

個別要素法によるコンクリート飛散片解析における引張軟化特性の影響

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

コンクリート破砕片の飛散シミュレーションに適した三次元個別要素法の解析プログラムにおいて、破砕片の飛散挙動は、破壊前のひずみエネルギーの蓄積とその解放を支配する軟化領域の構成則が重要と考えられるにもかかわらず、その関係については明らかにされていない。そこで本研究は、軟化勾配などを支配する軟化領域の構成則パラメータがコンクリート飛散片の挙動に与える影響を考察するものである。

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 G_F 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。また、圧縮側にはコンクリートの非線形性を表現するために、任意の圧縮応力限界に漸近するポポビクス式

による関係を与えた。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。

シミュレーション解析するための要素配列モデルは、図-4 に示すような、直径 10mm ($R=5.0\text{mm}$)の球形要素 2083 個を用いた最密充填配列である。解析モデルの上下を平面要素ではさみ、上側の平面を急速載荷(2.0m/s)の条件となる時間制御される変位を与えた。

解析に用いたパラメータを表-1 に示す。本研究では、軟化領域の構成則パラメータの飛散片の速度や大きさに与える影響を考察するため、引張破壊エネルギー G_F を 40~100(J/m²)と変化させた。その他の解析パラメータについては既往の研究¹⁾に基づいて決定した。

3. 解析結果

引張破壊エネルギー G_F が 40,70,100(J/m²)の場合の、荷重～変形関係を図-5 に示す。引張破壊エネルギーが小さいとわずかであるが最大荷重後の軟化勾配が急になっており、脆性的になっていることがわかる。

引張破壊エネルギー G_F が 40,70,100(J/m²)の場合の、載荷後 0.4(s)後の球形要素の位置から表される破壊形

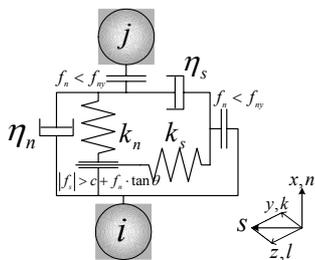


図-1 局所座標系における接触力モデル

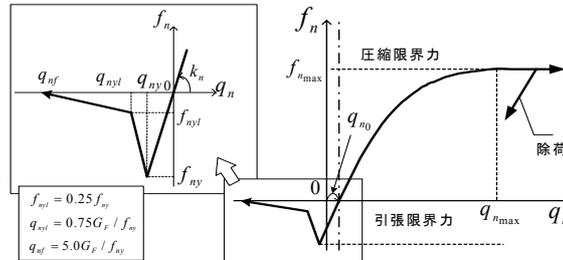


図-2 法線方向ばねの荷重～変形関係

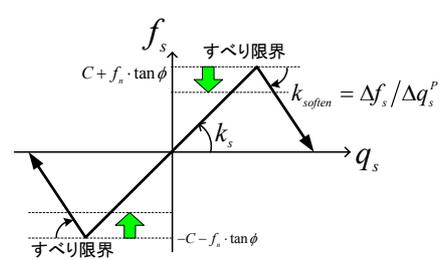


図-3 接線方向ばねの荷重～変形関係

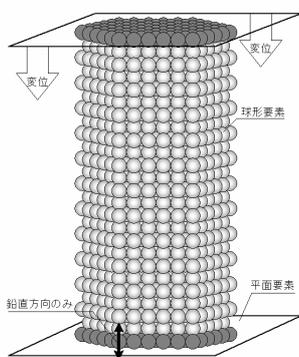


図-4 解析モデル

表-1 解析パラメータ

引張破壊エネルギー G_F (J/m ²)	40,50,60,70,80,90,100
ばね 法線方向 k_n (N/mm)	7.45×10^7
定数 接線方向 k_t (N/mm)	4.56×10^7
減衰定数 h	0.01
粘着力 C (N)	430
摩擦角 ϕ (°)	25
引張限界力 f_{ny} (N)	-120
軟化終了変形角 $\gamma_{s,fall}$ (rad)	0.03

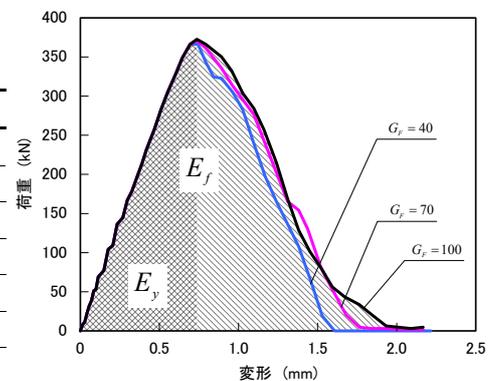


図-5 荷重～変形関係

キーワード 3次元個別要素法, コンクリート飛散片, 引張軟化特性
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 : g45076@nda.ac.jp

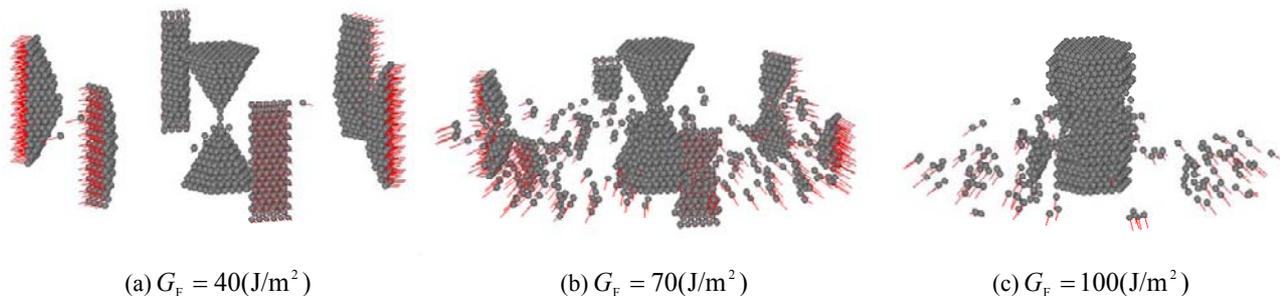


図-6 破壊形態

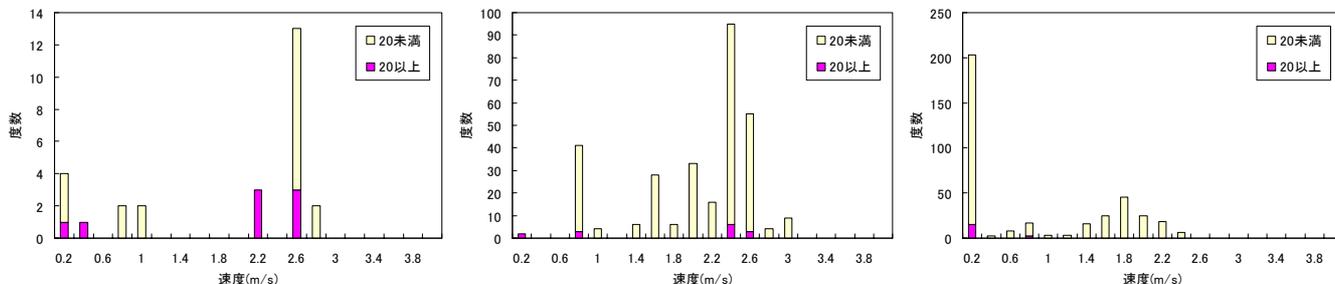


図-7 速度分布

態と、その際の実速度分布をそれぞれ図-6, 図-7 に示す。
 $G_F = 40(\text{J}/\text{m}^2)$ の場合、大きな塊を形成して飛散しており、破碎後には円錐状の塊が残されている。
 $G_F = 70(\text{J}/\text{m}^2)$ の場合、大きな塊を形成する要素とばらばらになって飛散する要素が混在しており、実際の破壊現象に近い結果となった。 $G_F = 100(\text{J}/\text{m}^2)$ の場合、ばらばらになって飛散する要素がほとんどで、破碎後には塊となって多くの要素が残されている。図-7 の速度分布において、 $G_F = 70(\text{J}/\text{m}^2)$ の場合、大きな塊を形成する要素とばらばらになって飛散する要素が混在しているため、速度が広い範囲に分布していることがわかる。

ここで、図-5 に示すように破壊に至るまでの全吸収エネルギー E_f を最大荷重までの吸収エネルギー E_y (図中網掛けの部分) で除した E_f/E_y を靱性指数として定義し、靱性指数～引張破壊エネルギー関係を図-8 に示す。引張破壊エネルギー G_F が 40,50,60(J/m^2) に対して靱性指数は 2.13,2.25,2.35 と急激に増加するが、60,70,80 (J/m^2) では一定となり、90(J/m^2) 以降緩やかに増加する。すなわち、60~80 あたりに遷移領域あることがわかる。図-9 に、各解析結果から得られる靱性指数と要素の運動エネルギーの関係を示す。靱性指数が小さいと、すなわち脆性的になるほど運動エネルギーは大きくなることわかる。

4. 結 言

本研究は、個別要素法によるコンクリート破砕片の飛散シミュレーションにおいて、引張破壊エネルギー G_F 飛散片の速度や大きさに与える影響を考察した。その成果を以下に示す。

(1) 引張破壊エネルギー $G_F = 70(\text{J}/\text{m}^2)$ で、実際の破

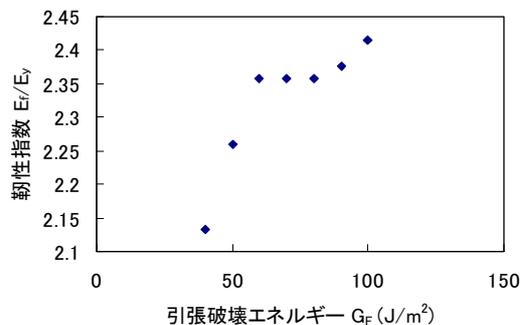


図-8 靱性指数～引張破壊エネルギー関係

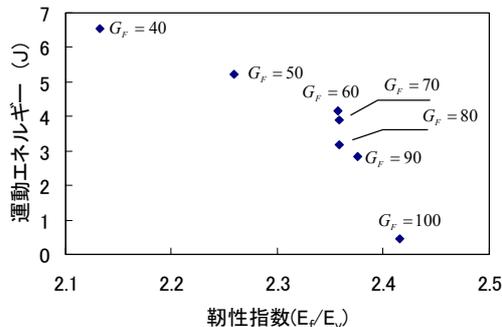


図-9 運動エネルギー関係～靱性指数

- 壊現象に近い飛散挙動をシミュレートできた。
- (2) 引張破壊エネルギーが小さいほど脆性的になり、飛散要素の運動エネルギーが大きくなる。
- (3) 引張破壊エネルギーが小さいと、飛散要素は大きな塊を形成し、引張破壊エネルギーが大きいと、ばらばらになって飛散する。

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, pp.667-678, 2006.8