

路面性状による飛行場コンクリート舗装の老朽度評価

DETERIORATION EVALUATION OF AIRFIELD CONCRETE PAVEMENT BY SURFACE CONDITION

木暮敬二*・藤本一男**・酒井 隆***・松田隆繁***

By Keiji KOGURE, Kazuo FUJIMOTO, Takashi SAKAI and Takashige MATSUDA

The Defense Agency has a large number of airfield concrete pavements that are approaching the end of their service lives. As a result, the maintenance required to keep these pavements in service is steadily increasing and it is very important to quantify the deterioration of pavement. In this paper, an equation for deterioration evaluation of airfield concrete pavement by surface conditions was developed. The value obtained from the developed equation was called Pavement Deterioration Index (PDI). The accuracy of PDI method was examined by the past data of surface condition survey that carried out when the pavement was rehabilitated and it is shown that PDI method can be used for the deterioration evaluation of airfield concrete pavement.

Keywords: airfield concrete pavement, deterioration evaluation, surface condition, surface survey, method of quantification

1. ま え が き

飛行場の各種構造物や施設のうち、基本施設とよばれる滑走路等の舗装構造物は厳しい交通荷重や気象条件にさらされており、他の構造物に比べて老朽化の度合いが大きい。航空機の安全運行のためには、舗装がある水準以上の供用性を保持している必要がある。しかし、航空機の安全運行が損なわれる舗装の破損程度の判断はかなり難しく、個人の主観的な判断が入りやすく、客観性に欠けるきらいがある。舗装の破損やそれに伴う補修時期は老朽度あるいは供用性を数量化した客観的な指標を用いて判断する必要がある¹⁾。防衛庁の飛行場は建設後数十年を経過しているものが多く、老朽化が進んでいる。また、使用する航空機の相違等のため他機関の供用性評価式を利用できない。そのため舗装の破損に基づく老朽度を合理的に評価し、補修時期を判断することが重要なこととなっている。

本研究は、飛行場コンクリート舗装の路面の破損に関する主観的な視察調査(アンケート調査による定性評価)

と路面性状調査(実測調査による定量評価)とを数量化理論の手法²⁾を用いて結びつけ、コンクリート舗装路面の破損状態に基づく老朽度の合理的な診断指標を得ることを目的としている。

第1に、老朽度評価式を作成するための基本データを入間飛行場において収集する。このデータは客観的な定量値としての路面性状調査および主観的な定性評価としての視察調査によって得られる。第2に、数量化理論Ⅱ類²⁾を用いて、視察による主観的な定性評価を客観的な評価値に数量化することを試みる。第3に、数量化された評価値と実測による定量評価結果とから、舗装の老朽度を表わす評価式を作成する。第4に、得られた評価式を他機関のそれと比較検討するとともに既存調査資料および舗装補修実績と比較することによってその妥当性を検討する。

従来、老朽度あるいは供用性評価式の作成の基本となる定性的なデータは舗装技術者のみによって収集される場合が多かった¹⁾。本研究においては、舗装技術者のほかに、パイロット、飛行場管理者およびその他の人の視察調査への参加によって幅広いデータの収集に努めた。また、老朽度評価式に取り入れる舗装破損項目は、将来機器調査によって測定可能な項目を選定した。

* 正会員 工博 防衛大学校教授 土木工学教室
(〒239 横須賀市走水1-10-20)

** 正会員 工博 防衛庁技術研究本部第4研究所築城研究室長
(〒229 相模原市淵野辺2-9-54)

*** 防衛施設庁建設部技官 (〒107 港区赤坂9-7-54)

2. 既往の評価方式

飛行場および道路を含めて、路面の破損による舗装の供用性の評価方式は2つに大別することができる。1つは路面破損の実測値を組み込んだ単純な評価式による方法である。この方式の先駆となったのがAASHOの道路試験に基づいたPSI (Present Serviceability Index)³⁾であり、この流れを汲むわが国の代表的なものが建設省の道路に関するMCI (Maintenance Control Index)⁴⁾と飛行場に関する運輸省のPRI (Pavement Rehabilitation Index)⁵⁾である。これらは、ひびわれ、目地部の破損、段差等の路面の破損項目の中から、評価に与える影響が大きいと考えられるものを数項目選定し、供用性の評価式を作成し、破損項目の実測値を代入して供用性の指標を得るとともに補修の判断基準としている。

第2の評価方式はアメリカ空軍のPCI (Pavement Condition Index)^{6),7)}の流れを汲むものである。舗装路面を多くの舗装技術者に視察させ、路面性状の劣化の度合に応じてあらかじめ設定されている減点値のうち実際の路面性状項目に対応するものをいくつか選び、減点方式で舗装の残存供用性を評価するものである。この方式を用いる場合には常に多数の熟練した舗装技術者を必要とする。

本研究での評価方式は、舗装技術者の層の問題あるいは利用の単純さを考慮して、上記の第1の範疇に入るものとした。

3. 路面性状調査と視察調査

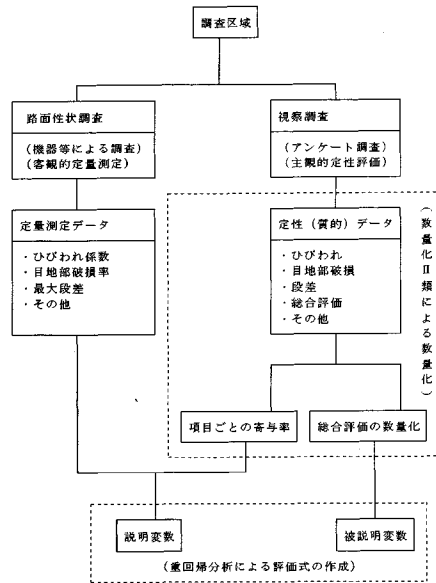
図一1に調査およびデータ分析の全体的な流れを示した。図一1に示すように老朽度評価式のための基本データは2つの調査によって得られた。

今回の調査場所として、多様な破損形態と破損程度が含まれていることおよび視察調査を依頼した人の利便性を考慮して、埼玉県の間人飛行場を選んだ。まず、運輸省航空局の空港舗装補修要領(案)に基づいて、ひびわれ、目地の破損、段差および平坦性等の路面性状調査を行い、多様な破損形態と破損程度を含む30区画を対象調査区画として設定した。各調査区画の大きさは約18.3×22.9mであり、ほぼ3×3=9枚のコンクリート版から構成されている。

(1) 路面性状調査(定量評価)

設定した30の調査区画についての空港舗装補修要領(案)による路面性状調査としての定量測定項目は次のようである。

① ひびわれ係数(CR)：調査区画内のひびわれ総延長(cm)を測定し、次のように定義したひびわれ係



図一1 調査およびデータ分析の流れの概要

数CRを求めた。

$$CR (cm/m^2) = \frac{\text{ひびわれ総延長 (cm)}}{\text{調査区画の面積 (m}^2)}$$

② 目地部の破損率(JR)：目地部の破損延長(cm)を測定し、次のように定義した目地部の破損率JRを求めた。

$$JR (\%) = \frac{\text{目地部の破損延長 (cm)}}{\text{目地部の総延長 (cm)}} \times 100$$

③ 最大段差(SV)：約5mm以上の段差を測定し、そのうちの最大のを最大段差SV(mm)とした。

④ その他の測定項目：スケーリング率、平坦性、パッチング率等を測定した。

(2) 視察調査(定性評価)

この調査は各調査員(回答者)が路面をみたときにどのように評価するかをみるアンケート調査である。視察調査は路面性状調査が行われたのと同じ調査区画に対して同時期に実施した。調査員の総人数は50名であり、その属性と経験年数を図一2に示した。

視察評価項目として、路面性状を視察するときに調査員が一般に注目する項目および定量測定項目と対比しやすい項目として表一1の(1)~(5)が選定された。評価項目(1)~(5)をその程度に応じてA, B, C, Dのランクに分け、対象とした調査区画の路面から各調査員が受ける印象に最も近いランクに○印をつける方法を用いた。表一1の評価項目(6)は、(1)~(5)の評価をもとに、その区画の舗装路面を総合的にどのように評価、判断するかを調査するための項目である。また評価項目(7)は、それぞれの場合の補修の必要性とその時期の判断のための総

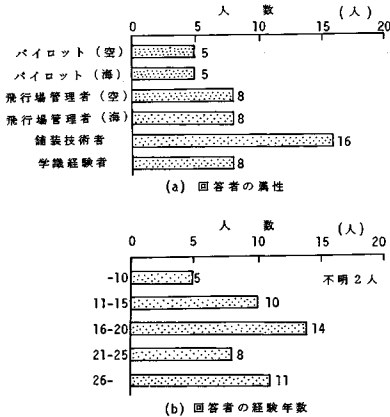


図-2 視察調査員の属性と経験年数

表-1 視察評価項目 (アンケート調査表)

(記入欄に○印 (A, B, C, D, のうち1つ) を記入して下さい。)

調査項目	調査内容	評価欄		
		判定	備考	
(1)縦・横断クラック	全くない	A		
	わずかに見られる	B		
	かなり見られる	C		
	著しい	D		
(2)隅角クラック	全くない	A		
	わずかに見られる	B		
	かなり見られる	C		
	著しい	D		
(3)目地部の破損 (角欠けなど)	全くない	A		
	わずかに見られる	B		
	かなり見られる	C		
	著しい	D		
(4)目地部の断差	全くない	A		
	わずかに見られる	B		
	かなり見られる	C		
	著しい	D		
(5)パッチング	全くない	A		
	わずかに見られる	B		
	かなり見られる	C		
	著しい	D		
(6)この調査区画の損傷程度	全くない	A		
	わずかに見られる	B		
	かなり見られる	C		
	著しい	D		
	必要なし	A		
	○滑走路として見た場合	軽微な補修の必要がある	B	
		近いうち補修の必要がある	C	
		早急に補修の必要がある	D	
		必要なし	A	
	○誘導路として見た場合	軽微な補修の必要がある	B	
		近いうち補修の必要がある	C	
		早急に補修の必要がある	D	
必要なし		A		
○エプロンとして見た場合	軽微な補修の必要がある	B		
	近いうち補修の必要がある	C		
	早急に補修の必要がある	D		
	必要なし	A		
備考				

合評価である。

4. 視察調査の数量化

今回の視察評価のように説明要因としての各評価項目と従属要因 (外的基準) としての総合評価の両者が質的データの場合には、その数量化にあたっては一般に数量化理論Ⅱ類が用いられる²⁾。まず、理論の要点を説明しておこう。

いくつかの項目の評価から総合評価値を導くにあたって、各評価項目の総合評価への寄与率が同じとは限らないので、計算された総合評価点と総合評価項目での評価値とが矛盾することがある。そこで総合評価項目の評価が同じデータ (回答) になるべく同じ総合評価点になり、総合評価項目の評価が異なるデータ (回答) はなるべく離れた総合評価点となるように各項目の選択肢への点数を付与する必要がある。すなわち、表-1の選択肢 A, B, C, D の4つの群なるべくきれいに分かれるようにする。まず、総合評価項目で i と回答したデータ群のうち、第 m 番目の総合評価点 y_{im} を次式で表わす。

$$y_{im} = \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{k_j} a_{jk} \delta_{im}(jk) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 a_{jk} : 評価項目 j の選択肢 k に与えられる点数。
 $\delta_{im}(jk)$: 総合評価項目で i と回答したデータの群のうち第 m 番目のデータが項目 j の選択肢 k に○印を付けたときには1, k 以外の選択肢に反応したときには0をとる。
 R : 全評価項目の数。
 k_j : 各評価項目に含まれる選択肢の数。

一方、 y_{im} が群ごとにきれいに分けられるようにするには、総合評価項目の4つの群の群間の変動が全変動に対して最小になるようにすればよい。このことは相関比 η^2 を最大にすることになる。すなわち、

$$\eta^2 = \frac{S_b}{S_t} \dots \dots \dots (2)$$

を最大にすることである。ここに、 S_b : 群間の変動、 S_t : 全変動。これを行列を用いて解くと、 a_{jk} は最大固有値 η^2 に対応する固有ベクトルとして求められ、各選択肢の評価点となる。

今回の視察調査 (アンケート調査) 結果に上述の数量化理論Ⅱ類を適用して得られた数量化の結果が表-2である。表-2の評価点が各項目の選択肢に与えられた点数であり、総合評価項目は4つあるので4通りの評価点が与えられる。

5. 数量化結果の考察

(1) 相 関 比

相関比が1に近いほど総合評価点と総合評価項目の評価との結びつきが強く、4つの群がきれいに分かれたことを示している。表-2において相関比は0.545から0.691であるが、相関比は相関係数の2乗であることから、相関係数は0.738から0.831と読み換えることもできる。このようなことから今回の視察調査結果については解析に耐え得る数量化が行われたといえる。

(2) レ ン ジ

表-2のレンジは同じ項目内の評価点のうち最大値から最小値までの幅である。この数字の大きいほどその項

表一 定性評価の数量化の結果（選択肢に与えられた評価点とレンジ）

調査項目	選択肢	損傷の程度	補修の必要性							
			滑走路		誘導路		エプロン		相 関 比	
			評価点	レンジ	評価点	レンジ	評価点	レンジ		
縦・横断方向クラック	(ほとんど)ない	A	6.763		10.161		7.190		5.478	10.864 (.488)
	いく分見られる	B	5.205	14.353 (.882)	6.528	18.401 (.560)	4.502	13.791 (.491)	3.831	
	かなり見られる	C	1.090		0.142		0.797		0.574	
	著しい	D	-7.590		-8.240		-6.601		-5.386	
隅角クラック	(ほとんど)ない	A	0.732		1.149		1.229		1.040	4.986 (.191)
	いく分見られる	B	-0.116	2.269 (.121)	-0.155	3.416 (.194)	0.175	4.931 (.172)	0.251	
	かなり見られる	C	-0.954		-2.267		-2.094		-1.735	
	著しい	D	-1.537		-0.454		-3.702		-3.946	
目地部の破損	(ほとんど)ない	A	1.795		4.188		3.085		2.333	4.388 (.161)
	いく分見られる	B	0.611	4.215 (.204)	0.515	5.827 (.200)	0.437	5.497 (.176)	0.203	
	かなり見られる	C	-0.685		-1.669		-0.892		-0.445	
	著しい	D	-2.420		-1.313		-2.412		-2.055	
目地部の段差	(ほとんど)ない	A	1.144		3.480		2.300		1.391	2.397 (.122)
	いく分見られる	B	-0.030	3.254 (.125)	0.220	8.615 (.240)	0.179	4.919 (.175)	-0.003	
	かなり見られる	C	-0.469		-2.374		-1.780		-1.006	
	著しい	D	-2.110		-5.135		-2.619		-0.528	
パッチング	(ほとんど)ない	A	0.362		0.673		0.728		0.481	1.300 (.083)
	いく分見られる	B	-0.282	0.989 (.073)	-0.471	1.863 (.081)	-0.565	1.990 (.094)	-0.279	
	かなり見られる	C	-0.627		-1.190		-0.712		-0.559	
	著しい	D	0.078		-0.471		-1.262		-0.819	
相 関 比			0.691		0.619		0.571		0.545	

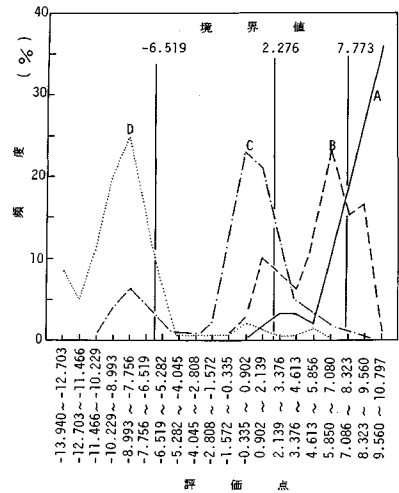
*カッコ内は偏相関係数

目の総合評価点に対する寄与率が大いこと、すなわち総合評価にあたって重要視される項目であることを示している。表一2より、いずれの総合評価項目についても「縦・横断方向クラック」の寄与率が大きく、「隅角クラック」、「目地部の破損」および「目地部の段差」の3項目は少し考慮されている。「パッチング」はほとんど影響を与えていないといえる。

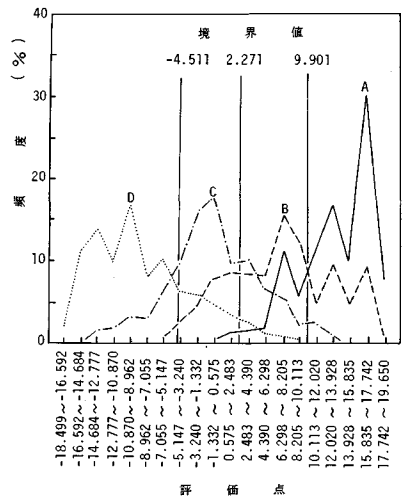
(3) 境界値の設定

総合評価点と定量測定結果とを結びつけて老朽度評価式を作成する場合、総合評価の選択肢 A, B, C, D の境界となるべき総合評価点を定めておく必要がある。ところが相関比が1より小さいので、A~Dの4つの群は総合評価点によって完全に分かれてはいない。その状態の例を示したのが図一3, 4である。図一3, 4は「損傷の程度」および「補修の必要性(滑走路)」についてのA, B, C, Dごとの総合評価点の分布を示したものであり、4つの群は総合評価点によって完全に分離されていないことがわかる。

そこで、隣り合う群どうしの誤判別の数が等しくなるように境界値を設定することにした。たとえば、AとBの境界値については、総合評価項目はAなのに総合評価点ではBになってしまうデータの比率と総合評価



図一3 総合評価点の分布（損傷の程度について）



図一4 総合評価点の分布（滑走路の補修の必要性について）

表一3 総合評価点のグループ分けの境界値

	AとB	BとC	CとD
損傷の程度	7.773	2.276	-6.519
補修の必要性	滑走路	9.901	2.271
	誘導路	5.193	1.043
	エプロン	3.242	-1.191

項目ではBなのに総合評価点ではAになってしまうデータの比率とが等しくなるようにAとBの境界の総合評価点を設定した。このようにして求められた境界値を図一3, 4に示すとともに表一3に一括して示した。なお、ここに示した境界値設定法による境界値の判別成功率は70%以上であり、高い成功率であった。

6. 老朽度評価式の作成

(1) 定量測定と定性評価の関係

路面性状を視察した人がひびわれなどの路面破損の各項目に対して、舗装が破損したと判断するのはそれらの破損がどの程度進行した時点であろうか。アンケート調査における評価項目の、たとえばAとB、BとCの境界が実測値とどのように対応するかを考えてみよう。

ある調査区画でのある項目の評価点として、表一2の各評価点をその項目のA、B、C、Dのそれぞれに反応した人数の比率で重み付けをした平均値を用いた。すなわち、

$$e_m = \frac{P_A N_A + P_B N_B + P_C N_C + P_D N_D}{N_A + N_B + N_C + N_D} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 e_m ：調査区画 m におけるある項目の評価点、 $P_A \sim P_D$ ：おのおの評価A～Dに与えられた評価点、 $N_A \sim N_D$ ：おのおの評価A～Dと回答した人数。このようにして求められた総合評価「損傷の程度」に関する評価点 e_m と実測値との関係の例を示したのが図一5、6、7である。ひびわれ係数は評価点と強い相関性があり、目地部の破損率と評価点の相関性もかなり高い。したがって、上記の両者は評価式の評価項目として十分と考えられる。しかし、段差と評価点との相関性は低く、評価項目として多少の問題を残しているといえよう。

(2) 3項目による評価式の作成

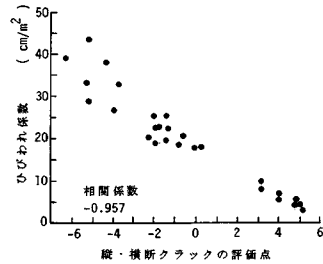
数量化された視察総合評価に対して寄与率の大きい項目の定量測定値(実測値)を用いた老朽度評価式として次のような線形回帰を用いることにする。

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 \dots\dots\dots (4)$$

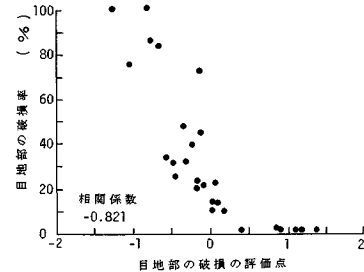
ここに y ：各調査区画ごとの各回答者の総合評価点の平均値、 $a_0 \sim a_3$ ：回帰係数、 $x_1 \sim x_3$ ：定量測定項目の実測値。評価式に取り入れる項目 x_1, x_2, x_3 としては、先に検討した各項目のレンジおよび偏相関係数から、総合評価にあたって重要だと判断され、かつ定量測定が比較的容易であるという点を考慮して、ひびわれ係数CR (cm/m^2)、最大段差SV (mm) および目地部の破損率JC (%) の3項目を選んだ。

評価式を導く手順は、まず表一2の各項目、各選択肢ごとの評価点を式(1)に入れて、各視察者の総合評価点を計算し、その平均値を従属変数として各調査区画ごとに算出する。次に各調査区画ごとのひびわれ係数、最大段差および目地部の破損率の実測値を独立変数として、先の総合評価点の平均値に対して式(4)を用いて重回帰分析を行う。したがって、式(4)の重回帰式が損傷の程度および滑走路・誘導路・エプロンとしてみた場合の補修の必要性に対して求められる。

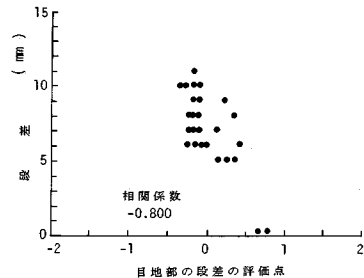
求められた評価式(重回帰式)と決定係数(重相関係



図一5 実測値と評価点の関係(ひびわれ)



図一6 実測値と評価点の関係(目地部の破損)



図一7 実測値と評価点の関係(段差)

表一4 重回帰分析による3項目評価式
(総合評価点の平均値を用いた場合)

	回	帰	式	決定係数
損傷の程度			$y = 9.434 - 0.385CR - 0.331SV - 0.017JC$	0.941
補修の 必要 性	滑走路		$y = 14.444 - 0.499CR - 0.653SV - 0.032JC$	0.920
	誘導路		$y = 10.989 - 0.401CR - 0.447SV - 0.022JC$	0.934
	エプロン		$y = 8.582 - 0.323CR - 0.324SV - 0.016JC$	0.946

CR：ひびわれ係数 (cm/m^2)
SV：最大段差 (mm)
JC：目地部破損率 (%)

数)は表一4に示すようである。今回の解析ではすべての評価式の決定係数は0.9以上となっており、右辺は左辺を非常によく説明しているといえる。

説明変数であるCR、SVおよびJCの間の相関性が高いと、たとえ決定係数が大きくても無意味な式になる。説明変数間の相関係数は表一5のようになり、問題があるほどに高い値でないことがわかる。一方、回帰係数

表一五 説明変数間の相関係数

	CR	SV	JC
CR	1.000		
SV	0.397	1.000	
JC	0.045	0.910	1.000

表一六 3項目評価式と境界値（総合評価点の平均値を用いた場合）

補修の必要性	評価式	決定係数	境界値		
			AとB	BとC	CとD
滑走路	$PDI(AV)=10-0.263CR-0.345SV-0.017JC$	0.903	7.603	3.578	0
誘導路	$PDI(AV)=10-0.220CR-0.245SV-0.012JC$	0.923	6.823	4.549	0
エプロン	$PDI(AV)=10-0.204CR-0.204SV-0.010JC$	0.934	6.168	3.918	0

表一七 2項目評価式と境界値（総合評価点の平均値を用いた場合）

補修の必要性	評価式	決定係数	境界値		
			AとB	BとC	CとD
滑走路	$PDI(AV)=10-0.263CR-0.415SV$	0.903	7.722	3.634	0
誘導路	$PDI(AV)=10-0.219CR-0.295SV$	0.923	6.901	4.601	0
エプロン	$PDI(AV)=10-0.203CR-0.246SV$	0.934	6.698	3.878	0

$a_0 \sim a_3$ について t 検定および F 検定を行ったところ、いずれの評価式においても危険率 5% でクリアしている。以上のことから、視察による総合評価が路面性状の実測値によって合理的に精度よく説明されたといえる。

表一四の評価式はそのままの形では使いにくく、利用しやすい形に変換する必要がある。そこで、すべての測定項目が 0 のとき、すなわち舗装面に損傷がないときの評価点（指標）が 10 になるように式の変換を行った。表一六が変換後の評価式である。変換後の評価式によって得られる評価点を PDI (Pavement Deterioration Index) とよび、また、表一六の評価式を導くにあたっての重回帰分析において被説明変数の y として総合評価点の平均値を用いたことから、このときの評価点を PDI (AV) と表わすことにした。

(3) 2項目および単項目による評価式

従来の舗装路面の破損調査においては 3 項目をすべて測定している場合は少なく、2 項目あるいは単項目の測定実績が多い。そのような場合には、2 項目あるいは単項目による評価式が必要になる。2 項目評価式の作成にあたっては、3 項目評価式において説明力の高かったひびわれ係数と最大段差を説明変数として用いることにした。得られた結果は変換後の評価式として境界値とともに表一七に示した。また、単項目評価も同様にして求めることができ、その結果を表一八に示した。

(4) 下側 10% 値による評価式

以上の評価式の作成においては、重回帰分析の y と

表一八 単項目評価式と境界値（総合評価点の平均値を用いた場合）

補修の必要性	評価式	決定係数	境界値		
			AとB	BとC	CとD
滑走路	$PDI(AV)=10-0.385CR$	0.828	9.815	4.619	0
誘導路	$PDI(AV)=10-0.291CR$	0.863	8.134	5.423	0
エプロン	$PDI(AV)=10-0.259CR$	0.884	7.668	4.439	0

表一九 3項目評価式と境界値（総合評価点の下側 10% 値を用いた場合）

補修の必要性	評価式	決定係数	境界値		
			AとB	BとC	CとD
滑走路	$PDI(10)=10-0.430CR-0.583SV-0.032JC$	0.837	12.0	5.5	0
誘導路	$PDI(10)=10-0.359CR-0.410SV-0.025JC$	0.876	9.1	5.4	0
エプロン	$PDI(10)=10-0.319CR-0.320SV-0.021JC$	0.892	8.1	4.8	0

表一十 単項目評価式と境界値（総合評価点の下側 10% 値を用いた場合）

補修の必要性	評価式	決定係数	境界値		
			AとB	BとC	CとD
滑走路	$PDI(10)=10-0.805CR$	0.743	19.7	9.1	0
誘導路	$PDI(10)=10-0.559CR$	0.797	12.7	7.6	0
エプロン	$PDI(10)=10-0.453CR$	0.824	10.4	6.1	0

して調査区画ごとの総合評価点の平均値を用いてきた。しかし、老朽度評価式の目的の中に安全性の確保が含まれることを考えると、さらに厳しい評価をした人のデータから得られる評価式にも興味がある。このような場合、母集団の分布が特定できれば標準偏差等を用いることが可能であるが、サンプル分布のパターンにばらつきがあるのでそれは難しい。そこで、簡便法としてサンプル分布の下側 10% 値を用いて評価式を考えてみる。このような考え方でサンプルの下側 10% 値を用いて求められた 3 項目評価式は表一九に示すようになる。なお、下側 10% 値を用いた評価式による評価点を PDI (10) と表わすことにする。

同様にしてサンプルの下側 10% 値を用いた場合の単項目評価式は表一十のようである。表一九、十の結果とも、平均値を用いた PDI (AV) よりも決定係数が低下しており、精度が落ちていることがわかる。

(5) 下側 20% 値による評価式

今までの方法と同様にしてサンプル分布の下側 20% 値を用いて作成された 3 項目評価式を表一十一に示した。なお、下側 20% 値を用いて求められた評価式による評価点を PDI (20) と表わすことにした。PDI (10) より決定係数は高くなっていることがわかる。下側 20% 値を用いた単項目評価式を示したのが表一十二である。単項目によって総合評価を判断するので当然決定係数は

表一11 3項目評価式と境界値（総合評価点の下側20%値を用いた場合）

補修の必要性	評価式	決定係数	境界値		
			AとB	BとC	CとD
滑走路	$PDI(20)=10-0.339CR-0.534SV-0.022JC$	0.859	9.3	4.5	0
誘導路	$PDI(20)=10-0.300CR-0.384SV-0.013JC$	0.909	5.2	4.8	0
エプロン	$PDI(20)=10-0.289CR-0.320SV-0.011JC$	0.918	7.4	4.3	0

表一12 単項目評価式と境界値（総合評価点の下側20%値を用いた場合）

補修の必要性	評価式	決定係数	境界値		
			AとB	BとC	CとD
滑走路	$PDI(20)=10-0.591CR$	0.786	14.7	6.8	0
誘導路	$PDI(20)=10-0.441CR$	0.835	10.6	6.3	0
エプロン	$PDI(20)=10-0.374CR$	0.851	9.2	5.4	0

小さく、精度は低下する傾向にある。

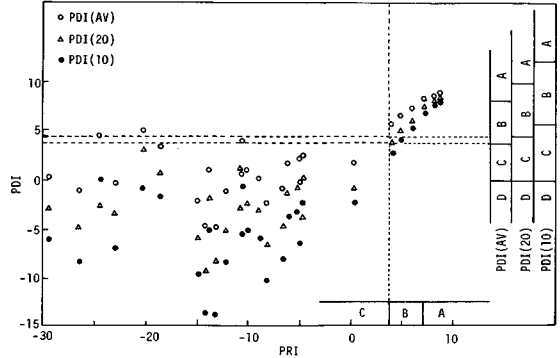
7. 得られた評価式の検討

(1) 他機関の評価式との比較

すでに述べたように、他機関等からも路面性状による供用性評価式が提案されているが、これらは道路舗装あるいはアスファルト舗装を対象とするものであったり、路面性状の評価項目が違っていたりして、評価式を直接比較することが困難な場合が多い。運輸省が提案している空港のコンクリート舗装に関する評価指標PRI⁹⁾がここで得られたPDIと同じ形式であるので比較が可能である。

今回の調査対象である入間飛行場の各調査区画での実測値を、ここで得られた滑走路の3項目評価式(PDI)および運輸省の評価式(PRI)に代入して得られた結果を示したのが図一8である。本研究で得られた評価値(PDI)と評価内容において、評価値C「近いうちに補修が望ましい」とは、補修に着手してもよい時期に達していると考え、また、評価値D「早急に補修の必要がある」とは、すでに補修がなされるべき状態に達していると解釈できよう。すなわち、PDIによる評価値CとDは、PRIの評価値C「できるだけ早急に補修の必要がある」に相当すると考えることができる。

このような判断に基づいてPDIとPRIを比較すると、総合評価点分布の下側20%値を用いたPDI(20)あるいは平均値を用いたPDI(AV)がPRIとほぼ同程度の評価を与えている。ここには示していないが、PDIとPRIの相関は、ひびわれ係数および段差の影響を受けている破損状況の場合にはかなりよい相関性を示すが、目地部の破損率の影響が大きい破損状況の場合には相関性が低下する傾向がみられた。



図一8 PDIとPRIの比較（入間飛行場の調査結果より、滑走路としてみた場合について）

表一13 単項目評価値BとCの境界値とひびわれ係数

単項目評価式	BとCの境界値	ひびわれ係数 (cm ² /m ²)
PDI(AV)	4.6	14.0
PDI(20)	6.8	5.4
PDI(10)	9.1	1.1

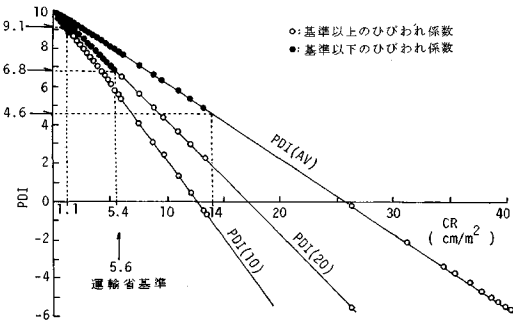
(2) 既存調査資料と補修実績による評価式の検討

従来より防衛庁においても多くの飛行場に関して舗装の破損調査が行われてきている⁸⁾。しかし、調査の大部分が単項目、特にひびわれの調査であるため、ここでの検討も単項目評価が主体とならざるを得なかった。

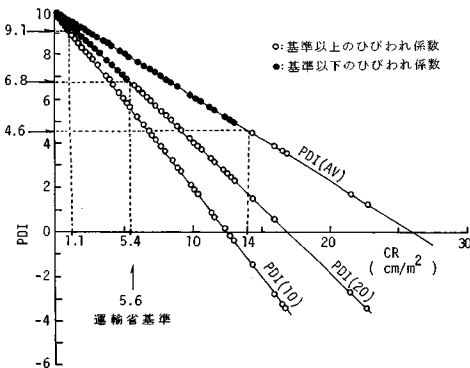
滑走路に関する単項目評価式PDI(AV)、PDI(20)およびPDI(10)による評価値BとCの境界を補修に着手する時期として、これらの境界値に対応するひびわれ係数を求めると表一13となる。たとえば、PDI(AV)によれば、ひびわれ係数が14.0 cm²/m²になると評価値が4.6になり、補修に着手する時期に達していることを示している。

実際に補修が行われたときの滑走路のひびわれ係数CRと単項目評価によるPDIの関係を示したのが図一9、10および11である。図において、○印は基準以上のひびわれ係数に達しているもの、●印は基準以下のひびわれ係数を示している。過去の補修実績においては、これらの図に示したひびわれ係数において、補修の必要ありと判断されて工事が行われている。図中には運輸省のひびわれ係数の単項目評価式PRI¹⁾による補修に必要なひびわれ係数の値5.6 cm²/m²も示しておいた。

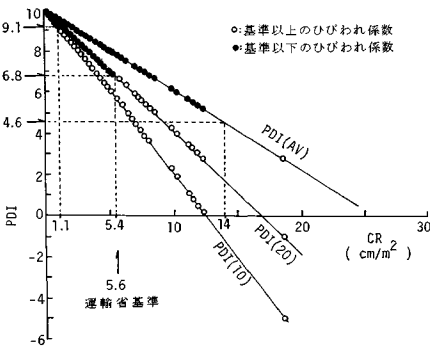
これらの図より、PDI(AV)を用いた場合には、路面性状が補修必要と判断され、実際に補修された直前のものであるのに、データの大部分がPDI(AV)による評価値4.6 (CR=14.0 cm²/m²)以上となっており、評価値Bとなってしまう。すなわち、軽微な補修の段階にあると評価されている。このように、PDI(AV)は



図一〇 補修実績による PDI の適合性 (その 1) (単項目評価, 滑走路について)

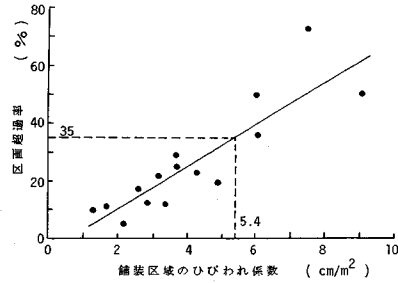


図一〇 補修実績による PDI の適合性 (その 2) (単項目評価, 滑走路について)



図一一 補修実績による PDI の適合性 (その 3) (単項目評価, 滑走路について)

老朽度評価式としては実際と適合しない点があるといえよう。一方, PDI (10) はかなり軽微な損傷の段階 (CR で 1.1 cm^2/m^2 程度) から補修に着手しなければならないと評価されており, 実態とかけはなれたものとなっている。すなわち, PDI (10) は必要以上に過大な評価を与えている。PDI (20) を用いた場合には, 全データの約 30~40% が評価値 C になり, 補修直前の舗装の損傷の実情をほぼ適切に評価していると考えられる。



図一二 補修実績による区画超過率とひびわれ係数の関係 (滑走路について)

図一12は, 過去の防衛庁の補修実績に基づいて, 調査対象の舗装区域のひびわれ係数と, 舗装区域の全調査区画に対してひびわれ係数が 5.4 cm^2/m^2 を越える調査区画の比率 (ここでは区画超過率とよぶことにする) との相関を示したものである。図一12より, 単項目評価 PDI (20) によって補修に着手する評価 B と C の境界に相当するひびわれ係数 5.4 cm^2/m^2 に対応する区画超過率は約 35% となっていることがわかる。言い換えれば, ひびわれ係数 5.4 cm^2/m^2 の区画超過率が, 約 35% を越えたときを, 調査対象の舗装区域の補修着手時期としている。

3項目評価式については, 既往の調査測定データがないので補修実績との直接の比較検討ができなかった。しかし, 単項目評価による補修実績との比較あるいは運輸省の評価値との比較から, 現段階では総合評価点分布の下側 20% 値を用いた PDI (20) の評価値が最も適当であると考えられる。

8. まとめ

本研究では, 飛行場コンクリート舗装の破損に関する路面性状調査と視察調査を実施し, 収集したデータの数量化分析から, 舗装の老朽度に関与する破損項目の選定とその寄与率を明らかにし, 老朽度の評価式を提案し, その適合性を検討した。得られた結果を要約すると以下のようである。

(1) 数量化分析の基礎データとしての視察による定性評価に関しては, 舗装技術者のみならず利用者の立場のパイロット, 飛行場の管理者および学識経験者の評価を幅広く取り入れた。

(2) 視察調査 (アンケート調査) による主観的な定性評価について数量化理論 II 類を用いて数量化を行った。その結果, 舗装の総合評価に与える損傷の種類と程度寄与率が明らかにされ, かなりよい精度の数量化を行うことができた。

(3) 視察調査による定性評価の数量化の結果と実測による定量測定値を用いて重回帰分析を行い, 路面性状

に基づく老朽度評価式（3項目、2項目および単項目評価式）を作成した。そのとき、評価式に取り入れる総合評価の基準として、総合評価点分布の平均値、下側20%値および下側10%値を用いた場合の3通りについて検討し、それらのおのおの場合について老朽度評価式を作成した。

（4）過去の補修実績との比較あるいは他機関（運輸省）の評価式との比較を行い、得られた老朽度評価式の適用性を検討した。その結果、総合評価の基準として、総合評価点分布の下側20%値を用いた評価式が、過去の補修実績あるいは他機関（運輸省）の評価式と最も適合性が高いことがわかった。

（5）調査対象区域全体を評価する場合には、補修の基準を越える評価値となる調査区画数の全調査区画数に対する比率（区画超過率）で考える必要があり、過去の補修実績によると、区画超過率が約35%に達したときに対象区域全体の補修に着手すべきことがわかった。

ここで検討した路面性状による老朽度評価方法は、もちろん完全なものではない。さらに、PDIの適用限界を定めたり、限界値をより実用的なものにして、老朽度評価基準を合理的なものに育てていくためには、実際の飛行場での補修工事との比較検討を続けていくとともに、調査人員を減らした場合の精度の問題も検討していく必要がある。

最後に、本研究にあたり、運輸省港湾技術研究所の佐藤勝久博士から種々ご教示をいただいた。深く感謝する次第である。また、視察調査を始めとする各段階で関係各位のご協力を賜った。

参 考 文 献

- 1) 福手 勤・佐藤勝久・八谷好男・山崎英男：路面性状による空港舗装の供用性評価，港湾技術資料，No. 414，1982.
- 2) 田中 豊・脇本和昌：多変量統計解析法，現代数学社，pp.151～160，1983.
- 3) たとえば，植木 協・加藤 晃：道路工学，朝倉書店，pp.137～140，1972.
- 4) 飯島 尚・今井 博・猪股和義：MCIによる舗装の供用性の評価，土木技術資料，23-11，pp.15～20，1981.
- 5) 運輸省航空局：空港舗装補修要領（案），pp.41～44，1984.
- 6) Epps, J. A. *et al.* : Roadway maintenance evaluation user's manual, Research Report 151-2, Texas Transportation Institute, Texas A & M University, p.39, 1971.
- 7) Shahin, M. Y. and Darter, M. I. : Condition evaluation of jointed concrete airfield pavement, Proc. of ASCE, TE4, pp.381～399, 1980.
- 8) 新井弘文・荒井直人：飛行場コンクリート舗装の破損特性について，防衛庁土木技術研究会報，第10号，pp.117～133，1970.

(1989.8.21・受付)