

1) まえがき

軟弱地盤の圧密沈下の推定に当って、電子計算機が利用されるようになり、深度による圧密特性の変化を考慮して、現場に適した条件のもとで、複雑な計算と短時間に行なうことによって、これまでの平均値と利用する方法との間に相当大きな差があることが指摘されている。このように現場の沈下観測のデータと推定値との誤差の原因が明らかにされるであらうが、圧密沈下の推定において、殆んどの場合、一軸圧密試験によって求められる圧密諸係数が採用されている。現場の圧密沈下は三次元であり、また圧密試験とは沈下速度が異なるので、これらの要素を考慮するための方針も研究されている。しかしこれらの研究に際して比較の基準として、一軸圧密試験から求められる圧密諸係数が用いられている。このように一軸圧密試験を一つの基準とするための試験と考へるならば、圧密特性を表わす圧密諸係数を求める尺度は常に一定でなければならず、その物理的、化学的、力学的特性によって、その尺度が変化するようでは基準試験としての意味があまりないとなる。Taylor と初めとして著者は尺度の変る原因は側面摩擦の影響と考へている。すでにこれまでも側面摩擦の影響について発表して来ているが、ここではこれまでの研究を再検討して、各々の圧密特性を表わす係数に与える側面摩擦の影響について述べる。

2) 一次圧密終了時の有効応力の分布

図-1 に一次圧密終了時の有効応力の分布を示した。 $P_1, P_2 \dots P_n$ は圧密荷重を示し、 P_c は試料の土級

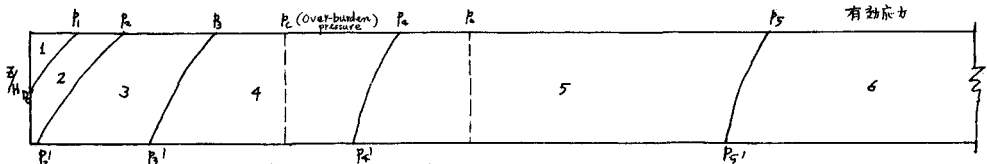


図-1 一次圧密終了時の有効応力の分布

り圧、 P_0 は圧密先行荷重を示している。一軸圧密試験によって求められる圧密特性が側面摩擦によって影響を受けていることがよく判る。また①、②、③、④、⑤などは各々の領域で影響の度合が異なることも容易に想定される。①は側面摩擦のための圧密荷重が試料底面まで伝達されない場合、②は過圧密の特性を代表すると考へられる。③は過圧密と処女荷重による圧密特性が混在するが、恐らく沈下しきりぬき、土の組織を変化させるまでには至らず、一軸圧縮試験での破壊荷重以下の状態に近いうちであらう。④は沈下しきりぬきも相当大きくなり正規圧密状態に近くなっている。⑤に至って始めて殆んど完全に正規圧密状態の圧密特性を示すようになるが、側面摩擦の影響はまだ残るであらう。

図-1 の D_c は $D_c = 1 - \sqrt{1 - \frac{P_0}{\sigma_v H} \times 2.302 \log_{10} \left(1 + \frac{P}{P_c} \right)} \dots (1)$ で示される。ここに R : 試料半径, H : 試料高さ, P : 圧密荷重, P_c : 土級り圧, σ_v : 側面摩擦係数であり、側面摩擦係数は $\frac{1}{2} \sigma_v$ に比例して減少し、 $\sigma_v = D_c$ で $\sigma_v = 0$ と仮定している。次に試料底面の有効応力 $P_{e=H} > P_c$ となるための圧密荷重を P とすると、 $P/P_c = 2e^{1.2 \frac{D_c}{H}} - 1 \dots (2)$ で示される。側面摩擦の大きさを示す σ_v と P_c の値と

表-1に示す。表-1において n は $\frac{H}{R}=1.0$ において $P_2 > P_1$ となるための値と、 n' は $\frac{H}{R}=0.8$ で $P_2 > P_1$ となるための圧密荷重を示し、 n' は両面排水条件で試料の底面は圧密初期に圧密され、その後除荷されるようになるので、その影響を考慮するものである。

表-1. 試料全厚に亘って有効応力が土被り圧より大きくなる圧密荷重

$f_0 \frac{H}{R}$	0.05	0.1	0.2	0.3	備考
n	1.21	1.44	1.98	2.64	$\bar{P}_2 = P_1$
n'	1.16	1.34	1.75	2.23	$\bar{P}_2 = 0.9H = P_1$

Routine Testにおいて、過圧密、正規圧密領域での圧密1段階の沈下 Δs と側面摩擦の作用しない場合と比較すると、

$$\text{正規圧密} \quad \bar{\alpha}_e = \frac{\int_0^H \log \frac{(1+n+\frac{f_0}{R})e^{-\frac{f_0}{R}z} \frac{1}{n}}{(1+\frac{f_0}{R})e^{-\frac{f_0}{R}z} \frac{1}{n_0}} dz}{\int_0^H \log (1+n) dz} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{過圧密} \quad \bar{\alpha}_e = \frac{\int_0^H m_v n f_0 e^{-\frac{f_0}{R}z(1-\frac{f_0}{R})} dz}{\int_0^H m_v n f_0 dz} \quad \dots \dots \dots (4)$$

となる。ここに $n = \frac{dp}{p_0}$, $m_v = \frac{A}{p_0}$, p_0 は圧密荷重 p を増加する前の圧密荷重、 n は荷重増加倍率である。

図-2に側面摩擦の大きさと各圧密荷重段階の沈下 Δs に及ぼす影響を示している。応力 p と $\log p$ の関係と $de = m_v dp$ が、 $e - \log p$ が直線関係にあると仮定するから、側面摩擦の影響が異なることを示している。

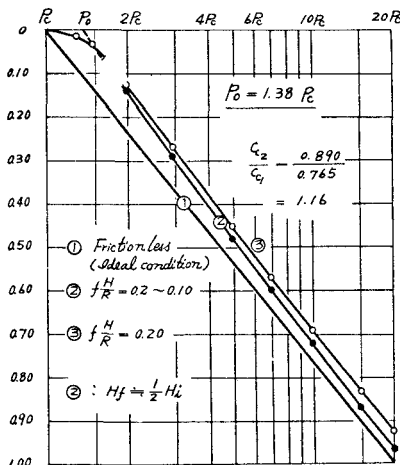
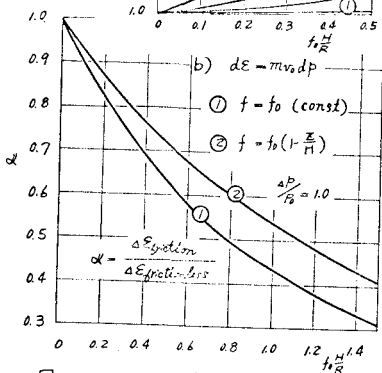
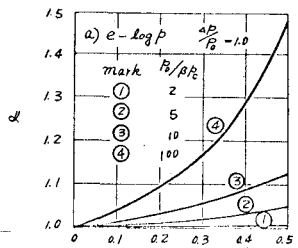


図-3 側面摩擦の作用する $e - \log p$ 曲線の特性

図-2 側面摩擦と各荷重段階における沈下 Δs の関係

3) $e - \log p$ 曲線
図-3は $e - \log p$ 曲線に及ぼす側面摩擦の影響を示したもので、土の組織及びReboundの影響を除いて、正規圧密領域での特性と比較している。

④はfrictionless、③は $\frac{H}{R} = \text{const}$ の場合、②は試料厚さが圧密の最終荷重で $\frac{1}{2}$ となる場合の曲線を示し、Routine Testを代表していると考えられる。

図-3から土の組織があまり発達していないことも側面摩擦の影響によって、あたかも鋭敏な土と同じ特性を示している。圧密先行荷重は土被り圧の1.38倍、圧縮指数は1.16倍となっている。

図-4, 5, は図-3のようにして定められる圧密先行荷重、圧縮指数に及ぼす側面摩擦の影響を示したものである。図-6は瀬戸内海沿岸の $40 < PI < 60$ の試料について土被り圧と圧密先行荷重との関係プロットしたものである。④は慣行解析法に基く値と、②は側面摩擦力の影響を補正した値を示している。②と④との差は主に土の組織の影響を示しているものと考えられる。

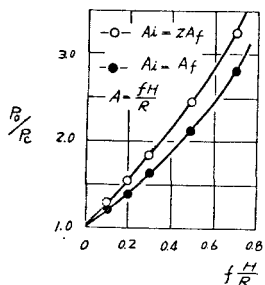


図-4 先行荷重と圧密先行荷重の比に及ぼす側面摩擦の影響

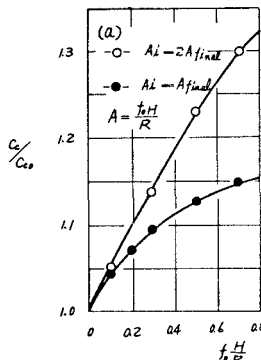


図-5 圧縮指数に及ぼす側面摩擦の影響

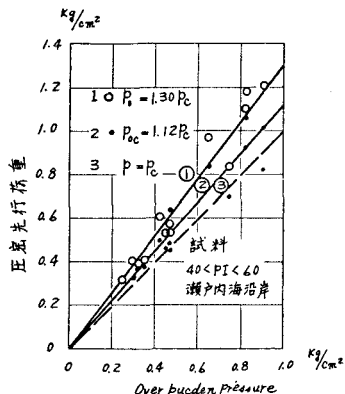


図-6 圧密先行荷重と土被り圧の関係

4) 圧密時間-沈下特性

Terzaghi 理論が一軸圧密試験結果の解析に用いられて来たが、著者は数年来側面摩擦の影響と圧密基礎方程式に考慮することを研究し、すでに発表しているが、本図はこれよりもう少し實際に近いと考えられる条件のもとに有効応力に関する圧密基礎方程式を導いて、その特性を検討した結果、沈下しずみの特性と同じように、応力とひずみの関係は $d\varepsilon = m \cdot dp$ 、 $e - \log p$ が直線関係にあると仮定することによって、側面摩擦の影響が全く違う関係になることが明らかとなった。圧密基礎方程式は

$$\text{一般に} \quad \frac{\partial u}{\partial t} = C_v \left[\beta_1 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \beta_2 \frac{\partial u}{\partial z} + \beta_3 u \right] \quad \dots \dots (4)$$

となり、ここに $u = \frac{dp}{dp_0}$ 、 dp_0 は時刻 t において深さ z の有効応力を示し、 u は圧密増加荷重を示す。 β_1 、 β_2 、 β_3 はひずみと応力の関係、側面摩擦の特性によって異なり、表-2に示す

表-2 β_1 、 β_2 、 β_3 の一覧表

状態 ひずみと 応力の関係	過圧密 $d\varepsilon = m \cdot dp$	正規圧密 $d\varepsilon = m \cdot dp$	正規圧密 $d\varepsilon = \frac{C}{1+e_0} \frac{dp}{p}$
β_1	1	1	1
β_2	$\frac{2f_0}{R} (1 - \frac{z}{H})$	$\frac{2f_0}{R}$	$\frac{2f_0}{R} - \frac{\beta_3'}{\beta_3}$
β_3	$-\frac{2f_0}{RH}$	0	$-\frac{2f_0}{R} \frac{\beta_3'}{\beta_3}$
β_3	$(1 + \frac{1}{m}) e^{-\frac{2f_0}{R} z} - \frac{1}{m} + m u$		
β_3'	$-\frac{2f_0}{R} (1 + \frac{1}{m}) e^{-\frac{2f_0}{R} z} + m \frac{\partial u}{\partial z}$		

片面排水条件で有効応力の各深さの時間的变化を求め、ひずみの変化をほして、平均圧密係数 C_v の時間係数は、圧密係数-時間係数曲線から読み取りと図-7のようである。図-7から $e - \log p$ と直線と仮定する場合には C_v の時間係数は、側面摩擦が大きくても、土被り圧に決する圧密荷重の比が大きくなればなる程

Terzaghi の $T_{50} = 0.197$ に近づいてくる。

しかし、 $d\varepsilon = m \cdot dp$ では側面摩擦が大きくなる程、Terzaghi の $T_{50} = 0.197$ よりも小さくなる。その圧密荷重の大きさには無関係となる。式(4)中には沈下しずみ速度の影響を無視してしたが、圧密過程での側面摩擦力の变化を考慮すると、有効応力の増大に伴う側面摩擦力以外に平均沈下しずみ速度によって変化する側面摩擦力が作用していることが明らかとなった。図-8に実験結果を示す。図-8の右の影響を式(4)に考慮するため、Terzaghi-Fick の新增荷重の圧密度-時間係数の近似解法

と利用して、 F_2 に相当する荷重だけ圧密中に漸増されると考へることによって圧密度-時間曲線を修正し、 T_{50f} を求めて f_{cl}/f_0 と比較すると F_2/F_1 の値によって、側面摩擦の影響が異なり、図-9では圧密度10%の F_2/F_1 の値を基準として横軸にプロットし、側面摩擦の大きさをパラメーターとして、時間係数に及ぼす側面摩擦の影響を示している。

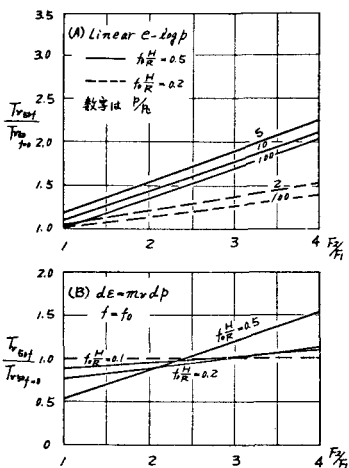


図-9 F_2/F_1 の変化と50%の時間係数の関係

5) まとめ、

一軸圧密試験によって求められ

る圧密特性はひずみと応力の関係がどのように示されるかで側面摩擦の影響が異なり、1) $de=mvdp$, 2) $e-\log p$ が直線関係にあるかで全く逆の影響が生ずる場合がある。(したがって λ 圧密荷重 P が $D_c=1.0$ と満足する荷重 P_1 よりも小さい場合 $P < P_1$, ② $P_1 < P < P_2$ ③ $P_2 < P < P_3$ ($P_3/P_2 = 2e^{0.7 \frac{f_0}{p_0}} - 1$) ④ $P_3 < P$, ⑤ $P > P_3$, ⑥ $P \gg P_3$ 。あつたの荷重領域で側面摩擦によって圧密特性が変る。②, ③, ④領域では側面摩擦の影響を補正して、 f_{cl}/f_0 の一次元圧密特性を推定することは比較的簡単でありが、⑤, ⑥領域での補正は簡単に出来ないのであつて、特に⑤領域での特性が明らかでなければ問題は複雑になる。本報告では②, ③, ④領域を取扱つてゐる。

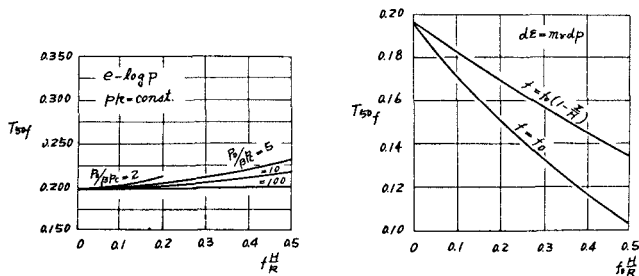


図-10 側面摩擦の作用する圧密時間係数 T_{50f}

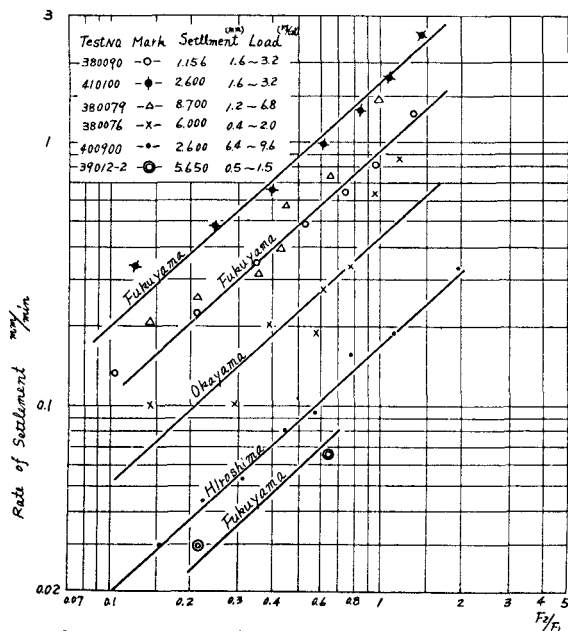


図-11 平均沈下速度と F_2/F_1

F (側面摩擦力の増加分) = F_1 (有効応力の増加による) + F_2 (有効応力以外による)