

# 骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する共同研究報告書

## I 各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性

### (2) 舗装コンクリートの耐久性試験

2015年3月

独立行政法人土木研究所  
学校法人東京農業大学  
一般社団法人セメント協会  
太平洋セメント株式会社  
日本道路株式会社

Copyright © (2015) 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。

# 骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する共同研究報告書

## I 各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性

### (2) 舗装コンクリートの耐久性試験

基礎材料チーム	上 席 研 究 員	渡 辺 博 志
	総括主任研究員	森 濱 和 正
	交 流 研 究 員	勝 畑 敏 幸
東京農業大学	教 授	小 梁 川 雅
(一社)セメント協会	舗装技術専門委員会	小 林 哲 夫
	適用性評価 WG リーダー	
	リ ー ダ ー	佐 藤 智 泰
	サブグループリーダー	吉 本 徹
	サブグループリーダー	島 崎 泰
	研 究 員	瀧 波 勇 人
太平洋セメント(株)	リ ー ダ ー	梶 尾 聡
	主 任 研 究 員	石 田 征 男
日本道路(株)	室 長	中 原 大 磯
	主 任 研 究 員	加 藤 学
	副 主 任 研 究 員	常 松 直 志

#### 要 旨 :

コンクリート舗装は、耐久性が高くライフサイクルコストが低減できるため、普及が期待されている。コンクリートの主要材料である粗骨材は、天然砂利が減少し、砕石や石灰石骨材が増えている。また、産業廃棄物削減を目的に各種スラグ骨材の有効利用が求められるなど、骨材資源が多様化している。そこで、各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性を明らかにすることを目的に研究を行なっている。

本報告は、骨材の凍結融解試験などと、舗装コンクリートの凍結融解、スケーリング、乾燥収縮、自己収縮、線膨張係数、すり減り、すべり試験を実施した結果について取りまとめた。

キーワード：舗装コンクリート，石灰石骨材，スラグ骨材，凍結融解試験，スケーリング試験，乾燥収縮試験，自己収縮試験，線膨張係数試験，すり減り試験，すべり試験



# 目 次

1.	まえがき	1
2.	骨材の物性試験	2
2.1	粗骨材の種類	2
2.2	試験項目と試験方法	2
2.3	試験結果	3
2.4	粗骨材の簡易凍結融解試験結果	3
3.	舗装コンクリートの凍結融解試験	8
3.1	はじめに	8
3.2	試験概要	8
3.3	試験結果	10
3.4	凍結融解試験結果のまとめ	12
4.	舗装コンクリートのスケーリング試験	13
4.1	試験目的	13
4.2	試験項目	13
4.3	予備試験	13
4.4	粗骨材の種類、水セメント比を変化させた試験	20
5.	舗装コンクリートの乾燥収縮および自己収縮試験、線膨張係数試験	27
5.1	概要	27
5.2	乾燥収縮試験	29
5.3	自己収縮試験	31
5.4	線膨張係数試験	34
6.	舗装コンクリートのすり減り試験	36
6.1	実験目的	36
6.2	試験概要	36
6.3	試験結果	39
6.4	すり減り試験のまとめ	44
7.	舗装コンクリートのすべり試験	45

7.1	実験目的	45
7.2	試験概要	45
7.3	試験結果	49
7.4	すべり試験のまとめ	55
8.	まとめ	56
資	料	59
共同研究参加者名簿		83

# 1. まえがき

我が国の道路舗装に占めるコンクリート舗装のシェアは 5%程度であり、ほとんどはアスファルト舗装である<sup>1)</sup>。しかし、コンクリート舗装は耐久性が高く、ライフサイクルコストがアスファルト舗装よりも低く抑えられるなどの長所もあり<sup>2)</sup>、その普及が期待されている。

コンクリート舗装の普及促進に向けては、根拠が不明確なまま残されている仕様規定を改め、性能規定化を進めることにより、舗装コンクリートの高い耐久性を確保した上で、材料面や施工面での自由度を拡大してゆくことが非常に重要となる。

例えば、粗骨材については、最大寸法 (Gmax) と骨材の種類の問題が考えられる。舗装に用いる粗骨材の Gmax は 40mm が一般的である。しかし、最近では Gmax 20mm または 25mm (以下、20/25 と表記) の粗骨材しか有していない生コン工場も多い。また、コンクリートの収縮低減を目的に石灰石の使用が増えてきている。さらに、資源の有効活用の観点からは、スラグ骨材の使用も求められている。今後、コンクリート舗装を普及するには、これらの粗骨材を使用した場合の性能を明らかにし、利用技術を確認することが必要である。

コンクリート舗装では、スランプ 2.5 cm のコンクリートを使用することが多い。このような硬練りコンクリートの運搬にはダンプトラックが用いられるなど、コンクリートの製造・運搬の面で制約を受けるので、アジテータ車が使用可能な範囲で硬練りの検討が必要である。

また、コンクリート強度は曲げ強度によって管理されており、供試体が重く、曲げ強度試験用の装置が必要なことなどから、労力が大きいことが課題になっている。

このような背景のもと、骨材に要求される品質を明確にすること、施工、強度管理の合理化を目的として、2012 年度より(独)土木研究所と(学)東京農業大学、(一社)セメント協会、太平洋セメント(株)、日本道路(株)の 5 機関による共同研究を開始した。

共同研究報告書(1)第 455 号<sup>3)</sup> (以下、前報という。)では、実験に使用した各種粗骨材の物性試験結果およびコンクリートの配合試験結果について報告した。配合試験では、一般的な舗装コンクリートである粗骨材の Gmax 40mm、スランプ 2.5cm に対して、Gmax 20/25mm、スランプ 5cm とした場合の単位水量、単位粗骨材かさ容積 (以下、かさ容積という) が配合、強度に及ぼす影響などの検討を行なった。

本報告では、前報の骨材の物性試験結果に加え、粗骨材自体の簡易凍結融解試験を実施した。舗装コンクリートの耐久性試験については、曲げ強度  $6\text{N/mm}^2$  に相当する配合を中心に、各種粗骨材を用いた舗装コンクリートの凍結融解、乾燥収縮、すり減り、すべり抵抗性などについて検討した結果をとりまとめた。

## 参考文献

- 1) (社)日本道路協会：コンクリート舗装に関する技術資料，p.2，2009.8
- 2) 前掲書 1)，pp.7-12
- 3) (独)土木研究所、東京農業大学、(一社)セメント協会、太平洋セメント(株)、日本道路(株)：骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する共同研究報告書 I (1)、共同研究報告書第455号、2014.3

## 2. 骨材の物性試験

### 2.1 粗骨材の種類

本検討では、表2.1.1に示す20種類の粗骨材を対象とした。すなわち、生コン工場で一般に使用されている粗骨材として、砂利G、硬質砂岩砕石A、Bの2種類および安山岩砕石Cを使用した。今後使用の増加が見込まれる石灰石骨材は産地の異なるLA～LDの4種類を使用した。さらに資源の有効利用の観点からスラグ骨材SA～SDの4種類を使用した。使用したスラグ骨材は産出した製鉄所が異なる高炉スラグ粗骨材3種類と電気炉酸化スラグ骨材1種類である。粗骨材のGmaxについては、スラグ骨材は20mmのみとし、そのほかの粗骨材は20/25mmと40mmである。

砂利Gの、粒度範囲が25～5mm（以下、2505のように表記）は、4025の砂利を破碎した玉石砕石（以下、玉砕という）である。また、Gmax 40mmの砂利は、粒度範囲4025の砂利と、2505の玉砕を1：1で混合したものである。

砂利以外の粗骨材の粒度範囲は、Gmax 20mmの場合、A20（粗骨材の記号とGmaxで記述）は道路砕石の5号砕石と6号砕石を1：1で混合、そのほかは2005である。Gmax 40mmの場合、A40は3号砕石、4号砕石、5号砕石、6号砕石を1：1：1：1で混合、LBのみ4005であり、そのほかは2005と4020を1：1で混合した。

表 2.1.1 骨材の種類

骨材の種類			記号	最大寸法 (Gmax) (mm)	
				20/25 (実 Gmax)	40 (実 Gmax)
粗骨材	砂利	玉石砕石 (玉砕)	G	25 (25)	—
		砂利 4025 + 玉砕 2505		—	40 (30)
	砕石	硬質砂岩	A	20 (20)	40 (30)
			B	20 (20)	40 (30)
			C	20 (20)	40 (30)
		安山岩	LA	20 (15)	40 (30)
			LB	20 (25)	40 (30)
			LC	20 (20)	40 (25)
			LD	20 (20)	40 (40)
		石灰石	SA	20 (20)	—
			SB	20 (20)	—
SC	20 (15)		—		
SD	20 (20)		—		
スラグ骨材	高炉スラグ	—	—		
	電気炉酸化スラグ	—	—		
細骨材	川砂		—	—	

### 2.2 試験項目と試験方法

試験した項目と試験方法は、表 2.2.1 のとおりである。一般的な物理試験のほか、舗装用骨材を目的とするためにすりへり試験を、また、石灰石骨材およびスラグ骨材は微粒分量の影響が考えられることから微粒分



量試験を、舗装コンクリートの曲げ引張破壊に対する抵抗性を調べることを目的として破砕値試験を行なった。すりへり試験時の粒度区分は、Gmax 40 は A、20/25 は C とした。

破砕試験に用いた粒度は、Gmax 20/25 は 1510、Gmax 40 は 3020 である。

点荷試験は、地盤工学会基準（案）JGS 3421「岩石の点荷試験方法」によった。試験した骨材は、B、C、G、LC の 4 種類を、粒度範囲 4030、3025、2520、2015、1510、1005 について 10 個ずつ試験した。

粗骨材の簡易凍結融解試験は、土木研究所資料第 4199 号に示されている方法を参考に実施した。

**表 2.2.1 骨材の試験項目および試験方法**

試験項目	試験方法
骨材のふるい分け試験	JIS A 1102
骨材の微粒分量試験	JIS A 1103
骨材の単位容積質量及び実積率試験	JIS A 1104
細骨材・粗骨材の密度及び吸水率試験	JIS A 1109、JIS A 1110
ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験	JIS A 1121
硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験	JIS A 1122
骨材破砕値試験	BS 812
点荷試験	JGS 3421
粗骨材の簡易凍結融解試験	土木研究所資料第 4199 号

## 2.3 試験結果

粗骨材の簡易凍結融解試験を除く骨材の試験結果は、表 2.3.1（章末）のとおりである。詳細については共同研究報告書第 455 号を参照いただきたい。以下には、新たに試験した粗骨材の簡易凍結融解試験について報告する。

## 2.4 粗骨材の簡易凍結融解試験

### 2.4.1 試験概要

舗装コンクリートの凍害劣化（凍結融解およびスケーリング）を予測するための基礎データを取得する目的で、粗骨材自身の簡易凍結融解試験を実施した。凍結融解時の浸漬溶液は、水道水および塩水（3wt%）を用い、凍結融解サイクルは 30 サイクルとした。

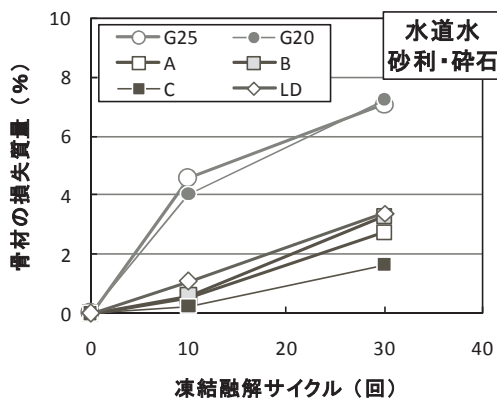
この試験の適用は、土木研究所資料第 4199 号によると砂利であり、スラグ骨材は適用外、碎石は吸水率で判定してよいことになっている。しかし、ここでは石灰岩 4 種類のうち 1 種類のみ（LD）のほかはすべての骨材についてこの試験を実施した。試験した最大寸法は、砂利 25mm と 20mm、そのほかは 20mm である。

### 2.4.2 試験結果

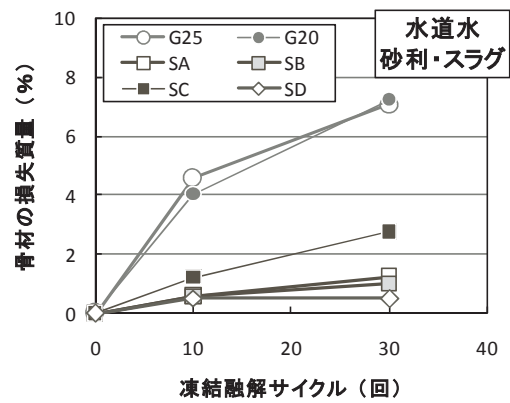
試験結果は表 2.4.1 のとおりである。図 2.4.1 および図 2.4.2 に、浸漬溶液ごとにサイクル数と損失質量の関係を示す。図 2.4.1 が水道水、図 2.4.2 が塩水の結果である。図 2.4.1 の縦軸は上限が 10% に対し、図 2.4.2 は 40% である。また、(a) 図は砂利および碎石の結果、(b) 図は砂利およびスラグ骨材の結果である。

表 2.4.1 粗骨材の簡易凍結融解試験結果

No.	粗骨材の最大粒径 (mm)	水道水				3%NaCl					
		各粒子群の損失質量 (%)		骨材の損失質量 (%)		各粒子群の損失質量 (%)			骨材の損失質量 (%)		
		10	30	10	30	3	10	30	3	10	30
G25	25	3.3	5.5	4.6	7.1	3.5	6.3	11.3	7.2	12.0	19.0
G20	20	5.8	8.7	4.0	7.2	10.8	17.7	26.8	9.3	15.5	23.9
A	20	0.1	0.2	0.5	2.7	0.9	0.1	1.0	2.6	2.0	3.9
B	20	0.2	3.7	0.6	3.3	3.1	7.1	18.2	2.9	6.6	18.1
C	20	0.1	1.7	0.3	1.7	1.5	11.7	34.1	1.6	12.0	32.1
LD	20	0.9	3.9	1.1	3.4	1.4	3.0	6.6	1.1	2.7	7.1
SA	20	0.3	1.1	0.6	1.2	0.1	1.6	3.7	0.6	1.8	3.0
SB	20	0.9	1.4	0.6	1.0	0.1	0.1	2.1	0.2	0.2	1.2
SC	20	1.7	4.1	1.2	2.8	3.8	2.8	5.5	2.3	1.9	3.5
SD	20	0.1	0.2	0.5	0.5	3.0	2.9	3.3	2.2	1.8	2.3

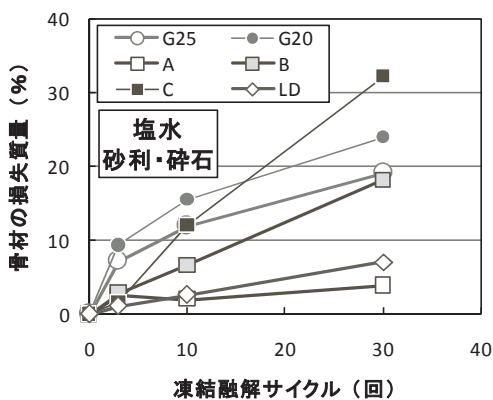


(a) 砂利・碎石の結果

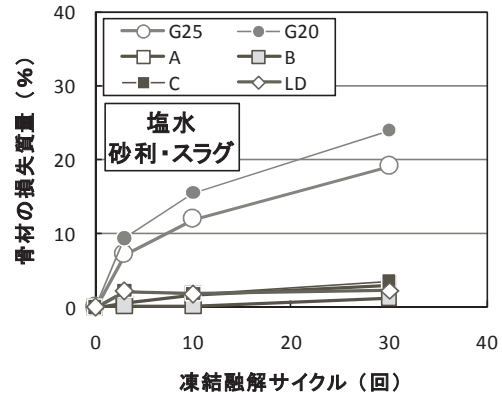


(b) 砂利・スラグ骨材の結果

図 2.4.1 水道水による凍結融解試験の結果



(a) 砂利・碎石の結果



(b) 砂利・スラグ骨材の結果

図 2.4.2 塩水による凍結融解試験の結果

凍結融解抵抗性の判定は、水道水の場合は30サイクル、塩水の場合は3サイクルで行われることになっているため、そのサイクル数のときの損失質量を**図 2.4.3**に示す。損失質量5%以上は、凍結融解抵抗性は小さいと判定される。砂利は5%以上であり、凍結融解抵抗性は小さい。

また両者の結果は、ほぼ同程度を示していることから、両者の関係を**図 2.4.4**に示すとおり高い相関性を有している。

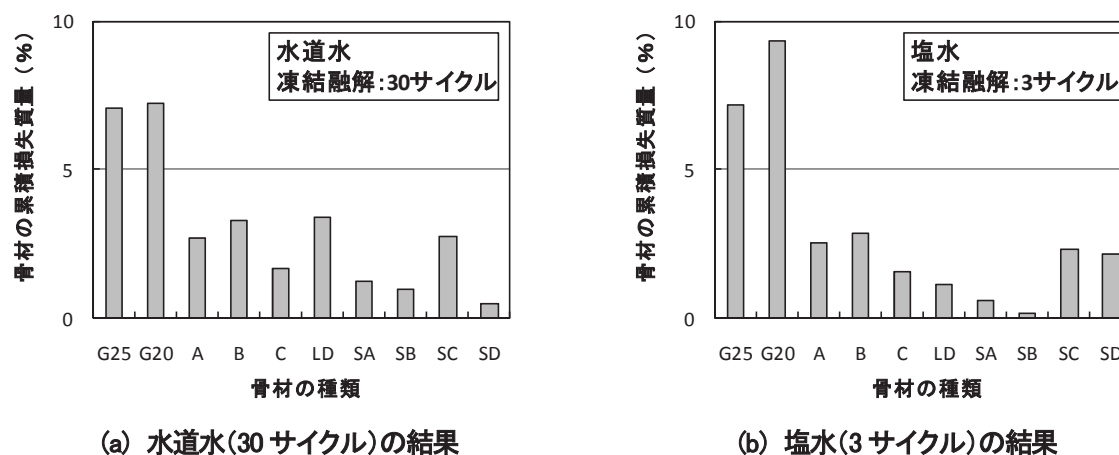


図 2.4.3 凍結融解抵抗性の判定

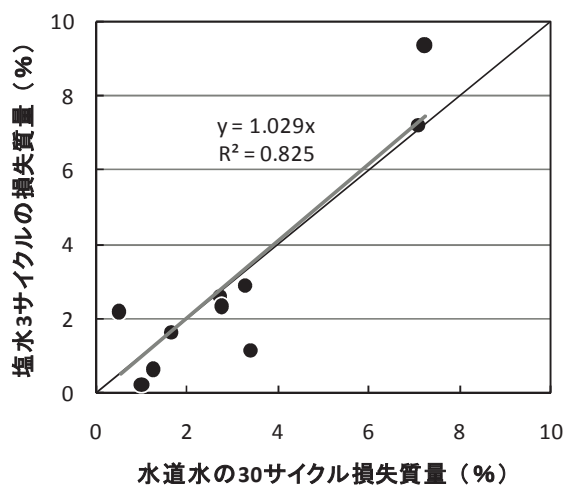


図 2.4.4 水道水 30 サイクルと塩水 3 サイクルの損失質量の比較

**図 2.4.2** の塩水の結果は、3 サイクル以後もの結果は、骨材の種類によってかなり異なっていることから、**図 2.4.5**のように示す。30 サイクルでは、砂利、砂岩 B、安山岩 C は15%以上である。特に安山岩 C は、水道水では極めて小さかったが、塩水では最も大きくなっている。石灰石 LD は5%を上回った。砂岩 A と4種類のスラグ骨材はすべて5%以下であった。凍結防止剤を散布しているような地域では、3 サイクルでも凍結融解抵抗性を判定してもいいかを、スケーリング試験によって検討する。

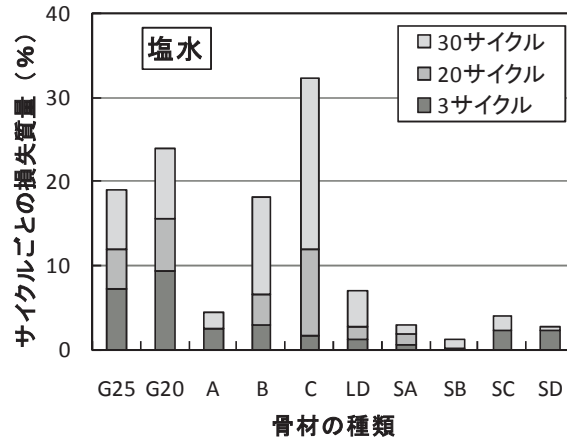


図 2.45 塩水の 30 サイクルまでの結果

粗骨材の密度、吸水率、安定性損失質量、破砕値と簡易凍結融解試験による損失質量の関係は図 2.46～図 2.49 のとおりである。水道水は 30 サイクル、塩水は 3 サイクルの結果である。これらの相関性は認められない。簡易凍結融解試験方法に適用できるのは砂利だけであり、これらの関係を対比させることには無理がある。

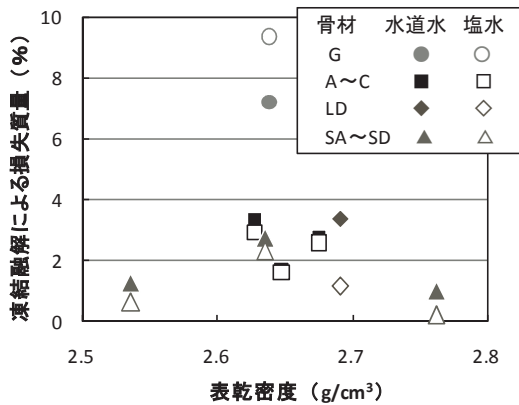


図 2.46 表乾密度との関係

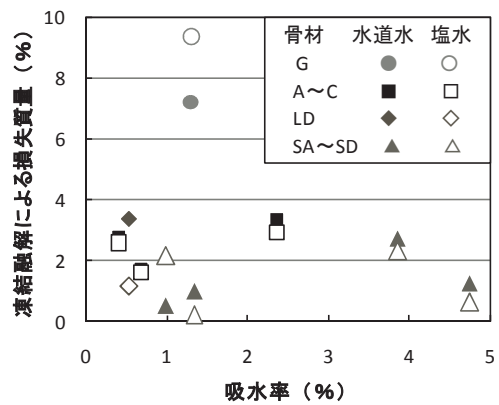


図 2.47 吸水率との関係

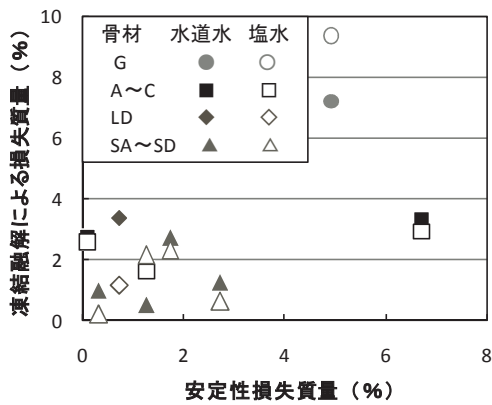


図2.48 安定性損失質量との関係

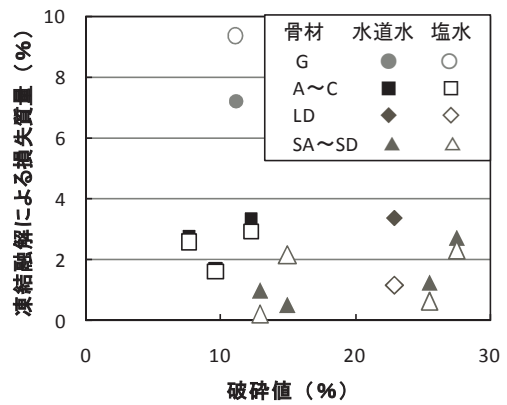


図2.49 破砕値との関係

表2.3.1 骨材の物性試験結果

骨材の種類		記号	粒度 範囲	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	単位容積質 量 (kg/L)	実積率 (%)	粗粒率	微粒分量 (%)	安定性損失 質量 (%)	すりへり減量 (%)	破砕値 (%)	
砂利	砂利(玉砕) 砂利+玉砕													
粗骨材	砂利	G	2505	2.639	2.605	1.32	1.594	61.2	6.83	0.1	4.9	14.6	11.2	
			4005	2.638	2.606	1.20	1.646	63.2	7.41	0.2	5.9	17.6	10.5	
	硬質 砂岩	A	2005	2.676	2.665	0.42	1.609	60.4	6.63	1.1	0.1	12.9	7.7	
			4005	2.682	2.672	0.37	1.619	60.6	7.26	1.2	0.6	13.1	8.4	
	安山岩	B	2005	2.648	2.629	0.70	1.651	62.8	6.70	0.5	1.3	16.0	9.7	
			4005	2.655	2.639	0.58	1.655	62.7	7.35	0.6	1.9	16.6	8.6	
	石灰石	C	2005	2.628	2.567	2.38	1.552	60.5	6.68	0.1	6.7	16.1	12.4	
			4005	2.634	2.586	1.88	1.543	59.7	7.30	0.3	3.5	17.7	10.4	
	細骨材	高炉 スラグ	LA	2005	2.699	2.688	0.41	1.574	58.5	6.63	2.0	0.7	24.1	23.0
				4005	2.702	2.693	0.34	1.647	61.2	7.29	0.9	1.9	28.5	20.1
		電気炉酸 化スラグ	LB	2005	2.709	2.703	0.23	1.681	62.3	7.16	2.3	0.6	23.4	20.7
				4005	2.711	2.705	0.21	1.637	60.5	7.37	1.1	0.6	27.7	18.9
川砂		LC	2005	2.703	2.694	0.35	1.564	58.1	6.80	0.9	1.3	24.3	22.3	
			4005	2.704	2.696	0.31	1.594	59.1	7.14	0.3	0.6	27.8	17.9	
スラグ		LD	2005	2.691	2.677	0.54	1.559	58.3	6.70	1.2	0.8	23.6	22.9	
			4005	2.697	2.683	0.51	1.602	59.7	7.36	0.3	0.9	27.2	21.3	
骨材		SD	2005	2.536	2.421	4.76	1.397	57.7	6.88	1.6	2.7	26.4	25.5	
			4005	2.762	2.725	1.35	1.659	60.9	6.67	0.7	0.3	17.0	12.9	
細骨材		川砂	SC	2005	2.635	2.537	3.86	1.498	59.0	6.52	1.0	1.7	32.5	27.5
				4005	3.735	3.698	1.00	2.114	57.2	6.86	0.3	1.3	14.7	15.0
				2.566	2.515	2.04	1.702	67.7	2.82	0.9	2.2	—	—	

### 3. 舗装コンクリートの凍結融解試験

#### 3.1 はじめに

本検討では、舗装コンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼす粗骨材の品質の影響について検討を行った。

#### 3.2 試験概要

##### 3.2.1 使用材料

粗骨材以外の使用材料を表 3.2.1 に示す。セメントは、普通ポルトランドセメントを、細骨材は川砂をそれぞれ使用した。化学混和剤は AE 減水剤標準形（I 種、高機能タイプ）および AE 剤を使用した。

粗骨材は、表 2.3.1 に示すもののうち最大寸法が 20mm もしくは 25mm の計 12 種類を使用した。試験では、各種砕石もしくは砂利を使用した場合をシリーズ I、高炉スラグ粗骨材もしくは電気炉酸化スラグ粗骨材を使用した場合をシリーズ II とした。また、シリーズ II では、シリーズ I の試験結果と比較する目的で、砂岩砕石（記号：B）および安山岩砕石（記号：C）も試験に供した。

表 3.2.1 コンクリートの使用材料

材料	種類・名称	記号	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	詳細
水	上水道水	W	1.00	—
セメント	普通ポルトランドセメント	C	3.16	—
細骨材	山砂	S	2.57	—
化学混和剤	AE 減水剤	Ad	—	I 種、高機能タイプ 主成分：リグニンスルホン酸化合物と ポリカルボン酸エーテルの複合体
	空気量調整剤	AE	—	主成分：変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤

##### 3.2.2 コンクリートの配合条件および基本条件

コンクリートの配合を表 3.2.2 に示す。単位粗骨材かさ容積は、0.72m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>とした。単位水量は、スランブが 5.0cm 程度となるよう昨年度の検討で定めた値とし、AE 減水剤の添加率は、スランブが 5.0cm に近づくように適宜調整した。水セメント比は、昨年度の検討において、コンクリートの材齢 28 日における曲げ強度が 6.0N/mm<sup>2</sup> となるように選定した値とした。空気量は、骨材修正係数で補正した値が 4.5±1.0% となるように、空気量調整剤により調整した。

コンクリートの練混ぜ条件を表 3.2.3 に示す。コンクリートの練混ぜにおいて、シリーズ I では強制練りミキサ 水平 2 軸形を、シリーズ II では強制練りミキサ パン形を使用した。練混ぜ手順は、セメント、細骨材および粗骨材を投入して 15 秒間練り混ぜた後に、水および化学混和剤を投入して 120 秒間練り混ぜた。

コンクリートの基本性状を表 3.2.4 中に示す。スランブは、砂岩砕石である A において目標値よりも小さく、スラグ砕石である SB、SC および SD が目標値よりも大きくなった。空気量は、すべての配合で目標値

を満足した。曲げ強度は、水準間のばらつきが認められるが、概ね目標どおりであった。

表 3.2.2 コンクリートの配合

区分	記号	W (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	単位 粗骨材 かさ容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	s/a (%)	骨材修正 係数 (%)	空気量 (%)	AE 減水剤 (C×%)	空気量 調整剤 (C×%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
										W	C	S	G
I	A	145	49.2	0.72	39.6	0.07	4.5±1.0	0.6	0.0065	145	295	729	1158
	B	145	52.9	0.72	37.9	0.12	4.5±1.0	0.7	0.0060	145	274	705	1189
	C	145	49.8	0.72	40.7	0.20	4.5±1.0	0.8	0.0050	145	291	752	1117
	G	145	43.9	0.72	38.3	0.13	4.5±1.0	0.6	0.0045	145	330	695	1148
	LA	145	49.6	0.72	41.5	0.15	4.5±1.0	0.7	0.0055	145	292	765	1133
	LB	135	49.1	0.72	39.0	0.03	4.5±1.0	1.0	0.0095	135	275	735	1210
	LC	145	51.2	0.72	42.1	0.09	4.5±1.0	0.8	0.0050	145	283	781	1126
	LD	145	50.9	0.72	42.0	0.09	4.5±1.0	0.8	0.0050	145	285	778	1122
II	BII	145	52.9	0.72	37.9	0.12	4.5±1.0	0.6	0.0070	145	274	705	1189
	CII	145	49.8	0.72	40.7	0.20	4.5±1.0	0.8	0.0050	145	291	752	1117
	SA	160	37.2	0.72	39.8	1.32	4.5±1.0	0.6	0.0040	160	430	673	1006
	SB	153	41.8	0.72	36.9	0.43	4.5±1.0	0.6	0.0050	153	366	652	1194
	SC	160	47.8	0.72	40.6	1.72	4.5±1.0	0.6	0.0040	160	335	719	1079
	SD	160	48.4	0.72	40.9	1.12	4.5±1.0	0.6	0.0040	160	331	727	1522

表 3.2.3 コンクリートの練混ぜ条件

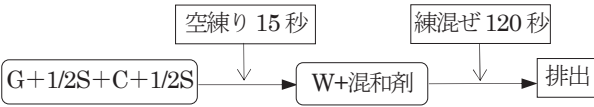
項目	内容
試験条件	試験室環境: 室温 20±2°C 骨材の含水状態: 表面乾燥飽水状態
ミキサの種類	シリーズ I : 強制練りミキサ 水平二軸形、公称容量 60ℓ シリーズ II : 強制練りミキサ パン形、公称容量 55ℓ
練混ぜ手順	 <pre> graph LR     A[G+1/2S+C+1/2S] --&gt; B[空練り 15秒]     B --&gt; C[W+混和剤]     C --&gt; D[練混ぜ 120秒]     D --&gt; E[排出]             </pre>
1回の練混ぜ量	40ℓ

表 3.24 コンクリートの基本性状

区分	記号	フレッシュ性状			材齢 28 日 曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )
		スランブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度(°C)	
I	A	1.5	4.6	21.5	5.72
	B	4.5	4.9	21.6	5.50
	C	4.0	5.4	21.7	6.71
	G	4.0	4.6	21.9	6.39
	LA	3.5	5.0	21.6	6.77
	LB	4.9	4.8	21.4	5.84
	LC	5.0	4.8	21.5	5.18
	LD	5.6	4.8	21.5	6.16
II	BII	5.0	5.2	21.9	6.41
	CII	5.5	5.4	22.4	6.16
	SA	6.3	4.8	22.4	6.24
	SB	8.7	4.8	22.3	6.64
	SC	11.5	4.6	21.9	6.01
	SD	9.5	4.5	22.1	5.76

### 3.2.3 試験方法

コンクリートの凍結融解試験は、JIS A 1148 (A 法) に準拠して、相対動弾性係数および質量変化率により評価した。

## 3.3 試験結果

### 3.3.1 相対動弾性係数

相対動弾性係数測定結果を図 3.3.1 および図 3.3.2 に示す。シリーズ I の 300 サイクルにおける相対動弾性係数は、G を用いた場合にわずかな低下が認められるものの、使用した粗骨材の種類に関わらず 85%以上であった。

シリーズ II の各種スラグ粗骨材を使用したコンクリートの相対動弾性係数は、SA および SC を用いた場合に 70%程度まで低下したものの、その他の水準ではいずれも 90%以上であった。これまでも骨材の品質がコンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼす影響について検討されており、絶乾密度、吸水率、安定性損失率、すりへり減量などを指標として評価されている<sup>1)</sup>。SA および SC は、他の粗骨材よりも吸水率が高く、すりへり減量が多いことから、粗骨材の強度がやや低く、凍結融解抵抗性に影響を及ぼした可能性がある。



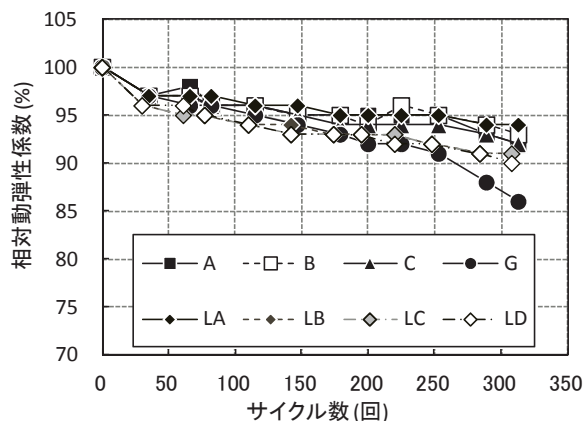


図3.3.1 相対動弾性係数(シリーズ I)

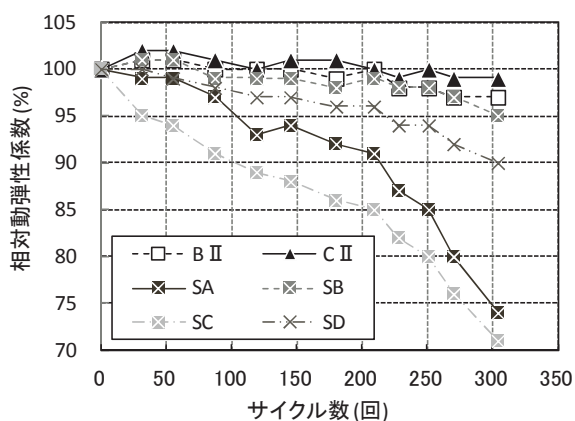


図3.3.2 相対動弾性係数(シリーズ II)

### 3.3.2 質量減少率

質量減少率の測定結果を図3.3.3および図3.3.4に示す。シリーズ I の質量減少率は、相対動弾性係数がやや低くなったGを用いた場合に最も低く、その他の場合は2~3%程度であった。

シリーズ II の各種スラグ骨材を使用した場合の質量減少率は2%以下であり、中でも相対動弾性係数の低下が認められたSAの場合に最も低い値となった。

以上のように、本研究における質量減少率は、相対動弾性係数とは異なる傾向を示す水準があることを確認した。質量減少率は、凍結融解作用によるスケーリングに起因するものであり、その要因の一つとしてコンクリート表層部の強度が挙げられる。本研究では、所定の曲げ強度が得られるようにコンクリートの水セメント比を定めたため、水準ごとに水セメント比が異なっている。そこで、質量減少率に及ぼす水セメント比の影響を確認した。粗骨材B使用時に対する質量減少率比と水セメント比の関係を図3.3.5に示す。高炉スラグ粗骨材を使用した場合の質量減少率は、その他の場合よりもやや高く、いずれも水セメント比が高いほど質量減少率が高くなった。以上より、凍結融解作用による質量減少率を低減するには、良質な粗骨材を使用することに加え、モルタル部の強度を高めることが必要と考える。

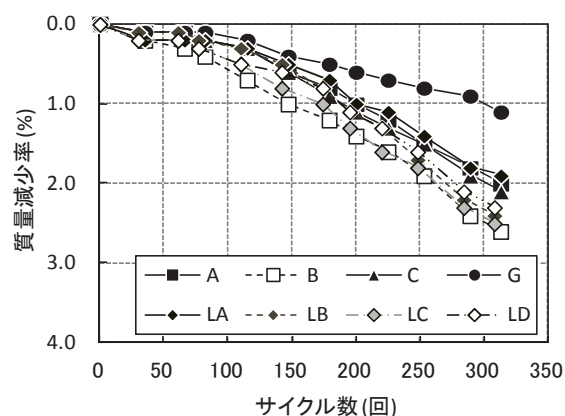


図3.3.3 質量減少率(シリーズ I)

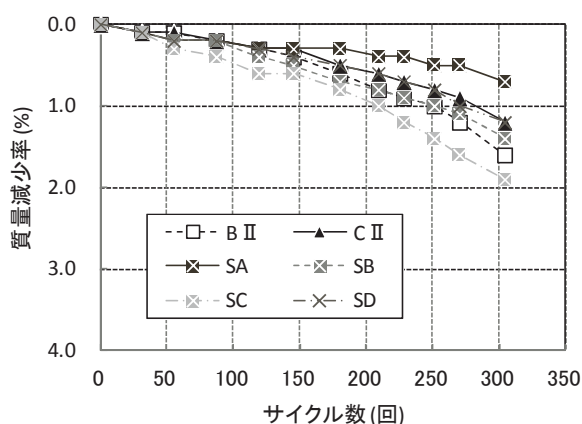


図3.3.4 質量減少率(シリーズ II)

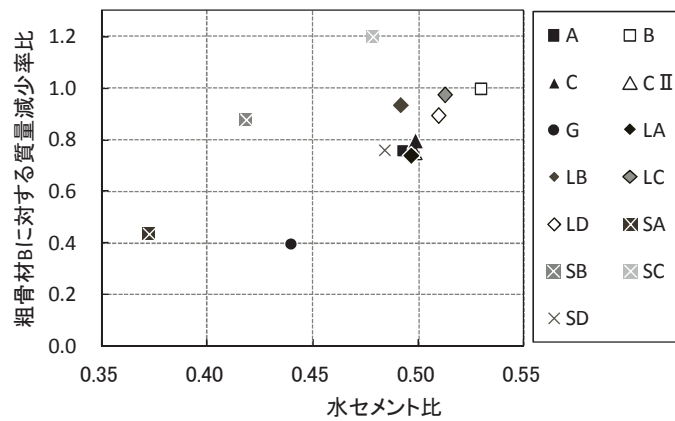


図3.35 粗骨材B使用時に対する質量減少率比と水セメント比の関係

### 3.4 凍結融解試験結果のまとめ

本研究により、コンクリートの相対動弾性係数は粗骨材品質の影響を受け、良質な粗骨材を使用することで向上することを示した。また、質量減少率は、良質な粗骨材の使用に加え、モルタル強度を高めることで低減できることを明らかにした。

#### 【参考文献】

- 1) (社)日本コンクリート工学協会：骨材の品質と有効利用に関する研究委員会 報告書, pp.148-158, 2007

## 4. 舗装コンクリートのスケーリング試験

### 4.1 試験目的

舗装コンクリートは、打設面が交通荷重を直接受けるとともに、外気にも直接さらされており、厳しい条件にさらされている。そのうち本章では、気象、とりわけ温度変化に伴う凍結融解に対する抵抗性について検討することとした。凍結融解試験は、JISA 1148 に基づき、供試体全体を水中凍結・水中融解する試験が一般的である（3章）。しかし、舗装コンクリートは、打設面である舗装表面が最も厳しい条件にさらされていることから、ASTM C672 に規定されているスケーリング試験を参考に、表面からの劣化に対する抵抗性について検討することとした。

### 4.2 試験項目

試験は、2回に分けて実施した。1回目は予備試験、2回目は粗骨材の種類、水セメント比の影響である。これらの試験は、次の項目について検討することとした。

#### 4.2.1 予備試験

予備試験は、次の3項目について検討することとした。

- (1) 試験面の影響
- (2) 凍結防止剤の影響
- (3) 空気量の影響

(1)については、打設面と切断面を対象とした。舗装コンクリートは打設面が試験対象となる。しかし、打設面はブリーディングの影響がある。そのため、切断面においては、ブリーディングの影響を受けないモルタルのスケーリング抵抗性、および粗骨材の劣化を直接観察するために実施することとした。

(2)は、積雪、凍結地域では、凍結防止剤（NaCl）が散布されることから、その影響について検討することとした。

(3)は、凍結融解抵抗性の向上には空気量が欠かせないことから、空気量の影響についても検討することとした。

#### 4.2.2 粗骨材の種類、水セメント比の影響に関する試験

本共同研究は、粗骨材の品質と舗装コンクリートの品質の関係を明確にすることが重要な研究目的の一つである。主な粗骨材、および2章の粗骨材の簡易凍結融解試験の結果から数種類の粗骨材を選定し、粗骨材の種類がスケーリング抵抗性に及ぼす影響について検討した。また、一部の粗骨材については、水セメント比がスケーリング抵抗性に及ぼす影響についても検討することとした。

### 4.3 予備試験

#### 4.3.1 試験条件

試験条件は、表 4.3.1 のとおりである。

空気量は、6%、4.5%、1.5%の3水準、W/Cは50%一定、測定面は打設面と切断面、湛水溶液の種類は

塩分濃度が異なり、0%（水道水）、3%と 23.4%（飽和溶液）の 3 種類である。供試体は、各種類 2 個ずつとした。

表 4.3.1 試験条件

粗骨材の種類	空気量	W/C (%)	測定面	湛水溶液（塩分濃度）		
				0%（水道水）	3%	23.4%
A20	6±0.5%	50	打設面		○	
			切断面			
	4.5±0.5%		打設面	○	○	○
			切断面	○	○	○
	1.5±0.5%		打設面		○	
			切断面			

### 4.3.2 スケーリング試験方法

予備試験は、ASTM C672 を参考に、次のように試験した。

#### (1) 供試体

寸法 150×150×300mm のコンクリートを図 4.3.1 のように切断し、試験する面ごとに次の寸法の供試体を各 2 個ずつ成形した。

- ① 打設面：150×150×75mm
- ② 切断面：150×150×75mm

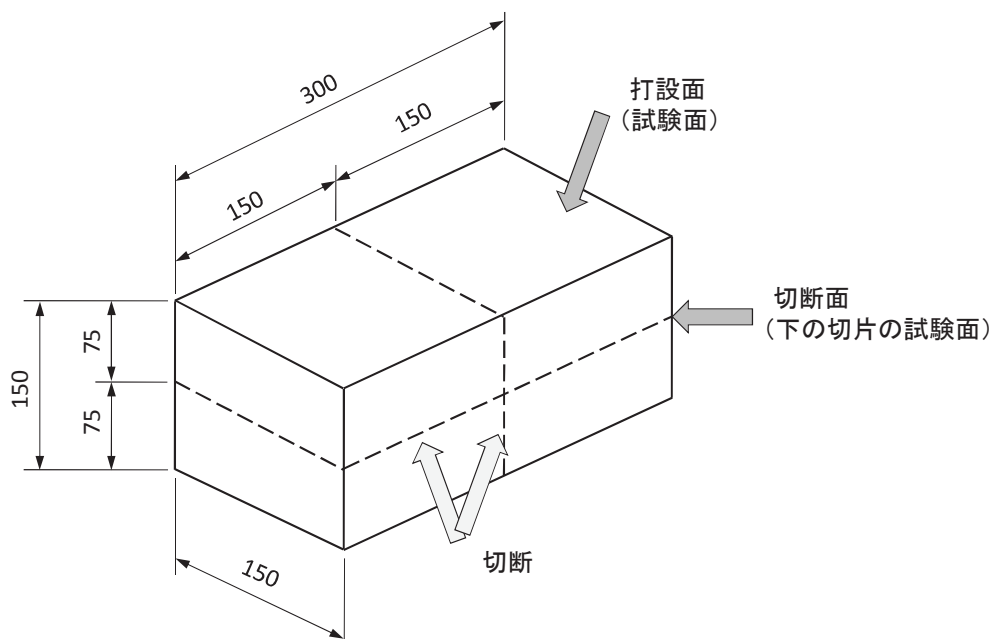


図 4.3.1 供試体の成形

試験面に水を溜めるための囲いを設ける作業手順は、次のとおりである。

供試体を14日間水中養生した後で図4.3.1のように切断する。

1日湿空（20℃、85%R.H.）養生したあと、試験面以外（側面および底面）をエポキシ樹脂で2回塗装した。

その後、図4.3.2に示すように試験溶液を湛えるための囲い（プラスチック製）を貼り付け、その外側を接着剤で補強した。

供試体の湿空養生の開始から囲いの取付けまでを7日で行なった。

以降は、試験面に水を入れ、7日養生した。

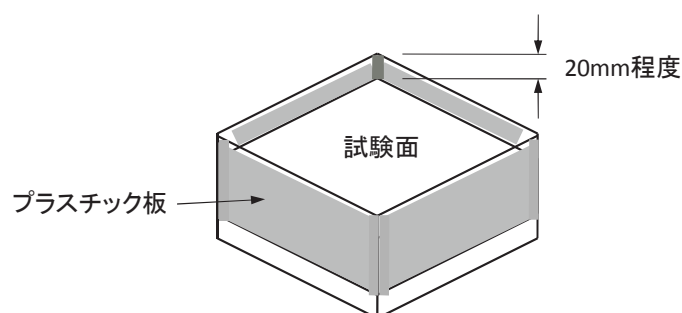


図 4.3.2 試験面に水を湛えるための囲い

## (2) スケーリング試験

試験開始6時間前に、試験面に湛水溶液（水道水、塩水3%溶液、飽和（23.4%）溶液）を深さ6mm入れた。

試験温度のパターンは、 $-20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ で16時間凍結、その後、 $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ で8時間融解の繰返しである。

測定は、(3)のとおりスケーリング量および試験面の観察を行なった。測定は、10サイクルごとに50サイクルまで行なった。

## (3) スケーリング量の測定および供試体の観察

### a) スケーリング量の測定

スケーリング量は、試験面から剥離片を採取し、塩化ナトリウムを水道水で除去した後、 $105^{\circ}\text{C}$ で乾燥させ、剥離した試料の質量を測定した。

スケーリング量は、剥離した試料の質量を試験面の面積で除して求めた。

### b) 試験面の観察

試験面の剥離状態などを観察し、写真記録した。

## 4.3.3 コンクリートの配合およびフレッシュ性状、圧縮強度

### (1) コンクリートの配合およびフレッシュ性状

コンクリートの配合およびフレッシュ性状は、表4.3.2および表4.3.3のとおりである。

表 4.3.2 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

粗骨材 最大寸法 (mm)	スランプ 目標値 (cm)	空気量 目標値 (%)	水セメント 比 (%)	単位 粗骨材 かさ容積	細骨 材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
						水	セ メ ン ト	細 骨 材	粗 骨 材	AE 減水 剤 15SX2 C*%	AE 剤 202 100 倍 溶液	消泡剤 404 100 倍 溶液
20	6.5	6.0	50.0	0.72	39.7	145	290	733	1159	2.90	2.03	—
		4.5									1.45	—
		1.5									—	1.16

表 4.3.3 フレッシュ性状

空気量 目標値 (%)	試験結果		
	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)
6.0	5.4	6.2	20.0
4.5	5.3	4.8	19.9
1.5	2.6	1.3	20.0

(2) 単位容積質量および圧縮強度

スケーリング試験開始時(材齢 30 日)の単位容積質量および圧縮強度の試験結果は、表 4.3.4 および図 4.3.3 のとおりである。

空気量と圧縮強度および単位容積質量の関係は、図 4.3.3 のとおり高い相関関係がある。

表 4.3.4 圧縮強度および単位容積質量

空気量 (%)	単位容積質量		圧縮強度	
	(kg/m <sup>3</sup> )	平均	(MPa)	平均
6.2	2336	2337	41.5	42.3
	2337		43.1	
4.8	2360	2357	46.9	46.2
	2355		45.4	
1.3	2440	2436	49.0	51.8
	2432		54.6	

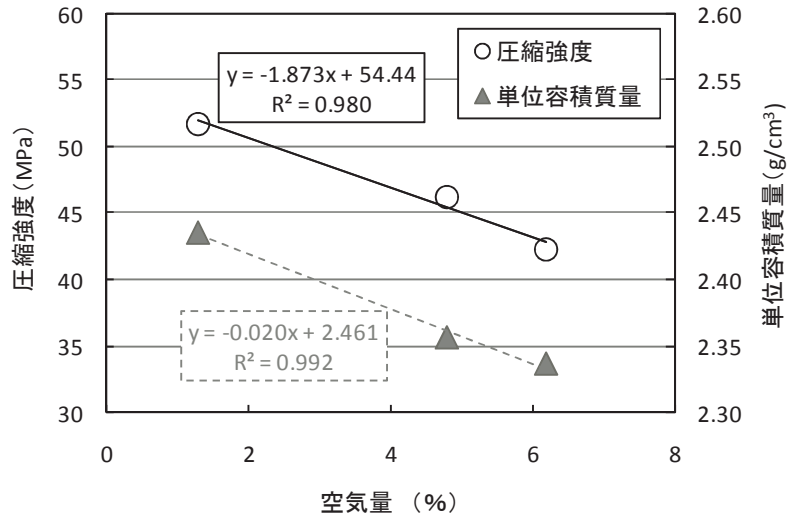


図 4.3.3 圧縮強度および単位容積質量

#### 4.3.4 スケーリング試験結果

サイクルごとのスケーリング量の結果は、巻末の資料 2.1 のとおりである。

スケーリングの状況（写真）は、資料 2.2 のとおりである。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 空気量 4.5%で、塩分濃度 0%と 23.4%の場合は、打設面、切断面ともほとんどスケーリングはなかったが、3%の場合はサイクル数とともにスケーリングが進行していった。
- (2) 空気量の影響は大きく、塩分濃度 3%の場合、空気量 6%であればスケーリングはほとんどなかった。空気量 4.5%ではわずかにスケーリングがあった。1.5%はモルタルのスケーリングがサイクル数とともに進行していった。
- (3) 試験面については、打設面の方が切断面よりもスケーリングの進行が速かった。

#### 4.3.5 湛水溶液の塩分濃度と試験面の影響

湛水溶液の塩分濃度の影響を、打設面、切断面ごとに図 4.3.4 に示す。目標空気量は 4.5%の場合である。

図 4.3.4 で明らかなおおり、塩分濃度 3%のときのみスケーリング量が多く、0%、飽和溶液はほぼ 0 であった。飽和溶液の場合、凍結温度は 22°C である。試験は -20°C で実施しており、飽和溶液は凍結していないことを確認しており、スケーリングを生じなかった。

試験面の違いは、塩分濃度 3%の場合、打設面のスケーリング量は切断面に比べて 10 倍程度であった。

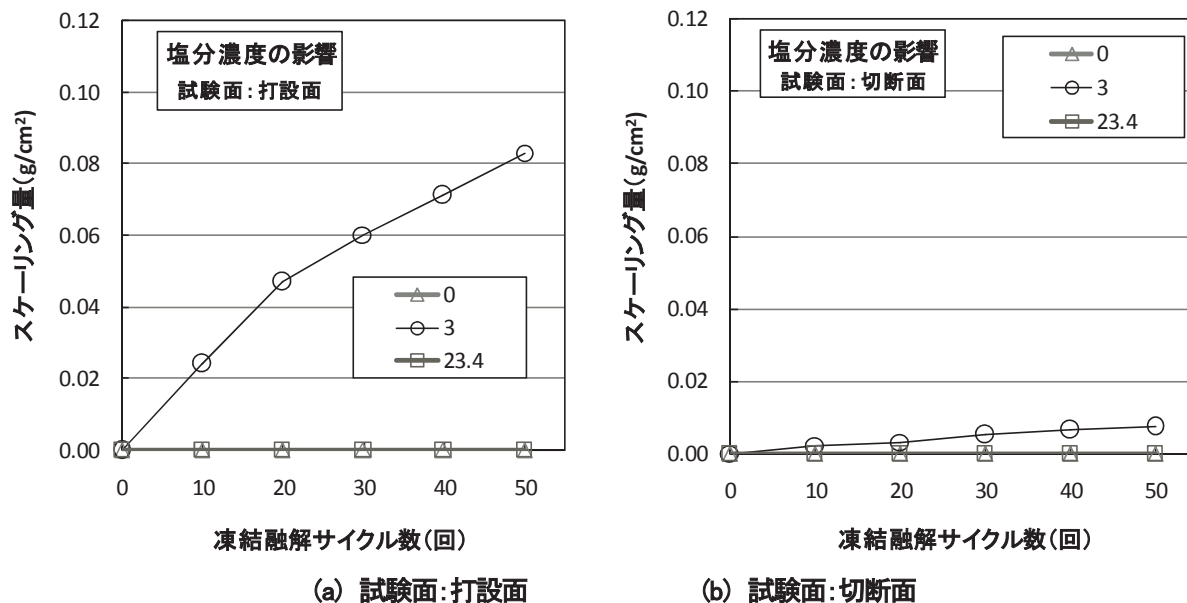


図 4.3.4 塩分濃度の影響

#### 4.3.6 空気量と試験面の影響

空気量の影響を、打設面、切断面ごとに図 4.3.5 に示す。塩分濃度は 3% の場合である。

図 4.3.5 で明らかとなり、空気量 1.5% のときのスケールリング量が多くなっている。(a) 図 (打設面) の空気量 1.5% と 4.5% のスケールリング量を比較すると、1.5% の場合は 10 倍程度になっている。6% のスケールリング量はわずかであり、スケールリングにおいても空気量の影響は大きい。

また、(b) 図 (切断面) の場合を比較すると、4.5%、6% の場合はほぼ 0 であるが、1.5% の場合は、(a) 図の打設面の場合よりもわずかに少ないものの、空気量が少ないとモルタルのスケールリングが進行している。

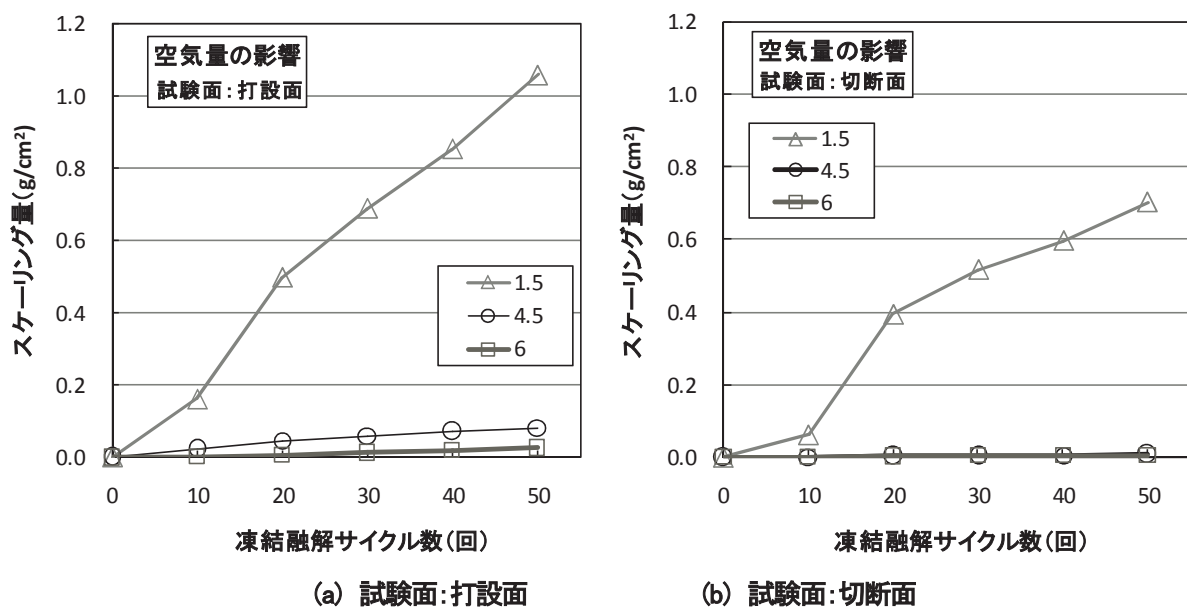


図 4.3.5 空気量の影響



#### 4.3.7 スケーリング試験条件

以上の結果より、次節の粗骨材の種類、水セメント比の影響の試験を行うにあたっては、塩水 3%、空気量 4.5%で実施することとした。試験面は、同じく打設面と切断面の両面で行うこととした。

## 4.4 粗骨材の種類、水セメント比の影響に関する試験

### 4.4.1 試験条件

試験条件は、表 4.4.1 のとおりである。

粗骨材の種類は、硬質砂岩碎石の A および B、安山岩碎石の C、砂利の G、石灰石の LD、高炉スラグ骨材の SC の 6 種類である。配合は、W/C50%、空気量 4.5%一定とした。粗骨材を選定した理由は、2 章の骨材の試験結果より、A は良質な硬質砂岩碎石であり、そのほかの粗骨材との比較用である。石灰石、スラグ骨材の代表として LD、SC を選定した。石灰石は、4 種類ともすべての試験結果はほぼ同じであり、粒度が平均的な分布の LD を選定した。SC は、3 章の凍結融解試験の結果、相対動弾性係数の低下が最も大きかったことから選定した。B、C および G は、簡易凍結融解試験の結果から選定した。G は、水道水、塩水の試験とも凍結融解抵抗性が小さかった。B、C は、水道水の結果は良好であった。塩水の場合も 3 サイクルまでの結果は良好であったが、30 サイクルになると凍結融解抵抗性は小さくなっていた。特に C は損失質量が最も大きかった。

水セメント比の影響は、粗骨材 A、C、SC の 3 種類について、40%、50%、60%の 3 水準である。

表 4.4.1 試験条件

骨材		W/C (%)			空気量 (%)
		40	50	60	
A	硬質砂岩碎石	○	○	○	4.5±0.5
B			○		
C	安山岩碎石	○	○	○	
G	砂利		○		
LD	石灰石		○		
SC	高炉スラグ	○	○	○	

### 4.4.2 試験方法

試験溶液に塩水濃度 3%としたほかは、4.3.2 と同じである。

### 4.4.3 コンクリートの配合およびフレッシュ性状、圧縮強度

コンクリートの配合は、表 4.4.2 のとおりである。

コンクリート練混ぜ直後のスランプ、空気量の結果、および材齢 28 日圧縮強度の結果を表 4.4.3 に示す。

試験結果に大きな影響を及ぼすと考えられる空気量は、粗骨材 A20 の W/C=40%を除き、目標どおり 4.5 ±0.5%の範囲に入っていた。粗骨材 A20、W/C=40%は、AE 減水剤が 1.3%を超えるとペーストと骨材が分離し始めたため AE 減水剤の上限を 1.3%とし、そのときのスランプは 2.6cm であった。おそらく硬練りであったため、AE 剤を増やしても空気量はほとんど増加せず、目標を下回る 3.7%であった。

表 4.4.2 コンクリートの配合

骨材と 最大寸法 (mm)	水 セメント 比 (%)	スラップ 目標値 (cm)	空気量 目標値 (%)	単位 粗骨材 かさ容積	細骨材 率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
						水	セ メ ン ト	細 骨 材	粗 骨 材	AE 減水剤 15S 100 倍溶液 (C×%)	AE 剤 202 100 倍溶液 (C×%)	
A20	40	5.0	4.5	0.72	37.6	145	363	669	1160	4.53(1.3)	2.27(6.25)	
	50				39.6		290	728		2.90(1.0)	1.89(6.50)	
	60				40.8		242	768		2.42(1.0)	1.45(6.00)	
B20	50				37.5		290	690	1189	3.19(1.1)	1.02(3.50)	
C20	40				38.8		145	363	691	1117	4.35(1.2)	2.18(6.00)
	50				42.0			242	790		2.66(1.1)	0.66(2.75)
	60				40.8			290	750		3.48(1.2)	0.94(3.25)
G	50				39.4		290	725	1148	2.32(0.8)	1.23(4.25)	
LD	50				41.9		290	771	1122	2.47(0.85)	1.09(3.75)	
SC	40				38.7	160	400	663	1079	3.60(0.9)	2.80(7.00)	
	50				41.0		320	728		2.24(0.7)	1.68(5.25)	
	60				42.4		267	772		1.47(0.55)	1.00(3.75)	

表 4.4.3 フレッシュ性状および圧縮強度

骨材と 最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	フレッシュ性状			圧縮強度 (MPa)
		スラップ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	
A20	40	2.6	3.7	21.1	63.1
	50	3.6	4.1	22.1	41.1
	60	4.1	4.2	22.0	34.4
B20	50	6.6	4.0	23.5	45.9
C20	40	4.2	4.0	20.6	60.3
	50	3.8	4.9	21.7	42.3
	60	4.6	4.0	22.3	33.1
G	50	3.2	4.2	23.6	46.0
LD	50	5.0	4.4	23.6	47.3
SC	40	6.2	4.6	21.3	53.6
	50	7.4	4.3	22.5	38.4
	60	6.2	4.8	22.6	29.6

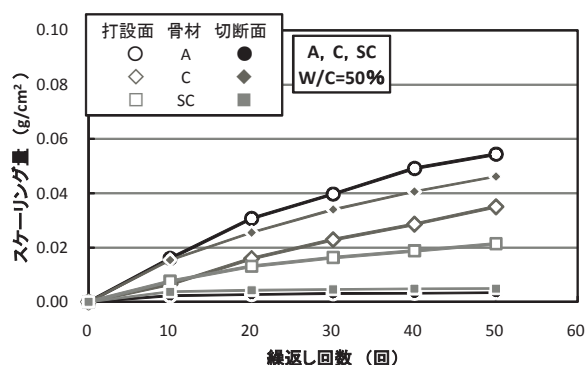
#### 4.4.4 実験結果

繰返し回数ごとのスケーリング量の結果は資料 23、50 サイクル時の表面の状態（写真）は資料 24 のとおりであった。

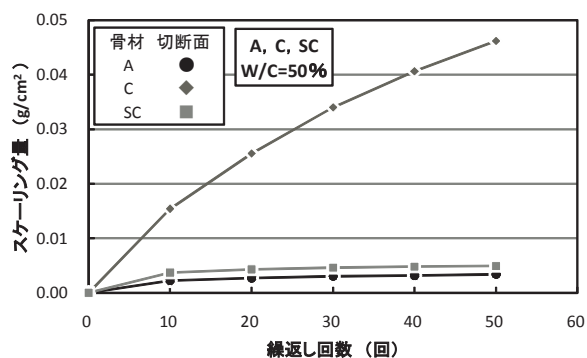
#### 4.4.5 粗骨材の種類

6 種類の粗骨材 (W/C=50%) について、繰返し回数とスケーリング量の関係は図 4.4.1 のとおりである。左の列 (a-1、a-2) は、打設面と切断面の結果を併せて示し、縦軸を合せている。右の列 (b-1、b-2) は、切断面の結果である。切断面のスケーリング量は、予備試験の結果より、打設面よりも少なくなる可能性が高いため、縦軸のスケールを変えている。また、上段 (a-1、b-1) は粗骨材 A、C、SC の結果、下段 (a-2、b-2) は B、G、LD の結果である。

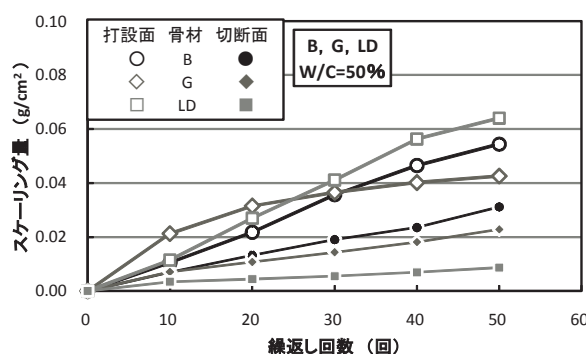
粗骨材 C は、切断面の方が打設面よりもスケーリング量が多くなっているが、そのほかは予備試験の結果と同様に打設面の方が多くなっている。粗骨材 C の切断面のスケーリング量が多くなったのは、原因は不明であるが、2 個のうちの 1 個の一部が深く劣化していったためである。



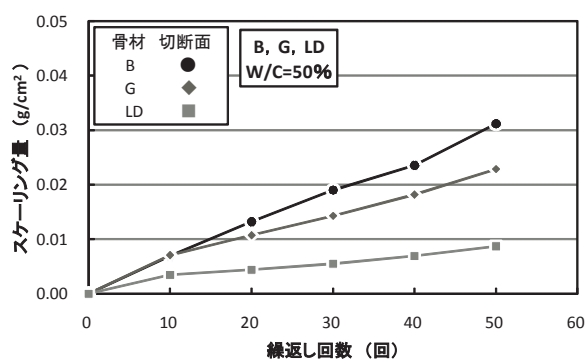
(a-1) 粗骨材 A、C、SC の打設面



(b-1) 粗骨材 A、C、SC の切断面



(a-2) 粗骨材 B、G、LD の打設面



(b-2) 粗骨材 B、G、LD の切断面

図 4.4.1 粗骨材の種類ごとの繰返し回数とスケーリング量の関係

50 サイクル時の粗骨材の種類ごとのスケーリング量を図 4.4.2 に示す。打設面のスケーリング量は全体に高い傾向があるが、切断面は粗骨材の種類によってかなり異なっている。A、LD、SC の切断面のスケーリング量は少なく、B、C、G は多くなっている。

打設面の劣化は、スケーリング量の大小にかかわらず、主にモルタル分の剥離の進行であった。しかし、切断面は、モルタルの剥離はわずかであったが、スケーリング量の多い骨材は、骨材が薄く剥離したり、さらに進行するとモルタルとの界面から骨材が剥離した。

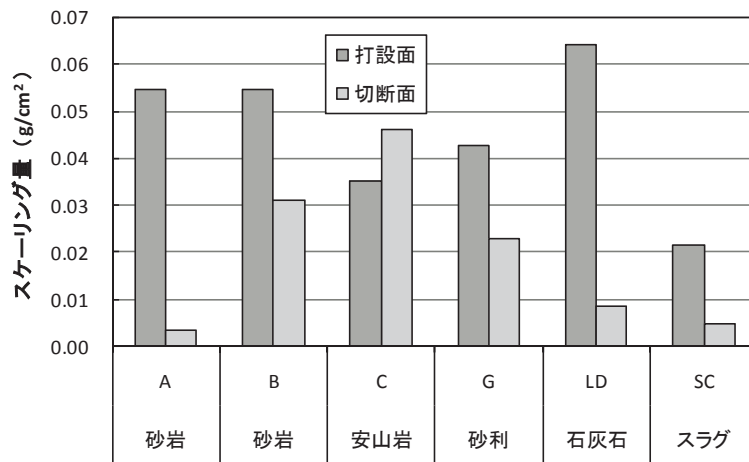


図 4.4.2 粗骨材の種類ごとの 50 サイクル時のスケーリング量

これらの結果より、打設面は主にモルタルの凍結融解抵抗性の確認に適しているものと考えられるが、切断面は骨材の凍結融解抵抗性の確認に適用できる可能性があるものと考えられる。

そこで、骨材の凍結融解抵抗性に関する指標（安定性損失質量と、簡易凍結融解試験の水道水の 30C（サイクル）、塩水の 3C、30C の損失質量）と、打設面および切断面のスケーリング量の関係を求めると、図 4.4.3 のようになった。回帰した結果は表 4.4.4 のとおりである。

表 4.4.4 の結果より、打設面のスケーリング量と諸指標には相関関係はない。切断面は、水道水 30C と塩水 30C には相関関係はないが、安定性と塩水 30C には高い相関関係がある。

従来から実施されている安定性試験は、骨材のスケーリング抵抗性の指標にもなるものと考えられる。また、塩水による簡易凍結融解試験も、繰返し回数を検討することにより骨材のスケーリング抵抗性の評価に適用できる可能性がある。

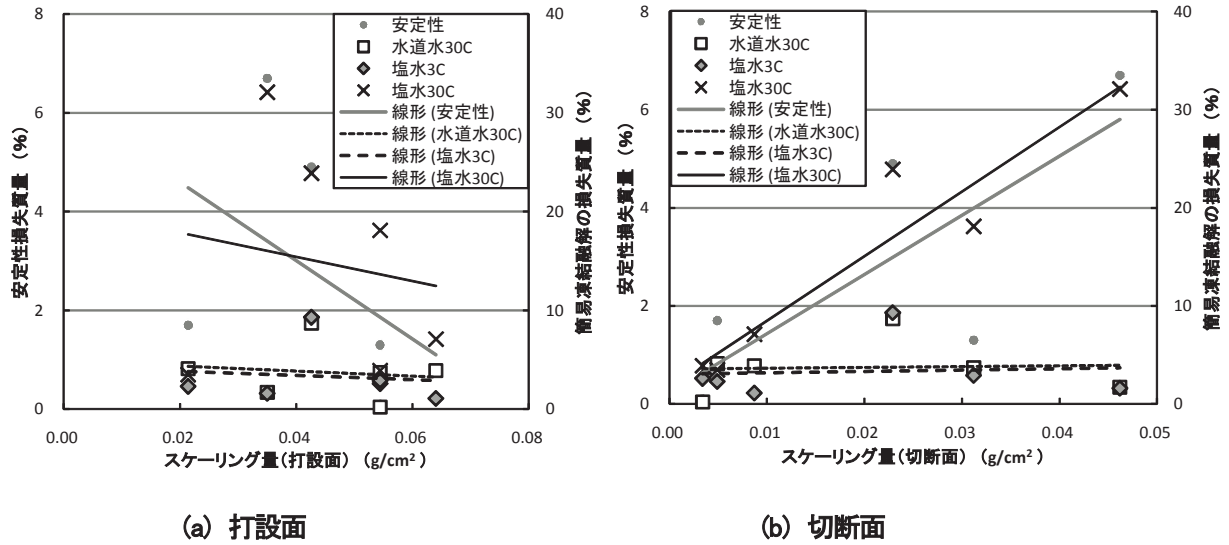


図 4.4.3 骨材の凍結融解抵抗性に関する指標とスケーリング量の関係

表 4.4.4 図 4.4.3 の回帰結果

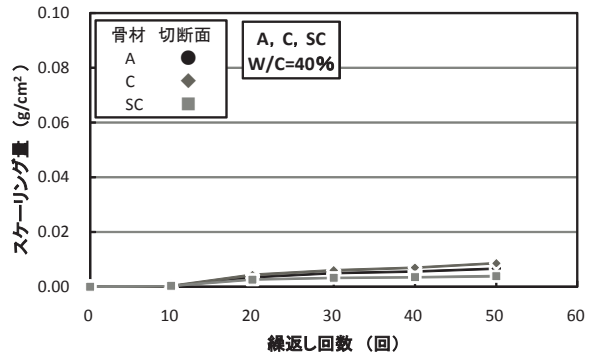
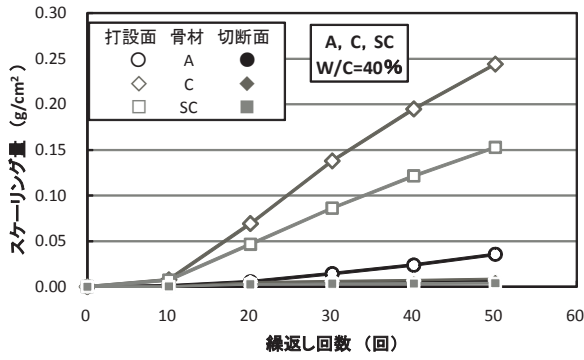
試験面	試験方法		回帰結果		
			a	b	r <sup>2</sup>
打設面	安定性		6.18	-79.31	0.221
	簡易凍結	水道水 30C	4.87	-25.47	0.018
		塩水 3C	4.28	-21.61	0.012
		塩水 30C	20.27	-121.5	0.025
切断面	安定性		0.23	120.6	0.618
	簡易凍結	水道水 30C	3.56	8.24	0.002
		塩水 3C	3.03	13.76	0.006
		塩水 30C	1.89	658.5	0.900

#### 4.4.6 水セメント比の影響

粗骨材 A、C、SC について、W/C 40、50、60% に変化させた場合の繰返し回数とスケーリング量の関係は図 4.4.4 のとおりである。上段 (a-1、b-1) は W/C 40%、中段 (a-2、b-2) は 50%、下段 (a-3、b-3) は 60% である。また、左と右の列は、図 4.4.1 と同じように、左図 (a-1、a-2、a-3) は、打設面と切断面の結果を併せて示し、縦軸を合せている。右図 (b-1、b-2、b-3) は、切断面の結果である。右図も縦軸を合せている。

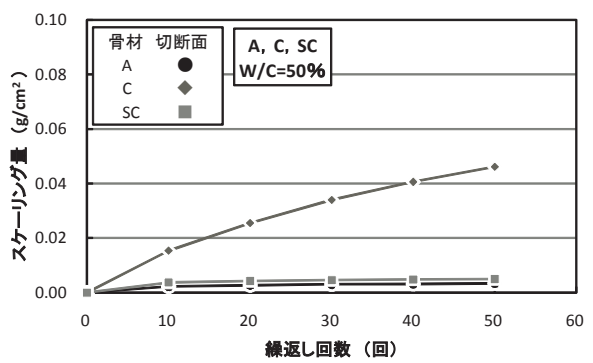
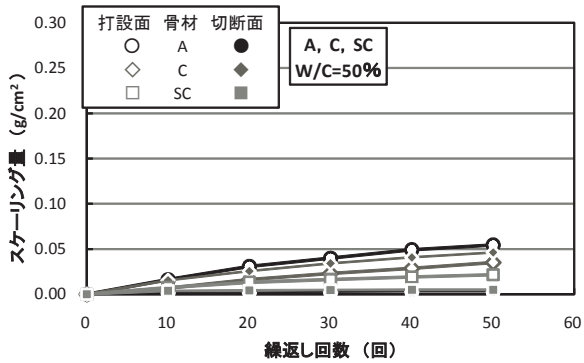
50 サイクル時のスケーリング量を図 4.4.5 に示す。

打設面の結果 (a-1~a-3) は、W/C50% のスケーリングが最も少なく、40% の場合、A は 50% と同程度であるが、C と SC は多く、60% の場合と同程度になっている。



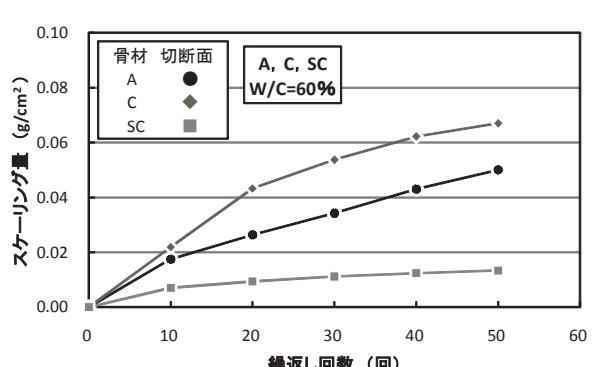
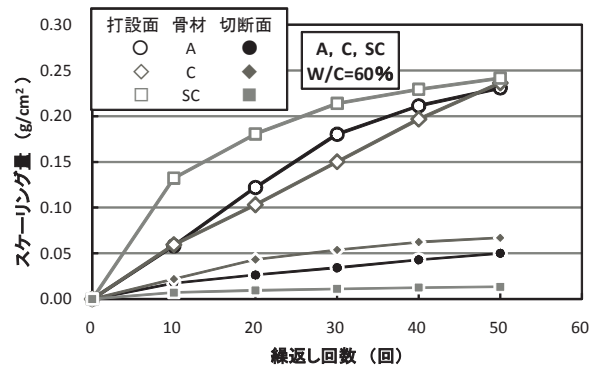
(a-1) W/C=40% (打設面、切断面)

(b-1) W/C=40% (切断面)



(a-2) W/C=50% (打設面、切断面)

(b-2) W/C=50% (切断面)



(a-3) W/C=60% (打設面、切断面)

(b-2) W/C=60% (切断面)

図 4.4.4 粗骨材の種類ごとの繰返し回数とスケールリング量の関係

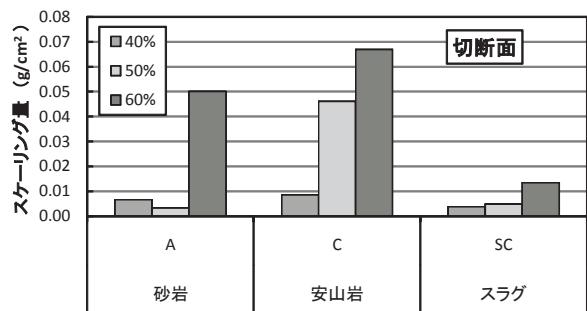
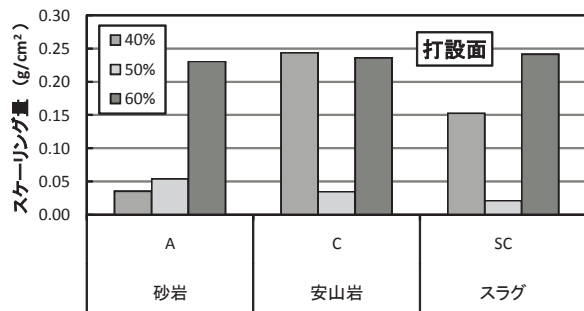


図 4.4.5 50 サイクル時のスケールリング量

スケーリングの状況を見ると、60%の場合はほぼ全面的に進行していたが、40%と50%は部分的に進行しており、しかも1種類2個ずつを比較すると、かなり違った進行状況だったことを考えると、供試体の締固め、表面仕上げの影響が大きかった可能性が考えられる。また、空気量は、W/C 40%の場合、4.0%程度であり、W/C 50%、60%の場合よりも少なかったことも影響したことが考えられる。

切断面の結果 (b-1~b-3) は、b-2 (W/C 50%) のAの結果を除き (4.4.5 に詳述)、W/C 40%と50%のスケーリング量は少なく、60%は多くなっており、ほぼ通常の凍結融解と同様の結果が得られている。ただし、W/C 60%について骨材ごとにみると、AとCよりもSCのほうが少なくなっている。SCは、通常の凍結融解試験の結果では、相対動弾性係数が最も低下していたが、切断面のスケーリング試験では異なる結果となった。SCは、安定性試験、粗骨材の簡易凍結融解試験の結果とも比較的良好な結果であり、骨材が表面に出ている状態と、モルタルに覆われている状態では劣化が異なることも考えられる。W/C 60%の打設面の供試体は、表面のモルタルがほぼはく離した状態であり、今後も継続して試験することにより骨材の劣化が進むのかどうかを確認できる可能性がある。



## 5. 舗装コンクリートの乾燥収縮および自己収縮試験、線膨張係数試験

### 5.1 概要

本章では各種粗骨材を用いた舗装コンクリートの乾燥収縮および自己収縮試験、線膨張係数試験について検討した。乾燥収縮試験は10×10×40cmの寸法の供試体でGmax20/25mmを対象に実施した。自己収縮試験および線膨張係数試験は15×15×53cmの寸法の供試体でGmax20/25mmおよびA（硬質砂岩）、LA（石灰石）のGmax40mmを対象に実施した。

コンクリートの配合を表5.1.1に示す。コンクリートの配合は目標曲げ強度6.0MPa、目標スランプ5±1.5cm、目標空気量4.5±1.5%とした。なお、表中の目標空気量は骨材修正係数を加味した値である。

コンクリートのフレッシュ性状および凝結の始発時間を表5.1.2に示す。なお、凝結の始発時間はJIS A 1147（コンクリートの凝結時間試験方法）に準じて行った。全てのコンクリートの配合で空気量は目標を満足したが一部の配合でスランプが目標から外れたが、本試験結果に及ぼす影響は小さいと判断してこのフレ

表 5.1.1 コンクリートの配合

骨材種類	粗骨材最大寸法 (mm)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	W/C (%)	単位粗骨材かさ容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
							水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
A20	20	5.0	4.7	49.2	0.72	39.6	145	295	729	1158	1.47
B20	20	5.0	4.5	52.9	0.72	37.9	145	274	705	1189	1.92
C20	20	5.0	4.6	49.8	0.72	40.7	145	291	752	1117	1.89
G25	25	5.0	4.6	43.9	0.72	38.3	145	330	695	1148	1.32
LA20	20	5.0	4.6	49.6	0.72	41.5	145	292	765	1133	1.46
LB20	20	5.0	4.6	49.1	0.72	39.0	135	275	735	1210	1.65
LC20	20	5.0	4.7	51.2	0.72	42.1	145	283	781	1126	1.13
LD20	20	5.0	4.6	50.9	0.72	42.0	145	285	778	1122	1.42
SA20	20	5.0	5.8	37.2	0.72	39.8	160	430	673	1006	1.94
SB20	20	5.0	4.9	41.8	0.72	36.9	153	366	652	1194	2.56
SC20	20	5.0	6.2	47.8	0.72	40.6	160	335	719	1079	1.00
SD20	20	5.0	5.6	48.4	0.72	40.9	160	331	727	1522	0.83
A40	40	5.0	4.7	47.3	0.72	40.4	135	285	756	1166	1.43
LA40	40	5.0	4.6	46.2	0.72	39.7	135	292	740	1186	1.46

表 5.1.2 コンクリートのフレッシュ性状および凝結の始発時間

骨材種類	スランプ (cm)	空気量 (%)	凝結の始発時間 (時間:分)
A20	4.8	4.7	5:13
B20	5.6	4.4	5:28
C20	5.5	4.0	5:46
G25	6.5	4.3	5:08
LA20	5.2	4.0	4:34
LB20	8.5	4.4	4:45
LC20	5.5	4.0	4:16
LD20	5.0	4.7	4:46
SA20	5.0	5.5	5:18
SB20	8.0	4.5	4:59
SC20	7.5	6.0	5:07
SD20	6.5	4.9	4:30
A40	5.0	4.1	4:56
LA40	5.5	4.6	5:20

フレッシュ性状のコンクリートで各種試験を行なった。凝結の始発時間は、最小が4時間16分、最大が5時間46分となり、範囲が1時間30分であった。全ての配合で同一の普通ポルトランドセメントを使用しているにも関わらず、凝結の始発時間が異なった理由は骨材種類毎に水セメント比や混和剤量が異なったためと考えられる。

## 5.2 乾燥収縮

### 5.2.1 試験方法

乾燥収縮試験は JIS A 1129-2 (モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法—第 2 部：コンタクトゲージ方法) に準じて行なった。供試体は成形した翌日に脱型して  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  の水中に浸せきし、材齢 7 日で周辺の温度が  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度  $60 \pm 5\%$  の環境下で保存した。供試体の保存の様子を**写真 5.2.1** に示す。乾燥期間 26 週まで所定の材齢で長さ変化を測定し、乾燥収縮率を算出した。



写真 5.2.1 供試体の保存の様子

### 5.2.2 試験結果

乾燥期間 26 週までのコンクリートの乾燥収縮率を図 5.2.1、乾燥期間 26 週におけるコンクリートの乾燥収縮率を図 5.2.2 に示す。乾燥期間 26 週での乾燥収縮率は約  $510 \sim 750 \times 10^{-6}$  の範囲であった。乾燥収縮率は石灰石骨材が約  $510 \sim 560 \times 10^{-6}$ 、スラグ骨材が約  $550 \sim 600 \times 10^{-6}$  となり、硬質砂岩、安山岩、砂利の約  $640 \sim 750 \times 10^{-6}$  よりも小さい傾向であった。

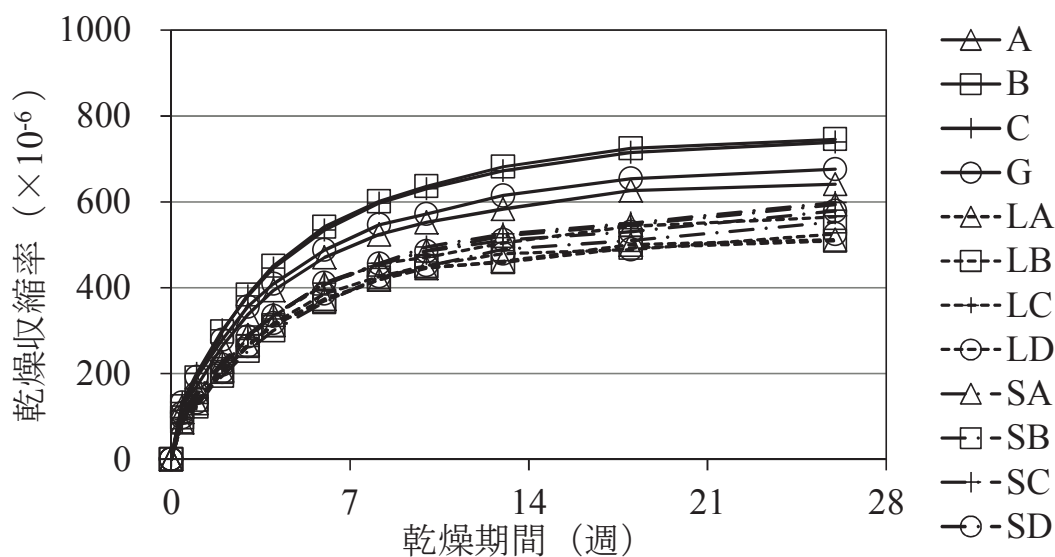


図 5.2.1 乾燥期間 26 週までのコンクリートの乾燥収縮率

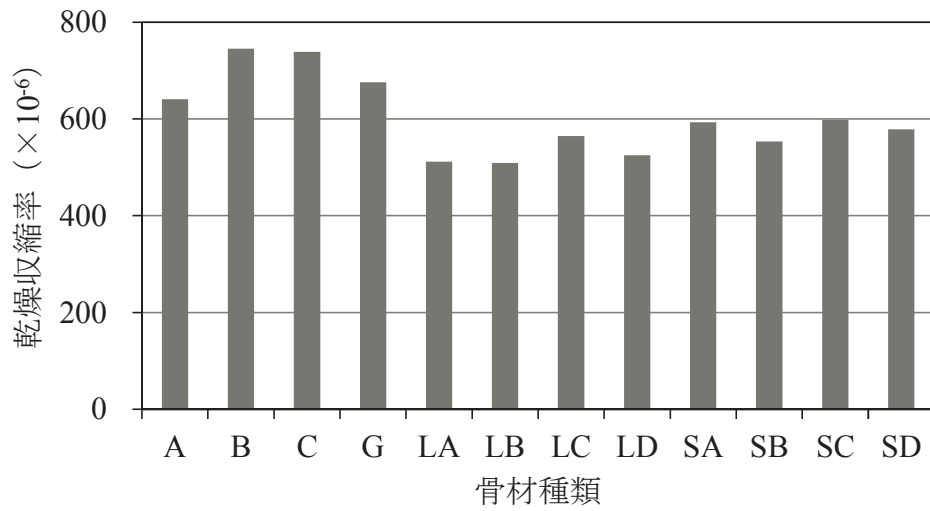


図 5.2.2 乾燥期間 26 週におけるコンクリートの乾燥収縮率

## 5.3 自己収縮

### 5.3.1 試験方法

自己収縮試験は JCI-SAS2-2（セメントペースト、モルタルおよびコンクリートの自己収縮および自己膨張試験方法）を参考に行った。供試体本数を一配合あたり 2 本、供試体寸法を  $15 \times 15 \times 53\text{cm}$  とし、温度計付きの埋め込み型ひずみゲージを供試体の中央に設置してひずみと温度を測定した。型枠内のひずみゲージの設置の様子を写真 5.3.1 に示す。

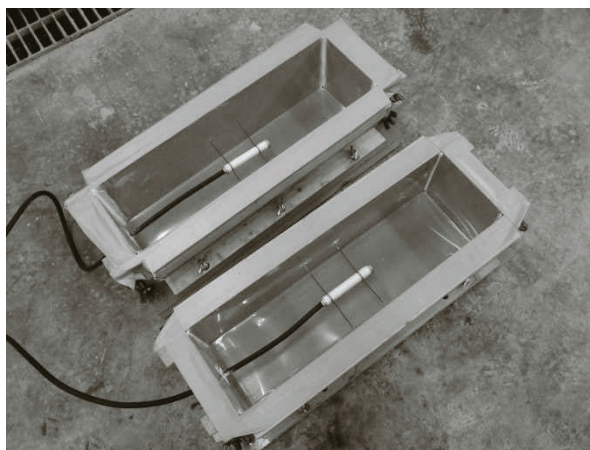


写真 5.3.1 型枠内のひずみゲージの設置の様子

自由な変形が拘束されるのを防ぐために、型枠内側にテフロン製のシートを設置して試料が型枠によって拘束されないようにした。打設面はポリエチレンフィルムで覆い水分の逸散を防いだ。打設直後から周辺の温度が  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  の環境下で保存し、打設直後から材齢 7 日までデータロガーで測定を記録した。

測定されたひずみ量は自己収縮ひずみの他にセメントの水和熱に起因する温度ひずみが含まれるため、測定されたひずみから温度ひずみを差し引いた値を自己収縮ひずみとした。温度ひずみは凝結の始発時での温度をイニシャルとしてこの温度と各材齢での温度との差に線膨張係数を乗じて算出した。なお、線膨張係数は「5.4 線膨張係数」で示した、材齢 91 日以上の供試体の値を採用した。

自己収縮試験結果の一例を図 5.3.1 に示す。初期での材齢では正の方向へのひずみ、つまり、コンクリートの膨張性が確認された。線膨張係数は図 5.3.2（文献 5.1）に示すように初期の有効材齢で大きいがその後収束し、材齢 2～3 日程度以降は変化が見られない（図中の  $\alpha_\infty$  は長期材齢における線膨張係数を示す）。図 5.3.1 での初期で膨張性を示した理由は、図 5.3.2 で述べた材齢 2～3 日程度の前後の線膨張係数の違いが考慮されていないためと考えられる。しかし、材齢 2～3 日程度以降の線膨張係数は材齢 91 日以上の線膨張係数とほぼ同じと考えられるため、材齢 7 日のひずみ量から温度ひずみを差し引いた値を自己収縮ひずみとする。

5.1) 日本コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針改訂調査委員会報告書、pp25

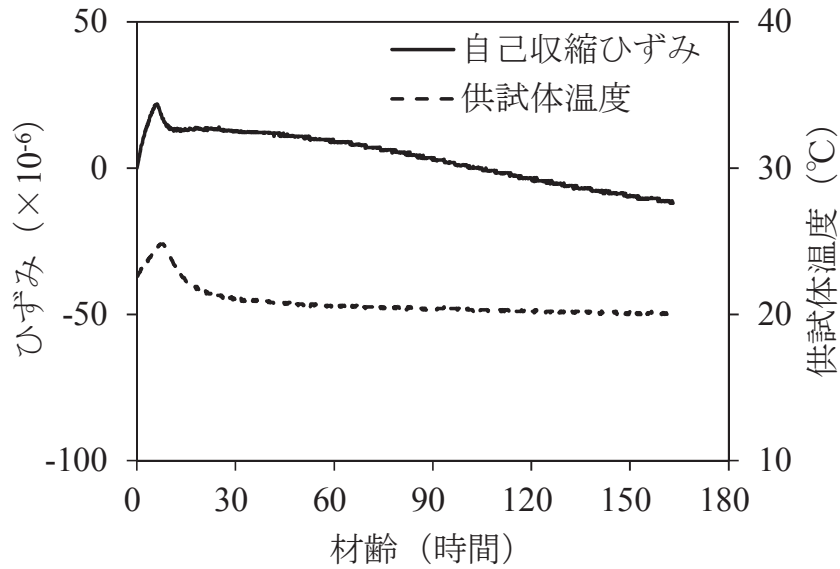


図 5.3.1 自己収縮試験結果の一例

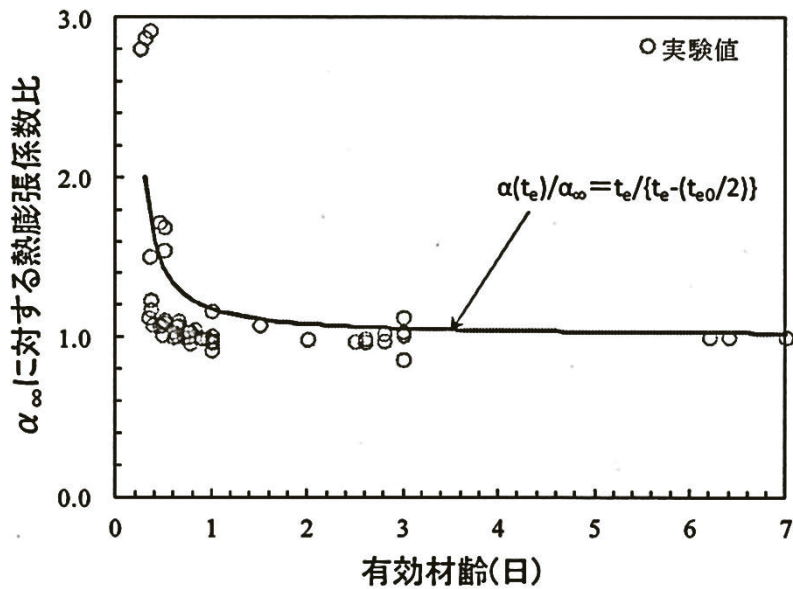


図 5.3.2 有効材齢と線膨張係数の関係

### 5.3.2 試験結果

コンクリートの自己収縮ひずみを表 5.3.1 に示す。自己収縮ひずみは $-22 \sim -31 \times 10^{-6}$ の範囲にあり、総じて小さかった。本試験で用いたコンクリートの配合は水セメント比が概ね 45% 以上であり、一般的に自己収縮ひずみが大きいとされる低水セメント比の高強度コンクリートと比較して水セメント比が大きい。また、舗装コンクリートの配合の特徴は粗骨材量が多いので汎用的な配合のコンクリートに比べてセメントペーストの自己収縮に対する拘束が大きいことも自己収縮ひずみが小さくなった理由と思われる。

総じて自己収縮ひずみは小さく、本試験で対象としたコンクリートの材料や配合の範囲では自己収縮を考慮する必要はないと考えられる。

表 5.3.1 コンクリートの自己収縮ひずみ

骨材種類	自己収縮ひずみ ( $\times 10^{-6}$ )
A20	-16
B20	-22
C20	-5
G25	-14
LA20	5
LB20	1
LC20	-5
LD20	8
SA20	11
SB20	11
SC20	31
SD20	8
A40	-14
LA40	0

## 5.4 線膨張係数

### 5.4.1 試験方法

線膨張係数は自己収縮試験終了後の供試体を用いて 20℃から 60℃までの温度履歴を与え、各温度における供試体のひずみと温度を直線近似して求めた。供試体は自己収縮試験終了後、供試体全面にアルミ箔粘着テープでシールして材齢 91 日以上まで周辺の温度が  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  の環境下で保存後、温湿度制御が可能な環境槽へ移動して線膨張係数を測定した。環境槽内に静置された供試体の様子を写真 5.4.1 に示す。



写真 5.4.1 環境槽内に静置された供試体の様子

温度の設定値は 20、30、40、50、60℃の 5 条件とし、20℃から開始して昇温および降温させた。各温度段階の温度保持時間を 10 時間、温度変更時の昇降温速度を  $20^\circ\text{C}/\text{h}$  とした。また、試験中は環境槽内の相対湿度を 60% で一定とした。

線膨張係数試験の一例を図 5.4.1 に示す。温度保持時間 10 時間で環境温度と供試体内部温度が同等になり、ひずみもほぼ一定値となっており、全ての配合で同様の傾向であった。線膨張係数試験による供試体の温度とひずみの関係の一例を図 5.4.2 に示す。全てのコンクリートの配合で一次関数の直線関係が認められ、相関係数が 0.993 以上と高かった。この図中に示す式の傾きを線膨張係数とした。

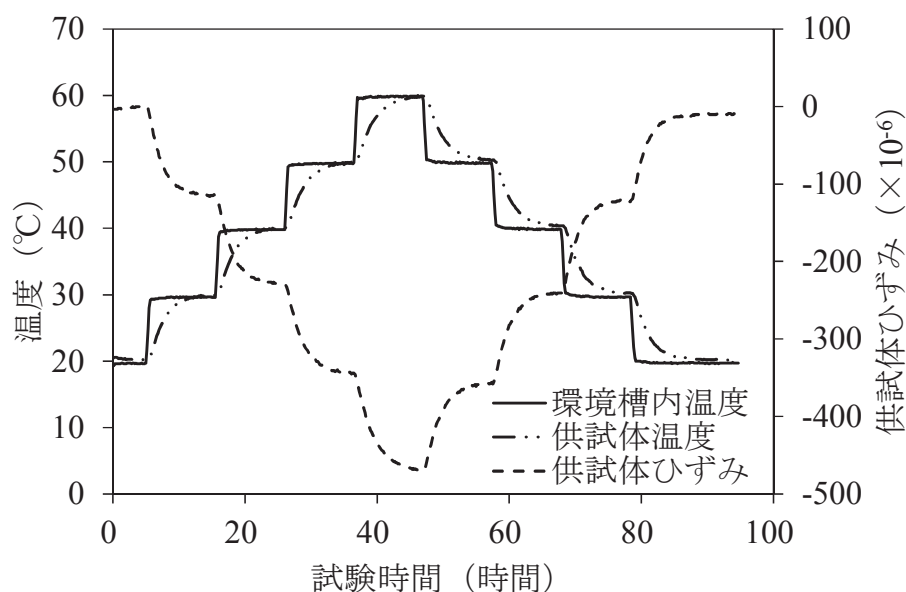


図 5.4.1 線膨張係数試験の一例



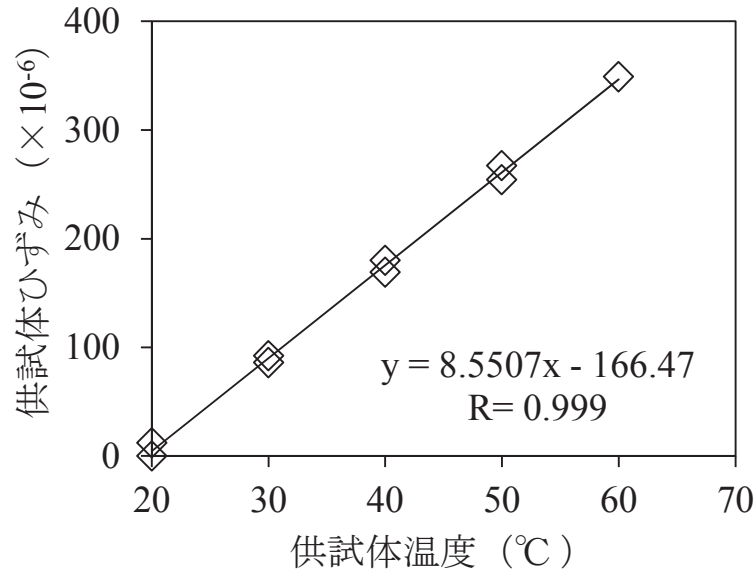


図 5.4.2 線膨張試験による供試体の温度とひずみの関係の一例

#### 5.4.2 試験結果

コンクリートの線膨張係数を表 5.4.1 に示す。線膨張係数は約  $8\sim 12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  の範囲であった。石灰石骨材の線膨張係数は  $8.0\sim 8.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  であり、他の骨材に比べて小さい傾向であった。

表 5.4.1 コンクリートの線膨張係数

骨材種類	線膨張係数 ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )
A20	11.5
B20	10.0
C20	10.0
G25	11.6
LA20	8.5
LB20	8.0
LC20	8.0
LD20	8.4
SA20	10.1
SB20	11.4
SC20	10.8
SD20	11.5
A40	12.3
LA40	8.7

## 6. 舗装コンクリートのすり減り試験

### 6.1 実験目的

本研究は、各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性を明らかにすることを目的としている。コンクリートの主要材料である粗骨材は、天然砂利の使用比率が減少し、碎石の使用比率が増加してきている。また、天然資源の節約および環境負荷低減を目的に、各種スラグ粗骨材の活用も模索されており、レディーミクストコンクリートに使用される粗骨材は、多種多様になってきているが、各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性については、必ずしも明らかになっていない。

そのため、舗装コンクリートのすり減り抵抗性に及ぼすコンクリートの配合、圧縮強度および粗骨材の品質について検討を行うこととした。

### 6.2 試験概要

#### 6.2.1 使用した骨材の種類と物性

本研究に使用した骨材の種類および物性値を表 6.2.1 に示す。用いた粗骨材は、岩種や産地、Gmax の異なる合計 20 種類であり、硬質砂岩碎石 2 種類 (A、B)、安山岩碎石 1 種類 (C)、川砂利 1 種類 (G)、石灰石碎石 4 種類 (LA~LD)、スラグ 4 種類 (SA~SD) である。細骨材には川砂を使用した。また、骨材試験は対応する各 JIS に準じて行い、400kN 破砕値のみ BS812 に準じて行った。

表 6.2.1 骨材の種類および物性値

骨材の種類	岩種	粗骨材最大寸法 (mm)	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/ℓ)	実績率 (%)	粗粒率	微粉分量 (%)	安定性損失質量 (%)	すりへり減量 (%)	400kN 破砕値 (%)
A20	砂岩	20	2.68	0.42	1.61	60.4	6.62	1.1	0.1	12.9	7.7
A40		40	2.68	0.37	1.62	60.6	7.26	1.2	0.6	13.1	8.4
B20		20	2.65	0.70	1.65	62.8	6.70	0.5	1.3	16.0	9.7
B40		40	2.66	0.58	1.65	62.7	7.35	0.6	1.9	16.6	8.6
C20	安山岩	20	2.63	2.38	1.55	60.5	6.68	0.1	6.7	16.1	12.3
C40		40	2.63	1.88	1.54	59.7	7.30	0.3	3.5	17.7	10.4
G25	砂利	25	2.64	1.32	1.59	61.2	6.83	0.1	4.9	14.6	11.1
G40		40	2.64	1.20	1.65	63.2	7.41	0.2	5.9	17.6	10.5
LA20	石灰石	20	2.70	0.41	1.57	58.5	6.63	2.0	0.7	24.1	22.9
LA40		40	2.70	0.34	1.65	61.2	7.29	0.9	1.9	28.5	20.1
LB20		20	2.71	0.23	1.68	62.3	7.16	2.3	0.6	23.4	20.7
LB40		40	2.71	0.21	1.64	60.5	7.37	1.1	0.6	27.7	18.9
LC20		20	2.70	0.35	1.56	58.0	6.80	0.9	1.3	24.3	22.3
LC40		40	2.70	0.31	1.59	59.1	7.14	0.3	0.6	27.8	17.9
LD20		20	2.69	0.54	1.56	58.3	6.70	1.2	0.8	23.6	22.9
LD40		40	2.70	0.51	1.60	59.7	7.36	0.3	0.9	27.2	21.3
SA20	高炉スラグ	20	2.54	4.76	1.40	57.7	6.88	1.6	2.7	26.4	25.5
SB20		20	2.76	1.35	1.66	60.9	6.67	0.7	0.3	17.0	12.9
SC20		20	2.64	3.86	1.50	59.0	6.52	1.0	1.7	32.5	27.5
SD20	電気炉酸化スラグ	20	3.74	1.00	2.11	57.2	6.86	0.3	1.3	14.7	15.0
細骨材	川砂	—	2.57	2.04	1.70	67.7	2.82	0.9	2.2	—	—

## 6.2.2 コンクリートの配合

コンクリートの配合およびフレッシュ性状を表 6.2.2 に示す。本研究では、目標曲げ強度 6.0MPa、目標空気量 4.5±1.5%、目標スランプ 5.0±1.5cm、単位粗骨材かさ容積 0.72m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> として配合試験を行い、コンクリートの配合を決定した。

また、本研究ではコンクリートのすり減り抵抗性に対するスランプおよび圧縮強度の影響について評価するために、表 6.2.3 に示す供試体を追加し、試験を行った。スランプの影響については、A20 の骨材を用いて、単位水量を増減させ、目標スランプを 2.5cm、8.0cm の供試体を追加し、圧縮強度の影響については、A20、LC20、SB20、SC20 の 4 種類の骨材において、W/C40%、60% (SB20 のみ 50%、60%) の供試体を追加して試験を行った。さらに、骨材密度の違いによる粗骨材の沈降の影響についても評価するために、A20 (スランプ 2.5cm、5.0cm、8.0cm)、LC20、SC20、SD20 の供試体を追加し、供試体の底面を試験面として試験を行った。なお、その他の供試体は打設面を試験面とした。

表 6.2.2 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

骨材の種類	スランプ 目標値 (cm)	空気量目 標値 (%)	水セメ ント比 (%)	単位 粗骨材 かさ容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	細骨材率 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						フレッシュ性状結果	
						水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 減水剤	AE剤 (100倍)	スランプ (cm)	空気量 (%)
A20	5.0	4.5	49.2	0.72	39.6	145	295	728	1158	3.24	1.33	4.2	5.0
A40	5.0	4.5	47.3	0.72	40.4	135	285	756	1166	3.66	0.86	3.7	4.8
B20	5.0	4.5	52.9	0.72	37.9	145	274	703	1189	2.74	0.96	5.0	4.3
B40	5.0	4.5	44.8	0.72	38.0	135	301	707	1192	3.31	0.90	4.0	4.7
C20	5.0	4.5	49.8	0.72	40.7	145	291	750	1117	2.91	0.87	3.9	5.8
C40	5.0	4.5	47.0	0.72	42.1	135	287	788	1111	3.16	0.72	3.0	5.4
G25	5.0	4.5	43.9	0.72	38.3	145	330	693	1148	2.31	1.16	4.8	5.3
G40	5.0	4.5	38.4	0.72	37.7	128	333	698	1185	5.33	2.67	4.3	4.5
LA20	5.0	4.5	49.6	0.72	41.5	145	292	763	1133	1.75	0.58	4.1	4.6
LA40	5.0	4.5	46.2	0.72	39.7	135	292	740	1186	1.75	0.58	3.2	4.1
LB20	5.0	4.5	49.1	0.72	39.0	135	275	734	1210	2.47	0.82	4.0	5.0
LB40	5.0	4.5	44.0	0.72	40.8	128	291	770	1179	3.49	0.87	4.8	4.9
LC20	5.0	4.5	51.2	0.72	42.1	145	283	779	1126	2.27	0.85	6.6	5.5
LC40	5.0	4.5	48.2	0.72	41.9	135	280	787	1148	3.08	0.56	4.0	4.4
LD20	5.0	4.5	50.9	0.72	42.0	145	285	776	1122	2.28	0.85	5.5	5.8
LD40	5.0	4.5	47.8	0.72	41.4	135	282	777	1153	2.82	0.28	4.0	4.9
SA20	5.0	4.5	37.2	0.72	39.8	160	430	672	1006	5.16	4.30	7.7	4.8
SB20	5.0	4.5	50.0	0.72	38.6	153	306	699	1194	2.14	0.92	5.4	5.2
SC20	5.0	4.5	47.8	0.72	40.6	160	335	717	1079	1.67	1.34	5.3	5.3
SD20	5.0	4.5	48.4	0.72	40.9	160	331	725	1522	1.32	0.99	6.0	5.1

表 6.2.3 コンクリートの配合およびフレッシュ性状(追加分)

骨材の種類	スランプ 目標値 (cm)	空気量目 標値 (%)	水セメ ント比 (%)	単位 粗骨材 かさ容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	細骨材率 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						フレッシュ性状結果	
						水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 減水剤	AE剤 (100倍)	スランプ (cm)	空気量 (%)
A20	2.5	4.5	49.2	0.72	40.3	140	285	749	1158	3.13	1.14	2.5	5.9
	5.0	4.5	40.0	0.72	37.7	145	363	672	1158	3.99	1.99	4.4	3.9
	5.0	4.5	60.0	0.72	41.0	145	242	771	1158	2.66	1.21	4.0	5.4
	8.0	4.5	49.2	0.72	38.9	150	305	706	1158	3.35	1.22	7.0	5.6
LC20	5.0	4.5	40.0	0.72	40.1	145	363	714	1126	3.26	0.91	4.6	4.5
	5.0	4.5	60.0	0.72	43.2	145	242	813	1126	1.45	0.36	5.2	4.4
SB20	5.0	4.5	50.0	0.72	38.6	153	306	699	1194	2.14	0.92	5.4	5.2
	5.0	4.5	60.0	0.72	40.0	153	255	740	1194	1.53	0.51	6.4	4.6
SC20	5.0	4.5	40.0	0.72	38.7	160	400	664	1079	2.40	1.60	3.6	4.2
	5.0	4.5	60.0	0.72	42.4	160	267	772	1079	1.34	0.80	5.0	5.5

### 6.2.3 試験方法

コンクリートのすり減り抵抗性の評価は、回転スパイクチェーン型ラベリング試験を行い、すり減り量で評価した。試験方法は、舗装調査・試験法便覧に準じて表 6.2.4 に示す条件で行い、供試体の形状は、台形（上底:21cm、下底:32cm、高さ:20cm、厚さ:5cm）とし、一水準につき供試体を2枚作製した。また、供試体は試験開始まで水中（20℃）養生を行った。

ラベリング試験では、試験前に供試体をなじませるために、テーブルに供試体を設置後にノーマルタイヤで5千回転プレロード走行を行った。その後、タイヤチェーンをタイヤに装着し、5千回転、1万回転、その後は1万回転ごとに5万回転まで実施し、供試体3断面で摩耗深さをレーザー変位計によって測定し、コンクリートのすり減り量を求めた。

また、圧縮強度試験用供試体は、寸法φ125×250mmの円柱供試体とし、ラベリング試験用供試体と同時に作製した。養生については、ラベリング試験用供試体と同様にし、ラベリング試験開始時に JIS A 1108 に従って圧縮強度試験を行った。なお、ラベリング試験は、材齢28～47日の期間内に開始した。

表 6.2.4 ラベリング試験条件

試験温度	20℃	輪荷重	1.47kN
供試体回転速度	20km/h	供試体個数	12個
プレロードタイヤ	145/80/13R	タイヤ空気圧	157kPa
タイヤ回転速度	20km/h	タイヤキャンバー角	1.5度
タイヤシフト幅	±20mm	タイヤシフト速度	20mm/min
スパイクピン数	54本	散水量	2L/min

## 6.3 試験結果

### 6.3.1 タイヤ回転数とすり減り量の関係

すり減り量および圧縮強度試験の結果を表 6.3.1 に示す。表 6.3.1 のすり減り量の値は、それぞれ 2 枚の供試体の平均値である。試験結果から、コンクリートのすり減り量は、走行回数 10,000 回程度までは急激に増加し、その後は、走行回数の増加に伴って、ほぼ一定の割合で増加する傾向が認められた。走行開始初期（10,000 回程度まで）にすり減り量が著しく増加した理由は、供試体表層のモルタル部が影響を与えているものと考えられる。

表 6.3.1 すり減り量測定結果

骨材の種類	スランプ 目標値 (cm)	水セメント比 (%)	試験面	すり減り量 (cm <sup>2</sup> )						圧縮強度 (MPa)
				5,000回転	10,000回転	20,000回転	30,000回転	40,000回転	50,000回転	
A20	2.5	49.2	打設面	3.82	5.78	8.07	10.21	11.74	13.12	45.7
	2.5	49.2	底面	4.32	6.55	8.98	10.91	12.55	13.58	45.7
	5.0	40.0	打設面	2.31	3.75	5.83	7.62	9.43	10.83	61.8
	5.0	49.2	打設面	4.05	5.90	8.00	10.23	11.55	13.08	43.7
	5.0	49.2	底面	4.11	6.36	8.89	11.02	12.52	13.91	43.7
	5.0	60.0	打設面	3.57	5.39	7.44	9.67	11.73	13.56	35.4
	8.0	49.2	打設面	4.87	6.69	9.32	11.31	12.90	14.47	44.9
	8.0	49.2	底面	3.87	5.76	8.09	10.24	11.82	13.53	44.9
A40	5.0	47.3	打設面	3.31	5.27	7.14	8.98	10.82	11.82	51.2
B20	5.0	52.9	打設面	3.17	4.59	6.45	8.02	10.11	11.52	45.1
B40	5.0	44.8	打設面	2.72	4.51	6.73	8.61	10.46	11.74	53.8
C20	5.0	49.8	打設面	2.87	5.23	8.42	11.38	13.77	15.64	50.3
C40	5.0	47.0	打設面	3.40	5.50	7.97	10.18	12.41	14.12	53.0
G25	5.0	43.9	打設面	2.89	4.47	6.74	8.55	10.58	12.35	47.9
G40	5.0	38.4	打設面	3.41	5.67	8.07	10.03	11.79	13.64	54.6
LA20	5.0	49.6	打設面	5.25	7.49	11.59	15.15	18.09	21.59	44.2
LA40	5.0	46.2	打設面	4.60	7.21	10.57	13.50	15.67	18.46	47.9
LB20	5.0	49.1	打設面	5.82	9.68	15.24	18.84	22.14	24.59	43.0
LB40	5.0	44.0	打設面	5.96	9.71	14.87	18.38	21.48	24.29	47.8
LC20	5.0	40.0	打設面	4.68	8.15	13.23	17.58	20.72	22.88	54.8
	5.0	51.2	打設面	5.96	9.80	15.36	18.95	21.34	24.85	37.5
	5.0	51.2	底面	5.59	9.28	14.79	19.19	23.04	25.51	37.5
	5.0	60.0	打設面	6.02	9.80	15.88	20.39	23.56	25.78	32.8
LC40	5.0	48.2	打設面	4.36	7.16	10.44	12.96	15.54	17.08	49.6
LD20	5.0	50.9	打設面	5.61	9.56	14.88	18.52	21.78	24.18	39.8
LD40	5.0	47.8	打設面	5.38	8.86	13.80	17.87	20.79	22.96	46.2
SA20	5.0	37.2	打設面	3.67	6.26	9.29	11.69	13.96	15.45	62.3
SB20	5.0	41.8	打設面	2.62	4.33	6.65	8.56	10.54	12.33	58.4
	5.0	50.0	打設面	3.48	5.10	7.43	9.94	12.37	14.42	46.5
	5.0	60.0	打設面	3.80	5.71	8.73	11.28	13.57	15.80	37.3
SC20	5.0	40.0	打設面	6.28	10.58	16.18	20.87	24.03	26.55	59.8
	5.0	47.8	打設面	5.92	10.30	16.92	20.39	23.97	27.21	44.5
	5.0	47.8	底面	6.64	11.38	17.07	21.58	25.44	28.47	44.5
	5.0	60.0	打設面	6.33	10.80	15.77	20.10	23.64	26.00	32.0
SD20	5.0	48.4	打設面	3.76	5.43	7.86	10.26	12.28	14.36	46.5
	5.0	48.4	底面	3.22	4.82	7.44	9.62	11.60	14.21	46.5

### 6.3.2 骨材のすりへり減量および破砕値とすり減り量の関係

アスファルト舗装では、すり減り量を3万回転で評価することになっているが、コンクリート舗装の評価方法を検討するため、すり減り量と骨材のすりへり減量および、破砕値との関係を求めた。回転数は3万回転に加え5万回転と、表層のモルタルの影響を除くために(3万回転-1万回転)および(5万回転-1万回転)のすり減り量を用いて検討した。その結果を直線回帰したときの決定係数を表6.3.2に示す。

表6.3.2より、決定係数は回転数が多いほど、破砕値に関しては1万回転を差し引いた方が高い値となり、また、すりへり減量と破砕値では、破砕値の方が決定係数が高い結果となった。よって、以下の検討では、(5万回転-1万回転)の結果を使用することにした。

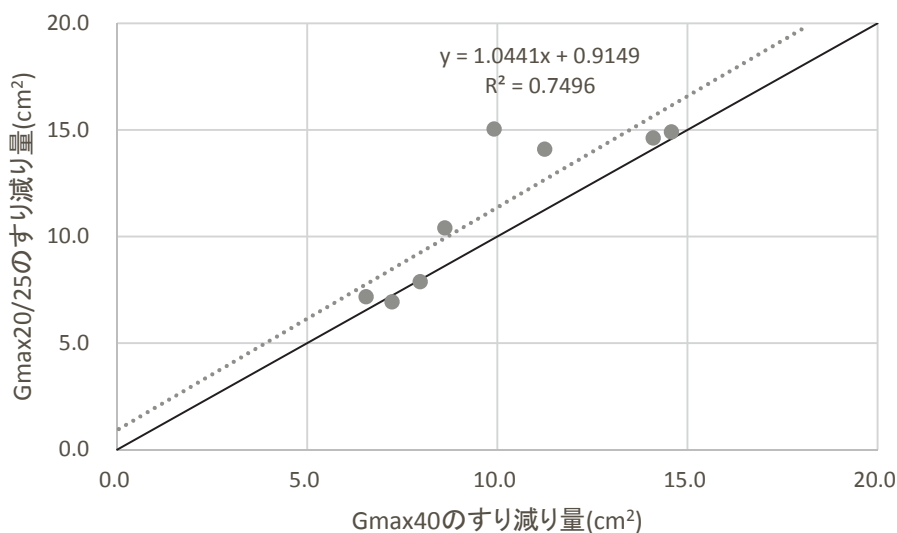
骨材の種類が少ないので今後の検討が必要であるが、ロサンゼルス試験によるすりへり減量は粒度によって試験に用いる粒度区分が異なり、骨材の特性を比較しにくいなどの問題もあり、骨材のすりへの指標にロサンゼルス試験に代用して破砕値試験が使用できる可能性があるものと考えられる。

表 6.3.2 骨材のすりへり減量および破砕値とすり減り量の決定係数

回転数	決定係数	
	すりへり減量	破砕値
3万回転	0.728	0.764
5万回転	0.752	0.803
3万回転-1万回転	0.710	0.785
5万回転-1万回転	0.737	0.823

### 6.3.3 粗骨材最大寸法とすり減り量の関係

Gmax40 と Gmax20/25 のすり減り量の間を **図 6.3.1** に示す。両者のすり減り量は同程度か Gmax20/25 の方が大きくなる傾向が見られたが、原点を通過する直線で回帰したものと比較したところ、その差は1割程度であった。よって、破碎値等の骨材物性の影響と比較すると、W/C が異なるので単純な比較は出来ないが、Gmax の影響は少ないものと考えられる。

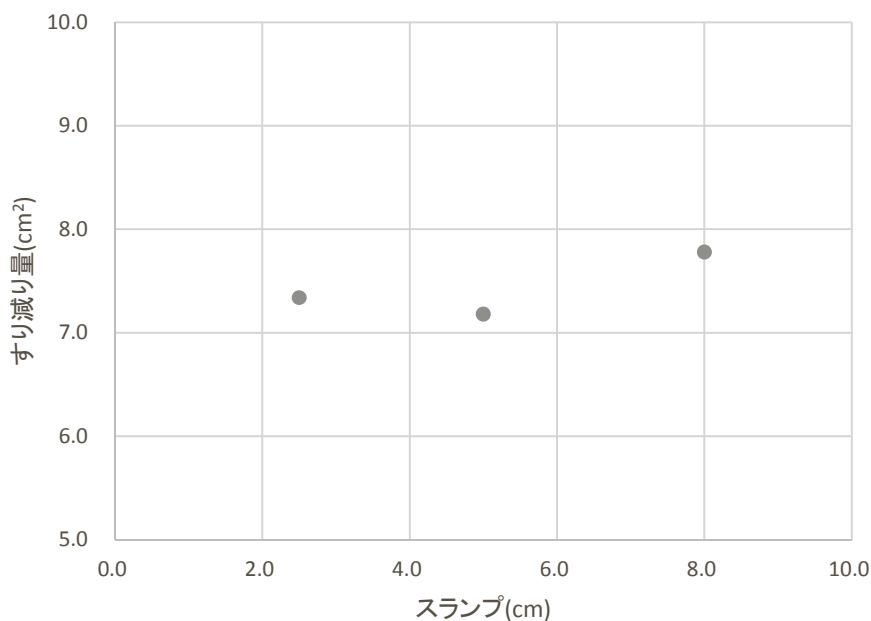


(すり減り量 : 50,000 回転-10,000 回転)

**図 6.3.1 Gmax40 と Gmax20/25 のすり減り量の関係**

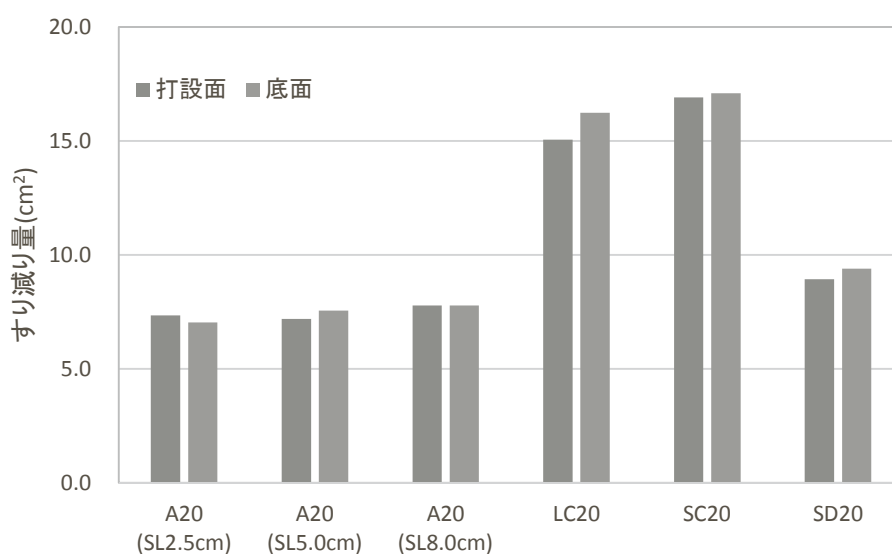
### 6.3.4 スランプおよび試験面の影響

スランプとすり減り量の間を関係を図 6.3.2 に、供試体の打設面と底面で試験をした結果を図 6.3.3 に示す。図 6.3.2 から、スランプが大きくなるとすり減り量はわずかながら増加する傾向が確認された。また、図 6.3.3 から、試験面が打設面と底面の結果を比較すると、すり減り量は同程度となり、骨材密度の違いによる粗骨材の沈降の影響は特に見られなかった。



(すり減り量 : 50,000 回転-10,000 回転)

図 6.3.2 スランプとすり減り量の関係



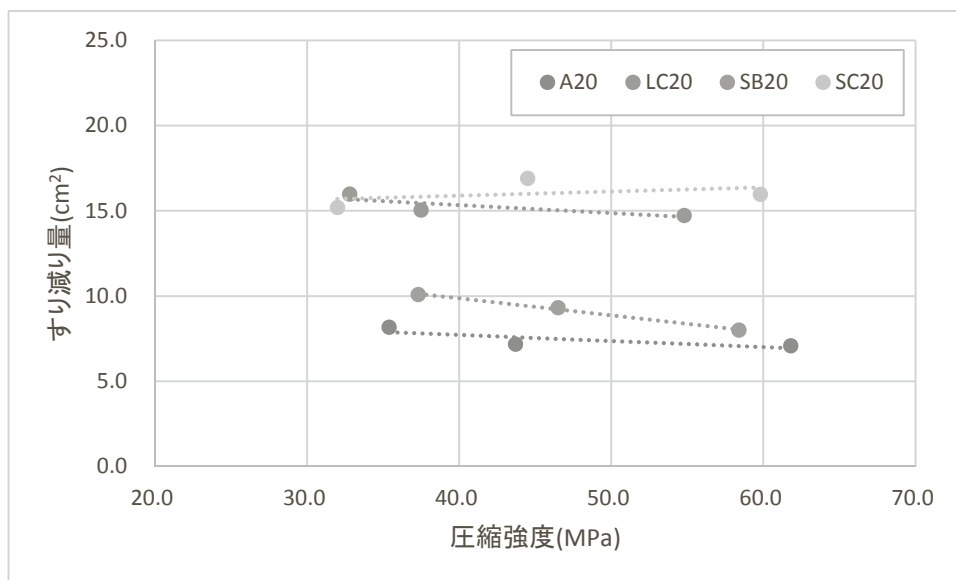
(すり減り量 : 50,000 回転-10,000 回転)

図 6.3.3 試験面とすり減り量の関係



### 6.3.5 圧縮強度の影響

圧縮強度とすり減り量の関係を図 6.3.4 に示す。試験結果から、SC20 を除けば、圧縮強度の増加にともない、すり減り量はわずかに減少する傾向が見られたが、骨材物性の影響と比べると、圧縮強度の影響はあまり大きくないと考えられる。



(すり減り量 : 50,000 回転-10,000 回転)

図 6.3.4 圧縮強度とすり減り量の関係

## 6.4 すり減り試験のまとめ

以上の結果より、得られた知見をまとめると以下のとおりであった。

1. 粗骨材のすりへり減量と破砕値は、舗装コンクリートのすり減り量と高い相関性が確認され、すりへり減量および破砕値が小さいものほど、舗装コンクリートのすり減り抵抗性は大きくなる。
2.  $G_{max}$  が大きいほど舗装コンクリートのすり減り抵抗性は大きくなる傾向が見られたが、破砕値等の骨材物性の影響と比較すると、 $G_{max}$  の影響は少ないものと考えられる。
3. スランプが大きくなるとすり減り量はわずかであるが増加する傾向が確認され、また、打設面と底面で試験した結果から、骨材密度の違いによる粗骨材の沈降の影響は特に見られず、すり減り量は同程度となった。
4. 舗装コンクリートのすり減り抵抗性におよぼす圧縮強度の影響は見られるものの、その影響は粗骨材の破砕値およびすりへり減量ほど大きくはなかった。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧、第3分冊、pp.17-38、2007

## 7. 舗装コンクリートのすべり試験

### 7.1 実験目的

コンクリート舗装は、打設面が交通の要に供されることから、表層のすべり抵抗性が重要な要求性能となる。要求性能を確保するために粗骨材の品質および性能が期待されているが、粗骨材の密度、コンクリートのスランプにより粗骨材が沈降すると、表層としての性能を低下させることになる。本研究では、石灰石骨材とスラグ骨材を用いた検討をメインとして様々な室内試験を実施しているが、これまでに石灰石骨材とスラグ骨材を用いたコンクリートのすべり抵抗性に関する検討はあまりなされていないのが現状である。

そこで、本検討では、舗装コンクリートのすべり抵抗性及びコンクリートの配合、圧縮強度および粗骨材の品質について検討を行うこととした。

### 7.2 試験概要

#### 7.2.1 使用した骨材の種類と物性

本研究に使用した骨材の種類および物性値を表 7.2.1 に示す。用いた粗骨材は、岩種や産地、Gmax の異なる合計 6 種類であり、硬質砂岩砕石 1 種類(A)、川砂利 1 種類(G)、石灰石砕石 1 種類(LC)、スラグ 2 種類(SC、SD)である。細骨材には川砂を使用した。また、骨材試験は対応する各 JIS に準じて行い、400kN 破砕値のみ BS812 に準じて行った。

表 7.2.1 骨材の種類および物性値

骨材の種類	岩種	粗骨材最大寸法(mm)	表乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	吸水率(%)	単位容積質量(kg/l)	実績率(%)	粗粒率	微粉分量(%)	安定性損失質量(%)	すりへり減量(%)	400kN破砕値(%)
A20	砂岩	20	2.68	0.42	1.61	60.4	6.62	1.1	0.1	12.9	7.7
A40		40	2.68	0.37	1.62	60.6	7.26	1.2	0.6	13.1	8.4
G40	砂利	40	2.64	1.20	1.65	63.2	7.41	0.2	5.9	17.6	10.5
LC20	石灰石	20	2.70	0.35	1.56	58.0	6.80	0.9	1.3	24.3	22.3
SC20	高炉スラグ	20	2.64	3.86	1.50	59.0	6.52	1.0	1.7	32.5	27.5
SD20	電気炉酸化スラグ	20	3.74	1.00	2.11	57.2	6.86	0.3	1.3	14.7	15.0
細骨材	川砂	—	2.57	2.04	1.70	67.7	2.82	0.9	2.2	—	—

## 7.2.2 コンクリートの配合

コンクリートの配合およびフレッシュ性状を**表 7.2.2**に示す。本研究では、目標曲げ強度 6.0MPa、目標空気量  $4.5 \pm 1.5\%$ 、目標スランプ  $5.0 \pm 1.5\text{cm}$ 、単位粗骨材かさ容積  $0.72\text{m}^3/\text{m}^3$  として配合試験を行い、コンクリートの配合を決定した。

**表 7.2.2 コンクリートの配合およびフレッシュ性状**

骨材の種類	スランプ 目標値 (cm)	空気量目 標値 (%)	水セメ ント比 (%)	単位 粗骨材 かさ容積 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )	細骨材率 (%)	単位量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )						フレッシュ性状結果	
						水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 減水剤	AE剤 (100倍)	スランプ (cm)	空気量 (%)
A20	5.0	4.5	49.2	0.72	39.6	145	295	728	1158	3.24	1.33	7.5	3.8
A40	5.0	4.5	47.3	0.72	40.4	135	285	756	1166	3.66	0.86	4.5	3.9
G40	5.0	4.5	38.4	0.72	37.7	128	333	698	1185	5.33	2.67	3.3	3.0
LC20	5.0	4.5	51.2	0.72	42.1	145	283	779	1126	2.27	0.85	5.5	5.0
SC20	5.0	4.5	47.8	0.72	40.6	160	335	717	1079	1.67	1.34	6.4	4.5
SD20	5.0	4.5	48.4	0.72	40.9	160	331	725	1522	1.32	0.99	6.8	5.1

### 7.2.3 試験方法

コンクリートのすべり抵抗性の評価は回転ラベリング試験機を用いて促進摩耗試験を行い、BPN で評価した。回転ラベリング試験機は室内で供試体上にタイヤの通過を再現し、舗装のすり減り量を評価する試験機である。コンクリート舗装のすべり抵抗性は、ノーマルタイヤの通過により減少することが既往の研究により報告されているため、本検討ではノーマルタイヤを用いて試験を実施した。試験条件を表 7.2.3 に、試験手順を図 7.2.1 に示す。試験条件では、表 7.2.3 のようにタイヤ回転速度と供試体回転速度を変え、スリップを生じる状態とした。

試験では、舗装コンクリートのすべり抵抗性におよぼす粗骨材の影響を把握するために、ネオエメリー（B 粒）（以下、エメリー砂）または、ショットブラスト（マイブラスト MY-30E）（写真 7.2.1）を用いて表面研磨を行い、試験面に粗骨材を露出させた状態で促進摩耗試験を実施した。使用したエメリー砂の骨材性状は表 7.2.4 に示すとおりで、ショットブラストでは直径 200  $\mu$ m のスチールボールを用いて研磨処理を実施した。試験終了の判断は、図 7.2.1 の③から⑨を繰り返し実施し、BPN の収束値が同じ値が繰り返し出てきた時点とした。また、追加試験として供試体の打設面から深さ方向に 1cm 切断し、粗骨材の露出部分をより大きくした状態においても促進摩耗試験を行った。なお、骨材を露出させた状態を定量的に評価するために、画像解析により骨材露出率を算出した。

また、圧縮強度試験用供試体は、寸法  $\phi$  125×250mm の円柱供試体とし、促進摩耗試験用供試体と同時に作製した。養生については、水中（20℃）養生とし、促進摩耗試験開始時に JIS A 1108 に従って圧縮強度試験を行った。

表 7.2.3 促進摩耗試験条件

試験条件	設定値
タイヤの種類	ノーマルタイヤ(145/80/13R)
輪荷重	1.2kN
タイヤ回転速度	30km/h
供試体回転速度	25km/h
散水量	2L/min
試験温度	20℃

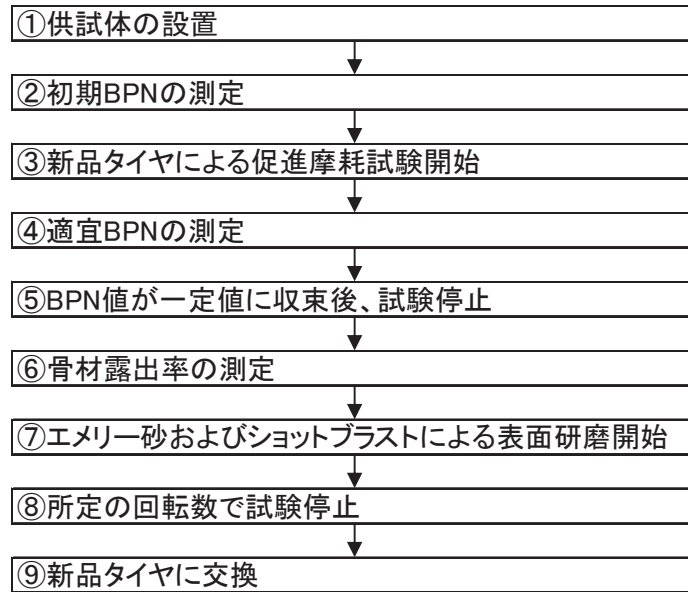


図 7.2.1 試験手順

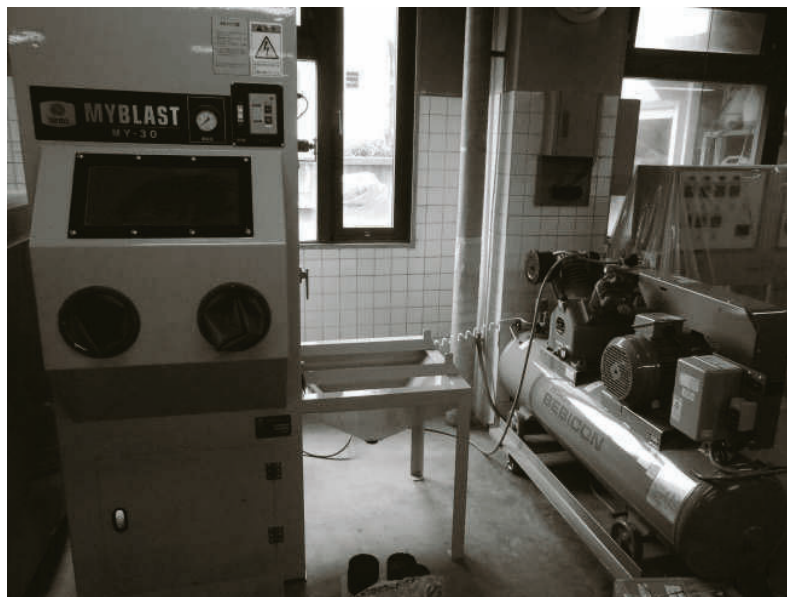


写真 7.2.1 ショットブラスト

表 7.2.4 エメリー砂の骨材性状

試験名	試験方法	標準値	測定値
表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	JIS-A1109	3.10~3.50	3.18
吸水率 (%)	JIS-A1110	2.0 以下	0.96
すりへり減量 (%)	JIS-A1121	15.0 以下	12.3
モース硬度計による硬さ試験			8~9

## 7.3 試験結果

### 7.3.1 タイヤ回転数とすべり抵抗値の関係

BPN 値と骨材露出率、および圧縮強度の測定結果を表 7.3.1 に、研磨回数が 70,000 回までの BPN 値の測定結果を図 7.3.1 に示す。図 7.3.1 から、粗骨材が露出していない状態（モルタル部）では、粗骨材の種類に関わらず、タイヤによるすり磨き作用によって BPN 値が 70 から 35 程度まで低下する傾向が見られた。また、エメリー砂またはショットブラストを用いて表面研磨（粗骨材の露出）をした結果、BPN 値は 70～75 となり、すべり抵抗性が回復し、その後タイヤのすり磨き作用による BPN の大きな低下は見られず、粗骨材の種類による BPN の差も認められなかった。

また、図 7.3.2 に切断面を試験面として実施した BPN 値の測定結果を示す。切断後の BPN 値は 63～67、その後エメリー砂による表面研磨を実施した後の BPN 値は 54～59 となり、粗骨材の種類による BPN の違いは見られなかった。しかし、タイヤによるすり磨き作用により、石灰石粗骨材（LC20）およびスラグ粗骨材（SC20、SD20）の BPN 値は 38～45 となり、砂岩（A20）および砂利（G40）の BPN 値 48～51 と比較すると、若干低い結果となり、粗骨材の種類による差が認められた。

表 7.3.1 BPN および圧縮強度測定結果

研磨回数 (回)	骨材の 種類	骨材 露出率 (%)	走行回数(回)									圧縮強度 (MPa)
			0	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	80,000	100,000	150,000	
0	A20	-	70	44	41	39	37	37	-	-	-	55.2
10,000		26.1	76	71	70	68	67	67	-	-	-	
20,000		27.3	75	70	70	69	68	68	67	67	66	
50,000		32.2	72	66	65	64	64	64	64	64	64	
70,000 <sup>※1</sup>		36.3	64	57	57	57	58	57	58	57	57	
80,000 <sup>※2</sup>		56.1	58(67)	55	55	55	55	54	52	53	50	
0	A40	-	63	39	36	36	34	32	-	-	-	57.6
10,000		23.2	78	69	67	67	66	68	-	-	-	
20,000		24.4	75	69	69	68	68	67	66	66	66	
50,000		28.8	72	69	67	66	66	65	65	65	65	
70,000 <sup>※1</sup>		29.9	62	57	57	56	56	57	57	57	56	
80,000 <sup>※2</sup>		59.6	59(67)	56	56	55	55	56	52	54	51	
0	G40	-	70	43	39	37	36	35	-	-	-	68.9
10,000		16.5	72	65	63	63	64	64	-	-	-	
20,000		14.0	72	66	65	64	64	64	65	64	64	
50,000		19.6	71	64	64	63	63	63	63	63	64	
70,000 <sup>※1</sup>		25.2	63	57	57	57	58	56	56	56	56	
80,000 <sup>※2</sup>		55.5	58(64)	55	56	54	53	52	52	52	48	
0	LC20	-	71	43	40	37	37	35	-	-	-	51.1
10,000		26.9	76	70	67	66	67	66	-	-	-	
20,000		30.9	74	70	69	68	67	66	66	66	65	
50,000		34.5	70	65	65	64	64	64	63	63	63	
70,000 <sup>※1</sup>		36.6	64	58	58	58	58	58	58	57	57	
80,000 <sup>※2</sup>		59.5	57(64)	49	49	48	48	49	46	46	45	
0	SC20	-	70	42	39	38	36	34	-	-	-	49.6
10,000		29.0	78	71	69	67	67	66	-	-	-	
20,000		32.7	74	70	69	68	68	68	68	67	66	
50,000		33.9	71	69	68	67	66	66	65	65	64	
70,000 <sup>※1</sup>		37.4	63	60	59	58	59	59	59	59	58	
80,000 <sup>※2</sup>		53.5	59(63)	55	53	52	51	50	46	49	45	
0	SD20	-	71	41	39	37	35	33	-	-	-	54.0
10,000		26.5	78	71	67	65	65	65	-	-	-	
20,000		30.4	74	72	69	68	68	67	67	67	66	
50,000		33.2	70	66	66	65	64	64	63	64	64	
70,000 <sup>※1</sup>		36.0	62	59	58	58	58	58	58	57	58	
80,000 <sup>※2</sup>		57.1	54(65)	49	48	45	45	46	44	41	38	

( )内の数値は供試体切断後のBPN値

※1:ショットブラスト処理後、エメリー砂による研磨を実施

※2:打設面から深さ方向に1cm切断後、エメリー砂による研磨を実施



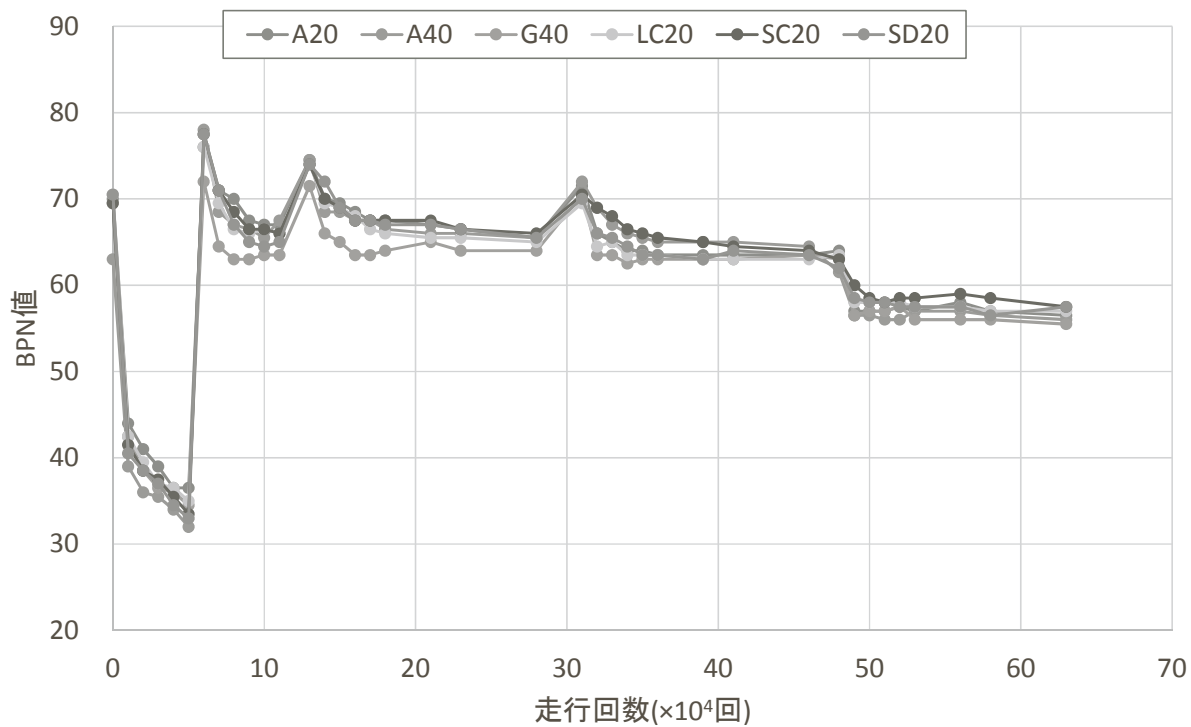


図 7.3.1 BPN 測定結果(研磨回数 70,000 回まで)

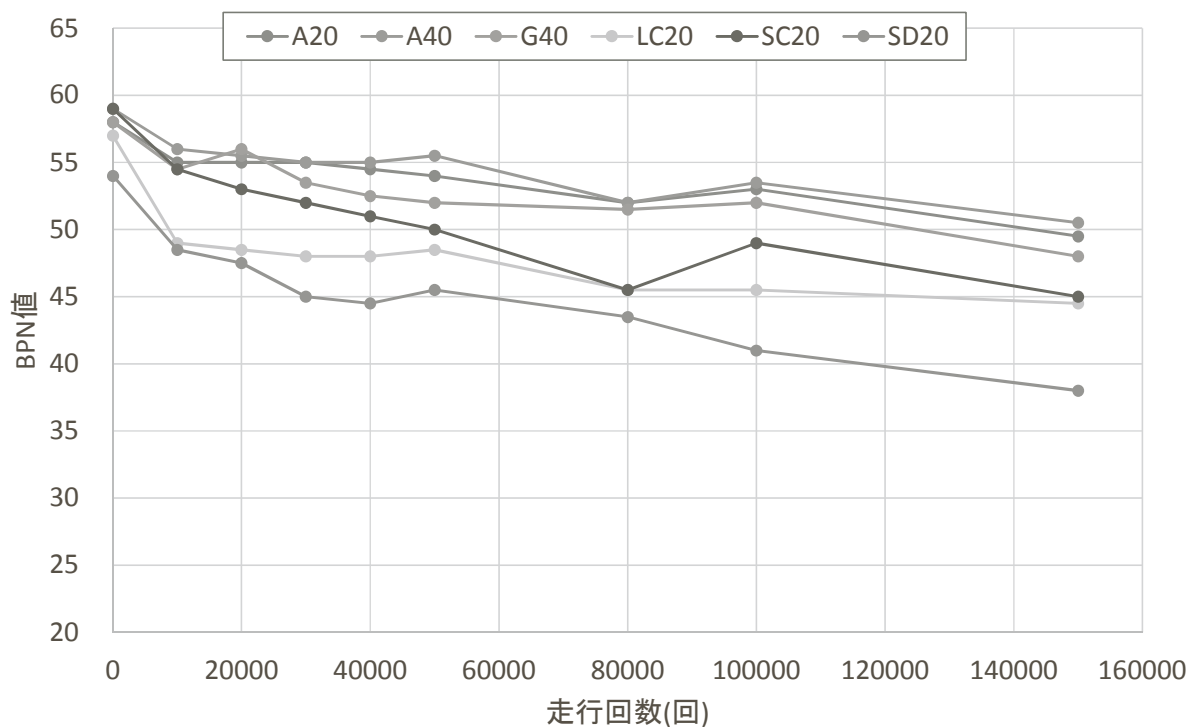


図 7.3.2 BPN 測定結果(供試体切断後(研磨回数:80,000 回))

### 7.3.2 骨材露出率とすべり抵抗値の関係

骨材露出率と BPN 初期値との関係を図 7.3.3 に示す。図 7.3.3 から、全ての粗骨材において、骨材露出率と BPN の初期値の間には高い相関性が見られ、骨材露出率が大きくなるほど、BPN 値が低下する傾向が見られた。

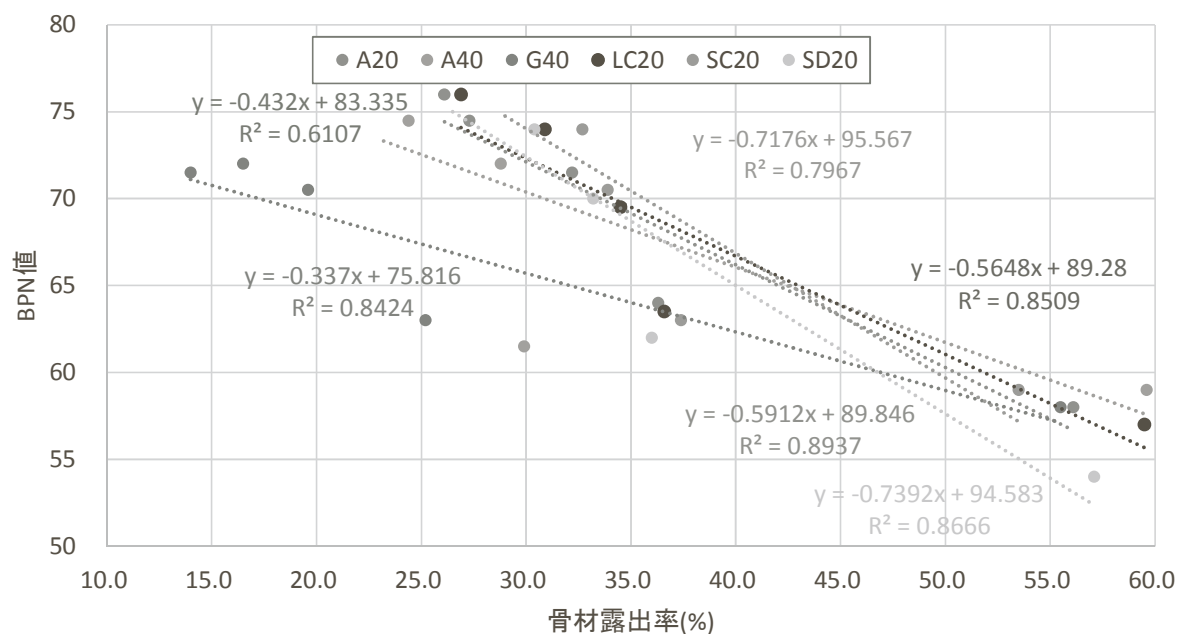


図 7.3.3 骨材露出率と BPN 値の関係

### 7.3.3 すべり抵抗値と各種要因との関係

研磨回数 80,000 回ときの BPN の収束値と粗骨材のすりへり減量および、破碎値、単位セメント量、圧縮強度との関係を図 7.3.4~7.3.7 にそれぞれ示す。結果から、圧縮強度が大きくなるにつれて、BPN の収束値は若干高くなる傾向を示し、一方で、粗骨材のすりへり減量、破碎値、単位セメント量については、各種要因が大きくなるほど、BPN の収束値は小さくなる傾向を示したが、いずれの要因も BPN の収束値との間に相関性はほとんど見られなかった。

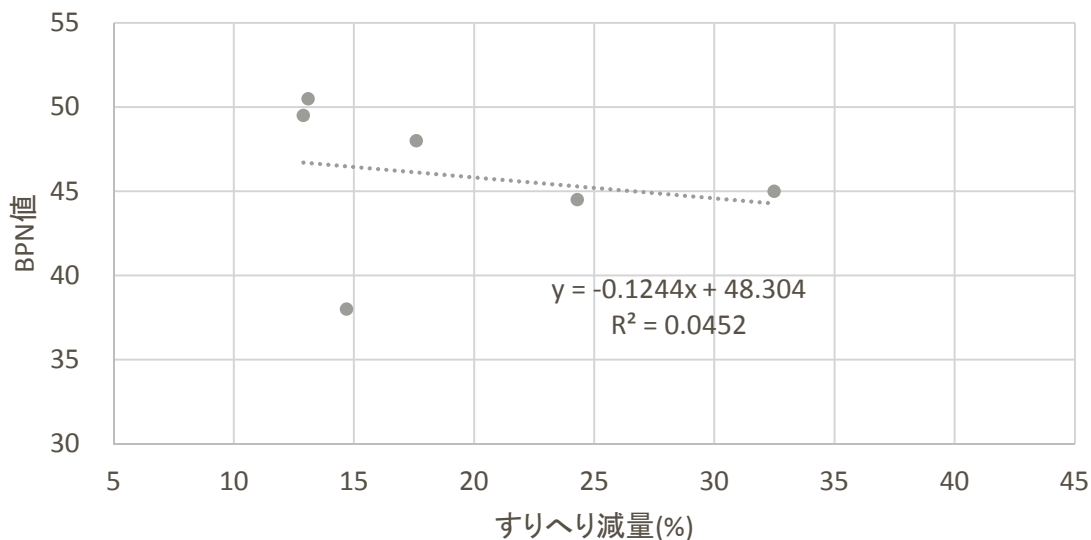


図 7.3.4 BPN の収束値と粗骨材のすりへり減量との関係

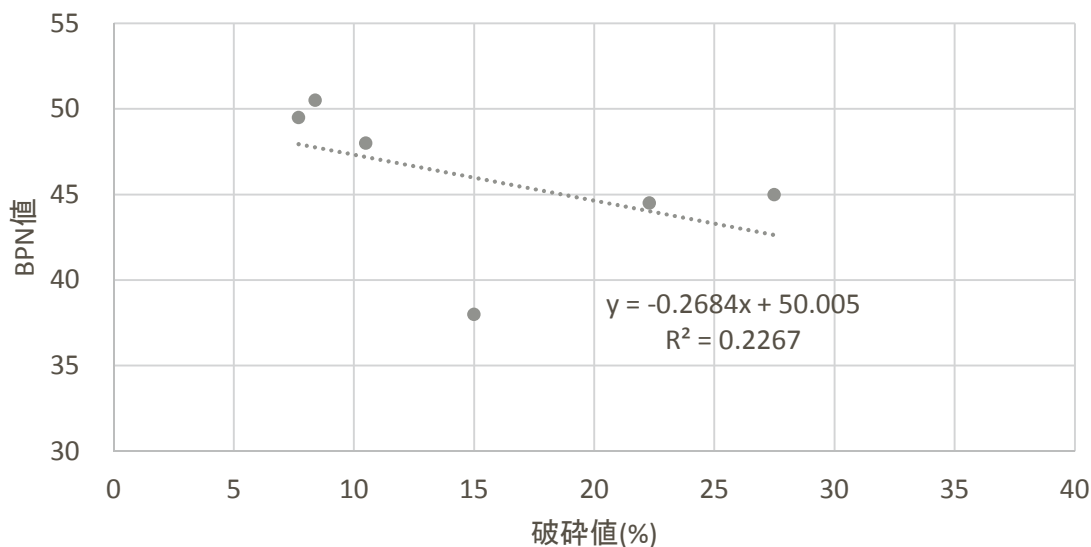


図 7.3.5 BPN の収束値と粗骨材の破碎値との関係

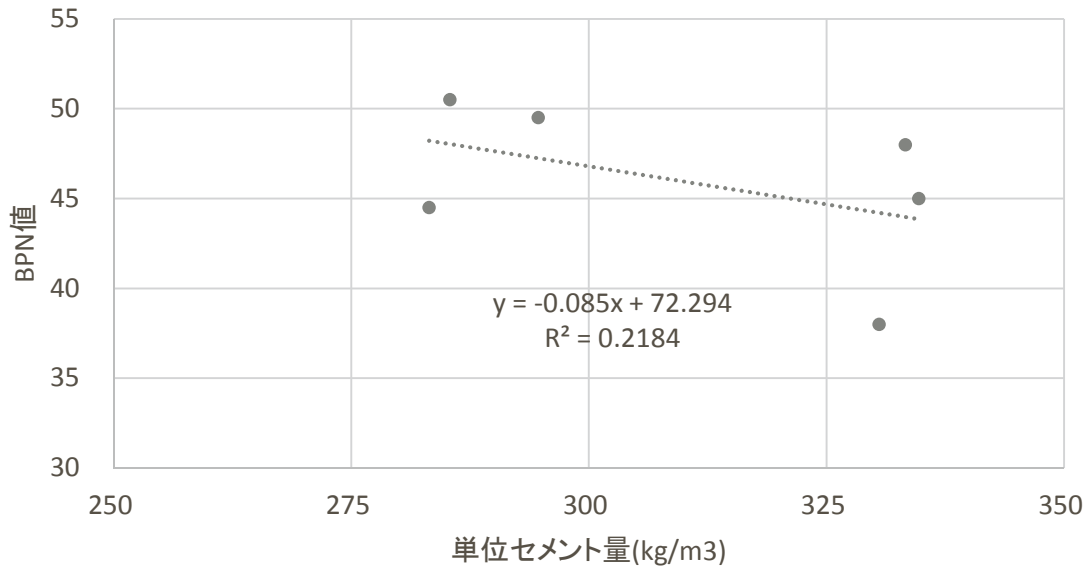


図 7.3.6 BPN の収束値と単位セメント量との関係

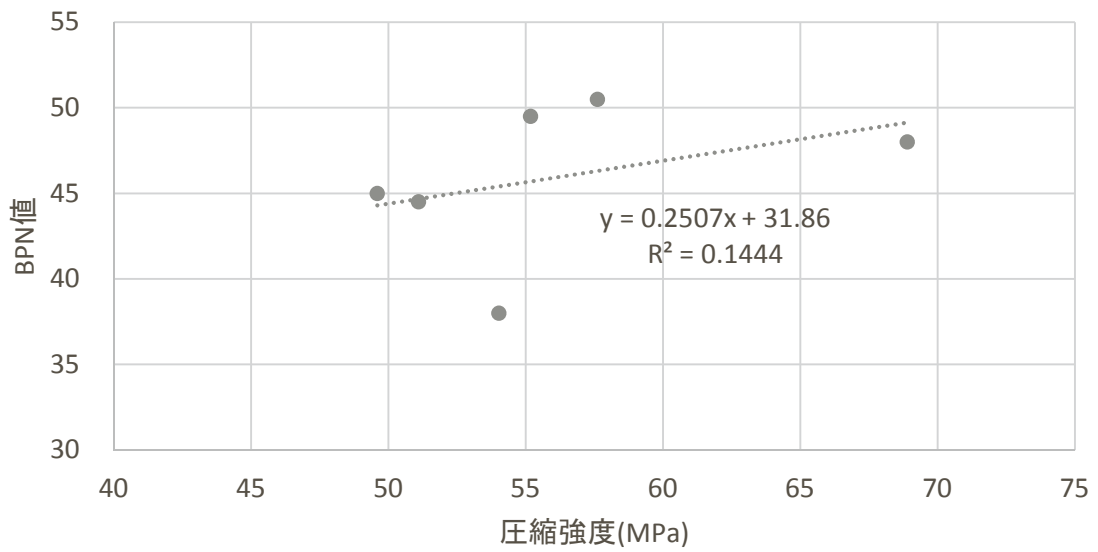


図 7.3.7 BPN の収束値と圧縮強度との関係

## 7.4 すべり試験のまとめ

以上の結果より、得られた知見をまとめると以下のとおりであった。

1. 粗骨材が露出していない状態（モルタル部）では、粗骨材の種類に関わらず、タイヤによるすり磨き作用によって BPN 値が 70 から 35 程度まで低下する傾向が見られた。
2. 表面研磨をした結果、すべり抵抗性が回復し、その後タイヤのすり磨き作用による BPN の大きな低下は見られず、粗骨材の種類による BPN の差も認められなかった。
3. 供試体切断後においては、タイヤによるすり磨き作用により、石灰石粗骨材（LC20）およびスラグ粗骨材（SC20、SD20）の BPN 値は、砂岩（A20）および砂利（G40）と比較すると、若干低い結果となった。
4. 全ての粗骨材において、骨材露出率と BPN の初期値の間には高い相関性が見られ、骨材露出率が大きくなるほど、BPN 値が低下する傾向が見られた。
5. 研磨回数 80,000 回の際の BPN の収束値と粗骨材のすりへり減量および、破碎値、単位セメント量、圧縮強度との間には、相関性は確認されなかった。

## 参考文献

- 1) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧、第3分冊、pp.17-38、2007

## 8. まとめ

20種類の粗骨材を用いた舗装コンクリートの各種耐久性試験などを行なった。その結果、次のことが明らかになった。

### 8.1 使用した粗骨材の種類と物性

- 1) 検討に用いた粗骨材の種類は、通常用いられている碎石3種類と砂利1種類、産地の異なる石灰石骨材4種類、製鉄所が異なる高炉スラグ骨材3種類、電気炉酸化スラグ1種類、合計12種類である。粗骨材の最大寸法は、全12種類は20mmまたは25mm、スラグ骨材を除く8種類は40mm、合計で20種類である。
- 2) 骨材の物性は、すりへり減量で12%～33%の広範囲に分布していた。
- 3) 骨材強度を表す破砕値は、すりへり減量と高い相関性があり、破砕試験はすりへり試験の代替になり得る可能性がある。
- 4) 粗骨材の簡易凍結融解試験の結果は、水道水で30サイクル実施した場合、砂利Gの凍結融解抵抗性は小さいと判定された。そのほかの骨材は良好であった。塩水の濃度3%の溶液を用いた場合、3サイクルであれば水道水と同程度の結果であった。ただし、積雪・凍結路面には凍結防止剤が散布されることから、30サイクルまで試験した。その結果、骨材Bと骨材Cの凍結融解抵抗性は、砂利Gと同程度またはそれよりも低下した。

### 8.2 舗装コンクリートの凍結融解試験結果

各種粗骨材を用いた舗装コンクリートの凍結融解試験の結果は、相対動弾性係数は粗骨材品質の影響を受けていた。また、質量減少率は、良質な粗骨材の使用に加え、モルタル強度を高めることで低減できた。

### 8.3 舗装コンクリートのスケーリング試験結果

予備試験の結果、スケーリング試験結果に及ぼす影響は、空気量の影響がきわめて大きかった。湛水する溶液の種類の影響も大きかった。溶液は、水道水、NaClの飽和溶液よりも、NaClの3%溶液が最も劣化した。また、試験面の影響は、切断面より打設面のほうが劣化した。

6種類の粗骨材のスケーリング試験の結果、試験面が打設面の場合には、表層のモルタルのスケーリングが進行するため、粗骨材の違いは明確ではなかった。切断面の場合には、安定性試験結果と、粗骨材の簡易凍結融解試験の試験溶液に塩水を使用し繰返し回数 30 サイクルの結果が、スケーリング量と高い相関関係があり、これらの試験はスケーリングの評価に適用できる可能性があることがわかった。

W/Cの影響についても、打設面の場合には明確な結果は得られなかったが、切断面はW/C 60%の場合、粗骨材の劣化を評価できる可能性がある。

### 8.4 舗装コンクリートの乾燥収縮・自己収縮・熱膨張係数試験結果

各種粗骨材を用いた舗装コンクリートの乾燥収縮、自己収縮、線膨張係数試験の結果は、次のとおりであ

った。

- (1) 乾燥収縮試験の結果は、乾燥期間26週で  $510\sim750\times 10^{-6}$  の範囲であり、硬質砂岩、安山岩、砂利に比べて石灰石骨材およびスラグ骨材の方が小さい傾向が示された。
- (2) 自己収縮試験の結果は、自己収縮ひずみが  $-22\sim31\times 10^{-6}$  の範囲であり、総じて小さい傾向が示された。
- (3) 線膨張係数試験の結果は、約  $8\sim12\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  の範囲であり、石灰石骨材の方が他の骨材に比べて小さい傾向であった。

## 8.5 舗装コンクリートのすり減り試験結果

各種粗骨材を用いた舗装コンクリートのすり減り試験の結果は、次のとおりであった。

- (1) 粗骨材のすりへり減量と破砕値は、舗装コンクリートのすり減り量と高い相関性が確認され、すりへり減量および破砕値が小さいものほど、舗装コンクリートのすり減り抵抗性は大きくなる。
- (2) 粗骨材の物性の影響に比べ、 $G_{\text{max}}$ 、スランプ、圧縮強度がすり減り抵抗性に及ぼす影響はわずかであった。

## 8.6 舗装コンクリートのすべり試験結果

すべりに及ぼす影響を把握するため、各種条件ですべり試験を行い、得られた知見は次のとおりであった。

- (1) 粗骨材が露出していない状態（モルタル部）では、粗骨材の種類に関わらず、タイヤによるすり磨き作用によって BPN 値が 70 から 35 程度まで低下する傾向が見られた。
- (2) 表面をエメリー砂またはショットブラストによって研磨した結果、すべり抵抗性が回復し、その後タイヤのすり磨き作用による BPN の大きな低下は見られず、粗骨材の種類による BPN の差も認められなかった。
- (3) 供試体切断後においては、タイヤによるすり磨き作用により、石灰石粗骨材（LC20）およびスラグ粗骨材（SC20、SD20）の BPN 値は、砂岩（A20）および砂利（G40）と比較すると、若干低い結果となった。
- (4) 全ての粗骨材において、骨材露出率と BPN の初期値の間には高い相関性が見られ、骨材露出率が大きくなるほど、BPN 値が低下する傾向が見られた。
- (5) 研磨回数 80,000 回のときの BPN の収束値と粗骨材のすりへり減量および、破砕値、単位セメント量、圧縮強度との間には、相関性は確認されなかった。

今後は、粗骨材の最大寸法、単位粗骨材かさ容積（細骨材率）が変化した場合の施工性、すり減り抵抗性、すべり抵抗性などについて検討する予定である。





# 資 料

1. 凍結融解試験結果
  - 1.1 相対動弾性係数
  - 1.2 供試体の状況写真
  
2. スケーリング試験結果
  - 2.1 予備試験結果
  - 2.2 スケーリングの状況写真（予備試験）
  - 2.3 スケーリング試験結果
  - 2.4 スケーリングの状況写真（粗骨材の種類、水セメント比）
  
3. 乾燥収縮・自己収縮・線膨張係数試験結果
  - 3.1 材齢ごとの乾燥収縮率
  - 3.2 材齢ごとの質量減少率
  - 3.3 自己収縮試験結果
  
4. 関連発表リスト



# 1. 凍結融解試験結果

## 1.1 相対動弾性係数

**表1.1 相対動弾性係数 (A、B、C、G、LA)**

配合名	成形日	試験開始日	相対動弾性係数(%)											
			0 サイクル	35 サイクル	66 サイクル	82 サイクル	115 サイクル	147 サイクル	179 サイクル	200 サイクル	225 サイクル	253 サイクル	289 サイクル	313 サイクル
A	9/17	10/15	100	97	98	96	96	95	95	95	95	95	93	92
B	9/17	10/15	100	97	97	96	96	95	95	94	96	95	94	93
C	9/17	10/15	100	97	97	96	96	95	94	94	94	94	93	92
G	9/17	10/15	100	97	96	96	95	94	93	92	92	91	88	86
LA	9/17	10/15	100	97	97	97	96	96	95	95	95	95	94	94

**表 1.2 相対動弾性係数 (LB、LC、LD)**

配合名	成形日	試験開始日	相対動弾性係数(%)											
			0 サイクル	30 サイクル	61 サイクル	77 サイクル	110 サイクル	142 サイクル	174 サイクル	195 サイクル	220 サイクル	248 サイクル	284 サイクル	308 サイクル
LB	9/18	10/16	100	96	95	95	94	94	93	93	93	92	91	91
LC	9/18	10/16	100	96	95	95	94	93	93	93	93	92	91	91
LD	9/18	10/16	100	96	96	95	94	93	93	93	92	92	91	90

**表 1.3 相対動弾性係数 (BII、CII、SA、SB、SC、SD)**

配合名	成形日	試験開始日	相対動弾性係数(%)											
			0 サイクル	31 サイクル	55 サイクル	87 サイクル	119 サイクル	145 サイクル	180 サイクル	209 サイクル	228 サイクル	251 サイクル	270 サイクル	304 サイクル
BII	12/18	1/15	100	101	101	100	100	100	99	100	98	98	97	97
CII	12/18	1/15	100	102	102	101	100	101	101	100	99	100	99	99
SA	12/18	1/15	100	99	99	97	93	94	92	91	87	85	80	74
SB	12/18	1/15	100	101	101	99	99	99	98	99	98	98	97	95
SC	12/18	1/15	100	95	94	91	89	88	86	85	82	80	76	71
SD	12/18	1/15	100	100	99	98	97	97	96	96	94	94	92	90

**表1.4 質量減少率 (A、B、C、G、LA)**

配合名	成形日	試験開始日	質量減少率(%)											
			0 サイクル	35 サイクル	66 サイクル	82 サイクル	115 サイクル	147 サイクル	179 サイクル	200 サイクル	225 サイクル	253 サイクル	289 サイクル	313 サイクル
A	9/17	10/15	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0
B	9/17	10/15	0.0	0.2	0.3	0.4	0.7	1.0	1.2	1.4	1.6	1.9	2.4	2.6
C	9/17	10/15	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.6	0.9	1.1	1.3	1.5	1.9	2.1
G	9/17	10/15	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1
LA	9/17	10/15	0.0	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.1	1.4	1.8	1.9

**表 1.5 質量減少率 (LB、LC、LD)**

配合名	成形日	試験開始日	質量減少率(%)											
			0 サイクル	30 サイクル	61 サイクル	77 サイクル	110 サイクル	142 サイクル	174 サイクル	195 サイクル	220 サイクル	248 サイクル	284 サイクル	308 サイクル
LB	9/18	10/16	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.1	1.3	1.7	2.2	2.4
LC	9/18	10/16	0.0	0.2	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.6	1.8	2.3	2.5
LD	9/18	10/16	0.0	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	1.1	1.3	1.6	2.1	2.3

**表 1.6 質量減少率 (BII、CII、SA、SB、SC、SD)**

配合名	成形日	試験開始日	質量減少率(%)											
			0 サイクル	31 サイクル	55 サイクル	87 サイクル	119 サイクル	145 サイクル	180 サイクル	209 サイクル	228 サイクル	251 サイクル	270 サイクル	304 サイクル
BII	12/18	1/15	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0	1.2	1.6
CII	12/18	1/15	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.2
SA	12/18	1/15	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.7
SB	12/18	1/15	0.0	0.1	0.2	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.4
SC	12/18	1/15	0.0	0.1	0.3	0.4	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.9
SD	12/18	1/15	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2

## 1.2 供試体の状況写真



【0サイクル】



【313サイクル】

写真1.1 骨材Aを使用した供試体の状況（シリーズI）



【0サイクル】



【313サイクル】

写真1.2 骨材Bを使用した供試体の状況（シリーズI）



【0サイクル】



【304サイクル】

写真1.3 骨材Bを使用した供試体の状況（シリーズII）



【0サイクル】



【313サイクル】

写真1.4 骨材Cを使用した供試体の状況（シリーズI）



【0サイクル】



【304サイクル】

写真1.5 骨材Cを使用した供試体の状況（シリーズII）



【0サイクル】



【313サイクル】

写真1.6 骨材Gを使用した供試体の状況（シリーズI）





【0サイクル】



【313サイクル】

写真1.7 骨材LAを使用した供試体の状況（シリーズI）



【0サイクル】



【308サイクル】

写真1.8 骨材LBを使用した供試体の状況（シリーズI）



【0サイクル】



【308サイクル】

写真1.9 骨材LCを使用した供試体の状況（シリーズI）



【0サイクル】



【308サイクル】

写真1.10 骨材LDを使用した供試体の状況（シリーズⅠ）



【0サイクル】



【304サイクル】

写真1.11 骨材SAを使用した供試体の状況（シリーズⅡ）



【0サイクル】



【304サイクル】

写真1.12 骨材SBを使用した供試体の状況（シリーズⅡ）





【0サイクル】



【304サイクル】

写真1.13 骨材SCを使用した供試体の状況（シリーズⅡ）



【0サイクル】



【304サイクル】

写真1.14 骨材SDを使用した供試体の状況（シリーズⅡ）

## 2. スケーリング試験結果

### 2.1 予備試験結果

表 2.1.1 予備試験結果

空気量 (%)	塩分濃度 (%)	サイクル	打設面			切断面		
			スケーリング量 (g/cm <sup>2</sup> )			スケーリング量 (g/cm <sup>2</sup> )		
			No.1	No.2	平均	No.1	No.2	平均
6	3	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		10	0.003	0.002	0.003	0.000	0.004	0.002
		20	0.011	0.004	0.007	0.002	0.004	0.003
		30	0.019	0.007	0.013	0.002	0.005	0.004
		40	0.029	0.010	0.019	0.003	0.005	0.004
		50	0.039	0.013	0.026	0.004	0.005	0.005
4.5	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		10	0.033	0.015	0.024	0.002	0.003	0.002
		20	0.068	0.026	0.047	0.002	0.004	0.003
		30	0.087	0.033	0.060	0.005	0.005	0.005
		40	0.103	0.040	0.071	0.007	0.006	0.006
		50	0.120	0.046	0.083	0.008	0.006	0.007
	23.4 (飽和)	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.5	3	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		10	0.159	0.167	0.163	0.065	0.064	0.064
		20	0.482	0.515	0.498	0.384	0.408	0.396
		30	0.643	0.733	0.688	0.500	0.539	0.519
		40	0.789	0.916	0.853	0.607	0.595	0.601
		50	0.956	1.162	1.059	0.730	0.676	0.703

2.2 スケーリングの状況写真（予備試験、50 サイクル）

表 2.2.1 打設面の状況写真

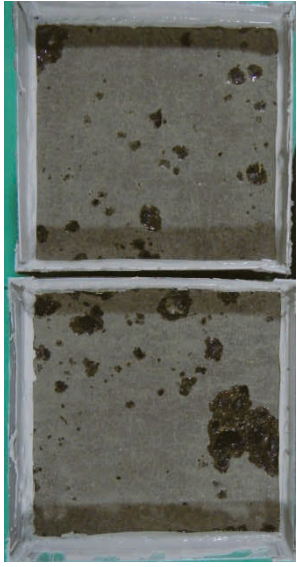
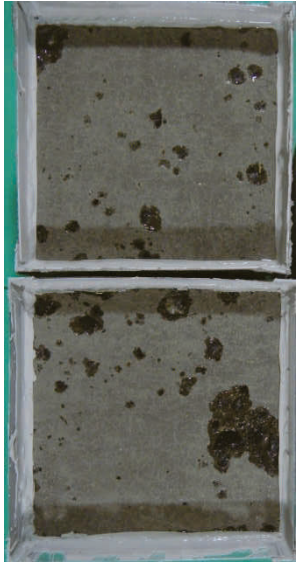

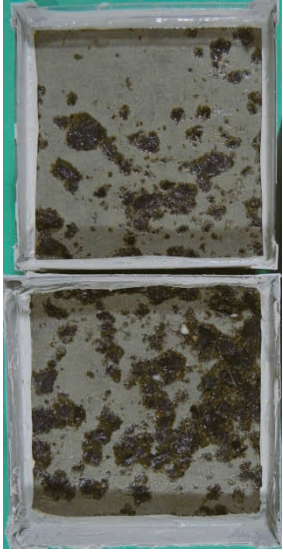

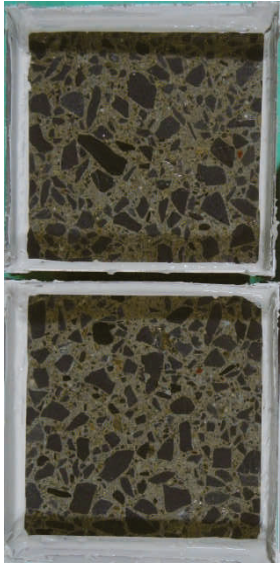
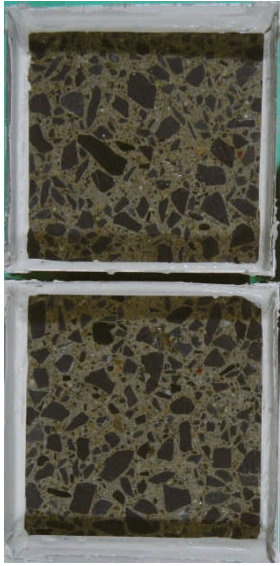
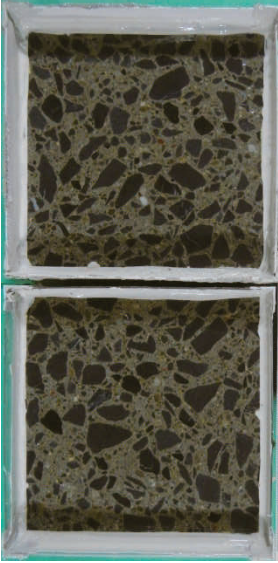
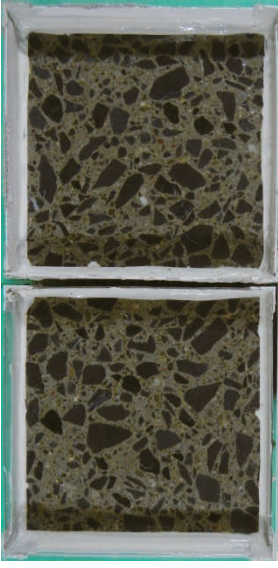

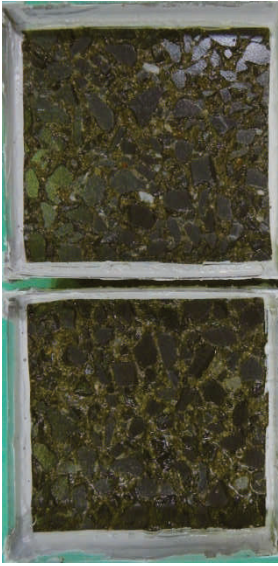
空気量	塩分濃度	
	0%	3%
6%		
4.5%		
1.5%		
	0%	23.4%

表 2.2.2 切断面の状況写真

空気量	塩分濃度	
	0%	3%
6%		
4.5%		
1.5%		
		23.4%



### 2.3 スケーリング試験結果(粗骨材の種類、水セメント比)

(単位 g/cm<sup>2</sup>)

表 2.3.1 打設面の結果面

試験面		打設面											
W/C(%)	骨材 サイクル	A			C			SC			LD		
		No.1	No.2	平均	No.1	No.2	平均	No.1	No.2	平均	No.1	No.2	平均
40	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	10	0.001	0.001	0.001	0.002	0.014	0.008	0.014	0.000	0.000	0.007	0.014	0.000
	20	0.005	0.006	0.005	0.046	0.093	0.069	0.090	0.003	0.003	0.046	0.090	0.003
	30	0.014	0.015	0.014	0.111	0.165	0.138	0.159	0.013	0.013	0.086	0.159	0.013
	40	0.023	0.025	0.024	0.173	0.216	0.195	0.219	0.024	0.024	0.121	0.219	0.024
	50	0.035	0.036	0.036	0.229	0.259	0.244	0.265	0.040	0.040	0.153	0.265	0.040
50	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	10	0.020	0.012	0.016	0.007	0.006	0.006	0.011	0.005	0.008	0.011	0.005	0.008
	20	0.038	0.024	0.031	0.013	0.019	0.016	0.019	0.007	0.013	0.019	0.007	0.013
	30	0.048	0.031	0.040	0.018	0.028	0.023	0.025	0.008	0.008	0.016	0.025	0.008
	40	0.053	0.045	0.049	0.021	0.036	0.029	0.029	0.008	0.008	0.019	0.029	0.008
	50	0.055	0.053	0.054	0.032	0.038	0.035	0.034	0.009	0.009	0.021	0.034	0.009
60	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	10	0.057	0.059	0.058	0.016	0.103	0.060	0.129	0.136	0.132	0.129	0.136	0.132
	20	0.105	0.139	0.122	0.039	0.167	0.103	0.179	0.183	0.181	0.179	0.183	0.181
	30	0.155	0.205	0.180	0.071	0.229	0.150	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214
	40	0.192	0.231	0.212	0.129	0.265	0.197	0.231	0.228	0.228	0.229	0.231	0.228
	50	0.215	0.247	0.231	0.181	0.292	0.236	0.245	0.238	0.238	0.242	0.245	0.238
50	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	10	0.006	0.015	0.011	0.037	0.005	0.021	0.016	0.007	0.011	0.016	0.007	0.011
	20	0.011	0.032	0.022	0.053	0.010	0.032	0.034	0.020	0.027	0.034	0.020	0.027
	30	0.018	0.053	0.036	0.061	0.012	0.037	0.043	0.040	0.041	0.043	0.040	0.041
	40	0.028	0.065	0.047	0.066	0.014	0.040	0.049	0.064	0.056	0.049	0.064	0.056
	50	0.036	0.073	0.054	0.070	0.016	0.043	0.053	0.075	0.064	0.053	0.075	0.064

(単位 g/cm<sup>2</sup>)

表 2.3.2 切断面の結果

試験面		切断面											
骨材		A				C				SC			
W/C(%)	サイクル	No.1	No.2	平均	No.1	No.2	平均	No.1	No.2	平均	No.1	No.2	平均
40	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	20	0.003	0.004	0.003	0.005	0.004	0.004	0.002	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003
	30	0.004	0.006	0.005	0.007	0.005	0.005	0.006	0.003	0.004	0.003	0.004	0.003
	40	0.005	0.007	0.006	0.008	0.006	0.006	0.007	0.003	0.004	0.003	0.004	0.003
	50	0.006	0.007	0.007	0.010	0.007	0.007	0.009	0.003	0.005	0.004	0.003	0.004
50	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	10	0.002	0.003	0.002	0.010	0.020	0.015	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.004
	20	0.002	0.004	0.003	0.016	0.035	0.026	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004
	30	0.002	0.004	0.003	0.020	0.048	0.034	0.005	0.004	0.005	0.005	0.004	0.005
	40	0.002	0.004	0.003	0.021	0.060	0.041	0.005	0.004	0.005	0.005	0.004	0.005
	50	0.003	0.004	0.003	0.022	0.070	0.046	0.006	0.004	0.005	0.006	0.004	0.005
60	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	10	0.012	0.024	0.018	0.017	0.026	0.022	0.009	0.005	0.007	0.009	0.005	0.007
	20	0.018	0.035	0.026	0.027	0.060	0.043	0.012	0.006	0.009	0.012	0.006	0.009
	30	0.024	0.044	0.034	0.036	0.071	0.054	0.015	0.008	0.011	0.015	0.008	0.011
	40	0.031	0.055	0.043	0.043	0.082	0.062	0.016	0.009	0.012	0.016	0.009	0.012
	50	0.038	0.063	0.050	0.048	0.086	0.067	0.017	0.010	0.013	0.017	0.010	0.013
骨材		B				G				LD			
W/C(%)	サイクル	No.1	No.2	平均	No.1	No.2	平均	No.1	No.2	平均	No.1	No.2	平均
50	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	10	0.007	0.006	0.007	0.008	0.006	0.007	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003
	20	0.017	0.009	0.013	0.012	0.009	0.011	0.004	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004
	30	0.026	0.012	0.019	0.019	0.010	0.014	0.006	0.005	0.006	0.006	0.005	0.006
	40	0.033	0.014	0.024	0.026	0.010	0.018	0.008	0.006	0.007	0.008	0.006	0.007
	50	0.044	0.018	0.031	0.035	0.011	0.023	0.035	0.011	0.009	0.011	0.006	0.009

2.4 スケーリングの状況写真(粗骨材の種類、水セメント比、50 サイクル)

表 2.4.1 粗骨材 A、C、SC、B、G、LD(W/C=50%)の打設面の状況写真

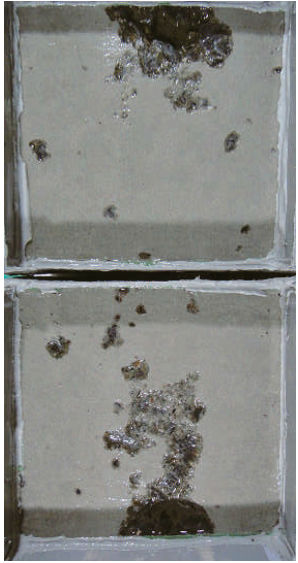
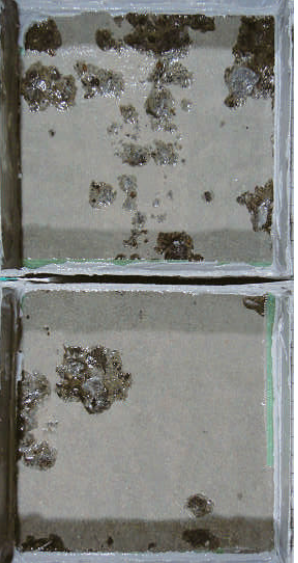

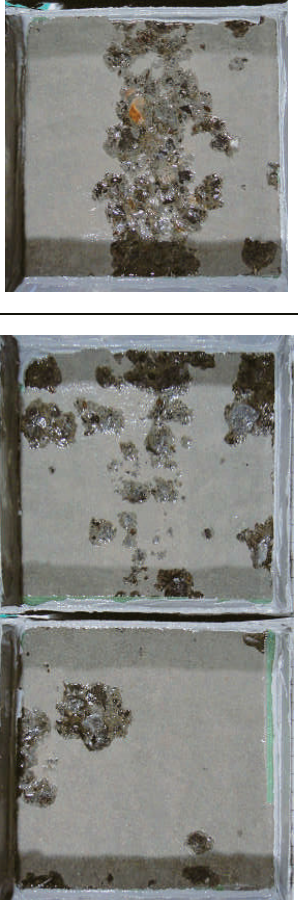
W/C				
粗骨材 A		粗骨材 C		粗骨材 SC
粗骨材 B		粗骨材 G		粗骨材 LD
50 %				



表 2.4.2 粗骨材 A、C、SC、水セメント比の打設面の状況写真

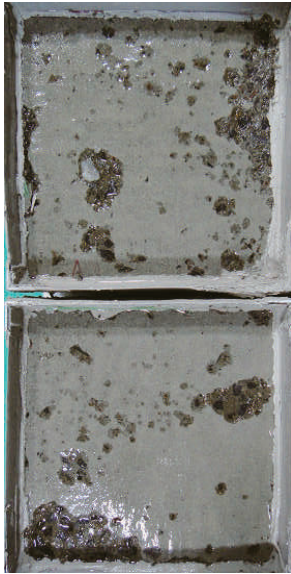
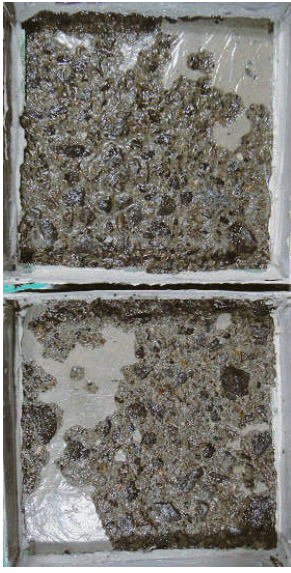

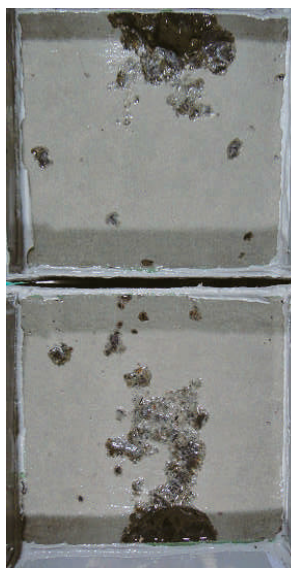

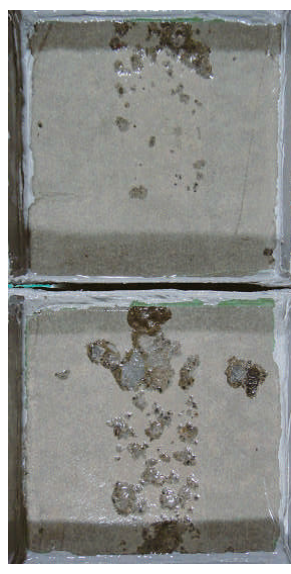
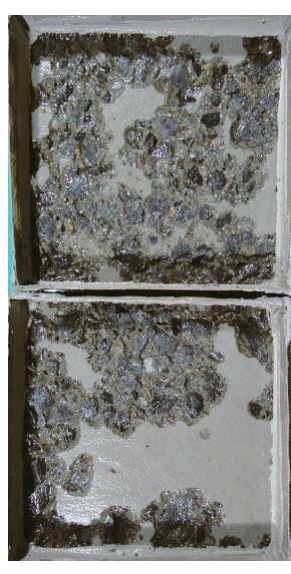
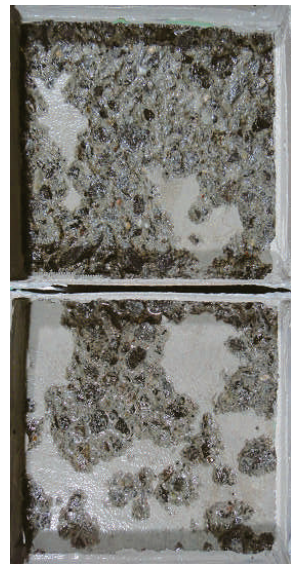

W/C	粗骨材 A	粗骨材 C	粗骨材 SC
40 %			
50 %			
60 %			



表 2.4.3 粗骨材 A、C、SC、B、G、LD(W/C=50%)の切断面の状況写真

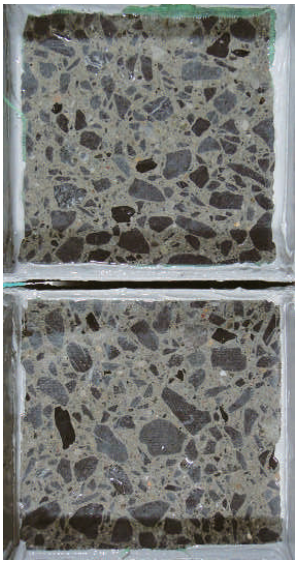
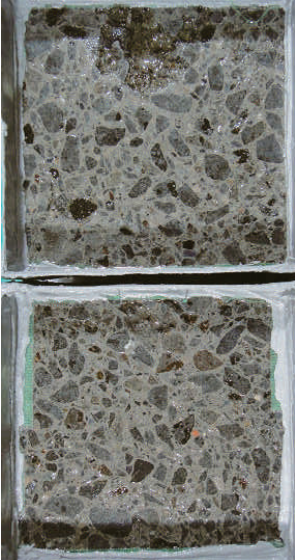
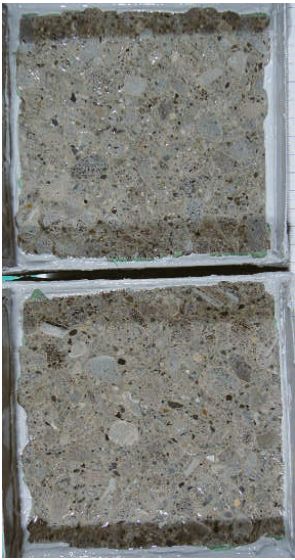
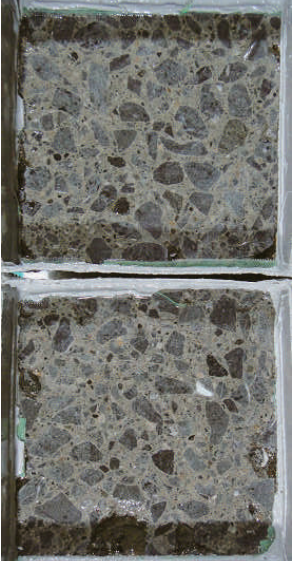
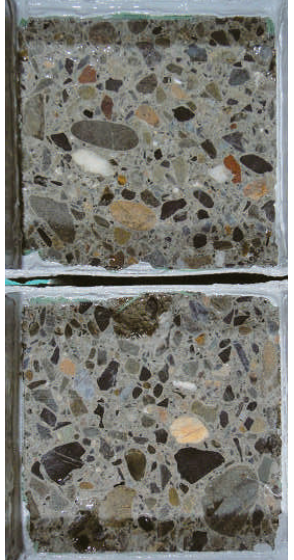
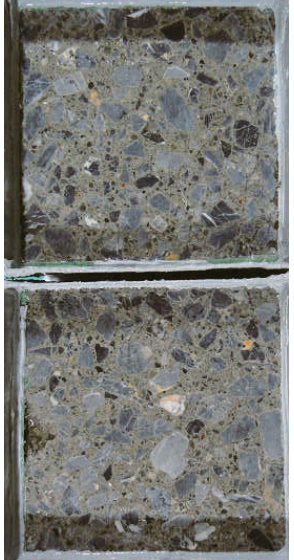
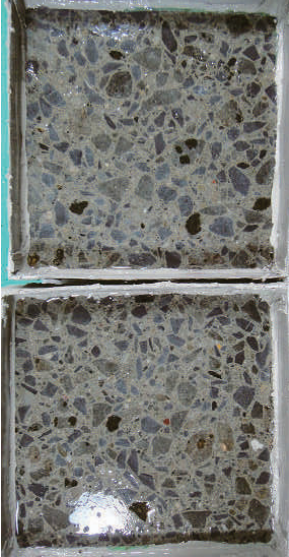
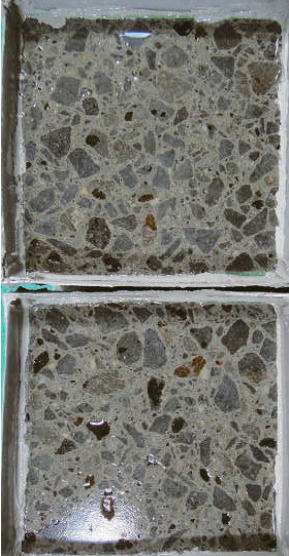
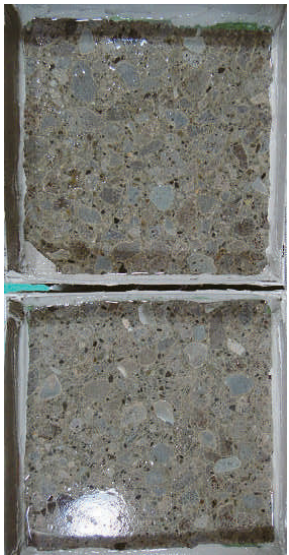
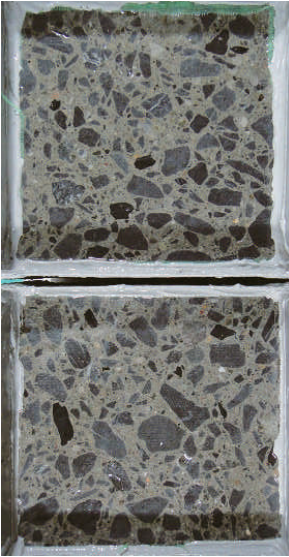

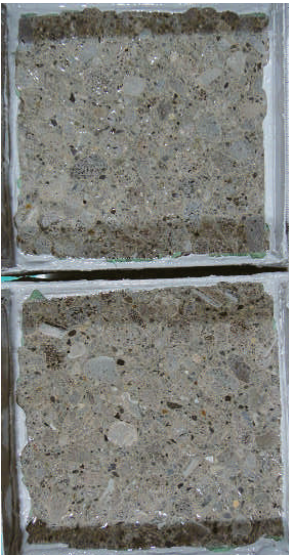
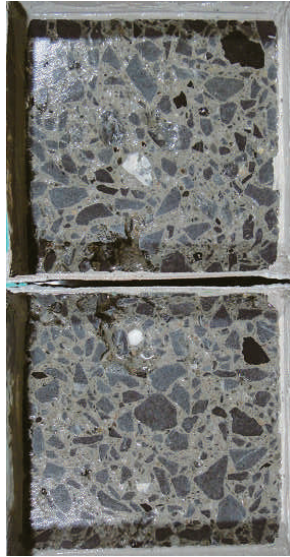


W/C	粗骨材 A 	粗骨材 S 	粗骨材 SC 
50 %	粗骨材 B 	粗骨材 G 	粗骨材 LD 



表 2.4.4 粗骨材 A、C、SC、水セメント比の切断面の状況写真

W/C	粗骨材 A	粗骨材 C	粗骨材 SC
40 %			
50 %			
60 %			

### 3. 乾燥収縮・自己収縮・線膨張係数試験結果

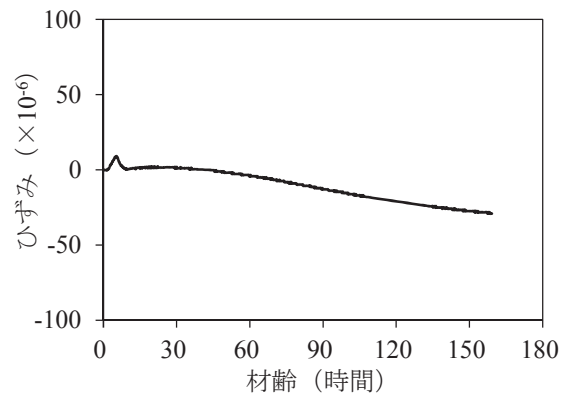
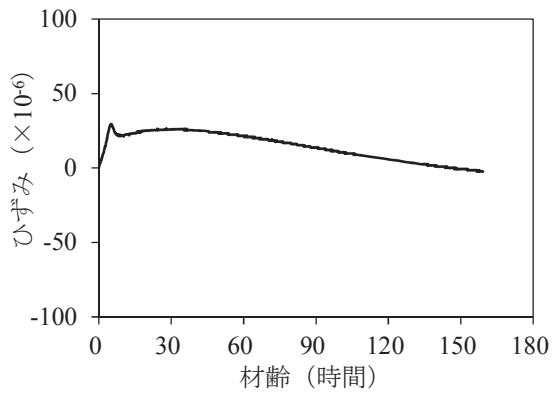
#### 3.1 材齢ごとの乾燥収縮率

骨材種類	乾燥収縮率 ( $\times 10^{-6}$ )										
	3日	7日	14日	21日	28日	42日	57日	70日	91日	126日	182日
A20	123	170	264	337	394	470	524	552	583	626	641
B20	123	191	298	384	451	542	601	636	682	724	746
C20	132	200	301	380	446	534	597	630	672	715	739
G25	132	192	278	356	409	488	546	572	614	654	676
LA20	86	131	207	267	313	374	419	445	461	500	512
LB20	87	122	203	264	312	369	418	448	459	492	509
LC20	91	132	215	282	334	407	456	471	504	543	565
LD20	98	132	204	264	317	386	426	452	479	489	525
SA20	110	157	227	290	336	409	453	486	521	546	594
SB20	97	138	194	252	300	366	423	450	489	510	553
SC20	86	148	225	290	335	410	456	495	525	550	598
SD20	107	153	220	286	335	411	456	485	511	530	579

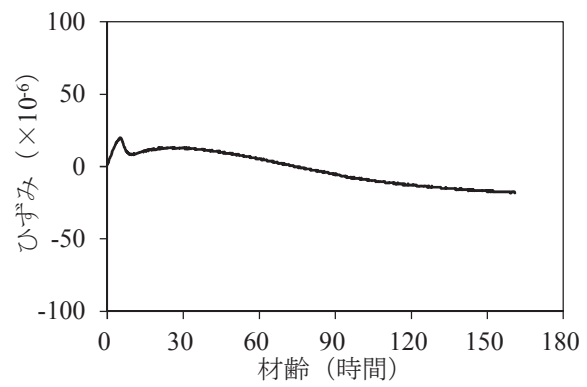
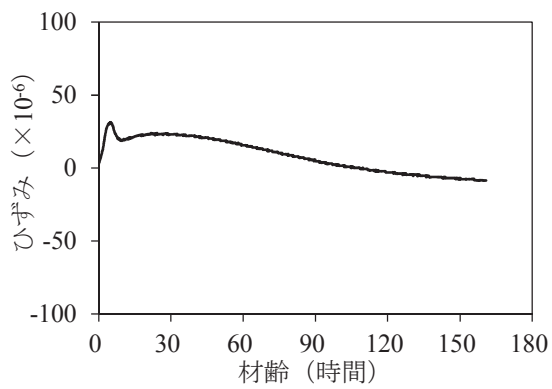
#### 3.2 材齢ごとの質量減少率

骨材種類	質量減少率 (%)										
	3日	7日	14日	21日	28日	42日	57日	70日	91日	126日	182日
A20	1.10	1.45	1.73	1.90	2.01	2.15	2.26	2.32	2.39	2.45	2.48
B20	1.35	1.73	2.04	2.21	2.33	2.48	2.58	2.63	2.70	2.76	2.77
C20	1.14	1.48	1.79	1.97	2.10	2.25	2.36	2.42	2.50	2.57	2.61
G25	0.97	1.27	1.56	1.72	1.83	1.98	2.09	2.15	2.23	2.30	2.34
LA20	1.08	1.42	1.71	1.88	1.98	2.12	2.22	2.28	2.33	2.39	2.41
LB20	1.22	1.56	1.84	2.01	2.10	2.23	2.32	2.37	2.42	2.48	2.50
LC20	1.27	1.66	1.96	2.14	2.26	2.42	2.52	2.57	2.64	2.70	2.73
LD20	1.28	1.52	1.81	1.98	2.10	2.25	2.33	2.40	2.46	2.53	2.55
SA20	0.82	1.01	1.28	1.43	1.54	1.70	1.79	1.88	1.97	2.08	2.17
SB20	0.98	1.19	1.47	1.64	1.76	1.92	2.03	2.12	2.20	2.29	2.37
SC20	1.53	1.81	2.18	2.39	2.53	2.72	2.84	2.93	3.02	3.12	3.17
SD20	1.14	1.36	1.65	1.81	1.91	2.05	2.14	2.20	2.27	2.34	2.36

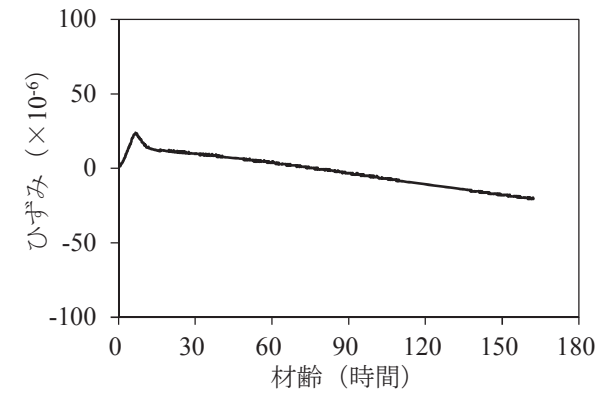
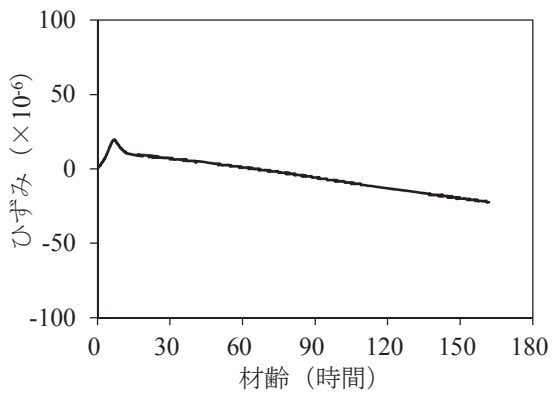
### 3.3 自己収縮試験結果(1/4)



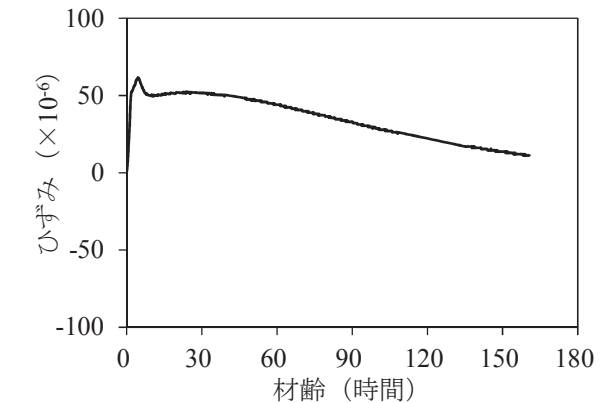
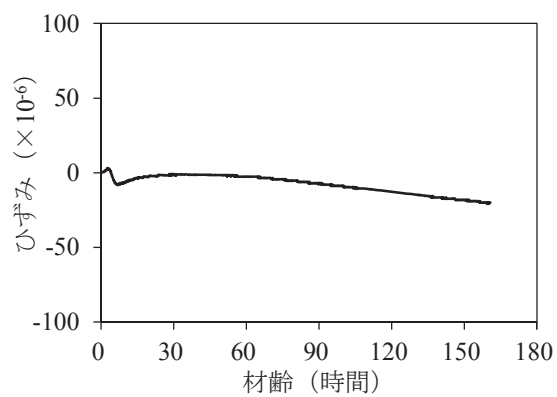
A20



A40

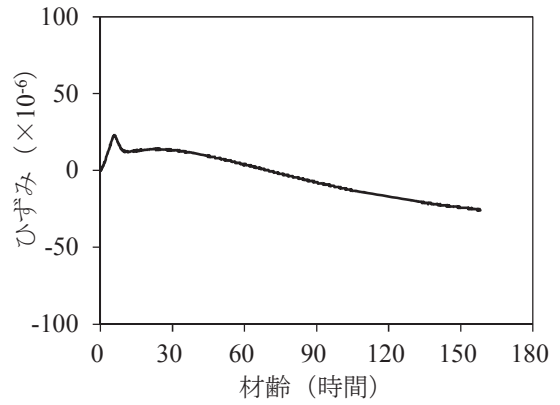
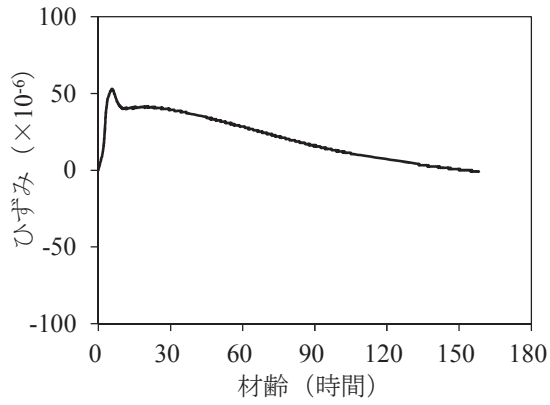


B20

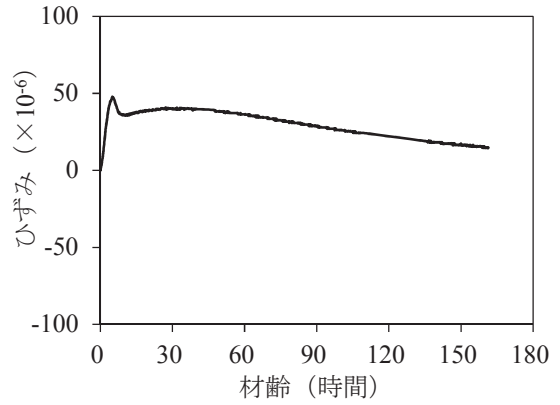
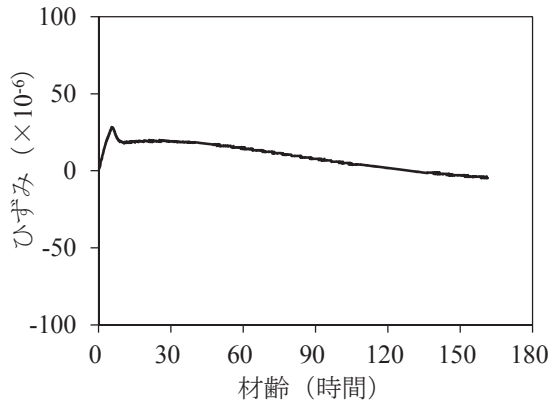


C20

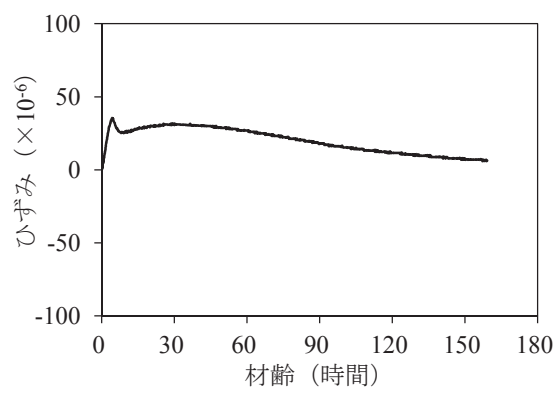
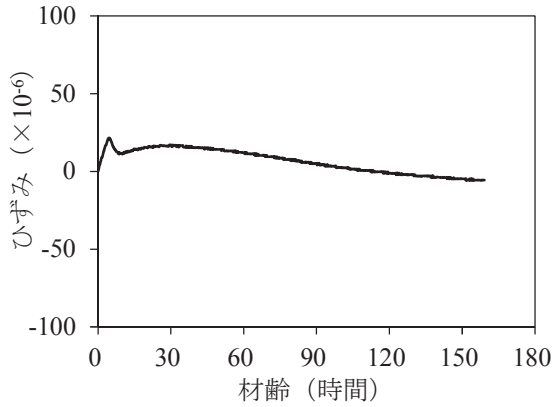
### 3.3 自己収縮試験結果(2/4)



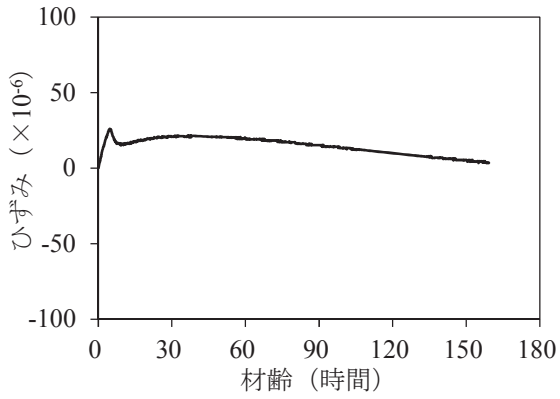
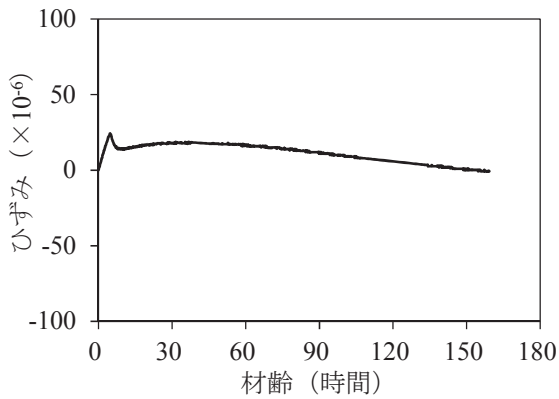
**G25**



**LA20**

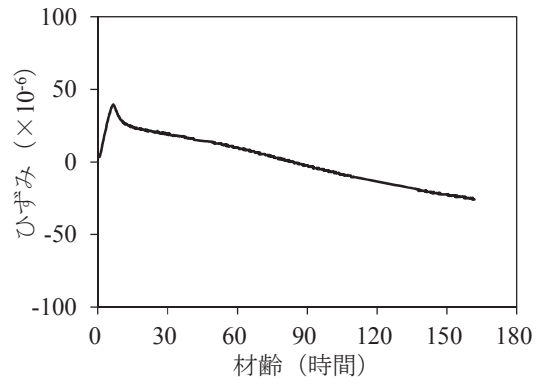
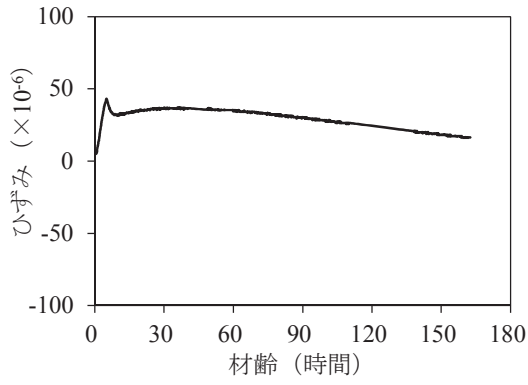


**LA40**

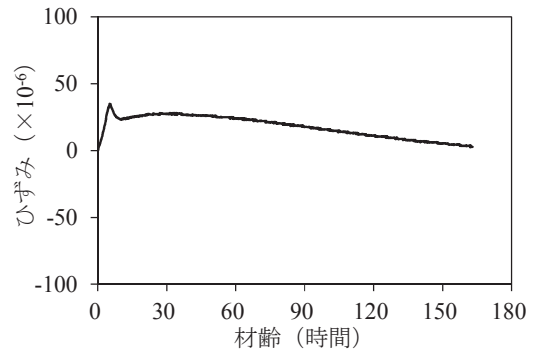
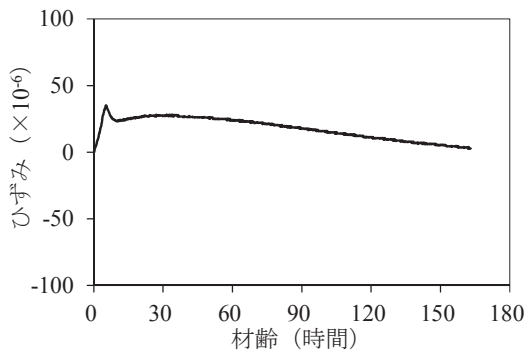


**LB20**

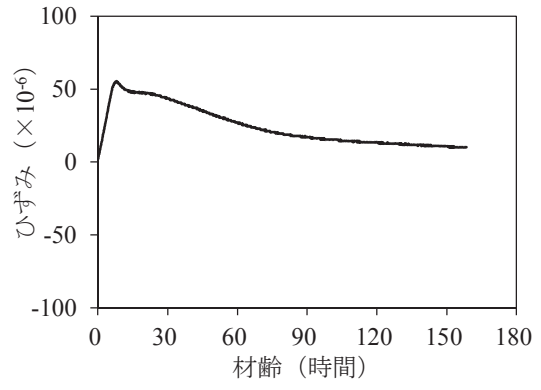
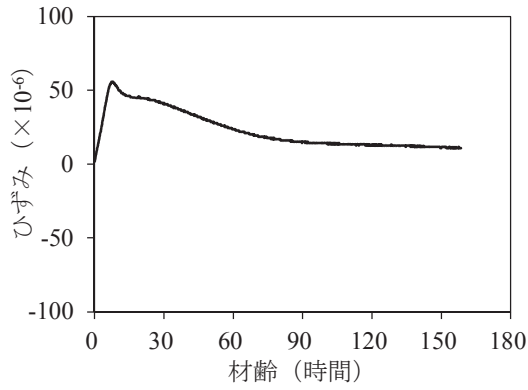
### 3.3 自己収縮試験結果(3/4)



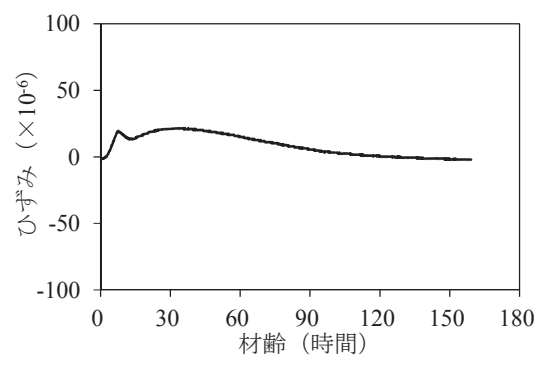
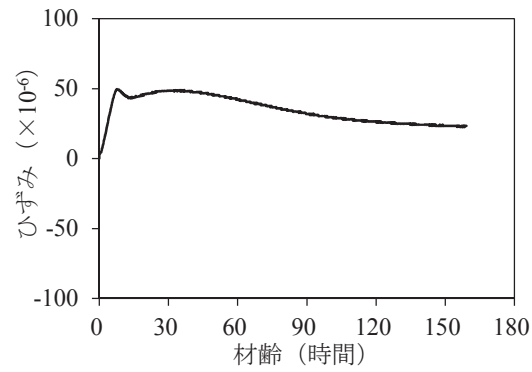
LC20



LD20

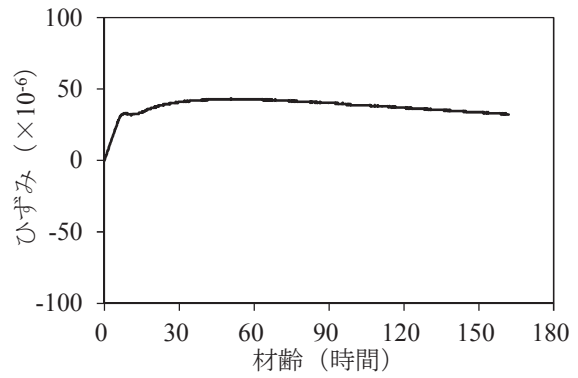
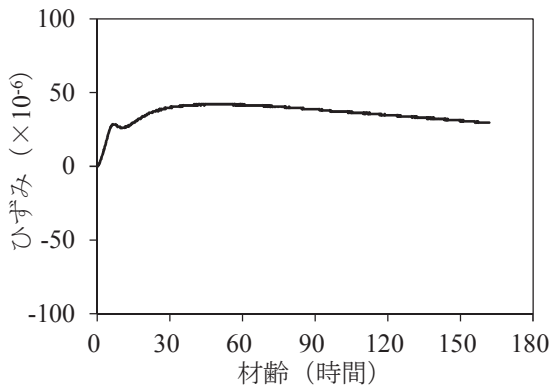


SA20

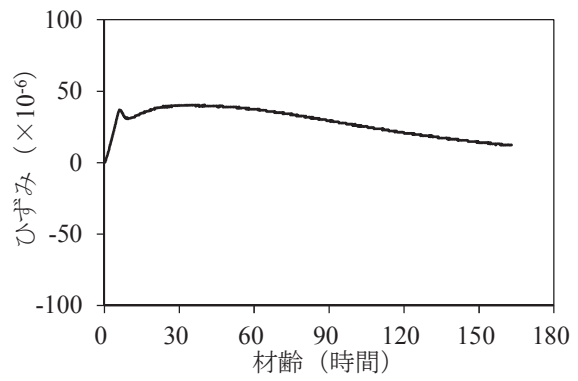
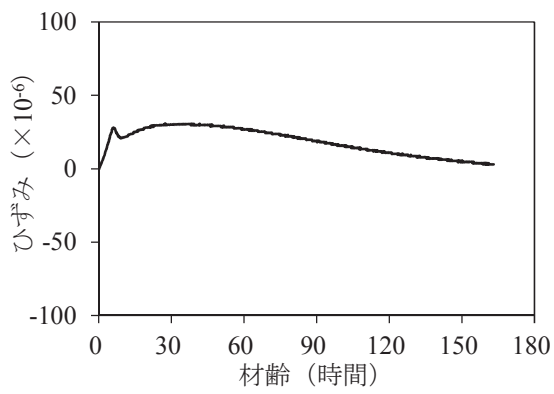


SB20

### 3.3 自己収縮試験結果(4/4)



SC20



SD20



## 4. 関連発表リスト

### 【2013 年度】

- 1) 森濱 和正、島崎 泰、瀧波 勇人、石田 征男：石灰石骨材を用いた舗装コンクリートの配合に関する検討、セメント技術大会第 67 回講演要旨、pp.86-87、2013.5
- 2) 森濱 和正、渡辺 博志、石田 征男、瀧波 勇人：粗骨材の最大寸法 20mm, スランプ 5cm の舗装コンクリートの配合に関する検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.35、No.1、pp.1363-1368、2013.7
- 3) 森濱 和正、島崎 泰、石田 征男：舗装コンクリートに使用する各種骨材の試験結果、土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.915-916、2013.9
- 4) 勝畑 俊幸、森濱 和正、石田 征男、瀧波 勇人：各種スラグ粗骨材を用いた舗装コンクリートの配合に関する検討、土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.917-918、2013.9
- 5) 瀧波 勇人、森濱 和正、小梁川 雅、石田 征男：各種粗骨材を用いた舗装コンクリートの曲げおよび圧縮強度試験結果、土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.919-920、2013.9
- 6) 森濱 和正、小梁川 雅、島崎 泰、石田 征男、瀧波 勇人：各種骨材を用いた舗装コンクリートの配合試験、土木学会論文集 E1 (舗装工学)、Vol.69、No.3、pp.81-86、2013.12

### 【2014 年度】

- 1) 森濱 和正、渡辺 博志、勝畑 俊幸：スラグ骨材を用いた舗装コンクリートの強度に関する検討、セメント技術大会第 68 回講演要旨、pp.70-71、2014.5
- 2) 森濱 和正、勝畑 俊幸、加藤 学、常松 直志：スラグ骨材を用いた舗装コンクリートのすり減り抵抗性に関する検討、セメント技術大会第 68 回講演要旨、pp.72-73、2014.5
- 3) 森濱 和正、勝畑 俊幸、加藤 学、常松 直志：砕石、砂利を用いた舗装コンクリートの強度、すり減り抵抗性、コンクリート工学年次論文集、Vol.36、No.1、pp.1624-1629、2014.7
- 4) 石田 征男、梶尾 聡、森濱 和正、勝畑 俊幸、中原 大磯：各種粗骨材を用いた舗装コンクリートの凍結融解試験に関する研究、土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.991-992、2014.9
- 5) 常松 直志、森濱 和正、勝畑 俊幸、加藤 学、石田 征男、瀧波 勇人：各種粗骨材を用いた舗装コンクリートのすり減り抵抗性に関する検討、土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.1163-1164、2014.9
- 6) 森濱 和正、勝畑 俊幸：コンクリート舗装の圧縮強度による管理・検査に関する一考察、土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.1165-1166、2014.9
- 7) 瀧波 勇人、森濱 和正、吉本 徹、勝畑 俊幸：舗装コンクリートの曲げ試験による弾性係数に関する一検討、土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.1167-1168、2014.9
- 8) 瀧波 勇人、小梁川 雅、森濱 和正、常松 直志、石田 征男、：各種骨材を用いた舗装コンクリートの強度特性及び耐摩耗性に関する研究、土木学会論文集 E1 (舗装工学)、Vol.70、No.3、pp. I\_107- I\_113、2014.12



## 共同研究参加者名簿

機 関	氏 名	所 属・役 職	参 加 期 間
(独)土木研究 所	渡辺 博志	材料資源研究グループ 基礎材料チーム 上席研究員	2012.4～
	森濱 和正	材料資源研究グループ 基礎材料チーム 総括主任研究員	2012.4～
	勝畑 敏幸	材料資源研究グループ 基礎材料チーム 交流研究員 (BASF ジャパン(株))	2013.1～14.12
(学)東京農業 大学	小梁川 雅	地域環境科学部 生産環境工学科 教授	2012.4～
(一社) セメント 協会 舗装技術 専門委員会	小梁川 雅	東京農業大学 地域環境科学部 生産環境工学科 教授	2012.4～
	小林 哲夫	住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 環境コン クリート研究グループ グループリーダー	2012.4～
	上野 敦	首都大学東京 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域 土木材料 研究室 准教授	2012.4～
	佐藤 正和	(株)高速道路総合技術研究所 道路研究部 舗装研究室 室長	2012.4～
	辻井 豪	大成ロテック(株) 事業本部 技術研究所 参事	2012.4～
	石垣 勉	(株)NIPPO 研究開発本部 技術研究所 研究第一グループ 主任研究員	2012.4～13.4
	白井 悠	(株)NIPPO 総合技術部 技術研究所 研究第二グループ 副主任研究員	2013.5～
	伊藤 清志	鹿島道路(株) 生産技術本部 技術部 技術課 係長	2012.4～
	原田 修輔	全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 所長	2014.8～
	辻本 一志	全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 主席研究員	2012.4～14.7
	吉田 浩一郎	宇部興産(株) 建設資材カンパニー 技術開発研究所 コンクリ ート開発部コンクリート開発グループ 主席部員	2012.4～
	玉野 茂昭	(株)トクヤマ セメント企画グループ	2012.4～
	梶尾 聡	太平洋セメント(株) 中央研究所 第2 研究部 コンクリート舗装 技術チーム リーダー	2012.4～14.3
	石田 征男	太平洋セメント(株) 中央研究所 第2 研究部 コンクリート舗装 技術チーム 主任研究員	2014.4～
	中山 英明	三菱マテリアル(株) セメント事業カンパニー 生産部 セメント 研究所 コンクリートグループ グループリーダー	2014.9～
高尾 昇	三菱マテリアル(株) セメント事業カンパニー 生産部 セメント 研究所 コンクリートグループ 主任研究員	2012.4～14.10	
(一社)セメン ト協会研究 所	佐藤 智泰	コンクリート研究グループ グループリーダー	2012.4～
	吉本 徹	コンクリート研究グループ サブグループリーダー	2012.4～
	島崎 泰	コンクリート研究グループ サブグループリーダー	2012.4～
	瀧波 勇人	コンクリート研究グループ 研究員	2013.4～
太平洋セメ ント(株)	梶尾 聡	中央研究所 第2 研究部 コンクリート舗装技術チーム リーダー	2012.4～
	石田 征男	中央研究所 第2 研究部 コンクリート舗装技術チーム 主任研究員	2012.4～
	岸良 竜	中央研究所 第2 研究部 コンクリート舗装技術チーム 副主任研究員	2012.4～
	松本 健一	中央研究所 第2 研究部 コンクリート舗装技術チーム 副主任研究員	2012.4～
日本道路(株)	中原 大磯	技術研究所 第一研究室長	2012.4～
	加藤 学	技術研究所 主任研究員	2013.4～
	常松 直志	技術研究所 副主任研究員	2013.4～



---

共同研究報告書  
Cooperative Research Report of PWRI  
No. 462 March 2015

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

