

高炉水砕スラグを用いた砂杭-粘土複合地盤の応力分担特性

復建調査設計(株) 正会員○来山尚義, 山口大学 正会員 松田 博
 日本基礎技術(株) 正会員 片山章徳, 山口大学大学院 学生会員 村上剛敏
 山口大学大学院 学生会員 大平尚美, 山口大学 正会員 高宮晃一

1. まえがき サンドドレーン(SD)工法および低置換率サンドコンパクションパイル(SCP)工法においては、強度・透水性に優れた材料が要求されることから、これまでは主に海砂が使用されてきた。しかしながら、近年は環境問題等からその確保は困難になっている。一方、銑鉄の製造過程で生成される高炉水砕スラグは、粒状を呈する材料であって、砂の代替材料としての利用が期待される。しかし、筆者らがこれまでに行った試験結果によると、高炉水砕スラグを水中で長期間養生すると、潜在水硬性により粘着力、内部摩擦角ともに増加した一方、透水係数は $1/10 \sim 1/100$ 程度まで低下した。しかし、その場合においても自然砂の透水係数と同等であった¹⁾。これより、高炉水砕スラグを SD 工法で打設すると、時間とともに硬化し、長期的には SCP 工法と同等の効果が期待できると考えられる。そこで、高炉水砕スラグを粘土中に打設した複合地盤の沈下特性、および荷重分担特性を把握するため、新たな装置を開発して実験を行ったので報告する。

2. 試験装置 Fig.1 は試験装置の概要を示したものである。供試体は直径 10cm の粘土の中心部に直径 5cm の高炉水砕スラグの砂柱を挿入して作成する。この場合、地盤の改良率は 25% に相当する。この試験装置は、 K_0 条件での試験が可能であり、また、砂杭と粘土の分担荷重の分離が可能である。Fig.2 は、下部載荷板を示したものである。なお試験装置の組み立ては、セル内および排水経路等への空気の進入を防ぐため水槽内で実施した。Photo.2 は試験装置の写真を示したものである。

3. 試料および供試体 試験に使用した粘土は横浜湾で採取した再構成海性粘土であり、加水して含水比を調整した後、大型圧密容器(直径 30cm, 高さ 40cm)を用い、50kPa で圧密を行った。圧密終了後は直径 10cm, 高さ 10cm の供試体に成形し、さらに、乱さないように十分注意しながら中心部に直径 5cm の砂柱用の穴を穿孔した。

Table.1 は粘土の物理特性を示したものである。砂柱は $\rho_s = 2.757 \text{ g/cm}^3$, $e_{\max} = 1.436$, $e_{\min} = 0.926$ の高炉水砕スラグを直径 5cm, 高さ 10cm のモールドに相対密度 $Dr = 60\%$ となるように詰め、海水を入れた容器内で約 20 ヶ月間密閉養生して作成した。そしてモールドから脱形した後、粘土中に挿入し、供試体を作成した。

4. 試験方法 圧密圧力は 30, 50, 100, 200 kPa の 4 段階で段階的に負荷した。各圧密圧力で供試体の沈下量、

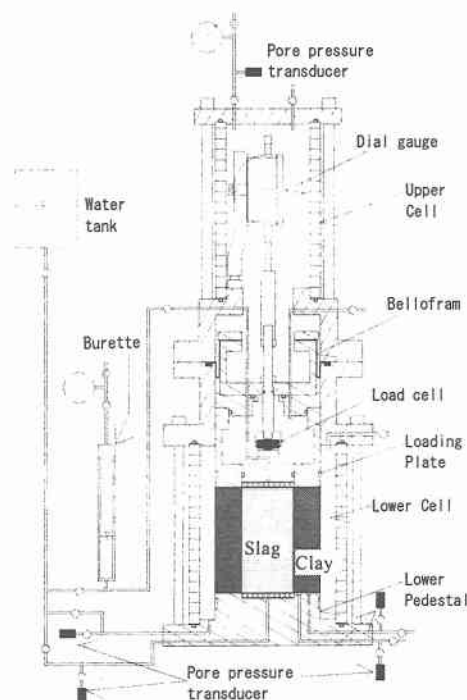


Fig.1 Schematic view of apparatus.

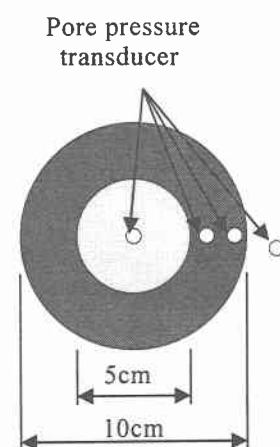


Fig.2 Lower pedestal.

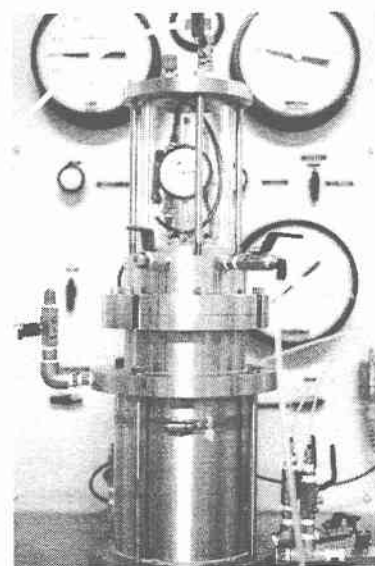


Photo.1 Clay - sand K_0 test equipment.

体積変化量、間隙水圧および砂柱の分担荷重を測定した。各圧密圧力での载荷は、過剰間隙水圧の消散を確認するまでとし、背圧として 100kPa を加えた。

5. 試験結果 Fig.4 は圧密圧力 200kPa における体積ひずみ ε_{vt} と沈下ひずみ ε_{at} の関係を示したものである。同図より ε_{vt} と ε_{at} はよい一致を示しており、圧密中 K_0 状態が保たれているといえる。

Fig.5 は圧密圧力 200kPa における沈下ひずみと時間の関係を示したものである。同図より、約 400 分経過後より二次圧密的な沈下曲線を示している。Fig.6 は過剰間隙水圧の経時変化を示したものである。砂柱内の過剰間隙水圧(slag)は圧密開始直後より 0 となり、砂柱内には過剰間隙水圧は発生していない。また、粘土中の過剰間隙水圧は砂柱に近い(clay-inner)部分から消散していき、砂柱から排水が行われていることを示している。ただし、clay-inner においては圧密終期に過剰間隙水圧が負になっており、原因については今後検討していく必要がある。また、セル圧は時間とともに減少し、約 300 分経過時よりほぼ一定となっている。Fig.7 は砂柱に働く応力(σ_s)と粘土に働く応力(σ_c)の経時変化を示したものである。本試験においては供試体の上下面は等ひずみ条件下にあることから圧密中粘土に働く応力は排水方向に一樣ではないが、ここでは平均の応力を示した。同図によると、圧密終了時の σ_s は約 530kPa であり、 σ_c の約 5 倍となっていて、砂柱に応力集中が生じていることがわかる。Fig.8 は応力分担比 $n(=\sigma_s/\sigma_c)$ の経時変化を示したものである。同図によると n は時間とともに増加し、圧密終了時にはほぼ一定値を示し、そのとき $n=5.5$ 程度である。なお、圧密試験後の供試体を用いて透水試験を行ったところ、高炉水砕スラグで造成した砂柱の透水係数は $k=1.9 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ であり、十分な排水性を有しているといえる。

6. まとめ 高炉水砕スラグを締め固めを伴わない砂柱として造成し、潜在水硬性により硬化した高炉水砕スラグの沈下特性および応力分担特性を把握するために、 K_0 条件下で実験を行った。その結果、締め固めを伴わないで作成した高炉水砕スラグの砂柱においても、硬化することにより応力集中が生じ、SCP 工法と同様の効果を得られることがわかった。また、硬化した高炉水砕スラグは十分な排水性を有しているといえる。

本研究の一部は社団法人中国建設弘済会の助成を受けて行ったものである。末筆ながら感謝します。

参考文献 1)松田, 来山, 是石, 中野: 地盤工学における高炉水砕スラグの活用, 日本材料学会 第 4 回地盤改良シンポジウム論文集, pp133-pp138, 2000.11.

Table.1 Physical properties of clay.

ρ_s (g/cm ³)	2.757
w_L (%)	93.1
I_p	53.1
C_c	1.0

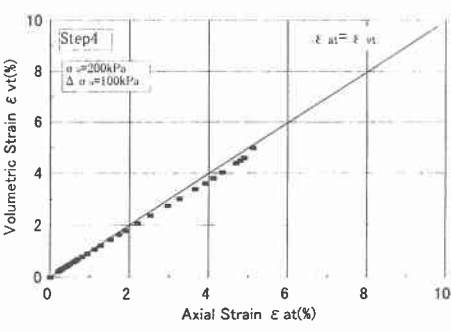


Fig.4 Relationship between ε_{vt} and ε_{at} .

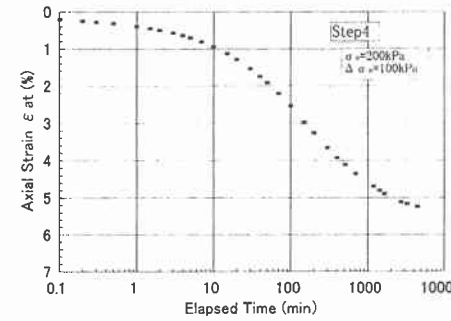


Fig.5 ε_{at} - time relation.

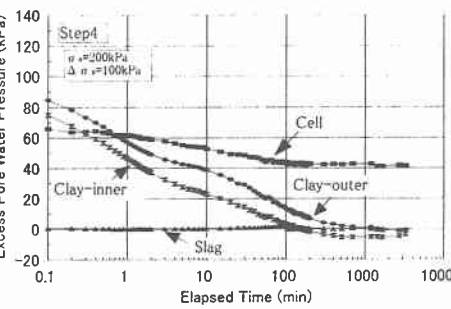


Fig.6 Change of excess pore water pressure with time.

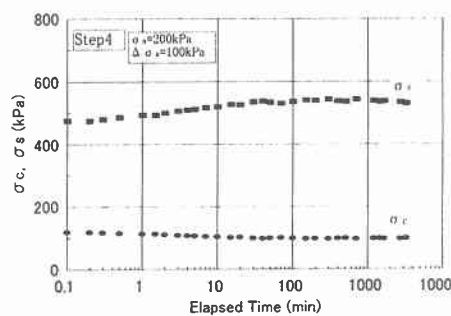


Fig.7 Change of σ_s and σ_c with time.

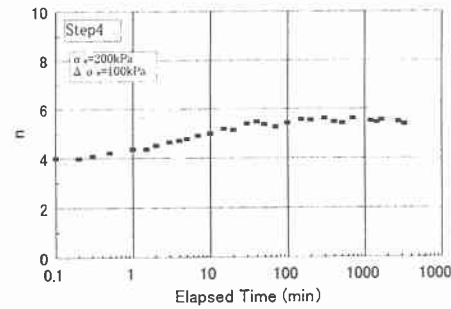


Fig.8 Change of n with time.