

コンクリート舗装の構造設計
の高度化に関する研究
共同研究報告書

平成24年2月

独立行政法人土木研究所
社団法人セメント協会
東京農業大学
石川工業高等専門学校

Copyright © (2012) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

コンクリート舗装の構造設計 の高度化に関する研究

舗装チーム	上席研究員	久保和幸
	主任研究員	寺田剛
	研究員	井谷雅司
		井上直 ※1
		綾部孝之 ※2
		堀内智司
	交流研究員	谷口博 ※3
		清水泰成 ※3
		畠山慶吾 ※3
		西澤辰男
石川工業高等専門学校	教授	小梁川雅
東京農業大学	教授	竹内康
社団法人セメント協会	普及部門統括リーダー	春日一成
	普及部門リーダー	吉本徹
	研究員	泉尾英文

要 旨：

コンクリート舗装は実道でのデータ蓄積がアスファルト舗装に比べて不十分であるため、その供用性予測手法の確立や耐久性の検証などが遅れている。そこで、コンクリート舗装の供用性能や耐久性を明らかにし、現在設計で使用されている設計方法について検証及び見直しをすることを目的として、平成19～22年度の4年間にわたって共同研究を行った。本報告書は、検証した成果を報告するとともに、計測したデータをとりまとめたものである。

キーワード：コンクリート舗装、理論設計、温度応力、荷重応力、構造細目、信頼性

※1 現国土交通省北海道開発局北見事務所、※2 現土木研究所研究企画課

※3 現前田道路株式会社

目 次

1. まえがき	1
2. 研究目的と研究概要	
2.1 コンクリート舗装の構造設計の推移	2
2.2 研究目的と研究概要	3
3. 研究方法	
3.1 試験舗装の各種実験	5
3.1.1 試験舗装の構築	5
3.1.2 材料試験	8
3.1.3 各種実験	16
3.2 全国のコンクリート舗装の温度調査	40
3.3 国道の現地調査	45
3.4 路盤の強度試験	53
3.5 舗装管理支援システムデータの解析	61
4. コンクリート版の構造設計の検討	
4.1 輪荷重応力式の検討	62
4.1.1 静的荷重の応力式の検討	62
4.1.2 動的荷重の応力式の検討	65
4.2 走行位置の検討	74
4.3 温度応力式の検討	77
4.3.1 コンクリート版の温度差の推計方法の検討	77
4.3.2 温度応力式の検証及び見直し	86
4.4 疲労度の検討	93
4.4.1 ひび割れと走行回数の検討	93
4.4.2 疲労曲線の見直し	93
5. 路盤の構造設計の検討	
5.1 はじめに	94
5.2 実大コンクリート舗装・路盤を用いた支持力調査	96
5.3 路盤厚設計曲線の信頼性の検討	99
5.4 信頼性を考慮した路盤厚設計曲線の提案	105
5.5 おわりに	108
6. コンクリート舗装の構造細目の検討	
6.1 鉄網の効果の検討	109
6.2 As 中間層の効果の検討	120
7. 構造設計における信頼性の検証	125

8. 結論	130
9. 今後の課題等	131

参考資料

付録1. 舗装走行実験場における計測データ

1 連続データ

1) ダミー版 F	1
2) 誘発ひび割れ部および目地部 C	5
3) Co 版表面と底面の温度差発生頻度	1 2
4) 縦自由縁部 E	1 5
5) 鉄網 S	1 9
6) 亀裂変位 K	2 1

2 段差量測定および計算結果

1) 段差量測定	2 2
2) 段差量計算	2 3

3 静的載荷試験結果

1) ひび割れ部および目地部 C	2 6
2) 自由縁部 E	2 8
3) 亀裂変位 K	3 0
4) 土圧 P	3 0

4 FWD 測定結果

5 動的載荷試験結果

6 表面性状測定結果

付録2. 試験施工に使用した材料成績表

付録3. 全国での温度計測データ

付録4. 路盤の構造設計の検討に使用した材料成績表

1. まえがき

現在、わが国の道路舗装の多くはアスファルト舗装であり、最近の国道におけるコンクリート舗装の占める割合は約 5%しかない。コンクリート舗装の適用が減少した理由として、沿道住民や道路利用者から騒音や振動及び乗り心地が悪いという苦情が寄せられることや、補修工事においてアスファルト舗装よりも長期間の交通規制が必要なこと、上下水道、ガス等における公共占有施設の埋設工事が困難といった課題が挙げられる。しかし、このままではわが国からコンクリート舗装に関する知見や技術が消え去ってしまうことが危惧される。また、長期にわたるライフサイクルコストを考慮するとアスファルト舗装よりも安く、また材料が国内で調達できるため物価（建設費）は安定している。さらに、これまで課題とされていた初期コストを低減させたスリップフォーム工法や、交通開放までの時間を短縮させたプレキャストコンクリート版等が開発され、コンクリート舗装の良さが見直されてきている。

このような中で、コンクリート舗装は実道でのデータ蓄積がアスファルト舗装に比べて不十分であり、その供用性や耐久性の検証などが遅れている。そこで、2007 年から 2011 年にかけて、独立行政法人土木研究所と石川工業高等専門学校、東京農業大学、社団法人セメント協会との共同研究により、現在使用されているコンクリート舗装の構造設計の検証及び見直しを行った。

本報告書は、検証した成果を報告するとともに、計測したデータを取りまとめたものである。

2. 研究目的と研究概要

2.1 コンクリート舗装の構造設計の推移

コンクリート舗装は、路床、路盤、の上に目地で連結されたコンクリート版が載っている構造であり、作用する外的要因も交通荷重の他に気象作用など複雑であって、その荷重支持機構は必ずしも単純ではない。コンクリート版は路面を形成し、その剛性は路盤、路床に比較して高いので、交通輪荷重などの外的要因の作用を、主にコンクリート版の曲げ抵抗によって支持している。したがって、コンクリート版が舗装の最も重要な部材であり、その曲げ疲労破壊がコンクリート舗装の限界状態であるという概念が、コンクリート舗装の力学的設計手法の基本となっている。

一般の構造物の設計においては、設計寿命期間に構造物が受ける外的荷重の最大値を推定し、これに対する設計耐力を照査する検討が行われる。もちろん繰り返し荷重を受ける橋梁などでは疲労破壊に対する検討も行われるが、コンクリート舗装では、外的荷重の繰り返しに対して設計寿命を保証することが設計の目的となっている。すなわちコンクリート舗装の設計手法は、疲労解析に基づいた設計寿命の推定法であると言える。

現在用られているコンクリート舗装の設計法は、PCA 設計法に代表される力学的設計法と、AASHTO 設計法に代表される経験的設計法の2種類に大別されるが、いずれの設計法においても外的荷重の繰り返しに対する検討が行われる。

PCA 設計法に代表される力学的設計法では、コンクリート版の応力式に、作用する外的荷重を代入して発生応力を算定し、これによって設計を行う。わが国の道路舗装では、舗装設計指針に示される方法によって設計が行われているが、この設計法は PCA 設計法と同様の力学的設計法であり、セメントコンクリート舗装要綱に示されていた設計法をほぼ踏襲している。セメントコンクリート舗装要綱では、実物大のコンクリート舗装における温度測定、載荷試験結果に基づいて荷重応力と温度応力式を開発し、それらを用いて温度応力と荷重応力の合成応力に行って曲げ疲労解析を行う、洗練されたな設計法を採用していた。一方、AASHTO 設計法に代表される経験的設計法は、実物大のコンクリート試験舗装における試験結果から、コンクリート版の破損程度を示す指標を与える関係式を構築し、これによってコンクリート版を評価しようとするものである。したがってこの方法の場合には、コンクリート版の応力解析は行われず、コンクリート版の破損は、破損程度を表す指標がある基準値を示すことによって決定される。しかし AASHTO 設計法は現在では力学的方法と経験的方法を組み合わせた経験的力学的設計法へと進化している。

2.2 研究目的と研究概要

本報告書では、現在のコンクリート舗装の構造設計方法について検証及び見直しを行うことを目的とする。また、今後、より精度の高い構造設計手法を確立するためのデータを取りまとめるものとする。以下に報告書の構成を示す。

第4章では、コンクリート版の構造設計の検証及び見直しを行う。現状の輪荷重応力式では、横断勾配の影響や、車両を静止させた場合と走行させた場合とでコンクリート版に発生する応力が異なるか不明である。また温度応力式では、実測は時間と費用がかかるために実測値の代わりに設計便覧に掲載された例を使用することになっているが、地域分類が2通りしかなく、その分類もわかりにくいため、気象データからの予測式の確立が求められている。疲労度を算出する疲労曲線については、検証が不十分である。そこで、コンクリート舗装の試験舗装を敷設し、促進載荷実験や静的載荷試験、動的載荷試験を実施し、コンクリート版に発生する応力を計測する。実際の輪荷重応力と温度応力による疲労度と理論値と一致するかについても確認する。また、全国にコンクリート版の供試体を設置して温度測定を行い、便覧の温度差の頻度分布を確認する。

第5章では、路盤厚の設計曲線の検証を行う。現在の構造設計では、コンクリート版の構造設計と路盤の構造設計は分かれており、コンクリート舗装の信頼性ではコンクリート版の信頼性を指し、路盤の信頼性を考慮していない。今後、構造設計の精度を高めるためには、路盤とコンクリート版との関係性の確認が必要になり、路盤の信頼性を検討していく必要がある。そこで、実大路盤を構築して強度に関するデータを増やして、設計曲線の精度を確認する。

第6章では、アスファルト中間層や鉄網といった構造細目の検討を行った。現在の構造設計は、アスファルト中間層と鉄網の力学的な有効性が不明確である。そこで、コンクリート舗装の試験舗装で、促進載荷試験を行い、アスファルト中間層や鉄網の有無の影響を確認した。また、国道でコア抜きをして鉄網の引っ張り抵抗性を確認し、有効性の確認を行った。

第7章の信頼性の検討では、コンクリート舗装の信頼性を検討した。舗装の構造に関する技術基準の別表には、コンクリート舗装の信頼性が70%と示されているが、調査時点で版厚が厚い重交通路線のデータは少ない。そこで、国土交通省の舗装管理支援システムデータを使用して、重交通路線のデータ数を増加させて信頼性の確認を行った。

次の頁に研究目的とそれに対応する研究内容を整理する。

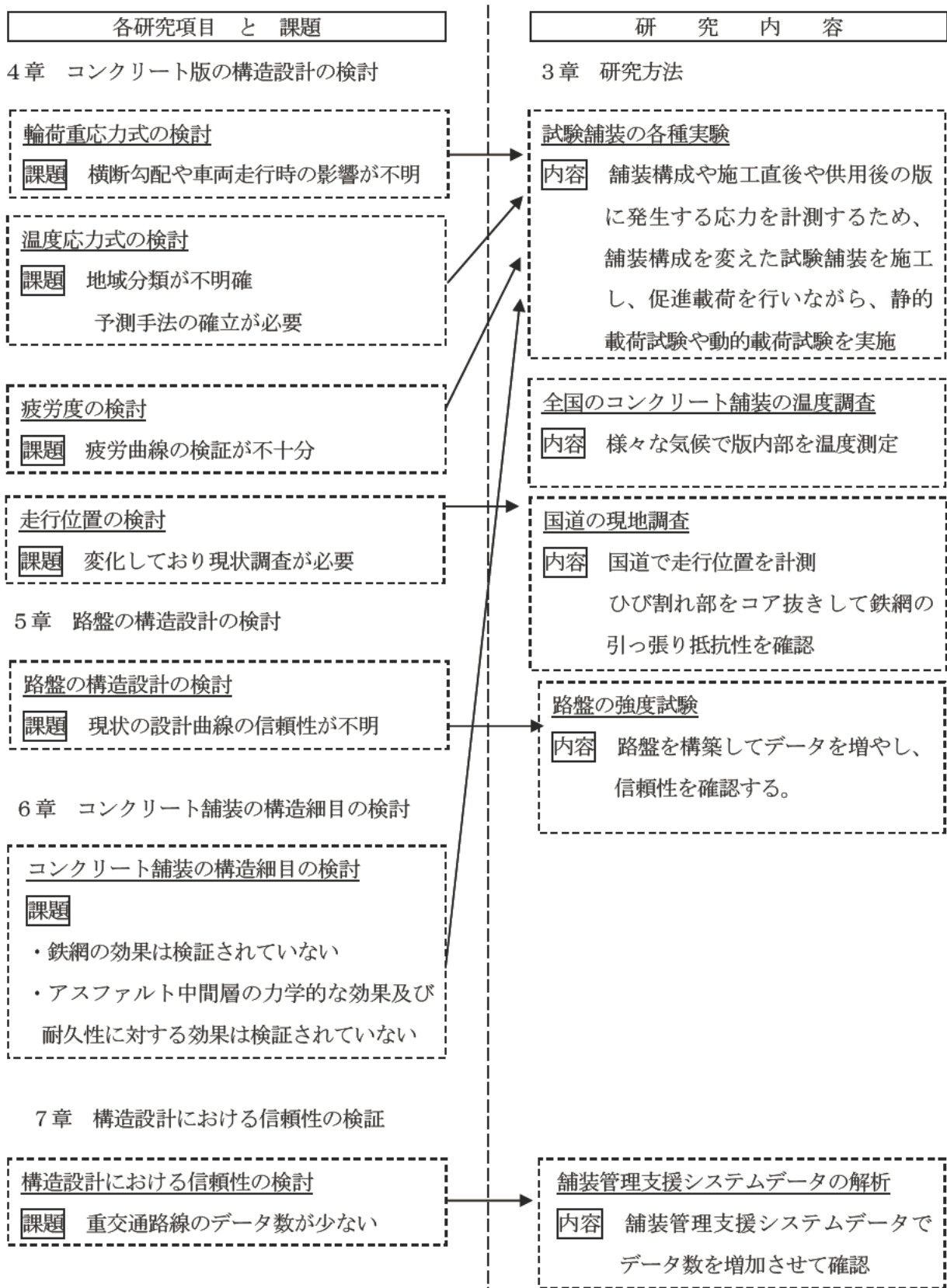


図-2.1 報告書の構成 (研究項目と研究内容について)

3. 研究方法

土木研究所舗装走行実験場でコンクリート舗装を施工し、促進載荷試験と静的載荷試験、動的載荷試験を実施して構造設計の見直し及び供用性の確認を行った。また、全国9箇所コンクリート舗装版の供試体を設置して温度計測を行った。また、国道4号黒磯バイパス、国道4号平泉バイパス、国道13号、国道113号の4箇所について現地調査を行った。また、路盤を施工し、強度に関する試験業務を行った。そして、国土交通省の各地方整備局が所有する舗装管理支援システムデータを使用して国道の供用年数や供用性能の確認を行った。以下にその詳細について記述する。

3.1 試験舗装の各種実験

3.1.1 試験舗装の構築

(1) 試験舗装の目的

コンクリート舗装においてアスファルト中間層と鉄網のような構造細目の有効性を検討する。また、車両走行時と静止時のコンクリート版に発生する応力の確認、疲労によるコンクリート版の供用性の推移の確認を行う。

(2) 試験舗装の構造と計器埋設位置

土木研究所舗装走行実験場中ループにおいてコンクリート舗装の試験舗装を構築した(図-3.2)。コンクリート舗装は、版幅5m、目地間隔10m、版厚25cmのコンクリート版と粒状路盤層から構成され、構造細目の有効性を比較のため、鉄網およびアスファルト中間層(4cm)について有工区と無工区を設けている。また、ひび割れ発生箇所の鉄網の引張り抵抗性を検討するため、コンクリート工区の2箇所、コンクリート版中央部に三角材と目地きりによりひび割れを誘発する箇所を設けている。標準的な舗装断面は3工区である。なお、中ループは直径200mの円であり、走行しやすいように横断方向に約7%の横断勾配がついている。さらに、拘束のないコンクリートの温度膨張係数を計測するため、コンクリート舗装と同材料で同時期に施工したダミー版(縦50cm×横50cm、厚さ25cm)を設置している。

構造細目の有効性の確認と疲労による変化を確認するため、コンクリート版に発生するひずみを計測するひずみ計を車両走行位置の目地部及び縦自由縁部に設置し、路盤上面の圧力を計測する土圧計を目地部の下に、目地部と誘発ひび割れ部の間隔を計測する亀裂変位計を隣り合う版同士に設置している。コンクリート舗装の全体の平面図及び断面図、計器埋設位置について図-3.2に示す。さらに、コンクリート舗装のダミー版に発生するひずみを計測するひずみ計を設置している。

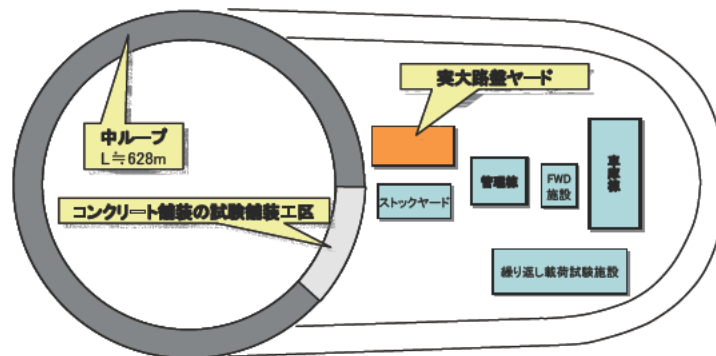


図-3.1 独立行政法人土木研究所舗装走行実験場

(3) 使用材料

試験舗装の使用材料を表-3.1 に示す。

表-3.1 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 ダウエルバー φ=25mm 400mmピッチ 鉄網(D6、格子間隔150mm、JIS G 5331準拠)
中間層	密粒度アスファルト	ストレートアスファルト60/80
路盤層	クラッシュラン	C-40
路床	山砂	設計CBR 3

※ ダミー版では同じコンクリートを使用した。

コンクリートの配合設計の結果を表-3.2 に示す。

表-3.2 示方配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの目標値 (cm)	空気量の目標値 (%)	水セメント比 W/C%	単位粗骨材容積	単位量 kg/m ³				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 (AE 材)
20	2.5±1.5	4.5±1.5	40.5	-	149	368	682	1151	3.94
備考	(1) 設計基準曲げ強度=4.5MPa (2) 配合強度 =5.5N (3) セメントの種類 =早強ポルトランドセメント (4) 粗骨材の種類 =碎石 (5) 混和剤の種類 =減水剤及びAE剤(商品名) (6) 施工時期 =12月								

(4) 試験舗装の施工状況

舗装の施工期間は、2007年12月3日から12月14日に行った。施工は、既設舗装撤去、現地盤の路床の掘削、路床材の置き換えによる路床工、路盤材とアスファルト中間層の構築の路盤工、コンクリート版の打設のコンクリート工からなる。コンクリート版の各工区の打設時間を表-3.3 に示す。コンクリート版の打設では、コンクリートフィニッシャがうまく機能せず時間がかかった。写真-3.1 から写真-3.21 に施工状況を示す。また、写真-3.22 から写真-3.30 に計測装置の設置状況を示す。

表-3.3 コンクリート版の各工区の打設時間（12月14日）

	下層	上層
E6	9:37	10:25
C1	10:22	12:05
E1	11:04	12:28
C2	11:37	12:14
C3	12:20	12:28
E2	13:30	14:00
E3	14:11	16:10
E4	16:33	18:35
C4	17:24	18:35
E5	17:30	18:35
C5	17:55	18:35
C6	18:50	19:43

3.1.2 材料試験

(1) コンクリート版

コンクリート版の材料試験の結果として、曲げ強度を表-3.4 に、圧縮強度を表-3.5 に弾性係数を表-3.6 に示す。

表-3.4 コンクリート版の曲げ強度試験結果

材齢	試験日	養生方法	破断面の厚さ(mm)				破断面の幅(mm)				スパン (mm)	荷重 (kN)	曲げ強度(N/mm ²)	
			1	2	3	平均	1	2	3	平均				平均
7日	平成19年 12月21日	標準	100.7	100.1	99.4	100.1	100.4	100.6	100.3	100.4	300.0	21.6	6.44	6.71
			99.9	99.8	99.6	99.8	100.4	100.6	100.3	100.4	300.0	21.5	6.45	
			100.5	101.0	101.4	101.0	100.0	100.2	100.1	100.1	300.0	24.6	7.23	
		現場	100.0	100.0	99.6	99.9	100.1	99.7	99.5	99.8	300.0	19.8	5.97	5.99
			100.0	99.9	99.7	99.9	100.1	99.7	99.3	99.7	300.0	19.5	5.88	
			98.7	98.9	98.8	98.8	100.0	100.7	100.8	100.5	300.0	20.0	6.12	
28日	平成20年 1月11日	標準	100.1	100.6	101.2	100.6	100.1	100.1	100.1	300.0	22.7	6.72	6.79	
			99.9	99.9	99.8	99.9	99.9	100.3	100.4	100.2	300.0	23.9		7.17
			101.4	100.7	100.6	100.9	100.5	100.9	100.9	100.8	300.0	22.1		6.46
		現場	101.3	100.9	100.2	100.8	101.9	101.9	101.6	101.8	300.0	19.3	5.60	5.85
			99.7	100.0	100.4	100.0	101.0	100.8	100.6	100.8	300.0	20.9	6.22	
			99.5	99.7	99.8	99.7	100.8	100.5	99.6	100.3	300.0	19.1	5.75	
91日	平成20年 3月14日	現場	100.0	100.2	100.2	100.1	100.7	100.8	100.7	100.7	300.0	27.5	8.17	7.03
			99.6	99.6	99.6	99.6	100.4	100.2	100.5	100.4	300.0	19.4	5.85	
			100.3	100.7	101.2	100.7	101.4	100.7	100.3	100.8	300.0	24.1	7.07	
1年	平成20年 12月18日	現場	101.1	101.3	101.5	101.3	99.4	99.8	100.4	99.9	300.0	20.0	5.85	5.87
			99.8	99.9	99.7	99.8	100.6	100.4	101.0	100.7	300.0	18.8	5.63	
			101.4	100.9	100.4	100.9	101.2	101.4	101.1	101.2	300.0	21.1	6.14	

表-3.5 コンクリート版の圧縮強度試験結果 (N/mm²)

材齢	No1	No2	No3	平均
7日	38.8	38.0	37.2	38.0
28日	54.8	54.5	52.0	53.8
91日	59.8	58.3	59.2	59.1
365日	61.7	63.2	65.0	63.6

表-3.6 コンクリート版の弾性係数試験結果 (N/mm²)

材齢	No1	No2	No3	平均
7日	21700	26100	25200	24300
28日	30300	29700	29900	30000
91日	31300	34100	31100	32200
365日	37300	34600	36700	36200

(2) 路盤材

小型 FWD で計測して K₃₀ 換算値にした値を図-3.3 に示す。

(MN/m³)

	11 工区		10 工区		9 工区		8 工区		7 工区		6 工区		5 工区		4 工区		3 工区		2 工区		1 工区																																																																																																																				
→荷重車走行方向	82	79	67	57	61	67	64	72					45	47	70	57	39	42	54	39					72		63		63		70						47		48		38		35				62	56	57	63	62	65	71	50					45	42	38	49	41	40	36	32			工区平均:	70		61		64		65						45		52		40		39				標準偏差:	11		4		2		9						2		12		2		9				設計支持力係数:	59		57		61		56						43		40		38		31			
		72		63		63		70						47		48		38		35				62	56	57	63	62	65	71	50					45	42	38	49	41	40	36	32			工区平均:	70		61		64		65						45		52		40		39				標準偏差:	11		4		2		9						2		12		2		9				設計支持力係数:	59		57		61		56						43		40		38		31																										
	62	56	57	63	62	65	71	50					45	42	38	49	41	40	36	32			工区平均:	70		61		64		65						45		52		40		39				標準偏差:	11		4		2		9						2		12		2		9				設計支持力係数:	59		57		61		56						43		40		38		31																																																	
工区平均:	70		61		64		65						45		52		40		39																																																																																																																						
標準偏差:	11		4		2		9						2		12		2		9																																																																																																																						
設計支持力係数:	59		57		61		56						43		40		38		31																																																																																																																						

図-3.3 路盤における小型 FWD 測定結果 (K₃₀ 換算値)

(3) 路床

小型 FWD で計測して K₃₀ 換算値にした値を図-3.4 に示す。

(MN/m³)

	11 工区		10 工区		9 工区		8 工区		7 工区		6 工区		5 工区		4 工区		3 工区		2 工区		1 工区																																																																																																																				
→荷重車走行方向	26	24	22	23	19	28	22	30					33	25	31	33	20	22	25	17					25		19		22		27						18		25		15		23				20	22	23	21	25	30	27	29					22	23	21	19	17	22	22	22			工区平均:	23		22		25		27						24		26		19		22				標準偏差:	2		2		4		3						6		6		3		3				設計支持力係数:	21		20		20		24						19		20		16		19			
		25		19		22		27						18		25		15		23				20	22	23	21	25	30	27	29					22	23	21	19	17	22	22	22			工区平均:	23		22		25		27						24		26		19		22				標準偏差:	2		2		4		3						6		6		3		3				設計支持力係数:	21		20		20		24						19		20		16		19																										
	20	22	23	21	25	30	27	29					22	23	21	19	17	22	22	22			工区平均:	23		22		25		27						24		26		19		22				標準偏差:	2		2		4		3						6		6		3		3				設計支持力係数:	21		20		20		24						19		20		16		19																																																	
工区平均:	23		22		25		27						24		26		19		22																																																																																																																						
標準偏差:	2		2		4		3						6		6		3		3																																																																																																																						
設計支持力係数:	21		20		20		24						19		20		16		19																																																																																																																						

図-3.4 路床における小型 FWD 測定結果 (K₃₀ 換算値)

・掘削



写真-3.1 現地盤掘削状況



写真-3.2 仕上がり状況

・路床工



写真-3.3 路床敷ならし状況



写真-3.4 路床転圧状況

・路盤工



写真-3.5 路盤敷ならし状況



写真-3.6 路盤転圧状況

・中間層工



写真-3.7 乳剤散布状況



写真-3.8 中間層敷きならし状況



写真-3.9 中間層転圧状況

・コンクリート工



写真-3.10 打設前状況



写真-3.11 コンクリート敷ならし状況



写真-3.12 鉄網



写真-3.13 ダウエルバー



写真-3.14 締め固め状況



写真-3.15 シリンダフィニッシャーによる仕上げ



写真-3.16 表面仕上げ状況



写真-3.17 養生剤散布状況



写真-3.18 養生状況



写真-3.19 施工終了時



写真-3.20 ダミー版打設

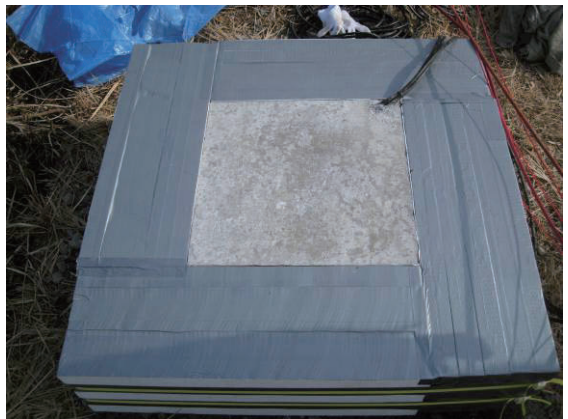


写真-3.21 ダミー版

・計測装置設置状況写真



写真-3.22 土圧計埋設状況（路床）



写真-3.23 土圧計埋設状況（路盤）



写真-3.24 ひずみ計 (全景)



写真-3.25 ひずみ計 (ひび割れ部、目地部)



写真-3.26 ひずみ計 (縦自由縁部)



写真-3.27 ひずみ計付近の締固め状況



写真-3.28 ひずみ計埋設状況



写真-3.29 ひずみ計 (ダミー版)

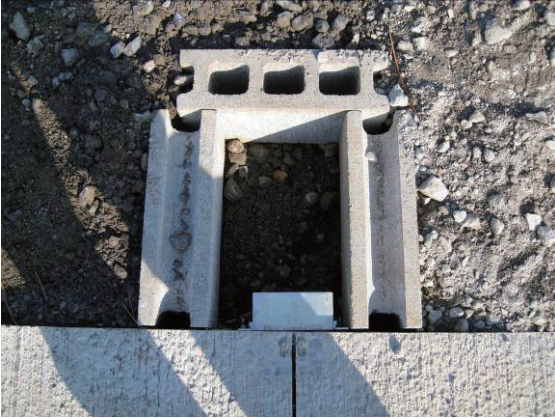


写真-3.30 亀裂変位計設置状況

3.1.3 各種実験

試験舗装において行った以下の実験の実施日程を表-3.7に示す。

- ・促進荷重試験
 - ・支持力調査（たわみ量）
 - ・路面性状調査（段差量、すべり、きめ深さ）
- ・散水実験
- ・静的荷重試験
- ・動的荷重試験

表-3.7 各種実験の実施日程

年	月	日	～	月	日	項目	備考
2007	12	14				試験舗装のコンクリート版打設	
	12	15				連続計測データ採取開始	亀裂変位計除く
	12	21				亀裂変位計データ採取開始	
2008	1	7				支持力調査(たわみ量)	初期値
	1	8	～	1	31	促進載荷試験(荷重車走行)	車両重量294kN、速度40km/hr、累積49kN換算輪数10万輪
	6	20				静的載荷試験	
	8	20	～	9	12	促進載荷試験(荷重車走行)	車両重量294kN、速度40km/hr、累積49kN換算輪数20万輪
	10	9	～	10	30	促進載荷試験(荷重車走行)	車両重量294kN、速度40km/hr、累積49kN換算輪数30万輪
	10	30					
	12	2	～	12	26	促進載荷試験(荷重車走行)	車両重量294kN、速度40km/hr、累積49kN換算輪数40万輪
2009	12	18				動的載荷試験	荷重車走行期間中
	1	13	～	2	4	促進載荷試験(荷重車走行)	車両重量294kN、速度40km/hr、累積49kN換算輪数50万輪
	4	7				支持力調査(たわみ量)	
	6	4				静的載荷試験	
	7	17	～	8	15	促進載荷試験(荷重車走行) 散水実験	車両重量323kN、速度30km/hr、累積49kN換算輪数60万輪 累積散水量150L/箇所
	8	27				静的載荷試験	
	9	2				支持力調査(たわみ量)	
	9	14	～	10	6	促進載荷試験(荷重車走行) 散水実験	車両重量323kN、速度30km/hr、累積49kN換算輪数70万輪 累積散水量300L/箇所
	10	9				支持力調査(たわみ量)	
	10	9				路面性状調査(すべり)	
	10	20				路面性状測定(きめ深さ)	
	11	4				静的載荷試験	70万輪後(H21散水走行20万輪後)
	11	9	～	12	2	促進載荷試験(荷重車走行) 散水実験	車両重量323kN、速度30km/hr、累積49kN換算輪数80万輪 累積散水量450L/箇所
	12	7				路面性状調査(すべり)	
	12	14				静的載荷試験	
12	15				支持力調査(たわみ量)		
2010	1	8	～	2	24	促進載荷試験(荷重車走行) 散水実験	車両重量323kN、速度30km/hr、累積49kN換算輪数90万輪 累積散水量600L/箇所
	1	29				動的載荷試験	荷重車走行期間中
	2	25				路面性状調査(すべり)	
	3	1				支持力調査(たわみ量)	
	3	1				静的載荷試験	
	3	4				路面性状測定(きめ深さ)	
	4	26				支持力調査(たわみ量)	累積49kN換算輪数90万輪(2010/3/1と同条件)
	5	7				動的載荷試験	
	7	12	～	8	5	促進載荷試験(荷重車走行) 散水実験	車両重量323kN、速度30km/hr、累積49kN換算輪数96万輪 累積散水量900L/箇所
	8	27				静的載荷試験	
	9	1	～	10	26	促進載荷試験(荷重車走行) 散水実験	車両重量323kN、速度30km/hr、累積49kN換算輪数110万輪 累積散水量1200L/箇所
	9	29				支持力調査(たわみ量)	100万輪後(H22散水走行10万輪後)
	10					路面性状測定(すべり、きめ深さ)	
	11	15				支持力調査(たわみ量)	110万輪後(H22散水走行20万輪後)
	11	15				静的載荷試験	110万輪後(H22散水走行20万輪後)
11	16	～	12	15	促進載荷試験(荷重車走行) 散水実験	車両重量323kN、速度30km/hr、累積49kN換算輪数120万輪 累積散水量1500L/箇所	
12					路面性状測定(すべり、きめ深さ)		
12	22				支持力調査(たわみ量)	120万輪後(H22散水走行30万輪後)	
2011	1	5				静的載荷試験	120万輪後(H22散水走行30万輪後)
	1					路面性状測定(すべり、きめ深さ)	
	1	6	～	2	22	促進載荷試験(荷重車走行) 散水実験	車両重量323kN、速度30km/hr、累積49kN換算輪数130万輪 累積散水量1800L/箇所
	2	22				動的載荷試験	
	2	25				支持力調査(たわみ量)	
	3	10				静的載荷試験	
3					路面性状測定(すべり、きめ深さ)		

(1) 促進荷重試験

1) 試験の目的

試験舗装の耐久性や、コンクリート版に発生する応力、誘発ひび割れ部の段差量、すべり抵抗やキメ深さ等の路面性状の変化を確認して構造細目の効果を検証するため、3.1 で記述した試験舗装において促進荷重試験を行った。

2) 試験内容

促進荷重試験の実施期間と荷重条件を表-3.8 に示す。試験は、日本の四季を再現するため1ヶ月ずつ年4回(49kN 換算輪数で40万輪=10万輪×4回)実施し、これを約3年間行った。促進荷重試験は、錘を載せた車両(図-3.5や写真-3.32参照。以下、荷重車と呼ぶ)を無人で走行させ、実際の車両走行位置を再現するため走行位置が正規分布となるように設定して実施した。促進荷重試験の実施期間中の路面表面状況の例として写真-3.33から写真-3.35に示す。促進荷重1ヶ月ごとに、表-3.10に示すようなコンクリート舗装の支持力調査や路面性状調査を実施した。舗装体に発生するひずみや温度は、3年間、試験の実施に関わらず表-3.11に示したサンプリング周期で連続的に計測した。

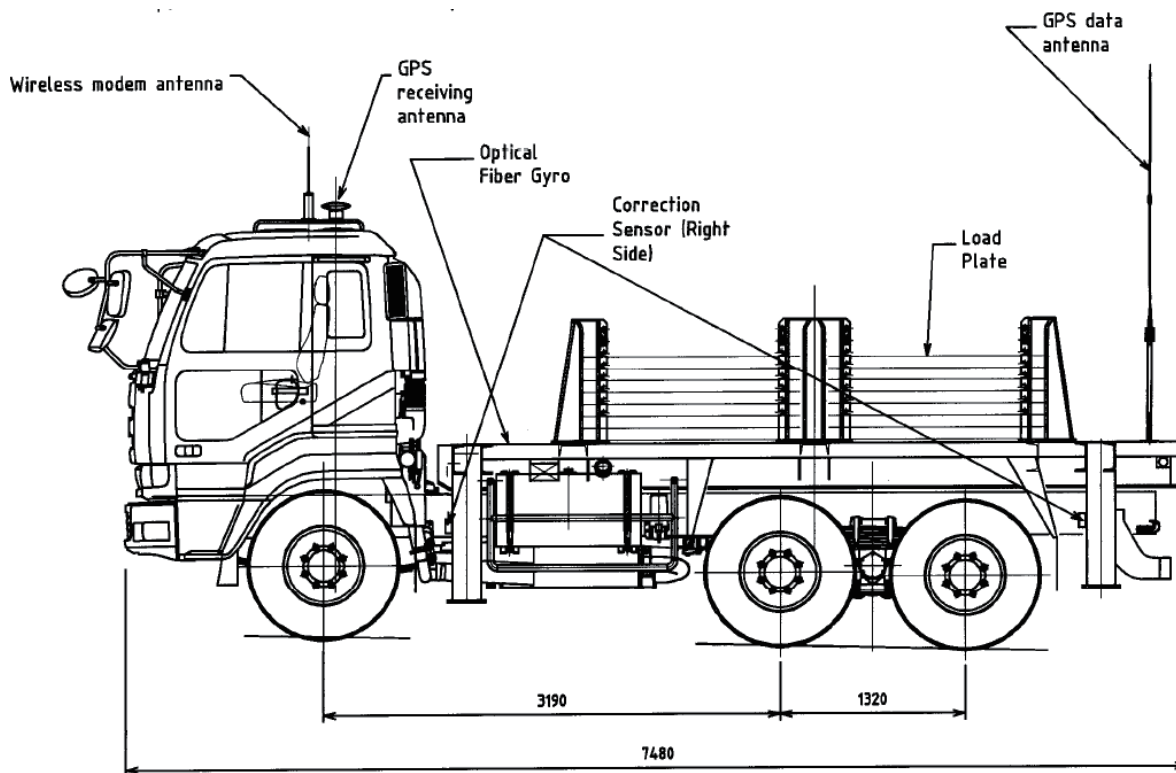
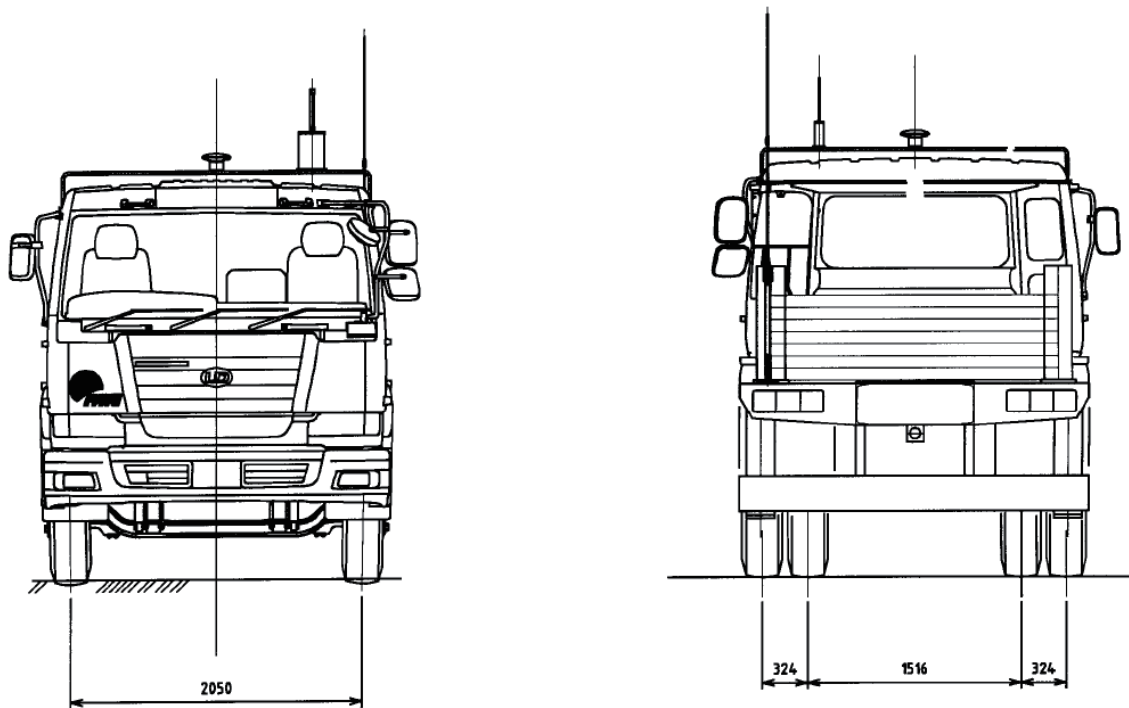


図-3.5 荷重車の寸法

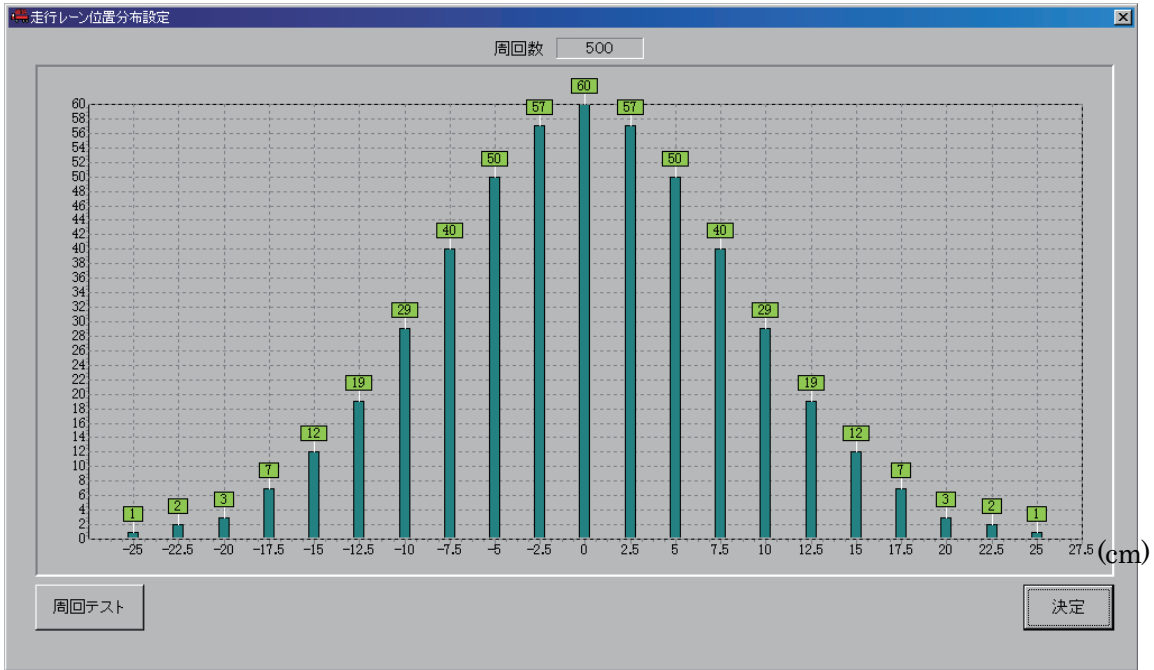


図-3.6 走行パターン（単輪の設定値）



※タイヤ跡を読み取ると走行位置は外側から 105cm～210cm と 290cm～395cm である。
 タイヤの横幅が 58cm なので、設定通り約±25cm の範囲で分布していることがわかる。

写真-3.31 走行パターン（実測値）

表-3.8 荷重車の走行期間と荷重条件

走行回数	走行期間	条件			
0～10万輪	2008年 1月 8日～ 1月31日	条件①	荷重条件(kN)	車両重量	294
10～20万輪	2008年 8月20日～ 9月12日		輪荷重	前輪(シングル)	33.5
20～30万輪	2008年10月 9日～10月30日			後前輪(ダブル)	46.3
30～40万輪	2008年12月 2日～12月26日			後後輪(ダブル)	49.8
40～50万輪	2009年 1月13日～ 2月 4日		走行速度	40km/hr	
50～60万輪	2009年 7月17日～ 8月15日	条件②	荷重条件(kN)	車両重量	336
60～70万輪	2009年 9月14日～10月 6日		輪荷重	前輪(シングル)	36.3
70～80万輪	2009年11月 9日～12月 2日			後前輪(ダブル)	57.8
80～90万輪	2010年 1月 8日～ 2月24日			後後輪(ダブル)	58.8
90～96万輪	2010年 7月12日～ 8月5日		走行速度	30km/hr	
96～110万輪	2010年 9月 1日～ 10月26日				
110～120万輪	2010年11月16日～12月15日				
120～130万輪	2011年 1月 6日～ 2月22日				

注) 走行回数は49kN換算輪数。輪荷重は静止時の実測値。

走行時に荷重車の左右で同じ載荷条件となるように錘と走行速度を途中で変更。

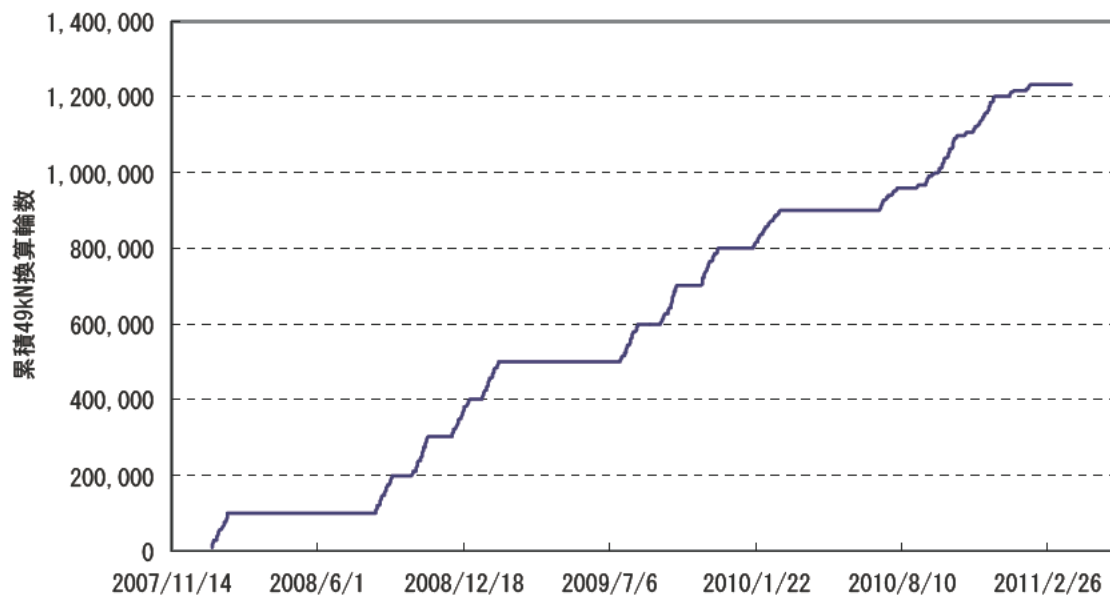


図-3.7 累積 49kN 換算輪数の推移

表-3.9 調査一覧

目 的	調 査 内 容	方 法	規 格 [※]
支持力調査	たわみ量	FWD (KUAB 社製)	S043-3T
舗装表面性状調査	表面観察	目視	-
	誘発ひび割れ部の 段差量	スケール	S031
	すべり抵抗性	DF テスタ	S021-3
	キメ深さ	CT メータ	S022-3T

※ 舗装調査・試験法便覧

表-3.10 連続測定における測定箇所

ひずみ	目地部、誘発ひび割れ部、自由縁部
亀裂変位	目地部、誘発ひび割れ部
鉄網の変位	誘発ひび割れ部

表-3.11 連続測定のサンプリング周期

2007年12月15日～2008年1月7日	144回/日(1回/10min)
2008年1月8日～2008年6月20日	48回/日(1回/30min)
2008年6月21日～	24回/日(1回/1hr)

注) コンクリート版の施工日は2007年12月14日。亀裂変位の測定開始は12月21日。

3) 計測結果

連続計測データの結果を以下に示す。

ひずみの計測結果の一例を図-3.8 に示す。夏に大きく冬に小さいという季節的な変動が見られ、中間層のある場合が無い場合より値が小さい。

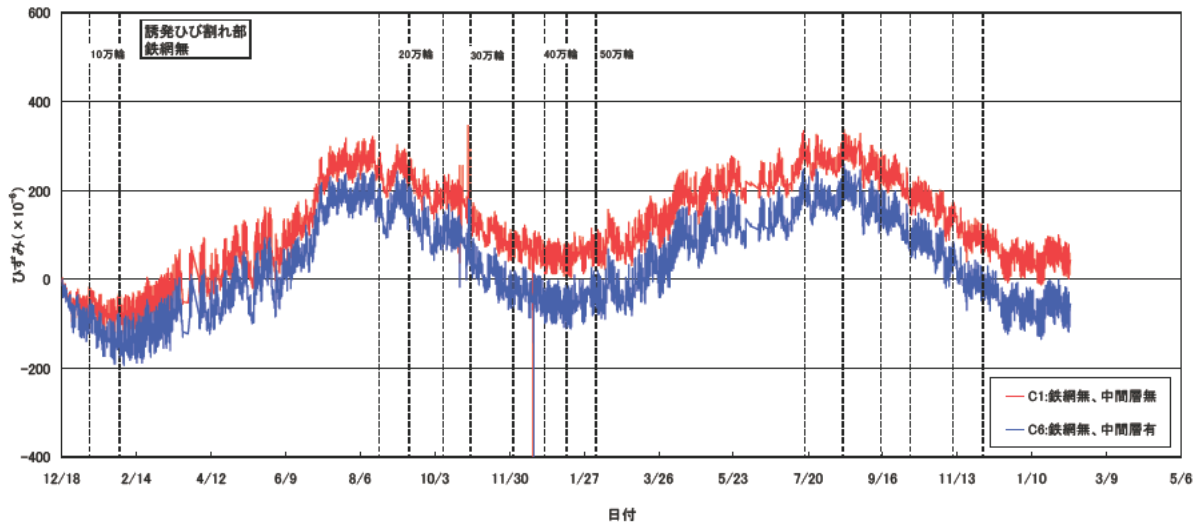


図-3.8 誘発ひび割れ部および目地部のひずみ (下部のひずみ)

亀裂変位量の計測結果を図-3.9 に示す。K1 や K6 のような鉄網の無いひび割れ部で値が大きくなっている。

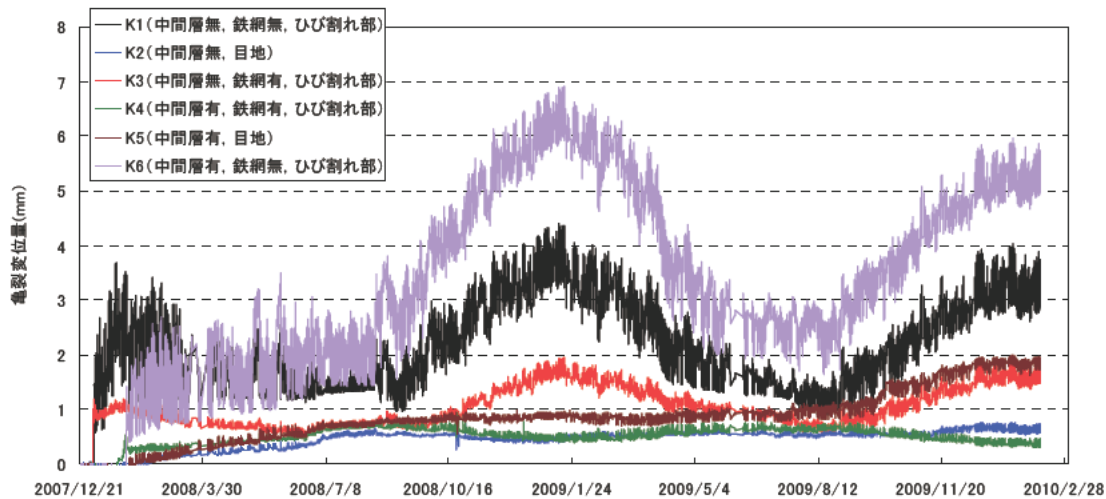


図-3.9 下部ゲージ部の亀裂変位

土圧計の計測結果を図-3.10 に示す。

1 回目の静的載荷試験を行った後あたりで増加がみられる。土圧計の計測結果から計測困難だと考えられたのでデータを使用していない。なお、P2 では計器不良により異常値が観測された。

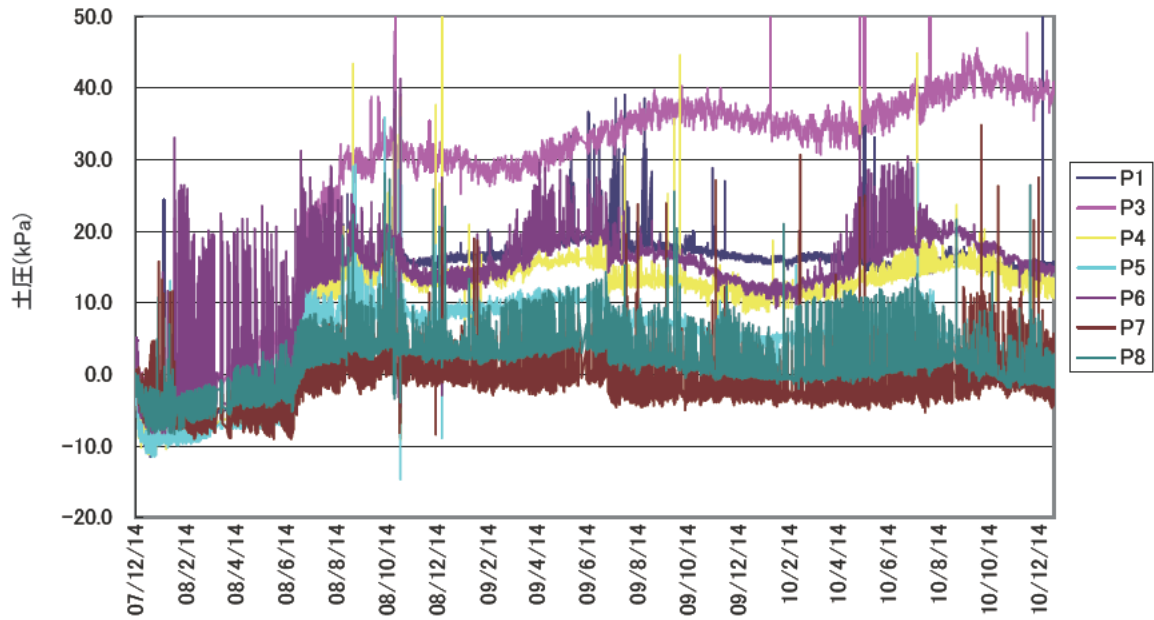


図-3.10 土圧



写真-3.32 促進載荷試験の実施状況



写真-3.33 全体路面状況 (90万輪走行後)



写真-3.34 車輪走行部の路面状況(90万輪走行後)

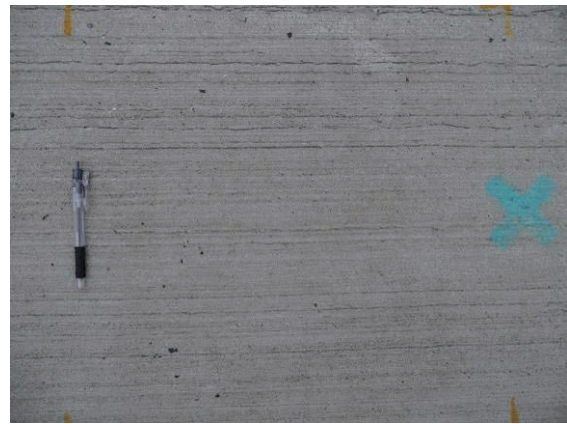


写真-3.35 車輪非走行部の路面状況(90万輪走行後)

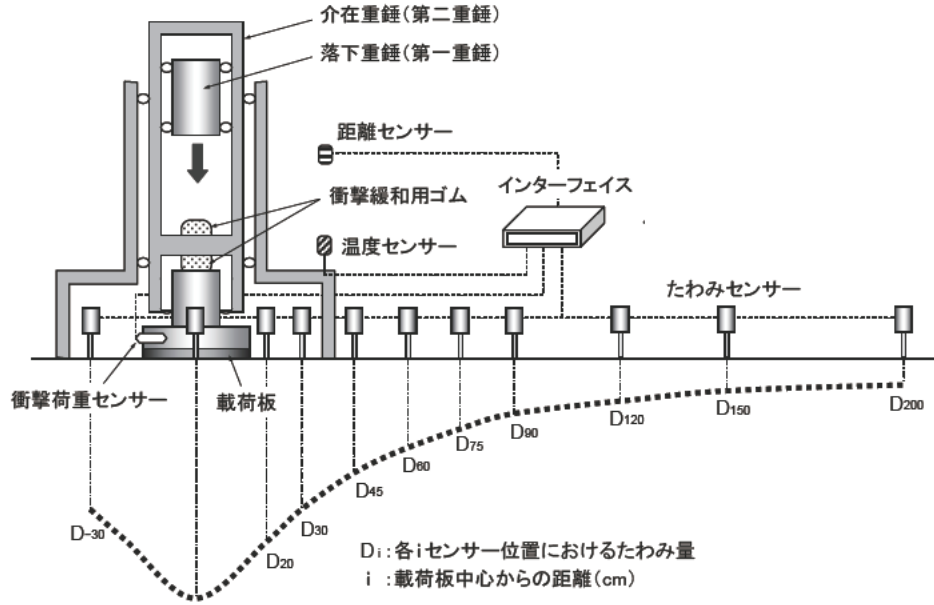


図-3.12 FWD の計測位置

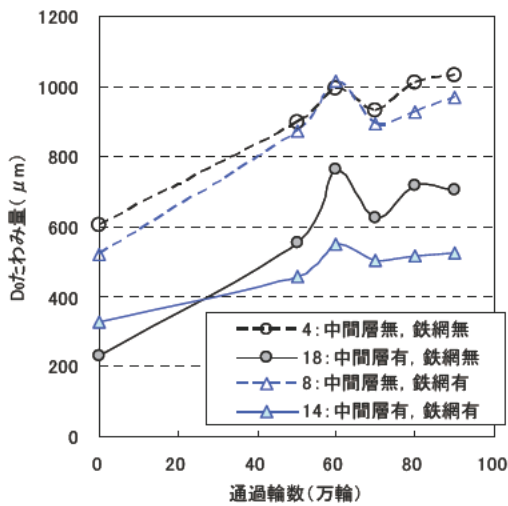


図-3.13 ひび割れ部のたわみ量

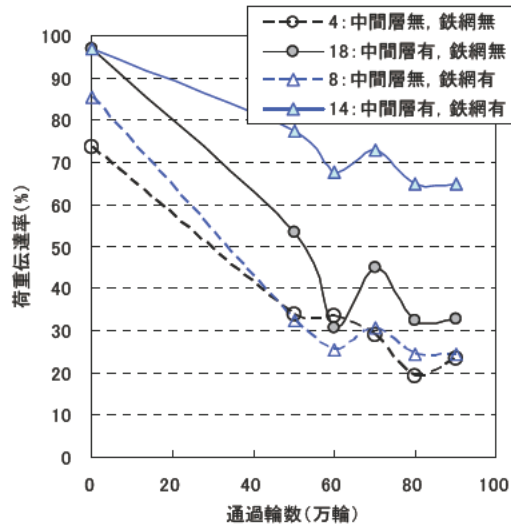


図-3.14 ひび割れ部の荷重伝達率

②路面性状調査 (段差量)

走行性を確認するため、段差量の測定を行った。測定箇所は誘発ひび割れ部の2箇所とし、図-3.15に示すように横断方向に50cmピッチで9点計測した。段差量の測定状況を写真-3.36に示す。なお、試験は舗装試験調査・試験法便覧のスケールによる方法に従った。

計測結果を表-3.36に示す。

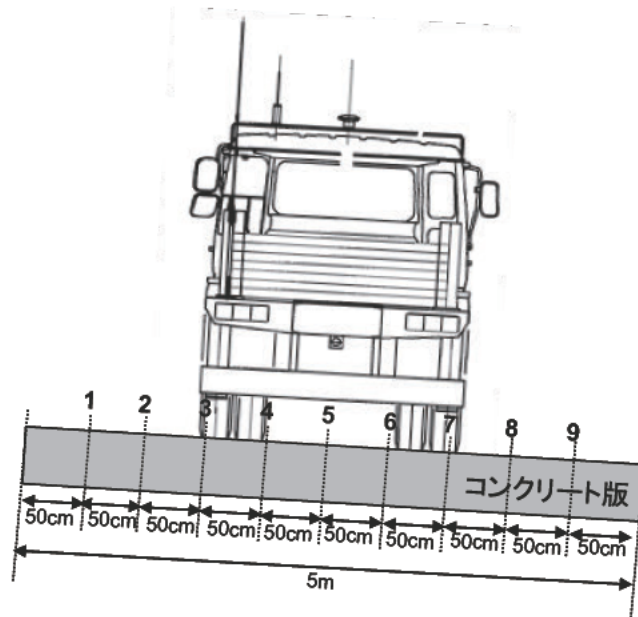


図-3.15 誘発ひび割れ部における測定位置



写真-3.37 段差測定状況 (テーパーゲージ使用)

表-3.13 段差量

通過輪数(万輪) (散水開始以降)	段差量(mm) [*]				段差 増加量 (mm)
	0	20	30	40	
測定日	'09/7/14	'09/10/22	'09/12/24	'10/2/25	
①ひび割れ部 (中間層無, 鉄網無)	0.2	0.9	1.3	1.3	1.1
②ひび割れ部 (中間層有, 鉄網無)	0.1	0.1	0.2	0.4	0.3

③路面性状調査 (すべり抵抗、キメ深さ)

荷重車走行に伴うコンクリート舗装表面の性状変化を確認するため、すべり抵抗およびきめ深さの測定を行った。測定は、図-3.2の5工区と7工区の中央部の横断方向の2箇所とし、1箇所あたり外側非走行部・OWP・BWP・IWP・内側非走行部の5つを計測した。なお、すべり抵抗はDFテスト、きめ深さはCTメータを使用し、舗装試験調査・試験法便覧に従った。初期値はH21年度の車輪非走行部のデータを平均した値とし、70～130万輪走行時の測定値は車輪走行部2測点の平均値とした。

計測結果を図-3.16に示す。きめ深さ、およびすべり抵抗は徐々に低下しているものの、路面性状は良好であると考えられる。

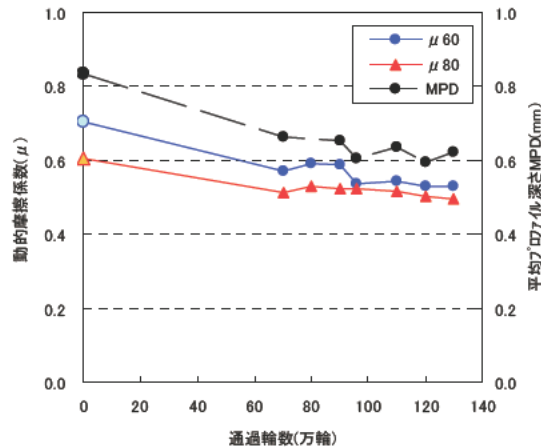


図-3.16 表面性状測定結果

(2) 散水実験

1) 実験の目的

コンクリート版の誘発ひび割れ部における段差の発生を進行させてアスファルト中間層の有無による影響を確認するため、車両が走行する促進载荷試験時に誘発ひび割れ部から水を浸入させる。これにより、路盤の支持力が低下して、リーブ版（退出側の版）下の細粒分が洗掘して空洞が生じ、段差を生じやすくする効果がある。

2) 実験の内容

実験装置は図-3.17 に示すように水タンクとホースから構成され、水タンクに水を入れてホースに開けた3箇所の穴から誘発ひび割れ部に散水した。表-3.14 に水タンクとホースの詳細を示す。ホースは車両走行に支障が無いよう、写真-3.38 から写真-3.41 に示すようにコンクリート版表面にカッターで溝を切って表面から出ないように設置した。なお、ホースの穴の直径は、写真-3.45 に示すように確認実験を行い、表-3.16 のように3箇所から等量の水を散水できるように決定した。さらに、路盤まで水が浸入するように、図-3.18 のようにホースの穴の位置に合うようコンクリート版に直径10mmの穴をあけている。散水は促進载荷試験時に実施し、散水条件を表-3.15 に示す。ここで、誘発ひび割れ部の面積に1年間降る降水量は約150Lであり、2009年4月～2010年3月は合計で4年分の降水量、2010年4月～2011年3月は8年分の降水量を模擬したことになる。

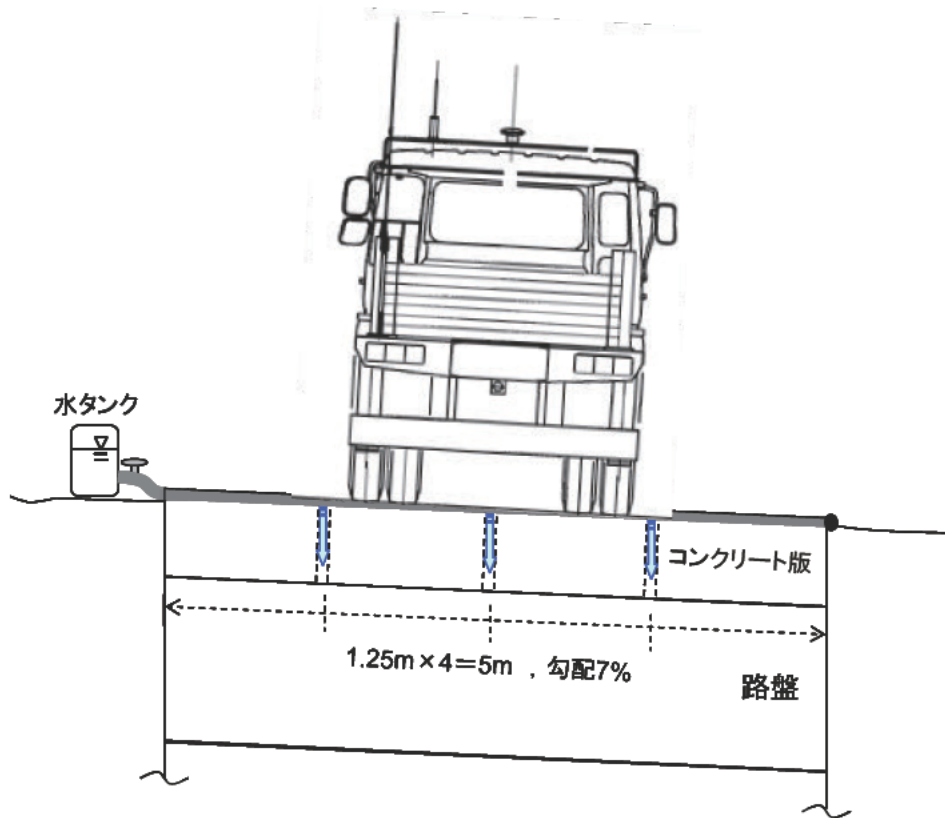


図-3.17 散水実験の模式図

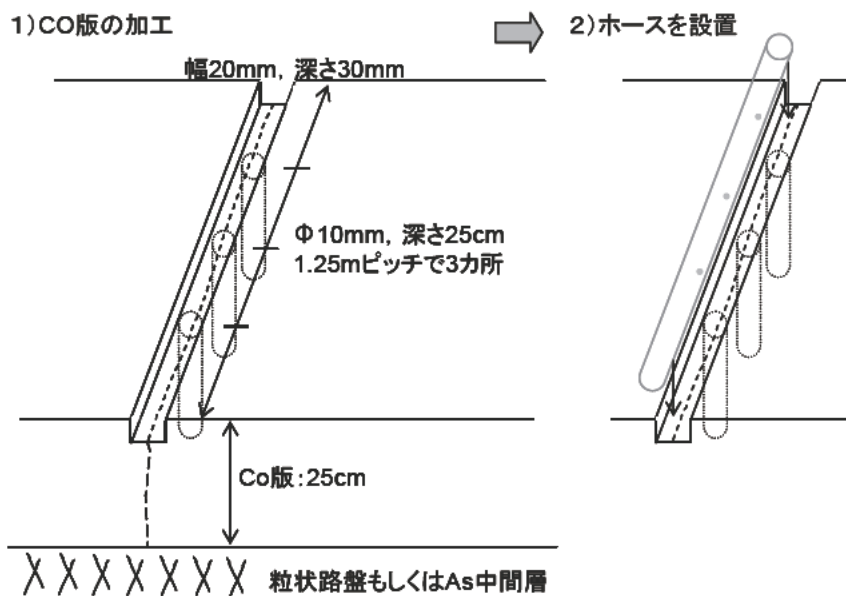


図-3.18 散水実験用のコンクリート版の溝と穴の加工方法及びホースの設置方法

表-3.14 散水装置の詳細

項目	仕様
水タンク	ポリタンク(容量 20ℓ), コック付き
ホース	材質 シリコン(内径13mm, 外径16mm) 全長 5m、末端止水 穴 3カ所(端部から1.25, 2.50, 3.75m) 穴の径mm(位置m) φ1.5(1.25), φ1.0(2.50), φ1.0(3.75) 7.5ℓ散水に要する時間 約100分

表-3・15 促進載荷試験時の散水条件

項目	内容
散水箇所	誘発ひび割れ部:2ヶ所 ①As中間層無, 鉄網無の箇所(C1) ②As中間層有, 鉄網無の箇所(C6)
散水量	荷重車走行期間中に散水を実施 年間降雨量:1,500mm(H21年度), 3,000mm(H22年度)を想定 荷重車10万輪走行期間中に1年間降雨量相当を散水
散水間隔	5,000輪走行毎に散水 (散水回数:10万輪÷5,000輪/回=20回)



写真-3.38 加工前の誘発ひび割れ部



写真-3.39 加工状況



写真-3.40 加工後の誘発ひび割れ部



写真-3.41 加工した溝の形状



写真-3.42 散水装置の全体図



写真-3.43 散水装置



写真-3.44 散水実験の様子



写真-3.45 散水装置の確認実験の状況

表-3.16 散水装置の確認実験の結果 (タンクに7.5Lの水を入れて散水した場合)

位置 (m)	穴の径 (mm)	流量測定結果(%)				所要時間 (min)
		1回目	2回目	3回目	平均	
1.25	1.5	2.64	2.67	2.72	2.68	110
2.50	1.0	2.21	2.10	2.09	2.13	
3.75	1.0	2.63	2.69	2.61	2.64	

(3) 静的載荷試験

1) 試験の目的

タイヤ接地面積と輪荷重応力の関係の確認と、アスファルト中間層及び鉄網の構造細目によるコンクリート版の荷重支持性能への影響の確認を目的とする。

2) 試験の内容

①タイヤ接地面積と輪荷重応力の関係の確認

表-3.17 に示す荷重条件で、写真-3.46 及び写真-3.47 のように荷重車の輪荷重及び接地面積の測定を行った。なお、測定は平坦なコンクリート舗装及び横断勾配が 7%ある試験舗装で実施し、載荷タイヤは荷重車の右後輪とした。タイヤ接地半径は接地面を円に置き換え算出した。また、荷重車のタイヤの空気圧はすべて 900kPa で統一して実施した。

表-3.17 荷重条件

錘の枚数	測定場所	荷重条件	
		位置	輪荷重(kN)
0枚	平坦	前輪	27.4
		後前輪	18.6
		後後輪	17.2
	試験舗装 (勾配7%)	前輪	26.0
		後前輪	15.2
		後後輪	15.7
7枚	平坦	前輪	32.3
		後前輪	50.0
		後後輪	47.5
	試験舗装 (勾配7%)	前輪	28.9
		後前輪	42.6
		後後輪	41.7
14枚	平坦	前輪	44.6
		後前輪	77.9
		後後輪	75.0
	試験舗装 (勾配7%)	前輪	39.7
		後前輪	68.6
		後後輪	61.7



写真-3.46 輪荷重の測定状況



写真-3.47 タイヤ接地面積の測定状況

②縦自由縁部におけるひずみの確認

表-3.18 に示す荷重条件で、写真-3.48 のようにして荷重車を静止時の輪荷重とコンクリート版底面のひずみの関係を求めた。測定は横断勾配が7%ある試験舗装で実施し、載荷タイヤである右後輪を図-3.19 に示す位置となるように静止させて計測した。荷重車のタイヤの空気圧はすべて 900kPa で統一して実施した。

表-3.18 右後輪の荷重条件

載荷位置	載荷荷重	
	車両質量 (t)	輪荷重 (kN)
計器直上	12	30.9
	26	84.3
	40	130.3
縁部より45cm	40	130.3
縁部より75cm		
縁部より105cm		
縁部より135cm		

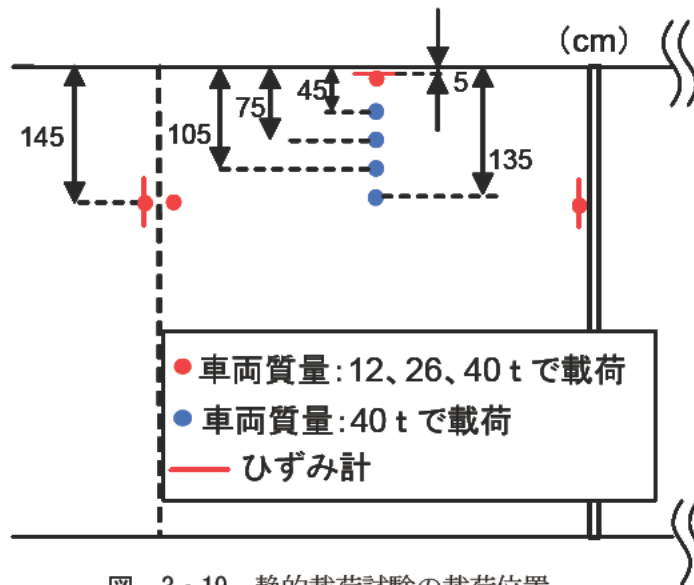


図-3・19 静的載荷試験の載荷位置



写真-3・48 静的載荷試験の試験状況

③目地部、ひび割れ部におけるひずみの確認(タイヤによる載荷)

表-3.19 に示す荷重条件で、写真-3.48 に示すように荷重車を使用して、誘発ひび割れ部及び横目地部のひずみ、亀裂変位の測定を行った。載荷タイヤは右後輪とし、荷重車のタイヤの空気圧はすべて 900kPa で統一して実施した。測定は横断勾配が 7%ある試験舗装で実施した。

表-3.19 右後輪の荷重条件

載荷位置	載荷荷重	
	車両質量(t)	輪荷重(kN)
計器直上	12	30.9
	26	84.3
	40	130.3

④縦自由縁部、目地部、ひび割れ部におけるひずみの確認(点載荷)

0t から 2t 刻みで 10t まで任意に荷重条件を設定するため写真-3.49 から写真-3.50 に示すように、荷重車を 3 個の支持部材で持ち上げて反力とし、残りの赤丸で示した位置でジャッキにより点載荷を実施した。2009 年 4 月～2010 年 3 月では載荷位置は、図-3.20 に示すように自由縁部については 5 測点、目地・ひび割れ部についてはゲージ直上および目地・ひび割れを挟んだ反対側の 12 測点について実施した。2010 年 4 月～2011 年 3 月では、目地部と誘発ひび割れ部の荷重伝達は FWD 試験で確認することになり、目地やひび割れ部を挟んで反対側にある載荷位置は、図-3.21 に示すように自由縁部については 5 測点、目地・ひび割れ部についてはゲージ直上および目地・ひび割れを挟んだ反対側の 12 測点について実施した。載荷条件を表-3.20 に示す。



写真-3.49 静的載荷試験の全体図



写真-3.50 支持部材と載荷点



写真-3.51 支持部材の設置状況



写真-3.52 載荷状況



写真-3.53 目地.ひび割れ部の載荷点



写真-3.54 自由縁部の載荷点

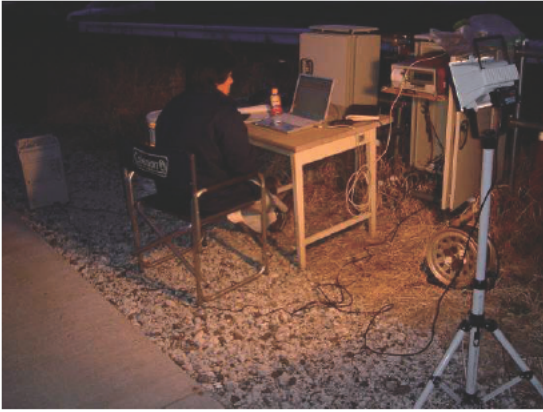


写真-3.55 データの計測状況

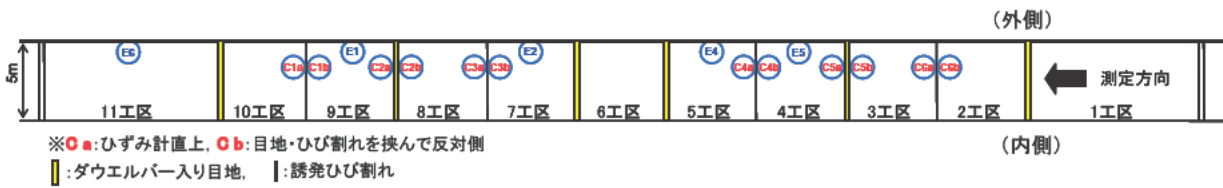


図-3.20 静的載荷試験の載荷位置 (2009年4月～2010年3月)

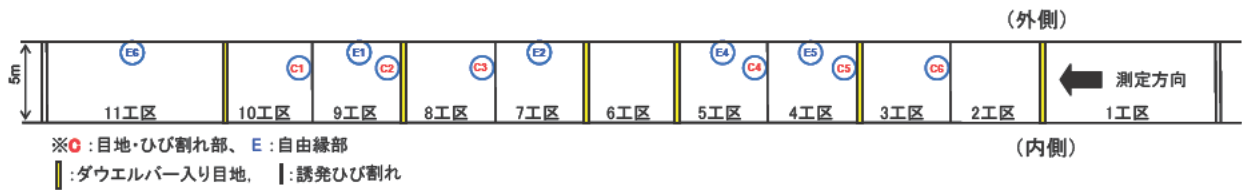


図-3.21 静的載荷試験の載荷位置 (2010年4月～2011年3月)

表-3・20 静的載荷試験の載荷条件

項目	内容
試験時期	荷重車10万輪走行毎に実施 (H22年度:4回実施)
載荷方法	荷重車を反力とし, ジャッキにて載荷 (荷重車を40tに調整し, 反力として使用)
載荷位置	目地部, 誘発ひび割れ部: 6箇所 (H21年までは12箇所) 自由縁部: 5箇所 (目地部, 誘発ひび割れ部については, H21年度までは, 目地部, 誘発ひび割れ部を挟んで反対側にも載荷を実施)
載荷荷重	0, 2, 4, 6, 8, 10t (同一測点において3回測定)

3) 計測結果

載荷直下のひずみの推移を図-3.22 及び図-3.23 に示す。顕著な値の変化は見られていない。

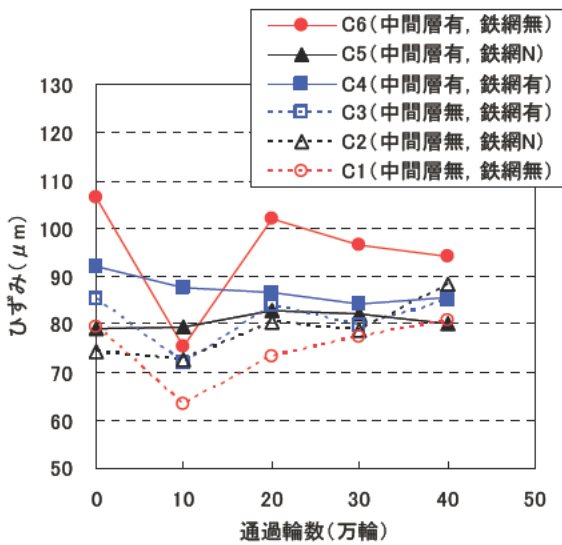


図-3.22 目地部とひび割れ部のひずみの推移

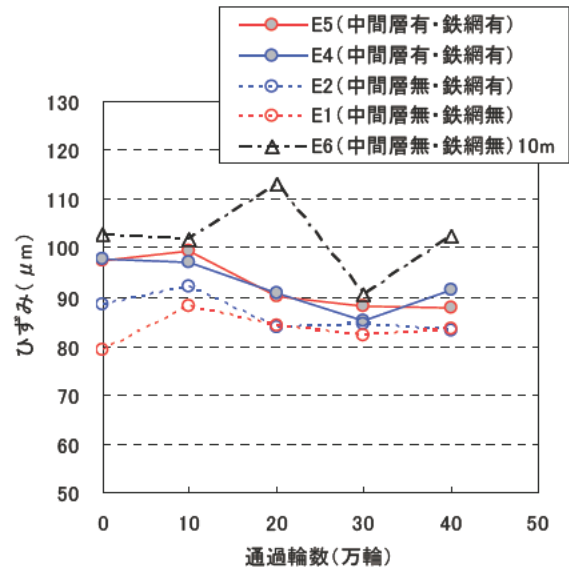


図-3.23 自由縁部のひずみの推移

(4) 動的載荷試験

1) 試験の目的

アスファルト中間層及び鉄網の構造細目によって、車両走行により発生する応力が異なるか確認することを目的とする。また、車両走行中と静止時において荷重応力と温度応力が同じかを確認することを目的とする。

2) 試験の内容

促進載荷試験実施期間で荷重車がコンクリート舗装上を走行中に、試験舗装の計測装置のデータを計測した。計測には動ひずみ計を使用し、荷重車の走行位置が周回毎に変化していくため、ゲージ直上を通過した際の測定値が得られるよう、測定は15回繰り返して実施した。荷重条件を表-3.21 に示す。

表-3.21 動的載荷試験の試験条件

項目	条件
荷重車走行条件	表-3.8 に示した 2 通り
測定箇所	ひび割れ部および目地部のひずみ(C1~C6) 土圧(P1~P8)
走行位置	計器直上(荷重車左タイヤ) (測定回数:15回)
サンプリング周期	1000Hz

3) 計測結果

計測結果の例を図-3.24 に示す。

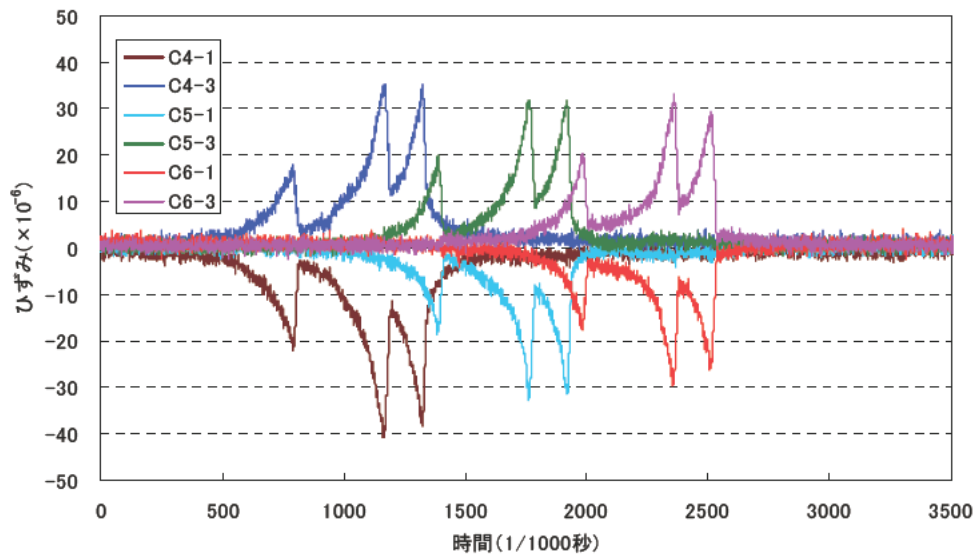


図-3.24 アスファルト中間層の有るコンクリート版のひずみの経時変化



写真-3.56 動的載荷試験の計測状況 (中間層有工区)



写真-3.57 動的載荷試験の計測状況 (中間層無工区)

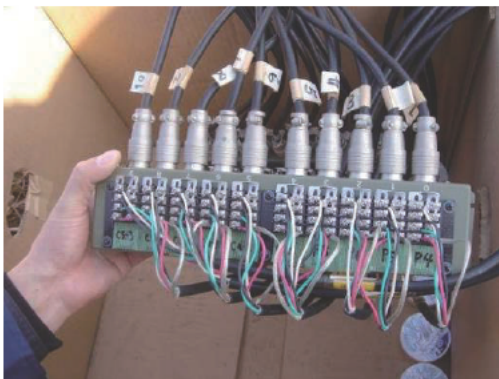


写真-3.58 収集装置との接続部 (中間層有工区)



写真-3.59 収集装置 (中間層無工区)

3.2 全国のコンクリート舗装の温度調査

(1) 調査の目的

地域に応じたコンクリート舗装版の設計を行うため、全国の様々な地域においてコンクリート舗装版の温度計測を行った。

(2) 調査の内容

温度測定にはコンクリート舗装の供試体を作製して計測を行った。供試体の大きさは、3.1の試験舗装の上下面の温度差とダミー版（縦50cm×横50cm×厚さ25cm）の温度差との相関が高かったため、運搬性を考慮して縦30cm×横30cmとし、版厚は舗装設計便覧に掲載されている6種類（15cm、20cm、23cm、25cm、28cm、30cm）と空港舗装で見られる45cmの計7種類とした。例として、図-3.25に版厚が30cmの供試体を示す。供試体は同一のコンクリート舗装用の材料を使用して同時期に作製した。温度計測の高さはコンクリート版表面から5mm下と、版の中央、コンクリート版底面から5mm上の位置とし、温度センサーの測定部がこの位置に来るように固定用金具に設置してある。コンクリート版供試体の作製状況を写真-3.60から写真-3.62に示す。供試体ごとに水分量が異なることでコンクリートの熱伝導性に与える影響を小さくするため、コンクリート版の側面はアルミテープを巻き、コンクリート版の底面には路盤上面の水分の影響を受けないようにビニルシートを敷いている。さらに側面からの熱の影響を受けないように断熱材をコンクリートボンドで接着している。設置箇所は、文献調査より気候が異なると考えられる9箇所（北海道苫小牧市、宮城県多賀城市、茨城県つくば市、石川県河北郡津幡町、愛知県名古屋市、広島県広島市、福岡県久留米市、鹿児島県鹿児島市、沖縄県豊見城市）とし、場所の選定にあたっては、水はけのよい、日中に日陰にならない場所を選んだ（図-3.27）。コンクリート版供試体の設置にあたっては、図-3.26のように再生路盤材を地面から高さ20cmほど盛り、締め固めた上で供試体を設置した。表-3.22に示す条件で、供試体の温度と、地面から1.5mの位置に設置した百葉箱の気温について1年間の連続測定を実施した。計測したデータからコンクリート版表面と底面の温度を推定して上下面の温度差を算出した。

(3) 計測結果

計測結果の例を図-3.28に示す。

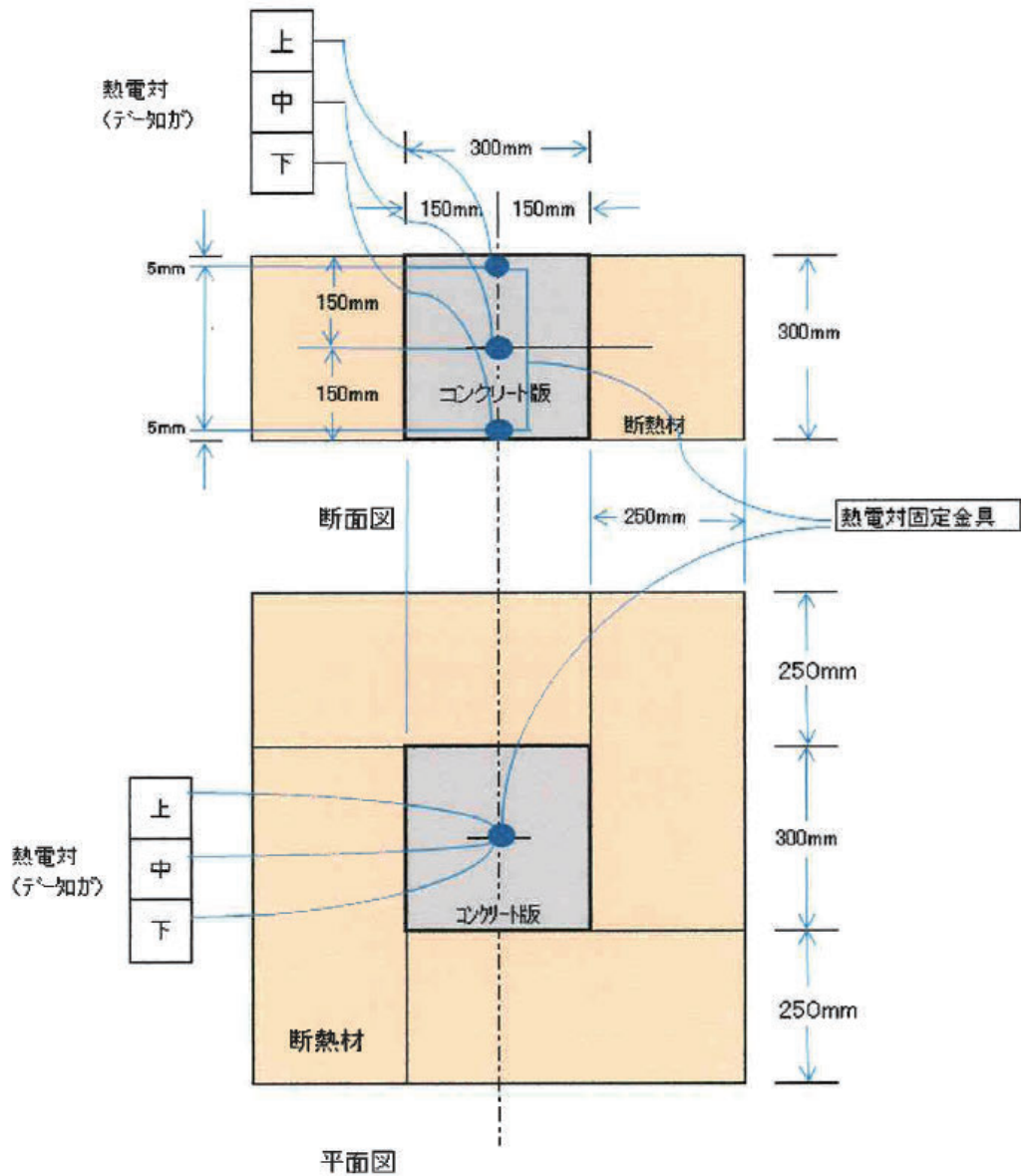


図-3.25 コンクリート版供試体（版厚が30cmの場合）

表-3.22 温度データ収集条件

供試体サイズ	版厚: 15,20,23,25,28,30,45cm
	面積: 30×30cm
温度センサー設置位置	上方(表面から0.5cm),中央,下方(底面から0.5cm)
サンプリング間隔	1回/時間

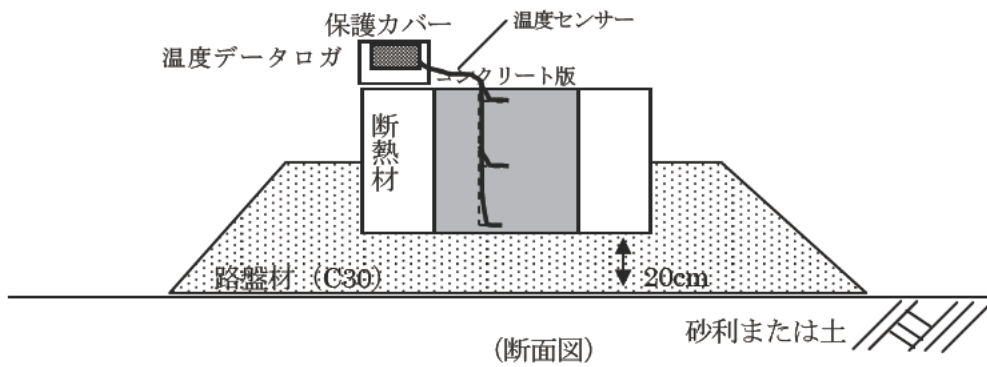
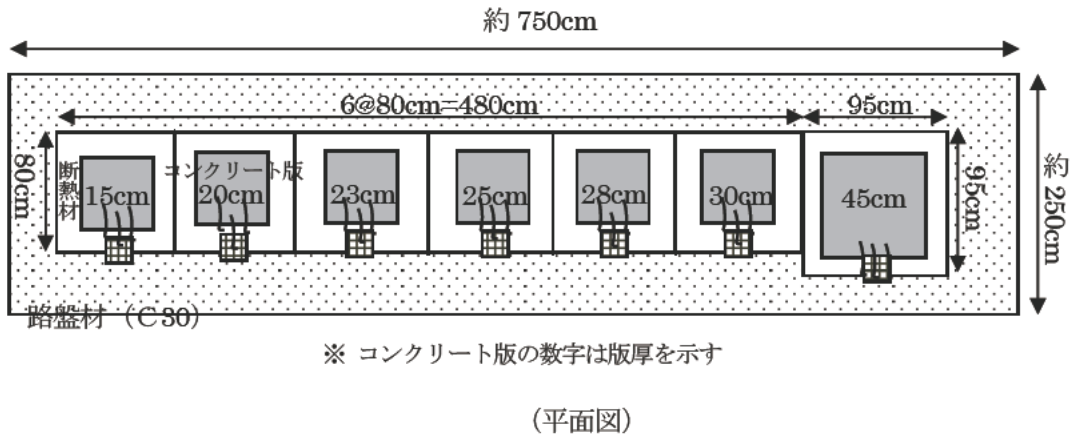


図-3.26 コンクリート版供試体の設置図



図-3.27 調査対象地点

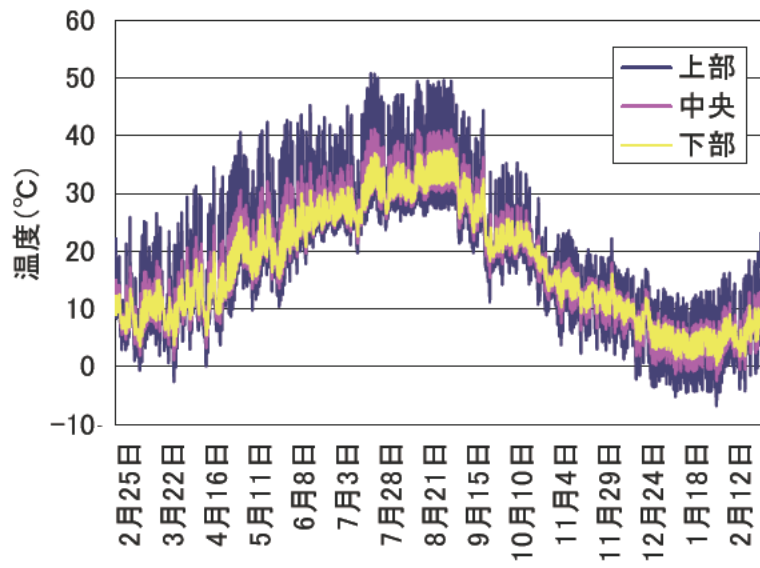


図-3.28 茨城県の版厚 30cm のコンクリート版供試体の温度計測結果

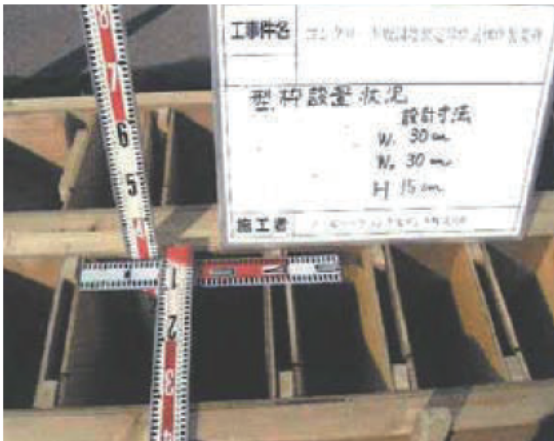


写真-3.60 型枠の作製



写真-3.61 温度センサー取り付け金具



写真-3.62 コンクリートの打設状況



写真-3.63 コンクリート版供試体設置状況

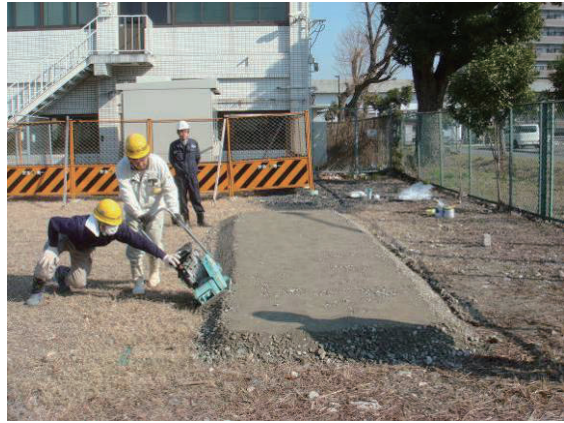


写真-3.64 路盤整正状況



写真-3.65 コンクリート版供試体設置



写真-3.66 断熱材設置状況



写真-3.67 温度計測装置



写真-3.68 百葉箱に設置した温度計測装置

3.3 国道の現地調査

(1) 調査の目的

実際の国道において走行位置分布の確認及び鉄網の引っ張り抵抗性の確認を目的とする。

(2) 調査の内容

以下の4箇所で行った。

1) 国道4号黒磯バイパス¹⁾

調査は、平成19年3月7日、8日に栃木県那須塩原市市原町にある国道4号黒磯バイパスにおいて実施した。調査区間の概要を表-3.23に示す。調査項目を表-3.24に示す。調査現場状況を写真-3.69に示す。

表-3.23 調査区間の概要

構成	層厚(cm)
コンクリート版	30
アスファルト中間層	4
粒度調整碎石層	15

*路床の設計CBRIは12である。

表-3.24 調査項目

調査項目	測定位置
路面性状調査	調査箇所全区間およびAs舗装箇所
たわみ量測定	上り走行および追越車線
段差量測定	上り走行および追越車線
すべり抵抗性測定	上り走行および追越車線
きめ深さ測定	上り走行および追越車線
環境騒音測定	As区間内含む4箇所
路面温度測定	閉鎖区間内1箇所
路面明度測定	上り追越車線
路盤層以下の支持力測定	閉鎖区間内5箇所
交通量調査	近隣歩道橋より上下線



写真-3.69 黒磯バイパスの現場状況

2) 国道4号平泉バイパス²⁾

調査は、平成20年10月22日、23日と11月26日に岩手県西磐井郡平泉町平泉にある国道4号平泉バイパスにおいて実施した。調査区間の概要を図-3.29に示す。調査項目を表-3.25に示す。

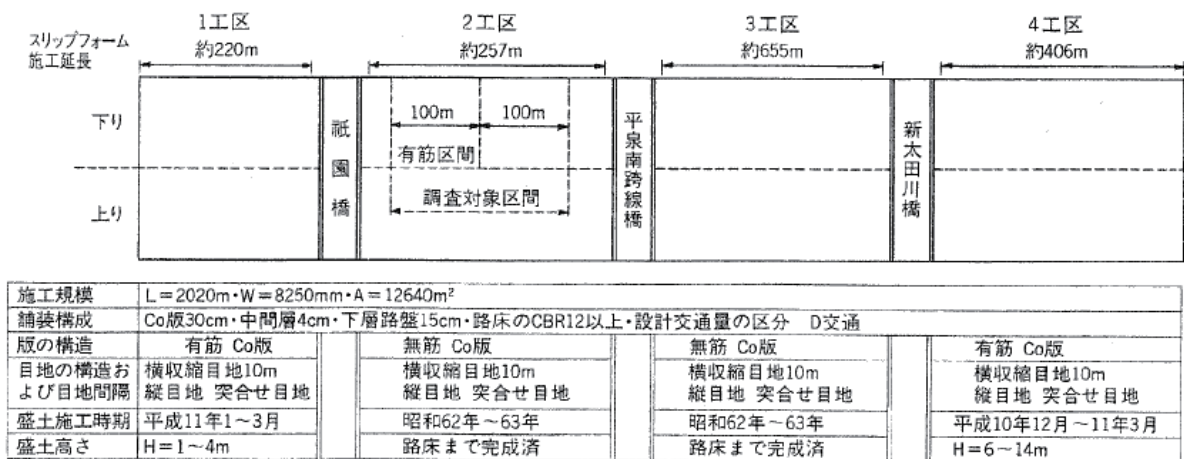


図-3.29 調査区間の概要

表-3.25 調査項目

調査項目	使用機材
たわみ量	FWD
段差	スケール
すべり抵抗	DF テスタ
きめ深さ	CT メータ
わだち掘れ、ひび割れ度、平坦性	路面性状測定車
ひび割れ (スケッチ)	
ひび割れ幅	スケール
騒音	騒音計
交通量	ビデオカメラ、センサス
路面温度	熱電対、データレコーダ

3) 国道 113 号

調査は、平成 22 年 11 月 11 日に山形県西置賜郡飯豊町にある国道 113 号の K P108.1 付近の上下線約 700m (片側 1 車線) で実施した。調査区間の概要を表-3.26 に示す。コンクリート番号を図-3.30 に示す。調査項目を表-3.27 に示す。調査現場状況を写真-3.70 に示す。

たわみ量の測定結果を図-3.31 に示す。横ひび割れのある No.5 でたわみ量が相対的に大きくなっており、舗装の耐荷力が相対的に低下していると考えられる。たわみ量の荷重伝達率を図-3.32 に示す。おおよそ 80% 以上あり荷重伝達が有効であると判断できる。路面性状調査結果を表-3.28 に示す。わだち掘れ量、目地部の段差量、動摩擦係数のいずれも維持管理目標値と比較して問題ない値となっている。環境騒音ではコンクリート舗装がアスファルト舗装よりも約 2dB 高いことを確認した。

表-3.26 調査区間の概要

	調査Co版	施工時期	調査時点の 供用年数	設計交通量 区分	舗装構成
国道113号					セメントコンクリート版 25 cm
上り	66枚	1982年4月	28年	N ₆	アスファルト中間層 4 cm
下り	66枚	1982年4月	28年	N ₆	クラッシャーラン - cm
					(上下線とも同一)

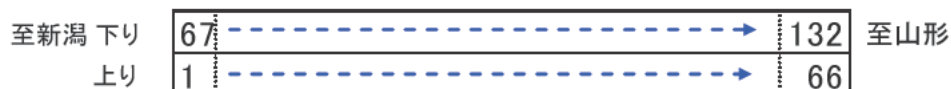


図-3.30 コンクリート版の番号

表-3.27 調査項目

目 的	調 査 項 目	測 定 数
構造評価	FWDによるたわみ量調査	82
	コンクリートの強度試験	-
路面性状調査	すべり抵抗	20
	きめ深さ	20
	わだち掘れ	20
	段差	132
	環境騒音	2
鉄網効果検討	鉄網の引っ張り試験	6

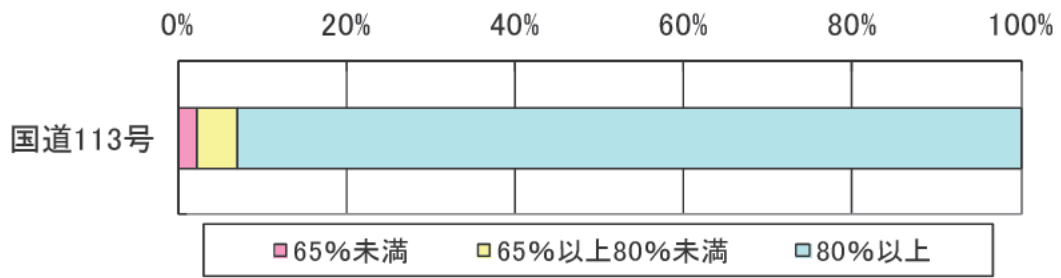


図-3.32 荷重伝達率の評価区分の割合（国道113号）

表-3.28 路面性状結果

	国道113号	
	上り	下り
動摩擦係数 μ (60km/h)	0.45	0.45
わだち掘れ量の平均値 (mm)	5	5
段差の最大値 (mm)	15	7.7
環境騒音(L_{Aeq})の平均値 (dB)	76.5 75.4(アスファルト)	
きめ深さ MPD (mm)	0.9	1.03

4) 国道 13 号

調査は、平成 22 年 11 月 12 日に、山形県上山市金生にある国道 13 号の K P 79.3 の上下線走行車線約 200m (片側 2 車線) において実施した。調査区間の概要を表-3.29 に示す。コンクリート版の番号は図-3.33 に示す。調査項目を表-3.30 に示す。調査現場状況を写真-3.71 に示す。

たわみ量の測定結果を図-3.34 に示す。横ひび割れのある No.16 でたわみ量が相対的に大きく、舗装の耐荷力が相対的に低下していることがわかる。下り線のたわみ量の荷重伝達率を図-3.35 に示す。おおよそ 80% 以上あり荷重伝達が有効であると判断できる。路面性状調査結果を表-3.31 に示す。わだち掘れ量、目地部の段差量、動摩擦係数のいずれも維持管理目標値と比較して問題ない値となっている。環境騒音ではコンクリート舗装がアスファルト舗装よりも約 2dB 高いことを確認した。

表-3.29 調査区間の概要

	調査Co版	施工時期	調査時点の 供用年数	設計交通量 区分	舗装構成
国道13号					セメントコンクリート版 30 cm
上り	17枚	1986年10月	24年	N ₅	アスファルト中間層 4 cm
下り	18枚	1998年3月	13年	N ₅	クラッシュラン 15 cm
					(上下線とも同一)

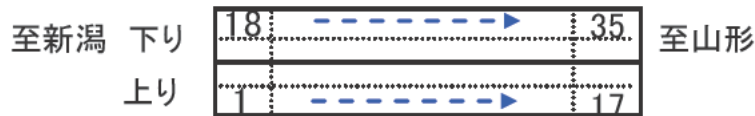


図-3.33 コンクリート版の番号

表-3.30 調査項目

目的	調査項目	測定数
構造評価	FWDによるたわみ量調査	70
	コンクリートの強度試験	6
路面性状調査	すべり抵抗	5
	きめ深さ	5
	わだち掘れ	5
	段差	35
	環境騒音	2
鉄網効果検討	鉄網の引っ張り試験	2
目地部ひび割れ原因調査	凍結融解	4
	アルカリ骨材反応	4



写真-3.71 国道 113 号の現場状況 (左：上り線、右：下り線)

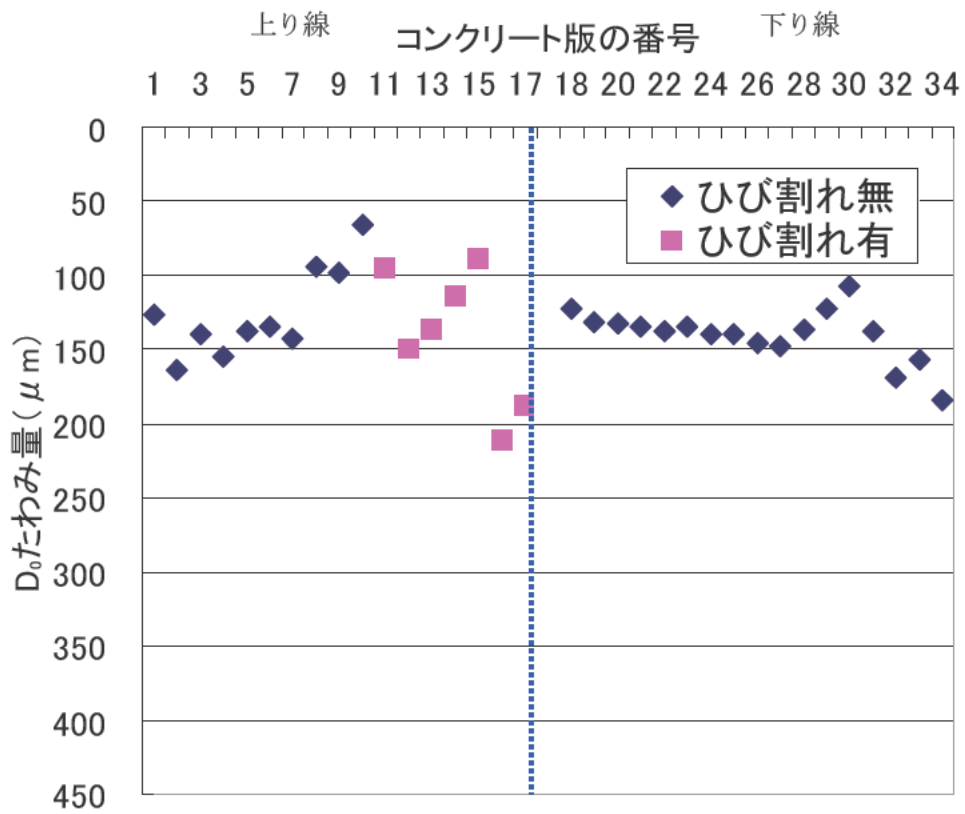


図-3.34 たわみ量 (国道 13号)

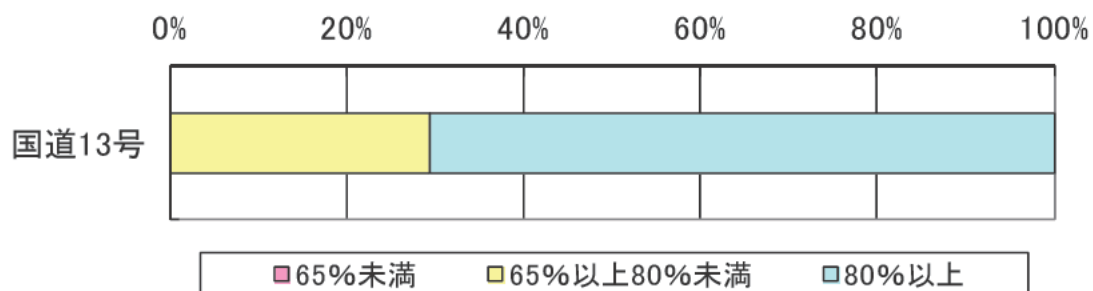


図-3.35 荷重伝達率の評価区分の割合 (国道13号、下り線)

表-3.31 路面性状結果

	国道13号	
	上り	下り
動摩擦係数 μ (60km/h)	0.4	0.41
わだち掘れ量の平均値 (mm)	8	5
段差の最大値 (mm)	0	0
環境騒音(L_{Aeq})の平均値 (dB)	77.9 75.9 (アスファルト)	
きめ深さ MPD (mm)	0.98	0.66

3.4 路盤の強度試験

(1) 試験の目的

コンクリート舗装の路盤の設計曲線の信頼性を検証することを目的として、実大の路盤を構築した。

(2) 試験の内容

土木研究所舗装走行実験場内に、幅 4m、長さ 30m の路盤の試験ヤードを構築した。試験ヤードの平面図と断面図をそれぞれ図-3.36、図-3.37 に示す。路盤の試験ヤードは 12 種類の試験工区を設けた。路盤材には、偶数番号の試験工区は再生材（コンクリート塊 100%）、奇数番号の試験工区は新材を用いた。使用材料について室内試験を行い、各試験工区において図-3.38 に示す 9 箇所で、路床上面と路盤上面で平板載荷試験及び小型 FWD 試験を実施した。施工状況について写真-3.72 から写真-3.81 に示す。

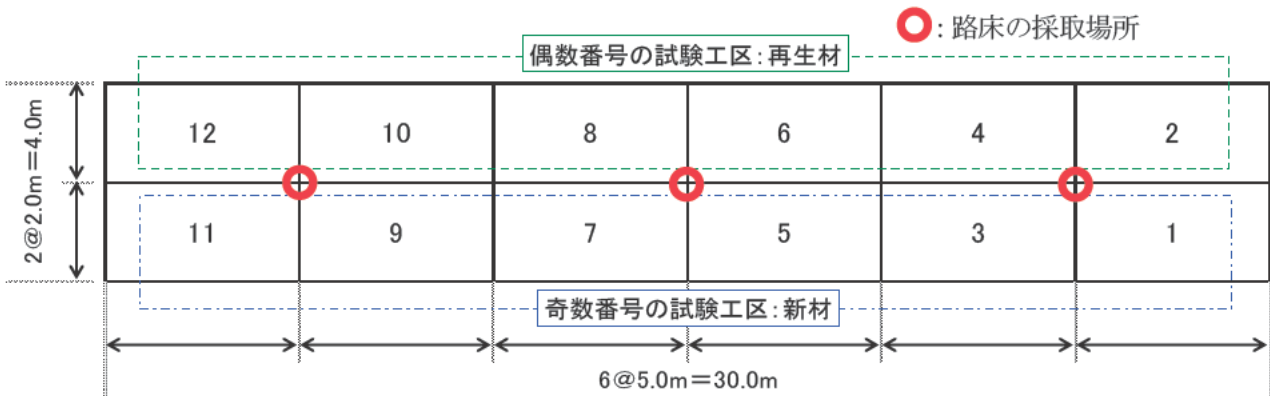


図-3.36 試験ヤードの平面図

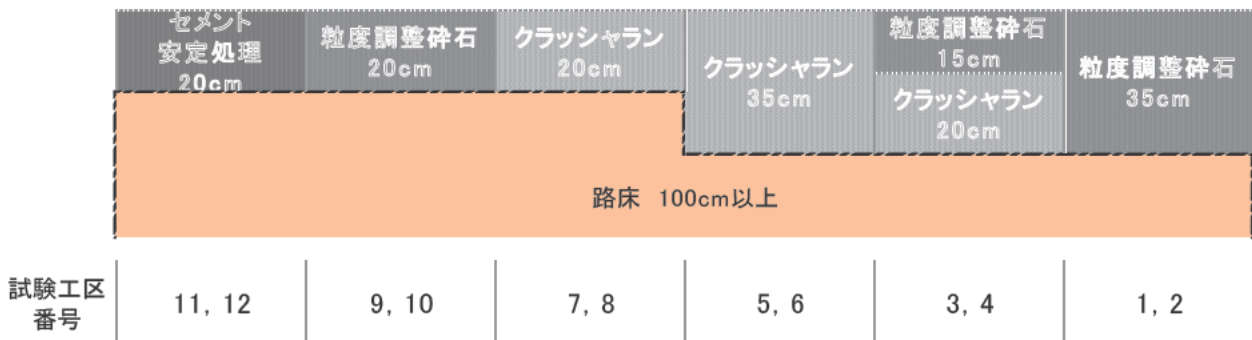


図-3.37 試験ヤードの断面図

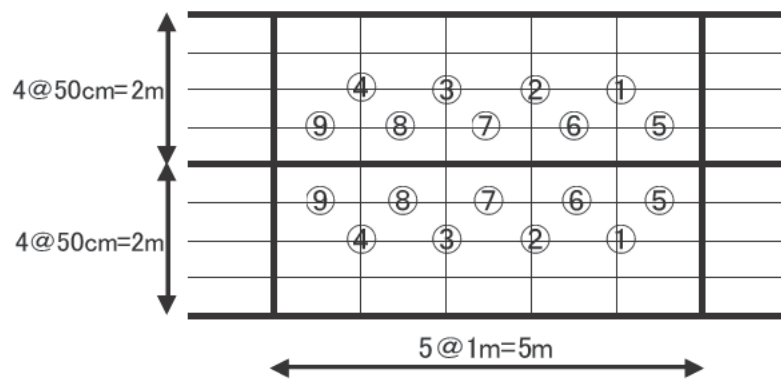


圖-3.38 計測箇所

(3) 計測結果

室内試験結果を表-3.32 に示す。路盤を構築し、図-3.38 に示した位置で、路盤厚の測定、平板載荷試験、小型 FWD 試験を行った結果を、それぞれ表-3.33、図-3.38、図-3.39 に示す。

表-3.32 室内試験結果

試験項目		路床材	M30	RM40	セメント安定 処理M30	セメント安定 処理RM40	C40	RC40	
突固め試験	最大乾燥密度	g/cm ³	1.030	2.212	1.807	—	—	2.225	2.060
	最適含水比	%	49.6	3.8	11.5	—	—	4.1	7.0
安定処理混合物の突固め試験	最大乾燥密度	g/cm ³	—	—	—	2.264	1.700	—	—
	最適含水比	%	—	—	—	5.4	16.2	—	—
安定処理混合物の一軸圧縮試験	セメント添加量	%	—	—	—	4.0	6.5	—	—
CBR試験(乱した土による)	測点 5m 上層	%	3.1	—	—	—	—	—	—
	下層	%	1.2	—	—	—	—	—	—
	測点 15m 上層	%	0.8	—	—	—	—	—	—
	下層	%	1.0	—	—	—	—	—	—
	測点 25m 上層	%	1.6	—	—	—	—	—	—
	下層	%	1.0	—	—	—	—	—	—
CBR試験(乱さない土による)	測点 5m	%	5.5	—	—	—	—	—	—
	測点 15m	%	3.3	—	—	—	—	—	—
	測点 25m	%	6.8	—	—	—	—	—	—
修正CBR試験	突固回数 17	%	—	42.8	32.4	—	—	31.0	33.7
	突固回数 42	%	—	106.8	156.9	—	—	93.6	128.1
	突固回数 92	%	—	182.9	252.0	—	—	154.1	236.2
	修正CBR	%	—	92.5	109.2	—	—	54.7	104.6
塑性・液性限界試験	塑性指数		—	N・P	N・P	N・P	N・P	N・P	N・P
粒度試験	53	%	—	—	100.0	—	100.0	100.0	100.0
	37.5	%	—	100.0	99.7	100.0	99.7	99.4	98.7
	31.5	%	—	100.0	—	100.0	—	—	—
	19	%	—	93.7	78.6	93.7	78.6	74.9	69.2
	4.75	%	—	45.3	38.5	45.3	38.5	38.1	36.0
	2.36	%	—	31.2	30.6	31.2	30.6	27.8	27.2
	0.425	%	—	14.2	10.1	14.2	10.1	—	—
	0.075	%	—	5.0	2.1	5.0	2.1	—	—
路床土のレジリエントモデュラス試験	$\sigma_d=40kPa$	MPa	48	—	—	—	—	—	
路盤材のレジリエントモデュラス試験	$\theta=130kPa$	MPa	—	—	—	—	—	306	156
	$\theta=400kPa$	MPa	—	317	328	819	666	—	—
簡易試験による変形係数試験		MPa	5	223	230	261	275	198	238

表-3.35 路盤厚の測定結果

工区	番号	上層 路盤厚(m)	路盤 総厚(m)	工区	番号	路盤 総厚(m)	工区	番号	路盤 総厚(m)	工区	番号	路盤 総厚(m)
3	1	0.187	0.385	2	1	0.339	7	1	0.21	10	1	0.181
	2	0.186	0.387		2	0.319		2	0.208		2	0.198
	3	0.188	0.399		3	0.339		3	0.209		3	0.177
	4	0.195	0.396		4	0.364		4	0.212		4	0.186
	5	0.205	0.422		5	0.359		5	0.206		5	0.196
	6	0.2	0.399		6	0.315		6	0.21		6	0.194
	7	0.204	0.396		7	0.328		7	0.216		7	0.204
	8	0.214	0.397		8	0.371		8	0.211		8	0.187
	9	0.2	0.385		9	0.394		9	0.212		9	0.208
	平均	0.198	0.396		平均	0.348		平均	0.21		平均	0.192
4	1	0.181	0.368	5	1	0.377	8	1	0.218	11	1	0.222
	2	0.184	0.381		2	0.362		2	0.212		2	0.203
	3	0.194	0.376		3	0.368		3	0.208		3	0.219
	4	0.193	0.388		4	0.334		4	0.199		4	0.201
	5	0.197	0.383		5	0.391		5	0.225		5	0.19
	6	0.198	0.386		6	0.382		6	0.215		6	0.214
	7	0.202	0.385		7	0.36		7	0.22		7	0.209
	8	0.207	0.383		8	0.35		8	0.212		8	0.227
	9	0.197	0.376		9	0.354		9	0.206		9	0.193
	平均	0.195	0.381		平均	0.364		平均	0.213		平均	0.209
1	1		0.331	6	1	0.368	9	1	0.204	12	1	0.235
	2		0.354		2	0.36		2	0.201		2	0.232
	3		0.331		3	0.369		3	0.194		3	0.231
	4		0.351		4	0.374		4	0.186		4	0.213
	5		0.338		5	0.376		5	0.19		5	0.217
	6		0.331		6	0.377		6	0.197		6	0.243
	7		0.325		7	0.356		7	0.206		7	0.238
	8		0.358		8	0.376		8	0.194		8	0.215
	9		0.403		9	0.38		9	0.204		9	0.188
	平均		0.347		平均	0.371		平均	0.197		平均	0.224

◎平揺載荷試験(踏床) K値一覽 (K₃₀:MPa/m)

工区No.12		工区No.10		工区No.8		工区No.6		工区No.4		工区No.2	
標準偏差 12		標準偏差 8		標準偏差 46		標準偏差 46		標準偏差 11		標準偏差 45	
工区平均 43		工区平均 42		工区平均 199		工区平均 199		工区平均 42		工区平均 100	
④	51	④	65	④	225	④	225	④	43	④	50
③	41	③	52	③	182	③	182	③	32	③	62
②	37	②	39	②	161	②	161	②	27	②	49
①	44	①	49	①	153	①	153	①	30	①	133
⑤	29	⑤	48	⑤	209	⑤	209	⑤	51	⑤	88
⑥	36	⑥	42	⑥	180	⑥	180	⑥	39	⑥	98
⑦	30	⑦	44	⑦	154	⑦	154	⑦	59	⑦	163
⑧	31	⑧	41	⑧	169	⑧	169	⑧	31	⑧	157
⑨	36	⑨	43	⑨	147	⑨	147	⑨	46	⑨	77
⑩	27	⑩	41	⑩	123	⑩	123	⑩	44	⑩	109
⑪	35	⑪	41	⑪	117	⑪	117	⑪	44	⑪	109
⑫	36	⑫	41	⑫	117	⑫	117	⑫	44	⑫	109
⑬	36	⑬	41	⑬	117	⑬	117	⑬	44	⑬	109
⑭	36	⑭	41	⑭	117	⑭	117	⑭	44	⑭	109
⑮	36	⑮	41	⑮	117	⑮	117	⑮	44	⑮	109
⑯	36	⑯	41	⑯	117	⑯	117	⑯	44	⑯	109
⑰	36	⑰	41	⑰	117	⑰	117	⑰	44	⑰	109
⑱	36	⑱	41	⑱	117	⑱	117	⑱	44	⑱	109
⑲	36	⑲	41	⑲	117	⑲	117	⑲	44	⑲	109
⑳	36	㉑	41	㉒	117	㉓	117	㉔	44	㉕	109
㉖	36	㉗	41	㉘	117	㉙	117	㉚	44	㉛	109
㉜	36	㉝	41	㉞	117	㉟	117	㊱	44	㊲	109
㊳	36	㊴	41	㊵	117	㊶	117	㊷	44	㊸	109
㊹	36	㊺	41	㊻	117	㊼	117	㊽	44	㊾	109
㊿	36	①	41	②	117	③	117	④	44	⑤	109
②	36	③	41	④	117	⑤	117	⑥	44	⑦	109
③	36	④	41	⑤	117	⑥	117	⑦	44	⑧	109
④	36	⑤	41	⑥	117	⑦	117	⑧	44	⑨	109
⑤	36	⑥	41	⑦	117	⑧	117	⑨	44	⑩	109
⑥	36	⑦	41	⑧	117	⑨	117	⑩	44	⑪	109
⑦	36	⑧	41	⑨	117	⑩	117	⑪	44	⑫	109
⑧	36	⑨	41	⑩	117	⑪	117	⑫	44	⑬	109
⑨	36	⑫	41	⑬	117	⑭	117	⑮	44	⑯	109
⑩	36	⑰	41	⑱	117	⑲	117	⑳	44	㉑	109
㉒	36	㉓	41	㉔	117	㉕	117	㉖	44	㉗	109
㉘	36	㉙	41	㉚	117	㉛	117	㉜	44	㉝	109
㉞	36	㉟	41	㊱	117	㊲	117	㊳	44	㊴	109
㊵	36	㊶	41	㊷	117	㊸	117	㊹	44	㊺	109
㊻	36	㊼	41	㊽	117	㊾	117	㊿	44	①	109
①	36	②	41	③	117	④	117	⑤	44	⑥	109
②	36	③	41	④	117	⑤	117	⑥	44	⑦	109
③	36	④	41	⑤	117	⑥	117	⑦	44	⑧	109
④	36	⑤	41	⑥	117	⑦	117	⑧	44	⑨	109
⑤	36	⑥	41	⑦	117	⑧	117	⑨	44	⑩	109
⑥	36	⑦	41	⑧	117	⑨	117	⑩	44	⑪	109
⑦	36	⑧	41	⑨	117	⑩	117	⑪	44	⑫	109
⑧	36	⑫	41	⑬	117	⑭	117	⑮	44	⑯	109
⑨	36	⑰	41	⑱	117	⑲	117	⑳	44	㉑	109
⑩	36	㉒	41	㉓	117	㉔	117	㉕	44	㉖	109
㉗	36	㉘	41	㉙	117	㉚	117	㉛	44	㉜	109
㉝	36	㉞	41	㉟	117	㊱	117	㊲	44	㊳	109
㊴	36	㊵	41	㊶	117	㊷	117	㊸	44	㊹	109
㊺	36	㊻	41	㊼	117	㊽	117	㊾	44	㊿	109
①	36	②	41	③	117	④	117	⑤	44	⑥	109
②	36	③	41	④	117	⑤	117	⑥	44	⑦	109
③	36	④	41	⑤	117	⑥	117	⑦	44	⑧	109
④	36	⑤	41	⑥	117	⑦	117	⑧	44	⑨	109
⑤	36	⑥	41	⑦	117	⑧	117	⑨	44	⑩	109
⑥	36	⑦	41	⑧	117	⑨	117	⑩	44	⑪	109
⑦	36	⑧	41	⑨	117	⑩	117	⑪	44	⑫	109
⑧	36	⑫	41	⑬	117	⑭	117	⑮	44	⑯	109
⑨	36	⑰	41	⑱	117	⑲	117	⑳	44	㉑	109
⑩	36	㉒	41	㉓	117	㉔	117	㉕	44	㉖	109
㉗	36	㉘	41	㉙	117	㉚	117	㉛	44	㉜	109
㉝	36	㉞	41	㉟	117	㊱	117	㊲	44	㊳	109
㊴	36	㊵	41	㊶	117	㊷	117	㊸	44	㊹	109
㊺	36	㊻	41	㊼	117	㊽	117	㊾	44	㊿	109
①	36	②	41	③	117	④	117	⑤	44	⑥	109
②	36	③	41	④	117	⑤	117	⑥	44	⑦	109
③	36	④	41	⑤	117	⑥	117	⑦	44	⑧	109
④	36	⑤	41	⑥	117	⑦	117	⑧	44	⑨	109
⑤	36	⑥	41	⑦	117	⑧	117	⑨	44	⑩	109
⑥	36	⑦	41	⑧	117	⑨	117	⑩	44	⑪	109
⑦	36	⑧	41	⑨	117	⑩	117	⑪	44	⑫	109
⑧	36	⑫	41	⑬	117	⑭	117	⑮	44	⑯	109
⑨	36	⑰	41	⑱	117	⑲	117	⑳	44	㉑	109
⑩	36	㉒	41	㉓	117	㉔	117	㉕	44	㉖	109
㉗	36	㉘	41	㉙	117	㉚	117	㉛	44	㉜	109
㉝	36	㉞	41	㉟	117	㊱	117	㊲	44	㊳	109
㊴	36	㊵	41	㊶	117	㊷	117	㊸	44	㊹	109
㊺	36	㊻	41	㊼	117	㊽	117	㊾	44	㊿	109
①	36	②	41	③	117	④	117	⑤	44	⑥	109
②	36	③	41	④	117	⑤	117	⑥	44	⑦	109
③	36	④	41	⑤	117	⑥	117	⑦	44	⑧	109
④	36	⑤	41	⑥	117	⑦	117	⑧	44	⑨	109
⑤	36	⑥	41	⑦	117	⑧	117	⑨	44	⑩	109
⑥	36	⑦	41	⑧	117	⑨	117	⑩	44	⑪	109
⑦	36	⑧	41	⑨	117	⑩	117	⑪	44	⑫	109
⑧	36	⑫	41	⑬	117	⑭	117	⑮	44	⑯	109
⑨	36	⑰	41	⑱	117	⑲	117	⑳	44	㉑	109
⑩	36	㉒	41	㉓	117	㉔	117	㉕	44	㉖	109
㉗	36	㉘	41	㉙	117	㉚	117	㉛	44	㉜	109
㉝	36	㉞	41	㉟	117	㊱	117	㊲	44	㊳	109
㊴	36	㊵	41	㊶	117	㊷	117	㊸	44	㊹	109
㊺	36	㊻	41	㊼	117	㊽	117	㊾	44	㊿	109
①	36	②	41	③	117	④	117	⑤	44	⑥	109
②	36	③	41	④	117	⑤	117	⑥	44	⑦	109
③	36	④	41	⑤	117	⑥	117	⑦	44	⑧	109
④	36	⑤	41	⑥	117	⑦	117	⑧	44	⑨	109
⑤	36	⑥	41	⑦	117	⑧	117	⑨	44	⑩	109
⑥	36	⑦	41	⑧	117	⑨	117	⑩	44	⑪	109
⑦	36	⑧	41	⑨	117	⑩	117	⑪	44	⑫	109
⑧	36	⑫	41	⑬	117	⑭	117	⑮	44	⑯	109
⑨	36	⑰	41	⑱	117	⑲	117	⑳	44	㉑	109
⑩	36	㉒	41	㉓	117	㉔	117	㉕	44	㉖	109
㉗	36	㉘	41	㉙	117	㉚	117	㉛	44	㉜	109
㉝	36	㉞	41	㉟	117	㊱	117	㊲	44	㊳	109
㊴	36	㊵	41	㊶	117	㊷	117	㊸	44	㊹	109
㊺	36	㊻	41	㊼	117	㊽	117	㊾	44	㊿	109
①	36	②	41	③	117	④	117	⑤	44	⑥	109
②	36	③	41	④	117	⑤	117	⑥	44	⑦	109
③	36	④	41	⑤	117	⑥	117	⑦	44	⑧	109
④	36	⑤	41	⑥	117	⑦	117	⑧	44	⑨	109
⑤	36	⑥	41	⑦	117	⑧	117	⑨	44	⑩	109
⑥	36	⑦	41	⑧	117	⑨	117	⑩	44	⑪	109
⑦	36	⑧	41	⑨	117	⑩	117	⑪	44	⑫	109
⑧	36	⑫	41	⑬	117	⑭	117	⑮	44	⑯	109
⑨	36	⑰	41	⑱	117	⑲	117	⑳	44	㉑	109
⑩	36	㉒	41	㉓	117	㉔	117	㉕	44	㉖	109
㉗	36	㉘	41	㉙	117	㉚	117	㉛	44	㉜	109
㉝	36	㉞	41	㉟	117	㊱	117	㊲	44	㊳	109
㊴	36	㊵	41	㊶	117	㊷	117	㊸	44	㊹	109
㊺	36	㊻	41	㊼	117	㊽	117	㊾	44	㊿	109
①	36	②	41	③	117	④	117	⑤			

◎ 平板載荷試験 K値一覧 (K₃₀:MPa/m)

工区No. 12		工区No. 10		工区No. 8		工区No. 6		工区No. 4		工区No. 2	
内平均	標準偏差	内平均	標準偏差	内平均	標準偏差	内平均	標準偏差	内平均	標準偏差	内平均	標準偏差
276	75	137	14	95	14	142	10	179	23	166	31
333	392	146	149	103	96	137	129	185	170	137	165
332	277	152	122	109	79	118	136	157	147	140	133
279	204	113	129	100	28	81	98	142	121	164	168
281	194	96	98	82	94	134	134	127	162	142	161
145	266	111	106	87	100	117	125	148	114	122	114
298	220	114	106	95	98	117	125	148	114	122	114
252	319	94	152	111	88	81	98	127	133	132	142
281	281	111	106	95	98	117	125	148	114	122	114
194	145	96	98	82	94	134	134	127	162	142	161
266	266	111	106	87	100	117	125	148	114	122	114
238	57	114	20	92	10	115	20	140	27	133	16
240	238	110	114	94	92	120	148	140	133	133	133
240	238	110	114	94	92	120	148	140	133	133	133
240	238	110	114	94	92	120	148	140	133	133	133

OHFW K値一覧 (K₃₀:MPa/m)

工区No. 12		工区No. 10		工区No. 8		工区No. 6		工区No. 4		工区No. 2	
内平均	標準偏差	内平均	標準偏差	内平均	標準偏差	内平均	標準偏差	内平均	標準偏差	内平均	標準偏差
584	197	123	21	72	7	146	15	184	27	185	31
505	1017	119	113	77	82	148	143	162	184	156	158
461	416	75	75	64	75	140	144	126	174	167	149
513	311	112	107	82	69	129	144	146	218	156	178
473	233	84	84	92	81	117	134	153	176	149	125
444.5	444.5	75	73.5	70.5	82.5	121	124.5	144	124	132	126.5
392	392	100	100	84.5	82.5	113	124.5	144	124	132	126.5
440	420	82	81	79	80	132	138	138	149	139	139
440	420	82	81	79	80	132	138	138	149	139	139
440	420	82	81	79	80	132	138	138	149	139	139
440	420	82	81	79	80	132	138	138	149	139	139

図-3.40 路盤上面の計測結果



写真-3.72 現地盤の掘削状況



写真-3.73 路床転圧



写真-3.74 路床上面での平板荷重試験



写真-3.75 路床上面での小型 FWD 試験



写真-3.76 下層路盤の転圧状況



写真-3.77 セメント安定処理層の施工



写真-3.78 上層路盤の転圧状況



写真-3.79 路盤上面での平板载荷試験



写真-3.80 路盤上面での小型 FWD 試験



写真-3.81 構築した路盤

3.5 舗装管理支援システムデータの解析

(1) 目的

重交通路線におけるコンクリート舗装の信頼度を確認するため、舗装管理支援システムのデータを使用し信頼度の算出を行った。

(2) 内容

舗装管理支援システムは、国土交通省が合理的に維持修繕を実施するために構築したもので、簡易版は平成9年度から運用されている。支援システムのデータには、施工年月日や舗装構成、舗装工事、路面性状等が掲載されており、データは3年に1度更新されている。舗装の舗設年から打ち換えに至るまでの年数を算出して信頼度を算出した。

表-3.34 信頼度の算出条件

項目	内容
使用データ	舗装管理支援システム
解析年度	H11,H14,H17,H20年度データ
舗装の破壊の定義	①舗装が打換えられた時
	②ひび割れ度が10(cm/m ²)以上となった時

(3) 結果

算出結果を表-3.37に示す。データは100m程度の区間にわかれているため同じ箇所のものはデータを統合している。例えば以下の場合には6個のデータとして扱っている。

表-3.35 N₅交通の供用年数の算出結果

都道府県	区間長(m)	舗設年	供用年数
鹿児島県	100	S41/03	34.0
鹿児島県	30	S42/03	37.0
鹿児島県	65	S42/03	37.0
岩手県	100	S42/04	41.7
岩手県	45	S42/04	41.7
岩手県	55	S42/04	41.7
熊本県	100	S45/03	31.9
熊本県	5	S45/03	31.9
熊本県	10	S45/03	31.9
熊本県	85	S45/03	31.9
熊本県	100	S45/03	31.9
北海道	84	S56/03	22.0
山形県	5	S61/10	12.2
山形県	75	S61/10	12.2
山形県	40	S61/10	12.2
山形県	100	S61/10	12.2
山形県	100	S61/10	12.2
山形県	100	S61/10	12.2
山形県	100	S61/10	12.2
山形県	100	S61/10	12.2
山形県	100	S61/10	12.2
山形県	25	S61/10	12.2
山形県	30	S61/10	12.2
山形県	60	S61/10	12.2

参考文献

- 1) 関東地方整備局、(独)土木研究所、舗装診断研究会：コンクリート舗装構造調査業務測定試験結果報告書、平成19年3月
- 2) (独)土木研究所、舗装診断研究会：長期供用されたコンクリート舗装に関する調査業務結果報告書、平成21年3月

4. コンクリート版の構造設計の検討

4.1 輪荷重応力式の検討

4.1.1 静的荷重の応力式の検討

コンクリート版の設計は、コンクリート版に作用する曲げ応力およびその繰り返しによって、コンクリート版にひび割れが生じないように版厚を設定することが目的である。この際考慮するひび割れは、縦自由縁部からおよび縦目地縁部からの横ひび割れである。現行の設計法では、コンクリート版に作用する曲げ応力の内、輪荷重応力は舗装設計便覧に示される次の式によって算定されている。

$$\sigma = (1 + 0.54\nu) \cdot C_L \cdot C_T \cdot 1000P \cdot (\log(100L) - 0.75\log(100r) - 0.18) / (h^2 \cdot 10^6) \quad (4.1)$$

ここで、 σ : 輪荷重応力 (MPa)

μ : 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、適当量のタイヤを用いた縦目地縁部 1.59 (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 (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 ; $L = \{Eh^3 / 12(1 - \mu^2)K_{75}\}^{0.25}$

E : コンクリートの弾性係数 (MPa)

K_{75} : 路盤支持力係数 (MPa/m)

a : タイヤ接地半径

$$a = 0.12 + P / 980 \text{ (m)}$$

h : コンクリート版厚 (m)

この輪荷重応力式の原型は昭和 39 年のコンクリート舗装要綱から用いられており、その背景には岩間による一連の研究があった。元々この式は縦自由縁部もしくは縦目地部に車輪が載った場合の応力を計算するもので、その後、単位系の変更および縦ひび割れに対する検討を加えて現在の形となっているが、大きな変更は加えられていない。

現在の普通コンクリート舗装では、コンクリート版内に鉄網を設置することとなっている。また交通量区分によるが、路盤上にアスファルト中間層が設けられる場合がある。鉄網の効果は、コンクリート版にひび割れが生じた場合にひび割れが開かないようにするもので、応力の算定にあたっては無視されている。一方アスファルト中間層は主に、路盤の耐水性を向上させるために用いられており、やはり応力算定にあたっては考慮されていない。

本研究では、土木研究所に舗設された実物大コンクリート舗装上で静的載荷試験を実施し、応力算定式の検証、鉄網およびアスファルト中間層の輪荷重応力に対する影響の検討を行った。

(1) 試験舗装

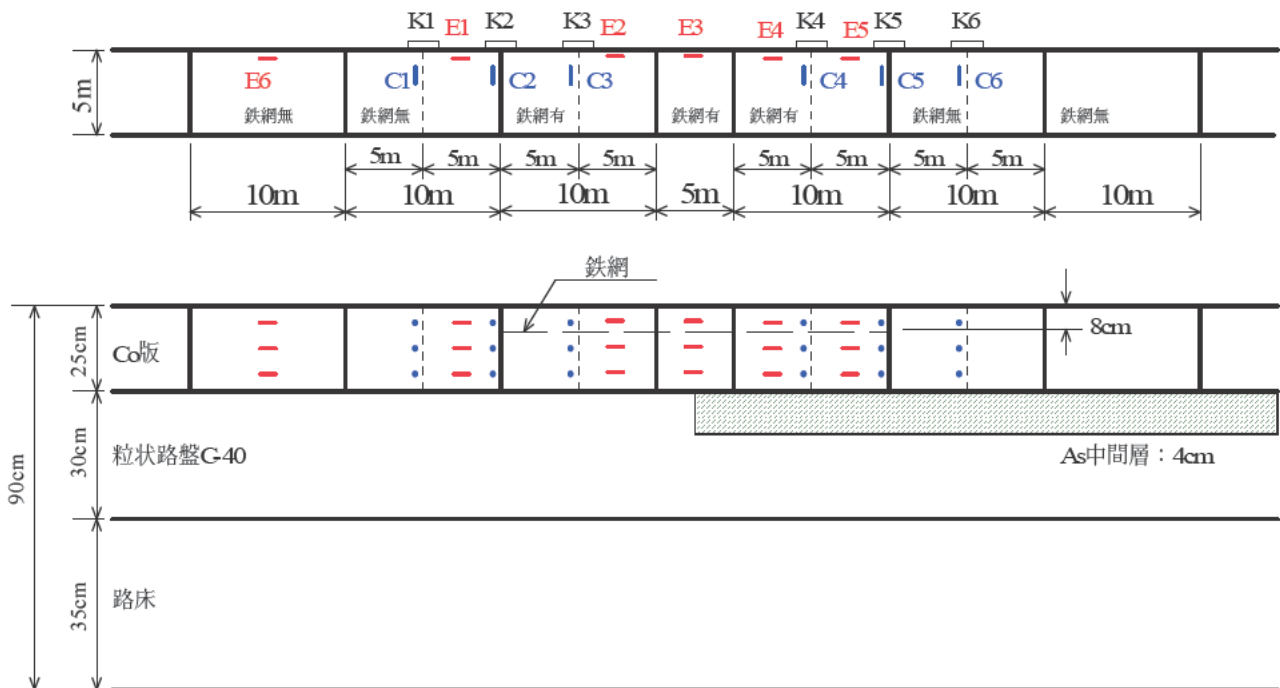


図-4.1 試験舗装の概略

本研究で舗装した試験舗装の概略を図-4.1に示す。

走行試験場に舗装したコンクリート版は、図-4.1に示すように版幅5m、版厚25cm、横目地間隔10mであり、30cmの粒状路盤上に舗装されている。コンクリート版中央には横ひび割れを誘発させた。また鉄網およびアスファルト中間層の影響を評価するために、それぞれを設けた版と設けない版を舗装した。

コンクリート版には載荷に伴うひずみを測定するために、温度計測機能付きひずみ計を版深さ方向に3本埋設した。ひずみ計設置箇所は、縦自由縁部(E1~E6)と目地およびひび割れ部(C1~C6)とした。また、目地およびひび割れの開きを測定するために各目地部および各ひび割れ部には、亀裂変位計(K1~K6)をそれぞれの箇所です上下2段に配置した。

載荷は土木研究所所有の荷重車によって行い、輪荷重を数種類換えて実施したが、最大の輪荷重は130.3kNであった。載荷位置は縦自由縁部、目地およびひび割れ部である。

(2) 試験結果

(a) 縦自由縁部ひずみに対する中間層の影響

現在のコンクリート版の応力解析では、As中間層の影響は考慮されていない。そこで本試験では中間層の有無による縁部応力の変化を測定した。表-4.1に最大荷重時のコンクリート版下面のひずみを示す。若干ではあるが、中間層がある場合にひず

表-4.1 縦自由縁ひずみ

計器番号	中間層	ひずみ (×10 ⁻⁶)
E1	無	34
E2	無	38
E4	有	41
E5	有	46

みが大きくなっている。これは版下面の摩擦の相違が影響していると考えられる。

(b) 荷重伝達に対する鉄網および中間層の影響

目地部およびひび割れ部における荷重伝達に対する鉄網および中間層の影響を調べるため、C1～C6 ひずみ計の直上と隣接する版に荷重を行い、ひずみを測定した。表-2に測定結果を示す。ここではひずみ計が荷重側になった場合と非荷重側になった場合のひずみの比を荷重伝達率としている。ひび割れ部では、その開きによって伝達率が異なる傾向が見られた。しかし鉄網および中間層の影響は、明確には見られなかった。

(c) 自由縁部応力に対する荷重位置の影響

コンクリート版の版厚設計において示方書に示される応力式を用いる場合、応力計算の対象位置は縦自由縁部となる。そして車輪が自由縁から離れた位置を走行した場合の自由縁応力は、走行位置に応じた低減係数を用いて求めている。本試験ではこの係数を評価することを目的に、E1、E2、E4、E5 ひずみ計の位置において、自由縁から内側に荷重位置を移動させた場合の自由縁ひずみを測定した。

図-4.2 に自由縁に荷重した場合のひずみを 100 とした割合として荷重位置の影響を示す。また、図-4.2 に示される近似曲線から得られた応力低減係数をまとめると、表-4.3 のようになる。これによると自由縁ひずみに対する荷重位置の影響は、中間層の有無によって若干影響されることが判った。中間層がある場合には、荷重位置が自由縁から離れる程、中間層がない場合に比較して自由縁応力が低減されないことが示された。

また、本試験で得られた低減率を舗装設計便覧に示される低減率と比較すると、設計便覧に示される応力低減係数は、特に荷重位置が自由縁に近い場合に、低減率を大きく見積もっている可能性があることが判った。

表-4.2 荷重伝達率

計器番号	鉄網	中間層	ひずみ (×10 ⁻⁶)		伝達率 (%)	上面開き mm
			荷重側	非荷重側		
C2	目地	無	21	13	61.9	0.13
C5	目地	有	24	13	54.2	0.10
C1	ひび割れ	無	24	8	33.3	0.20
C3	ひび割れ	有	28	13	46.4	0.13
C4	ひび割れ	有	35	20	57.1	0.11
C6	ひび割れ	無	32	7	21.9	0.17

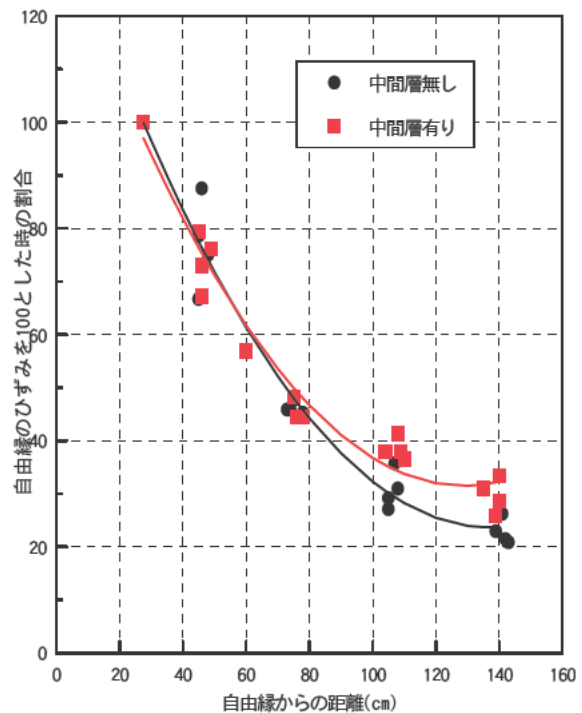


図-4.2 自由縁応力に対する荷重位置の影響

表-4.3 荷重位置による応力低減係数

自由縁からの距離(cm)		15	45	75	105
ひずみ低減率	中間層無し	1.00	0.77	0.48	0.30
	中間層有り	1.00	0.76	0.50	0.35
	設計便覧	1.00	0.70	0.50	0.35

4.1.2 動的荷重の応力式の検討

車両荷重は本来動的に作用する。このような動的な荷重作用がコンクリート舗装の挙動に及ぼす影響について実測ならびに解析によって検討した。

(1) 走行試験

本研究で建設した走行試験路の概要を図-4.3 に示す。幅 5m、長さ 10m、厚さ 250mm のコンクリート版を 350mm の粒状路盤あるいは 40mm のアスファルト中間層の上に施工した。コンクリート版中にひび割れを人工的に誘発している。鉄網の効果を見るために、中間層の有無のそれぞれの区間に鉄網のある区間とない区間を設けた。荷重車を時速 40km で走行させ、図-4.3 の C1 から C6 に示す位置の上中下にひずみゲージを埋設し、横目地および横ひび割れ縁部でのひずみを 1000Hz で動的に計測した。

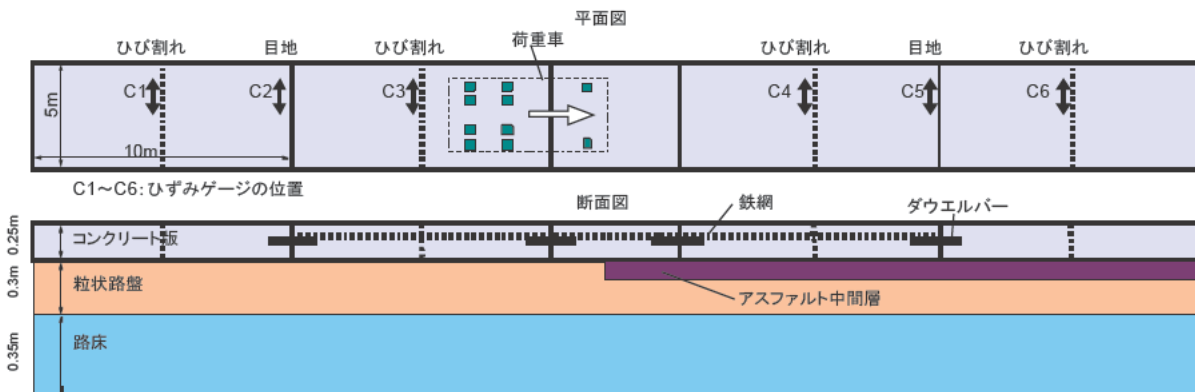


図-4.3 走行試験路の構造とひずみ測定位置

C1～C6 のひび割れおよび目地の特徴を表-4.4 にまとめた。この表より、C1 と C2 および C6 と C5 を比較すれば、目地とひび割れ部の荷重伝達の差がわかる。C1 と C3 および C4 と C6 を比較すれば鉄網の有無の影響がわかる。C1 と C6、C2 と C5 および C3 と C4 を比較すれば中間層の有無の影響がわかることになる。

表-4.4 ひずみ計測点の特徴

計測点	目地/ひび割れ	鉄網	中間層	伝達	鉄網	中間層
C1	ひび割れ	無し	無し	○	○	○
C2	目地	--	無し	○		△
C3	ひび割れ	有り	無し		○	◇
C4	ひび割れ	有り	有り		△	◇
C5	目地	--	有り	△		△
C6	ひび割れ	無し	有り	△	△	○

このような走行試験を、表-4.5 に示すような載荷試験後に実施し、供用によって動的な影響が変化するかについても検討した。

表-4.5 動的ひずみ測定実施日

測定 ID	試験実施日	累積走行輪数
1	2008/12/18	40 万輪
2	2010/1/29	90 万輪
3	2011/2/22	120 万輪

(2) 計測結果

(a) 測定におけるばらつき

1 回の走行で C1 から C6 の動的なひずみを計測し、それを原則的に 15 回実施した。走行位置や速度は厳密に同じでないため、計測ごとにばらつく恐れがある。そこでそれらのばらつきについて検討した。

図-4.4 は、第 1 回目の C4 における測定結果で、コンクリート版上下面のひずみ波形を表している。第 1 回目の測定では 15 回走行を行ったが、それぞれのひずみ波形はほぼ同じであった。図にはそのうちのひずみ波形の最小(走行 14)、中央(走行 3)および最小(走行 12)の波形を重ねてある。波形の位相はほぼ同一であることからそれぞれの走行時における速度はほぼ同じであることがわかる。また、コンクリート版の上下面のひずみ波形はほぼ同一であるが、値は上面の方がやや大きい。また、後前軸のひずみの方が後後軸のよりも大きくなっている。荷重が作用していない時間でもわずかなひずみの振動(ノイズ)がみられるがこれは $\pm 5 \mu$ 程度であった。本測定にはこの程度のノイズ(誤差)が含まれていることを念頭に置く必要がある。

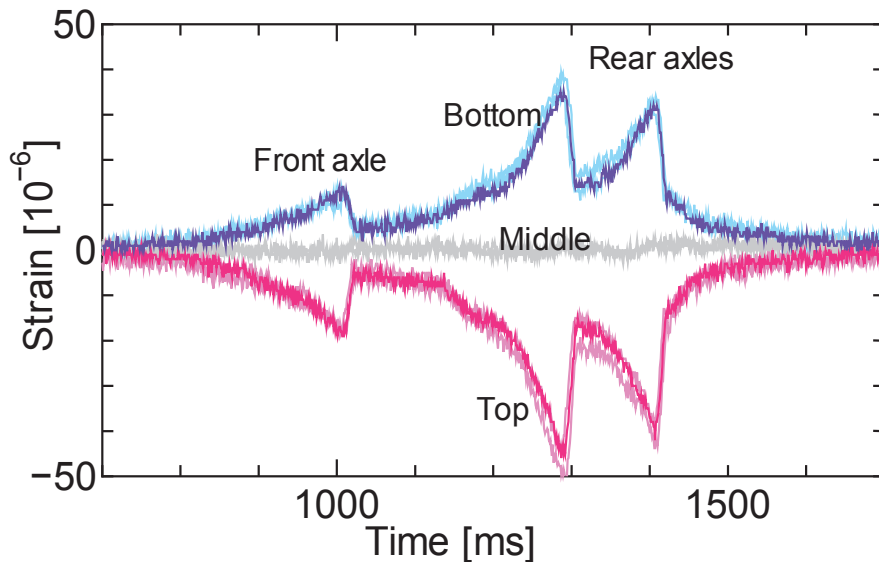
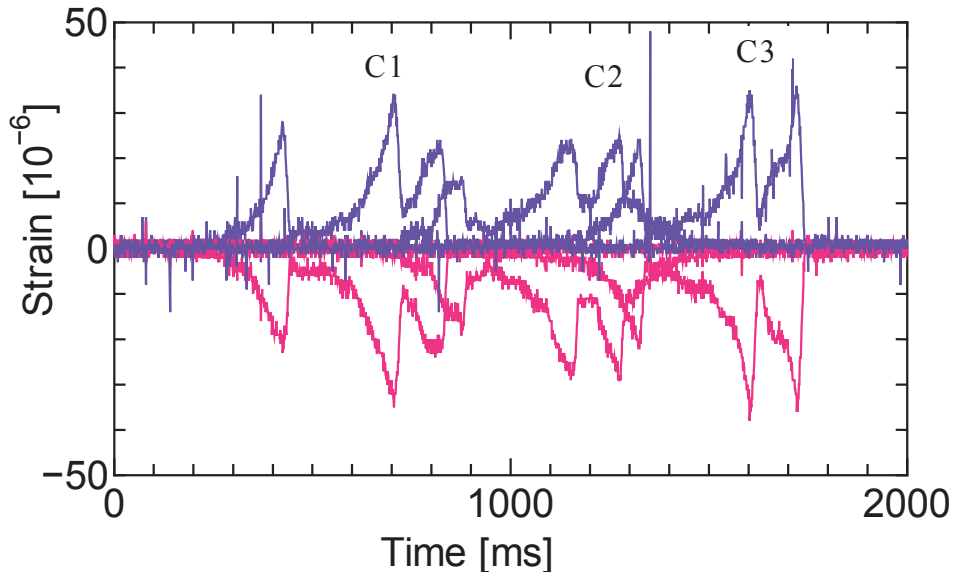


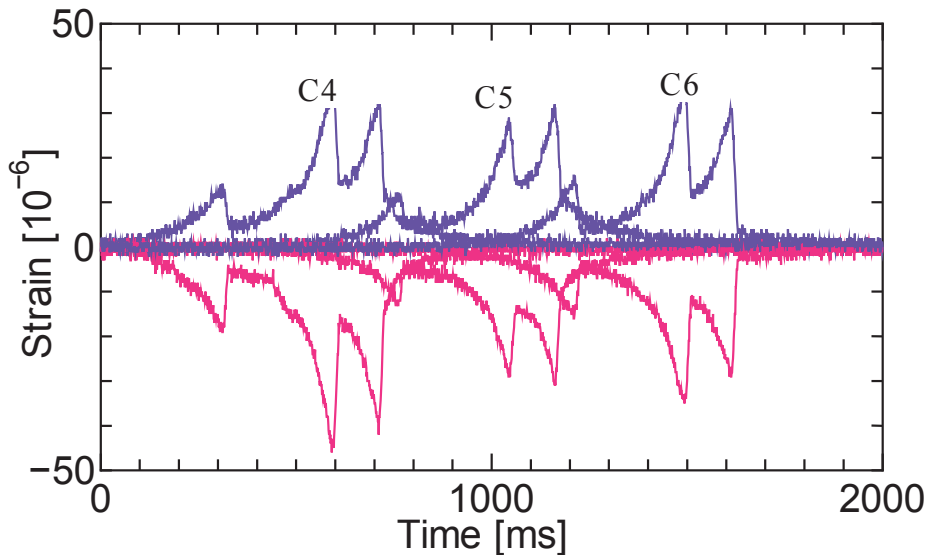
図-4.4 第 1 回目測定 of C4 におけるひずみ波形

(b) 測定位置ごとの比較

図-4.5 から図-4.7 に、それぞれ第 1 回測定から第 3 回測定までのひずみ波形を示す。3 回とも計測に大きな問題がなく、コンクリート版上下面でのひずみも連動しており、基本的なひずみ波形の形状に変化はないことが確認された。全体として、目地部のひずみは、ひび割れ部のひずみに比べて小さい傾向がある。

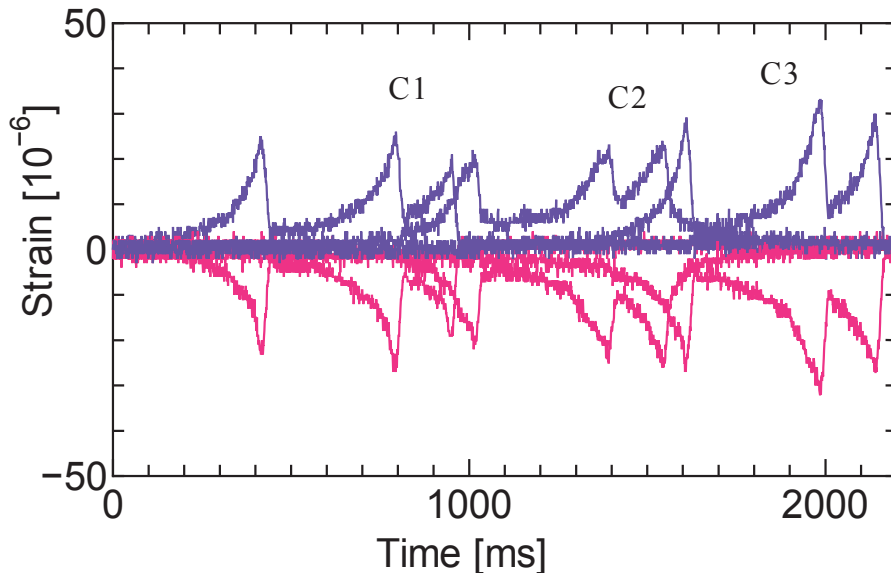


(a) 中間層無 (C1、C2、C3)

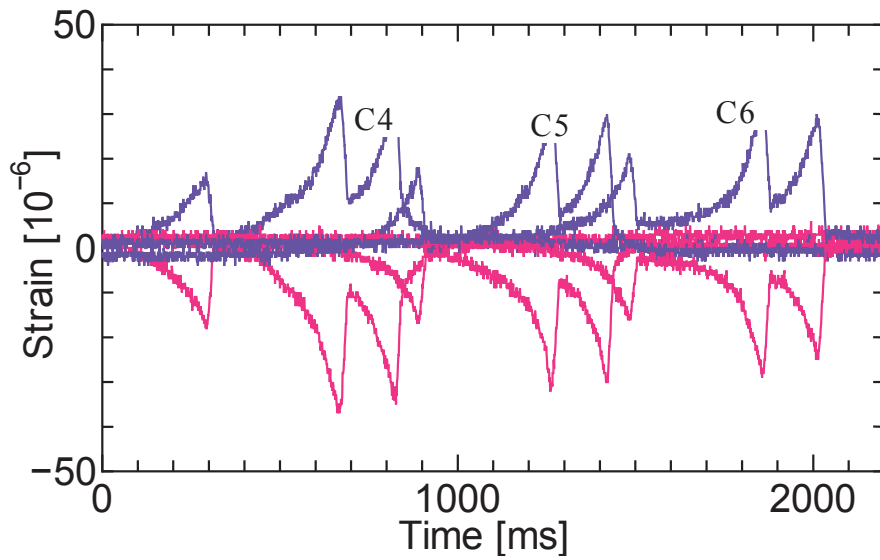


(b) 中間層有 (C4、C5、C6)

図-4.5 第 1 回目測定

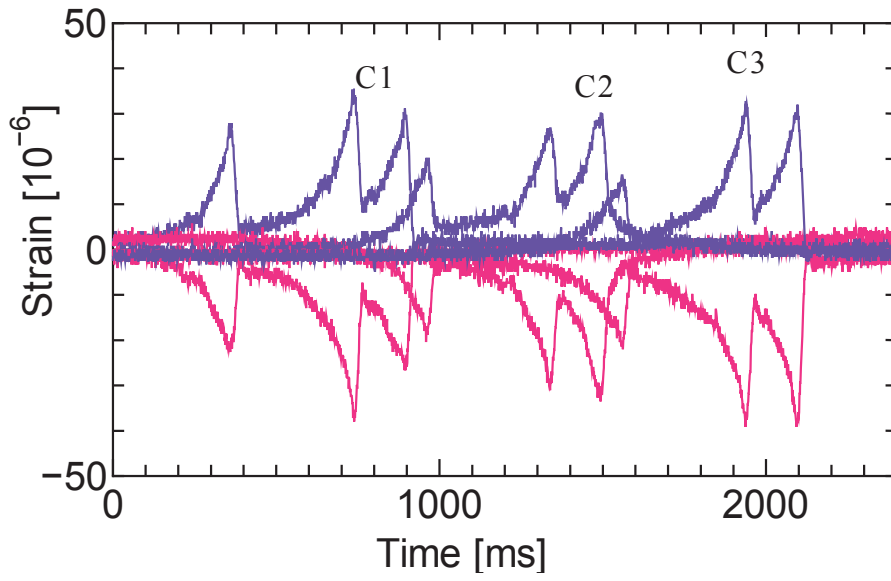


(a) 中間層無(C1、C2、C3)

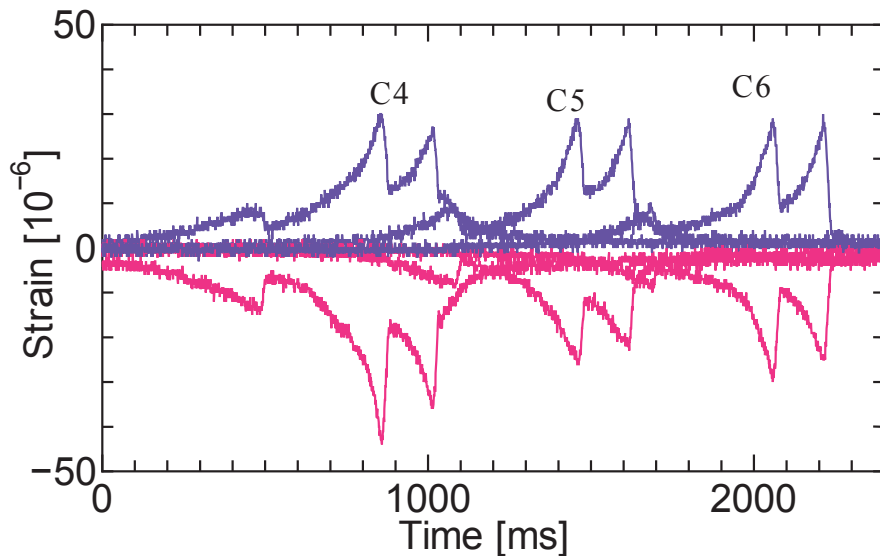


(b) 中間層有(C4、C5、C6)

図-4.6 第2回目測定



(a) 中間層無(C1、C2、C3)



(b) 中間層有(C4、C5、C6)

図-4.7 第3回目測定

(c) 経年的な変化

図-4.5 から図-4.7 において、コンクリート版下面の引張ひずみのピーク値をまとめたものが、図-4.8 である。後前軸と後後軸のピーク値を平均したものを示している。中間層が無い区間では、ひずみはひび割れ部より目地部の方が小さい。鉄網ありのひび割れ部以外は、3 回目の測定時のひずみが大きくなっている。中間層の有る区間でも目地部のひずみが小さい。ひずみの大きさは測定回数が進むほど小さくなり、ひび割れ部でも目地部でもほぼ同じ値となっている。3 回目の測定時では、目地部のひずみは中間層の有りなしで同じ値であるが、ひび割れ部では中間層の無い場合の方が大きい。鉄網の有無によるひび割れ部のひずみについては一定の傾向はみられない。

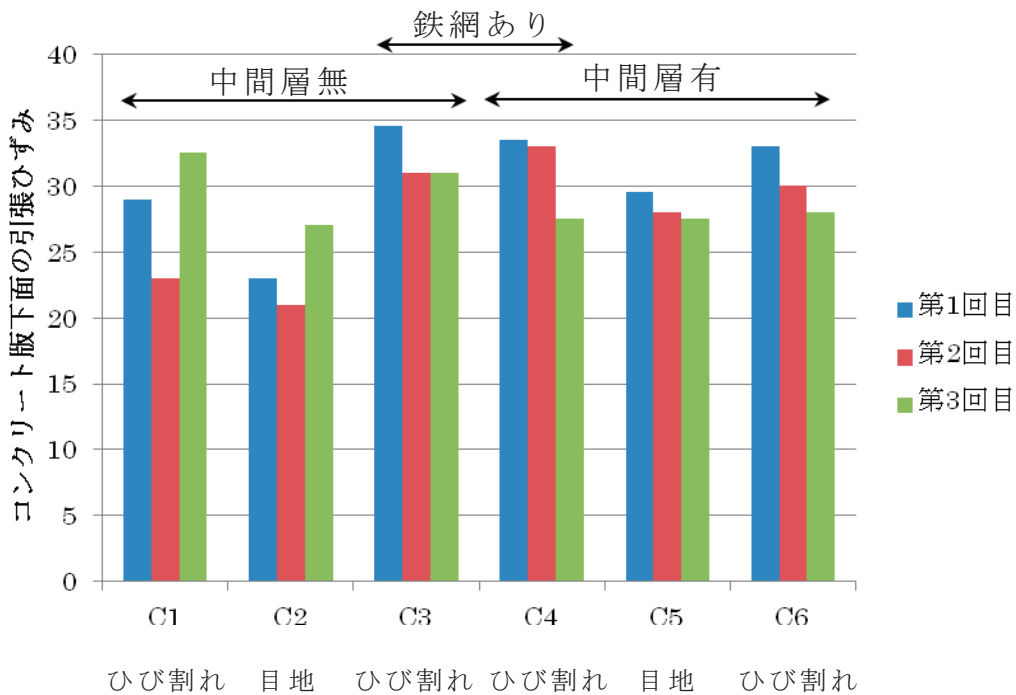


図-4.8 コンクリート版下面の引張ひずみのピーク値

以上より、経年的な動的ひずみ測定結果をまとめると、以下のようになる。

- ひび割れ部に比べ目地部の動的なひずみは小さい。
- 荷重履歴を受けると中間層の効果があらわれて、動的ひずみは小さくなる。
- ひび割れ部の鉄網による動的ひずみへの効果は見られない。

(3) FEM 解析

(a) 解析方法

図-4.9 に解析に用いた 3DFEM モデルを示す。コンクリート版の中央を走行すると仮定し、中央から半分のみを要素分割した。用いた材料定数は、それぞれの材料についての一般的な値を用いた。また、横目地では 400mm 間隔で直径 28mm のダウエルバーを用いている。横目地および横ひび割れ部でのコンクリート断面の強いかみ合わせがある場合とない場合の 2 ケースを考えた。コンクリート版と路盤の境界面は滑とし、そり上がりによるはがれを考慮した。荷重は走行車両の半分を時速 40km で x 軸方向に移動させた。タイムステップ 0.01 秒で単純なオイラー陰解法を用いて動的解析を行った。

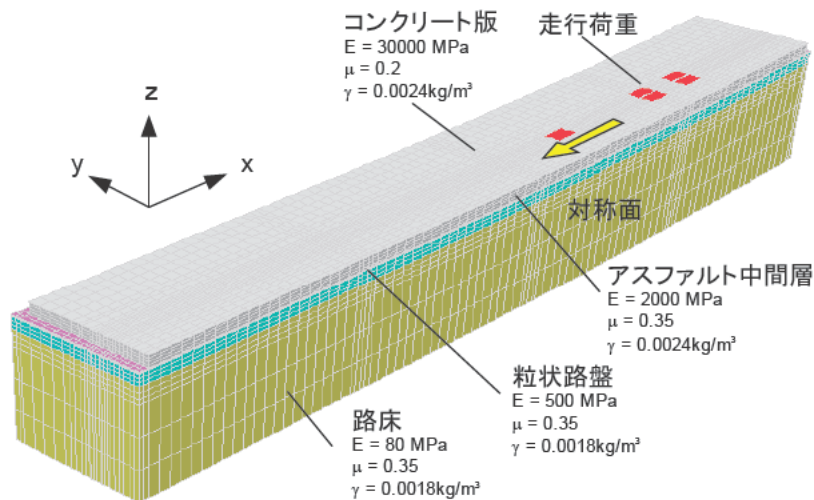


図-4.9 解析に用いた 3FEM モデル

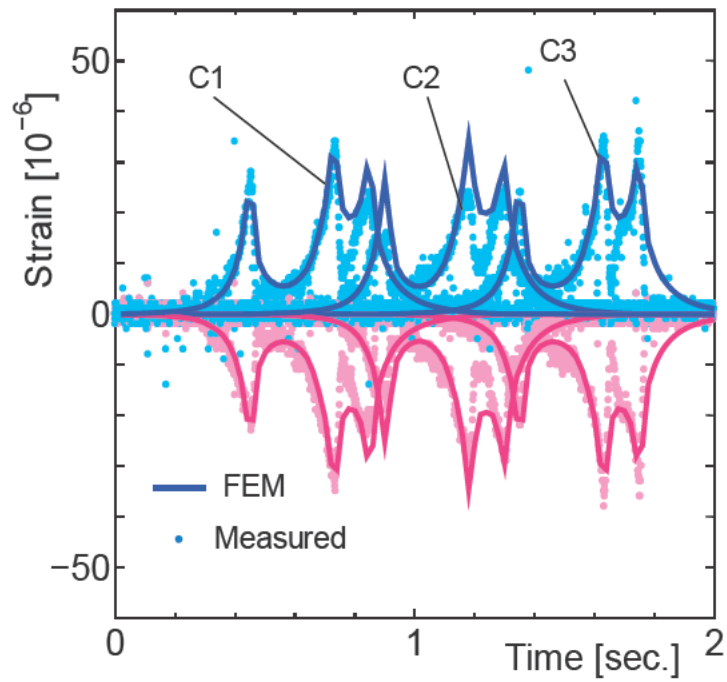
(b) 解析結果

図-4.10 および図-4.11 は、それぞれの測定位置(C1～C6)までのひずみの経時変化を示している。荷重車が試験舗装区間を走行したときの一連の計測値を時系列で示しているのので、C1 から C3 および C4 から C6 のひずみ波形が、荷重車の走行による時間遅れを伴って現れている。実測値はドットで、計算値は実線で示されている。C4 の表面の実測ひずみは他に比べてやや大きな値を示す。引張側と圧縮側はほとんど値が同じで正負が逆になっており、完全な曲げ変形が生じていることがわかる。解析においては、横ひび割れ部のかみ合わせがある場合には、横ひび割れ部である C1 と C3 や C4 と C6 に比べ、横目地部である C2 と C5 のひずみは大きくなっている。かみ合わせをなくすると、逆に小さくなる。実測値は、かみ合わせが無い場合の計算値に一致する。このことから、横ひび割れ部では荷重伝達機能が低く、横目地部は高いといえる。C1 と C3、C4 と C6 の間の差はほとんどなく、鉄網の有無による荷重伝達機能に大きな差はないといえる。同様に、図の(a)と(b)を比べてもピーク値に大きな差はなく、アスファルト中間層の有無の影響は小さい。

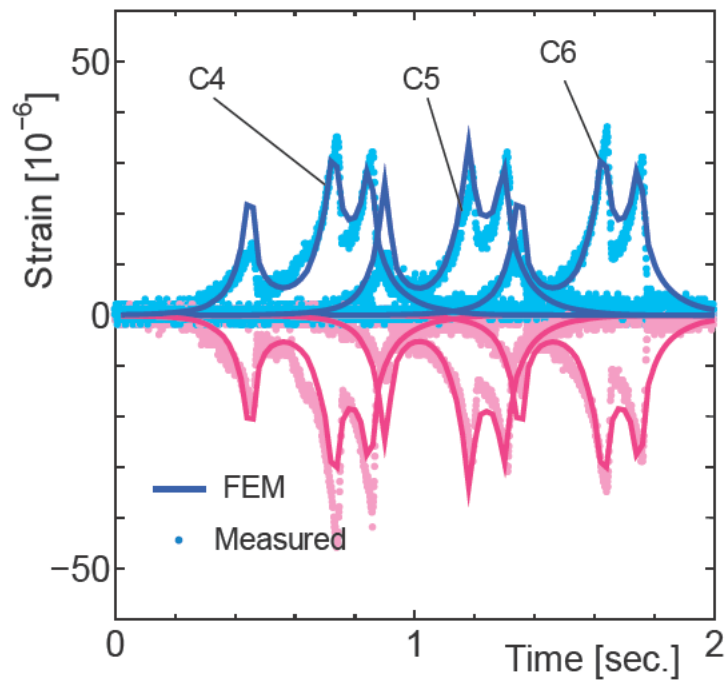
(c) まとめ

走行荷重によるコンクリート舗装における横ひび割れ部や横目地の動的な挙動が、走行試験ならびに 3DFEM 解析によって明らかになった。鉄網を入れてもひび割れ部における

荷重伝達は確保されないこと、また中間層の影響は少ないことが判明した。また、これらの挙動を 3DFEM で正確にシミュレーションできることが確認された。

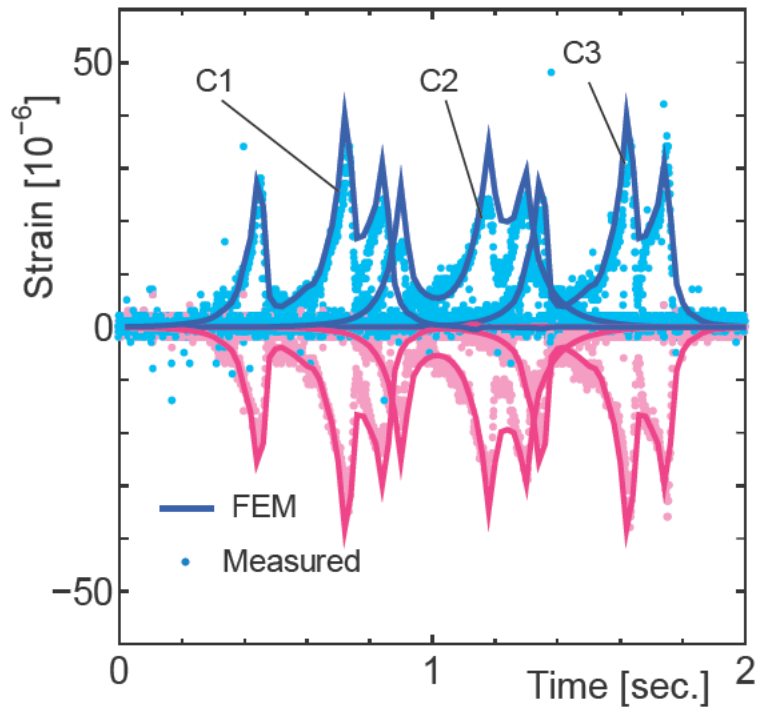


(a) 中間層無

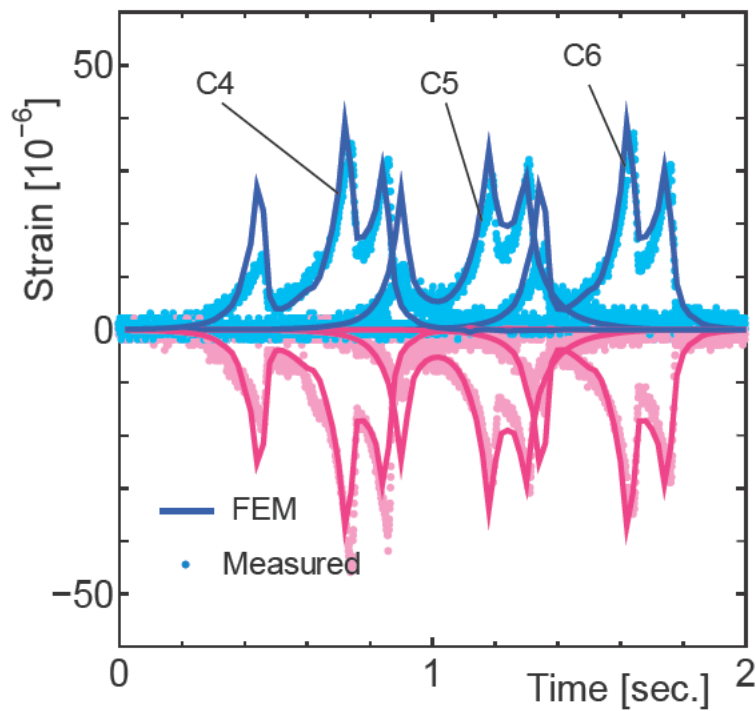


(a) 中間層有

図-4.10 コンクリート版のひずみ経時変化(FEM でかみ合わせ有り)



(a) 中間層無



(b) 中間層有

図-4.11 コンクリート版のひずみ経時変化(FEM でかみ合わせ無し)

参考文献

- 1) 西澤辰男、他：交通荷重に対する薄層ホワイトトッピング構造の動的挙動、土木学会論文集 No.725、2003.

4.2 走行位置の検討

コンクリート舗装版の設計においては、縦自由縁部からの横ひび割れを対象に設計を行うことが一般的である。コンクリート版に作用する応力としては輪荷重応力を考慮するが、この場合輪荷重がコンクリート版のどの位置に作用するのかが問題となる。

輪荷重によりコンクリート版に発生する応力は、輪荷重が自由縁部に載荷された場合が最も大きくなる。しかし実際の舗装では、コンクリート版の自由縁部をタイヤが走行することはほとんどなく、自由縁部からかなり内側を走行することが多い。自由縁部に発生する輪荷重応力は、縁部からの輪荷重の作用位置によって異なる。したがってコンクリート版に発生する応力を推定するためには、タイヤの走行位置分布が重要となる。また疲労ひび割れの検討を行うためには、走行位置毎の通過頻度が重要となる。現行の設計法では、表-4.7に示すような走行頻度が用いられている。

本研究では、実道での車輪走行位置を測定し、現行で用いられている頻度の評価を試みた。

(1) 調査箇所

調査は次の2箇所で行った。

(a) 国道4号 平泉バイパス

片側1車線のバイパスであり、下り車線において測定した。

(b) 国道4号 黒磯バイパス

片側2車線のバイパスであり、上下線合わせて計4車線で測定した。

(2) 測定方法

車輪通過位置の測定はビデオ撮影により行った。ビデオ撮影は、黒磯バイパスにおいては歩道橋上より、また平泉バイパスにおいては路肩より行い、測定対象車線を通行する車両の後輪を撮影した。

表-4.7 車輪の走行位置と走行頻度の関係

車線数			走行頻度			
			2	2	2	4
車線幅 m			3.25	3.75	4.50	3.00以上
路肩			走行位置 cm			
自由縁部	舗装した十分な幅の路肩がある場合	縦線から 15	0.10	0.05	0.05	0.05
		〃 45	0.15	0.10	0.10	0.10
		〃 75	0.30	0.25	0.15	0.25
		〃 105	0.20	0.25	0.25	0.20
	路肩幅が 0.5m 程度で未処理の場合	〃 15	0.05	0.03	0.02	0.02
		〃 45	0.10	0.05	0.05	0.05
		〃 75	0.15	0.10	0.10	0.10
		〃 105	0.30	0.25	0.15	0.25
縦目地部		〃 15	0.65	0.55	0.45	0.35
		〃 45	0.30	0.35	0.25	0.25
		〃 75	0.20	0.20	0.20	0.15
		〃 105	0.15	0.20	0.15	0.10

(3) 測定結果

(a) 平泉バイパス

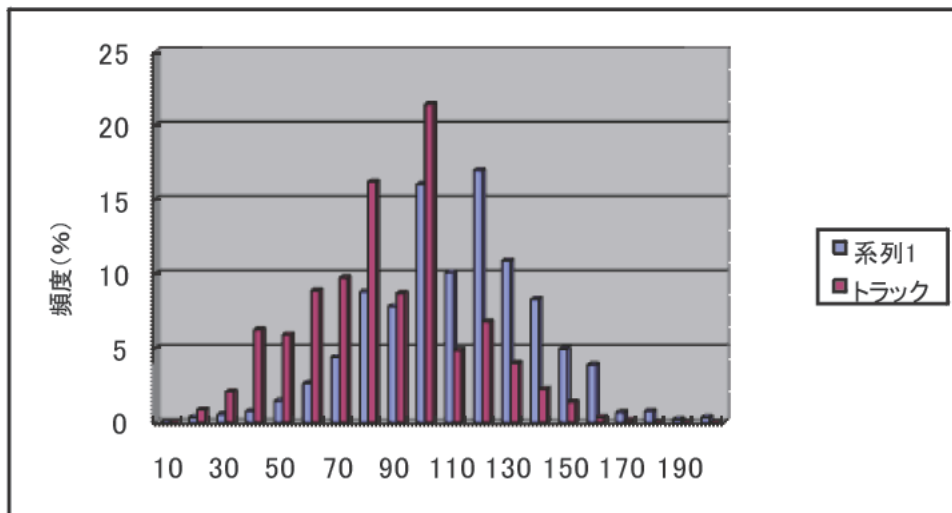


図-4.12 車両走行位置

(b) 黒磯バイパス

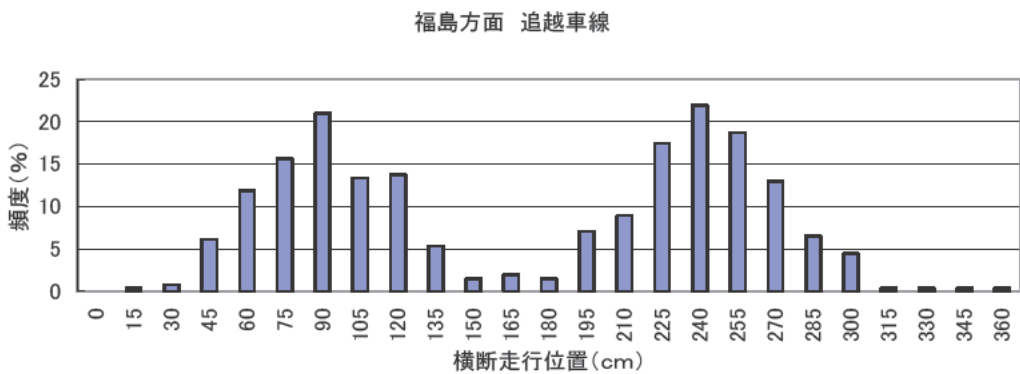
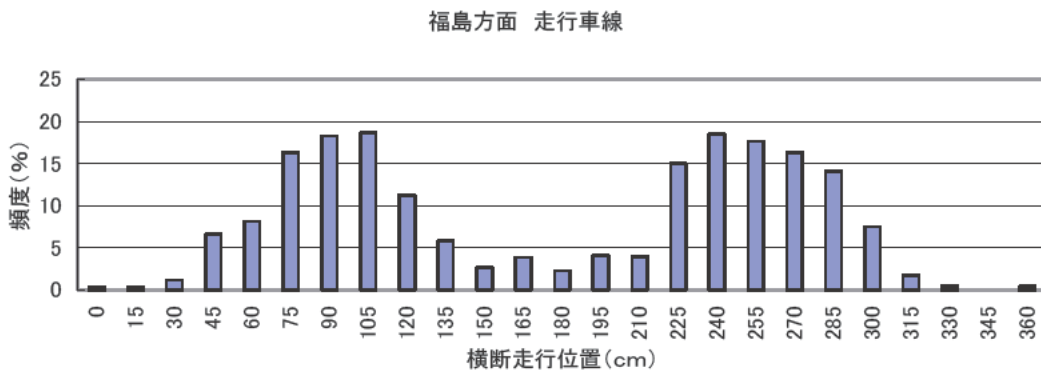
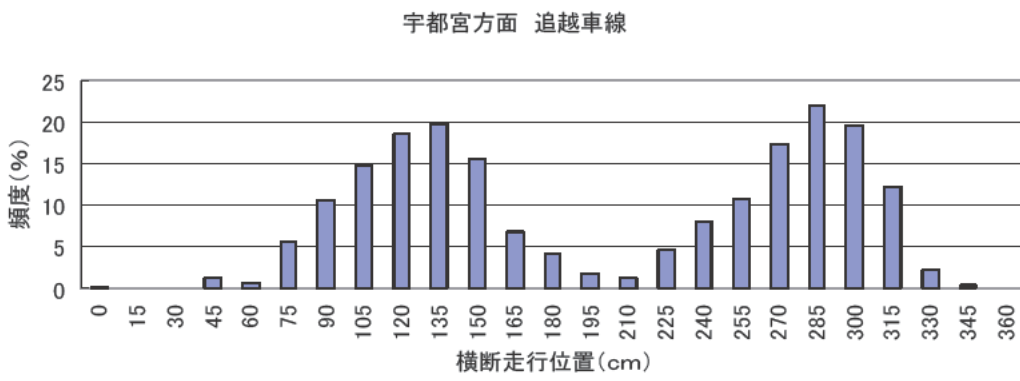
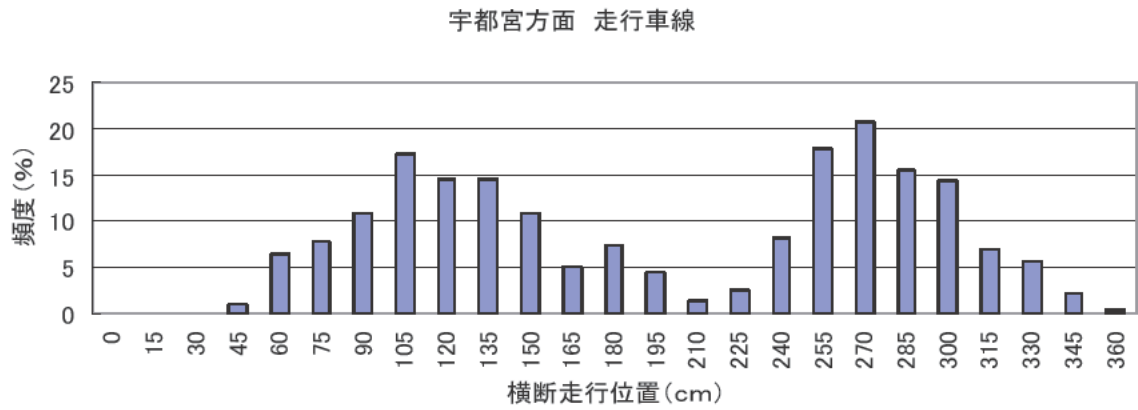


図-4.13 車両走行位置

4.3 温度応力式の検討

4.3.1 コンクリート版の温度差の推計方法の検討

コンクリート舗装版の設計では、版に作用する応力として輪荷重応力と並んで、温度応力を考慮している。ここでいう温度応力とは、コンクリート版上限面の温度差によって生じる曲げ応力のことであり、次式によって算出される。

$$\sigma_t = 0.35 \cdot C_w \cdot \alpha \cdot E \cdot \Theta \quad (4.2)$$

ここで、 σ_t ：温度応力 (MPa)

C_w ：そり拘束係数。横ひび割れを対象とする場合は表-4.8 に示す値を用いる。

縦ひび割れを対象とする場合は、温度差が正の場合には 0.85、負の場合には 0.40 を用いる。

α ：コンクリートの温度膨張係数 ($1/^\circ\text{C}$)

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

表-4.8 そり拘束係数

収縮目地間隔(m)		5.0	6.0	7.5	8.0	10.0	12.5	15.0
拘束係数 C_w	温度差が正の場合	0.85	0.91	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98
	温度差が負の場合	0.40	0.55	0.73	0.78	0.90	0.93	0.95

コンクリート版の設計では、上記で算出された温度応力と輪荷重応力の合成応力がコンクリート版に作用するものと考え、合成応力の大きさとその作用回数から疲労度を算出する。従ってコンクリート版に発生する温度差とその頻度は、コンクリート版の設計で重要な要因となる。

現行の設計法では、温度差とその発生頻度は実測によることが望ましいが表-2 に示される温度差と発生頻度を用いても良いこととなっている。この表は岩間による研究結果が反映されたものであり、昭和 39 年版のコンクリート舗装要綱に示されたものである。

合成応力に占める温度応力の大きさは最大で 50% 程度となることから、設計結果に与える影響が大きい。そこで本研究では、全国 9 箇所それぞれ 7 種類の版厚の供試体によりコンクリート版上下面の温度差の測定を行い、表-4.9 に示される値の検討を行った。

表-4.9 コンクリート版の温度差と発生頻度

区分 温度差℃ 版厚cm	温度差の小さいところ						温度差の大きいところ					
	15	20	23	25	28	30	15	20	23	25	28	30
19(18-19.9)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.005	0.010	0.012
17(16-17.9)	0	0	0	0	0	0	0	0.005	0.015	0.018	0.018	0.020
15(14-15.9)	0	0	0.001	0.002	0.004	0.007	0.002	0.020	0.028	0.032	0.037	0.038
13(12-13.9)	0.004	0.007	0.012	0.016	0.021	0.025	0.015	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
11(10-11.9)	0.020	0.028	0.032	0.037	0.045	0.053	0.040	0.060	0.050	0.050	0.045	0.045
9(8-9.9)	0.050	0.060	0.075	0.085	0.080	0.080	0.070	0.070	0.075	0.080	0.080	0.080
7(6-7.9)	0.100	0.110	0.110	0.110	0.110	0.115	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.105
5(4-5.9)	0.135	0.140	0.150	0.155	0.150	0.140	0.120	0.120	0.125	0.125	0.125	0.125
3(2-3.9)	0.190	0.195	0.200	0.205	0.210	0.210	0.200	0.195	0.190	0.190	0.190	0.185
1(0-1.9)	0.500	0.460	0.420	0.390	0.380	0.370	0.450	0.390	0.375	0.360	0.355	0.350
-1(0.1-2.0)	0.650	0.615	0.610	0.600	0.530	0.480	0.500	0.450	0.420	0.410	0.400	0.390
-3(2.1-4.0)	0.350	0.360	0.345	0.335	0.360	0.380	0.340	0.330	0.330	0.320	0.320	0.320
-5(4.1-6.0)	0	0.025	0.044	0.063	0.100	0.120	0.150	0.200	0.220	0.220	0.225	0.230
-7(0.6-8.0)	0	0	0.001	0.002	0.010	0.020	0	0.020	0.030	0.048	0.052	0.055
-9(8.1-10.0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.003	0.005

正対
の
時
間
に
割
合

負
対
の
時
間
に
割
合

〔注〕 温度差の小さいところとは、気温の日振幅（全振幅）が14℃をほとんど越えない地方をいう。

(1) 温度測定

供試体を設置した箇所および版厚は以下の通りである。

測定箇所：北海道苫小牧市（以下、北海道という）

宮城県多賀城市（以下、東北という）

茨城県つくば市（以下、つくばという）

石川県河北郡（以下、石川という）

愛知県名古屋市（以下、中部という）

広島県広島市（以下、中国という）

福岡県久留米市（以下、福岡という）

鹿児島県鹿児島市（以下、鹿児島という）

沖縄県豊見城市（以下、沖縄という）

版厚： 15、20、23、25、28、30、45cm

コンクリート版内の温度は、供試体内の深さ方向に3箇所埋設された熱電対により行い、1時間毎に行いデータロガーに記録した。測定は2010年2月27日～2011年2月26日までの1年間にわたって行った。

(2) 測定結果

測定された版内温度から版上面および下面の温度を推定し、この差より版上下面温度差を得た。得られた温度差を表-4.9と同様の階級区分に分類し、1年間の発生頻度としてまとめた。以下に版厚毎の版上下面温度差発生頻度を示す。

(i) 15cm

表-4.10 コンクリート版の温度差と発生頻度 (15cm)

	地域									便覧	
	北海道	東北	つくば	石川	中部	中国	福岡	鹿児島	沖縄	温度差小	温度差大
20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.000	0.000	0.000	0.012	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.005
13	0.009	0.023	0.016	0.061	0.045	0.031	0.010	0.039	0.021	0.005	0.015
11	0.036	0.069	0.061	0.062	0.075	0.063	0.054	0.082	0.070	0.020	0.040
9	0.068	0.086	0.103	0.083	0.101	0.116	0.097	0.112	0.110	0.050	0.070
7	0.110	0.102	0.131	0.100	0.146	0.148	0.131	0.120	0.137	0.100	0.100
5	0.122	0.139	0.190	0.108	0.162	0.172	0.185	0.141	0.171	0.135	0.120
3	0.218	0.217	0.196	0.224	0.194	0.207	0.206	0.194	0.213	0.190	0.200
1	0.436	0.365	0.303	0.351	0.275	0.263	0.316	0.311	0.277	0.500	0.450
-1	0.536	0.361	0.462	0.616	0.413	0.299	0.281	0.413	0.439	0.650	0.510
-3	0.359	0.448	0.515	0.364	0.539	0.538	0.509	0.504	0.526	0.350	0.340
-5	0.103	0.177	0.022	0.020	0.048	0.163	0.208	0.082	0.035	0.000	0.150
-7	0.002	0.013	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
-9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

(ii) 20cm

表-4.11 コンクリート版の温度差と発生頻度 (20cm)

	地域									便覧	
	北海道	東北	つくば	石川	中部	中国	福岡	鹿児島	沖縄	温度差小	温度差大
20		0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19		0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
17		0.001	0.000		0.000	0.008	0.001	0.018	0.000	0.000	0.005
15		0.025	0.009		0.025	0.039	0.021	0.052	0.020	0.000	0.020
13		0.050	0.036		0.055	0.055	0.057	0.067	0.058	0.007	0.040
11		0.068	0.078		0.083	0.091	0.081	0.085	0.084	0.028	0.060
9		0.085	0.101		0.102	0.103	0.113	0.093	0.094	0.060	0.070
7		0.112	0.130		0.142	0.132	0.133	0.107	0.135	0.110	0.100
5	解析不能	0.163	0.180		0.158	0.148	0.152	0.127	0.147	0.140	0.120
3		0.197	0.195		0.173	0.176	0.166	0.177	0.181	0.195	0.195
1		0.299	0.270		0.263	0.248	0.276	0.273	0.281	0.460	0.390
-1		0.388	0.245		0.382	0.280	0.264	0.336	0.561	0.615	0.450
-3		0.507	0.450		0.484	0.437	0.431	0.437	0.411	0.360	0.330
-5		0.105	0.281		0.133	0.266	0.268	0.215	0.028	0.025	0.200
-7		0.001	0.023		0.001	0.017	0.037	0.012	0.000	0.000	0.020
-9		0.000	0.000		0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
-11		0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

(iii) 23cm

表-4.12 コンクリート版の温度差と発生頻度 (23cm)

	地域									便覧	
	北海道	東北	つくば	石川	中部	中国	福岡	鹿児島	沖縄	温度差小	温度差大
20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.002
17	0.001	0.000	0.001	0.022	0.012	0.007	0.013	0.029	0.018	0.000	0.015
15	0.007	0.010	0.021	0.033	0.046	0.038	0.041	0.057	0.059	0.001	0.028
13	0.030	0.031	0.043	0.036	0.063	0.060	0.059	0.067	0.070	0.012	0.040
11	0.060	0.057	0.085	0.043	0.088	0.090	0.085	0.087	0.084	0.032	0.050
9	0.081	0.074	0.092	0.119	0.103	0.098	0.103	0.088	0.107	0.075	0.075
7	0.109	0.121	0.132	0.131	0.136	0.131	0.123	0.107	0.122	0.110	0.100
5	0.138	0.161	0.173	0.111	0.150	0.149	0.144	0.124	0.136	0.150	0.125
3	0.206	0.206	0.193	0.226	0.164	0.171	0.160	0.164	0.164	0.200	0.190
1	0.368	0.340	0.261	0.276	0.239	0.255	0.271	0.274	0.238	0.420	0.375
-1	0.447	0.514	0.261	0.500	0.313	0.269	0.269	0.322	0.377	0.610	0.420
-3	0.344	0.420	0.450	0.389	0.472	0.393	0.407	0.429	0.499	0.345	0.330
-5	0.170	0.066	0.259	0.075	0.205	0.289	0.263	0.228	0.119	0.044	0.230
-7	0.037	0.000	0.028	0.019	0.009	0.050	0.061	0.021	0.004	0.001	0.030
-9	0.001	0.000	0.002	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-11	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

(iv) 25cm

表-4.13 コンクリート版の温度差と発生頻度 (25cm)

	地域									便覧	
	北海道	東北	つくば	石川	中部	中国	福岡	鹿児島	沖縄	温度差小	温度差大
20	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
19	0.000	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.016	0.001	0.000	0.000	0.005
17	0.001	0.010	0.000	0.051	0.014	0.005	0.033	0.021	0.005	0.000	0.018
15	0.013	0.030	0.016	0.046	0.042	0.033	0.050	0.048	0.032	0.002	0.032
13	0.040	0.044	0.038	0.053	0.054	0.056	0.063	0.065	0.071	0.016	0.040
11	0.065	0.060	0.082	0.061	0.085	0.089	0.082	0.073	0.079	0.037	0.050
9	0.084	0.089	0.101	0.071	0.093	0.098	0.098	0.101	0.098	0.085	0.080
7	0.103	0.124	0.127	0.093	0.135	0.125	0.116	0.106	0.118	0.110	0.100
5	0.129	0.160	0.164	0.128	0.147	0.149	0.127	0.128	0.136	0.155	0.125
3	0.208	0.198	0.194	0.168	0.177	0.179	0.155	0.167	0.186	0.205	0.190
1	0.357	0.286	0.279	0.294	0.251	0.265	0.255	0.291	0.273	0.390	0.360
-1	0.462	0.330	0.344	0.518	0.321	0.276	0.270	0.333	0.470	0.600	0.410
-3	0.334	0.448	0.444	0.364	0.446	0.405	0.386	0.420	0.458	0.335	0.320
-5	0.162	0.214	0.206	0.110	0.217	0.276	0.257	0.220	0.071	0.063	0.220
-7	0.039	0.007	0.005	0.008	0.015	0.044	0.086	0.028	0.000	0.002	0.048
-9	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002
-11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

(v) 28cm

表-4.14 コンクリート版の温度差と発生頻度 (28cm)

	地域									便覧	
	北海道	東北	つくば	石川	中部	中国	福岡	鹿児島	沖縄	温度差小	温度差大
20	0.000	0.000	0.002	解析不能	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000
19	0.001	0.010	0.017		0.001	0.001	0.012	0.019	0.000	0.000	0.010
17	0.005	0.029	0.034		0.023	0.017	0.028	0.038	0.007	0.000	0.018
15	0.025	0.043	0.055		0.044	0.042	0.056	0.063	0.042	0.004	0.037
13	0.045	0.056	0.058		0.052	0.066	0.066	0.062	0.073	0.021	0.040
11	0.067	0.064	0.075		0.082	0.085	0.083	0.084	0.080	0.045	0.045
9	0.083	0.086	0.087		0.085	0.104	0.101	0.083	0.110	0.080	0.080
7	0.106	0.114	0.139		0.131	0.128	0.116	0.117	0.126	0.110	0.100
5	0.122	0.154	0.144		0.155	0.145	0.135	0.121	0.137	0.150	0.125
3	0.201	0.177	0.157		0.171	0.166	0.160	0.149	0.177	0.210	0.190
1	0.343	0.268	0.232		0.256	0.246	0.243	0.263	0.249	0.380	0.355
-1	0.410	0.317	0.253		0.267	0.239	0.214	0.270	0.355	0.530	0.400
-3	0.345	0.459	0.411		0.420	0.340	0.327	0.350	0.476	0.380	0.320
-5	0.174	0.211	0.268		0.249	0.300	0.289	0.292	0.156	0.100	0.225
-7	0.066	0.012	0.068		0.064	0.117	0.149	0.088	0.013	0.010	0.052
-9	0.005	0.000	0.000		0.001	0.003	0.021	0.000	0.000	0.000	0.003
-11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

(vi) 30cm

表-4.15 コンクリート版の温度差と発生頻度 (30cm)

	地域									便覧	
	北海道	東北	つくば	石川	中部	中国	福岡	鹿児島	沖縄	温度差小	温度差大
20	0.000	0.000	0.001	0.009	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
19	0.002	0.000	0.015	0.035	0.008	0.007	0.012	0.018	0.000	0.000	0.012
17	0.011	0.008	0.030	0.039	0.033	0.031	0.026	0.039	0.007	0.000	0.020
15	0.031	0.030	0.056	0.046	0.048	0.043	0.051	0.058	0.039	0.007	0.038
13	0.049	0.049	0.065	0.047	0.068	0.072	0.068	0.062	0.079	0.025	0.040
11	0.067	0.074	0.075	0.060	0.080	0.085	0.081	0.085	0.080	0.053	0.045
9	0.076	0.085	0.094	0.067	0.096	0.099	0.096	0.083	0.104	0.080	0.080
7	0.104	0.116	0.136	0.086	0.130	0.122	0.115	0.105	0.123	0.115	0.105
5	0.124	0.160	0.143	0.129	0.145	0.145	0.134	0.125	0.132	0.140	0.125
3	0.197	0.191	0.152	0.177	0.154	0.155	0.160	0.161	0.188	0.210	0.185
1	0.338	0.287	0.233	0.305	0.238	0.242	0.257	0.264	0.247	0.370	0.350
-1	0.392	0.329	0.222	0.468	0.255	0.231	0.243	0.296	0.356	0.480	0.390
-3	0.338	0.439	0.404	0.401	0.407	0.328	0.354	0.371	0.478	0.380	0.320
-5	0.179	0.216	0.286	0.122	0.258	0.319	0.278	0.267	0.155	0.120	0.120
-7	0.078	0.016	0.086	0.010	0.077	0.118	0.115	0.066	0.011	0.020	0.055
-9	0.014	0.000	0.002	0.000	0.002	0.004	0.009	0.000	0.000	0.000	0.005
-11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

(vii) 45cm

表-4.15 コンクリート版の温度差と発生頻度 (45cm)

	地域									
	北海道	東北	つくば	石川	中部	中国	福岡	鹿児島	沖縄	
20	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
19	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	
17	0.002	0.004	0.003	0.044	0.004	0.009	0.008	0.004	0.001	
15	0.006	0.028	0.025	0.046	0.031	0.028	0.031	0.027	0.022	
13	0.026	0.047	0.046	0.047	0.048	0.051	0.049	0.053	0.062	
11	0.058	0.069	0.077	0.059	0.080	0.075	0.081	0.074	0.089	
9	0.083	0.082	0.096	0.069	0.090	0.100	0.088	0.083	0.096	
7	0.099	0.110	0.137	0.095	0.125	0.121	0.120	0.124	0.123	
5	0.143	0.152	0.154	0.129	0.156	0.151	0.148	0.139	0.141	
3	0.220	0.203	0.202	0.173	0.200	0.193	0.187	0.189	0.185	
1	0.362	0.305	0.262	0.325	0.267	0.270	0.287	0.307	0.281	
-1	0.397	0.292	0.242	0.406	0.303	0.234	0.258	0.308	0.335	
-3	0.339	0.408	0.379	0.428	0.393	0.313	0.333	0.329	0.445	
-5	0.166	0.229	0.261	0.142	0.215	0.260	0.246	0.252	0.192	
-7	0.075	0.067	0.107	0.025	0.082	0.149	0.126	0.097	0.029	
-9	0.022	0.004	0.011	0.000	0.006	0.042	0.034	0.014	0.000	
-11	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	

(i) 15cm

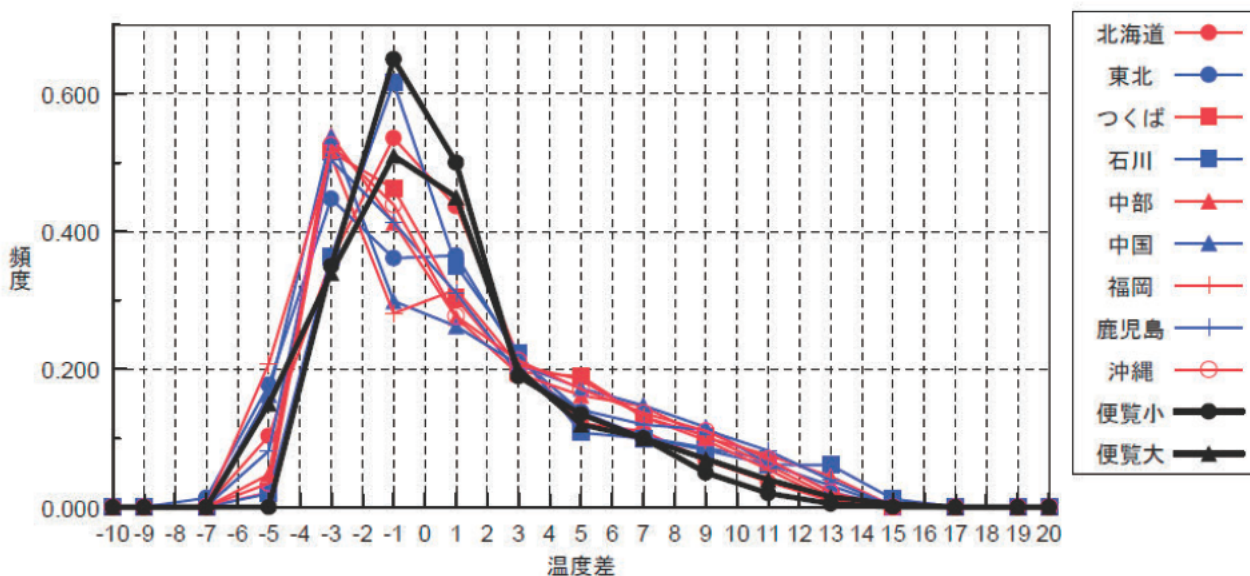


図-4.14 コンクリート上下面の温度差とその発生頻度 (15cm)

(ii)20cm

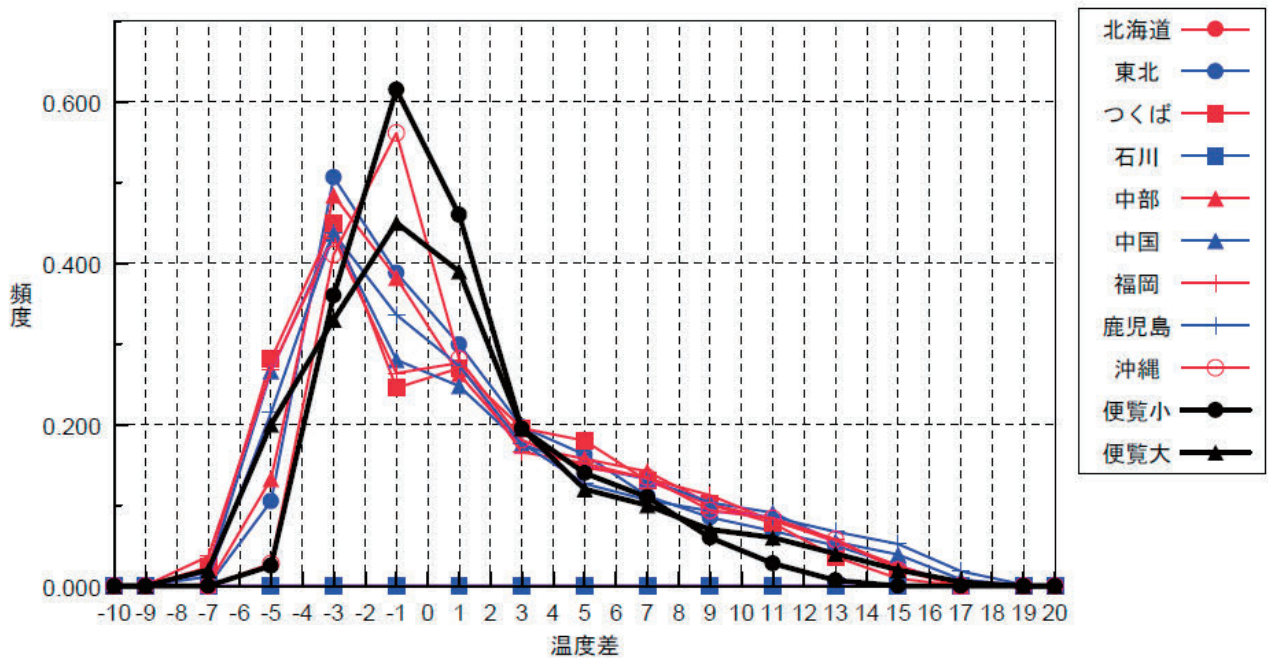


図-4.15 コンクリート上下面の温度差とその発生頻度（20cm）

(iii)23cm

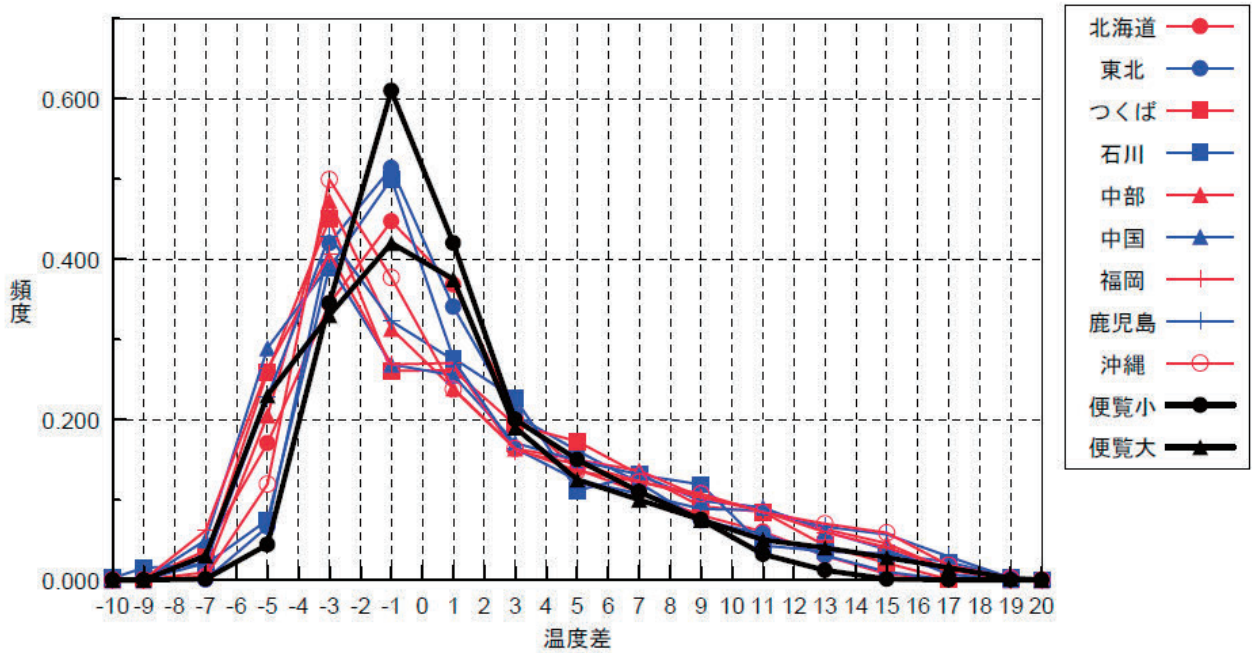


図-4.16 コンクリート上下面の温度差とその発生頻度（23cm）

(iv)25cm

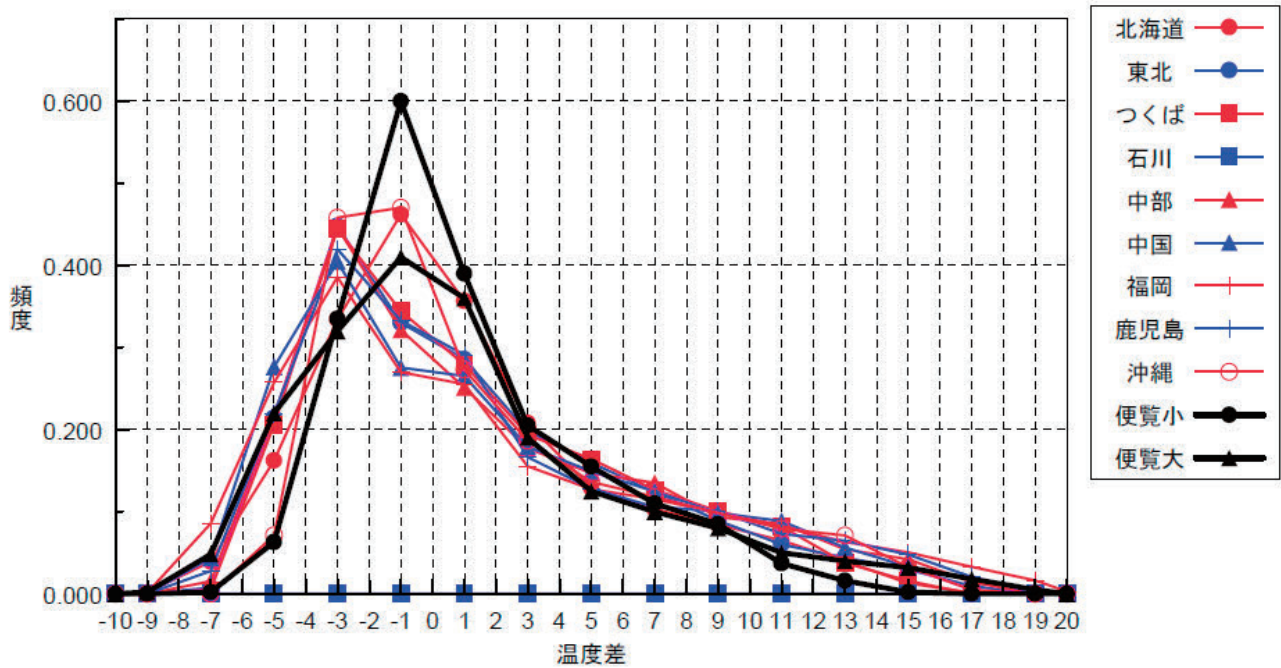


図-4.17 コンクリート上下面の温度差とその発生頻度（25cm）

(v)28cm

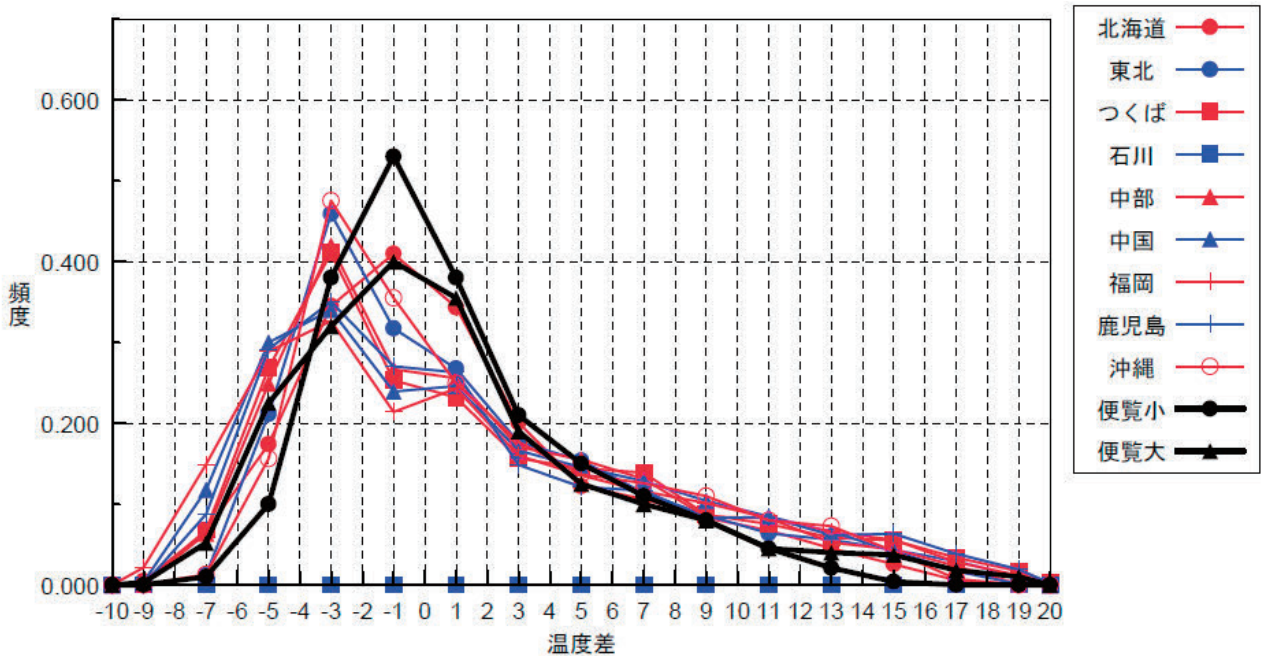


図-4.18 コンクリート上下面の温度差とその発生頻度（28cm）

(vi)30cm

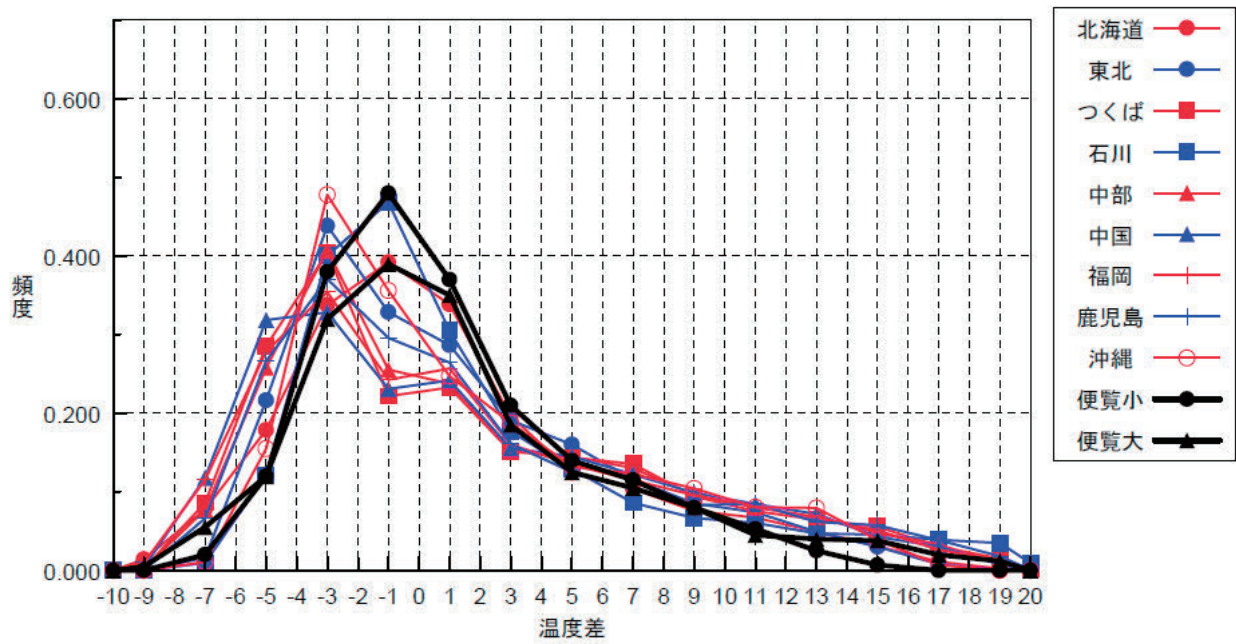


図-4.19 コンクリート上下面の温度差とその発生頻度 (30cm)

(vi)45cm

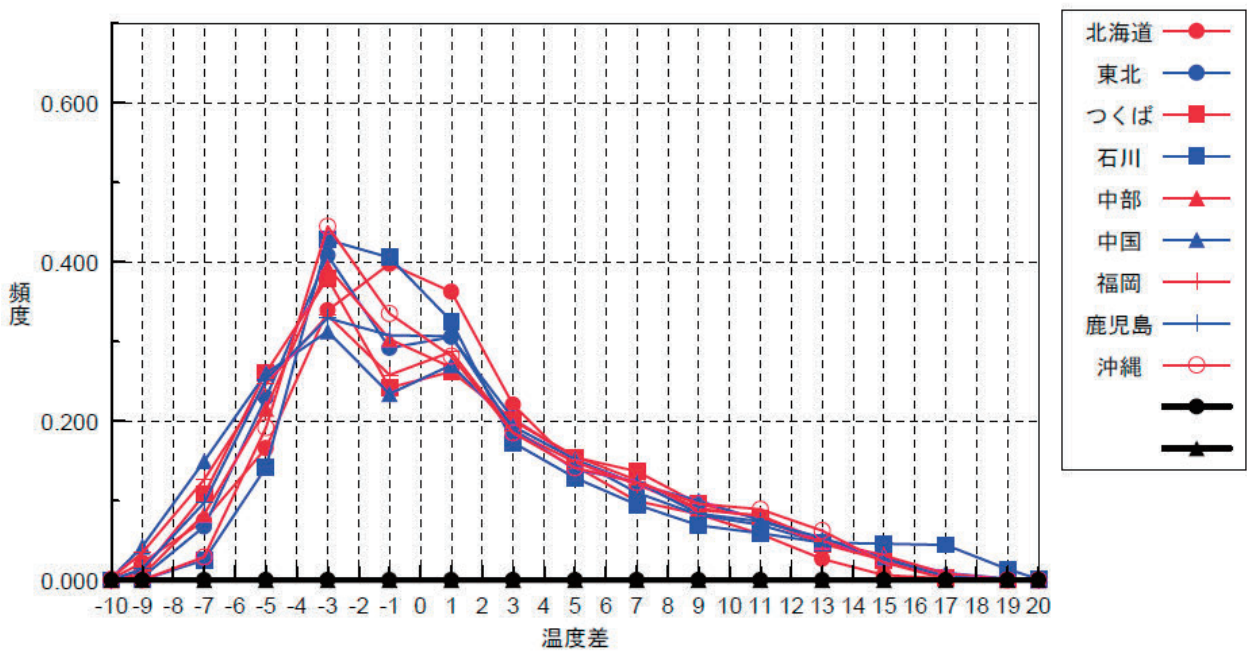


図-4.19 コンクリート上下面の温度差とその発生頻度 (45cm)

4.3.2 温度応力式の検証及び見直し

(1) はじめに

コンクリート舗装の破壊は、荷重や温度によってコンクリート版に繰返し作用する曲げ応力による疲労によってもたらされる。コンクリート版上下の温度差によって発生する温度応力は Westergaard の式や Bradbury の式で算出できる。わが国では Westergaard の式を修正した岩間の方法を用いて算出している。しかし、岩間の方法では空港コンクリート舗装のような厚いコンクリート版の場合、深さ方向の温度分布が非線形のために生ずる応力を考慮できないことから、適用できない恐れがある。以上の背景から、厚いコンクリート版にも適用可能な温度応力解析を目的とした研究を実施した。

(2) 温度応力の考え方

温度応力には端部拘束応力とそり拘束応力および内部応力がある。端部拘束応力はコンクリート版が温度変化に伴って水平方向に伸縮するのを、路盤や端部の拘束によって妨げられることによって生ずる応力である。そり拘束応力はコンクリート版内の深さ方向の温度勾配によってそりを生じようとするのを路盤や自重によって拘束されるために生ずる応力である。内部応力は深さ方向の温度分布が直線でないことによる応力である。通常、端部拘束応力は目地を設けることによってかなり軽減することが可能であるため、本研究では、そり拘束応力と内部応力による温度応力を扱う。

(3) 温度応力計算法

岩間は、実物大の舗装による観測および実験に基づいて、Westergaard のそり応力から、内部応力の影響として 30%減じた次式のような温度応力式を提案した。

$$\text{版中央部} \quad \sigma = 0.7' \frac{C\alpha E\theta}{1-\nu} \quad (4.3)$$

$$\text{版縁部} \quad \sigma = 0.35C_w\alpha E\theta' \quad (4.4)$$

ここに、 σ : 温度応力 (N/mm²)、 α : コンクリートの熱膨張率 (1/°C)、 E : コンクリートの弾性係数(N/mm²)、 θ' : コンクリート版上下面の温度差 (°C)、 ν : コンクリートのポアソン比、 C_w : そり拘束係数で、コンクリート版の長さによって値が定まる。

3DFEM(三次元有限要素法)に基づいたコンクリート舗装の構造的性質を考慮した構造解析プログラムを用いる。基本となる構造モデルは、コンクリート版、路盤、路床を 8 節点直方体ソリッド要素に分割し、目地や路盤とコンクリート版の境界面は新たに開発した汎用境界面要素にモデル化する。このモデルは路盤内の応力も同時に解析できる。今回はこのプログラムを使ってコンクリート版の温度応力を算出する。

(4) コンクリート版の温度分布

実際のコンクリート版ではどのような深さ方向の温度分布になるかを調べるためにモデル供試体によって、温度分布を観測した。石川県にある厚さの異なる 15cm、20cm、23cm、

25cm、28cm、30cm、45cm のコンクリート版を設置し、それぞれのコンクリート版の深さ方向に表面から 2.5cm 下、中心、底面から 2.5cm 上の位置に温度計を取り付け、1 時間毎に温度を測定した。その結果の一例を図-4.20 に示す。この図は版厚 15cm および 45cm の上下面の温度差の推移である。表面温度はほとんど同じであるが、中心および底面の温度は厚いコンクリート版では振幅が小さい傾向にある。

この計測結果のうち、一番気温の高かった日(2010 年 7 月 18 日)のコンクリート版の温度データを使って、3 DFEM による方法で温度応力を算出し、岩間の方法と比較検討することとした。図-4.21 はその時のコンクリート版の深さ方向の温度分布である。この図より、15cm から 30cm では温度分布がほぼ線形的であるのに対し、45cm の分布だけ非線形であるということがわかる。

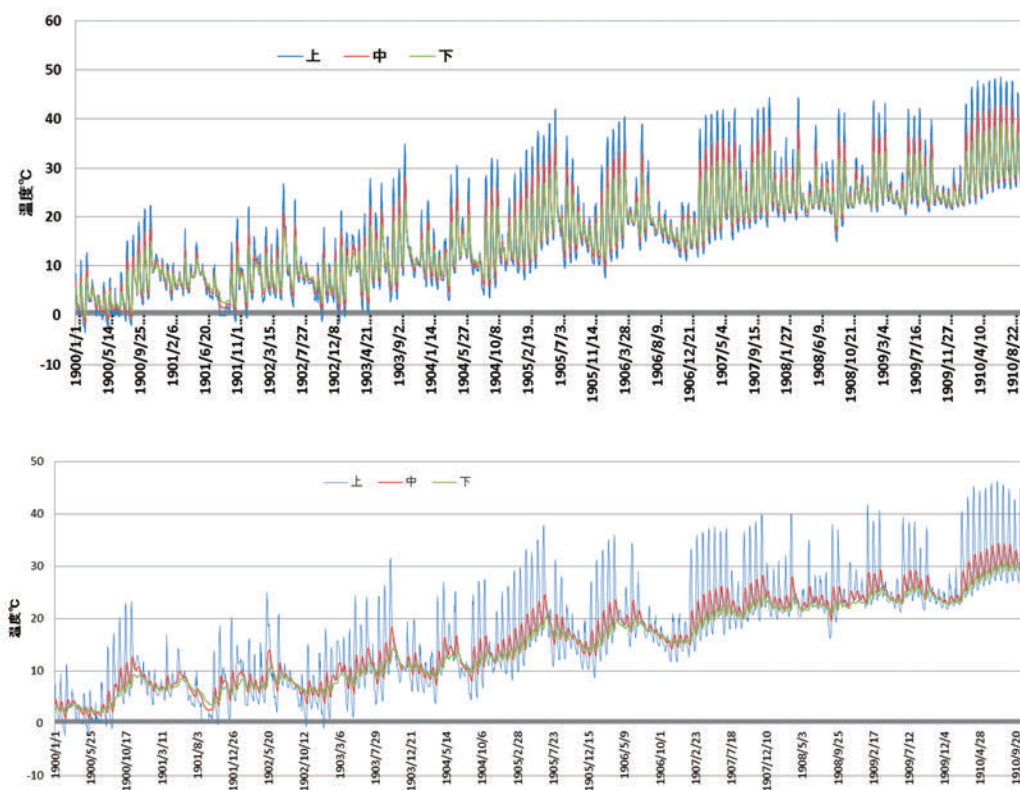


図-4.20 コンクリート版の温度変化（上：厚さ 15cm、下：厚さ 45cm）

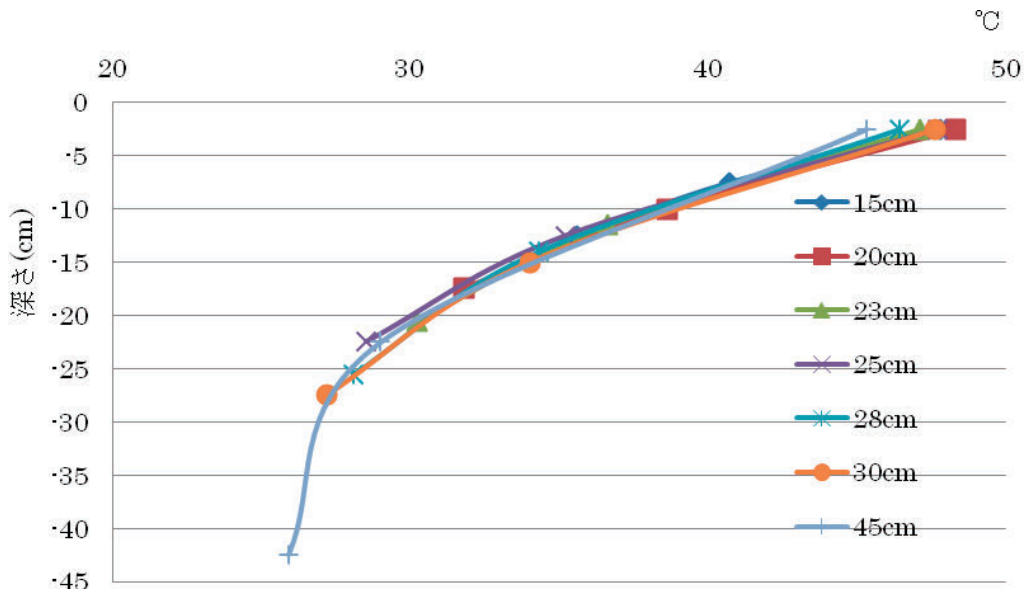


図-4.21 コンクリート版の厚さ方向の温度分布

(5) 温度応力解析

3DFEMによって温度応力を計算し、岩間の式と比較した。3DFEMでは、図-4.22に示すように、幅4m、長さ10mのコンクリート版とし、その下にアスファルト中間層5cm、粒状路盤35cm、路床200cmとした。温度については深さ方向に3点の温度を入力し、その温度を2次曲線で近似して、版厚方向の温度分布とした。

図-4.23はすべての版厚の中央部および縁部における一日の温度応力の変化を見たものである。岩間の方法では(1)式を用い、コンクリート版底面の応力を計算した。3DFEMでは、コンクリート版すべての点の応力が求まるので、表面および底面の応力を計算した。

図より日中はコンクリート版底面に大きな引張応力が生じていることがわかる。コンクリート版は引張応力に弱いので、設計ではこの応力が問題となる。中央部に関しては15cmの厚さでは岩間式の方が3DFEMよりも小さな温度応力となる。25から30cmではそれほど差がない。45cmでは岩間式よりも3DFEMの方が小さくなる。これは非線形性による内部応力が大きくなるためである。それぞれの最大応力の発生時間は異なり、岩間に比べ3DFEMは2時間から3時間程度遅れる。縁部については、45cmの版厚を除いて岩間式より3DFEMの応力がやや大きい傾向がある。

表-4.16 3DFEMで仮定したコンクリート舗装断面

層構成	厚さ (cm)	弾性係数 (MPa)	ポアソン 比
コンクリート版	15-45	30000	0.2
アスファルト中間層	5	5000	0.35
上層路盤	15	500	0.35
下層路盤	15	300	0.35
路床	200	80	0.35

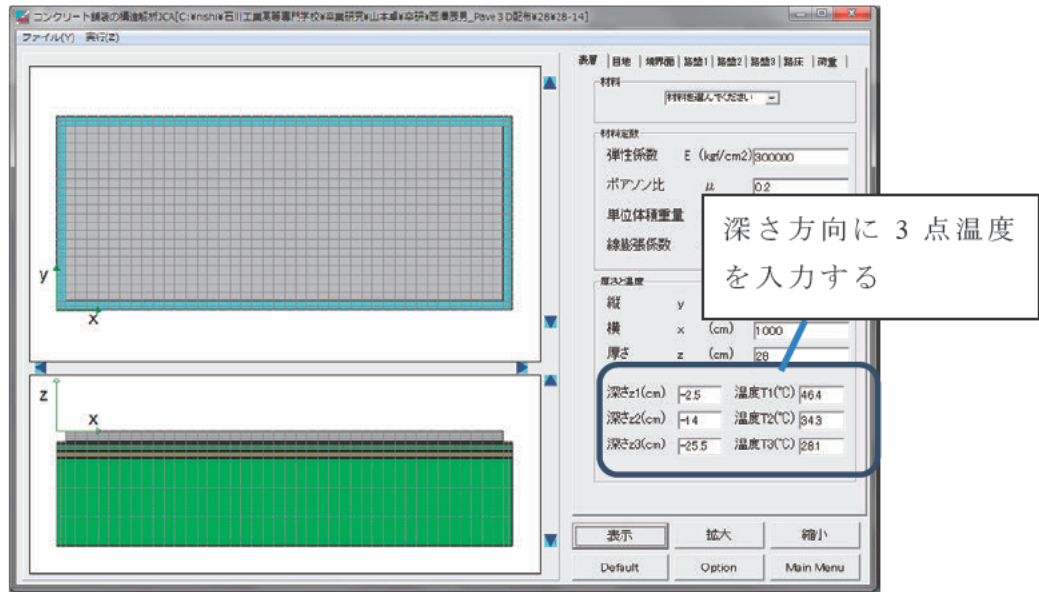


図-4.22 3DFEMによる温度応力解析モデル

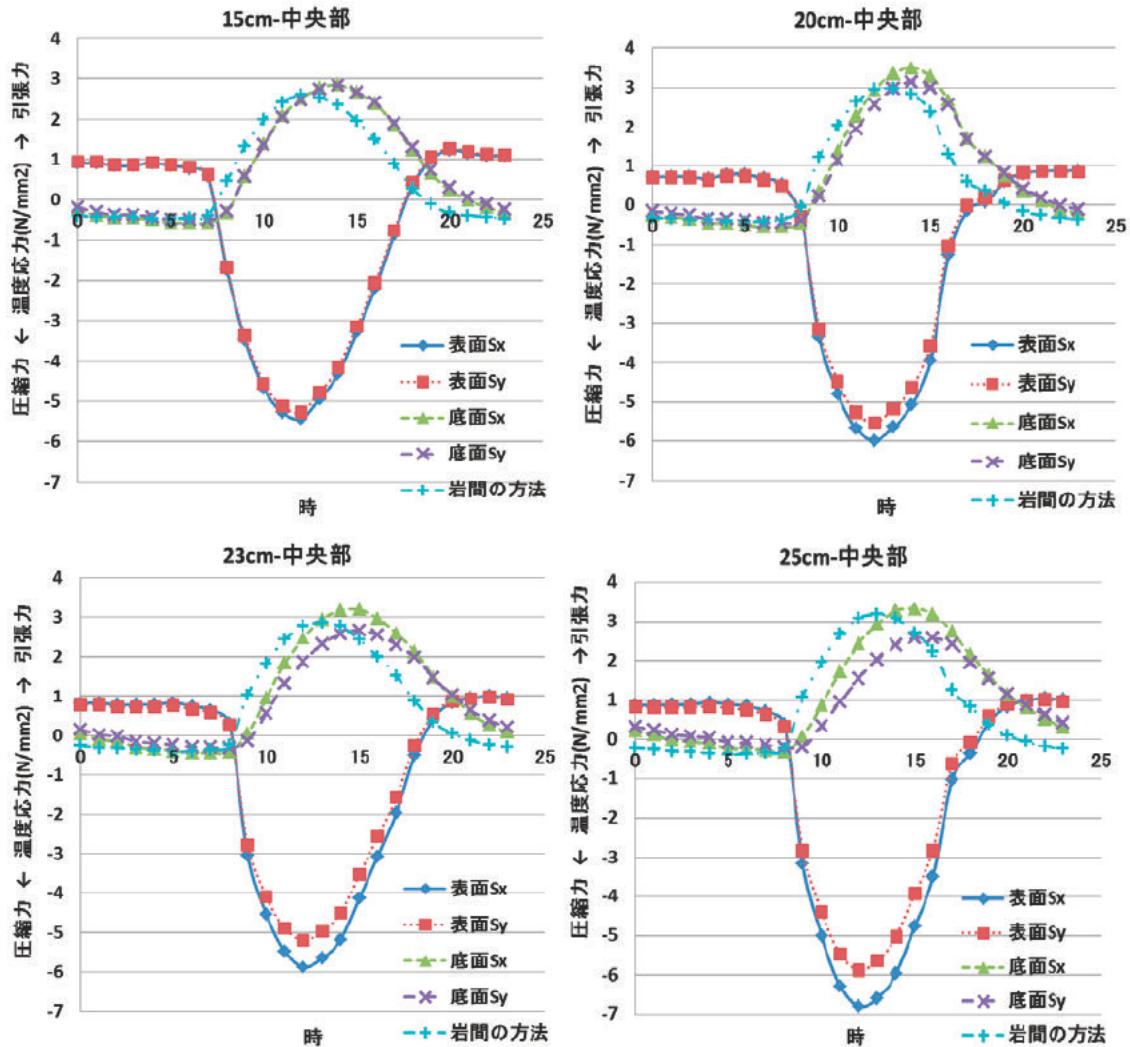


図-4.23 コンクリート版の温度応力の日変化(その1)

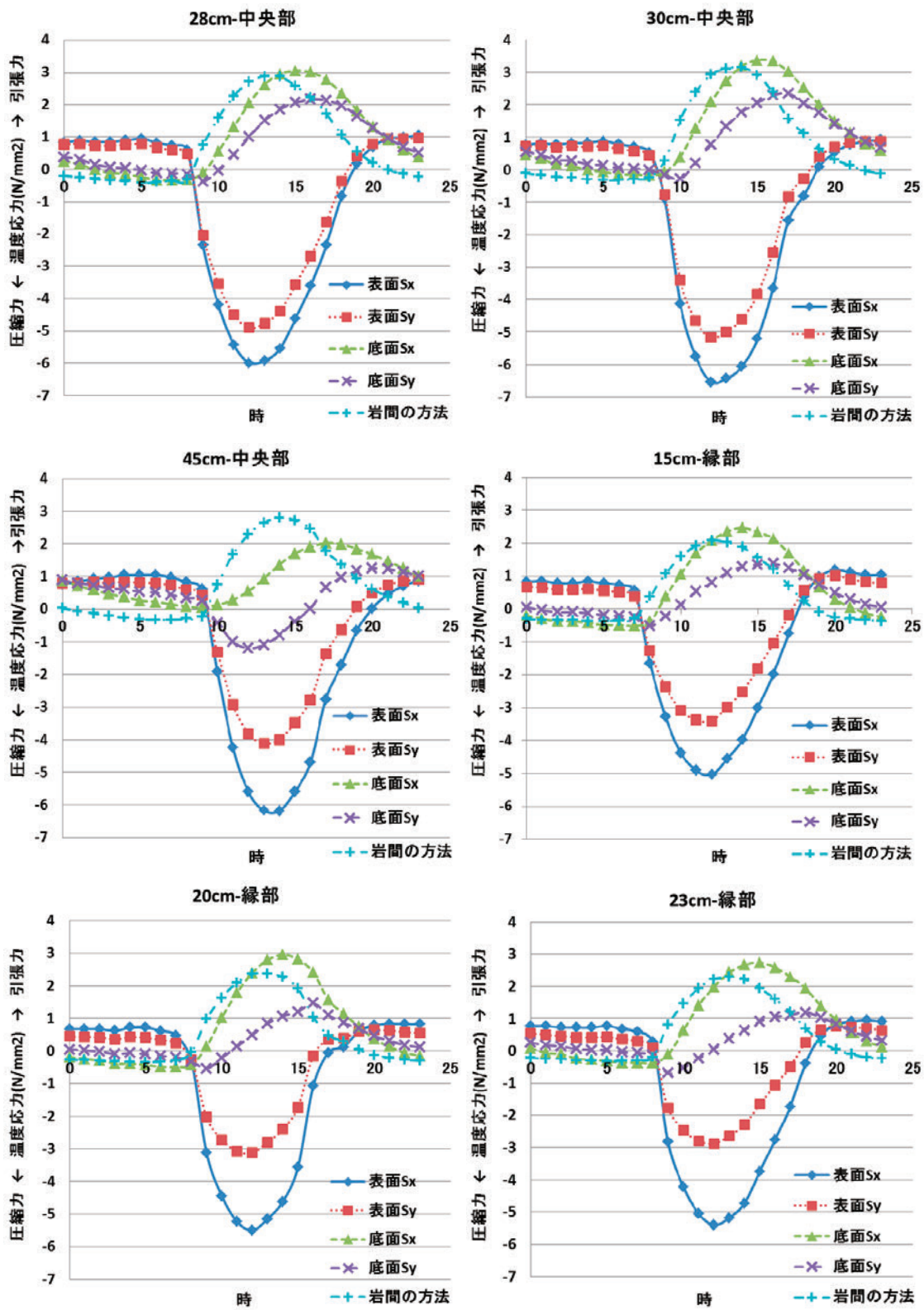


図-4.24 コンクリート版の温度応力の日変化(その2)

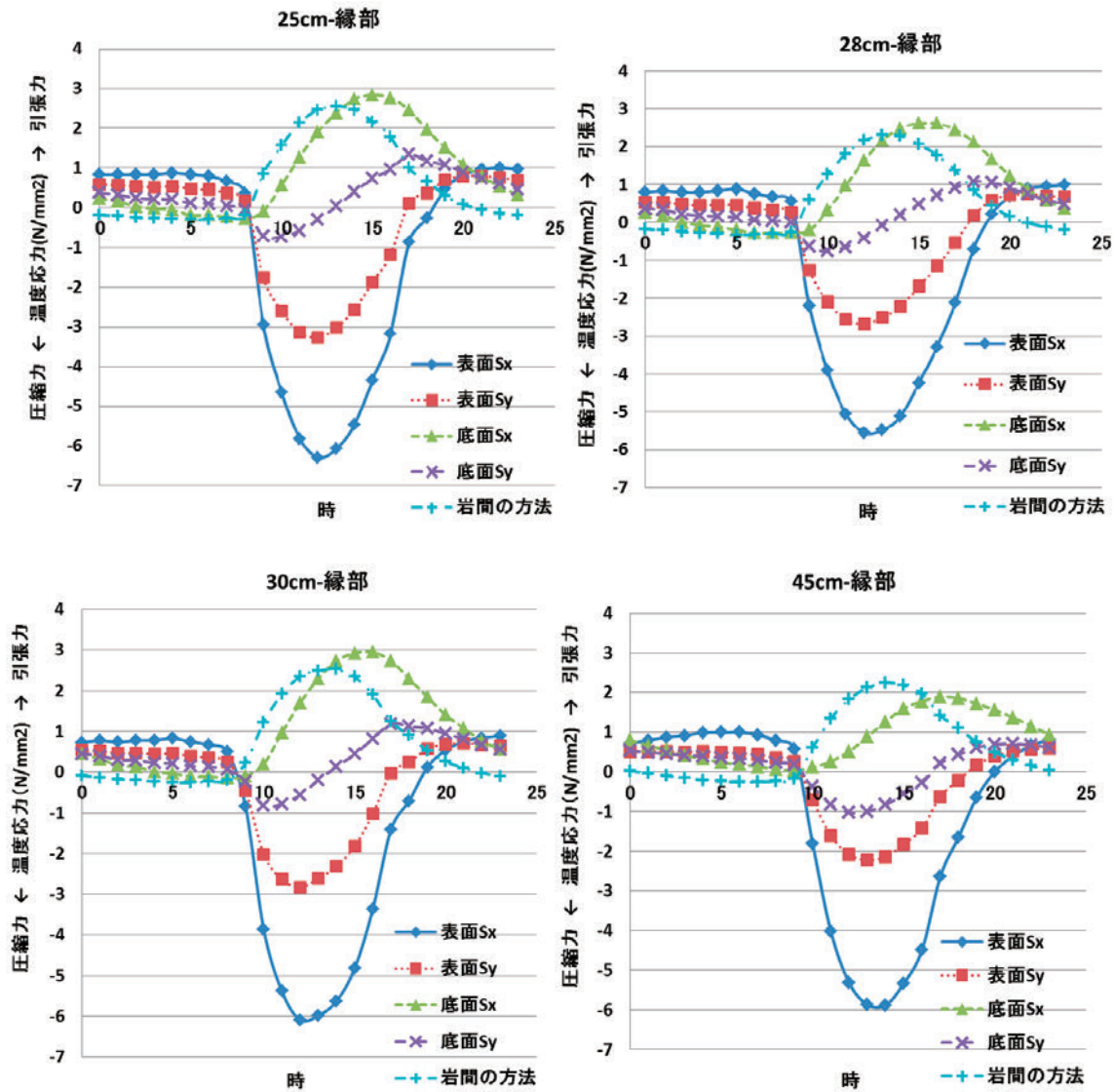


図-4.25 コンクリート版の温度応力の日変化(その3)

図-4.26 は 24 時間の中での最大引張応力と版厚の関係をまとめたものである。すべての版厚において縁部より中央部の方が応力は大きい。岩間式の応力は温度差のみに依存するので、温度差が同じであればほとんど版厚に関係しない。実際には温度差が版厚ごとに異なるため、応力も版厚によってやや異なる。しかし一定の傾向は認められない。3DFEM による応力は版厚が 30cm までは岩間式より 3DFEM の方が大きい、版厚が 45cm の場合には 3DFEM の方が小さい。

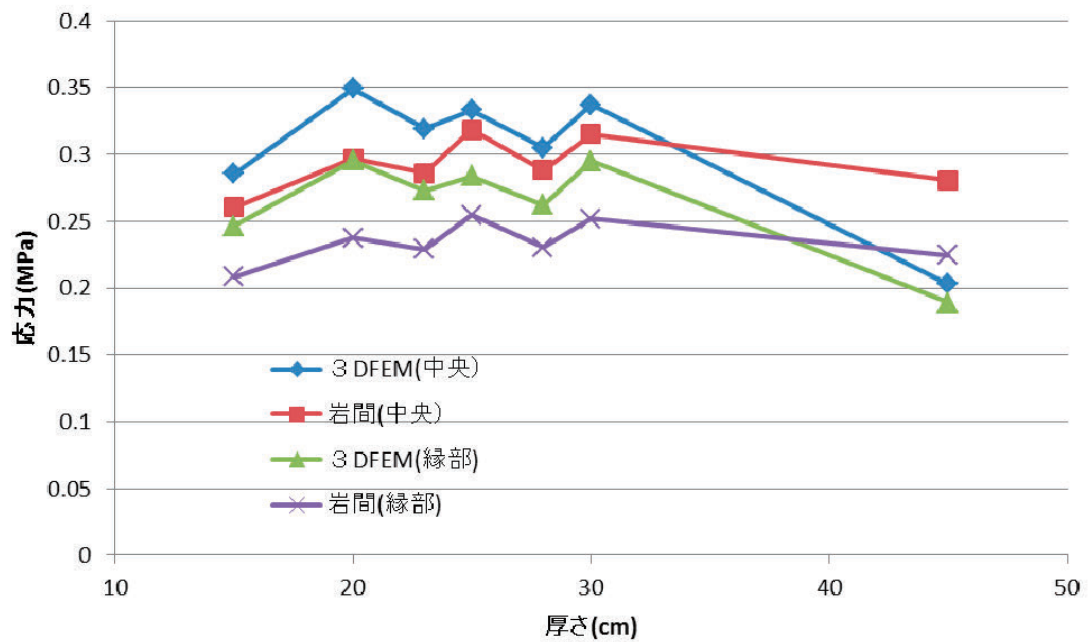


図-4.26 最大応力と版厚の関係

(6) まとめ

コンクリート版の温度および温度応力について以下ことが言える。

- 版厚が 30cm までは、厚さ方向の温度分布はほぼ線形であるが、45cm では強い非線形が現れる。
- 縁部よりも中央部の方が温度応力は大きい。
- 版厚 30cm までは岩間式よりも 3DFEM の方が大きいですが、45cm では 3DFEM の方が小さい。
- 岩間式は版厚によって大きな差はないが、3DFEM は版厚の影響が大きい。

なお、ここでの解析結果は石川県における 1 日だけの実測温度を用いたものである。ここから一般的な結論を出すのは早計であり、今後、同様の解析を年間を通して行い、また、今回その他の地域の実測温度についても解析を行っていく必要がある。

4.4 疲労度の検討

4.4.1 ひび割れと走行回数の関係

本研究で舗設されたコンクリート舗装には、2008年1月より荷重車の走行を開始した。2011年2月現在で、本舗装に載荷された5t換算輪数の累計値は、123,4553.803輪となっている。しかしながら現在までのところ、コンクリート舗装版にひび割れは発生していない。

そこで、これまでの荷重車走行により、コンクリート版に累積された疲労値の推定を行うこととした。

表-4.17 輪荷重群と通過輪数

(1) 計算条件

コンクリート版厚：25cm

横収縮目地間隔：5m

路盤支持力係数：30MPa/m

コンクリート

曲げ強度：5.6kN/mm²

弾性係数：32200N/mm²

ポアソン比：0.2

温度膨張係数：10×10⁻⁶/℃

荷重条件

輪荷重群と通過輪数：表-1

荷重走行位置：コンクリート版自由縁部より105cm

コンクリート版の温度差とその発生頻度：表-2

疲労曲線の破壊確率：50%

	荷重(t)	荷重(kN)	通過輪数
前輪	3.175	31.115	120975
	3.525	34.545	122503
後前輪	5.96	58.408	120975
	6.535	64.043	122503
後後輪	5.91	57.918	120975
	6.485	63.553	122503

表-4.18 コンクリート版の温度差と発生頻度

温度差	頻度
19	0.000729623
17	0.004548686
15	0.014473119
13	0.040867282
11	0.070030157
9	0.103400855
7	0.14374286
5	0.170494227
3	0.190524767
1	0.261188425

輪荷重群とその通過輪数は実測の値であり、各輪とも2種類の荷重があるのは、2009年4月より荷重車の重量を変更したためである。

荷重車の走行は昼間に限定されているので、コンクリート版の温度差とその発生頻度は、実測された版内温度差とその頻度を用いている。

(3) 計算結果

計算の結果得られた疲労値は、

$$FD = 1.25 \times 10^{-5}$$

となった。

4.4.2 疲労曲線の見直し

本研究期間内に破壊しなかったため、疲労曲線についての検討はできなかった。

5. 路盤の構造設計の検討

本章では、舗装走行実験場に施工した実大コンクリート舗装での路床、路盤上での支持力調査結果、路盤厚の異なる実大路盤試験区での支持力調査結果および既往の研究事例をもとに、路盤の構造設計法について検討を行った。

5.1 はじめに

昭和30年に道路工法叢書第9集としてセメントコンクリート舗装要綱が発刊されて以来、昭和47年、昭和59年に改訂作業が行われ、平成13年の大改訂によってセメントコンクリート舗装要綱は廃刊となり、コンクリート舗装の設計法は舗装設計施工指針(平成13年)、舗装設計便覧(平成18年)へと受け継がれている。このような設計法変遷の中で、路盤厚設計という概念がコンクリート舗装設計に取り入れられたのは昭和39年の改訂以降である。

昭和39年の改訂において採用された路盤厚設計法¹⁾は、竹下らの研究成果^{2),3)}に基づいたものである。竹下らは、試験舗装での実験結果および現場での平板載荷試験結果(K_{30})から、弾性論を参考に式(5.1)に示す路盤厚設計曲線を提案した。この路盤厚設計曲線には幾つかの種類があり、本検討に関連する曲線はA~Dの4つで、A線はクラッシュラン等の粒度の整った路盤材料、B線は砂、C線は切込み砂利での路盤効果 K_1/K_2 と路盤厚の関係を表しており、D線は粒度の整った路盤材料をローラ転圧したときに期待できる限界を表している。

$$\frac{h}{a} = \alpha \left(\frac{K_1}{K_2} \right)^\beta \quad (5.1)$$

ここに、 h : 路盤厚、 a : 載荷半径(=15cm)、 K_1 、 K_2 : 路盤、路床上での K_{30} 値、

α : 路盤材料の性質を表す係数(A線:0.415、B線:0.832、C線:0.500、D線:0.265)、

β : ローラの転圧の性質を表す定数(=1.65)

昭和47年の改訂では、飯島の提案⁴⁾により路盤厚設計曲線は直線へと修正され、セメント安定処理と粒状材料の2本の設計曲線⁵⁾が示された。セメント安定処理の設計曲線は、路盤厚が30cmでの測定結果の90%が設計曲線よりも高くなり、かつ路盤厚が15cmでの測定結果の70%が設計曲線よりも高くなる点を結んだものとなっている。このときのデータ群には、セメント安定処理路盤の他にソイルセメントのデータも含まれていた。また、粒状材料の設計曲線もセメント安定処理と同様に路盤厚が40cmと20cmの解析結果を直線で結んだもので、データ群には、切り込み砕石、クラッシュラン、粒度調整砕石のものであった。

この後、昭和59年の改訂⁶⁾では、粒状材料は粒度調整砕石に名称変更され、新たにクラッシュランの設計曲線が追加され、計3本の設計曲線が示された。これは飯島ら⁷⁾が昭和56年までに行った開削調査等の結果に基づくものである。この文献では、粒状材料の設計曲線が粒度調整砕石の設計曲線に置きかわった理由、クラッシュラン路盤の設計曲線が求まった理由が、昭和47年改訂の研究成果ほどに明確に記されておらず、原文では平均線と表現されている程度である。しかし、クラッシュランと粒度調整砕石の設計曲線と開削調査結果の関係を見る限りは、安全側(設計曲線よりも K_1/K_2 が上回るデータが多い)に設計曲線が引かれている印象を受ける。このようにして提案された昭和59年改訂版の路盤厚設計曲線は、平成13年の大改訂を経た後もそのまま受け継がれ、舗装設計便覧⁸⁾

に掲載されるに至っている。

現行の路盤厚設計曲線と昭和 39 年版セメントコンクリート舗装要綱の路盤厚設計曲線を比較すると図-5.1 のようになる。図-5.1 において、図中の細実線 A~D は昭和 39 年版の設計曲線を示しており、太実線 CrB、MSB、CTB はクラッシュラン、粒度調整砕石、セメント安定処理の設計曲線を示している。これらの結果より、現行のクラッシュランの設計曲線は、B 線(砂)と C 線(切込み砂利)の間で B 線寄りに、MSB の設計曲線は A 線(クラッシュラン等)と D 線(ローラ転圧限界)の間で A 線寄りに位置していることがわかる。また、クラッシュランに着目し、新旧設計曲線と飯島ら⁷⁾の開削調査データを比較したものが図-5.2 である。図-5.2 より、現行の設計曲線よりも K_1/K_2 が上回る調査データが多いことがわかる。これらのことより、クラッシュランおよび粒度調整砕石の設計曲線は、平均線とはいいながらも十分に安全側に設定されているものと考えられる。

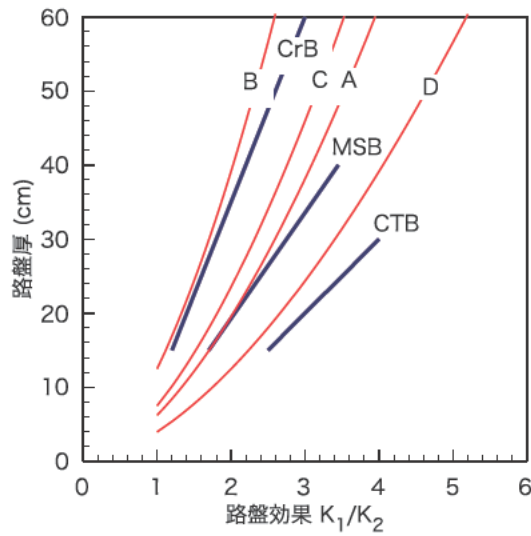


図-5.1 現行設計曲線と昭和 39 年要綱の設計曲線の関係

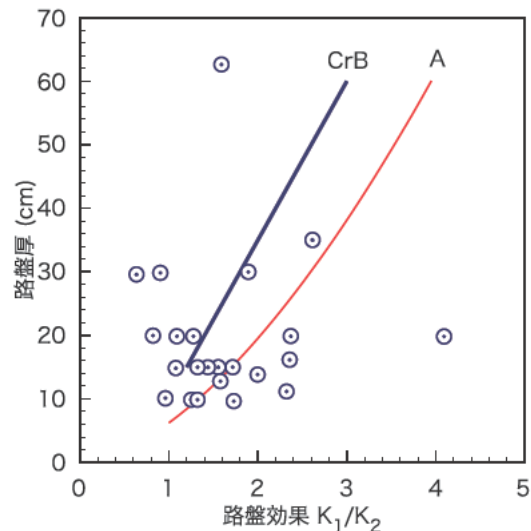


図-5.2 クラッシュランの新旧設計曲線と開削調査結果の関係

舗装要綱が廃刊された平成 13 年の大改訂によって、コンクリート舗装の設計法に信頼性の概念が導入された。具

体的には、コンクリート版厚設計時に設定した信頼度に応じて 1～4 倍の交通量を与え、設計期間内に疲労破壊が生じない(疲労度 <1)ように版厚を決定するものである。疲労解析では、路盤 K 値で表されるバネ支承上の弾性平板モデル、所謂 Westergaard モデルが一般的に用いられている。このときの路盤 K 値は、交通量区分によって値が異なり、 N_1 ～ N_4 交通では $K_{30}=150\text{MPa/m}$ 、 N_5 ～ N_7 交通では $K_{30}=200\text{MPa/m}$ から換算される K_{75} 値が用いられる。

各交通量区分で目標とする K_{30} 値は、路盤上の K_{30} 値とひび割れ度の関係⁷⁾から求められたもので、供用後 20 年でひび割れ度が 10cm/m^2 以下となる値であるが、路盤厚設計では設計曲線の K_1/K_2 と路盤厚の関係からこれらの目標値(K_1)を満足するよう路盤厚を決定する。しかし、前述したように、クラッシュランおよび粒度調整砕石の設計曲線は十分に安全側に設定されているものの、どの程度の信頼度で K_1/K_2 が確保されているのかは不明である。

これらのことより、本章では、舗装走行実験場に施工した実大コンクリート舗装の他に、走行実験場内に路盤厚の異なる実大路盤試験区を別途施工し、路床、路盤上での支持力調査を行った。そこで本章では、これらの支持力調査結果および飯島らによる既往の研究事例^{4, 7)}をもとに、路盤の構造設計法検証の一環として、路盤厚設計曲線の信頼性に関する検討を行った。

5.2 実大コンクリート舗装・路盤を用いた支持力調査

5.2.1 実大コンクリート舗装試験区での支持力調査の概要

2007 年に舗装走行実験場に施工した実大コンクリート舗装試験区の概要と支持力調査実施箇所は図-5.3 に示す通りである。幅 5m、長さ 5m、厚さ 25cm のコンクリート版(6 工区)を中心に、左右に長さ 10m のコンクリート版が 3 枚ずつ施工されており、各コンクリート版の目地にはダウエルバーが挿入されている。そして、1 工区、6 工区と 11 工区を除く 4 枚のコンクリート版の長さ方向中央部には、疲労ひび割れを模した誘導ひび割れが入っている。

また、1 工区から 6 工区の中央部までは 4cm のアスファルト中間層が施工されており、それ以降の工区は、クラッシュラン(C-40)路盤上にコンクリート版が施工されている。そのため、図-5.3 に示すように、1～6 工区の路盤厚は 26cm、6～11 工区は 30cm となっており、支持力調査は、小型 FWD (図-5.4) を用いて各工区の路床面、路盤面の隅角部 4 箇所、中央部 1 箇所の計 5 箇所測定を実施し、支持力係数(K_{30} 値)を測定した。

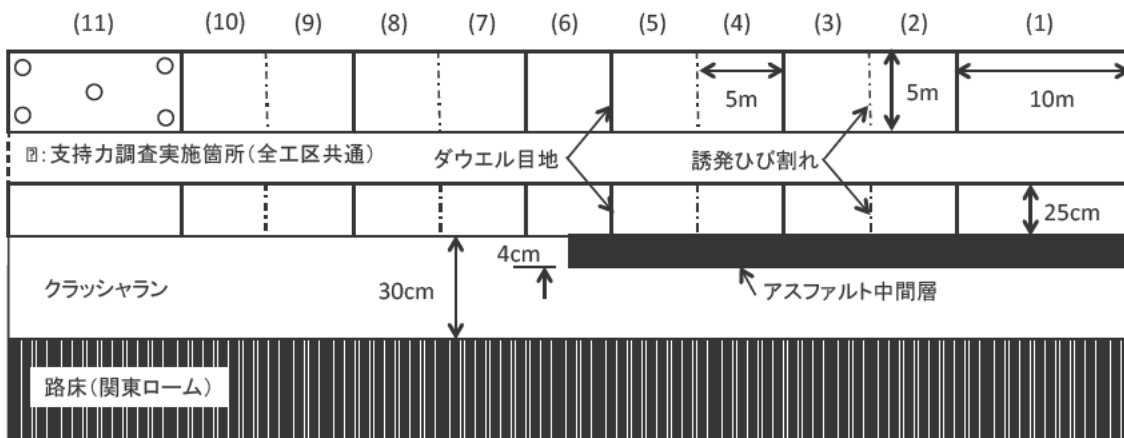


図-5.3 実大コンクリート舗装試験区の概要と支持力調査位置



図-5.4 小型 FWD 試験による支持力調査状況

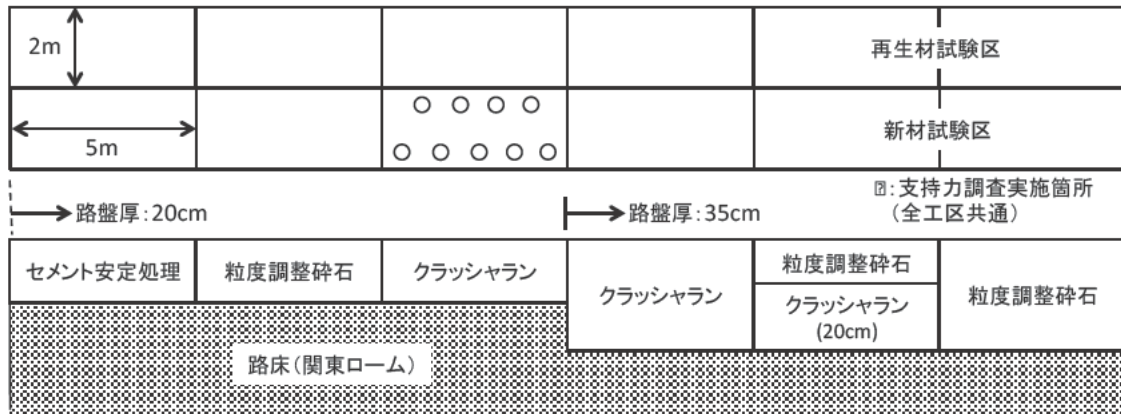


図-5.5 実大路盤試験区の概要と支持力調査位置

小型 FWD 試験により求めた K_{30} 値と平板載荷試験によって求めた K_{30} 値は、地盤材料の種類によって異なるため、補正を行う必要がある。そのため関根ら⁹⁾は、各種地盤材料に対して小型 FWD 試験と平板載荷試験を実施し、各試験によって求めた K 値には式(5.2)の線形関係が成り立つことを示した。

$$K_{p, fwd} = \gamma \cdot K_{30} \quad (5.2)$$

ここに、 $K_{p, fwd}$ は小型 FWD 試験による K_{30} 値、 K_{30} は平板載荷試験による K_{30} 値である。また、 γ は材料によって異なる定数であり、粘性土については $\gamma=1$ 、クラッシュランを含む礫質材料では $\gamma=2$ である¹⁰⁾ことが知られている。本調査では、路床土では $\gamma=1$ 、路盤では $\gamma=2$ とし、式(5.2)にしたがって K_{30} 値を求め、各路盤厚での K_1/K_2 を算出した。

5.2.2 実大路盤試験区での支持力調査の概要

実大路盤試験区は図-5.5 に示すとおり全 12 工区から成り、同じ路盤構造を有する再生材と新材を用いた試験区を施工した。これは、再生材の路盤効果が現行の路盤厚設計曲線で示し得るか否かが確認されていないためである。実大路盤の施工は 2009 年に行い、路床面、路盤面の支持力係数を平板載荷試験(図-5.6) および小型 FWD 試験により測定した。また、2010 年には実大路盤試験区の撤去にもなって平板載荷試験および小型 FWD 試験を

実施し、あわせて路盤厚の確認を行った。なお、支持力調査は各工区の路床面、路盤面の 7 箇所で実施し、小型 FWD 試験から K_{30} 値を求めるにあたっては、実大コンクリート舗装の場合と同様に式(5.2)を用いた。

使用した路盤材は、クラッシュランは C-40、RC-40、粒度調整碎石は M-30、RM-40 で、セメント安定処理は粒度調整碎石を用いたものである。表-5.1～5.3 および図-5.7 に路床、路盤材料の室内実験試験結果を示す。表-5.1 より CBR の平均値は 5.20%、標準偏差は 1.77% であるので、区間の CBR は 3.43% となり、設計 CBR は 3 となること がわかる。また、表-5.2、5.3 および図-5.7 より、今回の実験に用いた路盤材料は規格を十分に満足しており、再生材、新材ともに問題は無いことがわかった。



図-5.6 平板載荷試験による支持力調査状況

表-5.1 路床材料の室内試験結果

最大乾燥密度 g/cm ³	最適含水比 %	CBR(乱さない試料)%		
		CBR (5m)	CBR (15m)	CBR (25m)
1.030	49.6	5.5	3.3	6.8

表-5.2 路盤材料の室内試験結果

	M-30	RM-40	CTB M-30	CTB RM-40	C-40	RC-40
最大乾燥密度 g/cm ³	2.212	1.807	2.264	1.700	2.225	2.060
最適含水比 %	3.8	11.5	5.4	16.2	4.1	7.0
セメント量 %	—	—	4.0	6.5	—	—
修正 CBR %	92.5	109.2	—	—	54.7	104.6
一軸圧縮強度 MPa	—	—	3.0	3.0	—	—
塑性指数	N・P	N・P	N・P	N・P	N・P	N・P

表-5.3 路盤材料の粒度試験結果

材料分類		C-40	RC-40	粒度 範囲	M-30	RC-40	粒度 範囲
採取地		土浦市	土浦市		土浦市	八潮市	
粒 径 mm	53.0	100.0	100.0	100		100	100
	37.5	99.4	98.7	95~100	100.0	99.7	95~100
	31.5				100.0		
	19.0	74.9	69.2	50~80	93.7	78.6	60~90
	4.75	38.1	36.0	15~40	45.3	38.5	30~65
	2.36	27.8	27.2	5~25	31.2	30.6	20~30
	0.425				14.2	10.1	10~30
	0.075				5.0	2.1	2~10

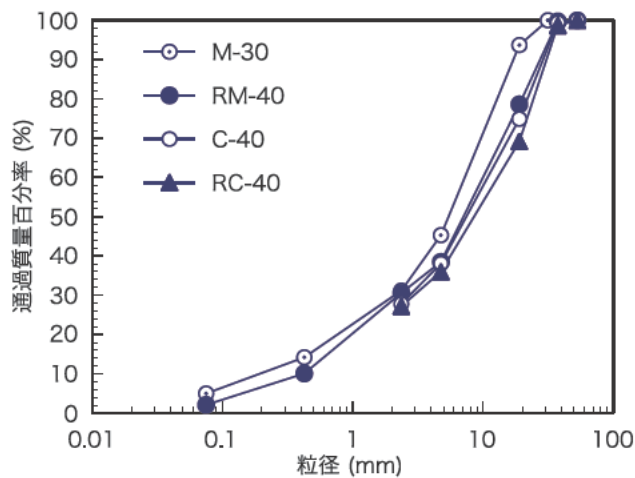


図-5.7 路盤材料の粒度試験結果

5.3 路盤厚設計曲線の信頼性の検討

5.3.1 解析方法

路盤厚設計曲線は、図-5.1 に示したように、横軸に路盤効果(K_1/K_2 =路盤上での K_{30} 値 / 路床上での K_{30} 値)、縦軸に路盤厚をとった平面座標上に直線で描かれている。この設計曲線によって路盤厚を求めた場合、図-5.8 に示すように目標値を満足する K_1/K_2 に応じた路盤厚が求まることとなる。この場合、設計曲線の信頼性とは、「路盤効果が、設計値を下回らない確からしさ」であり、所定の路盤厚に対して得られた路盤効果が設計曲線の値を上回るのはどの程度かを検討することで設計曲線の信頼性が把握できるものと考えられる。

そこで本章では、路盤厚設計曲線に対して飯島らによる既往の調査結果および実大コンクリート舗装試験結果、実大路盤試験結果がどの程度の範囲で分布しているかを把握するとともに、路盤厚毎の K_1/K_2 は正規分布にしたがっている(図-5.8)ものとして、舗装標準示方書¹¹⁾に記載されている材料強度などの特性値 f_k を求めるための式(5.3)を用い、設計曲線の信頼度を求めた。

$$f_k = f_m - k \cdot \sigma \quad (5.3)$$

ここに、 f_k :信頼度に応じた K_1/K_2 の値、 f_m :路盤厚毎の K_1/K_2 の平均値

σ : K_1/K_2 の標準偏差、 k : 信頼度に応じて表-5.4 に示す値をとる係数

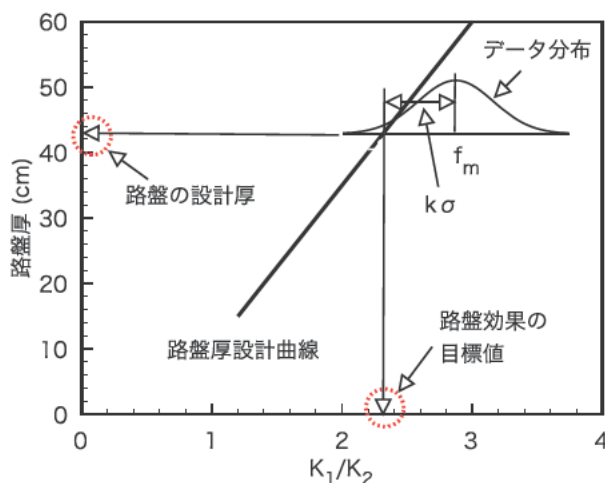


図-5.8 路盤厚設計曲線の信頼性の概念

表-5.4 信頼度に応じた係数の値

信頼度	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%
k	1.64	1.28	1.04	0.84	0.67	0.52	0.39	0.25

5.3.2 設計曲線への再生材の適用性に関する検討

既に述べたように、現在の路盤厚設計曲線は、昭和47年および昭和59年のセメントコンクリート舗装要綱の改訂時に提案されたものであり、このときに再生路盤材という概念は無かった。しかし、平成5年に施行された環境基本法の下、建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律、いわゆる建設リサイクル法が平成12年に制定されて以来、特定建設資材であるコンクリートやアスファルトコンクリートなどの舗装材料の再資源化が義務付けられた。その後、舗装工事においても再生材が積極的に用いられるようになってきていることは周知のことである。

これらのことから、本項では、実大路盤試験によって得られた再生材の路盤効果 K_1/K_2 と新材の K_1/K_2 を比較し、再生材でのデータが路盤厚設計曲線の信頼性の検討に利用できるか否かを確認することとした。

図-5.9～図-5.11 に実大路盤試験で得られた各路盤材料の K_1/K_2 測定結果を示す。図-5.10 からわかるように、粒度調整砕石では新材よりも再生材の K_1/K_2 が大きく、この傾向は路盤厚が厚くなるほど顕著になる結果となっていた。これは、路盤厚が厚いほど締固めにくくなることもあるが、表-5.3 および図-5.7 に示した粒度試験結果からわかるように、新材の粒度曲線は再生材よりも上に位置している、つまり細かい粒子が多いため、再生材よりもローラによる締固め効果が小さかったことが原因と考えられる。これに対し、クラッシュランおよびセメント安定処理での K_1/K_2 は、再生材の方が多少大きな値を示したが、新材と比べて大きな違いは認められなかった。

これらのことから、再生材の路盤効果は新材に劣らないことがわかる。また、路盤厚設計曲線の信頼性の検討において、再生材と新材の両データを用いることができるものと考えられる。

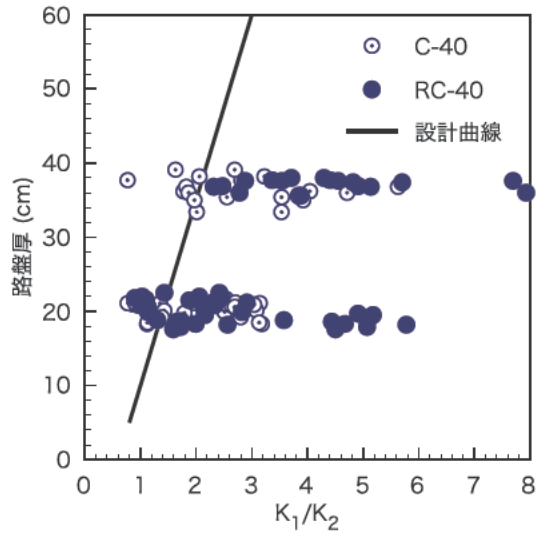


図-5.9 新材と再生材の路盤効果の比較(クラッシュチャラン)

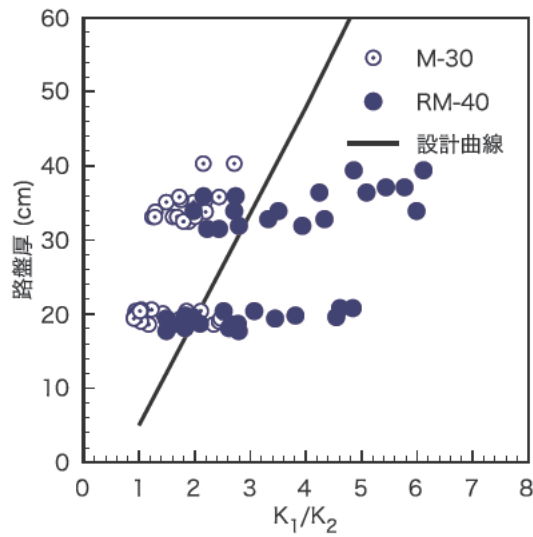


図-5.10 新材と再生材の路盤効果の比較(粒度調整砕石)

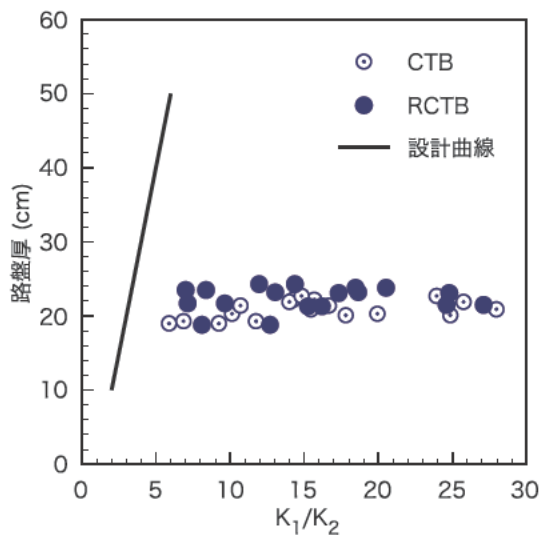


図-5.11 新材と再生材の路盤効果の比較(セメント安定処理)

5.3.3 解析結果

式(5.3)を用いて設計曲線の信頼性解析を行うにあたり、各路盤材料での既往の研究成果および 2007 年～2010 年の実験結果が路盤厚設計曲線に対してどの程度の範囲に分布するかを調べた。これを図-5.12～5.14 に示す。

図-5.12～5.14 において、凡例“Iijima”は、飯島ら^{4,7)}の開削調査等による昭和 56 年までのデータ、PWRI2007～PWRI2010 は 2007 年～2010 年の実験データを示している。さらに、Design(C)、(M)、(CTB)はクラッシュラン、粒度調整砕石、セメント安定処理の路盤厚設計曲線を示している。また、粒度調整砕石での飯島らのデータには粒度調整砕石以外でのデータも含まれている。これは、前述したように、昭和 59 年の要綱改訂において昭和 47 年改訂版の粒状材料の設計曲線がそのまま粒度調整砕石に置き換えられていたためである。これらの結果より、路盤効果 K_1/K_2 の測定結果の多くは、路盤厚設計曲線よりも大きな値を示していることがわかる。このことは、設計曲線にしたがって路盤厚を決定した場合、多くの場合は設計曲線よりも大きな K_1/K_2 が得られることを示しており、設計曲線は安全側に設定されていることがわかる。

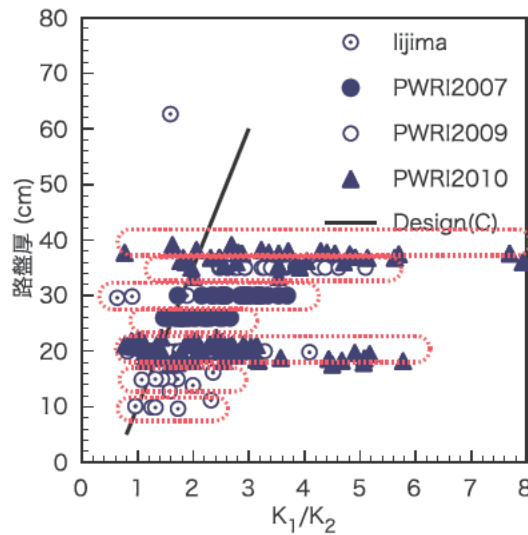


図-5.12 設計曲線と実測データの関係(クラッシュラン)

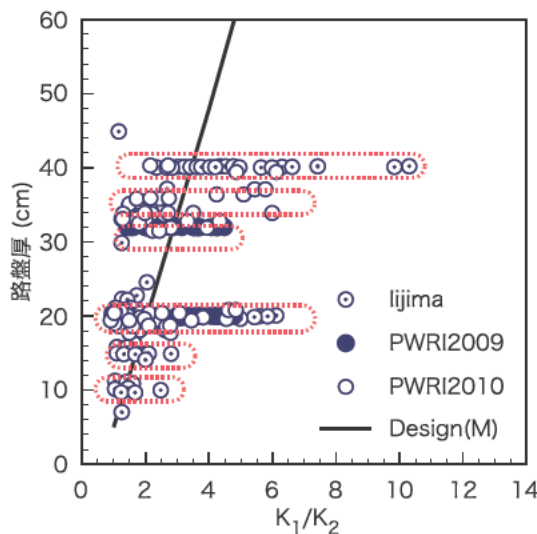


図-5.13 設計曲線と実測データの関係(粒度調整砕石)

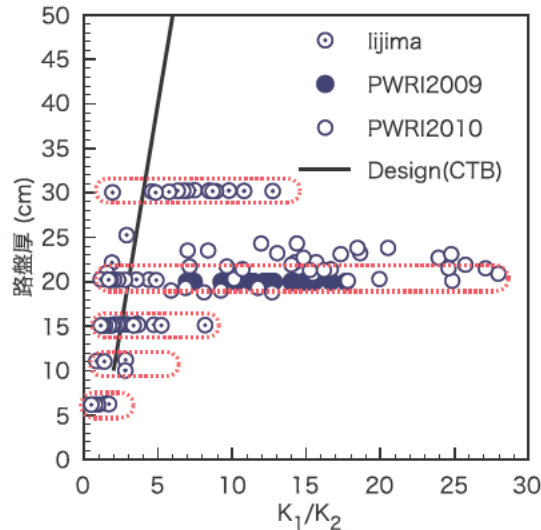


図-5.14 設計曲線と実測データの関係(セメント安定処理)

また、何れの路盤材料においても路盤が厚くなるにしたがって、 K_1/K_2 のバラツキが大きくなっていることがわかる。このバラツキの程度を調べるため、図-5.12～5.14 に破線で囲んだように路盤厚毎に K_1/K_2 の測定結果をグルーピングし、各グループの標準偏差を求めた。なお、グルーピングにあたっては5～40cmまで5cmおきの路盤厚を代表値とし、代表値-2.5cm～代表値+2.4cmを1グループとした。その結果を図-5.15に示す。図-5.15に示した凡例 $\sigma(M\&C)$ は、粒度調整碎石路盤とクラッシュラン路盤の K_1/K_2 の標準偏差を示しており、 $\sigma(CTB)$ はセメント安定処理路盤での結果を示している。また、図中には $\sigma(M\&C)$ と $\sigma(CTB)$ の近似線および決定係数を示した。ただし、 $\sigma(CTB)$ の近似線は、路盤厚20cmでの結果 $\sigma(CTB_{20cm})$ が非常に大きい値を示したことから、これを除外して求めた。その結果、2つの近似線には高い相関性が認められることから、路盤厚と標準偏差には線形関係があり路盤が厚くなるほどバラツキが大きくなることがわかった。また、セメント安定処理路盤での標準偏差は、粒度調整碎石路盤・クラッシュラン路盤に比べて2倍程度大きくなることがわかった。つまり、セメント安定処理路盤は、他の路盤材に比べて支持力のバラツキが大きいことがわかった。

次に各路盤厚での K_1/K_2 の平均値と標準偏差を用いて、設計曲線の信頼性について検討した。これを図-5.16～5.18に示す。図中の実線は設計曲線を示しており、破線は凡例の()内に記した信頼度での近似線を示している。なお、近似線は他のデータ群とは乖離していた破線で囲んだデータを除外して求めたものである。ただし、セメント安定処理路盤の破線のデータは、図-5.14に示したように実大路盤試験結果の影響が大きかったため、飯島らのデータのみを用いて近似線を求めた。

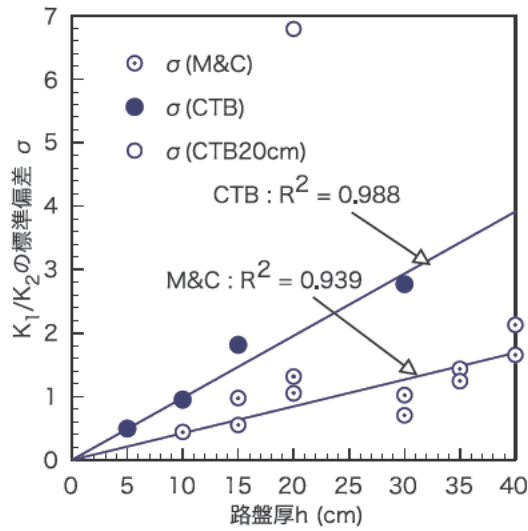


図-5.15 路盤厚と K_1/K_2 の標準偏差

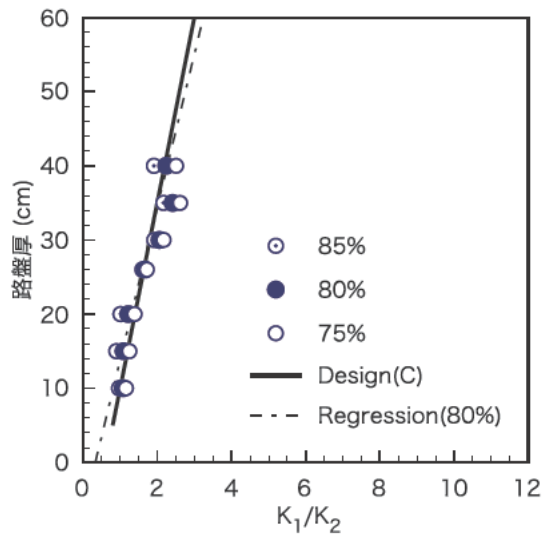


図-5.16 路盤厚設計曲線の信頼性(クラッシュヤラン)

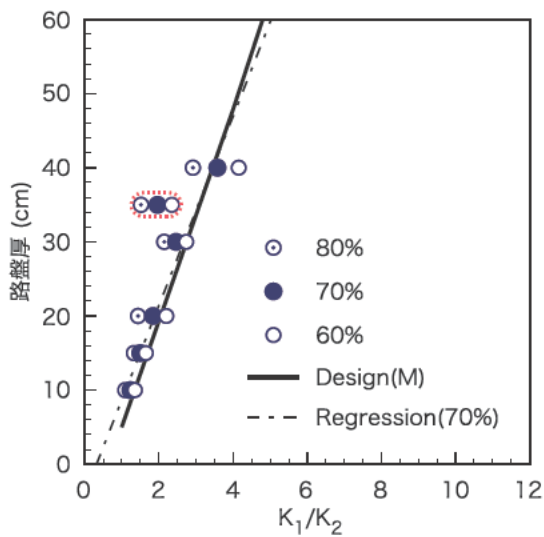


図-5.17 路盤厚設計曲線の信頼性(粒度調整碎石)

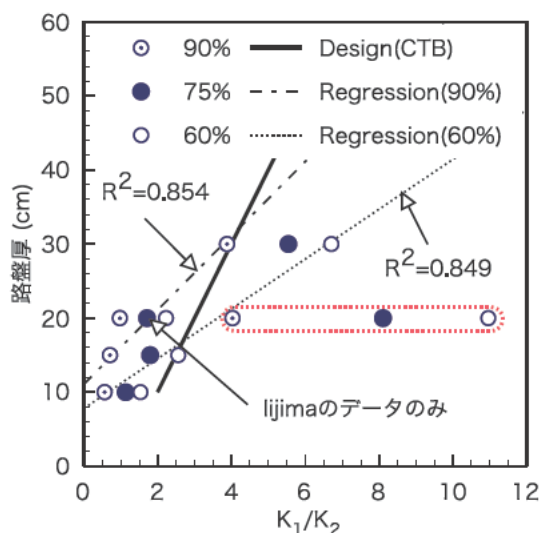


図-5.18 路盤厚設計曲線の信頼性(セメント安定処理)

図-5.17～5.18の結果より、クラッシュランの設計曲線は信頼度 80%の近似線、粒度調整碎石の設計曲線は信頼度 70%の近似線と概ね重なっていることがわかった。このことより、クラッシュランと粒度調整碎石の路盤厚設計曲線の信頼度は、80%、70%程度であることがわかった。これに対して、セメント安定処理路盤の設計曲線は、路盤厚 15cm で信頼度 60%、30cm で信頼度 90%の近似線と交差していた。このことは、飯島の報告⁴⁾にあるように、昭和 47年の要綱改訂においてセメント安定処理路盤の設計曲線は、路盤厚が 30cmでの測定結果の 90%が設計曲線よりも高くなりかつ路盤厚が 15cmでの測定結果の 70%が設計曲線よりも高くなる点を結んだもの、という結果と概ね一致しており、設計曲線によってセメント安定処理路盤厚を求めた場合、路盤が厚くなるにしたがって K_1/K_2 が設計曲線を下回る確率が低くなることを示していると言える。同一の信頼度で路盤厚を設計するには、設計曲線の勾配を近似線と同程度になるよう修正する必要がある、これによって経済的にセメント安定処理路盤厚を設計できるものと考えられる。しかし、セメント安定処理に関する設計曲線の検討結果は、昭和 56年以前のデータのみを用いて求めたものであることから、今後の追加調査が必要であると考えられる。

5.4 信頼性を考慮した路盤厚設計曲線の提案

平成 13年以降、コンクリート舗装の版厚設計法に信頼性の概念が導入された。これによって、コンクリート舗装設計の自由度は増したが、路盤厚設計は旧態依然としたままである。しかし、信頼度に応じた路盤厚設計曲線を求めることができれば、版厚設計のみに留まっていたコンクリート舗装設計の自由度は更に増すものと言える。そのため、ここでは前項で得られた結果に基づいて、信頼度に応じた路盤厚設計曲線を求めることとする。具体的には、以下の手順にしたがって路盤厚設計曲線を求めるものである。

- (1) クラッシュランの現行設計曲線の信頼度を 80%、粒度調整碎石の現行設計曲線の信頼度を 70%とする。また、セメント安定処理に関しては、信頼度 90%の近似式である式(5.4)を基準として、信頼度に応じたラインを求めることとする。

$$h = 5.01 \times \frac{K_1}{K_2} + 11.07 \quad (5.4)$$

ここに、 h はセメント安定処理路盤の路盤厚(cm)である。

- (2) 式(5.3)の $-k \cdot \sigma$ を移項した式(5.5)によって路盤厚毎の K_1/K_2 の平均値 f_m (平均値を用いた設計曲線)を算出する。

$$f_m = f_k + k \cdot \sigma \quad (5.5)$$

- (3) 式(5.3)によって信頼度に応じた K_1/K_2 の値 f_k を求め、これを直線で結び設計曲線を求める。このとき、 K_1/K_2 の標準偏差は、式(5.6)に示す図-5.15の近似式より求める。また、信頼度に応じた係数 k は表-5.4に示した値を用いる。

$$\sigma_{M\&C} = 0.0422 \times h \quad (5.6 a)$$

$$\sigma_{CTB} = 0.0978 \times h \quad (5.6 b)$$

ここに、 $\sigma_{M\&C}$:粒度調整碎石路盤およびクラッシュラン路盤での K_1/K_2 の標準偏差、 $\sigma_{M\&C}$:セメント安定処理路盤での K_1/K_2 の標準偏差

このようにして求めた信頼度に応じた路盤厚設計曲線を図-5.19～5.21に示す。これらの結果より、クラッシュランの信頼度80%(現行設計曲線)の線と粒度調整碎石の信頼度90%の線、粒度調整碎石の信頼度70%(現行設計曲線)の線とクラッシュランの信頼度60%の線はほぼ重なっていることが読み取れる。例えば、図-5.20に破線で示したように、粒度調整碎石路盤においてクラッシュラン路盤と同程度の信頼度(80%)を有する路盤厚を設定するためには、目標とする K_1/K_2 で縦線を引き、信頼度80%の設計曲線と交わる点が求めるべき路盤厚となる。しかし、信頼度を90%に設定すると、路盤厚が過剰になってしまう可能性がある。そのため、路盤支持力の変化がどの程度コンクリート版の疲労度に影響を及ぼすかを検討した上で、総合的に路盤厚設計曲線の信頼度を決定する必要があるものと考えられる。

また、図-5.21に示したように、セメント安定処理の現行設計曲線は信頼度90%～60%の間に位置することがわかる。しかし、前述したようにセメント安定処理路盤の検討結果は、昭和56年以前のデータのみを用いて求めたものであり、現行の路盤厚設計曲線を設定した際の飯島の報告⁴⁾を確認したに過ぎないことから、今後の追加調査が必要であると考えられる。また、図-5.14に示したように、実大路盤での結果は設計曲線よりも大きな値を示していたことから、現在用いられているセメント安定処理路盤の荷重分散性能は昭和56年以前のものよりも高い可能性がある。さらに、信頼度に応じた設計曲線の有用性を確認するためには、粒度調整碎石路盤、クラッシュラン路盤の場合と同様に、路盤支持力の変化がコンクリート版の疲労度に及ぼす影響についてもあわせて検討していく必要があるものと考えられる。

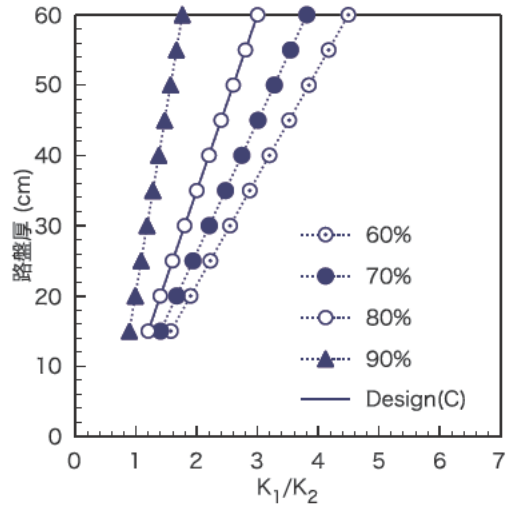


図-5.19 信頼度に応じた路盤厚設計曲線(クラッシュラン)

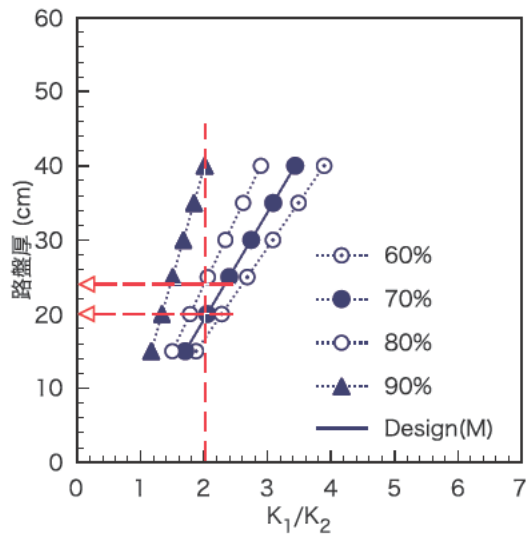


図-5.20 信頼度に応じた路盤厚設計曲線(粒度調整砕石)

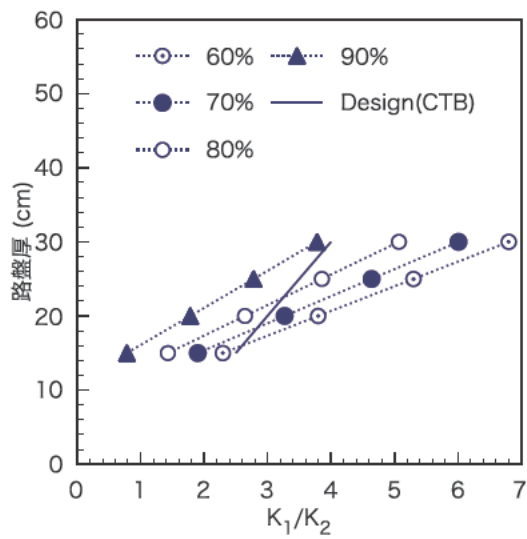


図-5.21 信頼度に応じた路盤厚設計曲線(セメント安定処理)

5.5 おわりに

本章では、舗装走行実験場に施工した実大コンクリート舗装試験区、実大路盤試験区での路床、路盤の支持力調査結果および既往の研究事例に基づき、路盤厚設計曲線の信頼性に関する検討を行った。主な結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 既往の研究結果を調査したところ、現行の路盤厚設計曲線は安全側に設定されてはいるものの、その信頼度については不明であることがわかった。
- (2) 現行の路盤厚設計曲線の信頼度について解析を行った結果、クラッシュラン、粒度調整碎石の設計曲線はそれぞれ 80%、70%の信頼度であることがわかった。また、セメント安定処理路盤の設計曲線は、路盤厚 15cm で信頼度 60%、30cm で信頼度 90%と、路盤厚によって信頼度が異なっていることがわかった。
- (3) 信頼度を 60～90%に設定し、各路盤材料の設計曲線を求めたところ、クラッシュランの信頼度 80% (現行設計曲線) の線と粒度調整碎石の信頼度 90%の線、粒度調整碎石の信頼度 70% (現行設計曲線) の線とクラッシュランの信頼度 60%の線はほぼ重なっていたこと、セメント安定処理の現行設計曲線は信頼度 90%～60%の間に位置していたことがわかった。
- (4) セメント安定処理に関する設計曲線の検討結果は、昭和 56 年以前のデータのみを用いて求めたもので、現在用いられているセメント安定処理路盤の荷重分散性能は昭和 56 年以前のものよりも高い可能性があることから、今後の追加検討が必要である。

コンクリート舗装の設計は、K 値を用いた従来の平板理論 (Westergaard モデル) から弾性理論を用いたものへと移行しつつある。弾性理論を用いた場合には、路盤厚設計の設計用値としてレジリエントモジュラス等の地盤材料の変形係数を用いることとなる。そのため、今後は室内実験等で求めた各種路盤材料の変形係数を用いた場合に算定される路盤効果と路盤厚設計曲線との整合性について検討する必要があるであろう。また、前述したように、路盤厚設計曲線の信頼度とコンクリート版の疲労度の関係についても検討する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会:セメントコンクリート舗装要綱、昭和 39 年版、1964.
- 2) 竹下春見:路盤の荷重分散効果、土木研究所報告、第 106 号、pp.170-177、1960.
- 3) 竹下春見、岩下義治:路盤の荷重分散効果(2)、土木研究所報告、第 107 号、pp.204-224、1963.
- 4) 飯島尚:重交通道路におけるコンクリート舗装の構造設計法に関する研究、北海道大学学位論文、1986.
- 5) (社)日本道路協会:セメントコンクリート舗装要綱、昭和 47 年版、1972.
- 6) (社)日本道路協会:セメントコンクリート舗装要綱、昭和 59 年版、1984.
- 7) 飯島尚、岡村真:コンクリート舗装の路盤厚さに関する 2、3 の検討、土木技術資料、26-4、pp.37-42、1984.
- 8) (社)日本道路協会:舗装設計便覧、平成 18 年版、2006.
- 9) 関根悦夫、鴨智彦、阿部長門、丸山暉彦:重錘落下による鉄道盛土の締固め管理方法、土と基礎、48-4、pp.13-16、2000.
- 10) 地盤工学会:地盤工学者のための舗装入門—基礎から応用まで—、講演会講演資料、2010.
- 11) 土木学会:舗装標準示方書、土木学会、2007.

6. コンクリート舗装の構造細目の検討

6.1 鉄網の効果の検討

6.1.1 鉄筋計の準備

試験舗装に用いた鉄網は、JIS G 5331「溶接金網及び鉄筋格子」に準じた、格子間が150mmのD6鉄筋を溶接接合したものである。鉄網に取付ける鉄筋計は、溶接接合する前のD6鉄筋1mを用いた。誘発ひび割れを確実にゲージ上に誘導するため、ゲージ長5mmの箔ゲージ（東京測器研究所社製QFLA-5、ゲージ率2.14、120Ω）を鉄筋の左右にゲージが5mm間隔となるように千鳥で3枚、防水処置を施し貼り付けた。ゲージの取り付け状況を図-6.1に示す。鉄筋計の設置位置は、図-3.2に示すとおり、アスファルト中間層のない区間1箇所（S1、S2、S3）およびアスファルト中間層のある区間1箇所（S4、S5、S6）の計2箇所測定を実施した。

また、測定データの温度補正を実施するために、ゲージを貼付した鉄筋を可変恒温室に無応力状態で静置し、可変恒温室内温度を5～45℃に変化させて、鉄筋の温度変化ひずみを測定し、温度変化と鉄筋ひずみの関係の近似式を得た。測定結果を図-6.2～図-6.3に示す。

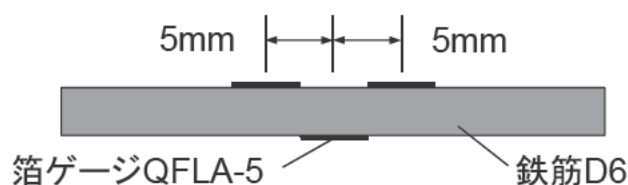


図-6.1 鉄筋計の取り付け状況

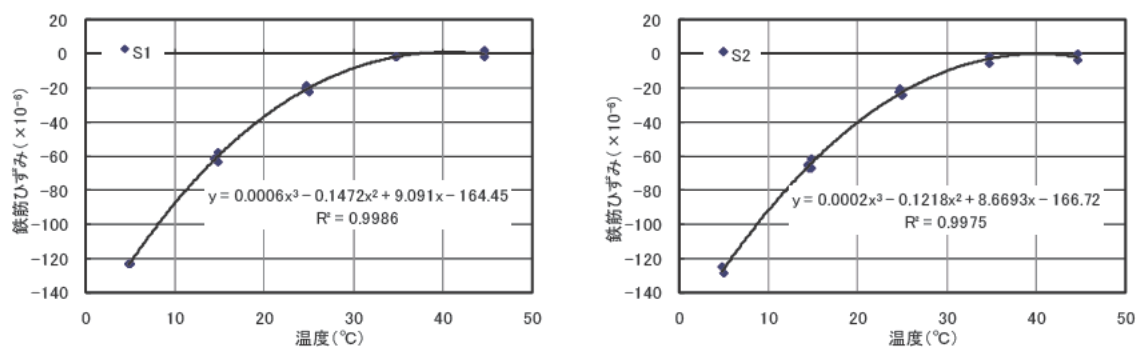


図-6.2 鉄筋計の温度補正 (S1、S2)

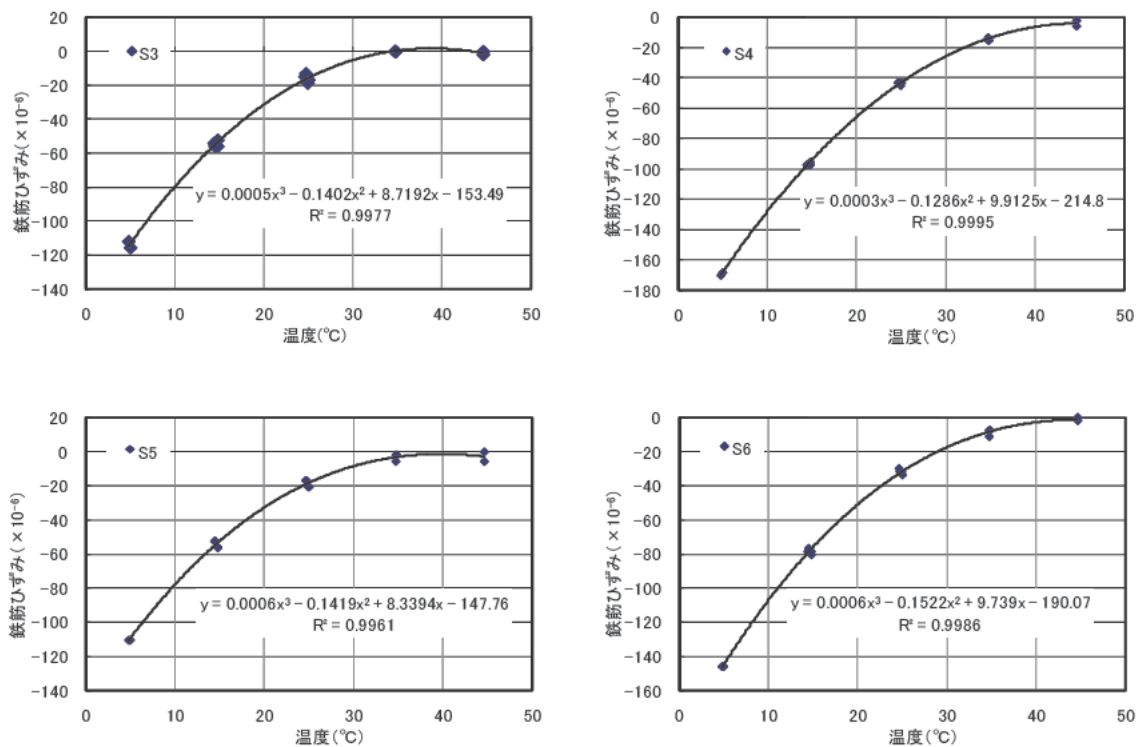


図-6.3 鉄筋計の温度補正 (S3、S4、S5、S6)

6.1.2 鉄筋計の設置

鉄網は通常の工事と同様に、下層コンクリートを敷き均した後に、下層コンクリートの上面に静置し、コンクリート打設が行われた。鉄筋計は、鉄筋計の位置にある鉄網の一部を現場で切り取り、ひずみゲージがすべて水平に並ぶように向きを決め、結束線を用いて鉄網に接合した。

6.1.3 測定方法

鉄筋計のひずみ測定は、コンクリート打設前から開始し 10 分間隔 (材齢 14 日まで、それ以降 30 分間隔) で測定した。鉄筋の応力ひずみは、実測ひずみから上述した温度補正データを用いて温度変化による鉄筋の伸縮ひずみを式(6.1)のとおり差し引き、鉄筋の応力ひずみを求めた。

$$\varepsilon_t(t) = \varepsilon_m(t) - (aT(t)^2 + bT(t) + c) \quad (6.1)$$

ここで、

$\varepsilon_t(t)$: 時刻 t における鉄筋の応力ひずみ

$\varepsilon_m(t)$: 時刻 t における鉄筋の測定ひずみ

a, b, c : 図-6.2 および図-6.3 から求めた校正係数

$T(t)$: 時刻 t における鉄筋の温度 (近傍のコンクリートの温度で代用)

6.1.3 試験結果および考察

鉄筋計の測定結果を図-6.4 および図-6.5 に示す。

図-6.4 では、材齢 15 日にすべての鉄筋ひずみが著しく大きくなった。これは材齢 15 日にひび割れが発生したことを意味するものである。鉄筋ひずみ S1～S3 を比較すると、いずれも $14,000 \times 10^{-6}$ と著しく大きい、その中でも S1 が最も大きかったことより、S1 がひび割れ断面のひずみである

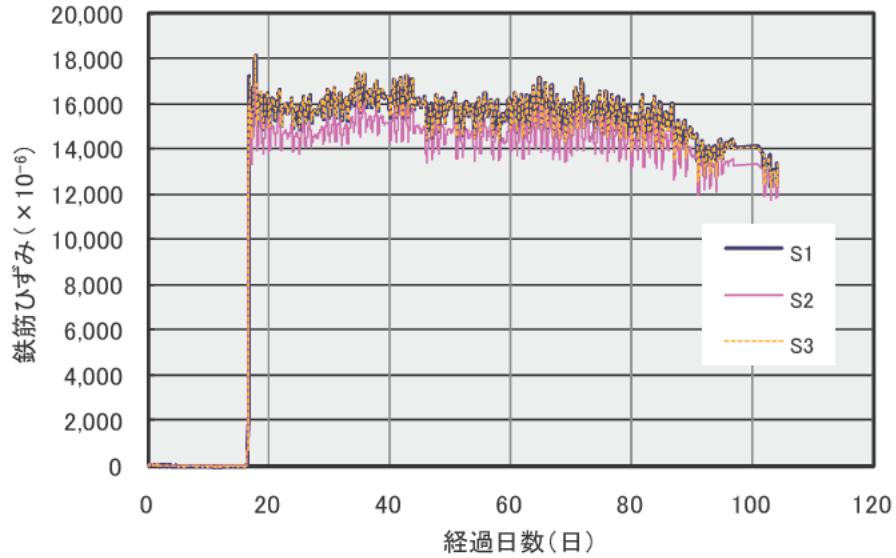


図-6.4 鉄筋計の測定結果 (アスファルト中間層なしの箇所、S1～S3)

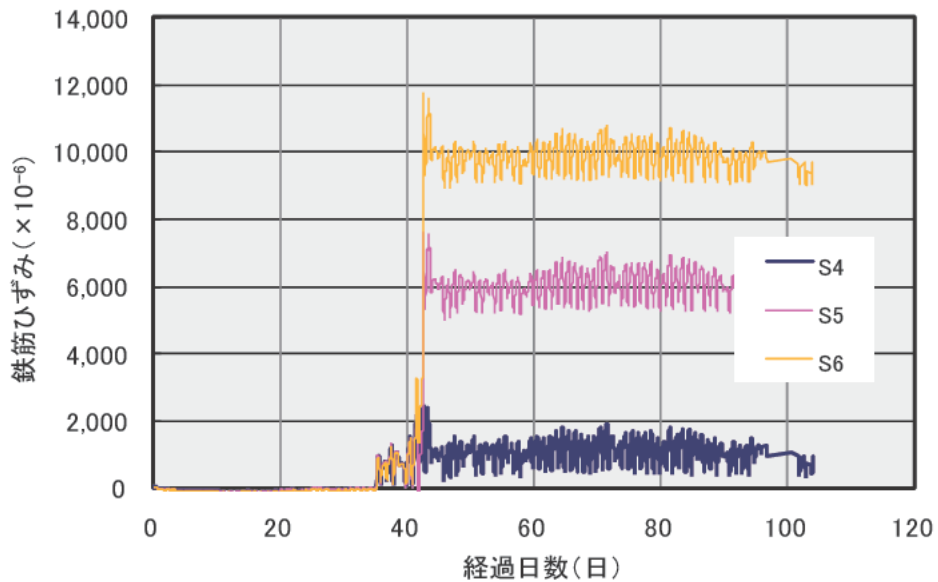


図-6.5 鉄筋計の測定結果 (アスファルト中間層ありの箇所、S4～S6)

とした。また、図-6.5 では、材齢 35 日から鉄筋のひずみが 100×10^{-6} 以上になり、材齢 42 日の時点において、S6 ひずみが $10,000 \times 10^{-6}$ 以上となった。これより、S6 がひび割れ断面であり、材齢 42 日の時点でひび割れが貫通したと思われる。これらの図には、材齢 100 日程度までのデータのみ記載しているが、これ以降もほとんど変化なくひずみ値は推移していた。

今回使用した鉄網に使用された鉄筋の弾性係数を実測していないが、一般的に鉄筋の弾性係数は $190 \sim 210 \text{ kN/mm}^2$ である¹⁾。JIS G 5331「溶接金網及び鉄筋格子」によれば、使用した鉄筋は JIS D 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」による種類のうち、SD295A、SD295B、SD345 のいずれかである。これらの降伏点は、 $295 \sim 440 \text{ MPa}$ であり、鉄筋の弾性係数を 200 GPa とすれば、降伏時の鉄筋ひずみは、最大 $2,200 \times 10^{-6}$ であり、図-6.4 および図-6.5 の結果と照らし合わせれば、降伏をはるかに超えた状態であることが明らかである。

6.1.4 鉄網の使用量算定の根拠³⁾

鉄網は構造細目による規定であり、その使用量は約 3 kg/m^2 である²⁾。本試験舗装は、D6 鉄筋を用いた 150 mm ピッチの格子鉄網を採用していることより、版厚 250 mm である本試験舗装においては、鉄筋比は 0.084% となる。その使用目的は、土木学会舗装標準示方書によれば、「鉄網はコンクリート版にひび割れが発生した後、ひび割れが開くのを制御するために使用するものである。」とある。ひび割れが何らかの原因で発生し、そのひび割れ幅がそれ以上に開かないようにするために用いるものと理解できる。つまりコンクリート版の横目時間の中央に 1 本ひび割れが発生した後、鉄網の効果により、ひび割れで 2 分されたコンクリートを緊結してひび割れの拡大を防止する効果を期待したものである。この効果を実現するための必要鉄筋量を求めた。必要鉄筋量 A_s は、コンクリート版の自重を外力として受けた時に、鉄筋の許容応力を超えない鉄筋量とすればよい。

$$A_s = \frac{\frac{1}{2} \cdot \mu \cdot L \cdot B \cdot h \cdot w \cdot g}{\sigma_{sy} / 1000} \quad (6.2)$$

ここに、 A_s : 必要鉄筋量 (mm^2)

μ : 路盤との摩擦係数、ここでは 1.5

L : コンクリート版の長さ (目地間隔) (m)

B : コンクリート版の幅 (m)

h : コンクリート版の厚さ (m)

w : 単位体積質量 (kg/m^3)

g : 重力加速度 (m/s^2)

σ_{sy} : 鉄筋の許容応力 (MPa)

ここで、 $L=10\text{m}$ 、 $B=1\text{m}$ 、 $h=0.25\text{m}$ 、 $w=2400\text{ kg/m}^3$ 、 $a=9.8\text{ m/sec}^2$ 、 $\sigma_{sy}=150\text{ MPa}$ とすると、必要鉄筋量 A_s は 196mm^2 となる。一方、コンクリートの断面積は、 0.250m^2 であることより、必要鉄筋比は 0.078% となる。

必要鉄筋比よりも今回の試験舗装の鉄筋比の方がやや大きいにもかかわらず、図-6.4 および図-6.5 から明らかなように、鉄網を構成する鉄網は完全に降伏状態であった。これは、鉄網の必要鉄筋量を算定する際に、式(6.2)はコンクリートの引張強度あるいは曲げ強度を考慮していないことが原因である。設計ではコンクリート版のひび割れの発生は、初期の温度ひび割れを除いて、荷重応力および温度応力による繰返し曲げ疲労破壊であって、繰返し回数がひび割れ発生の最大のパラメータとなる。

一方、本試験舗装では、鉄筋ひずみを測定するため、鉄筋計を設置した箇所に確実にひび割れを発生させるようにコンクリート表面に切り欠きを入れた。そのため、散水養生終了後、温度降下および乾燥収縮による引張応力が引張強度を超えてひび割れが発生したものと考えられる。このように試験舗装では実際のコンクリート舗装から発生する疲労ひび割れとは発生の仕方が違うため、鉄網の効果の検証をするうえで問題があることが分かった。

6.1.4 ひび割れ幅の実測値

図-1.1 に示したように、亀裂変位計を用いて、誘発ひび割れ部のひび割れ幅および目地部の目地幅を連続的に測定した。図-6.6～図-6.7 はひび割れ幅の経時変化として材齢 450 日までの測定結果を示す。図-6.6 と図-6.7 の比較および図-6.8 と図 6-9 の比較は、アスファルト中間層の有無が同一条件下での鉄網の効果を確認できる。これらの図から、鉄網が設置されないとひび割れ幅が $5\sim 7\text{ mm}$ 程度まで拡大するものが、鉄網が設置されることでひび割れ幅が 2 mm 程度以下に制御され、鉄網効果が表れているように見える。しかし、図-6.10 および図-6.11 に示されているように、鉄網がない目地部であっても誘発されたひび割れの挙動は、 1 mm 程度の変動しかないことから、上述

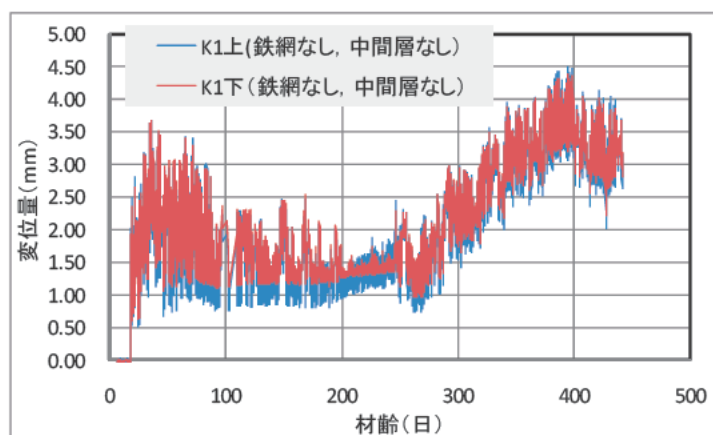


図-6.6 亀裂変位計によるひび割れ幅の測定結果（ひび割れ部、中間層なし、鉄網なし）

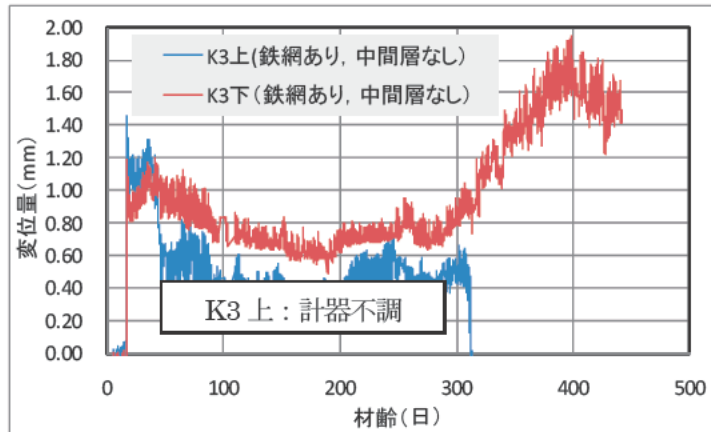


図-6.7 亀裂変位計によるひび割れ幅の測定結果（ひび割れ部、中間層なし、鉄網あり）

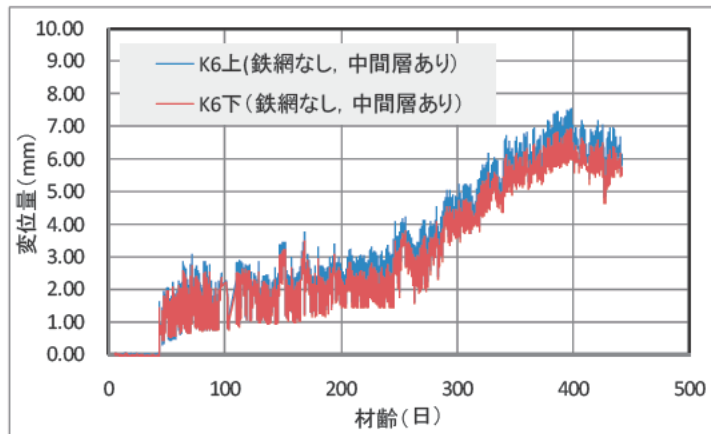


図-6.8 亀裂変位計によるひび割れ幅の測定結果（ひび割れ部、中間層あり、鉄網なし）

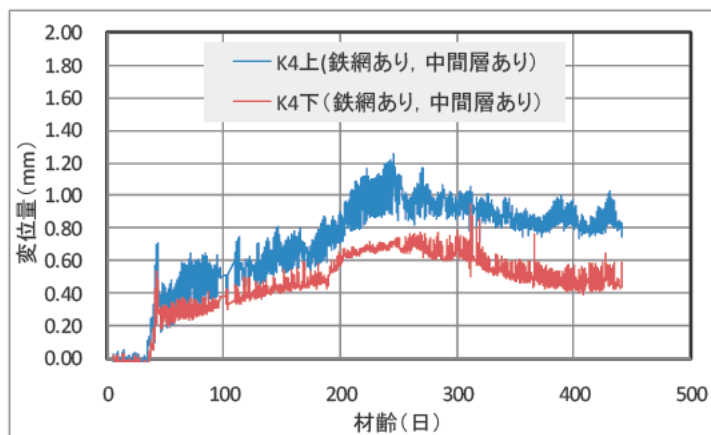


図-6.9 亀裂変位計によるひび割れ幅の測定結果（ひび割れ部、中間層あり、鉄網あり）

のひび割れ幅の経時変化は鉄網の効果であるとは言い切れない。また、すでに降伏状態の鉄網がひび割れ幅を制御するとは考えられないといえる。

図-6.6～図-6.7 はひび割れ幅の経時変化として材齢 450 日までの測定結果を示す。図-6.6 と図-6.7 の比較および図-6.8 と図 6-9 の比較は、アスファルト中間層の有無が同一条件下での鉄網の効果を確認できる。これらの図から、鉄網が設置されないとひび割れ幅が 5～7mm 程度まで拡大するものが、鉄網が設置されることでひび割れ幅が 2mm 程度以下に制御され、鉄網効果が表れているように見える。しかし、図-6.10 および図-6.11 に示されているように、目地部であっても誘発されたひび割れの挙動は、1mm 程度の変動しかしないことから、上述の鉄網の有無によるひび割れ幅の違いは鉄網が降伏していることと併せて、鉄網の効果ではないと判断できる。

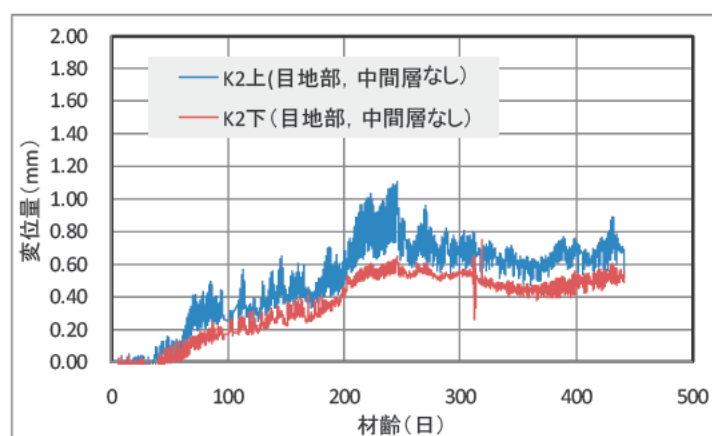


図-6.10 亀裂変位計によるひび割れ幅の測定結果（目地部、中間層なし）

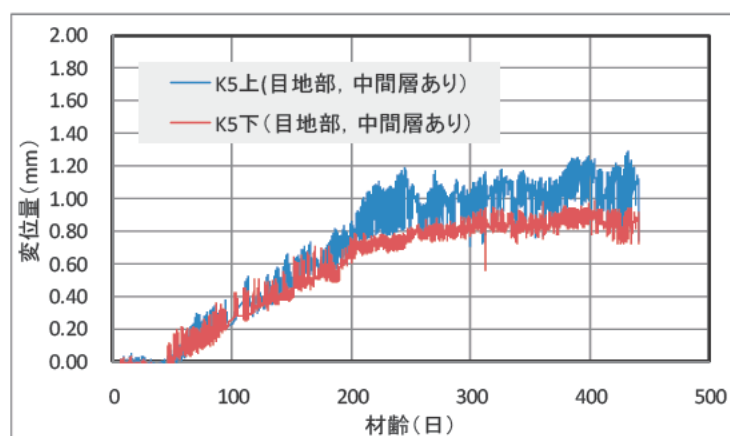


図-6.11 亀裂変位計によるひび割れ幅の測定結果（目地部、中間層あり）

6.1.5 実道での鉄網の効果

(1)現場から採取した鉄網の調査

試験舗装における鉄網の効果の検証では、材齢初期にひび割れを誘発発生させたため、疲労に起因するひび割れとは異なるといえる。そこで、供用中の国道 113 号および 13 号のコンクリート舗装に発生したひび割れを対象に、ひび割れ幅と鉄網の状態を当該コンクリート版から採取したコア

供試体を用いて調査し、鉄網の効果を確認することとした。

採取したコアの目視調査結果を表-1 に示す。5箇所ひび割れ部から採取したコアのうち、B16の鉄網はすでに破断していた。コア番号 A132 のひび割れ幅はコンクリート版表面で 0.5mm 程度であったが、コア側面では 0.02mm と目視では確認できないほど狭かった。A5 のひび割れは底面まで貫通していなかった。これは、ひび割れがコンクリート表面から発生していることを意味しており、疲労ひび割れは版底面から発生するとする従来の考えとは異なる。このひび割れの発生原因については、今後の課題としたい。

表-6.1 から、版厚方向のひび割れ幅分布に着目すると、A1、B15 では鉄網位置のひび割れ幅はコンクリート版上下面のひび割れ幅に比べて小さく、鉄網位置のひび割れ幅の制御効果がある程度認められた。

表-6.1 採取したコアの目視調査結果

国道	コア番号	寸法 (mm)	ひび割れ幅 (mm)			鉄網 (D6 鉄筋で構成)			
			表面	鉄筋位置	底面	腐食の有無	鉄筋位置 (mm)	間隔 (mm)	鉄筋比 (%)
113 号	A1	φ200×260	0.84	0.26	0.07	無	83	200	0.061
	A4	φ200×240	ひび割れなし			—	65		0.066
	A5	φ200×242	0.57	0.17	0※	無	82		0.065
	A132	φ200×260	0.02	0.02	0.02	一部孔食	55		0.061
13 号	B15	φ200×290	0.35	0.40	0.53	一部孔食	86	150	0.073
	B16	φ200×300	鉄筋破断のため不明			腐食破断	85		0.070

※ひび割れは貫通してなく、コンクリート表面から 135mm の位置まで発生。

図-6.12 は、ひび割れが発生していない A4 コアから採取した鉄筋の応力-ひずみ関係を示したものである。この図で、降伏点が認められ、その数値からこの鉄筋は JIS G 3112 で規定されている呼び名 D6 SD345 であることがわかった。この降伏した鉄筋に対して再度引張試験を実施し、応力-ひずみ関係を求めると図-6.13 のようになる。この図で示されているように、再載荷後の鉄筋には降伏点がなく、なだらかに塑性域に移行していることがわかる。なお、再載荷時の応力がやや大きい原因は載荷速度の影響であると思われる。

図-6.14 および図-6.15 は、A5 および A132 から採取した鉄筋の応力-ひずみ関係である。A1 は図-6.13 と同様に降伏点が認められなかった。これは供用中のひび割れ発生により降伏したものと考

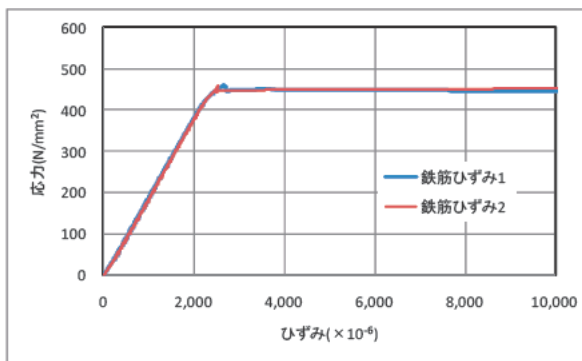


図-6.12 A4 の応力-ひずみ関係

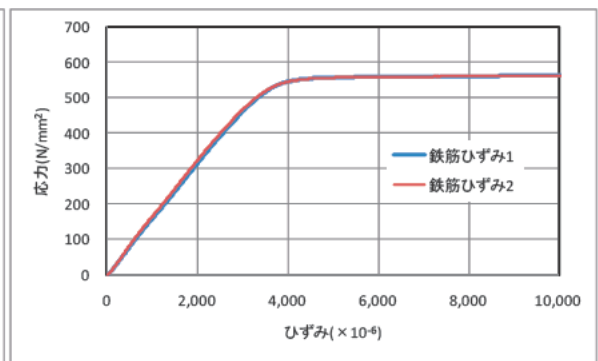


図-6.13 A4 の応力-ひずみ関係 (再載荷)

えられる。また A5 および B15 の鉄筋も降伏状態であることを確認した。A132 は図-6.12 と同様、降伏点が認められた。これはひび割れ幅が 0.02mm 程度と著しく小さいことから、この鉄筋に発生する引張応力は弾性域内であったものと思われる。

これより、本研究の範囲において、国道で長期供用されているコンクリート舗装において発生した横断ひび割れ発生箇所 5 箇所のうち、1 箇所を除いて鉄網を構成する鉄筋は降伏しているか破断していた。これらから鉄網によるコンクリート版のひび割れ幅を制御する構造的効果は、ほとんど期待できない。

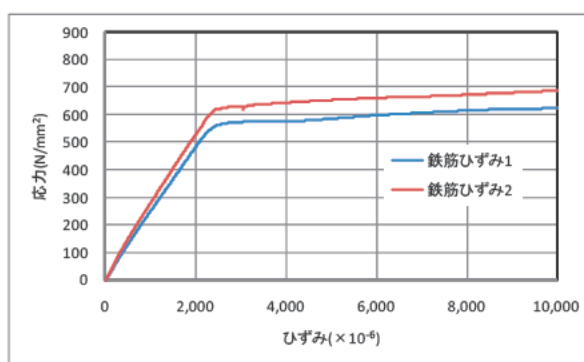


図-6.14 A5 の応力-ひずみ関係

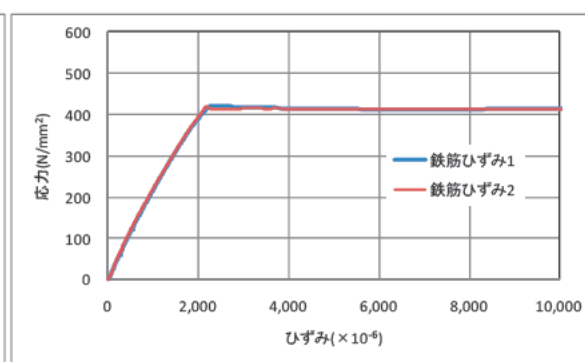


図-6.15 A132 の応力-ひずみ関係

(2) ひび割れに発生による鉄網の発生応力の算定

表-6.1 に示したように、ひび割れ発生後、ひび割れ幅は 0.02~0.4mm 程度生じている。ここで、連続鉄筋コンクリートのひび割れ制御式[参考文献]をもとにひび割れ間隔を固定する式に修正し、現場で実測したひび割れ幅、コンクリートの弾性係数、コンクリート版厚、鉄筋量を用いて、ひび割れ断面での鉄網に発生する応力の算定を試みた。修正したひび割れ制御式として、鉄筋の応力式を式(6.3)に示す。ひび割れ幅の算定式を式(6.4)に示す。

$$\sigma_s = E_s \cdot \left[(e'_{sh,s} + \varepsilon_{\Delta T,s}) \left[\left(1 + \frac{np}{\rho} \right) \frac{\eta_2}{\frac{2}{L_{\max}} + \frac{np}{\rho}} - 1 \right] + \varepsilon_{\Delta T,s} \right] \quad (6.3)$$

$$\frac{1}{\rho} = 1 + \frac{(h/2 - d)^2}{I_c / A_c}$$

$$\eta_1 = L_b^2 + 7.5\varphi + 26.6\varphi^2 / L_b$$

$$\eta_2 = 1 + 6.25\varphi / L_b$$

$$L_b = \frac{\varphi}{4(1 + np / \rho)} \cdot \frac{E_s}{K_s}$$

ここに、

σ_s : 鉄筋最大応力 (MPa)

E_c : コンクリートの弾性係数 (MPa)

E_s : 鉄筋の弾性係数 (MPa)

n : 鉄筋とコンクリートの弾性係数の比 ($=E_s/E_c$)

ρ : 鉄筋比 ($=A_s/A_c$) (%)

L_{max} : ひび割れ間隔 (mm)

$\epsilon'_{sh,s}$: 鉄筋位置における舗設後からの収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$) ($=\alpha_c \Delta T_s$)

$\epsilon_{\Delta T,s}$: 鉄筋位置における舗設後の温度からの温度下降ひずみ ($\times 10^{-6}$)

$\epsilon_{s\Delta T,s}$: 鉄筋の舗設後の温度からの温度下降ひずみ ($\times 10^{-6}$)

ϕ : 鉄筋の直径 (mm)

K_s : 付着剛性 (GPa/m)

A_c : コンクリートの断面積 (mm^2)

A_s : 鉄筋の断面積 (mm^2)

I_c : コンクリートの横方向断面の断面二次モーメント (mm^4)

d : コンクリート上縁からの距離 (mm)

α : コンクリートの熱膨張係数 ($1/^\circ\text{C}$)

ΔT_s : 鉄筋位置における舗設後からの温度降下量 ($^\circ\text{C}$)

K_s : 付着剛性 (GPa/m)

である。

$$w = 2 \left(1 + \frac{np}{\rho} \right) \frac{\eta_1}{\frac{2}{L_{\max}} \eta_1 + \frac{np}{\rho} \eta_2} (\epsilon'_{sh,s} + \epsilon_{\Delta T,s}) \quad (6.4)$$

ここに、

w : 鉄筋位置のひび割れ幅 (mm)

である。

入力した数値を表-6.2 に示す。ここでは実測のひび割れ幅に算定値が合うように温度降下量を調整した。表-6.3 に算定結果を示す。この表から明らかなように、A132 の場合を除いて鉄筋応力は著しく大きく、降伏している結果が得られた。

表-6.2 鉄筋応力算定に用いた入力値

項目	値	備考
コンクリートの弾性係数	40,000MPa	実測値をもとに設定
鉄筋の弾性係数	200GMPa	想定値
鉄筋径	6mm	実測値
付着剛性	392GPa/m	示方書推奨値
版厚	240~290mm	実測値
鉄筋間隔	コアからの実測値	
上縁から鉄筋位置までの距離	コアからの実測値	
コンクリートの熱膨張係数	$10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	想定値
ひび割れ間隔	50,000mm	実測値
版表面の乾燥収縮ひずみ	100×10^{-6} 0×10^{-6} (コア A132 のみ)	想定値
版底面の乾燥収縮ひずみ	0×10^{-6}	想定値
版表面の温度降下量	0~20°C	実測ひび割れ幅に合うように設定
版底面の温度降下量	0~10°C	

表-6.3 算定結果

供試体名	上下面のひび割れ幅 (mm)		鉄筋最大応力 (MPa)	鉄筋の状態
	実測値	計算値		
A1	上	0.84	1,248	降伏
	下	0.07		
A5	上	0.57	838	降伏
	下	0.00		
A132	上	0.02	91	弾性域
	下	0.02		
B15	上	0.35	880	降伏
	下	0.53		

6.1.6 鉄網の必要性

以上より、鉄網はコンクリート版にひび割れが発生したのち、鉄筋の降伏点以上の引張を受けることが、本試験舗装および国道のコンクリート舗装から明らかになった。これは構造細目に規定されている鉄筋量約 3kg/m^2 が、コンクリート版の自重を外力に設定し、それに見合う鉄筋量のみを計算しているため、ひび割れ発生時の鉄網への負荷を全く考えていないためである。

一方、コンクリート舗装の施工においては、鉄網を設置するために2層でコンクリートの敷均しや締め固めを行う必要が生じ、施工手間の増大やコンクリート品質に影響を及ぼす場合があるだけでなく、施工効率が大きく損なわれる。

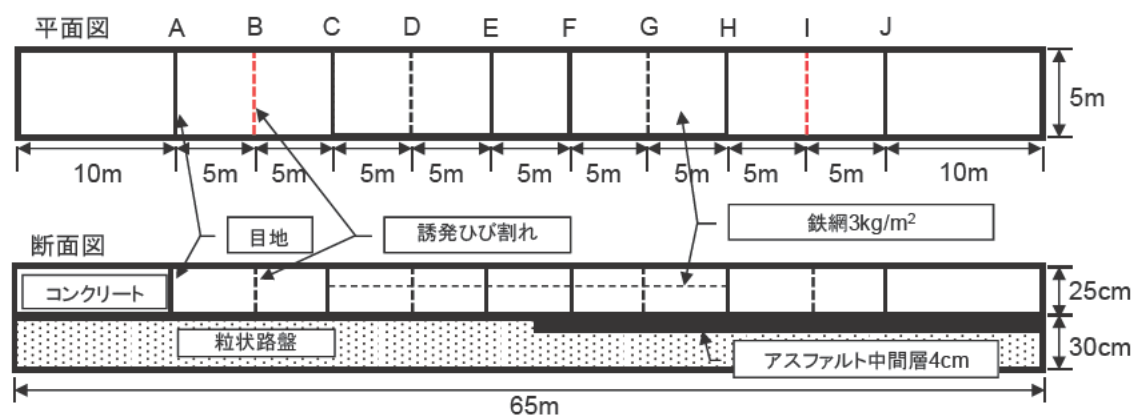
これらのことを勘案すると、今後も慎重に検討する必要があるが、ひび割れ幅の抑制を目的とした鉄網の採用は不必要であると思われる。

6.2 アスファルト中間層の効果

アスファルト中間層は路盤の耐水性や耐久性を改善する目的で、路盤の最上部に設けるものであり、一般に密粒度アスファルトコンクリートを用い、版厚は4cmを標準としている。しかしながら、舗装設計施工指針等の基準類の記述では、アスファルト中間層の設置は標準ではなく、重荷重対応のN6やN7交通区分でさえ、アスファルト中間層のある断面例とアスファルト中間層のない断面例が並列に記載されている状況にある。ここでは目地部およびひび割れ部の段差に注目し、アスファルト中間層の効果を検証した。

6.2.1 測定箇所および測定方法

段差測定箇所は、図-6.16に示す段差測定箇所A～Jの10箇所とした。段差の測定方法は、舗装調査・試験法便覧「S031 舗装路面の段差の測定方法」に準拠し、横目地もしくは横ひび割れを500mmピッチで9箇所測定（図-6.17参照）し、そのうちの荷重走行車のタイヤが通過する測定位置2、3、4、6、7、8で測定した段差量の平均値を平均段差量とした。測定に用いたテーパゲージの仕様は測定範囲が0.3～4.0mmで最小目盛りは0.05mmである。テーパゲージの外観と段差測定状況を写真-6.1に示す。段差の測定は、路盤のエロージョンを促進するために一部の目地に散水を実施した以降に開始した（2009年7月より測定開始、それ以前には段差は全く発生していなかった）。散水箇所は段差測定箇所BおよびJである。



※ 段差測定箇所:A～Jで、うち散水箇所はBおよびJ

図-6.16 試験舗装平面図と段差測定箇所

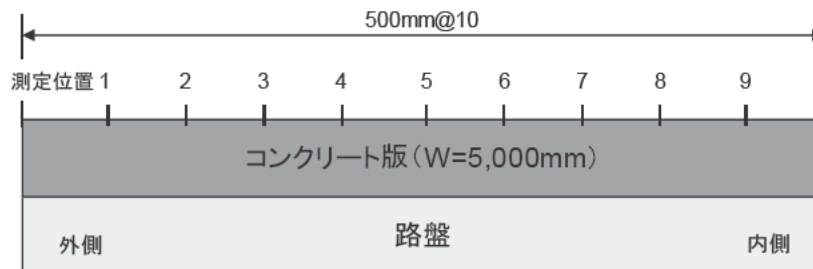


図-6.17 段差測定位置 (断面図)



写真-6.1 テーパーゲージによる段差量測定状況 (白タンクとパイプは散水装置)

6.2.2 測定結果

図-6.18 は散水により路盤のエロージョンを促進させたひび割れ部の平均段差量と荷重車通過輪数の関係を示したものである。この図から明らかなように、中間層のない測定箇所 B は明らかに中間層を有する測定箇所 I よりも段差量が大きくなった。中間層なしの段差量は、散水を開始した 50 万回走行後から著しく増加し、80 万回走行後は段差量 1.5mm 程度になりそれ以上増加していない。一方中間層ありの平均段差量は、散水後 80 万回までほとんどゼロであり、80 万回を超えたあたりから漸増し 100 万回以降は 0.5mm 程度で変化ない傾向が認められた。このような段差の経時変化が生じるメカニズムについては今後の課題とするが、この図から、段差に及ぼす中間層の効果ははっきりと認められたといえる。

図-6.19 は、図-6.18 と同じくひび割れ部の段差の結果であるが、散水行わない自然条件での平均段差量と荷重車通過輪数の関係を示したものである。なお、この区間では鉄網が設置されている。段差測定は 90 万輪通過後より実施している。この図から、中間層の有無にかかわらず平均段差量は 0.5~1.0mm 程度であり、荷重車通過輪数が増加しても平均段差量はほとんど増加していないこと

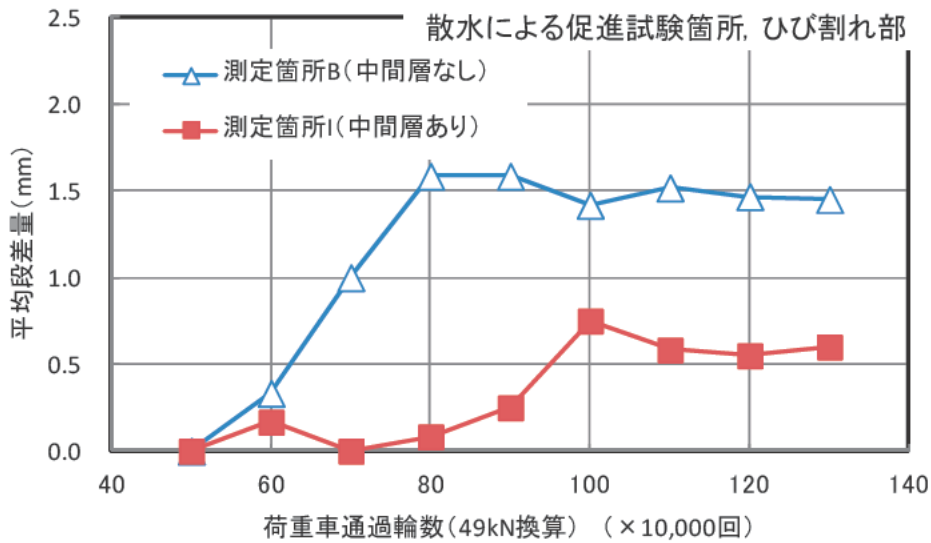


図-6.18 平均段差量と荷重車通過輪数との関係（散水促進エロージョン箇所、ひび割れ部）

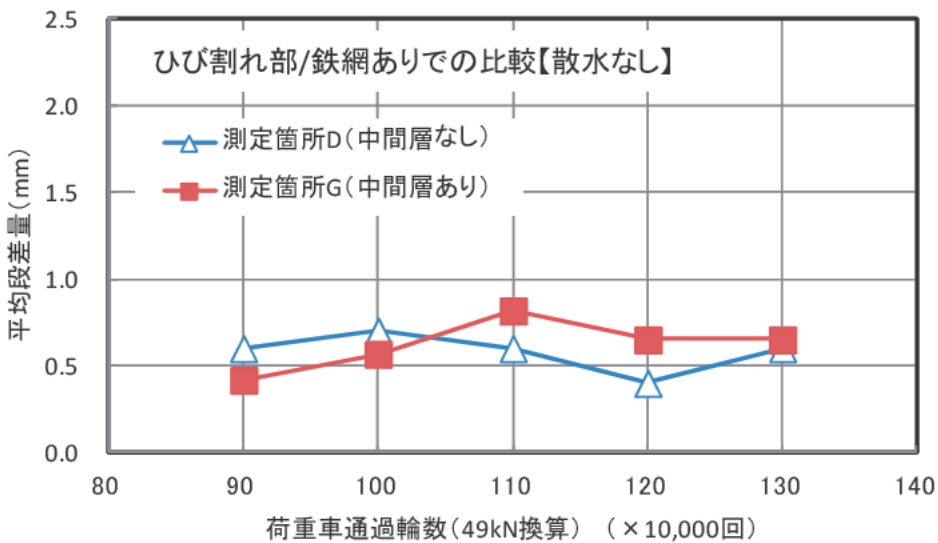


図-6.19 平均段差量と荷重車通過輪数との関係（散水なし箇所、ひび割れ部）

がわかる。したがって、自然環境下での段差量へのアスファルト中間層の効果は、荷重車通過輪数130万回時点では認められなかった。

図-6.20 は目地部での平均段差量と荷重車通過輪数の関係を示したものである。散水は行っていない。この図から、目地部の平均段差量は測定箇所により異なるが0.2～0.7mm程度であり、荷重車通過輪数にかかわらずほとんど一定に推移していることがわかる。したがってアスファルト中間層の有無による平均段差量の差はこの図からは認められなかった。また、この図と図-6.19とを比較すると、目地部の段差量よりもひび割れ部の段差量の方がやや大きい傾向が認められた。しかし

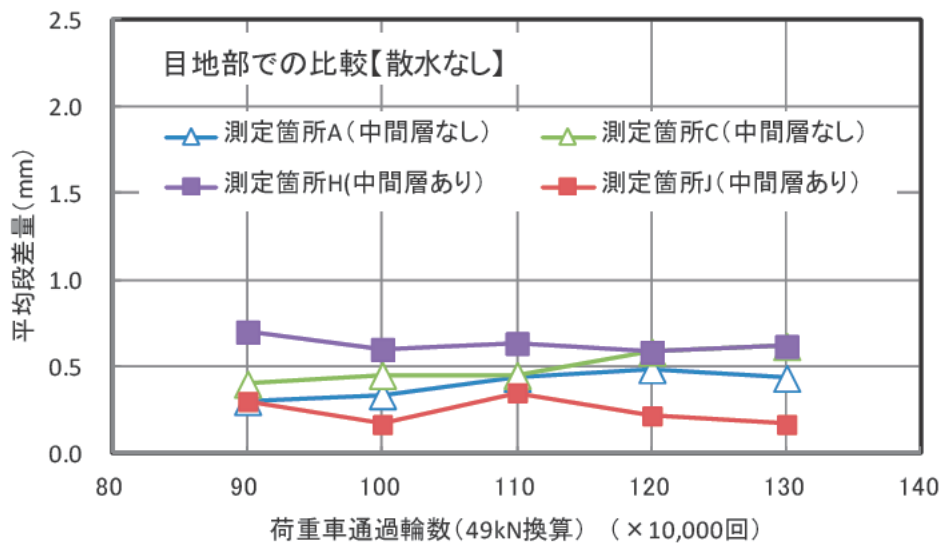


図-6.20 平均段差量と荷重車通過輪数との関係 (散水なし箇所、目地部)

ながら、自然環境下の段差量は極めて小さい値であり、コンクリート舗装の耐久性の観点からは全く問題がない数値であった。

ただし、散水箇所のひび割れ部の FWD による荷重伝達については、図-6.21 に示すように、段差が小さいアスファルト中間層を有する場合であっても荷重伝達率はかなり小さな値になるので、注意が必要である。また、図-6.22 に示すように、目地部の荷重伝達率は、アスファルト中間層の効果は認められなかった。

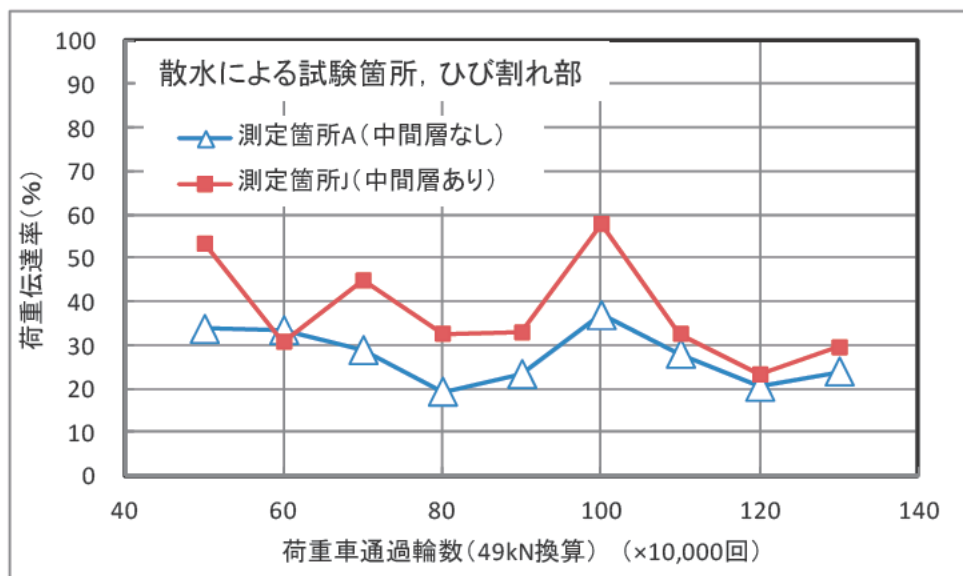


図-6.21 ひび割れ部の荷重伝達率と荷重車通過輪数との関係 (散水促進エロージョン箇所)

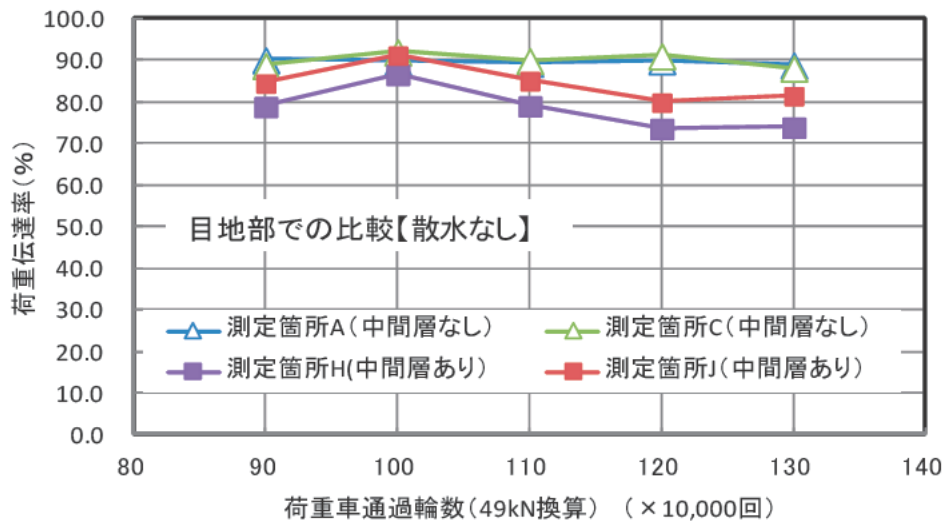


図-6.22 目地部の荷重伝達率と荷重車通過輪数との関係 (散水なし)

7. 構造設計における信頼性の検証

(1) はじめに

舗装が設計期間を通して破壊しない確からしさを信頼性といい、その破壊しない確率を信頼度という。舗装の構造に関する技術基準によると、コンクリート舗装の信頼度は70%とされ、これを基準に信頼に応じた係数（安全係数）が決定されている。そのため、信頼性設計を適切に行うには、コンクリート舗装の信頼度（供用性）を正しく把握することが重要となる。

(2) 概要

一般にコンクリート舗装は、重交通路線で施工され供用されている。舗装の構造に関する技術基準の別表2や舗装設計便覧において、信頼度の算出に使用された供用データは平成6年時点では供用年数が短く破壊した箇所が少なかったと考えられ、表-7.1に示すように $N_6 \sim N_7$ 交通のような重交通路線のデータがほとんど考慮されていない。

そこで、これら重交通路線の供用データを収集し、重交通路線のコンクリート舗装の信頼度の確認を行った。

表-7.1 セメント・コンクリート舗装の新設から補修までの期間¹⁾

交通量の区分	N_3+N_4	N_5	N_6+N_7
データ数	520	130	3
破壊までの平均年数	22.8	21.2	24.3
標準偏差	6	5.6	8.6
20年以上である確率	0.68	0.58	0.69
変動係数	0.26	0.26	0.35

(3) 解析

1) 舗装管理支援システムデータ

解析には舗装管理支援システムのデータを使用した。このシステムは、国道の舗装を効率的、計画的に維持管理するために開発されたシステムであり、舗装の種別、大型車交通量区分、供用年数等の現場情報や、ひび割れ、わだち掘れ、平坦性等の路面性状調査データが蓄積されている。国道では交通量が多いため、 $N_6 \sim N_7$ 交通のような重交通路線のデータ数が多く、信頼度の確認において精度を高めることができる。本解析では、H11年からH20までのデータを使用した。

2) 舗装の破壊の定義

舗装の信頼度は、舗装の設計期間に対する破壊しない確率であり、舗装の破壊をどのように定義するかにより信頼度は変化する。本検討では以下の2通りの方法により舗装の破壊を定義した。

- a) 舗装が打換えられた時
- b) ひび割れ度が $10(\text{cm}/\text{m}^2)$ 以上となった時

(4) 結果

1) 舗装が打換えられた時を破壊とした場合

a) データの抽出フロー

解析は舗装が打換えられた時の年数を求めることにより行った。データの抽出フローを表-7.2に示す。

打換えによる整理では、新設のコンクリート舗装のデータのうち1回目の補修が打ち換えのものを抜き出した。また、補修延長の違い等による影響を無くすため、現場単位毎にデータを統合した。

これらについて破壊までに経過した年数を整理し、信頼度の算出を行った。なお、本検討では、トンネル内のコンクリート舗装についてはデータから削除した。

表-7.2 抽出フロー

①	新設のCo舗装データの抽出(トンネルは除く)
②	1回目の補修が打ち換えのものを抽出
③	データの統合(同一路線の同時期の補修データを1つに統合)
④	破壊までに経過した年数の整理、および信頼度の算出

b) 解析結果

新設から補修までの期間を整理した結果を表-7.3、図-7.1に示す。舗装管理支援システムにおいて、表-7.2の条件下では、 N_5 交通以下のデータはほとんど得られなかったため、 N_6 交通以上について示している。

N_6 、 N_7 交通ともに舗装設計便覧に示されるコンクリート舗装の信頼度70%を大きく上回る結果が得られた。本調査では、対象を補修されたコンクリート舗装としたため、実際のコンクリート舗装の新設から補修までの期間は表-7.3の値よりも長くなると考えられる。

表-7.3 破壊するまでの期間

交通量区分	N_6	N_7	N_6+N_7
データの数	30	35	65
破壊までの平均年数	28.3	35.1	31.9
標準偏差	8.8	11.3	10.7
20年以上である確率	0.83	0.91	0.87
変動係数	0.31	0.32	0.34

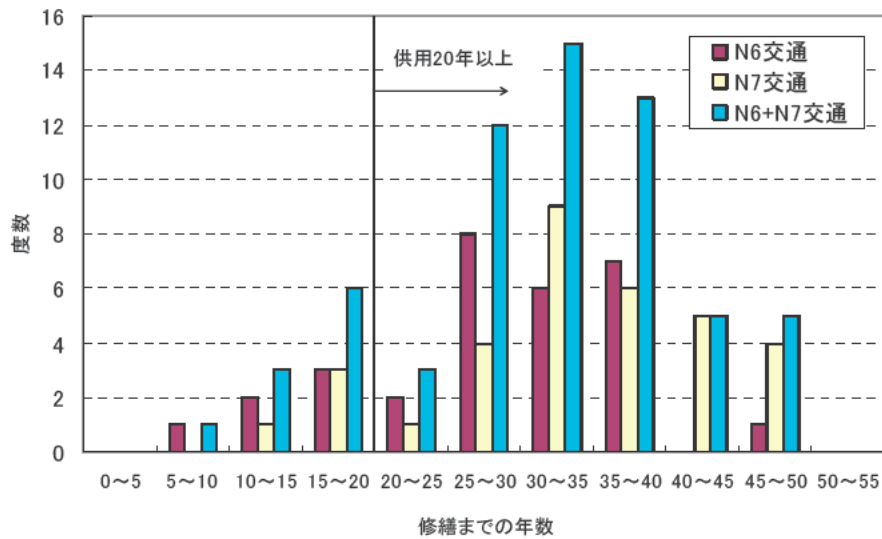


図-7.1 新設から補修までの期間の度数分布

2) ひび割れ度が $10(\text{cm}/\text{m}^2)$ 以上となった時を破壊とした場合

a) データの抽出フロー

解析はひび割れ度が $10(\text{cm}/\text{m}^2)$ となる時の年数を求めることにより行った。データの抽出フローを表-7.4に示す。新設のコンクリート舗装のデータのうち、補修履歴がなく、過去にひび割れ度が $10(\text{cm}/\text{m}^2)$ を超えたものを抜き出し、過去と最新のひび割れ度のデータよりひび割れ度が $10(\text{cm}/\text{m}^2)$ となる時の年数を求めた。なお、舗装管理支援システムではひび割れ率で管理しているため、式(7.1)の換算式を用いて換算し解析を行った。

表-7.4 抽出フロー

①	新設のCo舗装データの抽出(トンネルは除く)
②	補修履歴の無いものを抽出
③	前回路面調査時のひび割れ率、および最新路面調査時のひび割れ率をひび割れ度に換算。
④	前回ひび割れ度 $< 10(\text{cm}/\text{m}^2) <$ 最新ひび割れ度 となるものを抽出
⑤	ひび割れ度 $= 10(\text{cm}/\text{m}^2)$ となるときの年数を算出

C : ひび割れ度 (cm/m^2)

C_0 : ひび割れ率 (%)

$$C = C_0 \quad (C_0 \leq 5\%)$$

$$C = -25 + \sqrt{(625 + 120C_0)} \quad (5\% < C_0)$$

(7.1)

b) 解析結果

新設からひび割れ度が $10(\text{cm}/\text{m}^2)$ となるまでの期間を整理した結果を表-7.5に示す。舗装管理支援システムにおいて、表-7.4の条件下では、 N_6 交通以下のデータは得られなかったため、 N_6 交通以上について示している。

N_6 、 N_7 交通ともに舗装設計便覧に示されるコンクリート舗装の信頼度70%と同程度の結果が得られた。本調査では、対象をひび割れ度が $10(\text{cm}/\text{m}^2)$ 以上となったコンクリート舗装としたため、実際のコンクリート舗装の新設から補修までの期間は表-7.5の値よりも長くなると考えられる。

表-7.5 破壊するまでの期間

交通量区分	N ₆	N ₇	N ₆ +N ₇
データの数	154	159	313
破壊までの平均年数	24.4	27.8	26.1
標準偏差	10.0	11.5	10.9
20年以上である確率	0.67	0.75	0.71
変動係数	0.41	0.42	0.42

3) コンクリート舗装のひび割れ度の推移

図-7.2 にコンクリート舗装における供用年数とひび割れ度の関係を示す。使用データは舗装管理支援システムのH17年のデータであり、トンネル部を除くすべてのコンクリート舗装のひび割れ度データをプロットしたものである。図中には N₅~N₇ 交通のデータのそれぞれの近似直線及び、ひび割れ度が 10(cm/m²) を超える累積割合を示している。供用 50 年であってもひび割れ度が 10(cm/m²) 以下のものが多いことがわかる。以上より、今回のひび割れ度の検討では、ひび割れ度 10(cm/m²) 以下のものは考慮されていないが、このようなものが考慮できれば、コンクリート舗装の信頼度はさらに高くなると考えられる。

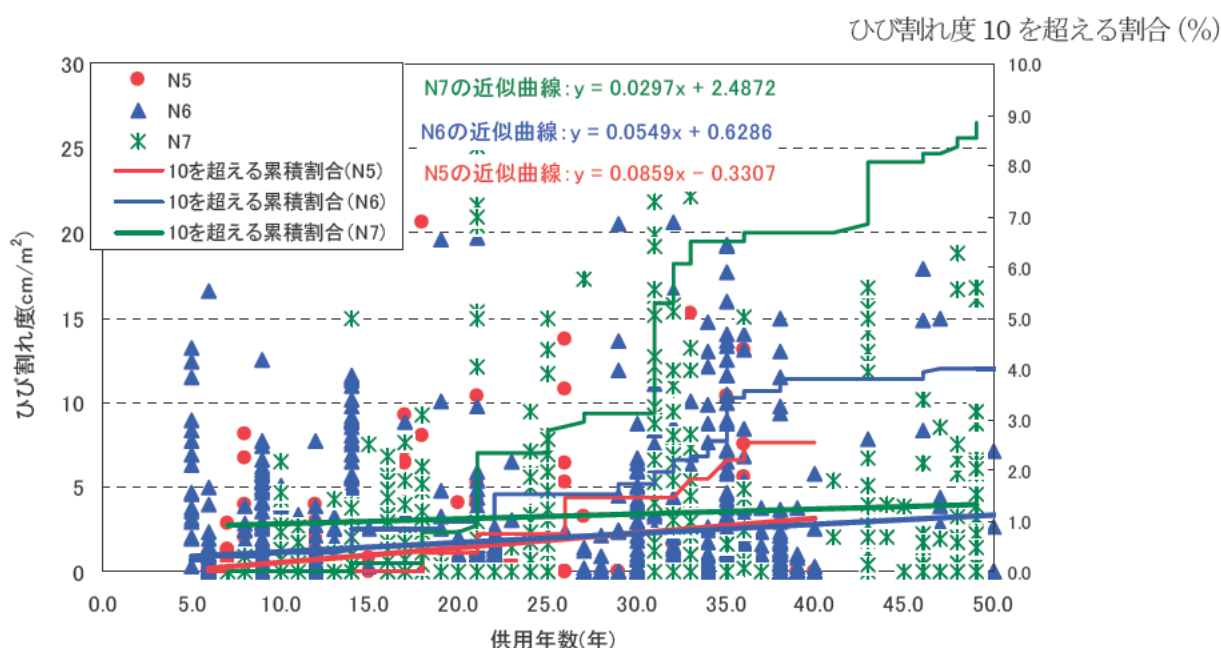


図-7.2 供用年数に対するひび割れ度

(5) まとめ

本検討では、信頼度の解析方法を2通りの方法により算出した。結果は前述したとおりであるが、舗装が打換えられた時を破壊とした場合には信頼度は80~90%程度、ひび割れ度が 10(cm/m²) 以上となった時を破壊とした場合には信頼度は70%程度となった。以上より、重交通路線におけるコンクリート舗装の信頼度には、少なくともこれまでと同様の70%という値が適用できることが判明した。

今後さらに多くのデータが集まることにより、よりの確にコンクリート舗装の信頼度の算出が可能になると思われる。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説、平成13年7月
- 2) 社団法人日本道路協会：舗装設計便覧、平成18年2月

8. 結論

本共同研究では、コンクリート舗装において、現在使用されている設計方法の検証や見直し、耐久性の確認を目的として、荷重応力式や温度応力式、疲労度、路盤の設計曲線、構造細目、信頼性の検討を行うとともに、データを取りまとめた。総括すると以下のとおりである。

< コンクリート版の構造設計の検討 >

- ・ 輪荷重応力式を検討した結果、以下のことがわかった。
 - アスファルト中間層を設置した場合、コンクリート版の縦自由縁部のひずみはわずかに大きく、縦自由縁部応力に対する荷重位置の影響は離れた位置で低減されにくい。
 - 縦自由縁部応力に対する荷重位置の影響について、現行設計法の輪荷重応力式では自由縁部から近い位置で低減率を大きく見積もっている可能性がある。
 - 横ひび割れ部や横目地部の動的な挙動について、3DFEM で正確に再現できることを確認するとともに、横ひび割れ部の荷重伝達については鉄網やアスファルト中間層の効果が少ないことがわかった。
- ・ 温度応力式を検討した結果、以下のことがわかった。
 - 全国 9 カ所で 1 年間温度計測し、地域特性を考慮した温度差とその発生頻度を求めた。
 - 温度応力は、コンクリート版の縁部より中央部の方が大きい。
 - 温度応力について、版厚 30cm までは現行設計方法による算出結果が 3DFEM による算出結果よりも小さい。
 - 温度応力について、現行設計法による計算では版厚による影響が小さいが、3DFEM は版厚の影響が大きい。

なお、1 測定箇所での測定結果なので、他の地域でも解析が必要である。

< 路盤の構造設計の検討 >

- ・ 現行の設計曲線の信頼度について解析した結果、クラッシュラン、粒度調整碎石の設計曲線は 80%、70%の信頼度である。また、セメント安定処理路盤の設計曲線は、路盤厚 15cm で信頼度 60%、路盤厚 30cm で信頼度 90%と、路盤厚によって信頼度が異なる。
- ・ 信頼度 60%~90%に設定し、各路盤材料の設計曲線を求めたところ、クラッシュランの信頼度 80%の線と粒度調整碎石の信頼度 90%の線、粒度調整碎石の信頼度 70%の線とクラッシュランの信頼度 60%の線はほぼ重なり、セメント安定処理の現行設計曲線は信頼度 90~60%の間に位置していた。
- ・ 現在用いられているセメント安定処理路盤材の荷重分散能力は、従来の設計方法よりも高くなっている可能性がある。

< コンクリート舗装の構造細目の検討 >

- ・ 今回調査した現場では、ひび割れ発生後、鉄網は降伏点以上の引張を受けることがわかり、鉄網によるひび割れ幅の抑制効果は見られなかった。
- ・ コンクリート版のひび割れ部で、散水により路盤のエロージョンを促進させた場合、アスファルト中間層を設置することにより段差発生を抑制する効果が認められた。

< 構造設計における信頼性の検証 >

- ・ 重交通路線におけるコンクリート舗装の信頼度は、少なくともこれまでと同様の70%という値が適用できる。

9. 今後の課題等

コンクリート舗装の構造設計の見直しに向けて様々な検討を実施した。しかし、疲労度の検討等、研究期間内では結果が出ずに判断できない検討項目については、今後の検討のための資料として、データのみとりまとめている。今後も土木研究所舗装走行実験場における促進載荷試験や全国における温度調査を継続する予定であり、そのデータを蓄積し、疲労度や構造細目等を検討していく必要がある。

謝 辞

本共同研究を実施するにあたり、舗装管理支援システムのデータをご提供いただいた国土交通省および内閣府沖縄総合事務局、コンクリート版の温度測定にご協力いただいた国土交通省東北地方整備局東北技術事務所、国土交通省中部地方整備局中部技術事務所、国土交通省中国地方整備局中国技術事務所、国土交通省九州地方整備局九州技術事務所、さらに、現地調査にご協力いただいた国土交通省の関係者の方々に感謝の意を表します。

参考資料

付録 1. 舗装走行実験場における計測データ

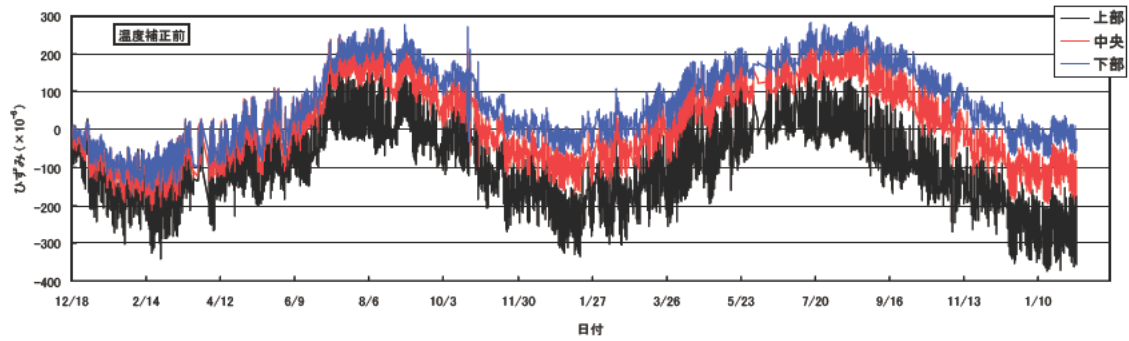
1 連続データ	
1) ダミー版 F	1
2) 誘発ひび割れ部および目地部 C	5
3) Co 版表面と底面の温度差発生頻度	1 2
4) 縦自由縁部 E	1 5
5) 鉄網 S	1 9
6) 亀裂変位 K	2 1
2 段差量測定および計算結果	
1) 段差量測定	2 2
2) 段差量計算	2 3
3 静的載荷試験結果	
1) ひび割れ部および目地部 C	2 6
2) 自由縁部 E	2 8
3) 亀裂変位 K	3 0
4) 土圧 P	3 0
4 FWD 測定結果	3 2
5 動的載荷試験結果	3 6
6 表面性状測定結果	4 2

付録 1. 舗装走行実験場における計測データ

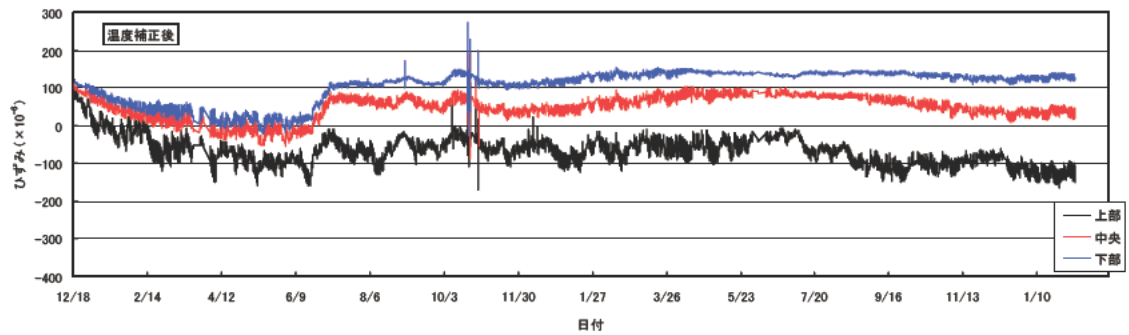
1 連続計測データ

1) ダミー版

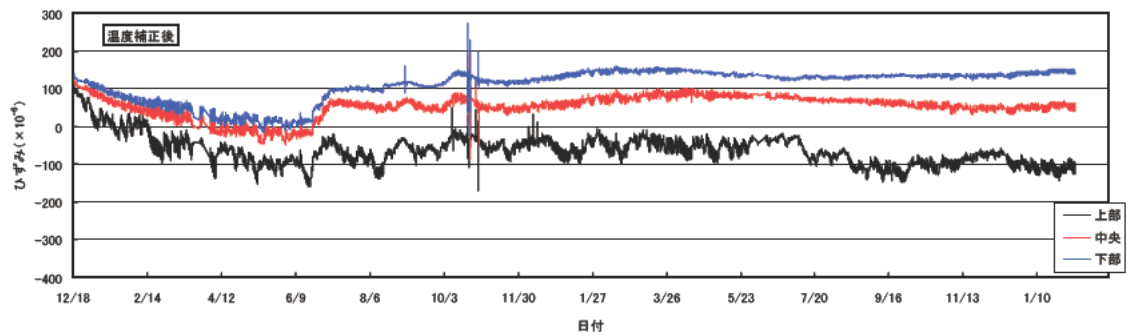
- ・ ひずみの経時変化 (温度補正前)



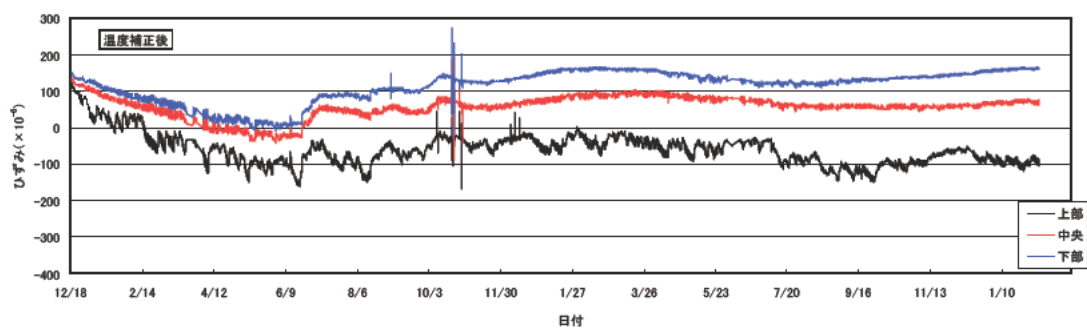
(温度補正後) 温度 : 20°C, 線膨張係数 : $9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ で温度補正



(温度補正後) 温度 : 20°C, 線膨張係数 : $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ で温度補正

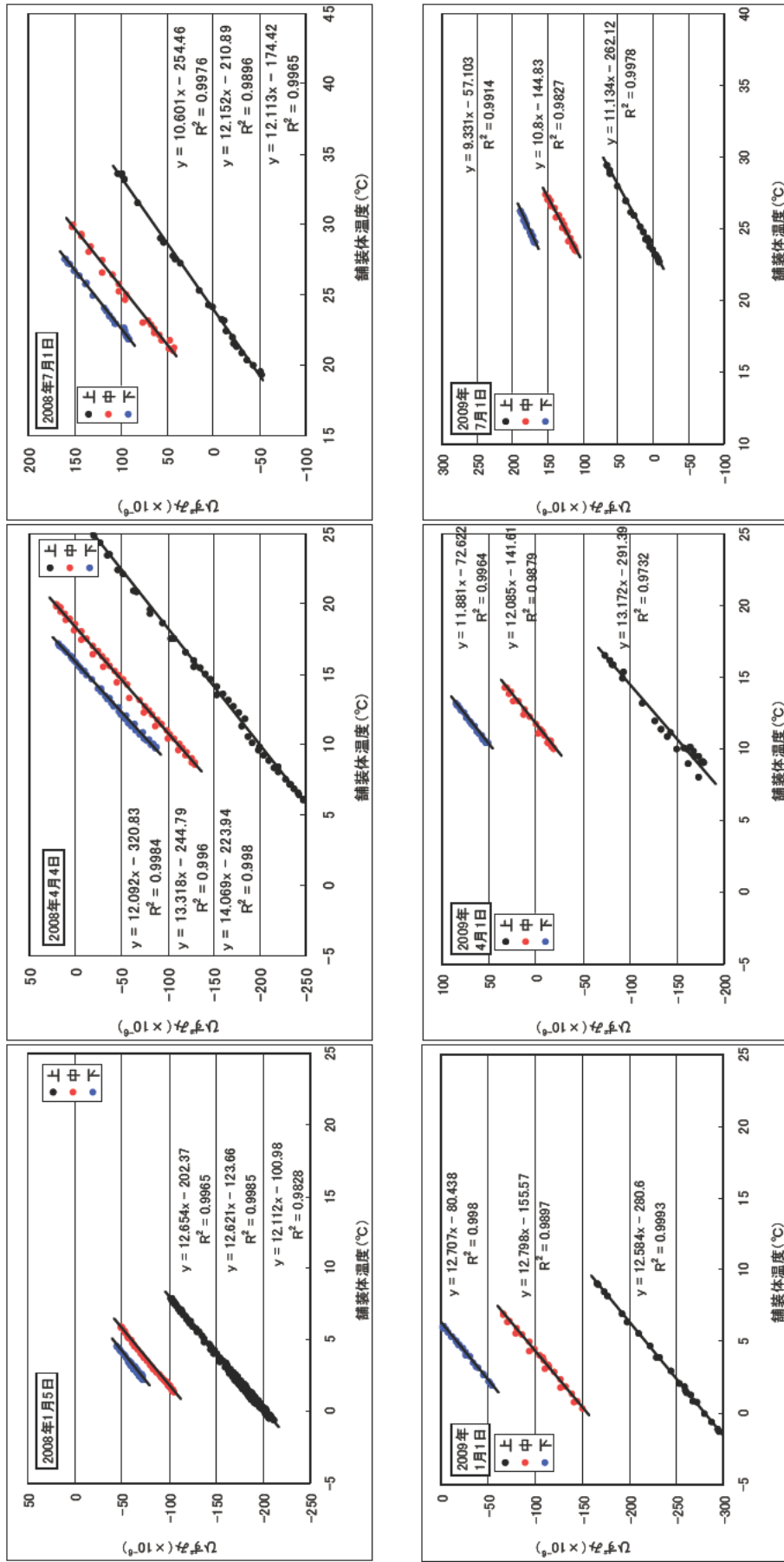


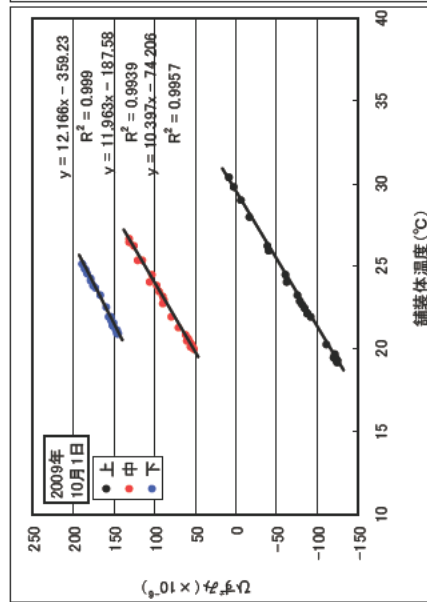
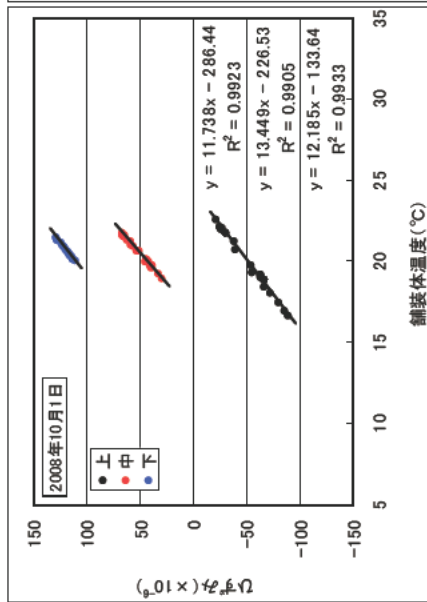
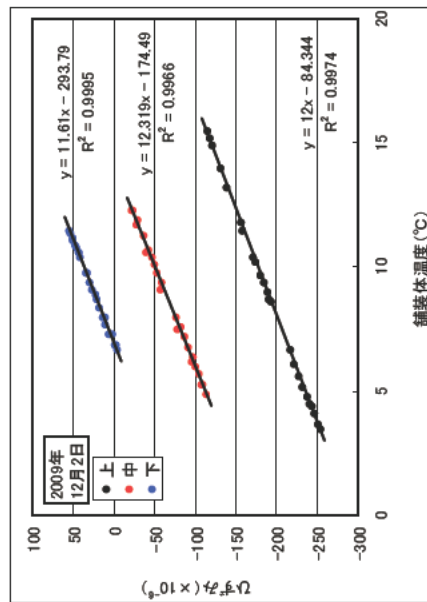
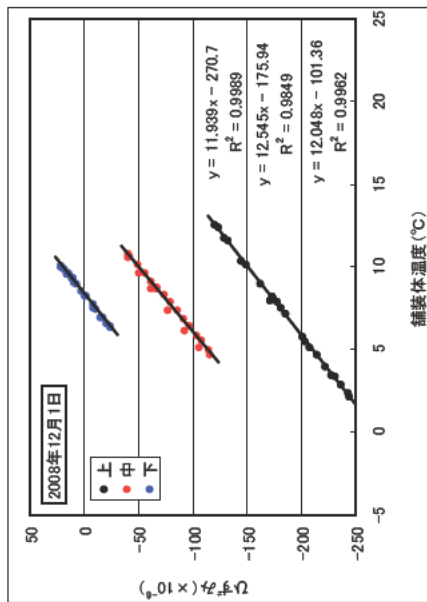
(温度補正後) 温度 : 20°C, 線膨張係数 : $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ で温度補正



・線膨張係数検討 (例)

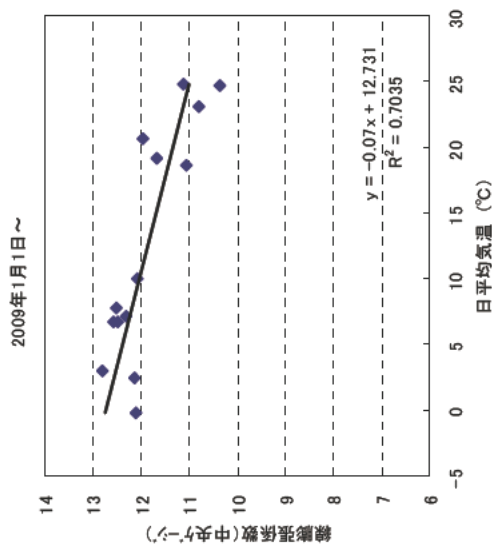
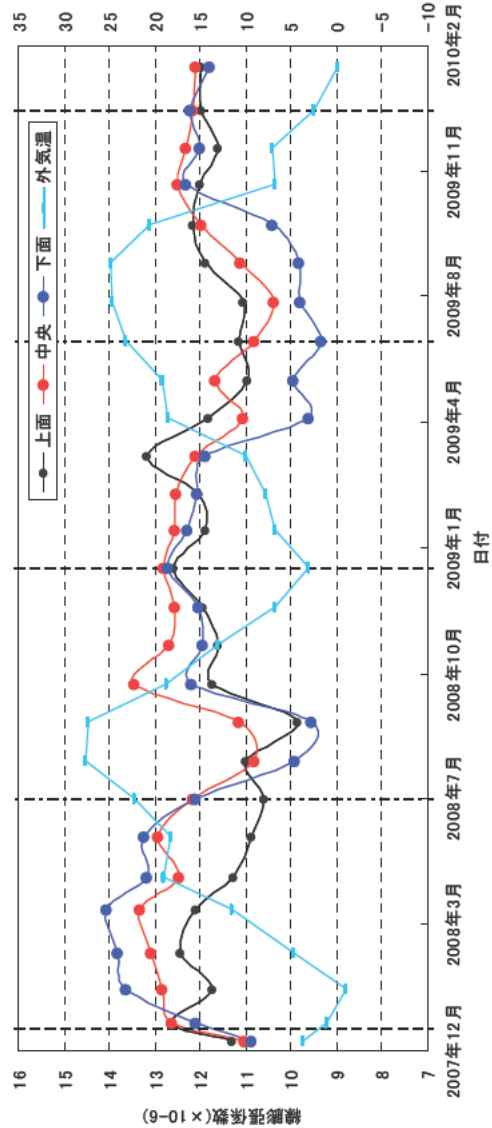
舗装体温度とひずみの関係 (1ヶ月の内、任意の1日のデータを抽出)





・線膨張係数 (ダミー版) まとめ

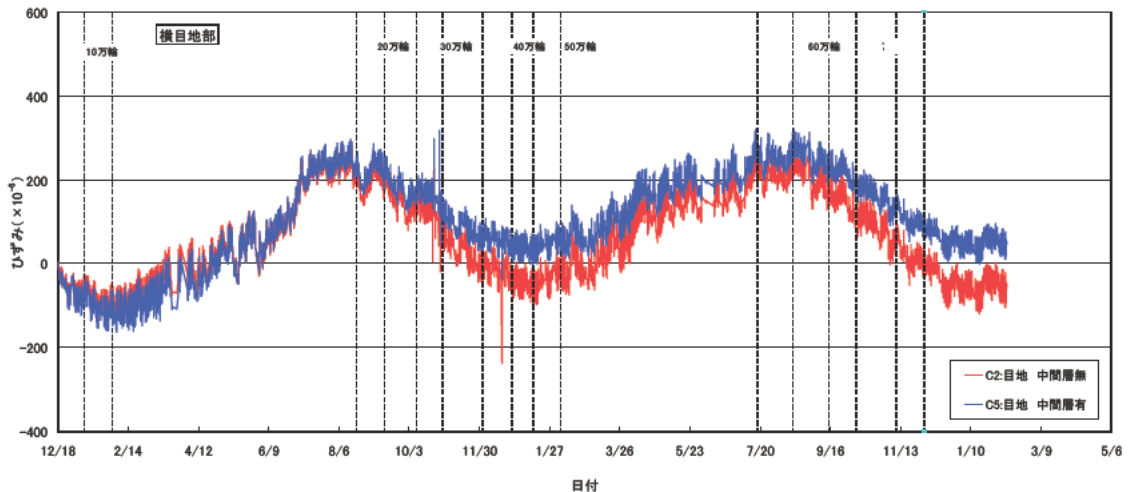
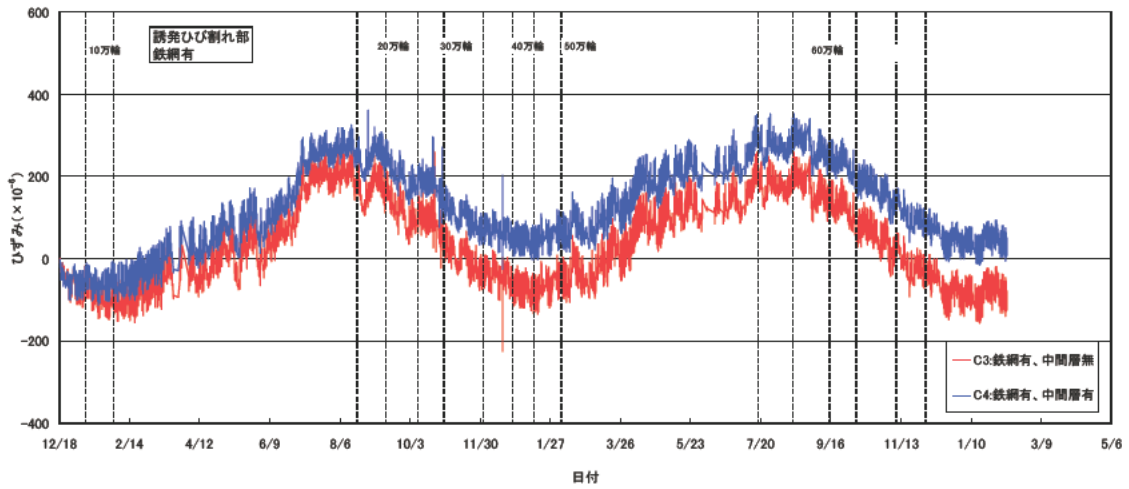
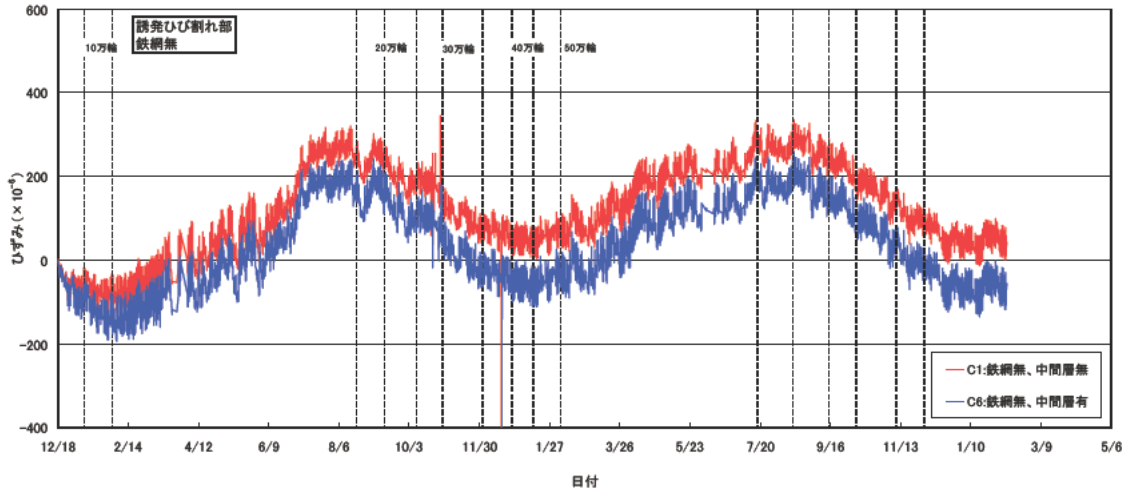
日付	2008年												2009年												2010年			
	1/5	2/1	3/1	4/4	4/30	6/1	7/1	8/1	9/1	10/1	11/1	12/1	1/1	2/1	3/1	4/1	5/1	5/31	7/1	8/1	9/1	10/1	11/3	12/2	1/1			
線膨張係数 ($\times 10^{-6}$)	12.65	11.74	12.45	12.09	11.27	10.87	10.60	10.99	9.84	11.74	11.61	11.94	12.58	11.89	12.04	13.17	11.83	10.97	11.13	11.04	11.88	12.17	12.02	11.61	11.99			
上部	12.62	12.85	13.07	13.32	12.47	12.92	12.15	10.81	11.14	13.45	12.68	12.55	12.80	12.57	12.53	12.09	11.05	11.68	10.80	10.37	11.12	11.96	12.50	12.32	12.15			
中央	12.11	13.64	13.82	14.07	13.17	13.23	12.11	9.91	9.55	12.19	11.95	12.05	12.71	12.27	12.08	11.88	9.60	9.96	9.33	9.78	9.83	10.40	12.31	12.00	12.22			
下部	1.0	-1.1	4.8	11.5	19.0	18.2	22.2	27.6	27.3	18.7	13.0	6.8	3.0	6.7	7.8	10.0	18.6	19.2	23.1	24.7	24.8	20.6	6.7	7.1	2.4			
平均気温 (°C)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	15.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
降水量 (mm)	80	50	48	60	70	75	77	77	84	92	73	68	44	51	62	83	63	95	90	80	83	76	73	82	47			
平均湿度 (%)	3.7	10.1	8.8	9.3	11.2	12.2	6.0	5.1	1.7	0.1	9.6	9.2	9.3	9.7	0.2	0.6	11.9	0.1	0.0	4.1	3.4	4.5	9.9	9.3	9.5			
日照時間 (h)																												



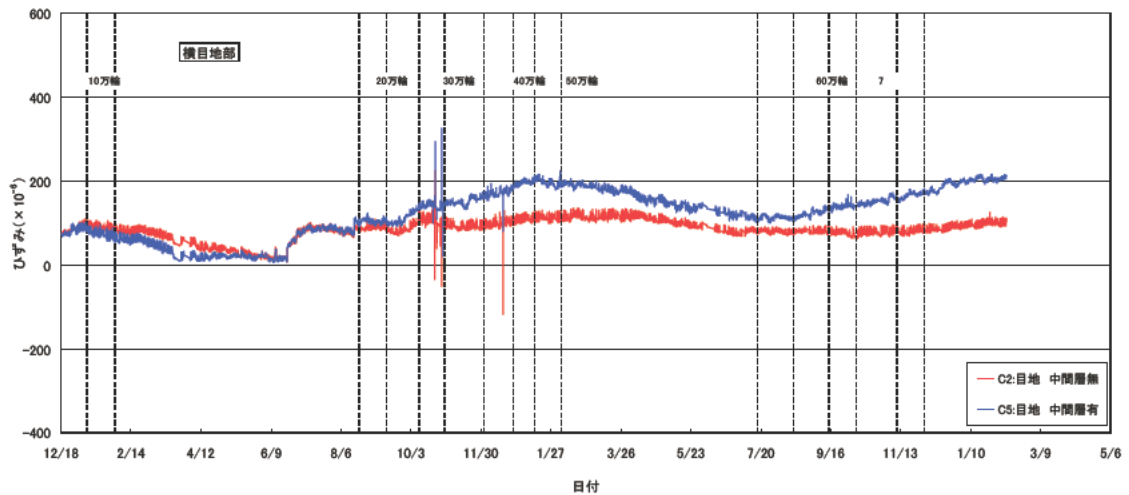
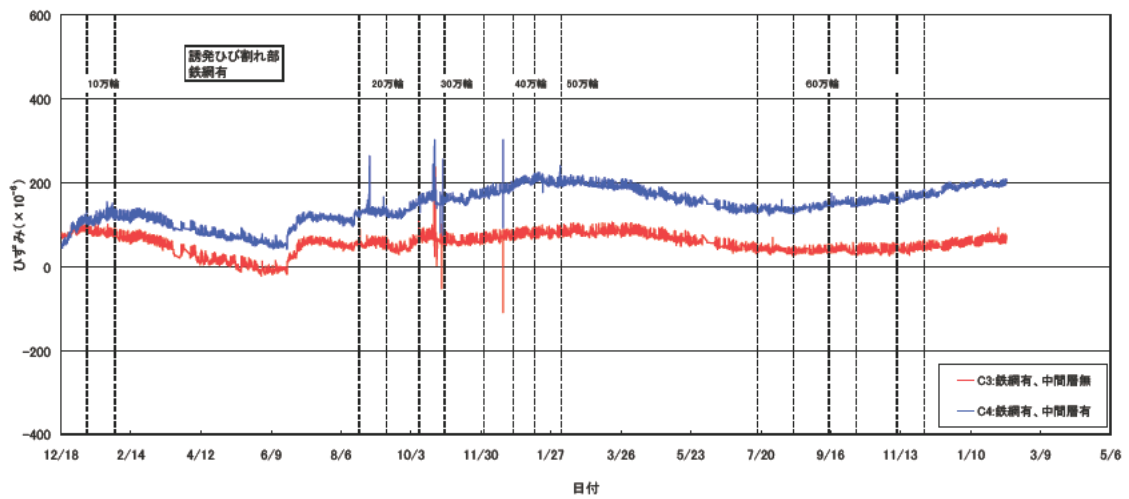
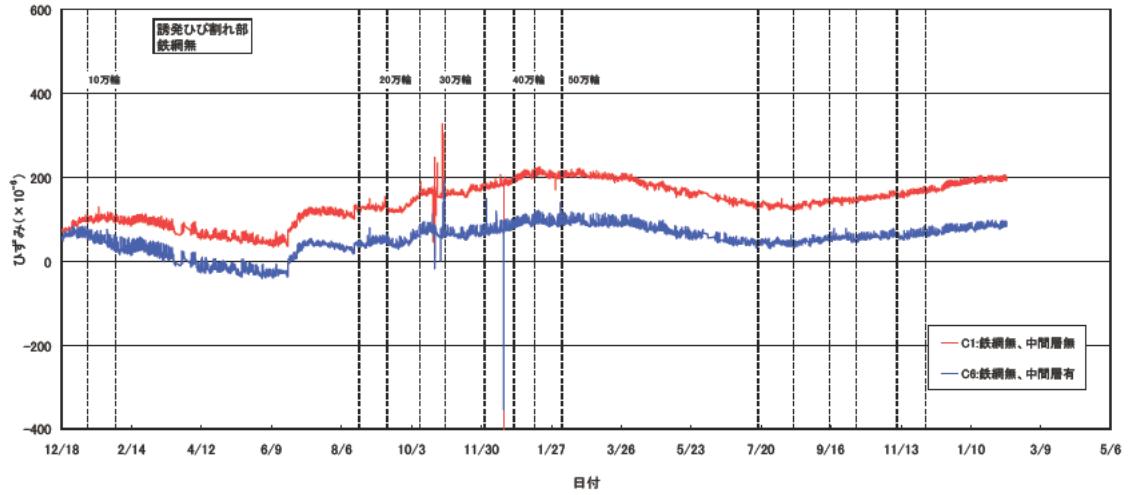
2) 誘発ひび割れ部および目地部のひずみ

・ 下部（表面より 22.5cm）のひずみ

(中間層有無の比較)



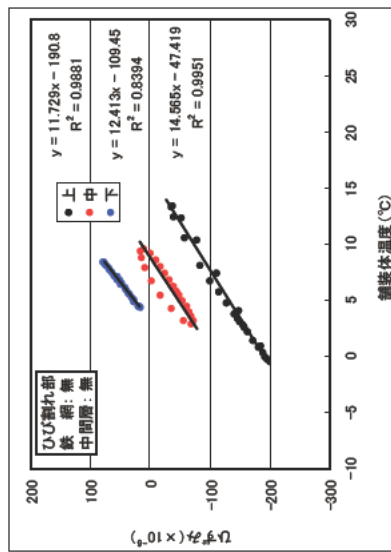
(中間層有無の比較：温度 20°C、線膨張係数 $11.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ で温度補正)



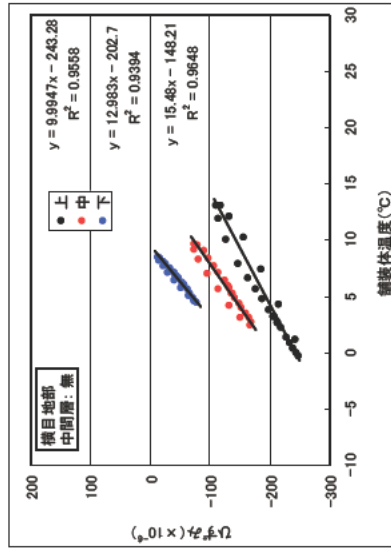
・ 日毎の温度とひずみ C の関係 (例)

2009.1.1

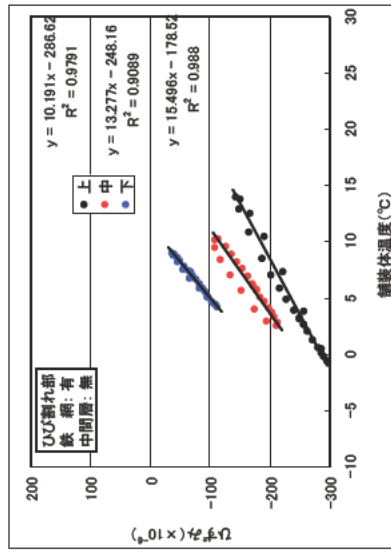
C1



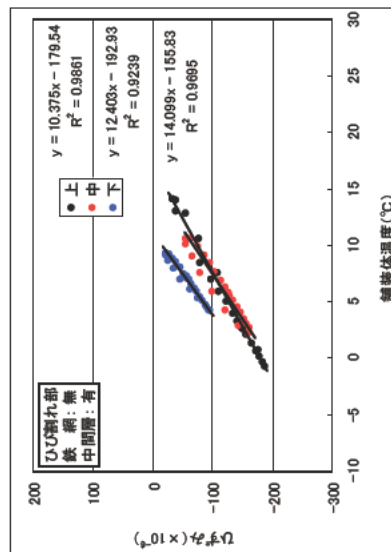
C2



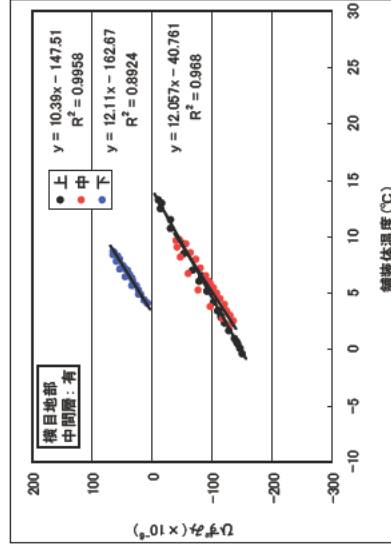
C3



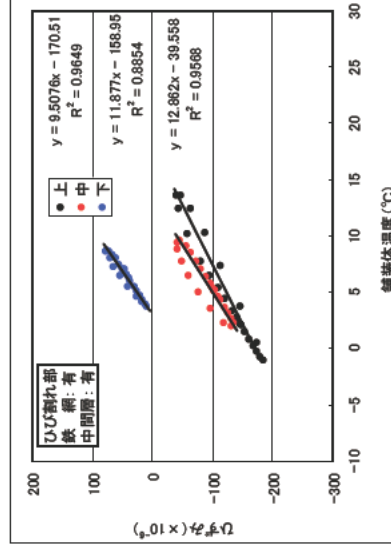
C6



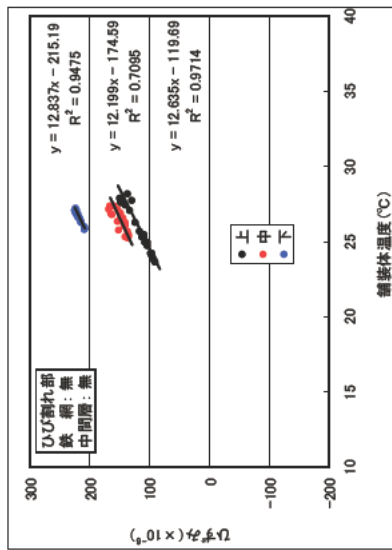
C5



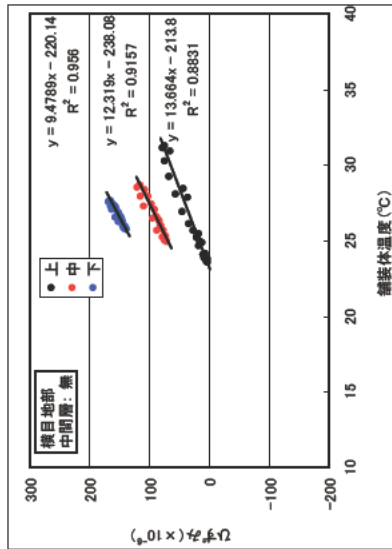
C4



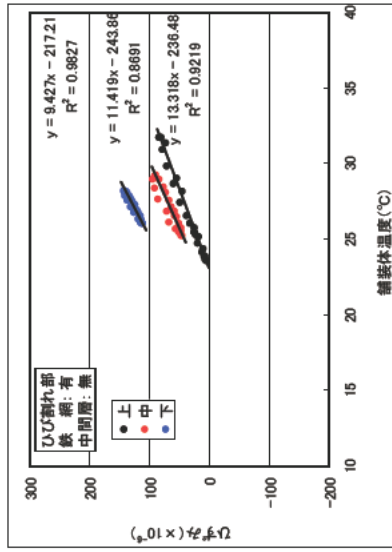
C1



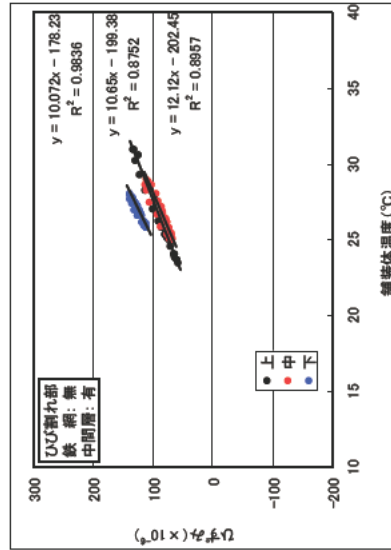
C2



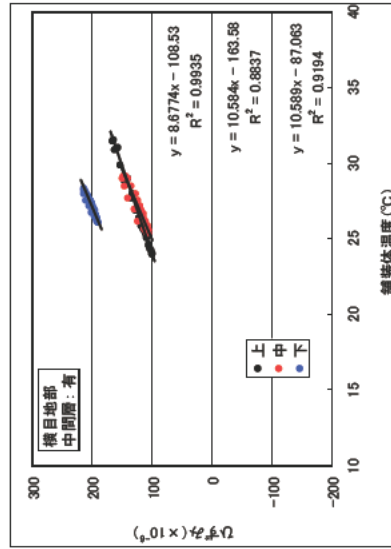
C3



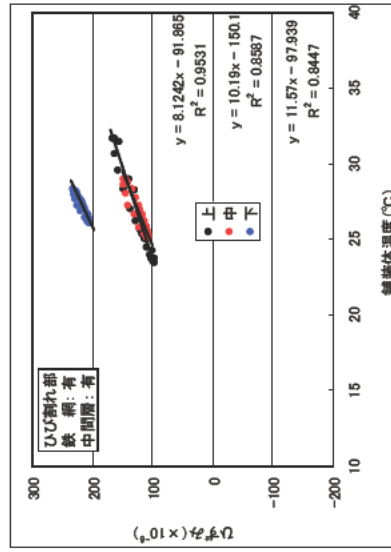
C6



C5



C4



・ 日毎の温度とひびき C の関係

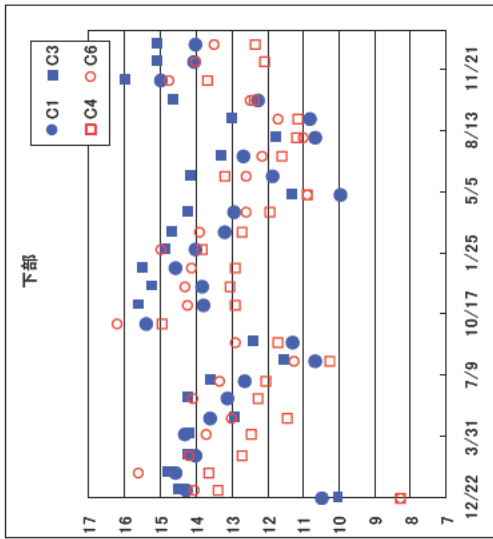
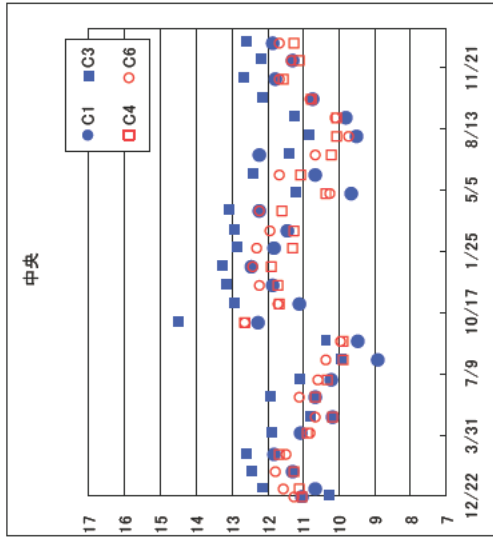
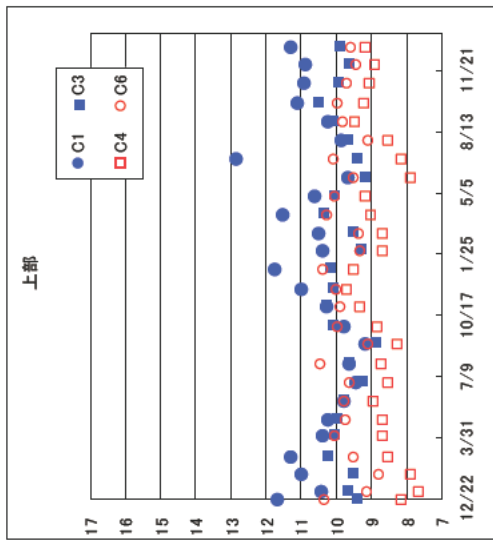
2007.12-

測定箇所	鉄網	中間層	位置	傾き(×10 ⁻⁶ /°C)												平均値				
				12月22日	1月5日	2月1日	3月1日	4月1日	4月4日	4月30日	6月1日	7月1日	8月1日	9月1日	10月1日	11月1日	12月1日	ゲージ名	個別	ゲージ別
ひび割れ部	無		上	11.67	10.40	10.99	11.26	10.38	10.22	9.78	9.41	9.63	9.17	9.77	10.25	10.98	C1	10.30	11.43	
			中	11.02	10.63	11.26	11.79	11.03	10.17	10.63	10.20	8.88	9.44	12.24	11.08	11.84		10.78		
			下	10.46	14.26	14.53	13.97	14.29	13.59	13.10	12.62	10.65	11.27	15.37	13.77	13.80		13.21		
横目地	-	無	上	8.97	10.79	10.06	11.01	10.17	9.75	9.10	10.04	8.82	9.56	9.85	10.02	9.84	C2	11.89	11.71	11.68
			中	11.81	11.43	12.10	12.41	11.83	11.04	11.60	11.18	10.35	11.04	13.78	12.92	13.04		11.89		
			下	10.83	13.75	14.34	13.75	13.36	12.04	13.09	12.60	10.56	12.56	16.67	15.61	15.18		13.41		
ひび割れ部	有		上	9.43	9.70	9.54	10.28	10.08	9.98	9.80	9.28	9.64	8.88	10.11	10.29	10.10	C3	9.78	11.89	
			中	10.32	12.18	12.45	12.62	11.91	10.82	11.95	11.14	9.98	10.40	14.52	12.94	13.18		11.88		
			下	10.06	14.51	14.80	14.26	14.22	12.94	14.24	13.61	11.58	12.43	18.49	15.64	15.27		14.00		
ひび割れ部	有		上	8.14	7.65	7.89	8.51	8.65	8.65	8.94	8.53	8.70	8.26	8.82	9.32	9.67	C4	8.59	10.59	
			中	11.01	11.09	11.25	11.65	10.86	10.16	10.66	10.29	9.87	9.85	12.61	11.65	11.69		10.97		
			下	8.27	13.35	13.63	12.67	12.43	11.42	12.24	12.04	10.24	11.67	14.93	12.89	13.04		12.22		
横目地	-	有	上	10.25	10.21	10.21	10.31	10.04	9.48	9.09	8.67	9.46	8.45	9.61	9.56	9.85	C5	9.63	10.87	10.98
			中	11.81	11.47	11.17	11.70	10.81	10.02	10.45	9.96	9.60	9.75	12.67	11.99	11.63		11.00		
			下	8.69	13.75	15.03	13.70	13.71	11.33	11.90	11.15	9.31	10.26	13.91	11.34	11.57		11.97		
ひび割れ部	無		上	10.32	9.14	8.78	9.52	10.04	9.74	9.75	9.62	10.44	9.10	9.95	9.89	9.99	C6	9.71	11.46	
			中	11.23	11.54	11.78	11.46	10.81	10.66	11.10	10.56	10.36	9.95	12.60	11.69	12.21		11.23		
			下	8.26	14.04	15.58	14.19	13.71	12.97	14.08	13.31	11.23	12.89	16.16	14.21	14.29		13.45		

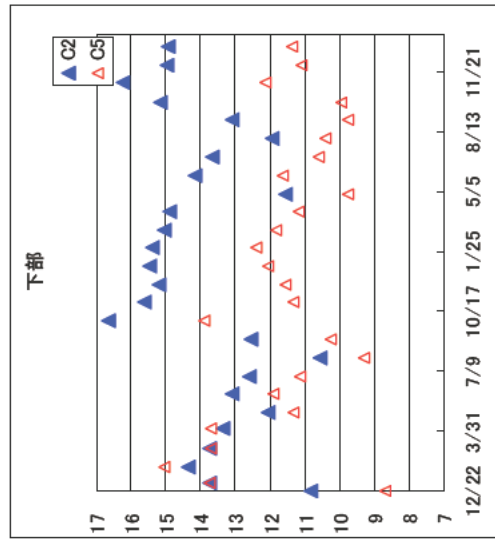
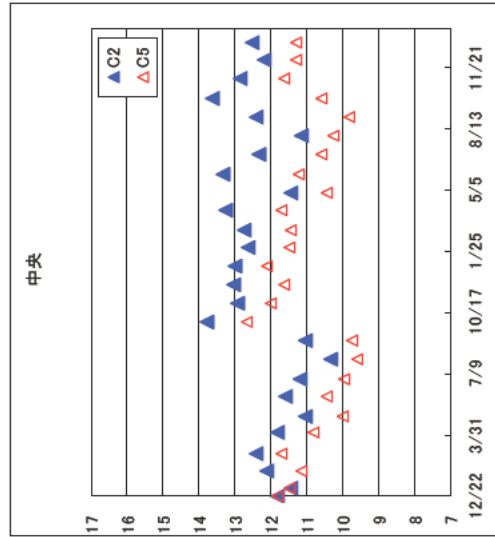
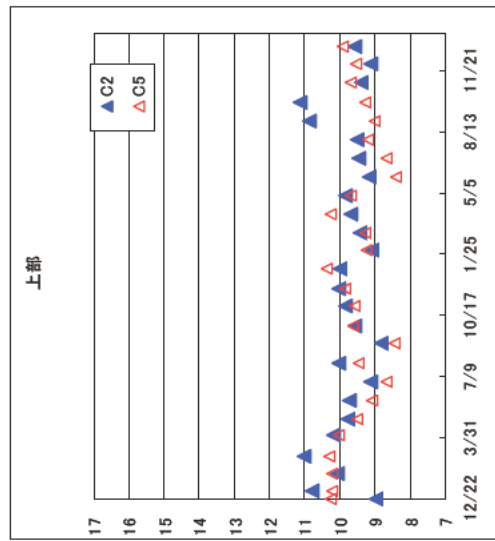
2009.1-

測定箇所	鉄網	中間層	位置	傾き(×10 ⁻⁶ /°C)												平均値				
				1月1日	2月1日	3月1日	4月1日	5月1日	5月31日	7月1日	8月1日	9月1日	10月1日	11月1日	12月1日	1月1日	ゲージ名	個別	ゲージ別	中間層有無
ひび割れ部	無		上	11.73	10.36	10.49	11.50	10.59	9.66	12.84	9.85	10.23	11.07	10.91	10.87	11.29	C1	10.88	11.60	
			中	12.41	11.79	11.41	12.21	9.65	10.63	12.20	9.49	9.80	10.71	11.78	11.26	11.83		11.17		
			下	14.57	14.00	13.19	12.91	9.95	11.83	12.84	10.66	10.78	12.25	14.96	14.04	14.00		12.75		
横目地	-	無	上	9.99	9.07	9.42	9.71	9.85	9.17	9.48	9.50	10.86	11.13	9.37	9.14	9.58	C2	9.71	12.21	11.96
			中	12.98	12.62	12.74	13.27	11.45	13.33	12.82	11.14	12.39	13.64	12.87	12.20	12.53		12.57		
			下	15.48	15.39	15.06	14.88	11.57	14.16	13.66	11.94	13.08	15.16	16.24	14.98	14.93		14.35		
ひび割れ部	有		上	10.19	9.30	9.56	10.38	10.08	9.20	9.43	9.70	10.10	10.54	9.95	9.86	9.91	C3	9.85	12.08	
			中	13.28	12.87	12.96	13.08	11.23	12.41	11.42	10.88	11.28	12.15	12.71	12.22	12.62		12.24		
			下	15.50	14.87	14.70	14.25	11.33	14.19	13.32	11.81	13.03	14.67	15.99	15.10	15.12		14.14		
ひび割れ部	有		上	9.51	8.65	8.65	9.00	9.15	7.86	8.12	8.33	9.46	9.20	9.04	8.90	9.17	C4	8.87	10.69	
			中	11.88	11.28	11.25	11.58	10.34	11.04	10.19	10.04	10.07	10.74	11.53	11.08	11.23		10.94		
			下	12.86	13.81	12.70	11.92	10.87	13.15	11.57	11.16	11.12	12.36	13.66	12.07	12.33		12.27		
横目地	-	有	上	10.39	9.22	9.26	10.28	9.69	8.39	8.68	9.19	8.99	9.29	9.68	9.54	9.91	C5	9.42	10.53	10.85
			中	12.11	11.50	11.43	11.69	10.46	11.22	10.88	10.24	9.82	10.58	11.64	11.29	11.28		11.06		
			下	12.06	12.41	11.84	11.18	9.77	11.62	10.59	10.42	9.76	9.95	12.12	11.11	11.35		11.09		
ひび割れ部	無		上	10.38	9.31	9.36	10.26	10.05	9.50	10.07	9.08	9.82	9.94	9.67	9.44	9.59	C6	9.73	11.32	
			中	12.40	12.28	11.91	12.21	10.25	11.64	10.65	9.72	10.10	10.80	11.66	11.30	11.65		11.28		
			下	14.10	14.96	13.89	12.57	10.87	12.56	12.12	10.97	11.68	12.47	14.73	13.98	13.46		12.95		

誘発ひび割れ部

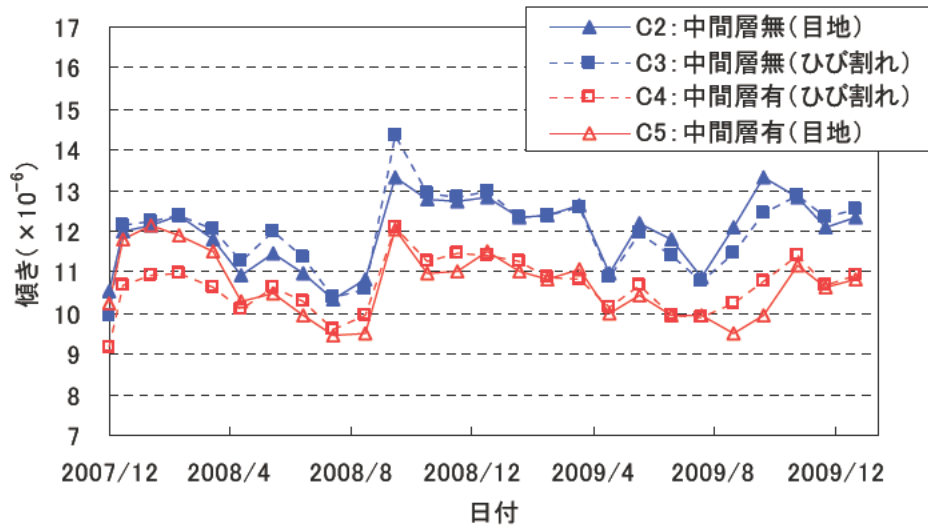


目地部



○各ゲージ 上・中・下方の平均値

・目地部および誘発ひび割れ部（散水試験を実施した C1,C6 は除外）

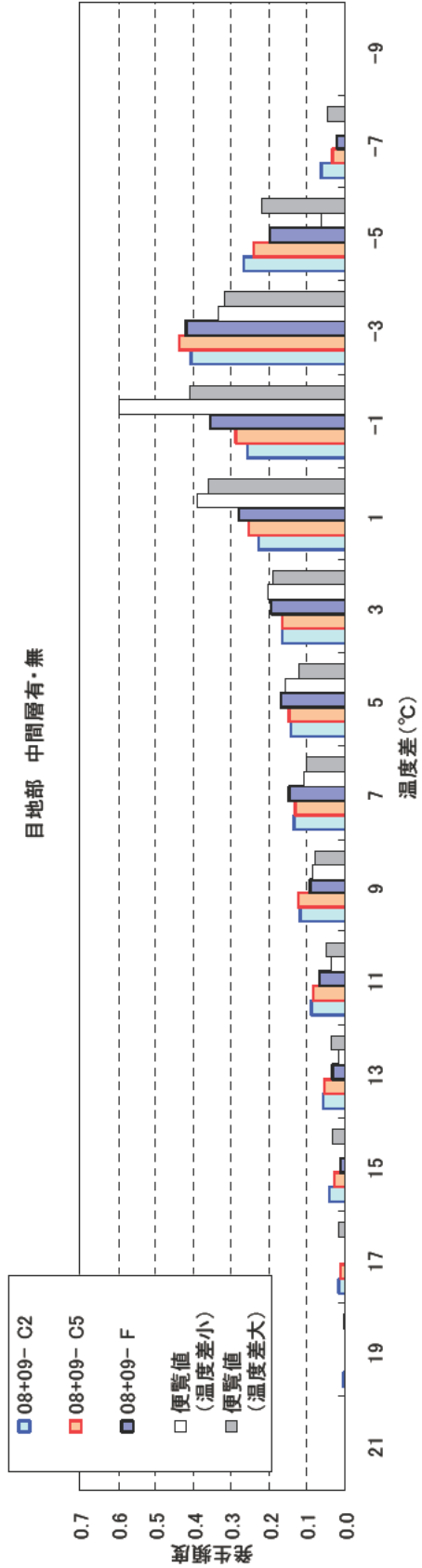
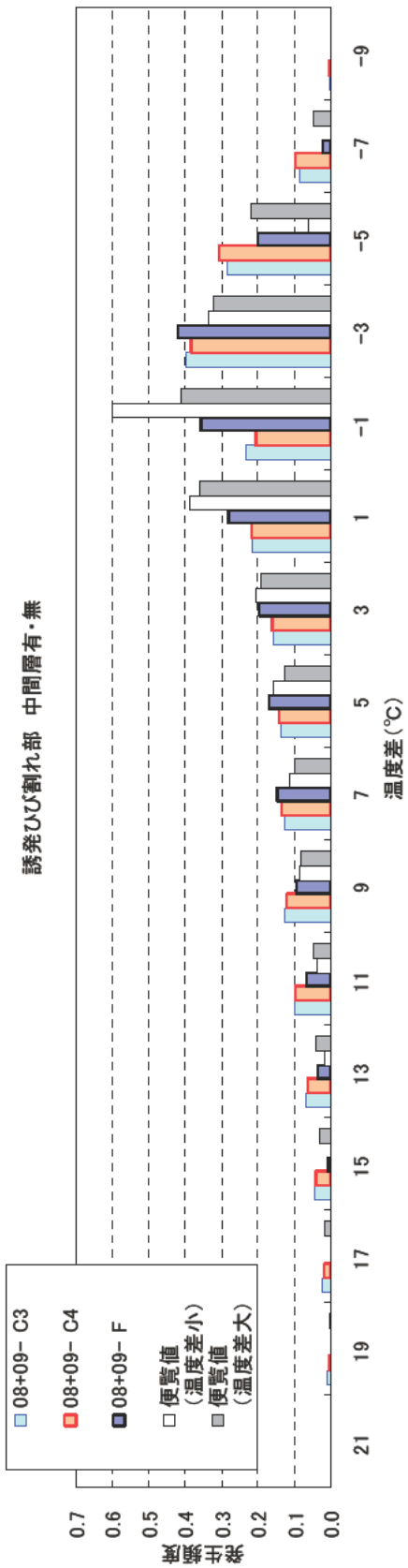


3) Co 版表面と底面の温度差の発生頻度：2008年1月1日～2009年12月31日（ダミー版Fおよびび割れ・目地部C）

(温度差発生頻度)

温度差(℃)	頻度																補装設計便覧				
	誘発ひび割れ部						目地部						ダミー版				温度差の小 さいところ	温度差の大 きいところ			
	'08年		'08年+'09年		'09年		'08年+'09年		08年		09年		'08年		'09年				'08年+'09年		
	中間層:無 C3		中間層:有 C4		中間層:無 C2		中間層:有 C5		ダミー版 F		ダミー版 F		ダミー版 F		ダミー版 F		ダミー版 F				
21(20～21.9)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
19(18～19.9)	0.003	0.010	0.007	0.005	0.009	0.000	0.006	0.003	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005
17(16～17.9)	0.018	0.027	0.022	0.019	0.028	0.008	0.027	0.017	0.017	0.004	0.017	0.004	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018
15(14～15.9)	0.041	0.050	0.046	0.042	0.046	0.033	0.048	0.041	0.041	0.025	0.035	0.030	0.030	0.010	0.013	0.011	0.002	0.002	0.002	0.002	0.032
13(12～13.9)	0.068	0.066	0.067	0.063	0.063	0.060	0.063	0.061	0.061	0.054	0.058	0.056	0.056	0.032	0.037	0.035	0.016	0.016	0.016	0.016	0.040
11(10～11.9)	0.102	0.094	0.099	0.102	0.095	0.097	0.083	0.088	0.088	0.090	0.076	0.083	0.083	0.065	0.067	0.066	0.037	0.037	0.037	0.037	0.050
9(8～9.9)	0.125	0.124	0.124	0.120	0.118	0.122	0.120	0.119	0.119	0.125	0.116	0.121	0.121	0.100	0.090	0.095	0.085	0.085	0.085	0.085	0.080
7(6～7.9)	0.129	0.125	0.127	0.137	0.126	0.140	0.129	0.135	0.135	0.135	0.130	0.133	0.133	0.146	0.150	0.148	0.110	0.110	0.110	0.110	0.100
5(4～5.9)	0.138	0.140	0.139	0.146	0.139	0.148	0.141	0.143	0.143	0.154	0.140	0.147	0.147	0.177	0.160	0.168	0.155	0.155	0.155	0.155	0.125
3(2～3.9)	0.157	0.155	0.156	0.165	0.159	0.168	0.162	0.164	0.164	0.171	0.159	0.165	0.165	0.201	0.187	0.194	0.205	0.205	0.205	0.205	0.190
1(0～1.9)	0.219	0.208	0.214	0.219	0.216	0.223	0.224	0.229	0.229	0.241	0.268	0.255	0.255	0.270	0.295	0.282	0.390	0.390	0.390	0.390	0.360
-1(0.1～2.0)	0.257	0.209	0.232	0.215	0.197	0.238	0.231	0.259	0.259	0.321	0.258	0.289	0.289	0.347	0.365	0.356	0.600	0.600	0.600	0.600	0.410
-3(2.1～4.0)	0.433	0.358	0.395	0.428	0.338	0.436	0.376	0.407	0.407	0.450	0.421	0.435	0.435	0.427	0.414	0.421	0.335	0.335	0.335	0.335	0.320
-5(4.1～6.0)	0.252	0.320	0.286	0.283	0.333	0.261	0.302	0.268	0.268	0.210	0.274	0.242	0.242	0.203	0.200	0.201	0.063	0.063	0.063	0.063	0.220
-7(6.1～8.0)	0.058	0.107	0.083	0.074	0.124	0.065	0.086	0.064	0.064	0.020	0.047	0.033	0.033	0.023	0.020	0.022	0.002	0.002	0.002	0.002	0.048
-9(8.1～10.0)	0.000	0.005	0.003	0.000	0.008	0.000	0.004	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
合計	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

(温度差発生頻度 (2年間データ): グラフ)



(疲労度の試算)

・計算条件

項目	条件	
舗装の設計期間 (年)	20	
設定された舗装の目標信頼度 (%)	考慮しない	
走行頻度	十分な路肩有り 2車線	
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	縦自由縁部, 横目地部	
Co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
交通条件	横収縮目地間隔 (m)	10m
	輪荷重群と通過輪数	舗装設計便覧参照
	温度差が正または負のときの大型車の比率	郊外部
	タイヤ接地半径	舗装設計便覧参照
路盤支持力係数 K_{15} (MPa/m)	100	
疲労度算定	舗装設計便覧参照	
コンクリートの疲労破壊確率 (%)	50, 20	

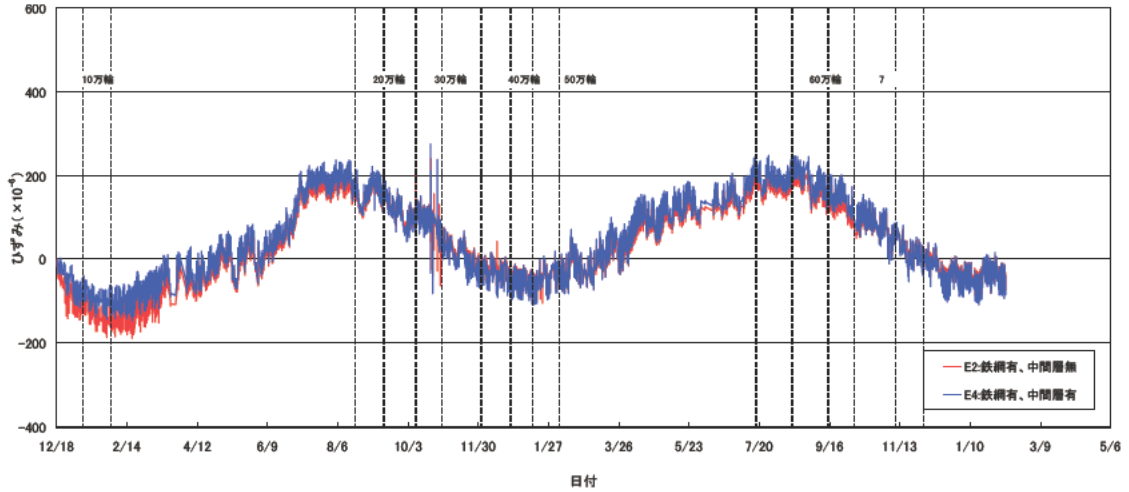
・計算結果

応力算出位置	計算条件	疲労度算定式	破壊確率 (%)	疲労度																
				誘発ひび割れ部						目地部						舗装設計便覧				
				'08年	'09年	'08年+'09年	C4:中間層有	'08年	'09年	'08年+'09年	C5:中間層有	'08年	'09年	'08年+'09年	F:ダミー版	温度差				
横目地部	式(a)	式(a)	—	0.38	0.54	0.46	0.29	0.52	0.41	0.25	0.47	0.36	0.20	0.31	0.25	0.11	0.12	0.12	0.06	0.33
		式(b)	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
縦自由縁部	式(a)	式(a)	—	51.71	125.24	92.69	25.58	116.41	71.00	13.90	87.90	50.51	9.18	31.23	16.05	3.11	3.54	3.28	1.50	67.86
		式(b)	50	0.69	1.17	0.95	0.47	1.12	0.79	0.37	0.97	0.66	0.27	0.54	0.39	0.12	0.14	0.13	0.06	0.69
			20	4.42	7.19	5.91	3.11	6.88	5.00	2.51	6.01	4.24	1.90	3.50	2.61	0.88	1.00	0.93	0.43	4.27

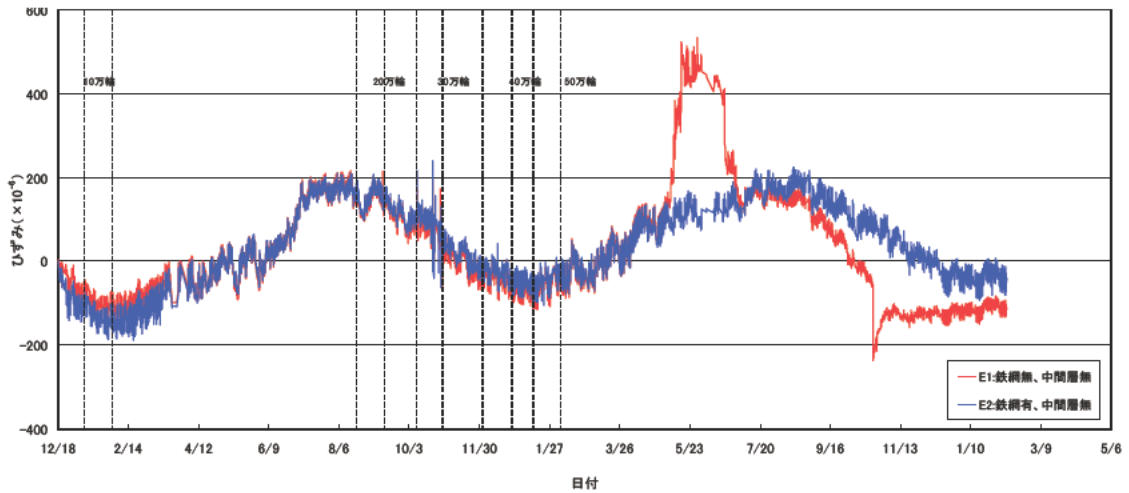
4) 縦自由縁部のひずみ

・ 下部 (表面より 22.5cm) のひずみ

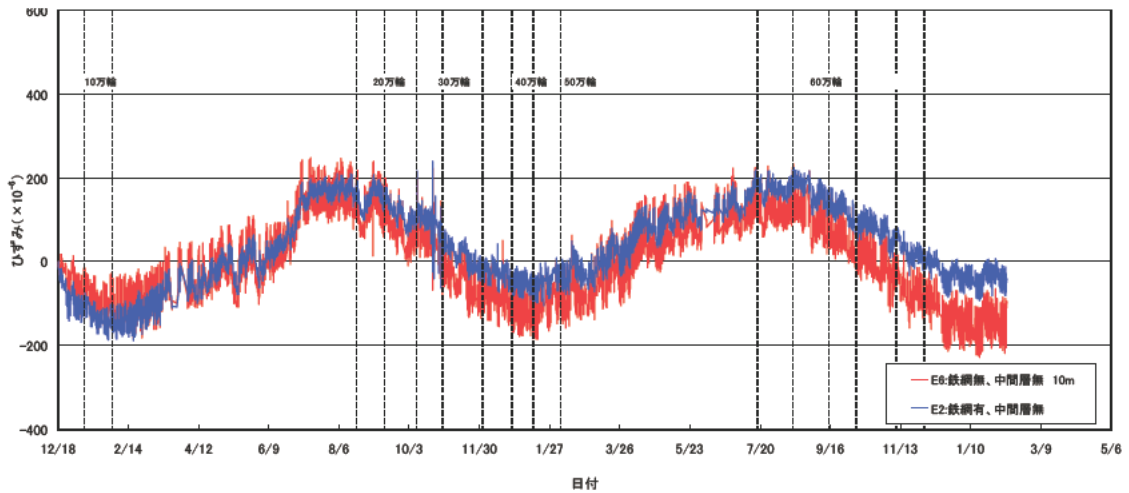
(中間層有無の比較)



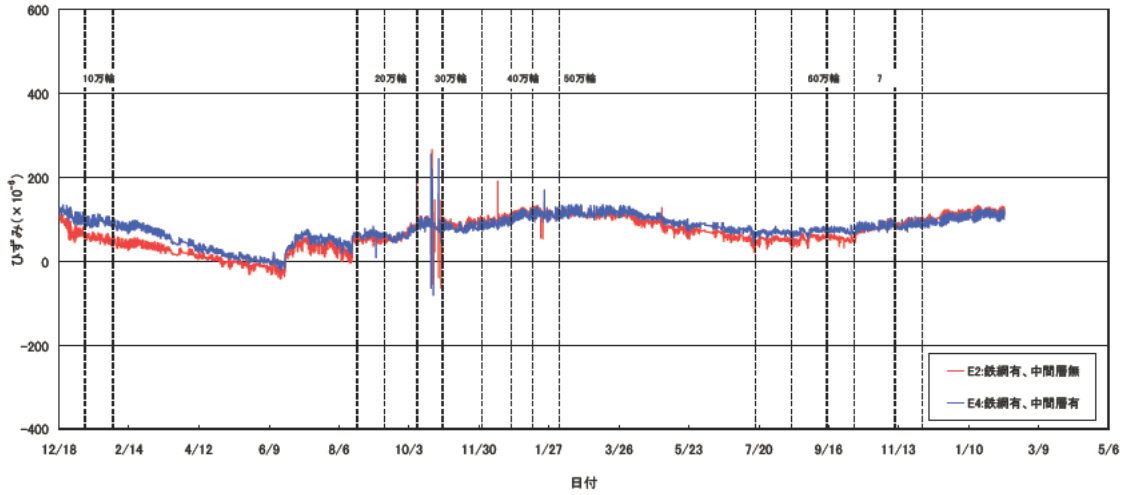
(鉄網有無の比較)



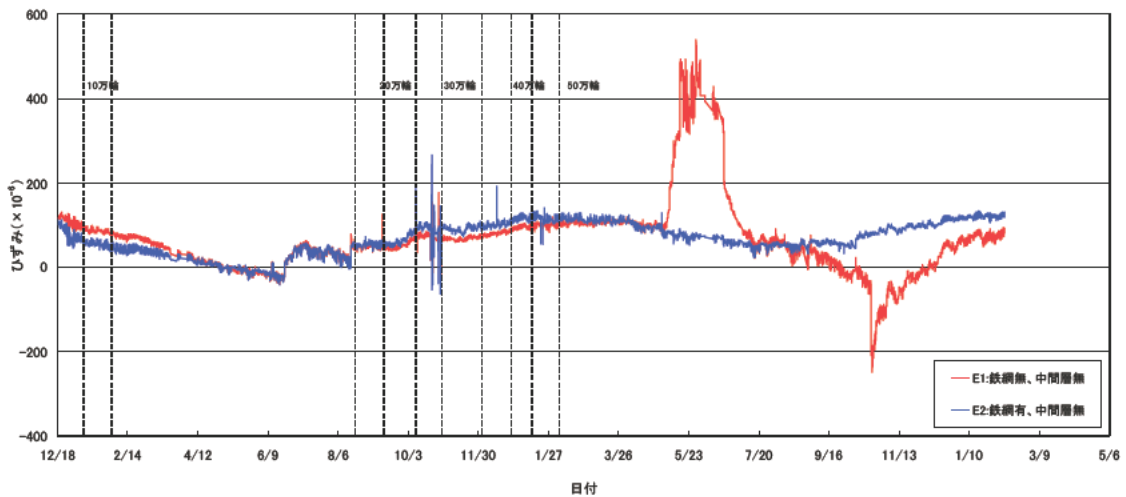
(版長の比較)



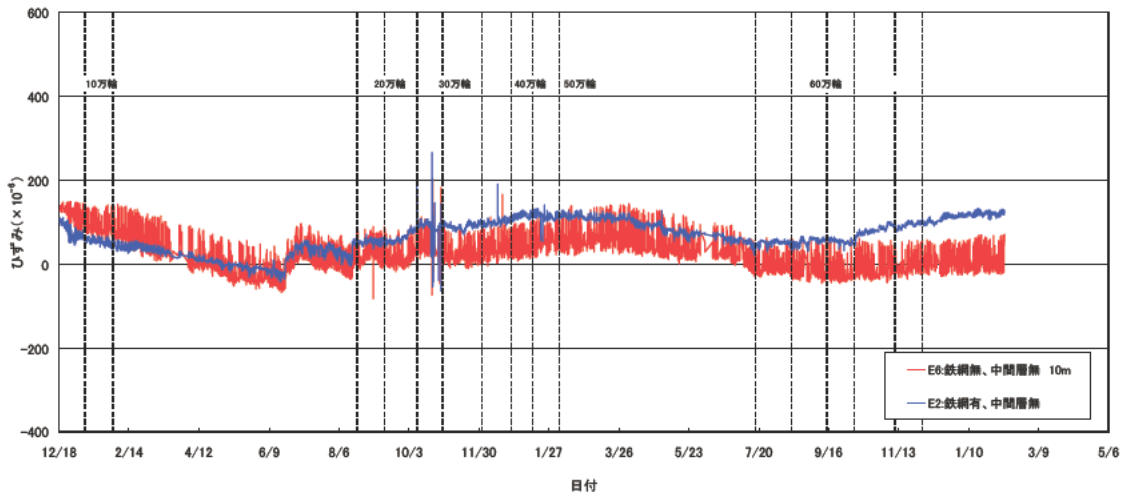
- ・ 下部（表面より 22.5cm）のひずみ
 （温度 20°C、線膨張係数 $11.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ で温度補正）
 （中間層有無の比較）



（鉄網有無の比較）



（版長の比較）



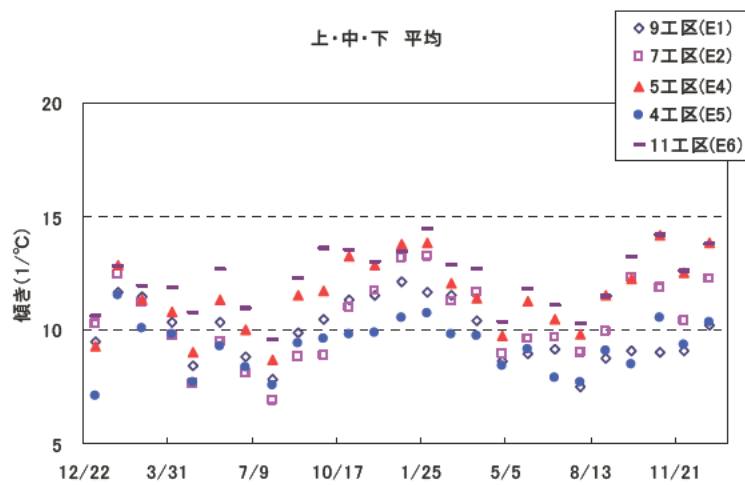
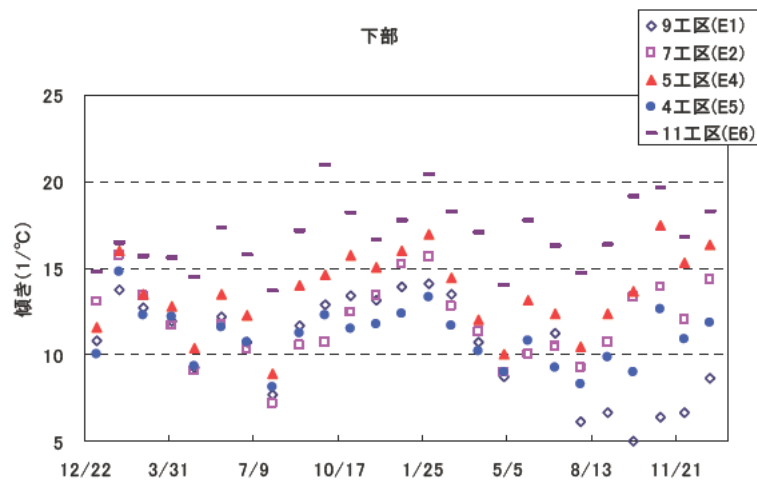
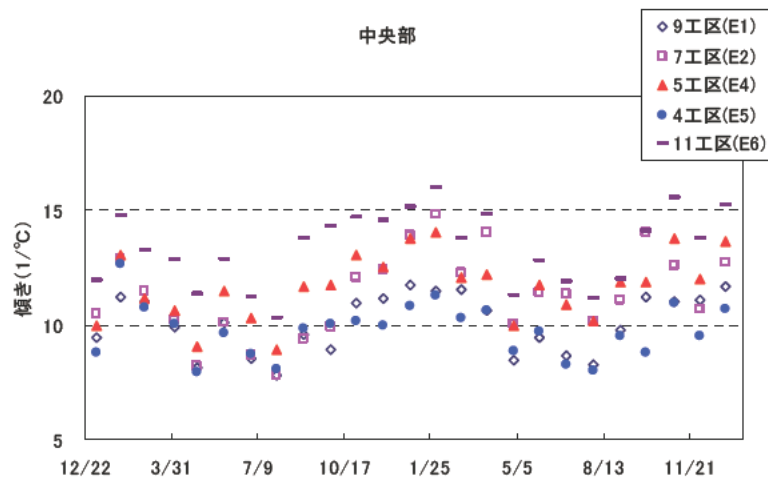
・ 日毎の温度とひずみ E の関係

2007.12-

測定箇所	版長 (m)	鉄網	中間層	ゲージ No.	位置	傾き ($\times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)												
						12月22日	1月5日	2月1日	3月1日	4月4日	4月30日	6月1日	7月1日	8月1日	9月1日	10月1日	11月1日	12月1日
自由縁部	10	無	無	E6	上	0.04	5.18	7.12	6.89	7.29	6.34	7.81	5.96	4.78	5.96	5.54	7.72	7.78
					中	2.60	11.93	14.73	13.23	12.84	11.37	12.84	11.21	10.33	13.75	14.30	14.71	14.56
					下	3.92	14.76	16.46	15.66	15.56	14.46	17.26	15.74	13.62	17.13	20.89	18.17	16.64
					上	0.07	8.20	10.09	10.69	9.27	7.96	8.78	7.23	8.05	8.47	9.75	9.65	10.26
					中	1.13	9.43	11.21	11.06	9.90	8.13	10.12	8.53	7.83	9.60	8.94	10.99	11.14
					下	4.32	10.76	13.74	12.69	11.93	9.23	12.18	10.75	7.66	11.70	12.86	13.43	13.17
	5	有	有	E2	上	-1.00	7.27	8.77	8.77	7.26	5.59	6.53	5.40	5.73	6.59	6.05	8.51	9.44
					中	-0.22	10.53	12.88	11.51	10.24	8.22	10.14	8.66	7.84	9.40	9.89	12.09	12.42
					下	3.78	13.02	15.74	13.37	11.70	9.08	11.75	10.27	7.14	10.58	10.76	12.46	13.37
					上	0.39	8.97	10.31	10.64	10.53	9.10	10.47	8.63	9.56	9.87	9.69	11.95	12.10
					中	3.47	10.48	12.64	11.70	11.46	9.79	11.93	10.21	9.81	11.31	12.66	13.24	12.70
					下	5.21	13.29	17.06	14.98	15.25	12.41	15.61	14.00	11.27	14.89	16.33	16.40	15.92
5	有	有	E4	上	1.00	6.21	9.51	9.36	8.97	7.69	9.06	7.45	8.21	9.00	8.80	11.05	11.07	
				中	4.57	10.00	13.04	11.18	10.66	9.05	11.46	10.31	8.93	11.70	11.75	13.06	12.51	
				下	3.83	11.61	16.00	13.46	12.81	10.36	13.47	12.25	8.91	13.98	14.58	15.75	15.04	
				上	0.50	2.56	7.23	7.19	7.20	5.78	6.67	5.66	6.47	7.18	6.45	7.87	7.99	
				中	5.40	8.82	12.65	10.76	10.05	7.97	9.67	8.71	8.09	9.88	10.06	10.17	10.00	
				下	6.01	9.99	14.83	12.24	12.20	9.34	11.55	10.73	8.11	11.25	12.29	11.46	11.75	

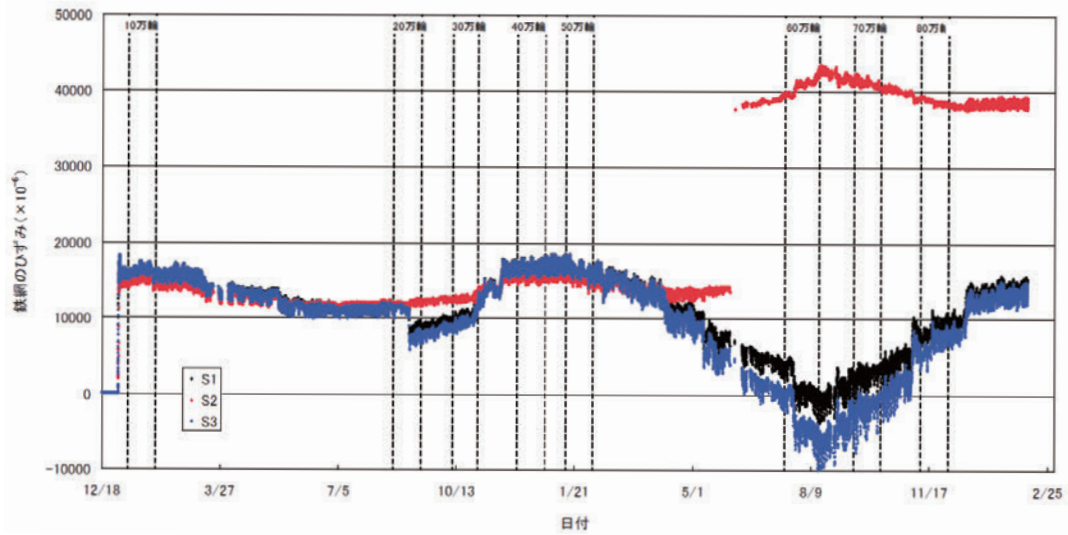
2008.1-

測定箇所	版長 (m)	鉄網	中間層	ゲージ No.	位置	傾き ($\times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)												
						1月1日	2月1日	3月1日	4月1日	5月1日	5月31日	7月1日	8月1日	9月1日	10月1日	11月3日	12月2日	1月1日
自由縁部	10	無	無	E6	上	7.60	6.99	6.63	6.03	5.77	4.83	5.02	4.95	6.11	6.41	7.39	7.28	7.79
					中	15.15	16.02	13.80	14.86	11.31	12.79	11.86	11.14	11.99	14.09	15.53	13.80	15.23
					下	17.69	20.38	18.22	17.04	13.98	17.74	16.30	14.73	16.33	19.08	19.62	16.80	18.28
					上	10.83	9.48	9.69	10.01	8.80	8.48	7.38	8.13	9.92	10.96	9.70	9.62	10.45
					中	11.72	11.47	11.53	10.62	8.45	9.48	8.69	8.27	9.75	11.21	11.04	11.12	11.65
					下	13.91	14.09	13.48	10.68	8.68	-	11.27	6.09	6.62	5.04	6.35	6.62	8.60
	5	有	有	E2	上	10.41	9.28	8.76	9.69	7.98	7.34	7.31	7.64	8.00	9.69	9.09	8.60	9.79
					中	13.88	14.86	12.29	14.06	10.06	11.44	11.37	10.20	11.10	14.02	12.62	10.67	12.72
					下	15.19	15.66	12.79	11.34	8.94	10.06	10.49	9.24	10.69	13.27	13.89	12.02	14.39
					上	12.64	11.58	10.78	11.42	10.25	9.52	8.95	9.79	11.19	11.89	12.15	10.97	12.41
					中	13.39	14.36	12.52	13.03	10.44	11.56	10.67	10.45	11.81	12.60	14.00	12.24	13.35
					下	16.59	18.18	15.23	13.99	11.85	13.57	14.20	12.38	13.76	14.97	17.72	15.66	16.60
5	有	有	E4	上	11.64	10.48	9.71	9.96	9.38	9.02	8.27	8.86	10.43	11.24	11.26	10.23	11.57	
				中	13.80	14.07	12.06	12.20	9.95	11.72	10.88	10.15	11.89	13.77	12.04	13.65		
				下	15.99	16.97	14.42	12.04	10.01	13.12	12.34	10.47	12.35	13.69	17.43	15.33	16.31	
				上	8.63	7.62	7.58	8.39	7.40	7.03	6.15	6.84	7.98	7.69	8.17	7.60	8.50	
				中	10.80	11.27	10.33	10.61	8.89	9.69	8.29	7.98	9.51	8.77	10.94	9.55	10.70	
				下	12.32	13.31	11.65	10.23	9.00	10.79	9.27	8.33	9.87	8.97	12.58	10.85	11.85	

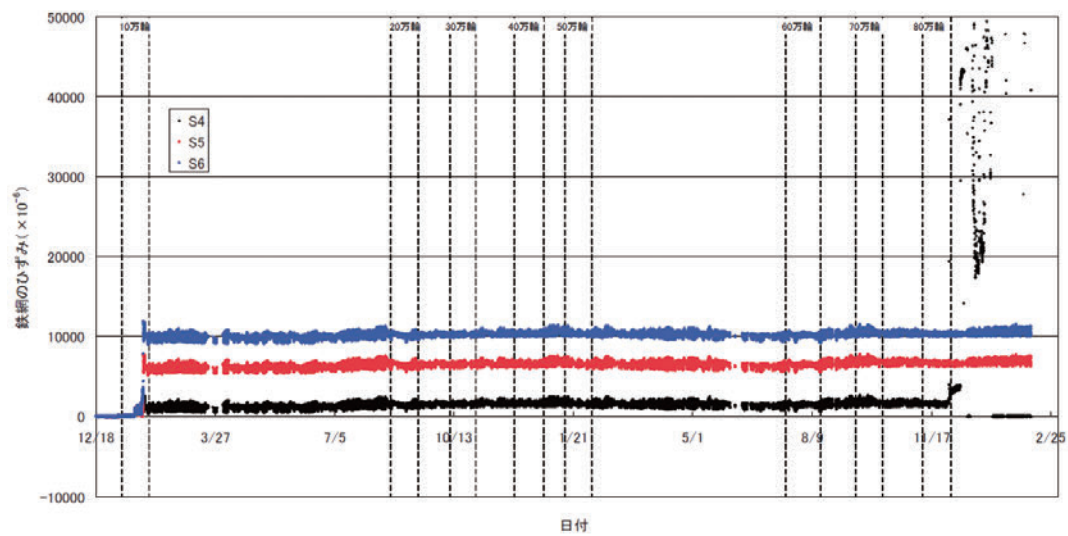


5) 鉄網ひずみ

(中間層無工区)



(中間層有工区)

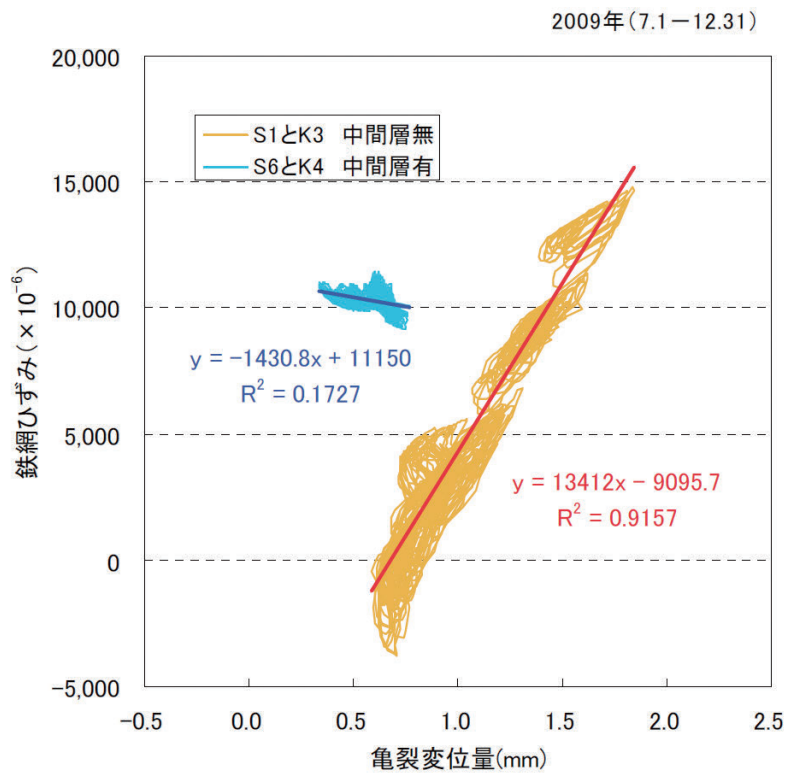


・鉄網ひずみと亀裂変位量の関係

(鉄網ひずみ：中間層有無工区でそれぞれ最大値を示した S1 と S6)

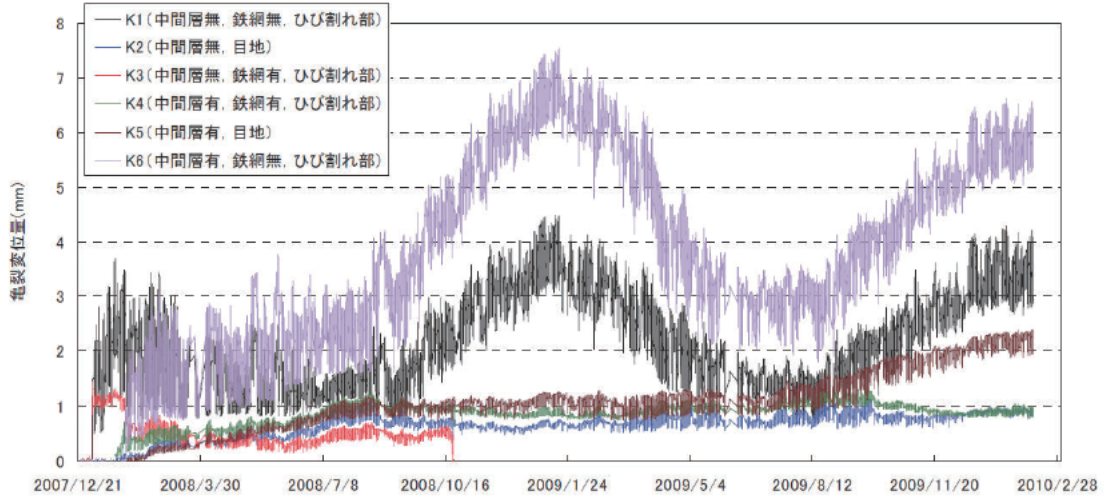
(亀裂変位量：鉄網ひずみ S1 に対して K3、S6 に対して K4)

(データ：亀裂変位量が増加傾向にある 2009.7 以降)



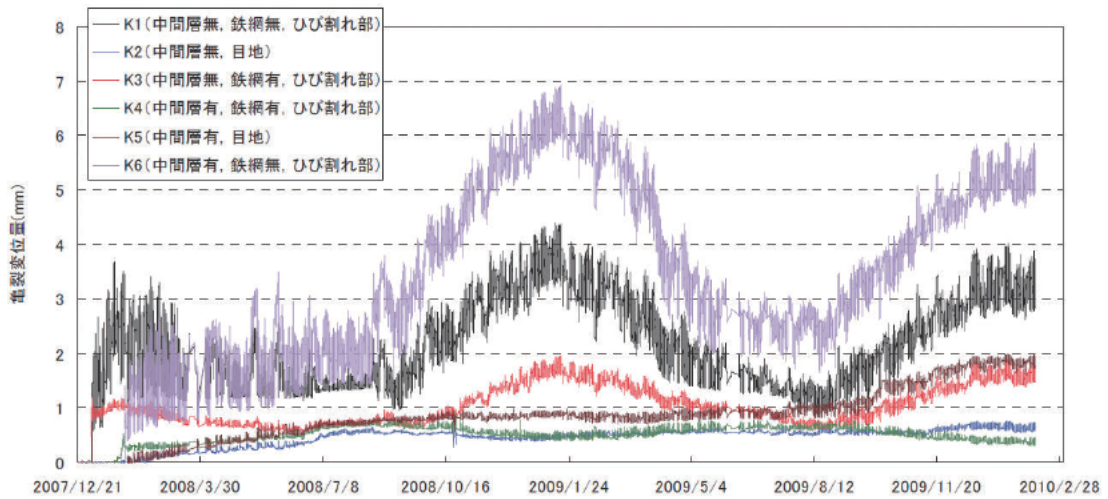
6) 亀裂変位

上部ゲージ



※K3-1 データ異常のため途中から削除

下部ゲージ



2 荷重車走行時散水試験

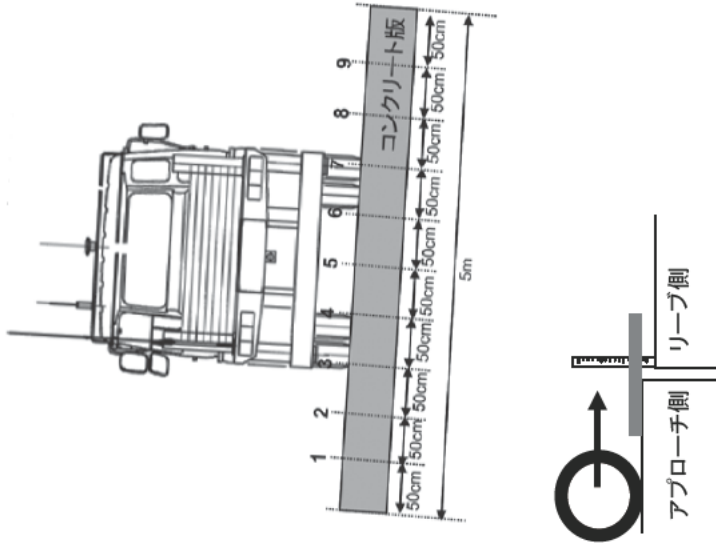
1) 段差量測定結果

段差測定結果

測定箇所：①誘発ひび割れ部(中間層無・鉄網無)
②誘発ひび割れ部(中間層有・鉄網無)

測定箇所：横断方向に50cmピッチで9点

測定方法：舗装調査・試験法便覧 S031(スケールによる方法)



日付	通過輪数 (累積)	散水量 (累積:0)	段差量 (mm)																				
			①誘発ひび割れ部(中間層無・鉄網無)									②誘発ひび割れ部(中間層有・鉄網無)											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ave	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ave	
7月14日	0	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
10月22日	200,000	300	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
12月24日	300,000	450	0.0	0.5	1.0	2.5	1.5	3.0	1.5	1.0	1.5	1.0	1.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
2月25日	400,000	600	0.0	0.0	1.5	2.5	1.5	3.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.3	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.5	0.4

2) 段差量計算 (JSCE 舗装標準示方書)

・ 計算条件

● たわみ量の算出方法

- ・ JSCE示方書 たわみ量算定式(コンクリート版自由縁部の算定式)
→As中間層の有無によるたわみ量は同一となる
(→”軸荷重 F_i によるたわみ w_i ”=”輪荷重 F_{ei} によるたわみ w_{ei} ”とする)

● 荷重車条件: 10万輪走行期間あたり

・ 荷重車

自重	12 t		
載荷板(前)	10 t		
載荷板(後)	11 t	荷重車計	33 t

・ 軸重(メーカー測定値)

		9.80665	
前軸	7.05 t	69.1 kN	
後前軸	13.07 t	128.2 kN	
後後軸	12.97 t	127.2 kN	

・ 輪荷重

前輪	3.53 t	34.6 kN	
後前輪	6.54 t	64.1 kN	
後後輪	6.49 t	63.6 kN	

・ 5t換算輪数

前輪	0.25 輪		
後前輪	2.92 輪		
後後輪	2.83 輪	1台計	5.99 輪

10万輪相当台数 16,681 台

・ 荷重繰り返し回数

(10万輪走行期間中) 16,681 回

● 年間降水量について

- ・ 荷重車走行時、ひび割れ部に散水を実施(H21.7~)
→ひび割れ1カ所につき、10万輪相当走行期間中に降水量1,500mm相当を散水
- ・ 10万輪相当走行期間を1年とし、年間降水量を1,500mmとする

3) 段差量測定結果まとめ

通過輪数(万輪) (散水開始以降)	段差量(mm) [※]				段差 増加量 (mm)
	0	20	30	40	
測定日	'09/7/14	'09/10/22	'09/12/24	'10/2/25	
①ひび割れ部 (中間層無, 鉄網無)	0.2	0.9	1.3	1.3	1.1
②ひび割れ部 (中間層有, 鉄網無)	0.1	0.1	0.2	0.4	0.3

※段差の測定は、舗装調査試験法便覧S031(スケールによる方法)により実施した。段差量は、横断方向に50cmピッチで9点測定し、平均値を示した。

4) 段差量計算結果まとめ

試算期間(散水40万輪相当走行期間; H22.2現在)

算出方法	対象期間	段差量 計算値(mm)	段差量 実測値(mm)	
		ダウエル無	中間層無	中間層有
JSCEたわみ量 算定式	散水開始以降 40万輪相当走行期間	0.53	1.1	0.3

5) 段差量試算結果 (H22 年度 40 万輪走行分)

試算条件

- ①H21と同条件(年間降雨量1,500mm)
- ②年間降雨量3,000mm(2倍)
- ③年間降雨量15,000mm(10倍)

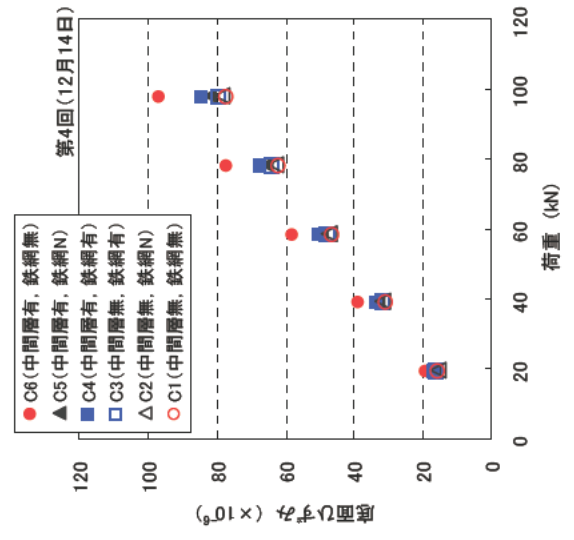
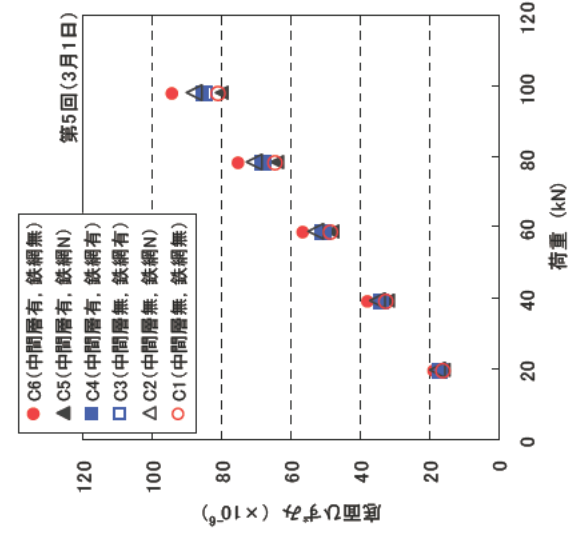
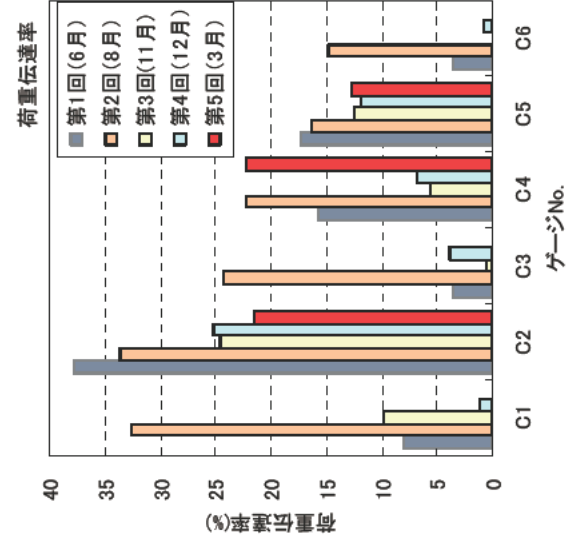
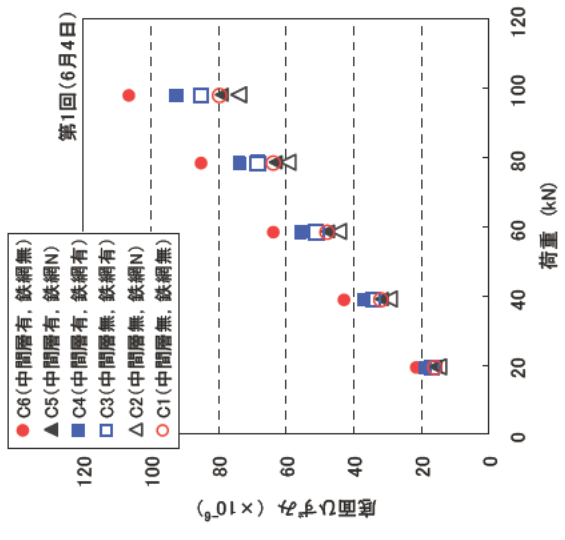
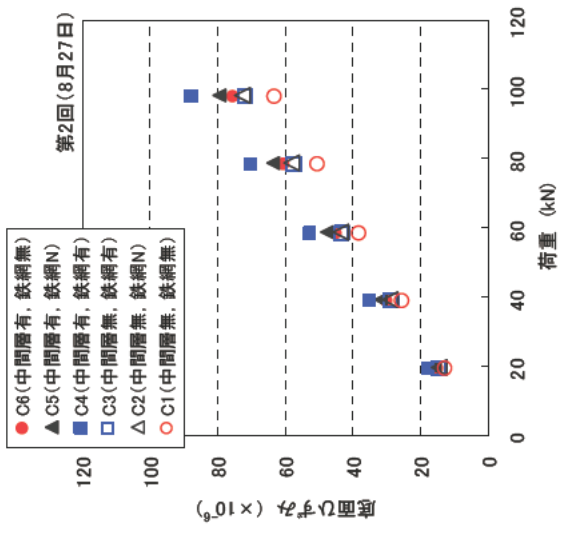
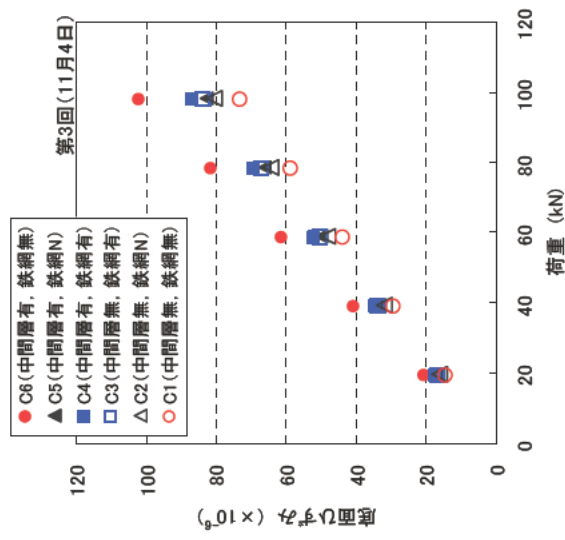
降雨(散水)条件		年間降雨量(mm)		
		1,500	3,000	15,000
段差量 (mm)	ダウエル無	0.63	0.81	2.13
	ダウエル有	1.19	2.28	22.76

3 静的載荷試験

1) ひび割れ部および目地部C

・底面ひずみ：ゲージ上、中、下の測定値から推定

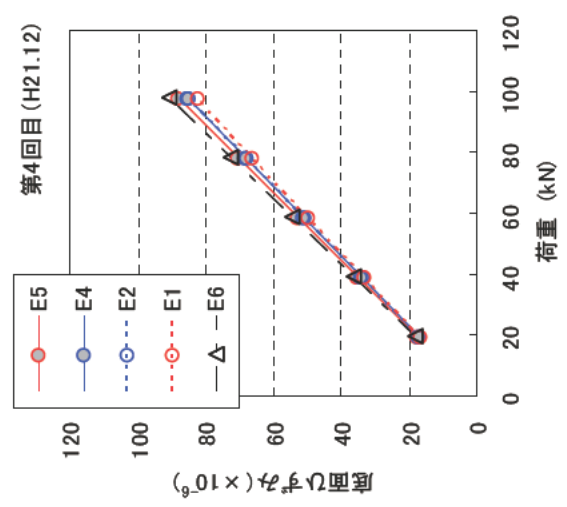
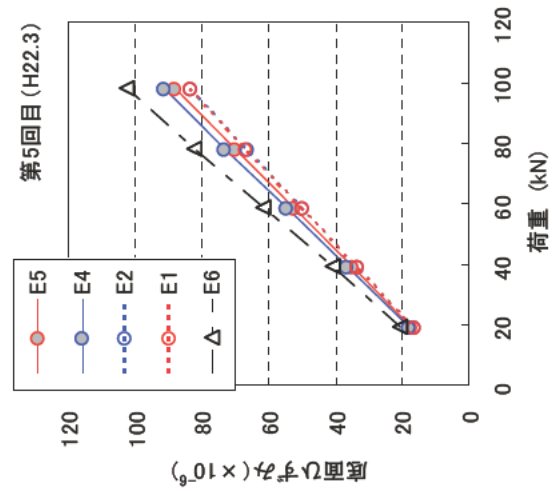
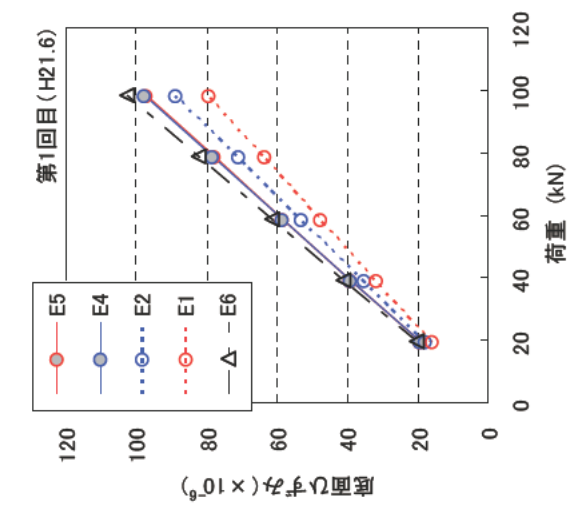
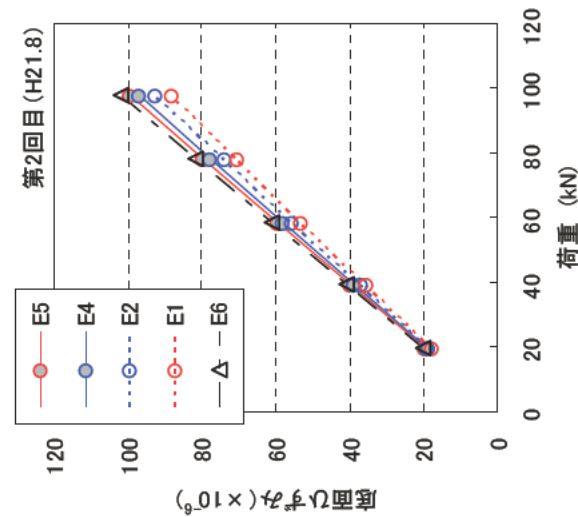
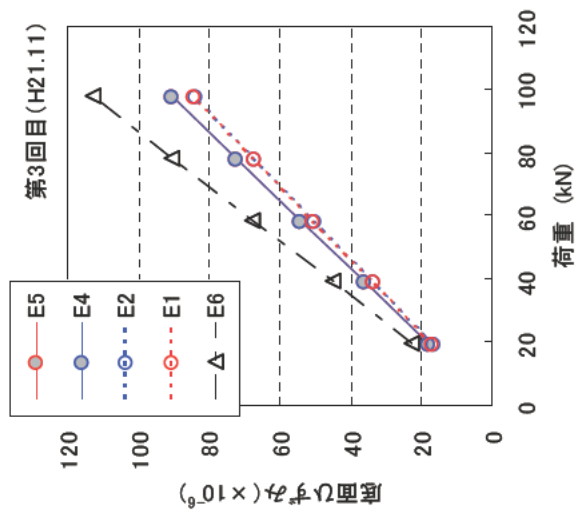
		Co版底面のひずみ(×10 ⁻⁶)																														
		1回目試験(H21.8.4)						2回目試験(H21.8.27)						3回目試験(H21.11.4)						4回目試験(H21.12.14)						5回目試験(H22.3.1)						
載荷点	荷重(kN)	19.6	39.2	58.8	78.5	98.1	19.6	39.2	58.8	78.5	98.1	19.6	39.2	58.8	78.5	98.1	19.6	39.2	58.8	78.5	98.1	19.6	39.2	58.8	78.5	98.1	19.6	39.2	58.8	78.5	98.1	
C6b反対側	C6(中間層有, 鉄網無)	1	2	2	3	4	2	4	7	9	11	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	-1	-1	-1
C6a直上		21	43	64	85	106	15	30	45	60	75	20	41	61	81	102	19	39	58	77	97	19	38	56	75	94	19	38	56	75	94	
	伝達率(%)	3.5	3.6	3.5	3.5	3.5	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	
C5b反対側	C5(中間層有, 鉄網N)	3	6	8	11	14	3	5	8	10	13	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10	
C5a直上		16	32	48	63	79	16	32	48	64	80	17	33	50	66	83	16	33	49	66	82	16	32	48	64	80	16	32	48	64	80	
	伝達率(%)	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	
C4b反対側	C4(中間層有, 鉄網有)	3	6	9	12	14	4	8	12	16	19	1	2	3	4	5	1	2	3	5	6	1	2	3	5	6	4	8	11	15	19	
C4a直上		18	37	55	74	92	18	35	53	70	88	17	35	52	69	87	17	34	51	67	84	17	34	51	67	84	17	34	51	68	86	
	伝達率(%)	15.8	15.7	15.7	15.7	15.7	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	
C3b反対側	C3(中間層無, 鉄網有)	1	1	2	2	3	3	7	10	14	17	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	1	1	2	2	3	0	0	0	0	0	
C3a直上		17	34	51	68	85	14	29	43	57	72	17	34	50	67	84	16	32	48	64	80	16	32	48	64	80	17	34	51	68	85	
	伝達率(%)	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	
C2b反対側	C2(中間層無, 鉄網N)	6	11	17	22	28	5	10	15	19	24	4	8	12	16	20	4	8	12	16	20	4	8	12	16	20	4	8	11	15	19	
C2a直上		15	30	45	59	74	15	29	44	58	73	16	32	48	64	80	16	31	47	63	79	18	35	53	71	88	18	35	53	71	88	
	伝達率(%)	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	21.6	21.5	21.5	21.6	21.5	21.5	21.5	21.5	
C1b反対側	C1(中間層無, 鉄網無)	1	3	4	5	6	4	8	12	16	21	1	3	4	6	7	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C1a直上		16	32	48	64	80	13	25	38	51	63	15	29	44	59	73	15	31	46	62	77	16	32	48	65	81	16	32	48	65	81	
	伝達率(%)	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	



2) 自由縁部 E

・底面ひずみ：ゲージ上、中、下の測定値から推定

		底面のひずみ(×10 ⁻⁶)																													
		1回目(H21.8)			2回目(H21.8)			3回目(H21.11)			4回目(H21.12)			5回目(H22.3)																	
載荷位置	荷重(kN)	19.6	39.2	58.8	78.5	98.1	19.6	39.2	58.8	78.5	98.1	19.6	39.2	58.8	78.5	98.1	19.6	39.2	58.8	78.5	98.1	19.6	39.2	58.8	78.5	98.1					
	ゲージNo.																														
E5	E5(中間層有・鉄網有)	19	39	58	78	97	20	40	60	80	100	18	36	54	72	90	18	35	53	71	88	18	35	53	70	88	18	35	53	70	88
E4	E4(中間層有・鉄網有)	20	39	59	78	98	19	39	58	78	97	18	36	54	73	91	17	34	51	68	85	18	37	55	73	91	18	37	55	73	91
E2	E2(中間層無・鉄網有)	18	35	53	71	89	18	37	55	74	92	17	33	50	67	84	17	34	51	68	85	17	33	50	67	83	17	33	50	67	83
E1	E1(中間層無・鉄網無)	16	32	48	63	79	18	35	53	71	88	17	34	50	67	84	16	33	49	66	82	17	33	50	67	84	17	33	50	67	84
E6	E6(中間層無・鉄網無)10m	21	41	62	82	103	20	41	61	81	102	23	45	68	90	113	18	36	54	72	90	21	41	62	82	103	21	41	62	82	103



3) 亀裂変位 K

(C-b 載荷時)

ゲージNo.(設置位置)	1回目 (H21.6.4)					2回目 (H21.8.27)					3回目 (H21.11.4)					4回目 (H21.12.14)					5回目 (H22.3.1)								
	荷重 (kN)					荷重 (kN)					荷重 (kN)					荷重 (kN)					荷重 (kN)								
	19.6	39.2	58.8	78.5	98.1	19.6	39.2	58.8	78.5	98.1	19.6	39.2	58.8	78.5	98.1	19.6	39.2	58.8	78.5	98.1	19.6	39.2	58.8	78.5	98.1				
	亀裂変位変化量 (mm)																												
K6(中間層有・鉄網無・ひび割れ部)	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01
-2(下)	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0.05	0.07	0.09	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.01	0.02	0.03	0.03	0.05	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.01	0.02	0.02	0.03
-1(上)	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.04	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.03	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04
-2(下)	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
-1(上)	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	0.00	-0.01	-0.01	-0.02
-2(下)	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02
-1(上)	0.05	0.11	0.16	0.22	0.27	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.01	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.11	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.02
-2(下)	0.03	0.05	0.08	0.10	0.13	0.03	0.06	0.08	0.11	0.14	0.04	0.08	0.12	0.17	0.21	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.03	0.07	0.10	0.13	0.16	0.03	0.07	0.10	0.13
-1(上)	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.01	-0.03	-0.04	-0.05	-0.06	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.03	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.03	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03
-2(下)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
-1(上)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.02	0.03	0.05
-2(下)	0.02	0.04	0.05	0.07	0.09	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.03	0.06	0.08	0.11	0.14	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.02	0.04	0.06	0.08

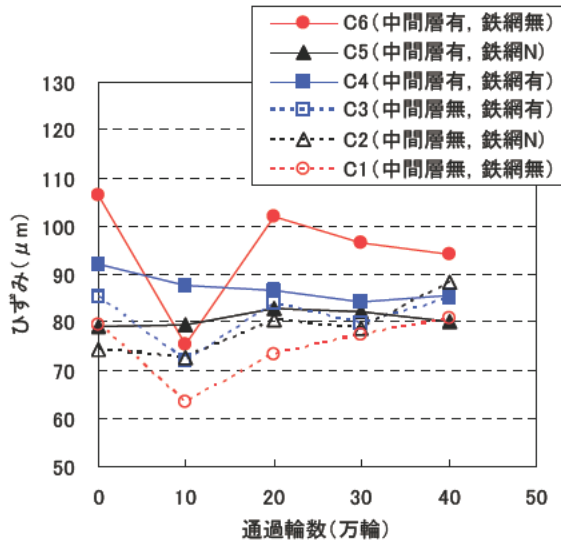
4) 土圧 P

(荷重 10t 載荷時)

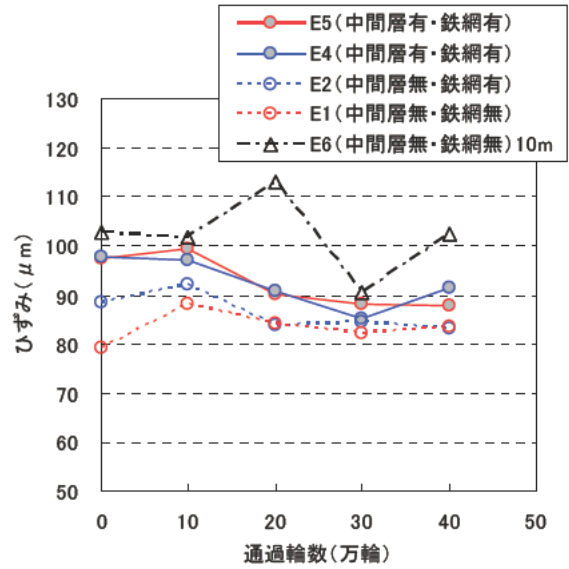
設置位置	土圧 (kPa)							
	P1:ひび割れ (中間層無・鉄網無)	P2:目地 (中間層無)	P3:ひび割れ (中間層有・鉄網有)	P4:ひび割れ (中間層有・鉄網有)	P5:目地 (中間層有)	P6:ひび割れ (中間層有・鉄網有)		
通過輪数 (万輪)	0	10	20	30	40			
路盤上面	6.18	13.41	11.10	11.39	17.80	11.22		
	5.78	10.32	0.89	16.23	11.93	3.36		
	15.68	13.39	16.13	9.47	18.71	10.09		
	48.50	8.46	0.27	10.43	21.96	7.47		
	65.94	6.85	16.03	8.95	28.60	8.20		
		P7 (中間層無)			P8 (中間層有)			
0		12.31			11.11			
10		13.02			8.50			
20		15.51			12.39			
30		16.39			15.07			
40		15.93			14.40			

5) 静的載荷試験 (通過輪数とひずみの変化)

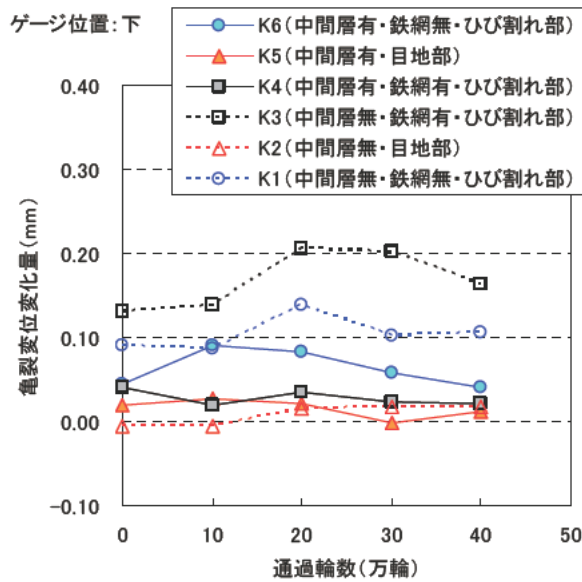
目地・ひび割れ部



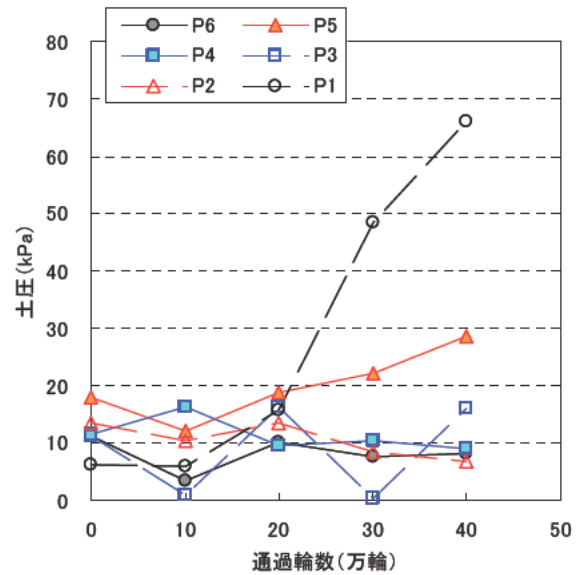
自由縁部



亀裂変位



土圧



4 FWD 測定

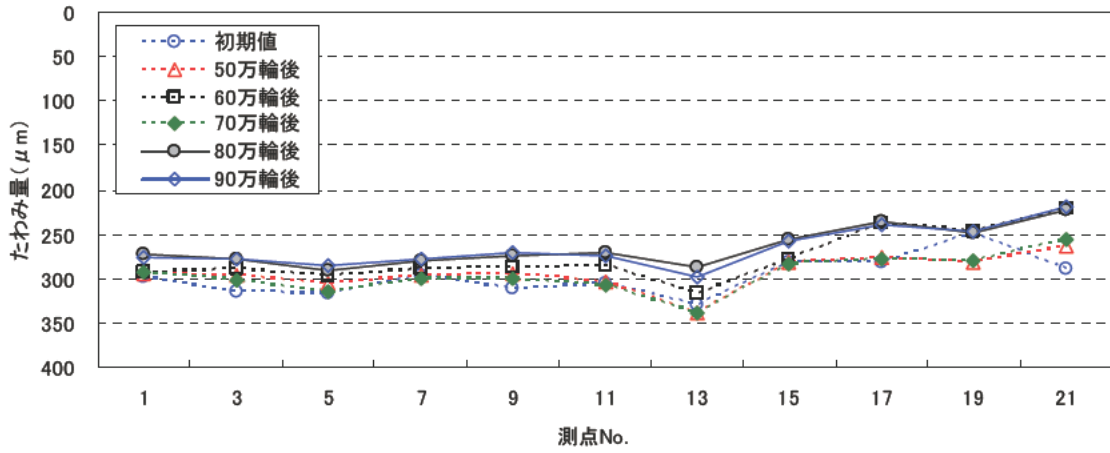
①版央 : 測定結果(各3回平均)(荷重補正後:基準荷重 98.07kN)

	測点	変位量 μm : センサー位置(mm)											路面温度 ($^{\circ}\text{C}$)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)
		-300	0	200	300	450	600	750	900	1200	1500	2000		
初期値 (H20)	1	288	299	289	284	274	260	248	235	203	166	132	9.9	13.2
	3	299	315	300	298	287	269	259	247	211	176	127	13.2	14.4
	5	310	318	311	309	303	288	279	266	236	205	164	13.6	14.1
	7	286	297	290	288	282	268	261	250	224	183	156	13.5	13.2
	9	300	311	306	303	295	279	268	258	224	184	150	13.0	13.3
	11	290	306	298	294	288	273	263	248	212	174	129	12.8	13.2
	13	310	331	318	311	300	282	267	253	212	173	128	12.6	13.1
	15	270	282	278	274	265	249	240	228	199	171	134	15.4	12.7
	17	262	282	273	269	259	247	237	224	199	183	139	13.8	12.4
	19	233	249	241	234	226	208	197	185	158	131	99	12.6	12.5
21	271	290	274	268	254	236	221	207	174	141	108	11.5	12.3	
50万輪後	1	280	294	283	279	262	253	243	228	199	173	131	22.6	20.7
	3	283	297	283	280	266	255	246	231	201	175	132	22.9	23.1
	5	291	307	297	296	282	273	266	252	230	215	194	23.9	22.1
	7	283	297	288	284	275	265	258	244	216	191	144	23.9	23.4
	9	281	294	283	284	269	258	250	238	213	197	180	25.3	23.8
	11	288	303	296	292	279	268	258	241	208	176	122	25.1	22.9
	13	318	338	324	317	302	288	274	255	218	188	130	25.6	23.5
	15	268	283	273	270	259	248	242	229	204	183	143	26.3	23.3
	17	261	277	267	263	251	241	232	219	190	166	123	26.6	23.6
	19	267	281	270	266	251	240	231	214	184	161	122	26.8	22.6
21	247	263	253	253	240	230	223	210	184	163	126	27.4	22.9	
60万輪後	1	279	293	284	278	265	252	245	230	201	178	135	25.5	29.7
	3	274	289	282	276	265	254	246	232	205	180	143	26.6	30.4
	5	286	296	293	289	279	271	265	255	236	234	237	26.7	30.7
	7	278	290	282	281	269	260	254	241	212	188	140	29.1	32.5
	9	276	288	279	278	265	255	250	236	214	209	211	29.4	33.9
	11	271	286	277	277	262	251	241	226	192	165	118	28.7	33.1
	13	299	318	305	300	284	270	258	242	208	182	139	29.4	33.2
	15	270	278	271	267	256	248	241	228	203	184	150	29.3	32.7
	17	224	238	230	228	214	207	199	187	164	146	114	29.8	33.1
	19	235	247	235	234	220	209	200	186	160	141	120	29.4	31.9
21	207	221	213	211	200	191	184	174	152	135	105	29.2	33.8	
70万輪後	1	281	293	283	283	267	255	247	232	204	179	138	24.0	25.4
	3	289	302	291	285	278	265	257	241	212	183	137	26.5	27.3
	5	297	315	305	299	289	281	276	265	242	229	210	26.7	27.1
	7	291	300	296	293	284	273	267	252	225	200	150	26.9	27.5
	9	287	301	294	289	279	269	263	251	230	219	206	27.6	27.0
	11	293	308	298	294	283	270	260	243	211	180	126	28.0	26.5
	13	321	339	328	321	305	289	277	263	225	194	141	28.6	26.8
	15	277	284	280	277	264	257	250	238	213	192	155	28.5	27.2
	17	264	279	269	265	254	242	234	223	194	171	130	28.4	26.9
	19	269	281	273	268	254	241	235	216	192	171	140	28.9	28.2
21	239	256	249	246	234	224	218	206	181	161	124	30.2	28.5	
80万輪後	1	259	274	266	261	249	235	229	214	190	167	129	6.6	10.5
	3	265	278	274	269	258	242	238	224	195	171	133	7.4	10.6
	5	274	291	280	275	267	256	250	241	221	214	215	7.3	10.6
	7	264	279	272	269	249	248	243	231	207	181	135	7.6	10.4
	9	262	274	265	263	250	241	232	221	203	197	194	7.6	10.5
	11	256	271	262	262	247	237	229	213	185	159	110	7.7	10.3
	13	271	288	278	275	258	246	238	224	198	176	143	8.0	11.2
	15	245	256	246	242	241	223	217	207	188	172	140	8.1	11.2
	17	224	236	230	230	218	208	201	190	170	153	122	9.2	12.4
	19	234	248	241	237	222	211	204	193	171	156	138	9.0	12.0
21	207	223	216	213	201	193	186	176	157	141	110	9.4	12.7	
90万輪後	1	263	276	265	260	246	233	227	213	187	163	128	9.0	5.5
	3	268	279	271	271	253	240	237	223	198	172	137	10.8	6.1
	5	276	285	281	277	264	255	251	239	221	214	212	10.6	6.7
	7	268	279	272	269	259	248	245	234	207	182	139	10.8	6.6
	9	264	272	267	265	250	239	234	222	205	195	197	11.6	7.5
	11	259	275	267	264	251	238	231	218	187	158	112	11.5	7.3
	13	280	298	287	280	263	249	241	225	198	172	133	12.1	7.5
	15	251	257	252	250	235	227	222	211	188	171	140	12.2	7.8
	17	226	240	231	229	216	206	203	191	168	150	119	12.1	8.2
	19	230	246	236	232	218	207	201	187	165	148	128	11.7	8.9
21	205	220	212	208	199	188	184	173	153	135	107	12.1	8.3	

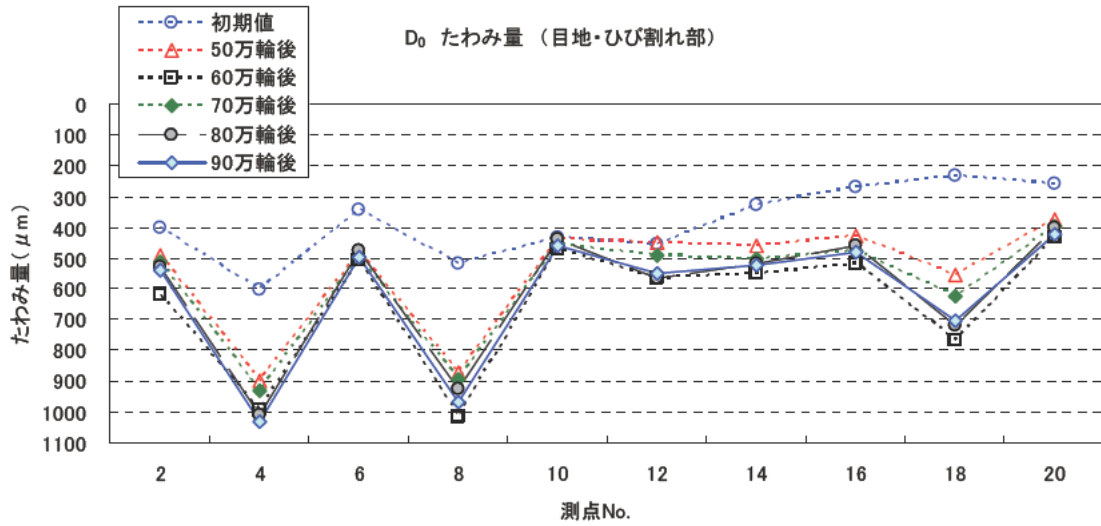
②目地およびひび割れ部 : 測定結果(各3回平均)(荷重補正後:基準荷重 98.07kN)

測定時	測点	変位量 μm :センサー位置(mm)											路面温度 ($^{\circ}\text{C}$)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	荷重 伝達率 (%)
		-300	0	200	300	450	600	750	900	1200	1500	2000			
初期値 (H20)	2	349	401	412	393	362	332	302	277	228	174	126	11.2	14.6	99
	4	511	604	366	351	329	302	281	258	211	175	121	12.1	13.8	74
	6	315	345	337	327	311	295	285	265	233	175	159	12.4	13.4	97
	8	443	519	401	386	360	328	305	280	231	191	136	12.1	13.2	85
	10	367	432	439	420	387	351	323	297	242	178	138	12.2	13.0	99
	12	390	456	413	393	363	329	307	277	226	163	125	13.2	13.1	93
	14	305	325	313	306	293	276	260	247	209	163	124	11.9	12.7	97
	16	262	269	264	260	254	242	234	223	198	173	139	12.0	12.4	98
	18	218	233	223	218	209	196	189	179	154	126	104	12.8	12.5	97
	20	245	261	248	246	234	217	207	193	163	135	99	12.6	12.7	97
50万輪後	2	415	491	424	404	365	332	307	276	223	182	119	23.4	22.1	90
	4	753	897	188	182	170	159	151	140	123	109	91	23.3	22.6	34
	6	411	484	420	403	368	339	315	287	240	203	146	23.8	22.7	91
	8	735	871	175	169	156	146	142	133	118	105	86	25.6	23.0	32
	10	375	441	417	397	360	328	305	277	229	189	135	24.5	22.9	95
	12	384	447	353	338	308	283	264	240	198	166	116	25.5	23.5	86
	14	389	457	299	289	267	250	234	215	180	151	106	26.7	23.1	77
	16	366	431	345	330	304	281	263	242	204	173	125	26.2	23.2	87
	18	455	555	210	201	185	173	162	146	122	104	75	27.0	23.3	53
	20	320	376	335	316	285	263	241	218	178	150	103	27.2	23.1	91
60万輪後	2	519	619	555	525	478	436	401	361	293	236	156	26.4	30.1	92
	4	836	996	204	200	185	172	164	154	133	118	92	27.6	31.6	33
	6	432	510	449	429	391	358	333	306	252	215	154	28.1	31.4	91
	8	850	1014	150	147	138	131	126	118	106	97	84	28.8	31.4	25
	10	399	473	452	429	390	357	330	297	244	203	144	29.3	32.6	95
	12	473	566	331	318	289	265	246	225	184	152	105	29.6	33.6	72
	14	464	550	292	281	259	238	225	205	172	146	106	30.0	33.1	68
	16	433	518	348	333	306	285	265	242	203	172	124	29.6	32.6	78
	18	625	765	140	139	128	120	114	106	91	80	63	29.9	32.1	31
	20	361	431	365	348	310	284	258	232	186	153	104	29.2	33.1	89
70万輪後	2	436	514	441	420	389	348	322	286	237	192	127	26.1	26.6	90
	4	779	932	163	157	150	139	134	125	111	102	84	27.0	27.1	29
	6	419	496	431	415	379	351	328	301	251	213	154	27.0	27.7	91
	8	749	894	166	161	152	144	139	132	115	103	87	27.8	27.0	31
	10	385	454	420	399	363	334	309	282	231	194	140	27.7	26.6	94
	12	420	491	329	317	288	267	249	230	188	159	112	29.0	27.3	78
	14	427	502	295	287	262	244	231	212	179	151	108	29.1	27.8	73
	16	403	477	356	339	313	290	272	249	210	177	127	28.5	26.5	83
	18	514	623	187	180	166	155	147	129	114	98	74	29.1	27.6	45
	20	339	398	344	329	294	272	252	228	185	156	109	29.7	28.2	91
80万輪後	2	449	530	465	440	399	363	334	299	245	196	130	7.3	11.0	91
	4	851	1011	111	108	105	99	96	91	85	79	68	7.3	10.5	19
	6	407	479	408	393	355	327	305	271	233	195	142	7.6	10.3	90
	8	776	926	134	128	128	114	112	102	95	88	76	7.4	10.5	24
	10	372	438	415	392	356	327	303	273	224	187	134	7.5	10.6	94
	12	471	568	277	264	241	221	207	187	155	128	88	8.0	11.0	63
	14	440	516	257	246	222	209	196	179	152	129	95	8.4	11.3	65
	16	388	458	324	311	283	261	244	224	189	161	116	8.4	11.6	81
	18	590	717	143	139	130	121	115	107	92	79	62	8.7	11.9	33
	20	342	402	316	302	269	248	228	206	170	142	101	10.9	12.8	86
90万輪後	2	456	538	464	442	400	361	336	304	245	196	128	10.4	6.4	90
	4	866	1032	128	136	121	112	113	105	96	88	77	10.4	6.4	23
	6	422	498	413	397	360	329	308	279	232	197	141	11.2	7.0	89
	8	816	968	137	134	127	119	116	109	98	90	78	11.2	6.9	24
	10	392	460	415	394	357	325	302	272	223	185	133	11.3	7.0	92
	12	455	547	290	276	251	230	217	196	161	132	93	11.9	7.1	67
	14	440	523	259	250	228	209	199	180	152	127	95	12.5	7.7	65
	16	407	483	326	315	286	262	248	226	189	158	112	12.5	8.4	79
	18	580	705	143	139	128	119	115	107	92	80	62	12.3	8.2	33
	20	351	421	325	308	277	249	234	209	169	138	97	15.7	8.3	85

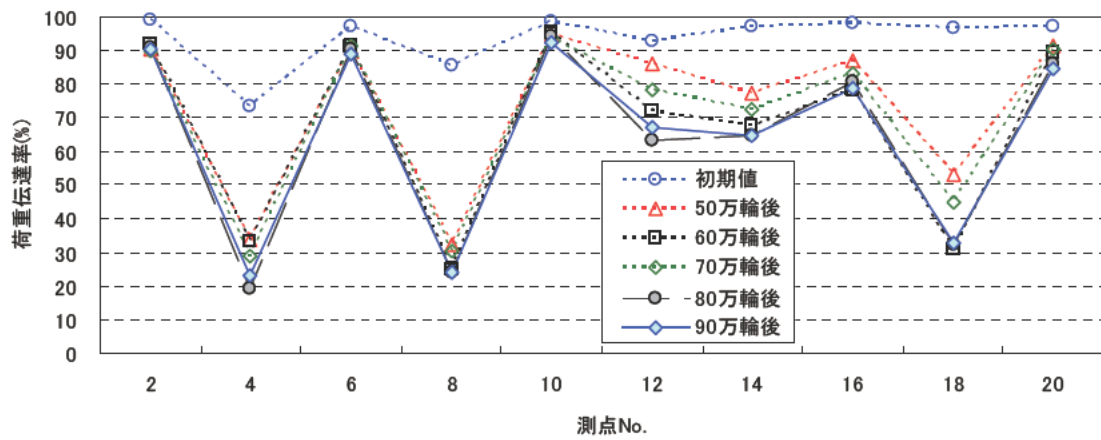
D₀ たわみ量 (版央)



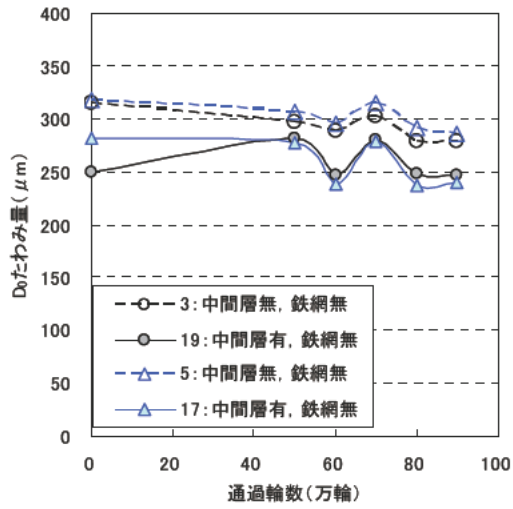
D₀ たわみ量 (目地・ひび割れ部)



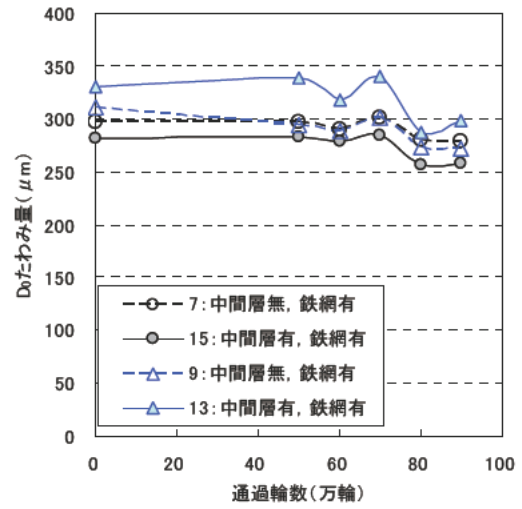
荷重伝達率



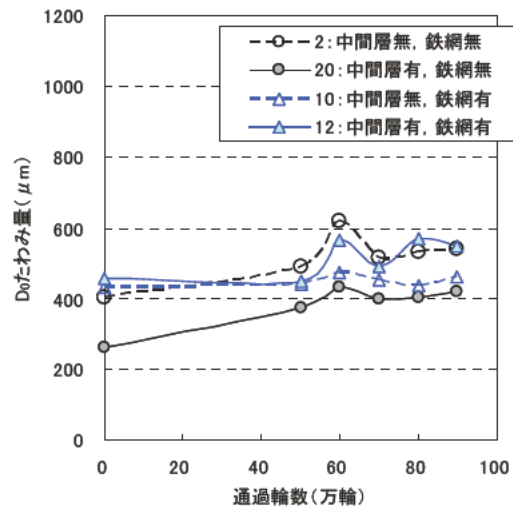
版央（鉄網無）



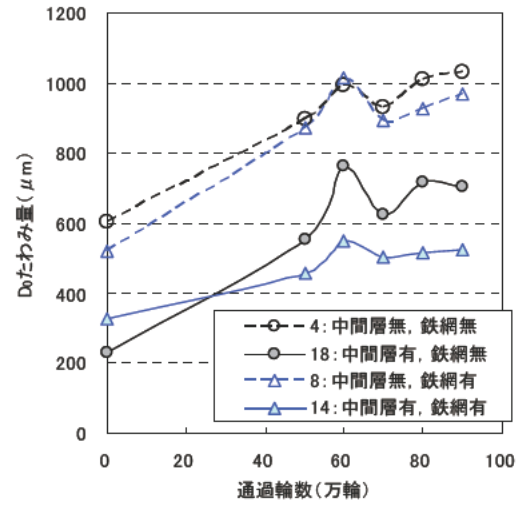
版央（鉄網有）



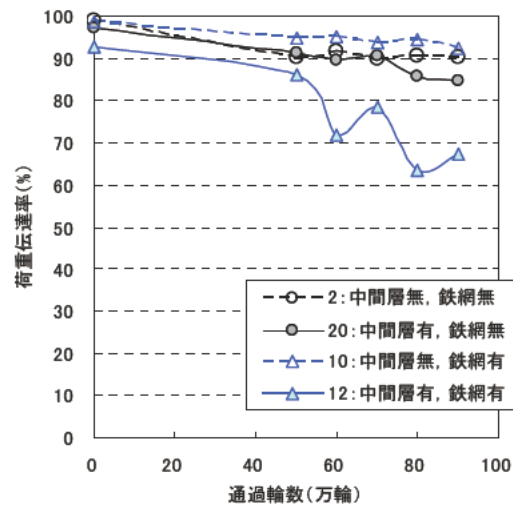
目地部



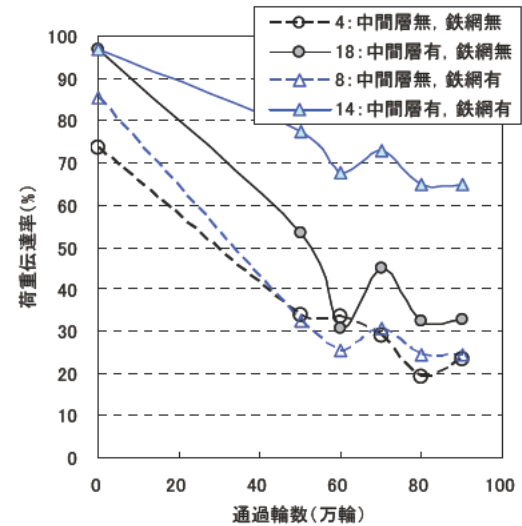
ひび割れ部



荷重伝達率（目地部）



荷重伝達率（ひび割れ部）

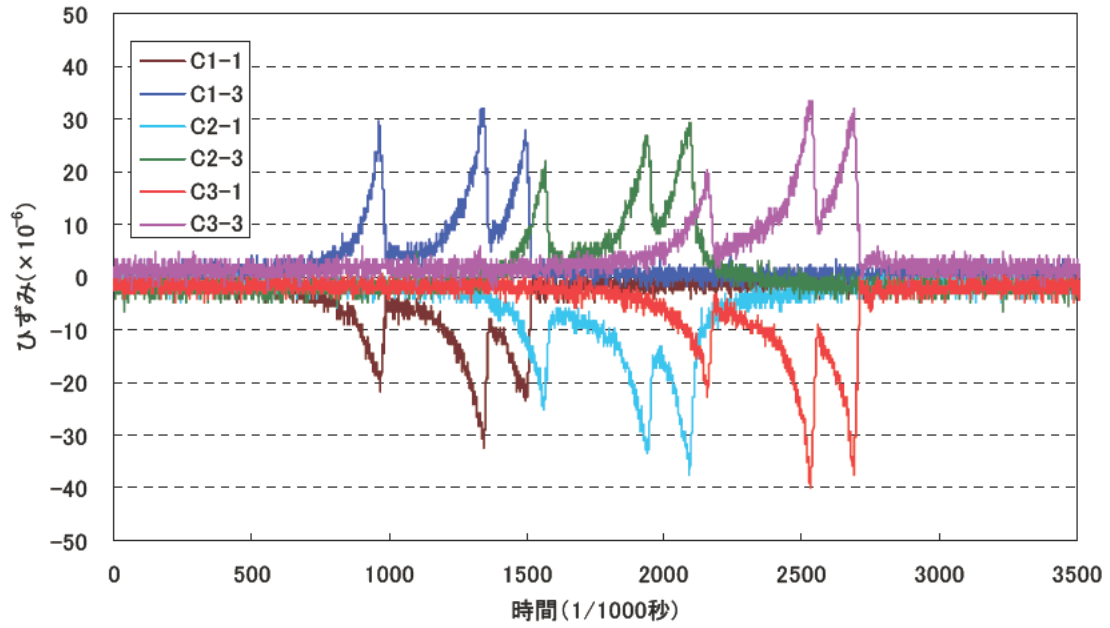


5 動的載荷試験

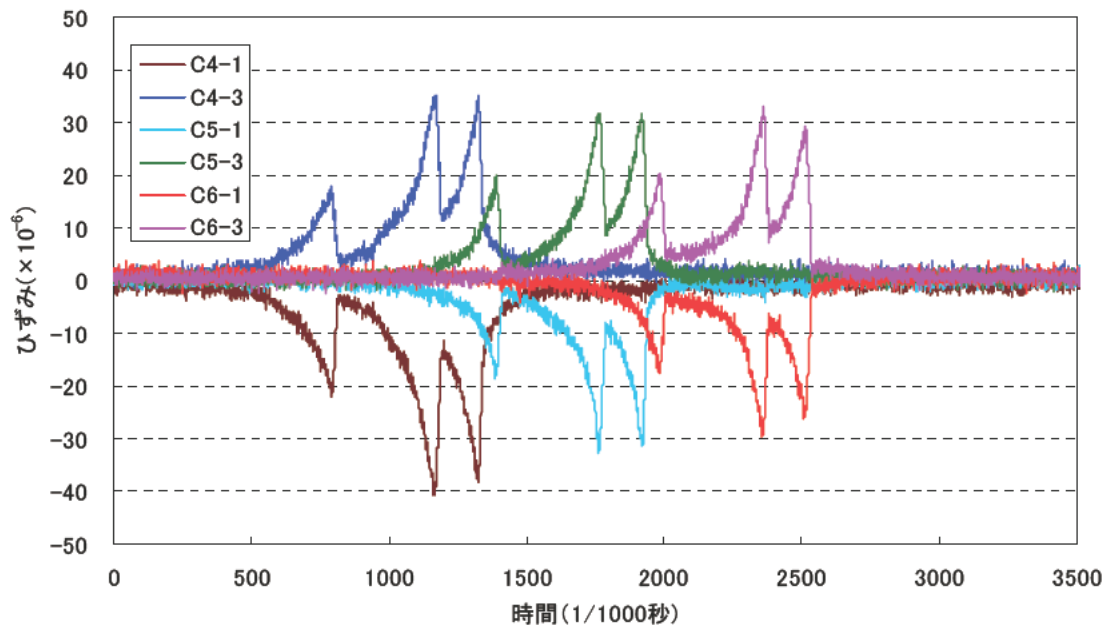
1) 動的載荷試験結果例

・ひび割れ部および目地部ひずみ C

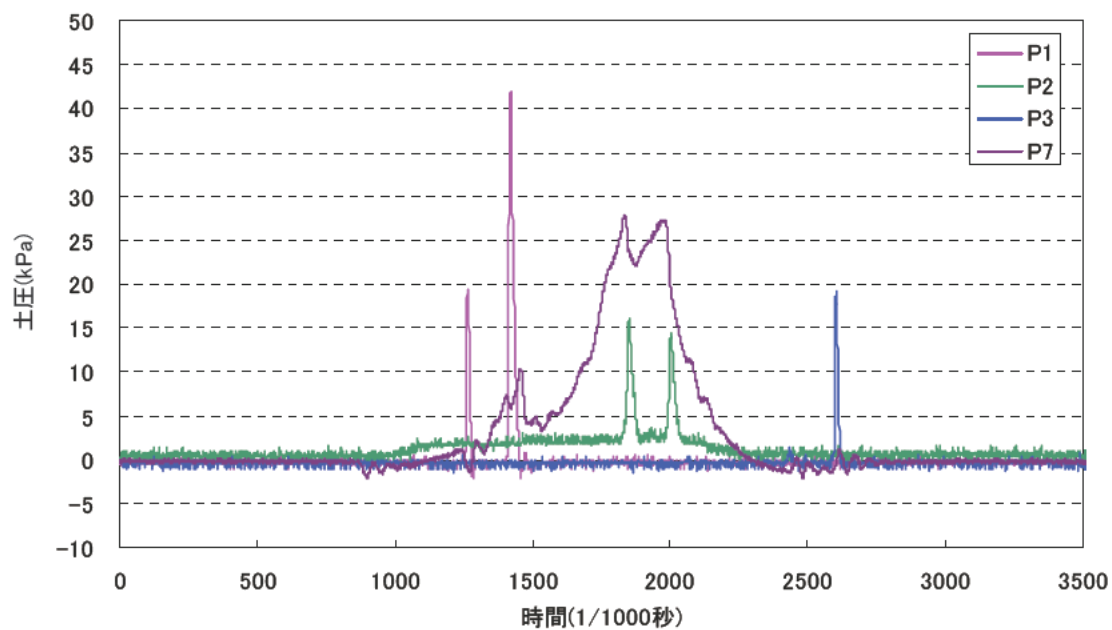
(中間層無工区)



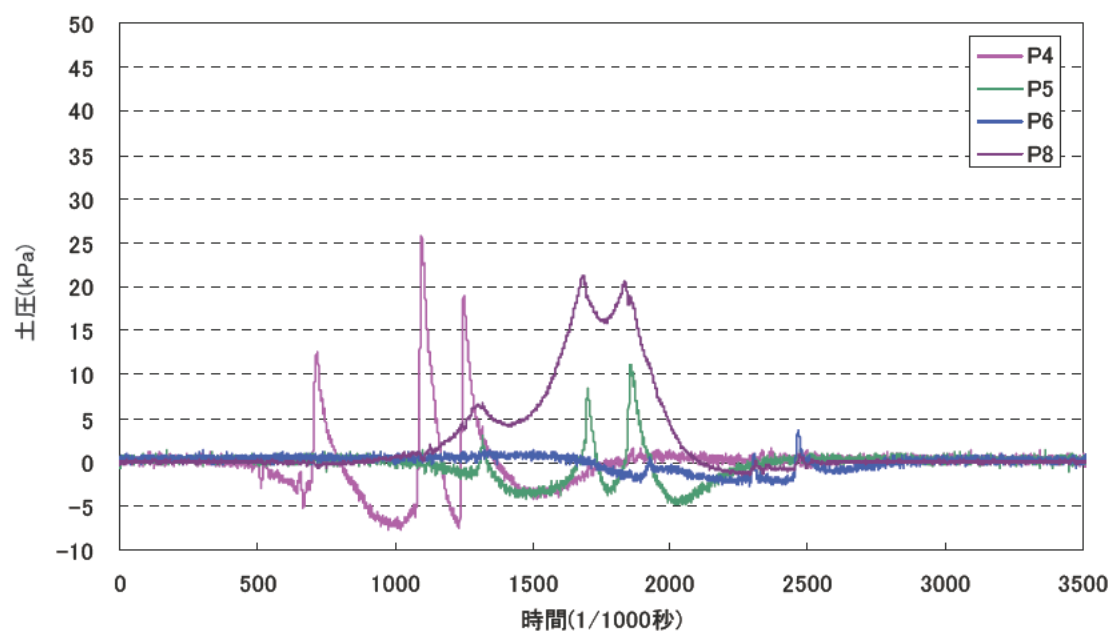
(中間層有工区)



・土圧 P
(中間層無工区)



(中間層有工区)



・ひび割れ部および目地部 C

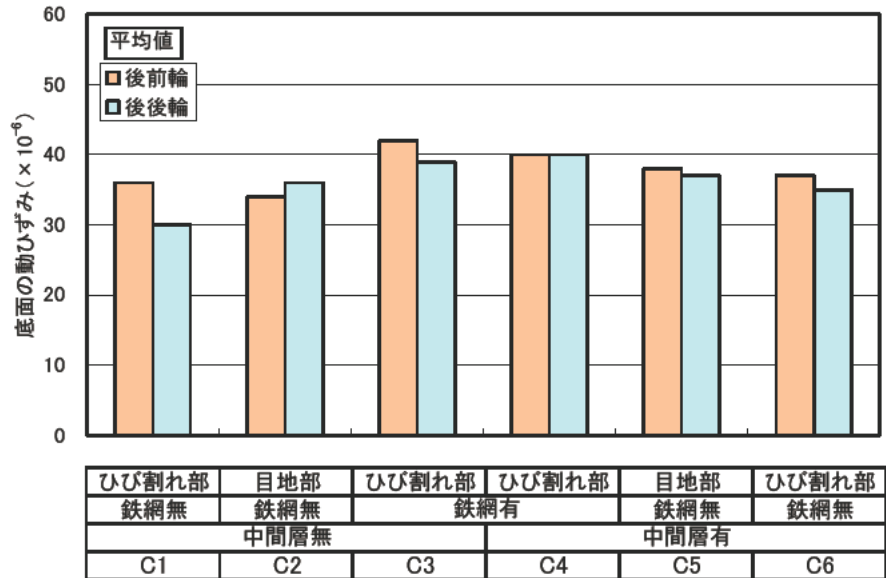
(測定値：上面 2.5cm, 下面 22.5cm)

測定位置	鉄網	中間層	計器 No.	測定位置 (厚さ方向)	荷重	ピークひずみ (×10 ⁻⁶)															最大値(☆)	最小値(○)	平均							
						1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	11回目	12回目	13回目	14回目	15回目										
ひび割れ部	無		C1	上面 (2.5cm)	前輪	-23	-27	-23	-21	-20	-22	-20	-22	-20	-23	-23	-27	-22	-19	-22	-19	-22	-22							
					後前輪	-27	-30	-27	-24	-27	-32	-32	-30	-23	-27	-27	-23	-24	-31	-23	-31	-23	-24	-31	-31					
					後後輪	-23	-23	-20	-22	-20	-23	-22	-22	-20	-23	-19	-25	-23	-19	-23	-19	-23	-19	-23	-19	-23				
				下面 (22.5cm)	前輪	28	21	25	27	30	30	30	30	26	27	30	25	25	27	30	29	30	30	29	30	30	21	27		
					後前輪	29	22	26	29	33	32	32	32	32	32	30	26	26	26	31	32	34	34	32	34	34	22	28		
					後後輪	24	18	21	24	28	28	27	27	27	27	25	21	21	21	24	24	27	32	27	32	32	18	25		
目地部	-	無	C2	上面 (2.5cm)	前輪	-24	-24	-25	-26	-26	-25	-24	-26	-29	-24	-22	-28	-27	-25	-26	-22	-28	-27	-25	-26	-29	-25			
					後前輪	-29	-28	-29	-30	-31	-33	-32	-34	-37	-27	-25	-30	-31	-33	-33	-25	-37	-30	-31	-33	-33	-25	-37		
					後後輪	-32	-27	-32	-33	-33	-34	-35	-35	-37	-29	-26	-31	-31	-35	-35	-26	-38	-30	-31	-35	-35	-26	-38		
				下面 (22.5cm)	前輪	22	24	21	25	28	22	22	22	22	24	24	24	24	24	24	26	27	28	24	24	26	27	28	21	24
					後前輪	25	25	24	28	30	27	29	30	28	24	23	28	24	23	28	27	29	30	28	27	29	30	30	23	27
					後後輪	27	26	24	30	33	29	32	32	29	26	24	26	24	26	31	31	32	33	26	31	31	32	33	24	28
ひび割れ部	有		C3	上面 (2.5cm)	前輪	-23	-24	-24	-23	-23	-23	-19	-22	-23	-23	-27	-23	-25	-25	-22	-22	-19	-23	-25	-25	-19	-27	-23		
					後前輪	-34	-30	-31	-35	-39	-40	-38	-40	-37	-31	-32	-30	-36	-42	-38	-30	-42	-30	-36	-42	-38	-30	-42		
					後後輪	-28	-28	-27	-29	-33	-38	-37	-35	-30	-27	-27	-28	-30	-35	-27	-28	-35	-27	-28	-30	-35	-27	-38		
				下面 (22.5cm)	前輪	27	28	28	27	22	21	17	20	24	30	29	28	25	21	20	20	30	30	29	28	25	21	20	30	17
					後前輪	34	33	33	35	34	34	34	31	34	34	33	34	34	34	34	34	35	34	33	34	34	32	34	31	34
					後後輪	32	30	30	32	31	32	32	30	32	29	30	31	33	33	30	31	33	33	30	31	33	30	31	33	29
ひび割れ部	有		C4	上面 (2.5cm)	前輪	-	-	-	-17	-	-14	-12	-	-	-20	-22	-20	-17	-12	-12	-20	-17	-15	-12	-12	-22	-17			
					後前輪	-	-	-	-40	-	-37	-33	-	-40	-41	-40	-38	-41	-40	-35	-33	-41	-40	-41	-40	-35	-33	-41		
					後後輪	-	-	-	-40	-	-36	-33	-	-38	-38	-39	-36	-34	-36	-34	-33	-40	-36	-38	-39	-36	-34	-33	-40	
				下面 (22.5cm)	前輪	-	-	-	12	9	8	8	8	18	18	14	14	10	10	10	18	18	18	14	14	10	10	18	8	
					後前輪	-	-	-	33	27	24	24	24	36	35	33	34	34	30	27	36	36	36	33	34	30	27	36	24	
					後後輪	-	-	-	33	28	25	25	25	37	35	33	33	33	30	29	37	37	37	35	33	30	29	37	25	
目地部	-	有	C5	上面 (2.5cm)	前輪	-	-	-	-14	-	-10	-7	-	-	-15	-19	-16	-14	-10	-10	-16	-14	-10	-10	-7	-19				
					後前輪	-	-	-	-29	-	-24	-21	-	-32	-33	-33	-30	-24	-24	-21	-33	-33	-33	-30	-24	-24	-21	-33		
					後後輪	-	-	-	-30	-	-21	-20	-	-34	-31	-33	-30	-25	-21	-20	-20	-34	-31	-33	-30	-25	-21	-20	-34	
				下面 (22.5cm)	前輪	-	-	-	15	9	8	8	8	16	16	12	13	10	10	20	8	20	16	12	13	10	10	20	8	
					後前輪	-	-	-	33	28	27	27	27	33	32	32	31	32	30	33	33	30	33	32	31	32	30	33	27	
					後後輪	-	-	-	31	29	29	29	29	31	32	31	32	31	29	30	32	27	32	31	31	29	30	32	27	
ひび割れ部	無		C6	上面 (2.5cm)	前輪	-	-	-	-13	-	-9	-7	-	-	-17	-18	-17	-14	-9	-9	-17	-14	-11	-9	-7	-18				
					後前輪	-	-	-	-27	-	-28	-25	-	-27	-30	-29	-27	-26	-26	-25	-30	-27	-29	-29	-27	-26	-25	-30		
					後後輪	-	-	-	-25	-	-23	-22	-	-26	-26	-27	-26	-24	-23	-23	-26	-23	-26	-27	-26	-24	-23	-26		
				下面 (22.5cm)	前輪	-	-	-	16	10	11	11	11	19	20	18	14	12	9	20	9	20	19	20	18	14	12	9	20	
					後前輪	-	-	-	31	29	27	27	27	31	32	33	30	31	31	27	33	31	31	32	33	30	31	27	30	
					後後輪	-	-	-	30	27	27	27	27	29	29	29	28	28	28	28	28	28	28	29	29	28	28	28	28	

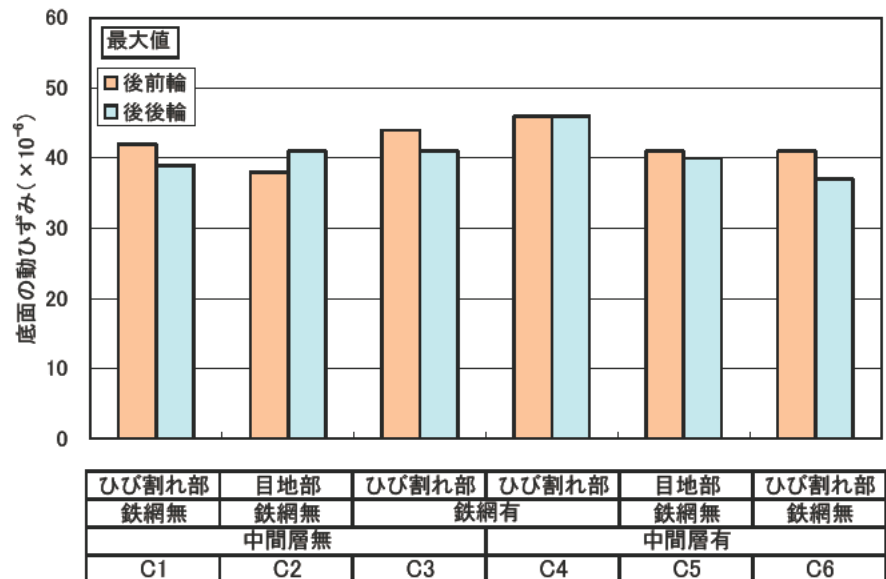
(計算値：表面 0cm,底面 25cm)

測定位置	鉄網	中間層	計器 No.	測定位置 (厚さ方向)	荷重	ピークひずみ (×10 ⁻⁶)															平均						
						1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	11回目	12回目	13回目	14回目	15回目		最大値(+) 最小値(-)					
ひび割れ部	無		C1	表面 (0cm)	前輪	-29	-33	-29	-27	-26	-29	-26	-28	-26	-29	-29	-29	-34	-29	-29	-25	-29	-25	-34	-28		
				後前輪	-34	-37	-34	-31	-35	-40	-40	-38	-30	-34	-34	-34	-34	-30	-31	-39	-39	-30	-31	-30	-40	-34	
				後後輪	-29	-28	-25	-28	-26	-29	-28	-28	-26	-29	-24	-31	-29	-25	-30	-24	-30	-25	-30	-25	-31	-28	
				前輪	34	27	31	33	36	37	32	33	36	31	31	34	37	35	37	37	37	37	35	37	27	34	
				後前輪	36	29	33	36	41	40	40	40	40	37	33	33	33	38	39	42	42	42	39	42	29	36	
				後後輪	30	23	26	30	34	34	33	33	33	31	27	26	27	30	33	39	39	39	33	39	23	30	
目地部	-	無	C2	表面 (0cm)	前輪	-30	-30	-31	-32	-33	-31	-30	-32	-36	-30	-28	-35	-33	-31	-33	-28	-35	-33	-31	-32	-32	
				後前輪	-36	-35	-36	-37	-39	-41	-40	-42	-45	-33	-31	-37	-38	-41	-41	-41	-41	-37	-38	-41	-31	-38	
				後後輪	-39	-34	-39	-41	-41	-46	-42	-43	-45	-36	-32	-38	-39	-43	-43	-32	-38	-39	-43	-43	-32	-46	-40
				前輪	28	30	27	31	35	28	28	28	31	31	30	28	31	30	32	34	35	34	32	34	27	30	
				後前輪	32	32	31	35	38	35	37	38	38	36	30	29	35	34	37	38	38	35	34	37	29	34	
				後後輪	34	33	31	38	41	37	40	40	40	37	33	30	33	39	39	40	41	39	39	39	30	38	
ひび割れ部	有		C3	表面 (0cm)	前輪	-29	-31	-31	-29	-29	-29	-24	-27	-30	-30	-34	-29	-31	-31	-27	-24	-29	-31	-31	-24	-28	
				後前輪	-43	-38	-39	-44	-48	-49	-47	-49	-46	-39	-40	-38	-45	-51	-47	-38	-45	-51	-47	-38	-51	-44	
				後後輪	-36	-35	-34	-37	-41	-47	-46	-43	-38	-34	-34	-35	-38	-43	-34	-34	-34	-35	-38	-43	-34	-38	-39
				前輪	33	35	35	33	28	27	22	25	30	37	36	34	31	27	25	37	37	34	31	27	22	30	
				後前輪	43	41	41	44	43	43	43	40	43	42	41	42	43	41	43	44	44	42	43	41	43	40	42
				後後輪	40	37	37	40	39	41	41	38	40	40	36	37	38	41	38	39	41	38	41	38	39	41	39
ひび割れ部	有		C4	表面 (0cm)	前輪	-	-	-	-21	-17	-15	-	-	-	-25	-27	-24	-21	-18	-15	-24	-21	-15	-27	-20		
				後前輪	-	-	-	-49	-	-45	-40	-	-50	-51	-49	-50	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-47	
				後後輪	-	-	-	-49	-	-44	-40	-	-47	-47	-47	-47	-47	-44	-42	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-45	
				前輪	-	-	-	16	-	12	11	-	23	23	18	18	13	13	23	23	11	18	13	13	11	18	
				後前輪	-	-	-	42	-	35	31	-	46	45	42	43	39	35	46	46	31	40	43	39	35	40	
				後後輪	-	-	-	42	-	42	32	-	46	44	42	42	38	37	46	46	32	40	42	38	37	40	
目地部	-	有	C5	表面 (0cm)	前輪	-	-	-	-18	-	-12	-9	-	-19	-24	-20	-17	-13	-13	-24	-20	-17	-13	-18	-18		
				後前輪	-	-	-	-37	-	-31	-27	-	-40	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-35	
				後後輪	-	-	-	-38	-	-27	-26	-	-42	-39	-41	-38	-32	-32	-27	-26	-26	-26	-32	-32	-27	-42	-34
				前輪	-	-	-	19	-	11	10	-	20	25	20	15	16	13	25	25	10	16	13	13	10	16	
				後前輪	-	-	-	41	-	35	33	-	41	40	40	39	39	37	41	41	33	38	39	39	37	38	
				後後輪	-	-	-	39	-	35	33	-	39	40	39	40	39	38	40	40	33	40	39	38	40	33	37
ひび割れ部	無		C6	表面 (0cm)	前輪	-	-	-	-17	-	-11	-9	-	-22	-23	-21	-18	-14	-11	-23	-21	-18	-14	-23	-18		
				後前輪	-	-	-	-34	-	-35	-32	-	-36	-38	-36	-37	-34	-33	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-35	
				後後輪	-	-	-	-32	-	-29	-28	-	-33	-33	-34	-33	-31	-29	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-31	
				前輪	-	-	-	20	-	12	13	-	24	25	22	18	15	11	25	25	11	18	15	15	11	18	
				後前輪	-	-	-	38	-	36	34	-	40	41	37	39	38	34	41	41	34	38	34	38	34	37	
				後後輪	-	-	-	37	-	33	33	-	36	36	35	35	35	35	34	34	34	34	35	35	35	34	35

(平均値：底面 25cm)



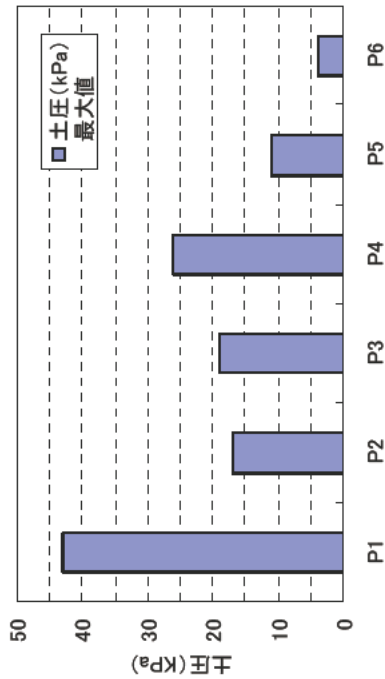
(最大値：底面 25cm)



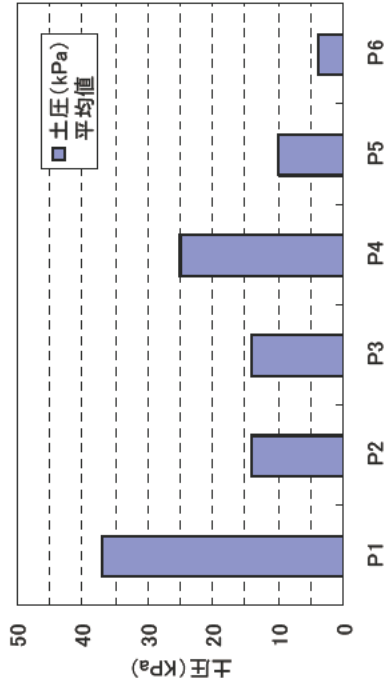
・土圧計 P

測定位置	中間層	計器 No.	最大土圧 (kPa)															最大値	平均
			1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	11回目	12回目	13回目	14回目	15回目		
路盤上面	無	P1	37	33	34	38	37	41	42	42	39	31	29	34	35	37	43	37	
		P2	15	12	14	14	17	15	14	16	14	14	12	11	11	14	13	15	14
		P3	12	12	11	14	16	17	19	19	15	8	9	12	12	14	16	19	14
路床		P7	27	26	27	27	28	28	28	28	27	27	26	28	28	28	28	27	27
路盤上面	有	P4	-	-	-	25	-	25	26	-	-	26	25	25	26	25	26	25	25
		P5	-	-	-	11	-	11	10	10	-	11	11	11	10	10	9	11	11
		P6	-	-	-	4	-	4	4	4	-	4	3	4	4	3	4	4	4
路床		P8	-	-	-	23	-	22	22	22	21	22	22	22	22	22	22	22	22

(路盤上面：最大値)



(路盤上面：平均値)

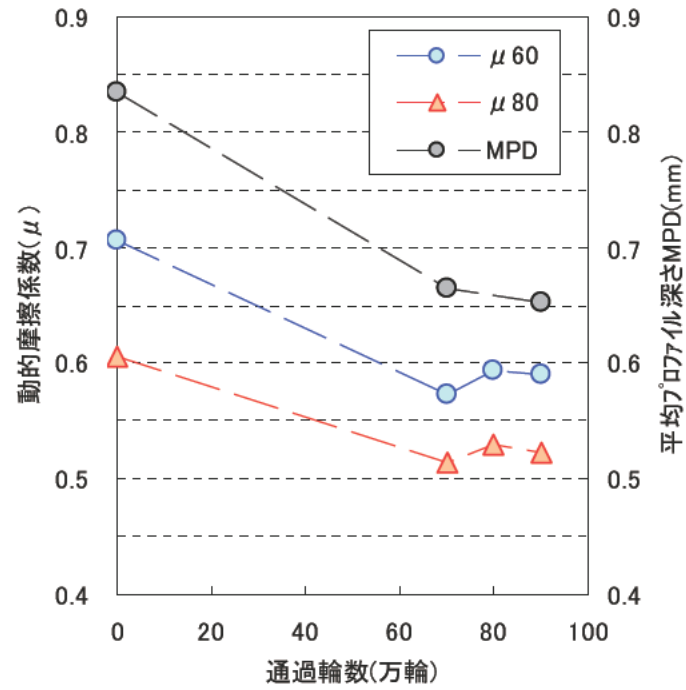


6 舗装表面性状測定結果

1) 測定データ：すべり抵抗値ときめ深さ

工区	測点	測定位置	49kN 換算輪数 (万輪)	滑り摩擦係数(μ)		きめ深さ MPD (mm)
				測定速度 (km/hr)		
				60	80	
0731 5工区	1	外側 非走行部	70	0.73	0.62	0.88
			80	0.75	0.62	—
			90	0.74	0.62	0.84
	2	OWP 走行部	70	0.59	0.53	0.56
			80	0.59	0.53	—
			90	0.60	0.53	0.67
	3	BWP 非走行部	70	0.67	0.59	0.77
			80	0.67	0.59	—
			90	0.67	0.58	0.73
	4	IWP 走行部	70	0.59	0.53	0.63
			80	0.59	0.54	—
			90	0.59	0.51	0.69
	5	内側 非走行部	70	0.68	0.59	0.74
			80	0.73	0.62	—
			90	0.74	0.61	0.95
0731 7工区	1	外側 非走行部	70	0.71	0.62	0.83
			80	0.76	0.64	—
			90	0.73	0.64	1.00
	2	OWP 走行部	70	0.57	0.51	0.72
			80	0.59	0.52	—
			90	0.59	0.53	0.59
	3	BWP 非走行部	70	0.66	0.58	0.77
			80	0.67	0.59	—
			90	0.70	0.60	0.73
	4	IWP 走行部	70	0.54	0.50	0.75
			80	0.60	0.53	—
			90	0.59	0.52	0.66
	5	内側 非走行部	70	0.72	0.59	1.00
			80	0.71	0.61	—
			90	0.70	0.60	0.78
平均値	走行部	70	0.57	0.52	0.67	
		80	0.59	0.53	—	
		90	0.59	0.52	0.65	
	非走行部	70	0.69	0.60	0.83	
		80	0.71	0.61	—	
		90	0.71	0.61	0.84	

2) 通過輪数とすべり抵抗・キメ深さの変化



付録2. 試験施工に使用した材料成績表

レディーミクストコンクリート試験練り報告書

No. _____

平成19年11月30日

前田道路株式会社 殿

日本工業規格表示認定工場 第 366141 号
 新県南生コン株式会社 土浦工場
 茨城県土浦市中 8 6 0 番地 2
 TEL (029) 841-0903

工事名称	実験コンクリート												
所在地	土木研究所内												
試験番号				整理番号									
試験実施日	平成19年11月30日			天候	曇			室温	15.0 °C		湿度	68 %	
配合の設計条件													
呼び方	コンクリートの種類による記号 舗装			呼び強度	スランプ 又はスランプフロー cm			粗骨材の最大寸法 mm		セメントの種類による記号			
				曲げ4.5	2.5			20		N			
指定事項	セメントの種類	呼び方欄に記載			空気量			-					
	骨材の種類	使用材料欄に記載			軽量コンクリートの単位容積質量			-					
	粗骨材の最大寸法	呼び方欄に記載			コンクリートの温度			-					
	アルカリシリカ反応抑制対策の方法	A			水セメント比の上限值			-					
	骨材のアルカリ反応性による区分	使用材料欄に記載			単位水量の上限值			-					
	水の区分	使用材料欄に記載			単位水量の下限值又は上限値			-					
	混和材料の種類及び使用量	使用材料及び配合表欄に記載			流動化後のスランプ増大量			-					
	塩化物含有量	0.30 kg/m ³ 以下			7日								
呼び強度を保證する材齢													
配合表 kg/m ³													
セメント	混和材		水	細骨材			粗骨材			混和剤			
	①	②		①	②	③	①	②	③	④	①	②	③
368			149	508	174		1151				3.94		
バッチ容量	45 ℓ		水セメント比	40.5 %			細骨材率	38.1 %			配合強度	5.5 N/mm ²	
	No.	表面水率	吸水率	バッチ量	表面水補正	補正值	補正後	容器質量	計量値				
セメント	1	1		16.560			16.560	0.649	17.209				
水	1	1		6.705			6.705	0.667	7.372				
細骨材	1	1		22.860			22.860	1.170	24.030				
	2	2		7.830			7.830	1.170	9.000				
粗骨材	1	1		51.795			31.795	1.407	33.202				
	2						20.000	1.407	21.407				
	3												
	4												
混和剤	1	1		0.177			0.177	0.000	165cc				
混和材	1												
2													
試験結果													
練り混ぜ時間	スランプ (cm)	フロー値 (cm×cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)		単位容積質量 (kg/m ³)	塩化物含有量 (kg/m ³)						
90秒	6.0	X	4.9	17.0									
強度試験結果 (N/mm ²)													
材齢	1		材齢	4		材齢	7		材齢	10			
	2			5			8			11			
	3			6			9			12			
平均値			平均値			平均値			平均値				
備考													

コンクリート強度試験成績報告書

平成19年12月 3日

前田道路株式会社 殿

日本工業規格表示認定工場 第 366144 号
 新県南生コン(株) 土浦工場
 茨城県土浦市中860番地2
 TEL (0298) 41-0903

工 名	実験コンクリート									
打込箇所										
呼 び 方	コンクリートの種類による記号		呼び強度		スラング°又はスラング°フロー		粗骨材の最大寸法		セメントの種類による記号	
	舗装		曲げ4.5		2.5		20		H	
指 定 項	呼び強度を保証する材齢7日									
採 取 月 日	試 験 日	材 齢 (日)	番 号	スラング° (cm)	空 気 量 (%)	質 量 (kg)	最大荷重 (kN)	強 度 (N/mm ²)	平均強度 (N/mm ²)	摘 要
11/30	12/ 3	3	1	6.0	4.9	28.175	40.4	5.39	5.60	標準養生
			2			28.312	42.2	5.63		
			3			28.422	43.4	5.79		
備 考										
試験練り							供試体寸法 15×15×45			
立 会 者							担 当 者	松原 清二		

付録3. 全国での温度計測データ

付録 3. 全国の温度計測データ

北海道の温度差とその発生頻度

		版厚 (cm)						
		15	20	23	25	28	30	45
温度差 (°C)	20~	0.000	解析不能	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	19(18~19.9)	0.000		0.000	0.000	0.001	0.002	0.000
	17(16~17.9)	0.000		0.001	0.001	0.005	0.011	0.002
	15(14~15.9)	0.000		0.007	0.013	0.025	0.031	0.006
	13(12~13.9)	0.009		0.030	0.040	0.045	0.049	0.026
	11(10~11.9)	0.036		0.060	0.065	0.067	0.067	0.058
	9(8~9.9)	0.068		0.081	0.084	0.083	0.076	0.083
	7(6~7.9)	0.110		0.109	0.103	0.106	0.104	0.099
	5(4~5.9)	0.122		0.138	0.129	0.122	0.124	0.143
	3(2~3.9)	0.218		0.206	0.208	0.201	0.197	0.220
	1(0~1.9)	0.436		0.368	0.357	0.343	0.338	0.362
	-1(0.1~2.0)	0.536		0.447	0.462	0.410	0.392	0.397
	-3(2.1~4.0)	0.359		0.344	0.334	0.345	0.338	0.339
	-5(4.1~6.0)	0.103		0.170	0.162	0.174	0.179	0.166
	-7(6.1~8.0)	0.002		0.037	0.039	0.066	0.078	0.075
	-9(8.1~10.0)	0.000		0.001	0.002	0.005	0.014	0.022
	-10.1~	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.001

※15cm 約2ヶ月間データ欠損
 20cm 8月中旬以降解析不能(下の温度が異常)
 45cm 中の温度異常 上下を表面とみなして解析

宮城県の温度差とその発生頻度

		版厚 (cm)						
		15	20	23	25	28	30	45
温度差 (°C)	20~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	19(18~19.9)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000
	17(16~17.9)	0.000	0.001	0.000	0.010	0.029	0.008	0.004
	15(14~15.9)	0.000	0.025	0.010	0.030	0.043	0.030	0.028
	13(12~13.9)	0.023	0.050	0.031	0.044	0.056	0.049	0.047
	11(10~11.9)	0.069	0.068	0.057	0.060	0.064	0.074	0.069
	9(8~9.9)	0.086	0.085	0.074	0.089	0.086	0.085	0.082
	7(6~7.9)	0.102	0.112	0.121	0.124	0.114	0.116	0.110
	5(4~5.9)	0.139	0.163	0.161	0.160	0.154	0.160	0.152
	3(2~3.9)	0.217	0.197	0.206	0.198	0.177	0.191	0.203
	1(0~1.9)	0.365	0.299	0.340	0.286	0.268	0.287	0.305
	-1(0.1~2.0)	0.361	0.388	0.514	0.330	0.317	0.329	0.292
	-3(2.1~4.0)	0.448	0.507	0.420	0.448	0.459	0.439	0.408
	-5(4.1~6.0)	0.177	0.105	0.066	0.214	0.211	0.216	0.229
	-7(6.1~8.0)	0.013	0.001	0.000	0.007	0.012	0.016	0.067
	-9(8.1~10.0)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004
	-10.1~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

茨城県の温度差とその発生頻度

		版厚(cm)						
		15	20	23	25	28	30	45
温度差 (°C)	20~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000
	19(18~19.9)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.015	0.000
	17(16~17.9)	0.000	0.000	0.001	0.000	0.034	0.030	0.003
	15(14~15.9)	0.000	0.009	0.021	0.016	0.055	0.056	0.025
	13(12~13.9)	0.016	0.036	0.043	0.038	0.058	0.065	0.046
	11(10~11.9)	0.061	0.078	0.085	0.082	0.075	0.075	0.077
	9(8~9.9)	0.103	0.101	0.092	0.101	0.087	0.094	0.096
	7(6~7.9)	0.131	0.130	0.132	0.127	0.139	0.136	0.137
	5(4~5.9)	0.190	0.180	0.173	0.164	0.144	0.143	0.154
	3(2~3.9)	0.196	0.195	0.193	0.194	0.157	0.152	0.202
	1(0~1.9)	0.303	0.270	0.261	0.279	0.232	0.233	0.262
	-1(0.1~2.0)	0.462	0.245	0.261	0.344	0.253	0.222	0.242
	-3(2.1~4.0)	0.515	0.450	0.450	0.444	0.411	0.404	0.379
	-5(4.1~6.0)	0.022	0.281	0.259	0.206	0.268	0.286	0.261
	-7(6.1~8.0)	0.001	0.023	0.028	0.005	0.068	0.086	0.107
	-9(8.1~10.0)	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.002	0.011
	-10.1~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

愛知県の温度差とその発生頻度

		版厚(cm)						
		15	20	23	25	28	30	45
温度差 (°C)	20~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	19(18~19.9)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.008	0.000
	17(16~17.9)	0.000	0.000	0.012	0.014	0.023	0.033	0.004
	15(14~15.9)	0.002	0.025	0.046	0.042	0.044	0.048	0.031
	13(12~13.9)	0.045	0.055	0.063	0.054	0.052	0.068	0.048
	11(10~11.9)	0.075	0.083	0.088	0.085	0.082	0.080	0.080
	9(8~9.9)	0.101	0.102	0.103	0.093	0.085	0.096	0.090
	7(6~7.9)	0.146	0.142	0.136	0.135	0.131	0.130	0.125
	5(4~5.9)	0.162	0.158	0.150	0.147	0.155	0.145	0.156
	3(2~3.9)	0.194	0.173	0.164	0.177	0.171	0.154	0.200
	1(0~1.9)	0.275	0.263	0.239	0.251	0.256	0.238	0.267
	-1(0.1~2.0)	0.413	0.382	0.313	0.321	0.267	0.255	0.303
	-3(2.1~4.0)	0.539	0.484	0.472	0.446	0.420	0.407	0.393
	-5(4.1~6.0)	0.048	0.133	0.205	0.217	0.249	0.258	0.215
	-7(6.1~8.0)	0.000	0.001	0.009	0.015	0.064	0.077	0.082
	-9(8.1~10.0)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.006
	-10.1~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

石川県の温度差とその発生頻度

		版厚 (cm)						
		15	20	23	25	28	30	45
温度差 (°C)	20~	0.000	解析不能	0.000	0.005	解析不能	0.009	0.001
	19(18~19.9)	0.000		0.003	0.029		0.035	0.014
	17(16~17.9)	0.000		0.022	0.051		0.039	0.044
	15(14~15.9)	0.012		0.033	0.046		0.046	0.046
	13(12~13.9)	0.061		0.036	0.053		0.047	0.047
	11(10~11.9)	0.062		0.043	0.061		0.060	0.059
	9(8~9.9)	0.083		0.119	0.071		0.067	0.069
	7(6~7.9)	0.100		0.131	0.093		0.086	0.095
	5(4~5.9)	0.108		0.111	0.128		0.129	0.129
	3(2~3.9)	0.224		0.226	0.168		0.177	0.173
	1(0~1.9)	0.351		0.276	0.294		0.305	0.325
	-1(0.1~2.0)	0.616		0.500	0.518		0.468	0.406
	-3(2.1~4.0)	0.364		0.389	0.364		0.401	0.428
	-5(4.1~6.0)	0.020		0.075	0.110		0.122	0.142
	-7(6.1~8.0)	0.000		0.019	0.008		0.010	0.025
	-9(8.1~10.0)	0.000		0.015	0.000		0.000	0.000
	-10.1~	0.000		0.002	0.000		0.000	0.000

広島県の温度差とその発生頻度

		版厚 (cm)						
		15	20	23	25	28	30	45
温度差 (°C)	20~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	19(18~19.9)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.007	0.002
	17(16~17.9)	0.000	0.008	0.007	0.005	0.017	0.031	0.009
	15(14~15.9)	0.000	0.039	0.038	0.033	0.042	0.043	0.028
	13(12~13.9)	0.031	0.055	0.060	0.056	0.066	0.072	0.051
	11(10~11.9)	0.063	0.091	0.090	0.089	0.085	0.085	0.075
	9(8~9.9)	0.116	0.103	0.098	0.098	0.104	0.099	0.100
	7(6~7.9)	0.148	0.132	0.131	0.125	0.128	0.122	0.121
	5(4~5.9)	0.172	0.148	0.149	0.149	0.145	0.145	0.151
	3(2~3.9)	0.207	0.176	0.171	0.179	0.166	0.155	0.193
	1(0~1.9)	0.263	0.248	0.255	0.265	0.246	0.242	0.270
	-1(0.1~2.0)	0.299	0.280	0.269	0.276	0.239	0.231	0.234
	-3(2.1~4.0)	0.538	0.437	0.393	0.405	0.340	0.328	0.313
	-5(4.1~6.0)	0.163	0.266	0.289	0.276	0.300	0.319	0.260
	-7(6.1~8.0)	0.000	0.017	0.050	0.044	0.117	0.118	0.149
	-9(8.1~10.0)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.004	0.042
	-10.1~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002

福岡県の温度差とその発生頻度

		版厚 (cm)						
		15	20	23	25	28	30	45
温度差 (°C)	20~	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000
	19(18~19.9)	0.000	0.000	0.000	0.016	0.012	0.012	0.001
	17(16~17.9)	0.000	0.001	0.013	0.033	0.028	0.026	0.008
	15(14~15.9)	0.000	0.021	0.041	0.050	0.056	0.051	0.031
	13(12~13.9)	0.010	0.057	0.059	0.063	0.066	0.068	0.049
	11(10~11.9)	0.054	0.081	0.085	0.082	0.083	0.081	0.081
	9(8~9.9)	0.097	0.113	0.103	0.098	0.101	0.096	0.088
	7(6~7.9)	0.131	0.133	0.123	0.116	0.116	0.115	0.120
	5(4~5.9)	0.185	0.152	0.144	0.127	0.135	0.134	0.148
	3(2~3.9)	0.206	0.166	0.160	0.155	0.160	0.160	0.187
	1(0~1.9)	0.316	0.276	0.271	0.255	0.243	0.257	0.287
	-1(0.1~2.0)	0.281	0.264	0.269	0.270	0.214	0.243	0.258
	-3(2.1~4.0)	0.509	0.431	0.407	0.386	0.327	0.354	0.333
	-5(4.1~6.0)	0.208	0.268	0.263	0.257	0.289	0.278	0.246
	-7(6.1~8.0)	0.001	0.037	0.061	0.086	0.149	0.115	0.126
	-9(8.1~10.0)	0.000	0.001	0.000	0.001	0.021	0.009	0.034
-10.1~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	

鹿児島県の温度差とその発生頻度

		版厚 (cm)						
		15	20	23	25	28	30	45
温度差 (°C)	20~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000
	19(18~19.9)	0.000	0.002	0.002	0.001	0.019	0.018	0.000
	17(16~17.9)	0.000	0.018	0.029	0.021	0.038	0.039	0.004
	15(14~15.9)	0.001	0.052	0.057	0.048	0.063	0.058	0.027
	13(12~13.9)	0.039	0.067	0.067	0.065	0.062	0.062	0.053
	11(10~11.9)	0.082	0.085	0.087	0.073	0.084	0.085	0.074
	9(8~9.9)	0.112	0.093	0.088	0.101	0.083	0.083	0.083
	7(6~7.9)	0.120	0.107	0.107	0.106	0.117	0.105	0.124
	5(4~5.9)	0.141	0.127	0.124	0.128	0.121	0.125	0.139
	3(2~3.9)	0.194	0.177	0.164	0.167	0.149	0.161	0.189
	1(0~1.9)	0.311	0.273	0.274	0.291	0.263	0.264	0.307
	-1(0.1~2.0)	0.413	0.336	0.322	0.333	0.270	0.296	0.308
	-3(2.1~4.0)	0.504	0.437	0.429	0.420	0.350	0.371	0.329
	-5(4.1~6.0)	0.082	0.215	0.228	0.220	0.292	0.267	0.252
	-7(6.1~8.0)	0.001	0.012	0.021	0.028	0.088	0.066	0.097
	-9(8.1~10.0)	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014
-10.1~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

沖縄県の温度差とその発生頻度


		版厚 (cm)						
		15	20	23	25	28	30	45
温度差 (°C)	20~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	19(18~19.9)	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
	17(16~17.9)	0.000	0.000	0.018	0.005	0.007	0.007	0.001
	15(14~15.9)	0.000	0.020	0.059	0.032	0.042	0.039	0.022
	13(12~13.9)	0.021	0.058	0.070	0.071	0.073	0.079	0.062
	11(10~11.9)	0.070	0.084	0.084	0.079	0.080	0.080	0.089
	9(8~9.9)	0.110	0.094	0.107	0.098	0.110	0.104	0.096
	7(6~7.9)	0.137	0.135	0.122	0.118	0.126	0.123	0.123
	5(4~5.9)	0.171	0.147	0.136	0.136	0.137	0.132	0.141
	3(2~3.9)	0.213	0.181	0.164	0.186	0.177	0.188	0.185
	1(0~1.9)	0.277	0.281	0.238	0.273	0.249	0.247	0.281
	-1(0.1~2.0)	0.439	0.561	0.377	0.470	0.355	0.356	0.335
	-3(2.1~4.0)	0.526	0.411	0.499	0.458	0.476	0.478	0.445
	-5(4.1~6.0)	0.035	0.028	0.119	0.071	0.156	0.155	0.192
	-7(6.1~8.0)	0.001	0.000	0.004	0.000	0.013	0.011	0.029
	-9(8.1~10.0)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	-10.1~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

付録4. 路盤の構造設計の検討に使用した材料成績表

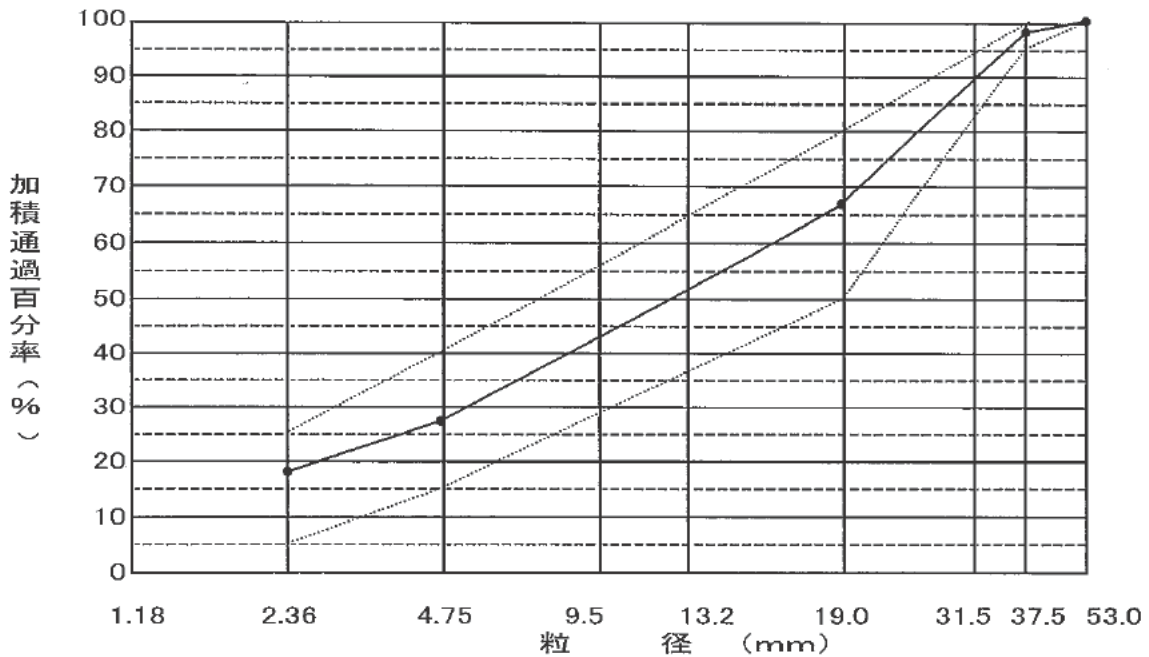


(注)社印・割印・試験印の押印なき試験表は
当社発行のものと認めません。

茨土木指 No.6
塚田発 第9-7号

独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ舗装チーム 骨材試験結果は下記のとおりであります。		塚田陶管株式会社 柳沢工場 砕石試験室 茨城県土浦市小高781			
工事名	実大路盤の強度に関する試験業務 工事				
工事箇所	茨城県つくば市南原			地内	
路線名					
骨材種別	C-40	試験年月日		平成 21年 7月 30日	
調査名・目的	社内品質管理	試験者		石橋 	
最大乾燥密度	2.194 g/cm ³	粒径 mm	試料質量 g	残留 %	加積通過 %
最適含水比	3.7 %	75.0			
		53.0	0	0.0	100.0
表乾密度	2.67 g/cm ³	37.5	161	1.8	98.2
		19.0	2,862	32.1	66.1
吸水率	0.63 %	4.8	3,535	39.7	26.4
		2.36	741	8.3	18.1
ロサンゼルス すりへり減量	23.3 %				
修正CBR	48.4 %	pass	1,614	18.1	
		計	8,913		
塑性指数	N・P	摘要 県規格粒度範囲			

粒 度 曲 線






乾燥密度 C B R 曲線図

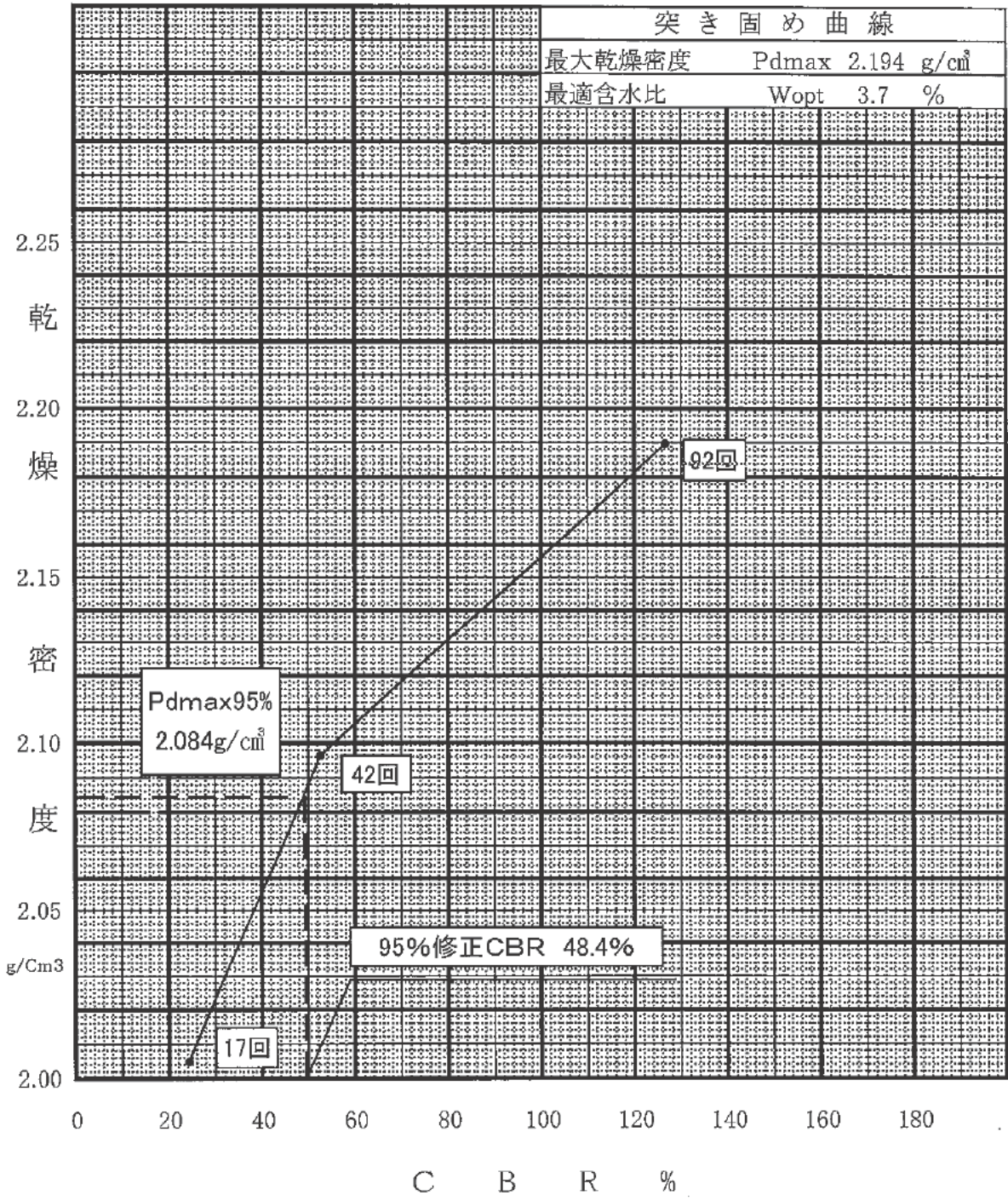
調査名目的 社内品質管理

試験年月日 平成 21年 7月 29日

骨材種別 C-40

試験者 石橋 

修正 C B R
最大乾燥密度の95% 48.4%



試験名	突固めによる土の締固め試験	JIS A 1210
-----	---------------	------------

調査名目的 社内品質管理 試験年月日 平成 21年 7月 28日

骨材種別 C-40 試験者 石橋 

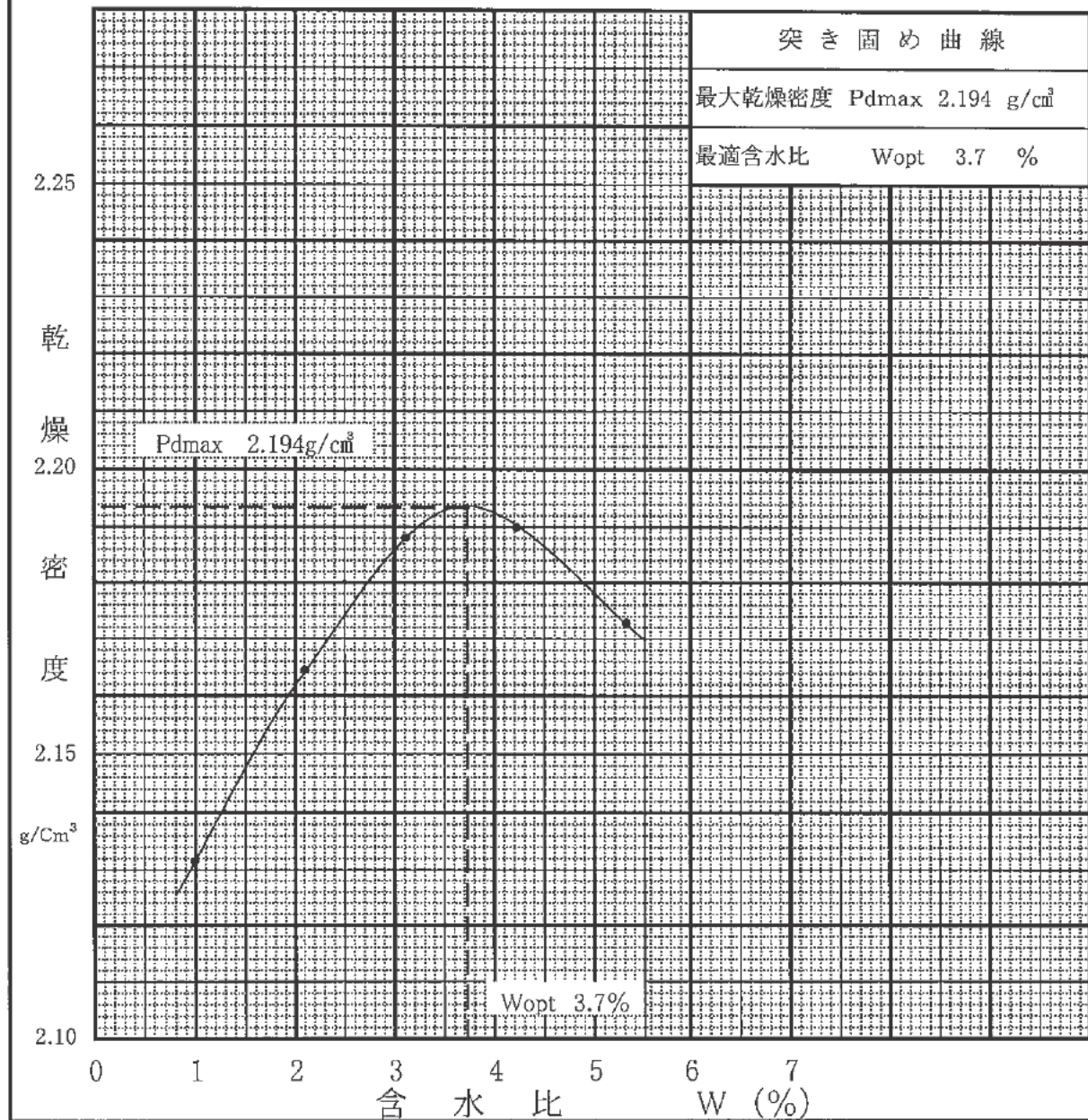
試験方法の呼び名: 試験方法 E-b 乾燥処理前含水比: % 乾燥処理後含水比: %

試験開始前含水比 %


モールド内径 10cm ・ (15cm) 試料の使用別: 繰返し法 ・ (非繰返し法)

試験許容最大粒径 40mm 試料の準備法: (乾燥法) ・ 非乾燥法

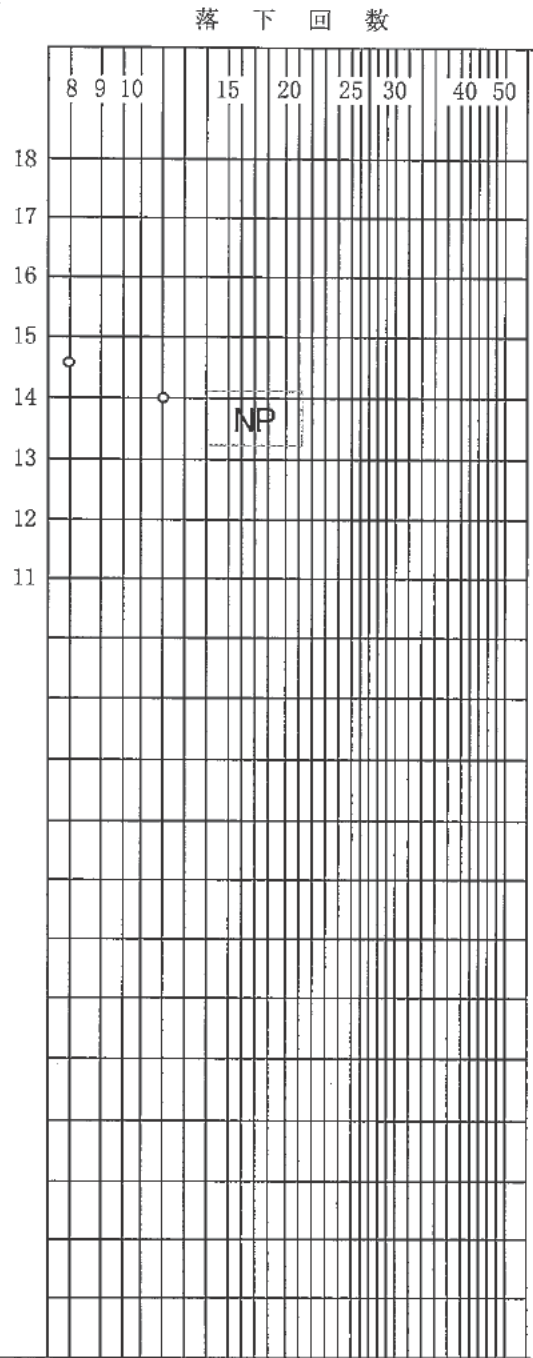
測定番号	1	2	3	4	5	6
乾燥密度 P_d (g/cm ³)	2.132	2.165	2.188	2.190	2.173	
平均含水比 w (%)	1.0	2.1	3.1	4.2	5.3	





試験名	粗骨材の密度及び吸水量試験		JIS A 1110	
試験料名	C-40	試験年月日	平成 21年 7月 28日	
調査名・目的	社内品質管理	試験者	石橋 明 	
試験料採取場所	ストックヤード	骨材の最大寸法	13mm	
		試験時の水温	20℃	
測定番号	1	2	3	4
① 表乾試験料+容器質量 (g)	—	—		
② 容器質量 (g)	—	—		
③ 表乾試験料質量①-② (g)	2,093.4	2,006.8		
④ (かご+試験料)水中質量 (g)	—	—		
⑤ かごの水中質量 (g)	—	—		
⑥ 試験料の水中質量④-⑤ (g)	1,309.6	1,255.5		
⑦ 表乾密度 $\frac{\text{③}}{\text{③-⑥}}$ (g/cm ³)	2.67	2.67		
平均値	2.67			
⑧ 乾燥後の試験料質量 (g)	2,080.7	1,993.8		
⑨ かさ密度 $\frac{\text{⑧}}{\text{③-⑥}}$ (g/cm ³)	2.65	2.65		
平均値	2.65			
⑩ 見掛密度 $\frac{\text{⑧}}{\text{③-⑥}}$ (g/cm ³)	2.70	2.70		
平均値	2.70			
⑪ 吸水率 $\frac{(\text{③}-\text{⑧}) \times 100}{\text{⑧}}$ (%)	0.61	0.65		
平均値	0.63			
備考				

試験名	土の液性限界・塑性限界試験	JIS	A 1205 A 1206								
試験年月日	平成21年7月29日										
調査名	社内品質管理										
試料名	C-40										
試験者	石橋 明 石橋										
液性限界試験											
1		2		3							
落下回数	8回	落下回数	12回	落下回数							
NO,1		NO,2									
Wa	39.93	Wb	36.26	Wa	40.85	Wb	37.33	Wa		Wb	
Wb	36.26	Wc	11.13	Wb	37.33	Wc	12.22	Wb		Wc	
Ww	3.67	Ws	25.13	Ww	3.52	Ws	25.11	Ww		Ws	
W = 14.6%		W = 14.0%				W =					
4		5		6							
落下回数		落下回数		落下回数	8回						
Wa		Wb		Wa		Wb		Wa		Wb	
Wb		Wc		Wb		Wc		Wb		Wc	
Ww		Ws		Ww		Ws		Ww		Ws	
W =		W =		W =							
塑性限界試験											
落下回数		落下回数		落下回数							
Wa		Wb		Wa		Wb		Wa		Wb	
Wb		Wc		Wb		Wc		Wb		Wc	
Ww		Ws		Ww		Ws		Ww		Ws	
W =		W =		W =							
液性限界 L、 $L = N \cdot P$											
塑性限界 P、 $L = N \cdot P$											
塑性指数 P、 $I = N \cdot P$											
備考											



試験名		ロサンゼルス試験機によるすりへり試験			JIS A 1121	
試験年月日		平成 21年 7月 29日				
試験日の状態		室温(°C)	湿度(%)	水温(°C)	乾燥温度(°C)	
		28	35	20	105	
試料名		C-40		試験者	石橋 明 	
とどまるフルイ (mm)	通るフルイ (mm)	各種の質量 (g)	各種の質量 百分率 (%)	粒度区分	鋼球の数 及び質量 (g)	回転数
4.75	13.2	5,000	100	C	8個3331g	500
合計 ①		5,000	100			
② 試験後1.7mmフルイに残った試料質量 (g)					3,834	
③ すりへり損失量 ①-② (g)					1,166	
④ すりへり減量 ③÷①×100 (%)					23.3	



独立行政法人土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム 殿

県南技管試第 2935 号

平成 21 年 8 月 6 日

塚田陶管舗

殿

財団法人 茨城県建設技術管理センター



(注)社印・割印の押印なき試験表は無効です。

建設工事 材 料 試験結果通知書

御依頼の建設工事 材 料 試験結果は別紙のとおりで

ありますので御通知いたします。

工 事 名 実大路盤の強度に関する試験業務 工事
県内外工事 RC-40

工事場所 茨城県つくば市南原 地内

試料採取箇所

土浦市 地内
試料採取日 平成 21 年 07 月 16 日

試験項目

- | | |
|----------------------------|-----|
| 1) 骨材のふるい分け試験 | 1 件 |
| 2) 骨材の液性限界・塑性限界試験 | 1 件 |
| 3) 骨材の突固めによる土の締固め試験 | 1 件 |
| 4) 修正 C B R 試験 | 1 件 |
| 5) ロサンゼルス 試験機による粗骨材すりへり試験 | 1 件 |
| 6) コンクリート再生砕石の異物混入割合試験 | 1 件 |

受付番号: 02714

JIS'A 1102

骨材のふるい分け試験

受付年月日 平成 21 年 07 月 21 日

試験年月日 平成 21 年 07 月 24 日

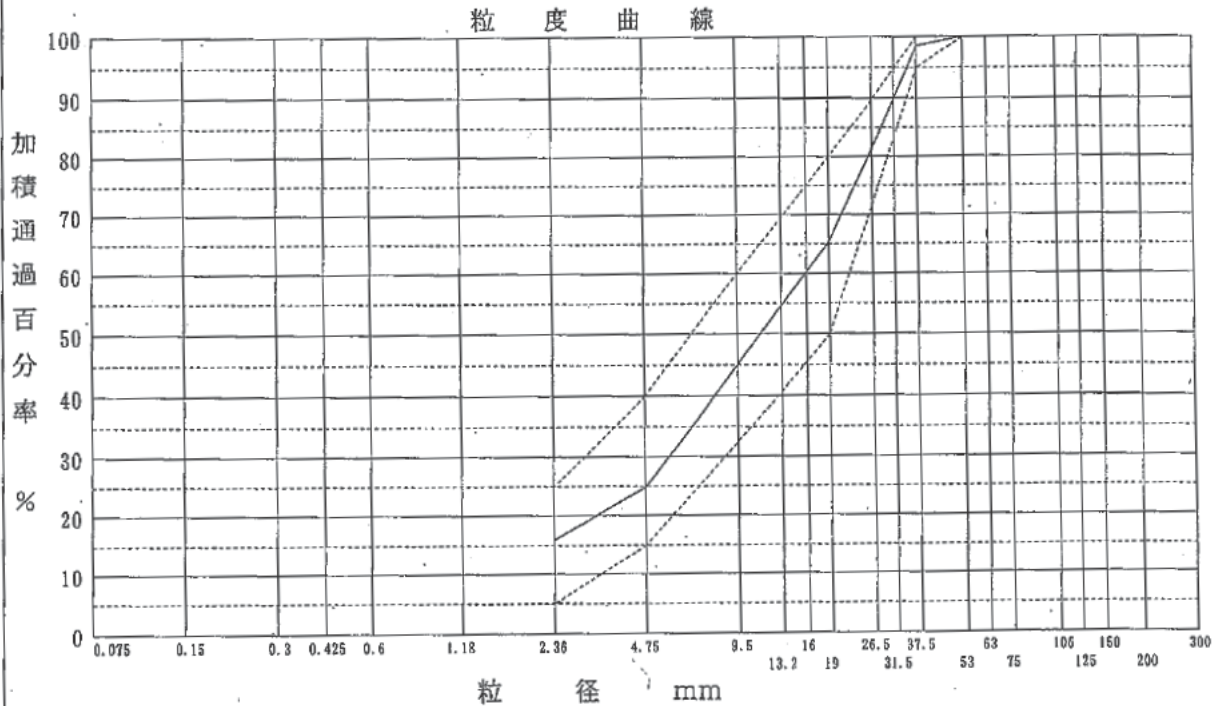
試料名 又は
試料状態 RC-40

試料番号

試験項目名	試験値
最適含水比 (%)	8.8
最大乾燥密度 (g/cm ³)	2.009
修正 C B R (%)	104
塑性指数	NP
異物混入割合 (%)	0
アスファルト塊混入割合 (%)	1.8
すりへり減量 (%)	32.7

粒 径 mm	残 留 率 %	加積通過率 %
53	0.0	100.0
37.5	1.5	98.5
19	33.1	65.4
4.75	40.6	24.8
2.36	8.9	15.9
>	15.9	
計	100	

摘要 ----- プラント再生舗装技術指針



試験者 益子 保則

財団法人 茨城県建設技術管理センター

JIS A 1210 JGS T 711	突固めによる土の締固め試験 (測定)	02714 - 1/3
-------------------------	--------------------	-------------

調査件名 _____ 試験年月日 平成 21 年 07 月 30 日

試料番号 (深さ) _____ 試験者 益子 保則 

試験方法		E - b	土質名称	RC-40			
試料の準備方法		乾燥法	ランマー質量 kg	4.5	モ ー ル ド	内径 cm	15.0
試料の使用方法		非繰り返し法	落下高さ cm	45		高さ D cm	12.5
含水比	試料分取後 W0 %		突固め回数 回/層	92		容量 V cm ³	2209
	乾燥処理後 W1 %	5.0	突固め層数 層	3		質量 m1 ² g	3966
測定 No		1	2	3	4		
(試料+モールド)質量 m2g		8278	8528	8731	8815		
湿潤密度 ρt g/cm ³		1.952	2.065	2.157	2.195		
平均含水比 w %		5.0	6.5	7.9	9.7		
乾燥密度 ρd g/cm ³		1.859	1.939	1.999	2.001		
含水比	容器 No						
	ma g	5195	5383	5602	5789		
	mb g	4992	5107	5257	5364		
	mc g	926	867	885	988		
	W %	5.0	6.5	7.9	9.7		
含水比	容器 No						
	ma g						
	mb g						
	mc g						
	W %						
測定 No		5	6	7	8		
(試料+モールド)質量 m2g		8798					
湿潤密度 ρt g/cm ³		2.187					
平均含水比 W %		11.1					
乾燥密度 ρd g/cm ³		1.968					
含水比	容器 No						
	ma g	5722					
	mb g	5244					
	mc g	938					
	W %	11.1					
含水比	容器 No						
	ma g						
	mb g						
	mc g						
	W %						

特記事項 _____
 1) 内径15cmのモールドの場合はスベーターディスクの高さを差し引く。
 2) モールドの質量は底板を含む。

$$\rho d = \frac{\rho t}{1+w/100}$$

修正 C B R 試験

受付年月日 平成 21 年 07 月 21 日	試験年月日 平成 21 年 08 月 04 日
------------------------------	------------------------------

試料名又は試料状態 RC-40 試料番号 試験条件又は養生条件 水浸 供試体作製	<table style="width: 100%;"> <tr> <td>試料の含水比</td> <td style="text-align: right;">8.7 %</td> </tr> <tr> <td>最適含水比</td> <td style="text-align: right;">8.8 %</td> </tr> <tr> <td>最大乾燥密度</td> <td style="text-align: right;">2.009 g/cm³</td> </tr> <tr> <td>最大乾燥密度の95%修正CBR</td> <td style="text-align: right;">104 %</td> </tr> </table>	試料の含水比	8.7 %	最適含水比	8.8 %	最大乾燥密度	2.009 g/cm ³	最大乾燥密度の95%修正CBR	104 %
試料の含水比	8.7 %								
最適含水比	8.8 %								
最大乾燥密度	2.009 g/cm ³								
最大乾燥密度の95%修正CBR	104 %								

突固め回数	湿潤供試体質量 g	モールド質量 g	湿潤供試体質量 g	モールド体積 cm ³	湿潤密度 ρ_t g/cm ³	乾燥密度 ρ_d g/cm ³
92回3層	8769	3965	4804	2209	2.175	2.001
42回3層	8546	3966	4580	2209	2.073	1.907
17回3層	8264	3944	4320	2209	1.956	1.799
回3層						

含水比測定								
ma	5586	mb	5199	mc	730	w=	8.7 %	
							平均含水比	8.7 %
ma		mb		mc		w=	%	

貫入量 mm		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	5.0	7.5
荷 重 kN	92回	5.83	12.04	18.33	24.30	30.00	54.12	
	42回	1.86	3.73	5.69	7.81	9.97	19.94	
	17回	0.75	1.50	2.30	3.20	4.11	8.22	
	回							

C B R	標準荷重 19.9 kN			
CBR %	92回3層	42回3層	17回3層	回3層
	272 %	100 %	41.3 %	%

備考	試験者 益子 保則
----	----------------

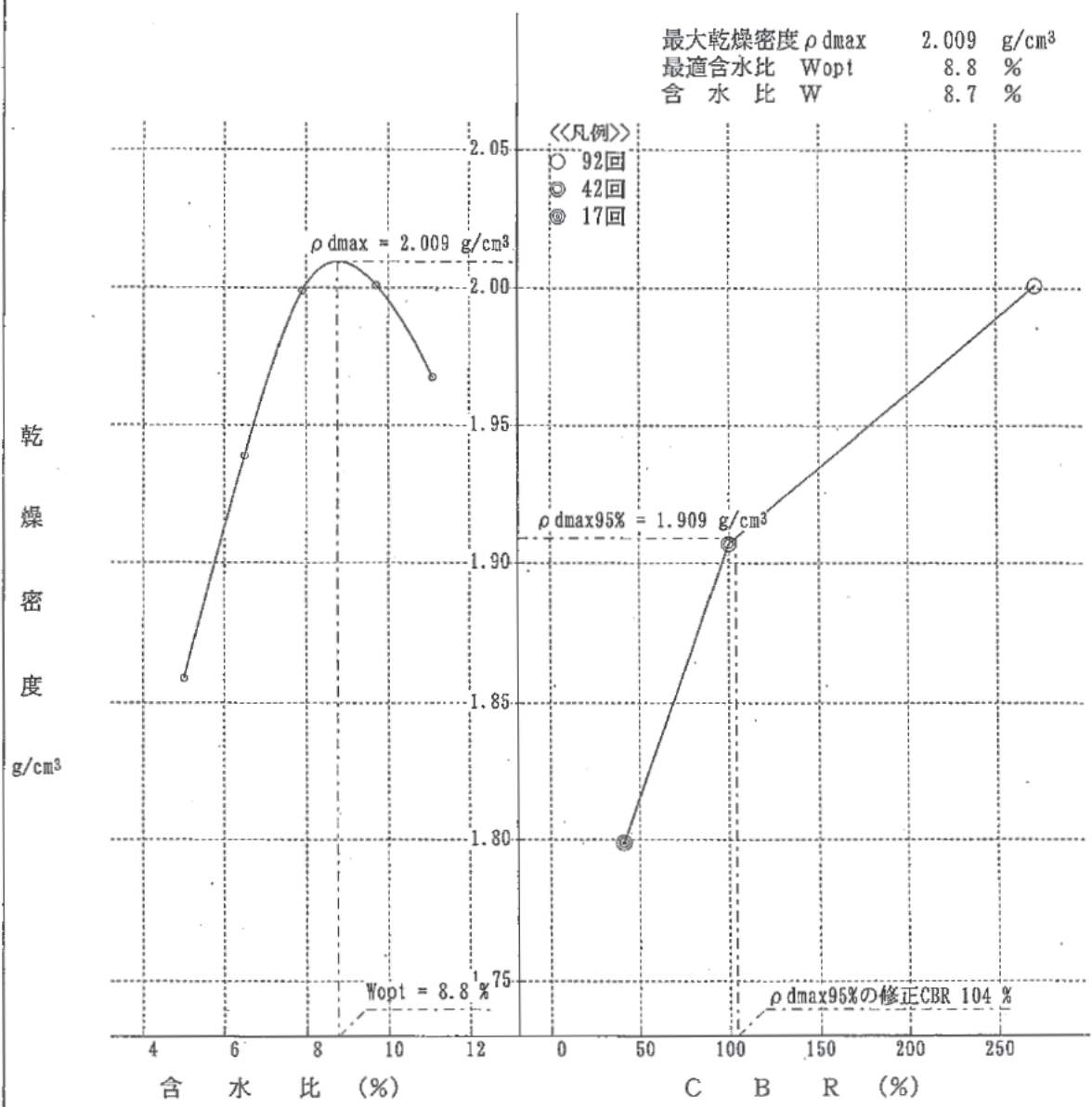
乾燥密度 C B R 含水比曲線

試験年月日	平成 21 年 08 月 04 日
試料名 又は 試料状態	RC-40
試料番号	

修正 C B R	
最大乾燥密度の 95 %	104 %
最大乾燥密度の %	%

締固め試験結果

含水比	5.0	6.5	7.9	9.7	11.1			
乾燥密度	1.859	1.939	1.999	2.001	1.968			



試験者	益子 保則
-----	-------

財団法人 茨城県建設技術管理センター

JIS A 1121 ロサンゼルス試験機によるすりへり試験

受付年月日	平成 21 年 07 月 21 日	試験年月日	平成 21 年 07 月 29 日
試料名 又は 試料状態	RC-40	試料番号	
粒度の区分	注 1	鋼球の数	8 個
回 転 数	500 回	鋼球の質量	3327 g

試験前の粒度

粒 径 mm	残 留 率 %	加積通過率 %
75		
63		
53		
37.5		
26.5		
19		
16		
13.2	0.0	100.0
9.5		
4.75	100.0	0.0
2.36		
>	0.0	
計	100	

すりへり試験結果

	1	2
① 試験前の試料質量 g	5000	
② 1.7mmふるい残留物の水洗い後の質量 g	3366	
③ すりへり損失質量 ①-② g	1634	
④ すりへり減量 ③÷①×100 %	32.7	
⑤ 平均値 %	32.7	

備考

注 1 試料の粒度は、JIS A 5001により13~5mmを用いた。

試験者

鈴木 政幸



財団法人 茨城県建設技術管理センター



(注)社印・割印・試験印の押印なき試験表は
当社発行のものと認めません。

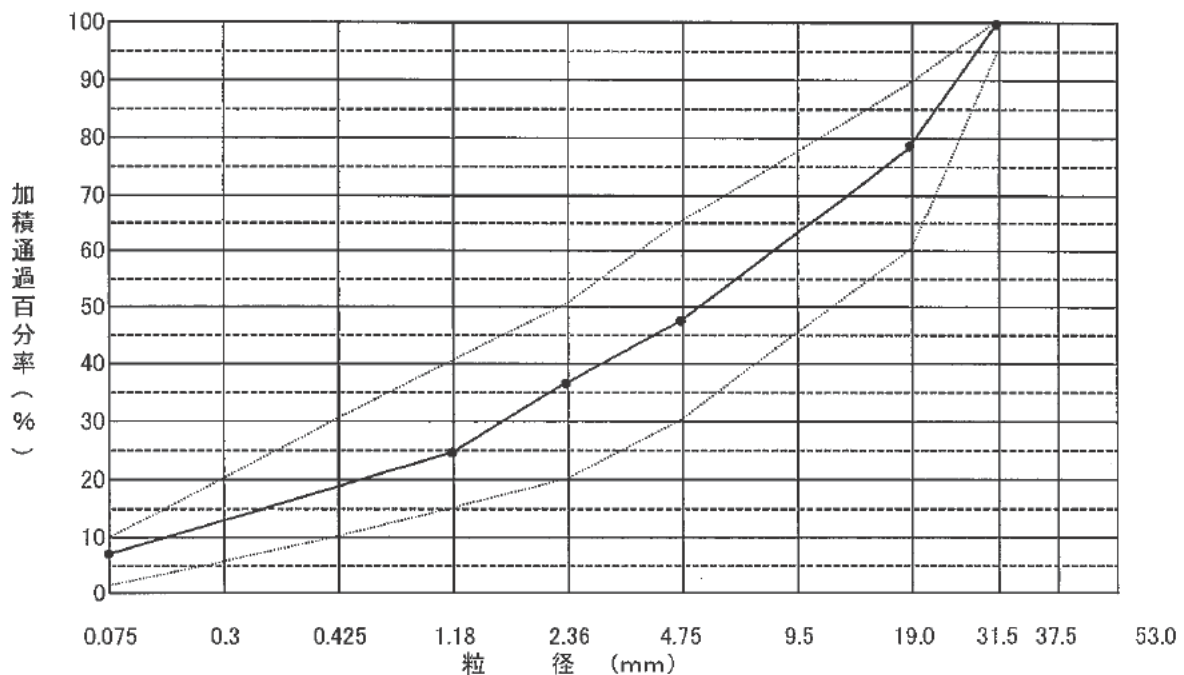
茨土木指 No.6
塚田発 第9-7号

独立行政法人土木研究所
道路技術研究グループ舗装チーム 殿
骨材試験結果は下記のとおりであります。



塚田陶管株式会社
柳沢工場 碎石試験室
茨城県土浦市小高781

工事名	実大路盤の強度に関する試験業務 工事				
工事箇所	茨城県つくば市南原		地内		
路線名					
骨材種別	M-30	試験年月日	平成 21年 7月 27日		
調査名・目的	社内品質管理	試験者	石橋 明 		
最大乾燥密度	2.294 g/cm ³	粒径 mm	試料質量 g	残留 %	加積通過 %
最適含水比	4.7 %	75.0			
		53.0			
表乾密度	2.67 g/cm ³	37.5			
		31.5	0	0.0	100.0
吸水	0.59 %	19.0	3,595	21.4	78.6
		4.75	5,202	31.0	47.6
ロサンゼルス すりへり減量	20.7 %	2.36	1,911	11.4	36.2
		0.425	1,950	11.6	24.6
修正CBR	92.1 %	0.075	3,108	18.5	6.1
		pass	1,026	6.1	
塑性指数	N・P	計	16,792		
		摘要 県規格粒度範囲			

粒 度 曲 線



JIS A 1211	CBR試験(乱した土の室内試験)	報告用紙
------------	------------------	------

試験日	平成21年7月27日	試験の含水比	4.4 %
調査名目的	社内品質管理	最適含水比	4.7 %
工事番号		最大乾燥密度	2.294 g/cm ³
工事箇所		67回3層乾燥密度	
路線名		17回3層乾燥密度	
採取箇所		67回3層CBR	
骨材種別	M-30	17回3層CBR	
試験者	石橋 明 	最大乾燥密度の95%修正CBR	92.1 %
供試体の作製	 水浸	最大乾燥密度の %修正CBR	

突固め回数	湿潤供試体+モールド質量(g)	モールド質量(g)	湿潤供試体質量(g)	モールド体積 V(cm ³)	湿潤密度 ρ _t (g/cm ³)	乾燥密度 ρ _d (g/cm ³)
92回3層	9,615	4,385	5,230	2,209	2.368	2.268
42回3層	9,451	4,412	5,039	2,209	2.281	2.185
17回3層	9,091	4,285	4,806	2,209	2.176	2.084
67回3層						

含水比測定

Wa	4,755	Wb	4,593
Wb	4,593	Wc	912
Ww	162	Ws	3,681
W=		4.4%	

貫入量試験

貫入量mm	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	修正 2.5貫入
荷重	92回	1.57	3.41	6.28	11.05	16.86	33.83	67.61		
	42回	0.88	1.63	3.19	6.28	10.69	18.85	38.97		
	17回	0.45	0.87	1.70	3.36	6.42	10.19	21.83		
KN	67回									

CBR 標準荷重 19.9kN

	92回3層	42回3層	17回3層	67回3層
CBR	170	94.7	51.2	

乾燥密度 C B R 曲線図

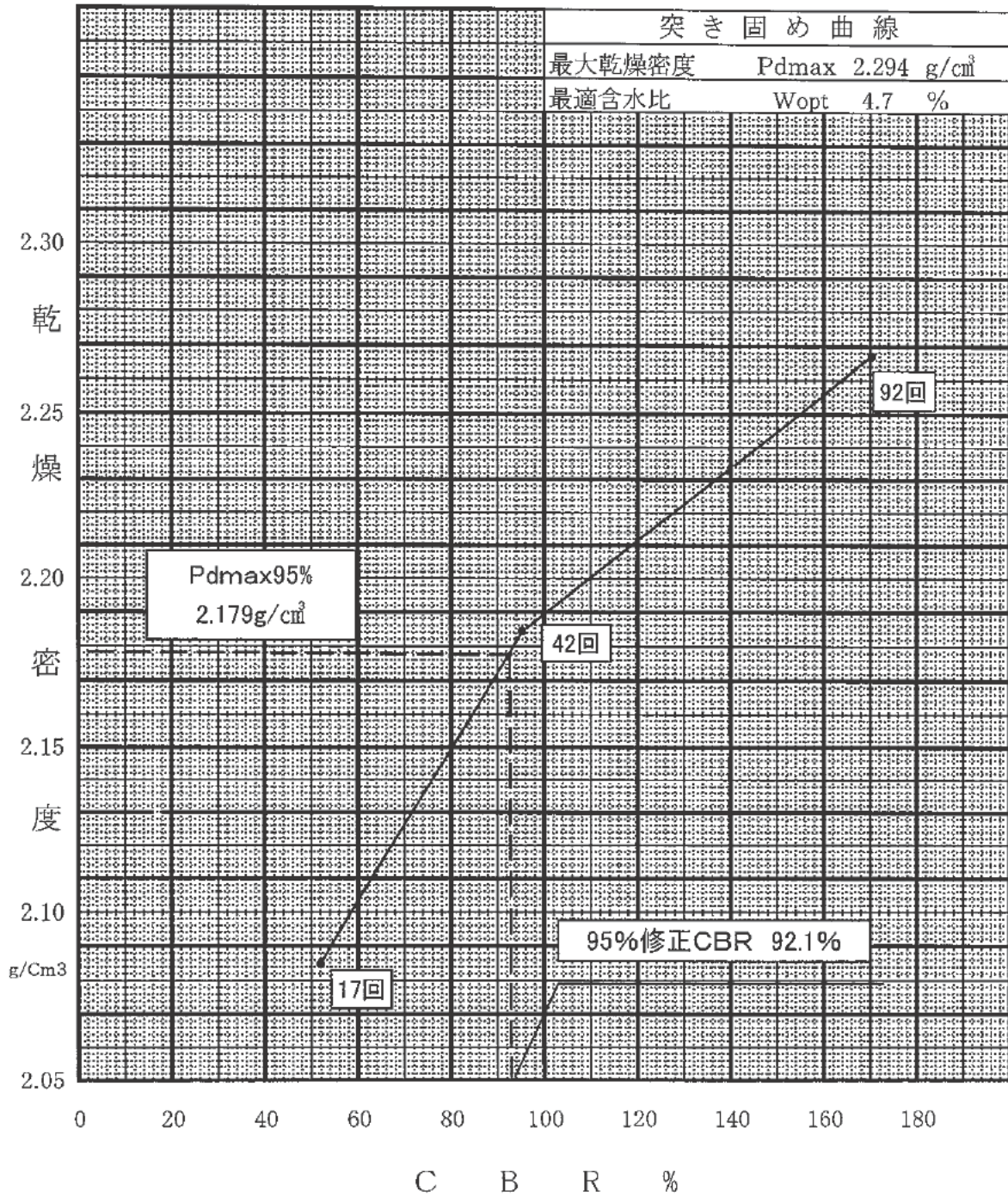
調査名目的 社内品質管理

試験年月日 平成 21年 7月 27日

骨材種別 M-30

試験者 石橋 明 

修正 C B R
最大乾燥密度の95% 92.1%



試験名 突固めによる土の締固め試験 JIS A 1210

調査名目的 社内品質管理 試験年月日 平成 21年 7月 24日

骨材種別 M-30 試験者 石橋 

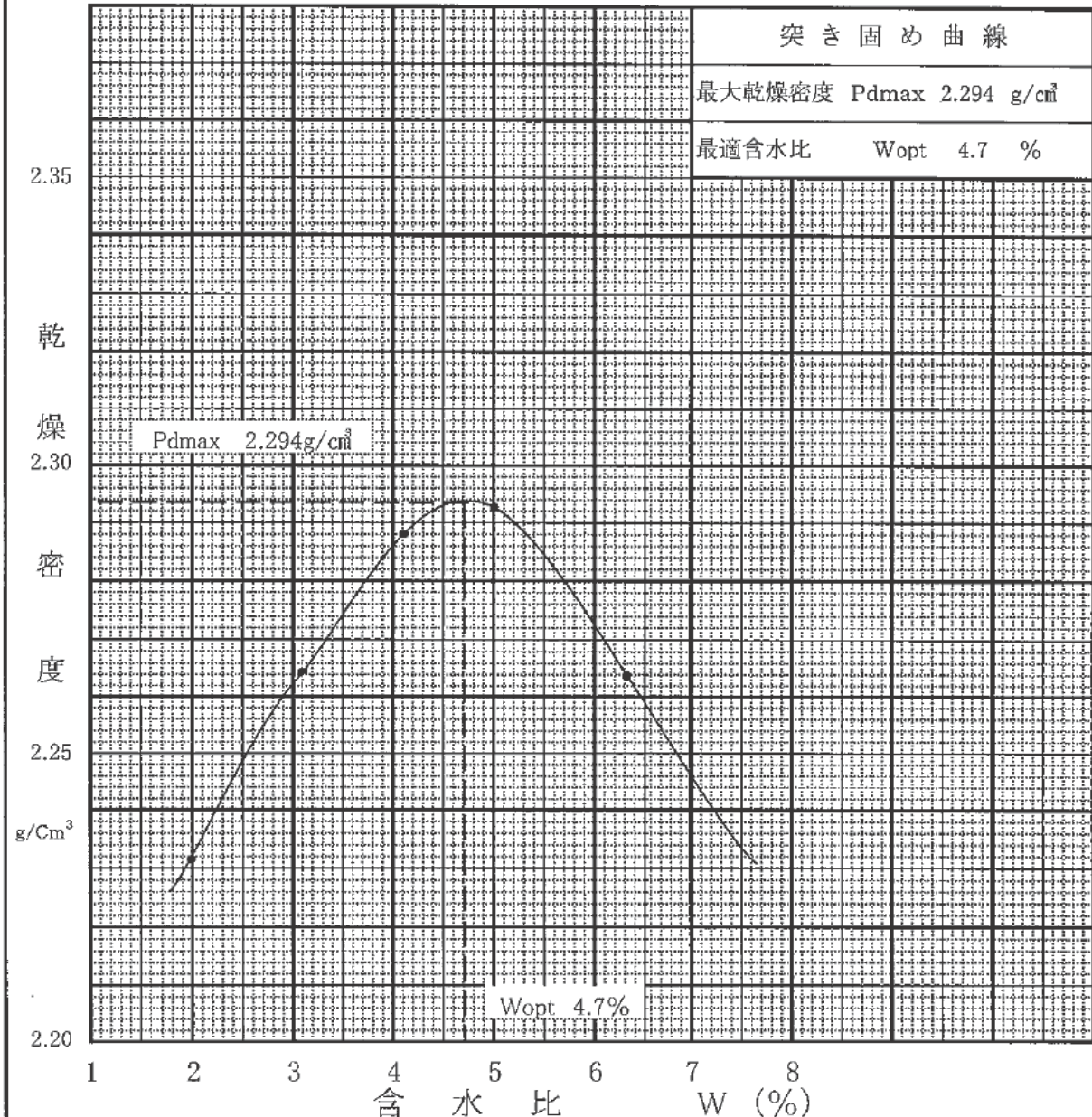
乾燥処理前含水比: % 乾燥処理後含水比:

試験方法の呼び名: 試験方法 E-b 試験開始前含水比 %

モールド内径 10cm ・ (15cm) 試料の使用別: 繰返し法 ・ (非繰返し法)

試験許容最大粒径 40mm 試料の準備法: (乾燥法) ・ 非乾燥法

測定番号	1	2	3	4	5	6
乾燥密度 P_{dg}/Cm^3	2.232	2.265	2.288	2.293	2.264	
平均含水比 $w(\%)$	2.0	3.1	4.1	5.0	6.3	



試験名	突固めによる土の締固め試験		JIS A 1210	
調査目的	社内品質管理		試験年月日	平成 21年 7月 24日
骨材種別	M-30		試験者	石橋 明 
			呼び名:試験方法	E-b
			材料準備:	(乾燥法)・非乾燥法
試料の使用別	繰返し法・(非繰返し法)		含水比:	乾燥処理前 % 乾燥処理後

測定番号	1		2		3	
湿潤試料質量+モールド質量 g	9,442		9,570		9,674	
モールド質量 g	4,412		4,412		4,412	
湿潤試料質量 g	5,030		5,158		5,262	
湿潤密度 Pt 1/cm ³	2.277		2.335		2.382	
乾燥密度 Pd 1/cm ³	2.232		2.265		2.288	
含水比 w%	2.0		3.1		4.1	
含水比測定	NO.1		NO.2		NO.3	
	Wa 4,441	Wb 4,372	Wa 4,791	Wb 4,675	Wa 4,952	Wb 4,793
	Wb 4,372	Wc 916	Wb 4,675	Wc 926	Wb 4,793	Wc 912
	Ww 69	Ws 3,456	Ww 116	Ws 3,749	Ww 159	Ws 3,881
	w	2.0 %	w	3.1 %	w	4.1 %

測定番号	4		5		6	
湿潤試料質量+モールド質量 g	9,731		9,729			
モールド質量 g	4,412		4,412			
湿潤試料質量 g	5,319		5,317			
湿潤密度 Pt 1/cm ³	2.408		2.407			
乾燥密度 Pd 1/cm ³	2.293		2.264			
含水比 w%	5.0		6.3			
含水比測定	NO.4		NO.5			
	Wa 4,901	Wb 4,710	Wa 5,088	Wb 4,841	Wa	Wb
	Wb 4,710	Wc 896	Wb 4,841	Wc 924	Wb	Wc
	Ww 191	Ws 3,814	Ww 247	Ws 3,917	Ww	Ws
	w	5.0 %	w	6.3 %	w	%

測定番号	7		8		9	
湿潤試料質量+モールド質量 g						
モールド質量 g						
湿潤試料質量 g						
湿潤密度 Pt 1/cm ³						
乾燥密度 Pd 1/cm ³						
含水比 w%						
含水比測定	Wa	Wb	Wa	Wb	Wa	Wb
	Wb	Wc	Wb	Wc	Wb	Wc
	Ww	Ws	Ww	Ws	Ww	Ws
	w	%	w	%	w	%

※その他の突固め方法:ランマー質量 4.5Kg 落下高 45cm 突固め回数 92回 /層(3層)

モールド容量 : 10cmモールド・1,000cm³ (15cmモールド・2,209cm³) その他

試験名	粗骨材の密度及び吸水量試験	JIS A 1110
-----	---------------	------------

試料名 M-30 試験年月日 平成 21年 7月 24日

調査名・目的 社内品質管理

試験者 石橋 

骨材の最大寸法 13mm

試料採取場所 スtockヤード

試験時の水温 20℃

測定番号	1	2	3	4
① 表乾試料+容器質量 (g)	—	—		
② 容器質量 (g)	—	—		
③ 表乾試料質量①-② (g)	2,164.6	2,151.8		
④ (かご+試料)水中質量 (g)	—	—		
⑤ かごの水中質量 (g)	—	—		
⑥ 試料の水中質量④-⑤ (g)	1,354.2	1,346.2		
⑦ 表乾密度 $\frac{\text{③}}{\text{③-⑥}}$ (g/cm ³)	2.67	2.67		
平均値	2.67			
⑧ 乾燥後の試料質量 (g)	2,151.9	2,139.4		
⑨ かさ密度 $\frac{\text{⑧}}{\text{③-⑥}}$ (g/cm ³)	2.66	2.66		
平均値	2.66			
⑩ 見掛密度 $\frac{\text{⑧}}{\text{③-⑥}}$ (g/cm ³)	2.70	2.70		
平均値	2.70			
⑪ 吸水率 $\frac{\text{③-⑧}}{\text{⑧}} \times 100$ (%)	0.59	0.58		
平均値	0.59			
備考				

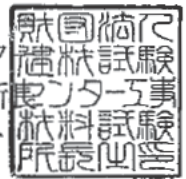
試験名	土の液性限界・塑性限界試験		JIS	A 1205 A 1206	
試験年月日	平成21年7月24日		<p style="text-align: center;">落下回数</p>		
調査名	社内品質管理				
試料名	M-30				
試験者	石橋 明				
液性限界試験					
1	2	3			
落下回数	8回	落下回数			12回
NO.1		NO.2			
Wa	38.39	Wb			34.81
Wa	37.84	Wb			34.69
Wb	34.81	Wc	11.13		
Wb	34.69	Wc	12.22		
Ww	3.58	Ws	23.68		
Ww	3.15	Ws	22.47		
Ww		Ws			
W =	15.1%	W =	14.0%		
W =		W =			
4	5	6			
落下回数		落下回数	8回		
Wa	Wb	Wa	Wb		
Wa	Wb	Wa	Wb		
Wb	Wc	Wb	Wc		
Wb	Wc	Wb	Wc		
Ww	Ws	Ww	Ws		
Ww	Ws	Ww	Ws		
W =		W =			
W =		W =			
塑性限界試験					
落下回数		落下回数			
落下回数		落下回数			
Wa	Wb	Wa	Wb		
Wa	Wb	Wa	Wb		
Wb	Wc	Wb	Wc		
Wb	Wc	Wb	Wc		
Ww	Ws	Ww	Ws		
Ww	Ws	Ww	Ws		
W =		W =			
W =		W =			
液性限界 L、 $L = N \cdot P$					
塑性限界 P、 $L = N \cdot P$					
塑性指数 P、 $I = N \cdot P$					
備考					

試験名	ロサンゼルス試験機によるすりへり試験			JIS A 1121		
試験年月日	平成 21年 7月 24日					
試験日の状態	室温(°C)	湿度(%)	水温(°C)	乾燥温度(°C)		
	28	35	20	105		
試料名	M-30		試験者	石橋 明 		
とどまるフルイ (mm)	通るフルイ (mm)	各種の質量 (g)	各種の質量 百分率 (%)	粒度区分	鋼球の数 及び質量 (g)	回転数
4.75	13.2	5,000	100	C	8個3331g	500
合計 ①		5,000	100			
② 試験後1.7mmフルイに残った試料質量 (g)					3,966	
③ すりへり損失量 ①-② (g)					1,034	
④ すりへり減量 ③÷①×100 (%)					20.7	



受付番号	工試第U-2009041323-200909005039
受付日	平成21年 8月25日
発行日	平成21年 9月10日

双葉商事株式会社 殿

財団法人 建材試験センター
工事材料試験所
春川 真一

浦和試験室

〒338-0822 埼玉県さいたま市桜区
中島2丁目12番8号
電話番号 048(858)2790
試験監督者 高橋 大祐

1. 試料

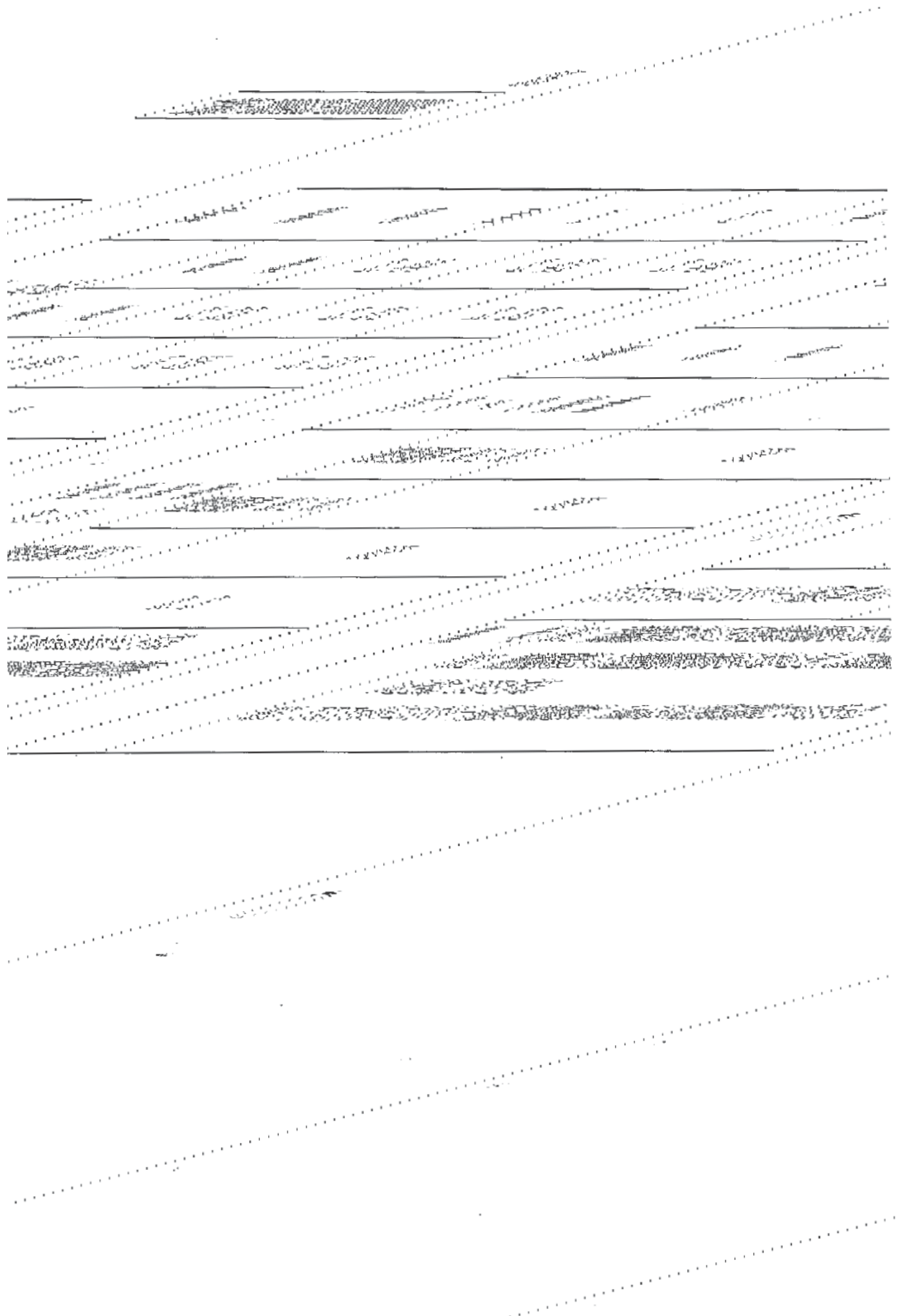
種類	RM-40
採取日	平成21年 8月25日
用途	路盤材等

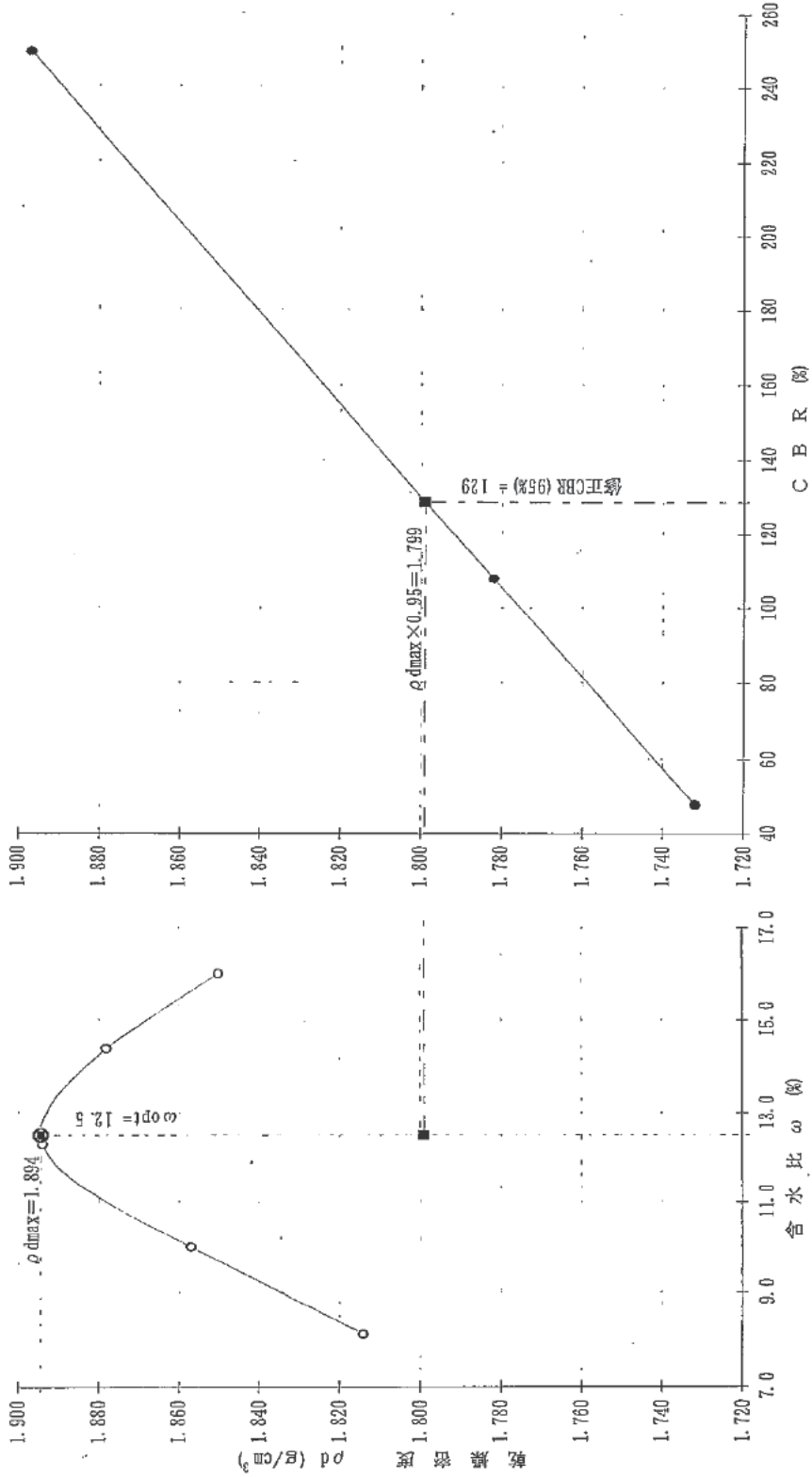
2. 試験内容

試験方法	JIS A 5001 道路用碎石 5.2 粒度試験 JIS A 5001 道路用碎石 5.3 絶乾密度及び吸水率試験 JIS A 5001 道路用碎石 5.4 すりへり減量試験 JIS A 5001 道路用碎石 5.5 塑性指数 (社)日本道路協会“舗装調査・試験法便覧”E001 ①修正CBR試験方法
試験期間	平成21年 8月25日～ 9月 8日
試験場所	浦和試験室
試験担当者	高館 明裕・岡田 玲子

3. 試験結果

粒度試験							
※1	通過質量百分率 %						
ふるい目の寸法 mm	53 (50)	37.5 (40)	19 (20)	4.75 (5)	2.36 (2.5)	0.425 (0.4)	0.075
測定値	100	100	74	47	32	17	5
※2 規格範囲	100	95~100	60~90	30~65	20~50	10~30	2~10
備考	※1 ()内は各ふるい目の公称寸法。 ※2 RM-40の規格粒度範囲。 粒度試験結果(粒度曲線)を図-1に示す。						





圖一2 乾燥密度-含水比曲線及修正乾燥密度-CBR曲線

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No.432 February 2012

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754