Ⅲ－7

非線形応力－ひずみ関係による飽和土の即時変形の解析

京都大学工学部　正員　○田村　武
白石基礎工事(株)　　　大内正敏

1．はじめに

盛土載荷地盤の圧密解析は，有限要素法の発達にともなって信頼度の高い結果が得られつつある。Christian(1)は，弾性骨格をもつ飽和土の非排水問題を解き，ついでその手法を圧密問題に適用した。本論では，実際の現象により接近した圧密解析を得るための前段階として，粘土地盤の即時沈下の解析を試みる。そのさい Roscoe，太田(2)らの弾塑性構成式を用い，Christian が提案した間げき水圧をも考慮した有限要素法によって数値解析し　地盤内各点における非排水せん断時の応力経路から盛土施工による地盤の安定性を論ずる。さらに非線形弾性モデルとの比較を通して，粘土のダイレタンシーをも考察してみる。

2．数値計算法

土質材料の平衡方程式は全応力で成立しており全応力は有効応力$\{\sigma\}$と間げき水圧wとの和である。ゆえに平衡方程式と同値な仮想仕事の原理を用いて，有限要素法における平衡方程式を導くと式(1)となる。$[C]$は$\theta=\varepsilon_x+\varepsilon_y+\varepsilon_z$と$\{\varepsilon\}=[B]\{\delta\}$とから求まるマトリックスであり，$\theta=[C]^T\{\delta\}$である。$[C]$に要素の面積をかけたマトリックス$[C']$と　剛性マトリックス$[k]$を用い，さらに体積ひずみの拘束条件を加えると　式(2)の方程式が得られる。式(2)は　未知数の数と式の数が同じだから，変位と間げき水圧とが，ある境界条件のもとで解けば　同時に求まる。即時沈下解析のような場合，三角形要素を単位として全体剛性マトリックスをつくると節点変位の自由度が変形拘束条件により著しく減少し不自然な結果が生じる。それゆえ本論は単純にふたつの三角形要素の剛性および拘束条件を加え新たに長方形要素を単位とした。

(1) $$\{f\}=\int_S\left([B]^T[D][B]\right)\{\delta\}dS+\int_S[C]w\,dS$$

(2) $$\begin{pmatrix}\{f\}\\ 0\end{pmatrix}=\left(\begin{array}{c|c}[k] & [C']\\ \hline [C']^T & 0\end{array}\right)\begin{pmatrix}\{\delta\}\\ w\end{pmatrix}$$

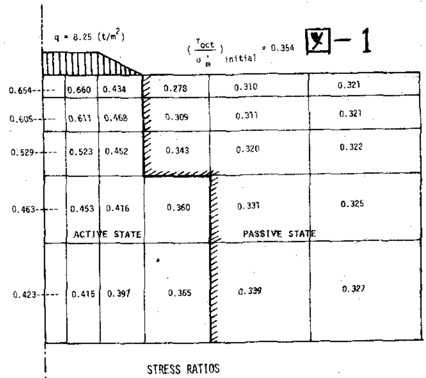
(3) $$e-e_0+\lambda\ln\frac{\sigma'_m}{\sigma'_{m0}}\pm(1+e_0)\mu\left(\frac{\tau_{oct}}{\sigma'_m}-K\right)=0$$

(4) $$\{d\sigma\}=\left\{[D^E]-[D^E]\frac{\left\{\frac{\partial f}{\partial\sigma}\right\}[D^E]\left\{\frac{\partial f}{\partial\sigma}\right\}}{\left\{\frac{\partial f}{\partial\sigma}\right\}[D^E]\left\{\frac{\partial f}{\partial\sigma}\right\}-\left\{\frac{\partial f}{\partial L}\right\}\left\{\frac{\partial L}{\partial\varepsilon^P}\right\}\left\{\frac{\partial f}{\partial\sigma}\right\}}\right\}\{d\varepsilon\}$$
$$=[D^{EP}]\{d\varepsilon\}$$

$[D^E]$　：弾性マトリックス
$[D^{EP}]$　：弾塑性マトリックス
f　：降伏関数
L　：硬化パラメータ

$$K_0=\frac{\tau_{oct,0}}{\sigma'_{m,0}}$$

複号 { ＋　主働状態 / －　受働状態



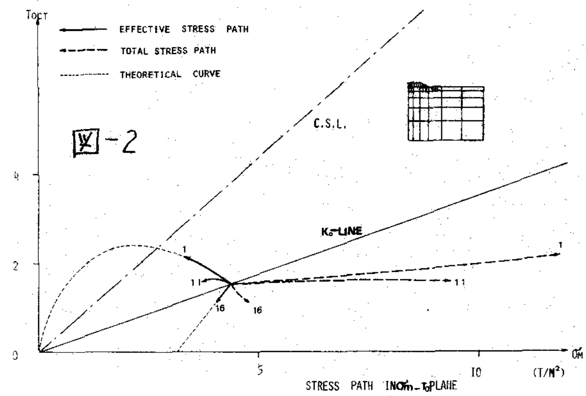
図－1

3. 応力ーひずみ関係

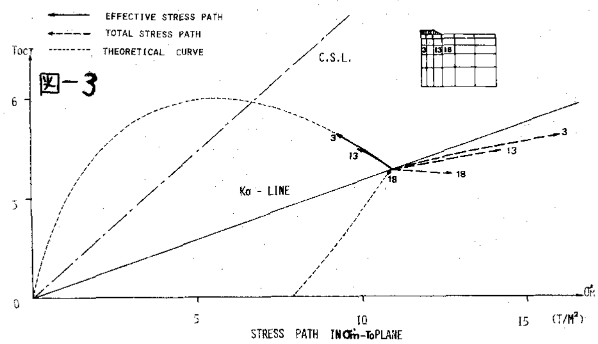
本論で用いる構成式は 異方圧密粘土に対する太田の弾塑性論によるものである。異方圧密された正規圧密粘土の間げき比eは 圧密による成分，ダイレタンシーによる成分とに分けられ式(3)のように表現できる。膨潤曲線上あるいはelastic wall内での弾性を仮定し ポアソン比$\nu=1/3$として 弾性的な応力ーひずみ関係を求めておき，硬化則とnormality ruleを適用すると，式(4)のような弾塑性応力ーひずみ関係が求まる。

4. 計算結果と考察

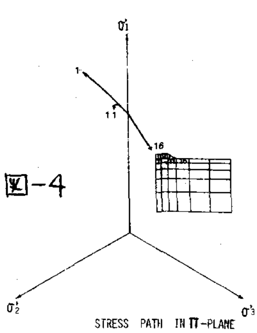
解析すべき領域を図ー1に示すように分割し 荷重は台形荷重とする。図ー1には主働・受働領域の境界および応力比分布が記されている。図ー2，図ー3は $\sigma'_m-\tau_{oct}$ 面での応力径路を表わしているが，ほぼ理論解に等しい解析解が得られた。要素11の有効応力径路が 理論解を離れていくのは，要素11が基礎地盤の主働・受働領域の境界付近の要素で 不安定な状態にあるため生じた 計算誤差と思われる。全応力径路は 非線形弾性モデルと比較して その勾配が小さいが ダイレタンシーの影響と思われる。図ー4，図ー5は π−平面での応力径路を表わしている。平面ひずみ問題の非線形弾性モデルでは $\sigma'_2(=\sigma_2)$ が一定であることから S_2軸と30°をなして直線的に応力径路がはしる。一方 弾塑性モデルでの応力径路は，主働領域のとき 45°位で上昇し，受働領域のとき 35°位で下降する。この差異は ダイレタンシーが原因している。



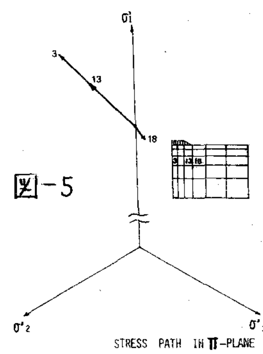
図−2



図−3



図−4



図−5

○ 参考文献

(1) Christian J. T. et. al "Plane Strain Consolidation by Finite Element" Proc. ASCE. SM4, pp1435～1457 1970

(2) Ohta H. "Analysis of Deformation of Soils based on the Theory of Plasticity and its Application to Settlement of Embankment" 1971 (京都大学学位論文)