

III-362 不連続岩盤の損傷進展解析

大成建設（株） 正会員 伊藤 文雄
インスブルック大学 Gunter SWOBODA

1. はじめに

不連続性岩盤の解析モデルは、岩盤の不連続面を直接考慮して陽にモデル化し、不連続体として解析する方法と、不連続性岩盤の成る領域を区切って不連続面を含む岩盤の力学特性と等価な連続体に置換えて岩盤をモデル化し、連続体として解析する方法とがある。しかし不連続性岩盤は、貫通した不連続面で構成される岩盤より、幾つかの貫通しない不連続面のセットで構成される岩盤の方が一般的であると考えられる。そして掘削等の外力が与えられることによって既存の不連続面に起因して基質部が破壊される亀裂の進展現象が生じ、岩盤の見かけの剛性が低下してゆく非線形挙動が多くの室内実験及びフィールドでの計測によって確認されている。従って破壊する不連続面を考慮できる連続体理論が必要である。

本研究では、既存の不連続面を損傷テンソル Ω で評価し、亀裂の進展を損傷テンソルの変化で説明した損傷進展モデル [1] を有限要素解析プログラムに組み込むことにより、任意の岩盤構造物に対する2次元有限要素解析を可能にした。解析例として円孔モデルの一軸圧縮問題を取り上げ、亀裂の進展性状を検討した。

2. 解析手法

損傷進展モデルは、熱力学法則に従い内部状態変数として歪 ε と損傷テンソル Ω を導入して熱力学ポテンシャル ψ を定式化し、既存の不連続面の存在による剛性の低下を表す損傷弾性マトリックスと亀裂進展に必要な力として熱力学ポテンシャルに対する損傷テンソルの一次導関数で与えられる熱力学的駆動力 R （破壊力学でいうEnergy release rateに等価）から求める損傷進展マトリックスの和として定義された剛性マトリックスを用いて、増分法によって釣合方程式を解くものである。このモデルの特徴としては、図-1に示すように不連続面から発生するWingクラックを、熱力学的駆動力 R による損傷テンソルの回転として増分損傷テンソルの主軸への座標変換を行いながら進展方向と進展長の両者を表現できる点にある。損傷弾性マトリックスは、基質部のヤング率 E 、ポアソン比 ν 、亀裂の配置を表す L 、 M で構成され、損傷進展マトリックスは、進展則を規定する V_0 、 q 、 r （三点曲げ試験より得られる R 曲線のべき乗則近似のパラメータ）で構成される。また C_s は不連続面の粗度を表すパラメータであり、1.0は摩擦抵抗が全くないことを示す。従って本解析の入力パラメータとしては以上の8つの材料定数が必要となる（表-1参照）。

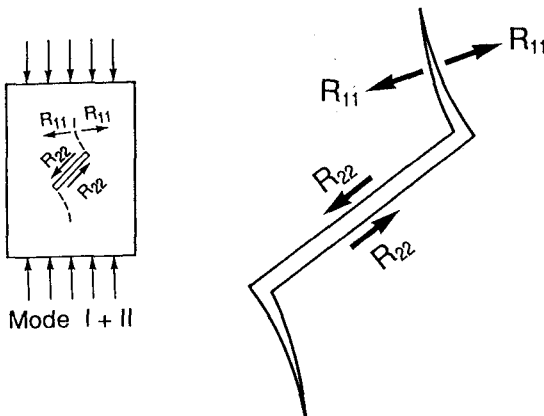


図-1 Wingクラックモデル

表-1 モデルの入力定数

パラメータ	材 料 定 数
E	1000000 kN/m^2
ν	0.2
L	0.725
M	1.1
v_0	0.0004
q	0.005
r	0.5
C_s	1.0

3. 解析結果

3. 1 解析モデル

解析に使用したモデルは、1 / 4 の円孔モデルを用い、不連続面の分布として荷重載荷方向に0.1の損傷量 Ω を仮定し、モデル上面に分布荷重を単調増加させたものである。

3. 2 解析結果

Hoek [2]、Carter [3] らは、不連続面を考慮しない円孔モデルではあるが一軸圧縮試験によって亀裂の進展性状に対して詳細に検討している。これらの実験結果に要約された通り、本解析でも荷重の小さい範囲でまず天端部に安定した引張亀裂の生成が見られ、荷重の増加と共に円孔周辺ではなく材料内部からも亀裂が生成するが、その後天端部の亀裂進展は止まり、材料内部の亀裂進展が助長されながら、円孔周辺のせん断亀裂の生成が始まる様子を定量的に捉えられており、本解析手法の妥当性を示すものと考ええる。

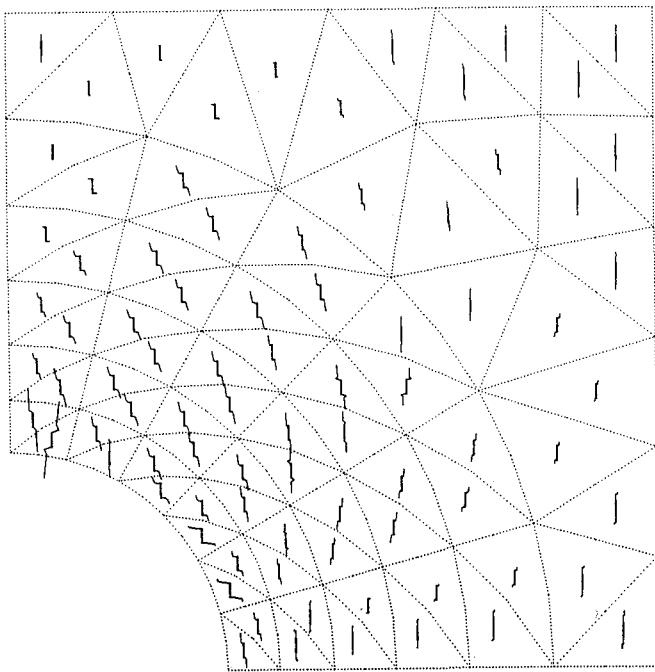


図-2 解析結果

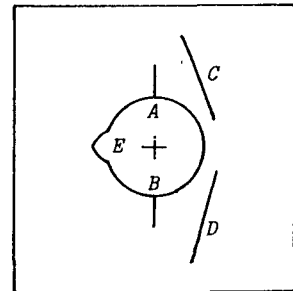


図-3 Hoekらの実験結果

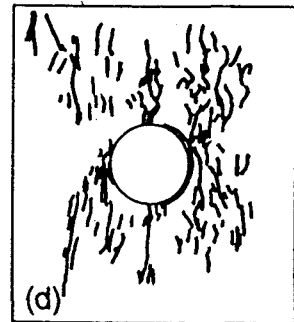


図-4 Carterらの実験結果

参考文献

- [1] G. Swoboda, F. Ito : Two dimensional damage failure propagation model of jointed rock mass, Int. Symp. Assesment and Prevention of Failure Phenomena in Rock Engineering, Istanbul, Turkey, pp53-59, 1993
- [2] E. Hoek, E. T. Brown, : Underground Excavations in Rock, The institution of Mining and Metallurgy, London, 1980
- [3] B. J. Carter, E. Z. Lajtai : Stress and time-dependent fracture around cavities in physical models of potash salt rock, ISRM Symp. : Eurock'92, pp289-274, 1992