

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

大阪市立大学大学院 ○正 大島昭彦
神戸市 正 岡田広久

1. まえがき

浚渫粘土は高含水比の超軟弱な状態にあるので、その圧密特性は低応力域での値が必要となり、かつ含水比依存性を示す。これまで一般に圧密特性は、体積比 f (または間隙比 e) を算術目盛りにとった $f \sim \log p$, $f \sim \log k$, $f \sim \log c_v$ 関係として表してきた。しかし、体積比 f を対数目盛りにとった $\log f \sim \log p$, $\log f \sim \log k$, $\log f \sim \log c_v$ 関係の方が合理的であること¹⁾、さらに、浚渫粘土の圧密特性を遠心自重圧密試験と段階載荷圧密試験によって求めた結果からも算術 f よりも対数 f による方が圧密特性を正しく表すことができること²⁾を既に報告した。

本稿では、文献 2)における遠心自重圧密試験結果(圧密曲線、含水比分布)を算術 f と対数 f による圧密特性を用いてシミュレートする計算を行い、圧密計算でも対数 f による方が正しい結果を与えることを報告する。

2. 浚渫粘土の圧密特性

用いた粘土は神戸港から採取された浚渫粘土で、液性限界 $w_L=103.1\%$ 、塑性限界 $w_p=36.3\%$ 、自然含水比 $w_n=280\%$ である。この浚渫粘土の圧密特性を求めるために遠心自重圧密試験を実施した。ただし、この試験でも高含水比の粘土では、材料分離(遠心場で粗粒子が下方に、細粒子が上方に集まる現象)が生じる。そこで、初期含水比 w_0 と遠心加速度および排水条件を変えた試験を行った。また、高応力域の圧密特性を補間するために、 w_0 を変えた段階載荷圧密試験も行った。実験条件と実験方法の詳細は文献 2)を参照されたい。さらに、圧密途中の含水比分布を調べるため、遠心載荷を途中で打ち切った自重圧密試験($w_0=160\%$ 、片面、両面排水)も加えた。

図-1 に算術 f による圧密特性を示した。

図(1)の $f \sim \log p$ 関係の圧縮曲線は、 w_0 が高いほど上方に位置しており、やや下に凸の曲線を描く傾向がある。遠心自重圧密試験の $w_0=250, 220\%$ の低応力域で f が大きいのは材料分離した影響である。しかし、 $f \sim \log p$ 関係は明らかに w_0 に依存し、強い相関関係があり、高含水比の粘土の $f \sim \log p$ 関係を外挿により求めることができる。

図(2)の $f \sim \log c_v$ 関係は w_0 によって大きく変化し、 w_0 が高いほど c_v は大きい。

図-2 に対数 f による圧密特性を示した。

図(1)の $\log f \sim \log p$ 関係の圧縮曲線は、やはり w_0 が高いほど上方に位置している。遠心自重圧密試験 $w_0=250\%$ の低応力域で f が大きくなっているのは、やはり材料分離した影響である。しかし、 $\log f \sim \log p$ 関係も明らかに w_0 に依存し、強い相関関係があり、高含水比の粘土の $\log f \sim \log p$ 関係を外挿により求めることができる。

図(2)の $\log f \sim \log c_v$ 関係も w_0 によって変化し、 w_0 が高いほど c_v は大きい。先の $f \sim \log c_v$ 関係に比べると変化率は小さく、全体に大きい(その原因は m_v の差による²⁾)。

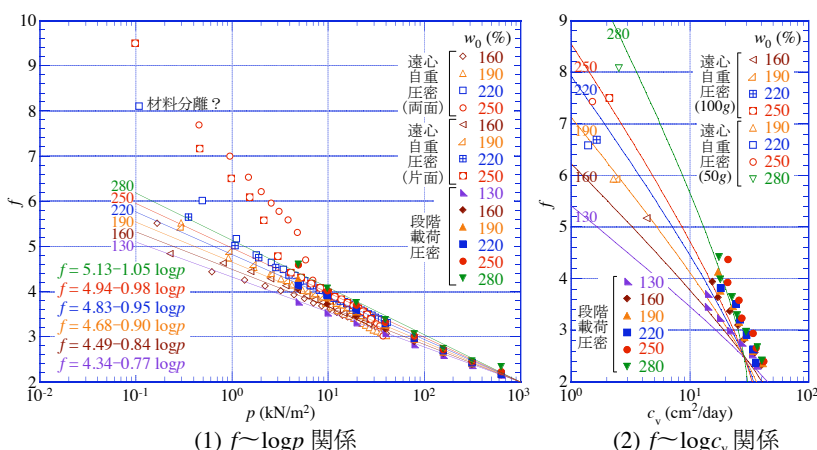


図-1 算術 f による圧密特性

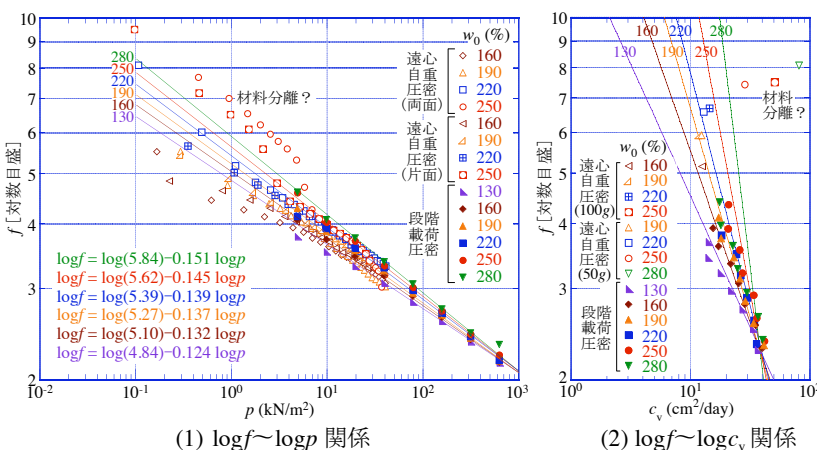


図-2 対数 f による圧密特性

Key Words: 浚渫粘土, 圧縮曲線, 圧密係数, 自重圧密, 圧密計算

〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 TEL 06-6605-2996 FAX 06-6605-2726

3. 自重圧密過程の計算方法と結果

2. で示した算術 f と対数 f による圧密特性の表し方が圧密計算にどのように影響するかを、先の遠心自重圧密試験のシミュレートする計算から調べた。

計算方法は、式(1)に示す三笠の有限ひずみ圧密理論における ε 式を用いた (c_v 変化と自重を考慮)。

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

上式に w_0 ごとの $f \sim \log p$, $f \sim \log c_v$ 関係 (図-1), および $\log f \sim \log p$, $\log f \sim \log c_v$ 関係 (図-2) を導入して計算した。

図-3 に w_0 を変えた遠心自重圧密試験の圧密曲線の実験値と計算値の比較を示す。図(1)の片面排水条件では、 $w_0=160\%$ の実験値の最終沈下量が計算値よりもやや大きい、 $w_0=160, 190, 220\%$ とともに対数 f による計算値の方が算術 f よりも実験値をよくシミュレートできている。 $w_0=250\%$ では両計算値よりも実験値の方が早く沈下しているのは、材料分離のためと考えられる。図(2)の両面排水条件では、 $w_0=160, 190\%$ の実験値の最終沈下量が計算値よりもやや大きい、対数 f による計算値の方が算術 f よりも実験値をよくシミュレートできている。 $w_0=220, 250\%$ で両計算値よりも実験値の方が早く沈下しているのは、やはり材料分離のためと考えられる。

ここで、 $w_0=160, 190\%$ では算術 f の方が対数 f よりも圧密速度が遅いのは、算術 f の c_v の方が小さいためである (図-1(2)と図-2(2)参照)。一方、 $w_0=220, 250\%$ ではその関係が逆転している。算術 f の c_v の方が小さいにも関わらず、圧密速度が速くなるのは、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 ($w_0=220, 250\%$ で $p_0=10^2, 10^3 \text{ kN/m}^2$ オーダーとなる) ため、 $1/p$ が大きくなり、第3項による圧密進行が大きくなるためである。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。また、対数 f の方が安定した圧密計算が可能である。

図-4 に $w_0=160\%$ の片面、両面排水条件の遠心自重圧密試験の 150, 500min, 最終の含水比分布の実験値と計算値の比較を示す。深度は圧密前の原始座標に戻している。なお、150min では粘土が非常に軟弱であったため、試料のサンプリングが難しく、図(1)の片面排水では下部が抜け落ち、図(2)の両面排水では含水比にバラツキがみられ、両計算値ともに実験値との整合性が悪い。しかし、500min では片面、両面排水ともに対数 f の方が実験値に近くなっている。また、図は省いたが、 $w_0=190\%$ でも 500min で同様の実験を行っており、実験値は片面、両面ともに対数 f とほぼ同じ分布となる結果が得られた。

以上から、浚渫粘土の自重圧密過程を正しくシミュレートできるのは対数 f による圧密特性であるといえる。

参考文献 1) 大島昭彦・岡田広久：粘土の圧密特性の表し方の再検討，第46回地盤工学研究発表会(投稿中)，2011。
2) 大島昭彦・岡田広久：浚渫粘土の算術 f と対数 f による圧密特性の表し方の比較，第46回地盤工学研究発表会(投稿中)，2011。

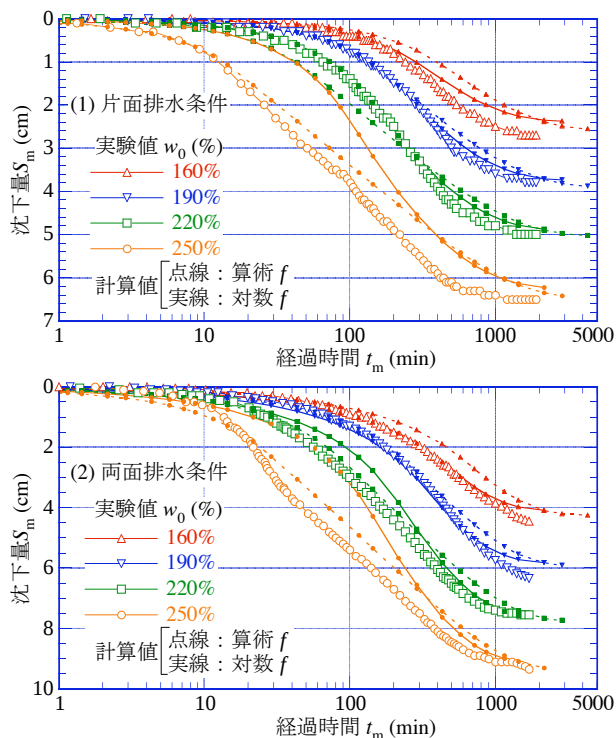


図-3 遠心自重圧密試験の圧密曲線の実験値と計算値の比較

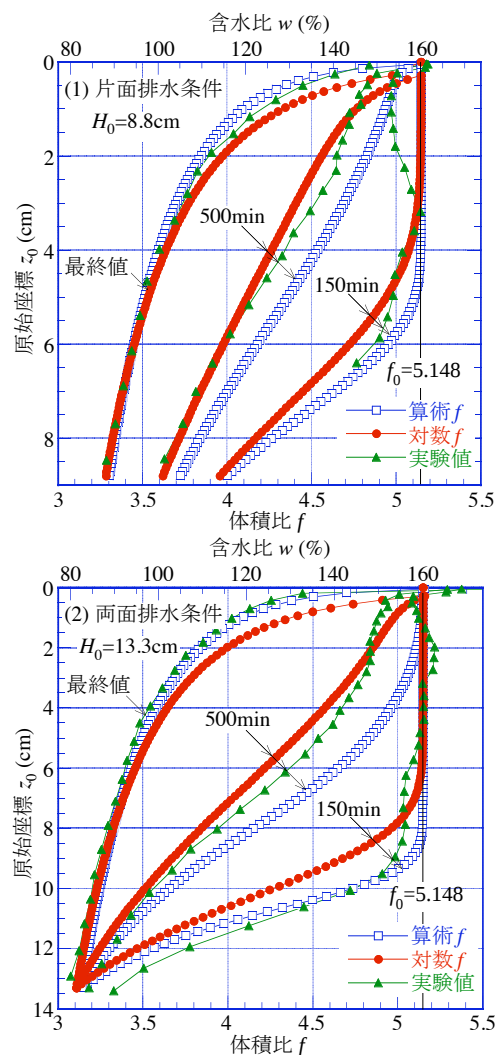


図-4 遠心自重圧密試験の含水比分布の実験値と計算値の比較 ($w_0=160\%$)