

Ca(OH)₂ を溶脱させたセメント硬化体中における 鉛の挙動に関する研究

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○高谷隼人
 広島大学大学院工学研究科 学生会員 菊地博満
 広島大学大学院工学研究院 正会員 河合研至

1. はじめに

近年、コンクリート分野において、廃棄物・産業副産物を有効利用することで環境負荷低減への取り組みが行われてきているが、産業廃棄物等には、有害物質も含まれている。そのため、重金属を含む廃棄物・産業副産物を利用した場合のコンクリートからの長期的な溶出予測、及び、その評価手法の確立が必要となる。その第一段階として重金属の溶出機構を明らかにするため、本研究では、Ca(OH)₂ を溶脱させたセメント硬化体を用いることによって、重金属溶出挙動を把握することを目的とし、重金属溶出機構の中でも拡散、吸着に着目して実験的検討を行った。ここで重金属に Pb を使用した。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

W/C=0.50, 0.80, 1.0 で寸法が 40mm×40mm×160mm の角柱セメントペーストを作製し、打設後 24 時間で脱型し、室温 20℃、相対湿度 90% で 28 日間封緘養生を行った。その後、試験体を純水に浸すことで Ca(OH)₂ を溶脱させた。溶脱の程度については熱分析により確認した。溶脱前後の試料の Ca(OH)₂ 量を表-1 に示す。

2.2 実験方法

(1) 吸着試験

吸着試験は Ca(OH)₂ の溶脱前、溶脱後の試料に対して行った。溶脱前の試料では、20g の純水に粉砕した健全なセメントペースト 1g を加え、溶出するイオンが平衡状態に達するように 10 時間攪拌した。その後、硝酸鉛水溶液を 1ml 添加し、さらに 6 時間攪拌した。攪拌後、その溶液を吸引ろ過し、得られたろ液の濃度測定を行った。溶脱後の試料では、粉砕した健全なセメントペーストを液固比が 20 となるように純水に加え、10 時間攪拌した。攪拌後、吸引ろ過したろ液 20g に粉砕した溶脱後のセメントペースト 1g を加え、そこへ硝酸鉛水溶液を 1ml 添加し 6 時間攪拌した。攪拌後、その溶液を吸引ろ過し、得られたろ液の濃度測定を行った。

(2) 拡散試験

拡散試験装置は、厚さ約 1.5mm のセメントペースト板を、試験体中を拡散した鉛イオンを検出する側（以下検出側とよぶ）と、鉛イオンを多量に含む溶液で満たす側（以下重金属側とよぶ）の 2 つのセルの間に挟み込む形状のものである。検出側の溶液には純水を使用し、重金属側の溶液には硝酸鉛水溶液を用いた。また、拡散の駆動力は濃度勾配によるものである。測定方法としては、重金属側のセルから試験体内部を拡散し、検出側のセルまで移動した鉛イオン濃度を、濃度変化量が定常状態になるまで定期的に測定した。濃度測定は、原子吸光光度計を用いて行った。

表-1 溶脱前後の試料の Ca(OH)₂ 量

	Ca(OH) ₂ 量(%)		
	溶脱前	溶脱後	
W/C	溶脱前試料	拡散用試料	吸着用試料
0.50	14.304	0.284	1.731
0.80	14.510	0.905	0.592
1.0	15.312	0.539	0.617

キーワード 溶脱, セメント水和物, 重金属, 拡散, 吸着

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科 構造材料工学研究室 TEL:082-424-7786

3. 実験結果

3.1 吸着試験結果

図-1 に $W/C=1.0$ における Pb の吸着等温線を示す。溶脱前、溶脱後の試験体共にフロインドリッヒ型の吸着等温線に分類でき、溶脱により吸着量は大幅に増加した。これは溶脱によって水和生成物の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が減少するとともに、同じく水和生成物のカルシウムシリケート水和物 (C-S-H) の Ca も溶解し、シリカゲル ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) に変化したためだと考えられる。シリカゲルは多孔質構造（細孔構造）を持ち表面積が広いので、これにより吸着量が増加したと考えられる。また、 W/C による吸着量の違いはあまり見られなかった。

3.2 拡散試験結果

図-2 に $W/C=1.0$ における重金属側、検出側溶液中の Pb 濃度の積算変化量、図-3 に溶脱後の水セメント比別の細孔径分布を示す。図-2 より、試験開始後 9 週間目（63 日目）から重金属側の減少量と検出側の増加量が等しくなり、平衡状態に達したため実効拡散係数を算出することができた。 $W/C=0.80$ の場合も同様に平衡状態に至り、 $W/C=0.80$, 1.0 における実効拡散係数はそれぞれ $1.01 \times 10^{-10}(\text{cm}^2/\text{s})$, $1.05 \times 10^{-10}(\text{cm}^2/\text{s})$ となった。どちらの水セメント比の拡散係数もほぼ同じ数値となっているのが分かる。 $W/C=0.50$ の試験体は重金属側と検出側の変化量が等しくならなかったため実効拡散係数を算出することはできなかった。理由として、図-3 に見られるように $W/C=0.50$ と $W/C=0.80$, 1.0 とを比較すると、細孔容積がピークの時の径にあまり違いはないが、 $W/C=0.80$, 1.0 において細孔径 $1 \mu\text{m}$ 付近の細孔容積が $W/C=0.50$ に比べ多いことがわかる。また、高水比になるにつれて総細孔容積が大きくなっていることと、吸着試験から、どちらの水比も吸着量にさほど違いはないことから、Pb の拡散には空隙量が深く関係していると考えられる。

また、 $W/C=0.80$, 1.0 の試験体において細孔径が $1 \mu\text{m}$ 付近の細孔容積が $W/C=0.50$ の試験体より多かったため短期間で拡散したのではないかと考えられる。次に図-3 の細孔径分布より、セメント硬化体中の空隙の形状が円柱であると仮定し、それぞれの径の空隙の表面積を算出、そしてセメント硬化体の総表面積を求めた。また、拡散試験より、 $W/C=0.80$ と 1.0 における平衡状態になる前の重金属側と検出側の重金属量の差が吸着量である。これらのことから単位表面積当たりの吸着量がわかる。 $W/C=0.80$ における吸着量は $6.36 \times 10^{-10}(\text{mg}/\mu\text{m}^2)$, $W/C=1.0$ においては $6.35 \times 10^{-10}(\text{mg}/\mu\text{m}^2)$ となり、どちらの水セメント比の吸着量もほぼ同じ値となった。

4. 結論

$W/C=0.80$, 1.0 の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を溶脱させたセメント硬化体中における Pb の実効拡散係数は $1.0 \times 10^{-10}(\text{cm}^2/\text{s})$ であり、移動性は非常に低い。また、溶脱により C-S-H がシリカゲルに変化したため吸着量は大幅に増加し、セメントペーストの単位表面積当たりの吸着量は $6.3 \times 10^{-10}(\text{mg}/\mu\text{m}^2)$ となった。

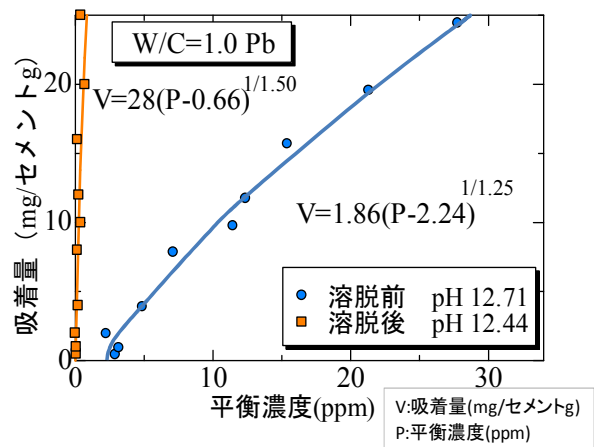


図-1 $W/C=1.0$ における Pb の吸着等温線

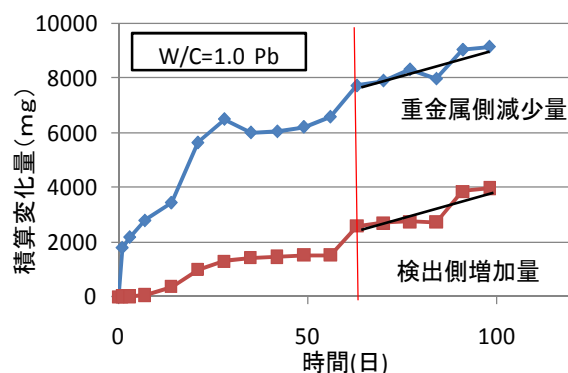


図-2 $W/C=1.0$ における Pb の積算変化量

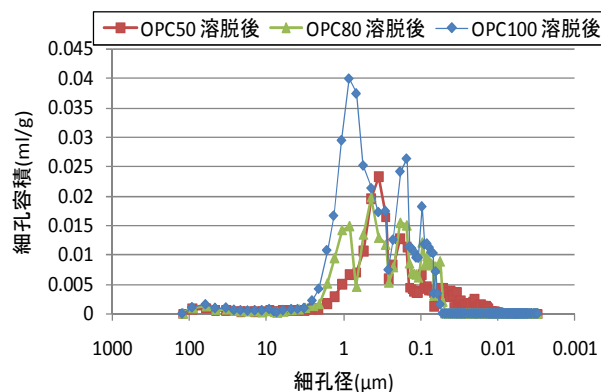


図-3 溶脱後の水比別の細孔径分布