

高炉水砕スラグの潜在水硬性が強度特性に及ぼす影響

復建調査設計株式会社	正会員	○来山 尚義
山口大学工学部	正会員	松田 博
山口大学工学部大学院	学生会員	是石 倫明
山口大学工学部大学院	学生会員	片山 章徳
長棟興産有限会社	正会員	中野 恭夫

1. まえがき

軟弱地盤改良工法として多くの実績を上げているサンドコンパクションパイル（SCP）工法においては、強度および透水性に優れた良質の砂が大量に必要とされるにもかかわらず、近年は、その確保が容易ではない状況にある。一方、銑鉄を生成する際に副産物として生産される高炉水砕スラグは、均質で大量に供給可能であることから、SCP工法における砂の代替材料として期待できる。

しかしながら、高炉水砕スラグのサンドコンパクションパイル工法への適用例はこれまでにほとんどなく、明確にされていない点が多い。筆者らはすでに高炉水砕スラグの物理的性質、締め固め特性、透水特性および単純せん断強度等について報告しているが¹⁾、高炉水砕スラグは時間の経過とともに硬化する潜在水硬性を有しており、硬化に伴う強度・透水性の変化はSCP工法の効果に重要な影響を及ぼす。ここでは、海水内で長期間養生した高炉水砕スラグについて三軸圧縮試験を行い、潜在水硬性が高炉水砕スラグの強度特性に及ぼす影響を調べたので報告する。

2. 試料および実験方法

今回実験に使用した高炉水砕スラグは、土粒子の密度 $\rho_s = 2.697 \text{ g/cm}^3$ 、最小間隙比 $e_{\min} = 0.974$ 、最大間隙比 $e_{\max} = 1.447$ である。

供試体は、所定の間隙比（初期間隙比 $e_0 = 1.26$ ）になるように気乾状態の高炉水砕スラグを直径 5cm、高さ 10cm のモールドに詰め、海水内にて 0 日、28 日、42 日、70 日、98 日、189 日、および 365 日放置して作成した。その後、拘束圧 24.5kPa、49.0kPa、98.0kPa および 196.0kPa、背圧 196.0kPa、ひずみ速度 0.3% で圧密排水三軸圧縮試験を行った。

3. 実験結果

図-1 は 0 日の時の応力比 q/p' ～ 軸ひずみ 関係を示したものである。ここに、 p' は平均有効主応力、 q は軸差応力でそれぞれ次式で与えられる。

$$p' = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3, \quad q = \sigma_1 - \sigma_3$$

同図より、特に低い拘束圧領域において拘束圧の増加とともに同一の軸ひずみに対する応力比は減少する傾向を示している。この原因として、主としてせん断に伴う粒子破碎が考えられる。

図-2 は 0 日の時の体積ひずみ～軸ひずみ関係を示したものである。同図より、拘束圧が増加するに従い体積は収縮する傾向を示している。これは、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考えられる。

図-3 は 365 日経過後の応力比～軸ひずみ関係を示し

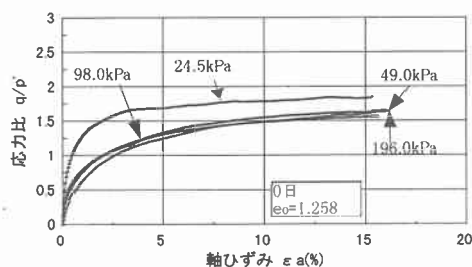


図-1 応力比～軸ひずみ関係図
（0日経過後）

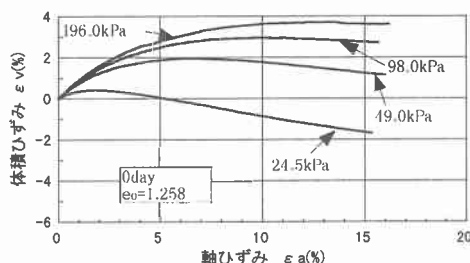


図-2 体積ひずみ～軸ひずみ関係図
（0日経過後）

たものである。365 日経過時には高炉水砕スラグは潜在水硬性を発揮して硬化し、供試体の中心部を除いて青色を呈していた。同図より、図-1と同様に同一の軸ひずみに対する応力比は減少する傾向を示している。しかしながら、図-1においては、応力比は1.6程度に収束する傾向を示しているのに対し、図-3においては拘束圧が小さい場合、大ひずみにおいても応力比は大きくなり、拘束圧が大きくなると応力比は1.7程度に収束する傾向を示している。これらより、潜在水硬性により硬化した後は、低い拘束圧ではセメンテーションによる粒子間の結合力が維持されるのに対し、拘束圧の増加とともに粒子破碎に加えてセメンテーションによる粒子間の結合力が崩壊し、強度が維持できなくなることがわかる。

図-4は、365 日経過後の体積ひずみ～軸ひずみ関係を示したものである。同図より、拘束圧が小さいとダイレイタンスにより体積は膨張するが、拘束圧が大きくなると粒子間の結合力が崩壊して粒子破碎が生じ、体積は膨張する側から収縮する傾向に転じていることがわかる。

図-5は拘束圧 24.5kPa の場合の応力比～軸ひずみ関係の経時変化を示したものである。同図より、時間の経過とともにセメンテーションによる粒子間の結合力が発揮され、応力比は大きくなっていることがわかる。

図-6は拘束圧 196.0kPa の場合の応力比～軸ひずみ関係の経時変化を示したものである。同図より、時間の経過にかかわらず大ひずみ状態における応力比はほぼ一定値に近づいていて、時間の経過とともに潜在水硬性により硬化して強度は増加するが、拘束圧が大きくなるとセメンテーションによる粒子の結合力が崩壊し、大ひずみ状態において強度が維持できなくなることがわかる。

4. 結論

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、海水内で養生して三軸圧縮試験を行い、潜在水硬性発現による強度特性の変化について調べた。その結果、潜在水硬性によって時間とともに強度は増加し、拘束圧が小さいとその強度が大ひずみにおいても維持されるが、拘束圧が大きくなるとセメンテーションによる粒子間の結合力が崩壊し、強度が維持できなくなることがわかった。

1) 松田博、来山尚義、安藤義樹、中野恭夫：水砕スラグの地盤工学的有効利用に関する基礎的研究、地盤工学会中国支部論文報告集 地盤と建設、Vol.16、No.1、pp.33-40、1998

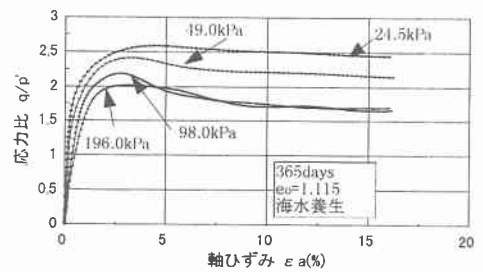


図-3 応力比～軸ひずみ関係図 (365 日経過後)

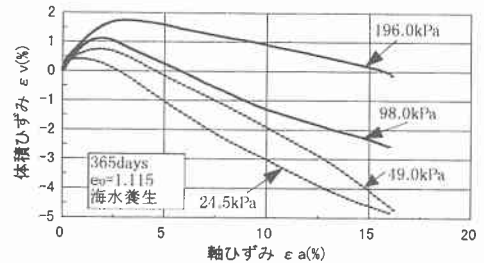


図-4 体積ひずみ～軸ひずみ関係図 (365 日経過後)

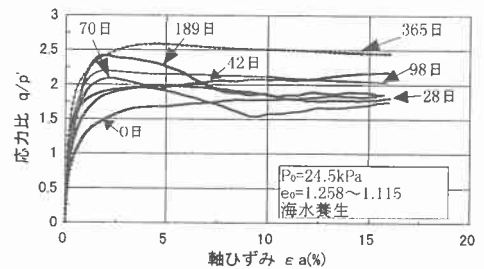


図-5 応力比～軸ひずみ関係図 (拘束圧 24.5kPa)

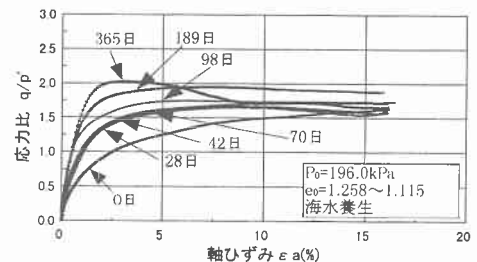


図-6 応力比～軸ひずみ関係図 (拘束圧 196.0kPa)