

粒子法によるコンクリート板の局部損傷シミュレーション

防衛大学校 正会員 ○別府 万寿博
九州大学 正会員 園田 佳巨

1. 緒言

コンクリート構造物に衝撃荷重が作用すると、構造全体の弾塑性応答とともに、慣性力や応力波の影響による局部的な飛散・剥離が生じる。このような複雑な破壊挙動を数値解析的に評価するため、これまでに多くの数値解析手法が提案されてきた。しかし、低速度から高速度にわたる衝撃荷重下のコンクリート構造物の破壊挙動を、統一して再現することは難しい現状にある。

本研究は、連続体の弾性的性質から不連続挙動を表現できる粒子法を用いて、剛飛翔体の高速衝突を受けるコンクリート板の局部損傷のシミュレーション解析を行ったものである。

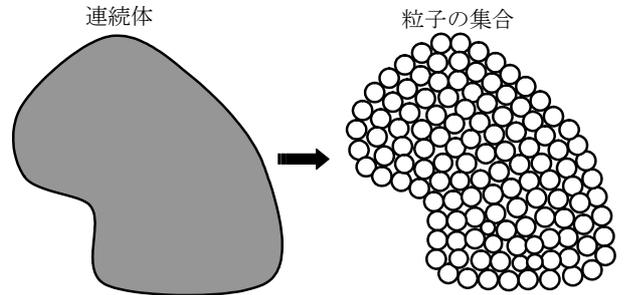


図-1 粒子法の概念図

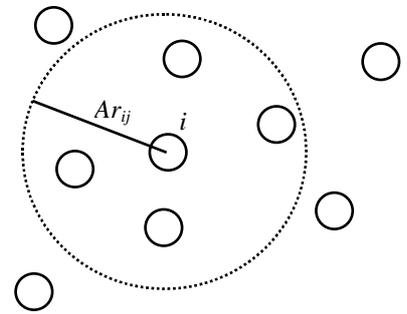


図-2 影響範囲

2. 粒子法¹⁾の概要

粒子法では、連続体を図-1に示すように有限個の粒子によって表し、連続体の挙動を粒子の運動によって計算する。図-2に示す粒子*i*に着目し、粒子*i*と半径 Ar_{ij} に囲まれた円（影響範囲と呼ぶ）内に存在する粒子を考える。粒子*i*に作用する x 、 y 、 θ 方向の力とモーメント F_x 、 F_y 、 M は、粒子*i*、 j 間の法線方向および接線方向のひずみに剛性を乗じて座標変換した力を重み付き平均して求められる¹⁾。

3. コンクリート板の局部損傷シミュレーション

3.1 解析の対象と解析モデル

解析の対象は、剛な飛翔体が速度 300m/s でコンクリート板に衝突する問題である。コンクリート板が高速衝突を受けると、衝突部に表面破壊が、裏面側には押し抜きせん断破壊のような局部破壊が生じる特徴がある。解析モデルは、図-3に示すように2次元軸対称系で作成した。すなわち、中心から R だけ離れた位置の質量、剛性および強度については、単位厚さあたりの質量、剛性および強度にその位置の周長 $2\pi R$ を乗じた値を用いている。なお、粒子は格子状に配列し、その直径は0.5cmである。鋼製飛翔体は弾性体としてモデル化した。初期条件として、飛翔体の粒子に初速度 300m/s を与え、境界条件としてコンクリート板の周辺を固定した。

3.2 コンクリートの構成モデル

コンクリートの法線方向のバネは、図-4(a)に示すように圧縮側はバイリニア型の硬化塑性モデルとし、引張側は引張強度後に線形軟化するモデルとした。接線方向については、図-4(b)に示すようにMohr-Coulomb型の降伏基準を用いた。コンクリートのヤング係数とポアソン比は、 20kN/mm^2 および0.15に、圧縮および引張強度はそれぞれ 25.0 、 2.5 N/mm^2 とした。圧縮側の2次勾配および引張側の軟化勾配は、それぞれ初期勾配の0.1倍および 100N/mm^2 と仮定した。

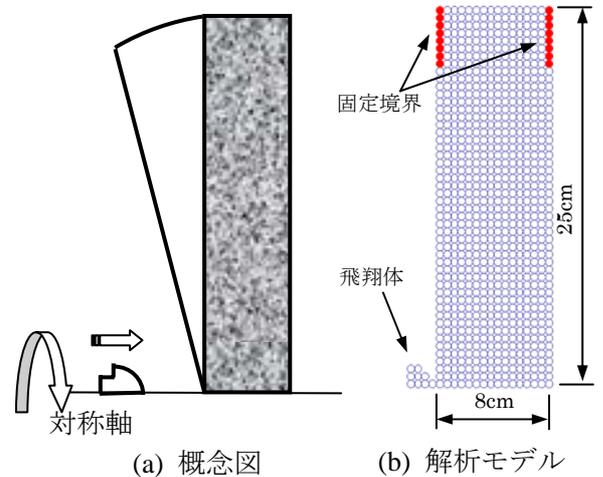


図-3 2次元軸対称モデル

キーワード 粒子法, 影響範囲, コンクリート, 高速衝突, ひずみ速度効果

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 : 046-841-3811

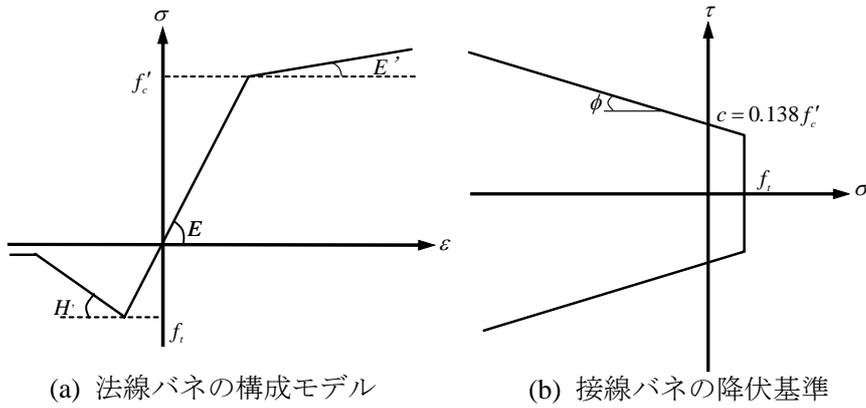


図-4 法線方向と接線方向バネの構成モデル

3.3 解析パラメータ

解析パラメータは、重み付き平均の影響範囲とひずみ速度効果とした。図-5に、これまでに行った粒子法によるコンクリート板の一軸圧縮解析の結果¹⁾を示す。ここで、影響範囲の指標が $\beta=1.0$ の場合は個別要素法と同じで、上下左右の4個の粒子と力の相互作用を行う。 $\beta=2.0$ および $\beta=4.0$ の場合は、それぞれ周囲の8個および12個の粒子と相互作用を行う。図より、 $\beta=2.0$ および $\beta=4.0$ に設定すると、斜めのすべり破壊を表現できることがわかる。本解析においても、 β を1.0~4.0に変化させてその影響を考察した。ひずみ速度効果については、圧縮および引張強度の増加率をパラメータとした。

3.4 解析結果

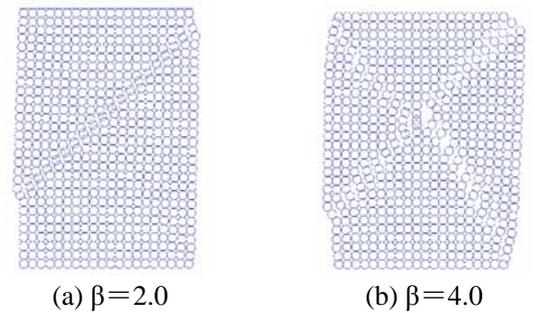
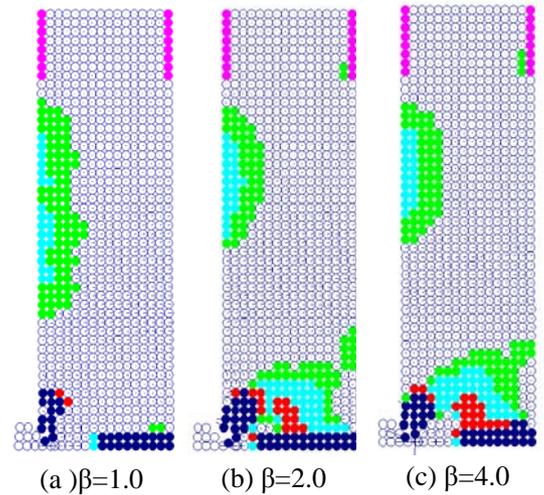
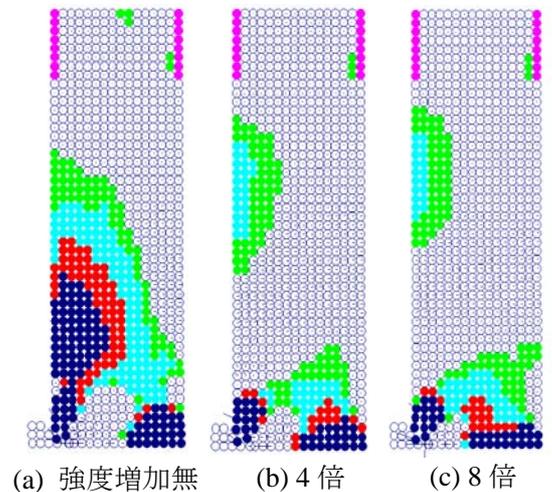
図-6に、強度増加率が8倍のときに、影響範囲が解析結果に与える影響を示す。図は、衝突後 $t=0.14\text{ms}$ 時の引張ひずみの分布を示している。これより、 $\beta=1.0$ では衝突部真裏にひび割れが発生するが、局部損傷特有の衝突部から斜め方向に発達するひび割れは生じなかった。一方、 $\beta=2.0, 4.0$ と影響範囲を大きくするとともに、斜め方向のひび割れ領域が再現されている。図-7に、 $\beta=4.0$ のときに、強度増加率が解析結果に及ぼす影響を示す。これより、強度増加を考慮しない場合は、裏面よりも表面側の広い範囲においてひび割れが発生している。しかし、強度増加率を大きくすると、表面のひび割れは飛翔体が衝突した部位近傍に集中し、裏面のひび割れ領域も衝突位置から斜め方向に発達していることがわかる。以上より、影響範囲の指標 $\beta=4.0$ 、強度増加率8倍のときに、コンクリートの局部的損傷の特徴を表現できることがわかった。

4. 結言

本研究は、粒子法を用いて、剛飛翔体の高速衝突を受けるコンクリート板の局部損傷シミュレーションを行ったものである。粒子法における重み付き平均の影響範囲やひずみ速度効果によるコンクリートの強度増加を適切に考慮することにより、局部損傷を再現することができた。

参考文献

- 1) 別府万寿博, 園田佳巨, 玉井宏樹: 粒子法によるコンクリートおよびRCはりの非線形解析に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.28, No.2010, 2006.7

図-5 一軸圧縮を受けるコンクリート板の解析結果¹⁾図-6 影響範囲の影響
(強度増加率8倍)図-7 強度増加率の影響 ($\beta=4.0$)