

I-511

飛来物の衝突によるコンクリートスラブの 局部破壊解析への個別要素法の適用性

○（財）電力中央研究所 正員 白井 孝治
正員 伊藤 千浩
正員 大沼 博志

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物に飛来物が衝突した場合に発生する局部破壊の破壊モードは、図-1に示されるように、貫入（ひびわれ）、裏面剥離、貫通の3種類に分類される。

電中研では、これら局部破壊に対する設計手法を確立するため、高速飛来物と鉄筋コンクリートスラブを用いた衝撃実験を行い、局部破壊に対する評価式の提案を行った¹⁾。さらに、衝撃実験に対して、有限要素法によるシミュレーション解析を行い、局部破壊に対する解析的評価を試みている²⁾。

本報告では、飛来物によるコンクリートスラブへの衝突問題に、Cundall が提案した個別要素法³⁾を適用し、局部破壊に対する解析手法の適用性について検討を行った。

2. 局部破壊に対する評価式

電中研では、数多くの衝撃実験結果に基づき、局部破壊に対する限界板厚を求める評価式を提案した。図-1に、提案した評価式と実験結果の比較を示す。

また、写真-1に実験で得られた代表的な破壊モードを示す。飛来物が衝突した付近のコンクリートが、押し抜きせん断によりシェアコーン状に抜け落ちていた。

3. これまでの解析的評価

飛来物に対するコンクリートスラブの局部破壊に対する解析的評価は、有限要素法（改良DYNA-3Dコード）による衝撃応答解析結果に基づき、図-2に示す評価フローに従うものとした。

図-3に、破壊モードが裏面剥離であった実験を対象

として、解析を行った場合の衝突部の鉄筋要素のひずみと最下部コンクリート要素破壊状況図を示す。破壊モード評価フローにより、破壊モードを「裏面剥離」と推定することが可能である。

4. 局部破壊に対する個別要素法の適用性

上述の解析手法や判定フローにより、貫入量や局部破壊モード、衝突付近の発生ひずみを比較的良好に推定

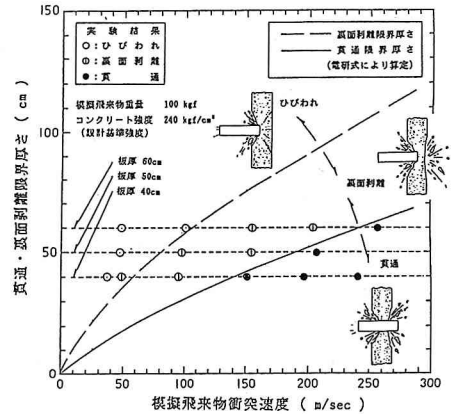


図-1 局部破壊評価式

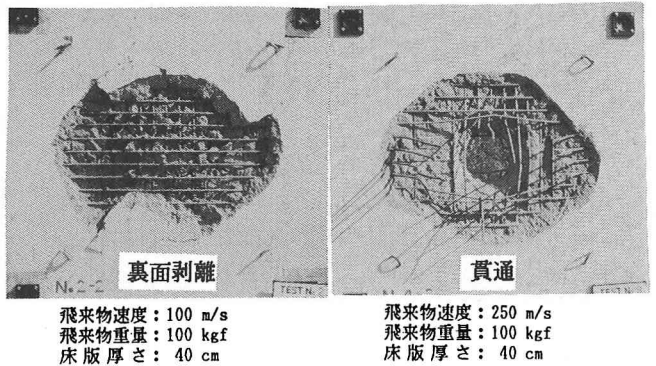


写真-1 実験で得られた破壊モード

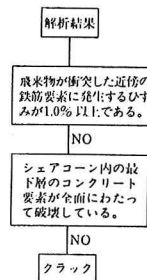


図-2 破壊モード評価フロー

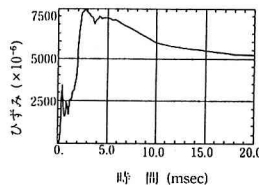
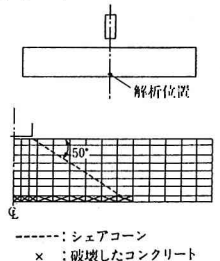


図-3 有限要素法による解析結果



できるものの、裏面剥離や貫通等のコンクリートスラブの破壊性状を直接的にシミュレートできない欠点がある。そこで、コンクリートスラブの局部破壊現象に対し、個別要素法³⁾を適用し、その有用性を検討した。

解析では、多角形要素を用い、ブロック間の不連続性や接触による変形、摩擦特性は図-4に示されるバネ-滑動系で表現した。バネ-滑動系は、ブロック間の接触点に作用し、最大せん断力はモールクーロンの破壊基準により制限した。

図-5に、解析モデルを示す。飛来物によるコンクリートスラブの局部破壊現象は三次元問題であるが、簡単のために二次元問題で取り扱い、要素の回転は伝わらないと仮定した。

解析モデルの寸法は、飛来物（φ23 cm）およびコンクリートスラブ（250 cm×250 cm、板厚 40 cm）の中央断面の形状とし、解析モデルの奥行きは1 cmとした。

表-1に、解析に用いた定数を示す。コンクリートの圧縮強度は 240 kgf/cm²とし、飛来物の密度は、飛来物の重量と同じになるように等価密度で置き換えた。なお、本解析では鉄筋を考慮していない。

図-6に、重量が100kgfで衝突速度が100m/secの場合のコンクリートスラブの破壊挙動を示す。飛来物衝突付近のコンクリートがシェアコーン状に裏面剥離しており、写真-1で示される破壊性状と良い一致を示している。図-7に、飛来物の重量が100kgfで、衝突速度が40m/sec、100m/sec、250m/secの場合のスラブの破壊状況を示す。破壊モードは、貫入、裏面剥離、貫通となっており、図-1で示される実験結果で得られた破壊性状と良い対応を示していることがわかる。

5. まとめ

個別要素法を用いた衝撃応答解析手法は、局部破壊（貫入・裏面剥離・貫通）の破壊性状をシミュレートすることが可能であり、飛来物に対するコンクリートスラブの局部破壊現象に対する有力な解析手法の1つとなりうると判断される。今後、コンクリートや鉄筋の構成関係、モデル化手法に改良を加え、定量的な評価を行う予定である。

参考文献

- 1) 伊藤, 白井, 大沼, 能町: 剛飛来物の衝突に対する鉄筋コンクリート床版の設計評価式, 落石等による衝撃問題シンポジウム, 1991.3.
コンクリート構造物の設計手法, JCIコロキウム, RC
- 2) 伊藤, 大沼, 白井, 能町: 飛来物の衝突に対するコ構造のせん断設計法に関する解析的研究, 1989.10.
- 3) Cundall, P.A.: The measurement and analysis of acceleration in rock slopes. Ph.D. Thesis, University of London, 1971.

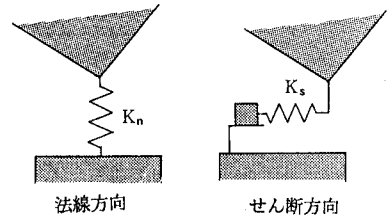


図-4 バネ-滑動系

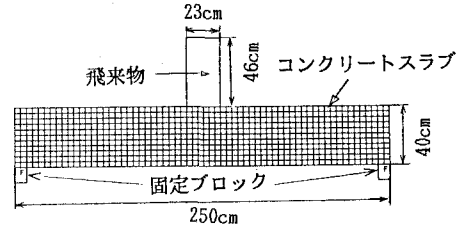


図-5 解析モデル

表-1 解析に用いた定数

密度	コンクリート 2.5 g/cm ³ 飛 来 物 4.1 g/cm ³
バネ 剛 性	K _N =9.8×10 ⁶ K _S =9.8×10 ⁶
引張強度	21.3 kgf/cm ²
粘 着 力	33.1 kgf/cm ²
内部摩擦角	37°

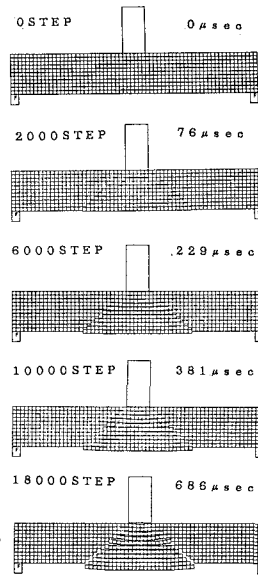


図-6 裏面剥離したスラブの破壊挙動

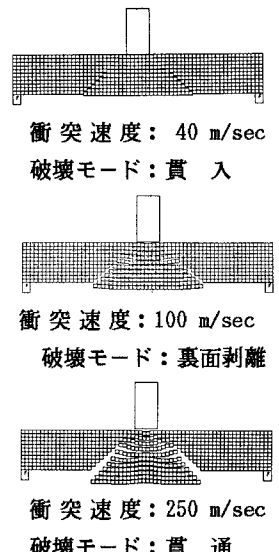


図-7 解析で得られたスラブの破壊モード