ましい。
- (6) 再生路盤材については、新材料に関する材質規定を満足する場合には、新材料と同等のものとして使用することができる。再生路盤材の品質及び使用方法については、「舗装再生便覧⁷⁾」を参考とすることができる。

I-3.5.2 荷重支持特性

- (1) 路盤の荷重支持特性は、CBR、地盤反力係数及び設計上必要とされるその他の荷重支持特性値により表すものとする。
- (2) 荷重支持特性値は、使用する材料の強度発現を適切に評価できるような条件での試験強度に基づいて設定するものとする。

- (1) 路盤材料の荷重支持性能を求める試験方法としては、JISA 1211「CBR 試験法」、JISA 1215「道路の平板載荷試験方法」、「舗装調査・試験法便覧²⁾：路盤材料の修正 CBR 試験方法」がある。
- (2) 路盤材として使用される安定処理材料あるいはスラグなどの水硬性材料の強度は、一般に材齢とともに増加するが、その増加速度は材料によって異なる。強度の特性値は、一般に舗装建設後の供用開始時期、設計供用期間等を考慮して適切な材齢時での試験強度に基づいて設定することとしている。

- (3) 路盤材料の強度は、設計供用期間中の最も悪い条件下での強度が得られる試験方法に基づくことが一般的であるため、その場合には材料係数を 1.0 とすることができる。それ以外の場合には適切な値を使用することが必要である。
- (4) アスファルトコンクリート再生骨材を含む再生路盤材を使用する場合、温度が高くなると CBR の低下が考えられるため、試験条件はそのことを考慮して設定する必要がある。
- (5) セメントコンクリート再生骨材を用いた再生路盤材は保水性が高いので、地下水位が高い状況下で用いる場合、試験条件はそのことを考慮して設定する必要がある。

I-3.5.3 変形特性

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> (1) 路盤の変形特性は、変形係数、レジリエントモデュラス、ポアソン比及び設計上の必要に応じたその他の変形特性により表すものとする。 (2) 路盤の変形特性の特性値は、使用する材料の変形特性を適切に評価できるような材齢、環境条件を考慮した試験強度に基づいて設定するものとする。 (3) 路盤の永久変形の特性値は、使用する材料の永久変形を適切に評価できるような試験強度に基づいて設定するものとする。 |
|--|
- (1) 路盤材料のレジリエントモデュラス試験方法は、「舗装調査・試験法便覧²⁾：路盤材・路床土のレジリエントモデュラス試験方法」に準拠することができる。ただし、アスファルト安定処理材については、「アスファルト混合物のレジリエントモデュラス試験方法」によることとし、載荷時間や供試体温度等の条件は使用条件を考慮して設定する必要がある。
 - (2) セメント安定処理材や鉄鋼スラグ等の固化系材料の変形係数の特性値は、一般に舗装建設後の供用開始時期、設計供用期間等を考慮して適切な材齢時での試験に基づいて設定することとしている。
 - (3) 路盤材料の変形特性の特性値は、設計供用期間中に考えられる最も厳しい条件を想定した試験方法に基づいて設定することとし、その場合には、材料係数は 1.0 とすることができる。
 - (4) 路盤の永久変形量は、使用する材料により変化する。そのため、わだち掘れ量を照査する際に路盤の永久変形量の特性値を用いる場合、その値は、繰返し三軸圧縮試験などの適切な試験によって求めるのが望ましい。

I-3.5.4 熱特性

- | |
|--------------------------------------|
| 路盤材の熱特性は、試験あるいは既往のデータに基づいて設定するものとする。 |
|--------------------------------------|
- (1) 路盤材料の熱特性は、熱伝導率、比熱、熱伝達率、熱容量、融解潜熱等により表される。これらの値は室内試験によって求めることが望ましいが、試験によらない場合、表 I-3.3 に示す値を用いることができる。

表 I-3.3 粒状路盤材料の熱特性値

比熱	840 (J/kg・℃)
熱伝導率	2.5 (W/m・℃)

I-3.6 路床

I-3.6.1 総則

路床の設計用値としては、荷重支持特性、変形特性、熱特性等に関するものがあり、求められる性能の照査項目に応じて適切な試験により求めるものとする。

- (1) 路床は、一般的には盛土又は切土で、舗装下面からある厚さの範囲をいう。遮断層、埋め戻しや置き換え、あるいは凍上対策のために設けられる凍上抑制層などは路床とみなすこととしている。
- (2) アスファルト舗装の路床厚は、表 I-3.4 に示す値を用いることができる。同表は、従来の経験から⁸⁾定めたものであるが、コンクリート舗装では、アスファルト舗装に比較すると、荷重が広範囲に分散され、路床に生ずる応力は極めて小さいことから、荷重区分によらず、一律に 100cm とすることができる。

表 I-3.4 アスファルト舗装の路床厚

設計荷重の区分	路床厚 (cm)
LA-1, LA-12	200
LA-2	150
LA-1, LA-12, LA-2 以外	100

※ 設計荷重の区分は表 I-4.3 を参照することができる

※ 全設計荷重についてショルダー・過走帯の路床厚は 100cm を標準とする

I-3.6.2 路床改良

- (1) 路床内において支持力が著しく低くなるような不良土がある場合は、その土を改良するもしくは良質材に置き換え、適切な支持力を得るものとする。
- (2) 路床の支持力が低く、路床土が地下水とともに路盤に侵入する恐れがある場合には、路床の上部にしゃ断層を設けるものとする。

- (1) 路床の支持力は、舗装厚に大きく影響し、支持力が小さい範囲でその影響が特に大きく、そのような場合には経済性を考慮して、路床改良の検討が必要であり、路床の CBR が 2% 未満の場合には路床改良を行うことを標準とする。
- (2) 路床土の改良工法としては、大規模な軟弱地盤対策工を伴う場合を除いて、一般に置換工法及び安定処理工法を用いている。
- (3) 改良部が路床の表面近くにあつてしかも薄い場合には、石灰やポルトランドセメントなどによる安定処理工法がある。
- (4) 安定処理した路床土の現場強度が、処理土の含水状態、添加剤の混合程度、締固めの方法

及び程度、養生条件の違い等によって室内配合試験の強度と異なることがあるので、室内配合試験の結果については、現場状況を十分に考慮して使用する必要がある。

- (5) シャ断層は、路床土が地下水とともに路盤に侵入して路盤を軟弱化するのを防ぐため、路盤の下に設けられ、砂や切込砂利や良質な山砂を用いている。路床の設計 CBR が 3%未満のとき厚さ 15~30cm 程度の層を設け、シャ断層は、路床の一部と考え、舗装厚には含めないことを標準とする。
- (6) 路床の中には CBR2%未満の土が残存しないように路床改良を行うことが望ましいが、現実として路床下部にある CBR2%未満の土を改良することは難しいことがある。このような場合には、路床上部の改良や舗装構造の工夫等により、この軟弱層が舗装体に悪影響を及ぼさないかを検討したうえで、路床全層の改良でない適切な対策を考慮することができる。
- (7) 改良した層の CBR の上限は 20%を標準とする。

I-3.6.3 荷重支持特性

- (1) 路床の荷重支持特性は、CBR、地盤反力係数及び設計上必要とされるその他の荷重支持特性値により表すものとする。
- (2) 荷重支持特性値は、使用する材料の強度発現を適切に評価できるような条件での試験強度に基づいて設定するものとする。

- (1) 路床材料の荷重支持性能を求める試験方法としては、JIS A 1211「CBR 試験法」、JIS A 1215「道路の平板載荷試験方法」がある。
- (2) すでに路床が完成しており、乱した土の室内 CBR 試験では CBR が極端に小さくなる場合には、JIS A 1211「CBR 試験方法」の乱さない土の CBR 試験、あるいは JIS A 1222「現場 CBR 試験方法」によるものとする。
- (3) 細粒分をほとんど含まない砂のように、経験的に室内 CBR が現場 CBR より極端に大きくなることがわかっている路床土の場合には、室内 CBR 試験値を補正するか現場 CBR 試験による。又は、φ300mm の大型供試体を用いた室内 CBR 試験によることもできる。
- (4) セメント安定処理材や鉄鋼スラグ等の固化系材料の変形係数の特性値は、一般に舗装建設後の供用開始時期、設計供用期間等を考慮して適切な材齢時での試験に基づいて設定することとしている。
- (5) 路床材料の荷重支持特性の特性値は、設計供用期間中に考えられる最も厳しい条件を想定した試験方法に基づいて設定することとし、その場合には、材料係数は 1.0 とすることができる。
- (6) 路床材料の荷重支持特性の特性値は、試験値を適切な方法で棄却検定した上で、次のようにして求めることができる。

路床の荷重支持特性の特性値＝試験の平均値－試験値の標準偏差×1.0

棄却検定の方法は付録-3を参照することができる。

- (7) 安定処理等を行った場合、路床が複数の変形特性を持つ層で構成されることになる。この場合には、各層について荷重支持性能の特性値を設定する必要がある。

- (8) 上記(7)の場合で、複数の層からなる路床と等価な単一層の路床として評価する場合は、次式により行うことができる。

$$CBR_m = \left(\frac{h_1 CBR_1^{1/3} + h_2 CBR_2^{1/3} + \cdots + h_n CBR_n^{1/3}}{h} \right)^3 \quad \dots \dots \dots \text{(式 I-3.7)}$$

この場合、以下に留意する必要がある。

- ・ ある層の CBR がその下の層の CBR より小さいときは、その層が下の層まで続いているものとして合成する。
 - ・ 平均 CBR を算出する際などで、自然堆積地盤の厚さ 20cm 未満の土層については、CBR の小さい方の層に含めて計算し、CBR を求める。
 - ・ CBR が 2%未満の路床を改良した場合、その施工厚から 20cm 減じたものを有効層厚とし、20cm 厚の部分の CBR については安定処理の場合は未処理土との平均値、置換えの場合は未処理土の値を用いる。
- (9) アスファルト舗装の場合、路床内部に CBR の小さい層がくるときは、その層の厚さと置き換えを行った場合の設計 CBR による舗装厚との対比のうえ、経済性、施工性を検討して置き換え等の実施を決める。
- (10) 山岳空港等の切土部において、岩盤又は岩さいが路床となる場合の路床の支持力は、現場 CBR 試験では過大に評価したり、ばらつきが著しくなる恐れがあるので、平板載荷試験を行い、**図 I-3.3** に示す CBR と K_{75} の関係を用いて CBR に換算するか、繰返し平板載荷試験又はフォーリングウェイトデフレクトメーター (FWD) 試験により弾性係数を測定し、CBR と弾性係数の関係を用いて CBR を求める。CBR と弾性係数の関係については、一般に $E \text{ (MPa)} = (1 \sim 20) \cdot \text{CBR (\%)} \text{ としている}^{10)}$ が、推定値の幅が広いことに留意する必要がある。また、**図 I-3.3** の使用にあたっては、(13)に記載される注意事項を考慮する必要がある。
- (11) 土質等によりばらつきが著しい場合、評価が困難となるため、大規模工事では試験工事により求めるものとする。
- (12) コンクリート舗装の場合、路床面上の応力分布は、航空機荷重がコンクリート版、路盤で分散されてくるためかなり広くなる。そこで設計には直径 75cm の載荷板による支持力係数 K_{75} を用いるが、75cm の載荷板を用いる平板載荷試験を行うことが困難な場合には、直径 30cm の載荷板による試験を行い、その結果 K_{30} を直径 75cm の載荷板による値に換算する。この換算係数は一層地盤における弾性理論から求めると路床の場合 2.5、粒状路盤の場合 3.0、安定処理路盤の場合 5.0 になり、多くの実測でもこの値は妥当とみられることから¹¹⁾、これらの値を換算係数として用いることを標準とする。ただし、路床面の下にくる地盤が路床土と異なる軟弱土である場合などは、一種の多層構造になり、直径 30cm の載荷板では下層の影響をあまり受けずに大きな値がでるにもかかわらず、直径 75cm の載荷板では下層の影響を大きく受けて極めて小さな値しかでないことがある。このような層構成の場合、 K_{30} から K_{75} への換算は、換算係数を大きくとるなど注意する必要がある。換算

係数を求める方法として、弾性理論や多層弾性解析プログラムを利用し、直径 30cm 及び直径 75cm の載荷版における K 値の比を算出することで設定する方法がある¹¹⁾。

- (13) 路床が未完成で平板載荷試験が不可能な場合には、路床土の CBR から図 I-3.3 を用いて路床の支持力係数を推定することがある¹²⁾。この図の関係は、特に CBR が 12% 以上の場合と路床が多層をなす場合には、実際には当てはまらないことも多いので、その使用には注意する必要がある、この関係の適用は小規模工事に限るべきである。

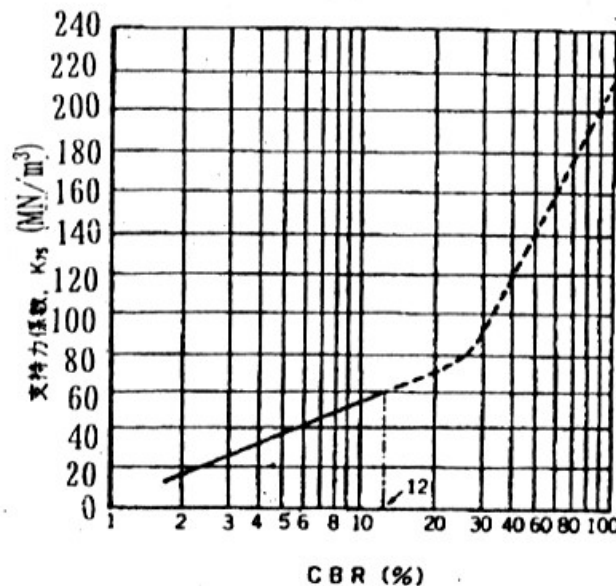


図 I-3.3 CBR と支持力係数の関係

- (14) 下層路盤まで施工して、ある期間を置いて上の層を施工する場合には、放置期間中に路床などが気象作用等によって乱されるおそれがあるので、上の層を施工する前に路床の支持力を再調査する必要がある。
- (15) 山岳空港等で切土部において岩又は岩さいが路床となる場合は、十分な支持力を有するためその支持力は路盤程度と考えてよいが、支持力の評価にあたっては、岩及び岩さいの風化等も考えられることから、路盤最小厚一層を敷設したのちに平板載荷試験を行う必要がある。

I-3.6.4 変形特性

- (1) 路床の変形特性は、変形係数、レジリエントモデュラス、ポアソン比及び設計上の必要に応じたその他の変形特性により表すものとする。
- (2) 路床の変形特性の特性値は、使用する材料の変形特性を適切に評価できるような環境条件を考慮した試験強度に基づいて設定するものとする。
- (3) 路床の永久変形の特性値は、使用する材料の永久変形を適切に評価できるような試験強度に基づいて設定するものとする。

- (1) 路床のレジリエントモデュラスは、「舗装調査・試験法便覧²⁾：路盤材・路床土のレジリエ

ントモデュラス試験方法」に準じることができる。

- (2) 路床土のレジリエントモデュラス試験ができない場合には、室内CBR試験結果に基づき、簡易的に変形係数を設定することができ、一般に、 $E \text{ (MPa)} = 10 \cdot \text{CBR} \text{ (\%)}$ の関係を用いている。ただし、変形係数と CBR の関係は、 $E \text{ (MPa)} = 1 \sim 20 \cdot \text{CBR} \text{ (\%)}$ のようにばらつきがあることに留意する必要がある。
- (3) 安定処理等を行った場合、路床が複数の変形特性を持つ層で構成されることになる。この場合には、各層について変形特性を設定する必要がある。
- (4) セメント安定処理材、石灰安定処理材、鉄鋼スラグ等の固化系材料の変形係数の特性値は、舗装建設後の供用開始時期、設計供用期間等を考慮して適切な材齢時での試験に基づいて設定する必要がある。
- (5) 路床材料の変形特性の特性値は、設計供用期間中に考えられる最も厳しい条件を想定した試験方法に基づいて設定することとし、その場合には、材料係数は 1.0 とすることができる。
- (6) 路床の永久変形量は、使用する材料により変化する。そのため、わだち掘れ量を照査する際に路床の永久変形量の特性値を用いる場合、その値は、繰返し三軸圧縮試験などの適切な試験によって求めることが望ましい。
- (7) 変形特性の特性値を試験値より求める場合は、試験値を適切な方法で棄却検定した上で、次のようにして求めることができる。

路床の変形特性の特性値＝試験の平均値－試験値の標準偏差×1.0
棄却検定の方法は付録-3を参照することができる。

I-3.6.5 熱特性

路床土の熱特性は、試験あるいは既往のデータに基づいて設定するものとする。

- (1) 路床土の熱特性は、熱伝導率、比熱、熱伝達率、熱容量、融解潜熱等により表すものとする。これらの値は室内試験によって求めることが望ましいが、試験によらない場合、表 I-3.5 に示す値を用いることができる。

表 I-3.5 路床土の熱特性値

比熱	840 (J/kg・℃)
熱伝導率	2.5 (W/m・℃)

I-3.7 凍結深さ

舗装構造に対する凍結深さを適切に算定するものとする。

- (1) 寒冷地などの凍上が想定される場合には、凍結深さを適切に算定する必要がある。凍結深さの求め方には、気象観測データと土の物理定数を用いて計算によって推定する方法と、凍結期に調査孔を掘り地中温度の 0℃線までの深さを実測する方法とがある。
- (2) 実測によって凍結深さを求める方法としては、メチレンブルー凍結深度計を利用する方法、地中に測温抵抗体温度計や熱電対を埋設する方法、テストピットを掘削して凍結期の地中

の温度及び凍結の様相を観測する方法などがある¹³⁾。

- (3) 気象観測データと土の物理定数を用いて計算によって推定する場合には、次式を用いることができる。

$$Z = C \cdot \sqrt{F} \quad \dots \dots \dots \text{(式 I-3.8)}$$

ここで、

- Z : 凍結深さ (cm)
 C : 定数
 F : 凍結指数 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{days}$)

土の諸性質を仮定して C の値を定め、(式 I-3.8)を用いて凍結指数と凍結深さとの関係を求めると図 I-3.4 のようになる。A 曲線は凍上を起こしやすい均一な細粒材料の場合、B 曲線は凍上を起こしにくい均一な粗粒材料の場合で、一般の凍結深さは A 曲線と B 曲線の間にある。

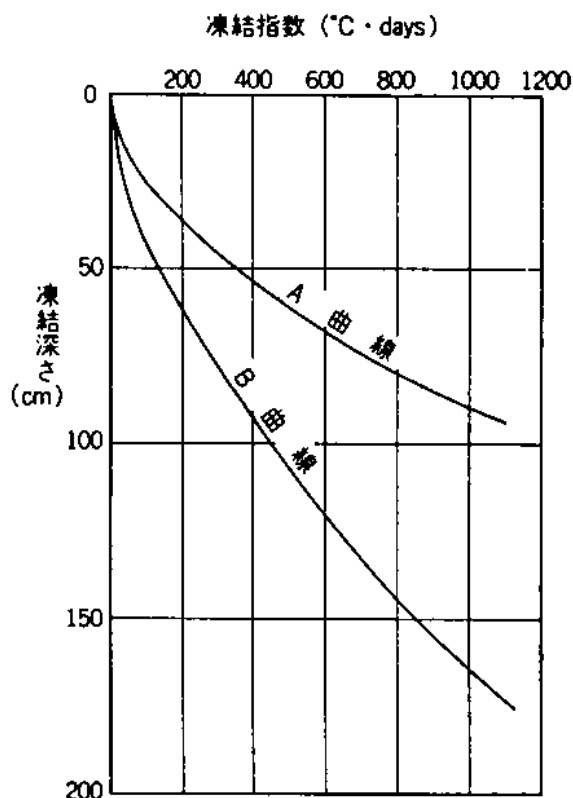


図 I-3.4 凍結指数と凍結深さとの関係

- ・ C の値は、土の熱的定数、含水比、乾燥密度、凍結前後の地表面温度、凍結指数などによって定まり¹⁴⁾、一般に 3～5 としている。
- ・ 凍結指数は、一般に 0°C 以下の日平均気温とその継続日数の積で表わす方法を用いている。凍結指数の求め方は、付録-4 を参照することができる。

I-4 荷重

I-4.1 総則

- (1) 舗装の設計における荷重には、変動荷重と永久荷重があり、設計荷重は、舗装の種類に応じて表 I-4.1 のように組み合わせるものとする。

表 I-4.1 設計荷重の組み合わせ

舗装の種類	考慮すべき組み合わせ
アスファルト舗装	変動荷重
コンクリート舗装	変動荷重+永久荷重

- (2) 設計荷重は、荷重の特性値に荷重係数を乗じて設定するものとする。

- (1) 変動荷重は、変動が連続あるいは頻繁に起こり、平均値に比較して変動が無視できない荷重であり、航空機や GSE 車両などの交通荷重及び日温度変化によるもの等がある。
- (2) 永久荷重は、その変動が極めてまれか、平均値に比較して無視できるほど小さく、持続的に作用する荷重であり、季節的温度変化やクリープによる影響等がある。

I-4.2 荷重の特性値

- (1) 荷重の特性値は、検討すべき照査項目それぞれに対して設定するものとする。
- (2) 変動荷重の特性値は、設計供用期間における荷重の大きさとその頻度の特性値からなるものとする。

- (1) 舗装の設計には、求められる性能の照査項目に応じて荷重を選択し、それぞれの荷重に対して適切な大きさの設計荷重を設定する。
- (2) 舗装は、交通荷重や温度変化の影響や水による凍結や強度低下による変動荷重の影響を受ける。

I-4.3 荷重係数

荷重係数は、求められる性能の照査項目に応じて適切な値を設定するものとする。

- (1) 荷重支持性能や走行安全性能の照査における荷重係数は、一般に変動荷重、永久荷重ともに 1.0 としている。

I-4.4 荷重の種類

I-4.4.1 交通荷重

I-4.4.1.1 総則

- (1) 交通荷重には、航空機荷重、GSE 荷重などがあり、施設における輪荷重、接地圧、載荷位置、載荷速度等を適切に設定するものとする。また、検討すべき照査項目に応じて、設計供用期間中の交通量を適切に把握し、荷重の大きさ及び作用頻度を設定するものとする。

(2) 荷重支持性能などの照査においては、必要に応じて航空機、GSE 車両等の載荷位置を適切に設定するものとする。

(1) 疲労ひび割れ、わだち掘れ、段差等は荷重の大きさとその度数に大きく影響されるため、荷重の特性値として、大きさと度数を定めている。

I-4.4.1.2 交通量及び荷重の大きさ

(1) 交通量と荷重の大きさの特性値は、施設及び舗装区域に応じて適切に設定するものとする。

(2) 荷重は必要に応じて垂直方向のみではなく水平方向も考慮するものとする。

(1) 同一航空機であっても就航路線により荷重の大きさが異なることを考慮することができる。

(2) 交通量及び荷重の大きさの特性値は、使用目的より異なるため、施設、舗装区域に応じて適切に設定する必要がある。

(3) 施設及び舗装区域における交通量と荷重の大きさの特性値は、**表 I-4.2** を用いることができる。ただし、荷重支持性能の照査を経験的設計法に基づいて行う場合には、**付録-5** を参照して設定する必要がある。

(4) 交通量が少ない場合（設計反復作用回数が 6,000 回）には、設定する交通量により舗装厚が大きく変動することから、「**付録-7：経験的設計法によるアスファルト舗装の構造設計**」，「**付録-8：経験的設計法によるコンクリートの舗装の構造設計**」に基づいて照査を行うことができる。

表 I-4.2 交通量と荷重の大きさの特性値

施設	舗装区域	荷重	交通量
滑走路	端部中央帯	離陸時及び着陸時荷重	当該滑走路の離陸量＋着陸量に滑走路方向別利用比率を乗じた値
	端部縁端帯		横断方向の走行分布より計算される縁端帯の交通量
	中間部中央帯		当該滑走路の離陸量＋着陸量
	中間部縁端帯		横断方向の走行分布より計算される縁端帯の交通量
取付誘導路 平行誘導路		離陸時及び着陸時荷重	当該誘導路の離陸量＋着陸量
高速離脱誘導路 離脱誘導路		着陸時荷重	当該誘導路の着陸量
ショルダー・過走帯		就航機材の中で最大離陸時荷重	年1回
ローディングエプロン		離陸時及び着陸時荷重	当該エプロンの離陸量＋着陸量
ナイトステイエプロン		着陸時荷重又は燃料非積載時荷重	当該エプロンの使用頻度に応じて設定

- ※ 滑走路端部縁端帯の交通量は、端部中央帯の交通量を基に航空機の横断方向の走行位置分布を考慮して設定する。
 - ※ 滑走路中間部中央帯は、全ての離陸機、着陸機が走行する可能性があるため、表のとおりとした。
 - ※ 滑走路中間部縁端帯の交通量は、中間部中央帯の交通量を基に航空機の横断方向の走行位置分布を考慮して設定する。
 - ※ エプロンスポット部の交通量は、スポット運用方法を考慮して設定することもできるが、誘導路等よりも横断方向の走行位置の集中度が高いこと、スポットの将来的な変更の自由度を確保することとした。
- (5) 舗装表面には、垂直方向だけでなく、ブレーキング等による水平方向の荷重も作用するため、検討すべき照査項目に応じて水平方向の荷重を考慮する必要がある。水平荷重の特性値は、航空機メーカーが示している Airplane Characteristics を参考にして設定することができる。
- (6) 舗装設計編では、脚荷重や輪荷重の大きさ、接地圧等を考慮して、荷重を表 I-4.3 に示すように区分している。性能照査においては、各機材の荷重条件は、当該機材が属する設計荷重の区分の代表機種で代表させることもできる。

表 I-4.3 荷重区分

設計荷重の区分	機 種	代表機種
LA-1	B-747, B-777, B-787, MD-11, A380, A330, A340	B747-400
LA-12	A-300, B-767, B757	A300-B4
LA-2	A-320, MD-81, MD-90	A-320-200
LA-3	DC-9-41, B-737	DC-9-41
LA-4	DHC-8	DHC-8-400
LSA-1	ドルニエ 228-200	ドルニエ 228-200
LSA-2	N24A, BN2A	N24A
LT-1	LA-1 用のトーイングトラクター	50t トーイングトラクター
LT-12	LA-12 用のトーイングトラクター	35t トーイングトラクター
LT-2	LA-2, 3, 4 用のトーイングトラクター	15t トーイングトラクター

- (7) 滑走路中間部中央帯においては、航空機荷重が揚力を受けて、滑走路端部中央帯における航空機荷重よりも小さくなるといわれており¹⁵⁾、このことを考慮して設計荷重を設定してもよい。なお、揚力の影響を設定することが困難な場合、滑走路中間部中央帯の舗装厚は、滑走路端部中央帯の舗装厚に対して、「付録-7：経験的設計法によるアスファルト舗装の構造設計」，「付録-8：経験的設計法によるコンクリート舗装の構造設計」に示される方法により減厚して設定することもできる。
- (8) 滑走路端部縁端帯、滑走路中間部縁端帯及びショルダー・過走帯は、中央帯と比較して交通量が極めて少なく、設定する交通量により舗装厚が大きく変動することから、これらの舗装厚は、滑走路端部中央帯の舗装厚に対して、「付録-7：経験的設計法によるアスファルト舗装の構造設計」，「付録-8：経験的設計法によるコンクリート舗装の構造設計」に示される方法により減厚して設定することもできる。
- (9) 誘導路ショルダーは、滑走路ショルダーと同様の方法により減厚することもできる。

I-4.4.1.3 荷重の作用頻度

荷重の作用頻度は、施設の使用目的に応じて横断方向の走行分布を考慮して適切に設定するものとする。

- (1) 作用頻度の設定にあたって必要となる横断方向の走行分布は、一般に正規分布と仮定することとし、その標準偏差は表 I-4.4¹⁶⁾を参照して設定することができる。

表 I-4.4 航空機走行時の横断方向走行分布の標準偏差¹⁶⁾

コード文字	滑走路離陸時	滑走路着陸時	平行誘導路	高速離脱誘導路
E, F	0.91m	1.74m	0.67m	0.74m
B~D	0.74m	1.10m	0.57m	0.63m

I-4.4.1.4 載荷速度

施設の使用目的に応じて荷重の載荷速度を適切に設定するものとする。

- (1) 航空機の載荷速度は、アスファルト混合物の変形特性に影響する。航空機の走行速度は、

一般に滑走路では 160km/hr, 誘導路で 32km/hr としており, 載荷速度は, 車輪接地長/走行速度として求めることができる. ただし, 曲線部や滑走路端部等の緩速走行位置や静止荷重が作用する範囲においては, 別途検討することが望ましい.

I-4.4.2 環境の影響

- (1) 温度及び降雨の影響は, その変動を考慮して, 検討すべき照査項目, 舗装の種類, 環境条件等に応じて設定するものとする.
- (2) 上記以外に著しい影響を与える環境作用については, 適切に考慮するものとする.

- (1) 温度がアスファルト舗装に影響を与える要因としては, 主に以下のものがある.

- (i) 舗装体の温度変化

- アスファルト舗装において温度変化が重要なのは, 舗装を構成している材料の物性値, すなわち変形係数, 強度特性が温度により変化することにある. また, 舗装材料は温度が上昇すると体積が膨張し, 温度が低下すると収縮する.

- (ii) 温度応力

- ある方向が拘束された状態で温度変化すると収縮のかわりに応力が発生し, これが温度応力である. アスファルト舗装においては, 応力緩和のため実際の舗装体内に発生する温度応力はコンクリート舗装より少ない.

- (2) 温度がコンクリート舗装に影響を与える要因としては, 主に以下のものがある.

- (i) コンクリート版上下面の温度差

- コンクリート版上下面の温度差は, コンクリート版の自重による拘束作用が働くのでコンクリート版にそり拘束応力を発生させる. このそり拘束応力は日温度変化による変動荷重として作用し, 交通などによって生じる曲げ応力と合成されて曲げ疲労ひび割れの原因となる.

- (ii) コンクリート版の温度降下量

- コンクリート版の温度降下量は, 路盤や端部の拘束作用が働く場合, コンクリート版に軸方向拘束応力を発生させる. この軸方向拘束応力は, 収縮目地を設けない連続鉄筋コンクリート舗装やプレストレストコンクリート舗装に季節的温度変化による永久荷重として作用する.

- (3) 降雨は, 路盤の性状に大きな影響を与える. 特に目地材の細粒分が表面に噴出してコンクリート版下面に空洞が生じる. これが段差発生の一つの原因となりその大きさは年間降雨量と関係している.

I-5 構造解析

I-5.1 総則

- (1) 構造解析では, 舗装を表層(基層), 路盤, 路床からなる多層構造モデルとして考えるものとする.
- (2) 表層(基層), 路盤, 路床に生じる応力, ひずみ, 変位は照査項目に応じて, 適切な理論

モデルを用いて算定するものとする。

(3) 構造解析では、荷重の分布状態を単純化したり、動的荷重を静的荷重に置き換えるなど、荷重についても実際のものと等価又は安全側のモデル化を行うものとする。

(4) 変動荷重の載荷位置は、設計断面に対し最も不利になるように設定するものとする。

- (1) 舗装はアスファルト混合物層又はコンクリート版からなる表層、粒状材や安定処理材などからなる路盤及び路床から構成され、多層構造としてモデル化される。
- (2) 舗装の構造解析理論には多層弾性理論、多層粘弾性理論、有限要素法などがある。
- (3) 多層弾性理論を用いる場合、荷重は円形等分布荷重として載荷されることから、接地半径又は接地圧を適切に算定する必要がある。
- (4) 舗装上の走行する位置によって、コンクリート版に生じる応力や変形は大きく異なる。したがって、構造解析において交通荷重の作用位置を正確に考慮することは設計上非常に重要である。
- (5) 舗装を走行することによる交通荷重の動的効果は、通常の舗装表面状態であれば小さい。したがって、構造解析の際には、荷重が静的に作用すると考えて計算を行うことができる。
- (6) 構造解析において考慮する荷重は、航空機については1脚分とすることができる。
- (7) アスファルト舗装の場合、ひずみ、応力及び変位を算定する計算点は、単輪載荷の場合は、等分布荷重の中心点を選ぶが、複輪載荷の場合は最大値が複輪間の中間点に生じるとは限らないため、載荷面の端部、載荷面の中心点等を選定して最大値を選び出すことが必要である。
- (8) コンクリート舗装の場合、自由縁部、目地縁部、隅角部に荷重が作用した場合にコンクリート版や路盤の応力は最も大きくなる傾向があるが、照査にあたっては、荷重によって発生する応力のみではなく、場所ごとの温度応力の違いや荷重の載荷頻度を考慮して照査を行う位置を設定する必要がある。
- (9) 構造解析において、一般に路床は下方に無限に広がる弾性体と仮定し、ひずみや応力を算定することとしている。ただし、そのような仮定を適用することが適切でない、つまり、路体（地盤）の弾性係数が路床に比べて著しく小さく、構造上、路体（地盤）がクリティカルになると考えられる場合、路床厚は表 I-3.4 を参照して設定し、路体（地盤）は下方に無限に広がる弾性体と仮定してモデル化するものとする。

I-5.2 アスファルト舗装の解析

交通荷重による応力、ひずみ及び変位を計算するために適切な手法を用いて算定するものとする。

- (1) ひずみ、応力及び変位を計算する多層弾性理論プログラムは、わが国で開発されたものとして、ELSA¹⁷⁾、GAMES³⁾がある。

I-5.3 コンクリート舗装の解析

I-5.3.1 交通荷重による応力

- (1) 応力及び変位の算定には、一般に線形解析を用いてよい。また、線形解析以外の方法を用いる場合には、その解析方法の妥当性を確かめるものとする。
- (2) コンクリート版内や路盤・路床の応力及び変位を計算するために適切なモデルを用いて算定するものとする。
- (3) 目地の荷重伝達及びたわみ伝達を適切なモデルによって考慮するものとする。

- (1) コンクリート版の応力解析モデルとしては、平板モデルがよく用いられる。これは、交通荷重は平板に作用する外力、路盤の作用はコンクリート版の変形に応じた反力として考慮するものである。
- (2) 路盤の作用については、図 I-5.1 に示すような路盤モデルが考えられ、それらに応じた定式化の手法が提案されている。路盤の種類は大きく分けて、粒状材料を締固めたものと、それらを結合材によって安定処理したものがある。前者は比較的剛性が低く、一次元の弾性バネによってモデル化できる。このモデルは Winkler モデルとよばれ、Westergaard がこのモデルに基づいたコンクリート舗装版の応力式を提案して以来、最もよく用いられているモデルである。後者は剛性が高いため、路盤自体の持つ荷重分散効果を見逃すことができない。このような場合には、路盤を弾性体として取り扱うことができる。この際、路盤以下を半無限弾性体と考えてモデル化した半無限弾性地盤モデル (Boussinesq モデル) と路盤以下の各層を細かく考慮した多層弾性地盤モデル (Burmister モデル) が考えられる。

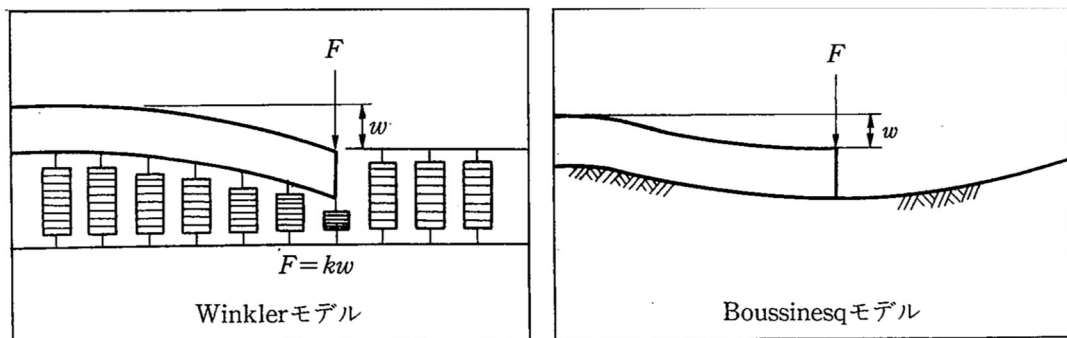


図 I-5.1 路盤モデル

- (3) 目地においては、ダウエルバーなどにより荷重伝達が行われる。この場合、目地縁部における目地平行方向の荷重応力は自由縁部に比べて減少するが、減少の割合はダウエルバーの有無、目地の構造などによって異なる。このような荷重伝達能力は荷重伝達率で表すものとする。

I-5.3.2 温度応力

コンクリート版に生じる温度応力を適切に算定するものとする。

(1) コンクリート版の温度応力は次の3つが考えられる。

- (i) 軸方向拘束応力：コンクリート版が平面的に伸縮しようとするのを路盤や端部の拘束によって妨げられるために生じる応力
- (ii) そり拘束応力：コンクリート版の上下面の温度差によってそり変形が生じるが、コンクリートの自重によって拘束されるために生じる応力
- (iii) 内部応力：コンクリート版の深さ方向の温度分布が直線でないために生じる応力

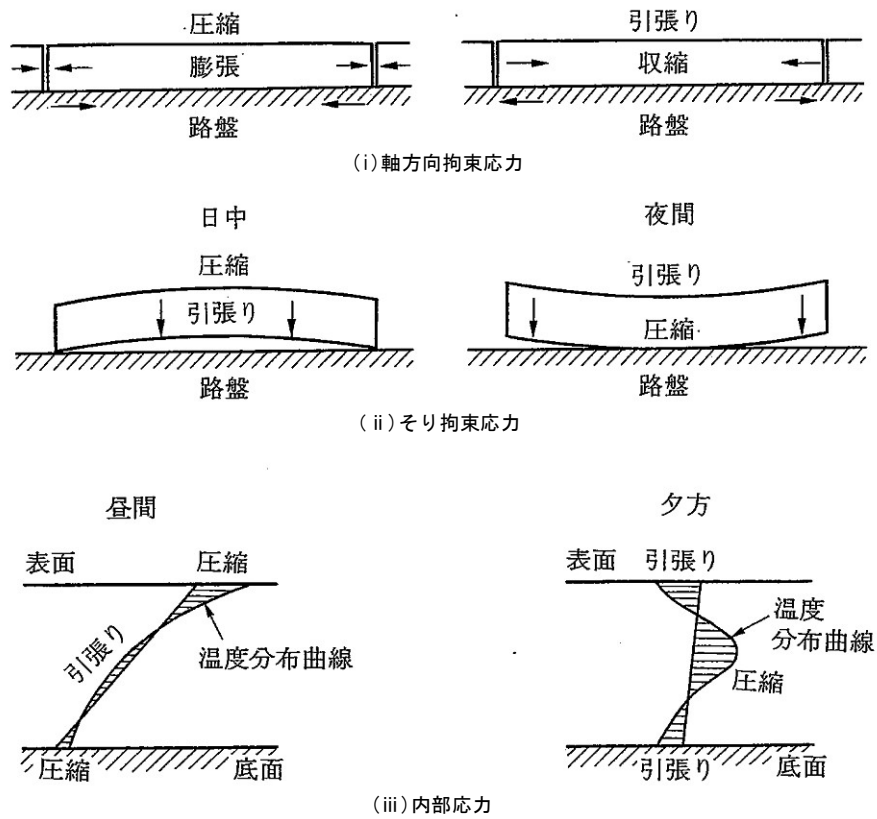


図 2.2.48 コンクリート舗装版の温度応力

- (2) 内部拘束応力は、そり拘束応力が引張応力となる時点では概ね圧縮応力となる。
- (3) 軸方向拘束応力は、比較的大きい圧縮力となることが多く、引張応力となる場合は小さいことから、設計上は一般に無視している。

I-5.3.3 路盤支持力係数

- (1) 路床・路盤の構造に対応した路盤支持力係数を適切に算定するものとする。

(2) 設計供用期間にわたって路床・路盤の経年的な劣化が予想される場合には、安全側の値を用いるものとする。
- (1) 平板モデルにおいて一次元ばね路盤モデルを採用した場合、計算される応力や変形は路盤の支持作用を表現する路盤支持力係数に大きく依存する。路盤支持力係数は、路床・路盤の材料や構造によって異なるので、それらに対応した係数を算定する必要がある。
- (2) 路盤支持力係数は、平板載荷試験によって求められるので、設計で想定した路床・路盤構造に類似したものに対する既往の試験値があれば、それらを参考にして算定することができる。その場合、試験値のばらつきを考慮する必要がある。
- (3) 実績のない、路床・路盤構造の場合、何等かの理論モデルを設定して、路盤支持力係数を算定する必要がある。平板モデルによれば、路盤からの反力はコンクリート版の変形に比例する。したがって、路盤表面に単位荷重が作用したときの変形を計算できれば、その逆数が路盤支持力係数となる。このような路盤の荷重と変形を計算するためのモデルとしては、多層弾性理論がある。
- (4) 設計供用期間にわたる路床・路盤材料の劣化や、交通荷重の繰返しによる塑性変形やエロージョンなどによって、コンクリート版に対する路盤の支持性能が小さくなる恐れがある。このような場合には、設計において、路盤支持力係数を低減させ、安全側の値を使用することも考える必要がある。

I-5.3.4 荷重伝達率

- (1) 目地構造に応じた荷重伝達率を適切に算定するものとする。

(2) 設計供用期間にわたって荷重伝達率の低下が予想される場合には、安全側のモデル化を行うものとする。
- (1) 目地部の荷重伝達効果を考慮できない構造モデルを用いる場合には、荷重伝達率の程度によって、応力あるいはたわみの低減係数という形で考慮する。

$$w_j = \alpha \cdot w_e \quad \sigma_j = \beta \cdot \sigma_e$$

w_j, σ_j : 荷重伝達を考慮したときのたわみ, 応力

w_e, σ_e : 自由縁部におけるたわみ, 応力

α, β : たわみ, 応力の低減率

これらの係数は表 I-5.1 に示す値を用いることができる。

表 I-5.1 荷重伝達率，応力・たわみ低減率

箇所	荷重伝達率	応力低減係数	たわみ低減係数	
			2 辺が補強された隅角部	1 辺が補強された隅角部
自由縁部・自由隅角部	0	1.0	1.0	1.0
タイバーで補強した目地	0.80～0.95	0.70～0.80	0.70～0.80	0.85～0.95
ダウエルバーで補強した目地	0.70～0.90	0.75～0.85	0.75～0.85	0.85～0.95
ひび割れ部（NC）	0～0.40	1.0	—	0.95～1.0

- (2) FEM 解析など，目地部もモデル化した構造モデルを用いる場合，荷重伝達率が表 I-5.1 の値になるように定数を設定することができる。
- (3) ダウエルバー周辺のコンクリートの劣化などにより荷重伝達率が低下する．設計供用期間内にこのような荷重伝達の減少が想定される場合には，設計時において低減された荷重伝達率を用いるなどの配慮が必要である．

第Ⅱ章 アスファルト舗装の新設

Ⅱ-1 総則

舗装設計では、アスファルト舗装が求められる性能を有することを、適切な方法により照査するものとする。

- (1) アスファルト舗装に求められる性能は、使用目的や構造によって様々であり、その性能項目ごとの求められるレベルも舗装によって異なる。舗装設計においては、求められる性能に対する照査項目を適切な方法で照査する必要がある。
- (2) 舗装設計編では、アスファルト舗装に求められる性能として、荷重支持性能、走行安全性能、表層の耐久性能を取り上げ、これらの一般的な照査方法を記載している。
- (3) ここで示す以外の性能に関して照査する場合、ここで記述する以外の方法で照査する場合には、舗装設計編の考え方に準じた適切な方法で行う必要がある。
- (4) 舗装設計においては、求められる性能を満足することを照査した複数の構造案を経済性や施工性などにより比較検討し、適切な舗装構成とするように努める必要がある。

Ⅱ-2 荷重支持性能の照査

Ⅱ-2.1 総則

- (1) アスファルト舗装は、設計供用期間中、所要の荷重支持性能を確保するものとする。
- (2) アスファルト舗装の荷重支持性能の照査は、路床・路盤の支持力、疲労ひび割れ、凍上のうち、舗装の使用目的や適用箇所に応じて必要とされるものに対して行うものとする。

- (1) 路床は舗装と一体となって交通荷重を支持し、その下の地盤に交通荷重を分散するとともに施工基盤の役割を持つ。路盤は、表層及び基層を支持し、これら上層からの交通荷重を分散して路床に伝える役割を持つ。路床・路盤はアスファルト舗装の受ける交通荷重を支持する重要な役割を果たすものであることから十分な荷重支持性能を有する必要がある。

Ⅱ-2.2 路床の支持力に対する照査

Ⅱ-2.2.1 総則

- (1) 路床は、設計供用期間において所要の支持力を確保するように適切な方法により照査するものとする。
- (2) 路床の支持力に対する照査は、路床の圧縮変形による疲労破壊に対する照査により行うものとする。
- (3) 路床の圧縮変形による疲労破壊に対する照査においては、設計疲労度 FD_d の疲労度の設計限界値 FD_{dl} に対する比に重要度係数 γ_i を乗じた値が、1.0 以下であることを確認するものとする。

$$\gamma_i \cdot FD_d / FD_{dl} \leq 1.0$$

- (i) 疲労度の設計限界値 FD_{dl} は、疲労度の限界値 1.0 を構成層係数 γ_b で除した値とするものとする。

$$FD_{dl} = 1.0/\gamma_b$$

- (ii) 設計疲労度 FD_d は、疲労破壊曲線を基にマイナー則によって累積疲労度 FD を算定し、これに構造解析係数 γ_a を乗じた値とするものとする。

$$FD_d = \gamma_a \cdot FD$$

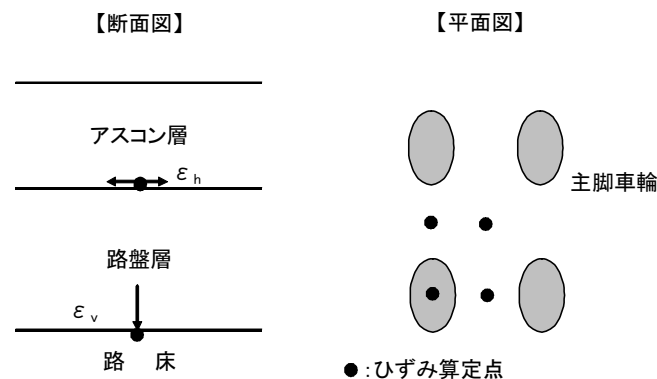
- (4) 多くの経験により、路床の永久変形量が十分に小さいことがわかっている舗装構造とする場合には、路床が所要の支持力を満足するとみなすことができる。

- (1) 交通荷重や気象作用などが繰返し作用することにより、路床には経年変形が生じる。これに伴い、路床の支持力が低下すると、ひび割れやわだち掘れなどの破損を招くことになる。したがって、設計供用期間にわたって路床が所要の支持力を維持することが重要である。
- (2) 路床の圧縮変形は、路床の支持力による影響が大きく、路床の支持力と関連のある路床上面の鉛直圧縮ひずみが路床の圧縮変形の支配的要因とされている。このため、路床の支持力に対する照査は、路床上面の鉛直圧縮ひずみを算定し、これを変数とした路床の圧縮変形に関する疲労破壊曲線をもとに照査することができる。
- (3) 舗装には様々な変動荷重が様々な位置に作用するので、照査では個々の変動荷重による疲労度を累積した累積疲労度が設計限界値以下であることを確認する必要がある。
- (4) 「付録-7：経験的設計法によるアスファルト舗装の構造設計」に準じて設計された舗装構造は、わが国の空港舗装における経験上、路床の永久変形量は十分小さいことがわかっているため、路床が所要の支持力を満足するとみなすことができる。

Ⅱ-2.2.2 路床上面の鉛直圧縮ひずみの算定

アスファルト舗装の路床上面の鉛直圧縮ひずみは、適切な方法により算出するものとする。

- (1) 路床上面の鉛直圧縮ひずみは、多層弾性理論や有限要素法などの適切な解析モデルを用いて算定する。
- (2) ひずみ算定点は、航空機1脚(車両の場合は1輪)による最大ひずみが得られる位置とし、通常は、単輪載荷の場合は荷重中心直下、複数輪載荷の場合は複輪間の中心直下の路床上面とすることができる。ただし、舗装厚、車輪配置によりこれらの位置が必ずしも最大ひずみ点とならないこともある。



図Ⅱ-2.1 一般的なひずみ算定点

Ⅱ-2.2.3 路床の支持力の照査方法

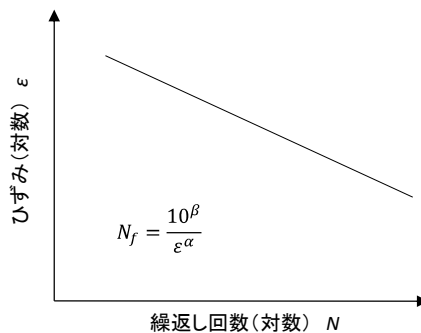
路床の支持力に対する照査は、路床の圧縮変形による累積疲労度が設計限界値以下であることを確かめることにより行うものとする。

- (1) 路床の圧縮変形は、路床上面の圧縮ひずみが支配的な要因とされている。そのため、路床支持力に対する照査は、路床上面の圧縮ひずみを算定し、これを変数とした路床の圧縮変形に関する疲労破壊曲線をもとに照査することができる。
- (2) 疲労破壊曲線は、一般に次式のように表される。

$$N_f = \frac{10^\beta}{\varepsilon^\alpha} \quad \dots \dots \dots \text{(式Ⅱ-2.1)}$$

ここに、

- N_f : 破壊回数（許容繰返し回数）
 ε : ひずみ（又は応力）
 α, β : 定数で、 $\alpha = 11.213$, $\beta = -29.298$ を用いることができる



- (3) 累積疲労度の算定は次式により行うことを標準とする。

$$FD(x) = \sum_{i=1}^n FD(i, x) \quad \dots \dots \dots \text{(式Ⅱ-2.2)}$$

ここに、

- $FD(x)$: 滑走路（又は誘導路）センターから距離 x における疲労度
 $FD(i, x)$: ある航空機 i による滑走路（又は誘導路）センターから距離 x における疲労度

$$= \frac{\text{ある航空機の交通量}}{N_f(i) \times P/C(i, x)}$$

- $N_f(i)$: ある航空機 i のひずみ、破壊規準から求められる許容繰返し回数
 $P/C(i, x)$: ある航空機 i の x 地点でのパス／カバレッジ率

パス／カバレッジ率の計算方法は、**付録-9**を参照することができる。

Ⅱ-2.3 路盤の支持力に対する照査

- (1) 路盤は、設計供用期間において所要の支持力を確保するものとする。

(2) 路盤の支持力は適切な方法により評価するものとする。

(3) 多くの経験により、路盤の支持力が十分に確保されることがわかっている舗装構造とする場合には、路盤が所要の支持力を満足するとみなすことができる。
- (1) 交通荷重や気象作用などが繰り返し作用することにより、路盤には経年変化が生じる。これに伴い、路盤の支持力が低下すると、アスファルト混合物の疲労ひび割れやわだち掘れなどの破損を招くことになる。したがって、設計供用期間にわたって路盤が所要の支持力を維持することが重要である。
- (2) 現状では、アスファルト舗装の構造設計においては、次の条件を満足する場合、路盤が所要の支持力を満足するとみなすことができる。
- (i) 設計供用期間にわたってアスファルト混合物の底面ひび割れやわだち掘れ、路床の圧縮変形が設計で定めた設計限界値以下であること。
 - (ii) 「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」に記載される品質を有する材料を使用する場合で、路盤の最小厚さが**表Ⅱ-2.1**を満足すること。

表Ⅱ-2.1 路盤の最小厚（単位 cm）

設計荷重区分 材料	LA-1, LA-12 LA-2, LA-3	LA-4, LSA-1, LSA-2 LT-1, LT-12, LT-2
セメント安定処理材	15	12
粒状材	15※	10
アスファルト安定処理材	6	6

※ 路床の設計 CBR が 12% 以上の場合には、下層路盤の最小厚としては、10cm とすることができる。

- (3) バインダーを持たない粒状材は、振動や繰返し荷重による粒子移動が大きく、設計荷重が大きい場合には、特に表層・基層の変形へ影響を及ぼす。このような耐久性や圧縮性などを考慮すると、設計荷重の大きな場合の上層路盤には安定処理材を使用した方がより良好な結果が期待できる。
- (4) セメント安定処理材、石灰安定処理材、水硬性粒度調整鉄鋼スラグを用いた路盤の支持力効果は極めて大きいですが、繰返し荷重による耐久限度や浅い部分における温度変化などでひび割れの発生が懸念され、これによるリフレクションクラックが舗装表面に及ぼす影響は大きい。したがって、これを防止、抑制するためのアスファルト混合物の層厚が必要であり¹⁸⁾、15cm 以上のアスファルト混合物層を設けることを標準とする。

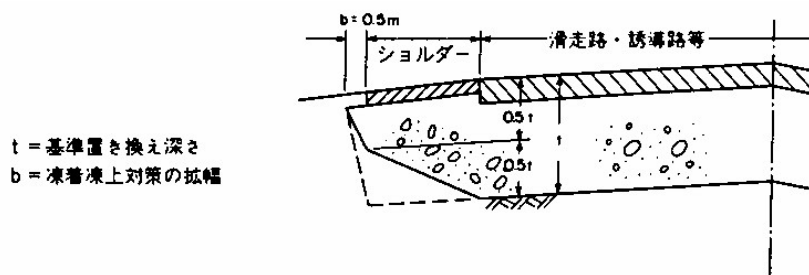
Ⅱ-2.4 凍上に対する照査

- (1) アスファルト舗装は，設計供用期間において凍上が起こらないようにするものとする。
- (2) 凍上に対する照査は，凍結深さを算定して行うものとする。
- (3) 凍上対策として凍上抑制層を設ける場合には，設計厚さ t_d の設計厚さの最小値 t_{dl} に対する比に重要度係数 γ_i を乗じた値が 1.0 以上であることを確認するものとする。

$$\gamma_i \cdot t_d / t_{dl} \geq 1.0$$

- (4) ショルダー，過走帯の凍上抑制層の設計厚さの最小厚は，一般に凍結深さの 50%としているが，凍上による被害が生じる恐れが高い箇所は(3)と同様とする。

- (1) 寒冷地では，冬期に路床やその下部の路体に含まれる水が凍結すると幾層ものアイスレンズが形成され，これにより舗装を持ち上げる凍上現象が起こる．また，凍上が生じた箇所では，春にアイスレンズが融解すると，その部分が空洞化するとともに周辺の土が過飽和状態となり，路床・路盤の支持力が低下し舗装表面に局所的な沈下や亀甲状ひび割れが現れる．このため，設計供用期間にわたって凍上が起こらないようにすることが重要である。
- (2) 凍上に対する照査は，路床土が凍結する恐れがあるか否かを確認するために，凍結深さを算定し行うこととした．凍結深さの推定方法は「Ⅱ-3.7 凍結深さ」を参照することができる。
- (3) 凍結深さの算定結果により，凍上の恐れがある場合には，凍上抑制層や舗装の一部に断熱材の高い材料を設けるなど適切な凍上対策を行う必要がある．凍上抑制層を設ける場合には，必要な置換え深さは，推定した凍上深さ又は経験値から求め，凍上抑制層の設計最小厚 t_{dl} はこの必要な置換え深さから舗装厚を差し引いた値とする．凍結深さから必要な置換え厚さを求める場合には，凍上抑制層の設計厚さ t_d は設計最小厚 t_{dl} より大きくする。
- (4) 凍上抑制層の材料は，凍上の恐れのないもので，一般に現場付近の砂や火山灰，最大粒径 80mm 以下の切込砂利又は切込碎石などを用いている¹³⁾。
- (5) ショルダーの置き換え深さに関し，凍上による被害が生じる恐れが高い箇所とは，すでに基準置き換え深さの約 50%で施工されているが凍上被害が生じている箇所，又は，当該箇所の地形，地下水，土質，気象等の状況から，約 50%の置き換えでは凍上被害が生じる恐れがある箇所をいう。
- (6) ショルダー舗装は，隣接する着陸帯土の凍上が大きいので，凍結・凍上によって持ち上げられ，ひび割れ被害を受けることがある．これを防ぐには，図Ⅱ-2.2に示すようにショルダー部の凍上抑制層及び路盤を拡幅し，着陸帯土から縁切りすると効果がある。



図Ⅱ-2.2 ショルダーにおける凍上対策の例

Ⅱ-2.5 疲労ひび割れに対する照査

Ⅱ-2.5.1 総則

- (1) アスファルト舗装の疲労ひび割れに対する照査は、アスファルト混合物層の底面及び表面における疲労破壊に対する照査により行うものとする。
- (2) アスファルト混合物層の疲労破壊に対する照査においては、設計疲労度 FD_d の疲労度の設計限界値 FD_{dl} に対する比に重要度係数 γ_i を乗じた値が、1.0 以下であることを確認するものとする。

$$\gamma_i \cdot FD_d / FD_{dl} \leq 1.0$$

- (i) 疲労度の設計限界値 FD_{dl} は、疲労度の限界値 1.0 を構成層係数 γ_b で除した値とするものとする。

$$FD_{dl} = 1.0 / \gamma_b$$

- (ii) 設計疲労度 FD_d は、疲労破壊曲線を基にマイナー則によって累積疲労度 FD を算定し、これに構造解析係数 γ_a を乗じた値とするものとする。

$$FD_d = \gamma_a \cdot FD$$

- (3) 多くの経験により、疲労ひび割れに対する安全性が十分に確保されていることがわかっている舗装構造とする場合には、ひび割れ抵抗性を満足するとみなすことができる。

- (1) ここでいうアスファルト混合物層にはアスファルト安定処理路盤も含まれる。したがって、上層路盤にアスファルト安定処理材を用いる場合のアスファルト混合物層の底面とは、アスファルト安定処理層の底面となる。
- (2) アスファルト混合物層の疲労ひび割れには、層下面から進行する底面疲労ひび割れと表面から進行する表面疲労ひび割れがあるが、基本的な照査方法は同様である。アスファルト混合物層には、交通荷重や気象作用の変動により様々な大きさの応力が繰り返し作用する。アスファルト混合物の疲労破壊に対する検討は、交通荷重による疲労破壊に対して行う必要がある。
- (3) 舗装には様々な変動荷重が様々な位置に作用するので、照査では個々の変動荷重による疲労度を累積した累積疲労度が設計限界値以下であることを確認する必要がある。
- (4) 「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」に記載される品質の材料を用い、かつ、「付録-7：経験的設計法によるアスファルト舗装の構造設計」に準じて設計された舗装構造は、わが国の空港舗装における経験上、疲労ひび割れに対する安全性が確保されることがわかっているため、ひび割れ抵抗性を満足するとみなすことができる。

Ⅱ-2.5.2 アスファルト混合物層のひずみの算定

交通荷重により発生するアスファルト混合物層のひずみは、温度条件及び荷重の載荷速度条件に応じて適切な方法によって算出するものとする。

- (1) アスファルト混合物の変形係数は、混合物の温度及び荷重の載荷速度により大きく変化することから、これらの条件を適切に設定する必要がある。

Ⅱ-2.5.3 アスファルト混合物層の疲労ひび割れの照査

アスファルト混合物層の疲労ひび割れの照査は、アスファルト混合物層の累積疲労度が設計限界値以下であることを確認するものとする。

- (1) 疲労破壊曲線は、一般に次式を用いている。

$$N_f = \alpha \times \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^\beta \times \left(\frac{1}{E}\right)^\gamma \quad \dots \dots \dots \text{(式Ⅱ-2.3)}$$

ここで、

- N_f : 破壊に至るまでの繰返し回数
 ε : アスファルト混合物に発生する引張ひずみ
 E : アスファルト混合物の弾性係数 (MPa)
 α, β, γ : 係数で、 $\alpha = 7.681 \times 10^{-6}$ $\beta = 6.333$ $\gamma = 3.374$ を用いることができる

- (2) 累積疲労度の算定方法は、Ⅱ-2.2.3を参照することができる。
(3) 累積疲労度の設計限界値は一般に 1.0 としている。

Ⅱ-2.6 温度ひび割れに対する照査

Ⅱ-2.6.1 総則

- (1) アスファルト舗装の温度ひび割れに対する照査は、アスファルト混合物の温度応力によるひび割れに対する照査により行うものとする。
(2) アスファルト混合物層の温度ひび割れに対する照査においては、アスファルト混合物の限界引張強度 F_{cr} の設計温度応力 σ_{fb} に対する比に材料係数 γ_m 、重要度係数 γ_i を乗じた値が、1.0 以下であることを確認するものとする。
$$\gamma_m \cdot \gamma_i \cdot \sigma_{fb} / F_{cr} \leq 1.0$$

(3) Ⅱ-2.5に基づき疲労ひび割れの照査を行う場合、又は、多くの経験により温度ひび割れに対する安全性が十分に確保されていることがわかっている舗装構造とする場合には、温度ひび割れに対する抵抗性を満足するとみなすことができる。

- (1) 寒冷地のアスファルト舗装において、舗設方向にほぼ直角方向に発生するひび割れを低温ひび割れと称する。アスファルト混合物は温度が低下すると収縮する性質があり、路盤との摩擦などにより収縮変形を拘束された状態であるため、温度低下に伴って収縮方向の温度応力とそれに伴うひずみが発生する。この温度応力又は引張ひずみが混合物が保持している限界の応力又はひずみを超えたときに低温ひび割れが発生すると考えられる。
(2) 低温ひび割れは、特に凍結指数が 1,000 (℃・日) 以上の地域や冬期間の最低気温が-20℃以下と低くその時期の温度勾配の大きいところに多発していることから、これら地域に該当する場合に、温度ひび割れに対する照査する必要がある。
(3) 設計温度応力は、アスファルト混合物の温度と温度応力の関係から求められる破壊時温度応力を用いることができる。

- (4) **Ⅱ-2.5**に基づきアスファルト混合物層の疲労ひび割れに対して照査を行った結果、疲労ひび割れに対する抵抗性を満足する場合は、温度ひび割れに対する抵抗性も満足しているとみなすことができる。
- (5) 「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」に記載される品質の材料を用い、かつ、「**付録-7：経験的設計法によるアスファルト舗装の構造設計**」に準じて設計された舗装構造は、わが国の空港舗装における経験上、温度ひび割れに対する安全性が確保されることがわかっているため、温度ひび割れに対する抵抗性を満足するとみなすことができる。

Ⅱ-2.6.2 アスファルト混合物の引張強度の設定

アスファルト混合物の引張強度は、温度や温度変化に応じて適切な方法によって設定するものとする。

- (1) アスファルト混合物の引張強度は、供用箇所の温度やその変化状況を把握した上で適切な方法で設定する必要がある。

Ⅱ-2.6.3 温度応力の算定

温度変化の作用の繰返しにより発生するアスファルト混合物層内の温度応力は、温度やその時間変化率に応じて適切な方法によって算出するものとする。

- (1) 温度応力 σ_B は、一般に次式により算定している。

$$\sigma_B = E_r(t) \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad \dots \dots \dots \text{(式Ⅱ-2.4)}$$

ここで、

- σ_B : 温度応力 (MPa)
 $E_r(t)$: アスファルト混合物の変形係数 (MPa)
 α : 線膨張係数 (1/°C)
 ΔT : 低下温度差 (°C)

- (2) 温度降下時に生じる温度応力は、アスファルト混合物の変形係数に依存する。この変形係数は時間と温度の関数として示されるが、低温時における変形係数は $2.0 \sim 2.9 \times 10^4 \text{MPa}$ 程度とされている。アスファルト混合物の線膨張係数は、アスファルト混合物の配合やアスファルトの種類により異なるため、実測により求めることが望ましいが、試験によらない場合、 $2.0 \sim 3.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ を用いることができる。

Ⅱ-3 走行安全性能の照査

Ⅱ-3.1 総則

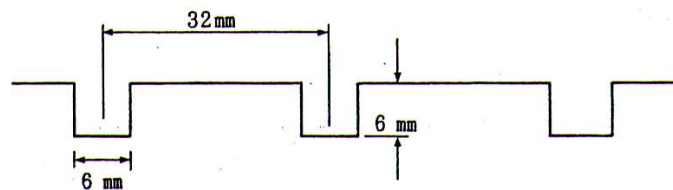
- (1) 舗装は、設計供用期間中、所要の走行安全性能を確保するものとする。
 (2) 走行安全性能に対する照査は、すべり、わだち掘れに対して行うものとする。

- (1) わだち掘れは、走行荷重の繰返し作用により、主にアスファルト混合物層や路盤、路床が永久変形を生じることによって発生する。

Ⅱ-3.2 すべりに対する照査

- (1) アスファルト舗装は，設計供用期間中，所要のすべり抵抗性を確保するものとする。
- (2) アスファルト舗装のすべり抵抗性は適切な方法により照査するものとする。
- (3) 多くの経験により，すべり抵抗性が十分に確保されていることがわかっている舗装構造とする場合には，すべり抵抗性を満足するとみなすことができる。

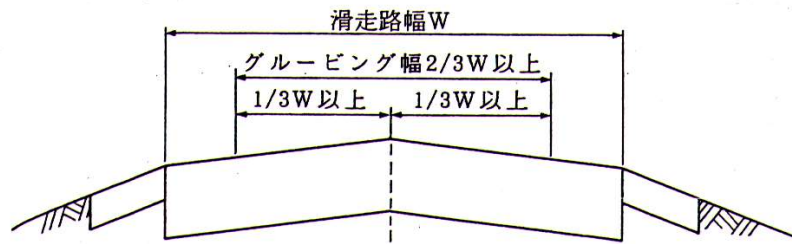
- (1) アスファルト舗装のすべり抵抗性は，舗装表面の摩擦係数と密接に関係しており，この摩擦係数は，表層の使用材料，表面のテクスチャ，排水状況によって影響される。
- (2) 多くの経験により，すべりに対する安全性が十分確保されることがわかっており，すべり抵抗性を満足するとみなすことができるのは次のいずれかの場合である。
 - (i) 滑走路を除く施設においては，表層に「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」に記載される品質の材料を用いている場合
 - (ii) 滑走路においては，(i)に加えて適切なグルーピングが設置されている場合
 - (iii) 小型機のみが就航する空港の場合
- (3) グルーピングは以下を参照にして設置してよい。
 - (i) グルーピングの形状
グルーピングの形状は，一般に図Ⅱ-3.1に示すとおりとしている。



図Ⅱ-3.1 グルーピング形状

- (ii) グルーピング施設と範囲
 - ・ グルーピングの施工範囲は，一般には図Ⅱ-3.2に示すとおりとしている。
 - ・ 滑走路端付近にターニングパッドが設けられている場合でも，グルーピングの施工幅は一般に上記の施工幅と同じとしている。
 - ・ 積雪地域におけるグルーピングの施工幅は，グルーピング部より側方へ流出する雪氷の融解水等が滞留した際に気温低下が生じると，それが氷結し氷盤を形成することがあるので，滑走路全幅にわたって施工することが望ましい。
 - ・ 積雪地域においては，誘導路におけるグルーピング設置による融雪及び融氷効果が確認されていることから，必要に応じて高速離脱誘導路及び取付誘導路，平行誘導路並びにターニングパッドにもグルーピングを施工することが望ましい。また，グルーピングの施工範囲は滑走路と同様に全幅にわたって設置することが望ましい。
 - ・ グルーピングの施工が航空機運航の安全性の向上に寄与することが確認されていることから，小型機用の滑走路においても施工することが望ましい。
 - ・ 照明灯器及び配線溝が事前に設置されている場合には，灯器及び電線を破損しないよ

うにするため、その部分にはグルーピングを施工しない。



図Ⅱ-3.2 一般的なグルーピング施工範囲

Ⅱ-3.3 アスファルト舗装のわだち掘れに対する照査

- (1) アスファルト舗装のわだち掘れに対する照査は、アスファルト混合物層及び路床・路盤の永久変形量とアスファルト混合物のすり減り量に対する照査により行うものとする。
- (2) わだち掘れに対する照査においては、設計わだち掘れ量 D_d のわだち掘れ量の設計限界値 D_{dl} に対する比に重要度係数 γ_i を乗じた値が、1.0 以下であることを確認するものとする。

$$\gamma_i \cdot D_d / D_{dl} \leq 1.0$$

- (3) わだち掘れ量の設計限界値 D_{dl} は、わだち掘れ量の限界値 D_l を構成層係数 γ_b で除した値とするものとする。

$$D_{dl} = D_l / \gamma_b$$

- (4) 設計わだち掘れ量 D_d は、適切な方法により算定されたアスファルト混合物層の永久変形量 δ_a 、路盤の永久変形量 δ_b 、路床の永久変形量 δ_c とアスファルト混合物のすり減り量 d の総和に構造解析係数 γ_a を乗じた値とするものとする。

$$D_d = \gamma_a \cdot (\delta_a + \delta_b + \delta_c + d)$$

- (5) 多くの経験により、わだち掘れ量が小さいことがわかっている舗装構造とする場合には、わだち掘れに対する抵抗性を満足するとみなすことができる。

- (1) アスファルト舗装は、交通荷重が繰り返し作用することにより舗装の各層に永久変形が生じる。したがって、アスファルト舗装のわだち掘れに対する検討は、アスファルト混合物層、路床及び路盤の永久変形量とアスファルト混合物のすり減り量に対して行うこととした。
- (2) Ⅱ-2 に基づき荷重支持性能に対して照査を行った結果、荷重支持性能を満足する場合は、わが国の空港舗装における経験上、わだち掘れ量は小さいことがわかっているため、わだち掘れに対する抵抗性を満足するとみなすことができる。
- (3) 「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」に記載される品質の材料を用い、かつ、「付録-7：経験的設計法によるアスファルト舗装の構造設計」に準じて設計された舗装構造とする場合は、わが国の空港舗装における経験上、わだち掘れ量は小さいことがわかっているため、わだち掘れに対する抵抗性を満足するとみなすことができる。

Ⅱ-4 表層の耐久性能の照査

Ⅱ-4.1 総則

- (1) アスファルト舗装が設計供用期間中、所要の表層の耐久性能を保持することを適切な方法により照査するものとする。

(2) アスファルト舗装の表層の耐久性の照査は、アスファルトの気象劣化やアスファルト混合物の剥離、骨材飛散及び層間剥離に対して行うものとする。

(3) 多くの経験により、耐久性能が確保されていることがわかっている舗装構造、舗装材料とする場合には、気象劣化や剥離、骨材飛散及び層間剥離に対する抵抗性を満足するとみなすことができる。
- (1) アスファルト舗装は、一定期間十分な耐久性能や使用性を発揮するように交通条件、自然条件及び使用材料を基に設計され、十分に管理されていても、繰返し荷重や気象条件などの履歴を受け、舗装の供用とともにその破損も同時に進行する。
- (2) 「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」に記載される品質の材料を用いる場合には、気象劣化、剥離、骨材飛散及び層間剥離に対する抵抗性を満足しているとみなすことができる。

Ⅱ-4.2 気象劣化に対する照査

- アスファルト混合物中のアスファルトは、時間とともに紫外線及び酸化などにより化学組成の変化や硬さの増大などを生じ、舗装用アスファルトとしての性状が劣化する。その低下度合いを照査するために適切な方法によって評価するものとする。
- (1) 気象劣化を照査する方法として、加圧劣化容器（PAV, Pressure Aging Vessel）を用いた舗装用バインダの促進劣化試験、回収アスファルトの組成成分や物理性状の変化及び赤外線吸収スペクトル分析などがある。

Ⅱ-4.3 アスファルト混合物の剥離に対する照査

- アスファルト混合物の剥離によって、アスファルト舗装の耐久性能が損なわれないよう、適切な方法によって評価するものとする。
- (1) 骨材は、一般にアスファルトより水に対する親和力が大きいので、アスファルト混合物に水が接すると、水はアスファルト被膜と骨材の間に徐々に浸透し、アスファルトは骨材表面から剥れてしまう。剥離が進行するとひび割れやポットホールといった破損につながる。
- (2) 剥離の度合いを照査する方法としては、粗骨材の剥離抵抗性試験や水浸ホイールトラッキング試験、修正ロットマン試験などがある。

Ⅱ-4.4 アスファルト混合物の骨材飛散に対する照査

- アスファルト混合物の骨材飛散によって、アスファルト舗装の耐久性能が損なわれないよう、適切な方法によって評価するものとする。
- (1) 空隙率が高く、骨材同士の接点が少ない開粒度混合物などは、水平せん断力などに対して骨材飛散がみられる場合がある。アスファルトの骨材把握の性能照査としては、カンタブロ試験や改良したホイールトラッキング試験ですえきり抵抗性を評価する方法などがあ

る。

Ⅱ-4.5 アスファルト混合物層の層間剥離に対する照査

舗装表面に作用する水平力に対して、アスファルト混合物層の層間剥離が生じることがないことを適切な方法によって評価するものとする。

- (1) アスファルト舗装表面には、離陸開始時、着陸停止時において水平力が作用し、アスファルト混合物層の層間剥離が懸念される。層間剥離が生じるとアスファルト混合物層下面の引張ひずみが増加し、層間剥離がないときに比べて疲労耐久性が低下することになる。

Ⅱ-4.6 アスファルト混合物に関する細目

空港のアスファルト舗装に使用するアスファルト混合物は、破損した場合に空港運用に及ぼす影響が非常に大きいこと等の空港の特殊性から、経済性や耐久性のみならず、施工性や安全性も含め総合的に検討し選定するものとする。

- (1) 表層のアスファルト混合物に使用する骨材の最大粒径については、設計航空機荷重区分が LA-3 以上の場合（ショルダー・過走帯の舗装を除く）、耐流動性の観点から 20mm 以上が望ましい。
- (2) 表層及び基層の一層の最小仕上がり厚は、表層の場合、アスファルト混合物に使用する骨材の最大粒径の 2.5 倍、基層の場合、2.0 倍とすることを標準とする。そのため、表層に最大粒径 20mm の骨材を使用するアスファルト混合物の場合は一層の最小仕上がり厚が 5cm、表層に最大粒径 13mm の骨材を使用するアスファルト混合物の場合は一層の最小仕上がり厚が 4cm となる。
- (3) 大粒径アスファルト混合物を使用する場合を除き、表層及び基層の一層の最大仕上がり厚は 8cm を標準とする。表層の仕上がり厚（グルーピング設置のために追加する 1cm を含む）がこれを超える場合には基層を設けることができる。また、表層及び基層の施工については、薄い層の施工を避け、一層の仕上がり厚を厚くし、施工層数及び境界面を少なくすることに留意する必要がある。ただし、粒状路盤直上の表層又は基層を施工する場合を除き、表層及び基層の一層の最大仕上がり厚を 10cm とすることも可能である。この場合、ローラーマークが発生しやすい⁹⁹⁾ため、表層はタンデムローラ等による仕上げ転圧を行うものとし、表層及び基層の施工計画では、混合物量が多く敷均しに時間を要すること、舗装温度が交通開放温度に達するまでの時間が長くなることに留意する必要がある。
- (4) 航空機の制動時並びに曲線部の走行時には、舗装表面に水平荷重が加わることとなる。舗装表面に水平荷重が加わる区域においては、不十分な層間付着や舗装体内への水分の浸入等の複合的な要因により、層間あるいは混合物層内部で剥離が生じ、舗装の破壊に至ることがある。このため、既設舗装表面の清掃、タックコートの養生、表層・基層の厚層化及び材料等について十分に検討し、適切な対応を行う必要がある。
- (5) 再生アスファルト混合物については、基本施設では、基層と上・下層路盤に適用することができるが、基本施設の基層においては、再生材混合率の上限は 40%を標準とする⁵⁸⁾（十分な検討をした上でこれ以上の再生材混合率によることも可能である）。特に再生材を基

本施設の基層に使用する場合は、新材の基層に関するマーシャル試験に対する基準値を満足することに加え、水浸ホイールトラッキング試験（水浸条件は「舗装調査・試験法便覧²⁾：水浸ホイールトラッキング試験方法」における「上面からの水の浸透を対象にした場合」）による剥離面積率が5%以下であるアスファルト混合物を使用することを標準とする。なお、新アスファルトとしてポリマー改質アスファルトを使用した再生改質アスファルト混合物については、現時点では十分な知見が得られていないことから、「舗装再生便覧⁷⁾」では具体的な配合設計方法は示されていない。

- (6) アスファルト混合物層間を付着させるために散布するタックコートについては、アスファルト混合物との付着性が高く、作業車両のタイヤへの付着抑制効果があり、養生が短時間で完了する速分解型アスファルト乳剤 PKM-T-Q（日本アスファルト乳剤協会規格 JEAAS-2020）を使用することを標準とする^{87), 88)}。
- (7) 表層舗設からグルーピングの施工までに一定期間を設けると、その期間中にアスファルト混合物がオイル分の減少により硬化し、施工するグルーピングの変形抵抗性が向上する。このため、工事後にグルーピングを施工する場合には、表層のアスファルト混合物を施工してから2ヶ月以上経過した後に行うことを標準とする。ただし、表層に改質アスファルト混合物を用いる場合には、施工してから7日以上経過した後にグルーピングを施工することができる²⁶⁾。
- (8) 既存施設の破損状況等から、わだち掘れ、ひび割れ、グルーピングの変形、ポットホール、剥離等が懸念される滑走路、誘導路、エプロン及び GSE 通行帯の新設工事では、施設の長寿命化等を目的として、ショルダー及び過走帯を除いた本体部の表層に改質アスファルトを使用することを標準とする。なお、既存施設に用いた改質アスファルトでは上記の変状が多い場合は、よりグレードの高い改質アスファルトを使用するとよい。例えば、特殊改質アスファルトを採用した事例がある¹⁰³⁾。
- (9) 舗装内部に滞水した水により、基層アスファルト混合物の骨材とアスファルトの剥離が促進され粒状化する場合があり、ポットホール等の局所突発的な破損が多発する原因となる。既存施設の破損状況等から、このような破損が懸念される滑走路、誘導路、エプロン及び GSE 通行帯の新設工事では、施設の長寿命化等を目的として、ショルダー及び過走帯を除いた本体部の基層に改質アスファルトを使用することを標準とする。なお、既存施設に用いた改質アスファルトでは上記の変状が多い場合は、よりグレードの高い改質アスファルトを使用するとよい。例えば、特殊改質アスファルトを採用した事例がある¹⁰³⁾。
- (10) 日毎の施工の境界や新旧アスファルト混合物層の境界であるアスファルト舗装の施工目地は、経年により開くことがあり、**図Ⅱ-4.1**のように開いた施工目地から雨水が侵入すると、アスファルト混合物層が劣化し、施工目地周辺において局所突発的な破損が多発する原因となる。そのため、アスファルト舗装の施工では、ホットジョイントによる施工や成形目地材¹⁰⁰⁾を用いると良い。
- (11) 耐流動性、耐油性及び難燃性を有する半たわみ性舗装を採用する場合は、以下を参考にするとよい。
 - (i) 半たわみ性舗装の設計

アスファルト舗装として構造設計を行い、その表層に半たわみ性混合物を用いることが望ましい。ただし、表層の下が粒状路盤となる場合（基層がない場合）、半たわみ性混合物の母体となる開粒度アスファルト混合物にセメントミルクを注入すると、セメントミルクが粒状路盤に浸透してしまい、母体がセメントミルクで十分に充填されない可能性があるため、基層を設けることとする。上記の理由で基層を設ける場合、構造設計上、基層はアスファルト安定処理路盤として扱うこととし、そのうえで基層下の粒状路盤厚を求めてもよい。

(ii) 半たわみ性舗装の施工

半たわみ性混合物には、セメントミルク硬化時の乾燥収縮や外気温差による収縮が原因で、早期にひび割れが発生することがあり^{91), 92)}、硬化後に Каттер目地を設けることが望ましい。目地間隔はⅣ-4.3.4 横方向目地に示すコンクリート版の収縮目地間隔を参考にする。とよい。構造的弱点となりうる目地は、荷重をほとんど負担しない前脚車輪が走行する位置に設けてよいが、主脚車輪が走行する位置を避けることが望ましい。また、雨水等の侵入を防ぐために、目地には注入目地材等を注入することとする。



横断勾配により雨水が路面 A から路面 B に流下するものの、
流下した雨水が施工目地に侵入したため路面 B の雨水は少ない。

図Ⅱ-4.1 開いた施工目地から雨水が侵入している状況

第Ⅲ章 アスファルト舗装の補修

Ⅲ-1 総則

アスファルト舗装の補修においては、既設舗装の荷重支持性能、走行安全性能及び表層の耐久性能について、次の手順で調査、評価、補修工法の選定を行うものとする。

(1) アスファルト舗装の性能の調査

路面の調査及び構造の調査により、アスファルト舗装の荷重支持性能、走行安全性能及び表層の耐久性能を調査するものとする。

(2) 走行安全性能の評価

路面の調査により、走行安全性能を評価し、補修の必要性を判断するものとする。路面の調査としては、路面性状調査及びすべり摩擦係数調査を行うものとする。

(3) 荷重支持性能及び表層の耐久性能の評価

構造の調査により、荷重支持性能及び表層の耐久性能を評価し、補修規模を判断するものとする。構造の調査としては、非破壊調査、解体調査を行うものとする。

(4) 補修工法の選定

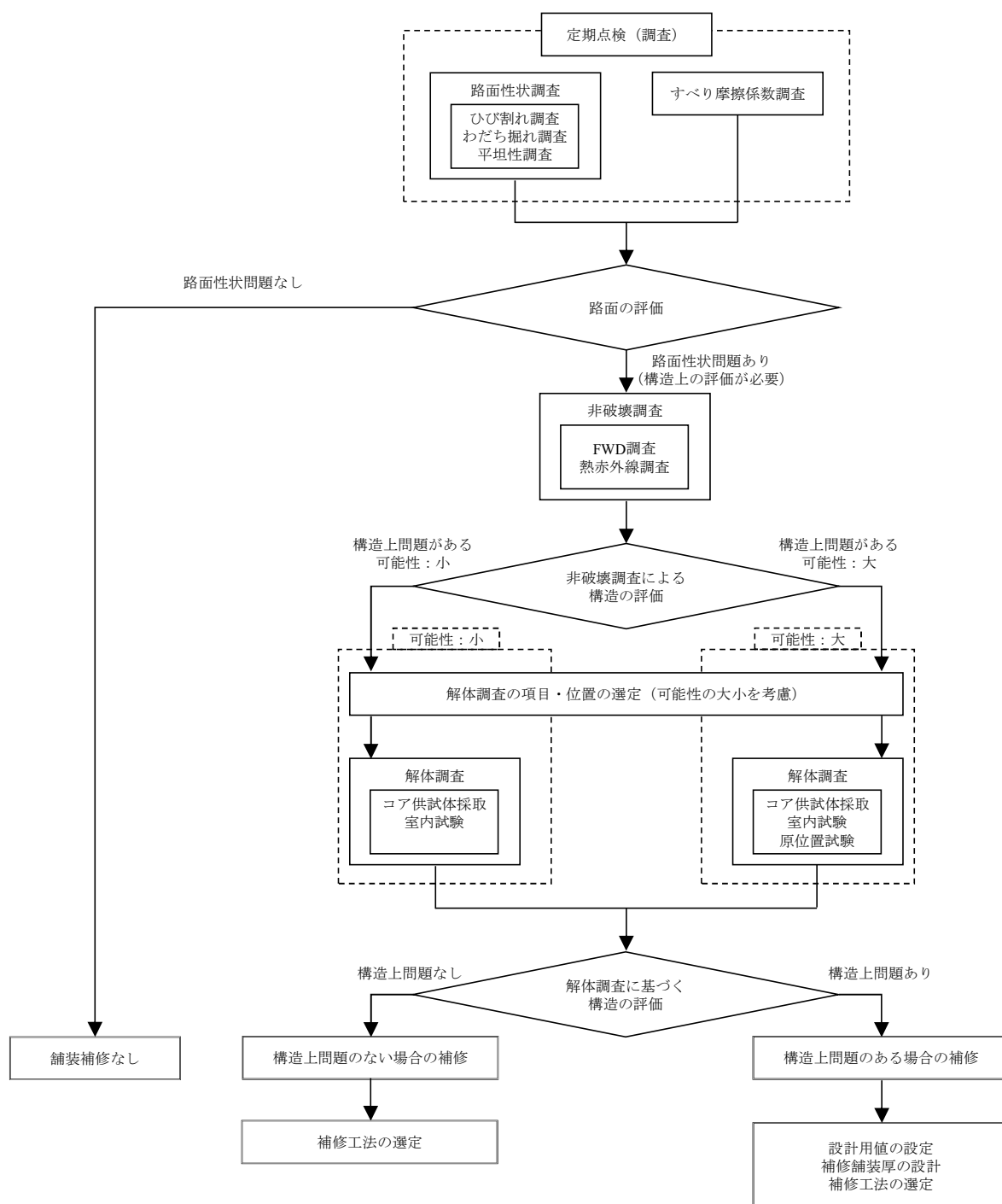
荷重支持性能、走行安全性能及び表層の耐久性能に関する評価結果により、これらの性能を回復させるための適切な補修工法を選定し、補修設計を行うものとする。

- (1) アスファルト舗装の破損は、その形状により**表Ⅲ-1.1**に示すように分類することができる。

表Ⅲ-1.1 アスファルト舗装の破損の種類

形状	破損の種類
ひび割れ	ヘアークラック、線状ひび割れ、亀甲状ひび割れ、施工目地の開き、リフレクションクラック
変形	わだち掘れ、縦断方向の凹凸、コルゲーション、くぼみ
摩耗	ポリッシング、はがれ
崩壊	ポットホール、剥離、老化
グルーピング形状	角欠け、つぶれ、変形
その他	ブリージング、タイヤ跡、きず、ブリストリング（表面ぶくれ）、ブラスト焼け、噴泥、凍上

- (2) アスファルト舗装の調査は、路面の調査（路面性状調査及びすべり摩擦係数調査）と構造の調査（非破壊調査及び解体調査）に分けることができる
- (3) アスファルト舗装の調査を行う場合には、路面の調査と構造の調査を併用することが望ましい。路面の調査では走行安全性能の評価が可能であり、構造の調査では荷重支持性能及び表層の耐久性能を評価することが可能である。
- (4) アスファルト舗装の標準的な補修の考え方を**図Ⅲ-1.1**に示す。



図Ⅲ-1.1 アスファルト舗装の補修の考え方

Ⅲ-2 アスファルト舗装の調査

Ⅲ-2.1 総則

- (1) 路面の調査は、路面性状調査及びすべり摩擦係数調査を行うものとする。
- (2) 構造の調査は、非破壊調査及び解体調査を行うものとする。

- (1) 路面の調査は、**表Ⅲ-1.1**に示した舗装の破損の種類の数について行うことが望ましいが、調査の効率化のため路面性状調査としてひび割れ調査、わだち掘れ調査及び平坦性調査を行うことに加えて、すべり抵抗性の測定を行うすべり摩擦係数調査を行うことを標準とする。
- (2) 構造の調査は、非破壊調査では舗装のたわみ及び層間剥離の有無を調べることを標準とする。
- (3) 構造の調査における非破壊調査は、解体調査を実施する位置や規模を選定するために実施する。
- (4) 構造の調査における解体調査は、非破壊調査により構造上の問題が懸念される位置において、その懸念される構造上の問題の程度に応じて、アスファルト混合物の切り取りコア供試体採取及び室内試験、テストピットの掘削による現場試験、試料採取及び室内試験を行い、舗装各層の材質、密度及び強度等を評価するために行う。

Ⅲ-2.2 路面の調査

Ⅲ-2.2.1 路面性状調査

- (1) ひび割れ調査
ひび割れ調査は、路面のひび割れを連続的に撮影可能な測定機器を使用するものとする。撮影済の画像を解読し、データユニット毎にひび割れ率を算出するものとする。
- (2) わだち掘れ調査
わだち掘れ調査は、横断プロファイル（任意の高さを基準とした横断形状）が測定可能な測定機器を使用するものとする。
- (3) 平坦性調査
平坦性調査は、縦断プロファイル（任意の高さを基準とした縦断形状）が測定可能な測定機器を使用するものとする。航空機の走行頻度が高い位置において、データユニット全長にわたり縦断プロファイルを測定し、縦断プロファイルの測定データから BBI（Boeing Bump Index）を算出するものとする。

- (1) 路面性状調査の実施頻度は、施設の特性や現場条件等を考慮し適切に設定する。なお、平坦性調査で算出する BBI は、一般には、地盤の不同沈下に起因する凹凸により経年変化する値であることから、経年的な地盤沈下が想定される海上埋立部の施設以外では、平坦性調査を省略することができる。
- (2) 路面性状調査を行うデータユニットサイズは、**表Ⅲ-2.1**を標準とする。データユニットのとり方は、滑走路及び誘導路については、センターラインを中心とする。

表Ⅲ-2.1 滑走路・誘導路・エプロンのデータユニットサイズ

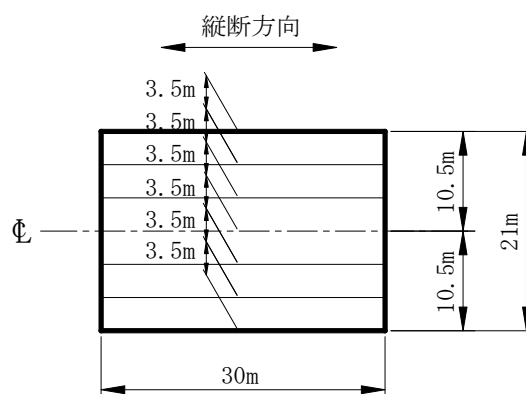
就航機材	データユニットサイズ
大型ジェット機が就航する空港	幅 21m×長さ 30m
中小型ジェット機が就航する空港 (DHC-8 シリーズは中小型ジェット機として扱う)	幅 14m×長さ 45m
プロペラ機及び小型機のみが就航する空港	幅 7m×長さ 90m

- (3) 路面の調査結果に基づく舗装路面の評価は、データユニットサイズ毎に行うことを標準とする。
- (4) 空港舗装の特徴は、広く面的な舗装であることから、大部分の区域はほとんど交通荷重が作用しない。しかし、舗装材料、特に表層材料は、交通荷重が作用しなくても気象作用その他により劣化又は老化してひび割れ等を生じさせるため、気象による劣化等の調査も考慮する必要がある。
- (5) ひび割れ調査
- (i) アスファルト舗装のひび割れには、線状ひび割れ、亀甲状ひび割れ、施工目地の開き、リフレクションクラックがある。
- (ii) ひび割れ率は（式Ⅲ-2.1）により算出する。

$$\text{ひび割れ率(\%)} = \frac{\text{ひび割れ面積(m}^2\text{)}}{\text{単位データユニットの面積(m}^2\text{)}} \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{(式Ⅲ-2.1)}$$

ここに、ひび割れ面積は、亀甲状ひび割れ面積とその他ひび割れ面積の和とし、その他ひび割れ面積は、線状ひび割れ、施工目地の開き及びリフレクションクラックの長さに0.3mを乗じた面積とする。

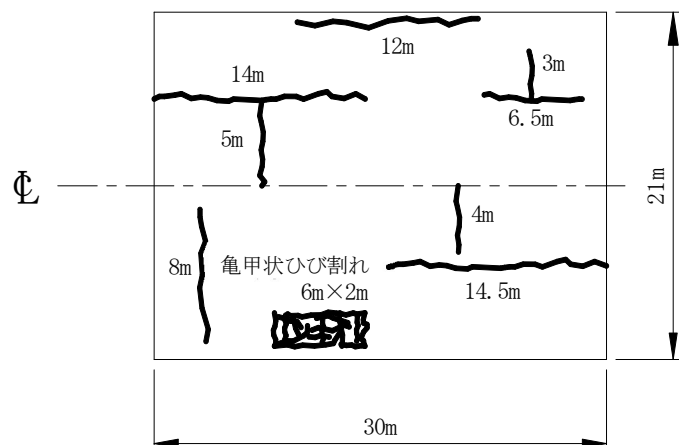
- (iii) ひび割れ調査では、路面性状測定車や MMS（Mobile Mapping System）により路面を連続的に撮影するが、表Ⅲ-2.1 に示したデータユニットサイズとの関係から、図Ⅲ-2.1 のように帯状に撮影するとよい。撮影済の画像解読の際には、現地と撮影画像の位置がずれないように十分に照合を行う必要がある。



図Ⅲ-2.1 ひび割れ調査の例（大型ジェット機が就航する空港の1 データユニット）

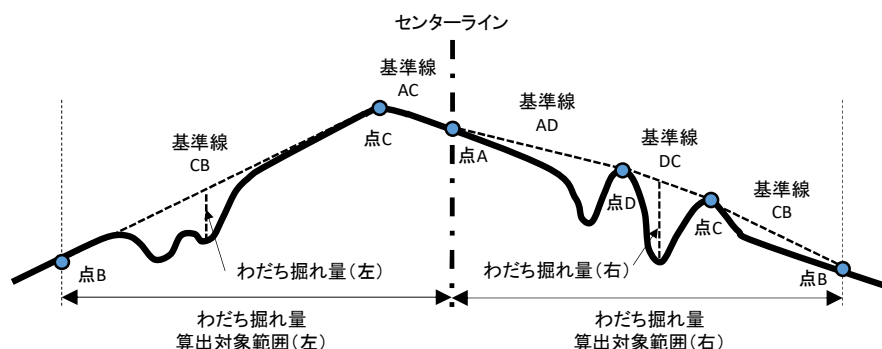
- (iv) 路面性状測定車や MMS により撮影解読可能なひび割れの程度は、幅 1mm 以上のものである。したがって、目視でひび割れ調査を行う場合は、この幅と整合をとる必要がある。
- (v) ひび割れ率の算出にあたって、すでにパッチングによって補修された部分の取扱いは、ひび割れ面積に含めないことを標準とする。
- (vi) 図Ⅲ-2.2 のようなひび割れの実測に対しては、ひび割れ率は次のように算出される。

$$\text{ひび割れ率(\%)} = \frac{6 \times 2 + (12 + 14 + 5 + 3 + 6.5 + 8 + 4 + 14.5) \times 0.3}{21 \times 30} \times 100 = 5.1\%$$



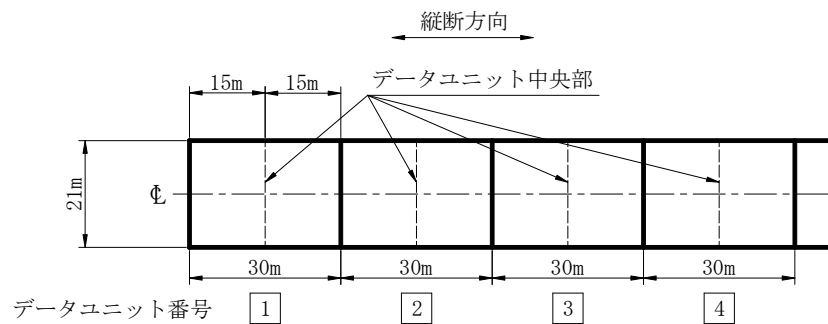
図Ⅲ-2.2 ひび割れの実測の例（大型ジェット機が就航する空港の1データユニット）

- (6) わだち掘れ調査
- (i) わだち掘れ量は、図Ⅲ-2.3 に示すように、わだち掘れ量算出対象範囲内における基準線から路面までの垂線長の最大値で定義される。
- (ii) わだち掘れ量を求めるための基準線を引く際、路面の一部がその基準線よりも高い場合には、新たに基準点を追加し、再度基準線を引き、基準線よりも高い路面がなくなるまで、これを繰り返す。詳細は付録-22 に示す。
- (iii) わだち掘れ量算出対象範囲は、データユニットサイズの全幅とする。



図Ⅲ-2.3 わだち掘れ量の定義

(iv) わだち掘れ量は、**図Ⅲ-2.4**に示すように各データユニットの中央部で測定する。

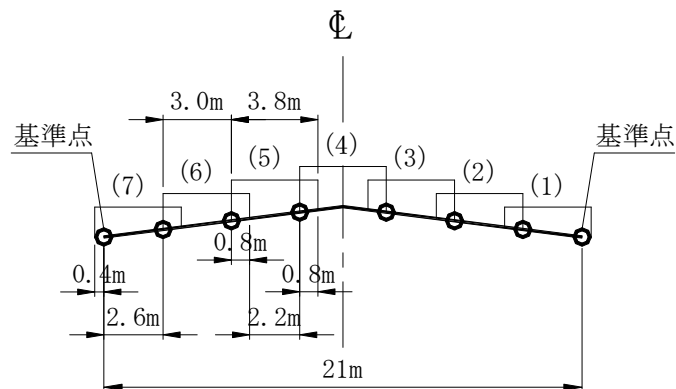


図Ⅲ-2.4 わだち掘れ量の測定位置（大型ジェット機が就航する空港の場合）

(v) 空港における路面性状調査で、わだち掘れ量の測定に使用する機器は、**図Ⅲ-2.5**に示すように一般的には、横断プロフィールグラフ、路面性状測定車、MMS、ハンディープロファイラーが使用されている。重ね合わせによりわだち掘れを測定する機器を使用する場合には、測定精度を確保するため重ね合わせ位置で高さの確認を行う必要がある。

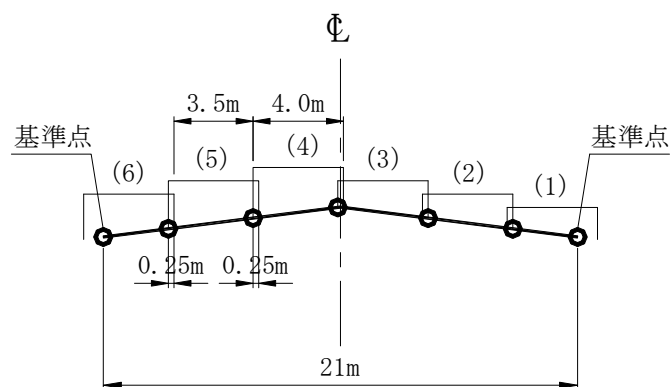
- ・横断プロフィールグラフ

測定事例：測定可能幅が 3.8m で、0.8m 程度を重ねて測定



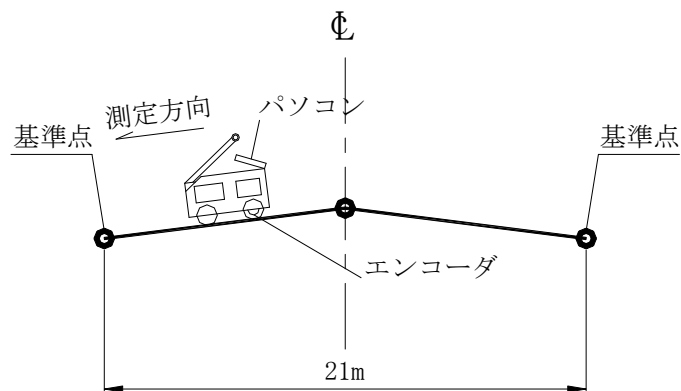
- ・路面性状測定車，MMS

測定事例：測定可能幅が 4.0m で、0.25m 程度を重ねて測定



- ・ハンディープロファイラー

測定事例：データユニット幅を一括測定可能幅で測定



※各横断図で、○の位置の高さをレベルにより測定する。

図Ⅲ-2.5 わだち掘れ量の測定機器と測定例

(7) 平坦性調査

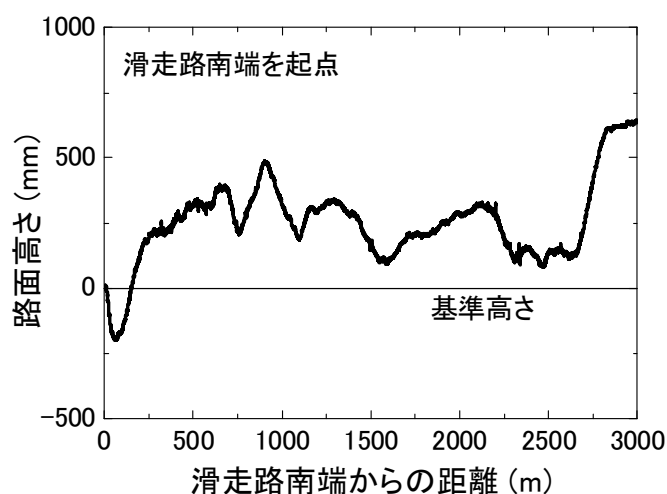
- (i) 平坦性調査における横断方向の測定位置は、表Ⅲ-2.2に示す位置とする。

表Ⅲ-2.2 滑走路・誘導路・エプロンの平坦性調査における横断方向の測定位置

就航機材	横断方向の測定位置
大型ジェット機が就航する空港	センターから 5.5m
中型ジェット機が就航する空港	センターから 4.8m
小型ジェット機が就航する空港	センターから 2.6m
プロペラ機及び小型機のみが就航する空港	センターから主要航空機の主脚間距離の約 1/2 の距離

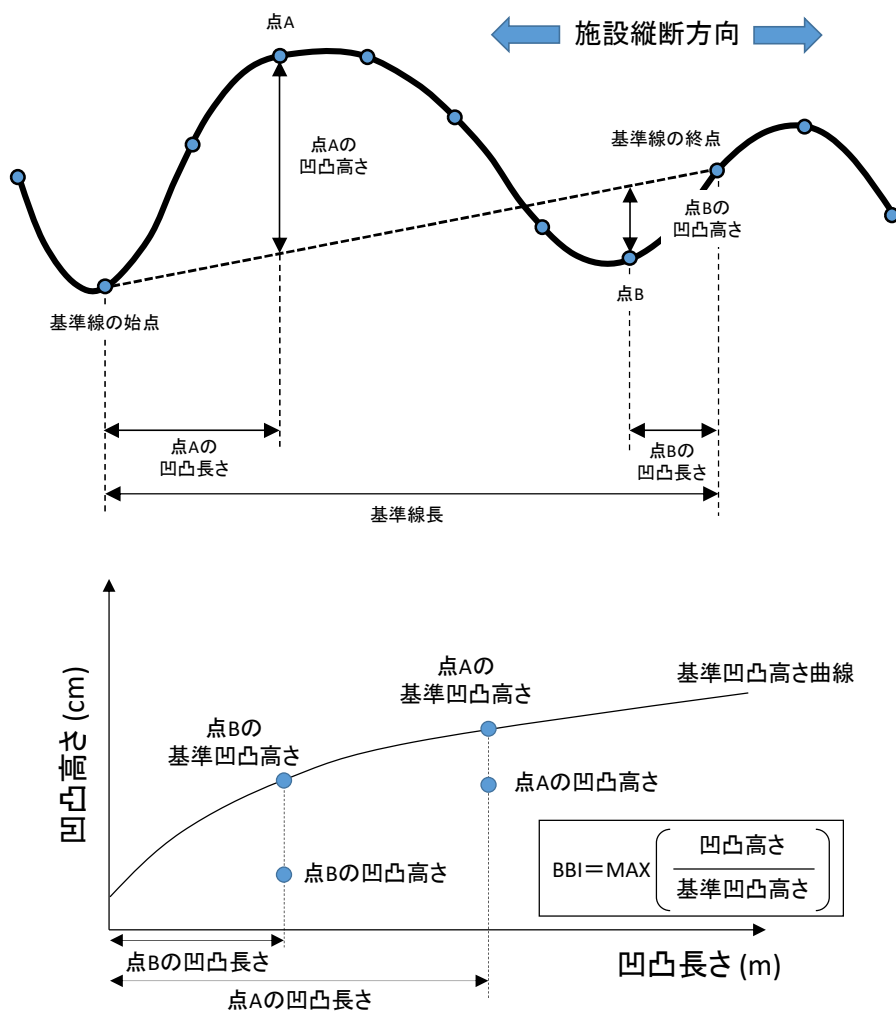
(注) 滑走路横断方向の測定位置は、取付誘導路側とする。なお、滑走路の両側に取付誘導路がある場合は、使用頻度の多い取付誘導路側とする。

- (ii) 平坦性調査では、縦断プロファイルを測定する。縦断プロファイルとは、図Ⅲ-2.6に示すように、いずれかの地点（通常は滑走路端や誘導路端など）の高さを基準とした基準線からの高さを指す。縦断方向の測定の間隔は 1m 以下を標準とする。



図Ⅲ-2.6 縦断プロファイルの測定事例

- (iii) 平坦性調査においては、縦断プロファイルから BBI（Boeing Bump Index）を算出するものとする。BBI は、図Ⅲ-2.7に示すように 1m ごとに測定された縦断プロファイルデータを用いて基準線長に応じた凹凸高さ及び凹凸長さを算出し、(式Ⅲ-2.2)により算出することができる。詳細は付録-22に示す。



図Ⅲ-2.7 BBI 算出における凹凸高さ及び凹凸長さの定義

$$BBI = \max(BH/SBH) \quad \dots \dots \dots \text{(式Ⅲ-2.2)}$$

ここに,

- BH : 凹凸高さ (Bump Height)
着目する路面上の点から基準線までの垂直距離 (cm)
- BL : 凹凸長さ (Bump Length)
着目する路面上の点から基準線端までの水平距離 (m)
基準線始点・終点までの距離の短い方を採用し、最大 60m とする.
- SBH : ICAO Annex14 に示されている「Temporary acceptable surface irregularity height」の数値⁸³⁾を近似した次式⁸⁴⁾により計算される凹凸高さ (cm)

$$SBH = 1.713187 + 0.800872 \cdot BL - 0.031265 \cdot BL^2 + 0.000549 \cdot BL^3$$

$$(0 < BL \leq 20)$$

$$SBH = 6.4 + 0.16 \cdot BL \quad (20 < BL \leq 60)$$

Ⅲ-2.2.2 すべり摩擦係数調査

アスファルト舗装の路面のすべり抵抗性は、すべり摩擦係数を測定するものとする。

- (1) すべり摩擦係数調査の実施頻度は、施設の特性や現場条件等を考慮し適切に設定する。
- (2) グルーピングの破損の種類には、角欠けやつぶれのほか、両者が同時に生じているもの、グルーピングの蛇行といったものもある。調査方法として一般的なものはないが、角欠けやつぶれについては、目視により破損の種類を観察するとともに、グルーピングの溝の容量をノギスにより測定することにより行った例⁶⁰⁾がある。
- (3) 滑走路面のすべり抵抗性の測定を行うすべり摩擦係数調査は、一般に連続摩擦測定装置が用いられる⁶¹⁾。グルーピングが設置されている滑走路では、航空機の着陸時におけるグルーピングとタイヤとの間の摩擦によるゴムの付着でグルーピングの溝が詰まっている場合や、航空機荷重によりグルーピングの溝がつぶれた場合などでは、すべり抵抗性の減少が生ずる恐れがある。
- (4) 連続摩擦測定装置は、SFT（サーフェス・フリクション・テスター）が一般的である。
- (5) 測定前に、連続摩擦測定装置の測定部分の摩耗の有無等について点検を行う必要がある。
- (6) 測定は路面を湿潤状態として行い、1 測線 3 往復を標準とする。
- (7) 測定速度は、SFT の場合には 95km/h とする。
- (8) 測定時の路面温度を計測する。
- (9) 最近の調査結果⁶²⁾からは、すべり抵抗性は、滑走路中間部に比較すると接地帯付近では 3 ～5 割小さいこと、夏季は冬季に比較すると 1～2 割小さいことが示されている。また、滑走路面に付着したタイヤゴムを除去することによりすべり抵抗性が回復することも認められている。
- (10) すべり摩擦係数調査の詳細については付録-19 に示す。

Ⅲ-2.3 構造の調査

Ⅲ-2.3.1 非破壊調査

アスファルト舗装における非破壊調査の方法は、FWD（フォーリング・ウエイト・デフレクトメータ）調査及び熱赤外線調査によるものとする。

- (1) 非破壊調査は、調査対象地点の舗装構成、当該地域での過去の調査例等を参考に、調査数量、配置等を計画する必要がある。
- (2) 非破壊調査は、舗装を損傷することなく短時間のうちに数多くの地点で行えるため、時間的制約の厳しい供用中の空港において有効な調査の一つである。
- (3) FWD 調査^{63), 64), 65), 66)}は、たわみを用いて構造を調査するものであり、熱赤外線調査^{67), 68)}は、熱赤外線画像を用いて層間剥離を調査するものである。
- (4) FWD 調査は、舗装面のたわみを調査することができる。調査方法は、重錘をアスファルト舗装表面に落下させ、舗装表面のたわみを計測し、舗装構造の健全度を非破壊で調査するものである。
- (5) 使用する FWD には、空港用 FWD 及び道路用 FWD がある。空港用 FWD は、B747-400 の一輪の接地荷重及び接地面積を根拠として、載荷荷重は 49～245kN、載荷版直径は 450mm

であり、舗装面のたわみを複数の計測点（載荷点から 0～250cm の範囲としている機種が多い）のセンサーによって検出するものである。また、道路用 FWD は、載荷荷重は 49～147kN、載荷版直径は 300mm であり、舗装面のたわみを複数の計測点（載荷点から 0～150cm の範囲としている機種が多い）のセンサーによって検出するものである。国内で稼働している FWD の一覧については、NPO 法人 舗装診断研究会のホームページにまとめられている。

- (6) 使用する FWD の載荷荷重は、**表Ⅲ-2.3**を目安に選択するものとする。載荷荷重は 49kN、98kN、147kN、196kN、245kN、載荷版直径は 300mm 又は 450mm とするのが一般的であるが、計測されるたわみが小さくなると誤差が大きくなるため、載荷荷重は大きい方が望ましい。

表Ⅲ-2.3 FWD の載荷荷重の選択の目安

施設	載荷荷重
滑走路・誘導路・エプロンの本体	98kN 以上
ショルダー・過走帯等	49kN 以上

- (7) FWD によるたわみ量は、路面の温度により大きく変化するため、FWD 調査時には必ず舗装表面温度を計測する。
- (8) FWD 調査の実施にあたっては、調査対象地点の舗装構成が均一かどうか、舗装履歴は一定かどうか、また当該区域の舗装強度の分布が過去の調査で把握されているか等により、調査数量と配置を設定する必要がある。しかし、FWD 調査は比較的簡便であるので、できるだけ多く調査を実施し、舗装強度の平面的な分布を把握することが望ましい。「**Ⅲ-2.2.1 路面性状調査**」で示したデータユニットサイズに合わせて 1 データユニット 1 箇所での実施を標準とする。
- (9) アスファルト舗装の新設・補修後には、早期に FWD によるたわみの初期値を測定することを標準とする。初期値を測定することにより、次期の補修にあたっての評価参考値とすることが可能となる。
- (10) FWD 調査の詳細については**付録-20**に示す。
- (11) 熱赤外線調査は、健全部と層間剥離部で舗装表面温度が異なることを利用し、舗装表面温度を熱赤外線カメラにより観察することで、層間剥離の発生位置を特定するものである。
- (12) 熱赤外線調査における健全部と層間剥離部の舗装表面温度差は、夜間より昼間の方が大きいため、熱赤外線調査は昼間に実施する方が層間剥離の位置を検出しやすいが、空港の運用上の観点から、一般的には夜間に実施される。
- (13) 熱赤外線調査では、層間剥離の全ての位置を正確に検知することは困難であるが、層間剥離箇所の多い箇所、少ない箇所を判別することは可能である。
- (14) 滑走路の全域のように広範囲の熱赤外線調査を行う際には、作業車等を用いて熱赤外線画像を連続的に撮影することが効率的である。ただし、小規模面積の調査（例えば、目視で

発見された破損部周囲の層間剥離状況の確認) の場合は、巡回点検等において点検者が熱赤外線カメラのモニタにより舗装表面温度を観察することで、リアルタイムで簡易に層間剥離を検出可能なことから、概査としては効率的な調査方法である。

- (15) 熱赤外線調査により危険箇所を特定した後は、打音調査により入念な調査を行うことが望ましい。
- (16) 熱赤外線カメラにより舗装表面温度を確認する際、グルーピングや舗装表面に付着したゴムがノイズとして撮影される場合がある。前者については、グルーピングが縞模様として撮影されるものであるが、撮影角度や撮影高さを調整することで除去することが可能⁶⁷⁾である。また、後者については、付着したゴムと舗装表面の材料特性（放射率）が異なることにより、両者の温度が同じであっても、熱赤外線画像上では両者の温度が異なると判別されるものであるが、天空からの赤外放射を遮蔽しながら撮影することで除去することが可能⁶⁹⁾である。
- (17) 熱伝導特性の違いによる剥離部と健全部の温度差により層間剥離位置を検出するシステムのため、季節や天候の影響を受けやすい。季節は春から秋、天候は晴天時が望ましい気象条件といえる。
- (18) 熱赤外線調査の詳細については**付録-21**に示す。

Ⅲ-2.3.2 解体調査

解体調査は、アスファルト舗装の構造上の問題及びその原因を直接的に評価するために、各種試験を行うものとする。

- (1) 解体調査は、その目的と活用方法を明確にするとともに、FWD 調査結果のみならず、当該空港及び対象となる施設における航空機の走行頻度、破損の状況、過去の緊急補修の頻度や調査例等を参考にして、適切な調査項目、数量等を計画する必要がある。
- (2) 解体調査の実施については、**表Ⅲ-2.4**を参考とすることができる。

表Ⅲ-2.4 解体調査の実施の目安

		路面の調査
		問題あり
構造の調査	問題のある可能性小	A
	問題のある可能性大	A+B

A：アスファルト混合物を対象とした解体調査

B：路盤、路床を対象とした解体調査

- (3) 解体調査は、撤去・掘削、調査・試験、舗装復旧の3工程からなり、1箇所あたりの調査に時間を要する。このことから、供用中の空港では、厳しい制限時間のなかでも空港運用に支障の無いようにする必要がある。一般的には切取りコア供試体による調査に比べて、テストピットによる調査は費用が高いため、試験箇所数が限定されるという短所はあるが、設計法に即した形での舗装現況の把握、破損原因の究明等が可能となる。

- (4) アスファルト舗装における標準的な解体調査項目を**表Ⅲ-2.5**に示す。
- (5) 解体調査では制限時間内に舗装復旧まで行う必要があり、撤去・掘削と舗装復旧の作業時間が長いため、これらの所要時間を含めた十分な調査計画の検討が必要である。

表Ⅲ-2.5 解体調査による試験項目と試験仕様

試験項目	試験法	試験場所	実施の目安
アスファルト混合物の断面測定	—	現場	A
アスファルトの抽出試験	※G028	室内	A
アスファルトの回収試験	※G029		A
アスファルト混合物のマーシャル安定度試験	※B001		A
アスファルト混合物の密度試験	※B008-1		A
アスファルト混合物の最大密度試験	※G027		A
アスファルト混合物の水分量測定	炉乾燥法 (100℃,48 時間)		A
アスファルトの DSR 試験	※A062		A
アスファルトの組成分析試験	※A055		A
アスファルト混合物の修正ロットマン試験	ASTM D4867 /D4867M		A
アスファルト混合物のレジリエントモデュラス試験	※B015T		C
アスファルト混合物の曲げ疲労試験	※B018T		C
路床・路盤の断面測定	—	現場	B
路床の CBR 試験	JIS A 1211	室内	B
	JIS A 1222	現場	
路盤の修正 CBR 試験	※E001	室内	B
路盤の締固め試験	JIS A 1210 JIS A 1214	現場及び 室内	B
路盤の現場密度試験	JIS A 1214	現場	B
路床・路盤の繰返し平板載荷試験	JHS 103		C
路床土・路盤材の レジリエントモデュラス試験	※E016	室内	C

試験法 ※印 : 舗装調査・試験法便覧²⁾による番号
 JHS : NEXCO 試験法^{70), 71)}
 JIS : 日本産業規格による規格

実施の目安 A : アスファルト混合物層を対象とした解体調査
 B : 路盤, 路床を対象とした解体調査
 C : 荷重支持性能の設計供用期間 (20 年) が経過している場合や,

表層の耐久性能の設計供用期間（10 年）が経過していないにも係わらず破損が進行している場合に推奨される試験

- (6) 解体調査の現場における作業可能時間は、作業時期や空港毎の滑走路閉鎖時間により異なるが、参考として解体調査の現場における標準的な作業時間を表Ⅲ-2.6～表Ⅲ-2.8 に示す。

表Ⅲ-2.6 解体調査（テストピット調査）の現場における標準作業時間の例

作業内容	所要時間	備考
入場	15 分	
舗装版切断＋撤去	85 分	1.0m×2.0m×0.4m 試料採取時間が含まれる
路盤掘削	50 分	粒状路盤厚 0.5m 試料採取時間が含まれる
調査・試験	x 分	表Ⅲ-2.7, 表Ⅲ-2.8 を参照
舗装復旧	155 分	路盤復旧工 55 分 アスファルト舗装工 100 分
養生	40 分	表面温度 50℃
片付け	15 分	
合 計	360+x 分	

表Ⅲ-2.7 アスファルト混合物の切取りコア供試体採取に要する作業時間

供試体の寸法		所要時間	適用
φ 100mm	湿式	20 分／箇所	室内試験用
	乾式	40 分／箇所	室内試験用（含水量試験等）
φ 102mm 又は φ 152mm		20 分／箇所	レジリエントモデュラス試験用

表Ⅲ-2.8 路床・路盤の現場試験・試料採取に要する作業時間

試験項目	所要時間	適用
試料採取	60 分／試料	室内試験用
現場密度試験	30 分／箇所	砂置換法
繰返し平板載荷試験	60 分／試料	繰返し 3 段階載荷
CBR 試験	30 分／箇所	CBR 試験

- (7) アスファルト舗装の解体調査の試験項目及び頻度は、**表Ⅲ-2.9**を参考とすることができる。テストピットは、舗装の状況を把握するのに適切な箇所数とする。テストピットの寸法は、原位置試験を行う場合は幅 2m×長さ 1m、試料の採取のみを行う場合は幅 1m×長さ 1m を標準とする。

表Ⅲ-2.9 アスファルト舗装の解体調査の試験項目及び頻度

試験項目	試験対象	頻度
現場密度試験	上層路盤，下層路盤	テストピット 1 箇所あたり各々 3 個
CBR 試験	路床	テストピット 1 箇所あたり 3 個
繰返し平板載荷試験	上層路盤，下層路盤，路床※	テストピット 1 箇所あたり各々 1 回
路床材・路盤材の 室内試験	上層路盤，下層路盤，路床	テストピット 1 箇所あたり必要量
アスファルト混合物の 室内試験	アスファルト混合物	テストピット 1 箇所あたり必要量

※下層路盤や路床の繰返し平板載荷試験は作業時間が長いため必要に応じて実施する。

- (8) アスファルト混合物の室内試験の試料採取は、 $\phi 100\text{mm}$ のコアーカッター等により行うことができる。
- (9) CBR 試験用の試料採取は、 $\phi 200\text{mm}$ のコアーカッターにより行う方法がある。
- (10) 上層路盤にアスファルト安定処理材あるいはセメント安定処理材を用いている場合には、必要に応じてアスファルト混合物の室内試験やセメント安定処理材の一軸圧縮試験の試験項目を追加する必要がある。
- (11) 東京国際空港における解体調査では、アスファルト混合物の変形特性を検討するためのホイールトラッキング試験，剥離抵抗性を検討するための修正ロットマン試験，水浸ホイールトラッキング試験等が実施された実績がある。

Ⅲ-3 アスファルト舗装の評価

Ⅲ-3.1 総則

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">(1) アスファルト舗装は、供用後に航空機の荷重作用及び気象作用等を受けて破損が進行し、舗装の機能が低下することから、適切な時期に最適な補修を実施するための評価を行うものとする。(2) アスファルト舗装の破損には、主として路面性状に関する機能上のものと、路床、路盤及びアスファルト混合物層の破損に関する構造上のものがあるので、これらを適切に評価するものとする。(3) アスファルト舗装の路面の評価では、路面性状調査及びすべり摩擦係数調査の結果に基づき、走行安全性能を総合的に評価するものとする。また、設計供用期間及び交通履歴等も踏まえ、補修の必要性を判断するものとする。(4) アスファルト舗装の構造の評価では、非破壊調査及び解体調査の結果に基づき、荷重支持性能及び表層の耐久性能を総合的に評価するものとする。また、設計供用期間及び交通履歴等も踏まえ、補修規模・補修工法を判断するものとする。 |
|---|
- (1) アスファルト舗装の補修を行うには、舗装の状況を把握するとともに、舗装の破損の原因を理解することが必要である。**表Ⅲ-3.1**はアスファルト舗装の破損の分類とその主な原因をとりまとめたものである。
 - (2) 路面の評価は、アスファルト舗装に求められる走行安全性能の現状を的確に把握することが目的であり、補修を実施する時期を決定するために実施する。
 - (3) 構造の評価は、アスファルト舗装に求められる荷重支持性能及び表層の耐久性能を的確に把握することが目的であり、補修の規模や補修工法を決定するために実施する。

表Ⅲ-3.1 アスファルト舗装の破損の分類と原因

破損の分類			主な原因
主として路面性状に関する破損	局所的なひび割れ	へアークラック	混合物の品質不良，転圧温度の不適による転圧初期のひび割れ，混合物の老化
		線状ひび割れ	施工不良，切盛境の不同沈下，施工目地の不良，過大な温度応力，混合物の老化
	変形	わだち掘れ 縦断方向の凹凸	過大な荷重，混合物の安定性不足 混合物の品質不良，路床・路盤の支持力の不均一，地盤の不同沈下
		コルゲーション	混合物の品質不良，層間接着不良
		くぼみ	路床・路盤の転圧不足，地盤の不同沈下
	摩耗	ポリッシング	混合物の骨材品質不良，混合物の品質不良
		はがれ	混合物の品質不良，転圧不足
	崩壊	ポットホール	混合物の品質不良，混合物の転圧不足
		剥離	骨材とアスファルトの親和力不足，混合物に浸透した水
		老化	混合物中のアスファルトの劣化
		グルーピングの角欠け・つぶれ・変形	混合物の品質不良，過大な荷重・交通量
	その他	ブリージング	プライムコート・タックコートの施工不良，混合物の品質不良，アスファルトの品質不良
		タイヤ跡	異常な気温，混合物の品質不良
		きず	事故等
		ブリストリング（表面ぶくれ）	混合物の品質不良，表層下の水分等の膨張，タックコートの養生不足
		ブラスト焼け	高温のブラスト
主として構造に関する破損	全面的なひび割れ	亀甲状ひび割れ	舗装厚不足，混合物・路盤・路床の不適，過大な荷重・交通量，地下水

Ⅲ-3.2 路面の評価

Ⅲ-3.2.1 路面性状調査に基づく評価

アスファルト舗装の路面の評価は、路面性状調査の結果より求められるひび割れ率、わだち掘れ及び BBI に基づき行うものとする。

- (1) アスファルト舗装の破損は表Ⅲ-3.1 に示すように多岐にわたる。一般には、ひび割れ、わだち掘れ、平坦性の低下などが複合していることが多いが、個別項目だけの破損が大きく、他の項目はほとんど問題がない場合もある。したがって、アスファルト舗装の路面の評価に大きく影響すると考えられるひび割れ率、わだち掘れ及び平坦性の3項目について、表Ⅲ-3.2 に示す各項目に対する評価基準を参考とし、総合的な判断により補修の必要性を評価する必要がある⁷²⁾。

表Ⅲ-3.2 アスファルト舗装破損の各項目に対する評価基準の例

項目	舗装区分	評価				
		A	B1	B2	B3	C
ひび割れ率 (%)	滑走路	0.1 未満	0.1 以上 2.2 未満	2.2 以上 4.4 未満	4.4 以上 6.5 未満	6.5 以上
	誘導路	0.9 未満	0.9 以上 4.8 未満	4.8 以上 8.8 未満	8.8 以上 12.7 未満	12.7 以上
	エプロン	1.9 未満	1.9 以上 6.9 未満	6.9 以上 12.0 未満	12.0 以上 17.0 未満	17.0 以上
わだち掘れ (mm)	滑走路	8 未満	8 以上 15 未満	15 以上 23 未満	23 以上 30 未満	30 以上
	誘導路	14 未満	14 以上 24 未満	24 以上 36 未満	36 以上 46 未満	46 以上
	エプロン	17 未満	17 以上 29 未満	29 以上 41 未満	41 以上 53 未満	53 以上
BBI	滑走路	1.0 を超過する箇所について、パイロットレポート等で振動が大きい等の報告がある場合、当該箇所の凹凸が走行に及ぼす影響を航空会社にヒアリングし、補修の必要性を判断する。				
	誘導路					
	エプロン					

(注) A：補修の必要はない

B：近いうちの補修が望ましい

(B1：優先度 低, B2：優先度 中, B3：優先度 高)

C：できるだけ早急に補修の必要がある

- (2) アスファルト舗装の路面の評価にあたっては、老化による剥離、摩耗、変形による排水条件の悪化等が生ずるため、これらの項目でも顕著な破損の進行が認められれば、評価項目として判定の対象にする必要がある。
- (3) BBI による平坦性評価は、独立した凹凸に着目したものである⁸⁴⁾。そのため、評価対象施設の BBI が評価基準値以下であっても、パイロットレポート等から平坦性の低下が懸念される箇所については、縦断プロファイルデータにおける周期的な凹凸の有無について留意する必要がある。
- (4) 誘導路には、勾配変化点があることが多く、勾配変化点における凹部・凸部が航空機の走行に支障がない場合であっても、BBI が大きくなることがある。
- (5) わだち掘れ量の算出方法は、平成 29 年 4 月に**付録-22**に示す方法に改訂した。そのため、改訂前後のわだち掘れ量の比較を行う場合には、改訂前に測定した横断プロファイルデータを用いて**付録-22**に示す方法によりわだち掘れ量を再算出することが望ましいが、改訂前の算出方法によるわだち掘れ量に 0.8 を乗じたものを、改訂後の算出方法によるわだち掘れ量として比較しても良い⁸⁶⁾。

Ⅲ-3.2.2 すべり摩擦係数調査に基づく評価

アスファルト舗装の路面のすべり抵抗性は、SFT により測定したすべり摩擦係数により評価を行うものとする。

- (1) 滑走路に求められる走行安全性能のうちすべりに対して、路面のすべり抵抗性の評価を行う必要がある。
- (2) 路面のすべり抵抗性が小さくなり、走行安全性能に問題がある場合には、路面に付着しているゴムの除去を検討し、ゴム除去ではすべり抵抗性の回復が不十分な場合には、オーバーレイ工法あるいは切削打換え工法による補修を検討する。

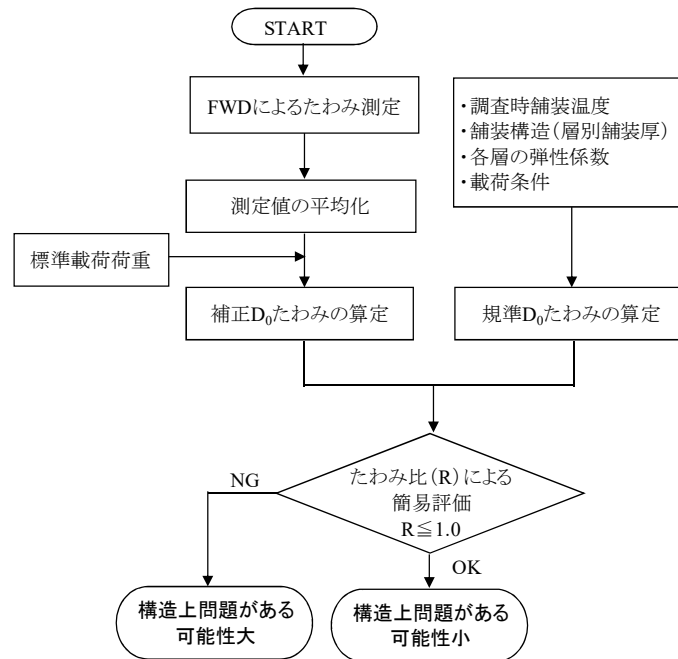
Ⅲ-3.3 構造の評価

Ⅲ-3.3.1 非破壊調査に基づく評価

非破壊調査による評価から、解体調査位置及び解体調査内容を選定するものとする。

- (1) FWD による非破壊調査で取得したたわみデータから求められる、補正 D_0 たわみ（載荷版中心たわみ）と規準 D_0 たわみとの比によるたわみ比から、アスファルト舗装の構造の評価を行うものとする。
- (2) 熱赤外線による非破壊調査で取得した熱赤外線画像データより、層間剥離に対する評価を行うものとする。

- (1) FWD を用いたアスファルト舗装のたわみ測定による構造評価のフローを**図Ⅲ-3.1**に示す。



図Ⅲ-3.1 FWD を用いたアスファルト舗装のたわみ測定による構造評価フロー

- (2) FWD によるたわみ量は、載荷荷重により変化するので、標準載荷荷重を設定しておく必要がある。標準載荷荷重は 200kN とすることができる。測定時の載荷荷重が標準載荷荷重以外の場合は補正する必要がある。補正方法は付録-20 を参照することができる。
- (3) アスファルト混合物層の変形係数は、温度及び載荷荷重の速度により大きく変化するため、規準たわみは、路面の温度及び FWD 載荷荷重の載荷時間を考慮して、多層弾性解析プログラム等により算出する必要がある。
- (4) 規準たわみの計算に使用することができる多層弾性理論プログラムは、わが国で開発されたものとして、ELSA¹⁷⁾、GAMES³⁾がある。
- (5) FWD 調査のたわみ量による評価は、補正 D_0 たわみと規準 D_0 たわみの比であるたわみ比により構造の評価を行う。たわみ比が 1.0 以上となった場合は、舗装の構造に疑念があると判断し、その地点を解体調査での候補地点とすることができる。
- (6) たわみ比は、「調査地点の舗装厚において FWD 載荷荷重により理論的に生じうるたわみ」と「調査地点の舗装厚における実測たわみ」の比であるため、調査地点の舗装厚が本来必要な舗装厚に対して不足している場合であっても、たわみ比が小さく評価される場合がある。
- (7) FWD による舗装構造評価を迅速に実施するプログラムとしては、国土交通省 国土技術政策総合研究所が所有する舗装構造解析プログラムがある。
- (8) 熱赤外線調査による評価は、撮影された舗装表面の熱赤外線画像から、健全部と層間剥離部で舗装表面温度が異なることを利用し、層間剥離の発生位置を特定することにより行うことができる。層間剥離部の舗装表面温度については、夜間は健全部よりも低くなり、日中は健全部よりも高くなる^{67), 68)}。

Ⅲ-3.3.2 解体調査に基づく評価

解体調査に基づき、アスファルト舗装の材料性状及び構造の健全度について総合的な評価を行うものとする。

(1) 解体調査による構造の評価として、健全であるとする目安値を**表Ⅲ-3.3**に示す。

表Ⅲ-3.3 解体調査において健全であるとする目安値の例

試験項目	測定項目	目安値
アスファルトの抽出試験	アスファルト量 (%) 及び骨材粒度	アスファルト量：配合設計値から±0.3 以内（表層・基層） 骨材粒度：空港土木工事共通仕様書に記載の粒度範囲内
アスファルトの回収試験		
アスファルトの DSR 試験	$G^*\sin\delta$ (25℃ kPa)	表Ⅲ-3.4 参照 ⁹⁰⁾
アスファルト混合物の マーシャル安定度試験	マーシャル安定度 (kN)	表Ⅲ-3.6 参照
アスファルト混合物の 密度試験	空隙率 (%)	(表層) 3～5% (基層) 3～6%
アスファルト混合物の 水分量測定	含水量 (%)	1%以下 ⁷³⁾
路床の CBR 試験	CBR (%)	設計値以上
路盤の修正 CBR 試験	修正 CBR (%)	空港土木工事共通仕様書に記載の規定値以上
路盤の締固め試験	締固め度 (%)	最大乾燥密度の 95%以上 (粒度調整碎石)

※ (社) 日本アスファルト協会 アスファルト，第 33 巻，第 164 号，p.78，1990.

(2) 一般的なアスファルト舗装の評価を以下に示す。

- (i) アスファルトが劣化すると、アスファルトの粘弾性状を表す指標である $G^*\sin\delta$ は大きくなる傾向がある。一般的なひび割れとアスファルトの関係を**表Ⅲ-3.4**に示す。**表Ⅲ-3.4**は、ストレートアスファルトと改質アスファルトの両方に適用してよいものとする。

表Ⅲ-3.4 ひび割れとアスファルトの関係

物性値	ひび割れとの関係
$G^*\sin\delta$ (kPa)	2,700 でひび割れ発生
	4,600 以上でひび割れ増大

- (ii) アスファルト混合物の空隙率が小さいと、わだち掘れやブリスタリングの原因となり、大きいと水分の浸入等によるアスファルトの劣化の原因となることがある。配合設計時におけるマーシャル試験に対する空隙率の基準値として、表層で2～5%、基層で3～6%としている。また、アスファルト混合物の空隙率が3%以下になるとブリスタリングが発生しやすい傾向を示す。
- (iii) アスファルト混合物中の水分が多いと、骨材剥離やブリスタリングの原因となることがある。アスファルト混合物中の含水比が1%以上になると、ブリスタリングが発生しやすいといわれているが、含水比は混合物の空隙率によって大きく変動するので注意が必要である⁷³⁾。
- (iv) アスファルト混合物の粒度は、2.36mmと75 μ m通過率が多いと、流動によるわだち掘れが生じやすい傾向を示す。配合設計時における粒度範囲の規定値は、表層で2.36mm通過率は35～50%、75 μ m通過率は4～8%としている。
- (v) マーシャル安定度は供試体厚により変化することから、得られた値に対して、供試体厚に応じて得られた補正係数⁷⁴⁾を乗じて、マーシャル安定度を補正する必要がある。表Ⅲ-3.5に主な供試体のマーシャル安定度補正係数を参考に示す。

表Ⅲ-3.5 マーシャル安定度補正係数

供試体の厚さ (mm)	30.0	40.0	50.0	63.5	70.0	75.0
補正係数	4.76	3.17	1.98	1.00	0.79	0.74

- (vi) マーシャル安定度試験による評価は表Ⅲ-3.6とすることができる。

表Ⅲ-3.6 マーシャル安定度試験による評価の目安値の例

表・基層		アスファルト安定処理上層路盤	
マーシャル安定度	評価	マーシャル安定度	評価
8.8kN 以上	A	4.9kN 以上	E
4.9kN 以上 8.8kN 未満	B		
3.45kN 以上 4.9kN 未満	C	3.45kN 以上 4.9kN 未満	F
3.45kN 未満	D	3.45kN 未満	G

A：表・基層として引き続き使用しても問題ない。

B：切削が望ましいが、存置する場合は表・基層として扱うことができる（構造設計においては、アスファルト混合物層とみなしてよい）。

C：切削が望ましいが、存置する場合はアスファルト安定処理上層路盤として扱うことができる（構造設計においては、アスファルト混合物層とみなしてよい）。

D：切削が望ましいが、存置する場合は粒状路盤として扱う（構造設計においては、アスファルト混合物層とはみなさない）。

E：アスファルト安定処理上層路盤として引き続き使用しても問題ない。

F：切削が望ましいが、存置する場合はアスファルト安定処理上層路盤として扱うことができる（構造設計においては、アスファルト混合物層とみなしてよい）。

G：切削が望ましいが、存置する場合は粒状路盤として扱う（構造設計においては、アスファルト混合物層とはみなさない）。

(vii) アスファルトが酸化して劣化すると、アスファルトの組成成分のうち、アスファルテン分、レジン分が増加し、芳香族分・飽和分は減少する傾向を示す。

(viii) 粗粒度アスファルト混合物の剥離抵抗性に関する詳細な評価方法としては、修正ロットマン試験による方法があり⁸⁵⁾、残留圧裂強度が 0.7MPa 未満となる場合は、当該アスファルト混合物の剥離抵抗性が低いと考えられる。

(3) 路床・路盤については、CBR 試験、現場密度試験及び繰返し平板載荷試験の結果を設計時における値と比較すること等により健全度及び支持力を評価することができる。

Ⅲ-4 アスファルト舗装の補修

Ⅲ-4.1 総則

アスファルト舗装の補修は、破損の形態や破損の程度に基づき、対象施設の運用条件、経済性及び将来計画等も考慮し、総合的に判断して行うものとする。

(1) 空港舗装の補修では、空港運用上の理由により、補修工事にあたり施工時間帯等の制約条件が課されることが多い。そのため、最適な補修工法として必ずしも低廉な補修工法が選定されない場合がある。

Ⅲ-4.2 補修工法の選定

Ⅲ-4.2.1 総則

アスファルト舗装の補修工法は、既設舗装に対する調査の結果に基づき、求められる性能を回復させるため、破損状況及び構造上の問題の有無により、適切に選定するものとする。

(1) アスファルト舗装の補修工法としては、オーバーレイ工法、切削打換え工法が一般的である。構造上の問題の有無にかかわらず、いずれの補修工法も選択することができるが、既設舗装の破損状況に応じて、経済性、確実性及び施工性を総合的に検討し、最適な補修工法を選定する必要がある。

(2) 空港舗装の補修では、空港施設の運用上の関連から時間的制約条件が厳しく、補修工事のために施設閉鎖や、施工期間を十分に確保することが難しい場合が多い。そのため、現場での施工可能時間に十分留意した補修工法の選定が必要である。

(3) 縦横断勾配については、航空法施行規則第 79 条等に記載されている該当する勾配を逸脱しないよう設計し、施工する必要がある。

(4) 構造上問題のない場合の考え方

(i) 構造上問題のない場合とは、既設舗装の材料性状が低下して、路面に破損が生じているが、その原因が舗装構造上の問題に起因していない状態をいう。

(ii) 舗装の路面性状の回復のみを目的とした補修では、経済性や施工性からオーバーレイ工

法が一般的に採用される。しかし、表層材料の老化等が著しい場合には、切削打換え工法の選定を検討する必要がある。

- (iii) 構造上問題のない状態であっても、補修後の設計供用期間内において、将来的に路床・路盤の支持力低下により構造上の問題が生じる可能性もあるため、補修設計にあたっては、支持力低下に対する評価を行うことが望ましい。

- (iv) 構造上問題のない場合の補修設計では、材料設計について検討する必要がある。

(5) 構造上問題のある場合の考え方。

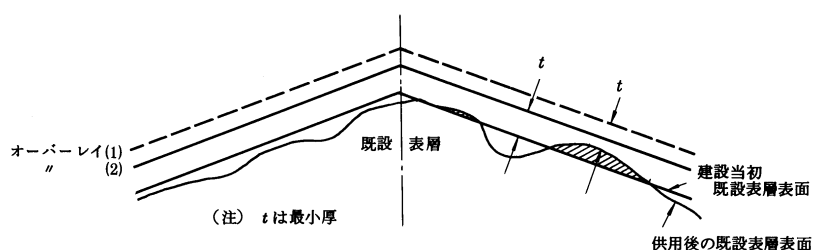
- (i) 構造上問題のある場合とは、主にアスファルト混合物層に疲労ひび割れが多数発生している状態や、路床・路盤の支持力が低下しているなど、荷重支持性能に問題があり、これが原因となって舗装が破損している状態をいう。また、構成材料の性能低下に起因して舗装が破損している状態をいう。
- (ii) 路床・路盤の支持力低下は、舗装厚の増加により対応可能であるため、アスファルト混合物層を増厚することが一般的であるが、その場合はアスファルト混合物層が厚くなることから、周囲との取付及び勾配に留意する必要がある。
- (iii) 既設舗装に層間剥離が認められる場合には、層間剥離が発生している層まで撤去することを検討する必要がある。
- (iv) 構造上問題のある場合の補修設計では、構造設計及び材料設計について検討する必要がある。

Ⅲ-4.2.2 補修工法

- (1) オーバーレイ工法については、施工後の縦断及び横断勾配が許容値以内になり、かつ経済的になるように、アスファルト混合物の舗装厚さ等について設計するものとする。
- (2) 切削打換え工法については、アスファルト舗装の状況を十分調査し、合理的な切削厚さを設定し、かつ経済的となるようにアスファルト混合物の舗装厚さ等について設計するものとする。
- (3) オーバーレイ工法及び切削打ち換え工法におけるアスファルト混合物の切削厚及び施工厚の設計では、経済性のみにより設定すると、同一施工厚の範囲が円形状・楕円形状に点在することがある。この場合、施工管理が煩雑となり品質が低下する恐れがあることから、日々の施工幅、施工延長、施工性等を考慮の上、切削厚さを調整し、同一施工厚の範囲をできるだけ連続的かつ矩形状に設定することが望ましい。

- (1) 表層及び基層の一層の最小仕上がり厚はⅡ-4.6 アスファルト混合物に関する細目に記載のとおりである。ただし、施工時に最大粒径が 20mm 以下の骨材を用いる基層にて交通開放する場合は、一層の最小仕上がり厚を 4cm とすることを標準とする。骨材の最大粒径の選択の目安はⅢ-4.6 材料設計を参考とする。
- (2) 表層及び基層の一層の最大仕上がり厚はⅡ-4.6 アスファルト混合物に関する細目に記載のとおりである。
- (3) 図Ⅲ-4.1 に示す斜線部分のような隆起は、これを切削撤去して補修必要厚を設定した方が経済的であることがあるので、切削面積、切削厚による全体的な舗装厚の減少、周辺構造

物との整合性、経済性等を考慮した上で適切に処置する必要がある。



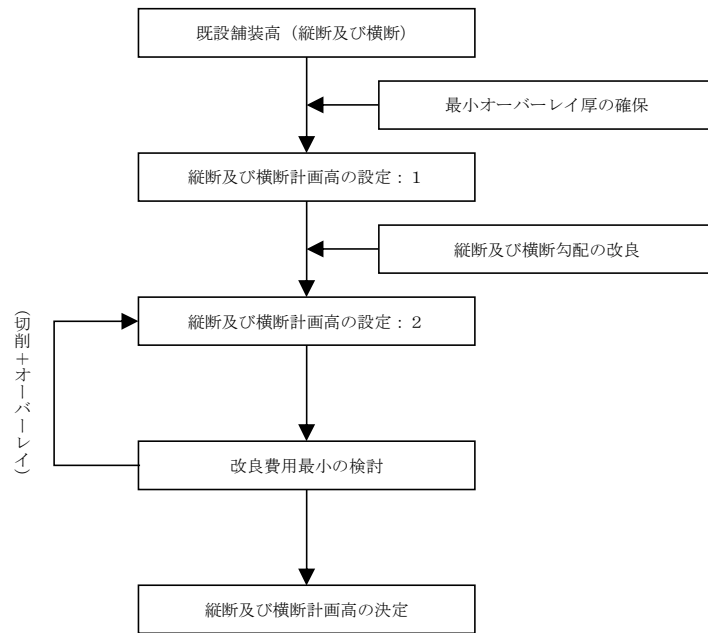
図Ⅲ-4.1 補修計画高の設定の考え方

- (4) 航空機の制動時並びに曲線部の走行時には、舗装表面に水平荷重が加わることとなる。舗装表面に水平荷重が加わる区域においては、不十分な層間付着や舗装体内への水分の浸入等の複合的な要因により、補修層と既設層との間、あるいは混合物層内部で剥離が生じ、舗装の破壊に至ることがある。このため、既設舗装表面の清掃、タックコートの養生、表層・基層の厚層化及び材料等について十分に検討し、適切な対応を行う必要がある。既設グルーピング上に直接補修を行う場合で補修層が薄く、新旧層の付着強度が問題となる場合には、必要に応じて、既設グルーピング面の切削や、既設面の標識塗料及び付着ゴムの除去について検討する必要がある^{75), 76)}。

Ⅲ-4.3 構造上問題のない場合の補修

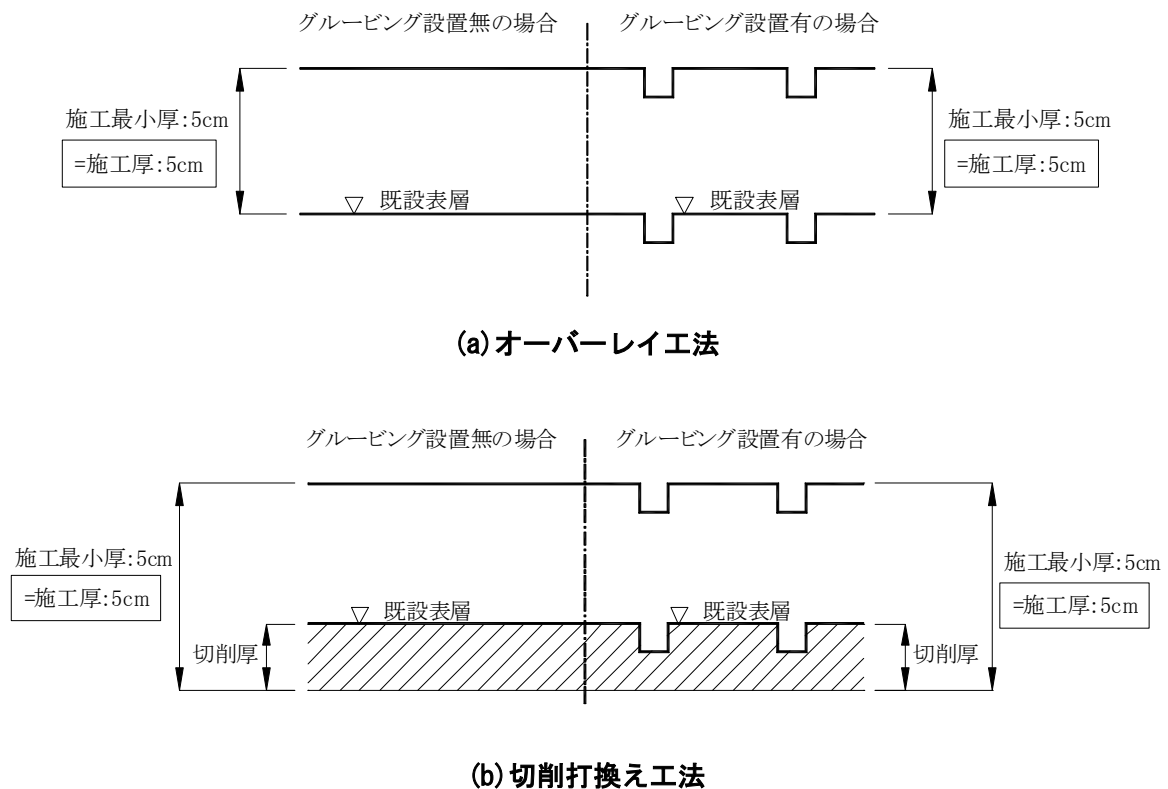
アスファルト舗装に対する路面の評価では補修の必要があるが、構造上問題のない場合には、走行安全性能及び表層の耐久性能を回復するための補修が必要であり、既設舗装の路面性状及び材料性状等を踏まえ、経済性及び施工性も含めて総合的に判断し、補修工法を選定するものとする。

- (1) 走行安全性能及び表層の耐久性能に対する照査は、Ⅱ-3、Ⅱ-4及びⅢ-4.6により実施する。
- (2) アスファルト舗装が縦断方向の凹凸やくぼみ等で平坦性が低下している場合は、一般的には平坦性を改良するためのオーバーレイ工法による補修が行われる。しかし、エプロン区域などで周辺の構造物等との取付けや縦横断勾配が基準値を逸脱する等の問題が生じる場合には、切削打換え工法による補修が行われる。
- (3) 表層・基層の塑性流動が主体的なわだち掘れの場合には、構造全体の問題ではないので、一般的にはわだち掘れ発生部における切削打換えあるいはオーバーレイにより平坦性の改良を図る補修が行われる。
- (4) 表層材の老化等でひび割れが入っているが、構造上問題のない場合には、切削打換え工法による補修が一般的に行われている。
- (5) 平坦性を改良するための補修設計は、一般的には図Ⅲ-4.2のようなフローに従って行われる。



図Ⅲ-4.2 平坦性を改良するための補修設計フロー

- (6) 構造上問題のない場合における，オーバーレイ工法及び切削打換え工法の補修施工厚の考え方を図Ⅲ-4.3に示す．



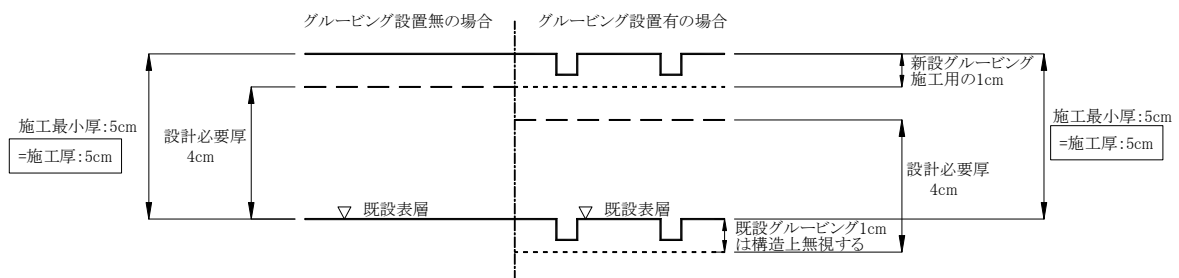
図Ⅲ-4.3 構造上問題のない場合の例（骨材最大粒径が 20mm の場合）

- (7) 施工目地が開口しているが、構造上問題のない場合には、この部分は切削打換えによる補修が一般的に行われている。

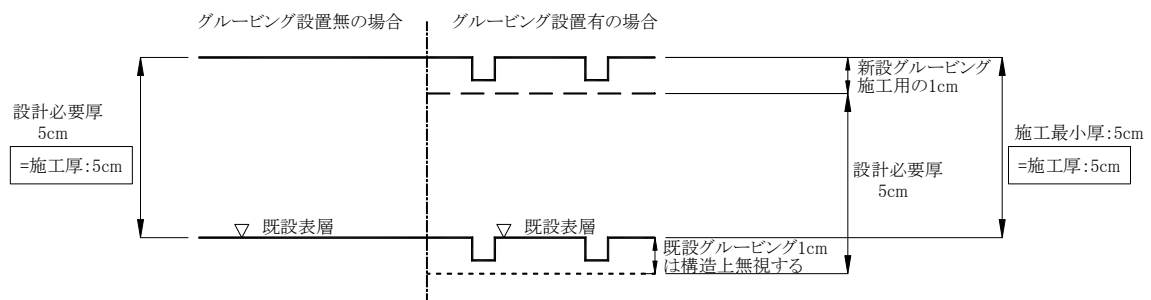
Ⅲ-4.4 構造上問題のある場合の補修

構造上問題があると評価された場合、あるいは、近い将来に構造上の問題が懸念される場合においては、荷重支持性能、走行安全性能及び表層の耐久性能を回復するための補修が必要であり、解体調査結果を踏まえ、経済性及び施工性も含めて総合的に判断し、補修工法を選定するものとする。

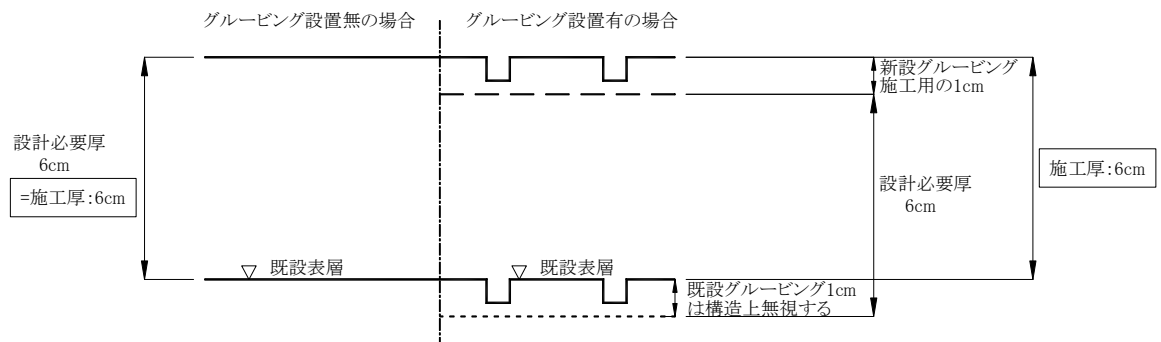
- (1) 荷重支持性能に対する照査は、Ⅱ-2 及びⅢ-4.5 により実施する。
- (2) 走行安全性能及び表層の耐久性能に対する照査は、Ⅱ-3、Ⅱ-4 及びⅢ-4.6 により実施する。
- (3) ブリスタリング対策を実施する場合は、表層の厚層化及び通気性向上のための空隙率を高める検討が必要であり、表層の 1 層仕上がり厚は 8cm、表層の空隙率は 3% 以上を標準とする。また、耐流動性や剥離抵抗性に優れた改質アスファルトの使用を標準とする。改質アスファルトについては、既に主要空港において使用実績がある。
- (4) 構造上問題のある場合におけるオーバーレイ工法及び切削打換え工法の補修施工厚の考え方を図Ⅲ-4.4～図Ⅲ-4.5 に示す。既設グルーピング (1cm) は構造上無視するものとし、既設グルーピング (1cm) の下面からの厚さとする。グルーピングを表層に新設する場合は、設計上必要厚に 1cm を加える。



(a) オーバーレイ工法で設計必要厚が 4cm の例

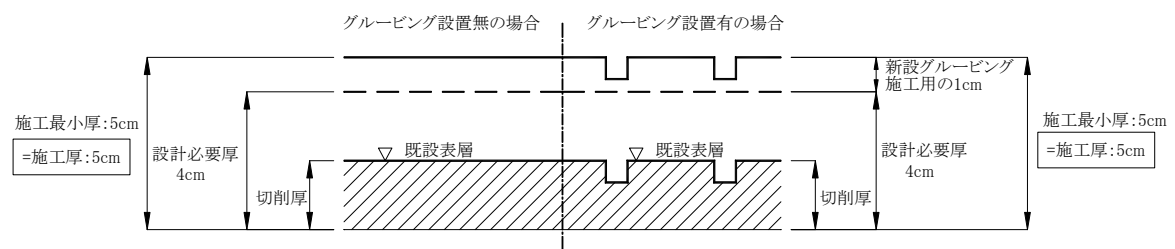


(b) オーバーレイ工法で設計必要厚が 5cm の例

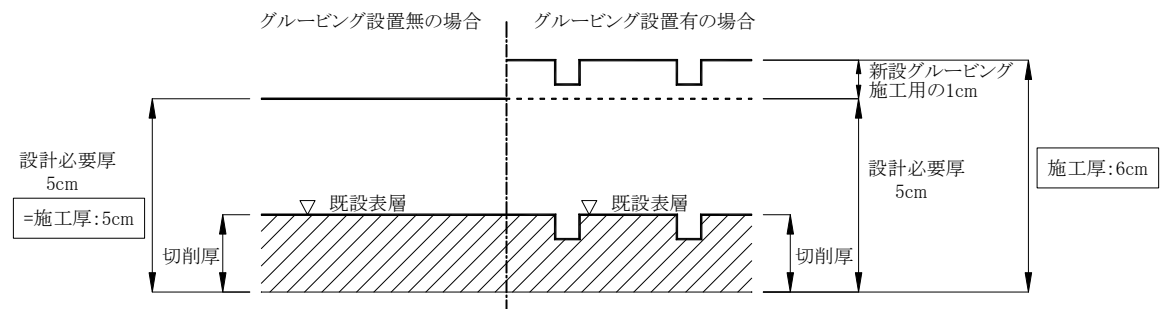


(c) オーバーレイ工法で設計必要厚が 6cm の例

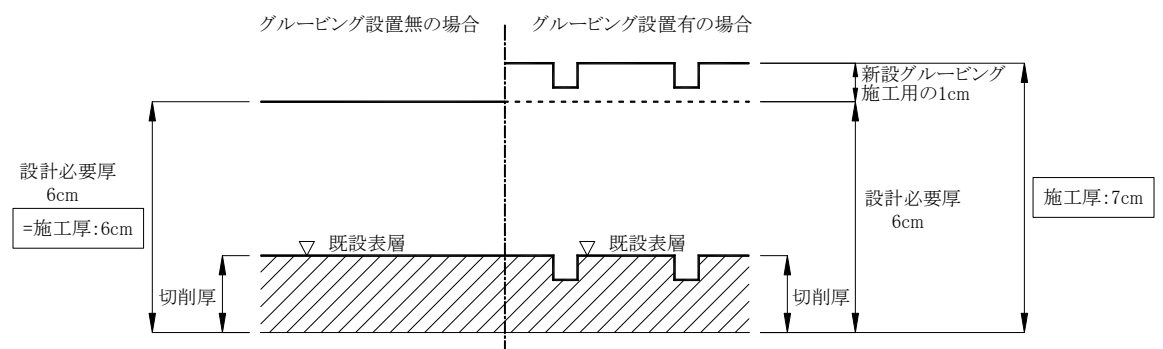
図Ⅲ-4.4 構造上問題のある場合：オーバーレイ工法の例（骨材最大粒径が 20mm の場合）



(a) 切削打換え工法で設計必要厚が 4cm の例



(b) 切削打換え工法で設計必要厚が 5cm の例



(c) 切削打換え工法で設計必要厚が 6cm の例

図Ⅲ-4.5 構造上問題のある場合：切削打換え工法の例（骨材最大粒径が 20mm の場合）

Ⅲ-4.5 構造設計

構造設計は、既設舗装の荷重支持性能の評価結果を踏まえ、荷重支持性能を回復させるために行うものとする。

- (1) 構造上問題のある場合には、アスファルト舗装に求められる性能を回復させるための補修を行う必要がある。基本的には既設舗装の補修のための構造設計は、経験的設計法や理論的設計法により算定される新設時の断面と既設舗装の断面を比較することにより実施する。

Ⅲ-4.6 材料設計

材料設計は、既設舗装の荷重支持性能、走行安全性能及び表層の耐久性能の評価結果を踏まえ、これらの性能を回復させるために行うものとする。

- (1) アスファルト舗装の補修に使用する材料は、「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」で示される品質規定を満足するとともに、当該空港や施設の特異性及び施工性を考慮して選定する。
- (2) 補修に使用するアスファルト混合物については、舗装体内への水分の浸入等による劣化要因を排除することを考慮して適切に選定する必要がある。
- (3) 補修工事完了後に所定の交通開放温度を確保することができない場合は、アスファルト混合物の中温化剤等の使用を検討する必要がある。
- (4) 表層のアスファルト混合物に使用する骨材の最大粒径については、設計航空機荷重区分が LA-3 以上の場合（ショルダー・過走帯の舗装を除く）、耐流動性の観点から 20mm 以上が望ましい。
- (5) 再生アスファルト混合物については、基本施設では、基層と上・下層路盤に適用することができるが、基本施設の基層においては、再生材混合率の上限は 40%を標準とする⁵⁸⁾（十分な検討をした上でこれ以上の再生材混合率によることも可能である）。特に再生材を基本施設の基層に使用する場合は、新材の基層に関するマーシャル試験に対する基準値を満足することに加え、水浸ホイールトラッキング試験（基層での交通解放が予定される場合の水浸条件は「舗装調査・試験法便覧²⁾：水浸ホイールトラッキング試験方法」における「上面からの水の浸透を対象にした場合」、基層での交通解放が予定されない場合の水浸条件は「下面からの水の浸透を対象にした場合」）による剥離面積率が 5%以下であるアスファルト混合物を使用することを標準とする。なお、新アスファルトとしてポリマー改質アスファルトを使用した再生改質アスファルト混合物については、現時点では十分な知見が得られていないことから、「舗装再生便覧⁷⁾」では具体的な配合設計方法は示されていない。
- (6) 最大粒径が 20mm 以下の骨材を用いる基層にて交通解放する場合は、一層の最小仕上がり厚を 4cm とすること標準とし、当該基層のアスファルト混合物の剥離、骨材飛散及び層間剥離等の早期の発生を抑制する観点から、(5)の規定に関わらず、新材の密粒度アスファルト混合物を使用することが望ましい。
- (7) アスファルト混合物層間を付着させるために散布するタックコートについては、アスファルト混合物との付着性が高く、作業車両のタイヤへの付着抑制効果があり、養生が短時間

で完了する速分解型アスファルト乳剤 PKM-T-Q（日本アスファルト乳剤協会規格 JEAAS-2020）を使用することを標準とする^{87), 88)}。

- (8) ブリスタリング対策を実施する場合は、表層の厚層化及び通気性向上のための空隙率を高める検討が必要であり、表層の 1 層仕上がり厚は 8cm、表層の空隙率は 3%以上を標準とする。また、耐流動性や剥離抵抗性に優れた改質アスファルトの使用を標準とする。改質アスファルトについては、既に主要空港において使用実績がある。
- (9) 表層用アスファルト混合物の一層の最大仕上がり厚は 8cm が標準であるので、補修舗装厚がグルーピング層を含めてこれを超えるようであれば、下層には基層用材料を用いることができる。
- (10) アスファルト混合物層が厚くなる場合には、層間に作用するせん断力の低減を図るため、表層・基層の厚層化について検討する必要がある。大粒径アスファルト混合物を使用したシックリフト（thick lift）工法⁷⁹⁾は有効な工法のひとつであるが、日々供用しながらシックリフト工法を実施する場合には、あらかじめ、交通開放温度の確保や粗骨材の飛散防止等について十分に検討する必要がある。
- (11) 施設の長寿命化等を目的として、以下の場合は、ショルダー及び過走帯を除いた本体部の表層に改質アスファルトを使用することを標準とする。なお、既存施設に用いた改質アスファルトでは以下の変状が多い場合は、よりグレードの高い改質アスファルトを使用するとよい。例えば、特殊改質アスファルトを採用した事例がある¹⁰³⁾。
 - ・ わだち掘れ、ひび割れ、グルーピングの変形、ポットホール、剥離等が多い滑走路、誘導路、エプロン及び GSE 通行帯の補修工事。
 - ・ ブリスタリング対策として実施する滑走路、誘導路及びエプロンの補修工事。
- (12) 舗装内部に滞水した水により、基層アスファルト混合物の骨材とアスファルトの剥離が促進され粒状化する場合があります、ポットホール等の局所突発的な破損が多発する原因となる。このような破損が多い滑走路、誘導路、エプロン及び GSE 通行帯の補修工事では、施設の長寿命化等を目的として、ショルダー及び過走帯を除いた本体部の基層に改質アスファルトを使用することを標準とする。なお、既存施設に用いた改質アスファルトでは上記の変状が多い場合は、よりグレードの高い改質アスファルトを使用するとよい。例えば、特殊改質アスファルトを採用した事例がある¹⁰³⁾。
- (13) 日毎の施工の境界や新旧アスファルト混合物層の境界であるアスファルト舗装の施工目地は、経年により開くことがあり、図 II-4.1 のように開いた施工目地から雨水が侵入すると、アスファルト混合物層が劣化し、施工目地周辺において局所突発的な破損が多発する原因となる。そのため、アスファルト舗装の補修では、施設全幅の補修を実施することで施工目地の開きを少なくするほか、ホットジョイントによる施工や成形目地材¹⁰⁰⁾を用いると良い。

III-4.7 施工計画

アスファルト舗装の補修工事における施工計画は、当該空港の運用に伴う工事制約条件、資機材調達条件及び施工の確実性等を十分に考慮して検討するものとする。

- (1) 空港舗装の補修工事は、一般的に夜間施工で日々交通開放する条件の下で行われ、時間的制約が非常に厳しいことから、十分な施工計画の検討が必要である。
- (2) 施工計画の検討において、一般的に留意すべき事項は以下のとおりである。
 - (i) 前提条件の設定
作業可能時間及び交通開放温度の目標値を設定する。
 - (ii) 日施工タイムスケジュールの検討
工種別作業能力、乳剤養生時間を設定した上で、入場から退場までの日施工タイムスケジュールを検討する。この際、機材投入台数をパラメータとして行う場合もある。
 - (iii) 日施工量の検討
日施工タイムスケジュールより日施工量を設定する。
 - (iv) 資機材調達の検討
日施工量より必要な合材量、投入機材を算定し、調達方法について検討する。
- (3) 既設舗装区域と補修区域の境界部は、アスファルト混合物の骨材最大粒径を考慮した施工最小厚を確保するよう、切削すり付けを行うことを標準とする。なお、切削すり付け工法についての詳細は**付録-16**に記載している。
- (4) 交通開放温度としての舗装表面温度は、ストレートアスファルト混合物で 50℃、改質アスファルト混合物で 70℃を上限とする。ただし、ショルダー、過走帯及び滑走路端安全区域では、交通開放温度を設けなくてよい。これは、交通開放後に航空機が走行する可能性が低いためである。
- (5) 舗設終了時点から供用開始までの舗装表面温度の経時変化は、熱伝導解析により求めることができる。1 層又は複数層に及ぶオーバーレイによる熱伝導解析を行うプログラムとして、国土技術政策総合研究所が所有する空港舗装温度解析プログラムがある⁷⁸⁾。
- (6) 空港舗装の補修工事では、航空灯火施設の設置状況等について留意する必要がある。また、補修工事に伴う舗装発生材を極力少なくすることも考慮する必要がある。
- (7) 表層舗設からグルーピングの施工までに一定期間を設けると、その期間中にアスファルト混合物がオイル分の減少により硬化し、施工するグルーピングの変形抵抗性が向上する。このため、補修工事後にグルーピングを施工する場合には、表層のアスファルト混合物を施工してから 2 ヶ月以上経過した後に行うことを標準とする。ただし、表層に改質アスファルト混合物を用いる場合には、施工してから 7 日以上経過した後にグルーピングを施工することができる²⁶⁾。
- (8) 補修の施工にあたっての留意点を**付録-17**に示す。
- (9) アスファルト舗装の新設・補修後には、早期に FWD によるたわみの初期値を測定することを標準とする。初期値を測定することにより、次期の補修にあたっての評価参考値とすることが可能となる。

第Ⅳ章 コンクリート舗装の新設

Ⅳ-1 総則

舗装設計では、コンクリート舗装が求められる性能を有することを、適切な方法により照査するものとする。

- (1) コンクリート舗装に求められる性能は、使用目的や構造によって様々であり、その性能項目ごとの求められるレベルも舗装によって異なる。舗装設計においては、求められる性能に対する照査項目を適切な方法で照査する必要がある。
- (2) 舗装設計編では、無筋コンクリート舗装に求められる性能として、荷重支持性能、走行安全性能を選定し、これらの一般的な照査方法を記述している。
- (3) ここで示す以外の性能に関して照査する場合、ここで記述する以外の方法で照査する場合には、舗装設計編の考え方に準じた適切な方法で行う必要がある。
- (4) プレストレストコンクリート舗装、連続鉄筋コンクリート舗装、プレキャストコンクリート舗装の設計方法は付録-10, 11, 12 において記載している。

Ⅳ-2 荷重支持性能の照査

Ⅳ-2.1 総則

- (1) コンクリート舗装は、設計供用期間中、所要の荷重支持性能を確保するものとする。
- (2) コンクリート舗装の荷重支持性能の照査は、路床・路盤の支持力、コンクリート版の疲労ひび割れ、凍上のうち、舗装の使用目的や適用箇所に応じて必要とされるものに対して行うものとする。

- (1) 路床・路盤は、コンクリート版を支持する層であり、適切な支持性能を有する必要がある。
- (2) コンクリート版のひび割れは、交通荷重、温度変化及びコンクリートの収縮作用により発生し、これらの作用の繰り返しに対して検討する必要がある。

Ⅳ-2.2 路床・路盤の支持力に対する照査

Ⅳ-2.2.1 総則

- (1) 路床・路盤は、設計供用期間において所要の荷重支持性能を確保するように適切な方法により照査するものとする。
- (2) 路床・路盤の荷重支持性能に対する照査は、コンクリート版の変形に対する照査により行うものとする。コンクリート版の変形に対する照査は、コンクリート版の設計たわみ w_d のたわみの設計限界値 w_{dl} に対する比に重要度係数 γ_i を乗じた値が、1.0 以下であることを確認するものとする。

$$\gamma_i \cdot w_d / w_{dl} \leq 1.0$$

- (i) たわみの設計限界値 w_{dl} は、たわみの限界値 w_l を構成層係数 γ_b で除した値とするものとする。

$$w_{dl} = w_l / \gamma_b$$

- (ii) 設計たわみ w_d は、適切な方法により算定されたたわみ w に構造解析係数 γ_a を乗じた値

とするものとする。

$$w_d = \gamma_a \cdot w$$

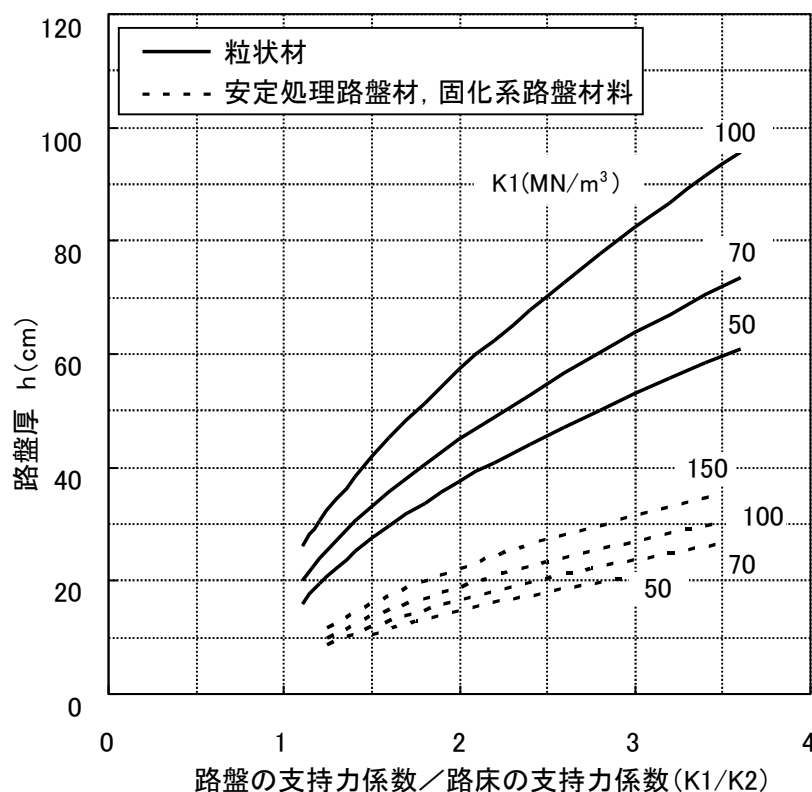
- (3) 多くの経験により、たわみが十分に小さいことがわかっている舗装構造とする場合には、所要の支持力を満足するとみなすことができる。

- (1) 路床・路盤は、コンクリート版を支持する層であり、その荷重支持性能が低下するとコンクリート版に過大な応力が発生し寿命の減少を招くため、設計供用期間にわたって路床・路盤が所要の支持力を維持することが重要である。
- (2) 外的要因が繰返し作用することによる路床・路盤の経年変形量を算定することは、現段階では困難である。そのため、コンクリート版の設計時の弾性たわみに設計限界値を設定することによって、所要の支持力を設計供用期間にわたって確保できるものとした。
- (3) 「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」に記載される品質の材料を用い、かつ、「**付録-8：経験的設計法によるコンクリート舗装の構造設計**」に準じた路盤構造とする場合は、わが国の空港舗装における経験上、たわみ量は小さいことがわかっているため、路床・路盤は所要の支持力を満足するとみなすことができる。

IV-2.2.2 路盤

路盤は、路床支持力係数に応じて必要な路盤支持力係数を確保できるように設定するものとする。

- (1) 多くの場合、コンクリート舗装設計時点では路盤が構築されていないため、路盤支持力係数を試験に基づき設定することはできない。その場合には、路盤の設計は、路床支持力に応じて、必要な路盤支持力係数が得られるよう設定する必要がある。
- (2) 路盤支持力係数は、路盤、路床を多層構造として、路盤表面に単位荷重が作用したときの路盤表面の変位量から算定することができるが、**図IV-2.1**に示す路盤厚設計曲線を用いて路盤厚を設定することもできる。
- (3) 材料別路盤一層最小厚は、粒状材とセメント安定処理材の場合において 15cm、アスファルト安定処理材の場合において 6cm を標準とする。
- (4) 路盤支持力係数を大きくするとコンクリート版厚を薄くできるが、路盤の長期的な耐久性を十分に考慮する必要がある、150MN/m³ を越える路盤支持力係数は用いないことを標準とする。
- (5) 寒冷地においては、路盤上での支持力は季節的に大きく変動する。春の融解期には支持力は低下し、その度合いは、路盤材料の種類と品質、路盤の厚さ、路床の土質等によって異なる。道路における調査結果によると、一般に夏の安定した時期の支持力の約 60～80% になるとしている²⁰⁾。
- (6) 路盤構成は、使用材料、施工法、現場条件、経済性などを総合的に比較検討して設定することが望ましい。
- (7) 上層路盤に粒状材を用いた場合は、降雨に備えてその表面をアスファルト乳剤などでシーリングすることがある。また、路盤表面のきめを細かくするために砂をまいてから、路盤紙を敷く場合もある。



図IV-2.1 路盤厚設計曲線の例

IV-2.2.3 たわみの設計限界値

たわみの設計限界値は、荷重の大きさ、頻度及び荷重の組み合わせ、舗装構造の特性、供用条件等を検討して設定するものとする。

- (1) コンクリート舗装に生じるたわみは、作用する荷重の位置、大きさ、頻度及び荷重の組み合わせ、路床・路盤の荷重支持性能の違い、コンクリート版の厚さ等に影響されるほか、コンクリート版のひび割れの有無とその幅、深さによって大きく影響される。そのため、たわみと舗装の早期劣化の関係は定量的に明らかにされるに至っていないが、強い相関があることが知られている。これらのことを考慮し、たわみの設計限界値を適切に設定するとよい。
- (2) たわみの設計限界値は、1.25mm を用いることができる。

IV-2.2.4 たわみの算定

(1) コンクリート版のたわみ量は適切な方法によって算出するものとする。
 (2) たわみの算定にあたっては、目地部における荷重伝達を適切な方法で考慮するものとする。

- (1) 交通荷重によってコンクリート版に生じるたわみ量の算定にあたっては使用荷重形態を考慮する必要がある。
- (2) ひび割れが発生していない状態での交通荷重によるたわみ量は、弾性理論を用いることができ、路盤をバネ支承としたコンクリート版の FEM 解析などによって算定することがで

きる．これらの算定においては，目地部における荷重伝達機能を適切に評価する必要がある．また，路盤を弾性支承とした FEM 解析を行う場合には，コンクリート版と路盤のすべりを考慮することが望ましい．

(3) 単輪荷重によるたわみの算定式としては，次のようなものがある．

(i) コンクリート版自由縁部

Westergaard による自由縁部たわみ式⁹³⁾

$$w_e = \frac{F}{\sqrt{6}K_{75} \cdot l^2} (1 + 0.4\nu) \quad \dots \dots \dots \text{(式IV-2.1)}$$

(ii) コンクリート版中央部

Westergaard による中央部たわみ式⁹³⁾

$$w_i = \frac{F}{8K_{75} \cdot l^2} \{1 - a_k^2(0.217 - 0.367 \cdot \log_{10} a_k)\} \quad \dots \dots \dots \text{(式IV-2.2)}$$

ここで，

w_e : コンクリート版自由縁部のたわみ量 (mm)

w_i : コンクリート版中央部のたわみ量 (mm)

F : 輪荷重 (N)

$$l : \text{剛比半径} = \sqrt[4]{\frac{E_c \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot K_{75}}} \quad (\text{mm})$$

E_c : コンクリートの弾性係数 (N/mm²)

h : コンクリート版厚 (mm)

ν : コンクリートのポアソン比

K_{75} : 路盤支持力係数 (GPa/m)

a_k : r/l

r : 車輪の接地半径 (mm)

IV-2.3 コンクリート版の疲労ひび割れに対する照査

IV-2.3.1 総則

- (1) コンクリート版の疲労ひび割れに対する照査は，コンクリート版の曲げ疲労破壊に対する照査により行うものとする．
- (2) コンクリート版の曲げ疲労破壊に対する照査においては，設計曲げ疲労度 FD_d の曲げ疲労度の設計限界値 FD_{dl} に対する比に重要度係数 γ_i を乗じた値が，1.0 以下であることを確認するものとする．

$$\gamma_i \cdot FD_d / FD_{dl} \leq 1.0$$

- (i) 曲げ疲労度の設計限界値 FD_{dl} は，曲げ疲労度の限界値 1.0 を構成層係数 γ_b で除した値

とするものとする。

$$FD_{dl} = 1.0/\gamma_b$$

- (ii) 設計曲げ疲労度 FD_d は、「**I-3.3.3 疲労強度**」に示した設計疲労曲線を基にマイナー則によって累積疲労度 FD を算定し、これに構造解析係数 γ_a を乗じた値とするものとする。

$$FD_d = \gamma_a \cdot FD$$

- (3) コンクリート版の曲げ疲労ひび割れに対する照査は、設計変動応力度 σ_{rd} の、設計曲げ疲労強度 f_{rd} を構成層係数 γ_b で除した値に対する比に重要度係数 γ_i を乗じた値が1.0以下であることを確かめることによって行うこともできる。設計曲げ疲労強度 f_{rd} は、コンクリートの曲げ疲労強度の特性値 f_{rk} を材料係数 γ_m で除した値とするものとする。

$$\gamma_i \cdot \sigma_{rd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$$

- (4) 多くの経験により、疲労ひび割れに対する安全性が確保されることがわかっている舗装構造とする場合には、疲労ひび割れに対する抵抗性を満足するとみなすことができる。

- (1) コンクリート版には、交通荷重及び温度変化により曲げが作用する。したがって、コンクリート版の疲労破壊に対する検討は曲げ疲労破壊に対して行う必要がある。
- (2) 舗装には様々な変動荷重が様々な位置に作用するので、照査では個々の変動荷重による疲労度を累積した累積疲労度が設計限界値以下であることを確認する必要がある。
- (3) マイナー則によれば累積曲げ疲労度 FD は次式によって表すことができる。

$$FD = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} \quad \dots \dots \dots \text{(式IV-2.3)}$$

ここで、

FD : 累積曲げ疲労度
 n_i : 荷重 i の繰返し回数
 N_i : 荷重 i で疲労強度に達する繰返し回数

- (4) 「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」に記載される品質の材料を用い、かつ、「**付録-8：経験的設計法によるコンクリート舗装の構造設計**」に準じて設計された舗装構造とする場合は、わが国の空港舗装における経験上、疲労ひび割れに対する安全性は確保されていることがわかっているため、コンクリート版の疲労ひび割れに対する抵抗性を満足するとみなすことができる。

IV-2.3.2 応力度の算定

- (1) コンクリート版に生じる応力度の算定は、次の仮定に基づくものとする。
- (i) ひずみは断面の中立軸からの距離に比例するものとする。
- (ii) コンクリートは弾性体とするものとする。
- (iii) コンクリートの弾性係数は、「**I-3.3.4 弾性係数**」によるものとする。
- (2) 応力度は、交通荷重及び環境作用によりコンクリートに発生する曲げ応力度を考慮する

ものとする。

- (3) 交通荷重及び環境作用によりコンクリートに発生する応力度は適切な方法によって算出するものとする。
- (4) 目地における応力度の算定にあたっては荷重伝達率を考慮するものとする。

(1) コンクリート舗装は、比較的薄いコンクリート版に気象作用が直接影響を及ぼすことが知られており、作用する外的要因として交通荷重以外に環境作用による応力を考慮する必要がある。

(2) 交通荷重によってコンクリート版に発生する曲げ応力度の算定式としては次のようなものがある。

(i) コンクリート版自由縁部

Westergaard による自由縁部応力式を、Teller と Sutherland が修正し、それを岩間が修正した式⁹³⁾

$$\sigma_e = (1 + 0.54\nu) \cdot C \cdot \frac{F}{h^2} \cdot \left\{ \log_{10} \left(\frac{l}{10} \right) - 0.75 \cdot \log_{10} \left(\frac{r}{10} \right) - 0.18 \right\} \quad \dots \text{(式IV-2.4)}$$

(ii) コンクリート版中央部

Westergaard による中央部応力式⁹³⁾

$$\sigma_i = 0.0547 \cdot \frac{F}{h^2} \cdot \left\{ \left(\frac{b}{l} \right)^2 - 10.186 \cdot \ln \left(\frac{b}{l} \right) + 3.714 \right\} \quad \dots \text{(式IV-2.5)}$$

ここで、

- σ_e : コンクリート版縁部の輪荷重応力度 (N/mm²)
- σ_i : コンクリート版中央部の輪荷重応力度 (N/mm²)
- F : 輪荷重 (N)
- C : 係数 (自由縁部に対して 2.12, 適当量のダウエルバーを用いた目地縁部に対して 1.59)
- b : $r < 1.724h$ の場合, $b = \sqrt{1.6r^2 + h^2} - 0.675h$ (mm)
 $r \geq 1.724h$ の場合, $b = r$ (mm)
- r : 車輪の接地半径 (mm)
- l : 剛比半径 $= \sqrt[4]{\frac{E_c \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot K_{75}}}$ (mm)
- E_c : コンクリートの弾性係数 (N/mm²)
- h : コンクリート版厚 (mm)
- ν : コンクリートのポアソン比
- K_{75} : 路盤支持力係数 (N/mm³)

- (3) 複数輪を有する航空機による応力は、路盤をバネ支承としたコンクリート版の FEM 解析などによって算出することができる。この際、目地部での荷重伝達機能を適切にモデル化する等により評価する必要がある。また、路盤を弾性支承とした FEM 解析を行う場合には、コンクリート版と路盤のすべりを考慮することが望ましい。
- (4) 環境作用としては、版内温度差によるそり拘束応力度と軸方向拘束応力度、内部拘束応力度がある。軸方向拘束応力度は、目地を設けることにより緩和されるので、ここでは扱わない。
- (5) 温度応力式は次式を用いることができる²⁾。

$$\sigma_t = (-0.772 \cdot h + 0.854) \cdot \frac{E_c \cdot \alpha \cdot \theta}{2 \cdot (1 - \nu)} \quad \dots \dots \dots \text{(式IV-2.6)}$$

ここで、

- σ_t : 版中央部の温度応力 (N/mm²)
- h : コンクリート版厚 (m)
- E_c, ν : コンクリートの弾性係数 (N/mm²)、ポアソン比
- α : コンクリートの線膨張係数で一般に $1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ としている
- θ : コンクリート版の上下面の温度差 ($^{\circ}\text{C}$)

IV-2.4 凍上に対する照査

凍上に対する照査は、「Ⅱ-2.4 凍上に対する照査」によるものとする。

IV-3 走行安全性能の照査

IV-3.1 総則

- (1) 舗装は、設計供用期間中、所要の走行安全性能を確保するものとする。
- (2) 走行安全性能に対する照査は、すべり抵抗性、すり減り抵抗性及び段差に対して行うものとする。

- (1) 走行安全性能には、舗装表面のすべり抵抗と平坦性が大きく関わっている。このうち、平坦性は、段差が生じることによって低下し、これは目地部での繰返し載荷によって生じることからこれを照査することとしている。

IV-3.2 すべりに対する照査

- (1) コンクリート舗装は、設計供用期間中、所要のすべり抵抗性を確保するものとする。
- (2) コンクリート舗装のすべり抵抗性は適切な方法により照査するものとする。
- (3) 多くの経験により、すべり抵抗性が十分に確保されていることがわかっている舗装構造とする場合には、すべり抵抗性を満足するとみなすことができる。

- (1) コンクリート舗装のすべり抵抗性は、舗装表面の摩擦係数と密接に関係しており、この摩擦係数は、使用材料、舗装表面のテクスチャや排水状況によって大きく影響され、特に排水状況の影響が大きい。そこで、すべり抵抗性に対する照査は、排水能力によって行うこ

ととする。

- (2) コンクリート舗装が、Ⅱ-3.2の条件を満足する場合には、すべり抵抗性を満足するとみなすことができる。

Ⅳ-3.3 段差に対する照査

Ⅳ-3.3.1 総則

- (1) 舗装が、設計供用期間中、目地部において走行安全性能に支障を来たすような段差が生じないように適切な方法により照査するものとする。

段差に対する照査においては、設計段差量 FTS_d の段差量の設計限界値 FTS_{dl} に対する比に構造物係数 γ_i を乗じた値が、1.0以下であることを確認するものとする。

$$\gamma_i \cdot FTS_d / FTS_{dl} \leq 1.0$$

- (i) 段差量の設計限界値 FTS_{dl} は、段差量の限界値 FTS_l を構成層係数 γ_b で除した値とするものとする。

$$FTS_{dl} = FTS_l / \gamma_b$$

- (ii) 設計段差量 FTS_d は、設計荷重 F_d を用いて段差量 $FTS(F_d)$ を算定し、これに構造解析係数 γ_a を乗じた値とするものとする。

$$FTS_d = \gamma_a \cdot FTS(F_d)$$

- (2) 多くの経験により、段差が小さいことが確認されている目地構造とする場合には、段差に対する走行安全性能を満足するとみなすことができる。

- (1) コンクリート舗装の目地部に段差が生じると走行安全性能に支障をきたすので照査するものとする。

- (2) わが国の空港舗装における経験から走行安全性能に支障を来たすような段差が生じないことがわかっている「Ⅳ-4 構造細目」に示す目地構造を用いる場合には、段差に対する走行安全性能を満足するとみなすことができる。

Ⅳ-3.3.2 段差量の設計限界値

走行安全性能に対する段差量の設計限界値は、舗装種別と使用目的、走行車両の走行速度等を考慮して、適切に設定するものとする。

- (1) 走行安全性能に対する段差量の設計限界値は、舗装の使用目的や種別、また、舗装上を走行する車両種別やその速度によって異なる。したがって、段差量の設計限界値はこれらを考慮した上で適切に設定する必要がある。

- (2) 段差量の設計限界値は、表Ⅳ-3.1に示す値を用いることができる¹⁹⁾。

表Ⅳ-3.1 段差の設計限界値の例

	滑走路	誘導路	エプロン
段差 (mm)	10	12	14

IV-3.3.3 段差量の算定

目地部の段差量は適切な方法によって算定するものとする。

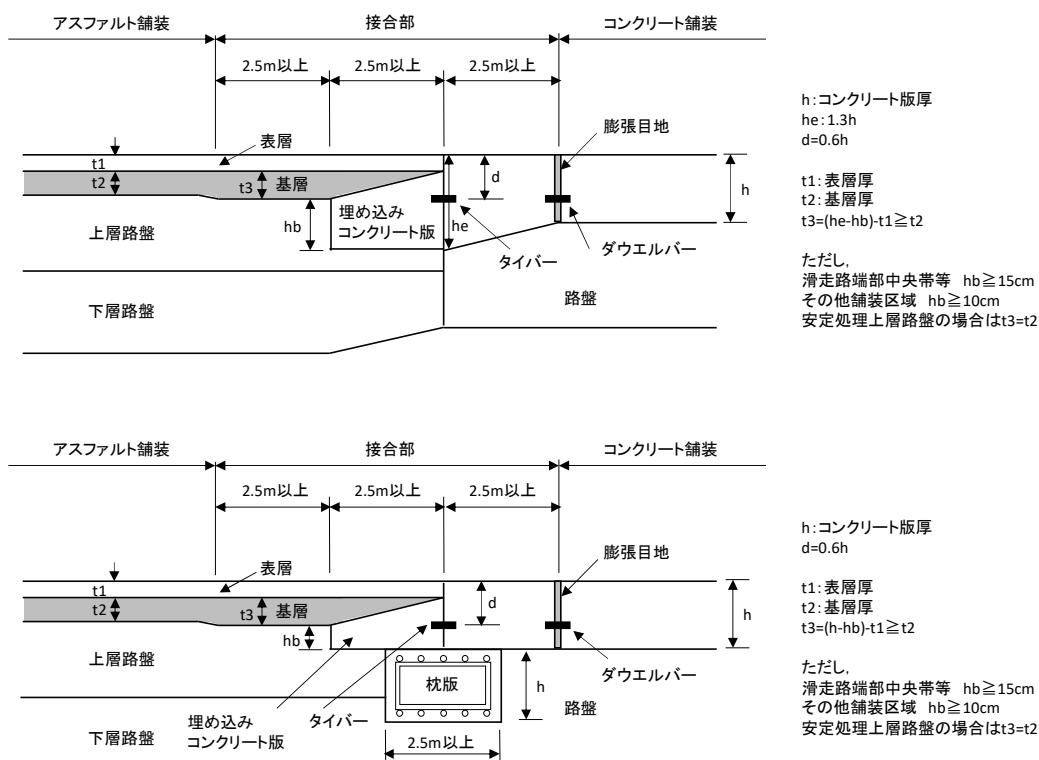
- (1) 目地部の段差量はコンクリート版、路盤等の舗装構造特性、荷重条件、環境条件等の外的要因等に影響されるので、これらを適切に考慮する必要がある。

IV-4 構造細目

IV-4.1 異種舗装接続部の構造

- (1) アスファルト舗装とコンクリート舗装の接続部は、走行安全性能に支障を来たすような段差が生じないよう適切な方法により照査するものとする。
- (2) 多くの経験により、走行安全性能が十分に確保されている接続構造とする場合には、走行安全性能を満足するとみなすことができる。

- (1) アスファルト舗装とコンクリート舗装の接続部は、航空機荷重の繰返し走行により段差が生じやすい。そのため、航空機が走行する箇所においては、適切な接続構造とする必要がある。
- (2) 図IV-4.1 に示す構造は、わが国の空港舗装での経験上段差に対する走行安全性能が十分確保されていることがわかっているため、この構造を用いる場合には、接続部における走行安全性能を満足するとみなすことができる。
- (3) 接続部においてコンクリート版には縁部載荷状態の応力が生じることから適切な版厚を設定する必要がある。
- (4) 航空機がほとんど載らないショルダーや過走帯との接合部では、補強を行う必要はない。

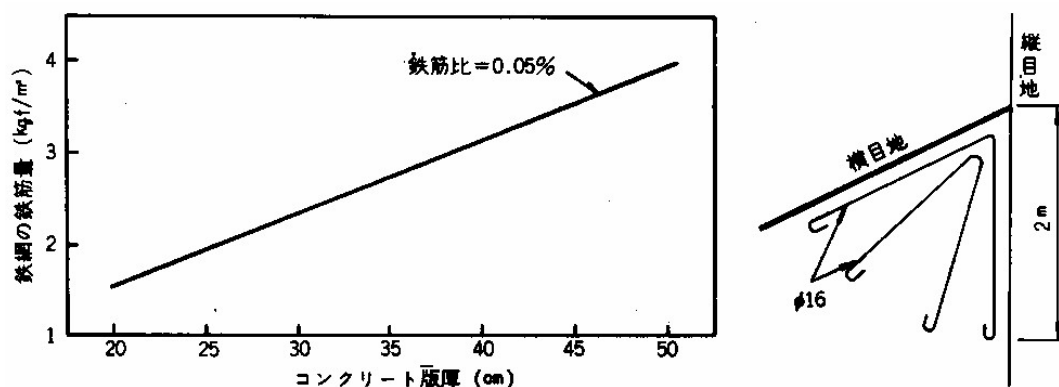


図IV-4.1 異種舗装接続部構造の例

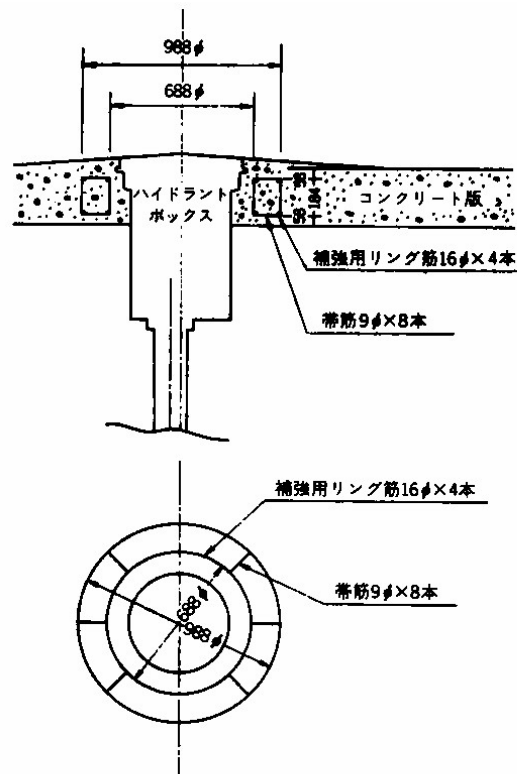
IV-4.2 コンクリート版の補強

- (1) コンクリート版には、ひび割れが生じた場合でも荷重支持性能や走行安全性能が急激に低下することのないことを適切な方法で照査するものとする。
- (2) 多くの経験により、安全性が確保されている補強構造とする場合には、(1)に対する性能を満足するとみなすことができる。

- (1) コンクリート版に鉄網を設ける場合には、その補強構造が、わが国の空港舗装での経験上、安全性が十分確保されていることがわかっているため、所要の性能を満足するとみなすことができる。また、過走帯やショルダーについては、特に補強構造を設ける必要はない。
- (i) 鉄網の鉄筋量は、直角2方向とも一般に版断面積の0.05%としている。
- (ii) 隅角部が鋭角となる等、コンクリート版が矩形とならない場合には、鉄筋量を増加して補強効果を高くする必要がある。
- (iii) 鉄筋は、同一版では直角2方向とも同一直径で直径6～8mmの丸鋼又は異形丸鋼を用いる。鉄網の幅はコンクリート版の幅より10cm程度狭くし、長さは重ね合わせを20cm程度として収縮目地間に収まるよう、かつ運搬が容易なように設定する。
- (iv) 鉄網の埋め込み深さは、コンクリート版表面から(コンクリート版厚÷4+2cm)下を標準とする。なお、1枚のコンクリート版で場所により厚さが異なる端部増厚版等では、版厚の違いを考慮して鉄網の埋め込み深さを変化させる必要はない。
- (v) 鉄網は6～8mmの鉄筋を直角2方向に組み立てるが、両方向の鉄筋は同一直径のものを使用し、その間隔も同一とするものとする。また、鉄筋は異形棒鋼が望ましく、組み立ても溶接によることが望ましい。
- (vi) 舗装区画の平面形状によっては、その周辺部のコンクリート版に鋭角部ができることもある。その場合には鉄筋量を(i)で述べた量よりも多くして、その部分を補強する。補強には図IV-4.2のようなヘアピン鉄筋を用いることがある²²⁾。
- (vii) コンクリート版に照明、ハイドラントボックスなどの埋設物がある場合には、鉄網以外に鉄筋により補強を行うことがある。図IV-4.3はその一例である。



図IV-4.2 鉄網量と補強方法の例



図IV-4.3 ハイドラントボックス回りの補強の例

IV-4.3 目地

IV-4.3.1 総則

- (1) コンクリート版には、適切な目地を設けるとともに、目地部において所要の荷重伝達機能を有することを適切な方法で照査するものとする。
- (2) 多くの経験により、安全性が十分に確保されている目地構造とする場合には、所要の荷重伝達性能を満足するとみなすことができる。

- (1) 一般的に無筋コンクリートの目地部での荷重伝達率は85%以上である。
- (2) **IV-4.3.2～IV-4.3.5** に基づいて設計された目地構造は、所要の荷重伝達性能を満足するとみなすことができる。

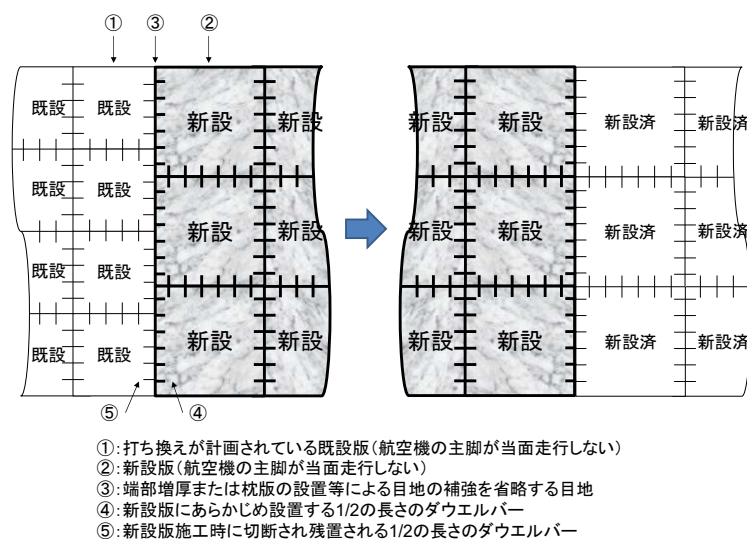
IV-4.3.2 目地の種類と配置

- (1) コンクリート版には、必要に応じて、縦・横方向に施工目地、収縮目地、膨張目地を設けるものとする。
- (2) 縦方向目地と横方向目地は、直角に交差させることを標準とする。
- (3) 目地は、一体として挙動するコンクリート版の舗装区域の一端から他の一端まで、直線状に設けるものとする。

- (1) 施工目地は、コンクリート打設時や中断時といった施工の都合上設けられる目地である。収縮目地は、コンクリート版の温度変化や乾燥による変形を集中させて収縮に伴う引張応力を軽減し、収縮ひび割れの発生を防止するために設けられる。膨張目地は、温度上昇に

よるコンクリート版の膨張が原因で生ずるブローアップを防止するために設けられる。

- (2) コンクリート版は、その四隅が鋭角とならないように、縦、横方向目地は直角に交差させることを標準とする。また、コンクリート版は全方向に動き、またその動きが全方向から拘束されるなど、極めて複雑な挙動となるため、細長い版は避けることが望ましく、コンクリート版の縦横の長さの比は 1.3 程度以下とすることが望ましい。
- (3) 個々のコンクリート版の収縮・膨張が防げられて、局所的あるいは全体的なひび割れといった予期しない破損がコンクリート版に生じないように、一体として挙動するコンクリート版の舗装区域においては、目地を通す必要がある。
- (4) 無筋コンクリート舗装の施工では、新設コンクリート版（以下、新設版という）と、隣接する既設コンクリート版（以下、既設版という）の目地位置が一致しない場合、新設範囲と既設範囲の境界の目地をダウエルバー又はタイバーで連結すると、目地が互いに影響を及ぼし、ひび割れの原因となるため、当該境界の目地をダウエルバー又はタイバーで連結せず、端部増厚又は枕版の設置等により補強を行う必要がある。なお、新設版に隣接する既設版の打ち換えが計画されており、かつ、航空機の主脚が新設範囲と既設範囲の境界の目地に接する新設版と既設版を当面走行しない場合は、端部増厚又は枕版の設置等による当該境界の目地の補強を省略することができる。この場合、**図IV-4.4**に示すように、新設版にはあらかじめ 1/2 の長さのダウエルバーを設置するとよい。



図IV-4.4 新設版と既設版の目地位置が一致しない場合の施工例

IV-4.3.3 縦方向目地

(1) 施工目地

- (i) 目地の間隔は、舗装全体の幅、使用される舗装機械及びコンクリート版厚によって設定するものとする。
- (ii) 目地の構造は、ダウエルバー付き突き合わせ型を標準とするが、コンクリート版が外方向へ広がるのを防ぐために自由端からの距離に応じて、タイバー付き突き合わせ型

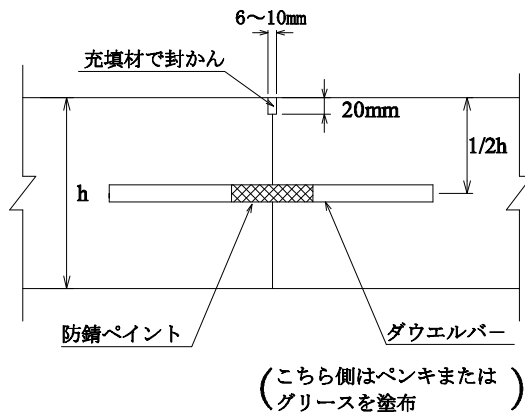
を用いるものとする。

(2) 収縮目地

- (i) コンクリート版厚，縦方向施工目地間隔に応じてレーン中央に縦方向収縮目地を設けるものとする。
- (ii) 目地の構造は，ダウエルバー付きのこみぞ型を標準とするが，コンクリート版が外方向へ広がるのを防ぐために自由端からの距離に応じて，タイバー付きのこみぞ型を用いるものとする。
- (iii) 設計荷重が小さい場合や交通量が少ない場合には，ダウエルバーを省略することもできるが，コンクリート版が外方向へ広がるのを防ぐために自由端からの距離に応じてタイバーを入れるものとする。

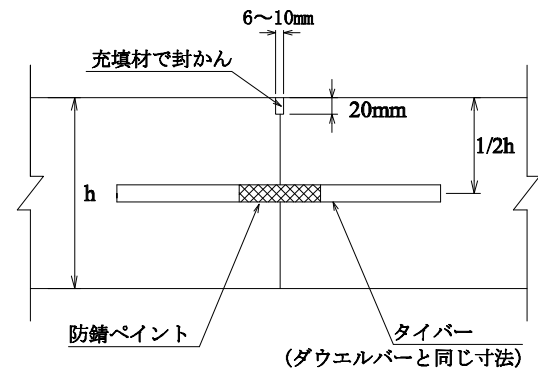
- (1) 縦方向施工目地は，施工上の都合で設けられる目地で，その間隔は，舗装全体の幅及び使用される舗装機械によって定められる。通常，空港で使用されているコンクリートスプレッダーやコンクリートフィニッシャーなどの舗設機械の施工幅は 3.0～8.5m である。一般に，コンクリート版厚が 30cm 未満で縦方向施工目地間隔が 5m を越える場合及び版厚が 30cm 以上で縦方向施工目地間隔が 8.5m を超える場合は，レーン中央に縦方向収縮目地を設けることとしている。
- (2) 舗装の一番外側のコンクリート版の側面は，将来の拡張に備えて端部増厚をするか，もしくは枕板を施工しておくことが望ましい。
- (3) 幅の狭い舗装の縦方向目地のすべて及び舗装の自由端から 12m 以内の施工目地並びに自由端から 12m 以内の縦方向収縮目地をタイバーで緊結することとしているのは，コンクリート版が外方へ広がるのを防ぎ，連続一体のものにするためである。自由端から 12m 以内の収縮目地はタイバーに荷重伝達機能を持たせる必要があるため，ダウエルバーと同寸法の異形棒鋼をタイバーとすることができる。
- (4) 縦方向施工目地並びに縦方向収縮目地に用いられるタイバー及びダウエルバーの中央部には，錆や繰返し荷重に抵抗するために，約 10cm 程度に防錆ペイントを塗ることがある。
- (5) 縦方向収縮目地でダウエルバーを省略する場合は，乾燥収縮や温度変化が生じても目地幅は比較的小さいことを確かめる必要がある。
- (6) 施工目地，収縮目地の構造例を図Ⅳ-4.5 に示す。

(1) (2)以外の目地



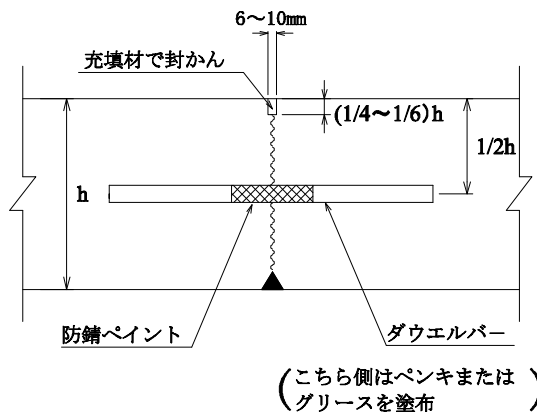
ダウエルバー付き突き合せ型

(2) 幅23m以下の誘導路および自由端から 12m以内の目地

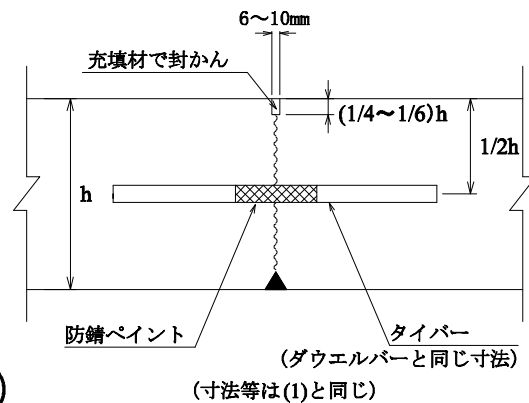


タイバー付き突き合せ型

(1) (2)以外の目地



(2) 自由端から 12m以内の目地



図IV-4.5 目地構造（縦方向）の例

IV-4.3.4 横方向目地

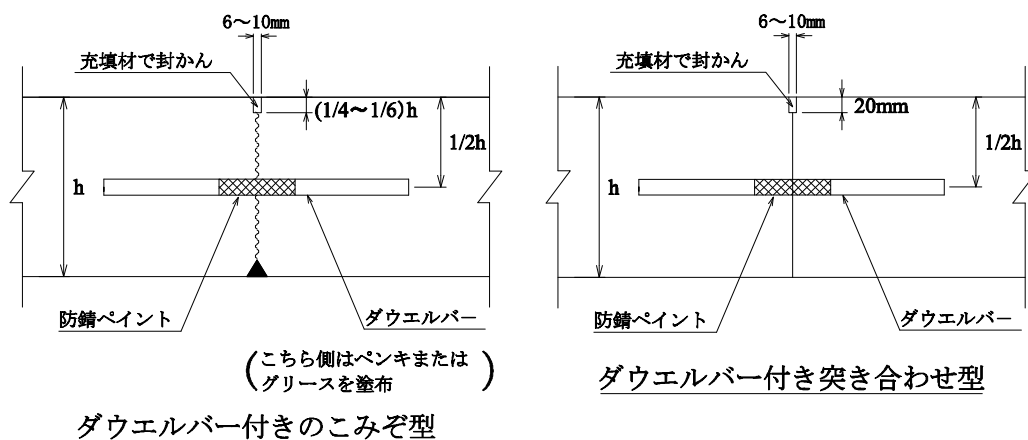
(1) 収縮目地

- (i) 目地の間隔は、収縮クラックが生じないように適切に設定するものとする。
- (ii) 目地の構造は、ダウエルバー付きのこみぞ型を標準とするが、コンクリート版が外方向へ広がるのを防ぐために自由端からの距離に応じて、タイバー付きのこみぞ型を用いるものとする。
- (iii) 設計荷重が小さい場合や交通量が少ない場合には、ダウエルバーを省略することもできるが、コンクリート版が外方向へ広がるのを防ぐために自由端からの距離に応じてタイバーを入れるものとする。

(2) 施工目地

- (i) 毎日の施工終了時又はコンクリート打ち込み作業が一定時間中断される場合は、横方向収縮目地の位置に横方向施工目地を設けるものとする。
- (ii) 目地の構造はダウエルバー付き突き合わせ型とするものとする。

- (1) 横方向収縮目地は、不規則な横方向の収縮ひび割れを調節し、コンクリートの容積変化に伴う応力を軽減するために設けられるもので、乾燥又は温度差の厳しい地方においては、コンクリートの容積変化が大きいことから、その間隔は当然狭いものとなる。一般に、コンクリート版厚が 30cm 未満の場合は 4.5～6.0m、30cm 以上の場合は 5.0～8.5m としている。
- (2) 横方向収縮目地においては、のこみぞにより不規則なひび割れが入り、その骨材のかみ合いによりかなり荷重伝達がなされる。しかしこのことは、目地が非常に密着しているときのみ確実で、コンクリートが収縮し目地が開いた場合にはその機能は低下する。また、交通荷重の繰り返しにより骨材のかみ合いが切れる場合もある²³⁾。これらのことを勘案し、横方向収縮目地にはダウエルバーを設置し十分な荷重伝達を図ることとしている。
- (3) 横方向施工目地は、施工上の都合で設けられるもので、施工終了時又はコンクリートの打ち込み作業が 30 分以上中断される場合に設けられる。この 30 分以上は一応の目安であるので、天候等の状況によっては変える必要がある場合もある。
- (4) 横方向施工目地についての注意点は、**Ⅳ-4.3.3** の縦方向目地の場合と同様である。
- (5) コンクリート版の端部には、将来の延長に備えてダウエルバー付き突き合わせ型目地の準備、端部増厚、あるいは枕板を設置することが望ましい。
- (6) 横方向収縮目地に用いられるダウエルバーにも、その中央部約 10cm 程度に防錆ペイントを塗ることがある。
- (7) 横方向収縮目地でダウエルバーを省略する場合も、縦方向目地の場合と同様、目地が広がらないことを確かめる必要がある。
- (8) 収縮目地、施工目地の構造例を**図Ⅳ-4.6**に示す。

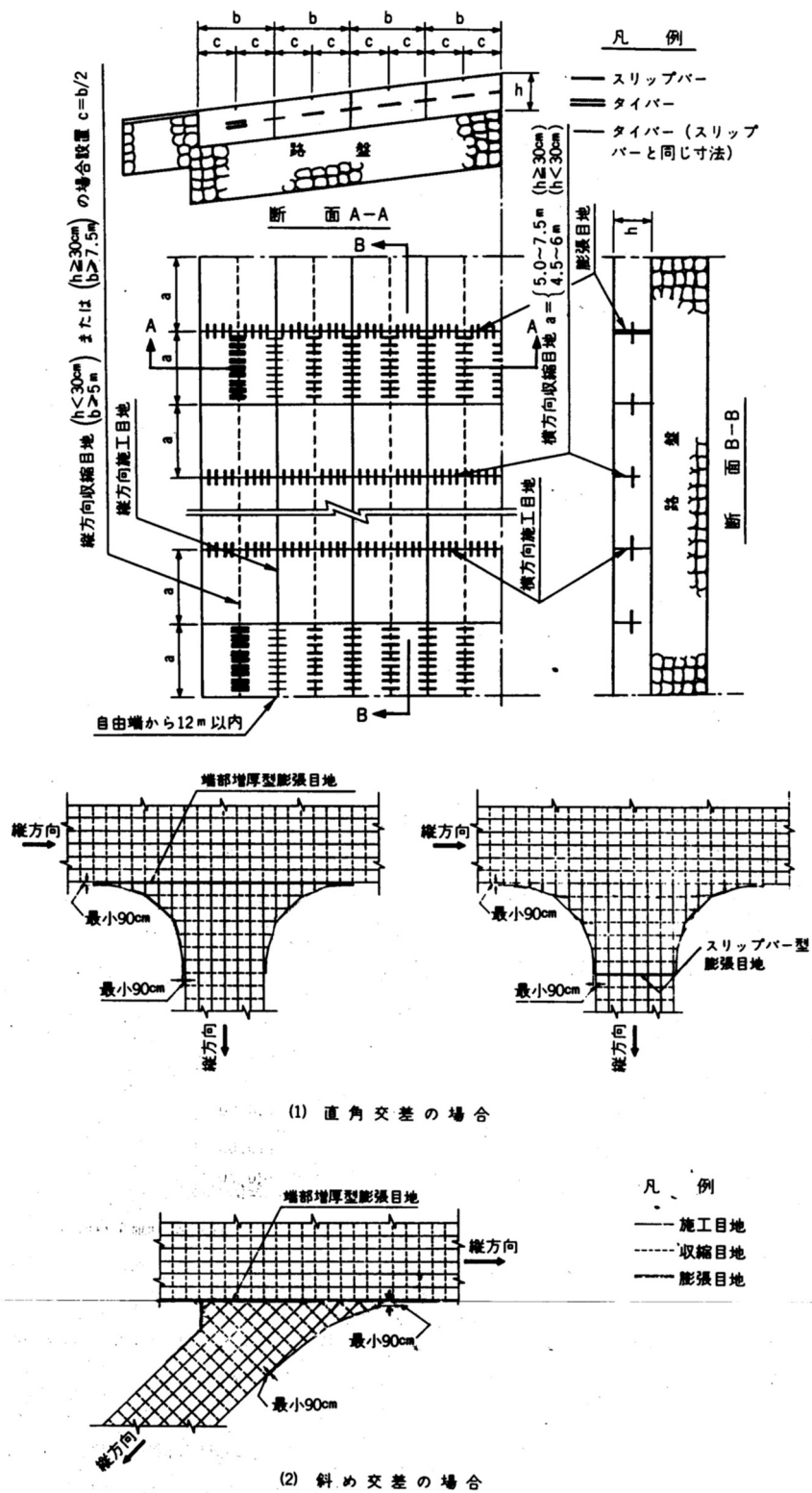


図Ⅳ-4.6 目地構造（横方向）の例

IV-4.3.5 膨張目地

- (1) 膨張目地は、施工時期、コンクリート版厚に応じて適切な間隔で設置するものとする。
- (2) 舗装が建築物又は他の構造物と接する部分及び滑走路、誘導路、エプロンの交差する部分あるいはその付近には、膨張目地を設けることとする。
- (3) 目地の構造は、ダウエルバー型、端部増厚型又は枕板設置型とする。舗装が構造物と接する部分では、端部増厚型とするものとする。
- (4) 端部の版厚は、縁部載荷状態になることを考慮して適切に設定するものとする。
- (5) GSE 車両を設計荷重とする舗装区域が航空機荷重を設計荷重とする舗装区域と接する部分に端部増厚型膨張目地を用いる場合は、GSE 車両を設計荷重とする舗装区域の方だけを増厚するものとする。

- (1) 膨張目地は収縮に対しても有効であるので、伸縮目地と呼ばれることもある。
- (2) 膨張目地の間隔は、地域性その他を考慮した経験的判断によって設定するのが望ましい。膨張目地は、舗装の最大の弱点であるので、その設置箇所をできるだけ少なく、すなわち、その間隔をできるだけ大きくすることが望ましいことから、最近はその間隔を増大させる傾向にある²⁴⁾。
- (3) 膨張目地は、コンクリートの打ち込み作業が寒中に行われるか、あるいはコンクリートが膨張性の大きいものである場合、一般に設置間隔を 100～200m、目地幅を 25mm としているが、設置間隔と目地幅は、施工時期、舗装範囲、版厚等を考慮して設定することが望ましい。
- (4) 舗装の交差部分で両舗装のコンクリート版の目地を一致させる必要がある場合は、通常どちらかの舗装の横方向収縮目地の間隔を調節して行うものとする。端部増厚型膨張目地の場合は、コンクリート版の端部の厚さを所定量増し、端部から最も近い目地までの距離を 3m 以上とし、1 枚版ですりつける。この場合は、隣接版が連結されておらず、目地が互いに影響を及ぼす恐れがほとんどないので、両者の目地位置を一致させる必要はない。
- (5) GSE 通行帯等の舗装区域が接する他の区域は、航空機荷重が対象で、航空機がこの目地部に載ることはまずなく、GSE 通行帯等の舗装区域の設計荷重より航空機荷重の方がはるかに大きいので、GSE 通行帯等の舗装区域の方だけを増厚するものとする。
- (6) 膨張目地に用いられるダウエルバーにも、その中央部約 10cm 程度に防錆ペイントを塗ることがある。
- (7) 図IV-4.7 は空港コンクリート舗装の一般的な目地配置を示すもので、各種目地の位置、タイバー又はダウエルバーの必要な箇所を示している。



図IV-4.7 目地配置の例

-
- The image contains two technical drawings of drainage structures, labeled 'ダウエルバー型' (Dowel Bar Type) and '端部増厚型' (End Thickening Type).
- ダウエルバー型 (Dowel Bar Type):** This drawing shows a cross-section of a concrete slab with a dowel bar. The dowel bar is embedded in the slab and has a cap ('キャップ') on top. The cap is 75mm wide and 25mm high. The dowel bar is 25mm in diameter. The slab is 25mm thick. The dowel bar is covered with a waterproofing material ('防錆ペイント') and a sealant ('充填材で封かん'). The height of the slab is labeled 'h' and '1/2h'. A note indicates that the other side should be coated with grease or paint ('(こちら側はペンキまたはグリスを塗布)').
- 端部増厚型 (End Thickening Type):** This drawing shows a cross-section of a concrete slab with a thickened end. The thickened end is 0.3h high. The slab is 25mm thick. The thickened end is covered with a waterproofing material ('防錆ペイント') and a sealant ('充填材で封かん'). The height of the slab is labeled 'h'. A note indicates that the other side should be coated with grease or paint ('(こちら側はペンキまたはグリスを塗布)').
- 枕版 (D19):** This drawing shows a plan view of a rectangular drainage structure. The structure is 350mm high and 2.5m wide. It has a central rectangular opening that is 200mm wide. The structure is made of concrete and has a thickened end. The thickened end is 25mm high. The structure is covered with a waterproofing material ('防錆ペイント') and a sealant ('充填材で封かん'). The height of the structure is labeled 'h' and '1/2h'. A note indicates that the other side should be coated with grease or paint ('(こちら側はペンキまたはグリスを塗布)').

102

IV-4.3.6 タイバー，ダウエルバー

- (1) タイバーは，コンクリート版の収縮により移動することを防ぐために設けるもので，直径，間隔，長さは適切な方法により設定するものとする。
- (2) タイバーは，通常荷重伝達装置としては考えないが，荷重伝達能力を持たせる場合には，ダウエルバーとして設計される寸法，間隔で異形鉄筋を使用するものとする。
- (3) ダウエルバーは，目地部における荷重伝達機能，段差防止機能を持つものであり，その直径，長さ，間隔は，適切な荷重伝達率が得られるように設定するものとする。
- (4) 多くの経験により，安全性が確保されている寸法，間隔を用いる場合には，その目地構造は所要の性能を満足するとみなすことができる。

- (1) タイバーは，突き合わさったコンクリート版面の確実な接触を図ることが主目的で，通常は荷重伝達装置としては考えない。比較的径の細い異形棒鋼を使用し，目地を横切って隣接版の厚さ中央に設置する。
- (2) タイバー，ダウエルバーの寸法，間隔の計算には，**表IV-4.1**に示す許容応力度を用いることができる。この許容応力度は最小降伏点の2/3とした値である²⁵⁾。

表IV-4.1 鉄筋の許容応力度

鉄筋の種類	SR235	SR295	SD295A	SD295B	SD345	SD390	SD490
σ_{sa} (N/mm ²)	157	197	197	197	230	260	327

- (3) 「付録-13：タイバーの設計法」及び「付録-14：ダウエルバーの設計法」に準じて設計したタイバー又はダウエルバーの寸法，間隔を有する目地構造は，わが国の空港舗装における経験上，所要の性能を満足しているとみなすことができる。

IV-4.4 コンクリートに関する細目

空港のコンクリート舗装に使用するコンクリートは，破損した場合に空港運用に及ぼす影響が非常に大きいこと等の空港の特殊性から，経済性や耐久性のみならず，施工性や安全性も含め総合的に検討し選定するものとする。

- (1) 空港の無筋コンクリート舗装に用いるコンクリートについては，水セメント比の平均値が約40%である等，配合に関する実績が参考文献¹⁰²⁾に記載されているので参考にするとい

第Ⅴ章 コンクリート舗装の補修

Ⅴ-1 総則

コンクリート舗装の補修においては、既設舗装の荷重支持性能及び走行安全性能について、次の手順で調査、評価、補修工法の選定を行うものとする。

(1) コンクリート舗装の性能の調査

路面の調査及び構造の調査により、コンクリート舗装の荷重支持性能及び走行安全性能を調査するものとする。

(2) 走行安全性能の評価

路面の調査により、走行安全性能を評価し、補修の必要性を判断するものとする。路面の調査としては、路面性状調査及びすべり摩擦係数調査を行うものとする。

(3) 荷重支持性能の評価

構造の評価により、荷重支持性能を評価し、補修規模を判断するものとする。構造の調査としては、非破壊調査及び解体調査を行うものとする。

(4) 補修工法の選定

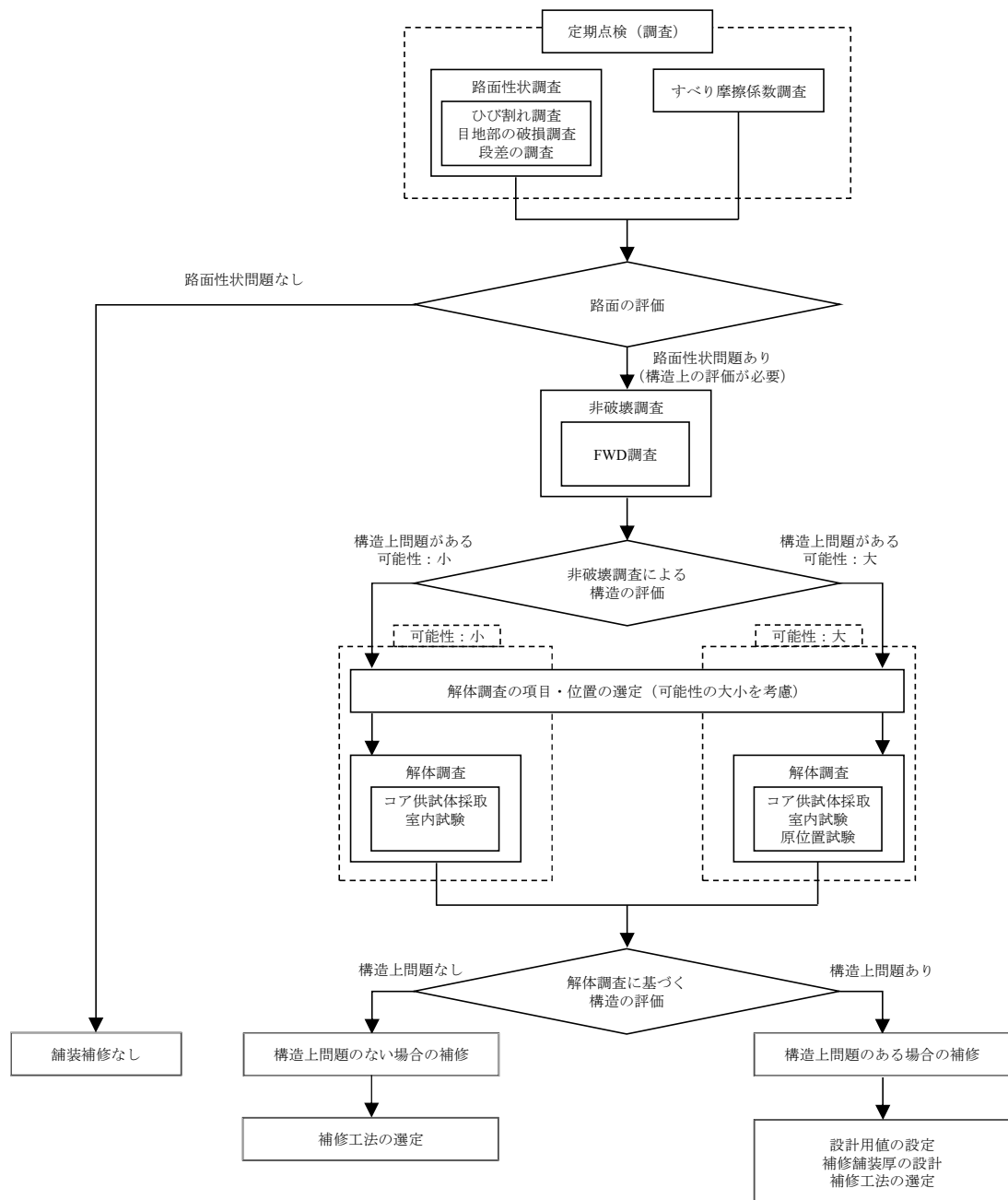
荷重支持性能及び走行安全性能に関する評価結果により、これらの性能を回復させるための適切な補修工法を選定し、補修設計を行うものとする。

- (1) コンクリート舗装の破損は、その形状により**表Ⅴ-1.1**に示すように分類することができる。

表Ⅴ-1.1 コンクリート舗装の破損の種類

形 状	破損の種類
ひび割れ	初期ひび割れ 縦断方向ひび割れ 横断方向ひび割れ 隅角部ひび割れ 亀甲状ひび割れ
変形	隣接版との縦断方向の凹凸
段差	構造物付近の版の段差
摩耗	ポリッシング はがれ（スケーリング）
目地部の破損	目地部の破損 目地縁部の破損
座屈	ブローアップ クラッシング
その他	穴あき 版のもち上がり きず

- (2) コンクリート舗装の調査は、路面の調査（路面性状調査及びすべり摩擦係数調査）と構造の調査（非破壊調査及び解体調査）に分けることができる。
- (3) コンクリート舗装の調査を行う場合には、路面の調査と構造の調査を併用することが望ましい。路面の調査では走行安全性能の評価が可能であり、構造の調査では荷重支持性能を評価することが可能である。
- (4) コンクリート舗装の標準的な補修の考え方を図V-1.1に示す。



図V-1.1 コンクリート舗装の補修の考え方

V-2 コンクリート舗装の調査

V-2.1 総則

- | |
|---------------------------------------|
| (1) 路面の調査は、路面性状調査及びすべり摩擦係数調査を行うものとする。 |
| (2) 構造の調査は、非破壊調査及び解体調査を行うものとする。 |
- (1) 路面の調査は、**表V-1.1**に示した舗装の破損の種類の数について行うことが望ましいが、調査の効率化のため路面性状調査としてひび割れ調査、目地部の破損調査及び段差の調査を行うことに加えて、すべり抵抗性の測定を行うすべり摩擦係数調査を行うことを標準とする。
- (2) 構造の調査は、非破壊調査では目地部の荷重伝達率を調べることを、解体調査では舗装を構成する各層の性状を調べることを標準とする。
- (3) 構造の調査における非破壊調査は、解体調査を実施する位置や規模を選定するために実施する。
- (4) 構造の調査における解体調査は、非破壊調査により構造上の問題が懸念される位置において、その懸念される構造上の問題の程度に応じて、コンクリート版の切取りコア供試体採取及び室内試験、テストピットの掘削による現場試験、試料採取及び室内試験を行い、舗装各層の材質、密度及び強度等を評価するために行う。

V-2.2 路面の調査

V-2.2.1 路面性状調査

- | |
|---|
| (1) ひび割れ調査
ひび割れ調査は、アスファルト舗装のひび割れ調査の方法（ Ⅲ-2.2.1 路面性状調査 ）に準じて行うものとする。撮影済の画像を解読し、データユニット毎にひび割れ度を算出するものとする。 |
| (2) 目地部の破損調査
目地部の破損調査は、アスファルト舗装のひび割れ調査の方法（ Ⅲ-2.2.1 路面性状調査 ）に準じて行うものとする。撮影済の画像を解読し、データユニット毎に目地部の破損長さを求めて目地部の破損率を算出するものとする。 |
| (3) 段差の調査
段差は、各データユニットで段差が大きいと思われる箇所を約 10 点選んで測定するものとする。この中の最大値を段差量とするものとする。 |
- (1) 路面性状調査の実施頻度は、施設の特性や現場条件等を考慮し適切に設定する。
- (2) 路面性状調査を行うデータユニットサイズは、**表V-2.1**を標準とする。なおデータユニットのとり方は、滑走路及び誘導路については、センターラインを中心とする。

表V-2.1 滑走路・誘導路・エプロンのデータユニットサイズ

就航機材	データユニットサイズ
大型ジェット機が就航する空港	幅 21m×長さ 20m
中小型ジェット機が就航する空港 (DHC-8 シリーズは中小型ジェット機として扱う)	幅 14m×長さ 30m
プロペラ機及び小型機のみが就航する空港	幅 7m ×長さ 60m

(3) 路面の調査の結果に基づく舗装路面の評価は、データユニットサイズ毎に行うことを標準とする。

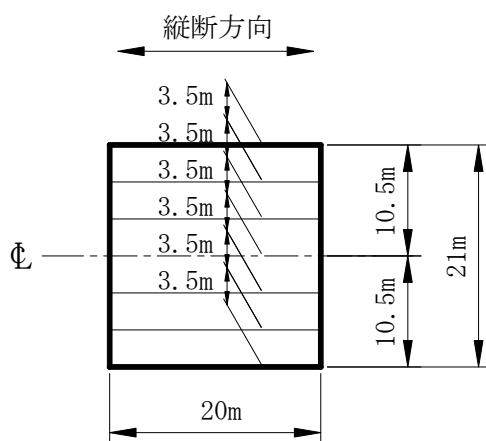
(4) ひび割れ調査

- (i) コンクリート舗装のひび割れには、線状ひび割れ、亀甲状ひび割れ、隅角部ひび割れがある。
- (ii) パッチングしてある部分は、リフレクションクラックを計測し考慮する。
- (iii) ひび割れ度は（式V-2.1）により算出する。

$$\text{ひび割れ度}(\text{cm}/\text{m}^2) = \frac{\text{ひび割れ長さ}(\text{cm})}{\text{単位データユニットの面積}(\text{m}^2)} \quad \dots\dots\dots (\text{式V-2.1})$$

ここに、ひび割れの長さは、線状ひび割れ、亀甲状ひび割れ及び隅角部ひび割れの長さの和とする。なお、網状ひび割れもひび割れ長さを計測する。

- (iv) ひび割れ調査では、路面性状測定車やMMS（Mobile Mapping System）により、路面を連続的に撮影するが、表V-2.1に示したデータユニットサイズとの関係から、図V-2.1のように帯状に撮影するとよい。撮影済の画像解読の際には、現地と撮影画像の位置がずれないように十分に照合を行う必要がある。

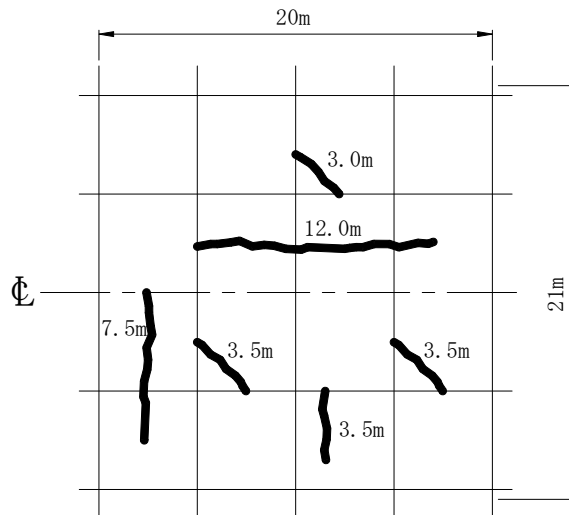


図V-2.1 ひび割れ調査の例（大型ジェット機が就航する空港の1データユニット）

- (v) 路面性状測定車やMMSにより撮影解読可能なひび割れの程度は、幅1mm以上のものである。したがって、目視でひび割れ調査を行う場合は、この幅と整合をとる必要がある。

(vi) 図V-2.2のようなひび割れの実測に対しては、ひび割れ度は次のように算出される。

$$\text{ひび割れ度}(\text{cm}/\text{m}^2) = \frac{300 + 1,200 + 750 + 350 + 350 + 350}{21 \times 20} = 7.9(\text{cm}/\text{m}^2)$$



図V-2.2 ひび割れ調査の例（大型ジェット機が就航する空港の1データユニット）

(5) 目地部の破損

- (i) 目地部の破損長さには、スポーリング（角欠け）を含むものとする。この場合の目地部の破損長さは、スポーリングの目地方向に沿った長さとする。
- (ii) 目地の長さの求め方は、調査対象データユニット内に完全に含まれる目地の長さの2倍を考え、調査対象データユニット内を分ける境界の目地部については、その長さそのものを考える。なお、パッチング箇所は、目地部としない。また、目地部の破損長さの求め方は、調査対象データユニット内の2枚の版にまたがる破損は、その目地方向に沿った長さの2倍を考え、その他の場合は、目地部方向の長さそのものを考える。
- (iii) 目地部の破損率は（式V-2.2）により算出する。

$$\text{目地部の破損率}(\%) = \frac{\text{目地部の破損長さ}(\text{m})}{\text{全目地の長さ}(\text{m})} \times 100 \quad \dots \dots \dots (\text{式V-2.2})$$

- (iv) 図V-2.3の調査対象データユニット幅21m×長さ20mについて、目地部の破損率を求めると次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{目地部の破損長さ} & : (\text{イ}) + (\text{ロ}) + (\text{ハ}) + (\text{ニ}) + (\text{ホ}) + (\text{ヘ}) = 12.2\text{m} \\ \text{全目地の長さ} & : \{(\text{A}) + \dots + (\text{D})\} + \{(\text{a}) + \dots + (\text{e})\} = 329.0\text{m} \\ \text{目地部の破損率} & : \frac{12.2}{329.0} \times 100 = 3.7\% \end{aligned}$$

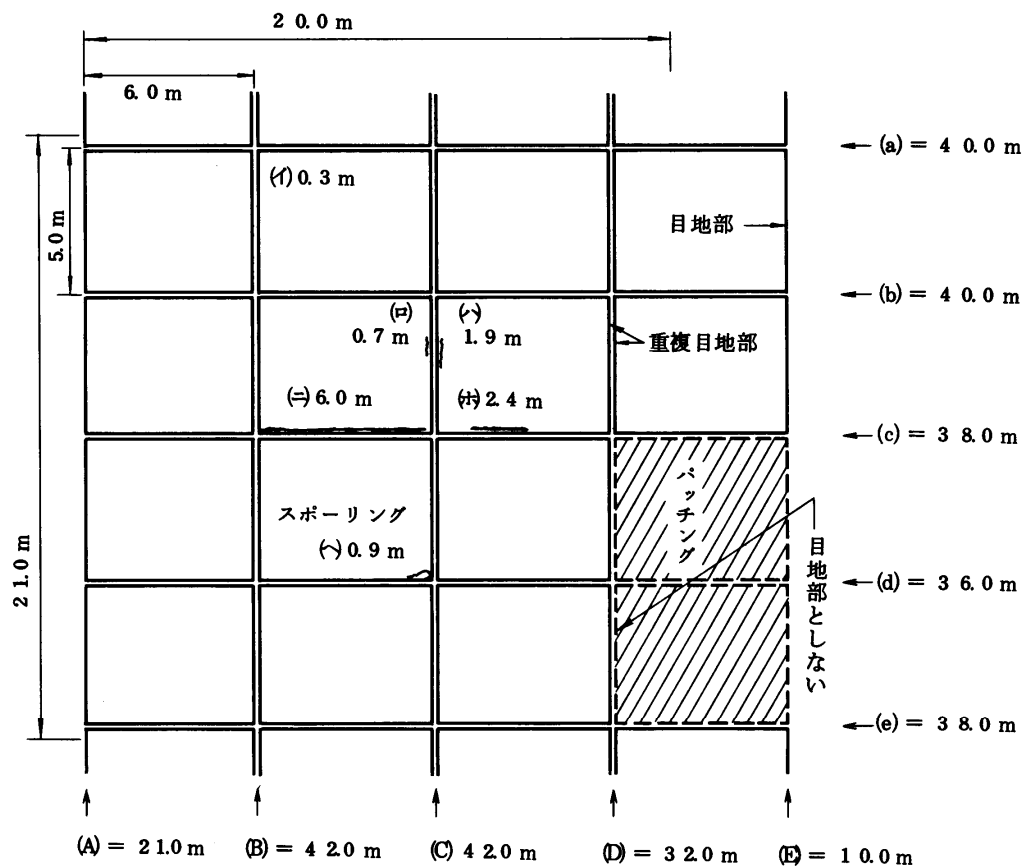


図 V-2.3 目地部の破損率の算出例（大型ジェット機が就航する空港の場合）

(6) 段差

- 段差とは、図 V-2.4 に示すように、目地部及びひび割れ部での段差をいう。
- 段差の測定には、定規や MMS を用いる。

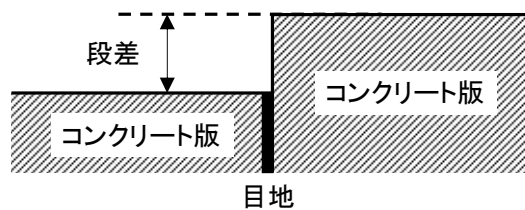


図 V-2.4 段差の定義

V-2.2.2 すべり摩擦係数調査

コンクリート舗装の路面のすべり抵抗性は、すべり摩擦係数を測定するものとする。

- すべり摩擦係数調査の方法は、Ⅲ-2.2.2 に準じて行うものとする。

V-2.3 構造の調査

V-2.3.1 非破壊調査

コンクリート舗装における非破壊調査の方法としては、FWD（フォーリング・ウェイト・デフレクトメータ）調査によるものとする。

- (1) 非破壊調査は、調査対象地点の舗装構成、当該地域での過去の調査例等を参考に、調査数量、配置等を計画する必要がある。
- (2) 非破壊調査は、舗装を損傷することなく短時間のうちに数多くの地点で行えるため、時間的制約の厳しい供用中の空港において有効な調査である。
- (3) FWD 調査^{63), 64), 65), 66)}は、舗装面のたわみより、目地部やひび割れ部の荷重伝達率等を調査することができる。調査方法は、重錘をコンクリート舗装表面に落下させ、舗装表面のたわみを計測し、舗装構造の健全度を非破壊で調査するものである。
- (4) FWD 調査は、通常 1 箇所要する測定時間は 5 分程度であるが、目地部やひび割れ部での調査では、FWD 載荷版の位置合わせ等にも時間を要することに留意する必要がある。
- (5) 使用する FWD には、空港用 FWD 及び道路用 FWD がある。空港用 FWD は、B747-400 の一輪の接地荷重及び接地面積を根拠として、載荷荷重は 49～245kN、載荷版直径は 450mm であり、舗装面のたわみを複数の計測点（載荷点から 0～250cm の範囲としている機種が多い）のセンサーによって検出するものである。また、道路用 FWD は、載荷荷重は 49～147kN、載荷版直径は 300mm であり、舗装面のたわみを複数の計測点（載荷点から 0～150cm の範囲としている機種が多い）のセンサーによって検出するものである。国内で稼働している FWD の一覧については、NPO 法人 舗装診断研究会のホームページにまとめられている。
- (6) 使用する FWD の載荷荷重は、表 V-2.2 を目安に選択するものとする。載荷荷重は 49kN、98kN、147kN、196kN、245kN、載荷版直径は 300mm 又は 450mm とするのが一般的であるが、計測されるたわみが小さくなると誤差が大きくなるため、載荷荷重は大きい方が望ましい。

表 V-2.2 FWD の載荷荷重の選択の目安

施設	載荷荷重
滑走路・誘導路・エプロンの本体	98kN 以上
ショルダー・過走帯等	49kN 以上

- (7) FWD 調査時には、必ず舗装表面温度を計測する。
- (8) FWD 調査の実施にあたっては、調査対象地点の舗装構成が均一かどうか、舗装履歴は一定かどうか、また当該区域の舗装強度の分布が過去の調査で把握されているか等により、調査数量と配置を設定する必要がある。しかし、FWD 調査は比較的簡便であるので、できるだけ多く調査を実施し、舗装強度の平面的な分布を把握することが望ましい。V-2.2.1 路面性状調査で示したデータユニットサイズに合わせて 1 データユニット 1 箇所での実施を標準とする。

- (9) コンクリート舗装の新設・補修後には、早期に FWD によるたわみの初期値を測定することを標準とする。初期値を測定することにより、次期の補修にあたっての評価参考値とすることが可能となる。
- (10) FWD 調査の詳細については、付録-20 に示す。

V-2.3.2 解体調査

解体調査は、コンクリート舗装の構造上の問題及びその原因を直接的に評価するために、各種試験を行うものとする。

- (1) 解体調査は、その目的と活用方法を明確にするとともに、FWD 調査結果のみならず、当該空港及び対象となる施設における航空機の走行頻度、破損の状況、過去の緊急補修の頻度や調査例等を参考にして、適切な調査項目、数量等を計画する必要がある。
- (2) 解体調査の実施については、表 V-2.3 を参考とすることができる。

表 V-2.3 解体調査の実施の目安

		路面の調査
		問題あり
構造の調査	問題のある可能性小	A
	問題のある可能性大	A+B

A：コンクリート版を対象とした解体調査

B：路盤、路床を対象とした解体調査

- (3) 解体調査は、撤去・掘削、調査・試験、舗装復旧の 3 工程からなり、1 箇所あたりの調査に時間を要する。このことから、供用中の空港では、厳しい制限時間のなかでも空港運用に支障の無いようにする必要がある。一般的には切取りコア供試体による調査に比べて、テストピットによる調査は費用が高いため、試験箇所数が限定されるという短所はあるが、設計法に即した形での舗装現況の把握、破損原因の究明等が可能となる。
- (4) コンクリート舗装における標準的な解体調査項目を表 V-2.4 に示す。
- (5) 解体調査では、制限時間内に舗装復旧まで行う必要があり、撤去・掘削と舗装復旧の作業時間が長い場合、これらの所要時間を含めた十分な調査計画の検討が必要である。また、コンクリート舗装を対象とした解体調査の場合、現場における作業時間は、コンクリート版の切断と復旧に要する時間に係わる要素が大きい。
- (6) テストピットの位置の選定にあたっては、コンクリート舗装の目地の位置も考慮する必要がある。
- (7) テストピットから採取したコンクリート版から角柱供試体を切り取る場合には、鉄網が供試体に含まれないようにする必要がある。鉄網は、コンクリートの表面からコンクリート版厚÷4+2 cm の位置に設置されることが多い。
- (8) コンクリート版の曲げ強度は、切取り供試体による曲げ強度試験から求めるのが確実であるが、圧縮強度試験、引張強度試験で求めた圧縮強度・引張強度から曲げ強度を推定する

ことができる（表V-3.5 参照）。

表V-2.4 解体調査による試験項目と試験仕様

試験項目	試験法	試験場所	実施の目安
コンクリートの断面測定	—	現場	A
コンクリートの静弾性係数試験	JIS A 1149	室内	C
コンクリートの曲げ強度試験	JIS A 1106		B
コンクリートの圧縮強度試験	JIS A 1108		A
コンクリートの引張強度試験	JIS A 1113		A
コンクリートの曲げ疲労試験	※B070T		C
路床・路盤の断面測定	—	現場	B
路盤の修正 CBR 試験	※E001	室内	B
路盤の締固め試験	JIS A 1210 JIS A 1214	現場及び 室内	B
路盤の現場密度試験	JIS A 1214	現場	B
路床・路盤の平板載荷試験	JIS A 1215	現場	B

試験法 ※印 : 舗装調査・試験法便覧²⁾による番号
 JHS : NEXCO 試験法^{70), 71)}
 JIS : 日本産業規格による規格
 実施の目安 A : コンクリート版を対象とした解体調査
 B : 路盤，路床を対象とした解体調査
 C : 荷重支持性能の設計供用期間（20 年）が経過している場合に推奨される試験

- (9) 解体調査の現場における作業可能時間は，作業時期や空港ごとの滑走路閉鎖時間により異なるが，参考として解体調査における標準的な作業時間を表V-2.5～表V-2.7に示す。

表V-2.5 解体調査（テストピット調査）の現場における標準作業時間の例

作業内容	所要時間	備考
入場	15 分	
舗装版切断＋撤去	85 分	1.0m×2.0m×0.4m 試料採取時間が含まれる
路盤掘削	50 分	粒状路盤厚 0.5m 試料採取時間が含まれる
調査・試験	x 分	表V-2.6, 表V-2.7 を参照
舗装復旧	155 分	路盤復旧工 55 分 アスファルト舗装工 100 分
養生	40 分	表面温度 50℃
片付け	15 分	
合 計	360+x 分	

表V-2.6 コンクリート版の供試体採取に要する作業時間

採取する供試体	供試体の寸法	所用時間	適用
切取りコア 供試体	φ 100mm～φ 152mm	20 分／本	室内試験用
曲げ強度 供試体	150mm×150mm×530mm	30～85 分／箇所 供試体の整形は室内で実施	曲げ強度 試験用

表V-2.7 路床・路盤の現場試験・試料採取に要する作業時間

試験項目	所要時間	適用
試料採取	60 分／試料	室内試験用
現場密度試験	30 分／箇所	砂置換法
平板載荷試験	60 分／試料	

- (10) コンクリート舗装の解体調査の試験項目及び頻度は、**表V-2.8**を参考とすることができる。テストピットは、舗装の状況を把握するのに適切な箇所数とする。テストピットの寸法は、原位置試験を行う場合は幅 2m×長さ 1m、試料の採取のみを行う場合は幅 1m×長さ 1m を標準とする。

表V-2.8 コンクリート舗装の解体調査の試験項目及び頻度

試験項目	試験対象	頻度
現場密度試験	上層路盤，下層路盤	テストピット1箇所あたり各々3個
平板載荷試験	上層路盤，下層路盤，路床※	テストピット1箇所あたり各々1回
コンクリートの強度試験（曲げ，曲げ疲労）	コンクリート版	テストピット1箇所あたり必要量

※下層路盤や路床の平板載荷試験は作業時間が長いため必要に応じて実施する。

V-3 コンクリート舗装の評価

V-3.1 総則

- (1) コンクリート舗装は，アスファルト舗装に比べて一般に長期間良好な路面性状を維持するものの，供用後に航空機の荷重作用及び気象作用等を受けて破損が進行し，舗装の機能が低下することから，適切な時期に最適な補修を実施するための評価を行うものとする。
- (2) コンクリート舗装の破損には，主として路面性状に関する機能上のものと，路床，路盤及びコンクリート版の破損に関する構造上のものがあるので，これらを適切に評価するものとする。
- (3) コンクリート舗装の路面の評価では，路面性状調査及びすべり摩擦係数調査の結果に基づき，走行安全性能を総合的に評価するものとする。また，設計供用期間及び交通履歴等も踏まえ，補修の必要性を判断するものとする。
- (4) コンクリート舗装の構造の評価では，非破壊調査及び解体調査の結果に基づき，荷重支持性能を総合的に評価するものとする。また，設計供用期間及び交通履歴等も踏まえ，補修規模・補修工法を判断するものとする。

- (1) コンクリート舗装の補修を行うには，舗装の状況を把握するとともに，舗装の破損の原因を理解することが必要である。表V-3.1はコンクリート舗装の破損の分類とその主な原因をとりまとめたものである。
- (2) 路面の評価は，コンクリート舗装に求められる走行安全性能の現状を的確に把握することが目的であり，補修を実施する時期を決定するために実施する。
- (3) 構造の評価は，コンクリート舗装に求められる荷重支持性能を的確に把握することが目的であり，補修の規模や補修工法を決定するために実施する。
- (4) コンクリート舗装には無筋コンクリート，鉄筋コンクリート，連続鉄筋コンクリート，プレストレストコンクリート舗装と色々な種類がある。これらの舗装はコンクリート版挙動に各々特徴があり，目地構造も異なる。したがって，構造の評価にあたっては，コンクリート版挙動の違いを考慮した検討を行うものとする。舗装設計編では，無筋コンクリート舗装についての構造の評価を記述している。

表V-3.1 コンクリート舗装の破損の分類と原因

破損の分類			主な原因
主として路面性状に関する破損	局所的なひび割れ	版底面に達しないひび割れ ・初期ひび割れ ・隅角部ひび割れ ・横断方向ひび割れ ・縦断方向ひび割れ	路床・路盤の支持力不足，目地構造・機能の不完全，コンクリート版厚の不足，地盤の不同沈下，コンクリートの品質不良
		埋設構造物等の付近のひび割れ	構造物と路盤との不同沈下，構造物による応力集中
	段差	構造物付近の凹凸 コンクリート版の段差	路床・路盤の転圧不足，地盤の不同沈下，ポンピング現象，ダウエルバー・タイバーの機能の不完全
	変形	縦断方向の凹凸	路床・路盤の支持力不足，地盤の不同沈下
	摩耗	ポリッシング はがれ（スケーリング）	粗面仕上げ面の摩損，軟質骨材の使用，凍結融解作用，コンクリートの施工不良，締固め不足
	目地部の破損	目地材の破損	目地板の老化，注入目地材のはみ出し，老化・硬化・脱落，ガスキットの老化・変形・脱落等
		目地縁部の破損	目地構造・機能の不完全
	その他	穴あき	コンクリート中に混入した木材等不良骨材の混入，コンクリートの品質不良
主として構造に関する破損	全面的なひび割れ	版底面に達するひび割れ ・隅角部ひび割れ ・横断方向ひび割れ ・縦断方向ひび割れ	路床・路盤の支持力不足，目地構造機能の不完全，コンクリート版厚の不足，地盤の不同沈下，コンクリートの品質不良
		亀甲状ひび割れ	上記のひび割れが進行したもの
	座屈	ブローアップ クラッシング	目地構造・機能の不完全
	その他	版の持ち上がり	凍上抑制層厚の不足

V-3.2 路面の評価

V-3.2.1 路面性状調査に基づく評価

コンクリート舗装の路面の評価は、路面性状調査の結果より求められるひび割れ度、目地部の破損率、段差及び舗装補修指数（PRI）に基づき行うものとする。

- (1) コンクリート舗装の路面の評価に用いる PRI¹⁹⁾は(式V-3.1)により算出するものとする。

$$PRI = 10 - 0.290CR - 0.296JC - 0.535SV \quad \dots \dots \dots \text{(式V-3.1)}$$

ここに、

PRI : 舗装補修指数 (Pavement Rehabilitation Index)

CR : ひび割れ度 (cm/m²)

JC : 目地部の破損率 (%)

SV : 段差 (最大値) (mm)

- (2) 路面性状調査による実測値が、ひび割れ度 5.3cm/m²、目地部の破損率 4.2%、段差 8mm となったときの PRI は、次のように計算される。

$$PRI = 10 - 0.290 \times 5.3 - 0.296 \times 4.2 - 0.535 \times 8.0 = 2.94$$

- (3) PRI による評価基準の例を表V-3.2に示す。

表V-3.2 PRI による評価基準の例

舗装区域	評価				
	A	B1	B2	B3	C
滑走路	7.0 以上	5.9 以上 7.0 未満	4.8 以上 5.9 未満	3.7 以上 4.8 未満	3.7 未満
誘導路	6.4 以上	5.0 以上 6.4 未満	3.7 以上 5.0 未満	2.3 以上 3.7 未満	2.3 未満
エプロン	5.7 以上	3.8 以上 5.7 未満	1.9 以上 3.8 未満	0.0 以上 1.9 未満	0.0 未満

(注) A : 補修の必要はない

B : 近いうちの補修が望ましい

(B1 : 優先度 低, B2 : 優先度 中, B3 : 優先度 高)

C : できるだけ早急に補修の必要がある

- (4) コンクリート舗装の破損は表V-3.3に示すように多岐にわたる。一般には、ひび割れ、目地部の破損、段差などが複合していることが多いが、個別項目だけの破損が大きく、他の項目はほとんど問題がない場合もある。したがって、コンクリート舗装の路面の評価に大きく影響すると考えられるひび割れ度、目地部の破損率及び段差の3項目について、表V-3.3に示す各項目に対する評価基準を参考とし、PRIによる評価も含めた総合的な判断により補修の必要性を評価する必要がある⁷²⁾。

表V-3.3 コンクリート舗装破損の各項目に対する評価基準の例

項目	舗装区分	評価				
		A	B1	B2	B3	C
ひび割れ度 (cm/m ²)	滑走路	0.2 未満	0.2 以上 2.0 未満	2.0 以上 3.8 未満	3.8 以上 5.6 未満	5.6 以上
	誘導路	0.6 未満	0.6 以上 2.9 未満	2.9 以上 5.3 未満	5.3 以上 7.6 未満	7.6 以上
	エプロン	1.1 未満	1.1 以上 4.4 未満	4.4 以上 7.8 未満	7.8 以上 11.1 未満	11.1 以上
目地部の 破損率 (%)	滑走路	0.1 未満	0.1 以上 0.5 未満	0.5 以上 0.9 未満	0.9 以上 1.3 未満	1.3 以上
	誘導路	0.1 未満	0.1 以上 1.1 未満	1.1 以上 2.2 未満	2.2 以上 3.2 未満	3.2 以上
	エプロン	0.1 未満	0.1 以上 2.0 未満	2.0 以上 3.8 未満	3.8 以上 5.7 未満	5.7 以上
段差 (mm)	滑走路	5 未満	5 以上 7 未満	7 以上 8 未満	8 以上 10 未満	10 以上
	誘導路	5 未満	5 以上 7 未満	7 以上 10 未満	10 以上 12 未満	12 以上
	エプロン	5 未満	5 以上 8 未満	8 以上 11 未満	11 以上 14 未満	14 以上

(注) A : 補修の必要はない

B : 近いうちの補修が望ましい

(B1 : 優先度 低, B2 : 優先度 中, B3 : 優先度 高)

C : できるだけ早急に補修の必要がある

- (5) コンクリート舗装の路面の評価にあたっては、老化による剥離、摩耗、変形による排水条件の悪化等が生ずるため、これらの項目でも顕著な破損の進行が認められれば、評価項目として判定の対象にする必要がある。

V-3.2.2 すべり摩擦係数調査に基づく評価

コンクリート舗装の路面のすべり抵抗性は、SFTにより測定したすべり摩擦係数により評価を行うものとする。

- (1) 滑走路に求められる走行安全性能のうちすべりに対して、路面のすべり抵抗性の評価を行う必要がある。

V-3.3 構造の評価

V-3.3.1 非破壊調査に基づく評価

- (1) 非破壊調査による評価から，解体調査位置及び解体調査内容を選定するものとする。
- (2) FWD による非破壊調査で取得したたわみデータから求められる，目地部及びひび割れ部における荷重伝達率により，コンクリート舗装の構造の評価を行うものとする。

(1) FWD を用いたコンクリート舗装のたわみ測定による構造評価のフローを図 V-3.1 に示す。

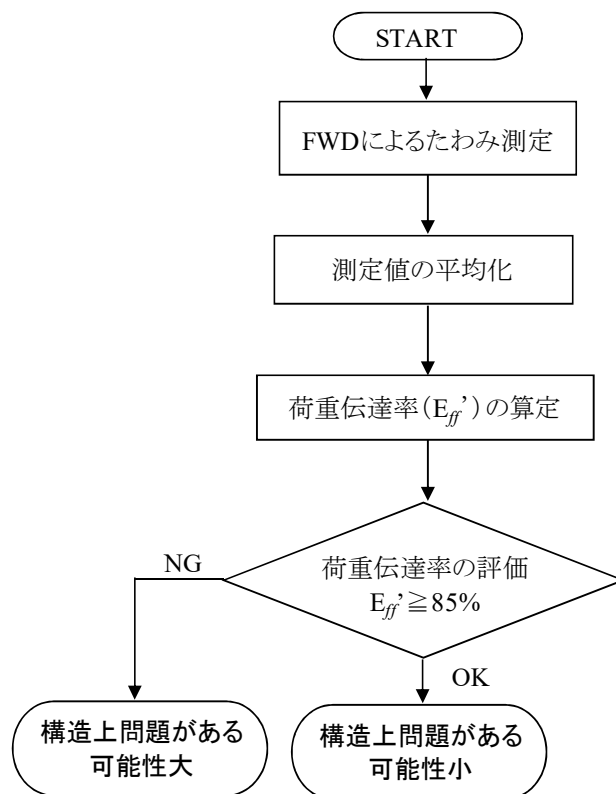


図 V-3.1 FWD を用いたコンクリート舗装のたわみ測定による構造評価フロー

- (2) コンクリート舗装の構造を，非破壊調査に基づき評価するにあたっては，FWD の測定を図 V-3.2 に示すように目地部及びひび割れ部で行い，取得した既設舗装のたわみデータを用いて，目地部及びひび割れ部の荷重伝達率 E_{ff}' を（式 V-3.2）によって求めることができる。

$$E_{ff}' = \frac{D_{45-ave}}{(D_{0-ave} + D_{45-ave})/2} \times 100 (\%) \quad \dots \dots \dots \text{(式 V-3.2)}$$

ここに， D_{0-ave} 、 D_{45-a} は図 V-3.2 に示す載荷側，非載荷側の版の平均たわみである（載荷板が 30cm の場合は，載荷板の中心から 30cm の位置のたわみ量 D_{30-} を用いる）。

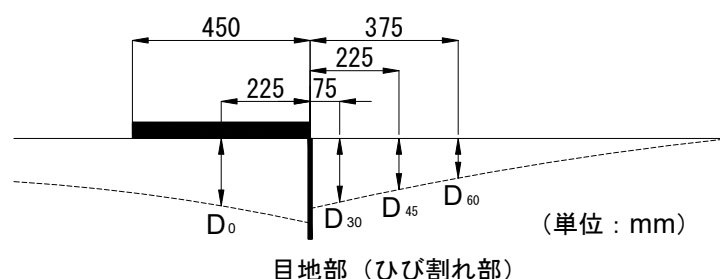


図 V-3.2 目地部及びひび割れ部での FWD によるたわみの測定方法
(載荷版直径が 45cm の場合)

- (3) 一般的な目地及びひび割れ部では、構造的な健全度を荷重伝達率によって評価できる。図 V-3.2 において非載荷側のたわみ D_{45} の値が、載荷側のたわみ D_0 の値に近いほど荷重伝達機能が健全であるといえる。したがって、ダウエルバーが破損している場合や、ひび割れ幅が大きい場合は、非載荷側のたわみ量 D_{45} は載荷側のたわみ量 D_0 に比較して小さくなる。健全な目地及びひび割れ部の荷重伝達率は、85%以上が必要であると考えられる。
- (4) コンクリート版と路盤の間に空隙がある場合は、空隙がない場合に比べて、FWD の最大たわみ D_0 が大きくなる。空隙の有無や大きさについては、多数の地点でのたわみを相対比較することによって判定が可能となる。
- (5) 空隙が生ずる危険性は、隅角部において最も大きいことから、航空機の脚が通過する箇所については十分な調査を行い評価することが望ましい。

V-3.3.2 解体調査に基づく評価

解体調査に基づき、コンクリート舗装の構造の健全度について総合的な評価を行うものとする。

- (1) 解体調査による構造の評価として、健全であるとする目安値を表 V-3.4 に示す。

表 V-3.4 解体調査において健全であるとする目安値の例

試験項目	測定項目	目安値
コンクリートの曲げ強度試験	曲げ強度	設計値以上
路盤の修正 CBR 試験	修正 CBR (%)	空港土木工事共通仕様書に記載の規定値以上
路盤の締固め試験	締固め度 (%)	最大乾燥密度の 95% 以上 (粒度調整碎石)
路床・路盤の平板載荷試験	K 値	設計値以上

- (2) コンクリート版については、室内試験によって求めたコンクリートの曲げ強度を設計時における値と比較すること等により、健全度及び支持力を評価することができる。

- (3) 路床・路盤については、現場密度試験及び平板載荷試験の結果を設計時における値と比較すること等により、健全度及び支持力を評価することができる。
- (4) 圧縮強度・引張強度から曲げ強度を求める換算式を表V-3.5に示す。

表V-3.5 舗装用コンクリートの曲げ強度とその他の強度との関係²⁾

曲げ強度 (MPa)		換算式	3.5	4.0	4.4	4.8	5.0	5.3
引張強度 (MPa)	φ 125 (mm)	$f_t = (f_b/2.21)^{1.40}$	1.9	2.3	2.6	3.0	3.1	3.4
圧縮強度 (MPa)		$f_c = (f_b/0.42)^{1.5}$	24	29	34	39	41	45

注) 強度換算式は旧建設省土木研究所及び(社)セメント協会の研究結果に基づくものである。
また、 f_b 、 f_t 及び f_c はそれぞれ曲げ強度、引張強度、圧縮強度を示す。

V-4 コンクリート舗装の補修

V-4.1 総則

コンクリート舗装の補修は、破損の形態や破損の程度に基づき、対象施設の運用条件、経済性及び将来計画等も考慮し、総合的に判断して行うものとする。

- (1) 空港舗装の補修では、空港運用上の理由により、補修工事にあたり施工時間帯等の制約条件が課されることが多い。そのため、最適な補修工法として必ずしも低廉な補修工法が選定されない場合がある。

V-4.2 補修工法の選定

V-4.2.1 総則

コンクリート舗装の補修工法は、既設舗装に対する調査の結果に基づき、求められる性能を回復させるため、破損状況及び構造上の問題の有無により、適切に選定するものとする。

- (1) コンクリート舗装の補修工法としては、付着オーバーレイ工法、分離オーバーレイ工法、打換え工法が一般的である。構造上の問題の有無にかかわらず、いずれの補修工法も選択することができるが、既設舗装の補修状況に応じて、経済性、確実性及び施工性を総合的に検討し、適切な補修工法を選定する必要がある。
- (2) 空港舗装の補修では、空港施設の運用上の関連から時間的制約条件が厳しく、補修工事のために施設閉鎖や、施工期間を十分に確保することが難しい場合が多い。そのため、現場での施工可能時間に十分留意した補修工法の選定が必要である。
- (3) 縦横断勾配については、航空法施行規則第 79 条等に記載されている該当する勾配を逸脱しないよう設計し、施工する必要がある。
- (4) 構造上問題のない場合の考え方
- (i) 構造上問題のない場合とは、既設舗装の材料性状が低下して、路面に破損が生じているが、その原因が舗装構造上の問題に起因していない状態をいう。
 - (ii) 舗装の路面性状の回復のみを目的とした補修では、経済性や施工性からコンクリートによる付着オーバーレイ工法は有効な工法と考えられる。ただし、既設舗装表面の破損が

原因でオーバーレイ層と既設舗装との付着の確保が困難と考えられる場合には、分離オーバーレイ工法、打換え工法が採用される。

- (iii) 構造上問題のない状態であっても、補修後の設計供用期間内において、将来的に路床・路盤の支持力低下により構造上の問題が生じる可能性もあるため、補修設計にあたっては、支持力低下に対する評価を行うことが望ましい。

- (iv) 構造上問題のない場合の補修設計では、材料設計について検討する必要がある。

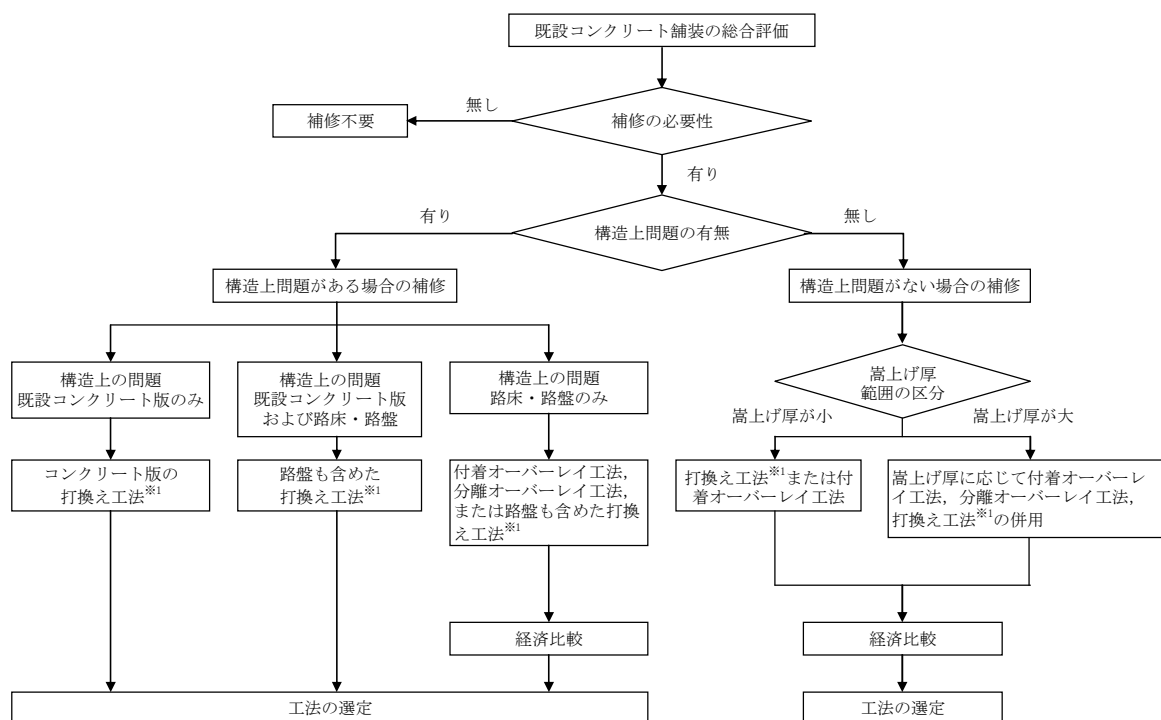
(5) 構造上問題のある場合の考え方

- (i) 構造上問題のある場合とは、主にコンクリート版に疲労ひび割れが多数発生している状態や、路床・路盤の支持力が低下しているなど、荷重支持性能に問題があり、これが原因となって舗装が破損している状態をいう。また、構成材料の性能低下に起因して舗装が破損している状態をいう。
- (ii) 構造上問題のある場合の補修設計では、構造設計及び材料設計について検討する必要がある。

V-4.2.2 補修工法

- (1) 付着オーバーレイ工法については、施工後の縦断及び横断勾配が許容値以内になり、かつ経済的になるように、コンクリート版の厚さ等について設計するものとする。
- (2) 分離オーバーレイ工法については、付着オーバーレイ工法に比較して、周辺施設との高さ調整に余裕がある場合に採用するものとする。付着オーバーレイ工法と同様に、施工後の縦断及び横断勾配が許容値以内になり、かつ経済的になるように、コンクリート版の厚さ等について設計するものとする。

- (1) コンクリート舗装における一般的な補修工法の選定フローを図V-4.1に示す。



打換え工法^{※1}：施工上の制約（工期、運用条件等）を受け、施工期間の確保が困難な場合は、プレキャストコンクリート舗装の採用を検討する。

図V-4.1 コンクリート舗装における補修工法の選定フロー

- (2) 付着オーバーレイ工法は、既設舗装版の表面にオーバーレイ層との付着を高める処理を施した後、オーバーレイ層を敷設して一体化させる工法である。オーバーレイ厚を薄くできるため周辺施設との高さ調整においては有効な工法である。オーバーレイの最小厚は5cmを標準とする。
- (3) 付着オーバーレイ工法については、既設コンクリート舗装とオーバーレイ層との付着を確保することが重要である。試験舗装を用いた既往の研究⁷⁹⁾では、引張付着強度が1.6MPa以上あれば、層間剥離が生じないことが確認されている。
- (4) 既設コンクリート舗装とオーバーレイ層との引張付着強度は、事前に試験施工を実施し、室内引張試験による最小引張付着強度が1.6MPa以上であることを確認することを標準とする。ただし、以下の2工法については、試験舗装を用いた既往の研究⁷⁹⁾において、1.6MPa以上の最小引張付着強度が得られることが確認されている。
 - (i) ウォータージェット・ショットブラスト併用工法
ウォータージェット処理後に、レーザ変位計によるプロファイルの測定（0.5mmピッチ、延長20cm）を実施し、平均深さ6.5mm以上、斜長比1.2以上を確認した後、投射密度100kg/m²のショットブラストを行う方法を標準とする。この場合、前述の平均深さ、斜長比が得られるように、施工前に既設コンクリート舗装の性状に応じたウォータージェットの仕様を決定することが望ましい。
 - (ii) ショットブラスト・接着剤併用工法

投射密度を 150kg/m² としたショットブラストを用いて既設コンクリート面を研掃した後に、平滑な面の場合は 1.0L/m²、切削面の場合は 1.3L/m²（既設コンクリートの粗骨材寸法 40mm の場合）の接着剤を塗布する方法を標準とする。この場合、用いる接着剤はエポキシ系とし、表 V-4.1 に示す性能を満足する必要がある。

表 V-4.1 ショットブラスト・接着剤併用工法に用いる接着剤の性能（試験温度：20℃）

項目	試験方法	性能
圧縮強さ	JIS K 7181	50MPa 以上
圧縮弾性係数	JIS K 7181	1000MPa 以上
曲げ強さ	JIS K 7171	35MPa 以上
引張せん断強さ	JIS K 6850	10MPa 以上
コンクリート付着強さ	JIS A 6909	1.6MPa 以上又は母材破壊
残留引張強さ (材料耐久性)	強度試験：室内引張試験 暴露条件：JIS K 6857 処理条件 E	90%以上又は母材破壊 (暴露後の強度/初期の強度)

- (5) 分離オーバーレイ工法は、既設舗装とオーバーレイとの間にアスファルト混合物による分離層を設けて、両舗装間の付着を断つ工法である。オーバーレイ厚が大きく、かつ施工時間が長くかかる。したがって、分離オーバーレイ工法は、既設舗装高さより舗装計画高さを高くすることが可能な場合か、又は必要がある場合で、かつ施工期間中にわたって施設使用の中止が可能であるといった場合に適用される工法といえる。
- (6) 分離オーバーレイ工法におけるオーバーレイコンクリート層の最小厚は 15cm を標準とする。また、アスファルト混合物による分離層の最小厚は 3cm を標準とする。

V-4.3 構造上問題のない場合の補修

コンクリート舗装に対する路面の評価では補修の必要があるが、構造上問題のない場合には、走行安全性能を回復するための補修が必要であり、既設舗装の路面性状及び材料性状等を踏まえ、経済性及び施工性も含めて総合的に判断し、補修工法を選定するものとする。

- (1) 走行安全性能に対する照査は、IV-3 及び V-4.6 により実施する。
- (2) 構造上問題のない場合の舗装の路面の破損とは、老化や交通に起因して発生した路面の荒れ、平坦性の悪化などが顕著なものを指す。一般にひび割れは構造上の問題であるが、ヘアークラック程度のものは、その時点では構造的に問題のないものとして扱うことができる。
- (3) 構造上問題のない場合の補修工法は、コンクリート版表面のモルタル分の摩耗や、タイヤのけりによる骨材の剥離、飛散等の路面性状の悪化進行を防止し、改良するためのものである。悪化の予防措置や応急措置としての意味を持つことから、強度を回復したり、強度増加を図る工法とは分けて考える。コンクリート版表面のひび割れ・浮き・剥離に対応するため、コンクリート版表面近傍に樹脂を充填した事例がある⁸⁹⁾。

V-4.4 構造上問題のある場合の補修

構造上問題があると評価された場合、あるいは、近い将来に構造上の問題が懸念される場合においては、荷重支持性能、走行安全性能を回復するための補修が必要であり、解体調査結果を踏まえ、経済性及び施工性も含めて総合的に判断し、補修工法を選定するものとする。

- (1) 荷重支持性能に対する照査は、Ⅳ-2 及び V-4.5 により実施する。
- (2) 走行安全性能に対する照査は、Ⅳ-3 及び V-4.6 により実施する。

V-4.5 構造設計

構造設計は、既設舗装の荷重支持性能の評価結果を踏まえ、荷重支持性能を回復させるために行うものとする。

- (1) 構造上問題のある場合には、コンクリート舗装に求められる性能を回復させるための補修を行う必要がある。基本的には既設舗装の補修のための構造設計は、経験的設計法や理論的設計法により算定される新設時の断面と既設舗装の断面を比較することにより実施する。
- (2) 付着オーバーレイ工法における設計では、既設コンクリート版の累積疲労度を考慮する必要はなく、既設コンクリート版厚にコンクリートオーバーレイ厚を加えた新設コンクリート版として、新設コンクリート舗装の場合と同様の方法で照査を行うことができる。
- (3) 分離オーバーレイ工法における設計では、既設コンクリート版の累積疲労度を考慮する必要はなく、既設コンクリート版以下を新設版に対する路盤とみなして等価路盤支持力係数を算定し、新設コンクリート舗装の場合と同様の方法で照査を行うことができる。
- (4) 打換え工法の設計では、新設コンクリート舗装の場合と同様の方法で照査を行うことができる。

V-4.6 材料設計

材料設計は、既設舗装の荷重支持性能及び走行安全性能の評価結果を踏まえ、この性能を回復させるために行うものとする。

- (1) コンクリート舗装の補修に使用する材料は、「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」で示される品質規定を満足するとともに、当該空港や施設の特異性及び施工性を考慮して選定する。
- (2) 空港の無筋コンクリート舗装に用いるコンクリートについては、水セメント比の平均値が約 40%である等、配合に関する実績が参考文献¹⁰²⁾に記載されているので参考にするとよい。
- (3) 付着オーバーレイ工法のオーバーレイ層に用いるコンクリートの粗骨材最大寸法は 20mm とすることができる⁷⁹⁾。

V-4.7 施工計画

コンクリート舗装の補修工事における施工計画は、当該空港の運用に伴う工事制約条件、資機材調達条件及び施工の確実性等を十分に考慮して検討するものとする。

- (1) コンクリート舗装の補修を行う場合、その施工区域が運用時間を含めてある期間閉鎖され、

その閉鎖により空港の運用上も支障が生ずる可能性が高い。施工計画では、空港の運用上の支障を最小限とするように、施工範囲、施工手順等について空港管理者と調整し、綿密な施工計画の検討が必要である。

- (2) 施工計画の検討において一般的に留意すべき事項は以下のとおりである。
 - (i) 前提条件の設定
作業可能時間及びコンクリート養生期間を設定する。
 - (ii) 日施工タイムスケジュールの検討
工種別作業能力を設定した上で、入場から退場までの日施工タイムスケジュールを検討する。この際、機材投入台数をパラメータとして行う場合もある。
 - (iii) 日施工量の検討
日施工タイムスケジュールより日施工量を設定する。
 - (iv) 資機材調達の検討
日施工量より必要なコンクリート量、アスファルト混合物量、投入機材を算定し、調達方法について検討する。
- (3) 付着オーバーレイ工法において、既設舗装区域と補修区域の境界部は、付着オーバーレイ工法での施工最小厚を確保するよう切削すり付けを行うことを標準とする。付着オーバーレイ厚の最小施工厚は **5cm** を標準とする。
- (4) 空港舗装の補修工事では、航空灯火施設の設置状況等について留意する必要がある。また、補修工事に伴う舗装発生材を極力少なくすることも考慮する必要がある。
- (5) 補修の施工にあたっての留意点を**付録-17**に示す。
- (6) コンクリート舗装の新設・補修後には、早期に FWD によるたわみの初期値を測定することを標準とする。初期値を測定することにより、次期の補修にあたっての評価参考値とすることが可能となる。

付 録

付録-1 用語の説明

CBR

California Bearing Ratio の略称であり，路床及び粒状路盤の支持力を表す指標の 1 つである．直径 50mm のピストンを供試体表面から貫入させたとき，通常 2.5mm の貫入量における試験荷重強さと標準荷重強さの比を百分率で表したものをいう．

FWD (Falling Weight Deflectometer)

非破壊調査の一種．層構造理論との対応性をよくするために載荷板は円形で，より実際の車両に近い荷重の重錘をある高さから自由落下させることによって，舗装に衝撃荷重を与え，そのときのたわみを測定できる装置をいう．

PC 鋼材

プレストレスを与えるために用いる高強度の鋼材であり，PC 鋼線，PC 鋼より線及び PC 鋼棒がある．

アスファルトコンクリート

アスファルトと粒度，品質の良い骨材との高品質でかつ完全に管理した加熱混合物で，十分に締固めて均一な密度にしたものをいう．

アスファルト混合物

骨材並びにアスファルト，フィラー，添加材料等の材料を混合したものをいう．

アスファルト中間層

路盤の耐水性及び耐久性を改善するなどの目的で路盤の最上部に設ける密粒度アスファルトコンクリートの層をいう．なお，連続鉄筋コンクリートの場合には，このほかにコンクリート版の横ひび割れ幅の抑制効果を有している．

アスファルト乳剤

界面活性剤などを用いてアスファルトを水に微小な粒子として分散させたものをいう．

アスファルト舗装

粒状材，アスファルト安定処理材，セメント安定処理材，リーコンクリートなどの支持層上にアスファルトコンクリートの表層を持つ舗装をいう．

安定処理材

安定処理材料に使用するセメントや石灰あるいはアスファルトなどの瀝青材料をいう．

異形鉄筋

リブやふしなどの表面突起を有する棒鋼で，JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」に規定する熱間圧延異形棒鋼，又はこれと同等の品質及び形状を有する鉄筋をいう．

維持

交通に支障を及ぼすような破損に対する緊急な措置や比較的局部的な処置をいう。

永久荷重

変動がほとんどないか、変動が持続的成分に比べて無視できるほど小さい荷重をいう。

エロージョン

交通荷重の繰返し作用により、土質材料が水の存在によって吸い出されコンクリート版下に空洞が生じる現象をいう。

置き換え深さ

路面から凍上を起こしにくい材料で占められている層の下面までの深さをいう。

温度応力

温度変化に伴う物体の膨張、収縮等の体積変化が、外的あるいは内的要因により拘束されるために物体内に発生する応力をいう。

解体調査

コア供試体やテストピット掘削により、舗装の一部を解体し、各層の厚さや材質の変化、強度等を調べ、舗装構造上の評価を行うために実施する調査をいう。

改良かぎ型施工目地

かぎを矩形の両端に半円を付けた形状としたかぎ型施工目地をいう。通常、かぎの部分はコンクリートによるプレキャスト部材である。

荷重

舗装に応力や変形の増減を起こさせるすべての作用をいう。

荷重係数

荷重の特性値から望ましくない方向への変動、荷重の算定方法の不確実性、設計供用期間中の荷重の変化、荷重特性が限界状態に及ぼす影響、環境作用の変動等を考慮するための安全係数をいう。

荷重伝達率

目地の荷重伝達機能を定量化した数値であり、目地部において片側のコンクリート版に載荷されたときの載荷側版のたわみ d_1 と非載荷側版のたわみ d_2 から $200 \times d_2 / (d_1 + d_2)$ で計算される値 (%) をいう。

荷重の特性値

舗装の施工中又は設計供用期間中に作用する荷重について、そのばらつき、検討すべき限界状態及び荷重の組み合わせを考慮した上で設定される荷重の値をいう。

下層路盤

路盤が2層で構成されるときの下部の層をいう。

加熱アスファルト混合物

粗骨材（2.36mmふるいに留まる骨材）、細骨材（2.36mmふるいを通過して0.075mmふるいに留まる骨材）、フィラー（0.075mmふるいを通過する鉱物質粉末）及びアスファルトを所定の割合で加熱混合して製造される材料をいう。

かぶり

鋼材あるいはシースの表面からコンクリート表面までの最短距離で測ったコンクリートの厚さをいう。

基準置き換え深さ

滑走路、誘導路、エプロンに採用した凍上防止のための置き換え深さをいう。

基準舗装厚

経験的設計法で用いられる定義。設計荷重、設計反復作用回数及び路床の設計 CBR から決定される通常の粒状材を路盤に用いた舗装の厚さをいう。

基層

表層の下に位置する層で、上層路盤の凹凸を修正し、表層に加わる荷重を均一に路盤に分布させるものをいう。

クラッシャーラン

岩石又は玉石を破碎機で割りっぱなしにしたままの碎石をいう。

クリープ

持続荷重によってアスファルト混合物やコンクリートに起こる経時的塑性変形をいう。

グルーピング

路面の排水特性を向上させ、湿潤路面のすべり抵抗を大きくするために舗装表面に切った溝をいう。

鋼材

鉄を主成分とする構造用炭素鋼の総称であり、鉄筋コンクリート用棒鋼、PC 鋼材、形鋼鋼板等が含まれる。

構成層係数

舗装構成層の応力などの計算上の不現実性、層厚などの寸法のばらつきの影響、舗装構成層の重要度すなわち対象とする層がある限界状態に達したときに舗装全体に与える影響等を考慮するための安全係数をいう。

構造の調査

舗装に求められる性能のうち、主に荷重支持性能及び表層の耐久性能の調査をいい、非破壊調査、解体調査による方法がある。

骨材の最大粒径

質量で少なくとも 95%が通るふるいのうち、最小寸法のふるい目で示される骨材の寸法をいう。

コンクリート

セメント、細骨材、粗骨材及び水を練り混ぜてできたものをいう。混和材料を含んでいてもよい。

コンクリート版

目地又は自由端部で囲まれたコンクリート舗装の単一体で、その範囲内ではコンクリートの引張応力の連続性が可能となっているものをいう。

コンクリート舗装

粒状材、セメント安定処理材、アスファルト安定処理材などの支持層上にセメントコンクリートの剛性版又は一連の版を持つものをいう。

細骨材

アスファルト混合物では 2.36mm ふるいを質量で 90%以上通過する骨材。また、コンクリートでは 10mm ふるいを全部通過し、5mm ふるいを質量で 85%以上通過する骨材をいう。

最小厚

表層、基層、コンクリート版、路盤などの各層が十分な機能を発揮するのに必要な最小の厚さをいう。

再生加熱アスファルト混合物

アスファルトコンクリート再生骨材に、必要に応じて再生用添加剤、新アスファルトや補足材を加えて製造した加熱アスファルト混合物をいう。

再生骨材

建設工事に伴って発生した使用済みの骨材を含む副産物を原料として、再利用を目的に製造された骨材をいう。舗装工事で使用する再生骨材には、アスファルトコンクリート用再生骨材、路盤再生骨材、セメントコンクリート再生骨材がある。

再生路盤材料

路盤発生材や再生骨材に必要に応じて補足材などを加えて製造される粒状路盤材料あるいは安定処理材料をいう。

碎石

岩石を破砕機などを用いて破砕した粗骨材をいう。

材料強度の特性値

定められた試験法による材料強度の試験値のばらつきを想定した上で、試験値がそれを下回る確率がある一定の値となることが保証される値をいう。

材料係数

材料強度の特性値からの望ましくない方向への変動，供試体と舗装中との材料特性の差異，材料特性が限界状態に及ぼす影響，材料特性の経時変化等を考慮するための安全係数をいう。

シース

ポストテンション方式のプレストレストコンクリート版において，緊張材を収容するため，あらかじめコンクリート中にあけておく穴を形成するための筒をいう。

軸方向拘束応力

コンクリート版の軸方向(水平方向)の伸縮が路盤などにより拘束されることによって生じる応力をいう。

支持力係数

路床又は路盤の支持力を表す係数で，平板載荷試験によって載荷板に荷重を加え，荷重強度と沈下量との関係を求め，ある沈下量でその沈下量に対応する荷重強度を割った値（K 値と称す）をいう。

地盤

路床の下の中層を総称していう。

締固め度

路床，路盤，転圧コンクリート，加熱アスファルト混合物の締固めの程度を表す指標で，現場で測定した密度と各材料を規定の方法で締固めたときの密度に対する比を百分率で表したものである。

しゃ断層

路床土が地下水とともに路盤に侵入して路盤を軟弱化するのを防ぐため，路盤の下に置かれる層をいい，路床の一部と考える。

自由縁部

縁部のうち，隣接するコンクリート版との間に荷重伝達ができない箇所をいう。

自由収縮ひずみ

拘束を受けないコンクリートの温度変化及び乾燥収縮によって生じるひずみをいう。

収縮目地

コンクリートの収縮によるひび割れを防ぐために，コンクリートの引張応力を安全内に制限するように設けられる目地をいう。

修正 CBR

路盤材料の強さを表すもので、JIS A 1210「突固めによる土の締固め試験方法」の D 又は E の方法による最大乾燥密度に対する所要の締固め度に相当する水浸 CBR をいう。

重要度係数

舗装の重要度、限界状態に達したときの社会的影響等を考慮するための安全係数をいう。

上層路盤

路盤が 2 層で構成されるときの上部の層をいう。

伸縮目地

プレストレストコンクリート舗装において、舗装版の膨張と収縮を容易にするために設ける目地をいう。

水硬性粒度調整スラグ

路盤用高炉スラグの一種である。

すべり摩擦係数調査

定期点検の一種。空港舗装の縦方向のすべり抵抗を測定する調査をいい、一般的には SFT (Surface Friction Tester) により調査が行われる。

すり減り抵抗性

車輪との摩擦に対し、セメントコンクリート並びにアスファルト混合物あるいは骨材の持つすり減りの生じにくい性質をいう。

施工目地

コンクリート舗装を複数のレーンにわたって施工する場合に設ける目地、又は施工を中断する場合に設ける目地をいう。

設計 CBR

アスファルト舗装の厚さを決定する場合に用いる路床土の CBR をいい、路床改良の必要性などの検討に用いる。

設計荷重

おのこの荷重の特性値にそれぞれの荷重係数を乗じた値をいう。

設計強度

材料強度の特性値を材料係数で除した値をいう。

設計供用期間

設計時において舗装が所要の要求性能を満足する必要があると想定した期間をいう。

設計支持力係数

コンクリート版の厚さを決定する場合に用いる路盤の支持力係数をいう。

設計反復作用回数

経験的設計法で用いられる定義．コンクリート版厚などの設計に用いる反復作用回数をいう．

設計曲げ強度

曲げに関する材料強度の特性値を材料係数で除した値をいう．

セメント安定処理材

現地材料又はこれに補足材料を加えたものにセメントを添加し中央プラントにより混合したものをいう．

セレクト材

舗装が厚くなり下層路盤の厚さが大きくなる場合に、材料費の節約のため下側部分に使用する一段と品質の落ちる路盤材料をいう．

線形解析

材料の応力とひずみの関係を線形と仮定し、変形による二次的効果を見捨てる弾性一次理論による解析をいう．

粗骨材

アスファルト混合物においては 2.36mm ふるいに質量で 90%以上留まる骨材、また、コンクリートでは 5mm ふるいを質量で 85%以上留まる骨材をいう．

そり拘束応力

コンクリート版の上下面の温度差によって生じるそり変形が自重によって拘束されることにより生じる応力をいう．

耐久性

品質の経時劣化が小さく、所要の供用期間中に要求される水準を持続できる度合いをいう．

タイバー

ダミー目地や突合せ目地などを横断してコンクリート版に挿入した異形棒鋼で、目地が開いたり、くい違ったりするのを防ぐ働きをするものをいう．

ダウエルバー

膨張目地、収縮目地を横断した箇所に用いる丸鋼で、荷重伝達をはかり、収縮に追随できるように片側にアスファルトなどを塗布し、スリップできるようにしたものである．

ダウエルバー型膨張目地

目地材を間に設置した突き合わせ型目地のコンクリート版厚中央にダウエルバーを設けた膨張目地をいう．

縦方向鉄筋

CRC 舗装の版長方向に配置される鉄筋で、コンクリートの体積変化に起因するひび割れを制御する目的で配置される鉄筋をいう。

弾性係数

応力とひずみの間に比例関係が成り立つときの比例定数をいう。

端部増厚型膨張目地

コンクリート版端部の厚さを増した膨張目地をいう。

突き合わせ型施工目地

新しいコンクリート版を舗装面に垂直な硬化コンクリートの面に打ち込んで作る施工目地をいう。

鉄網

コンクリート版のひび割れを密閉し、コンクリートがひび割れの縁部で欠け落ちたり、ひび割れが隣接版に発生するのを防止するなどの働きをするものであり、鉄筋を直角 2 方向に溶接又はなまし鉄線で緊結して組み立てたものをいう。

等価単車輪荷重 (ESWL)

経験的設計法で用いられる定義。脚に付いている一組の多車輪を、舗装に対して同じ効果を有する単車輪に換算した場合の輪荷重をいう。

等価値

経験的設計法で用いられる定義。使用する路盤材料の 1cm 厚が粒度調整碎石あるいは粒状材の何 cm に相当するかを示す値をいう。

凍結指数

凍結期間中の気温と時間との積の累計値をいう。

凍結深さ

寒冷地において、冬期に気温の低下に伴い土壌中の水分が地下凍結する場合の、舗装表面から地中の氷の最終部までの深さをいう。

凍上

地盤が凍結し、膨張して地面が持ち上げられる現象をいう。

凍上抑制層

積雪寒冷地で路床が凍結する恐れがある場合に、凍結防止のために所定の厚さだけ路床を凍上の起こしにくい材料などで置き換えた層をいう。

熱赤外線調査

非破壊調査の一種。舗装表面から放射される赤外線の強度を赤外線センサーで計測し、その結果を温度分布に換算して画像化することにより、アスファルト舗装における層間剥離を調査する。

配合強度

コンクリートの配合を定める場合に目標とする強度をいう。一般に材齢 28 日における圧縮強度を基準とする。

排水

舗装の十分な機能を確保するため、路床及び路盤の上又は中に水が集積するのを抑制することをいう。

剥離

アスファルト混合物の骨材とアスファルトとの接着性が消滅し、アスファルトと骨材がはがれる現象をいう。

パス／カバレッジ率

カバレッジに対する交通量（＝パス）の比率をいう。航空機が常に滑走路や誘導路中心線上を走行するものではないことを補正するために用い、例えば、パス／カバレッジ率が 3 の場合、3 回の交通量で 1 回のカバレッジを舗装に与えることを意味する。

反復作用回数（カバレッジ）

交通荷重が同一点に繰り返して作用する回数をいう。

非破壊調査

舗装を解体することなく、舗装構造の評価を行う調査であり、FWD（FWD の項目参照）調査や熱赤外線調査（熱赤外線調査の項目参照）をいう。

ひび割れ

コンクリートの引張応力がコンクリートの引張強度を越えたときに発生するコンクリート舗装内の永久割れ目又は開口割れ目をいう。

表層

アスファルト舗装の最上層で、荷重などの外的作用を直接受ける部分をいう。

疲労度

舗装が受ける疲労ダメージの累積値を疲労破壊の指標としたものをいう。一般に疲労度が 1 を超えると破壊する。

疲労ひび割れ

舗装が繰返し荷重を受けた時、降伏応力よりも小さな応力で破壊する現象を疲労破壊といい、このとき舗装に生じるひび割れを疲労ひび割れという。

プレストレス

荷重作用によって断面に生じる応力を打ち消すようにあらかじめ計画的にコンクリートに与える応力をいう。

プレストレストコンクリート舗装

コンクリート舗装の一種で、コンクリート版に PC 鋼材又はジャッキ等によってプレストレスを縦方向に与え、横方向収縮目地の全部又は一部を省略したものをいう。横方向にもプレストレスを導入する。

フローアップ

温度上昇に伴うコンクリート版の膨張により、目地やひび割れ部でコンクリート版がせり合って持ち上がる現象をいう。

変動荷重

変動が頻繁に、あるいは連続的に起こり、かつ変動が持続的成分に比べて無視できないほど大きい荷重をいう。

ポアソン比

弾性域における応力状態での軸方向のひずみに対する軸と直角方向のひずみの比をいう。

膨張目地

コンクリート版の膨張に対し間隙を作り、それによって有害量の圧縮応力の発達を防ぐために設けられる目地をいう。

補修

オーバーレイや打換え等の長期的な観点からの措置をいう。

舗装補修指数 (PRI : Pavement Rehabilitation Index)

定期点検の一種である路面性状調査で算出される舗装の路面性状を表す指標で、舗装路面の供用性を判断するのに用いられる。コンクリート舗装において、ひび割れ度、目地部の破損率及び段差の 3 項目を用いることにより算出する。かつて、アスファルト舗装においてもひび割れ率、わだち掘れ及び平坦性の 3 項目から算出していたが、平坦性評価方法の改訂により廃止された。

枕版

交通荷重の縁部載荷に対してコンクリート版の応力を低減するためにコンクリート版直下に設けられるコンクリート版をいう。

無筋コンクリート舗装

コンクリート舗装の一種で、コンクリート版中に補強用の鉄筋等が設置されていないものをいう。ただし、コンクリート版断面積の 0.05% 程度の鉄筋量の鉄綱を設置したものは無筋コンクリート舗装とする。

目地

舗装の連続性を中断する隣接コンクリート版の施工接続箇所をいう。

目地板

コンクリート版の膨張による座屈を防ぐために膨張目地に入れる板をいう。

横方向鉄筋

CRC 舗装の版長方向に対し直角あるいは斜め方向に配置された鉄筋をいう。

横方向目地

コンクリート版敷設方向にほぼ直角に設けられる目地をいう。

ライフサイクルコスト

ライフサイクル中に必要な費用をいう。

粒状材

クラッシャーラン、粒度調整碎石、スラグ、切込砂利、砂、再生骨材などを総称したものをいう。

粒度調整碎石

良好な粒度になるように数種の骨材を混合したものをいう。

レジリエントモデュラス

弾性係数やスティフネスと同様に材料の変形係数を表わす指標の一つであり、応力と回復ひずみの比で求められる値をいう。

連続鉄筋コンクリート舗装

コンクリート舗装の一種で、コンクリート版の内部応力に耐えるに必要なだけの鉄筋を縦方向に連続して設置し、横方向収縮目地を省略したものをいう。

路床

舗装を支持している地盤のうち、路盤の下面からある深さまでの部分をいう。

路床改良

軟弱な路床の支持力を高めるために、路床土を圧密したり化学的に処理したりして改良することをいう。

路盤

路床の上に設けたアスファルト混合物やコンクリート版からの荷重を分散させて路床に伝える役割を果たす層をいう。

路面性状調査

舗装の路面性状調査における主な調査項目は、アスファルト舗装はひび割れ調査、わだち掘れ調査、平坦性調査であり、コンクリート舗装は、ひび割れ調査、目地部の破損調査、段差の調査である。またコンクリート舗装は、これらの調査結果より、舗装補修指数を算出することができる。

路面の調査

舗装に求められる性能のうち、主に走行安全性能に関する調査をいい、路面性状調査及びすべり摩擦係数調査による方法がある。

付録-2 試験方法

舗装設計編に関連する主な試験方法の一覧表を付表-2.1 に示す。

付表-2.1 試験方法一覧表

試 験 項 目	試験方法規定
土質関係	
土質試験のための乱した土の試料調製方法	JIS A1201
土の粒度試験方法	JIS A 1204
土の液性限界・塑性限界試験方法	JIS A 1205
突固めによる土の締固め試験方法	JIS A 1210
CBR 試験方法	JIS A 1211
現場 CBR 試験方法	JIS A 1222
道路の平板載荷試験方法	JIS A 1215
繰返し平板載荷試験	JHS-103
路盤材料の修正 CBR 試験方法	舗装調査・試験法便覧
レジリエントモデュラス試験方法	舗装調査・試験法便覧
アスファルト関係	
セメント安定処理土の一軸圧縮試験方法	舗装調査・試験法便覧
マーシャル安定度試験方法	舗装調査・試験法便覧
レジリエントモデュラス試験方法	舗装調査・試験法便覧
層間引張り試験	舗装調査・試験法便覧
層間せん断試験	舗装調査・試験法便覧
コンクリート関係	
コンクリートの曲げ強度試験方法	JIS A 1106

CBR 試験及び平板載荷試験方法については、「舗装調査・試験法便覧²⁾」を参考に実施してよいが、供試体の作成方法や結果の整理方法については以下に準拠することを標準とする。

2.1 CBR 試験方法

(1)室内 CBR 試験

(a)試料採取

試料採取は雨期、凍結融解期を避けて行う。均一土による路床の場合、盛土で構築以前ならば、土取場の各地点において露出面より 50cm 以上深い箇所から、盛土が完成していたり切土の場合には、路床面から 50cm 以上深い箇所から、乱した状態で土を採取する。

路床が多層の異なった土質からなる場合には、それぞれの土層に対して試料を採取する。ただし厚さが 20cm 未満の土層については、他の土層との比較のうえ省略することもできる。

(b)試験

採取した路床土は、40mm 以上の骨材を除き、自然含水比でモールドに 3 層に分けて入れ、

各層 45 回ずつ突固め，4 日水浸後の CBR を求める．試験は，JIS A 1211「CBR 試験方法」に準じて行うが，載荷重は設計荷重の区分ごとに**付表-2.2**の値を用いる．一地点の一土層の試験の個数は 3 個を標準とする．

付表-2.2 CBR 試験の載荷重の大きさ

設計荷重の区分	載荷重 (N)
LA-1, LA-12, LA-2	150
LA-3, LA-4, LT-1, LT-12	100
LSA-1, LSA-2, LT-2	50

(注 1) すでに路床が完成しており，乱した土の室内 CBR 試験では CBR が極端に小さくなる場合には，JIS A 1211「CBR 試験方法」の乱さない土の CBR 試験，あるいは JIS A 1222「現場 CBR 試験方法」による．

(注 2) 細粒分をほとんど含まない砂のように，経験的に室内 CBR が現場 CBR より極端に大きくなることがわかっている路床土の場合には，室内 CBR を補正するか現場 CBR 試験による．

(2) 現場 CBR 試験

試験は，路床の土が一年中で最も湿潤していると考えられる時期に，各地点の異なる土層ごとに，JIS A 1222「現場 CBR 試験方法」に準じて行う．ただし，この場合の載荷重は室内 CBR 試験と同様に**付表-2.2**の値を用いる．一地点一土層の試験の個数は 3 個を標準とする．

路床の状態が年間の最悪と考えられない場合には，次式によって現場 CBR の値を補正して用いる．なお，砂などのように水浸後の CBR が非水浸の CBR とほとんど変わらないことが明らかな場合には，水浸試験を行わなくてもよい．

$$\text{CBR (補正)} = \text{現場 CBR} \times \frac{\text{乱さない土の供試体の 4 日水浸後の CBR (3 個の平均)}}{\text{乱さない土の供試体の非水浸の CBR (3 個の平均)}}$$

2.2 平板載荷試験方法

路床が完成している場合には平板載荷試験により，路床が未完成の場合には試験路床上の平板載荷試験あるいは間接的な方法により，路床の設計支持力係数を決定する．

試験は，路床面の土が一年中で最も湿潤していると考えられる時期に，JIS A 1215「道路の平板載荷試験方法」に準じて行う．支持力係数の計算に用いる沈下量は 0.125cm とする．

平板載荷試験には直径 75cm の載荷版を用いるのが望ましいが，やむを得ず直径 30cm の載荷版を用いる場合は，試験から求まる K_{30} を次式により K_{75} へ換算する．

$$K_{75} = \frac{K_{30}}{2.5}$$

路床土の状態が年間の最悪と考えられない場合には、次式により支持力係数を補正する。なお、砂などのように水浸後の CBR が非水浸の CBR とほとんど変わらないことが明らかな場合には、水浸試験を行わなくてもよい。

支持力係数（補正）

$$= \text{支持力係数} \times \frac{\text{乱さない土の供試体の 4 日水浸後の CBR (3 個の平均)}}{\text{乱さない土の供試体の非水浸の CBR (3 個の平均)}}$$

付録-3 試験値の棄却判定の方法

各地点の CBR に大きなばらつきがある場合あるいは局部的に極端に大きい又は小さい値が得られた場合には、その地点での試験等に問題があるかないかを確認のうえで、その値を無視してよいか、局部的に置き換えるか、あるいは舗装厚を変える必要があるかなどを判断する。極端な CBR 値の棄却検定は、JIS Z 8402-2 に示されるグラブスの方法によることを基本とする。グラブスの方法は、外れ値が 1 つの場合は、検定統計量を次式により求め、JIS Z 8402-2 に示される棄却限界値の表を用いて判定する。

$$\gamma = |X - X_0|/\sigma$$

ここで、

X : 標本平均

X_0 : 外れ値と考えられる値（値の中の最大値又は最小値）

σ : 不偏標準偏差

片側の外れ値が 2 つの場合、（外れ値と考えられる 2 つの値を除いたデータの標本分散）×（データ数-2）を（標本分散）×（データ数）で除したものを検定統計量として JIS Z 8402-2 に示される棄却限界値の表を用いて判定する。

なお、通常は 5%棄却限界値により検定を行う。

また、簡易な検定方法として、ディクソンの方法もある。ディクソンの方法は、標本数により、以下のように検定統計量と棄却限界値の表が(1)～(4)に示すとおり 4 つに区分される。

(1) 標本数 n : 3～7 の場合

$$\gamma = (X_n - X_{n-1})/(X_n - X_1)$$

付表-3.1 棄却検定に用いる $\gamma(n, 0.05)$ の値（標本数 n が 3～7 の場合）

n	3	4	5	6	7
$\gamma(n,0.05)$	0.941	0.765	0.642	0.560	0.507

(2) 標本数 n : 8～10 の場合

$$\gamma = (X_n - X_{n-1})/(X_n - X_2)$$

付表-3.2 棄却検定に用いる $\gamma(n, 0.05)$ の値（標本数 n が 8～10 の場合）

n	8	9	10
$\gamma(n,0.05)$	0.554	0.512	0.477

(3) 標本数 n : 11～13 の場合

$$\gamma = (X_n - X_{n-2})/(X_n - X_2)$$

付表-3.3 棄却検定に用いる $\gamma(n, 0.05)$ の値 (標本数 n が 11~13 の場合)

n	11	12	13
$\gamma(n,0.05)$	0.576	0.546	0.521

(4) 標本数 n が 13 を超える場合

$$\gamma = (X_n - X_{n-2}) / (X_n - X_3)$$

付表-3.4 棄却検定に用いる $\gamma(n, 0.05)$ の値 (標本数 n が 13 を超える場合)

n	14	15	16	17	18	19
$\gamma(n,0.05)$	0.546	0.525	0.507	0.490	0.475	0.462
n	20	21	22	23	24	25
$\gamma(n,0.05)$	0.450	0.440	0.430	0.421	0.413	0.406

なお、グラブスの方法及びディクソンの方法は、データが正規分布に従うことを前提とした検定棄却方法であり、データが正規分布に従わない場合には別な方法による検討が必要である。

付録-4 凍結指数の求め方

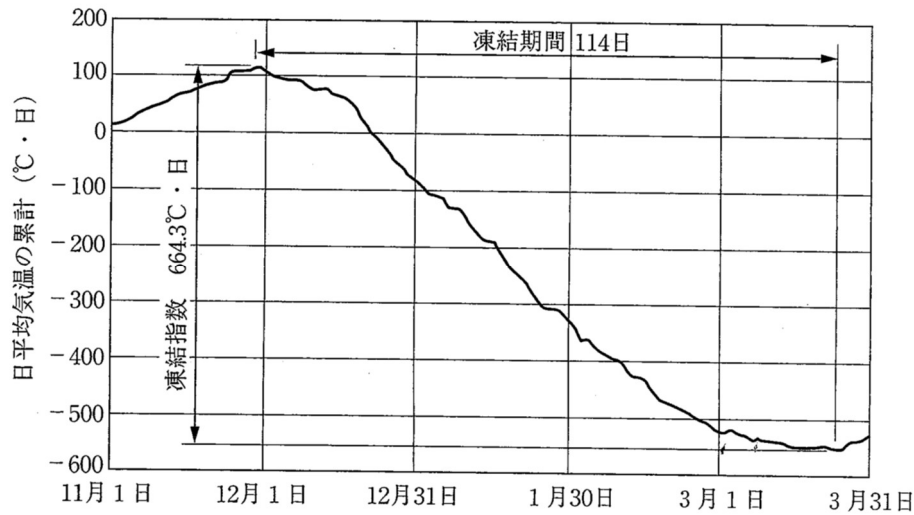
凍結指数を日平均気温をもとにして計算する場合には、**付表-4.1** のように日平均気温が＋から－に変わる月を最初として、日平均気温が－から＋に変わる月までの日平均気温を積算し、日平均気温積算値の±最大値を A 欄に記入する。凍結指数は A 欄に記入した±最大値の絶対値を加え合わせたものとなる。

以上を図示したものが**付図-4.1** である。

付表-4.1 日平均気温から求めた凍結指数

		1	2	3	23	24	25	26	27	28	29	30	31	A
11	日平均 気温	8.7	4.1	3.7	1.5	6.0	8.8	-0.7	0	1.2	6.0	1.3		
	累計	8.7	12.8	16.5	90.3	96.3	105.1	104.4	104.4	105.6	111.6	112.9		+最大 112.9
12	日平均 気温	-4.5	-5.8	-5.7	-6.2	-8.8	-11.0	-11.9	-12.8	-7.0	-9.1	-8.5	-6.9	
	累計	108.4	102.6	96.9	-6.9	-15.7	-26.7	-38.6	-51.4	-58.4	-67.5	-76.0	-82.9	
1	日平均 気温	-5.7	-6.7	-9.2	-6.1	-9.1	-8.1	-4.2	0.4	-5.2	-6.2	-11.2	-11.9	
	累計	-88.6	-95.3	-104.5	-285.0	-294.1	-302.2	306.4	-306.0	-311.2	-317.4	-328.6	-340.5	
2	日平均 気温	-11.4	-10.7	-1.3	3.8	-1.2	-3.0	-4.7	-6.0	-7.1				
	累計	-351.9	-362.6	-363.9	-498.6	-499.8	-502.8	-507.5	-513.5	-520.5				
3	日平均 気温	-4.2	-1.2	2.7	0.8	-1.2	0.3	3.9	5.7	2.6	1.4	5.0	5.0	
	累計	-524.8	-526.0	-523.3	-550.2	-551.4	-551.1	-547.2	-541.5	-538.9	-537.5	-532.5	-527.5	-最大 551.4

凍結指数 $112.9 + 551.4 = 664.3^{\circ}\text{C} \cdot \text{days}$



付図-4.1 日平均気温から求めた凍結指数

付録-5 経験的設計法のための交通条件の設定方法

アスファルト舗装及びコンクリート舗装構造設計において経験的設計法を用いるための交通条件である、設計荷重の区分及び設計供用期間における設計反復作用回数の設定方法を述べる。

5.1 設計荷重の区分

設計荷重の区分は、就航している（あるいは就航予定の）航空機の中で最も厚い舗装厚を必要とするであろうと推定される航空機が属する区分を選ぶのが一般的であり、**付表-5.1**を参照して設定する。

付表-5.1 設計荷重の区分

設計荷重の区分	機 種	代表機種
LA-1	B-747, B-777, B-787, MD-11, A380, A330, A340	B747-400
LA-12	A-300, B-767, B757	A300-B4
LA-2	A-320, MD-81, MD-90	A-320-200
LA-3	DC-9-41, B-737	DC-9-41
LA-4	DHC-8	DHC-8-400
LSA-1	ドルニエ 228-200	ドルニエ 228-200
LSA-2	N24A, BN2A	N24A
LT-1	LA-1 用のトーイングトラクター	50t トーイングトラクター
LT-12	LA-12 用のトーイングトラクター	35t トーイングトラクター
LT-2	LA-2, 3, 4 用のトーイングトラクター	15t トーイングトラクター

【補足説明】

- (1) 代表機種は、各設計荷重区分の具体的な設計荷重である。
- (2) **付表-5.1**に示されていない航空機を設計対象とする場合には、脚荷重や輪荷重及び交通量などを参照して**付表-5.1**から適切な設計荷重の区分を選定するか、新たな設計荷重を設定する。

5.2 設計反復作用回数

設計反復作用回数の決め方には、予測交通量と航空機の横断方向の走行分布から算定した結果に基づく方法と従来の実績に基づく方法があるが、一般的には、前者の方法が用いられる。反復作用回数は、設計対象機材の交通量を設計荷重の区分の代表機種の交通量に換算した値であり、カバレッジ（Coverage）とも言われる。以下に交通量と走行分布に基づく反復作用回数の求め方を示す。

5.2.1 反復作用回数の求め方

交通量と交通分布から反復作用回数を算定する方法は、次の手順による。

- (1) 設計供用期間にわたって対象舗装上を走行する航空機の交通量を機種別、離着陸別に集計する。この場合、設計輪荷重の 1/2 未満の輪荷重の航空機は考えなくてもよい。
- (2) それぞれの航空機の交通量を、次式を用いて設計荷重の交通量に換算する²⁾。

$$\bar{n}_i = n_i \sqrt{P_i/P_0}$$

ここに、

n_i : ある航空機の交通量

$\bar{n}_i$: 設計対象機種に換算された交通量

P_0 : 設計荷重の ESWL (アスファルト舗装の場合は、路床の設計 CBR と設計反復作用回数 10,000 回から求めた基準舗装厚に対応する ESWL, コンクリート舗装の場合は路盤の設計支持力係数 70MN/m³ と設計反復作用回数の区分 N から求めたコンクリート版厚に対応する ESWL で、**付録-6** の方法で求める)。

P_i : ある航空機の ESWL (P_0 を求めたときと同じ条件に対応するもので、 P_0 と同様の方法で求める)。

(注) LA-1 に属する機種で国内線対応となるものの離陸時重量が、その機種の最大離陸重量と著しく異なる場合、 P_i の前提となる離陸時脚荷重は(着陸時脚荷重×1.05)を用いるものとする。

- (3) 換算された交通量 ($\bar{n}_i$) にそれぞれの航空機の横断方向主車輪数 (W_i) を乗じる。
- (4) $\bar{n}_i \times W_i$ の合計を求め、次式によって設計荷重の反復作用回数を算定する。

$$N = \alpha \times \sum \bar{n}_i \times W_i$$

ここに、

α : 交通量から反復作用回数への換算のための係数で、設計荷重、施設に応じて**付表-5.2**に示す値とする。

付表-5.2 舗装の横断方向の幅に対する α

コード文字	滑走路の α	誘導路の α
E, F	0.03	0.04
B, C, D	0.04	0.05

5.2.2 設計反復作用回数の設定

計算から求めた反復作用回数より**付表-5.3**を用いて設計反復作用回数を設定する。なお、国際空港等の大規模空港では、計算により求めた反復作用回数が 100,000 回以上になる場合もあ

る。このような空港の舗装設計については、理論的設計法により行う必要がある。

空港の規模や航空機の利用状況を考慮して各施設に同一の設計反復作用回数を用いても良い。ただし、滑走路、あるいは誘導路の設計反復作用回数が 40,000 回を超えるような交通量の多い空港であっても、エプロン誘導路を除くエプロン（駐機スポット）では、これまでの経験上、最大でも 40,000 回の設計反復作用回数を用いれば十分である。

付表-5.3 計算から求める設計反復作用回数

計算で求めた反復作用回数	設計反復作用回数
～ 7,000 回未満	6,000 回
7,000 回以上 ～ 12,000 回未満	10,000 回
12,000 回以上 ～ 24,000 回未満	20,000 回
24,000 回以上 ～ 50,000 回未満	40,000 回
50,000 回以上 ～ 100,000 回未満	80,000 回

付表-5.4 設計反復作用回数の区分（アスファルト舗装）

設計反復作用回数の区分	設計反復作用回数
a	6,000
b	10,000
c	20,000
d	40,000
e	80,000

付表-5.5 設計反復作用回数の区分（コンクリート舗装）

設計反復作用回数の区分	設計反復作用回数
M	6,000
N	10,000
	20,000
	40,000
O	80,000

5.2.3 反復作用回数の計算例

(1) アスファルト舗装

付表-5.6 反復作用回数の計算例（アスファルト舗装）

機種	国際・国内	離着陸別	n_i	P_i	P_0	$\sqrt{P_i/P_0}$	$\overline{n_i}$	W_i	$W_i \times \overline{n_i}$
B747-400	国際	離陸	10,000	555	555	1.000	10,000	8	80,000
		着陸	10,000	401	555	0.850	2,512	8	20,096
	国内	離陸	50,000	421	555	0.871	12,382	8	99,056
		着陸	50,000	401	555	0.850	9,866	8	78,928
B777-300	国内	離陸	30,000	580	555	1.022	37,637	4	150,548
		着陸	30,000	553	555	0.998	29,388	4	117,552
DC-10	国内	離陸	23,000	390	555	0.838	4,520	4	18,080
		着陸	23,000	373	555	0.820	3,772	4	15,088
A300	国内	離陸	50,000	438	555	0.888	14,883	4	59,532
		着陸	50,000	389	555	0.837	8,571	4	34,284
A320	国内	離陸	35,000	275	555	0.704	1,581	4	6,324
		着陸	35,000	267	555	0.694	1,424	4	5,696
DC-9	国内	離陸	60,000	218	555	0.627	991	4	3,964
		着陸	60,000	194	555	0.591	667	4	2,668
$\overline{n} = \sum W_i \times \overline{n_i}$									691,816
大型ジェット機の就航する滑走路での反復作用回数（α=0.03）								$N = \alpha \times \overline{n}$	20,750
大型ジェット機の就航する誘導路での反復作用回数（α=0.04）								$N = \alpha \times \overline{n}$	27,670

[P_i の算出例]

- ・ 設計荷重 LA-1, 設計 CBR=8, 設計反復作用回数 b 区分から, 基準舗装厚は 109cm となる.
- ・ B747-400 の ESWL 曲線より, 舗装厚 109cm に対しては 61%となる.
- ・ B747-400 の国際線離陸時 ESWL : 満載時脚荷重 $910\text{kN} \times 0.61 = 555.1 \div 555\text{kN}$
- ・ B747-400 の国際線・国内線着陸時 ESWL : 着陸時脚荷重 $657\text{kN} \times 0.61 = 400.7 \div 401\text{kN}$
- ・ B747-400 の国内線離陸時 ESWL : $400.7\text{ kN} \times 1.05 = 420.7 \div 421\text{kN}$
- ・ B777-300 の ESWL 曲線より, 基準舗装厚 109cm に対する B777-300 の ESWL は 50%となる.
- ・ B777-300 の着陸時 ESWL : 着陸時脚荷重 $1105\text{kN} \times 0.50 = 552.5 \div 553\text{kN}$
- ・ B777-300 の離陸時 ESWL : 離陸時脚荷重 $552.5\text{ kN} \times 1.05 = 580.1 \div 580\text{kN}$

(2) コンクリート舗装

付表-5.7 反復作用回数の計算例（コンクリート舗装）

機種	国際・国内	離着陸別	n_i	P_i	P_0	$\sqrt{P_i/P_0}$	$\overline{n_i}$	W_i	$W_i \times \overline{n_i}$
B747-400	国際	離陸	10,000	361	361	1.000	10,000	8	80,000
		着陸	10,000	253	361	0.837	2,228	8	17,824
	国内	離陸	80,000	266	361	0.858	16,101	8	128,808
		着陸	80,000	253	361	0.837	12,702	8	101,616
DC-10	国内	離陸	23,000	252	361	0.836	4,430	4	17,720
		着陸	23,000	240	361	0.815	3,588	4	14,352
A300	国内	離陸	50,000	279	361	0.879	13,502	4	54,008
		着陸	50,000	246	361	0.825	7,527	4	30,108
A320	国内	離陸	35,000	234	361	0.805	4,550	4	18,200
		着陸	35,000	223	361	0.786	3,729	4	14,916
DC-9	国内	離陸	60,000	190	361	0.725	2,912	4	11,648
		着陸	60,000	169	361	0.684	1,855	4	7,420
$\overline{n} = \sum W_i \times \overline{n_i}$									496,620
大型ジェット機の就航する滑走路での反復作用回数（α=0.03）								$N = \alpha \times \overline{n}$	14,900
大型ジェット機の就航する誘導路での反復作用回数（α=0.04）								$N = \alpha \times \overline{n}$	19,860

付録-6 ESWL の求め方

ESWL は、1 脚に 2 個以上の車輪を持つ複車輪や複々車輪の脚荷重が舗装に及ぼす影響と等しくなるように換算した単車輪荷重であり、アスファルト舗装の場合には路床のたわみが、コンクリート舗装の場合にはコンクリート版の曲げ応力が等しくなるように換算する。

6.1 アスファルト舗装

アスファルト舗装の ESWL は、多層弾性解析等を用いて解析的に求める方法とたわみ係数表を用いて求める方法がある。

(1) 解析的に求める方法

多層弾性解析を用いて解析的に ESWL を求める手順は次のとおりである。

- ① 1 脚載荷時の路床面のたわみ量 (d_1) を算定
- ② 単車輪の接地圧を仮定し、単車輪荷重載荷時の路床面のたわみ量 (d_2) を算定。この時、1 車輪の接地面積 (A) は変えない。
- ③ 上記②の計算を繰返し、 $d_1 = d_2$ になるときの接地圧 (p) を求める。
- ④ $ESWL = p \times A$ となる。

なお、多層弾性解析に用いる弾性係数や構造モデルは**舗装設計編 I-3**、**I-5** を参照して設定する。

(2) たわみ係数表を用いる方法

1) 基本理論

単一の円形等分布荷重が作用する一層系弾性体中の各点におけるたわみ ω は次式で表すことができる。

$$\omega = \frac{p \cdot r \cdot F}{E_m}$$

ここに、

- | | |
|-------|-------------|
| p | : 円形等分布荷重強度 |
| r | : 円の半径 |
| F | : たわみ係数 |
| E_m | : 弾性体の弾性係数 |

たわみ係数は、ポアソン比が決まれば円形等分布荷重強度や弾性体の弾性係数に無関係な値であり、オフセットと深さにより決定される。ポアソン比 0.5 及び 0.3 におけるたわみ係数は、参考文献²⁸⁾に記載されている。単車輪下及び複数車輪下でのたわみ、 ω_s 及び ω_d は次式で表すことができ、両者が等しくなるときの単車輪荷重が ESWL である。

$$\omega_s = \frac{p_s \cdot r_s \cdot F_s}{E_m}, \omega_d = \frac{p_d \cdot r_d \cdot F_d}{E_m}$$

単車輪の接地面積を複数車輪一輪の接地面積と等しくとれば、 $r_s = r_d$ であり、次式が成立する。

$$\frac{p_s}{p_d} = \frac{F_d}{F_s}$$

ESWL を P_s 、複数車輪系の脚荷重を P_d とすれば、 $P_s = p_s \times A$ 、 $P_d = p_d \times A \times n$ であるため、ESWL は次のとおりとなる。ここで、 n は 1 脚当たりの車輪数である。

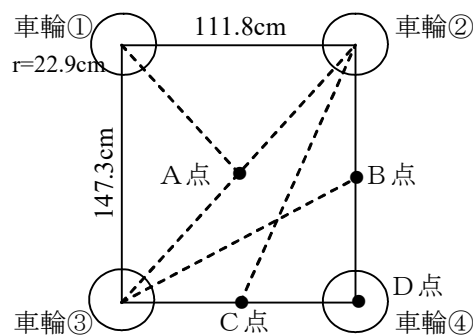
$$P_s = \frac{1}{n} \cdot \frac{F_d}{F_s} \cdot P_d$$

2) 算定例

B747-400 を例にして ESWL 算定方法を示す²⁹⁾。B747-400 の所要諸元は以下のとおりである。

- ・タイヤ接地面積 $A = 1,645 \text{ cm}^2$
- ・タイヤの接地面の等値円の半径 $r = 22.9 \text{ cm}$
- ・複車輪の横中心間隔 $S = 111.8 \text{ cm}$
- ・複々車輪の縦中心間隔 $S_T = 147.3 \text{ cm}$

まず、**付図-6.1** の点 A、B、C、D の 4 点についてのたわみ係数を求める。各点から 4 車輪までの距離は、それぞれ**付表-6.1** に示すようになる。



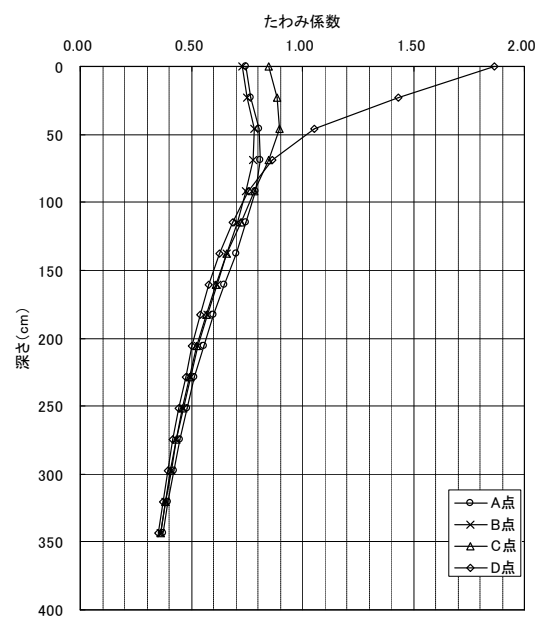
付図-6.1 車輪の配置

付表-6.1 各点から車輪中心までの距離

	A 点	B 点	C 点	D 点
車輪①	4.04r	5.85r	6.88r	8.08r
車輪②	4.04r	3.22r	6.88r	6.43r
車輪③	4.04r	5.85r	2.44r	4.88r
車輪④	4.04r	3.22r	2.44r	0.00r

付表-6.2 各点のたわみ係数算定表

深さ	車輪	たわみ係数				深さ	車輪	たわみ係数			
		A点	B点	C点	D点			A点	B点	C点	D点
0r	①	0.187	0.129	0.109	0.093	8r	①	0.150	0.125	0.112	0.099
	②	0.187	0.236	0.109	0.117		②	0.150	0.161	0.112	0.117
	③	0.187	0.129	0.315	0.155		③	0.150	0.125	0.171	0.138
	④	0.187	0.236	0.315	1.500		④	0.150	0.161	0.171	0.186
	計	0.748	0.730	0.848	1.865		計	0.600	0.572	0.566	0.540
1r	①	0.192	0.131	0.110	0.094	9r	①	0.139	0.119	0.108	0.096
	②	0.192	0.246	0.110	0.118		②	0.139	0.147	0.108	0.113
	③	0.192	0.131	0.334	0.158		③	0.139	0.119	0.155	0.130
	④	0.192	0.246	0.334	1.061		④	0.139	0.147	0.155	0.166
	計	0.768	0.754	0.888	1.431		計	0.556	0.532	0.526	0.505
2r	①	0.201	0.135	0.113	0.096	10r	①	0.129	0.113	0.104	0.094
	②	0.201	0.256	0.113	0.122		②	0.129	0.136	0.104	0.108
	③	0.201	0.135	0.336	0.164		③	0.129	0.113	0.141	0.122
	④	0.201	0.256	0.336	0.671		④	0.129	0.136	0.141	0.149
	計	0.804	0.782	0.898	1.053		計	0.516	0.498	0.490	0.473
3r	①	0.203	0.138	0.116	0.098	11r	①	0.120	0.107	0.099	0.091
	②	0.203	0.250	0.116	0.125		②	0.120	0.125	0.099	0.103
	③	0.203	0.138	0.309	0.168		③	0.120	0.107	0.130	0.114
	④	0.203	0.250	0.309	0.474		④	0.120	0.125	0.130	0.136
	計	0.812	0.776	0.850	0.865		計	0.480	0.464	0.458	0.444
4r	①	0.197	0.140	0.118	0.100	12r	①	0.112	0.101	0.095	0.087
	②	0.197	0.234	0.118	0.127		②	0.112	0.116	0.095	0.098
	③	0.197	0.140	0.274	0.167		③	0.112	0.101	0.120	0.107
	④	0.197	0.234	0.274	0.364		④	0.112	0.116	0.120	0.125
	計	0.788	0.748	0.784	0.758		計	0.448	0.434	0.430	0.417
5r	①	0.187	0.139	0.119	0.101	13r	①	0.105	0.096	0.091	0.084
	②	0.187	0.214	0.119	0.127		②	0.105	0.109	0.091	0.093
	③	0.187	0.139	0.242	0.162		③	0.105	0.096	0.111	0.101
	④	0.187	0.214	0.242	0.294		④	0.105	0.109	0.111	0.115
	計	0.748	0.706	0.722	0.684		計	0.420	0.410	0.404	0.393
6r	①	0.175	0.135	0.118	0.101	14r	①	0.099	0.091	0.087	0.081
	②	0.175	0.195	0.118	0.125		②	0.099	0.102	0.087	0.089
	③	0.175	0.135	0.213	0.155		③	0.099	0.091	0.104	0.096
	④	0.175	0.195	0.213	0.247		④	0.099	0.102	0.104	0.107
	計	0.700	0.660	0.662	0.628		計	0.396	0.386	0.382	0.373
7r	①	0.162	0.131	0.115	0.100	15r	①	0.093	0.087	0.083	0.078
	②	0.162	0.177	0.115	0.122		②	0.093	0.095	0.083	0.085
	③	0.162	0.131	0.190	0.147		③	0.093	0.087	0.097	0.090
	④	0.162	0.177	0.190	0.212		④	0.093	0.095	0.097	0.100
	計	0.648	0.616	0.610	0.581		計	0.372	0.364	0.360	0.353



付図-6.2 たわみの深さでの最大たわみ係数

付表-6.3 ESWL の脚荷重に対する比率

深さ		複々車輪下での 最大値Fd	単車輪下での最 大値Fs	ESWLの脚荷重 に対する比率(%)
0r	0.0cm	1.865	1.500	31.08
1r	22.9cm	1.431	1.061	33.72
2r	45.8cm	1.053	0.671	39.23
3r	68.7cm	0.865	0.474	45.62
4r	91.6cm	0.788	0.364	54.12
5r	114.5cm	0.748	0.294	63.61
6r	137.4cm	0.700	0.247	70.85
7r	160.3cm	0.648	0.212	76.42
8r	183.2cm	0.600	0.186	80.65
9r	206.1cm	0.556	0.166	83.73
10r	229.0cm	0.516	0.149	86.58
11r	251.9cm	0.480	0.136	88.24
12r	274.8cm	0.448	0.125	89.60
13r	297.7cm	0.420	0.115	91.30
14r	320.6cm	0.396	0.107	92.52
15r	343.5cm	0.372	0.100	93.00

※ESWL比率= $F_d/4F_s$

6.2 コンクリート舗装

コンクリート舗装の ESWL は、コンクリート版の曲げ応力を解析により求め、複数車輪による曲げ応力と単車輪による曲げ応力が等しくなるように設定するか、ノモグラムを用いて算定することができる³⁰⁾。なお、ノモグラムは1脚6輪の脚荷重に対して用意されていないため、この場合には応力解析により求める必要がある。

(1) 応力解析による方法

解析的に ESWL を求める手順は次のとおりである。

- ① 1脚載荷時のコンクリート版の曲げ応力 (σ_1) を算定
- ② 単車輪の接地面積 (A) を仮定し、単車輪荷重載荷時のコンクリート版の曲げ応力 (σ_2) を算定。この時、1車輪の接地圧 (p) は変えない。
- ③ 上記②の計算を繰返し、 $\sigma_1 = \sigma_2$ になるときの接地面積 (A) を求める。
- ⑤ $ESWL = p \times A$ となる。

なお、応力解析に用いる定数、プログラム、構造モデル等は**第I章**を参照して設定する。

(2) ノモグラムを用いた方法

1) 複車輪の場合

DC-9-41 の所要諸元は、以下のようである。

・ 脚荷重	$P = 239 \text{ kN}$
・ 複車輪の横中心間隔	$S = 66.0 \text{ cm}$
・ 全タイヤ接地面積	$\sum A = 1,936 \text{ cm}^2$
・ 路盤の設計支持力係数	$K_{75} = 70 \text{ MN/m}^3$
・ コンクリート版厚	$h = 30 \text{ cm}$

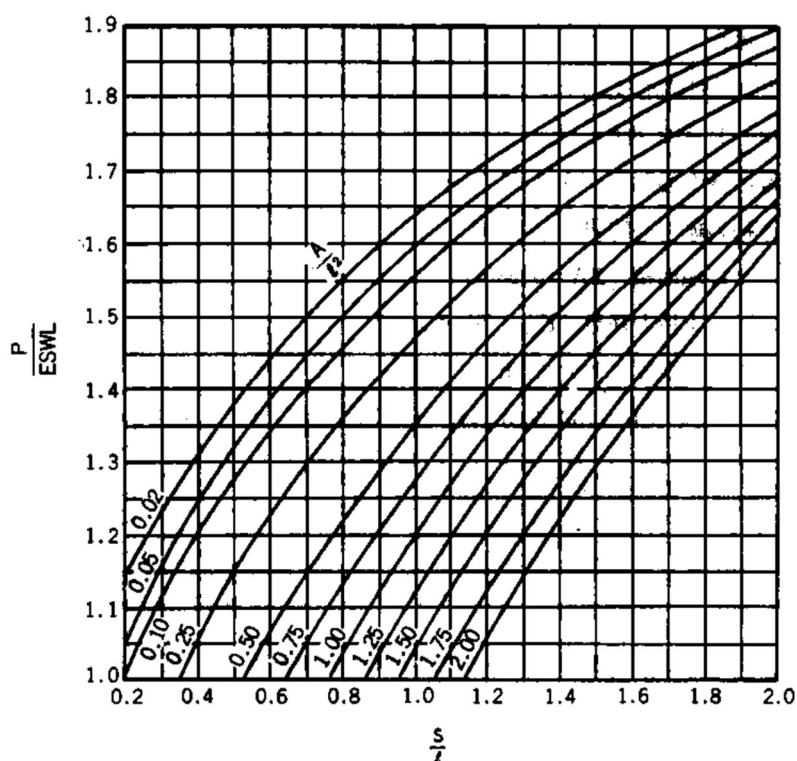
まず、コンクリートの剛比半径を求めると $l = 103.6 \text{ cm}$ となり、 S/l 、 $\sum A/l^2$ はそれぞれ次のように計算される。

$$\frac{S}{l} = \frac{66.0}{103.6} = 0.64$$

$$\frac{\sum A}{l^2} = \frac{1,936}{103.6^2} = 0.18$$

付図-6.3 において横軸上 $S/l = 0.64$ の点から上に垂直に進み、 $\sum A/l^2 = 0.18$ 曲線との交点を求める。この場合、0.10 と 0.25 の曲線の間に 0.18 の曲線を引くことが必要となる。その交点から左へ水平に進み、縦軸との交点 1.29 を得る。そして ESWL は次のように算定される。

$$ESWL = \frac{239}{1.29} = 185 \text{ kN}$$



付図-6.3 ESWL の設計曲線（複車輪用）

2) 複々車輪の場合

B747-400 の所要諸元は、以下のものである。

・脚荷重	$P = 910 \text{ kN}$
・複車輪の横中心間隔	$S = 111.8 \text{ cm}$
・複々車輪の縦中心間隔	$S_T = 147.3 \text{ cm}$
・全タイヤ接地面積	$\Sigma A = 6,580 \text{ cm}^2$
・路盤の設計支持力係数	$K_{75} = 70 \text{ MN/m}^3$
・コンクリート版厚	$h = 42 \text{ cm}$

まず、コンクリートの剛比半径を求めると $l = 133.3 \text{ cm}$ となり、 S/l 、 S_T/l 、 $\Sigma A/l^2$ はそれぞれ次のように計算される。

$$\frac{S}{l} = \frac{111.8}{133.3} = 0.84$$

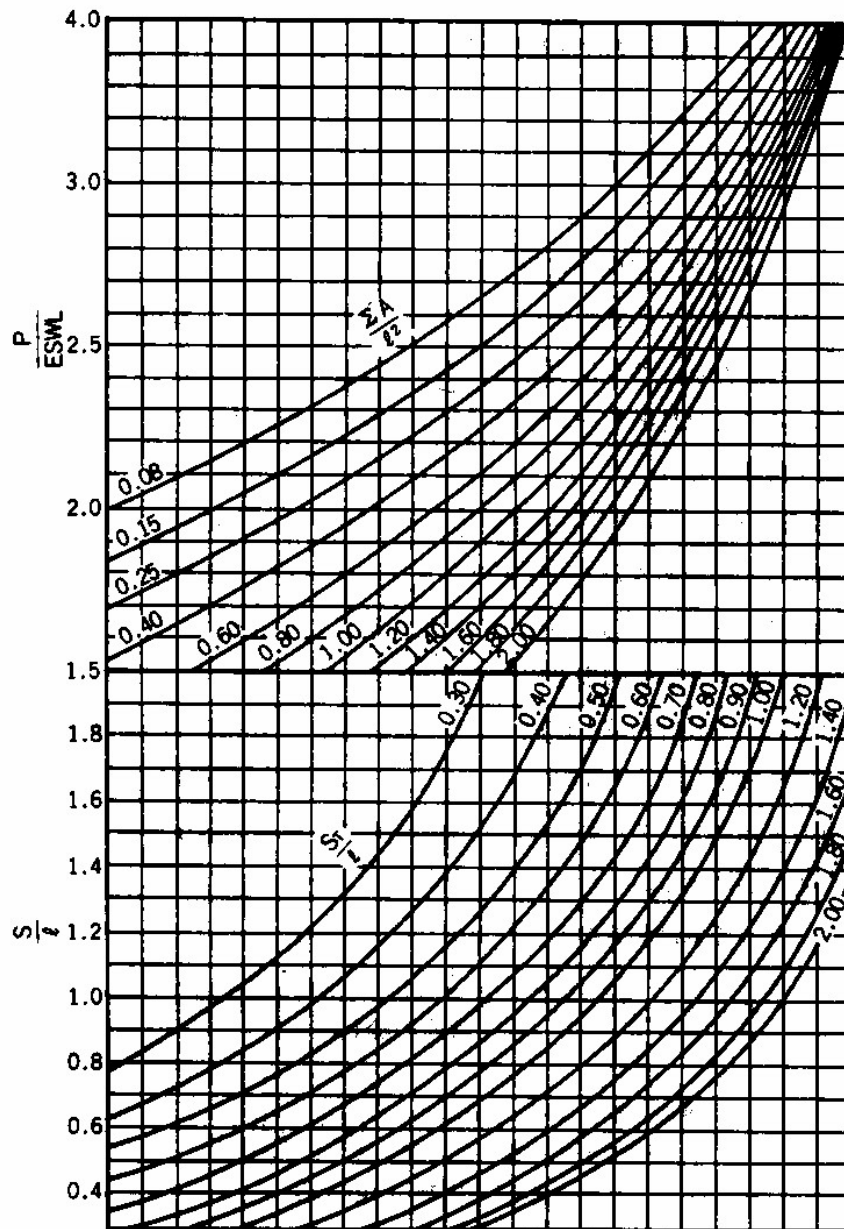
$$\frac{S_T}{l} = \frac{147.3}{133.3} = 1.11$$

$$\frac{\Sigma A}{l^2} = \frac{6,580}{133.3^2} = 0.37$$

付図-6.4 の下図において、縦軸上 $S/l = 0.84$ の点から右に水平に進み、 $S_T/l = 1.11$ の曲線との交点を求める。その交点から上へ垂直に進み、 $\Sigma A/l^2 = 0.37$ の曲線との交点を求め、その交

点から左へ水平に進み、縦軸との交点 2.52 を得る。そして ESWL は次のように算定される。

$$ESWL = \frac{910}{2.52} = 361\text{kN}$$



付図-6.4 ESWL の設計曲線（複々車輪用）

付録-7 経験的設計法によるアスファルト舗装の構造設計

7.1 設計手順

経験的設計法に基づくアスファルト舗装の構造設計手順は次のとおりである。

- 1) 設計条件の設定（設計荷重区分，設計反復作用回数の区分，路床支持力）
- 2) 基準舗装厚の算定
- 3) 舗装構成の設定
- 4) 舗装構造の決定

7.2 基準舗装厚の算定

アスファルト舗装の基準舗装厚は，米国陸軍工兵隊（CE：Corps of Engineer）の研究による単車輪荷重による基準舗装厚算定式と反復作用回数による補正式を用いて算定する。

(1) CE の式

CE の研究による基準舗装厚は，次式のとおりである。

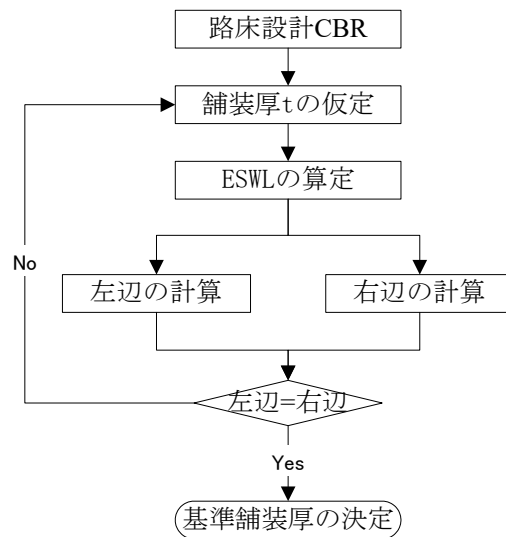
$$\frac{t}{\sqrt{A}} = \sqrt{\frac{1}{0.057 \cdot \frac{CBR}{p}} - \frac{1}{\pi}} = \sqrt{\frac{1}{0.057 \cdot \frac{CBR}{ESWL/A}} - \frac{1}{\pi}} \quad \dots \dots \dots \text{(付式-7.1)}$$

ここに，

- t : 舗装厚 (mm)
 A : 1 車輪の接地面積 (mm²)
 p : 接地圧 (N/mm²)

(付式-7.1) を展開すると次式のとおりとなる。ESWL は舗装厚 t に依存するため，基準舗装厚 t は繰返し計算により求める必要がある。

$$\pi t^2 + A = \frac{\pi \cdot ESWL}{0.057 \cdot CBR}$$



付図-7.1 基準舗装厚の算定フロー

(2) 反復作用回数による舗装厚の補正式

(1)で求めた基準舗装厚を次の方法³¹⁾で設計反復作用回数に対する基準舗装厚を算定する.

$$t_N = \alpha \times t_0$$

$$\alpha = 0.23 \cdot \log(N/2) + 0.15$$

ここで,

N : 設計反復作用回数

t_N : 設計反復作用回数 N に対する基準舗装厚

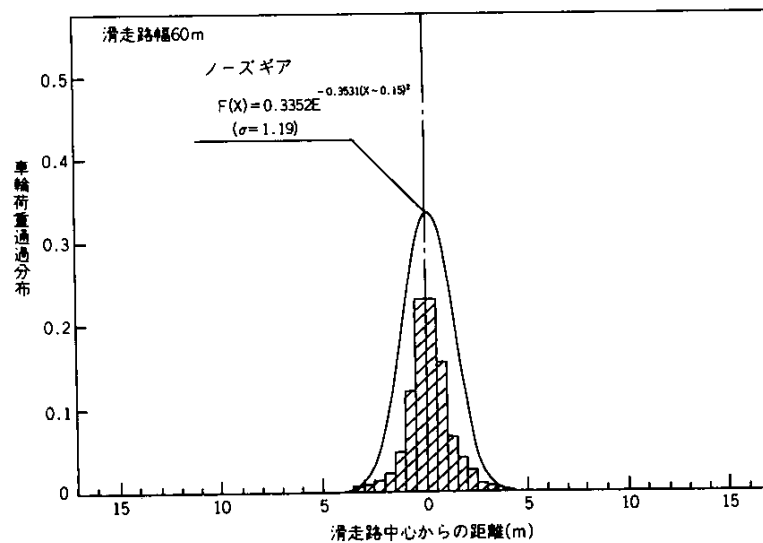
t_0 : (1)で求められる基準舗装厚

7.3 基準舗装厚の減厚

7.2 で求めた基準舗装厚は、全備重量の航空機荷重が作用する施設に対する舗装厚であり、舗装区域別の基準舗装厚は、走行特性に応じて付図-7.2 に示すように減厚する。

〔注〕滑走路幅員30m以下は横断方向の減厚は行わない。





付図-7.3 滑走路横断方向のノーズギアの走行位置分布

【補足説明】

- (1) 滑走路横断方向の航空機分布は、付図-7.3 に示すノーズギアの分布をみると大半が中央付近に集中していることから、大型ジェット機の外側主車輪の位置を考慮し、付図-7.2(1)に示すような中央帯と縁端帯を設定して、滑走路横断方向の減厚を考えることとした。ただし、平行誘導路のない滑走路については、滑走路端部における横断方向の減厚は行わず、滑走路中間部のみ付図-7.2(3)のとおり減厚する。
- (2) 滑走路の中間部は、航空機荷重が揚力を受けて滑走路端部における航空機荷重よりも一般に小さくなる³²⁾。うえ、横断方向の荷重分布も広がるため、基準舗装厚は端部の90%とする²²⁾。しかし、平行誘導路のない滑走路では、滑走路を航空機が低速走行し、航空機の満載荷重がそのまま舗装に加わるので、このような舗装厚の減厚を行わない。
- (3) 離脱誘導路は着陸時の航空機だけが使用するので、基準舗装厚は(2)で述べた滑走路中間部中央帯と同様に、滑走路端部中央帯の90%とする³³⁾。
- (4) メンテナンスエプロンの設計荷重は、燃料油、旅客、貨物が搭載されていない航空機を対象としているので、メンテナンスエプロン及びこれに通じる連絡誘導路の基準舗装厚は、滑走路端部中央帯の80%とする。
- (5) ショルダー、過走帯に航空機の荷重が加わるのは、航空機が滑走路を逸脱した場合だけである。したがって、これらの舗装厚は満載時の航空機荷重を用いた基準舗装厚の50%を取ることとする。
- (6) 将来計画で、滑走路延長や拡幅の可能性が十分考えられる場合のショルダー、過走帯については、延長あるいは拡幅の際の経済的、工期的条件を考慮し、建設時に滑走路本体と同厚にする方が望ましい。
- (7) 舗装の厚さの変化する部分では、付図-7.2(1)、7.2(2)に示すようにすり付けを行うが、その勾配は土木機械の作業性などを考慮して決める。
- (8) 基本施設が保安道路と交差する部分等では、荷重の大きいほうを設計荷重とする。

7.4 舗装構成の設定

7.4.1 設定手順

7.3 で求めた基準舗装の層構成は、表・基層がアスファルトコンクリート、上層路盤が粒度調整碎石、下層路盤が粒状材から成り立っている。これらの各層の層厚は、次のようにして設定する。

(1) 表・基層

表・基層には、「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」に規定されるアスファルト混合物を用いることを標準とし、それらの合計厚は、設計荷重の区分及び設計反復作用回数の区分に応じて**付表-7.1**のとおりとする。

付表-7.1 表・基層の最小合計厚

設計荷重 の区分	設計反復作用 回数の区分	最小合計厚 (cm)	設計荷重 の区分	設計反復作用 回数の区分	最小合計厚 (cm)
LA-1	a	14	LSA-1	a	4
	b	15		b	4
	c	15		c	4
	d	16	LSA-2	a	4
	e	17		b	4
LA-12	a	13		c	4
	b	14	LT-1	a	10
	c	14		b	10
	d	15		c	10
	e	16	LT-12	a	9
LA-2	a	12		b	9
	b	12		c	9
	c	12	LT-2	a	8
LA-3	a	10		b	8
	b	10		c	8
	c	10			
LA-4	a	9			
	b	9			
	c	9			

【補足説明】

- (1) LSA-1, LSA-2 を除くショルダー及び過走帯においては、表層厚を 5cm とし、基層は設けない。
- (2) 表層及び基層の一層の最大及び最小仕上がり厚は**舗装設計編Ⅱ-4.6**に記載のとおりであり、経済的な層構成とする。
- (3) グルーピングを設ける施設においては表の値に 1cm を加えた厚さとする。
- (4) 表・基層の最小合計厚は、脚荷重と反復作用回数により決定されている。舗装設計編に記載されていない特殊な設計荷重を対象とする場合には、これを考慮して適切な合計厚を設定する必要がある。

(2) 上層路盤

上層路盤厚は、設計荷重区分及び路床設計 CBR に応じて**付表-7.2**のとおりとする。

付表-7.2 上層路盤の標準厚

(単位:cm)

CBR	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20 以上
LA-1	40(35)						35(30)		30(25)			25(20)				
LA-12	40(35)					35(30)		30(25)			25(20)					
LA-2	35(30)					30(25)			25(20)				20(15)			
LA-3	30(25)							25(20)			20(15)					
LA-4	20(15)															
LSA-1	15(10)				10(10)											
LSA-2	10(10)															
LT-1	25											20				
LT-12	20								15							
LT-2	15															

※ 基準舗装厚を減厚する施設・部位における上層路盤厚は（ ）内の数値を用いる。

※ 下層路盤の厚さが**付表-7.3**の値を満足できない場合には、下層路盤を増厚して所定の下層路盤厚を確保するか、上・下層路盤を一層にして上層路盤材料で路盤を構成する。

(3) 下層路盤

基準舗装厚から表・基層、上層路盤厚を引いた残りの厚さが下層路盤で、1～3 種の材料で構成する。下層路盤が厚くなる場合、下層路盤厚の 1/3 以下で下層路盤の最下部にセレクト材を用いることができる。セレクト材を除く下層路盤（セレクト材が用いられていない場合には下層路盤厚）は、1～2 種類の材料で構成される。2 種類の場合には、1：1 の厚さに分けるのを標準とする。路盤の最小厚は、材料、設計荷重に対応して**付表-7.3**に示すとおりとする。路床の設計 CBR が 30 以上の LA-1、LA-12、LA-2、LA-3 用舗装と、20 以上のその他の舗装については、その厚さ、材質などを検討して下層路盤を省略することもできる。

付表-7.3 材料別下層路盤厚の一層最小厚

(単位:cm)

材 料	設 計 荷 重 の 区 分	LA-1, LA-12	LA-4, LSA-1, LSA-2
		LA-2, LA-3	LT-1, LT-12, LT-2
セメント安定処理材		15	12
粒 状 材		15(10*)	10
アスファルト安定処理材		6	6

※ 路床の設計 CBR が 12 以上の場合には、下層路盤の最小厚としては 10cm とすることができる

【補足説明】

(1) 対象とする路床が、舗装にとって下層路盤と同等の効果が期待できる厚さ、強度、材質を

備えている場合は、下層路盤を省略してもよい。この際、路床表面部分の材質にのみ配慮のあまり、路床の定義を忘れたり、路盤の機能を果たしうるかどうかを検討せず、下層路盤を省略することは危険である。

- (2) 山岳空港などで岩が路床となる場合も、一般に下層路盤を省略できる。しかしこの場合、路床にできた穴や不陸をコンクリート等で完全に埋戻したり、均したりし、仮に上層路盤に水が浸水しても滞水しないようにする必要がある。

7.4.2 舗装構造の決定

7.4.1 で設定した舗装構成を基本とし、舗装構造全体の耐久性、経済性、環境への配慮を考慮して、路盤材料を選定した上で舗装構造を決定する。

- (1) 粒状路盤材料の代わりに**付表-7.4**に示す材料を使用した場合には、置換する路盤の厚さを**付表-7.4**の等価値で割って得られる厚さまで減らすことができる。
- (2) 設計荷重区分が LA-12 以上の上層路盤には安定処理材を使用することを標準とする。
- (3) セメント安定処理材、石灰安定処理材あるいは水硬性粒度調整鉄鋼スラグ路盤上にアスファルト混合物の層を設ける場合は、その総厚は 15cm 以上とする。

付表-7.4(1) 上層路盤材料の等価値

材 料 名	混 合 方 法	主 な 材 質	等 価 値
アスファルト 安定処理材	中央プラント 加熱混合	マーシャル安定度 (75 回) 4.90kN 以上	2.0
		マーシャル安定度 (50 回) 3.45kN 以上	1.5
セメント安定処理材	中央プラント混合	一軸圧縮強度 (材令 7 日) 2.9N/mm ² 以上	1.5
石灰安定処理材	中央プラント混合	一軸圧縮強度 (材令 14 日) 2.9N/mm ² 以上	1.5
水硬性粒度調整 鉄鋼スラグ		一軸圧縮強度 (材令 14 日) 1.2N/mm ² 以上, 修正 CBR80 以上	1.5
粒度調整碎石	中央プラント混合	修正 CBR80 以上	1.0

付表-7.4(2) 下層路盤材料の等価値

材料名	混 合 方 法	主 な 材 質	等 価 値
アスファルト 安定処理材	中央プラント 加熱混合	マーシャル安定度 (50 回) 3.45kN 以上	2.0
セメント安定処理材	中央プラント混合	一軸圧縮強度 (材令 7 日) 2.0N/mm ² 以上	1.5
石灰安定処理材	中央プラント混合	一軸圧縮強度 (材令 14 日) 2.0N/mm ² 以上	1.5
粒状材		修正 CBR30 以上	1.0

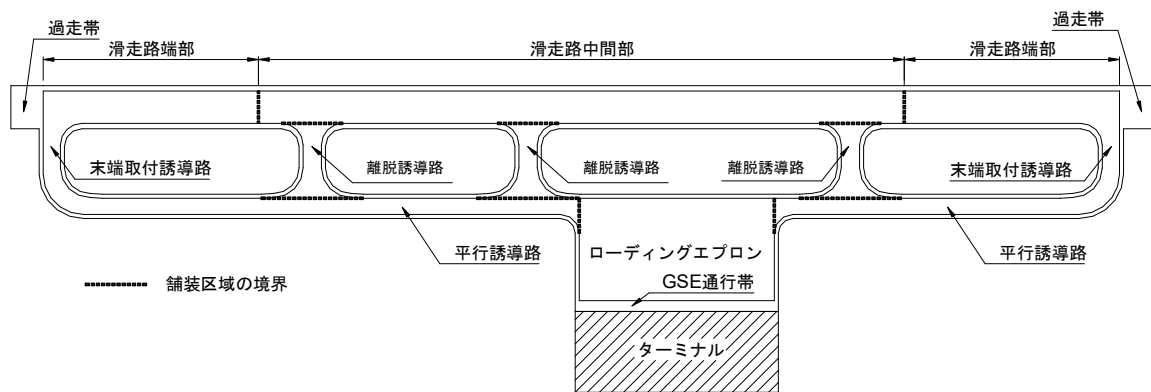
【補足説明】

- (1) 上層路盤の粒度調整碎石や下層路盤の粒状材をそれらより良質な材料で置き換えようとする場合、層厚が厚くなると、それらの全層ではなく一部のみを置き換えることもある。その場合、置き換える層についてのみ**付表-7.4**の等価値による減厚を行う。
- (2) 路盤材料の等価値は、材質、層厚、層の位置などの影響を受けるものであるが³⁴⁾、従来の研究³⁵⁾や実績などから、一般に**付表-7.4**の値を用いることができることが明らかになった。**付表-7.4**にあげた材料以外の材料を路盤に用いる場合は、材令に伴う強度特性、施工終了時から交通開放時までの期間などを考慮のうえ、過去の実績や実物大実験などから求めた適切な等価値を用いて路盤の厚さを減じることができる^{35), 36)}。
- (3) バインダーを持たない粒状材は、振動や繰返し荷重による粒子移動が大きく、設計荷重が大きい場合には、特に表層・基層の変形へ影響を及ぼす。このような耐久性や圧縮性などを考慮すると、設計荷重の大きな場合の上層路盤には安定処理材を使用した方がより良好な結果が期待できる。
- (4) セメント安定処理材、石灰安定処理材、水硬性粒度調整鉄鋼スラグを用いた路盤の支持力効果は極めて大きいですが、繰返し荷重による耐久限度や浅い部分における温度変化などでひび割れの発生が懸念され、これによるリフレクションクラックが舗装表面に及ぼす影響は大きい。したがって、これを防止、抑制するためのアスファルト混合物の層厚が必要となるのである¹⁸⁾。この場合、本文で述べたように15cm以上のアスファルト混合物の層を用意するが、表層・基層の合計厚が15cmに満たないときには、セメント安定処理材等の上に適当なアスファルト安定処理材を置き、これに対処する。
- (5) アスファルト安定処理材の材質は、施工方法等も考慮に入れて、最も経済的なものとする必要がある。すなわち、一部は表層・基層と同一の材料を用いて、それらと一体に施工してもよい。

7.5 設計例

設計荷重区分 LA-1、設計反復作用回数の区分 b (10,000 回) の荷重条件の空港の滑走路、誘導路、GSE 通行帯等（**付図-7.4**）のアスファルト舗装構造を設計する。路床の設計 CBR は次のとおりとする。

対 象 区 域	設計 CBR
滑走路、誘導路	5
ランプ車両通行帯	7



付図-7.4 舗装区域の区分

7.5.1 滑走路

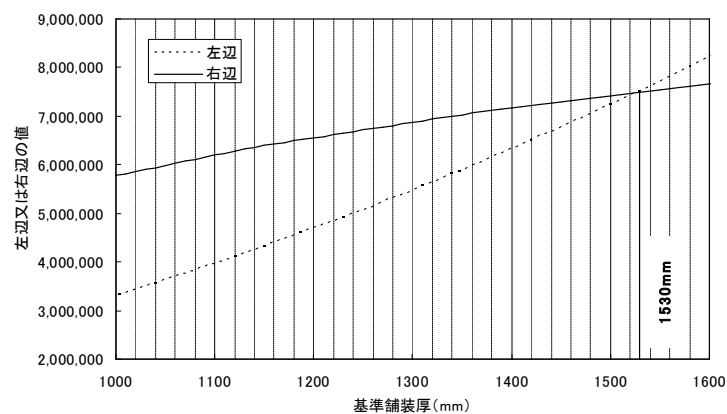
(1) 基準舗装厚の算定

路床設計 CBR : 5%

設計荷重 (747-400) : 脚荷重 910,000N, 接地面積 164,500mm²

基準舗装厚より舗装厚 t をパラメータとして次式の左辺, 右辺を計算し, 基準舗装厚を求めると付図-7.5 に示すとおり, 153cm となる.

$$\pi t^2 + A = \frac{\pi \cdot ESWL}{0.057 \cdot CBR}$$



付図-7.5 基準舗装厚の決定

(2) 基準舗装の構成

各舗装区域における減厚比を考慮して基準舗装の構成は付表-7.5 のとおりとなる.

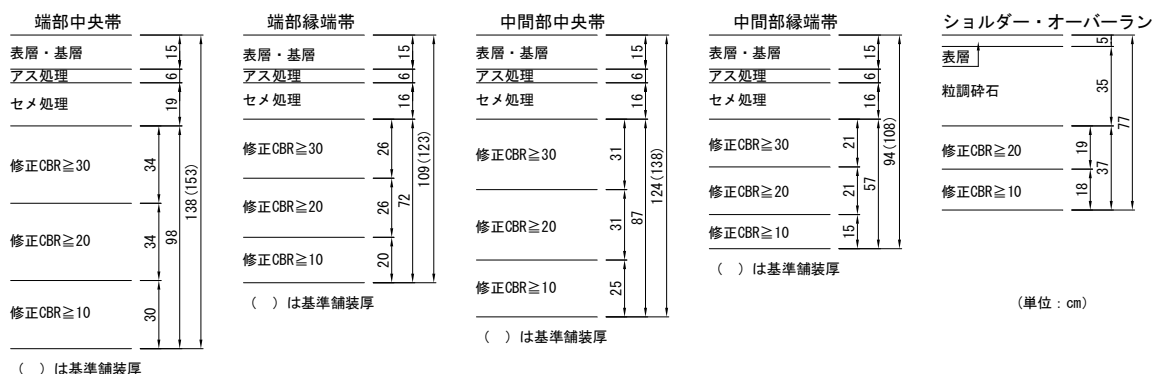
付表-7.5 基準舗装の構成

舗装区域	基準舗装厚 (cm)	表層・基層厚 (cm)	上層路盤厚 (cm)	下層路盤厚 (cm)
滑走路端部中央帯	153	15	40	98
滑走路端部縁端帯	123	15	35	73
滑走路中間部中央帯	138	15	35	88
滑走路中間部縁端帯	108	15	35	58
ショルダー・過走帯	77	5	35	37

注) 下層路盤厚については、基準舗装厚より表層・基層厚及び計算で求められた上層路盤厚を差引いたものとする。

(3) 舗装構造の決定

引き続き上層路盤、下層路盤について使用材料を考え、構成を決める。まず上層路盤であるが、**付表-7.5** の厚さは粒度調整碎石によるもので、設計荷重の大きい本例のような場合には安定処理材を使用することが必要なことから、滑走路本体にはアスファルト安定処理材とセメント安定処理材を用いることとし、**付表-7.4** の等価値に基づいて厚さを決める。滑走路端部中央帯にはアスファルト安定処理材 6cm とセメント安定処理材 19cm ($6 \times 2.0 + 19 \times 1.5 \div 40\text{cm}$) を、滑走路中間部中央帯及び縁端帯にはアスファルト安定処理材 6cm とセメント安定処理材 16cm ($6 \times 2.0 + 16 \times 1.5 \div 35\text{cm}$) を用いる。次に下層路盤は、1～3 種類の粒状材により、次のように決める。たとえば、滑走路端部中央帯の下層路盤には、下側から 98cm($153 - (15 + 6 \times 2.0 + 19 \times 1.5) \div 98$)の 1/3 以下の厚さ 30cm のセレクト材を用い、残りを 1:1 に分けて中間部 34cm を修正 CBR20 以上の粒状材、最上部 34cm を修正 CBR30 以上の粒状材とする。他の区域も同様に決め、最終的な舗装構造は**付図-7.6** のようになる。



付図-7.6 滑走路の舗装構造設計例

7.5.2 誘導路

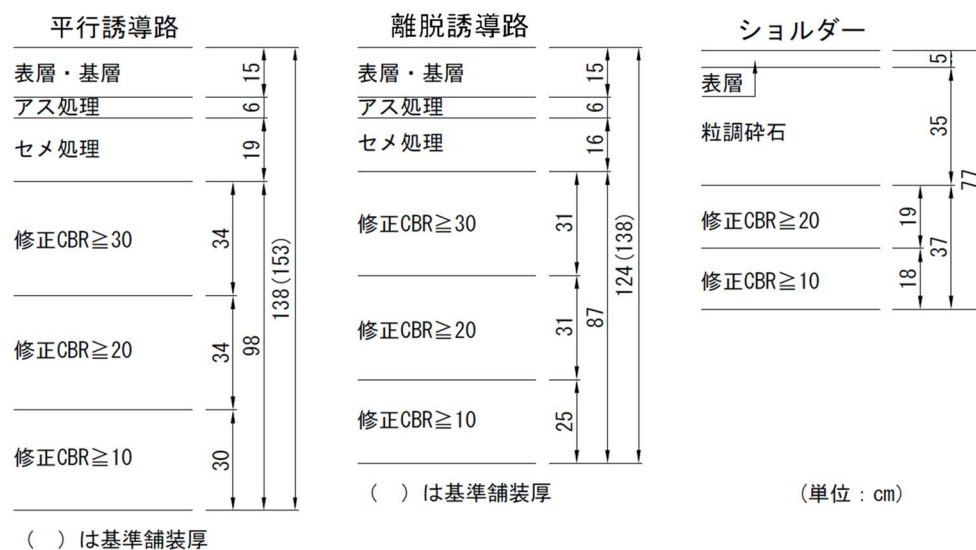
路床の設計 CBR が滑走路の場合と同じで，種々の誘導路に対し基準舗装厚は次のようになる．

平行誘導路・末端取付誘導路：153cm

離脱誘導路：153×0.9＝138cm

ショルダー：153×0.5＝77cm

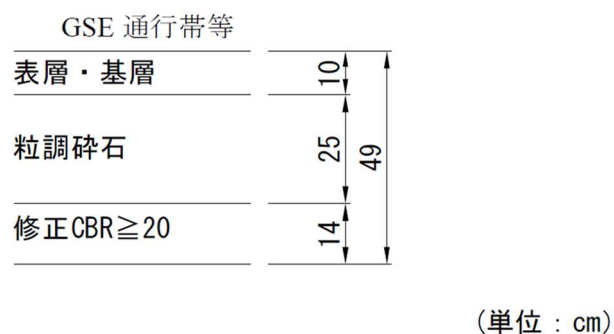
それぞれの層構成は，滑走路の場合に準じて付図-7.7のように決定する．



付図-7.7 誘導路の舗装構造設計例

7.5.3 GSE 通行帯等

GSE 通行帯等の基準舗装厚は滑走路と同様の方法で求め，設計反復作用回数の区分 b に対しては 49cm となる．この表層・基層厚は付表-7.1 から 10cm，上層路盤厚は付表-7.2 から 25cm である．ここで下層路盤厚は，49－(10+25)＝14cm となる．最終的に決まる舗装構成は付図-7.8に示される．



付図-7.8 GSE 通行帯等の舗装構造設計例

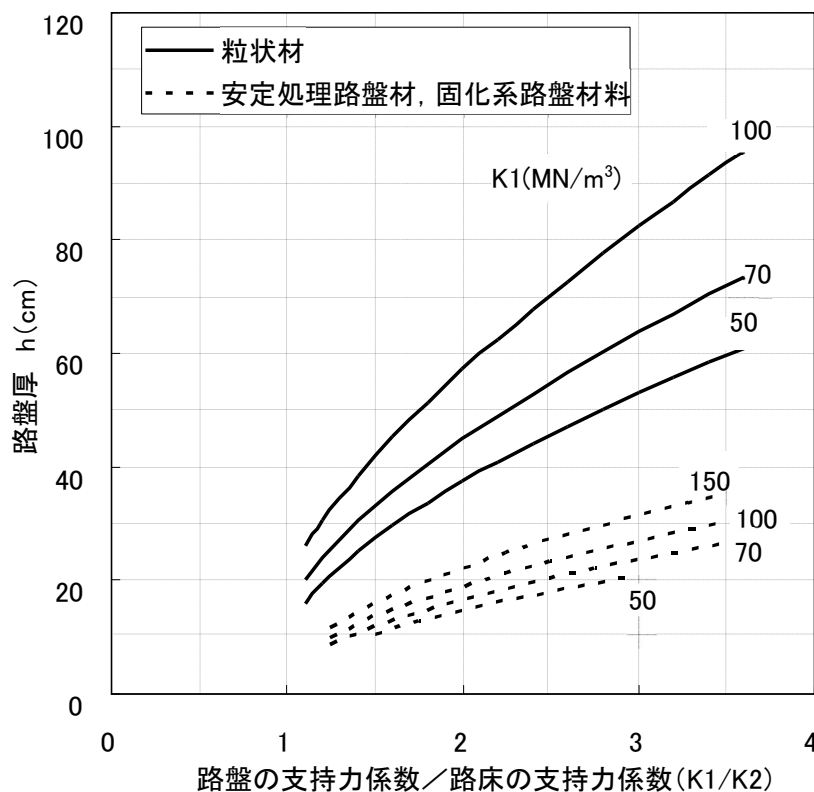
付録-8 経験的設計法によるコンクリート舗装の構造設計

本章では、経験的設計法による無筋コンクリート舗装の路盤構造及びコンクリート版厚の設計方法を説明する。

8.1 路盤

8.1.1 基本理論

路盤の設計支持力係数 K_{75} （直径 75cm の平板載荷試験に基づく K 値）は、 70MN/m^3 を標準とし、路盤厚は現地の路床上に試験路盤を作成して平板載荷試験を行い、所要の設計支持力係数が得られるときの厚さとする。しかし、設計段階においては試験路盤の作成が困難なことが多く、この場合には付図-8.1 に示す設計曲線を用いて路盤厚を設定することができる。



付図-8.1 コンクリート舗装の路盤厚設計曲線

【補足説明】

- (1) 付図-8.1 は、既存試験結果に基づきバーバーの2層弾性論を用いて、粒状路盤材の弾性係数を 100MN/m^2 、安定処理材の弾性係数を $1,000\text{MN/m}^2$ として設定したものである。なお、路盤の最小厚は 15cm とする。
- (2) 路盤の設計支持力係数 K_{75} を 70MN/m^3 を標準にしたのは、従来の空港舗装の実績を考慮したもので、設計上、施工上、その他経済性等から、他の 50MN/m^3 , 100MN/m^3 といった設計

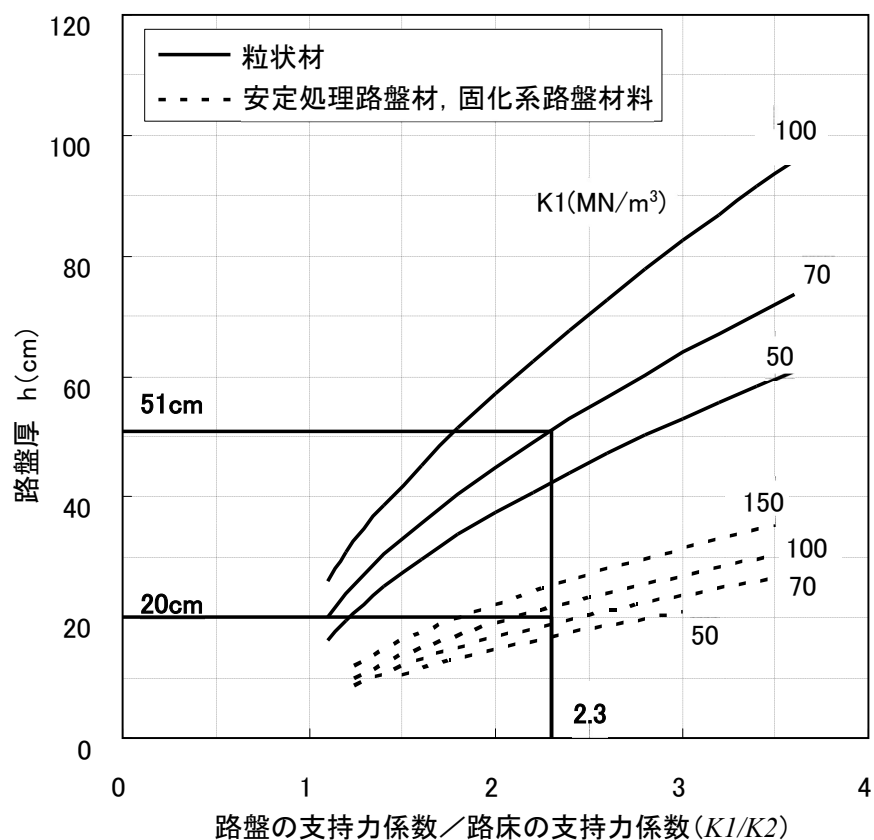
支持力係数を採用してもよい。ただし、路盤の設計支持力係数は、路床のそれより大きくすることを標準とする。また、セメント安定処理路盤やアスファルト安定処理層路盤などのように長期にわたる安定性、耐久性、均一性が確保できると判断され、**付図-8.1** 以外の K 値を用いる場合には、多層弾性理論を用いて路盤の K 値を求めてよい。ただし、 50MN/m^3 未満の設計支持力係数は施工上問題があるので用いてはならない³⁷⁾。また、路盤（粒状材料）の長期にわたる安定性、耐久性が明確でないことなどから、 150MN/m^3 を越えるような大きな設計支持力係数も通常はとらない。

- (3) 「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」に規定される以外の路盤材料を用いる場合には、その材料の弾性係数を求めて路盤厚を設定することができるが、大規模工事においては必ず試験路盤により確認することが必要である。
- (4) アスファルト中間層を用いる場合にはその厚さは 4cm を標準とする。この場合、アスファルト中間層以外の路盤の厚さは、粒状材の場合 10cm 、安定処理材の場合 4cm を低減する。
- (5) 材料別路盤一層最小厚は、粒状材とセメント安定処理材の場合で 15cm 、アスファルト安定処理材の場合で 6cm とする。
- (6) 路床の設計支持力係数 K_{75} が路盤の設計支持力係数と同等以上の場合、路床上部 15cm の材質が「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」に規定される上層路盤の材質に適合し、しかも支持力の均一性が確保されていれば、路盤を省略してよい。
- (7) 上層路盤にアスファルト安定処理材を用いた場合には、この層である程度平坦性及び耐水性が改善できるので、通常この上にアスファルト中間層を施工することはしない。
- (8) シャ断層の上に直接セメント安定処理材を施工することは、施工上あるいは構造上問題があるので望ましくない。
- (9) 寒冷地においては、路盤上での支持力は季節的に大きく変動する。春の融解期には支持力は低下し、その度合いには、路盤材料の種類と品質、路盤の厚さ、路床の土質等によって異なる。道路における調査結果によると、一般には夏の安定した時期の支持力の約 $60\sim 80\%$ になる²⁰⁾。
- (10) **付図-8.1** の路盤厚設計曲線は、路盤材料が「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」に規定される品質を有する場合に成り立つもので、他の材料による路盤厚の設計は、十分な調査・研究、実績あるいは試験路盤による必要がある。

8.1.2 路盤構造設計例

路盤厚設計曲線を用いた路盤厚の設計は次の例のように行う。

- 例) 路床の設計支持力係数が 30MN/m^3 の場合、 $K_1/K_2=70/30=2.3$ であるから、**付図-8.2** で、セメント安定処理材なら 20cm 、粒状材なら 51cm の路盤厚となる。



付図-8.2 コンクリート舗装の路盤厚設計曲線の使用例

8.2 コンクリート版厚

8.2.1 基本手順

コンクリート版厚は、脚荷重（あるいは輪荷重）によりコンクリート版に発生する曲げ応力が設計基準曲げ強度を設計反復作用回数の区分に応じて設定されている安全率で除した値以下となるように設定する。

8.2.2 基本版厚

全備重量の荷重に対する基本版厚は、路盤の設計支持力係数を 70MN/m^3 、コンクリートの設計曲げ強度を 5N/mm^2 とした場合、付表-8.1(1)、8.1(2)に示すとおりとしてよい。

路盤の設計支持力係数やコンクリートの設計曲げ強度がこれらと異なる場合には、基本手順に基づいて版厚を設定する必要がある。

付表-8.1(1) コンクリート版厚（設計荷重 LA-1～3）

（単位：cm）

設計荷重の区分	設計反復作用回数の区分		
	M	N	O
LA-1	37	42	45
LA-12	32	36	39
LA-2	30	34	36
LA-3	27	30	32

※ グルーピングを施工する滑走路等では，表中のコンクリート版厚を 1cm 増厚する．減厚した区域においても 1cm の増厚は同じである．

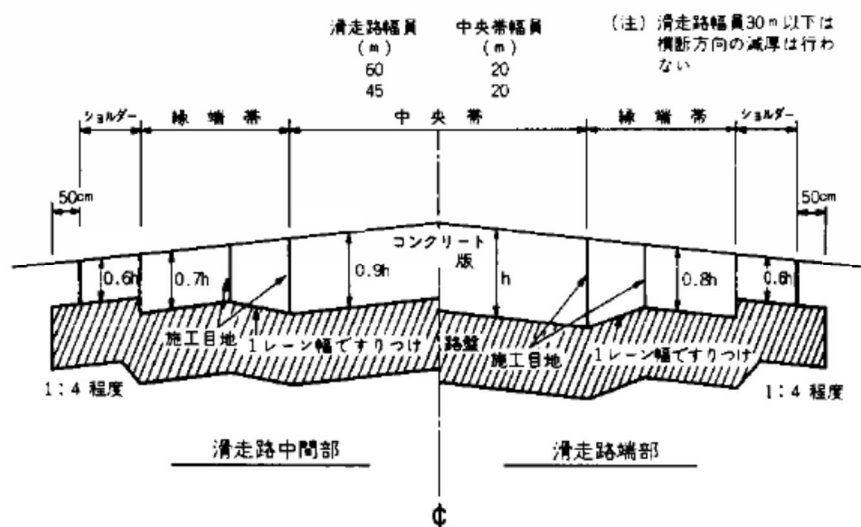
付表-8.1(1) コンクリート版厚（設計荷重 LT-1～2）

（単位：cm）

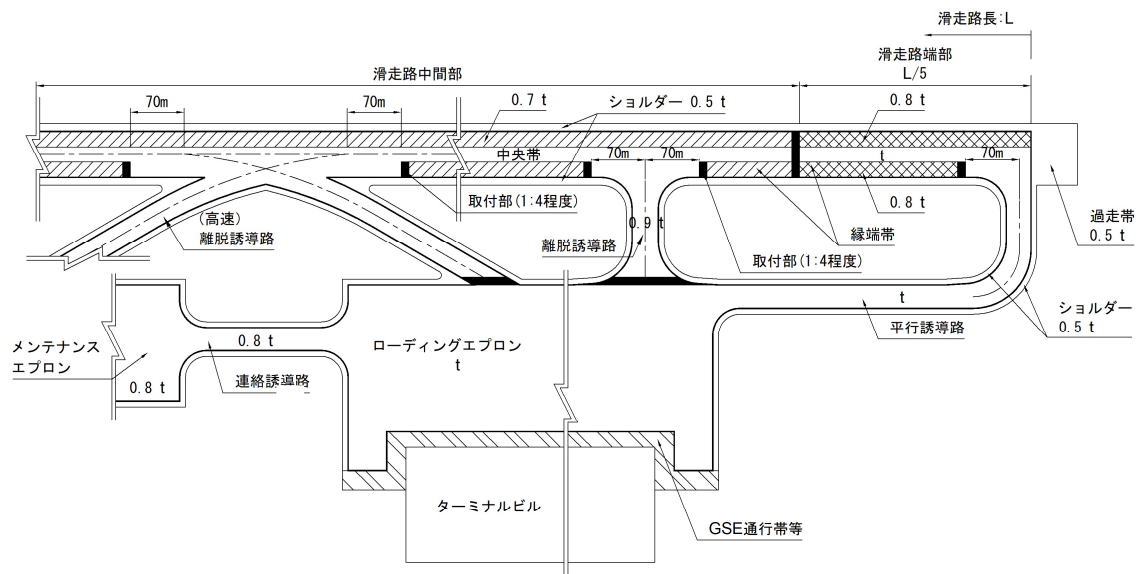
設計荷重の区分	設計反復作用回数の区分		
	M	N	O
LT-1	21	23	25
LT-12	18	20	21
LT-2	15	15	15

8.2.3 減厚方法

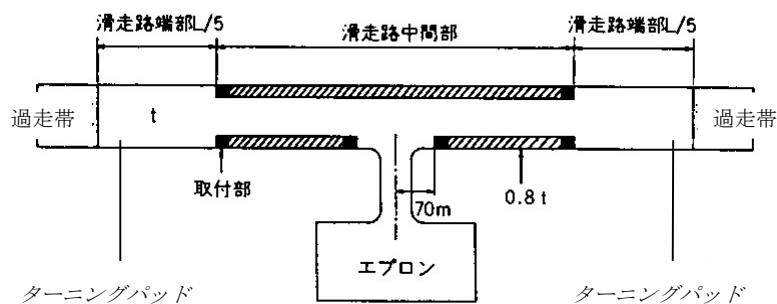
アスファルト舗装と同様に，8.2.2 のコンクリート版厚は，施設・部位に応じて付図-8.3 に示すように減厚することができる．ただし，コンクリート版厚の最小値は 15cm とする．



付図-8.3(1) コンクリート版厚の減厚（断面）



付図-8.3(2) コンクリート版厚の減厚（平面）



付図-8.3(3) コンクリート版厚の減厚（平行誘導路のない滑走路）

【補足説明】

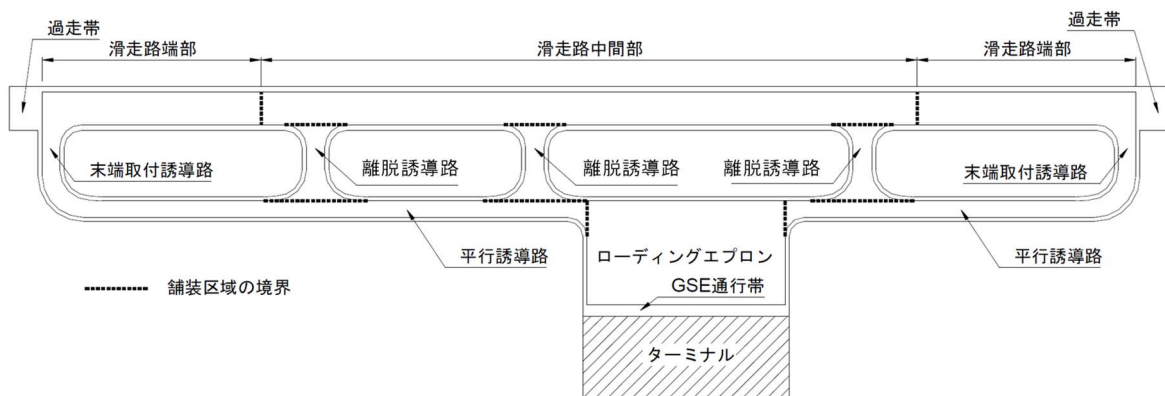
- (1) コンクリート舗装のコンクリート版には、交通荷重だけでなく温度変化や湿度変化など種々の原因によって応力が生ずる。しかし、米国のポルトランドセメント協会（PCA）の研究によれば、最も影響の大きい交通荷重による応力に対し、コンクリート版厚を適切なコンクリートの安全率で設計すれば、他の応力に対しても十分安全な範囲内にあることがわかっている³⁸⁾。この場合、航空機の車輪が舗装の自由端部を通過することはほとんどなく、すべての目地に適切な荷重伝達装置を考慮している空港コンクリート舗装では、荷重応力の算定にウェスターガードの中央部載荷公式が一般に適用される³⁹⁾。
- (2) 付表-8.1 は、「国土技術政策総合研究所所有の Westergaard 中央載荷計算プログラム⁴⁰⁾」を用いて設定したものである。
- (3) 交通がコンクリート版端部を頻繁に通過する GSE 通行帯等及びアスファルト舗装とコンクリート舗装の接合部では、荷重応力の算定に縁部載荷公式を適用し⁴¹⁾、コンクリート版の端部増厚を図る。なお、このような載荷重位置における版厚は、一般に付表-8.1 で示さ

れる版厚の 1.3 倍としてよい。

- (4) 設計反復作用回数の区分 M, N, O に対応するコンクリートの安全率は、米国陸軍工兵隊 (CE) の実験³²⁾などからそれぞれ 1.7, 2.0, 2.2 をとった。なお、LA-4 に対しコンクリート舗装を用いる場合、その版厚は設計反復作用回数 M, N, O で、それぞれ 20cm, 22cm, 23cm となる。**付表-5.1** に示されていない航空機を設計荷重として取り扱う場合には、その航空機の脚荷重、車輪配置、タイヤ接地圧等が表中の航空機と比較して著しく異なるかどうかを検討し、必要ならば上記の方法を参照して新しく設計曲線を作成する。
- (5) 滑走路の中央帯と縁端帯は、航空機の横断方向の走行分布及び大型ジェット機の外側車輪の位置を考慮して設定したものであり、**付図-8.3** に示すような中央帯と縁端帯を設定して滑走路横断方向の減厚を考えることを標準とするが、経済性、施工性等を考慮して中央帯幅員に 20m 以上を採用してもよい。ただし、平行誘導路のない滑走路については、滑走路端部における横断方向の減厚は行わず、滑走路中央部のみ**付図-8.3(3)** のとおり減厚する。
- (6) 滑走路の中間部は、航空機荷重が揚力を受けて滑走路端部における航空機荷重よりも一般に小さくなるうえ、横断方向の荷重分布も広がるため、端部より舗装厚を減じてよい³²⁾。しかし、平行誘導路のない空港では、滑走路を航空機が低速走行し、航空機の満載荷重がそのまま舗装に加わるので、このような舗装厚の減厚は行わない。
- (7) 離脱誘導路は着陸時の航空機だけが使用するので、コンクリート版厚は (6) で述べた滑走路中間部中央帯と同様に、滑走路端部中央帯の 90% とする³³⁾。
- (8) メンテナンスエプロンの設計荷重は、燃料油、旅客、貨物が搭載されていない航空機を対象としているので、メンテナンスエプロン及びこれに通ずる連絡誘導路のコンクリート版厚は、滑走路端部中央帯の 80% とする。
- (9) ショルダー、過走帯に航空機の荷重が加わるのは、航空機が滑走路を逸脱した場合だけである。したがって、これらのコンクリート版厚は、満載時の航空機荷重を用いた設計曲線で安全率を 1.0 とした場合とし、A 舗装区域のコンクリート版厚の 60% とした。
- (10) コンクリート版厚の低減は、**付図-8.3** に示すように行うが、低減が始まる箇所を目地に一致させるようにすることとし、1 レーンの幅又は目地間隔ですりつけるものとする。

8.3 コンクリート舗装の構造設計例

設計荷重の区分が LA-1、設計反復作用回数の区分が N であるという設計条件で、**付図-8.4** の空港の滑走路（幅員 60m）、誘導路（幅員 30m）、ローディングエプロンの舗装を設計する。



付図-8.4 舗装区域の区分

この場合土質調査から路床の設計支持力係数は次のとおりである。

対象区域	設計支持力係数 (MN/m ³)
滑走路、誘導路	28
ローディング エプロン	33

8.3.1 路盤厚の設計

路盤上の設計支持力係数を 70MN/m³にするための路盤厚を付図-8.1 から求める。

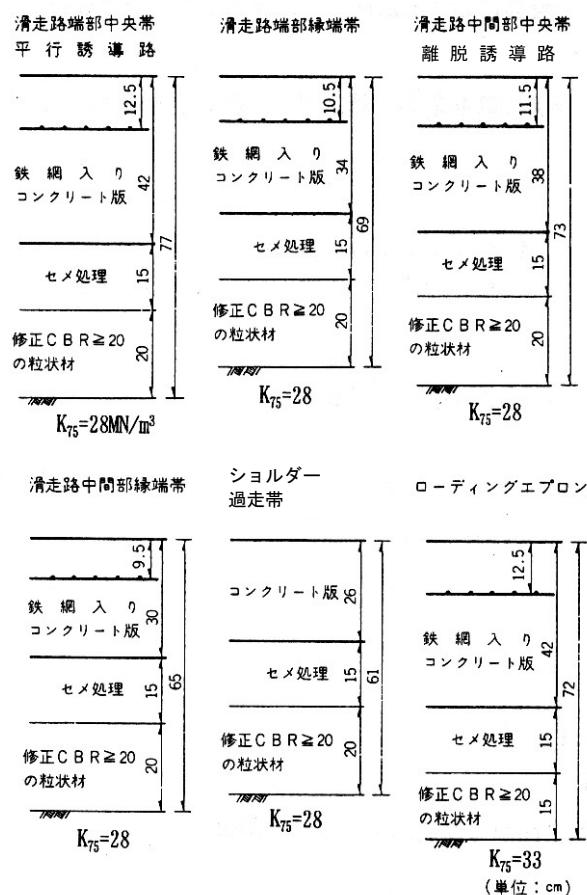
滑走路、誘導路区域は $K_1/K_2=70/28=2.5$ であるので、図から粒状材を路盤に使う場合厚さが 58cm 必要になる。粒状材だけだと路盤厚が大きいの、上層路盤としてセメント安定処理材を厚さ 15cm で使うと、下層路盤面上の必要 K 値は、図を用いて $K_1/K_2=70/K_2=1.8$ から $K_2=38.9$ となり、粒状材下層路盤の所要厚は、 $K_1/K_2=38.9/28=1.39$ であるので、図から 20cm となる。この場合の路盤合計厚は、セメント安定処理材 15cm、粒状材 20cm で、35cm になる。

ローディングエプロン区域についても同様にして路盤厚が求まる。上層路盤に 15cm 厚のセメント安定処理材を用いると、粒状材下層路盤の所要厚は $K_1/K_2=38.9/33=1.18$ から 15cm となる。したがって、この場合の路盤合計厚は 30cm である。

8.3.2 コンクリート版厚

A 舗装区域に属する滑走路端部、平行誘導路、ローディングエプロンのコンクリート版厚は、付表-8.1(1)から 42cm と求まる。B 舗装区域の滑走路中間部、離脱誘導路については、 $42 \times 0.9 = 37.8 \rightarrow 38\text{cm}$ のコンクリート版厚とする。このうち滑走路については、付図-8.3 に従って横断方向のコンクリート版厚の減厚を行う。滑走路端部縁端帯は $42 \times 0.8 = 33.6 \rightarrow 34\text{cm}$ 、滑走路中間部縁端帯は $42 \times 0.7 = 29.4 \rightarrow 30\text{cm}$ となる。また、滑走路の過走帯と各舗装区域のショルダーのコンクリート版厚は、 $42 \times 0.6 = 25.2 \rightarrow 26\text{cm}$ となる。

路盤構成も含めて各舗装区域の舗装構造は、付図-8.5 のようにとりまとめられる。



付図-8.5 無筋コンクリート舗装による舗装構造設計例

8.3.3 目地

施工目地間隔を 5m に選び、収縮目地も 5m 間隔として、正方形版を標準とする。もちろん曲線部や舗装区域の形が複雑な場合、あるいは埋設物がある場合はこの限りでない。このような場合には極力コンクリート版に鋭角部ができないような目地配置にする。また各舗装区域でできるだけ膨張目地を作らないようにするが、異なる舗装区域が接する部分には必ず、また施工時期が冬場の場合には 100～200m 間隔に膨張目地を設置する。

この場合、施工目地はすべてダウエルバー付き突き合わせ型となり、**付表-14.1** から $\phi 42-80, 40$ になる。収縮目地はすべてダウエルバー付きのこみぞ型にし、所要のダウエルバーも同様に $\phi 42-80, 40$ に、また、膨張目地にダウエルバー型を用いる場合のダウエルバーの寸法も、 $\phi 42-80, 40$ となる。

このような目地の補強のほか、過走帯、ショルダーを除く全てのコンクリート版に鉄網を入れる。鉄網量は、**舗装設計編図IV-4.2** から滑走路端部中央帯、平行誘導路、ローディングエプロンで 3.3kg/m^2 、滑走路中間部中央帯、離脱誘導路で 3.0kg/m^2 、滑走路端部縁端帯で 2.7kg/m^2 、滑走路中間部縁端帯で 2.4kg/m^2 となる。

付録-9 パス／カバレッジ率の算定方法

本章では、交通荷重の繰返し作用による疲労計算に用いるパス／カバレッジ率の算定方法を説明する。

9.1 概念

パス／カバレッジ率（以下、 P/C ）とは、舗装の任意の点に 1 つのカバレッジ（Coverage）を与えるために必要な交通量（Pass）である。航空機は常に同一点を走行するものではないため、これを補正するために用いるもので、舗装の疲労度はパス／カバレッジ率（以下、 P/C ）を用いて、つぎのようにして求めることができる。

$$\text{疲労度} = \frac{\text{ある航空機の走行回数}}{\text{ある航空機によるひずみ（又は応力）での許容繰返し回数} \times P/C}$$

横断方向の走行分布は一般に正規分布と仮定してよいと考えられ、横断方向の標準偏差，脚配置がわかれば、舗装の任意の位置における P/C を算出することができる。

9.2 算定方法

(1) 単車輪での P/C 算定方法

付図-9.1 の斜線部において、1 回の交通当たりのカバレッジは $C_{xc} \times W_t$ で近似できる。したがって、 P/C は次式で求められる。

$$P/C = \frac{1}{C_{xc} \times W_t}$$

ここで、

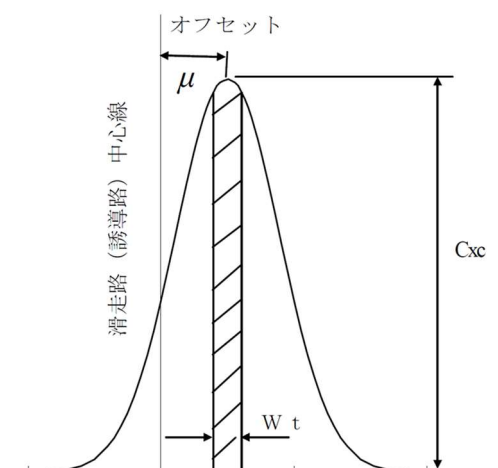
C_{xc} : x 点における
横断方向分布関数の密度値

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

μ : 車輪のオフセット幅

σ : 標準偏差

W_t : 車輪接地幅



付図-9.1 単車輪の場合の横断方向分布

(2) 複数車輪の P/C の算定方法

複数車輪における P/C の算定方法は次式で求められる。

$$P/C(x) = \frac{1}{\sum_{i=1}^m C_i(x) \times W_t} = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu_i)^2}{2\sigma^2}} \times W_t}$$

ここで、

$P/C(x)$	: センターから距離 x における P/C
$C_i(x)$	: 車輪 i の x 地点における正規確率密度関数値
W_t	: 車輪接地幅
μ_i	: タイヤ i のオフセット（機体中心からの距離）
σ	: 航空機横断方向走行位置分布の標準偏差

付図-9.2 に示す B747 脚配置を例にして、ボディギア B 中心における P/C を求める。なお、横断方向分布の標準偏差 σ は、70cm とした。

1) 計算点における各車輪の正規分布確率密度

$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu_i)^2}{2\sigma^2}}$ において、各車輪の中心からの距離を μ に代入し、

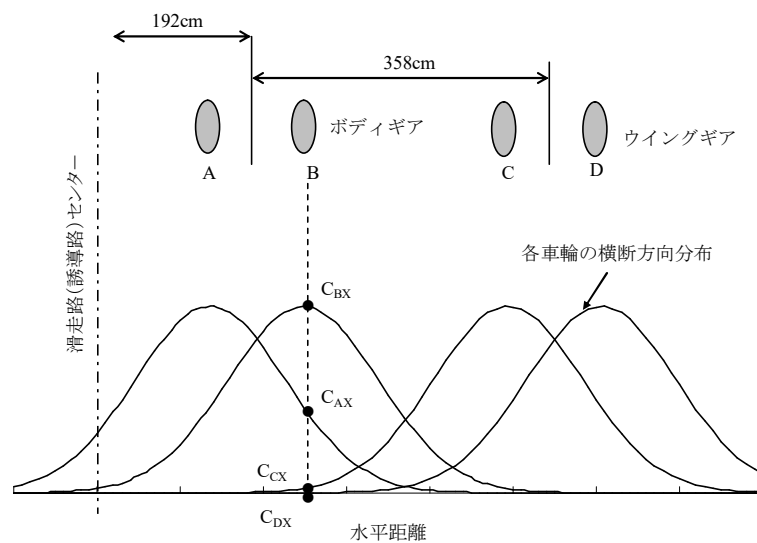
$x=192+111.8/2=247.9\text{cm}$ とすれば、各車輪の計算点における確率密度 $C_i(x=247.9\text{cm})$ は次のとおりとなる。

$$C_a(x)=1.5918\text{E-}03, C_b(x)=5.6992\text{E-}03, C_c(x)=1.1739\text{E-}05, C_d(x)=1.1916\text{E-}08$$

2) P/C の算定

計算点における P/C は次のとおりとなる。

$$P/C = \frac{1}{(C_a(x) + C_b(x) + C_c(x) + C_d(x)) \times W_t} = \frac{1}{7.3028 \times 10^{-3} \times 34} = 4.027$$



付図-9.2 複数車輪の P/C 算定方法

このような方法により、任意点における P/C を求めることができ、交通量と P/C により任意点における疲労度を算定することができる。

付録-10 プレストレストコンクリート舗装の構造設計

10.1 一般

プレストレストコンクリート（以降 PC と略す）舗装は、荷重作用によりコンクリート版に生ずる引張応力を打ち消す目的で、コンクリート版にあらかじめ計画的に圧縮応力（プレストレス）を導入したものである。すなわち、コンクリートの圧縮力に対する抵抗性よりも劣る引張力に対する抵抗性を改善することを目的としたもので、耐荷力や耐久性の大きなコンクリート舗装といえる。一般にプレストレスは、コンクリート版の縦・横方向に導入される。PC 舗装は、無筋コンクリート舗装等に比較すると、地盤沈下に追従しやすい。不同沈下した PC 版は、ジャッキ等でリフトアップされ、もと通りにして使用することもできる⁴²⁾。

PC 舗装の構造設計は、次に示す順序で行う。

- ① 路盤厚の算定
- ② コンクリート版厚の決定
- ③ PC 鋼材量の算定
- ④ 目地の配置及び構造の決定
- ⑤ 沈下対策
- ⑥ 凍上対策
- ⑦ 排水対策

なお、凍上対策及び排水対策については無筋コンクリート舗装の設計方法（第Ⅳ章）に準じてよい。

10.2 路盤構造

路盤の設計支持力係数 K_{75} は、 70MN/m^3 以上とすることが望ましい。路盤厚の設計については、舗装設計編Ⅳ-2.2 に準じてよいが、PC 版は、他のコンクリート舗装に比べてかなり薄いものとできるため、相対的に交通荷重による路床、路盤の変形が大きくなる。路床・路盤の変形はたわみの増大や目地部の段差等を起こすことになるので十分な検討をすることが必要であり、PC 版を用いる場合には、路盤の設計支持力係数 K_{75} は、大きい方が望ましい⁴³⁾。

路床・路盤の変形量については、その測定方法や基準値が現時点では規定できない。この場合に舗装のたわみを用いる方法があり、中央部載荷条件で 1.25mm とするものがあるので参考にとよい。また、目地部等で、水が路盤に浸透し大きなたわみの繰返しがあると、路盤材料がポンピング作用を受けることがある。将来推定される供用状態によっては、ポンピングしにくい路盤材料の選定も考慮しなくてはならないことがある。

10.3 コンクリート版

コンクリート版厚は、荷重条件、導入プレストレス力のほか、路盤以下の変形を考慮した上で適切に定める。PC 版は、プレストレスを与える PC 鋼材量からは、薄いほど経済的であるが、PC 鋼材のかぶり、施工性、路盤以下の変形を考慮に入れて適切に定める必要がある。薄い PC 版を用いる場合であっても、NC 版の 60%以下にしなければならないとの規定があるので参考にとよい⁴⁴⁾。

10.4 PC 鋼材

10.4.1 PC 鋼材量の設計方法

(1) 基本

PC 鋼材の量・設置位置は，設計荷重並びに環境条件を考慮に入れて適切に定める必要がある。PC 鋼材量は，PC 舗装版の下面が使用状態においてひび割れを許容するⅢ種の状態になるように定めてよい。Ⅲ種による PC 舗装設計は，使用状態においてコンクリート版下面の曲げひび割れの発生を許容するため，まず設計荷重に対してコンクリートの引張強度を無視した断面を用いてコンクリートの圧縮応力度と PC 鋼材の増加引張応力度を算出し，それぞれが許容値内にあることを確かめる。次に，コンクリート版上面ひび割れ発生時の検討を行う。この場合において，設計反復作用回数が 40,000 回であればコンクリート圧縮強度として PC 鋼材の増加引張応力度を用いてよい。

(2) PC 鋼材量の設計方法

PC 鋼材量を決定するためのプレストレスの計算条件及び計算過程は，以下のとおりである⁴³⁾。

- 1) 路盤摩擦係数 $f=1.0$
- 2) シースの摩擦係数 $f'=0.004/\text{m}$
- 3) コンクリートの性質
 - ・ 基準圧縮強度 $\sigma_{cc}=40\text{N}/\text{mm}^2$
 - ・ 基準曲げ引張強度 $\sigma_{ct}=5\text{N}/\text{mm}^2$
 - ・ 許容曲げ圧縮応力度（安全率 2.0） $\sigma_{ca}=20\text{N}/\text{mm}^2$
 - ・ 弾性係数 $E_c=34\text{kN}/\text{mm}^2$
 - ・ ポアソン比 $\nu=0.15$
 - ・ クリープ係数 $\varphi=2.0$
 - ・ 乾燥収縮度 $\varepsilon_s=180\times 10^{-6}$
 - ・ 単位重量 $W=24.5\text{kN}/\text{m}^3$
- 4) PC 鋼材の性質

付表-10.1 PC 鋼材の性質

項 目	φ 17.8mmPC 網より線 (19 本より)	φ 12.7mmPC 網より線 (7 本より)
断面積 A_p	2.084 cm ²	0.987 cm ²
引張荷重 P_u	387 kN/本	183 kN/本
0.2%永久伸びに対する荷重 P_y	330 kN/本	156 kN/本
単位質量 W	1.652 kg/km	774 kg/km
弾性係数 E_p	200 kN/mm ²	
リラクセーション率 γ	5%	
許容増加応力度 $\Delta\sigma_{pa}$	100 N/mm ²	

- 5) 版の温度勾配 温度上昇時 $\lambda=0.7$ ，温度下降時 $\lambda'=0.35$
- 6) 有効プレストレス

有効プレストレスは、導入プレストレスからコンクリートの弾性変形、クリープによる損失、シース摩擦による損失、PC 鋼材のリラクセーションによる損失を差し引いたものとする。

- ・導入プレストレス σ_{cpi}

$$\sigma_{cpi} = \frac{\sum P_t}{Bh}$$

ここに、

P_t : PC 鋼線の初期緊張力 (N)

B : 幅 (cm)

h : コンクリート版厚 (cm)

- ・シース摩擦による損失 $\Delta\sigma_{cp}$

$$\Delta\sigma_{cp} = \sigma_{cpi} \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + f' \cdot L/2}\right)$$

ここに、

L : PC ケーブル長 (m)

- ・弾性変形による損失 $\Delta\sigma_{ce}$

$$\Delta\sigma_{ce} = \frac{1}{2} \cdot \frac{E_p}{E_c} \cdot \sigma_{ct} \cdot \frac{A_p}{A_c}$$

ここに、

$\sigma_{ct} = \sigma_{cpi} - \Delta\sigma_{cp}$

A_c : コンクリートの断面積

- ・クリープ、乾燥収縮による損失 $\Delta\sigma_{cp\phi}$

$$\Delta\sigma_{cp\phi} = \sigma_{p\phi} \cdot \frac{A_p}{A_c}$$

ここに、

$$\sigma_{p\phi} = \frac{n \cdot \phi \cdot \sigma_{cp} + E_p \cdot \varepsilon_s}{1 + n(1 + \phi/2) \cdot \sigma_{cpt}/\sigma_{pt}}$$

σ_{cpt} : プレストレス導入直後のプレストレス ($=\sigma_{ct} - \Delta\sigma_{ce}$)

σ_{cp} : PC 鋼材位置のコンクリートの圧縮応力度 ($=\sigma_{cpt}$)

σ_{pt} : プレストレス導入直後の PC 鋼材の引張応力度 ($=\sigma_{pt} \times \sigma_{cpt}/\sigma_{cpi}$)

n : コンクリートと鋼材の弾性係数比 ($=E_p/E_c$)

- ・リラクセーションによる損失 $\Delta\gamma_{cpr}$

$$\Delta\sigma_{cpr} = \gamma(\sigma_{cpi} - \Delta\sigma_{cp})$$

- ・有効プレストレス σ_{cpe}

$$\sigma_{cpe} = \sigma_{cpi} - \Delta\sigma_{cp} - \Delta\sigma_{ce} - \Delta\sigma_{cp\phi} - \Delta\sigma_{cpr}$$

- ・軸方向圧縮応力 σ_0, σ_0'

PC 版の温度が下がっていくときは、路盤摩擦によって版には次式のような引張応力 σ_f が働くことになる。

$$\sigma_f = fW \frac{L}{2}$$

それゆえ、温度下降時の圧縮応力 σ_0' は $\sigma_0' = \sigma_{cpe} - \sigma_f$ となる。一方、温度上昇時には σ_f を考慮せず、 $\sigma_0 = \sigma_{cpe}$ とする。

7) 荷重とそり拘束によって発生する応力は、次式によって算定する。

- ・脚荷重によって発生する応力 σ_i は、次式によって算定する。

$$\sigma_i = 0.0547 \cdot \frac{F}{h^2} \cdot \left\{ \left(\frac{b}{l} \right)^2 - 10.186 \cdot \ln \left(\frac{b}{l} \right) + 3.714 \right\}$$

ここに、

σ_i : コンクリート版中央部の輪荷重応力度 (N/mm²)

F : 設計荷重の ESWL (N)

b : $r < 1.724h$ の場合、 $b = \sqrt{1.6r^2 + h^2} - 0.675h$ (mm)
 $r \geq 1.724h$ の場合、 $b = r$ (mm)

l : 剛比半径 $= \sqrt[4]{\frac{E_c \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot K_{75}}}$ (mm)

E_c : コンクリートの弾性係数 (N/mm²)

h : コンクリート版厚 (mm)

ν : コンクリートのポアソン比

K_{75} : 路盤支持力係数 (N/mm³)

- ・ PC 版の上下の温度差によって版はそろうとするが、版は自重などによってこれらが妨げられるため、版には次式で表されるようなそり拘束応力 σ_t が発生する.

$$\sigma_t = 0.7 \cdot \frac{E_c \cdot \alpha \cdot \theta}{2 \cdot (1 - \nu)}$$

ここに,

θ : PC 版の上下面の温度差, $\theta = \lambda h$
 α : コンクリート版の線膨張係数

- 8) プレストレス, 荷重応力, そり拘束応力を合成し, 合成応力 (σ_c) を求め, PC 版のひび割れの発生をチェックし, 下面ひび割れ発生荷重を算定する. PC 版に作用する曲げモーメント M は, 次式により全断面有効と仮定して算定する.

$$M = \sigma_i Z$$

ここに,

Z : 単位幅当たりの断面係数

$\Delta\sigma_p$ が $\Delta\sigma_{pa}$ より小さく, かつ σ_c が σ_{ca} より小さいことを確認する.

- 9) 表面ひび割れ発生荷重 P_c を次式により算定し, 設計荷重に対して 1.25 以上の安全率があることを確認する.

$$P_c = \left\{ \frac{4\pi}{1 - 4a/(3b')} + \frac{1.8(S + S_T)}{l - a/2} \right\} (M_r + M_r')$$

ここに,

S : 複々車輪の横中心間隔 (mm)
 S_T : 複々車輪の縦中心間隔 (mm)
 a : タイヤ接地半径 (mm)
 l : 剛比半径 (mm)
 b' : 3.91
 M_r : ひび割れ抵抗モーメント (N・mm/mm)
 M_r' : 破壊抵抗モーメント (N・mm/mm)

$M_r (= M_r')$ は, コンクリートの曲げ引張強度とプレストレスとの和から, そり拘束応力を差し引いた残存強度に断面係数を乗じることによって得られる.

- ・ 温度上昇時 $\sigma_c = \sigma_i + \sigma_t + \sigma_0$
- ・ 温度下降時 $\sigma_c = \sigma_i + \sigma_0'$

- 10) ひび割れ発生後の鋼材の増加応力や上縁のコンクリートの圧縮応力などを確認する. これらは, 次式により算定する.

$$A_1 X^3 + A_2 X^2 + A_3 X + A_4 = 0$$

$$\Delta\sigma_p = \frac{x^2 - 2hx + 2hd}{bx^2 + 2nA_px - 2nA_pd} nb\sigma_0$$

$$\sigma_c = x(\sigma_0 - \Delta\sigma_p/n)/(x - d)$$

$$A_1 = -2\sigma_0 b(bh + nA_p)$$

$$A_2 = 3b\{\sigma_0(bh^2 + 2ndA_p) - 2M\}$$

$$A_3 = 6nA_p\{\sigma_0bh(h - 2d) - 2M\}$$

$$A_4 = -dA_3$$

ここに,

- M : 曲げモーメント
- σ_0 : 軸方向圧縮応力度
- σ_c : 圧縮縁コンクリートの応力度
- $\Delta\sigma_p$: PC 鋼材の増加応力度
- h : PC 版厚
- d : 上縁から鋼材までの距離
- x : 上縁から中立軸までの距離
- b : 単位幅
- A_p : 単位幅当たりの鋼材断面積

10.4.2 PC 鋼材の標準設計

PC 鋼材量は、路盤の設計支持力係数 K_{75} が 70MN/m^3 ，コンクリート版厚が 18cm の場合，付表-10.2 に示す値を標準とする。

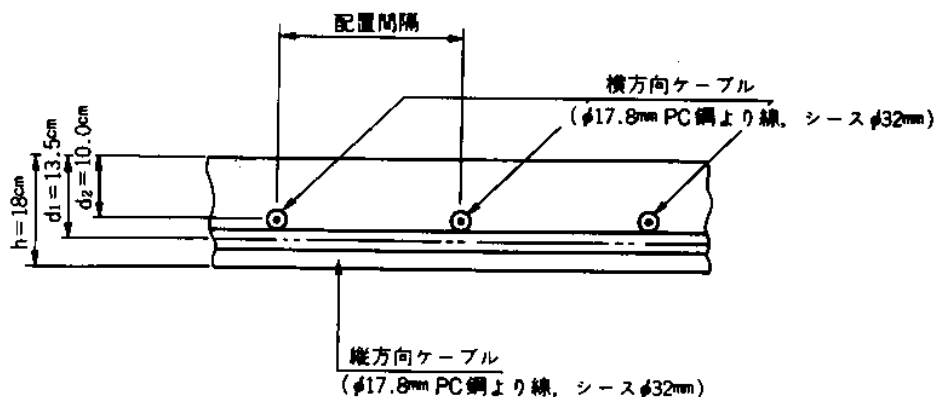
付表-10.2 PC 鋼材量の基準（ $\phi 17.8\text{mm}$ PC 鋼より線の間隔）

（単位：mm）

舗装区域 \ 版長	50m	75m	100m
滑走路端部中央帯等	縦 375 横 375	縦 350 横 350	縦 325 横 325
滑走路中間部中央帯， 離脱誘導路等	縦 425 横 425	縦 400 横 400	縦 350 横 350
メンテナンスエプロン等	縦 475 横 475	縦 450 横 450	縦 400 横 400

【補足説明】

- 設計条件が上記と異なる場合の PC 鋼材量は，10.4.1 からわかるように，PC 鋼材量を少なくするためには，できるだけ路盤摩擦を小さくすることが有効である．路盤摩擦をできるだけ小さくするためには，細砂などを $5\sim 10\text{mm}$ 程度に敷き，すべり層を設け，その上に路盤紙あるいはビニールを敷くとよい．通常の路盤の場合，路盤摩擦係数は $1.5\sim 2.0$ の値になるが，すべり層を設けることにより 1.0 前後に減少する．
- PC 版厚 18cm の場合，PC 鋼材の位置の例を付図-10.1 に示す．



付図-10.1 PC 鋼材の位置の標準

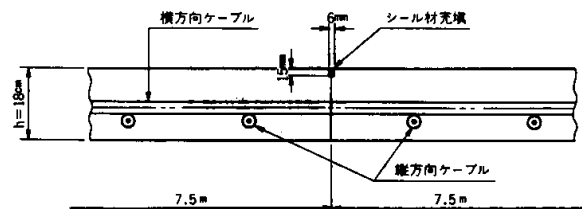
- PC 鋼材には PC 鋼より線と PC 鋼棒とがあり，それぞれ一長一短があるが，強度が大きく経済的なことから通常は PC 鋼より線が用いられているので，ここでは PC 鋼より線について示した．PC 鋼棒にも継手が容易である等の長所を有しているので，必要に応じてこれを用いるとよいが，この場合設計条件が異なるので，10.4.1 を参照し別途 PC 鋼材量を決める必要がある．

10.5 構造細目

(1) 目地

1) 施工目地

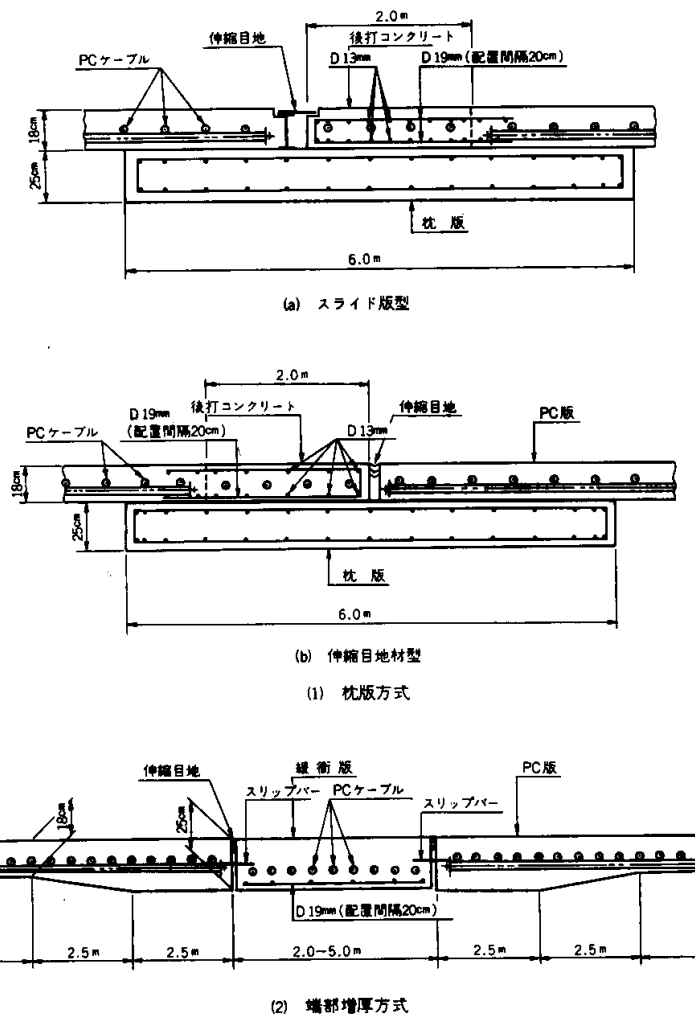
施工目地は突合わせ型で、その間隔は7.5mが一般的である。施工目地構造の例を付図-10.2に示す。



付図-10.2 施工目地構造の例

2) 伸縮目地

伸縮目地の構造は、枕版方式のスライド板型又は伸縮目地材型、あるいは端部増厚方式とする。その間隔は最大100mとする。伸縮目地構造の例を付図-10.3に示す。



付図-10.3 伸縮目地構造の例

【補足説明】

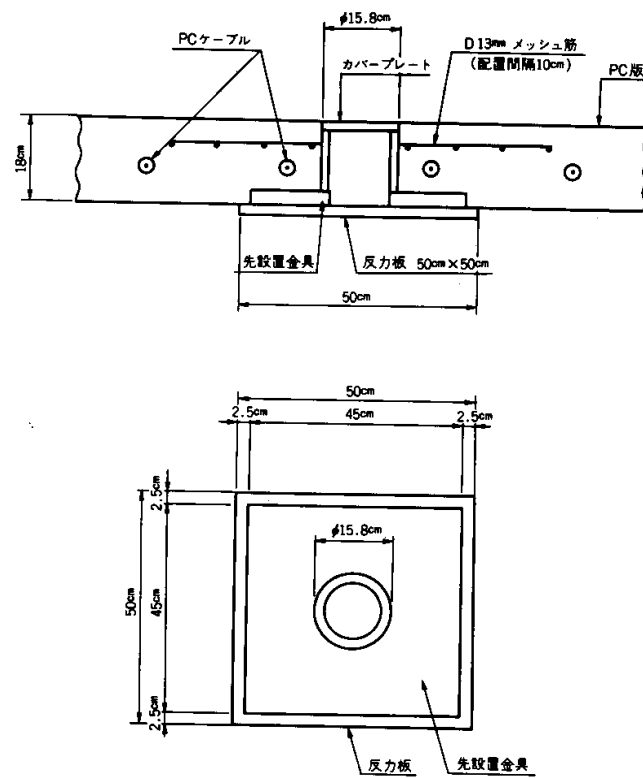
- (1) 施工目地は一般にプレストレスのある突き合わせ構造となり、雨水の浸入がなければプレストレスの働きにより、構造的な弱点にはならない。
- (2) 施工目地間隔は、舗設機械の幅で決まり、7.5m が一般的である。しかし、舗装全体の幅、使用される舗設機械によっては、他の目地間隔にしてもよい。
- (3) 伸縮目地の間隔は、一般的な方法でプレストレスを導入する場合は、プレストレスロスを考慮すると、100m 程度が最大と考えられる。なお、路盤摩擦の低減等特別な配慮をすれば、これ以上の伸縮目地間隔をとることも可能である。
- (4) 伸縮目地は縁部載荷状態になるため、版中央部に比べて大きな応力、たわみが生じないようにコンクリート枕版を目地の下に設置するか、PC 版端部を増厚し、隣接版との間をダウエルバーで連結する必要がある。
- (5) 伸縮目地部における緩衝版部は、プレストレスを与える際のジャッキ設置に必要なスペースであり、ストレス導入作業が終了するとその部分は一方向にプレストレスが導入される。この緩衝版の施工時期は、本体部分のクリープや乾燥収縮による変形の影響を小さくするためにできるだけ遅くすることが望ましい。

(2) 沈下対策

沈下が予測される地盤上に、リフトアップによる補修工法を前提として PC 舗装を建設する場合には、PC 版厚は 180mm を標準とする。

【補足説明】

- (1) リフトアップによる補修工法が前提の場合、PC 版厚として 18cm を標準としたのはリフトアップ用ジャッキの間隔を 5m 程度にできるからである。補修工法としてリフトアップ工法を採用しない場合にはこの規定は適用されない。
- (2) リフトアップ工法を前提とし、沈下区域及び沈下量が推定できる場合には、あらかじめ舗装内に版をリフトアップするための装置を設置しておくことが望ましい。具体的には、ジャッキ設置予定位置にあらかじめジャッキ装着金具を埋め込んでおくとともに、その周辺のコンクリートに補強鉄筋を配置し、さらに、路盤には反力用の鋼板を設置しておくとうよい。付図-10.4 は、リフトアップ用装着金具、反力板等の例である。
- (3) リフトアップ用装置が埋め込まれていない区域が沈下した場合には、沈下した部分の PC 版にコアボーリングで孔を開けてリフトアップ用の各装置を施し、これらを用いて版をリフトアップすることもできる。



付図-10.4 先設置型リフトアップ用治具の例

付録-11 連続鉄筋コンクリート舗装の構造設計

11.1 一般

連続鉄筋コンクリート舗装の特徴としては、一般に無筋コンクリート舗装の欠点とされる目地部及びひび割れ部における不連続性を改善し、長期にわたる維持・補修の軽減、舗装の耐久性及び走行性の向上等が図られることが挙げられる。連続鉄筋コンクリート舗装の構造上の特徴は、コンクリート版に発生するひび割れの幅を小さくし、その変動を制御する目的で長手方向に連続した鉄筋を配置することである。この鉄筋は、ひび割れの発生要因となるコンクリートの収縮による応力を版内に分散させ、コンクリート版に数多くの微細なひび割れを導入させる。微細なひび割れは構造的欠陥とならず、その幅は鉄筋によって制御^{45),46)}される。したがって、横方向の目地を省略できることとなる。連続鉄筋コンクリート舗装のコンクリート版厚、路盤厚の設計の考え方としては、**舗装設計編第IV章**の無筋コンクリート舗装のものを踏襲することを標準とするが、複合平板理論^{47),48)}に基づく設計方法も採用できる。複合平板理論は、連続鉄筋コンクリート版と剛性の高い上層路盤を複合平板として取り扱うものである。

連続鉄筋コンクリート舗装の構造設計は、次に示す順序で行う。

- ① 路盤厚の算定
- ② コンクリート版厚の決定
- ③ 鉄筋量の算定
- ④ 目地の配置及び構造の決定
- ⑤ コンクリート版の端部処理
- ⑥ 沈下対策
- ⑦ 凍上対策
- ⑧ 排水対策

なお、凍上対策及び排水対策については無筋コンクリート舗装の設計方法（**第IV章**）に準じてよい。

11.2 路盤

路盤構造設計は**舗装設計編第IV章**に従うことを標準とするが、連続鉄筋コンクリート舗装の設計法として複合平板理論を用いる場合には、上層路盤の要件として剛性の高い高強度のセメント安定処理材等を使用することが必要である。この上層路盤の強度については、試験等の結果から、一軸圧縮強度 7.4N/mm^2 以上かつ圧縮弾性係数 3.9kN/mm^2 以上あれば版としての効果が十分期待できることが確認されている⁴⁵⁾。この場合、路盤支持力係数 K_{75} （直径 75cm の載荷板での値）は下層路盤で 50MN/m^3 を標準とする。

11.3 コンクリート版厚

コンクリート版厚は、**舗装設計編IV-2.2**に準じてよいが、複合平板理論を用いる場合のコンクリート版及び上層路盤厚は、**付表-11.1**に示すとおりとする。なお、舗装区域による減厚方法は、**付録-8**に準じてよい。**付表-11.1**は、下層路盤の設計支持力係数 K_{75} が 50MN/m^3 、上層路盤の圧縮弾性係数 3.9kN/mm^2 、コンクリート版と上層路盤との付着率 20%の場合に対するも

ので、これ以外の場合には、11.7を参照してそれぞれの厚さを求める。

付表-11.1 コンクリート版厚及び上層路盤厚（設計荷重 LA-1～2）

（単位：cm）

設計荷重の 区分	設計反復作用回数の区分					
	M		N		O	
	版厚	上層路盤厚	版厚	上層路盤厚	版厚	上層路版厚
LA-1	30	30	34	34	35	35
LA-12	27	26	30	30	32	32
LA-2	25	24	28	26	29	29

（注1）上層路盤厚には、同路盤の最上層にアスファルト中間層を含んでいる。

（注2）グルーピングを施工する滑走路等では、表中のコンクリート版厚を1cm増厚する。

【補足説明】

- (1) 複合平板理論による連続鉄筋コンクリート舗装のコンクリート版厚の設計は、「国土技術政策総合研究所所有の Westergaard 中央載荷計算プログラム⁴⁰⁾」を適用して実施する。複合平板理論では、コンクリート版と上層路盤の付着程度（付着率）によって両者の層の底面に発生する曲げ応力が異なってくる。この付着率は、荷重によって生ずる応力のコンクリート版及び上層路盤への荷重分担割合を示すものである。すなわち、付着率が大きければ上層路盤の荷重分担が大きくなり、その結果コンクリート版に発生する応力が小さくなる。舗装設計編では、この付着率について20%を採用しているが、これは載荷試験結果⁴⁵⁾から得られたものである。これを超える付着率を採用する場合、あるいは、舗装設計編で記述した以外の安定処理材及び強度を採用する場合は、これについて載荷試験等を実施して十分に検討する必要がある。
- (2) 滑走路においては、連続鉄筋コンクリート版の減厚は、すり付け版の挙動が不明確なこと、施工が困難であること等を踏まえて行わない。ただし、上層路盤については、(1)に従って減厚する。
- (3) 連続鉄筋コンクリート舗装のコンクリート版最小厚は、コンクリート版内に埋設された鉄筋の位置、かぶり等を考慮して20cmとし、上層路盤の最小厚は舗装設計編Ⅳ-2.2.2に基づきアスファルト中間層5cmを含めて20cmとする。
- (4) 連続鉄筋コンクリート舗装のコンクリート版と上層路盤との間に設置されるアスファルト中間層は、機能面では無筋コンクリート舗装のそれとは全く同じではなく、横ひび割れ幅の抑制効果があることが既往の試験から確認されている。しかしながら、中間層のひび割れ幅抑制効果の理論的な解明はなされていないことから、舗装設計編では既往試験で採用したアスファルト中間層5cmを標準とした。また、アスファルト中間層は、施工面ではセメント安定処理層仕上がり面の保護あるいは型枠設置の容易さ等で有利となることから、敷設することが望ましい。

11.4 鉄筋

11.4.1 縦方向鉄筋

(1)鉄筋量

鉄筋量は、コンクリート版断面積の 0.65%を標準とする。

(2)鉄筋寸法

鉄筋の最小直径は、所定の鉄筋間隔を満足するようなものでなくてはならず、最大直径は 19mm を標準とする。

(3)鉄筋間隔

鉄筋の最小間隔は、骨材の最大寸法の 2 倍又は 10cm のうち大きい方とし、最大間隔は 25cm を標準とする。

(4)鉄筋位置

鉄筋の埋込み深さは、コンクリート版表面から版厚の 3 分の 1 を標準とする。かぶりの最小値は 5cm を標準とする。

(5)鉄筋の継手

鉄筋の継手は重ね合わせとする。重ね合わせ長さの最小値は、重ね合わせ配置がちどり型又は斜め型の場合は、鉄筋直径の 25 倍又は 40cm のうち大きい方とし、その他の場合は、鉄筋直径の 30 倍又は 50cm のうち大きい方とする。溶接鉄網の重ね合わせ長さの最小値は、重ね合わせ配置がちどり型の場合は 45cm、その他の場合は 55cm とする。コンクリート打ち込み方向の横方向施工目地から 2.5m 以内及びコンクリート打ち込みの逆方向の横方向施工目地から 1.0m 以内にあるすべての鉄筋の継手の重ね合わせ長さは、上述の値の 2 倍を標準とする。

(6)鉄筋の材質

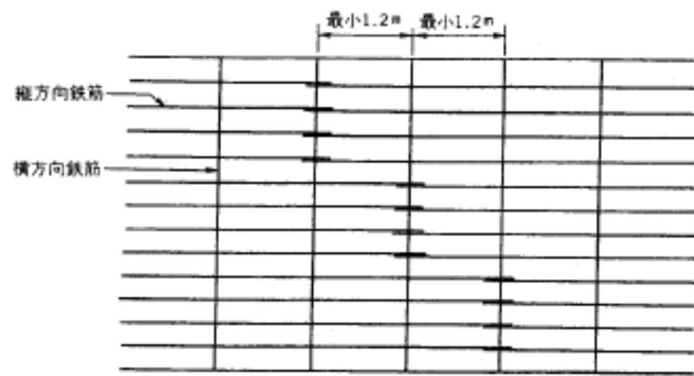
鉄筋の最小降伏点強度は 345N/mm^2 を標準とする。

【補足説明】

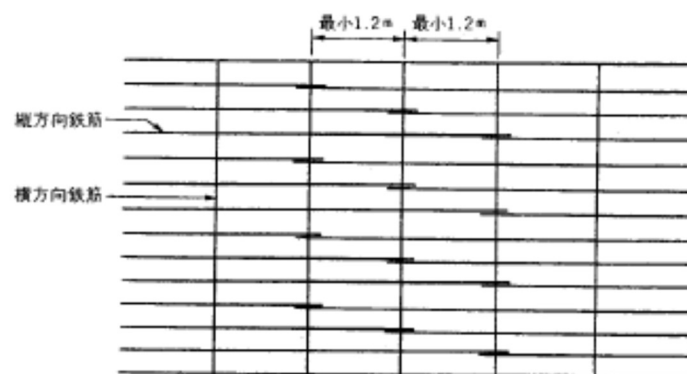
- (1)連続鉄筋コンクリート舗装のコンクリート版に発生する横方向ひび割れは、乾燥収縮、温度変化、湿度変化等によって生じる版の収縮変形が鉄筋及び路盤による拘束を受け、版に引張応力が発生することに起因する。横方向ひび割れ部においては、荷重応力に対してせん断伝達が十分に確保できるひび割れ幅に制御することが望ましい。舗装設計編では、この平均値を 0.5mm 以下とする^{49), 50)}。
- (2)連続鉄筋コンクリート舗装の縦方向鉄筋はひび割れ幅の変動を制御するものである。したがって、鉄筋量、鉄筋位置、鉄筋径は、年間を通して版厚方向のひび割れ形状の変動を考慮し、ひび割れ部のせん断抵抗が確保されるように決定する必要がある。鉄筋量の算定式としては、舗装設計編では、11.6 に示すように鉄筋位置を考慮した方法により鉄筋応力を算出

することとし⁵¹⁾、この式をもととした横方向ひび割れの変動等を解析するひび割れ制御式⁴⁶⁾により、鉄筋量、鉄筋位置及び鉄筋径を求めることとした。

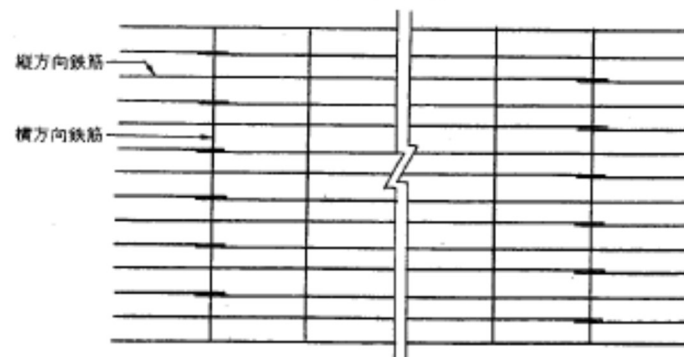
- (3) 鉄筋の直径と間隔は、互いに関連しており、いくつかの要素に左右される。最大直径は、鉄筋間隔がコンクリート打ち込みを容易にするに十分なように定めるべきであり、ひび割れ幅の制御を考慮して決定するものとする。一方、鉄筋間隔は、骨材の最大寸法に関連し、その最小値は骨材の最大寸法の 2 倍とするが、いかなる場合も 10cm 未満であってはならない。また、ひび割れ部の良好な荷重伝達を図り、均一で十分な付着強度を期待するために、鉄筋間隔は 25cm を超えてはならない。
- (4) 縦方向鉄筋の継手は重ね合わせによって行われる。この継手部分での不適切な重ね合わせによって舗装が破壊した例がいくつかあるので、十分注意する必要がある。
- (5) 継手部分の形状にはちどり型配置、斜め型配置等がある。ちどり型配置とは、1 レーンにおいて、縦方向鉄筋の 3 分の 2 以上の継手が舗装の縦方向中心線に直角な同一面上に配置されず、かつ各々の継手が縦方向に 1.2m 以上離れているものをいい、斜め型配置とは、継手が舗装の縦方向中心線に直角な線に最小 30° の角度をなして斜めに配置されるものをいう。**付図-11.1** にこの継手の配置型式を実施例とともに示す。
- (6) 連続鉄筋コンクリート舗装の特性を十分に発揮させるためには、コンクリートと鉄筋の付着強度が十分であることが必要である。したがって鉄筋はすべて異形鉄筋を用いることにした。



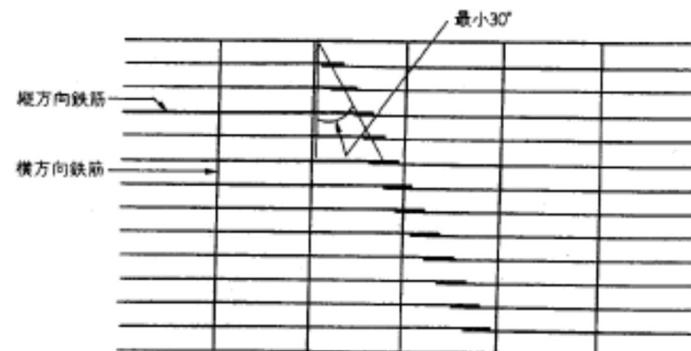
(1) ちどり型



(2) ちどり型



(3) ちどり型 (新東京国際空港の実施例)



(4) 斜め型

付図-11.1 重ね合わせ継手配置

11.4.2 横方向鉄筋

(1) 鉄筋量

鉄筋量は、コンクリート版断面積の 0.09% を標準とする。

(2) 鉄筋寸法

鉄筋の直径は、縦方向鉄筋の直径及び配置を考慮して決定する。溶接鉄網の場合、その直径と縦方向鉄筋の直径との差は 4mm 以下を標準とする。

(3) 鉄筋間隔

鉄筋の間隔は、縦方向鉄筋及び横方向鉄筋の直径を考慮して決定するが、その最大値は 150cm を標準とする。

(4) 鉄筋位置

鉄筋の埋め込み深さは、縦方向鉄筋を下から支持するように決める。かぶりの最小値は 5cm を標準とする。

【補足説明】

- (1) 横方向鉄筋は、縦方向鉄筋を所定の間隔に保持する役割を有する。
- (2) 鉄筋量では、実際の施工例では、縦方向鉄筋量の 5 分の 1 ないし 10 分の 1 とすることが多いが⁵²⁾、舗装設計編では、標準値としてコンクリート版断面積の 0.09% を採用した。

11.5 目地

(1) 縦方向施工目地

目地の間隔及び構造等は、**舗装設計編Ⅳ-4** に準ずる。ただし、連続鉄筋コンクリート舗装の可動部（端部 50m）においては、改良かぎ型施工目地を設置するものとする。

(2) 横方向目地

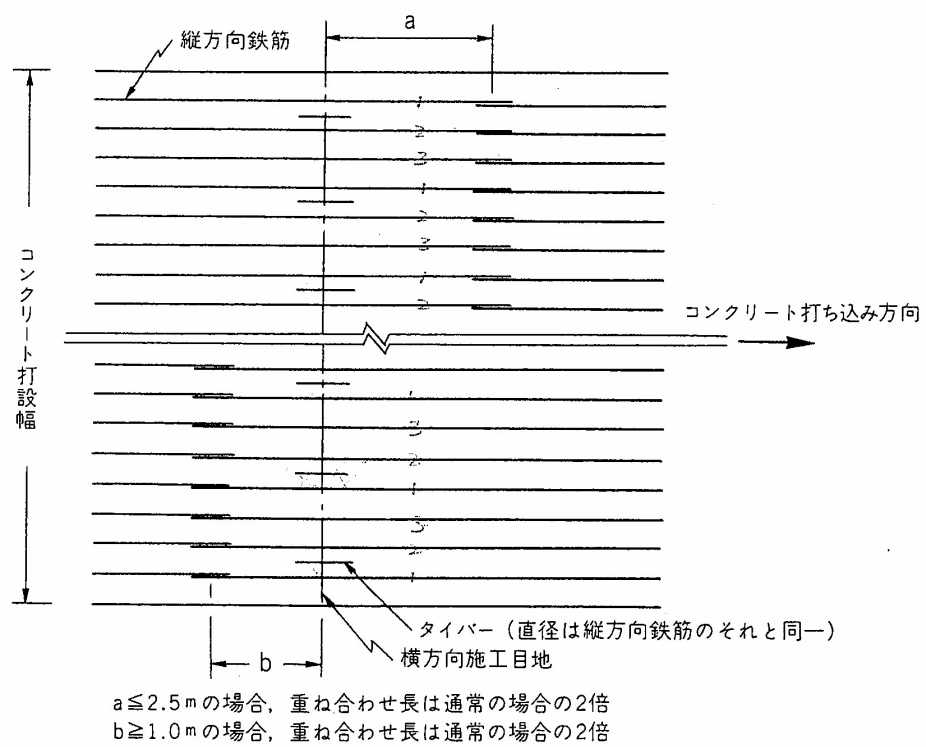
横方向収縮目地は設けなくてよい。毎日の施工終了時、又はコンクリート打ち込み作業が 30 分以上中断される場合、その部分に横方向施工目地を設けることを標準とする。目地は、縦方向鉄筋の貫通した突き合わせ型とし、縦方向鉄筋量の 33% 以上のタイバーで補強するものとする。このタイバーの直径は縦方向鉄筋の直径と同一とし、長さは最大 120cm とし、間隔は等間隔とする。

(3) 膨張目地

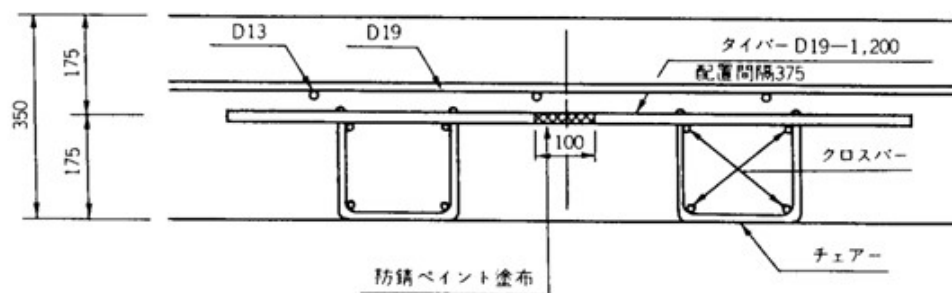
膨張目地は、舗装が他の構造物に接する部分及び舗装が他の舗装と接する部分あるいはその付近に設ける必要がある。目地の構造は、**舗装設計編Ⅳ-4.3.5** に準ずる。目地の開口幅は 25mm を標準とする。

【補足説明】

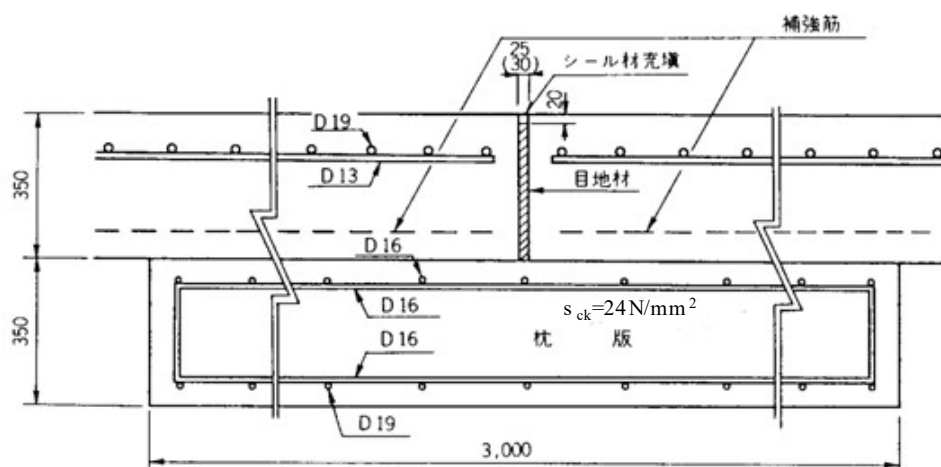
- (1) 連続鉄筋コンクリート舗装における縦方向目地の間隔、構造等は、無筋コンクリート舗装の場合のそれと同様とするが、コンクリート版の可動部においては、隣接版相互の膨張・収縮による水平変位に差異が生じるため、これらの部分については改良かぎ型施工目地を設置する。このコンクリート版の可動部は、200m の連続鉄筋コンクリート舗装実験結果により、約 50m であることが確認されている⁴⁵⁾。
- (2) 横方向施工目地は必ず必要で、経験によるとこの部分が弱点となった例も多いので、十分注意して施工する必要がある。したがって、この部分はタイバーで補強し、さらに付近の鉄筋の継手の重ね合わせ長さは、**付図-11.2**のように通常の場合より大きくする。
- (3) 長大な連続鉄筋コンクリート舗装においては、コンクリート版の両端が路盤に相対的に移動するので、これに対処するため膨張目地を設ける必要がある。膨張目地は、舗装が他の構築物に接する部分及び舗装の交差部分等に設ければよい。舗装の交差部分における目地の配置は、無筋コンクリート舗装の場合のそれに従えばよい。目地の開口幅は、通常 20～30mm の範囲が考えられ⁴⁵⁾、舗装設計編では 25mm を標準設計値とした。
- (4) 各種目地及びコンクリート版の端部処理の例を**付図-11.3(1)～(3)**に示す。
- (5) 連続鉄筋コンクリート版の縦方向の端部がアスファルト舗装と接続する箇所は、アスファルト層がコンクリート版の動きに追従できないため、接続部が大きく開く可能性がある。このため、このようなケースの場合には、連続鉄筋コンクリート舗装の端部に地中梁等を設け、接続部の開閉を極力避ける必要がある。**付図-11.3(4)**に版長 200m の実物大試験舗装に地中梁を設置した例を示している⁴⁵⁾。この試験舗装では、コンクリート版の移動量が自由端のものに比べて 1/4 以下に制御でき、コンクリート版のブローアップ等などの破損も生じないことが確認されている。
- (6) 複合平板理論によりコンクリート版厚を設計した場合、ダウエルバーの設計に用いるコンクリート版厚は、**11.7**の計算式から求まる等価単版厚を使用する。タイバーに荷重伝達能力を持たせる場合も同様とする。



付図-11.2 横方向施工目地の例



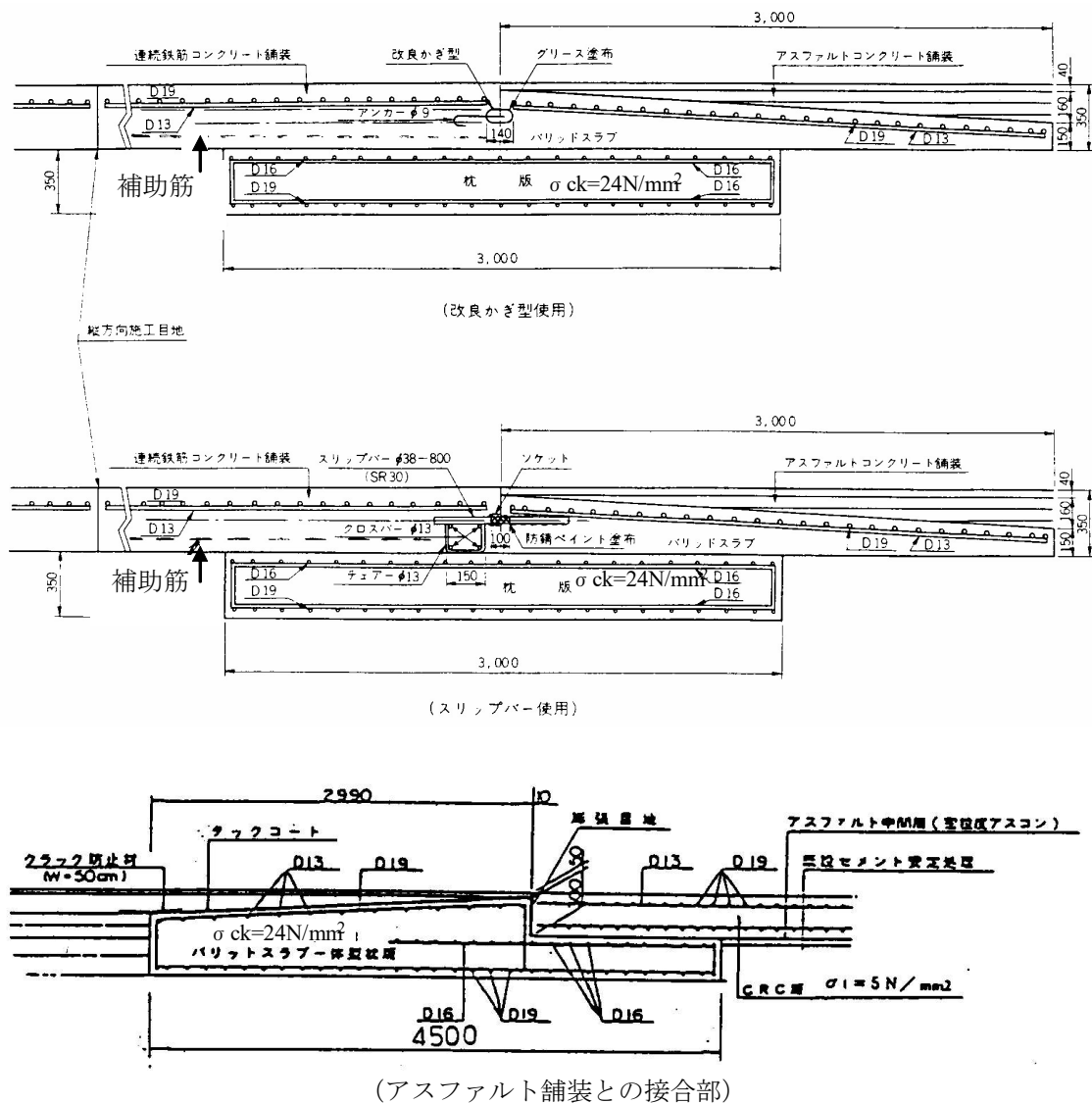
横方向施工目地（打ち継ぎ目地）



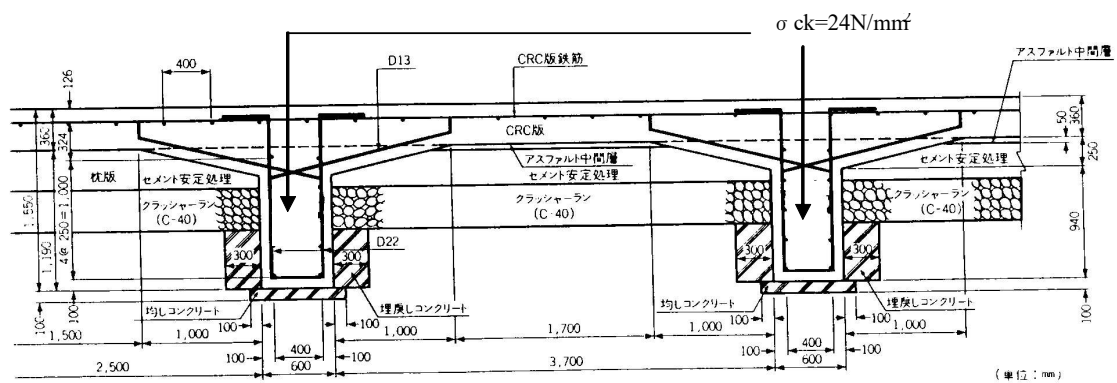
（注）異方向版が隣接する場合の膨張目地幅は30mm、
縦方向膨張目地幅は25mmとする。

膨 張 目 地

付図-11.3(2) 横方向施工目地の例（単位：mm）



付図-11.3(3) バリッドスラブ接合目地構造の例



付図-11.3(4) 地中梁断面の例

11.6.1 鉄筋応力の算定式

[illegible]

f_{bu} : コンクリートの偏心引張強度 (N/mm²)
 A_e : 有効断面積 ($A_c + nA_s$) (mm²)
 e : コンクリート版図心から鉄筋中心までの距離 (mm)
 I_e : 換算断面 2 次モーメント (mm⁴)
 b : 鉄筋の間隔 (mm)
 h : 版厚 (mm)
 x : 中立軸の高さ (mm)

d	: コンクリート版下面から鉄筋の中心までの距離 (mm)
A_s	: 鉄筋断面積 (mm ²)
σ_s	: 鉄筋の応力 (N/mm ²)
n	: 鉄筋とコンクリートの弾性係数比 ($n = E_s/E_c$)

$$I_e = 410,520,000 \text{ mm}^4$$

となる.

11.6.2 ひび割れ制御の設計式

ひび割れ幅は最大ひび割れ幅によるものとし、これは、最大ひび割れ間隔を用いて算定するとよい。この最大ひび割れ幅の算定では、収縮量、温度降下量、鉄筋比及び鉄筋位置の影響を考慮した式を用いて求めてよい。

・鉄筋位置

$$w = 2 \left(1 + \frac{np}{\rho} \right) \frac{\eta_1}{\frac{2}{l_{max}} \eta_1 + \frac{np}{\rho} \eta_2} (\varepsilon'_{sh,s} + \varepsilon_{\Delta T,s})$$

・表面

$$w_u = \frac{1 + \frac{np}{\rho_u}}{1 + \frac{np}{\rho}} \cdot w + \left[\frac{1 - \frac{\rho}{\rho_u}}{1 + \frac{np}{\rho}} \cdot \frac{np}{\rho} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} - \frac{1 + \frac{np}{\rho_u}}{1 + \frac{np}{\rho}} (\varepsilon'_{sh,s} + \varepsilon_{\Delta T,s}) + \varepsilon'_{sh,u} + \varepsilon_{\Delta T,u} \right] l_{max}$$

・底面

$$w_l = \frac{1 + \frac{np}{\rho_l}}{1 + \frac{np}{\rho}} \cdot w + \left[\frac{1 - \frac{\rho}{\rho_l}}{1 + \frac{np}{\rho}} \cdot \frac{np}{\rho} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} - \frac{1 + \frac{np}{\rho_l}}{1 + \frac{np}{\rho}} (\varepsilon'_{sh,s} + \varepsilon_{\Delta T,s}) + \varepsilon'_{sh,l} + \varepsilon_{\Delta T,l} \right] l_{max}$$

ここに、

$$l_{max} \quad : \text{最大ひび割れ間隔} \quad \left(= 2 \frac{\frac{\eta_1}{\eta_2}}{\frac{np}{\rho_u} \left[\frac{E_c (\varepsilon'_{sh,s} + \varepsilon_{\Delta T,s})}{f_{bd,h}} - \frac{\rho_u}{\rho} \right]} \right)$$

$$\sigma_s \quad : \text{ひび割れ断面の鉄筋応力度} \quad \left(= \frac{f_{bd,h} \cdot A_c}{\left[1 + \frac{(h/2 - d)h/2}{I_c/A_c} \right] \cdot A_s} \right)$$

$$1/\rho = 1 + \frac{(h/2 - d)^2}{I_c/A_c}$$

$$1/\rho_u = 1 + \frac{(h/2 - d)h/2}{I_c/A_c}$$

$$1/\rho_l = 1 - \frac{(h/2 - d)h/2}{I_c/A_c}$$

$$\eta_1 = L_b + 7.5\phi + 26.6\phi^2/L_b$$

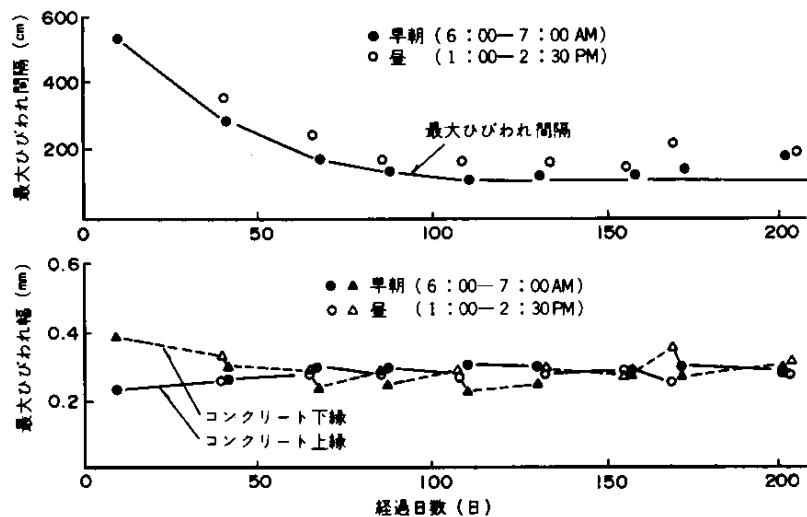
$$\eta_2 = 1 + 6.25\phi/L_b$$

$$L_b^2 = \frac{\phi}{4(1 + np/\rho)} \frac{E_s}{K_s}$$

$f_{bd,h}$	: 材齢 28 日における版厚に対応する設計曲げ強度 (MPa)
n	: 鉄筋とコンクリートのヤング係数比 ($= E_s/E_c$)
ϕ	: 鉄筋の直径 (mm)
K_s	: 付着剛性 (GPa/m)
A_c	: コンクリートの横方向断面積 (mm ²)
I_c	: コンクリートの横方向断面の断面二次モーメント (mm ⁴) (全断面有効とする)
p	: 鉄筋のコンクリートに対する断面積比
d	: コンクリート上縁から鉄筋までの距離 (mm)
$\varepsilon'_{sh,s}$	: 鉄筋位置における舗設後からの収縮ひずみ
$\varepsilon'_{sh,u}$	: 版表面における舗設後からの収縮ひずみ
$\varepsilon'_{sh,l}$	: 版底面における舗設後からの収縮ひずみ
$\varepsilon_{\Delta T,s}$	: 鉄筋位置における舗設後の温度からの温度ひずみ ($= \alpha_c \cdot \Delta T_s$)
$\varepsilon_{\Delta T,u}$	: 版表面における舗設後の温度からの温度ひずみ ($= \alpha_c \cdot \Delta T_u$)
$\varepsilon_{\Delta T,l}$	: 版底面における舗設後の温度からの温度ひずみ ($= \alpha_c \cdot \Delta T_l$)
α_c	: コンクリートの線膨張係数 (1/°C)
ΔT_s	: 鉄筋位置における舗設後からの温度降下量 (°C)
ΔT_u	: 版表面における舗設後からの温度降下量 (°C)
ΔT_l	: 版底面における舗設後からの温度降下量 (°C)

以上、ひび割れ制御式及び必要入力データについて記述したが、参考として新東京国際空港における試験舗装などで得られたデータをもとに、上式により算出した最大ひび割れびわれ間隔と最大ひび割れ幅について**付図-11.4**に示す。

同図から、最大ひび割れ幅は 0.4mm 以下になっていることがわかる。



付図-11.4 計算による最大ひび割れ間隔と最大ひび割れ幅

11.7 複合平板理論によるコンクリート版厚の設計法

上下の版の弾性係数がそれぞれ E_1 , E_2 , 版厚が h_1 , h_2 で, それらが重なって構成された複合平板が曲げを受けたときの挙動は次のようになる。

(1) 上下の版が完全に付着している場合 (付着率 $R=100\%$)

この場合の2枚の版のひずみと応力の分布の様子は付図-11.5(1)のようになる。軸方向の力の釣り合い条件から, 2枚の版の境界と中立軸との距離 $\bar{y}$ は,

$$\bar{y} = \frac{h_2^2 n - h_1^2}{2(h_1 + h_2 n)} \quad \dots \dots \dots \text{(付式-11.2)}$$

のように表わされる。ここに, n は上下の版の弾性係数比 (E_1/E_2) である。次に, 上下の版の弾性係数の違いを, 部材幅の違いに置き換えた断面 (Transformed crosssection, 換算断面) で考えると, その中立軸 (図心軸) に関する単位幅当たりの断面2次モーメントは

$$I_{100} = (h_1^4 + 4nh_1^3h_2 + 6nh_1^2h_2^2 + 4nh_1h_2^3 + n^2h_2^4) / \{12 \cdot (h_1 + nh_2)\} \quad \dots \dots \text{(付式-11.3)}$$

と表わされる。これから等価単版厚 h^* は,

$$h^* = (12 \cdot I_{100})^{1/3} \quad \dots \dots \dots \text{(付式-11.4)}$$

となる。この h^* は, 2枚の版と等価な働きをする弾性係数 E_1 の均一版の厚さである。そして, この h^* を用いてウェスターガード公式を利用することによって, 外力に対応した曲げモーメントが得られ, さらに中立軸からの距離に応じて曲げ応力も求まることになる。

(2) 上下の版が自由に滑る場合（付着率 $R=0\%$ ）

境界面にまったく摩擦が働かないと仮定すると、付図-11.5(2)の換算断面2次モーメントは、

$$I_0 = (h_1^3 + nh_2^3)/12 \quad \dots \dots \dots \text{(付式-11.5)}$$

と表わされる。その後の曲げモーメントや曲げ応力の計算は、版が完全に付着した場合に準じて行うことができる。

(3) 上下の版が不完全に付着している場合（ $0 < R < 100\%$ ）

ここでは、付着が不完全な場合（付図-11.5(3)参照）の換算断面の断面2次モーメントを、

$$I_R = \{R \cdot I_{100} + (100 - R)I_0\}/100 \quad \dots \dots \dots \text{(付式-11.6)}$$

のように定義することにする。（付式-11.6）は、 $R = 100$ の場合には（付式-11.3）に、 $R = 0$ の場合には式（付式-11.5）に一致することになる。また、曲げモーメントの値から曲げ応力の計算をするためには、上下の版の中立軸の位置をあらかじめ定めておく必要がある。これには複合平板の合成断面2次モーメントを構成する上下各版をそれぞれの中立軸に関する断面2次モーメントにも式（付式-9.4）が適用できるとし、その式を解くことによって任意の R における上下各版の中立軸の位置を求めることができる。

ここに、

$$y_1 = \frac{h_1(h_1 + nh_2) - nh_2(h_1 + h_2)\sqrt{R/100}}{2(h_1 + nh_2)}$$

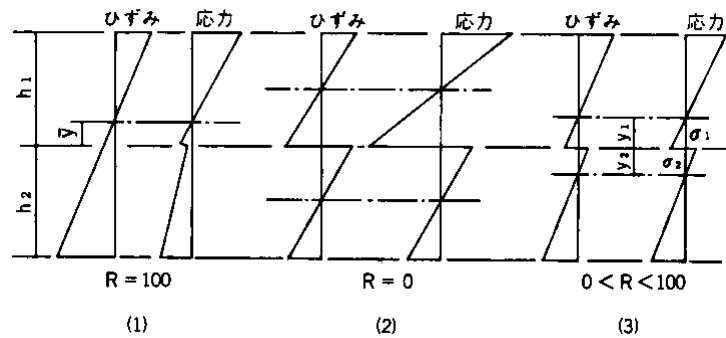
$$y_2 = \frac{h_2(h_1 + nh_2) - nh_1(h_1 + h_2)\sqrt{R/100}}{2(h_1 + nh_2)}$$

$$h^* = \sqrt[3]{12 \cdot I_R}$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{I_R} y_1 \quad \sigma_2 = \frac{nM}{I_R} y_2$$

である。

曲げモーメント M は h^* に対するものであり、ウェスターガードの中央部載荷公式から求める。このとき、支持力係数は下層路盤のものを使用する。また y_1 、 y_2 はそれぞれ上層の中立軸と境界面の距離、下層の中立軸と境界面の距離である。 σ_1 、 σ_2 は、それぞれ上層下面に働く曲げ応力、下層上面に働く曲げ応力である。



付図-11.5 複合平板の付着率によるひずみと応力の分布

11.8 設計例

設計荷重 LA-1, 設計反復作用回数 N の荷重条件で, 上層路盤に剛性の高い高強度のセメント安定処理材を使用する場合について, 滑走路端部中央帯等, 離脱誘導路等及びメンテナンスエプロン等の舗装区域における設計例を示す. この場合の路床設計支持力係数は, 滑走路端部中央帯等, 離脱誘導路等の舗装区域で $K_{75}=28\text{MN/m}^3$, メンテナンスエプロン等の舗装区域で $K_{75}=33\text{MN/m}^3$ とする.

(1) 下層路盤厚

路盤上の設計支持力係数を 50MN/m^3 とするため, 路盤厚を舗装設計編図IV-2.1 から求める. 滑走路端部中央帯等, 離脱誘導路等の舗装区域は $K_1/K_2=50/28=1.79$ であるので, 図から粒状材の下層路盤厚は 35cm となる. メンテナンスエプロン等の舗装区域についても, 同様な方法を用いると下層路盤厚は 30cm が得られる.

(2) コンクリート版厚及び上層路盤厚

滑走路端部中央帯等の舗装区域のコンクリート版厚は, 11.1 から 34cm , 上層路盤厚はアスファルト中間層 (以下, 中間層と略す) 5cm とセメント安定処理路盤 29cm で構成される. 離脱誘導路等の舗装区域については, 31cm ($=34\text{cm}\times 0.9$) のコンクリート版厚と上層路盤厚の構成となり, そのうち上層路盤厚は中間層 5cm を含んだものとする. メンテナンスエプロン等の舗装区域のコンクリート版厚と上層路盤厚は, A 舗装区域のそれらに 0.8 を乗じることにより求め, それぞれの厚さは 28cm となる.

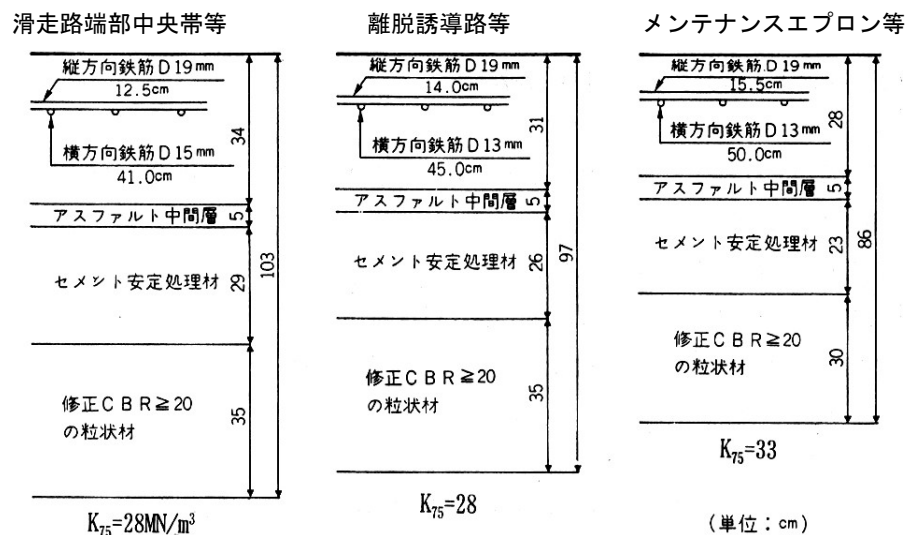
(3) 配筋

各舗装区域の各コンクリート版厚に対する縦方向及び横方向鉄筋量は, 11.4 に準じて定めるものとする. 付表-11.2 に, 各舗装区域の鉄筋間隔, 鉄筋位置等の一例を示す.

付表-11.2 鉄筋間隔、鉄筋位置等の一例

舗装区域の区分	コンクリート版厚 (cm)	鉄筋方向	鉄筋の種類	鉄筋間隔 (cm)	縦方向鉄筋の位置 (cm)
滑走路端部 中央帯等	34	縦方向	D19	12.5	11.5
		横方向	D13	41.0	
離脱誘導路等	31	縦方向	D19	14.0	10.5
		横方向	D13	45.0	
メンテナンス エプロン等	28	縦方向	D19	15.5	9.5
		横方向	D13	50.0	

以上から、路盤構成を含めた各舗装区域の舗装構造は付図-11.6 になる。なお、滑走路端部縁端帯、滑走路中間部中央帯及び縁端帯におけるコンクリート版については、減厚しない方が望ましい。これは、縦・横断方向のすり付け版におけるひび割れの挙動が不明確であること、その部分での配筋方法に困難さが生じること等からである。



付図-11.6 CRC 舗装構造設計例

付録-12 PC プレキャスト舗装の構造設計

12.1 設計法

12.1.1 一般

PC プレキャスト版舗装は、あらかじめ工場において製作した PC プレキャスト版を現場で敷きならべる舗装であり、即日開放が可能であるという特長を有している。PC プレキャスト版の構造設計法は、基本的には、付録-10 に準拠すればよいが、PC プレキャスト版形状は、既設舗装の目地間隔、製作地より運搬可能な大きさ及び版重量等を考慮する必要がある。

12.1.2 PC 鋼材

PC 鋼材の量、設置位置は、設計荷重並びに環境条件を考慮に入れて適切に定める必要がある。

- (1) PC 鋼材は、PC プレキャスト版長辺方向はプレテンション方式、短辺方向はポストテンション方式を標準とする。この場合、それぞれ、PC 鋼より線、PC 鋼棒を用いることが一般的である。
- (2) PC 鋼材量は、版中央部においては PC 版の下面が使用状態においてもひび割れを許容しないⅡ種の状態になるように、縁部においてはⅢ種の状態になるように、定めている実績が多い（この場合の PC 鋼材量は同一としている）。これ以外のものによる場合には十分な検討をする必要がある。

12.1.3 目地

(1) 施工目地

施工目地幅は、10mm 以下を標準とする。

施工目地には適切な荷重伝達装置を設けるものとする。

(2) 伸縮目地

伸縮目地の構造は、枕版方式伸縮目地型、端部補強版型、あるいはダウエルバー型とする。

【補足説明】

- (1) PC プレキャスト版を現地で敷きならべるため、目地幅がある程度広くならざるを得ない。その場合でも、目地からの雨水等の侵入を防止する措置を講ずるとともに、できるだけ目地幅を小さくする必要がある。
- (2) 施工目地には、従来よりホーンジョイントや水平ジョイントといった鉄筋による荷重伝達装置が用いられているが、供用開始後のポンピングの発生といった問題点も指摘されている⁵³⁾。これを改良するものとして最近目地部にプレストレスを与える方式の荷重伝達装置が開発されている⁵⁴⁾ので参考するとよい。
- (3) 伸縮目地は、縁部載荷状態になるため版中央部に比べて大きな応力、たわみが生じないようコンクリート枕版を目地の下に設置するか、ダウエルバーで結合する必要がある。

12.1.4 グラウト

(1) ジョイントグラウト

ジョイントグラウトは、ダウエルバー等のジョイント部分に確実に注入できるグラウトとする。配合強度は、PC プレキャスト版コンクリート圧縮強度以上で、かつ、PC プレキャスト版舗装供用時に十分な強度（1/2 以上の発現強度）が確保されるものを使用する必要がある。

(2) 裏込グラウト

裏込グラウトは、PC プレキャスト版と路盤材の隙間を確実に注入できるグラウトとする。配合強度は、注入層に発生する応力を考慮して決定するものとする。強度管理のみ行う場合は、セメント安定処理強度以上が望ましい。また、裏込グラウトについては、特に水浸状態における耐久性が要求される⁵³⁾。

12.2 設計例

12.2.1 PC 版の設計

(1) 設計条件

構造形式

プレテンション方式（版長方向）及び
ポストテンション方式（版幅方向）PC 版

版寸法

版長	L	10,000 mm
版幅	B	2,500 mm
版厚	h	240 mm

対象機種 B-747-400

路盤支持力係数 K_{75} 0.07 N/mm³

コンクリート

設計基準強度	σ_{ck}	40.0 N/mm ²
設計曲げ強度	σ_{cb}	5.0 N/mm ²
許容応力度		(N/mm ²)

	曲げ圧縮応力	曲げ応力
輪荷重時	14.0	2.5
輪荷重＋温度時	16.1	40.0

弾性係数	E_c	31,000 N/mm ²
ポアソン比	ν	0.15
クリープ係数	φ	3.0（プレテンション方式）
	φ	2.6（ポストテンション方式）
乾燥収縮度	ε_s	0.00020

線膨張係数	α	0.00001
単位重量	W	24.00 kN/m ³

PC 鋼材

		プレテンション PC 鋼より線	ポストテンション PC 鋼棒
使用鋼材		SWPR7B ϕ 12.7	SBPR930/1080 ϕ 23
断面積 (mm ²)	A_p	98.71	404.80
引張荷重 (N)	P_u	183,000	436,000
降伏点荷重 (N)	P_y	155,000	377,000
許容値			
緊張時 (N)	P_{ia}	139,500	339,300
導入時 (N)	P_{ja}	128,100	305,200
設計時 (N)	P_{da}	109,800	261,600
レラクセーション (%)	γ	5.0+2.0	5.0
弾性係数 (N/mm ²)	E_p	200,000	200,000

鉄筋

降伏点荷重	σ_{py}	30.0 N/mm ²
輪荷重時		10.0 N/mm ²
輪荷重+温度時		10.0 N/mm ²

(2) 輪荷重応力の算定

a) 等価輪荷重 (ESWL)

$$l : \text{剛比半径} = \sqrt[4]{\frac{E_c \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot K_{75}}} = 850 \text{ mm}$$

$$E_c : \text{コンクリートの弾性係数} = 31,000 \text{ N/mm}^2$$

$$h : \text{コンクリート版厚} = 240 \text{ mm}$$

$$\nu : \text{コンクリートのポアソン比} = 0.15$$

$$K_{75} : \text{路盤支持力係数} = 0.07 \text{ N/mm}^3$$

B747-400 は、複々車輪なので以下の式で行う。

$$\text{ESWL} = 910.0/3.43 = 265.3 \text{ kN}$$

b) 輪荷重応力の算出

中央載荷時

$$\sigma_i = 0.0547 \cdot \frac{F}{h^2} \cdot \left\{ \left(\frac{b}{l} \right)^2 - 10.186 \cdot \ln \left(\frac{b}{l} \right) + 3.714 \right\}$$

縁部載荷時

$$\sigma_e = (1 + 0.54\nu) \cdot C \cdot \frac{F}{h^2} \cdot \left\{ \log\left(\frac{l}{10}\right) - 0.75 \cdot \log\left(\frac{r}{10}\right) - 0.18 \right\}$$

ここで,

- σ_e : コンクリート版縁部の輪荷重応力度 (N/mm²)
 σ_i : コンクリート版中央部の輪荷重応力度 (N/mm²)
 F : 輪荷重 (N) =ESWL
 C : 係数 (自由縁部に対して 2.12)
 b : $r < 1.724h$ の場合, $b = \sqrt{1.6r^2 + h^2} - 0.675h$ (mm)
 $r \geq 1.724h$ の場合, $b = r$ (mm)
 l : 剛比半径 $= \sqrt[4]{\frac{E_c \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot K_{75}}}$ (mm)
 E_c : コンクリートの弾性係数 (N/mm²)
 h : コンクリート版厚 (mm)
 ν : コンクリートのポアソン比
 K_{75} : 路盤支持力係数 (N/mm³)

c) そり拘束応力

中央部

$$\begin{aligned}\sigma_t &= 0.7 \cdot \frac{E_c \cdot \alpha \cdot \theta}{2 \cdot (1 - \nu)} \\ &= 2.04 \text{ N/mm}^2 \quad \text{版長方向} \\ &= 1.50 \text{ N/mm}^2 \quad \text{版幅方向}\end{aligned}$$

縁部

$$\begin{aligned}\sigma_t &= 0.35 \cdot C_w \cdot E_c \cdot \alpha \cdot \theta \\ &= 1.73 \text{ N/mm}^2 \quad \text{版長方向} \\ &= 1.28 \text{ N/mm}^2 \quad \text{版幅方向}\end{aligned}$$

- C_w : そり拘束係数
 α : コンクリートの線膨張係数
 θ : プレストレストコンクリート版の上下面の温度差 (°C)

d) 荷重応力の合計

		版長方向	版幅方向	(N/mm ²)
中央 載荷	輪荷重	4.28	4.28	
	温度	2.04	1.50	
	輪荷重+温度	6.32	5.78	
縁部 載荷	輪荷重	7.44	7.44	
	温度	1.73	1.28	
	輪荷重+温度	9.17	8.72	

(3) プレストレスの計算

a) プレテンション方式による版長方向プレストレス

・使用鋼材

PC 鋼より線 SWPR7B ϕ 12.7 を 16 本配置する.

・導入プレストレス (σ_{pi})

導入直後の PC 鋼材緊張力

$$P_i = 127,500 \text{ N/本} < 128,100 \text{ N/本} \cdots \text{OK}$$

鋼材応力度

$$\sigma_{pi} = P_i / A_p = 1,292 \text{ N/mm}^2$$

コンクリート応力度

$$\sigma_{cpi} = (N \cdot P_i) / A_c = 3.40 \text{ N/mm}^2$$

A_c : コンクリートの断面積 (=600,000 mm²)

・弾性変形による損失量

$$\Delta\sigma_e = n \cdot \sigma_{cpi} \cdot N \cdot A_p / A_c = 0.10 \text{ N/mm}^2$$

n : 弾性係数比 E_p / E_c

・クリープ・乾燥収縮による損失量

$$\Delta\sigma_{cp\phi} = \frac{n \cdot \phi \cdot \sigma_{cp} + E_p \cdot \varepsilon_s}{1 + n \cdot \frac{\sigma_{cpt}}{\sigma_{pt}} \cdot (1 + \phi/2)} \cdot \frac{N \cdot A_p}{A_c} = 0.30 \text{ N/mm}^2$$

σ_{cp} : PC 鋼材図心位置におけるコンクリート圧縮応力度

$$\sigma_{cp} = \sigma_{cpi} - \Delta\sigma_e = 3.30 \text{ N/mm}^2$$

σ_{cpt} : プレストレスを与えた直後のコンクリート応力度

$$\sigma_{cpt} = \sigma_{cp} = 3.30 \text{ N/mm}^2$$

σ_{pt} : プレストレスを与えた直後の PC 鋼材引張応力度

$$\sigma_{pt} = \frac{\sigma_{cp}}{\sigma_{cpi}} \cdot \sigma_{pi} = 1,254 \text{ N/mm}^2$$

- ・レラクセーションによる損失量

$$\Delta\sigma_{cpr} = \gamma \cdot \sigma_{cp} = 0.20 \text{ N/mm}^2$$

- ・有効プレストレス

$$\sigma_{cc} = \sigma_{cpi} - (\Delta\sigma_c + \Delta\sigma_{cp\phi} + \Delta\sigma_{cpr}) = 2.80 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{有効係数 } \eta = 2.80/3.40 = 0.824$$

$$\text{PC 鋼材の引張力 } P_e = 0.824 \times 127,500 = 105,060 < 109,800 \text{ N/本}$$

b) ポストテンション方式による版幅方向プレストレス

- ・使用鋼材

PC 鋼棒 SBPR930/1080 $\phi 23$ を 500 mm 間隔に配置する.

- ・導入プレストレス (σ_{pi})

導入直後の PC 鋼材緊張力

$$P_i = 304,000 \text{ N/本} < 305,200 \text{ N/本} \cdots \text{OK}$$

鋼材応力度

$$\sigma_{pi} = P_i/A_p = 751 \text{ N/mm}^2$$

コンクリート応力度

$$\sigma_{cpi} = P_i/A_c = 2.50 \text{ N/mm}^2$$

$$A_c : \text{コンクリートの断面積} (=120,000 \text{ mm}^2)$$

- ・弾性変形による損失量

$$\Delta\sigma_e = 1/2 \cdot n \cdot \sigma_{cpi} \cdot A_p/A_c = 0.00 \text{ N/mm}^2$$

$$n : \text{弾性係数比 } E_p/E_c = 6.452$$

- ・クリープ・乾燥収縮による損失量

$$\Delta\sigma_{cp\phi} = \frac{n \cdot \phi \cdot \sigma_{cp} + E_p \cdot \varepsilon_s}{1 + n \cdot \frac{\sigma_{cpt}}{\sigma_{pt}} \cdot (1 + \phi/2)} \cdot \frac{A_p}{A_c} = 0.30 \text{ N/mm}^2$$

σ_{cp} : PC 鋼材図心位置におけるコンクリート圧縮応力度

$$\sigma_{cp} = \sigma_{cpi} - \Delta\sigma_e = 2.50 \text{ N/mm}^2$$

σ_{cpt} : プレストレスを与えた直後のコンクリート応力度

$$\sigma_{cpt} = \sigma_{cp} = 2.50 \text{ N/mm}^2$$

σ_{pt} : プレストレスを与えた直後の PC 鋼材引張応力度

$$\sigma_{pt} = \frac{\sigma_{cp}}{\sigma_{cpi}} \cdot \sigma_{pi} = 751 \text{ N/mm}^2$$

- ・レラクセーションによる損失量

$$\Delta\sigma_{cpr} = \gamma \cdot \sigma_{cp} = 0.10 \text{ N/mm}^2$$

- ・有効プレストレス

$$\sigma_{cc} = \sigma_{cpi} - (\Delta\sigma_c + \Delta\sigma_{cp\phi} + \Delta\sigma_{cpr}) = 2.10 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{有効係数 } \eta = 2.10/2.50 = 0.840$$

$$\text{PC 鋼材の引張力 } P_e = 0.840 \times 304,000 = 255,360 < 261,600 \text{ N/本}$$

(4) 合成応力度

中央部載荷

(N/mm²)

緊張方向		版長方向	版幅方向
輪荷重時	輪荷重応力	±4.28	±4.28
	プレストレス	2.80	2.10
	合成応力	7.08	6.38
		-1.48	-2.18
	許容値	< 1.40	
		> -0.25	
輪荷重 + 温度	輪 + 温度応力	±6.55	±6.01
	プレストレス	2.80	2.10
	合成応力	9.35	8.11
		-3.75	-3.91
	許容値	< 1.61	
		> -4.00	

(5) たわみ量の計算

$$W_i = \frac{ESWL \cdot l^2}{8 \cdot D} (1 - a_k^2 \cdot (0.217 - 0.367 \cdot \log_{10} a_k))$$

$$W_i = \frac{265310 \times 850^2}{8 \times 36534 \times 10^6} \times (1 - 0.291034^2 \times (0.217 - 0.367 \times \log_{10} 0.291034))$$

$$= 0.63 \text{ mm} < 1.25 \text{ mm} \quad \dots \text{OK}$$

D : 版の単位幅当たりの曲げ剛性

$$D = \frac{E_c \cdot h^3}{12(1 - \nu^2)} = 36534015345$$

E_c : コンクリートの弾性係数

ν : コンクリートのポアソン比

a_k : 荷重分布パラメータ

$$a_k = r/l = 0.291033783$$

r : 車輪接地半径

p : 車輪の接地圧

12.2.2 ダウエルバーの設計

$$r = a + t = 639\text{mm} \quad 640\text{mm とする.}$$

$$a = 5d \sqrt{\frac{\sigma_{sa}}{\sigma_{ca}}} \cdot \sqrt{\frac{a + 1.5t}{a + 8.8t}} = 629\text{mm}$$

$$P_a = \frac{2d^3 \sigma_{sa}}{a + 8.8t} = 41,332\text{N}$$

$$S = \frac{1.8lP_a}{0.4P} = 549\text{mm} \quad 500\text{mm 間隔で配置する.}$$

r : ダウエルバーの長さ (mm)

a : ダウエルバーの長さから目地幅を減じた長さ (mm)

t : 目地幅 (mm) 10

d : ダウエルバーの直径 (mm) 42

σ_{sa} : ダウエルバーの許容引張応力度 (N/mm²) 200

σ_{ca} : コンクリートの許容支圧応力度 (N/mm²) 20

P_a : 1 本のダウエルバーが伝達する荷重 (N)

S : ダウエルバーの間隔 (mm)

l : 舗装の剛比半径 (mm) 850

P : 等価単車輪荷重 (N) 287,970

付録-13 タイバーの設計法

13.1 設計方法

タイバーは、タイバーに生ずる最大引張応力が、その目地から最も近い舗装の自由端又はタイバーなしの目地までのコンクリート版と路盤との間の摩擦によって版に引き起こされる引張応力に等しいとして、設計される。タイバーの寸法、間隔及び長さは、次式によって求められる。

$$A_s = \frac{b \cdot f \cdot W}{\sigma_{sa}} \quad \dots \dots \dots \text{(付式-13.1)}$$

$$S = \frac{1000 \cdot A}{A_s} \quad \dots \dots \dots \text{(付式-13.2)}$$

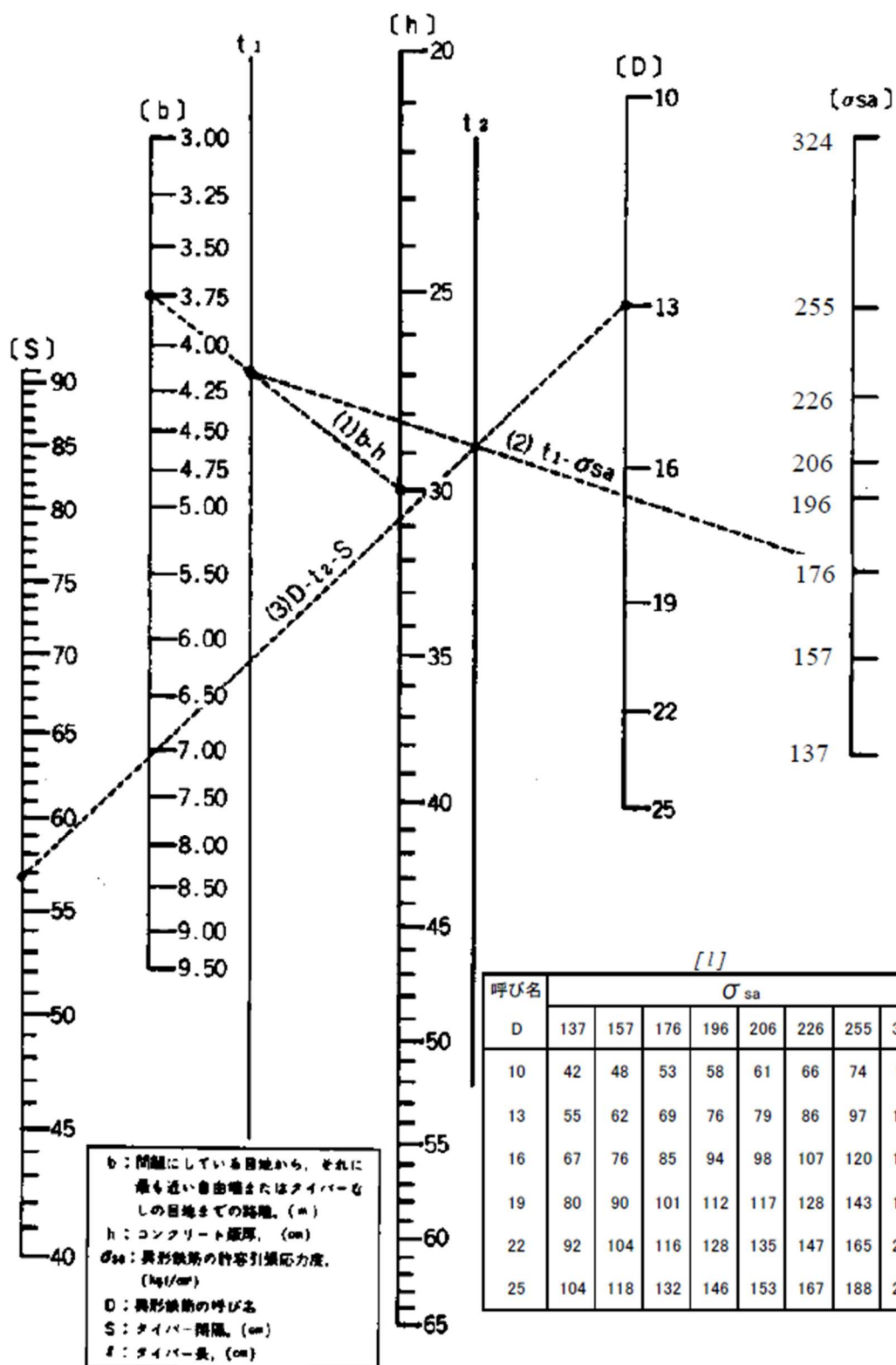
$$L = \frac{2 \cdot \sigma_{sa} \cdot A}{\tau_{oa} \cdot U} + 50 \quad \dots \dots \dots \text{(付式-13.3)}$$

ここに、

- A_s : 目地長さ 1m あたりのタイバーの所要断面積 (mm²)
- b : 問題にしている目地からそれに最も近い自由端
又はタイバーなしの目地までの距離 (m)
- f : コンクリート版と路盤との摩擦係数。
 $f=1.0 \sim 2.0$ で一般的に 1.5 としている。
- W : コンクリート版 1m² あたりの重量 (N)。
コンクリートの単位体積重量は一般的に 23.5kN/m³ とし、
 $W=23.5 \times \text{コンクリート版厚 (mm)}$ として求められる。
- σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm²)
- S : タイバー間隔 (mm)
- A : タイバー1 本の断面積 (mm²)
- L : タイバーの所要長さ (mm)
- U : タイバー1 本の周長 (mm)
- τ_{oa} : コンクリートの許容付着応力度 (N/mm²) で、
一般的に $\tau_{oa}=1.8$ としている。

以上の関係を図表にとりまとめたのが**付図-13.1**で、次のような手順で使用する。

- (1) $[b]$ 線上の値と $[h]$ 線上の値を結び、 t_1 線との交点を求める。
- (2) その交点 $[\sigma_{sa}]$ 線上の値を結び、 t_2 線との交点を求める。
- (3) その交点と $[D]$ 線上の値を結び、 $[S]$ 線との交点、すなわちタイバーの間隔を読み取る。
- (4) タイバーの長さは $[L]$ 表から、該当する D 値と σ_{sa} 値に対して直接求める。



付図-13.1 タイバーの設計図表

13.2 設計例

タイバー鉄筋に SR235 を用いた場合のタイバーの寸法，最大設置間隔は，**付表-13.1** を用いることができる。

付表-13.1 タイバーの寸法及び間隔

コンクリート版の幅 (m)	版厚 (cm)	タイバーの寸法・間隔
3.75～4.5	～20	D16-80,80
	21～30	D19-90,90
	31～40	D22-110,90
	41～50	D25-120,90
5.0	～20	D16-80,75
	21～30	D19-90,85
	31～40	D22-110,90
	41～50	D25-120,90
7.5～8.5	31～40	D22-110,65
	41～50	D25-120,70

※ 例えば，D22-110,90 とは，直径 22mm，長さ 110cm，設置間隔 90cm を意味する。

- (1) **付表-13.1** は，タイバー鉄筋の許容引張応力度を 157N/mm^2 ，コンクリートの許容付着応力度を 1.8N/mm^2 ，コンクリート版と路盤との摩擦係数を 1.5 として設計したものであり，これらの条件と異なるタイバーを用いる場合は，**13.1** を参照してタイバーの寸法，間隔等の設計をする必要がある。
- (2) タイバーに荷重伝達機能を持たせる場合には，ダウエルバーの寸法，間隔で異形鉄筋を用いるものとする。
- (3) 一つのコンクリート版における一番外側のタイバーは，版端から最大でも 35cm 以内に設置する。

付録-14 ダウエルバーの設計法

14.1 設計方法

ダウエルバーによって伝達可能な荷重は、①ダウエルバーの許容せん断応力度、②ダウエルバーの許容引張応力度、③コンクリートの許容支圧応力度のそれぞれから算出される。この場合、それぞれの許容応力度として一般的な舗装用材料に対する値を用いると、②と③がクリティカルになり、①には十分な安全性のあることがわかっている。そこで、ダウエルバーの設計では、②と③が等しいとし、次のような仮定のもとに設計される⁴⁷⁾。

【仮定】

荷重直下のダウエルバーは能力いっぱいの荷重を伝達し、荷重中心から舗装の剛比半径の1.8倍以上の距離にあるダウエルバーは荷重を伝達しない。車輪荷重中心から剛比半径の1.8倍までのダウエルバーの荷重伝達能力は、荷重中心からの距離に応じて直線的に減少する。隅角部から離れた箇所におけるダウエルバー群の荷重伝達能力は、設計荷重の40%とする。以上の仮定に基づくダウエルバーの計算式は次のとおりである。

$$r = a + t \quad \dots \dots \dots \text{(付式-14.1)}$$

$$a = 5d \sqrt{\frac{\sigma_{sa}}{\sigma_{ca}}} \sqrt{\frac{a + 1.5 \cdot t}{a + 8.8 \cdot t}} \quad \dots \dots \dots \text{(付式-14.2)}$$

$$P_a = \frac{2d^3 \cdot \sigma_{sa}}{a + 8.8t} \quad \dots \dots \dots \text{(付式-14.3)}$$

$$S = \frac{1.8 \cdot l \cdot P_a}{0.4 \cdot P} \quad \dots \dots \dots \text{(付式-14.4)}$$

ここに、

- r : ダウエルバーの長さ (mm)
 - a : ダウエルバーの長さから目地の幅を減じた長さ (mm)
 - t : 目地の幅 (mm)
 - d : ダウエルバーの直径 (mm)
 - σ_{sa} : ダウエルバーの許容引張応力度 (N/mm²)
 - σ_{ca} : コンクリートの許容支圧応力度 (N/mm²)
 - P_a : 1本のダウエルバーが伝達する荷重 (N)
 - S : ダウエルバー間隔 (mm)
 - l : 舗装の剛比半径 (mm)
 - P : 輪荷重 (N)
- (航空機が複車輪の場合は等価単車輪荷重を、複々車輪の場合は車軸について二分し、複車輪とみなして計算した等価単車輪荷重を用いる)

14.2 設計例

設計荷重は満載時の B-747-400 とし、路盤の設計支持力係数（70MN/m³）に対するコンクリート版厚が 370mm の場合について、収縮目地部のダウエルバーを設計する。

まず目地部にかかる輪荷重は、B-747-400 の脚が複々車輪なので、脚荷重（910kN）を二分して複車輪としての等価単車輪荷重を考える。車輪間隔 $S=111.8\text{cm}$ ，全タイヤ接地面積 $\Sigma A=1,645 \times 2=3,290\text{cm}^2$ であるから、**付録-6** の手順にしたがって、等価単車輪荷重 361kN が計算される。

ダウエルバーには直径 42mm の SR-235 の鉄筋を用い、その許容引張応力度 σ_{sa} を 157N/mm² とする。またコンクリートの許容支圧応力度 σ_{ca} は 12N/mm² と考える。収縮目地の幅 t を 3mm と仮定すると、ダウエルバーの長さから目地の幅を減じた長さ a は、**（付式-14.2）** から次のように計算される。

$$a = 5 \times 42 \times \sqrt{\frac{157}{12} \sqrt{\frac{a + 1.5 \cdot 3}{a + 8.8 \cdot 3}}}$$
$$\therefore a = 749\text{mm}$$

したがって、ダウエルバーの長さ r は、次のとおりとなる。

$$r = a + t = 749 + 3 = 752\text{mm}$$

ダウエルバーの間隔を求めるために 1 本のダウエルバーが伝達する荷重 P_a を求めると、**（付式-14.3）** から次のようになる。

$$P_a = \frac{2 \times 42^3 \times 157}{749 + 8.8 \times 3} = 30,002\text{N}$$

したがって **（付式-14.4）** からダウエルバーの間隔 S は次のようである。

$$S = \frac{1.8 \cdot 1,212 \cdot 30,002}{0.4 \cdot 361,000} = 453\text{mm}$$

なお、1 脚 6 車輪の場合は、複々車輪の場合と同様に、車軸長軸方向に 3 分割して複車輪とみなして計算した等価単車輪荷重を用いる。

付表-14.1 は、以上の方法で求めた、設計荷重の区分に対するダウエルバーの寸法，最大設置間隔の標準値である。

付表-14.1 ダウエルバーの寸法及び間隔

荷重区分	ダウエルバーの寸法と間隔	荷重区分	ダウエルバーの寸法と間隔
LA-1	φ 42-80,40	LT-1	φ 32-55,40
LA-12	φ 38-65,40	LT-12	φ 30-50,40
LA-2	φ 38-65,40	LT-2	φ 24-40,40
LA-3	φ 36-65,40	—	—

※ 例えば、φ 42-80,40 とは、直径 42mm、長さ 80cm、設置間隔 40cm を意味する。

- (1) 付表-14.1 に示した寸法、間隔は、次の条件で計算したものであり、異なる条件となる場合には、14.1 を参照してダウエルバーの寸法、間隔等の設計をする必要がある。
 - a. 収縮目地の幅は 3mm、膨張目地の幅は 25mm
 - b. コンクリート版厚は、「付録-8 経験的設計法によるコンクリート舗装の構造設計」により決定される厚さ
 - c. ダウエルバーの鉄筋は SR235 で、許容引張り応力度 157N/mm^2 、許容せん断応力度 118N/mm^2
 - d. コンクリートの許容支圧応力度 12N/mm^2
- (2) 一つのコンクリート版における一番外側のダウエルバーは、版端から 15～25cm の範囲に設置する。

付録-15 経験的設計手法によるアスファルト舗装の構造上問題のある場合の補修設計

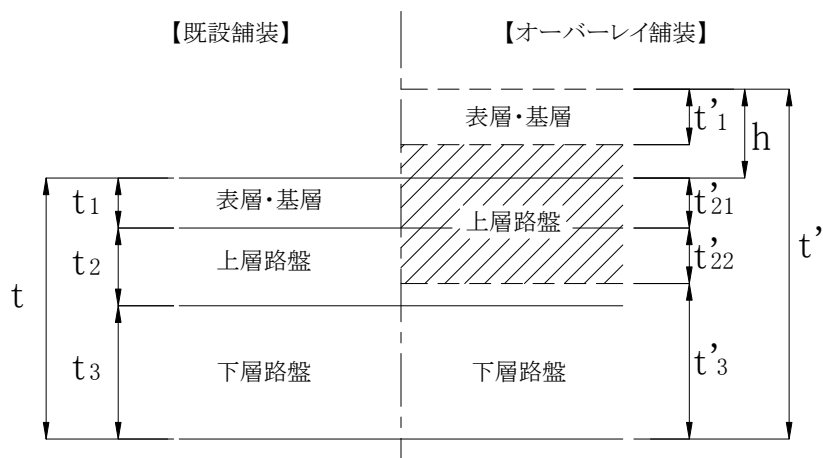
15.1 解体調査の評価に基づくオーバーレイ厚の算定

15.2に基づき所要オーバーレイ厚 h を算定する．ここに，既設舗装の表層，上層路盤のうち，新しい舗装の上層路盤として考えられる層の厚さをそれぞれ t'_{21} （一般には既設舗装の表層・基層厚 t_1 ）， t'_{22} ・・・とし，それぞれの等価値（付表-15.1 参照）を a'_1 ， a'_2 ・・・とする．また，新しい舗装の所要表層・基層厚を t'_1 ，下層路盤に考える部分の厚さを t'_3 とする．各層の考え方を付図-15.1 に示す．

付表-15.1 既設舗装各層の上層路盤としての等価値

材料名	状 況	等価値
表・基層の アスファルト コンクリート	ひび割れがなく，マーシャル安定度が 4.90kN 以上	2.0
	ひび割れがなく，マーシャル安定度が 3.45kN 以上	1.5
	ひび割れが多く，アスファルト安定処理材の材質を満足しない	1.0
アスファルト 安定処理材	マーシャル安定度が 4.90kN 以上	2.0
	マーシャル安定度が 3.45kN 以上	1.5
	アスファルト安定処理材の材質は満足しないが，粒度調整 碎石なみには扱える	1.0
セメント安定処理材 石灰安定処理材	一軸圧縮強さが 2.9 N/mm ² 以上	1.5
	セメント安定処理材，石灰安定処理剤の材質は満足しない が，粒度調整碎石なみには扱える	1.0
水硬性粒度調整 鉄鋼スラグ	一軸圧縮強度が 1.2 N / mm ² 以上かつ修正 CBR $\geq$ 80	1.5
	修正 CBR $\geq$ 80	1.0
粒度調整碎石	修正 CBR $\geq$ 80	1.0

（注）各層の状況が表中の値以下のときは，下層路盤としてみなせるかどうかを検討し，それ以下のときは路床として取り扱う．



付図-15.1 オーバーレイ舗装構造の説明

15.2 算定条件

以下の(1)～(3)の算定条件により，所要オーバーレイ厚 h を算定する．

$$(1) \quad t' - \left(t'_1 + \sum_{i=1}^n a'_i t'_{2i} + t'_3 \right) < 0$$

で，しかも既設舗装の表層や基層が新しい舗装の基層として使用できる場合（ひび割れなどが少なく良好な状態にあり，しかも基層材料としての材質規定を満足する場合）

$$h = t'_1 - \frac{t'_1 + \sum_{i=1}^n a'_i t'_{2i} + t'_3 - t'}{a'_1} \quad \dots \dots \dots (\text{付式 15.1})$$

$$(2) \quad t' - \left(t'_1 + \sum_{i=1}^n a'_i t'_{2i} + t'_3 \right) < 0$$

ではあるが，既設舗装の表層や基層が新しい舗装の基層としては不適當で上層路盤とみなされる場合

$$h = t'_1 \quad \dots \dots \dots (\text{付式 15.2})$$

$$(3) \quad t' - \left(t'_1 + \sum_{i=1}^n a'_i t'_{2i} + t'_3 \right) > 0$$

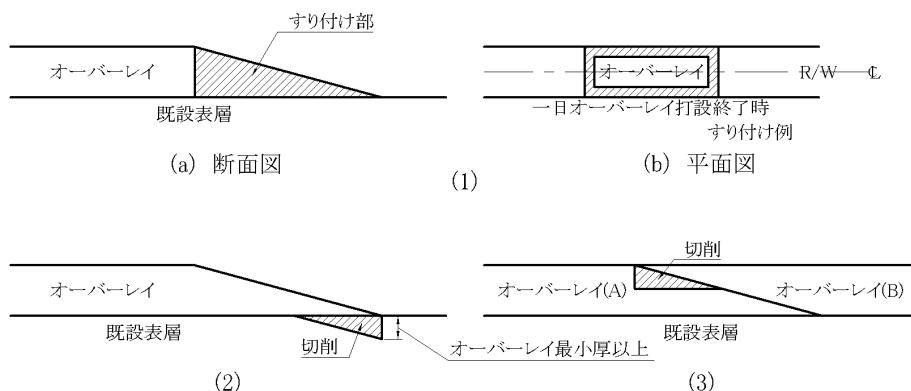
の場合

$$h = t' - \left(\sum_{i=1}^n a'_i t'_{2i} + t'_3 \right) \quad \dots \dots \dots (\text{付式 15.3})$$

路盤が路床土の浸透などで十分な材質を持たない場合には，その部分は路床とみなし，そこから上について上記の算定を行う．

付録-16 アスファルト舗装の補修施工中における仮設切削すり付け方法

ゼロすり付け（0cmで一様に減厚するすり付け）の施工は、合材の均一性が保ちにくく、骨材の粒度の関係からも好ましい方法ではない。すり付け薄層部は航空機の地上走行等により破損する危険性が高く、骨材飛散による航空機への損傷並びに空港の運用に影響を与える恐れがある。このため、航空機が走行する舗装面にすり付けを行う場合には、切削すり付けにより実施する必要がある。



付図-16.1 オーバーレイのすり付け

付図-16.1(1)は施工中の仮設すり付け部を示すが、この部分は、航空機の運航上、縦横断面方向に必要な場合がある。このようなすり付け部は、所定の厚さを確保した一般部に比べ、層としての機能及び航空機の安全運航上好ましくない性質を持っている。したがって、仮設すり付けの厚さがゼロになる部分については、骨材の最大粒径を考慮した施工最小厚を確保できるよう付図-16.1(2)のように既設表層を切削する必要がある。

付図-16.1(3)はオーバーレイ(A)が前日に舗設され、翌日オーバーレイ(B)が施工される場合、オーバーレイ(B)のすり付け先端部のゼロすり付けを避けるためオーバーレイ(A)の肩の部分を切削撤去するものである。すり付けは、一日の施工終点では必ず発生するが、特に横断方向に施工継目が並ぶと平坦性に大きく影響するので、転圧の際段差ができないよう注意して施工すべきである。

補修工事中の仮設すり付け勾配にあたっては、「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」の付録-4「制限区域内工事実施指針」に定めるところにより、付表-16.1に示す舗装面のすり付け最大勾配を遵守しなければならない。

付表-16.1 舗装面のすり付け最大勾配（既設舗装面を基準とする）

種別 \ 方向	横断方向		縦断方向
	中央部（滑走路幅の 2/3）	縁部	
滑走路	1.5%	1/2 勾配	1.0%
過走帯			1.5%
誘導路	3%		
エプロン	航空機が通行する方向 3%，その他の方向 1/2 勾配		

すり付け部の撤去を容易にするため，既設舗装とすり付け部の間にクラフト紙等を敷くことは，供用中航空機の運航によりすり付け部が剥離したことがあり，避けねばならない。

完成形のすり付けについては，設計図書に示した方法にて処理を行うものとする。

付録-17 補修の施工上の留意点

17.1 一般

空港舗装の補修を行うに際しては、次のような一般的事項に留意して施工を実施していかなければならない。

- (1) 空港舗装の補修にあたっては、「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」の付録-4「制限区域内工事実施指針」に定めるところにより、「運航制限」の方法を十分考慮して施工方法を検討しなければならない。「運航制限」には、施設の「供用の休止」及び施設の「使用方法の制限」の区分があり、「使用方法の制限」は、さらに「施設制限」と「時間制限」に分けられる。特に供用中の空港で、「使用方法の制限」によって工事を実施する場合は、工事区域の設定、周辺における航空機及びランプ車両等の通行状態、工事資材の運搬ルート、工事時間の長短、工事の昼・夜間別等について前もって十分な検討を行い、これらの条件を考慮した施工計画を立てることが必要である。
- (2) 「時間制限」により工事を実施する場合は、工事期間中にわたって1日の施工を始めるにあたり、工事責任者は、工事区域への立入りが可能かどうか運航担当者に確認を行う必要がある。また、「時間制限」によって定められる制限時間内に1日の工程が十分終了可能なように計画することが肝心である。特に、補修区域が滑走路の場合は、制限時間が終了すればただちに航空機の運航が再開されるので、制限時間終了までに舗設機械の運搬、後片付け、清掃等を含む工事がすべて完了されているよう計画し、実施されなければならない。
- (3) 補修舗装の施工を「時間制限」により実施する場合は、昼間は航空機が運航されるので、施工中の仮設すり付け勾配（部分勾配）を(1)の制限区域内工事実施指針に定めるところにより実施しなければならない。また、仮設すり付け位置の間隔をできるだけ長く取って、航空機の走行時の衝撃が極端にならないような注意が必要である。
- (4) 地下埋設構造物が路床の浅い所あるいは舗装体内にある場合は、舗装の取りこわしにおいて埋設物に衝撃を与えないよう施工機械の選定（例えばドロップハンマーなどは使用しない等）及び施工方法に十分注意する必要がある。
- (5) 周辺に人家のある空港において工事（特に夜間工事）を実施する場合は、工事騒音の軽減等周辺の環境保全についても十分配慮した施工計画を立てる必要がある。

17.2 アスファルト舗装

アスファルト混合物による補修舗装を行う場合、施工上以下のことに留意する必要がある。運航条件に厳しいものが要求される滑走路では、特に注意が必要である。

(1) 既設表層と補修舗装との付着

補修舗装に先立ち、新旧アスファルト混合物層の付着をよくするためには、標識塗料や付着したゴムを除去することが望ましい。標識塗料を除去する時期は補修施工直前が望ましい。また、補修時の仮設標識の塗布量は正式なものに比べて、量的に半分程度のものが望ましく、付

着への影響を最小限にする必要がある。

なお、標識塗料の除去、付着ゴムの除去に用いる施工機械の選定にあたっては、施工範囲や機械性能をよく検討して決めなくてはならない。

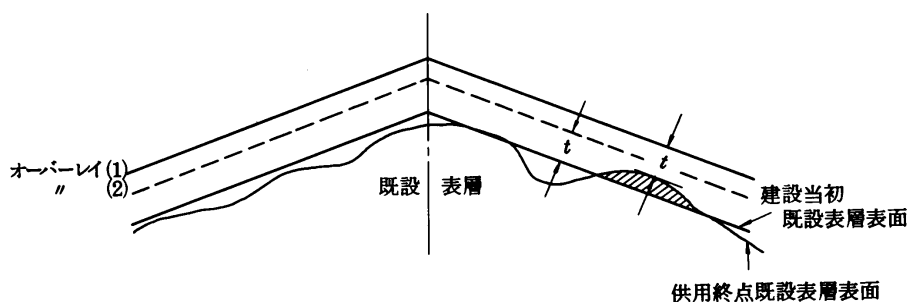
また、既存グルーピングを残すことは、グルーピングの溝に水分・砂・ゴム等が残留する恐れがあることから、新旧アスファルト混合物層の付着強度を低下させる可能性がある。このため、補修施工厚が薄い場合は、グルーピング層の切削についても検討する必要がある。

(2) 平坦性改良

平坦性改良のための補修舗装で留意しなければならない点は、次にあげるようなことになる。

- 1) 補修舗装における計画高設定の経済的配慮
- 2) 切削打換えによる計画高設定の経済的配慮
- 3) 施工厚さによる平坦性改良の工夫

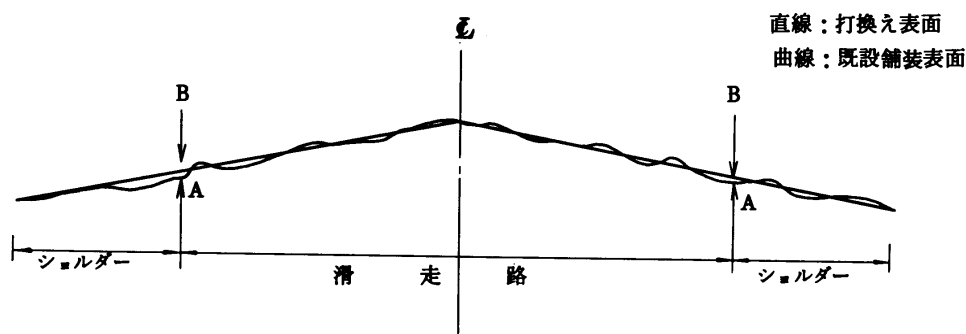
付図-17.1のように、既設表層の平坦性のくずれのうちの斜線部分の隆起に、設計最小厚を上乗せすると、平坦部及び凹部の舗装厚は相当な厚さとなる。このような場合は斜線部を切削除去して、改めて設計最小厚の設定を行う。



付図-17.1 既設舗装の隆起の処置

切削範囲が広い場合は切削費と補修アスファルト混合物費の経済比較を行い、最も経済的かつ適切な工法を選択しなければならない。また、経済性を追求するあまり、縦横断勾配を複雑に変化させることは、航空機の走行時に衝撃を与えることとなるため、避けなければならない。

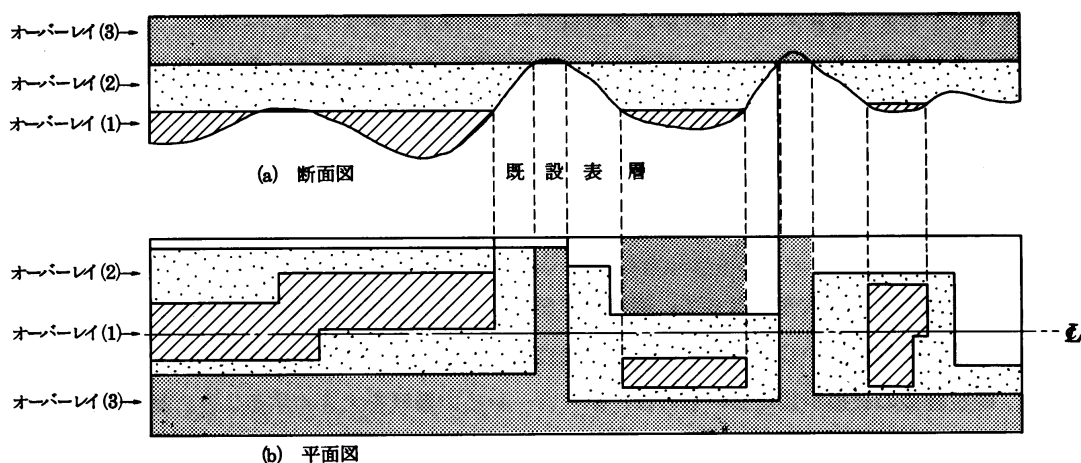
既設舗装の破損が甚だしいものは、オーバーレイで層厚を大きくするより、切削撤去して打換える方が得策な場合がある。この場合既設舗装との擦り付けが問題となる。



付図-17.2 滑走路及びショルダーの横断勾配

付図-17.2 は滑走路本体とショルダーの横断勾配を示すが、切削撤去対象を滑走路本体のみに限定すると、図からわかるように本体とショルダーとの勾配接続が矢印部で問題になる。したがって、切削による打換えでは、場合によってはショルダーまでを施工範囲に含める必要がある。

平坦性を改良するための手順を略図にしたものが付図-17.3 である。図中の縦断面図は平坦性を改良する過程のオーバーレイ各層を示している。平面図はオーバーレイ各層の平面的位置を示す。図中、重複する平面部は最下層のオーバーレイ層を代表して記号で表示している。縦断面図は概念図であって、実施にあたっては切削、最小施工厚等の検討を詳細に行う必要がある。



付図-17.3 オーバーレイの手順

厚さの異なるオーバーレイは締め固めにより仕上がり厚が異なるため、特に平坦性の改良については、既設表層の凹凸が上層に反映しない工夫が必要である。フィニッシャーは凹部の深さに応じて余盛りを大きくすることは難しいこともあり、また、手撒きによる余盛りを平面的に配慮することも不可能である。これらは、各現場条件に応じて多層仕上げ等適切な施工法を検討する必要がある。

(3) 切削工

すり付け部の切削においては、切削高に勾配を設けなければならない、切削機のドラムの傾斜が可能なものでなければならない。また、切削により付図-17.1(2)や付図-17.1(3)のように既設舗装表面にオーバーレイがすり付く部分では、肩部のこぼ欠けが大きくなるように注意しなければならない。こぼ欠けが大きくなると、せっかくのゼロすり付け防止のための切削が意味を失い、はがれによる破損の進行を問題として抱えることになる。

一日工程の中で、切削工とオーバーレイ工が共存する工事では、切削工による粉塵がタックコート塗布や、舗設工に影響を与えないように配慮しなければならない。

切削後の清掃は入念に行う必要がある。

(4) 使用アスファルト混合物

アスファルト混合物のプラントは、工事現場から至近距離にあることが望ましいが、調達数量にある程度余裕のある大型プラントの選択も、品質の均一性を確保する意味で大切なことである。事故等で供給条件が崩れた場合の予備プラント等の配慮も、工事期間が長い場合は必要となることもある。

17.3 コンクリート舗装

コンクリートによる補修舗装を行う場合、空港の運用等との関連を含め、施工上以下のことに留意する必要がある。

(1) 施工範囲、施工手順

コンクリートによる補修舗装を行う場合、一般的にその施工区域が運用時間を含めある期間閉鎖され、その閉鎖により空港の運用にも支障が生ずることとなる。そこで工事の実施にあたっては、空港の運用への支障が最小限となるよう、同時に施工する範囲、施工手順等について空港管理者と調整しなければならない。一般的には、広範囲を同時に施工することは困難で、養生が終わった区域の供用を再開した後、次の施工区域を閉鎖し、そこに着工するというような手順となる。

(2) コンクリート打設

補修工事としてコンクリート舗装を行う場合には、上記(1)で述べたことのほか、施工現場周囲の工事用地の十分な確保がむずかしいため、新設工事のようなボックススプレッダー、コンクリートフィニッシャー、インナーバイブレーター等の一連の施工機械を用いて施工することはむずかしいことが多い。このようなときには、棒状及び平面バイブレーター、簡易フィニッシャー、仕上げ機等を用いて施工することとなるが、このときにも、迅速な敷均し、十分な締固め、所定の仕上げが行えるよう施工しなければならない。

また、空港を運用しながらの補修工事では、コンクリート打設直後の降雨に対して養生装置としての屋根の設置が航空機のブラストによりできないので、降雨の可能性のある日については、工事の実施を見合わせる等の配慮が必要である。

(3)養生

コンクリート舗装の養生では通常マットが用いられるが、運用中の空港では航空機のブラストを考えなくてはならないので、航空機のブラストのコンター、既往の施工例等を参考にして、マットを抑える方法等を特別に考えなければならない。

また、空港内では、ブラストの影響もあり、養生のための水の蒸発が速いので、通常以上の水の補給が必要である。さらに、水の補給をするような時間においては、工事現場の周囲は供用を開始していることが多いので、水の補給のための制限区域内への立入りの手続、搬入経路等について空港管理者と事前に打ち合わせをしておかなければならない。

(4)空港用目地材

空港コンクリート舗装に用いられる目地材は、その使用目的からして、耐油性、耐炎性、耐久性等が特に要求され、そのため常温二液混合式の弾性高分子タイプのものが用いられている。このための規格としては「空港土木工事共通仕様書⁵⁸⁾」に準拠する。

付録-18 舗装の路面性状に基づく破損の解説

18.1 アスファルト舗装

ヘアークラック：	表面付近だけに網状に入った微細なひび割れ
線状ひび割れ：	線状に入ったひび割れ
亀甲状ひび割れ：	線状ひび割れが進行し、網状になったひび割れ
施工目地の開き：	施工目地が開いたもの
リフレクションクラック：	コンクリート版の目地やひび割れ、セメント安定処理材路盤のひび割れの上のアスファルト混合物層に生ずるひび割れ
わだちぼれ：	車輪が集中して通過する位置に生ずる延長方向の連続したへこみ
縦断方向の凹凸：	縦断方向の波長が比較的長い不陸
コルゲーション：	縦断方向に生じた周期性のある凹凸
くぼみ：	局所的な沈下
ポリッシング：	摩擦による損耗
はがれ：	表面部がはがれるもの
ポットホール：	ひび割れから水が浸入し、その部分の混合物が分離・飛散して生じた小穴
剥離：	アスファルト混合物の骨材がアスファルトと分離しはがれるもの
老化：	空気による酸化や熱・光による重合などによりアスファルト混合物が硬くもろくなるもの
ブリージング：	余剰アスファルトが表面に浮上したもの
タイヤ跡：	高圧のタイヤによるタイヤの跡が表面についたもの
きず：	航空機や関連車両その他のひっかきにより付けられたきず
ブリスタリング（表面ぶくれ）：	表層下に閉じこめられた水分又は、油分が気化して膨張し、舗装表面が膨れあがったもの
ブラスト焼け：	高温のブラストによる表面の焼け
グルーピングの角欠け：	グルーピングの角が欠けたもの
グルーピングのつぶれ：	グルーピングの溝がつぶれたもの

18.2 コンクリート舗装

初期ひび割れ：	コンクリートの凝結の初期に発生するひび割れで、表面に網状に入ったもの
縦断方向ひび割れ：	コンクリート版に走行方向に入ったひび割れ
横断方向ひび割れ：	コンクリート版に走行方向と直角方向に入ったひび割れ
隅角部ひび割れ：	コンクリート版の隅角部に入ったひび割れ
亀甲状ひび割れ：	上記のひび割れが進行しひび割れが網状になったもの
縦断方向の凹凸：	コンクリート版が目地又はひび割れにおいて縦断方向に折れ曲がったもの

構造物付近のコンクリート版の段差：

埋設構造物と周りのコンクリート版との間にできた段差

ポリッシング： 摩擦による損耗

はがれ（スケーリング）： 表面部がはがれるもの

目地材の破損： 目地材が老化，はみだし，脱落，硬化，変形したもの

目地縁部の破損： 目地の角欠け

ブローアップ： コンクリート版が温度膨張して座屈を起こし，目地やひび割れを中心を持ち上がったもの

クラッシング： コンクリート版が温度膨張して目地やひび割れで圧縮破壊したもの

穴あき： コンクリート版にできた穴

コンクリート版の持ち上がり：

凍上等で版が持ち上がったもの

きず： 航空機や関連車両が版表面に付けたきず

付録-19 すべり摩擦係数調査

19.1 SFT（サーフェス・フリクション・テスター）Surface Friction Tester の概要

空港舗装の縦方向のすべり抵抗を測定するために使用されている SFT は、前輪駆動式の乗用車にすべり摩擦係数測定用の測定輪（第 5 輪）が組み込まれたものである。この測定輪には通常 1.4kN の垂直荷重がかかるようになっている。これによって約 10% のスリップ率で回転する場合の制動トルクを計測して、縦すべり摩擦係数が計算される。測定時には、路面が湿潤状態となるように自蔵式散水装置を用いて、水深を一定値とできるようになっている。

19.2 測定方法

- (1) SFT のフィールドキャリブレーションは、測定前に較正用具を用いて測定輪に一定の荷重をかけ、増幅器のゲインとゼロ点を調節する。
- (2) 測定に先立ち、測定車を一定の測線に走行させるため、表示棒を測線よりセンター 3.7m の位置に、100m 間隔で設置する。
- (3) 測定は、滑走路のセンターから 5.5m の位置について、滑走路両末端 200m の助走区間を設け連続走行して測定を行う。
- (4) 測定速度は 95km/h とし、1 測線 3 往復実施する。

19.3 結果の整理

- (1) 記録された波形を、始点から 100m 間ごとに読み取り、測定回数（3 回）の平均値を求め、測定結果表及び変化図を作成する。
- (2) 測定結果は測定結果及び平均値一覧表並びに経時変化の測定結果関係グラフにまとめる。

付録-20 FWD 調査

20.1 調査方法

(1) 測定位置

測定位置については，路面性状調査で使用されるデータユニットにあわせて，1 データユニット1箇所以上で測定する．各ユニット内における測定位置は以下を参考にする．コンクリート舗装の場合は，載荷板が目地に接するように配置する．

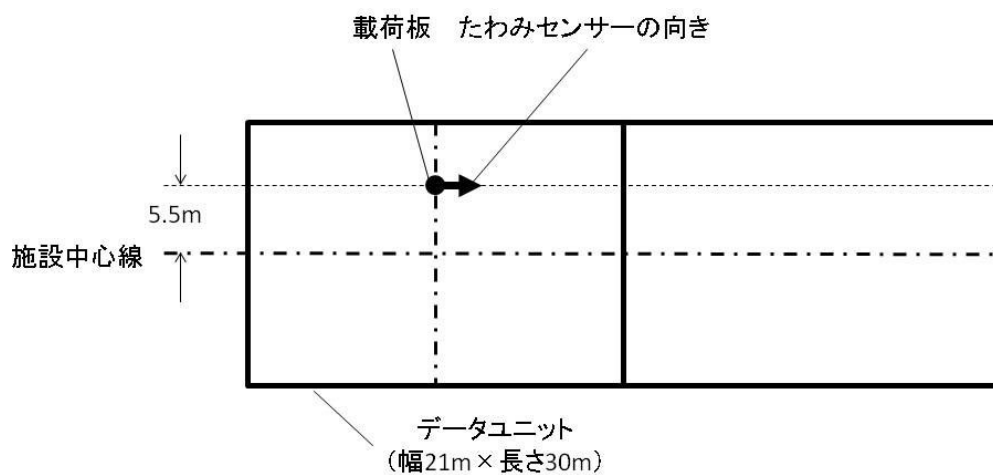
縦断方向位置

アスファルト舗装：ユニット中央

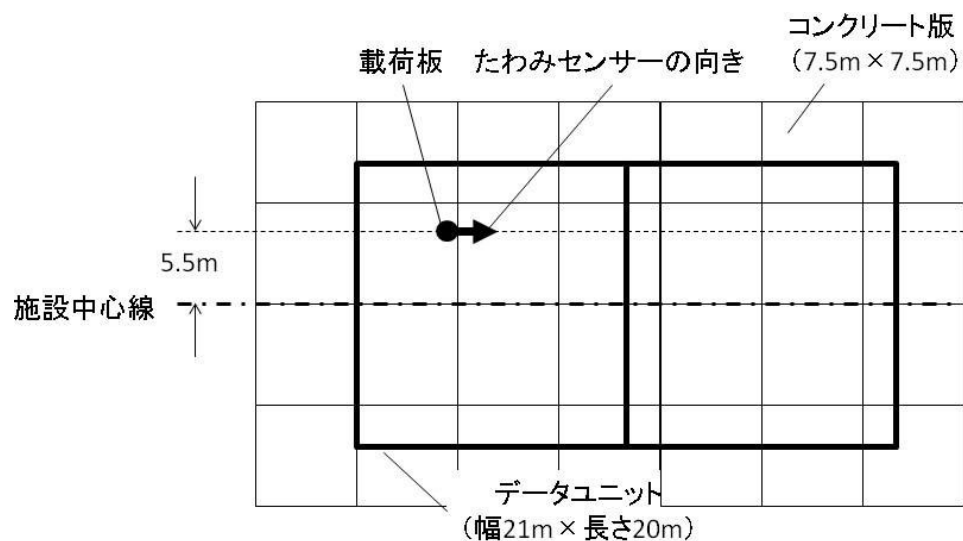
コンクリート舗装：ユニット内の横方向目地部

横断方向位置

当該施設において航空機の走行頻度が高い位置（舗装設計編表Ⅲ-2.2を参照）



付図-20.1 FWD測定位置（アスファルト舗装）



付図-20.2 FWD測定位置（コンクリート舗装）

(2) 測定項目

測定項目は下記のとおりとする。なお、アスファルト舗装の評価ではFWDの載荷時間（付図-20.3参照）を使用することから、載荷荷重の時系列データを取得する必要がある。載荷荷重の時系列データは、全ての測定位置で取得する必要はなく、調査対象範囲のいずれかの測定位置において代表的なものを取得すればよい。

- アスファルト舗装： 載荷荷重，たわみ，舗装表面温度（以上，各測定位置毎）
載荷荷重の時系列データ（いずれかの測定位置）
- コンクリート舗装： 載荷荷重，たわみ，舗装表面温度（以上，各測定位置毎）

(3) 整理項目

評価を行うために必要な下記データを整理する。なお、コンクリート舗装の場合，どのたわみセンサーが目地を挟んで設置されたかについても整理する必要がある。

- アスファルト舗装： 測定日時，測定地点名，舗装厚（アスファルト混合物層厚，粒状路盤厚），路床の設計CBR，載荷荷重，載荷板直径，たわみ，舗装表面温度
- コンクリート舗装： 測定日時，測定地点名，コンクリート版厚，載荷荷重，載荷板直径，たわみ，舗装表面温度

20.2 空港アスファルト舗装の構造評価方法

FWDを用いた空港アスファルト舗装のたわみ測定による構造評価は，以下の手順で実施する。なお，この評価を迅速に実施するプログラムとしては，国土交通省国土技術政策総合研究所が所有する舗装構造解析プログラムがある。

(1) 平均 D_0 たわみの算出

同一調査地点で4回の載荷を連続して行う。1回目の載荷は載荷板と舗装表面との接触が不安定であるため，測定値を使用せず，2回目～4回目の計測データから平均 D_0 たわみを算出する。

$$D_{0-ave} = \frac{D_{0-2} + D_{0-3} + D_{0-4}}{3}$$

ここに，

D_{0-ave} : 平均 D_0 たわみ（ μm ）

$D_{0-2}, D_{0-3}, D_{0-4}$: 2～4回目に測定された D_0 たわみ（ μm ）

(2) 荷重補正

調査時の載荷荷重が標準載荷荷重と異なることによるたわみの補正を行う。まず，2回目～4回目の載荷荷重から平均載荷荷重を算出し，次に，平均載荷荷重と平均たわみが比例関係にあると仮定し，標準載荷荷重における補正たわみを算出する。標準載荷荷重は一般的に200kNとする。

$$F_{ave} = \frac{F_2 + F_3 + F_4}{3}$$

$$D_{0-cor} = D_{0-ave} \frac{F_{std}}{F_{ave}}$$

ここに,

F_{ave}	: 平均載荷荷重 (kN)
F_2, F_3, F_4	: 2～4 回目に測定された載荷荷重 (kN)
D_{0-cor}	: 荷重補正後 D_0 たわみ (μ m)
F_{std}	: 標準載荷荷重 (=200kN)

(3) 規準たわみ

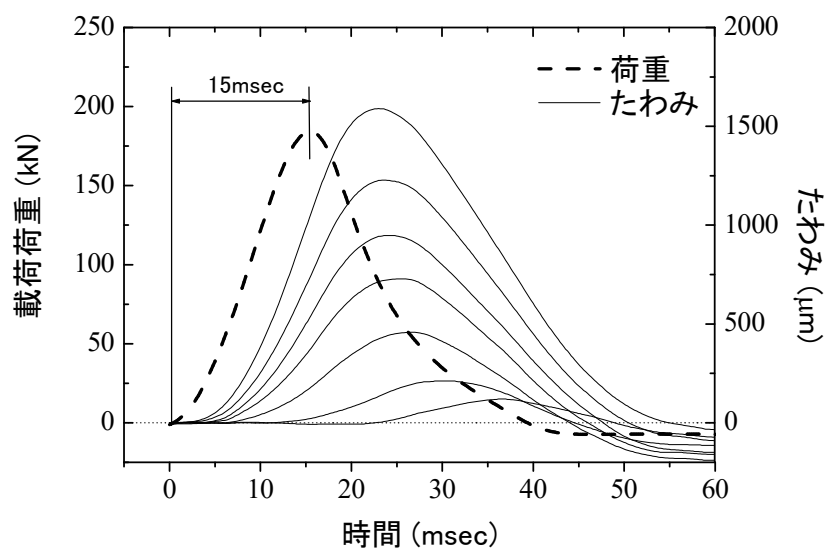
調査地点の舗装構造（アスファルト混合物層厚，路盤厚），調査時の舗装表面温度，標準的な各層の変形係数，載荷条件を用い，多層弾性解析プログラム GAMES により，規準 D_0 たわみを算出する．

付表-20.1 舗装構造条件

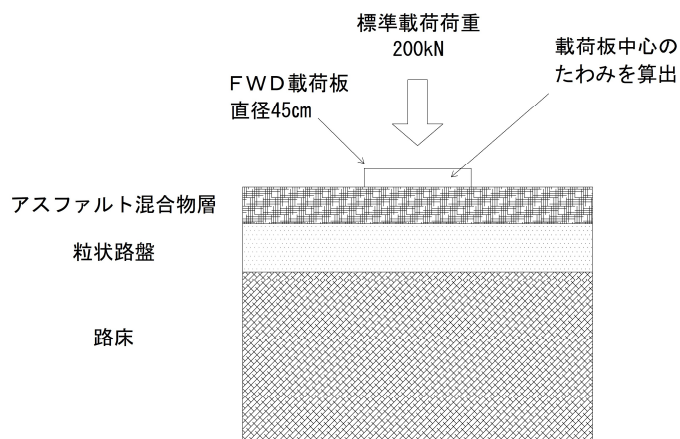
項 目	設定値	備 考
アスファルト混合物層厚 (cm)	設計図書等から確認した層厚	表層+基層+アスファルト安定処理上層路盤
粒状路盤厚 (cm)	設計図書等から確認した層厚	
路床厚 (cm)	無限大	
アスファルト混合物層 変形係数 (MPa)	舗装設計編 (式 I-3.1), (式 I-3.2) により算出	アスファルト混合物層の平均温度は調査時舗装表面温度とする． 載荷時間は, 調査に使用した FWD の載荷波形から算出する (付図-20.3 参照)．
粒状路盤層変形係数 (MPa)	200	
路床変形係数 (MPa)	10×路床の設計 CBR	
各層のポアソン比	0.35	

付表-20.2 載荷荷重条件

項 目	設定値	備 考
FWD 載荷板直径 (cm)	調査に使用した FWD の載荷板直径 (一般的に 45 cm 又は 30 cm)	載荷板直径は, 空港用 FWD は 45 cm, 道路用 FWD は 30 cm であることが多い．
FWD 載荷荷重 (kN)	標準載荷荷重 (一般的に 200 kN)	



付図-20.3 FWDによる載荷荷重とたわみの時系列変化
(この図における載荷時間: $0.015\text{sec} \times 2 = 0.03\text{sec}$)



付図-20.4 規準たわみ算出方法の概念図

(4) たわみ比

荷重補正後 D_0 たわみと規準 D_0 たわみから、たわみ比を算出する。

$$R = \frac{D_{0-cor}}{D_{0-cri}}$$

ここに、

R : たわみ比

D_{0-cri} : 規準 D_0 たわみ (μm)

(5) 評価

たわみ比が 1.0 以上の場合、当該調査地点は構造上問題のある可能性があるため、解体調査を実施し、原因を確認する必要がある。

(6) その他の評価方法

FWD により取得したたわみデータから、逆解析により各層の変形係数を推定し、順解析により舗装内部に生じるひずみを算出する方法もある^{65),66)}。この場合、逆解析の手法には、各たわみセンサーのたわみ最大値と載荷荷重最大値を用いる静的逆解析と、各たわみセンサーの時系列たわみと時系列載荷荷重を用いる動的逆解析があるが、逆解析の精度を勘案すると動的逆解析を用いるのが望ましい。動的逆解析を用いる場合には、FWD 調査において荷重とたわみの時系列データを取得する必要がある。静的逆解析を行うためのプログラムとしては BALM⁸⁰⁾、動的逆解析を行うためのプログラムとしては、DBALM⁸¹⁾、Wave-BALM⁸²⁾がある。

20.3 空港アスファルト舗装の構造評価例

たわみ比を用いた構造評価例を示す。

下記に示す調査条件において、同一調査地点で4回の載荷を連続して行い、たわみを測定した結果を**付表-20.3**に示す。1回目の載荷は載荷板と舗装表面との接触が不安定であるため、測定値を使用せず、2回目～4回目の計測データを使用する。

- ・ FWD 載荷荷重 200kN
- ・ FWD 載荷板直径 45cm
- ・ FWD 載荷時間 0.03sec (付図-20.3 参照)
- ・ 載荷回数 同一地点において4回載荷

付表-20.3 測定 D_0 たわみ一覧

調査地点名	載荷回	舗装表面温度 (°C)	載荷荷重 (kN)	測定たわみ (μ m)
X 空港 A 滑走路 R-2	1	6.0	195.30	580
	2		195.25	573
	3		195.09	571
	4		194.93	562
X 空港 A 滑走路 R-7	1	7.0	195.20	425
	2		195.14	421
	3		194.72	420
	4		194.78	414

(1) 平均 D_0 たわみの算出

平均 D_0 たわみを以下の通り算出した.

R-2 地点

$$D_{0-ave} = \frac{573 + 571 + 562}{3} = 568.7 \quad (\mu\text{m})$$

R-7 地点

$$D_{0-ave} = \frac{421 + 420 + 414}{3} = 418.3 \quad (\mu\text{m})$$

(2) 荷重補正

平均 D_0 たわみに対して、荷重補正を以下の通り実施した.

R-2 地点

$$F_{ave} = \frac{192.25 + 195.09 + 194.93}{3} = 195.09 \quad (\text{kN})$$

$$D_{0-cor} = 568.7 \times \frac{200}{195.09} = 538.01 \quad (\mu\text{m})$$

R-7 地点

$$F_{ave} = \frac{195.14 + 194.72 + 194.78}{3} = 194.88 \quad (\text{kN})$$

$$D_{0-cor} = 418.3 \times \frac{200}{194.88} = 429.29 \quad (\mu\text{m})$$

(3) 規準 D_0 たわみ・たわみ比の算出

多層弾性解析プログラム GAMES を用い、調査時温度における規準 D_0 たわみを**付表-20.4**、**付表-20.5**に示す条件により計算した. なお、アスファルト混合物層の変形係数を算出するために必要な条件は、**付表-20.6**のとおりとし、FWD 荷重時間は、**付図-20.3**を参考に荷重開始から最大荷重値発生までを 0.015sec とし、荷重時間としてはその 2 倍の 0.03sec とした. また、荷重補正後 D_0 たわみと規準 D_0 たわみの比から、たわみ比を算出した.

付表-20.4 舗装構造条件

項目	R-2 地点	R-7 地点
アスファルト混合物層厚 (cm)	29	37
粒状路盤厚 (cm)	15	40
路床厚 (cm)	無限大	
アスファルト混合物層変形係数 (MPa)	12,758	11,975
粒状路盤層変形係数 (MPa)	200	
路床変形係数 (MPa)	10×路床の設計 CBR10%=100	
各層のポアソン比	0.35	

付表-20.5 載荷荷重条件

項目	R-2 地点	R-7 地点
FWD 載荷板直径 (cm)	45	
FWD 載荷荷重 (kN)	200	

付表-20.6 アスファルト混合物層の変形係数計算条件

項 目	R-2 地点	R-7 地点
載荷時間 (sec)	0.03	
針入度 (1/10mm)	70	
軟化点温度 (°C)	48	
針入度指数 PI	-0.91	
調査時舗装表面温度 (°C)	6.0	7.0
空隙率 (%)	3.0	
アスファルトの配合率 (%)	5.5	
アスファルト混合物の密度 (g/cm³)	2.4	
バインダーの比重	1.04	

付表-20.7 規準 D_0 たわみとたわみ比

項 目		R-2 地点	R-7 地点
荷重補正後 D_0 たわみ (μ m)	D_{0-cor}	583	429
規準 D_0 たわみ (μ m)	D_{0-cri}	783	620
たわみ比	R	0.74	0.69

20.4 空港コンクリート舗装の構造評価方法

FWD を用いた空港コンクリート舗装のたわみ測定による構造評価は、以下の手順で実施する。

(1) 平均たわみの算出

同一調査地点で4回の載荷を連続して行う。1回目の載荷は載荷板と舗装表面との接触が不安定であるため、測定値を使用せず、2回目～4回目の計測データから平均 D_0 たわみを算出する。測定位置については付図-20.5に示す。

$$D_{0-ave} = \frac{D_{0-2} + D_{0-3} + D_{0-4}}{3}$$

$$D_{45-ave} = \frac{D_{45-2} + D_{45-3} + D_{45-4}}{3}$$

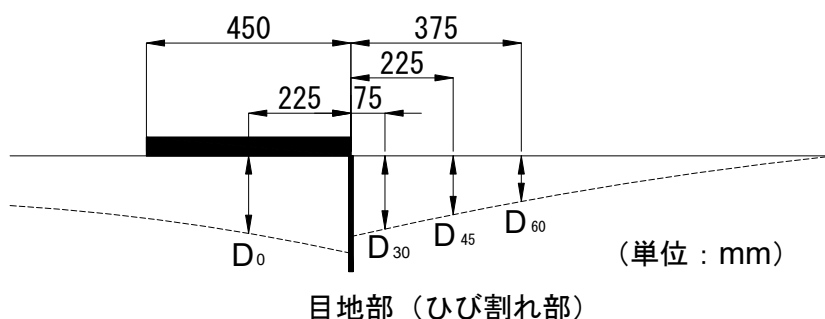
ここに,

D_{0-ave} : 平均 D_0 たわみ (μm)

$D_{0-2}, D_{0-3}, D_{0-4}$: 2～4 回目に測定された D_0 たわみ (μm)

D_{45-ave} : 平均 D_{45} たわみ (μm)

$D_{45-2}, D_{45-3}, D_{45-4}$: 2～4 回目に測定された D_{45} たわみ (μm)



付図-20.5 目地部及びひび割れ部での FWD によるたわみの測定方法
(載荷板直径が 45cm の場合)

(2) 荷重伝達率の算出

平均たわみから荷重伝達率を算出する.

$$E_{ff}' = \frac{D_{45-ave}}{(D_{0-ave} + D_{45-ave})/2} \times 100$$

ここに,

E_{ff}' : 荷重伝達率 (%)

(3) 評価

荷重伝達率が 85%以下の場合, 当該調査地点は構造上問題のある可能性があるため, 解体調査を実施し, 原因を確認する必要がある.

付録-21 熱赤外線調査

アスファルト舗装のプリスタリング現象の前兆である層間剥離を迅速かつ定量的に調査する手法として、熱赤外線技術を用いた調査手法がある。熱赤外線技術を用いた調査手法の実施に必要な技術的要件を以下に示す。

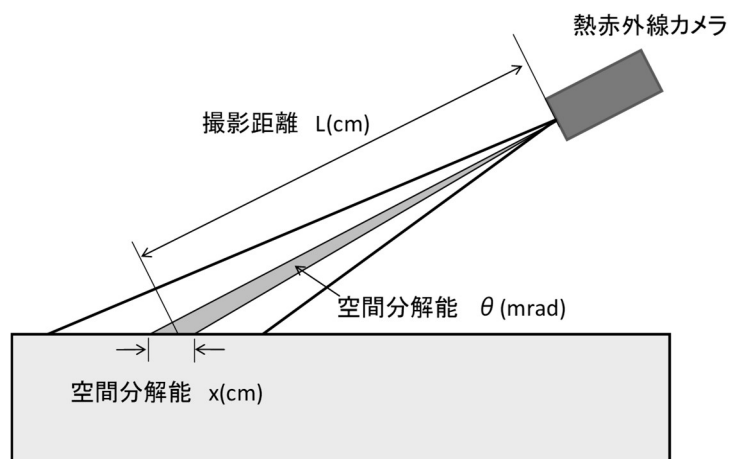
21.1 技術的要件

(1) 舗装表面の熱赤外線画像の撮影

熱赤外線調査は、次の規格を満足する舗装表面温度測定装置（熱赤外線カメラ）を用いて舗装表面の熱赤外線画像を撮影し、舗装表面の温度を測定することにより行うものとする。

- ・ 温度分解能：0.1℃以上（0.1℃又はそれ以下の温度刻みで検知が必要）
- ・ 温度範囲：0℃～60℃（舗装表面温度）
- ・ 空間分解能※：2cm 四方ピッチ

※ 熱赤外線カメラにおける空間分解能の仕様は、通常 mrad（ミリラジアン）単位で表示される。mrad 単位の空間分解能は以下のように計算される。



計算例として、撮影距離 L を 500cm、空間分解能 x を 2cm とすると、mrad 単位の空間分解能 θ は以下の計算となる。

$$\tan((360\theta/1000)/4\pi) = x/2L = 0.002$$

$$\theta = 4 \text{ (mrad)}$$

よって、空間分解能が 4mrad 以上（角度表示では 4mrad 以下）の熱赤外線カメラを使用する必要がある。

(2) 層間剥離発生箇所の推定

上記(1)で測定した層間剥離調査箇所のうち、舗装表面温度が周囲よりも低い箇所（夜間調査の場合）・高い箇所（昼間調査の場合）を層間剥離推定箇所として明示するものとする。

21.2 調査概要

- (1) 熱赤外線調査は概ね 7cm より浅い位置での剥離（表・基層間の剥離）を打音調査と同程度の精度で検知することができる。本調査は危険箇所を想定する概査として用い、危険箇所を打音調査にて入念にチェックすることにより、剥離箇所を確実に検知することが可能となる。
- (2) 熱赤外線調査の現場作業日数は、3000m×60m の範囲の場合、約 5 日程度（夜間 6 時間作業、準備 1 日、計測 4 日）である。
- (3) 熱赤外線測定 1 回あたりの計測幅員及び計測速度は任意で設定できるが、1 回あたりの計測幅員は 3～5m 程度、計測速度は 5～20km/h（標準 10km）程度が一般的である。
- (4) 上記技術的要件(2)について、熱赤外線調査によるこれまでの実績によると、剥離箇所の舗装表面温度は周囲よりも 0.2℃程度以上低く、直径数十 cm の円状で測定されることが多い。
- (5) 舗装表面が湿潤状態にある場合は測定に適さない。
- (6) 熱赤外線調査は、夜間よりも昼間に実施する方が層間剥離の位置を検出しやすい。
- (7) 舗装表面が乾いている場合であっても、測定当日の気象状況により層間剥離箇所の熱赤外線調査が困難となる場合があり、（付式 21.1）を参考に調査の可否を判断することができる。（付式 21.1）により算出される、夜間調査時の最大舗装表面温度差（健全箇所と剥離箇所の舗装表面温度差）が概ね 0.2℃程度以上であれば、調査可能と判断することができる⁶⁷⁾。

$$\Delta T_{pav} = 0.01335\Delta T_{air} + 0.02944Q - 0.01743v + 0.12282 \quad \dots \text{（付式 21.1）}$$

ここに、

ΔT_{pav} : 最大舗装表面温度差（絶対値）（℃）

ΔT_{air} : 一日の気温差（最高気温－最低気温）（℃）※1

Q : 日中の積算日射量（kW・h/m²）※2

v : 一日の平均風速（m/s）

※1 当該空港の測定日当日（昼間）の最高気温と翌朝の予想最低気温の温度差

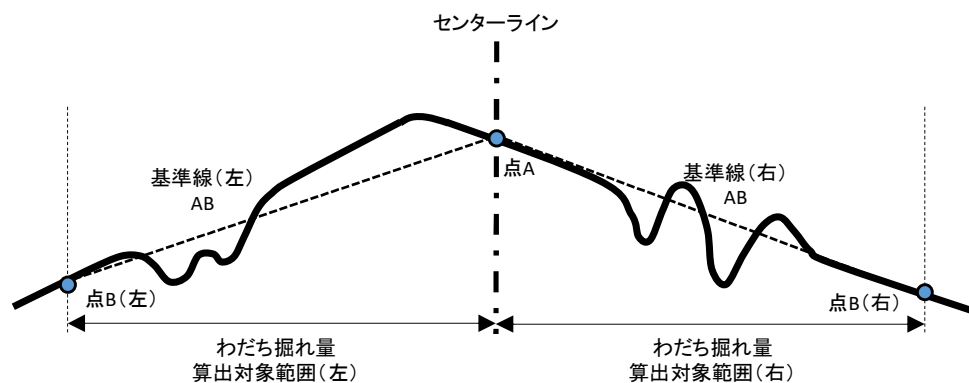
※2 当該空港に計測データがない場合は、気象庁ホームページより近隣地域のデータを引用

付録-22 わだち掘れ量及び BBI 算出方法

22.1 わだち掘れ量算出方法

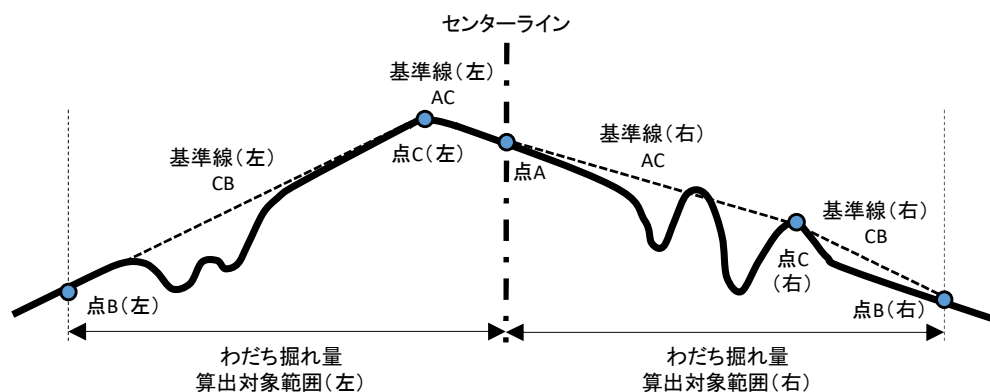
空港アスファルト舗装のわだち掘れ量は、以下の手順により算出する。なお、計算を実施するプログラムとしては、国土交通省国土技術政策総合研究所が所有するわだち掘れ量算出プログラムがある。

- (1) 付図-22.1 のように、施設の左右それぞれにおいて、わだち掘れ量算出対象範囲の両端の路面に点 A 及び点 B を置き、基準線 AB を引く。



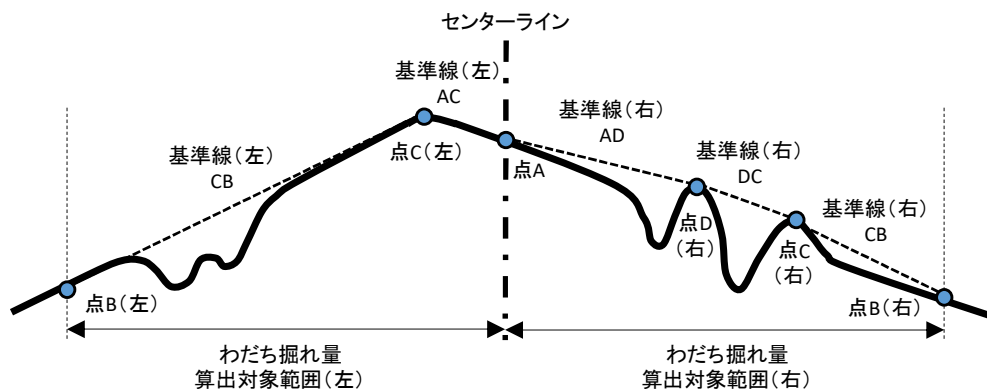
付図-22.1 わだち掘れ量算出の手順(1)

- (2) 付図-22.1 のように、基準線 AB よりも高い路面がある場合には、基準線 AB よりも高い路面まで引いた垂線の長さが最大となる路面に点 C を追加し、付図-22.2 のように基準線 AC 及び基準線 CB を引く。



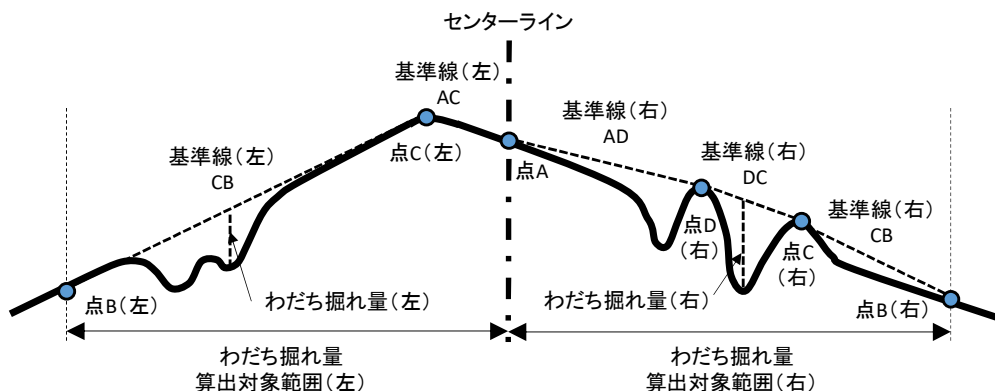
付図-22.2 わだち掘れ量算出の手順(2)

- (3) 付図-22.2 の施設右側のように、基準線 AC 及び基準線 CB よりも高い路面がある場合には、付図-22.3 の施設右側のように、(2)の手順で点 D を追加し、基準線 AD、基準線 DC 及び基準線 CB を引く。これを基準線よりも高い路面が無くなるまで繰り返す。



付図-22.3 わだち掘れ量算出の手順(3)

- (4) 付図-22.4 のように、基準線よりも高い路面が無い状態で、全ての基準線から下方の路面まで垂線を引き、垂線の長さの最大値をわだち掘れ量とする。施設の左右のわだち掘れ量において大きい方を、当該データユニットにおけるわだち掘れ量とする。



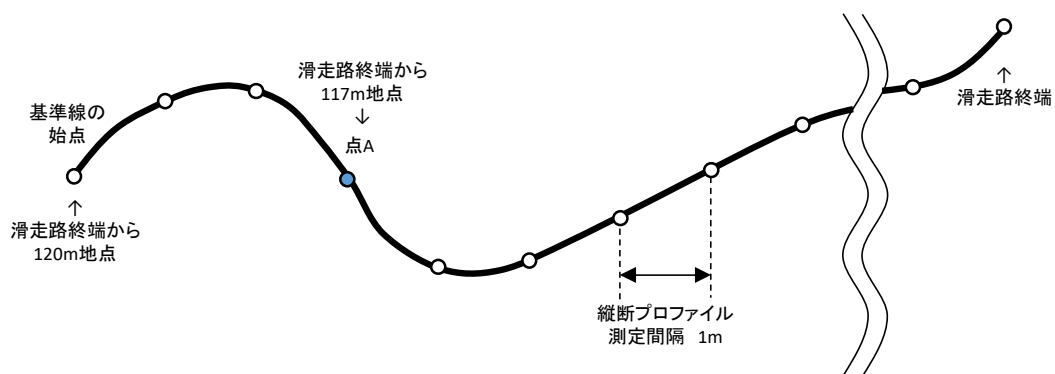
付図-22.4 わだち掘れ量算出の手順(4)

22.2 BBI 算出方法

空港アスファルト舗装の BBI (Boeing Bump Index) は、以下の手順により算出する。なお、計算を実施するプログラムとしては、国土交通省国土技術政策総合研究所が所有する BBI 算出プログラムがある。

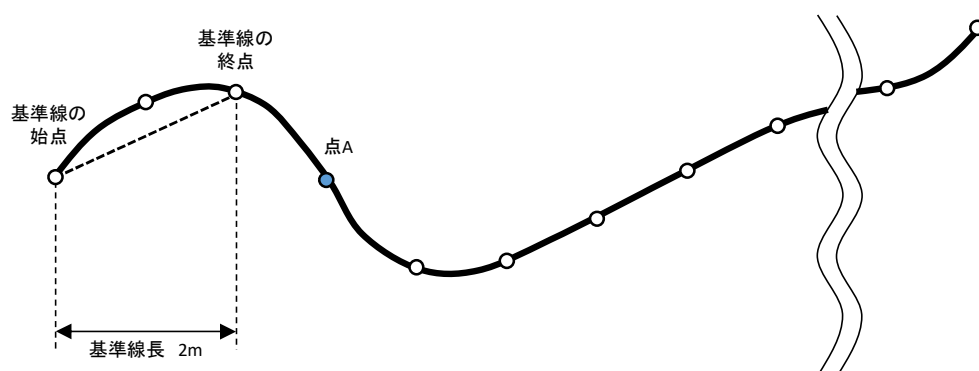
BBI は、1m ピッチで計測された縦断プロファイルの全ての点ごとに算出するが、以下では例として、滑走路終端から 117m 地点の点 A における BBI 算出手順を示している。

- (1) 付図-22.5 のように、1m ピッチで計測された縦断プロファイルにおいて、基準線の始点を設定し、基準線長を 2m から 120m まで 1m ずつ伸ばした場合の凹凸高さ及び凹凸長さを算出する。



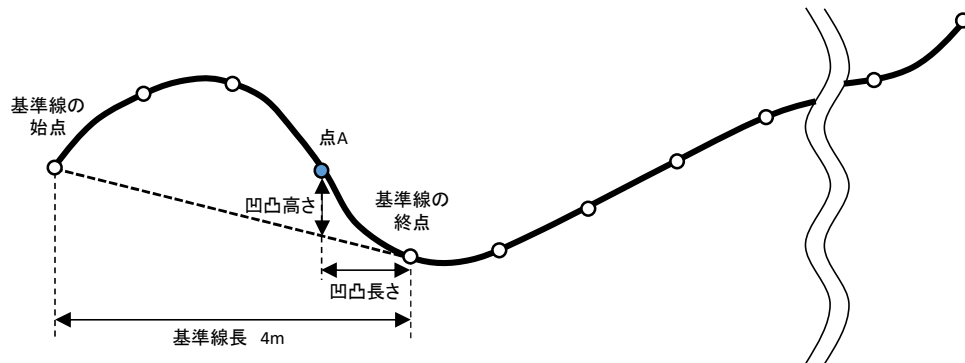
付図-22.5 BBI 算出の手順(1)

- (2) 付図-22.6 のように、まず、基準線長を 2m とする。しかしながら点 A は基準線の範囲外であることから、凹凸高さ及び凹凸長さは算出しない。基準線長を 3m とした場合も同様である。



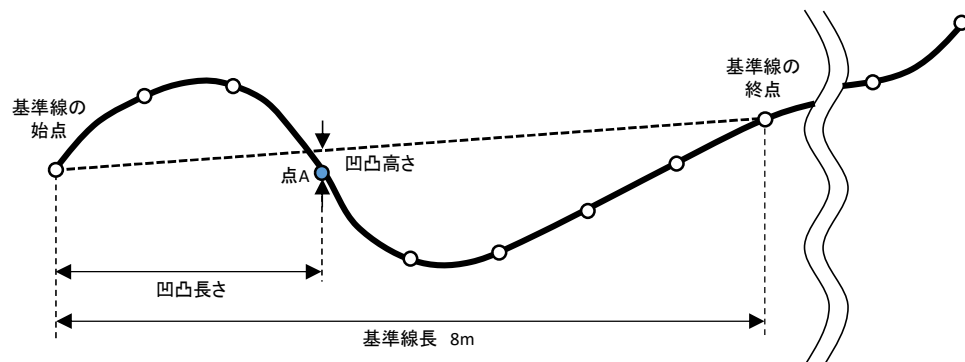
付図-22.6 BBI 算出の手順(2)

- (3) 付図-22.7 のように、基準線長を 4m としたとき、点 A は基準線の範囲内であることから、凹凸高さ及び凹凸長さを算出する。凹凸高さは点 A から基準線までの垂直距離であり、凸部（路面高さ > 基準線）の場合、凹部（路面高さ < 基準線）の場合の区別はしない。また、凹凸長さは点 A から基準線端までの水平距離であり、基準線の始点・終点までの距離の短い方とする。

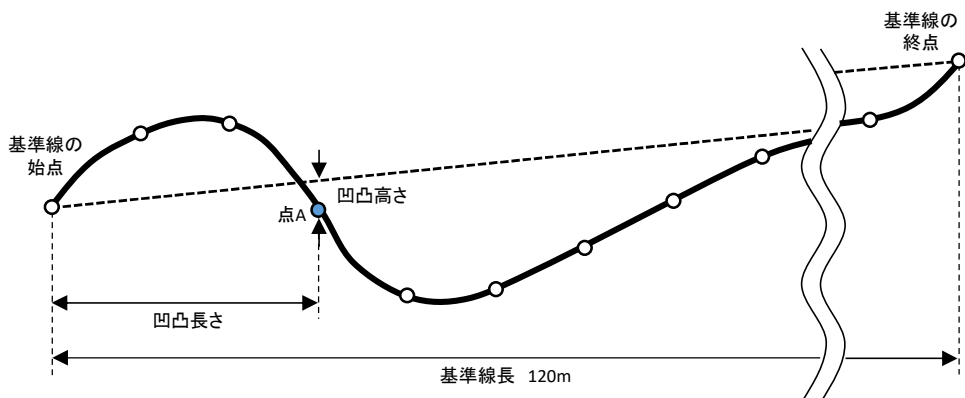


付図-22.7 BBI 算出の手順(3)

- (4) 付図-22.8 は基準線長を 8m とした場合、付図-22.9 は基準線長を 120m とした場合を示している。基準線長が最大の 120m に達した場合や、基準線の終点が施設の終端に達した場合は、現在の基準線の始点を用いた算出を終了する。

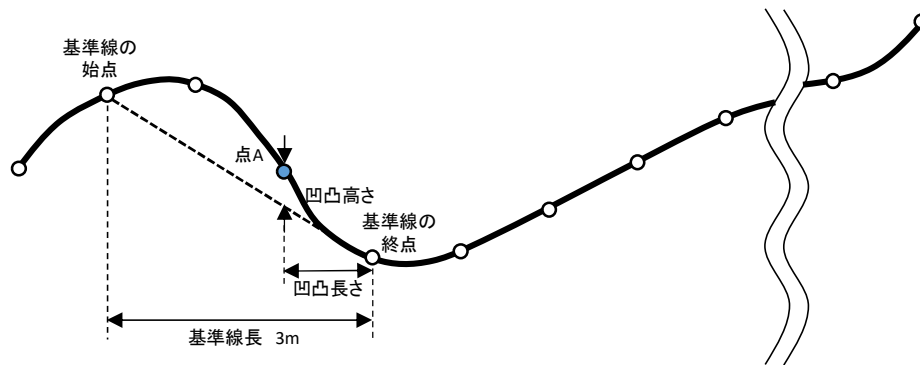


付図-22.8 BBI 算出の手順(4)

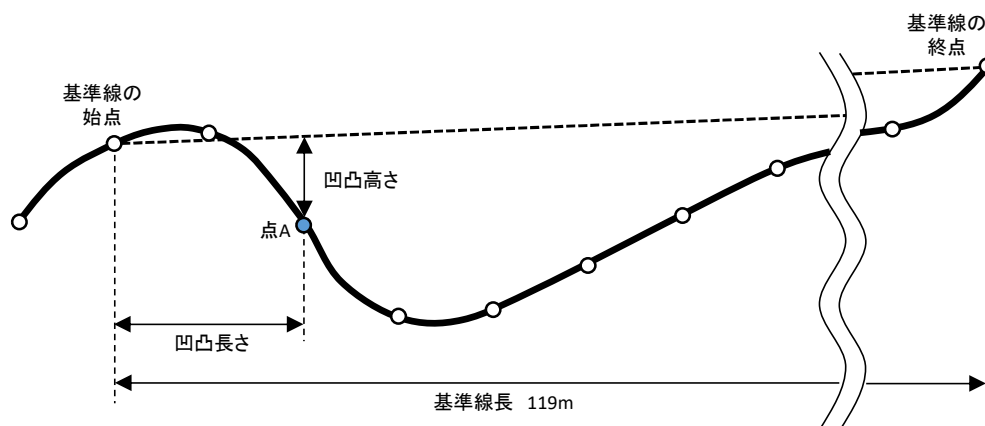


付図-22.9 BBI 算出の手順(5)

- (5) 次に、基準線の始点を 1m 前方に移動し、(2)～(4)の手順で凹凸高さ及び凹凸長さの算出を繰り返す。付図-22.10 は基準線長を 3m とした場合、付図-22.11 は基準線長を 119m とした場合を示している。基準線長を 119m とした場合、基準線の終点が滑走路の終端に達したため、現在の基準線の始点を用いた算出を終了する。

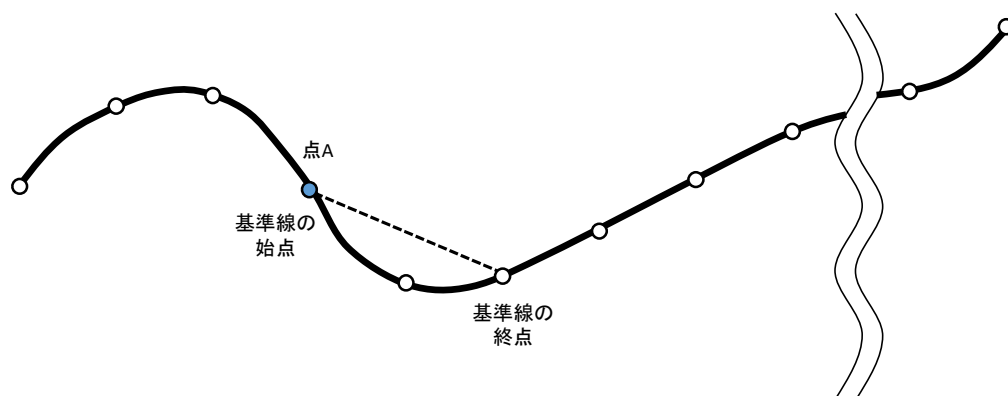


付図-22.10 BBI 算出の手順(6)



付図-22.11 BBI 算出の手順(7)

- (6) 付図-22.12 は、基準線の始点を 1m ずつ移動した結果、基準線の始点が点 A と一致した状態を示している。この状態で基準線長を伸ばしても点 A での凹凸高さは常に 0 であり、基準線の始点をさらに前方に移動した場合は、点 A は常に基準線の範囲外であるため、点 A に関する算出を終了する。



付図-22.12 BBI 算出の手順(8)

- (7) 点 A において算出された全ての凹凸高さについて、「基準凹凸高さに対する凹凸高さの比」を算出し、その最大値を点 A における BBI とする。同様の方法で路面上の全ての点に対し BBI を算出する。

付録-23 RC プレキャスト舗装の構造設計

23.1 設計法

23.1.1 一般

RC プレキャスト舗装は、高強度コンクリートを用いて工場製作するプレキャスト鉄筋コンクリート舗装版（以下、PRC 版）を、工場から現場に運搬して路盤上に敷設した後、PRC 版に埋設した継手で隣り合う版同士を連結する舗装である。施工時は即日開放が可能であり、補修に際しては継手を外すことで部分的な版の交換を容易にしている。

RC プレキャスト舗装の構造設計は、舗装設計編第IV章及び付録-12 PC プレキャスト舗装の構造設計に準拠する。航空機荷重、温度変化及びコンクリートの収縮により舗装版に生じる応力を合成して求められる断面力に対し、鉄筋コンクリート理論を適用し、許容応力度法で断面の仕様を決定する。

23.1.2 PRC 版

圧縮鉄筋と引張鉄筋を三角形に加工したラチストラス鉄筋で成形した鉄筋かごと高強度コンクリートで PRC 版を製作することで、コンクリート版としての剛性を高め、版厚を薄くし、版本体の重量を軽減している。運搬可能な版寸法が大きくなり施工性の向上に有効であるが、荷重条件、路盤以下の変形を考慮し適切に定める必要がある。

23.1.3 継手

PRC 版同士を連結する継手は、せん断力と曲げモーメントを伝達するコッター式継手を基本とする。航空機荷重、温度変化及びコンクリートの収縮に対する耐久性を高め、複数の PRC 版を一体化することが可能である。PRC 版に埋設した C 型金物に、現場で H 型金物を挿入してボルトを締込み、PRC 版同士を連結する。コッター式継手の設計方法はダウエルバーと同等と考え付録-14 ダウエルバーの設計法に準拠する。

従来型の C 型金物のアンカー部は、異形棒鋼を模擬したストレート形状であり、継手に作用する引抜力に対し、コンクリートとアンカー部の付着力で抵抗する構造とし、標準のアンカー長は 450mm⁹⁴⁾としていた。一方、改良型の C 型金物のアンカー部は、形状をストレート形状からテーパ形状とすることで付着力を高めたことにより、アンカー長が短くても従来型と同程度の性能を有することを確認しており⁹⁵⁾、標準のアンカー長を 270mm としている。



a) 従来型

b) 改良型

付図-23.1 コッター式継手

23.1.4 目地

(1) 施工目地

コッター式継手の目地幅は 10mm を標準とする。コッター式継手の荷重伝達及び PRC 版同士の一体化のため、目地には PRC 版と同程度の強度を有するグラウト材を充填する。確実に迅速に施工するため、グラウト材には流動性、自己充填性及び速硬化性が必要である。性能の目安は、材齢 3 時間で一軸圧縮強度 20N/mm^2 以上、J14 ロート流下時間 20 秒以下、可使時間 15 分以上である。

(2) 伸縮目地

伸縮目地の構造は、ダウエルバー型、枕版方式伸縮目地型、あるいは端部補強版型とする。伸縮目地間隔は 60m 程度とする。

23.1.5 裏込めグラウト

路盤と PRC 版の間の空隙を充填する裏込めグラウトは、流動性、自己充填性及び速効性に優れた材料を用いる必要がある。性能の目安は、材齢 2 時間で一軸圧縮強度 3.0N/mm^2 以上、JA ロート流下時間 60 秒以下、可使時間 30 分以上である。

23.1.6 路盤

路盤厚の設計は舗装設計編Ⅳ-2.2 に従うものとするが、PRC 版は無筋コンクリート舗装に比べて版厚を薄くすることが可能なため、相対的に交通荷重による路床及び路盤の変形が大きくなり、目地部の段差やポンピング現象等を引き起こす原因となりうるため、路盤の設計支持力係数は 70MN/m^3 以上とすることが望ましい。

23.2 設計例

23.2.1 PRC 版の設計

(1) 設計条件

版寸法

L_{PRC}	: 版長	= 7,500 mm
B_{PRC}	: 版幅	= 2,500 mm
h	: 版厚	= 240 mm
LL	: 伸縮目地間隔	= 60 m

対象機種 B-747-400

P_g	: 脚荷重	= 910,000 N
P_w	: 輪荷重 = $P_g/4$ 輪	= 227,500 N
p	: タイヤ接地圧	= 1.38 N/mm ²
a	: タイヤ接地半径 = $\sqrt{P_w/(p\pi)}$	= 229 mm
A_w	: タイヤ接地面積 = P_w/p	= 164,855 mm ²

路盤

K_{75}	: 設計支持力係数	= 0.07 N/mm ³
----------	-----------	--------------------------

コンクリート

f_{ck}'	: 設計圧縮強度	= 60 N/mm ²
σ_{ca}	: 許容圧縮応力 = $f_{ck}'/3$	= 20 N/mm ²
f_{cb}	: 設計曲げ引張強度	= 6.4 N/mm ²
E_c	: 弾性係数	= 35,000 N/mm ²
ν_c	: ポアソン比	= 0.15
α_c	: 線膨張係数	= 0.00001/°C
w_c	: 単位体積重量	= 24.5 kN/m ³

鉄筋 (SD345)

σ_{sa}	: 許容引張応力	= 230 N/mm ²
E_s	: 弾性係数	= 200,000 N/mm ²
α_s	: 線膨張係数	= 0.00001/°C

コッター式継手 (H 型金物 FCD500)

σ_{Ha}	: 許容曲げ引張応力	= 190 N/mm ²
---------------	------------	-------------------------

コッター式継手 (C 型金物 ストレート型アンカーの場合)

L	: 標準アンカー長	= 450 mm
D	: アンカー直径	= 35 mm

コッター式継手 (C 型金物 テーパー型アンカーの場合)

L	: 標準アンカー長	= 270 mm
D_{max}	: アンカー最大直径	= 64 mm
D_{min}	: アンカー最小直径	= 43 mm
δ	: アンカーのテーパー角度	= 2 度

(2) 等価単車輪荷重 (ESWL) の算定

$$l = \sqrt[4]{\frac{E_c \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu_c^2) \cdot K_{75}}}$$

ここで,

l	: 剛比半径	= 876 mm
E_c	: コンクリートの弾性係数	= 35,000 N/mm ²
h	: コンクリート版厚	= 240 mm
ν_c	: コンクリートのポアソン比	= 0.15
K_{75}	: 路盤の設計支持力係数	= 0.07 N/mm ³

B747-400 の以下の諸元から, 付録-6 ESWL の求め方により, 図から $P_g/ESWL$ を読み取り, 等価単車輪荷重 (ESWL) を算定した.

P_g	: 脚荷重	= 910,000 N
S	: 複車輪の横中心間隔	= 1,118 mm
S_T	: 複々車輪の縦中心間隔	= 1,473 mm
ΣA_w	: 全タイヤ接地面積 = $A_w \times 4$ 輪	= 659,420 mm ²
S/l	= 1,118 / 876	= 1.276
S_T/l	= 1,473 / 876	= 1.682
$\Sigma A_w/l^2$	= 659,420 / 876 ²	= 0.859
$ESWL$	= 910,000 / 3.36	= 270,800 N

(3) 応力の算定

a) 輪荷重応力

中央部, 自由縁部及び継手近傍部載荷時の応力を次式により算出する. なお, 継手近傍載荷時の応力は, 自由縁部載荷時の応力と, 荷重伝達効果を考慮する応力低減係数を用いて算出することとし, コッター式継手の荷重伝達率が 96% であること⁹⁴⁾から, 舗装標準示方書⁹⁶⁾に掲載されている CRC 舗装のひび割れ部を参考に, 応力低減係数を 0.6 とした.

中央部載荷時

$$\sigma_{wi} = 0.0547 \cdot \frac{F}{h^2} \cdot \left\{ \left(\frac{b}{l} \right)^2 - 10.186 \cdot \ln \left(\frac{b}{l} \right) + 3.714 \right\}$$

自由縁部載荷時

$$\sigma_{we} = (1 + 0.54\nu_c) \cdot C \cdot \frac{F}{h^2} \cdot \left\{ \log_{10} \left(\frac{l}{10} \right) - 0.75 \cdot \log_{10} \left(\frac{r}{10} \right) - 0.18 \right\}$$

継手近傍載荷時

$$\sigma_{we}' = \beta \cdot \sigma_{we}$$

ここで、

σ_{wi}	: コンクリート版中央部載荷時の輪荷重応力	= 4.420 N/mm ²
σ_{we}	: コンクリート版自由縁部載荷時の輪荷重応力	= 7.693 N/mm ²
σ_{we}'	: コンクリート版継手近傍載荷時の輪荷重応力	= 4.616 N/mm ²
F	: 等価単車輪荷重 (ESWL)	= 270,800 N
h	: コンクリート版厚	= 240 mm
b	: $r < 1.724h$ の場合, $b = \sqrt{1.6r^2 + h^2} - 0.675h$ $r \geq 1.724h$ の場合, $b = r$	= 235 mm
r	: ESWL の接地半径 = $\sqrt{F/(p\pi)}$	= 250 mm
p	: タイヤ接地圧	= 1.38 N/mm ²
l	: 剛比半径	= 876 mm
ν_c	: コンクリートのポアソン比	= 0.15
C	: 係数 (自由縁部の場合)	= 2.12
β	: 応力低減係数	= 0.6

b) そり拘束応力

コンクリート版上下面温度差による版のそり変形が、自重等により拘束されるため発生するそり拘束応力を次式により算出した。なお、継手近傍の場合は PRC 版が一体化されていることから、中央部のそり拘束応力を採用した。

中央部

$$\sigma_{ti} = 0.7 \cdot \frac{E_c \cdot \alpha_c \cdot \theta}{2 \cdot (1 - \nu_c)}$$

自由縁部

$$\sigma_{te} = 0.35 \cdot C_w \cdot E_c \cdot \alpha_c \cdot \theta$$

継手近傍

$$\sigma_{te}' = \sigma_{ti}$$

ここで、

σ_{ti}	: コンクリート版中央部のそり拘束応力	
	温度上昇時の版下面	= 2.450 N/mm ²
	温度下降時の版表面	= 1.297 N/mm ²

(8) 表面ひび割れ発生荷重の照査で使用

σ_{te}	: コンクリート版自由縁部のそり拘束応力	
	温度上昇時の版下面	= 1.978 N/mm ²
σ_{te}'	: コンクリート版継手近傍のそり拘束応力	
	温度上昇時の版下面	= 2.450 N/mm ²
E_c	: コンクリートの弾性係数	= 35,000 N/mm ²
α_c	: コンクリートの線膨張係数	= 0.00001/°C

θ : コンクリート版の上下面温度差

温度上昇時 = 17 °C

温度下降時 = 9 °C

ν_c : コンクリートのポアソン比

= 0.15

C_w : そり拘束係数

温度上昇時・収縮目地間隔 (L_{PRC}) = 7.5m = 0.95

c) 軸方向拘束応力

温度下降時における PRC 版の収縮変形が、路盤摩擦により拘束されるため発生する軸方向拘束応力（引張応力）を次式で算出した。なお、自由縁部では変形が拘束されないことから考慮しない。また、温度上昇時における圧縮応力は考慮しない。

$$\sigma_f = f \cdot w_c \cdot \frac{LL}{2}$$

ここで、

σ_f : コンクリート版の軸方向拘束応力 = 0.735 N/mm²

f : 路盤摩擦係数 = 1.0

w_c : コンクリートの単位体積重量 = 24.5 kN/m³

= 24.5 × 10⁶ N/mm³

LL : 伸縮目地間隔 = 60 m

= 60,000 mm

(4) 合成応力の算定

コンクリート版下面における輪荷重応力、そり拘束応力及び軸方向拘束応力の合成応力を、温度上昇時及び温度下降時のそれぞれについて算定した。

【温度上昇時】

PRC 版の膨張変形が拘束され、軸方向拘束応力（圧縮応力）が発生するが考慮しない。一方、PRC 版のそり変形が拘束され、版下面にそり拘束応力（引張応力）が発生する。そのため、合成応力は輪荷重応力とそり拘束応力の和となる。

【温度下降時】

PRC 版のそり変形が拘束され、版下面にそり拘束応力（圧縮応力）が発生するが考慮しない。一方、PRC 版の収縮変形が拘束され、軸方向拘束応力（引張応力）が発生する。そのため、合成応力は輪荷重応力と軸方向拘束応力の和となる。ただし、自由縁部では変形が拘束されないことから軸方向拘束応力は考慮しない。

付表-23.1 コンクリート版下面の合成応力の算定

		曲げモーメント成分			軸力成分
		輪荷重 応力	そり拘束 応力	合成 応力	軸方向 拘束応力
温度 上昇時	中央部	$\sigma_{wi} = 4.420$	$\sigma_{ti} = 2.450$	$\sigma_i = 6.870$	—
	自由縁部	$\sigma_{we} = 7.693$	$\sigma_{te} = 1.978$	$\sigma_e = 9.671$	—
	継手近傍	$\sigma_{we}' = 4.616$	$\sigma_{te}' = 2.450$	$\sigma_e' = 7.066$	—
温度 下降時	中央部	$\sigma_{wi} = 4.420$	—	$\sigma_i = 4.420$	$\sigma_f = 0.735$
	自由縁部	$\sigma_{we} = 7.693$	—	$\sigma_e = 7.693$	—
	継手近傍	$\sigma_{we}' = 4.616$	—	$\sigma_e' = 4.616$	$\sigma_f = 0.735$

(単位：N/mm²)**(5) 断面力の算定**

断面力として、曲げモーメントと軸力を算定した。

【温度上昇時】

曲げモーメントは、合成応力（輪荷重応力＋そり拘束応力）に断面係数を乗じる。

【温度下降時】

曲げモーメントは、合成応力（輪荷重応力）に断面係数を乗じる。

軸力は、軸方向拘束応力に断面積を乗じる。

断面係数

$$Z = \frac{B \cdot h^2}{6}$$

断面積

$$A = B \cdot h$$

ここで、

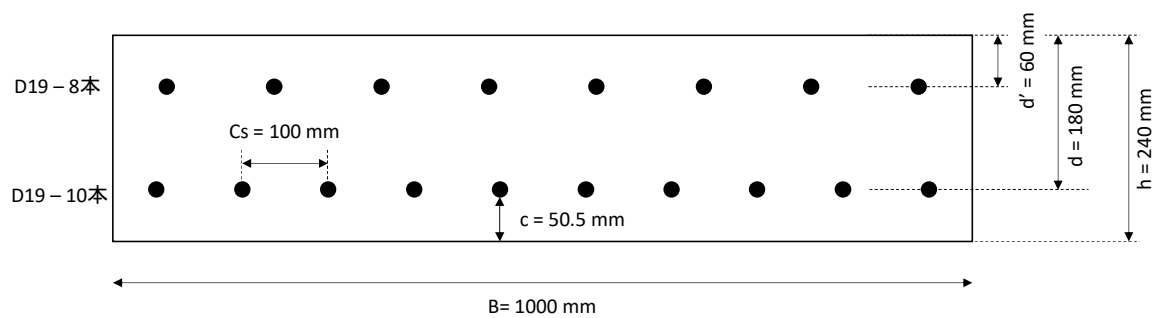
Z	: 断面係数	$= 9.6 \times 10^6 \text{ mm}^3$
A	: 断面積	$= 2.4 \times 10^5 \text{ mm}^2$
B	: 版幅（単位幅）	$= 1000 \text{ mm}$
h	: コンクリート版厚	$= 240 \text{ mm}$

付表-23.2 断面力の算定

		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)
温度 上昇時	中央部	$\sigma_i \times Z = 65.952$	—
	自由縁部	$\sigma_e \times Z = 92.842$	—
	継手近傍	$\sigma_e' \times Z = 67.834$	—
温度 下降時	中央部	$\sigma_i \times Z = 42.432$	$\sigma_f \times A = 176.40$
	自由縁部	$\sigma_e \times Z = 73.853$	—
	継手近傍	$\sigma_e' \times Z = 44.314$	$\sigma_f \times A = 176.40$

(6) 応力の照査

断面力から RC 理論により鉄筋及びコンクリートの応力を算定し、コンクリートの許容圧縮応力 σ_{ca} 、鉄筋の許容引張応力 σ_{sa} よりも小さいことを確認した。



B	: 版幅 (単位幅)	$= 1000 \text{ mm}$
h	: コンクリート版厚	$= 240 \text{ mm}$
E_s	: 鉄筋の弾性係数	$= 200,000 \text{ N/mm}^2$
E_c	: コンクリートの弾性係数	$= 35,000 \text{ N/mm}^2$
n	: 弾性係数比 $= E_s/E_c$	$= 5.7$
ϕ	: 鉄筋径	$= 19 \text{ mm}$
表面側鉄筋		
d'	: 有効高さ	$= 60 \text{ mm}$
A_s'	: 鉄筋量	D19-8本
下面側鉄筋		
d	: 有効高さ	$= 180 \text{ mm}$
A_s	: 鉄筋量	D19-10本
C_s	: 鉄筋中心間隔	$= 100 \text{ mm}$
c	: 純かぶり $= h - (d + \phi/2)$	$= 50.5 \text{ mm}$

付表-23.3 応力の算定

		曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)	版表面の コンクリート 圧縮応力 σ_c (N/mm ²)	版下面側の 鉄筋引張応力 σ_s (N/mm ²)
温度 上昇時	中央部	65.952	—	$13.3 < \sigma_{ca} = 20$	$144.8 < \sigma_{sa} = 230$
	自由縁部	92.842	—	$18.7 < \sigma_{ca} = 20$	$203.9 < \sigma_{sa} = 230$
	継手近傍	67.834	—	$13.7 < \sigma_{ca} = 20$	$149.0 < \sigma_{sa} = 230$
温度 下降時	中央部	42.432	176.40	$8.5 < \sigma_{ca} = 20$	$127.4 < \sigma_{sa} = 230$
	自由縁部	73.853	—	$14.8 < \sigma_{ca} = 20$	$162.2 < \sigma_{sa} = 230$
	継手近傍	44.314	176.40	$8.9 < \sigma_{ca} = 20$	$131.6 < \sigma_{sa} = 230$

(7) 下面ひび割れ幅の照査

PRC 版下面のひび割れ幅は、コンクリート標準示方書のひび割れ幅算定式を用いて算定し、許容ひび割れ幅よりも小さいことを確認した。許容ひび割れ幅は、付録-11 連続鉄筋コンクリート舗装の構造設計より 0.5mm とした。

$$w_l = 1.1 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \{4c + 0.7(C_s - \phi)\} \left(\frac{\sigma_s}{E_s} + \varepsilon_{csd}' \right)$$

ここで、

w_l	: 下面ひび割れ幅	付表-23.4
w_{la}	: 許容ひび割れ幅	= 0.5 mm
k_1	: 鉄筋の表面形状がひび割れ幅に及ぼす影響を表す定数。一般に、異形鉄筋の場合 1.0, 普通丸鋼及び PC 鋼材の場合 1.3.	= 1.0
k_2	: コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす影響を表す係数 = $15/(f_c' + 20) + 0.7$	= 0.89
f_c'	: コンクリートの設計強度。一般に設計圧縮強度.	= 60 N/mm ²
k_3	: 引張鉄筋の影響を表す係数 = $5(n + 2)/(7n + 8)$	= 1
n	: 引張鉄筋の段数	= 1
c	: 純かぶり	= 50.5 mm
C_s	: 鉄筋中心間隔	= 100 mm
ϕ	: 鉄筋径	= 19 mm
σ_s	: 鉄筋の増加応力	付表-23.3
E_s	: 鉄筋の弾性係数	= 200,000 N/mm ²
ε_{csd}'	: コンクリートの乾燥収縮及びクリープによるひび割れ幅の増加を考慮するための数値	= 100×10^{-6}

付表-23.4 下面ひび割れ幅の算定

		鉄筋の増加応力 σ_s (N/mm ²)	下面ひび割れ幅 w_l (mm)
温度 上昇時	中央部	144.8	$0.209 < w_{la} = 0.5$
	自由縁部	203.9	$0.284 < w_{la} = 0.5$
	継手近傍	149.0	$0.214 < w_{la} = 0.5$
温度 下降時	中央部	127.4	$0.187 < w_{la} = 0.5$
	自由縁部	162.2	$0.231 < w_{la} = 0.5$
	継手近傍	131.6	$0.192 < w_{la} = 0.5$

(8) 表面ひび割れ発生荷重の照査

表面ひび割れ発生荷重⁹⁾を算定し、脚荷重に対して 1.25 以上の安全率があることを確認した。

$$P_c = \left\{ \frac{4\pi}{1 - 4a/(3b')} + \frac{1.8(S + S_T)}{l - a/2} \right\} \cdot (M_r + M_r')$$

ここで、

P_c	: 表面ひび割れ発生荷重	= 1,952,139 N
a	: タイヤ接地半径	= 229 mm
b'	: $3.9 \cdot l$	= 3,416 mm
l	: 剛比半径	= 876 mm
S	: 複々車輪の横中心間隔	= 1,118 mm
S_T	: 複々車輪の縦中心間隔	= 1,473 mm
M_r	: 単位幅当たりのひび割れ抵抗モーメント	= 48,988.8 N・mm/mm
M_r'	: 単位幅当たりの破壊抵抗モーメント	= 48,988.8 N・mm/mm
P_g	: 脚荷重	= 910,000 N
P_c/P_g	: 表面ひび割れ発生荷重／脚荷重	= 2.14 > 1.25

算定に使用する $M_r(= M_r')$ は、コンクリートの曲げ引張強度からそり拘束応力（版表面において引張応力となる拘束応力＝中央部・温度下降時のそり拘束応力）を差し引いた残存強度から算定した。

$$M_r = M'_r = (f_{cb} - \sigma_{ti}) \cdot \frac{h^2}{6}$$

ここで,

f_{cb}	: 設計曲げ引張強度	= 6.4 N/mm ²
σ_{ti}	: コンクリート版中央部のそり拘束応力	
	温度下降時・版表面	= 1.297 N/mm ²
h	: コンクリート版厚	= 240 mm

(9) たわみ量の照査

コンクリート版中央部載荷時のたわみ量を算定し、1.25mm よりも小さいことを確認した.

$$w_i = \frac{F}{8 \cdot K_{75} \cdot l^2} \{1 - a_k^2 (0.217 - 0.367 \cdot \log_{10} a_k)\}$$

ここで,

w_i	: コンクリート版中央部載荷時のたわみ量	= 0.609 mm < 1.25 mm
F	: 等価単車輪荷重 (ESWL)	= 270,800 N
K_{75}	: 路盤の設計支持力係数	= 0.07 N/mm ³
l	: 剛比半径	= 876 mm
a_k	: 荷重分布パラメータ = r/l	= 0.285
r	: ESWL の接地半径	= 250 mm

23.2.2 継手の設計

(1) 継手間隔の照査

コッター式継手の間隔は、付録-14 ダウエルバーの設計法に準拠した。隅角部から離れた箇所におけるコッター式継手群の荷重伝達能力は設計荷重の 48%とし、1 組のコッター式継手が伝達する荷重は実験⁹⁴⁾で得られたせん断耐力と安全率から算定した。

$$S_c = \frac{1.8 \cdot l \cdot P_a}{0.48 \cdot P}$$

ここで、

S_c	: 継手間隔	= 773 mm
l	: 剛比半径	= 876 mm
P_a	: 1 組の継手が伝達する荷重 = V/γ	= 70,000 N
V	: 1 組の継手のせん断耐力	= 210,000 N
γ	: 安全率	= 3
P	: 設計荷重 (複々車輪のため車軸について二分し、 複車輪とみなして計算した等価單車輪荷重)	= 297,400 N

B747-400 の以下の諸元から、複車輪とみなして等価單車輪荷重を算定した。

P_g	: 脚荷重	= 910,000 N
P_g'	: 脚荷重/2	= 455,000 N
S	: 複車輪の横中心間隔	= 1,118 mm
ΣA_w	: 全タイヤ接地面積 = $A_w \times 2$ 輪	= 329,710 mm ²
S/l	= 1,118 / 876	= 1.276
$\Sigma A_w/l^2$	= 329,710 / 876 ²	= 0.430
P	= 455,000 / 1.53	= 297,400 N

以上の結果から、継手間隔を 750mm とした。

(2) 継手の照査

温度下降時における PRC 版の収縮変形が、路盤摩擦により拘束されるため継手に発生する軸引張応力を算定し、H 型金物及び C 型金物のアンカー長を照査した。

a) H 型金物の照査

H 型金物に発生する引張応力を算定し、許容引張応力以下であることを確認した。

$$\sigma_H = \frac{N_H}{A_H}$$

ここで,

$$\begin{aligned}
 \sigma_H &: \text{H 型金物に発生する引張応力} &= 82.7 \text{ N/mm}^2 \\
 & &< \sigma_{Ha} = 190 \text{ N/mm}^2 \\
 N_H &: \text{1 組の継手に作用する軸引張力} = \sigma_f \cdot A_{CH} &= 132,300 \text{ N} \\
 \sigma_f &: \text{コンクリート版の軸方向拘束応力} &= 0.735 \text{ N/mm}^2 \\
 & \quad \text{(23. 2. 1 (3) c) より)} \\
 A_{CH} &: \text{1 組の継手あたりのコンクリート断面積} &= 180,000 \text{ mm}^2 \\
 & \quad \text{(継手間隔 750mm×版厚 240mm)} \\
 A_H &: \text{H 型金物の断面積 (20mm×80mm)} &= 1,600 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

b) C 型金物のアンカー長の照査

C 型金物の必要アンカー長を算定し、標準アンカー長が必要アンカー長以上であることを確認した。

$$L_H = \frac{N_H}{f_{bok} \cdot l_{sa}}$$

ここで,

$$\begin{aligned}
 L_H &: \text{C 型金物の必要アンカー長} \\
 & \quad \text{ストレート型の場合} = 286 \text{ mm} \\
 & \quad \quad \quad < L = 450 \text{ mm} \\
 & \quad \text{テーパ型の場合} = 190 \text{ mm} \\
 & \quad \quad \quad < L = 270 \text{ mm} \\
 N_H &: \text{1 組の継手に作用する軸引張力} &= 132,300 \text{ N} \\
 & \quad \text{(23. 2. 2 (2) a) より)} \\
 f_{bok} &: \text{コンクリートの付着強度}^{98)} &= 4.2 \text{ N/mm}^2 \\
 & \quad = 0.28 \cdot f_{ck}^{1/3} \quad \text{ただし} \quad f_{bok} \leq 4.2 \text{ N/mm}^2 \\
 l_{sa} &: \text{C 型金物のアンカーの周長} = \pi \cdot D \\
 & \quad \text{ストレート型の場合} = 110 \text{ mm} \\
 & \quad \text{テーパ型の場合} = 166 \text{ mm} \\
 D &: \text{C 型金物のアンカーの直径} \\
 & \quad \text{ストレート型の場合} = 35 \text{ mm} \\
 & \quad \text{テーパ型の場合} = (D_{max} + D_{min})/2 \\
 & \quad \quad \quad = 53 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

付録-24 ヘリポート用舗装の構造設計

本付録は地盤上に設置されるヘリポートの舗装構造設計について記している。本付録に記載されていない事項は「付録-7 経験的設計法によるアスファルト舗装の構造設計」及び「付録-8 経験的設計法によるコンクリート舗装の構造設計」及び参考文献¹⁰¹⁾を参考にするといよい。

24.1 一般

ヘリポートの滑走路、誘導路、エプロン及びショルダーの舗装は、ヘリコプター荷重に対して適切な支持力を有する構造とする。

24.1.1 舗装種別

ヘリポートの滑走路、誘導路、エプロン及びショルダーではアスファルト舗装を採用することが多いが、給油を行うエプロンでは耐油性や難燃性の観点からコンクリート舗装や半たわみ性舗装が用いられる。ただし、半たわみ性舗装は、ひび割れからの角欠け・スキッドの接地による表面の荒れ等の劣化が進行しやすいため、耐久性が高いとは言えないことに留意する必要がある。半たわみ性舗装を採用する場合は舗装設計編Ⅱ-4.6を参考にするといよい。

24.1.2 設計荷重

就航予定を含むヘリコプターの中で、最大離陸重量が最も大きなヘリコプターが属する設計航空機荷重区分を付表-24.1から選択する。最大離陸重量が180kN以上のヘリコプターを想定する場合はLA-4として設計するといよい。それぞれの設計航空機荷重区分に属する主なヘリコプターは付表-24.2のとおりである。なお、以降に示すアスファルト舗装の基準舗装厚及びコンクリート舗装の版厚を算定する際に使用した荷重諸元は参考文献に記している¹⁰¹⁾。

付表-24.1 設計航空機荷重区分

設計航空機荷重区分	最大離陸重量
LH-A	110kN 以上 180 kN 未満
LH-B	40kN 以上 110 kN 未満
LH-C	40 kN 未満

24.1.3 設計供用期間

設計供用期間は舗装設計編Ⅰ-2.5を標準とする。

24.1.4 設計反復作用回数

ヘリコプターは施設上をホバリングすることも多く、設計反復作用回数の算出方法が確立していないこと、災害時には離陸重量の大きなヘリコプターが一時的に使用する可能性や粗暴な着陸による衝撃の可能性を勘案し、これまでの経験上、設計反復作用回数は10,000回/20年で十分であると考え、設計反復作用回数の算出は不要としている。以降に示すアスファルト舗装の基準舗装厚及びコンクリート版厚は設計反復作用回数10,000回/20年として算定した。

付表-24.2 主なヘリコプターの設計航空機荷重区分

設計航空機 荷重区分	機材名	主脚
LH-A	アグスタ AW101	タイヤ (1脚2輪×2脚)
LH-B	アグスタ/レオナルド AW139 エアバス・ヘリコプターズ AS365N2, AS365N3 エアバス・ヘリコプターズ H155, H215, H225 カマン K-1200 カモフ Ka-32 シコルスキ S-76A+, S-76D レオナルド (アグスタ・ウエストランド) AW169	タイヤ (1脚1輪×2脚)
	ベル 412, 412EP	スキッド
	ベル 430	スキッド 又は タイヤ (1脚1輪×2脚)
LH-C	アグスタ AW119Kc エアバス・ヘリコプターズ AS355F2, Bo105C エアバス・ヘリコプターズ H145, H135, H130 エアバス・ヘリコプターズ H125, H120 エンストロム 480B/TH480B, 280FX 川崎 BK117B-1, BK117C-1, BK117C-2 シュワイザー269D-A ヒューズ 269C, 369E ベル 206B, 206L-3, 407, 427, 429, 505 富士ベル 204B マクドネル・ダグラス MD-900 MD ヘリコプターズ 600N ロビンソン R66, R44 II, R44 アストロ/レイベン ロビンソン R22Beta/Mariner	スキッド
	アグスタ 109A II, A109E アグスタ/レオナルド AW109SP	タイヤ (1脚1輪×2脚)

※日本航空機全集 2022 に掲載されている最大離陸重量を基に整理した。

24.2 ヘリポート用アスファルト舗装

24.2.1 基準舗装厚

ヘリポート用アスファルト舗装では、滑走路、誘導路、エプロンの基準舗装厚は付表-24.3を、ショルダーの基準舗装厚は本体である滑走路、誘導路、エプロンの基準舗装厚の50%を標準とする。

付表-24.3 基準舗装厚（単位：cm）

路床の 設計 CBR (%)	設計航空機荷重区分		
	LH-A	LH-B	LH-C
2	86	69	40
2.5	76	61	35
3	69	56	31
3.5	63	51	29
4	58	48	26
4.5	55	45	24
5	51	42	23
6	46	38	20
7	41	35	20
8	38	33	20
9	35	32	20
10 以上	32	32	20

24.2.2 層構成

ヘリポート用アスファルト舗装では、表層及び基層の厚さは付表-24.4を、上層路盤の厚さは付表-24.5を標準とする。基準舗装厚から表層、基層、上層路盤（粒状材とした場合）の厚さを引いた残りが下層路盤厚となる。路盤の最小厚は舗装設計編 表Ⅱ-2.1の右欄を標準とする。

付表-24.4 表基層厚（単位：cm）

設計航空機荷重区分	表基層合計厚
LH-A	9 (5)
LH-B	8 (5)
LH-C	4 (4)

(注) LH-A 及び LH-B の場合で粒状路盤直上に舗設を行う場合は、締固め度が得られやすいよう、表層と基層に分けることが望ましい。ショルダーに対しては（）内の数字を用いる。

付表-24.5 上層路盤厚（単位：cm）

設計航空機 荷重区分	路床の設計 CBR (%)									
	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8 以上
LH-A	20 (15)									15 (15)
LH-B	20 (15)									15 (15)
LH-C	10 (10)									

（注）ショルダーに対しては（）内の数字を用いる。

24.3 ヘリポート用コンクリート舗装

24.3.1 路盤厚

ヘリポート用コンクリート舗装では、滑走路、誘導路、エプロン、ショルダーの路盤厚は「付録-8 経験的設計法によるコンクリート舗装の構造設計」によることを標準とする。路盤の最小厚は舗装設計編 IV-2.2.2 を標準とする。

24.3.2 コンクリート版厚

ヘリポート用コンクリート舗装では、滑走路、誘導路、エプロン、ショルダーのコンクリート版厚は付表-24.6 を標準とする。

付表-24.6 コンクリート版厚（単位：cm）

設計航空機荷重区分	コンクリート版厚
LH-A	18 (15)
LH-B	17 (15)
LH-C	15 (15)

（注）路盤の設計支持力係数を 70MN/m^3 ，

コンクリートの設計曲げ強度を 5.0N/mm^2 とした場合の版厚である。

その他の設計条件の場合は参考文献¹⁰¹⁾に記載の方法で算出できる。

ショルダーに対しては（）内の数字を用いる。

参考文献

- 1) 八谷好高ほか：空港アスファルト舗装の表面性状の実態，土木学会舗装工学論文集，第 11 巻，2006.
- 2) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，2007.
- 3) 土木学会：多層弾性理論による舗装構造解析入門，舗装工学ライブラリー3，2005.
- 4) H.R.B: Factor Involved in Design of Asphaltic Pavement Surfaces, NCHRP 39, 1967.
- 5) 牛尾俊介：アスファルト舗装のわだち掘れ予測手法に関する研究，土木学会論文報告集，第 323 号，1982.
- 6) 日本道路協会：舗装設計便覧，pp.115-116，2006.
- 7) 日本道路協会：舗装再生便覧（令和 6 年版），2024.
- 8) 須田熙ほか：空港アスファルト舗装構造の設計法に関する一提案，港湾技研資料，No.54，p.74，1968.
- 9) 佐藤勝久ほか：空港舗装用安定処理土の基本的性質，港湾技研資料，No.598，pp.3-18，1987.
- 10) 高速道路調査会・アスファルト舗装追跡調査結果解析班：アスファルト舗装追跡調査解析結果報告書，p.238，1976.
- 11) 須田熙，佐藤勝久：多層系路盤面上における K 値の推定方法に関する研究，土質工学会論文報告集，Vol.13，No.1，pp.107-150，1973.
- 12) たとえば，内田一郎：道路舗装の設計法，森北出版，p.77，1962.
- 13) 日本道路協会：道路土工—盛土工指針，2010.
- 14) 久保宏ほか：凍結指数と道路の凍結深さについて，第 11 回日本道路会議一般論文集，pp.365-366，1973.
- 15) Horonjeff, R.: Planning and Design of Airports, McGraw-Hill Book Company, p.464, 1962.
- 16) 八谷好高，梅野修一：航空機走行位置分布の実態と舗装構造への影響，港湾技研資料，No.757，1996.
- 17) 姫野賢治，丸山暉彦，菅原照雄：パソコン用多層弾性構造解析システム（ELSA）の開発，第 18 回日本道路会議一般論文集，pp.338-339，1989.
- 18) 田中淳七郎ほか：ソイルセメントを用いたアスファルト舗装の供用成績調査，道路，pp.46-56，1968.
- 19) 福手勤ほか：路面性状による空港舗装の供用性評価，港湾技研資料，No.414，1982.
- 20) 久保宏ほか：美々試験道路の調査結果について，第 12 回日本道路会議論文集，pp.147-148，1975.
- 21) 坪川将丈ほか：日温度変化による空港コンクリート舗装の温度応力に関する研究，土木学会舗装工学論文集，第 12 巻，2007.
- 22) U.S. Army: Flexible Airfield Pavements, Air Force, TM 5-824-2, Reprint of Former EM 1110-45-302, p.231, 1958.
- 23) 運輸省港湾技術研究所滑走路研究室：大型航空機の就航する空港における舗装の破損状況調査，第 9 回港湾土木工事報告会資料，p.19，1974.

- 24) 平沢正通ほか：東北高速道コンクリート舗装の目地の設計施工，舗装，Vol.10，No.7，pp.8-14，1975.
- 25) 森口拓：空港コンクリート舗装の構造設計法に関する一考察，港湾技研資料，No.82，p.18，1969.
- 26) 河村直哉，坪川将丈：アスファルト混合物の養生等がグルーピングの塑性変形抵抗性に及ぼす影響，舗装，Vol.53，No.5，2018.
- 27) 竹下春見：道路工学，金原出版，p.276，1966.
- 28) 佐藤勝久：CBR 法によるアスファルト舗装厚設計のためのたわみ係数表，港湾技研資料，No.81，p.58，1969.
- 29) 須田熙：空港瀝青舗装の舗装厚設計法に関する調査研究，港湾技研資料，No.52，p.105，1968.
- 30) Civil Aeronautics Administration, U.S. Department of Commerce: Airport Paving, pp.1-56, 1956.
- 31) Fadden. G.F. et al: Discussion for Flexible Pavement, ASCE, Transaction, Vol.115, pp.575-589, 1950.
- 32) U.S. Army: Rigid Airfield Pavement, Air Force, TM 5-824-3, p.84, 1958.
- 33) Federal Aviation Administration: Airport Pavement Design and Evaluation, AC150/5320-6C, p.159, 1978.
- 34) 日本セメント協会：AASHO 道路試験，p.246，1966.
- 35) 須田熙，佐藤勝久：空港舗装における各種路盤の“等価値”に関する提案，土木学会論文報告集，第 218 号，pp.53-65，1973.
- 36) 佐藤勝久，福手勤，佐藤峰夫：潜在水硬性材料の空港舗装路盤としての評価，港湾技術研究所報告，Vol.16，No.4，pp.35-66，1977.
- 37) ACI Committee 325: Recommended Practice for Design of Concrete Pavements, Journal of ACI, pp.17-51, 1958.
- 38) Portland Cement Association: Design of Concrete Airport Pavements, p.61, 1973.
- 39) 赤塚雄三，飯島尚：無筋コンクリート舗装の設計方法に関する研究－空港舗装に関する調査研究（第 2 報），港湾技研資料，No.50，p.82，1968.
- 40) 福手勤：空港コンクリート舗装厚設計への電算プログラムの応用，港湾技研資料，No.262，1977.
- 41) Harvey J.T. et al: Effect of Load Placement on Rigid Pavement, Proc. of ASCE, Vol.97, No.TE4, pp.681-702, 1971.
- 42) 佐藤勝久ほか：沈下したプレストレストコンクリート舗装版のリストアップ工法の開発，港湾技術研究所報告，Vol.28，No.2，pp.49-76，1989.
- 43) 福手勤ほか：第Ⅲ種設計法によるスラブの空港舗装への適用性に関する研究，港湾技術研究所報告，Vol.18，No.3，pp.37-63，1979.
- 44) ACI Committee : Recommendations for Designing Prestressed Concrete Pavements, ACI Structural Journal, July - August, pp.451-471, 1988.
- 45) 新東京国際空港公団：空港基本施設（舗装・照明）解析作業，1988.
- 46) 新東京国際空港公団：室内拘束試験報告書，1988.

- 47) 福田正：コンクリート舗装の荷重分散機構に関する研究，土木学会論文報告集，No.242，pp.63-72，1975.
- 48) 福手勤：コンクリート舗装の解析法における最近の進歩，道路とコンクリート，No.57，pp.25-30，1982.
- 49) 日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱，pp.203-207，1984.
- 50) 佐藤良一ほか：連続鉄筋コンクリート舗装モデル供試体のせん断伝達特性，セメントコンクリート論文集，1990.
- 51) Ryoichi Sato et al.: Development of New Design Method for Control of Cracking in Continuously Reinforced Concrete Pavement, 4th International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, pp.431-443, 1989.
- 52) 赤塚雄三：鉄筋コンクリート舗装の設計法に関する調査研究－空港舗装に関する調査研究（第3報）港湾技研資料，No.46，p.38，1968.
- 53) 八谷好高ほか：コンクリート舗装用グラウト材の品質，港湾技研資料，No.818，1995.
- 54) Hachiya, Y. et al.: Jointing system for precast concrete slab pavement, 4th International Workshop on the Design theory and Their Verification of Concrete Slabs for Pavements and Railroads, 1998.
- 55) 国土交通省航空局：陸上空港の施設の設置基準と解説，2019.
- 56) 国土交通省航空局：空港土木施設設計要領（構造設計編），2019.
- 57) 国土交通省航空局：空港土木施設設計要領（施設設計編），2019.
- 58) 国土交通省航空局：空港土木工事共通仕様書，2019.
- 59) 国土交通省航空局：空港土木施設施工要領，2009.
- 60) 佐藤勝久，福手勤，佐藤峰夫：空港アスファルト舗装におけるグルーピングの安定性に関する研究，港湾技研資料，No.308，1978.
- 61) 航空保安協会：グルーピング滑走路の安全性に関する第二次調査研究報告書，1986.
- 62) 梅野修一，八谷好高，藤倉豊吉，横田弘：空港滑走路のすべり抵抗性，港湾技研資料，No.846，1996.
- 63) 八谷好高，佐藤勝久，田中考士：コンクリート舗装構造の非破壊評価法の開発－フォーリング・ウェイト・デフレクトメーターによる－，港湾技術研究所報告，第26巻，第2号，pp.465-492，1987.
- 64) 八谷好高，上中正志：空港コンクリート舗装の目地・ひびわれ部の挙動－荷重伝達機能と版厚算定法への反映－，港湾技研資料，No.710，1991.
- 65) 八谷好高，高橋修，坪川将丈：FWDによる空港アスファルト舗装の非破壊構造評価，土木学会論文集，No.662，Vol.49，pp.169-183，2000.
- 66) 坪川将丈，八谷好高，水上純一：FWDによる空港舗装構造評価システムの開発，土木学会舗装工学論文集，第10巻，2005.
- 67) 坪川将丈，水上純一：熱赤外線画像による空港舗装の層間剥離検出法に関する研究，土木学会舗装工学論文集，第12巻，2007.
- 68) 前川亮太，蘇凱，水上純一，坪川将丈：空港アスファルト舗装剥離の非破壊探査方法の提案，港湾空港技術研究所，Vol.48，No.4，2009.

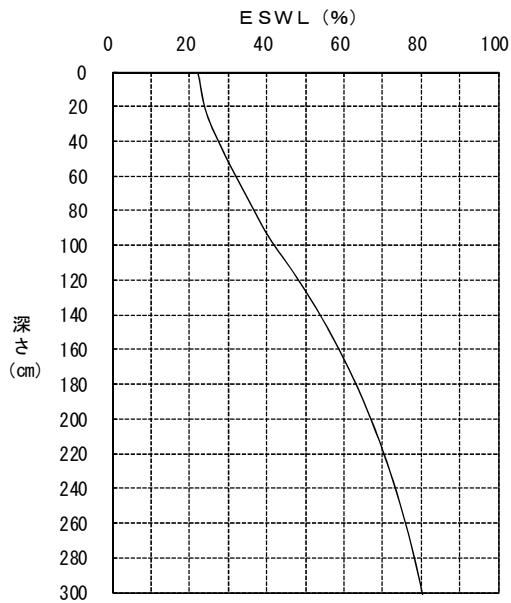
- 69) 虫明成生, 坪川将丈, 水上純一: 熱赤外線画像による層間剥離検出の適用性向上のための基礎検討, 土木学会第 63 回年次学術講演会, 2008.
- 70) 高速道路総合技術研究所: 第 1 編土質関係試験方法, 2010.
- 71) 高速道路総合技術研究所: 第 2 編アスファルト舗装関係試験方法, 2010.
- 72) 八谷好高: 空港舗装の路面性状の実態, 港湾技研資料, No.634, p.40, 1988.
- 73) 久保宏, 八谷好高, 長田雅人, 平尾利文, 浜昌志: 最近の空港アスファルト舗装の損傷と改良工法について, 土木学会舗装工学論文集, 第 9 巻, 2004.
- 74) 小林雄二, 水上純一, 坪川将丈, 江崎徹: 空港アスファルト舗装の層間付着に関する実験的検討, 国土技術政策総合研究所資料, No.469, 2008.
- 75) 八谷好高, 野田工: アスファルトコンクリートの層間付着におけるタックコートの効果, 港湾技研資料, No.827, 1996.
- 76) 八谷好高, 梅野修一, 今井泰男, 中村健, 室園正徳: 空港アスファルト舗装の新しいタックコート材料の開発, 港湾技研資料, No.885, 1997.
- 77) 瀧口高, 江口秀二, 茂崎慎治, 福岡知久: シックリフト工法の空港誘導路舗装への適用, 土木学会舗装工学論文集, 第 10 巻, 2005.
- 78) 坪川将丈, 小林雄二, 水上純一: 空港アスファルト舗装施工時の舗装温度解析プログラムの開発, 土木学会第 63 回年次学術講演会, 2008.
- 79) 八谷好高, 水上純一, 坪川将丈, 江崎徹, 野田悦郎, 中丸貢, 東滋夫: 空港コンクリート舗装の薄層付着オーバーレイに関する研究, 国土技術政策総合研究所, 研究報告, 第 30 号, 2006.
- 80) 松井邦人, 井上武美, 三瓶辰之: 舗装各層の弾性係数を表面たわみから推定する一手法, 土木学会論文集, 第 420 号, Vol.13, pp.107-114, 1990.
- 81) 菊田征勇, MAINA James, 松井邦人, 董勤喜: 複数の時系列データを用いた舗装構造の動的逆解析, 土木学会論文集, No.760, Vol.63, pp.223-230, 2004.
- 82) 小澤良明, 篠原裕貴, 松井邦人, 東滋夫: 波動理論を用いた逆解析による粘弾性多層体の構造評価, 土木学会論文集 E 編, Vol.64, No.4, pp.533-540, 2008.
- 83) ICAO: Attachment A-5 Runway Surface Evenness, Annex 14 Volume I Aerodrome Design and Operation, 5th Edition, 2009.
- 84) Federal Aviation Bureau: AC150/5380-9 Guidelines and Procedures for Measuring Airfield Pavement Roughness, 2009.
- 85) 河村直哉ほか: 空港舗装の既設アスファルト混合物に対するはく離抵抗性評価方法の適用検討, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.72, No.3, 2016.
- 86) 増田達, 坪川将丈, 河村直哉: 空港アスファルト舗装のわだち掘れ量算出手法に関する検討, 国土技術政策総合研究所資料, No.1002, 2018.
- 87) 飯高裕之, 澤智之, 小滝康陽: 分解促進型タックコート工法の開発, 第 31 回日本道路会議一般論文集, 2015.
- 88) 奥村尋己, 田上重夫, 間瀬隆司: 分解促進機構を利用した環境に優しいタックコートの開発, 第 32 回日本道路会議一般論文集, 2017.

- 89) 若山裕泰, 波岡雅昭: 名古屋空港におけるプレキャスト舗装版の補修対策と追跡調査の結果について, 第 20 回空港技術報告会, 2019.
- 90) 河村直哉, 坪川将丈: 既設舗装から回収したアスファルトの DSR 試験によるひび割れ抵抗性評価の検討, 土木学会第 75 回年次学術講演会, 2020.
- 91) 佐藤信彦監修: 舗装技術の質疑応答, 第 6 巻, pp.257-259, 1991.
- 92) 大塚徳之, 天野喜勝, 神谷誠, 富永直輝, 岡田圭亮, 佐藤伸一, 齊藤かおる: 東京国際空港国際線エプロン半たわみ舗装のひび割れ防止対策, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015.
- 93) 坪川将丈: コンクリート舗装の Westergaard 載荷公式及び剛比半径の考察, 国土技術政策総合研究所資料, 2022.
- 94) 八谷好高, 元野一生, 伊藤彰彦, 田中秀樹, 坪川将丈: RC プレキャスト版舗装による空港誘導路の急速補修, 土木学会論文集 F, Vol.62, No.2, 2006.
- 95) 藤原慎八: 高強度 PRC 版に使用するコッター式継手の改良開発, 第 22 回空港技術報告会論文集, 2021.
- 96) 公益社団法人土木学会: 2014 年制定 舗装標準示方書, p.52, 2015.
- 97) 福手勤, 佐藤勝久, 山崎英男: 第Ⅲ種設計法による PC スラブの空港舗装への適用性に関する研究, 港湾技術研究所報告, Vol.18, No.3, 1979.
- 98) 公益社団法人土木学会: 2017 年制定 コンクリート標準示方書【設計編】, p.39, 2018.
- 99) 福呂篤史: アスファルト混合物の一層最大施工厚緩和にともなう試験施工, 第 23 回空港技術報告会, 2022.
- 100) 竹林宏樹, 高橋茂樹, 加藤亮, 馬場弘毅: アスファルト舗装の長寿命化に向けた施工継目の構造改善に関する取り組み, インフラメンテナンス実践研究論文集, Vol.1, No.1, 2022.
- 101) 坪川将丈: ヘリポート用舗装の構造設計法, 国土技術政策総合研究所資料, No.1238, 2023.
- 102) 河村直哉, 坪川将丈: 空港の無筋コンクリート舗装工事に用いるコンクリートの配合に関する調査, 国土技術政策総合研究所資料, No.1265, 2024.
- 103) 田中俊哉, 鈴木とおる: 仙台空港における空港舗装長寿命化に向けた特殊改質アスファルト混合物の施工事例, 第 24 回空港技術報告会, 2023.

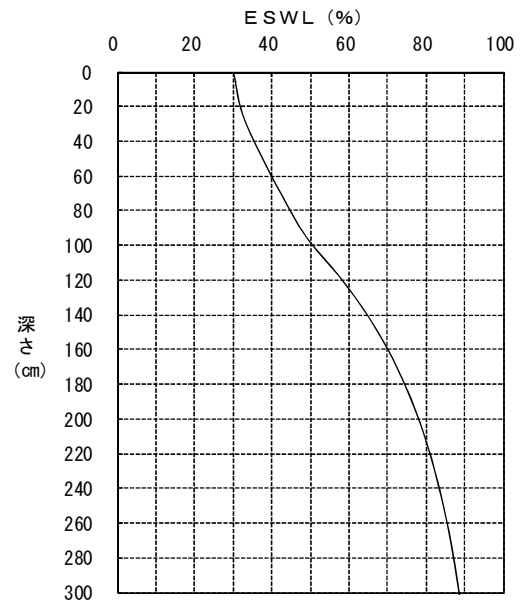
設計例

例-1 付録-6 の方法による各航空機の ESWL 曲線算定結果（アスファルト舗装）

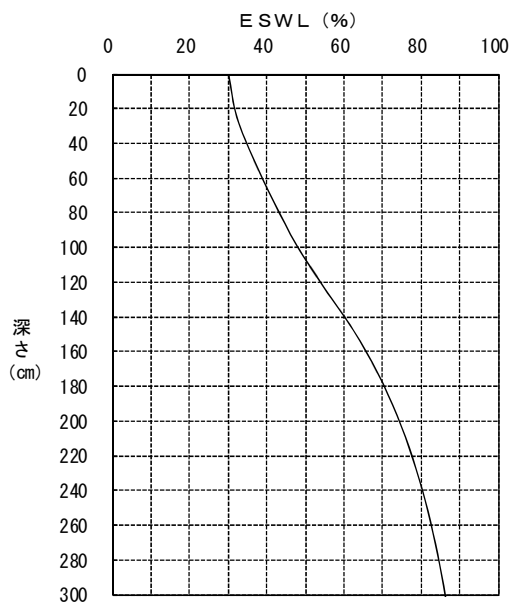
「付録-7 経験的設計法によるアスファルト舗装の構造設計」で必要となる ESWL 曲線を「付録-6 ESWL の求め方」に準じて求めた結果を例図-1.1～例図-1.44 に示す。



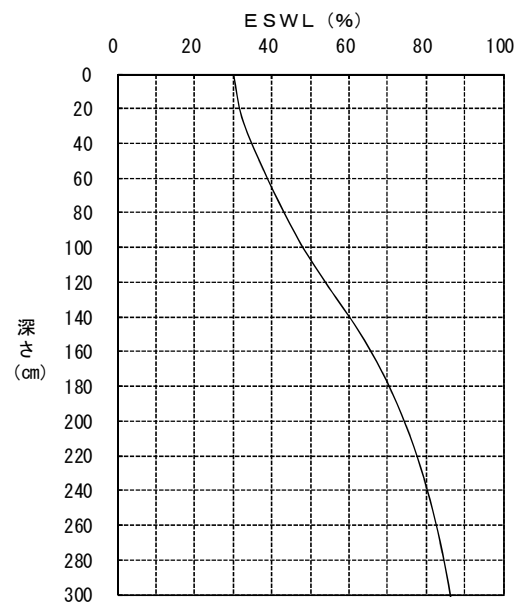
例図-1.1 A380-800 (ボディギア)



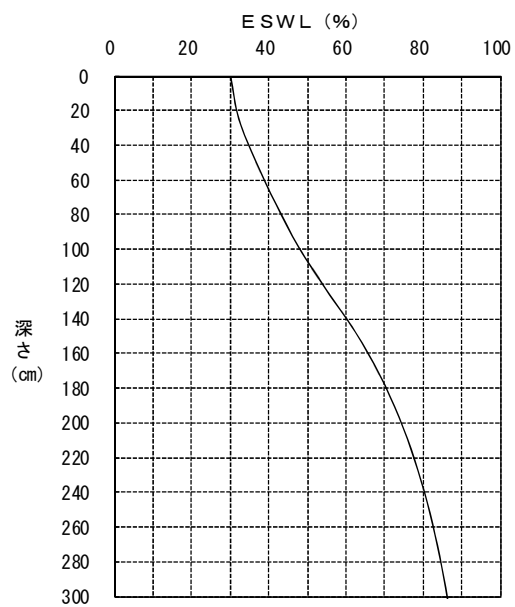
例図-1.2 A380-800 (ウイングギア)



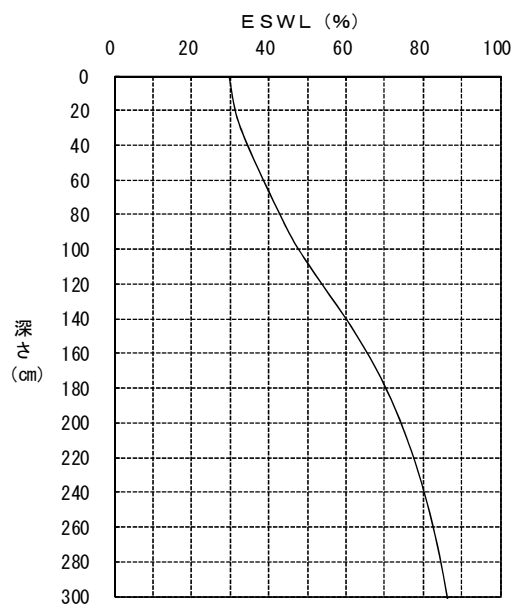
例図-1.3 A330-200



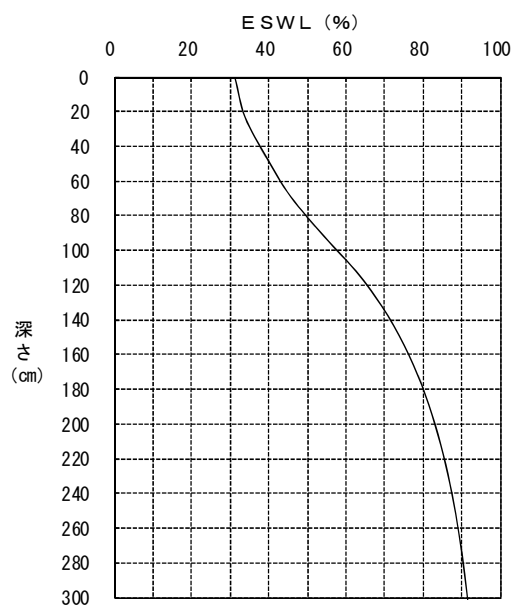
例図-1.4 A330-300



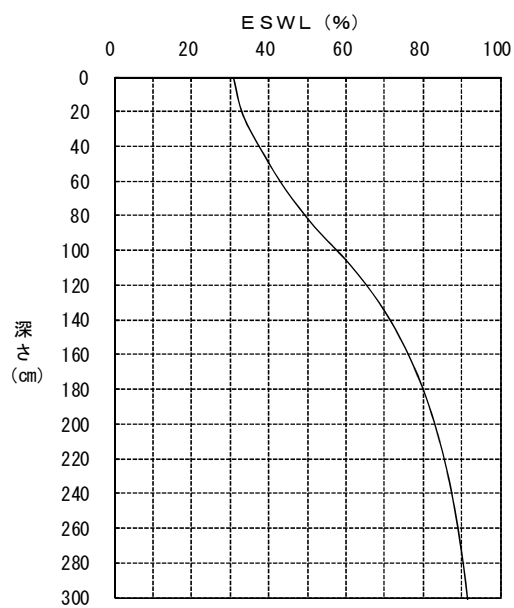
例図-1.5 A340-300 (ウイングギア)



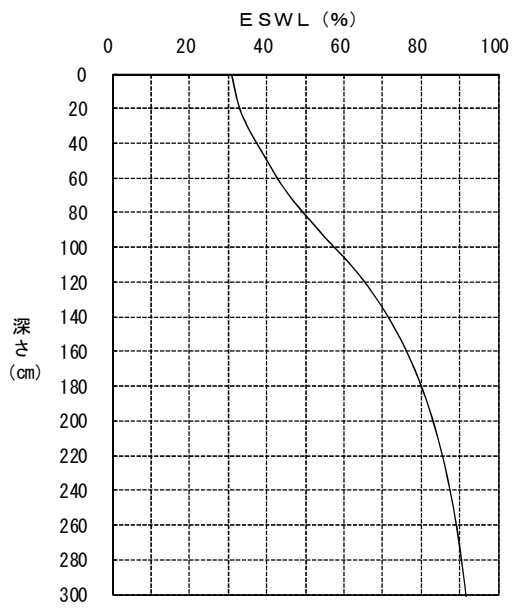
例図-1.6 A340-600 (ウイングギア)



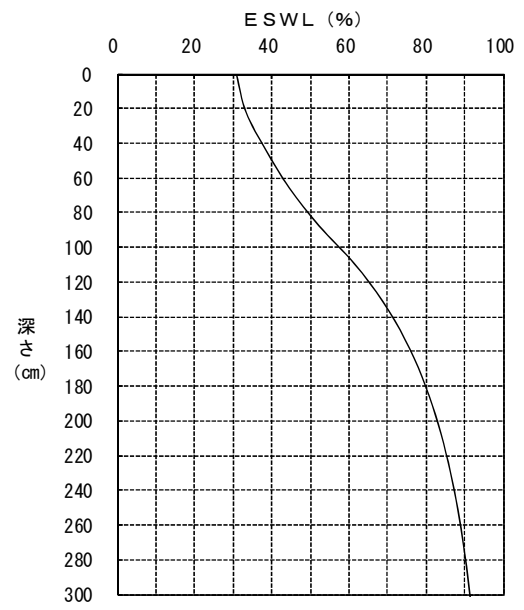
例図-1.7 B747-400



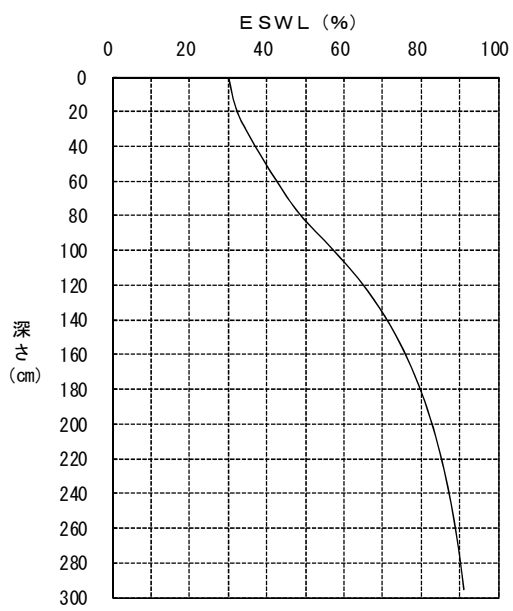
例図-1.8 B747-400D



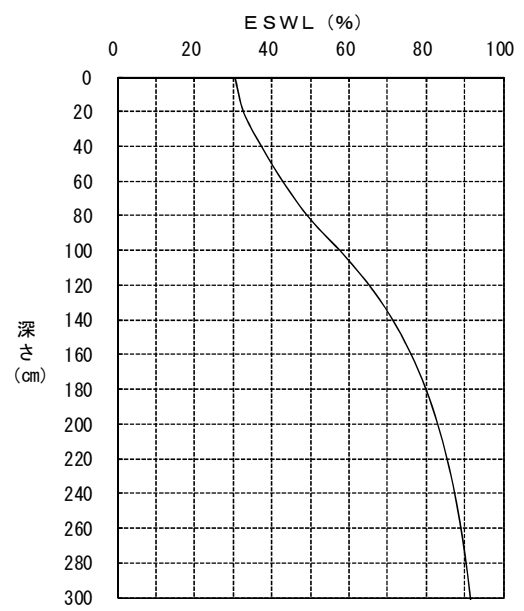
例図-1.9 B747-300



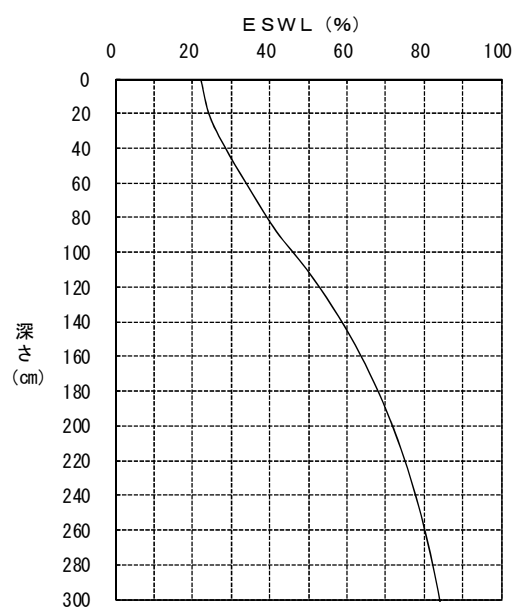
例図-1.10 B747-200B



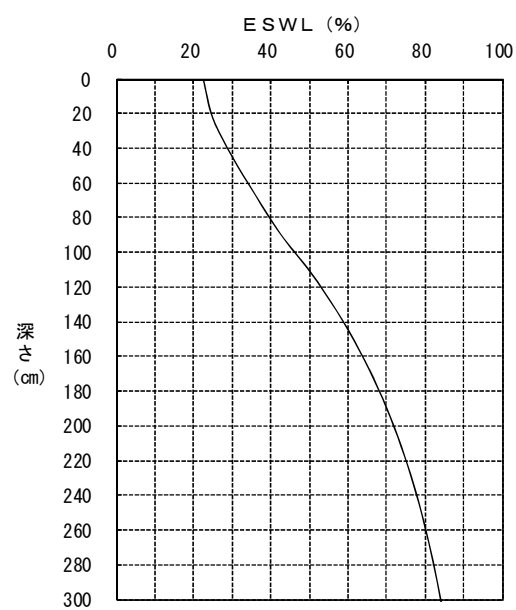
例図-1.11 B747-100



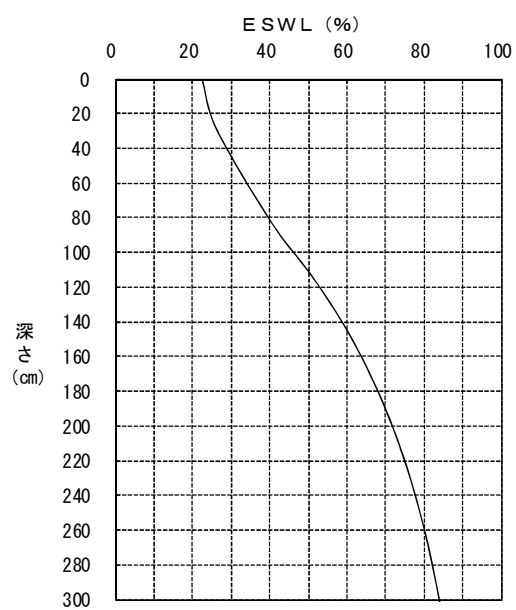
例図-1.12 B747-SR



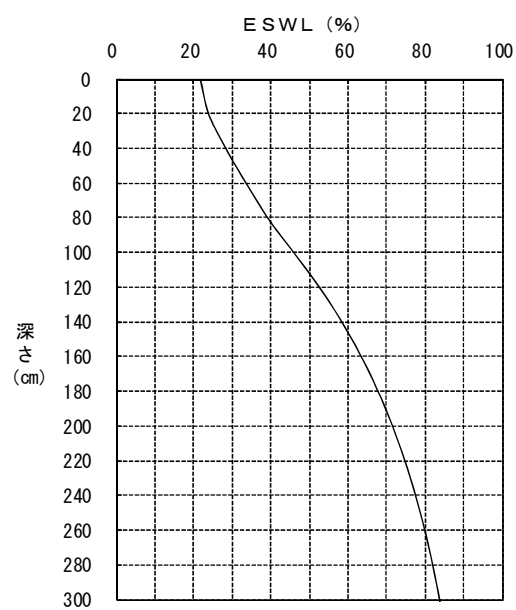
例図-1.13 B777-200



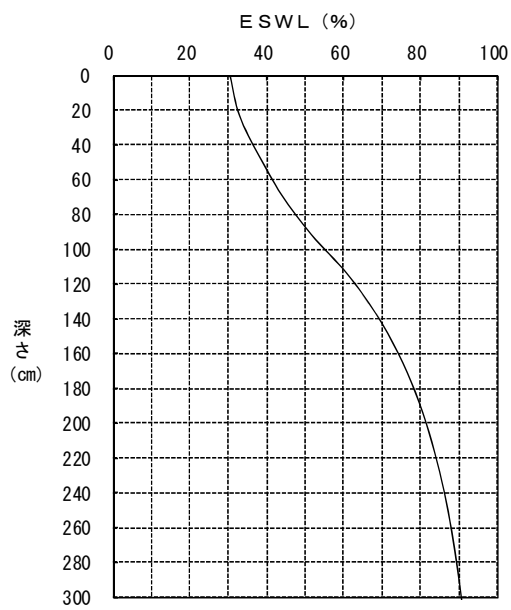
例図-1.14 B777-200ER



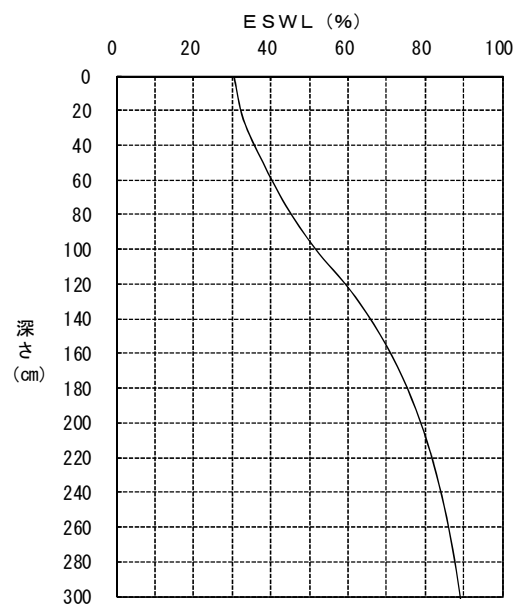
例図-1.15 B777-300



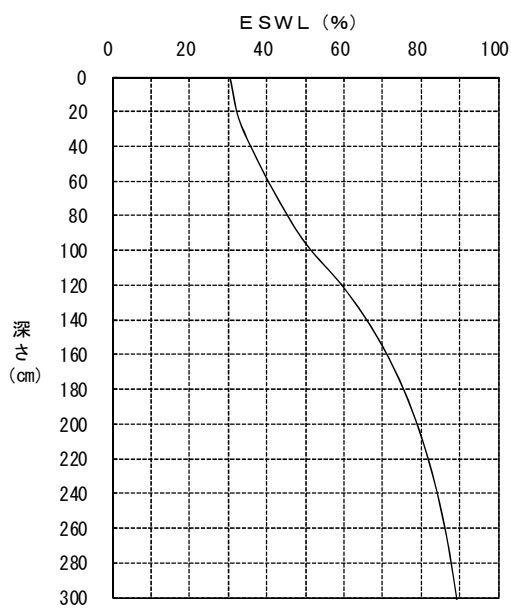
例図-1.16 B777-300ER



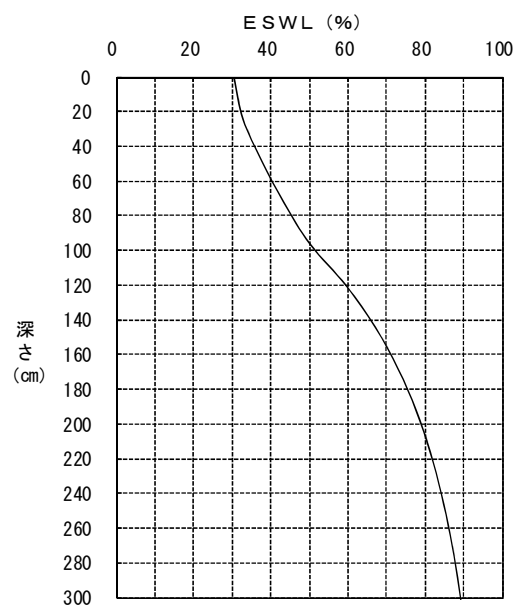
例図-1.17 B787-8



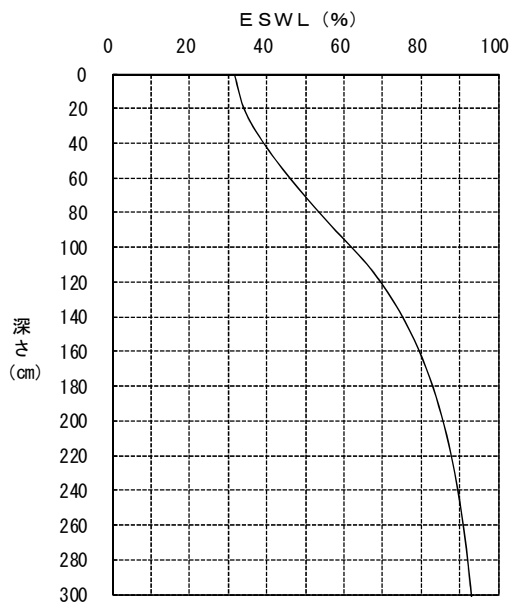
例図-1.18 MD11 (ウイングギア)



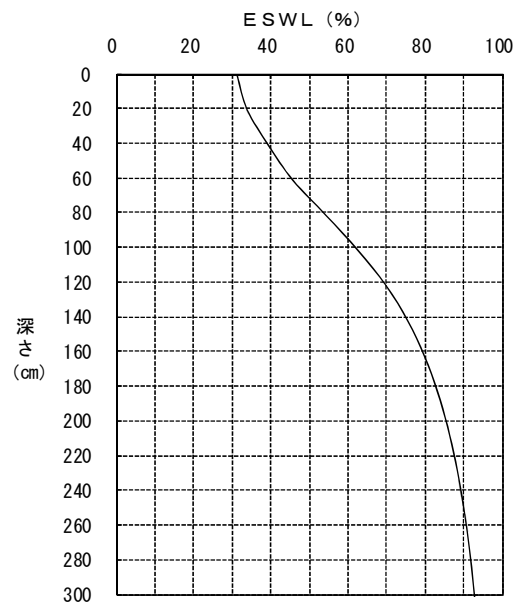
例図-1.19 DC10-30 (ウイングギア)



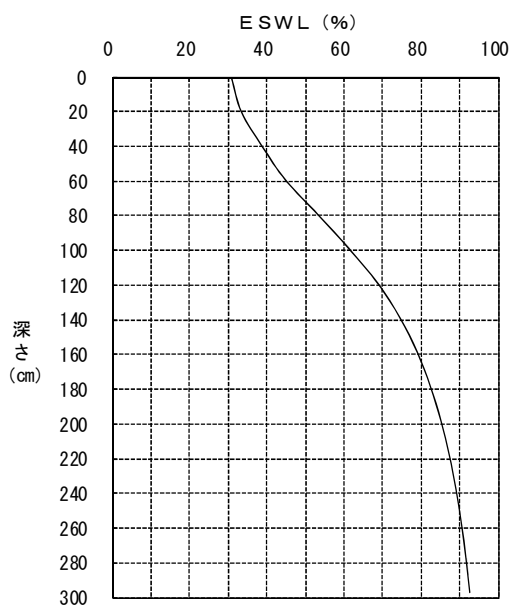
例図-1.20 DC10-40 (ウイングギア)



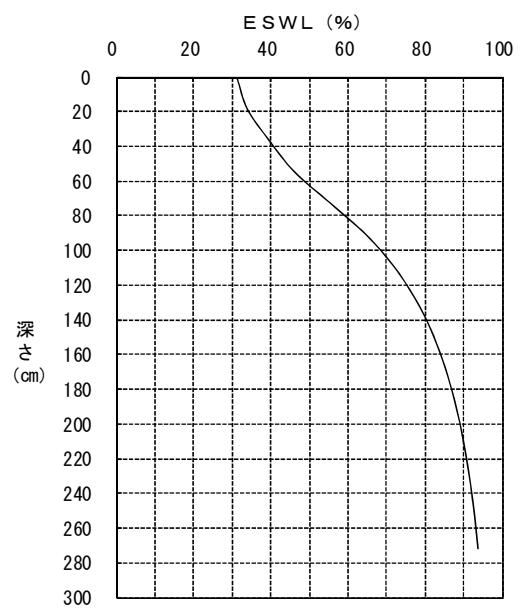
例図-1.21 A300-600



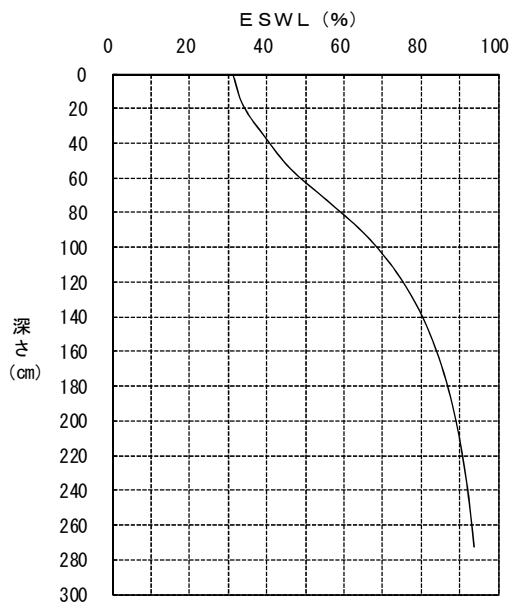
例図-1.22 A300-B4



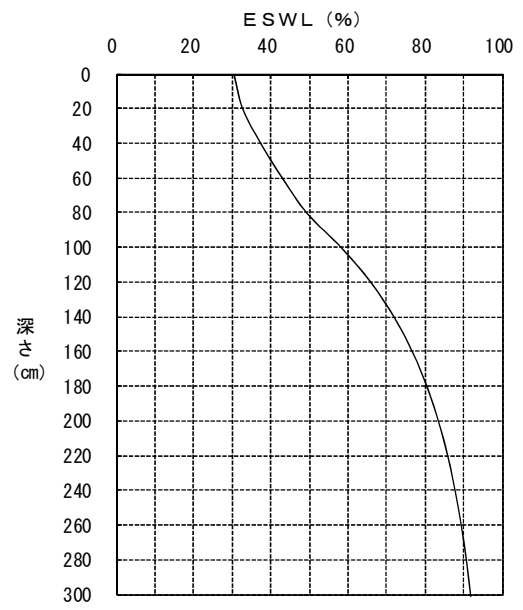
例図-1.23 A300-B2



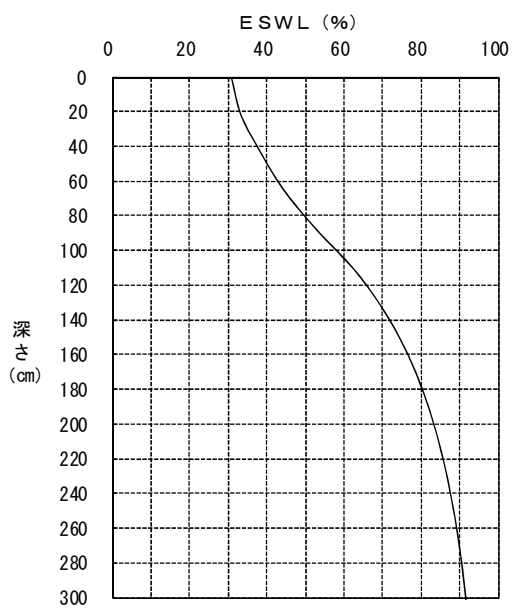
例図-1.24 B757-200



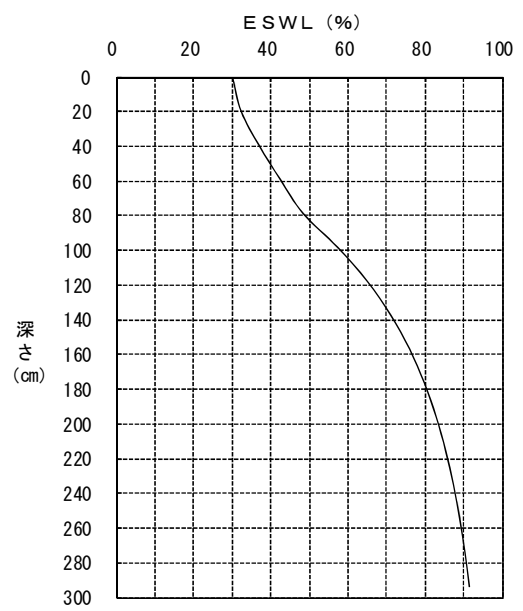
例図-1.25 B757-300



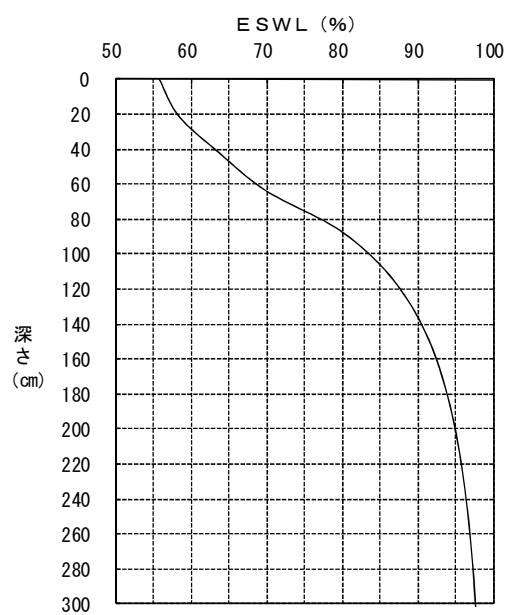
例図-1.26 B767-300



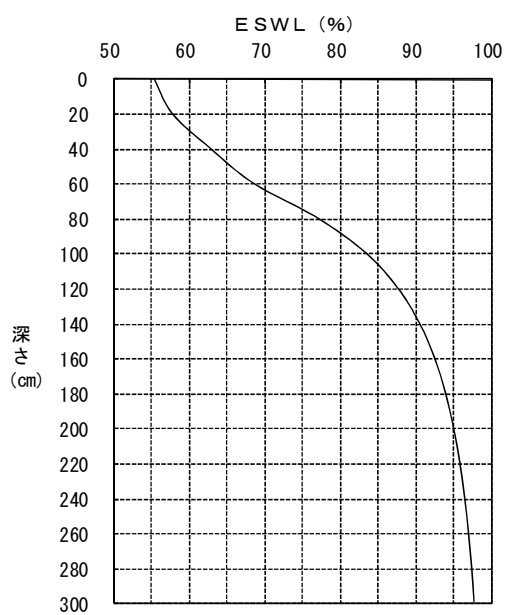
例図-1.27 B767-300ER



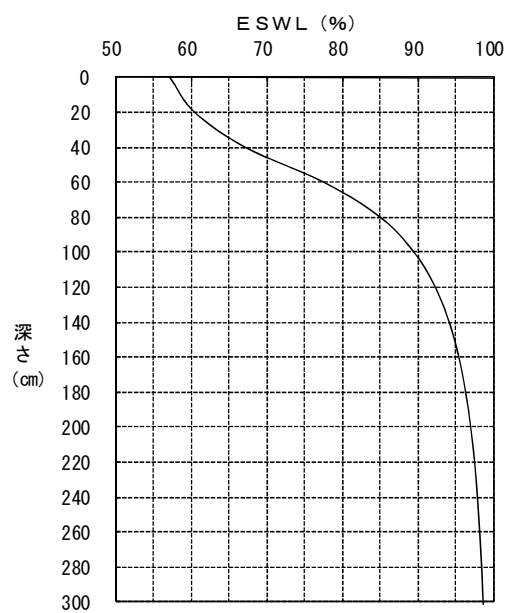
例図-1.28 B767-200



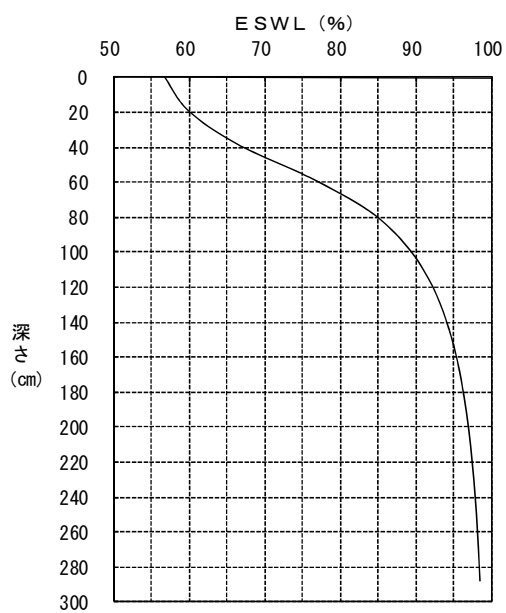
例図-1.29 A321-200



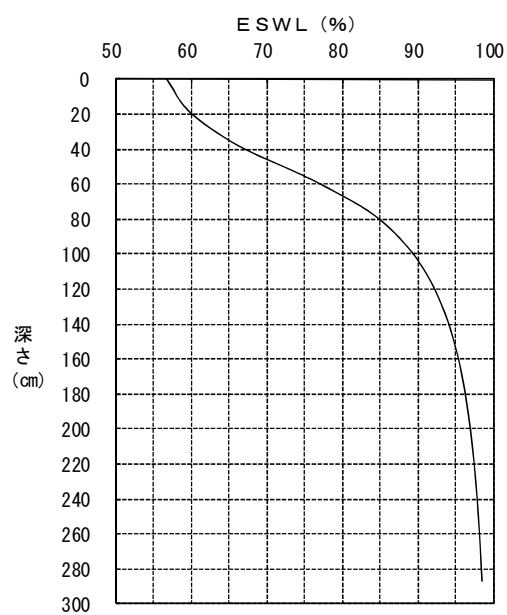
例図-1.30 A320-200



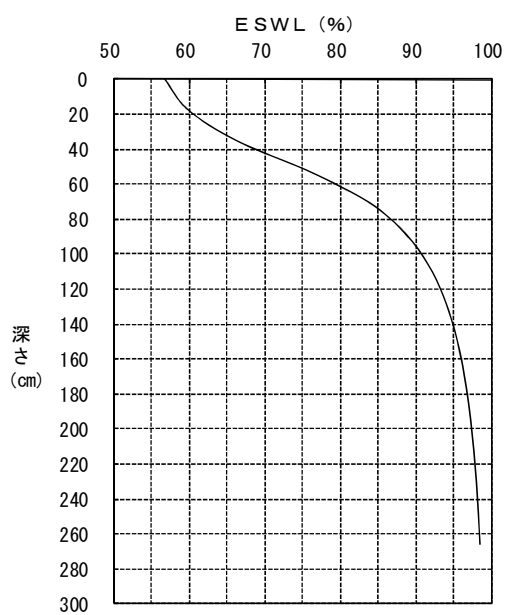
例図-1.31 MD90-30



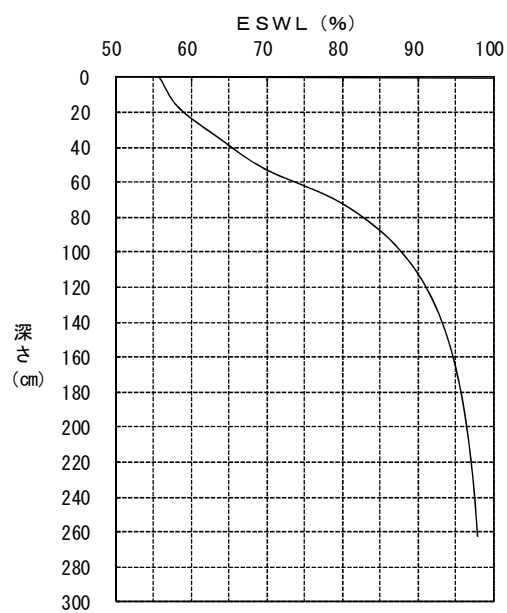
例図-1.32 MD81



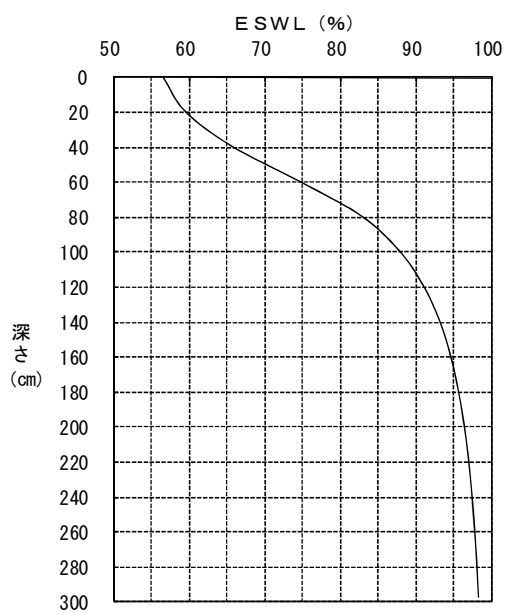
例図-1.33 MD87



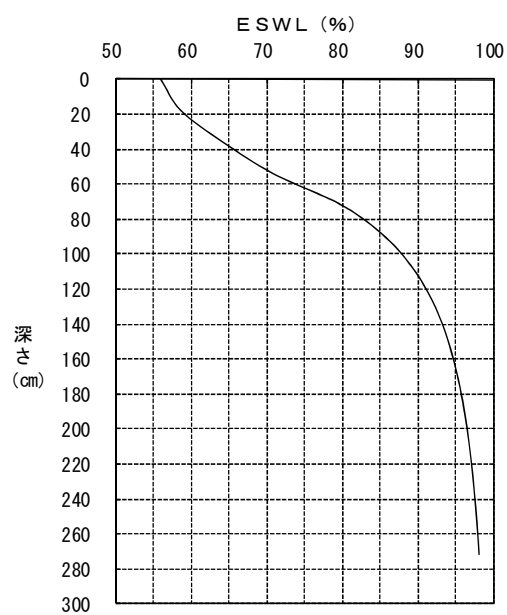
例図-1.34 DC9-41



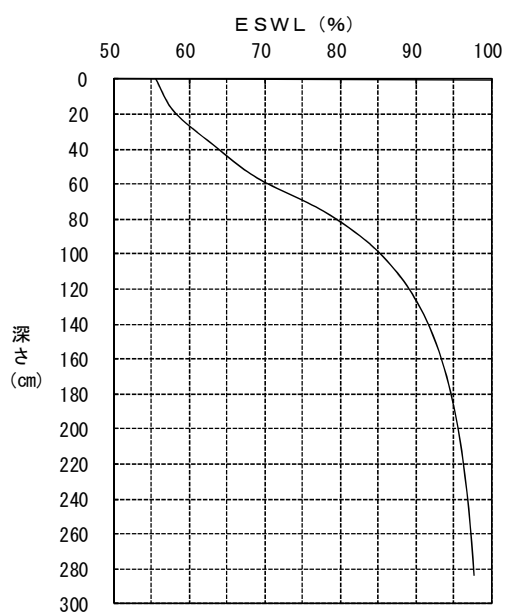
例図-1.35 B737-200



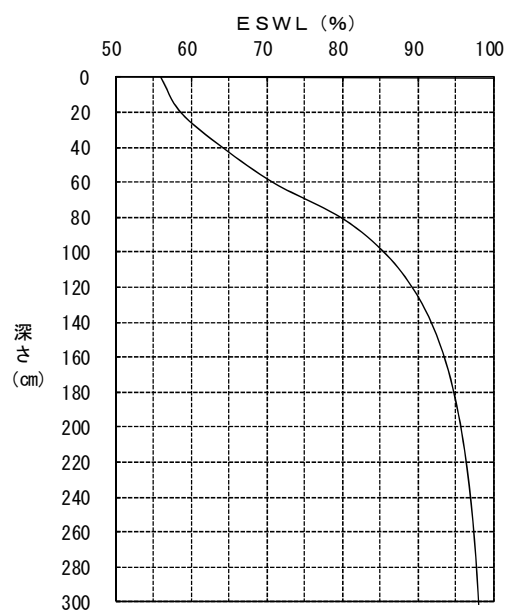
例図-1.36 B737-400



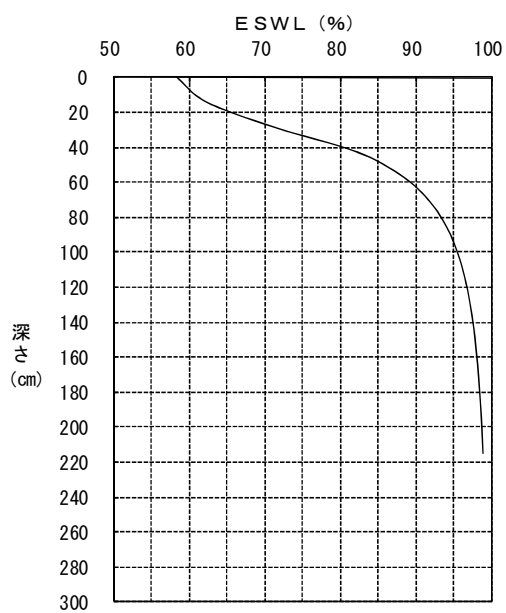
例図-1.37 B737-500



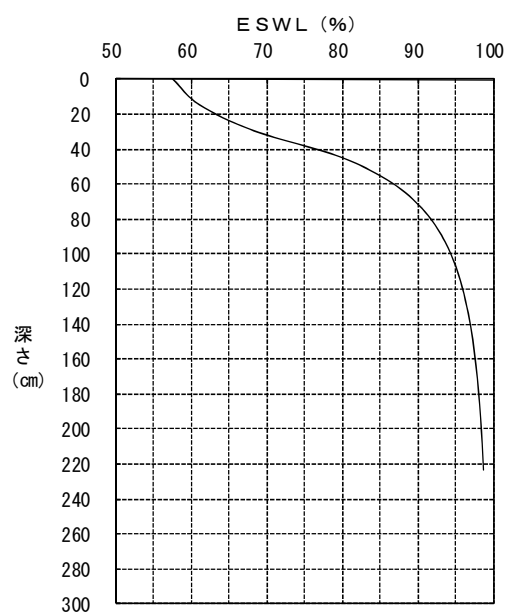
例図-1.38 B737-700



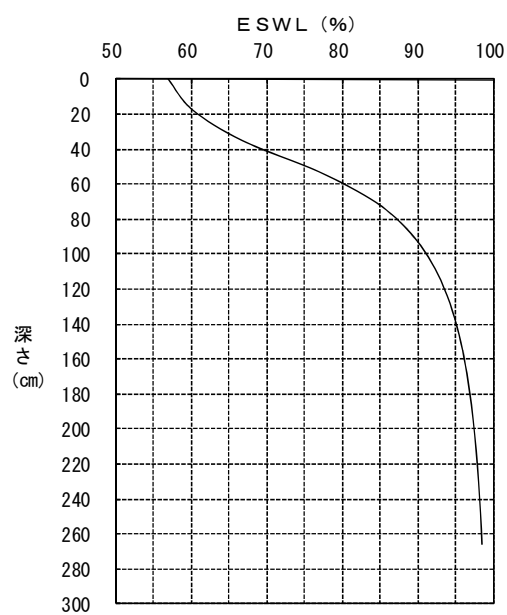
例図-1.39 B737-800



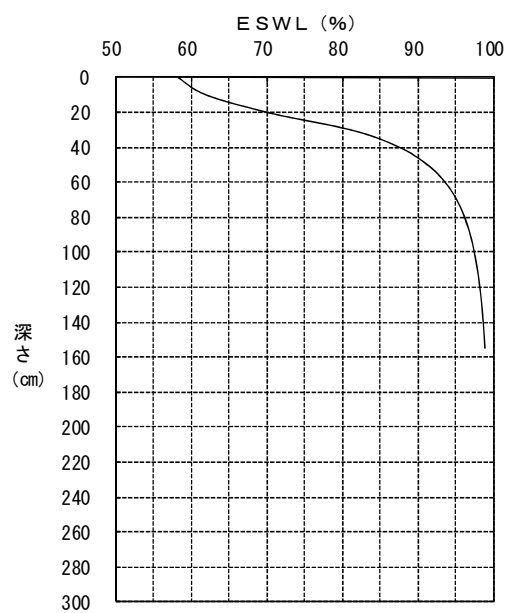
例図-1.40 DHC8-300



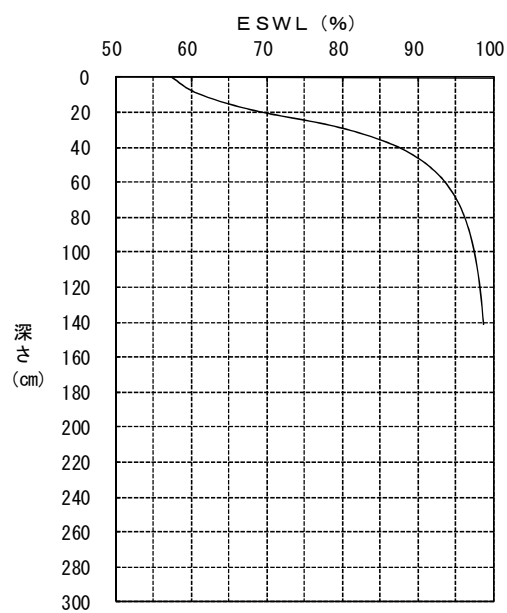
例図-1.41 DHC8-400



例図-1.42 YS-11



例図-1.43 N24A



例図-1.44 BN-2A

例-2 付録-7の方法によるアスファルト舗装の基準舗装厚算定結果

「付録-7 経験的設計法によるアスファルト舗装の構造設計」に記載されているアスファルト舗装の基準舗装厚算定方法による算定結果を例表-2.1～例表-2.10に示す。

例表-2.1 LA-1の基準舗装厚（単位：cm）

路床の 設計CBR	設計反復作用回数の区分				
	a	b	c	d	e
	6000回	10000回	20000回	40000回	80000回
2	253	267	285	304	322
2.5	223	235	251	268	284
3	201	211	226	240	255
3.5	183	192	206	219	232
4	168	177	189	202	214
4.5	156	164	176	187	198
5	145	153	164	174	185
6	128	135	144	154	163
7	114	120	129	137	145
8	103	108	116	123	131
9	93	98	105	112	119
10	86	90	96	102	109
11	79	83	89	95	101
12	74	78	83	89	94
13	69	73	78	83	88
14	65	69	74	78	83
15	62	65	70	75	79
16	59	62	67	71	75
17	57	60	64	68	72
18	54	57	61	65	69
19	52	55	59	63	66
20以上	50	53	57	60	64

例表-2.2 LA-12の基準舗装厚（単位：cm）

路床の 設計CBR	設計反復作用回数の区分				
	a	b	c	d	e
	6000回	10000回	20000回	40000回	80000回
2	220	231	247	263	279
2.5	193	203	218	232	246
3	173	183	195	208	221
3.5	158	166	178	189	201
4	145	152	163	174	184
4.5	134	141	151	161	171
5	125	131	141	150	159
6	110	115	123	131	139
7	98	103	110	117	124
8	88	93	99	105	112
9	80	84	90	96	102
10	74	78	83	88	94
11	68	72	77	82	87
12	64	67	72	76	81
13	60	63	67	72	76
14	57	60	64	68	72
15	54	57	61	65	68
16	51	54	58	62	65
17	49	52	55	59	62
18	47	50	53	56	60
19	45	48	51	54	58
20以上	44	46	49	52	55

例表-2.3 LA-2 の基準舗装厚
(単位 : cm)

路床の 設計CBR	設計反復作用回数の区分		
	a	b	c
	6000回	10000回	20000回
2	152	160	171
2.5	135	142	151
3	121	128	136
3.5	111	117	125
4	102	108	115
4.5	95	100	107
5	89	94	100
6	79	83	89
7	72	75	81
8	65	69	73
9	60	63	68
10	56	59	63
11	53	55	59
12	50	52	56
13	47	50	53
14	45	47	51
15	43	45	48
16	41	43	46
17	40	42	44
18以上	38	40	43

例表-2.4 LA-3 の基準舗装厚
(単位 : cm)

路床の 設計CBR	設計反復作用回数の区分		
	a	b	c
	6000回	10000回	20000回
2	133	140	150
2.5	118	125	133
3	107	113	121
3.5	98	103	111
4	91	96	103
4.5	85	90	96
5	80	84	90
6	72	76	81
7	65	69	73
8	60	63	67
9	55	58	62
10	52	54	58
11	48	51	54
12	45	48	51
13	43	45	48
14	41	43	46
15	39	41	44
16以上	37	39	41

例表-2.5 LA-4 の基準舗装厚
(単位 : cm)

路床の 設計CBR	設計反復作用回数の区分		
	a	b	c
	6000回	10000回	20000回
2	99	104	111
2.5	88	92	99
3	79	84	89
3.5	73	77	82
4	67	71	76
4.5	63	66	71
5	59	62	67
6	53	56	60
7	48	51	54
8	44	46	50
9	41	43	46
10	38	40	42
11	35	37	40
12以上	33	35	37

例表-2.6 LSA-1 の基準舗装厚
(単位 : cm)

路床の 設計CBR	設計反復作用回数の区分		
	a	b	c
	6000回	10000回	20000回
2	43	46	49
2.5	38	40	43
3	35	37	39
3.5	32	33	36
4	29	31	33
4.5	28	29	31
5	26	27	29
6	23	24	26
7以上	21	22	23

例表-2.7 LSA-2 の基準舗装厚
(単位 : cm)

路床の 設計CBR	設計反復作用回数の区分		
	a	b	c
	6000回	10000回	20000回
2	35	37	39
2.5	30	32	34
3	27	28	30
3.5	24	25	27
4	22	23	24
4.5以上	20	21	22

例表-2.8 LT-1 の基準舗装厚
(単位 : cm)

路床の 設計CBR	設計反復作用回数の区分		
	a	b	c
	6000回	10000回	20000回
2	96	101	108
2.5	85	89	96
3	77	81	87
3.5	71	75	80
4	66	69	74
4.5	62	65	69
5	58	61	65
6	52	55	59
7	48	50	54
8	44	46	49
9	41	43	46
10	38	40	43
11	35	37	40
12以上	33	35	37

例表-2.9 LT-12 の基準舗装厚
(単位 : cm)

路床の 設計CBR	設計反復作用回数の区分		
	a	b	c
	6000回	10000回	20000回
2	81	85	91
2.5	72	75	81
3	65	68	73
3.5	60	63	67
4	56	58	63
4.5	52	55	59
5	49	52	55
6	44	46	50
7	40	42	45
8	37	39	42
9	34	36	39
10以上	32	34	36

例表-2.10 LT-2 の基準舗装厚
(単位 : cm)

路床の 設計CBR	設計反復作用回数の区分		
	a	b	c
	6000回	10000回	20000回
2	51	54	58
2.5	46	48	51
3	41	44	47
3.5	38	40	43
4	35	37	40
4.5	33	35	37
5	31	33	35
6以上	28	29	31

例-3 航空機及びトーイングトラクターの荷重諸元

各航空機の諸元（総重量，主脚荷重，主脚車輪の配置型式，車輪中心間隔，タイヤ接地圧，タイヤ接地面積，タイヤ接地幅）を**例表-3.1**に示す．

- (注1) 本数値は，航空機製造会社のパンフレット，航空会社の資料などによる数値である．
- (注2) タイヤ接地圧は，
タイヤ内圧 $\geq 1.23\text{N/mm}^2$ の場合，タイヤ内圧に等しい．
タイヤ内圧 $< 1.23\text{N/mm}^2$ の場合，タイヤ内圧の1.1倍とした．¹⁾
- (注3) W：ウイングギア，B：ボディギア，Cはセンターギアを意味する．
- (注4) 接地半径は $\sqrt{\text{接地面積}/\pi}$ ，接地幅は $0.8298 \times \sqrt{\text{接地面積}}$ ，
接地長は接地面積 $\div$ 接地幅とした．¹⁾

例表-3.1に関連して，脚の配置型式を**例図-3.1**に，主脚車輪の配置型式を**例図-3.2**に，タイヤの接地形状を**例図-3.3**に示す．また，**例表-3.2**には，現在使用されているトーイングトラクターの主なものの諸元を示す．

なお，LA-1に属する機種で国内線対応となるものの離陸時重量が，その機種の最大離陸重量と著しく異なる場合（例えば，国際線・国内線の両方に使用されるB-777，B-787等を国内線に使用する場合），離陸時脚荷重は着陸時脚荷重 $\times 1.05$ を用いるものとする．

参考文献

- 1) 須田熙ほか：航空機タイヤの平均接地圧に関する一考察，港湾技術研究所報告，Vol.9，No.2，pp.39-59，1970．

例表-3.1(1) 航空機の荷重諸元(1)

設計荷重の区分		LA-1												
航空機の種類		A380-800	A330-200	A330-300	A340-300	A340-600	B747-400	B747-400D	B747-300	B747-200B	B747-100	B747-SR	B777-200	B777-200ER
航空機コード		F	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
総質量(t)	満載時	562.0	233.9	233.9	275.9	369.2	396.0	278.3	379.1	352.8	323.4	273.5	243.5	287.8
	着陸時	386.0	182.0	187.0	192.0	259.0	285.8	260.4	274.4	255.8	255.8	255.8	201.8	208.7
	燃料非積載時	361.0	170.0	175.0	181.0	245.0	246.1	242.7	256.2	238.8	238.8	220.0	190.5	195.0
脚荷重(kN)	満載時	W:1,049 B:1,573	1,083	1,096	W:1,082 C:396	W:1,166 C:1,048	910	658	846	817	740	646	1,140	1,323
	着陸時	W:720 B:1,080	843	876	W:753 C:276	W:818 C:735	656	615	612	593	586	604	944	959
	燃料非積載時	W:673 B:1,010	787	820	W:710 C:260	W:774 C:696	565	573	572	553	547	519	891	896
車輪の配置形式		W:複々車輪 B:1脚6輪	複々車輪	複々車輪	W:複々車輪 B:複車輪	W:複々車輪 B:複々車輪	複々車輪	複々車輪	複々車輪	複々車輪	複々車輪	複々車輪	1脚6輪	1脚6輪
横断方向の主車輪数		8	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	4	4
複車輪の横中心間隔S(cm)		W:135.0 B:153.0	139.7	139.7	W:139.7 C:96.5	W:139.7 C:117.6	111.8	111.8	111.8	111.8	111.8	111.8	140.0	140.0
複々車輪の縦中心間隔S _Y (cm)		W:170.0 B:340.0	198.1	198.1	198.1	W:198.1 C:198.1	147.3	147.3	147.3	147.3	147.3	147.3	290.0	290.0
タイヤ内圧(N/mm ²)		W:1.50 B:1.50	1.42	1.45	W:1.42 C:1.09	W:1.61 C:1.61	1.38	1.03	1.31	1.37	1.51	1.12	1.26	1.41
タイヤ接地圧(N/mm ²)		W:1.50 B:1.50	1.42	1.45	W:1.42 C:1.20	W:1.61 C:1.61	1.38	1.13	1.31	1.37	1.51	1.23	1.26	1.41
タイヤ接地面積A(cm ²)	満載時	W:1,747 B:1,747	1,908	1,890	W:1,908 C:1,650	W:1,814 C:1,627	1,652	1,460	1,618	1,489	1,225	1,317	1,508	1,567
	着陸時	W:1,200 B:1,200	1,486	1,510	W:1,324 C:1,150	W:1,273 C:1,143	1,188	1,363	1,618	1,080	974	1,228	1,246	1,135
	燃料非積載時	W:1,120 B:1,120	1,387	1,414	W:1,254 C:1,083	W:1,205 C:1,081	1,022	1,265	1,092	1,007	907	1,057	1,183	1,057
タイヤ接地幅(cm)	満載時	W:34.7 B:34.7	36.2	36.1	W:36.2 C:33.7	W:35.3 C:33.5	33.7	31.7	33.4	32.0	29.0	30.1	32.2	32.8
	着陸時	W:28.7 B:28.7	32.0	32.2	W:30.2 C:28.1	W:29.6 C:28.1	28.6	30.6	28.4	27.3	25.9	29.1	29.3	28.0
	燃料非積載時	W:27.8 B:27.8	30.9	31.2	W:29.4 C:27.3	W:28.8 C:27.3	26.5	29.5	27.4	26.3	25.0	27.0	28.5	27.0
タイヤ接地長さ(cm)	満載時	W:50.3 B:50.3	52.7	52.4	W:52.7 C:49.0	W:51.4 C:48.6	49.0	46.1	48.4	46.5	42.2	43.8	46.8	47.8
	着陸時	W:41.8 B:41.8	46.4	46.9	W:43.8 C:40.9	W:43.0 C:40.7	41.5	44.5	41.1	39.6	37.6	42.2	42.5	40.5
	燃料非積載時	W:40.3 B:40.3	44.9	45.3	W:42.7 C:39.7	W:41.8 C:39.6	38.6	42.9	39.9	38.3	36.3	39.1	41.5	39.1
タイヤ接地半径(cm)	満載時	W:23.6 B:23.6	24.6	24.5	W:24.6 C:22.9	W:24.0 C:22.8	22.9	21.6	22.7	21.8	19.7	20.5	21.9	22.3
	着陸時	W:19.5 B:19.5	21.7	21.9	W:20.5 V:19.1	W:20.1 V:19.1	19.4	20.8	19.3	18.5	17.6	19.8	19.9	19.0
	燃料非積載時	W:18.9 B:18.9	21.0	21.2	W:20.0 C:18.6	W:19.6 C:18.5	18.0	20.1	18.6	17.9	17.0	18.3	19.4	18.3
脚配置形式		B747型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	DC10型	DC10型	B747型	B747型	B747型	B747型	B747型	B747型	2脚3輪車型	2脚3輪車型
脚中心間隔(cm)		S1=526 S2=360 S3=328	1,068	1,068	1,068	1,068	S1=384 S2=358 S3=307	S1=384 S2=358 S3=307	S1=384 S2=358 S3=307	S1=384 S2=358 S3=307	S1=384 S2=358 S3=307	S1=384 S2=358 S3=307	1,097	1,097

例表-3.1(2) 航空機の荷重諸元(2)

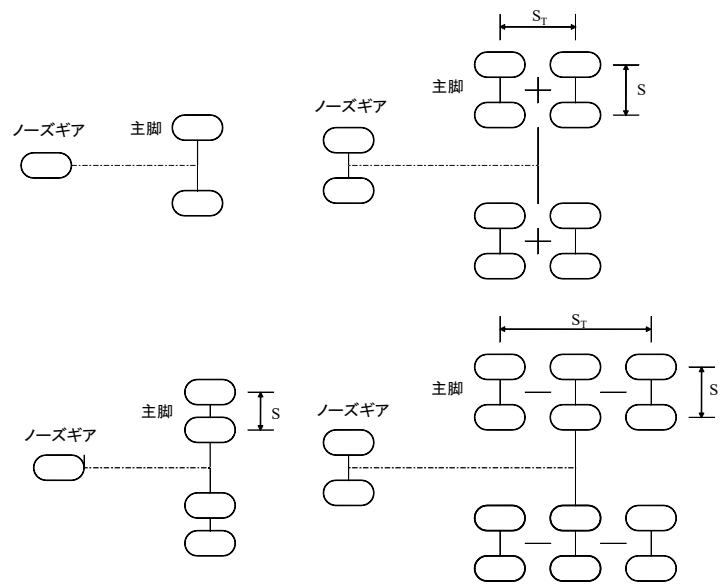
設計荷重の区分		LA-1						LA-12								LA-2
航空機の種類		B777-300	B777-300ER	B787-8	MD11	DC10-30	DC10-40	A300-600	A300-B4	A300-B2	B757-200	B757-300	B767-300	B767-300ER	B767-200	A321-200
航空機コード		E	E	E	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	C
総質量(t)	満載時	300.3	352.4	228.4	287.1	253.1	253.1	165.9	150.9	137.9	116.1	122.9	143.9	187.3	137.0	89.4
	着陸時	237.7	251.3	172.4	195.0	182.8	182.8	138.0	133.0	130.0	95.3	101.6	136.1	145.2	122.5	75.5
	燃料非積載時	224.5	237.7	161.0	181.4	166.9	166.9	130.0	122.0	120.5	85.3	95.3	126.1	133.8	112.5	71.5
脚荷重(kN)	満載時	1396	1598	1022	W:1,092 C:473	W:973 C:421	W:973 C:421	773	690	630	519	558	670	849	630	416
	着陸時	1105	1139	771	W:742 C:321	W:703 C:304	W:703 C:304	643	608	594	426	461	634	658	564	351
	燃料非積載時	1044	1078	721	W:690 C:299	W:642 C:278	W:642 C:278	606	557	550	382	432	587	606	518	333
車輪の配置形式		1脚6輪	1脚6輪	複々車輪	W:複々車輪 C:複車輪	W:複々車輪 C:複車輪	W:複々車輪 C:複車輪	複々車輪	複々車輪	複々車輪	複々車輪	複々車輪	複々車輪	複々車輪	複々車輪	複車輪
横断方向の主車輪数		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
複車輪の横中心間隔S(cm)		140.0	140.0	129.5	W:137.2 C:95.3	W:137.2 C:95.3	W:137.2 C:95.3	92.7	92.7	92.7	86.0	86.0	114.3	114.3	114.3	92.7
複々車輪の縦中心間隔S _Y (cm)		290.0	293.0	146.1	162.6	162.6	162.6	139.7	139.7	139.7	114.0	114.0	142.2	142.2	142.2	-
タイヤ内圧(N/mm ²)		1.48	1.52	1.57	W:1.41 C:1.25	W:1.22 C:1.06	W:1.22 C:1.06	1.28	1.34	1.16	1.26	1.34	1.21	1.38	1.31	1.46
タイヤ接地圧(N/mm ²)		1.48	1.52	1.57	W:1.41 C:1.25	W:1.34 C:1.17	W:1.34 C:1.17	1.28	1.34	1.28	1.26	1.34	1.33	1.38	1.31	1.46
タイヤ接地面積A(cm ²)	満載時	1,574	1,750	1,631	W:1,936 C:1,896	W:1,813 C:1,803	W:1,813 C:1,803	1,508	1,291	1,234	1,032	1,045	1,263	1,536	1,206	1,425
	着陸時	1,243	1,250	1,229	W:1,319 C:1,288	W:1,313 C:1,299	W:1,313 C:1,299	1,258	1,134	1,164	849	858	1,195	1,196	1,076	1,205
	燃料非積載時	1,176	1,184	1,146	W:1,227 C:1,200	W:1,201 C:1,188	W:1,201 C:1,188	1,188	1,037	1,078	762	806	1,105	1,101	992	1,144
タイヤ接地幅(cm)	満載時	32.9	34.7	33.5	W:36.5 C:36.1	W:35.3 C:35.2	W:35.3 C:35.2	32.2	29.8	29.1	26.7	26.8	29.5	32.5	28.8	31.3
	着陸時	29.3	29.3	29.1	W:30.1 C:29.8	W:30.1 C:29.9	W:30.1 C:29.9	29.4	27.9	28.3	24.2	24.3	28.7	28.7	27.2	28.8
	燃料非積載時	28.5	28.6	28.1	W:29.1 C:28.7	W:28.8 C:28.6	W:28.8 C:28.6	28.6	26.7	27.2	22.9	23.6	27.6	27.5	26.1	28.1
タイヤ接地長(cm)	満載時	47.8	50.4	48.7	W:53.0 C:52.5	W:51.4 C:51.2	W:51.4 C:51.2	46.8	43.3	42.4	38.7	39.0	42.8	47.3	41.9	45.5
	着陸時	42.4	42.7	42.2	W:43.8 C:43.2	W:43.6 C:43.4	W:43.6 C:43.4	42.8	40.6	41.1	35.1	35.3	41.6	41.7	39.6	41.8
	燃料非積載時	41.3	41.4	40.8	W:42.2 C:41.8	W:41.7 C:41.5	W:41.7 C:41.5	41.5	38.8	39.6	33.3	34.2	40.0	40.0	38.0	40.7
タイヤ接地半径(cm)	満載時	22.4	23.6	22.8	W:24.8 C:24.6	W:24.0 C:24.0	W:24.0 C:24.0	21.9	20.3	19.8	18.1	18.2	20.1	22.1	19.6	21.3
	着陸時	19.9	19.9	19.8	W:20.5 V:20.2	W:20.4 V:20.3	W:20.4 V:20.3	20.0	19.0	19.2	16.4	16.5	19.5	19.5	18.5	19.6
	燃料非積載時	19.3	19.4	19.1	W:19.8 C:19.5	W:19.6 C:19.4	W:19.6 C:19.4	19.4	18.2	18.5	15.6	16.0	18.8	18.7	17.8	19.1
脚配置形式		2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	DC10型	DC10型	DC10型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型
脚中心間隔(cm)		1,097	1,097	980	1,067	1,067	1,067	960	960	960	732	732	930	930	930	759

例表-3.1(3) 航空機の荷重諸元(3)

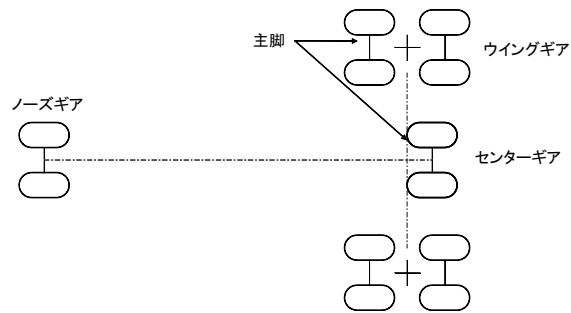
設計荷重の区分		LA-2				LA-3						LA-4			LSA-1	
航空機の種類		A320-200	MD90-30	MD81	MD87	DC9-41	B737-200	B737-400	B737-500	B737-700	B737-800	DHC8-300	DHC8-400	YS-11	ドルニエ 228-200	DHC6-300
航空機コード		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
総質量(t)	満載時	68.4	71.2	64.0	64.0	52.2	49.9	68.3	60.8	70.3	79.2	19.5	28.7	23.5	5.7	5.7
	着陸時	64.5	64.4	58.1	58.1	46.3	44.5	56.2	49.9	58.6	66.4	19.1	27.4	22.5	5.5	5.6
	燃料非積載時	60.5	59.0	53.5	50.8	42.2	39.9	53.1	46.5	55.2	62.7	17.9	25.1	21.4	5.2	5.3
脚荷重(kN)	満載時	319	337	300	297	239	227	314	275	316	363	90	132	104	25	25
	着陸時	301	305	272	270	212	202	259	226	263	304	88	126	99	24	25
	燃料非積載時	282	279	251	236	194	181	244	210	248	288	83	115	95	23	23
車輪の配置形式		複車輪	複車輪	複車輪	複車輪	複車輪	複車輪	複車輪	複車輪	複車輪	複車輪	複車輪	複車輪	複車輪	単車輪	単車輪
横断方向の主車輪数		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2
複車輪の横中心間隔S(cm)		92.7	71.4	71.4	71.4	66.0	77.0	77.0	77.0	86.0	86.0	43.7	49.6	64.0	-	-
複々車輪の縦中心間隔S _l (cm)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
タイヤ内圧(N/mm ²)		1.28	1.31	1.18	1.18	1.11	1.08	1.27	1.34	1.41	1.41	0.64	0.86	0.48	0.44	0.26
タイヤ接地圧(N/mm ²)		1.28	1.31	1.30	1.30	1.22	1.19	1.27	1.34	1.41	1.41	0.70	0.95	0.53	0.48	0.29
タイヤ接地 面積A(cm ²)	満載時	1,250	1,290	1,154	1,146	984	958	1,236	1,030	1,121	1,291	643	695	981	521	862
	着陸時	1,180	1,168	1,046	1,038	869	849	1,024	843	936	1,078	629	663	943	500	862
	燃料非積載時	1,102	1,069	969	908	795	765	961	784	879	1,021	600	611	906	479	793
タイヤ 接地幅 (cm)	満載時	29.3	29.8	28.2	28.1	26.0	25.7	29.2	26.6	27.8	29.8	21.0	21.9	26.0	18.9	24.4
	着陸時	28.5	28.4	26.8	26.7	24.5	24.2	26.6	24.1	25.4	27.2	20.8	21.4	25.5	18.6	24.4
	燃料非積載時	27.5	27.1	25.8	25.0	23.4	23.0	25.7	23.2	24.6	26.5	20.3	20.5	25.0	18.2	23.4
タイヤ 接地長 (cm)	満載時	42.7	43.3	40.9	40.8	37.8	37.3	42.3	38.7	40.3	43.3	30.6	31.7	37.7	27.6	35.3
	着陸時	41.4	41.1	39.0	38.9	35.5	35.1	38.5	35.0	36.9	39.6	30.2	31.0	37.0	26.9	35.3
	燃料非積載時	40.1	39.4	37.6	36.3	34.0	33.3	37.4	33.8	35.7	38.5	29.6	29.8	36.2	26.3	33.9
タイヤ 接地半径 (cm)	満載時	19.9	20.3	19.2	19.1	17.7	17.5	19.8	18.1	18.9	20.3	14.3	14.9	17.7	12.9	16.6
	着陸時	19.4	19.3	18.2	18.2	16.6	16.4	18.1	16.4	17.3	18.5	14.1	14.5	17.3	12.6	16.6
	燃料非積載時	18.7	18.4	17.6	17.0	15.9	15.6	17.5	15.8	16.7	18.0	13.8	13.9	17.0	12.3	15.9
脚配置形式		2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型	2脚3輪車型
脚中心間隔(cm)		759	509	509	509	500	523	523	523	572	572	788	880	860	330	381

例表-3.1(4) 航空機の荷重諸元(4)

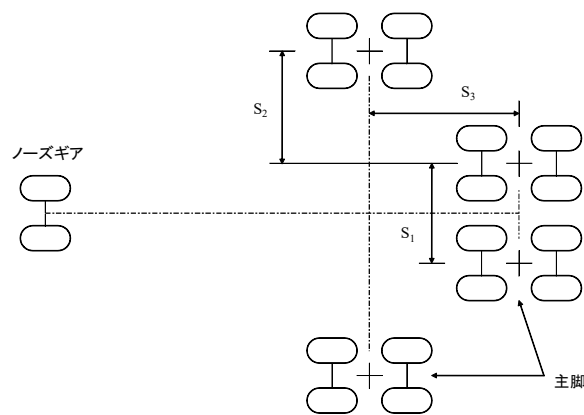
設計荷重の区分		LSA-2	
航空機の種類		N24A	BN-2A
航空機コード		C	C
総質量(t)	満載時	4.3	3.0
	着陸時	4.2	2.9
	燃料非積載時	4.0	2.8
脚荷重(kN)	満載時	19	13
	着陸時	18	13
	燃料非積載時	18	12
車輪の配置形式		複車輪	複車輪
横断方向の主車輪数		4	4
複車輪の横中心間隔S(cm)		32.2	32.0
複々車輪の縦中心間隔S _l (cm)		-	-
タイヤ内圧(N/mm ²)		0.27	0.23
タイヤ接地圧(N/mm ²)		0.30	0.25
タイヤ接地面積A(cm ²)	満載時	333	280
	着陸時	300	280
	燃料非積載時	300	240
タイヤ接地幅(cm)	満載時	15.1	13.9
	着陸時	14.4	13.9
	燃料非積載時	14.4	12.9
タイヤ接地長(cm)	満載時	22.1	20.1
	着陸時	20.8	20.1
	燃料非積載時	20.8	18.6
タイヤ接地半径(cm)	満載時	10.3	9.4
	着陸時	9.8	9.4
	燃料非積載時	9.8	8.7
脚配置形式		2脚3輪車型	2脚3輪車型
脚中心間隔(cm)		290	361



(1) 2脚3輪車型配置

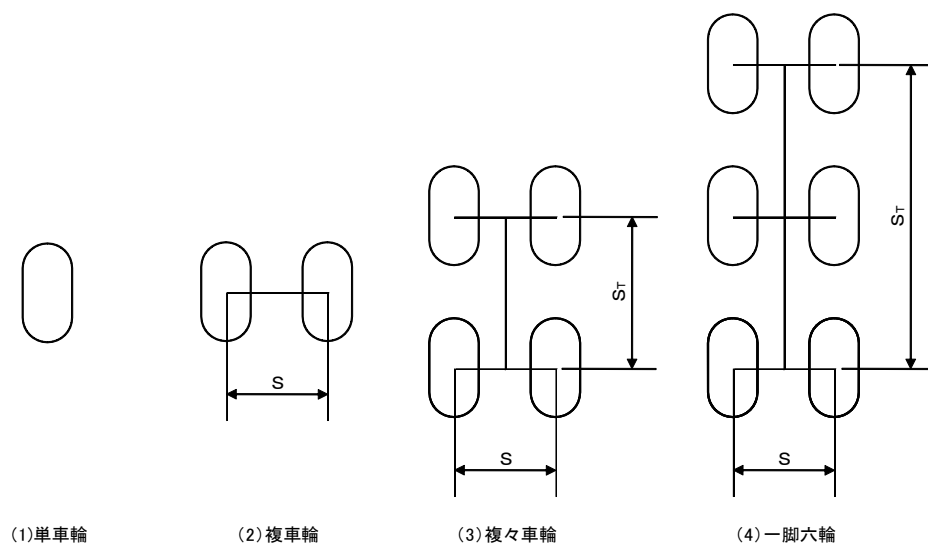


(2) DC10 型配置

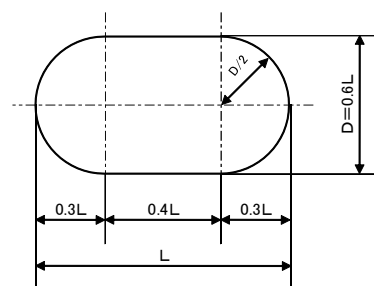


(3) B747 型配置

例図-3.1 脚の配置型式



例図-3.2 主脚車輪の配置型式



例図-3.2 タイヤの接地形状

例表-3.2 トーイングトラクターの諸元

車種	TT-35 (三菱重工)	T-500S (インターナショナルハーベスタ)	TT-26 (三菱重工)	JT-60A (コマツ)	TD-750 (神鋼電機)
項目					
対象航空機	B-747	L-1011	B-767	DC-9	B-737
総質量 (t)	49.0	43.7	35.0	13.5	12.0
輪荷重 (kN)	121	107	86	(前)31 (後)35	(前)15 (後)44
車輪型式	単	単	単	単	(前)単 (後)複
複車輪の横中心間隔 (mm)	-	-	-	-	276
タイヤ接地圧 (N/mm ²)	0.67	0.67	0.67	0.59	(前)0.59 (後)0.69
タイヤ接地面積 (cm ²)	1,810	1,610	1,290	(前)539 (後)590	(前)250 (後)640
ホイールベース (mm)	4,540	3,606	2,895	2,520	2,370
ホイールトレッド (mm)	2,385	2,184	2,240	1,855	(前)1,400 (後)1,640

例-4 理論的設計法によるアスファルト舗装の構造設計例

理論的設計方法によるアスファルト舗装の構造設計例を示す。

4.1 設計概要

4.1.1 設計対象地域

設計対象地域は、「東京」とした。なお、設計対象地域は、荷重支持性能の照査条件（アスファルト混合物の弾性係数、凍結深度）に影響する。

4.1.2 設計対象施設

設計対象施設は次のとおりとした。

(1) 滑走路

端部中央帯，端部縁端帯，中間部中央帯，中間部縁端帯，ショルダー・過走帯

(2) 誘導路

平行誘導路，高速離脱誘導路

4.1.3 要求性能，照査方法

要求性能と照査項目は**例表-4.1.1**に示すとおりにした。照査方法に記載したとおり，解析的な照査は，路床の支持力及びアスファルト混合物の疲労ひび割れに対して行う。

例表-4.1.1 要求性能と照査項目

要求性能	照査項目	照査方法
荷重支持性能	路床の支持力	路床の圧縮変形による疲労破壊に対して照査する。
	路盤の支持力	Ⅱ-2.3 を適用し、「空港土木工事共通仕様書」に記載される品質を有する材料を用い，かつ，路盤の最小厚は， 表Ⅱ-2.1 を用いるため，路盤が所要の支持力を満足するとみなす。
	アスファルト混合物層の疲労ひび割れ	アスファルト混合物層の疲労破壊に対して照査する。
	凍上	温暖地域であるため，凍上は考慮しない。
走行安全性能	すべり	Ⅱ-3.2 を適用し、「空港土木工事共通仕様書」に記載される品質を有する材料を用い，かつ，滑走路では，グルーピングを設置するため，すべり抵抗性を満足するとみなす。
	わだち掘れ	Ⅱ-3.3 を適用し，荷重支持性能を満足することを照査するため，わだち掘れに対する抵抗性を満足するとみなす。
表層の耐久性能	気象劣化	Ⅱ-4.1 を適用し、「空港土木工事共通仕様書」に記載される品質を有する材料を用いるため，表層の耐久性能を満足するとみなす。
	剥離・骨材飛散	
	アスファルト混合物層の層間剥離	

4.2 設計条件

4.2.1 設計供用期間

荷重支持性能に対する設計供用期間として20年とした。

4.2.2 交通条件

交通条件としては、設計対象施設における機材別交通量、走行条件を設定した。

(1) 設計離着陸回数

設計供用期間における当該空港の設計離着陸回数は**例表-4.2.1**に示すとおりとした。この設計離着陸回数を元に各施設・部位の設計交通量を設定した。設計対象機材の諸元を**例表-4.2.2**に示す。

例表-4.2.1 設計離着陸回数（回）

離着 陸別	B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300
	国際	国内	国内	国内	国内
離陸	5,000	30,000	100,000	40,000	100,000
着陸	5,000	30,000	100,000	40,000	100,000

例表-4.2.2 機材諸元

	離着 陸別	B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300
脚荷重 (kN)	離陸	910	658	1,161	773	670
	着陸	656	615	1,105	643	634
複車輪の横中心間隔 (cm)	—	111.8	111.8	140.0	92.7	114.3
複々車輪の縦中心間隔 (cm)	—	147.3	147.3	290.0	139.7	142.2
タイヤ接地圧 (MPa)	—	1.38	1.13	1.48	1.28	1.33
タイヤ接地面積 (cm ²)	離陸	1,652	1,460	1,311	1,508	1,263
	着陸	1,188	1,363	1,243	1,258	1,195
タイヤ接地幅 (cm)	離陸	33.7	31.7	30.0	32.2	29.5
	着陸	28.6	30.6	29.3	29.4	28.7
タイヤ接地長 (cm)	離陸	49.0	46.1	43.7	46.8	42.8
	着陸	41.5	44.5	42.4	42.8	41.6

(2)施設・部位別の設計交通量

1)端部中央帯

端部中央帯の設計交通量は、滑走路方向別利用率を 7:3 と仮定し、**例表-4. 2. 1** の設計離着陸回数に滑走路方向別利用率を乗じ、その大きい方を端部中央帯の設計交通量とした。

2)中間部中央帯

中間部中央帯の設計交通量は、中間部は離着陸航空機の全てが走行することから、**例表-4. 2. 1** の設計離着陸回数をそのまま用いた。ただし、走行速度や横断方向標準偏差は端部中央帯とは異なる。

3)縁端帯（端部縁端帯，中間部縁端帯）

縁端帯の設計交通量は、航空機の横断方向走行分布から確率的に求めることとし、航空機の車輪配置、横断方向の標準偏差を用いて、最も縁端帯に近い主脚車輪の外縁が中央帯を逸脱する確率を次式により算出し設定した。

$$P(z) = 1 - \int_{-\infty}^{W/2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = 1 - \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

ここに、

$P(z)$: 中央帯逸脱確率（縁端帯走行確率）

z : $(W/2 - \mu)/\sigma$

t : $(x - \mu)/\sigma$

x : 滑走路中心線からの距離（cm）

μ : ノーズギアが滑走路中心線にあるとした場合の、滑走路中心線から主脚車輪の外縁までの距離（cm）

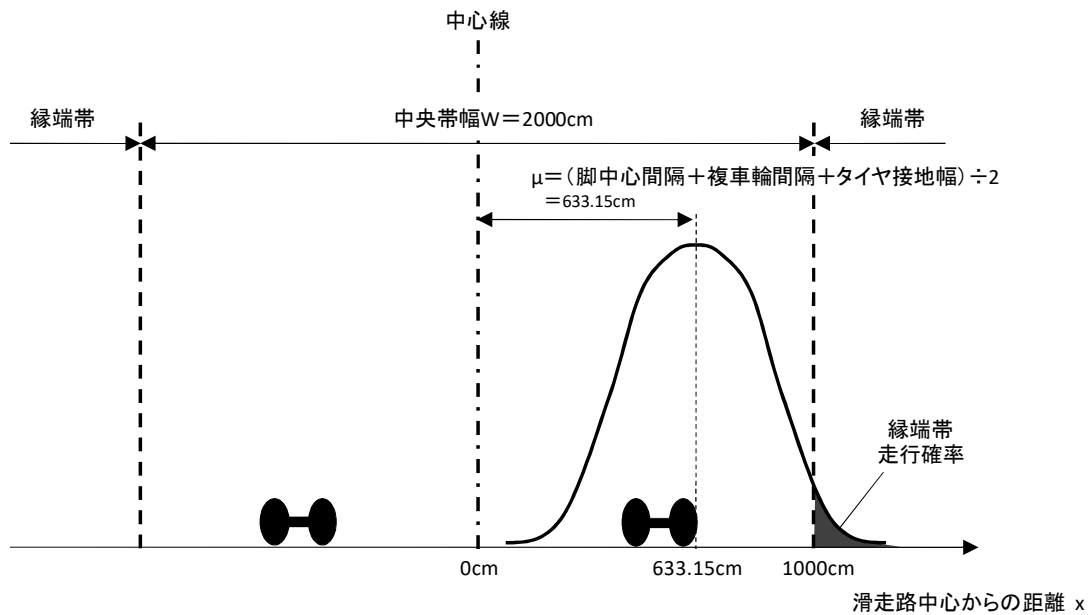
W : 中央帯の幅（cm）

σ : 横断方向標準偏差（cm）

例えば B777-300D 着陸機の場合、**例表-4. 2. 3** を参考に標準偏差は $\sigma=180\text{cm}$ とし、諸元より $\mu=633.15\text{cm}$ 、中央帯幅は $W=2000\text{cm}$ であるから、 $z=(2000/2-633.15)/180=2.04$ となり、標準正規分布関数より $P(z)=1-0.97923=0.02077=2.077\%$ であるため、設計値としては 3%とした。

例表-4. 2. 3 航空機走行時の横断方向走行分布の標準偏差

コード文字	滑走路離陸時	滑走路着陸時	平行誘導路	高速離脱誘導路
E, F	0.91m	1.74m	0.67m	0.74m
B～D	0.74m	1.10m	0.57m	0.63m



例図-4. 2. 1 逸脱確率の考え方

縁端帯の設計交通量は、例表-4. 2. 4 のように機材別に設計逸脱確率を求め、それに隣接する中央帯の設計交通量を乗じることにより求めた。つまり、端部縁端帯の設計交通量は、端部中央帯の設計交通量に例表-4. 2. 4 の設計逸脱確率を乗じた値を、また、中間部縁端帯の設計交通量は、中間部中央帯の設計交通量に例表-4. 2. 4 の設計逸脱確率を乗じた値を設計交通量とした。

なお、縁端帯での疲労計算では、縁端帯内での横断方向の走行位置分布を考慮せずに、上記のようにして求めた交通量が縁端帯内の同じ位置の点を通過するとの考えで行った。

例表-4. 2. 4 設計逸脱確率

機材	離着 陸別	μ (cm)	σ (cm)	z	逸脱確率 $P(z)$ (%)	設計逸脱確率 (%)
B747-400	離陸	622.75	100	3.77	0.008	1
	着陸	620.20	180	2.11	1.743	2
B747-400D	離陸	621.75	100	3.78	0.008	1
	着陸	621.20	180	2.10	1.767	2
B777-300D	離陸	633.50	100	3.67	0.012	1
	着陸	633.15	180	2.04	2.077	3
A300-600	離陸	542.45	80	5.72	0.000	1
	着陸	541.05	110	4.17	0.002	1
B767-300	離陸	536.90	80	5.79	0.000	1
	着陸	536.50	110	4.21	0.001	1

4) ショルダー・過走帯

ショルダー・過走帯の設計交通量は、舗装内に発生するひずみが最大となる離陸機が1回/年の割合で走行するとの考えで設定した。なお、縁端帯と同様に、疲労度の計算では横断方向の走行位置分布を考慮せずに、求めた交通量が縁端帯内の同じ位置の点を通過するとの考えで行った。

5) 平行誘導路、高速離脱誘導路

平行誘導路の設計交通量は、滑走路端部中央帯の設計交通量と同様に設定した。また、高速離脱誘導路の設計交通量は、設計離着陸回数のうち着陸回数のみを使用することとした。

以上の考えで設定した、施設・部位別の設計交通量を**例表-4.2.5**に示す。

例表-4.2.5 施設・部位別設計交通量（回）

施設・部位	離着陸別	B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300	備考
		国際	国内	国内	国内	国内	
端部	離陸	3,500	21,000	70,000	28,000	70,000	離着陸回数 の70%
中央帯	着陸	3,500	21,000	70,000	28,000	70,000	
中間部	離陸	5,000	30,000	100,000	40,000	100,000	全離着陸 回数
中央帯	着陸	5,000	30,000	100,000	40,000	100,000	
端部	離陸	35	210	700	280	700	中央帯交通 量×設計逸 脱確率
縁端帯	着陸	70	420	2,100	280	700	
中間部	離陸	50	300	1,000	400	1,000	
縁端帯	着陸	100	600	3,000	400	1,000	
ショルダー 過走帯	離陸	最大のひずみを発生させる機材が20					
	着陸	0	0	0	0	0	
平行誘導路	離陸	3,500	21,000	70,000	28,000	70,000	端部中央帯 と同様
	着陸	3,500	21,000	70,000	28,000	70,000	
高速離脱 誘導路	離陸	0	0	0	0	0	全着陸回数
	着陸	5,000	30,000	100,000	40,000	100,000	

(3) 走行条件

各施設の走行条件は**例表-4.2.6**のとおりとした。ここで、載荷時間は、車輪接地長／走行速度として次のようにして求めた。

例表-4.2.6 走行条件

施設	部位	載荷 時間	設計標準偏差			
			コード文字	離陸	着陸	備考
滑走路	端部中央帯	0.05sec	E, F	60cm	60cm	低速走行部のため平行誘導 路の標準偏差を参考とした
			B〜D	50cm	50cm	
	端部縁端帯		E, F	100cm※	180cm※	滑走路離陸時・着陸時の 標準偏差を参考とした
			B〜D	80cm※	110cm※	
	中間部中央帯	0.01sec	E, F	90cm	170cm	滑走路離陸時・着陸時の 標準偏差を参考とした
			B〜D	70cm	110cm	
	中間部縁端帯		E, F	100cm※	180cm※	滑走路離陸時・着陸時の 標準偏差を参考とした
			B〜D	80cm※	110cm※	
	ショルダー 過走帯	0.05sec	—	—	—	標準偏差は使用しない
誘導路	平行誘導路	0.05sec	E, F	60cm	60cm	平行誘導路の 標準偏差を参考とした
			B〜D	50cm	50cm	
	高速離脱誘導路		E, F	—	70cm	高速離脱誘導路の 標準偏差を参考とした
			B〜D	—	60cm	

※設計逸脱確率の計算でのみ使用した。

1) 接地長

接地長＝接地面積／接地幅 として求めた。接地長は、航空機ごとで異なるが、疲労度への影響が大きい LA-12 クラス以上の離陸機の平均値（＝45cm）とした。

2) 載荷時間

載荷時間は、接地長／走行速度として求める。航空機の走行速度は、UFC（米国軍設計統一基準）や我が国での調査事例¹⁾を参照して、次のとおりとした。

- ・滑走路：160km/hr（100mile/hr）
- ・誘導路：32km/hr（20mile/hr）

なお、滑走路の走行速度は滑走路中間部（中央帯・縁端帯）に適用するものとし、誘導路の走行速度は滑走路端部（中央帯・縁端帯）、ショルダー・過走帯、平行誘導路、高速離脱誘導路に用いることとした。以上により載荷時間を次のとおりとした。

- ・滑走路中間部（中央帯・縁端帯）

$$45\text{cm} / 160\text{km/hr} = 45 / 16000000 \times 3600\text{sec} = 0.0101\text{sec} \rightarrow 0.01\text{sec}$$

- ・滑走路端部（中央帯・縁端帯），ショルダー・過走帯，平行誘導路，高速離脱誘導路
 $45\text{cm}/32\text{km/hr} = 45/3200000 \times 3600\text{sec} = 0.0506\text{sec} \rightarrow 0.05\text{sec}$

4.2.3 環境条件

月別のアスコン層平均温度は，アスコン層厚及び月別平均気温を用いて次式より求めた．一例として，アスコン層厚 h を30cm（ショルダーのアスコン層厚は5cm）とした場合の月別アスコン層平均温度を**例表-4.2.7**に示す．ただし，ショルダーのアスコン層については，月平均気温ではなく年間平均気温に対する舗装温度とした．

$$M_p = M_a \left(1 + \frac{2.54}{z + 10.16} \right) - \frac{25.4}{9(z + 10.16)} + \frac{10}{3}$$

ここに，

M_p : 月平均アスコン層温度（℃）

M_a : 月平均気温（℃）

z : 温度を推定する点の舗装表面からの深さ（cm）

※アスコン層の平均温度は，その層（厚さ h ）の上面から $h/3$ の位置での温度とした．

例表-4.2.7 アスコン層の月別平均温度（℃）

月	平均気温（℃）	アスコン層厚（cm）	アスコン層平均温度（℃）
1	5.8	30	9.7
2	6.1		10.1
3	8.9		13.2
4	14.4		19.4
5	18.7		24.2
6	21.8		27.7
7	25.4		31.8
8	27.1		33.7
9	23.5		29.7
10	18.2		23.7
11	13.0		17.8
12	8.4		12.7
平均	15.9	5	22.5

4.2.4 設計用値

設計用値としては、アスファルト混合物層の弾性係数、路盤、路床の弾性係数、ポアソン比を設定した。

(1) アスファルト混合物層の弾性係数

アスコン層の弾性係数は、舗装設計編記載の式 I-3.1, 式 I-3.2 を用いて算定した。一例として、アスコン層厚 h を 30cm (ショルダーのアスコン層厚は 5cm) とした場合の月別アスコン層弾性係数を例表-4.2.8 に示す。

$$S_{bit} = 1.157 \times 10^{-7} \cdot t_w^{-0.368} \cdot \exp(-PI) \cdot (T_{RB} - T)^5$$

ここに、

S_{bit} : アスファルトの弾性係数 (MPa)

t_w : 載荷時間 (0.01~0.1 秒)

PI : 針入度指数 (-1~1)

T_{RB} : 軟化点温度 (10~70℃)

T : 舗装平均温度 (℃)

$$S_{mix} = S_{bit} \cdot \left[1 + \left(\frac{2.5}{n} \right) \cdot \left(\frac{C_v}{1 - C_v} \right) \right]^n$$

ここに、

S_{mix} : アスファルト混合物の弾性係数 (MPa)

$$n = 0.83 \cdot \log \left(\frac{4 \times 10^4}{S_{bit}} \right)$$

$$C_v = \frac{V_A}{V_A + V_B}$$

空隙率 3%未満の場合

$$C_v = \frac{1}{0.97 + 0.01 \times (100 - (V_A + V_B))} \cdot \frac{V_A}{V_A + V_B}$$

空隙率 3%以上の場合

V_A : 骨材の容積率 (%)

V_B : アスファルトの容積率 (%)

- ・定数は、ストレートアスファルトを用いた一般的なアスファルト混合物の値として、軟化点 T_{RB} を 48℃, 針入度 70 (1/10mm), 針入度指数 PI を-0.91, C_v を 0.87 とした²⁾。
- ・載荷時間は、前述のとおり、0.05sec (滑走路端部, 誘導路, ショルダー・過走帯), 0.01sec (滑走路中間部) とした。

例表-4. 2. 8 アスコン層の弾性係数 (MPa)

月	アスコン層厚 (cm)	計算値		設計値	
		載荷時間 0.01sec	載荷時間 0.05sec	載荷時間 0.01sec	載荷時間 0.05sec
1	30	12,384	8,998	12,000	9,000
2		12,046	8,740	12,000	8,700
3		9,576	6,870	9,600	6,900
4		5,481	3,844	5,500	3,800
5		3,145	2,167	3,100	2,200
6		1,902	1,292	1,900	1,300
7		904	604	900	600
8		591	392	600	390
9		1,357	915	1,400	910
10		3,354	2,315	3,400	2,300
11		6,424	4,532	6,400	4,500
12		9,956	7,156	10,000	7,200
ショルダー 過走帯	5	—	2,696	—	2,700

(2) 路盤，路床の弾性係数

路床，路盤（粒状材）の弾性係数は次のとおりとした．

- ・路盤：200MPa

ただし，アスファルト安定処理上層路盤がない舗装（ショルダー等）では 300MPa^{2),3)}

- ・路床：100MPa (CBR10%×10)

(3) ポアソン比

ポアソン比は全て 0.35 とした．

4.2.5 設計疲労曲線

(1) アスファルト混合物の設計疲労曲線

アスファルト混合物層の疲労ひび割れに対する設計疲労曲線式は、舗装設計編記載の**式 I-3.3** より次のとおりとした。

$$N_f = 7.681 \times 10^{-6} \times \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{6.333} \times \left(\frac{1}{E}\right)^{3.374}$$

ここに、

- N_f : 破壊に至るまでの繰返し回数 (回)
- ε : アスファルト混合物下面に発生する引張ひずみ
- E : アスファルト混合物の弾性係数 (MPa)

(2) 路床土の設計疲労曲線

路床土の圧縮変形に対する設計疲労曲線式は、舗装設計編記載の**式 II-2.1** より次のとおりとした。

$$N_f = \frac{10^{-29.298}}{\varepsilon^{11.213}}$$

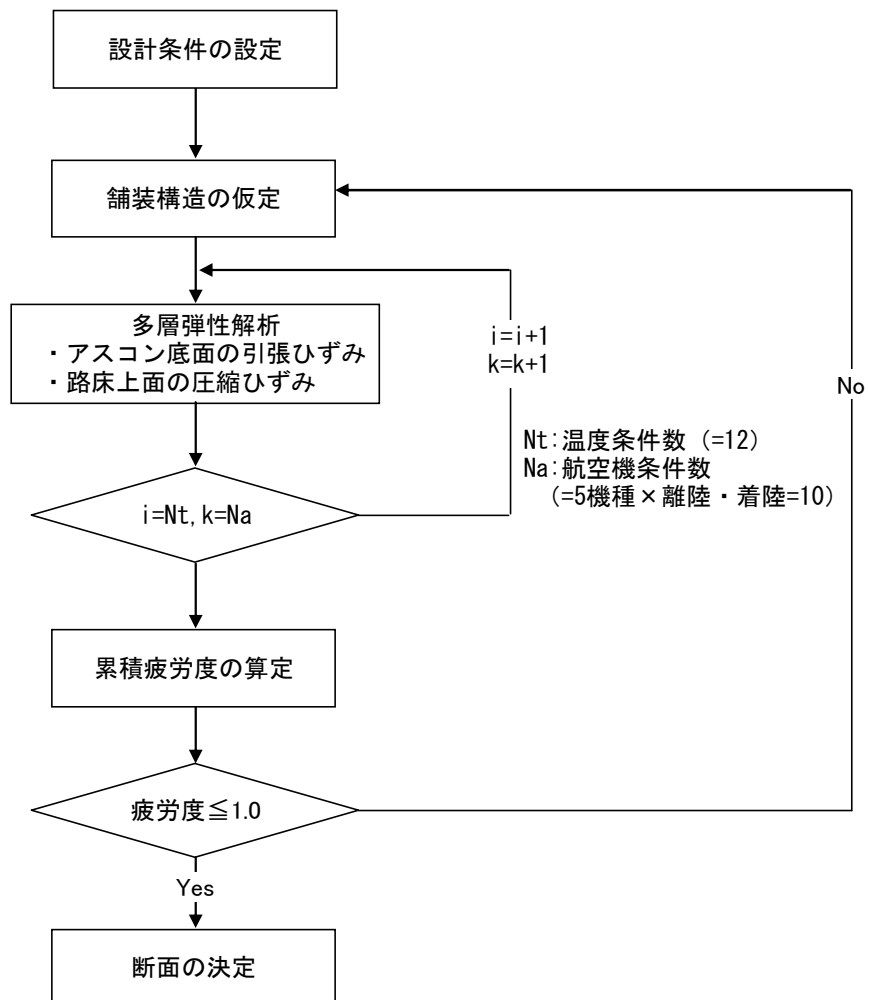
ここに、

- N_f : 破壊に至るまでの繰返し回数 (回)
- ε : 路床上面に発生する鉛直ひずみ

4.3 滑走路端部中央帯の構造試設計

4.3.1 設計手順

路床の支持力及びアスファルト混合物の疲労ひび割れに対する照査の手順は**例図-4.3.1**に示すとおりである。



例図-4.3.1 設計手順

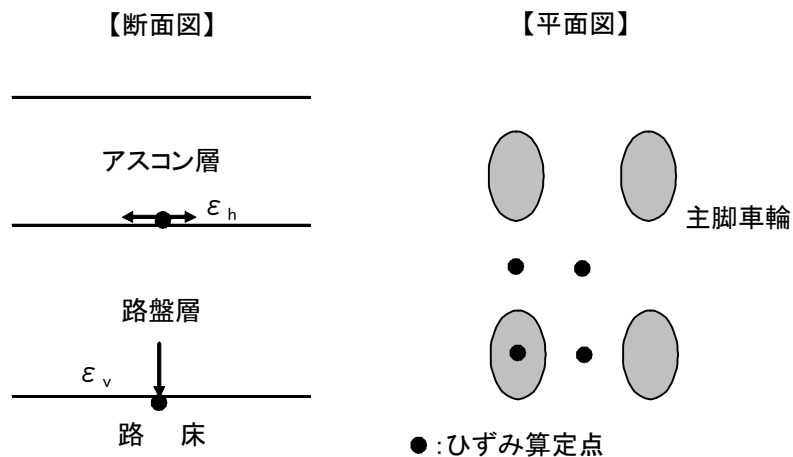
4.3.2 構造解析

(1) 構造解析モデル

構造解析モデルは**例図-4.3.2**に示すとおり3層構造とし、次の仮定した構造について行った。

- ・アスファルト混合物層厚（表・基層＋アスファルト安定処理路盤） 27, 28, 29, 30cm
- ・粒状路盤厚 50, 55, 60cm
- ・路床厚 無限大

すなわち、計12ケースの仮定した舗装構造について、多層弾性解析、疲労度解析を行った。



※路床は下方に無限に広がる弾性体と仮定

例図-4.3.2 構造解析モデル（複々車輪の場合）

(2) 最大ひずみの算定

多層弾性解析プログラム（GAMES）⁴⁾により最大ひずみを算定した。ここで、路床の最大ひずみは**例図-4.3.2**に示した4点の最大値とし、アスファルト混合物層については、車輪直下の主ひずみとし、次の方法で求めた。

$$\varepsilon_t = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} + \sqrt{\frac{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2}{4} + \gamma_{xy}^2}$$

ここに、

- ε_t : 主ひずみ
- ε_x : x 方向のひずみ
- ε_y : y 方向のひずみ
- γ_{xy} : せん断ひずみ

算定結果の一例として、アスコン厚30cm、粒状路盤厚60cmの場合を**例表-4.3.1**に示す。

例表-4.3.1 最大ひずみ算定結果（アスコン厚 30cm, 粒状路盤厚 60cm）

アスコン30cm＋粒状路盤60cm

アスコン層下面の最大引張りひずみ

	As変形係数 (MPa)	離陸					着陸				
		B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300	B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300
1月	9000	2.158E-04	1.605E-04	1.792E-04	1.968E-04	1.694E-04	1.671E-04	1.524E-04	1.719E-04	1.705E-04	1.623E-04
2月	8700	2.201E-04	1.638E-04	1.830E-04	2.007E-04	1.729E-04	1.706E-04	1.555E-04	1.755E-04	1.740E-04	1.657E-04
3月	6900	2.517E-04	1.877E-04	2.106E-04	2.291E-04	1.985E-04	1.963E-04	1.784E-04	2.023E-04	1.993E-04	1.904E-04
4月	3800	3.521E-04	2.643E-04	3.022E-04	3.188E-04	2.808E-04	2.793E-04	2.523E-04	2.909E-04	2.799E-04	2.702E-04
5月	2200	4.713E-04	3.561E-04	4.151E-04	4.250E-04	3.801E-04	3.802E-04	3.412E-04	4.005E-04	3.766E-04	3.668E-04
6月	1300	6.079E-04	4.623E-04	5.478E-04	5.470E-04	4.961E-04	4.989E-04	4.447E-04	5.297E-04	4.894E-04	4.801E-04
7月	600	8.172E-04	6.278E-04	7.571E-04	7.355E-04	6.803E-04	6.886E-04	6.076E-04	7.347E-04	6.677E-04	6.613E-04
8月	390	9.149E-04	7.070E-04	8.579E-04	8.238E-04	7.710E-04	7.826E-04	6.866E-04	8.343E-04	7.541E-04	7.512E-04
9月	910	7.064E-04	5.397E-04	6.453E-04	6.356E-04	5.816E-04	5.867E-04	5.206E-04	6.250E-04	5.724E-04	5.640E-04
10月	2300	4.607E-04	3.478E-04	4.049E-04	4.155E-04	3.711E-04	3.711E-04	3.332E-04	3.905E-04	3.679E-04	3.581E-04
11月	4500	3.206E-04	2.402E-04	2.730E-04	2.908E-04	2.548E-04	2.530E-04	2.290E-04	2.626E-04	2.545E-04	2.450E-04
12月	7200	2.456E-04	1.831E-04	2.053E-04	2.236E-04	1.935E-04	1.913E-04	1.740E-04	1.971E-04	1.944E-04	1.857E-04

アスコン30cm＋粒状路盤60cm

路床上面の最大圧縮ひずみ

	As変形係数 (MPa)	離陸					着陸				
		B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300	B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300
1月	9000	7.087E-04	5.129E-04	6.193E-04	6.700E-04	5.309E-04	5.100E-04	4.788E-04	5.875E-04	5.592E-04	5.025E-04
2月	8700	7.130E-04	5.161E-04	6.219E-04	6.749E-04	5.342E-04	5.131E-04	4.817E-04	5.899E-04	5.633E-04	5.056E-04
3月	6900	7.401E-04	5.356E-04	6.372E-04	7.065E-04	5.551E-04	5.325E-04	4.999E-04	6.044E-04	5.896E-04	5.254E-04
4月	3800	8.033E-04	5.820E-04	6.772E-04	7.771E-04	5.925E-04	5.794E-04	5.435E-04	6.428E-04	6.496E-04	5.610E-04
5月	2200	8.638E-04	6.258E-04	7.309E-04	8.510E-04	6.345E-04	6.230E-04	5.844E-04	6.940E-04	7.115E-04	6.007E-04
6月	1300	9.149E-04	6.648E-04	7.859E-04	9.120E-04	6.811E-04	6.652E-04	6.221E-04	7.464E-04	7.627E-04	6.458E-04
7月	600	1.024E-03	7.449E-04	8.712E-04	9.856E-04	7.634E-04	7.468E-04	6.975E-04	8.278E-04	8.243E-04	7.242E-04
8月	390	1.083E-03	7.885E-04	9.188E-04	1.020E-03	8.085E-04	7.914E-04	7.386E-04	8.733E-04	8.532E-04	7.671E-04
9月	910	9.654E-04	7.020E-04	8.249E-04	9.481E-04	7.192E-04	7.030E-04	6.570E-04	7.836E-04	7.929E-04	6.820E-04
10月	2300	8.594E-04	6.226E-04	7.264E-04	8.453E-04	6.315E-04	6.198E-04	5.814E-04	6.897E-04	7.068E-04	5.979E-04
11月	4500	7.818E-04	5.664E-04	6.611E-04	7.542E-04	5.839E-04	5.638E-04	5.289E-04	6.275E-04	6.293E-04	5.526E-04
12月	7200	7.355E-04	5.323E-04	6.347E-04	7.010E-04	5.515E-04	5.292E-04	4.968E-04	6.020E-04	5.850E-04	5.220E-04

4.3.3 荷重支持性能の照査（疲労度解析）

(1) 疲労度算定方法

疲労度は下記の通り算出した。

$$CFD(x) = \sum_{i=1}^k FD(i, x)$$

ここに、

$CFD(x)$: 滑走路中心線からの距離 x における累積疲労度

$FD(i, x)$: 航空機 i による滑走路中心線からの距離 x における疲労度

k : 設計対象機材数×2（離陸機・着陸機）

$$FD(i, x) = \frac{n(i)}{N(i) \times P/C(i, x)}$$

ここに、

$n(i)$: 航空機 i の設計交通量（回）

$N(i)$: 航空機 i による許容繰返し回数（回）

$P/C(i, x)$: 航空機 i による滑走路中心線からの距離 x におけるパス／カバレージ率

次の条件での疲労度算定例を以下に示す.

- ・ 1月の温度条件, 交通量
- ・ 荷重は B777-300D 離陸機
- ・ 算定位置は滑走路中心線から 5.0m
- ・ 舗装構造はアスコン厚 30cm, 粒状路盤厚 60cm

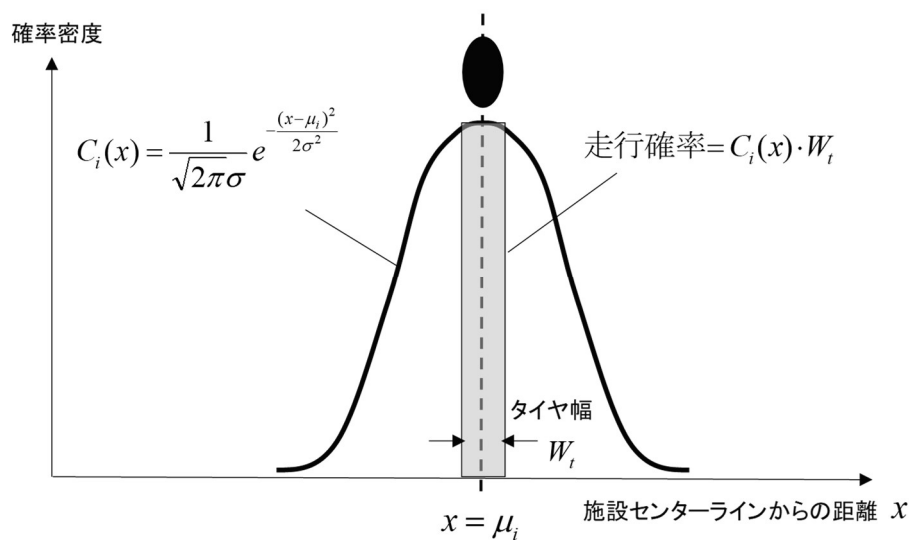
1) パス／カバレッジ率の算定

パス／カバレッジ率は, **付録-9** を参照して算定する. 例えば B777-300D の離陸時の場合, 滑走路中心線からの距離が 5.0m の位置におけるタイヤ 1 輪の走行確率密度は, 次式により算出した.

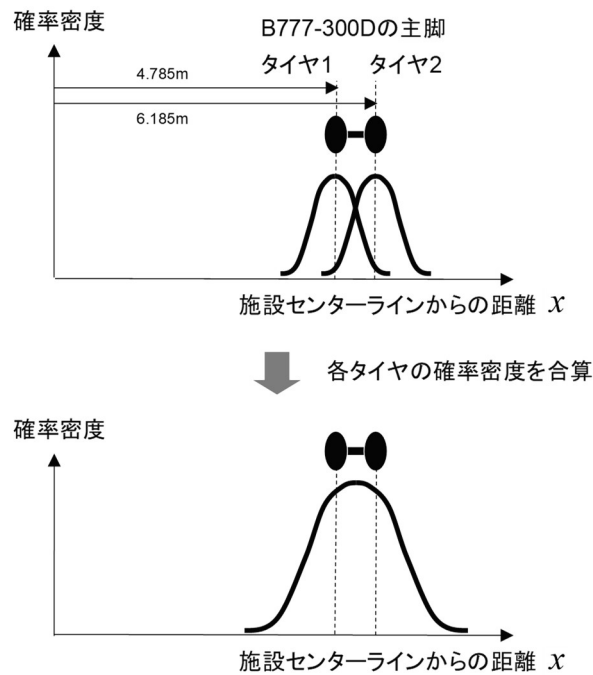
$$C_i(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu_i)^2}{2\sigma^2}}$$

ここに,

- $C_i(x)$: 滑走路中心線から x の位置におけるタイヤ番号 i の走行確率密度
 x : 滑走路中心線からの距離 (m)
 μ_i : 滑走路中心線からタイヤ番号 i までの距離 (m)
 σ : 横断方向走行位置分布の標準偏差 (m)



例図-4.3.3 単車輪の場合の横断方向分布



例図-4.3.4 複数車輪の場合の横断方向分布

例えば，滑走路中心線から 5.0m の位置における各々のタイヤの走行確率密度は，離陸時の場合は**例表-4.3.2**，着陸時の場合は**例表-4.3.3**のとおりとなることから，この走行確率密度に離陸時／着陸時のタイヤ幅 W_t を乗じて合算することにより走行確率を算出した．この走行確率は「横断方向に対して走行位置がばらつく B777-300D 離陸機／着陸機が 1 回走行した場合に，滑走路中心線から x (m) の位置においてタイヤ幅の範囲を走行する確率」を示す値であり，走行確率の逆数が滑走路中心線から 5.0m の位置における B777-300D 離陸時／着陸機のパス／カバレッジ率（**例表-4.3.4**）となる．なお，着陸時のパス／カバレッジ率を算出する際は，着陸時のタイヤ幅を用いて算出した．

例表-4.3.2 B777-300D 離陸機のパス／カバレッジ率 ($x=5.0m$)

タイヤ 番号	施設センターラインから		標準 偏差 σ (m)	走行確率 密度 C_i	タイヤ幅 W_t (m)	走行 確率	P/C
	脚中心までの 距離 (m)	タイヤ中心までの 距離 μ_i (m)					
1	5.485	4.785	0.6	0.62356	0.300	0.18707	4.6417
2		6.185		0.09457		0.02837	

例表-4.3.3 B777-300D 着陸機のパス／カバレッジ率 ($x=5.0m$)

タイヤ 番号	施設センターラインから		標準 偏差 σ (m)	走行確率 密度 C_i	タイヤ幅 W_t (m)	走行 確率	P/C
	脚中心までの 距離 (m)	タイヤ中心までの 距離 μ_i (m)					
1	5.485	4.785	0.6	0.62356	0.293	0.18270	4.7526
2		6.185		0.09457		0.02771	

例表-4.3.4 B777-300D のパス／カバレッジ率

滑走路中心線 からの距離 (m)	離陸機の P/C	着陸機の P/C
4.5	5.4928	5.6240
4.6	5.0942	5.2159
4.7	4.8355	4.9510
4.8	4.6882	4.8002
4.9	4.6302	4.7408
5.0	4.6417	4.7526
5.1	4.7020	4.8143
5.2	4.7876	4.9020
5.3	4.8728	4.9893
5.4	4.9329	5.0508
5.5	4.9500	5.0682
5.6	4.9188	5.0363
5.7	4.8489	4.9647
5.8	4.7607	4.8745
5.9	4.6801	4.7919
6.0	4.6322	4.7428

2) 疲労度の算定

1 月に走行する B777-300D 離陸機について、アスコン厚 30cm, 粒状路盤厚 60cm の舗装構造における、滑走路中心線から 5.0m の位置での疲労度の計算は下記のとおりとなる。

a) 発生ひずみ

B777-300D 離陸機によって発生する最大ひずみは下記のとおりとなった（例表-4.3.1）。

- ・アスコン層下面最大ひずみ：179 μ
- ・路床上面最大ひずみ：619 μ

b) 交通量、パス/カバレッジ率

1 月の離陸機設計交通量は、設計交通量（例表-4.2.5 より 70000 回）を 12 ヶ月で除して 5833 回となった。また、滑走路中心線から 5.0m の位置における P/C を算出すると、離陸機で 4.6417 となった（例表-4.3.4）。

c) アスコン層の疲労度

許容繰返し回数の算出は以下の通りとなる。

$$\begin{aligned} N_f &= 7.681 \times 10^{-6} \times \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{6.333} \times \left(\frac{1}{E}\right)^{3.374} \\ &= 7.681 \times 10^{-6} \times \left(\frac{1}{179 \times 10^{-6}}\right)^{6.333} \times \left(\frac{1}{9000}\right)^{3.374} = 186684 \text{ 回} \end{aligned}$$

よって、疲労度は

$$\begin{aligned} &1 \text{ 月の離陸機設計交通量} / (\text{許容繰返し回数} \times P/C) \\ &= 5833 / (186684 \times 4.6417) = 0.0067 \end{aligned}$$

d) 路床の疲労度

許容繰返し回数の算出は以下の通りとなる。

$$N_f = \frac{10^{-29.298}}{\varepsilon^{11.213}} = \frac{10^{-29.298}}{(619 \times 10^{-6})^{11.213}} = 4721703 \text{ 回}$$

よって、疲労度は

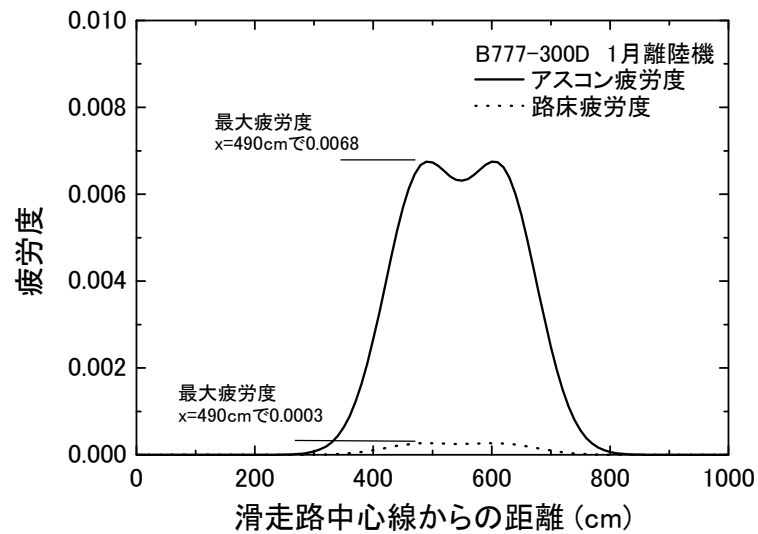
$$\begin{aligned} &1 \text{ 月の離陸機設計交通量} / (\text{許容繰返し回数} \times P/C) \\ &= 5833 / (4721703 \times 4.6417) = 0.0003 \end{aligned}$$

上記は、滑走路中心線から 5.0m の位置における疲労度であるが、例図-4.3.5 は横断方向の疲労度の分布であり、このような計算を全月、全機材（離陸機、着陸機）について行い、滑走路中心からの距離 x における疲労度を累積すると任意点における累積疲労度が得られる。この累積疲労度の最大値を設計疲労度とし、これが限界値 1.0 以下である舗装構造を選定する。

例表-4.3.5 B777-300D による疲労度（滑走路中心線からの距離 5.0m の位置）

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N =M/12	O =N/L	P =O/H	Q =O/J
対象機材	離陸 着陸	アスコン 厚	粒状 路盤厚	月	アスコン 変形係数	アスコン ひずみ	アスコン 破壊回数	路床 ひずみ	路床 破壊回数	中心線 からの距離	P/C	設計 交通量	月別設計 交通量	繰返し 載荷回数	アスコン 疲労度	路床 疲労度
		cm	cm		MPa		回		回	m		回	回	回		
B777-300D	離陸	30	60	1	9000	1.792E-04	186684	6.193E-04	4721703	5.0	4.6417	70000	5833	1257	0.0067	0.0003
				2	8700	1.830E-04	183708	6.219E-04	4510725				5833	1257	0.0068	0.0003
				3	6900	2.106E-04	164497	6.372E-04	3430442				5833	1257	0.0076	0.0004
				4	3800	3.022E-04	125229	6.772E-04	1734486				5833	1257	0.0100	0.0007
				5	2200	4.151E-04	105972	7.309E-04	737724				5833	1257	0.0119	0.0017
				6	1300	5.478E-04	107952	7.859E-04	326867				5833	1257	0.0116	0.0038
				7	600	7.571E-04	188990	8.712E-04	102976				5833	1257	0.0067	0.0122
				8	390	8.579E-04	366113	9.188E-04	56711				5833	1257	0.0034	0.0222
				9	910	6.453E-04	127490	8.249E-04	189945				5833	1257	0.0099	0.0066
				10	2300	4.049E-04	106827	7.264E-04	790503				5833	1257	0.0118	0.0016
				11	4500	2.730E-04	134667	6.611E-04	2273593				5833	1257	0.0093	0.0006
				12	7200	2.053E-04	167863	6.347E-04	3589464				5833	1257	0.0075	0.0004
合計													70000		0.1033	0.0507

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N =M/12	O =N/L	P =O/H	Q =O/J
対象機材	離陸 着陸	アスコン 厚	粒状 路盤厚	月	アスコン 変形係数	アスコン ひずみ	アスコン 破壊回数	路床 ひずみ	路床 破壊回数	中心線 からの距離	P/C	設計 交通量	月別設計 交通量	繰返し 載荷回数	アスコン 疲労度	路床 疲労度
		cm	cm		MPa		回		回	m		回	回	回		
B777-300D	着陸	30	60	1	9000	1.719E-04	242930	5.875E-04	8539773	5.0	4.7526	70000	5833	1227	0.0051	0.0001
				2	8700	1.755E-04	238869	5.899E-04	8158157				5833	1227	0.0051	0.0002
				3	6900	2.023E-04	212656	6.044E-04	6205363				5833	1227	0.0058	0.0002
				4	3800	2.909E-04	159484	6.428E-04	3110413				5833	1227	0.0077	0.0004
				5	2200	4.005E-04	133006	6.940E-04	1318825				5833	1227	0.0092	0.0009
				6	1300	5.297E-04	133565	7.464E-04	582248				5833	1227	0.0092	0.0021
				7	600	7.347E-04	228565	8.278E-04	182418				5833	1227	0.0054	0.0067
				8	390	8.343E-04	436950	8.733E-04	100156				5833	1227	0.0028	0.0123
				9	910	6.250E-04	156112	7.836E-04	337498				5833	1227	0.0079	0.0036
				10	2300	3.905E-04	134255	6.897E-04	1413562				5833	1227	0.0091	0.0009
				11	4500	2.626E-04	172221	6.275E-04	4080800				5833	1227	0.0071	0.0003
				12	7200	1.971E-04	217243	6.020E-04	6493300				5833	1227	0.0056	0.0002
合計													70000		0.0800	0.0279



例図-4. 3. 5 横断方向の疲労度の分布例

(B777-300D 離陸機, 1 月, アスコン厚 30cm, 粒状路盤厚 60cm)

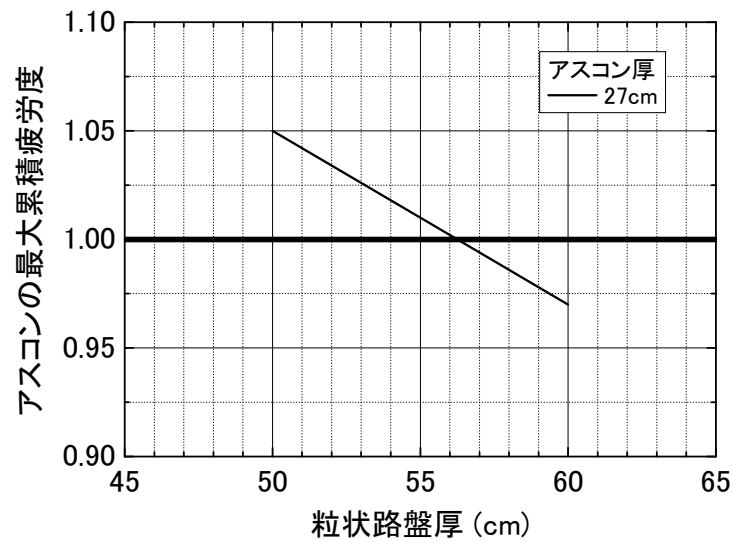
(2) 構造の決定

アスコンの疲労度, 路床の疲労度が 1.0 未満となる路盤厚を例図-4. 3. 6, 例図-4. 3. 7 に示すように内挿して選定すると例表-4. 3. 6 に示すとおりとなる.

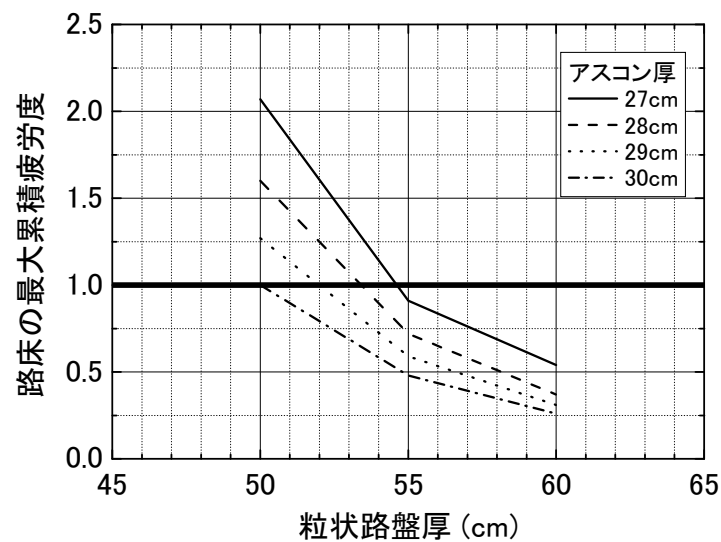
例表-4. 3. 6 疲労度算定結果

舗装厚 (cm)			最大累積疲労度		必要路盤厚 (cm)	換算厚 (cm)
アスコン厚	粒状路盤厚	換算厚	アスコン	路床		
27	50	89	1.05	2.07	57	96
	55	94	1.01	0.91		
	60	99	0.97	0.54		
28	50	91	0.83	1.60	54	95
	55	96	0.79	0.72		
	60	101	0.76	0.37		
29	50	93	0.65	1.27	52	95
	55	98	0.62	0.59		
	60	103	0.60	0.31		
30	50	95	0.52	1.00	51	96
	55	100	0.50	0.48		
	60	105	0.48	0.26		

※換算厚＝表基層 15cm＋（アスコン厚－表基層 15cm）×等価値 2.0＋粒状路盤厚



例図-4.3.6 路盤厚とアスコン疲労度の関係



例図-4.3.7 路盤厚と路床疲労度の関係

仮定した舗装構造の最大累積疲労度については、下記の傾向がある。

- ・アスコン層の疲労度を1.0未満とするためには、アスコン層は27cm以上必要である。
- ・アスコン層を1cm増厚すると路盤厚は1～2cm減厚できる。
- ・荷重支持性能を満足する4ケースの舗装構造で、換算舗装厚はほぼ同じであるため、アスコン層が最も薄いケースがコスト的に有利である。

以上のことから、滑走路端部中央帯の舗装構造は、アスコン層厚27cm、粒状路盤厚57cmとした。

4.4 滑走路中間部中央帯の構造試設計

4.4.1 設計手順

滑走路中間部中央帯の設計手順は、滑走路端部中央帯と基本的に同じである。

4.4.2 構造解析

(1) 構造解析モデル

構造解析は次のケースについて行った。

- ・アスファルト混合物層厚（表・基層＋アスファルト安定処理路盤） 27, 28, 29cm
- ・粒状路盤厚 40, 45, 50cm
- ・路床厚 無限大

(2) 最大ひずみの算定

多層弾性解析プログラム（GAMES）により最大ひずみを算定した結果の一例として、アスコン厚 29cm、粒状路盤厚 45cm の場合を**例表-4.4.1**に示す。

例表-4.4.1 最大ひずみ算定結果（アスコン厚 29cm、粒状路盤厚 45cm）

アスコン29cm＋粒状路盤45cm

アスコン層下面の最大引張りひずみ

	As変形係数 (MPa)	離陸					着陸				
		B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300	B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300
1月	12000	1.913E-04	1.421E-04	1.581E-04	1.748E-04	1.498E-04	1.475E-04	1.347E-04	1.516E-04	1.511E-04	1.434E-04
2月	12000	1.913E-04	1.421E-04	1.581E-04	1.748E-04	1.498E-04	1.475E-04	1.347E-04	1.516E-04	1.511E-04	1.434E-04
3月	9600	2.183E-04	1.625E-04	1.812E-04	1.993E-04	1.716E-04	1.693E-04	1.543E-04	1.739E-04	1.728E-04	1.645E-04
4月	5500	3.011E-04	2.253E-04	2.547E-04	2.737E-04	2.390E-04	2.370E-04	2.147E-04	2.449E-04	2.392E-04	2.297E-04
5月	3100	4.135E-04	3.115E-04	3.594E-04	3.739E-04	3.320E-04	3.312E-04	2.980E-04	3.465E-04	3.300E-04	3.200E-04
6月	1900	5.328E-04	4.038E-04	4.741E-04	4.802E-04	4.324E-04	4.336E-04	3.877E-04	4.579E-04	4.276E-04	4.179E-04
7月	900	7.406E-04	5.670E-04	6.801E-04	6.669E-04	6.127E-04	6.186E-04	5.476E-04	6.592E-04	6.024E-04	5.947E-04
8月	580	8.578E-04	6.609E-04	8.003E-04	7.731E-04	7.187E-04	7.282E-04	6.407E-04	7.774E-04	7.046E-04	6.995E-04
9月	1400	6.158E-04	4.686E-04	5.555E-04	5.546E-04	5.036E-04	5.064E-04	4.510E-04	5.373E-04	4.967E-04	4.875E-04
10月	3400	3.934E-04	2.960E-04	3.404E-04	3.560E-04	3.153E-04	3.142E-04	2.830E-04	3.280E-04	3.137E-04	3.037E-04
11月	6400	2.762E-04	2.064E-04	2.322E-04	2.514E-04	2.186E-04	2.165E-04	1.964E-04	2.232E-04	2.192E-04	2.100E-04
12月	10000	2.132E-04	1.585E-04	1.767E-04	1.946E-04	1.674E-04	1.651E-04	1.505E-04	1.696E-04	1.686E-04	1.604E-04

アスコン29cm＋粒状路盤45cm

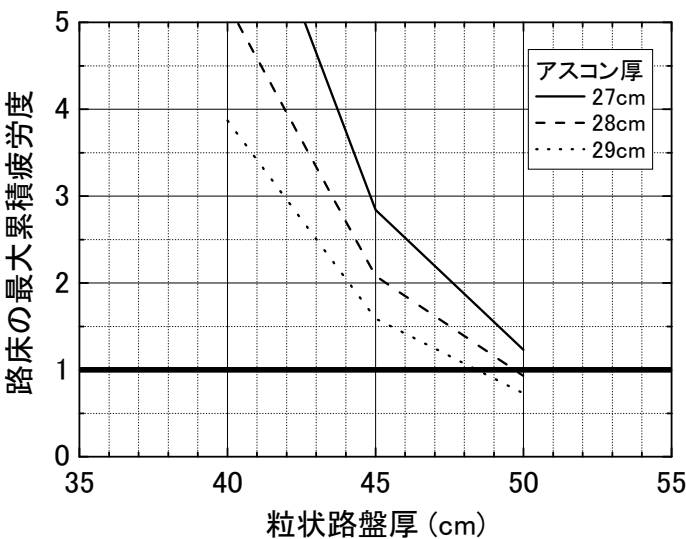
路床上面の最大圧縮ひずみ

	As変形係数 (MPa)	離陸					着陸				
		B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300	B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300
1月	12000	7.029E-04	5.088E-04	6.177E-04	6.648E-04	5.265E-04	5.058E-04	4.749E-04	5.859E-04	5.548E-04	4.984E-04
2月	12000	7.029E-04	5.088E-04	6.177E-04	6.648E-04	5.265E-04	5.058E-04	4.749E-04	5.859E-04	5.548E-04	4.984E-04
3月	9600	7.344E-04	5.315E-04	6.363E-04	7.006E-04	5.507E-04	5.283E-04	4.961E-04	6.036E-04	5.846E-04	5.212E-04
4月	5500	8.124E-04	5.884E-04	6.958E-04	7.887E-04	5.989E-04	5.857E-04	5.495E-04	6.606E-04	6.592E-04	5.670E-04
5月	3100	8.914E-04	6.456E-04	7.684E-04	8.850E-04	6.611E-04	6.449E-04	6.032E-04	7.298E-04	7.399E-04	6.267E-04
6月	1900	9.800E-04	7.127E-04	8.368E-04	9.570E-04	7.307E-04	7.140E-04	6.672E-04	7.951E-04	8.002E-04	6.930E-04
7月	900	1.125E-03	8.196E-04	9.523E-04	1.046E-03	8.407E-04	8.231E-04	7.679E-04	9.054E-04	8.748E-04	7.979E-04
8月	580	1.211E-03	8.828E-04	1.023E-03	1.111E-03	9.061E-04	8.880E-04	8.276E-04	9.733E-04	9.360E-04	8.603E-04
9月	1400	1.039E-03	7.561E-04	8.827E-04	9.965E-04	7.752E-04	7.582E-04	7.080E-04	8.389E-04	8.332E-04	7.354E-04
10月	3400	8.798E-04	6.373E-04	7.563E-04	8.703E-04	6.482E-04	6.343E-04	5.951E-04	7.182E-04	7.276E-04	6.144E-04
11月	6400	7.888E-04	5.713E-04	6.774E-04	7.614E-04	5.857E-04	5.687E-04	5.335E-04	6.431E-04	6.365E-04	5.542E-04
12月	10000	7.290E-04	5.276E-04	6.332E-04	6.943E-04	5.465E-04	5.244E-04	4.924E-04	6.006E-04	5.794E-04	5.173E-04

4.4.3 荷重支持性能の照査（疲労度解析）

アスコンの疲労度，路床の疲労度が 1.0 未満となる路盤厚を例図-4.4.1 に示すように内挿して選定すると例表-4.4.2 に示すとおりとなった。例表-4.4.3 に，B777-300D による疲労度算定例を示す。

荷重支持性能を満足する 2 ケースの舗装構造で，換算舗装厚はほぼ同じであることから，アスコン層が最も薄いケースがコスト的に有利である。したがって，滑走路中間部中央帯の舗装構造は，アスコン層厚 28cm，粒状路盤厚 50cm とした。



例図-4.4.1 路盤厚と路床疲労度の関係

例表-4.4.2 疲労度算定結果

舗装厚 (cm)			最大累積疲労度		必要路盤厚 (cm)	換算厚 (cm)
アスコン厚	粒状路盤厚	換算厚	アスコン	路床		
27	40	79	1.31	7.35	—	—
	45	84	1.24	2.84		
	50	89	1.18	1.23		
28	40	81	1.03	5.21	50	91
	45	86	0.98	2.08		
	50	91	0.93	0.93		
29	40	83	0.82	3.87	49	92
	45	88	0.77	1.59		
	50	93	0.74	0.73		

※換算厚＝表基層 15cm＋（アスコン厚－表基層 15cm）×等価値 2.0＋粒状路盤厚

例表-4. 4. 3 B777-300D による疲労度（滑走路中心線からの距離 5. 0m の位置）

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N =M/12	O =N/L	P =O/H	Q =O/J
対象機材	離陸 着陸	アスコン 厚	粒状 路盤厚	月	アスコン 変形係数	アスコン ひずみ	アスコン 破壊回数	路床 ひずみ	路床 破壊回数	中心線 からの距離	P/C	設計 交通量	月別設計 交通量	繰返し 載荷回数	アスコン 疲労度	路床 疲労度
		cm	cm		MPa		回		回	m		回	回	回		
B777-300D	離陸	29	45	1	12000	1.581E-04	156342	6.177E-04	4868610	5.0	5.4016	100000	8333	1543	0.0099	0.0003
				2	12000	1.581E-04	156342	6.177E-04	4868610				8333	1543	0.0099	0.0003
				3	9600	1.812E-04	140062	6.363E-04	3485240				8333	1543	0.0110	0.0004
				4	5500	2.547E-04	106130	6.958E-04	1280449				8333	1543	0.0145	0.0012
				5	3100	3.594E-04	82943	7.684E-04	420454				8333	1543	0.0186	0.0037
				6	1900	4.741E-04	74954	8.368E-04	161632				8333	1543	0.0206	0.0095
				7	900	6.801E-04	94886	9.523E-04	37914				8333	1543	0.0163	0.0407
				8	580	8.003E-04	149078	1.023E-03	16918				8333	1543	0.0104	0.0912
				9	1400	5.555E-04	76992	8.827E-04	88838				8333	1543	0.0200	0.0174
				10	3400	3.404E-04	85743	7.563E-04	502950				8333	1543	0.0180	0.0031
				11	6400	2.322E-04	114352	6.774E-04	1728467				8333	1543	0.0135	0.0009
				12	10000	1.767E-04	142905	6.332E-04	3685324				8333	1543	0.0108	0.0004
				合計												

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N =M/12	O =N/L	P =O/H	Q =O/J
対象機材	離陸 着陸	アスコン 厚	粒状 路盤厚	月	アスコン 変形係数	アスコン ひずみ	アスコン 破壊回数	路床 ひずみ	路床 破壊回数	中心線 からの距離	P/C	設計 交通量	月別設計 交通量	繰返し 載荷回数	アスコン 疲労度	路床 疲労度
		cm	cm		MPa		回		回	m		回	回	回		
B777-300D	着陸	29	45	1	12000	1.516E-04	204208	5.859E-04	8806650	5.0	8.1873	100000	8333	1018	0.0050	0.0001
				2	12000	1.516E-04	204208	5.859E-04	8806650				8333	1018	0.0050	0.0001
				3	9600	1.739E-04	181991	6.036E-04	6305230				8333	1018	0.0056	0.0002
				4	5500	2.449E-04	135994	6.606E-04	2292965				8333	1018	0.0075	0.0004
				5	3100	3.465E-04	104698	7.298E-04	749828				8333	1018	0.0097	0.0014
				6	1900	4.579E-04	93339	7.951E-04	286997				8333	1018	0.0109	0.0035
				7	900	6.592E-04	115580	9.054E-04	66835				8333	1018	0.0088	0.0152
				8	580	7.774E-04	179083	9.733E-04	29706				8333	1018	0.0057	0.0343
				9	1400	5.373E-04	95043	8.389E-04	157279				8333	1018	0.0107	0.0065
				10	3400	3.280E-04	108500	7.182E-04	897544				8333	1018	0.0094	0.0011
				11	6400	2.232E-04	147089	6.431E-04	3097421				8333	1018	0.0069	0.0003
				12	10000	1.696E-04	185898	6.006E-04	6668790				8333	1018	0.0055	0.0002
合計													100000		0.0907	0.0633

4.5 滑走路端部縁端帯の構造試設計

4.5.1 設計手順

滑走路端部縁端帯の設計手順は、疲労計算の方法が滑走路端部中央帯と異なり、航空機の横断方向の分布を考慮しない。具体的には、縁端帯の設計交通量は、横断方向の走行分布を考慮して中央帯設計交通量の数%（例表-4.2.4 参照）とするが、その交通量は縁端帯の舗装の一点を通過すると考えるため、パス／カバレッジ率は考慮していない（P/C=1.0 となる）。

4.5.2 構造解析

(1) 構造解析モデル

構造解析は次のケースについて行った。

- ・アスファルト混合物層厚（表・基層＋アスファルト安定処理路盤） 16, 17, 18cm
- ・粒状路盤厚 45, 50, 55cm
- ・路床厚 無限大

(2) 最大ひずみの算定

多層弾性解析プログラム（GAMES）により最大ひずみを算定した結果の一例として、アスコン厚 17cm、粒状路盤厚 50cm の場合を例表-4.5.1 に示す。

例表-4.5.1 最大ひずみ算定結果（アスコン厚 17cm、粒状路盤厚 50cm）

アスコン17cm＋粒状路盤50cm

アスコン層下面の最大引張ひずみ

	As変形係数 (MPa)	離陸					着陸				
		B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300	B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300
1月	8900	3.739E-04	2.849E-04	3.373E-04	3.386E-04	3.074E-04	3.097E-04	2.746E-04	3.268E-04	3.043E-04	2.983E-04
2月	8700	3.790E-04	2.888E-04	3.422E-04	3.431E-04	3.118E-04	3.141E-04	2.784E-04	3.316E-04	3.086E-04	3.025E-04
3月	6700	4.409E-04	3.373E-04	4.035E-04	3.989E-04	3.655E-04	3.694E-04	3.260E-04	3.916E-04	3.609E-04	3.554E-04
4月	3600	6.156E-04	4.760E-04	5.806E-04	5.577E-04	5.218E-04	5.307E-04	4.630E-04	5.657E-04	5.126E-04	5.098E-04
5月	2000	8.031E-04	6.285E-04	7.789E-04	7.305E-04	6.985E-04	7.147E-04	6.158E-04	7.622E-04	6.833E-04	6.861E-04
6月	1200	9.610E-04	7.611E-04	9.548E-04	8.782E-04	8.581E-04	8.831E-04	7.513E-04	9.387E-04	8.362E-04	8.474E-04
7月	510	1.146E-03	9.291E-04	1.196E-03	1.055E-03	1.078E-03	1.120E-03	9.300E-04	1.186E-03	1.040E-03	1.075E-03
8月	310	1.175E-03	9.668E-04	1.266E-03	1.088E-03	1.141E-03	1.193E-03	9.763E-04	1.262E-03	1.096E-03	1.146E-03
9月	800	1.066E-03	8.535E-04	1.081E-03	9.778E-04	9.746E-04	1.008E-03	8.478E-04	1.067E-03	9.457E-04	9.670E-04
10月	2100	7.874E-04	6.155E-04	7.618E-04	7.159E-04	6.832E-04	6.987E-04	6.027E-04	7.453E-04	6.686E-04	6.708E-04
11月	4400	5.554E-04	4.279E-04	5.188E-04	5.028E-04	4.672E-04	4.742E-04	4.153E-04	5.048E-04	4.597E-04	4.556E-04
12月	7000	4.300E-04	3.287E-04	3.927E-04	3.890E-04	3.560E-04	3.596E-04	3.176E-04	3.810E-04	3.516E-04	3.460E-04

アスコン17cm＋粒状路盤50cm

路床上面の最大圧縮ひずみ

	As変形係数 (MPa)	離陸					着陸				
		B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300	B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300
1月	8900	1.026E-03	7.459E-04	8.673E-04	1.006E-03	7.643E-04	7.473E-04	6.982E-04	8.240E-04	8.414E-04	7.249E-04
2月	8700	1.031E-03	7.495E-04	8.712E-04	1.010E-03	7.681E-04	7.510E-04	7.017E-04	8.278E-04	8.443E-04	7.285E-04
3月	6700	1.089E-03	7.923E-04	9.175E-04	1.048E-03	8.119E-04	7.946E-04	7.420E-04	8.720E-04	8.765E-04	7.703E-04
4月	3600	1.231E-03	8.971E-04	1.037E-03	1.132E-03	9.202E-04	9.020E-04	8.409E-04	9.862E-04	9.528E-04	8.736E-04
5月	2000	1.364E-03	9.961E-04	1.154E-03	1.243E-03	1.023E-03	1.004E-03	9.346E-04	1.098E-03	1.048E-03	9.720E-04
6月	1200	1.474E-03	1.078E-03	1.250E-03	1.334E-03	1.109E-03	1.089E-03	1.012E-03	1.190E-03	1.127E-03	1.054E-03
7月	510	1.641E-03	1.202E-03	1.395E-03	1.473E-03	1.240E-03	1.218E-03	1.130E-03	1.329E-03	1.249E-03	1.179E-03
8月	310	1.729E-03	1.268E-03	1.471E-03	1.548E-03	1.309E-03	1.287E-03	1.193E-03	1.402E-03	1.314E-03	1.246E-03
9月	800	1.556E-03	1.139E-03	1.322E-03	1.402E-03	1.173E-03	1.152E-03	1.070E-03	1.259E-03	1.186E-03	1.115E-03
10月	2100	1.353E-03	9.880E-04	1.144E-03	1.234E-03	1.015E-03	9.957E-04	9.269E-04	1.089E-03	1.040E-03	9.640E-04
11月	4400	1.185E-03	8.630E-04	9.974E-04	1.102E-03	8.848E-04	8.670E-04	8.087E-04	9.483E-04	9.215E-04	8.398E-04
12月	7000	1.079E-03	7.850E-04	9.095E-04	1.042E-03	8.045E-04	7.872E-04	7.351E-04	8.644E-04	8.714E-04	7.632E-04

4.5.3 荷重支持性能の照査（疲労度解析）

(1) 疲労度の算定

1) 疲労度算定例

次のケースにおける疲労度算定例を述べる．

- ・ 1 月の温度条件，交通量
- ・ 荷重は B777-300D 離陸機
- ・ 舗装構造はアスコン厚 17cm，粒状路盤厚 50cm

a) 発生ひずみ

B777-300D 離陸機によって発生する最大ひずみは下記のとおりとなった（例表-4.5.1）．

- ・ アスコン層下面最大ひずみ：337 μ
- ・ 路床上面最大ひずみ：867 μ

b) 交通量

1 月の離陸機設計交通量は，設計交通量（例表-4.2.5 より 700 回）を 12 ヶ月で除して 58.33 回となった．なお，前述の通り，パス／カバレッジ率は考慮していない．

c) アスコン層の疲労度

許容繰返し回数の算出は以下の通りとなる．

$$\begin{aligned} N_f &= 7.681 \times 10^{-6} \times \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{6.333} \times \left(\frac{1}{E}\right)^{3.374} \\ &= 7.681 \times 10^{-6} \times \left(\frac{1}{337 \times 10^{-6}}\right)^{6.333} \times \left(\frac{1}{8900}\right)^{3.374} = 3535 \text{ 回} \end{aligned}$$

よって，疲労度は

$$\begin{aligned} &1 \text{ 月の離陸機設計交通量} / \text{許容繰返し回数} \\ &= 58.33 / 3535 \\ &= 0.0165 \end{aligned}$$

d) 路床の疲労度

許容繰返し回数の算出は以下の通りとなる．

$$N_f = \frac{10^{-29.298}}{\varepsilon^{11.213}} = \frac{10^{-29.298}}{(867 \times 10^{-6})^{11.213}} = 108234 \text{ 回}$$

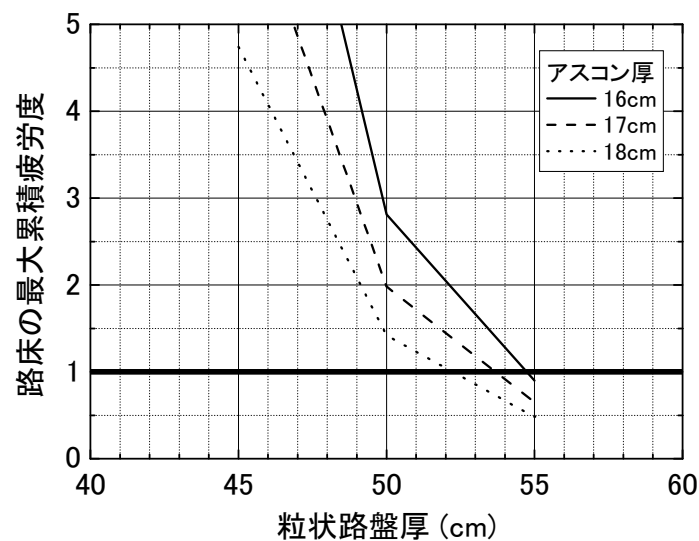
よって，疲労度は

$$\begin{aligned} &1 \text{ 月の離陸機設計交通量} / \text{許容繰返し回数} \\ &= 58.33 / 108234 \\ &= 0.0005 \end{aligned}$$

(2) 構造の決定

アスコンの疲労度，路床の疲労度が 1.0 未満となる路盤厚を例図-4.5.1 に示すように内挿して選定すると例表-4.5.2 に示すとおりとなった。例表-4.5.3 に，B777-300D による疲労度算定例を示す。

荷重支持性能を満足する 2 ケースの舗装構造で，換算舗装厚はほぼ同じであることから，アスコン層が最も薄いケースがコスト的に有利である。したがって，滑走路端部縁端帯の舗装構造は，アスコン層厚 17cm，粒状路盤厚 54cm とした。



例図-4.5.1 路盤厚と路床疲労度の関係

例表-4.5.2 疲労度算定結果

舗装厚 (cm)			最大累積疲労度		必要路盤厚 (cm)	換算厚 (cm)
アスコン厚	粒状路盤厚	換算厚	アスコン	路床		
16	45	62	1.46	9.96	—	—
	50	67	1.40	2.81		
	55	72	1.36	0.90		
17	45	64	1.06	6.78	55	74
	50	69	1.02	1.98		
	55	74	0.99	0.65		
18	45	66	0.78	4.74	53	74
	50	71	0.75	1.42		
	55	76	0.72	0.48		

※換算厚＝表基層 15cm＋（アスコン厚－表基層 15cm）×等価値 2.0＋粒状路盤厚

例表-4. 5. 3 B777-300D による疲労度（アスコン厚 17cm, 粒状路盤厚 50cm）

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N =M/12	O =N/L	P =O/H	Q =O/J
対象機材	離陸 着陸	アスコン 厚	粒状 路盤厚	月	アスコン 変形係数	アスコン ひずみ	アスコン 破壊回数	路床 ひずみ	路床 破壊回数	中心線 からの距離	P/C	設計 交通量	月別設計 交通量	繰返し 載荷回数	アスコン 疲労度	路床 疲労度
		cm	cm		MPa		回		回	m		回	回	回		
B777-300D	離陸	17	50	1	8900	3.373E-04	3535	8.673E-04	108234	—	1.0000	700	58.33	58.33	0.0165	0.0005
				2	8700	3.422E-04	3480	8.712E-04	102937				58.33	58.33	0.0168	0.0006
				3	6700	4.035E-04	2962	9.175E-04	57576				58.33	58.33	0.0197	0.0010
				4	3600	5.806E-04	2404	1.037E-03	14591				58.33	58.33	0.0243	0.0040
				5	2000	7.789E-04	2717	1.154E-03	4409				58.33	58.33	0.0215	0.0132
				6	1200	9.548E-04	4193	1.250E-03	1790				58.33	58.33	0.0139	0.0326
				7	510	1.196E-03	18044	1.395E-03	523				58.33	58.33	0.0032	0.1115
				8	310	1.266E-03	67754	1.471E-03	289				58.33	58.33	0.0009	0.2018
				9	800	1.081E-03	7524	1.322E-03	961				58.33	58.33	0.0078	0.0607
				10	2100	7.618E-04	2652	1.144E-03	4842				58.33	58.33	0.0220	0.0120
				11	4400	5.188E-04	2490	9.974E-04	22575				58.33	58.33	0.0234	0.0026
				12	7000	3.927E-04	3035	9.095E-04	63494				58.33	58.33	0.0192	0.0009
合計													700		0.1891	0.4415

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N =M/12	O =N/L	P =O/H	Q =O/J
対象機材	離陸 着陸	アスコン 厚	粒状 路盤厚	月	アスコン 変形係数	アスコン ひずみ	アスコン 破壊回数	路床 ひずみ	路床 破壊回数	中心線 からの距離	P/C	設計 交通量	月別設計 交通量	繰返し 載荷回数	アスコン 疲労度	路床 疲労度
		cm	cm		MPa		回		回	m		回	回	回		
B777-300D	着陸	17	50	1	8900	3.268E-04	4317	8.240E-04	192075	—	1.0000	2100	175.00	175.00	0.0405	0.0009
				2	8700	3.316E-04	4247	8.278E-04	182640				175.00	175.00	0.0412	0.0010
				3	6700	3.916E-04	3581	8.720E-04	101870				175.00	175.00	0.0489	0.0017
				4	3600	5.657E-04	2835	9.862E-04	25628				175.00	175.00	0.0617	0.0068
				5	2000	7.622E-04	3115	1.098E-03	7702				175.00	175.00	0.0562	0.0227
				6	1200	9.387E-04	4669	1.190E-03	3106				175.00	175.00	0.0375	0.0563
				7	510	1.186E-03	19040	1.329E-03	901				175.00	175.00	0.0092	0.1942
				8	310	1.262E-03	69126	1.402E-03	496				175.00	175.00	0.0025	0.3528
				9	800	1.067E-03	8167	1.259E-03	1662				175.00	175.00	0.0214	0.1053
				10	2100	7.453E-04	3047	1.089E-03	8456				175.00	175.00	0.0574	0.0207
				11	4400	5.048E-04	2961	9.483E-04	39761				175.00	175.00	0.0591	0.0044
				12	7000	3.810E-04	3676	8.644E-04	112391				175.00	175.00	0.0476	0.0016
合計													2100		0.4833	0.7685

4.6 滑走路中間部縁端帯の構造試設計

4.6.1 設計手順

滑走路中間部縁端帯の設計手順は、滑走路端部縁端帯と同様である。

4.6.2 構造解析

(1) 構造解析モデル

構造解析は次のケースについて行った。

- ・アスファルト混合物層厚（表・基層＋アスファルト安定処理路盤） 17, 18, 19cm
- ・粒状路盤厚 45, 50, 55cm
- ・路床厚 無限大

(2) 最大ひずみの算定

多層弾性解析プログラム（GAMES）により最大ひずみを算定した結果の一例として、アスコン厚 18cm、粒状路盤厚 50cm の場合を**例表-4.6.1**に示す。

例表-4.6.1 最大ひずみ算定結果（アスコン厚 18cm、粒状路盤厚 50cm）

アスコン18cm＋粒状路盤50cm

アスコン層下面の最大引張ひずみ

	As変形係数 (MPa)	離陸					着陸				
		B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300	B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300
1月	12000	2.970E-04	2.248E-04	2.612E-04	2.696E-04	2.412E-04	2.416E-04	2.158E-04	2.525E-04	2.400E-04	2.333E-04
2月	12000	2.970E-04	2.248E-04	2.612E-04	2.696E-04	2.412E-04	2.416E-04	2.158E-04	2.525E-04	2.400E-04	2.333E-04
3月	9400	3.437E-04	2.610E-04	3.063E-04	3.114E-04	2.808E-04	2.821E-04	2.510E-04	2.964E-04	2.786E-04	2.720E-04
4月	5300	4.784E-04	3.665E-04	4.393E-04	4.329E-04	3.976E-04	4.020E-04	3.544E-04	4.265E-04	3.923E-04	3.867E-04
5月	2900	6.554E-04	5.073E-04	6.194E-04	5.939E-04	5.566E-04	5.663E-04	4.938E-04	6.037E-04	5.466E-04	5.440E-04
6月	1700	8.278E-04	6.477E-04	8.022E-04	7.529E-04	7.196E-04	7.362E-04	6.346E-04	7.850E-04	7.040E-04	7.066E-04
7月	760	1.060E-03	8.458E-04	1.066E-03	9.710E-04	9.614E-04	9.922E-04	8.384E-04	1.050E-03	9.339E-04	9.522E-04
8月	480	1.147E-03	9.262E-04	1.187E-03	1.054E-03	1.069E-03	1.108E-03	9.247E-04	1.175E-03	1.032E-03	1.064E-03
9月	1200	9.367E-04	7.388E-04	9.226E-04	8.545E-04	8.284E-04	8.507E-04	7.273E-04	9.055E-04	8.083E-04	8.164E-04
10月	3100	6.344E-04	4.905E-04	5.978E-04	5.748E-04	5.374E-04	5.464E-04	4.770E-04	5.823E-04	5.280E-04	5.249E-04
11月	6200	4.380E-04	3.347E-04	3.990E-04	3.963E-04	3.622E-04	3.656E-04	3.232E-04	3.870E-04	3.578E-04	3.518E-04
12月	9800	3.352E-04	2.544E-04	2.982E-04	3.039E-04	2.737E-04	2.748E-04	2.447E-04	2.885E-04	2.716E-04	2.650E-04

アスコン18cm＋粒状路盤50cm

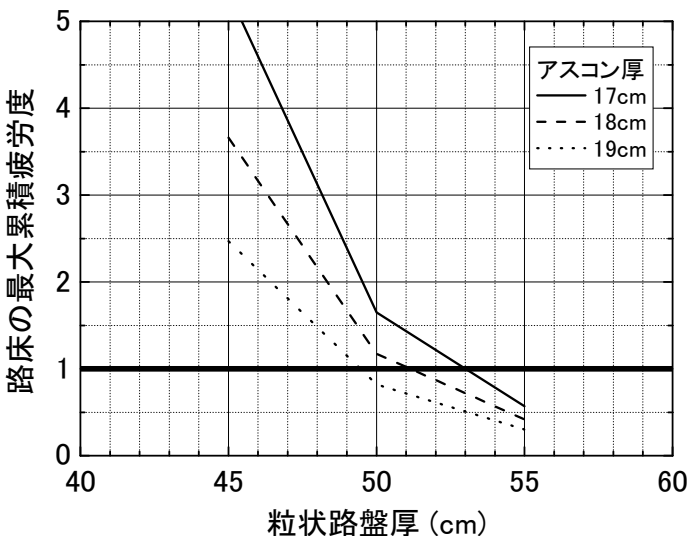
路床上面の最大圧縮ひずみ

	As変形係数 (MPa)	離陸					着陸				
		B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300	B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300
1月	12000	9.283E-04	6.724E-04	7.908E-04	9.251E-04	6.872E-04	6.707E-04	6.279E-04	7.511E-04	7.735E-04	6.515E-04
2月	12000	9.283E-04	6.724E-04	7.908E-04	9.251E-04	6.872E-04	6.707E-04	6.279E-04	7.511E-04	7.735E-04	6.515E-04
3月	9400	9.738E-04	7.079E-04	8.282E-04	9.664E-04	7.255E-04	7.087E-04	6.625E-04	7.868E-04	8.081E-04	6.879E-04
4月	5300	1.098E-03	7.996E-04	9.260E-04	1.052E-03	8.195E-04	8.021E-04	7.489E-04	8.801E-04	8.800E-04	7.775E-04
5月	2900	1.234E-03	8.999E-04	1.041E-03	1.135E-03	9.232E-04	9.050E-04	8.436E-04	9.897E-04	9.552E-04	8.764E-04
6月	1700	1.354E-03	9.882E-04	1.144E-03	1.234E-03	1.015E-03	9.959E-04	9.271E-04	1.089E-03	1.040E-03	9.643E-04
7月	760	1.521E-03	1.113E-03	1.291E-03	1.373E-03	1.146E-03	1.125E-03	1.045E-03	1.229E-03	1.161E-03	1.089E-03
8月	480	1.609E-03	1.178E-03	1.367E-03	1.447E-03	1.214E-03	1.193E-03	1.107E-03	1.302E-03	1.225E-03	1.155E-03
9月	1200	1.428E-03	1.044E-03	1.210E-03	1.295E-03	1.073E-03	1.053E-03	9.796E-04	1.152E-03	1.094E-03	1.020E-03
10月	3100	1.219E-03	8.888E-04	1.028E-03	1.122E-03	9.116E-04	8.935E-04	8.331E-04	9.772E-04	9.444E-04	8.654E-04
11月	6200	1.064E-03	7.740E-04	8.979E-04	1.031E-03	7.932E-04	7.760E-04	7.247E-04	8.533E-04	8.618E-04	7.524E-04
12月	9800	9.650E-04	7.014E-04	8.216E-04	9.596E-04	7.189E-04	7.021E-04	6.564E-04	7.805E-04	8.024E-04	6.816E-04

4.6.3 荷重支持性能の照査（疲労度解析）

アスコンの疲労度，路床の疲労度が 1.0 未満となる路盤厚を例図-4.6.1 に示すように内挿して選定すると例表-4.6.2 に示すとおりとなった。例表-4.6.3 に，B777-300D による疲労度算定例を示す。

荷重支持性能を満足するケースとして，滑走路中間部縁端帯の舗装構造は，アスコン層厚 19cm，粒状路盤厚 50cm とした。



例図-4.6.1 路盤厚と路床疲労度の関係

例表-4.6.2 疲労度算定結果

舗装厚 (cm)			最大累積疲労度		必要路盤厚 (cm)	換算厚 (cm)
アスコン厚	粒状路盤厚	換算厚	アスコン	路床		
17	45	64	1.55	5.33	—	—
	50	71	1.49	1.65		
	55	74	1.44	0.57		
18	45	66	1.12	3.66	—	—
	50	71	1.08	1.17		
	55	76	1.04	0.42		
	60	81	1.01	0.17		
19	45	68	0.83	2.47	50	73
	50	73	0.79	0.82		
	55	78	0.77	0.30		

※換算厚＝表基層 15cm＋（アスコン厚－表基層 15cm）×等価値 2.0＋粒状路盤厚

例表-4. 6. 3 B777-300D による疲労度（アスコン厚 18cm, 粒状路盤厚 50cm）

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N =M/12	O =N/L	P =O/H	Q =O/J
対象機材	離陸 着陸	アスコン 厚	粒状 路盤厚	月	アスコン 変形係数	アスコン ひずみ	アスコン 破壊回数	路床 ひずみ	路床 破壊回数	中心線 からの距離	P/C	設計 交通量	月別設計 交通量	繰返し 載荷回数	アスコン 疲労度	路床 疲労度
		cm	cm		MPa		回		回	m		回	回	回		
B777-300D	離陸	18	50	1	12000	2.612E-04	6507	7.908E-04	304602	—	1.0000	1000	83.33	83.33	0.0128	0.0003
				2	12000	2.612E-04	6507	7.908E-04	304602				83.33	83.33	0.0128	0.0003
				3	9400	3.063E-04	5409	8.282E-04	181531				83.33	83.33	0.0154	0.0005
				4	5300	4.393E-04	3810	9.260E-04	51920				83.33	83.33	0.0219	0.0016
				5	2900	6.194E-04	3308	1.041E-03	14019				83.33	83.33	0.0252	0.0059
				6	1700	8.022E-04	3901	1.144E-03	4832				83.33	83.33	0.0214	0.0172
				7	760	1.066E-03	9774	1.291E-03	1253				83.33	83.33	0.0085	0.0665
				8	480	1.187E-03	23287	1.367E-03	661				83.33	83.33	0.0036	0.1261
				9	1200	9.226E-04	5211	1.210E-03	2591				83.33	83.33	0.0160	0.0322
				10	3100	5.978E-04	3309	1.028E-03	16141				83.33	83.33	0.0252	0.0052
				11	6200	3.990E-04	4127	8.979E-04	73368				83.33	83.33	0.0202	0.0011
				12	9800	2.982E-04	5577	8.216E-04	198461				83.33	83.33	0.0149	0.0004
合計													1000		0.1979	0.2573

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N =M/12	O =N/L	P =O/H	Q =O/J
対象機材	離陸 着陸	アスコン 厚	粒状 路盤厚	月	アスコン 変形係数	アスコン ひずみ	アスコン 破壊回数	路床 ひずみ	路床 破壊回数	中心線 からの距離	P/C	設計 交通量	月別設計 交通量	繰返し 載荷回数	アスコン 疲労度	路床 疲労度
		cm	cm		MPa		回		回	m		回	回	回		
B777-300D	着陸	18	50	1	12000	2.525E-04	8072	7.511E-04	542920	—	1.0000	3000	250.00	250.00	0.0310	0.0005
				2	12000	2.525E-04	8072	7.511E-04	542920				250.00	250.00	0.0310	0.0005
				3	9400	2.964E-04	6657	7.868E-04	322836				250.00	250.00	0.0376	0.0008
				4	5300	4.265E-04	4597	8.801E-04	91802				250.00	250.00	0.0544	0.0027
				5	2900	6.037E-04	3894	9.897E-04	24639				250.00	250.00	0.0642	0.0101
				6	1700	7.850E-04	4476	1.089E-03	8438				250.00	250.00	0.0559	0.0296
				7	760	1.050E-03	10705	1.229E-03	2170				250.00	250.00	0.0234	0.1152
				8	480	1.175E-03	24822	1.302E-03	1138				250.00	250.00	0.0101	0.2197
				9	1200	9.055E-04	5867	1.152E-03	4509				250.00	250.00	0.0426	0.0554
				10	3100	5.823E-04	3907	9.772E-04	28387				250.00	250.00	0.0640	0.0088
				11	6200	3.870E-04	5008	8.533E-04	129952				250.00	250.00	0.0499	0.0019
				12	9800	2.885E-04	6872	7.805E-04	353090				250.00	250.00	0.0364	0.0007
合計													3000		0.5003	0.4460

4.7 平行誘導路、高速離脱誘導路の構造試設計

平行誘導路の試設計条件は、滑走路端部中央帯と全く同じであるため、構造も同様となる。よって以下では、高速離脱誘導路の設計例を述べる。高速離脱誘導路では着陸機のみを対象としたが、設計手順は中央帯と同様である。

4.7.1 構造解析

(1) 構造解析モデル

構造解析は次のケースについて行った。

- ・アスファルト混合物層厚（表・基層＋アスファルト安定処理路盤） 24, 25, 26cm
- ・粒状路盤厚 50, 55, 60cm
- ・路床厚 無限大

(2) 最大ひずみの算定

多層弾性解析プログラム（GAMES）により最大ひずみを算定した結果の一例として、アスコン厚 25cm、粒状路盤厚 55cm の場合を**例表-4.7.1**に示す。

例表-4.7.1 最大ひずみ算定結果（アスコン厚 25cm、粒状路盤厚 55cm）

アスコン25cm＋粒状路盤55cm

アスコン層下面の最大引張りひずみ

	As変形係数 (MPa)	着陸				
		B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300
1月	8900	2.058E-04	1.860E-04	2.126E-04	2.076E-04	1.994E-04
2月	8700	2.087E-04	1.885E-04	2.157E-04	2.104E-04	2.022E-04
3月	6800	2.429E-04	2.187E-04	2.522E-04	2.435E-04	2.350E-04
4月	3800	3.449E-04	3.082E-04	3.627E-04	3.412E-04	3.327E-04
5月	2100	4.827E-04	4.276E-04	5.124E-04	4.719E-04	4.644E-04
6月	1200	6.377E-04	5.600E-04	6.799E-04	6.177E-04	6.126E-04
7月	570	8.477E-04	7.351E-04	9.033E-04	8.115E-04	8.136E-04
8月	360	9.544E-04	8.209E-04	1.012E-03	9.061E-04	9.164E-04
9月	880	7.276E-04	6.357E-04	7.763E-04	7.014E-04	6.986E-04
10月	2300	4.594E-04	4.076E-04	4.872E-04	4.499E-04	4.422E-04
11月	4400	3.162E-04	2.831E-04	3.315E-04	3.137E-04	3.052E-04
12月	7200	2.345E-04	2.113E-04	2.432E-04	2.354E-04	2.270E-04

アスコン25cm＋粒状路盤55cm

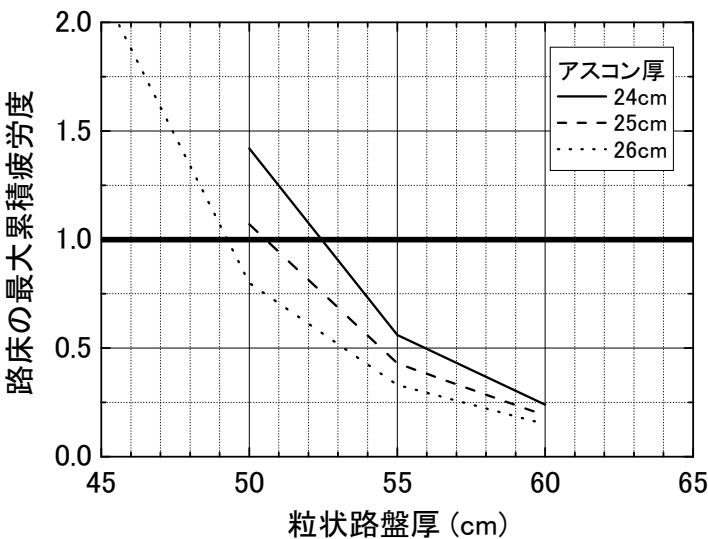
路床上面の最大圧縮ひずみ

	As変形係数 (MPa)	着陸				
		B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300
1月	8900	5.717E-04	5.363E-04	6.380E-04	6.384E-04	5.602E-04
2月	8700	5.742E-04	5.386E-04	6.404E-04	6.416E-04	5.616E-04
3月	6800	5.999E-04	5.628E-04	6.664E-04	6.763E-04	5.804E-04
4月	3800	6.519E-04	6.116E-04	7.315E-04	7.513E-04	6.308E-04
5月	2100	7.257E-04	6.781E-04	8.053E-04	8.157E-04	7.040E-04
6月	1200	7.987E-04	7.455E-04	8.802E-04	8.647E-04	7.741E-04
7月	570	8.943E-04	8.335E-04	9.807E-04	9.413E-04	8.663E-04
8月	360	9.510E-04	8.856E-04	1.040E-03	9.954E-04	9.211E-04
9月	880	8.389E-04	7.825E-04	9.224E-04	8.886E-04	8.129E-04
10月	2300	7.139E-04	6.672E-04	7.935E-04	8.067E-04	6.926E-04
11月	4400	6.400E-04	6.004E-04	7.145E-04	7.334E-04	6.169E-04
12月	7200	5.941E-04	5.573E-04	6.604E-04	6.684E-04	5.751E-04

4.7.2 荷重支持性能の照査（疲労度解析）

アスコンの疲労度，路床の疲労度が 1.0 未満となる路盤厚を例図-4.7.1 に示すように内挿して選定すると例表-4.7.2 に示すとおりとなった。例表-4.7.3 に，B777-300D による疲労度算定例を示す。

荷重支持性能を満足する 2 ケースの舗装構造で，換算舗装厚はほぼ同じであることから，アスコン層が最も薄いケースがコスト的に有利である。したがって，高速離脱誘導路の舗装構造は，アスコン層厚 25cm，粒状路盤厚 51cm とした。



例図-4.7.1 路盤厚と路床疲労度の関係

例表-4.7.2 疲労度算定結果

舗装厚 (cm)			最大累積疲労度		必要路盤厚 (cm)	換算厚 (cm)
アスコン厚	粒状路盤厚	換算厚	アスコン	路床		
24	50	83	1.23	1.42	—	—
	55	88	1.18	0.56		
	60	93	1.14	0.24		
25	50	85	0.94	1.07	51	86
	55	90	0.90	0.43		
	60	95	0.87	0.19		
26	45	82	0.76	2.15	50	87
	50	87	0.73	0.80		
	55	92	0.70	0.33		
	60	97	0.67	0.15		

※換算厚＝表基層 15cm＋（アスコン厚－表基層 15cm）×等価値 2.0＋粒状路盤厚

例表-4.7.3 B777-300D による疲労度（アスコン厚 25cm, 粒状路盤厚 55cm）

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N =M/12	O =N/L	P =O/H	Q =O/J
対象機材	離陸 着陸	アスコン 厚	粒状 路盤厚	月	アスコン 変形係数	アスコン ひずみ	アスコン 破壊回数	路床 ひずみ	路床 破壊回数	中心線 からの距離	P/C	設計 交通量	月別設計 交通量	繰返し 載荷回数	アスコン 疲労度	路床 疲労度
		cm	cm		MPa		回		回	m		回	回	回		
B777-300D	着陸	25	55	1	8900	2.126E-04	65782	6.380E-04	3383710	5.0	5.0216	100000	8333.33	1659.49	0.0252	0.0005
				2	8700	2.157E-04	64821	6.404E-04	3245348				8333.33	1659.49	0.0256	0.0005
				3	6800	2.522E-04	55243	6.664E-04	2075713				8333.33	1659.49	0.0300	0.0008
				4	3800	3.627E-04	39383	7.315E-04	730183				8333.33	1659.49	0.0421	0.0023
				5	2100	5.124E-04	32697	8.053E-04	248701				8333.33	1659.49	0.0508	0.0067
				6	1200	6.799E-04	36010	8.802E-04	91743				8333.33	1659.49	0.0461	0.0181
				7	570	9.033E-04	73425	9.807E-04	27271				8333.33	1659.49	0.0226	0.0609
				8	360	1.012E-03	168307	1.040E-03	14065				8333.33	1659.49	0.0099	0.1180
				9	880	7.763E-04	44291	9.224E-04	54258				8333.33	1659.49	0.0375	0.0306
				10	2300	4.872E-04	33112	7.935E-04	293429				8333.33	1659.49	0.0501	0.0057
				11	4400	3.315E-04	42488	7.145E-04	950914				8333.33	1659.49	0.0391	0.0017
				12	7200	2.432E-04	57312	6.604E-04	2300764				8333.33	1659.49	0.0290	0.0007
合計													100000		0.4079	0.2464

4.8 ショルダー・過走帯の構造試設計

4.8.1 設計手順

ショルダー・過走帯の設計手順は、中央帯、縁端帯のような累積疲労度による照査ではなく、最も厳しい荷重条件での繰返し回数 20 回における疲労度が 1.0 未満となるように設定した。また、縁端帯と同様に、パス／カバレッジ率は考慮してしない（P/C=1.0 となる）。

4.8.2 構造解析

(1) 構造解析モデル

構造解析は次のケースについて行った。なお、4.2.4 で述べた通り、アスファルト安定処理上層路盤がないショルダー・過走帯の粒状路盤材の弾性係数は 300MPa とした。

- ・アスファルト混合物層（表層）：5cm
- ・粒状路盤厚：45, 50, 55cm
- ・路床厚 無限大

(2) 許容ひずみの算定

路床及びアスコン層の許容繰返し回数 20 回に対する許容ひずみの算定は、次のとおりである。

1) 路床の許容ひずみ

路床の設計疲労曲線より、繰返し回数 20 回に対する許容ひずみは 1867μ となる。

$$N_f = \frac{10^{-29.298}}{\varepsilon_f^{11.213}}$$
$$\varepsilon_f = \frac{10^{(-29.298/11.213)}}{20^{(1/11.213)}} = 1867 \times 10^{-6}$$

2) アスコン層の許容ひずみ

アスコンの設計疲労曲線はアスコン層の弾性係数により変化する。アスコン層の弾性係数は、温度と載荷時間により異なるが、ショルダー・過走帯の設計では、設計対象地域の年間平均気温から推定されるアスコン層の年間平均温度及び誘導路走行時の載荷時間 0.05sec に対する弾性係数を用いた。

アスコン層の設計疲労曲線より、繰返し回数 20 回、アスコン層の弾性係数 2700MPa（例表-4.2.8）に対する許容ひずみは 1442μ となる。

$$N_f = 7.681 \times 10^{-6} \times \left(\frac{1}{\varepsilon_f}\right)^{6.333} \times \left(\frac{1}{E}\right)^{3.374}$$

$$\varepsilon_f = \left(7.681 \times 10^{-6} \times \frac{1}{20} \times \left(\frac{1}{2700} \right)^{3.374} \right)^{1/6.333} = 1442 \times 10^{-6}$$

例表-4.8.1 アスコン層の設計弾性係数と許容ひずみ（アスコン層厚 5cm の場合）

地域	アスコン層厚	年平均気温	アスコン 平均温度	設計弾性係数	許容ひずみ
東京	5cm	15.9℃	22.5℃	2700MPa	1442 μ

ショルダー・過走帯の設計では、仮定した舗装構造について、もっとも厳しい条件（各機材の離陸機）における舗装内のひずみが上記の許容ひずみ以下となることを確かめることにより行った。

(3) 最大ひずみの算定

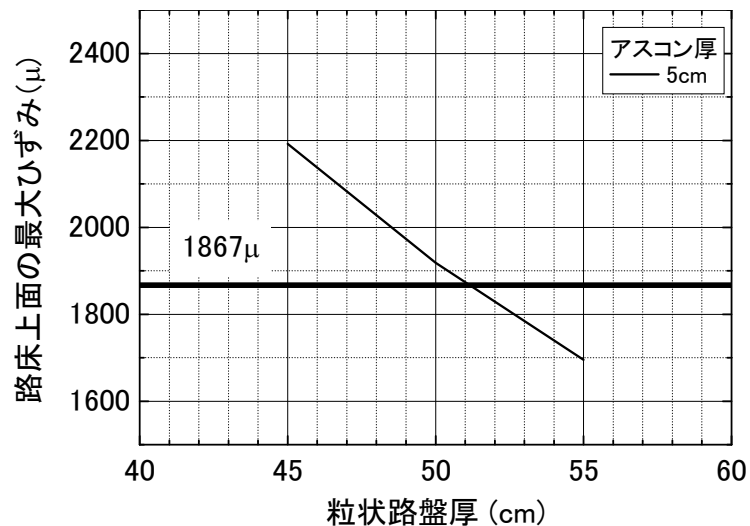
多層弾性解析プログラム (GAMES) により最大ひずみを算定した結果を**例表-4.8.2**に示す。

例表-4.8.2 最大ひずみ算定結果（ μ ）

機材	離陸 着陸	粒状路盤厚 45cm		粒状路盤厚 50cm		粒状路盤厚 55cm	
		アスコン	路床	アスコン	路床	アスコン	路床
B747-400	離陸	313	2192	314	1918	314	1695
B747-400D	離陸	291	1619	291	1412	292	1245
B777-300D	離陸	420	1907	420	1660	420	1463
A300-600	離陸	314	1945	314	1708	314	1517
B767-300	離陸	393	1685	393	1465	394	1288
最大値		420	2192	420	1918	420	1695

4.8.3 荷重支持性能の照査

アスコン層下面の最大引張りひずみは，路盤厚によらず，許容ひずみ以下である．また，路床上面の最大ひずみが許容ひずみ以下となる路盤厚を内挿して算出すると**例図-4.8.1**に示すとおり 52cm となる．したがって，ショルダー・過走帯の舗装構造は，路床上面のひずみに対する照査結果より，アスコン層厚 5cm，粒状路盤厚 52cm とした．



例図-4.8.1 粒状路盤厚と路床最大ひずみ

4.9 構造試算結果のまとめ

構造試算結果を**例表-4.9.1**にまとめた。

例表-4.9.1 構造試算結果

施設	部位	アスコン厚 (cm)	粒状路盤厚 (cm)
滑走路	端部中央帯	27	57
	端部縁端帯	17	54
	中間部中央帯	28	50
	中間部縁端帯	19	50
	ショルダー・過走帯	5	52
誘導路	平行誘導路	27	57
	高速離脱誘導路	25	51

参考文献

- 1) 笠原篤ほか:大型航空機の誘導路における走行特性, 土木学会論文集, No.420/V-13, 1990.
- 2) 八谷好高ほか: FWD による空港アスファルト舗装の非破壊構造評価, 土木学会論文集, No.662/V-49, pp.169-183, 2000.
- 3) 坪川将丈ほか: FWD による空港舗装構造評価システムの開発, 土木学会舗装工学論文集, 第10巻, pp.77-82, 2005.
- 4) 土木学会舗装工学委員会: 多層弾性理論による舗装構造解析入門, 舗装工学ライブラリー 3, 2005.

例-5 理論的設計法による無筋コンクリート舗装の構造設計例

理論的設計方法による無筋コンクリート舗装の構造設計例を示す。

5.1 設計概要

5.1.1 設計対象施設

設計対象施設は、ローディングエプロンとした。

5.1.2 要求性能、照査方法

要求性能と照査項目は**例表-5.1.1**に示すとおりとした。ここでは、荷重支持性能に対する照査項目の内、コンクリート版のたわみ及びコンクリート版の疲労ひび割れに対する照査例を述べる。

例表-5.1.1 要求性能と照査項目

要求性能	照査項目	照査方法
荷重支持性能	路床の支持力	コンクリート版の変形（たわみ）に対して照査する。
	路盤の支持力	路盤面の支持力係数が 70MN/m^3 となるように路盤厚を設定する。
	コンクリート版の疲労ひび割れ	航空機の脚荷重応力及び温度応力による疲労ひび割れに対して照査する。
	凍上	温暖地域であるため、凍上は考慮しない。
走行安全性能	すべり	Ⅳ-3.2 を適用し、表層に「空港土木工事共通仕様書」に記載される品質を有する材料を用いるため、すべり抵抗性を満足するとみなす。
	段差	Ⅳ-4.3 に示されている目地構造とするため、段差に対する走行安全性能を満足するとみなす。

5.2 設計条件

5.2.1 設計供用期間

荷重支持性能に対する設計供用期間として20年とした。

5.2.2 交通条件

交通条件としては、設計対象施設における機材別交通量、走行条件を設定した。

(1) 設計離着陸回数

設計供用期間における当該空港の設計離着陸回数は**例表-5.2.1**に示すとおりとした。この設計離着陸回数を元に各施設・部位の設計交通量を設定した。設計対象機材の諸元を**例表-5.2.2**に示す。

例表-5.2.1 設計離着陸回数（回）

施設	離着陸別	B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300
		国際	国内	国内	国内	国内
ローディング グエプロン	離陸	5,000	30,000	100,000	40,000	100,000
	着陸	5,000	30,000	100,000	40,000	100,000

例表-5.2.2 機材諸元

	離着陸別	B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300
脚荷重 (kN)	離陸	910	658	1,161	773	670
	着陸	656	615	1,105	643	634
複車輪の横中心間隔 (cm)	—	111.8	111.8	140.0	92.7	114.3
複々車輪の縦中心間隔 (cm)	—	147.3	147.3	290.0	139.7	142.2
タイヤ接地圧 (MPa)	—	1.38	1.13	1.48	1.28	1.33
タイヤ接地面積 (cm ²)	離陸	1,652	1,460	1,311	1,508	1,263
	着陸	1,188	1,363	1,243	1,258	1,195
タイヤ接地幅 (cm)	離陸	33.7	31.7	30.0	32.2	29.5
	着陸	28.6	30.6	29.3	29.4	28.7
タイヤ接地長 (cm)	離陸	49.0	46.1	43.7	46.8	42.8
	着陸	41.5	44.5	42.4	42.8	41.6

(2) 施設・部位別の設計交通量

「例-4 理論的設計法によるアスファルト舗装の構造設計例」における平行誘導路と同様に、設計離着陸回数の全離着陸回数をローディングエプロンの設計交通量とした。

(3) 走行条件

ローディングエプロンにおける横断方向走行位置分布の標準偏差は、例表-5.2.3（舗装設計編の表 I-4.4）に示される平行誘導路の値を参考とし、B747-400, B747-400D, B777-300D については横断方向走行位置分布の標準偏差を 0.6m, A300-600, B767-300 については標準偏差を 0.5m とした。

例表-5.2.3 航空機走行時の横断方向走行分布の標準偏差

コード文字	滑走路離陸時	滑走路着陸時	平行誘導路	高速離脱誘導路
E, F	0.91m	1.74m	0.67m	0.74m
B~D	0.74m	1.10m	0.57m	0.63m

5.2.3 環境条件

コンクリート版上下面温度差とその発生頻度は、設計対象空港と同程度の気象条件における版上下面温度差の実測結果を用いるのが最善であるが、実測結果は多くない。そこで、文献¹⁾に掲載されている 34cm, 42cm の版上下面温度差の発生頻度のうち、今回の設計で想定される版厚から、版厚 42cm における観測結果を用いて例表-5.2.4 のとおりとした。また、温度応力が主に正となる時間帯（10 時から 25 時）・主に負になる時間帯（25 時から 10 時）の交通量割合は 9:1 とした。例えば、B777-300D 離陸機の設計交通量は例表-5.2.1 のとおり 100,000 回であるから、10 時から 25 時の時間帯に走行する B777-300D 離陸機の設計交通量は $100,000 \times 0.9 = 90,000$ 回、25 時から 10 時の時間帯に走行する B777-300D 離陸機の設計交通量は $100,000 \times 0.1 = 10,000$ 回となる。さらに、10 時から 25 時の時間帯に走行する B777-300D 離陸機 90,000 回のうち、例えば版上下面温度差が 17℃の時の設計交通量としては、温度差発生割合が 0.0011 であるから、 $90,000 \times 0.0011 = 99$ 回となる。

例表-5.2.4 コンクリート版の温度差とその発生頻度

版上下面温度差 (°C)	版上下面温度差の発生割合	
	温度応力が主に正となる 時間帯 (10 時～25 時)	温度応力が主に負となる 時間帯 (25 時～10 時)
17 (16.0～17.9)	0.0011	-
15 (14.0～15.9)	0.0123	-
13 (12.0～13.9)	0.0392	-
11 (10.0～11.9)	0.0467	-
9 (8.0～9.9)	0.0518	-
7 (6.0～7.9)	0.0724	-
5 (4.0～5.9)	0.0948	-
3 (2.0～3.9)	0.1109	-
1 (0.0～1.9)	0.1411	0.0067
-1 (-2.0～-0.1)	0.1879	0.1448
-3 (-4.0～-2.1)	0.1516	0.4345
-5 (-6.0～-4.1)	0.0766	0.3521
-7 (-8.0～-6.1)	0.0133	0.0478
-9 (-10.0～-8.1)	0.0003	0.0140

5.2.4 設計用値

材料の設計用値は、次のとおりとした。

- ・コンクリートの設計曲げ強度（版厚 150mm の曲げ強度試験供試体）：5.0MPa
- ・コンクリートの弾性係数：34,000MPa
- ・コンクリートのポアソン比：0.15
- ・路盤の支持力係数：70MN/m³

5.2.5 設計疲労曲線

コンクリートの設計疲労曲線は、舗装設計編記載の**式 I -3.5** を用いた。

$$\log N_d = \frac{a - \sigma_{rd}/f_{bd,h}}{b}$$

ここに、

- N_d : 許容繰返し回数（回）
 σ_{rd} : 繰返し最大曲げ応力（MPa）
 $f_{bd,h}$: 寸法効果を考慮した設計曲げ強度（MPa）
 $a = 1.19614, b = 0.08672$

また、寸法効果を考慮した設計曲げ強度は、舗装設計編記載の**式 I -3.6** により算出した。

$$f_{bd,h} = 0.8 \cdot \left(0.6 + \frac{2.25}{h^{1/4}} \right) \cdot f_{bd,h_0}$$

ここに、

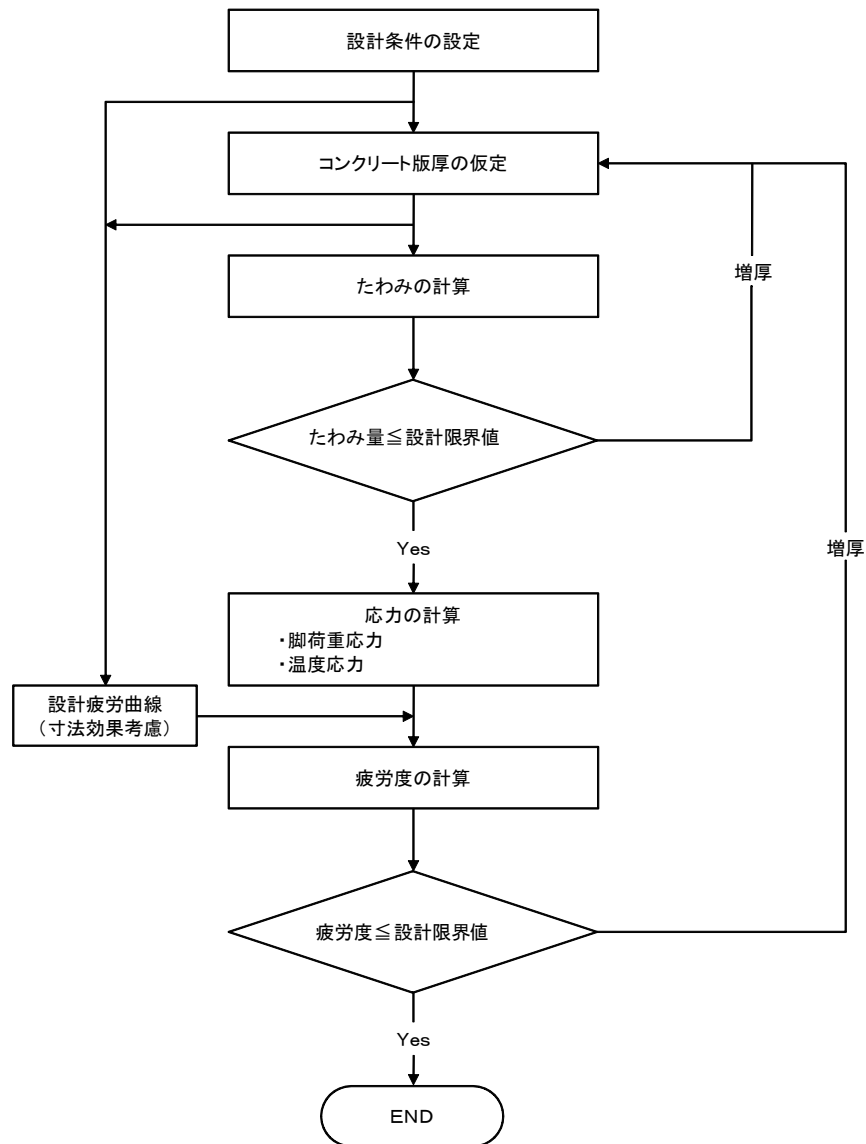
- f_{bd,h_0} : 版厚 150mm の設計曲げ強度（MPa）
 h : 版厚（mm）

厚さ 150mm の曲げ強度供試体における設計曲げ強度 f_{bd,h_0} を 5.0MPa としたため、例えば版厚 42cm の疲労度照査を行う際の設計曲げ強度 $f_{bd,h}$ としては $0.8776 \times 5.0 = 4.39\text{MPa}$ を用いた。

5.3 コンクリート版の構造試設計

5.3.1 設計手順

コンクリート版の荷重支持性能（たわみ，疲労ひび割れ）の照査手順を例図-5.3.1 に示す．



例図-5.3.1 コンクリート版の照査手順

5.3.2 コンクリート版厚の仮定

コンクリート版厚は、経験的設計法による版厚を参照して、40～43cm の 4 ケースを仮定した。

5.3.3 たわみ量及び脚荷重応力の算定

(1) 構造解析モデル

たわみ量及び脚荷重応力は、路盤をバネ支承とした二次元平板モデルの FEM 解析プログラム (CPfor) ²⁾により算定した。解析条件は以下のとおりである。なお、目地部については、空港用 FWD 荷重 (載荷荷重 200kN, 載荷板直径 450mm) が目地部に載荷された場合の荷重伝達率が 85%になるようなせん断ばね係数として、次式 ³⁾により 500N/mm² (単位長さ当たりのばね係数) と設定した。なお、曲げばね係数、ねじりばね係数については、荷重伝達率に影響がないことから、0N/mm²とした。

$$\log k_s = a - 0.27 \cdot \left(\frac{10^3}{l \cdot K_B} \right)$$

ここに、

k_s : せん断ばね係数 (kgf/cm²)

$$l : \text{剛比半径 (cm)} = \sqrt[4]{\frac{E_c h^3}{12(1-\nu^2)K_B}}$$

E_c : コンクリートの弾性係数 (kgf/cm²)

h : 版厚 (cm)

ν : コンクリートのポアソン比

K_B : 路盤支持力係数 (kgf/cm³)

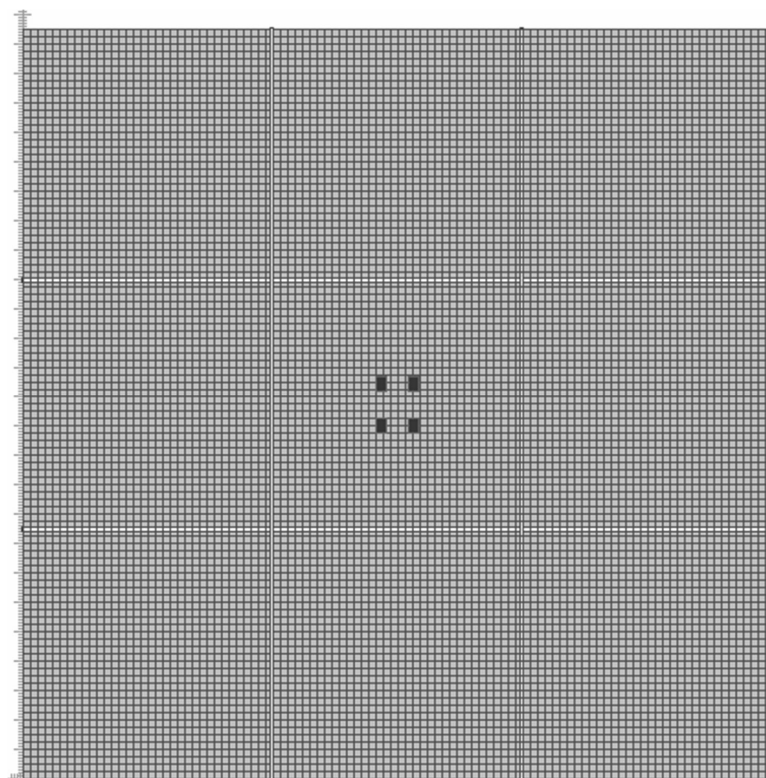
a : 係数

$$E_{ff} < 80\% \text{ のとき } a = 1.775 + 0.025 \cdot E_{ff}$$

$$E_{ff} > 80\% \text{ のとき } a = 17.9 - 0.378 \cdot E_{ff} + 0.00252 \cdot E_{ff}^2$$

E_{ff} : 荷重伝達率 (%)

- ・ 版の目地間隔 : 8.5m
- ・ 版の枚数 : 9 枚
- ・ 脚載荷方法 : 中央の版に 1 脚を載荷 (脚の中心が版の中心と一致)
- ・ 目地におけるせん断ばね係数 : 500N/mm²
- ・ 目地における曲げばね係数, ねじりばね係数 : 0N/mm²



例図-5.3.2 FEM 解析モデル図 (B747-400 の場合. 目地間隔 8.5m)

(2) たわみ量の算定

たわみ量は、脚が載荷されている版の上面に発生するたわみ量を節点ごとに計算し、その最大のものを採用した。算定結果は例表-5.3.1 に示すとおりとなった。今回仮定したいずれの版厚においても、たわみ量の限界値 1.25mm (0.125cm) を満足した。

例表-5.3.1 たわみ量算定結果 (cm)

版厚 (cm)	離着 陸別	B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300
40	離陸	0.092	0.070	0.096	0.083	0.071
	着陸	0.070	0.067	0.092	0.071	0.068
41	離陸	0.090	0.069	0.095	0.081	0.070
	着陸	0.069	0.066	0.091	0.070	0.067
42	離陸	0.089	0.068	0.094	0.080	0.069
	着陸	0.068	0.065	0.090	0.069	0.066
43	離陸	0.087	0.067	0.092	0.079	0.068
	着陸	0.067	0.064	0.089	0.068	0.065

(3) 脚荷重応力の算定

脚荷重応力は、脚が載荷されている版の下面に発生する最大主応力を節点ごとに計算し、その最大のものを採用した。節点における最大主応力は次式で算出した。版中央部載荷での脚荷重応力算定結果を**例表-5.3.2**に示す。

$$\sigma_p = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{4} + \tau_{xy}^2}$$

ここに、

- σ_p : 最大主応力 (MPa)
 σ_x, σ_y : x, y 方向の応力 (MPa)
 τ_{xy} : せん断応力 (MPa)

例表-5.3.2 脚荷重応力（最大主応力）算定結果（MPa）

版厚 (cm)	離着 陸別	B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300
40	離陸	2.69	1.99	2.44	2.45	2.02
	着陸	2.05	1.88	2.34	2.10	1.91
41	離陸	2.61	1.93	2.38	2.38	1.96
	着陸	1.98	1.82	2.27	2.04	1.86
42	離陸	2.53	1.87	2.31	2.30	1.90
	着陸	1.92	1.77	2.21	1.97	1.80
43	離陸	2.46	1.81	2.25	2.23	1.85
	着陸	1.86	1.71	2.15	1.91	1.74

5.3.4 温度応力の算定

版中央部に発生する温度応力は、舗装設計編記載の**式IV-2.6**を用いて算定した⁴⁾。例表-5.3.3に示すように、版上下面温度差（17℃～-9℃）に応じた温度応力をそれぞれ算出し、前述した脚荷重応力と合算した合成応力を用いて、後述する疲労度を算出する。

$$\sigma_t = (-0.772 \cdot h + 0.854) \cdot \frac{E \cdot \alpha \cdot \theta}{2 \cdot (1 - \nu)}$$

ここに、

- σ_t : 版中央部の温度応力 (MPa)
- h : コンクリート版厚 (m)
- E : コンクリートの弾性係数 (=34,000MPa)
- α : コンクリートの線膨張係数 (=10×10⁻⁶/℃)
- θ : 版上下面温度差 (℃)
- ν : コンクリートのポアソン比 (=0.15)

例表-5.3.3 温度応力算定結果（版厚 42cm の場合）

版上下面温度差 (℃)	温度応力 (MPa)
17	1.80
15	1.59
13	1.38
11	1.17
9	0.95
7	0.74
5	0.53
3	0.32
1	0.11
-1	-0.11
-3	-0.32
-5	-0.53
-7	-0.74
-9	-0.95

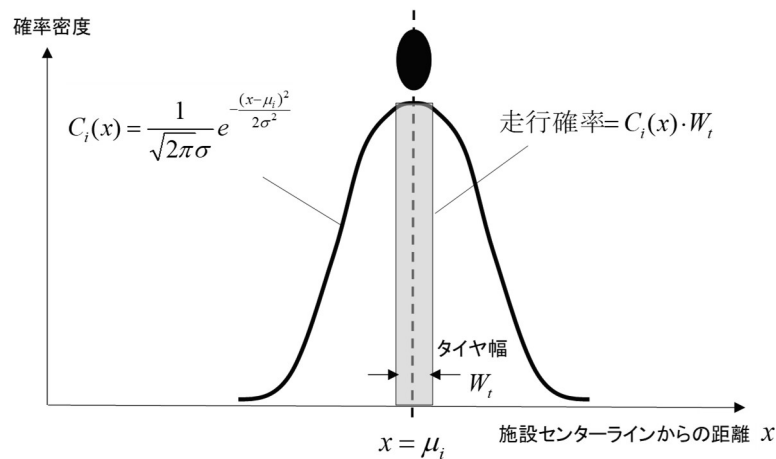
5.3.5 パス／カバレッジ率の算定

パス／カバレッジ率は、**付録-9**を参照して算定した。例えば B777-300D の離陸時の場合、施設センターラインからの距離が 5.0m の位置におけるタイヤ 1 輪の走行確率密度は、次式により算出した。

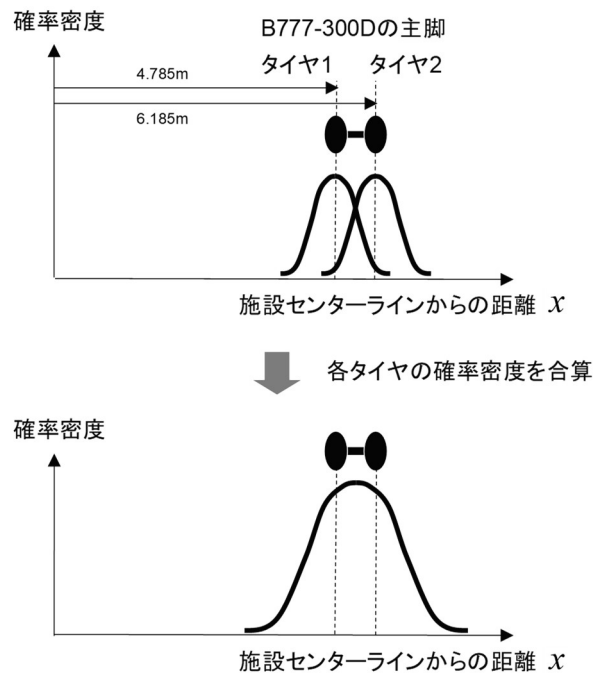
$$C_i(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu_i)^2}{2\sigma^2}}$$

ここに、

- $C_i(x)$: 施設センターラインから x の位置におけるタイヤ番号 i の走行確率密度
- x : 施設センターラインからの距離 (m)
- μ_i : 施設センターラインからタイヤ番号 i までの距離 (m)
- σ : 横断方向走行位置分布の標準偏差 (m)



例図-5.3.3 単車輪の場合の横断方向分布



例図-5.3.4 複数車輪の場合の横断方向分布

例えば、施設センターラインから 5.0m の位置における各々のタイヤの走行確率密度は、離陸時の場合は**例表-5.3.4**、着陸時の場合**例表-5.3.5**のとおりとなることから、この走行確率密度に離陸時／着陸時のタイヤ幅 W_t を乗じて合算することにより走行確率が算出される。この走行確率は「横断方向に対して走行位置がばらつく B777-300D 離陸機／着陸機が 1 回走行した場合に、施設センターラインから x (m) の位置においてタイヤ幅の範囲を走行する確率」を示す値であり、走行確率の逆数が施設センターラインから 5.0m の位置における B777-300D 離陸時のパス／カバレッジ率（**例表-5.3.6**）となる。また、着陸時のパス／カバレッジ率を算出する際は、着陸時のタイヤ幅を用いて算出した。

例表-5.3.4 B777-300D 離陸機のパス／カバレッジ率 ($x = 5.0\text{m}$)

タイヤ 番号	施設センターラインから		標準 偏差 σ (m)	走行確率 密度 C_i	タイヤ幅 W_t (m)	走行 確率	P/C
	脚中心までの 距離 (m)	タイヤ中心までの 距離 μ_i (m)					
1	5.485	4.785	0.6	0.62356	0.300	0.18707	4.6417
2		6.185		0.09457		0.02837	

例表-5.3.5 B777-300D 着陸機のパス／カバレッジ率 ($x = 5.0\text{m}$)

タイヤ 番号	施設センターラインから		標準 偏差 σ (m)	走行確率 密度 C_i	タイヤ幅 W_t (m)	走行 確率	P/C
	脚中心までの 距離 (m)	タイヤ中心までの 距離 μ_i (m)					
1	5.485	4.785	0.6	0.62356	0.293	0.18270	4.7526
2		6.185		0.09457		0.02771	

例表-5.3.6 B777-300D のパス／カバレッジ率

施設センターライン からの距離 (m)	離陸機の P/C	着陸機の P/C
4.0	11.7618	12.0428
4.1	9.5756	9.8044
4.2	8.0098	8.2011
4.3	6.8817	7.0461
4.4	6.0700	6.2150
4.5	5.4928	5.6240
4.6	5.0942	5.2159
4.7	4.8355	4.9510
4.8	4.6882	4.8002
4.9	4.6302	4.7408
5.0	4.6417	4.7526
5.1	4.7020	4.8143
5.2	4.7876	4.9020
5.3	4.8728	4.9893
5.4	4.9329	5.0508
5.5	4.9500	5.0682
5.6	4.9188	5.0363
5.7	4.8489	4.9647
5.8	4.7607	4.8745
5.9	4.6801	4.7919
6.0	4.6322	4.7428

5.3.6 疲労度及び版厚算定結果

(1) 疲労度算定方法

まず、各機材の版中央部載荷による荷重応力と版中央部に発生する温度応力を合算した合成応力から、許容繰返し回数を算出した。次に、疲労度を下記の通り算出した。施設センターラインから 5.0m の位置における疲労度算定結果を**例表-5.3.7**に、機種別疲労度算定結果を**例表-5.3.8**に示す。

$$CFD(x) = \sum_{i=1}^k FD(i, x)$$

ここに、

- $CFD(x)$: 施設センターラインからの距離 x における累積疲労度
 $FD(i, x)$: 航空機 i による施設センターラインからの距離 x における疲労度
 k : 設計対象機材数×2（離陸機・着陸機）

$$FD(i, x) = \frac{n(i)}{N(i) \times P/C(i, x)}$$

ここに、

- $n(i)$: 航空機 i の交通量（回）
 $N(i)$: 航空機 i による許容繰返し回数（回）
 $P/C(i, x)$: 航空機 i による施設センターラインからの距離 x におけるパス／カバレッジ率

例えば、10時から25時の時間帯、版上下面温度差 17℃、B777-300D 離陸機、版厚 42cm の条件における、施設センターラインから 5.0m の位置での疲労度の計算は下記のとおりとなった。

a) 合成応力

B777-300D 離陸機によって発生する合成は下記のとおりとなった。

- ・脚荷重応力：2.31MPa
- ・温度応力（温度差 17℃）：1.80MPa
- ・合成応力：脚荷重応力＋温度応力＝4.11MPa

b) 交通量、パス／カバレッジ率

10時から25時の時間帯における離陸機設計交通量は、設計交通量（**例表-5.2.1**より 100,000 回）を 9:1 に分けて考えるため 90,000 回となった。また、版上下面温度差 17℃が発生する頻度は 0.0011 であるため、温度差別設計交通量は $90,000 \times 0.0011 = 99$ 回となった。また、施設センターラインから 5.0m の位置における P/C を算出すると、離陸機で 4.6417 となった。

c) 疲労度

許容繰返し回数の算出は以下の通りとなる.

$$\log N_d = \frac{a - \sigma_{rd}/f_{bd,h}}{b} = \frac{1.19614 - 4.11/4.39}{0.08672} = \frac{1.19614 - 0.93622}{0.08672} = 2.9972$$

$$N_d = 994$$

よって、疲労度は

$$\begin{aligned} & \text{版上下面温度差 } 17^{\circ}\text{C} \text{ における離陸機設計交通量} / (\text{許容繰返し回数} \times P/C) \\ & = 99 / (994 \times 4.6417) = 0.0215 \end{aligned}$$

例表-5. 3. 7(1) B747-400 離陸機による疲労度算出過程（版厚 42cm，施設センターラインから 5. 0m）

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	10時から 25時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
B747-400	離陸	42	2.53	17	1.80	4.33	4.39	0.98633	263	5.0	3.7006	0.0011	4500	5	1.35	0.0051
				15	1.59	4.12		0.93850	935			0.0123		55	14.86	0.0159
				13	1.38	3.91		0.89066	3331			0.0392		176	47.56	0.0143
				11	1.17	3.70		0.84282	11865			0.0467		210	56.75	0.0048
				9	0.95	3.48		0.79271	44885			0.0518		233	62.96	0.0014
				7	0.74	3.27		0.74487	159867			0.0724		326	88.09	0.0006
				5	0.53	3.06		0.69704	569252			0.0948		427	115.39	0.0002
				3	0.32	2.85		0.64920	2027519			0.1109		499	134.84	0.0001
				1	0.11	2.64		0.60137	7219550			0.1411		635	171.59	0.0000
				-1	-0.11	2.42		0.55125	27318835			0.1879		846	228.61	0.0000
				-3	-0.32	2.21		0.50342	97276375			0.1516		682	184.29	0.0000
				-5	-0.53	2.00		0.45558	346471803			0.0766		345	93.23	0.0000
				-7	-0.74	1.79		0.40774	1234037659			0.0133		60	16.21	0.0000
				-9	-0.95	1.58		0.35991	4394137233			0.0003		1	0.27	0.0000
合計												1.0000		4500		0.0424

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	25時から 10時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
B747-400	離陸	42	2.53	17	1.80	4.33	4.39	0.98633	263	5.0	3.7006	0.0000	500	0	0.00	0.0000
				15	1.59	4.12		0.93850	935			0.0000		0	0.00	0.0000
				13	1.38	3.91		0.89066	3331			0.0000		0	0.00	0.0000
				11	1.17	3.70		0.84282	11865			0.0000		0	0.00	0.0000
				9	0.95	3.48		0.79271	44885			0.0000		0	0.00	0.0000
				7	0.74	3.27		0.74487	159867			0.0000		0	0.00	0.0000
				5	0.53	3.06		0.69704	569252			0.0000		0	0.00	0.0000
				3	0.32	2.85		0.64920	2027519			0.0000		0	0.00	0.0000
				1	0.11	2.64		0.60137	7219550			0.0067		3	0.81	0.0000
				-1	-0.11	2.42		0.55125	27318835			0.1448		72	19.46	0.0000
				-3	-0.32	2.21		0.50342	97276375			0.4345		217	58.64	0.0000
				-5	-0.53	2.00		0.45558	346471803			0.3521		176	47.56	0.0000
				-7	-0.74	1.79		0.40774	1234037659			0.0478		24	6.49	0.0000
				-9	-0.95	1.58		0.35991	4394137233			0.0140		7	1.89	0.0000
合計												0.9999		499		0.0000

例表-5. 3. 7(2) B747-400 着陸機による疲労度算出過程（版厚 42cm, 施設センターラインから 5. 0m）

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	10時から 25時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
B747-400	着陸	42	1.92	17	1.80	3.72	4.39	0.84738	10512	5.0	4.3606	0.0011	4500	5	1.15	0.0001
				15	1.59	3.51		0.79954	37440			0.0123		55	12.61	0.0003
				13	1.38	3.30		0.75171	133317			0.0392		176	40.36	0.0003
				11	1.17	3.09		0.70387	474838			0.0467		210	48.16	0.0001
				9	0.95	2.87		0.65376	1796313			0.0518		233	53.43	0.0000
				7	0.74	2.66		0.60592	6397973			0.0724		326	74.76	0.0000
				5	0.53	2.45		0.55809	22781779			0.0948		427	97.92	0.0000
				3	0.32	2.24		0.51025	81142457			0.1109		499	114.43	0.0000
				1	0.11	2.03		0.46241	289007206			0.1411		635	145.62	0.0000
				-1	-0.11	1.81		0.41230	1093315204			0.1879		846	194.01	0.0000
				-3	-0.32	1.60		0.36446	3894089277			0.1516		682	156.40	0.0000
				-5	-0.53	1.39		0.31663	13865997163			0.0766		345	79.12	0.0000
				-7	-0.74	1.18		0.26879	49386883753			0.0133		60	13.76	0.0000
				-9	-0.95	0.97		0.22096	1.75856E+11			0.0003		1	0.23	0.0000
合計												1.0000		4500		0.0008

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	25時から 10時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
B747-400	着陸	42	1.92	17	1.80	3.72	4.39	0.84738	10512	5.0	4.3606	0.0000	500	0	0.00	0.0000
				15	1.59	3.51		0.79954	37440			0.0000		0	0.00	0.0000
				13	1.38	3.30		0.75171	133317			0.0000		0	0.00	0.0000
				11	1.17	3.09		0.70387	474838			0.0000		0	0.00	0.0000
				9	0.95	2.87		0.65376	1796313			0.0000		0	0.00	0.0000
				7	0.74	2.66		0.60592	6397973			0.0000		0	0.00	0.0000
				5	0.53	2.45		0.55809	22781779			0.0000		0	0.00	0.0000
				3	0.32	2.24		0.51025	81142457			0.0000		0	0.00	0.0000
				1	0.11	2.03		0.46241	289007206			0.0067		3	0.69	0.0000
				-1	-0.11	1.81		0.41230	1093315204			0.1448		72	16.51	0.0000
				-3	-0.32	1.60		0.36446	3894089277			0.4345		217	49.76	0.0000
				-5	-0.53	1.39		0.31663	13865997163			0.3521		176	40.36	0.0000
				-7	-0.74	1.18		0.26879	49386883753			0.0478		24	5.50	0.0000
				-9	-0.95	0.97		0.22096	1.75856E+11			0.0140		7	1.61	0.0000
合計												0.9999		499		0.0000

例表-5. 3. 7(3) B747-400D 離陸機による疲労度算出過程 (版厚 42cm, 施設センターラインから 5. 0m)

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =GH	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	10時から 25時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
B747-400D	離陸	42	1.87	17	1.80	3.67	4.39	0.83599	14224	5.0	3.9341	0.0011	27000	30	7.63	0.0005
				15	1.59	3.46		0.78815	50662			0.0123		332	84.39	0.0017
				13	1.38	3.25		0.74032	180396			0.0392		1058	268.93	0.0015
				11	1.17	3.04		0.69248	642521			0.0467		1261	320.53	0.0005
				9	0.95	2.82		0.64237	2430660			0.0518		1399	355.61	0.0001
				7	0.74	2.61		0.59453	8657344			0.0724		1955	496.94	0.0001
				5	0.53	2.40		0.54670	30826903			0.0948		2560	650.72	0.0000
				3	0.32	2.19		0.49886	109796983			0.1109		2994	761.04	0.0000
				1	0.11	1.98		0.45103	390962955			0.1411		3810	968.46	0.0000
				-1	-0.11	1.76		0.40091	1479406895			0.1879		5073	1289.49	0.0000
				-3	-0.32	1.55		0.35308	5267843222			0.1516		4093	1040.39	0.0000
				-5	-0.53	1.34		0.30524	18762614602			0.0766		2068	525.66	0.0000
				-7	-0.74	1.13		0.25740	66827293800			0.0133		359	91.25	0.0000
				-9	-0.95	0.92		0.20957	2.37957E+11			0.0003		8	2.03	0.0000
合計												1.0000			27000	

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =GH	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	25時から 10時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 载荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
B747-400D	離陸	42	1.87	17	1.80	3.67	4.39	0.83599	14224	5.0	3.9341	0.0000	300	0	0.00	0.0000
				15	1.59	3.46		0.78815	50662			0.0000		0	0.00	0.0000
				13	1.38	3.25		0.74032	180396			0.0000		0	0.00	0.0000
				11	1.17	3.04		0.69248	642521			0.0000		0	0.00	0.0000
				9	0.95	2.82		0.64237	2430660			0.0000		0	0.00	0.0000
				7	0.74	2.61		0.59453	8657344			0.0000		0	0.00	0.0000
				5	0.53	2.40		0.54670	30826903			0.0000		0	0.00	0.0000
				3	0.32	2.19		0.49886	109796983			0.0000		0	0.00	0.0000
				1	0.11	1.98		0.45103	390962955			0.0067		2	0.51	0.0000
				-1	-0.11	1.76		0.40091	1479406895			0.1448		43	10.93	0.0000
				-3	-0.32	1.55		0.35308	5267843222			0.4345		130	33.04	0.0000
				-5	-0.53	1.34		0.30524	18762614602			0.3521		106	26.94	0.0000
				-7	-0.74	1.13		0.25740	66827293800			0.0478		14	3.56	0.0000
				-9	-0.95	0.92		0.20957	2.37957E+11			0.0140		4	1.02	0.0000
合計												0.9999		299		0.0000

例表-5.3.7(4) B747-400D 着陸機による疲労度算出過程（版厚 42cm, 施設センターラインから 5.0m）

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	10時から 25時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
B747-400D	着陸	42	1.77	17	1.80	3.57	4.39	0.81321	26044	5.0	4.0755	0.0011	27000	30	7.36	0.0003
				15	1.59	3.36		0.76538	92737			0.0123		332	81.46	0.0009
				13	1.38	3.15		0.71754	330302			0.0392		1058	259.60	0.0008
				11	1.17	2.94		0.66970	1176446			0.0467		1261	309.41	0.0003
				9	0.95	2.72		0.61959	4450499			0.0518		1399	343.27	0.0001
				7	0.74	2.51		0.57175	15851457			0.0724		1955	479.70	0.0000
				5	0.53	2.30		0.52392	56443559			0.0948		2560	628.14	0.0000
				3	0.32	2.09		0.47608	201036497			0.1109		2994	734.63	0.0000
				1	0.11	1.88		0.42825	715846838			0.1411		3810	934.85	0.0000
				-1	-0.11	1.66		0.37813	2708770058			0.1879		5073	1244.76	0.0000
				-3	-0.32	1.45		0.33030	9645335602			0.1516		4093	1004.29	0.0000
				-5	-0.53	1.24		0.28246	34354043385			0.0766		2068	507.42	0.0000
				-7	-0.74	1.03		0.23462	1.2236E+11			0.0133		359	88.09	0.0000
				-9	-0.95	0.82		0.18679	4.35696E+11			0.0003		8	1.96	0.0000
合計												1.0000			27000	

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	25時から 10時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
B747-400D	着陸	42	1.77	17	1.80	3.57	4.39	0.81321	26044	5.0	4.0755	0.0000	300	0	0.00	0.0000
				15	1.59	3.36		0.76538	92737			0.0000		0	0.00	0.0000
				13	1.38	3.15		0.71754	330302			0.0000		0	0.00	0.0000
				11	1.17	2.94		0.66970	1176446			0.0000		0	0.00	0.0000
				9	0.95	2.72		0.61959	4450499			0.0000		0	0.00	0.0000
				7	0.74	2.51		0.57175	15851457			0.0000		0	0.00	0.0000
				5	0.53	2.30		0.52392	56443559			0.0000		0	0.00	0.0000
				3	0.32	2.09		0.47608	201036497			0.0000		0	0.00	0.0000
				1	0.11	1.88		0.42825	715846838			0.0067		2	0.49	0.0000
				-1	-0.11	1.66		0.37813	2708770058			0.1448		43	10.55	0.0000
				-3	-0.32	1.45		0.33030	9645335602			0.4345		130	31.90	0.0000
				-5	-0.53	1.24		0.28246	34354043385			0.3521		106	26.01	0.0000
				-7	-0.74	1.03		0.23462	1.2236E+11			0.0478		14	3.44	0.0000
				-9	-0.95	0.82		0.18679	4.35696E+11			0.0140		4	0.98	0.0000
合計												0.9999		299		0.0000

例表-5.3.7(5) B777-300D 離陸機による疲労度算出過程（版厚 42cm, 施設センターラインから 5.0m）

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	10時から 25時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
B777-300D	離陸	42	2.31	17	1.80	4.11	4.39	0.93622	994	5.0	4.6417	0.0011	90000	99	21.33	0.0215
				15	1.59	3.90		0.88838	3539			0.0123		1107	238.49	0.0674
				13	1.38	3.69		0.84055	12602			0.0392		3528	760.07	0.0603
				11	1.17	3.48		0.79271	44885			0.0467		4203	905.49	0.0202
				9	0.95	3.26		0.74260	169799			0.0518		4662	1004.37	0.0059
				7	0.74	3.05		0.69476	604778			0.0724		6516	1403.80	0.0023
				5	0.53	2.84		0.64692	2154053			0.0948		8532	1838.12	0.0009
				3	0.32	2.63		0.59909	7670111			0.1109		9981	2150.29	0.0003
				1	0.11	2.42		0.55125	27318835			0.1411		12699	2735.85	0.0001
				-1	-0.11	2.20		0.50114	103347242			0.1879		16911	3643.28	0.0000
				-3	-0.32	1.99		0.45330	368094569			0.1516		13644	2939.44	0.0000
				-5	-0.53	1.78		0.40547	1310703963			0.0766		6894	1485.23	0.0000
				-7	-0.74	1.57		0.35763	4668368491			0.0133		1197	257.88	0.0000
				-9	-0.95	1.36		0.30979	16627449816			0.0003		27	5.82	0.0000
合計												1.0000		90000		0.1789

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	25時から 10時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
B777-300D	離陸	42	2.31	17	1.80	4.11	4.39	0.93622	994	5.0	4.6417	0.0000	10000	0	0.00	0.0000
				15	1.59	3.90		0.88838	3539			0.0000		0	0.00	0.0000
				13	1.38	3.69		0.84055	12602			0.0000		0	0.00	0.0000
				11	1.17	3.48		0.79271	44885			0.0000		0	0.00	0.0000
				9	0.95	3.26		0.74260	169799			0.0000		0	0.00	0.0000
				7	0.74	3.05		0.69476	604778			0.0000		0	0.00	0.0000
				5	0.53	2.84		0.64692	2154053			0.0000		0	0.00	0.0000
				3	0.32	2.63		0.59909	7670111			0.0000		0	0.00	0.0000
				1	0.11	2.42		0.55125	27318835			0.0067		67	14.43	0.0000
				-1	-0.11	2.20		0.50114	103347242			0.1448		1448	311.95	0.0000
				-3	-0.32	1.99		0.45330	368094569			0.4345		4345	936.08	0.0000
				-5	-0.53	1.78		0.40547	1310703963			0.3521		3521	758.56	0.0000
				-7	-0.74	1.57		0.35763	4668368491			0.0478		478	102.98	0.0000
				-9	-0.95	1.36		0.30979	16627449816			0.0140		140	30.16	0.0000
合計												0.9999		9999		0.0000

例表-5.3.7(6) B777-300D 着陸機による疲労度算出過程 (版厚 42cm, 施設センターラインから 5.0m)

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	10時から 25時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
B777-300D	着陸	42	2.21	17	1.80	4.01	4.39	0.91344	1819	5.0	4.7526	0.0011	90000	99	20.83	0.0115
				15	1.59	3.80		0.86560	6480			0.0123		1107	232.93	0.0359
				13	1.38	3.59		0.81777	23074			0.0392		3528	742.33	0.0322
				11	1.17	3.38		0.76993	82183			0.0467		4203	884.36	0.0108
				9	0.95	3.16		0.71982	310899			0.0518		4662	980.94	0.0032
				7	0.74	2.95		0.67198	1107339			0.0724		6516	1371.04	0.0012
				5	0.53	2.74		0.62415	3942990			0.0948		8532	1795.23	0.0005
				3	0.32	2.53		0.57631	14043849			0.1109		9981	2100.11	0.0001
				1	0.11	2.32		0.52847	50020345			0.1411		12699	2672.01	0.0001
				-1	-0.11	2.10		0.47836	189227127			0.1879		16911	3558.26	0.0000
				-3	-0.32	1.89		0.43052	673975193			0.1516		13644	2870.85	0.0000
				-5	-0.53	1.68		0.38269	2399877723			0.0766		6894	1450.57	0.0000
				-7	-0.74	1.47		0.33485	8547707080			0.0133		1197	251.86	0.0000
				-9	-0.95	1.26		0.28702	30436508692			0.0003		27	5.68	0.0000
合計												1.0000			90000	

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	25時から 10時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
B777-300D	着陸	42	2.21	17	1.80	4.01	4.39	0.91344	1819	5.0	4.7526	0.0000	10000	0	0.00	0.0000
				15	1.59	3.80		0.86560	6480			0.0000		0	0.00	0.0000
				13	1.38	3.59		0.81777	23074			0.0000		0	0.00	0.0000
				11	1.17	3.38		0.76993	82183			0.0000		0	0.00	0.0000
				9	0.95	3.16		0.71982	310899			0.0000		0	0.00	0.0000
				7	0.74	2.95		0.67198	1107339			0.0000		0	0.00	0.0000
				5	0.53	2.74		0.62415	3942990			0.0000		0	0.00	0.0000
				3	0.32	2.53		0.57631	14043849			0.0000		0	0.00	0.0000
				1	0.11	2.32		0.52847	50020345			0.0067		67	14.10	0.0000
				-1	-0.11	2.10		0.47836	189227127			0.1448		1448	304.68	0.0000
				-3	-0.32	1.89		0.43052	673975193			0.4345		4345	914.24	0.0000
				-5	-0.53	1.68		0.38269	2399877723			0.3521		3521	740.86	0.0000
				-7	-0.74	1.47		0.33485	8547707080			0.0478		478	100.58	0.0000
				-9	-0.95	1.26		0.28702	30436508692			0.0140		140	29.46	0.0000
合計												0.9999		9999		0.0000

例表-5. 3. 7(7) A300-600 離陸機による疲労度算出過程（版厚 42cm，施設センターラインから 5. 0m）

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	10時から 25時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
A300-600	離陸	42	2.30	17	1.80	4.10	4.39	0.93394	1056	5.0	3.0292	0.0011	36000	40	13.20	0.0125
				15	1.59	3.89		0.88610	3760			0.0123		443	146.24	0.0389
				13	1.38	3.68		0.83827	13388			0.0392		1411	465.80	0.0348
				11	1.17	3.47		0.79043	47686			0.0467		1681	554.93	0.0116
				9	0.95	3.25		0.74032	180396			0.0518		1865	615.67	0.0034
				7	0.74	3.04		0.69248	642521			0.0724		2606	860.29	0.0013
				5	0.53	2.83		0.64465	2287877			0.0948		3413	1126.70	0.0005
				3	0.32	2.62		0.59681	8148791			0.1109		3992	1317.84	0.0002
				1	0.11	2.41		0.54897	29023761			0.1411		5080	1677.01	0.0001
				-1	-0.11	2.19		0.49886	109796983			0.1879		6764	2232.93	0.0000
				-3	-0.32	1.98		0.45103	390962955			0.1516		5458	1801.80	0.0000
				-5	-0.53	1.77		0.40319	1392502955			0.0766		2758	910.47	0.0000
				-7	-0.74	1.56		0.35535	4959714095			0.0133		479	158.13	0.0000
				-9	-0.95	1.35		0.30752	17660453234			0.0003		11	3.63	0.0000
合計												1.0000		36001		0.1033

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	25時から 10時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
A300-600	離陸	42	2.30	17	1.80	4.10	4.39	0.93394	1056	5.0	3.0292	0.0000	4000	0	0.00	0.0000
				15	1.59	3.89		0.88610	3760			0.0000		0	0.00	0.0000
				13	1.38	3.68		0.83827	13388			0.0000		0	0.00	0.0000
				11	1.17	3.47		0.79043	47686			0.0000		0	0.00	0.0000
				9	0.95	3.25		0.74032	180396			0.0000		0	0.00	0.0000
				7	0.74	3.04		0.69248	642521			0.0000		0	0.00	0.0000
				5	0.53	2.83		0.64465	2287877			0.0000		0	0.00	0.0000
				3	0.32	2.62		0.59681	8148791			0.0000		0	0.00	0.0000
				1	0.11	2.41		0.54897	29023761			0.0067		27	8.91	0.0000
				-1	-0.11	2.19		0.49886	109796983			0.1448		579	191.14	0.0000
				-3	-0.32	1.98		0.45103	390962955			0.4345		1738	573.75	0.0000
				-5	-0.53	1.77		0.40319	1392502955			0.3521		1408	464.81	0.0000
				-7	-0.74	1.56		0.35535	4959714095			0.0478		191	63.05	0.0000
				-9	-0.95	1.35		0.30752	17660453234			0.0140		56	18.49	0.0000
合計												0.9999		3999		0.0000

例表-5. 3. 7 (8) A300-600 着陸機による疲労度算出過程（版厚 42cm，施設センターラインから 5. 0m）

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	10時から 25時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
A300-600	着陸	42	1.97	17	1.80	3.77	4.39	0.85877	7768	5.0	3.3177	0.0011	36000	40	12.06	0.0016
				15	1.59	3.56		0.81093	27669			0.0123		443	133.53	0.0048
				13	1.38	3.35		0.76310	98524			0.0392		1411	425.29	0.0043
				11	1.17	3.14		0.71526	350916			0.0467		1681	506.68	0.0014
				9	0.95	2.92		0.66515	1327516			0.0518		1865	562.14	0.0004
				7	0.74	2.71		0.61731	4728247			0.0724		2606	785.48	0.0002
				5	0.53	2.50		0.56948	16836251			0.0948		3413	1028.72	0.0001
				3	0.32	2.29		0.52164	59966114			0.1109		3992	1203.24	0.0000
				1	0.11	2.08		0.47380	213582871			0.1411		5080	1531.18	0.0000
				-1	-0.11	1.86		0.42369	807984699			0.1879		6764	2038.76	0.0000
				-3	-0.32	1.65		0.37585	2877820177			0.1516		5458	1645.12	0.0000
				-5	-0.53	1.44		0.32802	10247285968			0.0766		2758	831.30	0.0000
				-7	-0.74	1.23		0.28018	36498025703			0.0133		479	144.38	0.0000
				-9	-0.95	1.02		0.23235	1.29961E+11			0.0003		11	3.32	0.0000
合計												1.0000			36001	

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	25時から 10時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
A300-600	着陸	42	1.97	17	1.80	3.77	4.39	0.85877	7768	5.0	3.3177	0.0000	4000	0	0.00	0.0000
				15	1.59	3.56		0.81093	27669			0.0000		0	0.00	0.0000
				13	1.38	3.35		0.76310	98524			0.0000		0	0.00	0.0000
				11	1.17	3.14		0.71526	350916			0.0000		0	0.00	0.0000
				9	0.95	2.92		0.66515	1327516			0.0000		0	0.00	0.0000
				7	0.74	2.71		0.61731	4728247			0.0000		0	0.00	0.0000
				5	0.53	2.50		0.56948	16836251			0.0000		0	0.00	0.0000
				3	0.32	2.29		0.52164	59966114			0.0000		0	0.00	0.0000
				1	0.11	2.08		0.47380	213582871			0.0067		27	8.14	0.0000
				-1	-0.11	1.86		0.42369	807984699			0.1448		579	174.52	0.0000
				-3	-0.32	1.65		0.37585	2877820177			0.4345		1738	523.86	0.0000
				-5	-0.53	1.44		0.32802	10247285968			0.3521		1408	424.39	0.0000
				-7	-0.74	1.23		0.28018	36498025703			0.0478		191	57.57	0.0000
				-9	-0.95	1.02		0.23235	1.29961E+11			0.0140		56	16.88	0.0000
合計												0.9999		3999		0.0000

例表-5. 3. 7 (9) B767-300 離陸機による疲労度算出過程（版厚 42cm, 施設センターラインから 5. 0m）

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	10時から 25時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
B767-300	離陸	42	1.90	17	1.80	3.70	4.39	0.84282	11865	5.0	3.8994	0.0011	90000	99	25.39	0.0021
				15	1.59	3.49		0.79499	42248			0.0123		1107	283.89	0.0067
				13	1.38	3.28		0.74715	150476			0.0392		3528	904.75	0.0060
				11	1.17	3.07		0.69932	535813			0.0467		4203	1077.86	0.0020
				9	0.95	2.85		0.64920	2027519			0.0518		4662	1195.57	0.0006
				7	0.74	2.64		0.60137	7219550			0.0724		6516	1671.03	0.0002
				5	0.53	2.43		0.55353	25714061			0.0948		8532	2188.03	0.0001
				3	0.32	2.22		0.50569	91586441			0.1109		9981	2559.62	0.0000
				1	0.11	2.01		0.45786	326119212			0.1411		12699	3256.65	0.0000
				-1	-0.11	1.79		0.40774	1234037659			0.1879		16911	4336.82	0.0000
				-3	-0.32	1.58		0.35991	4394137233			0.1516		13644	3499.00	0.0000
				-5	-0.53	1.37		0.31207	15650713192			0.0766		6894	1767.96	0.0000
				-7	-0.74	1.16		0.26424	55728754348			0.0133		1197	306.97	0.0000
				-9	-0.95	0.95		0.21640	1.98491E+11			0.0003		27	6.92	0.0000
合計												1.0000		90000		0.0177

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	25時から 10時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
B767-300	離陸	42	1.90	17	1.80	3.70	4.39	0.84282	11865	5.0	3.8994	0.0000	10000	0	0.00	0.0000
				15	1.59	3.49		0.79499	42248			0.0000		0	0.00	0.0000
				13	1.38	3.28		0.74715	150476			0.0000		0	0.00	0.0000
				11	1.17	3.07		0.69932	535813			0.0000		0	0.00	0.0000
				9	0.95	2.85		0.64920	2027519			0.0000		0	0.00	0.0000
				7	0.74	2.64		0.60137	7219550			0.0000		0	0.00	0.0000
				5	0.53	2.43		0.55353	25714061			0.0000		0	0.00	0.0000
				3	0.32	2.22		0.50569	91586441			0.0000		0	0.00	0.0000
				1	0.11	2.01		0.45786	326119212			0.0067		67	17.18	0.0000
				-1	-0.11	1.79		0.40774	1234037659			0.1448		1448	371.34	0.0000
				-3	-0.32	1.58		0.35991	4394137233			0.4345		4345	1114.27	0.0000
				-5	-0.53	1.37		0.31207	15650713192			0.3521		3521	902.96	0.0000
				-7	-0.74	1.16		0.26424	55728754348			0.0478		478	122.58	0.0000
				-9	-0.95	0.95		0.21640	1.98491E+11			0.0140		140	35.90	0.0000
合計												0.9999		9999		0.0000

例表-5.3.7(10) B767-300 着陸機による疲労度算出過程（版厚 42cm, 施設センターラインから 5.0m）

A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	10時から 25時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
B767-300	着陸	42	1.80	17	1.80	3.60	4.39	0.82005	21719	5.0	4.0081	0.0011	90000	99	24.70	0.0011
				15	1.59	3.39		0.77221	77356			0.0123		1107	276.19	0.0036
				13	1.38	3.18		0.72437	275519			0.0392		3528	880.22	0.0032
				11	1.17	2.97		0.67654	981064			0.0467		4203	1048.63	0.0011
				9	0.95	2.75		0.62642	3712355			0.0518		4662	1163.14	0.0003
				7	0.74	2.54		0.57859	13218880			0.0724		6516	1625.71	0.0001
				5	0.53	2.33		0.53075	47082029			0.0948		8532	2128.69	0.0000
				3	0.32	2.12		0.48292	167648769			0.1109		9981	2490.21	0.0000
				1	0.11	1.91		0.43508	597118993			0.1411		12699	3168.33	0.0000
				-1	-0.11	1.69		0.38497	2258903100			0.1879		16911	4219.21	0.0000
				-3	-0.32	1.48		0.33713	8045594090			0.1516		13644	3404.11	0.0000
				-5	-0.53	1.27		0.28929	28656202316			0.0766		6894	1720.02	0.0000
				-7	-0.74	1.06		0.24146	1.02038E+11			0.0133		1197	298.65	0.0000
				-9	-0.95	0.85		0.19362	3.63433E+11			0.0003		27	6.74	0.0000
合計												1.0000		90000		0.0094

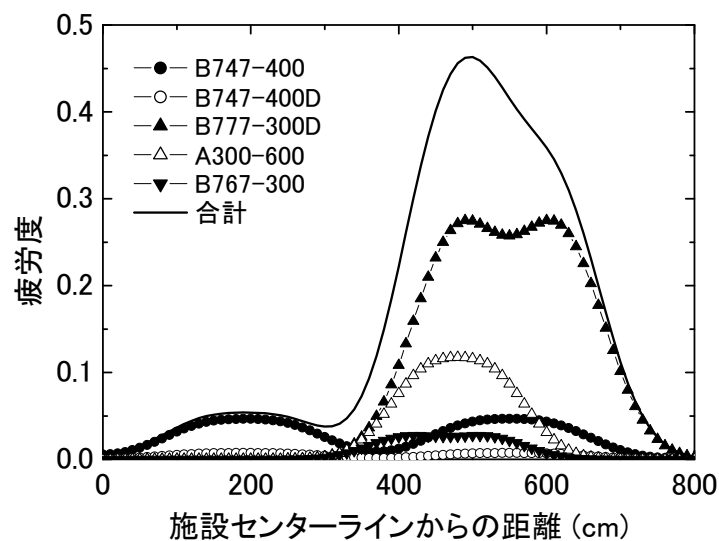
A	B	C	D	E	F	G =D+F	H	I =G/H	J	K	L	M	N	O =M*N	P =O/L	Q =P/J
対象機材	離陸 着陸	版厚	荷重 応力	版上下面 温度差	温度 応力	合成 応力	設計版厚に おける 設計曲げ強度	応力比	疲労破壊 回数	中心線 からの距離	P/C	版上下面 温度差 発生頻度	25時から 10時の 設計交通量	温度差別 設計交通量	繰返し 載荷回数	疲労度
		cm	MPa	℃	MPa	MPa	MPa		回	m			回	回	回	
B767-300	着陸	42	1.80	17	1.80	3.60	4.39	0.82005	21719	5.0	4.0081	0.0000	10000	0	0.00	0.0000
				15	1.59	3.39		0.77221	77356			0.0000		0	0.00	0.0000
				13	1.38	3.18		0.72437	275519			0.0000		0	0.00	0.0000
				11	1.17	2.97		0.67654	981064			0.0000		0	0.00	0.0000
				9	0.95	2.75		0.62642	3712355			0.0000		0	0.00	0.0000
				7	0.74	2.54		0.57859	13218880			0.0000		0	0.00	0.0000
				5	0.53	2.33		0.53075	47082029			0.0000		0	0.00	0.0000
				3	0.32	2.12		0.48292	167648769			0.0000		0	0.00	0.0000
				1	0.11	1.91		0.43508	597118993			0.0067		67	16.72	0.0000
				-1	-0.11	1.69		0.38497	2258903100			0.1448		1448	361.27	0.0000
				-3	-0.32	1.48		0.33713	8045594090			0.4345		4345	1084.05	0.0000
				-5	-0.53	1.27		0.28929	28656202316			0.3521		3521	878.47	0.0000
				-7	-0.74	1.06		0.24146	1.02038E+11			0.0478		478	119.26	0.0000
				-9	-0.95	0.85		0.19362	3.63433E+11			0.0140		140	34.93	0.0000
合計												0.9999		9999		0.0000

例表-5.3.8 機種別疲労度算定結果（版厚 42cm，施設センターラインから 5.0m）

版厚 (cm)	離着 陸別	B747-400	B747-400D	B777-300D	A300-600	B767-300	合計
42	離陸	0.0424	0.0044	0.1789	0.1033	0.0177	0.4676
	着陸	0.0008	0.0024	0.0955	0.0128	0.0094	

(2) 疲労度算定結果

ローディングエプロンにおける版厚 42cm の場合の累積疲労度分布図を例図-5.3.5 に，それぞれの版厚での累積疲労度の最大値を例表-5.3.9 に示す．



例図-5.3.5 累積疲労度の分布図（版厚 42cm）

例表-5.3.9 累積疲労度の最大値

版厚 (cm)	40	41	42	43
累積疲労度の最大値	1.2466	0.7666	0.4676	0.2972

(3) 版厚の決定

疲労度算定結果より，コンクリート版厚を 41cm とした．

参考文献

- 1) 坪川将丈ほか：空港コンクリート舗装の温度応力に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，No.341，15p.，2006.
- 2) 西澤辰男ほか：コンクリート舗装の構造解析における有限要素法の適用性について，土木学会論文報告集，第 338 号，pp.207-215，1983.
- 3) 福手勤ほか：コンクリート舗装の目地部における荷重伝達機能，港湾技術研究所報告，第 21 巻，第 2 号，1982.
- 4) 坪川将丈ほか：日温度変化による空港コンクリート舗装の温度応力に関する研究，土木学会舗装工学論文集，第 12 巻，2007.

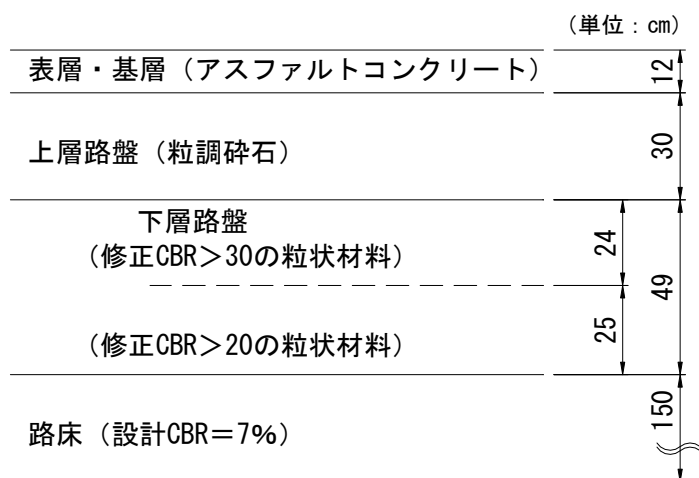
例-6 アスファルト舗装補修設計例

構造上問題がある場合のアスファルト舗装の構造設計について、経験的設計法に基づく場合の設計例を示す。

6.1 経験的設計法によるアスファルト舗装の補修設計

6.1.1 設計条件

例図-6.1 の既設アスファルト舗装上に設計荷重が変更になったための舗装強度を増すためのオーバーレイを行う。



例図-6.1 既設舗装の層構成

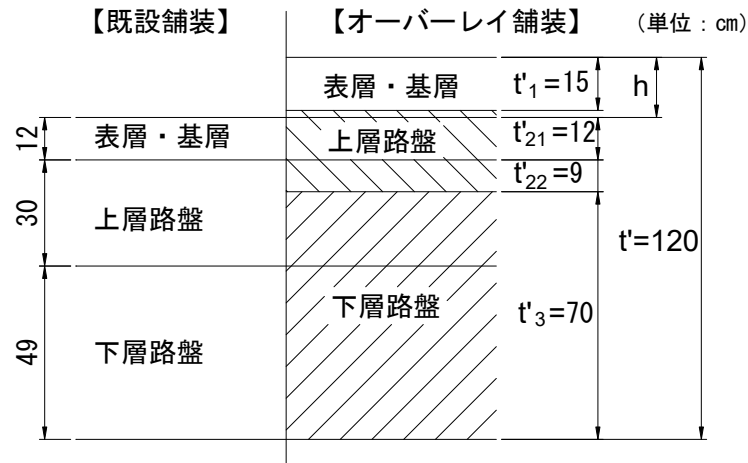
オーバーレイ舗装のための設計条件は以下のとおりである。

- 設計荷重 : LA-1
- 設計反復作用回数 : b (10,000 回)
- 路床の設計 CBR : 路床厚 200cm に対する土質調査から路床の設計 CBR として 7%を採用する。
- 既設舗装各層の評価 : **付録-15 付表-15.1** を参照
- ・表層・基層 : オーバーレイ舗装で等価値 2.0 の上層路盤と考えられる。
 - ・上層路盤 : オーバーレイ舗装で等価値 1.0 の上層路盤と考えられる。
 - ・下層路盤 : オーバーレイ舗装で下層路盤と考えられる。

6.1.2 補修設計

新しい設計荷重の設計反復作用回数と新しい路床の設計 CBR に対して、新しい基準舗装厚 (t') は例-2 を参照して 120cm となる。

新しい舗装の表層+基層厚 (t_1') は付録-7 を参照して 15cm, 上層路盤厚は 35cm であることより、下層路盤に考える部分の厚さ (t_3') は $120 - 15 - 35 = 70\text{cm}$ となり、オーバーレイ舗装の構成は例図-6.2 のようになる。



例図-6.2 オーバーレイ舗装の構成

ここで,

$$t' - \left(t'_1 + \sum_{i=1}^n a'_i t'_{2i} + t'_3 \right) = 120 - (15 + 2.0 \times 12 + 1.0 \times 9 + 70) = 2 > 0$$

・・・(付式 15.3)

なので, 所要オーバーレイ厚 (h) は次のようになる.

$$h = t' - \left(\sum_{i=1}^n a'_i t'_{2i} + t'_3 \right) = 120 - (2.0 \times 12 + 1.0 \times 9 + 70) = 17\text{cm}$$

このうち $h - t'_1 = 17 - 15 = 2\text{cm}$ は, 粒度調整碎石の仮定による上層路盤で, 実際には等価値 2.0 のアスファルト安定処理材か基層用アスファルトコンクリートが用いられることから, この場合のオーバーレイ厚は次のようになる.

$$h = t'_1 + \frac{h - t'_1}{a'_1} = 15 + \frac{2}{2.0} = 16\text{cm}$$

例-7 アスファルト舗装補修事例

7.1 平坦性を改良するためのアスファルト舗装補修事例

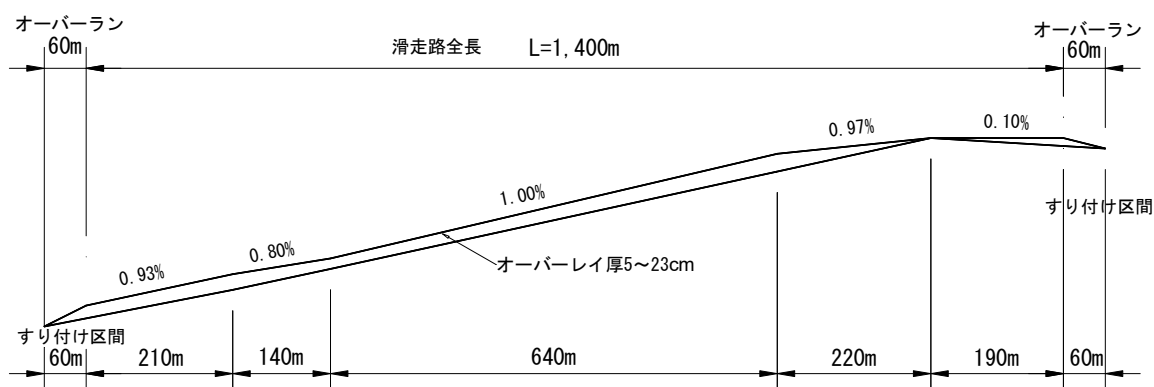
7.1.1 事例1：A 空港における滑走路オーバーレイ

A 空港における滑走路オーバーレイの縦断図，標準横断図及び平面図を**例図-7.1.1～7.1.2**に示す。

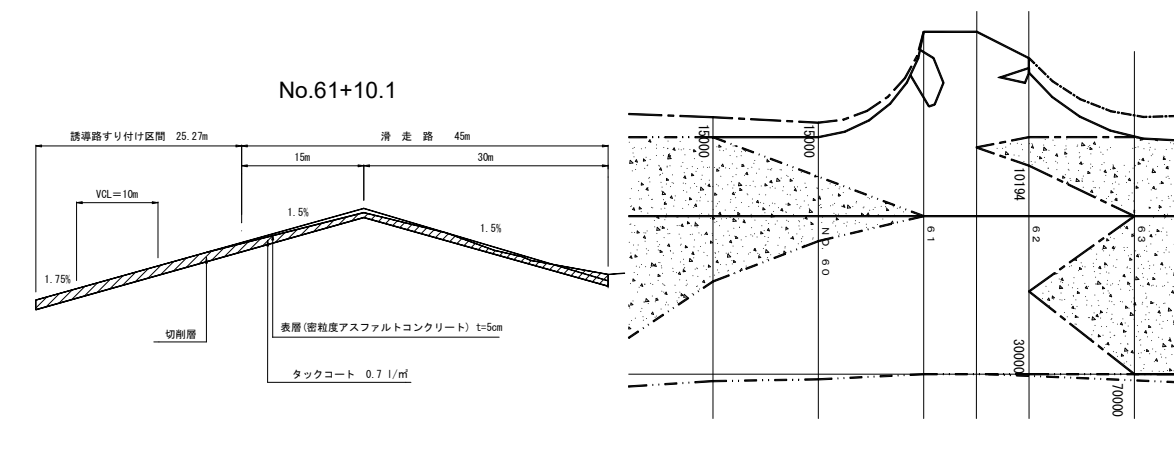
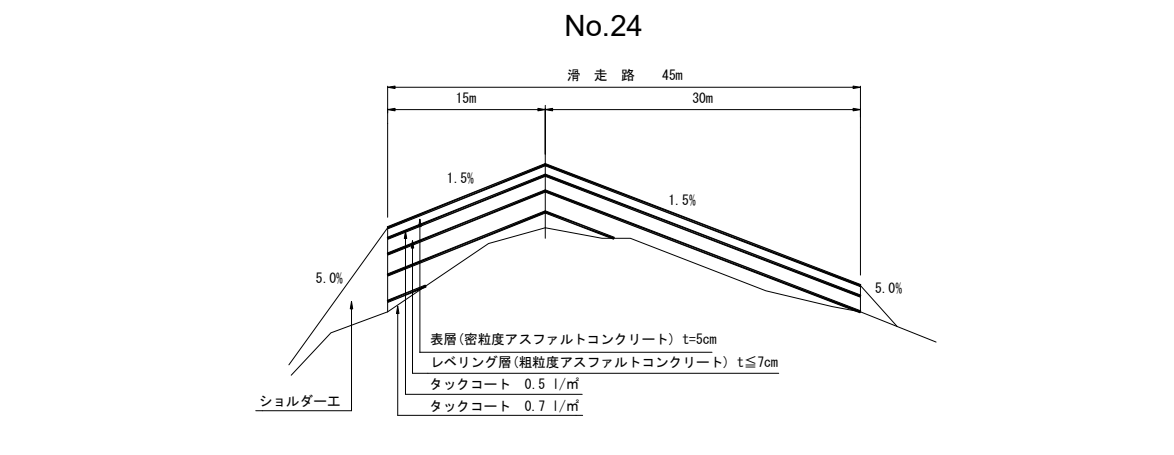
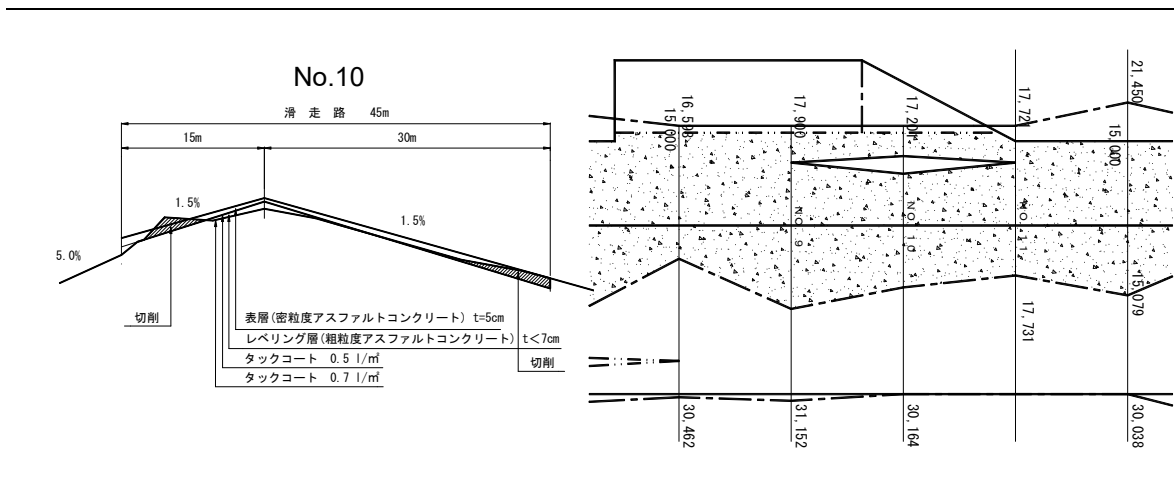
この設計においては，既設滑走路の横断勾配の変化点が滑走路中央でない，いわゆるセンタークラウンでない横断勾配とした．センタークラウンが原則であるが，予算枠の制約等もあり，既設の横断勾配の 패턴のまま改良設計することとしたものである．設計の目的が，老化した表層の上に新たな表層をかけることであったが，あわせて，縦断及び横断勾配の改良，すなわち平坦性の改良を行うこととした．平均オーバーレイ厚は，表層を含め 7.8cm となった．

設計において検討した主な内容をあげると次のとおりである．

- (1) No.0～No.10 付近においては，滑走路中心線でのオーバーレイ厚が 6～8cm 程度と大きいですが，**例図-7.1.2**に示されているように，この厚さでも端部で表層厚 5cm の確保ができず切削しており，縦断計画高を 2～3 とおり仮定して，オーバーレイの合材及び切削の費用が最小となる計画高を選定した．
- (2) No.24 付近においては，滑走路中心線でのオーバーレイ厚が 20cm を超えるものとなっているが，これは，滑走路の縦断勾配の規程 1.0% から定まった．計画高を低くしオーバーレイ厚を薄くすると，縦断勾配の基準を満足しなくなる．この部分では，レベリング層が最大 4 層となった．
- (3) No.61 付近においては，勾配変化のすり付けのための縦断曲線が入るため，表層厚 5cm が確保できないため，切削をする設計とした．この部分においても①と同じ改良費用最小の検討を行った．なお，この設計に用いた既設舗装の縦断及び横断測量の間隔は，おのおの 20m と 5m であるが，勾配変化点の測量も追加して行っている．



例図-7.1.1 滑走路オーバーレイ縦断図



凡例

レベリング層

切削

数字は滑走路中心線よりの距離 (mm) を示す

例図-7.1.2 滑走路オーバーレイ標準横断面図, 平面図 (レベリング層+表層, 切削+表層)

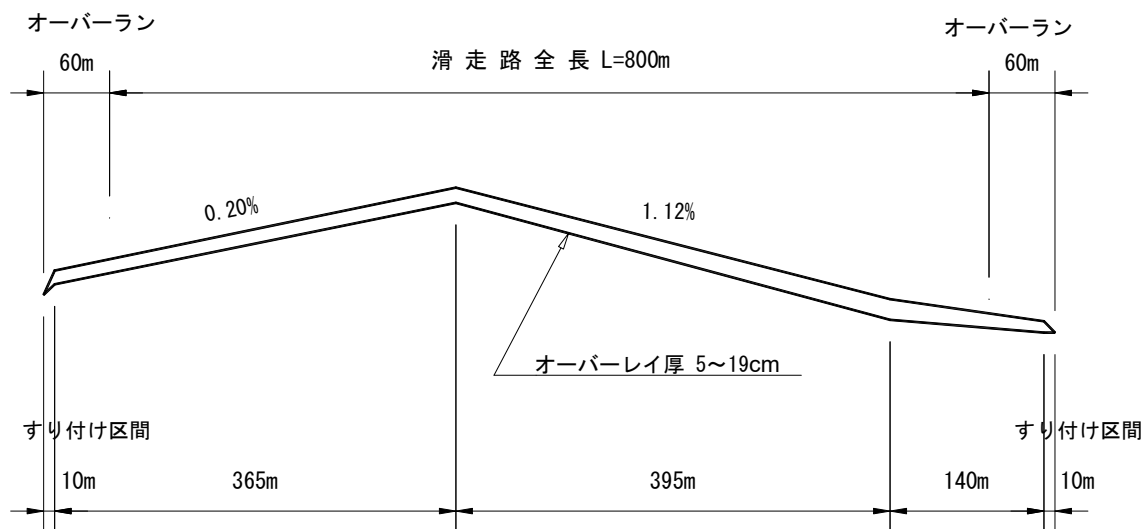
7.1.2 事例2：B 空港における滑走路オーバーレイ

B 空港における滑走路オーバーレイの縦断面図、標準横断面図及び平面図を例図-7.1.3～7.1.5に示す。

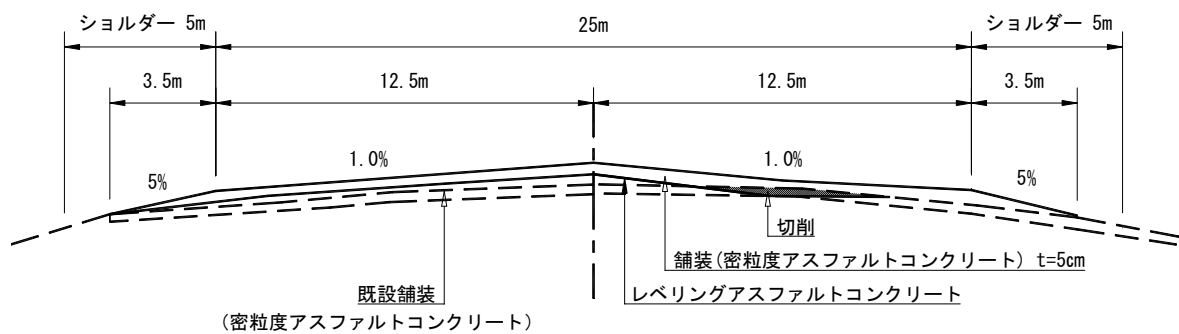
この設計においては、老化した表層の上に新たな表層をかけることであったが、あわせて、縦断及び横断勾配の改良すなわち平坦性の改良を行うこととした。平均オーバーレイ厚は、表層を含め 7.4cm となった。

設計において検討した主な内容をあげると次のとおりである。

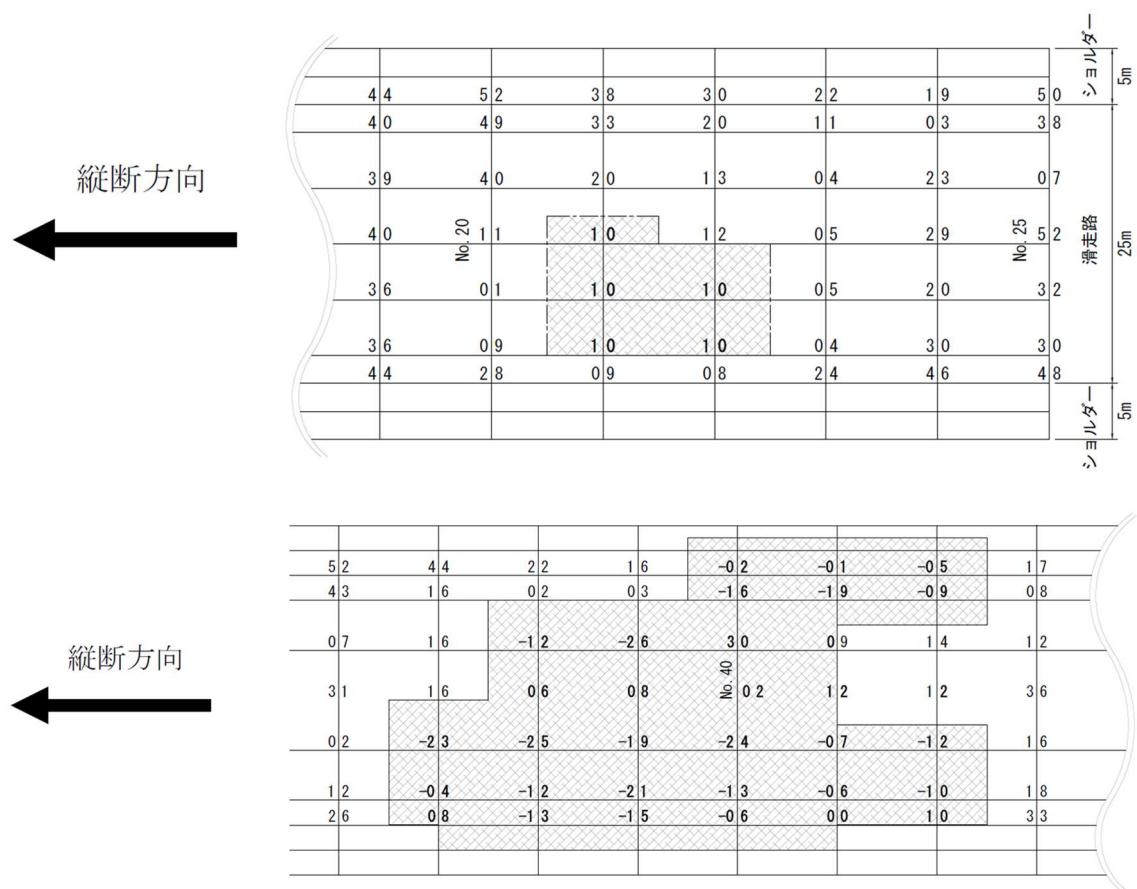
- (1) 縦断計画については、原設計のものとほぼ同一として勾配変化点は 1 箇所とする。この縦断計画高とすると、既設舗装の不陸が多く、必要最小オーバーレイ厚の 5cm を超える部分が大きくなるが、これについては平坦性の改良を優先させ、やむを得ないとした。なお、縦断計画高の設定は、2～3 とおり仮定して、オーバーレイの合材量及び切削の改良費用が最小となる計画高を選定した。
- (2) 横断計画については、既設舗装の不陸が大きく原設計の勾配の数値の推定ができないほどであり、かなり勾配の小さいものであったが、雨水排水を容易にするため 1.0% の勾配とした。また、この横断計画は、縦断計画とも密接な関係があるため、両者を見くらべつつ、縦断及び横断計画全体を考え、改良費用が最小となる検討を行った。例えば、横断勾配を 1.0% より急勾配にすると、滑走路端部での切削を考えない場合滑走路中央部でオーバーレイ厚が厚くなり、改良費用の最小は、横断勾配 1.0% 程度ということになった。
- (3) この縦断及び横断計画において、切削区域が広範囲となったのは No.40 付近であった。



例図-7.1.3 滑走路オーバーレイ縦断面図



例図-7.1.4 滑走路オーバーレイ標準横断面図



凡例 切削区域

数字は表層厚さ5cmに対してのプラス、マイナスを示している。

測点間隔は1.0m

例図-7.1.5 平面図（切削区域図）

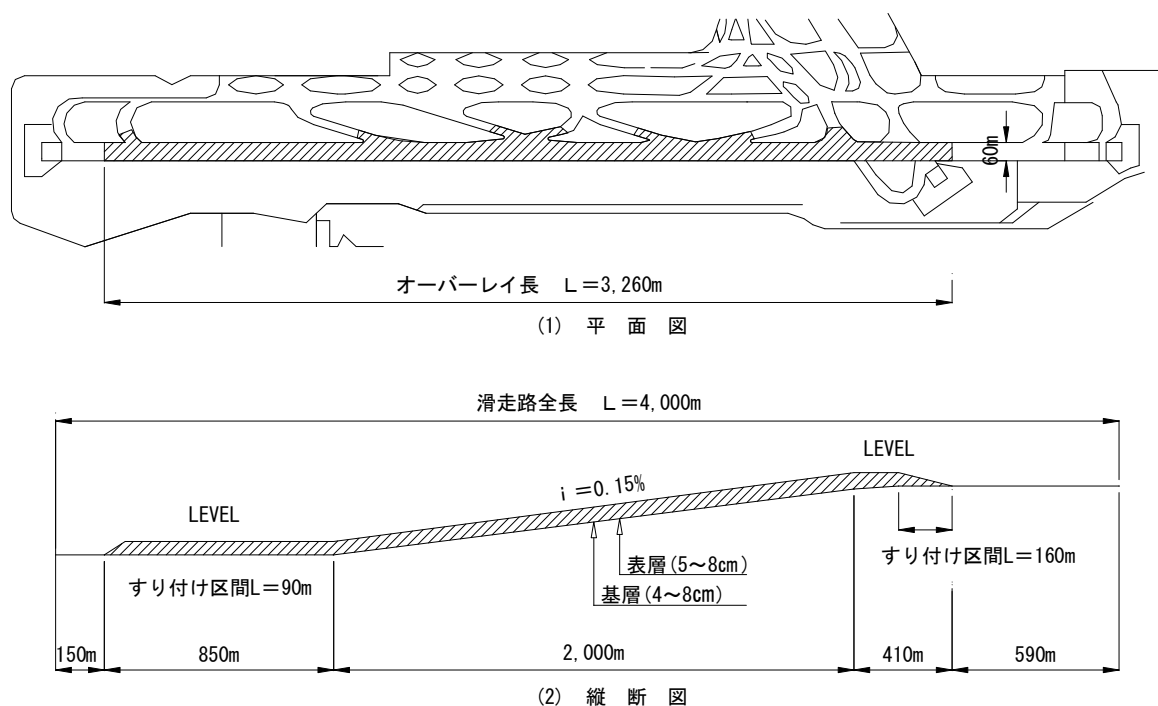
7.1.3 事例3：C 空港における滑走路オーバーレイ

C 空港における滑走路(4,000m)について、平坦性改良を主目的としたオーバーレイ工事を実施した。

オーバーレイ工事に先だち、リフレクションクラック防止の目的で、破損が激しい部分の切削打換えを実施した。

この切削打換えは、①ひび割れが亀甲状に入った部分、②滑走路端部で航空機によるわだちぼれや変形が激しく平坦性が大きく崩れた部分、③縦方向施工目地の開口が大きい部分の3種類に対して実施され、最終的な補修として、これらの切削打換えを含む滑走路に全面オーバーレイを行った。ここでは、このオーバーレイについて述べることにする。

例図-7.1.6 は滑走路のオーバーレイ対象区域と平均厚を示している。滑走路本体とこれに接続する誘導路のオーバーレイとこれらにともなうすり付け、及び両施設のショルダーへのすり付けからなる。

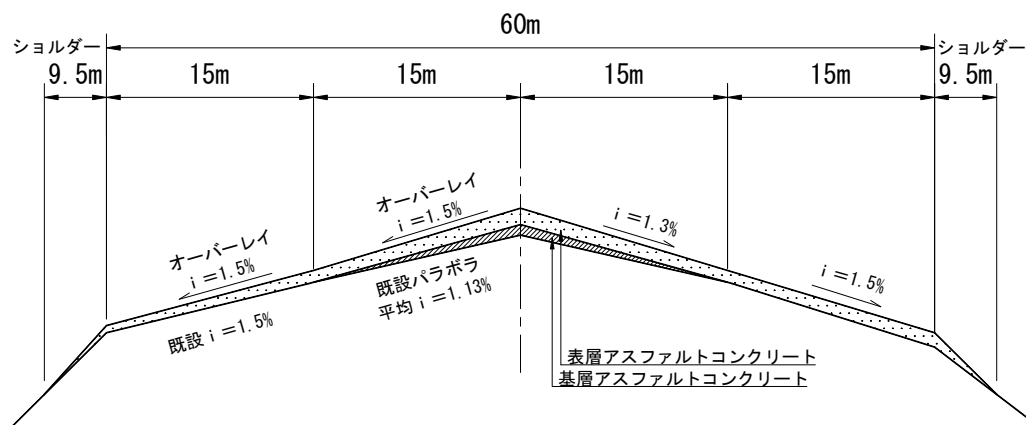


例図-7.1.6 滑走路オーバーレイ区間

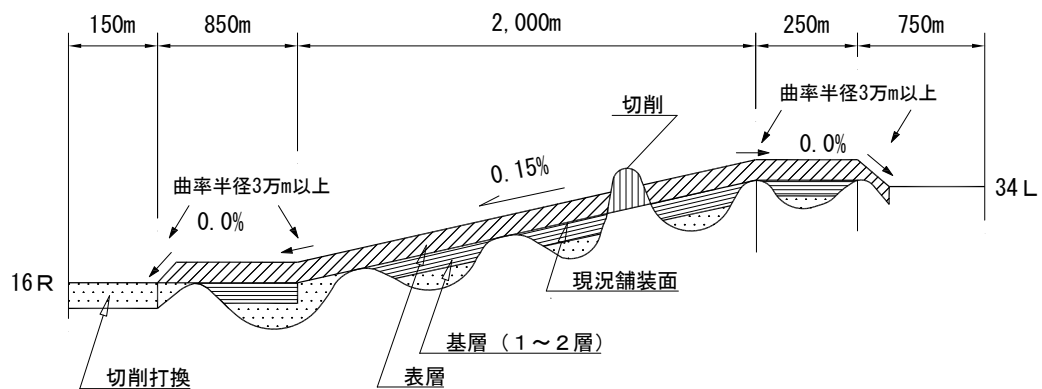
例図-7.1.7 は滑走路の標準横断図を示す。既設表層は滑走路中央部 30m 部分にパラボラ（放物線）を入れていたため、この部分を直線勾配に換算すると平均 $i = 1.13\%$ になっている。このパラボラ勾配の両縁は 1.5% になっている。

オーバーレイの設計勾配を決定するに際しては、平坦性改良を効率的に行い、かつ経済的な視点で選定した。中央部分のパラボラは、夜間工事の制約条件下での施工ということから直線勾配に変更し、既設舗装の表面凹凸の測量調査から凸部における最小厚が 5cm 以上確保できるよう配慮した。この結果、**例図-7.1.7** に示すように中央部の 1.3% と外側の 1.5% の折れ勾配を選定した。

例図-7.1.8 は**例図-7.1.6** の(2)縦断面図の詳細を略図化したものである。図中凸部の切削とあるのは、オーバーレイの必要最小厚確保を現況表面に対して事務的に実施するとオーバーレイの計算高が高くなって経済的に問題があるため、最小厚を確保し、かつ計画高を下げるために最も影響ある凸部を切削したものである。もちろん切削厚は切削面積に影響し、切削面積はコストに直結しているため、事務的なオーバーレイを実施した場合のコストに対し、切削とその結果のオーバーレイの総和としてのコストが相対的に安く、かつ供用後の挙動に対しても優れたものとなると予想されるものを選択した。

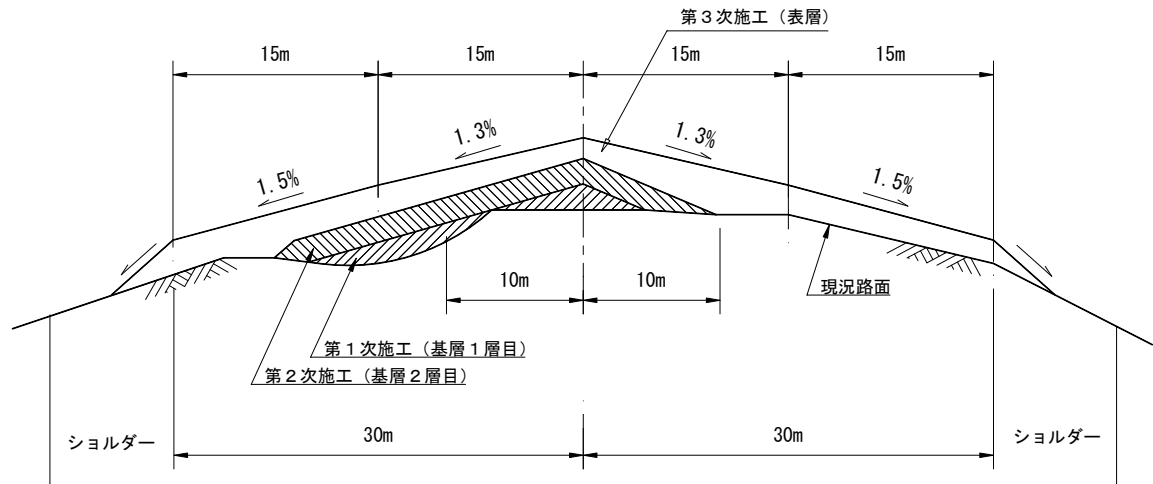


例図-7.1.7 標準横断面図



例図-7.1.8 オーバーレイ縦断略図

例図-7.1.9 は**例図-7.1.7** の施工略図というべきもので、基層、表層の段階的施工による平坦性の改良プロセスを示している。ショルダーへのすり付けは、滑走路本体の厚さの変化に応じてショルダー横断方向への延長が伸びるため、縦断方向のすり付け長をにらみながら丸めて設計した。

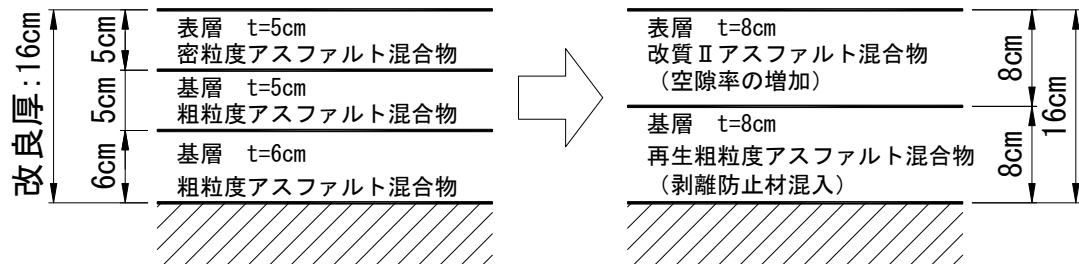


例図-7.1.9 オーバーレイ横断略図

7.2 ブリスタリング対策の補修事例

7.2.1 事例1：表・基層の厚層化，混合物の耐久性向上，施工性の改善

ブリスタリングに対する補修対策工としては，1層施工厚の厚層化，混合物の耐久性向上，施工性の改善が挙げられ，この3項目について実施した事例¹⁾である．なお，対策工概念の模式図として例図-7.2.1に施工実施図を示す．



例図-7.2.1 対策工概念の模式図

(1) 1層施工厚の厚層化

平成20年7月以前の空港舗装構造設計要領においては，空港アスファルト舗装の表層は最大粒径20mmもしくは13mmの密粒度アスファルト混合物であり，1層施工厚は4～7cmと定義されていた．一方，国土技術政策総合研究所の研究²⁾やQRP工法（急速舗装修繕工法）では1層施工厚の増大や，施工厚を増大させた大粒径アスファルト混合物の耐久性向上の有効性が示している．

事例1空港では16cmの切削・打換えを行ったが，空港舗装構造設計要領どおりに行う場合，3層施工となり施工上の弱点となる深度方向の施工界面を多く作ることになる．そのため，事例1空港では16cmの改良厚に対し，アスファルト混合物の合成粒度の改善などを図り配合仕様を設定し，8cmの2層施工を行った．なお，供用中の空港であったが日施工量が限定されることから，8cm厚となっても近隣アスファルトプラントの能力内での施工が可能であった．

ブリスタリング現象に視点を移すと，従来の表層厚を5cmから8cm厚とすることで，最上に位置する界面近傍の温度が低下することになり，ボイル・シャルルの式に当てはめるとブリスタリング発生確率を減らす結果が得られる．

施工界面の付着には改質系アスファルト乳剤を適用する，散布前にできるだけ水分が揮発するように加温する，散布前に切削路面をヒーターで加熱する，指触判定で水分蒸発を確認するなどの施工上の細やかな対策も付加した．

(2) 混合物の耐久性向上

アスファルト混合物の骨材合成粒度については，SHRPやQRP工法などの粒度範囲を参考に耐久性向上を図った．表層部は骨材飛散やグルーピング設置などの観点から最大粒径20mmとしているが，基層部以下には大粒径アスファルト混合物を適用している．大粒径アスファルト

混合物は流動わだち掘れが問題となる誘導路においての適用が最も適していると考えられ²⁾、最大粒径 30mm としている。採用した大粒径アスファルト混合物の合成粒度は、従来の基層粒度範囲に比べて粗粒側で設定した。

耐久性の向上を図るためにバインダーの選定も行った。極力空隙率の保持、塑性流動に伴う変形に対抗するために、改質アスファルトⅡ型を採用した。また、従来の表層空隙率より約 1% 空隙率を増加させた 4.5%の空隙率を通気性向上のため設定した。

舗装内に水分が残留している場合、その層を撤去することが前提となるが、空港制限事項により全ての水分を含んだ層を撤去しきれない場合もある。事例 1 空港では混合物剥離が認められたこと、改良していない深部には未だ水分が残留している層があることを踏まえ、基層部には剥離防止材を混入するといった対策もとった。

(3) 施工性の改善

事例 1 空港では一部の施設に対して、中温化技術を用いた施工を採用した。中温化技術の採用に当っては、同工法を採用することで材料費が増加することから、施工制限事項、施工時期などを踏まえた日施工延長などを精査した上で適当可否を判断する必要があった。

7.2.2 事例2：部分的改良（帯状）を含むプリスタリング対策

空港の滑走路において、舗装面が円形に膨れ上がる現象（プリスタリング現象）が多数発見され、緊急補修を実施³⁾した。その後の舗装コア採取等による路面調査により、表層・基層・アスファルト安定処理（以下「As 安定処理」）層の各層間における剥離や、砂利状化といった舗装体の損傷・劣化が確認された。

劣化プロセスは以下のとおりと推測された。

- ① 温度応力によるクラック発生（施工目地等）
- ② アスファルト層、層間への滞水（凍結融解、接着が弱い箇所）
- ③ 下層部へのクラック進行（下層の施工目地等）
- ④ アスファルトオーバーレイ等により水蒸気の逃げ場を閉塞
- ⑤ 舗装内が高温となる事による滞水の蒸発によりプリスタリング発生

As 安定処理層の砂利状化現象は、③の状況において、施工目地部のクラックより雨水が浸透し、凍結・融解作用が繰り返される事により、砂利状になったものと考えられる。

(1) 対策方針

調査に基づく結論、さらに施設の置かれた供用状況を考慮し、調査結果より下記事項を対策工法の方針とした。

- 1) 路盤である As 安定処理層では施工目地付近に損傷が集中しており、損傷を舗装体に残存させたままでは将来の弱点となりえることから、この部分の打ち換えを実施した。
- 2) 表・基層部はプリスタリング対策の為、他空港事例によって表層 8cm、基層 8cm の 16cm 以上を確保した。

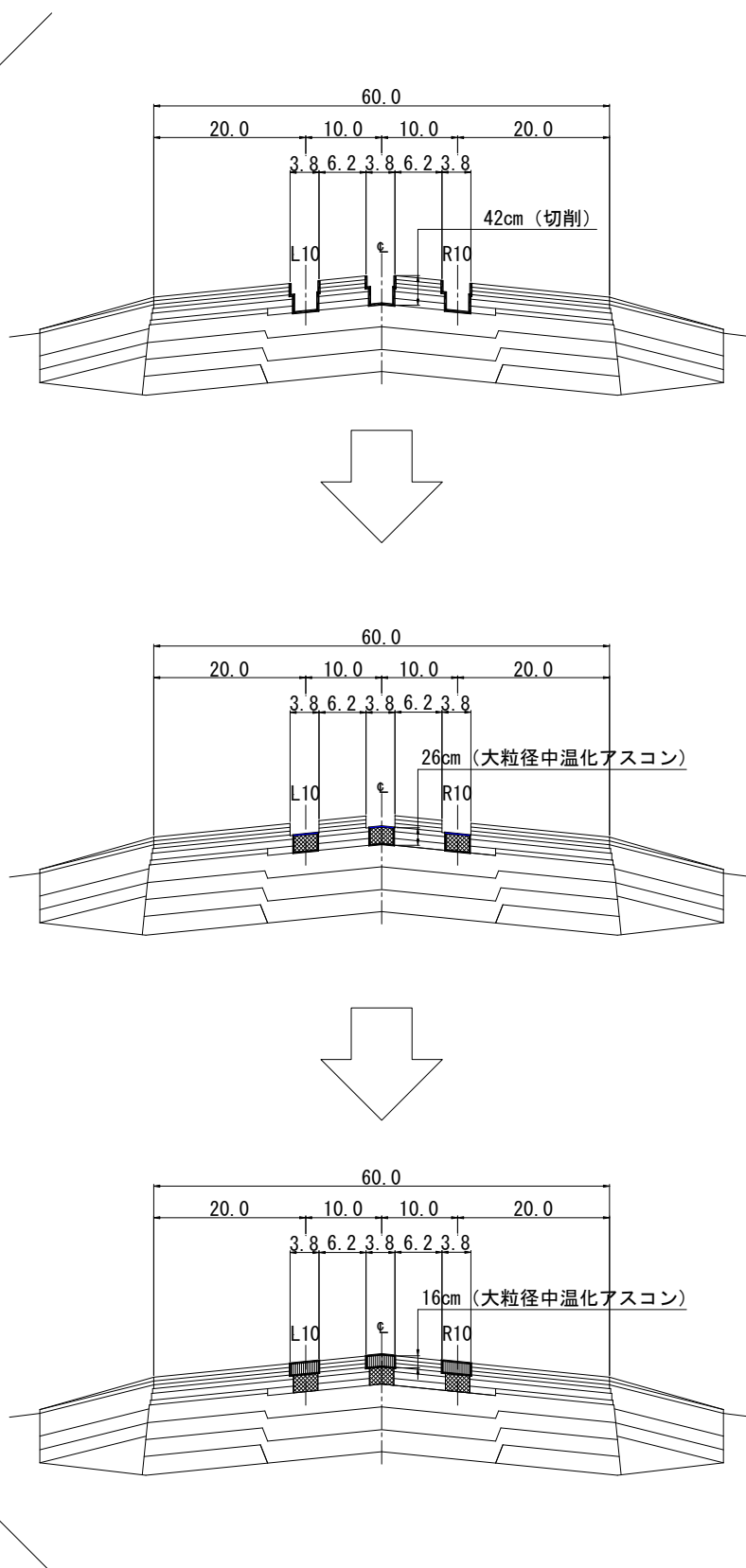
(2) 実施工：滑走路改良工事

1) 第1工程

施工目地部については As 安定処理層を含め 42cm 厚にわたり帯状に撤去し、復旧する工程である（例図-7.2.2）。

帯状切削実施後、既設下層路盤（粒状材）を転圧し、上層路盤として再生大粒径中温化アスコンを 26cm 厚で舗設、表・基層の 2 層分を同アスコンにより 16cm 厚で舗設し交通解放した。この帯状打ち換えは、1 日での復旧舗装厚が 42cm と、シックリフト工法としても舗設厚が厚く、各工程の中で最も舗装体の温度が下がりにくい工程であったことから、舗装表面の舗装温度を計測しつつ、交通解放のタイミングを計る事とした。これにより天候の状況など、必要に応じて散水冷却を行うことによって、交通開放時には舗装体の温度によるトラブルも無く完了した。

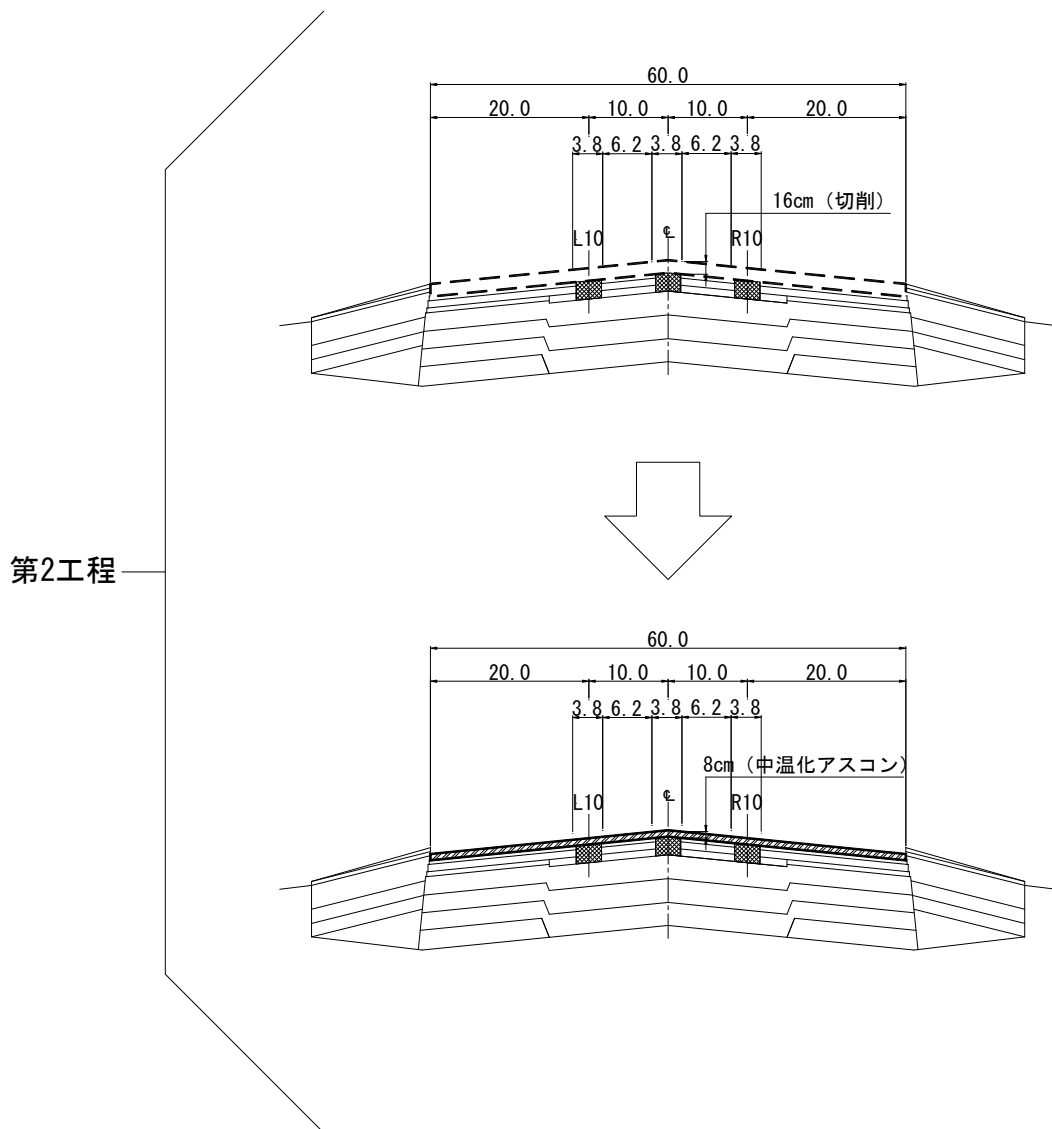
第1工程



例図-7.2.2 第1工程

2) 第2工程

既設表層・基層部を全幅 60cm にわたり平均厚 16cm で切削し，8cm 厚の基層を舗設する工程である（例図-7.2.3）．基層厚は 8cm であり，舗装体の冷却時間短縮を考慮して粗粒度中温化アスコンを使用した．また，基層の舗設は舗装の弱点となる施工目地を極力作らない様，ホットジョイントにて施工した．



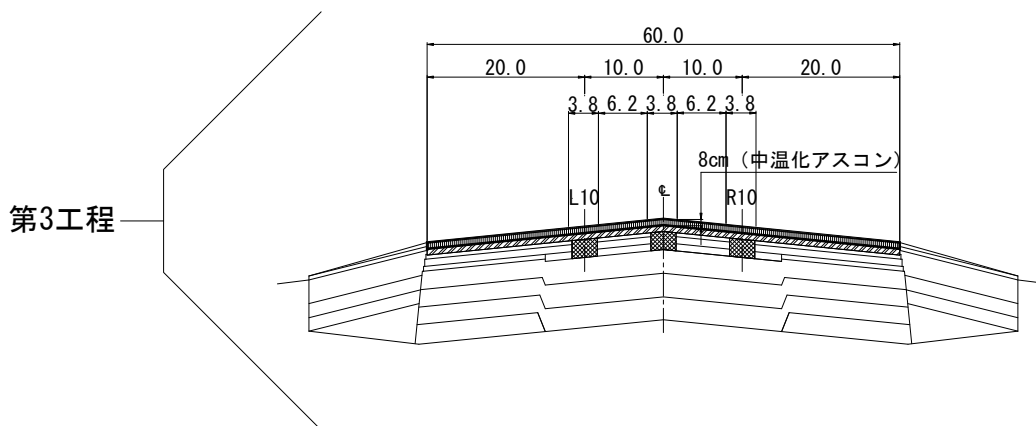
例図-7.2.3 第2工程

3) 第3工程

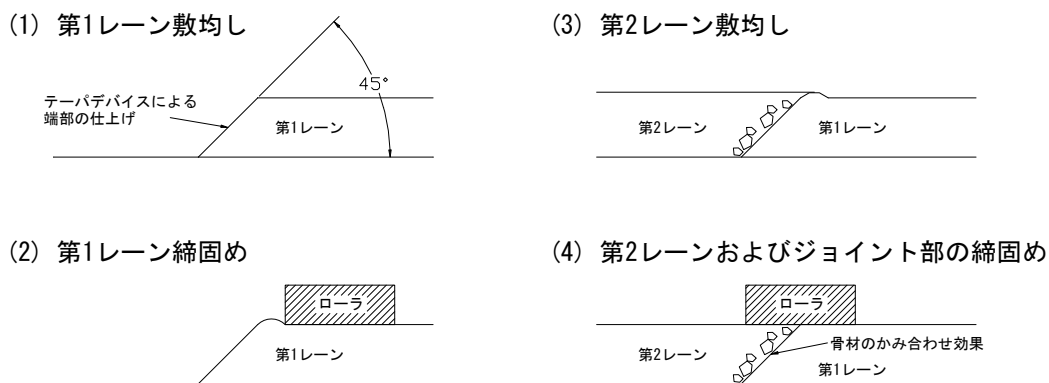
8cm 厚の表層を舗設する工程である（例図-7.2.4）．0:00 に表層の舗設を開始し，舗装体の冷却時間短縮を考慮して改質密粒度中温化アスコンを使用し，4:30 まで舗設．日施工延長は 50m 程度であり，横断方向施工目地を極力減らす効果もあり，良好な平坦性を確保した．

また，損傷原因が施工目地部からの浸水と考えられた事から，施工目地はホットジョイント，

テーパ施工を採用し、**例図-7.2.5**の様にジョイント部を工夫した施工法を採用した。舗装体の温度も基層と同様に冷却が早く、7:00 には交通開放することができた。



例図-7.2.4 第3工程



例図-7.2.5 ジョイント部施工のイメージ

参考文献

- 1) 久保宏ほか：最近の空港アスファルト舗装の損傷と改良工法について，土木学会舗装工学論文集，第9巻，pp.35-40，2004.
- 2) 高橋修，八谷好高，阿部寛：空港舗装における大粒径アスファルト混合物の表・基層への適用性：土木学会舗装工学論文集，第4巻，pp.187-197，1999.
- 3) 伊藤敦史ほか：新千歳空港におけるブリストリングの発生とその対策について－A 滑走路の改良とその後，第54回（平成22年度）北海道開発技術研究発表会，2011.

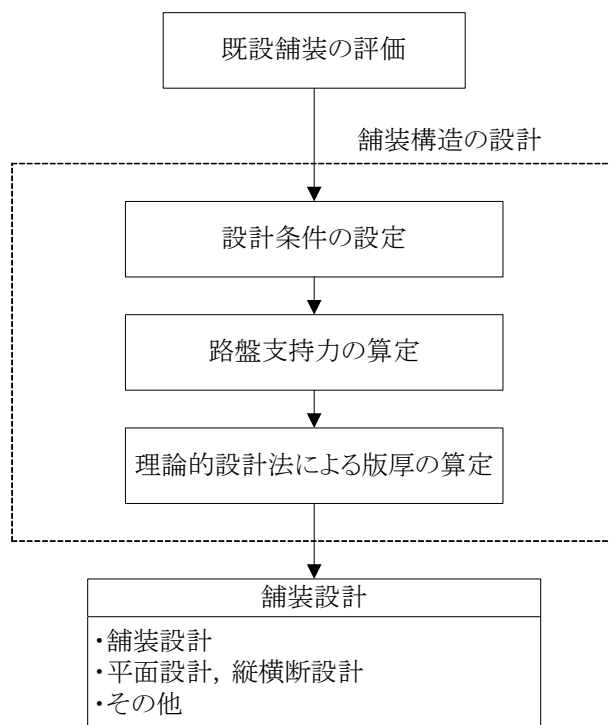
例-8 コンクリート舗装補修設計例

無筋コンクリート舗装の分離オーバーレイ工法による舗装補修設計について理論的設計法に基づく補修設計例を示す。

8.1 分離オーバーレイ工法による補修設計

8.1.1 設計手順

分離オーバーレイ工法による補修設計手順を例図-8.1.1 に示す。分離オーバーレイ工法による構造設計は、既設舗装を考慮したアスファルト中間層上面での路盤支持力係数を算定し、その路盤支持力条件での版厚設計を行うものである。版厚設計は「空港土木施設設計要領（舗装設計編）」に準じて算定することができる。

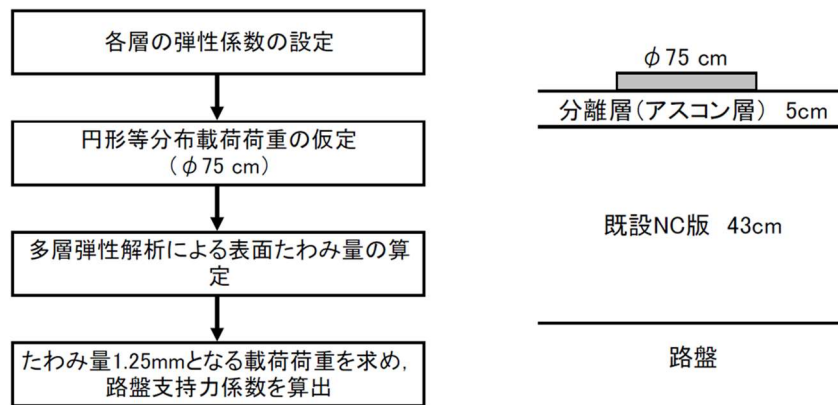


例図-8.1.1 分離オーバーレイ工法による補修設計手順の例

8.1.2 路盤支持力係数の算定

(1) 算定方法

路盤支持力係数は、路盤表面に直径 75cm の円形等分布荷重を載荷し、鉛直変位が 1.25mm となった時の荷重を変位で除したものであるから、アスファルト中間層、既設 NC 版、既設路盤の構成におけるアスファルト中間層上面での支持力係数は、多層弾性解析を用いて例図-8.1.2 に示す手順で求めることができる。



例図-8.1.2 アスファルト中間層上での路盤支持力係数の算定手順の例

(2) 弾性係数の設定

1) 既設路盤の弾性係数

既設路盤の弾性係数は、既設路盤の設計支持力係数より平板理論により算定する。

$$E = \frac{\pi \cdot a \cdot (1 - \nu^2)}{2} \cdot K$$

ここに、

- E : 路盤の弾性係数 (MPa)
- a : 载荷半径 (m)
- ν : 路盤のポアソン比
- K : 既設路盤の設計支持力係数 (MN/m³)

既設路盤の設計支持力係数を 70MN/m³、路盤のポアソン比を 0.35、载荷半径を 0.375m とすると、路盤以深の弾性係数はつぎのとおりとなる。

$$E = \frac{\pi \cdot a \cdot (1 - \nu^2)}{2} \cdot K = \frac{\pi \cdot 0.375 \cdot (1 - 0.35^2)}{2} \cdot 70 = 36.2 \text{ MPa}$$

2) 既設 NC 版の弾性係数

無筋コンクリート版の設計用値を参照して、34,000MPa とする。

3) 分離層（アスコン層）の弾性係数

季節変動も考慮した、分離オーバーレイコンクリート版下にある分離アスコン層の温度設定が現状ではできない。そこで、ショルダー舗装の設計用値の設定条件を準用した。具体的にはアスコン層厚（5cm）のアスコン層平均温度を、東京地区における年間平均温度 22.5℃とし、载荷時間は誘導路等の低速走行に相当する 0.05 秒として、舗装設計編記載の式 I-3.1、式 I-3.2 を用いて算出した。

$$S_{bit} = 1.157 \times 10^{-7} \cdot t_w^{-0.368} \cdot \exp(-PI) \cdot (T_{RB} - T)^5$$

ここに,

S_{bit} : アスファルトの変形係数 (MPa)

t_w : 載荷時間 (0.05 秒)

PI : 針入度指数 (-0.91)

T_{RB} : 軟化点温度 (48°C)

T : 載荷時の温度 (22.5°C)

$$S_{bit} = 1.157 \times 10^{-7} \cdot 0.05^{-0.368} \cdot \exp(-0.91) \cdot (48 - 22.5)^5 = 9.333$$

$$n = 0.83 \cdot \log\left(\frac{4 \times 10^4}{S_{bit}}\right) = 0.83 \cdot \log\left(\frac{4 \times 10^4}{9.333}\right) = 3.01459$$

$$S_{mix} = S_{bit} \cdot \left[1 + \left(\frac{2.5}{n}\right) \cdot \left(\frac{C_v}{1 - C_v}\right)\right]^n$$

ここに,

S_{mix} : アスファルト混合物の変形係数 (MPa)

S_{bit} : 9.333

C_v : 0.87

$$S_{mix} = 9.333 \cdot \left[1 + \left(\frac{2.5}{3.01459}\right) \cdot \left(\frac{0.87}{1 - 0.87}\right)\right]^{3.01459} = 2,695 \approx 2,700 \text{ MPa}$$

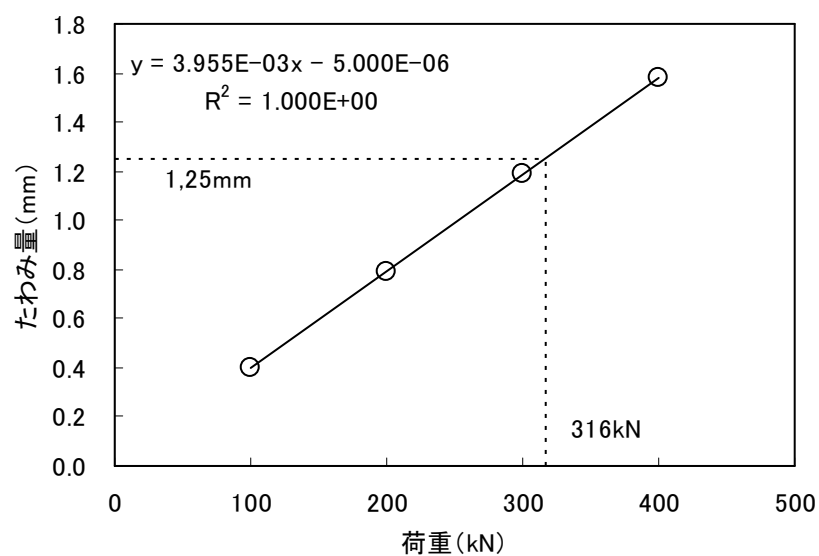
(3) 表面たわみ量の算定

載荷荷重を 100, 200, 300, 400kN とし、多層弾性解析プログラム (GAMES) により載荷板中心での表面たわみ量を算定した結果を例表-8.1.1 に示す。例図-8.1.3 よりたわみ量 1.25mm となる荷重は、316kN となる。これより、分離層面上での路盤支持力係数は次のとおりとなる。

$$K \text{ 値} = \text{載荷応力} / \text{たわみ量} = \frac{316}{\pi \times 0.375^2} \div 1.25 = 572 \text{ MN/m}^3$$

例表-8.1.1 たわみ量算定結果

荷重 (kN)	たわみ量 (mm)
100	0.396
200	0.791
300	1.187
400	1.582



例図-8.1.3 載荷荷重とたわみ量の関係

8.1.3 分離オーバーレイコンクリート版厚の算定

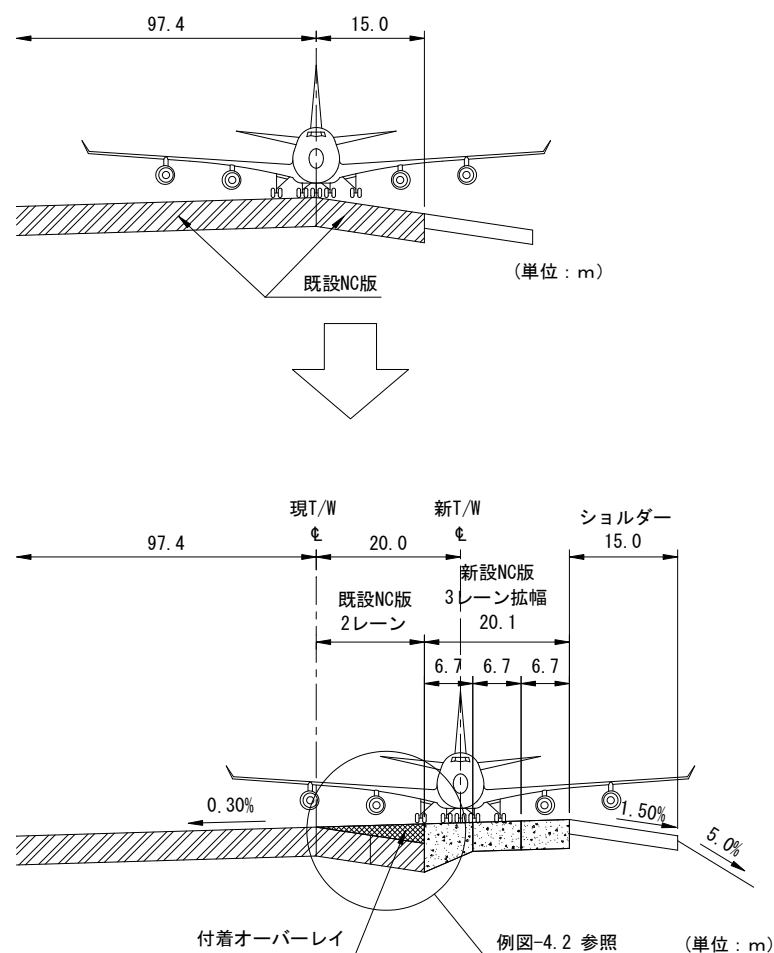
分離オーバーレイコンクリート版厚は，設計路盤支持力係数を 572MN/m^3 として，舗装設計編記載の方法に準じて算定した結果，30cm となった。

例-9 コンクリート舗装補修事例

ターミナルビル，周辺誘導路の整備，用地造成，道路駐車場を整備するに伴い，現エプロンを西側に約 20m 移動する工事を行った¹⁾。この工事において，この 20m 部分のエプロン拡張と，それと接合する既設エプロンの勾配修正を目的としたコンクリートによる付着オーバーレイを行った。

工事では，**例図-9.1** に示すように既設エプロン誘導路の中心線を西側に約 20m 移動し，かつ排水勾配を一定の片勾配とした。ここで，既設エプロン誘導路と拡幅部との間に段差が生じるため，既設コンクリート版 2 レーン (No.5, No.4) について，コンクリートによるオーバーレイが必要となった。

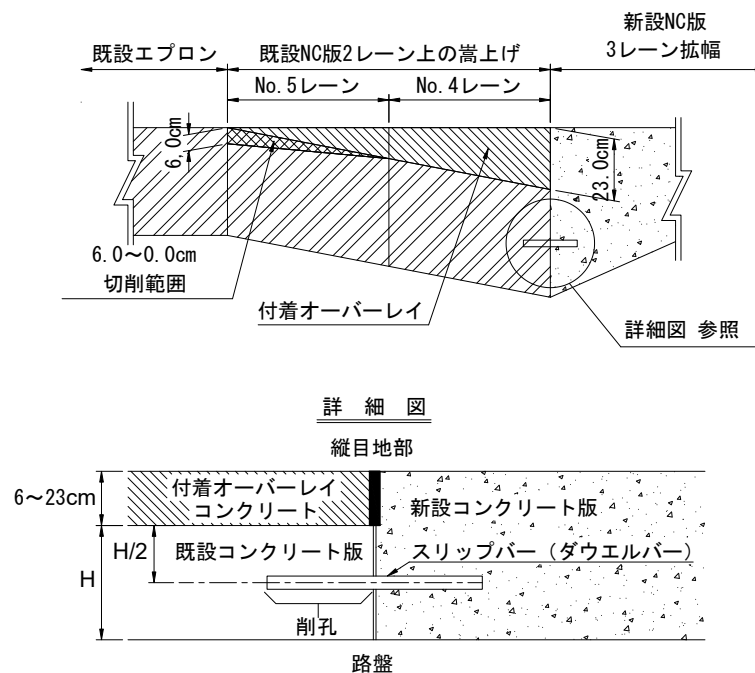
従来であれば打換えを行うところであるが，この既設版はひび割れも少なく構造的に健全であり，コンクリート付着オーバーレイ工法を適用する上の弊害が少ないこと，コンクリート付着オーバーレイ工法の場合，既設版の撤去が必要なく環境に優しいことなどから，無筋コンクリート舗装上のコンクリート付着オーバーレイ工法を適用した。



例図-9.1 既設エプロン（上）と改良後エプロン（下）の概略構造図

この工法を該当箇所に適用するにあたり**例図-9.2**のようにオーバーレイ最小厚 5cm が確保できるように, No.5 レーンについてはオーバーレイコンクリートの骨材最大寸法も考慮し余裕を持たせ 6cm 深さに表面を切削した。

オーバーレイ層厚は, 同図に示すように, 最小厚としては左側の 6cm, 最大厚は右の拡幅部との接合点で 23cm の不等厚断面となった。目地部の処理では, オーバーレイ層内に鉄網・ダウエルバーは用いなかった。ただし, コンクリートオーバーレイの施工区画と新設舗装の施工区画との間の縦目地部については既設コンクリート版厚中央を削孔しダウエルバーを設置した。



例図-9.2 コンクリート付着オーバーレイ断面図

参考文献

- 1) 坪川将丈, 水上純一: コンクリート系空港舗装—最近の技術展開, セメント・コンクリート, No.748, pp.49-54, 2009.