

論文 再生骨材を用いたコンクリートの強度特性と耐久性

早川 光敬*¹・陣内 浩*²・並木 哲*³・飯島 真人*⁴

要旨：解体建物から排出されたコンクリートを破砕して作られた再生細・粗骨材を用いたコンクリートの強度特性および耐久性を実験的に検討した。この結果、普通骨材を再生骨材に置換することでコンクリートの圧縮強度は低下するが、W/C=35%で調合すれば標準養生材齢 28 日圧縮強度として 50N/mm² 程度を確保できることを示すとともに、W/C=35~53%の範囲での静弾性係数、中性化抵抗性などを示した。また、普通粗骨材を再生粗骨材に置換することでコンクリートの乾燥収縮量は増大するが、収縮低減剤の添加によって改善できることを示した。

キーワード：再生骨材，強度特性，耐久性，乾燥収縮，収縮低減剤

1. はじめに

解体建物から排出されたコンクリートを骨材として再利用する技術は、古くから多くの研究者によって研究されている。1970 年代の中頃には産学共同研究によって破砕コンクリート骨材を用いたコンクリートの様々な物性が明らかにされている¹⁾²⁾。また、1990 年代にはモルタルの除去率を向上させて原骨材に近い性能の再生骨材を製造できるようになり、建設省総プロ³⁾によって高品質な再生骨材の目安なども報告されている。しかしながら、現在でも再生骨材を用いたコンクリートの普及率は低く、コンクリートの長期的な使用サイクルが循環型社会に対応しているとは言い難い。再生骨材を用いたコンクリートが普及しない理由としては、コストと品質確保のバランスが難しいことが挙げられる⁴⁾。前者を重視しすぎると所定の品質が得られない可能性があり、後者を重視しすぎると経済面から採用が難しくなる。

筆者らは、再生骨材を用いたコンクリートを広く普及させるという観点から、コストが市場に受け入れられることを前提とし、その条件で入手できる再生骨材を用いたコンクリートの強度特性と耐久性を検討することとした。実験で

は、まず普通細骨材を用いたモルタルに再生粗骨材を混入した場合の強度低下率を確認した。次に、普通細・粗骨材と再生細・粗骨材を組み合わせ合わせたコンクリートの強度特性と耐久性を検討するとともに、再生粗骨材を用いたコンクリートの収縮特性を改善する検討を行った。

使用した再生骨材は、東京都江戸川区にある再生コンクリート工場で実際に使用されているものであり、ジョークラッシャーによる一次破砕とコンペラブレイカーによる二次および三次破砕によって製造されている。この骨材の品質は世界都市博覧会のために作られた「世界都市博覧会用再生コンクリート工事仕様書」⁵⁾の規定に適合するように管理されているが、現在までに長期の耐久性を要求される部位に適用された事例はほとんどない。

表-1 使用骨材の試験結果

	再生粗骨材	普通細骨材
表乾密度 (g/cm ³)	2.45	2.60
絶乾密度 (g/cm ³)	2.31	2.55
吸水率 (%)	4.74	1.80
粗粒率	6.51	2.87
実積率 (%)	61.5	63.6
洗い試験 (%)	0.47	1.40
粘土塊量 (%)	0.10	0.06

*1 大成建設 (株) 技術センター 副部長 工博 (正会員)

*2 大成建設 (株) 技術センター 係長 工修 (正会員)

*3 大成建設 (株) 技術センター 課長 (正会員)

*4 大成建設 (株) 建築本部建築技術部 副部長 (正会員)

表－2 調査概要

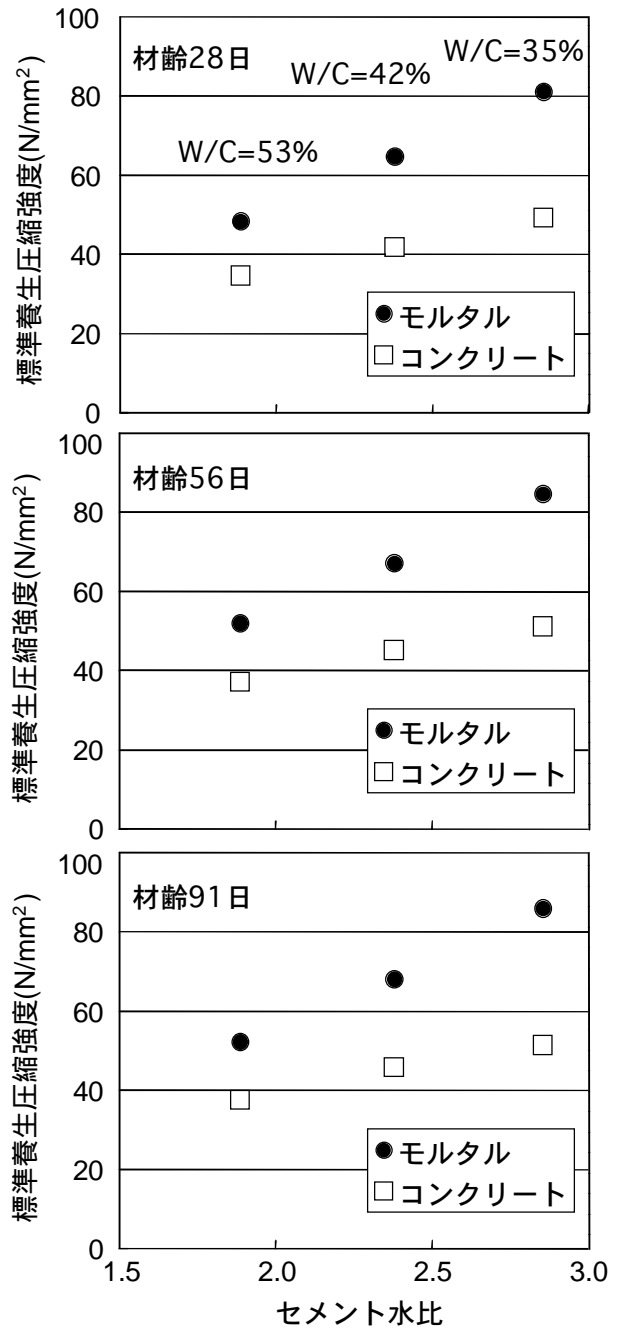
	W/C %	s/a	水量 kg/m ³	混和剤 C×%	共通事項 (コンクリート)
モルタル	35	-	276	1.0	■スランプ 22cm ■空気量 5.0%
	42	-	293	0.27	
	53	-	292	0.27	
コンクリート	35	45.5	180	1.4	
	42	46.2	191	0.4	
	53	48.0	197	0.4	

表－3 フレッシュ性状の試験結果一覧

	W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	練上がり 温度(°C)
モルタル	35	-	2.3	12.0
	42	-	4.3	13.0
	53	-	3.5	13.0
コンクリート	35	22.5	5.5	12.0
	42	22.0	5.1	12.0
	53	22.0	5.7	11.0

2. 再生粗骨材が圧縮強度に及ぼす影響

ここでは、普通細骨材を用いたモルタル（以後、ベースモルタルと称す）と、ベースモルタルに再生粗骨材を混入したコンクリート（以後、再生粗骨材コンクリートと称す）の標準養生圧縮強度を比較した。使用した骨材の試験結果を表－1に示す。普通細骨材には君津産の天然砂を使用した。セメントには普通ポルトランドセメントを使用した。混和剤としては、W/C=35%の調合にはポリカルボン酸系高性能A E減水剤、W/C=42%と53%の調合にはリグニンスルホン酸系A E減水剤を使用した。調合の概要を表－2に示す。実験因子は水セメント比である。コンクリートの調合条件は、実際にこの再生骨材を用いている工場の調合を参考に設定した。ベースモルタルはスランプフロー55cm程度を目標とし、同水セメント比の再生粗骨材コンクリートに対して約2/3の混和剤使用量（セメントに対する質量比として約2/3）で練り混ぜた。ベースモルタルと再生粗骨材コンクリートのフレッシュ性状の試験結果を表－3に示す。目視観察ではベースモルタルに細骨材の分離などは確認されなかったが、空気量はコンクリートよりも低くなった。フレッシュコンクリートの性能は概ね目標値を満足した。標準養生圧縮強度試験結果を図－1に示す。いずれの調合も材齢28日以降の強度の増加はあまりなかった。今回の実験条件では、再生粗骨材コンクリートの圧縮強度はベースモルタルの圧縮強度に対し、いずれの材齢でもW/C=35%では60%程度、W/C=42%では65%程度、W/C=53%では70%程度



図－1 ベースモルタルと再生粗骨材コンクリートの圧縮強度の関係

表－6 調合一覧

粗骨材	細骨材	W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)						
					水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤		収縮低減剤
									種類*	C×%	
普通	普通	35	22.0	5.0	185	529	702	867	S P	0.80	-
		42				440	746	895	A E	0.25	-
		53				349	810	906	A E	0.15	-
再生	普通	35	22.0	5.0	185	529	702	783	S P	0.80	-
		42				440	746	809	A E	0.40	-
		53				349	810	822	A E	0.25	-
		53				349	810	822	A E	0.15	6.0
再生	再生	35	22.0	5.0	185	529	615	783	S P	1.10	-
		42				440	653	810	S P	0.85	-
		53				349	710	825	S P	0.55	-

*S P：高性能A E減水剤，A E：A E減水剤

に低下した。ただし、再生粗骨材コンクリートであっても W/C=35%とすれば標準養生圧縮強度で 50N/mm² 程度を得ることは可能であり、呼び強度 40 であれば対応できることが確認できた。

3. 骨材の種類がコンクリートの強度特性と耐久性に与える影響

ここでは、普通細・粗骨材および再生細・粗骨材の4種類の骨材を用いて、普通細・粗骨材を用いたコンクリート（以後、普通骨材コンクリートと称す）、再生粗骨材コンクリート、および再生細・粗骨材を用いたコンクリート（以後、再生細粗骨材コンクリートと称す）の3種のコンクリートの強度特性および耐久性を比較した。また長さ変化の抑制を目的とし、W/C=53%の再生粗骨材コンクリートにおいて収縮低減剤の効果を検証した。使用した骨材の試験結果を表－4および表－5に示す。普通粗骨材としては青梅産硬質砂岩系砕石、普通細骨材としては木更津産天然砂を使用した。セメントには普通ポルトランドセメントを使用した。混和剤としては、W/C=35%の調合にはポリカルボン酸系高性能A E減水剤、W/C=42%と 53%の調合にはリグニンスルホン酸系A E減水剤を使用することを基本としたが、再生細粗骨材コンクリートはいずれもA E減水剤では目標値を満足することが出来なかったため、すべての調

表－4 使用骨材の試験結果（再生）

	再生粗骨材	再生細骨材
表乾密度 (g/cm ³)	2.48	2.26
絶乾密度 (g/cm ³)	2.36	2.00
吸水率 (%)	5.00	13.0
粗粒率	6.85	3.04
実積率 (%)	61.0	73.6
洗い試験 (%)	0.56	6.30
粘土塊量 (%)	1.40	2.30

表－5 使用骨材の試験結果（普通）

	普通粗骨材	普通細骨材
種類	砕石	陸砂
表乾密度 (g/cm ³)	2.67	2.58
絶乾密度 (g/cm ³)	2.65	2.51
吸水率 (%)	0.70	2.73
粗粒率	6.64	2.66

表－7 試験項目一覧

試験項目	試験規格	備考
スランプ	JIS A 1101	W/C=42%はスランプ経時変化測定
空気量	JIS A 1128	
コンクリート温度	棒状温度計	
圧縮強度	JIS A 1108	標準養生材齢 7, 28, 56, 91 日
静弾性係数	JIS A 1149	材齢 28 日
ポアソン比	JIS 原案	材齢 28 日
長さ変化	JIS A 1129	
促進中性化	高耐久性 RC 設計施工指針(案)	温度 20℃ 湿度 60% CO2 濃度 5%

表-8 フレッシュ試験結果一覧

粗骨材	細骨材	W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	練上がり温度 (°C)
普通	普通	35	23.5	4.7	22.7
		42	21.0	5.1	21.3
		53	23.0	4.8	21.8
再生	普通	35	24.0	5.2	22.1
		42	19.5	5.9	22.8
		53	22.5	4.6	22.1
		53**	22.0	6.0	22.3
再生	再生	35	23.0	3.6	23.1
		42	21.5	5.3	23.2
		53	21.0	5.3	22.4

**収縮低減剤使用

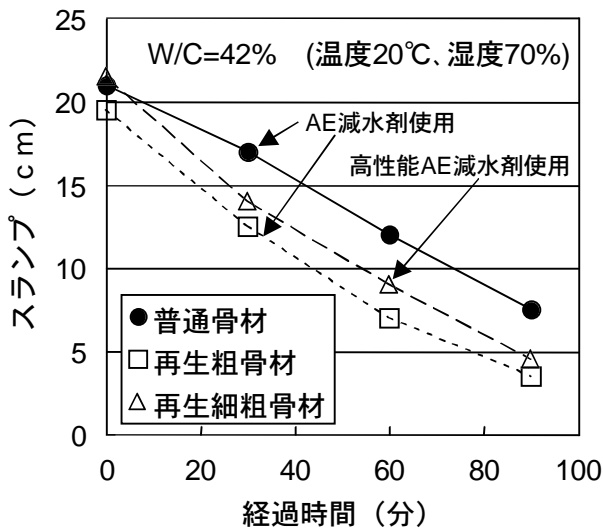


図-2 スランプの経時変化

合に高性能AE減水剤を使用した。収縮低減剤としては、アルキレンオキシド系の収縮低減剤を使用した。調合一覧を表-6に示す。調合条件は実際にこの再生骨材を用いている工場の調合を参考に設定した。実験因子は骨材種類と水セメント比とし、いずれの調合も単位水量は185kg/m³とした。試験項目一覧を表-7に示す。フレッシュコンクリートの試験は、スランプ、空気量およびコンクリート温度とし、W/C=42%のコンクリートのみ、シートで表面乾燥を防止して静置状態(温度20°C、湿度70%)とした場合のスランプの経時変化を測定した。強度特性としては、材齢7、28、56および91日における標準養生圧縮強度、材齢28日にお

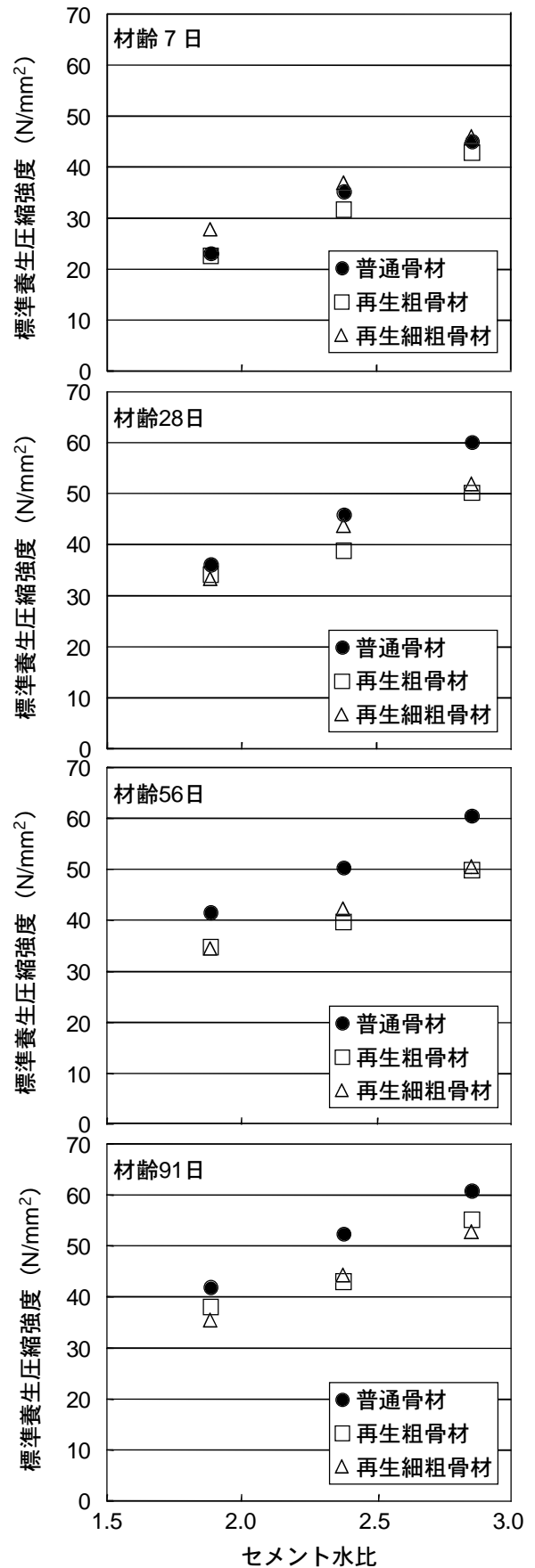


図-3 圧縮強度試験結果

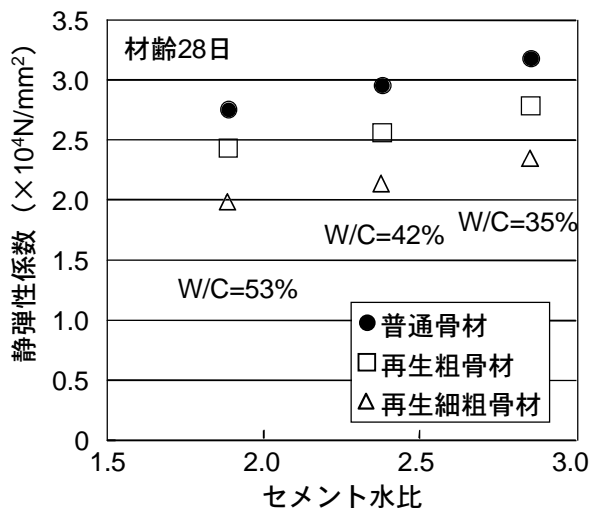


図-4 骨材の違いと静弾性係数

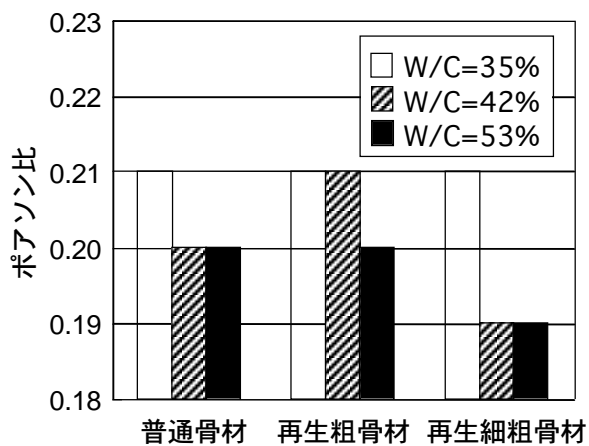


図-5 骨材の違いとポアソン比

ける静弾性係数とポアソン比を測定した。耐久性試験としては、長さ変化試験と促進中性化試験（温度 20℃、湿度 60%、CO₂ 濃度 5%）を実施した。フレッシュ試験の結果を表-8に示す。いずれの調合も練り上がり時の性状は概ね目標通りであった。スランブの経時変化を図-2に示す。今回の実験条件では、再生粗骨材コンクリートのスランブプロスは普通骨材コンクリートよりも若干大きくなった。また、高性能AE減水剤を用いた再生細粗骨材コンクリートのスランブプロスは、再生粗骨材コンクリートと同等であった。圧縮強度試験結果を図-3に示す。今回の実験範囲では、再生骨材を用いたコンクリートの圧縮強度は、普通骨材コンクリートと比較して、材齢7日では同等であったが、材齢28日以降では80~95%程度に低下した。また、今

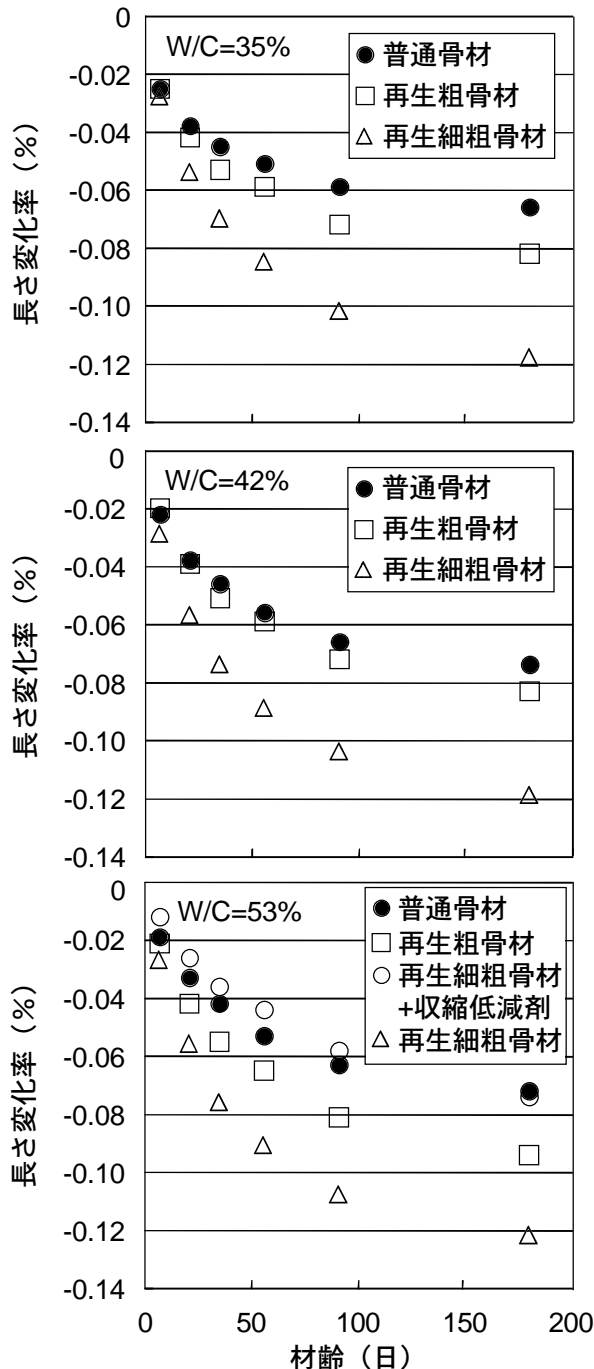


図-6 材齢と長さ変化率

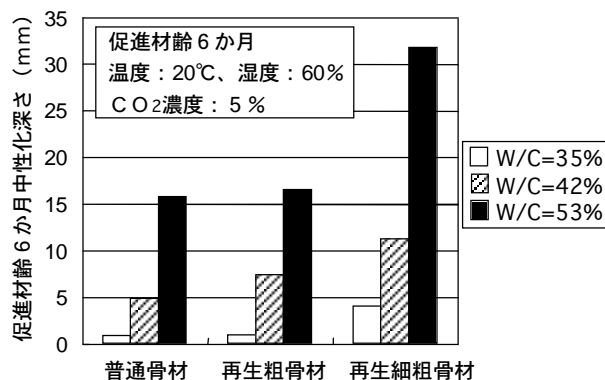


図-7 中酸化深さ（促進材齢6か月）

回の実験条件では、再生粗骨材コンクリートと再生細粗骨材コンクリートの圧縮強度に差はみられなかった。標準養生材齢 28 日における静弾性係数試験結果を図-4 に、ポアソン比の試験結果を図-5 に示す。これより、圧縮強度試験では骨材の違いによって明確な差のみられなかった水セメント比 53%の調合でも、静弾性係数には差があることがわかる。今回の実験範囲では、普通骨材コンクリートに比べ、再生粗骨材コンクリートと再生細粗骨材コンクリートの静弾性係数は、約 85%と約 70%であった。また、骨材の違いがポアソン比に与える影響は小さかった。材齢と長さ変化率の関係を図-6 に示す。材齢 6 か月における長さ変化率を比較すると、再生粗骨材コンクリートは普通骨材コンクリートの 1.1~1.3 倍、再生細粗骨材コンクリートは普通骨材コンクリートの 1.6~1.8 倍となった。また、収縮低減剤を用いたW/C=53%の再生粗骨材コンクリートの長さ変化はW/C=53%の普通骨材コンクリートと同程度であり、再生粗骨材コンクリートの乾燥収縮低減に収縮低減剤が有効であることが確認できた。促進材齢 6 か月における中性化深さ試験結果を図-7 に示す。これより、今回のような条件では、再生粗骨材コンクリートの中性化深さは普通骨材コンクリートと同等となるが、再生細粗骨材コンクリートの中性化深さは普通骨材コンクリートの 2 倍近くになることがわかる。

4. まとめ

本実験によって得られた結果を以下に示す。

- (1) 再生粗骨材コンクリートの圧縮強度はベースモルタルの圧縮強度に対し、いずれの材齢でも 60~70%程度に低下した。ただし、再生粗骨材コンクリートであっても、標準養生材齢 28 日圧縮強度で 50N/mm² 程度を得ることは可能であり、呼び強度 40 程度であれば対応できることが示された。
- (2) 再生骨材を使用したコンクリートの圧縮強度は、普通コンクリートに比べ、材齢 28 日

以降で 80~95%程度に低下した。また、今回の実験条件では、再生粗骨材コンクリートと再生細粗骨材コンクリートの圧縮強度に差はみられなかった。

- (3) 普通骨材コンクリートに比べ、再生粗骨材コンクリートと再生細粗骨材コンクリートの静弾性係数は、約 85%と約 70%となった。
 - (4) 材齢 6 か月における長さ変化率を比較すると、再生粗骨材コンクリートは普通骨材コンクリートの 1.1~1.3 倍、再生細粗骨材コンクリートは普通骨材コンクリートの 1.6~1.8 倍となった。また、収縮低減剤を用いることで、再生粗骨材コンクリートの長さ変化を普通骨材コンクリートと同程度とすることは可能であった。
 - (5) 促進材齢 6 か月における中性化深さは、再生粗骨材コンクリートは普通骨材コンクリートと同等であり、再生細粗骨材コンクリートは普通骨材コンクリートの 2 倍近くであった。
- 謝辞 本実験にあたり、東京建設廃材処理協同組合葛西再生コンクリート工場およびボゾリス物産(株)の協力を得たことに謝意を表します。

参考文献

- 1) 笠井芳夫ほか：コンクリート破碎骨材を用いたコンクリートの研究(その 1~7), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.325-338, 1975.10
- 2) 加賀秀治ほか：コンクリート破碎骨材を用いたコンクリートの研究(その 8~13), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.53-64, 1976.10
- 3) 建設省：建築研究年報「建設副産物の発生抑制・再利用技術の開発」, pp.220-223, 1996
- 4) 河野広隆：コンクリート副産物の再利用促進にむけて, セメント・コンクリート, No.572, pp.52-55, 1994.10
- 5) 笠井芳夫, 飛坂基夫, 辻 順, 妹尾高行：再生コンクリート使用の現状, セメント・コンクリート, No.575, pp.10-19, 1995.1