

鉛を含むセメント硬化体に共存イオンが及ぼす影響

広島大学 学生会員 ○西脇 拓巳
 広島大学 学生会員 周 少軍
 広島大学 学生会員 山崎 真治
 広島大学 正会員 小川 由布子
 広島大学 フェロー会員 河合 研至

1. はじめに

近年有限資源の枯渇化に伴い、コンクリート材料への産業廃棄物の再利用が期待されている。産業廃棄物のコンクリート材料への再利用率向上を実現するには、周辺環境、人体に対する安全性を適正に評価する必要がある。既往の研究では、鉛を含む重金属はセメント硬化体へ固定されていて、重金属の溶出は環境や人体に影響が発生しない程度になることが示されている¹⁾。しかし、 CaCl_2 溶液内では、セメント硬化体からの鉛の溶出量が多いことも示されている²⁾。そこで、本研究では、脱イオン水、 CaCl_2 溶液以外にも 2 つの溶液を用いて、異なる共存イオン下におけるセメント硬化体からの鉛溶出挙動について検討を行った。

2. 実験概要

(1) 供試体概要

本研究では、溶出に影響する因子を明確にするため、セメントペーストを用いた。セメントには普通ポルトランドセメント、練混ぜ水には純水を用いた。供試体の水セメント比は 0.40 とした。添加する重金属は鉛とし、セメント量の 1% を硝酸鉛として添加した。供試体は 1 辺が 40mm の立方体で、打込み後 28 日間、封緘養生を行った。

(2) タンクリーチング試験

溶出試験としてタンクリーチング試験を行った。接触溶液は CaCl_2 溶液、 NaCl 溶液、 KCl 溶液、脱イオン水とし、塩化物溶液の濃度はすべて 10% とした。接触溶液の量は供試体表面積 100mm^2 あたり 5ml、すなわち 1 供試体あたり 480ml である。浸せき期間は 64 日とした。また、浸せき中は二酸化炭素の侵入を防ぐために容器を蓋で密閉した。浸せき開始後 0.25、1、2.25、4、9、16、25、36、64 日で全液交換を行い、交換後の溶液中の鉛の濃度を原子吸光分光光度計により測定した。

(3) 粉末 X 線回折試験

既往の研究よりセメントの水和生成物である $\text{Ca}(\text{OH})_2$ や Ettringite、C-S-H には鉛等の重金属を吸着固定する能力を有すると示されている³⁾ことから、溶液浸せきによる水和物組成の変化を検討した。鉛の難溶性化合物の同定を行うために、タンクリーチング試験前および浸せき 64 日終了後の供試体において粉末 X 線回折試験により定性分析、定量分析を行った。測定箇所は、浸せきさせた溶液の影響を最も受けることが考えられる浸せき溶液接触面から 0~0.1mm とした。測定には粒径 $150\mu\text{m}$ 以下の粉末試料を用いた。粉末 X 線回折の測定条件は、X 線源 $\text{CuK}\alpha$ 、管電圧 30kV、管電流 10mA、測定範囲 $5^\circ\sim 65^\circ$ 、ステップ幅 0.04、スキャンスピード $15^\circ/\text{min}$ である。定性分析には解析ソフトとして EVA を用いた。定量分析にはリートベルト解析法を用い、解析ソフトとして TOPUS を用いた。また、各鉱物の定量では、標準試料として分析試料に混合した $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (10wt% 混合) を定量対象とした。非晶質である C-S-H は、定性分析により同定できた試料を全体から引いた値とした。

3. 実験結果および考察

(1) タンクリーチング試験結果

図 1 に CaCl_2 溶液、脱イオン水に浸せきさせた場合、図 2 に KCl 溶液、 NaCl 溶液、脱イオン水に浸せきさせた場合の鉛の累積溶出量と時間との関係を示す。溶出量は溶出重金属量 (mg) を供試体質量 (kg) で除した値であり、

キーワード 鉛, 溶出, 共存イオン, 粉末 X 線回折

連絡先 〒739-0042 広島県東広島市鏡山 1-4-1 A-2-522 広島大学工学部構造材料工学研究室 TEL 082-424-7786

重金属の含有量と後述する溶出率を合わせて考慮した指標である。図1および図2より、浸せきさせる溶液によって、鉛の累積溶出量は大きく異なり、最も多く溶出した CaCl_2 溶液に浸せきさせた場合では、最も鉛の溶出量が少なかった脱イオン水に浸せきさせた場合と累積溶出量で比較すると、浸せき 64 日後では 35 倍程度多くなった。これは、 CaCl_2 溶液浸せき時に鉛の溶出量が多くなると報告している既往研究²⁾の結果と整合した。また、浸せき 64 日では CaCl_2 溶液に浸せきさせた場合を他の塩化物溶液に浸せきさせた場合と比較しても溶出量は多く、 KCl 溶液に浸せきさせた場合よりも 9 倍程度、 NaCl 溶液に浸せきさせた場合よりも 11 倍程度多くなった。

(2) 粉末 X 線回折試験結果

図3に定性分析の結果を示す。定性分析の結果から、浸せき 64 日後には、いずれの溶液を用いた場合にも Ettringite のピークが消失していることが確認された。また、塩化物溶液に浸せきさせた場合のみ Friedel 氏塩、鉛の化合物である Damaraita が確認された。

図4および図5はそれぞれ浸せき前の Portlandite 量、C-S-H 量に対する各溶液に浸せき後の Portlandite 量、C-S-H 量の割合と溶出率との関係を示す。溶出率は溶出した鉛の量の鉛含有量に対する割合を示している。図より定性分析の結果同様、Portlandite 量の減少が確認された。これから浸せきにより Portlandite が溶脱しているといえる。また、浸せき中も水和反応が進行していることから C-S-H 量の増加も確認できる。しかし、図からも確認できるように溶出率と Portlandite 量、C-S-H 量との間に相関性はなく、これらの量が鉛の溶出に影響を与える支配的な因子とは考え難い。Damaraita については各供試体で分析試料に対して 2%弱確認できた。別途行った示差熱重量分析により 1000℃まで加熱した時の供試体の減量結果を考慮すると、鉛の含有量はセメント量に対して 1.7%~2.2%となり、鉛の添加量を大幅に上回る。したがって、表面から 0~0.1 mm では塩化物溶液に浸せきさせた場合、添加した鉛のうち溶出しない鉛の大部分は Damaraita の形で固定されていると考えられるが、今回採用したリートベルト解析法の精度を勘案したとき、この妥当性に関しては更なる検討が必要である。

4. 結論

(1) タンクリーチング試験の結果から、共存イオンにより溶出量は異なり、脱イオン水< NaCl 溶液< KCl 溶液< CaCl_2 溶液の順に鉛の溶出量が多くなることを確認した。

(2) 粉末 X 線回折試験の結果から、各溶液への浸せきにより Portlandite、Ettringite の減少、C-S-H の増加を確認したが、Portlandite 量、C-S-H 量と鉛の溶出率との間に相関性は確認できなかった。また、塩化物溶液に浸漬させた場合、鉛は Damaraita の形で固定されている可能性が高いことが示された。

参考文献

- 1) 内川浩：セメントによる廃棄物・汚泥中の有害物質の固定、セラミックス、12、pp.103-117 (1977)
- 2) 河合研至、菊地博満、高谷隼人、林明彦：セメント硬化体における鉛の吸脱着特性と溶出挙動、セメント・コンクリート論文集、No.65、pp.126-131 (2011)

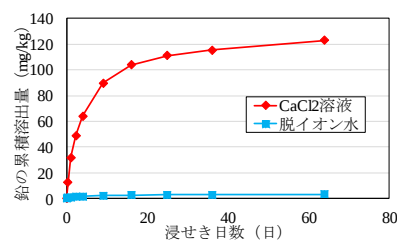


図1 累積溶出量
(塩化カルシウム溶液、脱イオン水)

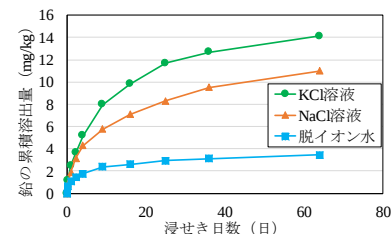


図2 累積溶出量
(塩化カルシウム溶液以外)

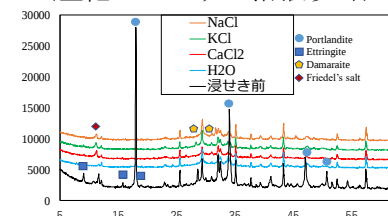


図3 粉末 X 線回折解析(定性結果)

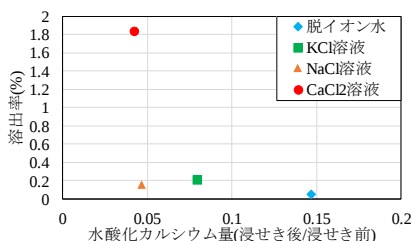


図4 鉛の溶出率と Portlandite 量
(浸せき前に対する
浸せき後の比)との関係

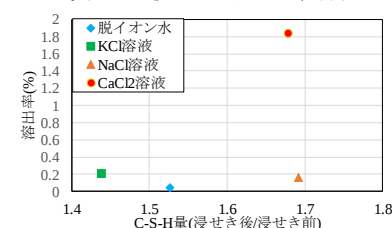


図5 鉛の溶出率と C-S-H 量
(浸せき前に対する
浸せき後の比)との関係