

有限要素法による軟弱地盤の変形・強度解析(第2報)

鹿児島大学 工学部 正員 香山 元壽
正員 北村 良介
学生員 永吉 修平

1. まえがき

当研究室では、有限要素プログラムの開発をここ数年行ってきた²¹⁾²²⁾。本報告では前報²³⁾と同様の軟弱地盤を対象とし、Cam-Clayモデルの構成式を用い、非排水条件下での地盤の変形・強度解析を行っている。

2. 非排水条件への拡張

Cam-Clayモデルの構成式は次のようになる。

$$d\epsilon_{ij} = \frac{C_s}{6.9 \cdot (1+e)} \cdot \frac{d\sigma_m'}{\sigma_m'} \cdot \delta_{ij} + \frac{dS_{ij}}{2 \cdot G(\sigma_m')} + \frac{C_c - C_s}{2.3 \cdot M^* \cdot (1+e)} \cdot \left[\frac{d\sqrt{2}J_2}{M^* \cdot \sigma_m' - \sqrt{2}J_2} + \frac{d\sigma_m'}{\sigma_m'} \right] \cdot \left[\frac{S_{ij}}{\sqrt{2}J_2} + \frac{M^* - \sqrt{2}J_2/\sigma_m'}{3} \cdot \delta_{ij} \right] \quad (1)$$

ここに、 C_c : 圧縮指数, C_s : 膨潤指数, e : 間隙比
 σ_m' : 平均有効主応力, S_{ij} : 偏差応力, M^* : 強度定数
 J_2 : 偏差応力の2次不変量, δ_{ij} : クロネッカーのデルタ
 $G = \frac{6.9 \cdot (1+e) \cdot (1-V)}{2 \cdot C_s \cdot (1+V)}$: セン断弾性係数
 V : ボアソン比

非排水条件 $d\epsilon_v = 0$ を(1)式に代入すると、平均有効主応力増分 $d\sigma_m'$ は、次式のようにになる。

$$d\sigma_m' = - \frac{(C_c - C_s) / M^* \cdot d\sqrt{2}J_2}{C_s + (C_c - C_s) / M^* \cdot (M^* - \sqrt{2}J_2/\sigma_m')} \quad (2)$$

ここに、 $d\sqrt{2}J_2$: $2 \cdot J_2$ の増分

$d\sigma_m'$: 平均有効主応力増分

したがって、過剰間隙水圧増分 du は、次のようにして求まる。

$$du = d\sigma_m - d\sigma_m' \quad (3)$$

ここに、 $d\sigma_m$: 平均主応力増分(全応力増分)

du : 過剰間隙水圧増分

(1)~(3)式で示された構成関係を、電算機用にプログラム化し、数値実験を行った。図-1はその1例であり、30 kgf/cm²で等方圧縮後、排水、および、非排水条件でせん断した場合の応力-ひずみ関係である。入

力データとしては、 C_c , C_s , M^* , e が必要であるが、これらの数値は表-1に示してある。

3. 解析例

図-2は、解析を行った水平地盤と要素分割を示している。地盤の大きさは、深さ10m、中央からの距離20m、要素数178である。境界条件は、底面固定、両側面で鉛直方向のみ可動とした。(2)(3)式を用い、非排水、平面ひずみ条件を満足する状態で解析を行っている。載荷方法は、まず、半幅20mの地表面全体に2 t/m²の等分布荷重をを加えた(排水条件)後、中央部の半幅1mの範囲に等分布荷重を段階的に増加させた(非排水条件)。各段階での荷重増分は、2 t/m²とした。

表-1に示した入力データ(V , K_0 を除いた値)は、安藤ら²⁴⁾が、周防灘周辺の軟弱シルト質粘土が大部分を占める海底地盤について得たものである。 V , K_0 はそれぞれ0.3, 0.5を仮定した。

図-3,4は、それぞれ載荷荷重 $q = 2$ t/m² と $q = 8$ t/m² での荷重増分 $\Delta q = 2$ t/m² による各節点での変位の大きさと方向を示している。図-5は、 $q = 8$ t/m² での地盤の変形状況を示している。これらの図は、図-2の太線で示した中央部の深さ5m、半幅10mの部分を示している。また、図-5における粗線は、荷重が作用していない元の状態を示している。

図-3より、 $q = 2$ t/m² では、中央部の載荷荷重付近では変位は下へ向っている。しかし、外側の節点は水平方向の変位がまわっている。これは排水の場合とほぼ同様であるが、非排水の場合の方が、変位量は大きい。図-4,5は、破壊の直前である。これらの図より、載荷部分に隣接した部分の節点は、外側へ向き、外側の節点は、中央部へ向っている。中央部より、2mから3mの間で、変位ベクトルがぶつかりあっている。また、 $q = 8$ t/m² では、その地点で隆起している。

図-5より、破壊要素は、 $\gamma = 6 \text{ t/m}^2$ では6個であり、排水条件の場合と比べると、その要素数は少ない。これらより、排水条件では、広い範囲に破壊が及ぶが、非排水条件の場合には、狭い範囲にしか、破壊は及ばないことがわかる。

4. あとがき

非排水条件下でのCam-Clayモデルを用いた地盤の変形・強度解析を行った。実際の粘性土地盤では、過剰間隙水圧の消散による一次圧密、および、土粒子の再配列にともなう二次圧密が生じている。しかし、ここでは、これらの現象が考慮されていない。したがって、今後は、これらの現象をとり入れたプログラムの開発をめざしていきたい。

参考文献

- 1) 北村, 塚本: 土木学会西部支部研究発表会, 1982
- 2) 川原, 北村, 藤尾: 土木学会西部支部研究発表会, 1983
- 3) 那須, 香山, 北村: 土木学会西部支部研究発表会, 1984
- 4) 安原ら: 海洋土質調査に関するシンポジウム, 1982
- 5) 香山, 北村, 那須: 自然災害科学総合シンポジウム, 1984

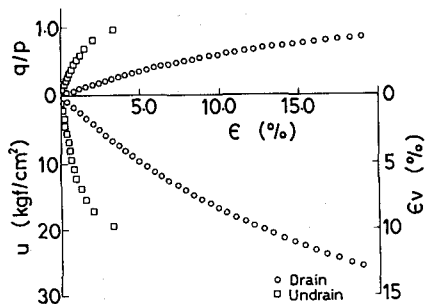


図-1 応力～ひずみ関係

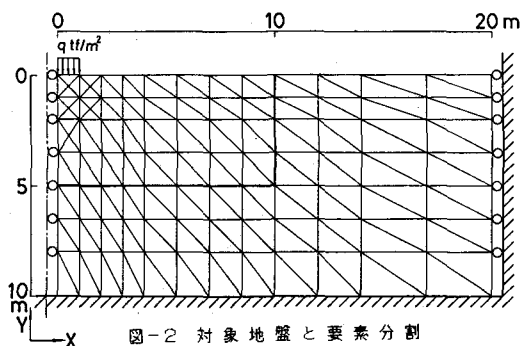


図-2 対象地盤と要素分割

表-1 入力データ

C_c	C_s	M^*	e_0	γ	ν	K_0
0.93	0.092	1.00	2.38	1.60	0.30	0.50

ここに、 C_c :圧縮指数、 C_s :膨潤指数、 M^* :強度定数、 e_0 :初期間隙比、 γ :土の単位体積重量(tf/m^3)、 ν :ポアソン比、 K_0 :静止土圧係数。

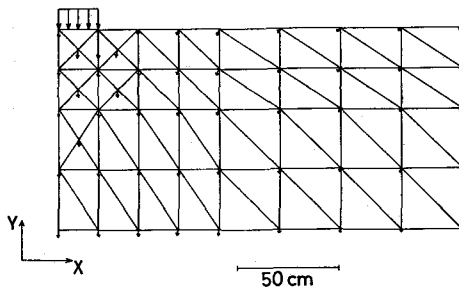


図-3 $q = 2 \text{ tf/m}^2$ での変位ベクトル

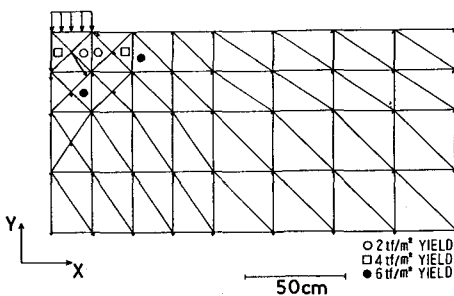


図-4 $q = 6 \text{ tf/m}^2$ での変位ベクトルと破壊状況

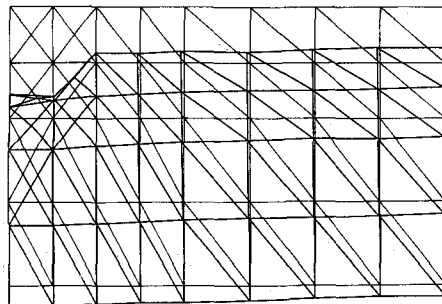


図-5 $q = 6 \text{ tf/m}^2$ での地盤の変形状況