

高炉水砕スラグを用いた低置換率SCP工法に関する模型実験

山口大学大学院 学生会員○山口貴

復建調査設計(株) 正会員 来山尚義、(株)日建技術コンサルタント 正会員 村上剛敏

山口大学 正会員 松田 博、正会員 高宮晃一

1. まえがき 軟弱粘土層の地盤改良工法として用いられるSCP工法は、良質な砂を大量に必要とする。しかし海砂の採取が難しくなっている近年においてはその確保が容易ではない。一方、銑鉄の生産過程において生成される高炉水砕スラグは、均質で、大量に供給可能であり、かつ潜在水硬性を有しており、海砂の代替材料としての利用が考えられる。そこで、高炉水砕スラグの低置換率SCP工法への適用を考え、締め固めを伴わない砂杭-粘土複合地盤における沈下および応力分担特性の把握を目的とした K_0 圧密試験を行い、従来のSCP工法（海成の自然砂）との比較を行った。さらに地盤変形解析用プログラムSAGECRISPを用いた有限要素解析により複合地盤における沈下量、間隙水圧の予測を行った。

2. 低置換率SCP工法への適用に関する模型実験 高炉水砕スラグは潜在水硬性により強度増加が生じることから、締め固めを行わない砂杭を造成しても、長期的にはSCP工法と同等の効果を期待できる。試験では砂杭を粘土中に挿入し、地盤改良率を25%とした。Table.1に砂杭に用いた試料、Table.2に粘土の物理定数を示す。ここで、硬化スラグとは海水中に20ヶ月間浸して養生を行った試料であり、未硬化スラグとは硬化前の試料である。なお、相対密度(D_r)は未硬化および硬化スラグの場合 $D_r=60\%$ （緩詰）とし、玄海砂の場合では $D_r=60\%$ （緩詰）および $D_r=80\%$ （密詰）とした。Fig.1に試験装置の概要を示す。試験装置の主な特徴としては① K_0 条件での試験が可能である、②上部載荷板は砂杭が分担する荷重を測定可能である、③試験中は等ひずみ条件を満たす、④排水は砂杭からのみ可能である、⑤供試体の間隙水圧は砂杭中央部、粘土部の砂杭に近い位置および外周面に近い位置の3ヶ所で測定可能であることが挙げられる。試験方法として、背圧は100kPaとし、圧密

圧力30kPa、50kPa、100kPa、200kPaの4段階で圧密試験を行った。Fig.2は、圧密圧力200kPaにおける沈下ひずみの経時変化を示したものである。同図より硬化スラグと玄海砂($D_r=80\%$)の沈下ひずみ曲線は圧密終期においてよい一致を示し

Table.2 Physical properties of clay

$\rho_s (\text{g/cm}^3)$	2.757
$w_L (\%)$	93.1
I_p	53.1
C_c	1.0

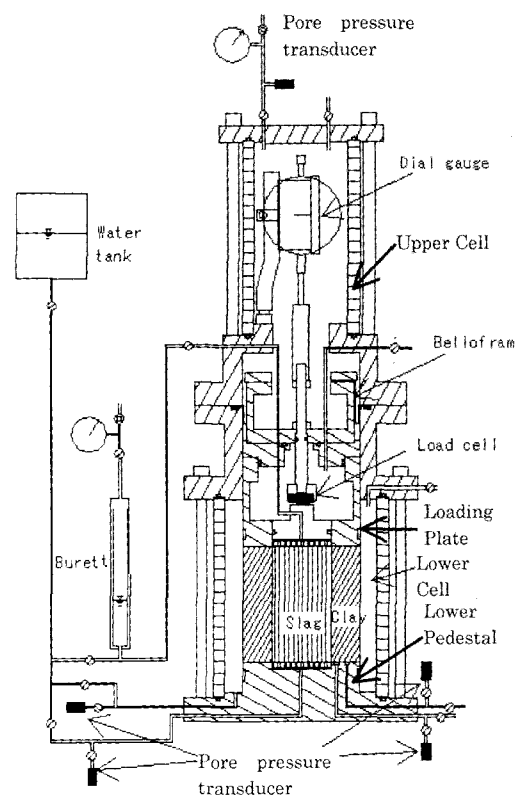
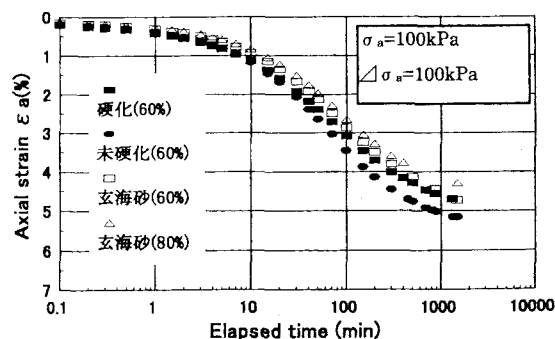


Fig.1 Schematic view of test apparatus.

Table.1 Physical properties of sand.

	硬化スラグ	未硬化スラグ	玄海砂
$\rho_s (\text{g/cm}^3)$	2.706	0.926	2.661
e_{max}	1.436	1.521	0.802
e_{min}	0.926	1.043	0.493

Fig.2 Changes of ε_a with time

200kPaの4段階で圧密試験を行った。Fig.2は、圧密圧力200kPaにおける沈下ひずみの経時変化を示したものである。同図より硬化スラグと玄海砂($D_r=80\%$)の沈下ひずみ曲線は圧密終期においてよい一致を示し

ている。これより、硬化スラグでは玄海砂を砂杭とした場合と同等の沈下抑制効果が考えられる。Fig.3 は圧密圧力 200kPa における砂杭に働く応力(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。なお、実験では等ひずみ条件を満たすため、圧密中粘土に働く応力は排水方向に一樣ではない。そこで、ここでは平均の応力により整理した。同図より圧密終了時において硬化スラグと玄海砂($D_r=80\%$)の σ_s と σ_c の値がそれぞれ一致している。Fig.4 は、圧密圧力 200kPa における応力分担比 $m(=\sigma_s/\sigma_c)$ の経時変化を示したものである。同図によると未硬化スラグでは m は 1.5 程度までしか上昇しないが、硬化スラグでは玄海砂($D_r=80\%$)と一致し $m=3$ となっている。これより硬化後のスラグでは密な状態の玄海砂と同等の応力集中が期待できる。

本実験の終了後、SAGECRISP による有限要素解析を行い、圧密中における間隙水圧の経時変化および沈下量の予測を行った。Fig.5 に砂杭部を未硬化スラグとしたときの間隙水圧の経時変化を示す。供試体中央が砂杭、粘土部の砂杭に近い位置が粘土内側、外周面に近い位置が粘土外側を指す。これより、粘土内側の初期値は異なるが、水圧の消散度合いはほぼ一致している。Fig.6 は圧密前後における供試体の沈下の様子を。等ひずみ条件の下、最終沈下量は K_0 圧密試験値が 12.8mm、解析値が 13.7mm とほぼ一致した結果が得られた。

3. 結論 高炉水砕スラグの低置換率 SCP 工法への適用を想定し、高炉水砕スラグを用いた砂杭-粘土複合地盤の挙動について従来工法との比較を行った。その結果、締め固めを伴わない高炉水砕スラグの砂杭においても、硬化することで自然砂を用いて締め固めた場合の砂杭と同等の応力集中が生じ、従来の SCP 工法と同等の効果が得られるものと考えられる。また、 K_0 圧密試験におけるデータを基に有限要素法を用いて沈下量および間隙水圧を予測した結果、最終沈下量および間隙水圧ともに実験値とほぼ一致した結果となった。

参考文献

- 1) 鉄鋼スラグ協会:水砕スラグ「土工用材料としての技術資料」,1983.
- 2) 松田他,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) 側沿岸開発技術センター,港湾工事用水砕スラグ利用手引書, 1964.

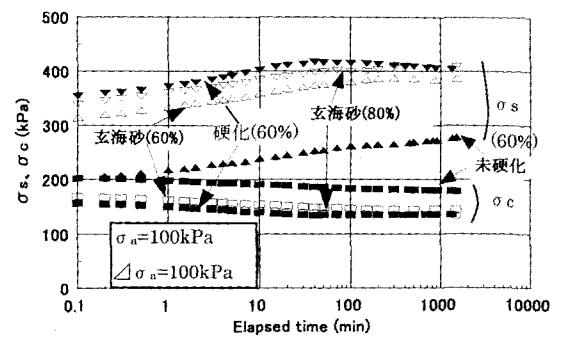


Fig.3 Changes of σ_s and σ_c with time

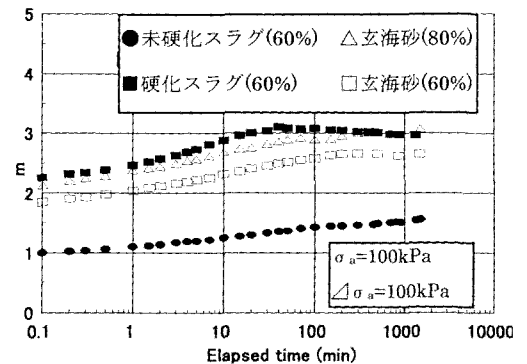


Fig.4 Change of m with time

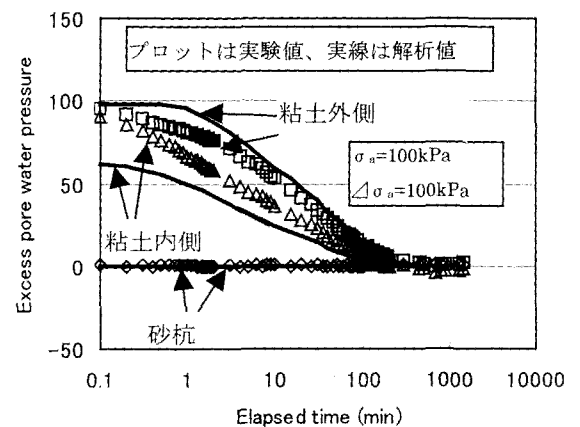


Fig.5 Change of excess pore water pressure

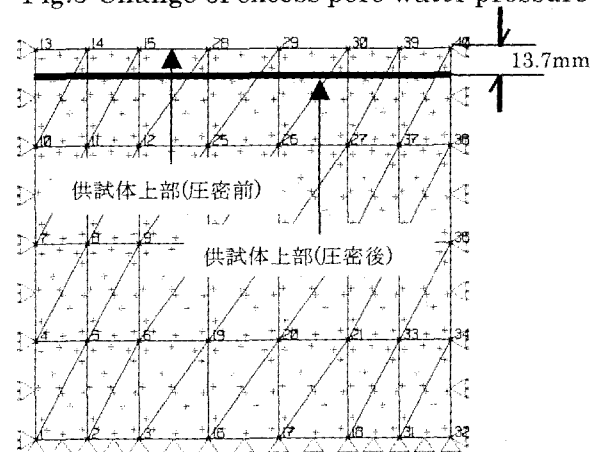


Fig.6 Finite element mesh.