

棒要素を導入した流動要素法による 地盤の変形解析

京都府庁 ○野原 正行 鳥取大学工学部 木山 英郎
鳥取大学工学部 藤村 尚 鳥取大学工学部 西村 強

1. はじめに 流動要素法 (Flow-Element-Method, FLEM)¹⁾ は、個別要素法 (DEM) の基本となっている運動方程式の陽形式時間差分による逐次解法を活かして、各要素の自由な変形を許しながら要素間の連続性を保持し、全体としての大変形から流動までを解析できる手法である。

さて、地盤の強度が不足し、崩壊に至る可能性があるとき、何らかの対策を施し、地盤の安定性を向上させる必要がある。ロックボルト、アンカー、矢板の施工はその例である。本研究では、断面積に比して長さの大きい部材による補強材効果を、有限要素法 (FEM)²⁾ における棒要素の考え方に基づきながら、FLEM解析に組み込むことを目的としている。

2. 棒要素の導入 棒要素を取り扱うとき、軸方向変形、曲げ変形、ねじり変形などを考える必要がある。ここでは、適用範囲を二次元問題までに限定して軸要素および曲げ要素の二種について導入を図る。まず、図-1に示したように一様引張りまたは一様圧縮を受ける軸要素を考える。断面の慣性主軸を x 、 y 軸、図心軸を z 軸とし、要素の左端面の図心を座標原点とする右手系 x 、 y 、 z 座標系を設定する。要素両端を節点とし、左端を i 節点、右端を j 節点とする。剛性マトリックス $[K_w]$ は次式となる。

$$[K_w] = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} E: \text{ヤング率} \\ A: \text{断面積} \end{matrix} \quad (1)$$

次に、図-2に示すような曲げ変形を受ける要素を考える。要素両端のたわみと回転角を $u_{s,i}$ 、 $u_{s,i}'$ 、 $u_{s,j}$ 、 $u_{s,j}'$ で表すと剛性マトリックス $[K_u]$ は、次のようになる。なお、せん断に関する変形は考慮していない。

$$[K_u] = \begin{bmatrix} \frac{12EI_{xx}}{L^3} & \frac{6EI_{xx}}{L^2} & -\frac{12EI_{xx}}{L^3} & -\frac{6EI_{xx}}{L^2} \\ \frac{6EI_{xx}}{L^2} & \frac{4EI_{xx}}{L} & -\frac{6EI_{xx}}{L^2} & \frac{2EI_{xx}}{L} \\ -\frac{12EI_{xx}}{L^3} & -\frac{6EI_{xx}}{L^2} & \frac{12EI_{xx}}{L^3} & -\frac{6EI_{xx}}{L^2} \\ \frac{6EI_{xx}}{L^2} & \frac{2EI_{xx}}{L} & -\frac{6EI_{xx}}{L^2} & \frac{4EI_{xx}}{L} \end{bmatrix} \quad (2)$$

I_{xx} : 断面二次モーメント

式 (1) (2) を組み合わせると、一般的なはり要素の剛性マトリックス $[K]$ が導かれる。さらに、座標変換マトリックス $[T]$ を用いれば、全体座標系への変換がなされる。全体座標系における剛性マトリックス $[K^*]$ は次のようになる。

$$[K^*] = \begin{bmatrix} [T] & 0 \\ 0 & [T] \end{bmatrix}^T [K] \begin{bmatrix} [T] & 0 \\ 0 & [T] \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\{f^*\} = [K^*] \{u^*\} \quad (4)$$

$$\{u^*\} = \{u_i^* w_i^* u_{s,i}^* u_{s,i}'^* u_j^* w_j^* u_{s,j}^* u_{s,j}'^*\} \quad (5)$$

これらの棒要素に地盤要素と同様な要素分割を行うことも可能であるが、補強材と地盤の接触特性をい

かに表現していくかということにも検討が必要となる。そこで本手法では、棒要素の両端節点を地盤を構成する通常要素の節点とそれぞれ一致させ、式(5)に地盤要素の節点変位増分を入力する。そして、式(4)より求められる $\{f^*\}$ を棒要素から地盤への作用力として考慮することにした。

3. 解析例 本手法の一つの適用例として、図-3に示すトンネル掘削モデル(陰影部がトンネル部)を考える。トンネル半径5mとして、図中 h 、 i 間に軸要素を配したときの変形を解析する。解析領域は対称性を考慮した高さ、幅とも21.5m、要素数110、節点数122とした。鉛直応力 $P_v (=100\text{tf/m}^2)$ 一定として、 $P_h/P_v=1, 0.5$ なる条件のもとで2例の初期応力状態を設定した。表-1は解析に用いた諸元を示している。軸要素のヤング率には、鋼製ロックボルトを想定している。

図-4は $P_h/P_v=1$ として解析した場合である。図中のスケールは変位量を示すものである。これより求められる掘削によるトンネルの半径変化量を、軸要素を用いない場合との比較として、図-5に示す。[] 内の数値は、軸要素を用いない場合のものである。軸要素による変形抑止効果は認められるものの、期待したほどには表現されていないので今後も検討を進めていきたい。また、これと併せて、曲げ要素を用いた解析も実施していることを付記しておく。

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) 鷲津他：有限要素法ハンドブック I 基礎編、培風館



図-1 軸要素



図-2 曲げ要素

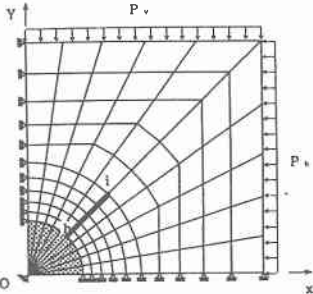


図-3 トンネル掘削モデル

表-1 解析定数

地盤	ヤング率	$E = 10000 \text{ (tf/m}^2\text{)}$
	密度	$\rho = 2.65 \text{ (t/m}^3\text{)}$
	ポアソン比	$\nu = 0.3$
軸要素	ヤング率	$E = 2.1 \times 10^7 \text{ (tf/m}^2\text{)}$
	密度	$\rho = 2.65 \text{ (t/m}^3\text{)}$
	半径	$r = 1.25 \text{ (cm)}$
時間増分		$\Delta t = 1.0 \times 10^{-3} \text{ (sec)}$

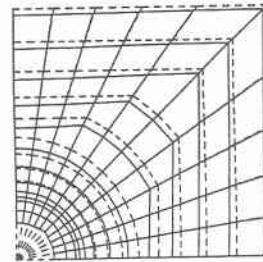
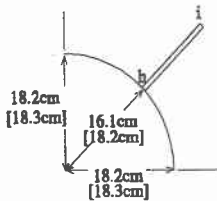
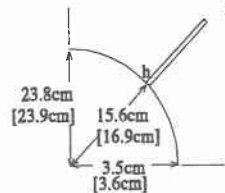


図-4 変形図(軸要素考慮、 $P_h/P_v=1$)



(a) $P_h/P_v=1$



(b) $P_h/P_v=0.5$

図-5 半径変化量