

棒状材による補強効果を考慮した 流動要素法の適用に関する研究

運輸省第三港湾建設局 齊藤 祐一 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、切土、掘削あるいは盛土において、地盤構造物そのものの安定性、さらには、上部構造物に対する支持力を地盤のみの強度では保証できない場合がある。アンカー工、矢板あるいはトンネルにおけるロックボルトといった補強材が利用される。本研究は、このような補強材の効果を有限要素法 (FEM) における棒要素の考え方にに基づきながら、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。剛性マトリックス $[K_u]$ は次式となる。

$$[K_u] = \frac{EA}{l} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

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

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

I_{xx} : 断面二次モーメント

(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。

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

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

$$\{u^*\} = \{u_i^*, w_i^*, \theta_{si}^*, u_j^*, w_j^*, \theta_{sj}^*\} \quad (5)$$

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。そこで今回は、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) に通常節点の変位増分を入力して、式 (4) より $\{f^*\}$ を算出

した。そして、この $\{f^x\}$ を棒要素から地盤への作用力として考慮するに留めた。

3、解析例

図-3は高さ24 m、幅32 m、節点数63、要素数48の解析モデルを示している。要素は一辺が4 mの正方形で、積分点数4の平面ひずみ要素である。また、境界条件については、図に示した通りである。解析定数は、地盤要素については表-1、棒要素は表-2に示す通りである。

土被り圧相当の応力を初期地盤内応力とし、破線部要素を掘削要素として解析を行った。図-4は補強材を考慮せずに解析した例である。図-5は二節点g、hを要素両端とした軸要素を導入したモデルの解析結果である。これにより棒要素の効果を表現することができたと思われる。

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.

表-1 解析定数 (地盤要素)

ヤング率	$E=100 \text{ (tf/m}^2\text{)}$
密度	$\rho=2.65 \text{ (t/m}^3\text{)}$
ポアソン比	$\nu=0.3$
時間増分	$\Delta t=1.0 \times 10^{-3} \text{ (sec)}$

表-2 解析定数 (軸要素)

ヤング率	$E=1.0 \times 10^4 \text{ (tf/m}^2\text{)}$
密度	$\rho=7.85 \text{ (t/m}^3\text{)}$
断面積	$A=1.0 \text{ (m}^2\text{)}$

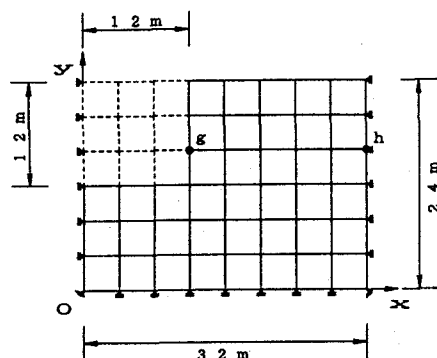


図-3 解析モデル

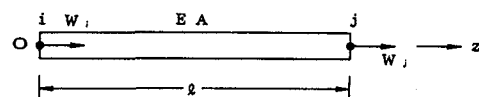


図-1 軸要素

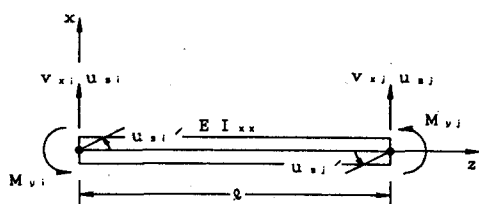


図-2 y軸回りの曲げ要素

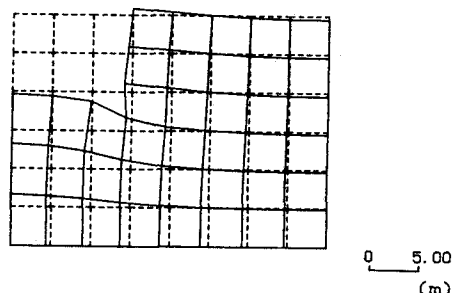


図-4 解析結果

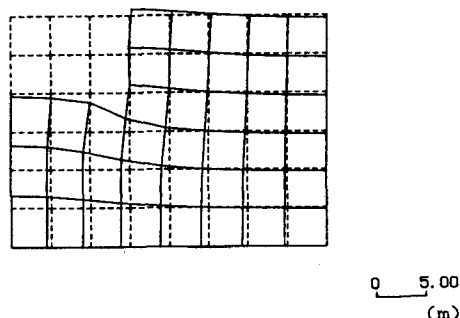


図-5 解析結果