

処分坑道・処分孔の長期安定性解析のための軟岩クリープモデルの提案とその適用

(財)電力中央研究所 正会員 ○澤田 昌孝
同上 正会員 岡田 哲実

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、数千年以上という超長期のオーダーで廃棄物を格納しておく空洞あるいはその内部に充填される人工バリア材の健全性を議論しておく必要がある。処分坑道・処分孔が掘削され、その後、廃棄体の定置、埋め戻しが行われるまでのしばらくの間、坑道は開放されており、クリープ変形が進行する可能性がある。また、我が国では、比較的顕著なクリープ挙動を示す堆積軟岩地点がサイトとして選定される可能性もある。ここではクリープ変形の収束・継続を作用している応力レベルによって評価するモデルを用いた有限要素法解析によって、処分孔掘削時およびその後のクリープ過程において周辺岩盤がどのような挙動を呈するかについて間隙水の挙動の影響も含めて検討を行った結果を示す。

2. クリープモデルの特徴

堆積軟岩を用いた室内試験において、ある限界応力（残留強度に近いと考えられている）よりも低い応力では、クリープ変形は収束し、それ以上の応力では加速クリープ状態まで進展し最終的にはクリープ破壊に至ることが知られている。この性質に着目し、応力レベルが残留強度以下では変形収束型のモデル（せん断変形：標準模型、体積変形：単純バネ）、残留強度以上では変形継続型のモデル（せん断変形：Burgers 模型、体積変形：Maxwell 模型）を適用する。Burgers 模型および Maxwell 模型における粘性係数は応力レベルに依存するものとし、体積クリープ変形については、拘束圧と軸差応力の比により、膨張する場合と収縮する場合に場合分けする。また、クリープひずみの限界値が存在し、変形継続型のモデルでは最終的に破壊するものとする[1]。

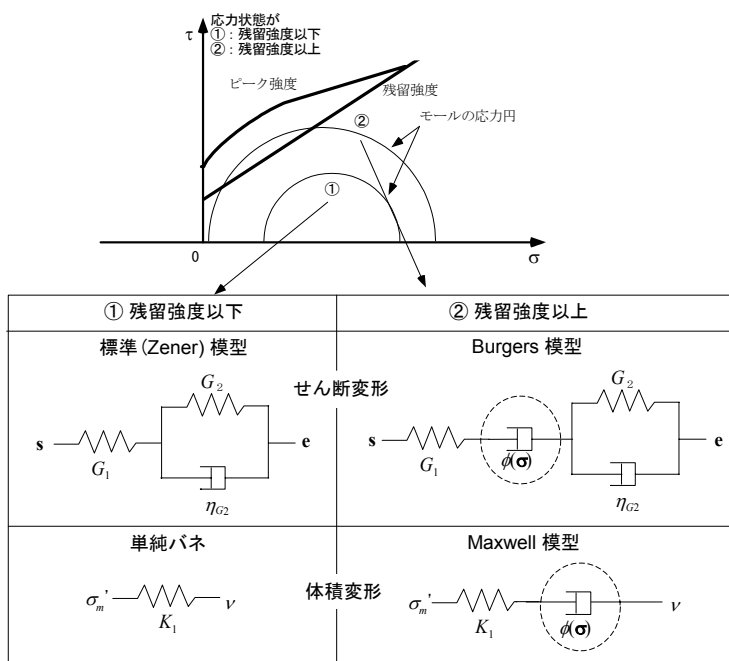


図1 応力レベルによるモデルの選択

3. クリープモデルによる挙動表現

上記のモデルを岡本ら[2]が実施した第三紀泥岩（一軸圧縮強度 3.0～5.0MPa）の三軸排水クリープ試験時の挙動に適用する。拘束圧が 0.1MPa の場合における応力と強度（ピーク強度：放物線型 $[\tau_R=0.65 \text{ MPa}, \sigma_t=0.24 \text{ MPa}]$ ，残留強度：直線型 $[c=0.55 \text{ MPa}, \phi=25.6 \text{ deg.}]$ ）の関係を表すと図2のようになる。図2内の q_f は軸差応力を表す。軸差応力の大きい2ケースにおいて応力が残留強度を超えている。変形係数、粘性係数、ひずみの限界値を試験より定め実施したクリープ試験の計算結果と試験結果とを図3に示す。

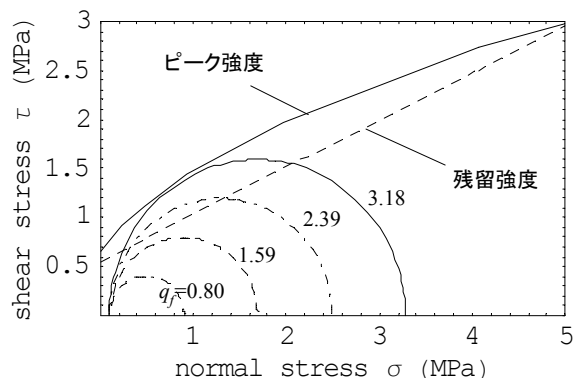
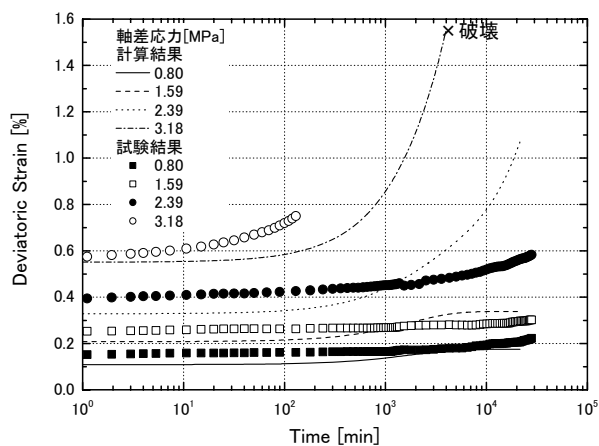


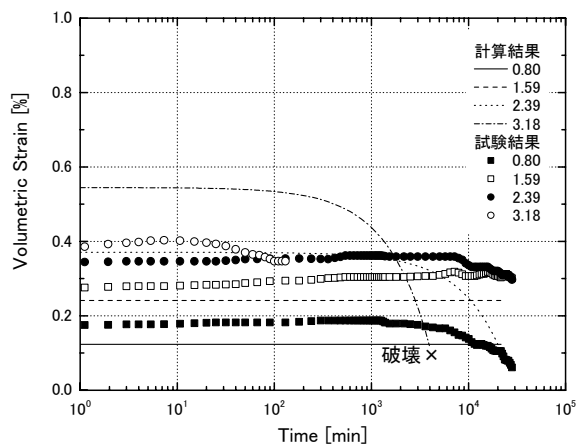
図2 応力レベルと強度（拘束圧 0.1MPa）

キーワード 放射性廃棄物処分，堆積軟岩，クリープ，残留強度

連絡先 〒270-0021 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財)電力中央研究所 地圏科学領域 TEL 04-7182-1181



(a) 時間-偏差ひずみ関係(拘束圧 0.1MPa)



(b) 時間-体積ひずみ関係(拘束圧 0.1MPa)

図3 モデルの三軸排水クリープ試験への適用

図3中の「×破壊」は計算によるクリープひずみが限界値に達し破壊したことを表す。応力が残留強度を超えていない2ケースでは偏差クリープ変形が収束したのに対し、応力が残留強度を超えている2ケースではクリープによるせん断変形および体積膨張が継続し、そのうち $q_f=3.18\text{MPa}$ のケースでは破壊に至った。計算結果は試験での変形の継続・破壊を概ね表現している。なお、高拘束圧の試験で見られるクリープ時の体積収縮挙動も表現可能である。

4. 処分孔挙動問題への適用

高レベル放射性廃棄物処分の縦置き処分孔を想定し、処分孔を水平面で切った断面に対して図4のようにメッシュを設定した。周辺岩盤の物性は上記の第三紀泥岩とし、初期地圧は対象泥岩の先行履歴応力を考慮して2.8 MPa（土被り150m相当）とした。解析結果は掘削のみ場合（ケース1）、緩衝材（ $E=50\text{MPa}$ の弾性体）を $t=10^{-3}$ 年に内部に充填し再冠水の影響を考慮する場合（ケース2）について示す。ケース2の水理境界条件は初期水頭および外側境界の水頭を50mとし、掘削と同時に処分孔壁面において水頭を0mとした。孔壁変位および孔壁近傍の水頭の変動を図5に示す。破壊あるいはクリープ継続を引き起こす応力レベルとなる領域が狭く、孔壁変位は収束した。また、埋め戻し後の岩盤の変形は、緩衝材により抑制されるとともに、再冠水に伴う水頭の変化の影響を強く受けることが示唆された。

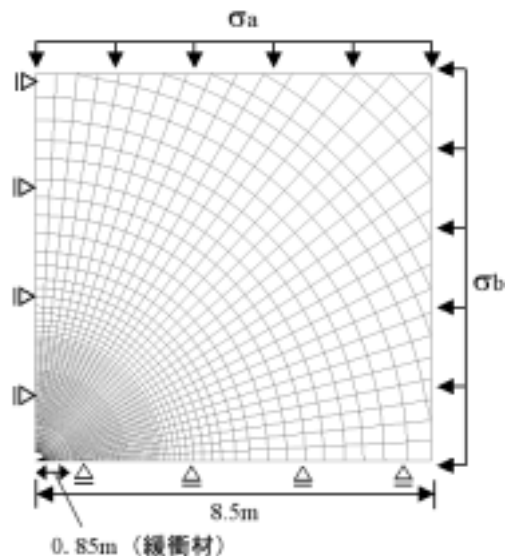


図4 解析メッシュ

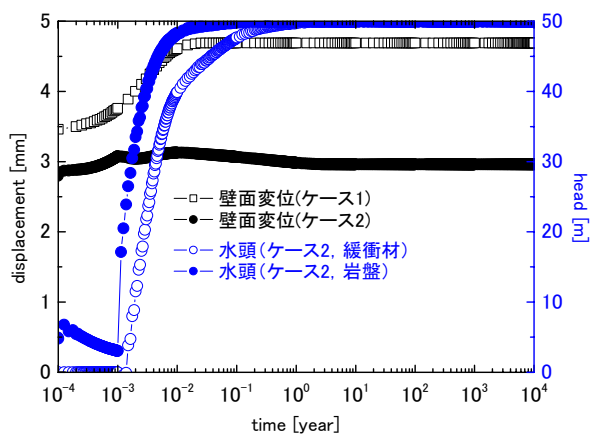


図5 孔壁変位および水頭の変化

5. おわりに

本研究では、クリープ変形の継続と収束に着目したモデルを作成し、処分孔掘削の解析に適用した。今後、他の堆積軟岩への適用を試みる。

参考文献

- [1] 澤田ほか：空洞周辺岩盤のクリープと内部充填材との力学的相互作用，第33回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，2004。
- [2] 岡本ほか：泥岩の力学特性に関する研究（その2）クリープ特性，電力中央研究所，研究報告382012，1983