

## 版の挙動解析へのDEMの適用について

金沢大学大学院 学 石井繁治 金沢大学大学院 赤田朋哉  
 金沢大学 正 榎谷 浩 金沢大学 正 梶川康男

## 1. まえがき

連続体の解析には有限要素法が広く用いられているが、衝撃問題のように大変形を伴う破壊が生じる場合には困難な点もある。そこで本研究では大変形を伴う破壊の進展や局所破壊に見られる粒子の飛散を再現することができる個別要素法を用いて衝撃挙動特性に関する解析を行った。今までは重錘や要素の動き、エネルギーの大きさなどの基本的性質を調べるために版状に配置した要素に重錘を衝突させる解析を行ってきた。ここでは要素数 27 個からなる立方体モデルや版状モデルの連続体の弾性解析を示す。まず、簡単な立方体モデルにステップ荷重を加えてエネルギーと時間の関係を考察することにより連続体への応用が可能であることを確認した。そして、版状に要素を配列したモデルに対しても同様の解析を行い、変位、エネルギーを調べており、有限要素法との解析結果の比較からばね定数の設定を検討している。

## 2. 解析方法

解析対象物をおある一定の半径を持つ要素の集合体と仮定し、要素間の接線方向および法線方向にばねとダッシュポットを挿入することによって弾性および非弾性的性質を表現する。m および I をそれぞれ各要素の質量および慣性モーメントとし、k, c をそれぞればね定数および減衰係数とすると、1 方向の k, c についての個々の要素の並進 u および回転  $\phi$  についての運動方程式は、次式で表現できる。

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = 0 \quad (1)$$

$$I\ddot{\phi} + cr^2\dot{\phi} + kr^2\phi = 0 \quad (2)$$

また、r は要素を円要素または球要素としたときの半径である。なお、式中のドット(・)は時間に関する微分を表している。

次に式(1)、式(2)を次式に示すような陽的差分となる形に変形して、t 時間ごとに逐次計算を行う方法を用いた。

$$m[\ddot{u}]_t = -c[\dot{u}]_{t-\Delta t} - k[u]_{t-\Delta t} \quad (3)$$

$$I[\ddot{\phi}]_t = -cr^2[\dot{\phi}]_{t-\Delta t} - kr^2[\phi]_{t-\Delta t} \quad (4)$$

この式は、時刻 t より  $\Delta t$  時刻前の変位  $[u]_{t-\Delta t}$ 、角度  $[\phi]_{t-\Delta t}$  と速度  $[\dot{u}]_{t-\Delta t}$ 、角速度  $[\dot{\phi}]_{t-\Delta t}$  により、現在の時刻の加速度  $[\ddot{u}]_t$ 、角加速度  $[\ddot{\phi}]_t$  を求める方法である。

## 3. 連続体の弾性解析結果

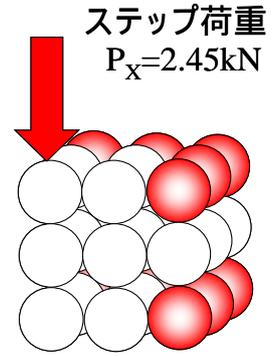
## 3.1. 立方体モデルの解析

図1のような要素数 27 個からなる簡単な立方体モデルを連続体とみなし、ステップ荷重を加える解析を行った。接触している要素の位置関係はどれだけ変位が大きくなっても変わらないと仮定した。拘束条件は図1の色のついている各要素与えており、拘束を与えた要素の並進変位や回転を拘束した。この立方体モデルではステップ荷重を 0.0005 s まで作用させた場合と荷重を作用し続けている場合の解析を行い、エネルギーと時間の関係を調べた。荷重を 0.0005 s まで作用させた場合で 0.0005 s 以後は、運動エネルギーとひずみエネルギーの位相が逆になり、エネルギーの合計が一定になる。荷重を作用させ続けた場合では運動エネルギーに比べてひずみエネルギーが非常に大きくなっている。これは荷重を加えつづけているために要素の運動が制

キーワード: 個別要素法, 連続体解析, 版

連絡先: 〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20 TEL 076-234-4632 FAX 076-234-4632

限されていることによるものであると思われる。図3では、エネルギーとステップ荷重  $P$  に荷重が作用している要素の変位の積  $P \cdot \delta$ 、すなわち仕事を比較した。わずかな誤差は認められる部分もあるがほとんど一致しているために計算は問題ないと考えられる。



3.2 版状モデルの解析

ここまでは連続体への適用が可能であるかを調べるために簡単な立方体モデルでの解析を行ってきた。立方体モデルの解析結果から連続体への適用が可能であると判断し、要素数を多くした版状のモデルの解析を行った。解析モデルは縦 75cm 横 75cm 厚さ 4cm のコンクリート版を想定した版状のモデルである。このモデルを四辺単純支持し中央にステップ荷重 9.8kN を加える解析を行った。解析では対称性を考慮して図4のように1/4モデルを使用している。版状モデルでは個別要素法と同じモデル寸法、拘束条件で汎用ソフト ADINA と変位を比較し、ばね定数の設定を試みている。図5には個別要素法とADINAによる解析結果から版のたわみの違いを示した。この図から個別要素法での解析結果がADINAの解析結果に比べて荷重をかけた中心部の変位が非常に大きく出ている。これは個別要素法での接線方向のばね定数が弱いために版全体の剛性が弱く、せん断変形が生じている可能性があると考えられる。今後、接線方向、法線方向のばね定数の特性を検証し、ばね定数の設定を進めていかなくてはならない。図6のエネルギーと時間の関係では、立方体モデルと同様にひずみエネルギーが運動エネルギーに比べてかなり大きいという結果になった。

4.まとめ

本研究では、立方体モデルと版状モデルを用いた個別要素法による連続体の弾性解析について示した。今後は現在おこなっている連続体の弾性問題で信用のおける結果が得られてから、衝撃問題へと進む予定である。そして、鉄筋コンクリート等の衝撃破壊問題に応用していきたいと考えている。

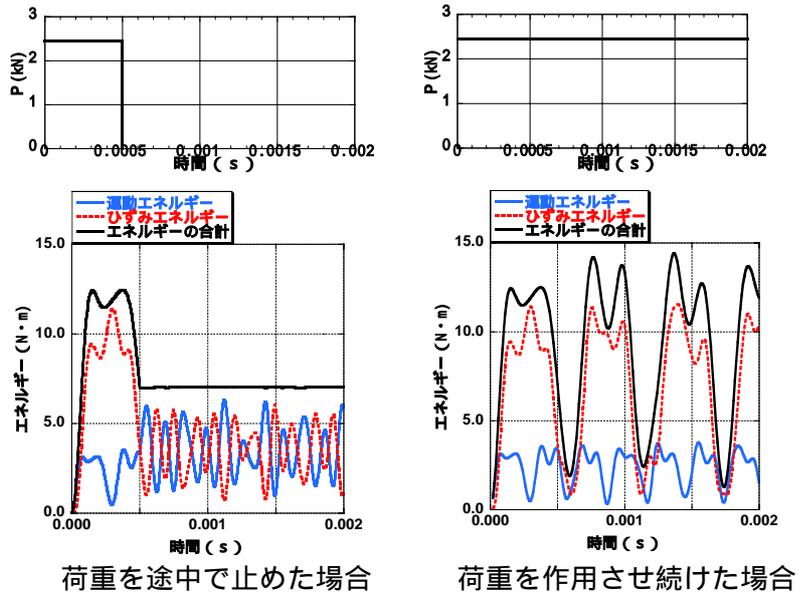


図2 エネルギーと時間の関係

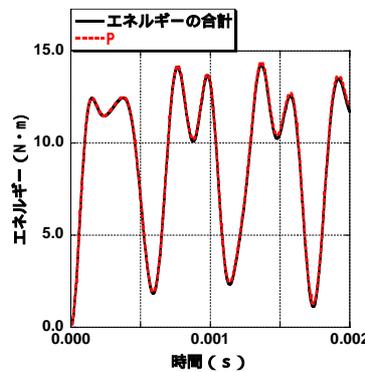


図3 エネルギーとPとの比較

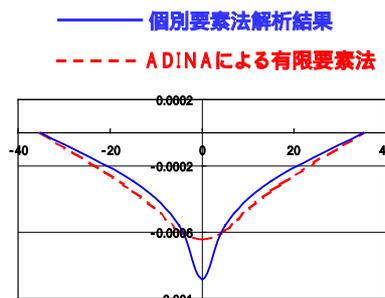


図5 版のたわみ

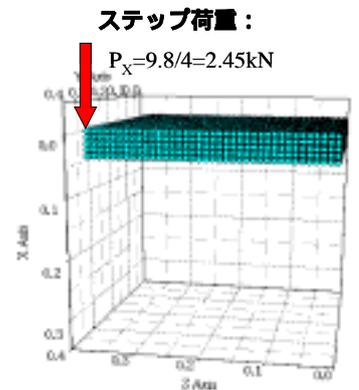


図4 版状モデル

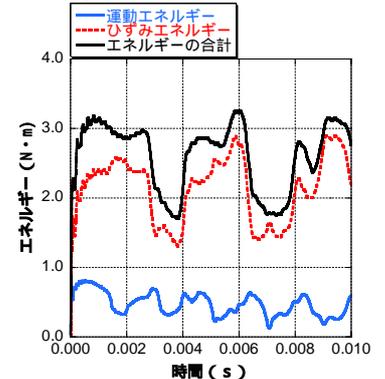


図6 エネルギーと時間の関係