
研究展望

Review

研究展望

コンクリート舗装の設計法に関する研究の現状

REVIEW OF STUDIES ON CONCRETE PAVEMENT DESIGN

福田 正*

By Tadashi FUKUDA

1. まえがき

コンクリート舗装の設計に関して、1924年にOlder¹⁾は交通荷重によるコンクリート版の曲げ疲労破壊について言及している。アメリカにおける伝統的な設計法であるポルトランドセメント協会(PCA)の設計法は、このOlderらの研究を基礎として1933年にSheets²⁾によって完成した。その後、PCA設計法はたびたび改訂はされたが、基本的にはこの疲労破壊を設計原理として踏襲している。現行のPCA設計法³⁾は1984年に改訂されたものである。わが国における現行設計法であるセメントコンクリート舗装要綱⁴⁾の設計法は、岩間⁵⁾の実験的研究に基づいているが、これもPCA設計法と同様にコンクリート版の疲労破壊を設計原理とした力学的設計法である。

一方、アメリカにおける技術基準としての役割をもつAASHTO指針では、コンクリート舗装の設計はAASHTO道路試験結果に基づいた経験的方法を用いている。この設計法では、舗装の評価は路面の交通供用機能に置かれ、舗装の路面がある破損状態に至るまでの交通履歴に関しての試験結果が設計法の柱になっている。このAASHTO指針は1972年に暫定指針⁶⁾として発行され、現行のAASHTO指針⁷⁾は1986年に改訂されたものである。このようにコンクリート舗装の設計法は、力学的的方法と経験的方法の2種類に大別されるが、いずれの方法の場合でも舗装の設計においては、交通荷重の繰り返し載荷に対して、舗装の設計寿命を保証することが

設計の条件になっている。したがって舗装の設計法に関する研究では、破壊に対する安全性が設計条件である一般構造物の設計法の場合と、アプローチが異なっている。

最近、上述のようにアメリカにおける代表的な設計法であるPCA設計法、AASHTO指針が相次いで大幅に改訂された。本稿ではこの背景にある、コンクリート舗装の設計法に関する最近の研究の動向を紹介する。

2. 曲げ疲労曲線

力学的設計法における計算過程の中で、コンクリートの曲げ疲労曲線はコンクリート舗装の供用寿命を最終的に決定する重要な役割をもっている。この曲げ疲労曲線は、疲労試験の際の応力水準とコンクリート供試体の破壊時の繰り返し載荷数との関係として、実験的に求められる。ここで応力水準とは、繰り返し応力波形の上限応力と静的試験による強度との比率である。一般にコンクリートの疲労試験の際の応力条件を、このような無次元量である応力水準を用いて整理すると、その疲労特性はコンクリートの品質に左右されずに、1つの疲労曲線に集約できることが知られている。たとえばイギリス道路研究所(TRRL)のRaithbyら⁸⁾は、砂利コンクリート(PQ1)、碎石コンクリート(PQ2)、リーンコンクリート(LC1)の3種類のコンクリートによる曲げ疲労試験を行っているが、これらの試験結果は図-1に示すようになり、実用上は1つの疲労曲線で表わせる。

一方、コンクリートの曲げ強度は、その試験方法と試験の際の環境条件に敏感で、そのために曲げ疲労曲線は研究者によって大きく相違した結果が報告されている。図-2は既往の疲労曲線を一覧にしたもので、これによれば最近の研究のものほど疲労強度が強いという結果に

* 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科
(〒980 仙台市荒巻字青葉)

Keywords: concrete pavement, concrete slab, design method

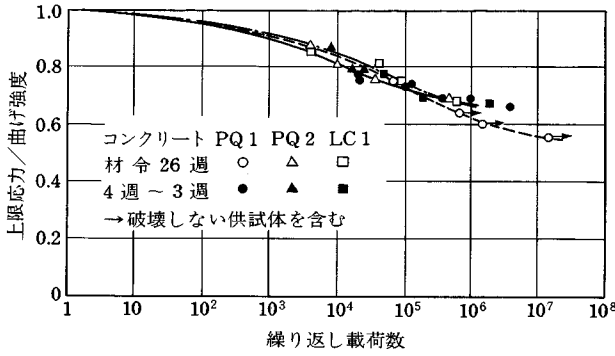


図-1 異なる品質のコンクリートによる曲げ疲労試験⁹⁾

なっている。しかしこれは最近のコンクリートの疲労特性が向上したということではなくて、疲労試験装置の性能あるいは試験の際の環境条件の制御技術などが改善されてきたことに原因していると考えられる。たとえば小梁川ら⁹⁾は、供試体内の水分の変動が曲げ強度に大きな影響を与えることから、疲労試験中のコンクリートの水分変動の防止に細心の注意を払っている。このことが、この疲労試験において高い疲労強度が得られた原因と考えられている。

わが国のコンクリート舗装の設計法では、コンクリート版に荷重応力と温度応力（そり応力）が合成されて繰り返し作用し、これによってコンクリート版が曲げ疲労破壊を生じることを設計条件としている。そしてこの場合の繰り返し応力の波形は、その上限値は合成応力に、下限値はゼロに仮定されている。しかしコンクリート舗装の場合のように、長い周期をもつ温度応力と、短い周期の荷重応力が合成作用する場合では、その応力波形は図-3に示すようにその下限応力はゼロではなく、温度応力に相当することが考えられる。

このような繰り返し応力波形が作用する場合のコンクリートの曲げ疲労について、Murdockら¹⁰⁾は応力比（＝下限応力/上限応力）が0.75から0.13の範囲について実験を行い、その結果として、応力比が大きくなると曲げ疲労強度は大きくなることを報告している。しかし一方、小梁川ら⁹⁾の実験によれば、舗装設計において影響の大きい応力水準0.80以上の領域では応力比の影響は認められていない。また応力水準0.75以下の領域では応力比の影響は若干は認められるものの、実用上は応力比の影響は無視できることを結論としている。なおDomenichiniら¹¹⁾は、AASHTO道路試験におけるコンクリート舗装の試験結果の分析から、応力比の影響を考慮した曲げ疲労曲線を得ているが、AASHTO道路試験におけるコンクリート舗装の破損はエロージョンに起因しているとの指摘¹²⁾もあり、これを曲げ疲労破壊の分析に用いることは基本的に疑問がある。

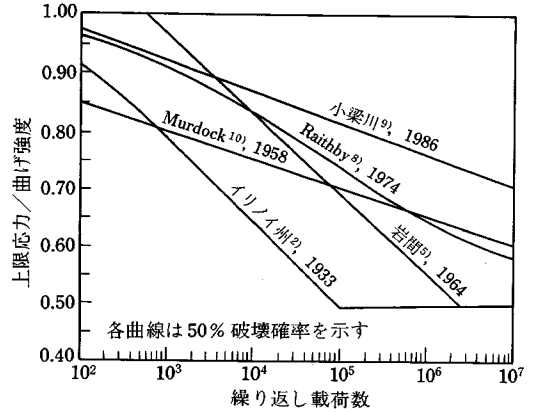


図-2 コンクリートの曲げ疲労曲線

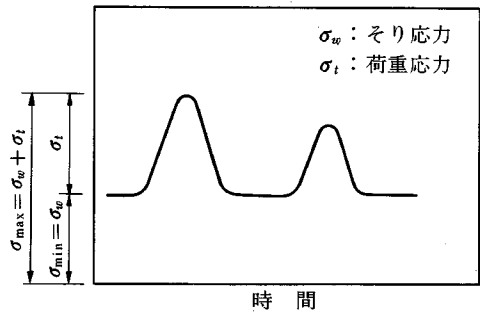


図-3 コンクリート版に作用する応力波形

3. エロージョン

路盤が降雨などで潤滑状態にある場合、荷重によってコンクリート版がたわむと、コンクリート版-路盤の境界面に高い圧力をもつ水の流れが生じて路盤の表面が浸食される。これがエロージョンである。コンクリート版の目地あるいはひびわれなどから、路盤材料中の細かい粒子を含んだ圧力水が噴出する現象をポンピングといっている。このようなポンピングが生じ始めると、コンクリート舗装は路盤の支持力が失われ、ひびわれが発生したり、段差が生じたりする。

Nguyensら¹³⁾は、キャピティモデルを用いた流体力学理論とこれの補足実験により、コンクリート舗装のポンピングの挙動を次のように説明している。

コンクリート版-路盤の境界面に生じるキャピティの厚さによって、ポンピングのメカニズムは異なり、キャピティ厚が0.5 mm以下では水は粘性が大きく、1 mm以上では完全流体の領域になる。これらの中間領域について実験的に補挿して解析結果を示すと、図-4のようになる。これによれば、エロージョンの成長過程において排出される水の流速が最大になる時期があり、その流速は5～8 m/sにもなる。

新しく改訂されたPCA設計法³⁾では、コンクリート

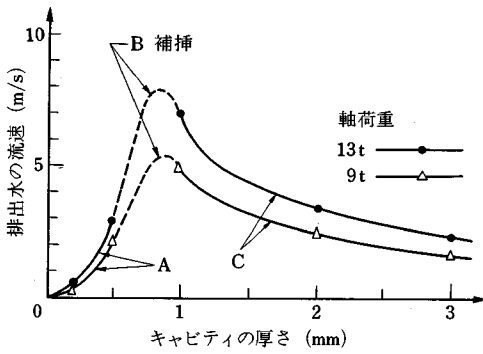


図-4 キャビティの厚さと排出水の流速との関係¹³⁾

舗装の破壊現象として従来の曲げ疲労破壊のほか、エロージョン破壊も考慮することになった。このエロージョン破壊の設計規準に関して、Packard¹²⁾は AASHO 道路試験におけるコンクリート舗装の破壊原因は、路盤のポンピングにあったとして、この道路試験結果の分析により、載荷されたコンクリート版の仕事量 W と許容軸荷重の繰り返し数 N の関係を次式で与えている。

$$W = 268.7p^2/H/K^{0.73} \dots \dots \dots (1)$$

$$\log N = 14.524 - 6.777(C_1 W - 9.0)^{0.103} \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 p ：路盤面の圧力 (psi)

H ：コンクリート版の厚さ (in)

K ：路盤支持力係数 (pci)

定数 C_1 は、道路試験のデータや目地段差に関する諸研究の結果などから、通常の路盤の場合には 1.00、セメント安定処理路盤の場合には 0.90 としている。

PCA 設計法におけるエロージョン破壊の解析では、曲げ疲労破壊の解析の際に用いられる Miner 則からの類推により、次のエロージョン破壊値を定義し、これが 100% に達すればコンクリート舗装は破壊するとしている。

$$\text{エロージョン破壊値}(\%) = C_2 \times 100 \sum (n_i/N_i) \dots \dots (3)$$

ここで、 n_i ：重量 i グループの軸荷重の繰り返し数

N_i ：重量 i グループの軸荷重の許容繰り返し数

定数 C_2 は、路肩がコンクリート版で舗装されているか、スリッパーの有無などによってその数値が決まる。

一般に、エロージョンが発生しやすいコンクリート舗装の条件は、(i) 荷重によってコンクリート版がたわみ変形を繰り返し生じること、(ii) 舗装構造の中に水が存在していること、(iii) エロージョンの生じやすい路盤材料を使用していることなどである。したがってエロージョンを防止するために、次の対策が講じられている。

まず (i) の条件から、コンクリート版のたわみ変形を減少させるために、横目地にスリッパーを用いること、路肩をコンクリート版で施工し、本線のコンクリー

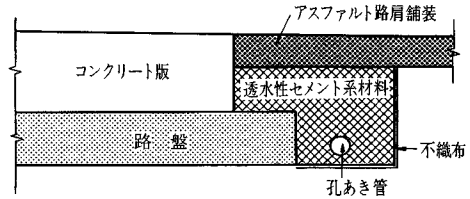


図-5 路肩舗装に設けられた排水装置¹⁵⁾

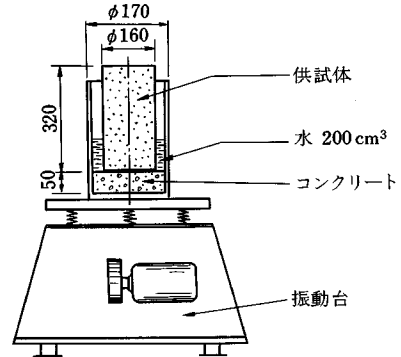


図-6 振動台によるエロダビリティ試験装置¹⁶⁾

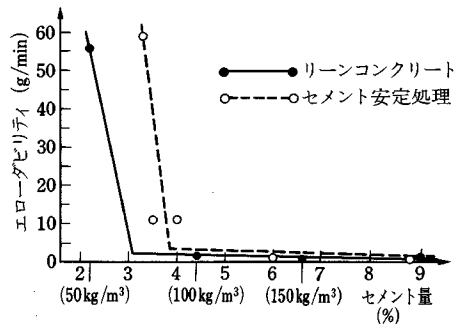


図-7 エロージョンに対する限界セメント量¹⁶⁾

ト版とタイバーで連結することなどである¹⁴⁾。(ii) については、フランスにおける調査¹⁵⁾によれば、コンクリート舗装の目地のシールが不完全で条件が悪い場合、路面に降った雨水の 60% 以上が舗装の中に浸透して、コンクリート版-路盤-路肩の境界面に沿って流出している。通常の場合、コンクリート舗装は路肩部に水が滞留しやすい構造なので、その結果、コンクリート版の路肩沿いにポンピングが発生している。このようなことから、最近フランスでは舗装の排水工法として、透水性材料による排水装置を路肩舗装の下に設けるようにしている(図-5)。

Ray ら¹⁶⁾は路盤材料のエロダビリティに関して数種類の試験方法を考案して、セメント系路盤材料のエロダビリティを試験している。図-6は振動テーブル法の試験装置であって、底面がコンクリートで水 200 cc を

入れた円筒容器と振動台によって構成されている。この円筒容器の中に供試体を置き、160 Hzの振動を20分間与え、供試体から剝離された材料の重量を測定する。図一7はその試験結果の一例で、これによればエロージョンが急激に減少する限界セメント量が存在する。この例では(Ⅲ)の条件に対する限界セメント量は4%である。

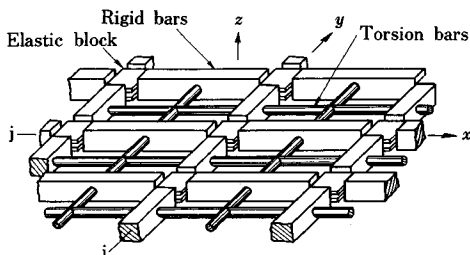
4. 有限要素解析

車両の大型化に伴う車輪装備のタンデム化あるいはトライデム化、また路盤構造が一樣でない場合など、通常の応力式による解析では対応が難しい条件に対して、有限要素法は有力な解析手法であろう。特に近年のコンピュータの普及を背景に、コンクリート舗装の構造解析の分野において有限要素法は広く利用されるようになった。

Hudsonら¹⁷⁾は、コンクリート版を多数の棒モデルと弾性ヒンジの集合体として表現した離散型モデル(discrete-element model)とよばれる特殊な構造モデルを考案した(図一8)。この離散型モデルはコンクリート版の目地やひびわれ、路盤の空隙などを表現することができたので、AASHO道路試験結果の解析に用いられた。しかしこの離散型モデルは解析精度に問題があり、実用性に限界があった。

現在、コンクリート舗装の構造解析に、一般的に用いられている有限要素モデルは平板モデルであって、これは古典的な平板(薄板)理論に基づいている。この方法はコンクリート舗装構造のモデル化が比較的容易で、実用上満足できる解析精度が得られる。この平板モデルには、路盤構造を弾性層よりなる層構造モデルとしたものと、通常の支持力係数の概念によるWinklerモデルとしたものがある。前者は解析に大きな記憶容量と計算時間を必要とするが、もともとコンクリート版は平板モデルに仮定され、コンクリート版-路盤の境界面でのせん断応力の伝達は原理的に無視されているので、両者の解析結果には大差がない。したがって実用的には後者のモデルで十分である。

コンクリート舗装の有限要素モデルを構築する際に最



図一8 離散型モデルによるコンクリート版のモデル化¹⁷⁾

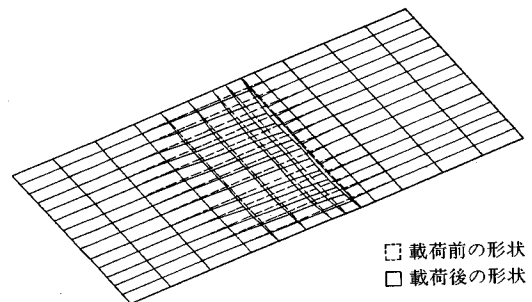
も工夫を必要とすることは、コンクリート版の横目地の荷重伝達機構を、どのように力学的に表現するかということである。Huangら¹⁸⁾は最初、目地部におけるモーメントあるいはせん断力の伝達比を規定する方法を用いた。しかしこの方法は繰り返し計算を必要とし、計算が繁雑になるので、次にスリップバーによるコンクリート版への伝達機構をせん断ばねのモデルで表現した(プログラム名: WESLIQID, WESLAYER)。福手ら¹⁹⁾も同様にスリップバー目地にせん断ばねモデルを適用した解析を行い、実験によってこの場合のばね定数を求めている。

これに対してTabatabaieら²⁰⁾は、スリップバー目地に対しては棒モデルを、スリップバーのないダミー目地やひびわれ部に対しては、骨材のかみ合せ効果にせん断ばねモデルを用いている。ここで棒モデルは曲げモーメントの伝達機能を、せん断ばねモデルは目地あるいはひびわれ部の骨材かみ合せに応じたせん断力の伝達機能を表現している(プログラム名: ILLI-SLAB)。この棒モデル、せん断ばねモデルを用いたコンクリート舗装の有限要素プログラムには、このほかにPCAのTayabjiら²¹⁾のものがある(プログラム名: JSLAB)。このプログラムは、PCAにおけるコンクリート舗装設計法の改訂作業の際に使用されている。

スリップバーの力学挙動の表現に用いられる棒モデルは、目地幅が狭い場合、棒要素の断面に比較してその長さの比率が小さくなるために、棒要素の剛性が過度に大きくなる欠点をもっている。そこで西沢ら²²⁾はこの欠点を補うために、局部変形要素を導入した修正棒モデルを提案し、さらにこれによるコンクリート舗装の解析結果を視覚的に表示するシステムを作成している(図一9)。

5. 信頼性設計

従来の舗装の設計法では、設計要因の変動の影響は割増し係数などによって間接的に考慮されてはいたものの、設計要因と設計寿命の関係は決定論的に決まるので、設計要因の変動が設計寿命に与える影響は明確でなかつ



図一9 有限要素モデルによるコンクリート版のたわみ解析²²⁾

た。しかしこのたび改訂された AASHTO 指針⁷⁾において、舗装の設計寿命を確率論的に評価する信頼性設計がとり入れられた。ここで舗装設計における信頼性とは、Kher²³⁾、Darter²⁴⁾らが述べるように「舗装の使用期間における環境条件の下で、設計寿命期間にわたって舗装がその意図された機能の状態で供用される確率」である。

すなわち、これは舗装が終局供用性水準に達するまでの軸荷重数 N_t を、設計寿命期間に実際に載荷される軸荷重数 N_T が超過しない確率であって、この信頼性 R は $\log N_t$ が $\log N_T$ を超過する確率と定義され、次のように表現される²⁴⁾。

$$R = P[(\log N_t - \log N_T) > 0] = P(\delta_0 > 0) \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 $\delta_0 = \log N_t - \log N_T$

$\log N_t$ および $\log N_T$ の分布は両者とも正規分布と仮定すれば、 δ_0 の分布は次の平均値 $\bar{\delta}_0$ 、標準偏差 S_0 をもつ正規分布である。

$$\bar{\delta}_0 = \overline{\log N_t} - \overline{\log N_T} \dots \dots \dots (5)$$

$$S_0 = \sqrt{S_N^2 + S_W^2} \dots \dots \dots (6)$$

ここで、 S_N : $\log N_t$ 分布の標準偏差

S_W : $\log N_T$ 分布の標準偏差

AASHTO 指針では、設計寿命における交通量の予測値 W_T と、舗装の終局供用性水準 p_t における交通量の予測値 W_t から、信頼性設計係数 $F_R = W_t / W_T$ を定義している。この F_R は、設計寿命における軸荷重数の対数値と終局供用寿命における軸荷重数の対数値との偏差 δ_0 が正規分布であることから、信頼性 R に対応した係数として正規分布表より求めることができる。

図-10 はこれらの関係を示したもので、分布①は設計寿命における実際の交通量 $\log N_T$ とこれに対する予測値 $\log W_T$ との偏差の分布を、分布②は供用寿命である終局供用性水準 p_t における実際の交通量 N_t とこれの予測値 $\log W_t$ との偏差の分布を表わしている。分布③は設計寿命と供用寿命との偏差 δ_0 の分布であって、これの $\delta_0 \geq 0$ の領域は $N_t \geq N_T$ 、すなわち設計寿命期間における舗装の信頼性である生存確率 R を表わしている。また $\delta_0 < 0$ の領域は、設計寿命期間における舗装の破壊確率 $(1-R)$ である。

信頼性設計係数の対数値 $\log F_R$ は、 $\log W_T$ と $\log W_t$ のシフトファクターの機能もち、 $\delta_0 = (\log N_t - \log N_T) \geq 0$ となるための確率的保証を高める役割をもっている。なお AASHTO 指針では、道路の機能分類ごとの信頼性 R の推奨値として、表-1 を示している。

AASHTO 指針の場合、交通量は 18 kip (8.2 t) 等値換算軸荷重数で表現され、コンクリート舗装の供用寿命の計算は、AASHTO 道路試験結果に基づいた比較的単純な実験式を用いている。したがって終局供用性水準における軸荷重数 N_t の予測値の分布は、この実験式から分

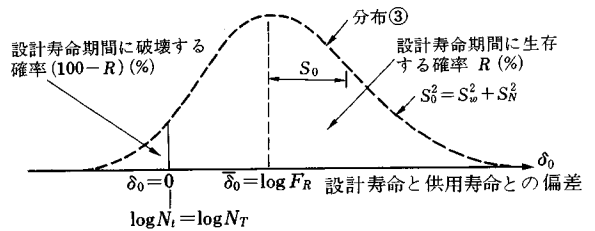
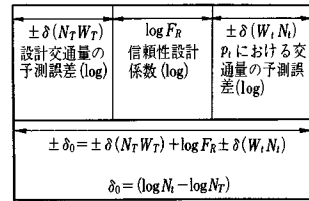
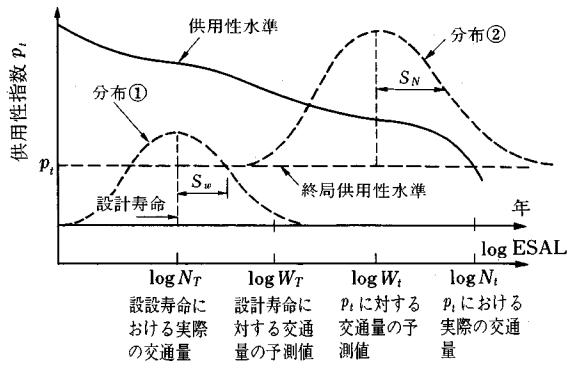


図-10 信頼性設計における予測誤差の確率分布⁷⁾

表-1 AASHTO 指針による信頼性 R (%)

道路分類	都市部	地方部
州際道路	85~99.9	80~99.9
幹線道路	80~99	75~95
集散道路	80~95	75~95
地区道路	50~80	50~80

散モデル式を作成することによって求めることができる。しかしわが国の設計法の場合、コンクリートの曲げ疲労破壊に基づいた力学的方法であることから、分散モデル式を適用することはきわめて繁雑になる。そこで Montaña ら²⁵⁾は、コンクリートの曲げ疲労強度のばらつき、荷重応力と温度応力の組合せの際に生じる不規則性などをとり入れたモンテカルロシミュレーションによって、コンクリート舗装の供用寿命の信頼性を検討している。

6. 破損評価システム

舗装の設計法は、実際に供用されている舗装の挙動を、常に反映したものでなければならないことは当然である。しかしそれぞれの舗装の挙動は構造条件、環境条件によって千差万別であり、したがってこれの評価は大量のデータの収集とこれの統計学的分析が必要である。

Darterら²⁶⁾は、アメリカ6州での418か所のコンクリート舗装の調査結果をもとに、データバンクを作成し、これの非線形重回帰分析によってコンクリート舗装の構造、環境条件と破損量との関係を示すモデル式を得て、これによってコンクリート舗装の挙動を予測するコンピュータ・システム(プログラム名:COPEs)を開発した。破損量として、ひびわれ、ポンピング、目地段差、供用性指数などをとりあげているが、次式はひびわれモデル式の例である。

$$\begin{aligned}
 \text{CRACKS} = & \text{ESAL}^{2.755} [3.092.4(1 - \text{SOILCRS}) \\
 & \times \text{RATIO}^{16.07} + \text{ESAL}^{0.5} \\
 & \times [1.233 \text{TRANGE}^{2.9} \times \text{RATIO}^{2.688}] \\
 & + \text{ESAL}^{2.416} [0.2296 \text{FI}^{1.53} \times \text{RATIO}^{7.31}] \\
 & \dots\dots\dots (7)
 \end{aligned}$$

ここで、

CRACKS: ひびわれの長さ, ft/車線マイル

ESAL: 18 kip (8.2 t) 等値換算軸荷重数の合計, $\times 10^6$

SOILCRS=0, 路床土が細粒の場合

=1, 路床土が粗粒の場合

FI: 凍結指数, °F 日

TRANGE: 7月の平均最高気温と1月の平均最低気温との差, °F

RATIO=コンクリート版の縁部応力/曲げ強度

わが国の現行設計法⁴⁾は、コンクリート版の縦目地縁部が最も危険な応力状態にあり、コンクリート版は縦目地からの横ひびわれで破損するとの考え方で応力解析が行われている。福田ら²⁷⁾は、東北地方における58か所のコンクリート舗装の現況調査を行い、これの数量化理論Ⅱ類による統計処理を行っている。その結果、コンクリート舗装の設計要因、交通条件に対して得られるサン

表—2 サンプルスコアによるひびわれパターンの判別²⁷⁾

大型車12時間 交通量(台)	版 幅 (m)			
	2.75~3.00	3.10~3.40	3.50~3.90	4.00~4.30
100~2000	-0.13	-0.03	0.07	0.19
2001~3000	-0.19	-0.09	0.01	0.13
3001~4600	0.03	0.13	0.23	0.35

凡 例 縦ひびわれ 横ひびわれ 両者

プルスコアから、ひびわれの発生パターンを予測するシステムを作成している。表—2はコンクリート版の厚さが25cmの場合の例で、これによれば、通常の版幅で特に重交通の場合、横目地縁部からの縦ひびわれが顕著になる。したがってこの場合、現行舗装要綱の設計法の応力解析条件は、現状と異なることになる。

7. む す び

コンクリート舗装の設計法に関する研究を紹介したが、その内容はアメリカにおける研究に偏ってしまった。しかし、実際に最近のアメリカにおけるコンクリート舗装の研究は、量、質ともに充実しているように思われる。アメリカにおける舗装技術は、すでにその補修技術が主流の時代にあるが、しかしその場合でも、設計法は舗装技術体系の中での基本であり、常に合理性のある内容が求められるということなのであろう。

一方わが国においては、コンクリート舗装の施工実績が低迷状態にあることもあって、その研究は必ずしも活発ではない。しかし長期的に安定した供用機能をもつコンクリート舗装は、本来は優れた社会資本であり、これの再評価が必要なのではなからうか。そのためにも、この分野における研究の充実が望まれる。

参 考 文 献

- 1) Older, C. : Highway research in Illinois, Proc. of ASCE, Vol. L, pp.175~217, Feb., 1924.
- 2) Sheets, F.T. : Concrete Road Design Simplified and Correlated with Traffic, Portland Cement Association, 1933.
- 3) Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements, Portland Cement Association, 1984.
- 4) セメントコンクリート舗装要綱, 日本道路協会, 1984年2月.
- 5) 岩間 滋: コンクリート舗装の構造設計に関する研究, 建設省土木研究所, 1963年.
- 6) AASHTO Interim Guide For Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1972.
- 7) AASHTO Guide For Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1986.
- 8) Raithby, K.D. and Galloway, J.W. : Effects of moisture condition, age and rate of loading on fatigue of plain concrete, SP 41, Fatigue of Concrete, ACI, 1974.
- 9) 小梁川雅・国府勝郎・福田 正: コンクリート舗装版の曲げ疲労に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 第372号/V-5, pp.131~137, 1986年8月.
- 10) Murdock, J.W. and Kesler, C.E. : Effect of Range of Stress on Fatigue Strength of Plain Concrete Beams, Journal of American Concrete Institute, pp.221~231, Aug., 1958.

- 11) Domenichini, L. and Marchinna, A. : Influence of stress range on plain concrete pavement fatigue design, Proc. of Second International Conference on Concrete Pavement Design, pp.55~65, 1981.
- 12) Packard, R. G. and Tayabji, S. D. : Mechanistic design of concrete pavements to control joint faulting and subbase erosion, International Seminar on Drainage and Erodability at the Concrete Slab-Subbase-Shoulder Interfaces, pp.1~38, Mar., 1983.
- 13) Nguyen Cong Phy and Ray, M. : Hydraulique du pompage des chaussées en béton—Premier bilan de l'approche theorique et des résultats de mesure en laboratoire et sur autoroute, Chaussées en beton, Bulletin de liaison des laboratoires des pont et chausees, pp.15~31, Juillet, 1979.
- 14) Packard, R. G. : Concrete shoulder design in U. S. A., International Seminar on Drainage and Erodability at the Concrete Slab-Subbase-Shoulder Interfaces, pp.1~9, Mar., 1983.
- 15) Combatting concrete pavement slab pumping by interface drainage and use of low-erodability materials, State of the Art and Recommendations, Concrete Road Committee of PIARC, pp.1~37, Oct., 1986.
- 16) Nguyen Cong Phy and Ray, M. : L'erodabilité des matériaux de la couche de fondation et de la couche de forme des chaussées en béton, Chaussées en béton, Bulletin de liaison des laboratoires des pont et chaussées, pp.15~31, Juillet, 1979.
- 17) Hudson, W. R. and Matlock, H. : Discrete-element analysis for discontinuous plates, Proc. of ASCE, ST 10, pp. 2257~2279, 1968.
- 18) Huang, Y. H. and Wang, S. T. : Finite analysis of concrete slabs and its implication for rigid pavement design, Bull. of Highway Research Record, No. 466, pp. 55~69, 1973.
- 19) 福手 勤・八谷好高・山崎英男 : コンクリート舗装横目地における荷重伝達機能, 港湾技術研究所報告, Vol. 21, No. 2, pp. 87~96, 1982.
- 20) Tabatabaie, A. M. and Barenberg, E. J. : Finite element analysis of jointed or cracked concrete pavements, Bull. of Transportation Research Record, No. 671, pp. 11~17, 1978.
- 21) Tayabji, S. D. and Colley, B. E. : Improved rigid pavement joints, Bull. of Transportation Research Record, No. 930, pp. 69~78.
- 22) 西沢辰男・福田 正・松野三朗 : コンクリート舗装版の横目地における力学的挙動の解析, 土木学会論文集, 第 378 号/V-6, pp. 185~193, 1987.
- 23) Kher, R. K. and Darter, M. I. : Probabilistic concepts and their applications to AASHO Interim Guide for design of rigid pavements, Bull. of Highway Research Record, No. 466, pp. 20~37, 1973.
- 24) Darter, M. I. : Application of statistical methods to the design of pavement systems, Bull. of Transportation Research Record, No. 575, pp. 39~55, 1976.
- 25) Montaña, J. R. M., Koyanagawa, M. and Fukuda, T. : Evaluation of service life of concrete pavement by Monte Carlo simulation, (Proc. of JSCE 投稿済)
- 26) Darter, M. I., Becker, J. M. and Snyder, M. B. : Concrete pavement evaluation system (COPES)-Nationwide prediction model demonstration, Proc. of Third International Conference on Concrete Pavement Design, pp. 453~468, 1985.
- 27) Fukuda, T., Koyanagawa, M. and Murai, S. : Condition survey of concrete pavements and its evaluation, Proc. of Third International Conference on Concrete Pavement Design, pp. 55~65, 1985.

(1988. 4. 27・受付)