

異なる塩化物溶液に浸せきさせたセメント硬化体からの鉛溶出挙動

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廃棄物の再利用が期待されている。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であ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おり²⁾、鉛の溶出はコンクリートの周辺環境に依存することがわかる。また、既往研究では溶液濃度が鉛の溶出への程度影響するかについての考察が少ないことから、本研究では、脱イオン水、 CaCl_2 溶液以外にも 2 種類の塩化物溶液を用いて、異なる共存イオン下、異なる溶液濃度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

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、0.55 とした。添加する重金属は鉛とし、セメント量の 1% を硝酸鉛として練混ぜ水に添加した。供試体は 1 辺が 40mm の立方体とし、28 日間、20℃ の恒温室にて封緘養生した。

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 5%、10%、20% とした。また接触溶液の量は、供試体表面積 100mm² あたり 5ml、すなわち 1 供試体あたり 480ml とし、64 日間浸せきした。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 pH および鉛の濃度を測定した。鉛濃度測定には原子吸光分光光度計を用いた。

3. 実験結果および考察

(1) 鉛の溶出濃度測定結果

図 1 および 2 は水セメント比 0.40 の供試体を各溶液に浸せきさせた場合の、鉛の累積溶出量と時間の 1/2 乗との関係を示す。図 1 は、 CaCl_2 溶液および脱イオン水に浸せきさせた場合、図 2 は NaCl 溶液、 KCl 溶液、脱イオン水に浸せきさせた場合である。なお、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、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。重金属溶出のポテンシャルを表し、試験条件が異なる溶出試験間の比較が可能となる。

フィックの第二法則より、鉛の溶出機構が濃度勾配を駆動力とする拡散溶出であるならば、累積溶出量は時間の 1/2 乗に比例することが知られている。すべての溶液で、鉛の累積溶出量と時間の 1/2 乗で比例関係が見られる。したがって、本研究における鉛溶出は拡散溶出が支配的であるといえる。ただし、浸せき開始後 4 日から 9 日で傾きが変化していることがわかる。どの溶液でも同時期に傾きの変化があることから、溶液種類に関係なく濃度勾配の変化が発生しているものと考えられる。浸せき溶液の影響を受ける供試体の深さの範囲が限られている可能性が考えられる。これについては更なる検討が必要である。

キーワード 鉛, 溶出機構, 溶出量, 溶出率

連絡先 〒730-0042 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

溶液濃度の影響については CaCl_2 溶液に浸せきさせた場合、濃度の高さに比例して、累積溶出量が多くなる傾向を確認することができたが、その他の溶液では溶液濃度と累積溶出量との相関性は確認できなかった。 KCl 溶液、 NaCl 溶液に浸せきさせた場合、溶液濃度と累積溶出量との相関性が確認できなかった原因として、原子吸光分光光度計における鉛の検出限界が影響している可能性が考えられるが、溶液のpHが影響している可能性もあり、この点については次節で考察する。

図3に水セメント比 0.40 の供試体を、各 10%溶液に浸せき時の累積溶出量を示す。累積溶出量は、脱イオン水< NaCl 溶液< KCl 溶液< CaCl_2 溶液の順に多くなっていることがわかる。この浸せき溶液による累積溶出量の相違は、先述した浸せき溶液の供試体中における影響範囲に起因しているものと考えられ、溶液の影響範囲の鉛が 100%溶出していると仮定すると、 CaCl_2 溶液では接触面から深さ 250 μm 、 KCl 溶液では深さ 22 μm 、 NaCl 溶液では深さ 29 μm 、脱イオン水では深さ 6.8 μm が影響範囲となると算出された。同じ塩化物溶液でも共存イオンが Ca^{2+} イオンである場合、影響範囲が深いことがわかる。この点については今後、鉛濃度分布、塩化物イオン濃度分布を EPMA 試験等により詳細に検討する必要がある。

図4および5に浸せき 64 日の溶出率の結果を示す。溶出率は溶出重金属量の重金属含有量に対する割合を示している。水セメント比が高くなると、溶出量が多くなることが示された。これは、細孔量が影響している可能性が高いと考えるが、その程度については今後検討する必要がある。また、溶出率は CaCl_2 溶液浸せき時に他の溶液に浸せきさせた場合に比べ、高いことがわかる。しかし、 CaCl_2 溶液に浸せきさせた場合でも、最高で 8%程度であることから、浸せき溶液の影響を受ける範囲は接触面からごく浅い部分であることが前節同様にうかがえ、ほとんどの鉛は吸着、固定されていることがいえる。

(2) pH 測定結果

図6に水セメント比 0.40 の供試体について、各全液交換時での溶出量とpHの関係を示す。 CaCl_2 溶液ではpHが低下すれば溶出量が増加する傾向が見られた。しかし、pH依存性を研究した既往研究³⁾の結果よりも溶出量が多い結果となった。また、 KCl 溶液、 NaCl 溶液、脱イオン水に浸せきさせた場合においては pH の変動幅が小さいため、pHが溶出に影響を与える因子になり得るかどうかは不明である。

4. 結論

タンクリーチング試験の結果、鉛の溶出機構は拡散溶出が支配的であると考えられる。溶出量については、脱イオン水< NaCl 溶液< KCl 溶液< CaCl_2 溶液の順に多くなることがわかっ

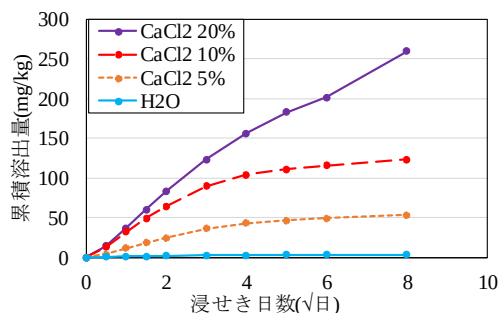


図 1 累積溶出量
(CaCl_2 溶液、脱イオン水)(W/C=0.40)

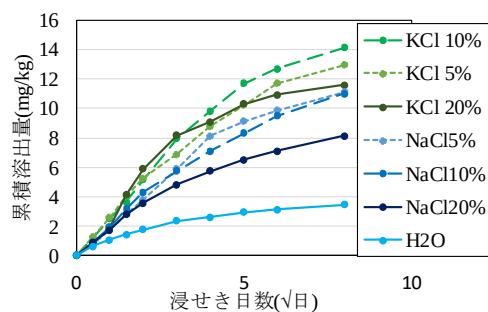


図 2 累積溶出量(KCl 溶液、 NaCl 溶液、脱イオン水)(W/C=0.40)

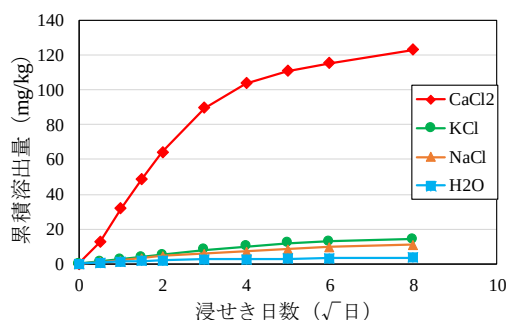


図 3 累積溶出量(各 10%溶液)(W/C=0.40)

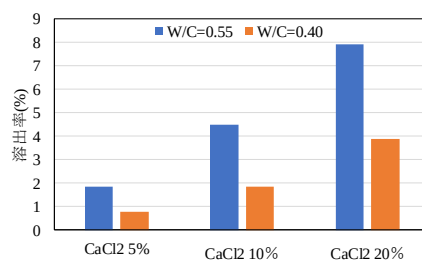


図 4 溶出率(CaCl_2 溶液)

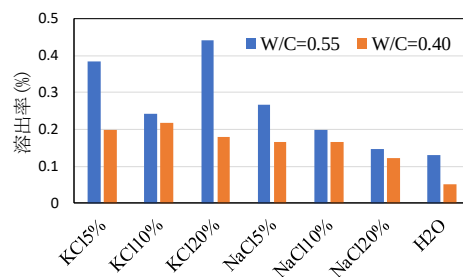


図 5 溶出率(CaCl_2 溶液以外)

た。溶液濃度による溶出量の相違については、 CaCl_2 溶液に浸せきさせた場合は溶液濃度が高いほど溶出量が多くなる傾向が顕著に示されたものの、その他の溶液に浸せきさせた場合は濃度による溶出量の相違は小さいことが確認された。また、溶出率の結果から、添加した鉛の大部分は供試体に吸着固定されていることがいえる。

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)
- 3) 河合研至、田野彰一、石田剛朗、坂中謙太：コンクリートからの重金属溶出メカニズム、セメント・コンクリート論文集、No.60、pp.314～320(2006)

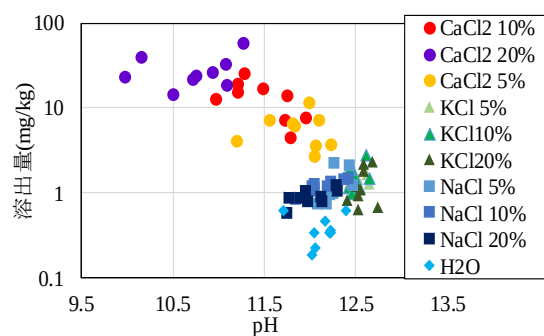


図 6 溶出量と pH の関係