

# 空港アスファルト舗装構造の合理的設計

関西国際空港(株) 二期施設整備部 設計係長 瀬口 均

## 1. 概要

関西国際空港の第2滑走路と誘導路の舗装工事は、平成 19 年の供用開始に向けて平成 17 年 11 月に開始され、平成 18 年末に概ね完了した。同施設のアスファルト舗装構造の設計には、合理性・経済性を高めるために多層弾性論を用いた理論設計法を導入した。設計を行うにあたり、以下に示す技術的課題があった。

- ・ 第2滑走路・誘導路の路床は、礫まじり土砂を締固めた地盤であり、その地盤特性を適切に評価し、設計弾性係数および破壊基準を設定する必要がある。
- ・ 舗装構造の安定性を確保し、かつ舗装厚を軽減することによりコスト削減を図る。

以上の課題を解決するために、路床面への拘束圧の影響を考慮した埋込型平板載荷試験および航空機 B747-400 の 1 脚(910kN)と同等の車輪配置を有する原型荷重走行車を用いた実路走行試験を実施し、設計の妥当性を検証することとした。

本論文では、それら現場試験の結果を踏まえたうえで、理論設計法に基づいた舗装構造の設定について報告する。

## 2. 路床の弾性係数と破壊基準

### 2.1 路床の弾性係数の設定

当空港の路床材料の最大粒径は 300mm である。そのため、舗装構造の設計条件となる路床の弾性係数は、室内試験ではなく路床地盤での繰返し平板載荷試験結果に基づいて設定することとした。礫材料の弾性係数は拘束圧の増加に伴って大きくなる特徴があり、実際の路床には舗装による拘束圧が作用する。そこで、Fig.1のような埋込型繰返し平板載荷試験を行い、舗装の自重が路床の弾性係数に与える影響について検証した。

試験では、舗装の自重を見たてた厚さ 0,60,120cm の盛土荷重を路床に作用させたうえで、航空機荷重を見たてた 40,80,160kN/m<sup>2</sup> の荷重を路床面に繰返し載荷させた際の路床変位を計測した。試験は 20 点で行い、そこで得られた荷重～変位関係を解析することで、Fig.2 に示す盛土荷重、載荷荷重、割増係数の関係を得た。ここでの割増係数とは、標準の繰返し平板載荷試験で得られる弾性係数に対する拘束圧を考慮した場合の弾性係数の比である。試験結果より、航空機による路床上面での鉛直応力(約 100kN/m<sup>2</sup>)が載荷され、舗装厚が 60cm(盛土荷重 12.9kN/m<sup>2</sup>)の場合、割増係数を 1.2 程度に設定できることが判った。

### 2.2 破壊基準の設定方法と課題

路床の破壊基準は、舗装設計便覧や米

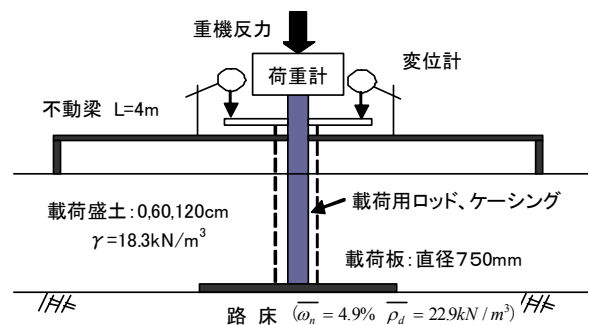


Fig.1 埋込型平板載荷試験

国の FAA 指針で基準化されている。しかし、前者は道路舗装を対象とするもので、後者はわが国の地盤条件への適用に疑問があることより、いずれの破壊基準も第2滑走路の路床特性を再現しているとは言いがたい。そこで路床の破壊基準は、既存資料を参考に以下①～③の方法で設定することとした。

①路床弾性係数 (Esg) から CBR を推定

②反復作用回数 5,000～40,000 回に対する舗装構造を設計要領より設定

③多層弾性解析により、設計荷重 (B747-400) 載荷時の路床上面の鉛直ひずみを算定し、反復作用回数と鉛直ひずみの関係に対数回帰して破壊基準式を設定

以上の方法で設定された破壊基準に基づいた舗装構造の安定性は、CBR 設計法で設定される断面と等価になると考えられるが、破壊基準は路床弾性係数と CBR の関係により異なる。例えば路床弾性係数を 80MPa とし、路床弾性係数と CBR の関係を  $E(\text{Mpa})=10 \cdot \text{CBR}(\%)$ 、 $5 \cdot \text{CBR}(\%)$  の 2 ケースとした場合、破壊基準は Fig.3 のようになり、係数 n を小さくする方が許容ひずみは大きく舗装厚を薄くできることになる。既存資料では  $E=10 \cdot \text{CBR}$  として構造評価を行うシステムが構築されており、1期滑走路建設時の調査では、 $E=5 \cdot \text{CBR}$  の関係が得られている。しかし、同調査では繰返し荷重による路床の変形特性が十分に把握できていないため、原位置において安全性を確認した上で、出来るだけ薄い舗装断面を実現することを目的として、実路走行試験を行い、破壊基準を検証することとした。

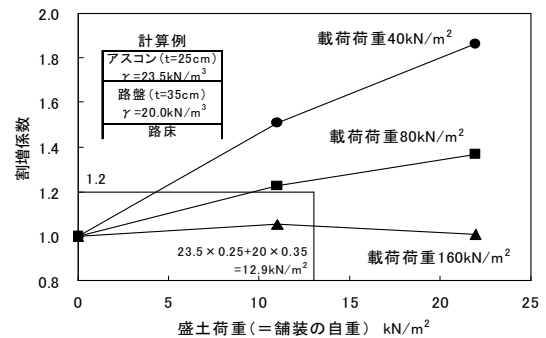


Fig.2 盛土荷重、載荷荷重、割増係数関係

### 3. 実路走行試験

#### 3.1 走行試験概要

実路走行試験は、路床の破壊基準の検証にくわえ、安価な路盤材料を用いた舗装構造比較案の供用性の相対比較を目的として実施した。実路走行試験では、一周約 400m の試験舗装路の直線部に複数の試験舗装断面を設け、原型荷重走行車を 15,000 回走行させて、舗装断面の変形等を計測した。また試験舗装断面構築の際には、舗装材料の品質試験、繰返し平板載荷試験、FWD 試験を現場にて行ない、路床や舗装断面の強度特性を原位置で確認した。

#### 3.2 試験舗装断面の設定

試験舗装断面は、構造比較検討断面と破壊基準検証断面の 2 ケースに大別し設定した。構造比較検討断面は、1期滑走路の舗装断面等を参考に、路盤構造が異なる設計反復作用回数 40,000 回に対応する 5 種類の比較案 (以下、実施断面案と称す) を基に、次のようにして設定した。Fig.4 に設定された断面を示す。

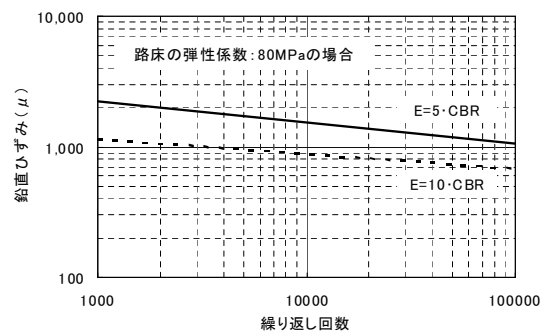


Fig.3 路床の破壊基準の比較

- ①路床の想定疲労破壊が 15,000 回(試験走行回数の上限)以内となるように実施断面の舗装厚を減厚する。
- ②その際、構造比較検討断面と実施断面案とで、アスコン層、路盤、路床の応力負担割合が等価となるように各層の換算厚 ( $t \times E1/3$ ) の比が同程度となるようにした。破壊基準検証断面は、検証精度を高めるために、走行回数 15,000 回までの範囲内で破壊が均等に分散して生じるように舗装厚を調整した断面 (Fig.5) とした。

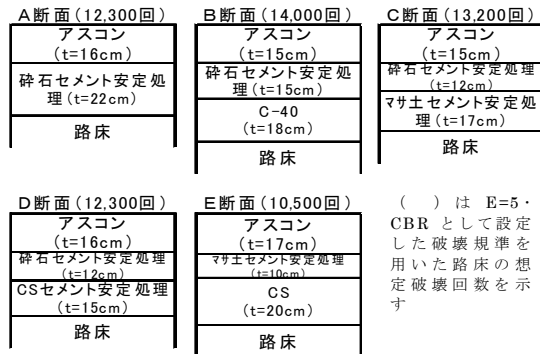


Fig.4 構造比較検討断面



Fig.5 破壊基準検証断面

#### 4. 実路走行試験結果

##### 4.1 路面・路床の変形結果

路面および路床の変形測定例を Fig.6、7に示す。構造比較検討断面の D 断面の路面変形量は 10mm 未満であるのに対し、破壊基準検証断面の F 断面では最大 40mm もの路面変形が生じている。空港舗装補修要領案によれば、滑走路の PRI (Pavement Rehabilitation Index) が C ランク(早期に補修の必要性がある)となるわだち掘れ量は 38mm 以上であり、F 断面では使用限界状態を超過したといえる。路床沈下についても同様の傾向があり、D 断面ではほとんど変形がないのに対して、F 断面では走行履歴に伴い塑性変形が増大している。

Fig.8 に、各断面で計測された路面沈下量と路床沈下量の比較結果を示す。Fig.8 に示すように、路面沈下のほとんどは路床沈下によるものであり、路床の塑性変形が舗装面のわだち掘れとなって表れることが確認された。

##### 4.2 構造比較検討断面の総合評価

構造比較検討断面を対象とした路面、路床の変形量、試験後の解体調査や FWD

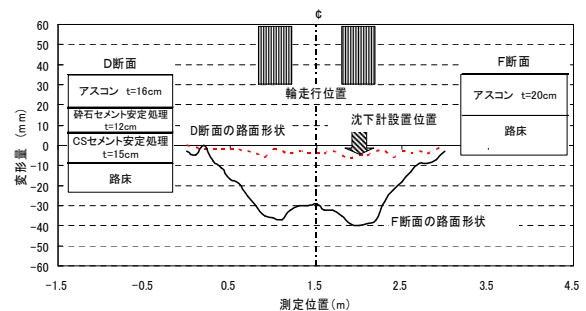


Fig.6 15,000 回走行後の路面変形量

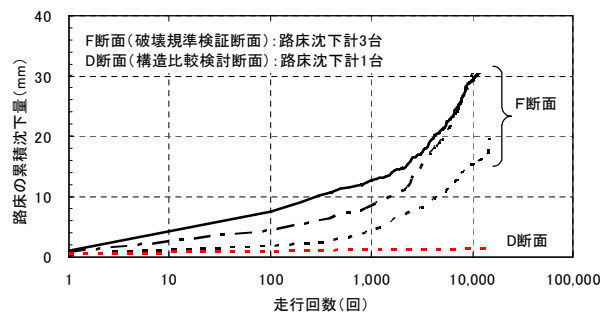


Fig.7 15,000 回走行後の路面変形量

試験結果に基づいて、5つの構造比較検討断面を相対評価した結果、標準構成としてD断面を採用した。

#### 4.3 路床破壊基準の検証

路床の破壊基準の検証は、2.2で述べた方法で設定される基準を対象にすることとした。破壊回数は、路面沈下量が補修要領で「補修が望ましい」とされる10mmとなった時点の走行回数とした。

E(MPa)=4・CBR、5・CBRとした場合の破壊基準の検証結果をFig.9に示す。4・CBRとした場合には非超過データ数が多いが、E=5・CBRの場合、非超過データが2点のみで、破壊回数が2,000回未満の小さい領域であった。設計反復作用回数が40,000回であるため、路床の破壊基準としては、E=5・CBRとして算定される破壊基準を用いることが妥当と判断した。

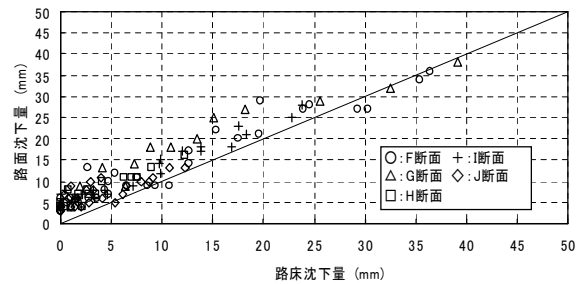


Fig.8 路床沈下量と路面沈下量の関係

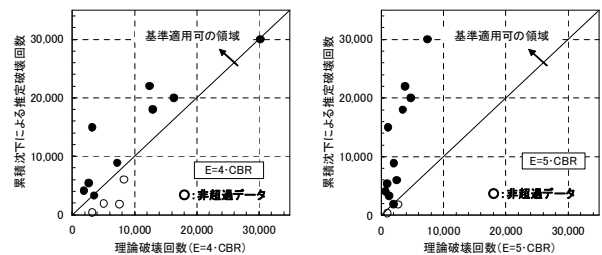


Fig.9 路床破壊基準の検証結果

#### 5. 実施断面の設定

舗装の基本構成は、Fig.4に示したD案が適切であること、路床の破壊基準はE=5・CBRとした基準が妥当であることより、理論的設計方法に基づいて断面設計を行った。設定された滑走路標準舗装構造をFig.10に示し、以下に特徴を整理する。

- ①路床の累積疲労を考慮して下層路盤厚を設定
- ②アスコン層の疲労照査結果に基づき、設計要領のアスコン層厚に対して中央帯で31cmを26cmに、縁端帯で29cmを20cmに減厚
- ③交通量荷重がほとんど作用しない縁端帯はFAAの指針を参照して中央帯より6cm減厚

中央帯(60cm)	縁端帯(42cm)
密・粗粒アスコン t=16cm	密・粗粒アスコン t=10cm
As安定処理 t=10cm	As安定処理 t=10cm
碎石セメント安定処理 t=15cm	碎石セメント安定処理 t=22cm
CSセメント安定処理 t=19cm	
路床(E=80MPa)	路床(E=80MPa)

中央帯: 滑走路幅60mの中央20mの範囲  
縁端帯: 中央帯の両側20mの範囲

Fig.10 第2滑走路の標準舗装構造

#### 6. まとめ

本検討の成果を以下にまとめる。

- ①埋込型繰り返し平板載荷試験により、路床弾性係数の応力依存性を確認した。
- ②路床の破壊基準を走行試験に基づき設定した。
- ③上記①、②の結果を元に、理論設計法に基づいて舗装断面を設定した。

現在の舗装設計手法は仕様規定型設計法であり、新しい舗装材料や航空機荷重への対応という面で発展性に乏しい。そのため、それらにも対応できる自由度の高い設計手法の整理が課題である。そういった意味で、本検討は、合理的な空港舗装の設計体系として一定の構築がなされたものであり、有益であったと言える。