

2層構造におけるコンクリート版の 乾燥収縮ひずみによる影響

小川 澄¹・七五三野 茂²・小松原 昭則³

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

²正会員 工修 日本道路公団試験研究所 舗装試験研究室長

³正会員 日本道路公団試験研究所 舗装試験研究室主任

セメントコンクリート舗装における新しい表面処理工法として、騒音や安定的な路面性状を得る事の出来る小粒径骨材露出工法の検討を行なった。これは、従来コンクリート舗装に使用されているコンクリート用骨材の最大粒径を40mmから13mmに小粒径化したものである。小粒径化した場合、耐久性を確保するため、単位セメント量が多くなるが、実施工では経済性を考慮して、単位セメント量が多くなる小粒径のコンクリートは上層部のみへの適用とし、下層は従来の40mmのコンクリートとする2層構造が考えられる。この場合、配合の異なるコンクリートをフレッシュな状態で打ち継ぎ1枚の版とするため、配合の違いによる乾燥収縮ひずみ等の問題が無いが、モデル版を作製し確認を行なったものである。その結果、上下層のコンクリートを変えた2層構造にしても、境界部に問題となる乾燥収縮ひずみの差は発生せず、版として一体化し問題ないことが確認できた。

Key Words : *Exposed Aggregate Method, Two Layers of Different Concrete Mixture, Drying shrinkage, Maximum Size*

1. はじめに

コンクリート舗装の課題である騒音やすべり摩擦を改善し均一な路面性状を得る目的から、骨材露出工法を採用し、さらにはコンクリートに使用する粗骨材粒径を小さくした小粒径骨材露出工法の検討を行っている。これまでに、小粒径コンクリートの配合は耐久性の観点から水セメント比（以下、W/Cという）を通常の45%から40%にする必要があることを室内試験で確認している。このため、実施工では経済性を考慮して、小粒径コンクリートをコンクリート版の上層部（版厚の1/3）のみに使用し、下層部については従来のコンクリート（粗骨材最大粒径40mm）を使用する2層構造が考えられる。

本研究は、このように上層と下層に配合が異なるコンクリート（最大粒径やW/C）を使用した場合、コンクリート版として一体化した後に乾燥収縮ひずみ等の問題が無いが、モデル版（寸法100×50×25cm）に埋設型ひずみ計を設置し、上下層コンクリ

ートの乾燥収縮ひずみの測定及び解析を行なったものである。

2. 使用材料及び配合

(1) 使用材料

コンクリートの使用した材料は、2種類の粗骨材で、最大粒径40mmと13mmを使用し、粗骨材種別により2種類の配合（AとB）とした。配合Aについては、粗骨材の岩種が輝緑岩で細骨材には同じ岩質の砕砂を使用したものである。また、配合Bは、粗骨材の岩種が硬質砂岩で細骨材には川砂を使用した標準的なものである。

表-1、表-2に骨材の材料試験結果を示す。

(2) コンクリートの配合基準

コンクリートの配合基準は、日本道路公団（以下、JHという）で規定されている基準値（機械施工用）によるものとし、現場ロス等を考慮したものを表-3に示す²⁾。なお、最大粒径13mmについては、別

表-1 粗骨材の材料試験結果

骨材種別 試験項目	単位	輝緑岩			硬質砂岩			* 規格
		4025	2505	1305	4020	2005	1305	
比重 (表乾)	—	2.91	2.91	2.90	2.65	2.65	2.65	2.5 以上
吸水率	%	0.81	0.66	0.98	0.94	0.62	0.68	3.0 以下
単位容積質量	kg/L	1.70	1.69	1.58	1.62	1.54	1.52	
		1.75 (4005)		—	1.59 (4005)		—	
実績率	%	58.9	58.5	55.0	61.5	58.3	57.6	
		60.0 (4005)		—	60.5 (4005)		—	
軟石量	%	0	0	0	0.7	1.4	0.8	5.0 以下
粗粒率	—	7.80	6.97	6.56	7.83	6.60	6.17	
すりへり減量	%	6.9	8.3	8.4	10.2	17.9	13.4	35 以下

* : 規格は「JH 設計要領」による。

表-3 コンクリートの配合基準値

項 目	基 準 値	試験方法	備 考
設計基準曲げ 強度	4.5N/mm ² [注1]	JIS A 1106	
配合曲げ強度	5.0N/mm ² [注1]		4.5×1.1
スランプ [注2]	3.5cm±1.0cm	JIS A 1101	ロス込み
空気量 [注3]	5.5%±1.0%	JIS A 1128	ロス込み
沈下度	30 秒	JSCE-F501	

[注1] 材齢は、28 日 である。

[注2] 荷卸し地点での目標スランプ 1.5cm±1.0cm に運搬ロス 2cm を見込んで設定した。

[注3] 荷卸し地点での目標空気量 4.5%±1.0% に運搬ロス 1% を見込んで設定した。

表-2 細骨材の材料試験結果

骨材種別 試験項目	単 位	砕砂	川砂	* 規 格
比重 (表 乾)	—	2.85	2.60	
吸水率	%	1.61	1.65	3.0 以下
単位容積質量	kg/L	1.68	1.73	
実績率	%	59.7	67.4	
粗粒率	—	3.00	2.60	

* : 規格は「JH 設計要領」による。

に行なった耐久性試験の結果から、W/C=40%としている。また、最大粒径 40mm については、現行要領で想定される W/C=45%と 50%を対象とした。

(3) コンクリートの配合試験結果

表-4 に各コンクリートの配合結果一覧と、表-5 に強度試験結果の一覧を示す。

配合 A では、細骨材に砕砂を使用したこともあり、最大粒径 40mm と 13mm の単位水量の差が 20 kg/m³ となった。同様に、単位セメント量の差も大きく約 100 kg/m³ となっている。

配合 B では、最大粒径 40mm と 13mm の単位水量を同じとした。

強度試験の結果では、配合 A、B とも最大粒径 13mm は曲げ強度で約 8 N/mm² と大きな結果となった。また、同時に試験を行った静弾性係数の結果では、配合 A のものが大きい傾向となった。

3. 試験概要

(1) モデル版の作製

2層構造とした場合の上下層のコンクリートの乾燥収縮ひずみを把握するために、モデル版[100×

50×25 cm (上層 8 cm、下層 17 cm)] を作製し、ひずみ計 (小型ひずみ計 BS-8FT、測定範囲±1,000×10⁻⁶) を埋設して各々の実ひずみと温度の測定を行った。モデル版の大きさについては、過去に検討された寸法を参考に、路盤拘束も無視出来るものと想定し決定した。³⁾

モデル版の作製にあつては、事前に各深さにひずみ計を設置し、下層コンクリートを 17 cm 打設し締め固め、フレッシュな状態で上層コンクリート 8 cm の打設・締め固めを行った。なお、現場においては、2層敷き均し 1層締め固めであるが、上層と下層コンクリートを正確に区分するために各層毎に締め固めを行った。また、ひずみ解析への影響を考慮して、現場のコンクリート版には設置される鉄網は、設置していない。さらに、型枠脱型後ダミー版側面からの乾燥を防ぐためにエポキシ系の樹脂でコーティングし、発砲スチロール (t=5 cm) で断熱養生とした。なお、モデル版の下面は、鋼板 (t=3.2 mm) を設置し下面からの水の供給や下面との摩擦を少なくした。

打設後約 1 週間養生マットにより湿潤養生を行った。

表-4 配合試験結果

配合の略称 ^[注1,2]	W/C (%)	C/W	単位粗骨材容積	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
					水	セメント	細骨材	粗骨材	[注2] 混和剤	AE ^[注2] 助剤
A-40-45-N	45	2.22	0.770	33.3	146	324	661	1350	C*0.25	10A
A-40-50-N	50	2.00		34.4		292	693	1350		10A
A-13-40-N	40	2.50	0.800	32.7	166	415	604	1264		10A
B-40-45-N	45	2.22	0.715	38.5	145	322	699	1137		10A
B-40-50-N	50	2.00		39.4		290	725	1137		10A
B-13-40-N	40	2.50	0.770	35.5	145	363	632	1171		12A

[注1] 配合の略称は、配合種別 - 最大粒径 - W/C - セメント種別

[注2] A (輝緑岩), B (硬質砂岩), N (普通セメント), 混和剤 (ポゾリス No.70), AE 助剤 (ポゾリス No.202) なお、混和剤使用量は単位セメント量に対する百分率で表している。

表-5 強度試験結果

配合の略称	曲げ強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	ポアソン比
A-40-45-N	6.35	37.1	3.66	0.22
A-40-50-N	5.91	30.3	3.41	0.19
A-13-40-N	8.09	55.3	3.63	0.16
B-40-45-N	5.89	42.1	3.04	0.16
B-40-50-N	5.23	32.0	2.61	0.16
B-13-40-N	7.88	52.5	3.22	0.17

表-6 モデル版の内訳

No	構造	ひずみ計設置位置等
1	2層	ひずみ計 6個 上層 上, 中, 下 下層 上, 中, 下
2	2層	ひずみ計 2個 上層 中 下層 中
3	1層	ひずみ計 2個 上層 中 下層 中
4		ひずみ計 2個 上層 中 下層 中
5		ひずみ計 2個 上層 中 下層 中

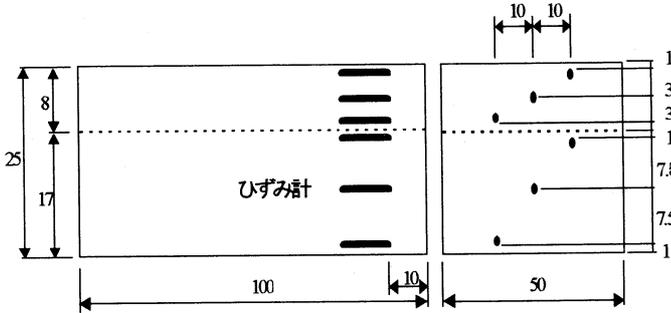


図-1 ひずみ計配置図 (単位:cm)

[注] 表中の13-40などの数値は、骨材最大粒径-W/C

(2) モデル版の内訳

モデル版は、配合A, B各々について表-6に示すNo.1~No.5を作製した。また、ひずみ計の配置図を、図-1に示す。No.1を標準供試体として、各層の位置で詳細に計測するため、上下層各々にひずみ計を3個ずつ設置した。No.2~No.5は、上下層の中央部での比較とし、各1個ずつ設置した。

(3) ひずみの計測及び算出方法

ひずみ及び温度の測定は、コンクリート打設終了直後から1時間ピッチで行い、併せて外気温も測定した。ひずみの測定値には、コンクリートの乾燥収

縮ひずみと温度によるひずみが混在している。以下に、測定されたひずみの算出方法と概念図を図-2に示す。ただし、ここでは外力あるいはクリープによるひずみ等は小さいため無視した。

①実ひずみ (乾燥収縮ひずみ+温度ひずみ) の算出
実ひずみを $\epsilon_1 (\times 10^{-6})$ とすると測定値と実ひずみの関係は次式で表される。

$$\epsilon_1 = f (\alpha_n - \alpha_0) + b \times \Delta t \quad (1)$$

ここで、f : ひずみ計個々の校正係数

($\times 10^{-6} / \times 10^{-6}$)

α_n : n回目の測定値 ($\times 10^{-6}$)

α_0 : 初期値 ($\times 10^{-6}$)

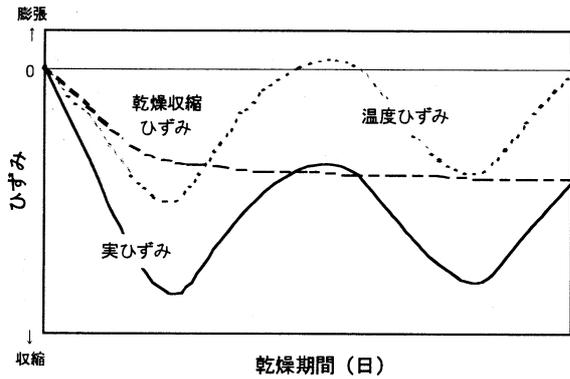


図-2 ひずみの概念図

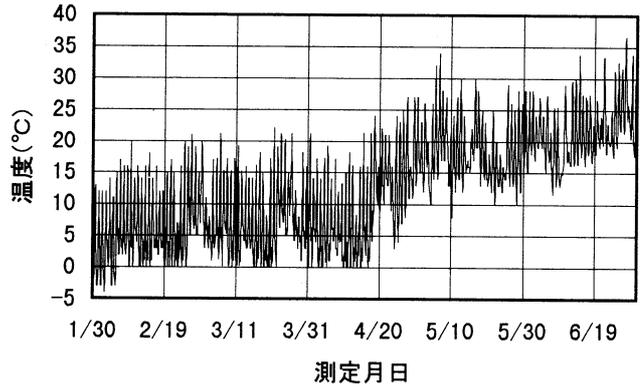


図-3 外気温の経時変化

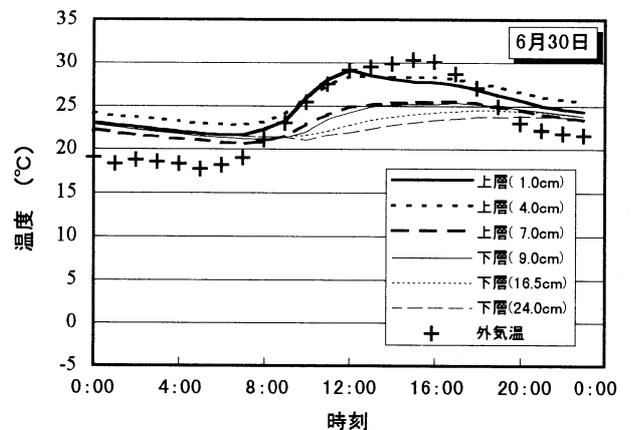
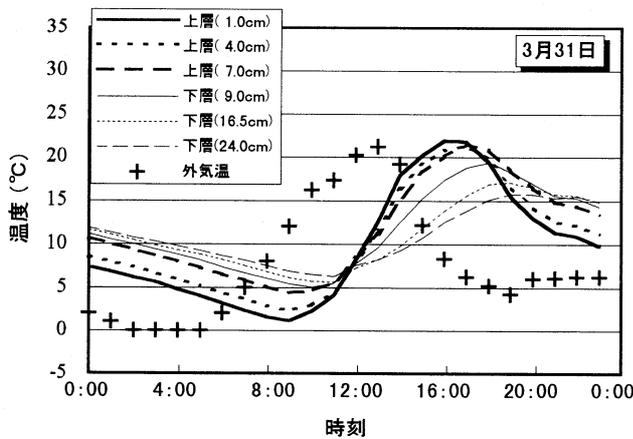


図-4 コンクリート内部温度の日変化

b : ひずみ計の線膨張係数
($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

Δt : ひずみ計個々の温度変化分 (初期値から n 回目の温度変化) ($^{\circ}\text{C}$)

② コンクリートの線膨張係数 (k)

一般的に用いられるにコンクリートの線膨張係数は、 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 前後である。今回は、コンクリートの線膨張係数は全て $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ とした。

③ 温度ひずみの算出

温度ひずみは、コンクリートの線膨張係数と温度変化から次式で求められる。

$$\varepsilon_2 = k \times \Delta t \quad (2)$$

ここで、 ε_2 : 温度ひずみ ($\times 10^{-6}$)

k : コンクリートの線膨張係数
($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

Δt : ひずみ計個々の温度変化分 (初期値から n 回目の温度変化) ($^{\circ}\text{C}$)

④ 乾燥収縮ひずみの算出

個々のひずみ計の実ひずみから、コンクリートの温度による膨張収縮分を取り除いたものが乾燥収縮ひずみである。乾燥収縮ひずみ ε_3 ($\times 10^{-6}$) は次

式となる。

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \quad (3)$$

4. モデル版による測定結果

(1) 外気温及び版内温度の測定結果

図-3は、測定開始から約6ヶ月間の外気温の変化を示したものである。4月下旬から外気温の上昇傾向が見られる。また、モデル版A No.1の版内温度を測定した3月31日と6月30日の日変化を図-4に示す。3月での版内の温度の変化は、外気温の日変化が大きく、特に夜間になると 0°C 付近まで下がることから、昼と夜で版内温度が逆転する傾向が確認出来る。6月では、外気温の日変化も 10°C 前後であり、気温自体も高いため、版内温度も大きな変化は見られない。

(2) 乾燥収縮ひずみの経時変化

図-5は、配合A, Bでひずみ計を6個設置したモデル版No.1の打設から約5ヶ月間の乾燥収縮ひずみの経時変化を示したものである。モデル版No.2

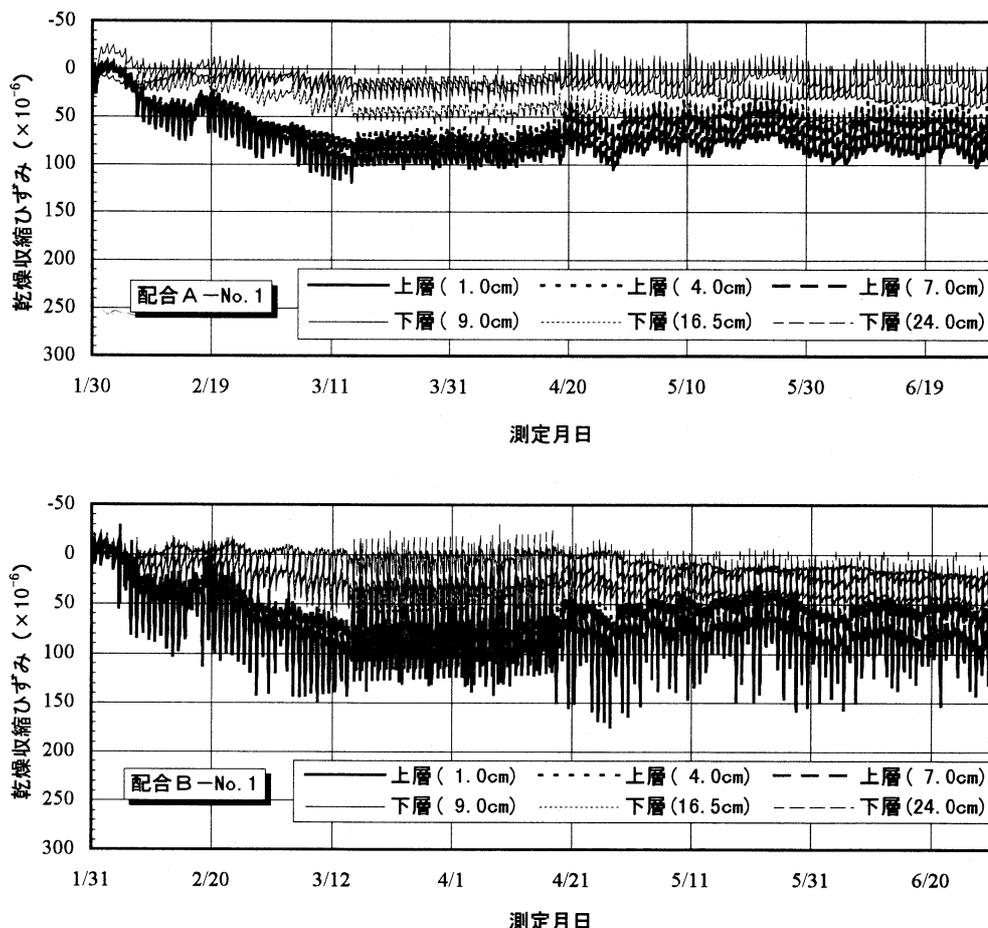


図-5 乾燥収縮ひずみの経時変化

～No. 5 も同様の乾燥収縮ひずみの経時変化を示し、打設後約 40 日以降で、上層部のひずみの増加が小さくなっている。一方、下層部は打設後から徐々に増加する傾向で、現在も微増の傾向が見られる。

また、1 時間ピッチでの計測値であることから、日々の変動が見られるが、配合 A, B とも 5 ヶ月経過後の上層部で、約 100 μ 程度、下層部で 50 μ 程度とほぼ同程度となっている。上下層の差については、経時変化による変動はあまり見られない。

(3) 2 層構造における乾燥収縮ひずみの分布

図-6 は、2 層構造で作製した配合 A, B のモデル版 No. 1 の、深さ方向の乾燥収縮ひずみの打設後約 1 ヶ月と、打設後 5 ヶ月時点の分布を示したものである。なお、1 時間ごとの 1 日分の変化を示した。

2 種類の材料とも、拘束を受けている下層部から上層部に向かってひずみが大きくなり、表層部で 80 μ 程度となっている。過去に報告された従来の 40 mm では、6 ヶ月で 70 μ 程度（版厚 25 cm の中央）であり現時点では大差はない³⁾。

打設後 1 ヶ月の配合 A では、上層と下層との乾燥収縮ひずみの差は約 60 μ であり、配合 B での差 45

μ と比べて若干大きい、クラック等の発生も見られない。過去の報文によれば、100～130 μ のひずみ差により引張応力が発生し、ひび割れが生じたとの報告があることから、現時点のひずみの差（約 60 μ ）は影響が少ないと思われる⁴⁾。

また、打設後 5 ヶ月では、配合 A で上層と下層との乾燥収縮ひずみの差は約 55 μ であり、配合 B での差 35 μ と比べやはり大きい、深さ 16 cm 及び 24 cm のひずみがほぼ同程度であるのに対して、配合 A の深さ 9 cm のひずみはかなり異なっている。全体のひずみの分布からは、配合 B と同程度と見なすことが自然であり、配合 A, B の違いによる乾燥収縮ひずみの差はほとんど無いと考えられる。

このことから、最も乾燥収縮に影響を及ぼすと考えられている単位水量について、今回程度 (20 kg/m³) では、ほとんど影響を及ぼさず、クラックなどの問題も発生しないことが確認された。

(4) 層構造の違いによる乾燥収縮ひずみの比較

図-7 は、2 層構造と 1 層構造のモデル版 No. 2 と No. 3 の同一深さ（表面から 4 cm）における、コンクリート打設からの乾燥収縮ひずみの大きさを

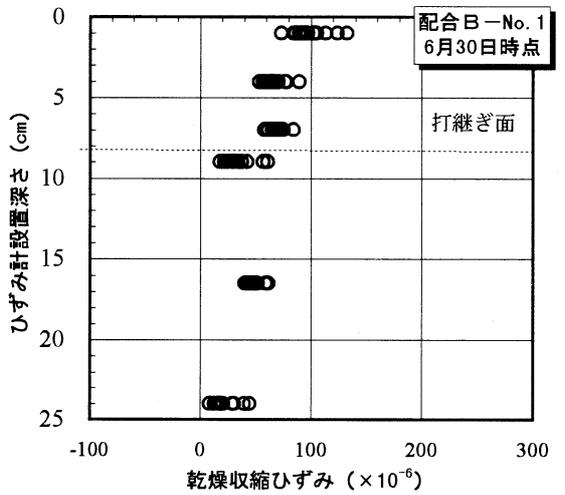
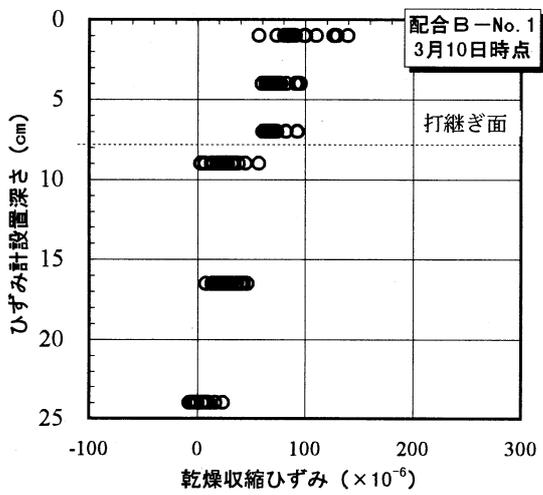
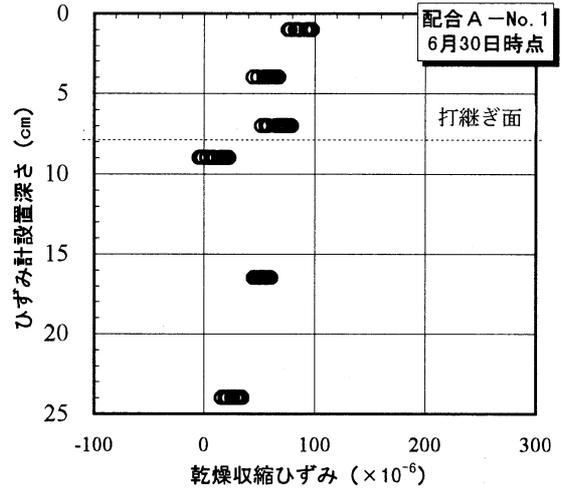
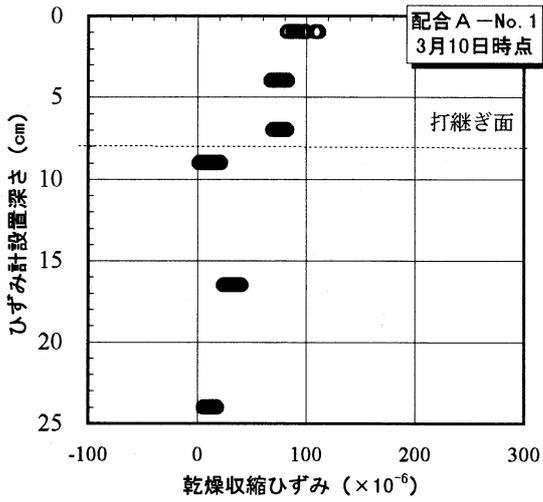


図-6 深さ方向での乾燥収縮ひずみの分布

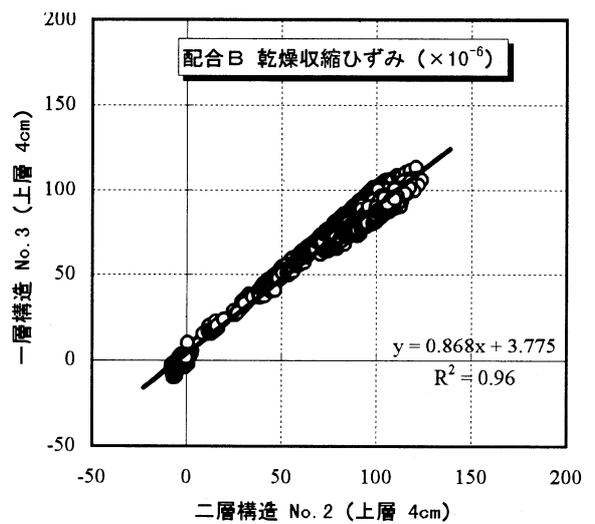
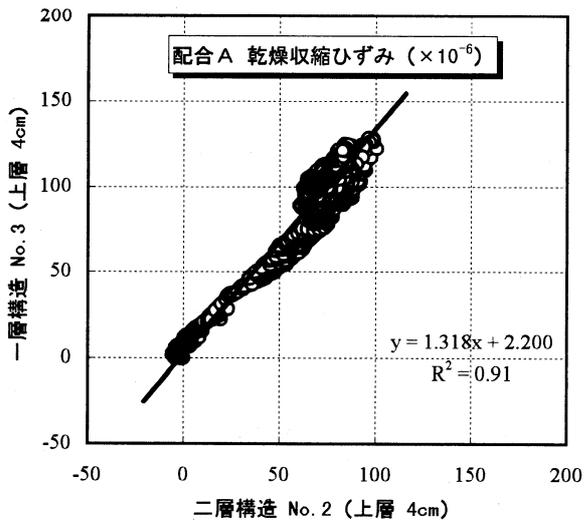


図-7 層構造の違いによる乾燥収縮ひずみの比較

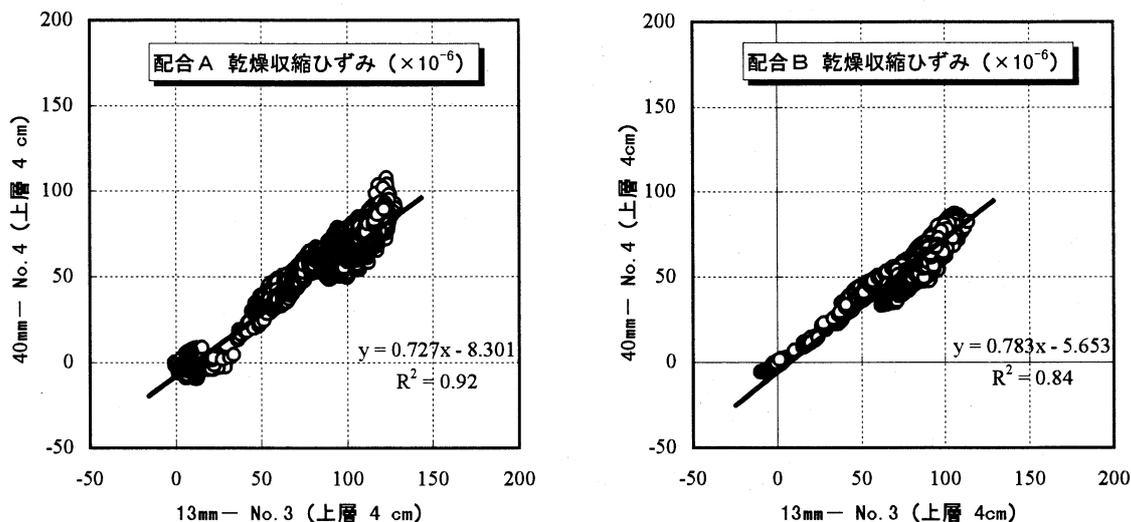


図-8 最大粒径の違いによる乾燥収縮ひずみの比較

比較したものである。配合Aでは、1層構造のNo.3のものが乾燥収縮ひずみが大きい傾向が見られるが、全体的にはほぼ同程度である。配合Bでは、層構造の違いによるひずみの差は見られない。

(5) 粗骨材の最大粒径の違いによる乾燥収縮ひずみの比較

従来の最大粒径40mmと13mmの比較を配合A、Bのモデル版No.3とNo.4の上層部4cmで行ったものが、図-8である。最大粒径13mmの配合は、最大粒径40mmの配合と比べて、単位水量や単位セメント量が大きくなっているため、乾燥収縮ひずみは従来のものに比べ大きくなる傾向であるが、極端な差は見られない。

5. 結論

今回、小粒径骨材露出工法の適用を考慮し、コンクリート舗装版に打設するコンクリートを上層と下層で変更した場合に問題がないか、モデル版を使用し、上下層での乾燥収縮ひずみについて測定を行い確認したものである。この結果、打設後5ヶ月の現時点で以下のことが確認できた。

- a) 1層構造の最大粒径40mmと13mmの配合で乾燥収縮ひずみを比較した場合、単位水量や単位セメント量が多い13mmの配合でも、その大きさは40mmの配合と比べて極端な差は出ないと思われる。
- b) 異種のコンクリートを上層と下層で打ち継いだ2層構造の場合、若材令においては最大60μ程度の乾燥収縮ひずみの差が発生したが、コンク

リート版にひび割れ等を発生させるまでの影響はなかった。

以上の結果、小粒径骨材露出工法の適用を考えた場合、上層部だけに小粒径のコンクリートを使用し下層部に従来の配合として2層構造することは、版内の乾燥収縮ひずみにしても大きな差が発生せず、現場における施工上での取り扱いを確実に行なえば問題はないと考えられる。

謝辞：今回検討を行なった2層構造の乾燥収縮ひずみの測定方法について、宇都宮大学の佐藤良一教授に御指導を頂き、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 七五三野 茂、小松原 昭則、小川 澄：小粒径骨材露出工法による表面処理に関する研究、セメント・コンクリート論文集 No. 50、pp262～267、1996. 12
- (2) 日本道路公団：設計要領第1集 舗装編、1992. 4
- (3) 重交通舗装専門委員会報告書、第4編コンクリートの力学メカニズムに関する検討、社団法人セメント協会、pp269～272、pp314～325、1995. 6
- (4) 林 洋介・佐藤勝久：コンクリートかさ上げの付着特性、港湾技術研究所報告、第24巻第2号、pp275～304、1985. 6

Effect of Drying Shrinkage Strain Caused by Two Layers of Different Concrete Mixture on Concrete Pavement

kiyoshi OGAWA, shigeru SHIMENO, akinori KOMATUBARA

As one of surface finishing methods of concrete pavement , exposed aggregate method with small coarse aggregate has been studied to improve surface texture and noise problem. Compared with traditional maximum size of coarse aggregate (40mm), concrete mixture with maximum size of 13mm needs more amount of cement to keep durability. Therefore ,it is desirable that the concrete slab consists of two layers of different concrete mixture (upper layer(1/3):13mm, lower layer (2/3):40mm) for economical reason. To study effect of drying shrinkage strain caused by two layers of different concrete mixture ,many type of dummy slabs were made and the strain was recorded . As a result of analysis , the drying shrinkage strain between two layers is not so large and dose not give any major damage like cracking on concrete slab .