

吸水率が異なる再生粗骨材を使用したプレキャストコンクリート製品の 積雪寒冷地での適用性

Applicability of precast concrete products using a different water absorption recycled coarse aggregate in cold, snowy regions

寒地土木研究所耐寒材料チーム ○正 員 清野昌貴 (Masaki Seino)
寒地土木研究所耐寒材料チーム 正 員 吉田行 (Susumu Yoshida)
寒地土木研究所耐寒材料チーム 正 員 島多昭典 (Akinori Shimata)

1. まえがき

災害等により発生した大量のコンクリート殻は早期復旧の妨げになるため早い処理が望まれるが、その有効利用の一つとして、コンクリートへの再利用が考えられる。一方、このようなコンクリート殻は、管理下のコンクリート殻とは異なり、様々な品質が混在しており、バラツキのあるコンクリート殻から作製される再生粗骨材は、コンクリートに使用可能な再生粗骨材としての基準を満足させることは難しい。しかし、これらのコンクリート殻を可能な限り有効活用することが求められている。

そこで、本論ではプレキャスト（以下 PCa）製品への適用を念頭に、原骨材に残存するモルタル分により変化する再生粗骨材の吸水率に着目し、PCa 製品の使用が可能な、JIS A 5022 に規定された再生粗骨材 M よりも吸水率が大きい再生粗骨材を用いてコンクリートを製造し、基準外の再生粗骨材を使用した PCa 製品の積雪寒冷地における適用性について検討を行った。

2. 試験概要

2.1. 吸水率の設定

再生粗骨材 M の吸水率は、先述した JIS 規格において 5.0%以下と定められている。本試験では、吸水率が 5.0%を超えた再生粗骨材を用いたコンクリートの強度特性や耐久性を確認するため、吸水率以外は再生粗骨材 M の JIS 規格を満足する再生粗骨材で、目標吸水率を 5.0（規格内）、5.5、6.0、6.5、7.0%の 5 水準に設定して試験を行った。

2.2. 使用材料及び配合

表-1 に使用材料を、表-2 に配合を示す。セメントは塩化物イオンの拡散抵抗性に優れた高炉セメント B 種を、細骨材は苫小牧市樽前産の海砂を使用した。粗骨材は先述の通り吸水率を 5 水準とした再生粗骨材を使用した。混和剤には AE 減水剤（リグニンスルホン酸塩系）と AE 剤（変性ロジン酸化合物系）を用いた。水結合材比は 50%とした。また、目標空気量は $5.0 \pm 1.0\%$ 、目標スランプは 8.0 ± 2.5 cmとした。

2.3. 養生方法

本研究は PCa 製品への適用を念頭に置いていることから、養生方法は PCa 製品工場での一般的な蒸気養生とした。写真-1 に蒸気養生の様子を示す。

蒸気養生の方法は、土木学会コンクリート標準示方書²⁾に準拠した。前養生として 20℃の室内で 2～3 時間静

置した後、蒸気養生を開始し、養生室内の温度が 65℃になるまでボイラーで加温した。同時にスチームヒーターによる加湿を行っている。室内温度の上昇速度は 20℃/h を目標とした。養生室内の温度が 65℃に達したらボイラーを調整してそのまま 3 時間保持し、その後ボイラーを止め、養生室内温度が 20℃になるまで自然徐冷した。

表-1 使用材料

種別	使用材量
セメント	高炉セメント B 種（密度 3.05g/cm ³ 、比表面積 3.75cm ² /g）
粗骨材	再生粗骨材（表乾密度 2.43～2.50g/cm ³ 、最大寸法 20mm）
細骨材	苫小牧市樽前産海砂（表乾密度 2.67g/cm ³ 、吸水率 0.87%、粗粒率 2.85）
混和剤	AE 減水剤 リグニンスルホン酸化合物
	AE 剤 変性ロジン酸化合物系

表-2 配合

配合		配合 合 合										実測値		
記号	セメント 種類	粗骨材 種類	目標(%)		吸水率	純乾密度 (g/cm ³)	W/B (%)	単位量(kg/m ³)				スランプ (cm)	空気量 (%)	
			吸水率	空気量				W	B	S	G			
A0	高炉 セメント B種	再生 粗骨材 M	5.0	5.0	44	4.6	2.5	50	140	280	843	1006	9.6	4.9
A1			5.5			5.2	2.5		140	280	843	999	8.5	5.0
A2			6.0			5.8	2.5		140	280	843	992	9.3	5.2
A3			6.5			6.4	2.4		140	280	843	984	7.7	4.8
A4			7.0			6.8	2.4		140	280	843	977	6.5	4.8



写真-1 蒸気養生の様子

3. 試験方法

3.1. 圧縮強度試験

JIS A 1108 に準拠して圧縮強度試験を行った。供試体は $\phi 10 \times 20$ cm の円柱とし、蒸気養生後、材齢 1 日で脱型を行い、恒温恒湿室（温度 20℃、湿度 60%）で所定の材齢まで気中養生を行った。圧縮強度は、材齢 1、7、14、28 日に測定した。

3.2. 乾燥収縮試験

JIS A 1129 (コンパレータ法) に準拠して乾燥収縮試験を行った。供試体は、 $10 \times 10 \times 40$ cmの角柱供試体とし、蒸気養生後、材齢 1 日で脱型を行い、計測用ガラス板を接着して基長を測定した。その後、恒温恒湿室に静置して、3 ヶ月まで測定を行った。乾燥収縮ひずみ測定状況を写真-2 に示す。

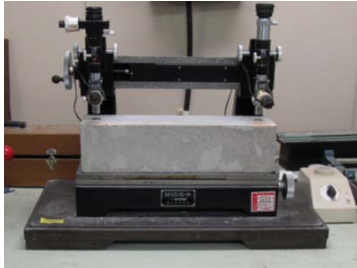


写真-2 乾燥収縮ひずみ測定状況

3.3. スケーリング試験

試験は米国材料試験協会の基準である ASTM C 672³⁾ に準拠した。供試体は $22 \times 22 \times 10$ cmの角柱供試体とし、蒸気養生後材齢 1 日で脱型を行い、恒温恒湿室に静置した。測定面は、工場製品における暴露面を模して型枠底面とし、材齢 7 日目に塩水を湛水するための土手を取り付けた。塩水は NaCl 濃度 3%で、試験面に張る水の深さは約 6mm とした。試験面以外の 5 面には、供試体中の水分の逸散を防ぐためエポキシ樹脂によりコーティングを行った。図-1 にスケーリング測定用の供試体形状を示す。スケーリングの試験は、製品工場の出荷管理材齢である材齢 14 日に開始し、 -18°C を 16 時間、 23°C を 8 時間の 24 時間 1 サイクルで凍結融解作用を与え、所定のサイクル毎に測定を行った。測定は長期耐久性を考慮して、最大 300 サイクルまで行うこととした。

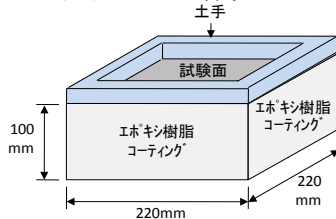


図-1 スケーリング測定用の供試体形状

4. 試験結果

4.1. 圧縮強度試験

図-2 に試験結果を示す。再生粗骨材を使用したコンクリートでは吸水率が大きくなると圧縮強度が小さくなる傾向が確認されている⁴⁾が、本試験でも吸水率の大きい再生粗骨材を使用した配合の方が圧縮強度が小さくなる傾向が確認できる。また、本試験では、再生粗骨材の吸水率が最も高い配合においても材齢 14 日の圧縮強度は、一般的な PCa 製品の出荷時に必要とされる 24 N/mm^2 を超えていた。

各配合における強度発現の増加割合（グラフの傾き）を比較すると、吸水率に関わらず、増加割合はほぼ同程度であった。このことから、吸水率が基準値を超えている場合であっても、本試験で確認した範囲内であれば材

齢の進行に伴う強度の増加割合は大きく変わらないことが確認された。

ただし、本試験における結果は、材齢 28 日、吸水率が 7.0%までのものであるため、長期強度や更に吸水率が大きい場合の強度特性については、今後確認する必要があると考える。

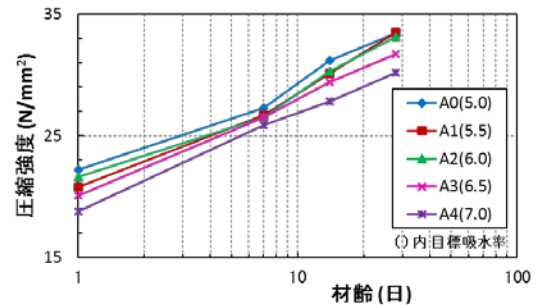


図-2 圧縮強度試験結果

4.2. 乾燥収縮試験

長さ変化率の試験結果を図-3 に示す。横軸は脱型後の基長測定日を 0 日とした経過日数を、縦軸はそれぞれの長さ変化割合を百分率で表している。なお、比較として、前年度に試験を行った、セメントに高炉 B 種を用い、粗骨材には天然砕石（小樽市見晴産：吸水率 1.78%、表乾密度 2.67 g/cm^3 ）を用いた配合（W/B=50%）についてもグラフ内に示した（記号 B）。

一般的に骨材の吸水率が大きくなるほどコンクリートの乾燥収縮は大きくなる⁵⁾。再生粗骨材を用いた本試験においても、吸水率が大きい再生粗骨材を使用したコンクリートの方が長さ変化率が大きくなり、同様の傾向が確認できた。また、天然砕石使用の配合と比較すると、再生粗骨材使用の供試体は全てにおいて長さ変化率が大きくなった。このことから、吸水率が大きい再生粗骨材を使用する場合は、乾燥収縮の影響が小さく取替が容易な小型の PCa 製品への使用など、乾燥収縮の影響に留意する必要があると考えられる。

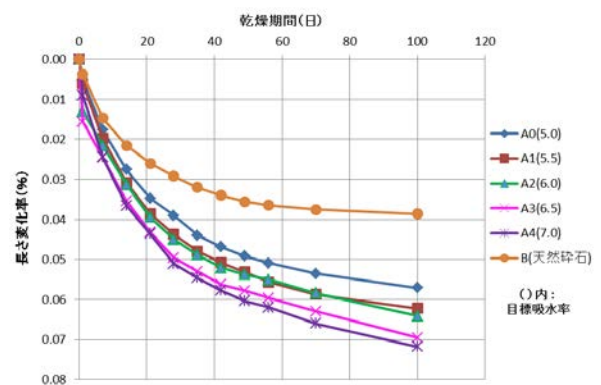


図-3 長さ変化率試験結果

4.3. スケーリング試験

図-4 に凍結融解作用 300 サイクルまでのスケーリング量の測定結果を示す。比較用として、前年度に試験を行った、セメントに高炉セメント B 種を用い、粗骨材には天然砕石（産地等前述）を用いた配合（W/B=50%、記号 B）についてもグラフ内に示した。

再生粗骨材使用の配合（A0～A4）だけで比較すると、本試験でのスケーリング量においては吸水率の大小と測定値の間には明確な相関関係は認められない。しかし、天然砕石使用の配合と再生粗骨材使用の配合とを比較すると、再生粗骨材使用の配合の方がスケーリング量が大きい結果となっている。これは、再生粗骨材に付着している旧モルタル分が少なからず影響していると考えられる。なお、セメントに高炉セメント B 種を使用した場合、普通ポルトランドセメント使用時よりもスケーリング量が大きくなるという既往の研究結果⁹⁾があるが、セメント種類の影響もスケーリング量の結果を左右すると考えられ、留意が必要である。

写真-3 に再生粗骨材使用の 300 サイクル時点のスケーリング状況を示す。本試験が準拠している ASTM C 672 による目視でのスケーリング評価に照らすと、全ての配合において「粗骨材が全面露出するほどの激しい剥離」と判断される。

以上の結果から、吸水率が 5%程度以上の再生粗骨材を用いる場合は凍結融解と塩分の作用による表面劣化が懸念されるような箇所ではその使用に留意が必要であると考えられる。

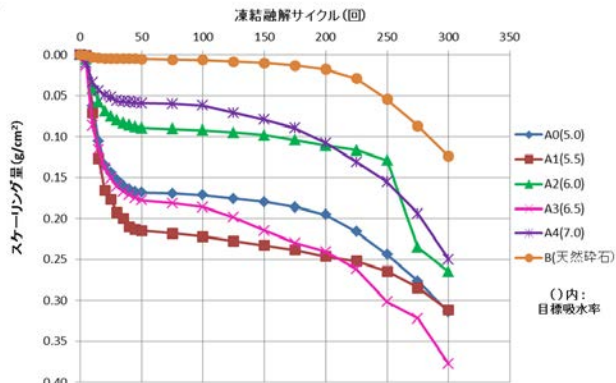


図-4 スケーリング試験結果（スケーリング量）



写真-3 スケーリング状況（300 サイクル時）

5. まとめ

- (1) 吸水率が大きい再生粗骨材の配合の方が圧縮強度が低い結果となったが、吸水率が一番大きい配合においても材齢 14 日の圧縮強度は一般的な PCa 製品の出荷時に必要な 24 N/mm^2 を超えていた。
- (2) 一般的な傾向と同様、再生粗骨材を用いた場合でも吸水率の大きいコンクリートの方が乾燥収縮が大きくなった。また、天然砕石使用の配合と比較すると、再生粗骨材使用の供試体の方が長さ変化率が大きくなった。このことから、吸水率が大きい再生粗骨材を PCa 製品に使用する場合、乾燥収縮の影響に留意する必要がある。
- (3) 再生粗骨材を用いた配合において、顕著なスケーリングが認められた。このことから、吸水率が 5%程度以上の再生粗骨材を用いる場合は凍結融解と塩分の作用による表面劣化が懸念されるような箇所ではその使用に留意が必要である。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：プレキャストコンクリート製品の設計と利用研究委員会 報告書「再生粗骨材 M を用いたプレキャストコンクリート製品のガイドライン試案」, 2009.8
- 2) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕, p355, 2012.12
- 3) ASTM C 672 „Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals
- 4) 片平 博：再生骨材の品質がコンクリートの性能に与える影響, セメント・コンクリート No.654.2001
- 5) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕, p50, 2012.12
- 6) 遠藤ほか：スケーリング劣化の予測に関する基礎的研究, 第 27 回コンクリート工学年次論文集, 2005.6