

固形産業廃棄物の地盤工学的有効利用に関する基礎的研究

山口大学工学部 正会員 松田 博
 (株)フジタ 正会員○安藤 義樹
 復建調査設計(株) 正会員 来山 尚義
 長棟興産(有) 中野 恭夫

1. はじめに サンドコンパクション工法においては、良質の砂が大量に必要とされることからその確保が容易ではない現状にある。そうした中で鉄鋼などを生成する際に副生する水砕スラグは、均質で大量に入手可能であることから砂の代替材料として考えられる。そこで、ここでは水砕スラグを地盤改良材として、特にサンドコンパクション工法における砂の代替材料としての有効利用をはかることを目的として、液状化特性、締め固め特性、透水性等の基本的な性質を調べ、銅、ニッケルの生成過程で生じる銅スラグ、フェロニッケルスラグまた、豊浦砂、玄海砂との比較を行った。尚、以後水砕スラグを他のスラグと明確に区別するためこれを鉄スラグと呼ぶことにする。

Table 1

	$\rho_s (\text{g/cm}^3)$	$e_{\max}$	$e_{\min}$
Fe slag	2.695	1.302	0.844
Cu slag	3.531	1.146	0.738
Ni slag	2.991	0.899	0.599
Toyoura sand	2.638	0.970	0.608
Genkai sand	2.661	0.802	0.493

2. 実験方法および結果

密度及び最大最小間隙比 Table 1 に密度試験、最大最小密度試験より得られた各試料の物理特性を示す。銅スラグは他の試料に比べて単位体積重量が非常に大きい。また最大最小間隙比については鉄スラグが特に大きい値を示している。

締め固め特性 締め固め試験結果(ランマー質量 2.5kg、突き固め回数 25 回) は Fig 1 のようになり、最適含水比は求めにくく明確ではないが鉄スラグが約 15%、銅スラグが約 7%、フェロニッケルスラグが約 10%である。スラグの最大乾燥密度はほぼ一定値を示し、スラグは締め固め時に含水比の影響をあまり受けないといえる。また鉄スラグの最大乾燥密度は、他のスラグのそれと比べると著しく小さいことが分かる。

粒度特性 各試料の粒度試験の結果を示したものが Fig 2 である。いずれの水砕スラグも細粒分が少ないことがわかる。均等係数、曲率係数は鉄スラグがそれぞれ 2.9、0.8 銅スラグが 2.3、0.9 フェロニッケルスラグが 3.1、1.1 である。また各試料について締め固め試験後に再度粒度試験を行った結果、粒径加積曲線は若干左に移動し粒子破碎が生じることがわかった。鉄スラグに関しては生成直後の試料組成とほぼ等しいといえる。

圧密特性 Fig 3 は相対密度を約 70%に設定して標準圧密試験装置を用いて圧密試験を行った結果である。これより鉄スラグ、銅スラグの間隙比は自然砂に比べて大きく、載荷に

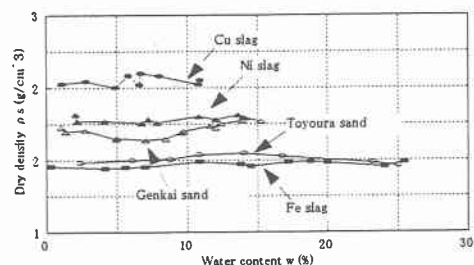


Fig 1

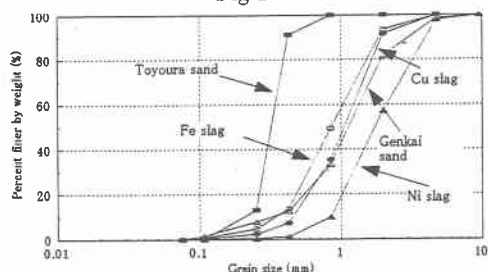


Fig 2

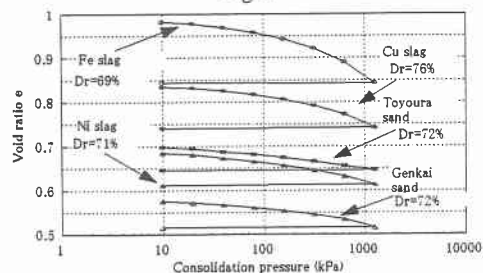


Fig 3

伴う間隙比の低下はいずれのスラグも比較的大きいことがわかる。

透水試験 相対密度を 60%、80%前後に設定して定水位透水試験を行った結果を Table 2 に示す。これよりスラグの透水係数はいずれの相対密度においても天然砂より大きいことがわかる。

液状化特性及び静的強度特性

液状化試験、静的単純せん断試験には、電気-油圧サーボ式動的単純せん断試験機を用いた。液状化試験は応力制御、静的せん断試験は変位制御で行った。またいずれの試験についても各試料の相対密度を 60%、80%の 2 通りに設定した。

液状化試験では鉛直応力を 49kPa とし 30 分間圧密した後、供試体高を一定に保ち所定の応力で繰り返しせん断を行い有効応力が 0 になった時点でせん断を終了した。その結果を Fig4、Fig5 に示す。図より明らかなようにスラグは天然砂に比べ大きな液状化強度を示している。特にフェロニッケルスラグ、鉄鋼スラグは緩づめ状態から大きな強度を示し、銅スラグも密づめ状態では大きな強度を示した。

静的単純せん断試験は鉛直応力が 49kPa、98kPa、147kPa の 3 通りについて行った。液状化試験と同様 30 分間圧密した後、ひずみ速度を 1%/sec で 15%ひずみに至るまでせん断を行った。その結果を三軸圧縮試験に対応させ破壊線を求めた 1 例(鉄スラグ、相対密度 80%)を Fig 6 に表す。その他の試料についても同様に求めた内部摩擦角を Table 3 に示す。いずれのスラグについても内部摩擦角は自然砂より大きいことがわかる。

3. まとめ 以上の試験結果をまとめると次のようになる。
1)鉄スラグ、フェロニッケルスラグの密度は自然砂のそれに近い値を示し銅スラグの密度は他の試料と比べて特に大きい。2)最大最小間隙比は鉄スラグが特に大きい値を示す。3)締め固め時の最大乾燥密度は、鉄スラグが他のスラグに比べて著しく小さい。4)各スラグにおいては締め固めにより粒子破碎が生じるが、その大きさは無視できる程度に小さい。5)圧縮性はいずれのスラグにおいても自然砂のそれより大きい。6)いずれのスラグも透水係数は自然砂より大きい。7)自然砂に対していずれのスラグも高い液状化強度を示す。8)スラグの内部摩擦角は自然砂より大きい。

(参考文献) 長坂勇二他、発生土および廃棄物の地盤工学的処理と有効利用(その 1)、土と基礎、Vol.45,No.5,pp.55-60.1997.

Table 2

	Dr(%)	k(cm/s)	Dr(%)	k(cm/s)
Fe slag	65	$2.5 \sim 3.2 \times 10^{-1}$	82	$1.7 \sim 2.2 \times 10^{-1}$
Cu slag	60	$2.1 \sim 2.5 \times 10^{-1}$	79	$1.6 \sim 2.5 \times 10^{-1}$
Ni slag	62	$3.5 \sim 4.1 \times 10^{-1}$	81	$3.2 \sim 3.9 \times 10^{-1}$
Toyouura sand	64	$2.5 \sim 2.8 \times 10^{-2}$	85	$1.8 \sim 2.0 \times 10^{-2}$
Genkai sand	62	$7.3 \sim 6.1 \times 10^{-2}$	83	$3.3 \sim 3.9 \times 10^{-2}$

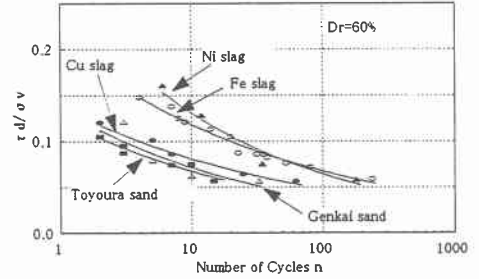


Fig 4

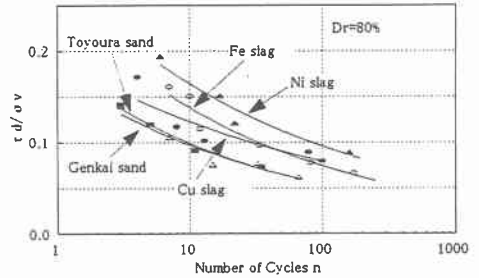


Fig 5

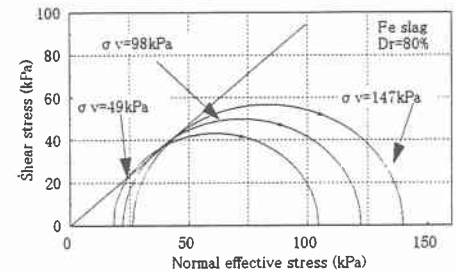


Fig 6

Table 3

	ϕ' (Dr=60%)	ϕ' (Dr=80%)
Fe slag	41.3	43.4
Cu slag	37.2	42.0
Ni slag	38.7	42.5
Toyouura sand	35.7	38.7
Genkai sand	36.3	42.0