

有限要素法による盛土内の間げき水圧分布解析について

京都大学工学部 正会員 大西 有三
大阪府 正会員 村上 毅
京都大学大学院 学生員○大津 宏康

1. まえがき

実際の現場条件を考える場合、Terzaghiの一次元圧密論のように荷重一定の条件が適用できない場合があることは十分予想されるところである。たとえば、時間とともに層厚が増加していくような粘土層での自重圧密過程を評価しなければならない場合などがその例としてあげられよう。そこで、このような問題の典型的な例として次の2つの場合をとりあげる。

ⅰ しゅんせつなどによる埋立地の圧密

ⅱ 築造中のアースダム内の間げき水圧の発生および消散過程

このような例において共通する特性は、盛土の増加率の不確定性や境界値問題としてとらえた場合の流量境界の時間的変化のために、解析解をえることが一般に困難なことである。今回の発表においては、この種の問題に対して盛土内の間げき水圧分布について有限要素法(F.E.M.)により解析をおこなう。

2. 有限要素法による定式化

支配式は、Biotの圧密式を用いることにより以下のようにあらわす。

$$\begin{cases} \frac{1}{2} C_{ijkl} (w_{i,j} + w_{j,i})_{,j} + F_i = 0 \\ (-\frac{1}{\alpha} k_{ij} u_{j,i})_{,i} + \frac{\partial}{\partial t} (w_{i,i}) - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \end{cases} \quad (2-1)$$

ここにおいて、 C_{ijkl} : 弾性係数テンソル、 k_{ij} : 透水係数テンソル、 w_i : 変位ベクトル、 u : 間げき水圧、 F_i : 物体力、 α : 水の圧縮率である。

式(2-1)において、変位 w_i 、間げき水圧 u を形状関数 N_n を用いて各節点量であらわしさらに定式化に対してはGalerkin法を用いて以下のように表わす。

$$\begin{Bmatrix} [K^*] & [L] \\ [G] & [H]\Delta t + [E] \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta W \\ \bar{u}_t^m \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Delta F \\ \{Q\}_{t,\Delta t} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} [L] \bar{u}_t^m \\ -[E] \bar{u}_t^m \end{Bmatrix} \quad (2-2)$$

ここにおいて、 $[K^*]$ マトリックスは、剛性マトリックスを表わすものであるが、Cam Clay Modelを降伏条件として用い、現在の応力状態をチェックしつつ変化していくものとする。

3. 解析例および考察

まず、一次元圧密問題において盛土の増加率が近似として一定である解析をおこなった。盛土高を $h(t)$ とし、増加率を m とすると、 $h(t) = mt$ と表わす。すでにこのような条件下の問題に対しては、Gibsonによって導かれた理論式および理論解がある。このGibsonの解とここで定式化した有限要素法による弾性解、弾塑性解の比較をFig. 1, Fig. 2に示した。

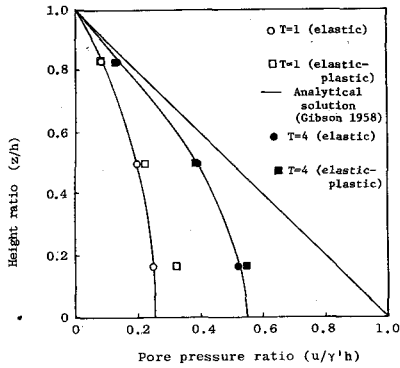


Fig. 1 Pore Pressure Distribution for Deposition on Impermeable Base

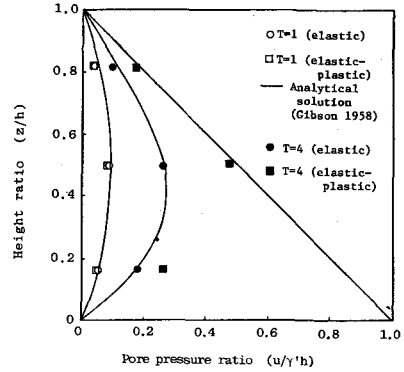


Fig. 2 Pore Pressure Distribution for Deposition on Permeable Base

Fig. 1, Fig. 2 の Gibson の解との比較において、弾性解では十分に一致した値を示していると言えよう。しかし、弾塑性解をえるときには、盛土荷重が作用すれば盛土材料は降伏して $e-zn_0$ 曲線の入曲線上のった状態であると考えられる。このために同じ上載荷重に対して、弾性解に比して弾塑性解の方が大きな間けき水圧が発生するものと思われる。なお材料定数は、体積弾性定数 $B = 2000 \text{ t/m}^2$ 、透水係数 $k = 1.0 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.35$ である。次に一般的なダムの築造モデルについて考える。盛土完成時から自重圧密過程での過剰間けき水圧、水平・鉛直変位を Fig. 3 ~ Fig. 5 に示した。

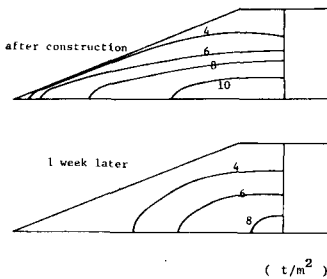


Fig. 3 過剰間けき水圧分布

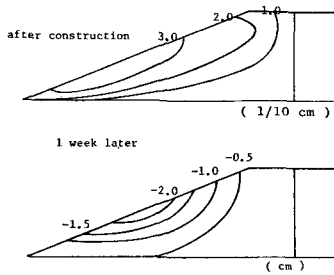


Fig. 4 水平変位

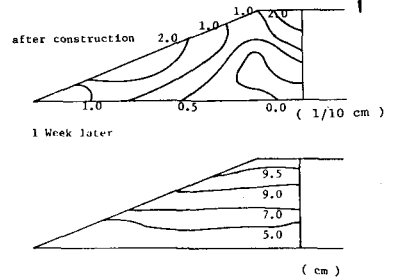


Fig. 5 鉛直変位

過剰間けき水圧が消散していく過程が Fig. 3 に示されている。ただ初期の築造直後に部分的に鉛直方向の有効応力も負になるような過大な間けき水圧が発生している部分がある。次に垂直・水平方向の変位について比較すれば、その変形量において全般的に水平変位が鉛直変位より 1 オーダ小さくあり、実際に全体の変形を考える場合には、鉛直変位が支配的と思われる。また変形は、斜面部の変形がもっとも大きいことから、盛土の施工においては、斜面部のこの配はもちろん、斜面の保護を第一に考えなければならないと考える。なお材料定数は、 $B = 2000 \text{ t/m}^2$ 、 $k = 1.0 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$ 、 $\nu = 0.35$ である。

参考文献

- 1) Gibson, R. E. (1958) ; The Process of Consolidation in a Clay Layer Increasing in Thickness with Time, *Geotechnique*, Vol. 8, pp. 171~173