

論文 偏心ロータ式処理装置により製造した再生骨材および再生コンクリートの性質

辻 大二郎^{*1}・米澤 敏男^{*2}・柳橋 邦生^{*3}・岩清水 隆^{*4}

要旨:集合住宅の建替え工事で発生したコンクリート塊を破砕した後,偏心ロータ式処理装置で普通骨材と同等の品質を有する再生粗骨材を製造した。再生骨材の品質と,室内試験及び実機試験により再生コンクリートのフレッシュコンクリート及び硬化コンクリートの性質を調べた結果,再生骨材をコンクリート用骨材の品質基準内で管理して製造できることと,普通骨材のコンクリートと同様に再生コンクリートを製造できることが確認できた。

キーワード:再生骨材,再生コンクリート

1. はじめに

コンクリート廃材の量は建設副産物の多くを占めているが,その用途である路盤材の需要は低下しつつある。今後余剰となる再生骨材を有効利用するためには,コンクリート用骨材としての利用が最も有効であり,筆者らは以前より,偏心ロータ式処理装置を用いた再生骨材製造技術について研究を進めてきた。今回,集合住宅の建替え工事での再生コンクリートの利用を目的として,発生したコンクリート塊から偏心ロータ式処理装置により再生骨材を製造し,再生骨材の品質の安定性と再生コンクリートのフレッシュ性状及び硬化物性を把握した。

2. 原骨材の品質

2. 1 解体する建物の調査

原コンクリートとして使用する解体建物は,4F建ての集合住宅12棟であり,築36年のRC構造物である。当時の出荷が可能な生コン工場の調査により,建設時には表-1に示す3工場の材料が使用されたことが確認された。各棟の外観調査を行ったところ,特に異常は認められなかった。

2. 2 原骨材の調査

各棟よりコア(写真-1)を採取し,さらにひび割れの有無を確認し,目視にて観察を行った。

観察の結果,各棟のコアに含まれる骨材にひび割れや反応生成物等は認められなかった。各棟のコアを破砕して5%の塩酸に1週間浸漬し,モルタル分を除去して原骨材を取り出した。(写真-2)

骨材の色・形状を観察して骨材種類を分類後,表-1の調査内容を考慮して使用された骨材を推定した。各棟の原骨材の絶乾密度,吸水率及び骨材種類ごとのアルカリシリカ反応性試験を行った結果を表-2に示す。結果,原骨材として使用するに十分な品質を有していること,及びアルカリシリカ反応性が無害であることを確認した。

2. 3 偏心ロータ式処理装置の概要

処理装置の原理および製造フローを図-1に示す。処理される原コンクリートは,外筒部と高速

表-1 建設時の出荷工場と使用骨材の調査結果

出荷工場	粗骨材	細骨材
A工場	城陽産山砂利 吉野川産川砂利	吉野川産川砂
B工場	城陽産山砂利 高槻産碎石	城陽産山砂 吉野川産川砂
C工場	城陽産山砂利	城陽産山砂

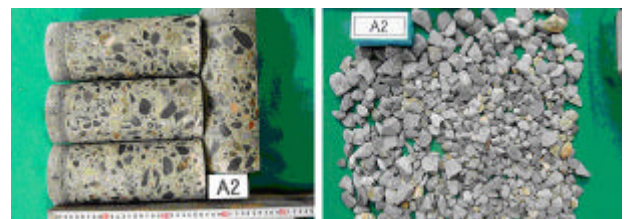


写真-1 採取コア

写真-2 取り出した原骨材

*1 (株)竹中工務店 技術研究所 建設技術開発部 工修 (正会員)

*2 (株)竹中工務店 技術研究所 建設技術開発部 ph.D (正会員)

*3 (株)竹中工務店 技術研究所 建設技術開発部 (正会員)

*4 (株)竹中工務店 大阪本店 生産統括部 工修 (正会員)

で偏心回転する内筒部の間を上部から下部へ通過中に付着モルタル分がすりもみ作用を受け、粗骨材とモルタル分に分離される。装置下部から排出される骨材を5mmのふるいで分級することにより、再生粗骨材を取り出すことができる。

2. 4 再生粗骨材の品質

製造された再生粗骨材の品質試験結果の一覧を表－3に示す。また、絶乾密度と吸水率の測定10回の変動を図－2及び図－3に示す。製造した再生粗骨材は各管理値を満足した。再生粗骨材に後の室内試験で用いる碎石(2005)を混合した場合の粒度分布の測定結果を図－4に示す。15mmのふるいでJIS A 5005における碎石(2005)の標準粒度を外れているが、碎石を容積比で25%～50%混合することで標準粒度の範囲に調整できることを確認した。

表－2 原骨材の骨材試験結果

推定出荷工場	該当建物	絶乾密度(g/cm ³)	吸水率(%)	アルカリシカ反応性
A工場	2棟	2.60	0.90	砂利：無害 Rc 127mmol/L Sc 23mmol/L
		2.58	1.12	
B工場	6棟	2.62	0.87	碎石：無害 Rc 132mmol/L Sc 22mmol/L
		2.62	0.83	
		2.62	0.79	砂利：無害 Rc 135mmol/L Sc 30mmol/L
		2.61	0.86	
		2.60	1.05	
		2.62	0.89	
C工場	4棟	2.61	0.79	砂利：無害 Rc 127mmol/L Sc 26mmol/L
		2.57	1.20	
		2.58	1.00	
		2.58	1.16	

表－3 再生粗骨材品質試験結果

項目	試験方法	試験回数	試験値平均	管理値	判定
絶乾密度	JIS A 1110	4	2.5g/cm ³	2.5以上	○
吸水率	JIS A 1110	4	2.29%	3.0%以下	○
粗粒率	JIS A 1102	4	6.62	6.6±0.3	○
実積率	JIS A 1104	4	62%	55%以上	○
微粒分量	JIS A 1103	4	0.73%	1.0%以下	○
1.95g/cm ³ 浮遊率	JIS A 1141	4	0.80%	1.0%以下	○

表－4 実験の因子と水準

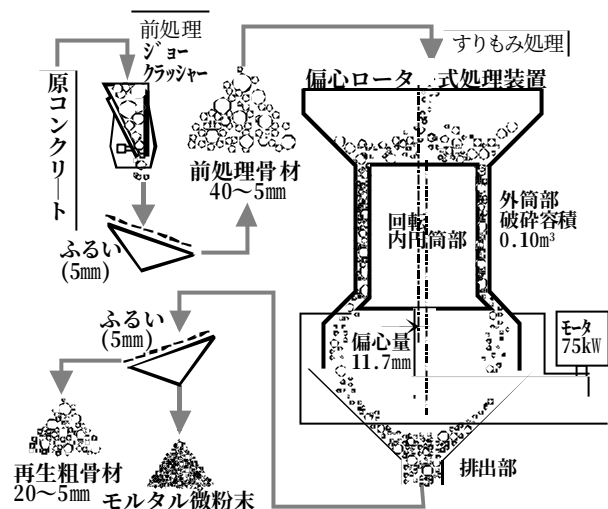
因子	水準
セメントの種類	高炉セメントB種、普通セメント
水セメント比(%)	60,50,40
碎石混入率(%)	0,25,50,100
スランプ(cm)	15,18

3. 再生粗骨材のコンクリート室内試験

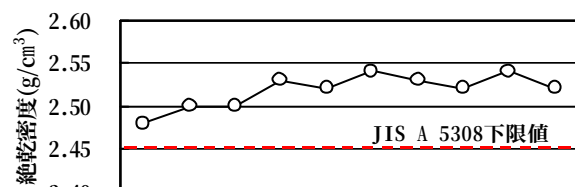
製造された再生粗骨材を用いた再生コンクリートのフレッシュ性状及び硬化コンクリートの特性を把握するため、室内試験を行った。

3. 1 実験の因子と水準

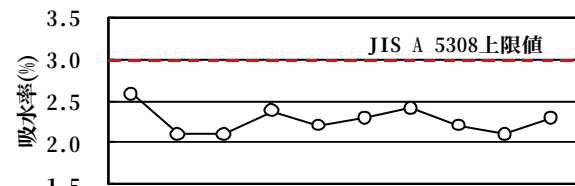
一般の建築物での利用を想定し、最もよく使用されるセメント及び使用頻度の高い呼び強度が得られる水セメント比の範囲での特性を把握するため、表－4に示す実験因子・水準で実験を行った。



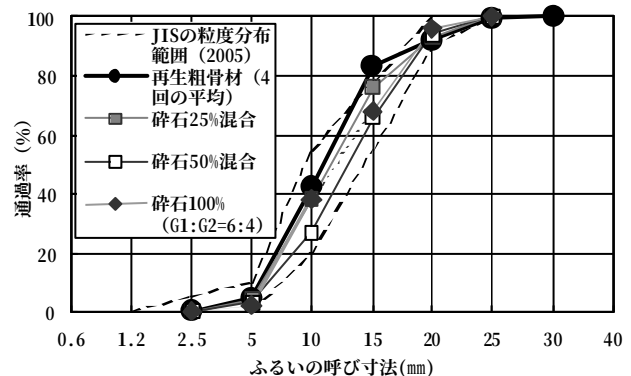
図－1 再生粗骨材の製造フロー



図－2 再生粗骨材の絶乾密度の変動



図－3 再生粗骨材の吸水率の変動



図－4 再生粗骨材に碎石を混合した場合の粒度曲線

3.2 使用材料および調査

使用材料を表-5に、調査を表-6に示す。

3.3 練混ぜ方法及び試験項目

練混ぜは50Lの強制2軸練りミキサーを使用し、1バッチあたりの練り量を35Lとした。セメント及び細粗骨材を投入後15秒間空練りしたのち、水・混和剤を加えて90秒攪拌した。試験項目は表-7に示す項目について行った。

3.4 フレッシュコンクリートの試験結果

フレッシュコンクリートの試験結果を表-6の右側に示した。スランプは生コン工場出荷時を想

定して目標値+2cm※1±2.5cmを管理値とした。空気量は目標値±1.0%の範囲内であった。

W/C=60%でAE減水剤を用いた6調査のブリーディング試験結果を図-5に示す。単位水量の差(BB-1,11,N-11,14)ではブリーディングへの影響はなかった。碎石混入率の差(BB-1,2,3)では、碎石50%混入の場合でやや大きい値を示したが、いずれも「コンクリートの調査設計指針・同解説」(日本建築学会)に定められている規定値0.5cm³/cm²以下であり、実用上問題のある範囲ではないと言える。

表-5 使用材料

種別	記号	種類と特性
セメント	BB	高炉セメントB種 密度3.04g/cm ³
	N	普通ポルトランドセメント 密度3.15g/cm ³
粗骨材	G1	箕面市長尾山産 碎石2015 表乾密度2.65g/cm ³ 吸水率1.00 微粒分量0.51% 実積率58.2%
	G2	箕面市長尾山産 碎石1505 表乾密度2.65g/cm ³ 吸水率1.00% 微粒分量0.51% 実積率58.2%
	Gr	再生骨材 表乾密度2.55g/cm ³ 吸水率2.10%
	S1	海砂 表乾密度2.55g/cm ³ 吸水率1.55%
細骨材	S2	砕砂 表乾密度2.58g/cm ³ 吸水率1.78%
	W	水道水
混和剤	AE	AE減水剤 密度1.08g/cm ³
	SP	高性能AE減水剤 密度1.04g/cm ³

表-7 試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101
スランプリフロー	JIS A 1150
空気量	JIS A 1128
温度	棒状温度計
塩化物量	JIS A 1144
ブリーディング	JIS A 1123
圧縮強度	JIS A 1108
乾燥収縮	JIS A 1129
促進中性化	JIS A 1152
凍結融解抵抗性	JIS A 1148
アルカリシリカ反応性	ZKT-206

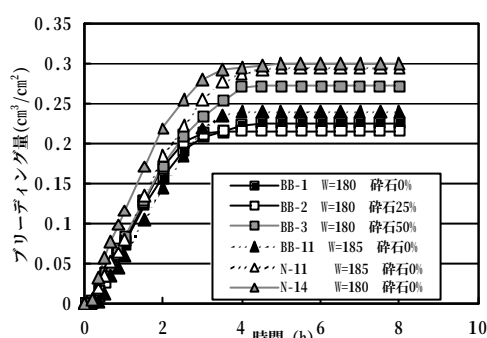


図-5 ブリーディング試験結果

表-6 コンクリートの調査とフレッシュコンクリートの試験結果

コンクリートの調査											フレッシュコンクリートの試験結果										
調査 NO.	セメント の種類	W/C (%)	碎石 混入 率 (%)	目標値		混和 剤の 種類	かさ 容積 (m ³ /m ³)	s/a (%)	単位量							※1 スラン プ (cm)	スラン プ フロー (cm)	空気 量 (%)	温度 (℃)	塩化 物量 (kg/ m ³)	
				スラン プ (cm)	空気 量 (%)				W	C	G1※2	G2※2	Gr	S※3	混和剤						
																					(kg/m ³)
BB-1	BB	60	0	15	AE	0.610	45.0	180	300	-	-	949	779	0.700	17.0	29.0	28.0	4.4	26.0	-	
BB-2			25							740	-	237	779	0.700	18.5	30.0	29.5	4.5	26.0	-	
BB-3			50							493	-	474	779	0.700	19.0	34.5	32.0	3.6	26.0	-	
BB-4			0							-	-	964	779	0.950	17.0	30.0	29.0	4.9	27.0	-	
BB-5			25							751	-	241	779	0.725	17.5	29.5	29.0	4.1	27.0	-	
BB-6		50	501			-	482		779	0.650	17.0	29.5	29.0	3.8	27.0	-					
BB-7		100	601			401	-		779	0.700	17.5	30.5	29.5	4.0	26.5	-					
BB-8		0	-			-	979		779	0.650	15.0	27.5	27.0	4.1	27.0	0.040					
BB-9		25	764			-	244		622	0.700	19.0	31.5	32.0	4.2	27.0	-					
BB-10		50	509			-	490		622	0.650	17.0	29.5	30.0	4.4	27.0	-					
BB-11		60	308	-	903	806	0.750	19.5	34.5	36.5	5.7	26.0	-								
BB-12		50	370	-	918	737	0.800	18.0	40.0	39.0	5.2	26.5	-								
BB-13		40	462	-	933	646	0.850	20.0	32.5	34.5	3.9	27.0	0.043								
BB-14		60	300	-	903	824	0.800	20.0	35.5	34.5	4.3	26.5	-								
BB-15		50	360	-	918	760	0.670	20.0	35.5	33.5	4.2	26.0	-								
BB-16		40	450	-	933	669	0.570	21.0	38.5	37.5	3.5	26.5	-								
N-1	N	60	0	18	SP	0.580	47.9	180	300	-	-	903	834	1.000	19.0	35.5	30.5	3.5	25.0	-	
N-2			25							704	-	226	834	1.000	19.5	40.5	38.5	3.9	25.5	-	
N-3			50							469	-	451	771	0.700	18.5	31.5	30.5	5.0	26.0	-	
N-4			0							-	-	918	771	0.795	20.5	38.0	34.5	4.5	25.0	-	
N-5		50	25							715	-	229	771	0.625	19.5	33.5	34.5	4.4	25.0	-	
N-6			50							477	-	459	771	0.575	20.5	34.5	35.0	4.0	25.0	-	
N-7			0							572	382	-	771	0.520	20.0	34.5	33.0	4.0	26.0	-	
N-8			0							-	-	933	771	0.600	19.5	34.5	34.0	4.6	26.0	0.039	
N-9		40	25			0.600	42.2		450	727	-	233	684	0.500	18.5	31.0	30.0	4.8	25.5	-	
N-10			50							485	-	467	684	0.620	20.5	34.0	35.0	4.2	26.0	-	
N-11			60							308	-	903	817	1.000	19.0	29.5	30.0	4.5	25.5	-	
N-12			50							370	-	918	751	0.950	19.0	32.5	31.5	4.9	25.0	-	
N-13		40	462			-	933		661	1.200	20.5	35.5	34.5	4.2	26.0	0.047					
N-14		60	300			-	949		789	1.000	16.5	27.0	26.5	4.6	25.5	-					
N-15		50	360			-	964		725	0.900	16.5	28.5	28.5	3.9	25.5	-					
N-16		40	450			-	979		638	1.150	17.0	29.5	29.0	3.6	26.5	0.048					

※1 運搬によるスランプロスを2cmとし、試験練スランプの許容範囲としては17cm (15cm+2cm) ±2.5cmおよび20cm (18cm+2cm) ±2.5cmとした。

※2 碎石100%の調査はG1:G2=6:4とする
※3 S1:S2=64.7:35.3

3. 5 硬化コンクリートの試験

(1) 圧縮強度

(A) 砕石の混合比による影響

各セメントで、各水セメント比における再生粗骨材混入率と圧縮強度の関係を図-6に示す。砕石の混合比率が圧縮強度にはほとんど影響しないことが分かった。

(B) 目標スランプによる影響

各セメントで再生粗骨材のみを使用した調査において、各水セメント比でのスランプと圧縮強度の関係を図-7に示す。スランプの差が圧縮強度に与える影響はないことが分かった。

(C) 混和剤の種類による影響

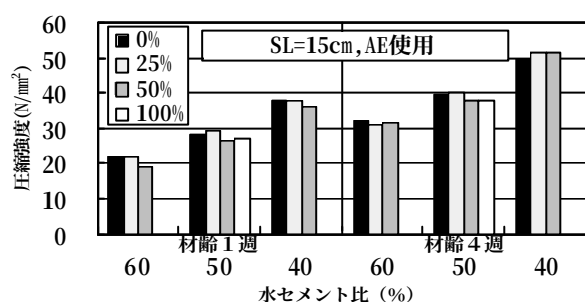
再生粗骨材のみを使用した各セメント、各水セ

メント比の調査において、減水剤の種類と圧縮強度との関係を図-8に示す。セメント種類によってはAE減水剤使用時と高性能AE減水剤使用時で若干差があるように見えるが、セメントの種類、水セメント比、混和剤の種類をパラメータとした3元配置分散分析を行った結果では、混和剤の種類に有意な差は認められなかった。

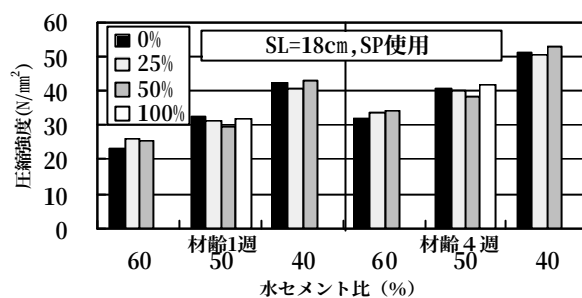
以上の結果から、偏心ロータ式処理装置により製造した再生粗骨材と砕石を使用したコンクリートは圧縮強度に差がなく、スランプ、混和剤の種類による圧縮強度の違いに有意な差がないことが分かった。

(2) 乾燥収縮率

各セメントで砕石混入率を変化させた場合に、

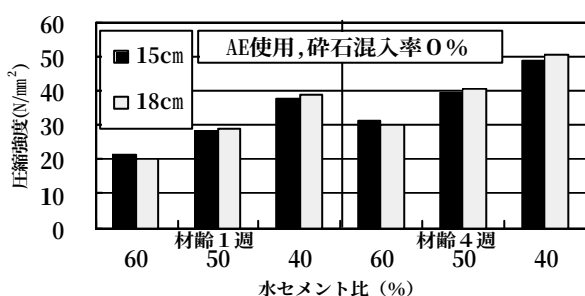


(a) 高炉セメントB種使用の場合

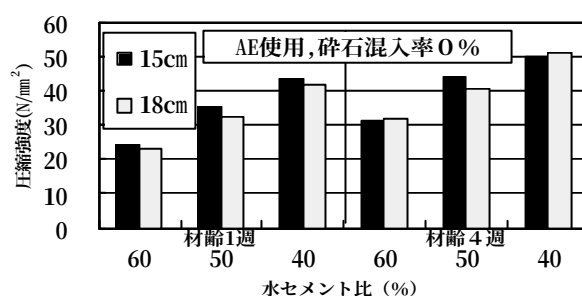


(b) 普通セメント使用の場合

図-6 砕石混合率と圧縮強度との関係

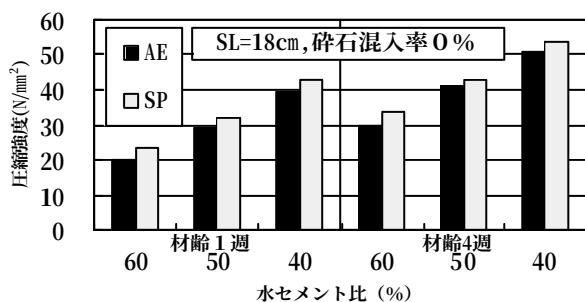


(a) 高炉セメントB種使用の場合

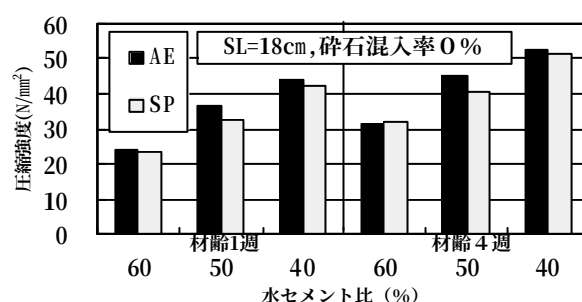


(b) 普通セメント使用の場合

図-7 目標スランプと圧縮強度との関係



(a) 高炉セメントB種使用の場合



(b) 普通セメント使用の場合

図-8 混和剤の種類と圧縮強度との関係

水セメント比50%のコンクリートの乾燥収縮率の測定結果を図－9に示す。再生粗骨材を使用したコンクリートの乾燥収縮は、砕石を使用したコンクリートとほぼ同じか若干小さくなる傾向が見られた。乾燥収縮率は骨材の影響により 4×10^{-6} ～ 1200×10^{-6} と大きく異なる³⁾。今回製造したようなモルタル分を極力除去した再生粗骨材を使用したコンクリートの乾燥収縮は、比較する天然骨材によってむしろ小さくなったものと考えられる。

(3) 中性化

セメントにBBを用いたW/C=50%のAEコンクリート、及びセメントNを用いたW/C=50%の高性能AE減水剤コンクリートの中性化促進試験結果を図－10に示す。再生粗骨材を使用したコンクリートの中性化深さが、砕石使用のコンクリートとほぼ同じか若干小さくなる傾向があるのは、乾燥収縮同様、比較する天然骨材の影響を受けているからだと考えられる。

(4) 凍結融解抵抗性

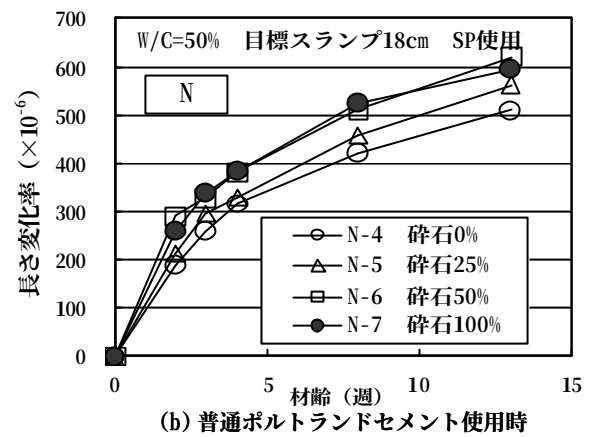
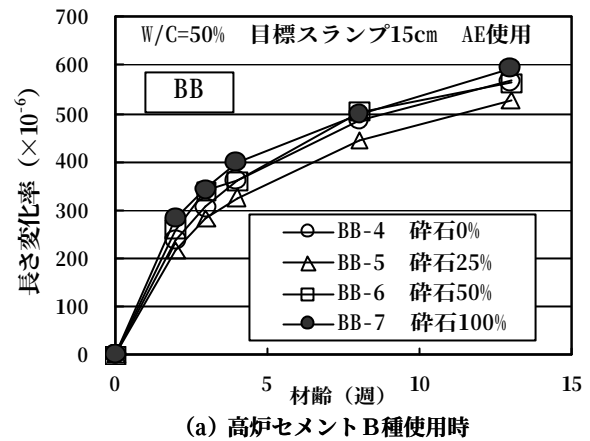
セメントにBBを用いたAEコンクリートの凍結融解抵抗性試験結果を図－11に示す。再生粗骨材を使用した方が砕石を使用した場合より相対動弾性係数の低下が小さい結果となった。砕石(天然骨材)100%の調査では200サイクルでの相対動弾性係数が60%を下回り、凍結融解抵抗性を有さないことが確認された。再生粗骨材のみの調査では300サイクルの時点で94%を超えており、十分な凍結融解抵抗性を有していることが分かった。

(5) アルカリシリカ反応性

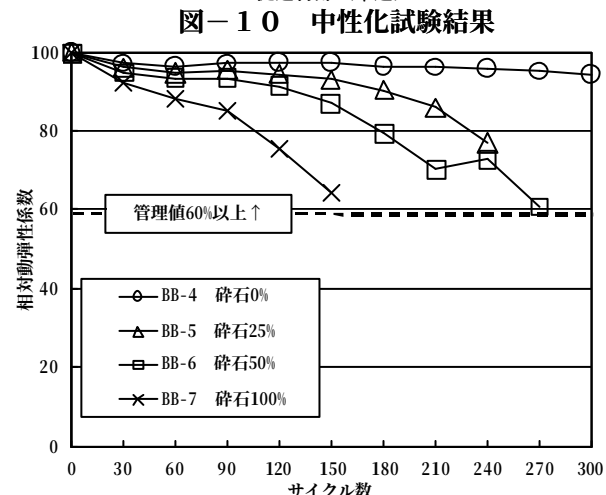
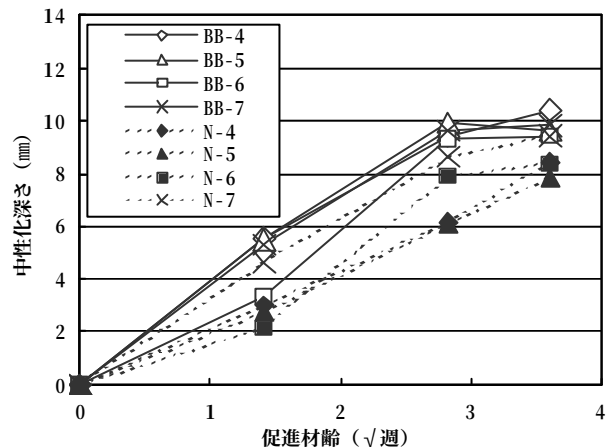
単位セメント量の多いW/C=40%の6調査(BB-8,9,10, N-8,9,10)において、生コンクリートのアルカリ骨材反応性早期判定試験(ZKT-206)の試験結果を表－8に示す。上記の調査全てで反応性のないことが確認された。

表－8 アルカリシリカ反応性試験結果

記号	煮沸後の相対動弾性係数 (%)				判定
	測定値			平均	
BB-8	90	89	91	90	○
BB-9	91	91	92	91	○
BB-10	91	91	90	91	○
N-8	87	89	88	88	○
N-9	90	89	88	89	○
N-10	90	91	90	90	○



図－9 乾燥収縮試験結果



4. 再生粗骨材コンクリート実機試験

実機練りと室内の試し練りのコンクリートの品質の差、及びフレッシュコンクリートの経時変化を把握することを目的として、生コンプラントで再生コンクリートを製造して試験を行った。

4. 1 使用材料、調合と練混ぜ

使用材料は表－5と同じものを、調合は表－6のBB-4及びN-4と同一のものをを用いた。練混ぜは容量3m³の強制2軸練ミキサーで行い、1バッチあたりの練量を2.25m³とした。細骨材→水→セメント→粗骨材の順に材料を投入し、60秒間練混ぜた後、アジテータ車に2バッチを積み込んで試験を行った。

4. 2 フレッシュコンクリート試験結果

フレッシュコンクリート経時変化の試験結果を表－9に示す。測定開始後30分～90分の間、目標のスランプにおいて±2.5cm、目標の空気量に対して±1.0%の許容差の範囲内であった。

4. 3 圧縮強度試験結果

(1) 養生方法の影響

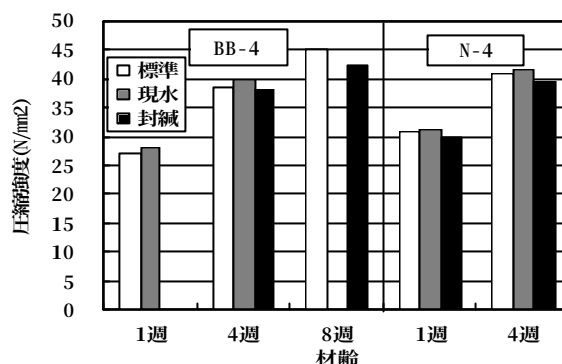
上記の2調合において標準養生、現場水中養生、現場封緘養生を行った場合の圧縮強度試験結果を図－12に示す。各養生方法の違いによる圧縮強度差は軽微であった。

(2) 室内試験と実機試験の圧縮強度の違い

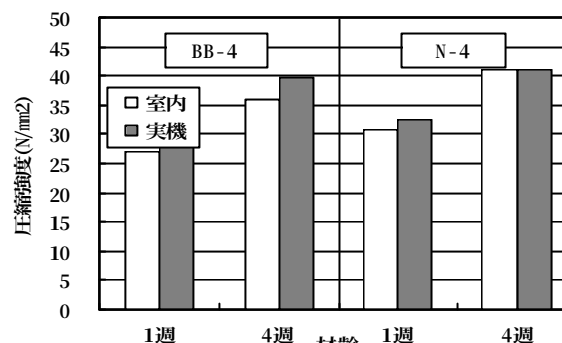
上記の2調合における室内および実機の試験結果を図－13に示す。材齢4Wにおける実機試験強度の室内試験強度に対する比は、BB-4の調合では1.03倍、N-4の調合では1.00倍であり、室内試験と実機試験とで圧縮強度にほとんど差がない結果となった。

表－9 フレッシュコンクリートの経時変化

調合 No.	目標 スラン プ	経時 時間 (分)	スラン プ (cm)	スランプ フロー		空気 量 (%)	温度 (℃)
				(cm)	(cm)		
BB-4	15cm	0	18.0	31.0	33.0	4.4	27.0
		30	17.5	30.5	30.0	3.4	27.5
		60	17.0	27.0	28.0	3.7	27.5
		90	14.5	25.0	25.0	4.1	27.5
N-4	18cm	0	21.5	38.5	36.0	4.9	28.0
		30	20.5	36.0	37.0	5.0	28.0
		60	20.0	36.0	37.5	5.3	28.0
		90	20.0	35.0	36.5	5.5	27.0



図－12 養生方法の違いによる圧縮強度の比較



図－13 室内試験と実機試験の圧縮強度比較

5. 結論

以上の実験結果から、以下の事が分かった。

- (1) 建替工事で発生した原コンクリートから、偏心ロータ式処理装置を用いることで、所定の品質を有する再生粗骨材を製造できる。
- (2) その再生粗骨材を用いた普通セメント(N)および高炉セメントB種(BB)の各種再生コンクリートは、碎石の混合比、スランプ、混和剤の種類の違いによる圧縮強度の違いへの影響はほとんどなく、普通骨材(碎石)のコンクリートとほぼ同等の品質を有する。
- (3) 実機により製造された再生コンクリートは室内における再生コンクリートと同じフレッシュ状態、硬化状態を示す。

<参考文献>

- 1)小島正朗 他：高品質再生粗骨材を用いた再生コンクリートに関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.2，pp.1123～1128，2000
- 2)米澤敏男 他：高品質再生骨材製造技術の研究，材料学会論文集，Vol.50，No.8，pp.835-842，Aug.2001
- 3)元木亮 他：大阪地区の生コンの乾燥収縮試験結果の集計報告，第10回生コン技術大会研究発表論文集，Vol10，pp.283-286，1994.4