

高レベル放射性廃棄物処分場における硬岩クリープ破壊の検討

鹿島 正会員 三浦一彦 田部井和人
東京電力 正会員 土 宏之 小野文彦
埼玉大学 正会員 奥井義昭
東京大学 正会員 堀井秀之 学生会員 竹内渉

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物処分場の長期安定性を検討する上で重要な現象の一つに岩盤クリープがある。ここで考えるべき時間は数万年オーダーであるが、こうした長期の現象は実験で確認することは不可能であるため、現象のメカニズムを考慮したモデルを用いた解析により予測の信頼性を担保することが必要と思われる。ここでは、硬岩のクリープ破壊のメカニズムを考慮した奥井・堀井の提案するマイクロメカニクスに基づく理論的手法によって検討した。

2. 検討手法

奥井・堀井¹⁾²⁾は、硬岩におけるクリープ現象を次のようにとらえている。岩石中のマイクロクラックは主応力方向と平行に引張クラックにより発生する(図-1)。マイクロクラックの進展は応力腐食割れに起因し、その進展速度は応力拡大係数の n 乗に比例した形で式(1)のように表される。

$$\frac{dl}{dt} = V_0 \left(\frac{K_I}{K_0} \right)^n \quad (1)$$

ここに、 l はマイクロクラック長、 K_I は応力拡大係数、 V_0 は $K_I = K_0$ のときのクラック進展速度である。 V_0 及び n は温度や水分状態に影響を受けることが知られている。異なる二つのマイクロクラックは相互干渉することにより2次クリープから3次クリープへと移行する。相互干渉の定式化にはpseudo-traction法を用いる。図-2において二つのマイクロクラックの配向角度が0度ではクリープは進展しないが、60度では進展し3次クリープに至っている。

3. パラメータの設定

本手法に用いるパラメータは、破壊靱性値 K_C 、初期欠陥が主応力の方向となす角度 q 、摩擦係数 m 、初期欠陥長 c_0 、二つの異なるクラックの配置角度 f 、無次元化したクラック間距離 d/c_0 、 n 、初期クラック進展速度 V_0 である。これらのパラメータをKranzの実験に適合するように設定を試みた。まず K_C 、 q 、 f は固定しKranzの実験により得られた短期強度と拘束圧の關係に適合するように c_0 、 m 、 d/c_0 を決め、次にクリープ試験により n 及び V_0 を決めた。図-3及び図-4にKranzの実験結果と本検討で設定したパラメータで解析を行った結果を示す。短期の破壊現象もクリープ

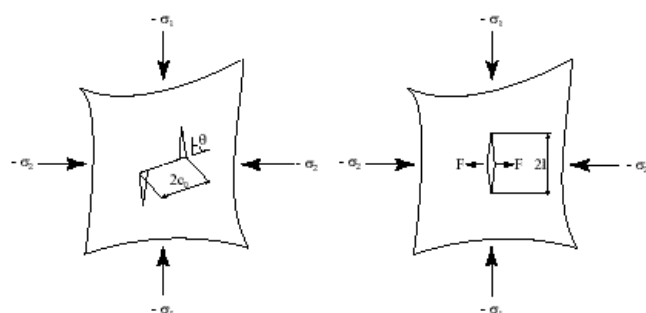


図-1 圧縮応力場でのマイクロクラック
(左: Wing Crack Model、右: 左を簡略化したもの)

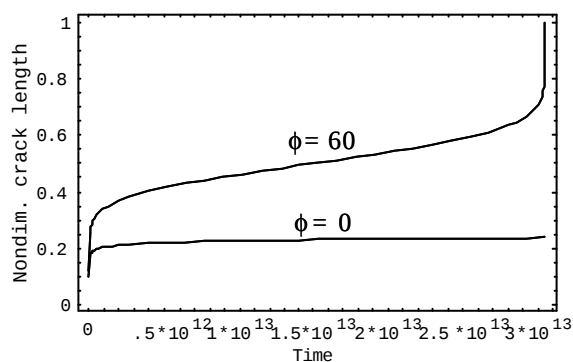


図-2 クラック長の時間変化

表-1 パラメーター一覧

項目	物性値
破壊靱性値	$K_C = 1.2 \text{ MPam}^{1/2}$
初期欠陥長	$C_0 = 80 \text{ mm}$
初期欠陥の角度	$q = 45 \text{ degree}$
摩擦係数	$m = 0.3$
クラック配置角度	$f = 60 \text{ degree}$
クラック間距離	$d/c_0 = 1.5$
n	30
初期クラック進展速度	$V_0 = 0.5 \times 10^{-3}, 10^{-6} \text{ m/s}$

キーワード：硬岩，クリープ，マイクロメカニクス，高レベル放射性廃棄物処分場

連絡先：107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島土木設計本部 電話：03-5561-2195 FAX：03-5561-2152

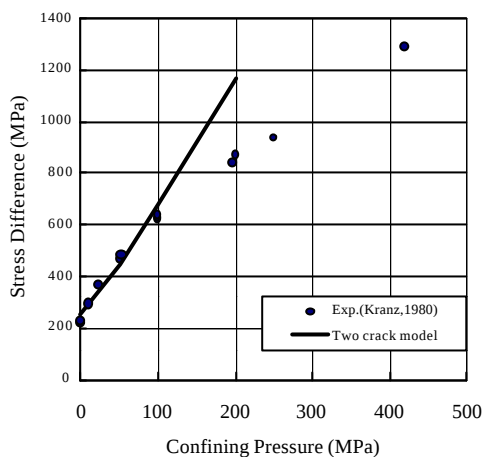


図 - 3 短期強度と拘束圧の関係

破壊現象も本モデルでよく表現できることが窺える。但し、拘束圧が 100MPa を越える場合には短期強度が一致しなくなっている。これは、拘束圧が大きいと破壊モードが本モデルで考えているものと異なるためと考えられるが、坑道近傍は一軸状態に応力状態であるので適用に問題はないと考えた。本解析で用いたパラメータを表 - 1 に示す。なお、実験は室温、乾燥状態で行われている。

4. 硬岩のクリープ破壊時間の検討

3. で設定したパラメータを用いて種々の応力状態におけるクリープ破壊時間を計算したものを図 - 5 に示す。なお、 V_0 は拘束圧により変化するので拘束圧が 0MPa と 53MPa の2つのケースでの V_0 を用い、その間の拘束圧についてはこの二つの値から内挿した。高レベル放射性廃棄物処分場は硬岩の場合 1000m 程度の設置深度が考えられており、単純に単位体積重量を 2.5Mg/m^3 とすると地圧は 25MPa 程度、円形坑道の弾性解から坑道周辺は最大で 50MPa 程度の一軸状態に近いと考えられる。この状態ではクリープ破壊時間は 100 億年を越えている。但し、Kranzの実験に用いた花崗岩は一軸強度が 250MPa 程度のものであり、現在わが国の高レベル放射性廃棄物処分場で考えられている硬岩の一軸強度は 100MPa 程度であるため、更に詳細な検討が必要となる。

5. おわりに

今回の検討では、比較的簡単な理論的モデルを用いて硬岩のクリープ破壊現象が把握でき、放射性廃棄物処分場が硬岩サイトに作られる場合、岩盤クリープは問題にならないことが確認できた。但し、詳細な検討は不十分であるので、今後は、放射性廃棄物処分場における温度の影響やジョイント等による応力集中の影響などを考慮に入れたより詳細な検討を行いたい。

[参考文献]

- 1) 奥井義昭, 堀井秀之: 硬岩のクリープ破壊時の変形の局所化メカニズム, 第42回地盤工学シンポジウム, 1997.
- 2) 奥井義昭, 堀井秀之, 秋山成興: マイクロメカニクスに基づく連続体理論と変形の局在化現象の解析, 1994.
- 3) R.L.Kranz: The effects of confining pressure and stress difference on static fatigue of granite, Journal of geophysical research, vol.85, No.B4, 1980.

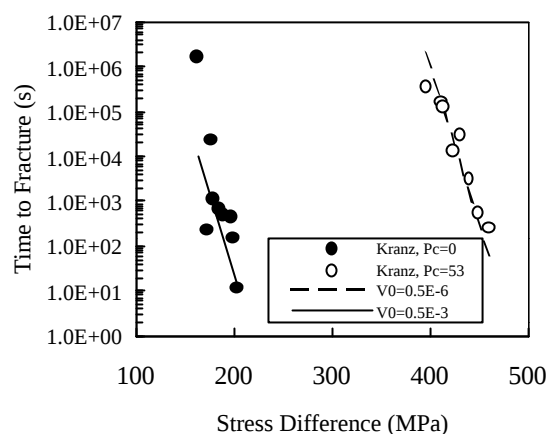


図 - 4 クリープ破壊時と応力状態の関係

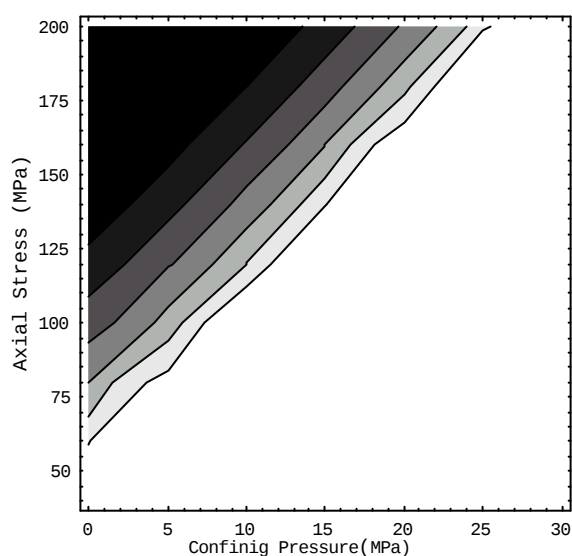


図 - 5 クリープ破壊時間のコンター

(一番右のラインから順に100億年, 1億年, 100万年, 1万年, 100年, 1年)