

個別要素法によるコンクリート版の衝撃挙動解析

金沢大学大学院

学生会員 ○久保田 晃生

京福コンサルタント（株）

正会員

今筋 平

金沢大学大学院

正会員

榎谷 浩

1. まえがき

日本は降水、降雪量が多く、地震も多い地域である。また、国土の70%が山岳部であるため、落石事故は発生頻度が高く、大災害に至る可能性が高い。そのため、落石防護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。ところが構造物や部材には幾何学的・力学的特性および材料特性など多くの要因が混在し、かつこれらが相互に影響を及ぼすため衝撃応答は極めて複雑な現象を呈している。その上、衝撃現象の解明、衝撃実験や数値解析結果の評価は未だ一定の基準や指標がないのが現状である。本研究では、衝撃破壊挙動の解明を目的とし、重錘落下衝突による実験から衝撃応答解析に反映できる基礎データを蓄積し、離散化手法の一つである個別要素法を用いた数値解析について検討した。

2. 個別要素法の連続体への適用

個別要素法は図-1に示すように構造物を要素の集合体として離散化を行い、要素の接点間に挿入したばねとダッシュポットによって材料の持つ弾性的性質および非弾性的性質を表現する。土粒子などの非連続体に適用されてきた解析法であるが、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、連続体であるコンクリート部材の破壊現象の解明にも適用されている例が多い。

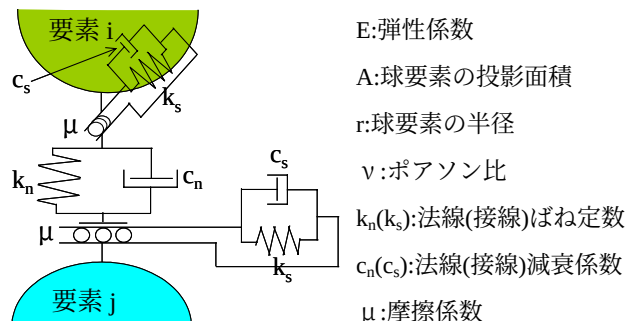


図-1 要素の結合モデル

(1) ばね定数の設定について

個別要素法による解析では法線方向と接線方向のば

ね定数の設定が非常に重要である。本解析では、連続体に適用するため次式のように修正係数 α 、 β を用いた修正ばね定数を設定した。

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

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

ばね定数の設定に関しては、修正係数の設定方法は確立されていないため、弾性解析により修正係数をパラメトリックに解析し、一般に弾性解析で用いられる有限要素法による汎用ソフト ADINA による解析結果と比較することで修正ばね定数の設定を行う。

(2) ばね定数の違いによる影響

解析モデルはコンクリート版を想定した格子配列を用いた版状モデルで、版の中央にステップ荷重 98kN を載荷した。図-2は版中央の下面変位を示した図である。はじめに $\beta=0.5$ に固定し、 α を1.0, 1.5, 2.0と変化させた結果、法線方向への影響は少なかった。一方、 $\alpha=1.0$ に固定し、 β を0.4, 0.5, 0.6と変化させた結果、 $\beta=0.5$ が最も適当であった。しかし、格子配列は法線方向の曲げ変形よりもせん断変形に近い変形が起こりやすい配列であるといえる。また配列上、要素が滑りやすく、最大変位については一致しているとはいえなかった。

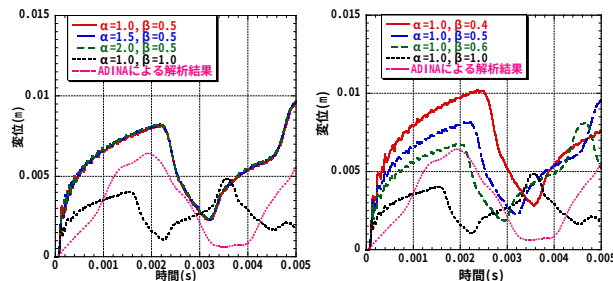


図-2 ばね定数の違いによる解析結果の違い

(3) 要素配列の違いによる影響

前節では格子配列を用いたが、精度を高めるためにより要素が密になる最密配列を用いて式(1a), (1b)に

キーワード コンクリート版, 個別要素法, 衝撃実験

連絡先 〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20 金沢大学 TEL 076-234-4603

要素配列に関する修正係数 α' 、 β' をそれぞれ掛けたばね定数 kn'' 、 ks'' をパラメトリックに解析し、設定する。その結果、 $\alpha' = 1.00$ 、 $\beta' = 0.24$ の値が得られた。図-3 は要素配列の違いによる変位を比較した図である。最密配列に変更することにより、格子配列を用いたときの問題点であった版中央での初期勾配が改善され、最大変位や波形についても ADINA での結果と比較するとより近い形となった。

(4) 荷重載荷方法の違いによる影響

これまでは 1 要素に集中荷重として載荷させており中心変位が特に大きかったため、中心から 5cm×5cm の範囲に分布荷重で載荷させた。図-4 は荷重載荷法の違いによる比較であるが、分布荷重により、ADINA での結果に近づく結果となった。

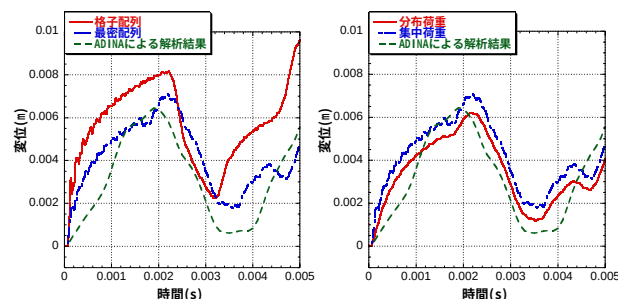


図-3 要素配列影響

図-4 荷重載荷影響

3. 衝撃破壊解析

これまでの結果を用いて、コンクリート版の衝撃実験に本解析を適用し、衝撃解析における個別要素法の有効性、プログラムの妥当性について検討する。

(1) コンクリート版の衝撃実験の概要

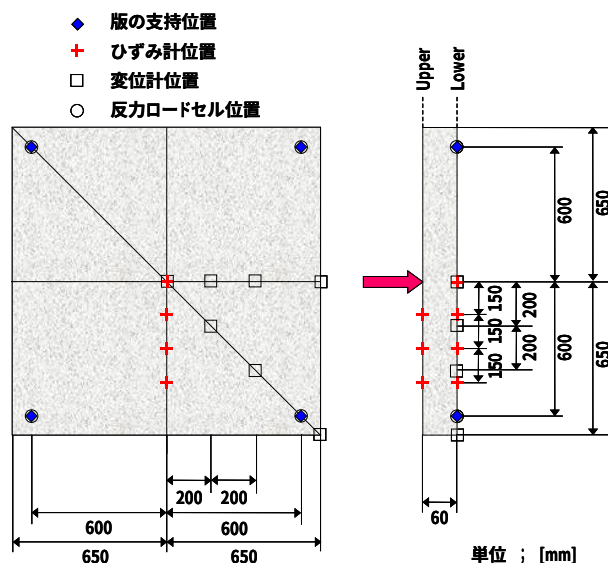


図-5 計測項目と計測位置

供試体は、1300 mm×1300 mm×6 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-5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トを介して衝撃荷重を与えた。重錘は鋼製で、49.75kg のものを使用した。

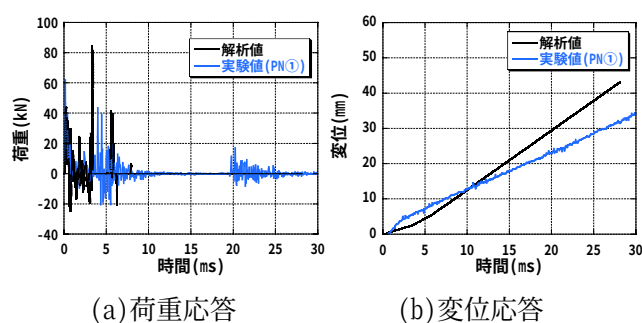
衝撃実験における供試体および載荷方法、荷重および支点反力の実験結果の一覧を表-1に示す。なお、支点反力の値は 4 つの支点に設置したロードセルにより計測した支点反力を合計したものである。

表-1 衝撃実験一覧表

供試体名	載荷条件	重錘質量 (kg)	衝突速度 (m/s)	落下高さ (m)	最大荷重 (kN)	最大合支点反力 (kN)
PN-1	繰り返し落下1回目	49.75	1.00	0.051	12.91	28.21
PN-2	繰り返し落下2回目	49.75	2.00	0.204	22.08	37.71
PN-3	繰り返し落下3回目	49.75	3.00	0.459	40.34	44.03
PN①	単一落下	49.75	4.00	0.816	61.94	26.86
PN②	単一落下	49.75	4.00	0.816	69.27	25.78

(2) 版の衝撃破壊解析結果

図-6 は荷重と変位の応答をそれぞれ比較した図である。全体として荷重値が解析の方が大きく出ており、その影響から変位の勾配も若干解析値の方が大きくなっている。しかし、実験において裏面剥離した変位応答を比較的再現できているといえる。また、個別要素法による解析では、要素の位置を表すことにより視覚的に捉えにくい破壊現象の進展を時々刻々と追跡することができるため、非常に有効な手法であるといえる。



(a) 荷重応答

(b) 変位応答

図-6 解析値と実験値の比較の一例(PN①)

6. まとめ

本研究では個別要素法による衝撃破壊解析および解析に至るまでのばね定数の設定に関する検討結果を最初に示した。また、コンクリート版の衝撃実験結果との比較により、本解析方法で実験結果の初期応答を比較的よく再現できることが明らかとなった。今後さらに精度を高めるよう検討する予定である。