

サーキュラーエコノミーの推進に向けたエコセメントの 地盤改良材としての適用性評価

日本道路(株) 関西技術センター ○川畑 敦馬
同 技術研究所 藤井 洋志

1. はじめに

都市部から排出される都市ごみの総排出量は1990年に5,000万トンを超え、2000年に制定された循環型社会形成推進基本法などが契機となり、都市ごみの排出量は減少傾向にある¹⁾。一方、都市ごみの大部分は焼却されているが、発生する焼却灰のほとんどが埋め立て処分されており、最終処分場の残余年数のひっ迫が社会問題となっている。このような課題を背景に、都市ごみや汚泥等の焼却灰を主原料としたセメント（以下、エコセメント）が開発され、廃棄物利用による環境への貢献やCO₂排出量の低減が期待されている²⁾。エコセメントは2000年にJISに規定され、主にコンクリート製品や建築用外装材への適用が検討されているが、建築材料としての施工実績が少ないなど十分に活用が進んでおらず、普及、利活用がアップサイクルな社会の構築に重要と考える。そこで、筆者らは、エコセメントの用途拡大、需要創出を目的に地盤改良材としての適用可能性を検討することとした。本文では、現場から採取した土質試料を用いた室内検討によるエコセメントの適用性評価結果について報告する。

2. 検討方法

本検討では、エコセメントの適用対象範囲を道路路床土とし、3箇所の地域から採取した試料を用いて、①強度発現性、②有害物質の溶出量を評価した。検討項目を表-1に示す。強度発現性はCBR試験により評価し、有害物質はCBR試験によって確認した最適エコセメント添加量の試料について、六価クロム溶出量をジフェニカルバジド吸光光度法により分析し、環境基準値に対する評価を行った。試験に供した路床土の基本性状を表-2に、三角座標を図-1に示す。

3. 室内検討結果

3-1. 強度発現性

エコセメントは普通ポルトランドセメントと同等の強度を示すことが既往の研究³⁾で明らかになっているが、セメントモルタルでの評価であり、土と混合した場合の硬化性状については報告されていない。本検討では、エコセメントを50kg/m³、100kg/m³、150kg/m³添加した供試体を作製し、20℃の室内で3日間密閉養生、4日間水中養生したのちにCBR貫入試験を行った。結果を図-2に示す。すべての試料でエコセメントの添加量の増加に伴いCBR値が大きくなる傾向を示した。試料①は非処理のCBR値が3試料の中で最大であったが、エコセメント添加後のCBR値は最も低い値となった。このことから、エコセメントの強度発現性は、非処理土のCBR値によらず、含水比や粒度特性などの土質による影響が大きい可能性があることが分かった。以上の結果から、改良層の上限値であるCBR20%となる添加量を最適エコセメント量とした。なお、試料②、③は、最適エコセメント量が現場に

表-1 検討項目

分類	評価項目	評価方法	試験法
基本性状	自然含水比	土の含水比試験	JIS A 1203
	土質分類	土の粒度試験	JIS A 1204
		土粒子の密度試験	JIS A 1202
	CBR値	CBR試験	JIS A 1211
適用性評価	強度発現性	安定処理土のCBR試験	舗装調査・試験法便覧
	有害物質の溶出量	六価クロム溶出試験	JIS K 0102 65.2

表-2 路床土の基本性状

試料名	採取場所	分類名 (分類記号)	自然含水比 (%)	土粒子の密度 (Mg/m ³)	非処理CBR値 (%)
試料①	滋賀県湖南市	砂混じり粘性土 (Cs-S)	32.3	JIS A 1203	1.4
試料②	兵庫県神戸市	礫まじり砂質粘性土 (GsS-G)	19.7	JIS A 1204	0.4
試料③	兵庫県加東市	粘性土質砂質礫 (GCS)	23.9	JIS A 1202	1.1

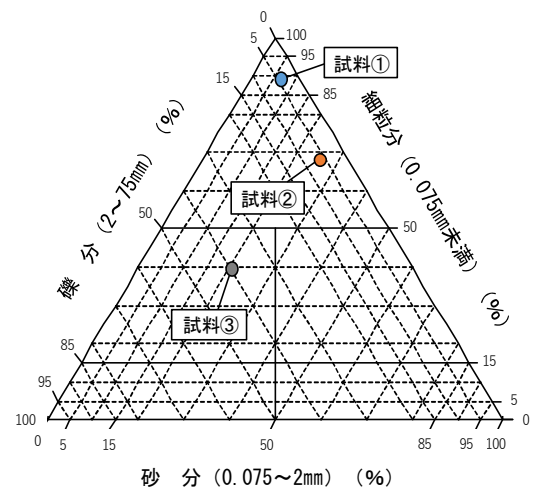


図-1 路床土の三角座標

おける均一性が確保できる最小添加量⁴⁾を下回ったため、最小添加量の 50kg/m³ を最適エコセメント量とした。

3-2. 有害物質の溶出量

セメント原料には自然由来の三価クロムが含まれており、三価クロムの一部はセメントの焼成過程で酸化され、通常自然界に存在しない六価クロムとしてセメントに含まれる。これを地盤改良材として適用した場合、土を構成する土粒子である粘土鉱物や有機物の種類により水和物の生成が阻害され、固定されなかった六価クロムが溶出する。六価クロムは人体に有害であり、環境基準値が定められているためリスク評価が非常に重要である。なお、エコセメントの主原料には焼却灰が含まれているため、高炉セメントや六価クロム溶出抑制型のセメントよりも六価クロムの含有量および溶出量が多くなるのが懸念される⁵⁾。そこで、六価クロムの還元作用による溶出抑制効果が期待できる添加剤（以下、不溶化剤）を重量比（外割）で 1%～3% 添加した試料の六価クロム溶出量について評価を行った。溶出試験は、図-2 で決定した最適エコセメント量を添加した試料と不溶化剤を混合し、7日間湿空養生後に行った。結果を図-3 に示す。不溶化剤を添加せずに溶出試験を行ったものは、全ての試料で六価クロムの溶出量が環境基準値である 0.05mg/L 以上を示した。試料①は、最適エコセメント量が 85kg/m³ と最も多かったが、六価クロムの溶出量は最も低い値となった。試料②、③については、不溶化剤を添加した場合、1%の添加で溶出量が大幅に抑制されるものの、添加量 2、3% の条件で溶出量は減少せず、環境基準値の前後で推移する結果となった。これらの結果から、六価クロムの溶出量は単位体積当たりのエコセメント量よりも土質などによる要因が大きく、土質の種類が不溶化剤の効果に影響を及ぼしていると考えられる。

4. まとめ

エコセメントの地盤改良材としての適用性について検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- ・不溶化剤は、重量比 1% の添加で六価クロムの溶出抑制効果が認められるが、添加量の増加に伴う効果はほとんどない。
- ・エコセメントの強度発現性、有害物質は CBR 値やセメント量によらず土質などによる影響が大きい。
- ・エコセメント添加量の増加に伴い CBR 値は増大し、通常のセメント系固化材と同等の改良効果がある。

5. おわりに

室内試験により、エコセメントの地盤改良材としての適用可能性が示された。今後、より体系的な検討を行うとともに、強度発現性や六価クロムの溶出抑制効果に関するメカニズムの把握に努める予定である。

【参考文献】

- 1) 環境省：令和 6 年度版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書，第 3 章，pp.162
- 2) 田中敏嗣，他：エコセメント - 資源循環型社会の構築の一翼を担う革新的技術-，コンクリート工学 Vol.54, No.5(2016)
- 3) 大住真雄：エコセメントの最近の動向，Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan 10, pp.322-329 (2003)
- 4) (一社)セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル第 4 版，pp.110-111
- 5) 高橋正昭：焼却灰の乾燥による六価クロムの生成，第 17 回廃棄物学会研究発表会公園論文集(2006)

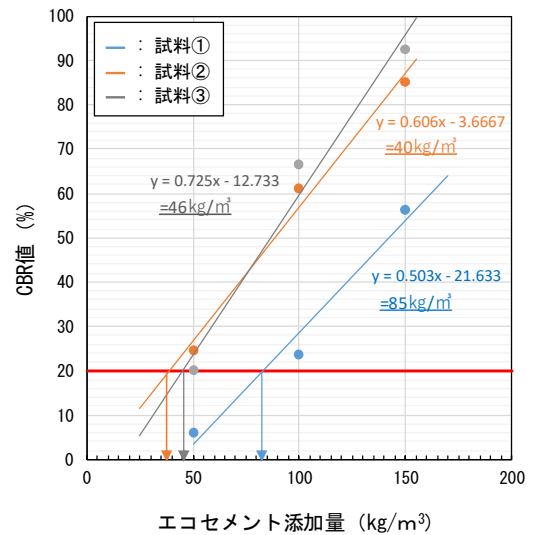


図-2 エコセメント添加量と CBR 値

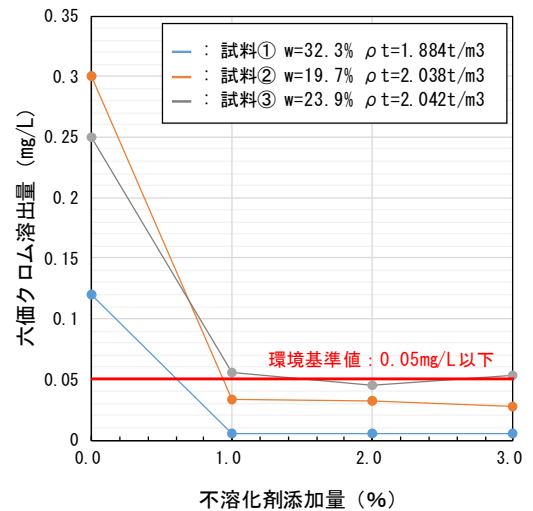


図-3 不溶化剤添加量と溶出量