

フェロニッケルスラグ混合土の材料特性

福岡大学大学院 学生会員 福味 尊
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣
 株式会社日向製錬所 亀井 一成

1.はじめに 著者らは、これまでにフェロニッケルスラグ(以下、FNS)を地盤材料としての適用範囲の拡大を目的として、FNS 単体での締固め特性及び材料特性を検討した。その結果、FNS は単一粒径であることから、土木資材として十分な締固めが得られず、さらにせん断中に粒子破碎が生じることが分かっている¹⁾。そこで本報告では、FNS 単体の材料特性を改善するために FNS に一定の割合で地盤材料を混合した FNS 混合土を用いて土木資材としての適用性の検討を行った。本報告では、締固め試験および圧密排水三軸圧縮試験から FNS 混合土(写真-1)の材料特性及び把握を行った結果について述べる。



写真-1 FNS 混合土 (1:1)

2. 実験概要

2-1 実験に用いた試料 土質試料には、水砕処理された FNS に福岡県太宰府市から採取したまさ土(以下、太宰府まさ土)を所定の割合で混合した FNS 混合土を用いた。ここで、FNS と太宰府まさ土の混合比は、FNS の乾燥重量に対し、1:1, 1:2, 1:3, 1:4 の 4 パターンに変化させた。写真-1 に FNS 混合土(FNS:まさ土=1:1)を示す。表-1 に各試料の物理特性を示す。

表-1 FNS 混合土の物理特性

土質試料	土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	最大間隙比 $e_{\max}$	最小間隙比 $e_{\min}$	均等係数 U_c	曲率係数 U_c'
FNS	2.970	0.946	0.644	2.31	1.03
太宰府まさ土	2.634	1.175	0.569	90.00	4.44
FNS混合土 (1:1)	2.803	1.050	0.608	15.26	2.84
FNS混合土 (1:2)	2.737	1.079	0.589	61.90	6.16
FNS混合土 (1:3)	2.718	1.107	0.582	70.59	4.71
FNS混合土 (1:4)	2.701	1.120	0.574	71.88	4.26

また、図-2 に FNS 混合土の粒度加積曲線を示す。FNS 混合土は、まさ土との混合により、粒度特性の特に細粒分が改善され、粒度幅が広がっていることがわかる。

2-2 実験条件及び実験方法 締固め試験は、突固めによる土の締固め試験方法(JIS A 1210)に準じ、直径 10cm、高さ 12cm のモールド内に所定の含水比に調整した試料を、3 層 25 回に分けて供試体を作製し、実施した。一方、圧密排水三軸試験は、直径 7.5cm、高さ 15cm のモールド内に、中密な地盤を模擬した各配合条件ともに $Dr \approx 60\%$ の乾燥密度となるよう空中落下法により供試体の作製を行った。今回実験の FNS 混合土は、配合比が 1:1 と 1:2 の 2 種類を用いて行った。実験は、せん断速度を 0.17%/min とし、軸ひずみが 15%に達したところで実験終了としている。全条件において供試体の B 値は 0.96 以上であることを確認している。

3. 実験結果及び考察

3-1 FNS 混合土の締固め特性 図-3に各混合比における締固め曲線を示す。FNS 単体においては含水比の変化に伴った乾燥密度の増減が小さく、締固めが困難な材料であることがわかる。また、混合比 1:1、1:2 においても、オーバーコンパクションが生じ、含水比の増加に伴う乾燥密度の増加が見られなかった。しかしながら、太宰府まさ土の混合比を増し、1:3、1:4 にすることによって含水比の変化により得られる乾燥密度の増加が見られ、まさ土単体の締固め特性に近づいていることがわかる。これは FNS の粒度分析の改善により材料の締固めが良くなったことが理由である。

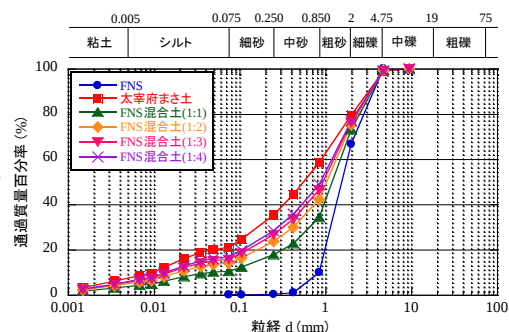


図-2 混合材料の粒度分布

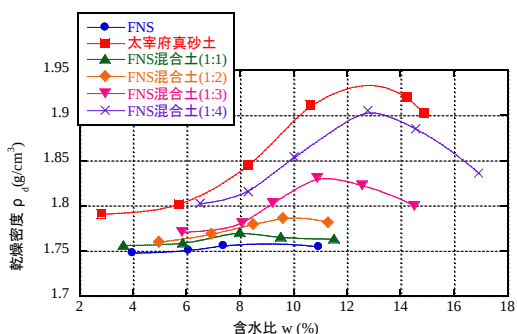


図-3 締固め曲線

3-2 FNS 混合土のせん断特性

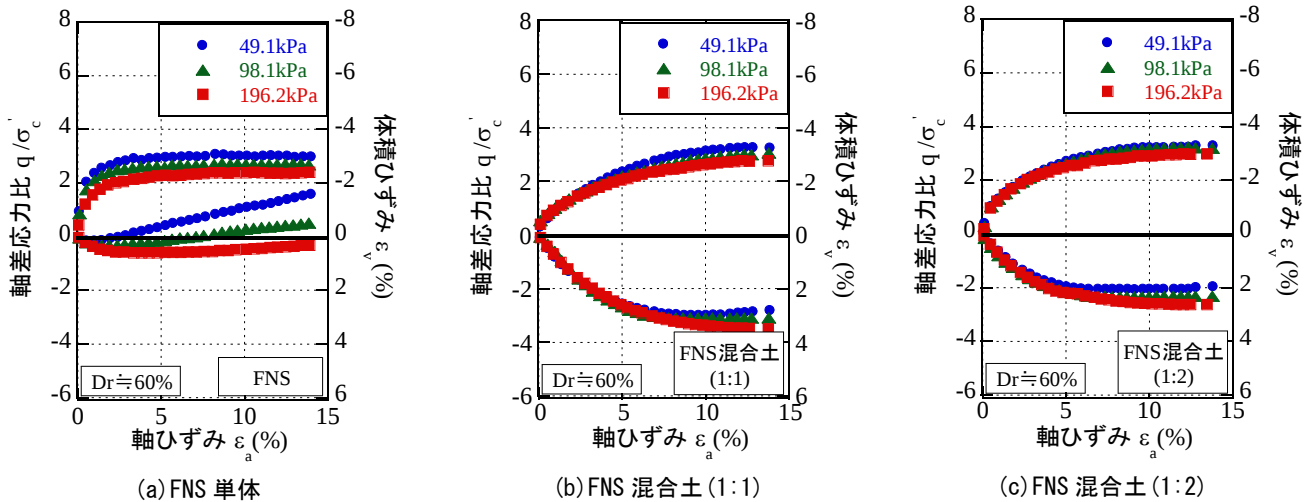


図-5 三軸圧縮せん断試験結果

図-5(a) FNS 単体, (b) FNS 混合土 (1:1), (c) FNS 混合土 (1:2) におけるせん断試験の結果を示す。ここで、軸差応力比とは軸差応力 q をせん断時の拘束圧 σ'_c で除したものである。FNS 単体(a)のせん断挙動は、せん断時の拘束圧の影響による粒子破碎から拘束圧の増加に伴い強度低下を示し、体積変化も収縮傾向が強くなっていることが分かる¹⁾。これに対し、まさ土を混合させた FNS 混合土のせん断挙動は、まさ土の混合に伴う粒度改善効果が現われ、せん断強度が増加していることがわかる。また、まさ土の混合量の増加に伴って拘束圧の増加に伴うせん断強度の低下量が小さくなっていることも確認できる。これは、粒度改善に伴い、FNS 単体に比べ粒子破碎が生じにくくなった事が大きな要因と考えられる。一方、FNS 混合土の体積変化においてもまさ土の混合率の増加に伴うことにより、拘束圧の増加に伴う収縮挙動が改善されていることがわかる。図-6 に各実験から得られる粘着力 c を 0 と仮定した場合におけるせん断抵抗角(ϕ')を算出し、FNS の粒度改善に伴う拘束圧への依存性について評価を行った²⁾。ここで、いずれの供試体においてもピーク強度が確認できなかったため、軸ひずみが 15%における軸差応力を用いて計算を行っている。FNS 単体では、拘束圧の増加に伴いせん断抵抗角(ϕ')の低下が見られたものの、FNS 混合土については、拘束圧に伴う低下量が小さくなり、混合比の増加に伴いほぼ一定値を取るまで改善されていることがわかる。図-7 にせん断によって生じる粒子破碎の影響を B_M 法³⁾によって検討した結果を示す。いずれにおいても拘束圧の増加に伴い破碎率の増加傾向がみられる。しかし、まさ土を混合することにより B_M 値が小さくなり粒子破碎率が FNS 単体と比較して半分以下に低減していることがわかる。これは、地盤材料の混合が FNS 粒子の破碎を低減させる効果があることを示している。

4. まとめ

- 1) 単一粒径のため締固めが困難である FNS に対して、太宰府まさ土のような粒度範囲の広い土質材料を混合することにより、締固め特性を改善できることが示された。また、太宰府まさ土の場合であれば、FNS の乾燥重量に対して 4 倍以上混合することで、まさ土と同程度の締固め特性が得られることが明らかとなった。
- 2) FNS 混合土のせん断特性は、まさ土を混合することにより、拘束圧の増加に伴った、せん断強度低下と体積収縮が抑えられることが示され、せん断中に生じる供試体内の粒子破碎量が低下することが確認された。

【参考文献】 1) 福味尊, 佐藤研一, 藤川拓朗, 古賀千佳嗣: フェロニッケルスラグの単調及び非排水繰返しせん断特性, 第 12 回地盤改良シンポジウム, pp351-354, 2016 2) 一般財団法人沿岸技術研究センター: 港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル, pp136-140, 2015 3) 三浦哲彦, 山内豊聡: 砂のせん断挙動に及ぼす粒子破碎の影響, 土木学会論文報告集, 第 280 号, 1977

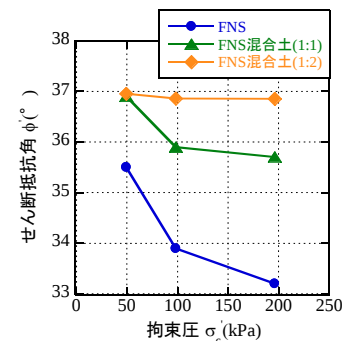


図-6 拘束圧と内部摩擦角の関係

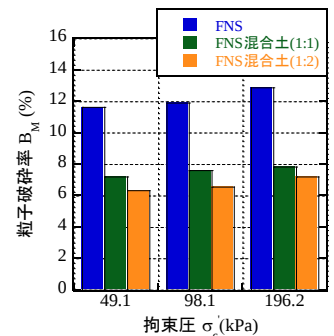


図-7 拘束圧と粒子破碎率の関係