

転炉スラグの地盤改良材としての有効性

名古屋工業大学 正会員 ○森河 由紀弘
名古屋工業大学 正会員 吉田 亮
J F E ミネラル(株) 正会員 吉澤 千秋
名古屋工業大学 正会員 前田 健一
名古屋工業大学 正会員 佐藤 智範

1. はじめに

近年、様々な産業副産物や産業廃棄物の有効利用に関する社会的関心や重要性は高くなっているが、鉄鋼業の副産物である「転炉スラグ」は遊離石灰 (free-CaO) やマグネシア (MgO) を多く含むため膨張する危険性があり、効果的な有効利用方法が確立されているとは言い難い。そこで、本研究では転炉スラグが持つ粒度分布や摩擦性、水硬性に着目し、転炉スラグの地盤改良材としての性能を検討した。

2. 使用材料

本実験では紛体の藤の森粘土と転炉スラグを用いており、転炉スラグは一度炉乾燥させてからミキサーで攪拌し、2mmふるいを通過した試料のみを用いた。表-1 に実験に用いた試料の物性値を示す。転炉スラグは砂分が主体であり、酸化鉄などが多く含まれるための土粒子密度は3.174 g/cm³と一般的な地盤材料より重いことが特徴である。本研究では転炉スラグを乾燥重量比で50%混合したスラグ改良土、高炉セメントB種を3%混合したセメント改良土、消石灰を3%混合した石灰改良土について検討を行った。ここで、転炉スラグを用いた改良土には粒度改善による効果、水和反応による効果、そして転炉スラグの摩擦によるかみ合わせ効果が期待できる。そこで、本研究では転炉スラグの持つかみ合わせ効果を検討するため、転炉スラグとほぼ同様の粒度に調整したガラスビーズによるガラスビーズ改良土についても検討を行った。

供試体の作成方法は付き棒を用いて100回×3層で突固める方法と、1.5kgランマーを落下高さ20cmで12回×3層で突固める方法（セメント協会標準試験方法に準拠）の2種類とし、突固め方法が与える影響についても検討を行った。供試体作成時の含水比は未改良土やスラグ改良土、ガラスビーズ改良土についてはそれぞれの締固め試験から得られた最適含水比とし、セメント改良土や石灰改良土については未改良土の最適含水比とした。なお、ガラスビーズ改良土についてはランマーを用いて突固めた供試体のみ検討を行っている。

表-1 試料の物性値

項目	藤の森粘土	転炉スラグ	スラグ改良土
$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.717	3.174	2.928
$D_{\max}(\text{mm})$	0.850	2.000	2.000
$D_{60}(\text{mm})$	0.045	0.989	0.190
$D_{30}(\text{mm})$	0.034	0.641	0.073
$D_{10}(\text{mm})$	0.019	0.300	0.037
$D_{10}(\text{mm})$	0.010	0.089	0.011
U_c	4.5	11.1	17.3
U_c'	0.8	1.0	0.7
$F_c(\%)$	93.9	8.0	50.8
$w_L(\%)$	43.5	NP	30.8
$w_P(\%)$	29.7	NP	20.6
I_P	13.8	NP	10.2
$\rho_{\text{tmax}}(\text{g/cm}^3)$	1.442	—	1.775
$w_{\text{opt}}(\%)$	24.8	—	19.9

3. 実験結果と考察

3.1. 供試体内の密度分布

図-1に付き棒を用いて突固めた供試体内部のX線CT像を示す。未改良土では特に層境付近で締固め不足が起きているが、転炉スラグ改良土では他の改良土に比べ締固め不足が大幅に改善されていることが分かる。

図-2～図-3にランマーを用いて突固めた供試体内部のX線CT像および供試体内部での間隙比分布を示す。ランマーを用いた供試体は付き棒を用いて突固められた供試体（図-1）とは異なり、全ての供試体において明確な締固め不足は生じていないことがわかる。これは、ランマーの直径は供試体とほぼ同寸法であるため平面的なムラが出来にくく、1回の突固めエネルギーも大きいことから各層の上部から下部まで効率よく突固めが可能なためだと考えられる。また、図-3に示す各深度における間隙比の計測結果より、スラグ改良土は間隙比が一番小さく、かつ間隙比の分散（バラつき）についても最も小さいことが分かる。

以上より、スラグ改良土は締固め方法に因らず転圧不足の箇所が出来にくく、今回の条件ではセメント改良土や石灰改良土より均質で良好な締固めが行われているといえる。

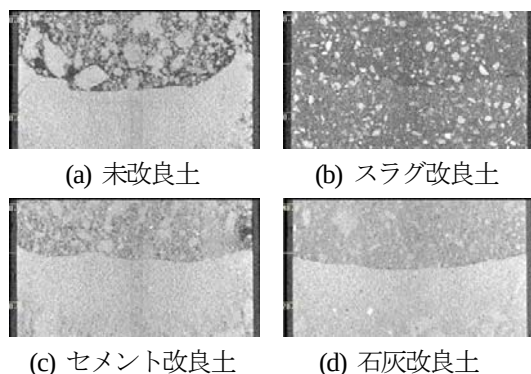


図-1 付き棒で突固めた供試体層境界でのX線CT像

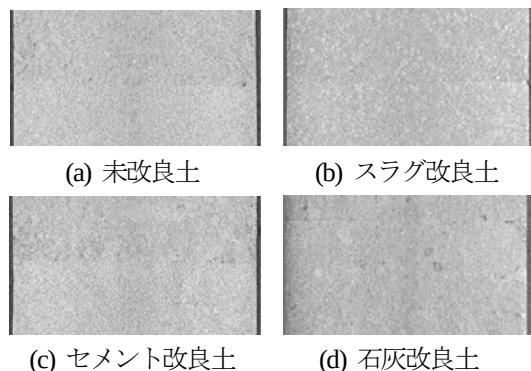
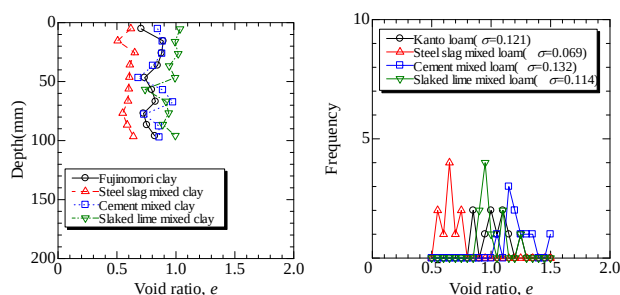


図-2 ランマーで突固めた供試体層境界でのX線CT像



(a) 間隙比の深度分布 (b) 間隙比の度数分布

図-3 間隙比の分布

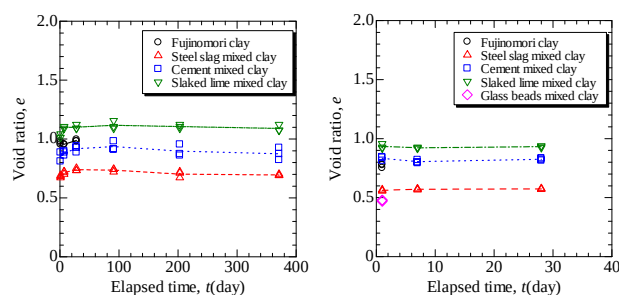
3.2 供試体の pH

ランマーを用いて突固めた供試体の pH は、藤の森粘土が 2.94、スラグ改良土が 10.71、セメント改良土が 7.75、石灰改良土が 9.31 であった。また、転炉スラグ単体での pH は 12.23、高炉セメント B 種は 12.51、消石灰が 12.96 であった。藤の森粘土は強い酸性を示しているが、スラグ改良土は転炉スラグの混合割合も多いため pH が最も高い。しかし、セメント改良土では高炉セメントの添加量が低いため pH が 7.75 とほぼ中性程度であった。一方で、石灰改良土における消石灰の添加量はセメント添加量と同様であるが、改良土の pH はセメント改良土より若干高い。これは、セメント改良土は石灰改良土より不溶化されているためだと考えられる。

3.3 一軸圧縮試験

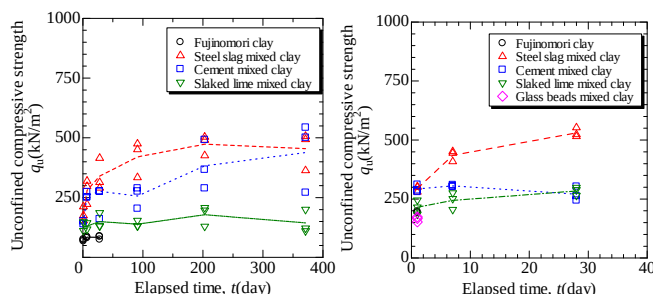
図-4 に供試体の間隙比を示す。図-1～2 に示した X 線 CT の結果と同様に、ランマーで突固めた供試体は付き棒で突固めた供試体よりも間隙比が小さい傾向にある。また、スラグ改良土は他の改良土に比べ特に間隙比が小さいことが分かる。

図-5 に一軸圧縮強度を示す。全体的に全ての改良土は未改良土より強度が高い傾向にあるが、特にスラグ改良土は最も一軸圧縮強度が大きく、水和反応による強度増加も若干は期待できることが分かる。また、ガラスビーズ改良土はほぼ同様の間隙比である材齢 1 日のスラグ改良土よりも強度が小さいことが分かる。これは、スラグの摩擦性がガラスビーズより高く、粒子同士のかみ合わせが良いためだと考えられる。



(a) 付き棒による突固め (b) ランマーによる突固め

図-4 供試体の間隙比



(a) 付き棒による突固め (b) ランマーによる突固め

図-5 一軸圧縮強度

4. まとめ

転炉スラグの地盤改良材としての有効性を検討した結果、本研究で得られた知見は以下の通りである。

- 1) 粒度改善効果により、最大乾燥密度が大幅に増加する。
- 2) 締固め方法に因らず各深度でバラつきが少ない均質で良好な締固めが可能である。
- 3) 貧配合のセメント改良土と同等以上の強度が得られる。

参考文献

- 1) 鉄鋼スラグ協会：環境資材 鉄鋼スラグ，2013