

個別要素法を用いた版の衝撃挙動特性解析に関する一考察

金沢大学大学院 学生会員 ○今筋 平
 金沢大学工学部 正会員 榊谷 浩
 金沢大学工学部 久保田晃生

1. はじめに

構造物を設計する際に衝撃荷重を考慮することは重要である。その例として落石、土石流、雪崩、波浪、地震をはじめとする自然災害によるものと危険物の爆発、車両、航空機やミサイルの衝突などによる人為的な事故によるものが考えられる。これらはそれぞれ発生頻度が異なるため、構造物の使用目的や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。そこで本研究では大きな変形や局所破壊に有効とされる個別要素法を用いて版の衝撃挙動解析を行った。

2. 個別要素法の概要

個別要素法は土粒子のような離散体に用いら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抵抗を持たせることにより、コンクリート構造物の衝撃破壊のような連続体の破壊現象の解明にも適用されている例が多い。

右図に示すように物体を球要素、格子配列の集合体と仮定し、要素間の法線方向、接線方向にばねとダッシュポットを挿入し物体の性質を表す。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。

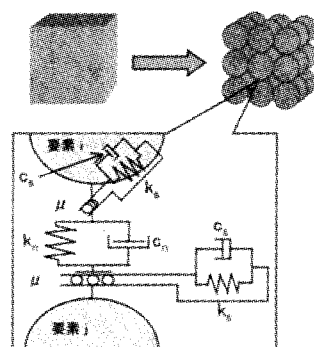


図1 要素の結合モデル

3. 連続体の弾性解析

個別要素法を用いて連続体解析を行うために、要素間のばね定数の設定は重要である。はじめに法線方向、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 α , β 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。

そして $75\text{cm} \times 75\text{cm} \times 4\text{cm}$ 、端から 2.5cm を四辺単純支持したコンクリート版の中央にステップ荷重 98kN を作用させた。図2に示す $1/4$ モデルを用いて、ばね定数の違いによる荷重作用点の変位を比較した。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。

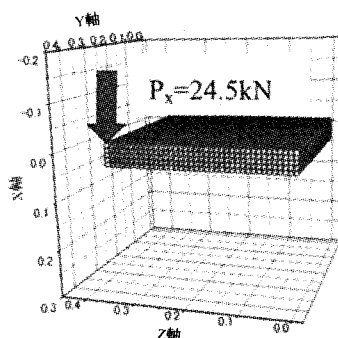


図2 版状モデル

はじめに β を 0.5 に固定し α を 1.0 , 1.5 , 2.0 と変化させ法線方向のばね定数による影響について比較し、次に α を 1.0 に固定し β を 0.4 , 0.5 , 0.6 と変化させ接線方向のばね定数による影響を比較した。いずれも修正係数を導入しない場合、有限要素法を用いた汎用ソフトADINA(Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis)での結果も合わせて示した。法線方向においては α の値を変えても変位に違いは見ら

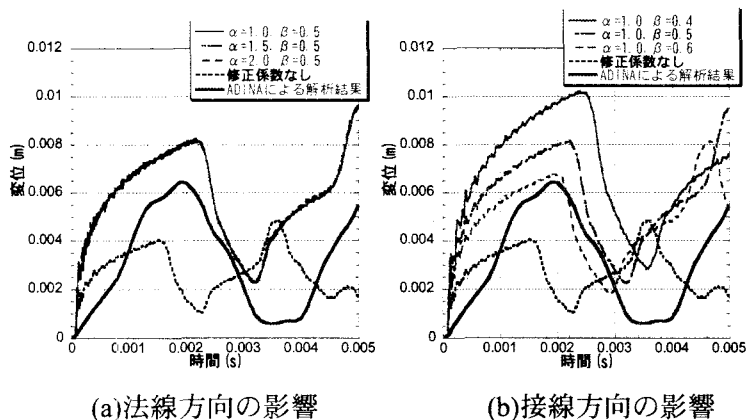


図3 ばね定数による影響

れず、法線方向のばね定数の影響はほとんど無いことがわかる。ところが接線方向については β の値によってばらつきが生じており、接線方向のばね定数の設定が特に重要であるという結果を示している。図3から本例では $\alpha=1.0$ 、 $\beta=0.5$ が適当であると考えられる。

4. 衝撃破壊解析

この解析では図4に示す20cm×20cm×4cm、版の端を単純支持した要素数400個の1/4モデルを用いて解析を行った。衝突体となる重錘は4種類を用いて、case1を基準として、質量の大きいもの、速度の大きいもの、半径の大きいものを版の中央に衝突させた。このときの $t=0\sim0.010$ (s)における版の挙動およびエネルギー変化について考察した。

表1 重錘条件

	半径(m)	質量(kg)	速度(m/s)	エネルギー(N・m)
case1	1.5×10^{-2}	5.0	5.0	62.5
case2	1.5×10^{-2}	10.0	5.0	125
case3	1.5×10^{-2}	5.0	7.0	122.5
case4	2.5×10^{-2}	5.0	5.0	62.5

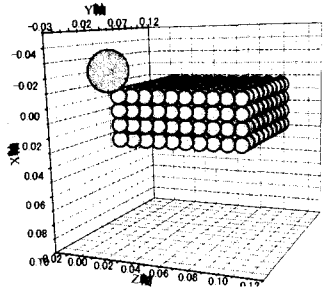


図4 版状モデル

case1~4 すべてにおいて初期段階で重錘の真下の要素のみに動きが見られ、時間経過に伴い広範囲にわたって破壊が進展していく結果が得られた。また、図5は $t=0.010$ (s)における版の挙

動を示した図である。case2, 3 では重錘のもつ運動エネルギーが大きいため破壊の範囲が広がっていることがわかる。そしてcase3は速度が大きいためほかのと比べて破壊の進展が早く0.010(s)後には版を貫通している。case4では運動エネルギーが小さいものの半径が大きいためより多くの要素と接触し、その結果破壊の範囲が広がっている。図6は時間経過に伴うエネルギー変化を示した図である。すべてのグラフにおいてエネルギーの合計が減少していることがわかる。これは要素間のエネルギー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が増加している時間に破壊が生じていると推測できる。

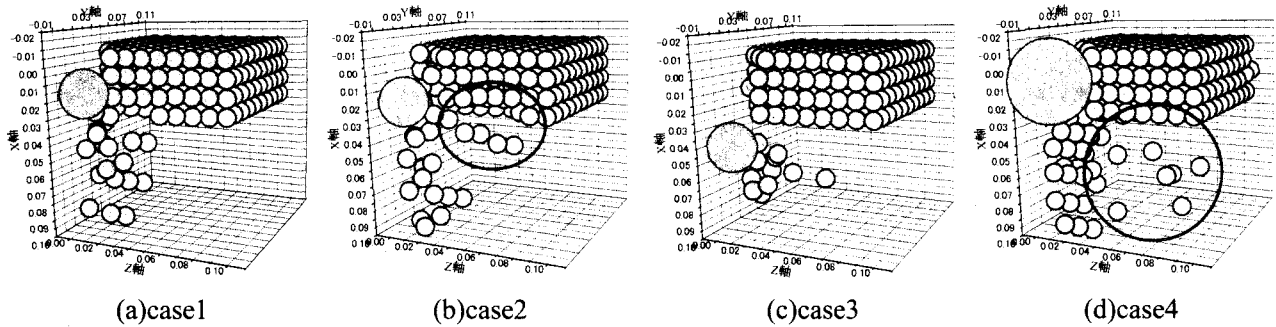


図5 $t=0.010$ (s)における版の挙動

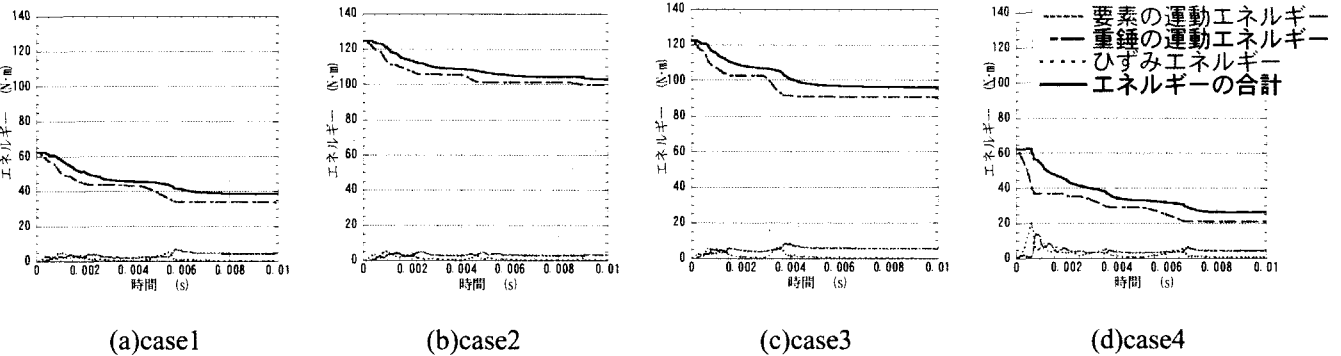


図6 時間経過に伴うエネルギー変化

5. 結論

版状モデルを用いて要素間のばね定数による影響について検証し、有限要素法による解析結果とほぼ一致したことを確認した。次に現在開発中の個別要素法による版の衝撃破壊解析の例を示し、妥当性のある結果を得ることができた。今後、精度を高め、より一般的な衝撃解析手法とするため実験を行い実験結果と検討比較を進める予定である。