

セメント硬化体中における重金属の移動性に関する実験的検討

広島大学大学院 正会員 河合 研至
 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 田野 彰一
 広島大学大学院 学生会員 ○坂中 謙太
 広島大学大学院 正会員 石田 剛朗

1. 背景及び目的

近年では、環境負荷低減に向けて、廃棄物や他産業種の産業副産物のコンクリートへの有効利用が望まれているが、廃棄物等の中には重金属を多量に含むものもあることから、コンクリートから重金属が溶出することにより周辺環境汚染の発生が懸念される。したがって、廃棄物等をコンクリートに有効利用する際には、コンクリートからの重金属溶出による環境負荷を適切に評価し、安全性を確認しておくことが重要である。

現在、コンクリート分野では、重金属溶出の評価ツールとして環境庁告示13号試験や環境庁告示46号試験がよく用いられる。しかし、これらの溶出試験はそれぞれ廃棄物、土壌を対象とした試験であることから、コンクリートからの重金属溶出を適切に評価できるとはいえない。したがって、コンクリートに適した溶出評価方法を確立すべきであるが、その第一段階としてまずコンクリートからの重金属溶出機構を把握しておく必要がある。

そこで、本研究ではコンクリートからの重金属溶出機構を解明するため、拡散セル試験を行うことによりセメント硬化体中における重金属の移動性について検討した。

2. 実験概要

試料には、W/C=0.40のセメントペーストを約40×40×1.5mmの板状に成形したものをを用いた。既往の研究でセメント硬化体中の重金属の移動性は低いといわれている^{1),2)}ことから、本研究では試料の厚みを約1.5mmと薄くした。写真1が本研究で作製した拡散セルであり、左側が移動する重金属を検出する側(以下、検出側)、右側が重金属を多量に溶解させた溶液を満たす側(以下、重金属側)である。重金属はアルカリ環境において溶解度が低いため、重金属側の試験溶液に重金属を多量に溶解させたとしても、試料からアルカリ成分が溶



写真1 本研究で作製した拡散セル

出し溶液のpHが上昇すると沈殿が生じてしまう。そこで、本研究では試験溶液を予め細孔溶液に近い状態にすることで、沈殿の生成を抑制した。すなわち、試験溶液には、試料と同様のセメントペーストを粉砕し、液固比10(ml/g)として純水中で24時間攪拌させたものを用いた。また、重金属側の試験溶液には、純水中に粉砕したセメントペーストとともに重金属を加えて攪拌したる液を用い、このときの重金属濃度を初期値として測定した。重金属は銅及び鉛に着目し、それぞれ試薬の硝酸銅三水和物($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)、硝酸鉛($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$)を用いた。

試験開始後4週間は1週間毎に溶液を5mlずつ採取した。それ以降は、濃度勾配を維持するため、1週間毎に両方の試験溶液を全液交換し、交換した溶液の重金属濃度を測定した。尚、濃度測定は原子吸光光度計を用いて行なった。

また、試験を120日間続けた後、セメント硬化体中の重金属の移動性を観察するため、拡散セル試料の断面について電子線マイクロアナライザー(EPMA)分析を行った。試料をセルから取り出して試料中央部で切断し、切断面を研磨した後にEPMAにより銅、鉛の各元素の分布状態を分析した。

3. 結果及び考察

3. 1 拡散セル試験溶液の濃度変化

各セルの試験条件は表1に示す通りで、試験溶液の平均重金属濃度は、交換ごとに作製した試験溶液の平均濃度であり、検出側においても若干の濃度が検出さ

キーワード 拡散, 重金属, 拡散係数, セメント硬化体

連絡先 〒730-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1 広島大学大学院 構造材料工学研究室 TEL082-424-7786

表1 拡散セルにおける試験条件

重金属	試料厚さ (mm)	試験溶液の平均重金属濃度	
		検出側 (μg/l)	重金属側 (μg/l)
Cu	1.21	1.54×10^1	6.80×10^2
Pb	1.45	7.51×10^1	4.13×10^4

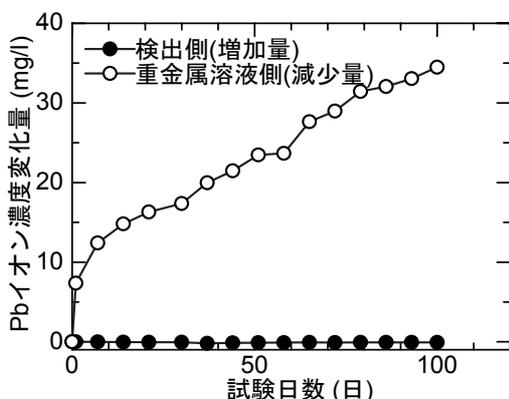


図1 拡散セル試験における鉛イオン濃度変化量

れているのはセメントに含まれていた重金属が溶出したためであると思われる。鉛の拡散セルについて鉛イオン濃度の累積変化量を図1に示す。黒塗りが検出側の累積濃度増加量で、白塗りが重金属側の累積濃度減少量である。これより、100日間が経過しても重金属側の鉛イオン濃度は減少傾向にあり、さらに検出側においても鉛イオン濃度の増加が見られないことから、100日程度では鉛は試料中を通過して検出側に移動しないことがわかる。これは、セメントもしくはセメント水和物の重金属固定能が大きいためであると考えられ、鉛が濃度勾配によりセメント硬化体中を拡散移動したとしても、セメント水和物等に固定されてしまうために見かけ上移動が進まないものと思われる。尚、銅についても鉛と同様の結果が得られており、100日経過後も検出側の銅イオン濃度が上昇することはなかった。

3. 2 EPMA 分析による移動性の把握

試験開始から120日間が経過した後、試料をセルから取り出し、試料の断面についてEPMA分析を行った。図2(a)に銅、図2(b)に鉛のEPMA分析結果を示す。図2(b)からわかるように、鉛は試験期間中に表面から約250μm内部まで移動しており、鉛はセメント硬化体中を濃度拡散によって移動することが確認できた。一方、図2(a)より銅については試料表面から約20μm内部まで分布していることがわかるが、移動量が微量であるため、この結果から銅が濃度拡散により試験体内部を移動すると断定することはできない。したがって、

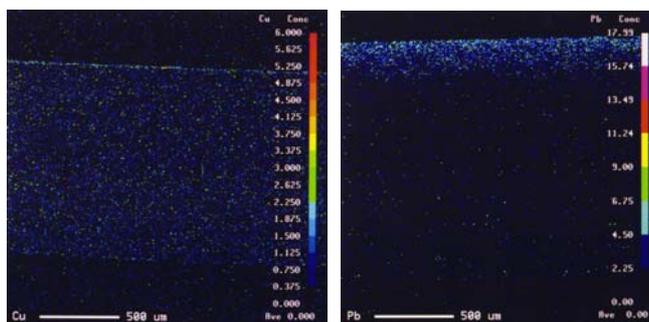


図2 EPMA 分析結果

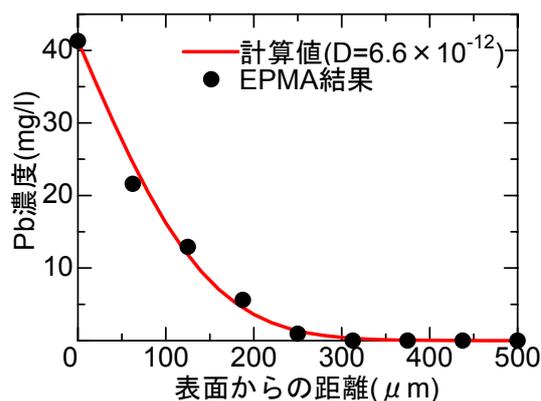


図3 拡散セル試料内部の鉛の濃度分布

さらに長期の検討が必要であるといえるが、浸漬試験を行なった既往の研究²⁾により銅は鉛よりも移動性が低いことが明らかとなっており、銅についてもセメント硬化体中を濃度拡散する可能性は十分考えられる。

図3に鉛の拡散セル試料における重金属側の端部から内部にかけての濃度分布を示す。また、本研究では試験期間中は常に重金属溶液側の重金属濃度が表1に示す平均濃度となっているものとして、Fickの拡散方程式を用いてEPMA結果からセメント硬化体中における鉛の見かけの拡散係数を算出した結果、図3中にも示すように $6.6 \times 10^{-12} \text{ (cm}^2/\text{sec)}$ となった。コンクリート中を移動する塩化物イオンの拡散係数のオーダーが $10^{-7} \sim 10^{-8}$ であることから、鉛の移動性は極めて低いものと思われる。

4. 結論

鉛はセメント硬化体中を拡散移動することが確認できた。また、その見かけの拡散係数は $6.6 \times 10^{-12} \text{ (cm}^2/\text{s)}$ であり、極めて移動性が低いことがわかった。

参考文献

- 1) エコセメント製品の重金属類溶出試験に関する検討委員会報告書，廃棄物学会，2000
- 2) 河合研至ら：コンクリートからの重金属溶出の長期予測に関する研究，セメント・コンクリート論文集，No.59，pp.311-316，2005