

余裕深度処分施設における岩盤クリープ影響に関する検討

東電設計(株) 正会員 鈴木康正, 正会員○金子岳夫

日本原燃(株) 正会員 堀江正人

1. 目的

岩盤クリープが余裕深度処分施設の人工バリアに与える影響を確認する。検討にあたっては、試験空洞掘削後の変形挙動を用いた解析手法（大久保モデル）のパラメータ設定および適用性の検討を行った上で、超長期の岩盤クリープ予測解析を実施する。ここで大久保モデルを選定した理由は、線形粘弾性挙動および強度破壊点以降の挙動が表現可能であること、比較的少ないパラメータでフィッティングが可能であること、第2次取りまとめ¹⁾とTRU第2次取りまとめ²⁾等同様の検討における採用実績が多いことによる。

2. 大久保モデル概要とパラメータ設定

大久保モデルは、応力を受ける岩盤の各要素のコンプライアンス(λ ：弾性係数の逆数)が時間の経過とともに増加していくと仮定したコンプライアンス可変型モデルである。コンプライアンス λ の増加速度は、その時の差応力 $\Delta\sigma^*$ の n 乗に比例し、 λ^* の m 乗に加速度的に大きくなるとして下式を仮定している。

$$\frac{d\lambda^*}{dt} = a \cdot (\Delta\sigma^*)^n \cdot (\lambda^*)^m$$

$$\Delta\varepsilon^* = \lambda^* \Delta\sigma^*$$

(1)

$\lambda^* = (\lambda/\lambda_0)$, $\Delta\sigma^* = (\Delta\sigma/\Delta\sigma_0)$, $\Delta\varepsilon^* = (\Delta\varepsilon/\Delta\varepsilon_0)$ はそれぞれ正規化したコンプライアンス, 差応力, 主ひずみで, λ_0 は初期コンプライアンス, $\Delta\sigma_0$ は破壊時の差応力, また, $\Delta\varepsilon_0 = \lambda_0 \cdot \Delta\sigma_0$ である。

上記の構成モデルを用いた空洞挙動解析を行い、パラメータの設定、適用性の検証を行う。ここでは、日本原燃(株)青森県六ヶ所村の敷地内の試験空洞挙動に関するデータ^{3),4)}を参考にする。試験空洞は、地下約100mに位置し、掘削形状は幅17.7m、高さ16.2mの三心円空洞である(図-1参照)。

試験空洞掘削時の挙動評価^{3),4)}より、岩盤の弾性係数は2000MPa、支保工(吹付コンクリート)の弾性係数は、若材令弾性係数;18200MPa,硬化後弾性係数;24200MPaとした。初期地圧は、土被り110mにおける計測値($\sigma_y=2.29$, $\sigma_z=1.57$, $\tau_{yz}=-0.04$ MPa)を深度補正して使用した。また、 $\Delta\sigma_0$ を決定する破壊条件についてはHoek-Brownの破壊規準(式(2))を採用した。

Hoek-Brown 破壊基準：
$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_H \sigma_c \sigma_3 + s \sigma_c^2}, \quad m_H=9, \quad s=1, \quad \sigma_c=1.8\text{MPa}$$

(2)

掘削完了時変位および完了後6ヶ月間の増分変位について、解析結果・実測値の一覧を表-1に取りまとめる。掘削完了時変位が実測値に近いケース5,6は、6ヶ月間の増分変位のうち側方変位が実測値と比較して小さい傾向にある。本検討の目的が、長期的な岩盤挙動の評価であることから、やや保守的ではあるが、ケース2のパラメータセット($m=5$, $n=20$)を用いた解析結果が当該地点の挙動を再現しているものと判断した。

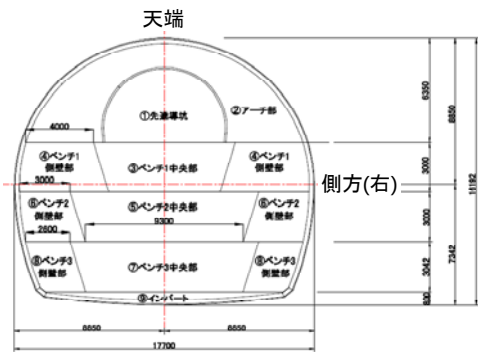


図-1 試験空洞形状

表-1 解析結果一覧（壁面変位比較）

CASE	m	n	掘削完了時 変位(mm)			6ヶ月増分変位(mm)		
			天端	側方(左)	側方(右)	天端	側方(左)	側方(右)
1	5	10	19.66	16.78	17.04	3.40	1.53	1.62
2(基本)	5	20	9.24	11.46	11.43	0.86	0.40	0.42
3	10	20	11.88	12.14	12.25	1.30	0.49	0.51
4	15	20	15.15	13.07	13.29	1.65	0.57	0.74
5	5	30	7.23	10.55	10.44	0.24	0.18	0.21
6	10	30	8.21	10.88	10.78	0.60	0.23	0.24
実測変位	—	—	5.2	9.3	8.7	0	0.3	0.2
弾性解析	—	—	4.9	9.1	8.9	0	0	0

3. 長期挙動評価

余裕深度処分施設(処分空洞, 人工バリア(EBS))は, 図-2 に示す形状を想定して, 二次元平面ひずみ条件のモデルを作成した. ここでは, 処分空洞規模は試験空洞程度, 低透水層: 100cm 程度, 低拡散層: 60cm 程度, コンクリートピット: 70~80cm 程度の厚さを想定した. 解析に使用した各部材の物性値を表-2 に示す. 大久保モデルのパラメータ, 岩盤物性, 破壊規準, および初期地圧は, 前段で設定した値を使用した. また, 解析では人工バリア材料の劣化を考慮して人工バリア設置から 1000 年を経過した時点でセメント系材料の剛性を 1/10 に低下させ, 10 万年後までの変形を予測している.

天端および側壁に生じる壁面変位の経時変化グラフを図-3, 処分空洞周辺岩盤の弾性係数低下傾向を図-4 に示す. 10 万年程度を考慮した岩盤の長期変形挙動では, 天端部鉛直方向のクリープ変形が大きく, その弾性係数も天端で低下する傾向を示す. これは, 今回使用した初期地圧が水平方向に卓越するものであったことに起因すると考えられる. ただし, 天端の増分変位量(人工バリア設置後 10 万年間のクリープ変形量)は 11.9mm 程度であり, 支保の劣化に伴い 1000 年経過直後に発生した変位の影響が大きい結果となった. 既往文献²⁾の傾向と同じく, 内部構造物の剛性がある程度(文献²⁾では100MPa程度以上)期待できる場合には, 岩盤クリープ変形は抑制されるものと考えられる.

また, 岩盤クリープによる変形に伴い空洞内側に設置された構造物が受ける影響について確認を行った. 人工バリア設置後の 1000 年間に発生する主要部材の応力変化を図-5 に示す. 低透水層で-0.10MPa の圧縮増加, 低拡散層で-0.11MPa の圧縮増加, コンクリートピットで-0.10MPa の圧縮増加が認められた. 岩盤クリープが人工バリア部材に与える影響は比較的小さいものと考えられる.

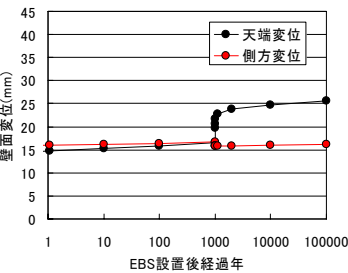


図 3 壁面変位経時変化

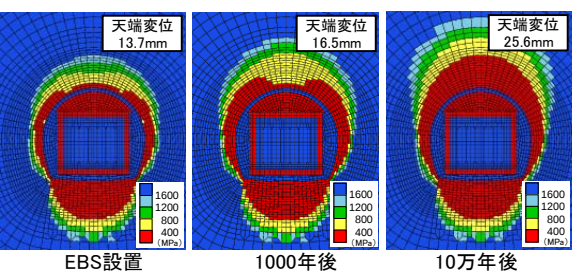


図 4 弾性係数の低減傾向

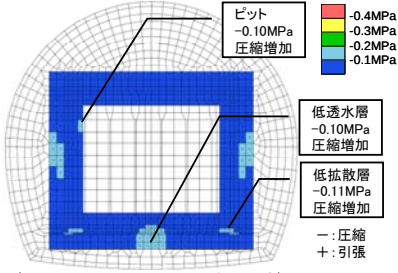


図 5 EBS 部材の応力変化
(EBS 設置後 1000 年経過時)

4. まとめ

余裕深度処分施設に対する岩盤クリープの影響を大久保モデルを用いて検討した. 試験空洞における計測値によりパラメータの設定, 適用性を確認した上で, 処分空洞の長期的な挙動解析を実施した. その結果, 岩盤クリープによる壁面変位は数 mm 程度, 主要部材の応力増分は-0.1MPa 程度の圧縮とわずかであることが想定された.

参考文献

1) JNC(1999): 地層処分研究開発第2次取りまとめ 分冊2 地層処分の工学技術, N1400 99-022 J, 2) JNC・電事連(2005): TRU 廃棄物処分技術検討書-第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ-, Y1400 2005-002, 3) A. TOMITA et al.(2006): Estimation of Mechanical Behavior of Soft Rock Under Low Confining Stress, 41st U.S. Symposium on Rock Mechanics, ARMA/USRMS 06-956, 4) 富田敦紀, 岩見忠輝, 鈴木康正(2006): 余裕深度処分埋設施設本格調査のうち試験空洞の支保設計および挙動, 電力土木 No.325, pp. 71-75