

遠心力を利用した小型泥水脱水機の性能予測に関する研究

立命館大学大学院 学生会員 松浦 敦
 立命館大学理工学部 正会員 深川良一
 京都大学大学院 正会員 建山和由
 立命館大学理工学部 正会員 勝見 武

1. はじめに

建設現場において地盤の掘削により排出される大量の泥水はコスト面，環境面から速やかな処理を行う必要がある．このため様々な処理方法が提案されており，遠心脱水機もその一つである．遠心脱水機は水と土粒子の単位体積重量の違いによる分離という概念で開発されたものであるが，その脱水メカニズムに関しては未だ理論的に明らかでないことが多い．また土粒子の単位体積重量は土ごとにほとんど変わらないのに対し，脱水限界は大きく異なるといった結果は単位体積重量の違いによる分離では説明がつかない．これは土骨格の圧縮により排水が起こるとする圧密現象として捉えることにより説明される．そこで本研究では自重圧密理論による脱水メカニズムの定量的評価を試みた．

2. 圧密支配方程式

図-1 に示すように半径方向の一次元問題として座標を定義した．支配方程式には三笠の圧密支配方程式^{1) 2)}に加速度変化を考慮したものをを用いた．これは脱水機の回転半径が短く脱水槽内での加速度の変化が非常に大きいためである．(2)は任意の時間における任意の要素での加速度を表している．

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = c_v \zeta^2 \left[\frac{\partial^2 \zeta}{\partial r_0^2} - m_v \rho' \frac{da(r)}{dr_0} - a(r) \frac{d}{d\zeta} (m_v \rho') \frac{\partial \zeta}{\partial r_0} \right] \quad (1)$$

$$a(r) = (r_0 + \int_{r_0}^l \bar{\varepsilon} dr_0) \omega^2 \quad (2)$$

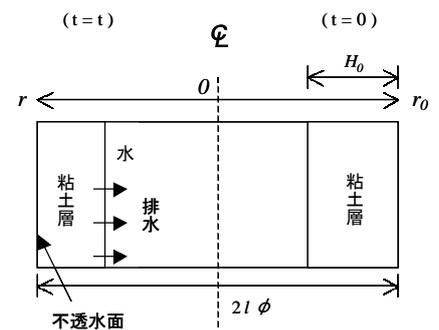


図-1 座標系の定義

- ここに ζ : 圧密比 (= f_0 / f , ただし $f = 1 + e$, 体積比)
- ρ' : 土の水中密度 , m_v : 体積圧縮係数
- c_v : 圧密係数 , r_0 : 初期状態における回転軸からの距離
- r : 任意の時間における回転軸からの距離
- l : 脱水槽の回転半径 , $\bar{\varepsilon}$: 公称ひずみ , ω : 角速度

3. 差分解法

粘土層の初期厚さを H_0 , 差分計算での層厚の分割数を n とし , 時間係数 $T = c_v t / H_0^2$ とする . 空間差分を $\Delta r_0 = H_0 / n$, 時間係数で表した時間差分を ΔT としたとき式(1)は以下の差分形で表される .

$$\Delta \zeta = \Delta T n^2 \zeta^2 \left[\frac{1}{4} \left(\frac{1}{a(r+\Delta r)} - \frac{1}{a(r-\Delta r)} \right) (\zeta_{r_0+\Delta r_0} - \zeta_{r_0-\Delta r_0}) + m_v \rho' \frac{H_0}{2n} \{a(r+\Delta r) - a(r-\Delta r)\} - a(r) \frac{H_0}{2n} \frac{d}{d\zeta} \{m_v \rho'\} (\zeta_{r_0+\Delta r_0} - \zeta_{r_0-\Delta r_0}) \right] \quad (3)$$

また土骨格の構成関係は $e-\log p$ 関係に従うとすれば , 導出の過程は省略するが , 式(3)の各項の関数は次式で与えられる . ここで c_c は圧縮係数であり , $e-\log p$ の傾きである .

$$m_v \rho' = \frac{0.4343 c_c \rho'}{f p} = \frac{0.4343 c_c \rho'_0 \zeta^2}{f_0 p}$$

$$\frac{d}{d\zeta} (m_v \rho') = - \left(1 - \frac{0.8686 c_c}{f_0} \zeta \right) \frac{\rho'_0 g}{p}$$

Keyword: dewatering system, centrifugal force, self-weight consolidation, clay, slurry

立命館大学理工学部 土木工学科 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 Tel : 077-561-2875

4. 計算結果に対する考察

4.1 計算条件

本研究室において過去に実施された新型小型脱水機 MORIS-2^{3) 4)}の実験条件を元に数値計算を行った。MORIS-2は脱水槽半径21(cm),回転数1700(r.p.m),遠心加速度680g相当の小型泥水脱水機である。ただし圧密理論の適用条件として沈降現象を伴わない(土粒子の位相が変化しない)という条件を満たすため,泥水の初期含水比は液性限界の2倍程度以下のものを採用した。計算条件を表-1に示す。試料の圧縮係数 c_c は,十分に繰り返した再圧密試料に対して土田^{5) 6)}が示した式(5)~(7)で与えられる関係を用いて算出した。また圧縮係数 c_v についても飯塚⁷⁾が式(8)で示した関係から算出した。境界条件は図-1に示したように片面上面排水である。

$$c_c = 0.007(W_L - 10) \quad (5) \quad (f_0 \text{ が液性限界})$$

$$c_c = 0.009(W_L - 10) \quad (6) \quad (f_0 \text{ が液性限界の } 1.5 \text{ 倍})$$

$$c_c = 0.011(W_L - 10) \quad (7) \quad (f_0 \text{ が液性限界の } 2.0 \text{ 倍})$$

$$\log c_v (\text{cm}^2 / \text{min}) = -0.025I_p - 0.25 \quad (8)$$

4.2 考察

(1) 脱水時間

図-2は脱水時間と含水比の関係を求めたものである。図-2では初期に急激な含水比の減少がおり,その後は緩やかに減少していくことが分かる。この減少の割合は処理土容量が多いほど,また圧縮係数が小さいほど大きくなるが,いずれの試料も2分から4分の間にほぼ脱水が完了していることが示された。また経過時間は圧縮係数に反比例することから $c_v=100(\text{cm}^2/\text{day})$ 以上であれば5分以内にほぼ脱水が完了することが判明した。過去のMORIS-2の実験結果においても5分以内に脱水が完了することが示されている³⁾が,比較的砂分を多く含む試料での実験であったことから c_v は $100(\text{cm}^2/\text{day})$ よりも十分に大きかったと考えられ,計算結果は妥当であると思われる。

(2) 脱水後の含水比

図-3は理論値と実験値を比較したものである。いずれの試料に対しても理論値の方が5~10(%)程度大きい含水比を示した。この理由としては,1)計算に用いた初期パラメータの影響,2)土質パラメータの決定方法の影響,3)二次圧密の影響などが考えられる。しかし実用上十分な精度で評価できていると思われる。

5. おわりに

MORIS-2の実験データを用いて理論の検証を行った結果,理論値と実験値は実用上十分な精度で一致し,圧密理論より脱水現象を定量的に評価し得る可能性が示された。しかし今回示した実験結果だけでは理論の検証には不十分である。今後は追加実験を行い,その適用性を明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 三笠正人：軟弱粘土の圧密,鹿島出版会,1963.
- 2) 高田直俊：軟弱粘土の自重圧密過程の数値解析,土木学会論文報告集,第334号,pp113-121,1983.
- 3) 深川良一,川島邦彦,毛利豊重,建山和由,勝見武：遠心力を利用したスラリー脱水機の開発と脱水性能の評価,第4回地盤改良シンポジウム発表論文集,日本材料学会,pp197-200,2000.
- 4) 深川良一,川島邦彦,毛利豊重,建山和由,勝見武：新しい遠心泥水脱水機による脱水試験,第36回地盤工学会研究発表会発表講演集,2001(発表予定)
- 5) 土田孝：大深度の洪積粘土の $e\text{-log}p$ 関係における構造の影響,土木学会第51回年次学術講演会,pp.376-377,1996.
- 6) 土田孝：海底粘土地盤の $e\text{-log}p$ 関係に関する統一的な解釈について,第39回土質工学シンポジウム,1994.
- 7) 飯塚敦：軟弱地盤の変形・安定解析に関する基礎的研究,京都大学博士論文(工学),pp57-68,1988.

表-1 計算条件

	slurry 1	slurry 2	slurry 3
液性限界 (%)	53.8	60.5	50.8
塑性指数	23.3	29.4	23.7
初期含水比 (%)	144.2	82.17	86.51
土粒子密度 (g/cm^3)	2.67	2.68	2.63
処理土容量 (L)	12.0	9.0	9.0
圧密係数 (cm^2/day)	212.0	149.0	207.0
圧縮係数	0.57	0.40	0.41
初期応力 (kPa)	0.005	0.05	0.05

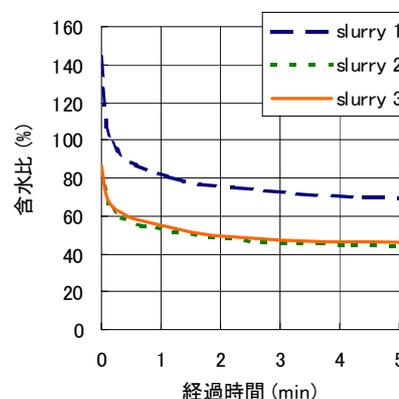


図-2 経過時間と含水比の関係

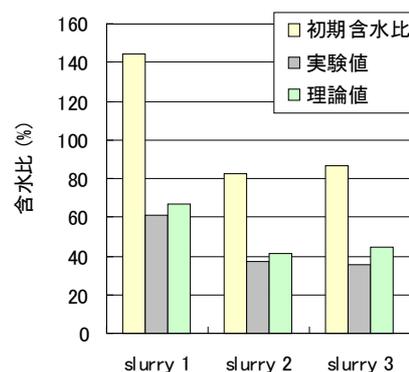


図-3 理論値と実験値の比較