

京都大学大学院

学生員・菅野安男

京都大学防災研究所 正員 松岡 元

地盤や土構造物の変形解析を行なう場合にまず問題となるのは、土の圧密とせん断(ダイレイタンス)を共に評価した一般的土の応力-ひずみ関係を決定することである。ここでは、微視的な観点から誘導される種々の応力条件下の実験データによって検証されているせん断時の応力-ひずみ関係式¹⁾と周知の圧密時の応力-ひずみ関係を重ね合せで構成関係とした。次に、この応力-ひずみ関係も便宜上土の弾性係数(ヤング率 E 、ポアソン比 ν)をパラメータとして表現し、有限要素法によつて一例として帯状等分布荷重を受けた地盤の変形解析を行なった。すなわち、この解析法の特徴は土の応力-ひずみ特性を表現する2個のパラメータ E 、 ν が地盤中の各点の応力状態の変化に応じて、上述の構成関係にもとづき変化することである。

1. 土の応力-ひずみ関係式と係数値

対象としたモデル地盤は平面ひずみ状態にあると考えられているので、平面ひずみ条件下の土の応力-ひずみ関係式として σ_1 、 σ_3 に提案している次式を採用する(詳細は文献2)を参照のこと)。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_1 &\cong f\left(\frac{\sigma_1'}{\sigma_3'}\right) + \frac{\sqrt{\sigma_1'}}{\sqrt{\sigma_1'} + \sqrt{\sigma_2'} + \sqrt{\sigma_3'}} \cdot \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot \log_{10} \frac{\sigma_m'}{\sigma_{mi}'} \\ \epsilon_3 &\cong g\left(\frac{\sigma_1'}{\sigma_3'}\right) + \frac{\sqrt{\sigma_3'}}{\sqrt{\sigma_1'} + \sqrt{\sigma_2'} + \sqrt{\sigma_3'}} \cdot \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot \log_{10} \frac{\sigma_m'}{\sigma_{mi}'} \end{aligned} \right\} \text{---(1)}$$

ここに、 $X \equiv \sqrt{\sigma_1'/\sigma_3'} - \sqrt{\sigma_3'/\sigma_1'}$ として、

$$f\left(\frac{\sigma_1'}{\sigma_3'}\right) = \frac{\gamma_0 \cdot \exp\left(-\frac{\mu}{\mu' - \mu}\right) \cdot \exp\left\{\frac{X}{2(\mu' - \mu)}\right\} \cdot \left\{\frac{X^2}{8} + \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\lambda} - \frac{\mu' - \mu}{2}\right) \cdot X + (\mu' - \mu)^2 - (\mu' - \mu) + \frac{2\mu'}{\lambda} + 1\right\}}$$

$$g\left(\frac{\sigma_1'}{\sigma_3'}\right) = \frac{\gamma_0 \cdot \exp\left(-\frac{\mu}{\mu' - \mu}\right) \cdot \exp\left\{\frac{X}{2(\mu' - \mu)}\right\} \cdot \left\{-\frac{X^2}{8} + \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\lambda} + \frac{\mu' - \mu}{2}\right) \cdot X - (\mu' - \mu)^2 - (\mu' - \mu) + \frac{2\mu'}{\lambda} - 1\right\}}$$

(1)式において、右辺第1項はせん断(ダイレイタンス)によるひずみを、第2項は圧密によるひずみを表わしている。なお、実際の計算では便宜上 $\sigma_2' \cong (\sigma_1' + \sigma_3')/2$ としている。

次に(1)式中の土の係数値としては、通称藤の森粘土と呼んでいる練返し再圧密粘土(LL=44%, PL=26%, $G_s=2.68$)の係数値を用いた。すなわち、 $\lambda=1.3$, $\mu=0.25$, $\mu'=0.40$, $\gamma_0=1\%$ (以上はせん断に関する係数)、圧縮指数 $C_c=0.24$ 、初期間隙比 $e_0=1.00$ 、単位体積重量 $w=1.60 \text{ g/cm}^3$ 、静止土圧係数 $K_0=0.50$ を採用した。これらの係数値は試料とその状態が決まればほぼ一定となるものが多く、その決定は比較的容易である。係数値の決定法の詳細については文献1)を参照されたい。

2. 変形解析の方針

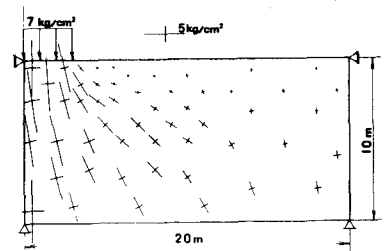


図-1 最大、最小主応力(σ_1' , σ_3')の大きさとその方向

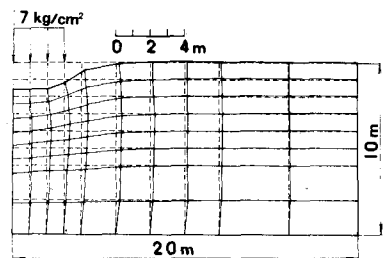


図-2 地盤の変形状態

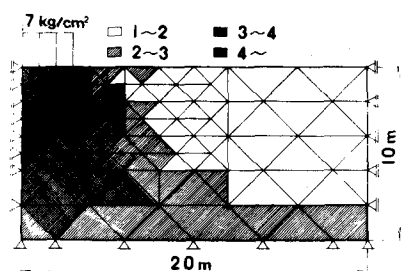


図-3 主応力比(σ_1'/σ_3')の分布

前節で述べた主応力比で支配されるせん断項と平均主応力で支配される圧縮項からなる応力-ひずみ関係式にもとづいて、対象とする地盤の変形解析を行なう。二つの解析方針は、土の応力-ひずみ特性を E , ν 2個のパラメータに押し込んで表現し、この載荷重により場所により変化する E , ν を用いて地盤の応力状態、変形状態を解析するというものである。

さて、等方弾性体の場合には主応力と主ひずみの関係は次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_1 &= \frac{1}{E} \{ \sigma_1' - \nu (\sigma_2' + \sigma_3') \} \\ \epsilon_2 &= \frac{1}{E} \{ \sigma_2' - \nu (\sigma_3' + \sigma_1') \} \\ \epsilon_3 &= \frac{1}{E} \{ \sigma_3' - \nu (\sigma_1' + \sigma_2') \} \end{aligned} \right\} \text{----- (2)}$$

平面ひずみ条件の場合には $\epsilon_2 = 0$ より σ_2' を消去して次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_1 &= \frac{1}{E} \{ (1-\nu^2) \cdot \sigma_1' - \nu(1+\nu) \cdot \sigma_3' \} \\ \epsilon_3 &= \frac{1}{E} \{ -\nu(1+\nu) \cdot \sigma_1' + (1-\nu^2) \cdot \sigma_3' \} \end{aligned} \right\} \text{----- (3)}$$

(3)式より ν と E は次式のように表わされる。

$$\nu = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_3 \cdot \frac{\sigma_1'}{\sigma_3'}}{(\epsilon_1 - \epsilon_3) \cdot (1 + \frac{\sigma_1'}{\sigma_3'})}, \quad \frac{E}{\sigma_3'} = \frac{1}{\epsilon_1} \left\{ (1-\nu^2) \cdot \frac{\sigma_1'}{\sigma_3'} - \nu(1+\nu) \right\} \text{---- (4)}$$

(4)式中の ϵ_1 , ϵ_3 は(1)式によって応力の関数として与えられるので、一般にある応力状態に対応する E , ν は算定できることになる。この E , ν を用いて直接反復法による非線形解析も行なった。

3. 有限要素法による解析結果

図-3 などが示めるように、モデル地盤は深さ10m、半幅20mであり、載荷幅は半幅3mで載荷圧が 7.0 Kg/cm^2 の場合の解析結果を示す。底面は完全固定節点で、両側面は鉛直方向のみ移動の節点とした。図-1は最大、最小主応力の大きさとその方向の計算結果を示している。図-2は地盤の変形状態を示している。図-3は主応力比の分布を示しているが、この値はせん断項に対して重要な意味をもつ。図-4はポアソン比 ν の分布を示しているが、(4)式の才1式がとも考えられるように図-3の主応力比の分布と相関性が見られる。図-5はヤング率 E の小さい部分を濃い色にして示したものである。これでは傾向がはっきりつかめないのど、(4)式の才2式の形より E/σ_3' の分布として図-6に示した。このようにすれば、図-3の主応力比の分布とも相関性が見られるようになる。上記の解析法は、実際の現場より軟弱地盤の側方流動の問題に適用して、現場測定データと良好な一致を示しているが、またの機会に発表する。なお、計算には京大・FACOM 230-75と使用した。

謝辞 本研究に対し暖かい御指導御援助を賜わっている京大・村山教授、柴田教授に謝意を表します。

- 1) 松岡 元：3主応力下の土の応力-ひずみ関係について、京大防災研究所年報、第16号B、1973、pp.711-733.
- 2) 松岡 元：土の応力-ひずみ関係の一般表示について、土木学会第29回年次学術講演会(広島)、才3部、1974.
- 3) 菅野 渡辺・松岡：土の応力-ひずみ関係にもとづいた土構造物の変形解析(才2報)、才9回土質工学研究発表会、⁽¹⁹⁷⁴⁾pp.441-444.
- 4) 松岡・橋本・菅野：土の弾性係数、ポアソン比の一推定法、土木学会第28回年次学術講演会(札幌)、才3部、1973、pp.66-67.
- 5) 菅野・橋本・松岡：土の応力-ひずみ関係にもとづいた土構造物の変形解析(才1報)、才8回土質工学研究発表会、1973、pp.403-406.

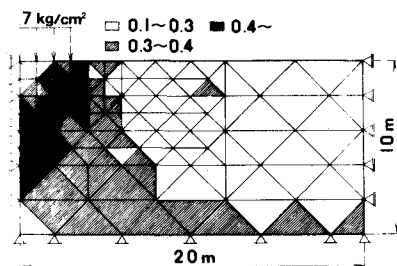


図-4 ポアソン比 ν の分布

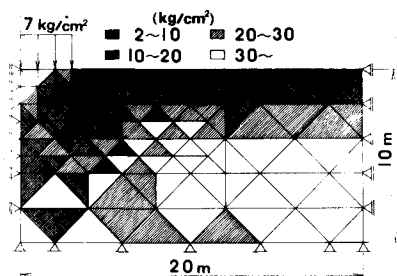


図-5 ヤング率 $E \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$ の分布

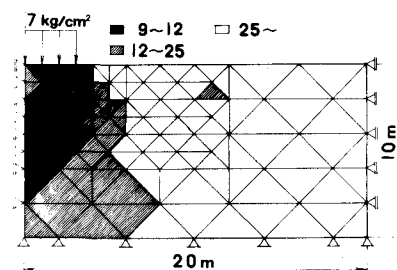


図-6 E/σ_3' の分布