

圧密特性の表し方の違いによる浚渫粘土の自重圧密計算の比較

神戸市建設局

○正 岡田広久

大阪市立大学大学院

正 大島昭彦

1. はじめに

粘土の圧縮性、透水性、圧密速度などの圧密特性は、一般に体積比 f (又は間隙比 e) を算術目盛りに採った $f \sim \log p$, $f \sim \log k$, $f \sim \log c_v$ 関係として表すことが多い (以降, 算術 f による圧密特性)。圧縮性を表す $f \sim \log p$ 関係は正規圧密領域では直線になる (その勾配が圧縮指数 C_c) といわれているが, 実際には, 圧密降伏応力 p_c 付近で勾配が最も大きく, 正規圧密領域では下に凸な曲線となる方が一般的である。特に, 浚渫粘土のような超軟弱粘土では, その曲線が顕著に現れる。これに対して, f を対数目盛りにとった $\log f \sim \log p$ 関係の方が超軟弱粘土においても, 過圧密・正規圧密領域の直線性がよいことが報告されている¹⁾。また, 筆者らも f を対数目盛りにとった $\log f \sim \log p$, $\log f \sim \log k$, $\log f \sim \log c_v$ 関係 (以降, 対数 f による圧密特性) を用いて遠心自重圧密過程を圧密計算で再現したところ, 算術 f よりもうまく再現することを報告した^{2),3)}。同時に, 計算による圧密過程は算術 f あるいは対数 f による圧密特性のどちらを用いるかによって大きく異なることもわかった。

本稿では, 浚渫粘土を対象に圧密試験から得られた初期含水比 $w_0=220\%$ の算術 f と対数 f による圧密特性を用いて, w_0 を変化させた場合の自重圧密計算を行い, 両者の圧密特性の表し方の違いが計算結果に与える影響について比較した結果を報告する。

2. 計算方法

図-1 に $w_0=220\%$ の両面, 片面排水条件による遠心自重圧密試験と段階载荷圧密試験から得られた圧密特性を示す^{2),3)}。なお, 用いた粘土は神戸港から採取した浚渫粘土で, その物理特性は液性限界 $w_L=103.1\%$, 塑性限界 $w_p=36.3\%$ である。図(1), (3)にそれぞれ $f \sim \log p$, $\log f \sim \log p$ 関係を示す。図に示す実線は, 両圧密試験の結果から最小二乗法によって求めた直線である。ただし, 材料分離によって f が過大であるデータは無視した。この直線から図中に示す $f \sim p$ 関係式を求めた。次に, 図(2), (4)にそれぞれ $f \sim \log c_v$, $\log f \sim \log c_v$ 関係を示す。図に示す実線は, 先に述べた $f \sim p$ 式と, 図は省くが圧密試験から得られた $f \sim k$ 関係式から, $c_v=k/(m_v \gamma_w)$ を用いて計算した $f \sim c_v$ 関係である。なお, $f \sim \log c_v$ 関係が曲線となるのは $f \sim \log m_v$ が曲線となるためである。これらの圧密特性から, 式(1)の三笠の有限ひずみ圧密理論における ε 式で計算した (c_v 変化と粘土自重を考慮)。

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = c_v \exp(2\varepsilon) \left\{ \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z_0^2} + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial z_0} \right)^2 \right\} + \exp(2\varepsilon) \frac{dc_v}{d\varepsilon} \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial z_0} \right)^2 - \exp(\varepsilon) \frac{d(c_v m_v \gamma')}{d\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z_0} \quad (1)$$

図-1 に示す算術 f と対数 f による圧密特性を用いて, 初期含水比 w_0 を 190, 220, 250, 280, 310% に変えた自重圧密計算を行った。排水条件は, 両面排水とし, 初期層厚は $H_0=10.0\text{m}$ に設定した。また空間差分間隔は $\Delta z=0.1\text{m}$ とし (分割数を100とした), 時間差分間隔 Δt は安定した計算ができる最大値に設定して計算した。

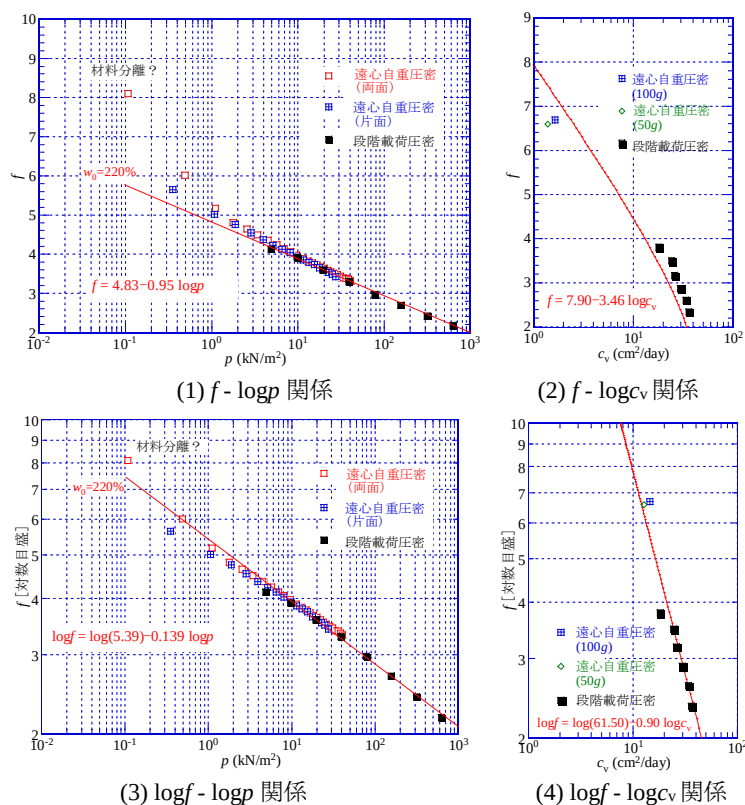


図-1 圧密試験結果と圧密計算に用いる圧密特性

Key Words: 浚渫粘土, 圧縮曲線, 圧密係数, 自重圧密, 等時線

〒658-0044 神戸市東灘区御影塚町 2-27-20 神戸市建設局東部建設事務所 TEL 078-854-2191 FAX 078-854-2198

3. 計算結果

図-2 に両圧密特性による w_0 ごとの自重圧密曲線を示す。 $w_0=190\%$ では、対数 f の沈下の方がやや速くなっているが、 w_0 が 220% よりも大きくなると算術 f の沈下が速くなり、 w_0 が大きくなるほど両者の差は大きくなっており、差が開き始める時間も早くなっていることが分かる。この原因は、式(1)の右辺第3項(自重項)内の m_v が $1/p$ (p : 有効応力)を含み、 w_0 が大きくなると p_0 が小さくなる ($w_0=220, 250, 280\%$ で $p_0=1.4 \times 10^{-2}, 2.4 \times 10^{-3}, 3.9 \times 10^{-4} \text{ kN/m}^2$ となる) ため、 $1/p$ が大きくなり、第3項による圧密進行が速くなるためである。一方、対数 f でも同様に $1/p$ を含むが、 w_0 が大きくなっても算術 f ほど $1/p$ が大きくならない ($w_0=220, 250, 280\%$ で $p_0=2.1 \times 10^{-1}, 9.5 \times 10^{-2}, 4.6 \times 10^{-2} \text{ kN/m}^2$ となる)。この $1/p$ の違いが後述する計算の安定性にも関わってくる。

次に、図-3 に両圧密特性による w_0 ごとの含水比分布の等時線を示す。なお、縦軸の深度は圧密前の初期座標で示しており、図中に安定した計算が可能であった Δt の最大値を示している。まず、 $w_0=190\%$ では、両者の粘土層上部の差は $t=2000$ 日で $w=10\%$ 程度で小さいが、 220% の $t=500$ 日で 20% 、 250% の $t=500$ 日で 40% 、 280% の $t=500$ 日で 50% と大きくなり、 w_0 が大きくなるほど、算術 f の圧密が速く進んでいることが分かる。また、 Δt については、算術 f による圧密特性を用いた場合は w_0 が大きいほど Δt を小さく設定しないと計算が不安定になり、深度方向の含水比分布に振動現象が生じている⁴⁾。一方、対数 f では w_0 が大きくなっても Δt を小さい値に設定する必要はなく、粗い時間差分間隔でも安定した計算結果が得られる。

本稿では、圧密特性を一定にして w_0 を変えた時の圧密計算を行ったが、圧密特性の表し方によって計算結果が大きく変わることを、対数 f による圧密特性を用いた方が安定した計算になることがわかった。

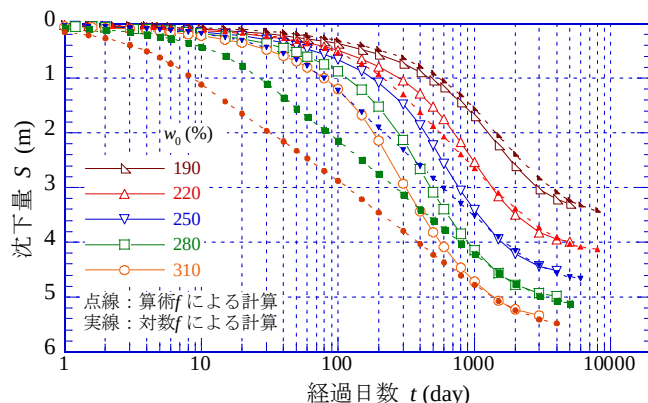


図-2 圧密特性の表し方の違いによる自重圧密曲線の比較

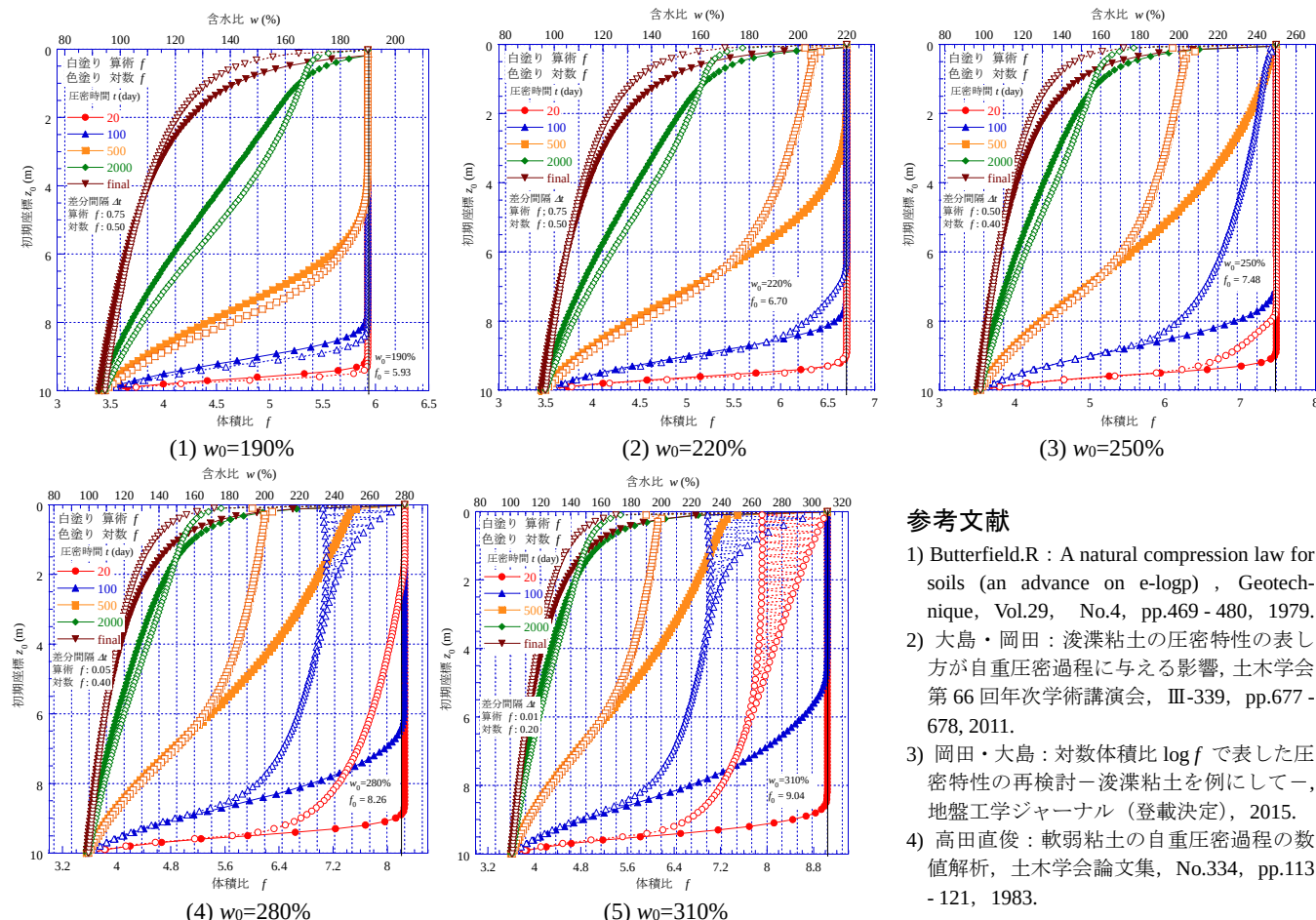


図-3 圧密特性の表し方の違いによる含水比分布の等時線の比較

参考文献

- 1) Butterfield, R.: A natural compression law for soils (an advance on e-logp), Geotechnique, Vol.29, No.4, pp.469 - 480, 1979.
- 2) 大島・岡田: 浚渫粘土の圧密特性の表し方が自重圧密過程に与える影響, 土木学会第66回年次学術講演会, III-339, pp.677 - 678, 2011.
- 3) 岡田・大島: 対数体積比 $\log f$ で表した圧密特性の再検討ー浚渫粘土を例にしてー, 地盤工学ジャーナル (登載決定), 2015.
- 4) 高田直俊: 軟弱粘土の自重圧密過程の数値解析, 土木学会論文集, No.334, pp.113 - 121, 1983.