

連続鉄筋コンクリート版をベースとしたコンポジット舗装の設計法に関する研究

西澤辰男¹・七五三野茂²・小松原昭則³・小梁川雅⁴

¹正会員 工博 石川工業高等専門学校助教授 環境都市工学科 (〒 929-03 河北郡津幡町北中条)

²正会員 工修 日本道路公団試験研究所 舗装研究室長 (〒 194 東京都町田市忠生 1-4-1)

³正会員 日本道路公団試験研究所 舗装研究室 主任研究員 (〒 194 東京都町田市忠生 1-4-1)

⁴正会員 工博 東京農業大学講師 農学部農業工学科 (〒 156 東京都世田谷区桜丘 1-1-1)

本研究では、連続鉄筋コンクリート舗装版 (CRCS) をベースとしたコンポジット舗装の力学的な挙動を表現する合理的な構造モデルを構築し、この種の舗装に対する構造設計法を開発することを目的としている。本研究で開発した構造設計法は CRCS の疲労解析を基本とし、CRCS の応力解析法として Winkler 地盤上の平板 FEM と複合平板理論を組み合わせた解析モデルを用いる。アスファルト層の効果としては、荷重分散によるコンクリート版内の交通荷重応力の減少とともに、温度勾配の低減効果を温度低減係数の形で考慮する。これらの効果について実測データによって検討を行い、設計に必要な係数値を得た。さらにこれらのモデルを用いて疲労解析を行い、設計要因が疲労度に及ぼす影響についても調べた。

Key Words : Structural design, Composite pavement Continuously reinforced concrete base, FEM analysis, Fatigue analysis

1. はじめに

連続鉄筋コンクリート舗装版 (以下 CRCS) をベースとし、表層にアスファルト混合物を施工するコンポジット舗装がある^{1),2)}。CRCS をベースとしたのは、高い構造的耐久性に加えて、温度変化によるひび割れ部での変位が小さく、レフレクションクラックの防止効果が期待できるからである。CRCS の厚さは 20~25cm 程度、アスファルト表層は 5~10cm 程度の断面構成を想定している。このようなコンポジット舗装は、コンクリート舗装の耐久的な構造特性とアスファルト舗装の良好な表面性状を併せ持った優れた舗装となりうる潜在性を持っている。しかしながら、力学性状の大きく異なる材料を組み合わせた舗装の挙動については不明な点が多く、この種のコンポジット舗装の設計法は確立されていない。

本研究では、CRCS をベースとしたコンポジット舗装の力学的な挙動を実験や現場測定によって明らかにした上で、合理的な構造モデルを構築し、この種の舗装に対する構造設計法を開発することを目的としている。本研究で開発した構造設計法の基本的な考え方は以下の通りである。

- 主に CRCS が交通荷重を支える構造的な役割を担うとする。
- アスファルト表層は良好な表面性状を確保する役割を持つが、構造的な役割は付加的なものとする。

このようなことから、CRCS の疲労解析をコンポジット舗装の構造設計法の中心とし、疲労解析法はコンクリート舗装のそれに従うとした。

疲労解析においては CRCS 内の荷重応力と温度応力を算定する必要がある。CRCS の応力解析法としては著者らが開発を進めている Winkler 地盤上の平板 FEM に基づいた解析モデルを用いる。このモデルにおいては CRCS 特有の微細な横ひび割れを 3 種類の線形ばねでモデル化している。

アスファルト表層の効果としては、荷重分散によるコンクリート版内の交通荷重応力の減少とともに、温度勾配の低減による温度応力の減少が考えられる。本研究においては、前者の力学的効果については複合平板理論に基づいた換算版厚によって考慮し、後者の温度勾配低減効果については低減係数を導入することによってモデルに組み込む。具体的な計算に必要なモデルのパラメータの値は、試験舗装による実測データから算定した。さらに、提案された構造モデルに基づいて疲労解析を行い、設計要因が疲労度に及ぼす影響についても調べた。

2. 構造モデル

(1) 複合平板理論

CRCS とアスファルト混合物層を 2 層から成る複合平板と考えて応力計算をする方法がある³⁾。この方法

によれば、アスファルト表層の力学的効果は CRCS の付加的な換算厚として捉えられる。すなわち、図-1 に示されるような2層の平板を CRCS のみからなる平板に置換した場合の等値換算厚 h^* は次式のようになる。

$$h^* = \frac{\alpha + 2\beta + \beta^2}{\alpha + \beta} h_2 \quad (1)$$

ここに

$$\alpha = \frac{E_2}{E_1} \frac{1 - \mu_1^2}{1 - \mu_2^2}$$

$$\beta = \frac{h_1}{h_2}$$

E_1, μ_1, h_1 : アスファルト表層の弾性係数,
ポアソン比および厚さ

E_2, μ_2, h_2 : CRCS の弾性係数,
ポアソン比および厚さ

である。この等値換算厚 h^* を用いて平板 FEM 解析を行って、CRCS 内の応力を計算するのである。

(2) CRCS の FEM モデル

CRCS の応力解析法としては著者らが開発を進めている Winkler 地盤上の平板 FEM に基づいた解析モデルを用いる。このモデルにおいては CRCS 特有の微細な横ひび割れを3種類の線形ばね、せん断、曲げ、ねじりでモデル化している。このモデルにおいてはばね定数の値が重要であり、本研究においてはこれまでの研究結果に基づいて決定した^{4),5)}。すなわち、せん断、曲げ、ねじりのばねに対するばね係数をそれぞれ、 κ_w , κ_t , κ_n とすれば、それらの値は荷重応力および温度応力の算定に対して表-1 のようになる。

本来であれば、これらの値は荷重応力と温度応力に対して同じ値を持つはずである。しかしながら、ひび割れ部の挙動はそのひび割れ幅によって大きく変化し、またひび割れ幅は版温度によって変化する。すなわち、版温度とともに時々刻々とばね定数の値も変化することになり、このような変化を設計において考慮するとあまりにも計算が繁雑になる。一方で、ばね係数値の増

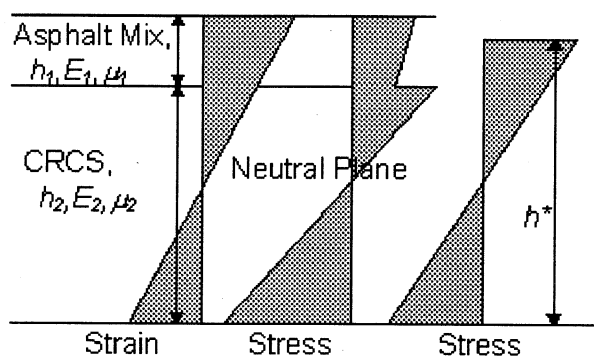


図-1 複合平板理論の考え方

表-1 ばね定数の値

ばね定数	荷重応力	温度応力
κ_w (MPa)	5×10^3	10^6
κ_t (MN/m)	10^7	10^9
κ_n (MN/m)	0	0

表-2 試験区間の断面とコンクリートおよび路盤の性状

項目	A 区間 (上り)	B 区間 (下り)
コンクリート版		
版幅 [m]	3.0	4.5
版厚, h_2 [mm]	220	250
縦方向鉄筋間隔 [D16,mm]	150	125
鉄筋比 [%]	0.6	0.64
横方向鉄筋間隔 [D16,mm]	500	500
弾性係数, E_2 [MPa]	3.10×10^4	3.47×10^4
ポアソン比, μ_2	0.137	0.134
表層		
アスファルト混合物, h_1 [mm]	80	50
路盤		
セメント安定処理層 [mm]	150	150
路盤 k_{30} 値 [MN/m ³]	186	43

表-3 載荷試験時における CRCS 内の温度 [°C]

試験 時期	A 区間		B 区間	
	T_a	ΔT	T_a	ΔT
2 月	7.7	0.5	6.4	2.3
5 月	19.1	2.5	20.2	7.1
8 月	30.9	0.5	37.5	1.8
10 月	18.0	0.5	19.9	2.4

加によってひび割れ縁部の荷重応力は減少するが、温度応力についてはむしろ増加する傾向のあることが明らかになっている。このようなことから、荷重応力と温度応力の算定に対して安全側になるような別個の値を設定し、計算においては一種の定数として取り扱うことにした。

3. アスファルト表層の効果

(1) 力学的効果

アスファルト表層の構造的な寄与分を考慮するために複合平板理論を採用する際、アスファルト表層の弾性係数の設定が非常に重要である。本研究においては、試験舗装における載荷実験結果を用いて、複合平板理論の適用性ならびにアスファルト表層の弾性係数値について検討した。この実験は CRCS 施工直後、アスファルト表層施工後、さらに季節ごとに同一個所において荷重を作用させ、CRCS に生ずるひずみからアスファルト表層の効果を明らかにしようとしたものである。

表-4 各載荷試験で得られたひずみとその比

試験時期	中央部 $\times 10^{-6}$	縁部 $\times 10^{-6}$	比 %
A 区間			
2 月	82	153	-
5 月	81	143	-
8 月	56	139	94
10 月	18	58	39
B 区間			
2 月	97	148	-
5 月	75	145	-
8 月	73	148	93
10 月	51	125	73

CRCP の試験舗装区間は、山陽自動車道吹田山口線の兵庫県三木市の約 1.8km の上下区間である。その一部に載荷試験および温度応力測定用にひずみゲージを設置した試験区間を設けた。舗装断面は表-2 に示すような 2 種類である⁴⁾。以降、これら上下方向の試験区間をそれぞれ A 区間および B 区間と呼ぶ。

アスファルト表層の有無によって CRCS 内のひずみがどのように影響を受けるかについて調べるため、載荷試験をアスファルト表層を施工する前の 2 月および 5 月に行い、アスファルト表層を施工したのちの 8 月と 10 月にも実施した。荷重作用位置は、A、B 区間とも、中央部、自由縁部、ひび割れ縁部およびひび割れ隅角部の 4 個所である。載荷はレッカー車 (441kN 級) を反力として、ジャッキによって直径 300 mm の円形載荷板を介して行った。

表-3 に載荷試験時における CRCS 内の平均温度 T_a と上下面の温度差 ΔT をまとめた。試験時期によって T_a はかなり異なるが、 ΔT は B 区間の 5 月以外は比較的小さく、その影響は少ないと思われる。

表-4 はそれぞれの載荷試験における荷重直下のひずみをまとめたものである。ここには、ひび割れ部の影響が比較的少ないと考えられる横ひび割れの間の中央部および自由縁部載荷の値を示した。ひび割れ近くの挙動はアスファルト表層の影響ばかりでなく、温度によって変動するひび割れ幅の影響を受けるためである。

2 月と 5 月は CRCS に直接、196kN まで載荷したが、8 月および 10 月の載荷はアスファルト表層に荷重を作用させるため最大荷重は 98kN までとした。表の値は荷重とひずみの線形性を仮定して 196kN の荷重に対する底面のひずみに換算したものである。全体として、アスファルト表層があるとひずみの値も小さくなる傾向が伺える。このような傾向は他の試験においても報告

されており⁶⁾、アスファルト表層の力学的効果は明らかである。ただし、アスファルト表層の無い 2 月と 5 月でもひずみの測定値にはばらつきがある。また、アスファルト表層がある場合でも 8 月と 10 月ではひずみの値が異なる。一般にアスファルト混合物の弾性係数は温度や載荷時間によって大きく変化することが知られている。本試験の場合、載荷速度は試験の時期によらず一定なため、この差はアスファルト表層の温度によるアスファルト混合物の弾性係数の違いによるものと考えられる。

アスファルト表層による荷重応力の低減効果を調べるために、アスファルト表層の無い場合のひずみとアスファルト表層のある場合のひずみの比をとり、表-4 に示した。ただし、基準となるアスファルト表層の無い場合のひずみは 2 月と 8 月の平均とした。また、後の計算結果によればアスファルト表層の影響は載荷条件によらないので、ひずみの比は中央載荷と縁部載荷の比の平均をとった。8 月に比べ、10 月の低減効果はかなり大きく、また A 区間よりも B 区間の方が低減効果が小さいことが分かる。このような傾向は、8 月に比べ 10 月の方がアスファルト表層の温度が高く弾性係数も大きくなること、B 区間よりも A 区間の方が CRCS の厚さに対するアスファルト表層の厚さの比が大きいことで説明されるように思われる。

以上のような傾向を定量的に解析するために、試験区間の構造に対して前項で述べた構造モデルによって応力とたわみを計算し、アスファルト表層の無い場合の値との比がアスファルト表層の弾性係数によってどのように異なるかを調べた。その結果が図-2 および図-3 である。縦軸は応力あるいはたわみの比、横軸はアスファルト表層の弾性係数である。荷重条件としては、中央載荷と自由縁部載荷の場合を想定した。複合平板理論の妥当性を検証するために、中央載荷の場合にはこのモデルの他に、軸対称有限要素法による計算結果も示してある。アスファルト表層の弾性係数が大きくなるに従って応力およびたわみに比は減少していく傾向は明らかである。アスファルト表層の厚さの CRCS の厚さに対する比は、A 区間の方が B 区間よりも大きいので、アスファルト表層の弾性係数の影響も大きい。また、その影響の荷重作用位置による違いはないが、応力とたわみではやや差があり、応力に対する影響の方が大きい。アスファルト表層の弾性係数が 25000MPa 以下においては、複合平板理論と軸対称有限要素法の結果はほとんど一致する。この結果より、一種の簡便法である複合平板理論が、3 次元の効果を考慮している軸対称有限要素法と同じ結果を得ることが確認できた。

数値計算の結果と載荷試験によって得られた結果と合わせて、アスファルト表層の弾性係数を推定する。表-4

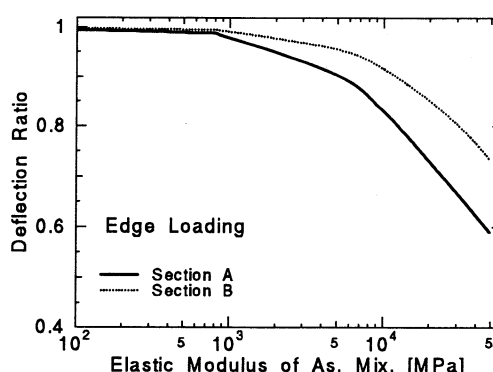
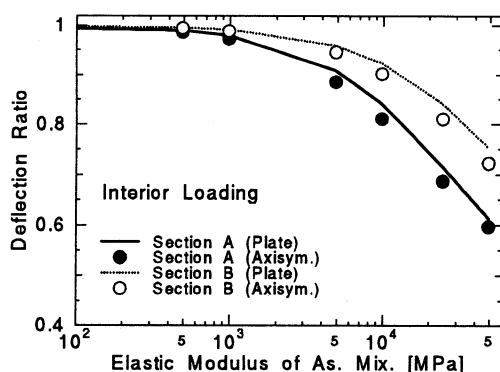
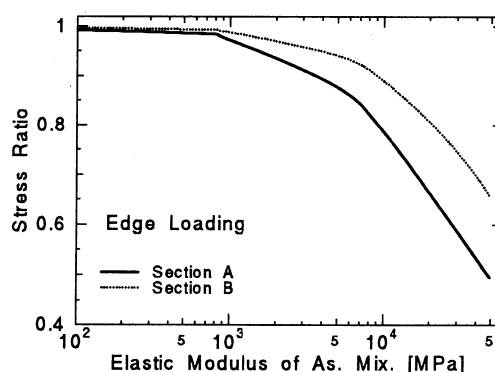
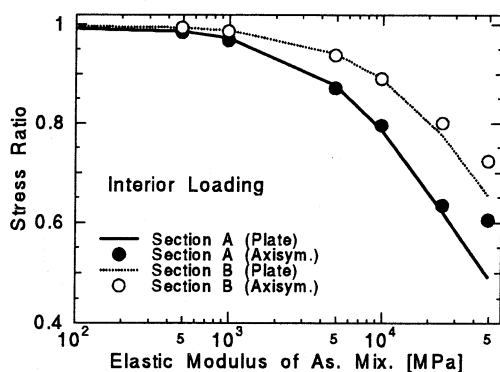


図-2 アスファルト表層の弾性係数の影響 (中央載荷)

図-3 アスファルト表層の弾性係数の影響 (縁部載荷)

表-5 ひずみの比から推定されるアスファルト表層の弾性係数

時期	A 区間 (MPa)	B 区間 (MPa)
8 月	9000	8000
10 月	50000	25000

の比に対応するアスファルト表層の弾性係数値を読み取った結果を表-5に示す。全体として、アスファルト表層の弾性係数はかなり高い値となっている。A区間の10月は図に示された範囲を越えたために上限値を取った。通常の計算に用いるアスファルト混合物の弾性係数の範囲は約5000 MPaから10000 MPa程度であるから、この結果は予想以上といえる。また予想されたように、10月に比べ8月の弾性係数はかなり高く、A区間よりもB区間の方がやや高い弾性係数の値を示している。このような結果となった理由としては以下のようなことが考えられる。

1. 8月と10月の載荷試験においては、アスファルト表層に荷重を直接作用させるため、アスファルト表層に過剰な塑性変形が生じないように最大荷重を98kNまでとした。そのため計測に十分なCRCS内のひずみ値が得られず、誤差が大きい。
2. アスファルト表層の応力状態は圧縮であり、混合

物内の骨材の噛み合わせ効果が増進され、その結果として剛性が増加した。

3. 弾性理論では捉えられない非線形効果などが現れた。

以上の結果から、本研究においては設計に用いる構造物モデルとして、以下のような考え方をとった。複合平板理論に基づいて推定されたアスファルト表層の弾性係数は通常用いられている値よりもかなり高い値を示すが、アスファルト表層とCRCSを同時に扱える実用的な理論が他に見当たらないことから、基本的には複合平板理論を採用する。その際のアスファルト表層の弾性係数の最大値を10000 MPaとして設定する。この値はアスファルト混合物の弾性係数としては高いが、実験結果からこれ以上の値が得られたこと、アスファルト表層の弾性係数を高く見積もると危険側となることから、実験結果の下限側の値を採用することとした。

(2) 温度低減効果

本研究においてはCRCSの温度応力に対して、FEM解析に基づいた温度応力計算法を採用した⁵⁾。この計算法はそり応力成分から非線形成分を相殺するために、低減係数を乗ずるものであり、通常のコンクリート舗装に対して岩間が提案した式^{8),10)}と同程度の精度を有

表-6 アスファルト表層の有無による版温度差の違い (試験区間, Section A)

断面構成	気温 ℃	上下面の温度差 ℃	
		正の場合	負の場合
A 区間 (CRC:20cm)			
CRC	1.8	3.2	-2.1
As.(8cm)+CRC	2.0	2.2	-1.7
Ratio	1.01	0.65	0.80
B 区間 (CRC:25cm)			
CRC	-0.3	2.5	-3.0
As.(5cm)+CRC	2.1	2.3	-2.0
Ratio	-6.00	0.91	0.66

する。

コンポジット舗装においてはアスファルト表層が表面にあるため、この層によって CRCS の温度振幅は減少する。それとともに CRCS 内の温度勾配も減少し、その結果として温度応力も減少する。問題となるのはアスファルト表層の存在によって、どの程度温度勾配が低減するかということである。

さきほど述べた試験区間においては温度測定も同時に行っている。載荷試験の前後に2週間にわたり CRCS の上中下の温度を1時間毎に計測し、さらにアスファルト表層の有無の影響を見るために、翌年の2月にも1週間に渡って温度測定を行った。図-4 の上の図は A 区間のアスファルト表層施工前後の測定における気温の頻度累積曲線である。それぞれの測定時の気温の分布はほぼ同様であり、平均温度もそれぞれ 1.8°C および 2.0°C であって、測定年は異なっても温度条件としては同じと考えてよい。図-4 の下の図は A 区間のアスファルト表層施工前後の測定における CRCS 層上下面の温度差の頻度累積曲線であり、温度差が正の場合と負の場合に分けて示している。気温条件がほぼ同じであるにもかかわらず、アスファルト表層施工後の温度差は、施工前に比べて温度差の小さい値の頻度が多いことがわかる。

表-6 は、気温および温度差が正のときと負のときの温度差の平均値をまとめたものである。温度差はアスファルト表層施工前に比べて、施工後は10から40%程度減少することが分かる。ただし、B 区間については気温の平均が異なるため同じ温度条件における比較とはならない。これらの測定は年度をまたいで行ったアスファルト表層施工前後での間接的な比較である。

一方、1m×1m のコンクリート版の表面にアスファルト表層を設けてモデル舗装を製作し、コンクリート版内の温度差を1年間連続的に計測した例がある。こ

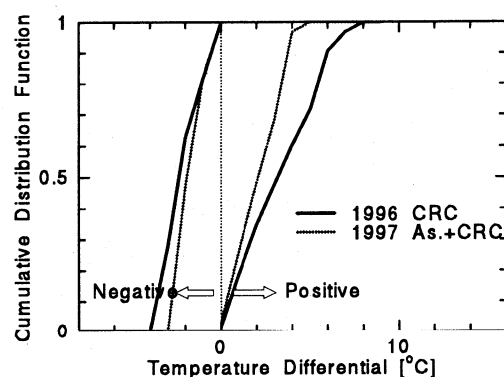
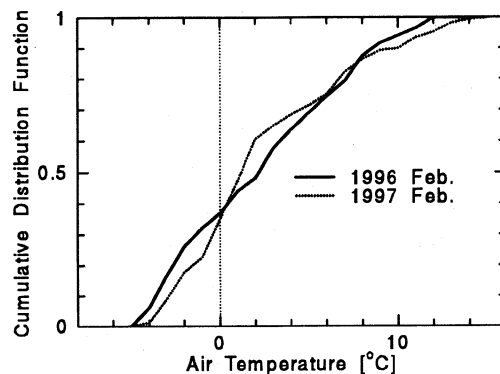


図-4 温度差の頻度分布に及ぼすアスファルト表層の影響 (試験区間)

の計測におけるコンクリート版とアスファルト表層の組み合わせは以下の7種類である。

- 厚さ 15cm のコンクリート版 (CS) のみ
- 厚さ 15cm のコンクリート版+厚さ 10cm のポーラスアスファルト表層 (Porus)
- 厚さ 15cm のコンクリート版+厚さ 10cm の密粒アスファルト表層 (Dense)
- 厚さ 20cm のコンクリート版のみ
- 厚さ 20cm のコンクリート版+厚さ 5cm のポーラスアスファルト表層
- 厚さ 20cm のコンクリート版+厚さ 5cm の密粒アスファルト表層
- 厚さ 20cm のコンクリート版+厚さ 10cm のポーラスアスファルト表層

アスファルト表層のあるコンクリート版とないコンクリート版の温度差を同時に測定しているため、温度差の低減効果を直接検討できる。図-5 は1年間に渡って測定した結果の累積頻度分布である。先程と同様に、温度差が正の場合と負の場合を別々に示している。明らかに、アスファルト表層があると、温度差の小さい値の頻度が大きくなっていることが分かる。このことは温度差が正負の場合でいえる。また、アスファルト表

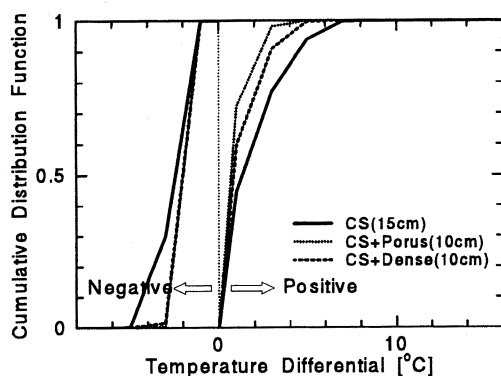


図-5 温度差の頻度分布に及ぼすアスファルト表層の影響 (モデル舗装)

表-7 アスファルト表層の有無による版温度差の違い (モデル舗装)

断面構成	正の場合		負の場合	
	°C	比	°C	比
CS (15cm)				
CS	2.7	1.00	-1.6	1.00
Porus(10cm)+CS	1.6	0.59	-1.0	0.63
Dense(10cm)+CS	2.0	0.74	-1.0	0.63
CS (20cm)				
CS	4.2	1.00	-2.2	1.00
Porus(5cm)+CS	3.6	0.86	-1.9	0.63
Dense(5cm)+CS	3.5	0.83	-1.6	0.74
Porus(10cm)+CS	2.8	0.54	-1.2	0.56

層の厚さが厚くなるほど温度差の小さい値の頻度が大きくなっている。

さきほどと同様にそれぞれの平均を計算し、アスファルト表層が無い場合との比をとってまとめたものが、表-7である。この表から、アスファルト表層による温度差の減少は30%から40%程度あることがわかる。

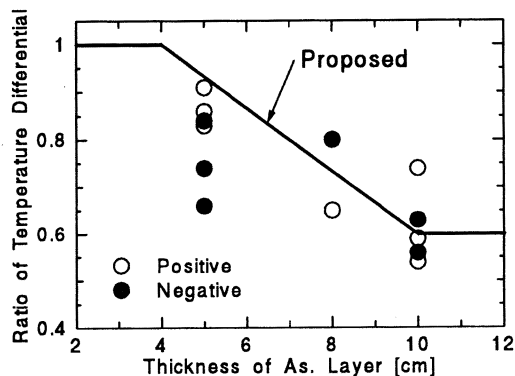


図-6 温度差低減効果とアスファルト表層の厚さの関係

このような温度低減効果を、アスファルト表層の無い場合を基準とした比をとりアスファルト表層の厚さとの関係としてまとめたものが図-6である。この図より、アスファルト表層の厚さが厚くなるほど比が小さくなり、温度差の低減効果が高いことがわかる。本研究においては、構造設計におけるアスファルト表層による温度低減効果を通常のコンクリート舗装の温度差に対して低減係数を乗じることによって考慮する。その際、低減係数としてはこれまでの検討結果を踏まえ、アスファルト表層が4cm以下の場合は1.0、10cm以上の場合は0.60とし、その間は厚さとの直線的な関係を仮定した。この関係を図-6の実線で示した。

4. 疲労設計法

(1) CRCSの疲労設計法

本研究において提案する構造設計法の手順は基本的にコンクリート舗装の疲労設計であって、まとめると以下ようになる。

1. 道路の重要度から、破壊確率を設定する。
2. 交通条件、温度条件などの設計条件を設定する。
3. 舗装構造を設定する。
4. 舗装構造に対応した材料定数を設定する。
5. CRCSの横ひび割れ間隔、ばね定数を設定する。
6. 車輪走行位置に対応した軸配置による荷重応力をFEMによって計算する。
7. 温度低減係数を設定し、FEMに基づいて温度応力を計算する。
8. 6と7の結果を組み合わせる疲労解析を行い、疲労寿命を算定する。
9. 想定した断面について、設計案として妥当かどうかを判定する。

このような手順に従って構造計算を行う場合、応力解析の他に疲労曲線、輪荷重分布、車輪走行位置分布、温

度差頻度分布の設定が必要である。本研究においてこれらの項目の設定について簡単に説明する。

疲労曲線 疲労曲線はコンクリート標準示方書舗装編に提示されているものを採用する^{11),12)}。この疲労曲線は破壊確率によって定義されており、道路の重要度によって使い分けることができる。

荷重分布 輪荷重分布は日本道路公団の設計要領に従い、5tf以上の輪荷重分布を指数分布に近似した⁹⁾。

走行位置分布 走行位置分布は大型車のそれを正規分布とし、過去の研究に基づいてその標準偏差を20cmとおいた¹³⁾。

温度差頻度分布 CRCSの温度差の頻度分布は通常のコンクリート舗装と同じと考え、セメントコンクリート舗装要綱に示されている温度差分布を採用する¹⁰⁾。ただし、この温度差に先に述べた低減係数を乗じて温度応力を算定する。

(2) 疲労度の算定

疲労解析にあたっては次式で定義される疲労度を計算し、この疲労度が1.0を越えた場合そこからひび割れが発生すると考える。

$$F_d = \sum_i \frac{n_i(\sigma_i)}{N_i(s_i)} \quad (2)$$

ここに、

- F_d : 疲労度
- $\sum_i$: すべての応力レベルについて繰り返すことを示す
- $n_i(\sigma_i)$: 合成応力 σ_i の発生頻度
- $N_i(s_i)$: 応力レベル($s_i = \sigma_i/\sigma_a$)に対する破壊繰り返し数
- σ_a : コンクリートの曲げ強度

具体的な計算にあたっては、走行位置分布を幅1mの範囲で25cm単位で分割して考える。図-7に示すように、まずFEMによって車輪の平均走行位置における最大応力の発生する地点を探し出し、疲労度を計算する参照点とする。次に、大型車後軸の走行位置を平均走行位置から-50、-25、25、50と移動させ、それぞれの場合において参照点における曲げ応力を計算する。それぞれの荷重応力の発生頻度は、仮定した走行位置分布の相対頻度 f_l および仮定した輪荷重分布の相対頻度 f_p より求めることができる。

荷重応力を計算した点の温度応力は温度差に低減係数を乗じたものから、FEMによって計算する。したがって、その頻度は温度差の相対頻度 f_t と同じとなる。すると温度応力と荷重応力の和である合成応力の頻度 n_i は、 N_{total} を設計期間にわたる総軸数とすると以下のよ

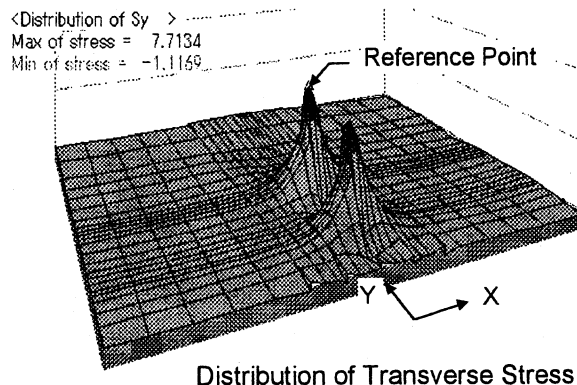
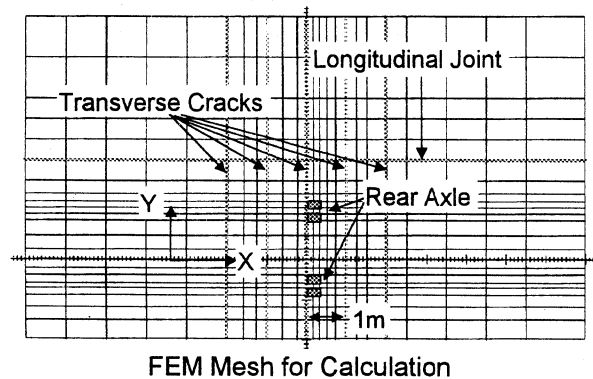


図-7 FEMによる荷重応力の計算例

うになる。

$$n_i = f_l \cdot f_p \cdot f_t \cdot N_{total} \quad (3)$$

一方、合成応力とコンクリートの曲げ強度の比である応力レベルから、コンクリートの疲労曲線を用いて破壊繰り返し数 N_i を計算する。したがって、 σ_i に対する疲労度の増分は

$$\delta F_d = \frac{n_i}{N_i} \quad (4)$$

となる。このような計算を走行位置、輪荷重、温度差の頻度分布にわたって繰り返し δF_d を合計することによって F_d を求める。

5. 各種要因の影響

(1) 計算条件

本章では本研究において提案したコンポジット舗装の構造設計法の感度解析を行い、各種設計要因の影響について調べることにした。計算条件は以下のとおりである。

- 設計期間：40年
- 大型車累積軸数：1,043,070,813
- 疲労曲線：破壊確率5%,20%,50%
- アスファルト表層の厚さ：0から12cmまで2cmきざみ

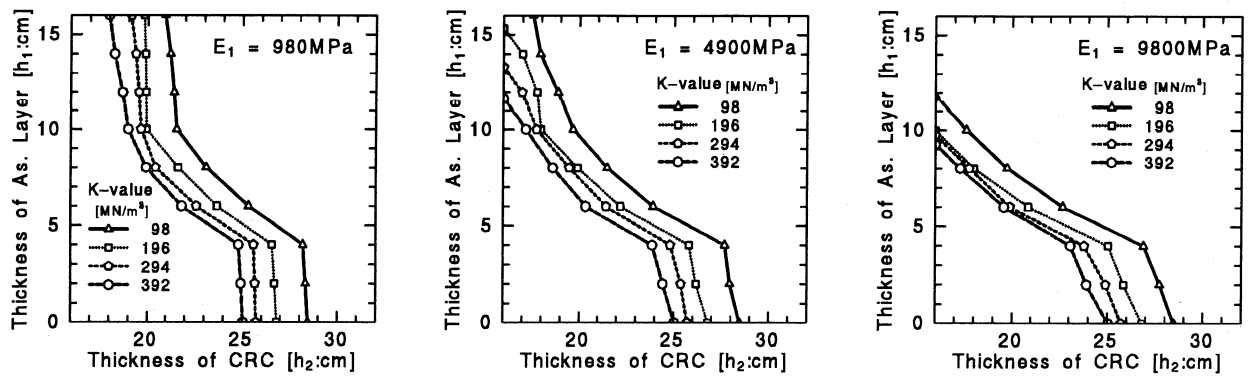


図-8 CRCS の厚さとアスファルト表層の厚さの関係 (破壊確率 50%)

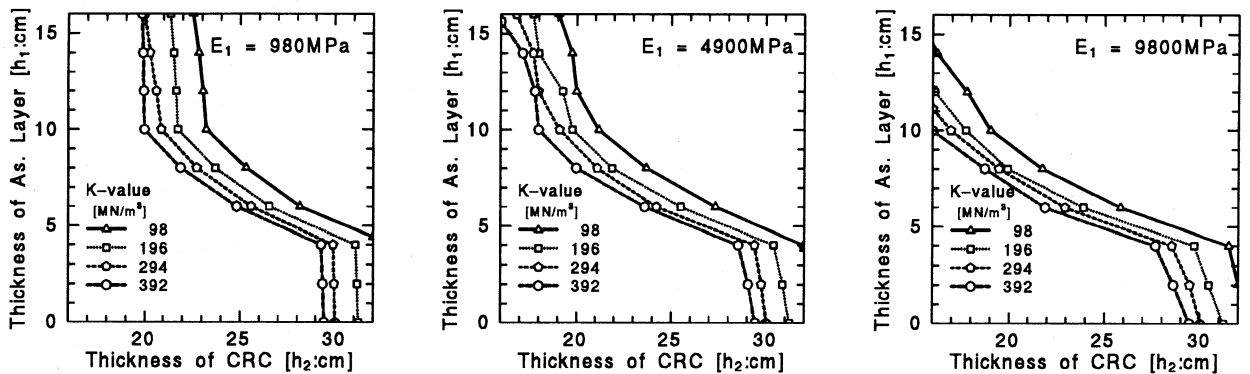


図-9 CRCS の厚さとアスファルト表層の厚さの関係 (破壊確率 20%)

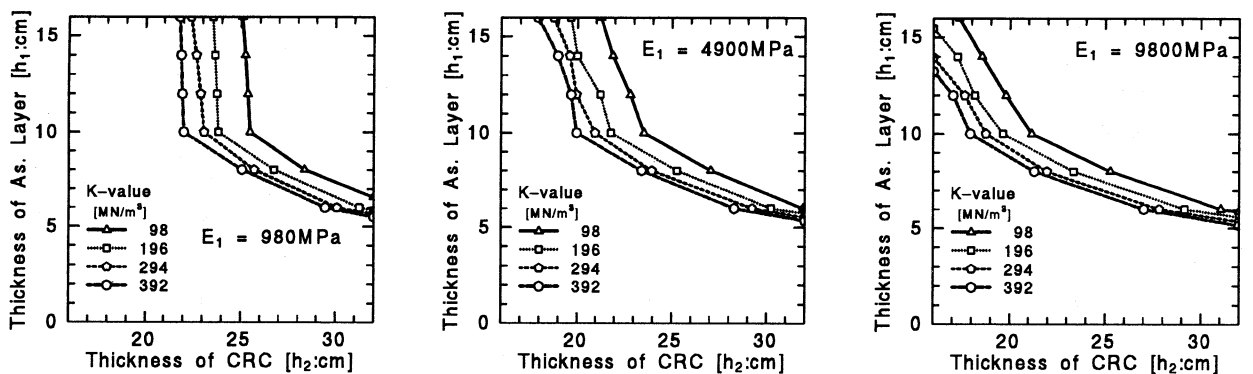


図-10 CRCS の厚さとアスファルト表層の厚さの関係 (破壊確率 5%)

- アスファルト表層の弾性係数: 980MPa, 4900MPa, 9800MPa
- CRCS の厚さ: 16 から 32 まで 2cm きざみ
- CRCS の幅: 4.5m
- CRCS のひび割れ間隔: 1m
- CRCS のひび割れのばね定数: 表-1
- コンクリートの曲げ強度: 4.41MPa
- コンクリートの弾性係数: 34300MPa
- コンクリートのポアソン比: 0.2
- コンクリートの曲げ強度: 4.3MPa
- コンクリートの線膨張係数: $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
- コンクリートのポアソン比: 0.2
- 路盤 K 値: 98MN/m³, 196MN/m³, 294MN/m³, 392MN/m³

(2) 計算結果

図-8 から図-10 に計算結果をまとめた。これらの図は横軸に CRCS の厚さ h_2 、縦軸にアスファルト表層の厚さ h_1 をとり、疲労度が 1.0 となるそれぞれの組み合わせを結んで得られたものである。得られた曲線の傾きが急であるほど、 h_1 を増加させても h_2 の減少にはつながらないことを示している。1つの図には路盤 K 値をパラメータとし、その値を変えた曲線をプロットした。右から、980MPa, 4900MPa, 9800MPa とアスファルト表層の弾性係数を変えた場合の図を破壊確率毎にまとめて示している。

得られた曲線は3つの部分, すなわち, h_1 が4cm以下の部分, h_1 が10cm以上の部分, およびそれらの中間部で曲線の様相が異なる. これは仮定した h_1 による温度低減効果をそのまま反映しているのである. h_1 が4cmから10cmの間におけるアスファルト表層の影響は非常に大きく, h_1 の増加によって h_2 をかなり減少させることができる. それ以外の部分では h_1 の増減は h_2 の増減にあまり影響しない.

また, アスファルト表層の弾性係数が大きくなるほど, 換算版厚に及ぼすアスファルト表層の寄与が大きくなるために, 全体として曲線の傾きはゆるやかになる. もし, アスファルト表層の弾性係数がCRCSのそれと同じであれば, この曲線の傾きは-1の直線になることは明らかである. したがって, アスファルト表層の弾性係数がコンクリートの弾性係数を超えなければ, この曲線の傾きが-1より緩くなることはありえないが, さきほど述べたような温度低減効果が加わるために中間部分でかなり緩やかな勾配となっているのである.

路盤K値が98MN/m³から196MN/m³に増加すると h_2 を1.5cm減少できるが, 285MN/m³から382MN/m³へと同じ増加分に対して h_2 の減少分は0.5cmにすぎない. このように路盤K値はある程度大きくなるとその増加による版厚の減少はかなり小さくなる.

疲労曲線の影響は非常に大きく, 破壊確率を50%に設定すると $h_1=0$ であっても設計案として成り立つ場合があるが, 破壊確率を5%に設定すると, $h_2=32$ cmとしても最低で h_1 は5cm以上必要となる. もともと狭い間隔で多くの横ひび割れが発生しているCRCSに縦ひび割れが発生した場合, その影響は致命的である. したがって, 破壊確率としては通常のコンクリート舗装より小さく設定することが望ましいように思われる. その場合, CRCS層のみで40年の設計寿命を期待するのは無理であって, コンポジット舗装とする設計案が妥当な選択となろう.

6. まとめ

本研究で開発された設計法に基づいていくつかの断面について試設計を行い, 感度解析を行った. その結果, 以下のことが明らかとなった.

1. アスファルト表層の力学的効果は予想以上に高く, その弾性係数値は最大で10000MPa程度まで設定できる.
2. アスファルト表層によるCRCSの温度差の低減効果はその厚さが5cm以上のときに認められ, 10cm

になると約40%程度温度差が低減される.

3. 疲労解析に基づいた厚さの組み合わせでは, アスファルト表層の厚さの効果はその厚さが4cm以下の場合にはあまりないが, それ以上になると温度差低減効果が加わってかなり大きなものになる.
4. 破壊確率による疲労曲線の影響は非常に大きく, 設計においては破壊確率の設定が重要となる.
5. 路盤K値の増加によりCRCSの厚さを減少させることができるが, その効果はK値の値が大きくなると小さくなる.

本研究において提案する構造設計法では表層の温度差低減効果はかなり大きく, この点についてはさらにデータを積み重ねた慎重な検討を要すると思われる. また本設計法はCRCSの構造的な耐久性を照査するものであって, アスファルト表層は付加的な役割しか期待していない. しかしながら, アスファルト表層は舗装にとって重要である機能的な役割を担っており, 今後, 機能性の評価を含めた照査法に関してさらに研究を進めていきたい.

参考文献

- 1) Camomilla, G. and Marchionna, A.: Polyfunctional Composite Pavements, 1988.
- 2) Jenkison, M.: Design and Construction of Continuously Reinforced Concrete Composite Pavement for the A63, South Road, Hull, *Proceedings of 5th European Symposium on Concrete Roads*, Aken, 1986.
- 3) 福田正: コンクリート舗装版の荷重分散機構に関する研究, 土木学会論文集, 第242号, pp.63-72, 1976.
- 4) 西澤辰男・七五三野茂・小松原昭則・小梁川雅: 連続鉄筋コンクリート舗装横ひび割れの荷重伝達機能, 舗装工学論文集, 第1巻, pp.73-80, 1996.
- 5) 西澤辰男, 小梁川雅, 七五三野茂, 小松原昭則: 連続鉄筋コンクリート舗装の温度応力に関する研究, 土木学会論文集 (投稿中), 1997.
- 6) 桐山孝晴: コンポジット舗装の載荷試験, 舗装, Vol. 30, No. 10, pp.18-20, 1995.
- 7) 西澤辰男, 中山智津佳, 七五三野茂, 小梁川雅: 連続鉄筋コンクリート版をベースとしたコンポジット舗装の力学的挙動第50回土木学会年次学術講演会概要集, 1997.
- 8) 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, 土木研究所報告, 第112号, 1962.
- 9) 日本道路公団: 日本道路公団設計要領, 第1集舗装編, 1983.
- 10) 日本道路協会: セメントコンクリート舗装要綱, 1984.
- 11) 小梁川雅, 米谷裕, 福田正: 確率特性を考慮したコンクリート版の曲げ疲労曲線, 土木学会論文集, 第426号/V-14, pp.151-157, 1991.
- 12) 土木学会: コンクリート標準示方書舗装編, 1996.
- 13) 西澤辰男: コンクリート舗装版のひび割れ評価システムに関する研究, 土木学会論文集, 第420号/V-13, pp.163-172, 1990.

(1997.8.31. 受付)

STUDY ON DESIGN METHOD OF COMPOSITE PAVEMENT WITH CONTINUOUSLY REINFORCED CONCRETE BASE

Tatsuo NISHIZAWA, Shigeru SHIMENO, Akinori KOMATSUBARA, and Masashi
KOYANAGAWA

This paper describes a structural design method developed for composite pavement which consists of a continuously reinforced concrete slab (CRCS) and a asphalt surface layer. The design method is based on the fatigue analysis of CRCS. In the analysis, loading and thermal stresses in CRCS are calculated by plate FEM model. Two effects of asphalt layer are considered in the design. One is a mechanical effect which reduces the load stress in CRCS. The other is a thermal effect which reduce the temperature differential in CRCS. The former is taken into account by using the concept of equivalent thickness based on the composite plate theory. The latter is incorporated by introducing a reduction factor for temperature differential in CRCS. Values of parameters required in the method were obtained from field measurements. Based on the model, the effects of design parameters on the fatigue damage were also investigated.