

B-38 廃コンクリート微粉末を用いた 水中のイオンの除去

酒井 宏治^{1*}・○北垣 亮馬²・栗栖 太³・野口 貴文²・滝沢 智¹

¹東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656東京都文京区本郷7-3-1)

²東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 (〒113-8656東京都文京区本郷7-3-1)

³東京大学大学院工学系研究科附属水環境制御研究センター (〒113-8656東京都文京区本郷7-3-1)

* E-mail: h_sakai@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

近年、高度成長期時代の建設物が解体ラッシュを迎えつつあり、ここ50年でおよそ250億トン、処理費にして50年で130兆円の廃コンクリート塊処理費がかかると推計されている¹⁾。この問題を解決するために、ここ10年来、廃コンクリート塊から骨材を省エネルギーで回収して再利用する再生骨材製造技術が盛んに研究されてきた。しかしながら、骨材を回収した後の残った砂分とセメント分の混合微粉末については、セメント分と砂のシリカ分が付着し合っていて、高エネルギーをかけなければ、もとの砂とセメント分に分離することがかなり難しいことがわかってきている²⁾。また、本年3月11日に発生した東日本大震災では大量のがれきが発生し、その処理処分において工夫が必要となることは周知の通りである。

一方、廃コンクリート微粉末を、単なる廃棄物としてではなく、カルシウムなどを多量に含んだ特殊な組成を持つ砂資源としてとらえ、貝類の養殖時に使用するカルシウム分や、ヘドロのたまった海底の覆砂材として利用するといった生態系復旧用資材として利用しようとする研究が出てきている^{3,4)}。また、円石藻を利用することで廃コンクリート微粉末のカルシウム分を藻類に固定化し、微粉末を普通の砂に戻す研究も検討されている⁵⁾。

本研究では、廃コンクリート微粉末の有効利用の一つとして水質浄化への応用の可能性を探るため、水中における廃コンクリート微粉末の基礎的な特性、特にイオンの除去について検討した。コンクリートは、もともと水中でカルシウムを溶出し、pHがアルカリ側に傾く特性を有する。本研究では、まずカルシウムの溶出特性について、模擬廃コンクリート微粉末と実際の廃コンクリート微粉末と比較した。模擬廃コンクリート微粉末においては篩い分けを行い、粒径の影響についても調べた。さらにこれらの4種類の微粉末を用い、微粉末からのカル

シウムの溶出特性に加えて、リン及びフッ素除去としての応用を考え、基礎回分実験を行った。

2. 実験方法

(1) コンクリート微粉末

本研究では、模擬廃コンクリート微粉末(模擬微粉末)と実際の廃コンクリート微粉末(実微粉末)の2種類を用いた。模擬微粉末は、水、セメント、砂を1:2:3の比で混合し、1年以上20℃水中養生環境にあったモルタルを、乾燥機にて40℃で絶乾状態にした後、ジョークラッシャーの粗破砕物にし、ボールミルを1000回回転させることで破砕して作成した。作成した微粉末はふるいによって、(1)粒径が150 μ m以下のもの、(2)粒径が150 μ m以上600 μ m以下のもの、(3)全粒径を含むもの、の3通りに分けた上で、ジップロックにて密封して保管し、粒径と炭酸化による影響を考察した。実微粉末については、都内の廃コンクリート中間処理場T社からいただいたものを用いた。なお、実験で用いた微粉末については、Belsorp mini II (Belsorp Japan)にて、窒素のBET法にて比表面積を測定した。

(2) 溶出及び除去実験

500 mlガラスビーカーに一定量の微粉末を量り取り、500 mlの対象水試料と混合し、マグネティックスターラーで最大24時間攪拌した。対象水には、Milli-Q水、リン酸イオン溶液、フッ化物イオン溶液をそれぞれ別に用いた。リン酸イオンは KH_2PO_4 溶液として、フッ化物イオンは NaF 溶液としてそれぞれ添加した。なお、実微粉末を用いた一部の実験においてのみ、フッ化物イオン除去に対するリン酸イオンの効果を検討するため、両イオンを共存させた。

試験開始後適当な時間に水試料を5mlほど採取し、0.45 μ mのPTFEフィルター(Advantec)でろ過し、各種イオンの溶存濃度を調べた。水中のカルシウムイオン濃度についてはICP-AES(Optima 3000 DV, Perkin Elmer)を用いて測定した。リン酸イオン、フッ化物イオン濃度については、吸光度計(DR-890, HACH)によって測定した。

3. 実験結果

(1) 微粉末の比表面積

本研究で用いた微粉末の比表面積の測定結果を表1に示した。実微粉末試料では、10.1 m²/g程度の比表面積を有した。模擬微粉末は、全粒径で見た場合、実微粉末よりも小さな比表面積を示したが、150 μ m以下の試料では、実微粉末と同等の比表面積を有した。

表1 各試料の比表面積(m²/g)

実微粉末 (T社)	模擬微粉末		
	粒径 150 μ m以下	粒径 150～600 μ m	全粒径
10.1	10.5	4.4	4.3

(2) カルシウムイオンの溶出特性

4種類の微粉末をMilli-Q水中に添加し、カルシウムイオンの溶出特性について検討した結果を図1に示した。何も添加しないControl試料以外の全ての試料で、カルシウムイオンが検出された。全般的な傾向として試験開始後120分の値が最も大きく、24時間後の値はそれよりも低かった。実験に用いたピーカーは大気に対して開放しており、実験中、液面には膜状の物が観察された。このことから、水中のカルシウムイオン濃度が減少したのは、溶出してきたカルシウム分と空気中の二酸化炭素との反

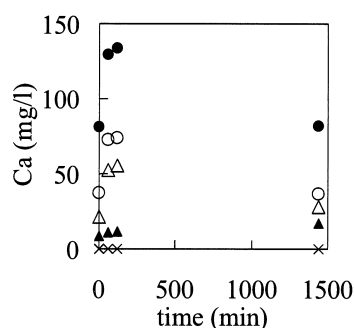


図1 廃コンクリート微粉末を添加した水中のカルシウムイオン濃度の変化

(×: Control 試料, ▲: T社微粉末, ●: 粒径 150 μ m 以下, △: 粒径 150～600 μ m, ○: 全粒径)

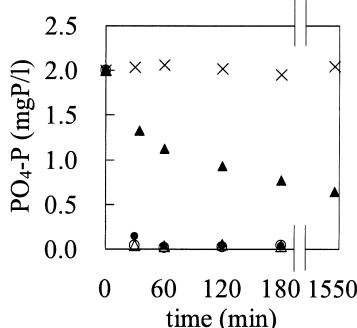


図2 廃コンクリート微粉末 1g を添加した水中のリン酸イオン濃度の変化

(×: Control 試料, ▲: T社微粉末, ●: 粒径 150 μ m 以下, △: 粒径 150～600 μ m, ○: 全粒径)

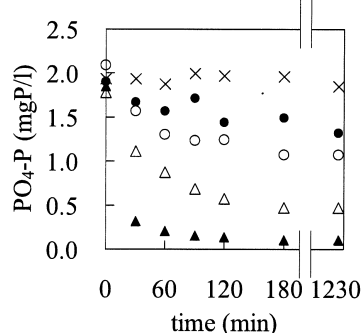


図3 T社微粉末を添加した水中のリン酸イオン濃度の変化

(×: 0g, ●: 0.5g, ○: 1g, △: 2g, ▲: 5g)

応が卓越し、カルシウム分が液表面に形成された膜部分に移行したことで、水中の濃度としては低下した可能性があると考えられる。24時間後の水中のカルシウムイオン濃度は、粒径150 μ m 以下のもの、全粒径を含むもの、粒径が150 μ m 以上600 μ m 以下のもの、T社試料、の順で高く、実微粉末では模擬微粉末よりも溶出量が少ない可能性があることが分かった。試験終了時のpHはそれぞれ、6.4(Control)、10.8(全粒径)、11.7(150 μ m 以下)、10.3(150～600 μ m)、9.3(T社実微粉末)となり、微粉末添加試料ではアルカリ側に移動することを確認した。

(3) 水中のリン酸イオンの除去特性

水中からのリン酸イオンの除去について、初期濃度が2mgP/lのリン酸イオン溶液を用いて検討した結果を図2及び図3に示した。図2は、異なる種類の微粉末それぞれ1gをリン酸イオン溶液中に添加した結果、図3はT社の微粉末を用い、添加量を変化させた結果である。

図2において、模擬微粉末を用いた試料では、微粉末添加30分後には、水中のリン酸イオン濃度が大きく減少し、粒径によらず0.15mgP/l以下になった。T社の微粉末を用いた場合では、模擬微粉末と比較して、リン酸イオンの減少速度が遅く、180分後においても0.8mgP/l程度であった。なお、T社の微粉末についてのみ、1日後(1550分後)の濃度を測定した結果、0.65mgP/l程度であった。模擬微粉末と実微粉末では添加量当たりのリン酸イオン除去量に違いが見られ、図1の結果を考慮すると微粉末から溶出するカルシウムイオンの量と関連している可能性があると考えられた。

次に、T社微粉末のみを用い、添加量を変化させた結果を図3に示した。リン酸イオンの濃度は、5g添加した系の1230分後の濃度において最も低くなり、最大で0.1mgP/l程度まで低下した。試験終了時のpHは、Control

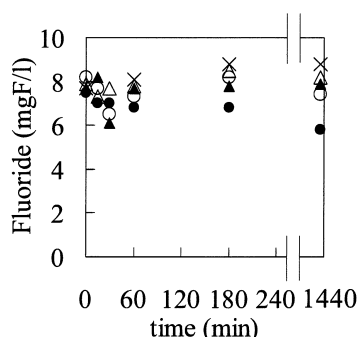


図4 廃コンクリート微粉末を1g添加した水中のフッ化物イオン濃度の変化

(×: Control 試料, ▲: T社微粉末, ●: 粒径150 μm以下, △: 粒径150~600 μm, ○: 全粒径)

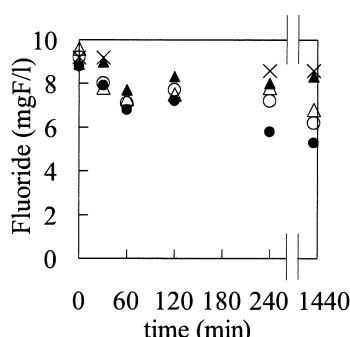


図5 廃コンクリート微粉末を3g添加した水中のフッ化物イオン濃度の変化

(×: Control 試料, ▲: T社微粉末, ●: 粒径150 μm以下, △: 粒径150~600 μm, ○: 全粒径)

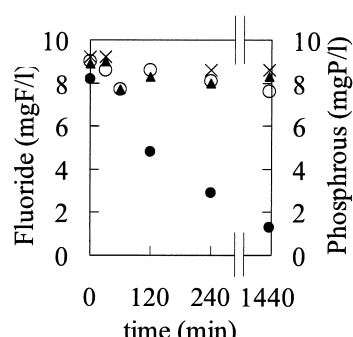


図6 T社微粉末を3g添加した水中のイオン濃度変化

(×: Control 試料, ▲: T社微粉末, ○: T社微粉末+8.2mgP/lの時のフッ化物イオン濃度, ●: T社微粉末+8.2mgP/lの時のリン酸イオン濃度)

試料では5.9であったのに対し、微粉末添加試料では8.5~9.8の範囲にあり、添加量と共にpHもアルカリ側へ移動した。1230分後の結果を平衡状態と仮定して解析したところ、Freundlichの吸着等温式によく合致し、そのパラメーター値は、それぞれ $K_f=0.49, n=2.16$ ($R^2=0.99$)であった。除去機構としては、カルシウムイオンとリン酸イオンの反応が考えられる。水中において不溶性の塩が生成したのか、微粉末表面へ吸着したのかについては量的に検討する必要がある。

(4) 水中のフッ化物イオンの除去特性

水中のフッ化物イオン濃度の変化を、図4及び図5に示した。図4は、添加量がそれぞれ1gのとき、図5は、添加量がそれぞれ3gのときの結果である。

添加量が1gの場合、24時間後の濃度はControl試料で8.8mgF/lであったのに対し、微粉末試料では、5.8mgF/lから8.2mgF/lの濃度であった。最も濃度が低くなったのは、粒径が150 μm以下の試料(5.8mgF/l)で、次いで全粒径(7.4mgF/l)、T社実微粉末(7.9mgF/l)、150~600 μm試料(8.2mgF/l)であった。比表面積がほぼ同等の粒径150 μm以下の試料と実微粉末を比較すると、実微粉末では除去能が低下する可能性があることが分かった。

微粉末量を3gまで増加させた場合も、1gの場合と同様の傾向になった。また、微粉末量を増やしても24時間後の水中のフッ化物イオン濃度が大きな変化はなかった。従って、除去機構の検討と反応速度の増大が課題であることが分かった。

微粉末が3gの場合では、T社微粉を用いた試料についてのみ、さらに8.2mgP/lの濃度になるようにリン酸イオンを添加する試料にて試験を行い、その結果について図6に示した。リン酸イオン添加のない系では、フッ化物イオン濃度は8.3mgF/lであったのに対し、リン酸イオン

添加を行った系では7.6mgF/lまで低下した。この差が有意なものであるかどうかについては、繰り返し実験による検討を要するが、リン酸イオン添加によってフッ化物イオン濃度の低下が促進される可能性があることが示唆された。機構として考えられ得ることとして、フルオロアパタイトの生成⁹⁾が一つの可能性である。なお、リン酸イオン溶液のみ加えた試験(図3)同様、フッ化物イオン共存下でも水中リン酸イオン濃度は時間とともに低下し、実験開始24時間後においては、初期濃度8.2mgP/lから1.3mgP/lまで低下した。リン酸イオンはフッ化物イオン存在下でも一定程度除去されることが示された。

4. まとめ

本研究では、廃コンクリート微粉末を用いた水中のイオン除去について検討した。リン酸イオン、フッ化物イオンの除去が一定程度行うことができることを示した。ただし、新しいコンクリートを破碎した模擬微粉末に比べ、廃コンクリート微粉末の方が除去能が低いことが明らかとなった。供用期間と除去性能の関係などを明らかにし、実用化に向けた検討を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 飯田一彦(2000)新潟大学学位論文,
- 2) 島裕和ら(2001),コンクリト工学年次論文集, 23, 67-72
- 3) 芦田英聖ら(2006)農業農村工学会講演集, 566-567
- 4) 加藤治ら(2006)農業農村工学会講演集, 774-775
- 5) 高野博幸(1995)東京農工大学博士論文
- 6) Park et al., (2008) Chemosphere, 70, 1429-1437