

9.5 舗装構造の理論設計の高度化に関する研究

研究予算：運営交付金（道路整備勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：道路技術研究グループ（舗装）

研究担当者：久保和幸、井上直

【要旨】

本研究は限られた予算で効率的な道路基盤整備を行うための舗装構造の設計方法の確立を目的としている。今年度はコンクリート舗装の設計で使用する係数等の検証を行った。輪荷重応力の検証では、荷重を変化させてタイヤの接地面積の変化を測定し、従来から用いられている荷重とタイヤ接地半径の換算式が正しいことを確認した。また、舗装走行実験場に試験施工したコンクリート舗装に荷重車を用いて載荷し、ひずみ計から荷重が離れた時のひずみの低減率を確認した。温度応力に関する検討では舗装走行実験場のコンクリート舗装の内部の温度を1年間測定し、上面と下面の温度差の発生頻度を把握し、発生頻度の影響が大きいことを把握した。

キーワード：理論設計法、タイヤ接地半径、輪荷重低減率、温度差の発生頻度

1. はじめに

平成13年に国土交通省都市・地域整備局長と道路局長より「舗装の構造に関する技術基準」¹⁾が通達され、設計法や使用材料、施工法を問わない性能規定化に向けた方針が示された。それを受けて舗装の自由な設計が行えるように現段階での理論的設計法を整理した「舗装設計便覧」²⁾が平成18年2月に発行された。しかし、この理論設計法は従来の経験的な設計法（ T_A 法）と同等の設計ができるということに過ぎない。

そこで、本研究では限られた予算で効率的な道路基盤整備を行うための舗装構造の設計法の確立を目指して、アスファルト舗装、コンクリート舗装に関して既存の理論設計法をもとに不足している情報の整理、使用材料や実道での実態調査および実規模舗装による実験的検証を行い、より精度の高い信頼性に基づいた理論設計法を提案することを目的とする。

平成20年度は主にコンクリート舗装について検討を実施した。温度応力および輪荷重応力に影響を与える要因を把握するために舗装走行実験場にコンクリート舗装を施工し、調査を実施した。

2. コンクリート舗装の設計について

コンクリート舗装の設計はアスファルト舗装の設計とは異なり、図-1に示すように路盤とコンクリート版に分けて行う。

路盤の設計は、路盤材料の種類および厚さを変化させ、目標とする路盤支持力を満足するように路盤厚さを決める。路盤の所要厚さは路床の支持力係数および路盤の支持力係数あるいは路床と使用する路盤材料の

弾性係数とポアソン比をもとに設定する。

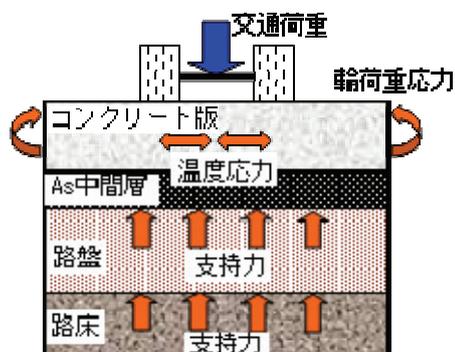


図-1 コンクリート舗装の設計法の概要

コンクリート版の設計では交通荷重によって生じる応力（輪荷重応力）とコンクリート版の上下面の温度差によって生じる応力（温度応力）を計算し、この二つを合わせた合成応力とその作用度数、材料条件として設定した疲労曲線を用いて疲労度を算出し、疲労度に信頼度に応じた係数をかけたものが1以下になるかどうかで力学的な安全性を評価しています。

2.1 輪荷重応力

コンクリート版の設計で着目する疲労ひび割れには横ひび割れと縦ひび割れがあり、疲労の着目点は表-1にあるようにコンクリート舗装の種類によって異なる。横ひび割れおよび縦ひび割れの疲労着目点は以下のとおりである。

横ひび割れ：縦自由縁部および縦目地縁部の晩中央位置

縦ひび割れ：横目地縁部および横ひび割れ部の最多車輪通過位置

表-1 コンクリート舗装の種類別の疲労着目点

着目点	縦自由縁部	縦目地縁部	横目地部	横ひび割れ部
想定ひび割れ	横ひび割れ	横ひび割れ	縦ひび割れ	縦ひび割れ
普通	○	○	○	
連続鉄筋				○
転圧	○	○	○	

輪荷重応力は表-1 に示した疲労着目点に対して、設計条件や交通条件、材料条件を用いて輪荷重ごとに式-1 を用いて計算する。

$$\sigma_e = (1+0.54v) \cdot C_L \cdot C_T \cdot 100P \cdot (\log(100L) - 0.75 \log(100r) - 0.18) / (h^2 \cdot 10^6) \quad \dots \text{式-1}$$

ここで、

σ_e : 輪荷重応力 (MPa)

v : コンクリートのポアソン比

C_L : 横ひび割れを対象としたときの係数。縦自由縁部 2.12、適当量のタイバーを用いた縦自由縁部 1.59、ただし、縦ひび割れを対象とするときは 1.0。

C_T : 縦ひび割れを対象としたときの係数。ダウエルバーを用いた普通コンクリート舗装および連続鉄筋コンクリート舗装では 0.8、転圧コンクリート舗装では 0.9。ただし、横ひび割れを対象とするときは 1.0。

P : 輪荷重 (kN)

L : 剛比半径 ; $L = \{Eh^3 / [12(1-\nu^2)K_{75}]\}^{0.25}$ (m)

E : コンクリートの弾性係数 (MPa)

K_{75} : 路盤支持力係数 (MPa/m)

r : タイヤ接地半径 ; $r = 0.12 + P/980$ (m)

h : コンクリート版厚 (m)

輪荷重応力の計算後に車輪走行位置分布による影響を考慮する。

舗装設計便覧に示されている普通コンクリート舗装の縦自由縁部を着目点にした場合の低減係数を表-2 に示す。なお、低減率は舗装種別や着目位置によって変わる。

表-2 走行位置による輪荷重応力の低減係数の例

走行位置 (自由縁部からの距離)m	0.15	0.45	0.75	1.05
その走行位置に差異化したときの着目点の応力	1.00	0.70	0.50	0.35
着目点上に載荷したときの着目点の応力				

輪荷重ごとの応力に低減係数をかけた輪荷重応力が設計期間に作用する度数を以下の式-2 で計算する。

$$N_{eij} = N_{Pi} \times \beta_j \quad \dots \text{式-2}$$

ここで、

N_{eij} : 輪荷重 P_i が疲労着目点からの距離 j を通過したときに、疲労着目点に発生する輪荷重応力 σ_{ij} の設計期間内における作用度数。

N_{Pi} : 輪荷重 P_i の設計期間内の通過輪数。

β_j : 疲労着目点からの距離 j における通過輪数。

2.2 温度応力

コンクリート版に発生する温度応力はコンクリート版の上面と下面の温度差ごとに式-3 を用いて計算する。

$$\sigma_t = 0.35 \cdot C_w \cdot \alpha \cdot E \cdot \Theta \quad \dots \text{式-3}$$

ここで、

σ_t : 温度応力 (MPa)

C_w : そり拘束係数。

α : コンクリートの温度膨張係数 ($^{\circ}\text{C}$)

Θ : コンクリート版上面下面の温度差 (版上面温度 - 版下面温度、 $^{\circ}\text{C}$)

2.3 疲労度の計算

計算によって求めた輪荷重応力および温度応力の合成応力および合成応力の作用度数を計算し、合成応力の作用度を許容輪数で割った疲労度が 1 以下であれば力学的に安全なコンクリート版と言える。もし、1 を上回る場合はコンクリート版の厚さなどを変更し、疲労度が 1 以下になるまで計算を繰り返す。

3. 輪荷重応力の計算に用いる係数等の検証

舗装走行実験場内にコンクリート舗装を施工し、ひ

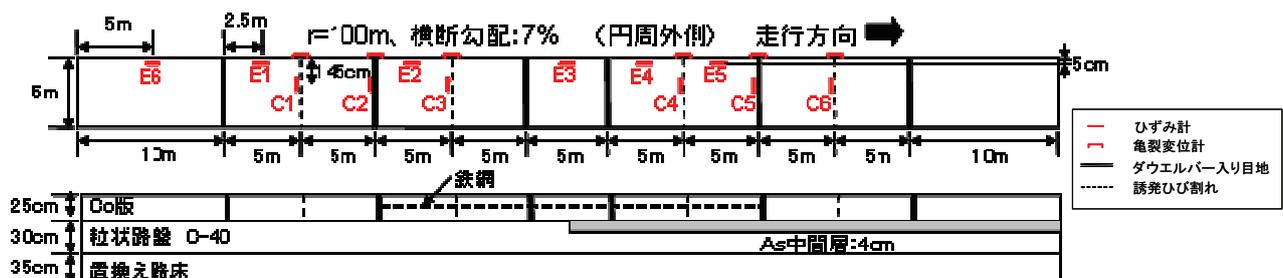


図-2 コンクリート舗装平面、断面図および計器の埋設位置

ずみ計などを設置した (図-2)。

コンクリート舗装に使用した材料などを表-3 に示す。

表-3 コンクリート舗装の使用材料

	種類	備考
表層	舗装用普通コンクリート	早強セメント、曲げ強度5.6MPa
中間層	密粒度アスファルト混合物	ストレートアスファルト60/80
路盤層	C-40	-
路床	-	GBR3

また、ひずみ計は図-3 に示すようにコンクリート版の上面、中面、下面に設置している。

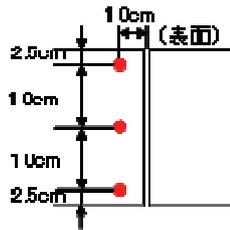


図-3 ひずみゲージの配置図

3.1 輪荷重とタイヤ接地半径の関係

輪荷重を求める式-1 の係数のひとつであるタイヤ接地半径の検証を行った。

タイヤ接地半径を検証するために荷重車の載荷荷重を変化させて輪荷重および設置面積の測定を行った。輪荷重の測定の様子を写真-1 に、接地面積の測定の様子を写真-2 に示す。



写真-1 輪荷重測定状況



写真-2 タイヤ接地面積測定状況

測定は平坦なコンクリート舗装面および横断勾配が 7%ある舗装走行実験場でのコンクリート舗装面で行い、タイヤの空気圧は 900kPa とした。

タイヤ接地半径は接地面を円に置き換えて算出した。また、タイヤの溝を含めた円で半径を計測したものを「溝考慮」(図-4) とし、溝を除いてタイヤのパターンを集めた円で半径を計測したものを「溝無視」(図-5) とした。

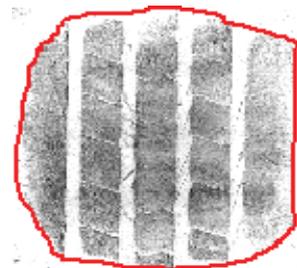


図-4 タイヤの溝を考慮した接地面積

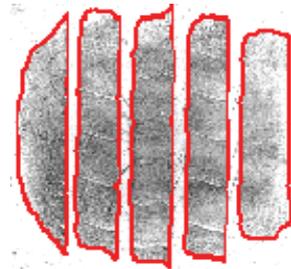


図-5 タイヤの溝を無視した接地面積

輪荷重とタイヤ接地半径の関係を図-6 に示す。図-6 を見て明らかのように舗装設計便覧に示されているタイヤ接地半径の換算式は溝を考慮していることが分かる。また、溝を除くとタイヤ接地半径が小さくなる傾向が確認された。また、勾配による影響は確認されなかった。

以上のようなことより、タイヤのトレッドパターンが変わっても舗装設計便覧に示されているタイヤ接地半径の換算式を見直す必要がないことが確認された。

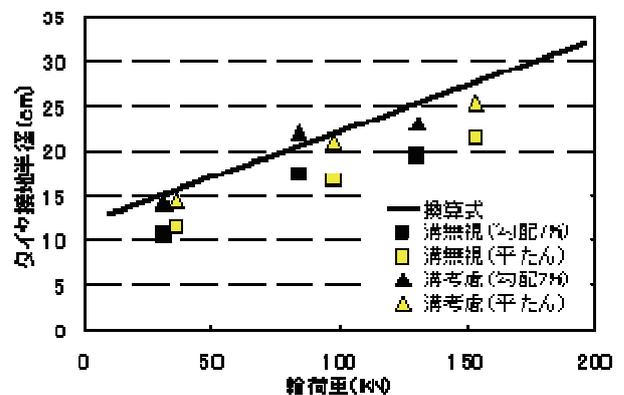


図-6 輪荷重とタイヤ接地半径の関係

3.2 輪荷重応力の低減係数の確認

舗装走行実験場に施工したコンクリート舗装および荷重車を使用して静的な载荷試験を行い、輪荷重応力の低減係数の確認を実施した。

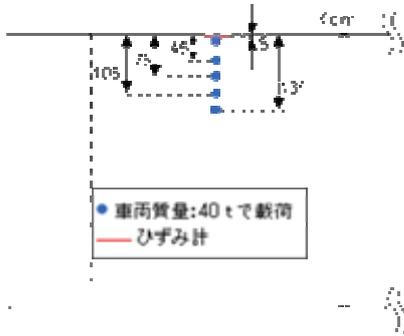


図-5 静的载荷試験の荷重载荷位置

低減係数の確認は図-5 に示すように、自由縁部から5cm、45cm、75cm、105cm、135cm 離れた箇所に車両重量を 40t に調整した荷重車によって荷重をかけ、その時の自由縁部から5cm離れたひずみ計のひずみ値を測定することによって行った。静的载荷試験の状況を写真-3 に示す。



写真-3 静的载荷試験状況

輪荷重とコンクリート版の底面ひずみの関係を図-6 に、荷重载荷位置とコンクリート版底面ひずみの関係を図-7 に示す。

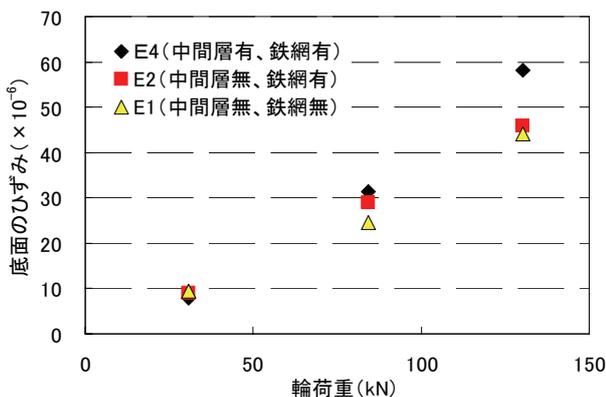


図-6 輪荷重と底面ひずみの関係

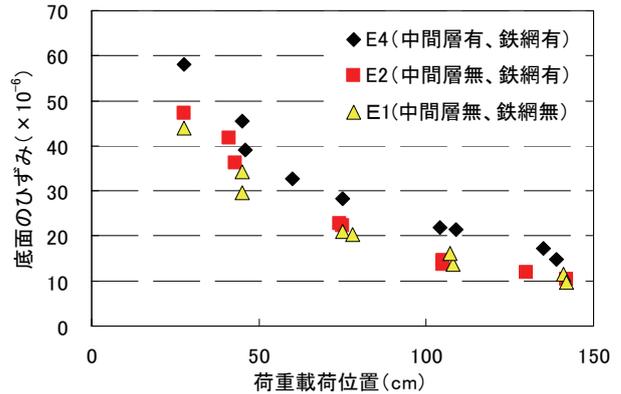


図-7 载荷位置と底面ひずみの関係

輪荷重とひずみの関係を見ると中間層がある場合はない場合に比べて、輪荷重が大きくなるとひずみが大きくなる傾向は見られたが、大きな差は見られない。

载荷位置とひずみの関係では载荷位置が縁部より離れるにつれて小さくなっており、中間層や鉄網による影響は見られなかった。

今回の試験によって得られた载荷位置による低減係数と舗装設計便覧で示されている低減係数例の比較を行った。比較を表-4 に示す。

表-4 設計便覧例と試験結果の低減係数の比較

走行位置		45cm	75cm	105cm	
低減係数	設計便覧例	0.70	0.50	0.35	
	試験結果	E4	0.73	0.48	0.38
		E2	0.76	0.45	0.28
		E1	0.74	0.47	0.35

縁部より 45cm 離れた箇所で設計便覧の例よりも大きくなる傾向が見られたが、ほぼ同程度であった。ただし、今回の試験では荷重車によって载荷を実施したため、载荷位置がひずみ計直上の測定において、荷重の中心とひずみ計の位置がずれていた。そのため、例の値に比べて差が生じたと考えられる。

しかし、大きな傾向としてみると設計例をそのまま用いても問題ないことが確認された。ただし、今回の実験は輪荷重を 10 万輪载荷した状態の結果のため、载荷輪数が増えた場合でも変化しないかを今後確認する必要がある。

4. コンクリート舗装の温度変化

図-2 で示した舗装走行実験場に施工したコンクリート舗装において、2008 年 1 月 1 日～12 月 31 日までコンクリート版の上部、中部、下部（表面より 2.5、12.5、22.5cm の位置）の温度を 1 時間おきに測定した。それ

ら測定データを用いて、コンクリート版表面および底面の温度を推定し、温度差の発生頻度を算出した。

4.1 温度差の発生頻度

試験舗装で測定した温度差の発生頻度および舗装設計便覧で示されている温度発生頻度例を表-5に示す。試験舗装で測定した温度差の発生頻度は中間層の影響が考えられるため中間層の有無に分けて示す。また、設計便覧の例は温度差の小さい地域のものを用いた。

表-5 コンクリート版の温度差と発生頻度

温度差(°C)	試験結果		設計便覧例
	中間層無	中間層有	
19(18~19.9)	0.002	0	0
17(16~17.9)	0.013	0.007	0
15(14~15.9)	0.031	0.028	0.002
13(12~13.9)	0.051	0.046	0.016
11(10~11.9)	0.076	0.073	0.037
9(8~9.9)	0.093	0.086	0.085
7(6~7.9)	0.095	0.098	0.110
5(4~5.9)	0.104	0.105	0.155
3(2~3.9)	0.118	0.119	0.205
1(0~1.9)	0.164	0.158	0.390
-1(0.1~2.0)	0.324	0.278	0.600
-3(2.1~4.0)	0.543	0.549	0.335
-5(4.1~6.0)	0.313	0.359	0.063
-7(6.1~8.0)	0.073	0.094	0.002
-9(8.1~10.0)	0	0	0

試験結果を見ると設計便覧の例に比べて正側および負側の温度差が大きくなる時の発生頻度が大きくなることを確認した。特に負側の頻度が大きくなっている。また、中間層の有無を比較すると中間層がない場合の方が、温度差が大きくなる時の発生頻度が大きくなっていることが確認された。

4.2 温度差の頻度による疲労度の変化

表-6 疲労度の算出条件

項目		条件	
舗装の設計期間(年)		20	
走行頻度	路肩の有無	十分な路肩有り	
	片側の車線数(車線)	2	
コンクリート舗装の種類		普通コンクリート	
応力算出位置		自由縁部	
コンクリート版の条件	版厚(cm)	25	
	曲げ強度(MPa)	4.4	
	弾性係数(MPa)	30,000	
	ポアソン比	0.2	
	温度膨張係数(1/°C)	1.0E-05	
	横収縮目地間隔(m)	10m	
交通条件	輪荷重群と通過輪数	舗装設計便覧例を使用	
	大型車の比率	温度正	60
		温度負	40
タイヤ接地半径		舗装設計便覧例を使用	
路盤支持力係数 K_{75} (MPa/m)		100	

表-5に示した温度差の結果を用いて疲労度を算出し、温度差の頻度が変化することによる影響を把握した。計算条件を表-6に算出結果を表-7に示す。

表-7 疲労度の算出結果

温度条件		疲労度
設計便覧例		0.15
試験結果	中間層無	1.34
	中間層有	0.82

表-6を見て明らかなように、温度差発生頻度の違いが疲労度に与える影響が大きいことが分かる。よって、コンクリート舗装の設計をするにあたっては温度差の発生頻度を正しく把握することが必要である。

ただし、今回の測定結果は1シーズンのデータであるため、引き続き温度の計測を実施する。

5. まとめ

本検討で得られた成果をまとめると以下のとおりである。

輪荷重応力

○現在あるタイヤの接地半径の計算式はタイヤの溝を含めて考えられている。そのため、タイヤの溝の形状などが変化しても式自体を見直す必要がないことを確認した。

○荷重低減係数は多少上下するものの設計便覧に示されている値に一致することを確認した。

温度応力

○温度差の発生頻度は設計便覧に示されている例とずれが生じている。しかも、温度差の大きい頻度で大きくなっており、疲労度にも大きな影響を与えることから温度差の発生頻度を正しく把握することが必要なことを確認した。

○温度の発生頻度にアスファルト中間層が影響することを確認した。

今後は引き続き、コンクリート舗装に荷重を載荷し、低減係数等の設計に用いる係数が初期からどの程度変化するかを確認するとともに、鉄網やアスファルト中間層の効果なども把握する必要がある。

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、2001.9
- 2) (社) 日本道路協会：舗装設計便覧、2006.2

A STUDY ON IMPROVEMENT OF THEORETICAL STRUCTURE DESIGN METHOD FOR PAVEMENT

Abstract : This study aims at establishment of the design method in order to construct road pavements efficiently under the budget limitation. The coefficient used for the design of concrete pavement was verified this year. Change of the grounding area of the tire by changing the size of load was measured. And it checked that it was satisfactory by the present idea. Load was added using the vehicles to concrete pavement of the pavement test field. And the distortion of a position which is at a distance of 45, 75, 105cm from load position was measured. Consequently, it checked that it was satisfactory even if it uses the present rate of load reduction. The temperature inside concrete pavement was measured for one year. And the frequency of the difference of temperature of a concrete pavement top and the bottom has been grasped.

Key words : Theoretical structure design, A radius of the tire grounding area, The rate of load reduction, Frequency of generating of a difference of temperature