

高压脱水固化処理土のドレーン材による脱水促進に関する数値解析

九州大学大学院 正〇笠間清伸 正 善 功企 正 陳 光斉

1. はじめに

ゼロエミッション・循環型社会の実現に向けて、建設発生土、建設汚泥および港湾施設の整備・維持に伴って発生する浚渫粘土などの超軟弱地盤材料を効率よく減容化し有効利用する技術が強く求められている。著者らは、これら地盤材料をより付加価値の高いケーソンや消波ブロックのような大型の高強度構造材料として利用することを目的として、これらに固化材等を混合した直後、高压で機械脱水するという低コスト機構で、高強度化および大型化を試みている¹⁾。本文では、大型化に向けた基礎的な研究として、脱水を促進させるための供試体中に設置するドレーン材の最適な間隔や形状および添加する固化材の添加率を、数値解析により検討した。また、得られた解析結果を実験結果と比較することでその有効性の検討を行った。

2. 数値解析の概要

著者らは、排水距離を短縮させることで脱水促進させ、短時間で供試体を作製することを目的として、図-1のように円柱状の供試体の上下端面、周面および中心に設置したドレーン材から脱水することを想定した。これまでにサンドドレーンを想定した圧密理論がBarron²⁾により構築されているが、本解析では、ドレーンからの排水に加えて、供試体の上下端面と周面からの排水を想定しているなどの境界条件の違いから、新たに解析プログラムを作成し、数値解析に基づいた脱水の解析を行なった。

r, z の円筒座標系をとり、鉛直方向と水平方向の圧密係数をそれぞれ c_h, c_v とすると、過剰間隙水圧 u の基本方程式は次式のよう

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_h \left(\frac{\partial u}{r \partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} \right) + c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (1)$$

上式を半径方向および鉛直方向に差分化したプログラムを作成し、間隙水圧の消散を解析した。境界条件として、①上下端面、②周面、③ドレーン材およびこれらを併用した排水条件を想定した数値解析を行ない、新たに大型の構造体を短時間で脱水させることに着目し結果を整理した。作成したプログラムは上下面のみを排水条件とした解析解と厳密解との比較を行い十分な精度で、解析を行なえることを確認している。

3. 実験結果との比較

実施した数値解析の有効性を検証するために、実験値との比較を行なう。実験では、直径 50mm 高さ 250mm の試料を 5MPa で脱水した。脱水を行なった条件は、上下端面排水(以下、上下)、周面排水(以下、周面)、中心のドレーン材からの排水(以下、ドレーン)およびこれらを併用した排水を行なった。解析では、5mm 間隔で差分点を設け解析し、時間ステップは 0.1s とした。

図-2 に解析により得られた圧密度と時間係数の関係を示す。

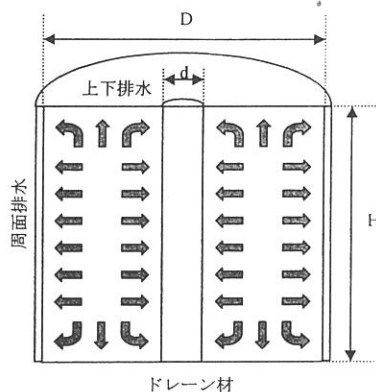


図-1 解析断面

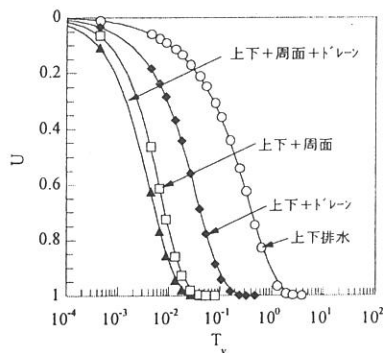


図-2 圧密度と時間係数の関係

表-1 解析値と実測値の比較

解析条件	解析値	実測値
上下+周面+ドレーン	73.6min	90min
上下+周面	135min	142min
上下+ドレーン	737min	182min

図中の時間係数は、供試体高さの半分の 125mm を排水距離とし計算した。図-2 より、上下排水に加えて、周面排水やドレーン排水を併用することで、2 オーダー程度脱水時間を短縮できることがわかる。その効果は、実験で用いた供試体寸法では周面排水を併用した方が効果が高い。

表-1 に、脱水時間の解析値と実測値と比較を示す。脱水時間については、3t 法により決定した。脱水時間を計算するための固化処理土の圧密係数については、鉛直方向と水平方向の圧密係数は同じと仮定し、実験結果¹⁾を用いた。表-1 より、解析では、排水条件が上下端面とドレーンを想定したもの以外については、十分な精度で実測を予測できていることがわかる。

4. ドレーン材の設置および固化材の効果

数値解析によって、最適な脱水形状を評価することを目的として、供試体の形状、ドレーン材の間隔および直径を変化させた検討を行なう。まず、供試体直径 D と高さ H の比は 2.0 とし、ドレーン材と供試体の直径の比を変化させた解析を実施した。

図-3 に、ドレーン材の直径を変化させたときの圧密度と時間係数の関係を示す。ドレーン材の直径が大きくなると圧密度と時間係数の関係は下側に移動し、早く圧密が完了する。

図-4 に、図-3 より求めた 90% 圧密が終了する時間係数とドレーン材と供試体の直径の比 n の関係を示す。また、図中には、固化材添加率が 10 と 20% と変化した場合の解析結果も同様に示す。 $T_{v90\%}$ は n が 8 程度までは急激に大きくなり、その後は徐々に増加する傾向を示す。また、固化材添加率を大きくすることで、脱水時間は大幅に減少する。

続いて、ドレーンと供試体の直径の比を 40 とし、供試体の直径 D と高さの関係を変化させた解析を実施した。図-5 に圧密度時間係数の関係を示す。直径が小さくなることで、脱水時間は大幅に減少する。これは、脱水が鉛直方向から水平方向へと変化した排水距離が減少するためだと考えられる。このことから、周面とドレーン材を用いた排水を効率的に行なうための、供試体の直径と高さには最適な関係が示唆される。

5. まとめ

本文では、脱水促進のためのドレーン材の最適配置を数値解析により検討した。得られた結論をまとめると以下の通りである。1) 提案する解析手法を用いることで、固化処理構造体の脱水解析を行なうことができ、脱水時間を精度よく予測することができた。2) 供試体と設置するドレーンの直径の比は、できる限り小さい方が、脱水時間は小さくなる。また、固化材添加率を増加させることでも、脱水時間を短縮することができる。

今後は、複数のドレーンが設置されたときの解析を検討しく予定である。

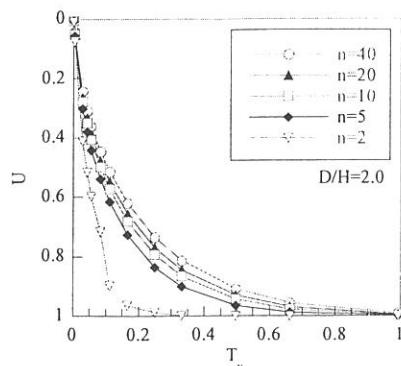


図-3 圧密度と時間係数の関係

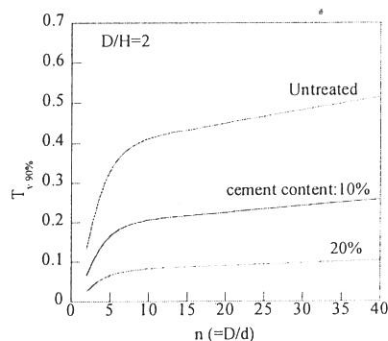


図-4 ドレーン直径の影響

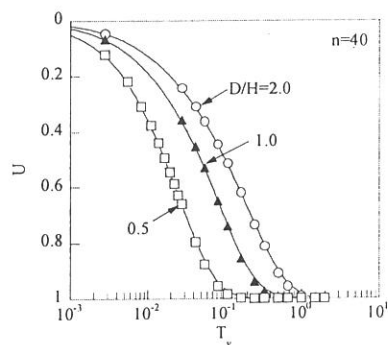


図-5 D/H の影響

【参考文献】1) 笠間清伸, 善功企, 陳光奇, 江頭和彦: 固化材混合および高圧機械脱水による浸透粘土の強度化, 「粘土地盤における最新の研究と実際-微視的構造の観察から超軟弱埋立て地盤対策技術まで-」に関するシンポジウム論文集, pp.235-240, 2002.

2) Barron: Consolidation of Fine-grained Soils by Drain Wells, Trans. ASCE, Vol.113, pp.811-835, 1948.