

高炉水砕スラグを用いた砂杭-粘土複合地盤の K_0 圧密試験

山口大学工学部 正会員 松田博, 復建調査設計(株) 正会員 来山尚義
 長棟興産(有) 正会員 中野恭夫, 山口大学工学部 正会員 高宮晃一
 山口大学工学部 学生会員 村上剛敏, 山口大学工学部 大平尚美

1. まえがき 高炉水砕スラグは強度・透水性に優れた材料であり, サンドドレーン(SD)またはサンドコンパクションパイル(SCP)工法における砂の代替材としての利用が期待される。しかしながら, 高炉水砕スラグは時間とともに硬化する潜在水硬性を有して、潜在水硬性の発現により強度増加および透水性の低下が生じる。筆者らはこれまでに行った実験結果から, 高炉水砕スラグを締め固めない砂柱として打設した場合, 打設当初はSD工法として, そして長期的には砂柱が硬化し, 砂柱の強度を期待するSCP工法として適用できると考え, SCP工法における設計計算式の提案を行っている¹⁾。ここでは, 圧密中の応力分担比, 沈下低減率および圧密速度について, 新たな装置を開発して実験的検証を行った。

2. 試験装置 図-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。試験装置は, ① K_0 条件下での試験が可能, ②砂柱が分担する荷重を測定可能, ③試験中は等ひずみ(剛性載荷)条件, ④砂柱からのみの排水, ⑤供試体の間隙水圧は, 図-2に示すように砂柱部(slag: 供試体中央), 粘土部の砂柱に近い位置(clay-inner)および外周面に近い位置(clay-outer)の3カ所で測定, 等の特徴を持っている。写真-1は試験装置の全体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, 大型圧密容器(直径30cm, 高さ30cm)において圧密圧力を50kPaとして圧密後, 直径10cm, 高さ10cmの供試体に成形した。表-1は粘土の ρ_s , w_L , I_p , C_c を示したものである。砂柱として用いた高炉水砕スラグは, 高炉水砕スラグ① ($\rho_s=2.694\text{g/cm}^3$, $e_{\max}=1.396$, $e_{\min}=1.014$) および高炉水砕スラグ② ($\rho_s=2.720\text{g/cm}^3$, $e_{\max}=1.416$, $e_{\min}=0.937$) である。ここに, 高炉水砕スラグ①は未硬化状態であり, 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, 液体窒素で凍結した後, あらかじめ穿孔した前述の粘土中に挿入した。また, 高炉水砕スラグ②は硬化状態であり, 高炉水砕スラグ①と同じ方法でモールドに詰めた後, 海水を満たした容器内で約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30kPa, 50kPa, 100kPa および200kPaの

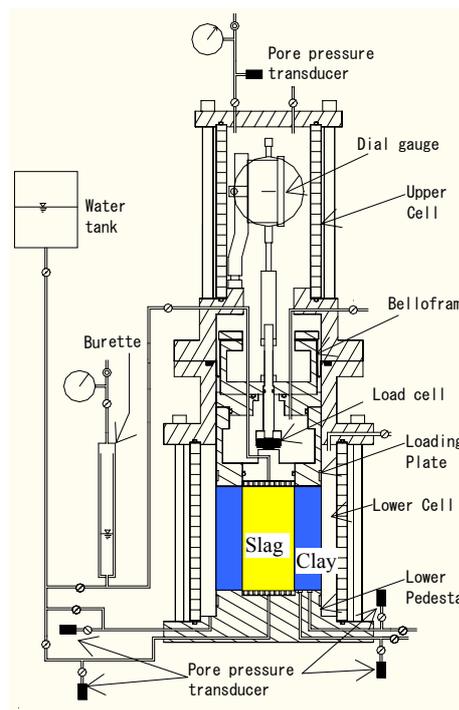


図-1 試験装置の概要

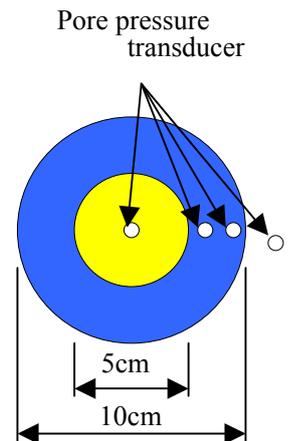


図-2 下部載荷板

表-1 粘土の ρ_s , w_L , I_p , C_c

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



写真-1 試験装置

キーワード 高炉水砕スラグ, サンドコンパクションパイル工法, K_0 圧密, 応力分担, 圧密速度

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 TEL 0836-85-9324

4 段階とし段階的に負荷した。各圧密圧力で供試体沈下量，体積変化量，間隙水圧，載荷重および砂柱分担荷重の経時変化を測定した。各圧密圧力で載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 図-3は圧密圧力100kPaについて，未硬化状態における沈下ひずみの実測値と計算値の比較を行ったもので，図中には $m=1,3,4$ についての計算結果も示した。沈下速度について実測値と計算値を比較すると $m=4$ の場合において，一方，最終沈下量については $m=3$ とした場合に両者はよく一致している。図-4は圧密圧力100kPaについて，硬化した高炉水砕スラグの沈下ひずみの実測値と計算値の比較を行ったものである。沈下の速度は圧密初期において実測値の方が大きい，沈下量は応力分担比を5と考えた場合と等しく，未硬化の場合より粘土に働く応力が小さいことを示している。

図-5は圧密圧力100kPaについて，応力分担比($m = \sigma_s / \sigma_c$)の経時変化を示したものである。ここに， σ_s は砂柱に働く応力， σ_c は粘土に働く応力である。硬化した高炉水砕スラグの場合，圧密初期においては $m=2.3$ 程度であるが，徐々に m は増加し圧密終期には $m=3.0$ となる。また未硬化状態の高炉水砕スラグの場合は圧密初期において $m=1.0$ から徐々に増加し圧密終期には $m=1.5$ となる。これらは，図-3および図-4で示した実測沈下量から求めた応力分担比とは多少異なっている。この違いについては，沈下量を計算する際の粘土の圧密定数の誤差等が考えられるが，いずれの場合においても硬化した高炉水砕スラグの場合 $m=3$ 程度以上となっていて，SCP工法と同等の沈下低減効果を期待できる。

図-8は clay-inner における過剰間隙水圧の経時変化を示したものである。硬化した高炉水砕スラグでは，砂柱への応力集中によって過剰間隙水圧は未硬化状態の高炉水砕スラグの場合より小さくなっているが，消散速度はほぼ等しく，硬化による透水性の低下に伴う圧密の遅れは見られない。これは clay-outer においても同様である。また，砂柱(slag)内においては，硬化および未硬化状態の高炉水砕スラグのいずれの場合においても圧密初期より砂柱中に過剰間隙水圧は生じず，砂柱内の透水性は保持されている。

なお，圧密後の供試体を用いて定水位透水試験を行ったところ，高炉水砕スラグが硬化した場合 $k=2 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 程度であり，未硬化の場合の透水係数($k=1.7 \sim 3.2 \times 10^{-1} \text{cm/s}$)²⁾の1/10程度であった。この値は海水中で1年間養生した場合の透水係数³⁾とほぼ等しく，1年以上経過しても透水係数の変化は生じていない。

6. まとめ 締め固めを伴わない状態で高炉水砕スラグ柱が硬化した場合の応力分担特性および圧密速度について，新たな装置を開発して調べた，その結果，応力分担比は3程度であり，SCP工法の場合と同程度の応力分担比および沈下低減効果が期待できること，また，この場合においても大きな圧密遅れは見られない，ことが明らかになった。

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，中野，高宮，村上，大平：高炉水砕スラグを適用した低置換率サンドコンパクションパイル工法の設計法の提案，土木学会第57回年次学術講演会概要集(投稿中)，2002. 2)松田，来山，安藤，中野：水砕スラグの地盤工学的有効利用に関する基礎的研究，地盤と建設，16-1，pp.33-40，1998. 3)松田，来山，安藤，中野：地盤工学において用いられる水砕スラグの特性，土と基礎，48-6，pp.22-24，2000.

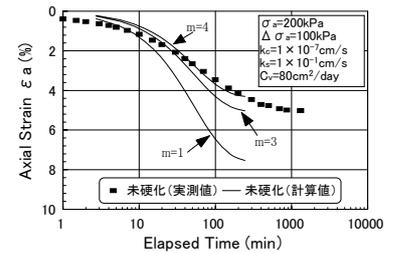


図-3 軸ひずみ経時変化図(未硬化)

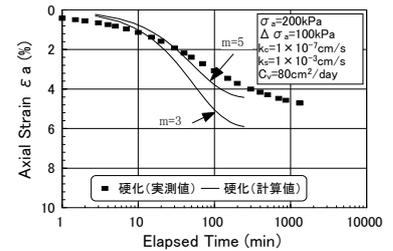


図-4 軸ひずみ経時変化図(硬化)

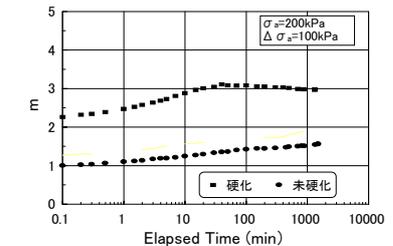


図-5 応力分担比経時変化図

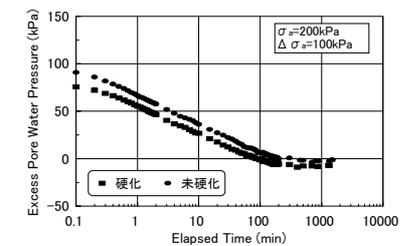


図-6 過剰間隙水圧経時変化図 (clay-inner)