

## 飽和土の非排水変形解析法

京都大学工学部 正員 大西有三  
徳島大学工学部 正員 O 堀田政国

## 1. まえがき

FEMを利用し飽和土に対して載荷直後の変形解析を行う場合には、通常土を非圧縮性材料とみなし、ポアソン比を0.5に非常に近い値(たとえば  $\nu = 0.4999$ )を用い、また一軸圧縮強度を定める試験から非排水時の弾性定数  $E_{50}$  を得て、弾性解析を実施することが多い。また Biot の圧密論に代表される構造骨格と間げき水よりなる二相系の問題において、圧密の初期値( $t=0$ の時の解)として解が求められることもある。

後者の場合はさておき、前者は弾性論の拡張として考えると理解しやすい。しかし、この場合ポアソン比  $\nu$  の定め方に問題を残しており、特に  $\nu = 0.5$  付近では  $\nu$  の値により解値が大きく変動することが指摘されている。

本論文では、飽和土の非排水変形解析を行う場合の弾性定数( $\nu$ と $E$ )の決定の方法について述べるとともに変形特性と及ぼす境界条件の影響について考察を加える。

## 2. 解析手法

全応力  $\sigma_{ij}$  の釣り合い方程式は、

$$\sigma_{ij,j} = 0 \quad (1)$$

有効応力の原理

$$\sigma_{ij} = \sigma'_{ij} + \delta_{ij} u \quad (2)$$

式(2)を式(1)に代入して、

$$\sigma'_{ij,j} + u_{,i} = 0 \quad (3)$$

次に構造骨格と間げき水のそれぞれに対して構成関係を与える。土の構造骨格は弾性材料であると仮定すれば、

$$\sigma'_{ij} = 2\varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} \quad (4)$$

ここに、 $\lambda, \mu$ : Rame の定数

$E_{ij}$ : 構造全体の歪

また、間げき水は弾性流体であるとして、

$$u = K_w \bar{\varepsilon}_{kk} \quad (5)$$

ここに、 $K_w$ : 水の体積弾性係数

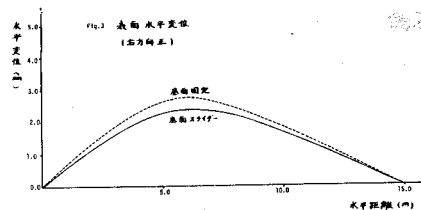
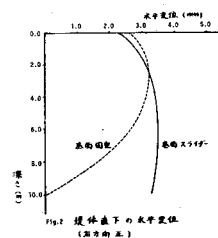
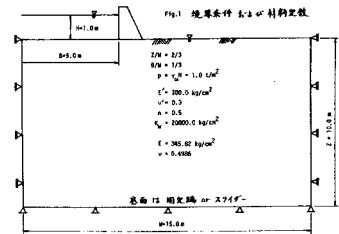
$\bar{\varepsilon}_{kk}$ : 水の体積歪

完全に飽和された材料でありから、土粒子の圧縮性を無視すれば、

$$\bar{\varepsilon}_{kk} = \varepsilon_{kk} / n \quad (6)$$

ここに、 $n$ は土の間げき率である。

式(4),(5),(6)を式(3)に代入し、整理すれば



$$\left(\lambda + \frac{k_w}{n}\right) \varepsilon_{kk,i} + 2\mu \varepsilon_{ij,j} = 0 \quad (7)$$

となる。この式(7)は弾性体の釣り合い方程式において、従来の $\lambda$ を $(\lambda + k_w/n)$ で置き換えた形をしている。すなわち、飽和土の非排水変形挙動は、従来の弾性問題に対するFEMで $\lambda$ を $(\lambda + k_w/n)$ で置き換えた場合の解として与えられるわけである。

したがって、排水時の弾性定数を $(E', \nu')$ とする  
と、非排水時の弾性定数 $(E, \nu)$ は

$$\left. \begin{aligned} E &= \frac{nE' + 3(1-2\nu')k_w}{nE' + 2(1+\nu')(1-2\nu')k_w} \cdot E' \\ \nu &= \frac{n\nu'E' + (1+\nu')(1-2\nu')k_w}{nE' + 2(1+\nu')(1-2\nu')k_w} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

となる。この $(E, \nu)$ を用いて変形解析を行うと非排水時の飽和土の挙動を知ることができる。

### 3. 解析例

Fig. 1に示すような条件をもつ堤体モデルについて式(8)で与えられる $(E, \nu)$ を用いて解析を行った。なお、基盤底面は固定とスライダ-の2通りの解析を行い、その相違を検討した。両者はFig. 2で示すように水平変位に特色があるが、Fig. 3でわかるように表面における水平変位はあまり変わらない。Fig. 4は表面の垂直変位を示したものである。これより、底面がスライダ-の場合固定のものより約40%も大きく変位しているのがわかる。また間げき水圧分布についてもFig. 5とFig. 6を比較すればその相違は明白である。底面がスライダ-の場合間げき水圧分布は応力球張状になるのに対し、固定の場合間げき水圧分布は上下対称のような形を示す。以上の差違は境界条件としての固定の性質を十分に示している。すなわち、変位に対してはFig. 2, Fig. 4に示すような拘束を実施すると、底面付近での有効応力の増加を抑制し、この部分での間げき水圧が増大するという結果になる。

### 4. 結 語

本論文では従来の応力-変形解析プログラムで飽和土の非排水変形解析を行う手法について述べるとともに、境界条件の設定により変形および間げき水圧分布が大きく変わることを指摘した。

終りにあたり、本研究においていろいろ有益な示唆をいただいた京都大学工学部 赤井浩一教授 芳らびに諸先生方へ深く謝意を表わさせて頂きます。

