

地盤改良材としての水砕スラグの混合強度の物性

呉工業高等専門学校	正会員	小堀	慈久
呉工業高等専門学校	正会員	加藤	省二
呉工業高等専門学校専攻科	学生員	力石	美希子
呉工業高等専門学校専攻科	学生員	原田	明

1. まえがき 現在、我が国では地盤改良用に用いられる良質の海砂が枯渇してきており、最近の環境保全意識の高まりの中、採取規制されることが多くなってきているため、海砂に替わる材料の開発が望まれている。そんな中、鉄鋼の生産過程に於いて生成される高炉スラグは、年間 2,201 万 t（H10 年度）生産されているが、そのうち約 69%が高炉水砕スラグとして出荷されている。水砕スラグは人工的に産出される材料であることから、均質であり、又大量に供給可能であるので、さまざまな用途で使われ始めている。そこで、本研究では、今後さらに広域な用途の有効利用を目的として、各々単独でも用いられる廃棄物である水砕スラグと呉市周辺に分布し建設残土として排出されるまさ土を混合することでの特性やさらに高い地盤強度、地盤支持力が得られるかどうか実験的に調査し検討した事を報告する。

2. 使用材料特性

2.1 まさ土の特性 材料特性を表 1、図 1 に示す。透水係数は $10^{-3} \sim 10^{-4}$ であり透水性が良い。また、均等係数は 71.4 であり粒度が良く、粒径は 0.01mm 以上のものが約 90%以上を占めている粒状態の集合で、残る約 10%以下は 0.01mm 以下の砂質シルトから成っている。

2.2 水砕スラグの特性 材料特性を表 1、図 1 に示す。透水係数は $10^{-1} \sim 10^{-2}$ であり、透水性が良い。内部摩擦角は、最低でも 35° 以上を確保できるので、自然砂のように転圧して密度を上げる必要がない。粒度分布は、図 1 から分かるように、スラグは 4.75mm 以下の粒状であり、細粒分がきわめて少なく、比較的単粒度である。均等係数は 3.57 であり、スラグは粒径がそろっており粒度分布が悪い。

表 1 まさ土と水砕スラグの基本物性値

	比重(G_s)	単位体積重量 (tf/m^3)	透水係数 (cm/sec)	内部摩擦角 ($^\circ$)
まさ土	2.60~2.73	1.2	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	30~35
水砕スラグ	2.53~2.76	1.3	$10^{-1} \sim 10^{-2}$	35以上

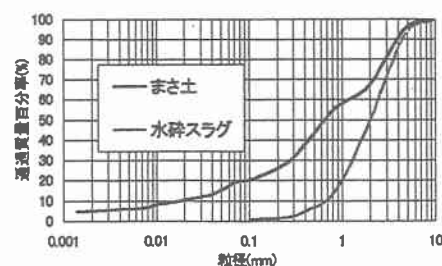


図 1 粒径加積曲線

3. 実験方法 試料は、まさ土とスラグを 0、30、50、70、100%の混合比で混ぜたものを用いた。締固め試験、CBR 試験、三軸試験をおこなった。締固め試験にはすべて繰返し法を用いた。また破碎性を考慮して、まさ土のみ、スラグのみは非繰返し法も用いた。CBR 試験の含水比はまさ土のみでは 9.96%と 13.1%（締固め試験の繰返し法と非繰返し法における最適含水比）に設定した。その他の試料はスラグを含んでいるため最適含水比の設定が容易でなかった（図 2 参照）のでスラグとまさ土は砂質土であるし、密度、単位容積重量も似ていることや他の論文、締め固め試験の結果を考慮し、含水比はまさ土の 9%と 13%に設定した。三軸試験は、圧密排水(CD)試験を用いた。試料を混合させるため攪乱試料としたが、水砕スラグを混合することで通常とは違い試料が締め固まらなかったことから 12~24 時間冷凍保存した。この時、凍結させるときの凍結の膨張による供試体の影響を最小限にするため、含水比を 7%に設定し、間隙比は $e=0.8$ とした。拘束圧は、0.3、0.6、0.9 kgf/cm^2 、軸ひずみ速度は、まさ土の透水係数が比較的透水速度が遅いため $1.67 \times 10^{-1} \text{mm/min}$ の低速ひずみ速度で行った。

4. 結果・考察

4.1 締固め特性 図 2 は含水比と乾燥密度の関係を示したものである。水砕スラグおよび水砕スラグとまさ土混合試料の最適含水比を見出すことは困難であった。この図 2 から、スラグの場合、結果的に最適な含水

比が広範囲にあると考えられる。

4.2 支持力特性 CBR 試験結果より、荷重強さと貫入量の関係を含水比別に図 3、図 4 に示す。図 3 より、混合試料はまさ土:スラグ=7:3 で含水比 9%の時に最大の強度を示す。これは、まさ土の空隙にスラグが入りセメントのような役割をしており、その時の割合がスラグ 3 割の時が最も強度がでる割合になるのだと考えられる。図 3、図 4 比較より、同じ混合土でも含水比の違いにより異なった傾向が見られた。含水比を 9%に設定した方は、まさ土の混合割合が多いほど強度が高く、含水比 13%に設定した方は、スラグの割合が多いほど高い強度が得られる傾向になった。この事より、スラグが高強度を得る時の含水比は 13%付近ではないかと予測できる。また、スラグのみで含水比 9%と 13%時の強度を比べるとほとんど強度に差がないことより、スラグは含水比の影響を受けないと考えられる。

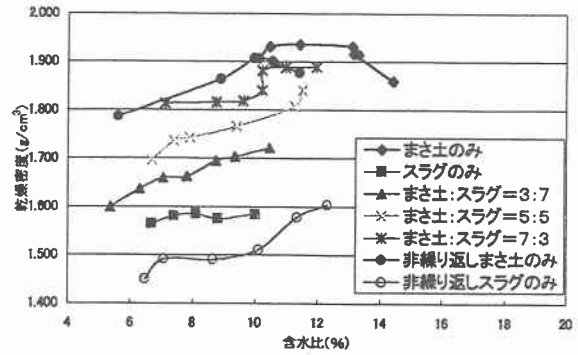


図 2 締固め曲線

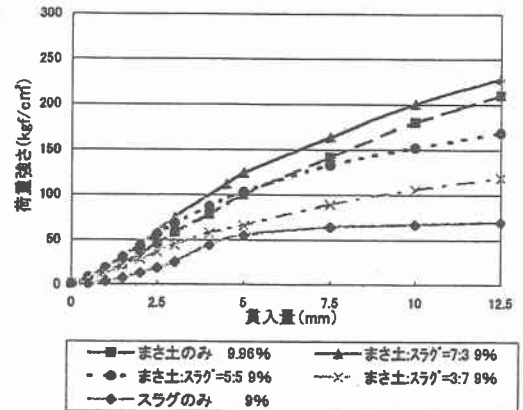


図 3 荷重強さー貫入量曲線 (含水比 9%)

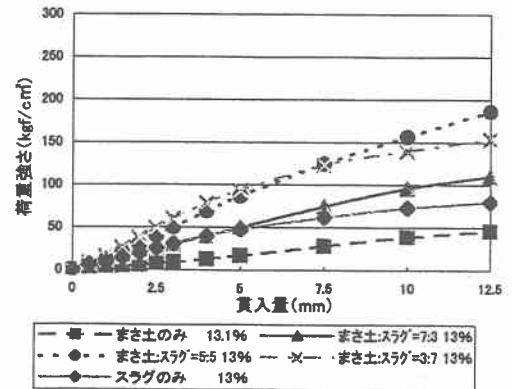


図 4 荷重強さー貫入量曲線 (含水比 13%)

4.3 強度特性 三軸圧縮試験の結果より求めた強度定数 C_d 、 ϕ_d を表 2 に示す。全体的にみると内部摩擦角 ϕ_d は $35^\circ \sim 43^\circ$ であり、内部摩擦角にほとんど差はみられない。粘着力も、0.06~0.22 でありあまり差はない。そもそもこれらの各試料の粘着力は見かけの粘着力であり、実験で飽和化が完全に行われないことから起こる現象といえる。よって、ここでの粘着力の値はあてにできない。実際、現場でも粘着力は無視されている。

5. まとめ

- 1) 締固め試験結果より水砕スラグのみ及びスラグ混合土は最適含水比を得ることが困難である。
- 2) 荷重強さー貫入量曲線より水砕スラグ単独では含水比の違いによって、ほとんど強度が変化しないことから、水砕スラグは含水比の影響を受けないと考えられるが、 $w=13\%$ では、50~70%のスラグ混合で強度増加が見られる事からスラグの最適な含水比は 13%辺りと予想できる。
- 3) 荷重強さー貫入量曲線より支持力はまさ土:スラグ=7:3、含水比 9%時に最大を示す。スラグは潜在水硬性があり、短所に長期になるとスラグを含む地盤は固結し、掘削しにくくなる事があげられる。一般に水砕スラグに他物材 20%以上を混合させると、固結しなくなると言われている。けれども、まさ土:スラグ=7:3 混合比は強度もあるし、潜在水硬性によるスラグの短所も解決出来る。

- 4) 三軸試験により求めた強度定数 C_d 、 ϕ_d は全体的に見てほとんど差がみられない。

【参考文献】 1. 小堀慈久：まさ土地盤における原位置力学試験と降雨による斜面災害の時系列特性に関する研究、愛媛大学博士学位論文、1997.3 2. 鉄鋼スラグ特性と有用性：鉄鋼スラグ協会

表 2 強度定数

	間隙比(e)	含水比(w)	粘着力(c)	内部摩擦角 ϕ
まさ土のみ	0.8	7.0	0.12	39°
まさ:スラグ=7:3	0.8	7.0	0.06	35°
まさ:スラグ=5:5	0.8	7.0	0.10	37°
まさ:スラグ=3:7	0.8	7.0	0.17	36°
スラグのみ	0.8	7.0	0.22	43°