

鉄筋コンクリートの破壊シミュレーション結果の可視化方法に関する研究

茨城大学 学生会員 ○中野葵
茨城大学 正会員 車谷麻緒

1. はじめに

鉄筋コンクリートは、ひび割れの発生とその進展によって複雑な破壊を引き起こす。鉄筋コンクリートの破壊メカニズムを解明するために、実験¹⁾²⁾や数値解析による研究が多く行われている。

実験では、実現象の破壊過程を観察できるが内部の状態を把握することは困難である。一方、数値解析では解析手法の研究が多く行われており、内部のひび割れや応力分布などを定量的に求めることができる。しかし、結果を3次的に表示した例は少ない。

土木分野で解析手法が向上する一方で、近年可視化技術がめざましい発展を遂げている。そこで本研究では、最新の可視化技術を利用し、鉄筋コンクリートの破壊シミュレーション結果を、目的に適した形で内部まで可視化する方法を検討する。

2. コンクリートの破壊力学に基づく等方性損傷モデル³⁾

2.1 等価ひずみを用いた損傷モデル

等方性損傷モデルは、フックの法則にスカラー値関数の損傷変数 D を用いて次式で表される。

$$\sigma = (1 - D)c : \varepsilon \quad (1)$$

σ はコーシー応力テンソル、 ε は等価ひずみ、 c は弾性係数テンソルである。 D は損傷の度合いを $0 \leq D \leq 1$ で表す損傷変数であり、 $D=0$ で損傷なし、 $D=1$ で完全に破壊した状態となる。

2.2 等価ひずみ

多次元問題では、本来テンソルで表すひずみを次式でスカラー値に変換した等価ひずみ ε_{eq} を用いる。

$$\varepsilon_{eq} = \frac{k-1}{2k(1-2\nu)} I_1 + \frac{1}{2k} \sqrt{\left(\frac{k-1}{1-2\nu} I_1 \right)^2 + \frac{12k}{(1-\nu)^2} J_2} \quad (2)$$

ここで、 ν はポアソン比、 k は圧縮引張強度比、 I_1 はひずみテンソルの第1不変量、 J_2 は偏差ひずみテンソル e の第2不変量である。

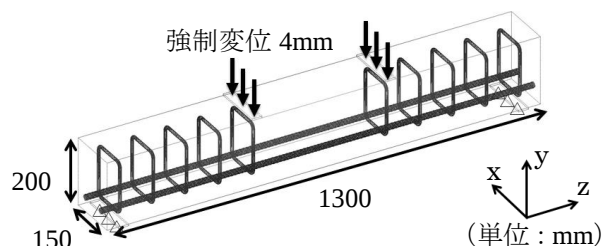


図-1 試験体概要

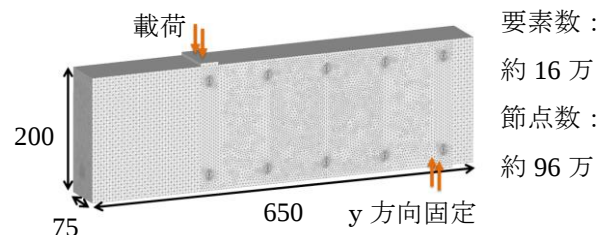


図-2 解析モデル

表-1 材料パラメータ

コンクリート		鉄筋	
ヤング率 E	20 GPa	ヤング率 E	210 GPa
ポアソン比 ν	0.2	ポアソン比 ν	0.3
圧縮引張強度比 k	25	降伏応力 σ_{y0}	400 MPa
破壊エネルギー G_f	0.1 N/mm	材料定数 Q	180 MPa
破壊発生ひずみ κ_0	1.0×10^{-4}	材料定数 b	15

2.3 損傷変数

変形履歴における等価ひずみの最大値を $\kappa \geq 0$ とし、損傷変数 $D(\kappa)$ は次式で表される。

$$D(\kappa) = 1 - \frac{\kappa_0}{\kappa} \exp \left(- \frac{E \kappa_0 h_e (\kappa - \kappa_0)}{G_f} \right) \quad (3)$$

ここで、 κ_0 は損傷開始ひずみとする。

3. 解析結果の可視化

3.1 解析モデル

試験体を、図-1 に示す RC はりとした。試験体が x 、 z 軸方向に対象であることから、1/4 モデルに対称性を考慮した境界条件を与えて、400 step で解析を行った。解析モデルの概要を図-2 に、材料パラメータを表-1 に示す。

キーワード 可視化、鉄筋コンクリート、破壊シミュレーション、有限要素法、損傷モデル

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部 TEL. 0294-38-5004 FAX. 0294-38-5280

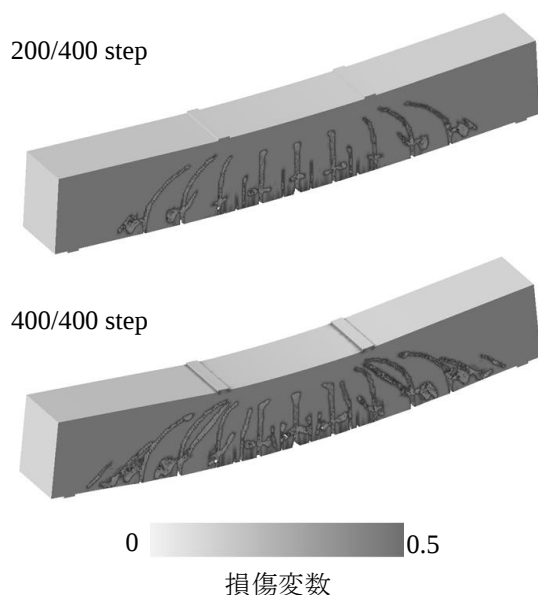


図-2 変形状態と損傷変数の可視化

3.2 可視化例

3.2.1 変形と損傷変数の可視化

損傷変数が0.5以上の部分を消去し、実際のひび割れのように表示した。また、損傷変数と変形を重ねて表示することで、変形に伴うひび割れの進展を把握することができる。その例を図-2に示す。変形倍率は10倍とする。

3.2.2 試験体中の鉄筋の応力分布

試験体中の鉄筋の応力分布を可視化した。その例を図-3に示す。鉄筋の節部や、スターラップの応力分布などが3次的に把握できる。

3.2.3 複数の結果の重ね合わせ

損傷変数、鉄筋の応力分布、変形を重ねて表示した例を図-4に示す。400 stepの結果を使用し、変形倍率は10倍とした。複数の力学挙動の関係を観察することができ、それぞれの表示する断面を変えることで内部の部分的な観察も可能である。

4. まとめ

近年発達している可視化技術を土木分野に利用することにより、鉄筋コンクリートの破壊シミュレーション結果を詳細に可視化した。

力学挙動を内部まで可視化することにより、鉄筋コンクリートの破壊メカニズムを解明することにつながると考えられる。引き続き、目的に沿った可視化方法を検討していく必要がある。

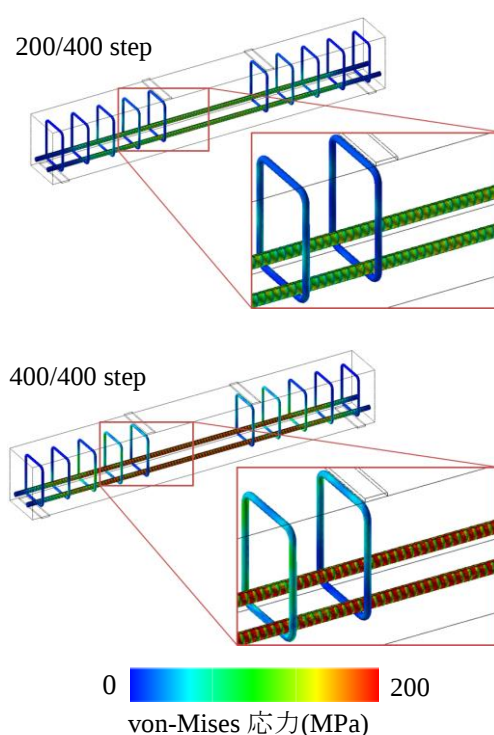


図-3 鉄筋の応力分布の可視化

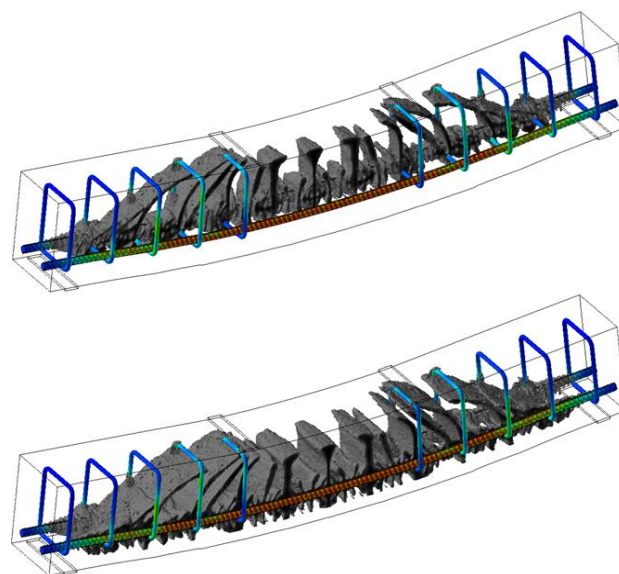


図-4 鉄筋の応力分布と損傷変数の可視化

参考文献

- 1) 林和彦：インクの真空置換による鉄筋コンクリートの内部ひび割れ可視化手法の開発，Vol.66,2012
- 2) 大塚浩司：X線造影撮影による鉄筋コンクリート内部の微細ひび割れ検出に関する研究，土木学会論文集 No. 451/V-17, pp. 169-178, 1992. 8
- 3) 車谷麻緒，寺田賢二郎，加藤準治，京谷孝史，檜山和男：コンクリートの破壊力学に基づく等方性損傷モデルの定式化とその性能評価，JSCES, Vol. 2013, pp. 20130015, 2013.