

福井大学大学院 学生員 小嶋 啓介

福井大学工学部 正会員 荒井 克彦

福井大学大学院 学生員 田行 啓一

京都大学工学部 正会員 太田 秀樹

1. まえがき：室内土質試験や現位置試験によって、工事着手前に物性定数を正しく推定する方法には限界があるので、工事施工を進めながら、地盤や構造物の変位や応力を観測し、そのデータから逆に地盤物性定数を推定する観測施工（現場計測工法）が広く行なわれつつある。著者らは先に、地盤を弾性体とみた場合に、変位の観測値から物性定数を推定する手法を提案した¹⁾。しかし、実際の地盤では、変形が圧密現象に支配される場合が少なくないので、ここでは多次元圧密が生じる弾性地盤を対象として、FEMと数理計画法に基づいて、地盤物性定数を合理的に推定する方法を検討する。

2. 問題の定式化：多次元圧密の数値解析手法として、安定性・計算効率などからみて優れている、Christian系統の赤井、田村の手法²⁾を用いる。式(1)

$$\begin{bmatrix} K & C \\ C^T & W \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta U \\ \Delta P \end{Bmatrix}_{t+\Delta t} = \begin{Bmatrix} \Delta F \\ W P \end{Bmatrix}_{t+\Delta t} \quad (1) \quad \text{ここで、} K: \text{要素剛性マトリックス、} C: \text{要素内の間隙水}$$

圧を節点力に変換するベクトル。W: 要素内の間隙水圧の、要素間の移動を表すマトリックス。ΔU: 節点変位の増分。ΔP: 要素間隙水

圧の増分。ΔF: 節点荷重の増分ベクトルである。推定すべき物性定数は、弾性係数E、ポアソン比ν、及び透水係数kである。（とりあえず透水係数は等方的であるとしておく）そこで問題を次のように定式化する。

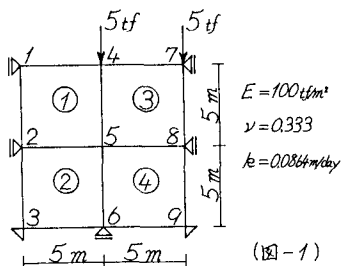
$$J = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\Delta U_{ij} - \bar{\Delta U}_{ij})^2 + \sum_{k=1}^N (\Delta P_k - \bar{\Delta P}_k)^2 \longrightarrow \text{minimum} \quad (2) \quad \text{こ$$

で、 ΔU_{ij} : 時刻i 節点jでの観測変位増分。 $\bar{\Delta U}_{ij}$: ΔU_{ij} に対応する計算変位増分。 ΔP_k : 時刻i 要素kでの観測間隙水圧増分。 $\bar{\Delta P}_k$: ΔP_k に対応する計算間隙水圧増分。Nt: 観測時刻の個数。N: 変位の観測点数。M: 間隙水圧の観測点数である。上式Jを最小とするように、E, ν, kを決定すれば、最も妥当な物性定数が得られるはずである。式(2)は高次の非線形性のため、解析的には解けないので、数理計画法の共役勾配法による収束計算を行う²⁾。収束計算に必要な勾配は次式で与えられる。

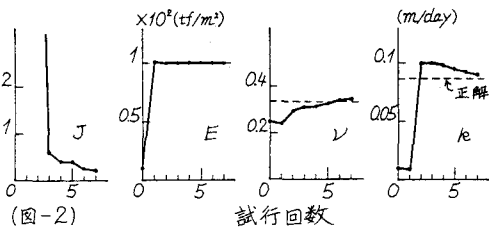
$$\frac{\partial J}{\partial x} = 2 \sum_{i=1}^{N_t} \sum_{j=1}^M (\Delta U_{ij} - \bar{\Delta U}_{ij}) (-1) \frac{\partial \bar{\Delta U}_{ij}}{\partial x} + 2 \sum_{k=1}^N (\Delta P_k - \bar{\Delta P}_k) (-1) \frac{\partial \bar{\Delta P}_k}{\partial x} \quad (3) \quad x = (E, \nu, k) \quad \text{上式で} \frac{\partial \bar{\Delta U}_{ij}}{\partial x}, \frac{\partial \bar{\Delta P}_k}{\partial x} \text{は次のように表$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \begin{Bmatrix} \Delta U \\ \Delta P \end{Bmatrix} = \frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} K & C \\ C^T & W \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta F \\ W P \end{Bmatrix}_{t+\Delta t} + \begin{bmatrix} K & C \\ C^T & W \end{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \begin{Bmatrix} \Delta F \\ W P \end{Bmatrix}_{t+\Delta t} \quad (5)$$

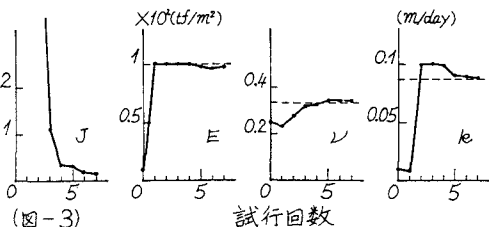
3. 適用例（平面ひずみ状態）：以下の例では、ある仮定した物性定数を用いて、FEMによる圧密計算を行い、得られた計算値を観測値としたモデルを考える。このモデルについて、本報の手法で物性定数を推定し、仮定した値と比較して、本報の手法の妥当性を検討する。モデル1：図-1に示す4要素モデル（排水端は上面のみ）とし、観測時刻は瞬時載荷後1日、5日、9日、17日、25日とする。（例1）観測変位： $\Delta U_1, \Delta U_2, \Delta U_3, \Delta U_4$ (Uは



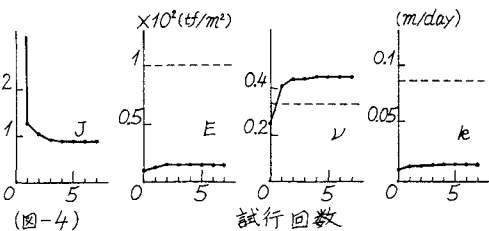
(図-1)



(図-2)



(図-3)



(図-4)

水平。Vは鉛直方向変位を表わす) 観測間隙水圧: $\Delta P_1, \Delta P_3$ を与えた場合。→図-2。(例2) 例1と同じ変位だけを与えた場合。→図-3。(例3) 例1と同じ間隙水圧だけを与えた場合。→図-4。モデル2: 図-5に示す20要素モデル。(排水端は上面

のみ)で、観測時刻は瞬時載荷後、

10日、20日、30日とする。(例4)

観測変位: $\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta V_3, \Delta V_4, \Delta U_{16}, \Delta V_{16}$

$\Delta U_{17}, \Delta V_{17}, \Delta U_{18}, \Delta V_{18}, \Delta U_{19}, \Delta V_{19}, \Delta U_{21}, \Delta V_{21},$

観測間隙水圧: $\Delta P_1, \Delta P_3, \Delta P_9, \Delta P_{13}$ を

与えた場合。→図-6。(例5) 例

4と同じ間隙水圧だけを与えた場合。

→図-7。(例6) 観測変位: $\Delta V_1,$

$\Delta U_{16}, \Delta V_{16}, \Delta U_{21}, \Delta V_{21}$ だけを与えた場合。→図-8。(例7)

例4と同じで、透水係数に異方性をとり入れた場合。→

図-9。(例8) 例4と同じで、2層地盤とした場合。

→図-10。

4. あとがき: 例1~8の結果から、一応以下のようなことがいえる。(1)均一地盤で透水性に異方性を考えない

ときには、観測変位を与えるかぎり、良好な推定値が得られる。(2)観測間隙水圧だけを与えたときには、

物性定数の推定が困難である。(3)透水係数に異方性を考えた場合には、 E, ν は推定できるが、 k を一義的に決定

することが困難である。(4)多層地盤の場合には、一層地盤に比べて推定の精度が悪くなる。(5)観測点は多いほど

収束が速い。以上のようなことに注意すれば、本報の手法を実際問題に適用できる見通しが得られた。今後は、

時間ステップ幅を等しくして、逆行列計算を省略するなどして計算量を短縮し、また適用範囲を広げて、実際問題への応用を検討する方針である。なお数値解析には、

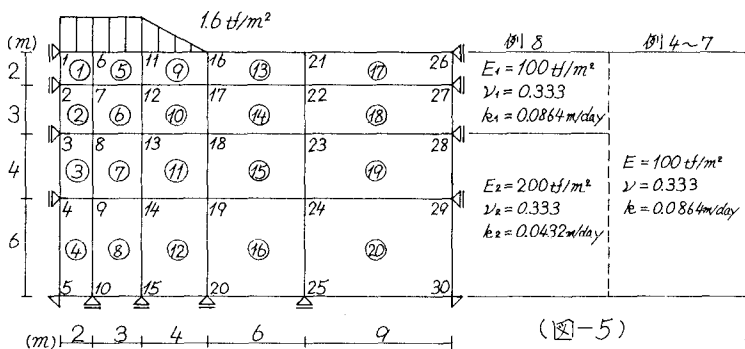
京都大学、名古屋大学大型計算機セン

ーを利用した。参考文献: 1)荒井・大田安井。(1983)土質工学会論文報告集, 761,

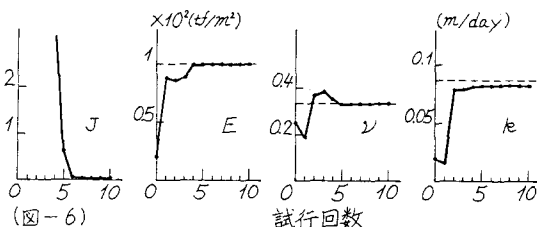
23-1, PP 107~113.

2)プロセスシステム 高松編 日刊工業(1972), 3)赤井・田村(1974)土質工学会論文報告集,

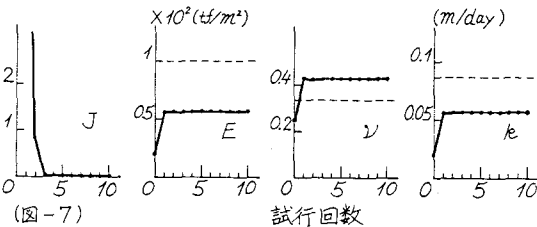
No. 269



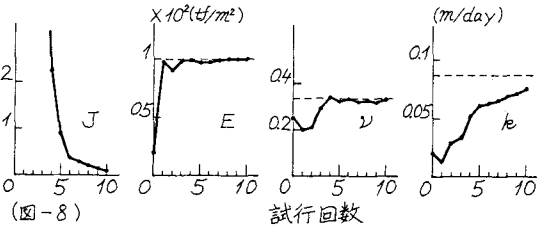
(図-5)



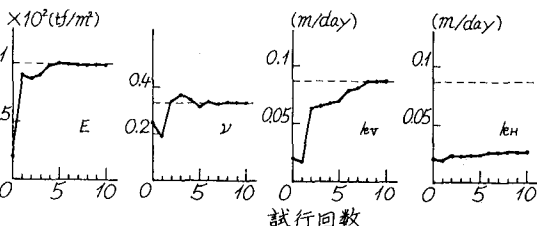
(図-6)



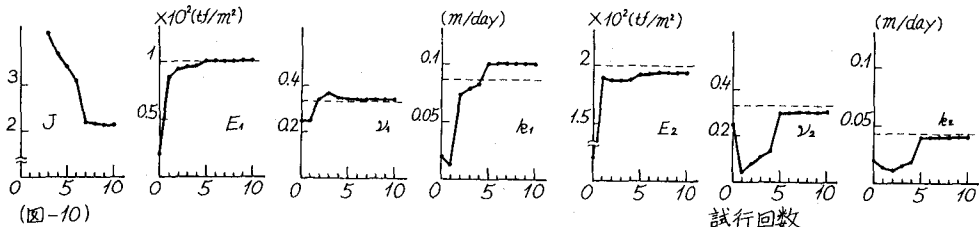
(図-7)



(図-8)



(図-9)



(図-10)