

前田建設工業(株) 正会員 安井龍雄
 福井大学工学部 " 荒井克彦
 京都大学工学部 " 太田秀樹

1. まづ成すに地盤の応力変形解析を行う際、最も大きな問題となるのは、たとえ地盤を弾性体とみる場合、弾性係数やポアソン比といった物性定数を推定することである。室内土質試験や現位置試験の結果から、工事着手前に地盤物性定数を正しく推定することには限界がある。このため、工事施工を進めながら、地盤や構造物の変位・応力などを観測し、この観測データから地盤物性定数を推定し、この結果に基づいて施工を進めるという、いわゆる観測施工(現場計測工法)が広く行なわれている。観測施工においてFEMを利用する場合は、節点変位や要素応力の観測値から地盤物性定数を逆算しなすかは行なう。本報では地盤を弾性体とみる場合、FEMと数値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. 問題の定式化と数値解析: 地盤の弾性係数 E 、ポアソン比 ν が未知であり、 N_d 個の変位と N_s 個の応力が観測されているとする。仮定した E, ν の値に対してFEMより節点変位 u 、要素応力の近似式で計算される。 $u = K^{-1} \cdot F \dots (1)$, $\sigma = D \cdot B \cdot u \dots (2)$

ここで、 K : 全体剛性マトリックス、 F : 節点外力、 D : 応力変位マトリックス、 B : 節点変位から変位を計算するマトリックスである。最小二乗法を有考之とすると、 E, ν は次式で決められるはずである。

$$J = \sum_{i=1}^{N_d} (u_i - u_i^*)^2 + \sum_{j=1}^{N_s} (\sigma_j - \sigma_j^*)^2 \rightarrow \text{minimum} \quad (3)$$

ここで u_i^*, σ_j^* は変位、応力の観測値である。ただし E, ν は次式を満足する必要がある。

$$E > 0, 0 < \nu < 0.5 \quad (4)$$

式(3)、(4)で定式化(最適化問題)は式(3)の高次元非線形性のため解析的に解けず、一般に数値法による収束計算を行なう。収束計算に必要な各既知式で与えられる。

$$\frac{\partial J}{\partial E} = 2 \sum_{i=1}^{N_d} \{ (u_i - u_i^*) \left(\frac{\partial u_i}{\partial E} \right) \} + 2 \sum_{j=1}^{N_s} \{ (\sigma_j - \sigma_j^*) \left(\frac{\partial \sigma_j}{\partial E} \right) \} + \frac{\partial J}{\partial \nu} = 2 \sum_{i=1}^{N_d} \{ (u_i - u_i^*) \left(\frac{\partial u_i}{\partial \nu} \right) \} + 2 \sum_{j=1}^{N_s} \{ (\sigma_j - \sigma_j^*) \left(\frac{\partial \sigma_j}{\partial \nu} \right) \} \quad (5)$$

ここで(5)にベクトルの内積要素を

表す。上式中の $\frac{\partial \sigma_j}{\partial E}$ は $\frac{\partial \sigma_j}{\partial E}$ の値を合わせて与えられる。ここで K は要素剛性マトリックスである。

3. 適用例(すべて平面すずみ状態) 例1(図-1) 定すずみ三角形要素とする。図-1中の弾性定数に対する変位・応力の計算値を表-1, 2に示す。表-1中の u_2, u_3 は観測されたとして、 E, ν を求める問題を考える。この場合の $\frac{\partial K}{\partial E}$ は

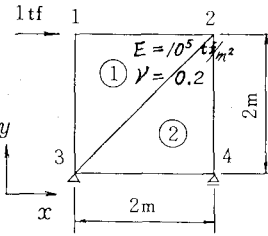


図-1 例1.2のモデル

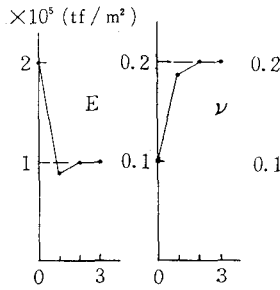


図-2 例1の収束状況

表-1 FEMによる計算変位(mm)

節点	水平変位 u_i	鉛直変位 v_i
1	0.000098	0.000012
2	0.000036	-0.000012
3	0.0	0.0
4	0.000012	0.0

表-2 FEMによる計算応力(tf/m^2)

要素	直応力		せん断応力
	σ_x	σ_y	τ_{xy}
1	-0.5	0.5	0.5
2	0.5	-0.5	0.5

× 10^5 (tf/m^2) + 図添

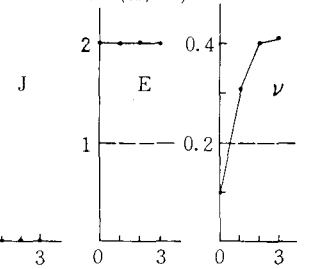


図-3 例2の収束状況

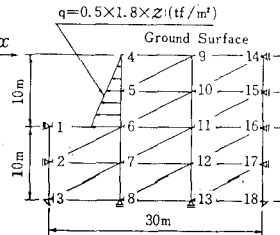


図-4 例3, 5, 6のモデル

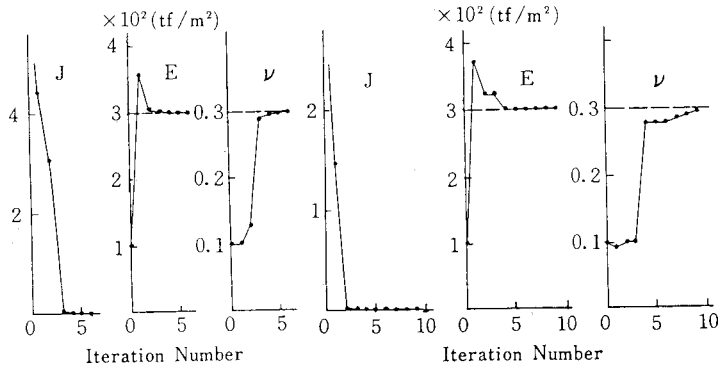


図-5 例3-ケース1

$$\partial K^0 / \partial E = \Delta \cdot B^T \cdot \partial D / \partial E \cdot B \quad \dots (6)$$

$$\partial D / \partial E = \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \end{bmatrix}$$

Δ: 三角形要素の面積である。図-2に収束計算結果を示す。例2(図-1)

表-2中の要素, zの O_x, O_y の α が観測されたとして,

未知の E, ν を求めた結果を図-3に示す。Boussinesq 関

題の鉛直応力が E, ν に独立な例のように,

K, 応力は E, ν に支配的に影響されるものではないため, 観測応力から弾性定数を逆算することは困難のようである。

例3(図-4)[ケース1] 観測変位: $u_4, u_5, u_6, u_9, v_1, v_4, v_5, v_6, v_9, v_{14}$ 。結果: 図-5。[ケース2] 観測変位: u_4, u_5, u_6 。結果: 図-6

例4(図-7)[ケース1] 観測変位: $u_4, u_5, u_6, v_4, v_5, v_6$ 。結果: 図-8。[ケース2] 観測変位: u_4, u_5, v_1, v_{14} 。結果: 図-9。

剛性の高い構造物を含む場合には, 観測変位を与える位置に注

意する必要がある。例5(図-4) 観測変位: 例3-ケース1と同じ。結果: 図-10。例6(図-4) 観測変位: 例3-ケース1と同じ。結果: 図-11。

第3層の E, ν を厳密に推定するには, 観測変位がやや不足しているようである。

4. おとがま: 例1~例6の結果から明らかに, 1/2の誤りに注意すれば本報の手法は実際の地盤の物性定数推定に利用しうる見通しが得られた。

数値解析に必要となる量は主として土質の高ノ手法である。今後, 実際問題への適用を検討したい。

数値解析には京府大学, 名古屋大学大学院工学部センターを利用した。参考文献: 1) 井井・錦見・木田, 第16回土質工学研究会, pp. 809 (1980) 2) 高松編: プロセスシステム, 日刊工業 (1972)

図-6 例3-ケース2

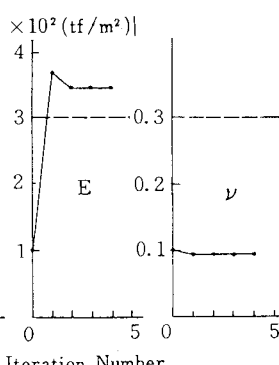


図-8 例4-ケース1

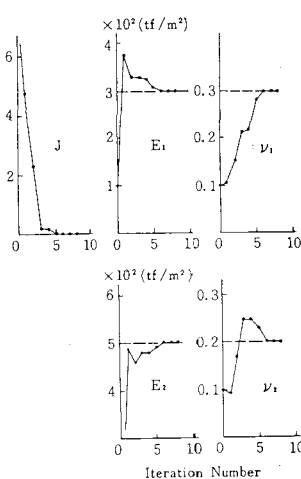


図-10 例5

図-7 例4のモデル

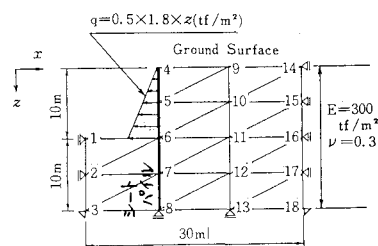


図-9 例4-ケース2

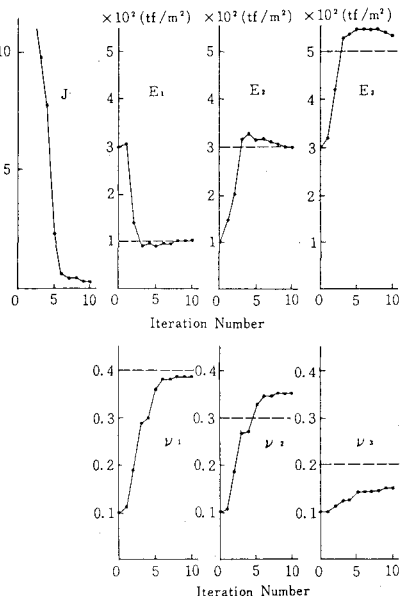


図-11 例6