

盛土材料としての鉄鋼スラグ混合土の室内土質試験（その2）

混合土 鉄鋼スラグ 土質試験

（協）関西地盤環境研究センター
 （協）関西地盤環境研究センター
 （株）日本製鉄
 （株）神戸製鋼所
 神戸市立工業高等専門学校
 （一財）建設工学研究所

正会員 ○李 俊憲、高野 七海
 国際会員 八谷 誠
 正会員 一村 政弘
 正会員 陣内 綾音
 正会員 野並 賢
 国際会員 澁谷 啓

1. はじめに

鉄鋼スラグは、硬くて角張っていて噛み合わせが良い粒子群から構成されるリサイクル材料であるため、鉄鋼スラグを細粒分が多く含まれている低品質土に「粒度改善材」として適切な配合割合で混合攪拌すれば、締固め特性および強度特性の両者が向上することが分かっている¹⁾。本研究では、異なるプロセスから製造された2種類の鉄鋼スラグ（以下、Aスラグ、Bスラグ）を原土に対して所定の鉄鋼スラグ湿潤体積混合率SSMR(V)²⁾で混合した後、一連の室内土質試験³⁾（物理試験、突固めによる土の締固め試験）を実施した。本稿では、鉄鋼スラグ混合土の最大乾燥密度、最適含水比および盛土造成に必要な土工量に及ぼすSSMR(V)の影響について報告する。

2. スラグ混合土の概要および締固め特性

本研究で用いた原土および鉄鋼スラグ混合土それぞれの粒度特性を図-1に示す⁴⁾。図から、原土（オレンジ色）は、細粒分含有率 $F_c=45\%$ 程度の細粒分質礫質砂(SFG)で、Aスラグ（青色）は細粒分まじり砂質礫(GS-F)、Bスラグ（赤色）は細粒分砂まじり礫(G-FS)である。

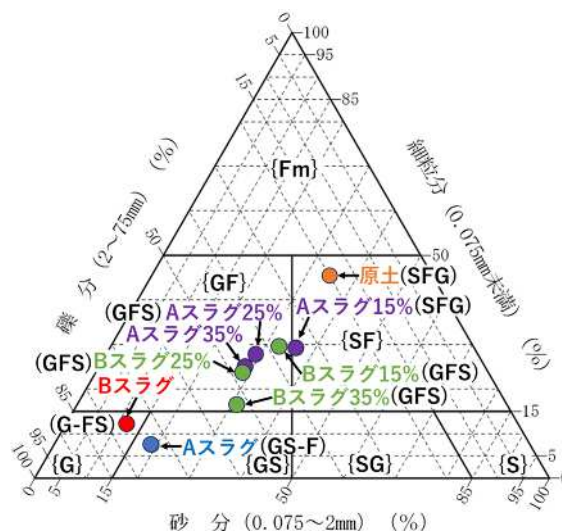


図-1 三角座標表示による試験試料

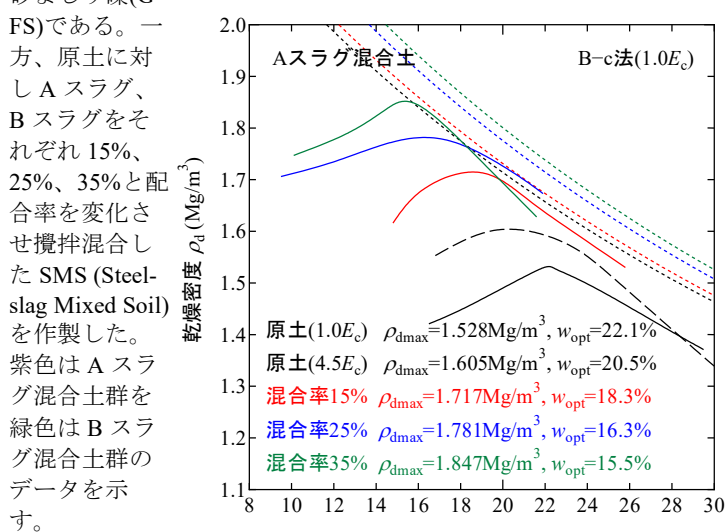


図-2 締固め曲線 (Aスラグ混合土)

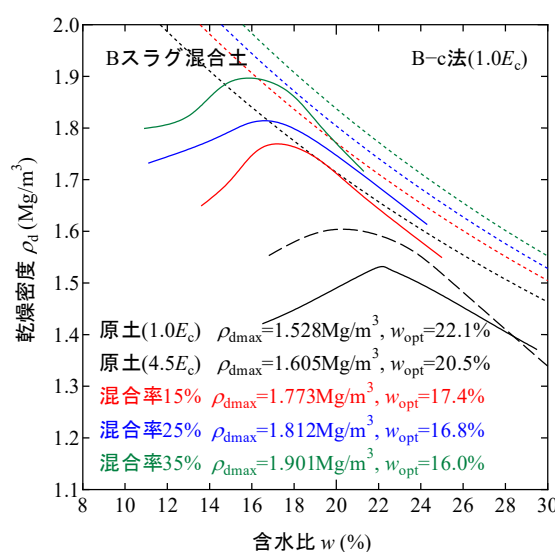


図-3 締固め曲線 (Bスラグ混合土)

図-2、図-3は、それぞれ

AおよびBスラグ混合土試料の締固めエネルギー $CEL=1.0Ec$ のときの締固め曲線であり、図-4、図-5は、最大乾燥密度 ρ_{dmax} および最適含水比 w_{opt} に及ぼすSSMR(V)の影響である。これらの図から、SSMR(V)が多くなるほど ρ_{dmax} は増加し、 w_{opt} は減少している。詳しくみると、 ρ_{dmax} はスラグを15%混入するだけで、原土と比較して、Aスラグ混合土では約1.12倍、Bスラグ混合土では約1.16倍と一気に大きくなり、SSMR(V)がそれ以上では緩やかに増加している。鉄鋼スラグを混合することで粒度分布が改善され、最大乾燥密度が増加したと考えられる。

図-6 (Aスラグ混合土)、図-7 (Bスラグ混合土)は、SSMR(V)=原土(0%)、15%、25%、35%における最適飽和度 S_{ropt} と最小間隙比 e_{min} の関係である。これらの図から、SMSの S_{ropt} と e_{min} は、スラグの種類、SSMR(V)、CELに殆ど影

響を受けず、 S_{ropt} は81.5%~89.4%の約9%の狭い範囲、一方、 e_{min} も0.52~0.56の密な状態にある。 S_{ropt} がSSMR(V)に影響されずほぼ一定である結果に関して、坂本ら(2021)⁵⁾は、盛土材中に異なる土粒子密度の土が存在する場合、飽和度管理が適切であると報告している。

3. 盛土造成に必要な土工量

現場では、室内締固め試験結果に基づいて、例えば、締固め度 $D_c=90\%$ (1.0Ec) を下限値として締固め管理をする。図-8 (Aスラグ混合土) は、CEL=1.0Ecでの締固め度 $D_c=90\%$ に相当する盛土 $1m^3$ を造成するために必要な原土の乾燥重量(t_r)と鉄鋼スラグの乾燥重量(t_l)である。この計算には、現場での試験盛土から、原土とAスラグの①自然含水比 $w_{n(soil)}=22.2\%$ 、 $w_{n(slag)}=8.2\%$ 、②湿潤単位体積重量 $\gamma_{t(soil)}=1.528g/cm^3$ 、 $\gamma_{t(slag)}=2.031g/cm^3$ 、③SSMR(V)=25%から、原土とスラグの乾燥重量混合比=SSMR(W)²⁾を求めている。図-9 (Aスラグ混合土) は、 $D_c=90\%$ の盛土 $1m^3$ を造成するために必要な締固め前の原土の湿潤体積と鉄鋼スラグの湿潤体積 (m^3) の関係を示す。両スラグ共に、SSMR(V)が大きくなり鉄鋼スラグの配合量が多くなるにつれ、使用する原土の量が減少し、一方、SSMR(V)が大きくなると良く締まった盛土を造成することができるため、撒き出し時の原土と鉄鋼スラグの土工量の和、つまり、全土工量はほぼ変わらない。

4. まとめ

本研究では、鉄鋼スラグの種類に関わらず粒度改善材として鉄鋼スラグを現場発生土に混合することにより締固め特性が格段に向上した。また、スラグ混合率によらず最適飽和度はほぼ一定であるため、現場での締固めには、飽和度管理が適切であることが分かった。また、SSMR(V)が大きくなると、良く締まった盛土を造成することができるため、締固め前の体積はほぼ変わらない。破砕率の大きい凝灰岩系の原土では、SSMR(V)が大きくなるにつれ、硬い粒子から成るスラグの混合により、締固め時の粒子破砕が促され、全土工量が減少することも分かっている。

参考文献

- 1) 片岡沙都紀, 澁谷啓, 河井克之, 石原朱莉, 山里拓也, 丁経凡, 佐藤厚子: 鉄鋼スラグ混合土を用いた実大道路盛土での現場実証実験, 第13回地盤改良シンポジウム論文集, pp. 59-64, 2018.
- 2) 澁谷啓, 李俊憲: 鉄鋼スラグ混合土盛土のための室内土質試験方法, 第61回地盤工学研究発表会, 投稿中.
- 3) 地盤工学会 地盤調査法改訂編集委員会: 地盤材料試験の方法と解説一二分冊の1ー, 公益社団法人 地盤工学会, 2020.
- 4) 高野七海, 李俊憲, 八谷誠, 一村政弘, 松元弘昭, 澁谷啓, 中西典明: 盛土材料としての鉄鋼スラグ混合土の室内土質試験(その1), 第61回地盤工学研究発表会, 投稿中.
- 5) 坂本 博紀, 龍岡 文夫, 曾田 英揮, 小林 弘明, 小原 隆志: 締固めエネルギーと飽和度を重視した遮水性盛土の締固め管理, 土木学会論文集C(地圏工学), 77巻1号 pp. 43-58, 2021.

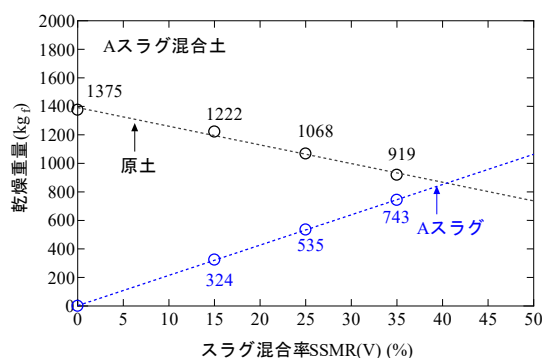


図-8 SSMR(V)- $D_c=90\%$ 乾燥重量 (Aスラグ混合土)

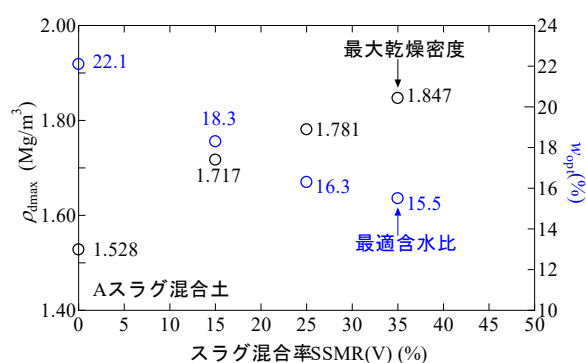


図-4 SSMR(V)- ρ_{dmax} , w_{opt} (Aスラグ混合土)

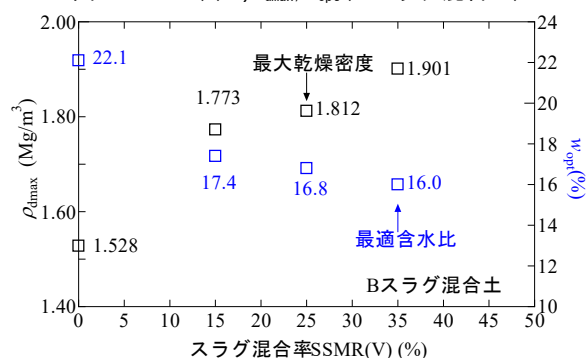


図-5 SSMR(V)- ρ_{dmax} , w_{opt} (Bスラグ混合土)

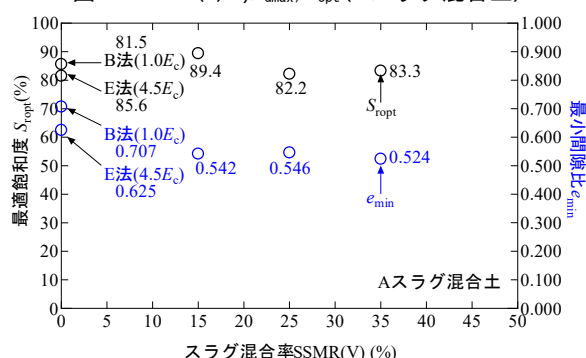


図-6 SSMR(V)- S_{ropt} , e_{min} (Aスラグ混合土)

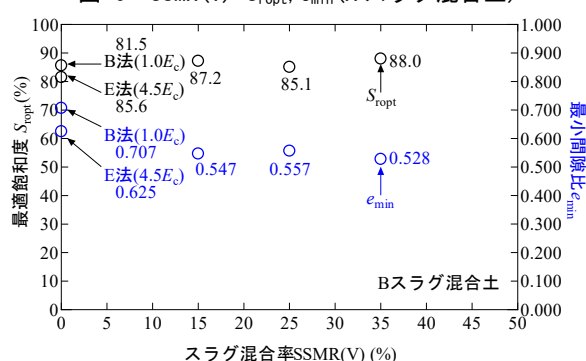


図-7 SSMR(V)- S_{ropt} , e_{min} (Bスラグ混合土)

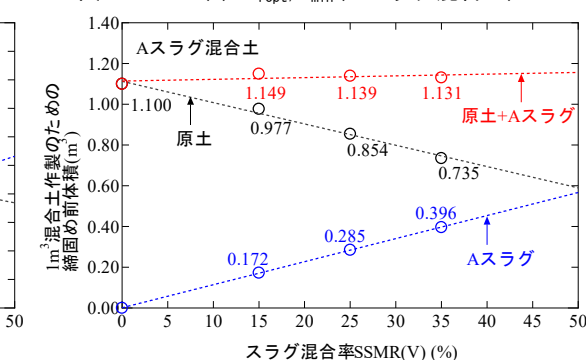


図-9 SSMR(V)- $D_c=90\%$ 混合土体積 (Aスラグ混合土)