

東海大学工学部 正員 梶 田 倍 徳
東海大学工学部 正員 赤 石 勝
東建地質調査(株) 正員 ○深 見 史 郎

1. まえがき

サンドドレーン工法は、1948年R.A.Barronによって理論的解析法が提案されてから、軟弱地盤の重要な改良工法として急速に普及した。しかし理論的解析法が確立され、数多くの施工例などが報告されているにもかかわらず、近年その有効性に関し議論されることが多い。サンドドレーン工法の圧密促進効果に関する問題点として、現場における施工上の問題点のほか、(1)R.A.Barronの理論的解析法は、等方的な応力条件にのみ適合し、一次元圧密における側方拘束圧の減少や二次圧密現象を考慮していない。(2)砂柱に対する応力集中とその再配分現象などが無視されている。よって本報告は、一次元圧密中の側圧の減少が土の変形に及ぼす影響および砂柱の応力集中効果を考慮した解析法を提案し、室内実験によってその妥当性を立証したものである。

2. タイレイタンシー効果および砂柱への応力集中を考慮した一次元圧密解析法

砂柱を設置した粘土層に盛工荷重が作用した場合、粘土部分と砂柱部分の圧縮率に差があれば、圧縮率の小さい方に応力が集中する。この応力集中の程度を表す係数Rを応力集中係数として式(1)のように定義する。ここに、 σ_v は盛工による載荷応力、 σ_v^0 は砂柱部の鉛直応力である。いま図-1に示すように、砂柱がある複合供試体に盛工荷重 σ_v が載荷されたとき、砂柱への応力集中があるので、粘土部分に生じる最大・最小主応力をそれぞれ σ_1 、 σ_3 とし、軸対称応力状態における粘土部分に作用する有効等価圧密圧力 $\bar{\sigma}_v$ を式(2)のように定義する。ここに、 $\bar{\sigma}_m = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$ 、 $\sigma_a = \sigma_1 - \sigma_3$ 、 $D_t = A_t - 1$ 、 A_t は間ケキ圧係数、 U は残留間ケキ水圧である。また D_t はタイレイタンシー係数と呼ぶことにする。有効等価圧密圧力 $\bar{\sigma}_v$ を用いて、サンドドレーンの一次元圧密基礎方程式を表せば式(3)が得られる。ここに、 C_h 、 C_v はそれぞれ水平・鉛直方向の圧密係数である。 $\partial \bar{\sigma}_v / \partial t = \partial \sigma_v - \partial U$ を式(3)に代入すれば、式(4)が得られる。式(4)の $\partial \sigma_v / \partial t$ は一次元圧密中の発生間ケキ水圧の変化率であり、粘土部分のタイレイタンシー特性や砂柱への応力集中によって影響をうける。

$$R = \sigma_v / \sigma_v^0 \quad \text{----- (1)}$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{\sigma}_v &= \bar{\sigma}_m + D_t \sigma_a \\ \bar{\sigma}_v &= \sigma_v - U \end{aligned} \right\} \quad \text{----- (2)}$$

$$\frac{\partial \bar{\sigma}_v}{\partial t} = - \left\{ C_h \left(\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} \right) + C_v \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right\} \quad \text{---- (3)}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} = C_h \left(\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} \right) + C_v \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + \frac{\partial \sigma_v}{\partial t} \quad \text{---- (4)}$$

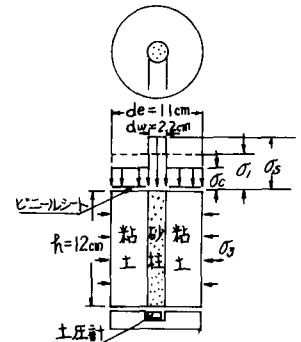


図 ~ 1

表 ~ 1 粘土試料の物理的性質

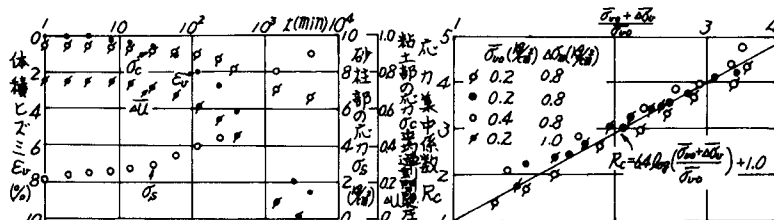
G_s	w_L %	I_p	粘土%	シル%
2.67	59.5	30.2	41.0	59.0

3. 試料および実験方法

実験に用いた粘土試料は、埼玉県越谷市草加バイパスで採取した練瓦し礫粘土である。試料の物理的性質は、表-1に示す通りである。またドレーン材としては、山口県豊浦標準砂を用いた。

3.1 複合供試体の等方圧密試験と平均主応力一定試験

提案法の計算をするにあたって、応力集中係数Rを定量的に表す必要がある。一次元あるいは異方応力状態の圧密試験から直接応力集中特性を把握するのはむずかしいので実験条件を二つに分け、複合供試体を用いた等方圧密試験と平均主応力一定試験を行なった。供試体の大きさは、複合供試体全体の直径 $d_e = 11$ cm、砂柱の直径 $d_w = 2.2$ cmであり、直径の比は $n = d_e / d_w = 5$ である。また砂を一定 n 間ケキ比($e = 0.47$)で詰めた。



図~2

等方圧密試験における排水条件は、砂柱部上端からのみ排水をゆるした。等方圧密試験終了後、ヒズミ制御法により約0.1%/minの速さで鉛直荷重を加えるとともに平均主応力 $\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{3} = 0$ になるように側圧を逐次変える平均主応力一定試験を行なった。

3.2 室内大型圧密試験 提案した解析法の妥当性を検証するため、圧密リング直径20cmの大型圧密試験装置を用いる、通常の一次元圧密試験を実施した。砂柱の直径2種類、本数で1本と16本とに変化させたが、砂柱の直径 d_c と有効径 d_e の比はいずれも $\eta = d_c/d_e = 5$ の一定に保つようにし、砂の間隙率 $(e=0.47)$ を一定に結めた。

4 実験結果と考察

4.1 解析に用いる応力集中係数 R_c の決定

図~2は、複合供試体の等方圧密試験結果である。圧密荷重 σ_m を等方的に加えているにも関わらず、粘土と砂の変形特性の違いから圧密とともに砂柱部には、非常に大きな応力が集中する。そのため粘土部分に加わる応力 σ_c は、相対的に減少している。等方圧密試験では、 $\Delta\sigma_c = 0$ であるから式(2)は、 $\Delta\sigma_c = \frac{\sigma_c + 2\sigma_3}{3}$ のように表わされる。この場合の応力集中係数 R_c とし、初期有効等価圧密応力 $\bar{\sigma}_m$ および $\Delta\sigma_c$ を用い図~3に R_c と $\frac{\bar{\sigma}_m + \Delta\sigma_c}{\sigma_m}$ の関係を示した。 R_c は $\frac{\bar{\sigma}_m + \Delta\sigma_c}{\sigma_m}$ の対数に比例して増加している。この直線性に着目して実験式(5)が得られる。

$R_c = \alpha \log \frac{\bar{\sigma}_m + \Delta\sigma_c}{\sigma_m} + 1.0$ ---- (5) ここに α は定数である。図~4は複合供試体の平均主応力一定試験の結果である。

等方圧密試験終了後、砂柱に集中していた応力がせん断変形とともに減少している。平均主応力一定試験では、 $\Delta\sigma_m = 0$ であるので式(2)は $\Delta\sigma_c = R_c(\Delta\sigma_c - \Delta\sigma_3)$ であり、この場合の応力集中係数 R_c とし、主応力差増分 $\Delta\sigma_c$ との関係をプロットしたのが図~5である。図~5からせん断変形は、等方圧密中砂柱に集中した応力を緩和する傾向が伺われる。主応力差増分 $\Delta\sigma_c$ がおよそ0.7-0.8%程度以下では、 R_c と $\Delta\sigma_c$ が比例関係にあると考えられるので実験式(6)が得られる。 $R_c = \beta \Delta\sigma_c$ ---- (6) ここに β は定数である。したがって式(5)と式(6)より、一次元圧密中の応力集中係数 R は式(7)のように表わされる。 $R = R_c + R_a = \alpha \log \frac{\bar{\sigma}_m + \Delta\sigma_c}{\sigma_m} + \beta \Delta\sigma_c + 1.0$ ---- (7)

4.2 提案法の検証

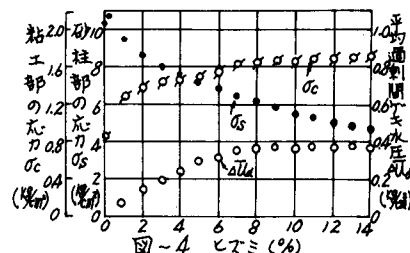
図~6は、室内大型圧密試験結果と提案法によって解析した結果を比較したものである。なお提案法の詳細は、昨年と本年度の土質工学研究発表会で報告するのをごここの省略する。また図~6には比較のため、 $C_v = 0.024 \text{ cm}^2/\text{min}$ 、 $m_b = 0.085 \text{ g/g}$ の値を用いて計算したBarron解を示した。実験結果とBarron解の大きな違いは、圧密速度と二次圧密であろう。このくい違いの主要因は、Barron解が一次元圧密中エに加わる応力の異方性やダイレイタンスの影響を考慮していないことだと思われる。Barron解よりも提案法による解析結果のほうが、圧密速度、ヒズミ量、二次圧密のどれをとっても実験結果とよく一致していると思われる。

【参考文献】 1) 稲田赤石“一次元圧密の一解法” 第11回土質工学研究発表会講演集、昭和51年

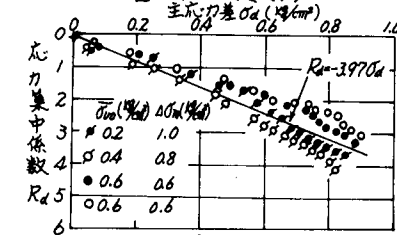
2) 稲田赤石似内“一次元圧密におけるダイレイタンス効果” 第12回土質工学研究発表会講演集、昭和52年

複合供試体の実験条件

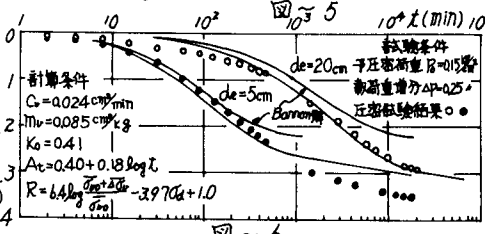
- 等方圧密試験 平均主応力一定試験
- 載荷前ひずみ試験 試験前ひずみ試験
- $\sigma_1 = \sigma_3 = 0.2, 0.4 \text{ MPa}$ $\sigma_1 = \sigma_3 = 1.2 \text{ MPa}$
- 載荷増分 平均主応力
- $\Delta\sigma_1 = \Delta\sigma_3 = \Delta\sigma_m = 0.8, 1.0 \text{ MPa}$ $\sigma_m = \bar{\sigma}_m + \Delta\sigma_m = 1.2 \text{ MPa} = \text{const}$



図~4



図~5



図~6