

平成 29 年 5 月 18 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289136

研究課題名(和文) コンクリート中の重金属の環境影響評価

研究課題名(英文) Environmental impact evaluation of heavy metals in concrete

研究代表者

河合 研至 (KAWAI, KENJI)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90224716

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、産業廃棄物の有効利用等に伴ってコンクリートに含有される恐れのある重金属に関して、コンクリートが置かれる環境条件によって、重金属の長期溶出挙動が異なり、溶出挙動に重金属の吸着特性が影響していることを明らかとしたものの、吸着特性を考慮した重金属溶出挙動のモデル化を構築するまでには至らなかった。また、環境影響に対して、大気排出物質排出量などとともに、重金属溶出量を考慮する必要は明らかとしたものの、溶出量算出の設定条件を明確化させるまでには至らなかった。

研究成果の概要(英文)：In this study, it was found that long term leaching behavior of heavy metals which may be contained in concrete due to effective utilization of industrial wastes is different in environmental conditions where concrete structures are placed, however modeling of heavy metal leaching considering its adsorption properties on concrete has not been finalized. Regarding environmental impacts, it was clarified that the impacts should be calculated considering heavy metal leaching amounts together with gas emissions, however the setting conditions for the calculation of leaching amounts could not be specified.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：土木材料 コンクリート 重金属 環境影響評価

1. 研究開始当初の背景

資源有効活用の観点から、コンクリート用材料として各種産業廃棄物の利用が強く求められるなか、産業廃棄物をコンクリートに活用する際の問題点の一つとして、コンクリートからの重金属溶出がある。セメント硬化体は、重金属に対して高い固定能力を有することが知られているが、セメント硬化体からの重金属溶出が皆無ではなく、また、既往の研究において、セメント硬化体と接する溶媒の種類によっては、セメント硬化体からの重金属の脱着が比較的生じやすいことを明らかとしてきた。そのため、重金属溶出は、コンクリートの置かれる周辺環境に依存することとなる。

コンクリートからの重金属溶出を評価することは、コンクリートの環境影響評価を行うことに他ならない。ただし、環境影響評価ではCO₂をはじめとする大気排出物質を取り扱う場合が多く、また、コンクリート硬化後の有害物質の溶出についてはその評価方法が明確ではないことから、CO₂をはじめとする大気排出物質、重金属などの水質汚濁物質、土壌汚染物質など環境に関わる要因を包括的に影響評価する状況には至っていない。

2. 研究の目的

本研究は、産業廃棄物の有効利用等に伴ってコンクリートに含有される恐れのある重金属に関して、コンクリートが置かれる環境に則した条件によって、供用期間にわたる重金属の長期溶出挙動を予測し、その溶出が環境に与える影響をCO₂排出量、NO_x排出量、SO_x排出量、ばいじん排出量、天然資源消費量、廃棄物発生量などとともに、コンクリートがもたらす環境影響として包括的に評価することを目的とする。

3. 研究の方法

研究内容は、(1)コンクリートからの重金属溶出に関する検討、(2)重金属溶出がもたらす環境影響評価方法に関する検討に大別される。以下、それぞれの研究内容について概説する。

(1)重金属溶出に関する検討は、各種溶液を用いたタンクリーチング試験により実施した。供試体はモルタルとし、セメントには普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比を0.40、0.55の2水準、重金属の種類を銅、鉛、亜鉛の3水準とした。重金属はセメント質量の1%を硝酸塩として添加した。供試体は寸法40×40×160mmの型枠に打込み後、28日間封緘養生し、40×40×40mmとなるよう切断後、タンクリーチング試験に供した。タンクリーチング試験に溶媒として用いた溶液は、10% NaCl 溶液、10% KCl 溶液、10% CaCl₂ 溶液、10% MgCl₂ 溶液、10% Na₂SO₄ 溶液、9.9% K₂SO₄ 溶液、0.3% CaSO₄ 溶液、10% MgSO₄ 溶液、脱イオン水の9種類であ

る。溶液量は、土木学会規準に準拠して、供試体の表面積100mm²あたり5mL、すなわち1供試体あたり480mLに設定した。溶出試験開始後、0.25、1、4、9、16、25、36、64、100、225、400、625日後に溶液は全液交換して回収し、原子吸光光度計により溶液中の重金属濃度を定量することによって、累積の重金属溶出量を算出した。なお、溶出試験0、64日では供試体の一部を回収し、水銀圧入法により細孔径分布測定を行った。

(2)重金属が溶出する場合の、コンクリート構造物の主な供用環境を淡水域、土壌環境と考え、重金属溶出に伴う影響領域を人間毒性、生体毒性として検討した。重金属の毒性特性化係数の計算モデルには、Margniらが提案したモデルを採用した。評価対象とした重金属は、銅、鉛、亜鉛である。また、重金属の毒性係数の算出では、基準物質を大気排出の1,4-ジクロロベンゼンとした。そして、算出結果を基に、ケーススタディを行った。ケーススタディには、図1に示す内径1400×1400mm、施工延長100mの地中構造物として、プレキャストボックスカルバートを用いた。このボックスカルバートに銅、鉛、亜鉛が1kg/m³含有されているものと仮定し、供用段階、廃棄段階について環境影響評価を実施した。銅、鉛、亜鉛の溶出原単位は、供用段階については、タンクリーチング試験結果に基づく100年後の溶出予測量から算出し、廃棄段階では、環境庁13号試験結果に基づく溶出量から算出した。この溶出原単位に、重金属含有量、重金属の溶出を想定する構造物の表面積、毒性係数を乗ずることにより、人間毒性、水域毒性、陸域毒性の特性化係数を求めた。

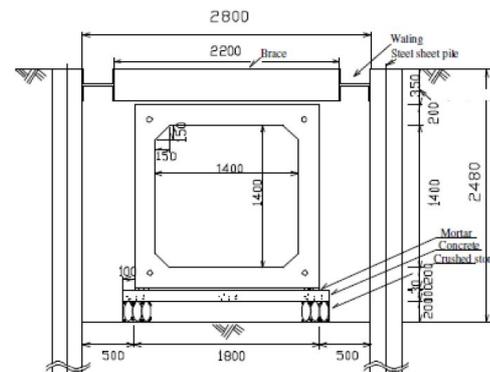


図1 ケーススタディに用いたPCaボックスカルバートの断面図

4. 研究成果

(1)結果の一例として、W/C=0.40の供試体を用いたタンクリーチング試験におけるPbの累積溶出量の経時変化を図2、図3に、Znの累積溶出量の経時変化を図4、図5に、Cuの累積溶出量の経時変化を図6、図7に示す。なお、図の横軸の浸せき期間は、時間の平方

根で示している。

図2, 図3より, Pbに関しては, CaCl_2 を溶媒として用いた場合に限り, 著しく溶出量が増加していることがわかる。概して, 累積溶出量に関しては, 浸せき期間64~100日までと浸せき期間64~100日以降で溶出傾向が異なり, それぞれの範囲では, 溶媒に関係なく直線近似が可能と考えられる。

図4, 図5より, Znに関しては, Pbの場合と同様に CaCl_2 を溶媒とした場合に最も溶出量が高くなっているものの, Pbの場合ほど他の溶媒との差は顕著ではない。累積溶出量に関しては, 全般的にPbと同様, 浸せき期間64~100日までと浸せき期間64~100日以降で傾向が異なり, それぞれの範囲では, 溶媒に関係なく直線近似が可能と考えられる。

図6, 図7より, Cuに関しては, 溶媒を CaCl_2 とした場合ならびに溶媒を K_2SO_4 とした場合に, 他の溶媒よりも溶出量が増加しているが, K_2SO_4 に関しては, 供試体が硫酸塩膨張を生じており, ひび割れ等からの溶出が加わった影響が表れているものと考えられる。このことを勘案すると, 著しい溶出を生じているのは, Pb, Znの場合と同様, 溶媒として CaCl_2 を用いた場合のみとなる。累積溶出量に関しては, 全般的にPbやZnと同様, 浸せき期間64~100日までと浸せき期間64~100日以降で傾向が異なり, それぞれの範囲では, 溶媒に関係なく直線近似が可能と考えられる。

以上の結果から, Pb, Zn, Cuのいずれの場合においても, 溶媒を CaCl_2 とした場合にのみ, 顕著な溶出が認められ, 全般的な累積溶出量は, 浸せき期間64~100日までと浸せき期間64~100日以降で傾向が異なり, それぞれの範囲では, 溶媒に関係なく直線近似が可能と考えられることが明らかとなった。

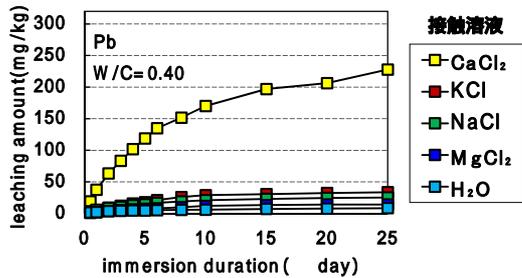


図2 Pbの累積溶出量の経時変化(W/C=0.40)

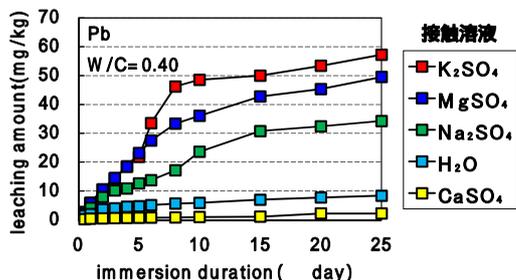


図3 Pbの累積溶出量の経時変化(W/C=0.40)

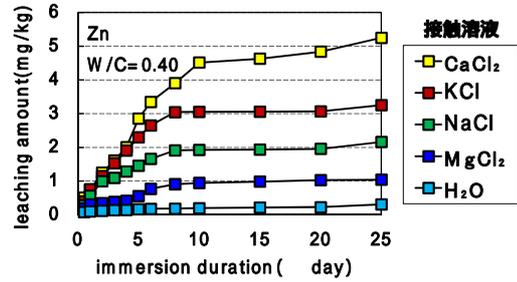


図4 Znの累積溶出量の経時変化(W/C=0.40)

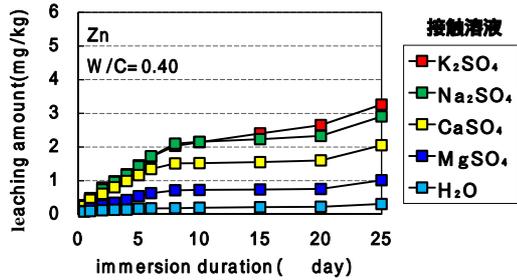


図5 Znの累積溶出量の経時変化(W/C=0.40)

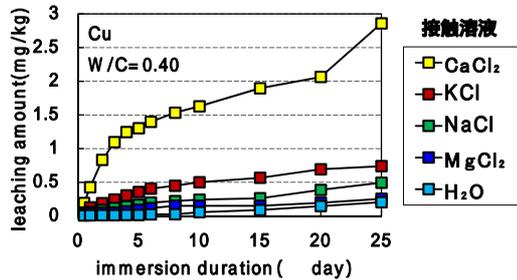


図6 Cuの累積溶出量の経時変化(W/C=0.40)

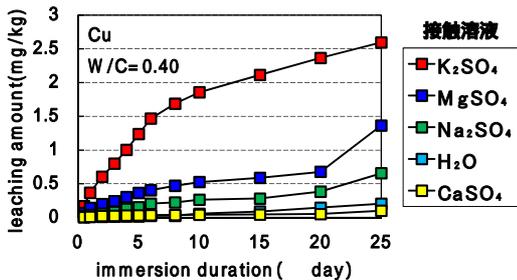


図7 Cuの累積溶出量の経時変化(W/C=0.40)

次に, 浸せき前と浸せき64日後に測定した各供試体の細孔径分布の結果を図8に示す。前記のとおり, 溶媒を K_2SO_4 としたW/C=0.40の供試体では, 硫酸塩膨張を生じてしまったため, 50nm以上の細孔量が著しく多くなっているが, それ以外の供試体に関しては, 浸せき後においても浸せき前の細孔量と大きな相違は見られない。このことから, 上記の CaCl_2 を含む各溶媒による累積溶出量の相違は, 供試体の物理的特性によるものではなく, 溶媒の化学的作用が影響しているものと考えられる。

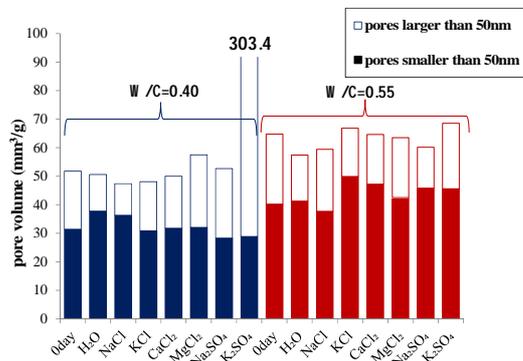


図 8 細孔径分布の測定結果（0 日と記載以外の供試体は、各溶液に 64 日間浸せき後）

先に考察したとおり、累積溶出量では浸せき期間 64～100 日までと浸せき期間 64～100 日以降で異なる傾向が示された。溶媒が CaCl₂ の場合には、供試体に含有される重金属に対して、W/C=0.40 で約 6%、W/C=0.55 で約 10%が溶出しているものの、その他の溶媒の場合には、W/C=0.40、W/C=0.55 のいずれの供試体においても 1%未満の溶出が大半を占めており、溶出は供試体のごく表層付近からにとどまっているものと考えられる。また、セメント硬化体に対する重金属の吸着特性について、pH を変化させて実験を行ったところ、pH が 12.8 から低下するにつれてセメント硬化体に対する重金属の吸着量は多くなり、その傾向は pH が 12 以下のときに顕著である結果が得られた。このことから、重金属の溶出過程における細孔溶液中の pH の変化が、重金属の拡散に影響を及ぼしていることが考えられる。

(2)結果の一例として、ケーススタディとして行ったプレキャストボックスカルバートの環境影響評価結果を示す。図 9 に人間毒性の特性化結果、図 10 に水域生態毒性の特性化結果、図 11 に陸域生態毒性の特性化結果をそれぞれ示す。なお、図中には本検討結果とあわせて、USES-LCA の毒性係数を使用した場合の結果を示している。Case 1 は重金属として銅、鉛、亜鉛を考慮した場合、Case 2 は重金属として鉛のみを考慮した場合である。ここで、この両者を比較しているのは、国内において環境影響の代表的な統合化手法の一つとして用いられている日本版被害算定型影響評価手法（LIME）では、重金属として鉛は考慮されているものの、銅、亜鉛は考慮されていないためである。図 9 より、人間毒性に関しては、銅、亜鉛を考慮してもしなくても、特性化係数は大きく変わらないことがわかる。また、図 11 より、陸域生態毒性に関しても、銅、亜鉛の考慮は、特性化係数を大きく変化させるものではない。しかし、水域生態毒性に関しては、図 10 に示すとおり、銅、亜鉛を考慮するかしないかで特性化係数は大きく異なることが明らかとな

った。また、本検討と USES-LCA とを比較して明らかとなり、両者の相違が毒性係数の計算モデルによって大きく相違することがわかった。

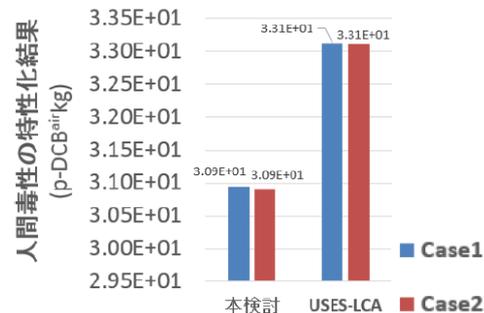


図 9 人間毒性の特性化結果

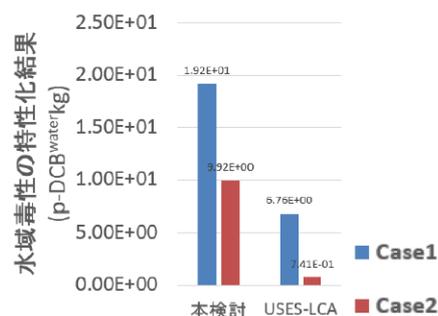


図 10 水域生態毒性の特性化結果

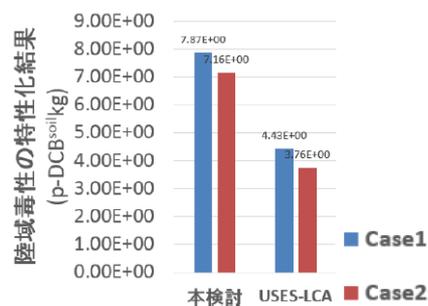


図 11 陸域生態毒性の特性化結果

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 3 件)

1. 周少軍, コンクリートから溶出する重金属の毒性係数による環境影響評価, 第 68 回土木学会中国支部研究発表会, 2016 年 5 月 21 日, 広島工業大学 (広島県・広島市)
2. Tanaka Shinya, Influence of Type of Immersion Solution on Lead Leaching from Mortar, 14th International Conference on Civil and Environmental Engineering, 9-11 Nov. 2015, Taoyuan (Taiwan)
3. 田中慎也, 接触溶液の種類がモルタルからの鉛溶出量に及ぼす影響, 第 67 回土木学会中国支部研究発表会, 2015 年 5 月 23 日, 山口大学工学部 (山口県・宇部市)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

河合 研至 (KAWAI KENJI)

広島大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：9 0 2 2 4 7 1 6