

重金属を含むセメント硬化体の炭酸化後における 重金属の吸着特性の変化について

広島大学工学部 学生会員 ○林 明彦
広島大学工学研究科 学生会員 菊池 博満
広島大学工学研究科 学生会員 高谷 隼人
広島大学工学研究院 正会員 河合 研至

1. 背景・目的

近年、コンクリート分野においては性能照査型設計への移行に伴い、環境負荷低減のため、都市ごみや産業副産物のコンクリート材料としての有効活用が行われており、将来的には現在以上に多種多様な産業廃棄物・副産物が利用されることが予想される。しかし、産業廃棄物等には、重金属類をはじめ、環境や人体に悪影響を及ぼす物質が多く含まれている可能性があり、周辺環境への重金属の溶出の危険性を孕んでいる。よって、それらの廃棄物の有効活用にあたり、実際に有効活用した場合のそれらが環境に及ぼす影響やその安全性の保障、また、その安全性を適切に評価できる評価法の確立が必要である。

本研究では、コンクリートからの重金属溶出機構の解明のための研究の一環として、超長期にわたる供用、再生コンクリートとしての再利用など炭酸化の影響を受けるであろうコンクリートを想定し、炭酸化進行過程においてセメント硬化体内部で起こり得る重金属の吸脱着現象について明らかにすることを目的としている。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

水セメント比による炭酸化後の吸着特性の相違を検討するため、W/C 0.4, 0.5, 0.6, 0.8 の4種類の配合でセメントペーストを作製した。なお、材料には普通ポルトランドセメントと純水を用いた。また、重金属種はPbに着目し、重金属溶液として硝酸鉛(II)水溶液を用いた。

3. 3 実験方法

本研究ではセメント硬化体内部で起こり得る重金属の吸脱着現象を明らかにするため、吸着試験、吸脱着試験、再吸着試験の3種の試験を行い、炭酸化前後での吸着等温線を求めた。

(1) 吸着試験

供試体を粉末状にしたもの5gを純水100mlに添加し、10時間攪拌後、硝酸鉛(II)水溶液を5ml添加し、さらに6時間攪拌した。攪拌後、溶液を吸引ろ過し、ろ液の濃度を原子吸光光度計を用いて測定し、平衡濃度、吸着重金属量を求めた。

(2) 吸脱着試験

吸着試験における吸引ろ過後の平衡濃度に達した溶液20ml、残渣として残ったセメント硬化体を促進炭酸化させたもの1gを10時間攪拌し、溶液の濃度変化から溶液内に存在する重金属の再吸着、または脱着を判断した。

(3) 再吸着試験

吸脱着試験より鉛イオンの再吸着が認められたので、吸着試験における吸引ろ過後の平衡濃度に達した溶液20ml、残渣として残ったセメント硬化体を促進炭酸化させたもの1gを10時間攪拌し、その後、硝酸鉛(II)水溶液を5ml添加し、さらに6時間攪拌した。攪拌後、溶液を吸引ろ過し、ろ液の濃度を原子吸光光度計を用いて測定し、平衡濃度、吸着重金属量を求め、吸着量の増加量の定量を試みた。

なお、促進炭酸化は温度20℃、相対湿度60%、CO₂濃度10%の環境のもと、吸脱着試験では1週間以上、再吸着試験では5週間以上行った。

図1、図2に吸着試験、再吸着試験の操作手順を概略図と示す。



図1 吸着試験

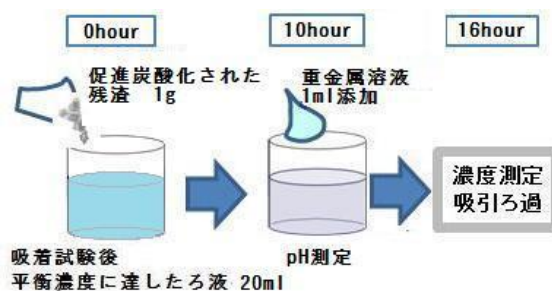


図2 再吸着試験

3. 実験結果と考察

(1) 吸着試験結果

図3に各水セメント比におけるPbの吸着試験結果を示す。吸着試験を行った結果、Pbの吸着等温線はFreundlich型の吸着等温線に分類されたが、水セメント比の大小による吸着特性の違いについては本実験からは確認できなかった。

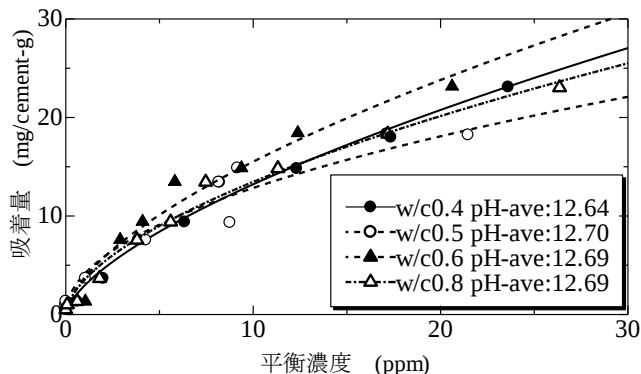


図3 水セメント比別Pb吸着等温線

(2) 吸脱着試験結果

図4にPbの吸脱着試験の結果をw/c=0.8（促進炭酸化期間1週間）を例として示す。

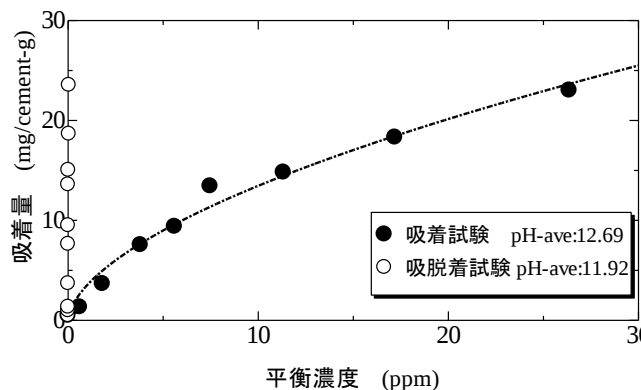


図4 w/c=0.8 吸脱着試験結果

w/c=0.8に限らず、吸脱着試験後の溶液濃度はいずれの水セメント比においてもほぼ0となり、ろ液内に存在した鉛イオンの殆どが炭酸化したセメント硬化体に再吸着したことがわかる。これは吸着試験後のpHが12.7程度だったのに対して、吸脱着試験後のpHが11.92まで低下したためであると考えられる。宮本ら¹⁾の結果と同様に吸着現象の有するpH依存性のため、少なくともpHが12.7から11.9までの範囲ではPbはセメント硬化体に再吸着するといえる。

(3) 再吸着試験結果

Pbについて、再吸着が認められたので、再吸着試験を行った。結果を図5～図8に示す。

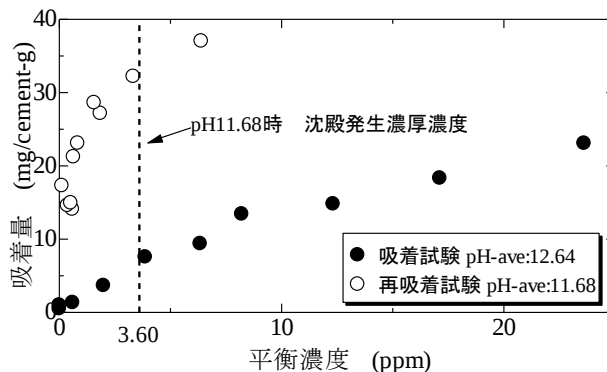


図5 w/c=0.4-Pb 再吸着試験結果

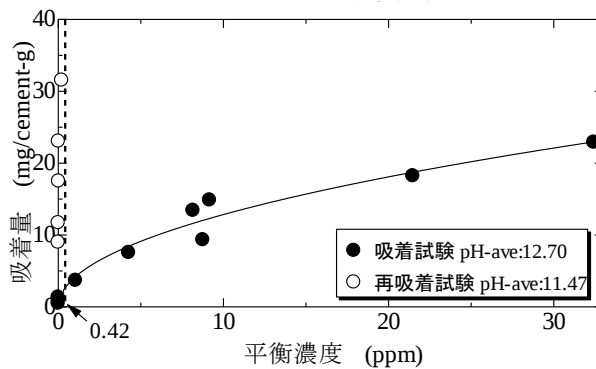


図6 w/c=0.5-Pb 再吸着試験結果

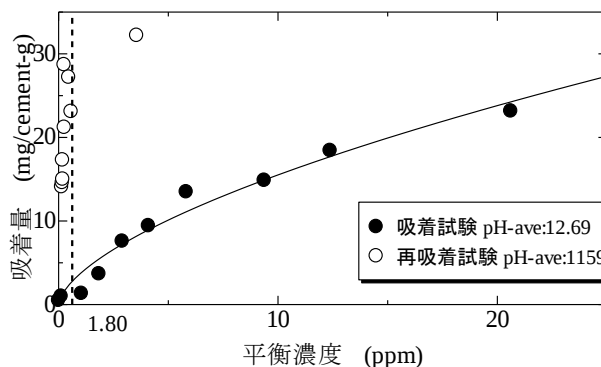


図7 w/c=0.6-Pb 再吸着試験結果

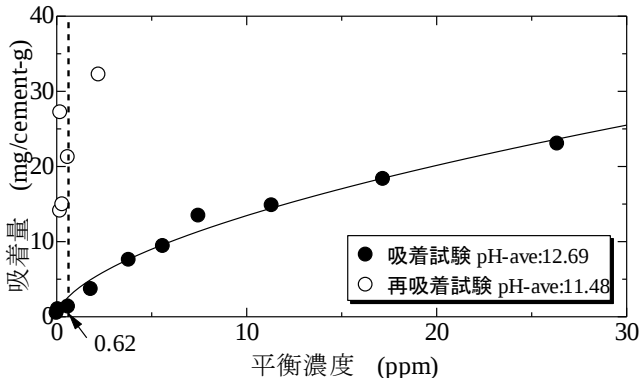


図8 w/c=0.8-Pb 再吸着試験結果

図中の破線は $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ と $\text{Na}(\text{OH})$ 溶液を用いて実験から求めた pH 別の水酸化鉛の飽和濃度を表わしている. 本実験では濃度測定により吸着量, 平衡濃度を求めるため, Pb 化合物の沈殿が生じた場合には吸着量を過大評価することになる. そのため, 本実験では吸着現象の平衡濃度が水酸化鉛の飽和濃度を上回った場合には沈殿が生じているものと仮定して, 吸着量の評価から除外した.

図から見てとれるように, いずれの水セメント比においても吸着量は大幅に増加した. Pb については, 炭酸化の進行したセメント硬化体内部においては炭酸化による pH の低下により少なくとも pH=11.47 までは吸着量は増加するといえる. その要因としては, セメント水和物が炭酸化し炭酸カルシウム, シリカゲルが生成されることによる吸着表面積が増大したこと, セメント硬化体の炭酸化により溶液の pH が低下したことが考えられる. しかし, 佐藤ら²⁾の実験結果より, pH 一定のもとでは炭酸化したセメント硬化体のほうが健全なセメント硬化体と比較して Pb の吸着量が小さくなることが分かっており, 吸着量の大幅な増加はセメント水和物の炭酸化に因るものというよりは, pH の低下に因るものであると推測される.

また, 少なくとも pH=12.7 から pH=11.3 までの低下範囲では pH の低下に伴い, Pb の難溶塩が生成しやすくなるため, 炭酸化の進行に伴い Pb はコンクリート中に固定されやすくなり, 溶出は進行しづらくなるといえる.

4. 結論

吸脱着試験より炭酸化したセメント硬化体に対して液相の重金属は再吸着することが明らかとなった.

再吸着試験においては, 水セメント比ごとに溶液の pH が異なったこと, また, pH の低下に伴い水酸化鉛の飽和濃度が低下したことにより, 炭酸化したセメント硬化体への重金属の吸着量増加を定量的に評価することはできなかったが, 少なくとも pH の低下が pH=12.7 から pH=11.4 までの範囲であれば吸着量は増加することがわかった.

参考文献

- 1) 宮本祐輔, 坂中謙太, 河合研至 セメント水和物の重金属吸着特性に及ぼす pH の影響, 土木学会年次学術講演会講演概要集 62 巻 5 号 5-0492, 2007
- 2) 佐藤俊光, 宮本祐輔, 河合研至 セメント硬化体からの重金属溶出に及ぼす炭酸化の影響, 土木学会中国支部研究発表会発表概要集 60 巻 5 号 V-35, 2008