

論文 ゼロエミッション志向コンクリート廃材のリサイクル

北爪 康弘*¹・秋田 宏*²・外門 正直*²

要旨: 低強度のコンクリートを簡易処理によって破砕し、生じた材料のすべてを使用した再生コンクリートの製造を行ない、この再生コンクリートの有効性について評価を試みた。

その結果、水セメント比を小さくすることによって強度や耐久性で十分に構造用コンクリートとして使用できる品質が得られた。また、フレッシュコンクリートの性質では、普通コンクリートに比べて流動性が増し、AE 剤の使用量が低減できた。ただし、減水剤を使用して単位水量を減少させたところ、流動性の増加がみられなかったことから、今後の研究で詳しく調べる必要がある。

キーワード: ゼロエミッション, 簡易処理, 流動化効果, 乾燥収縮, 凍結融解

1. まえがき

現在、コンクリート廃材の最終処分場を確保することは困難な状況にあり、また環境問題の見地からもその有効利用が望まれている。コンクリート廃材は、道路の路盤材や埋め戻し材などに利用されてきたが、今後さらに増え続ける発生量に対処するのは難しく、再生コンクリートとしての利用が期待されている。

再生コンクリートの普及を考える場合、再生骨材を製造する過程において、なるべく費用をかけずに低処理で行なうこと、さらに新たな廃棄物を出さないよう、生じた材料のすべてを使用することが重要である。また、このようなゼロエミッション志向による再生コンクリートが、構造用コンクリートなどの幅広い用途に使用できることが必要となる。

そこで、本研究は、低強度のレディミクストコンクリートを原コンクリートとして、簡易処理によって再生骨材を製造し、このようなゼロエミッション志向による再生コンクリートの製造をおこない、品質を調べることで、再生コンクリートの有効性について評価を試みようとするものである。

2. 再生骨材の製造及び品質

原コンクリートは、材齢 28 日圧縮強度 23.8N/mm² のレディミクストコンクリートを使用し、約一年間屋外に放置した後、手作業によって約 20cm 程度の大きさに砕き、大型ジョークラッシャー（破砕粒度約 30~50mm）によって破砕した。その後、20mm ふるいによってふるい分けを行ない、再び留まったものをジョークラッシャー（破砕粒度約 20~25mm）により破砕した。なお、製作した再生骨材は、20~5mm のものを粗骨材、5mm 以下を細骨材とした。再生骨材の製造工程を図-1 に示す。

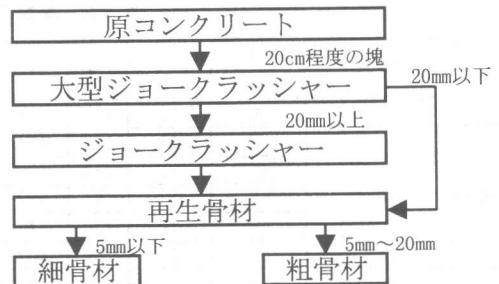


図-1 再生骨材の製造工程

* 1 東北工業大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (正会員)

* 2 東北工業大学教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

図-2に製造した再生骨材の粒度分布を示す。再生粗骨材の発生量は、全体の約66.8%であり、再生細骨材の発生量は、約33.2%であった。また、再生細骨材の約5.4%が0.15mm以下の微粉であった。

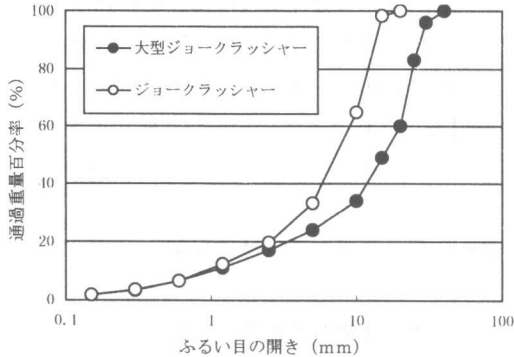


図-2 再生骨材の粒度分布

表-1に製造した再生骨材の物理的性質を示す。再生骨材は、比重が小さく、吸水率が非常に大きなものとなった。これは、破碎の程度が低いために、付着したモルタルが多いことが原因であると考えられるが、これを改善するためには、多額の費用がかかり、再生細骨材や微粉が大量にできることが予想される。そのため、このような低処理の骨材を使用することが重要である。

表-1 骨材の物理的性質

骨材の種類		比重	吸水率 (%)
原骨材	川砂	2.52	3.20
	碎石	2.57	1.89
普通骨材	山砂	2.56	2.82
	碎石	2.53	2.56
再生骨材	細骨材	2.11	15.67
	粗骨材	2.22	7.83

3. 実験概要

3.1 使用材料

原コンクリートおよび製造したコンクリートの使用材料を表-2に示す。

表-2 使用材料

原コンクリート	川砂+碎石(原骨材)
	普通ポルトランドセメント
	AE剤
普通コンクリート	山砂+碎石(普通骨材)
	普通ポルトランドセメント
	AE剤, 減水剤
再生コンクリート	再生細骨材+再生粗骨材
	普通ポルトランドセメント
	AE剤, 減水剤
高流動コンクリート	細骨材(山砂, 川砂) 5:5で使用 +再生粗骨材
	低熱ポルトランドセメント
	高性能減水剤, 空気運行動剤

3.2 配合

コンクリートの配合およびフレッシュ性状を表-3に示す。比較用の普通コンクリートと再

表-3 コンクリートの配合表

種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						スランプ (cm)	空気量 (%)
			W	C	S	G	AE剤	減水剤		
原コンクリート	60	44	172	287	773	987	2.870	—	11.0	7.0
普通コンクリート	35	36	159	454	597	1048	0.136	4.540	8.0	4.6
	40	37	162	405	625	1052	0.113	4.050	9.0	4.4
	45	40	161	358	692	1026	0.079	3.580	10.0	4.5
	50	37	170	340	654	1054	0.068	—	12.0	3.0
	60	40	180	300	691	1025	0.060	—	11.5	3.2
再生コンクリート	35	39	160	457	531	874	0.085	5.027	4.5	3.8
	40	39	160	400	548	898	0.070	4.000	6.5	3.9
	45	42	165	367	593	861	0.059	3.670	8.5	4.5
	50	37	170	340	539	908	0.068	—	16.0	6.8
	60	40	180	300	570	883	0.060	—	18.0	7.8
再生高流動	40	55	185	463	802	614	0.013	6.945	27.0	6.5

* 再生高流動コンクリート: スランプフロー値 700×640mm, フロー時間 4.8秒

生コンクリートは、強度および耐久性の違いを調べるため、スランプ値と空気量が同程度になるように配合した。ただし、再生コンクリートの水セメント比 35%のものは、減水剤の量を増加させてもスランプ値の大幅な増加がみられなかったことから、スランプ値は小さくなっている。なお、水セメント比 50%、60%のものについては、フレッシュ性状の違いについて検討するため、絶対体積が等しくなるように配合し、混和剤の使用量についても同じにしている。また、再生高流動コンクリートは、高流動コンクリートの規格を満足するように配合を試みた。

3.3 試験項目および試験方法

試験項目を表-4に示す。圧縮強度試験および引張強度試験は、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱供試体を作製し、材齢 7, 14, 28, 91 日について実施した。また、材齢 28 日の供試体の質量から、コンクリートの単位容積質量を求めた。なお、含水率は、材齢 1 日から材齢 28 日まで 27 日間吸水させた供試体の乾燥質量と 110℃の乾燥炉で 24 時間乾燥させた供試体の乾燥質量によって測定したものであり、絶対質量に対する値である。静弾性係数試験は、材齢 28 日において実施し、静弾性係数とポアソン比を求めた。

表-4 試験項目

試験項目		試験方法
骨材	ふるい分け	JIS A 1102
	比重・吸水率	JIS A 1109
		JIS A 1110
フレッシュ	空気量	JIS A 1128
	スランプ	JIS A 1116
	スランプフロー	JSCE-F503
硬化	圧縮強度	JIS A 1108
	引張強度	JIS A 1113
	静弾性係数	JSCE-G502
	乾燥収縮	JIS A 1129
	凍結融解	JSCE-G501

乾燥収縮試験については、 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱供試体を作製し、材齢 14 日後に実施した。なお、再生高流動コンクリートについては屋内に放置し、普通コンクリートと再生コンクリートについては、温度 20℃・湿度 60%の恒温室において測定した。凍結融解試験については、 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱供試体を作製し、材齢 14 日後に水中凍結水中融解によって実施した。

4. 試験結果および考察

4.1 コンクリートのフレッシュ性状

水セメント比 50%、60%の再生コンクリートでは、比較用の普通コンクリートと絶対体積が等しくなるようにし、使用した AE 剤の量も同量になるように配合した結果、流動性が増し、空気量の増加もみられた。

また、水セメント比を小さくし、減水剤を使用して、再生コンクリートの製造を試みた結果、普通コンクリートよりも AE 剤の使用量を減らしても、同程度の空気量が得られることが確認できたが、流動性に増加の傾向はみられなかった。流動性が増し、AE 剤の使用量が低減できることは、単位セメント量を減らさなければ、水セメント比を小さくすることが可能であること、さらに経済性の面から有利であることから、詳しく調べる必要がある。また、再生高流動コンクリートの実現を考えるうえでも有意義であり、今後の研究課題である。

今回の実験では、簡易処理によって再生骨材を製造することを目的としたため、再生細骨材の発生量が少なかった。その影響で、再生コンクリートを作製する際、細骨材率を小さく設定することになった。しかし、フレッシュコンクリートの性状を改善するためには、再生細骨材を増加させる必要があり、破碎方法を改善する必要がある。ただし、高度処理によって再生骨材を製造する過程において、大量の再生細骨材や微粉が余ることが考えられるため、これらの使用を考えながらバランスのとれた破碎方法を考える必要がある。

4.2 圧縮強度試験および引張強度試験

圧縮強度試験および引張強度試験の試験結果を図-3～図-6に示す。図-3は、材齢と圧縮強度との関係を示している。再生コンクリートにも材齢が経過するにつれて圧縮強度の増加がみられるが、普通コンクリートに比べるとその増加量は小さい。また、水セメント比が小さくなるほど、その傾向が顕著に現れている。水セメント比が同じ場合では、普通コンクリートに比べ再生コンクリートの圧縮強度は小さく、普通コンクリートの材齢 28 日圧縮強度と同等にするためには、水セメント比を約 5%小さくする必要があることがわかる。しかし、水セメント比 35%の再生コンクリートでは、水セメント比 40%の普通コンクリートの材齢 28 日圧縮強度と同程度にはならず、圧縮強度が頭打

ちになる傾向がある。図-4は、セメント水比と材齢 28 日圧縮強度との関係を示している。セメント水比が大きくなるに連れて圧縮強度の増加がみられるが、その増加幅は普通コンクリートに比べて小さい。

図-5は、材齢と引張強度との関係を示している。再生コンクリートの引張強度も、材齢の経過とともに増加しているが、圧縮強度と同様に強度増加は小さい。ただし、再生高流動コンクリートについては、長期材齢で減少が認められている。これは、測定誤差である可能性も考えられ、今後さらに調べる必要がある。また、圧縮強度と同じように水セメント比を約 5%小さくすることによって、材齢 28 日において同等の引張強度を得られた。図-6は、セメント水比と材齢 28 日引張強度との関係を示し

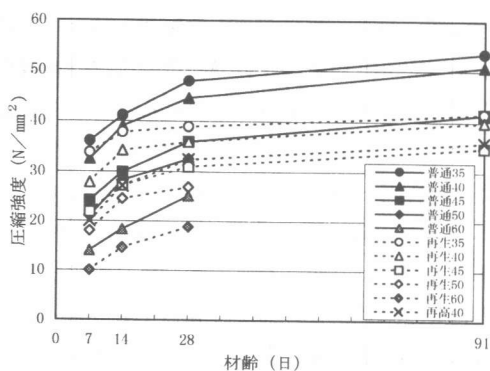


図-3 材齢と圧縮強度の関係

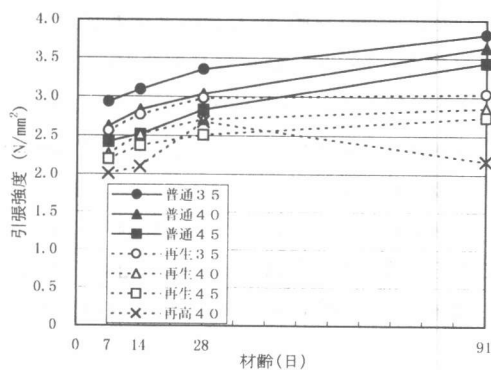


図-5 材齢と引張強度との関係

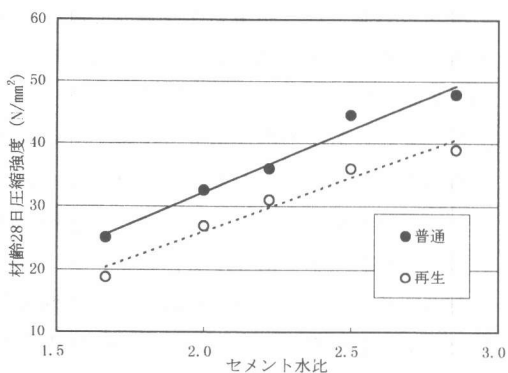


図-4 セメント水比と圧縮強度の関係

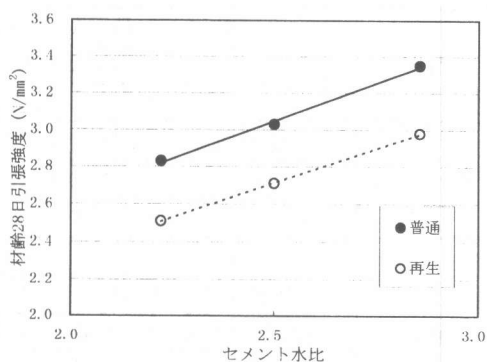


図-6 セメント水比と引張強度の関係

ており、圧縮強度と同様に増加傾向を示していることがわかる。

表-5にコンクリートの単位容積質量および含水率を示す。再生コンクリートは、単位容積質量が小さく、含水率は大きいものとなっている。これは、再生骨材の比重が小さく、吸水率が大きいためである。

表-5 単位容積質量及び含水率

種類	W/C	単位容積質量 (t/m ³)	含水率 (%)
普通	40	2.282	3.1
	45	2.234	3.2
再生	35	2.094	5.0
	40	2.065	7.3
	45	2.083	9.5
再生高流動	40	2.048	10.3

4.3 静弾性係数およびポアソン比

静弾性係数試験の結果を表-6に示す。再生コンクリートは、普通コンクリートに比べて静弾性係数が小さくなり、ポアソン比はほとんど変わらない値となった。

表-6 静弾性係数及びポアソン比

種類	W/C	静弾性係数 ($\times 10^4 \text{N/mm}^2$)	ポアソン比
普通	35	3.31	0.181
	40	3.24	0.183
	45	2.94	0.169
再生	35	2.35	0.181
	40	2.13	0.189
	45	1.91	0.181
再生高流動	40	1.96	0.167

4.4 凍結融解試験

図-7及び図-8に凍結融解試験の試験結果を示す。水セメント比50%, 60%のものは、普通コンクリートより再生コンクリートの方が相対動弾性係数・質量減少率とも良好な結果が得られた。これは、空気量の差が大きく影響しているものと考えられる。つまり、配合でAE剤の使用量を同じにしているが、再生骨材を使用した場合には、コンクリートに含まれるエントレインドエアが増加し、その結果良好な耐凍害性を示しているといえる。また、その他の再生コンクリートについても普通コンクリートと大きな違いはなく、良好な耐久性を示している。再生高流動コンクリートについては、相対動弾性係数は大きな低下がみられなかったもののスケーリングが大きくなった。

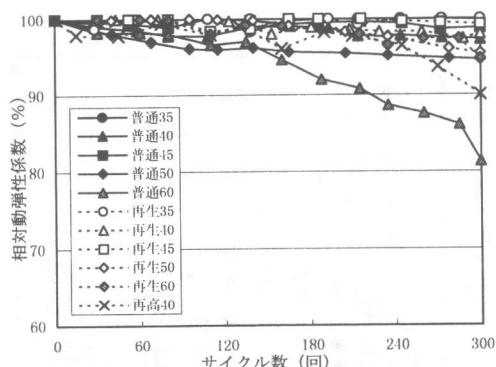


図-7 相対動弾性係数

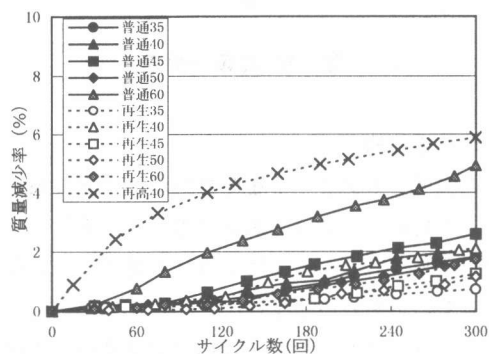


図-8 質量減少率

4.5 乾燥収縮試験

図-9および図-10に乾燥収縮試験の試験結果を示す。乾燥収縮ひずみ，質量減少率ともに再生コンクリートのほうが，普通コンクリートにくらべて大きいものとなった。

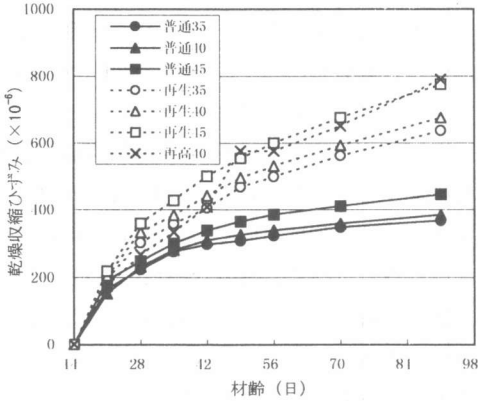


図-9 乾燥収縮

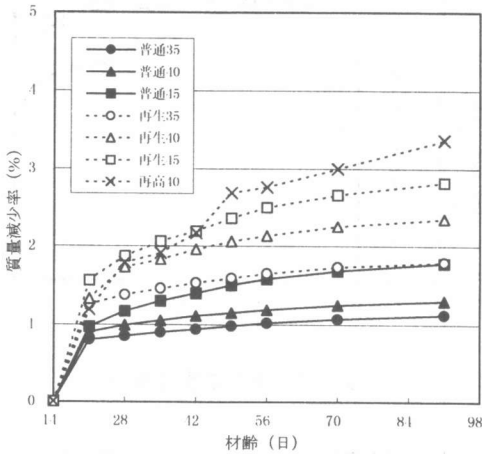


図-10 質量減少率

5. まとめ

低強度コンクリートを簡易処理によって破砕し，ゼロエミッション志向の再生コンクリートを製造して，その有効性について調べたところ，次のことが明らかとなった。

1) 再生コンクリートは，普通コンクリートに比べて流動性が増し，空気量が増す傾向がみられた。しかし，減水剤を使用して単位水量を

減少させた結果，流動性の増加がみられなかった。これは，減水剤が良好に作用しないことが考えられ，今後の研究課題である。

- 2) 再生骨材を使用しても，水セメント比を小さくすることによって実用可能な強度が得られる。
- 3) 再生コンクリートの静弾性係数は，普通コンクリートにくらべて小さくなるが，ポアソン比に大きな違いはみられない。
- 4) 凍害に対する耐久性については，再生骨材を使用しても大きな問題を生じない。ただし，再生高流動コンクリートではスケーリングが問題となり，改善が必要である。
- 5) 乾燥収縮ひずみは，普通コンクリートに比べて大きくなる。

以上のことから，低品質の再生骨材を使用した再生コンクリートでも，強度や耐凍害性の点では実用に供し得るコンクリートが得られた。

参考文献

- 1) 田中順・福手勤・濱田秀則・堂園昭人：微粒分を含む再生骨材を使用したコンクリートの強度特性，土木学会第51回年次学術講演会，pp.184-185，1997.8
- 2) 戸堀悦雄・細田高明・嵩英雄：再生細骨材を用いた流動化コンクリートの流動化効果，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，pp.1105-1100，1998.7
- 3) 吉兼亨・中島佳郎・木村隆之：再生コンクリートの物性および施工等について，「コンクリートと資源の有効利用」コンクリート技術シリーズNo.29，pp.119-126，1998.11
- 4) 小嶋三男・志賀野吉雄・北爪康弘・秋田宏・外門正直：ゼロエミッションを志向したコンクリート廃材の再利用について，「コンクリートと資源の有効利用」コンクリート技術シリーズNo.29，pp.1-4，1998.11
- 5) 新井暢・中村成春・榊田佳寛・安部道彦：再生細骨材コンクリートの強度及び変形性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.1，pp.1081-1086，1997.7