

溶液型恒久グラウトにより浸透固結された礫質砂の力学・変形特性

日本基礎技術株式会社 正会員 ○岡田 和成
 日本基礎技術株式会社 非会員 内田 義博
 強化土エンジニアリング株式会社 正会員 佐々木隆光

1. はじめに

既設構造物近傍・直下の液状化対策においては、制約条件などにより適用可能な工法が限定されることから、近年薬液注入工法が多く実施されている。液状化対策として薬液注入工法を適用する場合、性能規定型の設計においては動的有効応力解析などによって構造物の変形照査が実施される。動的解析においてその精度や信頼性は、注入材により浸透固結された改良土の力学・変形特性などの地盤パラメータに依存するため、その決定は非常に重要である。しかしながら、改良土の動的性質に関する既存のデータは少ないのが現状である。

そこで筆者らは、動的解析に資する地盤パラメータの提供を目的として、東海地震の想定震源域にあたる静岡県内海岸部の沖積層から採取した細粒分まじり礫質砂を用いて、溶液型恒久グラウトにより浸透固結された改良土の各種室内試験を実施した。本稿では、一軸圧縮試験、変形特性を求めるための繰返し三軸試験、ベンダーエレメント法による土のせん断波速度測定の結果から改良土の力学・変形特性を示す。

2. 試験概要

使用した砂は、N値が18~45の沖積層から採取した細粒分まじり礫質砂(SF-G)であり、「薬液注入による安定処理土の供試体作製方法」(JGS 0830)に準じて9.5mmふるい通過分を試験試料とした。表-1に試料の物理特性を示す。

注入材は、溶液型恒久グラウト「パーマロック ASF-II δ」¹⁾であり、活性シリカコロイドを主材とする。活性シリカコロイドは、水ガラスのナトリウムイオンをイオン交換法により低下させてさらに10~20nmに増粒させておりました、増粒されたシリカコロイド表面の接点同士が結合しゲル化するため、水ガラスを酸で中和する中酸性水ガラスと比較して、シリカの溶脱が極めて小さくゲルの収縮も少ない。

図-1に浸透固結供試体作成装置を示す。浸透固結供試体の作成方法は既報²⁾と同様であり、拘束圧下浸透法³⁾とした。直径5cm、高さ10cmのモールドに乾燥試料を相対密度60%となるように空中落下で投入し、拘束圧70kN/m²を作用させた状態で間隙を炭酸ガスで置換し脱気水を通水した後に注入材を供試体下部から注入圧力10kN/m²以下でゆっくりと注入した。注入後の供試体は拘束圧を加えた状態のまま20~25℃で28日間養生した。

表-2に試験項目および試験条件を示す。試験は、「一軸圧縮試験(JIS A 1216)」、「変形特性を求めるための繰返し三軸試験(JGS 0542)」(以下、繰返し三軸試験)、「ベンダーエレメント法による土のせん断波速度測定(JGS 0544案)」(以下、BE試験)を実施した。一軸圧縮試験と超音波速度試験以外のすべての試験において背圧を200kN/m²とし、それぞれ設定した圧密応力σ_{c'}で等方圧密した後、各試験を行った。

表-1 試料の物理特性

項目	採取試料
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)	2.693
最大粒径 D _{max} (mm)	19
平均粒径 D ₅₀ (mm)	0.361
均等係数 U _c	4.64
分類名	細粒分まじり礫質砂
分類記号	SG-F
最小乾燥密度 ρ _{dmin} (g/cm ³)	1.419
最大乾燥密度 ρ _{dmax} (g/cm ³)	1.804

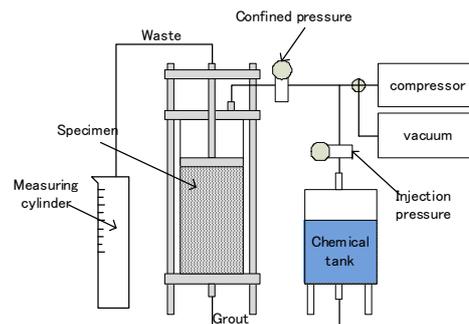


図-1 浸透固結供試体作成装置

表-2 試験項目および試験条件

試験項目	薬液濃度 (%)	圧密応力 σ _{c'} (kN/m ²)
一軸圧縮試験	4, 6, 8	—
繰返し三軸試験	8	50, 200, 400
BE試験	4, 6, 8	35, 50, 70, 140, 200, 400

3. 試験結果

(1) 一軸圧縮試験

図-2 にシリカ濃度と一軸圧縮強さの関係を、図-3 に一軸圧縮強さと変形係数の関係を示す。一軸圧縮強さはシリカ濃度の増加とともに大きくなり、変形係数は線形近似 ($E_{50}=81q_u$) できることが分かる。

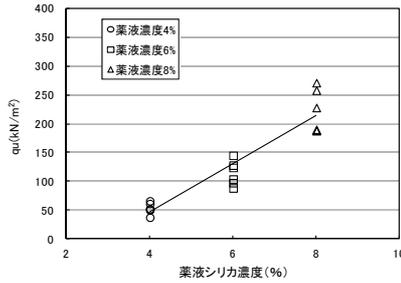


図-2 シリカ濃度と一軸圧縮強さの関係

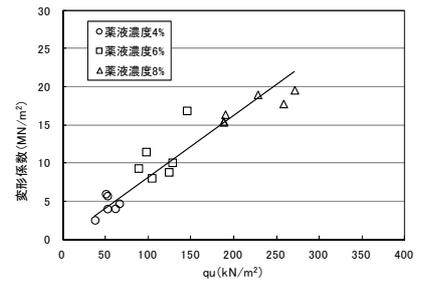


図-3 一軸圧縮強さと変形係数の関係

(2) 繰返し三軸試験

試験は、一軸圧縮強さの 1/2 に相当する初期せん断荷重を載荷した後、非排水条件下で繰返し荷重を作用させた。ここで、初期せん断剛性 G_0 は、H-D モデルにより求めた $\epsilon_a=0.0001\%$ のときの E であり、 G および γ は、 $G=E/2(1+\nu)$ および $\gamma=(1+\nu)\epsilon_a$ の関係よりポアソン比 $\nu=0.5$ として求めている。

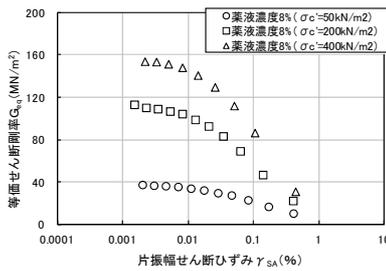


図-4 等価せん断剛性率 G_{eq} と片振幅せん断ひずみ γ_{SA} の関係

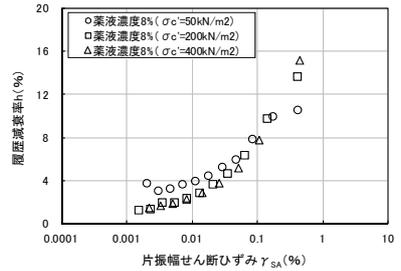


図-5 履歴減衰率 h と片振幅せん断ひずみ γ_{SA} の関係

図-4 に等価せん断剛性率 G と片振幅せん断歪み γ_{SA} の関係を示す。等価せん断剛性率は、圧密応力がおおきいほどひずみの増加にともなう剛性率の低下量が大きい。図-5 に履歴減衰率 h と片振幅せん断歪み γ_{SA} の関係を示す。履歴減衰率 h は、圧密応力の違いによらずほぼ同じ傾向を示している。初期せん断剛性 G_0 は圧密応力 50, 200, 400kN/m² のとき、それぞれ 38.1, 113.6, 156.6MN/m² であった。

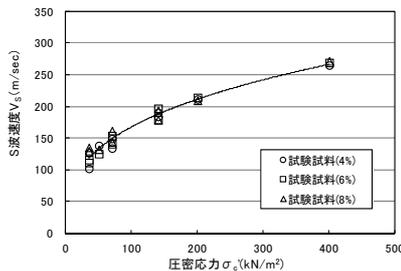


図-6 圧密応力 σ_c' と S 波速度 V_s の関係

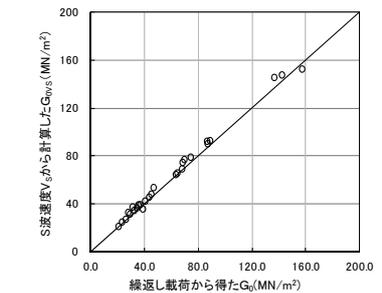


図-7 繰返し載荷から得た G_0 と S 波速度 V_s から計算した G_{0Vs} の関係

(3) BE 試験

BE 試験は、各圧密応力段階毎に、せん断波速度の測定に続いて繰返し載荷を行った。なお、BE 試験において行った繰返し載荷は、初期せん断剛性 G_0 の算出を目的として弾性領域内で 3 段階のみ実施している。

図-6 に圧密応力 σ_c' と S 波速度 V_s の関係を示す。圧密応力の増加に伴い V_s も増加しているのに対して、薬液シリカ濃度の違いによる影響は小さい。図-7 に繰返し載荷から得た G_0 と V_s から計算した G_{0Vs} の関係を示す。両者は概ね対応している。

4. まとめ

本稿では、活性シリカコロイド系注入材により浸透固結させた改良土細粒分まじり礫質砂の一軸圧縮試験、繰返し三軸試験、BE 試験を実施し、改良土の力学・変形特性を示した。

参考文献

- 1) 液状化防止注入協会：パーマロック ASF-II δ カタログ，2011.8
- 2) 水野健太・佐々木隆光：恒久グラウトにより改良した固結砂の力学特性および変形特性，第 67 回土木学会年次学術講演会，2012.9
- 3) 東畑郁生・米倉亮三・島田俊介・社本康広：地震と地盤の液状化—恒久・本設注入によるその対策—，pp190-194，インデックス出版，2010.3