

III-44

パソコンによるBiot型圧密解析プログラムの開発

佐賀大学 正員 荒牧 暉 治

佐賀大学 正員 古賀 勝 喜

佐賀大学 学生員 〇高 瀬 広 之

1. まえがき

現在、土の力学的性状をより忠実に表現し得る構成式の設定の努力が、数多くの研究者によってなされている。圧密解析においても、土の変形の非可逆性、クリープ特性、ダイレタンシー効果等を考慮した構成式が用いられ、成果をあげつつある。しかし、どのように忠実な構成式を用いても、実際問題解析を行う際は、土の物性値の設定、使用する要素の選定、メッシュの切り方、時間さだめの選定等数多くの問題が残る。現在最も必要なことは、実際現象を数多く解き、それ等の問題点を1つ1つ解決する努力である。

過去、Verruit や Gaboussi等によって優れた有限要素法圧密解析プログラムが公表されている。しかしそれはいづれも大型コンピューターを用いたものであり、現場の技術者が手軽に自分達の直面する問題を解析するものにはなっていない。現場の技術者が手軽に使えるプログラムを開発することは、圧密解析の精度向上に大きな助けとなるであろう。そこで我々は最近急速に広まりつつあるマイクロコンピューターを用いた2次元線型(Biot型)圧密解析プログラムの開発を行なった。

2. Biot型圧密理論の有限要素法定式化

2-1 浸透・弾性の基礎方程式

1) ダルシー則

$$g_i = \frac{k}{\gamma_w} \nabla u_i \quad (1)$$

 g_i : i 方向流速, ∇ : 間隙水圧 k : 透水係数, γ_w : 水の単位体積重量

2) 流体の保存則

$$\dot{\epsilon}_u = n\beta \dot{V} - g_{i,i} \quad (2)$$

 ϵ_u : 体積ひずみ, n : 空隙率 β : 水の体積圧縮率

3) 弾性体のフリ合式

$$\sigma_{ij,j} = 0 \quad (3)$$

 σ_{ij} : 全応力

4) 変位-ひずみ関係式

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

 ϵ_{ij} : ひずみ, u_i : i 方向変位

5) フックの法則

$$\sigma'_{ij} = \lambda \delta_{ij} \epsilon_{kk} + 2\mu \epsilon_{ij} \quad (5)$$

 σ'_{ij} : 有効応力, δ_{ij} : クロネッカーのデルタ

6) Terzaghiの有効応力

$$\sigma_{ij} = \sigma'_{ij} + \nu \delta_{ij} \quad (6)$$

2-2 重み付残差式

ガラキン法を用いた重み付き残差式より次式を得る。

$$-\int_{\Omega} \sigma_{ij} \delta \epsilon_{ij}^* d\Omega - \int_{\Omega} \rho_w g_i \delta g_i^* d\Omega + \int_{\Omega} \frac{k}{g} (1+n\beta K) \frac{\partial \epsilon_{kk}}{\partial t} \delta V^* d\Omega + \int_{\Gamma_p} \bar{p}_i \delta u_i^* d\Gamma + \int_{\Gamma_g} \frac{k}{g} \bar{g} \delta V^* d\Gamma = 0 \quad (7)$$

領域を要素に分割し、変位と水圧に対して形状関数を用いて内挿する。

$$u = N u_e \quad V = M V_e \quad (8)$$

ひずみ、応力、流速は次式で与えられる。

$$\epsilon = B_e^T u_e \quad \sigma = D \epsilon \quad g = C_e V_e \quad (9)$$

式(7)は連立方程式となる。ただし物体力、流速を与える境界は無視する。

$$\begin{bmatrix} K_e & G_e \\ G_e^T & -\frac{\Delta t g H_e}{k(1+n\beta K)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_e \\ V_e \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_p \\ G_e^T u_e^{t+\Delta t} \end{Bmatrix} \quad (10)$$

$$K_e = \int_{\Omega} B_e^T D_e B_e d\Omega, \quad G_e = \int_{\Omega} B_e^T h M_e d\Omega$$

$$H_e = \rho_w \int_{\Omega} C_e^T C_e d\Omega, \quad Q_p = \int_{\Gamma_p} N^T \bar{p}_i d\Gamma \quad (11)$$

3. プログラム開発の要点

- 1) 物性値の変化、境界の複雑さに対応しやすい有限要素法を用いる。
- 2) 使用する有限要素として三角形線形要素、アイソパラメトリック4点、8点要素を準備する。
- 3) 領域の節約、計算時間の短縮を考慮して、剛性マトリックスは長方形バンドマトリックスに格納する。
- 4) ピボット・サーチも長方形バンドマトリックスの中だけで行なえるようにし、記憶領域の増大を避ける工夫をした。
- 5) ディスクファイルを使用することにより、剛性マトリックスの計算は1度だけで済むようにした。
- 6) 載荷は時間とともに増大する荷重が取り扱えるようにした。
- 7) 時間きざみは任意に行なえるものとし、そのことによる剛性マトリックス変更の計算もできるだけ少なくなるようにした。
- 8) 平面ひずみ問題、軸対称問題のいずれかを選択できる。
- 9) プログラムによる記憶領域の占有を避けるため、プログラムを分割し、CHAIN文で結合した。

4. プログラムの流れ

図-1にプログラムの流れ図を示す。CONPRO-1〜8はそれぞれ独立のプログラムでありCHAIN文で結合される。STIFCONで作製された剛性マトリックス、FORCECONで作製された外カベクトルはファイルに格納され、各時間ステップごとに呼び出される。時間きざみ Δt を変更する場合はCHANGEで変更される。CALGUで σ_{ul}^{tot} の計算を行ない右辺ベクトルに加える。

5. 数値解析例

最も簡単な例として、図-2のモデルを用いた頭部排水の1次元圧密解析結果を示す。ここでは変位についてはアイソパラメトリック8点要素を、間隙水圧に対しては4点要素を用いている。

図-3は頭部の変位-時間曲線を示す。時間とともに減少する圧密現象個有の現象が表われているが、定量的には必ずしも正確とはいえない。現在、時間きざみ-空間きざみの関係を検討中である。

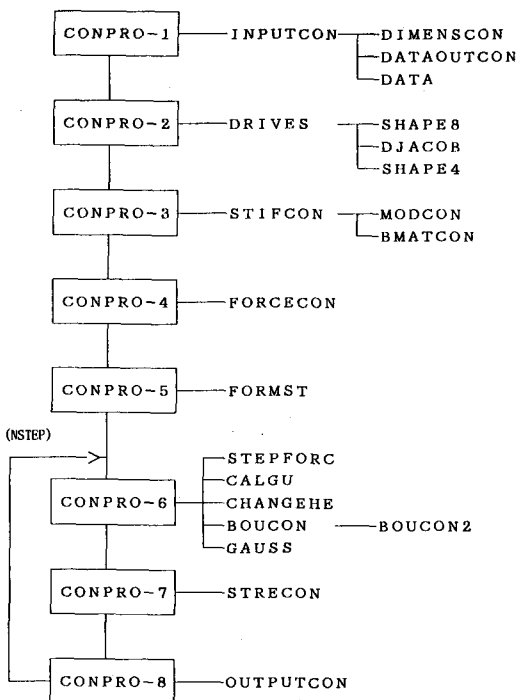


Fig-1 Flow Chart

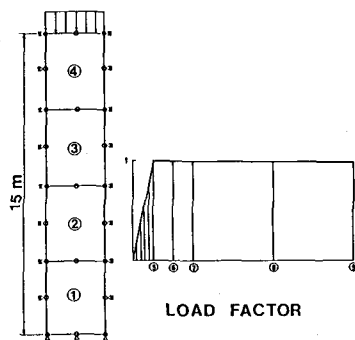


Fig-2 Model Mesch, Load Factor

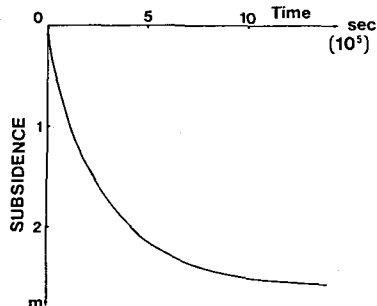


Fig-3 Subsidence of Top Surface