

## IV-14 舗装の長寿命化に関する研究

研究予算：運営費交付金（道路整備勘定）  
研究期間：平 10～平 17  
担当チーム：基礎道路技術研究グループ（舗装）  
研究担当者：久保和幸，藪 雅行，坂本康文，  
寺田 剛，谷口 聡

### 【要旨】

本研究では、舗装の長寿命化に向けて、舗装の疲労抵抗性の評価方法の提案、舗装の供用性の評価方法の提案、供用性データに基づくライフサイクルコスト評価方法の提案および疲労抵抗性と路面の性能の持続性に優れた舗装の提案を目的とした、各種試験舗装に係る調査結果の分析を行った。その結果、舗装の疲労抵抗性の評価には非破壊試験装置（FWD）による路面たわみ量に基づく評価法が有効であること、舗装の供用性の評価には使用材料の性状や路面たわみ量等に基づく評価法が有効であること、また疲労抵抗性と路面性能の持続性に優れた舗装としては  $T_A$  を増大させた舗装やコンポジット舗装が有効であることがわかった。また、供用性による路面の劣化に伴う車両走行費用はライフサイクルコストに大きく影響しないことがわかった。

**キーワード：**長寿命化舗装，疲労抵抗性，供用性，性能，持続性

### 1. はじめに

資源の有効利用および工事に伴う交通渋滞の緩和などの観点から、より一層の効率的な管理と舗装の長寿命化が求められている。舗装の長寿命化のためには、舗装構造の耐久性と路面の性能の持続性に関するそれぞれの評価方法および向上のための技術を開発する必要がある。また、ライフサイクルコストや管理目標を考慮して舗装の維持管理の最適化を図ることも必要である。

そこで、本研究では、

- 1) 舗装の疲労抵抗性の評価方法の提案
- 2) 舗装の供用性の評価方法の提案
- 3) 供用性データに基づくライフサイクルコスト評価方法の提案
- 4) 疲労抵抗性と路面の性能の持続性に優れた舗装構造の提案

を目的とし、これらの目的を達成するために、新基準調査、車両重量調査、長寿命化舗装の試験舗装調査等、各種試験舗装に係る調査結果の分析を行った。

以下に、本研究成果をとりまとめ報告する。

### 2. 研究方法

#### 2.1 舗装の疲労抵抗性の評価方法の検討<sup>1)~13)</sup>

舗装の疲労抵抗性は、舗装にひび割れが発生するまでの許容輪数、すなわち疲労破壊輪数として表わされる。平成 13 年 7 月に通達された「舗装の構造に関する技術基準」（以下、技術基準という）において、舗装が設計された期間に満たすべき疲労破壊輪数の基準値

が定められた。しかし、現場の舗装に対して疲労破壊輪数を評価する具体的な方法については規定されておらず、当該指標に基づく性能規定発注ができないという問題も生じていた。

そこで、本検討では、舗装の設計時に疲労破壊輪数を照査するための破壊規準式の検討と、現地で直接疲労破壊輪数を評価する方法について検討を行った。

#### 2.1.1 舗装設計における破壊規準式の検討

舗装の破壊規準は、アスファルト混合物層の疲労ひび割れに関する米国アスファルト協会（以下、AI という）のものがよく知られているが、我が国独自のものは確立されておらず、理論的設計法への移行が停滞している一因ともなっていた。

そこで、これまでの経験的設計法で設計された舗装と等価な舗装が理論的設計法で行えるよう、従来の我が国の舗装に適合した破壊規準を検討した。

#### 2.1.2 現地での疲労破壊輪数評価法の検討

非破壊で現地にて直接疲労破壊輪数を評価できる方法として、FWD（Falling Weight Deflectometer：重錘落下式たわみ量測定装置、以下、FWD という）がある。FWD による路面たわみ測定の詳細を図-1 に示す。

国土交通省では、新基準調査として昭和 63 年度から全国 28 箇所試験舗装を施工し、FWD のたわみの経時変化等を調査している。本検討では、これらのデータを用いて、施工直後の疲労破壊輪数を推定・評価する方法について検討を行った。

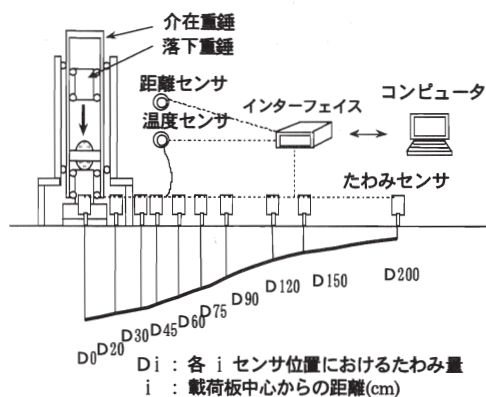


図-1 FWDによる路面たわみ測定の概要

## 2. 2 舗装の供用性の評価方法の検討<sup>14)~20)</sup>

舗装の供用性は、路面性状の経時変化により判断され、最終的な維持修繕の決定は道路管理者の判断に委ねられている。そこで本検討では、路面性状に基づく検討に加えて、舗装の管理目標についても検討を行った。

### 2. 2. 1 路面性状に基づく供用性評価に関する検討

舗装の供用性に大きく影響を及ぼす路面性状は、主にひび割れとわだち掘れである。新基準調査では、アスファルト混合物の初期性状だけでなく、供用後の劣化性状や交通量の推移、舗装温度等の計測を行っている。そこで、試験施工区間における路面性状の経年データ等を用いて供用性に関する検討を行った。

### 2. 2. 2 舗装の管理目標に関する検討

橋梁を中心とした道路構造物の老朽化の進行、公共事業を取り巻く厳しい財政事情や管理体制の制約を背景として、舗装の分野においても、アカウントビリティの高いデータに基づく舗装マネジメントが求められている。また、長寿命舗装については、一般的に初期コストが高いが、その評価は、初期コストのみならず維持修繕費や工事実施に伴う社会的費用も含めたライフサイクルコスト（以下、LCC という）分析により実施されることが望まれている。

舗装マネジメントは、図-2のように概念が整理されつつある。しかしながら、管理目標の設定やLCCの算定方法の確立等、改善・確立すべき事項も多く抱えている。そこで、本検討では、管理目標や管理指標について国内外での実態を整理し、管理目標に関する検討を行った。

## 2. 3 供用性データに基づくライフサイクルコスト評価方法の検討<sup>21)~23)</sup>

LCCの算出方法については、各種の方法が提案・試行されている。土木研究所では、LCC算定マニュアル素案を作成し、道路局、地方整備局とともに素案に基

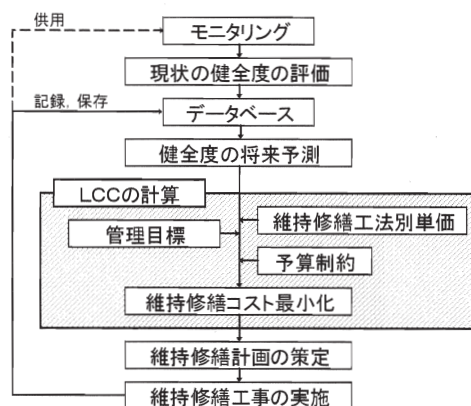


図-2 舗装マネジメントの体系

づいて、全国の国道事務所での試行を通じた検討を行った。なお、本検討では、次のような費用をLCC算定の対象とした。

- ①道路管理者費用：調査・計画費用、建設費用、維持費用、修繕・改築費用
- ②道路利用者費用：路面性状悪化による車両走行費用（損失費用）、工事規制・迂回による時間損失費用
- ③沿道および地域社会の費用：環境費用／便益（排水性舗装による効果等）

また、LCC分析の流れを図-3に示すが、災害時の応急処置等、突発的に発生する費用は対象としていない。

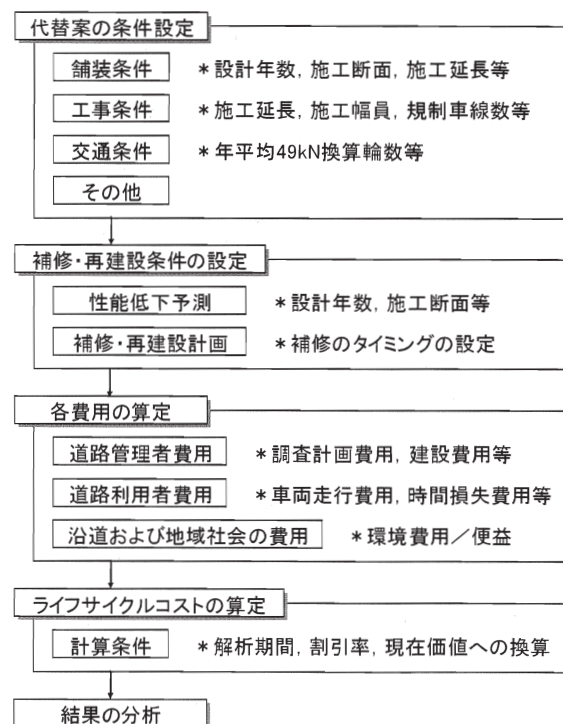


図-3 LCC分析の手順

## 2. 4 疲労抵抗性と路面の性能の持続性に優れた舗装構造の検討<sup>24)~27)</sup>

長寿命化舗装は、構造的、機能的に舗装の耐久力を高め、従来の舗装よりも設計期間を長期にとることで、補修の頻度やライフサイクルコストを軽減することを目的とした舗装である。

本検討では、これまでの研究成果をもとに、長寿命化舗装として、等値換算厚さ（以下、 $T_A$ という）を増大させた舗装ならびにコンポジット舗装について検討を行った。

### 2. 4. 1 $T_A$ の増大による長寿命化の検討

アスファルト舗装の構造設計では、必要とされる  $T_A$  (cm) は (1) 式で表わされる。

$$T_A = \frac{3.84 N^{0.16}}{CBR^{0.3}} \quad \dots (1)$$

ここに、

$N$ : 設計期間における累積 49kN 換算輪数

$CBR$ : 路床の設計 CBR (%)

技術基準では、10 年を超える設計期間の舗装を設計する場合、(1) 式の  $N$  を割増しすることで対応するものとしている。本検討では、(1) 式による設計期間の長期化の妥当性について確認することとした。

### 2. 4. 2 コンポジット舗装による長寿命化の検討

コンポジット舗装は、表層（2 層以上の場合もある）にアスファルトコンクリート（以下、アスコンという）を適用し、その直下の層にセメント系の版を用いた舗装である。図-4 にコンポジット舗装の概念を示すが、構造的な耐力は主としてセメント系の版が受け持ち、アスコン層は走行の安全性や快適性等、表面機能層として位置付けられている。

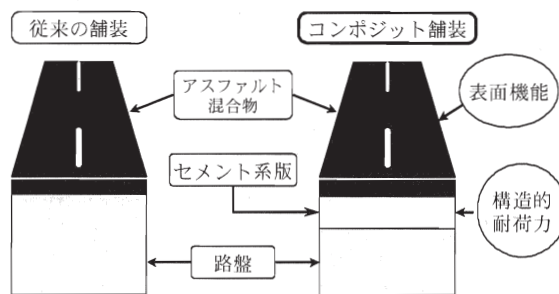


図-4 コンポジット舗装の概念

## 3. 研究結果

### 3. 1 舗装の疲労抵抗性の評価方法の検討<sup>1)~13)</sup>

#### 3. 1. 1 疲労破壊輪数に関する検討

全国 81 箇所の直轄国道で実施した車両重量調査のデータ (H6~H12,  $n=389$ ) を用いて、大型車交通量

と 49kN 換算輪数の関係を調べた。実測された輪荷重から 49kN 換算輪荷重への換算には、4 乗則を用いた。結果を図-5 に示す。

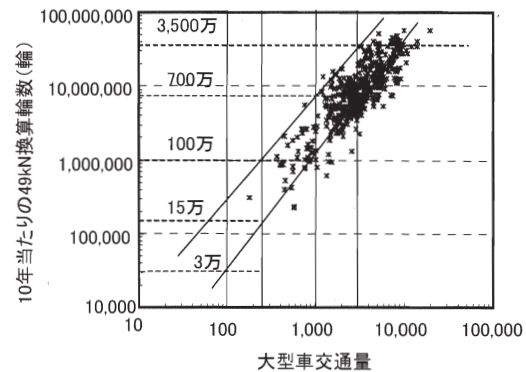


図-5 大型車交通量と 49kN 換算輪数との関係

大型車交通量と 49kN 換算輪数には良好な相関関係があり、従前の各交通量区分の上限交通量における平均的な輪数は、下限交通量における最大輪数（点線と各交通量の交点）にほぼ一致している。したがって、平均的な 49kN 換算輪数が交通量区分の閾値、すなわち「疲労破壊輪数」となる。

### 3. 1. 2 舗装設計における破壊規準式の検討

#### (1) 検討概要

経験的設計法で設計された舗装断面をベースに、いくつかの仮定の下で理論的な解析を行い、AI 式を修正するといった手法で、暫定破壊規準を検討した。具体的な検討の流れを以下に示す。

- ① 経験的設計法で設計された舗装は、所要の疲労破壊抵抗性を有するものとみなす。
- ② 舗装の破壊の状態を次のように仮定した。
  - ・ アスファルト混合物層下面で発生し上方へ進行するひび割れの割合が 20%を超えた場合をアスファルト混合物層の構造的な破壊とする。
  - ・ 路床を含む舗装各層の圧縮変形の累積により路面に現れた永久変形量が 15mm を超えた場合を路床の永久変形による破壊とする。
- ③ アスファルト混合物層の暫定破壊規準は、アスファルト混合物層下面の引張ひずみと経験的設計法により定まる許容通過輪数の関係から求める。
- ④ 路床の暫定破壊規準は、路床上面の圧縮ひずみと経験的設計法により定まる許容通過輪数の関係から求める。
- ⑤ 理論的設計法に用いる特性値は、ばらつきを考慮した各々のモデルが確立されていないため、すべて平均値を用いることとし、上記③、④に用いる経験的設計法の信頼度は 50%とする。

⑥ 路床条件, 材料条件および温度条件は, これまでの調査・研究成果から, 表-1 のように設定した。

表-1 路床条件, 材料条件および温度条件

年平均気温 (°C)	年平均舗装温度 (°C)	弾性係数(MPa)				ポアソン比
		表層・基層	加熱アスファルト安定処理	粒度調整砕石	クラッシュラン	
7	10	9,000	6,000	300	200	10CB R
10	15	7,000	5,000			
15	20	5,000	3,500			
18	25	3,500	2,500			
23	30	2,500	2,000			

舗装各層: 0.35  
路床: 0.4

(2) 検討結果

上記のような条件で検討した結果, アスファルト混合物層下面の引張ひずみと経験的設計法により定まる許容通過輪数の関係は, (2) 式のようになった。これを AI 式をベースとした形に修正すると (3) 式のようになる。

$$N_{fa} = 3.225 \times (C) \times (\varepsilon_t^{-4.326} \cdot E^{-2.577}) \quad \dots (2)$$

$$N_{fa} = \beta_{a1} \times (C) \times (6.167 \times 10^{-5} \cdot \varepsilon_t^{-3.291 \beta_{a2}} \cdot E^{-0.854 \beta_{a3}}) \quad \dots (3)$$

ここに,  $N_{fa}$ : 許容 49kN 輪数

$C$ : アスファルト混合物層の最下層に使用する混合物の容積特性に関するパラメータ

$$C = 10^M$$

$$M = 4.89 \times \left( \frac{VFA}{100} - 0.69 \right)$$

$VFA$ : 飽和度 (%)

$\varepsilon_t$ : アスファルト混合物層下面の引張ひずみ ( $\mu$ )

$E$ : アスファルト混合物層の最下層に使用する混合物の弾性係数 (MPa)

$\beta_{a1}, \beta_{a2}, \beta_{a3}$ : 我が国の経験に基づく AI 式に対する補正係数 (図-6)

$$\beta_{a1} = K_a \times \beta_{a1}'$$

$K_a$ : ひび割れ伝播速度による補正係数

$$\beta_{a1}' = 5.229 \times 10^4$$

$$\beta_{a2} = 1.314$$

$$\beta_{a3} = 3.018$$

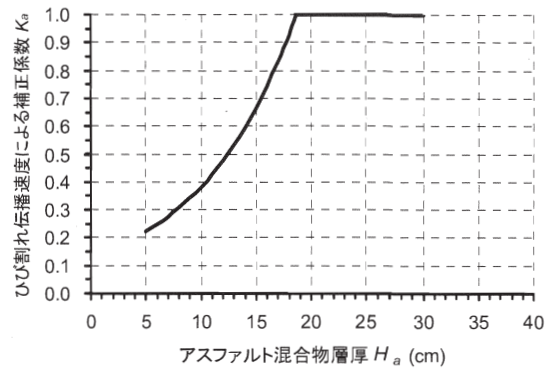


図-6 ひび割れ伝播速度の補正係数

3. 1. 3 現地での疲労破壊輪数評価法の検討

(1) 検討概要

路面たわみの概念を図-7 に示す。FWD では複数点のたわみを同時に測定することで, たわみ量と形状から舗装内部の状態を推定することができる。複数のたわみの中でも, 舗装の健全度評価には, 載荷板中心のたわみ量 “ $D_0$ ” が用いられる。

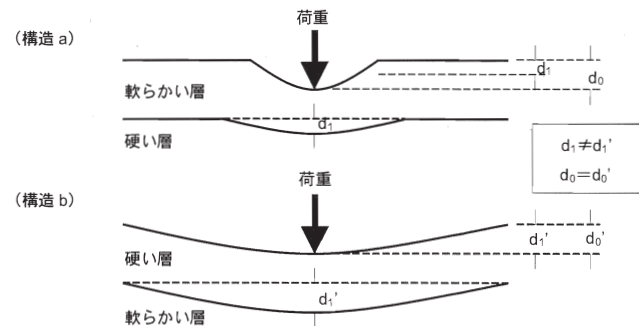


図-7 たわみ量と形状による舗装体評価の概念

そこで, これまでに国土交通省が主体となって調査している, 路面のたわみ量, 路面の損傷度合い (ひび割れの程度) および交通量に関する経年データを解析することで, 実測値に基づいた疲労破壊輪数の評価方法を検討することとした。検討の流れを図-8 に示す。

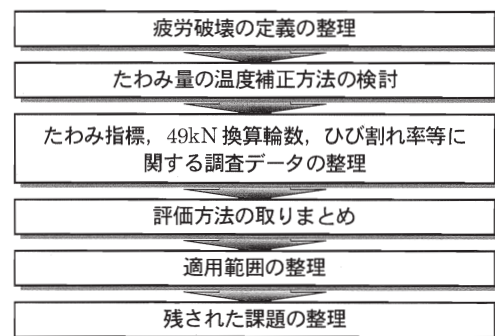


図-8 検討の流れ

(2) 疲労破壊の定義

技術基準においては, 疲労破壊輪数を「舗装にひび割れが生じるまでに要する回数」と定義しているが,

疲労破壊の定量的な定義は定められていない。そこで、本検討では疲労ひび割れを以下のように仮定した。

- ① 舗装は、交通荷重が繰返し载荷されることによって、舗装の下面から上方に向かってひび割れが発生する。
- ② アスファルト舗装の疲労破壊によるひび割れは、最初に車両走行部（わだち部）の縦方向に線状に発生する。
- ③ 表層材料の劣化等により路面から発生するひび割れとは区別される。

上記の仮定に基づくと、疲労破壊輪数で想定している舗装のひび割れは、疲労によるひび割れが1本でも発生したときであり、全線にわたり均等につながっている状態と捉えることが妥当と考えられる。全延長にわたり1本のひび割れが生じた状態のひび割れ率を算出すると約20%となる。よって、アスファルト舗装の疲労破壊を“ひび割れ率が20%に達したとき”とした。

### (3) たわみ量の温度補正方法の検討

FWD によるたわみ量の評価では、アスファルト混合物のスティフネスが温度依存性を有することから、アスコン層の平均温度を正確に把握し、標準温度（通常20℃）におけるたわみ量に補正する必要がある。

アスコン層の平均温度を現地で直接測定して求めることは困難であるため、気温や路面温度等から推定する方法が幾つか提案されているが、それらの方法を並列で比較したことはなく、実際の運用も道路管理者に任されている。

本検討では、平均温度算出方法の標準化を目的として、現在活用されている算出式を使って、直轄国道等における実測値との比較を行った。

実測値との一致度が最も高かったものの計算結果を図-9に示す。温度推定式のモデルは以下のとおりであり、以降のアスコン層の平均温度の推定には、当該法を適用することとした。

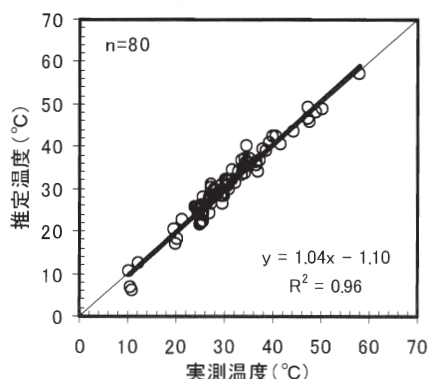


図-9 実測温度と推定温度の比較

$$y_{Tave} = a_{x1} + b_{x2} + c_{x3} + d_{x4} + e \quad \dots (4)$$

ここに、 $y_{Tave}$ ：アスコン層の平均温度（℃）

$x1$ ：路面温度（℃）

$x2$ ：気温（℃）

$x3$ ：FWD 測定時の気温－1 時間前の気温（℃）

$x4$ ：アスファルト混合物層の厚さ(cm)

$a, b, c, d, e$ ：係数

### (4) 評価法のとりまとめ

評価方法を取りまとめるにあたり、以下の考え方に基づいて調査データを整理した。

- ① 使用するデータは、平成12年までの新基準調査データに加えて、東京都の市道2箇所10年間の調査データを追加して使用する。
- ② 交通量は、各調査年の軸重調査データから年間の累積49kN換算輪数を求め、供用年数までの累積交通量を算出する。
- ③ たわみ量は、ひび割れ率20%以上となった路線を抽出し、施工直後の実測たわみ（ $D_0$ ）を使用する。
- ④ ひび割れ率20%の時の交通量は、ひび割れ率が20%を超える前後の累積49kN換算輪数を補間して求める。

以上の整理によって得られた、ひび割れ率20%を超えた時点の累積49kN換算輪数と施工直後のたわみ量の関係は図-10に示すとおりであり、次のような関係式が得られた。なお、関係式の算出には、アスコン層上面からのひび割れ箇所は除外している。

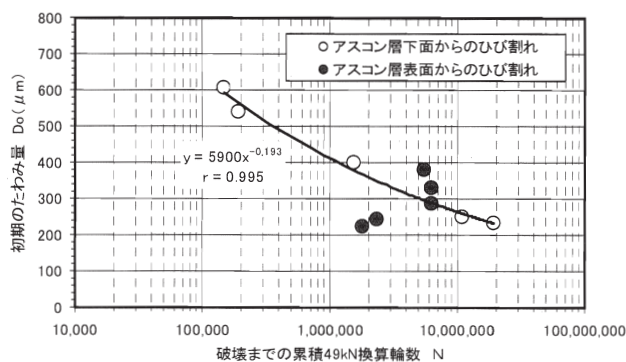


図-10 たわみ量  $D_0$  と累積49kN換算輪数の関係

$$D_0 = 5900 \times N^{-0.193} \quad \dots (5)$$

ここに、 $D_0$ ：FWD 載荷板中心のたわみ量（ $\mu\text{m}$ ）

$N$ ：疲労破壊輪数（累積49kN換算輪数）

(5) 式を疲労破壊輪数の算出式に変換すると、

$$N = \left( \frac{5900}{D_0} \right)^{5.18} \quad \dots (6)$$

となり、(6)式を用いることで、施工直後のたわみ量  $D_0$  から当該舗装の疲労破壊輪数を推定できることになる。

### (5) 推定式の検証

(6)式を検証するために、これまでに都道府県・市町村道において施工直後に測定された FWD のたわみデータを収集した。結果を図-11 に示す。総データ数は 984 個であり、交通量ごとに推定式を下回った個数(割合)を求めると表-2 のようになる。

これらの舗装の経年履歴は不明であるが、この数値を推定式を過去の舗装に適用した場合に、その舗装が所要の疲労破壊輪数を有していると判断される確率と考えると、旧 L, A 交通の舗装では確率が低いものの、旧 B, C, D 交通の舗装では 60~80% が満足していることになる。また、図中に 984 個のデータの回帰曲線を破線で示したが、推定式より若干下側にあるがほぼ同等の結果が得られている。

したがって、交通量の少ない道路舗装での適用には注意を要するが、それ以外の道路舗装には十分適用できるものとする。

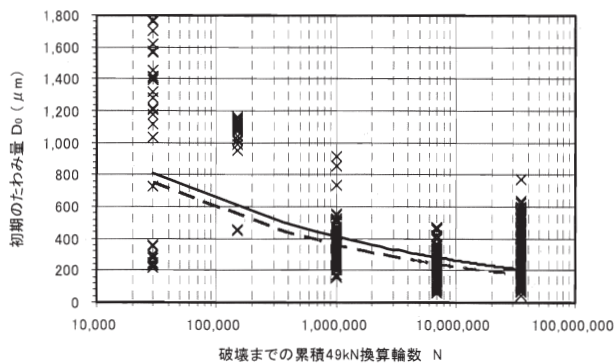


図-11 過去の市町村道等の測定データと推定式の関係

表-2 推定式の検証結果

旧交通区分	推定式を下回った個数*	全体数
L 交通	13 (40.6%)	32
A 交通	2 (6.3%)	32
B 交通	56 (62.9%)	89
C 交通	369 (86.6%)	426
D 交通	255 (58.6%)	435
計	695 (70.6%)	984

\* ( ) 中の数値は、全体数に対する割合を示す。

## 3. 2 舗装の供用性の評価方法の検討<sup>14)~20)</sup>

### 3. 2. 1 路面性状に基づく供用性評価に関する検討

#### (1) 検討概要

新基準調査データをもとに、ひび割れおよびわだち掘れに影響を及ぼす要因を単相関および変数増減法による重相関により分析し、路面性状と供用性の関係を調べた。新基準調査で蓄積しているデータは、表-3 のとおりである。

表-3 新基準調査のデータ

カテゴリー	分類	項目	
初期性状	舗装構成	舗装厚	
		舗装の等価換算厚 TA	
	路床	設計 CBR	
	路盤	粒状路盤材料の修正 CBR	
	表層	アスファルト量	
		合成粒度 2.36mm	
		空隙率	
		マーシャル安定度	
		フロー値	
		ホイールトラッキング試験結果	
	現場コア	弾性係数	
		原アスファルト性状	60℃粘度
			4℃伸度
			25℃針入度
			軟化点
劣化後のアスファルト性状		60℃粘度	
		4℃伸度	
		25℃針入度	
		軟化点	
現場コア		回収アスファルト 25℃針入度	
	回収アスファルト 60℃粘度		
	空隙率		
環境調査	交通量	大型車交通量	
	環境	平均気温 (9~11月平均)	
		降水量 (9~11月平均)	
	構造	FWD たわみ	
交通量調査	交通量	大型車交通量	
	荷重	49kN 換算輪数	

#### (2) ひび割れに及ぼす要因の検討

ひび割れとの単相関分析の結果、相関係数が大きかった 10 項目を表-4 に示す。これらを用いて重相関分析を行ったところ、(7)式が得られた。重相関係数は 0.74 であった。(7)式から求めたひび割れの予測値と実測値の関係を図-12 に示す。なお、FWD たわみ  $D_0$  は初期値を用いている。

ひび割れに影響を及ぼす要因は、アスファルトの性状、大型車交通量および舗装構造であり、これらの経年変化を適切に予測できれば、ひび割れの予測が可能となる。

表-4 ひび割れとの相関係数

順位	項目	相関係数
1	劣化アスファルト・軟化点	0.4224
2	原アスファルト・軟化点	0.4204
3	FWD たわみ・ $D_0$	0.4174
4	現場コア回収アスファルト・60℃粘度	0.4026
5	現場コア回収アスファルト・25℃針入度	0.3996
6	動的安定度・DS	0.3909
7	累積大型車交通量	0.3647
8	劣化アスファルト・60℃粘度	0.3622
9	原アスファルト・25℃針入度	0.3441
10	FWD たわみ・ $D_0/D_{150}$	0.3279

$$\begin{aligned} \text{ひび割れ率 (\%)} = & (0.41 \times \text{劣化 As 軟化点}) - (0.20 \\ & \times \text{回収 As}_{25^{\circ}\text{C}} \text{針入度}) + (0.02 \times \text{累積大型車交通} \\ & \text{量 (万台)}) + (0.07 \times \text{FWD たわみ } D_0) - 33.62 \\ & \dots (7) \end{aligned}$$

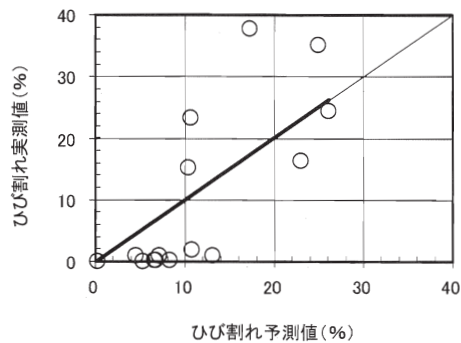


図-12 ひび割れの予測値と実測値の関係

### (3) わだち掘れに及ぼす要因の検討

わだち掘れとの単相関分析の結果、相関係数が大きかった 10 項目を表-5 に示す。これらを用いて重相関分析を行ったところ、(8) 式が得られた。重相関係数は 0.73 であった。(8) 式から求めたひび割れの予測値と実測値の関係を図-13 に示す。なお、FWD たわみ  $D_0$  は初期値を用いている。

表-5 わだち掘れとの相関係数

順位	項目	相関係数
1	フロー値	0.3421
2	累積大型車交通量	0.3359
3	設計 CBR	0.2812
4	動的安定度・DS	0.2484
5	舗装厚	0.2052
6	上層路盤・修正 CBR	0.2000
7	下層路盤・修正 CBR	0.1947
8	原アスファルト・4℃針入度	0.1828
9	原アスファルト・60℃粘度	0.1817
10	FWD たわみ・ $D_0$	0.1775

$$\begin{aligned} \text{わだち掘れ量 (mm)} = & (0.0238 \times \text{FWD たわみ } D_0) \\ & - (0.0484 \times \text{上層路盤修正 CBR}) + (0.0063 \times \text{累} \\ & \text{積大型車交通量 (万台)}) - (0.0014 \times \text{DS}) + 12.096 \\ & \dots (8) \end{aligned}$$

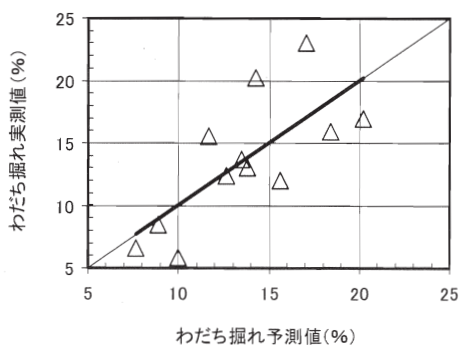


図-13 わだち掘れの予測値と実測値の関係

わだち掘れに影響を及ぼす要因は、路床・路盤の支持力、大型車交通量および使用混合物の品質に関する項目であり、交通量の経年変化を適切に予測できれば、わだち掘れの予測が可能となる。

## 3. 2. 2 舗装の管理目標に関する検討

### (1) 検討概要

舗装の管理目標に関する検討は、まず①海外での管理目標の実態に関する調査し、次に②我が国の補修実態と管理指標に関する調査を行い、最後に③舗装の管理目標に関する基本的概念の整理することとした。

### (2) 海外での管理目標の実態

管理目標の有無や具体的な内容、設定根拠等について、ヒアリング調査を実施した。対象とした国・州は、ドイツ、イタリア、フランス、イギリス、デンマーク、フィンランド、カナダ (オンタリオ州)、アメリカ (ヴァージニア州、カリフォルニア州) である。

海外における管理目標の実態を総括すると以下のとおりとなる。

- ① すべての国で何らかの形で管理目標を公式文書化している。
- ② 欧州では、構造評価とサービス評価を明確に分けて評価しており、複数の管理目標値 (警告値、維持修繕目標値等) を示している。
- ③ 安全性限界の限界値として、管理目標を定めている道路管理者は皆無である。
- ④ 管理目標値設定の具体的な根拠を把握することは困難であった。

### (3) 我が国の補修実態と管理指標

直轄国道では、わだち掘れ量、ひび割れ率、平坦性を 3 年サイクルで測定している。また、この 3 指標をもとに算定される MCI は、道路行政のアウトカム指標である構造物保全率の一指標となる等、現在の直轄国道の管理に運用されている。なお、これらのデータについては舗装管理支援システムに格納されている。

一方、MCI については、道路管理の現場から「MCI は必ずしも十分に路面の状態を示していない」との指摘もあること等から、現場の道路管理担当者にヒアリング調査及びアンケート調査を行い、道路管理の現場における修繕工事と管理指標の関係について整理した。以下にその結果を示す。

- ① 修繕工事の実施の判断は、主に路面性状に基づいて実施され、苦情等の路面性状以外の要因で行うケースは少ない。
- ② 路面性状の状態は、システムに格納されたデータと目視の両方で確認しているケースが多い。

- ③ 修繕の実施にあたって考慮する路面性状は、MCI、ひび割れ、わだち掘れが多い。
- ④ 工事を実施する場合には、工事に伴う社会的損失の発生を抑えることも念頭に一定の工事ロットを設定するが、工事区間平均では路面性状の悪化した箇所を十分に評価できないケースがある。
- ⑤ 現場でのパトロールにおいては、ポットホール及び段差について、特に注意している。

**(4) 舗装の管理目標の基本的概念の検討**

上記の調査結果を踏まえて、我が国における管理目標の基本的考え方(図-14)を以下のとおり整理した。

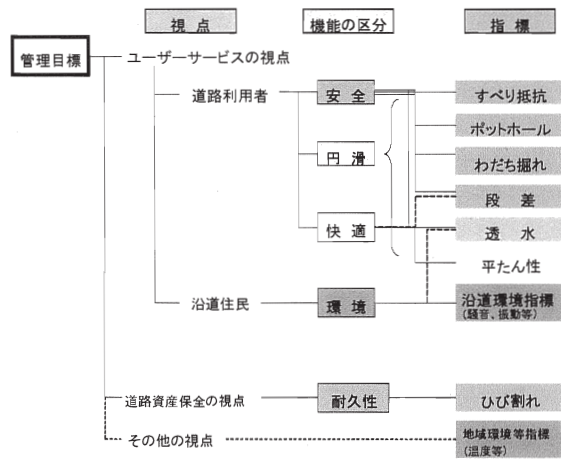


図-14 舗装の管理目標の体系

- ① 舗装管理の視点を「ユーザーサービスの視点」(道路利用者、沿道住民)と「道路管理者の視点」に区分するとともに、ユーザーサービスについては「安全」、「円滑」、「快適」、「環境」の視点で細分し、管理指標との関係を整理した上で、適切な指標を設定する。
- ② 管理指標としては「すべり抵抗」、「わだち掘れ」、「平坦性」等が想定されるが、道路種別、地域区分等に応じて適切に選択する必要がある。
- ③ 管理上の目標値については、図-15 に示すように、路面状態や舗装構造の健全度から設定する方法と、LCCの観点から設定する方法が考えられる。

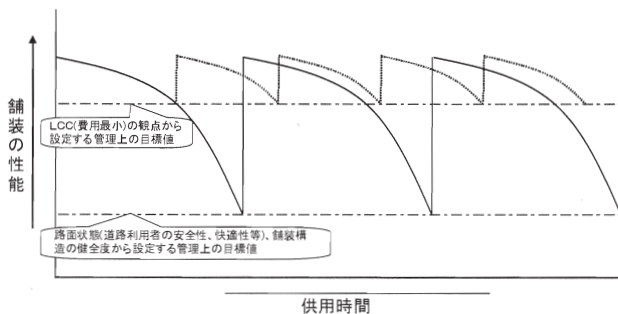


図-15 管理上の目標値の設定の概念

**3.3 供用性データに基づくライフサイクルコスト評価方法の検討<sup>21)~23)</sup>**

LCC算定マニュアル素案に基づき、表-6に示すような補修パターンを設定し、解析期間を40年としてLCCを試算した。都市部の算出例を図-16に、地方部の算出例を図-17に示す。

いずれの算出結果においても、路面の劣化に伴う車両走行費用がLCCに占める割合は低く、地方部において顕著である。工事渋滞に伴う道路利用者費用については、都市部での割合は高いが地方部ではほとんど見られないが、維持・修繕費については、都市部での割合は低いながら地方部では高くなっている。

したがって、LCC算定にあたっては、供用による路面の劣化に伴う車両走行費用を考慮しなくても、LCCに大きな影響はないものとする。

表-6 LCC算定における補修パターン

No.	補修パターン
1	現況断面～(y <sub>0</sub> 年)～打換え～(y <sub>a</sub> 年)～打換え～(y <sub>a</sub> 年)～打換え
2	現況断面～(y <sub>0</sub> 年)～打換え～(y <sub>b1</sub> 年)～切削オーバーレイ～(y <sub>b2</sub> 年)～切削オーバーレイ～(y <sub>b3</sub> 年)～打換え
3	現況断面～(y <sub>0</sub> 年)～打換え～(y <sub>c1</sub> 年)～表面処理～(y <sub>c2</sub> 年)～切削オーバーレイ～(y <sub>c3</sub> 年)～打換え

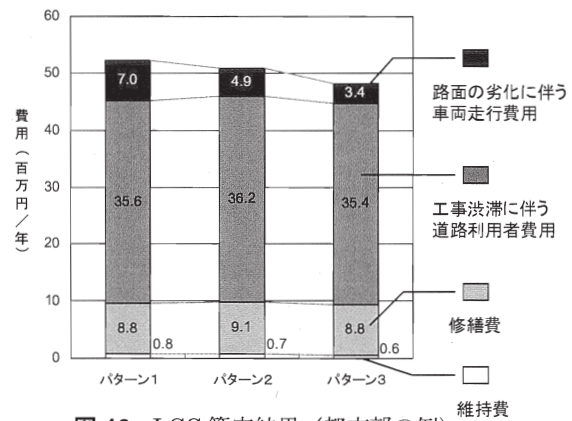


図-16 LCC算定結果(都市部の例)

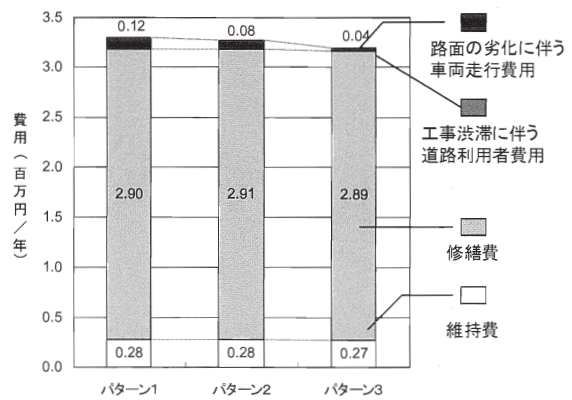


図-17 LCC算定結果(地方部の例)



### 3. 4 疲労抵抗性と路面の性能の持続性に優れた舗装構造の検討<sup>24)~27)</sup>

#### 3. 4. 1 T<sub>A</sub>の増大による長寿命化の検討

##### (1) 試験舗装の概要

T<sub>A</sub>を増大させたアスファルト舗装の試験舗装は、7年8月に国道51号北千葉バイパス(以下、貝塚工区という)、8年6月に国道23号三重県三雲町(以下、三雲工区という)でそれぞれ供用が開始されている。両者とも、設計期間を従来の10年とするほかに、15年、20年とした場合の断面を設定し試験舗装を実施している(表-7、図-18、図-19参照)。

両工区の違いは、貝塚工区が片側2車線から1車線となる路線の1車線部分で施工されているのに対して、三雲工区は片側2車線の路線の走行車線で施工されていることと、三雲工区の2工区、3工区では上層路盤にシックリフト工法を適用している点である。

表-7 各工区のT<sub>A</sub>

舗装の設計期間	貝塚工区	三雲工区
10年相当	34.50cm	41.25cm
15年相当	37.25cm	43.50cm
20年相当	38.25cm	45.75cm

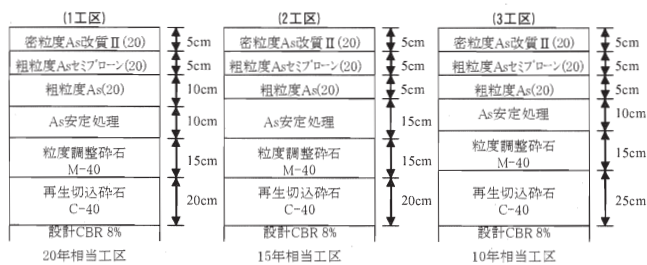


図-18 舗装構成(貝塚工区)

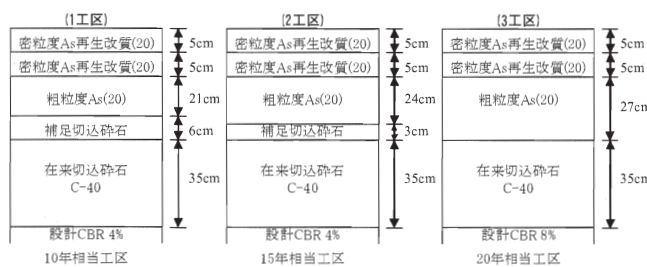


図-19 舗装構成(三雲工区)

##### (2) 路面性状の経年変化

###### 1) 平たん性

平たん性の経年変化を図-20に示す。各工区とも設計で見込んだ輪数に達していないが、いずれの工区も2mm未満であり、設計期間の違いや舗装構造の違いによる差は認められず、良好な平たん性を保持している。これは、表層に改質アスファルトやセミブローン

アスファルトなど荷重に対する変形抵抗性を高めた混合物を使用したことにも起因しているものと考えられる。

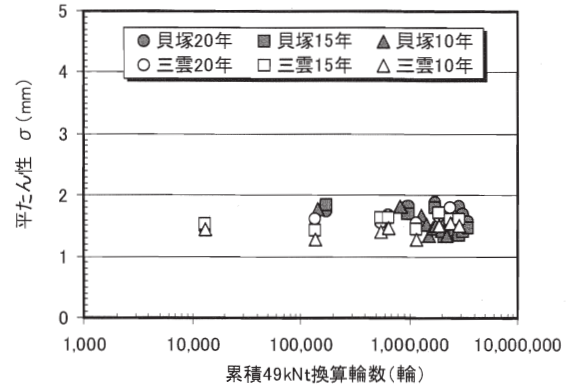


図-20 累積49kN換算輪数と平たん性の関係

###### 2) わだち掘れ

わだち掘れ量の経年変化を図-21に示す。100万輪以降増大する傾向にはあるが、いずれの工区も10mm未満であり、設計期間の違いや舗装構造の違いによる明確な差異は認められない。これは、平たん性と同様に、表層に改質アスファルトやセミブローンアスファルトなど荷重に対する変形抵抗性を高めた混合物を使用したことにも起因しているものと考えられる。

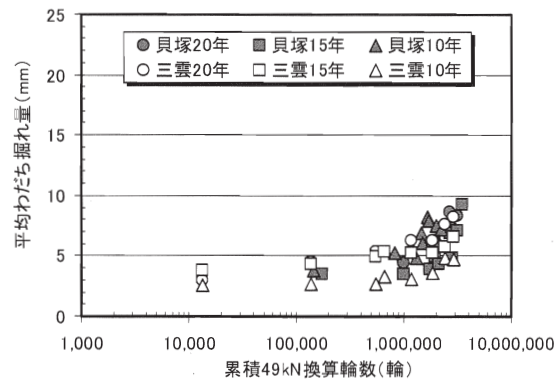


図-21 累積49kN換算輪数とわだち掘れ量の関係

###### 3) ひび割れ

ひび割れ率の経年変化を図-22に示す。100万輪以降微増傾向も認められるが、いずれの工区も2%未満とほとんどひび割れは生じていない。工区別で見ると、貝塚工区の方が大きくなっているが、これは三雲工区的设计 CBR が4%であるのに対して貝塚工区的设计 CBR は8%と大きいために、全舗装厚とアスコン層厚が薄くなっていることと、基層にセミブローンアスファルトを使用したことが影響しているものと考えられる。一方、同一工区内でのT<sub>A</sub>の違いによる差異について

ては、現段階では顕著な傾向は認められない。

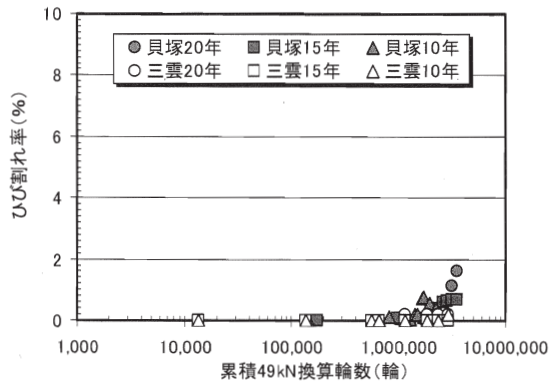


図-22 累積 49kN 換算軸数とひび割れ率の関係

#### 4) 路面たわみ (D<sub>0</sub>)

FWD で測定した路面たわみ量 (D<sub>0</sub>) の経年変化を 図-23 に示す。施工直後の値ではないため、疲労破壊輪数の推定は困難であるが、前述の (6) 式から設計期間に応じたたわみ量を求めると、10 年が 0.206mm、15 年が 0.191mm、20 年が 0.181mm であり、施工初期の段階では目標とする疲労抵抗性を有していたものと推察できる。

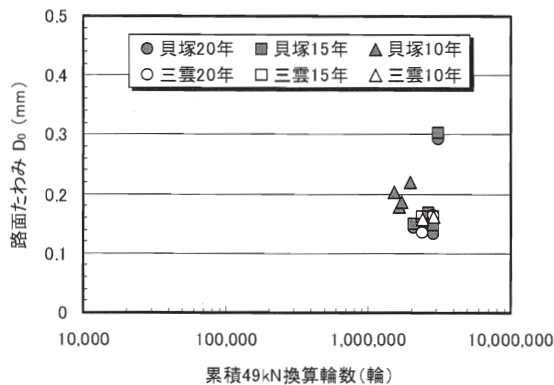


図-23 累積 49kN 換算軸数と路面たわみの関係

#### 5) まとめ

現段階では所定の設計輪数には至っていないため、いずれの舗装も健全であり、T<sub>A</sub>の増大の効果も明確となっていないことから、今後も調査の継続が必要と考える。ただし、路面のたわみから判断すると、所要の許容輪数を有しているものと推察される。

また、改質アスファルトやセミブローンアスファルトは、平坦性の保持やわだち掘れ対策としては有効であるが、セミブローンアスファルトはひび割れ抵抗性に劣ることがわかった。

### 3. 4. 2 コンポジット舗装による長寿命化の検討

#### (1) 試験舗装の概要

コンポジット舗装の試験舗装は、国道 52 号身延バイパス (以下、身延工区という) で実施され、10 年 3 月供用を開始した。

工区は 図-24 に示すとおり 3 工区設置され、表層に 5cm 厚の密粒度アスコンを用いた 2 工区を標準工区とした。1 工区は表層に 5cm 厚の密粒度アスコン、基層にリフレクションクラック対策として 5cm 厚の開粒度アスコンを用いた。3 工区は表層に 5cm の排水性アスコンを用いた。各工区とも転圧コンクリート(RCC)版厚は 25cm、アスファルト中間層は 5cm、路盤厚は 15cm である。

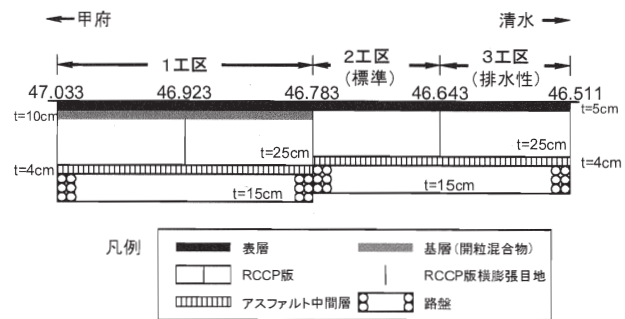


図-24 舗装構成 (身延工区)

#### (2) 路面性状の経年変化

##### 1) 平坦性

平坦性の経年変化を 図-25 に示す。アスコン層が 1 層で施工されている 2, 3 工区に比べて、アスコン層を 2 層施工している 1 工区の方が良好な性状を示しているが、いずれの値も概ね 2mm 以下であり、今後も急激な性能の低下はないように思われる。

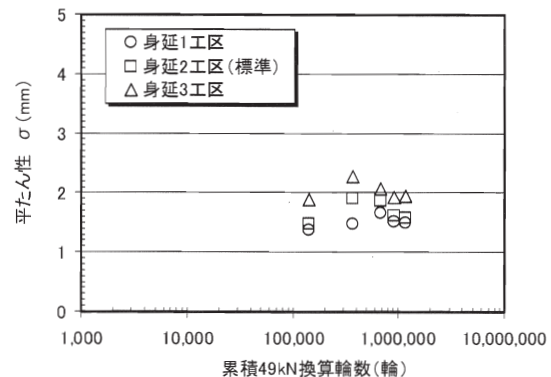


図-25 累積 49kN 換算軸数と平坦性の関係

##### 2) わだち掘れ

わだち掘れ量の経年変化を 図-26 に示す。微増傾向にはあるが、いずれの工区も 10mm 未満であり、舗装構造の違いによる明確な差異は認められない。

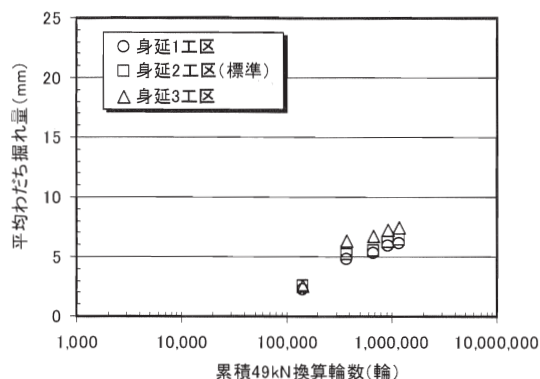


図-27 累積 49kN 換算輪数とわだち掘れ量の関係

### 3) ひび割れ

ひび割れ率の経年変化を図-28 に示す。10 万輪以降急激にひび割れが増加したように見られるが、これは下層のコンクリート版のひび割れが路面に達するまでに要した輪数と考えられる。また、ほとんどのひび割れはコンクリート版の横目地あるいは縦目地の近傍に発生しており、疲労破壊等の構造に起因するものではない。

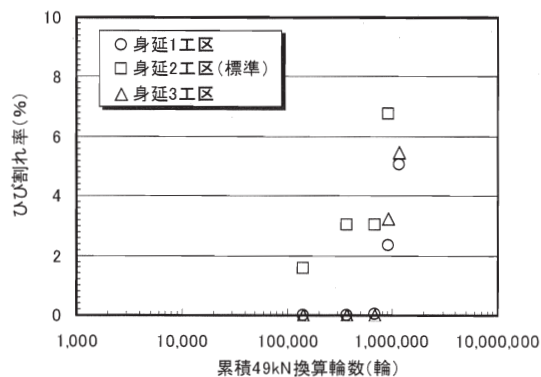


図-28 累積 49kN 換算輪数とひび割れ率の関係

### 4) 路面たわみ (D<sub>0</sub>)

FWD で測定した路面たわみ量 (D<sub>0</sub>) の経年変化を図-25 に示す。前述の (6) 式から設計期間に応じたたわみ量を求めると、10 年で 0.206mm、20 年で 0.181mm となるが、いずれも 0.1mm 程度であり、舗当該舗装は良好な構造的強度を有しているものと考えられる。

### 5) 目地部の荷重伝達特性

コンクリート版の目地部の荷重伝達率は、(9) 式で表わされる。

$$e = \frac{D_0}{(D_0 + D_{30})} \times 100 \quad \dots (9)$$

ここに、 $e$ : 荷重伝達率 (%)

$D_0$ : 載荷版直下の FWD たわみ (mm)

$D_{30}$ : 載荷版直下から 30cm の位置の FWD たわみ (mm)

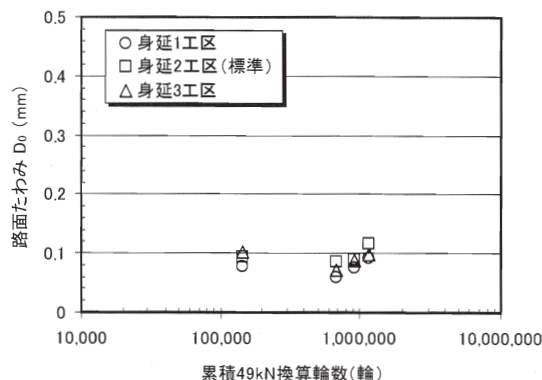


図-29 累積 49kN 換算輪数と路面たわみの関係

一般に、荷重伝達率が 65% 未満であれば、荷重伝達機能を有していないと判断される。荷重伝達率の算出結果を図-29 に示す。1 工区では 80% を保持しているが、2、3 工区では 65% を下回っており、荷重伝達機能の低下が顕著に現れている。これは、表層に用いているアスコン層の厚さの違いと混合物種別の違いによるものと考えられる。つまり、表層に開粒度タイプの混合物を使用した場合には、その層内に空気層が含まれることによって密粒度タイプの混合物とは温度伝達率が異なることで、コンクリート版のそりや収縮といった温度による変形が小さくなっているために、目地部もあまり損傷していないものと考えられる。

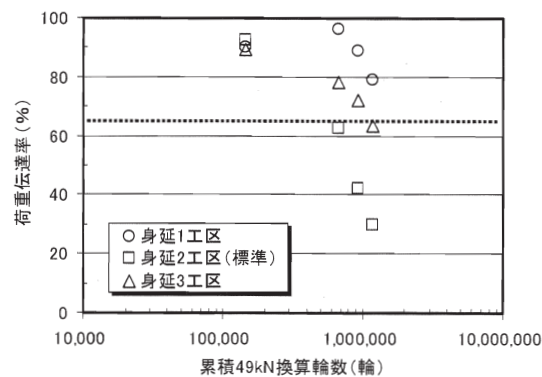


図-29 累積 49kN 換算輪数と荷重伝達率の関係

### 6) まとめ

T<sub>A</sub> の増大の試験舗装と同様、所定の設計輪数には至っていないため、今後も調査の継続が必要と考えるが、通常の舗装 (設計期間 10 年のアスファルト舗装) と比較すると、平坦性やわだち掘れ量では遜色ない良好な性状を示しており、特に路面たわみ量で見ると、良好な構造的強度を有していることがわかった。

また、表面機能層に開粒度タイプのアスコンを用いることで、目地部の破損を遅延させられることがわかった。

#### 4. まとめ

舗装の疲労破壊抵抗性の評価方法の提案、舗装の供用性の評価方法の提案、および疲労抵抗性と路面の性能の持続性に優れた舗装の提案を目的として、各種試験舗装の調査結果の分析を行った。

本研究の成果を取りまとめると、以下のようである。

- ① 車両重量調査の結果から、交通量区分に応じた疲労破壊輪数が提案でき、本成果は「舗装の構造に関する技術基準 (H13)」に反映された。
- ② 車両重量調査および新基準調査の結果から、アスコン層の疲労ひび割れに関する破壊規準が提案でき、本成果は「舗装設計便覧 (H18)」に反映された。
- ③ 新基準調査およびモニター調査の結果から、舗装の疲労破壊輪数について、FWD のたわみ量から推定する方法が提案でき、本成果は「舗装性能評価法 (H18)」に反映された。
- ④ 新基準調査の結果から、供用後の路面のひび割れ率やわだち掘れ量を予測する方法が提案でき、「舗装設計便覧」等の改訂に反映させる予定である。
- ⑤ ヒアリング等による国内外の調査結果から、舗装の供用性評価に必要な舗装の管理目標のあり方について整理でき、本成果は「舗装設計施工指針 (H18)」に反映された。
- ⑥ LCC 算定マニュアル素案に基づく解析結果から、供用による路面の劣化に伴う車両走行費用を考慮しなくても、LCC に大きな影響はないことがわかり、本成果は「舗装設計施工指針 (H18)」に反映された。
- ⑦ 試験舗装の追跡調査結果から、 $T_A$  を増大させた舗装やコンポジット舗装が長寿命化に寄与できることがわかったが、所定の設計輪数に至っていないため、今後も調査を継続する必要がある。本成果は「舗装設計施工指針」等の改訂に反映させる予定である。

#### 参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説，2001.
- 2) (社) 土木学会：FWD および小型 FWD 運用の手引き，舗装工学ライブラリー2，2002
- 3) (社) 土木学会：多層弾性理論による舗装構造解析入門，舗装工学ライブラリー3，2005
- 4) 阿部，丸山，姫野，林：たわみ評価指標に基づく舗装の構造評価，土木学会論文集，No.460/V18，pp.41-48，1993.

- 5) (財) 道路保全技術センター：FWD 運用マニュアル (案)，1996.
- 6) The Asphalt Institute : Research and Development of The Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS-1) Ninth Edition, RR-82-2, 1982.
- 7) 林，東，金井，岡部：FWD 試験における測定たわみの温度補正システムの開発，土木学会舗装工学論文集，第 2 巻，pp.95-104，1997.12
- 8) 近藤，三浦：アスファルト舗装体内温度の推定に関する研究，土木学会論文報告集，第 250 号，pp.123-132，1976.6
- 9) 雑賀，阿部，姫野，丸山：FWD から得られる特性値の温度補正に関する検討，舗装，pp.10-15，1995.8
- 10) Federal Highway Administration (US): Temperature Predictions and Adjustment Factors for Asphalt Pavement, Publication No. FHWA-RD-98-085, 2000
- 11) Lister, N.W., Kennedy, C.K. and Ferne, B.W.:The TRRL Method for Planning and Design of Structural Maintenance, Fifth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, pp.709-725, 1982.
- 12) 建設省土木研究所：新基準調査結果 (平成元年～平成 13 年)
- 13) 寺田，吉村，坂本，伊藤：FWD によるアスファルト舗装の疲労破壊輪数の評価に関する検討，土木学会舗装工学論文集 第 10 巻，2005.12
- 14) 寺田，谷口，吉田：アスファルト舗装の路面性状に及ぼす要因の検討，土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集，pp.37-38，2002.9
- 15) ドイツ道路・交通工学研究協会：Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßen-befestigungen (道路舗装の維持管理対策計画指針，ドイツ語)，2001.12
- 16) SETRA, LCPC : Preventive maintenance of the national road network, 1979.4
- 17) Highway Agency: Highway Design Manual for Road and Bridges, 2004.2
- 18) Highway Agency: Interim Advice Note 42/02, 2002.10
- 19) Ontario Department of Transport: Manual for Condition Rating, 1989.8
- 20) Virginia Department of Transport: State of the Pavement -2003, 2003.11
- 21) 建設省技術管理業務連絡会舗装部会：舗装データバンク実施要領，1983
- 22) 谷口，伊藤，野村，阿部：舗装データベースを用いた供用性曲線作成手法に関する研究，土木学会舗装工学論文集 第 8 巻，2003.12
- 23) 藪，伊藤：舗装マネジメントシステムの構築，土木技術資料 Vol.46 No.12，2004.12
- 24) 谷口，池田，小森谷：コンポジット舗装のひび割れ発生に関する調査，土木学会第 52 回年次学術講演会講演概要集 第 V 部，pp.100-101，1997.9
- 25) 建設省：第 34 回建設省技術研究会報告，指定課題「舗装の維持修繕の計画に関する調査研究」，1980
- 26) 高島，池田，谷口：長寿命化舗装の開発，土木技術資料，第 39 巻第 4 号，pp.56-61，1997.4
- 27) 谷口，池田：コンポジット舗装のリフレクションクラック対策に関する調査，舗装，第 32 巻第 37 号，1997.7