# 亀裂発生・進展解析モデルによる岩盤の性状変化シミュレーション

愛媛大学大学院	学生会員	○津曲康輝	愛媛大学大学院	正会員	安原英明
			恶摇十学十学院	正今日	木下尚樹

#### 1. はじめに

近年,地下岩盤は多方面での利用が検討されている.海外を中心にシェールガス・オイルの開発が進み, 日本においても原子力発電から発生する高レベル放射性廃棄物の地層処分が検討されるなど,その利用法は 拡大する一方である.しかし,地下岩盤の長期利用性や安定性の評価には未だ多くの課題を残している.中 でも岩盤内に発達する亀裂は力学・水理学特性に大きな影響を与えるとされており,地下岩盤の長期挙動を 包括的に予測するうえで,亀裂進展挙動の把握は必要不可欠な要素となる.そこで本研究では Wei et al.<sup>1)</sup>が 提案している不連続体理論に基づき,岩盤の亀裂進展を定量的に予測できる簡易な構成式から成る解析モデ ルの構築を行った.

## 2. 支配方程式

本研究はせん断と引張による損傷を区別するため、それぞれ れに以下に示す破壊判定式を用いて破壊判定を行う.

引張:  $F_1 \equiv \sigma_1 - f_{t0} = 0$  (1)

せん断:  $F_2 \equiv -\sigma_3 + \sigma_1 \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} - f_{c0} = 0$  (2)

ここで,  $F_1$ :引張破壊基準関数 [Pa],  $F_2$ :せん断破壊基準 関数 [Pa],  $\sigma_1$ :最大主応力 [Pa],  $\sigma_3$ :最小主応力 [Pa],  $f_{to}$ : 一軸引張強さ [Pa],  $f_{co}$ :一軸圧縮強さ [Pa],  $\phi$ :内部摩擦角 [<sup>o</sup>]である.上記の判定式を基に,損傷度合を定義するため, 次式で表される損傷変数を算出する.

$$D = \begin{cases} 0 & F_1 < 0 & \text{and} & F_2 < 0\\ 1 - |\varepsilon_{t_0} / \varepsilon_1|^n & F_1 = 0 & \text{and} & dF_1 > 0\\ 1 - |\varepsilon_{c_0} / \varepsilon_3|^n & F_2 = 0 & \text{and} & dF_2 > 0 \end{cases}$$
(3)

ここで, D:損傷変数 [-],  $\varepsilon_1$ :最大主ひずみ [-],  $\varepsilon_3$ : 最小主ひずみ [-],  $\varepsilon_{c0}$ :最大引張ひずみ [-],  $\varepsilon_{c0}$ :最大圧 縮ひずみ [-], n:構成係数 [-]である.以上で算出した損 傷変数を基に,次式のように岩盤の力学パラメータを変化 させることで,岩盤内の損傷による劣化を考慮する.

$$E = (1 - D)E_0$$
(4)

ここで, E:損傷領域のヤング率 [Pa], E<sub>0</sub>:初期ヤング率 [Pa]である.損傷域において,以上の破壊判定,損傷変数 の算出およびヤング率の低下を繰り返すことで,弾性領域 において損傷の有無を判別することができる(図1).

また、本解析では岩盤の不均質性を考慮するため、次式 で表されるワイブル分布を用いることで、ヤング率および 強度を不均質に分布させた(図2).



$$F(u) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{u}{u_0}\right)^m\right)$$
(5)

ここで, *m*:形状定数 [-], *u*:各物性値, *u*<sub>0</sub>:各物性値の基 準値である.

## 3. 一軸圧縮試験解析結果

本解析モデルを用いた一軸圧縮試験解析結果を図3に示す. 図3より応力ひずみ曲線の降伏点において,解析領域四隅から中央に向けてせん断による損傷領域の広がりが確認され, 一軸圧縮試験のせん断破壊で確認される斜め方向のすべり面 を示していることが確認された.

#### 4. 掘削影響領域解析結果

(鉛直荷重20 [MPa])

掘削影響領域解析の結果を図4に示す.本解析では水平方 向に作用する応力に対して鉛直方向に作用する応力の割合を 大きく設定しているため,損傷域発生初期段階では,空洞上 下部に引張応力が発生し,該当領域に引張による損傷が発生 している.その後は応力の増加に伴い,空洞側面に作用する 応力が増加するため,せん断による損傷が空洞側面から解析 領域全体に広がっていく様子が確認される.



 $\square$ 



0

(鉛直荷重30 [MPa])

## 5. 終わりに

本研究では、簡易な構成式から成る岩盤内の亀裂進展解析モデルの構築を目指した.提案したモデルを用いて一軸圧縮試験解析を行ったところ、明確な亀裂とはならなかったが岩盤の基本的な破壊現象を定性的に 再現することができた.また掘削影響領域における解析では、掘削に伴う応力再配分を十分考慮できるモデルであることを示すことができ、さまざまな実問題への適用可能性を持ったモデルを構築できたと考える.

## 参考文献

1) C.H. Wei, W.C.Zhu, Q.L.Yu, T.Xu, S.Jeon: Numerical simulation of excavation damaged zone under coupled thermal-mechanical conditions with varying mechanical parameters, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol.75, pp.169-181, 2015