

3次元個別要素法を用いた版の衝撃挙動解析に関する研究

金沢大学大学院 学 ○石井繁治

金沢大学工学部 正 榎谷 浩

金沢大学大学院 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。まず、27個の要素からなる簡単な3次元モデルに対していくつかの条件下で解析を行い重錘や要素の動きやエネルギーの大きさなどの基本的性質を調べた。その後、要素数を多くして実際の版状に並べたモデルに27個の要素の時と同じ条件で重錘を衝突させる解析を行い検討した。

2. 解析方法

解析対象物の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。この個々の要素の並進 u および回転 ϕ についての運動方程式は、次式で表現できる。

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

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

ここに、 m および I はそれぞれ各要素の質量および慣性モーメントであり、 k 、 c はそれぞればね定数および減衰係数である。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($\cdot$)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、 Δt 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 Δt 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. 解析結果

(1) 立方体モデルの解析

解析モデルは、図1に示す1辺が30cmの立方体である。このモデルに対して重錘を27番の要素に鉛直方向に衝突させた。(a)半径0.05mの重錘を質量0.10kgの要素に衝突させた場合、(b)半径0.10mの重錘を質量0.10kgの要素に衝突させた場合の2通りに設定し、これらの違いによって解析結果にどのような影響が表れるかを検討した。いずれの場合も要素の半径は0.05m、重錘の質量は0.10kg、初速度は3.0m/sとして、重錘がもつ最初の運動エネルギーがすべての場合において等しくなるように設定した。図2の(a)の場合は重錘と要素の半径が等しいため x

軸方向にしか力が発生せず，(b)の場合では重錘の半径の方が要素の半径よりも大きい
ため y 軸方向，z 軸方向にも力が発生している。図 3 では(a)の場合の方が要素の運動
エネルギーが大きく，(b)の場合の方が重錘の運動エネルギーが大きくなっている。こ
れは重錘が跳ね返っていることによるものである。

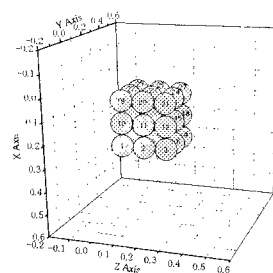
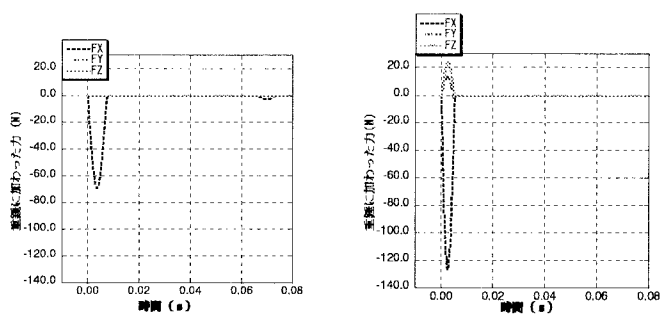


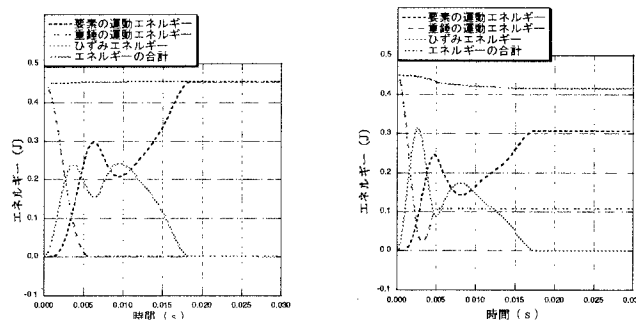
図 1 立方体モデル



(a)

(b)

図 2 重錘に加わる力と時間の関係



(a)

(b)

図 3 エネルギーと時間の関係

(2) 版状モデルの解析

解析モデルは，図 4 に示すような版状のモデルの端に重錘を鉛直方向に衝突させた。要素の半径 0.005m、質量 $5.0 \times 10^{-3} \text{kg}$ とし，重錘の半径 0.05m，質量 10.0kg としている。この場合の重錘の初速度は 6.0m/s である。図 5 に各時間における要素と重錘の位置を示した。t = 0.01(s)の時点では x 軸方向の要素が重錘に大きく下方に押されている。また y 軸方向，z 軸方向の要素も版状モデルの端から押し出されて飛散していることがわかる。t = 0.02(s)後になると，x 軸方向，y 軸方向，z 軸方向の要素の変位がさらに大きくなっている。また，重錘と対角線方向の要素の飛散も見られる。

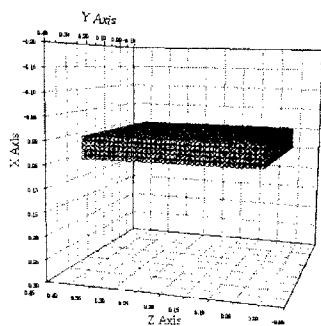
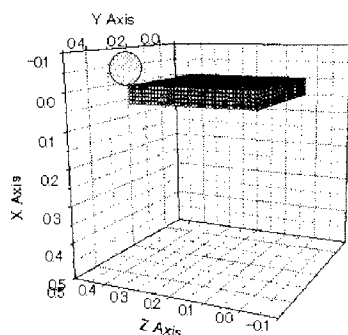
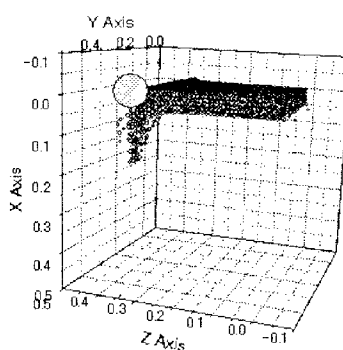


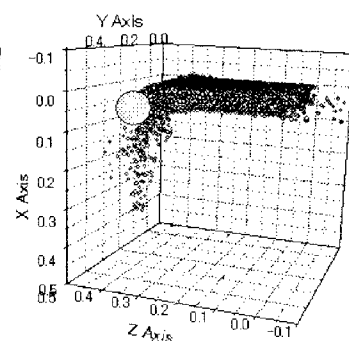
図 4 版状モデル



t = 0.00(s)



t = 0.01(s)



t = 0.02(s)

図 5 各時間における要素の位置

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衝撃解析について示した。今後は現在行っている弾性問題，そして衝撃問題と解析を進めていき，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。