

岩盤の不連続面のクリープ挙動に関する一考察

香川大学 学生会員 ○山崎 卓哉，正会員 吉田 秀典
 東京大学 正会員 井上純哉
 （株）関西電力 正会員 金谷 賢生，蒲池 孝夫
 （株）ニュージェック 正会員 平川 芳明，森 聡

1. 緒言

今日，原子力発電に伴って発生する放射性廃棄物の処分が重要な課題となっている．放射性廃棄物の処分に当たっては，放射性廃棄物の影響が安全上支障のないレベルに達するまで，長期的に隔離するという見地から，わが国では地層処分が考えられている．地層処分における岩盤は，堆積岩系岩盤と結晶質岩系岩盤に大別され，わが国においては，特に結晶質岩系岩盤には不連続面が少なからず存在している．こうした不連続性岩盤における長期挙動を考えるにあたっては，母岩部のみならず，不連続面の变形なども十分に考慮する必要がある．特に，不連続面が变形した場合，単に変形量が大きくなるだけではなく，透水係数が大幅に増大する可能性もある．しかしながら，不連続面自体のクリープ変形について研究した事例は少なく，存在しても透水性を議論できないなどの問題がある¹⁾．そこで本研究では，不連続面に幾何学的な凹凸を考え，これが時間とともにせん断すべりおよび開口するような現象によって透水性が変化するという知見に立ち，不連続面の幾何学的特性を考慮に入れたクリープモデルの提案を目的とした．

2. 力学モデル

本研究では，岩盤がその中に不連続面を含み，その不連続面が摩擦すべりを生じるという問題を扱うことから，摩擦すべり現象を表現できるモデルが必要となる．そこで本研究では，不連続面のすべり現象を再現すべく古典的摩擦則であるクーロン摩擦則を採用することとした．クーロン摩擦則によると，2つの物体間の相対すべりは $\mu|f_n| + c \leq f_t$ （ μ は静止摩擦係数， f_t および f_n は接触力の接線および法線成分， c は粘着力）を満たすとすべりを生じる．

また本解析では，解析を簡素化するために巨視的に材料が軟化するような領域までは対象としない．ただし，ピーク前における弾塑性挙動のみは考慮することとし，岩盤基質部については Drucker-Prager 型の弾塑性モデルを適用した．

そこで，応力-ひずみ関係（構成モデル）としては，文献²⁾を参考に，図1に示すような構成モデルを採用した．図に示すように，ピーク応力（ σ_{peak} ）の1/3の応力を初期降伏応力（ σ_y ）とし，この応力に至るまでは弾性的に挙動するものとしている．また，ピーク応力に達した時のひずみ（ ε_{peak} ）は，実験結果³⁾との整合性を考え0.2%に設定し，初期降伏後，ピークに至るまでは，図に示すようなひずみ硬化挙動（等方硬化）を呈し，ピーク後は，応力を一定に保ちながらひずみだけが增大するものとしている．なお，圧縮側も引張側も同じ挙動を呈するものとした．

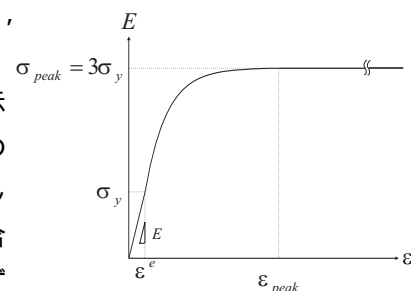


図1 構成モデル

3. ピーク応力の決定

本章では，まず，クリープ解析を実施するに先立って，クリープ応力決定の判断材料となるピーク応力を決定するために静的せん断解析を行った．一般に岩盤内に含まれている不連続面は完全なる直線ではなく，多かれ少なかれ雁行しているため，図2に示すように不連続面がフラットではなく，起伏を有する供試体を作成した．こうした起伏の傾き＝起伏角度（図2の α ）については，0，5，10，15°という4つのケースを考えた．

表1 解析で用いた材料特性

岩盤	弾性係数 (MPa)	50,000
	ポアソン比	0.2
	一軸圧縮強度 (MPa)	156
	粘着力 (MPa)	21.3
不連続面	摩擦係数	1.0
	粘着力 (MPa)	0.0
	起伏角度 (°)	0,5,10,15

また，供試体サイズは，図2に示すように幅300mm，高さ200mmとし，岩盤および不連続面に関する特性は表1のように設定した．なお，総要素数1,122個，総接点数1,333個（うち，摩擦すべり要素は計384個）で，解析は2次元平面応力の条件下で実施した．解析より，図3に示すようなせん断変位とせん断応力の関係を得た．これよりピーク応力を決定し，次章では，ピーク応力の80%の応力をクリープ応力として載荷した．

キーワード：不連続面クリープ，摩擦特性，幾何学的特性

〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20 香川大学 工学部 TEL:087-864-2157 FAX:087-864-2188

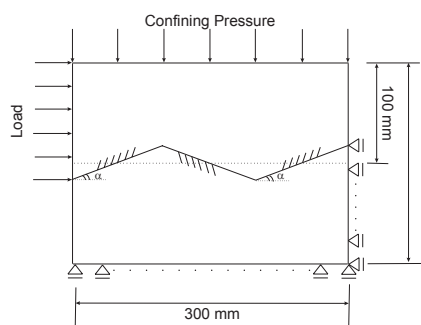


図 2 解析概念図(横断)

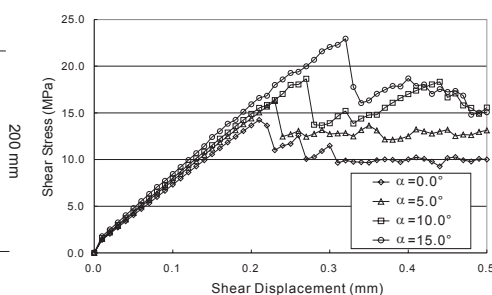


図 3 セン断変位-せん断応力関係(横断)

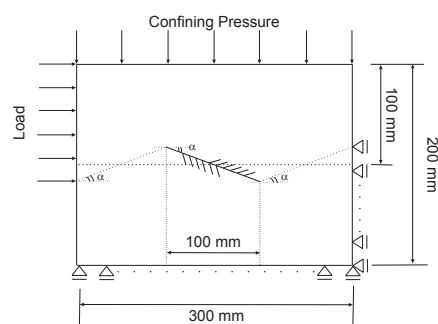


図 4 解析概念図(包含)

4. クリープ解析

本研究では，図 2 に示すような上下の不連続面が接触し摩擦すべりを生ずる場合，その接触面が削れ摩擦係数が変化するものと仮定した．そこで，面における摩擦係数 μ を次式のように定義した．

$$\mu = 1.0 \quad (\sigma_n < \sigma_y) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\mu = 0.7 \times \exp \{ -0.5 \times (\sigma_n - \sigma_y) / 10 \} + 0.3 \quad (\sigma_n \geq \sigma_y) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで， σ_n は面における法線方向のトラクションである．クリープ解析は 1000 ヶ月にわたって実施した．

不連続面の状態としては，図 2 のように亀裂や節理，破碎帯などによって不連続面が岩盤内を横断しているケースと，図 4 のように不連続面が岩盤内に包含されたケースの 2 ケースについて考えた．解析より，図 5，図 6 に示すような時間とせん断変位量の関係を得た．ここで，変位量は上部左側面の載荷点における変位量の合計をとり，それを節点数で除した値（平均値）をせん断変位としてプロットしている．

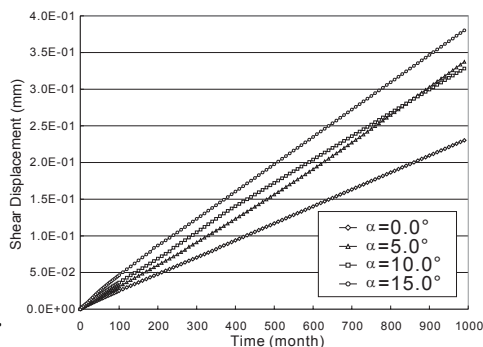


図 5 クリープ解析(横断)

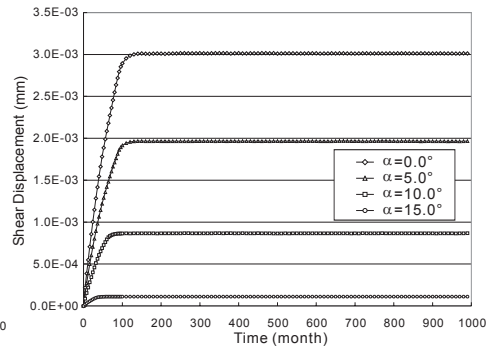


図 6 クリープ解析(包含)

不連続面が横断されたケースでは，変曲部と右端部付近において応力が集中し，その付近で，不連続面の摩擦係数が低下する．その結果不連続面はさらにすべり量を大きくする．こうした挙動が繰り返されることで，時間経過とともに変位量が大きくなるという現象が得られるが，変位が収束することはない．不連続面が横断していることから，変位の拘束がないのでこの結果は当然と考えられる．一方，不連続面が包含されたケースでは，不連続面の両端部で応力集中が起こり，横断ケースと同様に，この付近で摩擦係数が低下する．しかしながら，岩盤基質部に応力が再配分されるため，不連続面を滑動させようとする作用力は減少し，その結果，変位は収束する．これらより，包含されたケースの方が，実際の挙動に近いと思われる．

5. まとめ

本研究では、不連続性岩盤におけるクリープ挙動を考えるにあたって、特に不連続面がクリープするという点に焦点を当て、不連続性岩盤のクリープモデルの提案を行った．モデルの妥当性の確認の後，クリープ解析を実施し，その傾向を探った．その結果，岩盤を横断した不連続面と岩盤に包含された不連続面では，大きく挙動が異なることが判明した．今後は，実験との比較を通してさらに現象のメカニズムについて検討し，また，透水挙動との連動を考慮していく予定である．

参考文献

- 1) Amadei, B: Creep Behaviour of Rock Joints, M. A. Sc. thesis, The University of Toronto, 1979
- 2) 吉田秀典，高森大資，和田光真： 非均質性が岩盤構造物の挙動に及ぼす影響と設計に関する研究，応用力学論文集，Vol.6，pp387-396，2003
- 3) 多田浩幸，若林成樹： ロックボルトによる岩盤不連続面のせん断補強効果に関する実験的検討，第 36 回地盤工学研究発表会，pp1221-1222，2001