

I - 3 微視的亀裂進展モデルに基づくマルチスケール解析法の開発

東北大学 学生会員 ○西沢 直樹
 東北大学 正会員 石井 建樹
 東北大学 正会員 京谷 孝史
 東北大学 正会員 寺田 賢二郎

1. はじめに

土木工学が対象とする材料の多くは内部に微視構造を有する非均質材料であり、その力学特性は複雑に構造化された内部微視構造に支配される。特に岩盤やコンクリートなどの脆性材料は、材料内部での微細な亀裂の発生・進展挙動によりその力学特性が特徴づけられている。そこで本研究では、こうした材料内部に亀裂進展を含む非均質材料の力学挙動を取り扱うため、微視構造内での亀裂の発生・進展挙動を考慮したマルチスケール解析法を開発する。

2. 開発手法の概要

マルチスケール解析法^{1),2)}では、全体構造を力学挙動を記述するマクロスケール x と材料内部微視構造の力学挙動を記述するミクロスケール y の2つのスケールに分けて非均質構造体の挙動を取り扱う。マクロひずみを所与の条件として周期境界条件下で微視構造の単位構造（ユニットセル）に対してミクロ解析を行い、得られるミクロ応力 σ_{ij}^0 からマクロ応力 Σ_{ij} を求め、マクロ-ミクロを連成させながら、つり合い点を求めるというのが基本的なアイデアである。したがって、マルチスケール解析法ではマクロ場の構成関係がユニットセルの応答によって与えられることになる。

こうして得られたつり合い点において、微視構造内での亀裂発生を判定する。亀裂の発生判定では、微視構造において最大主応力が基準（引張強度）に達した箇所最大主応力に直交する方向に亀裂を発生させる。微視構造における亀裂の発生・進展は、メッシュ分割に依存せず不連続面を表現できる有限被覆法（FCM）を用いた亀裂進展解析法³⁾で扱う。以上の解析の流れを図-1に示す。

3. 分布開口亀裂を有す石膏供試体の

一軸圧縮試験に対する数値シミュレーション
 本手法の性能を検証するために分布開口亀裂を有する石膏供試体の一軸圧縮試験およびその数値シミュレーションを行う。実験では、材料の破壊過程における微細な破壊を把握するため一軸圧縮試験に平行して

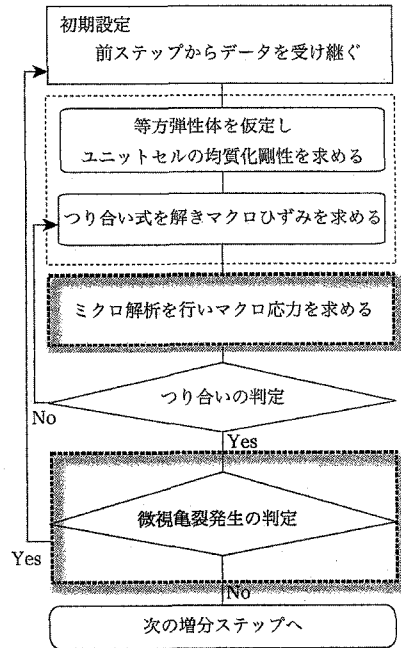


図-1 解析アルゴリズム

AE(Acoustic Emission) 計測を行った。

図-2に解析に用いた供試体モデルとユニットセルモデルを示す。数値シミュレーションに際しては、円柱供試体による要素試験および割裂試験を行い、ヤング率、ポアソン比、引張強度を求めた。また、FCM 亀裂進展解析で用いる破壊エネルギーについては、単一亀裂の供試体に対して実験と数値シミュレーションにより予備検討を行って、顕著な AE イベント発生と急激な亀裂進展が一致するように設定した。表-1に数値シミュレーションに用いたパラメータを示す。

図-3に実験および数値シミュレーションにより得られた応力-ひずみ関係を示す。なお、実験で得られた応力-ひずみ関係は実験装置の制御上ばらつきが見られたため、計測値を点により記している。本手法による数値シミュレーションでは、A 点付近において亀裂が急激に進展し、それに伴い載荷曲線が非線形な挙動を示し始める。実験でもほぼ同様の載荷段階で非線形挙動

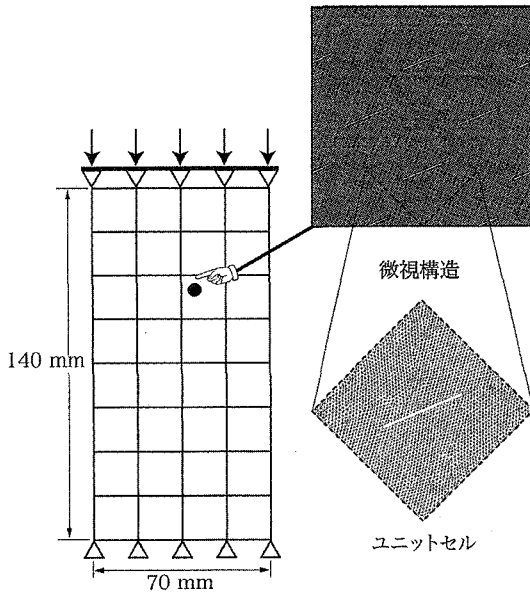


図-2 供試体モデルと材料内の微視構造モデル

表-1 解析に用いた物性値

ヤング率	ポアソン比	引張強度	破壊エネルギー
2.95 GPa	0.1	3.0 MPa	0.015 N/mm

を示し始めるように認められる。実験において初期に顕著に AE イベント発生した応力が 3.12MPa に対して A 点での荷重 2.73MPa となっている。

荷重段階 A 点におけるマクロ構造内での亀裂の長さ分布を図-4(a)に示す。図-4(a)から、右上から左下にかけて斜めに亀裂が発生・進展している様子が見てとれる。こうした傾向は、図-4(b)に示す実験後の供試体に発生するひび割れの様子と定性的に一致している。また、ユニットセル内での亀裂進展の様子を見ると、亀裂が開口亀裂先端よりもやや中央微よりの位置から進展しており、この傾向も実験結果と合致する。

本手法では微視亀裂発生判定に最大主応力を用いて、微視構造内の引張破壊のみを考慮している。しかしながら、図-4(a)では、マクロ構造においてせん断による破壊が進行している様子が認められた。このことは、圧縮荷重を受ける構造体において重要視されるせん断破壊のメカニズムは、単なる引張り亀裂とは異なり材料内部における微視亀裂の集積により結果として生じること示唆するものと考えられる。

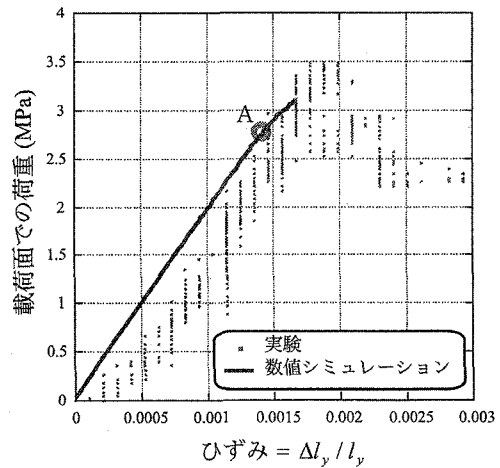


図-3 荷重曲線

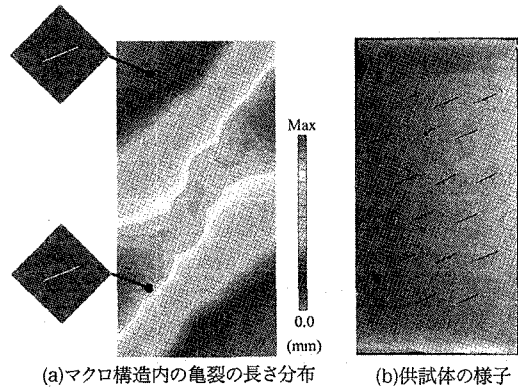


図-4 解析 A 点および実験後の供試体

4. おわりに

本手法が破壊進展を考慮しながら非均質構造体の力学挙動を追跡する数値解析手法の有効性を示した。また、本手法により、せん断破壊と引張り破壊とのメカニズムに関する詳細な検討を行える可能性を示すことができた。

参考文献

- 1) 京谷孝史, 寺田賢二郎: マルチスケール応力解析とその分布亀裂をふくむ材料の強度特性評価への適用, 土木学会論文集, Vol. III-55, No. 680, pp.49-64, 2001
- 2) 寺田賢二郎, 京谷孝史: 無数の亀裂を有する物体のマルチスケール応力変形解析法, 土木学会論文集, Vol. 47, No. 619, pp.23-34, 1999
- 3) 石井建樹, 京谷孝史, 寺田賢二郎, 岸野佑次: 界面要素を用いた有限被覆法に基づく破壊進展解析法の開発, 土木学会論文集, Vol. I-72, No. 794, pp.1-3, 2005