はり要素を導入した流動要素法による地盤－構造物系の振動解析

鳥取大学大学院 ○ 文村 賢一　鳥取大学工学部 西村 強
鳥取大学工学部 木山 英郎　鳥取大学工学部 藤村 尚

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．

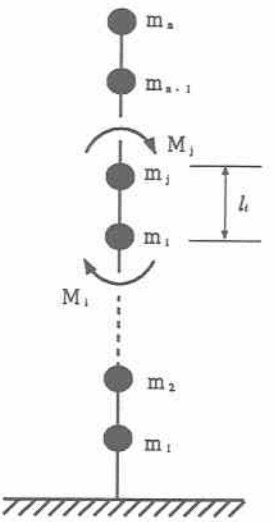
これまでに，大変形問題における客観性のある応力速度の選択など，基本原理の整備を中心として研究を進めてきた[2]．

本文では，曲げ要素を用いて，断面積に比し，長さの大きい部材の本解析手法への導入を行っている．これは，矢板や杭基礎を考慮した地盤の応力、変形解析，あるいは，地盤と上部構造物の相互作用の解析への適用を意図したものである．ここでは，導入に関する基本的事項と簡単な解析を示す．

2．はり要素の導入

線要素を取り扱うとき，その変形状態は,軸方向変形,曲げ変形,ねじれ変形などで特徴付けられている[3]．ここでは,適用範囲を二次元問題に限定し，曲げ変形のみ考える．

2次元平面要素を用いた従来のFLEMは並進運動に関する運動方程式のみを解いており,回転に関する運動方程式は考慮にいれていない．これは，連続体を取り扱うとき,発生するせん断変形によってモーメントの釣合は満足されていると解釈していることによる．しかし，はり要素の導入に際しては，並進運動に加えて,モーメントの釣合いを考慮する必要がある．その際,運動方程式の陽形式時間差分というFLEMの特徴を活かすためには,幾何学的条件等からたわみ角（あるいはたわみ角増分)を各時間ステップにおいて求め得ることが望ましいが，これは容易ではない．そこで,はり要素部分については，要素剛性マトリックスを重ねあわせて,与えられた境界条件のもとに，各時間増分ごとに解いて,はり要素部分構成節点の未知量を求めるという一般的な有限要素（FEM）手法に依ることにした．例えば，図－1のように，n本のはり要素（長さl_i）によって，構造物が曲げ要素で連結された質点系によってモデル化されているとする．はり要素部分については，



図－1 曲げ要素で連結された質点系

$$
\begin{bmatrix} K_{1,1} & \cdots & K_{1,2n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{2n,1} & \cdots & K_{2n,2n} \end{bmatrix}
\begin{bmatrix} \Delta u_1 \\ \Delta\theta_1 \\ \vdots \\ \Delta u_n \\ \Delta\theta_n \end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix} \Delta F_1 \\ \Delta M_1 \\ \vdots \\ \Delta F_n \\ \Delta M_n \end{bmatrix}
$$

なる方程式が立てられる．ここに，Δu_i，$\Delta\theta_i$，ΔF_i，ΔMi（$i=1\sim n$）は,各質点位置の水平変位増分，たわみ角増分，水平力およびモーメントである．Δu_iは，並進運動の方程式から求められているので，$\Delta\theta_i$あるいは，ΔM_iを求めて，モーメントの釣合を配慮することが上式を解く目的となる．なお，その他のFLEM解析は従来通りである．

３．解析例

２．に述べた事項に従い，FLEMのプログラムを作成した．そして，適用性を検討することを目的として2,3の解析を実施した．この例での，はりの曲げ剛性はEI＝ 2.65×10^{5}(t・m^{2})とし，時間増分Δｔ＝$1.0\times$-10^{4} (s)としている．

図－２は，長さl＝5mのはりの一端ａを固定し，他端ｂに水平荷重f_b＝100tfを作用させた例である．一方，図－３は，はり要素（l＝5.0m）を連結し（全長10m)，一端ｃのみに水平荷重f_c＝100tfを作用させた例である．発生するたわみ量ｕあるいは固定端モーメント等解析値は理論値（例えば，以下に示す自由端のたわみ$u_b = f_b l^3 / 3EI$）対して良好な一致を示している．

図－４は，図－２のモデルにおいてｂ点に質点（質量7.5ｔ）を想定し，ａ点に加速度振幅100galの調和振動を入力したときの質点の応答曲線を示している．縦軸はａ点の変位振幅u_aで，ｂ点の応答絶対変位振幅u_bを除したものである．応答値のピークは，振動系の固有周期と一致しており良好な結果が得られている．同様に，図－５は図－３のモデルに対応し，ｂ点とｃ点に質点（質量7.5ｔ）を想定した結果である．5HZと30HZに応答値のピークが見られている．

４．おわりに

今回は，はり要素の導入とその適用性を検討するための簡単な解析例のみを示した．著者らは，簡易な土の構成式を用いた時刻歴非線形解析FLEMプログラムの作成も別途に進めている[4)]．杭基礎や上部構造物と地盤の相互作用解析プログラムとして検討を進めて行きたいと考えている．

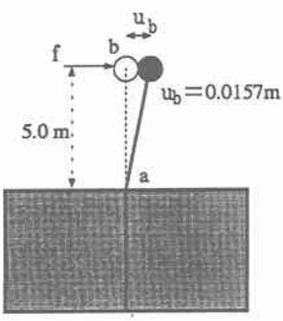
参考文献

１） 木山 英郎他：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 No439/ Ⅲ-17 pp63 ～68 ，1991.12.

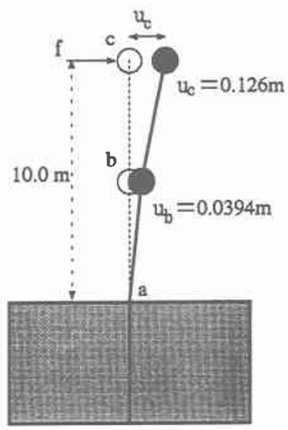
２） 谷 章博：大変形厳密解析のための幾何剛性項を考慮した流動要素法の検討，土木学会Ｈ７年度次講演集．

３） 鷲津 久一郎他編：有限要素法ハンドブック(Ⅰ)培風館，pp．209～211．

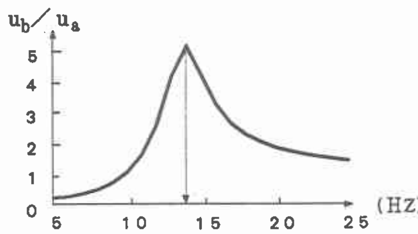
４） 小谷 哲史他：繰返し応力履歴モデルを導入した流動要素法,第31回地盤工学会研究発表会(発表予定)



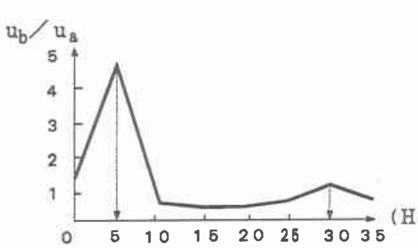
図－２ 静的荷重載荷 変形図（１自由度）



図－３ 静的荷重載荷 変形図（２自由度）



図－４ 共振曲線（１自由度）



図－５ 共振曲線（２自由度）