

コンクリートの再利用に関する基礎研究

笹田 達也*, 小野 博宣**, 田澤 生匡***

The Fundamental Study of Concrete Recycle Use

Tatsuya SASADA*, Hironobu ONO** and Ikumasa TAZAWA***

(Received June 15, 2001)

From the effective utilization of natural resources and zero emission of industrial wastes, recycled use of concrete wastes are desirable. In the first, we examined the crushed method of concrete wastes by comparing Jaw crusher for coarse aggregate, Blawn shatter for fine aggregates and hand hammer crushed.

Then this experimental program was carried out to investigate the effects of recycled aggregate qualities on fresh concrete properties (slump, flow, bleeding and setting times) by using three separate kinds of materials (coarse aggregates, fine aggregates and rebirth powder).

Keywords : recycled aggregate, rebirth powder, Bleeding test

1. 1 はじめに

建設廃材の再利用として、木材、コンクリート、鋼材、アスファルトなどが主に使われている。RC 構造物の廃棄コンクリート塊を再利用することが資源の有効利用、廃棄物ゼロエミッションの点からも望ましいと考えられる。しかし、コンクリート用骨材として再利用する場合、粒度分布や粒形が悪くそのまま利用するとコンクリートの品質が低下する問題点がある。

1. 2 研究目的

本研究は、再生骨材を粗骨材・細骨材・微粉末の3通りに分け、まず、再生骨材の品質性状を明らかにし、普通骨材と比較検討し、フレッシュコンクリートの流動性・材料分離、

さらに硬化後の強度をそれぞれ実験した結果を述べたものである。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

セメントは比重 3.15 の普通ポルトランドセメント(C)を用い、また、普通骨材は、比重 2.56 の木曽川産川砂 (S) と比重 2.60, 吸水率 0.82%, 粗粒率 7.26% の木曽川産砂利 (G) を用いた。混和材には、比重 2.20 のフライアッシュ (FA) を用い、セメントと微粉末を混合したものを結合材 (B) と呼ぶことにした。混和剤には、オキシカルボン酸塩系の AE 減水剤 (AE.WR) を用いた。使用した再生骨材を表 1 に示す。φ 10×20cm 供試体の強度を 37N/mm²以下, 38N/mm²

* 建設工学専攻大学院生 (Graduate Student, Constructional Engineering)

** 建築学科 (Department of Architecture)

*** 豊田総建(株) (Tyodasoken Corporation)

～49N/mm², 50～60N/mm²の3種類にわけて行った。コンクリート矢板は、伊勢湾台風時に復旧のため使用したものを再生骨材として採取し、築30年は、C社工場を解体した時にでた40cmのコンクリート塊を採取したものである。粗骨材の破碎方法は、手で壊したもの(以下:Hand法)とジョークラッシャーで破碎したもの(以下:JYO法)を用いて行った。使用した再生細骨材は、1次破碎としてJYOにかけ、2時破碎として横型ブラウン粉砕機(以下:BL)にかけたものを用いた。また、微粉末は、JYO、ロサンゼルスすりへり試験機(以下:LOS法)、Handを用いて破碎した。

表1 使用材料

骨材名	記号	種類	破碎方法	元の強度	材齢
粗骨材 [5mm以上]	RG1	φ10×20cm供試体	Hand JYO	37N/mm ² 以下	20年
	RG2	φ10×20cm供試体	Hand JYO	38N/mm ² ～49N/mm ²	20年
	RG3	φ10×20cm供試体	Hand JYO	50N/mm ² ～60N/mm ²	20年
	RG4	コンクリート矢板	Hand	60N/mm ²	43年
	RG5	C社工場	JYO	24N/mm ²	30年
細骨材 [5mm未満]	RS1	φ10×20cm供試体	BL	37N/mm ² 以下	20年
	RS2	φ10×20cm供試体	BL	38N/mm ² ～49N/mm ²	20年
	RS3	φ10×20cm供試体	BL	50N/mm ² ～60N/mm ²	20年
微粉末 [0.6mm未満]	F1	φ10×20cm供試体	JYO	60N/mm ² 以下	20年
	F2	φ10×20cm供試体	LOS	60N/mm ² 以下	20年
	F3	コンクリート矢板	Hand	60N/mm ²	43年
	F4	C社工場	JYO	24N/mm ²	30年

2.2 調査表

表2と表3の調査は、川砂・川砂利を用い、これを基準にW/Cを一定にし、再生骨材の比重を用いて行った。コンクリート調査は、スランブを18±1cm、空気量を4.0±1.0%とし、再生粗骨材を100%置換したものを用いた。細骨材の調査は、普通細骨材で、W/C=55%とAE.WRを使用したW/C=41%のモルタル調査を用い、Flow=250mm・Air=3.0±1.0%とした。また、微粉末においては、W/C=41%のモルタル調査を用い、セメントに対して内割で20%、40%、外割で20%置換した。それぞれ重量比C:W:S=1.0:0.55, 0.41:1.9と一定のもとで行った。

表2 コンクリート調査表

Sl (cm)	Air (%)	W/C (%)	unit weight(kg/m ³)				unit volume(l/m ³)				AE.WR	AE助剤
			C	W	S	G	C	W	S	G		
18	4	41	470	193	658	940	149	193	257	361	C×1.6%	C×0.011%

表3 モルタル調査表

Flow (mm)	Air (%)	W/C (%)	unit weight (kg/m³)			unit volume (l/m³)			AE.WR C×2.0%
			C	W	S	C	W	S	
250	3	41	658	271	1248	208	271	480	
250	1	55	614	338	614	195	338	457	

2.3 骨材の破碎試験方法

粗骨材・細骨材の破碎試験(B.S.812-1951に準ずる)破碎試験では、粗骨材(13.2～9.5mm)を1分間に4tずつ、

最大40tまで負荷圧力をかけ2.36mmにとどまるものを測定した。

細骨材(4.25～2.00mm)も同様の試験を行い、1分間に1tずつ、最大10tまで負荷圧力をかけ0.6mmにとどまるものを測定した。

2.4 供試体の脱水試験方法

加圧ブリーディング試験方法(JSCE-F502に準ずる)加圧ブリーディング試験方法(以下、加圧法)では、容器(型枠寸法:φ125×150mm)を万能圧縮試験機に設置し容器内試料上面の圧力が42kN(3.42N/mm²)となるように10分間加圧した。加圧中に底部から抽出されるブリーディング水の水量と時間の関係を記録した。

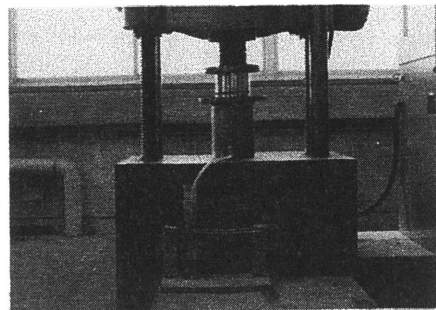


写真3 加圧ブリーディング試験方法(加圧法)

3. 実験結果および考察

3.1 再生粗骨材の性状

表4 再生粗骨材の比重と吸水率

	比重				吸水率	
	絶乾比重		表		(%)	
	Hand	JYO	Hand	JYO	Hand	JYO
RG1	2.47	2.25	2.53	2.38	2.22	5.95
RG2	2.47	2.3	2.53	2.42	2.22	5.12
RG3	2.33	2.25	2.43	2.38	4.6	5.93
RG4	2.33	—	2.42	—	3.88	—
RG5	—	2.2	—	2.34	—	6.44

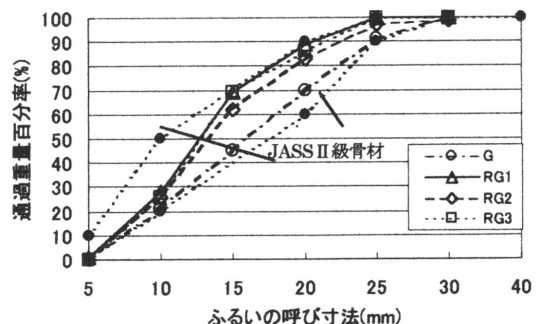


図1 再生粗骨材のふるいわけ試験

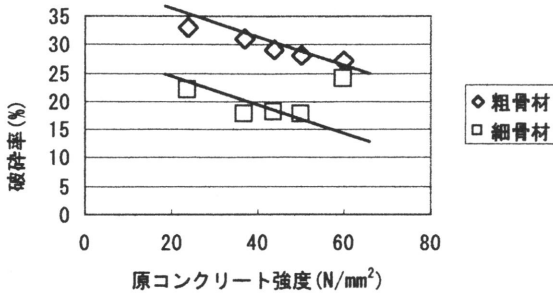


図2 骨材の破碎試験

表4に比重、吸水率の結果を示す。再生粗骨材のHand法とJYO法を比較するとJYO法の吸水率が高いことが判明した。Hand法は、砂利と付着モルタルをハンマーで分けていたが、JYO法は、コンクリート塊が残留してしまったためだと考えられる。

図1は、JYO法で破碎した再生粗骨材をふるい分け、JASS 5Ⅱ級骨材の規格内にとどまるかを示す。その結果、規格内にとどまり、JYO法で破碎したため通常の砂利より粒度が小さくなった。また、RG1, RG2, RG3, RG4, RG5とも強度に関係なく同等の粒度となった。

図2は、骨材の破碎試験を示す。通常使用する川砂利と再生粗骨材を破碎し、骨材の強度を調査した。結果、川砂利に比べ再生骨材の方が弱く、破碎時強度が高いものほど骨材自体の強度は、高いものと判明した。また、細骨材の破碎試験結果は、粗骨材同様に、破碎時強度が高いものほど骨材自体の強度は、高いものと判明した。

5mm以上の再生粗骨材を100%置換したものと川砂利を用いて、フレッシュ性状試験を行った。再生粗骨材は、供試体強度別に3種類、矢板、築30年を用いた。骨材の状態は、気乾状態と24時間吸水させた湿潤状態の骨材を使用した。

図3は、再生骨材のHand法とJYO法の気乾状態・湿潤状態の関係を示した。川砂利の気乾状態と湿潤状態のスランブは、あまり差はでなかったが、再生骨材の気乾状態と湿潤状態の関係は、大きく差が生じた。また、JYO法は、コンクリート塊が残ってしまうため気乾状態のスランブが、5cmほどとまったくでなかった。湿潤状態にしたものは、付着モルタルに水分を吸水されないため川砂利とあまり差は生じなかった。Hand法の最終抽出水分量(加圧法によるブリーディング率)は、気乾状態と湿潤状態の関係が安定した結果となった。しかし、JYO法は、粗骨材と同じ粒度のコンクリート塊に水分を吸われブリーディング水があまり湧出しなかった。そのため、気乾状態と湿潤状態の関係は、良い結果を得ることはできなかった。

図4の調査は、C+W+S+GとC+W+S+RG2(湿潤状態・

Hand法)を用いて行い、傾胴ミキサーで1時間練り混ぜ、スランブがどれだけ落ちるかを示した。それぞれ測定開始10分後は、ロスが大きく目立ったが、その後は、ゆっくりとスランブが落ちていった。川砂利と比較して再生骨材は、付着モルタルに水分が吸われてスランブはわずかながら小さかった。

図5は、湿潤状態の再生粗骨材を使用したコンクリートの7日間と28日間の強度を示した。その結果より、再生骨材に付着したモルタルにも圧縮強度に影響があることが判明した。また、気乾状態の再生粗骨材は、流動性が一定でなかったため、強度がばらついた値となった。

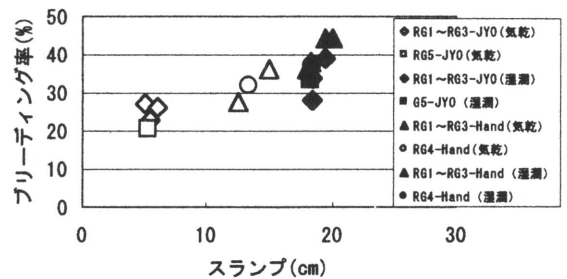


図3 粗骨材のブリーディング・スランブ試験

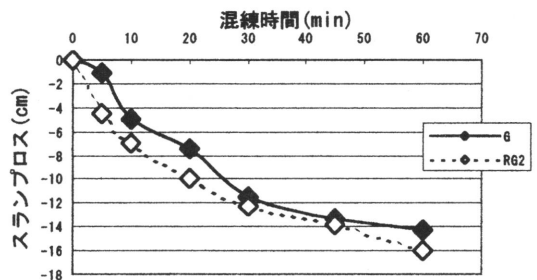


図4 測定時間とスランブの関係

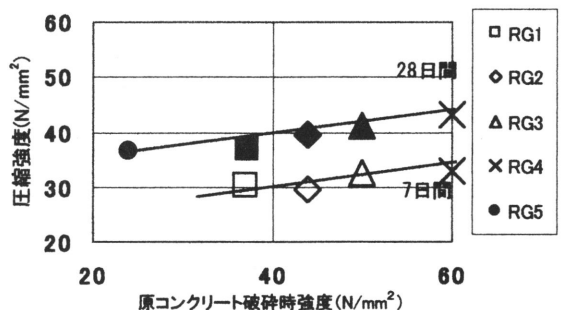


図5 再生粗骨材の圧縮強度

3. 2 再生細骨材の性状

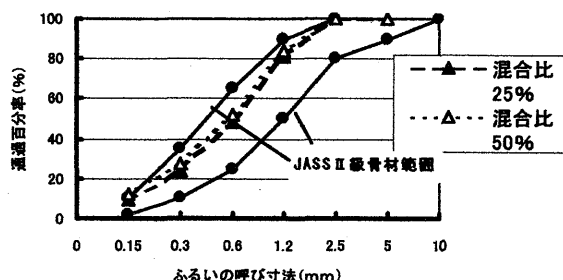


図6 細骨材のふるいわけ試験

表5 再生細骨材の骨材性状

	混合比	比重		吸水率	粗粒率	実積率
	(%)	絶対比重	表乾比重	(%)	(%)	(%)
RS1	25	2.44	2.51	1.88	2.44	66.4
	50	2.25	2.37	5.24	2.27	70.9
	100	2.2	2.49	10.65		
RS2	25	2.44	2.52	2.74	2.43	65.8
	50	2.25	2.4	5.58	2.46	69.7
	100	1.99	2.24	11.19		
RS3	25	2.39	2.48	4.19	2.57	68.6
	50	2.26	2.41	5.52	2.48	68.9
	100	1.99	2.24	10.62		

再生細骨材を100%使用することは、困難なため川砂と混合して用いた。本研究では、混合したものを混合砂と呼ぶことにした。混合比率は、普通細骨材：再生細骨材=7.5:2.5 (以下:25%)、5.0:5.0 (以下:50%) のものを用いた。再生細骨材の骨材試験の結果を表5に示す。混合比が増加するにつれ、吸水率が高く、比重が軽くなった。図6は、再生細骨材のふるいわけ試験の結果を示す。ブラウン粉砕機にかけることにより、混合比25%、50%ともにふるいわけ試験においてJASS II級骨材にとどまる骨材にすることができた。骨材の破碎試験の結果より(B.S.812-1951)において、再生骨材の破碎率は、原コンクリート強度にあまり左右されなかった。

表6 再生細骨材のフレッシュ性状

	混合比 (%)	FLOW (mm)	空気量 (%)	単位容積質量 (g/cm ³)	加圧法 (%)
		(%)	(%)	(%)	(%)
S	0	250	3	2.13	41.8
RS1	25	152	6.2	2.25	25.9
	50	123	9	2.09	21.6
	100				
RS2	25	151	7.8	2.08	29.5
	50	125	5.1	2.10	21.8
	100				
RS3	25	151	5.1	2.11	28.1
	50	128	4.5	2.10	20.1
	100				
S	0	250	1	2.12	47.6
RS1	25	232	2.8	2.06	42
	50	220	5.8	1.98	40.3
	100				
RS2	25	246	3.5	2.06	40.3
	50	205	4.3	2.00	37.8
	100				
RS3	25	224	2.2	2.07	40.5
	50	213	3	2.02	39.9
	100				

川砂・再生細骨材を用いた W/C=41%、55%のフレッシュモルタル性状の結果を表6に示す。ブリーディング試験においては、加圧ブリーディング試験方法(以下加圧法)を行った。川砂と比較し、W/C=41,55%ともに混入量増加に伴い、低下する傾向が見られた。また、AE減水剤を使用したW/C=41%においては、再生細骨材を使用することにより、フレッシュ性状が急激に低下していることが判明した。これは、混和剤が反応しなかったためだと考えられる。また、W/C=55%は、単位水量が多いため、W/C=41%より低下することはなかった。また、原コンクリート強度別に比較してみるとRS1,RS2,RS3とも大きな差異は生じなかった。

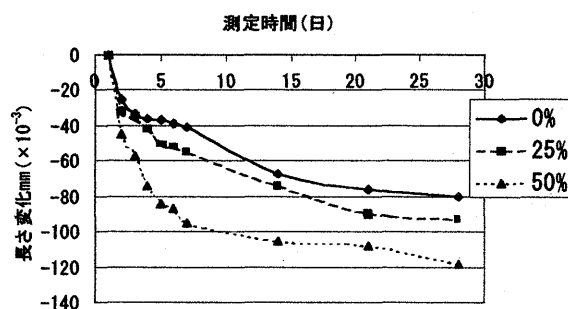


図7 再生細骨材利用モルタルの乾燥収縮

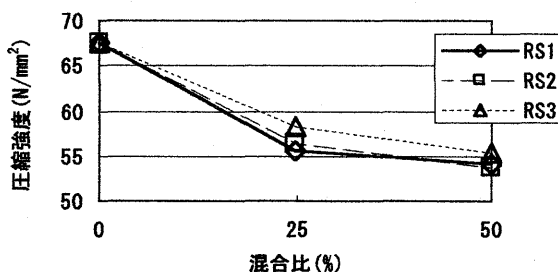


図8 モルタル強度と再生骨材混合比

図7は、コンタクトゲージにより乾燥収縮を測定した結果を示す。W/C=55%で再生細骨材として、RS3を用い、測定日は、28日まで測定を行った。結果、再生細骨材の混入量増加に伴い、収縮が大きくなった。これは、再生細骨材に付着したモルタルに影響があると考えられる。

図8は、W/C=55%における28日間圧縮強度と混合比の関係を示す。混入比が高くなるにつれて圧縮強度が減少する傾向が見られた。混合比0%と比べ再生細骨材を混入することにより、混合比25%で約15%、混合比50%で約20%減少する結果となった。また、圧縮強度を原コンクリート強度別に見てみると、RS3が最も高く、RS1が最も低い結果

となった。W/C=41%の圧縮強度においては、骨材に水分を吸われ、強度が高くなり、あまりよい結果を得ることができなかった。

3. 3 微粉末の性状

0.6mm 未満の微粉末を使用し、混和材のフライアッシュ (FA) と比較した。微粉末は、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 供試体を JYO 法にかけ、ふるい分けしたものとモルタル供試体を LOS 法にかけたもの、また、矢板は、Hand 法、築 30 年は、JYO 法にかけ破碎した。

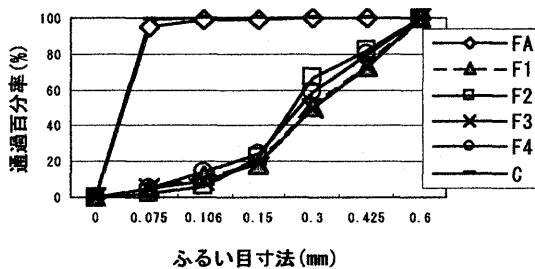


図9 微粉末のふるい分け試験

図10は、単位容積質量と空気量の関係を示した。やはり、粒度が小さいものほど空気量が少なく、密に詰まっていることがわかった。また、LOS 法にかけた F2 は、JYO 法にかけたものと比較して粒度が小さいため、密に詰まっていることが判明した。置換率 0%の空気量が 3%に対し FA は、それほど変わらなかったが F1 の置換率 40%は、空気量 13%と大きく違いが生じた。

図11は、加圧法による最終抽出水分量（ブリーディング量）とフローの関係を示す。置換率 0%のモルタルは、高い流動性と抽出水分量となった。それに対し、置換率が高くなるに従いフローとブリーディングが低くなった。また、FA の置換率 20, 40%は、あまり大差ないが、JYO 法にかけた微粉末においては、20, 40%の違いが明白なものになった。LOS 法にかけた F2 は、粒の形状が丸いため流動性においては、違いが出なかった。

再生コンクリートに微粉末を混入することにより、凝結速度に差が生ずるかセメントペーストレベルでの凝結試験を行いその結果を図12に示す。標準軟度を得るために必要な水量を表7に示す。置換率 0%と比較した場合、FA が多く F1・F2 は少なくなった。これは、FA は微粉末より粒度が小さかったためと考えられる。凝結速度は、微粉末の混入量が増加するにしたがって、終結時間共、約 20%遅延することがわかった。

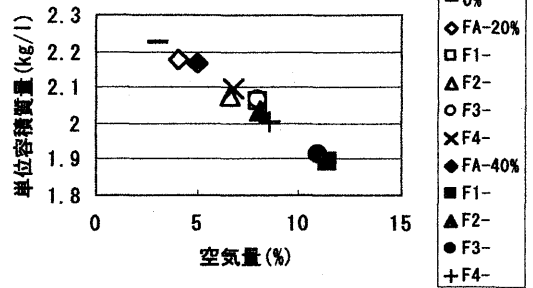


図10 単位容積質量と空気量の関係

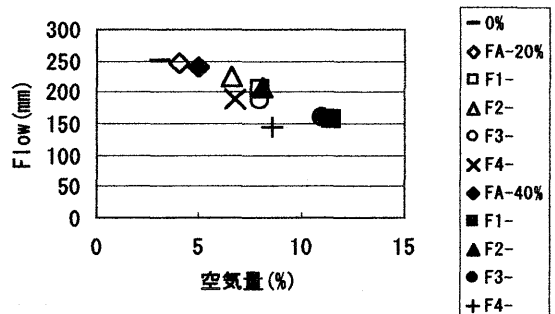


図11 ブリーディングとフローの関係

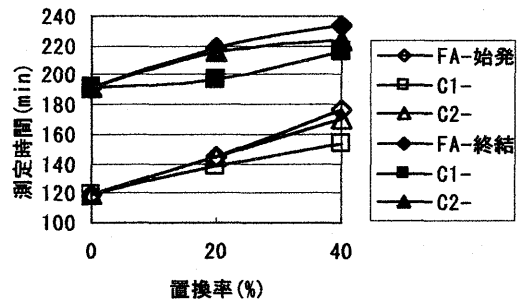


図12 混入量変化による凝結試験

表7 標準軟度 (6mm) を得るのに必要な水量

	置換率 (%)	水量 (ml)
FA	0	124
	20	130
	40	131
F1	20	119
	40	115
F2	20	114
	40	109

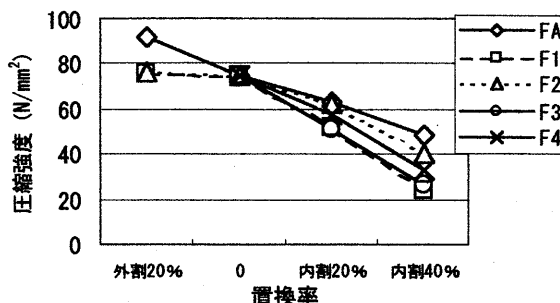


図13 モルタル強度と微粉末混入比

図13は、置換率0%を基準にFAとの比較、破碎方法の差異を調査した結果を示す。FAの強度においては、あまり置換率に影響を及ぼさなかったが、JYOにかけた微粉末は、置換率増加に伴い強度が大幅に減少した。

4. まとめ

本研究の得られた結果を以下にまとめる。

- 1) コンクリートの破碎方法 (Hand 法・JOY 法) により、作製した再生骨材の吸水性は、普通骨材に比べ大きくなった。LOS 法より得られた微粉末は、JOY 法で作製した場合に比べ、異なった流動性・脱水量となった。
- 2) 再生細骨材のモルタルでは、骨材に付着したモルタルのため流動性が、自由水吸着により低下した。脱水量も同様に低下した。
- 3) 原コンクリートの強度が再生モルタル強度に比例するものの、その強度比は50%程度にとどまった。
- 4) 廃棄原コンクリートの破碎時強度・骨材強度が高いもの程、再生コンクリート強度は、大きくなった。

5. 謝 辞

本研究は、平成11年度文部省科学研究費補助金(基盤研究C課題番号11650599:研究代表者中部大学教授小野博宣)、によった。また一部は中部大学先端技術研究センターと中部大学特別研究費(小野博宣)の補助支援を受けたものである。

本研究の推進にあたり多大なご協力とご指導をいただきました、豊田総建開発室浅井氏に、また、本研究の推進にあたり本学4年生岩田紘典、河合里美、木下大輔、則武保匡の諸氏の支援を受けました。以上記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 友澤、野口:「コンクリートの完全リサイクル化と骨材対策」コンクリート工学 Vol.34,NO7,1996.7
- 2) 河野:「再生骨材ー建設省の取り組みー」コンクリート工学 Vol.34,NO7,1996.7
- 3) 加賀谷:「低品質再生粗骨材およびこれを用いたコンクリートの基礎性状」第24回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集 pp95~100, 1997
- 4) 長瀬、佐伯:「再生粗骨材を用いたコンクリートの諸特性」セメント技術講演要旨 52, pp400~401, 1998
- 6) 江本、大和:「各種コンクリートから製造された再生骨材品質」セメント技術講演要旨 52, pp410~411, 1998
- 7) 大即、原:「再生骨材を使用したコンクリートの界面性状とコンクリート特性の評価」セメント技術講演要旨 53, pp422~423, 1999