

鉄鋼スラグを用いた SCP 改良地盤における変形特性

広島大学大学院工学研究科	学生会員	○高橋 裕徳
広島大学大学院工学研究科	国際会員	一井 康二
応用地質株式会社	正会員	植村 一瑛
広島大学大学院工学研究科	学生会員	仁科 晴貴
新日本製鐵株式会社土木建築技術部	正会員	篠崎 晴彦
株式会社不動テトラ地盤技術部	非会員	木下 洋樹

1. はじめに

本研究では, リサイクル材である鉄鋼スラグを中詰め材料に用いたサンドコンパクションパイル工法により改良された地盤の変形特性を調べるため, 中空ねじりせん断試験機を用いた模型載荷実験を行った.

2. 実験方法

供試体には, AX カオリンと MC クレーを乾燥重量比 1:1 で混合したものをを用いた. それを初期含水比 120%, 圧密圧力 74kPa で予備圧密し, 外径 7cm, 内径 3cm, 高さ 8cm となるように整形した. そして改良部にドリルを用いて孔を開け (図-1), 凍結させた改良杭を差し込み (図-2), 中空部をくり貫く. その後, 試験機に供試体をセットし, 有効拘束圧 74kPa で等方圧密を行った. ここで, 完成した供試体の一例を図-3 に示す.

砂杭は, 豊浦砂を $D_r=80\%$ となるように静的締固め法で作成したものを, 鉄鋼スラグ杭は固結強度を管理できるエコガイアストンを粒径 2mm 以下に粒度調整したものをを用いた. なお, 鉄鋼スラグ杭の強度は実験時の養生期間で $\phi_d=45.9^\circ$, $C_d=110.9\text{kN/m}^2$ である.

本研究では, 静的載荷と動的載荷の 2 種類を行った.

静的載荷試験では, 非排水条件でひずみ制御による単調ねじり載荷を行った (図-4). ひずみ速度は 0.2%/min で, せん断ひずみ 22.5% で載荷終了とした. 動的載荷試験では, 非排水条件で応力制御による繰返しねじり載荷を行った (図-5). せん断応力比は 0.3 ($D_r=80\%$ の豊浦砂の R_{L20} 相当) とした. なお, 動的載荷試験では, 大きな繰返しせん断応力が作用する下で, 杭部の過剰間隙水圧はどのような挙動となるかに着目し, 遮水シートを用いて杭部のみの間隙水圧を測定した. つまり静的載荷試験における間隙水圧は複合地盤全体の水圧であるが, 動的載



図-1 孔の作製



図-2 杭の差し込み

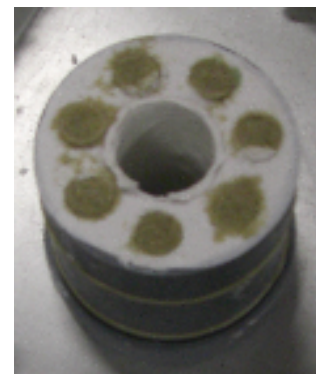


図-3 供試体写真

荷試験では杭部の水圧を測定している。

実験ケースは改良杭の材料，形状による違いを調べるため，表-1 のように設定した．なお，実験に用いた杭は円柱状のものがφ=13mm，壁型杭は 11×24mm であり，杭高さは全て 80mm である．また，図-6 に上から見た供試体図を示す．Case1-1 から 1-3 では杭材による差異に，Case2-1 から 2-3 では杭材と形状による差異に，Case3-1 から 3-3 では杭材による差異に着目する．

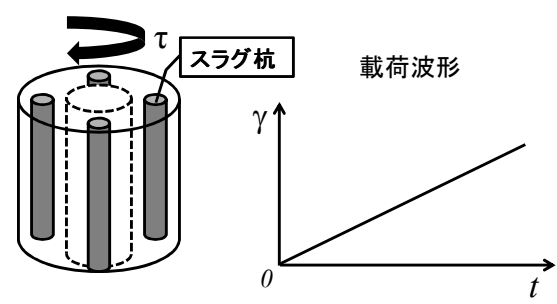


図-4 供試体図，载荷波形(静的载荷)

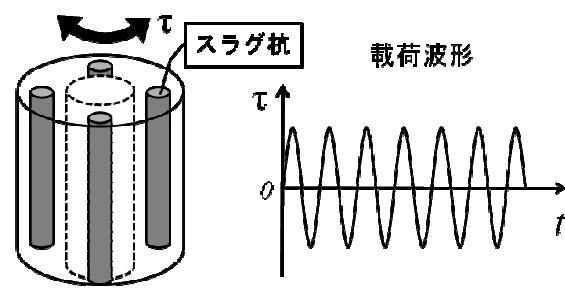


図-5 供試体図，载荷波形(動的载荷)

表-1 実験ケース

実験ケース	改良杭の形状	杭材	改良率 (%)	载荷
Case1-1	—	—	—	静的
Case1-2	杭型	豊浦砂	30	
Case1-3	杭型	鉄鋼スラグ	30	
Case2-1	隣接杭型	豊浦砂	25	
Case2-2	隣接杭型	鉄鋼スラグ	25	
Case2-3	壁型	鉄鋼スラグ	25	
Case3-1	—	—	—	動的
Case3-2	杭型	豊浦砂	30	
Case3-3	杭型	鉄鋼スラグ	30	

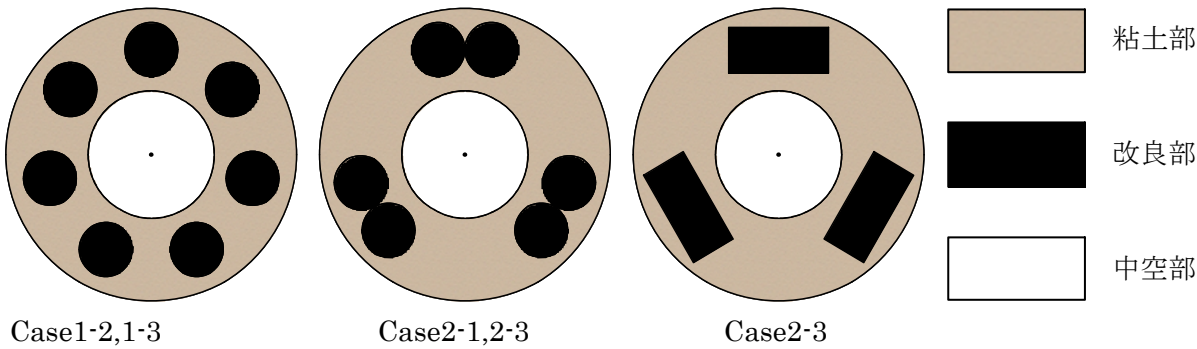


図-6 供試体配置図

3. 実験結果

図-7 に Case1-1, 1-2, 1-3 のケースにおける応力－ひずみ関係を、図-8 に過剰間隙水圧とひずみの関係を示す。

図-7 と図-8 に示すように、杭間のある改良では砂杭と鉄鋼スラグ杭はせん断応力、過剰間隙水圧において、ほぼ同様の結果を示している。つまり、杭間粘土の影響が大きく、杭体の剛性や強度の違いによる影響はみられない。

図-9 に Case1-1, 2-1, 2-2, 2-3 のケースにおける応力－ひずみ関係を、図-10 に過剰間隙水圧とひずみの関係を示す。

図-9 と図-10 に示すように砂杭と鉄鋼スラグ杭で挙動の差異はみられなかった。これも、杭を隣接させたにも関わらず、低置換改良であるために杭間粘土の影響が大きかったためと考えられる。

一方で、壁型杭の場合、隣接杭に比べ、同じひずみ量におけるせん断応力がやや大きく、剛性と強度が大きくなっていると思われる。

図-10 に示す間隙水圧の挙動に着目すると、間隙水圧の発生量が小さく、ひずみの増加と共に水圧が負の値にまで減少している。すなわち、正のダイレイタンシー効果が大きいことがわかる。つまり、形状が変化し杭体の拘束効果が増加したこ

とにより、正のダイレイタンシー効果が大きくなったことが要因であり、SCP 杭の挙動を考える際にダイレイタンシー特性を考慮することが望ましいということを示唆している。

図-11 に動的載荷試験である Case3-1, 3-2, 3-3 のケースにおける両振幅せん断ひずみと加振回数の関係を示す。この図から、供試体を杭で改良したことにより、ひずみの進展が大きく抑制されていることがわかる。また、砂杭よりも鉄鋼スラグ杭のほうが傾きが緩やかなことから、動的荷重の作用下では砂杭よりも鉄鋼スラグ杭で改良する方が繰返しせん断応力によるひずみの進展を抑制しやすいということがいえる。

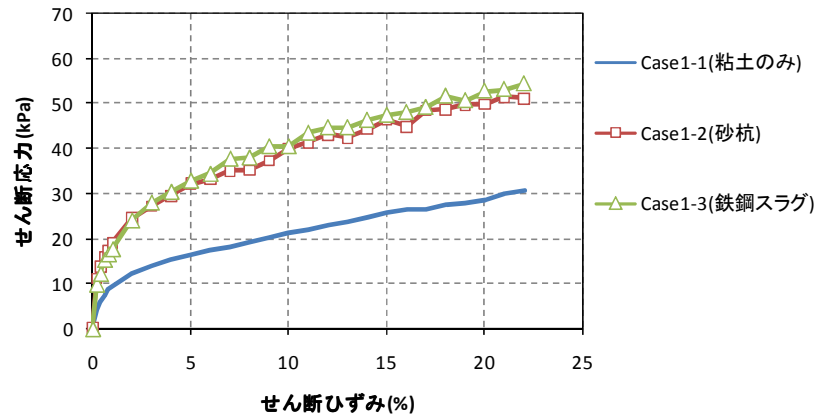


図-7 応力－ひずみ関係

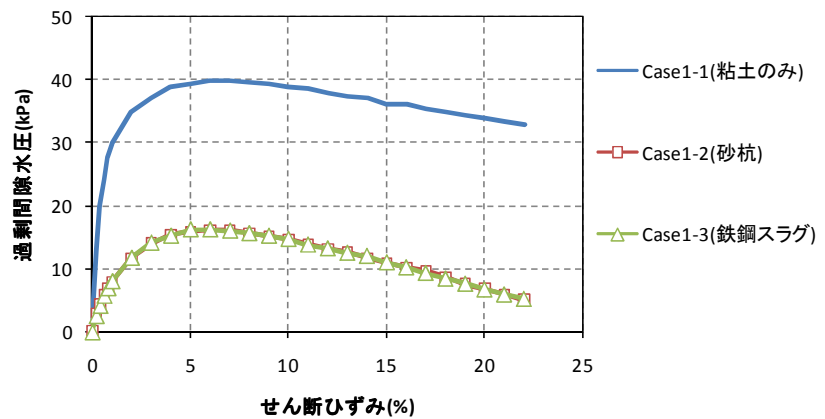


図-8 過剰間隙水圧－ひずみ関係

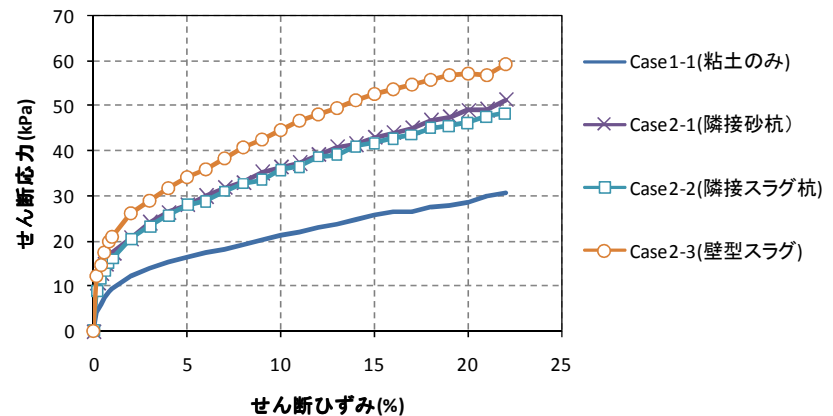


図-9 応力－ひずみ関係

図-12 に Case3-1, 3-2, 3-3 のケースにおける過剰間隙水圧比（加振回数におけるピーク値）と加振回数の関係を示す。この図から、砂杭でも鉄鋼スラグ杭でも過剰間隙水圧比が 1 近くまで上昇していることがわかる。このことから、大きな繰返しせん断応力が作用する下では、締固めて打設した砂杭や鉄鋼スラグ杭でも水圧上昇を生じる可能性があると考えられる。しかし、図-12 から砂杭は完全に 1 に達しているのに対し、鉄鋼スラグ杭は 1 に達してはならずある程度の強度を残していることがわかる。なお、この試験はせん断応力比 0.3 に相当する試験であるが、杭の応力分担比を考えると実際のせん断応力比は非常に大きいものと考えられる。今後、応力分担比も考慮して詳細に検討する必要がある。

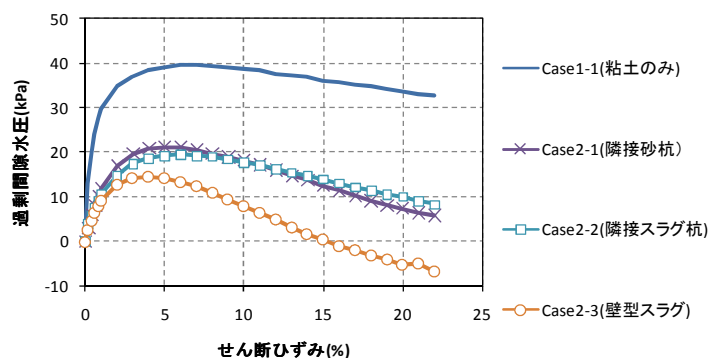


図-10 過剰間隙水圧－ひずみ関係

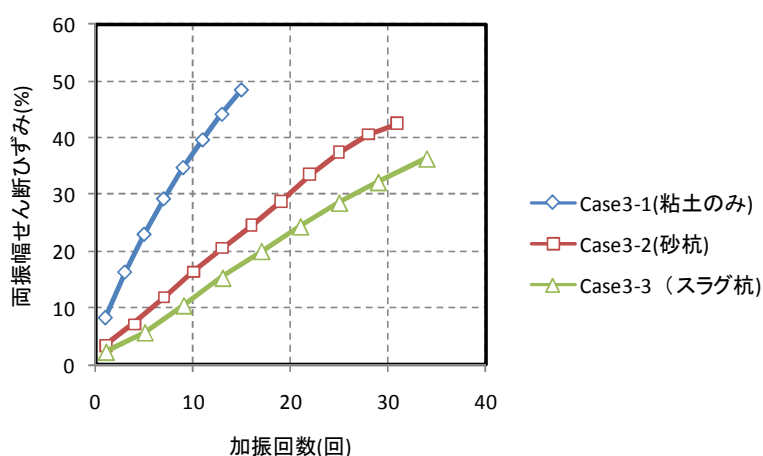


図-11 両振幅せん断ひずみ－加振回数関係

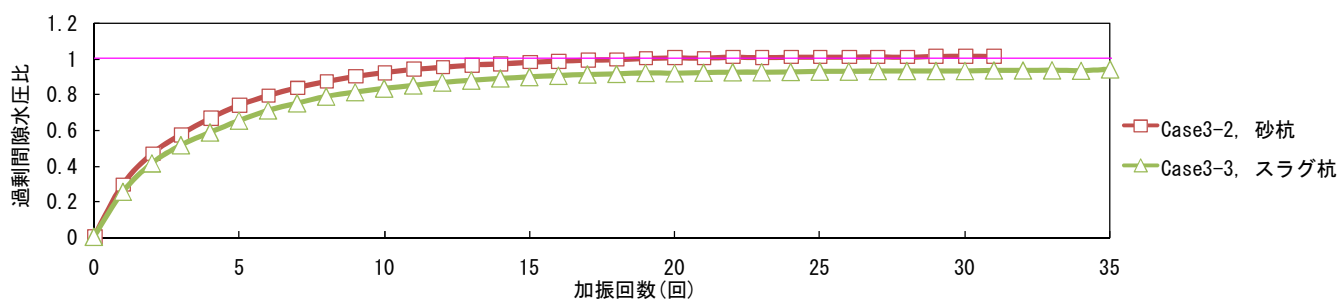


図-12 過剰間隙水圧比－加振回数関係

4. 結論

- 1) 本研究における静的載荷では、杭間粘土の影響により杭材の違いによる実験結果の差異はみられなかった。
 - 2) 動的載荷では、杭材による差異がみられ、砂杭に比べ鉄鋼スラグの方がせん断ひずみの抑制効果があった。
- 今後の検討課題として、改良率を変化させた実験を行い、比較検討を行う必要がある。

【参考文献】

- 1) 沿岸技術研究センター：固結制御可能な SCP 中詰め材料「エコガイアストーン」評価報告書，沿岸技術研究センター，2006