

CS 1-18〔I〕

微視構造の相互干渉を考慮した連続体理論による脆性材料の変形解析

清水建設 正員 佐藤純哉
 東京大学 正員 堀井秀之

埼玉大学 正員 奥井義昭
 日本大学 正員 秋山成興

1. はじめに

材料の破壊時の挙動を解析する手法として損傷理論(Continuum Damage Mechanics以下CDM)が挙げられるが、CDMでは圧縮荷重下における岩石のせん断面の形成といった変形(損傷)の局所化およびパターンフォーメーションの過程が表現できないといった問題を生じる。このようなCDMの欠点を是正する目的で微視構造間の相互干渉効果を考慮した連続体理論(Interaction Field Theory以下IFT)の基本的な考え方および岩石の場合の定式化については既に報告した¹⁾。今回の報告では通常のCDMとIFTの解析結果の比較および実際の岩石の圧縮強度の推定について報告を行う。

2. CDMとIFTの比較

まず、通常のCDMとIFTの差を検討する目的でFig.1に示す最も単純な有限要素モデルを用いて計算を行った。荷重条件としては拘束圧 p_c を一定に保ち、上端部の変位 Δ を漸増させた。

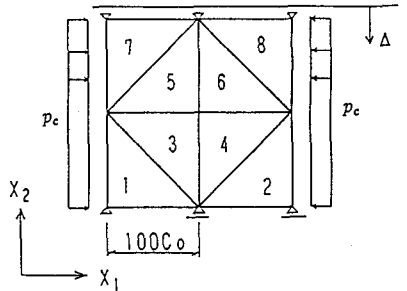


Fig.1 解析モデル

Fig.2にCDMとIFTの比較を示す。同図において横軸は各要素のクラック長、縦軸は軸応力を示す。CDMでは最大荷重が存在しないのに対して、IFTでは最大荷重が存在し最大荷重後は軟化挙動を示す。また、各増分ステップで固有値解析を行った結果、IFTには分岐点が存在することが判明した。

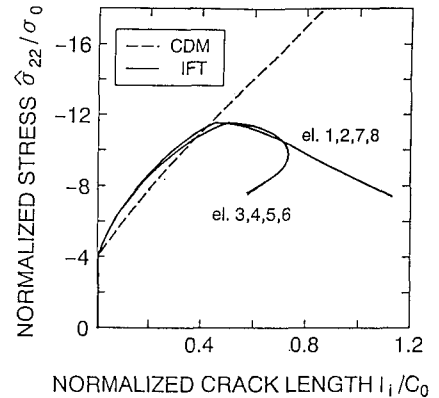
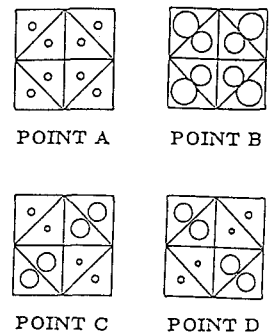
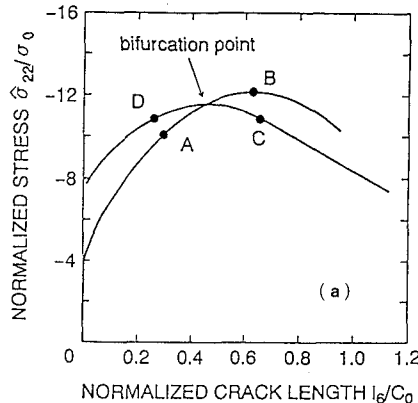


Fig.2 IFTとCDMの比較

Fig.3(a), (b)にIFTによる分岐図と図中の各点におけるクラック長の分布図を示す。図(b)において、円の半径がクラック長の大きさを表す。同図より、分岐経路では斜めの方向にクラック(損傷)の局所化が生じる。これは、岩石の三軸圧縮試験において観察されるせん断破壊の破壊モードを表していると解釈される。

Fig.4(a), (b)に解析モデルを変えて拘束圧による影響と各拘束圧に対応するクラック長の分布図を示す。拘束圧の増大に伴い最大荷重が増大する傾向が示され、さらに拘束圧が -0.05 の場合は縦方向にクラックの局所化生じる。これは、実際の岩石の一軸圧縮試験において観察される縦割れ破壊の破壊モードを表していると解釈される。



(b)

Fig.3 (a), (b) IFTによる分岐図とクラックの分布図

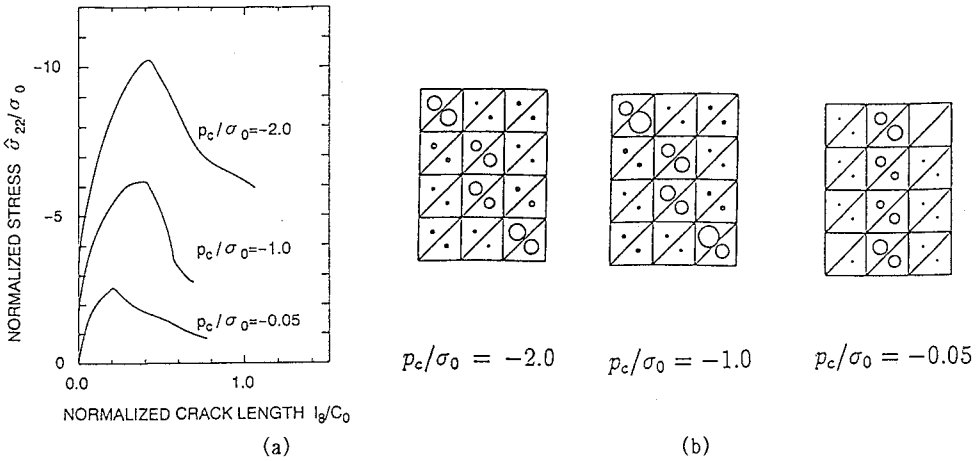


Fig. 4(a), (b) 拘束圧による影響とクラック長の分布図

3. 圧縮強度の実験値との比較

Fig. 4で示したように I F T によって拘束圧の変化に伴う圧縮強度の変化が計算可能であるため、実際の岩石 (Westerly Granite) の三軸圧縮強度の推定を行ってみた。Fig. 5において、横軸は拘束圧、縦軸は圧縮強度であり、図中の各点は三軸圧縮試験の実験値^{2), 3)}、実線が I F T による計算結果である。用いた入力データは Braceal²⁾ と Hadley⁴⁾ の実験結果より、ヤング率 5.7×10^4 (MPa), ポアソン比 0.32, 平均初期欠陥長 $17.7 (\mu\text{m})$, クラック密度 0.32, 破壊じん性値 $1.0 (\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2})$ とした。また、初期欠陥の傾きは 45° , 初期欠陥上の摩擦係数を 0.3 と仮定し計算を行った。無次元化した拘束圧が 0.25 ~ 2.0 の範囲において I F T の計算結果は実験値と良い対応を示している。拘束圧が 2.0 以上の範囲では I F T では考慮していない塑性変形の影響により、計算値と実験値が異なるものと考えられる。一方、拘束圧が低い領域では縦割れ破壊が生じ、縦割れ破壊では最大の初期欠陥により破壊が支配されるため、平均初期欠陥長を用いた理論値は圧縮強度を過大評価するものと考えられる。

4. まとめ

I F T による解析結果の報告を行った。I F T により拘束圧の変化に伴う破壊モード変化および岩石の圧縮強度の推定が可能であることが明らかになった。

【参考文献】 (1) 奥井、堀井、秋山, 圧縮荷重下の脆性材料に関する連続体理論, 構造工学論文集, Vol. 38A, 1992. (2) Brace, W. F., Paulding, B. W. and Scholz, C., Dilatancy in the Fracture of Crystalline Rock, Vol. 71, No. 16, pp. 3939-3953, J. Geophys. Res., 1966. (3) Mogi, K., Some Precise Measurements of Fracture Strength of Rocks under Uniform Compressive Stress, Vol. IV, pp. 41-55, Rock Mech. and Eng. Geology, 1966. (4) Hadley, K., Comparison of Calculated and Observed Crack Densities and Seismic Velocities in Westerly Granite, J. Geophys. Res., Vol. 81, No. 20, pp. 3484-3494, 1975.

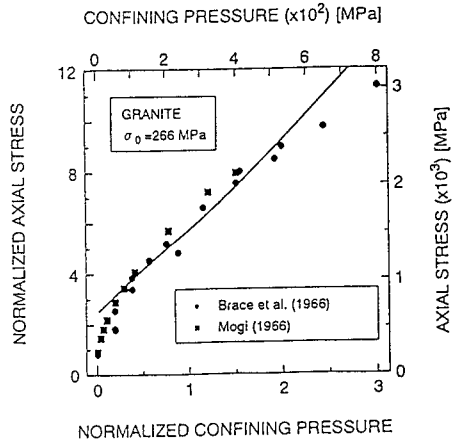


Fig. 5 I F T と実験値との比較