

# 鉱物分布・組成を考慮した数値解析モデル による花崗岩の引張破壊挙動の予測

伊澤 正悟<sup>1\*</sup>・緒方 奨<sup>1</sup>・安原 英明<sup>2</sup>・木下 尚樹<sup>2</sup>・岸田 潔<sup>1</sup>

<sup>1</sup>京都大学大学院 工学研究科都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂4)

<sup>2</sup>愛媛大学大学院 理工学研究科生産環境工学専攻 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

\*E-mail: izawa.shogo.37r@st.kyoto-u.ac.jp

本研究では、岩石の不均質性として鉱物分布・組成を考慮し、き裂発生・進展を伴う岩石の破壊挙動をモデル化する手法を提案した。また、提案手法の妥当性の検証および力学物性値の測定を目的として、花崗岩供試体の一軸圧縮試験と圧裂引張試験を実施した。そして、提案手法を用いて作成した解析モデルによって圧裂引張試験の再現解析を実施し、妥当性および性能の検証を行った。鉱物分布・組成をそれぞれ考慮して作成した二つの数値解析モデルによって、応力-ひずみ曲線およびき裂発生・進展挙動について圧裂引張試験の結果を精度良く再現することができ、提案手法の妥当性を確認できた。

**Key Words :** mineral distribution and composition, Brazilian test, tensile strength, fracture evolution

## 1. 序論

高レベル放射性廃棄物の地層処分場等の地下空間利用施設建設時に空洞掘削を行う場合、空洞周辺に生じた局所的な引張応力により岩盤中にき裂が発生・進展する可能性がある。また、花崗岩等の高い圧縮強度を有する硬岩中のき裂発生・進展の多くが引張破壊によって生じるという報告がある<sup>1)2)</sup>。したがって、地下空洞の安定性評価にあたり、引張応力場での岩石のき裂発生・進展挙動及び強度を精緻に予測可能な数値解析手法の構築が求められている。

岩石のき裂発生・進展挙動及び強度を予測する上で課題となるのが、岩石の不均質性の考慮である。一般的に岩石は鉱物分布・組成のばらつきや微小空隙等を有する不均質な材料であり、これらは岩石の力学物性や破壊挙動に支配的影響を与えることが報告されている<sup>3)4)</sup>。この問題に対し、種々の手法で岩石の不均質性を考慮したき裂発生・進展解析が実施されてきたが<sup>5)6)</sup>、引張応力場での岩石のき裂発生・進展挙動及び強度をともに精緻に再現した事例はほぼ皆無である。

例えば、Tang et al.<sup>6)</sup>によって開発された損傷モデルを用いた岩石のき裂発生・進展解析コードRFPAは、Weibull分布を仮定し力学物性の不均質性を統計的に表現しているが、Weibull分布の設定に必要な複数のパラメータ(物性分布の指標値、分布の不均質係数)の値を実験

的に得ることは困難であり、実際の岩石の強度や剛性を精度よく予測することはできていない<sup>7)</sup>。また、Mahabadi et al.<sup>8)</sup>は、鉱物分布に基づき力学物性の不均質性を考慮した上で、有限個別要素法(FDEM: Finite-Discrete Element Method)を用いたき裂発生・進展解析により、花崗岩供試体を用いた圧裂引張試験のき裂形状を再現することに成功しているが、引張強さの再現はできていない。

本研究では、対象とする岩石の鉱物分布・組成に立脚して力学物性の不均質性を考慮し、岩石の引張応力場でのき裂発生・進展挙動及び強度をともに精度よく予測可能な数値解析モデルを提案する。また、提案したモデルを用いて花崗岩を対象とした圧裂引張試験の再現解析を行い、モデルの妥当性を検証する。

## 2. 実験の概要および結果

### (1) 実験概要

本研究では花崗岩の圧裂引張強さと物性値の測定、き裂発生・進展挙動の観察を目的として、圧裂による岩石の引張強さ試験<sup>9)</sup>の手順に準拠して圧裂引張試験を実施した。花崗岩ブロックより直径50mm×奥行き50mmの直円柱形供試体3本を作成し、3本の供試体をBr-1, Br-2, Br-3とした。ひずみの計測にあたり、各供試体の両断面中央

にひずみゲージを取り付けた。 荷重速度は荷重制御により100 N/s とし、破壊までの応力-ひずみ関係を記録した。

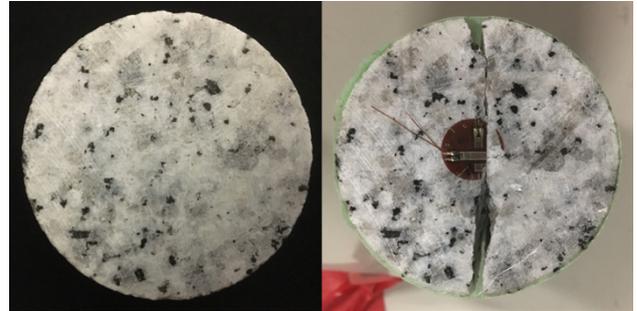
## (2) 実験結果と考察

表-1 に試験によって得られた圧裂引張強さを示す。 圧裂引張強さは、破壊時点の荷重から式(1)を用いて算出した。

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi D_0 L_0} \times 10 \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_t$ は断面中央における引張応力 [MPa]、 $P$ は荷重 [kN]、 $D_0$ は供試体の直径 [cm]、 $L_0$ は供試体の長さ [cm]である。 図-1 に、圧裂引張試験に用いた供試体断面の試験前後の比較を示す。 図-1 (b)より、供試体断面の中央にき裂が発生していることが確認できる。

	圧裂引張強さ
Br-1	6.21 MPa
Br-2	6.71 MPa
Br-3	5.52 MPa
平均	6.15 MPa



(a) 試験前 (b) 試験後

図-1 圧裂引張試験に用いた供試体 (Br-1)

## 3. 解析モデル

### (1) 応力解析

本モデルでは平面ひずみ状態を仮定し、以下の応力つり合い式と弾性体理論を適用し、岩石内の応力・変形量を算出する。

$$\nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} + \mathbf{F}_v = 0 \quad (2)$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{C} \boldsymbol{\varepsilon} \quad (3)$$

ここで、 $\mathbf{F}_v$ は物体力 [N/m<sup>3</sup>]、 $\boldsymbol{\sigma}$ は応力テンソル [N/m<sup>2</sup>]、 $\mathbf{C}$ は弾性係数行列 [N/m<sup>2</sup>]、 $\boldsymbol{\varepsilon}$ はひずみテンソル [-]である。

### (2) 損傷モデル

本解析では、等方性の損傷理論を用いて、き裂発生・進展挙動をモデル化する。 損傷理論とは、き裂を連続体の剛性低下によって記述する理論である。 本解析では、岩石内の応力分布をもとに、対象とする要素において引張またはせん断による損傷が発生するかどうかを判定する。 具体的には、解析領域を代表要素体積(Representative Elementary Volume: REV)によって分割し、各 REV 内の各主応力の平均値を求め、式(4)を用いて各 REV の損傷判定を行う<sup>12),13)</sup>。 本研究では、引張応力を負、圧縮応力を正とする。

$$\begin{cases} F_1 \equiv -\sigma_3 - f_{t0} = 0 \\ F_2 \equiv \sigma_1 - \frac{1+\sin\theta}{1-\sin\theta} \sigma_3 - f_{c0} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 $F_1$ は引張損傷条件、 $F_2$ はせん断損傷条件、 $\sigma_1$ は

表-1 圧裂試験結果

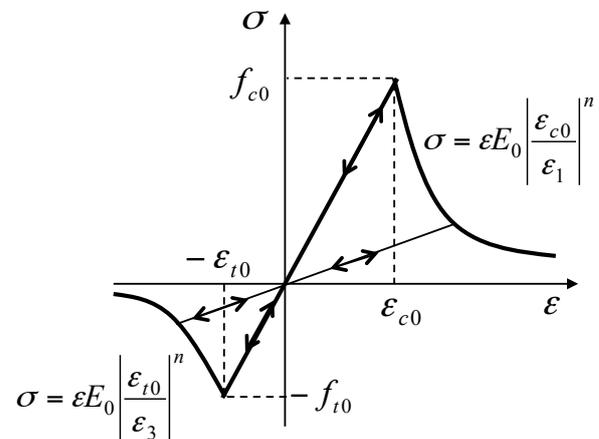


図-2 損傷理論構成則<sup>7)</sup>

最大主応力 [Pa]、 $\sigma_3$ は最小主応力 [Pa]、 $f_{t0}$ は一軸引張強さ [Pa]、 $f_{c0}$ は一軸圧縮強さ [Pa]、 $\theta$ は内部摩擦角 [°]である。 等方性の損傷理論では、き裂の進展に伴って式(4)により損傷したと判定された REV の弾性係数  $E$  は、以下の式(5)を用いて減少していく<sup>7)</sup>。

$$E = (1 - d)E_0 \quad (5)$$

ここで、 $E_0$ は損傷の無い状態の物体の弾性係数 [N/m<sup>2</sup>]、 $d$ は損傷変数 [-]である。 損傷変数  $d$  は、 $0 \leq d \leq 1$  の値をとるスカラー変数であり、物体の損傷度合いを表す。 損傷がなければ 0、完全に破壊すれば 1 となる。 すなわち、完全に損傷したき裂部の REV の剛性は 0 として扱われる。  $d > 0$  をき裂発生とし、 $d$  は以下のようにひずみの値を用いて定義される<sup>7)</sup>。 線形弾性則では、主応力  $\sigma_i$  は主ひずみと体積ひずみを用いて次式で表される。

$$\sigma_i = \frac{E}{1+\nu} \left[ \varepsilon_i + \frac{\nu}{1-2\nu} \varepsilon_v \right] \quad (i = 1, 2, 3) \quad (6)$$

ここで、 $\varepsilon_i$  ( $i=1,2,3$ )は最大、中間、最小主ひずみ、 $\varepsilon_v$  ( $=\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$ )は体積ひずみ[-]、 $\nu$ はポアソン比[-]である。この式(6)とモール・クーロンの破壊規準に基づき、損傷変数 $d$ の算出に用いるひずみ $\varepsilon_t$ 、 $\varepsilon_c$ が次式(7),(8)で定義される。

$$\varepsilon_t = \frac{1}{1+\nu} \left[ \varepsilon_3 + \frac{\nu}{1-2\nu} \varepsilon_v \right] \quad (7)$$

$$\varepsilon_c = \frac{1}{1+\nu} \left[ \varepsilon_1 + \frac{\nu}{1-2\nu} \varepsilon_v \right] - \frac{1+\sin\theta}{1-\sin\theta} \frac{1}{1+\nu} \left[ \varepsilon_3 + \frac{\nu}{1-2\nu} \varepsilon_v \right] \quad (8)$$

式(4)の破壊条件と図-2に示す構成則に従い、式(9)から損傷変数 $d$ が計算される<sup>7)</sup>。

$$d = \begin{cases} 0 & F_1 < 0 \text{ and } F_2 < 0 \\ 1 - \left| \frac{\varepsilon_{t0}}{\varepsilon_t} \right|^n & F_1 = 0 \text{ and } \Delta F_1 > 0 \\ 1 - \left| \frac{\varepsilon_{c0}}{\varepsilon_c} \right|^n & F_2 = 0 \text{ and } \Delta F_2 > 0 \end{cases} \quad (9)$$

ここで、 $\varepsilon_{t0}$ は限界引張ひずみ[-]、 $\varepsilon_{c0}$ は限界圧縮ひずみ[-]、 $n$ は定数[-]である。本研究では損傷理論を用いた既往研究<sup>7)</sup>を参照し、 $n=2$ とする。式(9)中の、 $F_1=0$  and  $\Delta F_1>0$ は、岩石内の応力状態が引張損傷条件を満たし、かつ負荷状態にある場合、引張破壊が生じるという条件を示している。 $F_2=0$  and  $\Delta F_2>0$ についても同様に、岩石内の応力状態がせん断損傷条件を満たし、かつ負荷状態にある場合、せん断破壊が生じるという条件を示す。また、本研究では、一度生じた損傷は回復しないものとしている。

### (3) 不均質性のモデル化

本研究では、岩石に不均質性を与える要因として鉱物組成および分布に着目した。モデル化にあたり、断面全体の鉱物分布をそのまま反映する手法と、観察によって得られた各鉱物の含有割合にしたがい、鉱物をランダムに配列させる手法の二つを提案する。

まず、断面全体の鉱物分布をそのまま反映する手法について述べる。この手法においては、解析対象となる岩石供試体の断面を撮影した画像を用いる(図-1(a))。本研究で用いた花崗岩について、構成する主要な鉱物の分布は色によって識別が可能であるという報告がある<sup>4)</sup>。しかしながら、撮影した画像では花崗岩の構成鉱物(石英、長石、黒雲母)の3種の鉱物同士の境界が不明瞭であることから、その画像を分析、加工して鉱物分布を特定し、境界を明確化したのちに二次元モデルとして取り込む。本研究では、Br-1の断面をモデル化した。具体的な方法

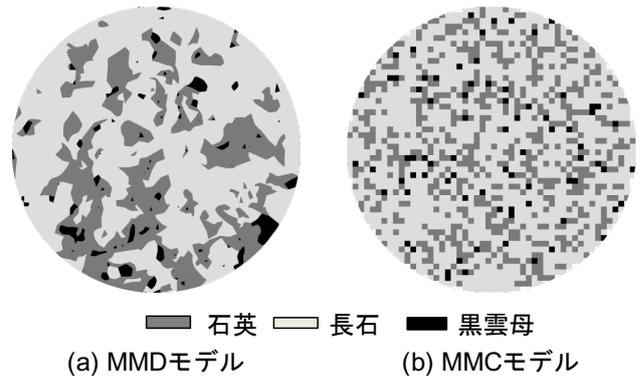


図-3 鉱物分布・組成を考慮した二次元断面モデル

を以下に示す。

- 1) 圧裂引張試験に用いた花崗岩供試体の断面の画像(図-1(a))を画像編集ソフトに取り込む。
- 2) 花崗岩の主な構成鉱物である石英、長石、黒雲母の境界を検出、各鉱物の分布を明確化する。
- 3) 境界を明確化した二次元断面モデルに各鉱物の力学物性を割り当て、き裂発生・進展解析を行う。

本研究ではこの手法を Modeling based on Mineral Distribution method: MMD 法とし、作成したモデルを MMD モデル(図-3(a))とした。

つぎに、観察によって得られた各鉱物の含有割合に従って鉱物をランダムに配列させる手法について説明する。空洞掘削解析などの実環境スケールでの数値解析に上記の MMD 法を適用する場合、解析対象領域全体の鉱物分布を正確に測定することは困難である上に、モデル作成に要する時間も膨大となることが予想され、実環境スケールへの MMD 法の適用は現実的ではない。したがって、本研究では、実環境スケールへの適用を念頭に置き、より簡便に岩石の不均質性を考慮する手法を提案する。具体的には、解析対象となる岩石の構成鉱物の含有割合を用いて解析モデルを作成する手法を提案する。本研究では、上記に示した MMD 法において明確化した各鉱物の面積の比率による含有割合(石英:29.2%、長石:66.6%、雲母:4.2%)を用いた。また、薄膜による観察から、今回用いた花崗岩の鉱物粒子径の平均を 1 mm と算出した。これらを踏まえ、円形断面を上記の鉱物粒子径に対応した 1 mm 四方の正方形グリッドに分割した後、各グリッドに対しモデル中の各鉱物の割合が既定の鉱物組成と一致するように各鉱物を配置し、圧裂引張試験における円形断面のモデルを作成した。鉱物の配置の際には鉱物分布の不均質性を考慮し、乱数を発生させ、それに基づいてランダムに行った。本研究では、上記モデリング手法を Modeling based on Mineral Composition method: MMC 法とし、この手法を用いて作成したモデルを

MMC モデル(図-3 (b))とした。本手法は、鉱物をランダムに配置させる性質上、モンテカルロシミュレーションの適用が望ましいが、本研究ではあくまで図-3 (b)に示した1ケースのみの解析を実施した。また、藤井ら<sup>4)</sup>により、花崗岩における引張割れ目について、そのほとんどが鉱物粒子内を通ることが報告されている。したがって本解析モデルでは鉱物境界での剥離や滑りを考慮していない。

#### (4) 解析条件

本研究では、実施した圧裂引張試験の再現解析を行うことにより、提案手法の妥当性を検証する。解析には、上記提案手法によって作成したMMDモデルとMMCモデルを用いた。解析ジオメトリと境界条件を図-4 (a)に示す。解析手法には有限要素法を用い、解析ソフトウェアはCOMSOL Multiphysicsを使用した。圧裂引張試験において、加圧板と供試体の間に生じる載荷面について、本解析では幅を8.9 mmと設定した。また、大久保ら<sup>22)</sup>によって、圧裂引張試験は載荷速度に対する依存性が低いことが報告されていることから、実験と数値解析における載加速度が異なっても概ね一致した結果が得られると考えられる。したがって計算速度との兼ね合いから、解析領域の上端に加える1ステップあたりの変位 $v_s$ を0.002 mmと設定した。解析領域下端はローラー条件とした。一般的に損傷理論では、要素サイズが小さい程、微視的なき裂発生・進展を表現出来、より精緻なき裂形状を計算可能であることが報告されている<sup>7)</sup>。これをふまえ、本解析では、全要素数25134の十分に小さいサイズの三角形メッシュを用いた(図-8 (b))。解析に用いたパラメータを表-2に示す。ここで、花崗岩のポアソン比は本研究で実施した一軸圧縮試験で得られた結果を用い花崗岩の内部摩擦角、各鉱物の初期弾性率、引張強さは既往実験<sup>15,16)</sup>に基づき設定した。なお、黒雲母の一軸引張強さについては、既往の実験的研究より信頼できる実験結果が報告されておらず、本研究では、Mahabadi et al.<sup>8)</sup>による解析的研究を参照し、長石の一軸引張強さの0.7倍の値を設定した。また、各鉱物の一軸圧縮強さに関しても既往の実験的研究による報告がされておらず、次式(10)、(11)に示すGriffithの破壊規準を用いて算定した。

$$\sigma_1 = f_{t0} \quad 3\sigma_1 + \sigma_3 \geq 0 \quad (10)$$

$$(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + 8f_{t0}(\sigma_1 + \sigma_3) = 0 \quad 3\sigma_1 + \sigma_3 < 0 \quad (11)$$

上式(11)に $\sigma_3 = 0$ を代入し、各鉱物の一軸圧縮強度は一軸引張強さの8倍と設定した。

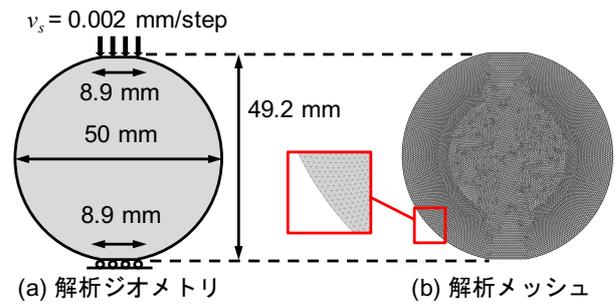


図-4 数値解析の概要

表-2 解析パラメータ<sup>15-17)</sup>

パラメータ	石英	長石	黒雲母
ヤング率 $E_0$ [GPa]	76.9	39.6	33.9
一軸引張強さ $f_t$ [MPa]	10.3	10.5	7.3
一軸圧縮強さ $f_c$ [MPa]	82.5	83.6	58.6
内部摩擦角 $\theta$ [°]	50	50	50
ポアソン比 $\nu$ [-]	0.19	0.19	0.19

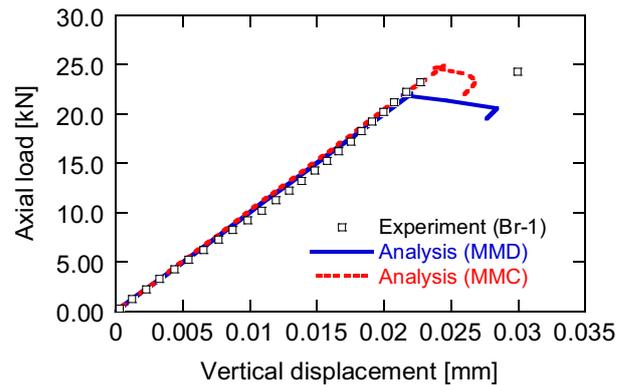


図-5 荷重-変位曲線の比較 (MMDモデルと実験結果)

表-3 圧裂引張強さの比較 (解析値と実験値)

	圧裂引張強さ
実験値 (Br-1)	6.21 MPa
解析値 (MMD)	5.62 MPa
解析値 (MMC)	6.35 MPa

#### 4. 解析結果と考察

まず、実験(Br-1)より得られた荷重-変位曲線と、MMD、MMC 両解析モデルによって得られた解析値との比較を図-5に示す。図より、解析結果は実験結果と概ね一致しており、MMD、MMC 共に圧裂引張試験時の岩石の破壊点までの力学的応答を再現できていることが確認できる。つぎに、実験によって得られた花崗岩の圧裂引張強さと、

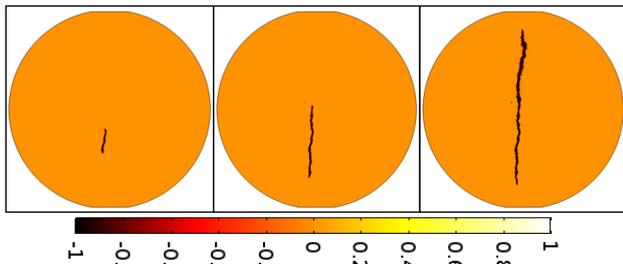


図-6 MMDモデルにおけるき裂発生・進展挙動

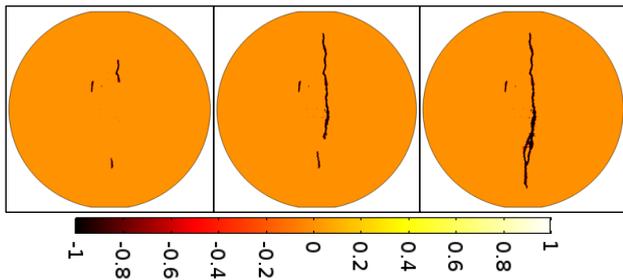


図-7 MMCモデルによるき裂発生・進展挙動

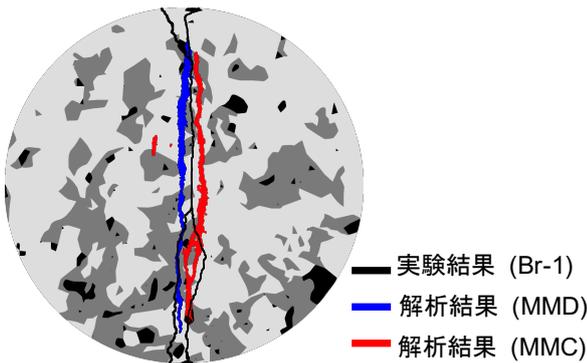


図-8 実験と数値解析によって得られたき裂形状の比較

解析によって得られた圧裂引張強さの比較を表-3に示す。本解析モデルにおける圧裂引張強さは、き裂発生時の荷重の値から式(1)を用いて算出した。表より、MMD、MMC 両モデル共に圧裂引張試験時の岩石の強度を概ね再現できていることが確認できる。つぎに、き裂発生・進展挙動（損傷変数  $d$  の分布の進展）を図-6, 7に示す。図-6, 7では、 $-1 \leq d < 0$  の赤～黒色の領域が引張による損傷領域、 $0 < d \leq 1$  の黄～白色の領域がせん断による損傷領域を表している。図-6, 7および図-8に示す実験によって観察されたき裂形状との比較から、MMD、MMC モデルともに供試体中央に発生する引張破壊によるき裂を概ね再現できていることが確認できる。図-8より、MMD モデルは供試体 Br-1 の実際の鉱物分布を直接反映しているため、MMC モデルと比較して実験結果のき裂形状をより忠実に再現できている。したがって、同

じ鉱物組成であっても分布の違いによってき裂進展・発生挙動に違いが見られるということが示された。また、MMD、MMC モデル共に実験において観察された上下両端部におけるき裂発生を再現できていない。その原因として、圧裂引張試験において供試体上下両端部に発生する圧縮応力場におけるせん断破壊によるき裂発生が再現できていないことが考えられる。せん断破壊の再現にあたっては、本解析モデルで考慮していない鉱物境界での剥離や滑りなどの挙動や解析領域上下端部における載荷板と供試体間で発生する摩擦を考慮することが必要であると考えられる。

## 5. 結論

本研究では、圧裂引張試験における岩石の引張破壊挙動及び引張強さを予測するため、鉱物分布・組成の影響を考慮した二つの数値解析モデルを提案した。提案した両モデルを用いて実施した圧裂引張試験の再現解析では、提案モデルは共に、実験より得られた荷重-変異関係および引張強さを算定でき、引張応力による断面中央部のき裂発生・進展挙動についても概ね再現可能であることが確認された。また、実際の岩石の鉱物分布を反映したMMDモデルの方がより高精度にき裂形状を再現した。しかしながら、提案モデルではいずれも供試体上下両端部に発生する圧縮応力場でのき裂を再現できておらず、鉱物境界における剥離や滑り、載荷板と供試体の接触部に生じる摩擦などの考慮が必要であると考えられる。また、本研究で提案したMMCモデルを実環境スケールに適用することを見据え、潜在的な微小欠陥や異方性、三次元的な鉱物分布等の影響を考慮可能なモデルへの拡張も課題である。加えて、二軸試験や三軸試験などの、より複雑な応力条件下の数値解析への適用性も検証する必要がある。

## 参考文献

- 1) 青柳和平, 石井英一, 石田毅: 幌延深地層研究センターの 350m 調査坑道における掘削損傷領域の破壊様式の検討, *Journal of MMIJ*, Vol.133, pp.25-33, 2017.
- 2) Kelsall, PC., Case, JB., Chabanne, CR.: Evaluation of excavation induced changes in permeability., *International Journal of Rock Mechanics & Mining sciences*, Vol. 21, pp.121-135, 1984.
- 3) 林為人, 高橋学, 中村敏明, 藤井幸泰: 稲田花崗岩の引張り強さ・変形特性およびその異方性-岩石の一軸引張試験と圧裂試験の比較を中心として-, *地盤工学ジャーナル*, Vol. 3, No. 2, pp.165-173, 2008.
- 4) 藤井幸泰, 竹村貴人, 高橋学, 林為人, 赤岩俊治: 異方性を考慮した稲田花崗岩の一軸引張割れ目の特性, *応用地質*, Vol.46, No.4, pp.227-231, 2005.
- 5) 奈良禎太, 大野有希, 今井康暁, 金子勝比古: 花崗岩にお

- ける応力腐食による亀裂進展現象の異方性および粒径依存性, 資源と素材, Vol.120, pp.25-31, 2004.
- 6) Tang, C.A., Kaiser, P.K. : Numerical Simulation of Cumulative Damage and Seismic Energy Release During Brittle Rock Failure—Part I: Fundamentals, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol.35, pp.113-121.
  - 7) Zhu, W.C., Tang, C.A. : Numerical simulation of Brazilian disk rock failure under static and dynamic loading, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol.43, pp.236-252, 2006.
  - 8) Mahabadi, O., Lisjak, A. : New Combined Finite-Discrete Element Numerical Code for Geomechanical Applications, *International Journal of Geomechanics*, Vol.12, pp.676-688, 2012.
  - 9) 地盤工学会 : 圧裂による岩石の引張強さ試験, 地盤材料試験の方法と解説, pp.901-911, 2009.
  - 10) Hondros, G. : The evaluation of Poisson's ratio and the modulus of materials of a low tensile resistance by the Brazilian (indirect tensile) test with particular reference concrete, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, Vol.10, pp.243-268, 1959.
  - 11) 佐藤嘉晃 : 圧裂試験における破壊開始位置と破壊荷重についての Griffith 理論による検討, 材料, Vol.36, pp.1219-1224, 1987.
  - 12) Lu, Y.L., Elsworth, D., Wang, L.G. : Microcrack-based coupled damage and flow modeling of fracturing evolution in permeable brittle rocks, *Computers and Geotechnics*, Vol. 49, pp.226-244, 2013.
  - 13) Wang, J., Elsworth, D., Wu, Y., Liu, J., Zhu, W., Liu, Y. : The Influence of Fracturing Fluids on Processes: A comparison Between Water, Oil and SC-CO<sub>2</sub>, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol.51, Issue 1, pp.299-313, 2018.
  - 14) 大久保誠介, 金豊年, 秋山雅雄 : 一軸引張強度と圧裂引張強度の載荷速度依存性, 資源と素材, Vol.109, Issue 11, pp.865-869, 1993.
  - 15) Savanick, G.A., Johnson, D.I. : Measurements of the Strength of Grain Boundaries in Rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, Vol.11, Issue 5, pp.173-180, 1974.
  - 16) Mavko, G., Mukerji, T., Dvorkin, J. : *The Rock Physics Handbook*, 2009.
  - 17) Zhang, L. : *Engineering Properties of Rocks (Second Edition)*, 2017.

## PREDICTION OF TENSILE FRACTURE EVOLUTION OF GRANITE BY NUMERICAL ANALYSIS MODEL CONSIDERING MINERAL DISTRIBUTION AND COMPOSITION

Shogo IZAWA, Sho OGATA, Hideaki YASUHARA,  
Naoki KINOSHITA and Kiyoshi KISHIDA

We proposed two numerical analysis models considering mineral distribution and composition of targeted rock to predict the behavior of fracture evolution and tensile strength through the Brazilian test. In order to confirm the validity of models, Brazilian tests using granite specimens were conducted. Subsequently, numerical analyses using proposed method were performed to reproduce the result of the experiments. Simulated results were good agreement with fracturing process and tensile strength obtained from experiments, and validity of the model was indicated.