

コンクリート飛散片シミュレーションに及ぼす引張破壊構成則のランダム性の影響

防衛大学校 学生会員○澁谷 一
 防衛大学校 学生会員 原木 大輔
 防衛大学校 正会員 香月 智

1. 緒言

コンクリート構造物が衝撃作用を受ける場合、表面破壊、裏面剥離、貫通などのコンクリート片の飛散現象をとまなう破壊形態が生じる。このような局所的な破壊は、構造全体の安全性に直接影響することはないが、破片によって構造物近辺、もしくは内部にある設備や人命の安全性を脅かす二次被害の可能性もある。よって、その挙動を解析する手法が必要となる。

本研究では、個別要素法によって飛散シミュレーションを行う場合に、実験における要素間ばねの引張限界や引張破壊エネルギーに実験上のばらつきが大きいことに着目して、要素間の接触ばねの構成則にばらつきを与えることを検討し、飛散片の大きさや速度について実験結果と比較検討を行ったものである。

2. 解析手法

本解析では、コンクリートを細かい球形要素の集合体と考え、三次元における運動方程式を中心差分法を用いて解く。ただし、速度項は後進差分とした。

要素間の接触力は図-1 に示す法線方向ばねと接線方向ばね(合力方向)およびそれぞれに並列されたダッシュポッドによって表す。法線方向のばねは図-2 に示すように、引張側は引張強度に達するまでは線形弾性とし、その後は引張破壊エネルギーによって軟化勾配を変化させる 1/4 モデルに従ってばね力を低減させた。接線方向ばねは、図-3 に示すような線形モデルとし、モール・クーロンの限界状態に達すると塑性的に滑るものとした。ただし、塑性滑り量に比例して低下するものとした。従って、要素間ばねの限界条件は図-4 のようにモールクーロン型の限界条件であり、限界値は塑性変形量に応じて縮小するものである。

要素間の接触ばねの構成則に与えるばらつきは、図-5 に示すように、引張限界にばらつきを与え、破壊エネルギーは相似的に変化するものとした。ばらつきはランダムジェネレータを用いて所要の確率分布となるように、かつ、位置的には均等確率分布となるように設定した。

解析モデルは図-6 に示すように、高さ 20cm、直

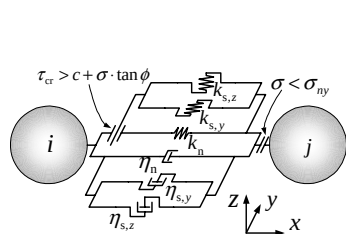


図-1 局所座標系における接触力モデル

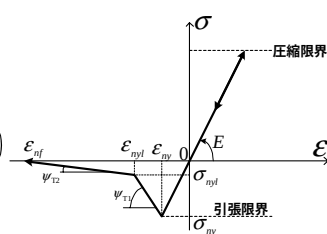


図-2 法線方向ばねの荷重～変形関係

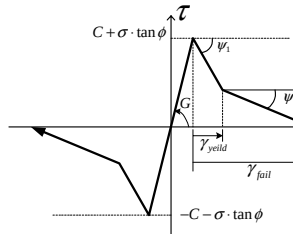


図-3 接線方向ばねの荷重～変形関係

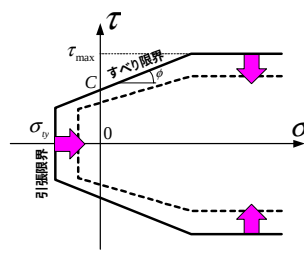


図-4 限界条件式の挙動

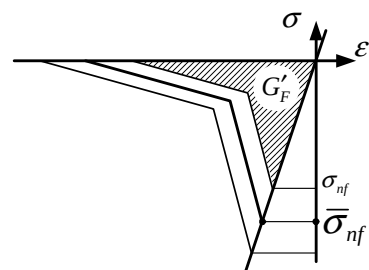


図-5 ばらつきの与え方

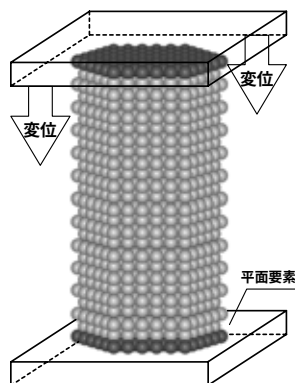


図-6 解析モデル

表-1 基準パラメータ

パラメータ名	基準パラメータ
ばね剛性	$E(\text{N/mm}^2)$
	$G(\text{N/mm}^2)$
粘着力	$c^0(\text{N/mm}^2)$
摩擦係数 (摩擦角)	$\tan \phi^0$
軟化勾配	$\psi_1(\text{N/mm}^2)$
	$\psi_2(\text{N/mm}^2)$
	S_1
せん断応力限界	$\gamma_{\max}(\text{N/mm}^2)$
引張限界	$\sigma_{ny,d}(\text{N/mm}^2)$
引張破壊エネルギー	$G_{F,ana,d}(\text{J/m}^2)$

キーワード 3次元個別要素法, コンクリート飛散片, 引張構成則のばらつき

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL: 046-841-3810

E-mail: g47049@nda.ac.jp

径 10cm の円柱供試体を、球形要素 2083 個を用いてモデル化した。また、解析モデルの上下を平面要素ではさみ、上側の平面を高速载荷(2.0m/s)の条件で時間制御される変位を与えた。

解析に用いた基準パラメータ¹⁾を表-1に示す。なお、ばらつきを与える場合は実験値の平均値を用い、ばらつきは変動係数 0.6 によって与えるものとした。

3. 解析結果

図-7に解析パラメータを確定的に用いた場合、ばらつきを与えた場合、および、実験結果の荷重～変形関係を示す。確定的パラメータでは軟化勾配の変曲点が実験結果と比べると小さいが、弾性応答から全体変形 1.4mm、最大荷重の 25%程度までの領域は良好にシミュレートできている。一方、ランダムパラメータでは、最大荷重がやや小さく、塑性域における耐力の低下が大きいが、概ね実験結果をシミュレートできている。

载荷後の飛散状況および破壊形状を図-8に示す。なお、図中の赤線は速度ベクトルを示している。図-8(a)の解析パラメータを確定的に用いた場合には、破碎片は軸対称形状に正確に6つのくの字形三角形の破片を形成し、飛び出すことがわかる。図-8(b)のランダムパラメータでは、破片形状の軸対称性が失われ、大小異なる大きさの飛散片が形成されて飛んでいる。

飛散片の質量～速度関係を図-9に示す。確定的パラメータでは、完全に軸対称形状の破壊片が形成されるので、各ケースにおいて大きな塊の3点に集中している。質量、速度ともに同等の破片が発生していることがわかる。すなわち、荷重～変形関係において良好な結果を得られたとしても、破片に関しては均一なものしか発生せず、実験のようなばらつきを表現できていない。一方、ランダムパラメータでは、速度分布については実験では軽い飛散片の速度が大きくなる傾向があるのに対し、解析では軽いものも重いものも速度分布はほぼ同じ領域にあり十分に再現できているとはいいがたものの、ランダムパラメータを用いることにより質量分布については、実験と同様なばらつきが再現できていることがわかる。

4. 結 言

確定的に設定したパラメータによる解析では、実験の荷重～変形関係を再現できる構成則パラメータを決定できるが、コンクリート飛散片形状は均質なもののしか形成されず、ばらつきを表現することはできない。しかし、引張限界および引張破壊エネルギー

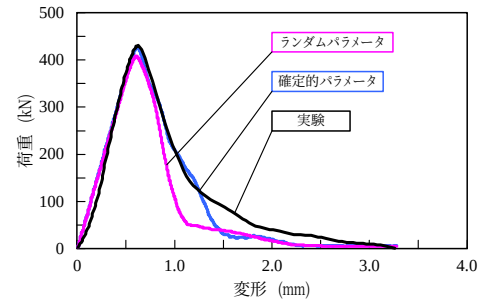


図-7 荷重～変形関係

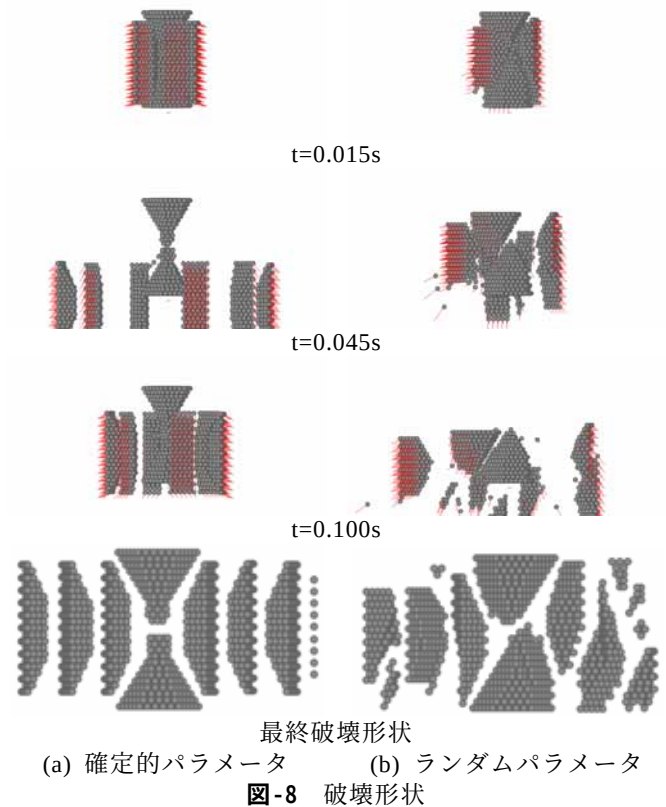


図-8 破壊形状
(a) 確定的パラメータ (b) ランダムパラメータ

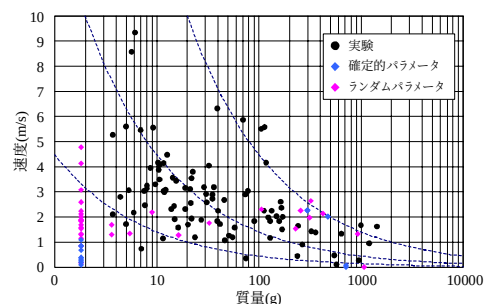


図-9 飛散片の質量～速度関係

ーにランダム性を導入することにより、飛散のばらつきを表現できる。

参考文献

- 1) 原木大輔, 香月智, 藤掛一典: 個別要素法のコンクリート破片飛散シミュレーションへの応用, 応用力学論文集, Vol.9, p.p.667-678, 2006.8.