

飛行場コンクリート舗装構造の老朽度評価に関する一提案

AN EVALUATION METHOD OF STRUCTURAL DETERIORATION OF AIRFIELD CONCRETE PAVEMENT

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 which concrete pavements were deteriorated. As a result, the amount of maintenance work required to keep these pavements in service is steadily increasing and it is very important to quantify the deterioration of airfield concrete pavements. In this study, measurements of deflection and strain of concrete slab and coefficient of bearing capacity of base course are performed in the test pavement and deteriorated airfield. From the results of measurements, it is shown that the strain (or stress) is fairly well estimated from deflection measurements. The idea of effective thickness or effective thickness ratio of concrete slab is introduced to evaluate the structural deterioration of pavements. It is shown that the effective thickness or ratio is an index of structural deterioration of airfield concrete pavements and the reliability of proposed method is experimentally confirmed.

Keywords: airfield concrete pavement, structural deterioration, effective thickness, deflection measurement

1. ま え が き

舗装の老朽化はコンクリートあるいはアスファルト舗装にせよ、目視できる破損としてのひびわれ、段差の発生等として現われてくる。路面に破損が生じるのは、舗装構造そのものの荷重支持能力の低下に原因する場合が多い¹⁾。したがって、舗装構造体の老朽度評価を行い、路面性状による老朽度評価^{2),3)}と合理的に結びつけたり、補い合ったりする手法が確立されれば、より高度な舗装の老朽度評価が可能となる。従来、舗装構造体の老朽度を知るためには開削調査が行われてきた⁴⁾。しかし、開削調査は労力、時間的にみて実用的でないことから、舗装面のたわみや曲率^{5),6)}あるいは弾性波伝播速度⁷⁾などを利用する非破壊試験が用いられるようになり、最近では、ダイナフレクト¹⁾あるいはフォーリングウェイトデフレクトメータ^{8),9)}によるたわみ測定から、アスファルト舗装の構造評価が行われ、実用に供されつつある¹⁾。一方、

飛行場コンクリート舗装構造体の老朽度を考慮した評価手法の重要性が指摘されているが、まだ十分な検討がなされていない。

コンクリート舗装の構造体の老朽化は、路床や路盤あるいはコンクリート版の老朽化の程度等によって多少の差異はあるものの、荷重が作用したときに版に生じるひずみ（応力）は老朽化の程度によって変化し、老朽化が進むと大きなひずみが生じるであろう。本研究ではこのような考え方に基づいて、一定荷重条件下で生ずる応力の大きさから老朽度を評価することを試みた。すなわち、たわみ測定からひずみ（応力）を推定し、推定された応力より、新たに導入した有効版厚および有効版厚比を求めて、これらの比較から老朽度を評価しようとするものである。有効版厚あるいは有効版厚比の概念を用いた飛行場コンクリート舗装構造の老朽の程度と路面性状に基づくPDI方式³⁾による老朽度との比較を行い、構造体の老朽度を評価に取り入れる基本的な考え方を提案した。

2. 試験舗装による基礎的実験

(1) 試験舗装

試験舗装のコンクリート版厚(H)として、15, 20, 25 cmの3種を、また、路盤の支持力係数(K_{rs})は、2, 6, 12 kgf/cm³の3種とした。両者の組合せと目地構造の

* 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)

*** 正会員 広島防衛施設局土木課長
(〒737 広島市中区上八丁堀6-30)

**** 正会員 防衛施設庁建設部技官 (〒107 港区赤坂9-7-54)

種類とから合計 30 枚のコンクリート舗装版を作製した。版 1 枚の寸法は $5 \times 5 = 25 \text{ m}^2$ であり、全面積は $30 \text{ 枚} \times 25 \text{ m}^2 = 750 \text{ m}^2$ である。

路床材料として山ずりを、下層路盤（厚さ 30 cm）材料として粒径 40 mm 以下の切込み砕石を、上層路盤（厚さ 10 および 20 cm）材料として最大粒径 30 mm の粒度調整砕石を用いた。これらの材料を所定の厚さにまき出し、タイヤローラおよび振動ローラで締固めて目標の路盤支持力係数 K_{75} をもつ路盤を作製した。

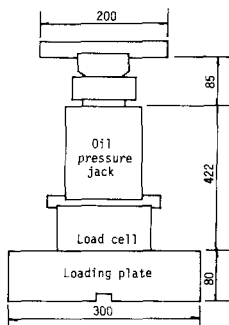
使用したコンクリートは水セメント比 42.3%，細骨材率 38.0%，スランプ 6.5 cm であり、棒状バイブレータで締固め、簡易フィニッシャーで荒仕上げをし、最終的に金ごてで表面を仕上げた。養生剤散布後マット養生とし、打設の翌日以降にコンクリートカットで必要な目地切りを行った。硬化したコンクリートについては JIS による曲げ強度試験と圧縮試験等を行い必要な強度定数等を求めた。それらの結果を表一に示した。

(2) 載荷試験

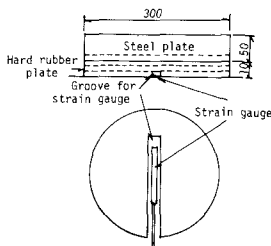
試験舗装の路面上での静的な載荷試験はコンクリート版打設後約 3 か月の時点で実施した。載荷試験装置の概略を示したのが図一である。主要部は油圧ジャッキと

表一 コンクリートの強度等

compression	compressive strength	402	kgf/cm ²
	elastic modulus	290000	kgf/cm ²
	poisson's ratio	0.18	
bending	bending strength	41.6	kgf/cm ²
	elastic modulus	347000	kgf/cm ²



図一 載荷試験装置の概略



図二 載荷板の形状・寸法

載荷板およびロードセルとから構成されている。載荷板は図二のように直径 30 cm、厚さ 30 mm と 10 mm の鋼板および厚さ 10 mm の硬質ゴム 3 枚（ゴム硬度 78）を組み合わせた円形のものであり、最下層のゴム板にはひずみゲージ用の溝が付けてある。

載荷は 45 tf トラッククレーンの後部を反力として、ロードセルにより荷重を確認しながら油圧ジャッキを用いて載荷する方法を用いた。載荷位置はコンクリート版中央部、自由縁部、目地縁部、自由隅角部、目地隅角部が基本的な位置であり、その他に影響範囲を調べるための測定も行っており、合計載荷箇所は 67 である。載荷重の大きさは 5, 10, 15, 20 tf を用いた。路盤支持力の測定は同じ装置を用いて、作製された路盤面で行った。なお、たわみ測定用ビームに取り付けた変位計による版表面のたわみ測定にあたっては、基準点を応力の影響範囲外に設けた。

(3) 実験結果と考察

a) 路盤支持力係数 (K 値) の推定

路面に破損が生じる原因の 1 つは路盤までを含めた舗装構造の老朽化であろう。路盤の荷重支持能力は支持力係数（以降 K 値ともいう）によって表わされ、路盤の老朽化の度合も K 値の低下としてとらえることができる。

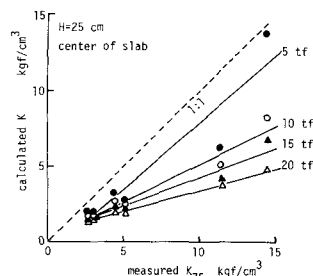
図三は版中央部の路面のたわみから算定された K 値と路盤面での載荷試験による実測 K_{75} 値との関係の一例をプロットしたものである。なお、K 値の計算は次の方法によった。すなわち、版中央部のたわみ式¹⁰⁾

$$d_i = \frac{P}{8 K l^2} \dots \dots \dots (1)$$

に、剛比半径 l の関係を用いて、

$$K = \frac{12(1-\mu^2)}{E H^3} \left(\frac{P}{8 d_i} \right)^2 \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 d_i ：版中央部の路面のたわみ (cm)、 P ：荷重 (kgf)、 K ：路盤支持力係数 (K 値) (kgf/cm³)、 l ：剛比半径 (cm)、 E ：コンクリートの弾性係数 (kgf/cm²)、 μ ：コンクリートのポアソン比、 H ：版厚 (cm)。実測 K_{75} は算定 K 値よりかなり大きな値をもたらし、その



図三 たわみによる算定 K 値と実測 K_{75} 値の関係

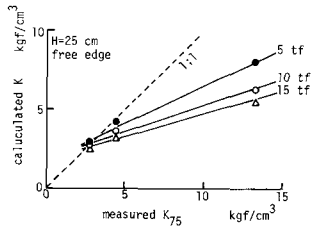


図-4 たわみによる算定 K 値と実測 K₇₅ 値の関係

傾向は荷重が大きいくほど顕著である。このように、路盤 K 値が小さい場合には、算定値と実測値は比較的近い値をもたらすが、K 値が大きくなると両者の差は非常に大きい。このようなことから、たわみ測定から路盤 K 値を推定することはできないと判断される。

自由縁部に荷重したときのたわみから計算した K 値と実測 K₇₅ 値の関係を示したのが図-4 である。なお、K 値の算定には次の関係を用いた。版の自由縁部のたわみ式¹⁰⁾として

$$d_e = \frac{1+0.4\mu}{\sqrt{6}} \frac{P}{Kl^2} \dots\dots\dots (3)$$

を用い、これより路盤 K 値は

$$K = \frac{12(1-\mu^2)}{EH^3} \left[\frac{(1+0.4\mu)P}{\sqrt{6}d_e} \right]^2 \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 d_e ：自由縁部のたわみ (cm)。図-4 の結果においても、路盤 K 値が小さい場合には両者の値はほぼ一致するものの、大きくなると両者の差は増加している。その他の版厚の結果についても同様なデータが得られている。以上の結果より、たわみ測定から路盤の老朽化の程度を K 値の変化として直接判定することはできないといえる。

b) ひずみ、応力およびたわみ

表面ひずみゲージと版底面より 3 cm 上の位置に埋設したひずみゲージの両者を同時に測定したが、埋設ゲージによるひずみは、結果にばらつきが大きく、また、表面ゲージによるひずみの約 80 % であった。これは埋設ゲージの設置位置の正確さや中立軸の仮定に原因していると考えられる。このことから、ひずみの解析においては、測定点が多く、貼付け位置も正確な表面ゲージによるひずみを用いることにした。

図-5 は、版中央部荷重試験における荷荷点の実測たわみと計算たわみとの関係の一例をプロットしたものである。たわみの計算は式 (1) によっている。両者の相関性は高い (相関係数 0.9134) が、実測たわみは計算たわみより大きな値を示している。すなわち、式 (1) による中央部たわみは過小な値を与える。図-6 は自由縁部荷重における荷荷点の実測たわみと計算たわみとの関係を示したものである。たわみの計算は式 (3) によ

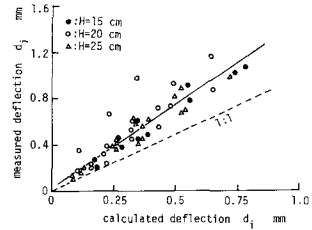


図-5 実測たわみと計算たわみの関係 (中央部)

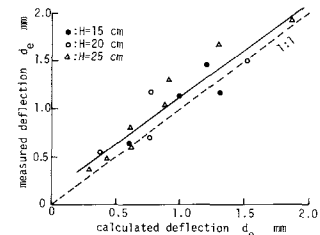


図-6 実測たわみと計算たわみの関係 (自由縁部)

た。両者の相関性は高く (相関係数 0.9300)、また、両者の値はほぼ一致しているといえよう。式 (3) の自由縁部のたわみ式はほぼ妥当であることを示している。図-7 は中央部荷重における荷荷点の実測応力と計算応力を比較したものである。実測応力は測定された表面ひずみから換算した値であり、また、計算応力は次式によ

$$\sigma_i = 1.1(1+\mu) \frac{P}{H^2} \left[\log \frac{l}{b} + \log \sqrt[4]{12(1-\mu^2)} \right] \dots\dots (5)$$

ここに、 σ_i ：版中央部の応力 (kgf/cm²)、 b ：等価接地半径 (cm)。両者の相関関係は高く (相関係数 0.9746)、また、1:1 に対応しており、式 (5) の妥当性を知ることができる。図-8 は、自由縁部荷重での荷荷点の実測応力と計算応力の関係を示したものである。なお、自由縁部の応力の計算は次式によ

$$\sigma_e = 2.12(1+0.54\mu) \frac{P}{H^2} (\log l - 0.75 \log a - 0.18) \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 a ：荷荷半径 (cm)。両者の相関性は高い (相関係数 0.9779) が、実測値は計算値より多少大きな値

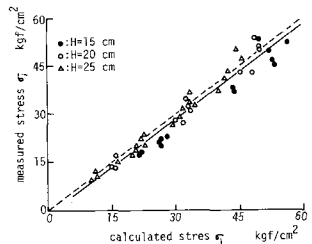
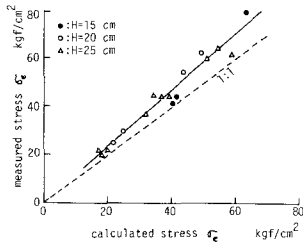


図-7 実測応力と計算応力の関係 (中央部)

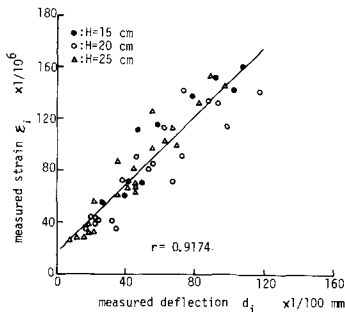


図—8 実測応力と計算応力の関係（自由縁部）

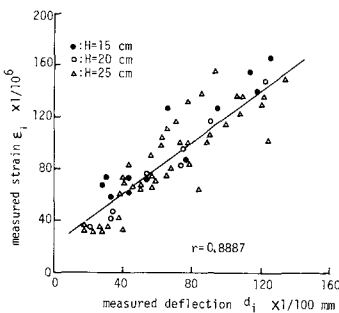
を示している。

コンクリート舗装構造の老朽度評価において、荷重で生じる応力の程度、いいかえればひずみの程度を測定することはかなりめんどうである。版表面のたわみ測定によって老朽の程度を知る方が時間的にも機器の面からみても容易であろう。ここでは、たわみによってひずみ（応力）を推定する意味から、荷重点でのたわみからひずみを推定する可能性を検討することとする。

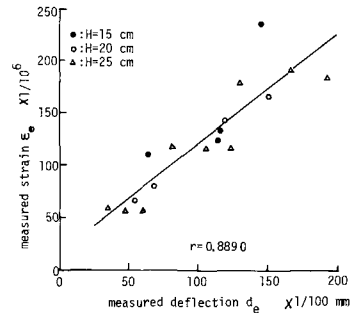
図—9は版中央部荷重における荷重点のひずみとたわみの実測値を比較したものである。いうまでもなく、ひずみは応力に換算できるので、図—9は応力とたわみの関係とみることができる。ひずみとたわみの相関関係は高く（相関係数0.9174）、たわみ測定からひずみをかなり高い精度で推定し得ることを示している。図—10、11は、おのおの目地縁部および自由縁部での荷重における荷重点のひずみとたわみの実測値を比較したものであ



図—9 ひずみとたわみの関係（中央部）



図—10 ひずみとたわみの関係（目地縁部）



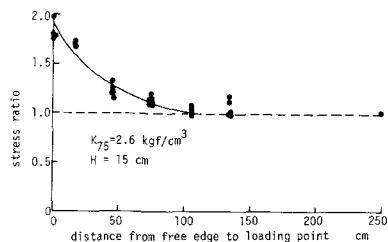
図—11 ひずみとたわみの関係（自由縁部）

る。両結果とも相関係数はかなり高く、たわみ測定からひずみの推定は可能であるといえよう。図—9、10、11には最小二乗法で求めた直線関係を記入してある。以上のように、比較的簡単な非破壊試験としてのたわみ測定からコンクリート版に生じるひずみ（応力）を精度よく推定できることは、コンクリート舗装構造の老朽度評価の検討にあたって、非破壊試験としてのたわみ測定の有用性を示すとともに、コンクリート版に生じるたわみから応力を知り、応力の程度から老朽度を評価することの可能性を示唆するものといえよう。

c) 応力の影響範囲

ここでいう応力の影響範囲とは、自由縁部等を含む任意の位置で荷重したときの荷重点の応力が、版中央部での荷重点の応力より大きくなる範囲をいっている。供用中の舗装の老朽度をたわみ測定によって評価する場合の荷重位置の決定にあたって、版中央部の荷重点の応力とひびわれ部や目地部の荷重点の応力との関係を知っておく必要がある。今回の試験においては、まず版中央部で荷重し、その点で生ずる応力（ひずみ）を測定する。続いて目地縁部あるいは自由縁部より30 cm間隔で版中央に向かって荷重し、おのおのの荷重点で生じる応力を測定する。任意点での荷重点応力と版中央部での荷重点応力との比を応力比とし、応力比によって影響範囲を検討することにした。

図—12は応力比と自由縁部から版中心までの距離との関係を示したものである。自由縁部での応力比は約1.7~2.0であり、版中央部より約1.7~2.0倍の応力が



図—12 応力比と距離（自由縁部—版中央）の関係

発生している。自由縁部を供用中のコンクリート版のひびわれ部とみなせば、供用中の版中央部とひびわれ部での載荷においては、発生する応力を区別して老朽度の検討を行わなければならないことを示唆しているといえよう。図—12の結果では、自由縁部より1 m 以上内側においては、生じる応力が版中央部応力にほぼ等しく、影響範囲は約1.0 m であることがわかる。

3. 供用中の飛行場舗装による検討

(1) 調査・試験の概要

供用中の3飛行場において舗装開削調査と舗装面上載荷試験を実施した。開削調査では試験用供試体の採取と強度試験、版厚の測定、路盤の支持力試験等を行った。載荷試験は版厚や供用年数の違うコンクリート版上の中央部、ひびわれ部、目地縁部等で実施した。載荷試験装置・方法は試験舗装の場合と同じである。

(2) 開削調査結果と考察

対象とした飛行場(ここでは、A, B, C 飛行場とする)のコンクリート版厚および採取したコンクリート供試体について求められた物性値を表—2に、路盤面での平板載荷試験による支持力係数 K_{75} を表—3に示した。Westergaard によれば、コンクリート版中央部の載荷点のたわみから路盤 K 値は式(2)で求められる。各飛行場において、版中央部で載荷試験を行い、たわみ d_i を測定し、式(2)によって算定された K 値を算定 K 値として表—3に示した。荷重が大きくなると算定 K 値は小さくなる傾向があり、また、測定された d_i の変動が大きいためにばらつきがかなり大きい。このようなことから、たわみの測定から路盤 K 値を推定することは困難と考えられる。このことは試験舗装の結果でも同様であり、舗装構造体の老朽度の評価にあたっては路盤 K 値を直接用いることはできないと考えられる。

(3) 載荷試験結果と考察

舗装構造体の老朽度を評価するとき、測定に手間のかかるひずみ(応力)の計測結果を用いることは得策でな

く、比較的簡単に計測可能なたわみ測定結果を用いる方が実用的である。ここでは、たわみの計測からひずみあるいは応力を推定するという観点から載荷試験の結果を検討する。

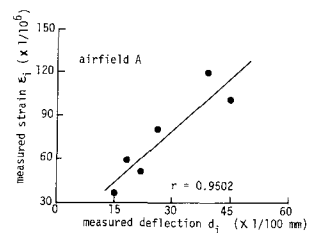
図—13, 14, 15 はおのおの A, B, C 飛行場について、版中央部載荷による載荷点たわみと載荷点ひずみの関係をプロットしたものである。これらの図におけるひずみは応力と読み換えることができる。いずれの測定結果においても相関係数は高く、たわみからかなり良い精度でひずみ(応力)を推定し得ることがわかる。図—16, 17, 18 はおのおの A, B, C 飛行場についてのひびわれ部載荷による載荷点たわみと載荷点ひずみの関係を示したものである。両者の相関係数は版中央部の場合に比べて多少低下しているが、ひびわれ部においても、たわみ測定からひずみ(応力)をほぼ推定し得ると判断できる。

載荷試験によって生じるたわみとひずみはかなり高い相関性のあることがわかった。Westergaard によれば、コンクリート版中央部の載荷点での応力 σ_i とたわみ d_i はおのおの式(5)および(1)で与えられる。

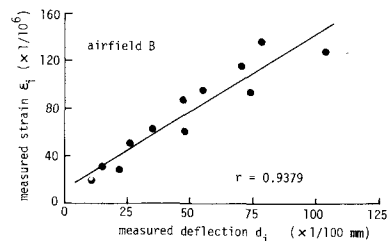
また、応力 σ_i は中央部のひずみ ϵ_i を用いて

$$\sigma_i = E \epsilon_i \dots \dots \dots (7)$$

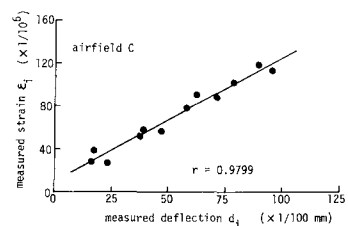
荷重 P を一定として載荷したとすると、式(1), (5)



図—13 ひずみとたわみの関係(実測値, 版中央部)



図—14 ひずみとたわみの関係(実測値, 版中央部)



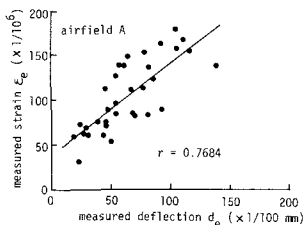
図—15 ひずみとたわみの関係(実測値, 版中央部)

表—2 飛行場のコンクリート版厚と性質

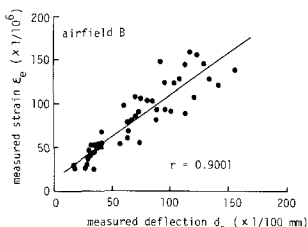
airfield	thickness of slab (cm)	bending strength (kgf/cm ²)	modulus of elasticity (kgf/cm ²)	Poisson's ratio
A	15.0	67.9	45.8 × 10 ⁴	0.15
B	20.0	46.2	40.4 × 10 ⁴	0.15
C	25.0	38.1	38.1 × 10 ⁴	0.15

表—3 実測 K_{75} 値と算定 K 値の比較

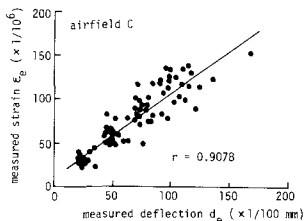
airfield	measured K_{75} (kgf/cm ³)	calculated K value(kgf/cm ³)			
		P=5 tf	P=10 tf	P=15 tf	P=20 tf
A	9.0	6.5 - 18.5	6.2 - 24.6		
B	5.4	2.5 - 10.2	2.7 - 7.2	2.0 - 5.0	1.8 - 4.0
C	8.3	1.6 - 3.2	1.6 - 2.4	1.5 - 2.2	1.0 - 2.2



図一六 ひずみとたわみの関係(実測値, 目地縁部とひびわれ部)



図一七 ひずみとたわみの関係(実測値, 目地縁部とひびわれ部)



図一八 ひずみとたわみの関係(実測値, 目地縁部とひびわれ部)

および(7)より, 中央部のひずみ ϵ_i は

$$\epsilon_i = 1.1(1 + \mu) \frac{8Kl^2}{EH^2} \left[\log \frac{l}{b} + \log \sqrt{12(1 - \mu^2)} \right] d_i \quad \dots\dots\dots (8)$$

載荷試験の条件とコンクリートの物性値を式(8)に用いると, ϵ_i は次のように表わされる。

$$\epsilon_i = 0.739 \times \sqrt{\frac{K}{EH}} \left[\log \left(\frac{EH^3}{K} \right) - 4.520 \right] d_i \quad \dots\dots\dots (9)$$

また, ひびわれ部においては荷重伝達機能がないと考えられると, ひびわれ部は自由縁部とみなすことができる。自由縁部の応力式とたわみ式を用いると, ひびわれ部を含めた自由縁部のひずみ ϵ_e は, 試験条件とコンクリートの物性値を代入して式(9)の場合と同様に次のように表わされる。

$$\epsilon_e = 0.387 \times \sqrt{\frac{K}{EH}} \left[\log \left(\frac{EH^3}{K} \right) - 5.316 \right] d_e \quad \dots\dots\dots (10)$$

一方, すでに述べたように, たわみとひずみの実測値は直線関係にあるので, 両者の関係は式(9), (10)を参考にして次のように表わすことができる。

$$\epsilon = \alpha + \beta \cdot M \cdot d \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここに, ϵ : ひずみ, α, β : 載荷位置(中央部, 自由縁部等)によって異なる実験定数, M : 下記のように表

わされる定数, すなわち, 自由縁部やひびわれの影響のないコンクリート版の中央部とみなせる場所については

$$M_i = \sqrt{\frac{K}{EH}} \left[\log \left(\frac{EH^3}{K} \right) - 4.520 \right] \quad \dots\dots\dots (12)$$

荷重伝達機能のないひびわれ部と自由縁部については

$$M_e = \sqrt{\frac{K}{EH}} \left[\log \left(\frac{EH^3}{K} \right) - 5.316 \right] \quad \dots\dots\dots (13)$$

試験舗装での試験結果と今回の供用中のコンクリート舗装に関する試験結果より, 版中央部におけるたわみからひずみを推定する関係として次式を得ることができると。

$$\epsilon_i = 27 + 265 \cdot M_i \cdot d_i \quad \dots\dots\dots (14)$$

同じく荷重伝達機能のないひびわれ部と自由縁部については次の推定式を求めることができる。

$$\epsilon_e = 25 + 280 \cdot M_e \cdot d_e \quad \dots\dots\dots (15)$$

4. 老朽度評価法の基礎的な検討

(1) 老朽度評価の考え方

コンクリート舗装が老朽化する現象は路床, 路盤, コンクリート版が, 材料的な内部要因あるいは交通荷重による疲労, 凍結融解などの外部的要因により支持能力を失っていく状態といえよう。路床や路盤が老朽化していてもコンクリート版は老朽化していない場合, あるいはその反対の場合などによって, 老朽化の構造的な意味は異なるものの, いずれにしろ荷重が作用したときにコンクリート版に生じるひずみ(応力)は老朽化の程度に応じて変化し, 老朽化が進むに従い大きな応力が生じる。したがって, 一定荷重条件のもとで載荷試験を行い, 発生する応力の程度を知ることによって老朽化の度合を推定することができよう。

コンクリート版に生ずる応力はひずみゲージを貼付して測定するのが普通であるが, この方法は飛行場のように広い面積を迅速に測定するには実用的に適当ではない。これまで考察してきたように, たわみの測定からひずみ(応力)が推定できれば, 比較的容易に老朽度を評価することができる。

ここで提案する方法は舗装面での載荷試験によるたわみの測定から応力を推定し, 推定した応力を用いて舗装構造体の老朽度を評価しようとするものである。

(2) 応力推定とその試験法

たわみ測定によってひずみを推定する場合, 荷重に対するたわみの測定感度がひずみのそれより悪いので, たわみの測定誤差はひずみのそれより大きくなる可能性がある。このためコンクリート版が破壊しない範囲で版厚に応じた載荷重(ここでは基準荷重とよぶことにする)の大きさとして, 設計曲げ強度 45 kgf/cm² の約 60% の応力を中央部で発生させる荷重とした。このような考え

表—4 たわみ測定に用いる基準荷重

thickness of slab (cm)	10	15	20	25	30	35
standard load (tf)	3	5	8	12	18	23

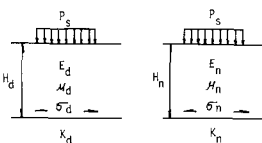
方で求められた基準荷重は表—4 のようになる。

たわみを測定するための載荷試験方法は基本的には今まで述べてきた方法，すなわち，直径 30 cm の載荷板を用いてトラッククレーン車等の後部を反力として行う。たわみ測定によるひずみ（応力）の推定は式（14）あるいは（15）を用いる。載荷試験に付随して，最小限必要な開削調査を行い，コンクリート版厚，路盤の支持力係数，コンクリートの弾性係数等の測定や試験を実施する。

(3) 有効版厚と有効版厚比

同一条件で載荷した場合に発生する応力が等しいコンクリート版は，舗装構造としての耐荷能力が等しく，老朽化が進むにつれて発生する応力が増加するという考え方に基いて老朽化を評価するにあたって，コンクリート版の有効版厚という概念を導入し，これを用いて老朽度を評価することを考えた。図—19 にその概念を示した。すなわち，舗装設計時におけるコンクリートの弾性係数 E_a ，ポアソン比 μ_a ，路盤支持力係数 K_a ，版厚 H_a （設計厚）の舗装に対し，半径 a の載荷板を介して，基準荷重 P_s を載荷した場合に，計算上で生ずる応力（設計応力）を σ_a とする。同じ載荷条件のもとで，供用後 n 年経過した供用中のコンクリート版に生ずる応力 σ_n をたわみ測定によるひずみ（応力）推定式から求め，この σ_n を生ぜしめるに相当する版厚を算定する。このようにして，算出された版厚を有効版厚 (H_n) とよび， H_n/H_a を有効版厚比 (R_n) とよぶことにする。 H_n あるいは R_n は老朽度評価の指標と考えることができる。

供用開始後長年月を経過したコンクリート版においては，荷重伝達機能の低下した目地縁部とひびわれ部の応力が中央部のそれより大きくなる傾向があることをすでに示した。したがって，版 1 枚の有効版厚を考える場合，版の各部（中央部，目地縁部，ひびわれ部）において生じる応力が異なるため，版各部についての有効版厚を求める必要がある。試験舗装における結果より，自由縁部とひびわれ部における応力比が中央部より大きくなる範囲（影響範囲）は約 1.0 m であった。そこで，影響範囲はひびわれあるいは荷重伝達機能の低下した目地縁部から直角方向に 1.0 m とし，次のような方法で版各部



図—19 舗装構造の老朽度評価の概念

の影響面積と有効版厚を求める。

版 1 枚の荷重伝達機能のない目地とひびわれに沿う幅 2 m の範囲の面積 A_e (m^2) を，目地およびひびわれ部の影響面積とする。目地縁部およびひびわれ部での載荷試験から測定したたわみより，式（15）を用いてひずみを推定し，これを応力に換算して σ_n を算定する。求められた σ_n を生じさせるに相当する版厚すなわち有効版厚 H_{ne} を応力式より算定する。一方，目地部とひびわれ部から 1 m 以上離れた地域，すなわち，応力の影響範囲外の版中央部とみなせる面積 A_i (m^2) を $(A - A_e)$ として算定する。ここに， A は版 1 枚の面積である。目地部やひびわれ部の影響のない版中央部とみなせる地点でのたわみ測定結果を用いて式（14）よりひずみを推定し，これを応力に換算して σ_n を求める。この σ_n を生じさせるに相当する版厚すなわち版中央部の有効版厚 H_{ni} を応力式より算定する。

以上のようにして，1 枚のコンクリート版の版各部の影響面積と有効版厚が求められたら，版 1 枚（版全体）の有効版厚 H_{ns} を次式で算定する。

$$H_{ns} = \frac{H_{ni}A_i + H_{ne}A_e}{A} \dots\dots\dots(16)$$

ここに， H_{ns} ：版 1 枚の有効版厚 (cm)， H_{ni} ， H_{ne} ：それぞれ中央部，ひびわれ部等の有効版厚 (cm)， A_i ， A_e ：それぞれ中央部，ひびわれ部等の影響面積 (m^2)， A ：版 1 枚の面積 (m^2)。

以上のようにして求められた版 1 枚の有効版厚を単位有効版厚とよぶことにする。舗装老朽度の調査にあたっての最小単位である調査区画³⁾の有効版厚は次のように求める。

$$H_{nu} = \frac{\sum H_{ns}}{N} \dots\dots\dots(17)$$

ここに， H_{nu} ：調査区画の有効版厚 (cm)， N ：調査区画のコンクリート版の数 (枚)。

また，版 1 枚および調査区画の有効版厚比は次のように表わす。

$$R_{ns} = \frac{H_{ns}}{H_a} \dots\dots\dots(18)$$

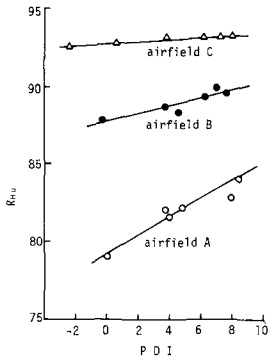
$$R_{nu} = \frac{H_{nu}}{H_a} \dots\dots\dots(19)$$

ここに， R_{ns} ：版 1 枚の有効版厚比（単位有効版厚比）， R_{nu} ：調査区画の有効版厚比。

以上の考え方と手順により，コンクリート舗装版 1 枚および調査区画の舗装の構造的な老朽の度合は，おのおの H_{ns} あるいは R_{ns} および H_{nu} あるいは R_{nu} によって比較することができよう。

(4) 有効版厚比に関する 2, 3 の考察

有効版厚比による老朽度評価手法の妥当性を検討する

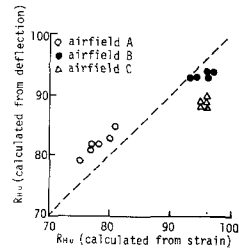


図—20 調査区画の有効版厚比と老朽度指数 PDI の関係

ために、基準荷重による載荷試験を先の A, B, C の 3 飛行場において実施した。路面性状による老朽度指標 PDI³⁾ と調査区画の有効版厚比の関係の一例を示したのが図—20 である。なお、ここで用いた PDI の評価式は、ひびわれ係数による単項目評価式 $PDI = 10 - 0.591 CR$ を用いている。ここに、CR はひびわれ係数 (cm/m²) である。PDI と有効版厚比 H_{nu} の相関性はよく、ひびわれの発生(ひびわれ係数の増大)は PDI の低下となり、PDI の低下は舗装構造体の老朽化に関係していることがわかる。ただ、PDI の値が同じであっても、有効版厚比は飛行場によって異なっている。これは目地あるいはひびわれ部の荷重伝達率が飛行場によって異なることに原因していると考えられる。荷重伝達率を表わす指標として、目地部およびひびわれ部の応力比を用いると、各飛行場について表—5 のようになった。A 飛行場はひびわれ部、目地部とも大きく、B 飛行場はひびわれ部はあまり荷重伝達率が低下していないが、目地部は A 飛行場と同程度低下している。C 飛行場はひびわれ部、目地部とも良好である。このような結果から、対象とした 3 飛行場のコンクリート版は、供用条件、気象条件、構造条件などによって目地部およびひびわれ部の荷重伝達率が異なってくるといえよう。すなわち、ひびわれ部や目地部においては、建設直後あるいはひびわれが入った直後には高い荷重伝達率を有しているが、その後ひびわれや目地の間隔が開くことによって荷重伝達率は低下していき、その低下の程度が各飛行場によって異なるため、同じ PDI であっても調査区画の有効版厚比が異なってくると考えられる。今回の調査結果からは版厚が薄いほど有効版厚比の低下の割合は大きくなっている。

表—5 各飛行場の版各部の応力比 (中央部で 1.00)

airfield	thickness of slab (cm)	stress ratio	
		crack	joint
A	15	1.52	1.52
B	20	1.21	1.62
C	25	1.07	1.09



図—21 たわみとひずみから求められた有効版厚比の比較

図—21 は測定たわみからひずみを推定して求めた有効版厚比と測定ひずみから求めた有効版厚比の関係を示したものである。両者の間には多少の差がみられる。いうまでもなく、これはたわみからひずみを推定する場合の推定精度に起因している。

5. あとがき

本研究においては、飛行場コンクリート舗装について非破壊試験としてのたわみ測定および開削調査等を実施し、舗装構造体の老朽度を評価するための基礎資料を収集するとともに、有効版厚比の概念を用いた老朽度評価方式の基本的な考え方を提示した。得られた結果を要約すると以下ようになる。

たわみ測定および開削調査の結果から、舗装面のたわみ測定から、路盤面の支持力係数 (K 値) を推定することはできないことがわかった。

供用中の舗装および試験舗装に関するたわみ測定あるいはひずみ (応力) 測定結果から、非破壊試験としてのたわみ測定がコンクリート舗装にも適用できることがわかった。すなわち、載荷試験による載荷点のたわみとひずみ (応力) の間には高い相関性があり、たわみ測定からコンクリート版に生じるひずみ (応力) を高い精度で推定できる。

コンクリート舗装構造体の老朽化が進むと、舗装面に載荷したときにコンクリート版に生じる応力が增大するという考え方に基づいて老朽度を評価する手法を提案した。すなわち、たわみ測定によって生じる応力を推定し、その応力を生じせしめるのに必要なコンクリート版厚を算定し、これを有効版厚とする。また、設計時の版厚に対する有効版厚の比を有効版厚比とすると、舗装の老朽化の度合は有効版厚あるいは有効版厚比で推定し得ることを示した。

提案した有効版厚比によるコンクリート舗装構造体の老朽度評価手法を供用中の飛行場に適用した結果、有効版厚比と PDI 方式による評価値とはよい相関性を示し、路面性状の老朽化と構造体の老朽化とは一体となって進行していることが明らかとなった。

本研究においては、得られた評価手法を用いた補修時

期等については触れることができなかった。たわみ測定による応力推定法を含めて問題点は多々残されている。今後ともデータを集積して、より精度の高い評価手法に改良していく必要がある。また、構造体の老朽度と路面性状による老朽度との相関性についてはさらに検討を加えていくべきであろう。両者の間に明瞭な関係が示されれば、実用的な観点からは路面性状のみによって舗装の老朽度が評価し得る可能性が十分にある。

最後に、本研究にあたっては、運輸省港湾技術研究所土質部長 佐藤勝久氏には種々ご教示をいただいた。ここに記して謝意を表します。また、各種調査、試験に関しては多くの方々のご協力をいただくとともに、種々のご助言を賜り、深く感謝申し上げます次第である。

参 考 文 献

- 1) 佐藤勝久・福手 勤：ダイナフレクトによる空港アスファルト舗装強度評価とかさ上げ厚設計，土木学会論文報告集，第303号，pp.109～118，1980.
- 2) たとえば，運輸省航空局：空港舗装補修要領（案），1984.
- 3) 木暮敬二・藤本一男・酒井 隆・松田隆繁：路面性状による飛行場コンクリート舗装の老朽度評価，土木学会論文集，No.415/VI-12，pp.89～97，1990.
- 4) 運輸省航空局：空港アスファルト舗装構造設計要領，p.90，1976.
- 5) Lister, N.W. : Deflection criteria for flexible pavements and design of overlays, 3rd Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavements, pp.1206～1226, 1972.
- 6) 三浦裕二：たわみ曲線によるアスファルト舗装のオーバーレイ厚さに関する一提案，土木学会論文報告集，No.213，pp.65～70，1973.
- 7) Heukelom, W. and Klomp, A. J. K. : Dynamic testing as a means of controlling pavements during and after construction, 1st Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavements, pp.667～679, 1962.
- 8) 笠原 篤・伊藤保彦・岳本秀人・古川真男：フォーリングウェイト・デフレクトメータについて，舗装，20-6，pp.15～19，1985.
- 9) 佐藤勝久：空港舗装の維持・補修，舗装，22-6，pp.8～13，1987.
- 10) たとえば，井上静三・山下美訳：舗装新設計法，森北出版，pp.172～177，1975.
- 11) 岩間 滋：コンクリート舗装の構造設計に関する実験的研究，コンクリート・ライブラリー，第12号，土木学会，1965，
(1990.3.10・受付)