

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）

混合土 鉄鋼スラグ 室内試験

(協)関西地盤環境研究センター

正会員 ○高野七海 ・正会員 李俊憲

国際会員 八谷誠

日本製鉄(株)

正会員 一村政弘

(株)神戸製鋼所

非会員 松元弘昭

(一財)建設工学研究所

国際会員 澁谷啓 ・正会員 中西典明

1. はじめに

鉄鋼スラグは、粒径の大きい粒子が主体の材料であり角張った形状を示すことが多いため、粒子間のかみ合わせやせん断抵抗が大きい材料である。そのため細粒分が主体の低品質土に鉄鋼スラグを混合することで粒度改善効果や強度特性の向上が期待される。このような特性から地盤改良材として鉄鋼スラグ混合土(Steel-slag Mixed Soil, 以下 SMS)及びその有効利用に関する研究が進められている¹⁾。一方で鉄鋼スラグの性質は製造条件等により異なることが知られており、同一の混合率であってもスラグの種類によって土質特性に与える影響が異なる可能性がある。そのためスラグの種類の選定や違いを考慮した検討が重要である。

本研究では、細粒分の多い現場盛土材を対象に 2 種類の異なる鉄鋼スラグ(以下 A スラグ、B スラグ)を混合した SMS を作製し、それぞれの SMS および原土に対して一連の室内土質試験²⁾を実施することにより、スラグの種類や混合率を変化させることで物理特性に与える影響について検討した。本稿では以下の試験結果について報告する。

- ① スラグ粒子密度試験 (JIS A 1202)
- ② 含水比測定(JIS A 1203)
- ③ 粒度試験 (JIS A 1204)

2. 試料概要

細粒分を多く含む現場盛土材に対し A スラグ、B スラグをそれぞれ 15%、25%、35%と配合率を変化させ攪拌混合した SMS を作製した。ここでの鉄鋼スラグの混合量は、湿潤体積混合率 SSMR(V) (%) で定義³⁾している。

使用した現場盛土材は土粒子の密度(ρ_s)=2.603Mg/m³、自然含水比(w_n)=22.2%、50%粒径 D_{50} =0.13mm という特性を持つ細粒分の多い粘性土質礫質砂(SFG)である。

A スラグは ρ_s =3.236Mg/m³、 w_n =8.2%、 D_{50} =7.5mm、細粒分まじり砂質礫(GS-F)、B スラグは ρ_s =3.532g/cm³、 w_n =4.0%、 D_{50} =6.3mm、細粒分まじり砂まじり礫(G-FS)という特性を持つ。

図-1、図-2 は、現場での混合時の目安となる湿潤体積混合率 SSMR(V)に対する乾燥重量混合比 SSMR(W)の関係を示している。両者の関係は非線形であり、例えば、A スラグの場合は SSMR(V)=25%で SSMR(W)=50.0%、B スラグの場合は SSMR(V)=25%で SSMR(W)=51.5%となっている。これは、原土と鉄鋼スラグとで粒子の密度が異なることにより、同一体積に対する重量が一定でないためである。特に鉄鋼スラグは原土と比較して粒子密度が大きいいため、SSMR(V)が増加するにつれて SSMR(W)は、より大きく増加する傾向を示す。

更に、SSMR(V)は湿潤状態を基準としていることから含水の影響も含まれており、これら複合的な要因により両者の関係は単純な比例関係とはならない。

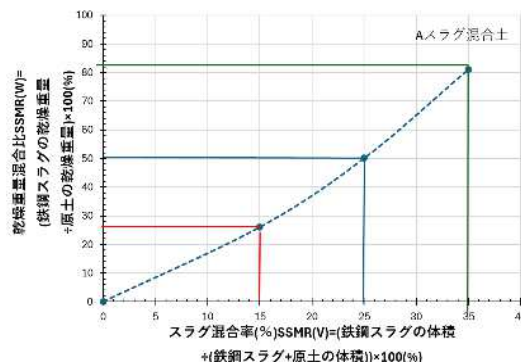


図-1 A スラグの SSMR (V) と SSMR (W) の関係

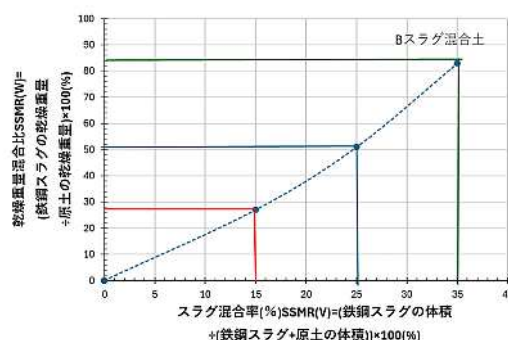


図-2 B スラグの SSMR (V) と SSMR (W) の関係

3. 試験結果と考察

含水比試験結果に関しては A、B スラグ共に SSMR(V)の増加に伴い低下する傾向を示した。これはスラグの含水比が低いことによる。

図-3 及び図-4 に SMS 粒子密度の測定値を示す。図中の計算値とは式-1 で算出した SMS 粒子の平均比重(G_{SMS})である。また先行研究⁴⁾より SMS は粒径のばらつきが大きいいため、試験で使用する試料量は、通常の 2.5~5 倍量が必要であることが分かっている。また、A、B スラグ共に SMS 粒子密度試験の結果では SSMR(V)の増加に伴い SMS 粒子密度試験結果も増加する傾向を示した。また、SSMR(V)増加時の傾きを比較すると A スラグの方が B スラグよりも傾きが大きく、B スラグは計算値と概ね同じ傾きを示した。また A スラグでは現場でバックホウにより鉄鋼スラグと原土を混合攪拌し、大型重機で転圧した試験盛土から採取した試料の実測

値と計算値を比較した。その結果、両者は非常に近い値を示した。このことから式-1 を活用することで、盛土造成現場において、原土にスラグを混合攪拌した盛土試料の平均比重を複数箇所で測定することにより、スラグが所定の混合率で満遍なく混合されているかどうかを判断することができる。

$$G_{SMS} = \left(\frac{1 + SSMR(W)}{100} \right) \div \left\{ \frac{1}{G_{soil}} + \left(\frac{SSMR(W)}{100} \right) \div G_{slag} \right\} \quad \text{式-1}$$

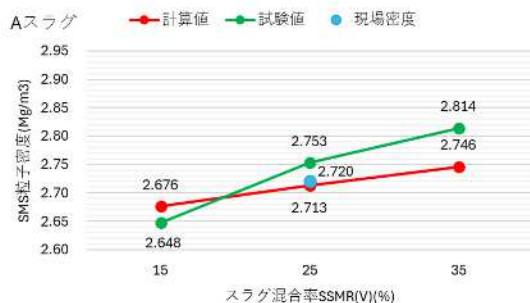


図-3 AスラグのSMS粒子密度結果

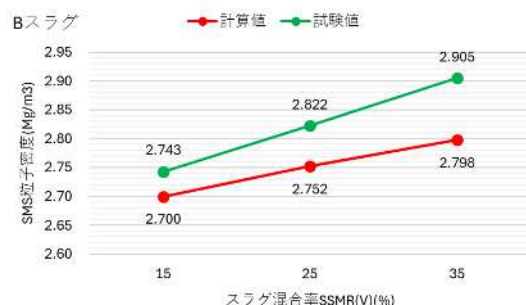


図-4 BスラグのSMS粒子密度結果

図-5、図-6 に粒径加積曲線の関係を示す。A、Bスラグ共に SSMR(V)が大きくなるにつれ砂礫分の割合が増加しており、粒度分布が粗粒側へ移行していることが確認された。Bスラグがより粗粒分の多い結果を示しているが砂分礫分共に5%程度の差でありばらつきの範囲であると考えられる。

図-7、図-8 に SSMR(V)と F_c 、 D_{50} の関係を示す。SSMR(V)の増加と共に、平均粒径 D_{50} は大きくなり、細粒分含有率 F_c は低下する傾向を示した。これは、粒径の大きいスラグ粒子の混合により、土粒子構造が細粒主体から粗粒骨格構造へと粒度特性の改善が生じたものと考えられる。またBスラグはAスラグと比較して粒子密度が大きく、同一混合率において D_{50} がやや大きい傾向が認められた。

4. まとめ

本研究では、細粒分を多く含む現場盛土材を対象に、異なる鉄鋼スラグを混合したSMSを作製し、スラグの種類および混合率が物理特性に及ぼす影響について検討した。その結果、湿潤体積混合率 SSMR(V)と乾燥重量混合比 SSMR(W)の関係は非線形を示し、これは原土とスラグの粒子密度の差や含水の違いに起因することが確認された。また、粒度特性においては、スラグ混合により砂礫分の割合が増加し、 D_{50} の増加および F_c の低下が確認された。これはスラグ混合により土粒子構造が変化した影響であり、起源の異なる2つの鉄鋼スラグの両方において、同程度の粒度改善効果が明確に認められた。以上のことから鉄鋼スラグの混合は細粒土の粒度構成を改善し、盛土材料としての適用性を向上させる有効な手法であることが示された。

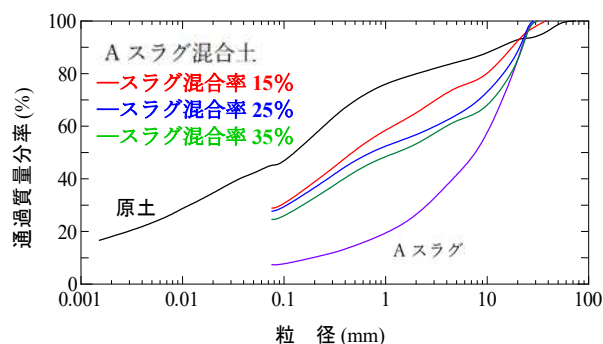


図-5 Aスラグの粒径加積曲線

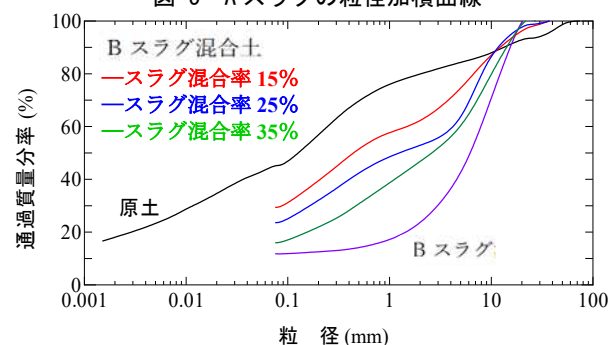


図-6 Bスラグの粒径加積曲線

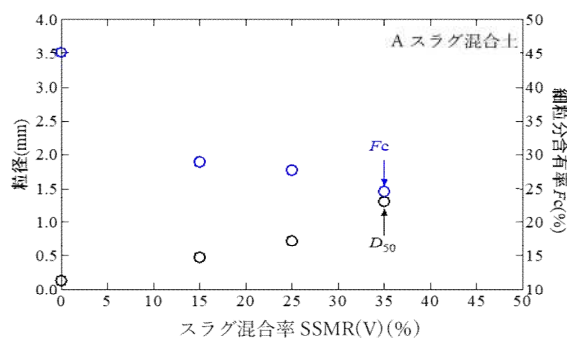


図-7 AスラグのSSMR(V)の F_c と D_{50} の関係

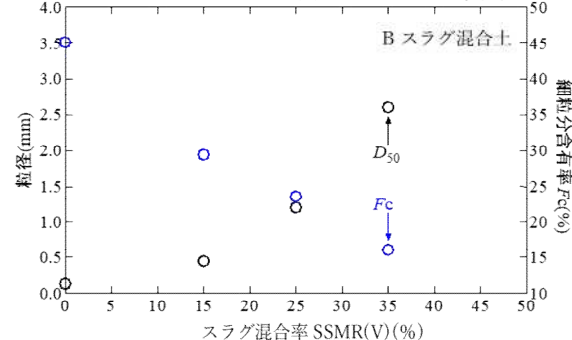


図-8 BスラグのSSMR(V)の F_c と D_{50} の関係

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) 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.
- 3) 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
- 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: 鉄鋼スラグ改良土の攪拌混合方法に関する現場実験, 第60回地盤工学研究発表会, 24-9-3-04, 2025.