

I-B11

DEM-FEM ハイブリッド解析アルゴリズムの提案

東電設計株式会社 ○正会員 中瀬仁・東 均

東京電力株式会社 正会員 武田智吉・嶋田昌義・志村聡

1 まえがき 粒状体の挙動や、大変形問題に対して発揮する DEM(個別要素法)の能力はもはや周知のものであると言ってよい。一方、今日の FEM(有限要素法)の発展は改めて述べるまでもない。そこで、問題となる対象領域が例えば防波護岸における消波工のような特殊な形態をしたブロックからなる場合、この領域を DEM で解析し他の領域を FEM で解析するという考え方は自然な発想であろう。本研究では DEM と FEM を別々の CPU で実行しつつ、両者が相互に情報をやりとりしながら解析を進めることのできる DEM-FEM ハイブリッド解析アルゴリズムの提案を行い、解析の一例について示す。

2 ハイブリッドの方法 ハイブリッドの基本方針は次のよう定めた。①DEM と FEM の間でデータをやりとりするハイブリッド面を設定する。②DEM は、ハイブリッド面に発生した抗力を FEM の対応する接点に分配し、FEM はハイブリッド面の変位を面に接する全ての DEM 要素に受け渡す。③DEM および FEM のプログラムを別々の CPU を用いて実行し、ハイブリッド面のデータ(応力、変位)を受け渡す場所は外部ファイルとする。

基本方針①のハイブリッド面とは、端的に言えば両解析領域の境界面のことである。力と変位のやりとりは、基本方針②の逆、すなわち DEM から変位、FEM から応力を受け取る方法でも両者をハイブリッドすることはできるが、刻々と変化するハイブリッド面に働く応力と、これに比べてゆっくりした変動になるハイブリッド面変位の時系列的特徴から考えて、計算の時間間隔が短い DEM 側で応力を計算し、計算の時間間隔の長い FEM 側で変位を計算することが合理的である。DEM のプログラムと FEM のプログラムでは、内部のロジックが異なるので、これら 2 つのプログラムを 1 本のプログラムにまとめることは煩雑である。基本方針③に示した方法によればこれを避けることができる。

さて、上記基本方針によるハイブリッド化にあたっては次のような注意点がある。①DEM と FEM で計算時間間隔が異なる。(DEM:dt=10⁻⁶、FEM:dt=10⁻³)、②データの受け渡しを間違いなく行う必要がある。FEM の時間間隔を小さくし DEM 側に合わせることは可能であるが、本来十分であるものを、1/1,000 もの時間間隔で計算することは無駄であり、計算時間も膨大である。そこでこれについては、ハイブリッドのアルゴリズムの中

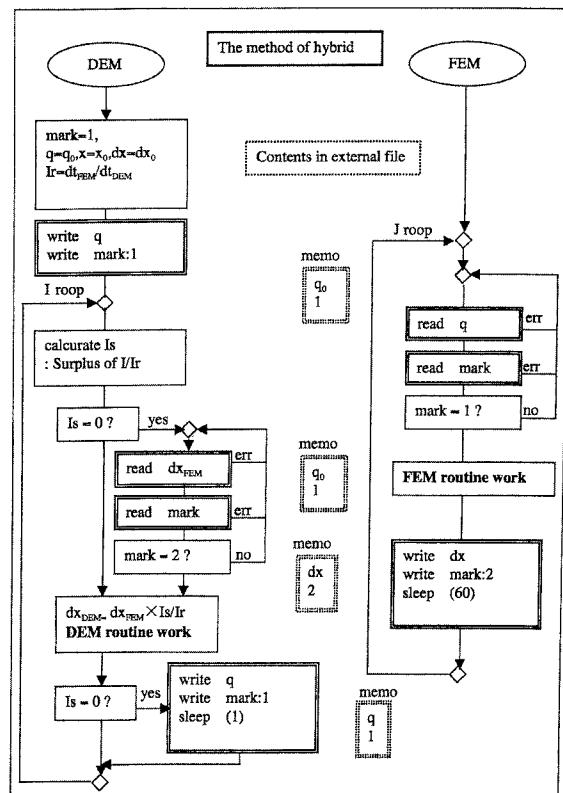


図-1 DEM-FEM ハイブリッドのアルゴリズム

ハイブリッド、有限要素法、個別要素法、数値シミュレーション、消波工

連絡先：〒230-0015 東京都台東区東上野 3-3-3、東電設計技術開発本部、中瀬仁

でこのギャップを調整することにした。ハイブリッド面のデータは、基本方針で示したように外部ファイルで受け渡すので、このファイルにアクセスする際間違ったデータ(自分が相手に渡すべきデータ)を受け取らないように工夫する必要がある。図-1 に提案するハイブリッドのアルゴリズムを示す。

図の二重実線枠は、外部ファイルに対するアクセスであり、二重点線枠はアルゴリズムがワンスルーする間の外部ファイルの内容を示す。外部ファイルの'1'は、その前のデータが応力であることを示し、'2'はその前のデータが変位であることを示す。HP フォートランのユーティリティコマンドである Sleep(X)は、このコマンドを実行した後、X 秒間プロセスを止める働きがある。

すなわち、相手に渡すべきデータを出力した後、次に受け取るデータを相手が計算する間、無駄に cpu を占有しない配慮をしている。

FEM における 1 ステップ分を DEM では、1,000 ステップかけて計算するので、FEM から受け取った変位をそのまま用いたのでは、応力のジャンプが生じかねない。そこで DEM では FEM の計算が、解析空間の時間軸では先行していると考え、前のデータとの線形補間をとって計算している。

3 シミュレーション例 ハイブリッド解析の対象となった実験ケースを図-2、モデルの概念を図-3 に示す。ハイブリッド面はケーソン海側の面に設定し、消波工を 3 次元 DEM、ケーソンおよび埋立地盤を FEM でモデル化する。初期状態はそれぞれの解析領域において作製する。

図-3 にハイブリッド解析 DEM 側出力およびハイブリッド解析 FEM 側出力の比較を示す。ケーソンの変位波形は DEM の出力と FEM の出力がぴったり重なっており、ハイブリッド面の平均相対変位増分が FEM から DEM へ間違いなく受け渡しできていることを示す。消波工圧波形においても両者はおおむね一致していると考えられる。これは、DEM から FEM にハイブリッド面に働く平均応力増分が確実に伝達されていることを示す。

4 あとがき DEM と FEM を別々の CPU で実行しつつ、両者が相互に情報をやりとりしながら解析を進めることのできる DEM-FEM ハイブリッド解析アルゴリズムの提案を行った。シミュレーションスタディを行った結果、アルゴリズムは問題なく機能していることが解った。個別要素法のプログラムは、京都大学澤田純男氏の DEMS を改良して用いた。

参考文献 1) 金谷守他：防波護岸の地震時挙動に関する研究・その3, 第 24 回地震工学研究発表会論文集, pp713-716

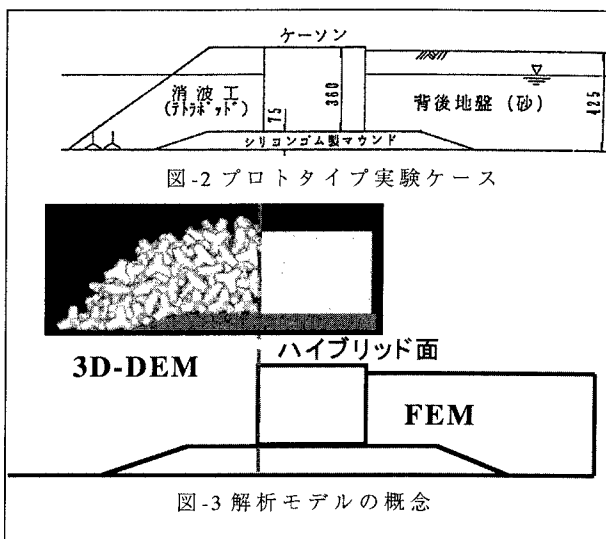


図-3 解析モデルの概念

