

TRU廃棄物処分場における岩盤の長期挙動

鹿島 土木設計本部 正会員 高村 尚 正会員 青柳 孝義
 鹿島 情報システム部 正会員 田部井 和人 非会員 立川 伸一郎

1. はじめに

使用済み核燃料の再処理施設等から発生するTRU廃棄物は、地下数百メートルの地層中に処分することが有力と考えられている。軟岩系岩盤において坑道型の処分施設を考えた場合、岩盤の長期クリープ挙動が坑道内の緩衝材に過度の変形を与える恐れがある。そこで、非線形粘弾性モデルを用いて岩盤の長期クリープ解析を試みた。本稿では、その概要を述べる。

2. 構成方程式

岩盤のクリープ挙動を表現する構成方程式として、コンプライアンス可変型構成方程式¹⁾(以下、大久保モデル)の適用を試みた。大久保モデルは比較的簡単な形で1次から3次クリープまでの表現が可能であり、解析的な検討に適している。本モデルは非線形 Maxwell モデルに相当し、応力を受ける岩盤の各要素のコンプライアンス(ひずみ/応力に相当)が時間の経過とともに増加していくと仮定したモデルである。構成方程式を右に示す。

3. 解析条件

解析対象として、深度500mの堆積岩系岩盤中に建設される直径11.2mの円形坑道を想定した(図1)。支保工は0.6mのコンクリート支保工とし、坑道下部にはインバートを設置する。また、廃棄体周りには放射性物質の移行を抑制するため、ベントナイト混合土である緩衝材(厚さ1m以上)を設置することとした。

解析で用いた岩盤、緩衝材、廃棄体、及び支保工の物性値を表1に示す。岩盤の側圧係数は1.07とした。支保工については、長期的(100万年オーダー)な強度、剛性を見こむことは困難であるため、緩衝材相当の剛性を設定した。

表1 解析入力物性値

岩盤	密度(飽和)	(Mg/m ³)	2.35	緩衝材	弾性係数	E (MPa)	3
	一軸圧縮強度	q _c (MPa)	20		ポアソン比		0.4
	一軸引張強度	t _c (MPa)	2.8	廃棄体部	弾性係数	E (MPa)	32,300
	弾性係数	E (MPa)	4,000		ポアソン比		0.184
	ポアソン比		0.3	支保工(インバート含)	弾性係数	E (MPa)	3
	大久保モデルパラメータ	m	5		ポアソン比		0.2
	n ₀	20					

岩盤クリープ解析構成方程式(大久保モデル)

$$d\epsilon^*/dt = a(\Delta S^*)^n \cdot (\sigma^*)^m \text{コンプライアンス構成式}$$

$$a = (m / (n_0 + 1))^{(m / (n_0 - m + 1))} / t_0$$

$$\Delta \epsilon^* = \mathbf{I}^* \cdot \Delta \mathbf{S}^*$$

$$\Delta S^* = (\sigma_1 - \sigma_3) / \sigma_0 \text{破壊限接近度}$$

$$\Delta S_0 = S_c (1 + S_3 / S_c)^{0.5} - S_3 \text{Janachの破壊条件式}$$

$$n = 0.5 - (0.5 - n_0) / \sigma^* \text{ポアソン比の増大}$$

$$n = (\Delta S_0 / S_c) \cdot n_0 \text{周圧による強度増加}$$

ここで t : 時間

t₀ : 定歪速度試験で歪が σ₀ になるまでの
 所要時間

σ_c : 一軸圧縮強度

t_c : 一軸引張強度

σ₁ : 最大主応力

σ₃ : 最小主応力

m : 延性の程度を決めるパラメータ。

n : 時間依存性の程度を決めるパラメータ。

n₀ : n の一軸応力下での値

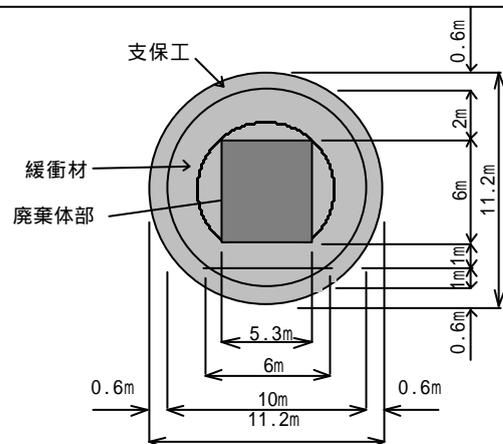


図1 坑道断面形状

キーワード： 地下構造物 放射性廃棄物 岩盤クリープ挙動

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

4. 解析ケース

解析では次の4ケースについて、廃棄体処分後100万年後までの岩盤変形量と緩衝材変形量を算定した。

- ・ケース1：坑道内部を単一物でモデル化し、岩盤変形に対する内容物の物性の効果(弾性係数 $E: 0, 1, 10, 100\text{MPa}$)を検討した。
- ・ケース2：坑道内部を支保工、緩衝材及び廃棄体部のそれぞれでモデル化し、岩盤変形に対する内容物の効果を検討した。その際、廃棄体剛性として初期剛性が維持される場合($E: 32,300\text{MPa}$)と長期的劣化を考慮し緩衝材相当の剛性に低下する場合($E: 3\text{MPa}$)の2とおりを考慮した。
- ・ケース3：廃棄体剛性が初期剛性を維持する場合における緩衝材の変形量を確認した。
- ・ケース4：長期的劣化を考慮し廃棄体剛性が緩衝材相当の剛性に低下する場合における緩衝材の変形量を検討した。

5. 解析結果

- ・ケース1、2

本検討で対象とした堆積岩系岩盤では処分坑道内部の内容物の弾性係数に応じたクリープ変形が生じ、内容物の剛性(弾性係数)が高いほどクリープ変形を抑える効果が高いことが示された(図2)。また、岩盤のクリープ変形は、廃棄体剛性として初期剛性を考慮した場合の方が、剛性が緩衝材と同等であるとした場合と比較して小さくなることが明らかとなった。しかし、その差は大きくはなかった(図3)。

- ・ケース3、4

緩衝材の変形量は、廃棄体剛性として初期剛性を考慮した場合、時間100万年において5cm程度(図4)であり、廃棄体剛性が緩衝材と同等であるとした場合には1cm程度(図5)であった。

6. おわりに

長期クリープによる岩盤の変形は内容物の剛性が高いほど小さくなり、緩衝材の変形は廃棄体の剛性が低いほど小さくなることが明らかとなった。今後、これらの知見をもとに処分場の安全性の検討を進めたい。

なお、本研究にあたっては東京大学大久保教授の指導を賜った。また、本研究は核燃料サイクル開発機構の委託により実施した研究成果²⁾の一部である。

[参考文献]

- 1)大久保誠介他：非線形粘弾性モデルによる坑道変形のシミュレーション、日本鉱業学会誌、Vol.103, No.5、1987。
- 2)TRU共同作業チーム：TRU廃棄物処分概念検討書、2000。

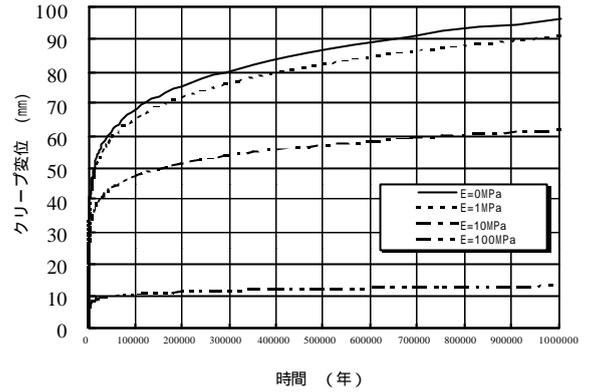


図2 天端中央のクリープ変位(ケース1)

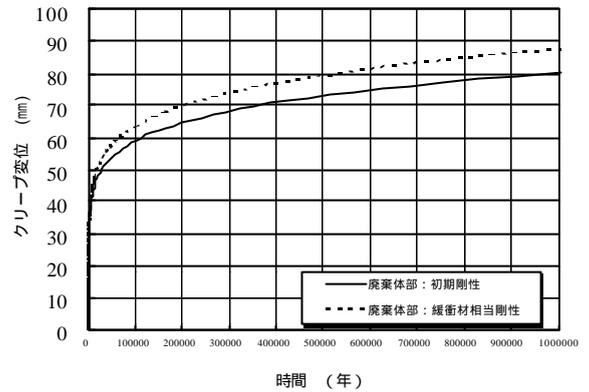


図3 天端中央のクリープ変位(ケース2)

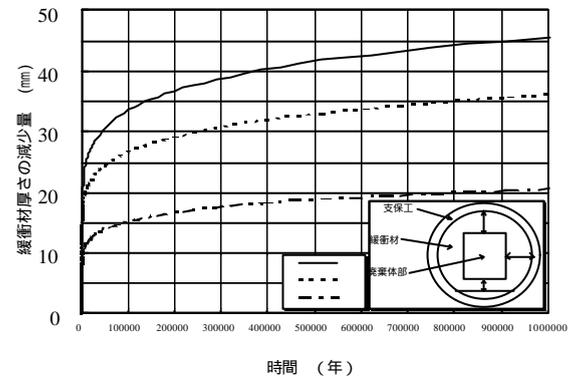


図4 緩衝材変形量(ケース3)

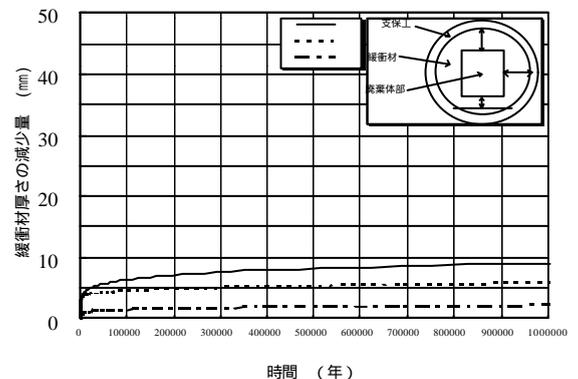


図5 緩衝材変形量(ケース4)