

高炉水砕スラグの硬化に伴う強度特性の変化

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

サンドコンパクションパイル(SCP)工法において、砂の代替材料として高炉水砕スラグを利用することを目的として、筆者らはこれま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室内試験を行いその結果について報告している¹⁾。しかしながら、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・透水性の変化についても明確にする必要がある。すでに、海水中および水道水中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、その一部については報告しているが²⁾、ここではさらに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

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 のモールドに詰めた後、海水中および水道水中にて 0 日から 1 年の間の所定期間養生して作成した。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 は養生に伴う間隙比の経時変化を示したものである。同図より、海水養生、水道水養生いずれも養生期間の増加とともに間隙比が低下していることがわかる。

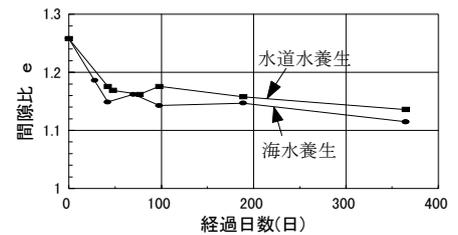


図 - 1 間隙比の経時変化

図 - 2、3 は海水養生の場合の応力比 q/p' と軸ひずみ関係の経時変化を示したもので、それぞれ拘束圧が 24.5kPa および 196.0kPa の結果である。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。

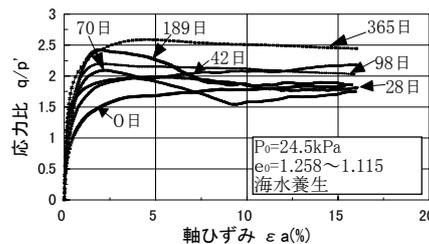


図 - 2 応力比～軸ひずみ関係 (拘束圧 24.5kPa、海水養生)

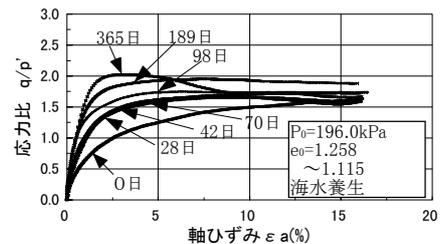


図 - 3 応力比～軸ひずみ関係 (拘束圧 196.0kPa、海水養生)

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

図 - 2、3 いずれの場合も時間の経過とともに潜在水硬性により強度が大きくなることわかる。また、365 日経過後は低拘束圧においてはセメンテーシ

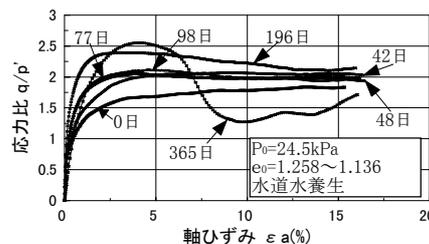


図 - 4 応力比～軸ひずみ関係 (拘束圧 24.5kPa、水道水養生)

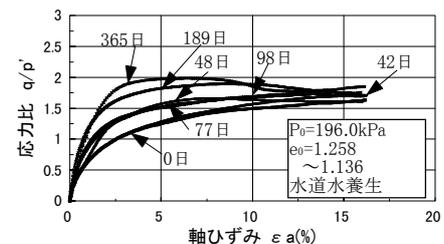


図 - 5 応力比～軸ひずみ関係 (拘束圧 196.0kPa、水道水養生)

コンクリートによる結合力が発揮され、大ひずみにおいても強度が保持されている。これに対して、拘束圧が高くなるとセメンテーションによる結合力が崩壊し、時間の経過にかかわらず、ひずみが大きくなると一定の強度比に収束する傾向にある。

図 - 4、5 は水道水養生を行った場合の応力比と軸ひずみ関係の経時変化を示したものである。海水養生の場合と同様にいずれも時間の経過とともに強度は大きくなっているが、低拘束圧の場合（図 - 4）、365 日経過時においては、最大強度が発現した後に急激に低下している。この現象は、図 - 2 の 70 日および 189 日経過時の結果にもわずかながら見られる。

図 - 6、7 は水道水養生の場合の体積ひずみと軸ひずみ関係の経時変化を示したもので、それぞれ拘束圧が 24.5kPa および 196.0kPa の結果である。0 日の低拘束圧においてはダイレイタンスにより体積ひずみは負になる（膨張する）傾向を示し、時間の経過とともにその値は大きくなる。これに対し、高拘束圧においては収縮する傾向を示し、その大きさは時間の経過とともに小さくなる。365 日経過時においても膨張側には転じない。一方、海水養生を行った場合もほぼ同様の結果が得られている。

図 - 8 ~ 10 は応力比と d_v/d_s 関係を示したもので、それぞれ 0 日、海水養生 365 日経過時および水道水養生 365 日経過時の結果である。ここに、 s はせん断ひずみであり、軸ひずみを a 、半径方向のひずみを r とすると $s=2/3(a-r)$ で与えられる。また限界の応力比を M であらわすと、 (d_v/d_s) 、 M および q/p' の間には、次式が成り立つ。

$$q/p' = M - d_v/d_s \quad (1)$$

したがって、式(1)において $(d_v/d_s)=0$ 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。その値は海水養生、水道水養生ともに 0 日の結果と比較すると明らかに大きくなっていることがわかる。

4. 結論

サンドコンパクションパイル工法において用いられている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、海水中および水道水中で長期間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、(1)高炉水砕スラグは海水中、水道水中いずれにおいても潜在水硬性によって時間とともに強度は増加する、(2)海水養生では拘束圧が小さいとき、大ひずみにおいても強度が保持される。(3)ダイレイタンスを伴わない状態の強度比は、海水養生、水道水養生いずれの場合も初期状態より大きくなる、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

2) 来山尚義、松田博、中野恭夫：SCP 工法における砂の代替材としての水砕スラグの強度・透水特性、第 34 回地盤工学研究発表会 平成 11 年度発表講演集、pp.913-914、1999

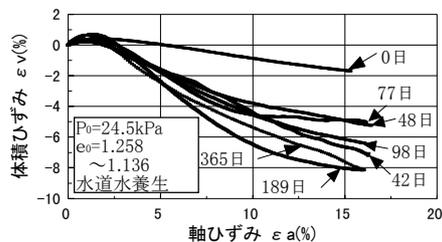


図 - 6 体積ひずみ～軸ひずみ関係 (拘束圧 24.5kPa、水道水養生)

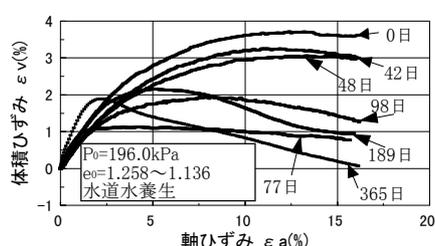


図 - 7 体積ひずみ～軸ひずみ関係 (拘束圧 196.0kPa、水道水養生)

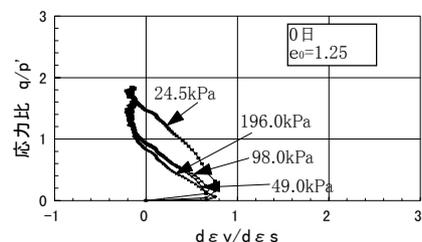


図 - 8 応力比～ d_v/d_s 関係 (0日経過時)

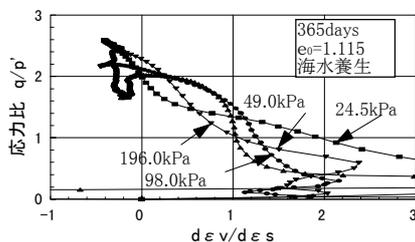


図 - 9 応力比～ d_v/d_s 関係 (365日経過時、海水養生)

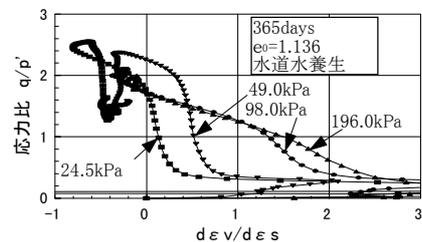


図 - 10 応力比～ d_v/d_s 関係 (365日経過時、水道水養生)