

## 鉛直ドレーンを用いた固化処理土の脱水に関する確率分析

九州大学大学院 正○笠間清伸 正 善 功企 正 陳 光斉

## 1. はじめに

フィルタープレスなどの加圧脱水技術は、高含水比な材料の減容化と強度増加が可能であり、地盤工学の分野では、シルトや粘土などの高強度化、運搬の効率化や土のリサイクルとして幅広く利用されてきた。この脱水方式では、排水距離を短くするために供試体の厚さを 20mm～35mm に設定しているため、脱水後の供試体が小さくなるという特徴がある。著者らは、鉛直ドレーンを配置した大型モールドで脱水することで、脱水後の供試体の大型化ならびに高強度化する手法の開発を試みている<sup>1)</sup>。本文では、鉛直ドレーン付モールドを用いて脱水を行うさいの、対象とする地盤の圧密特性、脱水圧力、載荷時間などのばらつきが、圧密沈下量や脱水時間に与える影響を確率的に検討した。

## 2. 鉛直ドレーンによる脱水を考慮した沈下量

大型脱水モールド内には、鉛直ドレーンを正三角形配置や正方形配置などで設置することを想定している。本来ならば、供試体からの脱水は、モールドとドレーンの三次元的な形状を考慮した解析が必要であるが、図-1 で示すように一本のドレーンが脱水可能な範囲(以下、有効径と呼ぶ)を仮定し、有効径やドレーン長を変化させた解析を行った。ドレーンの有効径  $D$  とドレーン長  $H$  は、ドレーンの直径  $d_w$  を基準にそれぞれ定数  $n$  と  $m$  と用いて  $D=n \times d_w$  と  $H=m \times D$  と表す。

鉛直ドレーンを用いた場合には、図-1 に示すようにドレーンおよび供試体の上下面から排水が行われ、このときの沈下量は、以下の式で与えられる。

$$S = m_v \cdot \Delta p \cdot H \cdot U \quad (1)$$

$$U = 1 - (1 - U_v(T_v))(1 - U_h(T_h)) \quad (2)$$

$$T_v = \frac{c_v t}{(h/2)^2} = \frac{4c_v t}{m^2 D^2} = \frac{4c_v t}{m^2 n^2 d_w^2}, \quad T_h = \frac{c_h t}{(D/2)^2} = \frac{4c_h t}{n^2 d_w^2} \quad (3)$$

ここで、 $m_v$  は体積圧縮係数、 $\Delta p$  は載荷応力、 $U_v$  および  $U_h$  はそれぞれ時間係数  $T_v$  と  $T_h$  に対応する圧密度である。また、 $c_v$  と  $c_h$  はそれぞれ鉛直および水平方向の圧密係数、 $t$  は載荷後の経過時間である。

今回は、地盤定数のばらつきに起因する沈下量の変化を検討するために、 $m_v$ 、 $c_v$ 、および  $c_h$  のばらつきを考えた。また、簡単な場合として、各パラメータは独立であり、互いに相関がないものと仮定した。圧密度と時間係数の関係は、モールド内の間隙水圧を軸対象条件での圧密方程式でモデル化し、要素ごとに圧密係数のばらつきを与えた差分法により計算した。なお、計算手法は、鉛直ドレーンを排水条件とした Barron<sup>2)</sup> による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. 沈下量および脱水時間へのばらつきの影響

圧密度に与える  $c_v$  および  $c_h$  のばらつきの影響を調べるために、図-2 に、平均圧密度と平均の水平方向時間係数  $T_h$  の関係を示している。モールドの形状として、 $m=1/2$ 、 $n=10$ 、地盤定数とし

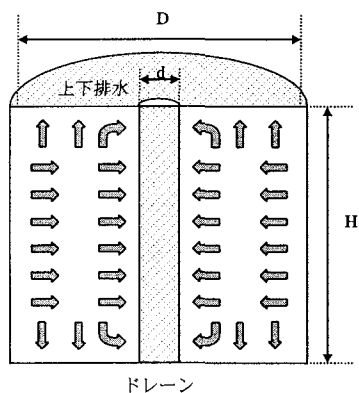


図-1 鉛直ドレーンからの排水

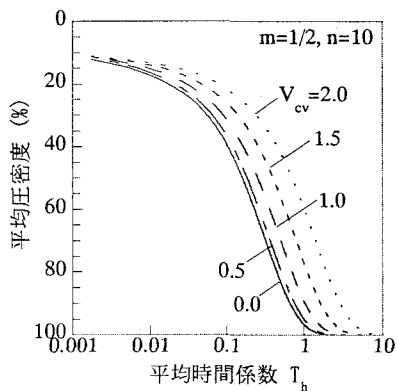


図-2 圧密度と時間係数の関係

て、 $c_v=c_h$  の場合の計算結果である。圧密定数は、対数正規分布で仮定できるとし、変動係数  $V_{cv}$  を変化させた。このとき、横軸は、平均の圧密係数  $c_v$  で計算される水平方向の時間係数  $T_h$  を用いて、計算結果を整理することとした。平均圧密度と時間係数の関係は、圧密係数の変動係数  $V_{cv}$  が大きくなるほど右側にシフトし、同じ圧密度に到達するまでの時間が増大した。すなわち、圧密係数はある平均値を中心に分布を示すものの、圧密度には平均値以上の圧密係数のばらつきが大きく影響をすることを示している。

図-3 は、平均圧密度が 50% のときの、モールド内の圧密度のヒストグラムである。圧密係数が一定値 ( $V_{cv}=0.0$ ) のときは、要素の圧密度は、特定の圧密度において集中するような形状を示す。しかしながら、 $V_{cv}$  が増加するにつれて、圧密度は均一化されるようになる。

図-4 には、沈下量と平均水平方向圧密時間の関係を示す。縦軸は、各パラメーターの平均値を代入して求めた沈下量  $S_{av}$  で正規化している。今回の場合、体積圧縮係数のばらつき  $V_{mv}$  は沈下量の変動には影響しない。 $S/S_{av}$  の値は、一度減少した後、時間の増加とともに徐々に 1.0 に漸近する。この傾向は、変動係数  $V_{cv}$  が大きくなるほど顕著であり、 $S$  が  $S_{av}$  の半分以下になることもある。したがって、各パラメーターのばらつきが大きいときには、 $S_{av}$  を沈下量の平均と考えることは適切ではない場合もあると考えられる。

図-5 に、沈下量の変動係数を平均水平時間係数に対して示している。圧密係数の変動係数  $V_{cv}$  を 0.5, 1.0, 1.5 とし、体積圧縮係数の変動係数  $V_{mv}$  を 0.1, 0.2, 0.3 として計算した。沈下量の変動係数は、一度最大値を示した後、平均時間係数の増加とともに徐々に減少し、一定値に収束する。この収束値は、 $V_{mv}$  の値によって決定される。また、最大値の値は  $V_{cv}$  の値とともに増加する傾向にある。また、図から判断すると、 $V_{cv}$  と  $V_{mv}$  が等しい場合、 $V_{mv}$  のほうが沈下量の変動係数に大きな影響を与える。

#### 4. まとめ

本文では、鉛直ドレーン付モールドを用いて脱水を行うさいの、対象とする地盤の圧密特性、のばらつきが与える影響を確率的に検討した。得られた結論をまとめると以下の通りである。

- 1) 圧密係数のばらつきによって、モールド内の圧密度は均一化し、平均の圧密度は増加する。
- 2) 地盤定数のばらつきを考慮した場合、沈下量は各パラメーターの平均値を入れた沈下量よりも減少する。これは、ばらつきが大きいほど顕著となる。
- 3) 沈下量の変動係数に対しては、圧密係数よりも体積圧縮係数のばらつきのほうが及ぼす影響が大きい。

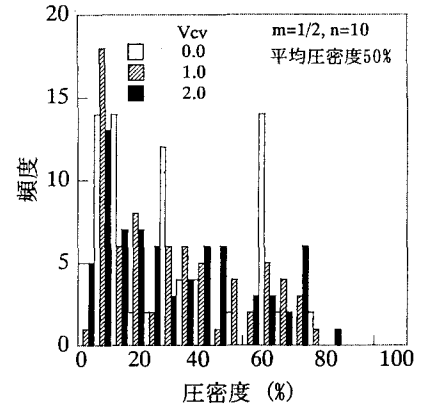


図-3 圧密度のヒストグラム

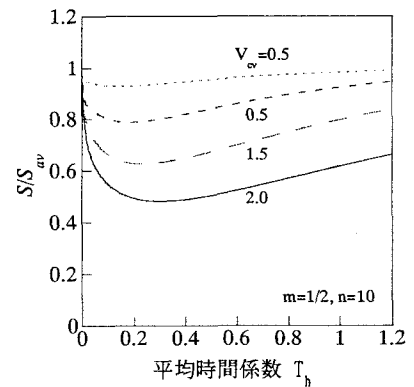


図-4 沈下量へのばらつきの影響

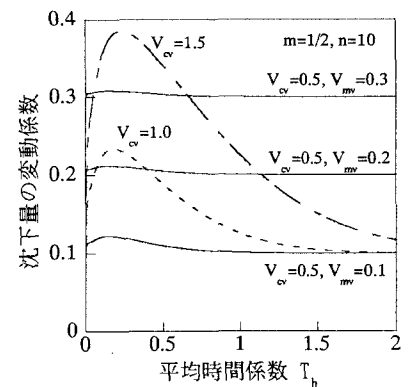


図-5 沈下量の変動係数

【参考文献】1) 笠間清伸, 善功企, 陳光齊, 江頭和彦: 固化材混合および高圧機械脱水による浚渫粘土の高強度化, 「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.