

高炉水砕スラグの強度特性の経年変化

山口大学工学部

復建調査設計㈱

山口大学大学院

(財)広島県環境保健協会

長棟興産（有）

正会員 松田博

正会員 来山尚義

学生会員 〇片山章徳

正会員 是石倫明

正会員 中野恭夫

1. 研究の目的

軟弱地盤改良工法として用いられる SCP 工法においては大量の砂を必要とするものの、近年は海砂や山土が採取規制の対象となる場合があり、その確保が容易ではない現状にある。一方、高炉水砕スラグは均質で大量に供給可能であることから自然砂の代替材料として考えられる。その他にも、盛土、裏込め土、路床などにも用いられている高炉水砕スラグだが、工場での生成後の強度特性の経時変化など、いまだ明確にされていない点が多い。そこで、ここでは三軸圧縮試験機を用いて、生成後2年経過した高炉水砕スラグ（気乾状態で室内にて保存）と、生成後2ヶ月経過した比較的フレッシュな高炉水砕スラグの強度特性の相違について調べた。（ここでは前者を〇スラグ、後者をNスラグと呼ぶことにする。）

2. 試験方法

用いた装置は三軸圧縮試験装置であって試験条件としては、圧密排水せん断とした。各試料の密度、最大・最小間隙比は、〇スラグ（ $\rho_s=2.624\text{g/cm}^3$ 、 $e_{\max}=1.521$ 、 $e_{\min}=1.043$ ）、Nスラグ（ $\rho_s=2.694\text{g/cm}^3$ 、 $e_{\max}=1.396$ 、 $e_{\min}=1.014$ ）である。供試体は相対密度を約50%（Loose）、約80%（Dense）とし、载荷はひずみ制御によって行った。また、圧密圧力は50kPa～500kPaの間で変化させた。

3. 試験結果

図1、図2は相対密度を約80%（Dense）とした時の軸ひずみと応力比 q/p' の関係を示したものである。ここに、 $q=(\sigma_1'-\sigma_3')$ は軸差応力、 $p'=(\sigma_1'+2\sigma_3')/3$ は平均有効主応力である。いずれの図においても、拘束圧の増加とともに同一の軸ひずみに対する応力比 q/p' は大きく減少することが分かる。また、図1、図2を比較すると、〇スラグのほうが応力比の減少の割合が大きくなる傾向がみられる。

図3、図4は相対密度を約80%（Dense）とした時の、〇スラグとNスラグについて得られた軸ひずみと体積ひずみの関係を示したものである。いずれの図においても、拘束圧が増加すると体積は軸ひずみの増加とともに収縮する傾向がみられる。これは高炉水砕スラグにおいて、拘束圧の増加に伴って粒子破碎が進行し体積が膨張する傾向から収縮する傾向に転じたものと思われるが、両図を比較すると〇スラグのほうが変化の割合が

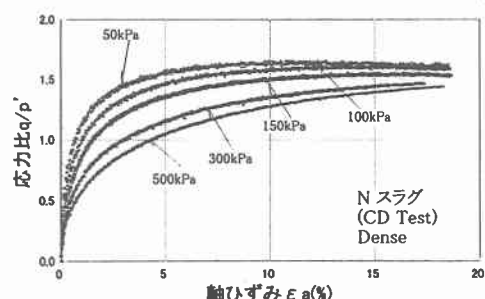


図1 軸ひずみ応力比関係（Nスラグ）

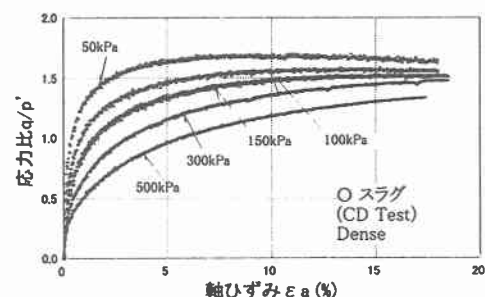


図2 軸ひずみ応力比関係（〇スラグ）

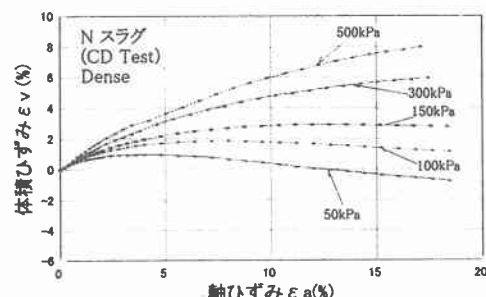


図3 軸ひずみ体積ひずみ関係（Nスラグ）

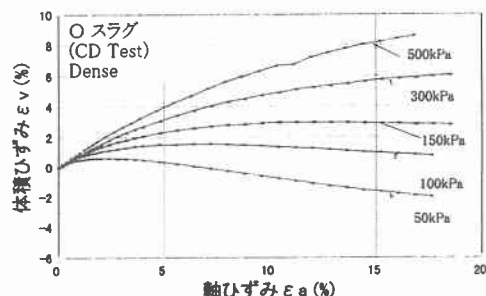


図4 軸ひずみ体積ひずみ関係（〇スラグ）

やや大きいといえる。図5、図6は相対密度を約80% (Dense) とした時のOスラグとNスラグについて得られたモールの応力円を示したものである。いずれの場合も拘束圧の増加とともに内部摩擦角が減少する傾向がみられる。このように拘束圧の増加が内部摩擦角に影響を及ぼす主な原因はせん断に伴う粒子破碎が考えられ、高炉水砕スラグは比較的低拘束圧の領域においても粒子破碎が生じる傾向がみられる。また、図5、図6で得られた内部摩擦角を比較するとほぼ同様の結果を示すことがわかる。図7、図8は相対密度を約80% (Dense) とした時の $d\varepsilon_v/d\varepsilon_s$ と応力比 q/p' の関係を示したものである。ここに ε_v は体積ひずみ、 ε_s はせん断ひずみであって、 ε を軸ひずみ、 ε_r を半径方向のひずみとすると、 $\varepsilon_s = 2/3(\varepsilon - \varepsilon_r)$ で与えられる。また限界の応力比を M で表すと、 $(-d\varepsilon_v/d\varepsilon_s)$ と q/p' の間には、 $q/p' = M - d\varepsilon_v/d\varepsilon_s$ (1) の関係がある。したがって、式(1)において $(-d\varepsilon_v/d\varepsilon_s) = 0$ のとき、 $M = q/p'$ となり、いわゆるダイレイタンスを伴わない状態における強度比をあらわす。 $q/p' = M$ が求まると $\sin \phi_r = 3M/(6+M)$ なる関係より、限界状態における内部摩擦角 ϕ_r が得られるが、いずれの図においても $q/p' = M$ は約1.5となっており、 $\phi_r = 36.9^\circ$ となる。一方、先述したように、Nスラグの土粒子の密度についてはNスラグがやや大きいこと、最大・最小間隙比はOスラグがやや大きいことがわかる。

4. まとめ

従来、地盤工学において用いられてきた天然砂の代替材料として高炉水砕スラグを用いることを目的として、高炉水砕スラグの諸特性の経年変化について調べた。その結果、試料を乾燥後、室内にて保存した場合、土粒子の密度はほぼ等しいが、最大・最小間隙比はOスラグの方がやや大きいこと、また応力比、体積ひずみ、内部摩擦角、限界状態の内部摩擦角等については、経年変化はほとんどみられないことが明らかになった。

参考文献

- 1) 海砂の代替材としての高炉水砕スラグの強度特性, 来山尚義, 松田博, 是石倫明, 片山章徳, 中野恭夫, 第35回地盤工学研究発表会, 569, pp. 1125-1126, 2000. 6.
- 2) 未硬化高炉水砕スラグの強度特性, 来山尚義, 松田博, 片山章徳, 是石倫明, 中野恭夫, 土木学会中国支部第52回研究発表会 III-34, pp. 339-340, 2000. 6.

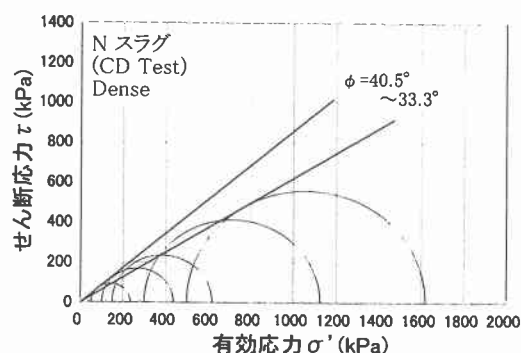


図5 モールの応力円 (Nスラグ)

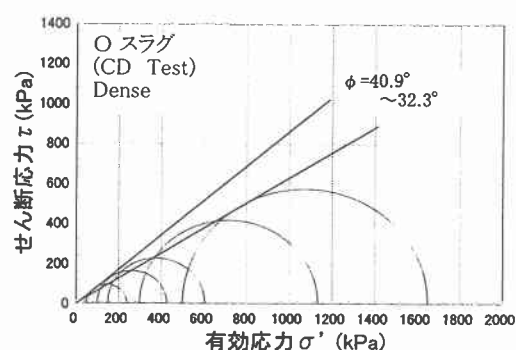


図6 モールの応力円 (Oスラグ)

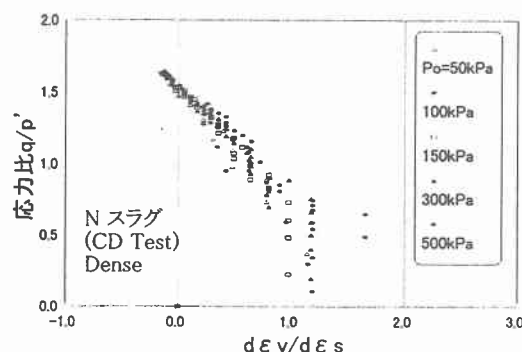


図7 $d\varepsilon_v/d\varepsilon_s$ と応力比の関係 (Nスラグ)

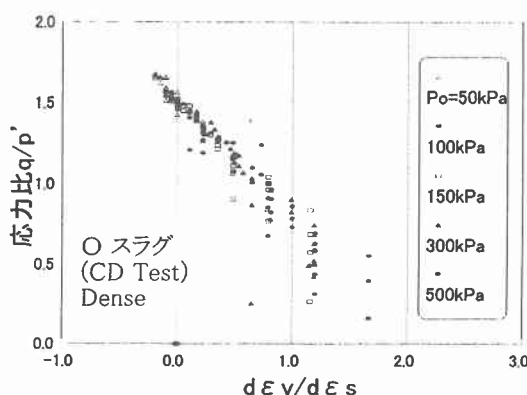


図8 $d\varepsilon_v/d\varepsilon_s$ と応力比の関係 (Oスラグ)