

論文 再生骨材の簡易コンクリートへの適用性

鯉江 利夫*¹・吉兼 亨*²・中島 佳郎*³・木村 隆之*⁴

要旨: コンクリート塊の破砕材を、余剰分を発生させることなく、その全量をコンクリート用骨材として再利用を図るため、破砕材の全量を再生粗骨材及び再生細骨材として用いた再生コンクリートのフレッシュ及び硬化時における、骨材の種類、コンクリートの配合、セメント種類が、ワーカビリティ、ブリーディング、圧縮強度、静弾性係数、長さ変化率などに与える影響を調べた。

キーワード: 再生コンクリート、再生骨材、高炉セメント、フライアッシュ、スラッジ

1. はじめに

構造物の解体や生コンクリート工場の残コン、戻りコンの固形化により発生するコンクリート塊は、建設における指定副産物のうちでもアスファルトコンクリート塊と並んで再利用が進んでいる。しかし、現状では再生材として利用されているものの、その用途の大半は道路用路盤材または埋め戻し材に用いられているに過ぎないことから、今後更に用途の拡大を図る必要がある。その用途として一般にコンクリート用再生骨材が考えられるが、良質な再生粗骨材を生産するほど逆に、用途が大幅に限定される再生細骨材、更に用途の見通しのついていない粉体が合わせて70%以上も発生するため[1]、コンクリート破砕材全量を再生コンクリート用骨材として利用することは困難である。

そこで、本研究では、実際の建設現場から発生したコンクリート塊を破砕した全量で、余剰分を発生させないよう、再生粗骨材及び細骨材として用いた場合の、フレッシュコンクリート及び硬化コンクリートの物性を調べ、簡易コンクリートとしての適応性の検討を行った。

2. 再生骨材の品質

本研究に用いた再生骨材の原料は、推定材齢20年、コア供試体の圧縮強度36N/mm²のコンクリート塊を、生産能力200 l/時間のリサイクルプラントにおいて、ジョークラッシャーでの1次破砕、インパクトクラッシャーによる2次破砕工程を経て、再生粗骨材(20~5 mm)、再生細骨材(5~0 mm)として製造した。その際の微粒分は各々、粗、細骨材に含まれる。

再生骨材の品質試験結果を表-1及び

表-1 骨材品質試験結果

項目	再生骨材		普通骨材		
	粗骨材	細骨材	粗骨材	細骨材	
比重	絶乾	2.32	2.09	2.63	2.52
	表乾	2.46	2.29	2.65	2.57
吸水率 (%)	5.94	9.37	0.67	2.14	
単位容積質量	1.36	1.41	1.56	1.64	
実積率 (%)	58.6	67.5	59.1	64.9	
粒径判定実積率 (%)	59.1	57.6	61.0	-	
洗い試験 (%)	1.5	6.9	0.28	1.6	
安定性試験 (%)	17.5	28.5	1.6	3.1	
すりへり減量 (%)	26.9	-	10.1	-	
BS破砕値 (%)	23.1	-	9.4	-	
モルタル付着率 [†] (%)	42.9	28.8	-	-	

* 細骨材はベースト付着率

*1 大有建設(株)中央研究所所長(正会員)

*2 大有建設(株)代表取締役副社長、工博(正会員)

*3 大有建設(株)中央研究所(正会員)

*4 大有建設(株)中央研究所

図-1に示し、比較用の普通骨材(粗骨材：碎石2005、細骨材：川砂)の試験結果も併記した。

表-1及び図-1の結果では、建設省の「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準(案)」と比較すると、再生粗骨材が3種、再生細骨材が5～2.5mmが多いため標準粒度範囲から外れている以外は、2種に適合した。

なお、再生骨材の製造時における20～0mmの粒度(以下、破碎粒度という)の中に占める細骨材(5mm以下)の割合は42.0vol%であった。

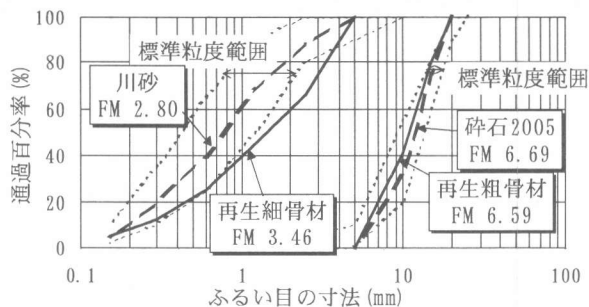


図-1 骨材の粒度

3. 実験概要

3.1 実験の目的

再生骨材のコンクリートへの適応性を評価するため、骨材の種類別による配合、セメント種類、添加材の有効性などに関し、フレッシュコンクリート及び硬化コンクリートの物性を、表-2に示す試験項目により検討した。

表-2 試験項目

項目		方法	備考
フレッシュ コンクリート	スランプ	JIS A 1101	目標値±1.5cm
	空気量	JIS A 1128	4.5±1.5%
	ブリーディング*	JIS A 1123	
硬化 コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108	標準水中・室内気中
	静弾性係数	コンプレックスメータ	(20℃)材齢7・28日
	長さ変化率	JIS A 1129	標準水中7日養生後 20℃室内気中

3.2 使用材料

使用セメントは普通セメント(以下、NCという)と高炉セメントB種(以下、BBという)の2種類とし、混和剤はAE減水剤とAE助剤を用いた。また、混和材として表-3に示すフライアッシュと生コンスラッジを使用した。なお、再生骨材の使用に際しては十分プレウェッチングを行った。

表-3 混和材の物性

種類	比重	比表面積 (cm^2/g)
フライアッシュ	2.29	3940
生コンスラッジ	2.29	15290

3.3 コンクリートの配合

コンクリート配合は、水セメント比(W/C)65%を基本とし、目標スランプは12及び18cmとした。また、骨材の種類別による配合区分は下記のように分類した。

- ①普通骨材配合……………比較用として普通骨材を用いた配合
- ②再生破碎粒度配合……再生骨材の全量を利用するため破碎粒度のままの骨材を用いた配合
- ③再生標準配合……………再生骨材のみを使用して、ワーカブルな範囲で単位水量が最小になる細骨材率(以下、適正s/aという)に調整した配合
- ④普通細骨材補足配合…再生破碎粒度から適正s/aまでの細骨材率(s/a)調整において、細骨材の不足分を普通細骨材を用い補足した配合
- ⑤混和材混入配合……………再生標準配合に混和材を細骨材と置換え混入した配合

但し、混和材混入配合は単位水量を再生標準配合と同一に固定し、ワーカビリティの変化を検討することとした。実験に供したコンクリート配合を表-4に示す。

表-4 コンクリートの配合

骨材の種類別による配合区分	セメント種類	スランプ ^o (cm)	W/C (%)	s/a (%)	水 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	混和材	
							種類	混入率
① 普通骨材	NC	12	75	50.0	172	231	-	-
			65	49.0		265		
			55	47.5		313		
	BB	18	75	51.0	245	-	-	
			65	50.0	282			
			55	48.5	333			
② 再生 破砕粒度	BB	12	65	42.0	185	285	-	-
		18	65	42.0	195	300	-	-
③ 再生 標準	NC	12	75	50.0	182	243	-	-
			65	49.0		280		
			55	47.5		331		
	BB	18	75	51.0	256	-	-	
			65	50.0	295			
			55	48.5	349			
④ 普通 細骨材 補足	BB	12	75	50.0	182	243	-	-
			65	49.0		280		
			55	47.5		331		
⑤ 混和材 混入	NC	12	65	49.0	182	280	フライアッシュ	C×5, 10, 15, 20%
	BB	12	65	49.0	182	280	生コンスラッシュ	C×3, 5, 10% (BBのみ)

4. フレッシュコンクリートの物性

4.1 ワーカビリティー

図-2は、予備試験として行った骨材の種類別による各配合の単位水量とスランプの関係である。これによると同一スランプにおける単位水量は、セメントの種類に拘わらず、再生骨材を使用した配合は、再生骨材に付着している原コンクリートのモルタル分の影響により、普通骨材配合より単位水量が約 10kg/ m³ 増加することが認められた。また、再生標準配合は再生破砕粒度配合に比べ、s/a の調整により 3kg/m³ 単位水量が少なくなることも確認された。

次に、骨材の種類別による各配合のワーカビリティーを、スランプ状態の観察結果として図-3に示す。この結果より、再生骨材は、s/a の調整、また普通細骨材の補足による粒度調整、混和材の混入などにより材料分離抵抗性が改善され、普通骨材配合と同程度までにワーカビリティーが改善されるものと判断された。

また混和材の有効性に関しては、図-4に示すようにフライアッシュを混入した場合は、分離抵抗性改善の上、セメントにNC使用の場合はスランプの増大傾向も確認され、フライアッシュはフ

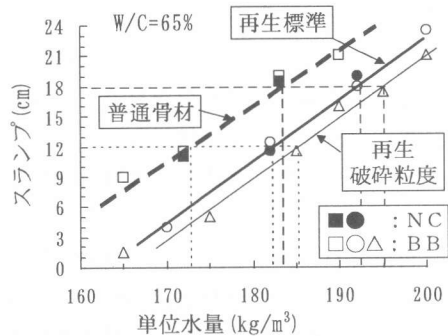


図-2 単位水量とスランプの関係

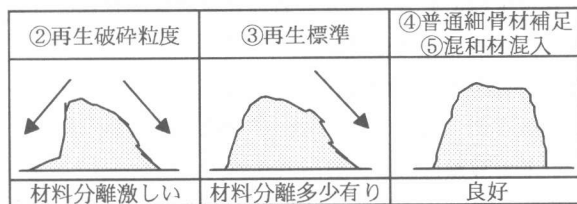


図-3 スランプの状態

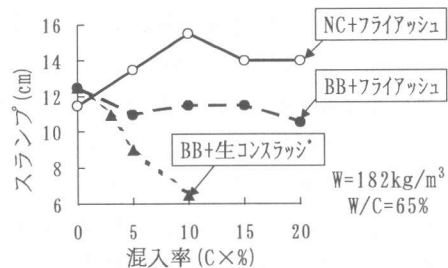


図-4 混和材混入率とスランプ

レッシュコンクリートの物性改善に有効な材料と判断される。一方、生コンスラッジは分離抵抗性の改善は認められるものの、混入率の増加に従いスラッジ低下が大きくなる結果となった。

4.2 プリーディング

プリーディング試験の結果を図-5に示す。BB使用のコンクリートはNC使用の40%程度であり、骨材の種類による配合別で比較すると、再生破碎粒度配合は材料分離が激しいためやや大きな値を示したが、再生標準配合とフライアッシュ混入配合は普通骨材に比べ約50%に減少した。これは再生骨材中の微粒分による保水効果が影響したためと思われる。

5. 硬化コンクリートの物性

5.1 圧縮強度

図-6に示したように、セメント水比と圧縮強度の関係による回帰直線を見ると、再生骨材配合の回帰直線は普通骨材配合に比べ傾きが緩く、セメント水比の大きい高強度配合になるほど強度差が大きくなる傾向が認められた。これは、再生骨材には原コンクリートのモルタル分が付着しているため骨材強度が低く、その影響がセメント水比が大きくなるほど顕著に現れるためと思われる。一方、配合別に比較すると、BB再生標準配合とBB普通細骨材補足配合はほぼ同一直線上に位置しているが、このラインよりNC再生標準配合は低い強度値を示した。このように、再生コンクリートの圧縮強度はセメントの種類による影響が大きい。

次に、図-7に材齢7日と28日における圧縮強度を各養生・配合別に比較し示す。標準養生では材齢28日において、再生標準配合はセメントとしてNC、BB使用とも普通骨材配合より低い強度値を示したが、BB使用は若干その差は小さくなっている。これに対して、20℃気中養生においては、NC使用では普通骨材配合と再生標準配合は標準養生と同様に強度差を生じたが、BB使用では再生標準配合と普通骨材配合は材齢7、28日ともに同等の強度値を示した。

さらに、圧縮強度の全データを用い、同一条件の普通骨材配合と再生標準配合との圧縮強度の差を比較したものが図-8である。NC使用時にはほとんどの強度領域で再生標準配合は普通骨材配合に比べ低い値を示したのに対し、BB使用の場合は、再生骨材配合は約17 N/mm²を境にして低強度領域では同等以上の強度を有することが認められた。この点に関して、養生違いによる結果も含めて推測すると、BBと再生骨材中の成分が何らかの反応を起こしている可能性がある。

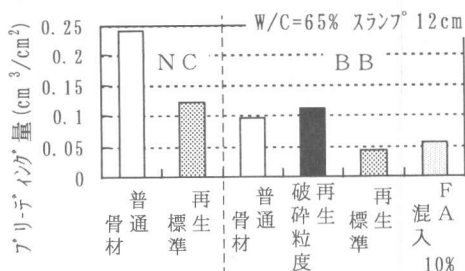


図-5 プリーディング量

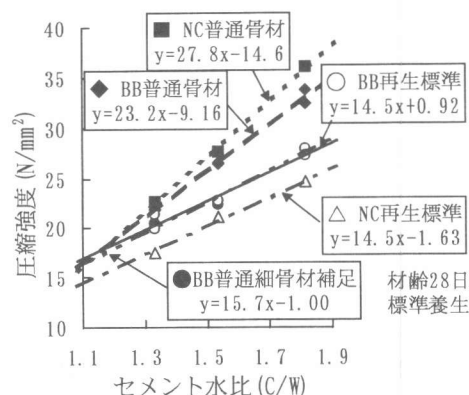


図-6 セメント水比と圧縮強度の関係

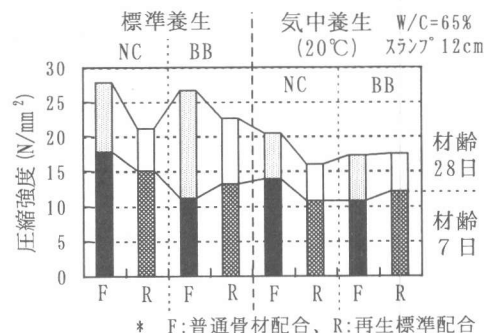


図-7 養生・配合別の圧縮強度

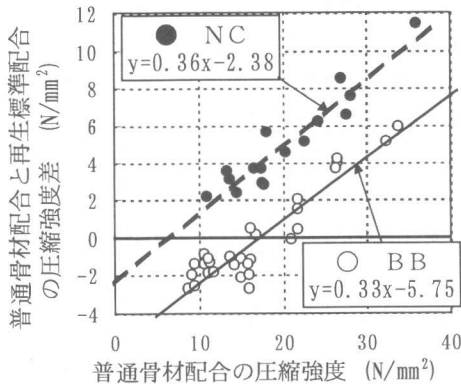


図-8 普通骨材配合と再生標準配合の強度差

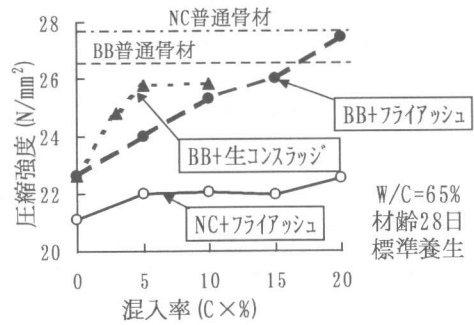


図-9 混和材混入率と圧縮強度

しかし、その反応による強度発現性は微弱であるため、気中養生時のような低強度領域では再生コンクリートの強度増進に貢献するが、高強度領域になると再生骨材の骨材強度が低い影響の方が優ってしまうと考えられる。この問題は今後解明に努める。

以上の結果より、高い強度を必要としない簡易コンクリートを対象とした場合、強度面からはBB使用の再生コンクリートは非常に有効なものと判断される。

混和材混入配合は図-9に示す様に、フライアッシュをBBに混入すると混入率に比例して強度は増進し、17%混入した場合で同一W/CのBB使用普通骨材配合と同等となるが、NCに混入した場合には強度増進傾向は見受けられるが、僅かな程度である。一方、生コンスラッジ混入は強度を増進するものの、5%混入以上は頭打ちとなった。

従って、混和材混入配合ではBBとフライアッシュの組み合わせが強度面では最も有効である。

5.2 静弾性係数

圧縮強度と静弾性係数の関係を図-10に示す。静弾性係数ではセメントの種類による相違は認められず、再生骨材配合の静弾性係数は普通骨材配合に比べ全強度領域において70%程度の値を示し、BB使用時の圧縮強度結果に見られた低強度領域における有効性は認められなかった。

5.3 長さ変化率

コンクリートの長さ変化率を図-11に示す。材齢56日経過時点において、骨材の種類による配合別で比較すると、再生標準配合は普通骨材配合よりNC・BBともに約 1.3×10^{-4} 大きく、且つその差は材齢とともに大きくなる傾向にある。これは再生骨材の吸水率が大きいことに起因している[2, 3]。一方、セメントの種類別で

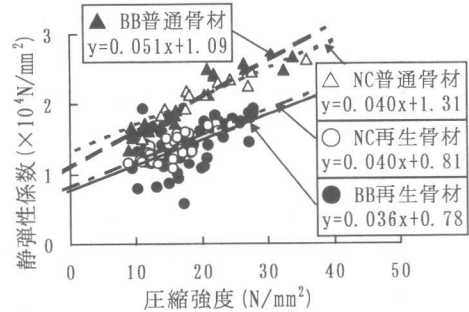


図-10 圧縮強度と静弾性係数

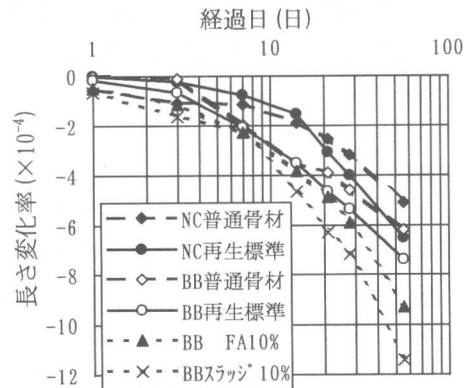


図-11 コンクリートの長さ変化率

比較するとBB使用配合はNC使用配合に比べ普通骨材配合・再生標準配合ともにおよそ 1.0×10^{-4} 収縮が大きくなり、収縮に関してはNC使用が有利である。

また、混和材混入配合（BB使用のみ）では、材齢56日経過時点でフライアッシュを10%混入したコンクリートはBB再生標準配合より 1.9×10^{-4} 収縮が大きく、生コンスラッジを10%混入した場合は 4.0×10^{-4} 大きくなった。このことより、混和材の混入はコンクリート中のペースト分を増加させ、収縮を助長する結果となった。

なお、コンクリートのひび割れ観察のために各配合とも $10 \times 10 \times 50$ cm供試体を作成し屋外暴露試験を実施しているが、再生骨材を使用した配合は収縮が大きかったにも拘わらず、作成8週後の現時点において、何れの供試体もひび割れ発生は確認されず、配合による有意差は認められていない。今後も、長さ変化率測定及び、ひび割れ観察は継続してその推移を確認していく。

6. 結論

今回の実験結果を基に、再生骨材のコンクリートへの適用性について以下に列記する。

- ①フレッシュコンクリート……再生粗骨材及び細骨材をコンクリート用骨材として使用する場合、細骨材率の調整、普通細骨材の補足、混和材の混入等の対策により、普通コンクリートと同程度のワーカビリティを得ることができる。また、再生コンクリートのブリーディングは普通コンクリートの50%程度である。
- ②強度特性……再生コンクリートは、W/Cが小さい高強度配合となるほど普通コンクリートに比べ強度低下する。しかし、高炉セメントB種使用の場合の低強度領域では普通コンクリートと同等の強度を得られることが判った。即ち、本研究における再生コンクリートでは高炉セメント（B種）の使用が有効な手段である。また、再生コンクリートの静弾性係数は、何れの強度領域においても普通コンクリートの約70%程度である。
- ④長さ変化率……再生骨材の吸水率が大きいため、再生コンクリートは普通コンクリートより乾燥による長さ変化率は大きい。長さ変化率の点からは普通セメントを使用した方がやや有利である。
- ⑤混和材の有効性……フライアッシュを混入したものはワーカビリティの改善や強度増進に効果があり、有効な混和材と考えられる。生コンスラッジは分離抵抗性は改善するが、混入率が3%を越えるとスランプ低下が大きくなり単位水量が増加する。また、フライアッシュ、生コンスラッジともに長さ変化率が大きく、検討課題として残った。

以上、余剰廃棄物を発生させないよう製造した再生粗骨材及び再生細骨材を用いたコンクリートは、高炉セメント（B種）の使用、補足材として若干の普通細骨材や、混和材としてフライアッシュを混入することで簡易コンクリートとして適用可能と判断される。

参考文献

- [1] 建設省土木研究所コンクリート研究室：土木研究所資料，再生骨材を用いたコンクリートの設計施工指針（案），汚泥スラグ骨材を用いたコンクリートの設計施工指針（案），1986.12
- [2] 藤井隆ほか：再生骨材のコンクリート実験，第7回生コン技術大会研究発表論文集，pp.75～80，1993
- [3] 難波篤志ほか：再生コンクリートの品質改善に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.2，pp.65～70，1995.6