

論文 建物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

入江 真吾*1・神代 泰道*2・一瀬 賢一*2

要旨: 既存建物の解体コンクリート塊から品質の異なる再生粗骨材を製造し、再生粗骨材の品質の違いが再生骨材コンクリートのフレッシュおよび硬化コンクリートの品質に与える影響について実験した。その結果、再生骨材が高品質になるほど、付着モルタル率は小さくなり再生骨材コンクリートの圧縮強度、静弾性係数は向上するが、水セメント比の大きい再生骨材コンクリートでは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中の全塩化物量は付着モルタル率が大きくなるほど増加することがわかった。

キーワード: 再生粗骨材, 再生骨材コンクリート, 付着モルタル率, 圧縮強度, 塩化物量

1. はじめに

近年、環境問題に対する意識の高まりから、環境保護、環境負荷軽減の観点を無視しては、今後の安定的な生産活動、技術開発の発展は不可能な状況となってきた。このような状況下、現在建設廃棄物の中で最も発生量が多く、将来、発生量の増加、現在の利用用途の需要低下が見込まれる解体コンクリート塊については、比較的処理程度の低い、低品質な再生粗骨材を適用した再生骨材コンクリートの再利用用途の拡大、とりわけ構造物コンクリートへの再利用が、環境負荷軽減、限られた資源の再利用の観点から望まれている¹⁾²⁾。

そこで本論文では、付着モルタル量が多く再生粗骨材としては比較的品質の低い領域において、建物解体コンクリート塊から品質の異なる再生粗骨材を製造し、再生骨材の品質の違いが再生骨材コンクリートの品質・強度特性に与える影響について述べる。

2. 実験の全体概要

再生粗骨材コンクリートの品質は様々な要因に影響を受けるものと考えられるが、一度に複数の影響要因を考慮して再生骨材コンクリートの品質・性能を評価することは非常に難しい。そこで既設建物の特定範囲の解体コンクリート塊を採取し、再生粗骨材を製造することとした。解体コンクリート塊の処理条件を変え、意図的に

品質の異なる再生粗骨材を製造した。そしてこれら再生粗骨材の品質の違いが再生骨材コンクリートに与える影響を把握した。

3. 解体建物の調査

3.1 解体建物の概要

再生粗骨材の原料となる解体コンクリート塊の品質確認として、建物躯体コンクリートの現状調査を行った。解体建物の概要を表-1に示す。このうち採取範囲に該当する6階部分について調査を行った。

3.2 解体建物のコンクリート調査

解体建物の調査結果の概要を表-2に示す。建物内部躯体壁、スラブよりコア供試体を採取し強度試験を行った。部位ごとの強度ばらつきは小さいが、壁よりスラブコンクリートの強度が低い。建物全体としてはおおよそ17~26N/mm²の範囲でばらついている。

コア供試体を利用して中性化深さ試験を実施した。内部躯体壁、スラブ上端面ともに下地モルタルと表面仕上げがあり、躯体コンクリート自体の中性化深さは0mmであった。スラブ下端面は仕上げがなく中性化深さ約20mmであったが、コンクリート中性化速度モデルとしてよく用いられる岸谷式³⁾から算定される中性化深さ約37mm(屋内)より小さく、コンクリートの耐久性としては問題がなかったことを示すものと考えられる。

表-1 解体建物概要

建物名称	某ビルディング	建物用途	銀行
建物場所	大阪市中央区	建設時期	昭和34年頃
構造・規模	SRC造 地下2階、地上9階、PHF3階		
外装仕上	湿式石張、吹付け塗装		
内部壁仕上	モルタル下地塗り+塗装		

表-2 コア供試体の調査結果

部位	圧縮強度(N/mm ²)		弾性係数(×10 ⁴ N/mm ²)		中性化	塩化物量(kg/m ³)
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	深さ(mm)	
壁	24.8	1.03	2.26	0.23	0 (仕上あり)	0.229
スラブ	18.2	1.48	2.09	0.13	20.0	0.261

*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)

またコア供試体の全塩化物量を JISA1154 に準拠して測定した。各部位とも比較的塩化物量が多い結果となったが、これは建設当時、細骨材に頻繁に使用されていた海砂に含まれる塩化物に由来するものと考えられる。

またコア供試体の観察より、当建物の躯体コンクリートは川砂利を使用していること、アルカリ骨材反応の形跡はないことが判った。

4. 再生粗骨材の製造

4.1 再生粗骨材の製造概要

一次処理として、原料をジョークラッシャで 40mm 以下に破碎し、その内 5mm ふるいに残るものを回収した。二次処理として、回収した原料を摩砕処理装置にて処理した。この処理装置は、装置内に充填された原料骨材を、骨材相互に擦りあわせることで付着モルタル分を剥離させるものである。

この装置の処理負荷条件、すなわち単位時間当たりの原料投入量、処理時間、処理回数等の諸条件を変化させ、

表-3 処理装置の処理条件設定概要

再生粗骨材種類	投入原料 (mm)	原料時間投入量 (ton/時間)	処理負荷程度
OBM-1	一次処理原料 5~40mm	15	小 ↓ 大
OBM-2		30	
OBM-3		30	
OBM-4		15	
OBM-5		15	
OBM-6		30	
OBM-7		15	
OBM-8		30	
OBM-9	OBM-7 0~40mm	15	大

原料に対するトータル的な処理負荷程度に差異をもうけることで品質の異なる再生粗骨材を製造した。再生粗骨材製造の条件を表-3 に示す。処理負荷条件を 9 段階変化させ、その後ふるい分けして 20mm 以下 5mm 以上の再生粗骨材とした。これらに一次処理のみ実施し 20mm 以下 5mm 以上にふるい分けした原コンクリート骨材(以下、原コン骨材)を含め全 10 種類の再生粗骨材とした。

4.2 再生粗骨材の品質

(1) 密度・吸水率・ふるい分け試験と品質水準

JIS 規格試験方法に準拠して、製造した 10 種類の再生粗骨材および原骨材の絶対乾密度、吸水率の測定およびふるい分け試験を実施した。その結果を図-1 および図-2 に示す。処理条件を高度にするほど密度大、吸水率小となることがわかる。なお原骨材試料は、原コン骨材からモルタル付着率を測定する際と同じ方法で採取した骨材を対象とした。原骨材は JASS5 の品質基準を満足するものであった。これら再生粗骨材の品質水準について絶

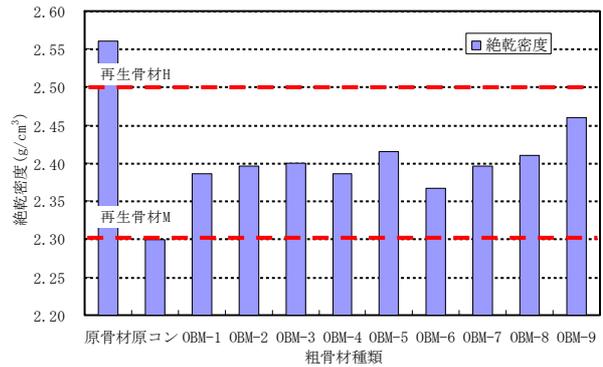


図-1 再生粗骨材と絶対乾密度

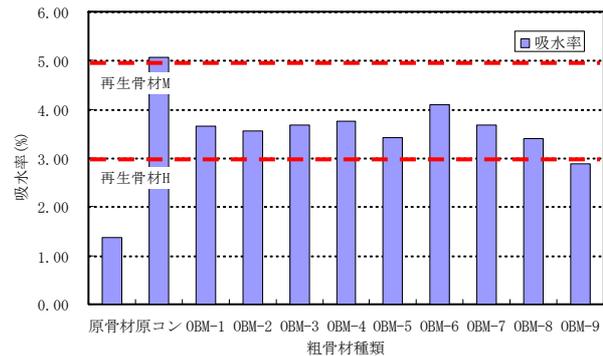


図-2 再生粗骨材と吸水率

乾密度および吸水率のみで判断した場合、JIS 規格で提唱されている水準において、原コン骨材が再生骨材 L、その他の骨材は再生骨材 M で、その中で OBM-3、OBM-8、OBM-9 はそれぞれ低中高位程度であった。原コンクリートが比較的低強度であったため、破碎処理のみで再生骨材 M 程度になったものと考えられる。

(2) 外観観察

原骨材、原コン骨材、OBM-3、8、9 について骨材表面の外観観察、光学顕微鏡による表面観察を行った。観察の結果、高度処理になるほど骨材表面の付着モルタルの面積および層厚さが減少することが目視で確認できた。観察写真を写真-1 に示す。

(3) モルタル付着率

原コン骨材、OBM-3、8、9 の付着モルタル率を測定した。絶対乾状態の再生粗骨材を 5mm ふるいにてふるい、5mm 以上の骨材を試料とした。試料量は約 1.0kg 程度とした。試料を 10% 塩酸水溶液に浸漬し、適度に攪拌してモルタル部分を溶解させた。約 2 日おきに 2.5mm ふるいの上で水洗いを行い、10% 塩酸水溶液を取替えた。約 7 日間上記作業を繰り返し、10% 塩酸水溶液浸漬時に骨材より泡が出なくなり、目視観察で骨材にモルタル部分(ペースト部分)が付着していないことが確認できた時点で終了した。溶解除去が完了した時点で再度骨材を絶対乾状態とし、5mm ふるいでふるい 5mm 以上の骨材を採取した。モルタル付着率 M は以下の式より算定した。

$$M=(W_1-W_2)/W_2 \times 100 \quad (1)$$

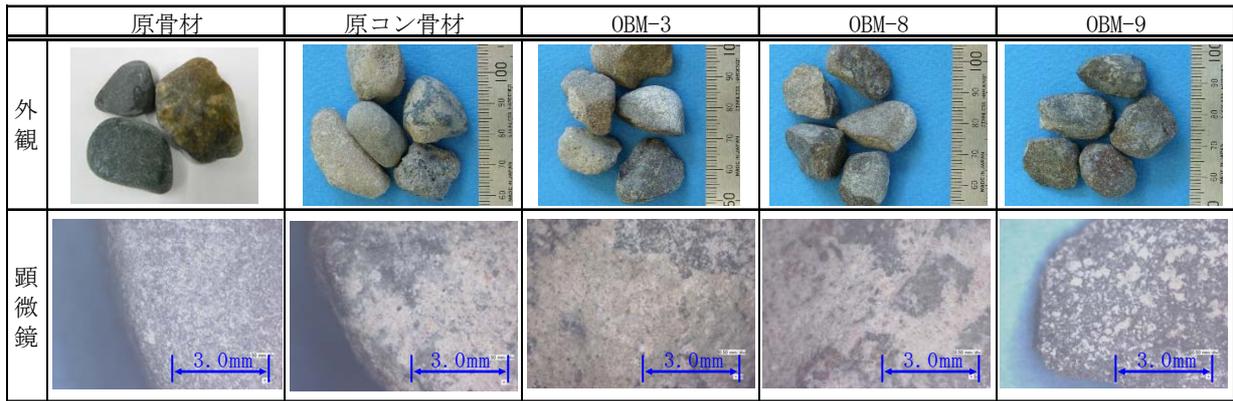


写真-1 再生粗骨材の外観観察写真

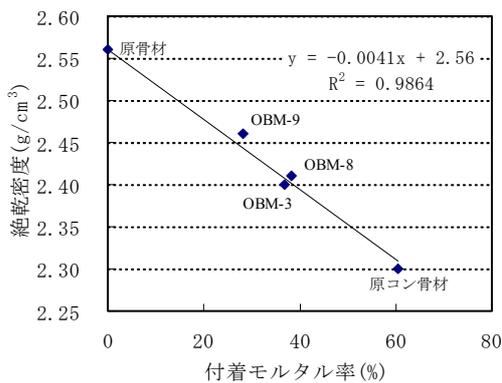


図-3 附着モルタル率と絶乾密度の関係

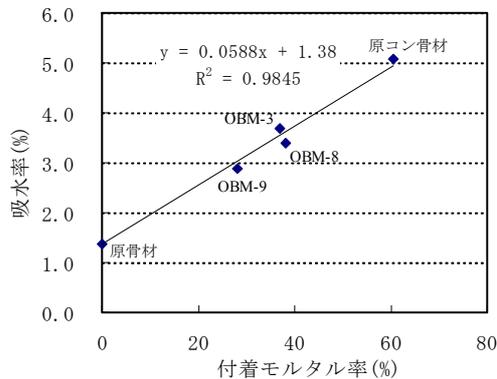


図-4 附着モルタル率と吸水率の関係

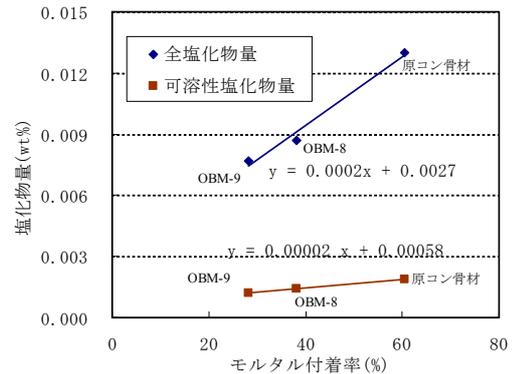


図-5 モルタル附着率と塩化物量の関係

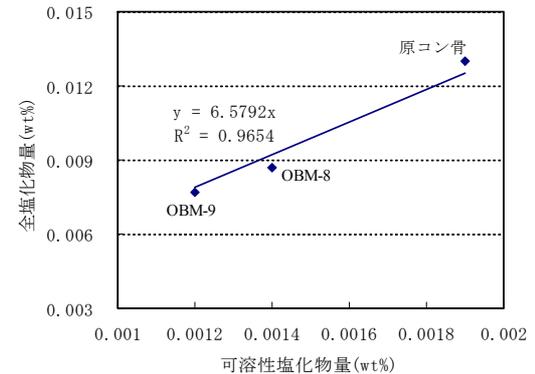


図-6 可溶性塩化物量と全塩化物量の関係

ここに、M：モルタル附着率(%), W_1 ：モルタル処理前の絶乾試料質量(g), W_2 ：除去処理後の絶乾試料質量(g)である。附着モルタル率と絶乾密度、吸水率の関係を図-3 および図-4 に示す。附着モルタル率が減少するにつれて絶乾密度は大きく、吸水率は小さくなっている。附着モルタル率と絶乾密度および吸水率にはかなり高い相関関係があることが分かった。今回の実験では、限定した部位より採取した解体コンクリート塊を再生粗骨材の原料としており、附着モルタルの品質が比較的均一であると考えられ、附着モルタル率と骨材品質が高い相関を示す一因となったと推定される。

(4) 塩化物イオン量

附着モルタル率と塩化物イオン量の関係を図-5 に示す。全塩化物イオン量は JISA1154、可溶性塩化物イオン

量は JISA5005 に準拠して測定した。二次処理の程度が高くなり、附着モルタル率が低くなるほど含まれる塩化物イオン量が減少することがわかる。また図-6 に可溶性塩化物イオン量と全塩化物イオン量の関係を示す。全塩化物イオン量の試験結果は、可溶性塩化物イオン量の 6.6 倍程度となり既往の報告⁴⁾よりやや大きくなった。

5. 再生コンクリートの品質

5.1 再生コンクリートの実験概要

品質を調査した原コン骨材、OBM-3、8、9 の 4 種類の再生粗骨材を用い、再生粗骨材コンクリートの各種フレッシュ性状実験および硬化コンクリート性状実験をそれぞれ行った。

表-4 使用材料の概要

記号	概要
C	普通ポルトランドセメント (太平洋) 密度3.16g/cm ³
S	陸砂 (千葉県君津産) 表乾密度2.62g/cm ³ 吸水率1.71% FM2.53
普通	東京都青梅産砕石2005 表乾密度2.65g/cm ³ 吸水率0.77% 実積率60.8% FM6.36
原コン骨材	原コンクリート骨材 原コン粒度調整 表乾密度2.42g/cm ³ 吸水率5.07% 実積率61.2% FM6.49
OBM-3	再生粗骨材OBM-3 表乾密度2.49g/cm ³ 吸水率3.68% 実積率61.3% FM6.20
OBM-8	再生粗骨材OBM-8 表乾密度2.49g/cm ³ 吸水率3.40% 実積率62.1% FM6.47
OBM-9	再生粗骨材OBM-9 表乾密度2.53g/cm ³ 吸水率2.88% 実積率62.1% FM6.35
SV	高性能AE減水剤 (ポリカルボン酸系) AE剤

表-5 実験調合概要

調合	粗骨材	SL (cm)	air (%)	W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)
1	碎石	18	4.5	55	46.3	160	291	852	999
2	原コン骨材	(55)	4.5	35	46.3	160	457	789	843
3		18	4.5	45	46.1	160	356	825	888
4		18	4.5	55	45.9	160	291	845	917
5		(55)	4.5	35	46.1	160	457	785	870
6	OBM-3	18	4.5	45	46.1	160	356	823	915
7		18	4.5	55	45.8	160	291	844	946
8	OBM-8	(55)	4.5	35	45.5	160	457	776	881
9		18	4.5	45	45.4	160	356	811	928
10		18	4.5	55	45.2	160	291	831	959
11	OBM-9	(55)	4.5	35	45.5	160	457	776	896
12		18	4.5	45	45.4	160	356	811	943
13		18	4.5	55	45.2	160	291	832	974

[注1]SL欄の()はスランブフローを示す

表-6 フレッシュ試験結果

調合	粗骨材	W/C (%)	SL (cm)	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	骨材修正係数 (%)	CON 温度 (°C)	混和剤添加量 (%)	塩化物イオン量 (kg/m ³)
1	普通	55	15.5	27.0 × 26.0	3.8	-	20.0	0.95	0.035
		55	19.0	30.5 × 30.0	4.3	0.0	17.3	1.00	-
		35	-	52.0 × 50.0	4.9	-	20.0	1.00	0.051
3	原コン骨材	45	20.0	34.0 × 34.0	6.0	-	19.5	0.70	0.038
		55	18.5	32.0 × 29.0	4.0	0.4	20.0	0.75	0.032
		55	18.0	32.0 × 29.0	5.6	-	17.0	0.90	-
5	OBM-3	35	26.0	51.0 × 51.0	3.5	-	17.8	1.40	-
		45	20.0	32.0 × 31.0	4.9	0.3	17.4	0.85	-
		55	20.5	34.0 × 32.5	5.0	-	19.5	0.70	0.037
8	OBM-8	35	-	57.0 × 56.0	5.1	-	19.5	0.95	0.048
		45	19.5	32.0 × 31.0	4.9	0.2	20.0	0.60	0.043
		55	20.0	33.5 × 33.5	5.6	-	20.0	0.65	0.035
10	OBM-9	55	20.0	35.0 × 33.0	4.4	-	17.0	0.85	-
		35	-	53.5 × 52.5	4.8	-	19.5	0.95	0.050
		45	19.5	32.5 × 31.0	4.9	0.2	20.0	0.60	0.042
13	OBM-9	55	18.0	31.0 × 29.0	4.9	-	20.0	0.60	0.040
		55	20.5	35.0 × 35.0	4.1	-	17.4	0.80	-

(1) コンクリートの調合

実験に用いたコンクリートの使用材料および品質を表-4に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。細骨材は天然の陸砂とし、粗骨材には製造した4種類の再生粗骨材と性状比較用として碎石(以下、普通骨材)を用いた。化学混和剤は、ポリカルボン酸系高性能AE減水剤を使用し、空気量調整としてAE剤を用いた。

コンクリートの調合条件と調合を表-5に示す。単位水量は160kg/m³一定、水セメント比(以下、W/C)3水準(35%, 45%, 55%), スランブは18cm, 空気量は4.5%とした。W/C35%調合についてはスランブフロー55cmとした。

(2) 試験項目

フレッシュコンクリート試験として、スランブ(スランブフロー)、空気量、コンクリート温度、また一部の調合については、塩化物量(JASS5 T-502)、ブリーディング試験、凝結試験を実施した。強度性状試験としてφ100mm×H200mmの供試体を採取し、標準水中養生、材齢7日、28日、56日、91日にて圧縮強度、引張割裂強度、弾性

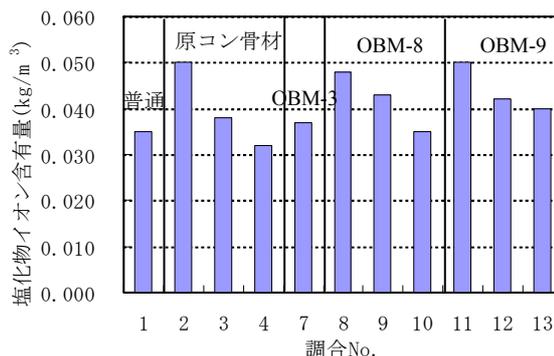


図-7 塩化物量の測定結果

表-7 ブリーディング・凝結試験結果

骨材種類	普通	原コン	OBM-3	OBM-8	OBM-9	
ブリーディング量 (cm ³ /cm ²)	0.128	0.169	-	0.101	0.101	
凝結	始発(h)	6.82	6.85	7.23	6.64	6.52
	終結(h)	9.11	9.19	9.43	9.12	8.69

係数を測定した。また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。

5.2 フレッシュコンクリートの品質試験結果

(1) フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの性状試験結果を表-6に示す。スランブ、空気量、コンクリート温度ともに比較的安定した性状の再生骨材コンクリートが製造できた。

(2) 塩化物量

表-6、図-7に塩化物量測定結果を示す。測定は表-6に試験結果を示す調合において実施した。比較用普通骨材コンクリート(調合1)と同一水セメント比の再生粗骨材コンクリートはほぼ同等の塩化物量を示した。各骨材種類の調合とも、セメント量の増加にともない塩化物量は増加しているが、その増加傾向については再生粗骨材の品質水準の違いによる大きな差異はみられない。この実験からは、再生粗骨材の品質水準の違いによるフレッシュコンクリート中の塩化物量の相違は認められなかった。

(3) ブリーディング

表-7にブリーディング試験の測定結果を示す。測定は各骨材種類のW/C55%調合において実施した。普通骨材と再生粗骨材 OBM-8, OBM-9 とはほぼ同様のブリーディング量を示した。一方、原コン骨材コンクリートについては、普通骨材コンクリート OBM-8,9 より多い。

今回の実験では再生粗骨材が乾燥していたため、表面水率による練混ぜ水の補正を行った。そのため一時的にモルタル部に含まれる水量が増加し、ブリーディング量の測定結果に影響したと推察される。

(4) 凝結

表-7に凝結試験の測定結果を示す。測定は各骨材種

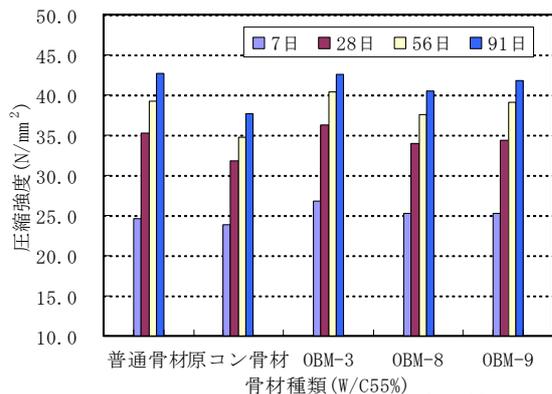


図-8 骨材種類別圧縮強度比較

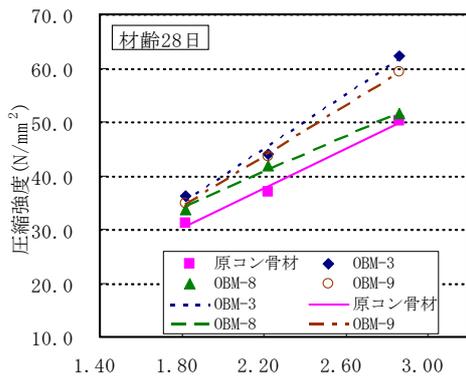


図-9 骨材別のセメント水比と圧縮強度

類の W/C55% 調合において実施した。始発および終結とも普通骨材とほぼ同様の結果であり、再生骨材の品質の違いによる大きな相違はみられなかった。

5.3 硬化コンクリートの品質試験結果

(1) 圧縮強度試験結果

W/C55%の調合の各材齢における圧縮強度結果を図-8に示す。原コン骨材を用いた場合に各材齢の圧縮強度が全体的に低くなった。他の再生粗骨材および普通骨材を用いた場合のコンクリートはほぼ同等の圧縮強度を示した。また材齢 28 日における圧縮強度とセメント水比の関係を図-9 に示す。セメント水比が大きくなると圧縮強度が高くなるほど、再生粗骨材間の強度ばらつきが大きくなっている。

(2) 引張強度試験結果

W/C55%の調合の各材齢における引張割裂強度結果を図-10に示す。付着モルタル量の最も多い原コン骨材を用いた場合が最も低くなった。一方、他の再生粗骨材の場合、普通骨材と概ね同程度である。普通骨材の場合、長期材齢ほど安定して強度が高くなるのに対し、再生粗骨材の場合、材齢に対し強度が逆転するなど強度がばらつく結果となった。

(3) 静弾性係数測定結果

W/C55%調合の各材齢における静弾性係数の測定結果を図-11に示す。原コン骨材を用いた場合、材齢 7 日以

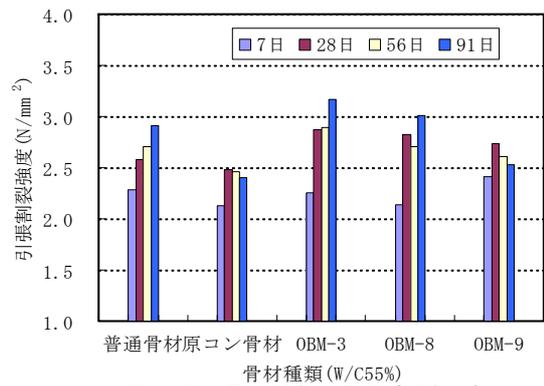


図-10 骨材種類別引張割裂強度

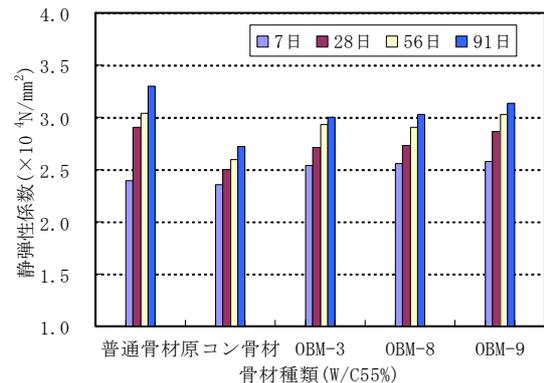


図-11 骨材種類別弾性係数比較

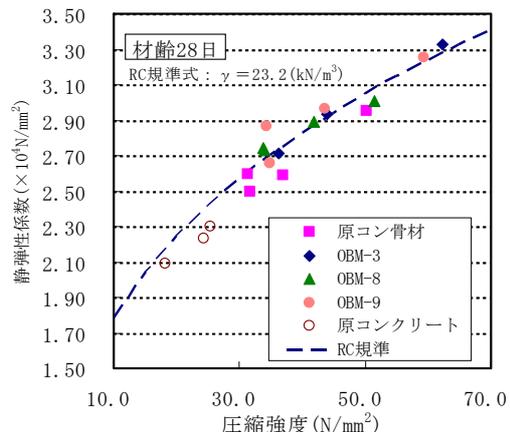


図-12 骨材種類別静弾性係数比較

降の伸びが小さく全体的に低い。他の再生粗骨材を用いた場合、骨材の品質にかかわらずほぼ同程度であるが、普通骨材を用いた場合より小さくなった。W/C55%調合の材齢 28 日の測定結果を原コンクリートの測定結果を含めて、既往の RC 規準式⁵⁾と比較したものを図-12に示す。概ね RC 規準式で評価できるものと思われる。

(4) 再生粗骨材密度と強度性状

材齢 28 日における粗骨材のモルタル付着率とコンクリートの圧縮強度および静弾性係数の関係を図-13 および図-14 に示す。再生粗骨材のモルタル付着率が大きくなるほど、圧縮強度および静弾性係数とも小さくなっている。また W/C が小さくコンクリートの強度が高くなるほど、同程度のモルタル付着率の再生粗骨材 (OBM-3,8) において、圧縮強度および静弾性係数のばら

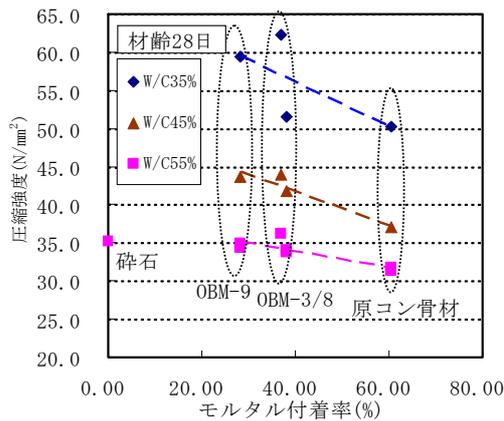


図-13 モルタル付着率と圧縮強度

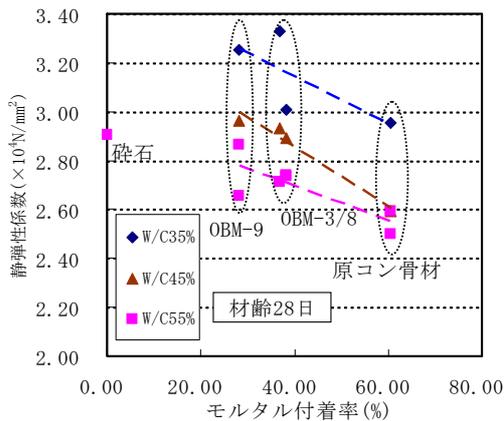


図-14 モルタル付着率と静弾性係数

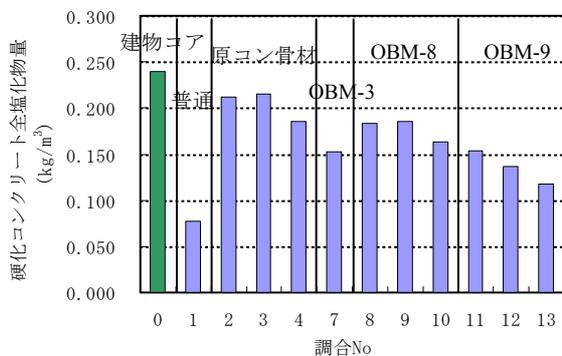


図-15 硬化コンクリート全塩化物量

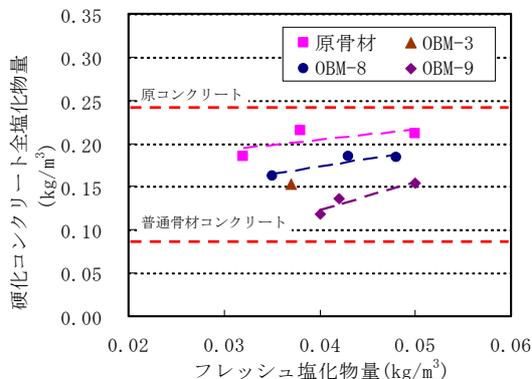


図-16 フレッシュと硬化コンの塩化物量

つきが大きくなっている。

(5) 硬化コンクリートの全塩化物量の測定結果

解体建物コアおよび硬化コンクリートの結果を図-

15 に示す。再生粗骨材が高品質になるほど、硬化コンクリートに含まれる全塩化物イオン量は小さくなる傾向を示している。また再生骨材コンクリートのフレッシュコンクリート塩化物量と硬化コンクリート全塩化物量の関係を図-16 に示す。再生骨材コンクリート全調査とも、硬化コンクリート全塩化物量は原コンクリートの全塩化物量以下であった。また骨材品質ごとにフレッシュ塩化物量と硬化コンクリート全塩分量の間にはそれぞれ高い相関がある。

6. まとめ

建物の解体コンクリート塊から低品質な再生粗骨材を製造し、再生粗骨材および再生粗骨材コンクリートの品質、性能について実験を行った。その結果以下のことが判った。

- (1) 付着モルタル率と再生骨材の絶乾密度、吸水率および硬化コンクリートに含まれる全塩化物量には高い相関が見られた。
- (2) 再生骨材コンクリートの圧縮強度、引張割裂強度は、モルタル付着率が非常に大きい再生粗骨材の場合に低下したが、再生粗骨材の品質がある程度確保されれば普通骨材とほぼ同等となった。
- (3) 再生骨材コンクリートの静弾性係数は、普通骨材を用いた場合に比べ低下傾向がみられた。モルタル付着率が非常に大きい再生粗骨材の場合、大きな低下がみられた。
- (4) 再生骨材コンクリートに含まれる全塩化物量は、原コンクリートに含まれる全塩化物量以下であり、再生骨材が高品質になるほど小さくなる。
- (5) 再生粗骨材コンクリートの静弾性係数は、概ね既往の RC 規準式によって評価できる。

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) 野口貴文：建築物への再生骨材・副産物起源骨材の利用に際しての環境評価, コンクリート工学, Vol.46, No.5, pp119-122
- 3) 岸谷孝一：鉄筋コンクリートの耐久性, 鹿島出版会, 1963.2
- 4) 上西隆ほか：再生骨材コンクリートの実用化に関する研究 その 2. フレッシュコンクリートの性状とコンクリート中の塩化物量, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp635-636, 2006.9
- 5) 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