

論文 低品質再生粗骨材の付着モルタルの特性が再生コンクリートに与える影響

入江 真吾*¹・神代 泰道*²・一瀬 賢一*²

要旨：原材料，調合，強度性状等がわかっている水セメント比の異なる実験用原コンクリートから，比較的
低品質な再生粗骨材を製造し，再生粗骨材の品質，付着モルタル強度の違いが再生骨材コンクリートの各種
耐久性，強度性状に与える影響について実験した。その結果，再生骨材コンクリートの強度が高いほど，圧
縮強度，静弾性係数は付着モルタル強度の影響を受け，強度が低いほど再生骨材の品質の違いによる影響は
小さくなることがわかった。また再生骨材コンクリートの耐久性の低下の程度は，付着モルタル強度には殆
ど依存しないことがわかった。

キーワード：再生粗骨材，再生骨材コンクリート，付着モルタル強度，強度，耐久性

1. はじめに

昨今，地球温暖化，生態系破壊，資源の枯渇，廃棄物の
処理問題など地球規模の環境問題が生じている。建設
業界においても，省資源，省エネルギー，リサイクルの
社会的要請は高まっており，建設廃棄物の中で最も量
の多い解体コンクリート塊のリサイクル促進，最終処分
量の抑制に向けて技術的・社会的問題の解決策を探るこ
とが非常に重要となってきた¹⁾。

そこで路盤材など一方向的な再利用に留まっている
解体コンクリート塊を，コンクリート骨材へ再利用する
循環型リサイクルを促進する必要がある。解体コンク
リート塊からバージン骨材と同等に使用可能な JIS 規格
“再生骨材 H”を回収するには，その再生処理過程にお
いて高度な技術と大量のエネルギーが必要である。また
一般的に再生粗骨材の回収率も低く，処理過程で発生す
る微粒分などの産廃量も多くなり，再利用効率，経済効
率ともに低く最適な利用法とは言い難い。そこで比較的
容易に製造でき，消費エネルギー，発生産廃量とも少な
い，“再生骨材 M”の有効利用を検討する方が効率的と
言える。そのためには，再生粗骨材が再生骨材コンク
リートの品質に与える影響を十分把握する必要がある。

本研究では，比較的品質の低い領域の再生粗骨材にお
いて，原コンクリート品質，付着モルタル品質，再生処
理程度の異なる再生粗骨材が再生骨材コンクリートの
品質に与える影響を把握することを目的とした。

2. 実験の概要

本研究で使用した再生粗骨材の製造フローを図-1 に
示す。本実験では，コンクリートの使用材料，調合，フ

レッシュ性状，強度特性等，各種品質を把握した3種類
の実験用原コンクリート(以下，原コンクリート)を準備
した。そしてこれらの原コンクリートを約1年半後に解
体処理し再生粗骨材を製造した。再生粗骨材の製造では，
傾斜ローター式摩砕処理装置²⁾を使用し品質の異なる再
生粗骨材を製造した。そしてこれらの再生粗骨材を使用
して再生骨材コンクリート製造し，各種強度試験および
耐久性試験を実施した。

3. 原コンクリート

3.1 使用材料と調合およびフレッシュ性状

(1) 使用材料と調合

原コンクリートの使用材料を表-1 に示す。現在解体
が進められている建物に使用されているコンクリート
に類似させるため，原粗骨材には山砂利，細骨材には中
国産川砂を使用した。混和剤は AE 減水剤を使用した。

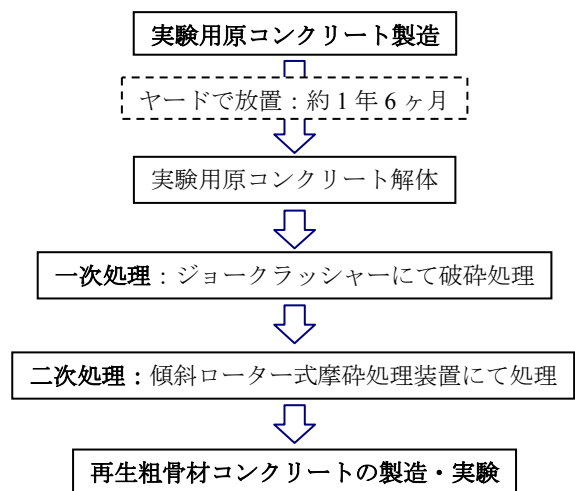


図-1 再生粗骨材の製造フロー

*1 (株)大林組 本店建築生産技術部 工修 (正会員)

*2 (株)大林組 技術研究所生産技術研究部 工博 (正会員)

原コンクリートの調合を表-2 に示す。水セメント比は 40%, 50%, 60% の 3 水準とした。空気量は 4.5%, 細骨材率は 46% とした。単位水量は解体建物のコンクリートに類似させるため 190kg/m³ に統一した。

(2) フレッシュ性状

原コンクリート製造時のフレッシュ性状試験結果を表-3 に示す。再生粗骨材を製造する原料コンクリートを準備することが目的であるため、スランブは調整しなかった。空気量については 4.5%±0.5% におさまリ、原コンクリートのモルタル品質のばらつきを小さくすることができた。この製造したコンクリートを調合ごとに外部に設置した型枠に打設した。打設寸法は長さ 3m×4m×幅 1.8m×厚さ 0.4m 程度のスラブ状とした。

3.2 原コンクリートの強度性状

原コンクリートの各種強度試験結果を表-4 に示す。圧縮強度試験は JISA1108 に準拠した。またモルタル強度試験は、コンクリート強度試験と同じコンクリートを 5mm ふるいでスクリーニングして採取したモルタルで作成した供試体で行った。原コンクリートの圧縮強度試験は、打設した各調合の原コンクリートスラブから採取した 3 本のコア供試体(寸法 φ100mm×H200mm: 以下原コンコア)で行った。各種強度試験結果は、調合水セメント比と高い相関を示しており、強度性状の安定した原コンクリートを準備できた。

4. 再生粗骨材の製造

4.1 再生粗骨材の製造工程

原コンクリートを解体処理し再生骨材を製造した。準備した原コンクリートを調合ごとにコンクリート塊に解体し、ジョークラッシャーで破砕(一次処理)し原コンクリート碎石を製造した。そしてこの原コンクリート碎石を、傾斜ローター式摩砕処理装置で処理(二次処理)し再生粗骨材を製造した。この傾斜ローター式摩砕処理装置での処理の際、処理負荷、処理回数を変化させること

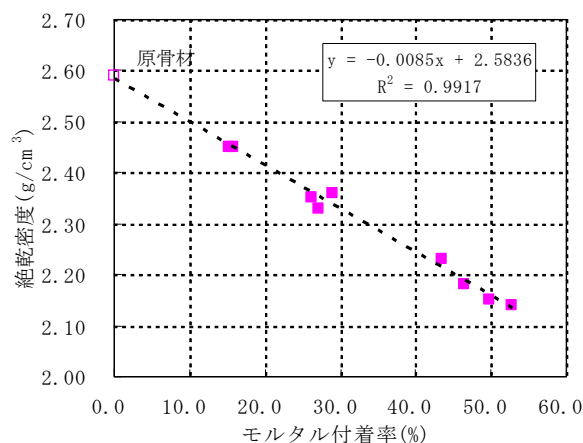


図-2 絶対乾密度とモルタル付着率

表-1 実験用原コンクリートの使用材料

	記号	使用材料概要
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度3.16g/cm ³
細骨材	S	川砂 (中国ミン江) 表乾密度2.60g/cm ³ 吸水率1.15% FM2.63
粗骨材	OG-YA	京都府城陽産山砂利2005 表乾密度2.62g/cm ³ 吸水率1.06% 実積率57.7% FM7.04
混和剤	AE	AE減水剤 (ポリカルボン酸系) AE剤

表-2 実験用原コンクリート調合

調合名称 ^{*)}	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位質量(kg/m ³)				C× (%)
				セメント	水	粗骨材	細骨材	
OG-YA60	60%	46.0	4.5	317	190	941	793	1.0
OG-YA50	50%			380	190	912	769	1.0
OG-YA40	40%			475	190	870	733	1.0

*) OG-YA○○: OG・原コンクリート, YA○○・コンクリートW/C (%)

表-3 実験用原コンクリートのフレッシュ性状

調合名称	スランブ (cm)	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	CT (°C)	C1 ⁻ 量 (kg/m ³)
OG-YA60	22.5	39.0 × 38.0	4.0	24.0	0.059
OG-YA50	22.5	40.0 × 38.0	4.8	25.0	0.060
OG-YA40	18.5	33.0 × 32.0	4.9	24.0	0.061

表-4 実験用原コンクリートの強度試験結果

試料	コンクリート		モルタル		原コンコア
養生	標準水中養生		標準水中養生		気中養生
調合名称	圧縮強度(N/mm ²)				
	材齢28日	材齢91日	材齢28日	材齢91日	材齢1.5年
OG-YA60	25.4	28.6	32.2	38.5	32.7
OG-YA50	31.8	35.4	40.4	42.8	38.9
OG-YA40	40.4	43.8	50.5	52.2	50.5

表-5 再生粗骨材の品質

原CON種類	骨材名称 ^{*)}	密度(g/cm ³)		吸水率 (%)	モルタル付着率 (%)	品質
		表乾	絶乾			
原骨材	OG-YA	2.61	2.59	0.65	0.00	-
OG-YA60 (W/C60%)	RG-YA60-S0	2.32	2.18	6.43	46.40	L
	RG-YA60-S1	2.43	2.33	4.20	27.20	M
	RG-YA60-S2	2.47	2.40	3.56	-	M
	RG-YA60-S3	2.51	2.45	2.58	15.70	M
OG-YA50 (W/C50%)	RG-YA50-S0	2.30	2.15	6.97	49.80	L
	RG-YA50-S1	2.35	2.22	7.56	-	M
	RG-YA50-S2	2.44	2.35	3.78	26.10	M
	RG-YA50-S3	2.50	2.44	2.74	-	M
OG-YA40 (W/C40%)	RG-YA40-S0	2.28	2.14	6.50	52.80	L
	RG-YA40-S1	2.35	2.23	5.26	43.50	L
	RG-YA40-S2	2.41	2.32	4.07	-	M
	RG-YA40-S3	2.44	2.36	3.55	28.90	M

*) 骨材名称 RG-YA○○-S△:

RG・再生粗骨材, YA○○・原コンクリートW/C (%), S△・二次処理回数

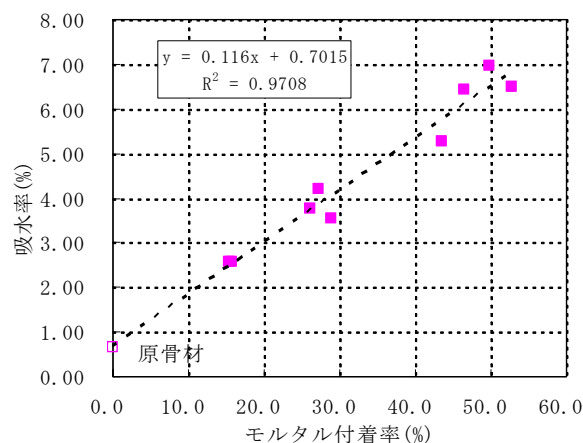


図-3 吸水率とモルタル付着率

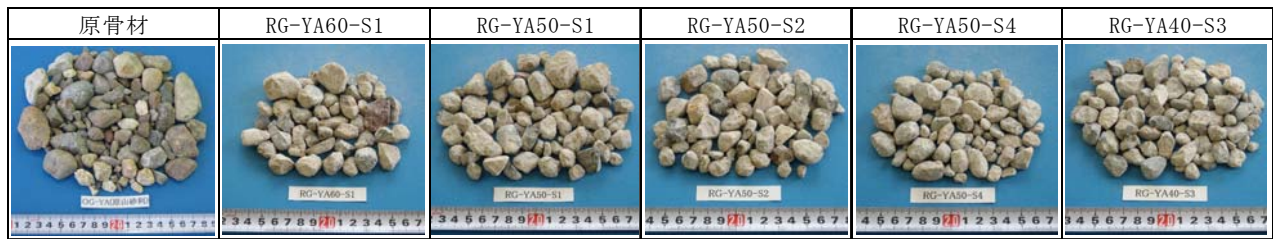


写真-1 使用した粗骨材

で製造した再生粗骨材の品質に差異をつけた。

4.2 製造した再生粗骨材の物理的性質

製造した各再生粗骨材の表乾密度、絶乾密度、吸水率および再生骨材 JIS 規格に基づく骨材品質クラスを表-5 に示す。またモルタル付着率と絶乾密度、吸水率との相関を図-2 および図-3 に示す。再生粗骨材の絶乾密度、および吸水率とモルタル付着率の間には既往の文献と同様に高い相関があることを確認した。

5. 再生粗骨材コンクリートの特性

5.1 使用材料と調合およびフレッシュ性状

(1) 使用材料と調合

再生粗骨材コンクリート(以下再生骨材コンクリート)の使用材料を表-6 に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材は砕砂および山砂を使用した。化学混和剤には高性能 AE 減水剤を使用した。粗骨材には製造した再生粗骨材のうち、再生粗骨材の各品質特性の影響を検討するため、①同じ水セメント比の原コンクリートから製造した絶乾密度、吸水率の異なるもの(RG-YA50-S1, RG-YA50-S2, RG-YA50-S4)、②絶乾密度、吸水率の値がほぼ同じで JIS 規格における再生粗骨材の品質評価としてはほぼ同等であるが、原コンクリートの水セメント比が異なるもの(RG-YA60-S1, RG-YA50-S2, RG-YA40-S3)、以上5種類を採用した。また各種性状の比較のため、原コンクリートを製造した原骨材(OG-YA)についても同様の実験を実施した。採用した再生骨材の写真を写真-1に示す。

再生骨材コンクリートの調合を表-7 に示す。実験調合は、水セメント比 35%, 45%, 55%, 65%の4水準とした。単位水量はすべて 175kg/m³に統一した。再生粗骨材の品質が再生コンクリートに与える影響を確認することを目的としたため、すべての調合において再生粗骨材を 100%使用し、粗骨材の絶対容積を 360m³/m³に統一した。

(2) 試験項目

フレッシュ試験は、スランプ(目標値±2.5cm)、空気量(目標値±1.5%)、コンクリート温度、塩化物量(JASS5 T-502)を実施した。強度性状試験はφ100mm×H200mmの供試体を作製し、材齢28日、56日、91日まで標準養生として、圧縮強度、割裂引張強度、静弾性係数を測定

表-6 再生骨材コンクリート使用材料

	記号	使用材料概要
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度3.16g/cm ³
細骨材	S1	砕砂(埼玉県秩父産) 表乾密度2.67g/cm ³ 吸水率1.42% FM3.03
	S2	砂(千葉県成田産) 表乾密度2.57g/cm ³ 吸水率2.44% FM1.92
混和剤	Ad	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)
	AE	AE剤
原粗骨材(原山砂利)	OG-YA	京都府城陽産山砂利2005 表乾密度2.62g/cm ³ 吸水率1.06% 実積率57.7% FM7.04
山砂利再生粗骨材(RG-YA)	RG-YA60-S1	原骨材: OG-YA 原コンクリートW/C60% 絶乾密度2.39g/cm ³ 吸水率3.55% 骨材修正係数0.80%
	RG-YA50-S1	原骨材: OG-YA 原コンクリートW/C50% 絶乾密度2.29g/cm ³ 吸水率4.77% 骨材修正係数0.80%
	RG-YA50-S2	原骨材: OG-YA 原コンクリートW/C50% 絶乾密度2.41g/cm ³ 吸水率3.04% 骨材修正係数0.80%
	RG-YA50-S4	原骨材: OG-YA 原コンクリートW/C50% 絶乾密度2.57g/cm ³ 吸水率1.07% 骨材修正係数0.85%
	RG-YA40-S3	原骨材: OG-YA 原コンクリートW/C40% 絶乾密度2.41g/cm ³ 吸水率3.07% 骨材修正係数0.60%

表-7 再生コンクリートの調合

粗骨材	SL (cm)	W/C (%)	s/a (%)	空気 (%)	W	C	G1	S1	S2	Ad (C×%)
OG-YA (原骨材)	18	65	50.0	4.5	175	269	911	644	276	1.25
		55	49.0		175	318	911	615	264	1.10
		45	47.3		175	389	911	574	246	1.10
		35	44.3		175	500	911	509	218	1.20
RG-YA60-S1	18	55	47.0	4.5	175	318	889	590	253	0.70
		45	45.2		175	389	889	549	235	0.70
		35	42.1		175	500	889	484	207	0.98
		55	47.0		175	318	864	590	253	0.70
RG-YA50-S1	18	65	48.2	4.5	175	269	893	619	265	1.15
		55	47.0		175	318	893	590	253	0.90
		45	45.2		175	389	893	549	235	1.00
		35	42.1		175	500	893	484	207	1.10
RG-YA50-S4	18	55	47.0	4.5	175	318	936	590	253	1.20
		55	47.0		175	318	893	590	253	1.05
		45	45.2		175	389	893	549	235	1.00
		35	42.1		175	500	893	484	207	1.10

表-8 フレッシュ性状

粗骨材	W/C (%)	Ad 添加率 (%)	スランプ (cm)	スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	単位容積 質量 (kg/m ³)
OG-YA (原骨材)	65	1.25	16.5	27.0 × 26.0	5.3	2,277
	55	1.10	17.0	28.0 × 27.5	3.9	2,318
	45	1.10	20.5	32.5 × 32.5	3.8	2,324
	35	1.20	20.5	33.5 × 32.0	5.1	2,307
RG-YA60-S1	55	0.70	18.0	29.0 × 28.0	4.5	2,240
	45	0.70	16.0	27.5 × 27.5	4.8	2,235
	35	0.98	18.0	30.0 × 29.0	4.7	2,260
	55	0.70	16.5	28.0 × 27.0	3.9	2,225
RG-YA50-S1	65	1.15	15.5	28.0 × 27.0	5.0	2,218
	55	0.90	15.5	27.5 × 25.5	4.6	2,234
	45	1.00	20.5	34.5 × 34.0	5.2	2,232
	35	1.10	18.0	30.0 × 29.0	5.1	2,255
RG-YA50-S4	55	1.20	17.5	28.5 × 28.0	4.5	2,273
	55	1.05	17.5	29.0 × 28.0	4.6	2,233
	45	1.00	20.5	33.0 × 32.0	4.7	2,247
	35	1.10	19.5	31.0 × 31.0	4.6	2,262

した。また促進中性化試験を JISA1153、乾燥収縮量試験を JISA1129-2、硬化コンクリートの全塩化物量を JISA1154 に準拠して測定した。

(3) フレッシュ性状

実験で製造した再生骨材コンクリートの各種フレッシュ性状試験結果を表-8 に示す。スランプ、空気量ともに安定性状のコンクリートが製造できた。

5.2 再生骨材コンクリート各種強度試験の考察

(1) 圧縮強度

絶乾密度、吸水率、付着モルタル強度のそれぞれ異なる再生粗骨材を使用した、水セメント比 55%調合の再生骨材コンクリートの圧縮強度試験結果を図-4 に示す。原骨材(OG-YA)コンクリートに比べ再生骨材コンクリートの圧縮強度は低下した。その低下の程度は各粗骨材とも 2.5~5N/mm²程度で、原骨材コンクリート強度の約 5~10%程度であった。材齢とともに安定して強度が高くなり、各調合間の圧縮強度のばらつきは比較的小さかった。水セメント比 55%調合では、絶乾密度、吸水率、付着モルタル強度といった再生粗骨材品質と再生骨材コンクリートの圧縮強度との間には明確な相関はみられなかった。

また各種調合について、同じ水セメント比調合の原骨材コンクリートに対する再生骨材コンクリートの圧縮強度の比を図-5 に示す。再生骨材コンクリートの強度が高い調合(W/C35%)において、原骨材コンクリートより強度が高くなる傾向を示したが、その他の調合では原骨材コンクリートに対して最低 85%程度、平均 95%程度まで圧縮強度が低下した。

次に、絶乾密度、吸水率の値が同程度で再生骨材 JIS 規格における品質評価が同じであるが、原コンクリートの水セメント比が異なる、すなわち付着モルタル強度が異なる再生粗骨材を使用した再生骨材コンクリートの圧縮強度試験結果、および再生粗骨材の付着モルタル強度を評価する指標として、原コンクリート製造時に実施

したモルタル供試体の圧縮強度試験結果を図-6 に示す。

各水セメント比とも原骨材コンクリートに比べ再生骨材コンクリートの圧縮強度は低下する傾向を示すが、水セメント比 35%調合の場合には、原骨材コンクリートの圧縮強度より高い強度を発現した調合もあった。

再生粗骨材の付着モルタル強度と圧縮強度の関係については、再生骨材コンクリートの強度が高い調合(W/C45%, 35%)では、付着モルタルの強度が高い再生粗骨材を使用した再生骨材コンクリートほど圧縮強度が高くなる傾向が見られた。一方、強度が低い調合(W/C55%, 65%)では、付着モルタル強度に対する圧縮強度の差異はほとんど見られなくなった。

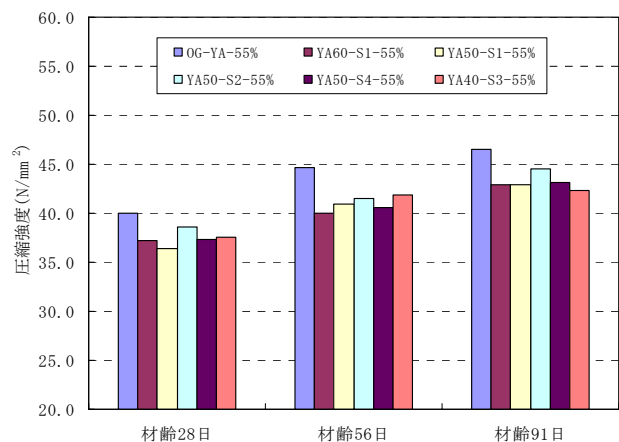


図-4 W/C55%調合圧縮強度

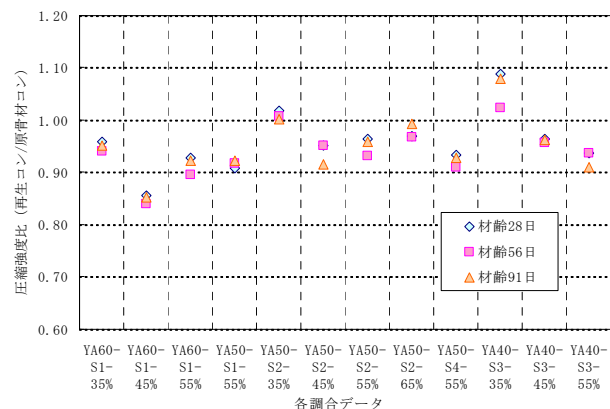


図-5 圧縮強度比

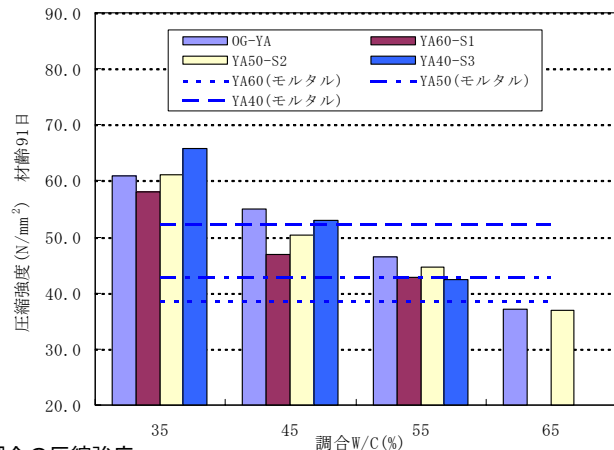
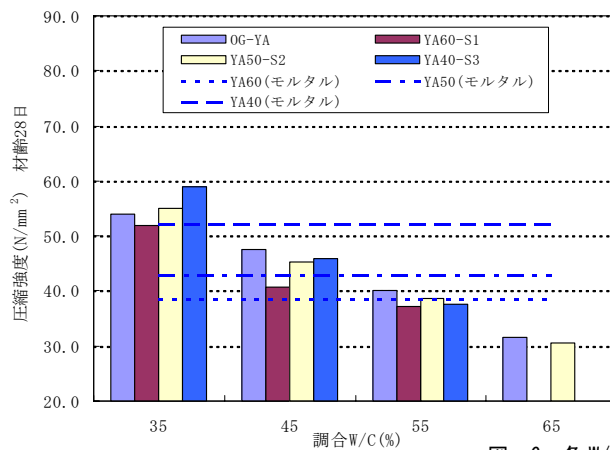


図-6 各 W/C 調合の圧縮強度

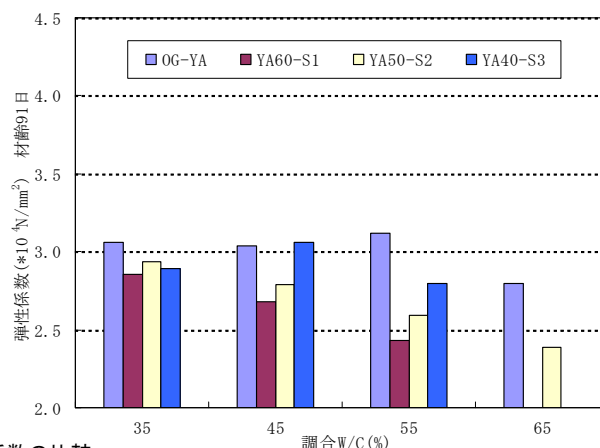
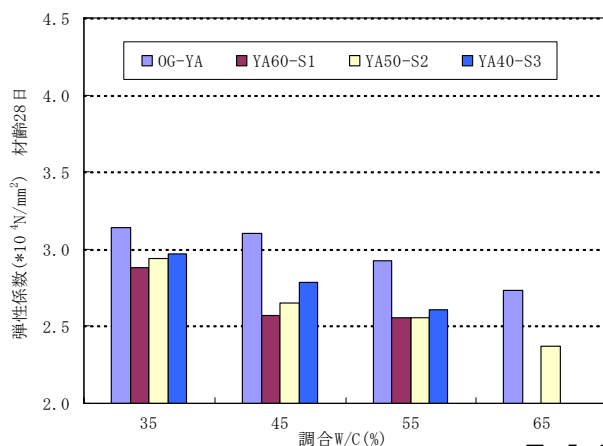


図-7 弾性係数の比較

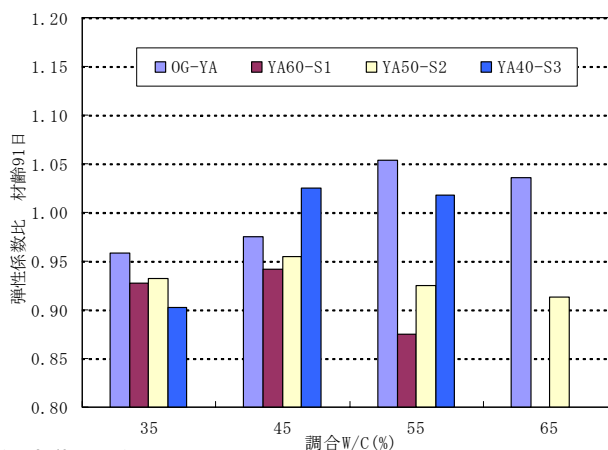
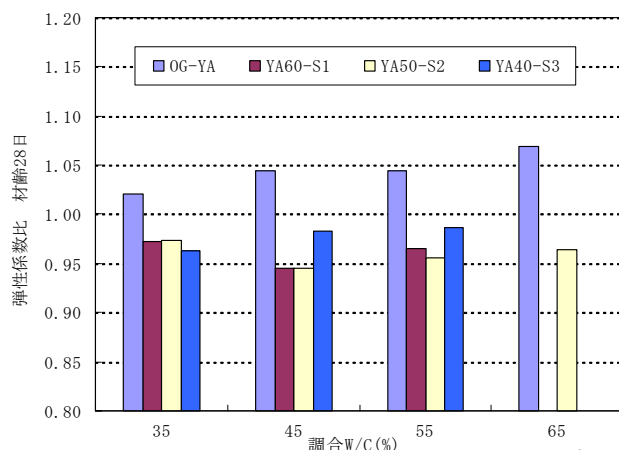


図-8 弾性係数比(測定/規準式)

(2) 静弾性係数

再生骨材コンクリート調合ごとの静弾性係数の比較を図-7に示す。調合水セメント比にかかわらず、同水セメント比調合の原骨材コンクリート静弾性係数に対し約84%～95%まで低下した。各水セメント比調合において、再生粗骨材に付着しているモルタルの強度が高くなるほど静弾性係数が大きくなる傾向が見られた。

次に単位容積質量、圧縮強度測定結果から、RC規準式³⁾により算定される静弾性係数に対する静弾性係数試験結果の比率を図-8に示す。原骨材コンクリートの弾性係数値は、各骨材種類、各調合のほとんどにおいてRC規準式で算定される値より大きな値を示したが、再生骨材コンクリートでは、ばらつきがみられるがRC規準式の約90～95%程度の静弾性係数まで低下した。

(3) 割裂引張強度

各再生骨材コンクリートの水セメント比55%調合の割裂引張強度試験結果を図-9に示す。割裂引張強度は、ばらつきはあるものの、付着モルタル強度の高い再生粗骨材(YA40-S3など)を使用した場合に原骨材コンクリートより高くなり、付着モルタル強度が低く、骨材品質が低い再生粗骨材を使用した場合に低下する傾向を示した。

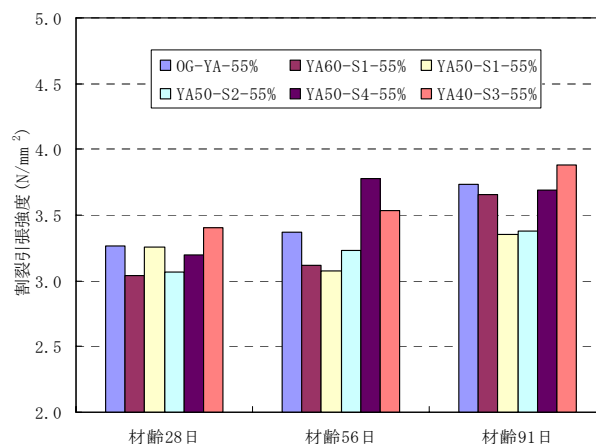


図-9 W/C55%調合引張強度

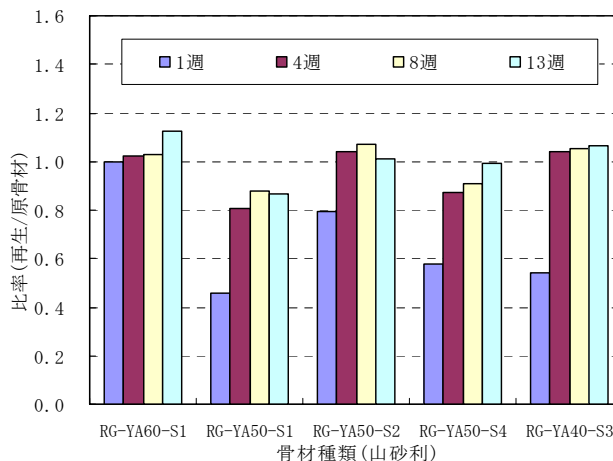


図-10 促進中性化試験結果

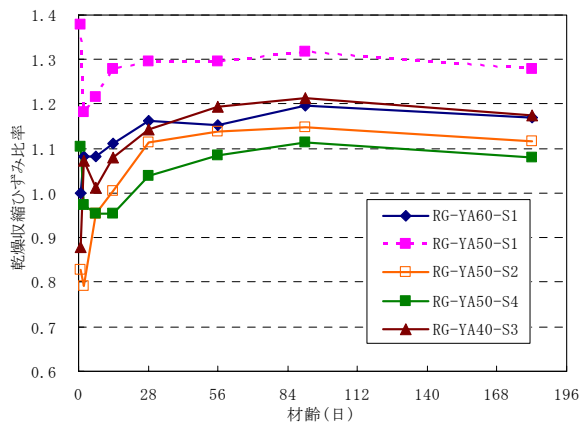


図-11 乾燥収縮量測定試験結果

5.3 再生骨材コンクリート各種耐久性状の考察

(1) 促進中性化試験結果

各粗骨材とも水セメント比55%の調合において実施した。中性化深さは原骨材コンクリートで約9.6mm(材齢13週)となった。各再生粗骨材についての試験結果を原骨材についての試験結果に対する比で示したものを図-10に示す。各再生骨材コンクリートの中性化深さは、原骨材コンクリートの中性化深さに対し同程度から85%程度となり小さくなる傾向を示したが、再生粗骨材品質との相関は見られなかった。再生骨材コンクリートの水セメント比が比較的大きく、中性化の進展が再生骨材コンクリートのモルタル品質に大きく依存し、再生粗骨材付着モルタルの影響が小さかった結果と推察される。

(2) 乾燥収縮量測定試験結果

各粗骨材とも水セメント比55%の調合において実施した。乾燥収縮ひずみは原骨材コンクリートで約579 μ (材齢26週)となった。各再生骨材コンクリートの試験結果を原骨材コンクリートの試験結果に対する比で示したものを図-11に示す。乾燥収縮ひずみは、再生粗骨材のすべての調合において原骨材コンクリートより、約10%~30%程度大きくなった。再生粗骨材品質、モルタル強度との相関に一定の傾向は見られないが、再生粗骨材の付着モルタル率が高いものほど、乾燥収縮ひずみが大きくなっている。乾燥収縮ひずみは付着モルタルも含めた骨材の剛性に大きく依存しているものと推察される。

(3) 塩化物含有量試験結果

フレッシュ時の塩化物イオン量測定結果と硬化コンクリートの全塩化物イオン量の測定結果を図-12に示す。フレッシュ時の測定結果については、原骨材コンクリートと再生骨材コンクリートの間に大きな差異はなかった。フレッシュ時の塩化物イオン量測定結果は、全塩化物量の約17%~31%となったが、再生粗骨材の品質との相関はみられなかった。準備した原コンクリート自体の含有塩化物量が少なく、付着モルタルに含有される塩化物量の影響がほとんどなかったと推察される。

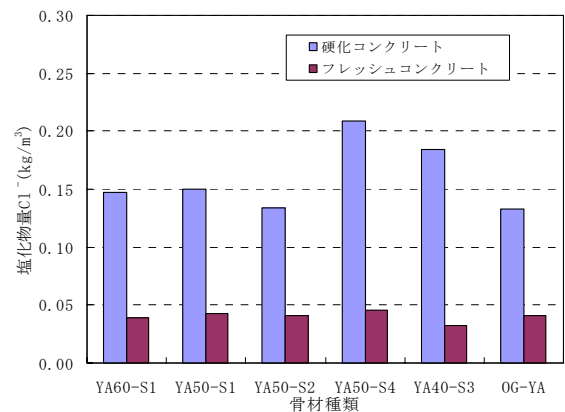


図-12 塩化物含有量測定結果

6. まとめ

絶乾密度、吸水率、付着モルタル強度等の品質が異なる再生粗骨材を使用したコンクリートの耐久性、強度性状について比較検証した。その結果以下のことが判った。

- (1) 再生骨材コンクリートの圧縮強度の高い領域では、圧縮強度に対する再生骨材の付着モルタル強度の影響が見られるが、圧縮強度の低い領域では、圧縮強度に対する再生粗骨材の品質、付着モルタル強度の影響はほとんどない。
- (2) 再生骨材コンクリートの弾性係数に対し、付着モルタル強度の影響が見られる。
- (3) 再生骨材コンクリートの静弾性係数はRC規準式で算定される数値の約90~95%程度まで低下する。
- (4) 割裂引張強度は、再生粗骨材の付着モルタル強度が高い場合に高くなり、付着モルタル強度が低い場合に低下する。
- (5) 乾燥収縮ひずみは、原骨材コンクリートと比較して約10%~30%程度大きくなった。

以上の結果より、付着モルタルの比較的多い再生粗骨材を使用したコンクリートの品質を評価するには、再生粗骨材の絶乾密度、吸水率だけでなく、付着モルタル強度を考慮する必要があると考えられる。しかし、再生粗骨材の付着モルタル強度を確認することは現状では難しい。今後、付着モルタル強度の評価方法、指標を検討する必要があると考える。

参考文献

- 1) コンクリート再生高度利用研究会編：コンクリートリサイクルシステムの普及に向けての提言, pp15-20, 2005.9
- 2) 入江真吾ほか：建物の解体コンクリート塊から製造した再生粗骨材の品質が再生骨材コンクリートに与える影響について、コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1777-1782, 2009
- 3) 日本建築学会編：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説, 1999