

サーチャージ除荷後の圧密沈下予測

(株)建設企画コンサルタント 正 白子 博明  
 東海大学 正 杉山 太宏・赤石 勝  
 金沢工業大学 正 外崎 明

1. まえがき

軟弱地盤の長期沈下軽減対策としてサーチャージ（以下 SC とする）工法を利用する場合、SC に使う土量や工期の制約から SC 除荷後、正規圧密と過圧密の両方の状態が圧密層内に生じる。SC 除荷後の軟弱層が正規圧密か過圧密かによって、あるいは過圧密層内の位置によって過圧密比が異なり、SC 除荷後の圧密沈下量の大きさは著しく変化する。この報告は、ある圧密時間までに発生した二次圧密量を利用し、SC 除荷後の二次圧密を含む一次元圧密沈下量時間関係の簡便な予測法を提案する。

2. 二次圧密予測法

透水係数無限大で荷重直後に一次圧密が終了し、その後有効応力一定下で二次圧密が継続する特殊な土モデル $e_s$ を想定し、SC 除荷に伴う $e \sim \log(p)$ 関係と二次圧密の関係を考える。Fig.1 中 A 点は荷重前、I, S 点は荷重後、U 点は SC 除荷後の鉛直有効応力を示している。鉛直有効応力 $\sigma'_0$ 、間隙比 $e_0$ を A 点とし、SC を含む圧密荷重による一次圧密が終了した I 点の鉛直有効応力を $\sigma'_{I'}$  とすれば、I 点の間隙比 $e_i$ は、式(1)で I 点から継続的に発生する二次圧密による間隙比速度 $\dot{e}_s$ は、式(2)で表現する。

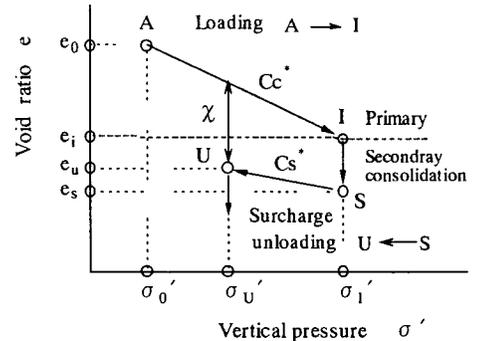


Fig.1 e-log(p) 関係と二次圧密

$$e_i = e_0 - C_c^* \cdot \log(\sigma'_{I'} / \sigma'_0) \quad (1), \quad \dot{e}_s = \dot{e}_i \cdot \exp(-\chi / C_\alpha^*) \quad (2)$$

ここに、 $C_c^*$  は、一次圧密量で定義される圧縮指数、 $\dot{e}_i$  は、圧密開始時、I 点 $\chi=0$ における二次圧密による間隙比速度、 $C_\alpha^*$  は、自然対数で定義した二次圧密係数である。荷重前に発生していた二次圧密は、圧密開始直後に式(2)の二次圧密速度になると仮定する。 $\chi=0$ における二次圧密速度は、荷重前のそれに近いが $\chi$ の増加とともに増加し、時間の対数に比例する二次圧密となる。鉛直有効応力 $\sigma'_{I'}$ 一定下である時間二次圧密が発生し、間隙比が I 点から S 点まで減少した時の間隙比 $e_s$ は式(3)で表され、二次圧密量 $\chi = e_i - e_s$ となる。また、S 点で SC を除荷した直後、U 点の間隙比 $e_u$ は、式(4)で、SC 除荷後の二次圧密量 $\chi$ は、式(5)で表わされる。

$$e_s = e_i - \int \dot{e}_s dt \quad (3), \quad e_u = e_s - C_s^* \cdot \log(\sigma'_U / \sigma'_{I'}) \quad (4), \quad \chi = e_i - e_s + (C_c^* - C_s^*) \cdot \log(\sigma'_{I'} / \sigma'_U) \quad (5)$$

ここに、 $C_s^*$  は、一次圧密量で定義される膨張指数である。

SC 除荷前、S 点における $\dot{e}_s$ は、BC 間の間隙比変化量（二次圧密量 $\chi$ ）に依存している。SC 除荷直後の二次圧密量 $\chi$ は、式(5)で表現されるように増加する。したがって、SC 除荷後の二次圧密による間隙比速度 $\dot{e}_s$ は、SC 除荷前後の鉛直有効応力比 $\sigma'_{I'} / \sigma'_U$ と圧縮指数の差 $C_c^* - C_s^*$ に支配される。

一次元圧密における間隙比速度 $\dot{e}$ を一次圧密速度 $\dot{e}_p$ と二次圧密速度 $\dot{e}_s$ の和とし、式(6)で表す。

$$\dot{e} (= \dot{e}_p + \dot{e}_s) = \frac{k(1+e_0)}{\gamma_w} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (6), \quad \dot{e}_p = -\frac{0.434 \cdot C_c^*}{\sigma'} \cdot \dot{\sigma}' = -m_p \cdot \dot{\sigma}' \quad (7), \quad \frac{\partial u}{\partial t} = c_v \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \dot{e}_s / m_p \quad (8)$$

ここに、 $u$  は過剰間隙水圧、 $y$  は圧密層内の位置、 $k$  は透水係数、 $\gamma_w$  は水の単位体積重である。

$\dot{e}_p$  を式(7)で表し、式(2)の $\dot{e}_s$ との和を式(6)に代入すれば、二次圧密を考慮した一次元圧密方程式(8)が得られる。

$c_v^* (= k(1+e_0) / \gamma_w / m_p)$  は圧密係数、右辺第二項は二次圧密によって発生する過剰間隙水圧を表す。式(9)に示す境界・初期条件と陽的差分解法を用いて式(8)を解き、SC 除荷後の二次圧密予測法の適用性を検討する。式(9)の $H$ は最大排水距離、 $u_0$ は初期過剰間隙水圧であり、大きさは圧密荷重増分 $\Delta\sigma$ に等しい。二次圧密を含む一般的な圧縮指数 $C_c$ を決定する標準圧密試験では、各荷重段階で前の荷重段階における二次圧密による間隙比速度 $\dot{e}_f$ が測定される。

$$\left. \begin{aligned} u(y=0, t=0) &= 0 \\ \partial u / \partial y (y=H, t>0) &= 0 \\ u(H \geq y > 0, t=0) &= u_0 (= \Delta\sigma) \\ \dot{e}_s (H \geq y \geq 0, t=0) &= \dot{e}_i \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$\dot{e}_i$  は、この $\dot{e}_f$ を用いて式(10)より算定できる。

Table1 土質定数と荷重条件

$c_c = 1.5$	$C_s^* = 0.3$	$C_\alpha^* = 0.022$	$C_c^* = 1$
$e_0 = 3$	at $\sigma'_0 = 39.2 \text{ kPa}$	$c_v^* = 0.1 \text{ cm}^2 / \text{min}$	
$\Delta\sigma (= \sigma'_{I'} - \sigma'_0) = 39.2 \text{ kPa}$ (サーチャージ)			
$\Delta\sigma_s (= \sigma'_{I'} - \sigma'_U) = 9.8 \text{ kPa}$			

$$\dot{e}_i = \dot{e}_f \cdot 10^{(C_c - C_c^*) \cdot \log(\sigma' / \sigma'_0) / C_\alpha} \quad (10)$$

3. 計算結果と考察

計算に用いた土質定数と荷重条件を Table1 に示した. Fig.1 の A 点で載荷前に発生していた二次圧密による間隙比速度は, 1440 分の圧密時間として  $\dot{e}_f = 0.434 \cdot C_a^* / 1440 \approx 1.5 \cdot 10^{-5}$  (1/min) で,  $\dot{e}_i \approx 1.54 \cdot 10^{-2}$  (1/min) なる.

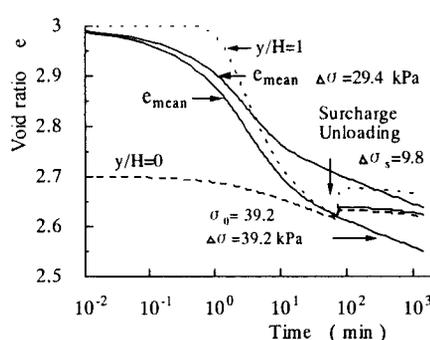
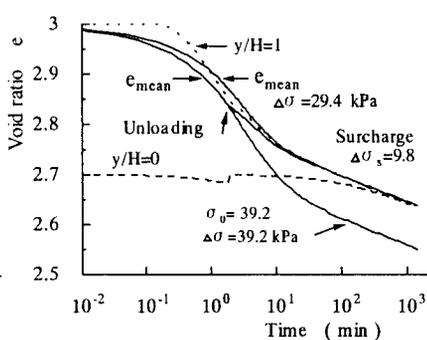
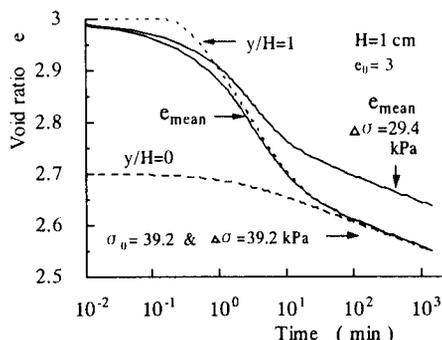


Fig. 2 圧密量時間曲線（除荷なし） Fig. 3 圧密量時間曲線（除荷 1.8 分） Fig. 4 圧密量時間曲線（除荷 68.4 分）

Fig.2 は, 2つの圧密荷重増分に対する圧密量時間曲線の計算結果である. 2つの実線で示した圧密量時間曲線の二次圧密係数は計算に用いた二次圧密係数と同じ大きさであることを確認した. 図中破線は排水面  $y/H=0$ , 点線は非排水面  $y/H=1$  における圧密量時間曲線である. この報告の二次圧密モデルでは二次圧密領域で圧密層内各点の圧密量の大きさが等しくなる.

Fig.3 と Fig.4 は, それぞれ圧密時間 1.8 分（圧密度 50%）, 68.4 分で SC9.81kPa を除荷した場合の圧密量時間曲線の計算結果を示している. 圧密時間 1.8 分で SC を除荷すると SC による残留沈下軽減効果が小さく, 圧密時間が 1000 分を越える頃には SC を用いなかった場合の圧密量時間曲線にほぼ重なっている. SC 除荷時間を大きくした Fig.4 の計算例では,

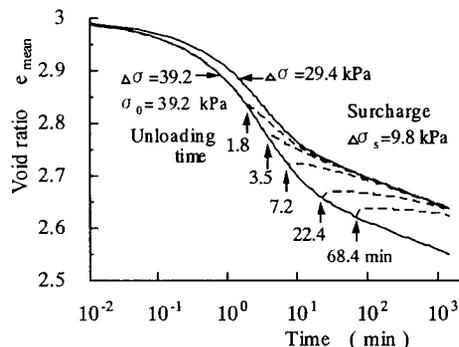


Fig. 5 除荷時間の変化と圧密量時間

SC 除荷後, かなり大きな膨張量が計算される.  $y/H=1$  における膨張量が,  $y/H=0$  のそれより大きいのは, SC 除荷時間時間までに発揮された二次圧密量の違いによるものと考えられる. Fig.5 は, SC 除荷時間を変化させた場合の圧密量時間曲線の計算結果を破線で示している. SC 除荷時間の増加が, 除荷後の残留沈下を著しく減少させることが観察される.

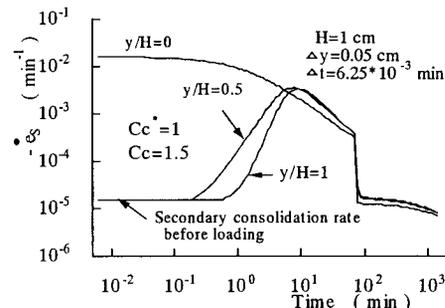
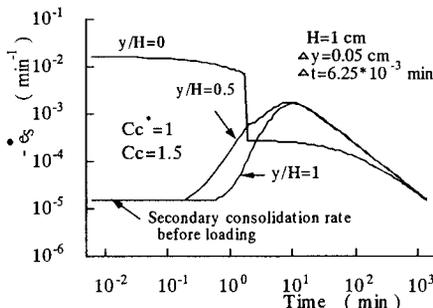
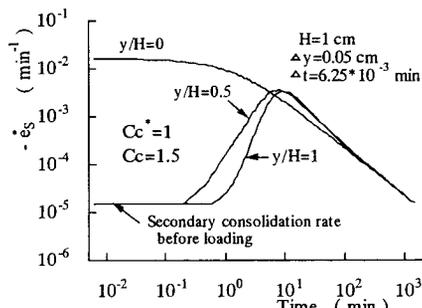


Fig. 6 二次圧密の間隙比速度（除荷無） Fig. 7 二次圧密の間隙比速度（除荷 1.8 分） Fig. 8 二次圧密の間隙比速度除荷（68.4 分）

二次圧密に対する SC の影響を明確にするため二次圧密の間隙比速度  $\dot{e}_s$  の経時変化を Fig.6, 7, 8 に示した. Fig.6 は, SC を除荷しない場合の圧密層内 3 地点  $y/H=0, 0.5, 1$  における  $\dot{e}_s$  を示している. SC を採用することにより, この  $\dot{e}_s$  より小さくなれば, SC による二次圧密軽減効果が存在することになる. Fig.7 と Fig.8 は, それぞれ SC 除荷時間 1.8 分と 68.4 分の  $\dot{e}_s$  の経時変化である. SC 除荷時間 1.8 分では,  $y/H=0$  における  $\dot{e}_s$  が大きく減少するが, 圧密層内部のそれは, Fig.6 と比較してほとんど変化していないことがわかる. SC 除荷後の圧密量時間曲線は, SC を用いない場合とほぼ同じであることが Fig.3 より観察される. SC を除荷するまでに発生した二次圧密量が大きい Fig.8 の場合は, SC 除荷後  $\dot{e}_s$  の減少が著しい. SC 除荷後の  $\dot{e}_s$  は, 載荷前のそれより小さく, 二次圧密がほとんど発生しない状態であることは, Fig. 4 と対応している.

4. むすび

二次圧密の間隙比速度に着目し, サーチージ工法を想定した一次元圧密解析を実施した. サーチージ除荷後の二次圧密速度は, サーチージを除荷するまでに発生した二次圧密量の関数と仮定している. 一次圧密中に発生している二次圧密を分離測定できないため, 実験による仮定の検証は困難であるが, サーチージの室内圧密試験結果に類似した計算結果が得られた.