

個別要素法を用いたコンクリート版の衝撃挙動解析

金沢大学大学院 学 ○渡辺 高志

金沢大学大学院 正 榎谷 浩

1. はじめに

土木分野においては、衝撃外乱から生活・生命・財産等を防護するための構造物の建設は必須であり、信頼できる高い安全性を確保するためには各構造物の耐衝撃設計法を早期に確立する必要がある。想定される衝撃荷重に対して構造物を安全かつ合理的に建設するためには、構成要素であるはり・柱・版部材の個々の衝撃破壊挙動を明らかにし、各部材の合理的な耐衝撃設計手法を確立しておくことが必要である。このような観点より本研究では、最も基本的な部材であるコンクリート版の重錘衝突による衝撃破壊挙動の解明と数値解析手法の確立を目的として解析を行った。

本研究では衝撃破壊現象の解明に役立つ知見を得ることを目的として、離散化手法の一つである個別要素法による三次元モデルを用いた解析を行った。個別要素法では、要素が相対的に大きく移動する場合、要素間の相対位置関係が変わる場合、要素が飛散する場合などにもシミュレーションが可能である。各分野で粒状体などの非連続体の解析に用いられることが多いが、近年、大変形を伴い破壊を生じる連続体の解析にも用いられており、衝撃問題の局所破壊の解析に有効であると考えられている。

2. 個別要素法の連続体への適用

個別要素法の連続体解析への適用において、最も重要な問題は、接触要素間に挿入にしたばねやダッシュポットの物理的定数の設定である。前述の通り、個別要素法は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動的破壊現象のような連続体の現象をシミュレートすることが可能となる。しかしながら、ばね定数の設定を理論的に行うことは一般に難しい。

そのため本研究では、コンクリート版の衝撃破壊解析に至る以前に、連続体としての弾性範囲における挙動を個別要素法によるシミュレーションで再現することによって、本解析手法の信頼性を高めるとともにばね定数の設定を行った。具体的には、ステップ荷重を受けるコンクリート版を対象に、一般に弾性解析で用いられている有限要素法による解析結果と比較・検討を行った。式(1a)、(1b)で法線方向、接線方向の基準ばね定数を設定し、これに修正係数を乗じることで試行錯誤の末にばね定数の設定を行った。

$$k_n = \frac{EA}{2r} \quad (1a)$$

$$k_s = \frac{k_n}{2(1+\nu)} \quad (1b)$$

ここで、 k_n と k_s はそれぞれ法線方向、接線方向のばね定数である。また、 E 、 A はそれぞれヤング係数と球要素の投影面積であり、 ν と r はそれぞれポアソン比と球要素の半径である。

3. コンクリート版の衝撃実験

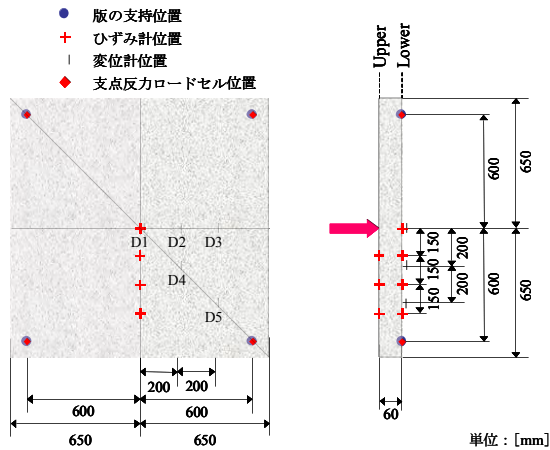
衝撃荷重を受けるコンクリート版の基本的な応答性状を実験的に調べるとともに、実験結果を解析手法の検証に反映できるデータの収集を目的として、コンクリート版の静的載荷実験と重錘落下衝突による衝撃実験を既往の研究において行っている。

供試体は、1300 mm×1300 mm×60 mmのプレーンコンクリート版を用いて行った。計測項目と計測位置は図-1に示す通りである。実験装置は、ロープで一定の高さまで持ち上げた質量 49.75 kg の鋼製重錘を自由落下させ、それを直接供試体に衝突させるのではなく、供試体の上に設置したインパクターを介して衝撃荷重を与えた。

Key・Word 個別要素法 衝撃実験 コンクリート版

〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学大学院自然科学研究科 Tel.076-234-4603 Fax.076-234-4632

実験の結果、荷点直下の版中央に裏面剥離が確認できた。この裏面剥離は静的荷重では見られない衝撃荷重特有のものであるといえる。そして、実験終了後に支点拘束を解くと版に生じていたひび割れが開き、複数の断片として落下した。

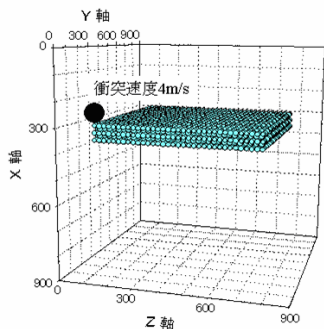


図－１ 計測項目と計測位置

4. 個別要素法による衝撃挙動解析

衝撃破壊挙動を解明するためには、実験を補間する上で数値解析法が必要である。数値解析手法を確立することで実験をせずとも応答の推定が可能となり、構造物設計上の有益な知見を得ることができる。そこで、三次元個別要素法によるコンクリート版の衝撃挙動解析を行い、実験結果と比較することで、その妥当性について検討した。

衝撃実験と同等の解析モデルを図－２に示す。最密配列を用いてモデル化し、要素数は5646個である。版の四隅（スパン1200mm，張り出しあり）を支持し、版の中央に重錘要素を衝突速度4m/sで衝突させた。解析では対称性を考慮して1/4モデルを使用した。解析に用いたコンクリートの物性は材料試験に基づくもので表－１に示す。



図－２ 解析モデル

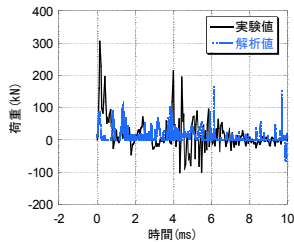
表－１ 解析に用いた諸定数

弾性係数	32.9 (kN/mm ²)
ポアソン比	0.21
圧縮強度	6.79×10 ⁻² (kN/mm ²)
引張強度	4.39×10 ⁻³ (kN/mm ²)
粘着力	1.36×10 ⁻² (kN/mm ²)
内部摩擦角	37°
要素半径	10.0 (mm)
要素質量	0.01407 (kg)
重錘要素半径	40.0 (mm)
重錘要素質量	12.4375 (kg)

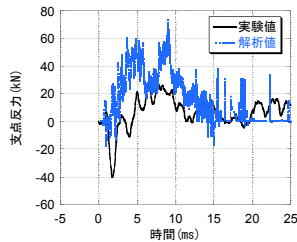
5. 解析結果とまとめ

衝撃挙動解析の結果と実験による測定値から図－３に示す荷点直下の荷重応答、及び図－４に示す支点反力応答の比較結果を得た。解析値の荷重応答は初期の波形の立ち上がり小さく、逆に支点反力は大きめの値となっている。

解析結果が上述のような傾向を示した原因は現実より脆性的な破壊性状にあると考えられる。この解析や既往の研究においては、減衰を考慮せずに行っており、それが靱性の低下の原因となり、現実的な解析結果を得ることができなかったと考えられることから、今後、伝達系の減衰の影響を考慮するなどの検討を行う予定である。



図－３ 荷重応答



図－４ 支点反力応答

参考文献

(1) 梶谷浩：性能照査設計法と落石防護構造物，防災土木，北陸PC防雪技術協会，Vol12，pp30-37，2005。

(2) 中田吉彦，梶谷浩，梶川康男，森嶋芳大：個別要素法による鉄筋コンクリートはりの衝撃挙動解析，構造工学論文集，Vol.44A，pp.1761-1771，1998。