

# 報告 再生細骨材 H を使用したコンクリートのフレッシュ性状および硬化性状に関する実験

渡邊 真史\*1・三本 巖\*2・我妻 佳幸\*3

**要旨：** 再生細骨材 H を使用したコンクリートの試し練りを実施し、フレッシュ性状および硬化性状、耐久性に関する検討を行った。その結果、再生細骨材 H の使用割合が多いほど、所要のワーカビリティを得るための化学混和剤の添加率が低くなること、また、圧縮強度、長さ変化率や中性化深さ、凍結融解抵抗性をはじめとする試験を通して、強度や耐久性は通常のコンクリートと同等であることを確認した。

**キーワード：** 再生細骨材 H, フレッシュ性状, 硬化性状, 耐久性

## 1. はじめに

レディーミクストコンクリートの納入現場から発生する残コンや戻りコン、あるいは、構造物の解体現場から発生するコンクリート塊の多くは、舗装用路盤材や埋戻し・裏込め材として再利用されている。これらのコンクリート解体材の種類のひとつとして、破碎、摩砕、分級等の高度な処理を経て製造される再生骨材 H がある。近年、再生骨材 H の積極的な利用を図る趣旨でコンクリート用再生骨材 H に関する JIS が改正された。しかし、再生骨材 H の製造コストが若干高いことや、再生骨材 H に関する性質が十分周知されていないことから、再生骨材 H を積極的に使用するまでには至っていない。

再生骨材の製造方法には、加熱式すりもみによって骨材に付着したモルタルを効率的に除去する方法などがあるが、加熱処理によって骨材の物性が化学的に変化してしまう場合があり、原骨材の種類によっては注意が必要である。

そこで本研究では、粒度調整が可能で骨材の化学的な変質の恐れがない、機械式すりもみおよび水洗いによって製造された再生細骨材 H を使用することとし、コンクリートの試し練りを実施して、フレッシュ性状および硬化性状、耐久性に関する実験を行った。これにより、再生骨材 H の性質を定量的に示し、再生骨材 H を普及する上で必要となる実験データを整備した。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料と配合

表-1 に使用材料の物性値あるいは主成分を示す。また、細骨材の粒度分布を図-1 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は山砂および砕砂、再生細骨材 H、粗骨材は石灰碎石とし、化学混和剤は高性能 AE 減水剤とした。なお、空気量の調整は AE 剤あるいは消泡剤によって行った。示方配合は、表-1 に示す記号の材料を用いて表-2 に示すとおりである。

表-1 使用材料の物性値

材料	記号	種類および産地	物性値あるいは主成分
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度：3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S1	山砂：千葉県富津市	表乾密度：2.60g/cm <sup>3</sup> ，吸水率：2.40%，粗粒率：2.21 微粒分量：1.9%，実積率：63.3%
	S2	再生細骨材 H：千葉県木更津市	表乾密度：2.60g/cm <sup>3</sup> ，吸水率：2.68%，粗粒率：2.74 微粒分量：0.6%，実積率：67.2%
	S3	砕砂：埼玉県秩父郡	表乾密度：2.68g/cm <sup>3</sup> ，吸水率：1.57%，粗粒率：3.00 微粒分量：2.9%，実積率：65.5%
粗骨材	G	石灰碎石：高知県吾川郡	表乾密度：2.70g/cm <sup>3</sup> ，吸水率：0.37%，粗粒率：6.60
化学 混和剤	AD1	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物
	AD2	AE 剤	変性酸化合物系陰界面活性剤
	AD3	消泡剤	ポリアルキレングリコール誘導体
水	W	上水道水：千葉県浦安市	—

\*1 (株) 内山アドバンス 技術本部 中央技術研究所 修士 (工) (正会員)

\*2 (株) 内山アドバンス 技術本部 中央技術研究所

\*3 (株) 和オエンジニア 建材コンサルティング部

表-2 示方配合

No.	W/C (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						化学混和剤の添加率			細骨材の粗粒率
				W	C	S1	S2	S3	G	AD1	AD2	AD3	
1	50	18 (20) <sup>※</sup>	4.5 (5.0) <sup>※</sup>	170	340	858	—	—	940	C×1.10%	1.00A	—	2.21
2				170	340	429	429	—	940	C×0.70%	0.50A	—	2.48
3				170	340	429	—	442	940	C×0.70%	0.50A	—	2.61
4				170	340	—	858	—	940	C×0.35%	0.25A	—	2.74
5	30	60 (60) <sup>※</sup>	2.0 (2.0) <sup>※</sup>	170	567	783	—	—	891	C×1.50%	—	1.00T	2.21
6				170	567	393	393	—	891	C×1.45%	—	1.00T	2.48
7				170	567	393	—	405	891	C×1.45%	—	1.00T	2.61
8				170	567	—	783	—	891	C×1.40%	—	1.00T	2.74

※) 練混ぜ直後の目標値

表-3 試験項目

試験項目		試験方法	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
フレッシュ性状	スランブ	JIS A 1101	■□▲△	■□▲△	■□	■□▲△	—	—	—	—
	スランブフロー	JIS A 1150	—	—	—	—	■	■	■	■
	モルタルフロー <sup>※</sup>	JIS A 1171	—	—	—	—	■	■	■	■
	空気量	JIS A 1128	■□▲△	■□▲△	■□	■□▲△	■	■	■	■
	コンクリート温度	JIS A 1156	■□▲△	■□▲△	■□	■□▲△	■	■	■	■
	ブリーディング	JIS A 1123	□	□	□	□	—	—	—	—
	凝結	JIS A 1147	□	□	—	□	—	—	—	—
硬化性状	圧縮強度	JIS A 1108	△	△	□	△	■	■	■	■
	静弾性係数	JIS A 1149	△	△	□	△	■	■	■	■
	長さ変化率	JIS A 1129-2	△	△	□	△	—	—	—	—
	中性化	JIS A 1153	□	□	—	□	—	—	—	—
	凍結融解	JIS A 1148	□	□	—	□	—	—	—	—

■：練混ぜ直後に試料採取 □：経時 30 分で試料採取 ▲：経時 60 分で試料採取 △：経時 90 分で試料採取  
 ※) 2L の別バッチにて、化学混和剤の添加率を AD1=C×1.05%，AD3=1.00T に統一して実施

2.2 練混ぜ方法

練混ぜは容量 60L の強制二軸式ミキサによって行った。W/C が 50% の No.1~4 の水準は、粗骨材、細骨材半量、セメント、細骨材半量の順に材料を投入した後、空練りを 10 秒間行い、水と化学混和剤を投入して 90 秒間練り混ぜた。W/C が 30% の No.5~8 の水準は、細骨材半量、セメント、細骨材半量の順に材料を投入して空練りを 10 秒間行い、水と化学混和剤を投入して 120 秒間練り混ぜ、粗骨材を投入して 180 秒間練り混ぜた後に 4 分 30 秒の間静置させ、さらに 30 秒間練り混ぜて試料を排出した。なお、練混ぜを行った環境は 20℃、相対湿度 60% である。

2.3 試験項目

表-3 に試験項目の一覧を示す。フレッシュ性状を確認する試験として、スランブまたはスランブフロー、空気量、コンクリート温度の測定を全ての水準で行った。粗粒率がスランブフローに与える影響を精査する目的として、水セメント比が 30% の水準では、モルタルフロー

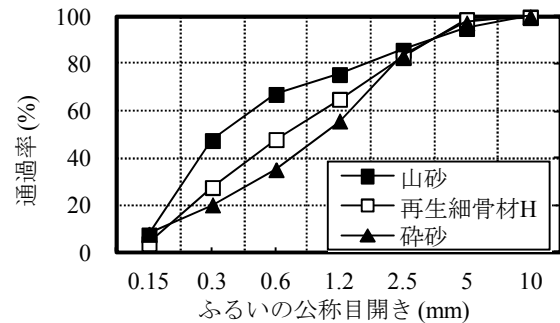


図-1 細骨材の粒度分布

試験も実施した。また、水セメント比が 50% の水準で、ブリーディング量と凝結時間の測定を行った。硬化性状を確認する試験としては、圧縮強度と静弾性係数の測定を全ての水準で行った。さらに、水セメント比が 50% の水準で、長さ変化率、促進中性化、凍結融解試験を実施し、耐久性について検討した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 スランプまたはスランプフローと空気量

水セメント比が 50%の水準に関して、図-2 にスランプの経時変化を、図-3 に空気量の経時変化を示す。図中には、コンクリート温度 (CT) を併記している。図-2 より、化学混和剤の添加率が最も低い No.4 において、最終的なスランプロスが最も大きいことがわかる。また、No.1 と No.2 を比較すると、再生細骨材 H を 50%使用した No.2 の方が、化学混和剤の添加率が低いにも係わらず、スランプロスはやや小さかった。空気量は、図-3 に示すように、No.2、No.4 の順に山砂の使用割合が多くなるほど、ロスが小さい傾向であった。これは単に、AE 剤の使用量が影響している可能性があるが、図-1 に示したように、山砂は 0.3~0.6mm の細粒分を多く含んでいたため、エントレインドエアが連行しやすかった可能性がある。

本実験では、表-2 に示すように、細骨材の粗粒率がそれぞれの水準で異なるが、水セメント比が同じ水準の中では、細骨材率や粗骨材かさ容積の補正は行わずに全て一定としている。したがって、粗粒率が小さい水準ほど、所要のワーカビリティを得るための化学混和剤の添加率が若干高くなることは予め予想されることである。実際の添加率も、表-2 に示すように粗粒率が小さい水準ほど高い傾向にあった。しかし、再生細骨材 H を全量使用した No.4 の添加率がかなり小さいこと、さらに、No.2 と No.3 を比較すると、粗粒率が小さいにも関わらず、再生細骨材 H を 50%混合使用した No.2 は、砕砂を 50%混合使用した No.3 と同じ添加率で同等のワーカビリティが得られた。これは、再生細骨材 H の微粒分量が少ないこと、実積率が高いことが主要因であると考えられるが、本検討に限っては、再生細骨材 H を使用することにより、化学混和剤の使用量を低減することができ、換言すれば、単位水量を低減することができる。

水セメント比が 30%の水準に関して、図-4 にスランプフローおよび空気量を示す。水セメント比が 50%の水準とは異なり、いずれの水準もほぼ同程度の化学混和剤の添加率において、所要のスランプフローおよび空気量が得られた。即ち、低水セメント比におけるスランプフローに影響を及ぼす要因は、主としてセメント粒子の分散性を決定づける化学混和剤の添加率であり、細骨材の粗粒率や粒形の影響はごくわずかであるといえる。

図-5 に粗粒率とモルタルフローの関係を示す。図-5 に示すように、粗粒率が大きい水準ほどモルタルフローが大きくなる傾向が見られた<sup>1)</sup>が、No.6 と No.7 を比較すると、粗粒率が小さいにも関わらず、再生細骨材 H を 50%混合使用した No.6 のほうが、砕砂を 50%混合使用した No.7 よりも、モルタルフローが若干大きかった。これは、

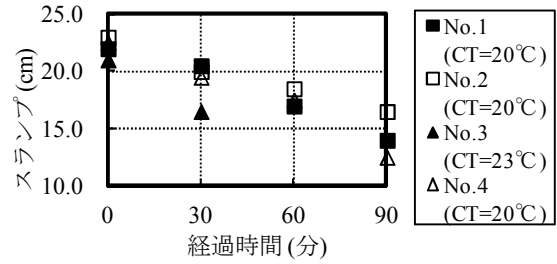


図-2 スランプの経時変化

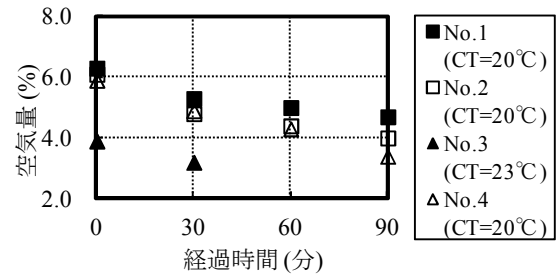


図-3 空気量の経時変化

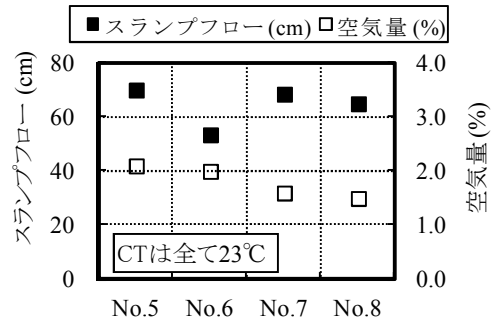


図-4 スランプフローおよび空気量

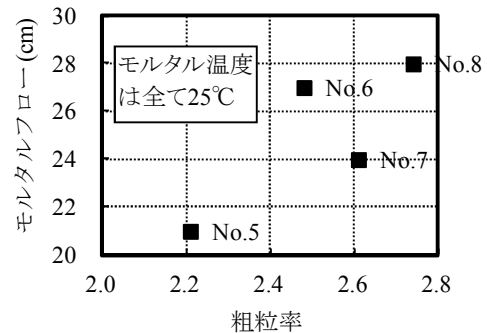


図-5 細骨材の粗粒率とモルタルフローの関係

再生細骨材 H が製造過程においてすりもみや水洗いの処理を受けているため、表-1 に示したように微粒分量が少ないこと、また、実積率がやや大きいことが影響していると考えられる。写真-1 に示すように、再生細骨材 H には微細な粒子がほとんどなく、丸みを帯びた大小様々な粒子が存在していた。

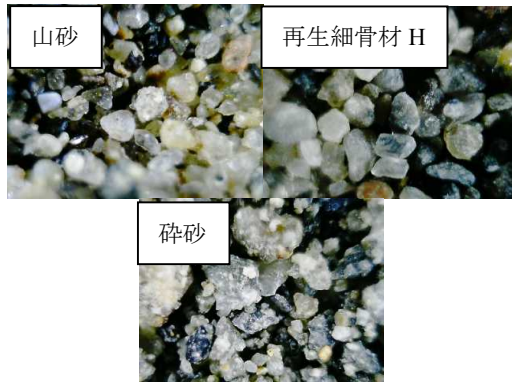


写真-1 細骨材の拡大写真 (倍率 20 倍)

### 3.2 ブリーディング試験

図-6 にブリーディング量の経時変化を示す。再生細骨材 H を使用した No.2 および No.4 において、ブリーディング量が多くなる傾向であった。既往の研究<sup>2)</sup>でも、再生細骨材を使用した場合において、吸水率が高いにも関わらずブリーディング量が多くなることが報告されているが、本検討に限っては、再生細骨材 H の微粒分量が少ないことや、粗粒率が相対的に高いことに起因すると考えられる。

### 3.3 凝結試験

図-7 に貫入抵抗の経時変化を示す。また、図-7 より直線補間によって求めた凝結の始発および終結の時間を表-4 に示す。図表に示すように、再生細骨材 H を使用した No.2 と No.4 の水準において凝結が早くなる傾向が見られたが、これは化学混和剤の添加率が低いためと考えられる。

### 3.4 圧縮強度および静弾性係数

表-5 に材齢 4 週における圧縮強度および静弾性係数の値を示す。圧縮強度を比較すると、供試体採取時の空気量の大小で若干の違いがあるものの、細骨材の種類や混合割合によらず、水セメント比が同じ水準で比較した場合に大きな差は見られなかった。静弾性係数に関して、同じ水セメント比の水準の中で細骨材の違いによる明確な傾向は見られず、ほぼ同程度であった。粗骨材の種類およびかさ容積を固定しているため、概ね予想されていた結果であるが、水セメント比が 50% の No.1~4 に関しては、化学混和剤の添加率が大きく異なるにも関わらず、圧縮強度および静弾性係数がほぼ同じであった。

### 3.5 長さ変化率

図-8 に乾燥材齢と長さ変化率の関係を、図-9 に乾燥材齢と質量変化率の関係を示す。本検討に限っては、いずれの材齢においても、再生細骨材 H の使用割合が多い No.4, No.2 の順に、長さ変化率が若干低くなる傾向が見られた。また、質量減少率についても同様の傾向が見られた。しかし、山砂を 100% 使用した No.1 と、再生細

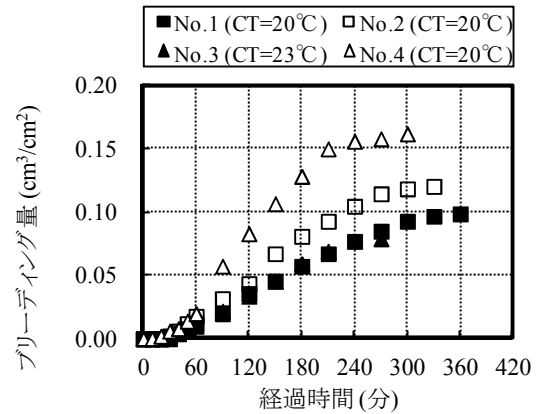


図-6 ブリーディング量の経時変化

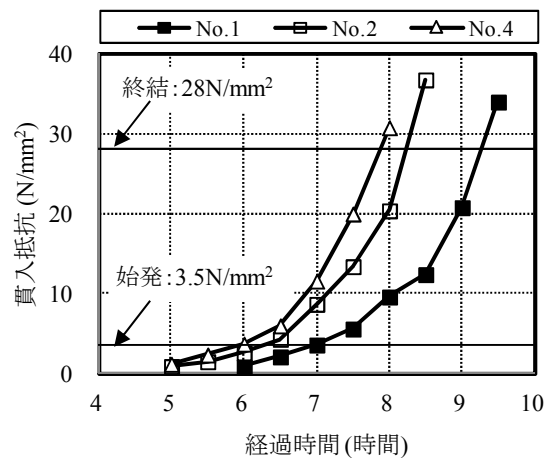


図-7 貫入抵抗の経時変化

表-4 凝結の始発および終結時間

	No.1	No.2	No.4
始発時間	6 時間	6 時間	5 時間
終結時間	9 時間	8 時間	7 時間
経過時間	58 分	16 分	56 分
経過時間	16 分	14 分	52 分

表-5 圧縮強度および静弾性係数

No.	採取時の空気量 (%)	圧縮強度の実測値 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
1	4.7	43.3	33.7
2	3.4	46.4	35.1
3	3.2	48.6	34.9
4	4.0	45.6	34.7
5	2.1	88.4	43.2
6	1.4	88.5	42.7
7	1.8	90.2	43.4
8	2.0	88.6	43.7

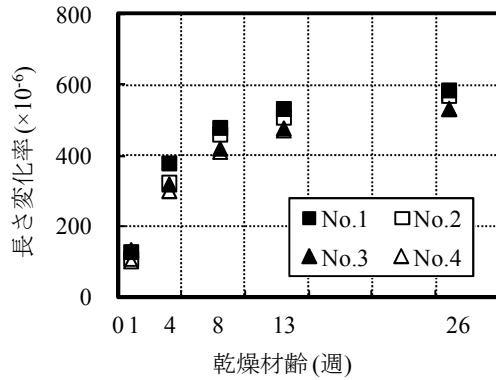


図-8 乾燥材齢と長さ変化率の関係

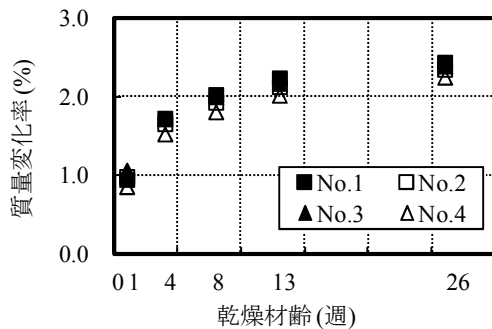


図-9 乾燥材齢と質量変化率の関係

骨材 H を 100% 使用した No.4 の 26 週における長さ変化率の差は、約  $50 \times 10^{-6}$  とわずかであり、再生細骨材 H の使用がコンクリートの乾燥収縮に与える影響はほとんどないといえる。

### 3.6 促進中性化試験

図-10 に試験材齢と中性化深さの関係を示す。また、写真-2~4 に試験材齢 26 週における中性化深さの状況を示す。最終的な中性化深さは、再生細骨材 H の使用割合が多い水準ほどわずかに小さい値であったが、大きな差は認められなかった。したがって、再生細骨材 H を使用した場合も、中性化に対する抵抗性が損なわれることはないことが確認された。

### 3.7 凍結融解試験

図-11 にサイクル数と相対動弾性係数の関係を、図-12 にサイクル数と質量減少率の関係を示す。また、写真-5~7 に 300 サイクル後の凍結融解試験の状況を示す。いずれの水準も、相対動弾性係数が 85% を下回ることにはなかった。また、300 サイクル後の質量減少率は、再生細骨材 H を使用した No.2 および No.4 の水準においてやや高めであったが、外観観察において、試験体の原形を留めないような著しい欠損は認められなかった。したがって、再生細骨材 H を使用した場合も、山砂や砕砂を細骨材として使用した場合と同程度の耐凍害性を有することが明らかとなった。

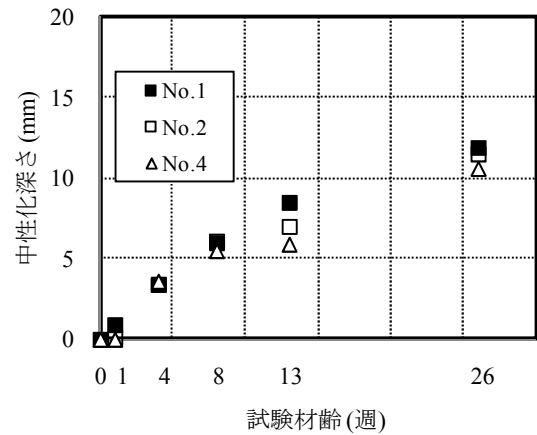


図-10 試験材齢と中性化深さの関係



写真-2 中性化深さの状況 (No. 1 26 週)



写真-3 中性化深さの状況 (No. 2 26 週)



写真-4 中性化深さの状況 (No. 4 26 週)

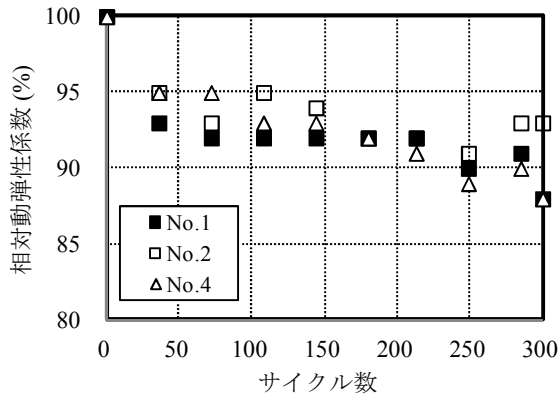


図-11 サイクル数と相対動弾性係数

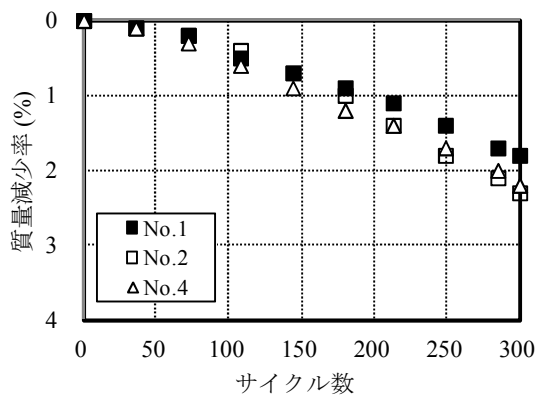


図-12 サイクル数と質量減少率

#### 4. まとめ

機械式すりもみ、水洗い処理によって製造された再生細骨材 H を使用したコンクリートの試し練りを実施し、フレッシュ性状および硬化性状、耐久性に関する実験を行ったところ、以下の結論を得た。

- (1) 再生細骨材 H を使用した場合、水セメント比が 50% の水準において、同一スランプを得るための化学混和剤の添加率がかなり小さくなる。一方で、水セメント比が 30% の水準では、化学混和剤の添加率はほぼ同程度であった。
- (2) コンクリートの凝結は、化学混和剤の添加率に依存し、再生細骨材 H の使用の有無には左右されない。
- (3) 再生細骨材 H を使用したコンクリートのブリーディング量は、骨材中の微粒分量が少ないため、山砂や砕砂を使用したコンクリートに比べて大きくなる。
- (4) 再生細骨材 H を使用したコンクリートの圧縮強度および静弾性係数は、化学混和剤の添加率が異なる場合でも、水セメント比が 50% と 30% の 2 水準において、山砂や砕砂を使用したコンクリートとほぼ同程度であった。
- (5) 長さ変化率、促進中性化、凍結融解試験を実施した結果、再生細骨材 H を使用したコンクリートは、一

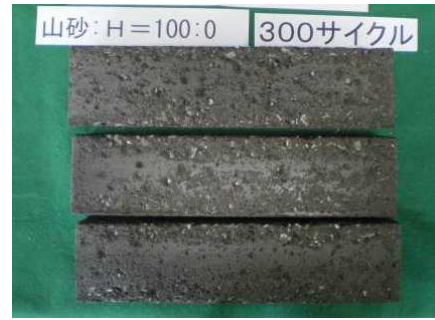


写真-5 凍結融解試験の状況 (No. 1 300 サイクル)



写真-6 凍結融解試験の状況 (No. 2 300 サイクル)

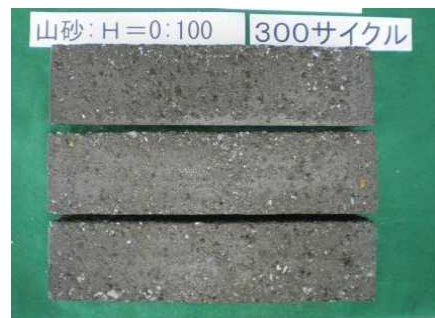


写真-7 凍結融解試験の状況 (No. 4 300 サイクル)

般的なコンクリートと同程度の耐久性を有することが明らかとなった。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、(有) 大東土木に再生細骨材 H のサンプルを提供していただいた。また、凍結融解試験を(株) フローリックに委託し、実験データを取りまとめていただいた。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 三船慎治, 出光隆, 山崎竹博: 高流動コンクリートの流動性能に及ぼす細骨材粗粒率の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp.949-954, 2001.6
- 2) 鹿毛忠継, 棚野博之, 濱崎仁, 小山明男: 再生粗骨材を使用したコンクリートの調査設計と各種性能に関する基礎的研究, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.129-130, 2007.