

溶融スラグとバイオ炭を用いた脱炭素型地盤改良工法（その1）－室内試験－

(株)東洋スタビ
正会員
○古田 昭二
衣川 剛央

高木 祥生
田村 繁雄

清水建設(株)
正会員
西田 茉佑子
正会員
長澤 正明

正会員
土屋 尚典
フェロー会員
前田 敏也

1. はじめに

現在、国内では、地球温暖化対策としてカーボンニュートラル社会の実現に向けた取組みが推進されている。一方で、様々な建設工事において実施される地盤改良工法では、製造過程において多くのCO₂を排出するセメント系固化材が使用されている。そこで、廃棄物を溶融して得られる溶融スラグとオガ粉から生成されるバイオ炭を改良対象土に混合してCO₂排出量を実質ゼロにする脱炭素型地盤改良工法を考案した。溶融スラグを混合することで土性を改善し、固化材の添加量を低減してCO₂排出量を削減する。さらに、バイオ炭を混合することで、固化材の製造に起因するCO₂排出量に相当する炭素成分を地中に固定化し、カーボンニュートラルを実現することとなる。ここでは、室内試験を行い、その効果を検証したので報告する。

2. 使用材料

室内試験で使用した材料を表-1に、母材の粘性土および副材の溶融スラグの土質試験結果を表-2に示す。粘性土は火山灰質粘性土（赤土）を、固化材は六価クロムの溶出が少ない高炉セメントおよびセメント系固化材を用いた。また、バイオ炭は、含水比が約14%の粒状タイプ（粒径2-5mm）と粉状タイプ（粒径1mm以下）の2種類を用いた。

3. 試験概要

室内試験では、粘性土単体および、粘性土と溶融スラグの混合土のそれぞれに対して固化材およびバイオ炭を添加し、一軸圧縮強さと性状の違いについて検証した。表-3に室内試験のケースを示す。試験体の作製はセメント協会のJCAS L-01、一軸圧縮試験はJIS A 1216に準じて実施した。また、土質試験は、土の含水比試験（JIS A 1203）、土粒子の密度試験（JIS A 1202）、土の粒度試験（JIS A 1204）を実施した。

表-1 使用材料一覧

試料名	種 別	産地・製造元
母材	粘性土	埼玉県深谷市、赤土
副材	溶融スラグ	日鉄エンジ(株)、エコスラグ
固化材	高炉セメント	宇部三菱セメント(株) 高炉 B 種
	セメント系 固化材	太平洋セメント(株) 特殊土用、ジオセット 200
添加材	バイオ炭	奈良炭化工業(株) プラス-1

表-2 母材および副材の土質試験結果

土質名	俗 称	赤 土	エコスラグ
	工学的分類名	火山灰質粘性土 (低液性限界)	人工材料 ・ 廃棄物
	工学的分類記号	(VL)	(Wa)
自然含水比 w_n %		52.7	1.4
土粒子の密度 ρ_s Mg/m ³		2.729	2.822
粒度	礫分 %	5.6	1.7
	砂分 %	29.6	88.3
	シルト分 %	53.8	2.1
	粘土分 %	11.0	7.9
	最大粒径 mm	26.5	4.75
単位体積重量 kN/m ³		14.1	17.0

表-3 室内試験のケース

ケース	母材と副材の割合 (体積比)		固化材 添加量	添加材 (バイオ炭) 添加量※)	養生 日数
	粘性土	溶融スラグ			
1	100	0	高炉セメント、 セメント系固化材	0	3 日 7 日 28 日
2	75	25		0	
3	50	50		0	
4	100	0	50kg/m ³ 100kg/m ³ 150kg/m ³	9.3kg/m ³	
5	75	25		18.5kg/m ³	
6	50	50		27.8kg/m ³	

※) 固化材のそれぞれの添加量 (50kg/m³~150 kg/m³) に対してカーボンニュートラル (CN) 相当となる量のバイオ炭を添加した。文献より、普通セメント 1kg 製造時のCO₂排出量は757.9g、高炉スラグは24.1gである。高炉セメント B 種の内訳をセメント 60%、スラグ 40%とした場合、高炉セメント B 種 1kg あたりのCO₂排出量は757.9g × 60% + 24.1g × 40% = 464.38g となる (セメント系固化材も同様の配合と仮定した)。一方、バイオ炭 1kg あたり 2.51kg の炭素が固定化されている²⁾。従って、固化材 1kg をカーボンニュートラル (CN) にするために必要なバイオ炭の量は 464.38g / 2510g × 1kg = 0.185kg である。

キーワード
地盤改良、カーボンニュートラル、セメント、溶融スラグ、バイオ炭

連絡先
〒501-0555 岐阜県揖斐郡大野町公郷 3261-1 (株)東洋スタビ設計試験課
TEL 0585-32-4173

4. 試験結果

表-4 に土質試験結果を示す。粒度試験より、粒径 0.075mm 以上の粗粒分の割合は、粘性土が 35.2%であったのに対し、熔融スラグを体積比で 25%混合した混合土は 76.6%に、50%混合した混合土は 83.2%に増加した。

表-4 土質試験結果

ケース	自然含水比 w_n (%)	均等係数 U_c	粗粒分(%)
1	52.7	24.3	35.2
2	32.1	-	76.6
3	19.4	-	83.2
スラグ	1.4	8.6	90.0

ケース 1~3 について、図-1 に固化材添加量と一軸圧縮強さの関係を、図-2 に含水比と一軸圧縮強さの関係を示す。これらの結果から、スラグの混合比率が高いほど含水比が低く、一軸圧縮強さが高いことがわかる。また、高炉セメントに比べてセメント系固化材を用いた方が一軸圧縮強さが高くなっている。ここで、改良目標強度を 250kN/m²とした場合のセメント系固化材の添加量は、スラグを混合しない場合 129kg/m³、25%混合で 76kg/m³、50%混合で 53kg/m³であり、固化材添加量の低減量は、スラグ 25%混合で 41%、50%混合で 59%となる。

次に、バイオ炭を添加したケース 4~6 のうち、セメント系固化材を用いた場合の一軸圧縮強さを、バイオ炭を添加しないケース 1~3 の結果と併せて図-3 に示す。図より、同じ混合比率の混合土ではバイオ炭を添加することによって一軸圧縮強さは低くなった。

5. まとめ

粘性土に熔融スラグを混合することで、同一強度を得るために必要な固化材量を低減でき、CO₂ 排出量の削減に効果があることを確認した。また、カーボンニュートラル相当量のバイオ炭を添加すると、一軸圧縮強さが低くなる傾向があり、今後原因を解明する必要がある。なお、別報³⁾において、現場試験により室内試験と原位置攪拌の関係および現場コーン試験や密度試験による盛土材としての使用の可否を検証した。

参考文献

- 1) 溝渕麻子他：混和材を高含有したコンクリートの CO₂ 削減効果，コンクリート工学年次論文集，vol.36，No.1，p.119，2014。

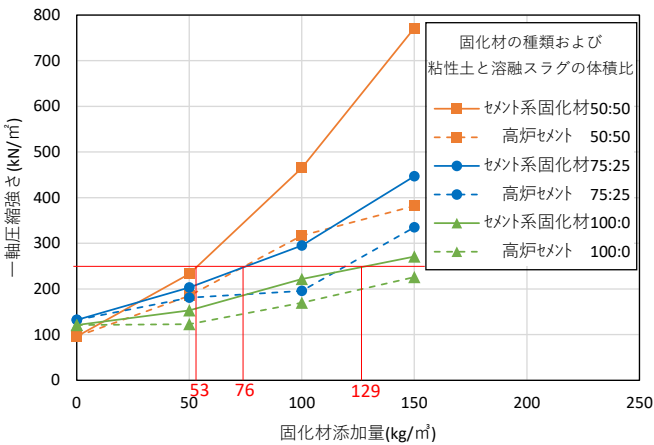


図-1 固化材添加量と一軸圧縮強さの関係(材齢 7 日)

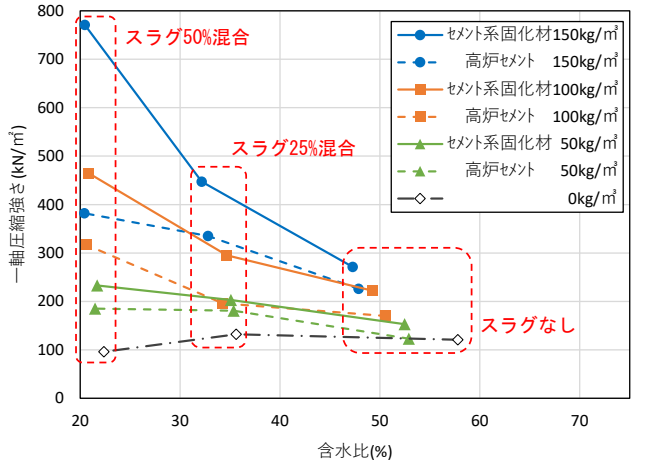


図-2 含水比と一軸圧縮強さの関係 (材齢 7 日)

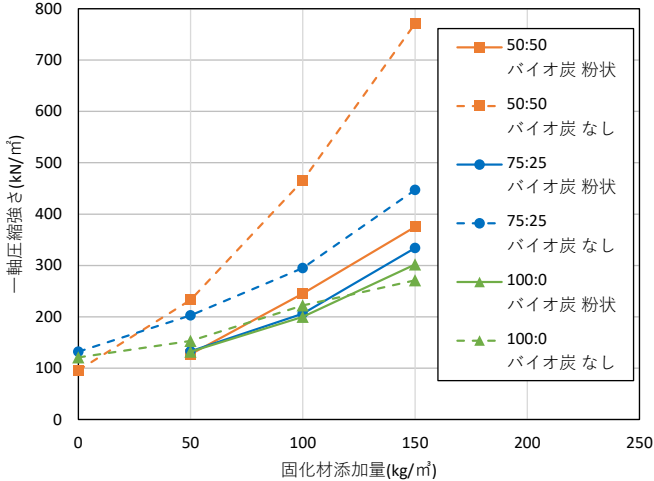


図-3 固化材添加量と一軸圧縮強さの関係(材齢 7 日)

- 2) 農林水産省・環境政策室：バイオ炭の農地施用を対象とした方法論について，J-クレジット制度におけるバイオ炭の農地施用にかかる方法論に関する説明資料，令和 2 年 11 月 9 日，pp.13 ~14
- 3) 西田茉佑子他：熔融スラグとバイオ炭を用いた脱炭素型地盤改良工法(その 2)ー現場試験ー，第 78 回年次学術講演会，2023。(投稿中)