

# 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

### (3) 舗装コンクリートの施工性、走行安全性および耐久性試験

2016年1月

国立研究開発法人土木研究所  
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 © (2016) 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、国立研究開発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、国立研究開発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

### (3) 舗装コンクリートの施工性、走行安全性および耐久性試験

材料資源研究グループ	グループ長 上席研究員 総括主任研究員 研究員 交流研究員	渡辺 博志 古賀 裕久 森濱 和正 加藤 祐哉 勝畑 敏幸*
東京農業大学 (一社)セメント協会	教授 舗装技術専門委員会 適用性評価 WG リーダー リーダー サブグループリーダー サブグループリーダー 研究員	小梁川 雅 小林 哲夫 佐藤 智泰 吉本 徹 島崎 泰 瀧波 勇人
太平洋セメント(株)	リーダー 主任研究員	梶尾 聡 石田 征男
日本道路(株)	室長 主任研究員 副主任研究員	中原 大磯 加藤 学 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。一方、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、碎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し、資源の有効活用をはかることを目的に研究を行なった。

本報告は、骨材の品質、単位粗骨材かさ容積、スランプを変化させた場合のフレッシュコンクリートの施工性、硬化コンクリートの走行安全性、耐久性の検討結果を取りまとめた。

**キーワード：** 舗装コンクリート, 石灰石骨材, スラグ骨材, 施工性試験, 走行安全性, すべり試験, すり減り試験, 耐久性, スケーリング試験, 乾燥収縮試験

\* 2014 年 12 月まで交流研究員 (元, BASF ジャパン(株))



# 目 次

1.	まえがき	1
2.	実験概要	3
3.	骨材の物性試験	5
3.1	骨材（ロット2）の試験結果	5
3.2	粗骨材（ロット1）の乾燥収縮率試験	8
3.3	粗骨材（ロット1）のすべり（PSV）試験	12
4.	舗装コンクリートの各種施工性実験	15
4.1	実験目的	15
4.2	実験項目	15
4.3	配合およびフレッシュ性状	16
4.4	フローテーブルを用いた締固め性・変形性試験	28
4.5	箱形装置を用いた変形性試験	41
4.6	粗骨材分離試験	49
4.7	ダレ試験	56
4.8	まとめ	61
5.	舗装コンクリートのすり減り実験	62
5.1	実験目的および試験方法	62
5.2	コンクリートの配合、フレッシュ性状、圧縮強度	62
5.3	すり減り試験結果	64
5.4	SCのIシリーズとIIシリーズの比較	64
5.5	粗骨材のすりへり減量、破砕値とコンクリートのすり減り量の関係	65
5.6	かさ容積とすり減り量の関係	65
5.7	すり減り試験のまとめ	66
6.	舗装コンクリートのすべり実験	67
6.1	実験目的	67
6.2	コンクリートの配合、フレッシュ性状、圧縮強度	67
6.3	骨材種類に関する実験	68
6.4	かさ容積に関する実験	71
6.5	すべり試験のまとめ	73
7.	石灰石骨材のすべり抵抗に関する検討	74

7.1	概要	74
7.2	供用されている石灰石コンクリートの現地調査	75
7.3	室内試験による検討	76
7.4	試験施工	100
7.5	まとめ	107
8.	舗装コンクリートの強度実験	108
8.1	実験目的および概要	108
8.2	コンクリートの配合およびフレッシュ性状	108
8.3	C/W と各強度試験結果	110
8.4	供試体寸法の影響	112
8.5	曲げ強度と圧縮強度、引張強度の関係	113
8.6	骨材ロットの比較	114
8.7	強度試験のまとめ	115
9.	舗装コンクリートのスケーリング実験	116
9.1	実験概要および目的	116
9.2	実験方法	116
9.3	コンクリートの配合、フレッシュ性状、圧縮強度	118
9.4	実験結果	119
9.5	粗骨材の種類とスケーリング量	120
9.6	水セメント比の影響	123
9.7	スケーリング試験のまとめ	123
10.	舗装コンクリートと粗骨材の乾燥収縮の関係	124
10.1	概要	124
10.2	舗装コンクリートの乾燥収縮率試験結果	124
10.3	粗骨材の乾燥収縮率試験結果	124
10.4	粗骨材とコンクリートの乾燥収縮率試験結果の比較	125
10.5	まとめ	126
11.	まとめ	127
資	料	131
1.	粗骨材の物性試験結果	133
2.	施工性試験結果	136
3.	すり減り試験結果	192

4.	すべり試験結果	193
5.	強度試験結果	202
6.	スケーリング試験結果	203
7.	関連発表リスト	210
	共同研究参加者名簿	212





## 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、アジテータ車を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、1 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。

共同研究報告書(2)第 462 号<sup>4)</sup> (以下、2 報という。)では、第 1 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。

本報告 (3 報) は、骨材の品質と、施工性の改善のため単位粗骨材かさ容積 (細骨材率)、スランプを変化させた場合のフレッシュコンクリートの施工性 (充填性、分離抵抗性、変形性など)、硬化コンクリートの走行安全性 (すり減り抵抗性、すべり抵抗性)、耐久性 (スケーリング抵抗性、乾燥収縮) について検討した結果を取りまとめた。

## 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
- 4) (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 (2)、共同研究報告書第462号、2015.3

## 2. 実験概要

1 報、2 報では、砂利と碎石 4 種類と、産地の異なる石灰石 4 種類の Gmax 40mm と 20/25mm、スラグ骨材 Gmax 20mm を 4 種類（製造所の異なる高炉スラグ 3 種類と電気炉酸化スラグ 1 種類）、合計 20 種類を用いた。これらをロット 1 とする。

本報告（3 報）で使用した粗骨材は、1 報、2 報で使用した 20 種類の粗骨材の中から代表的な 5 種類を選定（碎石 1 種類で Gmax 40mm と 20mm と、Gmax 20mm の石灰石、高炉スラグ、電気炉酸化スラグ各 1 種類）した。これらは、新たに採取したものを使用したのでロット 2 とした。

3 報は、**表 2.1** のとおり、3 章ではロット 2 の骨材の一般的な物理試験結果を行なった。ロット 1 については、粗骨材の乾燥収縮率試験とすべり（PSV）試験を追加し、2 報で実施したコンクリートの乾燥収縮率試験結果を評価（本報告の 9 章）した。

コンクリートの試験は、単位粗骨材かさ容積（以下、単にかさ容積という）(s/a) およびスランプを変化させた場合の施工性を 4 章、すり減り抵抗性を 5 章、すべり抵抗性を 6 章で検討した。また、W/C と各種強度試験を 7 章に示した。

さらに、ロット 1 の 20 種類の内の数種類の粗骨材を用いて、コンクリートのスケーリング試験を 8 章で実施し、2 報で実施した凍結融解試験結果と、粗骨材の簡易凍結融解試験結果と比較検討した。9 章では、粗骨材の乾燥収縮率試験結果と 2 報で実施したコンクリートの乾燥収縮率試験結果を比較検討した。

1 報～3 報までの粗骨材の品質とコンクリート試験の関係は、**表 2.2** のとおりである。

**表 2.1 本報告書の構成**

章	章 題	粗骨材 (ロット)	概 要
3	骨材の物性試験	2	一般物性試験
		1	乾燥収縮率試験 すべり (PSV) 試験
4	舗装コンクリートの施工性実験	2	かさ容積 (s/a)、スランプとの関係  石灰石粗骨材を用いた舗装コンクリートと粗骨材のすべり試験結果の比較
5	舗装コンクリートのすり減り実験		
6	舗装コンクリートのすべり実験		
7	舗装コンクリートと粗骨材のすべりの関係		
8	舗装コンクリートの強度実験		W/C と各種強度試験
9	舗装コンクリートのスケーリング実験	1	2 報の凍結融解試験結果、粗骨材の簡易凍結融解試験結果と、本報告のスケーリング試験結果の比較
10	粗骨材の乾燥収縮と舗装コンクリートの乾燥収縮の検討		2 報のコンクリートの乾燥収縮率試験結果と、粗骨材の乾燥収縮率試験結果の比較
11	まとめ	—	全体のまとめ



### 3. 骨材の物性試験

#### 3.1 骨材（ロット2）の試験結果

##### 3.1.1 粗骨材の種類

施工性などの実験は、新たに採取した粗骨材、細骨材を使用した。粗骨材、細骨材とも、産地は1報、2報で使用したものと同じである。粗骨材の種類は、表3.1.1.1のとおり Gmax 20mm の砕石 A20、石灰石 LD、高炉スラグ骨材 SC、電気炉酸化スラグ骨材 SD と、Gmax 40mm の砕石 A40 の5種類である。

今回使用したものと、1報、2報で使用したものと、採取した時期が異なることから、以前のものをロット1、今回のものはロット2とした。

表 3.1.1.1 骨材(ロット2)の種類

骨材の種類		記号	粒度範囲
粗骨材	砕石	硬質砂岩	A20 2005
			A40 4005
	石灰石	LD 2005	
	スラグ骨材	高炉スラグ	SC 2005
		電気炉酸化スラグ	SD 2005
細骨材	川砂		

##### 3.1.2 試験項目

試験項目、試験方法は、1報と同じく、表3.1.2.1のとおりである。

表 3.1.2.1 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
細骨材の密度及び吸水率試験	JIS A 1109
粗骨材の密度及び吸水率試験	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

##### 3.1.3 試験結果

試験結果は表3.1.3.1のとおりである。

ロット1とロット2の試験結果の比較を図3.1.3.1～図3.1.3.9に示す。ロット1とロット2の微粒分量と安定性損失質量は、図3.1.3.6と図3.1.3.7のとおり異なっている。

表 3.1.3.1 骨材の試験結果

骨材の種類	記号	粒度 範囲	表乾密度 ( $g/cm^3$ )	絶乾密度 ( $g/cm^3$ )	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 (%)
粗骨材	A	2005	2.674	2.664	0.39	1.611	60.5	6.71	1.1	1.9	12.8	9.9
		4005	2.677	2.669	0.31	1.644	61.6	7.31	1.2	1.1	12.5	8.1
碎石	LD	2005	2.699	2.685	0.51	1.588	59.1	6.94	0.5	3.1	22.9	21.8
	SC	2005	2.659	2.577	3.17	1.507	58.5	6.33	0.6	1.5	25.9	25.1
細骨材	SD	2005	3.720	3.689	0.84	2.097	56.8	6.27	0.1	2.6	15.4	16.6
		川砂	2.560	2.515	1.79	1.732	68.9	2.80	1.2	5.1	—	—

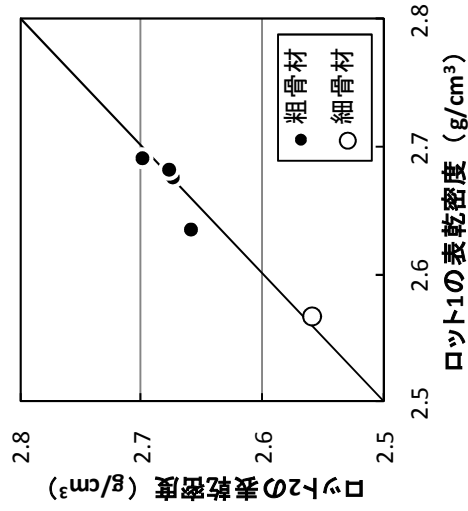


図 3.1.3.1 表乾密度の比較

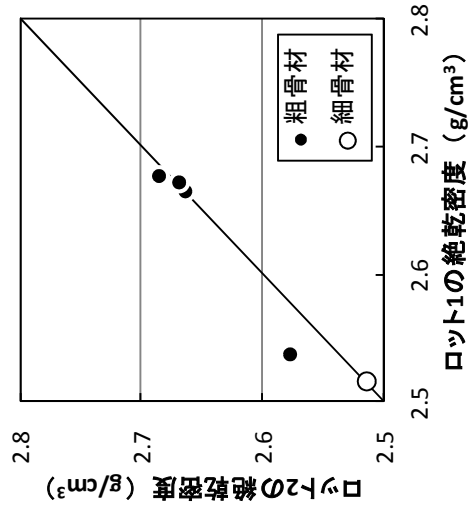


図 3.1.3.2 絶乾密度の比較

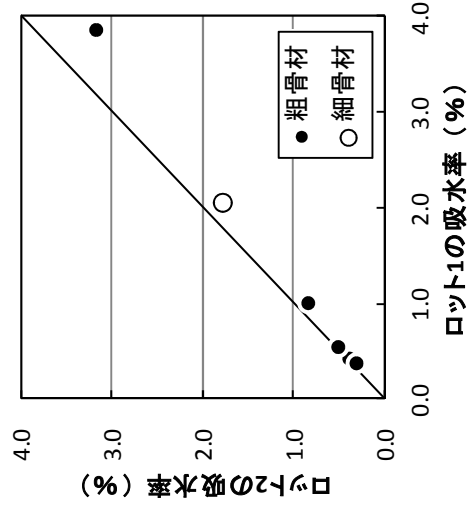


図 3.1.3.3 吸水率の比較

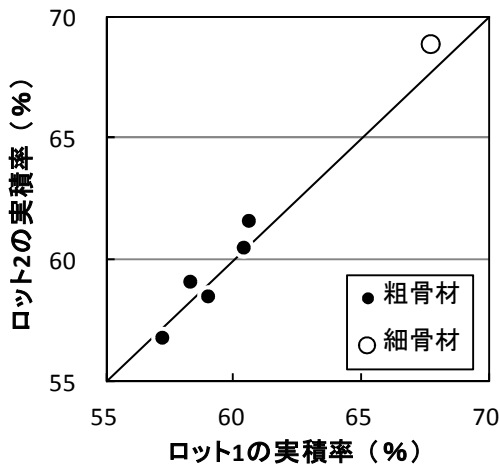


図 3.1.34 実積率の比較

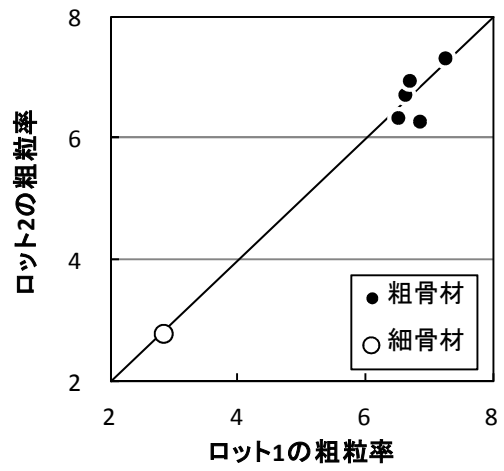


図 3.1.35 粗粒率の比較

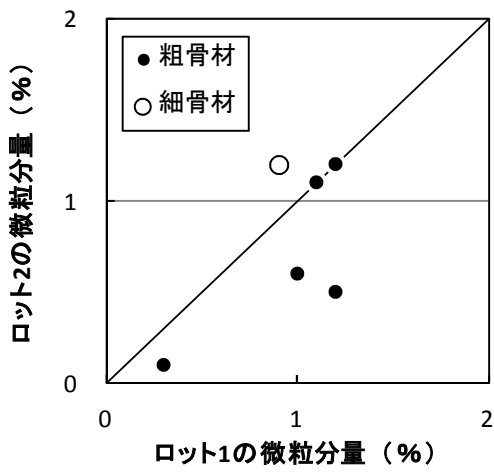


図 3.1.36 微粒分量の比較

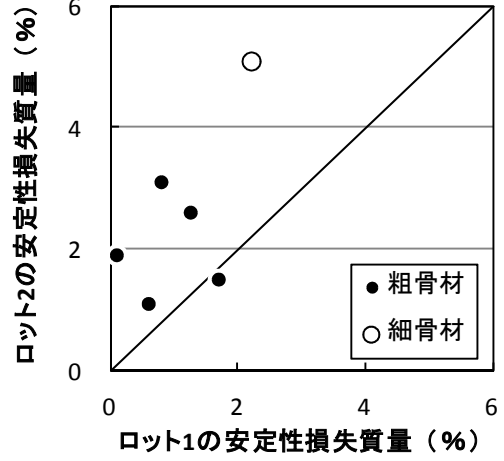


図 3.1.37 安定性損失質量の比較

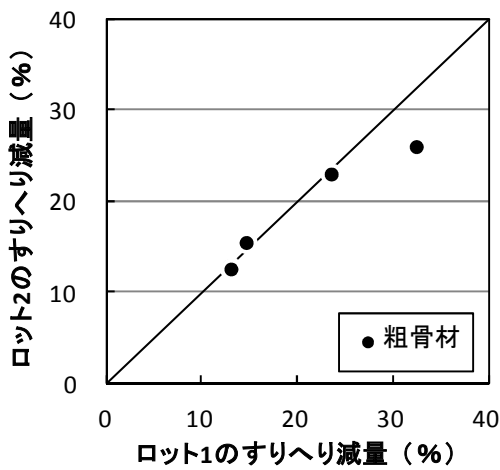


図 3.1.38 すりへり減量の比較

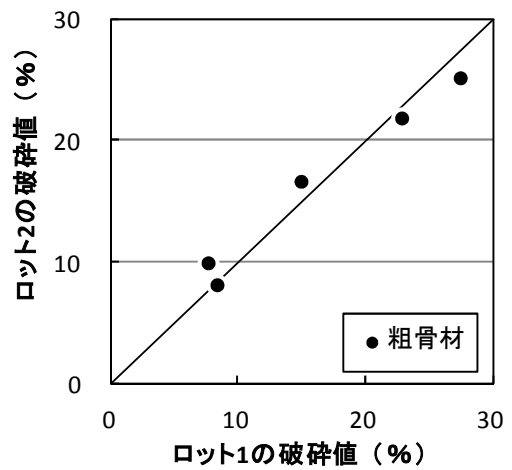


図 3.1.39 破砕値の比較

図 3.1.3.1 と図 3.1.3.2 の密度、図 3.1.3.3 の吸水率、図 3.1.3.8 のすりへり減量には、ロット 1 とロット 2 の試験結果が多少異なっているものが 1 点ある。これは高炉スラグ SC であり、密度はやや大きく、吸水率、すりへりはやや小さくなっており、ロット 1 よりも多少品質が良くなっている。そのほかの骨材は、ほぼ同等である。

### 3.1.4 すりへり減量と破砕値の関係

ロット 1 とロット 2 を併せてすりへり減量と破砕値の関係を示すと図 3.1.4.1 となる。粗骨材の種類、Gmax が異なっているにもかかわらず相関関係は非常に高く、すりへり抵抗性の評価を破砕値で代替できる可能性がある。

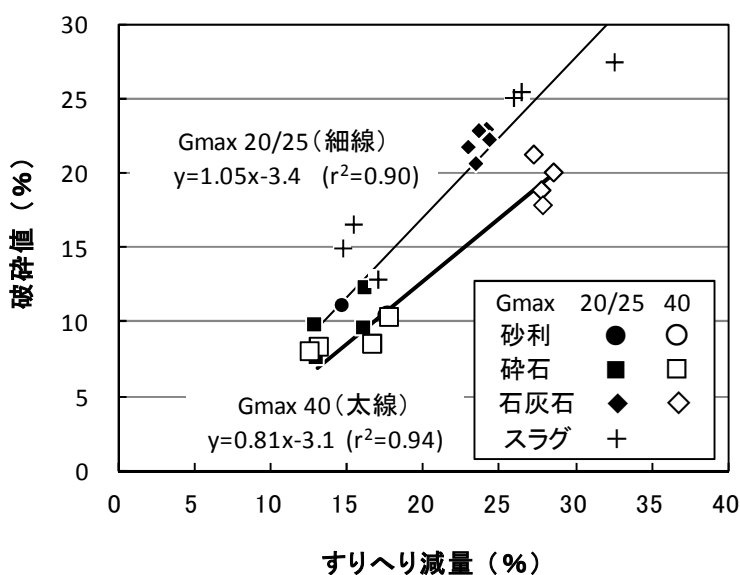


図 3.1.4.1 すりへり減量と破砕値の関係

## 3.2 粗骨材（ロット 1）の乾燥収縮率試験

2 報でコンクリートの乾燥収縮試験を行なっている。最近の研究では、骨材の乾燥収縮の影響が大きいことがいわれており、本報告の 10 章でコンクリートの乾燥収縮率試験結果と粗骨材の乾燥収縮特性の関係を把握するため、ロット 1 の粗骨材について乾燥収縮率試験を行なった。

### 3.2.1 粗骨材の乾燥収縮率試験方法

試験方法は土木研究所資料第 4199 号によった。その手順は次のとおりである。試験した粗骨材は、ロット 1 の全 12 種類であり、各粗骨材の個数は 10 個ずつである。砂利はさまざまな種類で構成されているため、大まかに分類して選定した。

#### (1) 骨材の加工、ゲージ貼付け (写真 3.2.1.1)。

- 手順 1 粗骨材をコンクリート用カッターで切断し、切断面を研磨して平滑化した。
- 手順 2 切断面をアセトンで脱脂し、接着剤を塗布した。接着剤の塗布は 2 回行なった。
- 手順 3 接着剤塗布面に、骨材に塗布したものと同一の接着剤を使用してひずみゲージを貼り付けた。
- 手順 4 室温で 24 時間乾燥後、ひずみゲージをコーティングテープで被覆した。



手順5 コーティングテープ上にシール剤を重ねて貼り付けた。

手順6 大気中にて24時間乾燥させた。

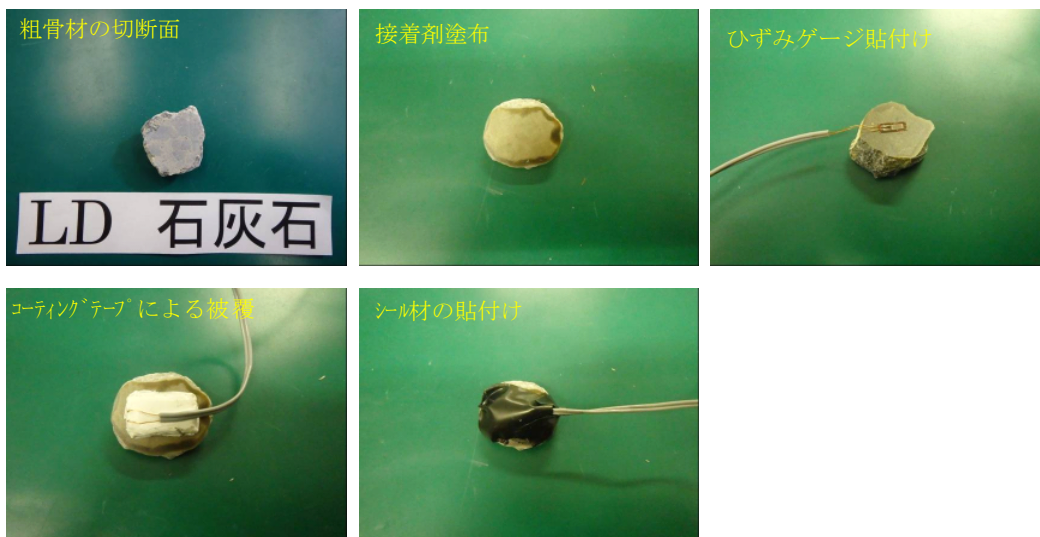


写真 3.2.1.1 骨材の加工、ゲージ貼付け状況

## (2) 乾燥収縮率の測定

骨材の乾燥収縮率の測定手順は次のとおりである。写真 3.2.1.2 に恒温恒湿槽内の粗骨材設置状態を示す。

手順1 粗骨材が十分に浸漬するまで、バット内に蒸留水を投入。

手順2 粗骨材および水を投入したバットを恒温恒湿槽（温度 20°C/相対湿度 95%）内に静置した。

手順3 ひずみが安定した段階（恒温恒湿槽内に静置後 5 日）に蒸留水を除去し、引き続き恒温恒湿槽（温度 20°C/相対湿度 60%）内に静置。

手順4 水を除去後、ひずみが安定した段階（乾燥開始後 7 日）に測定を終了した（粗骨材の変化量：1.9～ $3.8 \times 10^{-6}$ /hr）。



写真 3.2.1.2 乾燥収縮率試験粗(恒温恒湿槽への設置状況)

## 3.2.2 粗骨材の乾燥収縮試験結果

乾燥期間 7 日間までの主な粗骨材の乾燥収縮率の結果を図 3.2.2.1 に示す。

10 個の試験結果の最大、最小、平均、標準偏差、変動係数は表 3.2.2.1 のとおりである。特に砂利 G のば

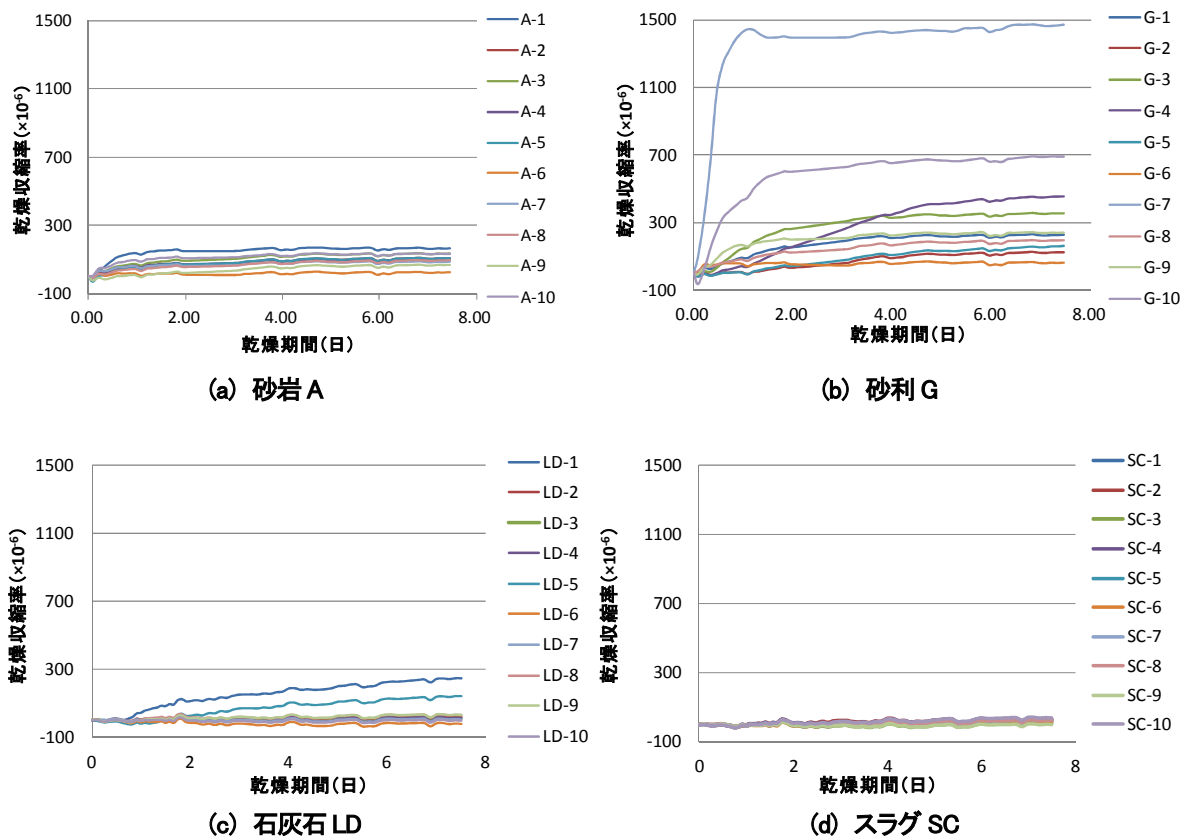


図 3.2.2.1 乾燥収縮率試験結果

らつきは非常に大きい。砂利については、骨材を分類し、構成比率に応じて平均を求めるべきと考えられる。しかし、粗骨材の残量が少なかったため、構成比率を求めるまでには至らなかったことから、平均値は算術平均のほか、対数平均についても求めた。碎石 A、B、C も対数平均を求めた。石灰石、スラグ骨材は、試験結果が小さく、マイナスの結果もあったことから対数平均を求めることができず、算術平均のみである。

各粗骨材の乾燥収縮率の平均値を図 3.2.2.2 に示す。碎石 A、B、C と砂利 G は対数平均も表示した。石灰石 LD、スラグ骨材は非常に小さいが、碎石（砂岩、安山岩骨材）、砂利は非常に大きい。

表 3.2.2.1 乾燥収縮率試験結果

記号	乾燥収縮率 (×10 <sup>-6</sup> )								
	最大	最小	範囲	算術平均			対数平均		
				平均	標準偏差	変動係数 (%)	平均	標準偏差	変動係数 (%)
A	162	22	140	101	38.9	38.6	97	36.9	38.1
B	396	195	201	284	66.9	23.6	280	43.7	15.6
C	508	13	495	199	143.5	72.0	179	142.1	79.3
G	1467	64	1403	396	417.8	105.6	321	207.2	64.5
LA	78	-12	90	11	26.3	239.8	—	—	—
LB	28	-4	32	4	9.3	206.4	—	—	—
LC	56	1	55	22	15.6	69.5	—	—	—
LD	244	-21	265	46	81.1	176.7	—	—	—
SA	55	1	55	20	18.3	89.6	—	—	—
SB	10	-12	23	4	6.6	171.2	—	—	—
SC	40	-1	41	21	12.0	58.2	—	—	—
SD	31	-11	42	9	12.7	140.3	—	—	—

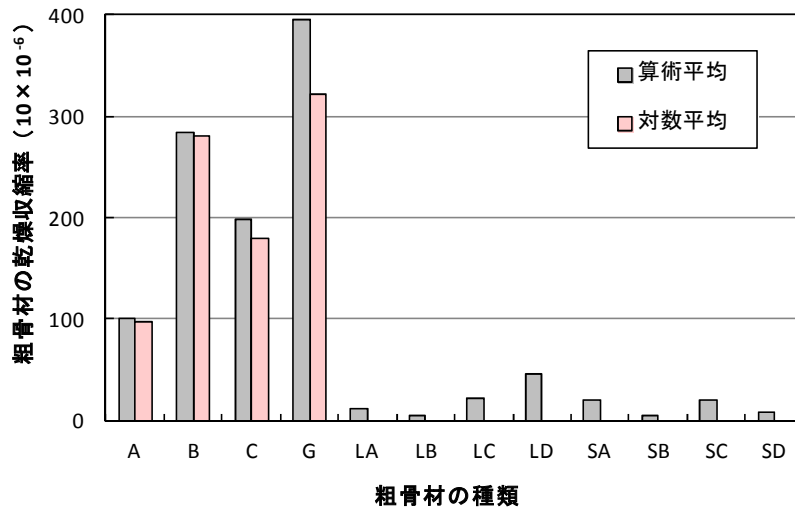


図 3.2.2.2 粗骨材の乾燥収縮率

### 3.3 粗骨材(ロット1)のすべり(PSV)試験

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。本検討では、6章で舗装コンクリートのすべ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っている。この検討に先だって粗骨材のすべり抵抗を確認するために、本節では粗骨材の促進研磨試験（以下 PSV 試験）を行なった。

#### 3.3.1 粗骨材の種類

本試験に使用した骨材の種類を表 3.3.1.1 に示す。用いた粗骨材は、岩種の異なる4種類であり、硬質砂岩砕石1種類（A）、石灰石砕石1種類（LC）、スラグ2種類（SC、SD）である。

表 3.3.1.1 骨材の種類

骨材の種類	記号	粒度範囲
硬質砂岩	A20	2005
石灰石	LC20	2005
高炉スラグ	SC20	2005
電気炉酸化スラグ	SD20	2005

#### 3.3.2 試験方法

試験方法は表 3.3.2.1 に示すとおりである。試験方法は基本的に BS812 に準拠して行なったが、供試体の作製方法のみ JIS ふるいを使用するため舗装調査・試験法便覧 A006<sup>2)</sup>に従って作製している。供試体、試験機器の具体的な諸元は表 3.3.2.2、PSV 試験の具体的な条件は表 3.3.2.3 に示すとおりである。

表 3.3.2.1 試験方法

試験項目		試験方法
粗骨材の促進研磨試験	試験条件	BS812
	供試体作製	舗装調査・試験法便覧A006

表 3.3.2.2 供試体・試験機器の諸元

諸元	供試体	個数	14
		長さ	90.6±0.5mm
		幅	44.5±0.5mm
	タイヤ	直径	200mm
		幅	38mm
		硬度	69±3IRHD
	BPN試験	スライダ幅	31.75±0.50 mm
スケール		PSV用スケール	

表 3.3.2.3 PSV 試験の条件

試験条件	回転数		320±5RPM
	荷重		725±10N
	エメリー砂による 促進研磨	試験時間	3時間
		散布量	27±7g
	エメリー粉による 促進研磨	試験時間	3時間
		散布量	3±1g
	BPN試験	温度	20±2°C

写真3.3.2.1が促進研磨試験機である。写真3.3.2.2の容器に骨材を敷き詰め、接着剤で固定する(写真3.3.2.3)。それをリングに写真3.3.2.4のようにセットし、促進研磨試験機に取り付け、研磨する(写真3.3.2.5)。研磨後、BPNを測定する(写真3.3.2.6)。



写真 3.3.2.1 促進研磨試験機

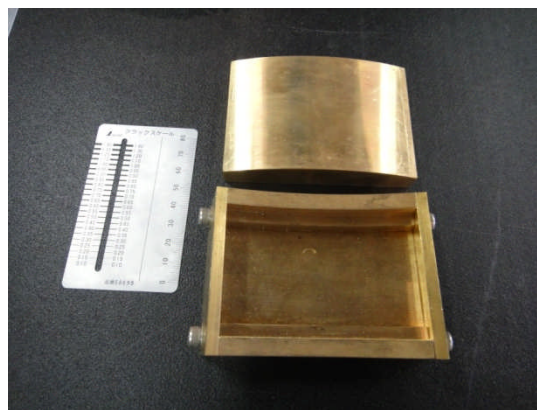


写真 3.3.2.2 骨材固定容器



写真 3.3.2.3 骨材を敷き詰めた状態



写真 3.3.2.4 骨材をリングにセット



写真 3.3.2.5 試験機に取り付け



写真 3.3.2.6 BPN の測定

### 3.3.3 試験結果

PSV 試験結果を表 3.3.3.1 に示す。表 3.3.3.1 から、石灰石の室内 PSV が他の骨材と比較して低く、粗骨材単体ではすべりやすい傾向が見られる。高炉スラグ、電気炉酸化スラグについては硬質砂岩と大きく異なる結果となった。

表 3.3.3.1 試験結果

骨材の種類	室内PSV				
	1	2	3	4	平均
A20	48	49	48	49	49
LC20	28	31	30	27	29
SC20	45	43	41	45	44
SD20	48	46	48	47	47

#### 【参考文献】

- 1) (公社)日本コンクリート工学会：コンクリートの収縮特性評価およびひび割れへの影響に関する調査研究委員会報告書、2012.8
- 2) (公社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧第2分冊，pp.31-40，2007.6

## 4. 舗装コンクリートの各種施工性試験

### 4.1 実験目的

本章では、骨材の種類毎の舗装コンクリートのフレッシュ性状、特にコンシステンシーや分離抵抗性、ダレ性等の施工性について、かさ容積（または細骨材率  $s/a$ ）およびスランプを変化させて挙動等の把握、各種評価手法の検討を行なった。

### 4.2 実験項目

本報告で用いる骨材の舗装コンクリートへの適用性について、施工性の観点から評価を行うため、スランプ・沈下度を単位水量の増減で変化させた場合、スランプ・沈下度を単位水量一定で高性能 AE 減水剤（SP 剤）で変化させた場合、かさ容積を変化させた（小さくすれば  $s/a$  は大きくなる）場合について、各種施工性試験を行なった。

舗装コンクリートのコンシステンシーは、JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」では荷卸し地点でスランプ  $2.5\text{cm} \pm 1\text{cm}$  ( $6.5\text{cm} \pm 1.5\text{cm}$ ; 人力施工の場合等) と規定されている。また、舗装施工便覧ではコンシステンシーはスランプまたは沈下度（振動台式コンシステンシー試験）で判定を行い、舗装時のスランプ  $2.5\text{cm}$  または沈下度 30 秒を標準とすると規定されている。配合設計に利用される舗装設計施工指針の配合参考表は沈下度 30 秒における AE コンクリートを目指したものとして作成されたものである。なお、振動台式コンシステンシー試験は、舗装コンクリートの現場における振動締固め状況下におけるコンシステンシー評価手法であるが、現場やコンクリートプラント等に機器が普及しておらず、スランプで管理されているのが現状である。スランプでは振動等の締固めエネルギーを受けた施工性が表現できないため、プラント等でも比較的準備しやすい器具でも施工性の評価が可能か、検討を行なった。

今回実施した施工性試験を表 4.2.1 に示す。追加したフローテーブルを用いた締固め性・変形性試験と箱形装置を用いた変形性試験は、振動台式コンシステンシー試験の代替試験として適用できないかを確認するため、前者は CBR 用モールドに試料を詰め、打撃回数ごとに沈下量を測定し、締固め率を求めた。そのあとモールドを引き抜き、再度打撃回数と沈下・広がりを測定した。後者は、箱形容器に試料を詰めた後、1 側面の板を徐々に引き抜き、打設面の沈下（エッジスランプ）と、はらみ出し（オーバーフロー）を測定した。骨材分離試験は、振動エネルギー（バイブレータによる振動締固め時間）と粗骨材の沈降状況の関係を求めた。ダレ試験は、傾斜させたときの表面の変形を測定した。

表 4.2.1 施工性の試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランプ試験	JISA 1101
空気量試験	JISA 1128
振動台式コンシステンシー試験	JSCE F 501
フローテーブルを用いた締固め性・変形性試験	参考文献 2)
箱形装置を用いた変形性試験	参考文献 3)
骨材分離試験	
ダレ試験	

### 4.3 配合およびフレッシュ性状

3章で用いたロット2の粗骨材5種類について、表4.2.1に示す各種施工性試験を行なった。また、施工性試験は目標スランプ、単位粗骨材かさ容積 (s/a) を変化させて施工性を確認することとし、具体的には表4.3.1に示すとおり粗骨材1種類当たり a~t の16種類 (粗骨材 A20 のみ目標スランプ 8.5cm を加えた20種類) について行なった。また、目標スランプ 2.5cm, かさ容積 0.72 の場合は、単位水量一定で、高性能 AE 減水剤 (以下, SP 剤) によって目標スランプを 6.5cm (SP1), 10.5cm (SP2) に調整した配合2種類を加えて検討を行なった。つまり、粗骨材1種類当たりの配合数は18種類 (粗骨材 A20 のみ 22種類) である。

表 4.3.1 スランプとかさ容積(s/a)の組合せ

単位 水量	かさ容積0.72の 目標スランプ	かさ容積, (s/a 概略値) (%)			
		0.62 (48)	0.67 (44)	0.72 (40)	0.76 (36)
W1	2.5 cm	a	b	c, SP1, SP2	d
W2	4.5 cm	e	f	g	h
W3	6.5 cm	i	j	k	l
W4*	8.5 cm	m	n	o	p
W5	10.5 cm	q	r	s	t

SP1 : 2.5→6.5、SP2 : 2.5→10.5

※単位水量 W4 (目標スランプ 8.5cm) は、粗骨材 A20 のみ実施

粗骨材ごとのコンクリートの配合は、報告書(1), (2)の配合をベースに、試験練りにより表4.3.2~表4.3.6のようになった。空気量については目標 4.5%±1%とし、AE 減水剤と AE 剤を用いて調整した。



表 4.3.2 粗骨材 A20 のコンクリート配合

骨材の種類	粗骨材 最大寸法 (mm)	スランブ 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	SP剤	AE剤 (100倍希釈)
A20	20	2.5	4.5	0.450	0.62	47.3	144	320	861	999	2.56	—	1.28
					0.67	43.1			784	1079		—	1.60
					0.72	38.9			706	1160		—	1.76
					0.76	35.5			645	1224		—	2.08
		4.5			0.62	47.1	146	324	852	999	3.24	—	1.54
					0.67	42.8			775	1079		—	1.62
					0.72	38.6			698	1160		—	1.87
					0.76	35.1			636	1224		—	1.95
		6.5			0.62	46.8	148	329	843	999	3.29	—	0.66
					0.67	42.5			766	1079		—	1.15
					0.72	38.3			689	1160		—	1.48
					0.76	34.8			627	1224		—	1.97
		8.5			0.62	46.3	152	338	826	999	3.72	—	1.69
					0.67	42.0			749	1079		—	1.86
					0.72	37.7			671	1160		—	2.03
					0.76	34.2			610	1224		—	2.20
		10.5			0.62	45.6	157	349	804	999	3.49	—	1.48
					0.67	41.3			727	1079		—	1.74
					0.72	36.9			650	1160		—	2.01
					0.76	33.4			588	1224		—	2.36
2.5⇒6.5				0.72	38.9	144	320	706	1160	—	0.95	1.12	
2.5⇒10.5				0.72	38.9	144	320	706	1160	—	1.30	1.04	

※単位水量は各混和剤の単位量を含む

表 4.3.3 粗骨材 A40 のコンクリート配合

骨材の種類	粗骨材 最大寸法 (mm)	スランブ 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	SP剤	AE剤 (100倍希釈)			
A40	40	2.5	4.5	0.450	0.62	47.7	133	296	890	1019	2.96	—	0.89			
					0.67	43.5			812	1101		—	1.18			
					0.72	39.3			733	1184		—	1.33			
					0.76	35.9			670	1249		—	1.48			
		4.5			0.62	46.8	140	311	860	1019	3.27	—	1.24			
					0.67	42.6			781	1101		—	1.48			
					0.72	38.3			702	1184		—	1.56			
					0.76	34.8			639	1249		—	1.94			
		6.5			0.62	46.5	143	318	847	1019	3.18	—	1.27			
					0.67	42.1			768	1101		—	1.51			
					0.72	37.8			689	1184		—	1.59			
					0.76	34.4			626	1249		—	1.99			
		10.5			0.62	45.4	151	336	812	1019	3.36	—	1.01			
					0.67	41.0			733	1101		—	1.34			
					0.72	36.6			654	1184		—	1.51			
					0.76	33.1			591	1249		—	1.68			
		2.5⇒6.5						0.72	39.3	133	296	733	1184	—	1.00	0.89
		2.5⇒10.5						0.72	39.3	133	296	733	1184	—	1.50	1.03

※単位水量は各混和剤の単位量を含む

表 4.3.4 粗骨材 LD20 のコンクリート配合

骨材の種類	粗骨材最大寸法 (mm)	スランブ目標値 (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	SP剤	AE剤 (100倍希釈)				
LD20	20	2.5	4.5	0.450	0.62	49.3	138	307	910	985	3.07	—	0.84				
					0.67	45.2			834	1064		—	1.15				
					0.72	41.1			759	1143		—	1.30				
					0.76	37.9			698	1207		—	1.61				
					0.62	48.7	143	318	888	985	3.97	—	0.95				
					0.67	44.6			812	1064		—	1.19				
					0.72	40.4			737	1143		—	1.35				
					0.76	37.1			677	1207		—	1.59				
		0.62			48.5	145	322	879	985	3.22	—	0.81					
		0.67			44.3			804	1064		—	1.13					
		0.72			40.1			728	1143		—	1.29					
		0.76			36.8			668	1207		—	1.45					
		0.62			47.3	154	342	840	985	3.42	—	0.77					
		0.67			43.1			764	1064		—	1.03					
		0.72			38.8			689	1143		—	1.20					
		0.76			35.4			628	1207		—	1.45					
		2.5⇒6.5													—	0.95	0.61
		2.5⇒10.5													—	1.35	1.15

※単位水量は各混和剤の単位量を含む

表 4.3.5 粗骨材 SC20 のコンクリート配合

骨材の種類	粗骨材最大寸法 (mm)	スランブ目標値 (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	SP剤	AE剤 (100倍希釈)				
SC20	20	2.5	4.5	0.450	0.62	49.7	150	333	891	934	3.33	—	1.58				
					0.67	45.7			819	1010		—	1.75				
					0.72	41.6			746	1085		—	1.92				
					0.76	38.4			688	1145		—	2.25				
					0.62	48.9	157	349	861	934	3.49	—	1.57				
					0.67	44.7			788	1010		—	1.66				
					0.72	40.6			716	1085		—	1.83				
					0.76	37.3			657	1145		—	2.18				
		0.62			48.5	160	356	848	934	3.56	—	1.24					
		0.67			44.3			775	1010		—	1.42					
		0.72			40.2			702	1085		—	1.69					
		0.76			36.9			644	1145		—	2.04					
		0.62			46.9	172	382	795	934	3.82	—	1.53					
		0.67			42.6			723	1010		—	1.72					
		0.72			38.3			650	1085		—	1.91					
		0.76			34.9			592	1145		—	2.29					
		2.5⇒6.5													—	1.50	0.00
		2.5⇒10.5													—	1.50	0.00

※単位水量は各混和剤の単位量を含む

表 4.3.6 粗骨材 SD20 のコンクリート配合

骨材の種類	粗骨材 最大寸法 (mm)	スラブ 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	SP剤	AE剤 (100倍希釈)
SD20	20	2.5	4.5	0.450	0.62	49.6	153	340	883	1300	3.40	—	1.02
					0.67	45.6			811	1405		—	1.28
					0.72	41.5			739	1510		—	1.53
					0.76	38.3			681	1594		—	1.36
		4.5			0.62	48.9	159	353	857	1300	3.89	—	1.15
					0.67	44.8			785	1405		—	1.50
					0.72	40.6			712	1510		—	1.77
					0.76	37.4			655	1594		—	1.94
		6.5			0.62	48.5	162	360	844	1300	3.60	—	1.08
					0.67	44.4			772	1405		—	1.26
					0.72	40.2			699	1510		—	1.44
					0.76	36.9			642	1594		—	1.62
		10.5			0.62	47.2	172	382	800	1300	3.82	—	1.15
					0.67	42.9			728	1405		—	1.43
					0.72	38.7			656	1510		—	1.72
					0.76	35.3			598	1594		—	2.01
		2.5⇒6.5			0.72	41.5	153	340	739	1510	—	1.10	0.85
		2.5⇒10.5			—	—	—	—	—	—	—	1.40	1.19

※単位水量は各混和剤の単位量を含む

表 4.3.2～表 4.3.6 に示す配合のフレッシュ性状（スランプ，沈下度，空気量，コンクリート温度）は，表 4.3.7～表 4.3.11 のとおりとなった。なお，目標スランプ 10.5cm のコンクリートは軟らかく沈下度の値が非常に小さく，コンシステンシーの差を評価し難いことが予想されたため，沈下度の測定は困難と考えられたため省略した。

表 4.3.7 粗骨材 A20 のフレッシュ性状

骨材の種類	スランプ 目標値 (cm)	単位 粗骨材 かさ容積	試験結果			
			スランプ (cm)	沈下度 (秒)	空気量 (%)	温度 (°C)
A20	2.5	0.62	1.0	69.1	4.3	21.0
		0.67	1.2	48.9	4.7	21.2
		0.72	3.2	32.2	4.9	20.9
		0.76	2.3	47.2	4.1	20.8
	4.5	0.62	2.4	39.0	5.2	20.8
		0.67	3.3	29.0	4.0	20.9
		0.72	3.7	28.3	4.5	20.8
		0.76	3.0	40.6	4.3	20.7
	6.5	0.62	2.5	41.8	4.4	20.9
		0.67	3.7	32.4	4.4	20.9
		0.72	5.2	29.5	4.2	21.0
		0.76	4.4	37.8	3.7	21.0
	8.5	0.62	4.8	23.3	4.6	20.7
		0.67	6.6	13.0	4.0	20.5
		0.72	7.3	15.5	4.6	20.9
		0.76	6.1	18.3	3.9	20.5
	10.5	0.62	6.2	—	4.7	20.5
		0.67	9.2	—	4.4	20.3
		0.72	9.1	—	4.2	19.9
		0.76	13.5	—	4.5	20.0
2.5⇒6.5	0.72	5.3	18.9	4.5	22.0	
2.5⇒10.5		9.2	—	3.3	21.8	

表 4.3.8 粗骨材 A40 のフレッシュ性状

骨材の種類	スランプ 目標値 (cm)	単位 粗骨材 かさ容積	試験結果			
			スランプ (cm)	沈下度 (秒)	空気量 (%)	温度 (°C)
A40	2.5	0.62	0.8	59.5	4.6	22.8
		0.67	1.4	42.2	4.1	21.8
		0.72	3.3	40.5	4.4	21.6
		0.76	2.6	38.6	4.3	21.6
	4.5	0.62	1.8	49.4	5.3	20.9
		0.67	3.9	27.5	5.3	21.1
		0.72	4.0	42.7	5.0	20.5
		0.76	5.9	21.0	4.9	20.8
	6.5	0.62	3.2	23.1	5.0	23.3
		0.67	5.6	19.9	4.9	23.5
		0.72	5.6	35.7	4.0	22.8
		0.76	7.4	19.3	4.2	23.0
	10.5	0.62	7.1	-	5.4	21.8
		0.67	10.1	-	5.2	21.0
		0.72	10.7	-	4.2	20.5
		0.76	14.2	-	4.2	20.8
	2.5⇒6.5	0.72	6.4	21.2	4.6	23.3
	2.5⇒10.5		10.9	-	5.1	23.0

表 4.3.9 粗骨材 LD20 のフレッシュ性状

骨材の種類	スランプ 目標値 (cm)	単位 粗骨材 かさ容積	試験結果			
			スランプ (cm)	沈下度 (秒)	空気量 (%)	温度 (°C)
LD	2.5	0.62	0.6	61.0	5.0	22.7
		0.67	1.5	34.8	4.3	22.7
		0.72	2.4	34.8	4.7	22.6
		0.76	2.7	31.8	5.0	22.8
	4.5	0.62	1.0	42.1	4.7	21.0
		0.67	4.1	31.8	4.7	20.9
		0.72	4.3	25.5	4.7	20.6
		0.76	5.0	26.0	4.6	21.2
	6.5	0.62	2.5	30.2	4.7	21.4
		0.67	5.3	17.5	4.5	21.1
		0.72	6.2	15.9	4.3	20.8
		0.76	6.5	18.2	4.1	20.8
	10.5	0.62	6.6	-	4.0	21.6
		0.67	9.6	-	4.6	21.5
		0.72	9.0	-	4.0	21.1
		0.76	9.9	-	5.0	21.6
	2.5⇒6.5	0.72	5.7	18.0	4.9	23.5
	2.5⇒10.5		12.3	-	4.5	23.5

表 4.3.10 粗骨材 SC20 のフレッシュ性状

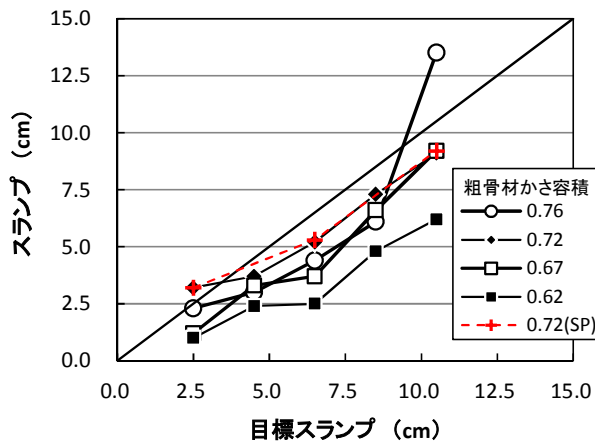
骨材の種類	スランプ 目標値 (cm)	単位 粗骨材 かさ容積	試験結果			
			スランプ (cm)	沈下度 (秒)	空気量 (%)	温度 (°C)
SC	2.5	0.62	1.7	47.9	5.0	22.3
		0.67	2.4	38.5	4.6	22.1
		0.72	2.7	37.4	4.9	22.0
		0.76	2.7	31.3	4.8	22.2
	4.5	0.62	2.5	31.7	4.8	21.5
		0.67	3.9	22.8	5.1	21.1
		0.72	4.5	22.4	4.7	21.0
		0.76	3.6	20.0	4.5	20.5
	6.5	0.62	4.7	14.6	5.5	20.5
		0.67	5.4	15.4	4.8	20.6
		0.72	5.2	19.7	4.6	19.6
		0.76	4.8	16.2	4.7	20.4
	10.5	0.62	10.6	-	4.2	21.0
		0.67	14.8	-	5.0	21.3
		0.72	10.2	-	4.5	20.8
		0.76	12.6	-	5.0	21.1
	2.5⇒6.5	0.72	7.8	11.6	4.3	23.0
	2.5⇒10.5		10.6	-	5.3	22.6

表 4.3.11 粗骨材 SD20 のフレッシュ性状

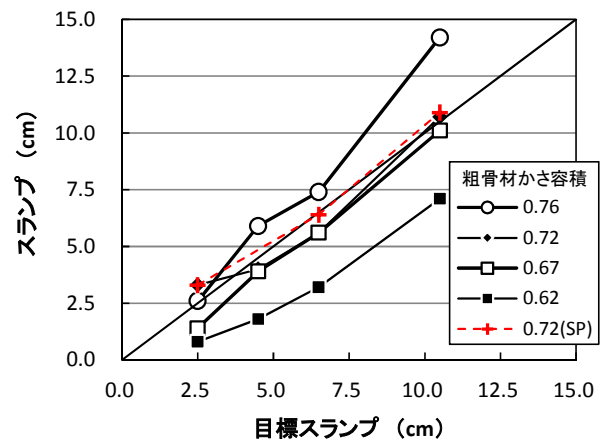
骨材の種類	スランプ 目標値 (cm)	単位 粗骨材 かさ容積	試験結果			
			スランプ (cm)	沈下度 (秒)	空気量 (%)	温度 (°C)
SD	2.5	0.62	1.7	33.1	4.2	21.5
		0.67	2.6	24.2	4.5	21.6
		0.72	2.4	26.6	4.4	21.6
		0.76	3.5	26.1	4.6	21.7
	4.5	0.62	2.1	33.9	4.0	20.6
		0.67	3.0	26.2	4.4	21.0
		0.72	4.9	23.9	4.8	20.6
		0.76	3.5	22.0	4.4	21.0
	6.5	0.62	4.7	14.9	4.4	21.6
		0.67	7.2	11.3	4.9	21.6
		0.72	6.6	16.5	5.0	21.1
		0.76	6.0	13.6	4.8	21.3
	10.5	0.62	8.7	-	4.6	22.8
		0.67	12.6	-	4.9	22.9
		0.72	9.7	-	5.0	22.9
		0.76	11.1	-	4.3	23.0
	2.5⇒6.5	0.72	7.3	-	3.6	23.3
	2.5⇒10.5		12.0	-	4.9	23.3

※SP 剤による 2.5⇒6.5 の沈下度は測定できなかった。

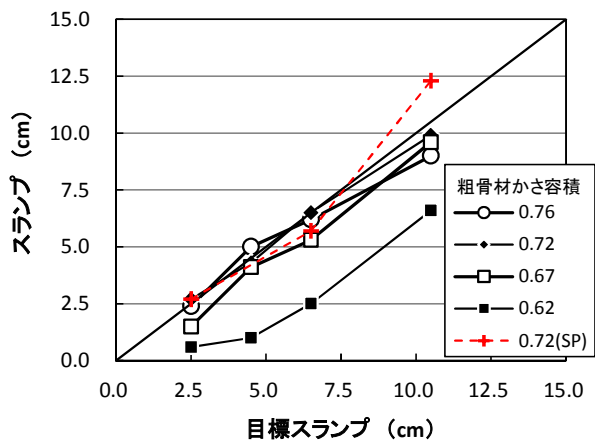
目標スランブに対する実際のスランブ値の状況は、**図 4.3.1**～**図 4.3.5** のとおりである。単位水量は、かさ容積0.72のときできるだけ限り目標スランブになる値とし、単位水量・水セメント比を変えずにかさ容積を変化させたため、かさ容積が小さくなるほど細骨材の割合が多くなり、スランブは小さくなっている。



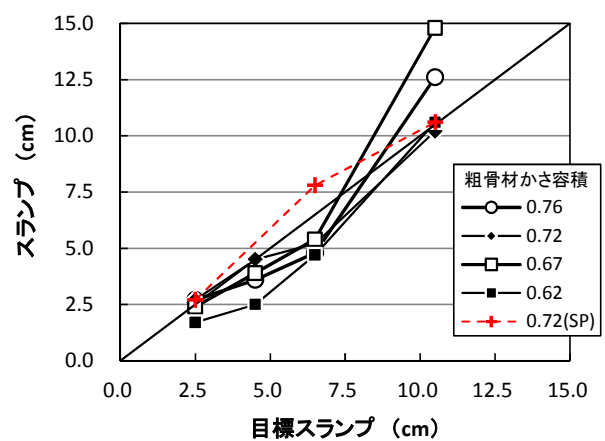
**図 4.3.1** 目標スランブと実測スランブ(粗骨材 A20)



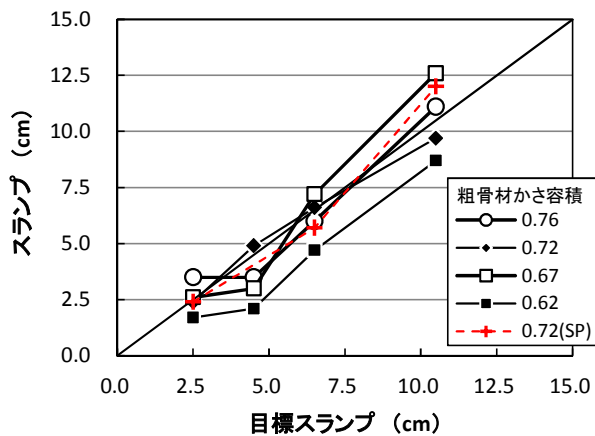
**図 4.3.2** 目標スランブとスランブ(粗骨材 A40)



**図 4.3.3** 目標スランブと実測スランブ(粗骨材 LD)



**図 4.3.4** 目標スランブとスランブ(粗骨材 SC)



**図 4.3.5** 目標スランブと実測スランブ(粗骨材 SD)

スランプと沈下度の関係を図 4.3.6 に示す。スランプと沈下度の対数の関係を回帰した結果、良い相関が得られていることが分かる。スランプと回帰式から求めた沈下度を各骨材で求めたもの、全骨材平均で求めたものを共に表 4.3.12 に示す。スランプ 2.5cm は沈下度で 30 秒程度とされている<sup>1)</sup>が、本実験結果で得られた回帰曲線では、スランプ 2.5cm で全骨材から求めた場合 35.4 秒を示しており、一般的な傾向を示している。

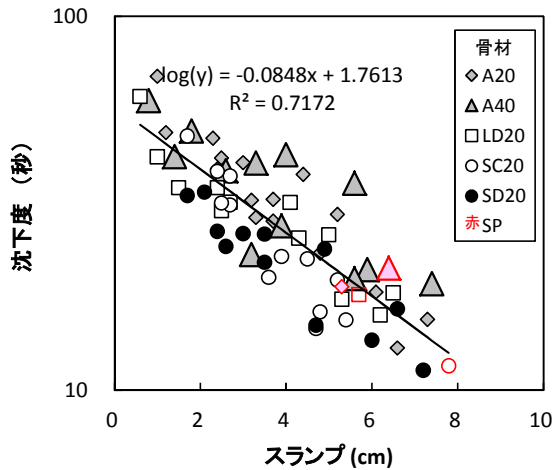


表 4.3.12 スランプと回帰式から求めた沈下度 (秒)

骨材	スランプ (cm)			
	1.5	2.5	5.0	8.0
A20	52.4	41.7	23.5	11.9
A40	46.6	39.9	27.1	17.0
LD20	41.2	34.4	21.8	12.6
SC20	42.4	33.3	18.2	8.9
SD20	33.4	28.0	18.1	10.7
全骨材	43.1	35.4	21.7	12.1

図 4.3.6 スランプと沈下度の関係

かさ容積と目標スランプ毎のスランプ、沈下度の関係は、図 4.3.7～図 4.3.16 のとおりである。スランプ 2.5cm のときの沈下度は、A40 と SC20 は 40 秒程度になったが、それ以外は 30 秒程度と、舗装標準示方書で標準とされているコンシステンシーが得られている。また、前述のとおりかさ容積が小さくなるほどスランプは小さくなる傾向が認められるが、かさ容積が大きくなる方向の場合は、スランプの増加が頭打ちになり、減少に転じる傾向を示している。沈下度も同様に、減少が止まって増加に転じる傾向を示している。かさ容積が大きくなると粗骨材が占める体積が大きくなるため、変形しにくくなるものと思われる。そこで二次式で回帰し、施工性が最も良くなる点、つまり回帰曲線の最大値（または最小値）を最適かさ容積として求めた結果が表 4.3.13 および表 4.3.14 である。ばらつくものの、概ね 0.7 程度であった。



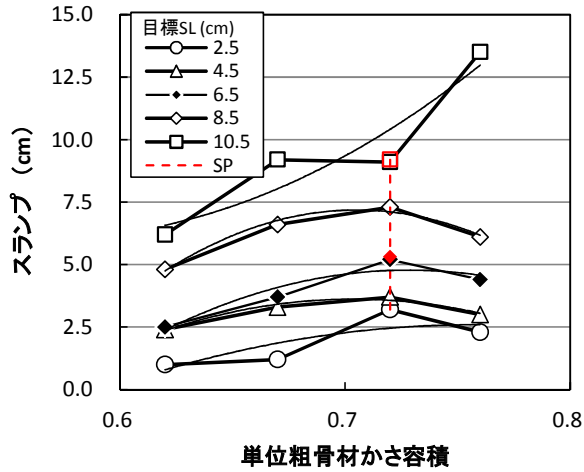


図 4.3.7 かさ容積とスラップの関係(粗骨材 A20)

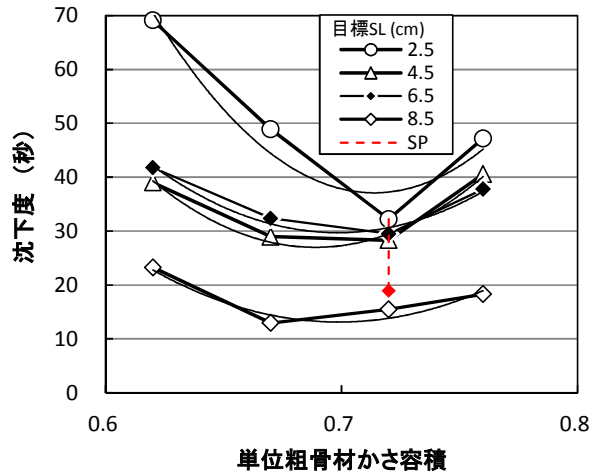


図 4.3.8 かさ容積と沈下度の関係(粗骨材 A20)

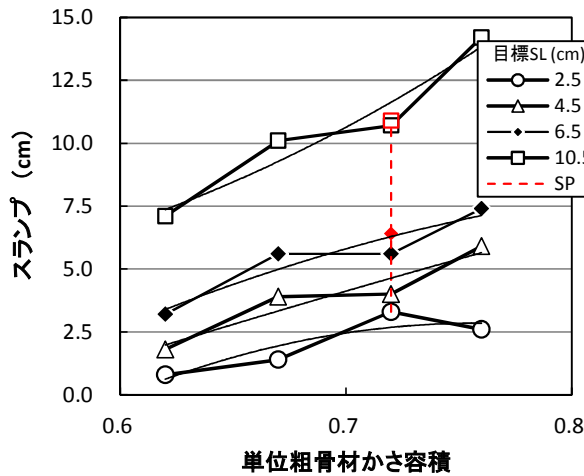


図 4.3.9 かさ容積とスラップの関係(粗骨材 A40)

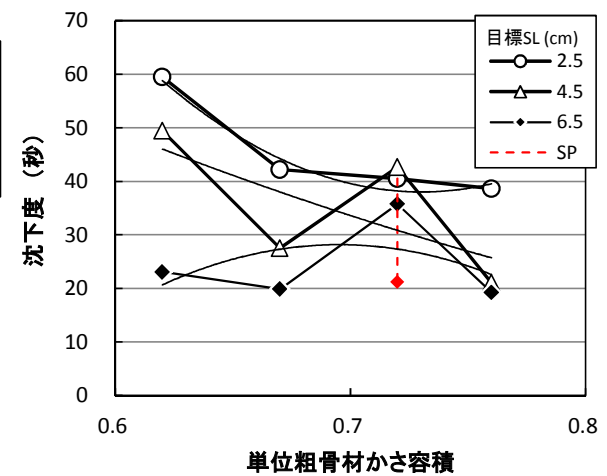


図 4.3.10 かさ容積と沈下度の関係(粗骨材 A40)

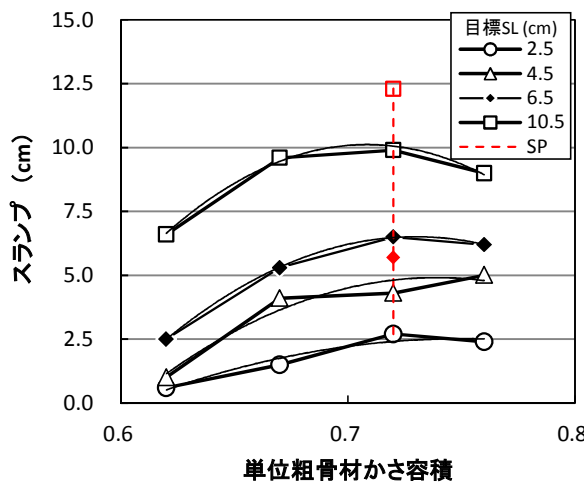


図 4.3.11 かさ容積とスラップの関係(粗骨材 LD20)

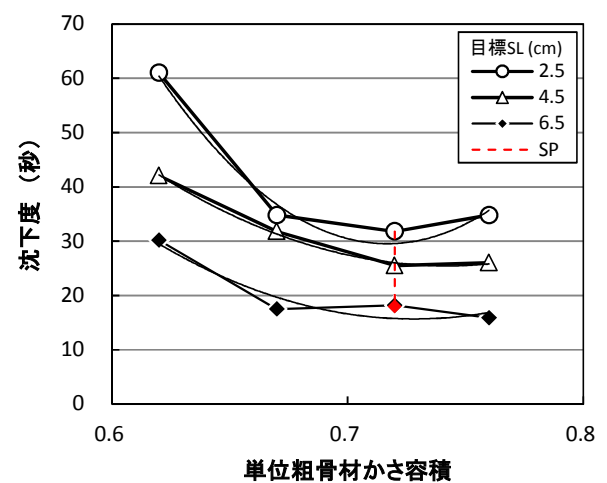


図 4.3.12 かさ容積と沈下度の関係(粗骨材 LD20)

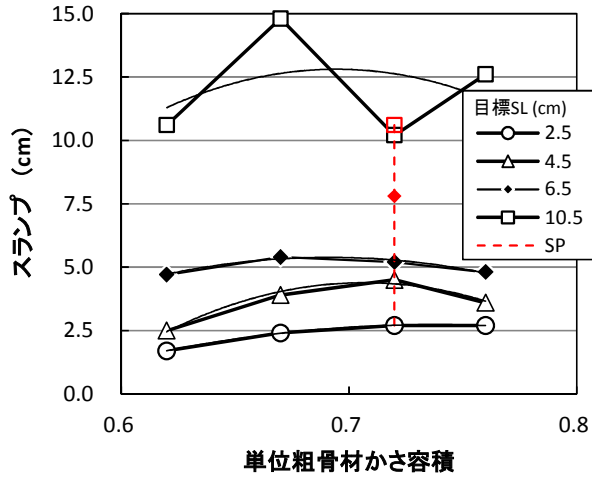


図 4.3.13 かさ容積とスラブの関係(粗骨材 SC20)

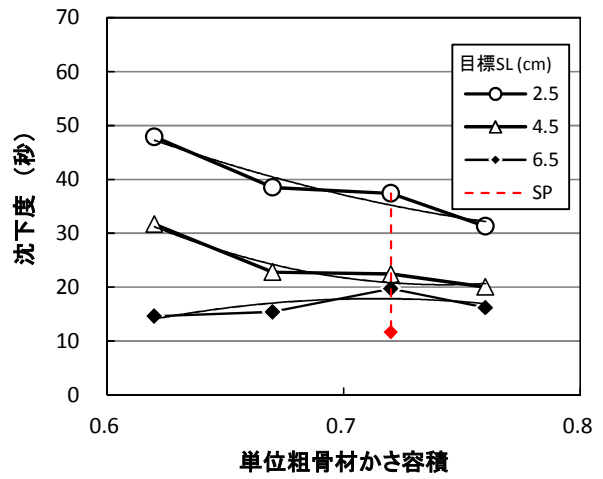


図 4.3.14 かさ容積と沈下度の関係(粗骨材 SC20)

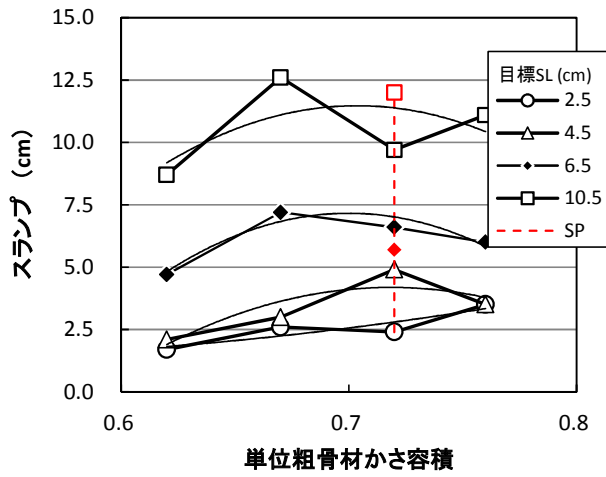


図 4.3.15 かさ容積とスラブの関係(粗骨材 SD20)

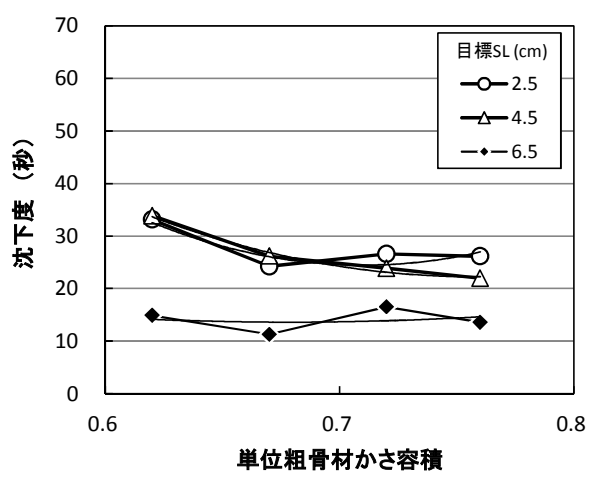


図 4.3.16 かさ容積と沈下度の関係(粗骨材 SD20)

表 4.3.13 スランプから求めた最適かさ容積

骨材	目標 スランプ	回帰結果				最適 かさ容積
		a	b	c	r2	
A20	2.5	-94.8	143.8	-51.89	0.645	0.758
	4.5	-179.1	252.0	-85.07	0.962	0.704
	6.5	-205.5	299.3	-104.19	0.903	0.728
	8.5	-336.0	473.9	-159.90	0.978	0.705
	10.5	184.2	-208.5	65.01	0.871	0.566
A40	2.5	-118.1	178.9	-64.88	0.799	0.757
	4.5	-9.4	39.1	-18.68	0.902	2.083
	6.5	-57.3	105.6	-40.11	0.891	0.922
	10.5	88.9	-76.5	20.61	0.931	0.430
LD20	2.5	-116.8	175.5	-170.80	0.937	0.751
	4.5	-265.1	391.9	-139.94	0.943	0.739
	6.5	-332.9	485.9	-170.80	0.999	0.730
	10.5	-443.6	628.6	-212.50	0.992	0.709
SC20	2.5	-74.2	109.5	-37.68	0.999	0.737
	4.5	-256.3	362.4	-123.68	0.976	0.707
	6.5	-131.1	181.2	-57.26	0.960	0.691
	10.5	-272.3	378.3	-118.50	0.106	0.695
SD20	2.5	25.9	-24.8	7.24	0.802	0.479
	4.5	-236.1	339.3	-117.72	0.750	0.719
	6.5	-366.9	513.6	-172.60	0.899	0.700
	10.5	-327.6	461.1	-150.70	0.333	0.704

表 4.3.14 沈下度から求めた最適かさ容積

骨材	目標 スランプ	回帰結果				最適 かさ容積
		a	b	c	r2	
A20	2.5	3796.1	-5419.6	1971.5	0.925	0.714
	4.5	2598.6	-3580.6	1260.4	0.978	0.689
	6.5	2015.0	-2815.0	1013.0	0.970	0.699
	8.5	1554.7	-2173.0	772.4	0.907	0.699
A40	2.5	1713.0	-2502.0	951.5	0.961	0.730
	4.5	167.4	-376.1	214.9	0.453	1.124
	6.5	-1325.0	1843.0	-612.4	0.193	0.695
LD20	2.5	3290.0	-4717.0	1720.0	0.982	0.717
	4.5	1118.9	-1661.2	642.1	0.997	0.742
	6.5	1181.0	-1720.0	642.0	0.906	0.728
SC20	2.5	318.5	-547.4	264.2	0.931	0.859
	4.5	718.6	-1067.0	416.5	0.932	0.742
	6.5	-433.4	618.6	-202.8	0.541	0.714
SD20	2.5	1000.0	-1421.0	528.9	0.813	0.711
	4.5	604.0	-914.8	368.6	0.986	0.757
	6.5	154.9	-210.3	85.0	0.038	0.679

通常は、スランプは上に凸のグラフ、沈下度は下に凸のグラフが描けるが、一部のグラフは逆となっている。これは、本実験のデータの範囲内で回帰曲線を描いたため、配合によっては今回の条件の範囲内では一様に増加または減少する範囲であったことが推測される。また、目標スランプの大きいものは単位水量が多く、ブリーディング等の材料分離が生じ易くなると考えられること、更にかさ容積も大きいものは細骨材の割合が少なく、更に材料分離が生じ易くなると考えられることから、スランプの崩れが生じ易くなり、グラフの増加・減少傾向の変化が現れなかったと考えられる。

SP 剤を添加してスランプを調整した配合では、添加しない配合のスランプとややずれているものもあるが、概ね沈下度が短い時間を示す傾向が見られ、締め固まり易い。

## 4.4 フローテーブルを用いた締固め性・変形性試験

### 4.4.1 試験方法

フローテーブルを用いた締固め性・変形性試験の試験器具は、**写真 4.4.1.1** のとおりである。これは、特にスリップフォーム工法の施工性の管理のために検討された試験法<sup>2)</sup>で、試験器具は道路会社等では一般的なもので構成されており、プラントや現場における普及度合いの乏しい振動台式コンシステンシー試験と同様の振動エネルギーを受けた状態の施工性評価に利用できるのではないかと期待されたため、適用性等を検討した。

締固め性試験は、フローテーブルに CBR 供試体作製用モールド ( $\phi 150 \times 175\text{mm}$ ) とカラー ( $\phi 150 \times 55\text{mm}$  程度) を載せる。試料を、100%締め固まったときモールドの高さになるだけ計量し、モールドに詰める。打撃を 5, 10, 20, 40, 60, 80 回加え、打撃回数ごとに沈下量を測定する (**写真 4.4.1.2**)。

変形性試験は、80 回終了後、モールドを脱型し、試料の高さ、広がりを測定する (**写真 4.4.1.3**)。再度、打撃を 5, 10, 20, 30, 40 回加え、打撃回数ごとに高さ、広がりを測定する (**図 4.4.1.3(b)**)。



写真 4.4.1.1 締固め性・変形性試験の器具



写真 4.4.1.2 沈下量の測定



(a) 脱型後



(b) 広がりの測定

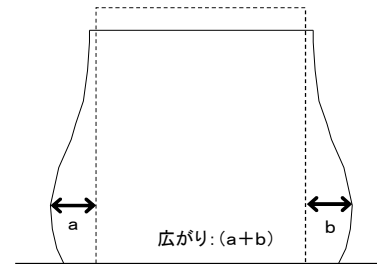


写真 4.4.1.3 変形性試験の状況

#### 4.4.2 試験結果

表 4.4.2.1 に試験結果の一例 (A20, 目標スランプ 2.5cm, かさ容積 0.67) を示す。表 4.4.2.1 の結果をグラフに表すと図 4.4.2.1 のようになる。

(a)図は、モールドに詰め込んだ状態 (脱型前) での打撃回数と沈下の関係である。打撃回数 0 回が、試料をモールドに詰め込んだときの試料の高さである。打撃を加えることにより沈下し、高さが低下していることを示している。今回は 80 回まで打撃を与えた。

(b)図は、(a)図の沈下量から締固め率を求めた結果である。

(c)図は、モールドを抜いた後 (脱型後) の打撃回数と沈下の関係である。脱型前の打撃 80 回と、脱型後の 0 回の高さの差が、脱型直後の沈下を表している。

(d)図は、脱型後の打撃回数と水平方向への広がりの関係である。今回は最大 40 回までの打撃を与え、水平方向への広がりを測定した。また、脱型後の試料が崩れた回数も測定した。大抵の配合は直線状のグラフが描けるため、回帰直線の傾きを算出し、広がり易さ (mm/回) とした。

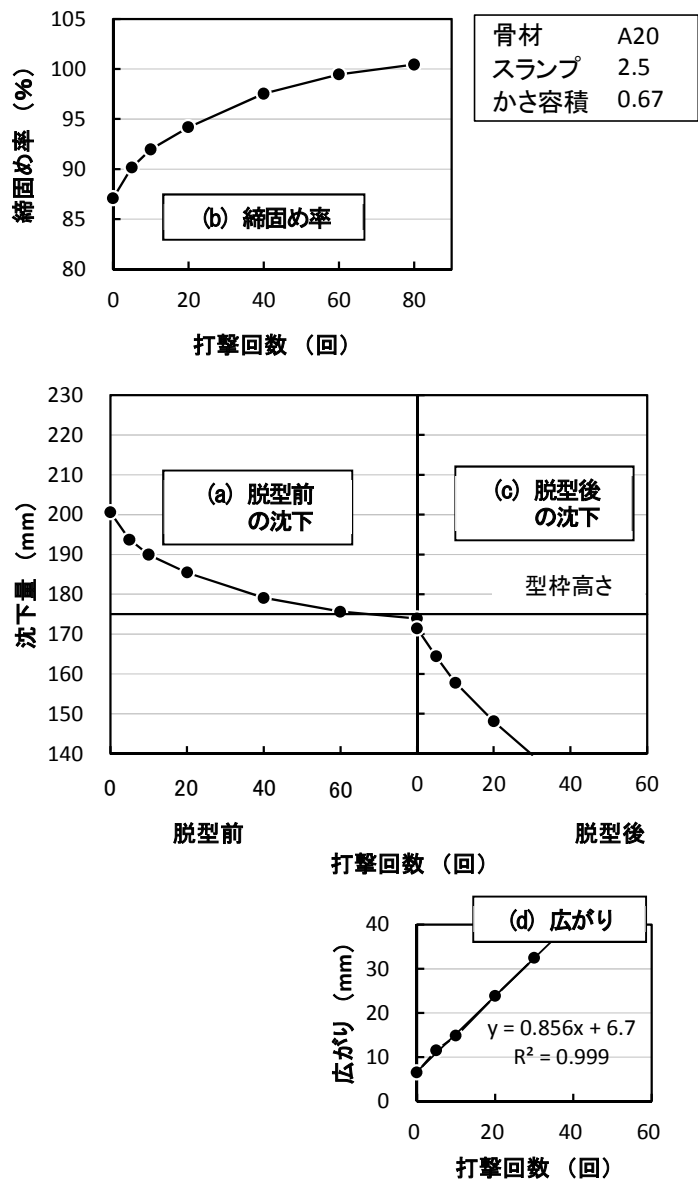


図 4.4.2.1 締固め, 変形試験結果

表 4.4.2.1 締固め, 変形試験の結果(細骨材 A20, 目標スランプ 2.5cm)

かさ容積	0.76		0.72(SP0(2.5))		0.67		0.62		0.72(SP1(6.5))		0.72(SP2(10.5))	
	落下回数 回	試料高さ mm	締固め率 %	試料高さ mm	締固め率 %	試料高さ mm	締固め率 %	試料高さ mm	締固め率 %	試料高さ mm	締固め率 %	試料高さ mm
締固め性	0	206.6	84.7	218.6	80.0	216.4	80.8	226.7	77.2	209.3	83.6	197.4
	5	199.5	87.7	210.6	83.1	203.9	85.8	214.6	81.5	201.5	86.8	190.6
	10	195.5	89.5	206.7	84.6	197.4	88.6	208.5	83.9	197.3	88.7	186.0
	20	190.4	91.9	201.6	86.8	191.6	91.3	202.1	86.5	192.0	91.1	181.4
	40	183.6	95.3	196.3	89.1	183.0	95.6	194.7	89.8	185.8	94.1	176.2
	60	178.5	98.0	192.4	90.9	177.8	98.4	190.0	92.1	181.5	96.4	172.3
	80	175.3	99.8	189.6	92.3	176.2	99.3	186.2	93.9	178.3	98.1	171.2
	落下回数	試料高さ mm	広がり mm	試料高さ mm	広がり mm	試料高さ mm	広がり mm	試料高さ mm	広がり mm	試料高さ mm	広がり mm	試料高さ mm
0	169.3	7.8	181.0	2.3	168.3	6.0	179.8	2.6	172.6	3.5	166.5	5.1
5	161.2	9.6	172.8	7.6	160.8	12.0	174.8	8.1	167.2	8.8	159.4	9.8
10	155.0	12.9			154.2	16.2	169.8	14.2	160.5	14.4	154.5	13.7
20	146.3	21.4			145.4	25.7			147.7	25.0	144.5	25.1
30												
40												
崩れたときの回数	28		8		30		12		25		29	

各配合の打撃回数と締固め率の関係は巻末資料に示すが、代表して骨材 A40 を用いた配合について図 4.4.22～図 4.4.25 に示す。概ね目標スランプの大きな軟らかい配合が、比較的少ない打撃回数で締固め率 100%に達している。コンシステンシーの軟らかいもの程、少ない打撃回数で締め固まり易いと考えられることから、打撃 80 回の締固め率および、締固め率 100%時の打撃回数を求めてスランプ、沈下度、かさ容積との関係を調べることにした。締固め率 100%時の打撃回数は、打撃回数 80 回まで打撃を行なった本実験において、80 回以下で 100%に達した配合についてはグラフより読み取ることによって、100%に達しなかった配合についてはグラフの延長線上で 100%に達する回数（グラフがほぼ直線状になった部分で 1 次回帰直線を描き、1 次回帰直線が締固め率 100%となる回数）を算出することによって求めた。

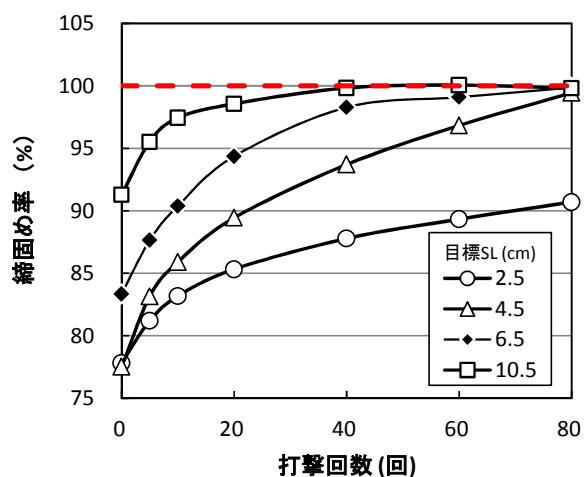


図 4.4.22 打撃回数と締固め率の関係  
(A40、かさ容積 0.62)

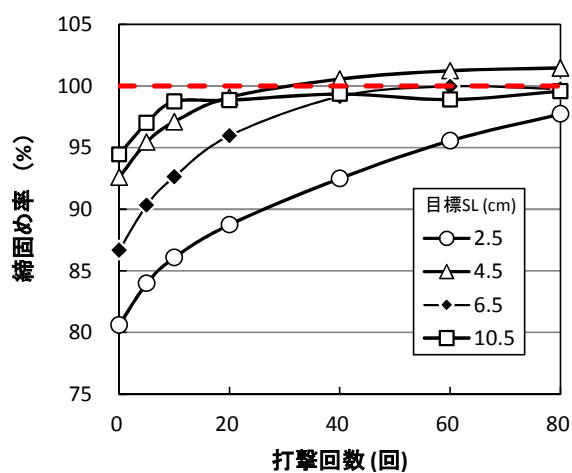


図 4.4.23 打撃回数と締固め率の関係  
(A40、かさ容積 0.67)

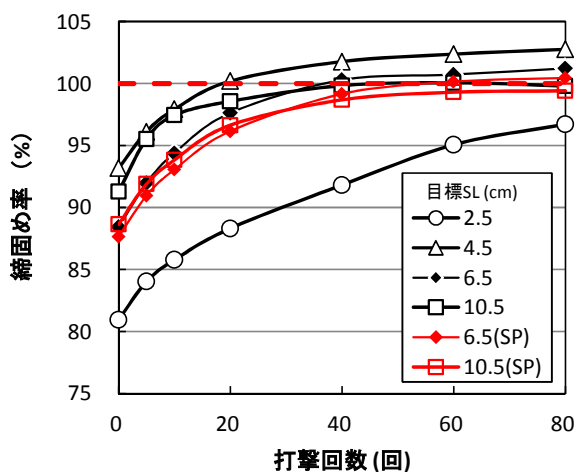


図 4.4.24 打撃回数と締固め率の関係  
(A40、かさ容積 0.72)

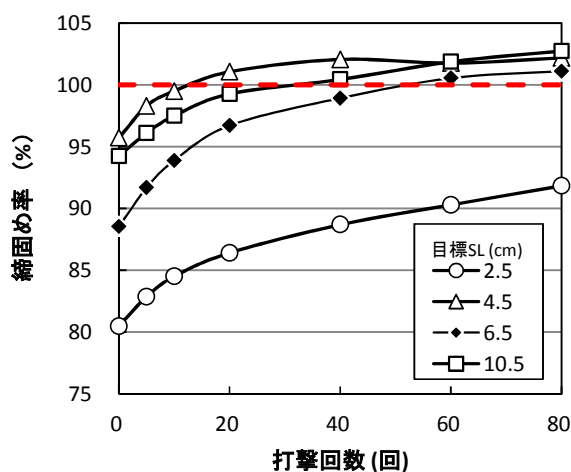


図 4.4.25 打撃回数と締固め率の関係  
(A40、かさ容積 0.76)

#### 4.4.3 スランプ、沈下度と締固め率、崩れた回数、水平方向への広がり易さの関係

スランプ、沈下度に対する締固め性・変形性試験の試験結果を図 4.4.3.1～図 4.4.3.3 に示す。

打撃 80 回の締固め率との関係 (図 4.4.3.1) を見ると、スランプが大きい程または沈下度が少ない程軟らかいため、概ね締固め率も大きくなる傾向が確認できる。また、図 4.4.3.1(左) より、ある程度軟らかくなると、締固めが十分になされ、頭打ちになっているのが分かる。沈下度は目標スランプ 10.5cm の配合では試験をしていないが、図 4.4.3.1(右) の  $\square$  の範囲にプロットされると考えられる。スランプ 2.5cm 以上、沈下度 30 秒以下で締固め率が 100% になっている。概ねスランプ 2.5cm 以下、沈下度 30 秒以上になると打撃 80 回の締固め率の変化が大きくなっている。

締固め率 100% 時の打撃回数をグラフより求めた結果とスランプ・沈下度との関係 (図 4.4.3.2) を見ると、スランプが大きい程または沈下度が少ない程軟らかいことから、少ない打撃回数で締固め率 100% に達する傾向が確認できる。こちらもスランプ 2.5cm 以下、沈下度 30 秒以上では値の変化が大きくなっている。

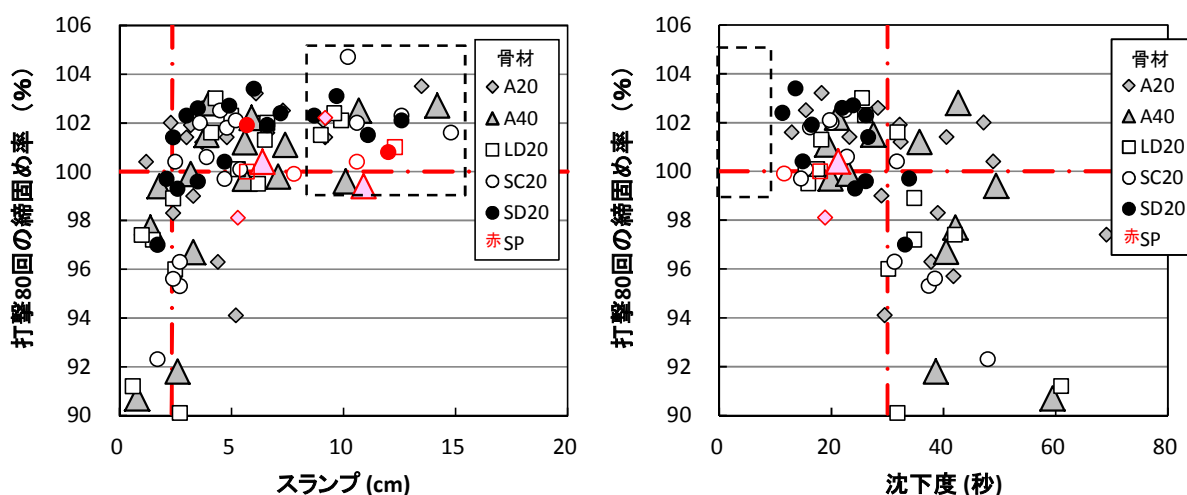


図 4.4.3.1 スランプ(左)、沈下度(右)と打撃 80 回の締固め率との関係

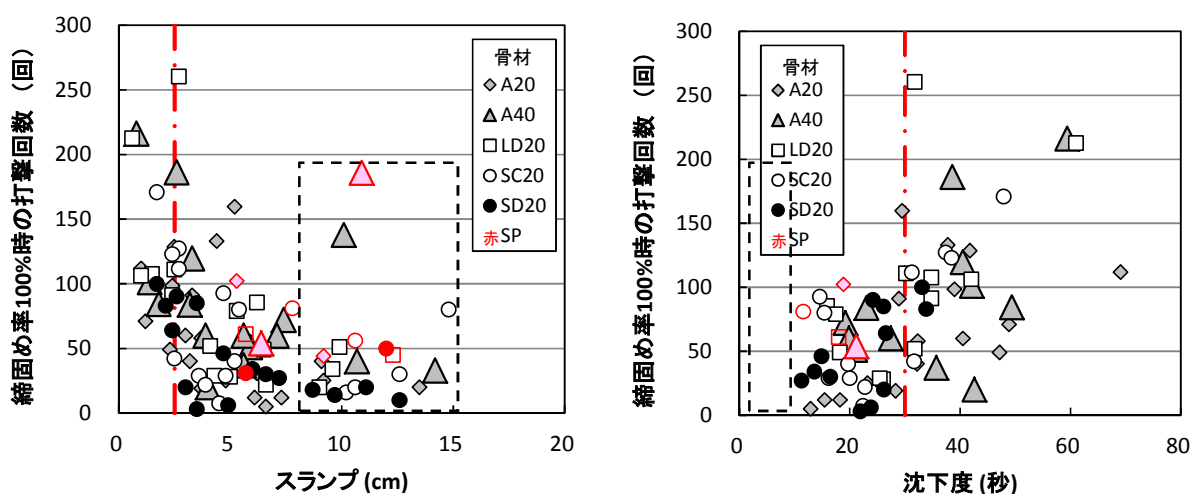


図 4.4.3.2 スランプ(左)、沈下度(右)と締固め率 100% 時の打撃回数との関係



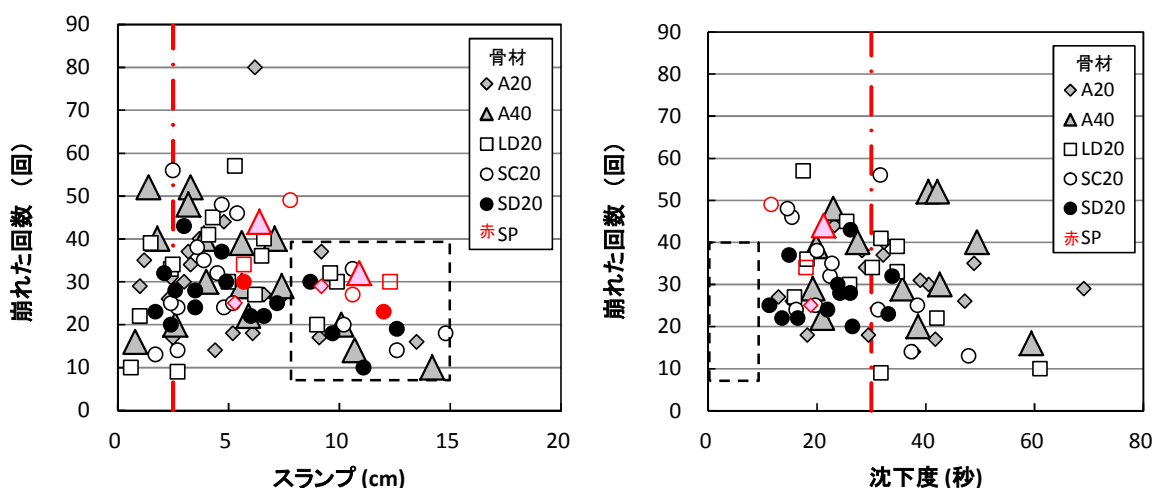


図 4.4.3.3 スランプ(左)、沈下度(右)と崩れた回数との関係

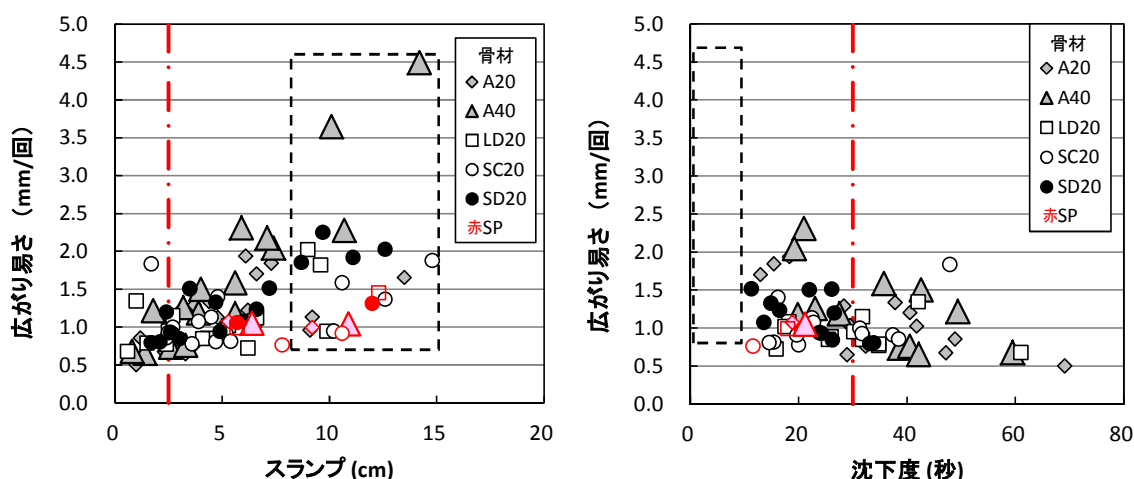


図 4.4.3.4 スランプ(左)、沈下度(右)と水平方向への広がり易さ(回帰直線の傾き)の関係

一方、崩れた回数との関係 (図 4.4.3.3) を見ると、やや上に凸のグラフを描く傾向が見られるが、明確な関係は見出せなかった。

広がり易さとの関係 (図 4.4.3.4) を見ると、スランプが増加すると広がり易さも増加する関係が認められるが、スランプ 10cm を超えると広がり易さが急に増大するようになり、ほぼ同等のスランプ値でも大きく異なる値が見られるようになった。また、赤点で示す SP 剤でスランプを調整した配合ではそれほど広がり易さが増大しないが、単位水量でスランプを調整した他の配合については大きく増大している。図 4.4.3.3 より、広がり易さの大きく増大している配合は崩れた回数も比較的小さく、今回の実験では、SP 剤を用いた方が変形や崩れやすさに対して粘り強かった。沈下度については目標スランプ 10.5cm の場合は測定しなかったため、広がり易さが大きく増大する様子は表現されていないが、仮に試験を行っていた場合は、0~10 秒の範囲で広がり易さ 3.5~4.5 付近 (図 4.4.3.4(右)の にここ) に描かれると考えられる。

これらの結果より、打撃 80 回の締固め率、締固め率 100%時の打撃回数はスランプ 2.5cm 以上（沈下度 30 秒以下）程度の範囲において、水平方向への広がり易さはスランプの小さい範囲（約 8cm 程度以下）においては振動台式コンシステンシー試験と同様の締固めエネルギーを受けた状態の施工性評価に利用できる可能性があると考えられる。

#### 4.4.4 かさ容積、スランプと締固め率、崩れた回数、水平方向への広がり易さの関係

かさ容積、目標スランプと打撃 80 回の際の締固め率の関係は図 4.4.4.1、締固め率 100%時の打撃回数との関係は図 4.4.4.2、脱型後における崩れた時の回数との関係は図 4.4.4.3、水平方向の広がり易さとの関係は図 4.4.4.4 のとおりである。

前節でも述べたが、概ね目標スランプの大きな配合ほど、打撃 80 回の締固め率と水平方向の広がり易さが大きく、締固め率 100%時の打撃回数は少ない。一方、崩れた回数と目標スランプは明確な関係は認められなかった。SP を添加してスランプを変化させた配合についても概ね同様であった。

打撃 80 回の際の締固め率について、軟らかい配合の 100%に達しているものについてはほぼ横ばいのグラフとなっているが、それ以外では概ね上に凸となっている。締固め率 100%時の打撃回数についても、軟らかい配合については打撃回数が少なくほぼ横ばいのグラフとなっているが、それ以外は概ね下に凸のグラフとなっている。崩れた回数については、硬めの配合は概ね上に凸の形状となっている。広がり易さについては、多くの配合で下に凸の形状となっている。これらより、最適なかさ容積（締め固まり易い、崩れにくい、水平方向に変形し易い）を二次回帰曲線の最大値（または最小値）から求めた結果が表 4.4.4.1～表 4.4.4.4 である。逆凸の形となっているものなどもあるが、概ね 0.6～0.7 程度を示し、この試験方法で最適かさ容積を求めても表 4.3.13～表 4.3.14 と大きく異ならない結果となった。

また、打撃 80 回の際の締固め率が 100%を超えているものが見られるが、これらは打撃を重ねていくと空気量の低下が考えられることとフローテーブル上にモールドからペースト分が漏れていることが確認されていることから、100%を超える締固め率が得られたと考えられる。

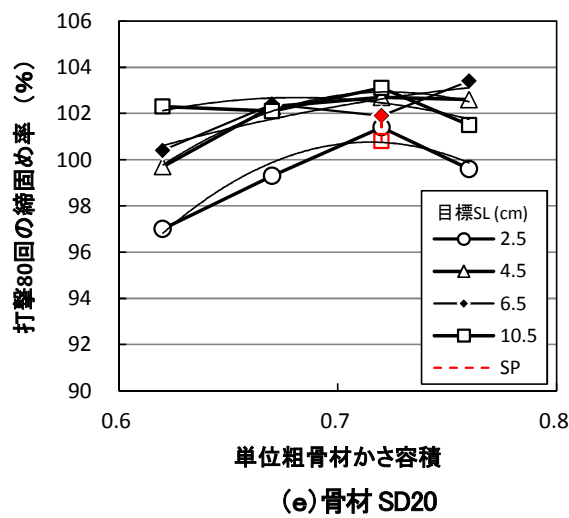
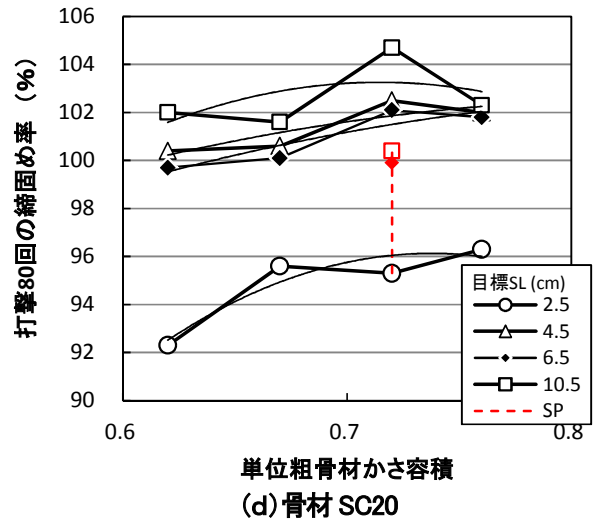
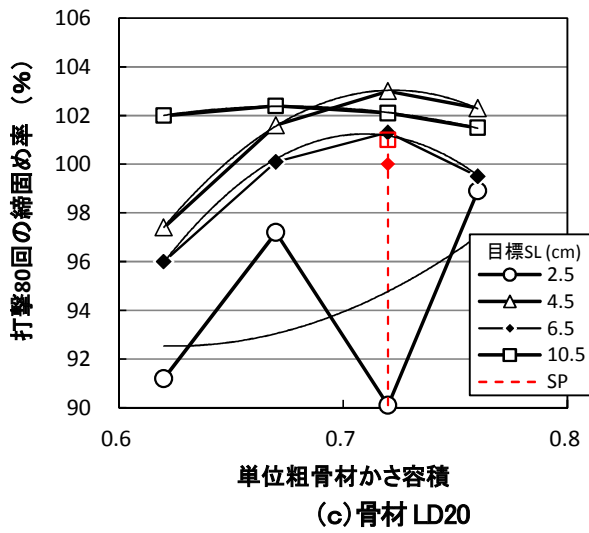
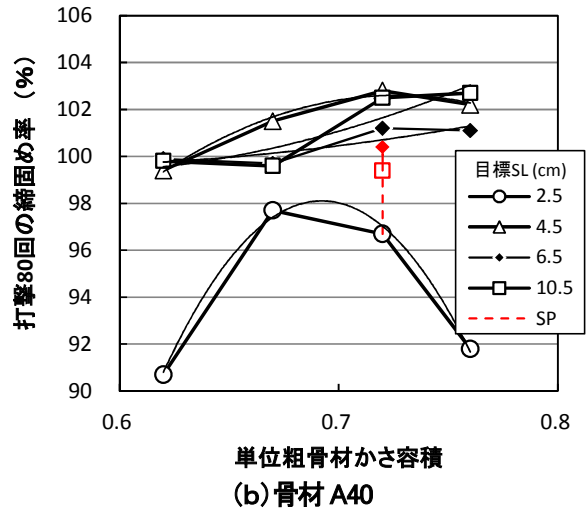
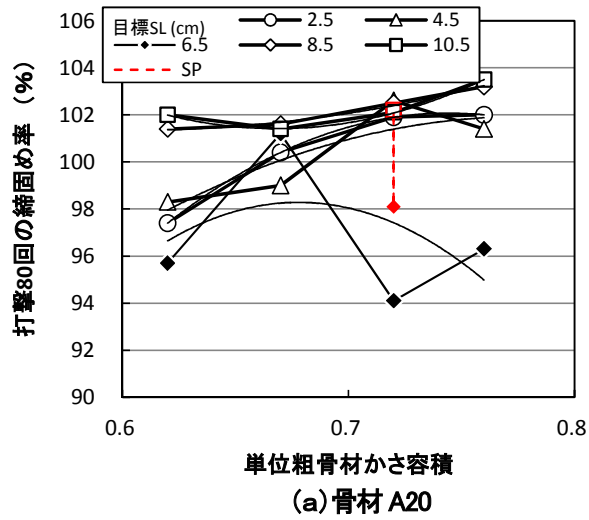
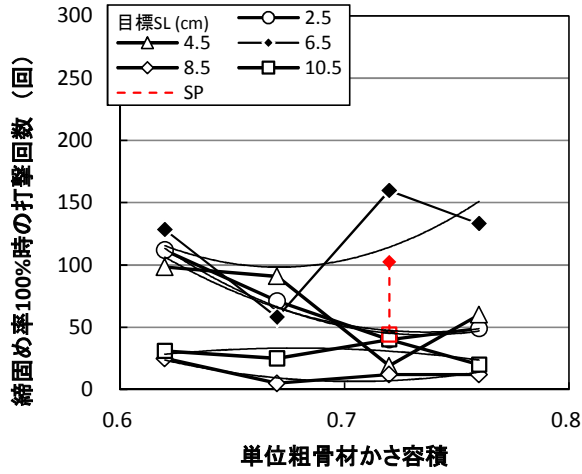
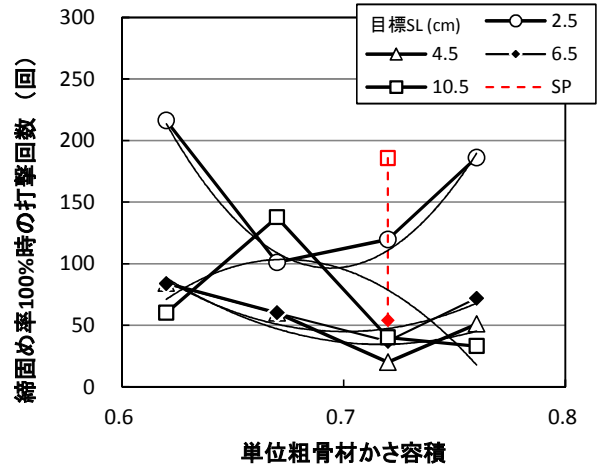


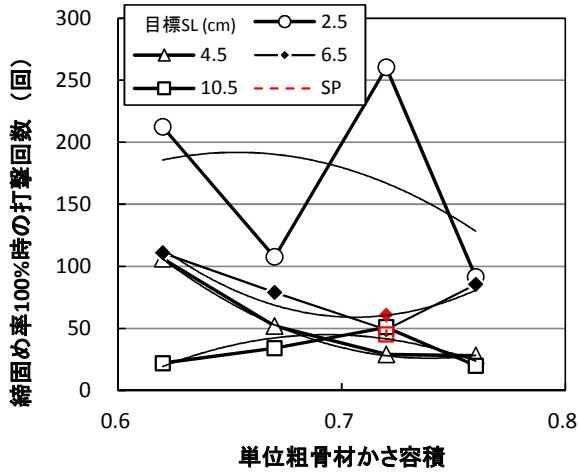
図 4.4.4.1 かさ容積と打撃 80 回の締固め率の関係



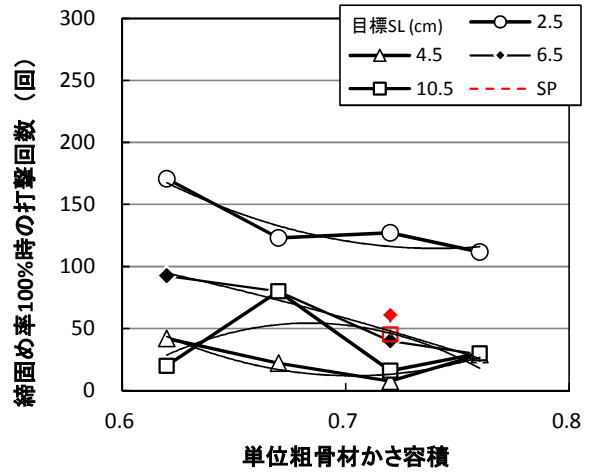
(a) 骨材 A20



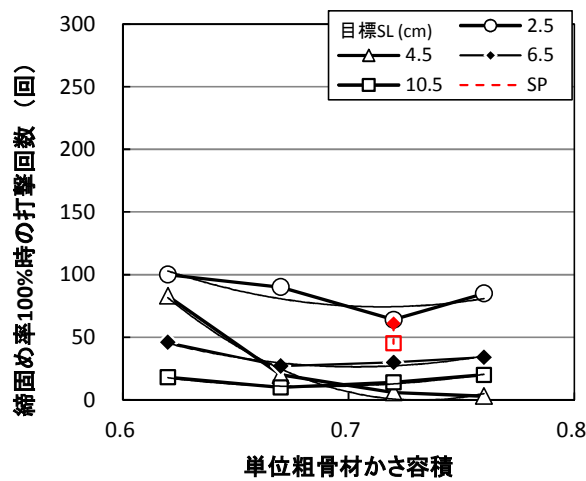
(b) 骨材 A40



(c) 骨材 LD20



(d) 骨材 SC20



(e) 骨材 SD20

図 4.4.4.2 かさ容積と締固め率 100%時の打撃回数との関係

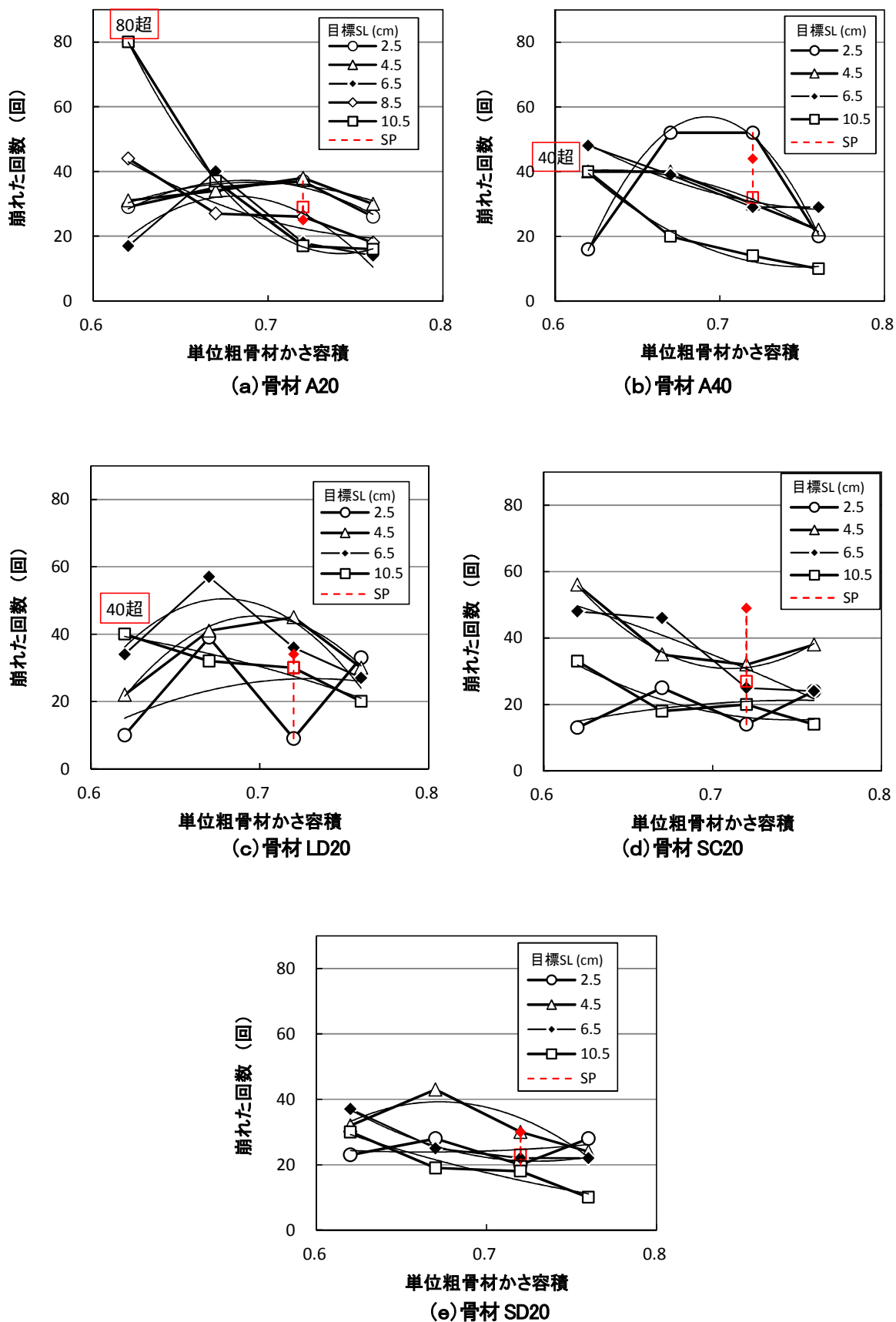
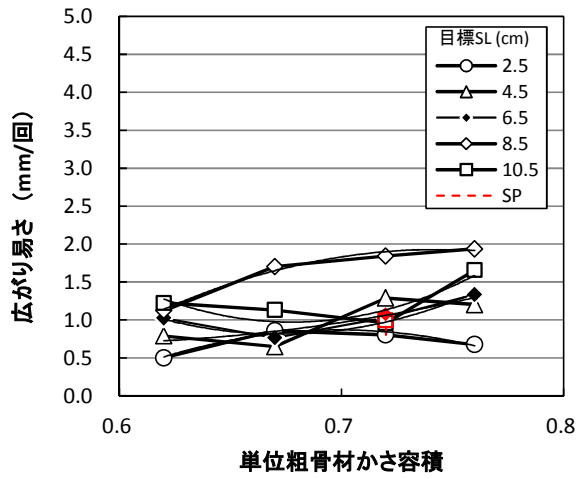
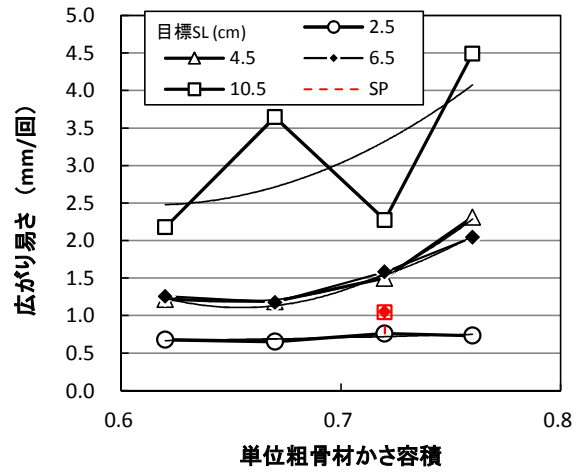


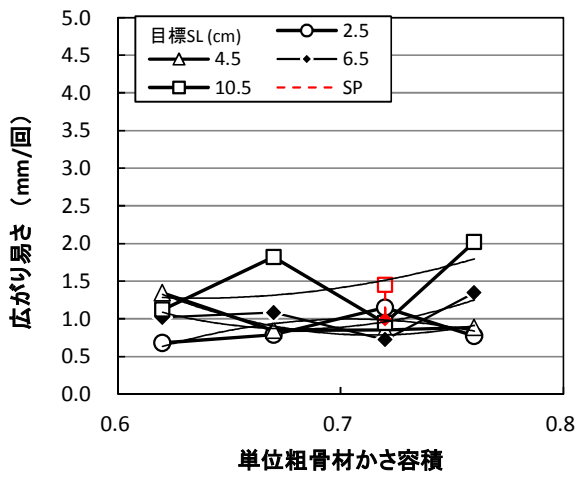
図 4.4.4.3 かさ容積と崩れたときの回数の関係



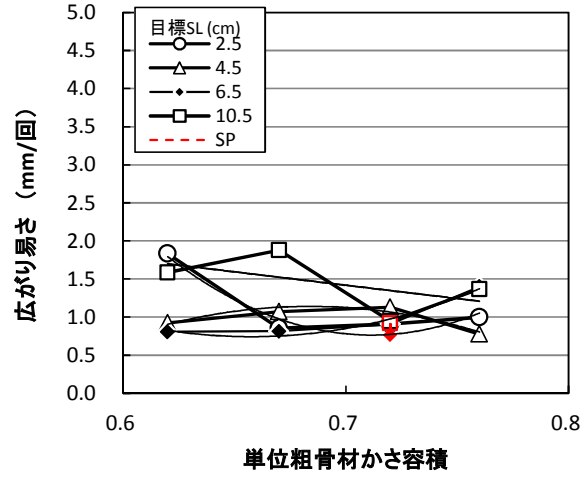
(a) 骨材 A20



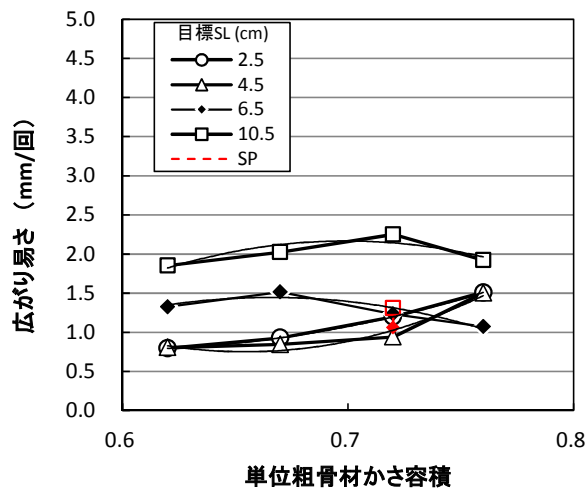
(b) 骨材 A40



(c) 骨材 LD20



(d) 骨材 SC20



(e) 骨材 SD20

図 4.4.4 かさ容積と広がり易さとの関係

表 4.4.4.1 打撃 80 回の締固め率から求めた最適かさ容積

骨材	目標 スランプ	回帰結果				最適 かさ容積
		a	b	c	r2	
A20	2.5	-302.4	450.2	-65.5	1.000	0.744
	4.5	-159.0	247.5	5.6	0.758	0.778
	6.5	-488.9	662.8	-126.4	0.207	0.678
	8.5	77.2	-93.2	129.5	0.990	0.604
	10.5	248.5	-332.1	212.4	1.000	0.668
A40	2.5	-1401.0	1939.0	-573.3	0.994	0.692
	4.5	-287.5	417.7	-49.2	0.987	0.727
	6.5	98.6	-111.1	130.5	0.826	0.564
	10.5	37.6	-40.9	110.6	0.732	0.544
LD20	2.5	245.0	-305.9	188.0	0.219	0.624
	4.5	-536.9	775.2	-177.0	1.000	0.722
	6.5	-122.7	165.6	46.4	0.996	0.675
	10.5	-660.5	937.1	-231.1	0.997	0.709
SC20	2.5	-260.8	384.9	-45.9	0.878	0.738
	4.5	-48.7	81.7	68.3	0.745	0.839
	6.5	-45.7	80.9	66.9	0.833	0.886
	10.5	-186.6	266.7	7.9	0.273	0.715
SD20	2.5	-439.7	628.5	-123.8	0.911	0.715
	4.5	-300.5	434.3	-54.0	0.983	0.723
	6.5	-56.7	96.1	62.8	0.773	0.848
	10.5	-151.0	205.8	32.5	0.368	0.681

表 4.4.4.2 締固め率 100%時の打撃回数から求めた最適かさ容積

骨材	目標 スランプ	回帰結果				最適 かさ容積
		a	b	c	r2	
A20	2.5	5165.2	-7602.0	2841.1	0.982	0.736
	4.5	4457.2	-6562.6	2461.8	0.582	0.736
	6.5	6642.7	-8912.6	3087.8	0.263	0.671
	8.5	2399.8	-3380.7	1197.2	0.767	0.704
	10.5	-1445.7	1961.5	-632.0	0.224	0.678
A40	2.5	21406.0	-29713.0	10407.0	0.982	0.694
	4.5	5757.7	-8254.1	2992.7	0.797	0.717
	6.5	6482.7	-9080.5	3224.6	0.819	0.700
	10.5	-11424.0	15383.0	-5075.5	0.564	0.673
LD20	2.5	-5574.7	7282.5	-2186.5	0.120	0.653
	4.5	5625.1	-8315.9	3099.4	1.000	0.739
	6.5	7452.4	-10522.0	3773.1	0.860	0.706
	10.5	-4775.1	6621.4	-2250.4	0.704	0.693
SC20	2.5	3640.2	-5392.1	2111.4	0.879	0.741
	4.5	4591.4	-6456.8	2281.9	0.894	0.703
	6.5	-613.7	354.6	110.8	0.954	0.289
	10.5	-6290.8	8605.4	-2888.6	0.295	0.684
SD20	2.5	3188.6	-4558.2	1703.4	0.681	0.715
	4.5	6555.4	-9592.0	3508.7	0.986	0.732
	6.5	2693.8	-3789.6	1359.3	0.925	0.703
	10.5	1700.3	-2326.5	806.5	0.955	0.684

表 4.4.4.3 崩れた回数から求めた最適かさ容積

骨材	目標 スランプ	回帰結果				最適 かさ容積
		a	b	c	r2	
A20	2.5	-1964.6	2699.0	-889.7	0.907	0.687
	4.5	-1228.2	1699.2	-551.0	0.716	0.692
	6.5	-3488.5	4748.8	-1583.7	0.617	0.681
	8.5	957.0	-1488.6	598.0	0.924	0.778
	10.5	4413.1	-6545.7	2441.9	1.000	0.742
A40	2.5	-7928.0	10976.0	-3741.0	0.997	0.692
	4.5	-1137.3	1434.1	-411.5	0.982	0.630
	6.5	4484.0	-6538.0	2409.0	0.991	0.729
	10.5	1688.0	-2535.0	962.2	0.982	0.751
LD20	2.5	-959.0	1401.0	-485.2	0.118	0.730
	4.5	-3886.6	5427.8	-1849.6	0.987	0.698
	6.5	-4069.0	5528.0	-1827.0	0.758	0.679
	10.5	4225.0	-6219.0	2309.0	0.938	0.736
SC20	2.5	-363.3	546.2	-184.0	0.204	0.752
	4.5	3053.6	-4338.2	1571.6	0.995	0.710
	6.5	-148.0	10.9	99.8	0.851	0.037
	10.5	1022.0	-1528.0	586.2	0.849	0.748
SD20	2.5	246.8	-327.5	132.5	0.062	0.663
	4.5	-2202.4	2961.5	-956.3	0.807	0.672
	6.5	1311.0	-1912.0	718.6	0.991	0.729
	10.5	274.6	-508.1	238.6	0.920	0.925

表 4.4.4.4 広がり易さから求めた最適かさ容積

骨材	目標 スランプ	回帰結果				最適 かさ容積
		a	b	c	r2	
A20	2.5	-56.8	79.4	-26.9	0.955	0.699
	4.5	17.3	-19.8	6.4	0.640	0.573
	6.5	71.1	-95.7	33.0	0.960	0.672
	8.5	-51.7	76.9	-26.7	0.983	0.743
	10.5	90.9	-123.3	42.7	0.768	0.678
A40	2.5	1.7	-1.8	1.1	0.539	0.518
	4.5	105.7	-138.4	46.4	0.991	0.654
	6.5	71.7	-93.1	31.4	0.992	0.649
	10.5	74.0	-90.7	30.3	0.407	0.613
LD20	2.5	-51.3	72.2	-24.4	0.566	0.704
	4.5	60.7	-86.8	31.8	0.951	0.714
	6.5	60.7	-82.6	29.0	0.416	0.680
	10.5	33.8	-43.0	15.0	0.202	0.636
SC20	2.5	123.0	-175.1	63.0	0.940	0.712
	4.5	-57.9	79.2	-25.9	0.882	0.684
	6.5	60.0	-78.9	26.7	0.959	0.658
	10.5	0.1	-3.7	3.9	0.295	12.812
SD20	2.5	26.9	-32.0	10.3	1.000	0.595
	4.5	64.4	-84.3	28.3	0.952	0.655
	6.5	-45.8	61.0	-18.9	0.878	0.666
	10.5	-55.2	77.2	-24.8	0.744	0.699



## 4.5 箱型装置を用いた変形性試験

### 4.5.1 試験方法

幅 250mm, 奥行き 250mm の箱型装置 (写真 4.5.1.1) を用いて, 変形性をエッジスランプ, オーバーフローで評価することとした。これは 4.4 で示したフローテーブルを用いた締固め性・変形抵抗性試験と同様に, 特にスリップフォーム工法の変形抵抗性を評価するために検討されている試験方法<sup>3)</sup>であるが, 振動台などを使わず装置の製作が比較的容易なため, 通常の舗装コンクリートの施工性評価に適用可能か検討を行なった。装置の大きさは, 試験の行いやすさを考慮し, 型枠寸法を文献<sup>3)</sup>の装置より小型にしたものである。試験方法は次のとおりである。

締固め後の高さが 250mm になる量の試料を詰め, バイブレータによって締固め, 表面を平らに仕上げた。

側面の板を 30 秒で引き抜いた。打設面は低下とはらみだしを生じる。その低下量 (エッジスランプ: ES) と, はらみ出し量 (オーバーフロー: OF) を測定した (写真 4.5.1.2, 図 4.5.1.1)。



写真 4.5.1.1 ボックス型枠



写真 4.5.1.2 エッジスランプ, オーバーフローの状況

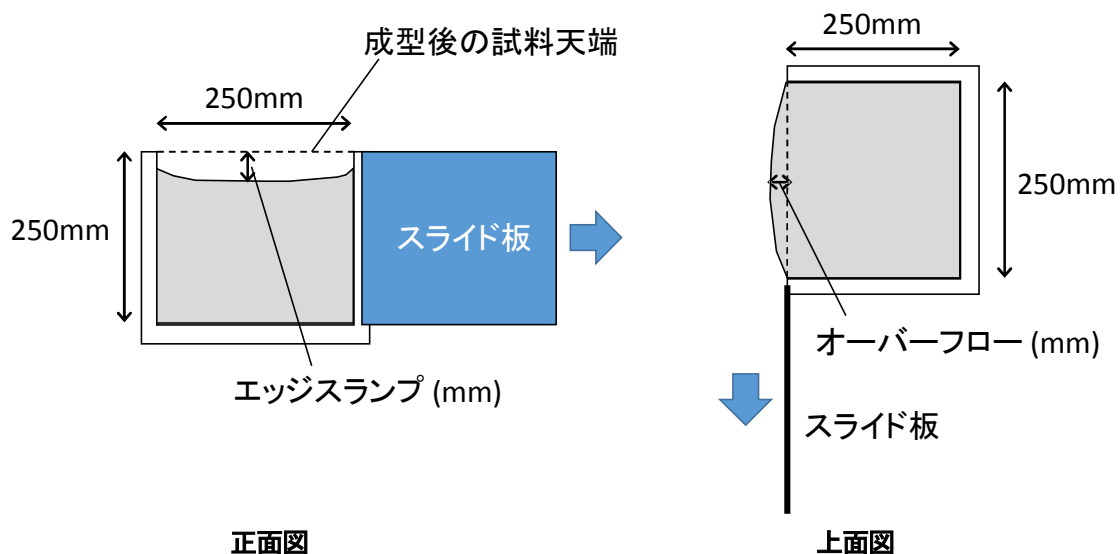


図 4.5.1.1 エッジスランプ, オーバーフロー

#### 4.5.2 フレッシュ性状

4.5節～4.7節では、表 4.5.2.1 に示すかさ容積、目標スランプの組合せについて検討を行なった。これは、4.3節の表 4.3.1 の目標スランプから 4.5cm と 8.5cm を除いたものである。配合は 4.3節の表 4.3.2～表 4.3.6 に示す配合を用いた。ただし、粗骨材 A20 を用いた目標スランプ 2.5cm の配合のうち、a, b, c, d のみ、再度練り混ぜを行なった（混和剤添加量にも微変更が生じている）。微変更の生じたコンクリートの配合（A20、目標スランプ 2.5cm の a, b, c, d）を表 4.5.2.2 に示す。

フレッシュ性状についても表 4.3.7～表 4.3.11 および図 4.3.1～図 4.3.16、スランプと沈下度の関係は図 4.3.15、スランプと回帰式から求めた沈下度は表 4.3.12、スランプから求めた最適かさ容積、沈下度から求めた最適かさ容積も表 4.3.13、表 4.3.14 と同じであるが、微変更の生じたコンクリートの配合については、表 4.5.2.3～表 4.5.2.6、図 4.5.2.1～図 4.5.2.4 のとおりとなった。

表 4.5.2.1 スランプとかさ容積(s/a)の組合せ(4.5以降)

単位 水量	かさ容積 0.72 の 目標スランプ	かさ容積, (s/a 概略値) (%)			
		0.62 (48)	0.67 (44)	0.72 (40)	0.76 (36)
W1	2.5 cm	a	b	c, SP1, SP2	d
W3	6.5 cm	i	j	k	l
W5	10.5 cm	q	r	s	t

SP1 : 2.5→6.5、SP2 : 2.5→10.5

表 4.5.2.2 粗骨材 A20 のコンクリート配合(4.5以降)

骨材の 種類	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	SP剤	AE剤 (100倍希釈)
A20	20	2.5	4.5	0.450	0.62	47.3	144	320	861	999	3.20	—	1.44
					0.67	43.1			784	1079		—	1.60
					0.72	38.9			707	1160		—	1.84
					0.76	35.5			645	1224		—	2.08

※単位水量は各混和剤の単位量を含む

表 4.5.2.3 粗骨材 A20 のフレッシュ性状(4.5以降)

骨材の 種類	スランプ 目標値 (cm)	単位 粗骨材 かさ容積	試験結果			
			スランプ (cm)	沈下度 (秒)	空気量 (%)	温度 (°C)
A20	2.5	0.62	1.8	31.7	4.4	21.8
		0.67	3.5	25.4	4.7	21.7
		0.72	2.7	31.0	3.7	21.0
		0.76	4.0	36.7	4.3	21.3

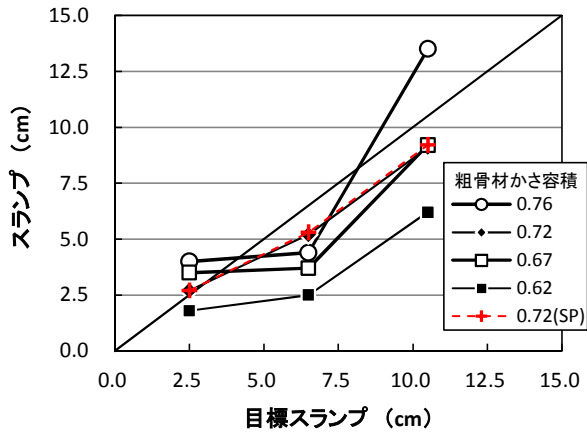


図 4.5.2.1 目標スランプと実測スランプ(粗骨材 A20)  
(目標スランプ 2.5cm 以外は図 4.3.1 と同じ値)

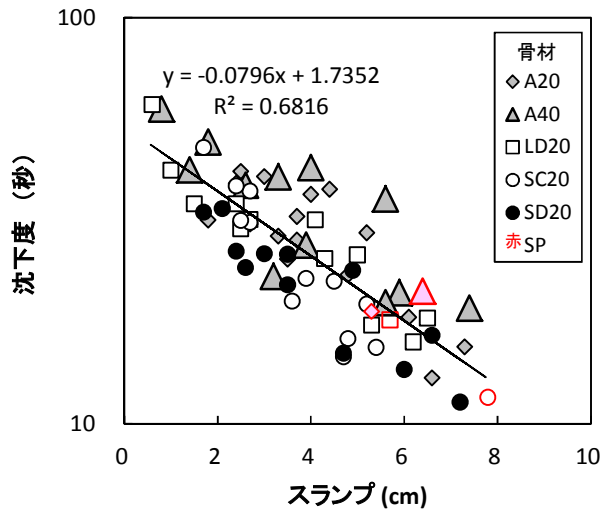


図 4.5.2.2 スランプ沈下度の関係

表 4.5.2.4 スランプと回帰式から求めた沈下度 (秒)

骨材	スランプ (cm)			
	1.5	2.5	5.0	8.0
A20	45.1	36.4	24.5	16.5
A40	46.6	39.9	27.1	17.0
LD20	41.2	34.4	21.8	12.6
SC20	42.4	33.3	18.2	8.9
SD20	33.4	28.0	18.1	10.7
全骨材	42.7	34.1	22.3	14.3

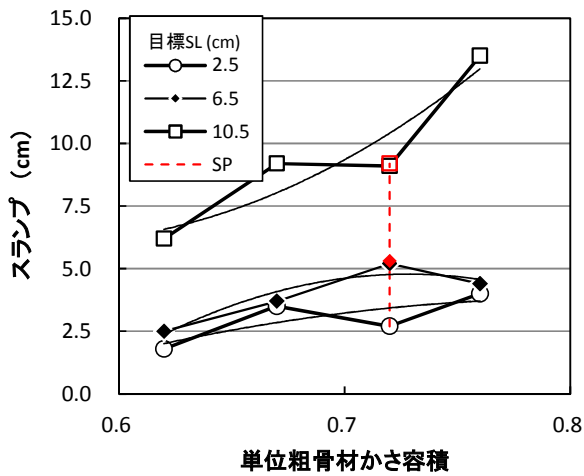


図 4.5.2.3 かさ容積とスランプの関係(粗骨材 A20)  
(目標スランプ 2.5cm 以外は図 4.3.6 と同じ値)

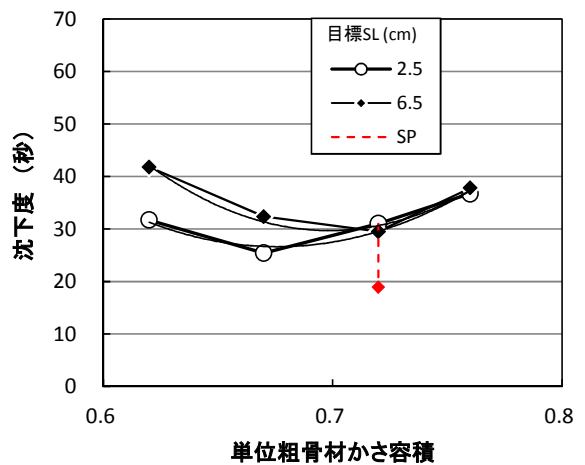


図 4.5.2.4 かさ容積と沈下度の関係(粗骨材 A20)  
(目標スランプ 2.5cm 以外は図 4.3.7 と同じ値)

表 4.5.25 スランプから求めた最適かさ容積(粗骨材 A20)

骨材	目標 スランプ	回帰結果				最適 かさ容積
		a	b	c	r2	
A20	2.5	-51.9	83.8	-29.97	0.610	0.807
	6.5	-205.5	299.3	-104.19	0.903	0.728
	10.5	184.2	-208.5	65.01	0.871	0.566

表 4.5.26 沈下度から求めた最適かさ容積(粗骨材 A20)

骨材	目標 スランプ	回帰結果				最適 かさ容積
		a	b	c	r2	
A20	2.5	1499.0	-2026.0	711.4	0.934	0.676
	6.5	2015.0	-2815.0	1013.0	0.970	0.699

#### 4.5.3 スランプ、沈下度とエッジスランプ、オーバーフローの関係

スランプ、沈下度に対するエッジスランプ、オーバーフローの結果を図 4.5.3.1～図 4.5.3.2 に示す。

4.4.3 と同様に、スランプ、沈下度とエッジスランプの関係 (図 4.5.3.1)、オーバーフローの関係 (図 4.5.3.2) を見ると、スランプが大きい程または沈下度が少ない程軟らかいため、概ねエッジスランプ、オーバーフローも大きくなる傾向がある。骨材 SD20 (電気炉酸化スラグ骨材) を用いた配合については、スランプが 10cm を超えてくると、他の骨材の配合に比べてエッジスランプの増加が大きい (c=部)。SD20 は密度が他の骨材に比べて大きいことから骨材が下方へ沈下しやすく、エッジスランプの値が大きくなったものと考えられる。

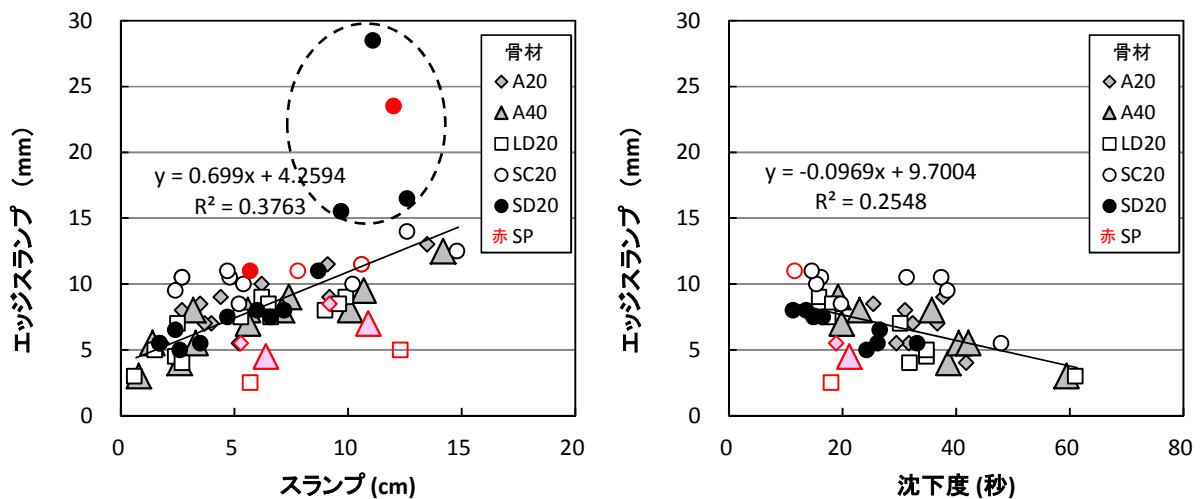


図 4.5.3.1 スランプ(左)、沈下度(右)とエッジスランプの関係

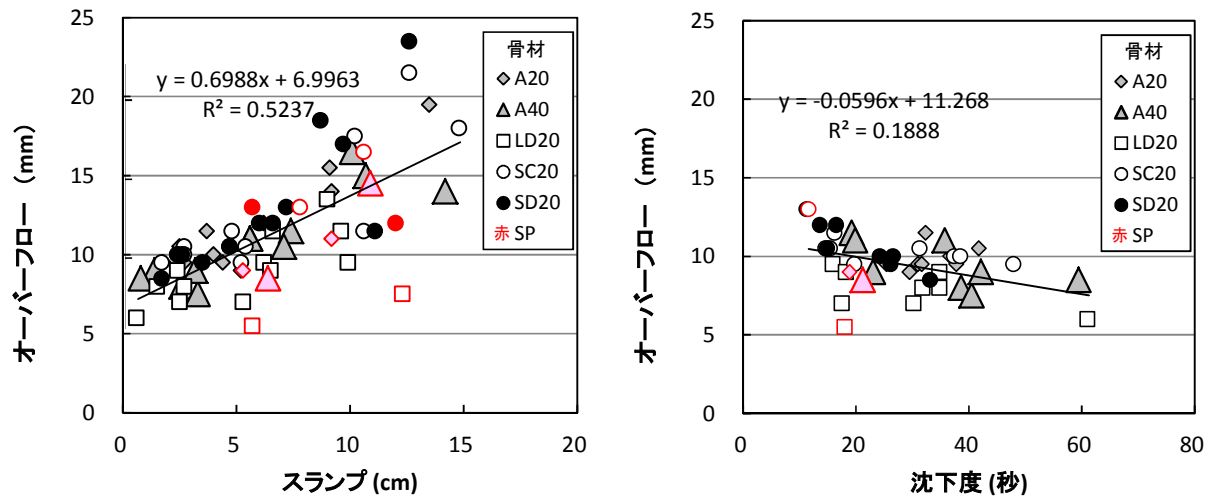


図 4.5.3.2 スランプ(左)、沈下度(右)とオーバーフローの関係

#### 4.5.4 かさ容積とエッジスランプ、オーバーフローの関係

目標スランプ、かさ容積とエッジスランプ、オーバーフローの関係を図 4.5.4.1～図 4.5.4.5 に示す。一部の骨材、かさ容積では逆転しているものもあるが、概ね目標スランプが大きくなるとエッジスランプ、オーバーフローも大きくなる傾向を示している。

単位水量一定でかさ容積を変化させた場合のエッジスランプについて、粗骨材 SD20 の目標スランプ 10.5cm については下に凸の傾向を示している。それ以外についてはそれほど目立った変化が見られなかった。エッジスランプとスランプは図 4.5.3.1(左)より比較的正の相関があると考えられるため、スランプと同様、上に凸の傾向を示すと考えられるが、粗骨材 SD20、目標スランプ 10.5cm の試料が下に凸の傾向を示したのは、粗骨材密度の大きさによる沈降の影響が現れたためと考えられる。

かさ容積とオーバーフローの関係については、目標スランプ 2.5cm と 6.5cm については目立った変化は見られなかった。A40、SC20、SD20 を用いた目標スランプ 10.5cm の試料については、かさ容積が増加するとオーバーフローも増加したり、増加傾向が減少傾向に転じたりする結果（上に凸）が得られた。図 4.5.3.1(左)より、オーバーフローとスランプには比較的正の相関があると考えられるため、一般には上に凸の傾向を示すと考えられる。

SD のかさ容積 0.76 については、特にエッジスランプは大きいオーバーフローは小さい結果となっている。写真 4.5.4.1 に SD、目標スランプ 10.5cm の試験状況を示すが、かさ容積 0.76 は端部全体が垂れており、オーバーフローは比較的小さな値になったことが分かる。

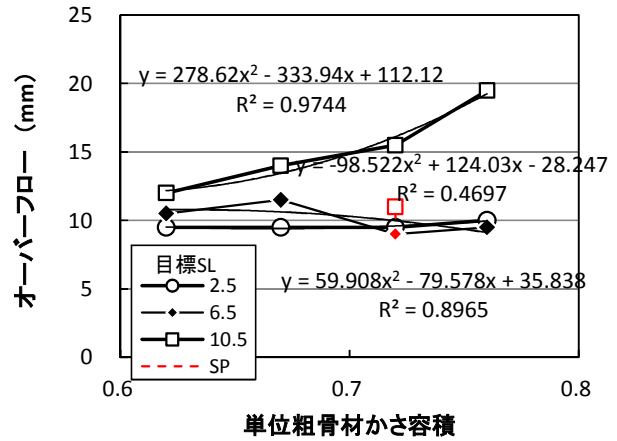
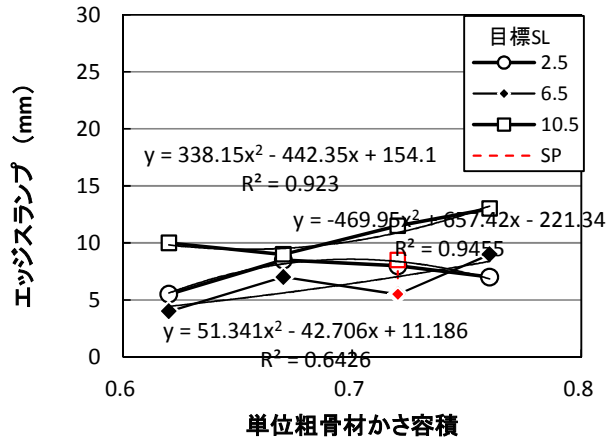


図 4.5.4.1 かさ容積とエッジスランプ, オーバーフローの関係(A20)

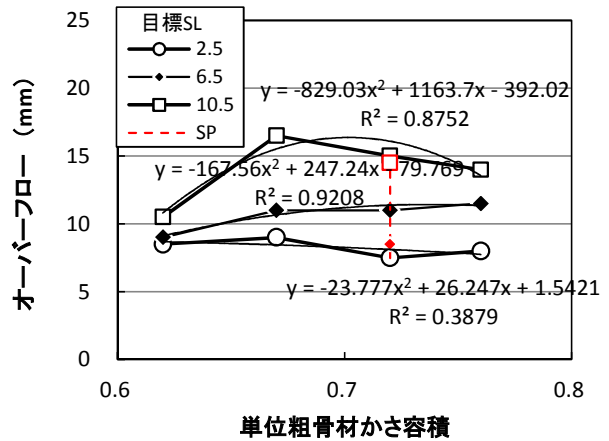
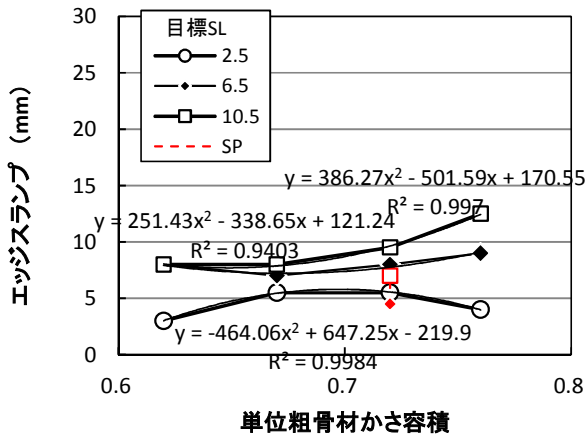


図 4.5.4.2 かさ容積とエッジスランプ, オーバーフローの関係(A40)

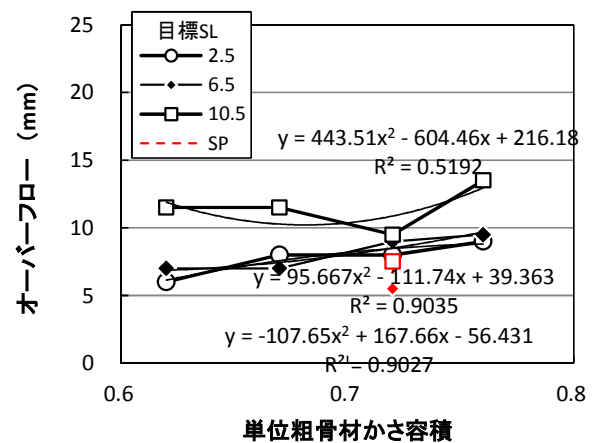
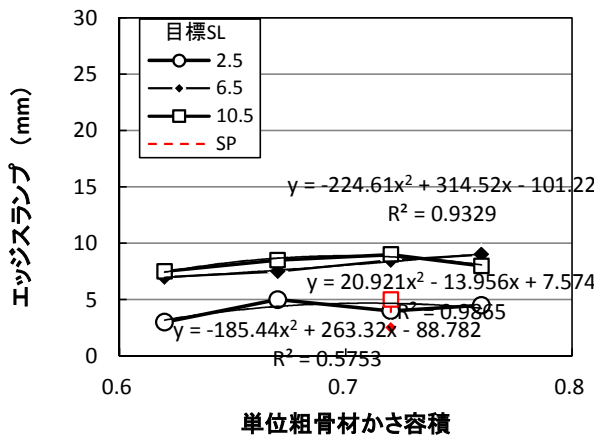


図 4.5.4.3 かさ容積とエッジスランプ, オーバーフローの関係(LD)

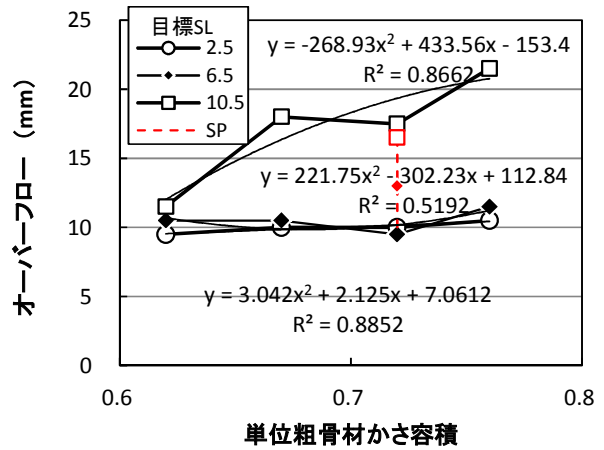
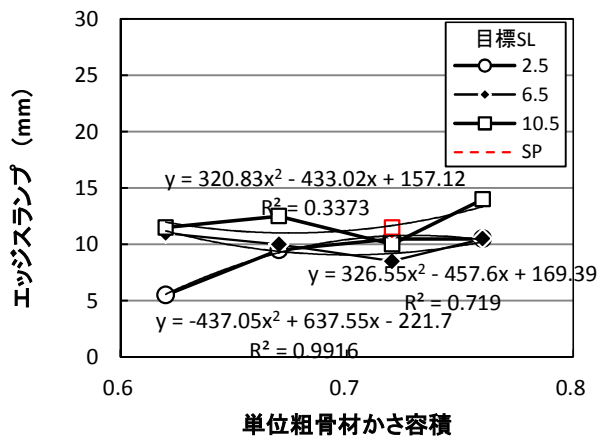


図 4.5.4.4 かさ容積とエッジスランプ、オーバーフローの関係(SC)

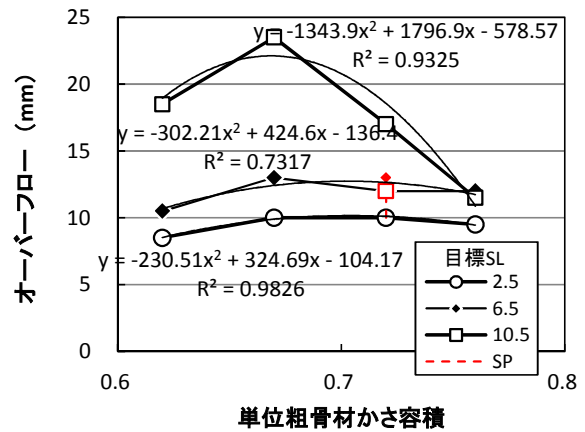
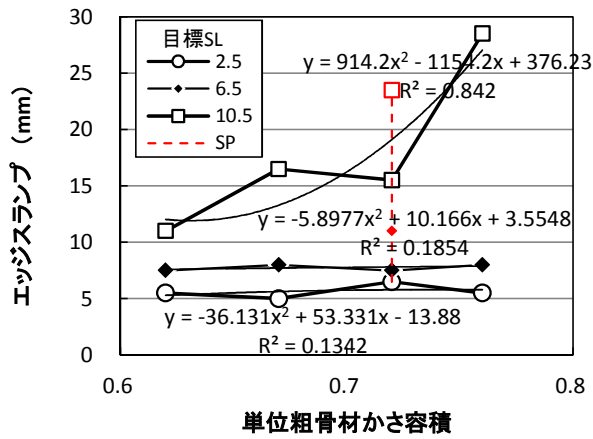


図 4.5.4.5 かさ容積とエッジスランプ、オーバーフローの関係(SD)



かさ容積 0.62

かさ容積 0.67

かさ容積 0.72

かさ容積 0.76

写真 4.5.4.1 エッジスランプ、オーバーフローの状況(SD, 目標スランプ 10.5cm)

図 4.5.4.1～図 4.5.4.5 の関係から、二次式によって回帰して、流動特性上の最適かさ容積を求めた結果が、表 4.5.4.1、表 4.5.4.2 である。エッジスランプでは概ね 0.6～0.7 程度、オーバーフローでは 0.5～0.7 程度であった。スランプ、沈下度、フローテーブルを用いた締固め性・変形性試験の各項目から求めた最適かさ容積と大きく変わらない結果となった。スランプ、沈下度との相関が比較的認められることも加え、本試験法も施工性評価に利用できる可能性はあるものと考えられる。

表 4.5.4.1 エッジスランプから求めた最適かさ容積

骨材	目標 スランプ	回帰結果				最適 かさ容積
		a	b	c	r <sup>2</sup>	
A20	2.5	-206.7	298.4	-100.2	0.843	0.722
	6.5	51.3	-42.7	11.2	0.642	0.416
	10.5	338.1	-442.3	154.1	0.923	0.654
A40	2.5	-464.0	647.2	-219.9	0.998	0.697
	6.5	251.4	-338.6	121.2	0.940	0.673
	10.5	386.2	-501.5	170.5	0.997	0.649
LD20	2.5	-185.4	263.3	-88.8	0.575	0.710
	6.5	20.9	-14.0	7.6	0.986	0.333
	10.5	-224.6	314.5	-101.2	0.932	0.700
SC20	2.5	-437.0	637.5	-221.7	0.991	0.729
	6.5	326.5	-457.6	169.3	0.719	0.701
	10.5	320.8	-433.0	157.1	0.337	0.675
SD20	2.5	-36.1	53.3	-13.9	0.134	0.738
	6.5	-5.9	10.2	3.6	0.185	0.861
	10.5	914.2	-1154.0	376.2	0.842	0.631

表 4.5.4.2 オーバーフローから求めた最適かさ容積

骨材	目標 スランプ	回帰結果				最適 かさ容積
		a	b	c	r <sup>2</sup>	
A20	2.5	59.9	-79.6	-28.2	0.896	0.664
	6.5	-98.5	124.0	-28.2	0.469	0.629
	10.5	278.6	-333.9	112.1	0.974	0.599
A40	2.5	-23.8	26.2	1.5	0.387	0.552
	6.5	-167.5	247.2	-79.8	0.920	0.738
	10.5	-829.0	1163.0	-392.0	0.875	0.701
LD20	2.5	-107.6	167.6	-56.4	0.902	0.779
	6.5	95.7	-111.7	39.4	0.903	0.584
	10.5	443.5	-604.4	216.1	0.519	0.681
SC20	2.5	3.0	2.1	7.1	0.885	0.349
	6.5	221.7	-302.2	112.8	0.519	0.682
	10.5	-268.9	433.5	-153.4	0.866	0.806
SD20	2.5	-230.5	324.6	-104.1	0.982	0.704
	6.5	-302.2	424.6	-136.4	0.731	0.703
	10.5	-1343.0	1796.0	-578.5	0.932	0.669

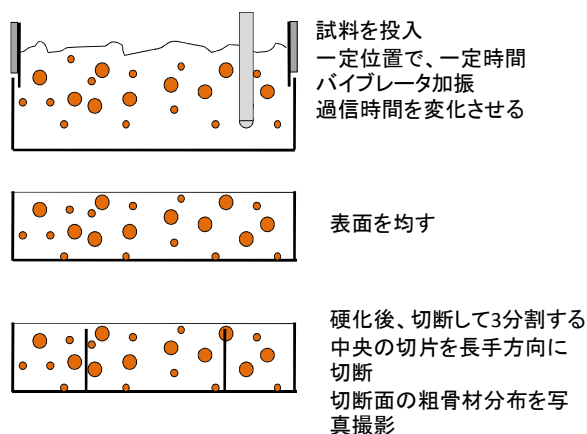


## 4.6 粗骨材分離試験

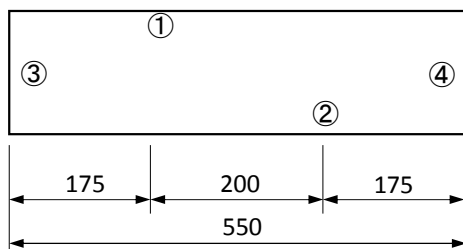
### 4.6.1 試験方法

試験の手順は、**図 4.6.1.1** のとおりである。

曲げ型枠 (150×150×550mm) に、締固め後、打設面が型枠上面よりわずかに高くなる量の試料を詰め、バイブレータで、1層で締め固める。バイブレータによる締固めの位置は、**図 4.6.1.2** の①～④の順番に4か所である。



**図 4.6.1.1 供試体作製手順**



**図 4.6.1.2 曲げ供試体の締固め位置**

締固め時間は、目標スランプによって**表 4.6.1.1** のように設定した。設定した時間は、曲げ供試体を2層で、バイブレータを4か所で作製したとき、各か所で気泡がほぼ出なくなった時間を測定し、その2倍を基準時間（締固め時間1）とした。基準時間に対して、ほぼ2倍ずつ長く3水準設定した。

硬化後に、供試体中央部を切断して、切断面を写真撮影し、粗骨材の分離状態を観察した (**図 4.6.1.1**)。

表 4.6.1.1 目標スランプと締固め時間(A40, かさ容積 0.62)

スランプ (cm)		締固め時間 (秒)		
目標	実測	1	2	3
2.5	0.8	10	20	30
6.5	3.2	8	15	30
10.5	7.1	5	10	20

#### 4.6.2 試験結果

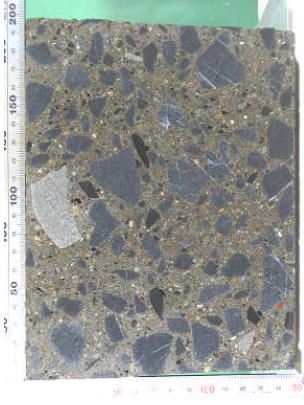
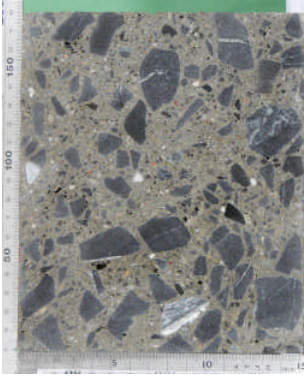
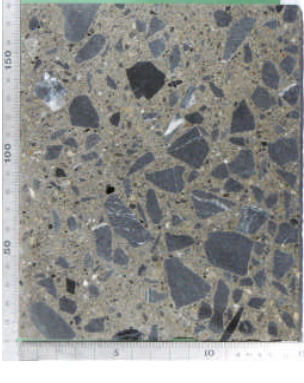
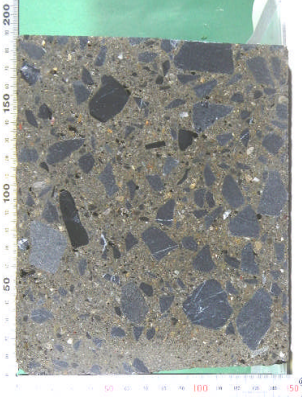
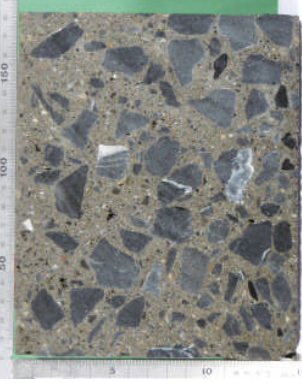
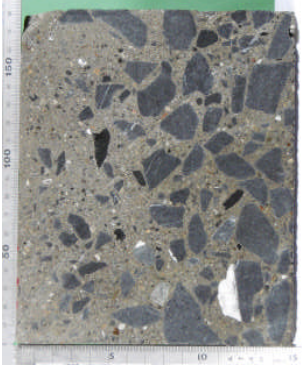
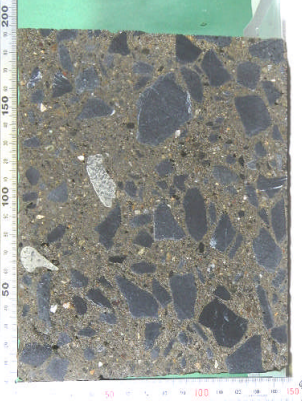
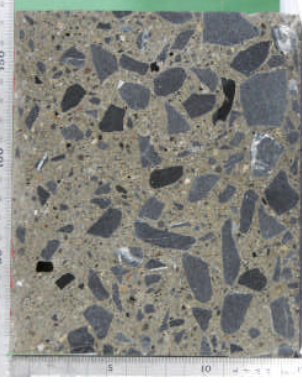
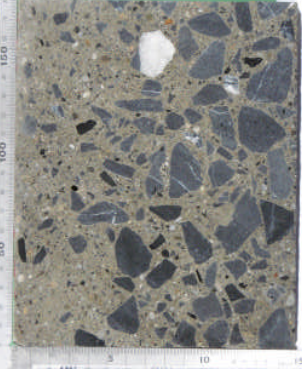
骨材分離状況の写真の一例を表 4.6.2.1 に示す。この結果から、分離状況を評価した。

表 4.6.2.1 の結果から、分離状況を表 4.6.2.2 のように評価した。○は打設面近くまで粗骨材がある、△は粗骨材が少ない、または小さい、×は粗骨材がほとんどない。

表 4.6.2.2 分離状況の評価の例(A40, かさ容積 0.62)

スランプ (cm)		締固め時間		
目標	実測	1	2	3
2.5	0.8	○	○	△
6.5	3.2	○	△	×
10.5	7.1	○	×	×

写真 4.6.2.1 骨材分離状況の写真(A40, かさ容積 0.62)

骨材	A40	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ 2.5, 6.5, 10.5cm)			0.62 (47.7, 46.5, 45.8%)
目標	縮固め時間				
スランプ	1		2		3
2.5cm					
6.5cm					
10.5cm					

### 4.6.3 分離状況の評価

表 4.6.2.2 のように評価した結果は、表 4.6.3.1～表 4.6.3.5 のとおりである。

A20, A40, LD, SC の 4 種類の骨材の場合、締固め時間 1 (基準時間) の場合、A40 のスランプ 14.2cm と、SC の 12.6cm が△になっているが、そのほかは○である。スランプ 10.5cm でも、過剰な締固めが行われなければ、十分な材料分離抵抗性を有している。

締固め時間 3 の場合、ほとんどは△ (薄い網掛け) または× (濃い網掛け) である。

締固め時間 2 の場合、10cm 以上でも○があったり、2.5cm 程度でも△であったり、評価はばらついている。粒径の大きな A40 と密度の大きな SD は 10.5cm で×であった。

かさ容積については、小さくなる ( $s/a$  が大きくなる) ほどスランプは小さくなっているため、明確な違いは認められない (かさ容積が小さく ( $s/a$  が大きく) ても良い、ということではない)。

SD は締固め時間 1 の 6.0cm 以上は△になっている。密度が他の骨材よりも大きいことから下方に沈下しやすく、対してモルタル分が上昇しやすいためと考えられる。前節 4.5 の図 4.5.4.5(左)からも、SD の目標スランプ 10.5cm は著しくエッジスランプが増大しており、同様の結果を示していることが分かる。このことから、密度の大きな骨材を舗装コンクリートに適用する場合は、例えばスランプを小さい値にするなど、制限が必要と考えられる。

表 4.6.3.1 分離状況の評価 (A20)

骨材		A20																	
		0.62					0.67					0.72					0.76		
かさ容積	縮固め時間	スランプ	1	2	3	スランプ	1	2	3	スランプ	1	2	3	スランプ	1	2	3		
		2.5	1.8	○	○	△	3.5	○	○	△	2.7	○	○	△	4.0	○	○	△	
		6.5	2.5	○	○	△	3.7	○	○	△	5.2	○	○	△	4.4	○	○	△	
		10.5	6.2	○	△	×	9.2	○	△	×	9.1	○	△	×	13.5	○	△	×	
目標	2.5																		
スランプ	6.5																		
SP	10.5																		

表 4.6.3.2 分離状況の評価 (A40)

骨材		A40																	
		0.62					0.67					0.72					0.76		
かさ容積	縮固め時間	スランプ	1	2	3	スランプ	1	2	3	スランプ	1	2	3	スランプ	1	2	3		
		2.5	0.8	○	○	△	1.4	○	○	△	3.3	○	○	△	2.6	○	△	×	
		6.5	3.2	○	△	×	5.6	○	△	×	5.6	○	△	×	7.4	○	×	×	
		10.5	7.1	○	×	×	10.1	○	×	×	10.7	○	×	×	14.2	△	×	×	
目標	2.5																		
スランプ	6.5																		
SP	10.5																		

表 4.6.3.3 分離状況の評価(LD)

骨材		LD																	
		0.62					0.67					0.72					0.76		
かさ容積		スラング	1	2	3	スラング	1	2	3	スラング	1	2	3	スラング	1	2	3		
目標 スラング	2.5	0.6	○	○	△	1.5	○	○	△	2.4	○	○	△	2.7	○	△	△		
	6.5	2.5	○	○	△	5.3	○	○	△	6.2	○	○	×	6.5	○	△	△		
	10.5	6.6	○	△	×	9.6	○	△	×	9.0	○	○	×	9.9	○	△	×		
目標	2.5																		
スラング	6.5																		
	10.5																		
スラング	2.4																		
SP	5.7																		
	12.3																		

表 4.6.3.4 分離状況の評価(SC)

骨材		SC																	
		0.62					0.67					0.72					0.76		
かさ容積		スラング	1	2	3	スラング	1	2	3	スラング	1	2	3	スラング	1	2	3		
目標 スラング	2.5	1.7	○	○	○	2.4	○	○	○	2.7	○	○	○	2.7	○	○	○		
	6.5	4.7	○	○	○	5.4	○	○	△	5.2	○	○	△	4.8	○	○	△		
	10.5	10.6	○	○	△	14.8	○	○	△	10.2	○	△	×	12.6	△	△	×		
目標	2.5																		
スラング	6.5																		
	10.5																		
スラング	2.7																		
SP	7.8																		
	10.6																		



## 4.7 ダレ試験

舗装は、必ず横断勾配や片勾配、縦断勾配といった勾配が設けられる。そのため、舗装コンクリートは施工条件の勾配に対してダレない必要がある。コンクリート舗装の適用性を上げるためには、通常2.5cm（人力施工では6.5cm）を基本とすることが規定されているコンシステンシーの規制緩和も必要となってくるが、特に軟らかいコンクリートについてもダレに対する抵抗性が確保されていなければならないため、ダレ性について検討を行なった。

### 4.7.1 試験方法

ダレ試験を行なった供試体は、4.6で作製した供試体のうち、締固め時間1の供試体を使った。コンクリート充填から1時間後に、型枠上面で表面を仕上げる。この供試体を2体ずつ作製する。

供試体の片側を高くして傾斜をつける（図4.7.1.1）。傾斜角度は、1体は4度、もう1体は8度である。傾斜角度4度は勾配7%、8度は14%に相当し、道路構造令による最大勾配12%を網羅している。

硬化後に打設面の高さを図4.7.1.2のように測定し、ダレ角度を求めた。

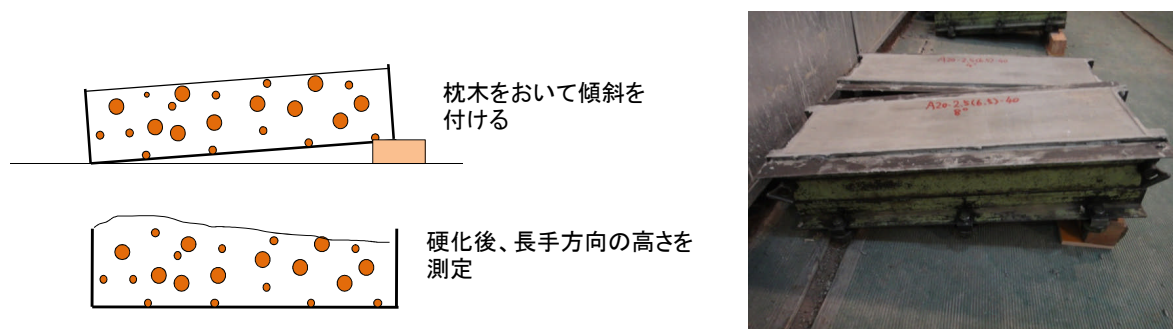


図 4.7.1.1 ダレの測定方法

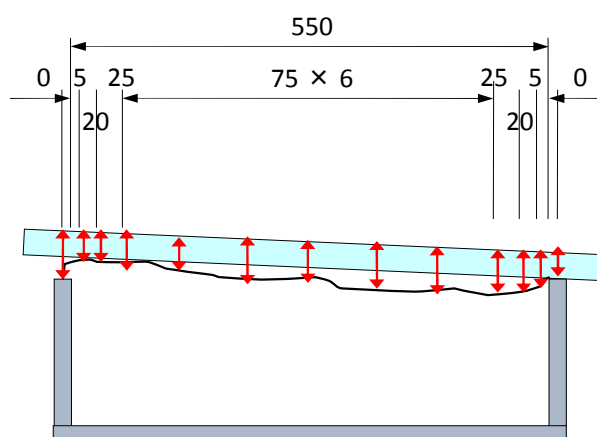


図 4.7.1.2 ダレの測定方法(単位:mm)

### 4.7.2 ダレ試験結果

ダレ試験結果の一例を表4.7.2.1に示す。距離0は、傾斜角度になるように高くした側である。



表 4.7.2.1 の結果をプロットすると図 4.7.2.1 のようになる。左側は高くしているの、打設面は型枠面より低下している、右側は逆に高くなっていることを示している。型枠の両端面近くは打設面の低下、盛り上がりの変化途中であることから、両端面から 50mm 内側のデータを回帰して、その傾き (0.0014) から打設面の傾斜角度に対するダレ角度 (0.08 度) を求めた。

ダレ角度は、表 4.7.2.2 のとおりである。

表 4.7.2.1 ダレ試験結果(骨材 A20, かさ容積 0.62, 目標スランプ 2.5cm)

締固め時間 t1 (秒)	傾斜 角度	距離 (mm)													
		0	5	25	50	125	200	275	350	425	500	525	545	550	
10	4度	35.2	35.8	36.0	35.5	35.8	35.4	35.6	35.4	35.4	34.8	34.9	35.4	35.2	
	8度	35.4	35.9	36.0	35.6	35.0	35.0	35.0	35.4	35.8	35.0	35.1	34.8	35.3	

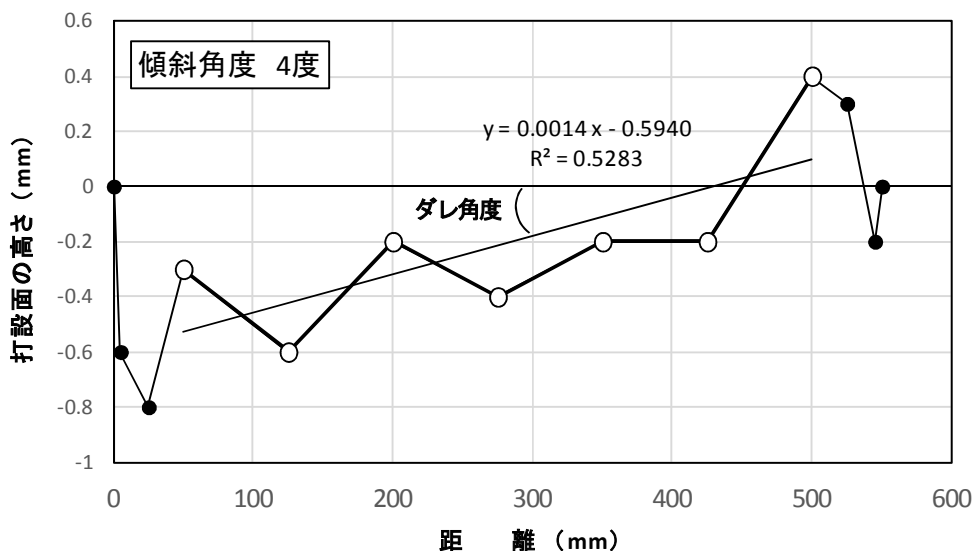


図 4.7.2.1 ダレ角度の求め方

表 4.7.2.2 ダレ角度

目標 スランプ	締固め 時間	骨材 かさ容積	A20		A40		LD		SC		SD	
			傾斜角度		傾斜角度		傾斜角度		傾斜角度		傾斜角度	
			4度	8度	4度	8度	4度	8度	4度	8度	4度	8度
2.5	10秒	0.62	0.08	-0.02	0.10	0.21	0.13	0.11	0.28	0.55	0.21	0.03
		0.67	0.06	0.04	0.11	0.01	0.18	0.20	0.12	0.29	-0.03	-0.01
		0.72	-0.09	0.06	0.11	0.29	0.25	0.30	0.41	0.38	0.07	-0.05
		0.76	0.09	-0.02	0.32	0.24	0.15	0.18	0.18	0.40	0.08	0.03
6.5	8秒	0.62	0.22	0.41	0.23	0.01	-0.03	0.46	0.31	0.55	0.14	0.26
		0.67	0.49	0.33	-0.03	0.22	0.15	0.23	0.78	0.50	0.21	-0.09
		0.72	0.32	0.06	0.06	0.20	0.39	0.33	0.36	0.38	0.14	0.14
		0.76	-0.02	-0.01	0.17	0.07	0.22	0.22	0.15	0.33	0.25	0.00
10.5	5秒	0.62	0.25	0.61	0.03	0.05	0.28	0.10	0.05	0.14	-0.04	0.04
		0.67	0.23	0.42	0.23	0.87	0.06	0.14	0.09	0.11	-0.17	0.01
		0.72	0.34	0.17	0.01	0.11	0.34	-0.05	-0.05	0.28	-0.11	-0.01
		0.76	-0.10	0.11	0.13	-0.11	0.07	0.23	0.09	0.01	-0.06	0.08
SP6.5	8秒	0.72	-0.02	-0.03	-0.01	0.26	0.06	0.35	0.17	0.34	-0.06	-0.03
SP10.5	5秒	0.72	0.18	0.33	0.23	0.31	0.06	0.06	0.06	-0.05	0.04	-0.09

### 4.7.3 ダレ角度

粗骨材，かさ容積ごとのダレ角度の結果は，**図 4.7.3.1**，**図 4.7.3.2** のとおりである。粗骨材の種類ごとに4点ずつであり，かさ容積 0.62，0.67，0.72，0.76 の順に示してある。21～25 番は SP 剤を使用した場合である。また，**図 4.7.3.3** は，目標スランプごとのダレ角度である。

概ね，傾斜角度 4 度と 8 度のダレ角度に顕著な差は認められなかった。

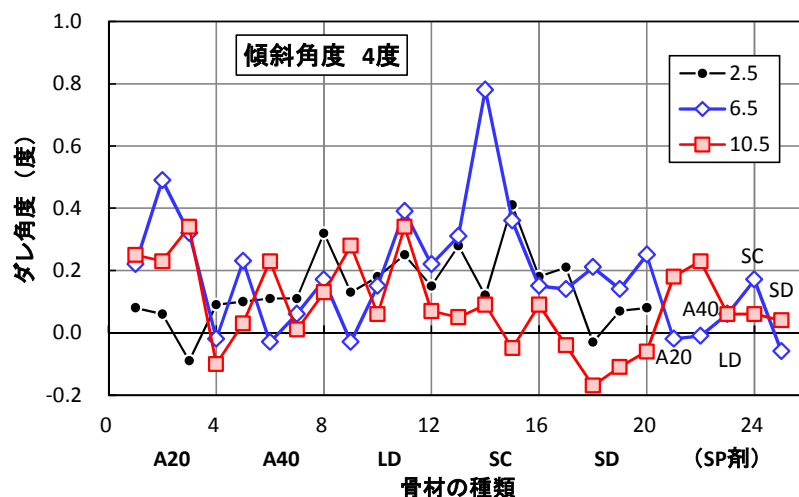


図 4.7.3.1 ダレ角度(傾斜角度 4 度)

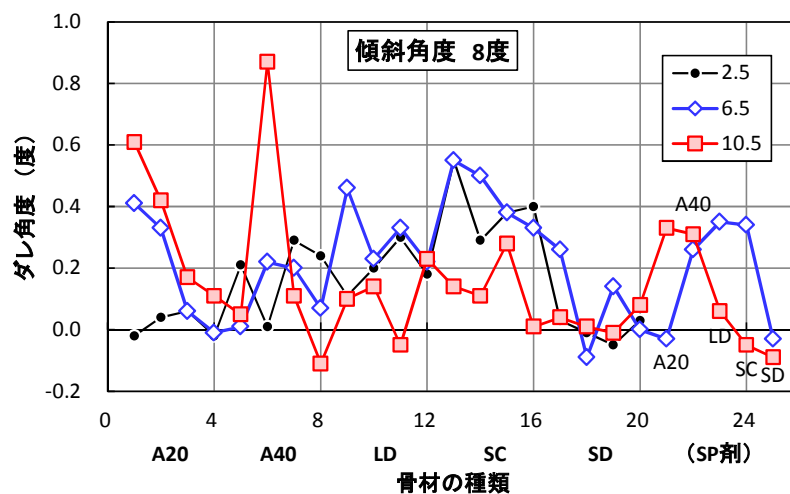


図 4.7.3.2 ダレ角度(傾斜角度 8 度)

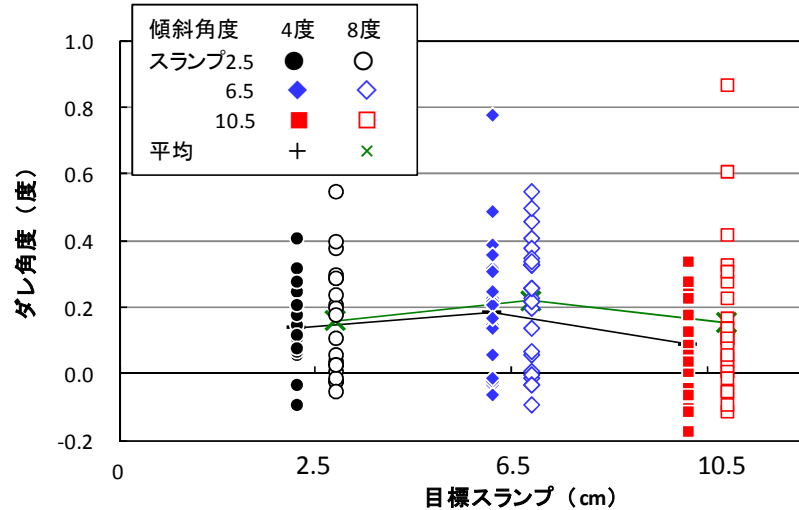


図 4.7.3 目標スランプごとのダレ角度

スランプの実測値とダレ角度の結果は、図 4.7.3 のとおりである。

今回の実験の範囲では目立った変化が見られなかった。回帰直線を引くと、8度の方がわずかだが4度よりもダレ角度が大きい。

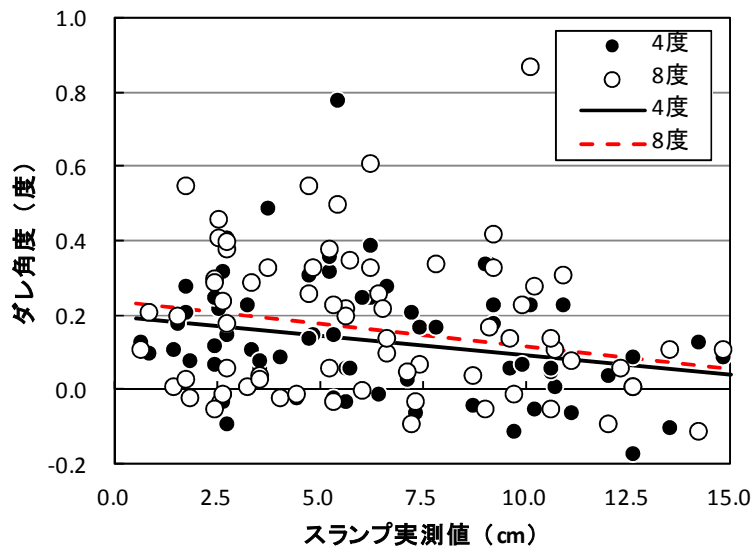


図 4.7.4 スランプの実測値とダレ角度の関係

#### 4.7.4 かさ容積とダレ角度の関係

図 4.7.4.1～図 4.7.4.4 に、かさ容積ごとにスランプとダレ角度の関係を示す。

かさ容積ごとに、ダレ角度の平均値と標準偏差を求めた結果が図 4.7.4.5 である。かさ容積が大きいほど（細骨材率  $s/a$  が少ないほど）ダレ角度は小さくなる傾向がある。ただし、かさ容積 0.62 も低下している。これは、図 4.3.1～図 4.3.5 のとおり、ここではかさ容積 0.72 の時目標スランプになるように単位水量を決定しており、0.62 の時スランプは小さくなり、変形抵抗性が高かったためと考えられる。

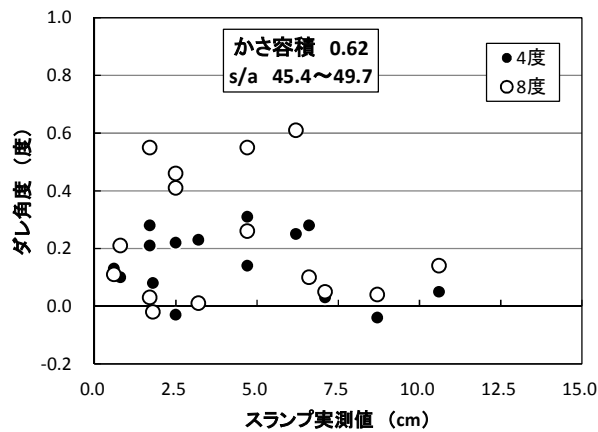


図 4.7.4.1 かさ容積(0.62)とダレ角度の関係

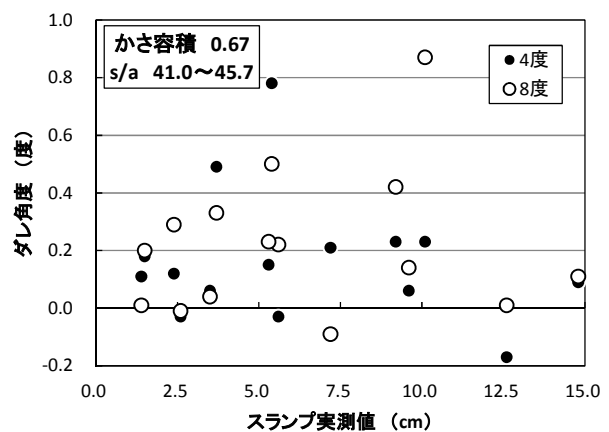


図 4.7.4.2 かさ容積(0.67)とダレ角度の関係

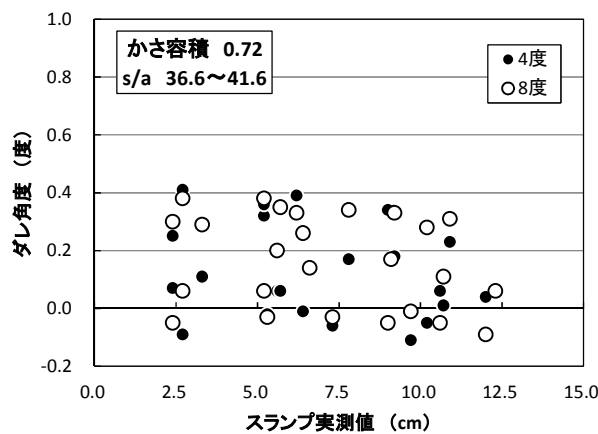


図 4.7.4.3 かさ容積(0.72)とダレ角度の関係

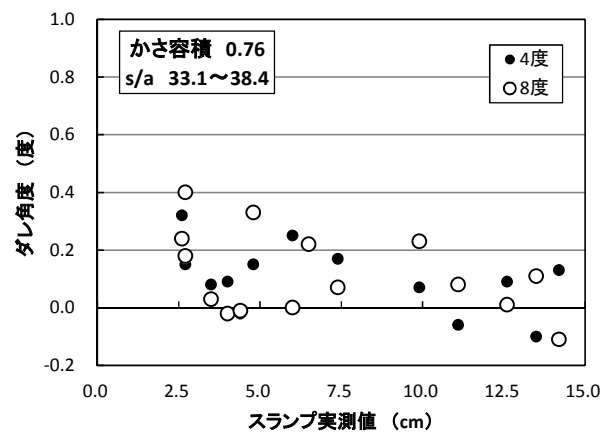


図 4.7.4.4 かさ容積(0.76)とダレ角度の関係

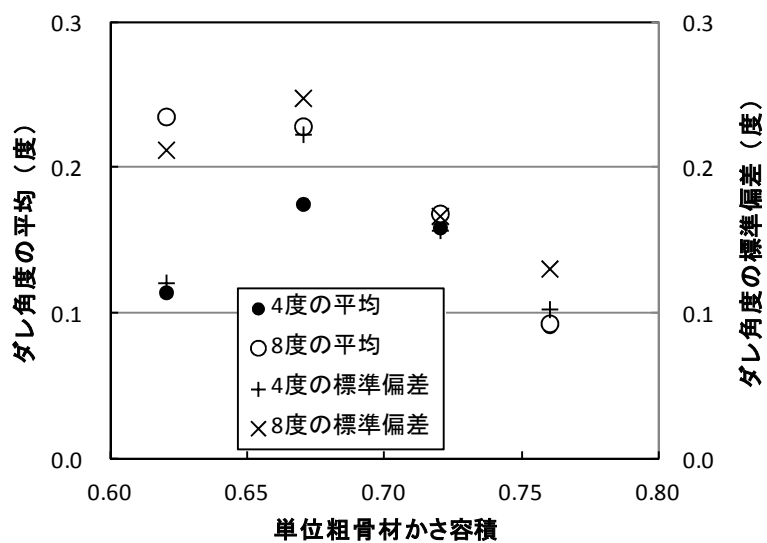


図 4.7.4.5 かさ容積とダレ角度の平均値, 標準偏差の関係

## 4.8 まとめ

ロット2の5種類の粗骨材について、スランプやかさ容積を変化させた場合の振動台式コンシステンシー試験、フローテーブルを用いた締固め性・変形性試験、箱形型枠を用いた変形性試験、粗骨材分離試験、ダレ試験からなる各種施工性試験を実施した。その結果、次のことが明らかになった。

### (1) フローテーブルを用いた締固め性・変形性試験

- ・打撃80回の締固め率、締固め率100%時の打撃回数、水平方向への広がり易さは、スランプ・沈下度とやや相関があり、また、これらから求めた最適かさ容積はスランプ・沈下度から求めた最適かさ容積とほぼ同等の値となったことから、締固めエネルギーを受けた状態の施工性評価や最適かさ容積の算出等として利用できる可能性がある。
- ・崩れた回数は、スランプ・沈下度との相関が低く、施工性を表す指標としてはあまり利用できないものと考えられる。

### (2) 箱形型枠を用いた変形性試験

- ・エッジスランプとオーバーフローは、スランプ・沈下度とやや相関があり、また、これらから求めた最適かさ容積はスランプ・沈下度から求めた最適かさ容積とほぼ同等の値となったことから、施工性評価や最適かさ容積の算出等として使用できる可能性がある。
- ・骨材分離が生じる試料の場合、エッジスランプは大きな値を示すことがあるため、粗骨材分離の傾向を確認することも可能である。
- ・エッジスランプは増加傾向を示しても、オーバーフローは示さない場合が確認され、細かなコンシステンシー評価ができる可能性がある。

### (3) 粗骨材分離試験

- ・目標スランプが大きく締固め時間が長くなるほど骨材分離を起こしやすい結果が確認された。特に、最大粒径が大きなA40と密度の大きなSD20は、留意する必要がある。

### (4) ダレ試験

- ・今回は傾斜角度4度と8度の2とおりでダレ性を評価したが、4度よりも8度の方がダレ角度は大きいですが、その差は小さい。
- ・今回の実験の範囲では、スランプを変化させてもダレ角度には目立った変化が認められなかった。
- ・かさ容積が大きい程（細骨材率 $s/a$ が小さい程）、ダレ角度が小さくなる傾向を示した。

## 【参考文献】

- 1) 舗装施工便覧、社団法人日本道路協会、p137、2006
- 2) 佐藤・鎌田・坂本：舗装用スリップフォームコンクリートの施工性を考慮したフレッシュ性状評価に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.33、No.1、pp.1253～1258、2011
- 3) 鈴木、塚本、坂本他：舗装用スリップフォーム工法コンクリートの自立性、脱型性を評価する品質管理手法について、第18回舗装技術に関する懸賞論文集、pp.29～35、2013

## 5. 舗装コンクリートのすり減り実験

### 5.1 実験目的および試験方法

コンクリートのすり減り抵抗性に関する実験は、舗装・調査試験法便覧<sup>1)</sup>に準じて、ラベリング試験（回転スパイクチェーン型）で行なった。表 5.1.1 に示す条件で実施した。供試体の形状は、台形（上底：21cm、下底：32cm、高さ：20cm）とし、その厚さを 5.0cm とした。供試体は、試験開始時まで水中（20℃）養生を行い試験に供した。コンクリートのすり減り量は、レーザー変位計で測定した供試体 3 断面の摩耗深さから算出した。

ラベリング試験は材齢 28 日以後に試験を開始した。試験開始時に、同じ養生をしていた円柱供試体（φ125×250mm）の圧縮強度試験も行なった。

試験の組合せは、表 5.1.2 のように 2 グループに分けて実施した。粗骨材は、砂岩 A20、石灰石 LD、高炉スラグ SC の 3 種類について、かさ容積 0.62、0.67、0.72 の 3 水準とした。

試験の組合せを I シリーズと II シリーズに分けたのは、2 報の検討で、すり減り抵抗性の大きい骨材（砂岩）と小さい骨材（高炉スラグ）を組み合わせて試験すると、すり減り抵抗性の小さい骨材のラベリング試験結果も小さくなる傾向がみられたことから、この点を確認するためにこのような組合せとし、供試体の並べ方も 2 報と同様に、すり減り抵抗性の大きいものと小さいものを交互に設置した。

表 5.1.1 ラベリング試験条件

プレロード および ラベリング	試験環境	試験温度	20 ℃	—	—
	テーブル	速度	20 km/h	供試体個数	12 個
	タイヤ	種類	145/80 R13	空気圧	157 kPa
		速度	20 km/h	キャンバー角	1.5 度
		シフト幅	±20 mm	シフト速度	20 mm/min
荷 重	輪荷重	1.47 kN	—	—	
ラベリング	スパイク チェーン	ピン数	54 本	散水量	2 L/min

表 5.1.2 ラベリング試験の組合せ

試験の組合せ	粗骨材	かさ容積			備考
		0.62	0.67	0.72	
I シリーズ	A20、SC	○	○	○	供試体を交互に 設置
II シリーズ	LD、SC	○	○	○	

### 5.2 コンクリートの配合、フレッシュ性状、圧縮強度

すり減り試験に用いたコンクリートの配合は、表 5.2.1 のとおりである。

練り上がり直後のスランプ、空気量、すり減り試験開始時の圧縮強度は、表 5.2.2 のとおりである。

表 5.2.1 コンクリートの配合

シリーズ	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	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	AE 剤 (100 倍)
I	A20	6.5	4.5	49.2	0.62	47.5	148	301	866	999	4.36	1.43
					0.67	43.3			789	1079	3.91	1.65
					0.72	39.0			712	1160	3.01	1.65
	SC20			47.8	0.62	49.0	160	335	865	934	3.35	1.42
					0.67	44.9			792	1010	3.35	1.59
					0.72	40.8			719	1085	3.35	1.76
II	SC20	6.5	4.5	47.8	0.62	49.0	160	335	865	934	3.35	1.00
					0.67	44.9			792	1010	3.18	1.42
					0.72	40.8			719	1085	3.35	1.59
	LD20			50.9	0.62	49.3	145	285	909	985	3.70	0.57
					0.67	45.2			834	1064	2.85	0.71
					0.72	41.1			758	1143	2.85	1.00

表 5.2.2 フレッシュ性状および圧縮強度

シリーズ	骨材の種類	かさ容積	フレッシュ性状結果		圧縮強度 (MPa)
			スランプ (cm)	空気量 (%)	
I 粗骨材 の種類	A20	0.62	5.2	4.7	46.3
		0.67	6.4	4.6	45.3
		0.72	4.3	3.5	44.2
	SC20	0.62	6.7	5.0	44.0
		0.67	7.3	5.3	44.1
		0.72	6.7	5.2	46.3
II かさ容積	SC20	0.62	5.4	4.6	48.1
		0.67	6.7	5.5	44.3
		0.72	5.9	4.5	43.6
	LD20	0.62	2.7	4.2	44.0
		0.67	4.7	4.1	41.7
		0.72	7.0	5.2	40.6

### 5.3 すり減り試験結果

ラベリング試験結果を図 5.3.1 および図 5.3.2 に示す。I シリーズの試験結果から、すり減り抵抗性の大きい A20 のすり減り量は、抵抗性の小さい SC より小さかった。II シリーズより、LD と SC はほぼ同じであった。また、かさ容積の影響は小さい。

図 5.3.1 および図 5.3.2 の結果は、走行回数 1 万回程度までの傾きはそれ以降よりも大きく、すり減り速度が速いことを示している。これは、表層のモルタル部分のすり減りに起因しているものと考えられることから、第 2 報と同様、以後の検討は (5 万回のすり減り量-1 万回のすり減り量) で検討した。

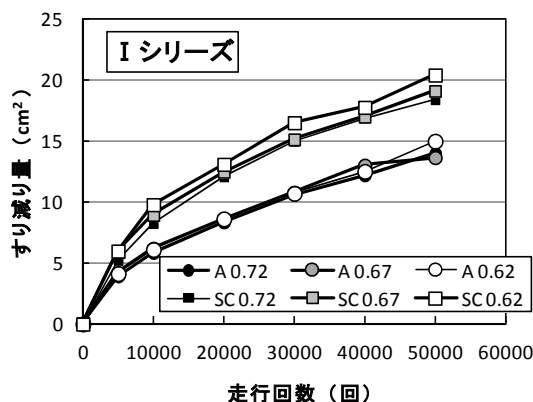


図 5.3.1 ラベリング試験結果(シリーズ I)

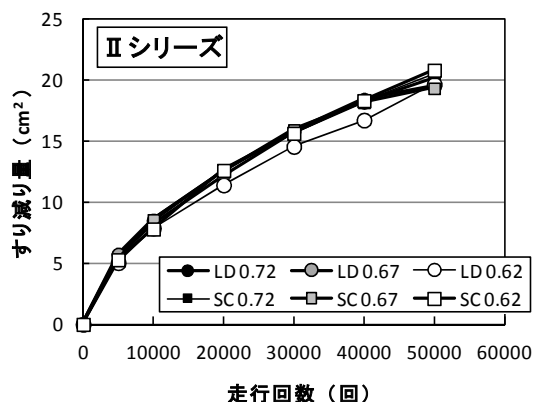


図 5.3.2 ラベリング試験結果(シリーズ II)

### 5.4 SC の I シリーズと II シリーズの比較

かさ容積の影響は小さいことから、粗骨材ごとにかさ容積 3 水準のすり減り量について、走行回数 1 万回、5 万回、(5 万-1 万) 回のそれぞれ平均した結果を図 5.4.1 に示す。

I シリーズと II シリーズの SC のすり減り量は、図 5.4.1 のように II シリーズは、5 万回走行の場合、I シリーズの 1.05 倍であったが、(5 万-1 万) 回の場合は 1.16 倍大きくなっており、すり減り抵抗性の異なる供試体を組合せて試験する場合、結果に及ぼす影響は大きい。

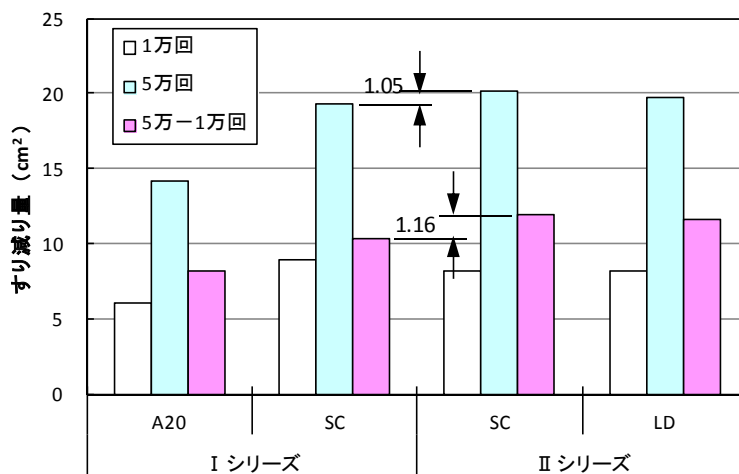


図 5.4.1 SC の I シリーズと II シリーズの比較



粗骨材のすりへり抵抗性が大きく異なるコンクリートを同時に試験する場合には、供試体の組合せ、並べ方などに注意する必要がある。また、以下の検討では、SCはIIシリーズの結果を用いる。

## 5.5 粗骨材のすりへり減量、破砕値とコンクリートのすり減り量の関係

図5.5.1に粗骨材（ロット2）のすりへり減量（●）または破砕値（○）とコンクリートのすり減り量の関係を示す。図中には、2報（ロット1）の結果も示す。すりへり減量は+と実線の回帰結果であり、破砕値は×と破線の回帰結果である。

ロット1、ロット2ともほぼ同様の結果であり、粗骨材のすりへり減量または破砕値と、コンクリートのすり減り量の相関関係は高い。

3章の図3.1.4.1の粗骨材のすりへり減量と破砕値の相関関係だけでなく、粗骨材の破砕値とコンクリートのすり減り量の関係も良好であったことから、JISA 1121のロサンゼルス試験機によるすりへり減量の代替としてBS 812の破砕値を適用できる可能性がある。

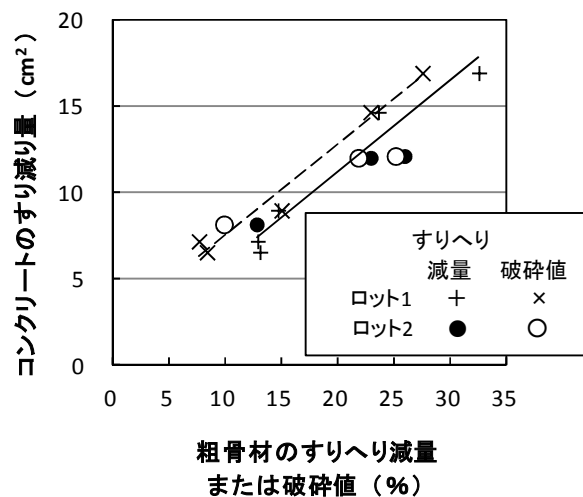


図 5.5.1 粗骨材のすりへり減量または破砕値とコンクリートのすり減り量の関係

## 5.6 かさ容積とすり減り量の関係

図5.6.1にかさ容積とすり減り量の関係を示す。

コンクリートのすり減り量に明確な差は認められなかったが、かさ容積が大きくなるとすり減り量が若干小さくなる傾向が見られた。表5.2.2の圧縮強度の結果は、かさ容積が大きいほどわずかに強度が小さい結果になっており、多少影響しているのかもしれない。

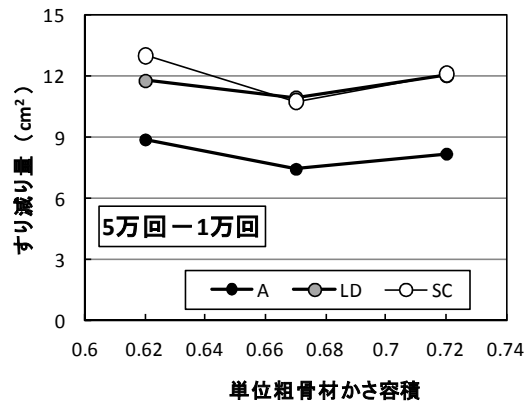


図 5.6.1 かさ容積とすり減り量の関係

## 5.7 すり減り試験のまとめ

砂岩、石灰石、高炉スラグの3種類の粗骨材について、かさ容積を変化させた場合のすり減り試験を実施した。また、すり減り抵抗性の異なる骨材の組合せによるすり減り試験を実施した。

その結果、かさ容積の影響は明確には得られなかった。すり減り抵抗性の異なる骨材の組合せは、すり減り抵抗性の小さい骨材の結果に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。

2報の結果と併せ、粗骨材のすりへり抵抗性を評価する試験は、JIS A 1121 のロサンゼルス試験機によるすりへり試験の代替として BS 812 の破碎値試験を適用できる可能性が高いことが明らかになった。

### 【参考文献】

- 1) (公社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧第3分冊，pp.17-38，2007.6

## 6. 舗装コンクリートのすべり実験

### 6.1 実験目的

コンクリート舗装の表面は、車両が直接走行するため、走行の安全性を確保するためにすべり抵抗性は極めて重要である。そのため、粗骨材の種類、使用量（かさ容積）がすべり抵抗性に及ぼす影響について実験した。

実験は、表 6.1.1 のとおり、ロット 1 の粗骨材 6 種類（かさ容積一定）と、ロット 2 の粗骨材 3 種類でかさ容積を 2 水準とした、2 回の実験を行なった。

表 6.1.1 すべり試験

実験	粗骨材の種類		かさ容積	スランプ
粗骨材の種類	ロット 1	A20、A40、G40、 LC、SC、SD	0.72	5cm
かさ容積	ロット 2	A20、LD、SC	0.72 0.62	6.5cm

### 6.2 コンクリートの配合、フレッシュ性状、圧縮強度

すべり試験に用いたコンクリートの配合は、表 6.2.1 のとおりである。

練り上がり直後のスランプ、空気量、すべり試験開始時の圧縮強度は、表 6.2.2 のとおりである。

表 6.2.1 コンクリートの配合

実験	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	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	AE 剤 (100 倍)
粗骨材の種類	A20	5.0	4.5	49.2	0.72	39.6	145	295	728	1158	3.24	1.33
	A40			47.3		40.4	135	285	756	1166	3.66	0.86
	G40			38.4		37.7	128	333	698	1185	5.33	2.67
	LC20			51.2		42.1	145	283	779	1126	2.27	0.85
	SC20			47.8		40.6	160	335	717	1079	1.67	1.34
	SD20			48.4		40.9	160	331	725	1522	1.32	0.99
かさ容積	A20	5.0	4.5	49.2	0.72	47.5	148	301	866	999	4.51	1.50
					0.62	39.0			712	1160	3.31	1.88
	LD20			50.9	0.72	49.3	145	285	909	985	4.27	0.64
					0.62	41.1			758	1143	2.85	0.85
	SC20			47.8	0.72	49.0	160	335	865	934	3.35	1.09
					0.62	40.8			719	1085	3.35	1.59

表 6.2.2 フレッシュ性状および圧縮強度

実験	骨材の種類	かさ容積	フレッシュ性状結果		圧縮強度 (MPa)
			スランプ (cm)	空気量 (%)	
粗骨材 の 種類	A20	0.72	7.5	3.8	55.2
	A40		4.5	3.9	57.6
	G40		3.3	3.0	68.9
	LC20		5.5	5.0	51.1
	SC20		6.4	4.5	49.6
	SD20		6.8	5.1	54.0
かさ容積	A20	0.72	7.4	5.5	48.9
		0.62	6.6	4.5	48.7
	LD20	0.72	4.2	3.6	46.2
		0.62	6.1	4.0	49.9
	SC20	0.72	4.8	4.1	47.8
		0.62	6.1	4.0	50.4

### 6.3 骨材種類に関する実験

#### 6.3.1 実験方法

すべり試験は、5章のラベリング試験<sup>1)</sup>と同じ装置、同じ大きさの供試体を用いて実施した。試験条件は、表 5.1.1 のスパイクチェーンを用いていないこと以外は同じである。

骨材種類の実験は、図 6.3.1.1 の手順で行なった。すべり抵抗の測定には、振り子式スキッドレジスタンス テスタ (British Pendulum Tester) を用いた<sup>2)</sup>。得られる値は BPN (British Pendulum Number) である。

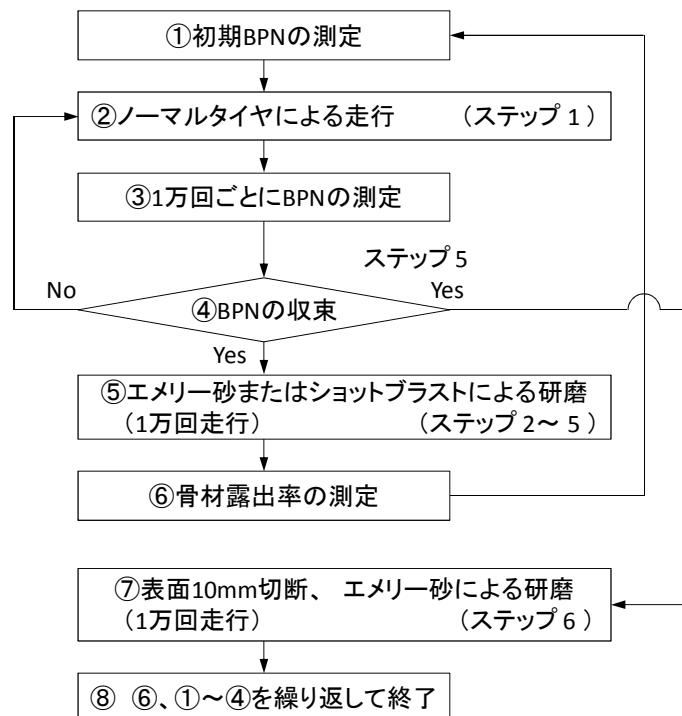


図 6.3.1.1 すべり試験の手順

実験の手順は、次のとおりである。

- ① こて仕上げ面の BPN を測定する。
- ② ラベリング試験装置でノーマルタイヤを走行させる（ステップ 1）。
- ③ 1 万回ごとに BPN を測定する。
- ④ BPN が収束するまで②、③を繰り返す。
- ⑤ エメリー砂を散布しながら 1 万回走行させ（ステップ 2）、表面を研磨する。
- ⑥ 研磨した表面を写真撮影し、色の違いによって骨材を検出して面積を測定し、骨材露出率を求める。
- ⑦ エメリー砂による研磨を 3 回行った後（ステップ 2～4）、ショットブラストによって研磨する。その後、エメリー砂によってショットブラストによる大きい凹凸を研磨し、⑥の骨材露出率、①の初期 BPN を測定し、②～④を繰り返す（ステップ 5）。
- ⑧ ステップ 5 の BPN 収束後、表面から深さ 10mm を切断する。
- ⑨ ⑦の骨材露出率、①の初期 BPN を測定した後、②～④を繰り返す（ステップ 6）。

### 6.3.2 実験結果

走行回数ごとの BPN 測定結果を図 6.3.2.1 に示す。

打設面にノーマルタイヤを走行させると（ステップ 1）、すり磨きにより BPN は 70 程度から 30 程度に急激に低下した。

エメリー砂による研磨（ステップ 2）によって BPN は回復、あるいは初期の値よりわずかに増加した（70～75）。その後の走行による低下は、打設面の時ほどではなく、10 程度の低下（65 程度）で収束した。

エメリー砂による研磨と走行を 3 回繰り返した（ステップ 2～4）が、ほぼ同様の結果であり、60 は確保できている。

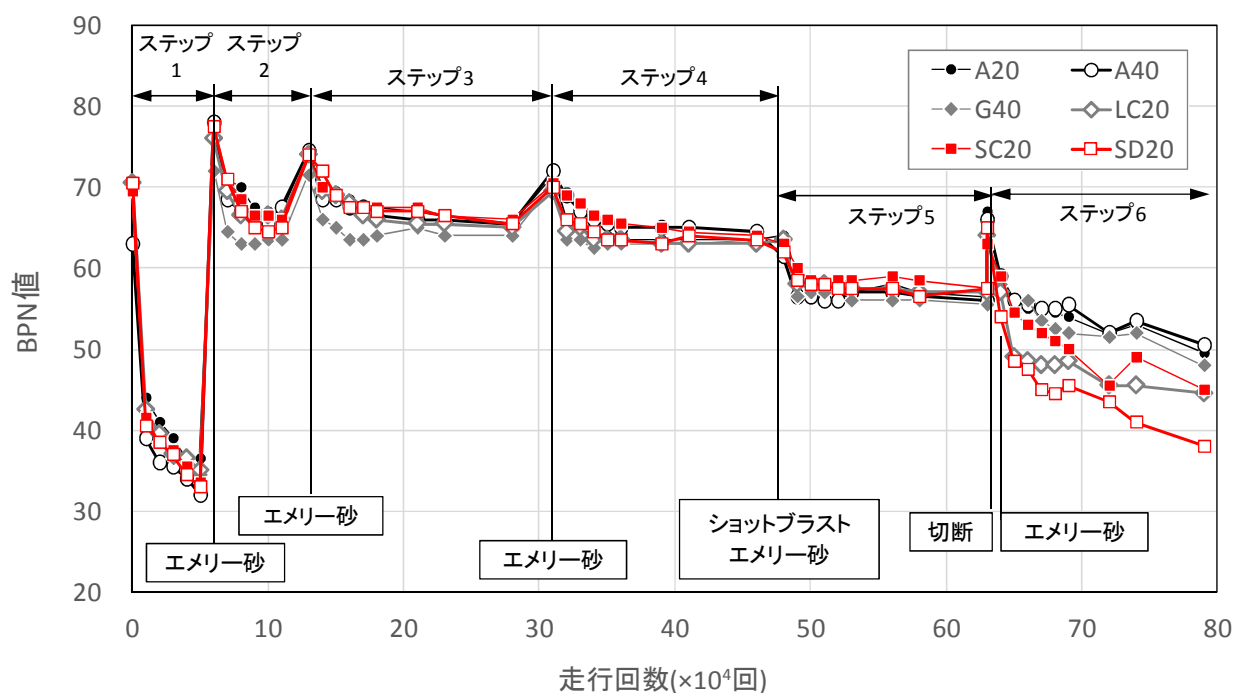


図 6.3.2.1 走行回数と BPN の測定結果

次に、ショットブラスト、エメリー砂による研磨を行い（ステップ 5）、同様の測定を行なった。エメリー砂による研磨直後の BPN はほとんど変化がなく 65 程度であった。ノーマルタイヤの走行により 55～60 程度に低下した。

3.3 節の PSV 試験の結果は、石灰石は小さいが、スラグ骨材は硬質砂岩に近い値であったこと、ステップ 5 までは骨材の露出が小さいことから、ステップ 5 までは主にモルタルが影響しており、粗骨材による違いが明確には得られなかったものと考えられる。

10mm 切断後（ステップ 6）、65 程度まで回復しているが、エメリー砂による研磨後は 55～60 程度に低下した。その後のノーマルタイヤによる 15 万回走行によって 40～50 程度に低下しており、粗骨材の種類によって結果が異なっている。しかし、PSV 試験の結果とも異なっており、必ずしも粗骨材の影響とは限らないものと考えられる。ステップ 6 で粗骨材の種類によって結果が異なった原因は明確ではないが、表面を指触した結果、すりへり減量または破砕値の大きい骨材（石灰石 LD、スラグ SC）は骨材部分がわずかにへこんでおり、小さい骨材（硬質砂岩 A、スラグ SD）はモルタルがへこんでいるようであり、モルタルと骨材の段差に伴う物理的な効果の影響などが考えられ、今回のすべり実験では、粗骨材の種類による明確な影響は見いだせなかった。

### 6.3.3 骨材露出率と BPN の初期値および収束値

骨材露出率と BPN の初期値、収束値の関係は図 6.3.3.1 のとおりである。骨材露出率が大きくなるほど BPN は低下する傾向がある。また、初期値（エメリー砂などによって表面を研磨した直後）に対して収束値は 10 程度低下している。

次に、図 6.3.3.1 を骨材種類ごとに示すと図 6.3.3.2（初期値）、図 6.3.3.3（収束値）のようになる。粗骨材ごとの回帰式 ( $y = a \cdot x + b$ ) および決定係数  $r^2$  を表 6.3.3.1 に示す。

図 6.3.3.2、図 6.3.3.3 と表 6.3.3.1 より、粗骨材ごとに骨材露出率と BPN は非常に良い相関関係があり、今回の試験方法では骨材露出率が大きくなるほど BPN は低下する傾向があった。

粗骨材ごとでは、初期値は砂利 G を除き、大きな違いはない。収束値も骨材露出率が 50～60% のとき（ステップ 6）以外は大きな違いはない。

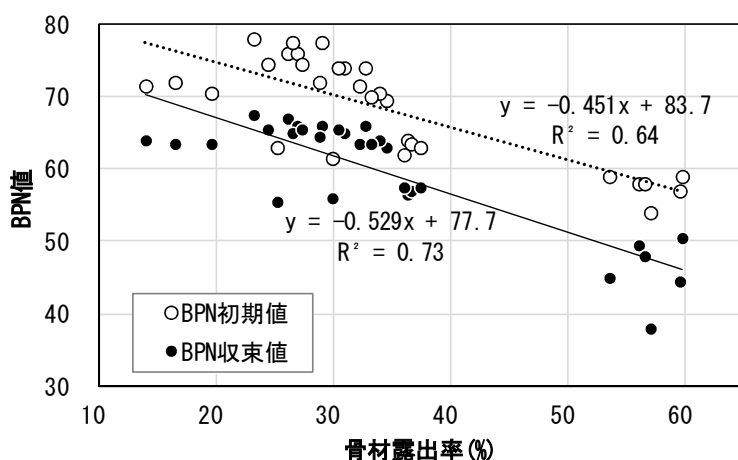


図 6.3.3.1 骨材露出率と BPN の関係

なお、砂利 G とそのほかの骨材では多少違う傾向を示しており、骨材露出率が小さいとき G の BPN がやや小さい傾向を示したのは、砂利の表面が滑らかなため、わずかに表面のモルタルが削られることによって、滑らかな表面が露出してすべりやすくなったものと考えられる。

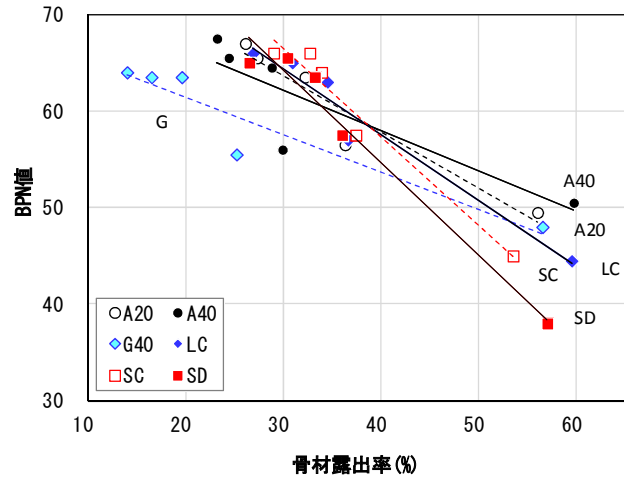
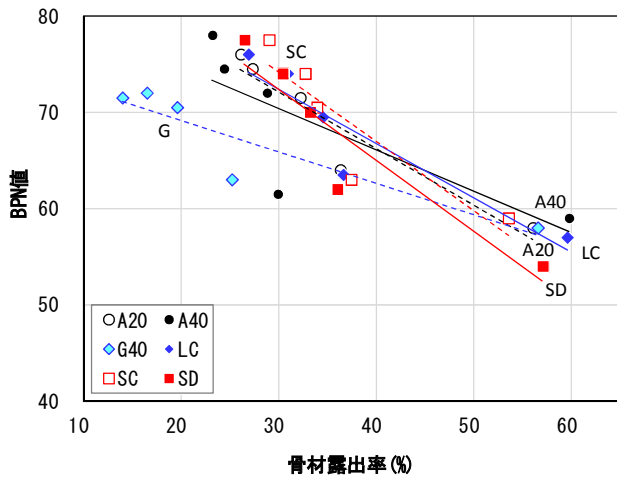


図 6.3.3.2 骨材露出率と BPN の関係(骨材別、初期値)

図 6.3.3.3 骨材露出率と BPN の関係(骨材別、収束値)

表 6.3.3.1 骨材露出率と BPN の関係

粗骨材	初期値			収束値		
	a	b	r <sup>2</sup>	a	b	r <sup>2</sup>
A20	-0.594	89.9	0.89	-0.580	81.0	0.93
A40	-0.431	83.3	0.61	-0.420	74.7	0.76
G40	-0.328	75.6	0.84	-0.385	69.0	0.90
LC20	-0.565	89.3	0.85	-0.682	84.8	0.96
SC20	-0.719	95.6	0.80	-0.918	93.9	0.96
SD20	-0.742	94.7	0.87	-0.956	92.9	0.97

## 6.4 かさ容積に関する実験

### 6.4.1 実験方法

骨材 3 種類について、かさ容積を変化させた場合のすべり試験も、図 6.3.1.1 のステップ 1 の①～④までは同様に行なった。

⑤のエメリー砂による研磨は 1 回(ステップ 2)のみとし、しかも走行回数は骨材露出率を大きくするため 2 万回とした。

その後は、⑦の 10mm 切断・エメリー砂による研磨とし(ステップ 3)、エメリー砂による研磨は走行 2 万回とした。

### 6.4.2 実験結果

走行回数と BPN の測定結果は図 6.4.2.1 のとおりである。

ステップ1の打設面の初期のBPNは60程度に対し、ノーマルタイヤの走行により30程度に低下した。ステップ2のエメリー砂による研磨後は63程度に回復し、ノーマルタイヤを走行させると55程度に低下した。図6.3.2.1に比べて、全体に10程度小さいが、ほぼ同じ傾向を示している。ステップ3は、研磨直後65～67に回復し、エメリー砂によって研磨することにより57～60に低下した。ノーマルタイヤ走行後は49～55に低下した。

骨材の種類、骨材露出率、かさ容積とBPNの測定結果は図6.4.2.2、図6.4.2.3のとおりである。

この実験では、骨材露出は、エメリー砂による研磨1回（ステップ2）と、切断・エメリー砂による研磨（ステップ3）の2回のみである。しかも、エメリー砂による研磨は走行回数2万回としたため、ステップ2による骨材露出率が30%台になり、図6.3.3.2、図6.3.3.3のように10～30%の結果がない。

BPNの初期値は、粗骨材の種類、かさ容積にかかわらず、ステップ2のエメリー砂による研磨後は63～64、ステップ3の切断後のエメリー砂による研磨後は57～60であり、ほとんど影響を受けていない。収束値は、ステップ2は55程度であったが、ステップ3は50～55程度であり、ステップ2よりもややばらついているが、粗骨材の種類、かさ容積はほとんど影響していない。

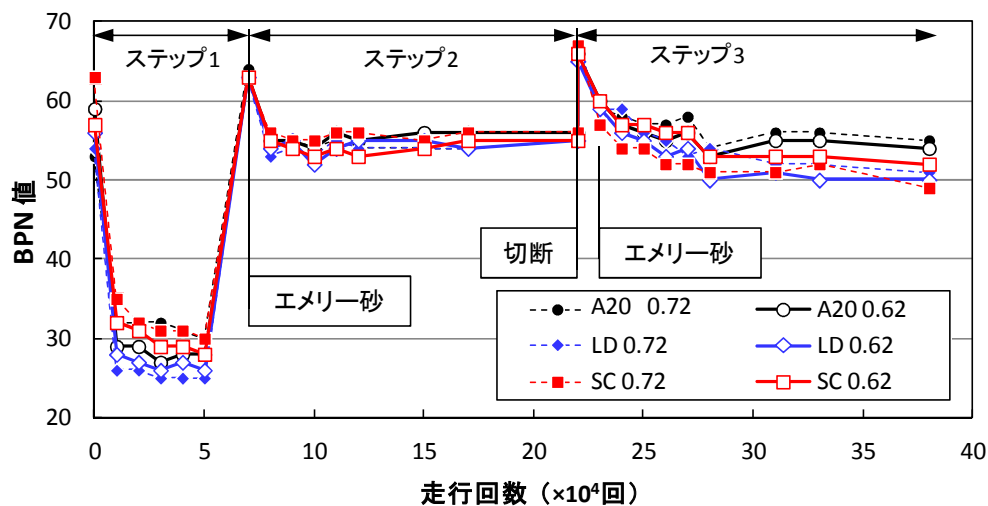


図 6.4.2.1 走行回数とBPNの測定結果

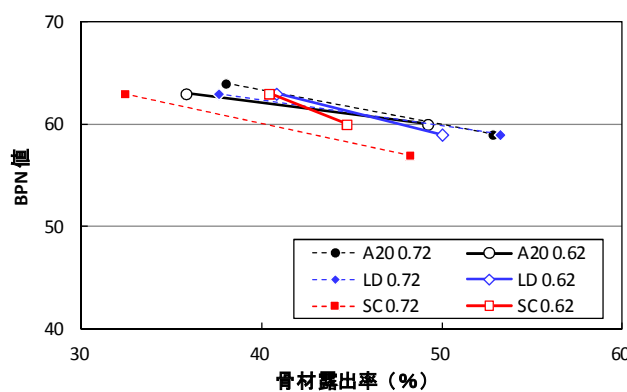


図 6.4.2.2 骨材露出率とBPNの関係(骨材別、初期値)

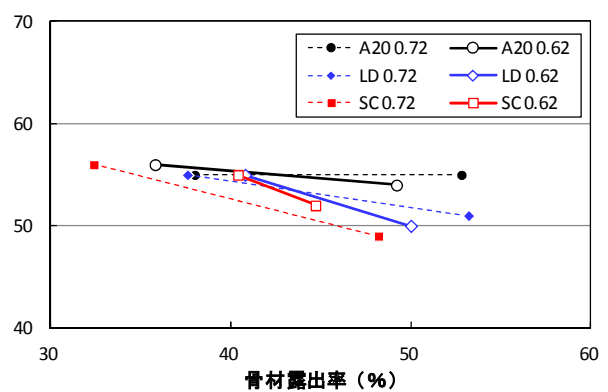


図 6.4.2.3 骨材露出率とBPNの関係(骨材別、収束値)





写真 6.4.2.1 実験終了後の表面の写真(A20)



写真 6.4.2.2 実験終了後の表面の写真(LD)

### 6.4.3 研磨面の状態

すべり試験を行なった表面の状態を確認するため、実験終了後の研磨面を写真撮影した。表面の状態は**写真 6.4.2.1(A20)**、**写真 6.4.2.2(LD)**のとおりである。この写真は、光をほぼ水平方向から当て、凹凸があれば影が写るように撮影した。**写真 6.4.2.1**のA20は、粗骨材の影が写っており、エメリー砂による研磨により、粗骨材よりモルタルのほうがより研磨されていることがわかる。**写真 6.4.2.2**のLDは、粗骨材、モルタルともほぼ同じように研磨されているようである。

また、粗骨材のモルタルの研磨の違いを定量化するために、レーザー変位計によって計測した。その結果は**図 6.4.2.4(A20)**、**図 6.4.2.5(LD)**のとおりである。**図 6.4.2.4**、**図 6.4.2.5**には、レーザー変位計で測定した位置の写真も示している。測定位置と測定結果を見比べると、**写真 6.4.2.1(A20)**、**写真 6.4.2.2(LD)**のとおり、A20は粗骨材部分が高く、モルタル部分がへこんでいるようであるが、その差は0.2～0.3mm程度のものである。LDは、粗骨材とモルタルの凹凸は明確ではない。

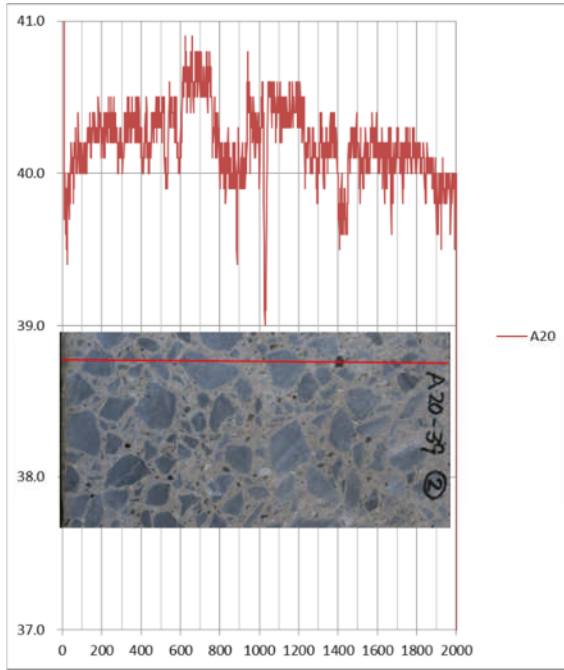


図 6.4.24 実験終了後の表面の写真(A20)

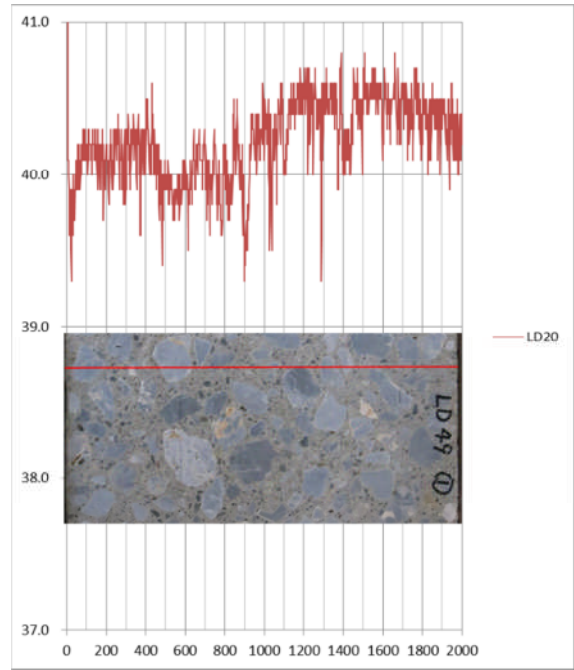


図 6.4.25 実験終了後の表面の写真(LD)

## 6.5 すべり試験のまとめ

6.3 では、6 種類の粗骨材のすべり試験を実施、6.4 では 3 種類の粗骨材についてかさ容積を変化させ、エメリー砂、ショットブラストによる表面研磨、表面を切断することにより骨材露出率を変化させて、ノーマルタイヤを走行させ BPN を測定した。今回の試験方法の結果では、粗骨材とモルタルの表面の凹凸状態の違いもわずかであったことなどから、粗骨材の種類、かさ容積がすべりに及ぼす影響を見出すには至らなかった。

### 【参考文献】

- 1) (公社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧第 3 分冊，pp.17-38，2007.6
- 2) (公社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧第 1 分冊，pp.92-97，2007.6

## 7. 石灰石骨材のすべり抵抗に関する検討

### 7.1 概要

本章では、特に石灰石骨材のすべり抵抗に関する検討を3つの項目に分けて行なった。1つ目は供用中の石灰石コンクリート舗装の現地調査である。既往の検討では、石灰石コンクリートすべり抵抗の検討は室内試験にとどまっていたため、最初に実道におけるすべり抵抗を調査した。2つめは室内試験による検討である。ここでは、試験室における比較試験により、石灰石コンクリートのすべり抵抗を確保するために必要な条件を明らかにした。そして3つめの試験施工により、上記の検討結果を検証し、石灰石コンクリートのすべり抵抗を確保するための条件を明らかにした。以上の事より、すべり抵抗の観点から石灰石骨材の舗装表層への適用性を評価した。

## 7.2 供用されている石灰石コンクリートの現地調査

### 7.2.1 調査目的

石灰石骨材を用いたコンクリート舗装の実道におけるすべり抵抗の調査を行うことを目的とした。

### 7.2.2 調査箇所

現地調査は、2012年6月から2014年3月にかけて、下記の表 7.2.2.1 に示す A～I までの全 9 箇所で行なった。路面の様子を写真 7.2.2.1～7.2.2.9 に示す。供用年数が短い箇所は、路面のすり減りがあまり進んでおらず、路面がモルタルに覆われている箇所も認められたが、供用 20 年を超えるような長期供用箇所は粗骨材まで完全に摩耗していた。調査箇所 A、B は比較のための、石灰石骨材以外を使用したコンクリート舗装である。また、調査箇所 D は細骨材に混合砂を使用しているが石灰石砕砂の割合が大きく、ほぼ石灰石砕砂を使用している箇所である。ただし、配合割合は不明である。

表 7.2.2.1 調査箇所の概要

調査箇所	供用年数	使用骨材	
		粗骨材	細骨材
A	8	川砂利	川砂
B	20<	川砂利	不明
C	7	石灰石	石灰石砕砂
D	12	石灰石	石灰石砕砂・砂岩砕砂混合 (ほぼ石灰石砕砂)
E	20<	石灰石	不明
F	20<	石灰石	不明
G	20<	石灰石	石灰石砕砂・砂岩砕砂混合
H	20<	石灰石	石灰石砕砂・砂岩砕砂混合
I	6	石灰石・砂利混合	石灰石砕砂・山砂混合



写真 7.2.2.1 調査箇所 A

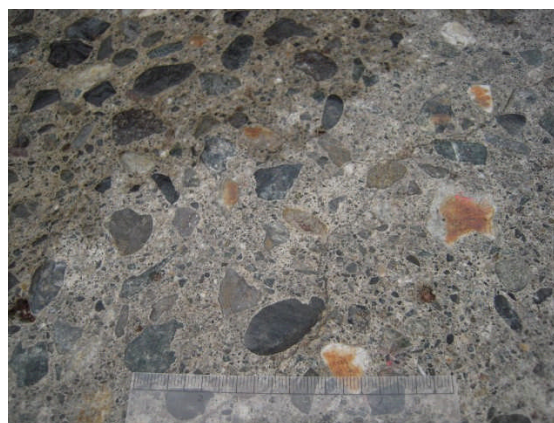


写真 7.2.2.2 調査箇所 B

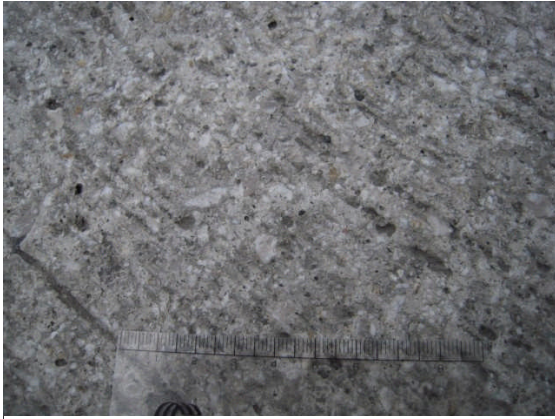


写真 7.2.2.3 調査個所 C



写真 7.2.2.4 調査個所 D



写真 7.2.2.5 調査個所 E



写真 7.2.2.6 調査個所 F



写真 7.2.2.7 調査個所 G



写真 7.2.2.8 調査個所 H



写真 7.2.2.9 調査箇所 1

### 7.2.3 調査手法

調査では BPN および DFT による動摩擦係数を測定した。測定方法は舗装調査試験法便覧に準拠した。現在国内において BPT、DFT 共に基準となるすべり抵抗の値は示されていない。よって、本研究では、実道におけるすべり抵抗の基準値として、NEXCO が旧道路公団時代に示した出来形基準である BPN、60 以上及び、60km/h における動摩擦係数、 $\mu$  60、0.35 以上を目安とした。

### 7.2.4 調査結果

調査結果を表 7.2.4.1 に示す。結果として、F、G、H、I の石灰石コンクリート舗装は石灰石骨材を使用しているにもかかわらず十分なすべり抵抗を有しており、石灰石以外の骨材を使用している A、B と比較して大きな違いはない。また、供用 20 年以上が経過し粗骨材まで摩耗している箇所であっても十分なすべり抵抗有している箇所があり、石灰石骨材を使用する事がすべり抵抗が低い原因であるとは一概に言えない結果となった。しかし、B、C、D、E のようにすべり抵抗が低く基準を下回る箇所も認められた。

表 7.2.4.1 調査結果

調査箇所	DFT				BPN	路面温度 ( $^{\circ}$ C)
	$\mu$ 20	$\mu$ 40	$\mu$ 60	$\mu$ 80		
A	0.59	0.58	0.57	0.56	64	21
B	0.41	0.37	0.34	0.24	59	27
C	0.32	0.32	0.32	0.37	54	21
D	0.21	0.19	0.20	0.19	37	24
E	0.27	0.27	0.27	0.19	55	34
F	0.60	0.57	0.53	0.48	68	24
G	0.46	0.46	0.46	0.48	75	22
H	0.41	0.40	0.40	0.40	69	22
I	0.41	0.42	0.43	0.45	67	23

### 7.2.5 石灰石コンクリート舗装のすべり抵抗

すべり抵抗の低い箇所について骨材に注目すると、石灰石骨材を粗骨材、細骨材の両方に使用している箇所のすべり抵抗は低く、粗骨材に石灰石骨材を使用し、細骨材の一部又は全てに石灰石以外の骨材を使用している箇所のすべり抵抗は高いように見える。しかし、EやFのような長期供用箇所では細骨材種類が不明である箇所もあり、明確ではない。

### 7.3 室内試験による検討

現地調査の結果、石灰石骨材を使用しているコンクリート舗装には、すべり抵抗の高い箇所と低い箇所が認められた。そこで室内試験では、石灰石コンクリートのすべり抵抗が異なる原因を明らかにすることを目的とした。室内試験は、大きく 3 つの段階に分けて実施した。第一段階として石灰石の種類によってすべり抵抗に差があるか母岩（岩石の塊）により検討し、第二段階ではモルタル（細骨材）の検討、第三段階ではコンクリート（粗骨材と細骨材の組み合わせおよび配合）により石灰石骨材のすべり抵抗について検討した。

#### 7.3.1 母岩による検討

##### (1) 試験の目的

コンクリートのすべり抵抗は、使用する骨材種類だけでなく、骨材の形状、骨材の組み合わせ、W/C、空気量、s/a 等の様々な要因が影響すると考えられる。よって、石灰石の種類によるすべり抵抗の差を検討するために、骨材になる前の岩石の塊（母岩）を切り出した母含平板にて比較することとした。本検討では、石灰石のすべり抵抗が骨材物性や、産地が異なる事によって、どのように変化するか明らかにすること及び、石灰石と B のすべり抵抗の比較を行なうことを目的とする。

##### (2) 試験試料

産地が異なる石灰石骨材 3 種類及び、産地が同じでドロマイト含有率の異なる 2 種類の計 5 種類の母岩について検討した（1 報、2 報で使用した粗骨材と同じ、ロット 1 である）。ドロマイトについて検討する理由を下記に示す。石灰石の主成分は方解石であり、方解石はドロマイトと共存しやすいため、両者はよく混合した状態で存在する。方解石のモース硬度は 3 程度であるのに対し、ドロマイトは 4 であるため、ドロマイトは方解石より硬い鉱物である<sup>(7-3)</sup>。このため、ドロマイトの含有率の違いによりすべり抵抗が異なると考えられたため、ドロマイト含有率が異なる 2 種についても検討した。試験に用いた試料は表 7.3.1.1 に示す通りである。LD1、LD2 は産地が同じでドロマイ

表 7.3.1.1 試料物性

骨材種類	産地	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	L.A.すり へり減量 (%)	400kN 破砕値	ドロマイト 含有率 (%)
LA	関東	2.70	2.69	0.41	24.1	22.9	(1.3)
LB	九州	2.71	2.70	0.23	23.4	20.7	(4.3)
LC	沖縄	2.70	2.69	0.35	24.3	22.3	(2.0)
LD1	北海道	2.69	2.68	0.54	23.6	22.9	93.5
LD2							5.1
B	関東	2.65	2.63	0.70	16.0	9.7	-



ト含有率の異なる試料である。また、比較のため B についても試験を行なった。

また、LD1 のドロマイト含有率は約 90% と多く、これは分類上石灰石の区分から外れ高品位ドロマイトの区分になるが、LD1 と LD2 は同じ鉱脈から採取されており、LD1 が骨材として出荷させる可能性も考えられることから、そのまま試験に供することとした。

### (3) 試験方法

試験は、ノーマルタイヤを使用した回転ラベリング試験を行なった。試験条件（表 7.3.1.2）は既往の検討を参考に、タイヤと供試体の回転速度に差を付け、常に供試体にタイヤによる摩り磨き作用を与えるような条件とした。ただし、本検討では第 6 章の検討と異なり、すり減りを促進するためのエメリー砂の散布を行なわない。

試験中は適宜供試体の BPN 及び表面形状の測定を行なった。表面形状は水平方向 100 $\mu$ m、鉛直方向 100 $\mu$ m の分解能をもつ、レーザー式の表面形状計にて測定し、測定結果より MPD を算出し評価した。MPD の算出は、わだち部のみを対象とした。

供試体は写真 7.3.1.2 に示すように、100mm $\times$ 150mm 程度に切断した母岩平板の周りをモルタルで充填し、短辺 214mm、長辺 321mm、奥行き 200mm、厚さ 50mm の台形供試体に成形した。供試体は養生終了後にショットブラスト処理し、母岩表面の BPN を 60 以上に調整した後に試験に供した。

表 7.3.1.2 回転ラベリング試験条件

試験条件	設定値
タイヤ種類	ノーマルタイヤ
タイヤ荷重 (kN)	1.2
タイヤ回転速度 (km/h)	30
供試体回転速度 (km/h)	25
散水量 (L/min)	2
試験室温度 (°C)	20

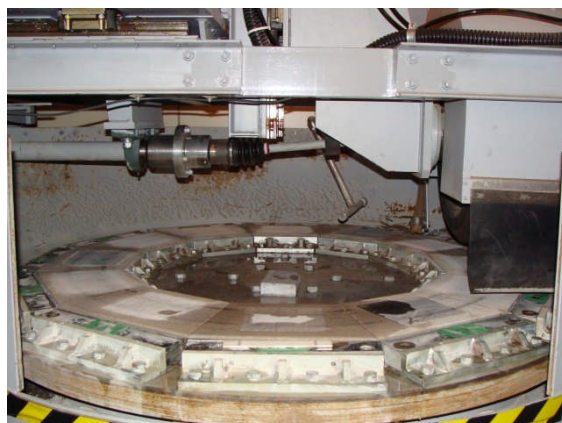


写真 7.3.1.1 回転ラベリング試験機



写真 7.3.1.2 ラベリング供試体

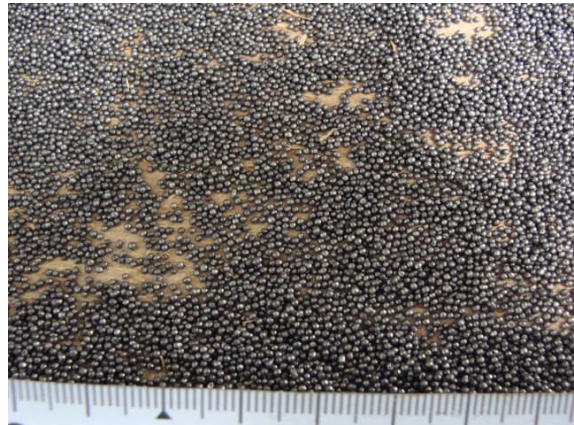


写真 7.3.1.3 ショットブラスト鉄球

#### (4) 試験結果

表 7.3.1.3 に LA、LB、LC、B の試験結果を示し、図 7.3.1.1 に試験開始から終了までの BPN の推移を、図 7.3.1.2 に MPD の推移を示す。結果として、石灰石 3 種の試験終了時の BPN は平均で 15 であり、平均値からのばらつきは±1 程度と産地による差は認められなかった。B の BPN は 25 と石灰石と比較して高い傾向が認められた。また、MPD の結果はすべり抵抗性(BPN)との関連性は認められなかった。既往の研究では、BPN は表面のマイクロテクスチャと関係性が高いとされている。マイクロテクスチャは PIARC の指標では、500 $\mu\text{m}$ ～1 $\mu\text{m}$  の範囲の凹凸であり、分解能 100 $\mu\text{m}$  の装置では評価が困難であったと考えられる。よって、今後の検討においては表面形状の測定は行なわないこととした。

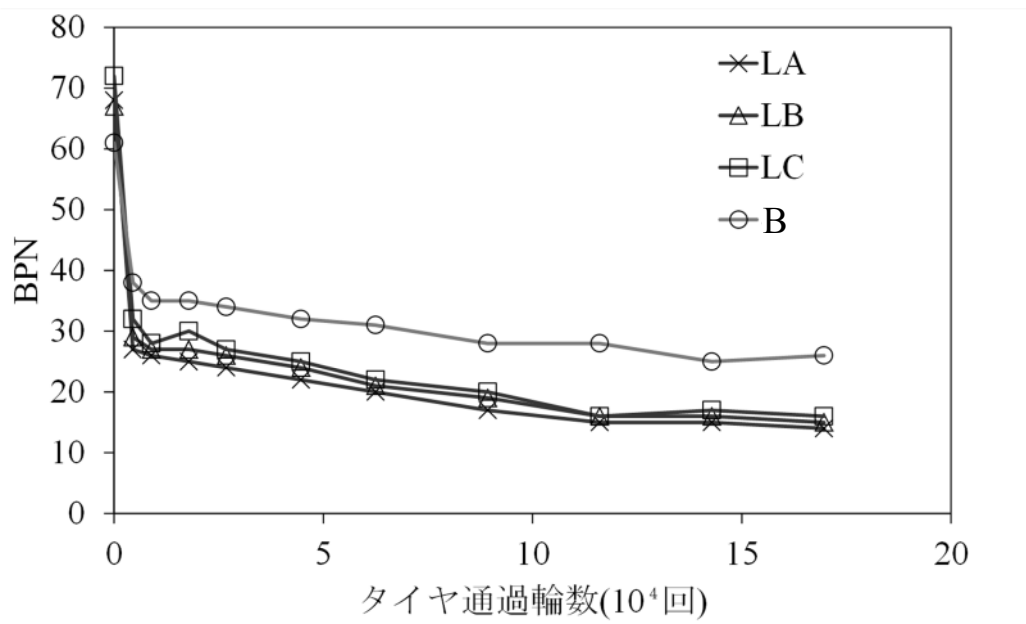


図 7.3.1.1 回転ラベリング試験中の BPN の推移(産地及び岩種の検討)

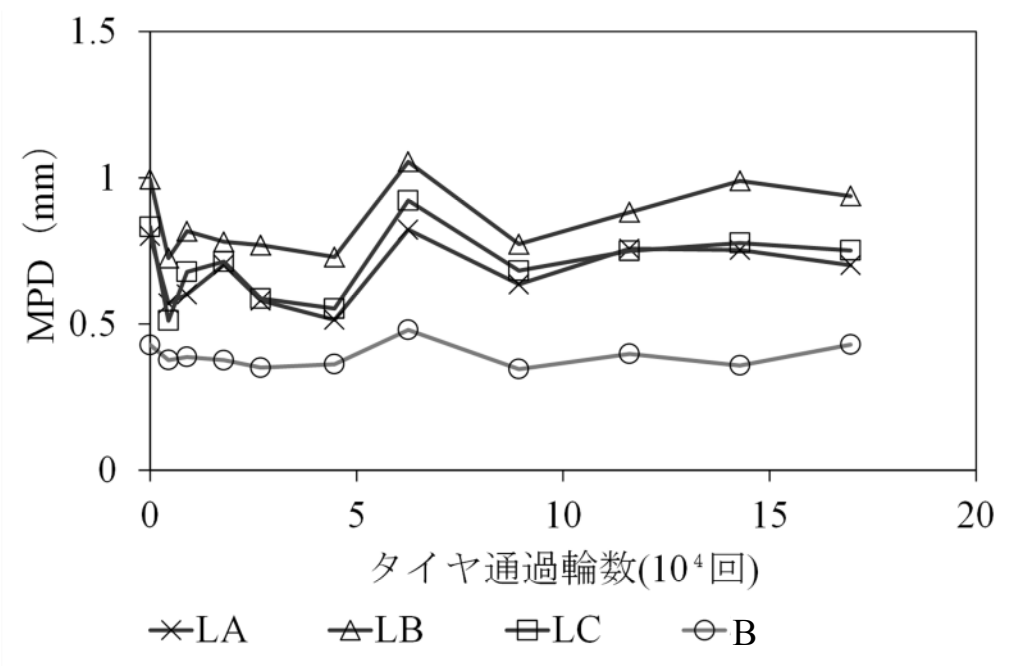


図 7.3.1.2 回転ラベリング試験中の MPD の推移

表 7.3.1.3 母岩による回転ラベリング試験結果 (LA、LB、LC、B)

タイヤ通過回数 (回)	LA		LB		LC		B	
	BPN	MPD(mm)	BPN	MPD(mm)	BPN	MPD(mm)	BPN	MPD(mm)
0	68	0.80	67	0.99	72	0.83	61	0.43
4500	27	0.57	29	0.73	32	0.51	38	0.38
9000	26	0.60	27	0.82	28	0.68	35	0.39
18000	25	0.70	27	0.78	30	0.71	35	0.38
27000	24	0.58	26	0.77	27	0.59	34	0.35
45000	22	0.51	24	0.73	25	0.55	32	0.36
62000	20	0.82	21	1.05	22	0.92	31	0.48
90000	17	0.64	19	0.77	20	0.68	28	0.35
116000	15	0.76	16	0.88	16	0.75	28	0.40
143000	15	0.75	16	0.99	17	0.78	25	0.36
170000	14	0.70	15	0.94	16	0.75	26	0.43

表 7.3.1.4 及び図 7.3.1.3 にドロマイト含有率の異なる LD1、LD2 の試験結果を示す。LD1、LD2 の試験は、LA～B の試験とバッチが異なり、試験タイヤは同じものを続けて使用した。試験は LA～B の試験と同様に車輪通過回数 17 万回まで行なった。試験終了後、試験タイヤを確認したところ、写真 7.3.1.4 に示すように試験タイヤが相当摩耗していたため、トレッドパターンがまだ残っている別の中古タイヤに交換し 25.8 万回まで追加試験を行なった。



写真 7.3.1.4 試験タイヤ(左は新品、右が 17 万回時点のタイヤ)

タイヤを交換した結果、BPN は更に大きく低下したため、本試験方法ではタイヤのコンディションが、試験結果に影響することが明らかとなった。LA～B の試験は新品に近い中古タイヤを使用しているが、17 万回時点で交換したタイヤは、このタイヤと比較して摩耗が進行したものを使用しているため、LD1、LD2 の試験結果を LA～B の試験結果と比較することは適切ではない。よって、LD1、LD2 の結果のみを比較することとした。なお、これ以降の回転ラベリング試験によるすべり抵抗の検討結果は、同じ試験バッチにおける試験結果のみを比較し、試験タイヤは常に新品を使用する事とした。

結果として、ドロマイト含有率が異なる母岩の試験終了時の BPN は、平均値±1 と含有率の多少に関わらず、ほぼ同じ値であった。よって、石灰石のすべり抵抗はドロマイト含有率に影響されないことが示された。

表 7.3.1.4 母岩による回転ラベリング試験結果(LD1、LD2)

タイヤ通過回数 (回)	BPN	
	LD1	LD2
0	62	66
4500	39	40
9000	37	39
18000	33	35
27000	34	37
45000	32	34
62000	33	35
90000	31	33
116000	31	32
143000	31	33
170000	28	30
179000	25	25
205000	23	22
232000	23	22
260000	24	23

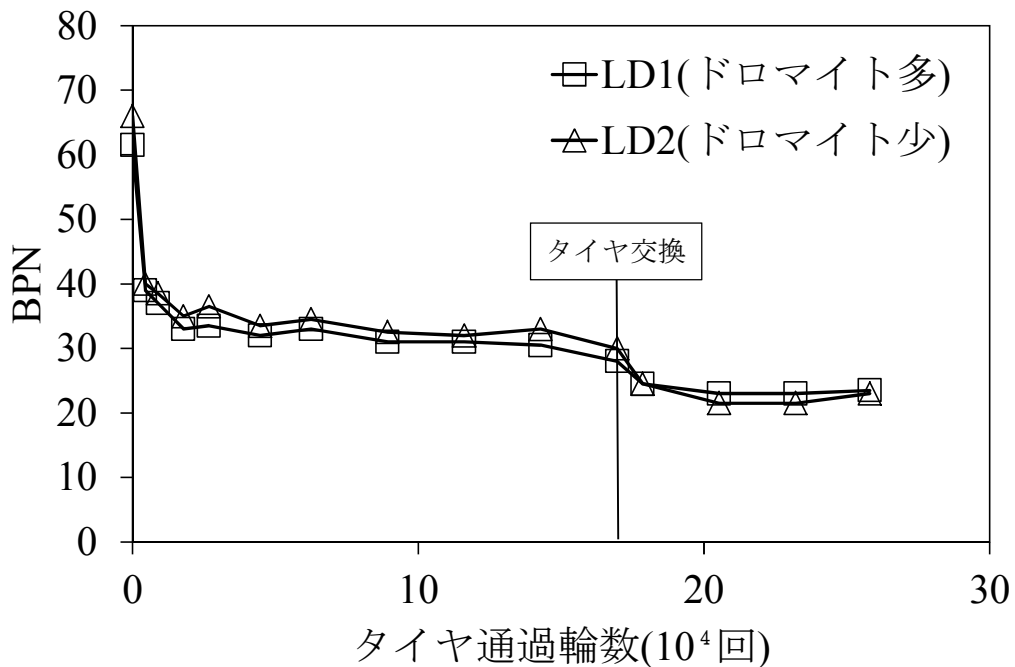


図 7.3.1.3 回転ラベリング試験中の BPN の推移(ドロマイト含有率の検討)

(5)PSV 試験結果との比較

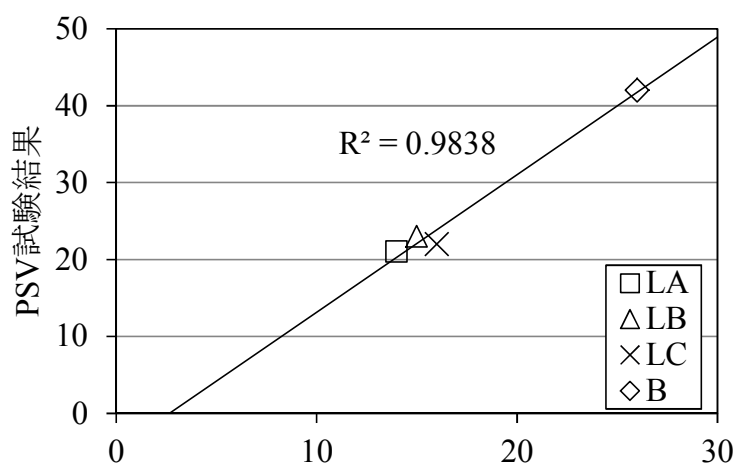
また、別途PSV試験を実施しており結果は表7.3.1.5に示す通りになる。PSV試験はBS812 Part114に準拠して行なった。供試体の様子を同じく示す。また、母岩ラベリング試験結果との関係は図7.3.1.4に示す通りであり、高い相関を示した。



写真 7.3.1.5 PSV 供試体

表 7.3.1.5 PSV 試験結果

試料	BPN	
	研磨前	研磨後
LA	55	21
LB	47	23
LC	56	22
B	59	42



母岩による回転ラベリング試験結果

図 7.3.1.4 PSV と回転ラベリング試験結果の比較

### 7.3.2 石灰石と砂岩のすべり抵抗差の原因

#### (1) 試験目的

ラベリング試験のバッチが同じであった LA、LB、LC、B の各母岩供試体表面の観察を行ない、硬質砂岩と石灰石のすべり抵抗が異なる原因について検討した。

#### (2) 試験方法（電子顕微鏡観察）

最初にラベリング供試体表面の走査型電子顕微鏡観察を行なった。電子顕微鏡は、日立社製 SU1510 を使用し、オスミウム処理後の供試体を加速電圧 15~20kV、倍率 500 倍にて観察を行なった。試料の観察は、母岩供試体のタイヤ通過位置で行なった。また、ラベリング試験前の供試体表面は粗面であったが、ラベリング試験後の供試体表面には試験前には見られなかった光沢のある部分が現れていた。そこで電子顕微鏡による観察は、光沢のある部分（以後、有光沢部分）とない部分（以後、無光沢部分）を区別して行なった。

#### (3) 試験結果（電子顕微鏡観察）

結果を**写真 7.3.2.1~7.3.2.8** に示す、有光沢部分の様子は石灰石と B で差が認められず平坦にみえる。無光沢部分を観察すると、石灰石の表面は  $10\mu\text{m}$  程度の小さな粒の集合体で構成されているのに対し、砂岩は  $100\mu\text{m}$  以上の大きな粒子が確認でき、石灰石、B 共に凹凸が観察された。また、タイヤが走行していないショットブラスト処理後の表面の観察結果（**写真 7.3.2.9~7.3.2.12**）と比較すると、無光沢部分はショットブラスト処理後のすべり抵抗が高い面（BPN60 以上）と同じように見える。このことから、供試体表面の有光沢部分はタイヤ走行によりすり磨かれたため滑りやすい箇所になり、無光沢部分は表面の凹凸が有るため滑りにくい箇所である可能性が示唆される。そこで、表面の凹凸の数値化及び、滑りやすいと考えられる有光沢部分の面積率を調査した。

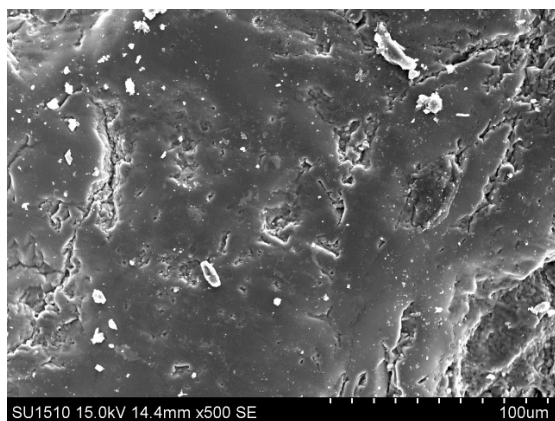


写真 7.3.2.1 B(有光沢部分)

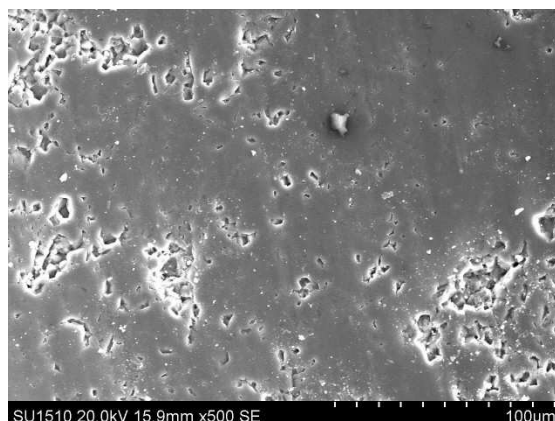


写真 7.3.2.2 LA(有光沢部分)



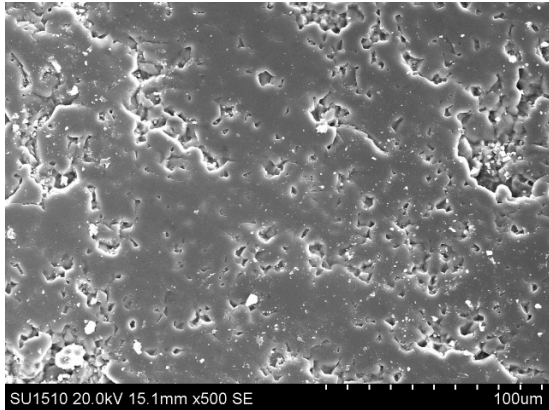


写真 7.3.2.3 LB(有光沢部分)

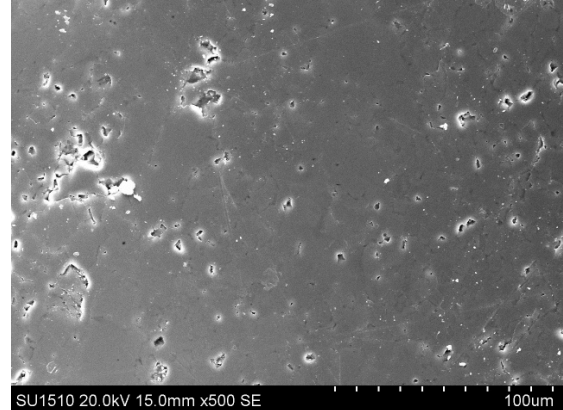


写真 7.3.2.4 LC(有光沢部分)

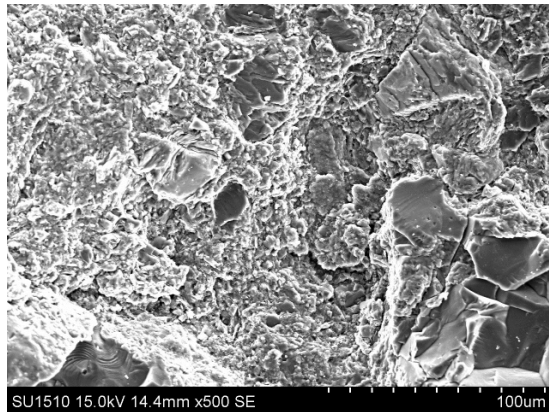


写真 7.3.2.5 B(無光沢部分)

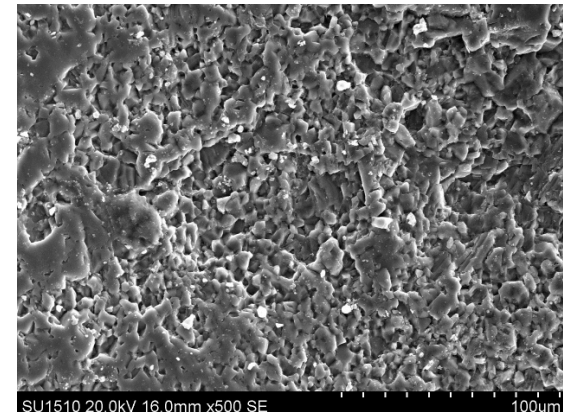


写真 7.3.2.6 LA(無光沢部分)

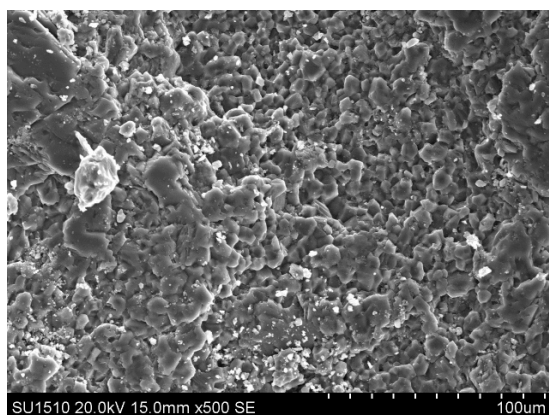


写真 7.3.2.7 LB(無光沢部分)

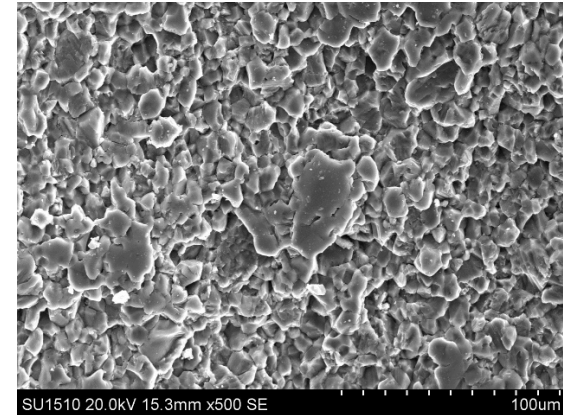


写真 7.3.2.8 LC(無光沢部分)

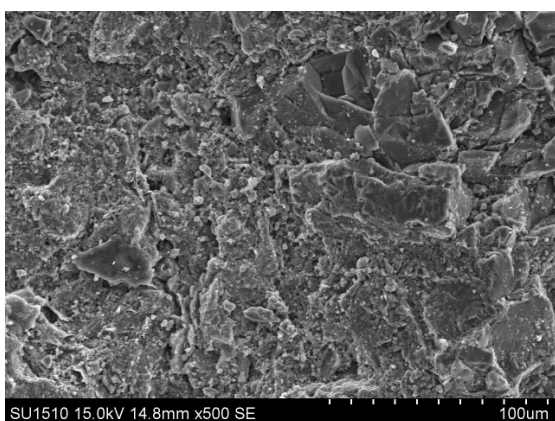


写真 7.3.2.9 B(タイヤ非通過部)

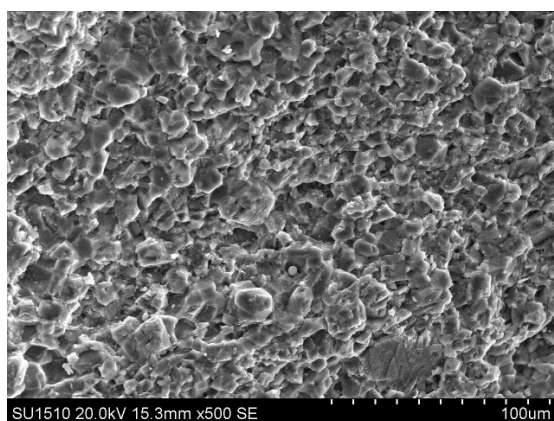


写真 7.3.2.10 LA(タイヤ非通過部)

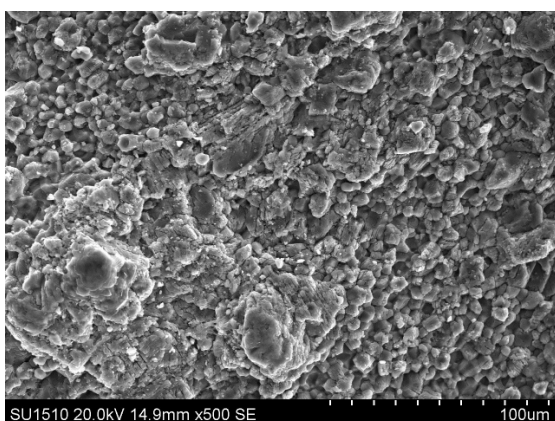


写真 7.3.2.11 LB(タイヤ非通過部)

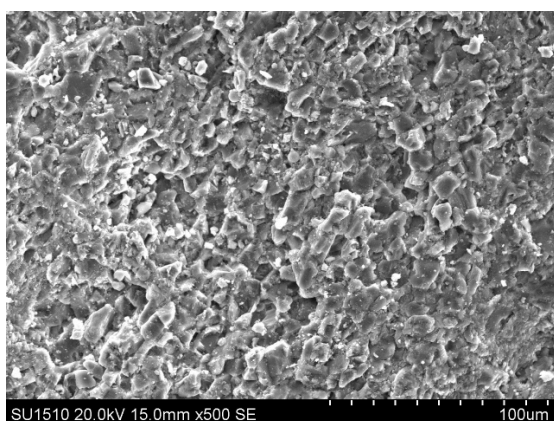


写真 7.3.2.12 LC(タイヤ非通過部)

#### (4) 試験方法 (サーフテスタ・有光沢面積率)

表面凹凸の数値化はサーフテスタを用いて行なった。サーフテスタ (写真 7.3.2.13) は接触式の表面粗度計であり、鉛直方向  $0.0125\mu\text{m}$ 、水平方向  $0.15\mu\text{m}$  の分解能で物体表面の凹凸を測定する機材である。凹凸の評価にはマイクロテクスチャの指標として BPN との相関あるといわれている算術平均粗さを用いた<sup>(7-1)</sup>。算術平均粗さとは、長さ  $L$  の凹凸を評価するとき、表面形状を、鉛直方向成分を  $Y$  軸、水平方向成分を  $X$  軸にとり、表面の凹凸曲線を  $y=f(x)$  で表したときに、式 7-3-1 で表される表面凹凸の合計面積を測線長で除した値のことである。有光沢面積率の測定は、鉄筋の発錆面積の測定方法を参考にした。測定は、供試体表面にフィルムを貼り、目視にて光沢部分を塗りつぶし、PC 上で 2 値化して有光沢面積をカウントした。得られた有光沢面積を用いて、全面積に対する有光沢面積の割合を、有光沢部分面積率として示した。

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |f(x)| dx \quad \text{式 7.3.2.1}$$

ここに  $Ra$  : 算術平均粗さ ( $\mu\text{m}$ )

$l$  : 測線長 (mm)

$f(x)$  : 凹凸曲線



写真 7.3.2.13 サーフテスタ、測定針部分

(5) 試験結果 (サーフテスタ・有光沢面積率)

結果を表 7.3.2.1 に示す。有光沢部分は全ての試料において、無光沢部分と比較して算術平均粗さは小さく、石灰石と砂岩の間に大きな違いは認められない。しかし、無光沢部分は、石灰石 3 種を比較してもばらつきがあり、特に LC は砂岩と同程度であった。このことから、母岩表面の平坦な部分については岩種にかかわらず同程度の粗さであったが、光沢がない部分については表面の粗さにばらつきが認められた。また、母岩表面における有光沢部分面積率は石灰石 3 種は平均で 19.7% であり表面の約 2 割を凹凸の少ない部分が占めており、砂岩の有光沢部分の面積率は 9.9% と約半分であった。

表 7.3.2.1 母岩供試体表面性状

岩種	算術平均粗さ ( $\mu\text{m}$ )		有光沢部分面積率 (%)
	有光沢部分	無光沢部分	
LA	0.54	1.63	20.1
LB	0.56	1.26	17.5
LC	0.76	2.59	21.4
B	0.78	2.71	9.9

(6) すべり抵抗の相違

以上の結果より、母岩供試体のすべり抵抗が異なった原因を表面の凹凸から考察すると、石灰石マイクロテクスチャが削られやすく、平坦になりやすい性質がある事が原因であると考えられる。これにより石灰石表面は、砂岩と比較して平坦な面積が占め

る割合が多くなりやすい。このため、表面と BPN 測定用ゴムとの摩擦が少なくなり、すべり抵抗が低くなったと考えられる。

### 7.3.3 モルタルによる検討

#### (1) 試験目的

石灰石コンクリート舗装の現地調査では、石灰石粗骨材を使用しているも細骨材に石灰石以外を使用していた箇所のすべり抵抗は大きい傾向を示したため、コンクリートのすべり抵抗は、細骨材の影響が大きいことが考えられた。よって本検討では、すべり抵抗に対する細骨材の影響を把握することを目的とし、山砂と石灰石砕砂 3 種類を細骨材として用いたモルタル供試体による回転ラベリング試験を行ない、すべり抵抗を比較した。

#### (2) 試験方法

石灰石砕砂 3 種は表 7.3.3.1 及び図 7.3.3.1 に示すように産地、吸水率、粒度がそれぞれ異なっており、細骨材として販売されている製品をそのまま使用した。記号は母岩試験と対応しており、今後、同じ記号の試料は同じ産地から得られた試料であることを示している。ラベリング供試体は、W/C50%、セメントと細骨材を質量比で 1:3 の配合で作製した。

ラベリング供試体は 4 週間以上水中養生し、ショットブラストにより表面のセメントペーストを除去して表面を荒し、BPN を 60 以上にした後試験に供した。回転ラベリング試験条件は、母岩試験と同様とした。

#### (3) 試験結果

試験結果を表 7.3.3.2 に示し、試験中の BPN の推移を図 7.3.3.2 に示す。石灰石砕砂 3 種の試験終了時の BPN は平均 36、ばらつきは±1 の範囲に収まっており、ほぼ同等であるといえる。山砂と石灰石砕砂 3 種の平均 BPN を比較すると 14 の差が認められ、石灰石砕砂は山砂と比較してすべり抵抗が低い傾向が認められた。

表 7.3.3.1 細骨材の産地及び物性値

記号	LA	LB	LD	山砂
種類	石灰石砕砂			山砂
産地	関東	九州	北海道	関東
絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.61	2.67	2.60	2.62
表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.65	2.69	2.65	2.65
吸水率 (%)	1.54	0.58	1.95	1.57
FM	3.47	2.47	3.11	2.43
単位容積質量 (kg/L)	1.51	1.79	1.76	1.77
実積率 (%)	57.8	57.1	58.3	59.8
微粒分量 (%)	8.70	3.20	7.40	0.60

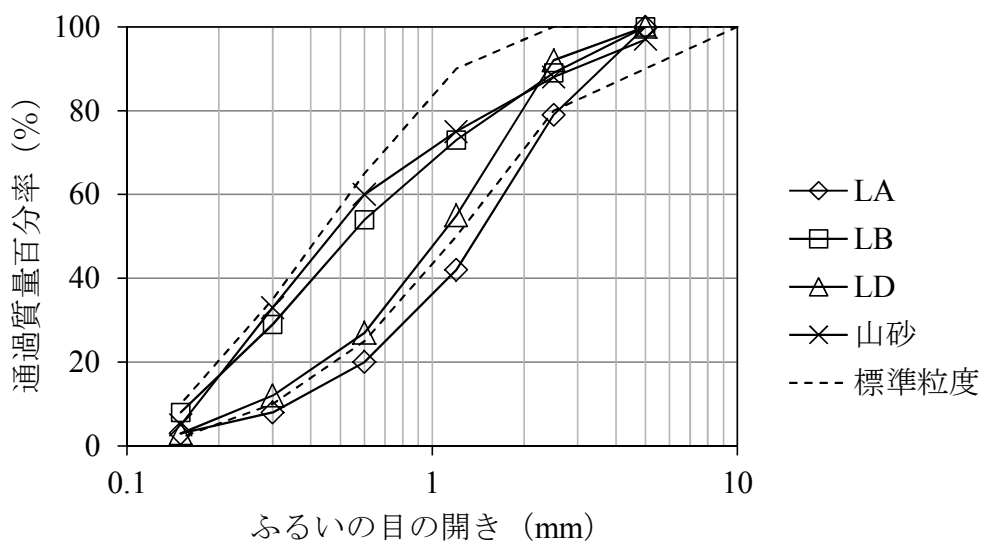


図 7.3.3.1 各細骨材の粒度分布

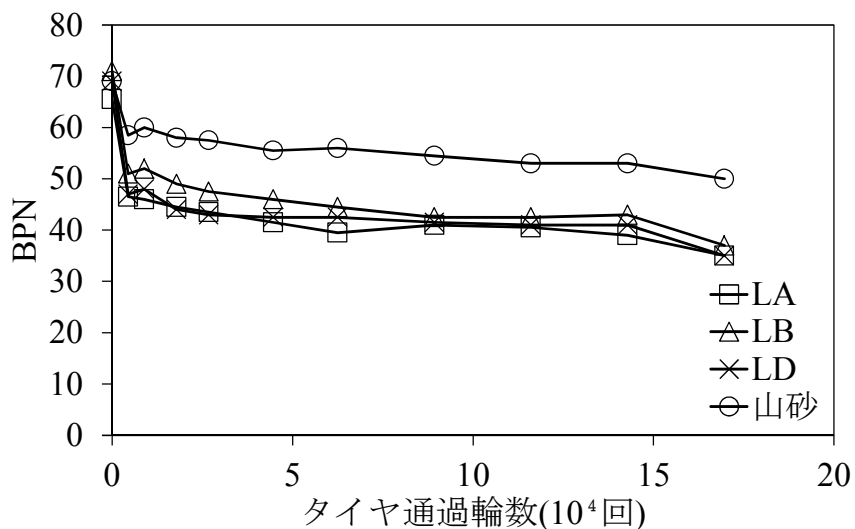


図 7.3.3.2 モルタルによる回転ラベリング試験における BPN の推移

表 7.3.3.2 モルタルによる回転ラベリング試験結果

タイヤ通過回数 (回)	BPN			
	LA	LB	LD	山砂
0	66	71	69	69
4500	47	51	47	59
9000	46	52	48	60
18000	45	49	44	58
27000	44	48	43	58
45000	42	46	43	56
62000	40	45	43	56
90000	41	43	42	55
116000	41	43	41	53
143000	39	43	41	53
170000	35	37	35	50

#### (4) モルタルのすべり抵抗

以上のことから山砂と比較して石灰石砕砂は、細骨材としてすべり抵抗が低く、石灰石砕砂は産地や物性が異なってもすべり抵抗性は同等である事が示された。これは、母岩試験結果における、産地が異なっても石灰石母岩のすべり抵抗に差はないという試験結果と一致する。また、石灰石砕砂のすべり抵抗が他の細骨材より低いという結果は、実道における調査結果とおなじ傾向である。以上の事より、細骨材の種類はモルタルのすべり抵抗に影響することが明らかとなった。

なお、本検討で用いた LD は母岩試験において用いた LD1 と同じ骨材である。よって、母岩の検討においては LD と LA~LC の比較が出来なかったが、細骨材における検討では、LA、LB、LD に差は認められない結果が得られた。ことから、母岩においても同条件で試験した場合、LA~LC と LD に差はないと推察される。

#### (5) 他のモルタルのすべり抵抗

またここで、山砂と石灰石砕砂以外の細骨材のすべり抵抗を評価するために、山砂、B 砕砂、安山岩砕砂、高炉水砕スラグの各細骨材を用いたモルタルの回転ラベリング試験を実施した。用いた細骨材物性及び粒度は表 7.3.3.3、図 7.3.3.3 に示す通りであり、供試体作製条件、回転ラベリング試験条件は石灰石モルタルと同一とした。結果を表 7.3.3.4 及び図 7.3.3.4 に示す。また、タイヤ条件が異なるため比較するのは適当でないが、参考のために石灰石砕砂 LA の試験結果も同じく示す。結果として、山砂、B 砕砂、安山岩砕砂は同程度のすべり抵抗を有しており、高炉スラグはわずかに劣る傾向がみられたが、石灰石砕砂と比較するとすべり抵抗は高い傾向が認められた。

表 7.3.3.3 細骨材性状

骨材種類	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	FM
山砂	2.65	1.57	2.43
石灰石砕砂	2.61	1.54	3.47
硬質砂岩砕砂	2.67	1.30	2.90
安山岩砕砂	2.62	2.52	2.81
水砕高炉スラグ	2.80	0.60	2.54

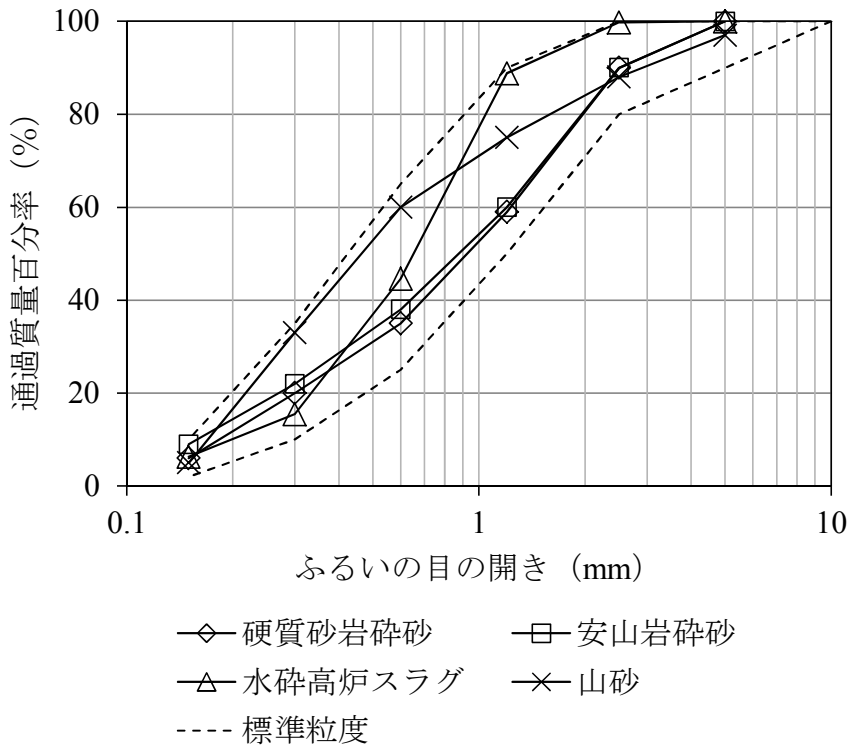


図 7.3.3.3 各細骨材の粒度分布

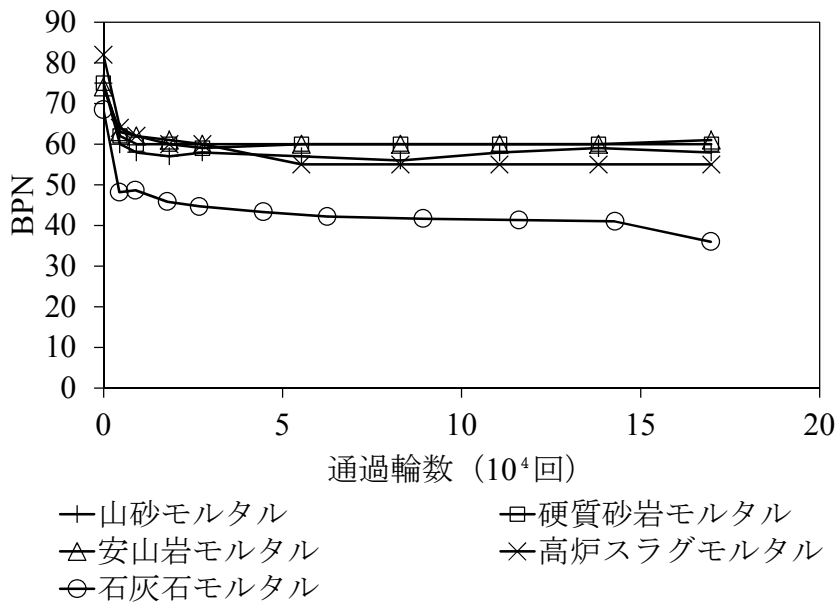


図 7.3.3.4 モルタルによる回転ラベリグ試験結果

(石灰石モルタルは試験バッチが異なるため参考値)

表 7.3.3.4 モルタルによる回転ラベリグ試験結果

タイヤ通過回数 (回)	山砂	硬質砂岩砕砂	安山岩砕砂	水砕高炉スラグ
0	75	75	74	82
4600	60	62	63	64
9200	58	60	62	62
18000	57	60	61	60
27000	58	59	60	60
55000	57	60	60	55
83000	56	60	60	55
110000	58	60	60	55
138000	59	60	60	55
170000	58	60	61	55



### 7.3.4 コンクリートによる検討

#### (1) 試験目的

これまでの検討により母岩で比較した場合、石灰石は硬質砂岩と比較してすべり抵抗が低下しやすい傾向が認められた。また、モルタルで比較した場合も石灰石砕砂は山砂と比較してすべり抵抗が低い結果が得られた。しかし、現地調査では石灰石粗骨材と石灰石以外の細骨材を組み合わせた石灰石コンクリートのすべり抵抗は、高い傾向が示されている。よって本検討では、石灰石と比較してすべり抵抗が低下しにくいB砕石や山砂と石灰石骨材を組み合わせることで、石灰石骨材を使用したコンクリートのすべり抵抗を向上させる可能性について、コンクリートによる回転ラベリング試験により検討した。

#### (2) 試験方法

試験に使用したコンクリートは表 7.3.4.1 に示す石灰石砕石、石灰石砕砂、硬質砂岩砕石、山砂を組み合わせた4種類である。配合条件及び配合は表 7.3.4.1、7.3.4.2 に示す通りであり、一般的な舗装用コンクリートの配合とした。セメントは普通セメントを使用し、混和剤は、リグニンスルホン酸系のAE減水剤(Ad1)とアルキルエーテル系のAE剤(Ad2)を使用した。

使用材料はLAの粗骨材および細骨材、Bの粗骨材である。また、山砂はモルタル試験にて用いたものである。各コンクリートのフレッシュ性状及び、標準養生28日の圧縮と曲げ強度を表 7.3.4.3 に示す。スランプ及び空気量は目標を満足し、28日の曲げ強度は全て6MPa以上となった。ラベリング供試体は、28日間標準養生後にショットブラスト処理により写真 7.3.4.1 に示すように表面のモルタルを除去し、粗骨材を露出させた後に試験に供した。回転ラベリング試験の試験条件は母岩試験と同条件とした。

表 7.3.4.1 コンクリートの骨材及び配合条件

略号	粗骨材	細骨材	配合条件
LiG-LiS	石灰石砕石	石灰石砕砂	W/C=42%、単位水量=145kg/m <sup>3</sup> 単位粗骨材かさ容積=0.72m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> SL=5cm±1.0 Air=4.5%±1.0
LiG-RS	石灰石砕石	山砂	
HG-LiS	硬質砂岩砕石	石灰石砕砂	
HG-RS	硬質砂岩砕石	山砂	

表 7.3.4.2 コンクリートの配合

略号	セメント	骨材最大寸法 (mm)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤量	
			W	C	S	G	Ad1	Ad2
LiG-LiS	普通	20	145	345	745	1130	0.15%	4.5A
LiG-RS			145	345	745	1130	0.25%	3.0A
HS-LiS			145	345	724	1128	0.25%	3.5A
HS-RS			145	345	724	1128	0.25%	3.0A

表 7.3.4.3 フレッシュ性状及び 28 日強度

配合	フレッシュ性状			28日強度	
	スランプ(cm)	空気量(%)	温度(°C)	曲げ強度(MPa)	圧縮強度(MPa)
LiG-LiS	6.0	5.0	22.3	6.92	47.5
LiG-RS	5.5	4.9	22.3	6.45	47.8
HG-LiS	4.5	4.5	22.4	6.26	53.2
HG-RS	4.0	4.3	22.7	6.07	43.6

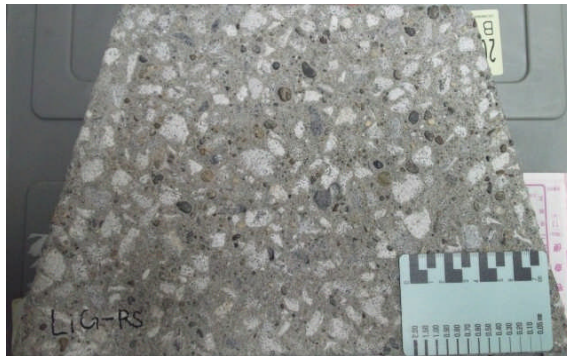


写真 7.3.4.1 ショットブラスト処理後の供試体の様子(LiG-RS)

(3) 試験結果

ラベリング試験結果を表 7.3.4.4 に示し、試験中のコンクリート供試体の BPN の推移を図 7.3.4.1 に示す。一般的な骨材を用いた HG-RS は、試験終了時点でも BPN で 60 を維持し、全ての骨材に石灰石を使用した LiG-LiS は母岩と同程度まですべり抵抗が低下した。LiG-LiS から粗骨材を B に変更した HS-LiS は LiG-LiS と比較して BPN が 18 増加し、細骨材を山砂に変更した LiG-RS は 21 の増加であった。従って、石灰石骨

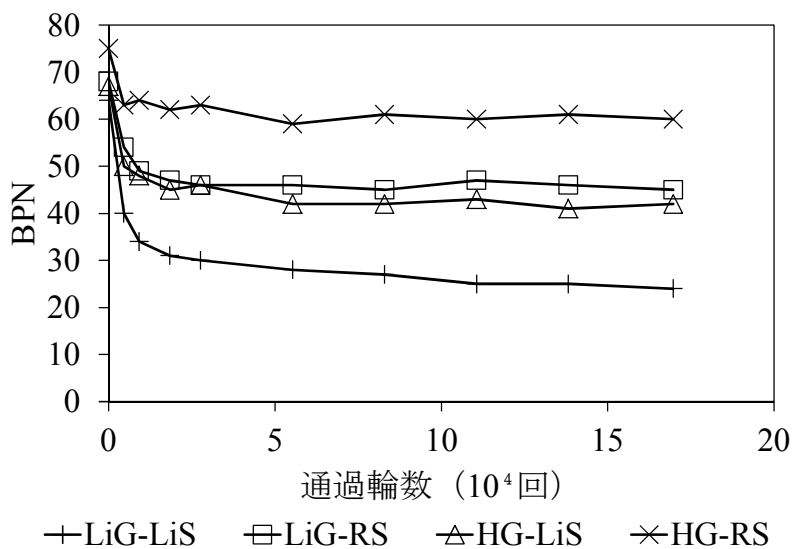


図 7.3.4.1 コンクリートによる回転ラベリング試験結果

表 7.3.4.4 コンクリートによる回転ラベリング試験結果

タイヤ通過回数 (回)	LiG-LiS	LiG-RS	HG-LiS	HG-RS
0	64	68	67	75
4600	40	54	50	63
9200	34	49	48	64
18000	31	47	45	62
27000	30	46	46	63
55000	28	46	42	59
83000	27	45	42	61
110000	25	47	43	60
138000	25	46	41	61
170000	24	45	42	60

材を使用した場合でも、粗骨材もしくは細骨材に石灰石以外を使用することにより、すべり抵抗が増加することが認められた。また、粗骨材を変更するよりも細骨材を変更する方が影響が大きい可能性が示された。

以上の結果より、石灰石骨材を用いても粗骨材もしくは細骨材に石灰石以外の骨材を用いることにより、すべり抵抗を改善できることが示された。また、本試験結果の BPN は非常に小さい値を示している場合がある。これは、本試験の条件が常に路面をタイヤがスリップするような条件とした、促進摩り磨き試験であるためである。従って、実道における路面の状態とは状況が異なり、結果として得られた BPN は試験条件間の比較にのみ用いるのが望ましく、実道におけるすべり抵抗を示しているわけではない。

#### (4)配合要因の影響

骨材種類以外のすべり抵抗に関係する要因を明らかにすることを目的に、表 7.3.4.5 に示すように、W/C と空気量を替えた供試体による回転ラベリング試験を実施した。使用した骨材は、粗骨材に LA、細骨材は山砂を使用した。ただし、水準 50-4.5-LiS は細骨材に LA の石灰石砕砂を使用した。供試体は水中養生 28 日後にショットブラスト処理を行

表 7.3.4.5 配合条件の検討におけるコンクリートの配合

水準	W/C (%)	目標 空気量 (%)	s/a (%)	単位粗骨材 かさ容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
					水	セメント	粗骨材	細骨材
50-4.5	50	4.5	40.4	0.72	150	300	1133	769
40-4.5	40	4.5	38.4	0.72	150	375	1133	705
35-4.5	35	4.5	36.8	0.72	150	429	1133	660
35-7.0	35	7.0	34.4	0.72	150	429	1133	594
50-7.0	50	7.0	38.3	0.72	150	300	1133	702
50-4.5-LiS	50	4.5	40.2	0.72	150	300	1133	763

い回転ラベリング試験に供した。

(5) 結果

試験結果を図 7.3.4.2 および表 7.3.4.6 に示す。結果としてすべり抵抗に対する W/C および空気量の影響はほとんど認められなかった。

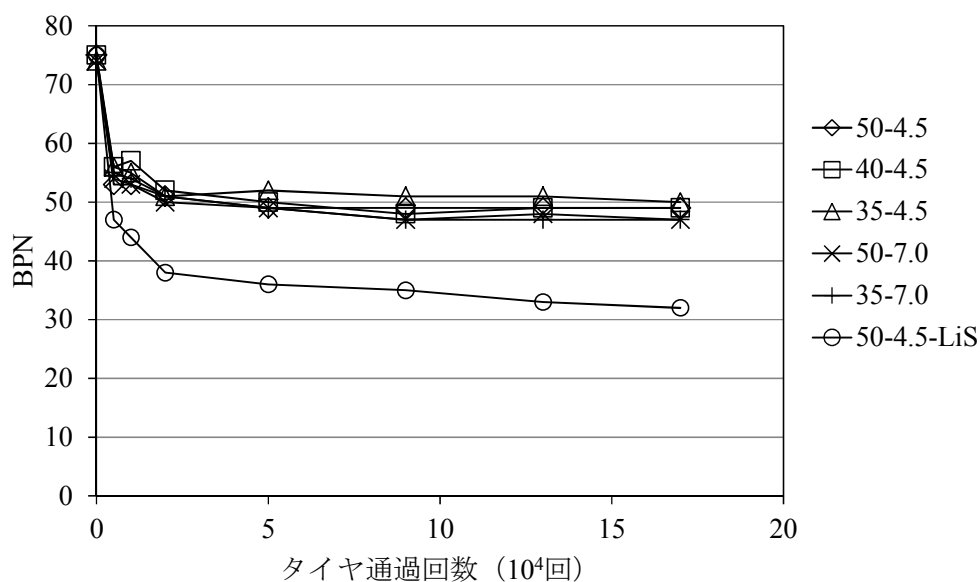


表 7.3.4.2 W/C および空気量のすべり抵抗への影響

表 7.3.4.6 試験結果

タイヤ通過回数 (回)	BPN					
	50-4.5	40-4.5	35-4.5	50-7.0	35-7.0	50-4.5-LiS
0	75	75	74	74	75	75
5000	53	56	56	54	55	47
10000	53	57	55	53	54	44
20000	51	52	51	50	51	38
50000	49	50	52	49	49	36
90000	49	48	51	47	47	35
130000	49	49	51	48	47	33
170000	49	49	50	47	47	32

## 7.4 試験施工

### 7.4.1 目的

室内試験の検討結果より、石灰石骨材を使用している粗骨材もしくは細骨材のどちらかに石灰石以外を使用すれば、路面のすべり抵抗が向上することが示されている。しかし室内試験では、材料の比較は可能であるが、実道における供用状態を完全に再現する事は出来ないため、実道において必要なすべり抵抗を有しているかの判断が出来ない。そこで、実道において試験施工を行い、実道において必要なすべり抵抗を確保できる骨材の組み合わせを検討した。

### 7.4.2 施工箇所

施工場所は新潟県糸魚川市、施工は2013年3月、幅員5m、延長80m、版厚25cm、目地間隔5mの普通コンクリート舗装である（写真7.4.2.1）。表面仕上げはコテ仕上げとしている。現場は、勾配が約10%、年間の交通量は10tダンプが4万台程度である。



写真 7.4.2.1 試験施工現場の様子

### 7.4.3 使用材料

施工した舗装用コンクリートは、石灰石粗骨材、石灰石細骨材、川砂利粗骨材、川砂細骨材を組み合わせた表 7.4.2.1 に示す 4 種類である。また、冬季施工のため早強セメントを使用している。

使用された骨材の物性を表 7.4.2.2、図 7.4.2.1、2、3 に、コンクリートの配合を表 7.4.2.3 に、コンクリートのフレッシュ性状及び圧縮強度試験結果を表 7.4.2.4 に示す。本試験施工

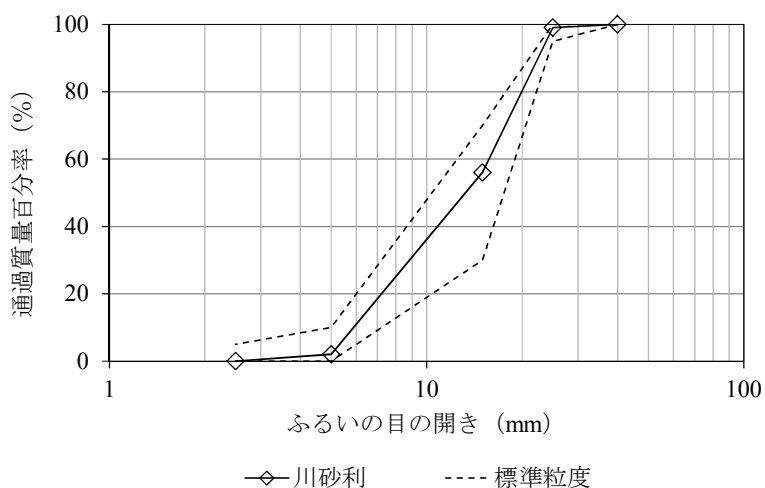
表 7.4.2.1 施工したコンクリートの種類

略号	粗骨材	細骨材	配合条件
LiG-LiS	石灰石碎石	石灰石碎砂	SL=8cm Air=4.5%
LiG-RS	石灰石碎石	川砂	
RG-LiS	川砂利	石灰石碎砂	
RG-RS	川砂利	川砂	

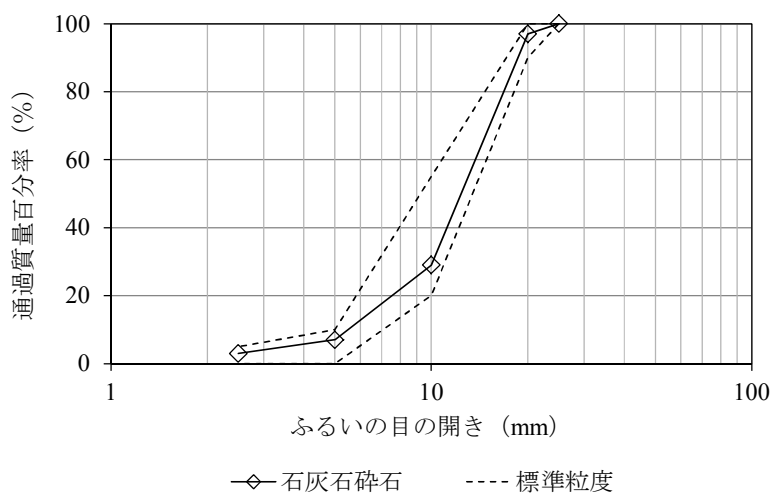
で用いた骨材は、室内試験で用いたものではなく、現地の生コンクリートプラントにて使用されている新潟県産の骨材を使用している。試験施工箇所は縦断方向に 10%程度の傾斜が有り、**図 7.4.2.4** に示すように標高の高い方から LiG-LiS、LiG-RS、RG-LiS、RG-RS の順で合計 16 枚のコンクリート版が施工されている。

**表 7.4.2.2 骨材物性**

骨材種類	粗骨材		細骨材	
	川砂利	石灰石碎石	川砂	石灰石砕砂
表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.66	2.71	2.62	2.67
絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.63	2.70	5.56	2.64
吸水率 (%)	1.11	0.27	2.43	1.00
FM	6.92	6.52	2.71	2.94
微粒分量 (%)	0.20	1.06	2.20	6.92
実績率 (%)	61.3	62.8	65.4	55.3
L.A.すり減り減量 (%)	13.7	24.1	-	-



**図 7.4.2.1 川砂利の粒度分布**



**図 7.4.2.2 石灰石碎石の粒度分布**

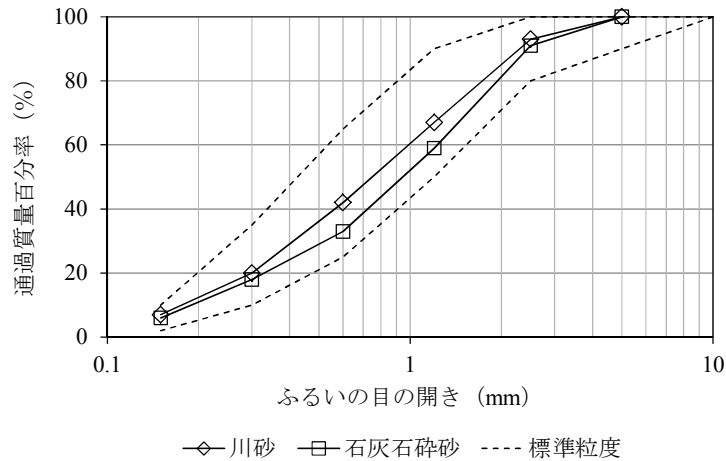


図 7.4.2.3 細骨材の粒度分布

表 7.4.2.3 コンクリートの配合

配合	セメント	骨材最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
					W	C	S	G
LiG-LiS	早強	20	42.6	48.5	166	390	859	920
LiG-RS		20	42.6	48.5	166	390	859	913
RG-LiS		25	41.4	45.3	166	401	783	974
RG-RS		25	41.4	45.3	166	401	783	967

表 7.4.2.4 コンクリートのフレッシュ性状及び強度

配合	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
				3d	7d
LiG-LiS	7.0	3.7	13	46.4	53.9
LiG-RS	8.0	4.7	14	41.4	49.1
RG-LiS	8.5	4.9	13	40.5	48.6
RG-RS	9.0	4.6	13	36.8	43.8

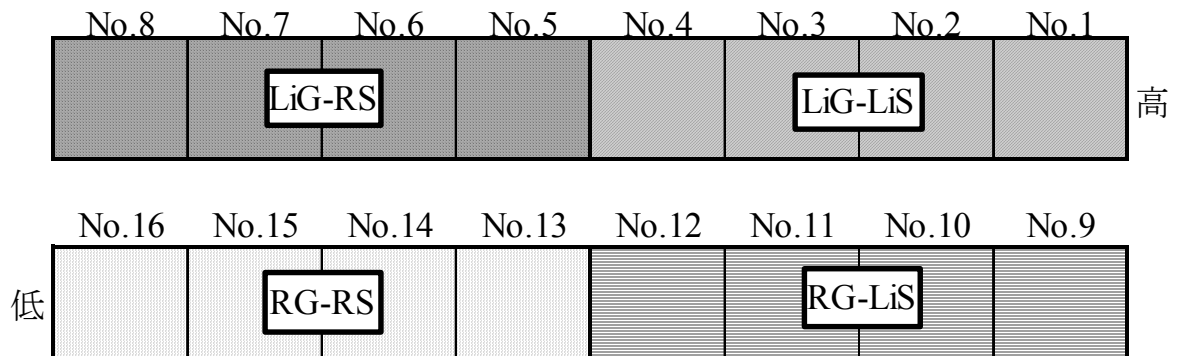


図 7.4.2.4 試験舗装概略

#### 7.4.4 調査項目

調査項目は BPN、DFT、路面形状であり、測定は No.4、6、9、13 の版で行なった。本試験施工では、**写真 7.4.4.1** に示すように路面には滑り止めのために横断方向にスリットが入っており、わだち部では DFT の測定ができない。よって、舗装中央で BPN、DFT、路面形状の測定を行い、わだち部では、BPN のみ測定を行なった。調査は現在までに、供用 0 年及び調査 1.5 年の 2 回行なっている。また路面形状は、鉛直方向 0.1mm、水平方向 0.5mm の分解能を持つ路面形状測定装置にて測定し、MPD にて評価した。



写真 7.4.4.1 滑り止め用のスリット

#### 7.4.5 調査結果

調査結果を表 7.4.5.1 に、調査箇所のでだち部の様子を**写真 7.4.5.1～7.4.5.8** に示す。供用 0 年は**写真 7.4.5.1、3、5、7** が示すように、表面仕上げをコテ仕上げとしたため、路面は凹凸が少なく、セメントペーストに覆われていた。供用 0 年調査の結果、4 種類の舗装のでだち部の BPN は 45~50 の間であり、コンクリート種類による差は認められず、すべり抵抗は低い。これは、路面に骨材が露出しておらず、セメントペーストで覆われておりペーストのみのすべり抵抗を測定しているためである。既往の検討<sup>(1)</sup>より、セメントペーストのみのすべり抵抗は低いことが示されており、今回は特に表面仕上げをコテ仕上げとしたため、このような低い値となったと考えられる。

供用 1.5 年では、表面のペーストがはがれ細骨材が露出しており、一部では粗骨材の露出が確認できた(**写真 7.4.5.2、4、6、8**)。そのため、供用 0 年と比較してすべり抵抗は増加し、室内試験と同様に RG-RS 及び細骨材に石灰石以外を使用した LiG-RS では、わだち部、版中央共にすべり抵抗は高くなり、旧道路公団の基準を満足した。しかし、粗骨材に石灰石以外を使用した RG-LiS は室内試験では、細骨材に石灰石以外を使用した場合と同程度のすべり抵抗を示したが、試験施工ではすべり抵抗が低い。これは、RG-LiS は**写真 7.5.4.4** に示すように粗骨材がまだ露出しておらず、石灰石モルタルのみが表面にでているためであると考えられる。よって、コンクリート舗装の供用初期のすべり抵抗は細骨材の影響が支配的になるため、たとえ粗骨材に石灰石以外を使用している場合でも、細骨材の全量に石灰石骨材を使用することは避ける必要がある。



表 7.4.5.1 試驗施工調查結果

測定箇所	骨材		DFT( $\mu$ 60)		BPN		路面温度( $^{\circ}$ C)		MPD(mm)	
	粗骨材	細骨材	供用0年	供用1.5年	供用0年	供用1.5年	供用0年	供用1.5年	供用0年	供用1.5年
LiG-LiS	石灰石	石灰石	0.35	0.35	52	59	27.5	18.1	1.32	0.85
LiG-LiS(轍部)			-	-	48	43			-	-
RG-LiS	川砂利	石灰石	0.39	0.37	59	69	27.0	17.5	0.81	1.01
RG-LiS(轍部)			-	-	45	52			-	-
LiG-RS	石灰石	川砂	0.28	0.59	47	78	25.9	16.5	1.29	0.52
LiG-RS(轍部)			-	-	45	84			-	-
RG-RS	川砂利	川砂	0.29	0.63	45	83	25.9	16.7	1.04	0.90
RG-RS(轍部)			-	-	50	78			-	-



写真 7.4.5.1 LiG-LiS(供用 0 年)

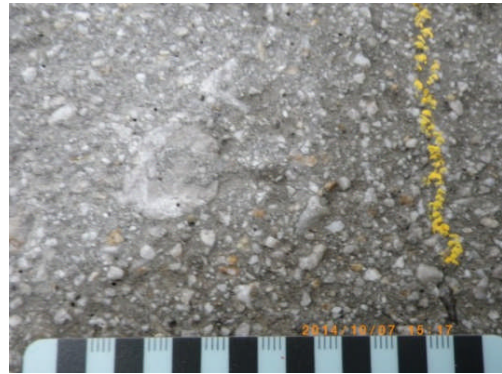


写真 7.4.5.2 LiG-LiS(供用 1.5 年)



写真 7.4.5.3 RG-LiS(供用 0 年)

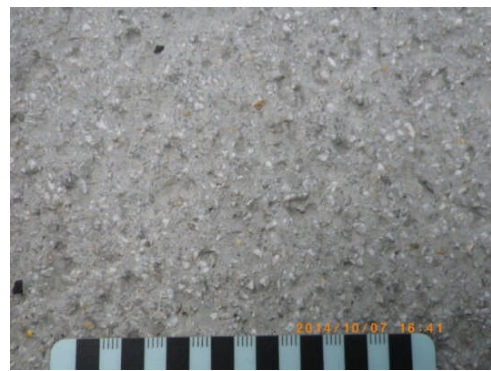


写真 7.4.5.4 RG-LiS(供用 1.5 年)



写真 7.4.5.5 LiG-RS(供用 0 年)

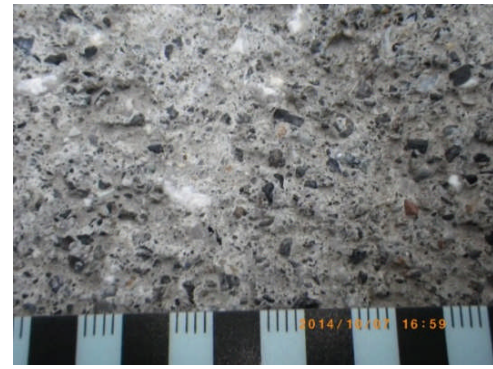


写真 7.4.5.6 LiG-RS(供用 1.5 年)



写真 7.4.5.7 RG-RS(供用 0 年)



写真 7.4.5.8 RG-RS(供用 1.5 年)

#### 7.4.6 試験舗装のすべり抵抗

以上の結果、石灰石粗骨材を使用しているも細骨材に石灰石以外を使用すれば、実道においても十分なすべり抵抗を確保出来ることが示された。しかし、本結果は供用 1.5 年の結果であるため、今後も追跡調査を行なう必要がある。

#### 7.5 まとめ

石灰石コンクリートのすべり抵抗を検討した結果、下記の知見を得た。

- ① 石灰石コンクリート舗装の現地調査の結果、石灰石骨材を使用した場合でもすべり抵抗の高い箇所が認められ、石灰石骨材を使用することがすべり抵抗が低い原因であるとは一概に言えない。
- ② 石灰石を母岩（岩石平板）で比較すると産地やドロマイト含有率が異なってもすべり抵抗に差は無く、B と比較すると BPN で 10 程度低い傾向がある
- ③ 石灰石の細骨材としてのすべり抵抗をモルタル供試体により比較すると、産地や粒度が異なってもすべり抵抗に差は認められず、山砂と比較するとすべり抵抗が BPN で約 20 低い傾向があった。
- ④ B 砕砂や安山岩砕砂は山砂と同等のすべり抵抗を有していた。
- ⑤ コンクリートで比較した場合、石灰石骨材を使用しても粗骨材、細骨材のどちらかに石灰石以外を使用することにより、粗骨材、細骨材の両方に石灰石を使用した場合と比較して、すべり抵抗は BPN で約 20 向上した
- ⑥ 試験施工の結果、石灰石骨材を使用しても細骨材に石灰石以外を使用した場合供用 1.5 年においては必要なすべり抵抗を満足した。
- ⑦ コンクリート舗装の供用初期のすべり抵抗はモルタルの影響が支配的になるため、細骨材の全量に石灰石を使用することは避けるべきである。

また、今後の課題として以下のことが上げられる。

- ① 試験施工は現在供用 1.5 年の結果しか得ておらず、今後の追跡調査が必要である。
- ② 現地調査では石灰石砕砂と他の細骨材を混合した混合砂を使用した箇所もすべり抵抗が高い箇所が認められている、そのため混合砂も舗装表層に適用出来ると考えられるが、混合率等については今後検討する必要がある。

#### 【参考文献】

- 1) 中村ら：タイヤ走行によるコンクリート舗装の微細形状の変化、土木学会第 69 会年次学術講演会、69、pp1155～1156、2014

## 8. 舗装コンクリートの強度実験

### 8.1 実験目的および概要

骨材種類とコンクリート強度の関係、および強度管理の合理化を検討するためのデータを得るために、ロット2のGmax 40mmの砂岩碎石 A40 と、Gmax 20mmの砂岩碎石 A20、石灰石 LD、高炉スラグ骨材 SC、電気炉酸化スラグ骨材 SD の5種類の粗骨材を用いた強度試験を行なった。

また、2報(ロット1)の強度試験の条件と合わせ、かさ容積は0.72、スランプは5cm、W/Cを40、45、50、55%の4水準とし、骨材のロットの違いの比較も行うことができるようにした。

強度管理の合理化では、曲げ強度に対して圧縮強度または引張強度の検討、また、供試体の小型化についても検討するために、供試体の寸法を表 8.1.1 のように全種類の骨材については、曲げ 150×150×530mm、圧縮φ125×250mm、引張φ125×125mm に対して、粗骨材の最大寸法 20mm (A40を除く4種類の粗骨材) については、曲げ 100×100×400mm、圧縮φ100×200mm、引張φ100×125mm についても強度試験を実施した。

表 8.1.1 強度試験した骨材と供試体

強度試験	骨材 5 種類 (A20, A40, LD, SC, SD)		A40 を除く 4 種類の粗骨材
曲げ強度試験	150×150×530	—	100×100×400
圧縮強度試験	—	φ 125×250	φ 100×200
割裂引張強度試験	—	φ 125×125	φ 100×125

### 8.2 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

強度試験を行なったコンクリートの配合は、表 8.2.1 のとおりである。

練混ぜ直後のスランプ、空気量、温度は、表 8.2.2 のとおりである。

表 8.2.2 コンクリートのフレッシュ性状

骨材の種類	水セメント比	試験結果		骨材の種類	水セメント比	試験結果	
		スランプ (cm)	空気量 (%)			スランプ (cm)	空気量 (%)
A20	0.40	5.1	4.3	LD	0.40	4.7	4.7
	0.45	4.5	4.2		0.45	5.6	4.0
	0.50	4.5	4.2		0.50	5.0	4.6
	0.55	4.3	4.7		0.55	4.0	4.2
A40	0.40	4.7	4.4	SC	0.40	5.5	3.5
	0.45	5.5	4.5		0.45	6.7	4.5
	0.50	4.6	4.2		0.50	5.5	4.7
	0.55	5.1	4.5		0.55	5.4	4.4
	0.40			SD	0.40	4.6	4.5
	0.45				0.45	4.9	4.1
	0.50				0.50	5.0	4.8
	0.55				0.55	4.8	5.0

表 8.2.1 強度試験用の配合

骨材の種類	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	混和剤 C*%
A20	20			0.40		37.6	363	669	1160	3.99	2.18
				0.45		322	702	1160	3.22	1.77	
				0.50		290	728	1160	2.61	1.60	
				0.55		264	750	1160	2.37	1.45	
A40	40			0.40		38.0	338	694	1184	4.39	1.35
				0.45		300	724	1184	3.60	1.05	
				0.50		270	749	1184	2.97	0.81	
				0.55		246	769	1184	3.19	0.98	
LD				0.40	0.72	39.0	363	695	1143	3.44	1.45
				0.45		322	728	1143	2.90	1.13	
				0.50		290	754	1143	2.32	1.09	
				0.55		264	776	1143	1.98	0.92	
SC	20			0.40		38.9	400	666	1085	4.40	1.40
				0.45		356	702	1085	3.56	1.07	
				0.50		320	731	1085	2.88	0.96	
				0.55		291	755	1085	2.33	0.73	
SD				0.40		39.2	400	672	1510	4.40	1.20
				0.45		356	708	1510	3.56	1.07	
				0.50		320	737	1510	2.88	0.96	
				0.55		291	761	1510	2.33	0.87	

### 8.3 C/Wと各強度試験結果

図 8.3.1～図 8.3.3 に、粗骨材の種類ごとの曲げ、圧縮、引張強度と C/W の関係を示す。強度試験材齢は 28 日である。

図 8.3.1～図 8.3.3 の回帰結果は、表 7.3.1～表 7.3.3 のとおりである。φ125mm の引張強度の LD の相関係数は 0.9 ( $r^2=0.81$ ) をわずかに下回ったものの、そのほかの試験結果は 0.9 以上であり、相関関係は高い。特に、圧縮強度は  $r^2$  で 0.96 以上であり、非常に相関関係は高い。

骨材の種類では、圧縮強度は SD が同じ C/W に対してやや大きくなる傾向があるが、そのほかの骨材はほぼ同じである。しかし、曲げ強度、引張強度は、骨材によって異なっている。

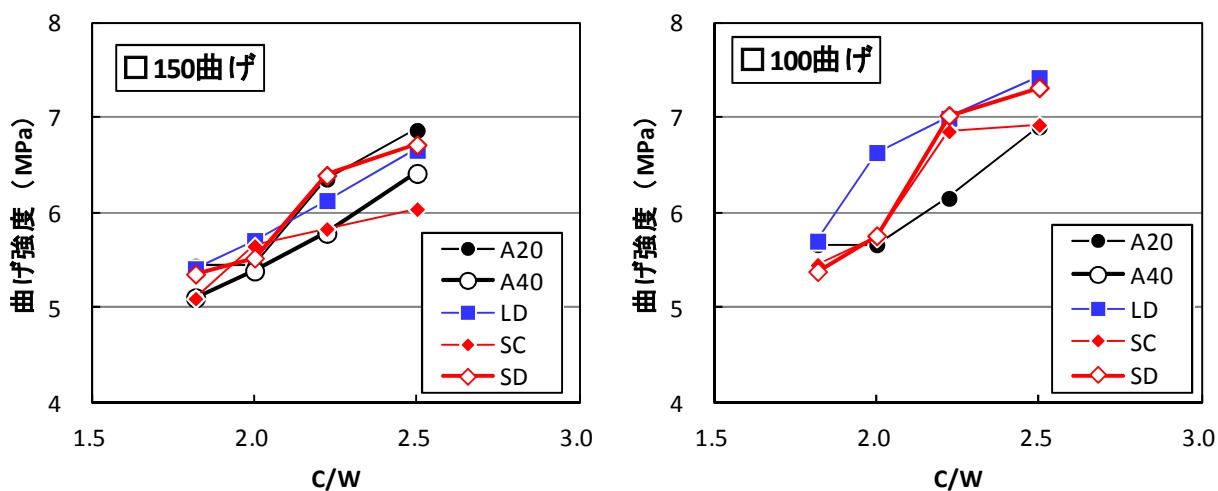


図 8.3.1 C/Wと曲げ強度の関係

表 8.3.1 C/Wと曲げ強度の回帰結果

骨材の種類	□150曲げ強度			□100曲げ強度		
	a	b	$r^2$	a	b	$r^2$
A20	2.312	1.090	0.926	1.905	2.029	0.917
A40	1.920	1.574	0.992	—	—	—
LD	1.843	2.042	0.999	2.369	1.630	0.905
SC	1.283	2.914	0.873	2.394	1.130	0.863
SD	2.173	1.357	0.936	3.075	-0.195	0.918

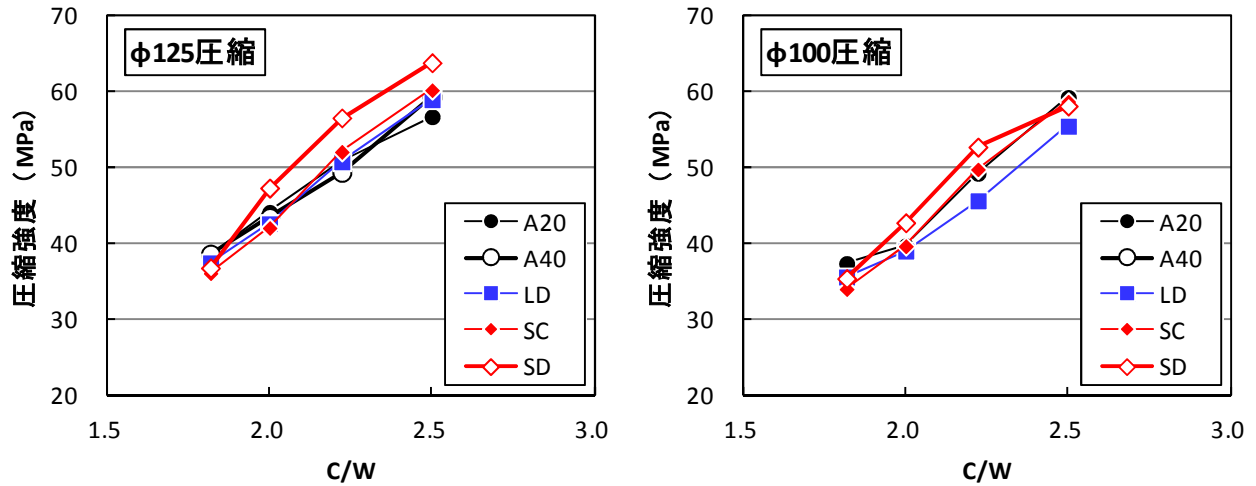


図 8.3.2 C/Wと圧縮強度の関係

表 8.3.2 C/Wと圧縮強度の回帰結果

骨材の種類	φ 125圧縮強度			φ 100圧縮強度		
	a	b	r <sup>2</sup>	a	b	r <sup>2</sup>
A20	26.76	-9.72	0.992	33.47	-25.13	0.974
A40	30.18	-16.82	0.993	—	—	—
LD	31.98	-20.90	0.997	29.44	-19.01	0.985
SC	36.10	-29.55	0.992	37.01	-33.56	0.994
SD	39.09	-32.42	0.969	33.88	-25.17	0.968

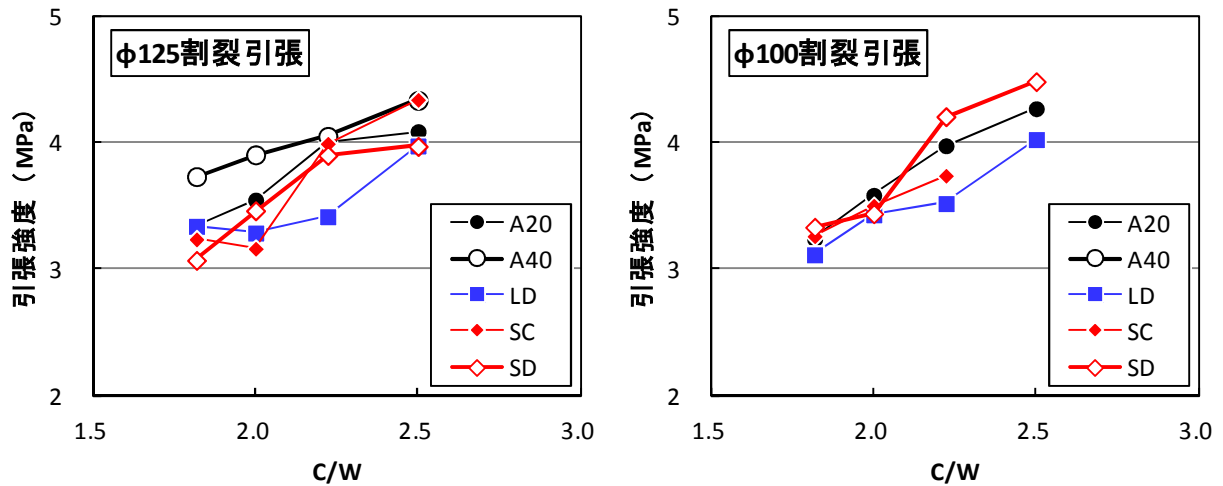


図 8.3.3 C/Wと引張強度の関係

表 8.3.3 C/Wと引張強度の回帰結果

骨材の種類	φ 125引張強度			φ 100引張強度		
	a	b	r <sup>2</sup>	a	b	r <sup>2</sup>
A20	1.169	1.247	0.910	1.511	0.540	0.981
A40	0.862	2.162	0.992	—	—	—
LD	0.942	1.491	0.765	1.246	0.861	0.951
SC	1.840	-0.247	0.884	1.175	1.133	0.996
SD	1.338	0.742	0.885	1.852	-0.091	0.927

## 8.4 供試体寸法の影響

図 8.4.1～図 8.4.3 に供試体の寸法の違いによる強度の比較を示す。表 8.4.1 は、原点を通る直線で回帰した結果である。曲げと引張は、供試体が小さくなると強度は大きくなっており、寸法効果が表れている。特に曲げの寸法の影響は大きいことが知られており、しかも□150mm と□100mm の比較であり、□100mm は7%大きくなっている。

圧縮は、φ100mm がφ125mm に対して5%ほど小さい結果となった。圧縮はφ150mm とφ125mm ではほとんど違いがないことから、φ125 の型枠の使用を認められた経緯もあり、φ100mm がφ125mm より数%小さくなったのは、ばらつきの範囲と考えられる。

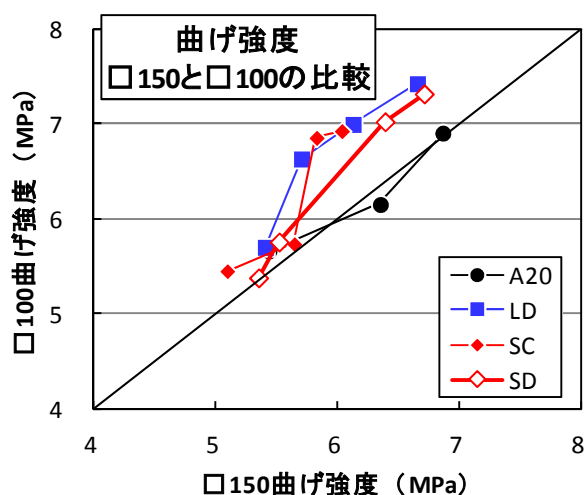


図 8.4.1 曲げ強度の寸法効果

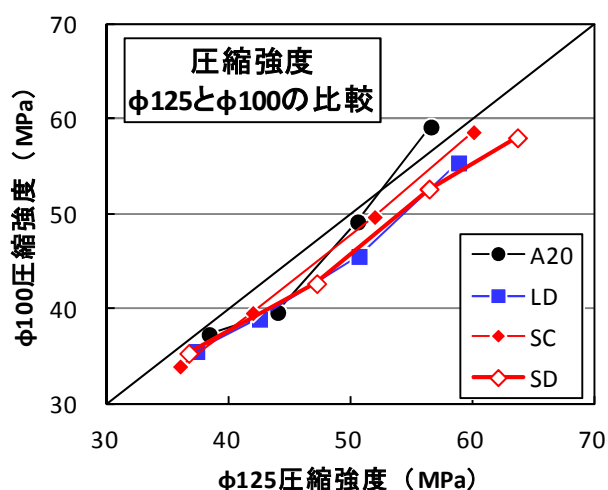


図 8.4.2 圧縮強度の寸法効果

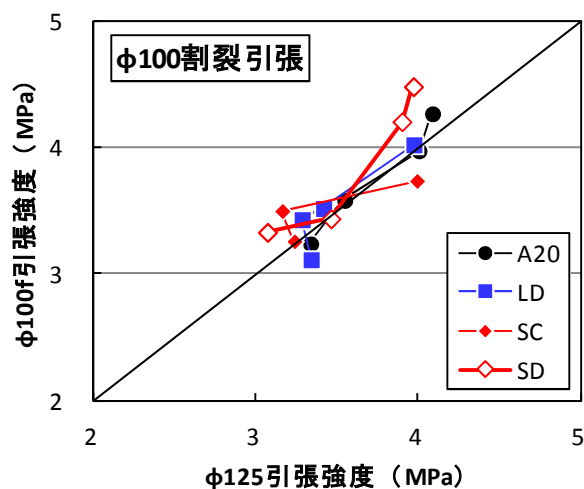


図 8.4.3 引張強度の寸法効果

表 8.4.1 回帰結果

	a	$r^2$
曲げ強度	1.074	0.730
圧縮強度	0.946	0.951
引張強度	1.024	0.751



### 8.5 曲げ強度と圧縮強度, 引張強度の関係

曲げ強度 $f_b$ と圧縮強度 $f_c$ 、引張強度 $f_t$ の関係を図 8.5.1～図 8.5.4 に示す。図中の太い実線は標準示方書<sup>1)</sup>の関係式(1)、(2)から得られた曲線、細い実線は今回の実験の回帰結果(表 8.5.1)である。骨材の種類などによって関係式は異なっており、強度管理の合理化を行う場合、骨材ごとに関係式を求める必要がある。

曲げ-圧縮の関係  $f_c = 3.67f_b^{3/2}$  (1)

曲げ-引張の関係  $f_t = 0.55f_b$  (2)

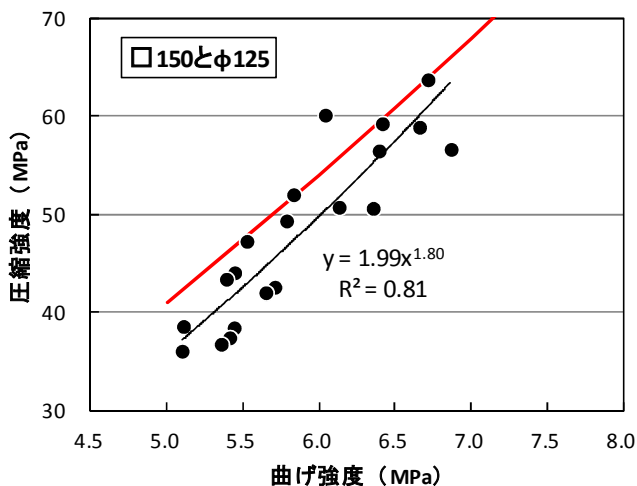


図 8.5.1 曲げ強度□150と圧縮強度φ125の関係

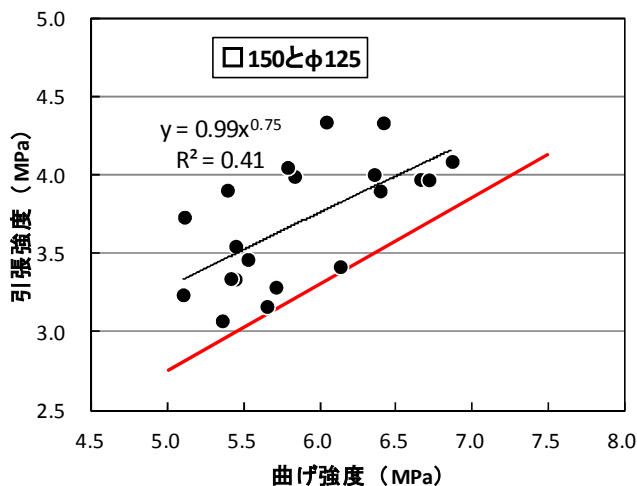


図 8.5.2 曲げ強度□150と引張強度φ125の関係

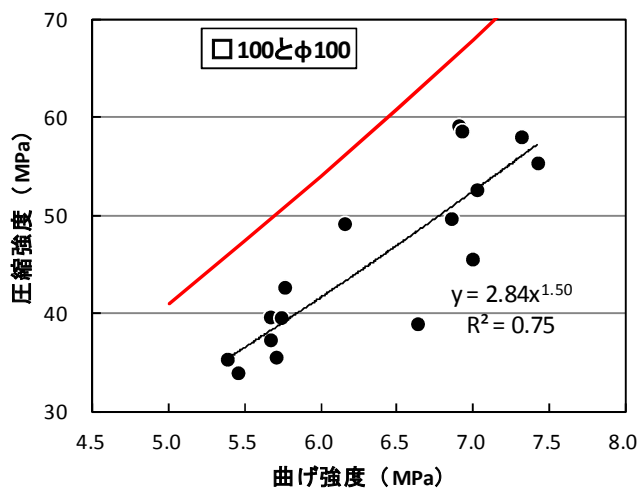


図 8.5.3 曲げ強度□100と圧縮強度φ100の関係

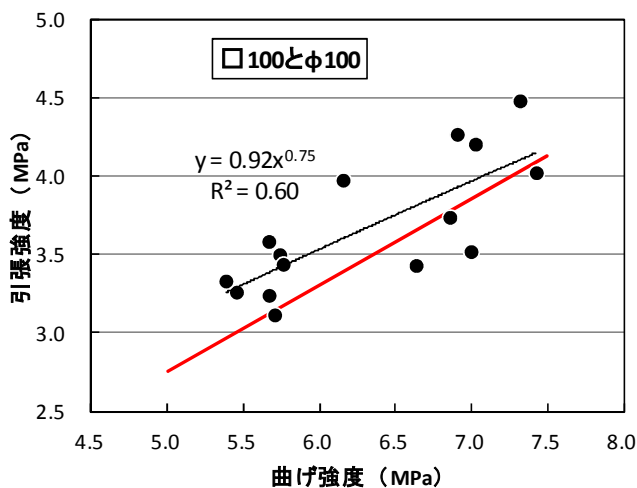


図 8.5.4 曲げ強度□100と引張強度φ100の関係

表 8.5.1 曲げ強度と圧縮強度, 引張強度の回帰結果

強度関係	□150とφ125			□100とφ100		
	$\alpha$	$\beta$	$r^2$	$\alpha$	$\beta$	$r^2$
曲げと圧縮	1.80	1.99	0.81	1.50	2.84	0.75
曲げと引張	0.75	0.99	0.41	0.75	0.92	0.60

## 8.6 骨材ロットの比較

骨材のロットの違いによる強度の比較を図 8.6.1～図 8.6.3 に、原点を通る直線で回帰した結果を表 8.6.1 に示す。

試験する時期が異なっていること、空気量なども考慮する必要があることから、簡単に比較することはできないが、図 8.6.1～図 8.6.3 と、表 8.6.1 の結果を見る限り、ロット 1 に対してロット 2 の結果は、曲げ、引張は数%小さくなっており、圧縮は同等かやや大きくなっている。

骨材の物性は、2 章のとおり、SC のロット 2 はやや良好であったが、そのほかはほぼ同等であったこと、強度のばらつき、例えば図 8.3.1～図 8.3.3 と、表 8.3.1～表 8.3.3 の C/W との関係から、曲げ、引張はばらつきが大きい、圧縮の相関関係は極めてよいことから、図 8.6.2 と表 8.6.1 の圧縮強度の結果より、骨材物性はほぼ同等で、配合が同じであれば、強度はほぼ同じになるといえる。

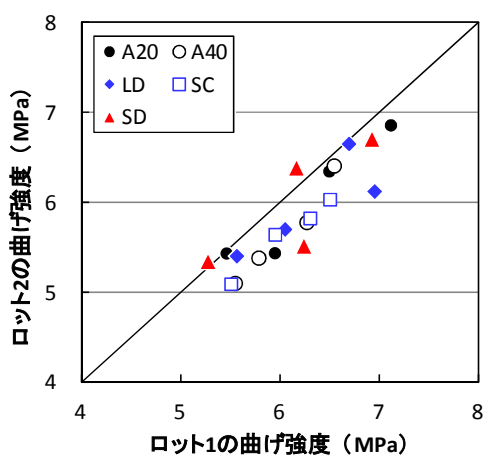


図 8.6.1 ロット 1 とロット 2 の曲げ強度の比較

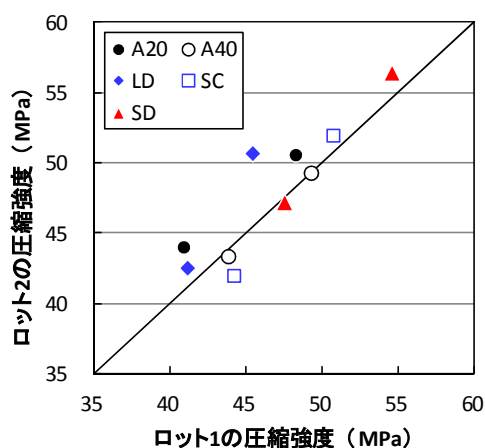


図 8.6.2 ロット 1 とロット 2 の圧縮強度の比較

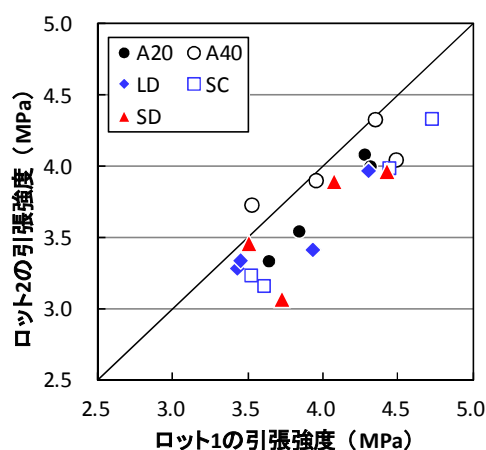


図 8.6.3 ロット 1 とロット 2 の引張強度の比較

表 8.6.1 ロット 1 とロット 2 の強度の回帰結果

骨材	曲げ強度		圧縮強度		引張強度	
	a	$r^2$	a	$r^2$	a	$r^2$
A20	0.965	0.92	1.062	0.96	0.933	0.96
A40	0.942	0.90	0.999	0.99	0.978	0.95
LD	0.946	0.63	1.081	0.81	0.926	0.72
SC	0.933	0.97	0.994	0.88	0.906	0.98
SD	0.975	0.61	1.018	0.95	0.916	0.59

## 8.7 強度試験のまとめ

強度試験の結果は、次のとおりである。

- (1) W/C と曲げ強度、圧縮強度、引張強度の関係は、骨材ごとに良い相関関係があった。
- (2) 供試体寸法の影響は、数%以内であった。
- (3) 曲げ強度と圧縮強度、引張強度の関係は、骨材の種類などによってかなり異なっている。
- (4) ロットの異なる粗骨材であっても、物性がほぼ同じで、配合条件を一定にした場合、ほぼ同じ強度が得られた。

### 【参考文献】

- 1) (社)土木学会：コンクリート標準示方書[設計編]平成8年制定, p.19, 1996.3

## 9. 舗装コンクリートのスケーリング実験

### 9.1 実験概要および目的

スケーリング試験については、2報で既に報告している。2報では、①予備試験と、②粗骨材の種類、水セメント比の影響に関する試験の2つの結果を報告した。②については、50サイクルまでの結果であり、その後100サイクルまで実施したので、その結果を報告する。

スケーリング試験の目的については2報に記述したとおりであるが、再度、その概要を述べる。

舗装コンクリートは、コンクリート表面が直接外気にさらされており、厳しい気象条件にさらされていることから、JISA 1148に基づく一般的な凍結融解試験（A法）のほか、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も検討した。また、舗装表面がすり減ってくれば粗骨材も露出することから、切断面のスケーリング試験も行なった。

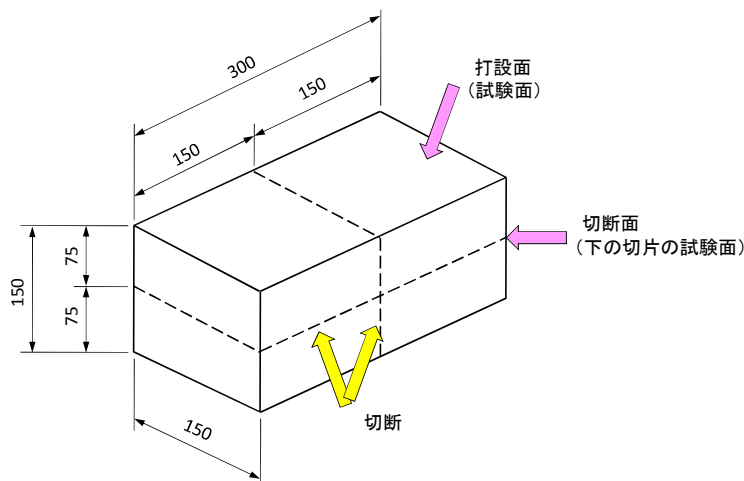
### 9.2 実験方法

#### 9.2.1 スケーリング試験方法

##### (1) 供試体

寸法150×150×300mmのコンクリート供試体を作製し、**図9.2.1**のように150×150×75mmに4つに切断し、試験する面が打設面、切断面になるようにした。供試体は、各面2個ずつである。

スケーリング供試体作製時に、強度試験用の円柱供試体（φ100×200mm）も3本ずつ作製した。



**図9.2.1 供試体の成形**

各供試体に、試験面に水を溜めるための囲いを設けた。その作業手順は、次のとおりである。

供試体を14日間水中養生した後で**図9.2.1**のように切断した。

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8.2.1.2**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。

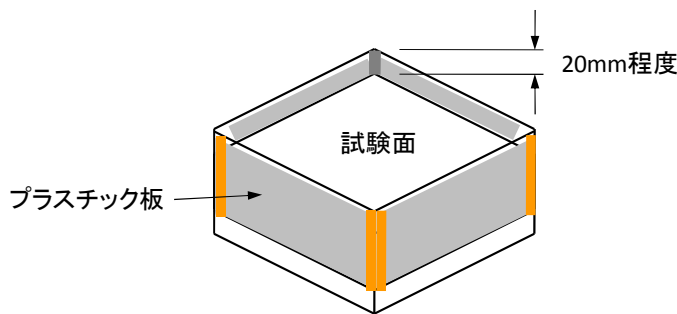


図 9.2.12 試験面に水を湛えるための囲い

(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（塩水3%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。

(3) スケーリング量の測定および供試体の観察

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。

試験面の剥離状態などを観察し、写真記録した。

9.2.2 試験条件

試験条件は、表 9.2.2.1 のとおりである。配合は、W/C50%、空気量 4.5%一定とした。

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。粗骨材を選定した理由は、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、通常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、粗骨材の簡易凍結融解試験の結果（2報参照）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サイクルになると損失質量は大きくなった。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、良質と考えられる粗骨材Aに対し、スケーリング抵抗性が小さいと予測されるC、SCの3種類を対象とした。水セメント比は、40%、50%、60%の3水準である。

表 9.2.2.1 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	○	○	○	

### 9.3 コンクリートの配合、フレッシュ性状、圧縮強度

コンクリートの配合は、表 9.3.1 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 9.3.2 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 9.3.1 コンクリートの配合

骨材と最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	スランプ 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	1160	363	669	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			1117	363	691	4.35(1.2)	2.18(6.00)
	50				42.0				290	750	3.48(1.2)	0.94(3.25)
	60				40.8				242	790	2.66(1.1)	0.66(2.75)
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			1079	400	663	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 9.3.2 フレッシュ性状および圧縮強度

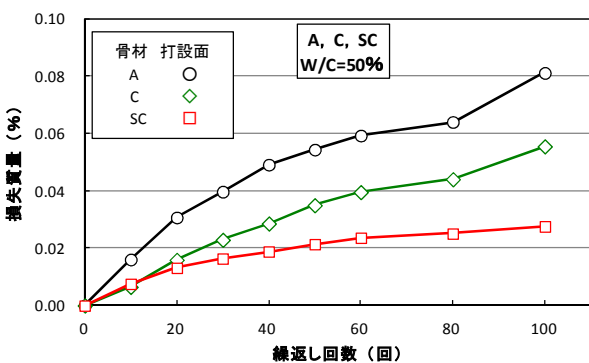
骨材と最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	フレッシュ性状			圧縮強度 (MPa)
		スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	
A20	40	2.6	3.7	21.1	63.1
	50	3.6	4.1	22.1	41.1
	60	4.1	4.2	22.0	34.4
B20	50	6.6	4.0	23.5	45.9
C20	40	4.2	4.0	20.6	60.3
	50	4.6	4.0	22.3	42.3
	60	3.8	4.9	21.7	33.1
G	50	3.2	4.2	23.6	46.0
LD	50	5.0	4.4	23.6	47.3
SC	40	6.2	4.6	21.3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

## 9.4 実験結果

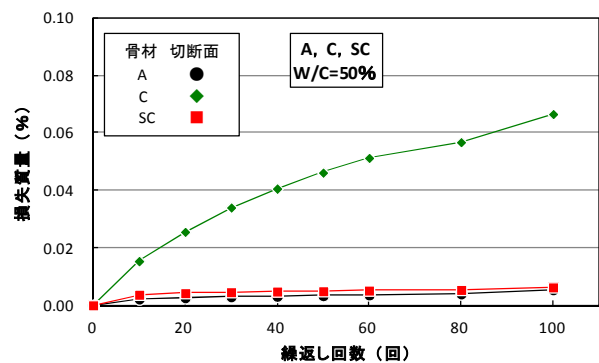
### 9.4.1 水セメント比一定 (50%) で粗骨材 6 種類の結果

6種類の粗骨材のW/C=50%の場合について、繰返し回数とスケーリング量の関係を図9.4.1.1に示す。左の列(a-1、a-2)は、打設面の結果を示している。右の列(b-1、b-2)は、切断面の結果である。上段(a-1、b-1)は、W/Cも変化させた粗骨材A、C、SCの結果、下段(a-2、b-2)はB、G、LDの結果である。

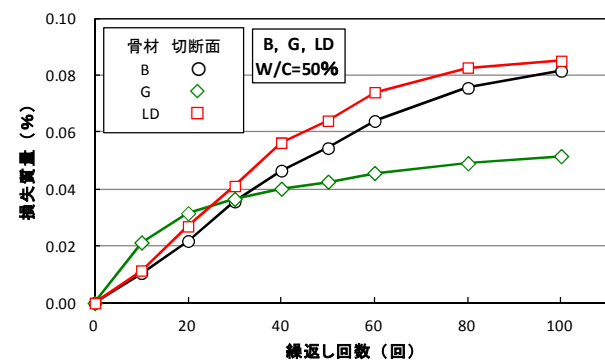
凍結融解の繰返し回数とともにスケーリング量も増えているが、その傾向は骨材の種類、打設面と切断面によって違っている。



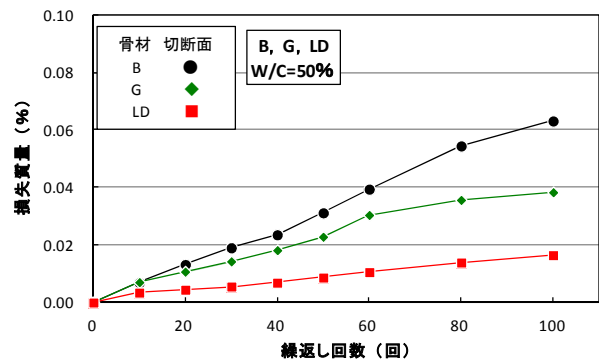
(a-1) 粗骨材 A、C、SC の打設面



(b-1) 粗骨材 A、C、SC の切断面



(a-2) 粗骨材 B、G、LD の打設面

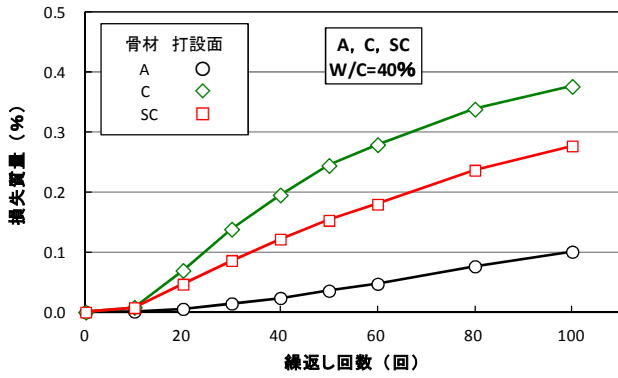


(b-2) 粗骨材 B、G、LD の切断面

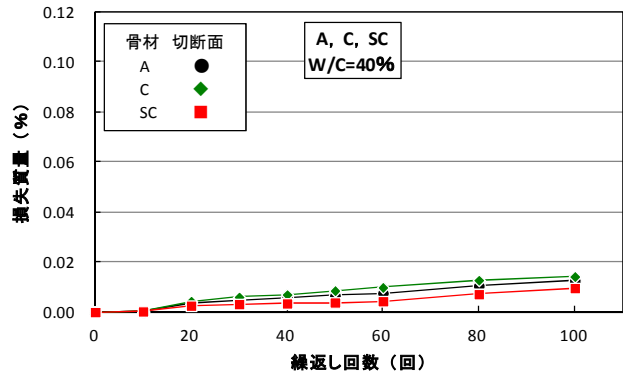
図 9.4.1.1 粗骨材の種類ごとの繰返し回数とスケーリング量の関係

### 9.4.2 水セメント比の影響

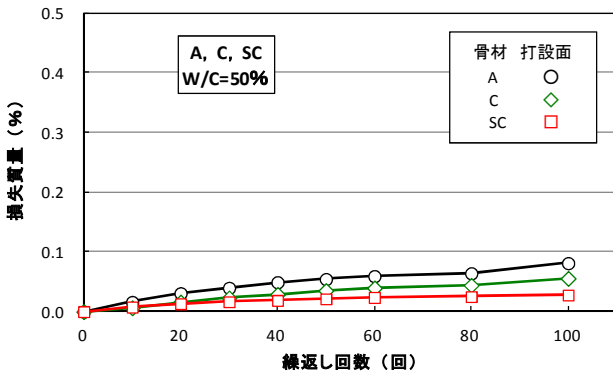
粗骨材 A、C、SC について、W/C 40、50、60% に変化させた場合の繰返し回数とスケーリング量の関係は図 9.4.2.1 のとおりである。上段 (a-1、b-1) は W/C 40%、中段 (a-2、b-2) は 50%、下段 (a-3、b-3) は 60% である。縦の列は図 9.4.1.1 と同様、左の列 (a-1、a-2、a-3) は打設面の結果、右の列 (b-1、b-2、b-3) は切断面の結果である。切断面の結果は、打設面よりもスケーリング量が少なかったため、左と右の列では縦軸が違っていることに注意が必要である。



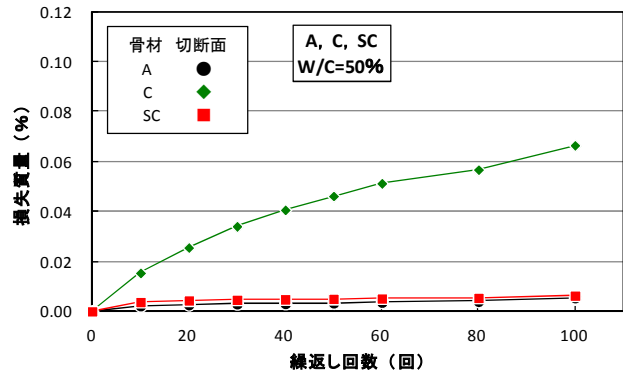
(a-1) W/C=40% (打設面、切断面)



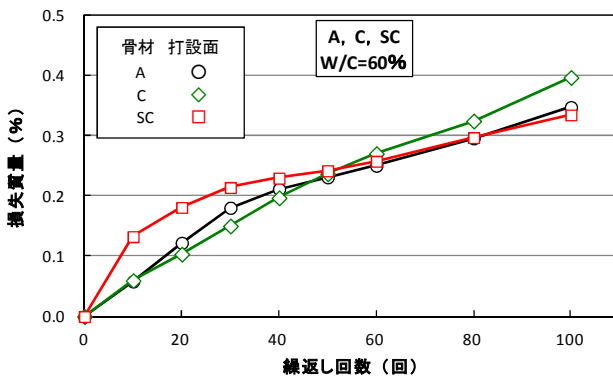
(b-1) W/C=40% (切断面)



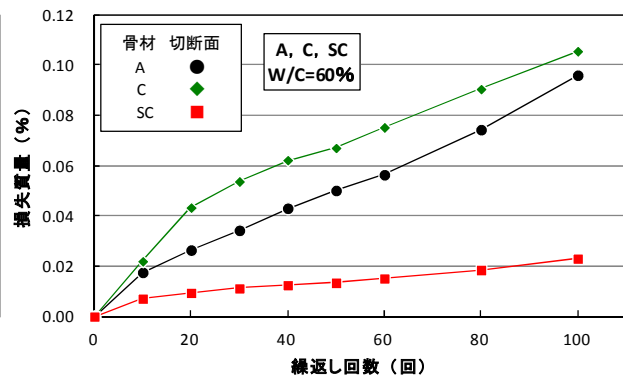
(a-2) W/C=50% (打設面、切断面)



(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)

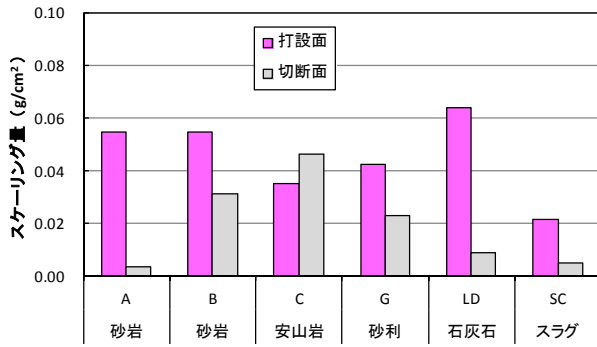
図 9.4.2.1 粗骨材の種類ごとの繰返し回数とスケーリング量の関係

## 9.5 粗骨材の種類とスケーリング量

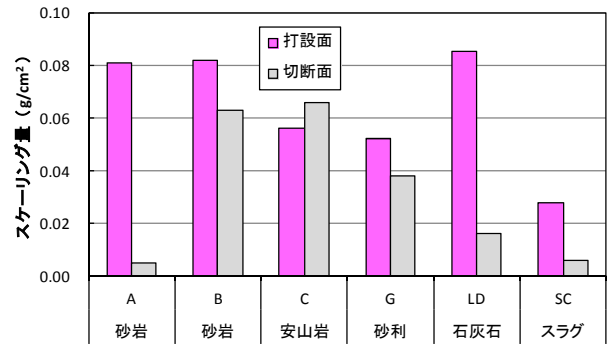
図 9.4.1.1 の 6 種類の粗骨材 (W/C=50%) の繰返し回数とスケーリング量の結果より、50 サイクル、100 サイクルのスケーリング量を図 9.5.1 に示す。(a)は 50 サイクル、(b)は 100 サイクルの結果である。

50 サイクルと 100 サイクルは同じ傾向である。打設面のスケーリング量は、全体に切断面よりスケーリング量が多い傾向にあるが、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。





(a) 50 サイクル



(b) 100 サイクル

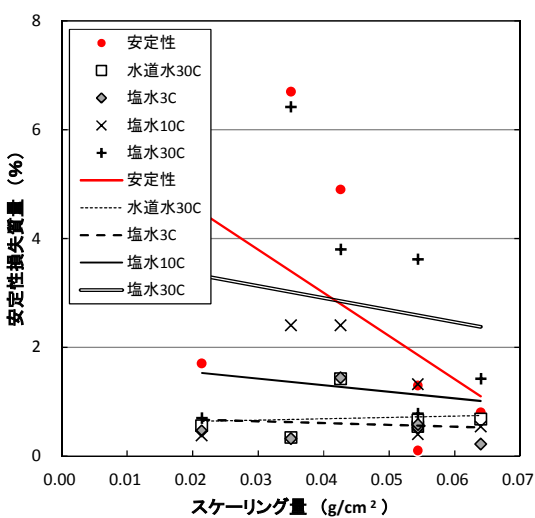
図 9.5.1 粗骨材の種類ごと(W/C=50%)の 50 サイクル、100 サイクル時のスケーリング量

打設面のスケーリングは、その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。

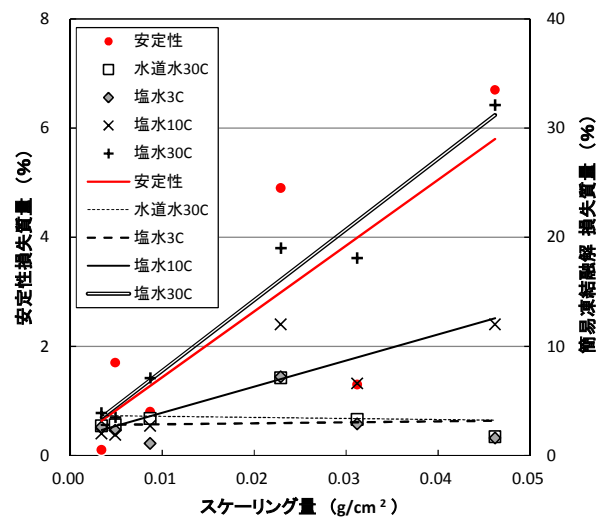
これらの結果より、打設面は主にモルタルのスケーリング抵抗性の確認に適しているものと考えられるが、切断面は骨材のスケーリング抵抗性の確認に適用できる可能性があるものと考えられる。

そこで、粗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、10C、30C の損失質量）と、打設面および切断面のスケーリング量との関係は、図 9.5.2（50 サイクル）および図 9.5.3（100 サイクル）のようになった。一次式 ( $y=a+b \cdot x$ ) による回帰結果は表 9.5.1 のとおりである。

表 9.5.1 の結果より、打設面のスケーリング量と諸指標に相関関係はない。打設面は、主にモルタルのスケーリングであり、コンクリートの配合、施工に伴う表面の仕上げに対する評価に適用できる可能性はあるものの、粗骨材のスケーリング抵抗性とは直接は関係ないものと考えられる。



(a) 打設面



(b) 切断面

図 9.5.2 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(50 サイクル)

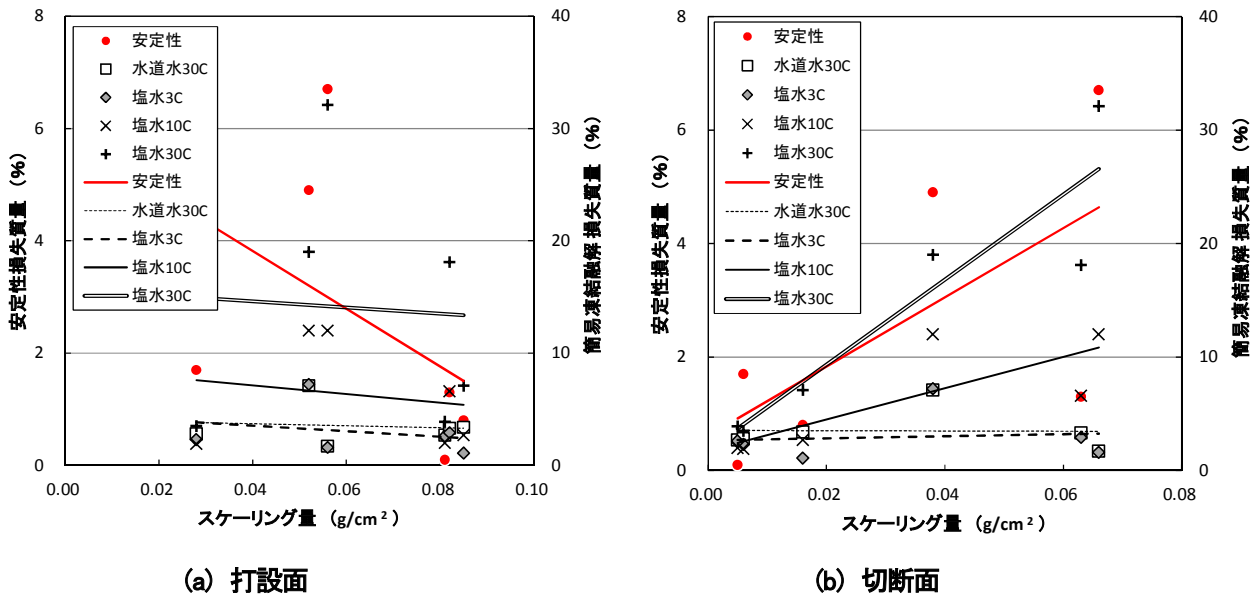


図 9.5.3 骨材の凍結融解抵抗性に関する指標とスケーリング量の関係(100 サイクル)

切断面は、水道水 30C と塩水 3C に相関関係はないが、安定性と塩水 10C の決定係数は 0.4~0.7 程度（黄色の網掛け）であり、ある程度の相関関係はある。塩水 30C の決定係数は 0.8~0.9 程度（ピンク色の網掛け）であり、高い相関関係がある。切断面は粗骨材が直接温度変化に伴う凍結融解の影響を受けるため、粗骨材のスケーリング抵抗性を評価できるものと考えられる。実際の舗装においては、表面のモルタルが剥離した後の粗骨材のスケーリングの評価に適用できる可能性があるものと考えられる。

以上の結果より、従来から実施されている安定性試験は、粗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、塩水による粗骨材の簡易凍結融解試験も、簡易凍結融解試験とスケーリング試験の繰り返し回数を検討することにより、粗骨材が表面に出てきたとき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。

表 9.5.1 スケーリング量と粗骨材の凍結融解抵抗性に関する指標(図 8.5.2 および図 8.5.3)の回帰結果

試験面	試験方法		50 サイクル			100 サイクル		
			a	b	r <sup>2</sup>	a	b	r <sup>2</sup>
打設面	安定性		6.17	-79.32	0.221	5.88	-51.49	0.199
	簡易凍結	水道水	2.95	12.15	0.010	4.07	-8.95	0.012
		塩水 3C	3.72	-16.89	0.014	4.51	-24.43	0.064
		塩水 10C	8.94	-60.56	0.038	8.67	-38.66	0.033
		塩水 30C	18.96	-110.52	0.023	15.69	-27.21	0.003
切断面	安定性		0.23	120.60	0.619	0.61	61.01	0.416
	簡易凍結	水道水	3.69	-9.64	0.008	3.54	-1.15	0.000
		塩水 3C	2.78	8.91	0.005	2.66	8.92	0.013
		塩水 10C	1.52	239.57	0.719	1.74	137.83	0.626
		塩水 30C	1.30	647.22	0.966	1.84	374.66	0.851

## 9.6 水セメント比の影響

W/C を変化させた図 9.4.2.1 の結果より 50 サイクル、100 サイクルのスケーリング量を図 9.6.1 (50 サイクル) および図 9.6.2 (100 サイクル) に示す。

切断面は、W/C が大きくなるほどスケーリング量も多くなり、通常の凍結融解試験の質量減少率と同じ傾向を示している。

打設面の骨材 A は切断面と同様、W/C が大きくなるほどスケーリング量も多くなる傾向にある。C と SC の W/C 50%のスケーリング量はわずかであるが、W/C 40%と 60%は非常に多くなっており、A の W/C 60%と同程度であった。表面仕上げなどの影響を受けているのではないかと考えられるが、この原因は不明である。

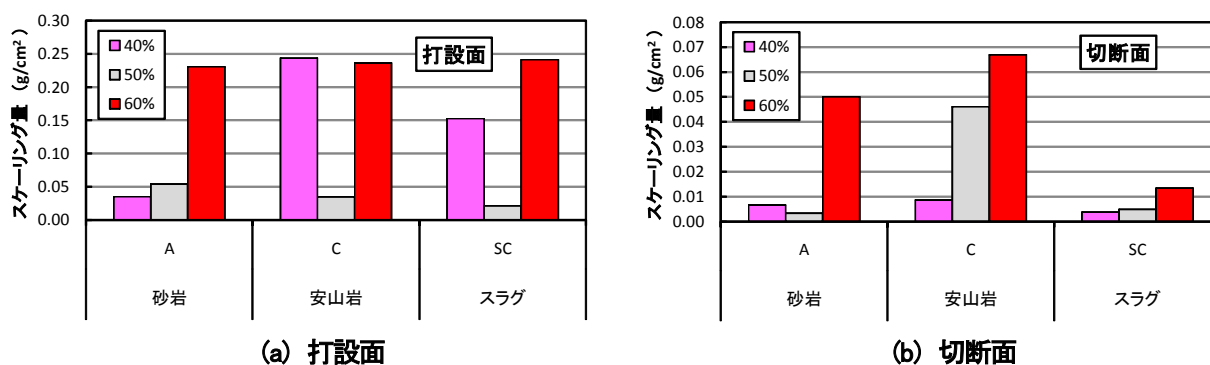


図 9.6.1 50 サイクル時のスケーリング量

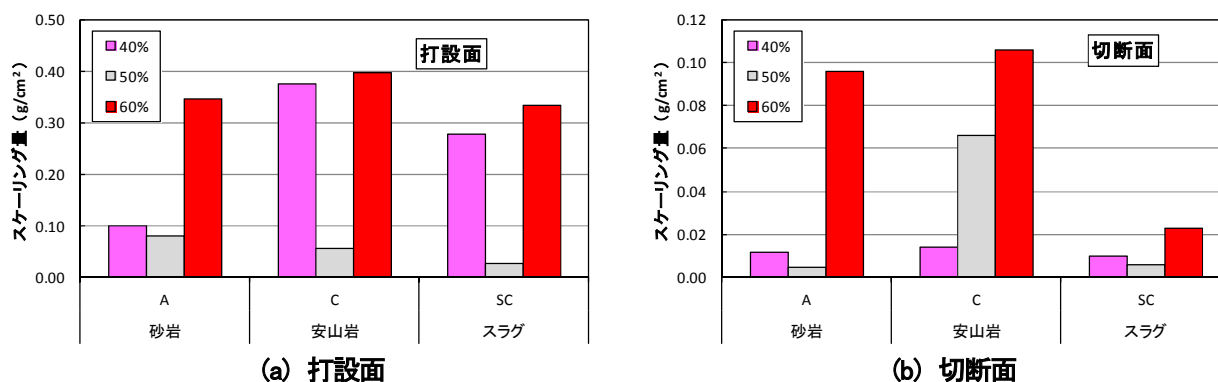


図 9.6.2 100 サイクル時のスケーリング量

## 8.7 スケーリング試験のまとめ

打設面のスケーリング試験結果と、粗骨材の安定性、簡易凍結融解試験との関係を見出すことはできなかったが、切断面は、粗骨材の安定性と、簡易凍結融解試験の塩水による 10 サイクル、30 サイクルと比較的高い相関関係が得られた。粗骨材の簡易凍結融解試験は、粗骨材のスケーリングに関する指標になり得る可能性がある。

## 10. 舗装コンクリートと粗骨材の乾燥収縮の関係

### 10.1 概要

最近、コンクリートの乾燥収縮は、骨材の乾燥収縮の影響が大きいといわれており、2報で報告したコンクリートの乾燥収縮試験結果が、粗骨材の乾燥収縮の影響をどの程度受けているのかを確認するため、3.2節の粗骨材の乾燥収縮試験結果との関係を求めた。

### 10.2 舗装コンクリートの乾燥収縮率試験結果

舗装コンクリートの乾燥収縮率試験結果は2報に示している。粗骨材の種類ごとの結果は、図9.21のとおりである。石灰石とスラグ骨材の場合は小さく、砂岩・安山岩砕石と砂利の場合は大きい傾向がある。

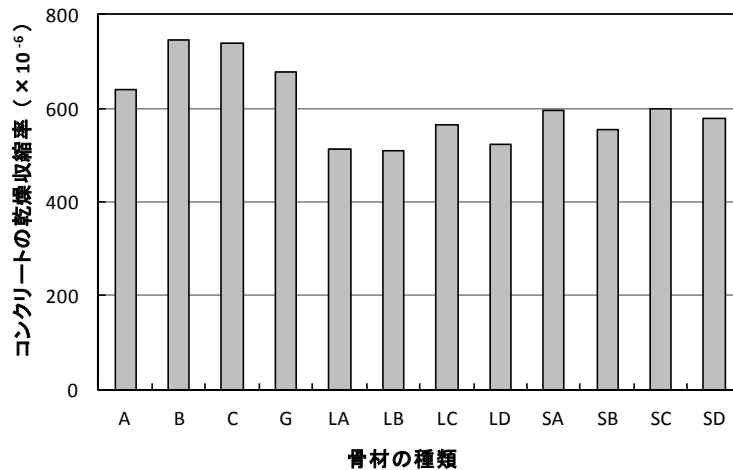


図 10.2.1 舗装コンクリートの乾燥収縮試験結果

### 10.3 粗骨材の乾燥収縮試験結果

粗骨材の乾燥収縮率試験結果は3.2節のとおりであり、その平均値は図10.3.1のとおりである。

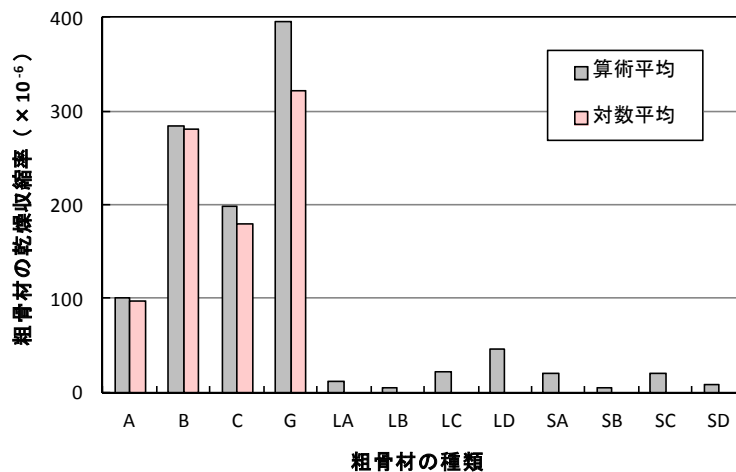


図 10.3.1 粗骨材の乾燥収縮率試験結果

## 10.4 粗骨材とコンクリートの乾燥収縮試験結果の比較

コンクリートと粗骨材の乾燥収縮率試験結果の関係（粗骨材 A、B、C、G の結果は対数）を図 10.4.1 に示す。また、既往の研究結果を図 10.4.2 に示す。

石灰石骨材およびスラグ骨材の乾燥収縮率は極めて小さく（図 10.3.1）、コンクリートの乾燥収縮率も  $600 \times 10^{-6}$  以下であり（図 10.2.1）、両者の関係は図 10.4.1 の左下にかたまっている。粗骨材の乾燥収縮率が大きい粗骨材（硬質砂岩 A、B、安山岩 C および砂利 G）の場合は、その大きさに応じてコンクリートの乾燥収縮率も大きくなっている。粗骨材の乾燥収縮率がコンクリートの乾燥収縮率に及ぼす影響は、図 10.4.2 の既往の結果とほぼ同じである。既往の研究では、粗骨材の乾燥収縮率の 65% がコンクリートの乾燥収縮率を増加させており、その影響は非常に大きい。しかし、石灰石、スラグ骨材がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響はほとんどない。

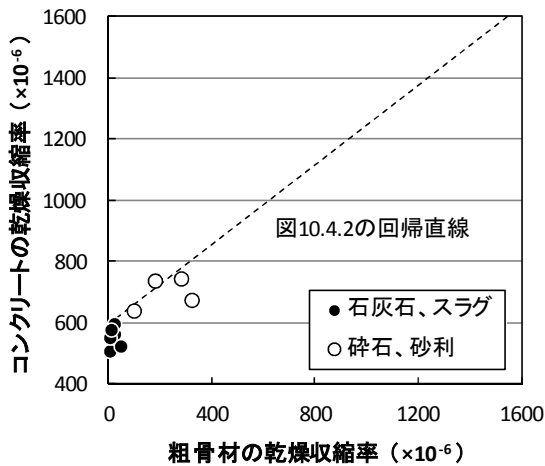


図 10.4.1 粗骨材の乾燥収縮率とコンクリートの乾燥収縮率の関係

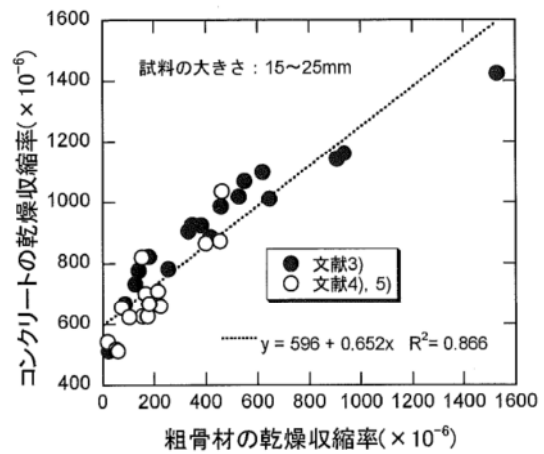


図 10.4.2 粗骨材の乾燥収縮率とコンクリートの乾燥収縮率の関係(既往の研究結果)

粗骨材の乾燥収縮率の平均値と標準偏差の関係を図 10.4.3 に示す。また、既往の研究結果を図 10.4.4 に示す。標準偏差も既往の結果とほぼ同じ範囲に入っている。

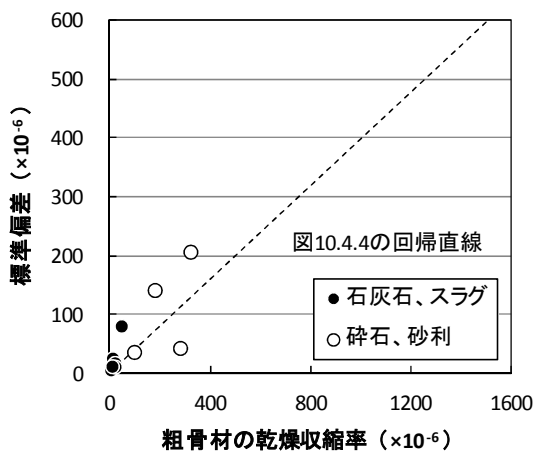


図 10.4.3 粗骨材の乾燥収縮率と標準偏差の関係

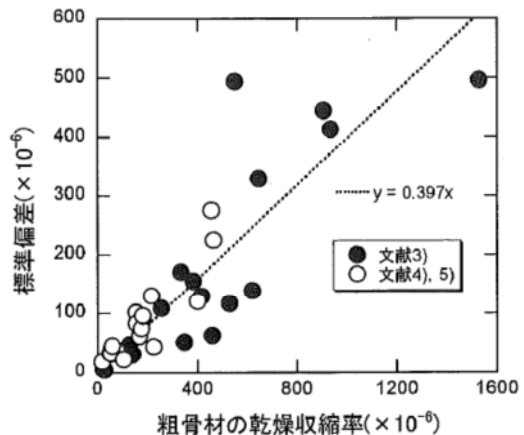


図 10.4.4 粗骨材の乾燥収縮率と標準偏差の関係(既往の研究結果)

## 10.5 まとめ

粗骨材の乾燥収縮率がコンクリートの乾燥収縮率に及ぼす影響は非常に大きく、粗骨材の乾燥収縮率の65%程度が影響している。

石灰石とスラグ粗骨材の乾燥収縮率は極めて小さく、コンクリートの乾燥収縮率も小さくなる。

### 【参考文献】

- 1) (公社)日本コンクリート工学会：コンクリートの収縮特性評価およびひび割れへの影響に関する調査研究委員会報告書、2012.8

## 1 1. まとめ

新たなロット（ロット 2）の粗骨材 5 種類を用いたフレッシュコンクリートの施工性、硬化コンクリートのすり減り、強度試験を行なった。また、既報（共同研究報告書第 455 号および 462 号）と同じくロット 1 の粗骨材を用いたコンクリートのスケーリング試験と粗骨材の凍結融解試験、コンクリートの乾燥収縮率試験と粗骨材の乾燥収縮率試験、コンクリートのすべり試験と粗骨材の PSV 試験を行なった。その結果、以下の結論を得た。

### 11.1 使用した粗骨材の品質

粗骨材ロット 2 の品質は、ロット 1 とほぼ同じであった。

すりへり抵抗性に関しては、ロット 1 とロット 2 を併せてロサンゼルス試験機によるすりへり減量と破砕値の関係を求め、高い相関関係があった。破砕値試験をすりへり抵抗性の評価にも適用できる可能性がある。

粗骨材自体の乾燥収縮、すべり特性を確認するため、乾燥収縮率試験、PSV 試験を行なった。

乾燥収縮率は、石灰石、スラグ骨材は極めて小さく、コンクリートの収縮抑制に期待できる。

PSV 試験は、硬質砂岩 A、石灰石 LC、高炉スラグ SC、電気炉酸化スラグ SD の 4 種類である。BPN は、A が最も高く、SC、SD はわずかに小さかったが、LC はかなり小さかった。

### 11.2 フレッシュコンクリートの施工性試験結果

ロット 2 の 5 種類の粗骨材（硬質砂岩、石灰石、高炉スラグ、電気炉酸化スラグ）について、各種施工性試験を行なった。スランプと沈下度について、一般的にスランプ 2.5cm のとき沈下度は 30 秒程度と言われているが、ロット 2 の各骨材についても同等の値となり、標準的なコンシステンシーを示した。

振動台式コンシステンシー試験の代替として期待されたフローテーブルを用いた締固め性・変形性試験を検討した結果、打撃 80 回の締固め率、締固め率 100% 時の打撃回数、水平方向への広がり易さは、スランプ・沈下度とやや相関があった。もう 1 つ、振動台式コンシステンシー試験の代替として期待された箱形型枠を用いた変形性試験についても検討した結果、エッジスランプ・オーバーフローについてもスランプ・沈下度とやや相関があった。かさ容積を 4 水準変化させて各試験を行なった結果、スランプ、沈下度、打撃 80 回の締固め率、締固め率 100% 時の打撃回数、水平変位のし易さ、エッジスランプ、オーバーフローの各測定値から得られる最適かさ容積は、概ね同等の値を示した。これらの結果より、振動台式コンシステンシー試験の代替として期待された 2 つの試験は、代替として使用できる可能性があることが分かった。

粗骨材の分離試験を行なった結果、スランプが大きい程、締固め時間が長くなる程骨材分離を起こしやすい結果が確認された。また、最大粒径の大きな骨材と密度の大きな骨材はその傾向が大きい。

傾斜角度 2 水準（4 度と 8 度）で、ダレ試験を行なった結果、かさ容積が小さい程、ダレ角度が大きくなる傾向が確認された。また、傾斜角度 8 度の方がダレ角度は大きい、その差は小さかった。今回の実験の範囲では、スランプとダレ角度の間に目立った関係は見られなかった。

### 11.3 舗装コンクリートのすり減り実験結果

硬質砂岩、石灰石、高炉スラグの3種類の粗骨材について、かさ容積を変化させた場合のすり減り試験を実施した結果、かさ容積の影響は明確には得られなかった。

既報（共同研究報告書第455号および462号）の結果と併せ、粗骨材のすりへり減量、破砕値とコンクリートのすり減り量には高い相関関係があり、JISA 1121 のロサンゼルス試験機によるすりへり試験の代替として BS 812 の破砕値試験を適用できる可能性が高いことが明らかになった。

### 11.4 舗装コンクリートのすべり実験結果

6種類の粗骨材と、3種類の粗骨材についてかさ容積を変化させた舗装コンクリートについて、回転ラベリング試験装置を用いてエメリー砂、ショットブラストによる表面研磨、および表面を切断することにより骨材露出率を変化させて、ノーマルタイヤの走行による BPN の変化を測定した。粗骨材の種類、かさ容積がすべりに及ぼす影響は明確ではなかった。骨材露出率が増加するとすべり抵抗性は低下する傾向があった。

石灰石骨材のすべりに関しては、母岩、粗骨材、モルタル、コンクリート、試験施工による詳細な検討を行なった。その結果は、次のとおりである。

- (1) 母岩では、硬質砂岩に比べ BPN が 10 程度低かった。
- (2) 粗骨材の PSV 試験結果は、硬質砂岩に比べ BPN が 20 程度低かった。
- (3) モルタルによる細骨材の検討結果は、石灰石の産地、粒度による違いはなかった。山砂に比べ BPN が 10 程度低かった。
- (4) コンクリートによる細骨材、粗骨材の組合せについて検討した結果、細骨材または粗骨材のどちらかに石灰石を使用した場合、細骨材・粗骨材両方の使用に対して BPN は 20 程度向上したが、硬質砂岩粗骨材と山砂を用いたものよりも 10 程度低下した。
- (5) (4)と同様な骨材の組み合わせのコンクリートを用いた試験施工では、供用 1.5 年において細骨材に石灰石砕砂を用いた箇所はすべり抵抗が低く、川砂を用いた箇所は十分なすべり抵抗を示した。

### 11.5 舗装コンクリートの強度実験結果

各種強度試験を実施した結果は、次のとおりであった。

- (1) W/C と曲げ強度、圧縮強度、引張強度の関係は、骨材ごとに良い相関関係があった。
- (2) 曲げ強度の供試体寸法を□150 から□100 に、引張強度の供試体寸法をφ125 からφ100 にした場合の影響は、数%以内であった。
- (3) 曲げ強度と圧縮強度、引張強度の関係は、骨材の種類などによってかなり異なっている。
- (4) ロットの異なる骨材であっても、粗骨材の物性がほぼ同じで、配合条件を一定にした場合、ほぼ同じ強度が得られた。

### 11.6 舗装コンクリートのスケーリング実験結果

コンクリート切断面で試験すると、粗骨材の安定性と、簡易凍結融解試験の塩水による 10 サイクル、30



サイクルと比較的高い相関関係が得られた。粗骨材の簡易凍結融解試験は、粗骨材のスケーリングに関する指標になり得る可能性がある。ただし、モルタルで覆われた打設面を用いてのスケーリング試験では、今回の実験では、粗骨材の品質（安定性、簡易凍結融解試験結果）との関係を見いだすことはできなかった。

### 11.7 舗装コンクリートと粗骨材の乾燥収縮の関係

粗骨材単体での乾燥収縮率の違いがコンクリートの乾燥収縮率に及ぼす影響はに大きかった。

石灰石とスラグ粗骨材の乾燥収縮率は極めて小さく、これを用いたコンクリートの乾燥収縮率も小さくなった。



# 資 料

1. 粗骨材の物性試験結果
  - 1.1 粗骨材の乾燥収縮率試験結果
2. 施工性試験結果
  - 2.1 フローテーブルを用いた締固め性・変形性試験結果
  - 2.2 フローテーブルを用いた締固め性・変形性試験の写真
  - 2.3 分離試験の断面写真
  - 2.4 ダレ試験結果
3. すり減り試験結果
4. すべり試験結果
  - 4.1 粗骨材の種類の実験結果
  - 4.2 かさ容積の実験結果
  - 4.3 粗骨材の種類研磨面の写真
  - 4.4 かさ容積の研磨面の写真
5. 強度試験結果
6. スケーリング試験結果
  - 6.1 スケーリング量の結果
  - 6.2 スケーリング試験の写真 (100 サイクル)
7. 関連発表リスト



## 1. 骨材の物性試験結果

### 1.1 粗骨材の乾燥収縮率試験結果

(1) 試験に用いた骨材



(2) 乾燥収縮率試験結果 (3章の図 3.2.2.1 以外の結果)

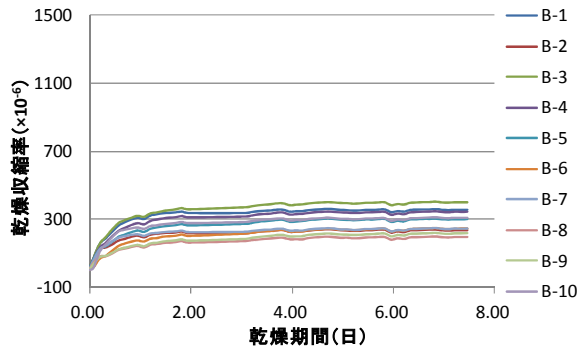


図1 粗骨材 B

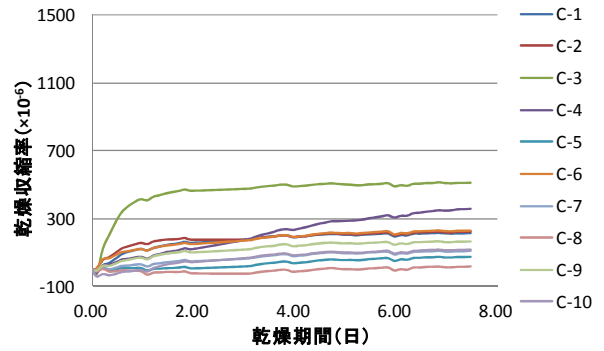


図2 粗骨材 C

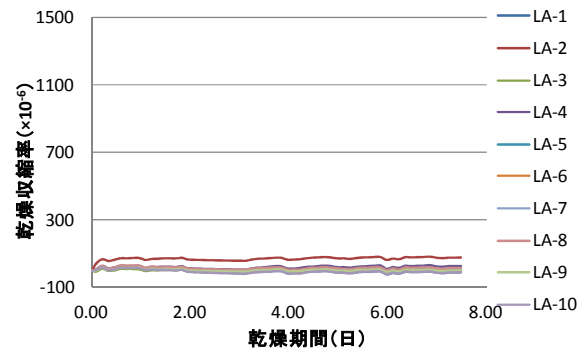


図3 粗骨材 LA

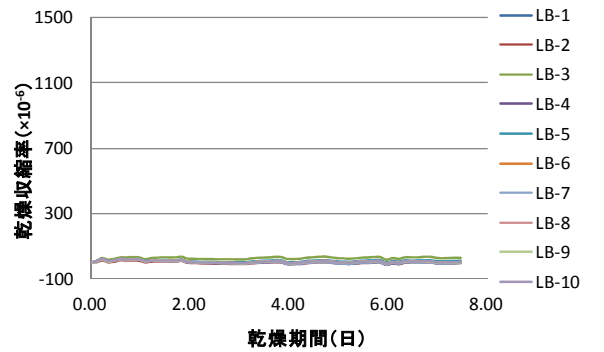


図4 粗骨材 LB

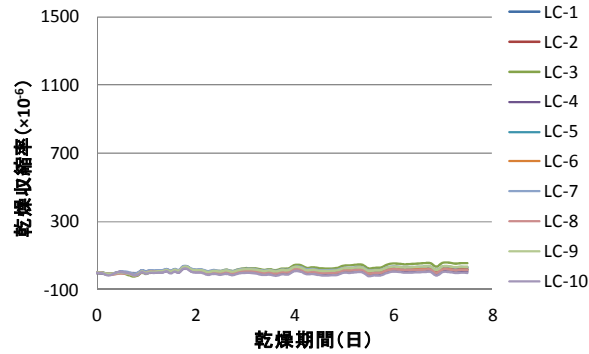


図5 粗骨材 LC

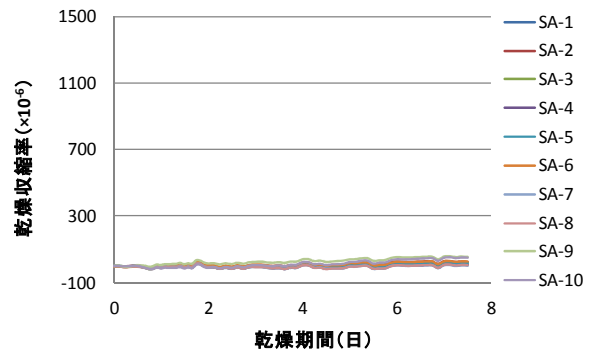


図6 粗骨材 SA

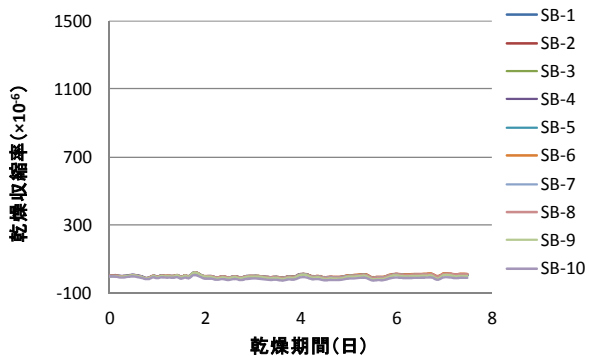


図7 粗骨材 SB

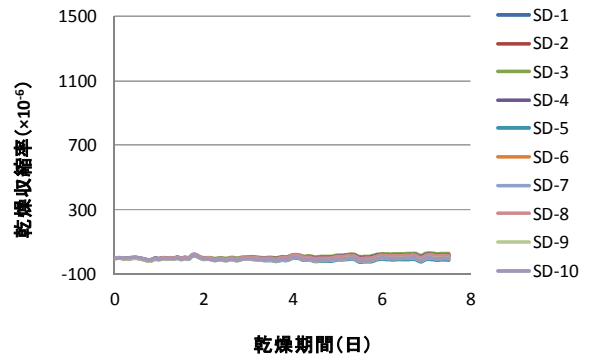


図8 粗骨材 SD

(3) 乾燥期間7日の乾燥収縮率

骨材	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	162	104	134	102	108	22	87	92	65	131
B	359	233	396	342	297	243	245	195	219	310
C	217	220	508	345	74	224	104	11	161	116
G	226	123	355	447	159	64	1468	192	238	687
LA	-12	79	-3	26	8	2	1	17	2	-8
LB	3	-2	28	-3	9	0	-4	5	1	3
LC	27	22	55	8	14	13	34	13	31	2
LD	245	21	9	12	139	-21	4	29	32	-2
SA	7	29	16	7	13	28	0	5	54	43
SB	2	10	3	1	3	9	7	6	2	-8
SC	18	29	7	31	23	17	21	25	-1	41
SD	9	19	31	22	-10	8	-2	14	0	-2

## 2. 施工性試験結果

### 2.1 フローテーブルを用いた締固め性・変形性試験結果

#### 2.1.1 粗骨材 A20

##### (1) 目標スランプ 2.5cm

かさ容積	0.76			0.72(SP0(2.5))		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	194.5	89.8	191.6	91.2	200.6	87.1	209.3	83.4
	5	188.3	92.8	187.1	93.4	193.7	90.2	201.1	86.9
	10	185.4	94.2	183.1	95.4	189.9	92.0	196.7	88.8
	20	181.9	96.0	179.1	97.5	185.5	94.2	191.6	91.2
	40	176.9	98.7	174.5	100.1	179.1	97.5	185.8	94.0
	60	173.0	101.0	172.6	101.2	175.6	99.5	182.3	95.8
	80	171.2	102.0	171.5	101.9	173.9	100.4	179.3	97.4
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	170.5	7.3	171.6	9.4	171.4	6.6	178.3	8.6
	5	163.1	12.3	163.2	13.7	164.4	11.6	173.5	12.6
	10	158.4	16.8	156.6	16.6	157.8	14.9	169.8	12.8
	20	147.7	21.0	146.7	26.1	148.1	23.9	162.6	19.2
	40								
崩れたときの回数	26			37		35		29	

##### (2) 目標スランプ 4.5cm

かさ容積	0.76			0.72		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	195.9	89.2	184.6	94.6	208.4	83.8	212.2	82.3
	5	189.3	92.3	180.1	97.0	199.2	87.7	202.5	86.3
	10	186.3	93.7	177.3	98.6	195.1	89.6	197.6	88.4
	20	182.3	95.8	174.0	100.4	190.0	91.9	191.9	91.0
	40	177.5	98.4	171.7	101.7	185.0	94.4	185.1	94.4
	60	174.3	100.2	170.9	102.2	179.5	97.3	181.0	96.5
	80	172.4	101.4	170.3	102.6	176.4	99.0	177.6	98.3
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	171.7	7.2	167.9	6.9	171.6	7.1	176.9	7.9
	5	164.5	11.2	159.9	14.5	167.5	11.3	172.0	9.0
	10	159.2	18.7	155.0	18.4	162.0	13.9	168.4	11.8
	20	146.1	30.6	146.4	26.9	155.1	21.2	161.4	18.3
	40								
崩れたときの回数	30			38		34		31	

##### (3) 目標スランプ 6.5cm

かさ容積	0.76			0.72		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	210.1	83.3	220.0	79.5	209.8	83.4	223.9	78.1
	5	201.7	86.7	208.9	83.7	200.3	87.3	211.4	82.8
	10	197.5	88.6	204.2	85.7	195.2	89.6	205.3	85.2
	20	192.9	90.7	198.4	88.2	189.3	92.4	198.9	88.0
	40	187.8	93.2	192.2	91.0	180.5	96.9	191.1	91.5
	60	184.3	94.9	188.8	92.7	174.6	100.2	186.4	93.9
	80	181.6	96.3	185.8	94.1	172.9	101.2	182.9	95.7
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	178.9	1.8	176.5	2.8	170.2	1.8	181.3	1.8
	5	170.0	5.8	172.5	7.4	160.9	6.9	172.5	7.5
	10	161.7	15.2	167.2	13.1	156.9	8.2	167.5	12.1
	20					149.7	19.2		
	40					141.7	24.5		
崩れたときの回数	14			18		40		17	



## (4) 目標スランプ 8.5cm

かさ容積	0.76			0.72		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	183.6	95.2	183.5	95.2	178.9	97.7	188.0	92.9
	5	177.8	98.3	177.7	98.3	174.5	100.1	182.2	95.9
	10	175.4	99.6	175.2	99.7	173.2	100.9	178.7	97.8
	20	172.1	101.5	172.9	101.0	172.9	101.0	175.3	99.6
	40	170.0	102.7	171.3	102.0	172.2	101.5	173.0	101.0
	60	169.1	103.3	171.2	102.1	172.4	101.3	171.9	101.6
	80	169.2	103.2	170.5	102.5	171.9	101.6	172.2	101.4
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	165.9	13.2	169.0	9.6	168.4	12.0	168.7	10.3
	5	156.7	22.4	158.6	17.6	153.9	22.2	158.9	14.0
	10	147.8	32.6	150.3	27.0	144.3	31.3	152.7	22.0
	20			129.4	46.1	130.8	46.3	141.6	30.6
	30							132.8	42.2
40							123.5	55.5	
崩れたときの回数	18			26		27		44	

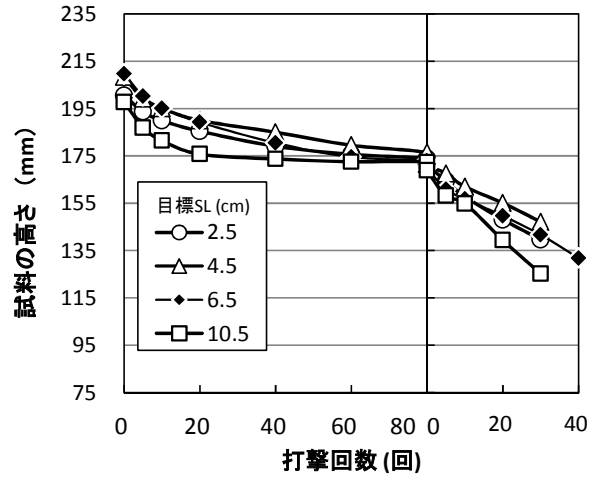
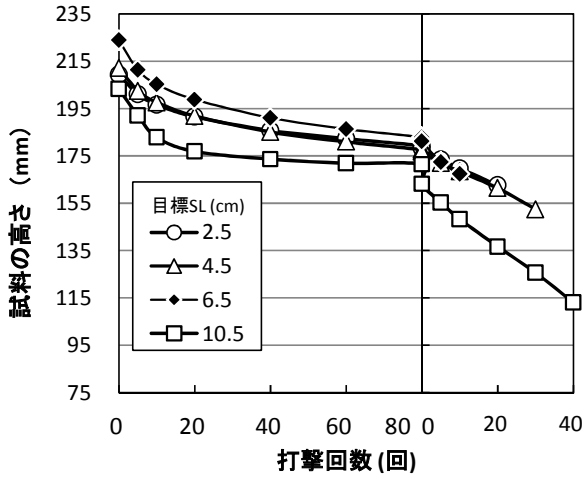
## (5) 目標スランプ 10.5cm

かさ容積	0.76			0.72		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	193.3	90.5	194.8	89.8	197.7	88.5	203.3	86.0
	5	184.5	94.8	189.2	92.5	187.0	93.5	192.1	91.1
	10	179.7	97.4	186.0	94.1	181.5	96.4	182.8	95.7
	20	174.6	100.2	180.5	96.9	175.8	99.5	176.9	98.9
	40	170.4	102.6	175.2	99.8	173.7	100.7	173.7	100.7
	60	169.6	103.2	172.3	101.5	172.6	101.4	171.9	101.7
	80	169.1	103.5	171.3	102.1	172.5	101.4	171.4	102.0
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	163.7	8.1	164.0	4.1	169.0	6.1	163.2	8.2
	5	153.3	13.3	154.2	10.1	158.2	14.8	155.3	13.9
	10	143.5	24.7	146.6	13.7	154.9	19.3	148.3	17.1
	20					139.4	29.5	136.7	28.9
	30					125.3	41.5	125.6	41.5
40							113.1	58.2	
崩れたときの回数	16			17		37		80>	

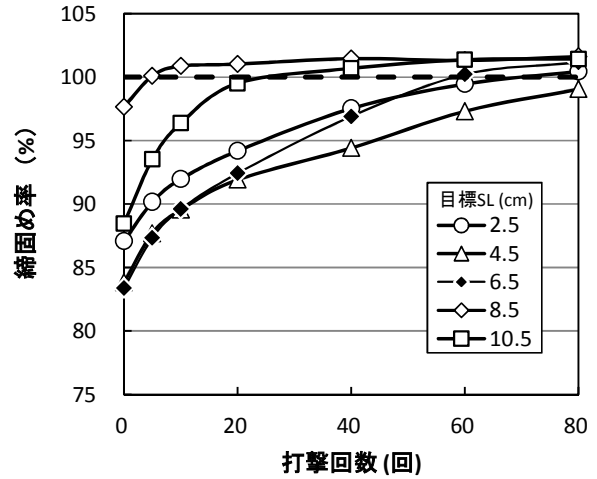
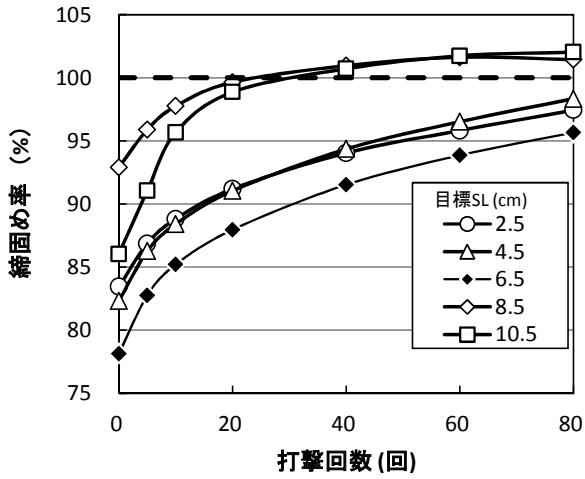
## (6) 目標スランプ 2.5cm (高性能 AE 減水剤)

かさ容積	0.72(SP0(2.5))			0.72(SP1(6.5))		0.72(SP2(10.5))	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	218.6	80.0	209.3	83.6	197.4	88.6
	5	210.6	83.1	201.5	86.8	190.6	91.8
	10	206.7	84.6	197.3	88.7	186.0	94.0
	20	201.6	86.8	192.0	91.1	181.4	96.5
	40	196.3	89.1	185.8	94.1	176.2	99.3
	60	192.4	90.9	181.5	96.4	172.3	101.5
	80	189.6	92.3	178.3	98.1	171.2	102.2
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	181.0	2.3	172.6	3.5	166.5	5.1
	5	172.8	7.6	167.2	8.8	159.4	9.8
	10			160.5	14.4	154.5	13.7
	20			147.7	25.0	144.5	25.1
	30						
40							
崩れたときの回数	8			25		29	

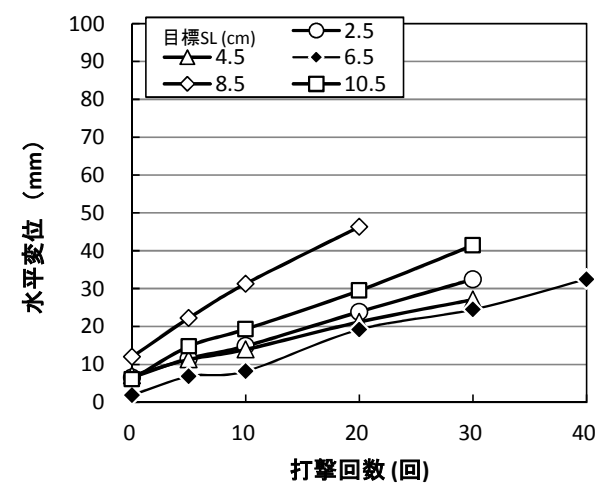
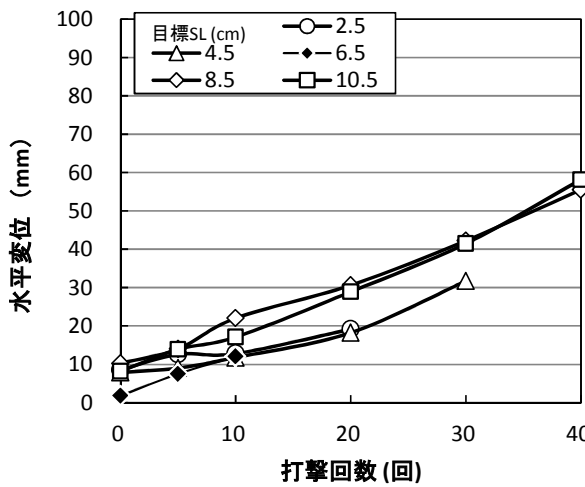
(7) 打撃回数と試料の高さ、締固め率、水平変位との関係



打撃回数と試料の高さ (脱型前～脱型後) との関係



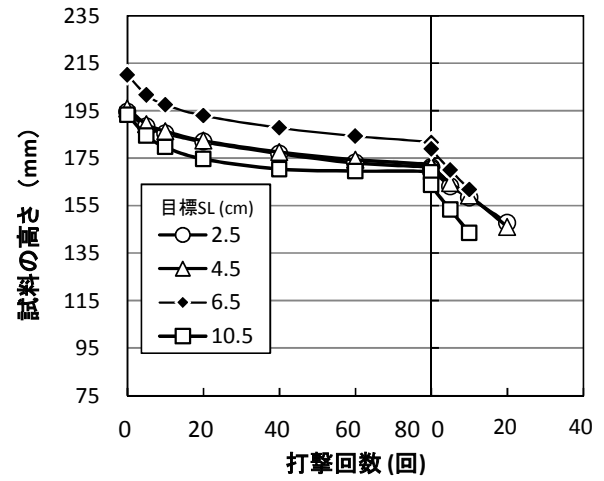
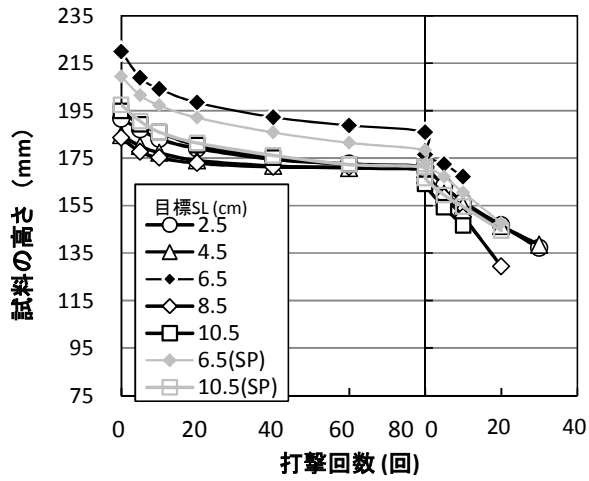
脱型前の打撃回数と締固め率との関係



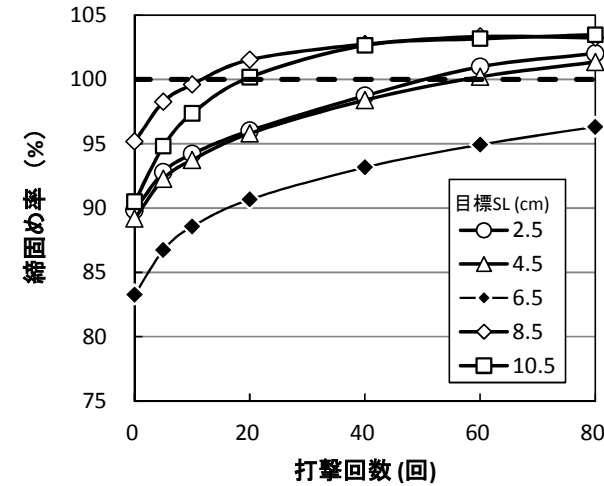
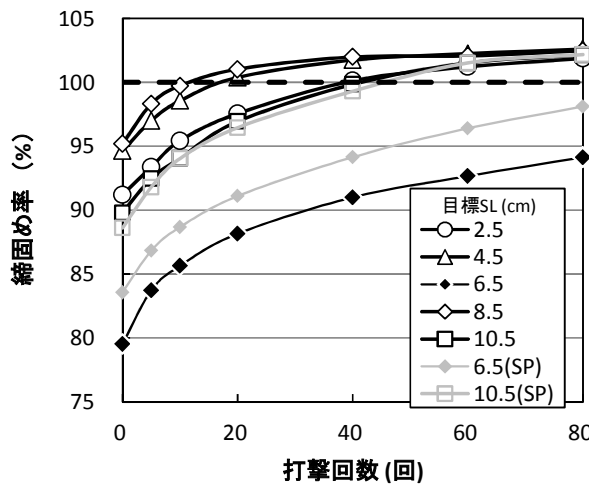
脱型後の打撃回数と水平変位との関係

かさ容積 0.62

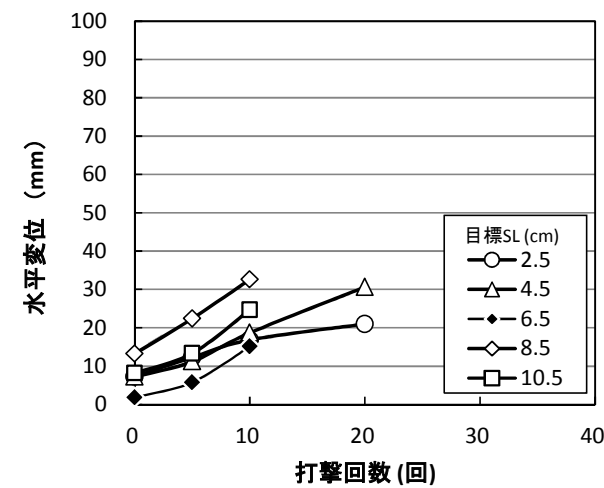
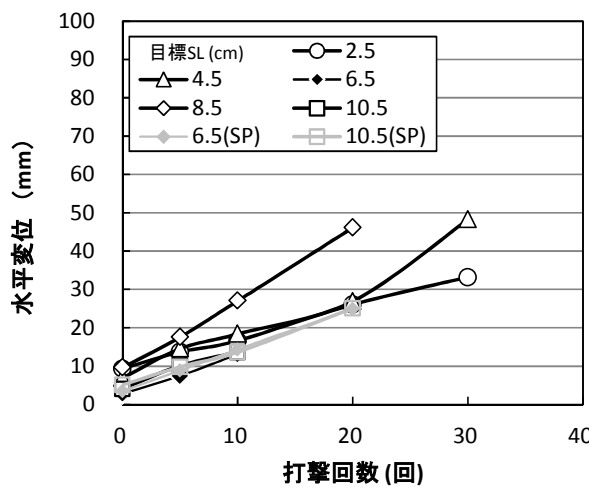
かさ容積 0.67



打撃回数と試料の高さ（脱型前～脱型後）との関係



脱型前の打撃回数と締固め率との関係



脱型後の打撃回数と水平変位との関係

かさ容積 0.72

かさ容積 0.76

## 2.1.2 粗骨材 A40

### (1) 目標スランプ 2.5cm

かさ容積	0.76			0.72		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	217.3	80.5	216.1	81.0	216.4	80.6	224.8	77.8
	5	211.1	82.9	208.2	84.0	207.7	84.0	215.4	81.2
	10	207.0	84.5	203.9	85.8	202.7	86.1	210.3	83.2
	20	202.4	86.4	198.1	88.3	196.6	88.8	205.0	85.3
	40	197.2	88.7	190.5	91.8	188.6	92.5	199.3	87.8
	60	193.7	90.3	184.0	95.1	182.6	95.6	195.8	89.3
	80	190.5	91.8	180.9	96.7	178.5	97.7	192.9	90.7
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	177.0	8.4	175.3	9.4	175.0	9.4	184.2	3.8
	5	170.9	11.9	167.3	11.5	169.3	11.7	178.9	10.4
	10	164.5	15.8	162.5	14.2	164.7	13.7	172.8	10.6
	20			152.5	21.8	153.9	20.8		
	30			144.4	30.1	146.0	28.2		
	40			137.9	39.5	141.4	35.0		
崩れたときの回数	20			52		52		16	

### (2) 目標スランプ 4.5cm

かさ容積	0.76			0.72		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	182.5	95.7	187.5	93.2	188.7	92.6	225.4	77.5
	5	177.7	98.3	181.8	96.1	183.0	95.5	210.1	83.2
	10	175.6	99.5	178.4	97.9	179.9	97.1	203.4	85.9
	20	172.9	101.1	174.4	100.2	176.3	99.1	195.3	89.4
	40	171.2	102.1	171.7	101.8	173.7	100.6	186.4	93.7
	60	171.7	101.8	170.7	102.4	172.6	101.2	180.4	96.8
	80	171.0	102.2	170.0	102.8	172.2	101.5	175.7	99.4
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	168.1	13.0	168.0	12.7	169.6	7.6	173.9	6.5
	5	150.2	27.8	153.1	21.4	156.1	15.4	163.4	17.6
	10	135.8	35.9	142.0	27.7	148.9	21.4	157.1	26.7
	20	113.8	60.3	124.1	43.1	136.8	30.8	144.8	30.4
	30			107.7	62.2	124.4	44.7	133.7	46.9
	40								
崩れたときの回数	22			30		40		40	

### (3) 目標スランプ 6.5cm

かさ容積	0.76			0.72		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	197.6	88.5	197.8	88.4	201.8	86.7	209.9	83.3
	5	190.8	91.7	190.2	92.0	193.6	90.3	199.6	87.6
	10	186.3	93.9	185.3	94.4	188.8	92.6	193.5	90.4
	20	180.9	96.7	179.2	97.6	182.3	96.0	185.4	94.4
	40	176.8	98.9	174.4	100.3	176.4	99.1	178.0	98.3
	60	174.0	100.5	173.7	100.7	175.0	100.0	176.5	99.1
	80	173.0	101.1	172.8	101.2	175.4	99.7	175.2	99.9
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	161.8	11.8	165.8	9.7	170.0	8.3	168.3	8.2
	5	151.2	23.1	153.2	18.7	159.2	14.7	159.1	14.6
	10	144.1	31.6	143.8	25.2	153.3	19.5	151.6	23.3
	20	126.7	53.1	133.3	41.8	142.6	30.3	138.8	34.6
	30					129.9	44.4	126.4	46.5
	40							118.3	58.9
崩れたときの回数	29			29		39		48	

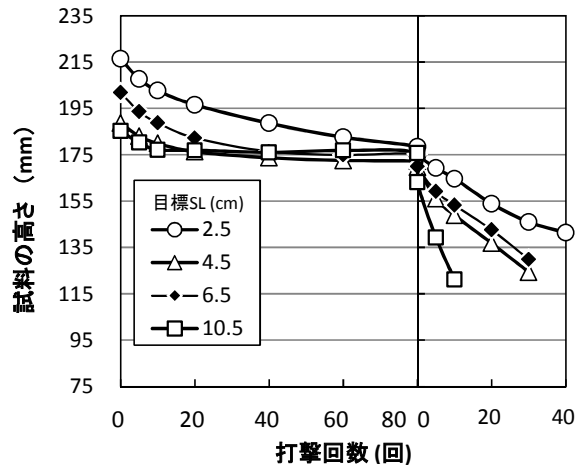
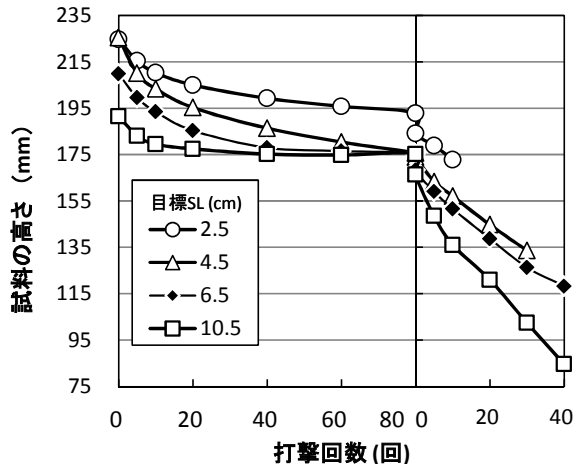
## (4) 目標スランプ 10.5cm

かさ容積	0.76			0.72		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	185.6	94.2	189.5	92.3	185.2	94.4	191.6	91.3
	5	182.0	96.1	182.9	95.6	180.3	97.0	183.1	95.5
	10	179.4	97.5	179.5	97.4	177.2	98.7	179.5	97.4
	20	176.2	99.3	177.3	98.7	177.0	98.8	177.5	98.6
	40	174.2	100.4	173.0	101.1	176.1	99.3	175.2	99.8
	60	171.7	101.9	171.0	102.3	176.9	98.9	174.8	100.1
	80	170.3	102.7	170.7	102.5	175.7	99.6	175.3	99.8
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	156.5	10.0	161.5	6.6	163.2	13.0	166.4	5.7
	5	129.8	32.5	143.0	21.3	139.2	34.3	148.5	19.0
	10			128.9	29.4	121.2	49.5	136.1	29.4
	20							121.1	53.4
	30							102.5	78.4
	40						84.7	90.2	
崩れたときの回数	10			14		20		40>	

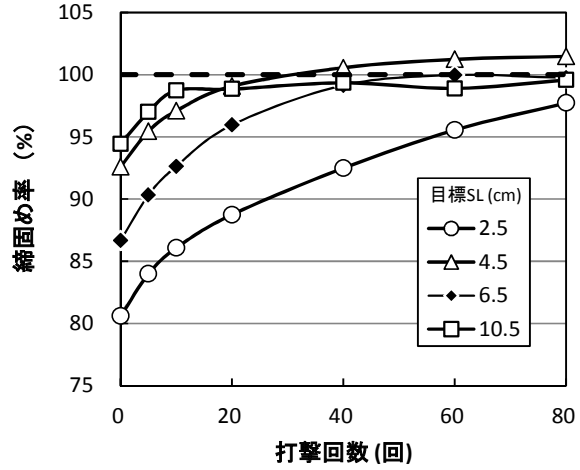
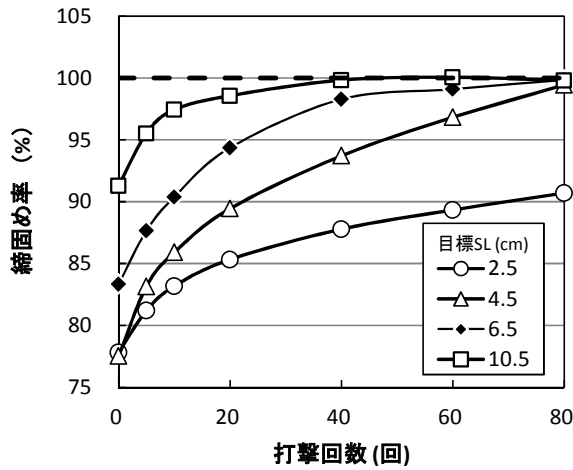
## (5) 目標スランプ 2.5cm (高性能 AE 減水剤)

かさ容積	0.72(SP0)			0.72(SP6.5)		0.72(SP10.5)	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	216.1	81.0	199.6	87.7	197.3	88.7
	5	208.2	84.0	192.3	91.0	190.4	91.9
	10	203.9	85.8	188.0	93.1	186.4	93.8
	20	198.1	88.3	181.9	96.2	181.0	96.6
	40	190.5	91.8	176.4	99.2	177.3	98.7
	60	184.0	95.1	174.7	100.2	176.2	99.3
	80	180.9	96.7	174.2	100.4	176.0	99.4
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	175.3	9.4	169.4	7.6	165.6	7.9
	5	167.3	11.5	163.1	12.6	159.1	16.9
	10	162.5	14.2	156.4	18.7	152.8	21.1
	20	152.5	21.8	145.7	26.8	140.0	30.1
	30	144.4	30.1	134.5	37.7	111.9	40.9
	40	137.9	39.5	128.0	50.6		
崩れたときの回数	52			44		32	

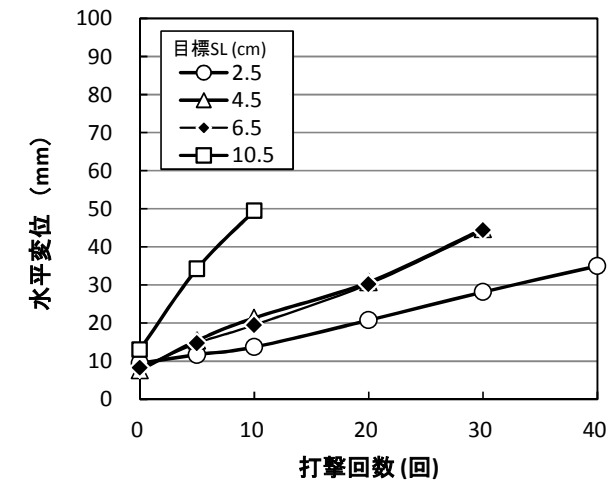
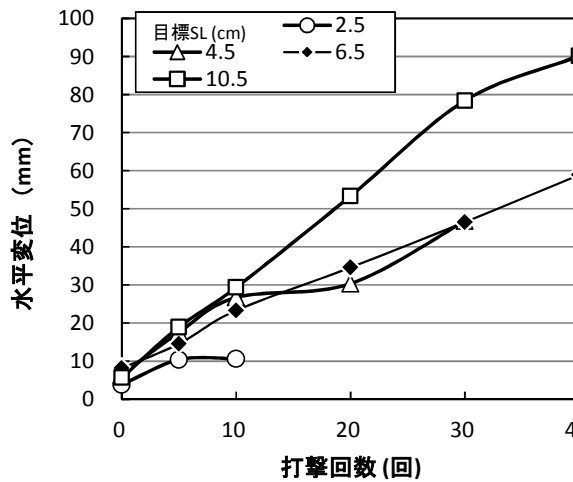
(6) 打撃回数と試料の高さ、締固め率、水平変位との関係



打撃回数と試料の高さ (脱型前～脱型後) との関係



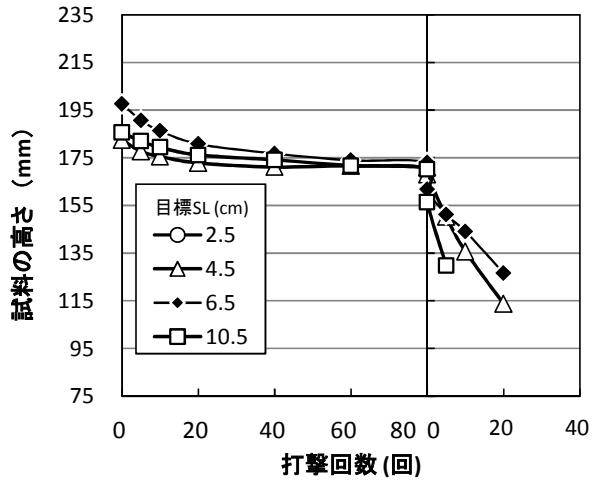
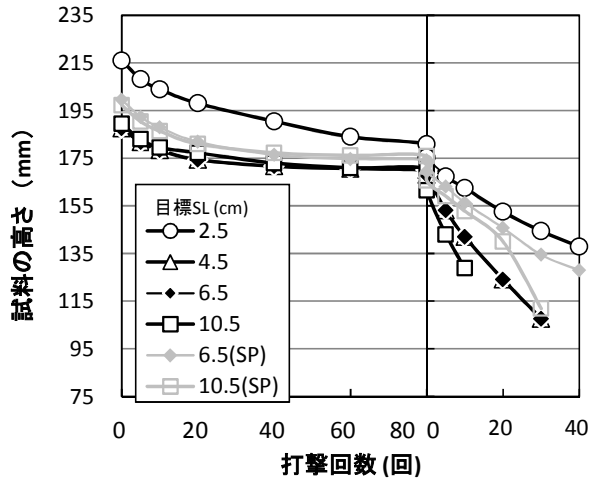
脱型前の打撃回数と締固め率との関係



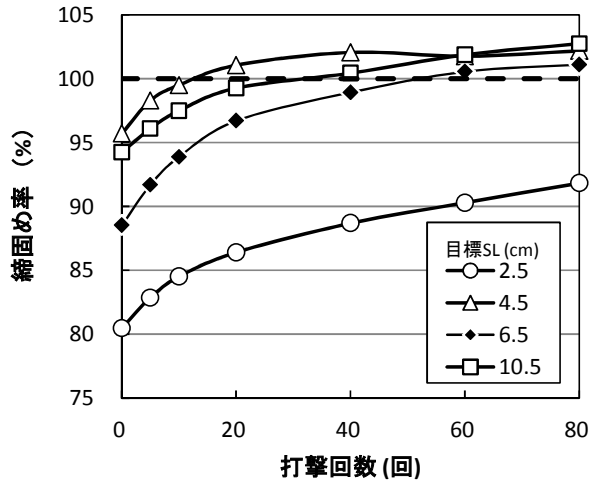
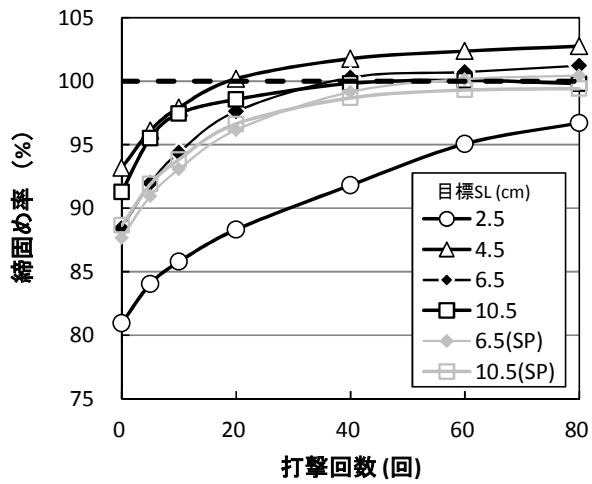
脱型後の打撃回数と水平変位との関係

かさ容積 0.62

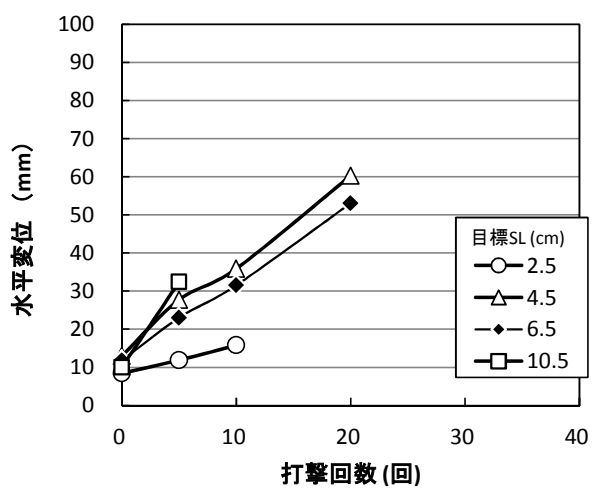
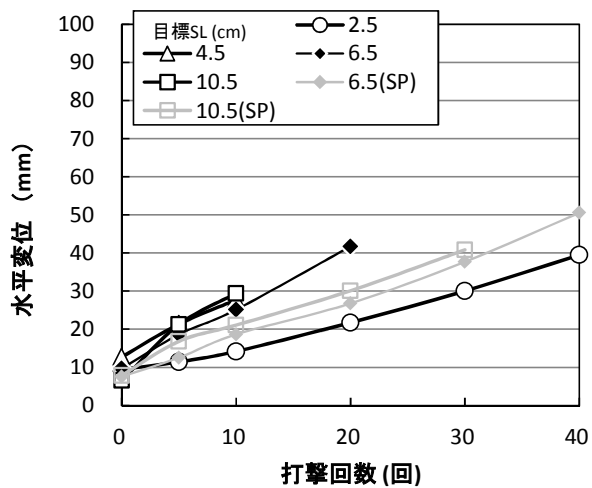
かさ容積 0.67



打撃回数と試料の高さ（脱型前～脱型後）との関係



脱型前の打撃回数と締固め率との関係



脱型後の打撃回数と水平変位との関係

かさ容積 0.72

かさ容積 0.76

## 2.1.3 粗骨材LD20

### (1) 目標スランプ 2.5cm

かさ容積	0.76			0.72		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	211.0	82.9	222.4	78.7	210.4	83.1	227.3	77.0
	5	203.8	85.8	214.3	81.6	203.3	86.1	216.0	81.0
	10	200.0	87.5	210.4	83.1	198.6	88.1	210.8	83.0
	20	194.5	89.9	205.7	85.0	194.0	90.2	205.0	85.3
	40	185.8	94.2	200.5	87.2	188.1	93.0	198.6	88.1
	60	180.4	97.0	196.6	89.0	183.7	95.2	194.7	89.8
	80	176.9	98.9	194.2	90.1	179.9	97.2	191.9	91.2
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	172.4	4.7	189.1	3.5	176.4	3.7	186.5	2.9
	5	163.4	6.7	177.0	9.3	170.4	6.7	180.3	6.3
	10	157.7	11.4			166.1	10.5		
	20	149.3	17.3			156.5	16.5		
	30	138.7	28.0			148.6	27.9		
40									
崩れたときの回数	33			9		39		10	

### (2) 目標スランプ 4.5cm

かさ容積	0.76			0.72		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	188.9	92.5	194.4	89.9	201.2	86.8	214.7	81.4
	5	182.2	95.9	185.9	94.0	193.0	90.5	203.7	85.8
	10	179.6	97.3	182.6	95.7	189.7	92.1	199.0	87.8
	20	176.2	99.2	177.3	98.5	184.2	94.8	193.3	90.4
	40	171.8	101.7	171.9	101.6	177.4	98.5	187.4	93.2
	60	171.2	102.1	170.3	102.6	173.5	100.7	183.1	95.4
	80	170.8	102.3	169.6	103.0	171.9	101.6	179.4	97.4
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	160.2	28.3	162.7	15.2	170.9	8.4	178.0	6.6
	5	151.4	30.4	156.4	22.1	160.3	12.3	171.1	9.5
	10	146.2	35.1	149.2	22.6	155.5	18.6	166.8	14.3
	20	137.1	42.1	137.4	31.5	143.7	27.4	151.7	32.8
	30	124.1	55.0	130.5	40.0	134.1	32.4		
40			117.3	50.9	123.8	43.2			
崩れたときの回数	30			45		41		22	

### (3) 目標スランプ 6.5cm

かさ容積	0.76			0.72		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	205.1	85.3	202.7	86.3	207.3	84.4	232.1	75.4
	5	199.4	87.7	195.4	89.5	197.3	88.6	215.1	81.3
	10	196.5	89.0	191.1	91.5	191.2	91.5	208.2	84.0
	20	191.7	91.2	185.0	94.6	183.2	95.5	200.6	87.2
	40	184.2	95.0	176.2	99.3	176.8	98.9	192.9	90.7
	60	179.4	97.5	173.9	100.6	175.7	99.5	187.4	93.4
	80	175.9	99.5	172.7	101.3	174.8	100.1	182.3	96.0
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	167.7	7.8	165.8	3.8	170.7	8.6	178.8	6.6
	5	159.7	8.4	157.7	5.8	162.5	13.9	169.8	8.6
	10	155.5	12.3	151.5	7.1	157.5	21.0	163.7	12.4
	20	145.0	21.6	144.4	23.6	146.9	26.6	152.8	23.5
	30			126.4	34.1	139.1	37.7	143.2	34.1
40					129.8	51.3			
崩れたときの回数	27			36		57		34	



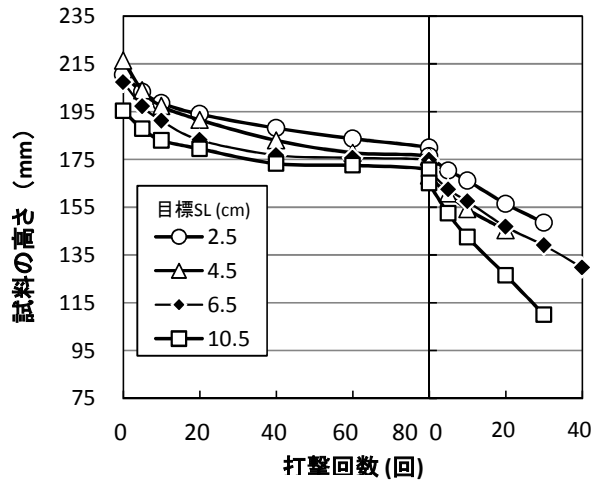
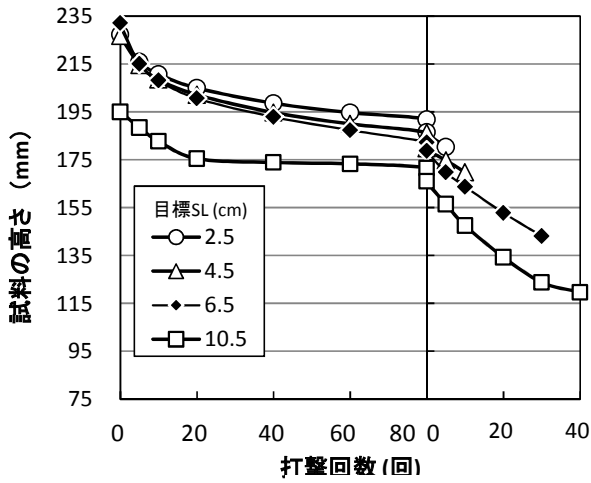
## (4) 目標スランプ 10.5cm

かさ容積	落下回数	0.76		0.72		0.67		0.62	
		沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	189.7	92.2	195.2	89.6	195.3	89.6	195.0	89.7
	5	183.2	95.5	188.4	92.8	187.9	93.1	188.4	92.8
	10	179.4	97.5	184.2	95.0	183.0	95.6	182.8	95.7
	20	175.0	100.0	178.3	98.1	179.5	97.5	175.5	99.7
	40	173.8	100.7	173.5	100.8	173.3	101.0	173.9	100.6
	60	173.0	101.1	172.5	101.4	172.6	101.4	173.3	100.9
	80	172.4	101.5	171.3	102.1	170.8	102.4	171.5	102.0
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	165.0	10.1	164.1	8.3	165.2	9.3	166.1	5.9
	5	150.6	19.4	155.2	15.9	152.5	12.4	156.5	14.3
	10	141.2	30.3	149.1	19.1	142.5	20.4	147.5	19.0
	20			138.0	28.0	126.6	33.4	134.3	30.9
	30					110.1	64.9	123.8	40.5
40							119.7	52.2	
崩れたときの回数		20		30		32		80	

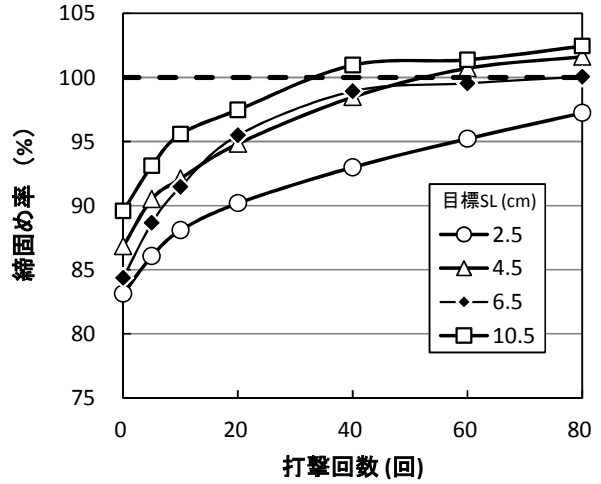
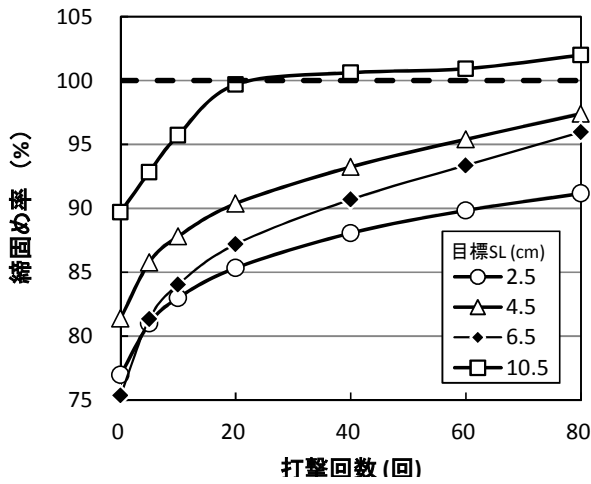
## (5) 目標スランプ 2.5cm (高性能 AE 減水剤)

かさ容積	落下回数	0.72(SP0)		0.72(SP6.5)		0.72(SP10.5)	
		沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	222.4	78.7	195.7	89.4	185.6	94.2
	5	214.3	81.6	188.6	92.7	181.0	96.6
	10	210.4	83.1	184.7	94.7	178.8	97.8
	20	205.7	85.0	179.8	97.3	175.7	99.6
	40	200.5	87.2	176.5	99.1	175.6	99.6
	60	196.6	89.0	175.2	99.9	173.5	100.8
	80	194.2	90.1	174.9	100.0	173.2	101.0
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	189.1	3.5	169.8	1.8	164.8	5.2
	5	177.0	9.3	162.0	6.8	152.1	14.7
	10			156.7	12.8	135.9	28.3
	20			149.0	24.0	128.2	34.0
	30			143.4	30.8		
40							
崩れたときの回数		9		34		30	

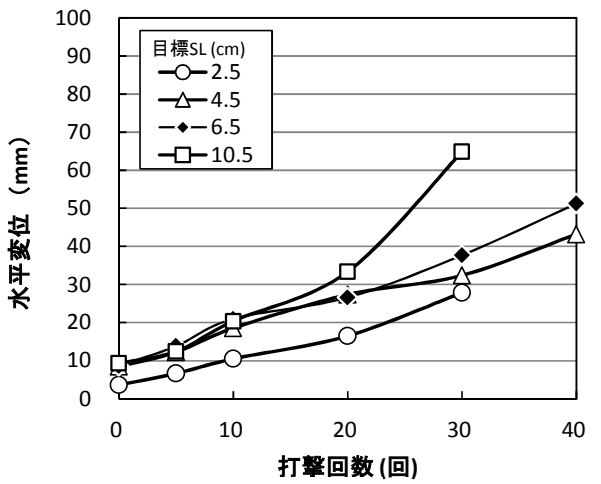
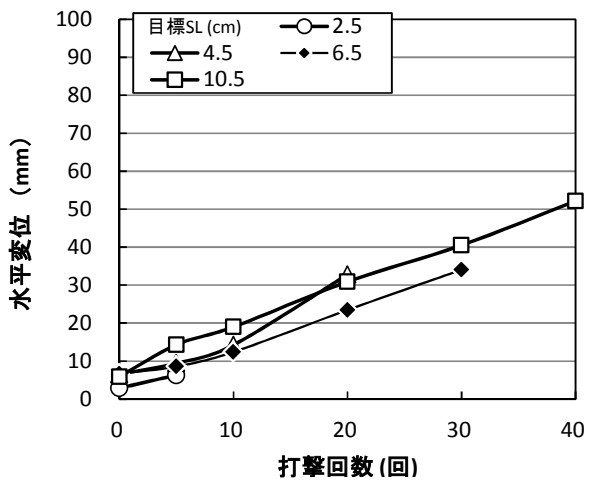
(6) 打撃回数と試料の高さ、締固め率、水平変位との関係



打撃回数と試料の高さ (脱型前～脱型後) との関係



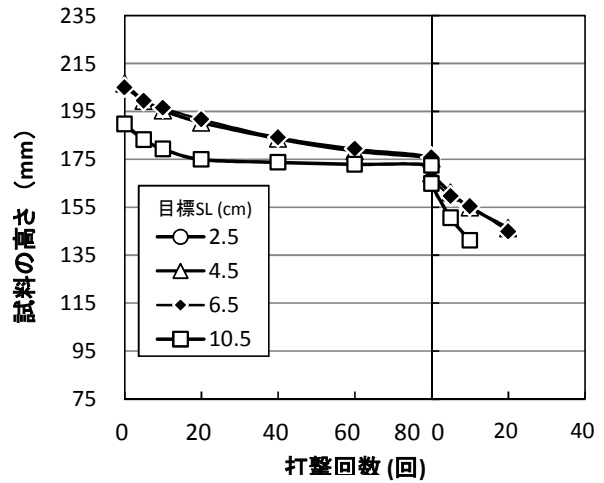
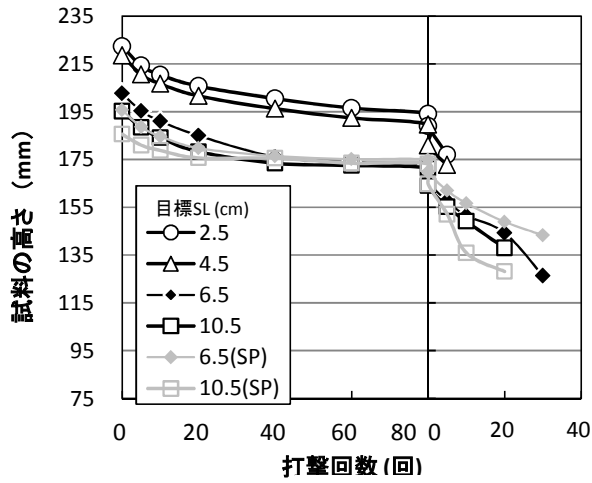
脱型前の打撃回数と締固め率との関係



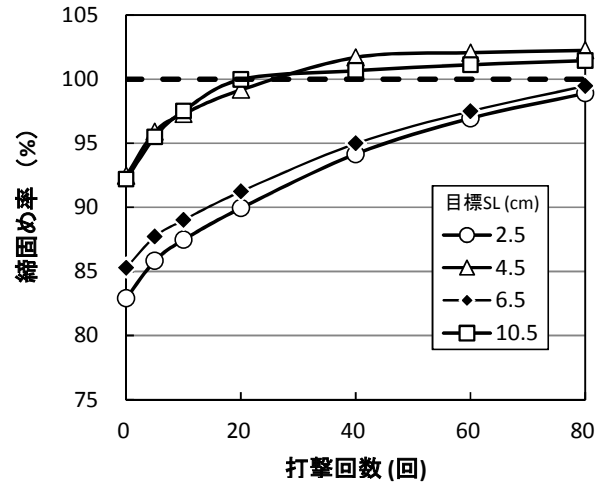
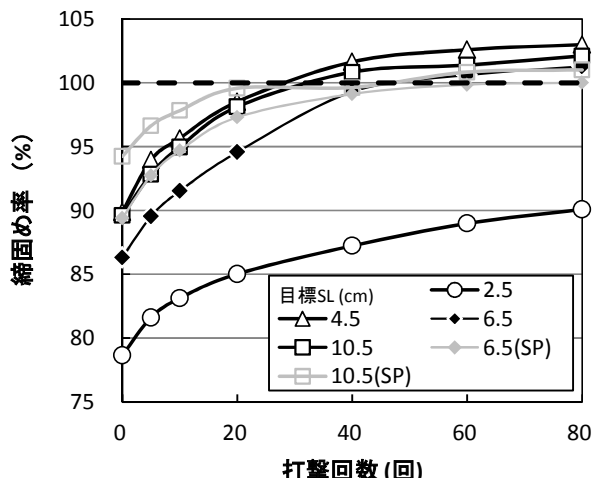
脱型後の打撃回数と水平変位との関係

かさ容積 0.62

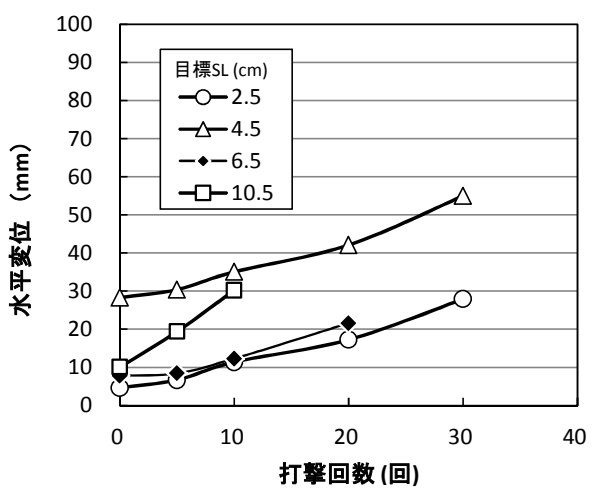
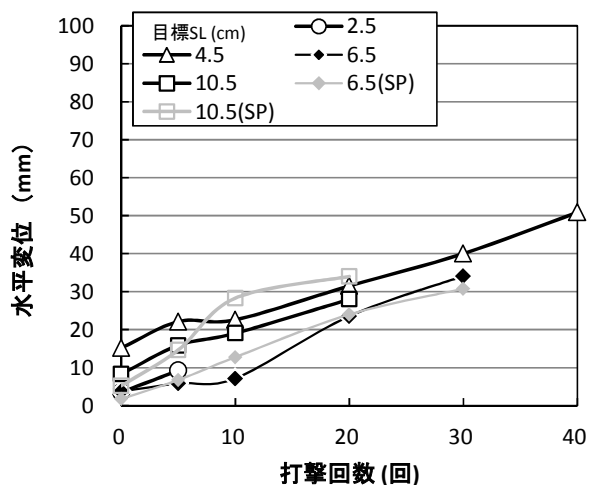
かさ容積 0.67



打撃回数と試料の高さ（脱型前～脱型後）との関係



脱型前の打撃回数と締固め率との関係



脱型後の打撃回数と水平変位との関係

かさ容積 0.72

かさ容積 0.76

## 2.1.4 粗骨材 SC20

### (1) 目標スランプ 2.5cm

かさ容積	落下回数	0.76		0.72		0.67		0.62	
		沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	211.6	82.7	213.2	82.0	221.2	79.1	230.4	75.9
	5	203.6	85.9	205.0	85.3	210.4	83.1	217.1	80.6
	10	199.6	87.6	201.2	86.9	205.0	85.3	210.7	83.0
	20	195.2	89.6	196.6	89.0	198.4	88.2	203.5	85.9
	40	190.1	92.0	191.0	91.6	191.6	91.3	197.1	88.8
	60	186.2	93.9	187.6	93.3	187.1	93.5	193.1	90.6
	80	181.7	96.3	183.6	95.3	183.1	95.6	189.5	92.3
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	175.2	4.1	178.6	4.2	177.2	3.3	184.5	3.0
	5	168.3	7.3	172.3	10.6	171.6	7.6	179.5	7.6
	10	163.3	12.5	167.7	13.3	167.2	12.2	172.9	21.4
	20	151.6	23.6			156.2	20.4		
	30								
40									
崩れたときの回数	24			14		25		13	

### (2) 目標スランプ 4.5cm

かさ容積	落下回数	0.76		0.72		0.67		0.62	
		沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	190.7	91.6	180.1	97.0	187.3	93.3	192.4	90.8
	5	184.0	95.0	175.2	99.7	181.4	96.3	186.0	93.9
	10	181.0	96.5	173.9	100.4	176.9	98.7	182.2	95.9
	20	176.3	99.1	172.1	101.5	174.9	99.9	177.5	98.4
	40	172.7	101.2	170.5	102.5	174.0	100.4	174.8	99.9
	60	171.7	101.8	170.4	102.5	173.6	100.7	174.4	100.2
	80	171.3	102.0	170.4	102.5	173.7	100.6	174.1	100.4
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	167.1	7.9	168.1	9.4	169.9	8.4	170.5	6.7
	5	159.5	13.1	158.2	16.2	160.3	17.3	162.0	11.7
	10	152.6	17.7	153.1	21.4	159.7	24.2	156.1	18.5
	20	140.9	23.2	144.6	31.7	144.3	34.2	144.4	26.8
	30	131.9	32.3	129.4	44.2	133.4	41.3	135.5	34.3
40							126.2	44.6	
崩れたときの回数	38			32		35		56	

### (3) 目標スランプ 6.5cm

かさ容積	落下回数	0.76		0.72		0.67		0.62	
		沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	193.7	90.3	203.1	86.1	211.2	82.8	216.8	80.7
	5	185.5	94.3	194.1	90.1	200.0	87.5	204.3	85.6
	10	181.2	96.5	189.0	92.6	194.2	90.1	198.1	88.3
	20	175.7	99.5	183.1	95.5	187.8	93.1	189.8	92.2
	40	173.8	100.7	175.2	99.9	178.9	97.8	179.9	97.2
	60	173.0	101.1	172.2	101.6	176.5	99.1	176.4	99.2
	80	171.8	101.8	171.3	102.1	174.7	100.1	175.5	99.7
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	167.2	7.1	167.3	4.8	170.6	3.8	170.7	5.1
	5	157.8	13.5	158.0	16.5	163.5	7.7	161.9	9.0
	10	151.9	19.2	155.7	11.6	159.7	13.3	157.8	16.0
	20	143.1	35.1	148.3	23.4	153.5	19.6	148.0	22.6
	30					143.0	26.3	139.2	28.8
40					135.6	37.8	129.2	38.3	
崩れたときの回数	24			25		46		48	

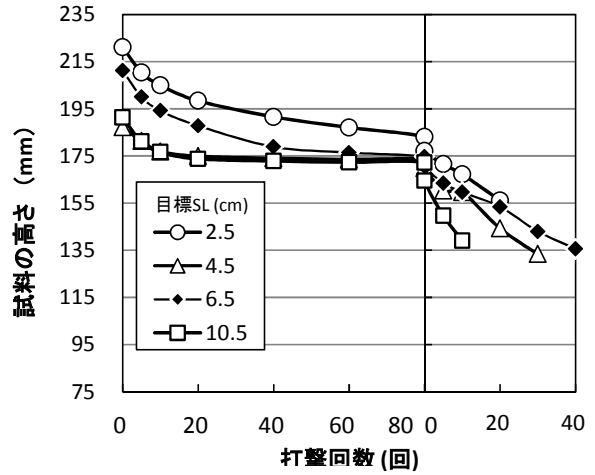
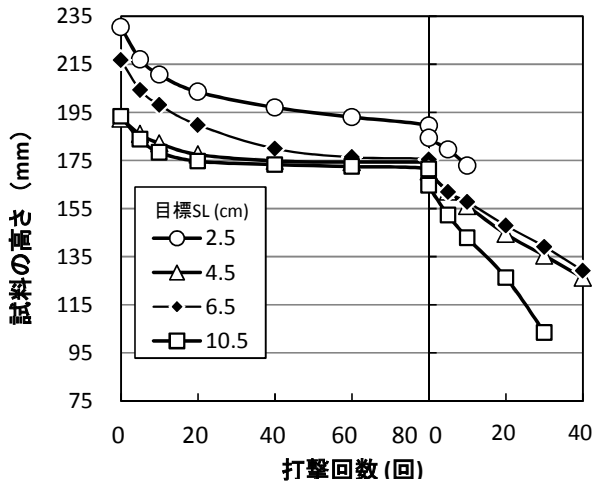
## (4) 目標スランプ 10.5cm

かさ容積	0.76			0.72		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	199.8	87.6	193.1	90.6	191.3	91.4	193.4	90.5
	5	189.7	92.2	183.8	95.2	181.1	96.6	183.8	95.2
	10	183.9	95.1	180.0	97.2	176.7	99.0	178.4	98.0
	20	177.8	98.4	172.2	101.6	173.8	100.6	174.7	100.1
	40	172.9	101.2	168.9	103.6	172.9	101.2	173.3	100.9
	60	172.0	101.7	167.6	104.4	172.4	101.5	172.5	101.4
	80	170.9	102.3	167.0	104.7	172.2	101.6	171.4	102.0
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	165.0	7.6	161.3	8.4	164.5	9.4	164.7	11.0
	5	156.1	16.3	152.1	13.1	149.7	14.5	152.3	16.7
	10	146.0	21.3	145.7	17.9	139.1	28.2	142.9	24.8
	20							126.3	41.7
	30							103.5	57.5
40									
崩れたときの回数	14			20		18		33	

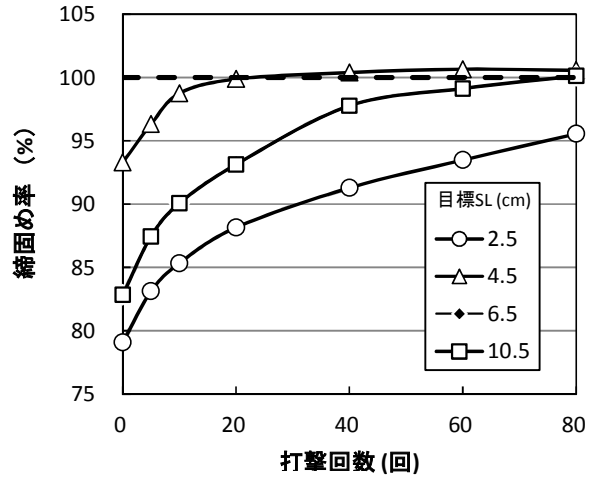
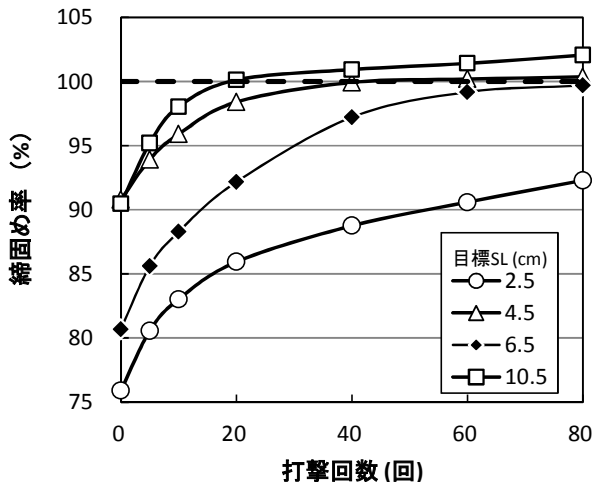
## (5) 目標スランプ 2.5cm (高性能 AE 減水剤)

かさ容積	0.72(SP0)			0.72(SP6.5)		0.72(SP10.5)	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	213.2	82.0	196.3	89.1	194.9	89.8
	5	205.0	85.3	191.2	91.5	187.4	93.3
	10	201.2	86.9	186.4	93.9	184.0	95.1
	20	196.6	89.0	182.0	96.1	180.2	97.1
	40	191.0	91.6	176.9	98.9	176.2	99.3
	60	187.6	93.3	176.5	99.1	174.6	100.2
	80	183.6	95.3	175.2	99.9	174.3	100.4
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	178.6	4.2	168.5	4.6	166.2	7.3
	5	172.3	10.6	163.2	9.1	160.6	13.7
	10	167.7	13.3	159.8	14.3	155.1	17.6
	20			148.6	20.4	146.1	26.2
	30			141.1	30.2		
40			135.9	34.6			
崩れたときの回数	14			49		27	

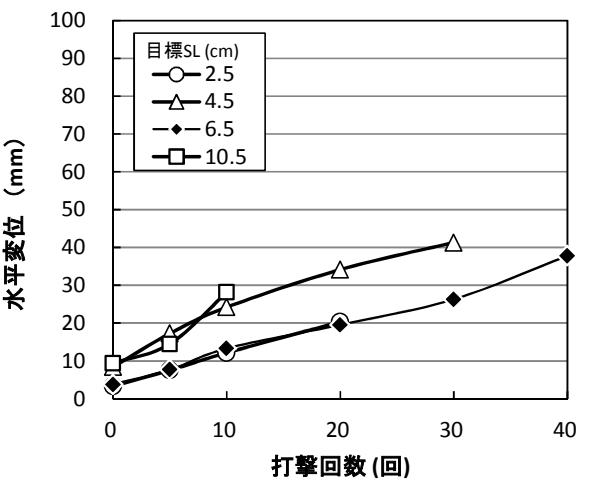
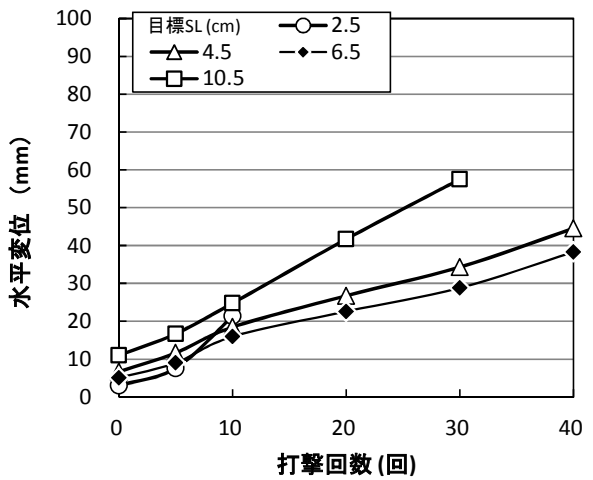
(6) 打撃回数と試料の高さ、締固め率、水平変位との関係



打撃回数と試料の高さ (脱型前~脱型後) との関係



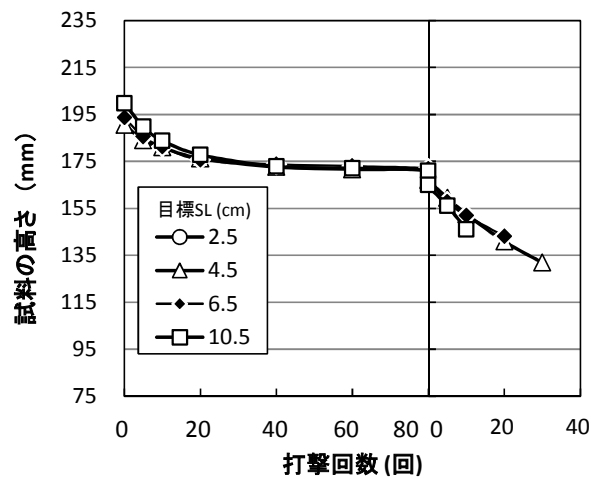
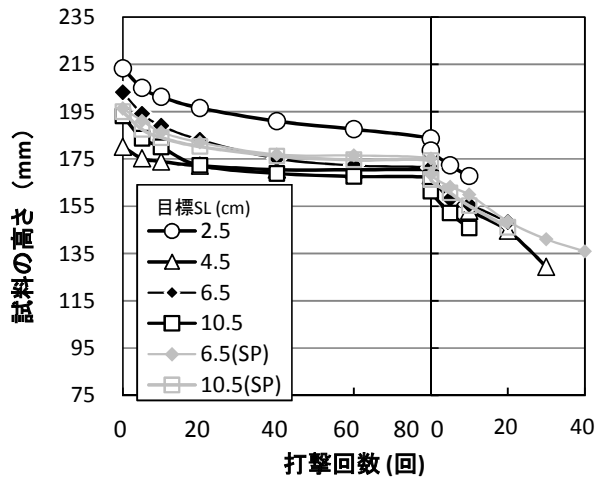
脱型前の打撃回数と締固め率との関係



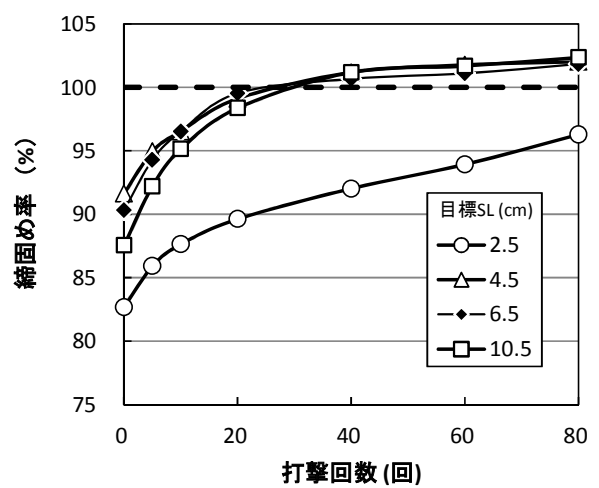
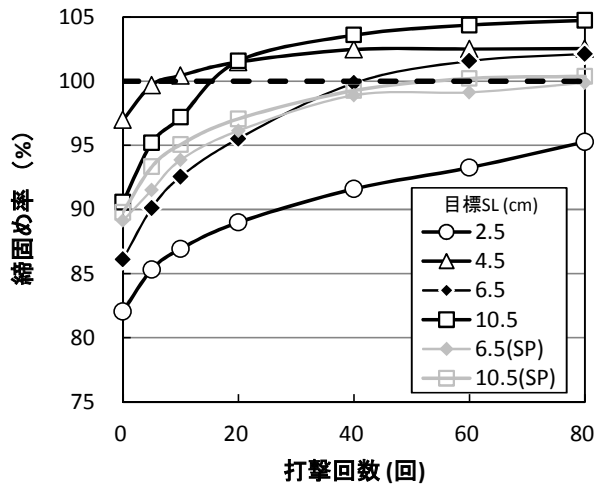
脱型後の打撃回数と水平変位との関係

かさ容積 0.62

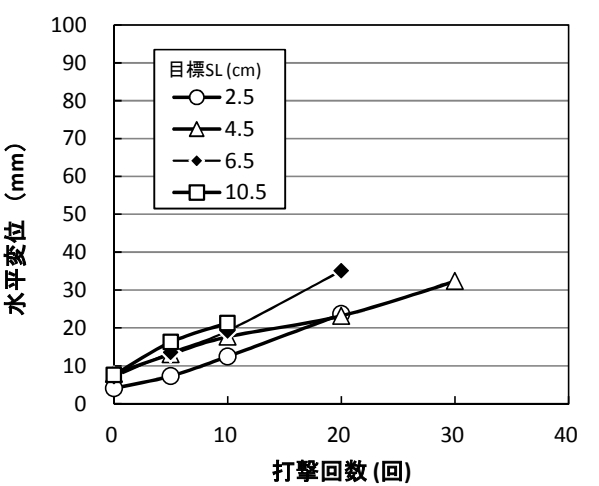
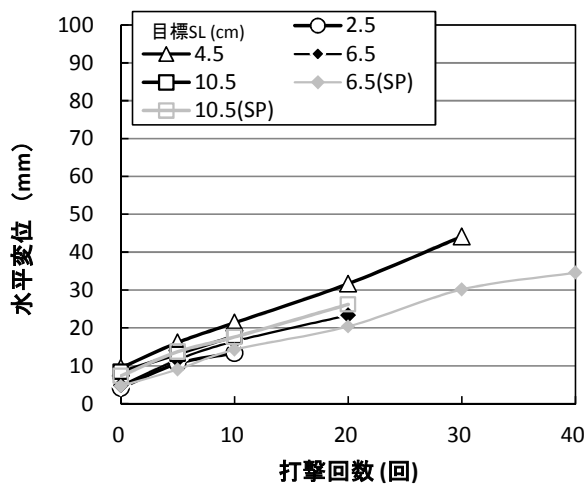
かさ容積 0.67



打撃回数と試料の高さ（脱型前～脱型後）との関係



脱型前の打撃回数と締固め率との関係



脱型後の打撃回数と水平変位との関係

かさ容積 0.72

かさ容積 0.76

## 2.1.5 粗骨材 SD20

### (1) 目標スランプ 2.5cm

かさ容積	0.76			0.72		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	204.4	85.6	202.5	86.4	212.3	82.4	216.2	80.9
	5	197.4	88.6	196.2	89.2	203.2	86.1	206.5	84.7
	10	193.4	90.4	193.2	90.6	198.7	88.0	201.5	86.8
	20	188.8	92.7	188.8	92.6	193.0	90.6	196.0	89.2
	40	179.4	97.5	180.0	97.2	185.1	94.5	189.9	92.1
	60	176.9	98.9	175.4	99.7	178.7	97.9	184.8	94.6
	80	175.6	99.6	172.6	101.4	176.2	99.3	180.3	97.0
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	170.3	6.3	167.7	4.9	172.2	6.4	176.8	4.2
	5	159.2	15.2	158.5	10.1	165.9	7.3	169.0	8.6
	10	151.6	23.4	153.6	18.1	157.1	16.4	166.0	11.8
	20	143.1	36.8	142.0	28.5	147.8	23.7	157.4	20.3
	30								
40									
崩れたときの回数	28			20		28		23	

### (2) 目標スランプ 4.5cm

かさ容積	0.76			0.72		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	176.6	98.9	179.2	97.5	185.5	94.2	204.2	85.5
	5	173.3	100.8	175.2	99.7	180.2	97.0	195.9	89.2
	10	172.2	101.4	173.3	100.8	176.8	98.8	192.2	90.9
	20	171.5	101.9	172.1	101.5	174.1	100.3	187.8	93.0
	40	171.3	102.0	170.8	102.3	171.6	101.8	182.4	95.8
	60	171.1	102.1	170.3	102.6	171.0	102.2	178.5	97.9
	80	170.3	102.6	170.2	102.7	170.8	102.3	175.2	99.7
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	166.5	6.8	167.5	10.6	168.0	8.5	172.9	8.8
	5	152.9	23.1	157.7	17.4	161.0	11.5	167.4	10.5
	10	145.5	23.8	152.6	20.9	156.4	15.8	162.5	14.0
	20	129.8	39.5	142.3	30.0	150.8	25.3	153.9	22.5
	30					143.3	32.1	144.6	32.3
40					132.0	42.1			
崩れたときの回数	24			30		43		32	

### (3) 目標スランプ 6.5cm

かさ容積	0.76			0.72		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	196.5	89.0	191.9	91.2	197.1	88.8	205.9	85.0
	5	189.7	92.2	183.8	95.2	186.8	93.7	195.0	89.7
	10	185.3	94.4	180.0	97.2	181.4	96.4	188.0	93.1
	20	179.6	97.4	175.8	99.5	176.5	99.1	180.5	96.9
	40	173.4	100.9	173.8	100.7	172.0	101.7	175.5	99.7
	60	169.9	103.0	173.0	101.1	171.6	102.0	174.4	100.3
	80	169.2	103.4	171.7	101.9	170.8	102.4	174.3	100.4
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	166.5	4.6	169.1	6.7	168.8	10.8	170.2	6.6
	5	157.8	9.8	153.8	18.7	153.9	16.6	157.1	16.2
	10	153.2	14.5	146.2	23.3	146.4	23.8	145.7	19.7
	20	140.3	26.1	130.3	32.9	135.1	40.8	128.6	33.3
	30							113.7	47.8
40									
崩れたときの回数	22			22		25		37	



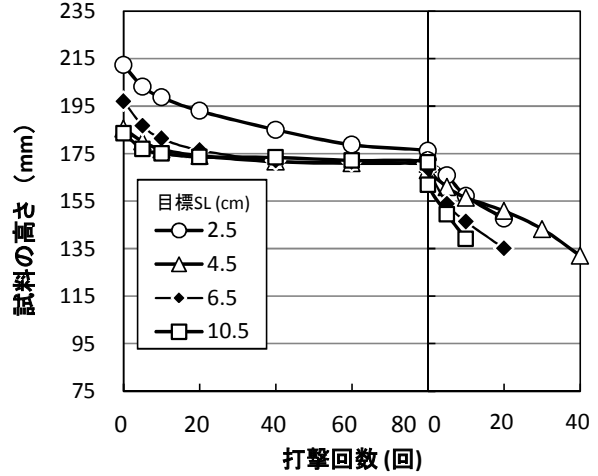
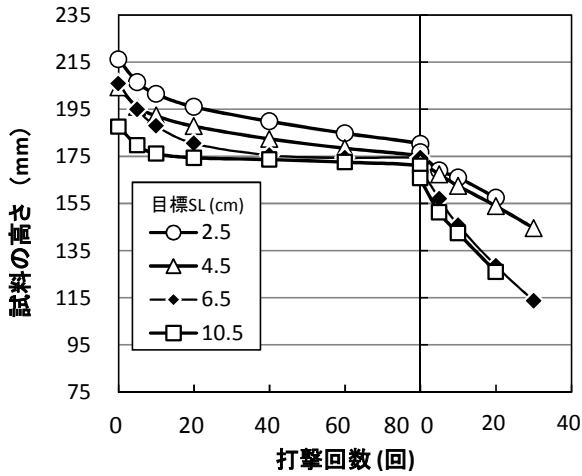
## (4) 目標スランプ 10.5cm

かさ容積	0.76			0.72		0.67		0.62	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	187.5	93.3	188.9	92.6	183.6	95.3	187.6	93.2
	5	181.9	96.2	181.2	96.5	177.0	98.8	179.7	97.3
	10	179.5	97.5	177.2	98.7	175.1	99.9	176.2	99.3
	20	175.2	99.9	172.6	101.3	173.6	100.8	174.4	100.3
	40	173.1	101.0	171.9	101.8	173.4	100.9	173.7	100.7
	60	172.5	101.4	170.9	102.3	172.1	101.6	172.6	101.4
	80	172.4	101.5	169.7	103.1	171.3	102.1	170.9	102.3
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	159.3	11.5	163.6	9.4	161.9	9.9	165.7	5.8
	5	142.0	21.1	152.6	21.5	149.6	21.4	151.2	17.6
	10			145.2	31.9	139.1	30.2	142.4	25.9
	20							126.0	43.5
	30								
40									
崩れたときの回数	10			18		19		30	

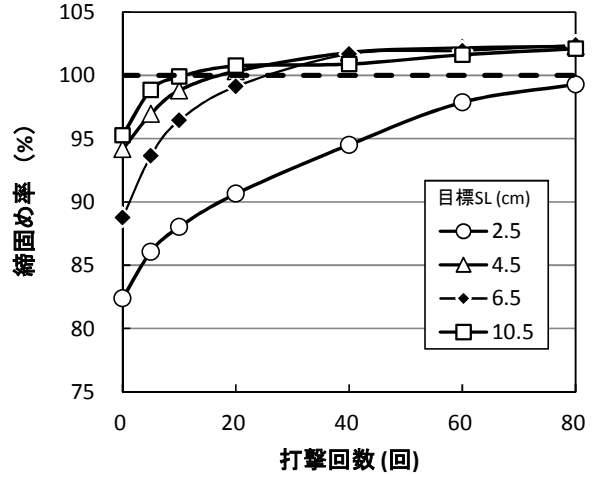
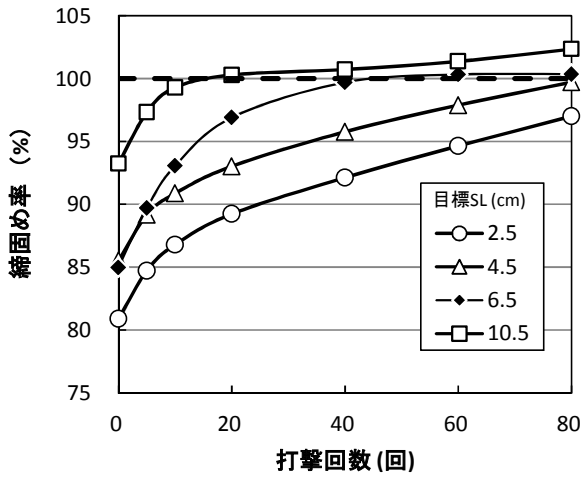
## (5) 目標スランプ 2.5cm (高性能AE減水剤)

かさ容積	0.72			0.72(SP6.5)		0.72(SP10.5)	
	落下回数	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率	沈下量	締固め率
	回	mm	%	mm	%	mm	%
締固め性	0	202.5	86.4	189.3	92.4	185.2	94.4
	5	196.2	89.2	183.4	95.4	180.9	96.7
	10	193.2	90.6	180.3	97.0	179.2	97.6
	20	188.8	92.6	176.8	99.0	176.9	98.9
	40	180.0	97.2	173.9	100.6	175.7	99.6
	60	175.4	99.7	172.5	101.4	174.1	100.5
	80	172.6	101.4	171.6	101.9	173.5	100.8
変形性			広がりmm		広がりmm		広がりmm
	0	167.7	4.9	165.8	10.9	165.0	12.0
	5	158.5	10.1	157.8	22.0	157.1	18.6
	10	153.6	18.1	153.1	22.8	151.8	25.2
	20	142.0	28.5	143.7	33.9	143.8	38.2
	30						
40							
崩れたときの回数	20			30		23	

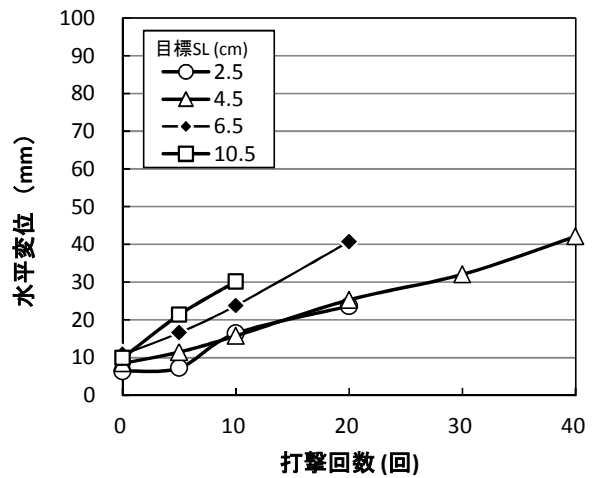
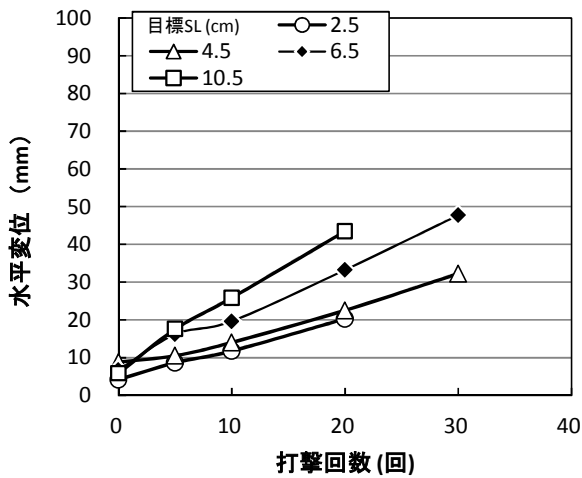
(6) 打撃回数と試料の高さ、締固め率、水平変位との関係



打撃回数と試料の高さ (脱型前～脱型後) との関係



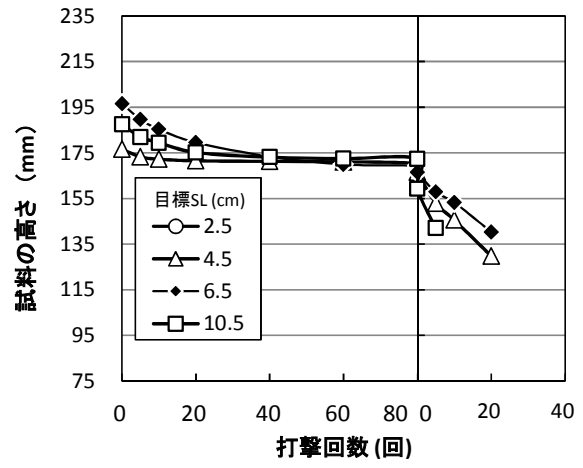
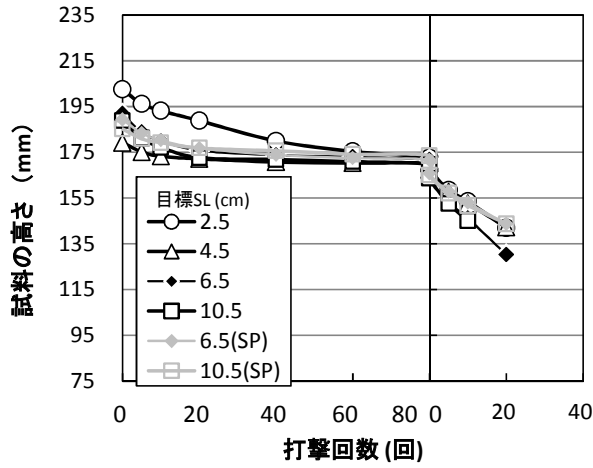
脱型前の打撃回数と締固め率との関係



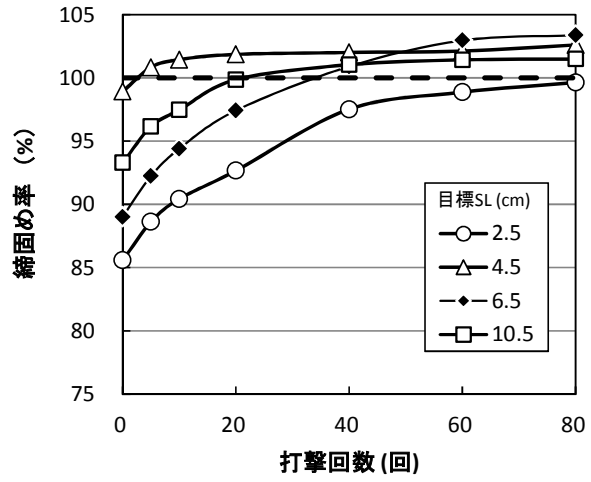
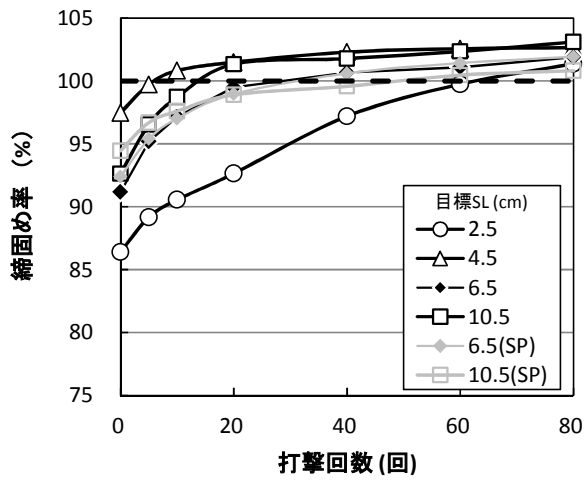
脱型後の打撃回数と水平変位との関係

かさ容積 0.62

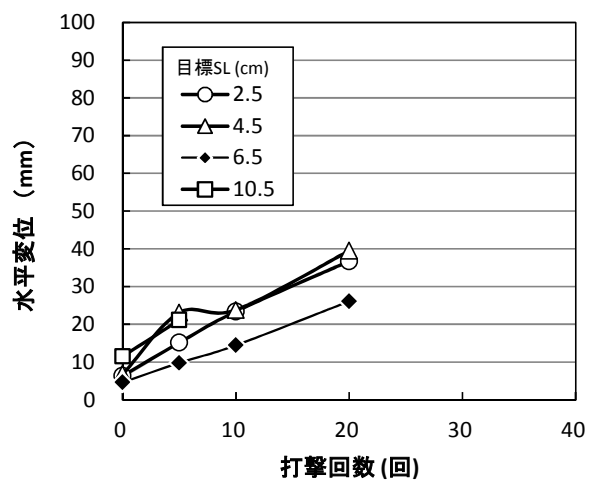
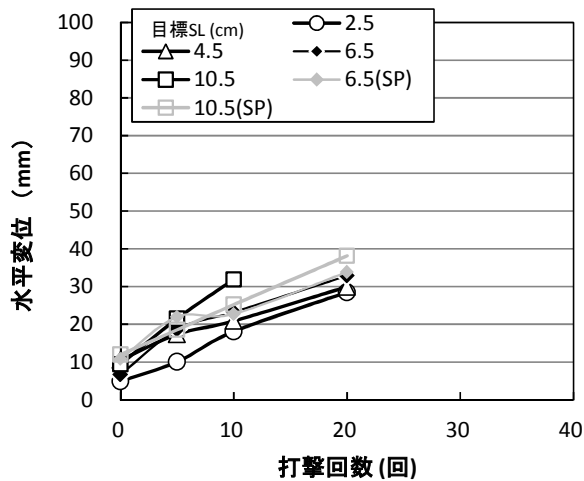
かさ容積 0.67



打撃回数と試料の高さ（脱型前～脱型後）との関係



脱型前の打撃回数と締固め率との関係




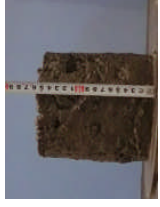













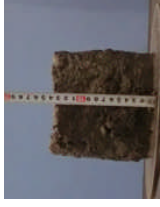





















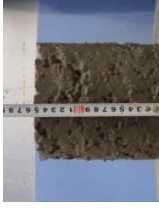








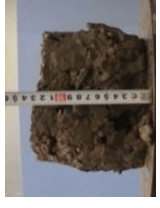





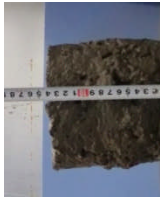



脱型後の打撃回数と水平変位との関係



















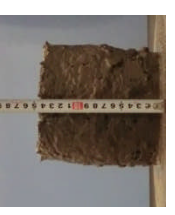

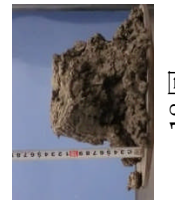
かさ容積 0.72

かさ容積 0.76

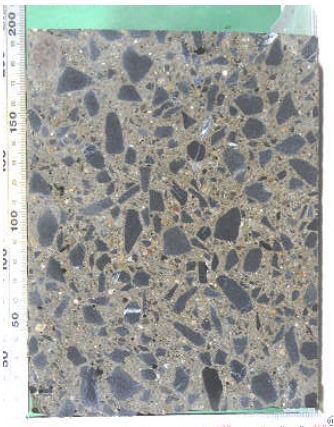
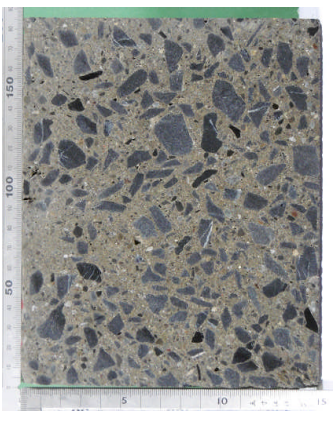
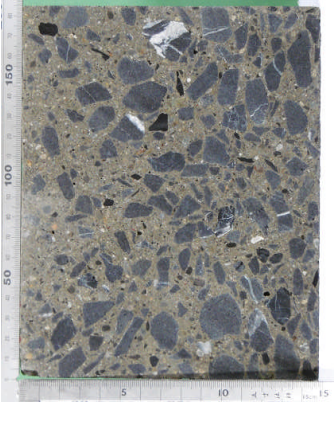
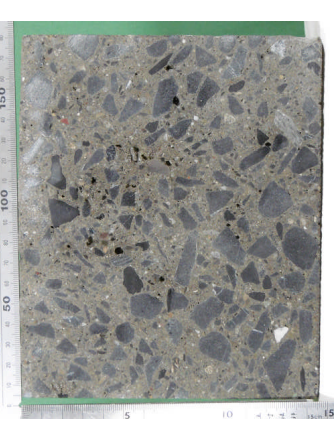
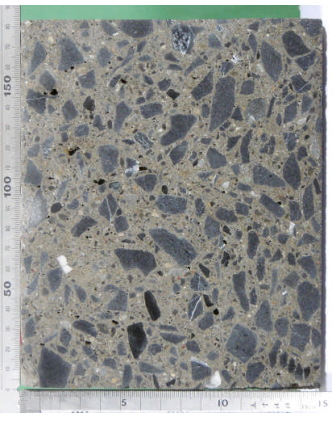
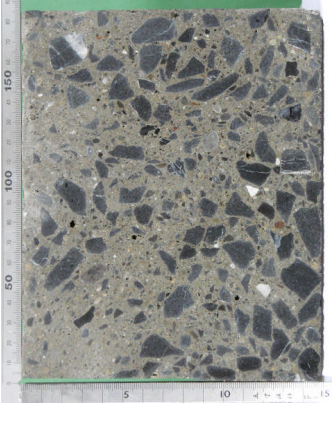
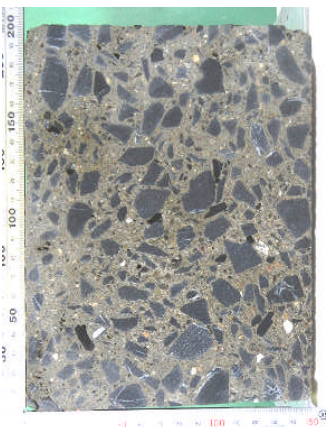
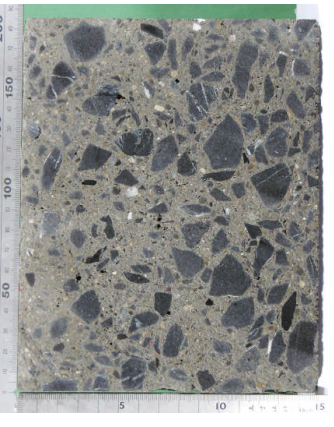
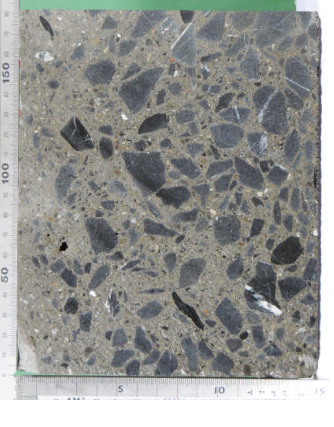
2.2 フローテーブルを用いた締固め性・変形性試験の写真

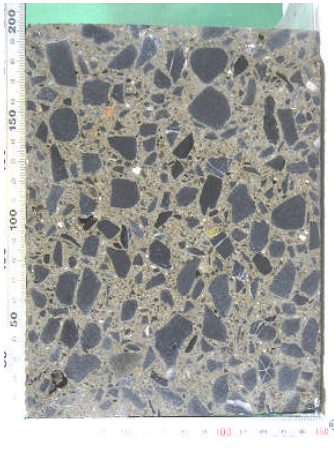
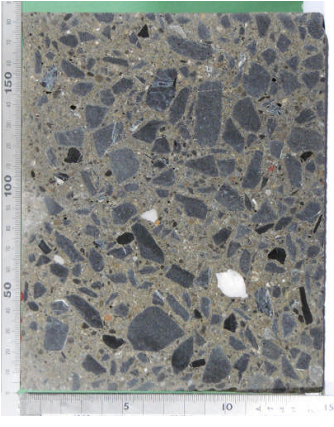
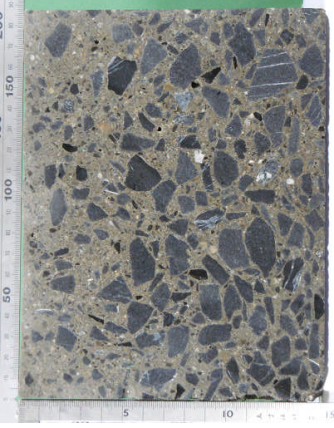
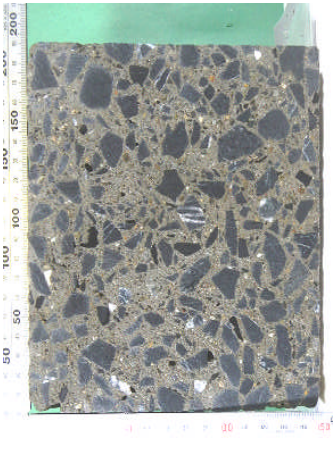
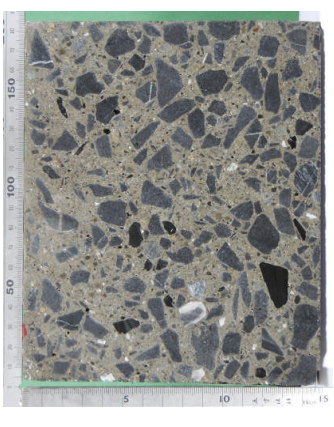
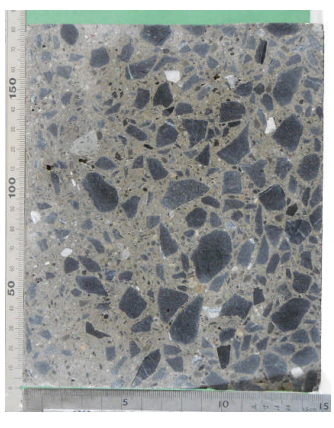
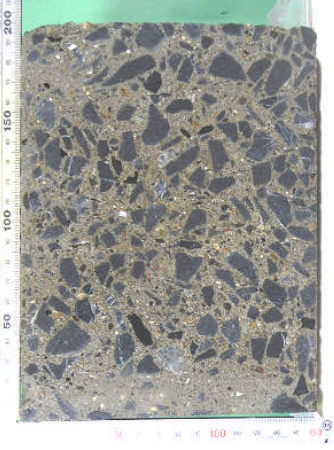

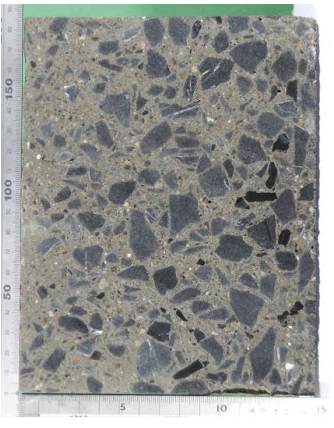
骨材	目標 スランプ	かさ 容積	打撃回数						崩れ
			0	5	10	20	30	29回	
A20	2.5	0.62							
									
									
									

骨材	目標 スランプ	かさ 容積	打撃回数						崩れ	
			0	5	10	20	30			
									31回	34回
A20	4.5	0.62								
		0.67								
		0.72								
		0.76								

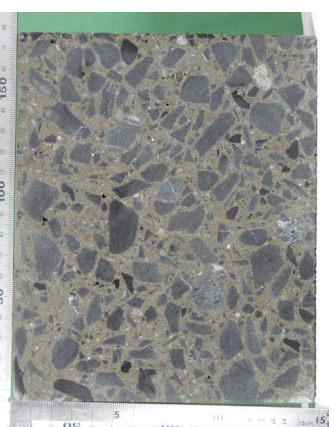
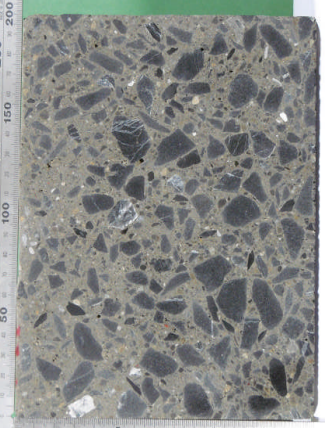
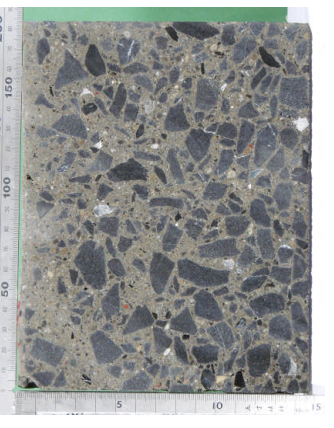

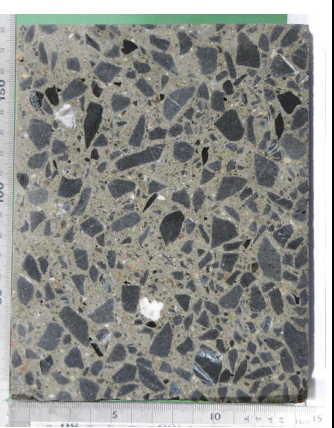
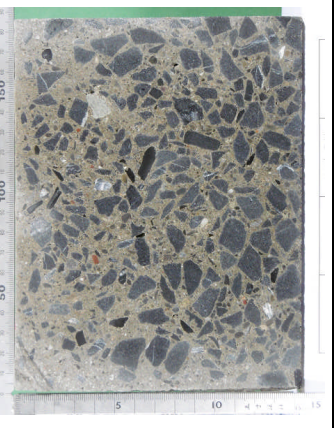
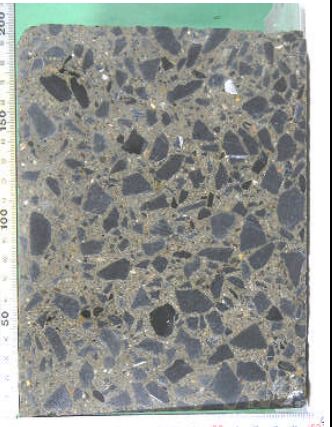

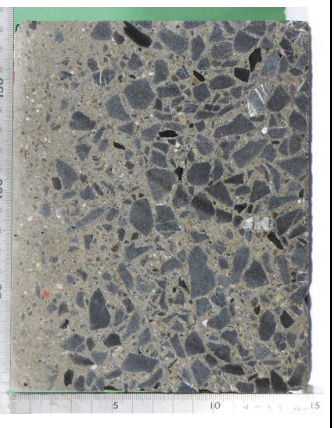
骨材	目標 スランプ	かさ 容積	打撃回数						崩れ	
			0	5	10	20	30			
A20	8.5	0.62							44回	
		0.67							27回	
		0.72							26回	
		0.76							18回	

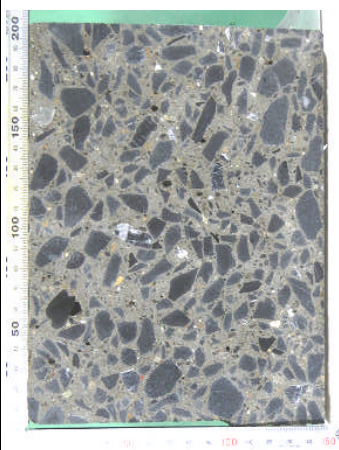
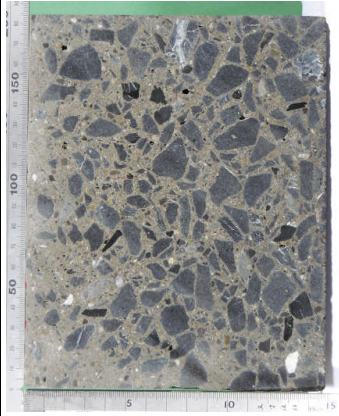
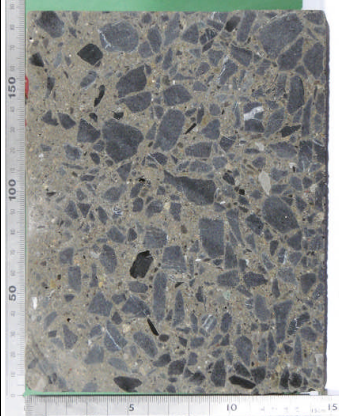
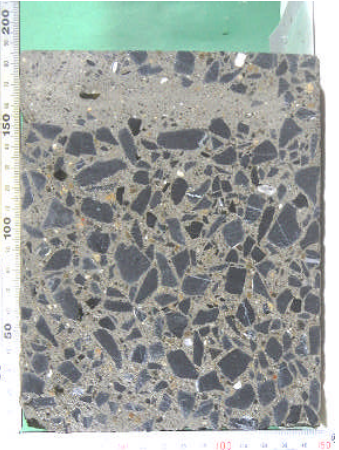
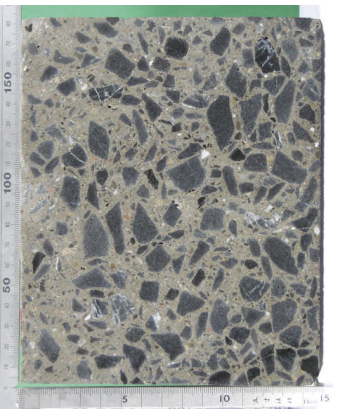
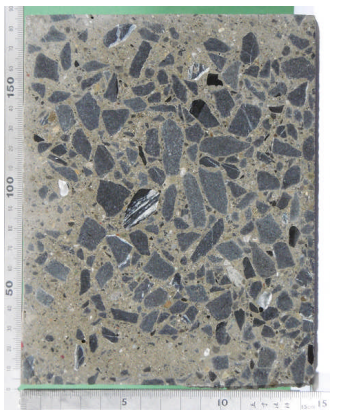
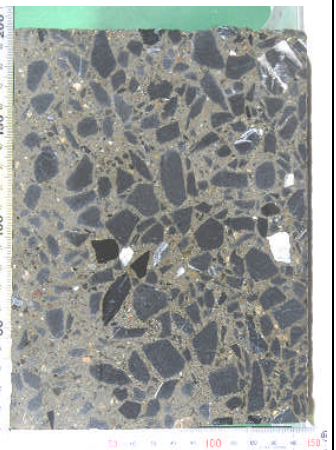
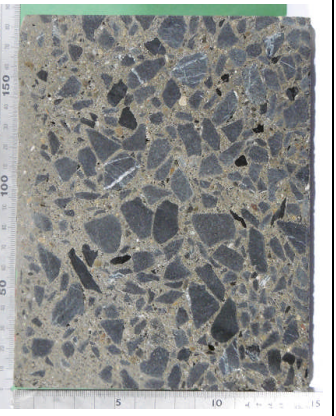
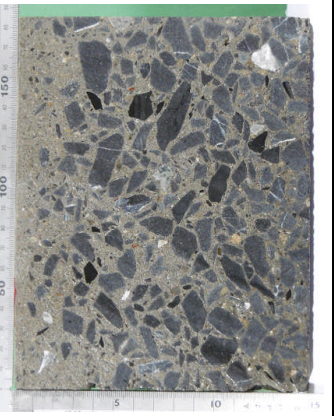
### 2.3 分離試験の断面写真

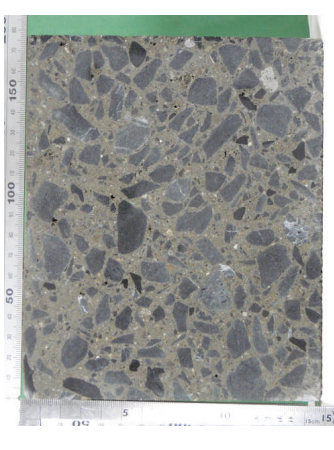
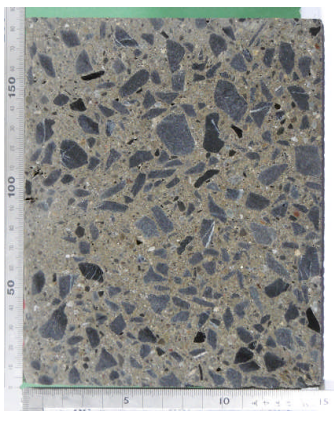
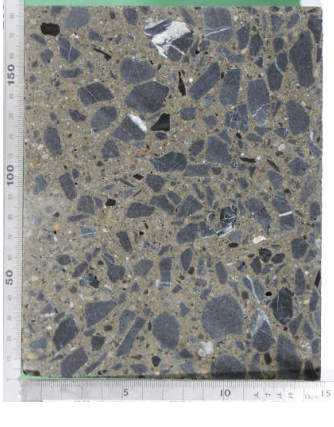
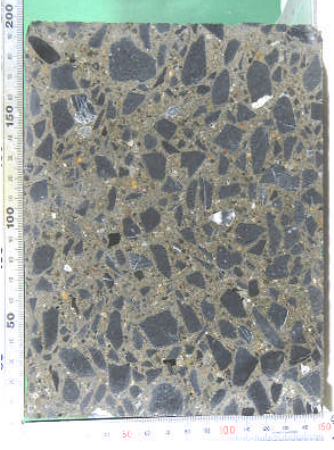
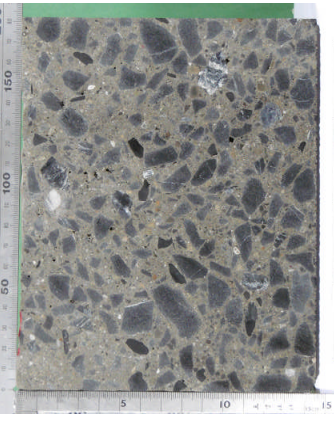
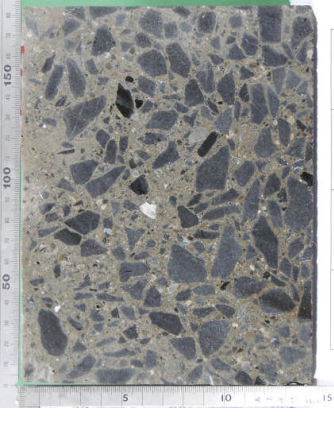
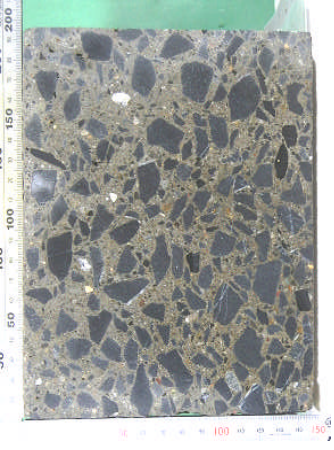
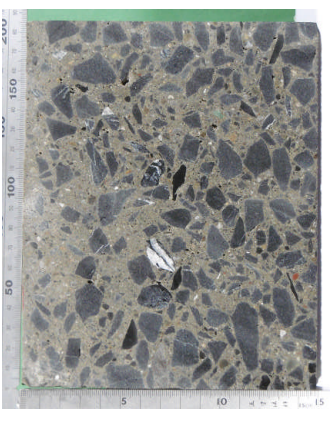
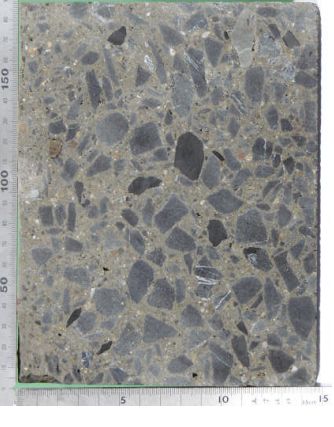
骨材	A20	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ 2.5, 6.5, 10.5cm)	0.62 (47.3, 46.8, 45.6%)
目標スランプ	縮固め時間		
	1	2	3
2.5cm			
6.5cm			
10.5cm			

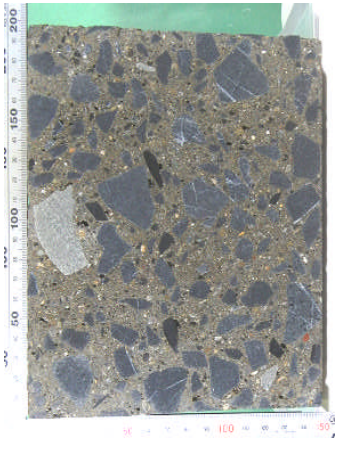
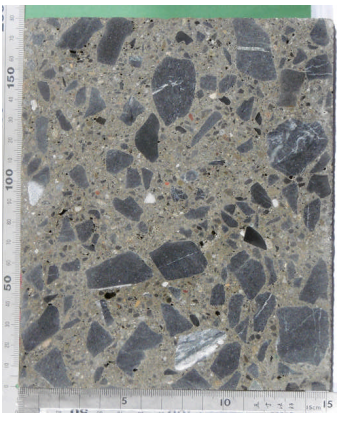
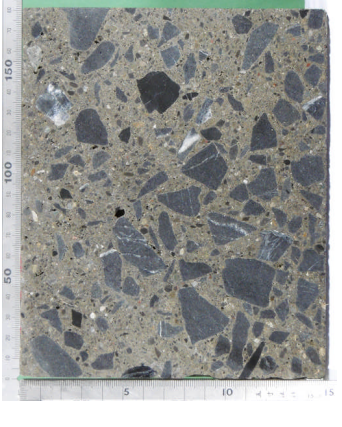
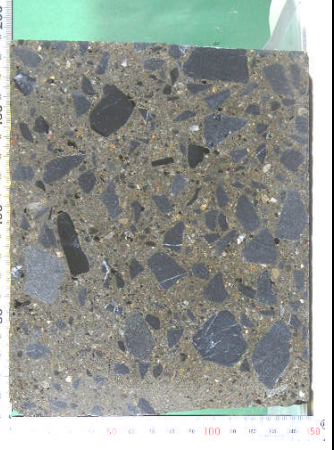


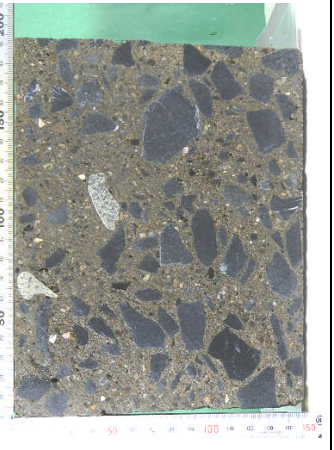
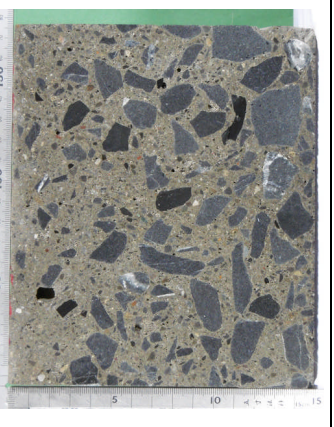
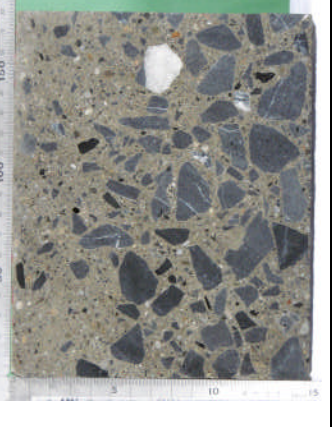
骨材	A20	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm)			0.67 (43.1, 42.5, 41.3%)		
目標 スランプ	縮固め時間						
		1	2	3			
2.5cm							
6.5cm							
10.5cm							

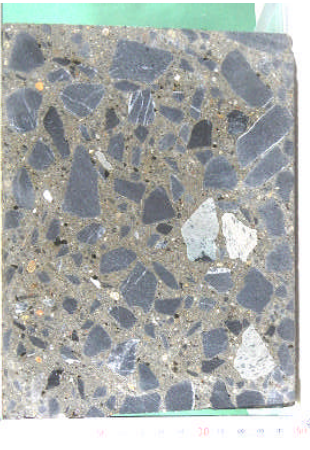

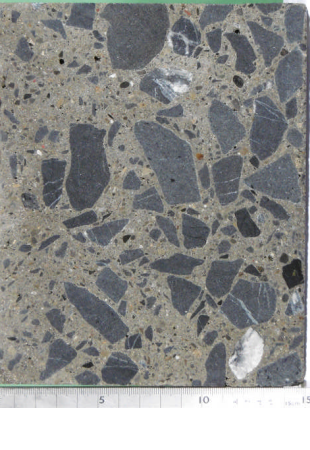
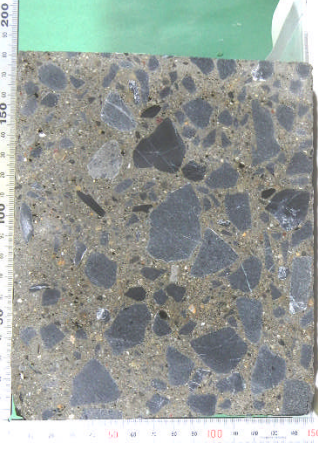

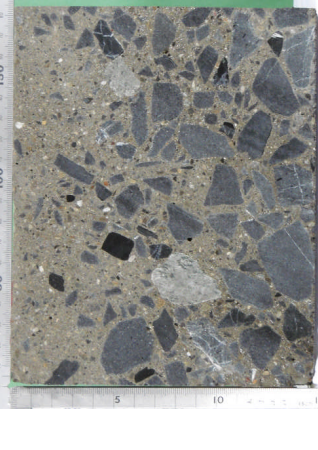
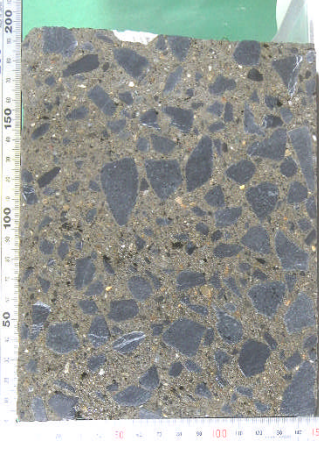
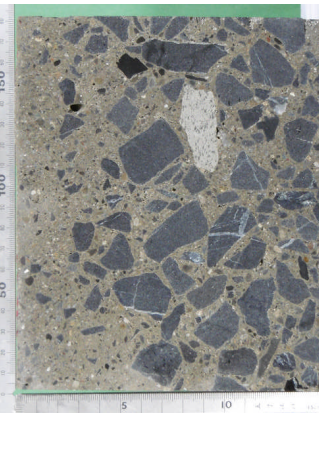
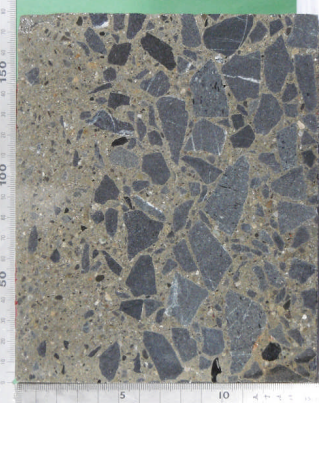


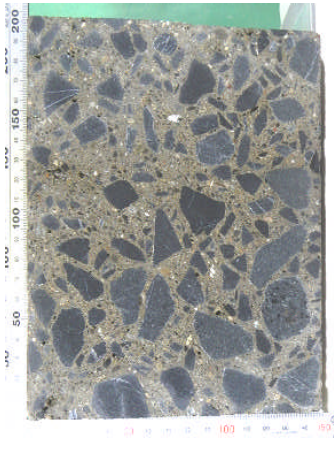
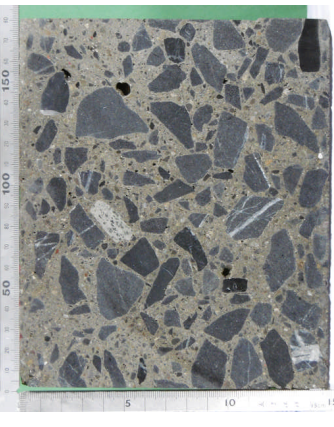
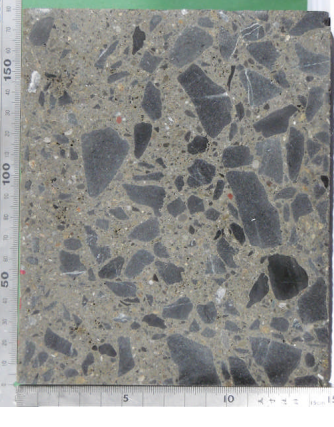
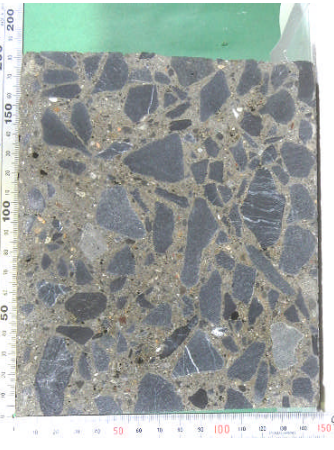
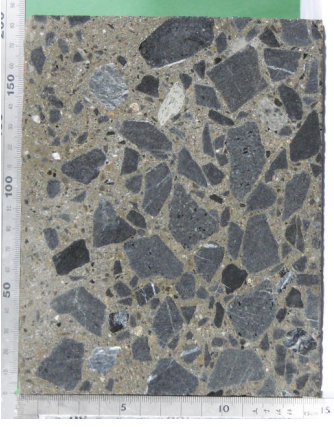
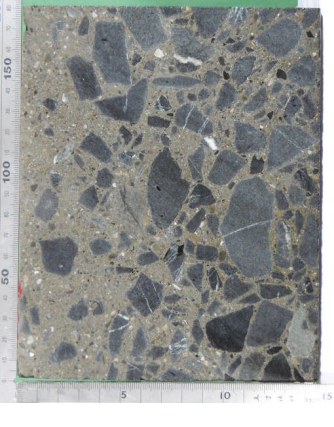
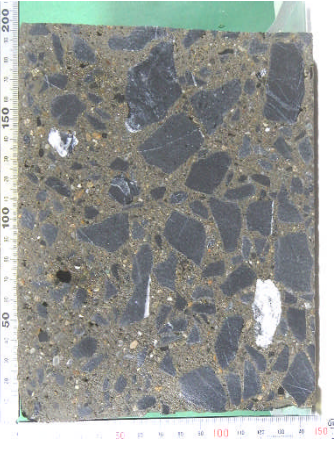
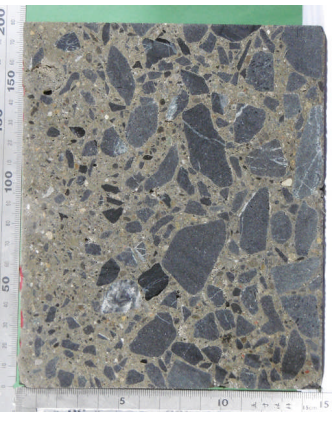
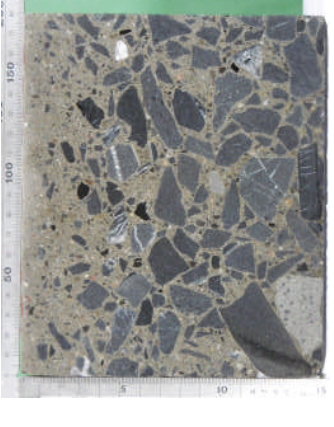
骨材	A20	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm)			0.72 (38.9, 38.3, 36.9%)		
目標 スランプ	縮固め時間						
		1	2	3			
2.5cm							
6.5cm							
10.5cm							

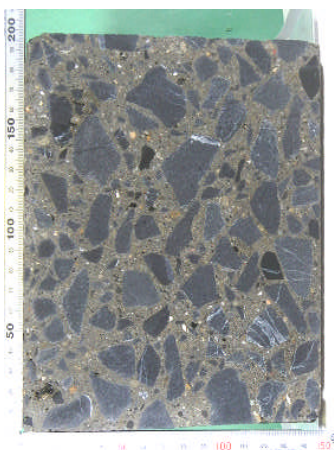
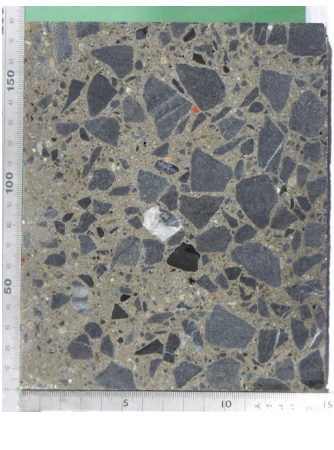
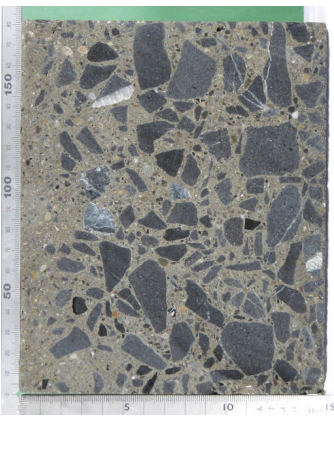
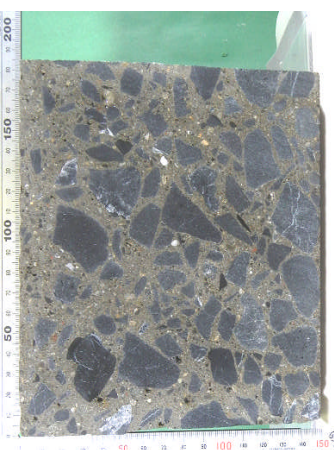
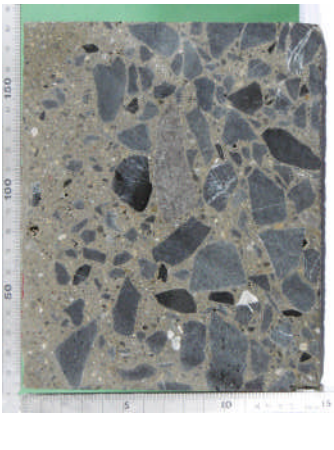
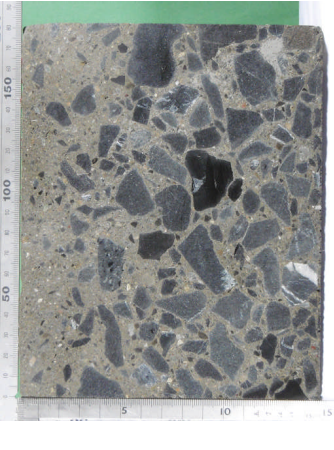
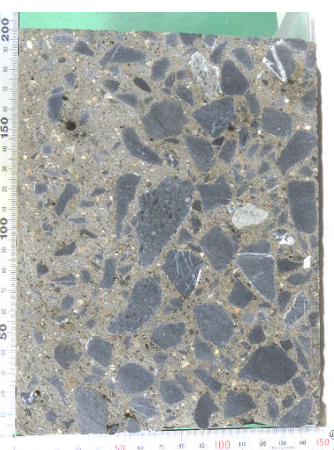
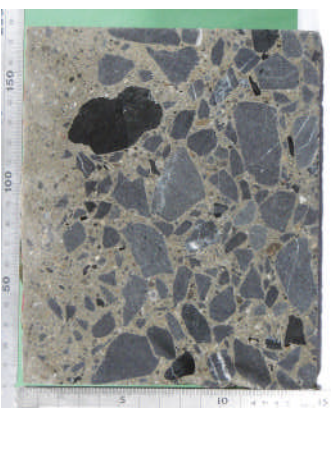
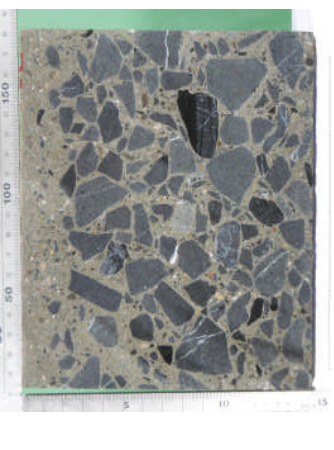
骨材	A20	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm) 0.76 (35.5, 34.8, 33.4%)		
目標 スランプ	縮固め時間			
	1	2	3	
2.5cm				
6.5cm				
10.5cm				

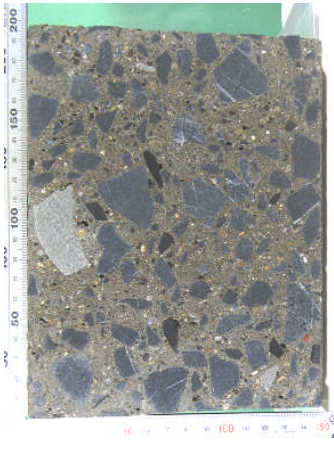
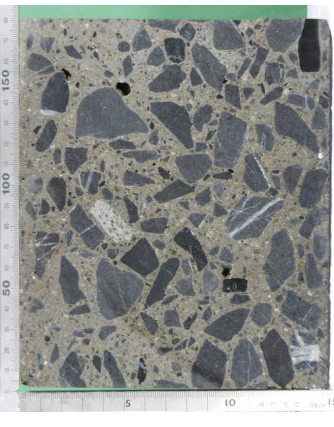
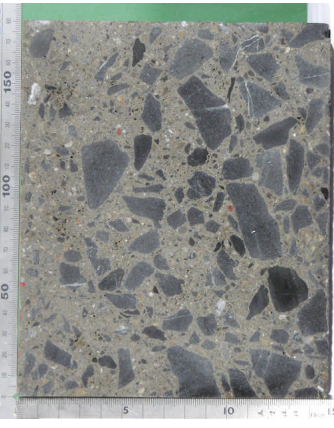
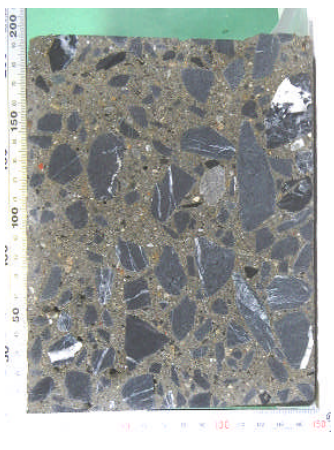
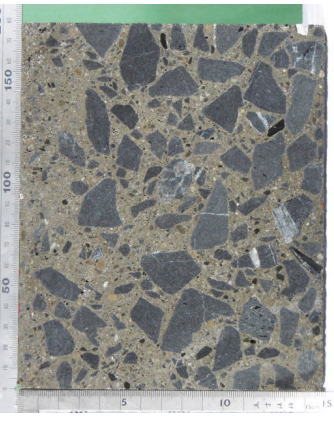
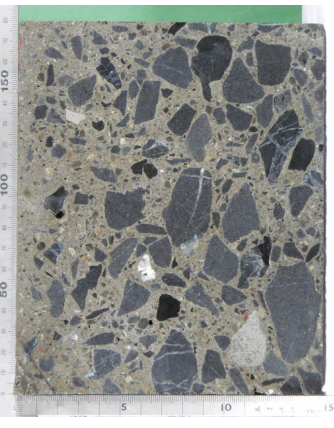
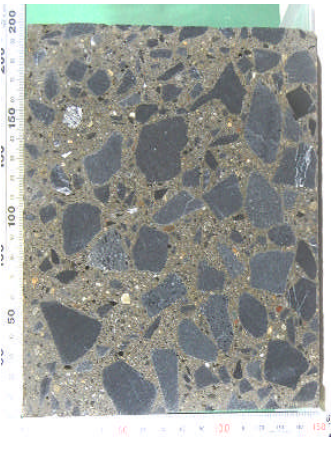
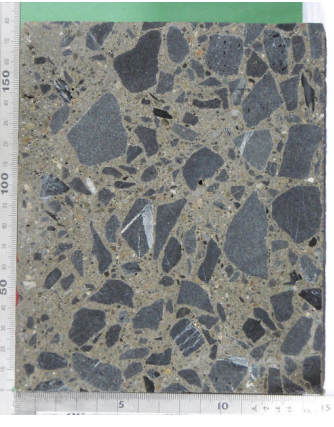
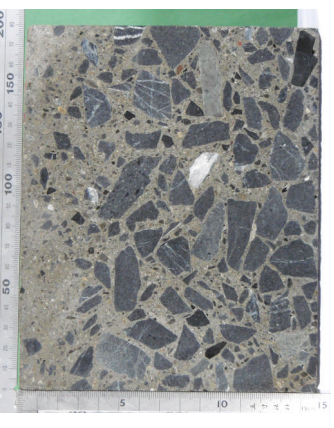
骨材	A20	単位粗骨材かさ容積 (s/a, SP 剤使用のため目標スランプにかかわらず一定)			0.72 (38.9%)
目標 スランプ	縮固め時間				
		1	2	3	
2.5cm (SP 剤 0)					
6.5cm (SP 剤 1)					
10.5cm (SP 剤 2)					

骨材	A40	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm)			0.62 (47.7, 46.5, 45.8%)		
目標 スランプ	縮固め時間						
		1	2	3			
2.5cm							
6.5cm							
10.5cm							

骨材	A40	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm)			0.67 (43.5, 42.1, 41.4%)				
目標 スランプ	縮固め時間								
		1	2	3					
2.5cm									
6.5cm									
10.5cm									


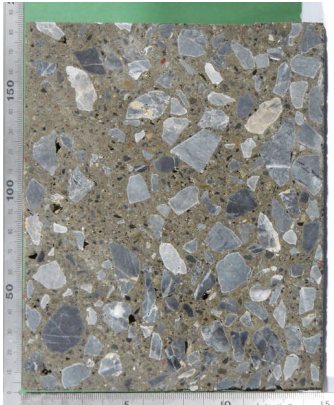
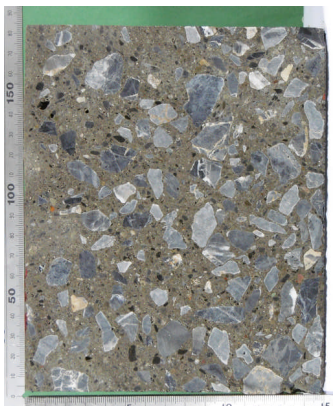

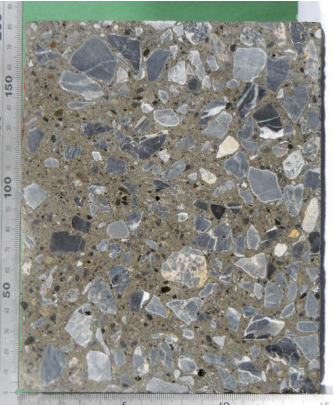
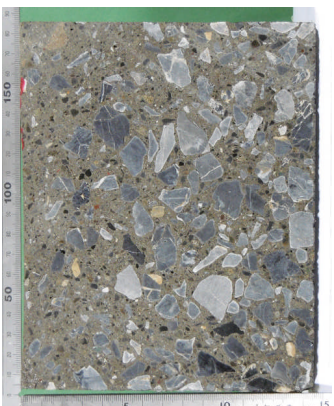

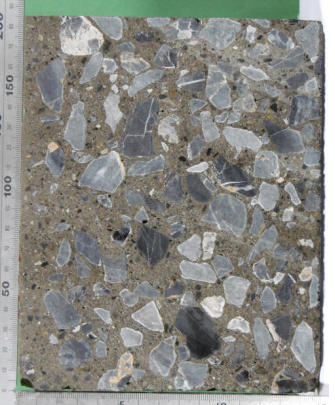
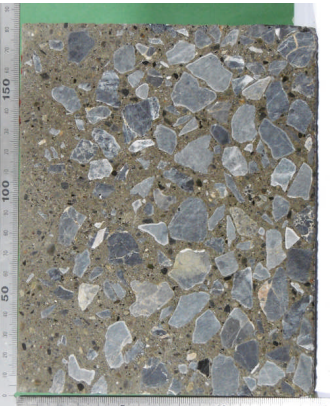
骨材	A40	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm) 0.72 (39.3, 37.8, 37.1%)		
目標 スランプ	縮固め時間			
		1	2	3
2.5cm				
6.5cm				
10.5cm				


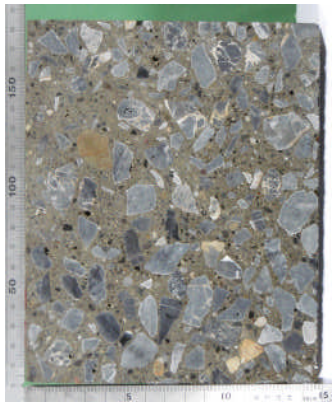
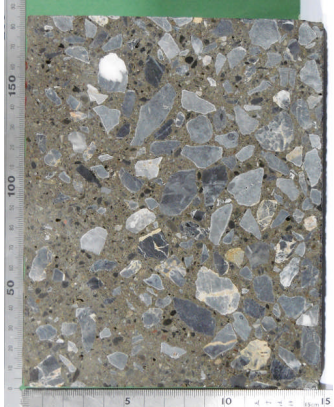

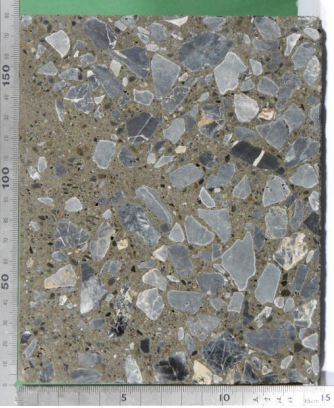


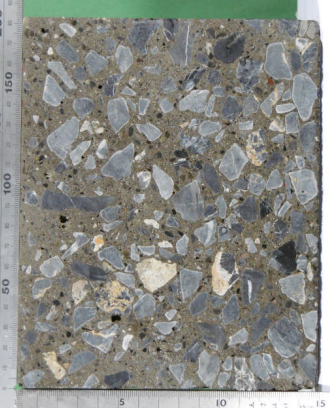

骨材	A40	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm) 0.76 (35.9, 34.4, 33.6%)		
目標 スランプ	縮固め時間			
	1	2	3	
2.5cm				
6.5cm				
10.5cm				

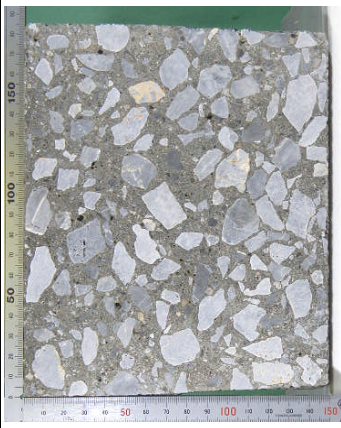
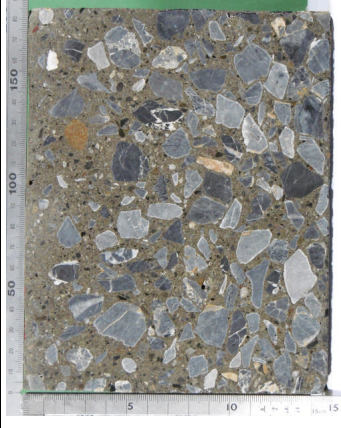
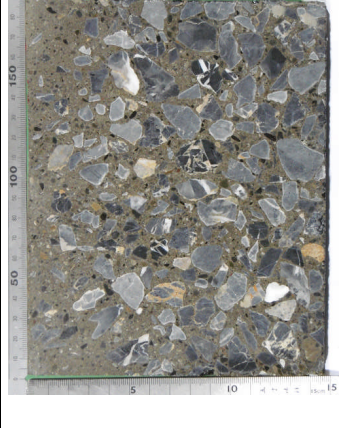


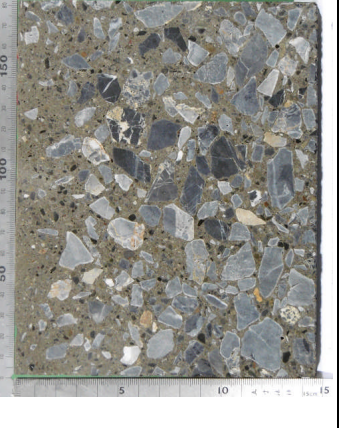

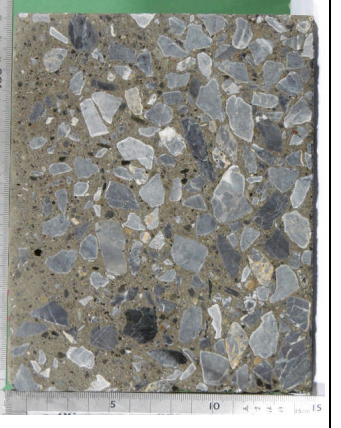
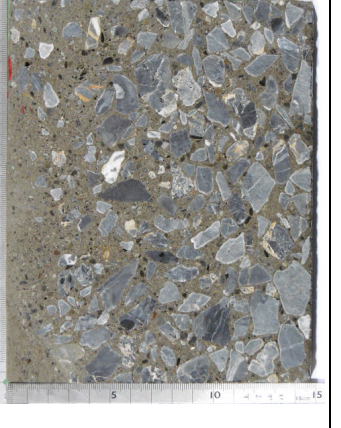
骨材	A40	単位粗骨材かさ容積 (s/a, SP 剤使用のため目標スランブにかかわらず一定)			0.72 (39.3%)
目標 スランブ	縮固め時間				
	1	2	3		
2.5cm (SP 剤 0)					
6.5cm (SP 剤 1)					
10.5cm (SP 剤 2)					

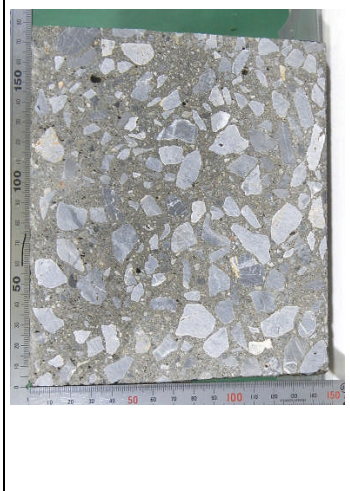
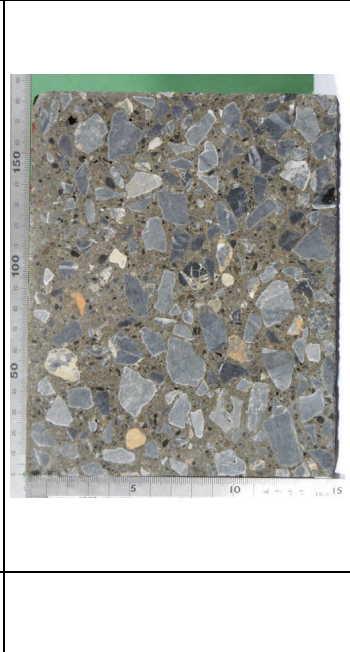
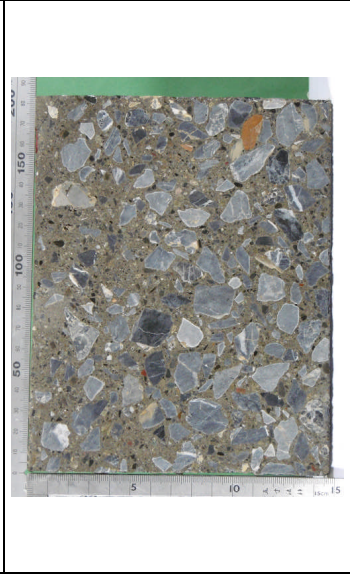
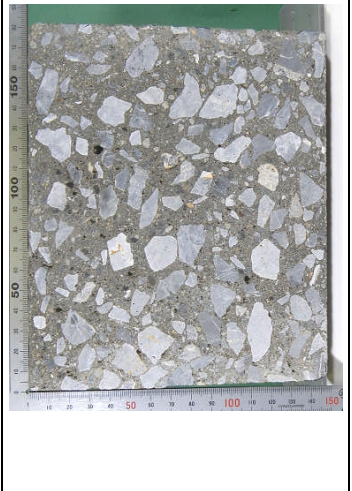
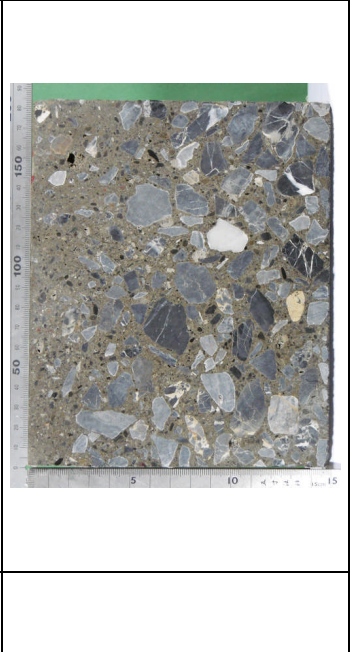
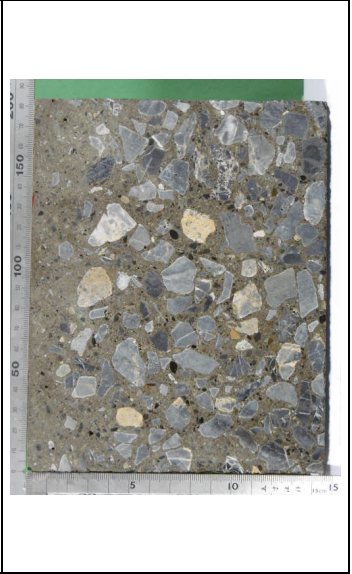


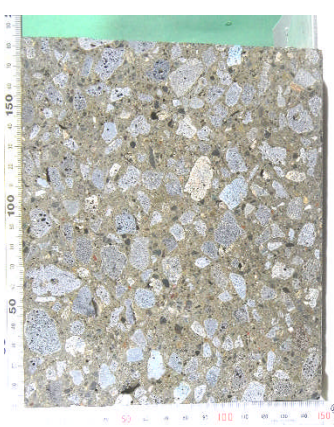
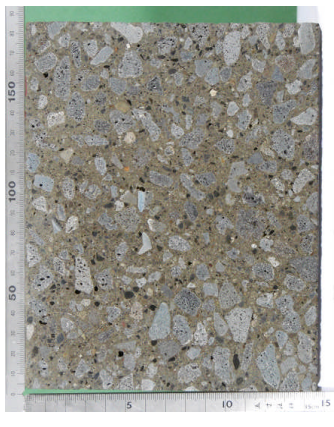
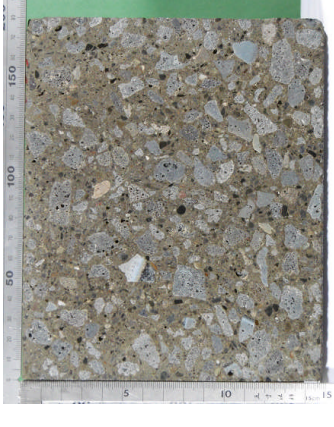
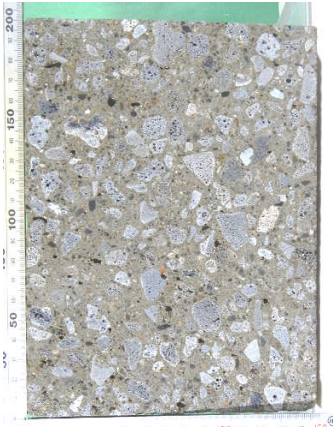
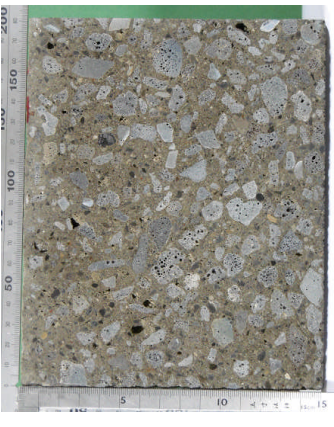
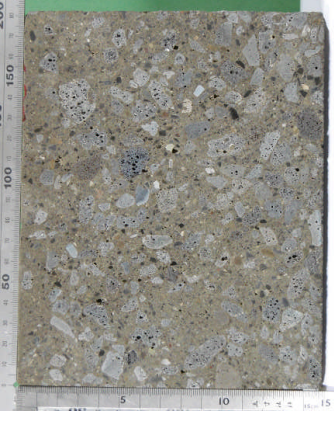

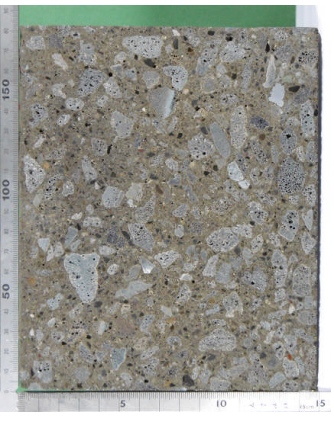

骨材	LD	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm)			0.62 (49.3, 48.5, 47.3%)
目標 スランプ	縮固め時間				
2.5cm	1	1	2	3	
6.5cm	1	1	2	3	
10.5cm	1	1	2	3	

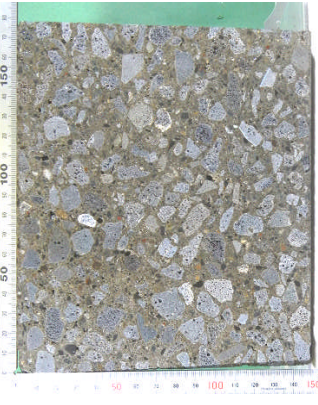
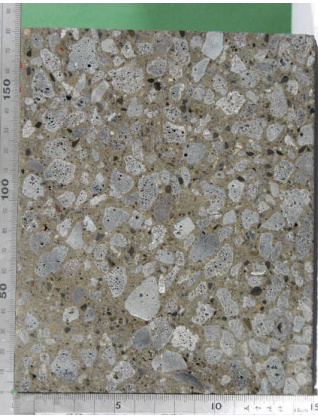
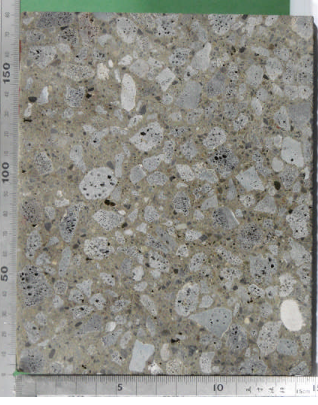
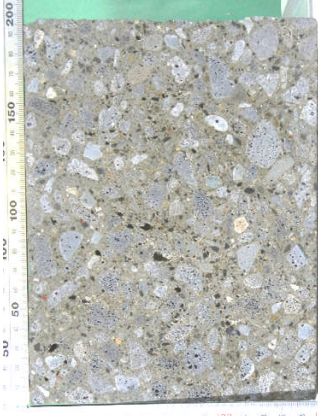
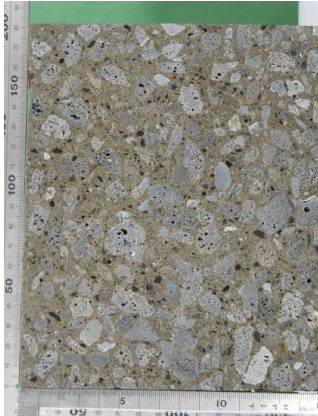
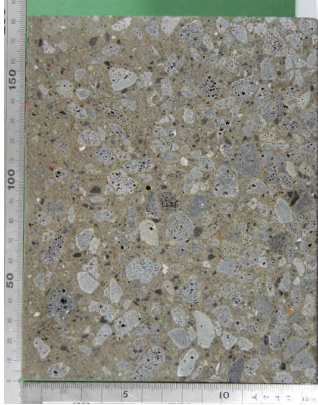
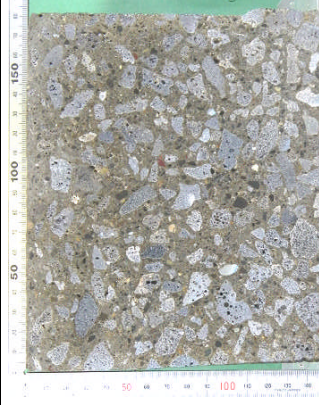
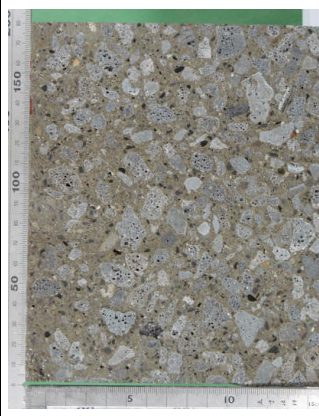
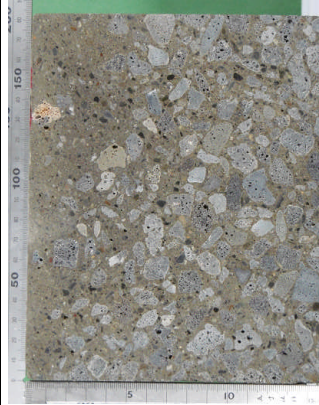
骨材	LD	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm)			0.67 (45.2, 44.3, 43.1%)		
目標 スランプ	縮固め時間						
		1	2	3			
2.5cm							
6.5cm							
10.5cm							



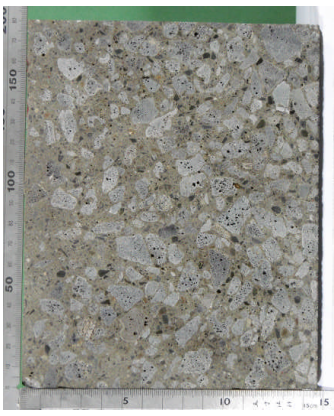
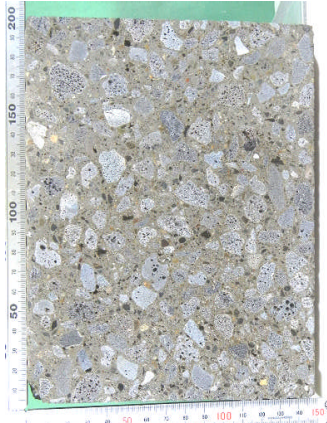
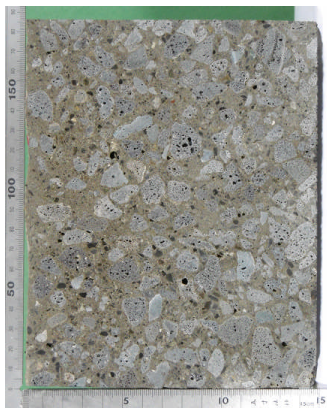
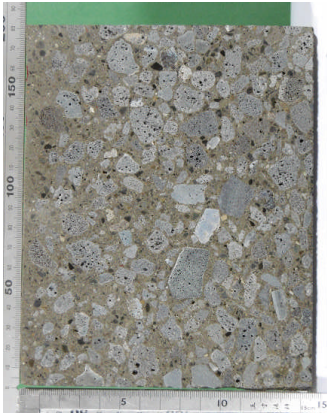
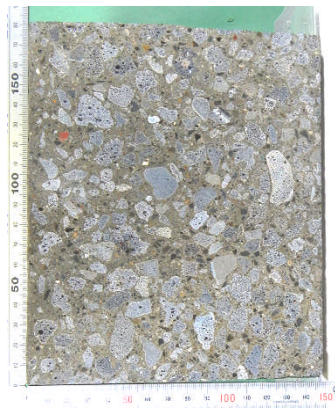
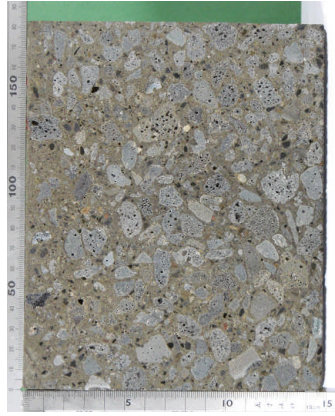
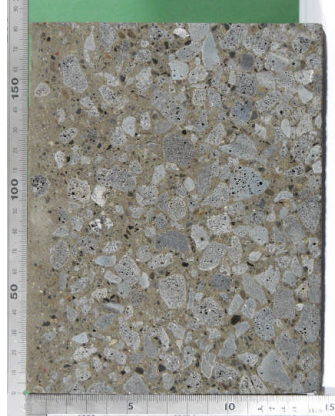
骨材	LD	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm)			0.72 (41.1, 40.1, 38.8%)		
目標 スランプ	縮固め時間						
		1	2	3			
2.5cm							
6.5cm							
10.5cm							

骨材	LD	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm)			0.76 (37.9, 36.8, 35.4%)		
目標 スランプ	縮固め時間						
		1	2	3			
2.5cm							
6.5cm							
10.5cm							

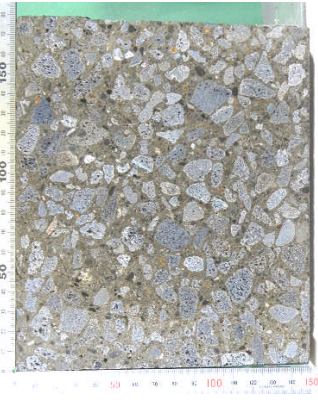
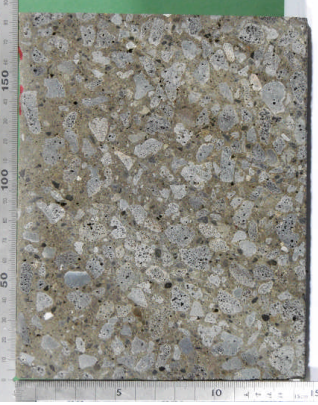

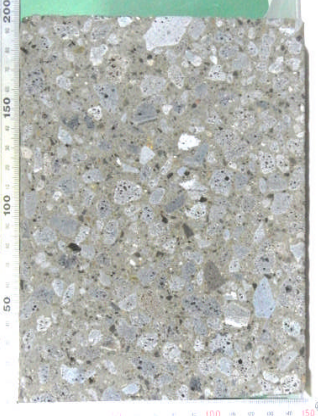

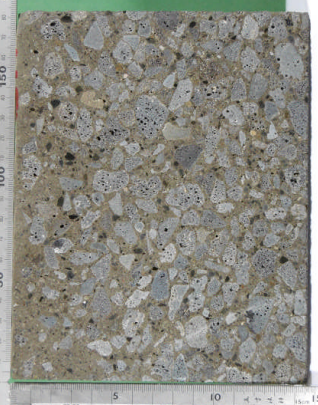



骨材 目標 スランプ	LD	単位粗骨材かさ容積 (s/a, SP 剤使用のため目標スランプにかかわらず一定)	0.72 (41.1%)
縮固め時間			
2.5cm (SP 剤 0)	1	2	3
6.5cm (SP 剤 1)			
10.5cm (SP 剤 2)			



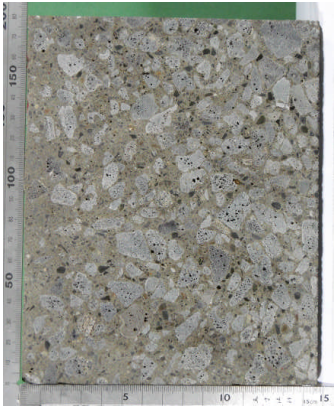
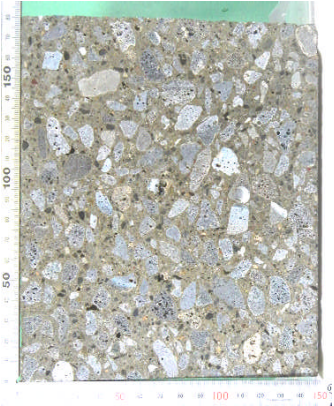
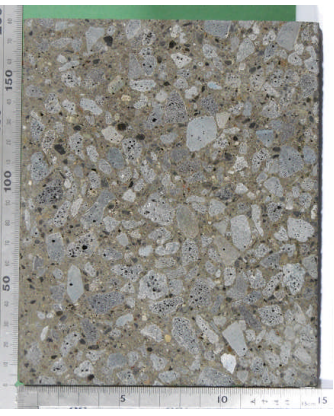
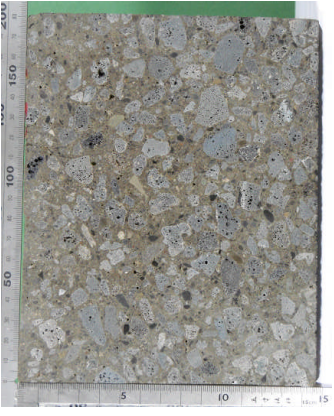

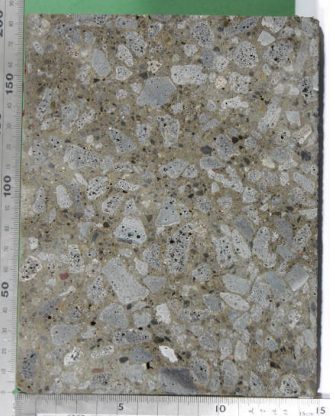

骨材	SC	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm)			0.62 (49.7, 48.5, 46.9%)		
目標 スランプ	縮固め時間						
		1	2	3			
2.5cm							
6.5cm							
10.5cm							

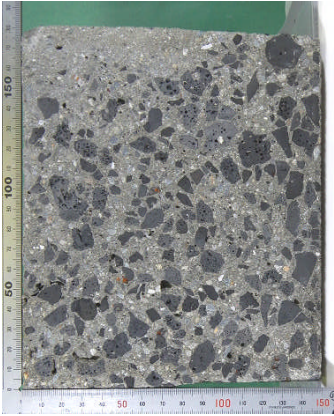
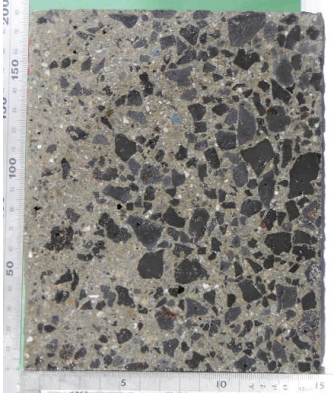
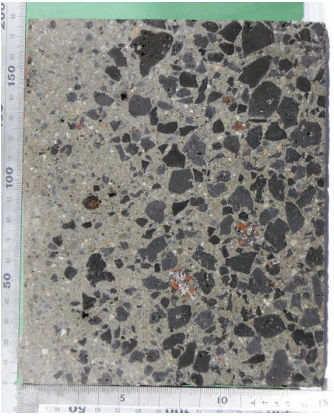

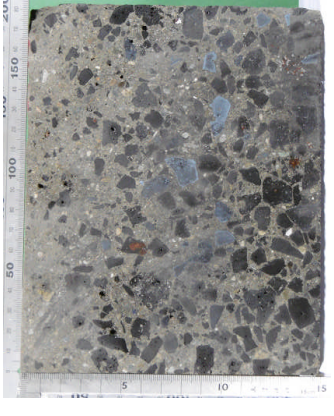
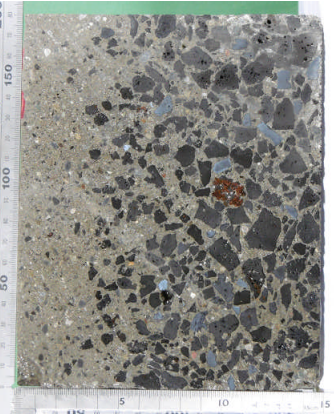
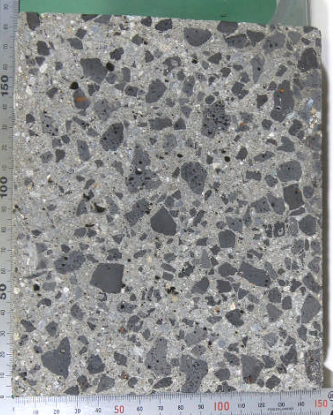
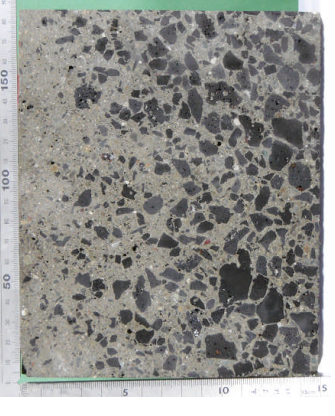
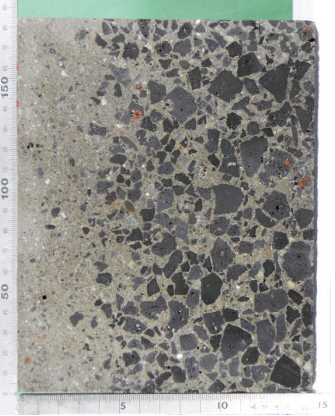
骨材	SC	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm) 0.67 (45.7, 44.3, 42.6%)		
目標スランプ	縮固め時間			
		1	2	3
2.5cm				
6.5cm				
10.5cm				


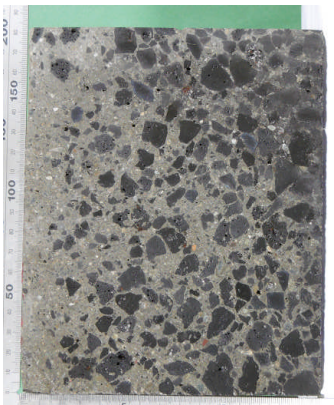
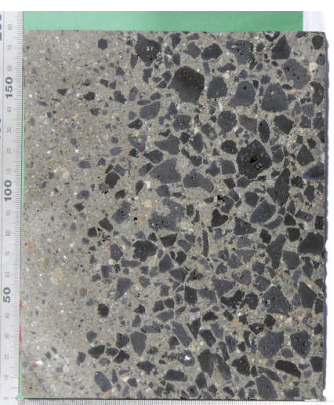
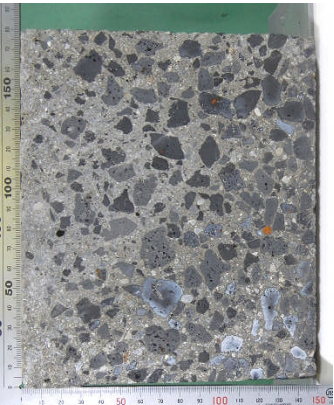
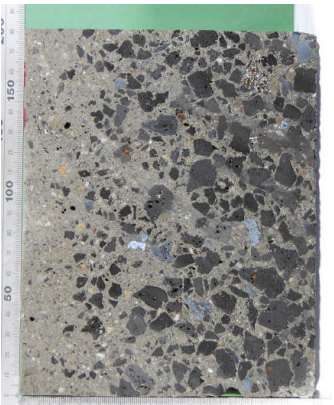
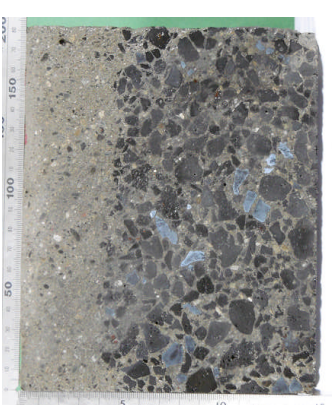

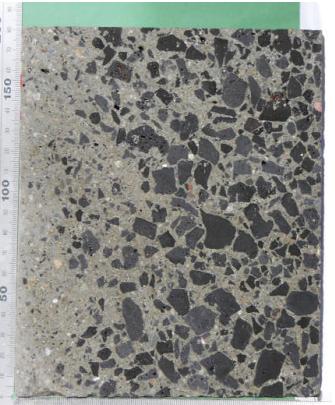
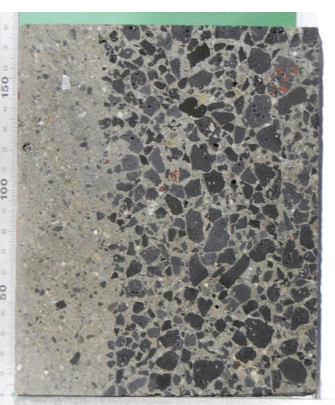
骨材	SC	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm)			0.72 (41.6, 40.2, 38.3%)		
目標 スランプ	縮固め時間						
		1	2	3			
2.5cm							
6.5cm							
10.5cm							

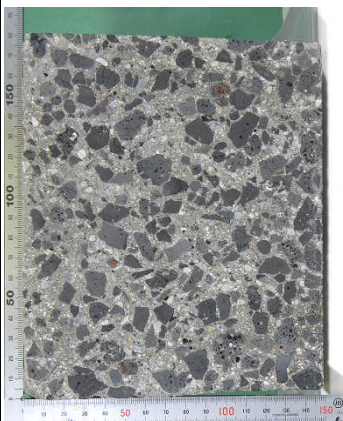
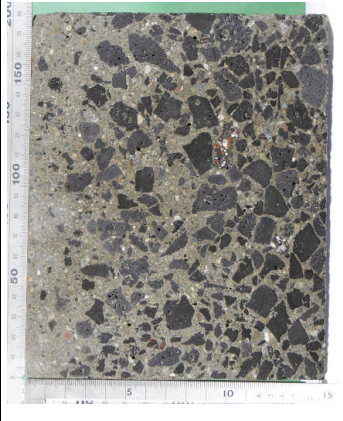
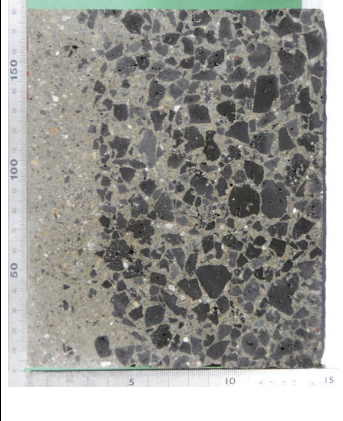
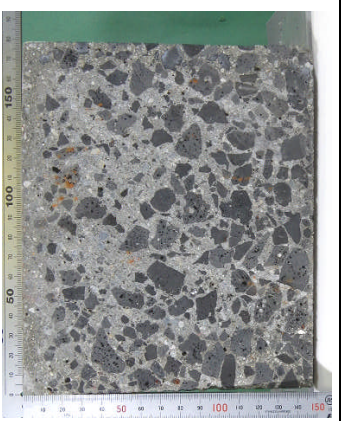
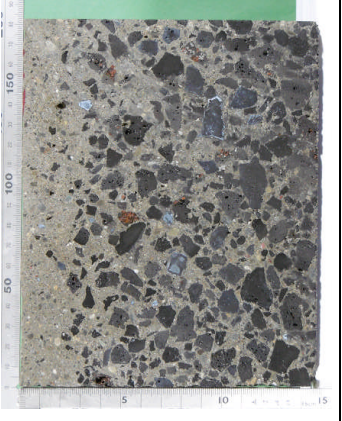
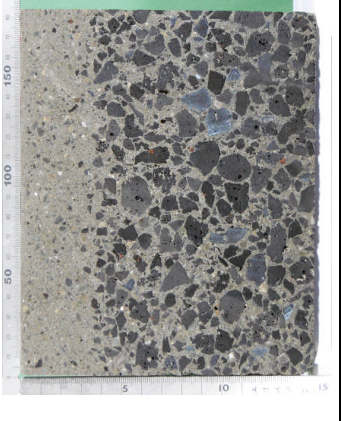

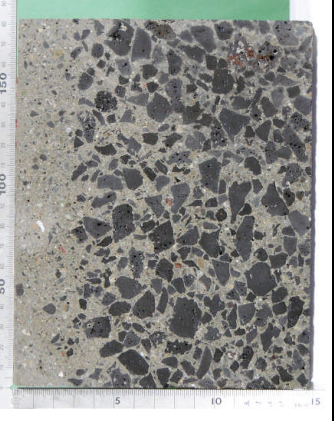
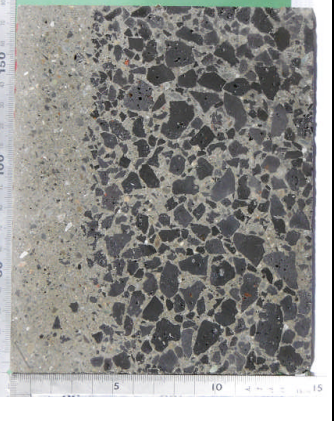


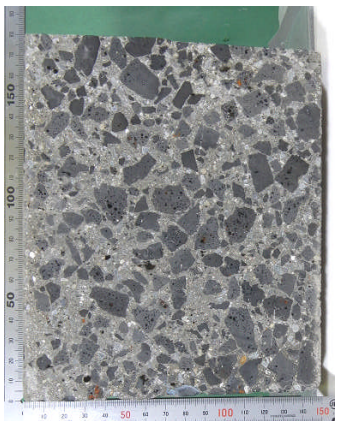
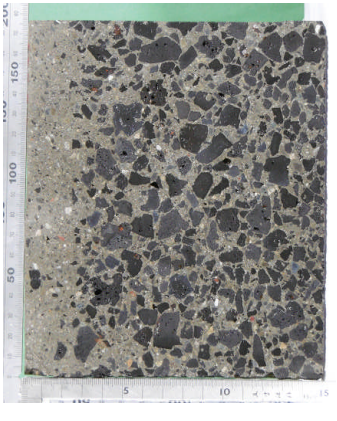
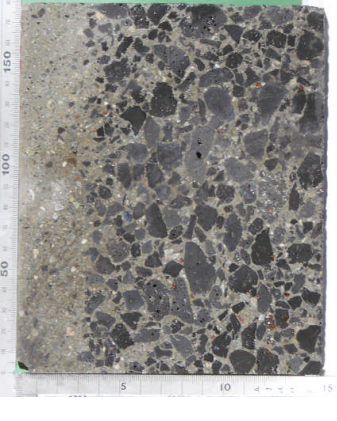


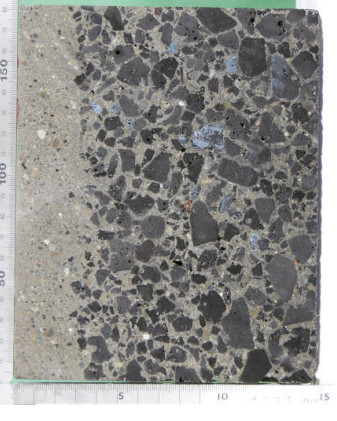
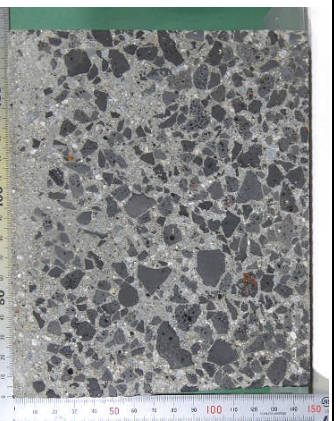
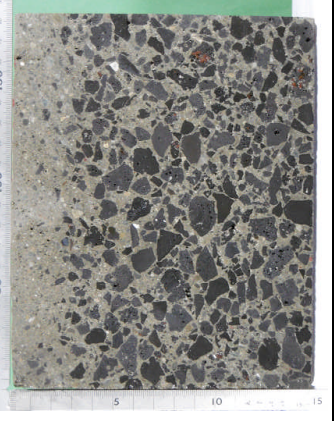
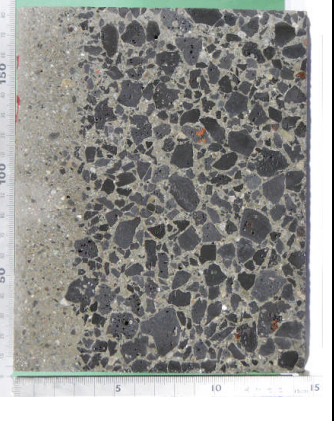
骨材	SC	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm)			0.76 (38.4, 36.9, 34.9%)		
目標 スランプ	縮固め時間						
		1	2	3			
2.5cm							
6.5cm							
10.5cm							


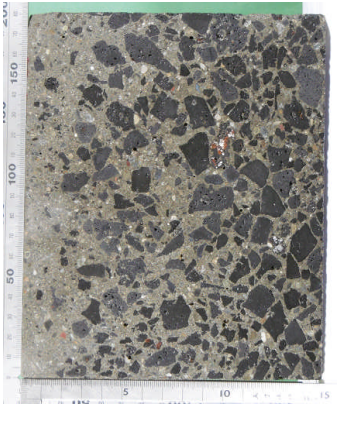
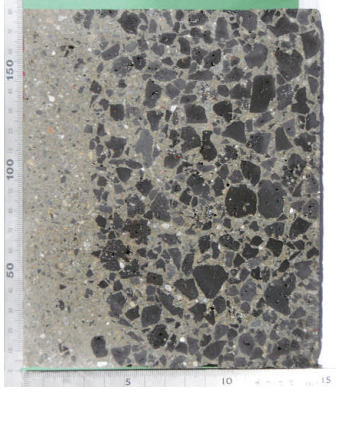
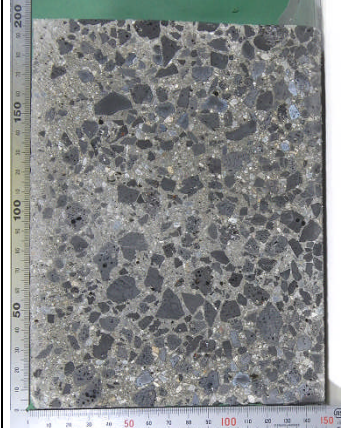
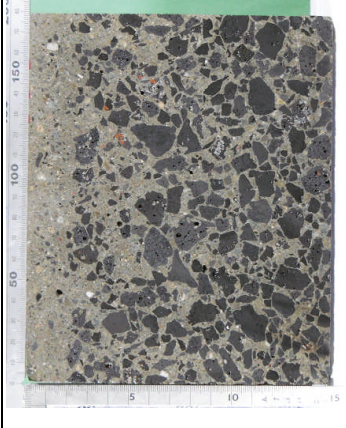
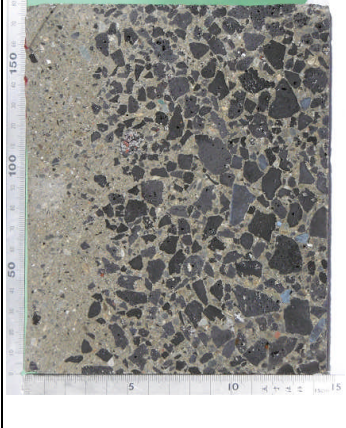
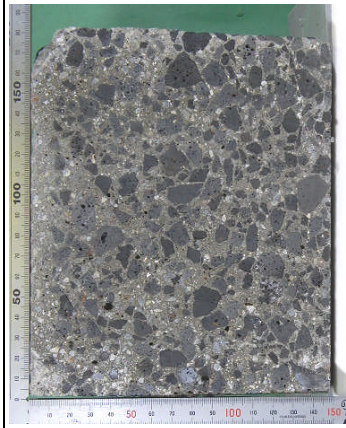
骨材	SC	単位粗骨材かさ容積 (s/a, SP 剤使用のため目標スランブにかかわらず一定)			0.72 (41.6%)
目標 スランブ	縮固め時間				
	1	2	3		
2.5cm (SP 剤 0)					
6.5cm (SP 剤 1)					
0.5cm (SP 剤 2)					

骨材	SD	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm)			0.62 (49.6, 48.5, 47.2%)		
目標 スランプ	縮固め時間						
		1	2	3			
2.5cm							
6.5cm							
10.5cm							

骨材	SD	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm)			0.67 (45.6, 44.4, 42.9%)		
目標 スランプ	縮固め時間						
		1	2	3			
2.5cm							
6.5cm							
10.5cm							

骨材	SD	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm)			0.72 (41.5, 40.2, 38.7%)		
目標 スランプ	縮固め時間						
		1	2	3			
2.5cm							
6.5cm							
10.5cm							

骨材	SD	単位粗骨材かさ容積 (s/a, 左から目標スランプ2.5, 6.5, 10.5cm) 0.76 (38.3, 36.9, 35.3%)		
目標 スランプ	縮固め時間			
	1	2	3	
2.5cm				
6.5cm				
10.5cm				

骨材	SD	単位粗骨材かさ容積 (s/a, SP 剤使用のため目標スランブにかかわらず一定)			0.72 (41.5%)
目標 スランブ	縮固め時間				
	1	2	3		
2.5cm (SP 剤 0)					
6.5cm (SP 剤 1)					
10.5cm (SP 剤 2)					

## 2.4 ダレ試験結果

骨材：A20

目標 スランプ	スランプ (cm)	かさ容積 (s/a、%)	締固め 時間(秒)	傾斜角度 (度)	距離(mm)												
					0	5	25	50	125	200	275	350	425	500	525	545	550
2.5	1.8	0.62	10	4	0.0	-0.6	-0.8	-0.3	-0.6	-0.2	-0.4	-0.2	-0.2	0.4	0.3	-0.2	0.0
				8	0.0	-0.5	-0.6	-0.2	0.4	0.4	0.3	-0.1	-0.5	0.3	0.2	0.5	0.0
	3.5	0.67		4	0.0	0.0	-0.6	-0.7	-0.7	-0.4	-0.5	-0.7	-0.6	0.2	0.3	0.7	0.0
				8	0.0	0.0	-0.2	-0.7	-0.2	-0.4	-0.2	-0.4	-0.4	-0.1	-0.2	0.3	0.0
	2.7	0.72		4	0.0	-1.4	-1.5	-1.1	-0.6	-0.6	-1.3	-2.4	-1.8	-0.6	-1.4	-0.2	0.0
				8	0.0	-1.3	-2.2	-2.0	-2.5	-3.0	-2.4	-2.0	-2.0	-1.8	-1.4	-0.8	0.0
	4.0	0.76		4	0.0	-0.8	-1.4	-1.5	-2.1	-1.3	-1.1	-1.7	-1.5	-0.6	-0.8	0.3	0.0
				8	0.0	-0.5	-1.1	-0.8	-0.9	-1.0	-1.0	-1.9	-1.7	-0.3	-0.8	0.8	0.0
6.5	2.5	0.62	8	4	0.0	-1.3	-1.8	-1.5	-1.1	-1.2	-0.5	-0.1	0.1	0.1	-0.8	0.2	0.0
				8	0.0	-1.5	-2.1	-2.2	-1.2	-0.5	0.3	0.9	0.3	1.2	1.3	1.5	0.0
	3.7	0.67		4	0.0	-2.3	-3.1	-2.8	-0.7	-0.2	0.2	0.7	1.7	1.3	1.1	1.7	0.0
				8	0.0	-1.2	-2.1	-1.8	-0.9	-0.5	0.3	0.3	0.8	0.8	0.7	1.1	0.0
	5.2	0.72		4	0.0	-2.6	-4.2	-3.6	-2.7	-2.2	-1.5	-1.9	-0.5	-1.3	-1.8	-2.4	0.0
				8	0.0	-5.2	-4.3	-4.0	-1.7	-1.4	-1.7	-2.7	-2.8	-2.1	-3.1	-3.9	0.0
	4.4	0.76		4	0.0	-0.9	-1.1	-1.5	-1.2	-1.2	-1.7	-1.2	-1.8	-1.3	-1.3	-1.1	0.0
				8	0.0	-0.4	-1.2	-1.3	-1.6	-2.3	-2.1	-1.9	-1.7	-1.5	-1.1	-1.1	0.0
10.5	6.2	0.62	5	4	0.0	-0.7	-0.9	-1.0	-0.6	0.0	0.5	0.6	0.8	0.9	0.7	1.6	0.0
				8	0.0	-1.2	-1.5	-2.0	-1.6	-0.8	0.4	1.4	2.1	2.3	2.4	2.4	0.0
	9.2	0.67		4	0.0	-0.6	-0.7	-0.9	-1.1	0.0	0.5	0.8	0.6	0.5	-0.5	0.1	0.0
				8	0.0	0.1	-0.9	-1.2	-0.7	-0.2	0.5	1.3	1.5	2.0	0.8	1.0	0.0
	9.1	0.72		4	0.0	-1.0	-1.7	-2.0	-2.3	-1.8	-1.7	-1.1	-0.3	0.5	0.3	0.8	0.0
				8	0.0	-0.7	-0.5	-1.0	-0.3	-0.4	0.3	0.6	-0.1	0.5	0.6	0.6	0.0
	13.5	0.76		4	0.0	-0.4	-1.6	-1.9	-2.2	-2.3	-3.7	-3.4	-2.9	-2.4	-1.8	-0.2	0.0
				8	0.0	-0.5	-1.6	-2.4	-0.8	-0.5	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	
SP 6.5	5.3	0.72	8	4	0.0	-0.5	-0.8	-0.8	-0.6	-0.8	-0.6	-1.6	-1.4	-1.3	-1.3	-0.2	0.0
8	0.0		-1.9	-2.2	-2.7	-0.2	-0.4	-0.6	-1.7	-1.8	-1.6	-0.6	0.7	0.0			
SP 10.5	9.2	5	4	0.0	-2.2	-2.2	-2.4	-1.9	-1.8	-2.1	-2.1	-1.9	-0.1	-1.3	-1.6	0.0	
8	0.0	-0.4	-2.3	-2.0	-0.4	-0.4	-0.2	0.2	0.8	1.0	0.8	1.3	0.0				

骨材：A40

目標 スランプ	スランプ (cm)	かさ容積 (s/a、%)	締固め 時間(秒)	傾斜角度 (度)	距離(mm)												
					0	5	25	50	125	200	275	350	425	500	525	545	550
2.5	0.8	0.62	10	4	0.0	0.5	0.7	0.8	-0.1	0.2	-0.2	0.2	-0.2	-0.3	-1.0	0.0	0.0
				8	0.0	-0.1	-0.5	-0.6	-0.4	-0.2	1.1	1.1	0.8	0.8	0.1	1.0	0.0
	1.4	0.67		4	0.0	-0.6	-1.5	-1.8	-1.3	-1.3	-1.5	-1.0	-1.0	-0.8	-0.7	-0.2	0.0
				8	0.0	0.8	0.2	0.0	0.5	0.7	0.3	0.3	0.2	0.3	0.1	0.3	0.0
	3.3	0.72		4	0.0	-0.6	-1.5	-1.8	-1.4	-1.0	-0.8	-1.0	-0.9	-0.8	-0.8	-0.4	0.0
				8	0.0	0.0	-0.9	-0.8	-0.3	0.5	0.9	1.1	1.5	1.2	1.2	1.4	0.0
	2.6	0.76		4	0.0	-0.6	-1.7	-1.6	-1.5	-1.6	-0.9	-0.6	0.1	0.9	0.6	1.0	0.0
				8	0.0	-1.9	-2.0	-1.8	-1.1	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.1	-0.2	0.3	0.0
6.5	3.2	0.62	8	4	0.0	-1.2	-2.2	-1.9	-2.0	-1.9	-1.1	-0.9	-0.7	-0.3	0.1	0.6	0.0
				8	0.0	-0.2	-0.4	-0.7	-1.0	-0.5	-0.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.8	0.0	0.0
	5.6	0.67		4	0.0	0.5	0.2	-0.6	-0.9	0.0	-0.8	-1.0	-0.8	-0.7	-0.6	0.0	0.0
				8	0.0	0.0	-0.7	-0.8	-0.8	-1.1	-1.1	-0.2	-0.1	1.2	1.0	1.3	0.0
	5.6	0.72		4	0.0	0.0	-1.3	-1.2	-1.9	-1.1	-1.3	-1.1	-1.4	-0.8	0.2	-0.1	0.0
				8	0.0	-0.1	-1.2	-1.8	-2.1	-2.8	-3.0	-2.0	-1.1	-0.2	-0.9	-0.7	0.0
	7.4	0.76		4	0.0	-0.3	-1.1	-1.7	-0.9	-1.3	-0.6	-0.5	-0.3	-0.3	0.1	0.6	0.0
				8	0.0	-0.3	-2.8	-1.4	-2.1	-1.7	-1.8	-1.3	-1.5	-1.0	-0.4	0.1	0.0
10.5	7.1	0.62	5	4	0.0	1.0	0.0	-0.3	-1.6	-1.5	-1.4	-0.7	0.4	0.9	1.8	1.4	0.0
				8	0.0	-1.3	-1.9	-3.4	-3.4	-2.4	-1.7	-0.1	2.1	2.8	3.7	4.8	0.0
	10.1	0.67		4	0.0	-1.8	-1.3	-1.2	-0.8	-1.1	-0.7	-0.9	-0.6	-1.0	-1.2	-0.8	0.0
				8	0.0	-1.0	-1.0	-1.1	-0.4	-0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-1.2	-0.2	0.0
	10.7	0.72		4	0.0	-0.4	-1.2	-1.2	-0.4	-0.9	-0.4	-1.3	-1.5	-0.2	-0.3	0.3	0.0
				8	0.0	-3.0	-3.4	-3.2	-2.1	-2.7	-2.5	-1.9	-2.2	-2.1	-1.8	-0.4	0.0
	14.2	0.76		4	0.0	-1.4	-1.3	-1.5	-1.4	-1.1	-0.9	-0.4	-0.4	-0.7	-1.1	-0.7	0.0
				8	0.0	-0.8	-0.8	-0.6	-0.6	-1.3	-1.3	-1.4	-1.5	-1.4	-2.0	-1.0	0.0
SP 6.5	6.4	0.72	8	4	0.0	-0.4	-1.4	-1.2	-1.1	-0.8	-0.7	-1.6	-1.4	-0.8	-1.0	0.0	
8	0.0		-1.9	-2.2	-2.1	-1.2	-0.8	-1.0	-0.5	0.1	0.1	-0.8	0.2	0.0			
SP 10.5	10.9	5	4	0.0	-0.4	-0.9	-1.3	-0.4	-0.4	0.4	0.3	0.3	0.9	0.7	0.8	0.0	
8	0.0	-0.2	-1.3	-1.9	-1.6	-0.7	0.3	0.2	0.5	0.2	0.1	0.5	0.0				



骨材：LD

目標 スラブ	スラブ (cm)	かさ容積 (s/a、%)	締固め 時間(秒)	傾斜角度 (度)	距離(mm)													
					0	5	25	50	125	200	275	350	425	500	525	545	550	
2.5	0.6	0.62	10	4	0.0	0.0	-0.4	-0.3	0.0	0.5	0.9	0.8	0.7	0.8	0.3	0.7	0.0	
				8	0.0	-0.1	-0.2	-0.8	-0.1	-0.1	0.4	0.5	0.6	-0.2	-0.1	0.6	0.0	
	1.5	0.67		4	0.0	-0.2	-0.8	-0.8	-0.5	-0.3	0.0	0.3	0.4	0.5	0.2	0.5	0.0	
				8	0.0	-0.4	-1.4	-1.6	-1.6	-0.7	-0.5	-0.5	0.0	-0.2	-0.2	0.0	0.0	
	2.4	0.72		4	0.0	-0.1	-1.1	-1.5	-1.0	-1.0	-0.5	0.1	0.3	0.3	0.0	0.4	0.0	
				8	0.0	-1.2	-2.7	-2.3	-1.4	-0.4	-0.6	-0.6	0.0	0.5	0.6	0.8	0.0	
	2.7	0.76		4	0.0	-0.3	-0.7	-1.1	-1.1	-0.7	-0.3	0.0	0.0	-0.1	0.3	0.1	0.2	0.0
				8	0.0	-0.5	-0.8	-0.9	-0.8	-0.2	-0.7	-0.6	0.0	0.9	0.6	0.2	0.0	
6.5	2.5	0.62	8	4	0.0	-0.4	-1.3	-1.1	-0.5	-0.5	0.1	-0.6	-1.4	-0.9	-0.9	-0.4	0.0	
				8	0.0	-0.1	-1.1	-2.0	-1.0	0.1	0.9	1.4	1.8	1.4	1.7	1.8	0.0	
	5.3	0.67		4	0.0	0.7	-0.3	-0.9	-0.8	-0.3	0.4	0.3	0.6	-0.2	0.6	1.3	0.0	
				8	0.0	-0.6	-0.9	-0.8	-0.9	-0.8	-0.2	0.3	0.6	0.7	0.4	1.1	0.0	
	6.2	0.72		4	0.0	-0.1	-1.2	-1.8	-1.0	-0.8	0.0	0.5	0.9	1.3	0.7	1.7	0.0	
				8	0.0	-0.8	-1.1	-1.9	-1.7	-0.6	-0.8	-0.8	0.0	1.1	0.0	1.0	0.0	
	6.6	0.76		4	0.0	-1.9	-2.4	-1.5	-1.5	-0.8	-0.3	0.0	-0.7	0.3	0.6	1.0	0.0	
				8	0.0	-1.6	-1.4	-1.8	-0.8	-1.1	-1.4	-1.1	-0.6	0.7	1.1	2.5	0.0	
10.5	6.6	0.62	5	4	0.0	-2.0	-2.2	-1.3	-1.6	-1.4	-1.5	-0.3	0.1	0.5	0.2	0.5	0.0	
				8	0.0	-1.6	-2.0	-2.2	-1.5	-0.9	-1.0	-1.3	-1.1	-1.0	-1.2	-0.5	0.0	
	9.6	0.67		4	0.0	-0.6	-1.0	-0.7	-0.4	-0.6	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	0.0	
				8	0.0	-2.8	-2.4	-1.6	-1.3	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.2	-0.5	-0.3	0.0	
	9.0	0.72		4	0.0	-0.7	-0.8	-1.4	-1.7	-1.5	-0.6	0.3	0.2	0.9	0.0	0.8	0.0	
				8	0.0	-1.0	-0.8	-0.9	0.0	0.0	-0.8	-1.1	-0.9	-0.4	-0.5	0.3	0.0	
	9.9	0.76		4	0.0	-1.2	-1.5	-0.1	-0.6	-0.7	-0.6	-0.4	-0.1	0.2	0.6	0.3	0.0	
				8	0.0	-0.8	-1.6	-0.7	-1.4	-1.0	-0.6	-0.7	0.4	0.8	-0.1	0.9	0.0	
SP 6.5	5.7	0.72	8	4	0.0	-1.0	-1.6	-1.4	-0.9	-1.7	-1.6	-1.5	-0.8	-0.8	-0.4	0.3	0.0	
SP 10.5	12.3		5	4	0.0	-0.6	-0.6	-1.4	-1.6	-1.8	-1.4	-0.8	-0.8	-1.6	-2.1	-2.1	0.0	
				8	0.0	-1.4	-1.9	-2.1	-1.2	-1.5	-1.3	-1.2	-1.2	-1.6	-2.0	-2.0	0.0	

骨材：SC

目標 スラブ	スラブ (cm)	かさ容積 (s/a、%)	締固め 時間(秒)	傾斜角度 (度)	距離(mm)												
					0	5	25	50	125	200	275	350	425	500	525	545	550
2.5	1.7	0.62	10	4	0.0	-1.0	-1.6	-1.9	-1.3	-0.8	-0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.7	0.0
				8	0.0	-1.8	-2.4	-2.6	-2.1	-1.6	-0.4	0.6	1.2	1.1	0.8	1.1	0.0
	2.4	0.67		4	0.0	-0.5	-1.5	-1.3	-0.5	-0.3	-0.1	-0.3	-0.1	-0.2	-0.4	-0.3	0.0
				8	0.0	-0.5	-1.7	-2.0	-1.1	-0.9	-0.3	0.1	0.6	0.1	-0.2	0.3	0.0
	2.7	0.72		4	0.0	-1.0	-1.9	-2.1	-1.5	-0.4	0.4	0.5	0.7	1.2	1.3	1.3	0.0
				8	0.0	-1.4	-2.6	-2.2	-2.2	-1.1	-0.8	-0.6	-0.3	1.1	0.6	1.4	0.0
	2.7	0.76		4	0.0	-1.4	-1.6	-2.0	-1.7	-0.5	-0.7	-0.3	-0.6	-0.6	-0.8	0.0	0.0
				8	0.0	-2.2	-3.1	-3.1	-2.7	-2.1	-1.2	-0.6	-0.6	-0.1	-0.8	0.1	0.0
6.5	4.7	0.62	8	4	0.0	-0.8	-1.4	-1.8	-1.4	-0.6	-0.8	-0.2	0.3	0.7	0.6	1.5	0.0
				8	0.0	-1.3	-2.2	-2.0	-1.7	-1.5	-1.0	0.5	1.0	2.1	1.3	2.5	0.0
	5.4	0.67		4	0.0	-3.3	-4.1	-4.1	-2.9	-1.3	-0.7	0.5	1.4	2.0	2.0	2.1	0.0
				8	0.0	-2.6	-2.3	-3.2	-1.2	-0.8	-1.4	-1.0	0.0	2.2	2.3	3.4	0.0
	5.2	0.72		4	0.0	-2.1	-2.6	-3.1	-2.8	-1.8	-0.9	-0.6	-0.1	-0.9	-1.5	0.5	0.0
				8	0.0	-2.1	-3.1	-2.8	-2.4	-1.8	-1.4	-0.9	-0.4	0.3	0.2	1.2	0.0
	4.8	0.76		4	0.0	-2.2	-2.9	-2.9	-1.6	-1.0	-2.0	-1.4	-1.5	-0.9	0.2	0.9	0.0
				8	0.0	-2.6	-2.3	-3.2	-1.2	-0.8	-1.4	-1.0	0.0	2.2	2.3	3.4	0.0
10.5	10.6	0.62	5	4	0.0	-0.6	-1.9	-1.0	-0.6	-0.3	-0.1	-1.1	-0.6	-0.1	-0.3	0.1	0.0
				8	0.0	-2.3	-2.9	-2.7	-0.5	0.1	-0.3	-1.1	-1.2	0.0	-0.4	-0.3	0.0
	14.8	0.67		4	0.0	-0.9	-1.3	-0.7	-0.5	-0.8	-0.9	-1.3	-0.5	0.5	0.6	0.6	0.0
				8	0.0	-1.1	-0.7	-1.7	-0.3	-0.4	-0.8	-1.0	-0.7	0.1	0.7	1.1	0.0
	10.2	0.72		4	0.0	0.2	-0.4	-0.2	-0.6	-0.7	-0.7	-0.9	-0.7	-0.7	0.0	-0.1	0.0
				8	0.0	-0.8	-1.6	-1.8	-1.8	-1.3	-0.5	-0.2	0.0	0.1	-0.4	0.0	0.0
	12.6	0.76		4	0.0	-0.8	-1.5	-1.1	-0.3	0.1	0.1	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	0.0
				8	0.0	-1.7	-1.8	-1.7	-0.9	-1.1	-0.8	-0.8	-1.0	-1.5	-1.7	-1.1	0.0
SP 6.5	7.8	0.72	8	4	0.0	-0.4	-1.7	-3.2	-2.1	-1.7	-1.1	-1.2	-0.8	-2.1	-2.1	0.3	0.0
SP 10.5	10.6		5	4	0.0	-1.8	-2.7	-2.5	-2.1	-1.6	-1.8	-1.7	-1.9	-1.9	-2.1	-1.9	0.0
				8	0.0	0.1	-1.0	-1.3	-0.9	-0.8	-1.0	-1.0	-1.1	-1.8	-1.3	-1.8	0.0

骨材：SD

目標 スラブ	スラブ (cm)	かさ容積 (s/a、%)	締固め 時間(秒)	傾斜角度 (度)	距離(mm)												
					0	5	25	50	125	200	275	350	425	500	525	545	550
2.5	1.7	0.62	10	4	0.0	-1.3	-1.4	-1.4	-1.0	-0.2	-0.8	-0.5	0.9	0.1	-0.7	-0.2	0.0
				8	0.0	-2.4	-2.2	-1.4	-2.0	-2.1	-2.2	-2.0	-2.2	-1.0	-2.0	-2.0	0.0
	2.6	0.67		4	0.0	-2.6	-3.5	-3.1	-2.3	-3.0	-3.6	-3.8	-2.8	-3.0	-3.4	-3.6	0.0
				8	0.0	-0.6	-1.2	-0.7	-0.9	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-0.6	-0.6	-0.6	0.0
	2.4	0.72		4	0.0	-2.0	-2.9	-2.6	-2.6	-2.7	-2.7	-2.4	-2.3	-1.9	-1.8	-3.9	0.0
				8	0.0	-1.8	-1.3	-0.5	-0.7	-0.8	-1.3	-1.4	-1.1	-0.7	-1.0	-0.1	0.0
	3.5	0.76		4	0.0	-0.3	-0.6	-0.3	-1.0	-0.9	-1.0	-1.7	-0.5	0.5	0.4	1.0	0.0
				8	0.0	-0.6	-1.6	-1.6	-2.4	-3.2	-2.8	-3.4	-2.4	-1.2	-1.2	-0.2	0.0
6.5	4.7	0.62	8	4	0.0	0.2	0.0	-0.5	-0.7	-0.6	-0.3	-0.1	0.0	0.5	0.8	0.5	0.0
				8	0.0	0.6	-0.3	-0.5	-1.3	-1.1	-0.9	0.1	0.3	1.2	0.5	-0.2	0.0
	7.2	0.67		4	0.0	-0.9	-1.1	-0.3	-1.1	-0.6	-1.1	-1.3	-2.1	3.2	-0.6	0.0	0.0
				8	0.0	-0.7	-1.8	-0.6	0.2	-0.6	-1.1	-1.8	-0.8	-0.6	-1.3	-0.4	0.0
	6.6	0.72		4	0.0	-0.8	-2.0	-1.6	-2.0	-1.3	-0.6	-1.7	-1.2	-0.4	0.2	0.4	0.0
				8	0.0	-1.3	-1.2	-1.4	-1.6	-2.4	-2.0	-1.8	-0.9	-0.2	0.1	1.0	0.0
	6.0	0.76		4	0.0	-2.2	-2.3	-2.5	-2.7	-2.3	-1.8	-2.3	-1.2	-0.5	-0.6	0.1	0.0
				8	0.0	-0.8	-1.2	-1.2	-0.5	0.3	0.3	-0.6	-0.3	-1.0	-0.1	0.1	0.0
10.5	8.7	0.62	5	4	0.0	0.0	-0.6	-0.3	-0.3	-0.6	0.0	-0.3	-0.7	-0.8	-0.4	0.2	0.0
				8	0.0	-1.6	-1.9	-1.2	-0.3	-0.1	0.3	0.5	0.0	0.1	-0.2	0.0	0.0
	12.6	0.67		4	0.0	-0.7	-0.6	0.0	0.0	0.0	-0.4	-0.8	-0.8	-1.2	-1.0	-1.0	0.0
				8	0.0	-0.2	-0.2	-0.4	0.3	0.1	0.2	-0.3	-0.2	0.3	-0.4	-1.3	0.0
	9.7	0.72		4	0.0	-0.5	-0.4	0.2	-0.9	-0.9	-1.3	-1.6	-1.7	-0.5	-0.6	-1.0	0.0
				8	0.0	-0.7	-0.7	0.0	-1.2	-1.1	-1.7	-1.2	-0.9	-0.4	-0.4	-0.6	0.0
	11.1	0.76		4	0.0	-0.8	-0.7	-0.1	-0.5	-0.5	-0.9	-1.2	-0.7	-0.5	-0.2	-0.1	0.0
				8	0.0	-1.2	-2.2	-1.3	0.1	-0.2	-0.1	-0.5	-0.8	0.3	0.4	0.2	0.0
SP 6.5	7.3	0.72	8	4	0.0	0.0	-0.2	-0.6	-0.4	0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-1.2	-1.1	0.4	0.0
8	0.0			0.3	-0.4	-0.8	-0.9	-0.8	-0.5	-0.7	-0.8	-0.5	-0.6	-0.8	0.0		
SP 10.5	12.0		5	4	0.0	-0.4	-1.0	-1.5	-1.5	-0.9	-0.3	-0.4	-0.7	-1.7	-1.5	-1.8	0.0
				8	0.0	-0.3	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-1.2	-1.4	-1.2	-1.2	-1.4	-0.8	0.0

### 3. すり減り試験結果

シリーズ	骨材の種類	スランプ 目標値 (cm)	s/a (%)	試験面	すり減り量 (cm <sup>2</sup> )																	
					5,000回転			10,000回転			20,000回転			30,000回転			40,000回転			50,000回転		
I	A20	6.5	40.0	打設面	3.98	3.89	5.92	5.81	8.48	8.30	10.37	10.57	12.05	12.17	14.09	13.98						
					3.79		5.69		8.12		10.76		12.28		13.87							
					4.19	4.20	6.03	6.20	8.58	8.63	11.04	10.78	13.04	12.99	13.17	13.63						
	A20	6.5	48.0	打設面	4.21		6.36		8.67		10.52		12.94		14.08							
					3.98	4.12	6.07	6.09	8.53	8.60	10.52	10.69	12.01	12.49	13.91	14.97						
					4.26		6.11		8.67		10.86		12.97		16.02							
	SC20	6.5	40.0	打設面	5.07	5.20	7.77	8.23	11.62	12.04	14.46	14.95	15.78	16.85	17.53	18.36						
					5.33		8.69		12.45		15.43		17.92		19.18							
					6.08	5.89	9.18	8.91	12.51	12.45	15.30	15.11	15.76	16.95	18.16	19.08						
	SC20	6.5	44.0	打設面	6.69		8.64		12.38		14.92		18.14		19.99							
					5.68	5.98	9.31	9.77	12.77	13.07	15.83	16.47	17.34	17.73	19.74	20.39						
					6.27		10.22		13.36		17.10		18.11		21.03							
II	LD20	6.5	41.0	打設面	5.67	5.52	8.38	8.20	12.57	12.17	15.67	15.69	18.23	18.11	20.57	20.21						
					5.36		8.02		11.76		15.70		17.99		19.85							
					5.88	5.73	8.94	8.51	13.00	12.52	16.50	15.80	19.14	18.40	20.44	19.46						
	LD20	6.5	45.0	打設面	5.58		8.07		12.03		15.09		17.66		18.47							
					5.03	5.04	7.75	7.87	11.20	11.40	14.69	14.55	16.73	16.71	20.03	19.64						
					5.05		7.99		11.60		14.41		16.68		19.24							
	SC20	6.5	41.0	打設面	5.40	5.35	8.37	8.39	12.28	12.52	15.82	15.59	18.40	18.28	21.05	20.50						
					5.30		8.40		12.76		15.36		18.15		19.94							
					5.60	5.26	8.86	8.55	12.54	12.47	16.18	15.90	18.39	18.17	19.49	19.31						
	SC20	6.5	45.0	打設面	4.91		8.23		12.39		15.61		17.94		19.12							
					5.30	5.28	8.45	7.79	12.85	12.59	15.63	15.62	18.79	18.30	20.93	20.79						
					5.26		7.13		12.32		15.61		17.81		20.65							

## 4. すべり試験結果

### 4.1 粗骨材の種類の実験結果

ステップ	走行方法		打設面、ノーマル					
	走行回数(×10 <sup>4</sup> 回)		0	1	2	3	4	5
ステップ 1	粗骨材の種類	A20	70	44	41	39	37	37
		A40	63	39	36	36	34	32
		G40	70	43	39	37	36	35
		LC20	71	43	40	37	37	35
		SC20	70	42	39	38	36	34
		SD20	71	41	39	37	35	33

走行方法の凡例  
 E:エメリー砂  
 S:ショットブラスト  
 CUT:カッターによる切断

ステップ	走行方法		E	ノーマル						粗骨材露出率(%)
	走行回数(×10 <sup>4</sup> 回)		6	7	8	9	10	11		
ステップ 2	粗骨材の種類	A20	76	71	70	68	67	67	26.1	
		A40	78	69	67	67	66	68	23.2	
		G40	72	65	63	63	64	64	16.5	
		LC20	76	70	67	66	67	66	26.9	
		SC20	78	71	69	67	67	66	29.0	
		SD20	78	71	67	65	65	65	26.5	

ステップ	走行方法		E	ノーマル								粗骨材露出率(%)	
	走行回数(×10 <sup>4</sup> 回)		13	14	15	16	17	18	21	23	28		
ステップ 3	粗骨材の種類	A20	75	70	70	69	68	68	67	67	66	27.3	
		A40	75	69	69	68	68	67	66	66	66	24.4	
		G40	72	66	65	64	64	64	65	64	64	14.0	
		LC20	74	70	69	68	67	66	66	66	66	30.9	
		SC20	74	70	69	68	68	68	68	68	67	66	32.7
		SD20	74	72	69	68	68	67	67	67	67	66	30.4

ステップ	走行方法		E	ノーマル								粗骨材露出率(%)	
	走行回数(×10 <sup>4</sup> 回)		31	32	33	34	35	36	39	41	46		
ステップ 4	粗骨材の種類	A20	72	66	65	64	64	64	64	64	64	64	32.2
		A40	72	69	67	66	66	65	65	65	65	65	28.8
		G40	71	64	64	63	63	63	63	63	63	64	19.6
		LC20	70	65	65	64	64	64	64	63	63	63	34.5
		SC20	71	69	68	67	66	66	65	65	65	64	33.9
		SD20	70	66	66	65	64	64	63	63	64	64	33.2

ステップ	走行方法		S, E	ノーマル								粗骨材露出率(%)	
	走行回数(×10 <sup>4</sup> 回)		48	49	50	51	52	53	56	58	63		
ステップ 5	粗骨材の種類	A20	64	57	57	57	58	57	58	57	57	57	36.3
		A40	62	57	57	56	56	57	57	57	57	56	29.9
		G40	63	57	57	57	58	56	56	56	56	56	25.2
		LC20	64	58	58	58	58	58	58	58	57	57	36.6
		SC20	63	60	59	58	59	59	59	59	59	58	37.4
		SD20	62	59	58	58	58	58	58	58	57	58	36.0

ステップ	走行方法		CUT	E	ノーマル								粗骨材露出率(%)	
	走行回数(×10 <sup>4</sup> 回)		63	64	65	66	67	68	69	72	74	79		
ステップ 6	粗骨材の種類	A20	67	58	55	55	55	55	54	52	53	50	56.0	
		A40	66	59	56	56	55	55	56	52	54	51	59.7	
		G40	64	58	55	56	54	53	52	52	52	52	48	56.5
		LC20	64	57	49	49	48	48	49	46	46	46	45	59.5
		SC20	63	59	55	53	52	51	50	46	49	49	45	53.5
		SD20	65	54	49	48	45	45	46	44	44	41	38	57.0

## 4.2 かさ容積の実験結果

ステップ		走行方法		打設面、ノーマル					
1		走行回数(×10 <sup>4</sup> 回)		0	1	2	3	4	5
粗骨材 の種類 と かさ容積	A20	0.72	53	32	32	32	32	31	30
		0.62	59	29	29	27	28	28	28
	LD	0.72	54	26	26	25	25	25	25
		0.62	56	28	27	26	27	26	26
	SC	0.72	63	35	32	31	31	31	30
		0.62	57	32	31	29	29	29	28

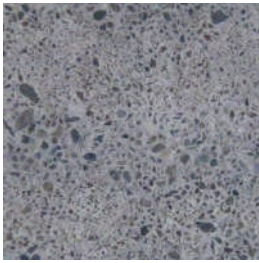
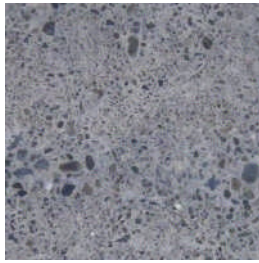
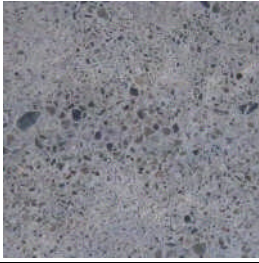
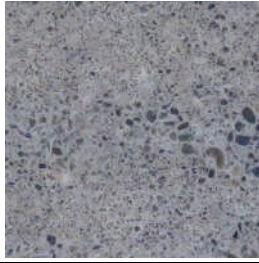
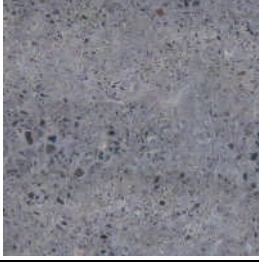

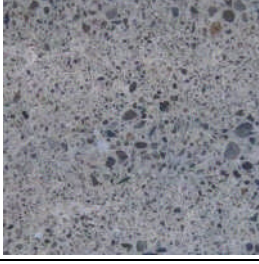
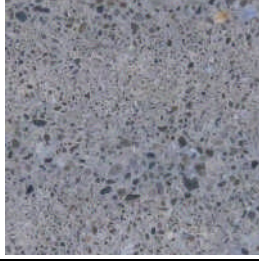
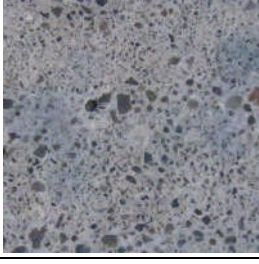
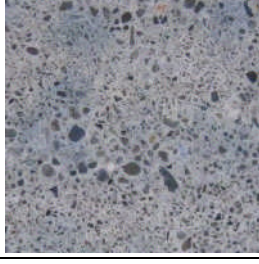
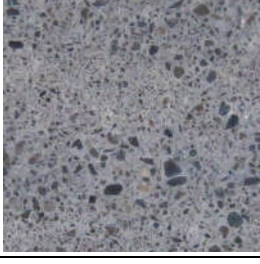
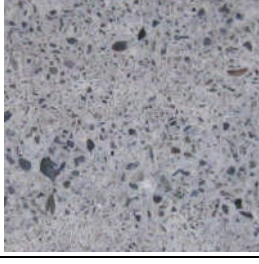
ステップ		走行方法		E	ノーマル							粗骨材 露出率(%)	
2		走行回数(×10 <sup>4</sup> 回)		7	8	9	10	11	12	15	17		22
粗骨材 の種類 と かさ容積	A20	0.72	64	54	55	54	55	54	54	54	54	55	38.0
		0.62	63	55	55	54	56	55	56	56	56	56	35.8
	LD	0.72	63	53	54	53	55	54	54	54	54	55	37.6
		0.62	63	54	55	52	54	55	55	55	54	55	40.8
	SC	0.72	63	56	55	55	56	56	56	55	56	56	32.4
		0.62	63	55	54	53	54	53	54	55	55	55	40.4

ステップ		走行方法		CUT	E	ノーマル						粗骨材 露出率(%)	
3		走行回数(×10 <sup>4</sup> 回)		22	23	24	25	26	27	28	31		33
粗骨材 の種類 と かさ容積	A20	0.72	67	59	58	57	57	58	54	56	56	55	52.8
		0.62	66	60	57	56	55	56	53	55	55	54	49.2
	LD	0.72	67	59	59	56	55	53	54	62	52	51	53.2
		0.62	65	59	56	55	53	54	50	51	50	50	50.0
	SC	0.72	67	57	54	54	52	52	51	51	52	49	48.2
		0.62	66	60	57	57	56	56	53	53	53	52	44.7

### 4.3 粗骨材の種類研磨面の写真

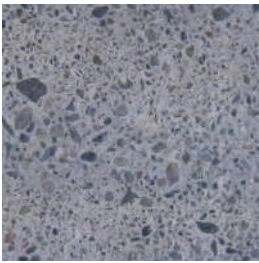
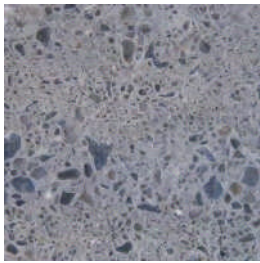
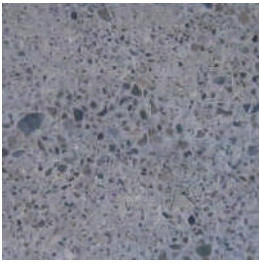
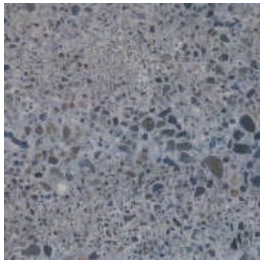
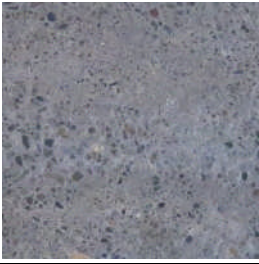
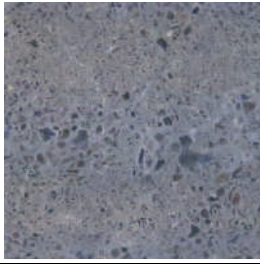
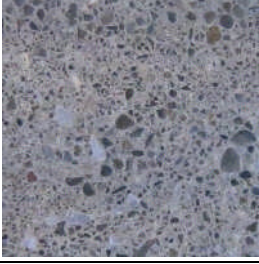
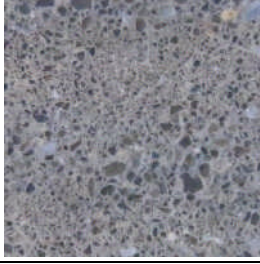
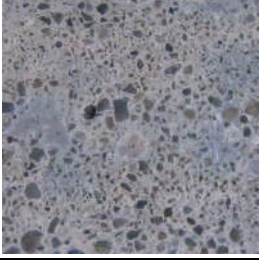
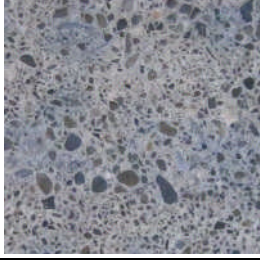
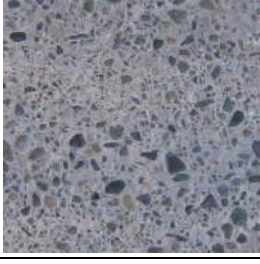
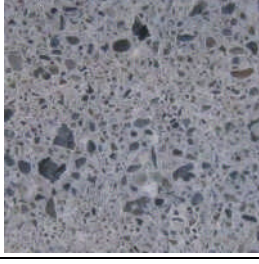
ステップ 2

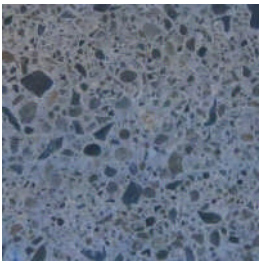
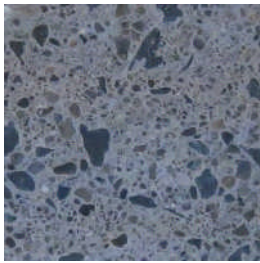
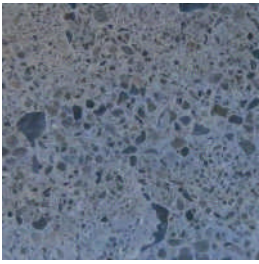
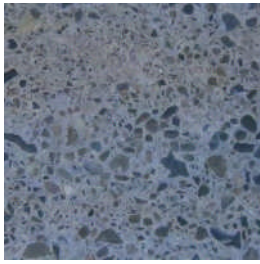
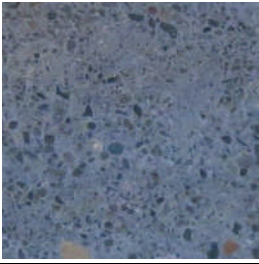
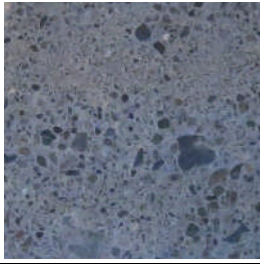
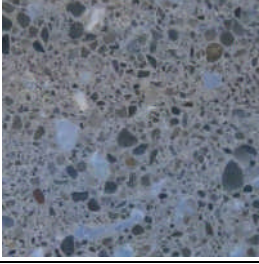
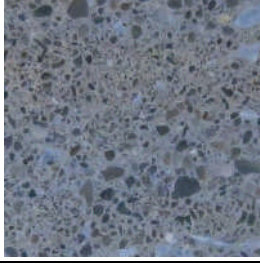
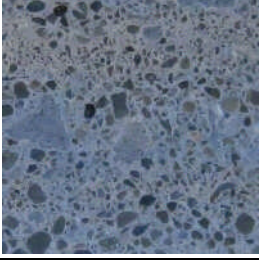
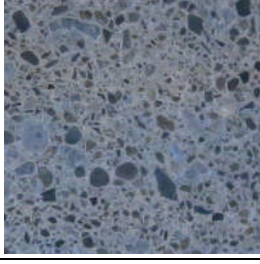
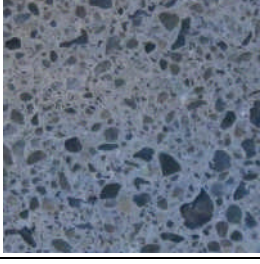
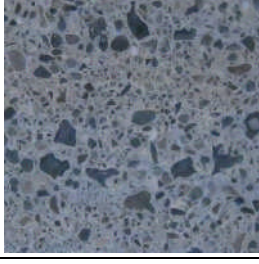
写真：5cm×5cm

粗骨材	供試体 1	供試体 2	骨材露出率 (%)
A20			供試体 1
			27.9
			供試体 2
			24.3
A40			供試体 1
			22.7
			供試体 2
			23.6
G40			供試体 1
			14.8
			供試体 2
			18.1
LC			供試体 1
			28.2
			供試体 2
			25.6
SC			供試体 1
			28.5
			供試体 2
			29.4
SD			供試体 1
			28.1
			供試体 2
			24.9

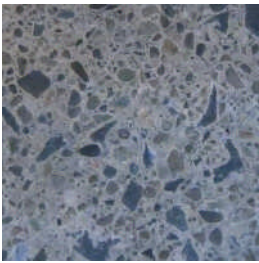
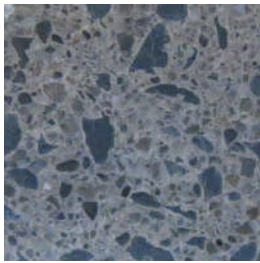
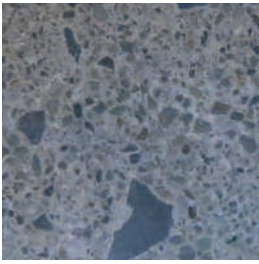
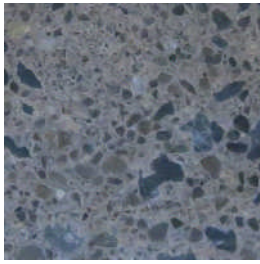
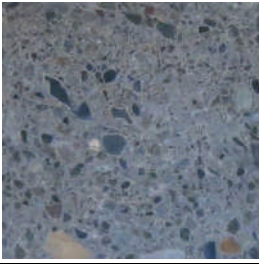
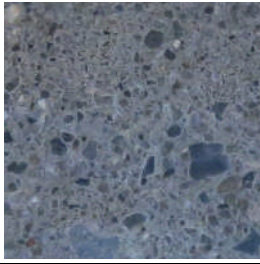
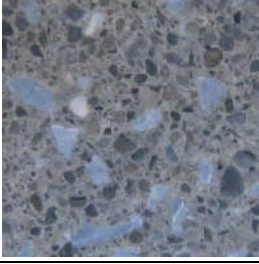
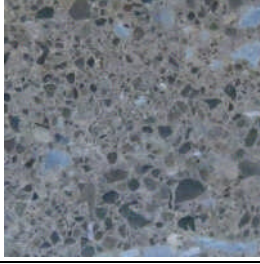
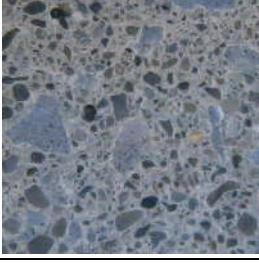
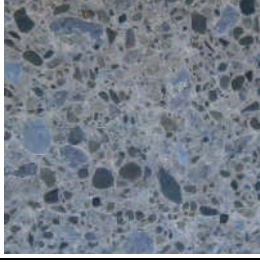
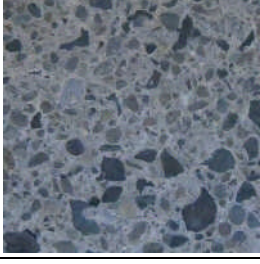
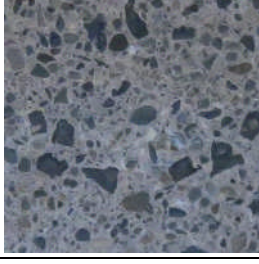
ステップ 3

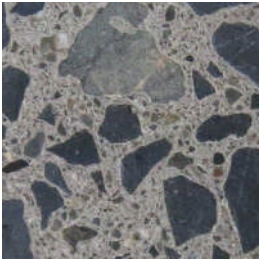
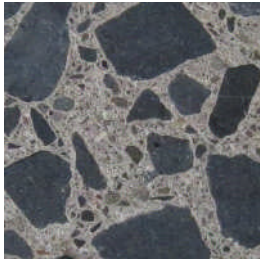
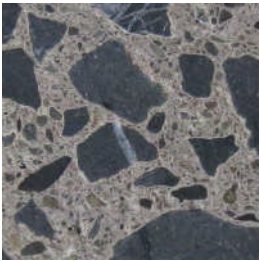
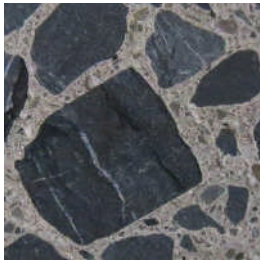
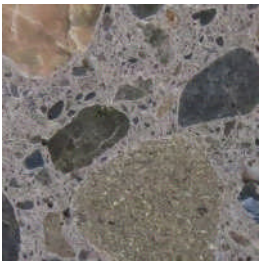
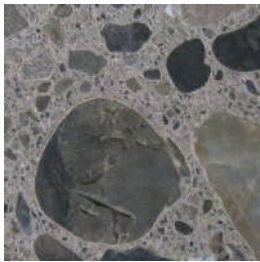
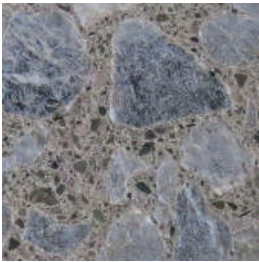
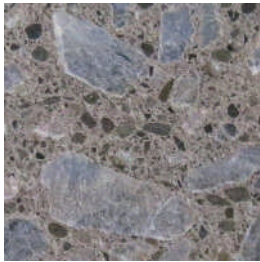
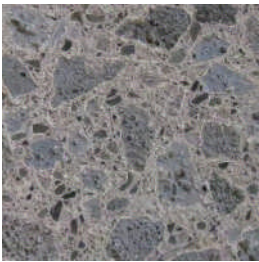

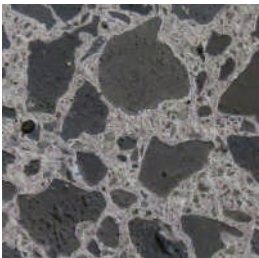
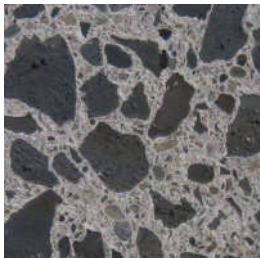
写真：5cm×5cm

粗骨材	供試体 1	供試体 2	骨材露出率 (%)
A20			供試体 1
			28.4
			供試体 2
			26.2
A40			供試体 1
			20.8
			供試体 2
			27.9
G40			供試体 1
			12.7
			供試体 2
			15.2
LC			供試体 1
			32.2
			供試体 2
			29.6
SC			供試体 1
			30.0
			供試体 2
			35.3
SD			供試体 1
			31.9
			供試体 2
			28.9

粗骨材	供試体 1	供試体 2	骨材露出率 (%)
A20			供試体 1
			33.8
			供試体 2
			33.1
A40			供試体 1
			28.7
			供試体 2
			28.5
G40			供試体 1
			17.4
			供試体 2
			22.5
LC			供試体 1
			34.9
			供試体 2
			32.2
SC			供試体 1
			34.7
			供試体 2
			31.0
SD			供試体 1
			34.3
			供試体 2
			31.9



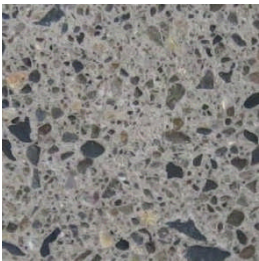
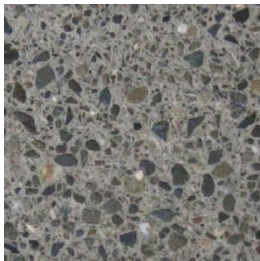
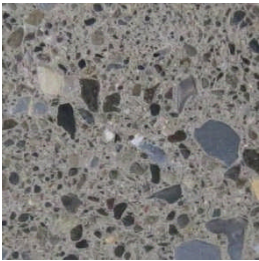
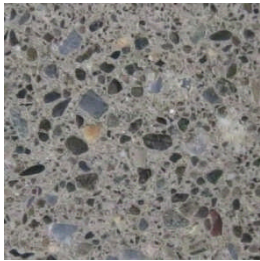
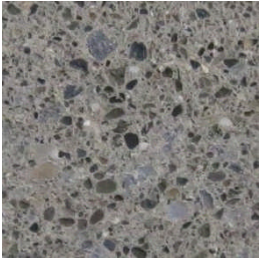
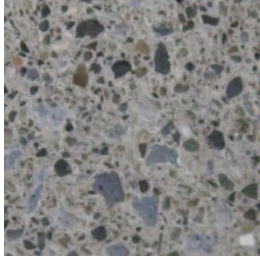
粗骨材	供試体 1	供試体 2	骨材露出率 (%)
A20			供試体 1
			37.1
			供試体 2
			35.4
A40			供試体 1
			30.7
			供試体 2
			29.1
G40			供試体 1
			25.1
			供試体 2
			25.2
LC			供試体 1
			39.6
			供試体 2
			33.6
SC			供試体 1
			37.4
			供試体 2
			37.4
SD			供試体 1
			36.5
			供試体 2
			35.4

粗骨材	供試体 1	供試体 2	骨材露出率 (%)
A20			供試体 1
			56.8
			供試体 2
			59.4
A40			供試体 1
			53.1
			供試体 2
			66.0
G40			供試体 1
			57.8
			供試体 2
			53.1
LC			供試体 1
			61.8
			供試体 2
			57.2
SC			供試体 1
			48.4
			供試体 2
			58.6
SD			供試体 1
			55.6
			供試体 2
			58.5

#### 4.4 かさ容積の研磨面の写真

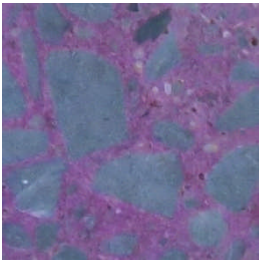
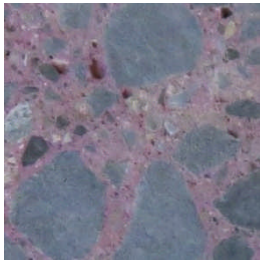
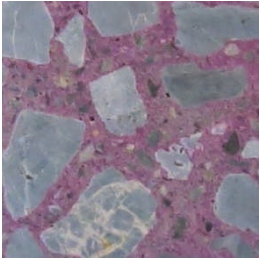
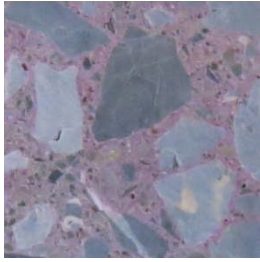
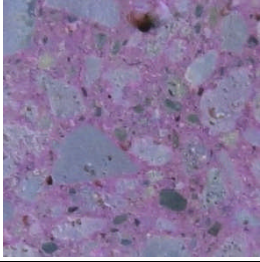
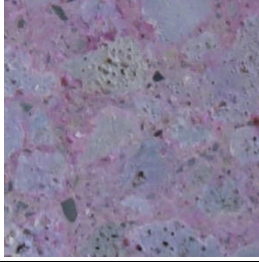
写真：5cm×5cm

ステップ2 かさ容積0.72

粗骨材	供試体 1	供試体 2	骨材露出率 (%)
A20			供試体 1
			37.1
			供試体 2
			38.8
LD			供試体 1
			38.5
			供試体 2
			36.7
SC			供試体 1
			32.8
			供試体 2
			32.0

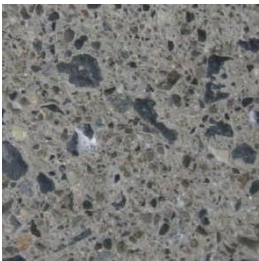


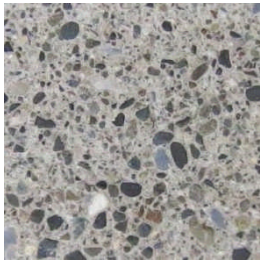
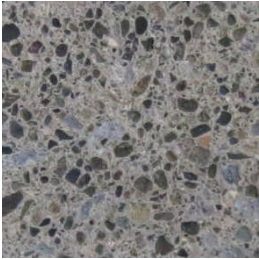
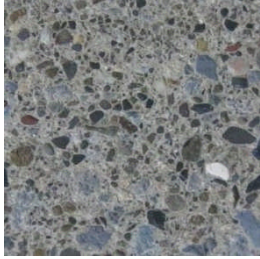
ステップ3 かさ容積0.72

写真：5cm×5cm

粗骨材	供試体 1	供試体 2	骨材露出率 (%)
A20			供試体 1
			53.0
			供試体 2
			52.6
LD			供試体 1
			53.2
			供試体 2
			53.1
SC			供試体 1
			50.4
			供試体 2
			45.9

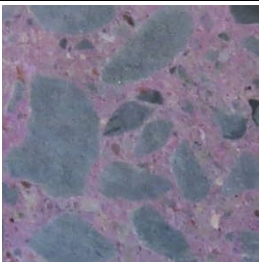
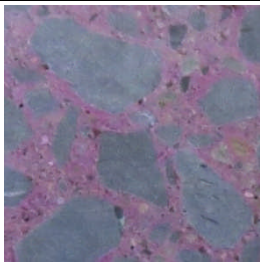
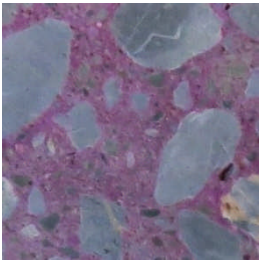
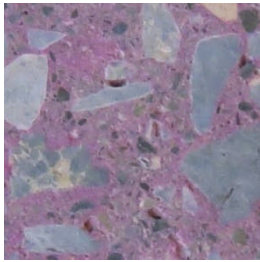
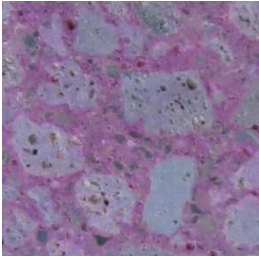
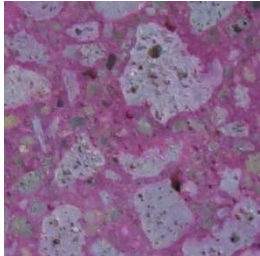
ステップ2 かさ容積0.62

写真：5cm×5cm

粗骨材	供試体 1	供試体 2	骨材露出率 (%)
A20			供試体 1
			35.5
			供試体 2
			36.0
LD			供試体 1
			41.5
			供試体 2
			40.0
SC			供試体 1
			40.0
			供試体 2
			40.7

ステップ3 かさ容積0.62

写真：5cm×5cm

粗骨材	供試体 1	供試体 2	骨材露出率 (%)
A20			供試体 1
			46.0
			供試体 2
			52.4
LD			供試体 1
			50.8
			供試体 2
			49.1
SC			供試体 1
			44.8
			供試体 2
			44.5

## 5. 強度試験結果

表 5.1 曲げ強度試験結果 (単位 MPa)

曲げ	W/C(%)	C/W	A20	A40	LD	SC	SD
□100 ×100 ×400	40	2.500	6.90	—	7.42	6.92	7.32
	45	2.222	6.15	—	6.99	6.86	7.02
	50	2.000	5.67	—	6.63	5.74	5.76
	55	1.818	5.67	—	5.70	5.45	5.38
□150 ×150 ×530	40	2.500	6.87	6.42	6.66	6.04	6.72
	45	2.222	6.35	5.79	6.13	5.83	6.39
	50	2.000	5.44	5.39	5.71	5.65	5.52
	55	1.818	5.44	5.11	5.41	5.10	5.36

表 5.2 圧縮強度試験結果 (単位 MPa)

圧縮	W/C(%)	C/W	A20	A40	LD	SC	SD
φ100 ×200	40	2.500	59.2	—	55.4	58.6	58.0
	45	2.222	49.2	—	45.6	49.7	52.6
	50	2.000	39.7	—	39.0	39.6	42.7
	55	1.818	37.3	—	35.6	34.0	35.4
φ125 ×250	40	2.500	56.6	59.2	58.9	60.1	63.7
	45	2.222	50.6	49.3	50.7	52.0	56.5
	50	2.000	44.0	43.4	42.6	42.0	47.2
	55	1.818	38.4	38.6	37.4	36.0	36.7

表 5.3 引張強度試験結果 (単位 MPa)

引張	W/C(%)	C/W	A20	A40	LD	SC	SD
φ100 ×125	40	2.500	4.27	—	4.02	—	4.48
	45	2.222	3.98	—	3.52	3.74	4.20
	50	2.000	3.58	—	3.43	3.50	3.44
	55	1.818	3.24	—	3.12	3.26	3.33
φ125 ×125	40	2.500	4.09	4.33	3.97	4.34	3.97
	45	2.222	4.00	4.05	3.42	3.99	3.90
	50	2.000	3.55	3.90	3.29	3.16	3.46
	55	1.818	3.34	3.73	3.34	3.24	3.07

## 6. スケーリング試験結果

### 6.1 スケーリング量の結果

表 6.1.1 粗骨材 A、C、SC、水セメント比 40、50、60% (打設面) の結果

(単位 g/cm<sup>2</sup>)

試験面 粗骨材	打設面											
	A				C				SC			
	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	サイクル											
	W/C(%)	0	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	0.002	0.014	0.008	0.014	0.000	0.014	0.000	0.007
		20	0.005	0.006	0.005	0.093	0.069	0.090	0.003	0.090	0.003	0.046
		30	0.014	0.015	0.014	0.165	0.138	0.159	0.013	0.159	0.013	0.086
		40	0.023	0.025	0.024	0.216	0.195	0.219	0.024	0.219	0.024	0.121
		50	0.035	0.036	0.036	0.259	0.244	0.265	0.040	0.265	0.040	0.153
		60	0.044	0.050	0.047	0.289	0.279	0.303	0.056	0.303	0.056	0.180
		80	0.067	0.086	0.076	0.338	0.338	0.370	0.102	0.370	0.102	0.236
		100	0.078	0.123	0.100	0.370	0.376	0.415	0.138	0.415	0.138	0.277
50	0	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	0.011	0.005	0.011	0.005	0.008	
	20	0.038	0.024	0.031	0.013	0.019	0.016	0.019	0.007	0.019	0.013	
	30	0.048	0.031	0.040	0.018	0.028	0.023	0.025	0.008	0.025	0.016	
	40	0.053	0.045	0.049	0.021	0.036	0.029	0.029	0.008	0.029	0.019	
	50	0.055	0.053	0.054	0.032	0.038	0.035	0.034	0.009	0.034	0.021	
	60	0.057	0.061	0.059	0.034	0.046	0.040	0.039	0.009	0.039	0.024	
	80	0.059	0.069	0.064	0.036	0.052	0.044	0.041	0.009	0.041	0.025	
	100	0.062	0.100	0.081	0.042	0.069	0.056	0.046	0.009	0.046	0.028	
	0	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	0.129	0.136		
20	0.105	0.139	0.122	0.039	0.167	0.103	0.179	0.183	0.179	0.183		
30	0.155	0.205	0.180	0.071	0.229	0.150	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	0.231	0.228		
50	0.215	0.247	0.231	0.181	0.292	0.236	0.245	0.238	0.245	0.238		
60	0.234	0.266	0.250	0.218	0.322	0.270	0.262	0.253	0.262	0.253		
80	0.287	0.304	0.296	0.269	0.380	0.324	0.302	0.292	0.302	0.292		
100	0.337	0.357	0.347	0.341	0.452	0.396	0.339	0.330	0.339	0.330		

表 6.1.2 粗骨材 A、C、SC、水セメント比 40、50、60% (切断面) の結果

(単位 g/cm<sup>2</sup>)

試験面		切断面								
W/C (%)	粗骨材 サイクル	A			C			SC		
		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
	10	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
	30	0.004	0.006	0.005	0.007	0.005	0.006	0.003	0.004	0.003
	40	0.005	0.007	0.006	0.008	0.006	0.007	0.003	0.004	0.003
	50	0.006	0.007	0.007	0.010	0.007	0.009	0.003	0.005	0.004
	60	0.007	0.008	0.008	0.012	0.008	0.010	0.003	0.005	0.004
	80	0.011	0.010	0.010	0.015	0.010	0.013	0.004	0.011	0.007
	100	0.014	0.011	0.012	0.016	0.012	0.014	0.004	0.015	0.010
	50	0	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
20		0.002	0.004	0.003	0.016	0.035	0.026	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
40		0.002	0.004	0.003	0.021	0.060	0.041	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
60		0.003	0.004	0.004	0.023	0.079	0.051	0.006	0.005	0.005
80		0.004	0.005	0.004	0.025	0.088	0.057	0.006	0.005	0.005
100		0.006	0.005	0.005	0.026	0.107	0.066	0.007	0.005	0.006
60		0	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
	20	0.018	0.035	0.026	0.027	0.060	0.043	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
	40	0.031	0.055	0.043	0.043	0.082	0.062	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
	60	0.043	0.070	0.056	0.053	0.098	0.075	0.019	0.011	0.015
	80	0.062	0.086	0.074	0.063	0.118	0.090	0.021	0.016	0.018
	100	0.081	0.111	0.096	0.073	0.138	0.106	0.024	0.022	0.023

表 6.1.3 粗骨材 B、G、LD、水セメント比 50% (打設面) の結果

(単位 g/cm<sup>2</sup>)

試験面		打設面											
粗骨材		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	0.006	0.015	0.011	0.037	0.005	0.021	0.016	0.007	0.011	0.034	0.020	0.027
	20	0.011	0.032	0.022	0.053	0.010	0.032	0.027	0.043	0.041	0.061	0.040	0.056
	30	0.018	0.053	0.036	0.066	0.012	0.037	0.040	0.049	0.064	0.053	0.075	0.064
	40	0.028	0.065	0.047	0.070	0.014	0.043	0.046	0.061	0.074	0.067	0.098	0.083
	50	0.036	0.073	0.054	0.074	0.016	0.046	0.049	0.067	0.083	0.069	0.101	0.085
	60	0.043	0.085	0.064	0.079	0.017	0.046	0.049	0.067	0.083	0.069	0.101	0.085
	80	0.052	0.099	0.076	0.082	0.019	0.049	0.052	0.069	0.085	0.069	0.101	0.085
	100	0.056	0.107	0.082	0.082	0.021	0.052	0.052	0.069	0.085	0.069	0.101	0.085

表 6.1.4 粗骨材 B、G、LD、水セメント比 50% (切断面) の結果

(単位 g/cm<sup>2</sup>)

試験面		切断面											
粗骨材		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	0.004
	20	0.017	0.009	0.013	0.012	0.009	0.011	0.011	0.004	0.004	0.004	0.005	0.004
	30	0.026	0.012	0.019	0.019	0.010	0.014	0.014	0.006	0.006	0.006	0.005	0.006
	40	0.033	0.014	0.024	0.026	0.010	0.018	0.018	0.008	0.006	0.008	0.006	0.007
	50	0.044	0.018	0.031	0.035	0.011	0.023	0.023	0.011	0.006	0.011	0.006	0.009
	60	0.055	0.024	0.039	0.049	0.011	0.030	0.030	0.014	0.007	0.014	0.007	0.011
	80	0.077	0.032	0.054	0.060	0.012	0.036	0.036	0.020	0.008	0.020	0.008	0.014
	100	0.088	0.038	0.063	0.064	0.012	0.038	0.038	0.024	0.009	0.024	0.009	0.016



6.2 スケーリング試験の写真(100 サイクル)

表 6.2.1 粗骨材 A、C、SC、B、G、LD(W/C=50%)の打設面の状況写真

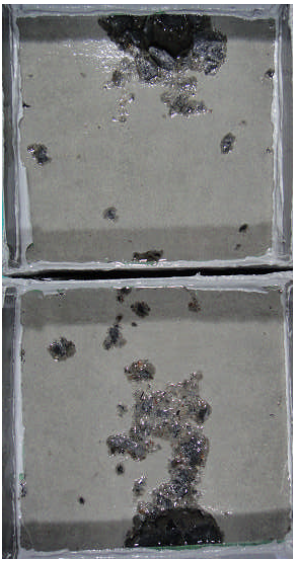
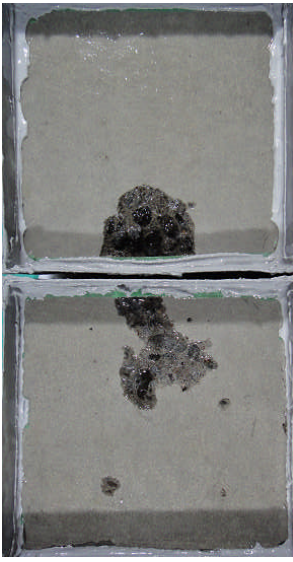
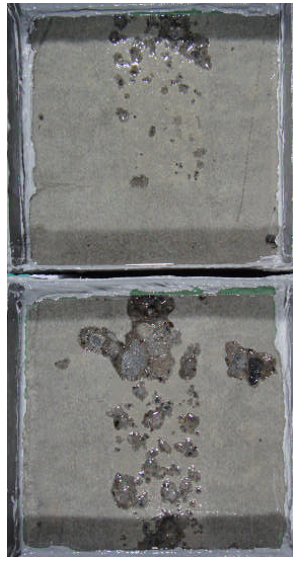
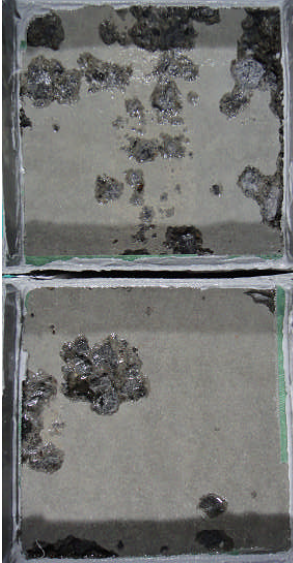

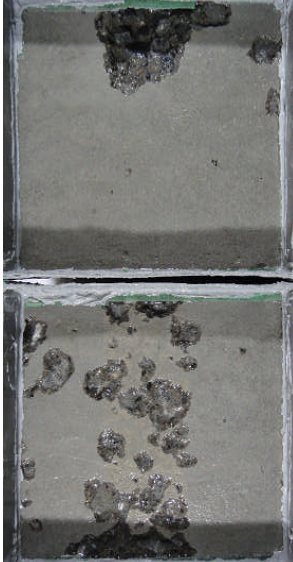
W/C	粗骨材 A 	粗骨材 C 	粗骨材 SC 
50 %	粗骨材 B 	粗骨材 G 	粗骨材 LD 

表 6.2.2 粗骨材 A、C、SC、水セメント比の打設面の状況写真

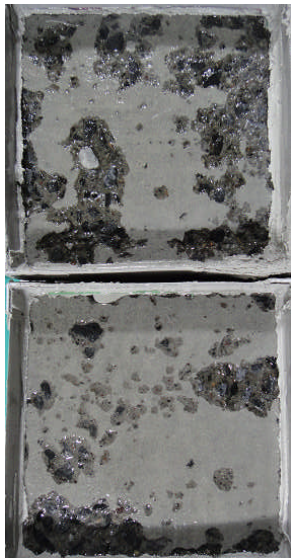
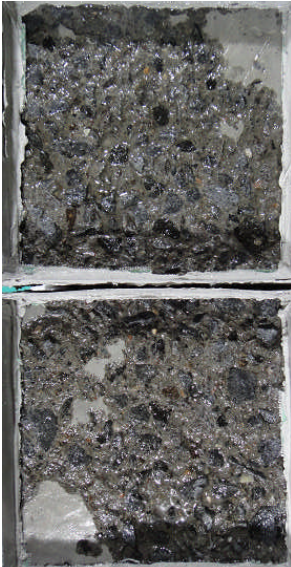
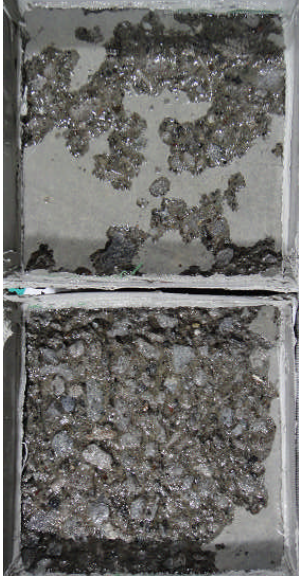
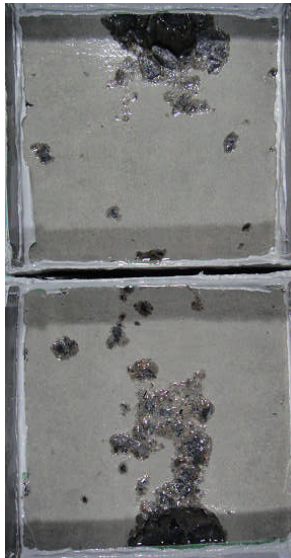

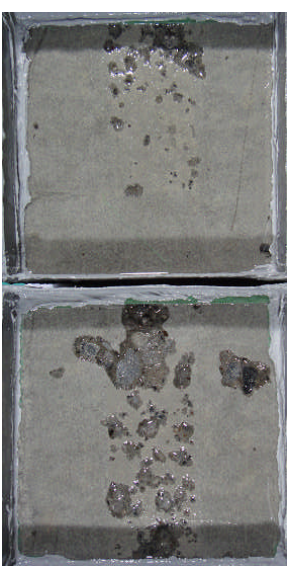
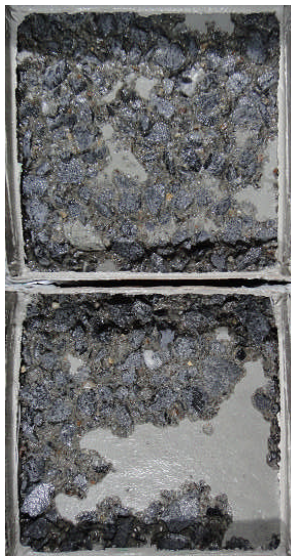
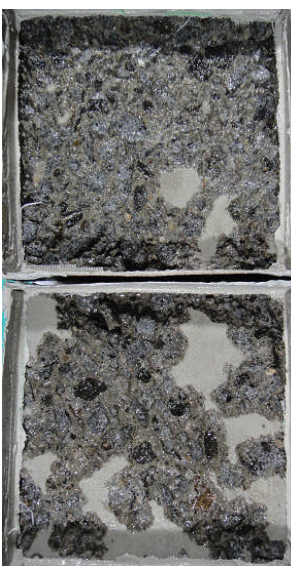

W/C	粗骨材 A	粗骨材 C	粗骨材 SC
40 %			
50 %			
60 %			

表 6.2.3 粗骨材 A、C、SC、B、G、LD(W/C=50%)の切断面の状況写真

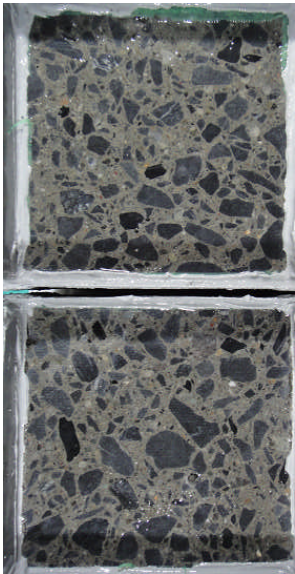
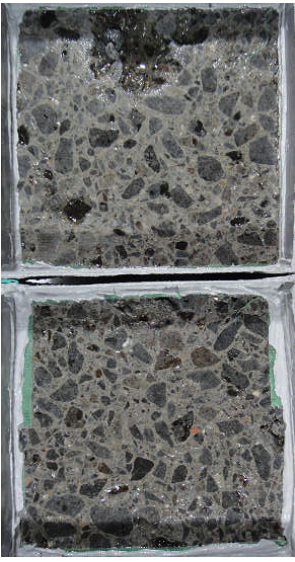
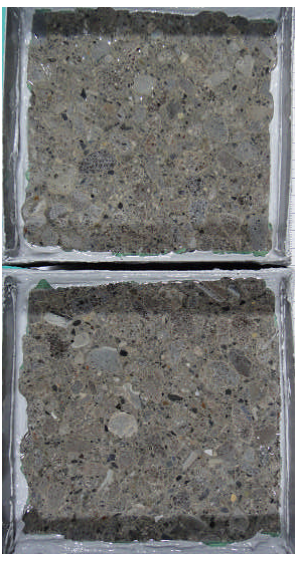
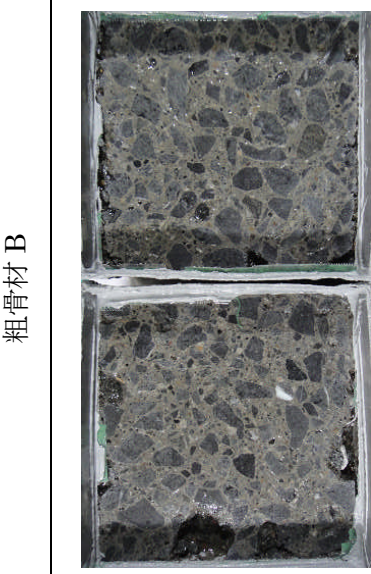
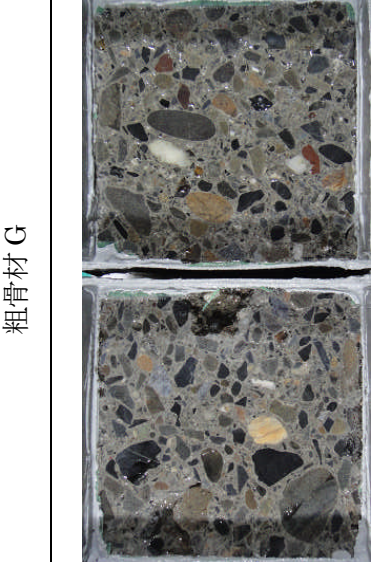
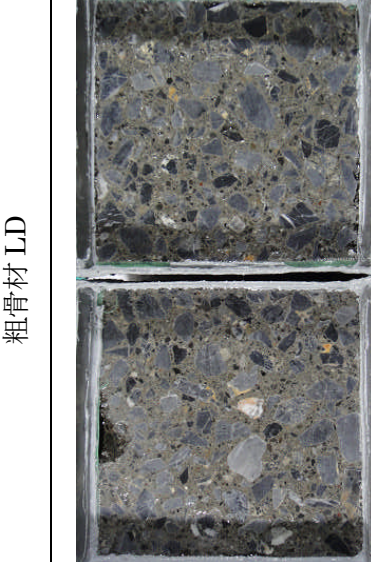
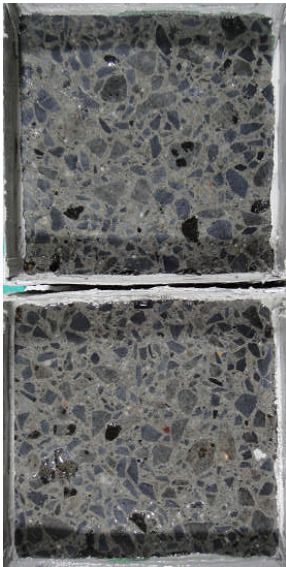
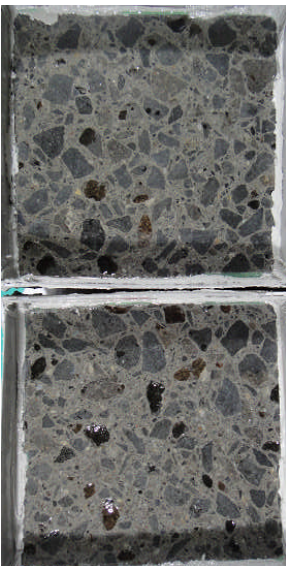
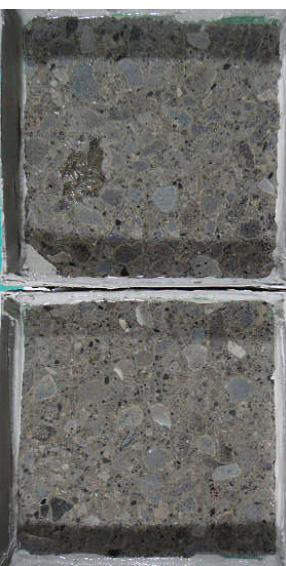
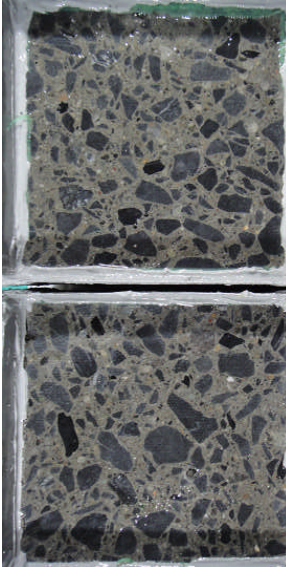
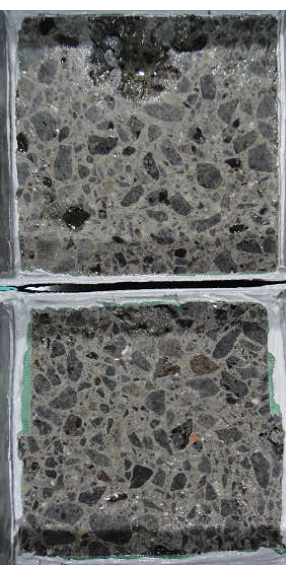
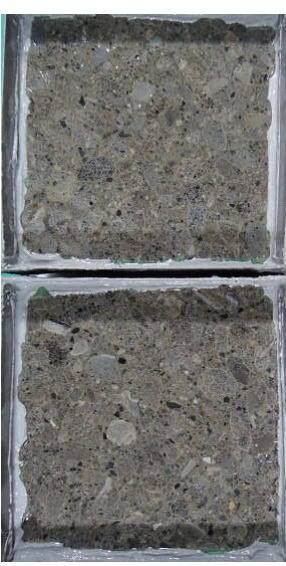
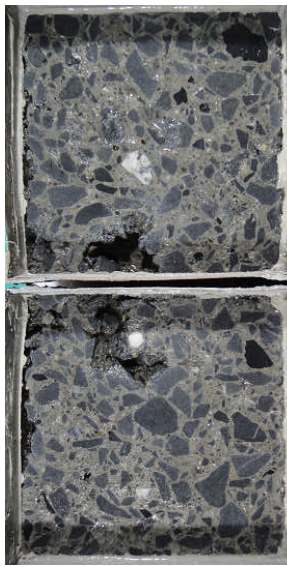
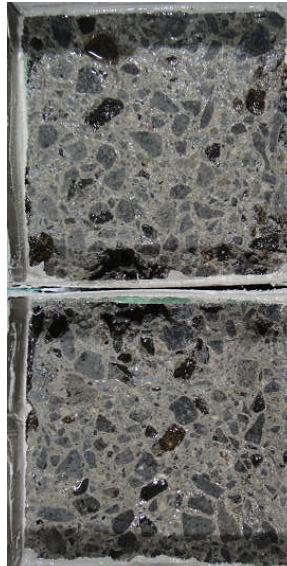

W/C	粗骨材 A	粗骨材 S	粗骨材 SC
			
50 %	粗骨材 B	粗骨材 G	粗骨材 LD
			

表 6.2.4 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 %			

## 7. 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抵抗性に関する研究、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

【2015年度】

- 1) 森濱 和正、勝畑 敏幸、石田 征男、常松 直志：スラグ粗骨材を用いた舗装コンクリートの特性、舗装、V01.50、No.5、pp.17-21、2015.5
- 2) 森濱 和正、勝畑 敏幸、渡辺 博志：舗装コンクリートのスケーリング抵抗性に関する実験的検討、セメント技術大会第 69 回講演要旨、pp.198-199、2015.5
- 3) 常松 直志、森濱 和正、勝畑 敏幸、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耐摩耗性に関する検討、土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.727-728、2015.9
- 4) 加藤 学、常松 直志、森濱 和正：各種粗骨材を用いた舗装コンクリートのすべり抵抗性に関する検討、第 31 回日本道路会議 舗装部門、3097、2015.10
- 5) 森濱 和正、加藤 祐哉、古賀 裕久：スラグ骨材を用いた舗装用コンクリートの特性、土木技術資料、V01.57、No.12、pp.20-25、2015.12

## 共同研究参加者名簿

機 関	氏 名	所 属・役 職	参 加 期 間
(国研)土木研 究所	渡辺 博志	材料資源研究グループ 上席研究員	2012.4～15.3
	古賀 裕久	材料資源研究グループ 上席研究員	2015.4～
	森濱 和正	材料資源研究グループ 総括主任研究員	2012.4～
	加藤 祐哉	材料資源研究グループ 研究員	2015.4～
	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	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	2012.4～

ント(株)		リーダー	
	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	2012.4～15.3
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～



Copyright © (2016) 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、国立研究開発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、国立研究開発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。

