

個別要素法による版の衝撃挙動解析

金沢大学大学院 学生会員 ○今筋 平 国土交通省 正会員 石井 繁治
 金沢大学工学部 正会員 梶谷 浩 金沢大学大学院 正会員 梶川 康男

1. はじめに

構造物の設計に際して衝撃荷重を考慮することは重要である。その例として車両、船舶、航空機の衝突や落石、津波など発生頻度の高いものから低いものまであらゆるものが考えられ、これを構造物の種類によって検討する必要がある。ところが衝撃破壊現象は破壊の進展過程や破壊後の挙動が複雑である。そこで衝撃問題で頻繁に見られる局所破壊現象の解析に有効な個別要素法を用いて衝撃挙動解析を行った。

2. 個別要素法の概要

個別要素法はもともと土粒子などの非連続体に適用されてきた手法であったが、近年では接触要素間のばねにある程度の引張り抵抗を持たせることにより、連続体の破壊現象の解明にも適用されている例が多い。

対象物を要素の集合体と仮定し、図-1のように要素間にばねとダッシュポットを挿入することにより材料の持つ弾性および非弾性の性質を表している。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を時間に関する差分法を用いて逐次計算を進めた。

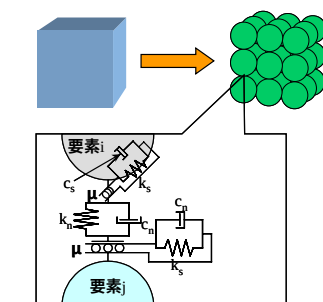


図-1 要素の結合モデル

3. 版状モデルの離散体への物体衝突解析

解析モデルは図-2に示す要素数 7220 個からなる版状モデルである。これに重錘を衝突させて解析を行った。なお単純に重錘衝突させたときの現象を考察するため拘束は与えず、無重力状態とした。また、計算時間を短縮するために対象性を考慮して 1/4 の大きさで解析を行っており、実際には版の中央に重錘を衝突させていることになる。解析に用いた諸条件は表-1に示す通りであり、減衰定数は設定する手法が確立されておらず簡単のため零とした。要素の半径を $5.0 \times 10^{-3}(\text{m})$ 、質量を $5.0 \times 10^{-6}(\text{kg})$ 、重錘の半径を $5.0 \times 10^{-2}(\text{m})$ 、質量を $1.0 \times 10^{-2}(\text{kg})$ 、初速度を $3.0(\text{m/s})$ と設定し解析を行った。

表-1 解析に用いた諸定数

法線方向ばね定数(k_n)	$4.0 \times 10^7 (\text{N/m})$
接線方向ばね定数(k_s)	$2.0 \times 10^7 (\text{N/m})$
法線方向減衰定数(c_n)	$0 (\text{N/m})$
接線方向減衰定数(c_s)	$0 (\text{N/m})$
要素の内部摩擦角(ϕ)	30°
重錘との摩擦角(ϕ)	15°

図-3は各時間における要素の位置と重錘の位置を示したものである。初期段階で重錘と同一直線上の要素のみに動きが見られ、時間の経過とともに要素の動きが広がっている。また、要素が版の y 方向、 z 方向の端から飛散し、対角線方向にある版の端の要素も移動していることが確認できる。

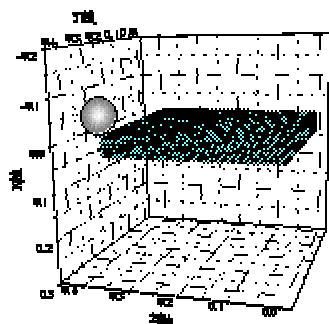


図-2 版状モデル

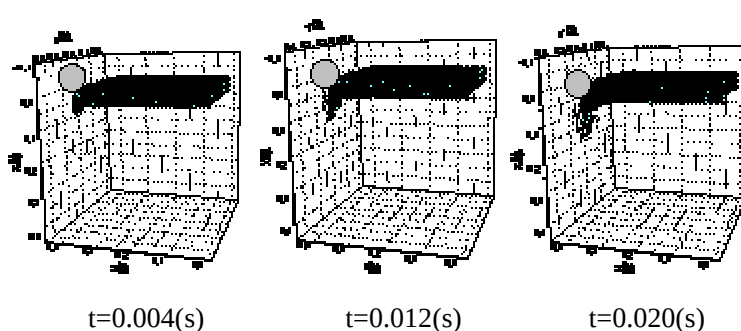


図-3 各時間における要素の位置

キーワード 個別要素法 衝撃 破壊 版

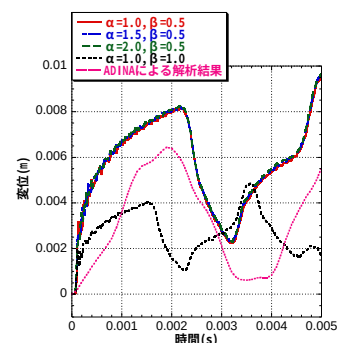
連絡先 〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20 金沢大学工学部土木建設工学科 Tel 076-234-4603 Fax 076-234-4632

4. 連続体への適用

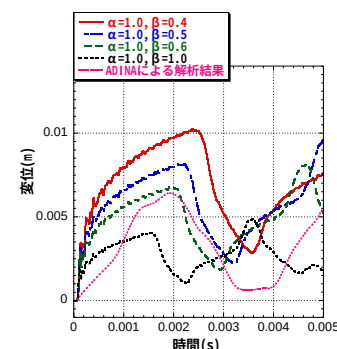
解析モデルは先のモデルと同様でコンクリート版を想定しステップ荷重 98kN を作用させた。また、版の端から 2.5cm のところを四辺単純支持した。本解析では陽的差分法を用いて時間増分 Δt ごとに逐次計算を進めたが、要素の固有周期 T と時間増分 Δt との比 $m=T/\Delta t$ が 30000 程度で十分に収束することを確認した。

法線方向、接線方向のばね定数をそれぞれ k_n , k_s として設定を行い、連続体へ適用するために修正係数を導入した修正ばね定数 $k_n'=\alpha \cdot (EA)/2r$ および $k_s'=\beta \cdot k_n/\{2(1+\nu)\}$ の設定についても検討を行った。ここに、 E はヤング係数、 A は要素の投影面積、 ν はポアソン比、 r は要素の半径である。

法線方向ばね定数による影響を見るために α を 1.0, 1.5, 2.0 と変化させ β を 0.5 で固定した場合と接線方向ばね定数による影響を見るために α を 1.0 で固定し β を 0.4, 0.5, 0.6 と変化させたときの荷重作用点の変位を示したものが図-4 である。他に修正係数を導入しない場合と有限要素法を用いた汎用ソフト ADINA による解析結果も併せて示した。法線方向のばね定数による影響はほとんどないことがわかる。接線方向のばね定数による影響は β の値により差異が生じている。本例では $\alpha=1.0$, $\beta=0.5$ が最も適当であると考えられる。



(a) 法線方向の影響



(b) 接線方向の影響

図-4 ばね定数による影響

5. 衝撃破壊解析

ここでは衝撃破壊解析を再現できるプログラムの作成を重要視したかったのでこれまでと異なり要素の半径を 5.0×10^{-3} (m)、質量を 2.2×10^{-3} (kg)で要素数 400 個の 1/4 モデルを使用し、半径が 5.0×10^{-2} (m)、質量が 2.0(kg)の重錘を初速度 3.0(m/s)で版の中央に衝突させた場合について解析を行った。

図-5 は各時間における要素と重錘の位置を示した図である。大きな破壊はなく重錘の真下の要素のみ目に見える動きがある。これは重錘の持つ運動エネルギーが小さかったため y 軸 z 軸には力が伝わらなかった結果である。また、図-6 はエネルギーの変化を示した図であり、はじめにエネルギーの合計が少し増加した後、減少している。増加については計算誤差の蓄積によるものと考えられる。減少については要素間の応力が破壊基準に達したときに応力解放するためである。よって、ひずみエネルギーの減少とともに要素の運動エネルギーの増加が見られる点で破壊が生じていると推測できる。

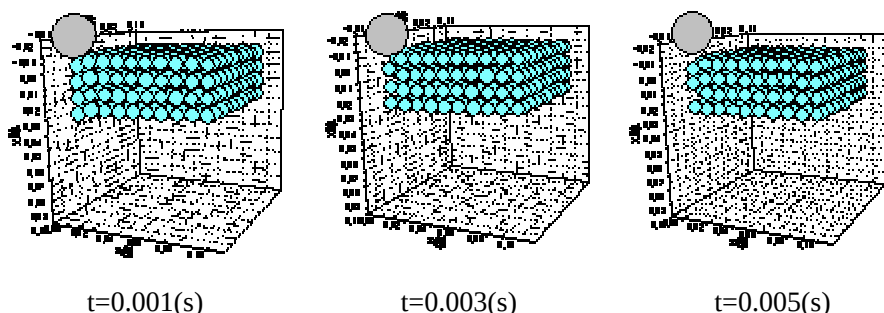


図-5 各時間における要素の位置

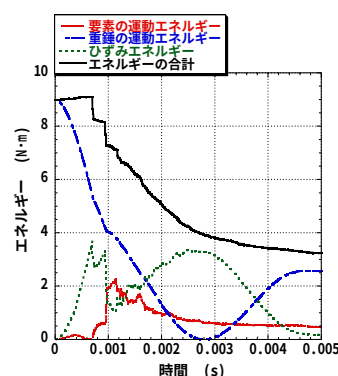


図-6 エネルギーと時間の関係

6. 結論

本研究では、最初に離散体への物体衝突解析によりプログラムの妥当性を確認した。次に、連続体への適用を試み、時間増分および各種ばね定数を試行錯誤法により設定した。最後に衝撃破壊解析を行い、時間経過に伴う要素の位置やエネルギーの変化について検討した。

今後、具体的な重錘の貫入や貫通についての解析を行い、実現象との比較検討を進めていきたいと考えている。