

ひずみ速度の影響に着目したモルタルの準微視的圧縮破壊解析

北海道大学 正会員 ○松本 浩嗣

北海道大学 正会員 佐藤 靖彦

北海道大学 正会員 上田 多門

1. はじめに

コンクリートの破壊が載荷速度の影響を受けることは、古くから知られている。しかし、その破壊プロセスが微視的であることから、メカニズムに対する検証はほとんどされていない。これを解決する方法として、微細構造解析、すなわち、コンクリートを骨材、モルタルより成る不均質材料としてモデル化し、微視的な破壊挙動を解析的に再現する手法が挙げられる。そこで本研究では、解析手法として剛体バネモデル（以下、RBSM）を用い、コンクリートの基本構成材料であるモルタルについて、載荷速度を変化させた解析を行い、実験結果との比較および破壊性状の検証を行った。

2. 解析手法

離散解析手法のひとつである RBSM(Rigid Body Spring Model)では、解析対象は複数の多角形要素に分割され、各要素間にバネが連結される。各要素は水平、鉛直、回転方向の3自由度を持つ。また、要素間には直方向、せん断方向に対し2つの連結バネが存在する。RBSM ではひび割れは要素間のみに発生するため、要素形状が破壊の進行方向に影響を及ぼす。これを排除するため、ボロノイ分割法を用いて要素を生成し、形状にランダム性を与えた。

3. 構成モデル

本研究では、RBSM の時間依存構成モデルとして、前報[1]において構築した4成分系力学モデル（図-1）

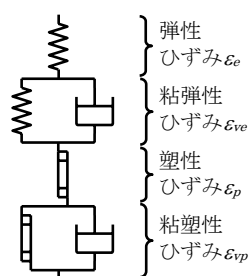


図-1 4成分系力学モデル

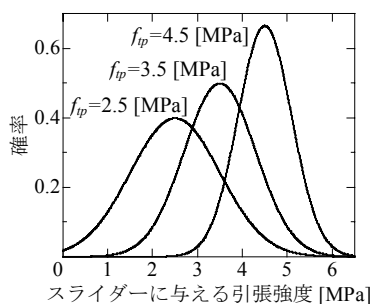


図-2 確率密度関数

を採用した。4成分系力学モデルは、弾性ひずみ、粘弾性ひずみ、塑性ひずみ、粘塑性ひずみから成るモデルあり、各成分は弾性バネ要素、スライダ要素、ダッシュポット要素の組み合わせで記述される。ここに、直方向に配するスライダはひび割れの引張軟化特性、せん断方向に配するスライダはひび割れ間のせん断伝達特性を表す。各要素の材料定数は、モルタルの配合条件および養生期間から求める。モルタルの不均質性を表現するため、図-2に示す確率密度関数を用いて、材料定数に対してばらつきを与えた。

前報[1]において、ひずみ速度がモルタル強度に及ぼす影響を再現するためには、ダッシュポット要素を非線形モデルで与えなければならないことを示した。そこで本研究では、図-3に示す擬塑性モデルをダッシュポット要素に導入した。すなわち、ダッシュポットの応力は、ひずみ速度の対数倍に比例するとした。

4. ひずみ速度の異なる条件での単調圧縮載荷解析

(1) 解析諸元

図-4に、解析に用いたモルタルモデルを示す。上面に強制変位を下方方向に与えることにより載荷した。解析変数はひずみ速度で、40（静的）、400、4000、40000[mic/sec]の4ケースとした。図-2に示した材料定数のばらつきが解析結果に与える影響を検証するため、各ひずみ速度に対し解析をそれぞれ3回行った。

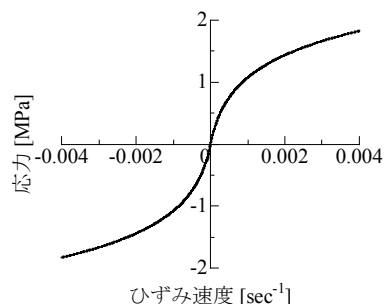


図-3 擬塑性モデル

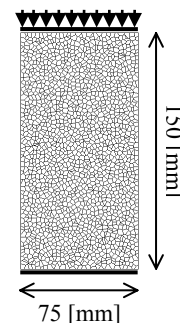


図-4 モルタルモデル

キーワード 剛体バネモデル、ひずみ速度、時間依存、応力解放・再分配、破壊力学

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目（維持管理システム工学研究室） TEL011-706-6220

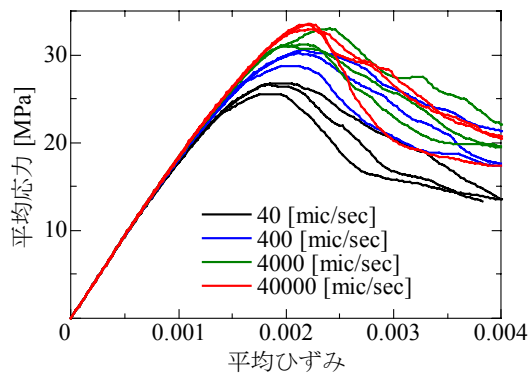


図-5 平均応力-平均ひずみ関係

(2) 平均応力-平均ひずみ曲線

供試体の上端変位を高さで除した値を平均ひずみ、上端に作用する荷重を断面積で除した値を平均応力と定義する。図-5に、解析で得られた平均応力-平均ひずみ関係を示す。既往の実験[2][3][4]で観察されるように、ひずみ速度が大きいほど、ピーク時の応力およびひずみが大きくなる傾向が得られた。

(3) 破壊性状

図-6に、各ひずみ速度における、応力が強度の3/4まで軟化した点の破壊性状を示す。40 [mic/sec]では複数のひび割れが分散的に発生しているが、ひずみ速度が大きくなるほど、ひび割れが局所的に変化しており、40000 [mic/sec]では一本の大きなひび割れが斜めに発生する破壊形態へとシフトしている。これは、ひずみ速度が大きいほど、時間の経過に伴う応力解放、再配分が生じにくいためである。

(4) 強度増加率とひずみ速度との関係

ピーク時応力を40 [mic/sec]におけるピーク時応力で正規化したものを強度増加率と定義する。強度増加率とひずみ速度との関係を図-7に示す。図には、既往の実験結果[2][3][4]も併せて示している。実験、解析共に、強度増加率はひずみ速度の対数倍にほぼ比例し

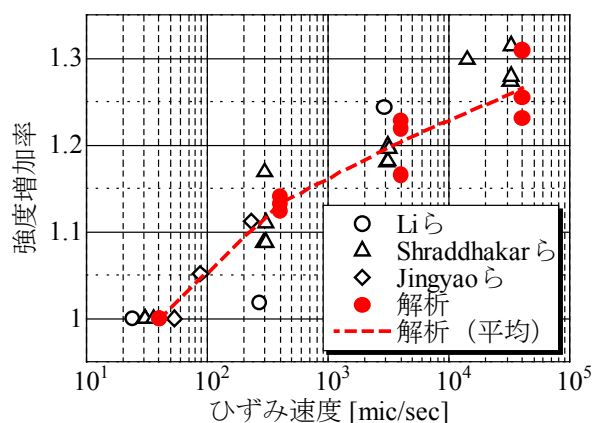


図-7 強度増加率とひずみ速度との関係

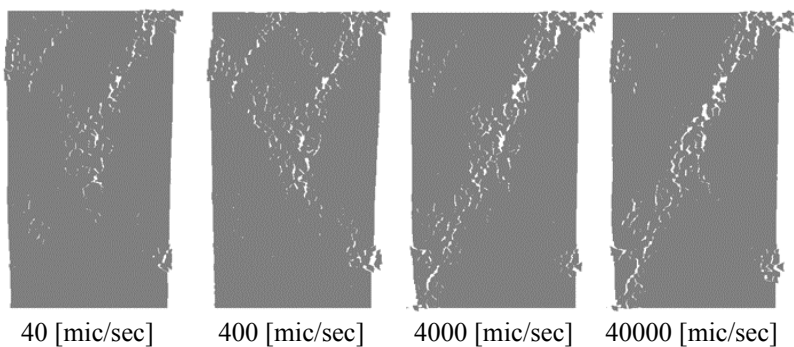


図-6 ひずみ速度の違いによる破壊性状の変化

ている。本解析により、ひずみ速度がモルタルの圧縮強度に与える影響を良好に再現することができた。また、同じひずみ速度でも、解析回数により値は変化しており、材料の不均質性によるモルタル強度のばらつきを表現することができた。

5. 結論

- (1) 擬塑性モデルを導入した RBSM による時間依存解析により、ひずみ速度がモルタルの破壊性状に与える影響を再現することができる。
- (2) ひずみ速度が大きいほど、ひび割れが局所化する傾向にある。これは、時間の経過に伴う応力解放、再配分が起こりにくいためである。
- (3) 本解析手法により、ひずみ速度がモルタルの強度増加に与える影響、材料不均質性が強度のばらつきに与える影響を再現することができる。

参考文献

- [1] 松本浩嗣, 佐藤靖彦, 上田多門: 載荷速度の影響に着目したモルタルの剛体バネモデル解析, 土木学会第62回年次学術講演会講演概要集, 5-354
- [2] Jingyao Cao and D.D.L. Chung: Effect of strain rate on cement mortar under compression, studied by electrical resistivity measurement, *Cement and Concrete Research*, Vol.32, pp.817-819
- [3] Li Zhaoxia and Huang Yaoping: Effect of Strain Rate on the Compressive Strength Surface Cracking and Failure Mode of Mortar, *ACI Material Journal*, Vol.95, No.5, pp.512-518
- [4] Shrivadhakar Harsh, Zhenjia Shen and David Darwin: Strain-Rate Sensitive Behavior of Cement Paste and Mortar in Compression, *ACI Material Journal*, Vol.87, No.5, pp.508-516