

原子力発電所解体コンクリートからの骨材の分離技術†

古賀康男††、井上敏克††、立屋敷久志†††、助清満昭†††、岡本雅道†††、浅野闘一†††

原子炉の解体に伴い、大量の非放射性コンクリートが発生する。環境への配慮から、このコンクリートを処理して重量比で80%を占める骨材を回収し、新設の工事等に使用することが期待されている。そこで、コンクリート塊に加熱処理とすりもみ処理を施して骨材を回収することを検討した。

加熱処理が分離した骨材の性能に与える効果は温度が高いほど大きい。高温になるにしたがって骨材そのものも劣化する。骨材の品質へ与える影響を考慮した効果的な加熱温度は200~500℃であった。加熱保持時間の影響は相対的に小さかった。また、300℃の加熱を施し、すりもみ効果の卓越したロッドミルおよび攪拌ミルによりそれぞれ30~120分処理したとき、建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5Nの絶対比重および吸水率の規定値を満足する品質の粗骨材および細骨材が得られることが判明した。

Keywords : 廃炉、解体コンクリート、再生骨材、加熱、すりもみ、ロッドミル、攪拌ミル、比重、吸水率、JASS 5N

The decommissioning and dismantling of nuclear power plants will produce a large quantity of non-active waste concrete. From the viewpoint of recycling of this waste concrete the recovery of aggregate contained in concrete at 80% and reuse of it into a new plant construction are envisioned. For these purposes we have studied the recovery process of aggregate from concrete composed of a heating step followed by a milling step onto waste concrete blocks. We have found that higher operation temperature brings a better effect for the separation of aggregate from a concrete body, however too high temperature may reversely degrade a quality of recovered aggregate itself. The most effective heating temperature which is considered not to give the damage to a quality of aggregate stays between 200~500℃. The effect of a duration at such temperature zone is relatively small. As a conclusion we have found that 300℃ of heating temperature and 30~120 minutes of a duration in a rod mill with high efficiency of rubbing work for getting coarse aggregate and an agitate mill for fine aggregate might be proper operating conditions under which we can recover both coarse and fine aggregate with the quality within JASS 5N standard.

Keywords : decommissioning, waste concrete, recycled aggregate, heating step, rubbing work, rod mill, agitate mill, specific gravity, absorption, JASS 5N

1. はじめに

わが国では現在約50基の原子炉が稼働しているが、プラント寿命の到来したものから順次解体撤去する計画が具体化されつつある。この場合に備えて必要とされる技術の開発が進められているが、その内の重要なものの一つが、廃棄物の処理処分対策技術や解体副産物の再利用技術である。

原子炉の解体に伴って40~50万トンの解体コンクリートが発生するが、この90%以上が非放射性コンクリートである。ところで、一般の建設副産物のうち解体コンクリートは2600万t(平成5年度)にのぼり、今後も増加が予想されている[1]。近年の産業廃棄物処分場の不足状況や今後産業廃棄物の処分規制が厳しくなる動向に照らして、発生抑制と再生利用が緊急の課題となっている[2]。このため、原子炉の解体に伴う大量のコンクリートを将来廃棄物として処分するのは、非常に困難である

と予想される。また、一方では資源循環の観点から積極的に再資源化を図ることが社会的ニーズでもある。そこで、原子炉の解体コンクリートを幅広い用途にも適用できるよう再資源化方法を検討する必要がある。

再生利用に関しては破碎して路盤材などに使う方法が実用化されている[3]が、新たな適用用途としてコンクリート用の再生骨材が期待されている[4,6他]。しかし、コンクリート用骨材として使用するためには品質と回収率の面で問題があることが指摘されている。

このような背景から、報告者はセメント硬化体が一面で熱に弱い性質があることに着目し、解体コンクリートから用途の制約を受けない高品質な骨材を経済性のある方法で分離回収することを目標として、コンクリートに加熱・すりもみ処理を施す方法について検討した。

2. 加熱の効果に関する実験

一般に、コンクリートは100℃を超す温度域に曝されると、強度低下などの劣化が引き起こされる。ここでは一面において熱に弱いコンクリートの特性に注目して、骨材回収に生かすことを考えた。本章では、骨材回収に適した加熱条件を見出すために、加熱条件と再生骨材の品質や回収率との関係を調べた。

† A Process for Separating Aggregate from Concrete Waste during the Dismantlement of Nuclear Power Plants, by Yasuo Koga (koga@mmc.co.jp), Toshikatsu Inoue, Hisashi Tateyashiki, Mitsuaki Sukekiyo, Masamichi Okamoto, Touichi Asano

†† 三菱マテリアルセメント研究所 Mitsubishi Materials Corporation, Cement Research Institute

††† 三菱マテリアル環境リサイクル事業センター Mitsubishi Materials Corporation, Global Ecoindustry Center

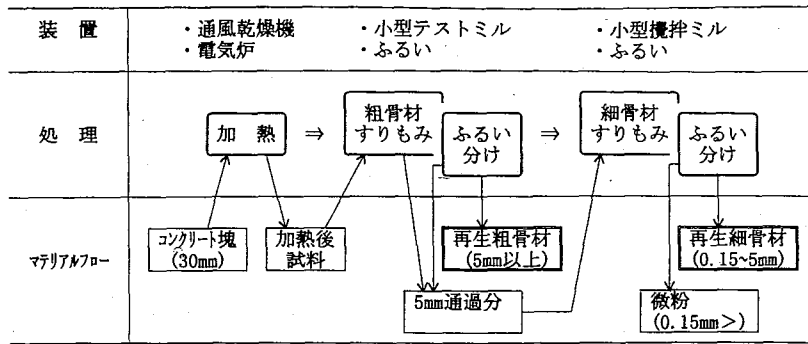


図1 再生骨材の製造フロー

また、加熱の効果について考察を加えた。

参考のため、本章で検討した再生骨材製造フローを図1に示す。

2.1 実験概要

2.1.1 コンクリート塊

供試コンクリートの材料および調合を、表1および表2に示す。使用した粗・細骨材は、関東地区で一般的に使用されているものである。また、コンクリートの材齢28日における圧縮強度は約30 N/mm²であった。

コンクリートはφ10×20 cm供試体に成形し、材齢28日まで水中養生を施し、そののち気中養生とした。材齢56日程度で、投入できる大きさまで供試体を小割してジョークラッシャーで破碎した。破碎後のコンクリート塊の大きさは約30 mmであった。

2.1.2 加熱方法および水準

300℃までは通風乾燥機を、300℃を越す温度については電気炉を使用して加熱した。加熱温度および加熱時間を表3に示す。

なお、コンクリート塊は常温の試料を加熱装置に投入し、所定時間経過したのち常温下に取り出した。

2.1.3 粗骨材の回収方法

粗骨材の回収に用いた小型テストミル (φ45×45 cm、30 rpm) を図2に示す。破碎媒体 (以下、単に媒体と呼ぶ) としては、40 cm長さのD13異形鉄筋 (バラ5本+3本束3組) を使用した。1回の処理量は5 kgで、33分間 (1000回転) 処理した。また、テストミル胴体の一部に2.5 mmの金網を張り、微粉分を常時排出した。

所定の処理ののち分級し、5 mmふるいに留まるものを再生粗骨材試料とした。

表1 コンクリートの使用材料

種類	銘柄・産地および性質
セメント	普通ポルトランドセメント (比重: 3.16)
混和材料	A E減水剤 (NMB製)
細骨材	木更津産山砂 (表乾比重: 2.64、絶乾比重: 2.59、吸水率: 1.82%) (粗粒率: 2.34)
粗骨材	八王子産砕石 (表乾比重: 2.68、絶乾比重: 2.66、吸水率: 0.82%) (最大寸法: 20mm、粗粒率: 6.77)

表2 コンクリートの調合

W/C (%)	s/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	1m ³ あたりの単位量 (kg/m ³)			
				C	W	S	G
60	43	18	4.5	295	177	779	1045

表3 加熱条件

加熱温度	加熱時間 (h)
未加熱	(気乾状態)
100℃	24
200℃	6、12
300℃	0.5、1、3、6、12、24
500℃	1、3、5

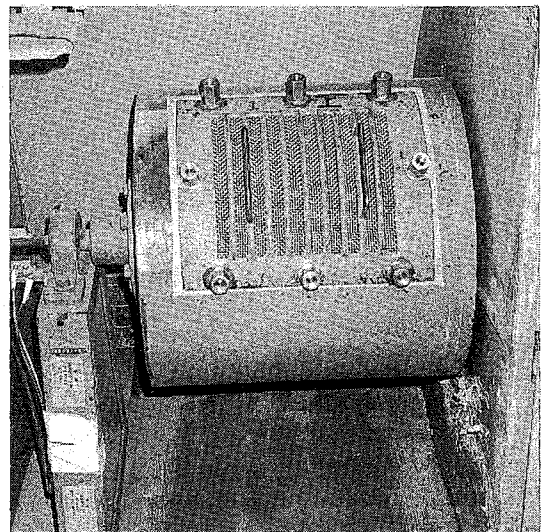


図2 小型テストミル

2.1.4 細骨材の回収方法

細骨材の回収に用いた小型攪拌ミル (5 L、300 rpm) を図3に示す。媒体には1/4 inと1/8 inの鋼球をそれぞれ500 g使用した。処理は湿式で行い、前項で得られた5 mm通過試料 (すりもみ処理中に排出された微粉分を含む) 1.5 kgに対し3.0 kgの水を用いた。処理時間は60分とした。

所定の処理ののち0.15 mmでふるい、同ふるいに留まるものを再生細骨材試料とした。

2.1.5 評価方法

再生骨材試料の比重・吸水率、および粗・細骨材それぞれの工程での再生率を測定し、加熱の効果調べた。なお、再生率は、給鉱した試料量に対する再生骨材量の割合を表し、次式により求めた。

再生粗骨材の再生率

$$= \text{再生粗骨材の重量} / \text{給鉱した原コンクリート塊の重量}$$

再生細骨材の再生率

$$= \text{再生細骨材の重量} / \text{給鉱した5 mm通過試料の重量}$$

また、骨材の耐熱性を確認するために骨材だけを加熱し、比重・吸水率を測定した。

2.2 加熱条件が再生骨材の品質に与える影響

2.2.1 加熱温度の影響

加熱温度を100℃から500℃に変化させたときの再生粗・細骨材の絶乾比重および吸水率を図4、図5に示す。なお、データは加熱時間3時間以上の測定値の平均を記した。また、図中には未加熱試料のデータも20℃加熱として示した。

2.1.3および2.1.4に示した一定の処理条件のもとでは、加熱温度が高いほど得られた再生骨材の品質が向上した。未加熱および100℃加熱の場合は得られた骨材品質が劣る傾向にあり、ペースト部があまり脆弱化していないと考えられる。加熱温度が200℃から500℃の範囲においては、加熱温度と再生骨材の品質はほぼ直線関係にあるが、細骨材回収の場合には原骨材の品質に近いためにその傾きが緩やかであった。

なお、本実験で得られた再生骨材は、粗・細骨材とも200℃以上の加熱で建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5Nの規定値 (絶乾比重：2.5以上、吸水率：2.0%以下 (粗骨材)、3.0%以下 (細骨材)) [7]をほぼ満足した。

2.2.2 加熱保持時間の影響

加熱保持時間を変化させたときの再生粗骨材の絶乾比重および吸水率を図6、図7に示す。

加熱保持時間は30分から24時間まで変化させたが、実験範囲において骨材品質に与える影響は小さかった。再生細骨材についても同様の結果であった。

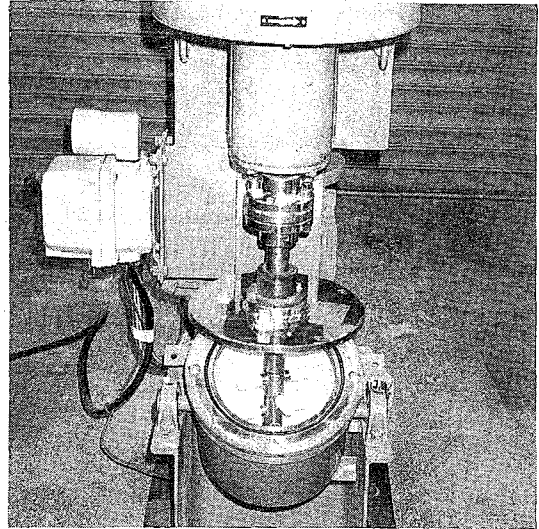


図3 小型攪拌ミル

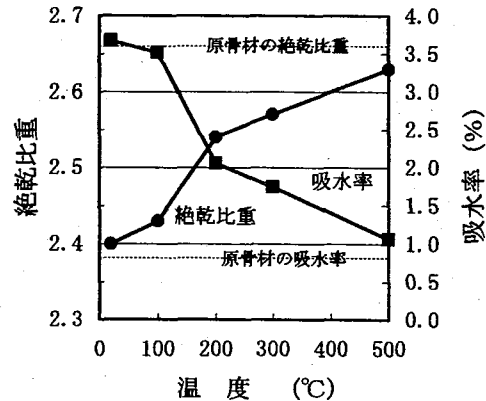


図4 加熱温度と再生粗骨材の品質

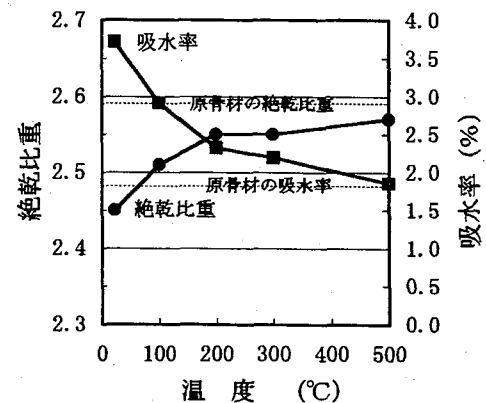


図5 加熱温度と再生細骨材の品質

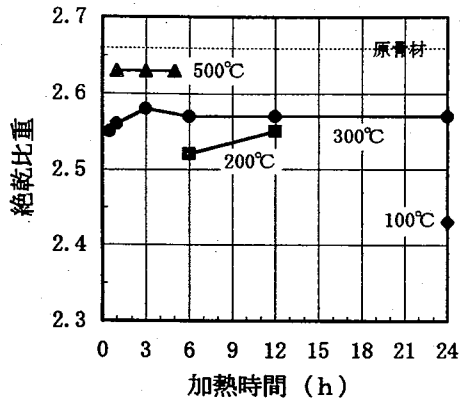


図6 加熱時間と絶対乾比重 (再生粗骨材)

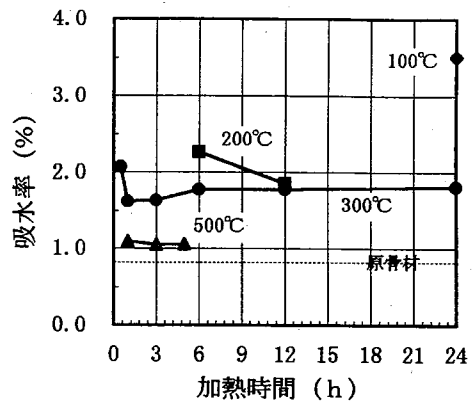


図7 加熱時間と吸水率 (再生粗骨材)

なお、本実験では、常温のコンクリート塊を所定温度の加熱装置に投入した。このため、コンクリート塊が所定温度に上昇するまでに時間を要する。その昇温時間を調べるため、円柱状の模擬コンクリート塊の中心に熱電対を埋め込み、温度履歴を調べた。結果を図8に示す。

模擬コンクリート塊が300℃まで上昇するのに要する時間はコンクリート塊の大きさによって異なり、60～120分であった。

加熱保持時間はコンクリート塊の大きさに応じて定まる昇温時間以上とすることが望ましい。φ5×5 cmの場合の昇温時間は約60分であったことから、体積と表面積の関係を考慮すると実験に使用したコンクリート塊(30 mm)では最低で30分、好ましくは60分の加熱保持時間が必要と考えられる。

2.3 骨材の再生率

加熱温度と再生粗・細骨材の再生率の関係を図9に示す。また、原コンクリート塊から再生粗骨材を差し引いた残りが細骨材の処理工程に回されるとして、原コンクリート塊に対する再生粗・細骨材量の比率(以下、回収率と呼ぶ)を次式で計算した。再生粗・細骨材の回収率およびその合計を図10に示す。な

お、データは加熱時間3時間以上の測定値の平均を記した。

$$\text{再生粗骨材の回収率} = \text{再生粗骨材の再生率}$$

$$\text{再生細骨材の回収率}$$

$$= (1 - \text{再生粗骨材の再生率}) \times \text{再生細骨材の再生率}$$

粗骨材の再生率は、加熱温度の上昇にしたがってやや低下し、36%程度に収斂する傾向があった。

一方、細骨材の再生率は未加熱の場合を除き、63%程度で一定の値を示した。細骨材の回収率の面からみると、加熱温度の上昇とともに回収率は上昇し、40%程度に収斂する傾向となった。これは粗骨材と逆の傾向となっている。この原因については、再生粗骨材の品質が悪いほど、コンクリート中の細骨材が再生粗骨材に取り込まれる結果、再生細骨材としての回収量が低下したためと考えられる。

なお、加熱温度200℃から500℃の場合の再生骨材の回収量の合計は約77%であった。調査から計算したコンクリート中の骨材量は83%(絶対乾ベース)であるから、骨材量の93%を回収できたことになる。

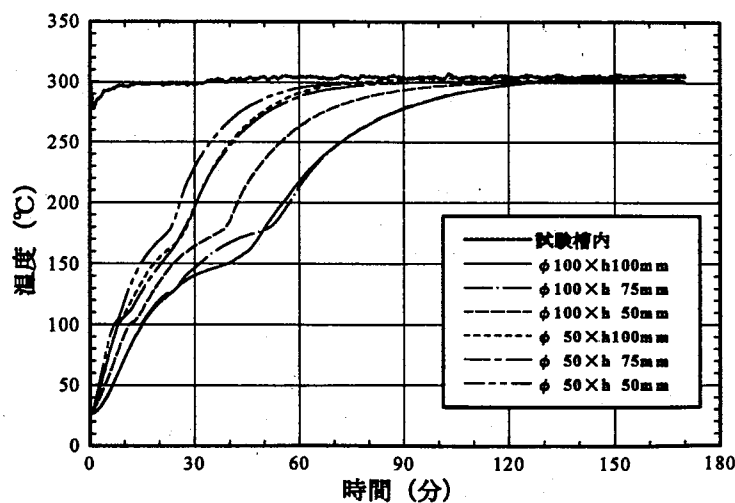


図8 模擬コンクリート塊の温度上昇曲線 (雰囲気温度：300℃)

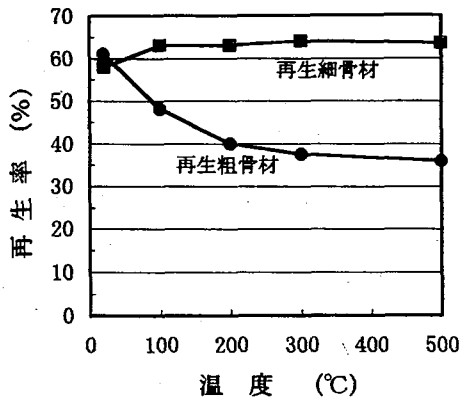


図9 加熱温度と再生骨材の再生率

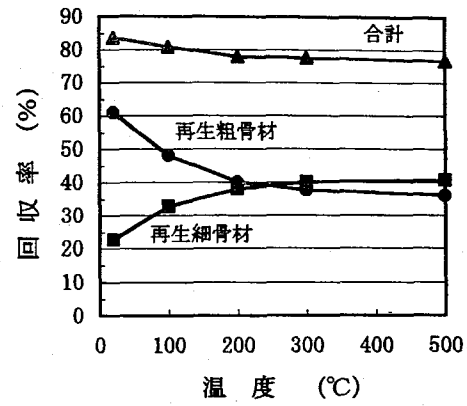


図10 加熱温度と再生骨材の回収率

2.4 加熱がコンクリート塊に与える影響

コンクリートを加熱すると強度やヤング係数が低下する[8]ことが知られている。また、セメント水和物も結晶水が失われて脆弱化していく[9]。これらの加熱がコンクリートに与える影響をメカニズム的に整理すると、図11のようにまとめられる。

コンクリート塊が200℃以上の加熱を受けると、セメントペーストは収縮し骨材は膨張する傾向が顕著になる[10]。この長さ変化する動きの違いによって、セメントペーストにはマイクロクラックが生ずると考えられる。

この点を検証するために、加熱したモルタルの組織を観察した。SEM観察結果の一例を図12に示す。未加熱試料に比べ、顕著にひび割れ本数が増加していることが確認された。

2.5 加熱が骨材に与える影響

加熱が骨材に与える影響としては、約350℃における褐鉄鉱の変質、573℃での石英の結晶構造の変化、約900℃での石灰石の脱炭酸が知られている[11]。ここでは、加熱温度がコンクリート用の骨材としての品質に与える影響を調べた。

これまでの実験に使用した八王子碎石を似通った岩種に分け、

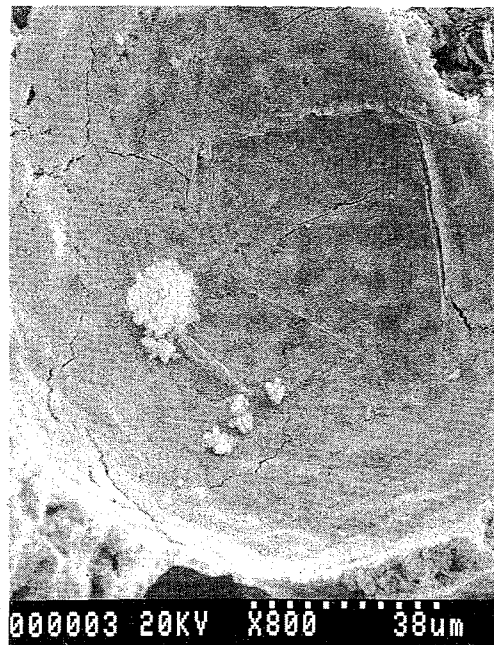


図12 加熱によるひび割れの発生状況

材 料 影響の種類	ペースト		骨 材 物理・化学的な影響
	化学的な影響	物理的な影響	
100℃	水和物の脱水、分解 ・CSH : 100~300℃ ・エトリンカイト: 同上 ・モノサルフェート: 同上 ・石膏: 130, 160℃	高温での収縮 ・110~140℃を境に 収縮は転ずる	高温での膨張 膨張する
300℃		マイクロクラック	
500℃	・Ca(OH) ₂ : 450~550℃		・強度の低下 ・ヤング係数の低下 ・骨材界面の弛緩
900℃	・CaCO ₃ : 750~900℃		

図11 コンクリートに与える加熱の影響

岩種毎に比重、吸水率を測定した結果を、図13、図14に示す。なお、データは2個から6個の骨材の平均を示す。

加熱による品質変化の程度は一定していないが、500℃まではほとんど変化しないと考えられる。800℃加熱の場合、骨材にひび割れが認められ、吸水率の著しい増大など劣化をもたらした。このひび割れの原因については、石英の転移のほか急激な温度上昇による内部応力が考えられる。

2.6 加熱条件の設定

本章では、加熱条件が再生骨材の品質や再生率に与える影響、脆弱化のメカニズム、および骨材の変質の可能性について検討した。

その結果、効果的かつコンクリート用骨材としての品質の上から問題がないと考えられる加熱温度の範囲は、200℃から500℃の範囲であった。再生骨材の品質やすりもみ処理時間の面では加熱温度が高い方が好ましいが、経済性の面からは、すりもみ処理時間の延長に比べ、加熱温度の上昇はコスト高につながるかと予想される。

このため、その後の実験では300℃加熱を標準的な条件として設定した。

3. すりもみ処理方法に関する実験

前述の通り、コンクリート塊をコンクリート用の再生骨材に

加工する研究やそれを利用したコンクリートの特性の研究が種々行われている。その中の一部の研究では品質を重視してすりもみが卓越した装置が検討されている。本研究においては品質のほか、回収率も重視してすりもみ装置を選定した。また、本章ではその好適な条件について検討した。

なお、基本的な再生骨材製造フローは図1と同様である。

3.1 実験概要

3.1.1 コンクリート塊

実験に使用したコンクリート塊の使用材料および調合は、2.1節と同じである。このコンクリート塊に300℃で6時間の加熱処理を施した。

なお、一部の試験では比較用として100℃で24時間加熱したのものも用いた。

3.1.2 粗骨材の回収方法および水準

粗骨材の回収には2.1節と同じ小型テストミル(φ45×45 cm、30 rpm)を用いた。1回の処理量は5 kgとした。

ここでは、すりもみ処理時間、媒体の種類および微粉の排出の影響を調べた。それらの実験の水準を表4に示す。なお、表4中の下線は基準とした条件である。

3.1.3 細骨材の回収方法および水準

細骨材の回収には2.1節と同じ小型攪拌ミル(5L、300 rpm)を

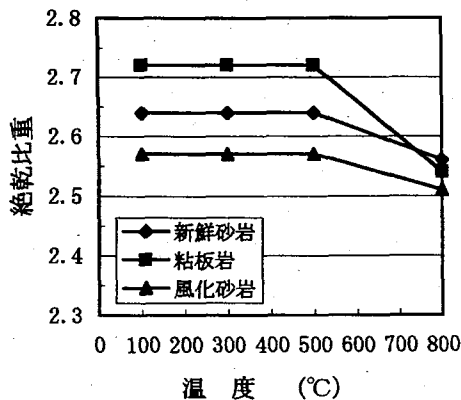


図13 骨材の加熱温度と絶対乾比重の関係

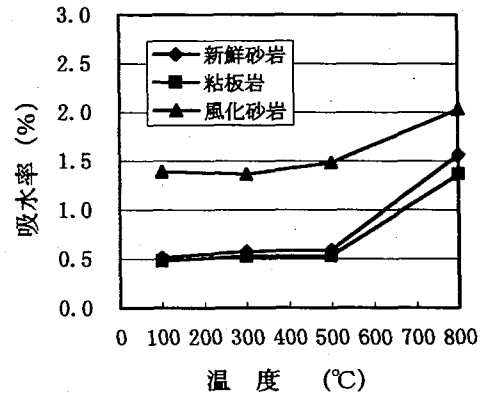


図14 骨材の加熱温度と吸水率の関係

表4 粗・細骨材の回収実験の水準

種類	加熱条件	処理時間	微粉の排出	媒体の種類および量
粗骨材	300°Cx 6h 100°Cx24h	33分(1000回転)	常時排出	なし
		67分(2000回転)	なし	①13mm鉄筋x5本 ②13mm鉄筋3本束x3組
		100分(3000回転)		バラ5本+3本束x3組(①+②)
細骨材	300°Cx 6h	60分	-	1/4in鋼球500g
		120分		1/4in鋼球750g
		180分		1/4in鋼球1000g
				1/4in鋼球500g+3/8in鋼球500g 3/8in鋼球1000g

用いた。1回の処理量は1.5 kgとし、3.0 kgの水を同時に用いた。

ここでは、すりもみ処理時間および媒体の種類の影響を調べた。実験水準を表4に併記する。

3.1.4 評価方法

再生骨材試料の比重・吸水率および粗・細骨材それぞれの工程での再生率を測定し、すりもみ条件の影響を調べた。

3.2 粗骨材のすりもみ条件の検討

3.2.1 処理時間の影響

粗骨材回収におけるすりもみ時間を変化させたときの再生粗骨材の絶乾比重および吸水率を図15、図16に示す。

すりもみ処理時間の増加に伴って再生粗骨材の品質は向上したが、300℃加熱においては約60分以上の処理を施しても品質の向上効果は小さかった。再生骨材の品質が原骨材並みに改善されるためである。

一方、100℃加熱試料を用いて300℃加熱の場合と同等の高品質を達成するには、すりもみ処理時間を300℃加熱の場合の約2.5倍とする必要があることが判明した。

3.2.2 媒体の影響

媒体の種類および微粉排出の有無が再生粗骨材の絶乾比重お

よび吸水率に与える影響を図17、図18に示す。

媒体として13 mm鉄筋を単独で用いた場合（バラ5本）に比べ、3本束ねて用いた場合（3組、計9本）と併用したケース（計14本）では再生骨材の品質が良好であった。ただし、3本束ねて用いた場合と併用した場合の品質の差は小さかった。このことから、媒体の総重量よりも媒体1個あたりの重量の影響の方が大きいことがわかる。因みに13 mm鉄筋3本束は22 mm鉄筋の重量に相当する。

このように、今回の実験条件では13 mm鉄筋3本束・3組が適切と判断されるが、実際の装置では装置の大きさや回転数に起因する衝撃の違いや処理量等を考慮する必要がある。

また、微粉排出を基準条件としたが、この効果は顕著であった。微粉排出をしない処理では、実質的に高品質な再生粗骨材の回収は困難であると考えられる。

3.3 細骨材のすりもみ条件の検討

3.3.1 処理時間の影響

細骨材回収におけるすりもみ時間を変化させたときの再生細骨材の絶乾比重および吸水率を図19に示す。なお、媒体は1/4 inの鋼球 1000 gである。

粗骨材回収の場合と同様に、処理時間が再生細骨材の品質に与える影響は相対的に小さく、120分以上の処理を施しても品

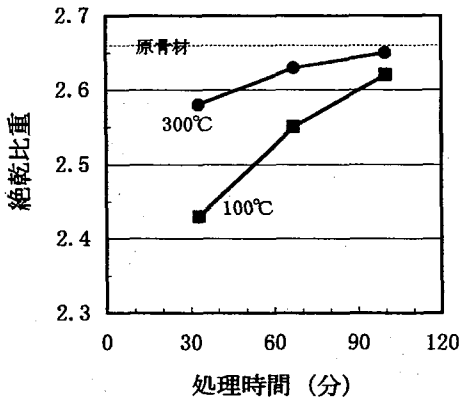


図15 処理時間と再生粗骨材の絶乾比重

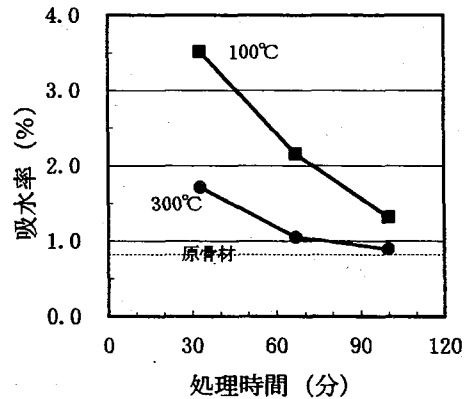


図16 処理時間と再生粗骨材の吸水率

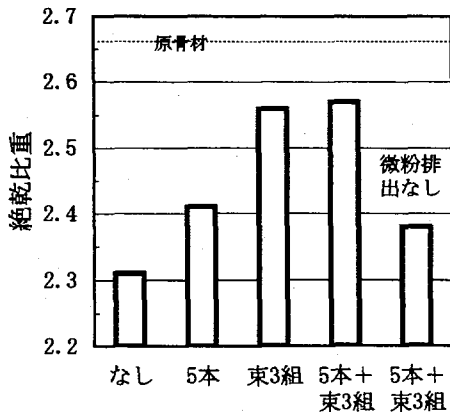


図17 媒体の種類と再生粗骨材の絶乾比重

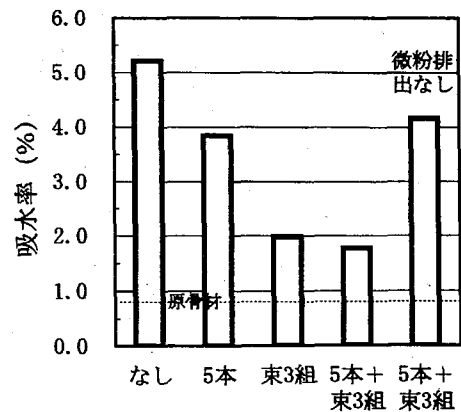


図18 媒体の種類と再生粗骨材の吸水率

質はそれほど向上しなかった。原骨材の品質に近いと考えられる。

3.3.2 媒体の影響

媒体の種類が再生細骨材の絶対乾比重および吸水率に与える影響を図20、図21に示す。なお、処理時間は120分である。

媒体の量が増加するにしたがって再生細骨材の品質は直線的に向上した。また、媒体1個あたりの重量を大きくした方が品質も良好な傾向にあったが、原骨材の品質に近いために顕著な傾向としては観察されなかった。媒体量および媒体1個あたりの重量がすりもみ効果に与える影響は、処理装置のタイプが異なる粗骨材回収の場合と類似した傾向にあった。

実験範囲においては、細骨材回収の媒体として1/4 in~3/8 inの鋼球を1000 g用いるのが適切と判断される。

3.4 再生率と骨材の品質

3章で行った実験における再生率と再生骨材の吸水率の関係を図22に示す。

本プロセスによって得られた再生骨材の再生率と吸水率の間には高い相関性が認められた。すなわち、再生骨材の再生率に応じて骨材品質が一義的に決定するといえる。

本研究ではJASS 5Nを満足する骨材性能が目標であるから、自ずと達成できる再生率の範囲は限られる。骨材の破碎が著しくない範囲で、実用的な高品質を達成することが重要である。

4. まとめ

原子力発電所の廃炉に伴って発生する大量の非放射性的な解体コンクリートから高品質な再生骨材を製造し、新設工事へ適用することが期待されている。本研究では、加熱・すりもみを特徴とする骨材回収プロセスの適用性について検討した。

コンクリート塊を加熱し、小型テストミル（媒体：ロッド）および小型攪拌ミル（湿式、媒体：鋼球）によって粗・細骨材を回収した結果、次のことが判明した。

- (1) 再生骨材の品質と耐久性を考慮した適切な加熱温度の範囲は200℃以上がよく、また、絶対乾比重の変化などから500℃以上は不適当と想定された。加熱保持時間は、加熱温度に比べて再生骨材の品質への影響が小さかった。
- (2) 加熱時のセメントペーストと骨材の収縮・膨張特性の違いから、ペースト部にはマイクロクラックが生ずる。このことが、骨材からペーストを剥がれ易くし、再生骨材の高品質化を可能にする主因と考えられた。
- (3) すりもみ条件を一定にして加熱温度を変化させると、加熱温度が高いほど再生骨材の品質が向上した。しかし、粗・細骨材を合わせた全骨材の回収率はほぼ一定値を示

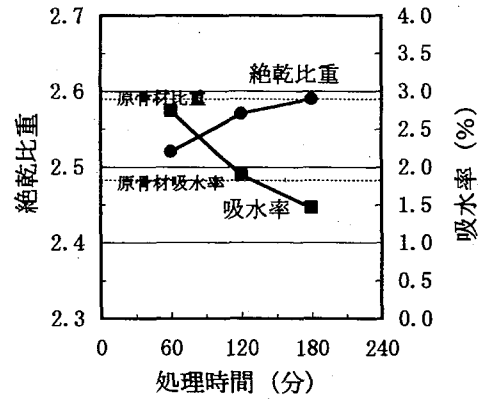


図19 処理時間と再生細骨材の品質

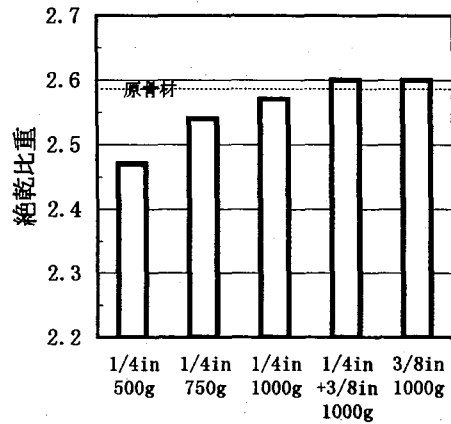


図20 媒体の種類と再生細骨材の絶対乾比重

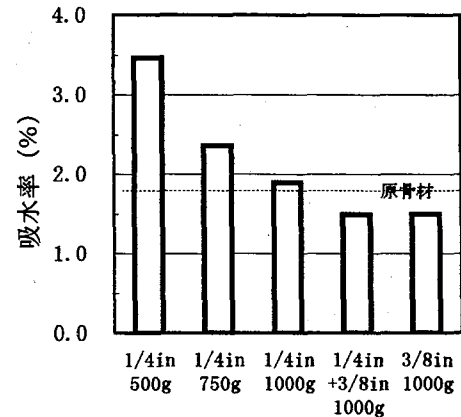


図21 媒体の種類と再生細骨材の絶対乾比重

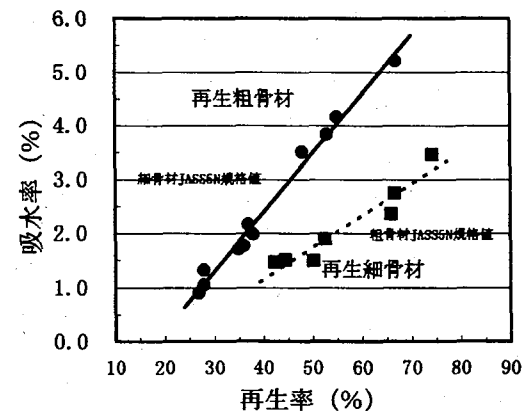


図22 再生骨材の再生率と骨材品質の関係

した。

- (4) すりもみ処理時間の増加に伴い再生骨材の品質は向上するが、原骨材の性状に近づくにしたいその時間あたりの効果は低下した。
- (5) 再生骨材の高品質と高回収率を達成するためには、装置や規模に見合った媒体の量および大きさを選定することが重要と考えられた。
- (6) 300℃加熱を施し、すりもみの卓越した装置で30～120分処理して得られた再生粗骨材および再生細骨材は、JASS 5Nの絶乾比重および吸水率の品質規定を十分満足した。
- (7) 粗・細骨材回収の各工程での骨材の再生率と骨材の品質の間には高い相関性が認められた。

加熱・すりもみを特徴としたプロセスでコンクリート塊を処理して得られる再生骨材は、JASS 5Nの絶乾比重および吸水率の品質規定を満足することが確認された。なお、今後の実用化のためには、設備のスケールアップおよび連続処理に向けた検討を行うこととともに、原コンクリート塊の性質が再生骨材の品質等へ与える影響、再生骨材の各種性質、再生骨材を用いたコンクリートの性状等を確認することが必要である。

参考文献

- [1] 建設副産物リサイクル広報推進会議：総合的建設副産物対策一現場での実効ある推進のためにー（平成7年度版），pp.2（1995）。
- [2] 高橋泰一：建築系副産物の発生抑制と再生利用に関する問題点，日本建築学会1994年度大会（東海）学術講演梗概集，名古屋，平成6年9月8～11日，pp.377-378（1996）。
- [3] 河野広隆：資源の有効利用とコンクリート（第1回）コンクリート解体材の再利用の現状と可能性，コンクリート工学 33，91-96（1995）。
- [4] (財)建築業協会 建設廃棄物処理再利用委員会：再生骨材コンクリートに関する研究，コンクリート工学 16，18-31（1978）。
- [5] 畑 実：コンクリート廃材からの骨材の回収方法，建設用原材料 1，36-41（1991）。
- [6] 山田 優：コンクリート塊の処理と再利用，第254回コンクリート講演会，名古屋，平成4年3月4～5日，pp.19-36（1992）。
- [7] (社)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事，(社)日本建築学会，東京，pp.5（1991）。
- [8] たとえば岸谷孝一 他：300℃までの高温に長期間さらされたコンクリートの性状に関する実験的研究，セメントコンクリート No.444，7-14（1984）。

- [9] たとえば内田清彦 他：耐火性，セメントコンクリート No.498，30-32（1984）。
- [10] (社)日本コンクリート工学協会編：コンクリート便覧，技報堂出版，東京，pp.117（1985）。
- [11] 岡田 清、六車 熙 編集：改訂新版 コンクリート工学ハンドブック，朝倉書店，東京，pp.574（1981）。