

浚渫粘土地盤に対する自重圧密促進工法の諸特性

福岡大学（正） 山田正太郎 佐藤研一 藤川拓朗
 錦城護謨株式会社（正） 野村忠明

1. はじめに 大阪の夢洲では、埋め立てられた浚渫粘土の自重圧密の促進と埋立荷重による海底粘土の沈下対策のために、図1に示すようなバーチカルドレイン内の水圧を低下させる工法が採られ、大きな成果を挙げている¹⁾。本稿では、上部の浚渫粘土部分を対象に水～土連成有限変形解析²⁾を行い、水圧低下の効果、ドレインピッチの効果などこの工法の諸特性について示す。

2. 解析条件 本研究では超高含水比粘土を対象にするため、多次元の水～土連成有限変形理論はもちろんのこと、低応力レベルを適応範囲に含む土骨格の構成モデル、圧縮に伴う透水係数変化の考慮が必要不可欠になる。以下では、解析に用いた土骨格の構成モデル、圧縮に伴う透水係数の変化則、有限要素メッシュおよび境界条件、材料定数および初期条件について説明する。

2.1 土骨格の構成モデル 標準圧密試験で取り扱うような応力レベルでは、繰り返し粘土の正規圧密線は、 $v - \ln p'$ 平面上で直線になると見なされることが多いが、低応力レベルまで対象にした場合には $\ln v - \ln p'$ 平面上でより直線的になる。ここに、 $v (= 1+e, e: \text{間隙比})$ は比体積であり、 p' は平均有効応力である。そこで、本解析では上・下負荷面カムクレイモデル³⁾を、橋口⁴⁾に倣い $v - \ln p'$ 関係 ($v = N - \lambda \ln p'$) に基づくモデルから $\ln v - \ln p'$ 関係 ($\ln v = \ln N - \tilde{\rho} \ln p'$) に基づくモデルに修正して用いる。上・下負荷面カムクレイモデルでは骨格構造の発達した土の弾塑性挙動を記述可能であるが、計算の対象とする浚渫粘土は基本的に繰り返し状態にあると考えられるため、構造については本解析では取り扱わない。また初期異方性は対象が浚渫粘土であるため、誘導異方性は簡単のため、本解析では考慮しない。

2.2 圧縮に伴う透水係数の変化則 浚渫粘土のような超高含水比粘土は、大圧縮を生じるため、圧縮過程において透水係数が大きく変化する。ここでは、間隙比 e と透水係数 k の関係を $k = Ke^{\psi}$ と与える。ここに、 K は $e=1$ における透水係数である。また、 $\psi (\geq 0)$ は間隙比の変化に伴う透水係数の変化割合を決めるパラメータである。

2.3 有限要素メッシュおよび境界条件 図2に有限要素メッシュおよび境界条件を示す。軸対称条件を仮定する。初期層厚 $H_0 = 20m$ とし、Case C ではドレインピッチ $d_e = 1.5m$ の場合を考える。軸対称条件を仮定しているため、幅約 $10cm$ の帯状ドレインを直径

$d_w = 5cm$ の円柱形ドレインに換算して考える。水理境界条件は、護岸内の水面が初期の浚渫粘土地盤表面より $1m$ 上側にある場合を想定し、位置水頭の基準面を水面に一致させた上で、以下のように与える。地表面は排水境界とし、全水頭を $h=0m$ と与える。Case C では、敷砂内およびドレイン内の水位の低下量は基本的に初期層厚の半分 ($10m$) とし、底面およびドレインとの接触部分に相当する左端面では全水頭を $h=-10m$ と与える。ただし、地表面から $1m$ 下がった位置にドレインの止水（圧着）部分があるとして、メッシュの左端面、上部 $1m$ を非排水境界とする。

2.4 地盤の材料定数および初期条件 表1に材料定数を示す。初期条件は、土粒子が沈降堆積した後、埋め立て期間中にほとんど自重圧密が生じなかったと仮定して、表2に示す値で地表

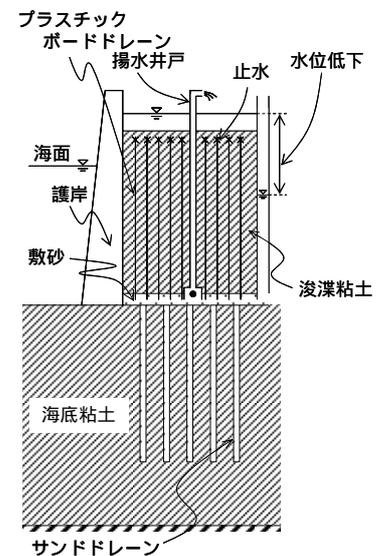


図1 大阪夢洲における圧密促進工法の概略図

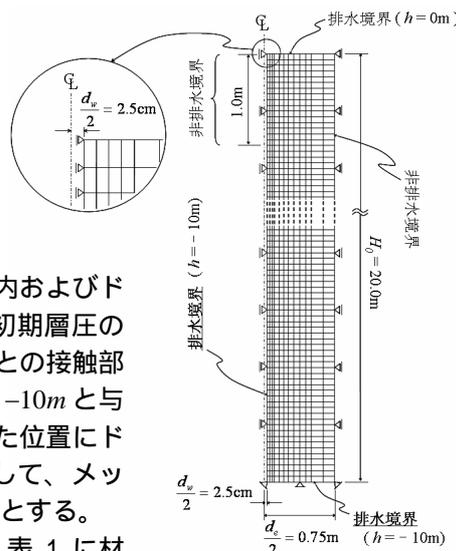


図2 有限要素メッシュおよび境界条件

| 弾塑性パラメータ | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| 圧縮指数 $\tilde{\rho}$ | 0.125 |
| 膨潤指数 $\tilde{\gamma}$ | 0.04 |
| 限界状態定数 M | 1.75 |
| $p' = 0, q = 98.1kPa$ における | |
| NCL上の比体積 N | 2.68 |
| ポアソン比 ν | 0.3 |
| 発展則パラメータ | |
| 過圧密解消指数 m | 2.0 |
| 透水係数パラメータ | |
| $e=1$ における | |
| 透水係数 K (cm/sec) | 1.63×10^{-9} |
| 透水係数低下指数 ψ | 6.0 |
| 土粒子の比重 ρ_s (g/cm ³) | 2.52 |

| | |
|------------------------------------|------|
| 比体積 $v (= 1+e)$ | 6.04 |
| 過圧密比 $1/R_0$ | 1.00 |
| 側圧係数 $\sigma_{h0}' / \sigma_{v0}'$ | 1.00 |

キーワード 自重圧密，浚渫粘土，バーチカルドレイン，水～土連成解析，有限変形
 連絡先 〒814-0131 福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学工学部 TEL 092-871-6631

面から底面まで一様に与える。また、埋め立て間もない浚渫粘土は、正規圧密状態でかつ等方応力状態にあるものとする。比体積 ($v = 6.04$) を含水比に換算すれば 200% になる。これらの条件から計算される初期の平均有効応力は $1.47 \times 10^1 \text{ kPa}$ と極めて小さい。間隙水圧分布は鉛直全応力からこの僅かな大きさの平均有効応力を引いて与える。このとき、地表面には水圧以外の力は全く作用していない。計算中もこの点は変わらず、定常水頭場に対し過剰な水圧の消散によってのみ沈下を生じさせる。

3. 水圧低下の効果 ドレーンおよび敷砂内の水圧低下量の違いが及ぼす効果について示す。ここでは、水圧低下量を水頭にして $\Delta H_w = 0\text{m}, 5\text{m}, 10\text{m}, 15\text{m}, 20\text{m}$ の 5 通りに変化させた。図 3 に時間～沈下関係を示す。当然のことながら、水圧の低下量を大きくするほど沈下量は大きくなる。ただし、水圧低下によって最終沈下量が増す一方で、圧密の進行速度に与える効果はほとんど見られない。この点は Terzaghi の圧密理論で、荷重の大きさが圧密の進行速度に影響を与えないことと同じである。

4. ドレーンピッチの効果 ドレーンピッチの効果について示す。ドレーンピッチは 0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m, 2.5m, 3.0m とする。図 4 に時間～沈下関係を示す。同図には、ドレーンを用いない場合の結果も示す。ドレーンピッチを広げるほど圧密の進行速度が遅くなる傾向が素直に現れている。また、ドレーンピッチを広げると、水圧低下の影響が及ぶ範囲が減じ、最終沈下量が小さくなる。さらにドレーンピッチを広げていくと、ドレーンを用いない場合の結果に収束していく傾向にある。図 5 に Barron の解が示すドレーンピッチの効果について示す。ドレーンの直径は同じく $d_w = 5\text{cm}$ とする（ドレーンピッチが $d_e = 1.5\text{m}$ のときに、圧密度 50% に達するまでの日数が、図 4 に示す結果と同じになるように圧密係数は $C_h = 37.5\text{cm}^2/\text{day}$ とした。）。図 4 と比較すると、Barron の解の方がドレーンピッチの効果を大きめに予測することがわかる。

5. 層厚の影響 層厚をこれまでの半分の 10m とした場合のドレーンピッチの効果を図 6 に示す。水位の低下量は層厚の半分 (5m) である。その他の条件は層厚 20m のときと等しい。解析結果は、層厚が薄くなるほど、ドレーンピッチの効果が小さくなることを示している。図 7 に層圧とドレーンピッチの関係について示す。縦軸には圧密度 50% に達するまでの時間 (t_{50}) をとっている。Barron の解では圧密係数 C_h に反映させる以外に、層厚の影響を考慮することはできないが、実際には、設計の対象となり得る層圧とドレーンピッチの範囲で層厚の影響が及ぶ。Barron の解では水平方向の排水しか考えないため、層圧が薄くなるほどドレーンピッチによる効果を過大に評価してしまう。

6. おわりに 本稿では、種々の仮定を設けて得られる Barron の解と水～土連成有限変形解析との間に生じる違いについて示した。これらの違いは、浚渫粘土のような超高含水比粘土を対象にした場合には、有限変形による取り扱いを始め、種々の仮定を解析上設けないことが重要であることを意味している。

謝辞 上述の計算は、名古屋大学で開発した All-Soils All-States All-Round Geo-Analysis Integration (GEOASIA) (文献²⁾ などを含む) による。

参考文献 1) Kiyama, M. et al. (2000): "The new 'accelerated consolidation method' combining the dewatering and plastic-board-drain by floating system (PDF) method," *Proceedings of the Soft Ground Technology Conference, UEF and GEO Institute of ASCE*, pp.246-258. 2) Asaoka, A. et al. (1994): "Soil-water coupled behaviour of saturated clay near/at critical state," *Soils and Foundations*, Vol.34 (1), pp.91-106. 3) Asaoka, A. et al. (2002): "An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils," *Soils and Foundations*, Vol.42 (5), pp.47-57. 4) Hashiguchi, K. (1995): "On the linear relations of $v\text{-ln}p$ and $\ln v\text{-ln}p$ for isotropic consolidation of soils," *Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech.*, Vol.19, pp.367-376.

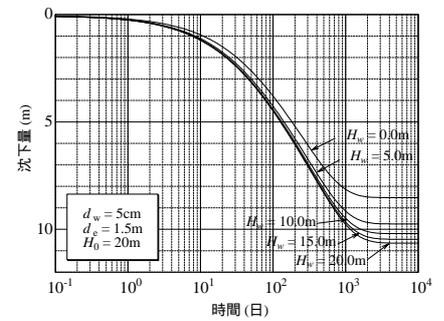


図 3 水圧低下の効果

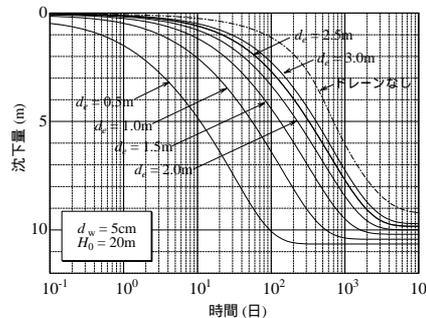


図 4 ドレーンピッチの効果
(層厚: $H_0 = 20\text{m}$)

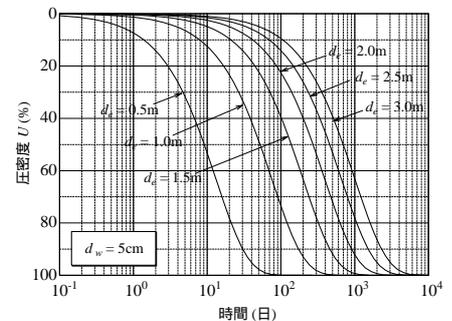


図 5 Barron の解が示すドレーン
ピッチの効果 ($C_h = 37.5\text{cm}^2/\text{day}$)

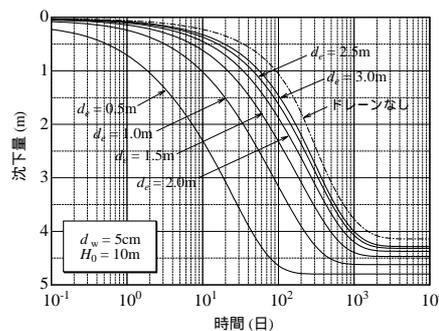


図 6 ドレーンピッチの効果
(層厚: $H_0 = 10\text{m}$)

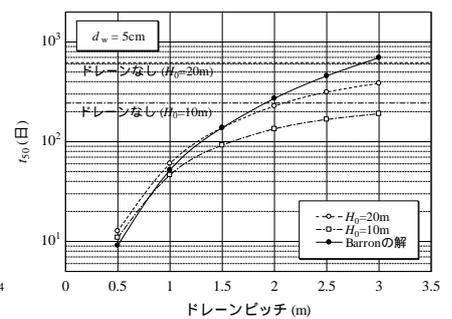


図 7 層厚とドレーンピッチ
の関係