空港アスファルト舗装の劣化予測に関する研究

東洋大学工学部環境デザイン専攻　学生会員　○林　克彦
東洋大学工学部環境建設学科　フェロー　福手　勤
東洋大学工学部環境建設学科　長岡　智紀

1. はじめに

空港基本施設である滑走路、誘導路のアスファルト舗装の路面性状は航空機が安全に運行する上で非常に重要なものである。空港舗装を、限られた予算の中で計画的かつ効率的に補修するために、アスファルト舗装の維持管理システムの構築が急がれている。

最小限の負担で計画的かつ戦略的な維持管理を実施し、アスファルト舗装のライフサイクルコストの低減や既存構造物の長寿命化を図るためには寿命・劣化予測の確立は急務の課題であり、そのためには路面性状の将来予測が重要である。本稿は、わが国の代表的空港（以下、A 空港）における過去 10 年間のアスファルト舗装の調査結果を基に構築した劣化予測式、将来供用曲線を報告するものである。

2. アスファルト舗装の路面性状評価手法

2－1　PRI：舗装補修指数

PRI とはひび割れ、わだち掘れ、平坦性をもとに 10 点満点の減点方式で路面状態を評価すものである。次式により、劣化進行の客観的な評価が可能になり、主観的な判断と合理的に結びつけ、最適な補修工法の選定が可能となる。

$$PRI=10-0.450CR-0.511RD-0.65SV$$

ここに、CR:ひび割れ率（%）
RD:わだち掘れ（mm）
SV:平坦性（mm）

2－2　劣化要因

ひび割れ、わだち掘れ、平坦性などの劣化の要因として重要なものには以下のようなものがある。

①気象条件　②交通量　③航空機荷重
④経過年数　⑤路床支持力

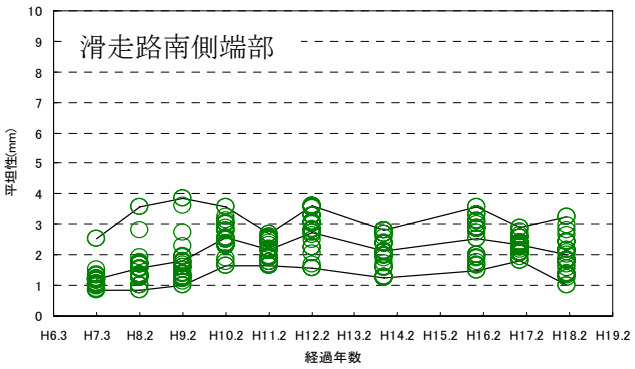
上記のうち、①と⑤は異なる空港のデータを用いて解析する場合には必要であるが、今回は同一空港であるため、劣化要因から外した。

3. 路面性状データ

A 空港の路面性状調査は、各施設を数個から数十個のユニット（幅×長さ：21m×30m）というブロックに分割し､各ユニットのひび割れ､わだち掘れ、平坦性を測定している。その調査データを基にデータ整理を行うものである。

3－1　路面性状指標の経年変化

図－1 は、経過年数と平坦性の関係を示したグラフである。このグラフにプロットされている点は同一施設内における各ユニットの平坦性の値である。このグラフから供用年数が経過するにつれて平坦性が悪化傾向にあることが分かる。



図－1　平坦性－経過年数

図－1 以外に、ひび割れ率、わだち掘れ、PRI についても施設・部位毎に同様のグラフを作成し、それぞれの劣化傾向を把握した。

3－2　交通量データ整理

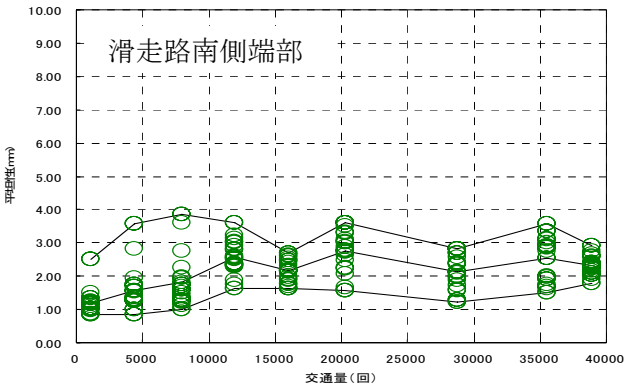
図－1 の横軸である経過年数を各施設の交通量に置き換えることで、より実用的な供用曲線の推定が可能になる。

Key Words:空港舗装，アスファルト舗装，路面性状，劣化予測
連絡先：〒350－8585　埼玉県川越市鯨井 2100　東洋大学 2 号館 4F　TEL049－239－1826　Email　gd0600050@toyonet.toyo.ac.jp

空港では小型飛行機からジャンボジェット機まで様々なタイプの飛行機が運航しており、航空機機材により脚荷重、脚配置が異なるため舗装に与えるダメージが異なる。よって、各施設の交通量を算出する際代表機種 B747-400 の交通量指数に換算する必要がある。換算には空港舗装構造設計要領に従い、等価単車輪荷重(ESWL)を用いた。ESWL とは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であり、交通量データには、累積交通量を用いた。

3－3　路面性状指標の交通量累積変化

図－2 は、**図－1** の経過年数を B747-400 の累積交通量に置き換えたグラフである。このグラフから、交通量が増加するにつれて平坦性が悪化傾向にあることが考えられる。しかし、このグラフにはバラつきが見られる。明白な傾向を知るために、調査データを詳細に吟味しデータの取捨選択を行った。



図－2 平坦性と交通量

図－2 以外に、ひび割れ率、わだち掘れ、PRI についても施設・部位毎に同様のグラフを作成し劣化傾向を把握した。

3－4 補修されているユニットの除去

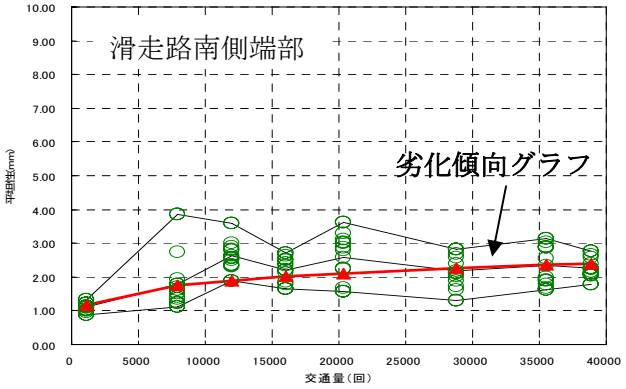
劣化傾向の把握及び劣化予測式の構築にあたって、不確実なデータを除去しなければならない。不確実なデータとは、今までに補修・改良工事が行われたユニットの調査データである。資料・巡回点検記録を用いて、補修・改良工事が行われたユニットを除去した。

また、平成 7 年度は測定方法に違いがあったことが判明したので､解析に影響すると判断し除去した。

補修・改良工事されたユニットを除去した結果、取付誘導路 B、F、R52、R22、T3、R23 は全ユニット補修・改良工事されているため、全ユニットを分析から除去した。よって、これらの対象部位は解析を行わないこととした。

3－5　路面性状指標の交通量累積変化（不確実データ除去後）

図－3 は、**図－2** のグラフに含まれる不確実データを除去したもので、**図－2** と比較すると全体的なバラつきが小さくなり、傾向が明白となった。



図－3 補修データ除外後の平坦性と交通量

図－3 以外に、ひび割れ率、わだち掘れ、PRI についても施設・部位毎に同様のグラフを作成し明白な劣化傾向を把握した。

4. 劣化予測式の構築

4－1　劣化予測式構築手法と精度評価

劣化予測式の構築にあたり施設毎の劣化進行状況を把握し、劣化予測式の原型を考えなければならない。具体的な方法は以下のとおりである。

1. 路面性状値のそれぞれの平均値を基に、Excel のゴールシークを用いて、ユニット平均値の近似曲線となる数式（劣化予測式）を導いた。
2. 劣化予測式の精度を確認するために、ユニット平均値と予測値の相関関係を調べる。
3. 本研究の劣化予測式は、ユニット平均値から作成したが､本来ばらつきが多い現象であるため、

誤差範囲を考えることとした。誤差範囲の求め方は、以下のとおりである。

a. 各年度の標準偏差を求める。
b. 各年度の分散を求め、それを平均する。
c. 平均した分散と予測値(y)をかける。これを予測値標準偏差(σ)とする。
d. 今回は$y \pm \sigma$の値を誤差範囲とした。

なお、滑走路ついては南、北側端部では航空機が低速走行で路面が損傷しやすいため、路盤が厚く設計されているが、中間部では路盤が薄く舗装の厚さが異なる。よって、劣化予測式を南側端部、中間部、北側端部に分けて構築した。　以下の劣化予測式は南側側端部のものである。

ひび割れ率(%)　$CR = 3.60 \times 10^{-4} \times \sqrt{x}$

わだち掘れ(mm)　$RD = 7.97 \times \sqrt[15]{x}$

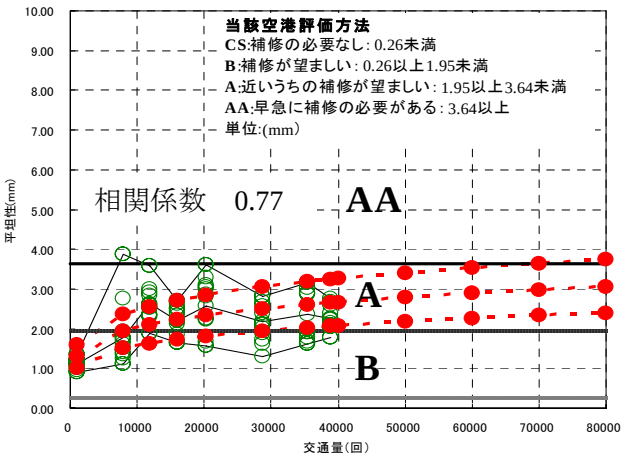
平坦性(mm)　$SV = 0.32 \times \sqrt[5]{x}$

ここに、交通量：x

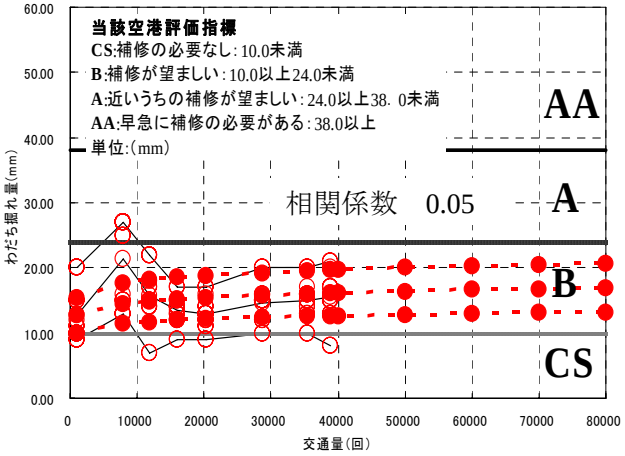
4－2　将来供用曲線の構築

4－1 の劣化予測式を基に**図－4～図－7** の将来供用曲線を構築した。なお、劣化の進行度合に関しては以下に示す A 空港の評価指標を基に判断した。

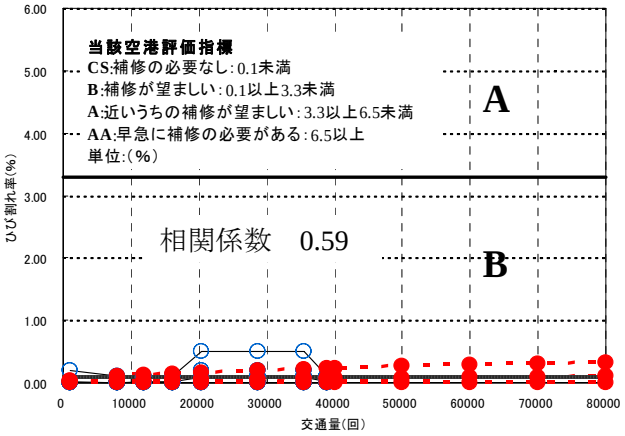
CS：補修の必要なし　B:補修が望ましい
A：近いうちの補修が望ましい
AA:早急に補修の必要がある



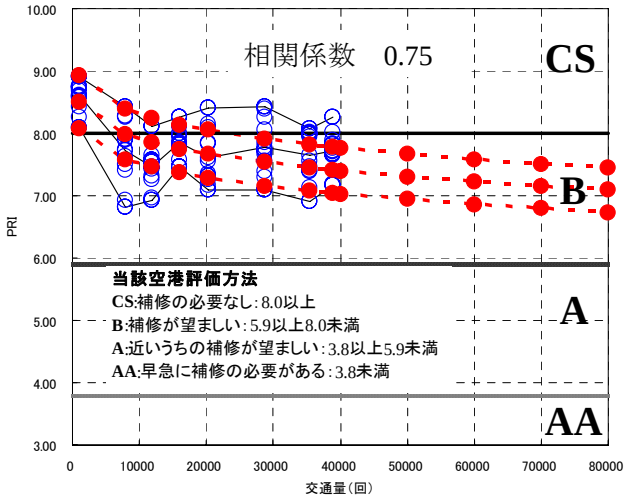
図－4 平坦性将来供用曲線



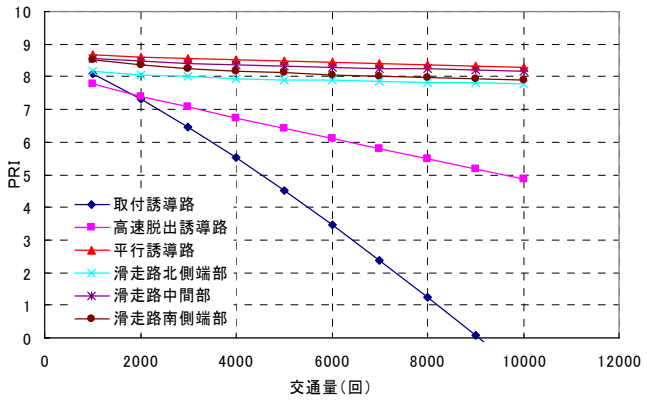
図－5　わだち掘れ将来供用曲線



図－6　ひび割れ率将来供用曲線



図－7　PRI 将来供用曲線



図－8　劣化進行速度比較

4－3　予測結果

平坦性に関する**図－4** のグラフからは、交通量10000 回を超えるあたりから、平坦性の評価 A になる。また、40000 回を超えると、すべての誤差範囲を含む劣化予測式が評価 A になることが分かる。平坦性は相関 0.77 と他と比べても高い精度であった。

わだち掘れに関する**図－5** のグラフは横ばい傾向である。しかし、この将来予測式は相関係数が低く、信憑性が低い。この理由としては、調査段階で定点観測を行っていなかったことがあげられる。

ひび割れ率に関する**図－6** では他の劣化データと比較するとばらつきが少ないので劣化予測式の精度は比較的高い。現段階では、劣化進行が進んでいないが今後劣化の進行が加速することも考えられる。

これらを総合した PRI を示す**図－7** は急激な劣化進行は見られない。わだち掘れ、ひび割れ率が横ばい傾向で平坦性の劣化が著しいなか、交通量が増えるにつれて PRI が低下していることから平坦性の寄与率が大きい事が分かる。

全体的に見ると近い将来もしくは現在、評価が A 又は AA になるのは平坦性のみであり、供用曲線のほとんどが評価 B に該当した。

図－8 は各施設の PRI の変化の予測結果を示したものである。**図－8** からすべての施設・部位において PRI は低下傾向であるが、その中でも取付誘導路および高速脱出誘導路の劣化速度は他よりも速いことが分かる。取付誘導路は航空機が低速で走行するため滑走路などに比べ荷重が大きくかかるため想定される傾向ではあるが、累積交通量が少ないデータより劣化予測式を構築したため長期的予測の精度が低い可能性があり、**図－8** のような傾向とならないことも考えられる。取付誘導路と同じ用途である平行誘導路の劣化はほとんど進行しておらず滑走路よりも劣化進行速度は遅かった。この理由として、空港施設は施設・部位毎に舗装厚が異なることが考えられる。その中で平行誘導路は用途上舗装厚が滑走路中間部などより厚いことも一因であろう。また、滑走路と誘導路（平行誘導路を除く）を比較すると滑走路の方の劣化進行が遅いことが分かった。これは滑走路では飛行機が高速で走行するためである。なお交通量の分析は、限られたデータをもとに行っているので、今後さらに実態調査が必要となる。

5. まとめ及び今後の課題

今回の限られた検討の結果、以下のことが分かった。

(1) PRI 算定式においては平坦性の寄与率が最も大きい。
(2) 3 つの劣化予測式の中で平坦性の予測式の精度が最も高い。
(3) ひび割れ率・わだち掘れは劣化があまり進行しておらず、将来供用曲線は横ばいとなった。
(4) 施設・部位毎に劣化傾向は異なる。
(5) 滑走路、平行誘導路は劣化がほとんど進行していない。
(6) 取付誘導路の劣化進行速度が最も速い。
(7) 滑走路の中間部、端部を比較すると端部の方が劣化しやすい。
(8) わだち掘れは劣化予測式構築のため定点観測とするべきである。

謝辞

本研究を実施するに当たり、日本工営株式会社　梶田学様から貴重なご助言を頂いた、ここに記して謝意を表する。

参考文献

1) 空港舗装の路面性状評価および維持補修のシステム化　第 16 回空港土木工事報告書　国土交通省　港湾技術研究所(1984.10)
2) 空港舗装構造設計要領 SCOPE　財団法人　港湾空港建設技術サービスセンター(1999.4)