

空港コンクリート舗装の補修工法について

齊藤 泰¹・水上 純一²

¹国土技術政策総合研究所 空港研究部 空港施設研究室 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

²国土技術政策総合研究所 空港研究部 空港施設研究室 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

既設コンクリート舗装の補修を行う場合の打換工法，付着オーバーレイ工法（付着OL工法），分離オーバーレイ工法（分離OL工法）の使い分けについて検討した．この検討では，既設コンクリート版の構造をいくつかの手法によりモデル化し，新設層下面に生じる荷重応力に着目した．次に，使い分けるべき版厚を決め，荷重支持性能の回復と勾配修正を目的とした補修工法の使い分けの検討を行った．

キーワード コンクリート舗装，補修工法，打換工法，付着OL工法，分離OL工法

1. はじめに

エプロン（航空機駐機場）は，耐流動性・耐油性が求められることから，我が国ではその多くが無筋コンクリート舗装（NC 舗装）で整備されている．この既設エプロンにおける NC 舗装の補修工法には，打換工法，分離オーバーレイ工法，および付着オーバーレイ工法がある（図-1）．近年，薄層付着オーバーレイ工法技術が確立された（八谷・水上・坪川ほか：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，国総研研究報告，No.30,2006）ことから，空港施設の拡幅や勾配補修において同工法が採用されるようになった．しかしながら，具体的にどの補修工法を適用するのが最も適切であるかといった工法選定に関する手順がないのが現状であった．

本検討では分離構造の理論的な構造設計方法を解析的に検討した上で，「荷重支持性能の回復」「勾配修正」を補修目的とした具体的な試設計を行い，3工法の構造特性等を考慮した補修工法の使い分けの手順(案)の作成を試みた．

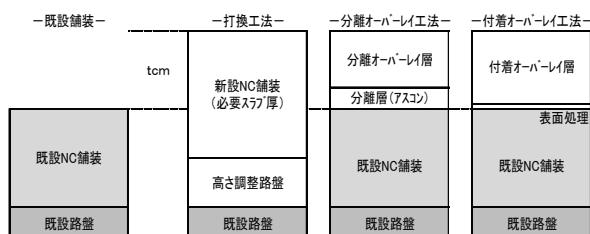


図-1 構造模式図

2. 補修工法

(1) 補修工法の概要

補修工法には打換工法，分離オーバーレイ工法および

付着オーバーレイ工法がある（図-1）．各々の工法における施工性，経済性の特徴を表-1に示す．

表-1 施工性・経済性の特徴

工 法	施工性・経済性における特徴
打換工法	<ul style="list-style-type: none"> 既設 NC 版を撤去し，新設する工法。 施工日数が他工法と比較し最も長い。 即日復旧が条件の場合は，施工費は高価となるもののプレキャスト版（PPC・PRC）を適用。 既設 NC 版の撤去が生じるため他工法と比較して廃材が多量に生じる。 既設 NC 版の撤去，NC 舗装の新設は「積算基準」に準じる。
分離オーバーレイ工法	<ul style="list-style-type: none"> 既設 NC 版上面に分離層（アスコン層）を敷設し，OL を打設する工法。 分離 OL の最小厚は 15cm，分離層の最小厚は 3cm。 分離層，分離 OL コンクリートの費用は「積算基準」に準じる。
付着オーバーレイ工法	<ul style="list-style-type: none"> 既設 NC 版の表面処理を行い，OL コンクリートを打設する工法。 付着 OL の最小施工厚は 5cm。 表面処理工法には，WJ+SB 案と WJ+接着剤の 2 工法がある。 固定の仮設費（運搬・組立・解体・搬出）を計上する必要があるため，施工面積が狭いと割高。 仮設費算定の標準歩係はないため，道路会社へのヒアリングに依存。 施工実績が少なく表面処理費の標準歩係，日当たり施工量が不明確。 付着 OL の歩係は「積算基準」を参考とするが，スリッパを控除する必要がある。 鉄網の計上は嵩上げ厚によって設計者が判断する必要がある。
各工法共通	<ul style="list-style-type: none"> 一般的な NC 版の最大厚は 50cm 程度と考えられる（NC 版厚が厚くなると，乾燥収縮の影響が大きく，ひび割れが生じる可能性が高くなる）。 完成時の品質（平坦性）を確保するため，コンクリートの打設は高さの変動が小さい方向（厚さが同一の方向）に施工。

(2) 補修の目的

補修の工法選定に当たっては，補修の目的を明確にする必要があり，目的は主に舗装の構造に関する補修と使用性に関する補修の2つに大別される．

構造に関する補修は，荷重支持性能の回復が挙げられる．この場合，補修前の既設NC版の状態（疲労破壊の有無）を把握した上で補修工法を選定する必要がある．荷重支持性能の回復を目的とした補修は，施設の計画高を補修後に変更する可能性が少ないため，計画高が変更となる分離オーバーレイ工法の適用は少ないと考えられる．補修工法別の既設NC版の状態把握について表-2に示す．

表-2 補修工法別 既設NC版の状態把握

補修工法	補修前の既設 NC 版の状態
打換工法	打換するため、考慮する必要なし
分離オーバーレイ工法	補修前に疲労破壊していないことが前提
付着オーバーレイ工法	⇒疲労破壊している場合は適用されない

使用性に関する補修は勾配の修正が挙げられる。勾配補修で想定される工法について表-3に示す。勾配補修を目的としているため、疲労破壊していないことが前提となる。また、嵩上げ厚範囲の大小区分は、分離オーバーレイ構造が成り立つか否かが境界となる。

表-3 勾配補修で想定される工法

補修概要	想定される工法
嵩上げ厚範囲が小さい場合	補修面積が狭い場合：打換工法 補修面積が広い場合：付着オーバーレイ工法
嵩上げ厚範囲が大きい場合	打換工法＋分離オーバーレイ工法、または付着オーバーレイ工法＋分離オーバーレイ工法

(3) 荷重支持性能の回復を目的とした補修設計

荷重支持性能の回復を目的とした試設計では、補修対象をエプロン1スポット (13,300m²) と考え、既設NC舗装が空港舗装構造設計要領 (平成11年4月 運輸省航空局) により設計されたと仮定し、供用開始10, 15, 20, 25年後に打換工法、分離オーバーレイ工法、および付着オーバーレイ工法のそれぞれを用いて補修した場合で、20年間の供用性を持たせるための必要オーバーレイ厚を求め、その構造照査を行った。

(4) 勾配修正を目的とした補修設計方法

勾配修正を目的とした試設計検討ケースは、計画高変更等に見受けられる嵩上げ厚が厚いケースと、表面排水機能回復を目的とした補修等に見受けられる嵩上げ厚が薄いケースの2ケースを実施した。

3. 補修工法の検討方法

(1) 打換工法

a) 補修時の構造的特徴

打換工法においては、補修後の必要コンクリート版厚が既設 NC 舗装厚より厚い場合で、嵩上げ厚 0cm では、既設路盤を撤去する必要がある。このように、嵩上げ厚が厚い場合は撤去する NC 舗装下面の路盤で高さ調整を行う。この時、新設 NC 舗装下面は、既設路盤厚が薄くならない限り、路盤支持力は確保出来る。

b) 構造試設計方法

打換工法の構造試設計は、経験的設計法および理論的設計法により実施した。

経験的設計法のコンクリート版厚算定手順は、設計期間 20 年に相当する交通量からカバレッジを算定し、設計カバレッジおよび設計カバレッジの区分を設定し、この設定した設計カバレッジ区分を用いて、経験的に設定されているコンクリート版厚を設定した。

理論的設計法のコンクリート版厚設定手順は、コンク

リート版厚をパラメータとし、20年間交通量に対する累積疲労度の最大値を算定し、その結果から累積疲労度の最大値が1.0未満となる最小のコンクリート版厚を求める版厚として設定した。

(2) 分離オーバーレイ工法

a) 補修時の構造的特徴

分離オーバーレイコンクリート厚は、空港舗装補修要領(案) (平成 19 年 4 月 国土交通省航空局) (以下、補修要領案) により算定する。既設 NC 舗装が下層にあるため路盤支持力係数 (70MN/m²) は確保されるが、既設 NC 版の表面状態を状態係数として評価する必要がある。

また、嵩上げ厚が薄い場合は分離構造が成立しない。分離構造を成立させるための最小嵩上げ厚は、分離オーバーレイコンクリート厚＋中間層厚となる。

b) 構造試設計方法

分離オーバーレイコンクリート厚の算定は補修要領案の次式(1)を用いた。

$$h_0 = \sqrt{h_d^2 - C \left[\left(\frac{h_d}{h_{db}} \right) h_e \right]^2} \quad \dots (1)$$

ここで、

h_0 : オーバーレイコンクリート厚(cm)

h_d : 既設路盤上に新規コンクリートの曲げ強度のNC版を直接敷設する場合の厚さ(cm)

h_{db} : 既設路盤上に既設コンクリートの曲げ強度のNC版を直接敷設する場合の厚さ(cm)

h_e : 既設NC版厚(cm)

C: 既設NC版の状態により決まる係数(0.35~1.0) 版が良好な場合C=1.0

オーバーレイコンクリートの構造照査は次の解析方法で実施した。等価路盤モデル解析を用いた照査では、平板 FEM により分離オーバーレイコンクリートの曲げ応力 (σ_1) を算出し、算出された σ_1 を用いて分離オーバーレイコンクリートの 20 年交通量の疲労度が 1.0 未満となるかを確認した。三次元 FEM 解析を用いた照査では、解析で求めた分離オーバーレイコンクリートの曲げ応力 (σ_2) を用いて疲労度計算を行い、1.0 以下になることを確認した。この時、 $\sigma_2 < \sigma_1$ の場合は疲労度計算は実施しない。検討フローを図-2に示す。

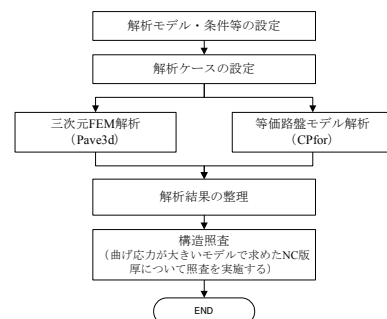


図-2 分離オーバーレイ検討フロー

c) 解析条件

等価路盤モデルは分離層～既設路盤を1つの路盤として考え、分離層上面の路盤支持力係数を算出しコンクリート曲げ応力を解析した。解析条件を表4に示す。

表4 等価路盤モデル解析条件

項目	解析値
オーバーレイコンクリート	弾性係数 34,000MPa (荷重支持性能回復) 18,20,25,30,35cmの5ケース (勾配修正) 42.45,36cm
コンクリート層	版厚
機材	B747-400,B747-400D,B777-300,DC10-30W A300-B4,A320-200,DC9-41の7ケース
載荷位置、荷重	1脚中央載荷の離着陸重量
機材アスファルト	二次元平面弾性 (C/Pw)
目地間隔	8.5m
路盤支持力係数	多層弾性解析 (GAMES) を用いて設定
等価路盤支持力係数	557~888 MN/m (等価路盤上面での表面変位が 1.25mmの時の円形等分布荷重)

三次元FEM解析モデルは5層構造とし、平面形状は8.5m×8.5mの1枚版とした。解析条件を表-5に示す。

表5 三次元FEM解析モデル解析条件

項目	解析値
路床の弾性係数	20MPa
既設路盤 (粒状材)	弾性係数 200MPa (FWD評価システム採用値)
版厚	33cm (路盤反力係数が70MN/m ² となる厚さ)
既設NC版	版厚 (荷重支持性能回復) 38cm (勾配修正) 42.45,36cm
弾性係数	34,000MPa
分離層	アスコン厚 (荷重支持性能回復) 4cm、(勾配修正) 最小厚=4cm、最大厚=最大嵩上げ厚+必要版厚
弾性係数	500MPa
オーバーレイコンクリート層	弾性係数 34,000MPa 版厚 (荷重支持性能回復) 18,20,25,30,35cm (勾配修正) 42.45,36cm

は実施しない。オーバーレイ後の版厚については、20年間交通量を用いて補修後の累積疲労度 (DF₂) を算定し、DF₁+DF₂ が 1.0 未満となる最小オーバーレイ厚を算定した。DF₁の計算に用いた 10, 15, 20, 25 年間交通量は約 5,000~335,000 である。

4. 設計条件

構造試設計に用いた設計条件および設計用値の概要を表-6, 7に示す。

表6 設計条件

項目	設計条件
設計方法	経験的設計法 (空港舗装構造設計要領 (平成11年4月))
対象施設	ローディングエプロン
荷重区分と交通量	LA-1 (N区分,O区分), LA-12 (N区分)
補修想定時期	供用期間: 10,15,20,25年※初期の供用期間での検討ケースでNC版の累積疲労度が1.0を超過する場合は対象外とする。
設計方法	① 打換工法 ② 分離オーバーレイ工法 ③ 付着オーバーレイ工法
設計供用期間	20年※コンクリートは全ての要求性能に対して20年を標準としているため。

表7 設計用値

項目	設計用値	備考
コンクリート弾性係数	34,000MPa	舗装設計要領
コンクリートポアソン比	0.15	既設・オーバーレイコンクリートに適用
コンクリート線膨張係数	10×10 ⁻⁶ (1/℃)	適用
コンクリート曲げ強度	5.0N/mm ² (特性値であり、疲労曲線は舗装設計要領に準じて寸法効果補正)。	
分離アスファルト層弾性係数	500MPa	
既設路盤支持力係数	70MN/m ³	
走行位置分布の標準偏差	50cm (舗装設計要領による)	
目地間隔	8.5m	
脚数、脚載荷位置	1脚中央載荷	
目地部バネ定数	荷重伝達率 85%程度になるように設定	
温度応力 (内部拘束応力等)	舗装設計要領に準じる (疲労度計算においては温度応力と荷重応力の合成応力で計算)。	

(3) 付着オーバーレイ工法

a) 補修時の構造的特徴

付着オーバーレイ工法は既設 NC 版を表面処理し、コンクリートを打設する工法であり、最小施工厚は 5cm である。表面処理後、既設 NC 版とオーバーレイ層の付着界面の引張強度は 1.6MPa 以上を必要とする。既設 NC 版の表面は、ひび割れなどが無いことが前提条件となる。

b) 構造試設計方法

構造試設計フローを図-3に示す。

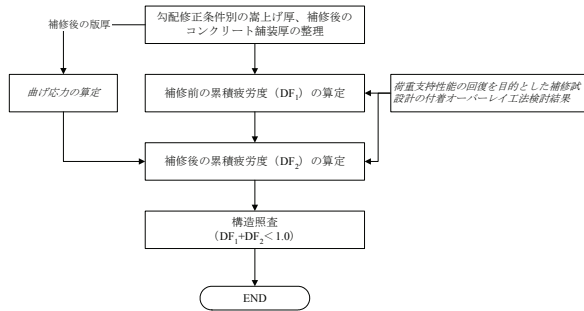


図-3 付着オーバーレイ検討フロー

構造試設計方法は、既設 NC 舗装の累積疲労度を考慮し、付着オーバーレイ厚をパラメータとして、補修後 20 年間の累積疲労度が 1.0 未満となる必要嵩上げ厚を算定した。検討手順は、補修を供用開始 10, 15, 20, 25 年後に実施すると仮定し、供用開始~補修前までの累積最大疲労度 (DF₁) を算定した。累積疲労度の算定に用いる交通量は機材別年間交通量に経過年数を乗じた値を用いた。DF₁<1.0 未満の既設 NC 版については付着オーバーレイ厚を 0cm から 1cm ピッチで設定した。DF₁が補修前に 1.0 以上となる場合は、既設 NC 版が構造破壊に至り付着オーバーレイ工法は適用できないと考え、計算

5. 結果

(1) 打換工法試設計結果

a) 経験的設計法による結果

空港舗装設計要領及び設計例 (平成20年7月国土交通省航空局) の設計荷重区分別のコンクリート板厚により設定した設計カバーレージとその区分について表-8に示す。

表-8 設定した設計カバーレージと区分, コンクリート版厚

検討ケース	計算で求めたカバーレージ (回)	設計カバーレージ (回)	区分	コンクリート版厚
LA1-N 区分	18,900	20,000	N	42cm
LA1-O 区分	73,790	80,000	O	45cm
LA12-N 区分	23,390	20,000	N	36cm

b) 理論的設計法による結果

仮定したコンクリート版厚を用いて算定した累積疲労度の最大値を表-9に示す。

表-9 累積疲労度最大値

LA1-N区分					
版厚(cm)	39	40	41	42	43
累積疲労度の最大値	1.69	1.03	0.62	0.38	0.23
LA1-O区分					
版厚(cm)	42	43	44	45	46
累積疲労度の最大値	1.78	1.08	0.70	0.47	0.31
LA12-N区分					
版厚(cm)	36	37	38	39	40
累積疲労度の最大値	2.01	1.15	0.66	0.37	0.23

(2) 分離オーバーレイ工法試験設計結果

分離オーバーレイコンクリートと既設NC版については版下面に生じる曲げ応力を、分離層については分離層下面に生じる最大水平ひずみに着目して整理した。

a) 等価路盤モデル解析結果

オーバーレイコンクリート版厚、機材、荷重別に整理した曲げ応力結果を表-10, 11に示す。曲げ応力結果より、板厚18cmのケースでもコンクリート版下面に生じる曲げ応力は5.0N/mm²未満であることが分かる。

表-10 等価路盤モデル (荷重支持性能回復) 結果

検討ケース	版厚 (cm)	等価路盤支持力係数 (MN/m ²)	離陸荷重 / 最大曲げ応力 (N/mm ²)						
			B747-400	B747-400D	B777-300	DC10-30W	A300-B4	A320-200	DC9-41
CASE-1 (LA1-N区分)	① 18	717	4.64	3.49	4.67	3.86	4.00	3.97	3.47
	② 20	717	3.96	2.97	3.93	3.24	3.42	3.44	3.02
	③ 25	717	2.88	2.15	2.73	2.25	2.49	2.52	2.23
	④ 30	717	2.25	1.67	2.05	1.69	1.94	1.94	1.72
	⑤ 35	717	1.84	1.36	1.63	1.34	1.58	1.56	1.38

※版厚は分離オーバーレイ版厚を意味する。

表-11 等価路盤モデル (勾配修正) 結果

検討ケース	版厚 (cm)	等価路盤支持力係数 (MN/m ²)	離陸荷重 / 最大曲げ応力 (N/mm ²)						
			B747-400	B747-400D	B777-300	DC10-30W	A300-B4	A320-200	DC9-41
CASE-1 (LA1-N区分)	① 42	813	1.41	1.04	1.24	1.01	1.20	1.16	1.03
	② 42	626	1.50	1.11	1.31	1.07	1.28	1.22	1.07
CASE-2 (LA1-O区分)	③ 45	888	1.26	0.93	1.10	0.90	1.08	1.03	0.91
	④ 45	664	1.36	1.00	1.18	0.96	1.15	1.09	0.96
CASE-3 (LA12-N区分)	⑤ 36	670	1.80	1.33	1.59	1.31	1.54	1.51	1.34
	⑥ 36	557	1.88	1.39	1.65	1.35	1.61	1.56	1.38

※版厚は分離オーバーレイ版厚、および既設NC版厚を意味する。

b) 三次元FEMモデル解析結果

オーバーレイコンクリート、アスファルト分離層、および既設NC版別に最大曲げ応力、最大水平ひずみを整理した結果を表-12, 13に示す。板厚18cmの曲げ応力でも最大約2.8N/mm²未満である。

表-12 三次元FEMモデル (荷重支持性能回復) 結果

検討ケース	版厚 (cm)	離陸荷重 / オーバーレイコンクリート下面の最大曲げ応力 (N/mm ²)						
		B747-400	B747-400D	B777-300	DC10-30W	A300-B4	A320-200	DC9-41
CASE-1 (LA1-N区分)	① 18	2.61	2.03	2.79	2.21	2.34	1.90	1.59
	② 20	2.53	1.93	2.67	2.12	2.29	1.82	1.55
	③ 25	2.28	1.73	2.41	1.82	1.97	1.55	1.38
	④ 30	2.07	1.54	2.17	1.59	1.77	1.44	1.29
	⑤ 35	1.84	1.35	1.89	1.35	1.54	1.27	1.10

※版厚は分離オーバーレイ版厚を意味する。

表-13 三次元FEMモデル (勾配修正) 結果

検討ケース	版厚 (cm)	離陸荷重 / オーバーレイコンクリート下面の最大曲げ応力 (N/mm ²)						
		B747-400	B747-400D	B777-300	DC10-30W	A300-B4	A320-200	DC9-41
CASE-1 (LA1-N区分)	① 42	1.47	1.08	1.50	1.07	1.23	1.01	0.87
	② 42	1.49	1.08	1.52	1.09	1.26	1.08	0.94
CASE-2 (LA1-O区分)	③ 45	1.32	0.93	1.35	0.95	1.09	0.89	0.77
	④ 45	1.33	0.96	1.36	0.96	1.12	0.96	0.84
CASE-3 (LA12-N区分)	⑤ 36	1.86	1.36	1.92	1.35	1.58	1.26	1.11
	⑥ 36	1.87	1.35	1.89	1.35	1.56	1.35	1.20

※版厚は分離オーバーレイ版厚、および既設NC版厚を意味する。

分離層下面の最大水平ひずみ結果を表-14, 15に示す。分離層下面に生じる最大水平ひずみは、板厚18cmで37μ程度であり、ひずみは分離層厚が厚い程大きい。

表-14 三次元FEMモデル (荷重支持性能回復) 結果

検討ケース	版厚 (cm)	離陸荷重 / 最大水平ひずみ (μ)						
		B747-400	B747-400D	B777-300	DC10-30W	A300-B4	A320-200	DC9-41
CASE-1 (LA1-N区分)	① 18	27	23	37	36	20	29	25
	② 20	20	16	30	29	14	22	20
	③ 25	8	7	18	14	5	10	12
	④ 30	1	2	11	6	1	3	5
	⑤ 35	0	0	7	2	0	1	4

※版厚は分離オーバーレイ版厚を意味する。

表-15 三次元FEMモデル (勾配修正) 結果

検討ケース	版厚 (cm)	離陸荷重 / 最大水平ひずみ (μ)						
		B747-400	B747-400D	B777-300	DC10-30W	A300-B4	A320-200	DC9-41
CASE-1 (LA1-N区分)	① 42	-1	-1	4	0	0	0	2
	② 42	16	11	14	10	17	16	14
CASE-2 (LA1-O区分)	③ 45	-1	-1	3	-1	0	0	3
	④ 45	13	9	12	8	14	14	13
CASE-3 (LA12-N区分)	⑤ 36	0	0	6	1	1	1	2
	⑥ 36	25	18	22	14	26	23	20

※版厚は分離オーバーレイ版厚、および既設NC版厚を意味する。

既設NC版下面の曲げ応力結果を下表-16, 17に示す。

既設NC版下面に生じる曲げ応力は、板厚18cmのケースでも2.0N/mm²以下であり小さいことが確認された。

表-16 三次元FEMモデル (荷重支持性能回復) 結果

検討ケース	版厚 (cm)	離陸荷重 / 既設NC版下面の最大曲げ応力 (N/mm ²)						
		B747-400	B747-400D	B777-300	DC10-30W	A300-B4	A320-200	DC9-41
CASE-1 (LA1-N区分)	① 18	1.98	1.42	1.79	1.30	1.80	1.24	1.07
	② 20	1.90	1.35	1.66	1.19	1.75	1.20	1.01
	③ 25	1.68	1.21	1.49	1.13	1.48	1.00	0.84
	④ 30	1.45	1.04	1.31	0.97	1.29	0.87	0.73
	⑤ 35	1.20	0.85	1.09	0.80	1.04	0.70	0.56

※版厚は分離オーバーレイ版厚を意味する。

表-17 三次元FEMモデル (勾配修正) 結果

検討ケース	版厚 (cm)	離陸荷重 / 既設NC版下面の最大曲げ応力 (N/mm ²)						
		B747-400	B747-400D	B777-300	DC10-30W	A300-B4	A320-200	DC9-41
CASE-1 (LA1-N区分)	① 42	0.93	0.66	0.85	0.61	0.80	0.51	0.41
	② 42	0.79	0.56	0.80	0.56	0.66	0.37	0.29
CASE-2 (LA1-O区分)	③ 45	0.83	0.58	0.78	0.55	0.70	0.44	0.35
	④ 45	0.71	0.49	0.71	0.49	0.58	0.32	0.24
CASE-3 (LA12-N区分)	⑤ 36	1.16	0.82	1.06	0.76	1.02	0.66	0.55
	⑥ 36	1.01	0.70	0.98	0.69	0.83	0.47	0.38

※版厚は分離オーバーレイ版厚、および既設NC版厚を意味する。

c) 等価路盤モデル構造照査

曲げ応力結果を用いて、20年交通量に対し累積最大疲労度が1.0未満となるかを照査したオーバーレイコンクリート版厚と疲労度の結果を図4に示す。結果、オーバーレイコンクリート厚が29cm未満の場合は疲労破壊するため、必要厚は30cmであることがわかる。

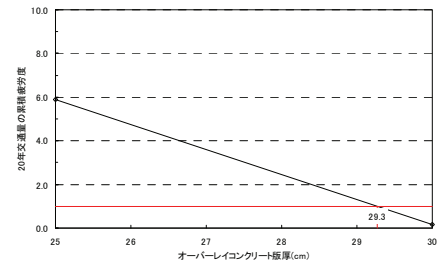


図4 オーバーレイコンクリート厚と疲労度の関係

表-18に20年交通量の累積最大疲労度の結果を示す。オーバーレイコンクリートは等価路盤支持力係数が小さい(曲げ応力が大きい)ほど疲労度は大きいという結果が得られた。

表-18 等価路盤モデル (勾配修正) 結果

検討ケース	版厚 (cm)	等価路盤支持力係数 (MN/m ²)	累積最大疲労度
CASE-1 (LA1-N区分)	① 42	813	8.95E-04
	② 42	626	1.38E-03
CASE-2 (LA1-O区分)	③ 45	888	1.59E-03
	④ 45	664	2.45E-03
CASE-3 (LA12-N区分)	⑤ 36	670	4.90E-03
	⑥ 36	557	7.16E-03

※版厚は分離オーバーレイ版厚、および既設NC版厚を意味する。

d) 三次元FEMモデル構造照査

等価路盤モデルの構造照査において、分離オーバーレイコンクリート厚は30cm以上必要なことがわかった。そこで、三次元モデルの構造照査は版厚30cmに対し実施した。三次元モデルで求めたオーバーレイコンクリートの曲げ応力は等価路盤モデルの値より小さい(前節参照)。そのため、三次元モデルの曲げ応力結果を用いた場合30cmのオーバーレイコンクリートの累積疲労度が1.0以上にはならないことが分かる。分離層の照査、アスファルト分離層の照査は、アスコン下面に生じる最大

水平ひずみを用いて、アスコン破壊規準式による許容繰返し回数を算定することで実施した。4種類のアスコン破壊規準を図-5に示す。

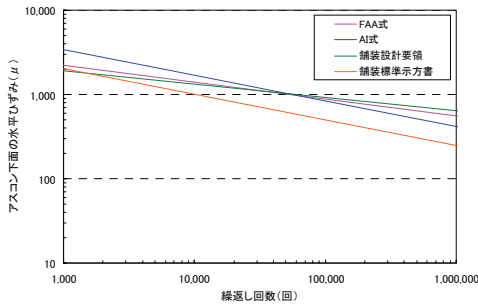


図-5 破壊規準

分離層の照査は、最も厳しい評価となる舗装標準示方書の式を用いた。分離層下面の発生ひずみは最大 37μであり、この時、破壊に至るまでの繰返し回数は 5.2×10^8 回と算出された。20年間の交通量は、約 4.8×10^5 回であり、許容繰返し回数の 0.1%未満であることから、分離層が構造上の弱点になる可能性は極めて低いと考えられる。

既設 NC 版の照査は、分離オーバーレイ前の既設 NC 版の疲労度 (DF_1) を算出する必要がある。ここで、 DF_1 を補修時期別に表-19 に示す。次に分離オーバーレイコンクリート 30cm の曲げ応力結果を用いて、20年交通量の疲労度 (DF_2) を算定し、その最大値は 2.47×10^3 となった。以上から、分離オーバーレイ後も 20年間は、既設 NC 版は疲労破壊しない結果が得られた。

表-19 既設 NC 版の累積最大疲労度結果 (荷重支持性能回復)

供用開始からの 経過年数	CASE-1		
	LA1-N 区分		
	DF_1	DF_2	DF_1+DF_2
10年	0.19	2.47×10^3 (0.00247)	約 0.19
15年	0.29		約 0.29
20年	0.38		約 0.38
25年	0.48		約 0.48

三次元 FEM 解析により算出した曲げ応力、および 20年交通量を用いてオーバーレイコンクリートの累積疲労度を算定した。算定結果を表-20 に示す。等価路盤モデルと同様、オーバーレイコンクリートが 20年交通量で疲労破壊することはない。

表-20 既設 NC 版の累積最大疲労度結果 (勾配補修)

検討ケース	版厚 (cm)	分離層厚 (cm)	累積最大疲労度
			($DF_1 + DF_2$)
CASE-1 (LA1-N区分)	①	42	1.78E-03
	②	48	2.01E-03
CASE-2 (LA1-O区分)	③	45	2.76E-03
	④	45	3.05E-03
CASE-3 (LA12-N区分)	⑤	36	5.76E-03
	⑥	54	5.42E-03

※版厚は分離オーバーレイ版厚、および既設NC版厚を意味する。

既設 NC 版の照査についても DF_1 を求める必要がある。既設 NC 版の分離オーバーレイ工法による補修を供用後、10、15、20、25年を実施すると考えると、 DF_1 は表-21に

示すとおりである。

表-21 補修前の累積最大疲労度 (DF_1)

供用開始からの 経過年数	CASE-1	CASE-2	CASE-3
	LA1-N 区分 (42cm)	LA1-O 区分 (45cm)	LA12-N 区分 (36cm)
9年	—	—	0.90
10年	0.19	0.23	1.00
15年	0.29	0.35	1.50
20年	0.38	0.47	2.01
25年	0.48	0.58	2.51

表-19 に示した既設 NC 版の曲げ応力結果を用いて、20年交通量の疲労度 (DF_2) を算定した。結果を表-22 に示す。分離オーバーレイ後、20年間に於いて既設 NC 版の累積疲労度が 1.0 を超過することはなく、疲労破壊しないことが確認された。

表-22 累積最大疲労度の結果

検討ケース	累積最大疲労度								
	供用開始9年			供用開始10年			供用開始15年		
	DF_1	DF_2	DF_1+DF_2	DF_1	DF_2	DF_1+DF_2	DF_1	DF_2	
CASE-1 (LA1-N区分)	①	—	—	1.91E-01	7.42E-05	1.91E-01	2.87E-01	7.42E-05	2.87E-01
	②	—	—	1.91E-01	4.11E-05	1.91E-01	2.87E-01	4.11E-05	2.87E-01
CASE-2 (LA1-O区分)	③	—	—	2.33E-01	1.63E-04	2.33E-01	3.49E-01	1.63E-04	3.49E-01
	④	—	—	2.33E-01	9.44E-05	2.33E-01	3.49E-01	9.44E-05	3.49E-01
CASE-3 (LA12-N区分)	⑤	9.03E-01	2.26E-04	9.03E-01	—	—	—	—	—
	⑥	9.03E-01	7.82E-05	9.03E-01	—	—	—	—	—

検討ケース	累積最大疲労度						
	供用開始20年			供用開始25年			
	DF_1	DF_2	DF_1+DF_2	DF_1	DF_2	DF_1+DF_2	
CASE-1 (LA1-N区分)	①	3.82E-01	7.42E-05	3.82E-01	4.78E-01	7.42E-05	4.78E-01
	②	3.82E-01	4.11E-05	3.82E-01	4.78E-01	4.11E-05	4.78E-01
CASE-2 (LA1-O区分)	③	4.66E-01	1.63E-04	4.66E-01	5.82E-01	1.63E-04	5.82E-01
	④	4.66E-01	9.44E-05	4.66E-01	5.82E-01	9.44E-05	5.82E-01
CASE-3 (LA12-N区分)	⑤	—	—	—	—	—	—
	⑥	—	—	—	—	—	—

※CASE-3の供用開始10年以降の補修では既設NC版が補修前に疲労破壊し、打換工法のみでの適用となるため、割愛した。
※ DF_1 は供用から補修までに累積される疲労度を意味する。
※ DF_2 は補修後、20年間で累積される疲労度を意味する。

分離オーバーレイ構造について、構造照査結果を整理すると、既設 NC 版は補修時の累積最大疲労度が 1.0 未満であれば、20年間疲労破壊する可能性は極めて低く、オーバーレイコンクリートは 20年交通量に対し疲労破壊しない。アスファルト分離層が補修後、構造上の問題となる可能性は極めて低いという事が判明した。

本検討では、等価路盤モデルの曲げ応力が、三次元モデルのそれよりも大きい関係にあったことから、等価路盤モデルの曲げ応力結果のみを用いて疲労度計算を行い、コンクリート NC 版厚を求めた。しかし、この計算フローでは、三次元 FEM モデルの曲げ応力結果による最小版厚がわからないことから、両モデルの曲げ応力を用いて各々の必要版厚を求める必要がある。

(3) 付着オーバーレイ工法設計結果

補修後に20年間の供用性を持たせるのに必要な嵩上げ厚算定結果を表-23に、構造照査結果を表-24に示す。

表-23 嵩上げ厚算定結果

検討ケース	補修時期	必要嵩上厚 (cm)	版厚(cm)		累積最大疲労度 ($DF_1 + DF_2$)
			補修前	補修後	
LA1-N 区分 (CASE-1)	10	0	42	42	0.57
	15				0.67
	20				0.76
	25				0.86
LA1-O 区分 (CASE-2)	10	0	45	45	0.70
	15				0.81
	20				0.93
	25				1.09
LA12-N 区分 (CASE-3)	9	6	36	42	0.99
	10~25	—	—	—	打換工法

表-24 構造照査結果

検討ケース	補修後のNC版厚 (cm)		疲労破壊の有無					
	CASE-A	CASE-B	補修時期					
			9年	10年	15年	20年	25年	
CASE-1 (LA1-N)	42		-	○	○	○	○	
	88	62						
CASE-2 (LA1-O)	45		-	○	○	○	1cm	
	94	65						
CASE-3 (LA12-N)	36		6cm	10年以降に改修する場合、既設NC版は疲労破壊している				
	76	56						

LA1-Nは、改修パターン、補修時期、嵩上げ厚に関係なく補修後20年間は疲労破壊しない。LA1-Oは、補修を供用開始から20年以内に実施する場合は改修パターン、嵩上げ厚に関係なく疲労破壊しない。しかしながら、補修が供用開始25年目の場合は、嵩上げ厚1cm未満の範囲で疲労破壊し、嵩上げ厚 $\geq 1\text{cm}$ であれば疲労破壊しない。LA12-Nは、供用開始10年以降に補修すると、既設NC版が疲労破壊しているため、付着オーバーレイ工法は適用できない。付着オーバーレイ工法による改修は供用開始9年で実施する必要がある。また、補修後20年間の供用性を確保するのに必要な嵩上げ厚は6cmである。

6. まとめ

(1) 試設計結果まとめ

荷重支持性能の回復を目的とした場合の試設計結果をまとめると表-25のとおりである。

表-25 荷重支持性能の回復を目的とした場合の補修工法結果

検討ケース		供用開始から補修までの期間	補修工法
補修面積 4,050~13,500m ²	1990年以降	既設版厚 42cm (LA1-N 区分)	10~25年 嵩上げ補修の必要なし (打換工法では理論設計法)
		既設版厚 45cm (LA1-O 区分)	10~20年 嵩上げ補修の必要なし (打換工法では理論設計法)
		既設版厚 36cm (LA12-N 区分)	9年 付着OL工法 (嵩上げ6cm)
	1990年以前	既設版厚 38cm (LA1-N 区分)	10年以後 打換工法 (理論設計法)

勾配修正を目的とした場合の補修工法試設計結果をまとめると表-26のとおりである。

表-26 勾配修正を目的とした場合の補修工法結果

検討ケース		供用開始から補修までの期間	補修工法 (※表注、t:嵩上げ)
嵩上げ厚 厚い ケース	既設版厚 42cm (LA1-N 区分)	10~25年	付着OL+分離OL (付着: $t \geq 46\text{cm}$, 分離: $t \geq 46\text{cm}$)
	既設版厚 45cm (LA1-O 区分)	10~20年	付着OL+分離OL (付着: $t \geq 49\text{cm}$, 分離: $t \geq 49\text{cm}$)
	既設版厚 36cm (LA12-N 区分)	9年	打換+付着OL+分離OL (打換: $t < 3.75\text{cm}$, 付着: $3.75\text{cm} \leq t < 49\text{cm}$, 分離: $t \geq 49\text{cm}$)
		10年以後	打換+付着OL+分離OL (打換: $t < 7.5\text{cm}$, 付着: $7.5\text{cm} \leq t < 40\text{cm}$, 分離: $t \geq 40\text{cm}$)
嵩上げ厚 薄い ケース	既設版厚 42cm (LA1-N 区分)	10~25年	付着OL
	既設版厚 45cm (LA1-O 区分)	10~20年	付着OL
	既設版厚 36cm (LA12-N 区分)	9年	打換+付着OL (打換: $t < 1.65\text{cm}$, 付着: $t \geq 1.65\text{cm}$)
		10年以後	打換+付着OL (打換: $t < 6.6\text{cm}$, 付着: $t \geq 6.6\text{cm}$)

(2) 補修工法の選定手順

補修工法選定は補修の目的に応じ安価な補修工法を選定する。前章で取りまとめた補修試設計結果から、補修工法の使い分けの手順(案)を作成した(図-6, 7)。なお、今回作成した手順(案)は、荷重支持力強化に対しても応用が可能と考えている。

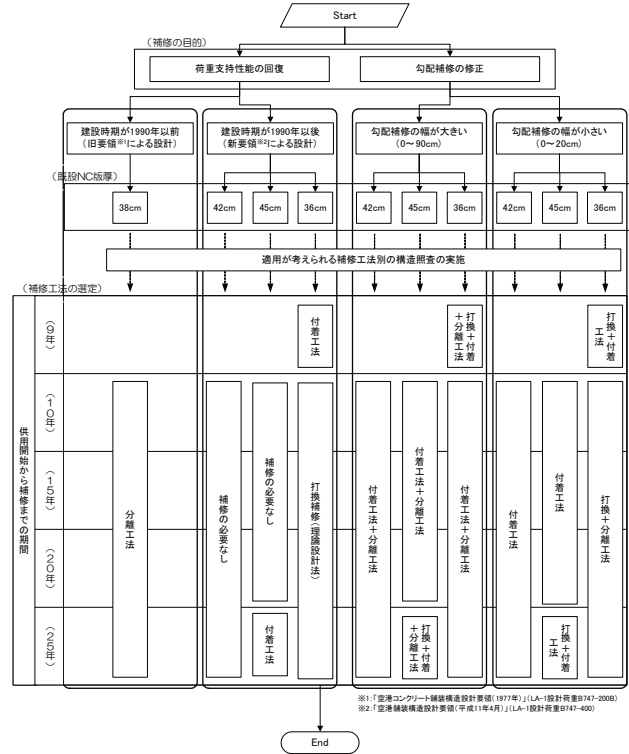


図-6 補修試設計より得られた工法選定結果

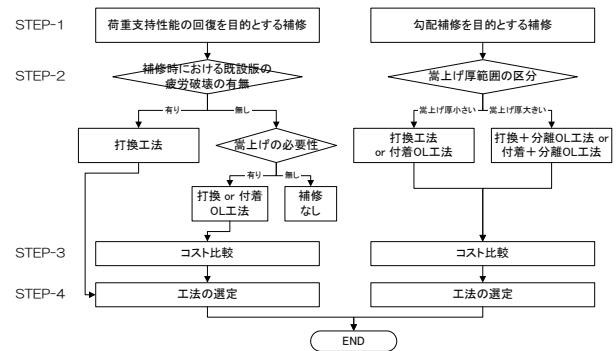


図-7 補修工法使い分け手順 (案)

謝辞: 本研究は当研究室の研究成果をまとめたものである。関係各位に厚くお礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 国土交通省航空局: 空港舗装補修要領 (案) 平成 19年 4月
- 2) 国土交通省航空局: 空港舗装設計要領及び設計例 平成 20年 7月
- 3) 八谷・水上・坪川他: 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 国総研研究報告 No.30 2006,
- 4) 空港舗装補修設計法の性能規定化に関する調査業務 報告書 平成 21年 3月