

メゾスケール解析による高速衝突を受ける繊維補強セメント複合材料板の局部破壊挙動評価

名古屋大学大学院 学生会員 ○岡崎 宗一郎

名古屋大学大学院 正会員 山本 佳士, 中村 光, 三浦 泰人

防衛大学校 正会員 別府 万寿博

1. はじめに

東日本大震災以降、一度発生すると甚大な被害を及ぼす作用に対しても高度な安全性が求められるようになってきており、航空機衝突、竜巻飛散物等の衝撃作用に対するコンクリート構造物の応答を精度よく予測する数値解析手法の確立が望まれている。また、既往の実験的研究から、繊維補強セメント複合材料は、耐衝撃性能が高い可能性が示されている。一方で、打設時の制約条件等で繊維の配向性に偏りが生じ、この偏りが力学挙動に大きな影響を与えることが知られている。しかしながら、既往の研究は静的荷重下のものがほとんどであり、上記のような衝撃作用下では実験を行うのが難しく、実験データが十分でないために未解明な点も多い。したがって、機械的性質や配向性など繊維一本からその力学的特性をモデル化するメゾスケール解析による耐衝撃性の評価は有用であると考えられる。本研究は高速衝突を受ける繊維補強セメント複合材料部材の局所破壊挙動をメゾスケールからシミュレートできる数値解析手法を開発し、その妥当性を検証するとともに、繊維の配向性の偏りが耐衝撃性能に与える影響を評価することを試みたものである。

2. 解析手法

本研究では、解析手法として Voronoi 分割によるランダム多面体要素を適用した 3 次元 RBSM を用いた。要素間バネの構成モデルには、山本ら¹⁾によって提案されているコンクリートの引張・圧縮軟化挙動、局所化挙動および拘束圧依存性挙動を定量的に再現できる構成モデルを用いた。繊維のモデル化には、国枝ら²⁾によって提案されている離散化モデルを適用した。このモデルでは図-1 のように、剛体要素の境界面をまたぐ繊維位置において、長さ 0 のバネを配置することで繊維の架橋力を評価している。衝撃応答は、RBSM により離散化された運動方程式を、中心差分法を用いて陽的に解いた。なお、提案モデルは、本研究で対象と

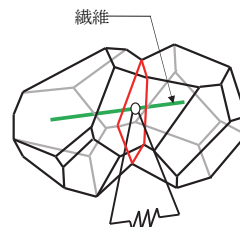


図-1 繊維の離散化モデル

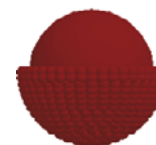


図-2 飛翔体モデル

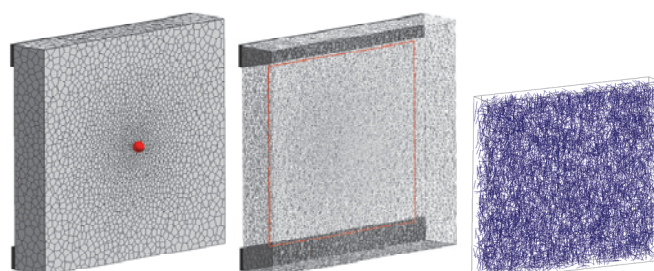


図-3 解析モデル

図-4 繊維モデルの一例

するひずみ速度領域であれば特にひずみ速度依存性を構成モデルに考慮しなくてもコンクリート材料の巨視的なひずみ速度依存性を自然と再現できることを確認している¹⁾。ただし、繊維補強効果に対するひずみ速度依存性に関しては検証を行っておらず今後の課題としたい。剛飛翔体は図-2 に示す個別要素法 (DEM) を用いてモデル化した。

3. 実験および解析概要

対象実験は別府らによって行われた剛飛翔体の高速衝突を受けるプレーンコンクリートおよび繊維補強セメント複合材料板の実験³⁾である。剛飛翔体の質量は 50g、材質は鋼材(SS400)であり、先端形状は半球型、直径は 25mm である。剛飛翔体は高压空気式飛翔体発射装置を用いて、所定の速度で発射される。供試体の寸法は、縦 500mm、横 500mm、厚さ 80mm である。繊維は PVA (ヤング率 23kN/mm², 引張強度 900N/mm², 直径 0.66mm, 長さ 30mm) を使用しており、マトリクスは一般的なコンクリートである。プレーンコンクリート、繊維補強セメント複合材料の圧縮強度はそれぞれ 45.7, 46.3N/mm² である。解析モデルを図-3 に示す。

キーワード RBSM, メゾスケール解析, 高速衝突, 繊維補強セメント複合材料, 配向性

連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 名古屋大学工学研究科社会基盤工学専攻 TEL : (052)-3735-4637

繊維は所定の混入率になるよう疑似乱数を用いて図-4のように1本ずつ配置した。また、繊維配向性の偏りの影響を評価することを目的として、供試体側面から見て、繊維を水平・鉛直方向に配置した解析も行った。

4. 解析結果

解析により得られた変形図(変形倍率2)を図-5に示す。実験において、プレーンコンクリートでは、300m/sで裏面破壊、400m/sで貫通が見られたのに対して、解析ではどちらの速度においても、裏面破壊にとどまった。提案手法は、プレーンコンクリート板の損傷の程度をやや小さく評価しているものの、ひび割れ、破壊性状は良好に再現している。繊維補強セメント複合材料では、実験において、どちらの速度も表面破壊でとどまっていた。解析は衝突速度に応じた破壊性状および実験で観察される破壊が再現できている。図-6に衝突速度400m/sの、配向性に偏りを持たせたケースの供試体中央断面のひび割れ性状(2.0ms時)を示す。対象としたケースの中では、水平方向に配置したケースが他のケースと比べて損傷がやや小さくなった。この理由として以下のようなことが考えられる。対象実験および解析ともに、斜めひび割れが衝突点から裏面に向かって約30°の傾きを持って生じている。ひび割れ法線方向に対して繊維が大きな配向角度を持つと、コンクリートからの反力により繊維の見かけの引抜き強度は増加する一方で、繊維の破断強度が低下することが知られている。提案手法では、両者をモデル化しているが、実験および解析の両方で繊維の破断はほとんど観察できなかった。したがって、ここでは、繊維の引抜き強度の増加率が大きい、水平方向に配置したモデルの方が、高い補強効果を示したと考えられる。

5. 結論

提案モデルは、繊維による補強効果を定性的に再現することができ、破壊性状を良好に再現できる。また、繊維の配向性の偏りが力学特性に与える影響を評価できるということが分かった。今後は、繊維の付着すべり挙動におけるひずみ速度効果を詳細に検討していく予定である。

参考文献

1) 山本佳士, 中村光, 黒田一郎, 古屋信明(2010) 3次元RBSMによるコンクリートの高速圧縮破壊解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.32 No.2, pp.721-726, 2) 国枝稔, 小澤国大, 小倉大季, 上田尚

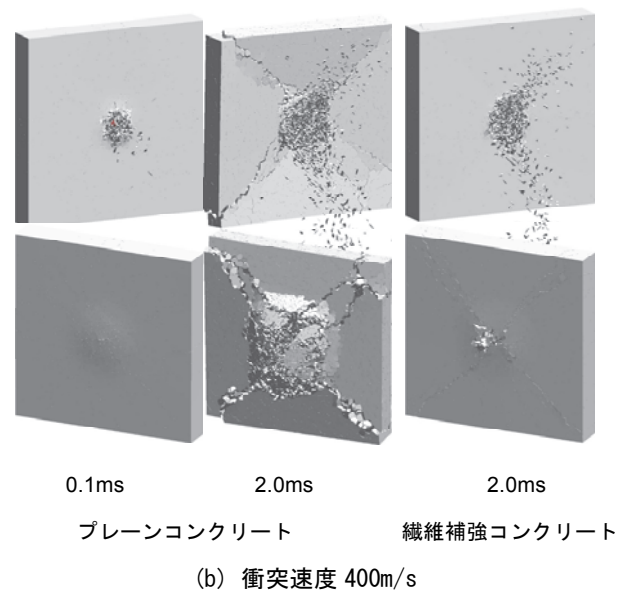
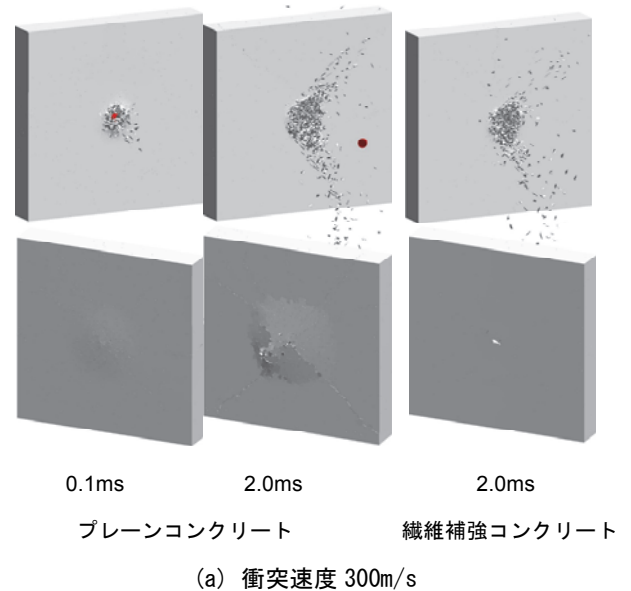


図-5 変形性状

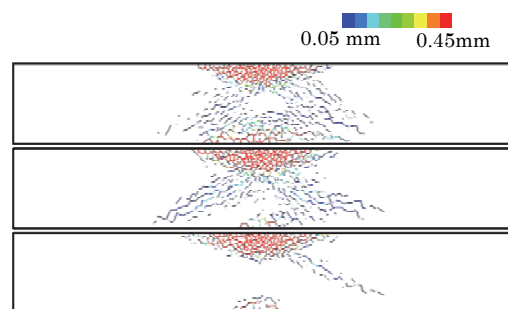


図-6 ひび割れ性状(上:鉛直, 中:ランダム, 下:水平)

史, 中村光(2010) 短繊維を離散化した3次元メゾスケール解析手法によるひずみ硬化型モルタルの引張破壊解析, 土木学会論文集 E, Vol.66 No.2, pp.193-206, 3) 別府万寿博, 小川敦久, 高橋順(2014) 剛飛翔体の高速衝突を受ける繊維補強セメント系複合材料板の耐衝撃性能, 土木学会論文集 E2, Vol.70 No.2, pp.180-193