

間隙水を考慮した流動要素法の適用性

日特建設(株) ○和田 幸光

鳥取大学 木山 英郎

鳥取大学 藤村 尚

鳥取大学 西村 強

1. はじめに： 軟弱地盤上の計測管理は、沈下や側方変位などを計測し、その性状や速度に着目して行なわれる。これに対し、設計は円弧すべりなど、変位とは無関係に応力レベルで進められることが多い。時々刻々と求められる計測変位に対応して、地盤内応力や安全率を評価できれば、設計から施工まで一貫した管理が可能になると考えられる。今日までに、有限要素法を代表格として、数値解析法を組み合わせた管理システムが多く提案されている。著者らも、FLEMを活用した計測管理手法の構築を目指して、研究を進めている。上記のような問題に対する場合、間隙水の存在を無視することはできない。本文では、その研究の一環として、間隙水を考慮したFLEMによって基礎的な解析を行なったので報告する。

2. 間隙水の導入： 間隙水圧による節点力の算出など、間隙水を考慮したFLEMの計算過程については既に報告しているので、ここでは概略の説明に留める。²⁾

時刻 t において、水で飽和された間隙が内在する要素 e と、それに隣接し、同じく水で間隙が飽和された要素を考える。各要素内の間隙率は n 、過剰間隙水圧を p_e と表記する。各要素内においては、 p_e は一様であり、それを重心位置で代表させる。要素 e への間隙水の出入りは、隣接要素との重心間に発生する動水勾配によって生じ、この時、Darcyの法則を適用すると、微小時間 Δt 間の要素 e に関する流出入量 Δq_e は、

$$\Delta q_e = \sum_m \frac{(p_{em} - p_e)}{\gamma_w} k \frac{A_m}{s_m} \Delta t$$

ここに、 A_m ：注目要素間の共有面面積、 s_m ：重心間距離、 k ：透水係数、 γ_w ：水の単位重量である。FLEMでは、各節点が運動方程式に従い、時々刻々と移動して変形を表す。 $(\Delta u_i, \Delta v_i, \Delta w_i)$ と表記される節点変位増分に伴い、要素 e の体積 V_e が ΔV_e だけ変化したとすれば連続の条件式は次式となる。

$$\Delta V_e + \Delta q_e = \Delta V_w$$

ここに、 ΔV_w は Δt 間の間隙水の圧力による体積変化であり、水を非圧縮性として定式化を行なうとき、上式右辺は0となる。水の圧縮性を導入することによって、間隙水の体積変化 ΔV_w を用いて間隙水圧変化 Δp_e が求められ、

$$\Delta p_e = E_w (\Delta V_w / n V_e)$$

ここに、 E_w は水の体積弾性係数である。したがって、時刻 $t + \Delta t$ には、間隙水圧は次式となる。

$$p_e|_{t+\Delta t} = p_e|_t + \Delta p_e$$

p_e による節点間隙水圧ベクトルを運動方程式に取り込んで、間隙水圧がFLEMの計算過程に考慮されることになる。

3. 解析例： 図-1に示すように側方への変位を拘束された解析領域を、縦4cm・横8cmの長方形要素で分割する。上下面を排水、側面を非排水として、図中の様な荷重条件下での一次元的な変形を与える。 $\Delta t = 1.0 \times 10^{-5}(\text{sec})$, $E_w = 10^5(\text{gf/cm}^2)$ とし、その他、解析に必要な定数は、図中にも示している。図-2には、解析領域に発生する有効応力（破線）、過剰間隙水圧（実線）の経時変化を示した。縦軸は底面からの距離である。荷重の載荷とともに発生した過剰間隙水圧が消散し、有効応力が増大する様子が分かる。

次に、図-3に示すモデル、盛土の瞬時載荷による地盤内の変形、過剰間隙水圧の解析を行なった。解析条件は $\Delta t = 1.0 \times 10^{-4}(\text{sec})$, $E_w = 1000(\text{tf/m}^2)$ 、上面排水、側面と下面を非排水としている。地盤に与えた諸定数は図中に示す。図-4には、盛土直下に発生する過剰間隙水圧の消散と主応力図を示した。本文で

は、解析結果の視覚的表示を中心に述べたが、今後、実地盤のデータへの適用を試み、FLEMを利用した計測管理法の構築を目指したい。

参考文献

1) 木山・他：連続体の大変形のための流動要素法 (FLEM) の提案、土木学会論文集No.439/1991.12.

2) 福原・他：流動要素法(FLEM)による間隙水連成問題の解析、中四土木学会、平成4年、PP,444~445

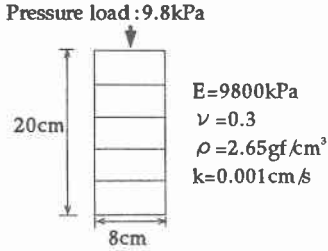
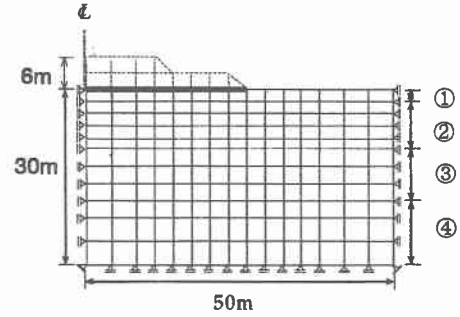


図-1 解析モデル 1



<盛土> $E=500\text{tf/m}^2$, $\nu=0.30$, $\gamma=2.0\text{tf/m}^3$, $k=0.1\text{m/s}$

- ① $E=500\text{tf/m}^2$, $\nu=0.30$, $\gamma=2.0\text{tf/m}^3$, $k=0.1\text{m/s}$
- ② $E=200\text{tf/m}^2$, $\nu=0.45$, $\gamma=1.5\text{tf/m}^3$, $k=0.0001\text{m/s}$
- ③ $E=300\text{tf/m}^2$, $\nu=0.45$, $\gamma=1.5\text{tf/m}^3$, $k=0.0001\text{m/s}$
- ④ $E=500\text{tf/m}^2$, $\nu=0.45$, $\gamma=1.5\text{tf/m}^3$, $k=0.0001\text{m/s}$

図-3 解析モデル 2

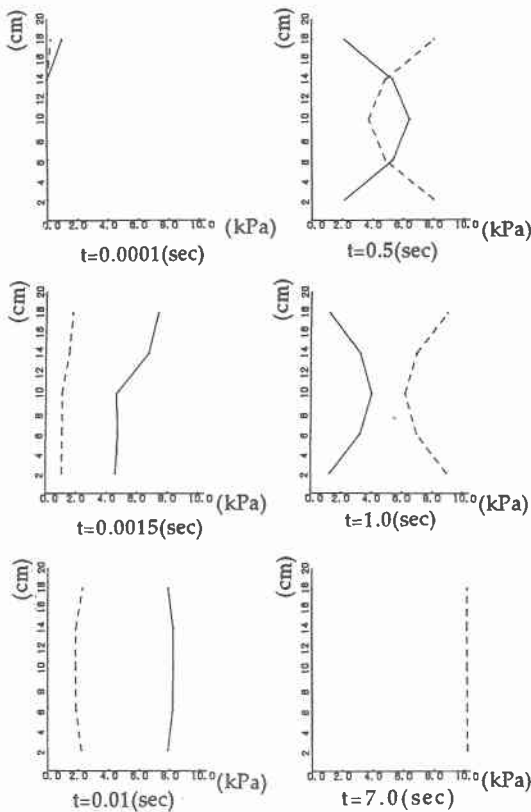


図-2 解析結果 1

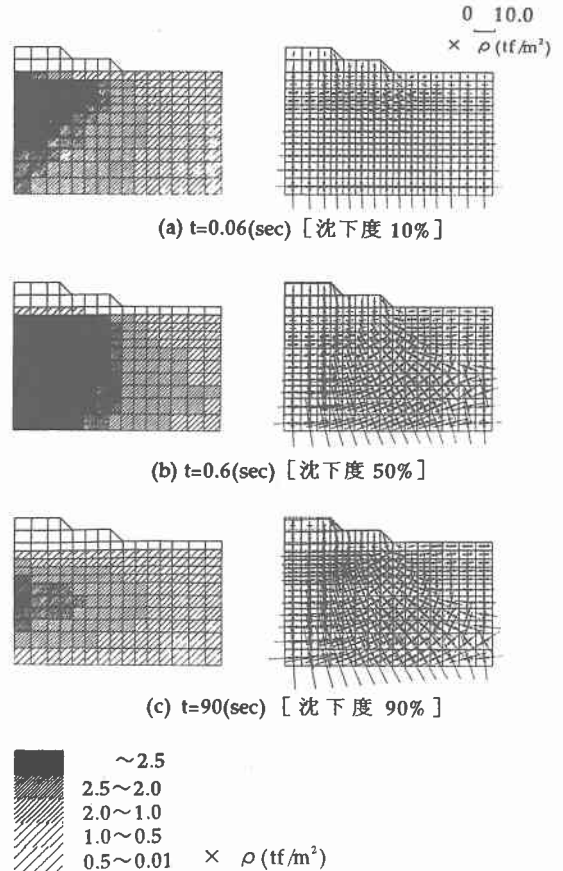


図-4 解析結果 2