

論文 熱処理およびすりもみ法による再生骨材の品質に及ぼす粗骨材岩種の違いおよび熱処理の影響

李 保群^{*1}・水口 裕之^{*2}・上田 隆雄^{*3}

要旨：本研究は廃棄コンクリートから高品質の再生骨材を製造するため、熱処理およびすりもみ法を採用し、廃棄コンクリートの強度を変え、再生骨材の強度と安定性への原粗骨材の岩種および熱処理温度の影響について検討したものである。また、原骨材の熱処理による影響も調べた。その結果、再生粗骨材の強度と安定性には熱処理温度および原粗骨材の岩種が大きく影響するが、再生細骨材の強度と安定性にはこれらの要因の影響はあまり大きくなかった。しかも、500 以下で熱処理すれば原骨材の強度や安定性を損なうことなく、高品質再生粗骨材を製造できる。

キーワード：廃棄コンクリート，再生骨材，原骨材，熱処理，すりもみ

1. はじめに

現在、日本では廃棄物処分場の不足や温暖化などの地球環境問題を引き起こした「大量生産、大量消費、大量廃棄」型の生産・消費システムを変革し、環境への負荷の少ない「循環型社会」を形成することに取り組んでいる。

廃棄コンクリートを膨大な未利用資源として利用するのは、「循環型社会」の構築にとっては大変重要な意味を持っている。

現在、廃棄コンクリートは大部分路盤材として利用されているのが現状であり、コンクリート用骨材の不足という問題もあり、コンクリート用骨材への開発は急務となっている。このため、あまり多くの処理をしない利用法と高度処理による利用法に関するさまざまな研究が行われている^{1,2)}。特に、近年高品質骨材の製造技術としての加熱すりもみ法に関する研究^{3,4)}が行われている。筆者らは廃棄コンクリートに使用されている粗骨材の種類、強度などと最適な熱処理温度との関係について検討した⁴⁾。しか

し、この結果は再生粗骨材の絶乾密度、吸水率、単位容積質量、実積率および粗粒率などの物理指標と再生粗骨材の回収率によるもののみであり、強度、耐久性などの品質については検討していない。また、熱処理が原骨材の強度と耐久性に悪影響を与えるか否かも懸念される。

そこで、本研究では熱処理およびすりもみ法による高品質再生骨材の強度と安定性に及ぼす熱処理温度、廃棄コンクリートの粗骨材の種類、強度の違いの影響を検討した。また、熱処理が原骨材の強度と安定性に及ぼす影響も検討した。

2. 実験概要

2.1 実験要因とその水準

実験要因およびその組み合わせは表 - 1 に示すものとした。

2.2 再生骨材の製造フロー

図 - 1 に本研究の再生骨材製造フローを示す。

2.3 コンクリート廃材(原コンクリート)の作製

*1 徳島大学大学院 工学研究科 生産開発工学専攻 (正会員)

*2 徳島大学教授 工学部建設工学科 工博 (正会員)

*3 徳島大学助教授 工学部建設工学科 工博 (正会員)

既報⁴⁾と同様に、原コンクリートとしては150×300mmの円柱を作製した。なお、記号は、粗骨材が川砂利で、圧縮強度が30N/mm²、45N/mm²、60N/mm²の原コンクリートをそれぞれ「RA-30」、「RA-45」、「RA-60」とし、粗骨材が砂岩碎石で、圧縮強度が30N/mm²の原コンクリートを「SA-30」とし、粗骨材が石灰岩碎石で、圧縮強度が30N/mm²の原コンクリートを「LA-30」とした。

2.4 再生骨材の製造

再生骨材の製造方法は、既報⁴⁾と同様に、所定の材齢になった原コンクリートを万能試験機で約75×300mmに分割、電気炉で250・5時間あるいは500・2.5時間で熱処理、万能試験機で約30mm以下に破碎した。破碎した試料はロサンゼルス試験機で1回20kgを30分間ですりもみした。すりもみした試料は5mmのふるいでふるいわけ、ふるいに留まったものを再生粗骨材とし、通ったものを0.15mmのふるいでふるい、このふるいに留まったものを再生細骨材とした。

2.5 原骨材の熱処理

原骨材の品質への熱処理の影響を調べるため、次の実験を行った。まず、原粗骨材、原細骨材を水道水で洗浄し、室内に室温で2週間以上静置した。次に、品質測定用の試料としては、無(常温)処理の場合では、気乾状態で用い、熱処理する場合は、気乾状態の原骨材を電気炉に入れ、250で5時間あるいは500で2.5時間の熱処理したものを作製した。

2.6 試験項目と試験方法

試験項目としては、再生粗・細骨材および原粗・細骨材の破碎値および安定性とした。

骨材の破碎値はBS 812に基づいて試験したが、試料の粒径については、モルタル付着量が粒径によって異なるので、全面的に破碎を評価するため、全粒径を用いた。所用のふるいについては、粗骨材の場合は2.5mmふるいを、細骨材の場合は0.6mmふるいをを用いた。骨材の安定性はJIS A 1122-1989に基づいて実施した。

表 - 1 実験要因とその水準

原コンクリートの粗骨材の種類	熱処理温度 ()	原コンクリートの強度 (N/mm ²)	材齢 (日)
川砂利	無, 250, 500	30, 45, 60	91
砂岩碎石	無, 250, 500	30	91
石灰岩碎石	無, 250, 500	30	91

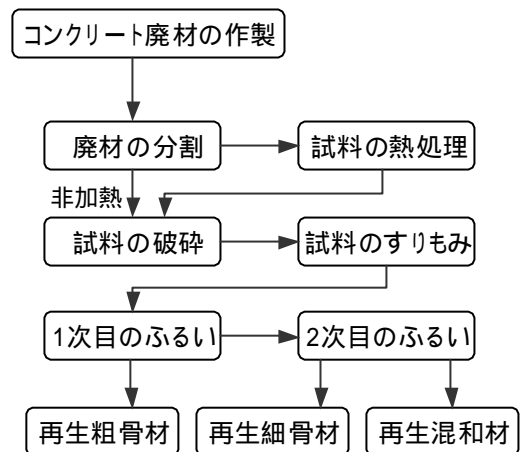


図 - 1 再生骨材の製造フロー

表 - 2 骨材の破碎値と安定性

試験項目	処理温度 ()	破碎値 (%)			安定性 (%)		
		無処理	250	500	無処理	250	500
原粗骨材	RA	12.3	10.5	11.6	7.6	8.6	6.0
	SA	13.2	11.5	13.6	20.3	12.5	9.6
	LA	21.6	21.4	23.3	3.6	1.2	8.5
原細骨材	RAS	6.8	5.9	5.4	3.5	4.5	2.3
再生粗骨材	RA-30	15.2	12.4	10.4	18.8	9.3	3.4
	RA-45	14.8	13.8	13.1	23.1		
	RA-60	14.8	14.8	13.8			
	SA-30	15.6	13.1	12.8	45.0	14.7	7.2
	LA-30	25.4	23.7	23.4	29.2	10.4	6.1
再生細骨材	RA-30	10.4	9.6	7.2	6.1	3.6	3.9
	RA-45	10.2	9.8	10.8	4.3	2.9	1.4
	RA-60	10.7	10.5	12.2	1.8	1.3	2.0
	SA-30	10.4	10.2	9.0	4.6	3.4	3.9
	LA-30	11.0	11.2	11.6	6.4	3.7	3.9
コンクリート標準示方書				粗骨材		細骨材	
				12		10	

3. 実験結果と考察

3.1 原骨材の強度と安定性

(1) 原骨材の強度

熱処理前後の原粗骨材と原細骨材の破砕値を表 - 2 および図 - 2 に示す。

図 - 2 によると、原粗骨材の破砕値は、川砂利、砂岩碎石とも 250 で処理した場合は熱処理しない時より小さく、500 で処理した場合は、250 の場合より大きくなっているが、熱処理しない場合とほぼ同じである。石灰岩碎石の破砕値は 250 で処理した場合が熱処理しない場合とほとんど同じであり、500 で処理した場合は、やや大きくなっているが、その差はほとんどない。原粗骨材の種類が異なる場合を比較すると、原粗骨材の破砕値は各処理温度とも（無処理を含む）川砂利、砂岩碎石、石灰岩碎石の順に大きくなっている。特に、石灰岩碎石の破砕値は砂岩碎石と川砂利より大きい。

原細骨材（川砂）の破砕値は図 - 2 に示されているように熱処理温度が高いほど小さくなっている。

すなわち、500 以下の範囲で熱処理すると、熱処理しても川砂利、砂岩碎石および石灰岩碎石の強度に悪影響はほとんど及ぼさず、逆に大きな破砕値となることもある。川砂の破砕値は熱処理によって若干小さくなっている。

(2) 原骨材の安定性

熱処理前後の原粗骨材と原細骨材の安定性を表 - 2 および図 - 3 に示す。

図 - 3 によると、砂岩碎石の損失量は、熱処理温度が高いほど小さくなっている。川砂利の損失量は 250 で処理した場合は熱処理しない時よりやや大きくなっているが、測定誤差程度と考えられる。500 で処理した場合は、熱処理しない場合と 250 の場合より小さくなっている。石灰岩碎石の損失量は 250 で処理した場合は無処理の場合より小さくなっているが、500 で処理した場合は、無処理の場合と 250 の場合より大きくなっている。原粗骨材の種類別に比較すると、原粗骨材の損失量は、無

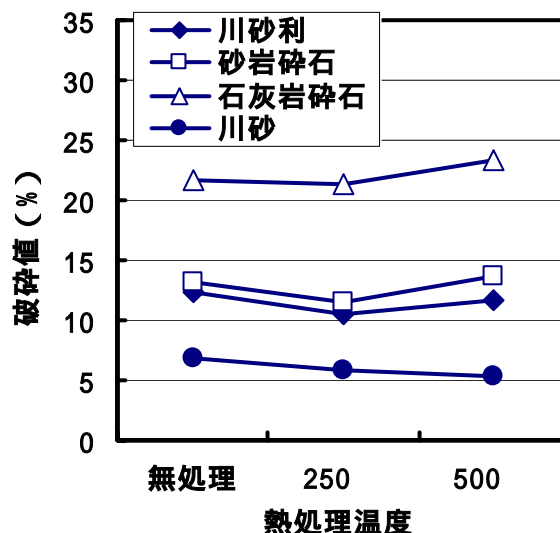


図 - 2 原骨材の破砕値

処理と 250 とともに砂岩碎石、川砂利、石灰岩碎石の順に小さくなっており、500 の場合では、石灰岩碎石のほうが大きくなり、砂岩碎石、石灰岩碎石、川砂利の順に小さくなっている。なお、原粗骨材の損失量は、コンクリート標準示方書の値より、砂岩碎石で無処理の場合に大きくなり、250 では同じ程度でその他の場合は、各処理温度ともすべて小さくなっている。

原細骨材（川砂）の損失量は 250 で処理した場合は熱処理しない場合より大きくなっているが、500 で処理した場合は、熱処理しない場合より小さくなっている。絶対値を見ると、

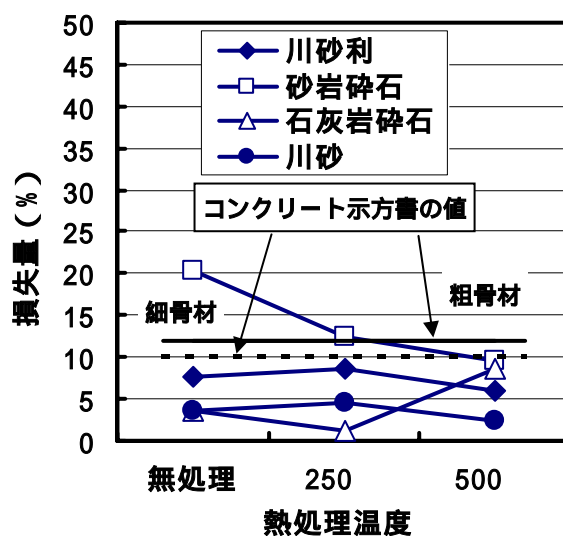


図 - 3 原骨材の安定性

大差はないと思われる。コンクリート標準示方書の値と比較すると、原細骨材の損失量はその値よりかなり小さくなっている。

すなわち、500 以下の範囲で熱処理すると、石灰岩碎石の 500 で処理する場合を除き、砂岩碎石、川砂利、石灰岩碎石、川砂の安定性は、熱処理が悪影響を及ぼさず、逆に安定性が良くなる場合もある。しかも、熱処理場合の各骨材（石灰岩碎石を含む）の安定性はほぼコンクリート示方書の値を満足している。

3.2 再生骨材の強度と安定性

(1) 再生骨材の強度

再生粗骨材の破砕値を表 - 2 および図 - 4 に、再生細骨材の破砕値を表 - 2 および図 - 5 に示す。

図 - 4 によれば、再生粗骨材の破砕値は原コンクリートの圧縮強度が 30N/mm^2 の場合では、熱処理すると熱処理しない（無処理）場合よりも原粗骨材の岩種が異なっても小さくなる傾向を示しており、原粗骨材が川砂利で処理温度が 500 の場合を除いて、原粗骨材そのものの破砕値とほぼ同じか大きくなっている。

原粗骨材として川砂利を用いて圧縮強度を変えた RA - 30 と RA - 45 および RA - 60 を比べると、熱処理した場合は原コンクリートの強度が大きいほど再生粗骨材の破砕値はやや大きくなっているが、その差はそれほど大きくない。原コンクリートの強度が大きい場合では、再生粗骨材の破砕値は熱処理する場合と熱処理しない場合がほぼ同じだと思われる。

原コンクリートの圧縮強度が同じで、原粗骨材の種類が異なる LA - 30 と SA - 30 および RA - 30 を比較すると、再生粗骨材の破砕値は各熱処理温度とも、RA - 30、SA - 30、LA - 30 の順に大きくなっている。特に、LA - 30 は他の二つより非常に大きくなっている。

以上から、熱処理が再生粗骨材の強度に影響を与えるが、その影響はそれほど大きくない。特に 250 では 500 に比べ影響はほとんどない。原コンクリートの強度の違いの影響は小さ

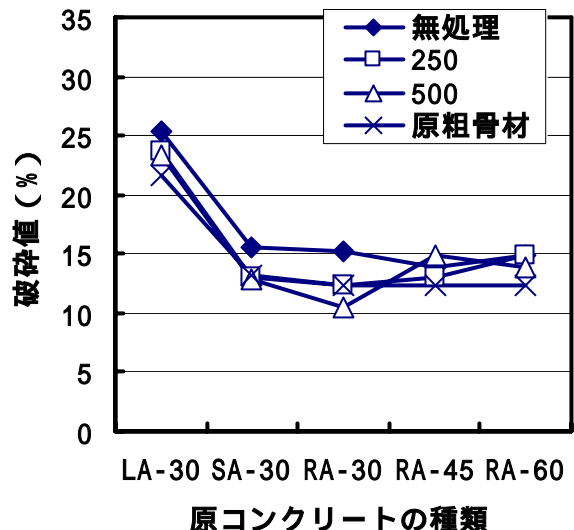


図 - 4 再生粗骨材の破砕値

く、原粗骨材の種類の違いによって破砕値は大きく異なっている。

図 - 5 によると、再生細骨材の破砕値は、無処理の場合と 250 の場合がほぼ同じであり、500 の場合では、無処理と 250 の場合と傾向が異なっている。これは再生細骨材の破砕値は原細骨材自身の強さ、原粗骨材からの破砕粒子量、ペースト付着量、ペーストの強さなどの要因と関係があるためと考えられる。今回製造した再生細骨材の破砕値は、全体的に見ればペースト付着量が多いので、原細骨材よりかなり大きく、全般的に原細骨材よりも弱くなっている。

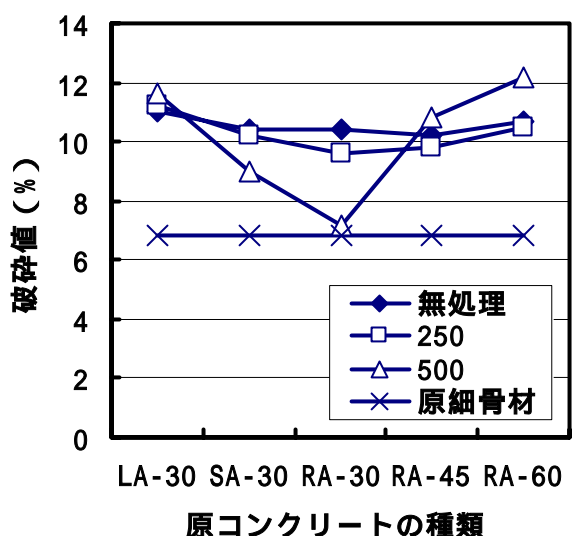


図 - 5 再生細骨材の破砕値

再生細骨材へのペースト付着量が少ない場合、例えば RA - 30 で 500 で熱処理した場合は、その破砕値は小さくなり、原細骨材に近くなっている。しかし、RA - 45 の場合では、500 で処理した場合の再生細骨材の付着ペーストが無処理と 250 の場合より小さくなっている⁴⁾が、熱処理したため付着ペーストが弱くなり、再生細骨材の破砕値は無処理と 250 の場合よりも大きくなったと考えられる。RA - 60 の場合では 500 で得られた再生細骨材の付着ペーストが 250 の場合とほぼ同じとなっている⁴⁾が、付着ペーストが弱いので、再生細骨材の破砕値は無処理と 250 の場合より大きくなったと考えられる。LA - 30 の場合では、原粗骨材（石灰岩碎石）からの破砕粒子が発生し、これが弱いいため、各処理温度とも再生細骨材の破砕値はほぼ同じになったという可能性が考えられるが、これについては今後更に検討する必要がある。

(2) 再生骨材の安定性

再生粗骨材の安定性を表 - 2 および図 - 6 に、再生細骨材の安定性を表 - 2 および図 - 7 に示す。なお、安定性の測定に一部誤りを生じたので、その部分のデータは表 - 2 から除いている。

図 - 6 によると、再生粗骨材の損失量は、原粗骨材の種類の違いにかかわらず、熱処理温度（無処理を含む）が高いほど小さくなっており、特に、熱処理した場合が熱処理しない場合より小さくなっている。原粗骨材の種類の違いの影響を見ると、再生粗骨材の損失量は、各処理温度（無処理を含む）とも、砂岩碎石が一番大きく、石灰岩碎石、川砂利の順に小さくなっている。しかし、250 の場合では、石灰岩碎石と川砂利、500 の場合では三者の間で、損失量には大差がない。原粗骨材（無処理の場合）の損失量と比較すると、LA - 30 からの再生粗骨材の損失量は RA - 30 とほぼ同じで、250 の場合では原粗骨材の損失量より大きくなり、500 の場合では原粗骨材の損失量とほぼ同じである。SA - 30 からの再生粗骨材の損失量は 250 の場合と 500 の場合いずれでも原粗骨材の損失量よ

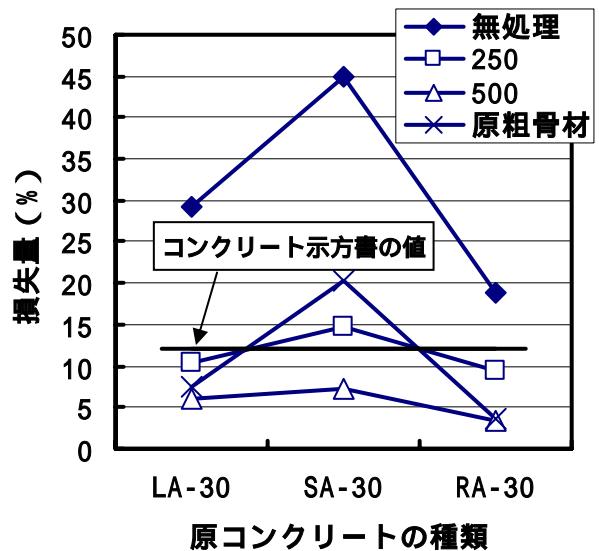


図 - 6 再生粗骨材の安定性

り小さくなっている。コンクリート標準示方書の値と比較すると、再生粗骨材の損失量は、無処理の場合および SA - 30 からの 250 の場合のほかは、コンクリート標準示方書の値より小さくなっている。

図 - 7 によると、再生細骨材の損失量は、全体的に見れば、熱処理した場合のほうが無処理の場合より小さくなっている。250 の場合と 500 の場合を比較すると、再生細骨材の損失量は、RA - 45 からのものが若干異なった傾向を示しているものの、ほかものはほとんど同じ値となっている。

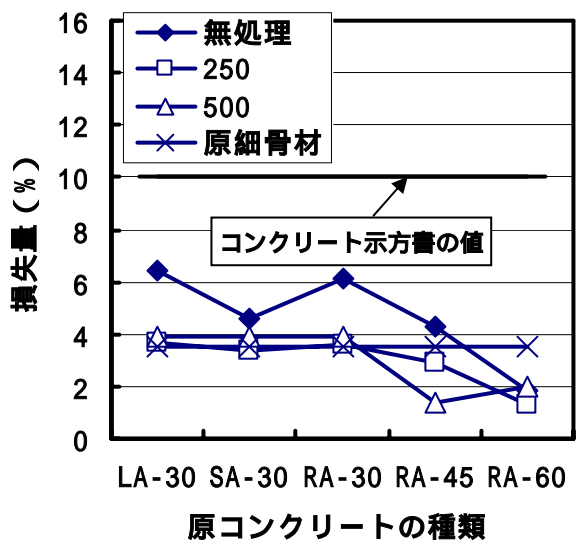


図 - 7 再生細骨材の安定性

同じ圧縮強度である LA - 30 , SA - 30 , RA - 30 を比較すると , 三者の再生細骨材の損失量は , 同各処理温度とも原粗骨材の種類の違いにかかわらず同じ傾向を示している。また , 250 と 500 の場合の再生細骨材の損失量は原細骨材の損失量とほぼ同じである。川砂利を用いた RA - 30 , RA - 45 , RA - 60 を比較すると , 再生細骨材の損失量は , RA - 45 の 500 の場合が少し他の場合と異なった傾向を示しているが , 各処理温度とも , 原コンクリートの圧縮強度が高いほど小さくなっており , かつ原細骨材の損失量より圧縮強度の増加とともに小さくなっている。各再生細骨材の損失量はコンクリート標準示方書の値よりすべてかなり小さくなっている。

4. 結論

本研究の結果をまとめると , 次のようである。

(1) 廃棄コンクリートを熱処理して再生骨材を製造する時 , 500 以下の範囲での熱処理では川砂利 , 砂岩碎石 , 石灰岩碎石および川砂である原骨材の強度および安定性に悪影響をもたらさないだけでなく , 原骨材よりも強度も安定性も大きくなる場合がある。

(2) 再生粗骨材の強度は , 熱処理した場合が熱処理しない場合より大きくなっているが , その影響はそれほど大きくない。250 で処理する場合と 500 で処理する場合とはほとんど差がない。再生粗骨材の強度は原コンクリートの強度の違いの影響は小さく , 原粗骨材の種類の影響が大きい。

(3) 再生細骨材の強度は , 無処理と 250 で処理する場合 , 原コンクリートの強度の違いおよび原粗骨材の種類の違いにかかわらず , ほぼ同じであり , 原細骨材よりかなり小さい。500 で処理すると原粗骨材の種類と原コンクリートの強度の違いによって異なっている。

(4) 再生粗骨材の安定性は , 熱処理温度 (無処理を含む) が高いほど大きくなっており , しかも , 熱処理した場合は熱処理しない場合よりかなり大きくなっている。再生粗骨材の安定性は

原粗骨材の種類の違いの影響が大きい。250 で処理した場合の再生粗骨材の安定性は , 原粗骨材の種類によって原粗骨材 (無処理の場合) の安定性より良い場合も悪い場合もある。しかし , 砂岩碎石の場合を除くと , 損失量はコンクリート標準示方書の値より小さく , 安定性の大きいものが得られている。500 で処理した場合は , 原粗骨材とほぼ同じかより安定性が大きく , すべてコンクリート標準示方書の値より良好となっている。

(5) 再生細骨材の安定性は熱処理温度と原コンクリートの強度の違いの影響があるがそれほど大きくない。原粗骨材の種類の影響はあまりない。また , 再生細骨材の安定性は熱処理の有無にかかわらずすべてコンクリート標準示方書の値を満足している。

したがって , 廃棄コンクリートを 500 以下の範囲で熱処理することは , 強度と安定性から判断すると , 原粗骨材の種類の違いの影響が大きいものの , 高品質再生粗骨材が製造でき , しかも原骨材の強度と安定性よりも劣ることはない。再生細骨材は強度がかなり低くなるが , 安定性は高くなっている。

参考文献

- 1) 例えば , 阿部道彦 : 比重選別による再生骨材の製造に関する検討 , セメント・コンクリート論文集 , No.51 , pp.482-487 , 1997
- 2) 例えば , 北爪康弘 , 秋田宏 , 外門正直 : ゼロエミッション志向コンクリート廃材のリサイクル , コンクリート工学年次論文報告集 , Vol.21 , No. 1 , pp.145-150 , 1999
- 3) 例えば , 島裕和ほか : 加熱すりもみ法によるコンクリート塊からの高品質骨材回収技術 , コンクリート工学年次論文報告集 , Vol.22 , No.2 , pp.1093-1098 , 2000
- 4) 李保群ほか : 熱処理およびすりもみ法による高品質再生粗骨材の製造に関する研究 , コンクリート工学年次論文集 , Vol.23 , No.1 , pp.235-240 , 2001