

鉍さいの原位置不溶化処理に関する検討

大成建設（株） 正会員 ○根岸 昌範
正会員 海野 円
正会員 小松 寛

1. はじめに

東日本大震災を契機として、鉍さい堆積場においては、耐震補強目的で中層混合処理工法等の軟弱地盤対策技術が適用されている¹⁾。物理的な対策を講じることで、鉍さい流出など大規模な周辺への環境リスクを低減することが可能となる。一方で、鉍さいに対するセメント混合処理が、帯水層経由での有害金属類拡散リスクを低減する措置として、どの程度溶出抑制効果を発揮できるか確認した事例は少ない。

ここでは、鉍さい試料に対して中層混合処理工法を模擬した室内配合試験を実施し、セメントを混合した場合の不溶化効果による有害金属類の溶出抑制効果について検討した結果を報告する。

2. 試験方法

2.1 試験対象試料

試験対象とした鉍さい試料の物性値を表-1 に、外観を写真-1 に示す。実際の鉍さいたい積場からボーリング採取した試料を、室内試験用に一定量分取し均一に混合して試験に供した。含水比が71%と高く、細粒分含有率も80%を超えるような性状であり、そのままでは掘削が困難な物性を示した。黄鉄鉍など微細な硫化鉍物が含まれており、土粒子密度は若干大きかった。また、環告13号に準拠した方法で鉍さいの溶出量試験を実施したところ、作成した溶出検液のpHは4.4と弱酸性を呈した。

金属等の個別成分の溶出量と波長分散型蛍光X線(XRF)分析による含有量を表-2に示す。有害金属類としては鉛(Pb)およびカドミウム(Cd)の溶出が検出され、その他マンガン(Mn)や亜鉛(Zn)についても高濃度で検出された。一方で、鉄(Fe)についてはごく低濃度であり、水酸化鉄などの形態で鉍さい中に留まっているものと考えられた。XRF分析値からは、鉄、硫黄(S)、亜鉛、鉛などが高濃度で含有されていた。Sの含有量3.6%に対して硫酸イオンの溶出量は410mg/Lとなっており、大部分は硫化物の形態で鉍さい中に残存しているものと推察された。

2.2 配合試験手順

高炉セメントB種をW/C=80%のセメントミルクとして使用し、粉体換算で30kg/m³から150kg/m³の添加条件で、室内試験用ミキサーで鉍さいと混合した。なお、混合手順は30秒攪拌後に一旦停止して攪拌翼等の土壌をかき落とし、再度30秒間攪拌した。モールド内で標準養生したうえで材令7日、28日、90日後の段階で溶出量試験(環告13号準拠)を実施した。

表-1 鉍さい試料の物性値

項目	単位	測定値
含水比	%	71
湿潤密度	g/cm ³	1.651
土粒子密度	g/cm ³	2.849
細粒分含有率	%	82.5
溶出検液	pH	— 4.4
(環告13号準拠)	EC	mS/m 70.2

写真-1 鉍さい試料の外観

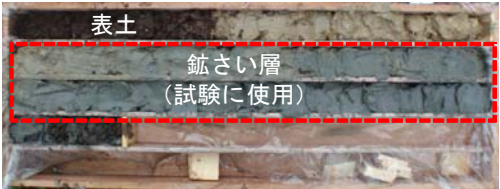


表2 鉍さいからの溶出量と含有量

成分	溶出量 (mg/L)	XRF (wt-%)
Pb	4.0	1.2
Cd	0.8	< 0.1 ^{※1}
Mn	66	0.47
Zn	96	2.0
Fe	<0.1	6.4
S	410 ^{※2}	3.6

※1:別途底質調査法測定では150 mg/kg

※2:硫酸イオン(SO₄²⁻)の分析値を示す

キーワード 鉍さい、不溶化、セメント混合、有害金属類

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 TEL 080-1079-7453

3. 試験結果および考察

図-1 から図-4 に材令と溶出量の関係を対象成分ごとに示した。Pb 溶出量は最低配合量の 30 kg/m^3 を除いて、試験期間を通じて単調に減少した。また、Cd はセメント混合の効果が顕著にみられ、 50 kg/m^3 以上の配合条件では7日後以降全てで定量下限値 0.001 mg/L まで溶出抑制された。セメント配合量 30 kg/m^3 の条件では、7日後に80%以上濃度低減するものの、28日後、90日後と時間経過とともに漸増する傾向であった。

Mn は健康項目ではないが、今回試験対象の鉱さいでは初期溶出量が数 10 mg/L オーダーを示しており、藻類等への影響も懸念されるレベルであった。セメント配合量 30 kg/m^3 の条件では28日後に80%近く濃度低減していたものが、90日後には再度増加に転じていた。セメント配合量 50 kg/m^3 の条件では 0.01 mg/L 前後の溶出量で横ばいとなった。

Zn は Mn よりも更に水生生物への影響が顕著な元素であり、水生生物保全の環境基準値 0.03 mg/L が2003年に制定され、一律排水基準も2006年に強化されている。図-4に示すようにセメント配合量 50 kg/m^3 の条件で、90日経過後でも溶出量は低濃度を維持できることがわかった。

図-5にセメント配合量と溶出検液 pH の関係を示す。セメント配合量が 30 kg/m^3 の条件では、養生期間28日後で9台まで上昇していた pH が90日後には7.5まで低下した。水酸化亜鉛の溶解度積を $[\text{Zn}^{2+}][\text{OH}]^2 = 1.2 \times 10^{-17}$ とし、 $[\text{OH}] = 10^{-6.5} \text{ mol/L}$ とした際の計算上の Zn^{2+} 濃度は 7.8 mg/L となり、90日後に亜鉛が 1 mg/L 付近まで上昇した傾向と合致する。

なお、セメント配合量 50 kg/m^3 の条件では、試験期間を通じて改良土の pH が10以上に保たれており、アルカリサイドに保つことで金属類の溶出を抑制できているものと考えられた。

4. まとめ

本試験の結果、貧配合のセメントミルク混合により、鉱さいから溶出する鉛、亜鉛、マンガンなどの金属類を効果的に溶出抑制できることを確認した。鉱さい堆積地盤に対する地耐力強化を目的としたセメント混合処理は、同時に有害金属類の溶出リスクを大幅に低減する措置として機能すると考えられる。

今後は、実機ベースでの貧配合施工性確認などを通じて、有害金属類溶出抑制手法の側面から評価検討を継続する予定である。

参考文献

- 1) 日本鉱業協会：鉱害防止対策にかかる自主保安管理の取り組み事例と今後の計画について，中央鉱山保安協議会 資料1-2，2020。

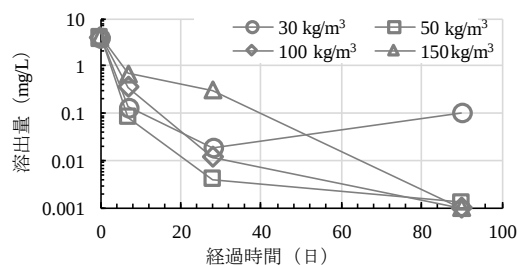


図-1 鉛 (Pb) の溶出挙動

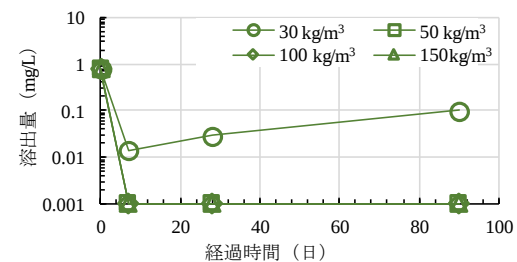


図-2 カドミウム (Cd) の溶出挙動

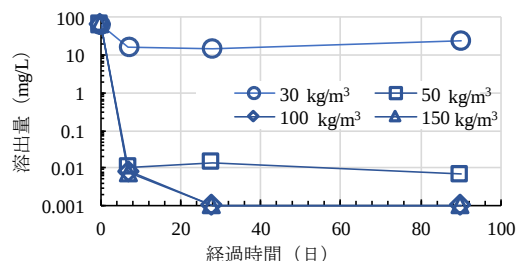


図-3 マンガン (Mn) の溶出挙動

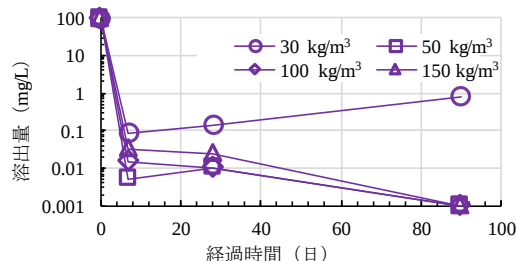


図-4 亜鉛 (Zn) の溶出挙動

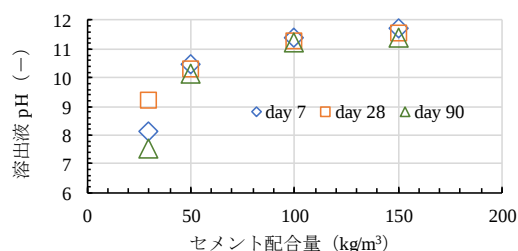


図-5 溶出検液 pH の変化