

III-134 地盤の側方流動について

京都大学防災研究所 正員 柴田 徹
清水 建設 正員 井手達之
京都大学防災研究所 正員 ○ 大塚正紀

1. 研究の目的

粘土地盤上の局部載荷による地盤の沈下は、粘土の圧密による沈下その他に、粘土が側方へ流動することによる沈下も加算される。このような地盤の挙動を解析するためには、粘土の応力-ひずみ関係の非線型性、時間依存性などを考慮に入れた3次元解析が必要であるが、現在このような解析は十分に行なわれていない。本論文は、このような問題を解析する手始めとして、土槽を用いた模型地盤の載荷試験を行ない、地盤内の側方移動量および地盤表面の隆りおよび量に注目して、地盤の挙動を観望すると同時に、この地盤と同じ境界条件と解いた弾性理論解と比較する。さらに弾性理論解によって地盤内の即時沈下を推定するために、三軸圧縮試験の結果を用いて、弾性定数を決定する方法について述べる。

2. 試料および実験方法

実験に用いた試料の物性は、 $LL: 43.8\%$ 、 $PL: 25.4\%$ 、 $PI: 18.4\%$ の練り返し粘土である。実験は図-1に示すような幅150 cm、高さ50 cm、奥行24.5 cmの前面がガラス壁の土槽を用いた。槽内の粘土の挙動は、粘土内に埋めこんだアルミニウム製の標点の変位をガラス壁を通して写真撮影することにより求めた。実験は、表-1に示すように短期載荷（非圧密）試験と長期載荷（圧密）試験を行なった。実験

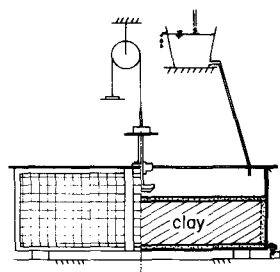


図-1. 土槽

実験	圧密条件	層厚(cm)	載荷幅(cm)	初期含水比
(I)	非圧密	40	30	52.1%
(II)	"	38	30	56.9
(III)	"	25	30	50.7
(IV)	圧密	20	15	50.5

表-1. 模型地盤の載荷条件

(I)～(III)の荷重～沈下～時間曲線を図-2に示す。実験(IV)においては、各荷重段階における載荷期間は約10日間である。また、粘土の強度定数を求めるために、同じ試料を用いて、圧密後非排水状態と定ひずみ三軸圧縮試験（ひずみ速度0.25%/min.）を行なった。

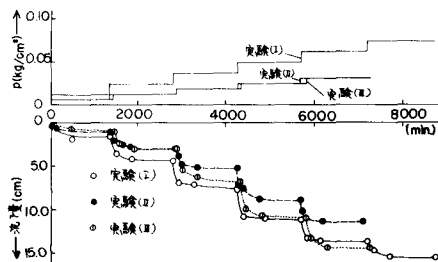


図-2. 荷重～沈下～時間曲線

3. 短期載荷試験における地盤の挙動と弾性理論解

弾性理論による計算に当たっては、図-3に示す

ように、 x, y 座標をとる。

$$y = 0 \text{ じ} \quad u = v = 0$$

$$y = h \text{ じ} \quad \tau_{xy} = 0$$

$$\sigma_y = 0 \quad (|x| > a), \quad \sigma_y = P \quad (|x| \leq a)$$

の境界条件を用い、 x 軸方向には周期 $2l$ のフーリエ級数として解いた。実際の計算に当たっては、ポアソン比 ν を 0.5、弾性定数 E は載荷板中央の沈下

量 δ が実験より求めた値と等しくなるように求めた。土槽実験により得られた地盤内の変位、ひずみを 1 例として実験 (II) の $P = 12 \text{ g/cm}^2, 18 \text{ g/cm}^2$ の場合について図示する。なお、繰り返し状態の試料について同じ含水比で

行なったベーン試験による粘着力 c は、約 8 g/cm^2 であった。これより極限支持力 $q_d \approx q_u = 5.14 c$ とすると P/q_d の値は P が

$12 \text{ g/cm}^2, 18 \text{ g/cm}^2$ の場合、それぞれ $0.29, 0.44$ である。図-4(a), (b) にそれぞれ水平変位、鉛直変位の等変位線を示す。

同時に上述した方法で計算した弾性解を示す。各図中の変位量は

いずれも載荷ゼロの状態を基準とし、各荷重段階の変位を累加して示したものを示してある。これらの図より荷重強度が極限支持力よりかなり小

さい範囲では、土槽中央の表面の沈下量と等しくとれば、地盤内の変位は弾性解とかなり

よい一致を示すことがわかる。さらに、これを詳しく調べるために、地盤内の相対的位置関係を示すひずみ量——特に体積ひずみと最大せん断ひずみ——を比較することは有効である。ここでは載荷期間が短いために、地盤内の体積変化はほとんどないと考え、体積ひずみのみを用いて鉛直ひずみと水平ひずみを用いて比較を行なった。図-5(a), (b) にそれぞれ水平ひずみおよび鉛直ひずみの分布を弾性解とともに示す。これらの図より両者はかなり類似していることがわかる。さらに図-6(a), (b) に最大せん断ひずみの分布を弾性解とともに示す。この図よりわかるように、最大せん断ひずみの分布は若干弾性解と異なった傾向を示している。すなわち、地盤のせん断変形は荷

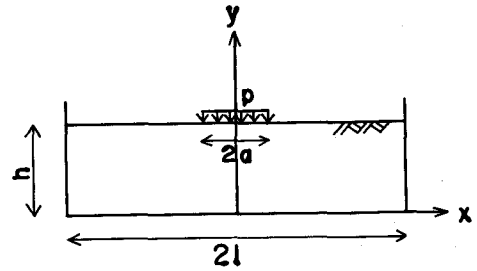
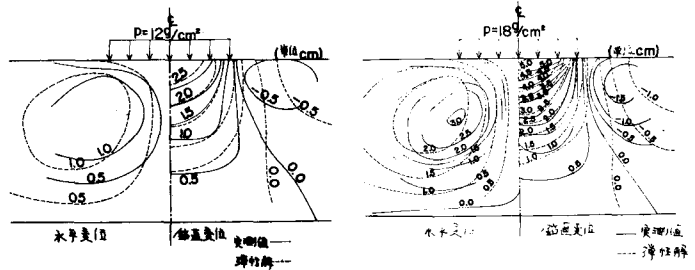
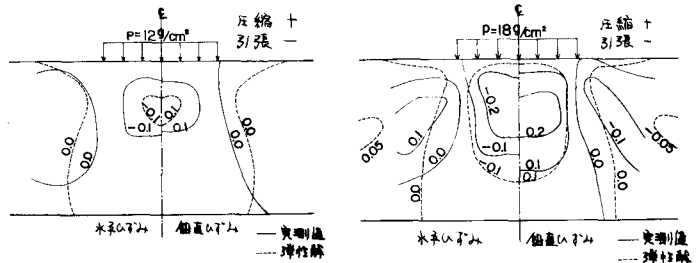


図-3. 弾性理論の計算条件



(a) (b)
図-4. 等変位線 (実験 (II))



(a) (b)
図-5. 等垂直ひずみ線 (実験 (II))

重端を中心とする円弧または対数線に、土槽中央から進行していくことを示すものがあり、荷重強度が軸圧支持力に近づくに従い、塑性状態となり、最終的にはすべり線となり地盤の破壊につながるものと思われる。ここに図-7に実験(I)~(IV)について、地盤中央表面の沈下量 δ_v に対する地盤内の最大水平変位 δ_H および地盤表面の最大盛り上がり量 δ_u の比 δ_H/δ_v , δ_u/δ_v と $P/8a$ との関係と弾性解とともに示す。弾性解においては、 δ_H/δ_v , δ_u/δ_v はアソニビレ、^{せん断} 載荷枚の幅 $2a$, 土槽の幅 $2l$, 地盤の層厚 h に関する、弾性定数 μ , および荷重強度 P には無関係とする。この図より、 δ_H/δ_v は $0.4 \sim 0.6$, δ_u/δ_v は、

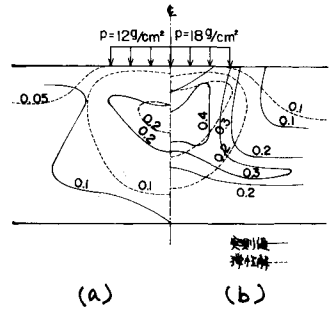


図-6. 等最大せん断ひずみ線 (実験(II))

$0.2 \sim 0.4$ であり、これを弾性解で代表させるもよさうである。以上、模型地盤の挙動と弾性理論と比較したとき、荷重強度が小さい範囲においては、載荷初期の非圧密状態では両者はあまりよく類似していることがわかった。したがって、適当な方法で地盤の弾性定数を決定することにより、載荷枚中央の即時沈下量も弾性理論により推定できれば、載荷初期の地盤の側方移動量や盛り上がり量などの諸量を計算することができるものと思われる。

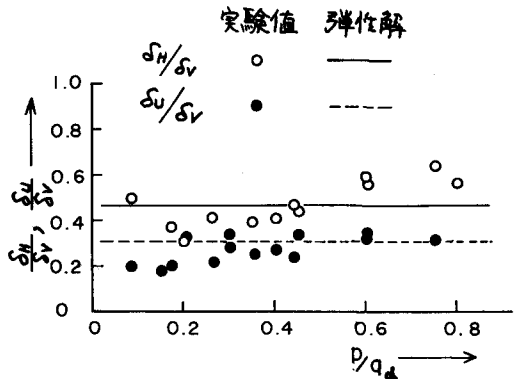


図-7. δ_H/δ_v , $\delta_u/\delta_v \sim P/8a$ 図

4. 長期載荷試験と即時沈下量の推定

前節で粘土の適当な強度試験を行なって弾性定数を決定し、弾性理論から載荷枚の即時沈下量を推定できれば、他の地盤の挙動も計算することができることを述べた。ここでは、三軸圧縮試験の結果を用いた即時沈下量の推定について述べる。正規圧密状態における粘土地盤と弾性体とみなすとき、この弾性定数は圧密圧力により大きく変わるが、実験(I)~(IV)では非圧密載荷になっているので圧密圧力も明確でなく、弾性定数の決定は困難である。そこでこのような困難を取り除くために、実験(IV)ではあらかじめ 100 g/cm^2 の模型地盤を圧密し、一次圧密を終了した後に排水状態で載荷試験を行なった。載荷枚の沈下は、載荷初期における主として地盤の非圧縮的なせん断変形による即時沈下と、その後地盤の圧密およびせん断クリフ現象による経時沈下とに分けることができる。ここでは、即時沈下について述べる。図-8に示すように、

沈下量 ~ 時間曲線の直線部分を原点に向って延長し、 $t=0$ 軸との交点の沈下量を即時沈下量とする。このようにして求めた実験(IV)の各荷重段階における即時沈下量を表-2の(4)欄に示す。同表中の P_0 は載荷前の圧密圧力に、 P は前段階までの荷重強度を加えたものとする。 ΔP は載荷圧の増分であり、沈下量の実験値はこの載荷圧の増

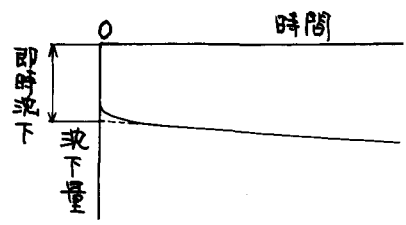


図-8. 沈下量 ~ 時間曲線 (模式図)

分によるものを示した。なお

実験(IV)の第1段階においては、載荷板が地盤に十分に密着しているため、たゞ、ここは省略した。三軸圧縮試験より求めた弾性定数を用い

て、地盤の即時沈下を弾性理

論より計算することは多くの研究者により提案されている

が、弾性定数の決定が困難である。ここには、図-9に示すような三軸圧縮試験の結果から $(\sigma_1 - \sigma_3)/\sigma_c \sim \epsilon_1$ 曲線が直線とみなせる最大ひずみの点 $\epsilon_1 = 0.3\%$ と試料が降伏し始める点とを結ぶ割線弾性定数を用いて計算した結果をそれぞれ、表-2の(5)

、(6)欄に示す。表の(4)欄と(5)、(6)欄を比較することにより、三軸圧縮試験より得られた応力-ひずみ関係

において、 $\epsilon_1 = 2.5\%$ の点、すなわち、試料が降伏し始める点の割線弾性定数を用いると実測値に近い値が得られることがわかる。

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
実験(IV)	σ_c (g/cm^2)	Δp (g/cm^2)	実測値 (cm)	計算値 $\epsilon_1 = 0.3\%$	計算値 $\epsilon_1 = 2.5\%$
第2段階	117	18	0.115	0.007	0.041
・3・	135	35	0.086	0.012	0.069
・4・	170	34	0.068	0.010	0.053

表-2. 長期載荷試験の結果と弾性理論の比較

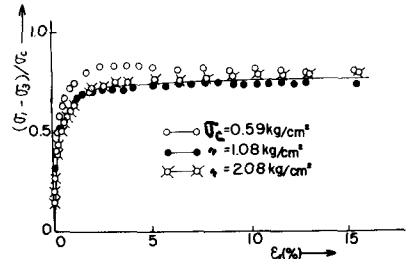


図-9. 応力-ひずみ曲線(三軸試験)

5. あとがき

上に述べたことにより、つぎのことが結論的にいえる。

- 1). 載荷初期の非圧密状態における地盤の挙動は、同様の境界条件と解いた弾性理論解と近似できる。
- 2). 同じ条件のもとにおいて、載荷板の沈下量に対する最大側方移動量および沈下量そのものは、弾性理論の値を、2代表させてよい。
- 3). 即時沈下量を弾性理論で推定する際、今回の実験では、普通のひずみ速度 ($0.25\%/min.$) の三軸圧縮試験の応力-ひずみ関係において、試料が降伏し始める点の割線弾性定数を用いなければならない。本文においては、主として即時沈下に注目して、地盤の挙動および弾性理論との関係について述べたが、今後、地盤の経時的挙動とそれとを裏づける理論的考察を行なうこととなる。