

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

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○周 少軍
広島大学大学院工学研究院 正会員 小川由布子
広島大学大学院工学研究院 フェロー会員 河合 研至

1. はじめに

現在、コンクリートは廃棄物・副産物の活用場所として大いに期待が高まっている。ここで、問題の一つとして微量であるにもかかわらず発がん性リスクなどの有害リスクあるいは環境に危険をもたらす可能性をもつ重金属の溶出があり、長期にわたる定量的な評価が必要である。一方、コンクリート分野において環境影響評価が行われ始めているが、コンクリートからの重金属の溶出試験結果を環境基準等による規制値と比較することにより、利用可能性の有無を判断するのみで、規制値内の場合の環境影響が評価されていない⁽¹⁾。日本において最も包括的な環境影響評価の統合化手法の一つである日本版被害算定型影響評価手法(LIME)であっても、重金属についての考慮が完全ではなく、例えば、銅、亜鉛の環境影響評価が含まれていない。そこで本研究では、コンクリートから溶出する重金属の環境影響評価を行う際、銅および亜鉛を評価の対象重金属とする必要性を明らかにすること、および構造物のライフサイクル中の人間・生態影響を定量的に評価することを目的とした。

2. 重金属の毒性特性化係数の算出概要

2.1 毒性特性化係数の計算モデルの選択と重金属の毒性ポテンシャルの算出

重金属の毒性特性化係数(以下、毒性係数)の計算モデルは、重金属評価が含まれるいくつかの LCIA の統合化手法について、本研究に対する適用可能性を検討し、Margni ら⁽²⁾が提案したモデルを採用した。コンクリート構造物から溶出する各重金属の毒性は供用環境によって変わる。本検討では、コンクリート構造物の主な供用環境である淡水域、土壌環境を重金属の排出先とした。これらの排出先に溶出する重金属が影響する領域は、主に人間毒性および生態毒性の二つである。人間毒性ポテンシャルは式(1)を用い、排出された重金属のうち人間に摂取された量(暴露効率 If_i^m)を年間基準摂取量(HRD)で割ることで求められ、単位質量のある重金属が一年間でどれぐらいの人口にHRDを暴露されるかということを示す。生態毒性ポテンシャルは人間毒性ポテンシャルと同じ考え方である。

$$F_i^m E_i^m = If_i^m \frac{1}{\rho_p N B \times HRD_i^m} \quad (1)$$

F_i^m : 重金属 i を排出先 m に排出する場合の運命係数; E_i^m : i が排出先 m に排出する場合の影響係数; ρ_p : 評価地域の人口密度; N : 毎年の日数; V_i^m : 希釈体積 (m^3/m^2) B : 評価地域の人の平均体重; HRD_i^m : 人間健康に対して影響が現れないと見られる最大の径口摂取量; τ_i^m : i を m に排出する場合, m での滞留時間(year); V^{m-in} : 一人一日当たりの汚染された m の摂取量($m^3/person \text{ day}$).

2.2 毒性係数の算出

重金属の毒性係数(TP_i^m)は、式(3)に示すとおり、基準物質に対する対象重金属の毒性ポテンシャルの比で表される。

$$TP_i^m = \frac{F_i^m \times E_i^m}{F_{Fe}^m \times E_{Fe}^m} \quad (3)$$

本研究では、基準物質を大気排出の 1,4 ジクロロベンゼン(以下、p-DCB^{排出先})とした。この結果、表 1 に示すとおり、銅、亜鉛の人間毒性はほかの重金

属のより小さいことが分かった。一方で、表 2 に示すとおり、銅の水域生態毒性は、高い毒性を持っているとされている鉛、ヒ素、六価クロムよりも高く、銅、亜鉛の陸域生態毒性は鉛のとはほぼ差がないということが明らかにな

表 1 重金属の人間毒性係数

	HTP (単位: p-DCB ^{排出先} equiv. kg)	
	水域排出	土壌排出
Cu	1.11E+00	2.93E+00
Zn	3.49E-01	9.19E-01
Pb	1.03E+02	2.71E+02
As	1.73E+02	4.63E+02
Cr ⁶⁺	1.56E+01	4.11E+01
Cd	3.98E+01	1.05E+02
Hg	2.82E+03	7.42E+03

表 2 重金属の生態毒性係数

	水域排出	土壌排出	
	AETP(単位: p-DCB ^{排出先} equiv. kg)	AETP(単位: p-DCB ^{排出先} equiv. kg)	TETP(単位: p-DCB ^{排出先} equiv. kg)
Cu	1.09E+03	8.24E+02	1.62E+01
Zn	5.23E+01	3.95E+01	2.59E+01
Pb	1.15E+02	8.70E+01	6.28E+01
As	2.40E+02	1.81E+02	5.88E+05
Cr ⁶⁺	1.13E+02	8.54E+01	1.43E+03
Cd	1.69E+04	1.28E+04	4.61E+05
Hg	2.30E+04	1.74E+04	3.99E+04

キーワード 重金属, 毒性係数, ケーススタディ, 定量化評価

連絡先 〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1 広島大学工学研究科 社会基盤環境工学専攻 TEL: 082-424-7819・7828

った。亜鉛の水域生態毒性がこれらの重金属の中に一番小さいが、鉛との差は1オーダーにも満たない。

3. ケーススタディによるコンクリートから溶出する重金属の環境影響評価

3.1 環境負荷評価の概要

本研究では、内径 1400×1400mm、
施工延長 100m の地中構造物である
一般的な PCa ボックスカルバード(3)
を環境影響評価の対象構造物とした。
その断面およびコンクリートの配合
を、図 1、表 3 に示す。対象重金属は銅、亜鉛、鉛とし、副産物・廃棄物
の活用により表 3 の配合にそれぞれが 1kg/m³ 含有されるものと仮定した。
重金属溶出の評価範囲は、供用段階、廃棄段階とした。

表 3 コンクリートの配合

	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)					
		W	NC	BB	BP	S	G
基礎	61	173	-	284	-	837	1028
PCa box culvert	44	175	220	-	180	775	1033

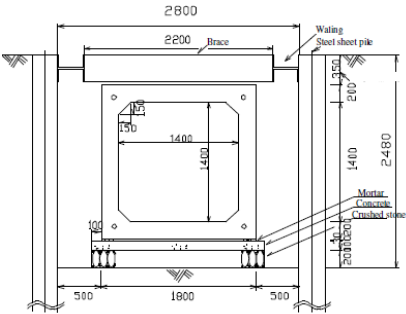


図 1 PCa ボックスカルバード工の断面

3.2 インベントリ分析結果

銅、亜鉛、鉛の溶出原単位について、供用段階では既往研究(4)100 年後の重
金属溶出予測量に基づいて算出した。廃棄段階では、一般廃棄物の埋立処分で
ある管理型埋め立ての適否を判定するために用いられる環境庁 13 号試験の結
果で算出した。インベントリ結果は原単位×重金属含有量×重金属溶出表面積で求め、この結果を表 4 に示す。

表 4 インベントリ分析結果 単位:kg

項目	供用段階	廃棄段階	小計
Cu	9.31E-03	9.04E-04	1.02E-02
Zn	1.79E-02	3.17E-03	2.11E-02
Pb	5.13E-02	6.28E-02	1.14E-01

3.3 特性化による生命周期影響評価

各評価領域の特性化評価結果は、表 1、表 2 で示した毒性係数にインベントリを乗じて求めた。なお、ヨーロッ
パの環境条件に基づくモデル(USES-LCA)の毒性係数(5)を使用した結果も示した。Cu、Zn、Pb を対象とする場合 (以
下 Case1) と、鉛のみを対象とする場合 (以下 Case2) について、人間毒性、生態毒性の特性化試算結果を図 2 から
図 4 に示す。Cu、Zn、Pb を考慮する Case1 と比べ、Pb のみを考える Case2 では、人間毒性はほとんど同じが、水
域生態毒性および陸域生態毒性はそれぞれ 48.2%、9.03%無視する結果となることがわかった。

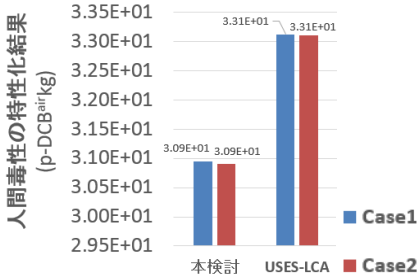


図 2 人間毒性の特性化結果

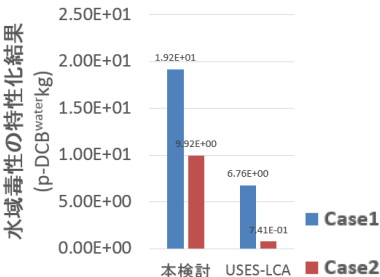


図 3 水域生態毒性の特性化結果

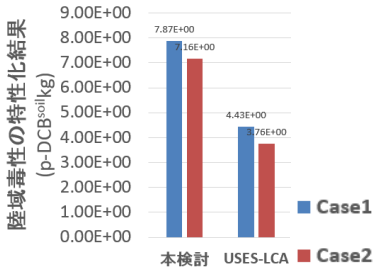


図 4 陸域生態毒性の特性化結果

4. まとめ

日本の環境条件に適用できる銅、亜鉛の毒性係数の算出およびケーススタディに基づいて特性化を行った結果と
して、コンクリートから溶出する重金属の環境影響評価を行う際、銅、亜鉛を評価の対象重金属とすべきことが明
らかになった。

参考文献

(1)松村健司ら：材料評価システムにおける環境汚染評価方法に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，
No.1，pp.835-840，2005． (2)Margni Metal：Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems.
Agriculture, Ecosystems and Environment .pp.379-392，2002． (3)Akihiro Fujiki and Kenji Kawai：Case studies on
environmental impact assessment of precast concrete products. The 11th Annual International fib Symposium, E3，2009． (4)
河合研至，田野彰一，松村健司：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，Cement Science and
Concrete TechNO2logy，NO2.59，pp.311-315，2005． (5)Huijbregts M.A.J. et.al.: Priority assessment of toxic substances in
life cycle assessment. Part I: calculation of toxicity potentials for 181 substances with the nested multi-media fate exposure and
effects model USES-LCA. Chemosphere 41，555，2000．