

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

北海道大学 学生員 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

載荷速度の違いがコンクリートの破壊性状に及ぼす影響について、今までに多くの実験が行われてきた。しかし、破壊に至るプロセスが微視的であるが故、その破壊メカニズムに対する詳細な検証はほとんど行われていない。

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。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、載荷速度が破壊挙動に及ぼす影響に着目した解析を行った。

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が発生するため、要素形状が破壊の進行方向に影響を及ぼす。これを

取り除くため、ポ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

3.1 時間依存構成モデル

時間依存挙動に対するモルタル材料のRBSM構成モデルとして、筆者らは、図-1に示す4成分系力学モデルを提案している¹⁾。ここに、モルタルのひずみは、弾性、粘弾性、塑性、粘塑性の4成分の和で与えられ、各成分は弾性バネ、スライダー、ダッシュポット要素の組み合わせで記述される。本研究では、各構成要素の力学挙動を以下のように定めた。

(1) 弾性バネ要素

フックの法則に従い、以下の式を用いる。

$$\sigma_e = k_{1,2} \varepsilon_{e,ve} \tag{1}$$

ここに、 σ_e :弾性バネの応力、 $k_{1,2}$:弾性係数、 $\varepsilon_{e,ve}$:弾性バネのひずみ

(2) ダッシュポット要素

ニュートンの粘性法則に従い、以下の式を用いる。

$$\sigma_v = c_{1,2} \dot{\varepsilon}_{ve,vp} \tag{2}$$

ここに、 σ_v :ダッシュポットの応力、 $c_{1,2}$:粘性係数、 $\dot{\varepsilon}_{ve,vp}$:ダッシュポットのひずみ速度

(3) スライダー要素

スライダー要素は、準微視的スケールにおける引

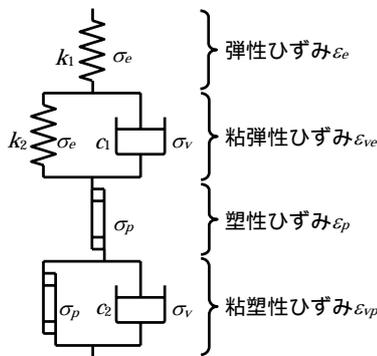


図-1 4成分系力学モデル

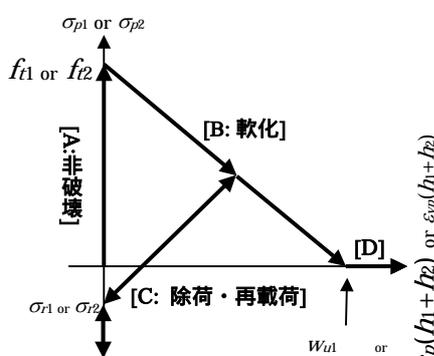


図-2 直方向スライダーの応力-ひずみ関係

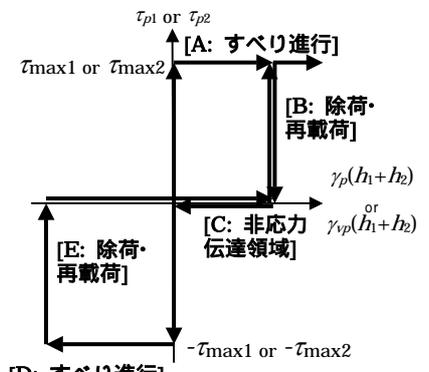


図-3 せん断方向スライダーの応力-ひずみ関係

キーワード 剛体バネモデル, 時間依存, 破壊力学, 粘性, クリープ

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 TEL 011-706-7587

表 - 1 解析ケース

呼び名	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5
ひずみ速度 (mic/sec)	4.0×10^5	4.0×10^3	4.0×10^2	8.0×10^1	4.0×10^1

張軟化およびせん断伝達特性を表す。図 - 2 および図 - 3 に示す関係を用いる。

3. 2 モデル内定数

4成分系力学モデルでは、弾性成分が静的荷重下における初期弾性係数、粘弾性係数が低応力下におけるクリープ挙動、塑性成分が高ひずみ速度下における破壊強度および終局ひずみ、粘塑性成分が低ひずみ速度下における破壊強度および終局ひずみを支配する。これらに対する実験値と合致するように、各構成要素の定数を定めた。

4. 載荷速度の異なるモルタルの解析

(1) 解析諸元

解析供試体のサイズは 100mmx200mm ,ポロノイ要素数は $40 \times 80 = 3200$ 個であり、載荷は上面に対し鉛直方向に変位制御で行った。表 - 1 に解析ケースを示す。パラメータはひずみ速度であり、全部で 5 ケース行った。CR5 が、JIS で規定される静的載荷の速度に対応する。すなわち、本研究では、静的載荷よりも大きい載荷速度について検討を行った。

(2) 解析結果と考察

作用荷重を断面積で除した値を平均応力、上端変位を供試体高さで除した値を平均ひずみと定義する。図 - 4 に、各ケースで得られた平均応力 - 平均ひずみ関係を示す。載荷速度が大きいほど、ピーク時応力 (= 強度) が増加する結果が得られた。

図 - 5 に、ひずみ速度とピーク時応力との関係を示す(図中の)。Li らの実験結果²⁾によれば、モルタルの圧縮強度はひずみ速度の対数倍にほぼ比例す

る。これに対し、本研究で行った解析では、強度とひずみ速度との関係は上に凸の急激な増加を示している。これは、ダッシュポットの応力 - ひずみ関係がニュートンモデルであり、ひずみ速度に比例した粘性抵抗が生じていることに原因がある。そこで、ダッシュポットの応力とひずみ速度との関係を、図 - 6 に示す上に凸の指数関数で定まるように、ニュートンモデルにおける粘性係数をひずみ速度に応じて低減した解析を再度行った。この場合のピーク時応力 - ひずみ速度関係も併せて、図 - 5 に示す(図中の)。ダッシュポットの粘性法則として指数関数モデルを用いた場合、ピーク時応力が載荷速度の対数倍に比例する結果を得ることができた。

5. 結論

- (1) 4成分系力学モデルを用いた RBSM 解析により、載荷速度が大きいほどモルタルの強度が増加する傾向を再現することができる。
- (2) 粘性をニュートンモデルで定めた場合、解析で得られる強度増加量が実験値と比べて過大になった。指数関数モデルを粘性挙動に対して適用すれば、これを解決できると考えられる。

参考文献

- 1) 松本浩嗣, 佐藤靖彦, 上田多門, 「剛体バネモデルを用いたモルタルの時間依存破壊解析」, 平成 18 年度土木学会北海道支部論文報告集 第 63 号, E-1
- 2) Li Zhaoxia and Huang Yaoping, “Effect of Strain rate on the Compressive Strength Surface Cracking and Failure Mode of Mortar”, ACI material journal, Vol.48, No.95, pp.512-518, October 1998

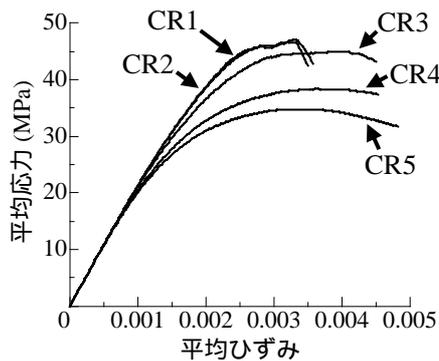


図 - 4 平均応力 - 平均ひずみ曲線

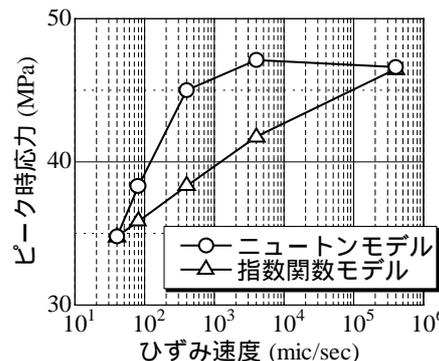


図 - 5 ピーク時応力 - ひずみ速度

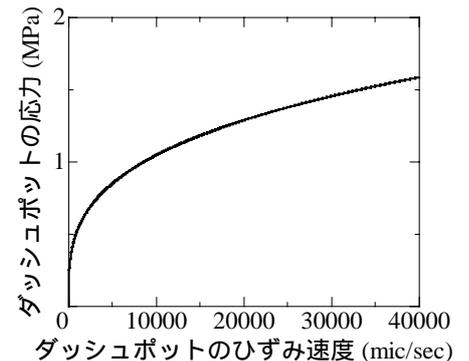


図 - 6 指数関数モデル