

コンクリート支保の劣化を考慮したニアフィールドの長期力学的挙動の検討(その1)

ーコンクリート支保劣化の力学モデルー

(株)竹中工務店

正会員 ○ 重野喜政、高治一彦

(株)竹中土木

正会員 西村繭果

日本原子力研究開発機構

正会員 棚井憲治

1. はじめに

ニアフィールドの力学的変動として、オーバーパックの腐食膨張、自重による沈下及び周辺岩盤のクリープ変形等が考えられ、それらが長期間にわたり持続する。JAEAでは、これらの力学的変動の連成作用に対する変形・応力状態を明らかにすることを目指した解析コードの開発・整備を行っている¹⁾。今回新たに、コンクリート支保の劣化に対応する力学モデルを開発し、支保劣化による力学的影響を考慮できるようにした。本論文では、支保劣化力学モデルのモデル化手法と試解析の結果について述べる。

2. コンクリート支保劣化の力学モデル

コンクリート支保はCaの溶脱により劣化すると考えられており、溶脱に伴う力学特性の変化が「第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ」²⁾に示されている。高レベル放射性廃棄物処分の環境下では、異なる特性になる可能性もあるが、現在研究が進行中であるので、ここではTRU廃棄物処分の研究成果を参照する。TRU廃棄物処分研究の成果に基づき、Ca溶脱による一軸圧縮強度の低下を次式で近似する。

$$\sigma_c = \frac{\sigma_{c0}}{\exp(\ln(\sigma_{c0}/\sigma_{c(\min)}) \times (LC/100))} \quad (1)$$

σ_c は一軸圧縮強度、 σ_{c0} は初期一軸圧縮強度、 $\sigma_{c(\min)}$ は最小一軸圧縮強度、 LC はCaの溶脱率(%)である。

式(1)は時間の経過に伴う強度の低下を意味する。そこで、本研究では、支保劣化を時間依存性弾塑性モデルによりモデル化することにする。また、定式化にはFlow surface modelの概念を用いることにする。降伏関数を $F(\dot{\sigma}, t, \kappa) = 0$ とおくと、適合条件は次式となる。

$$\frac{\partial F}{\partial \sigma} \cdot \dot{\sigma} + \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial \kappa} \dot{\kappa} = 0 \quad (2)$$

ここに、 κ は硬化パラメータである。関連流れ則

$\dot{\epsilon}^{vp} = \lambda \partial F / \partial \sigma$ を仮定すると、次式の応力ひずみ関係が得られる。 H は硬化係数である。

$$\dot{\sigma} = \left(\mathbf{D} - \frac{\frac{\partial F}{\partial \sigma} \mathbf{D} \otimes \frac{\partial F}{\partial \sigma} \mathbf{D}}{\frac{\partial F}{\partial \sigma} \cdot \mathbf{D} \frac{\partial F}{\partial \sigma} + H} \right) \dot{\epsilon} - \frac{\frac{\partial F}{\partial t}}{\frac{\partial F}{\partial \sigma} \cdot \mathbf{D} \frac{\partial F}{\partial \sigma} + H} \mathbf{D} \frac{\partial F}{\partial \sigma} \quad (3)$$

この内、右辺第2項が強度低下による降伏面の収縮に伴う応力の解放を与えることになる。

降伏関数については、十分な情報がないことから、Trescaモデルを用いる。 $\partial F / \partial t$ は、破壊規準となる σ_c の時間的変動から求めることができる。

Caの溶脱率は、将来的には地球化学解析による評価結果を利用するが、ここでは、1万年後に溶脱がほぼ100%となる指数関数を仮定する。

3. 解析モデル及び解析条件

「第2次取りまとめ」³⁾の岩盤クリープ解析に用いられた処分坑道横置き方式のモデルに対して、支保劣化モデルの適用を試みる。「第2次取りまとめ」では支保がなく、内径が2.8mであるが、支保の厚さを0.2mとし内径を2.4mとする。図1に解析モデルを示す。岩盤にはコンプライアンス可変型構成方程式を用い、緩衝材は弾性とする。両者の物性は「第2次取りまとめ」³⁾に倣う。支保の物性は「平成17年取りまとめ」⁴⁾における低アルカリ性コンクリートの値を用いる。物性を表1に示す。硬化係数は0とする。解析期間は1万年とする。解析コードは竹中工務店開発のMuDIANである。

4. 解析結果

坑道天端の支保における相当応力の経時変化と圧縮強度の経時変化を図2に示す。両者とも初期段階では十分な強度があり、岩盤から作用する力を支えている。しかし、徐々に強度が低下し、約100年の時点で相当応力と破壊強度が一致して塑性化する。その後、劣化

キーワード：放射性廃棄物、人工バリア、コンクリート劣化、構成モデル

連絡先：〒270-1395 千葉県印西市大塚1-5-1

Tel:0476-47-1700 FAX:0476-47-7744

の進展に伴い、破壊強度が低下し、支保の相当応力も低下していく。このように、塑性化した後、劣化の進展とともに軟化していく様子が表現できている。

支保の相当応力のコンター図を図3に示す。t=1.1秒の結果は、境界に作用させている地圧を受け坑道を支える応力である。その後、岩盤クリープの進展に伴い、支保の応力が増加していく。支保の劣化に伴う強度低下により塑性化した後、強度低下とともに応力が低下し、最終的に10,000年後においては、ほとんど応力を負担していない様子がわかる。

岩盤と支保の境界部の天端と側壁における変位を図4に示す。いずれも坑道収縮方向の変位である。比較のため、支保がない場合の変位を併せて示す。支保が塑性化する約100年以前では、変位の変化は小さい。その後、塑性化と劣化に伴う軟化により、変位が大きくなり、最終的には、支保がない場合とほぼ同程度の变形となっている。

5. まとめ

時間依存性弾塑性モデルであるFlow surface modelを用いて、コンクリートの劣化に伴う軟化のモデル化を試みた。降伏関数としてTrescaモデルを用いた処分坑道横置き方式の解析では、劣化に伴う軟化を表現できることが確認できた。その2では、より複雑な応力状態になる処分孔縦置き方式への適用を試みている。処分孔縦置き方式では、引張りや破壊後の挙動など降伏関数の選択に対する問題が生じた。一般的な降伏関数を用いた定式化はできているので、より適切な降伏関数の設定が今後の課題と言える。

参考文献

- 1)西村，棚井，高治，重野，下河内：ニアフィールドの長期力学連成解析手法の構築，JAEA-Research 2007-004, 2007
- 2)電気事業連合会，核燃料サイクル機構：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，JNC TY1400 2005-013, FEPC TRU-TR-2005-02, pp.3-52, 2005
- 3) 核燃料サイクル機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性-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，JNC TN1400 99-022, pp.iv-355-362, 1999
- 4)核燃料サイクル機構：高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築-平成17年取りまとめ-分冊2 工学技術の開発，JNC TN1400 2005-015, pp.5-23, 2005

表1 解析に用いた物性値

岩盤		支保	
密度(Mgm ⁻³)	2.2	初期弾性係数(MPa)	3,400
圧縮強度(MPa)	15	ポアソン比	0.20
引張強度(MPa)	2.1	初期圧縮強度(MPa)	30.50
弾性係数(MPa)	3,500	最小圧縮強度(MPa)	0.305
ポアソン比	0.3	緩衝材	
n ₀ (-)	20	弾性係数(MPa)	3.0
m(-)	5	ポアソン比	0.4

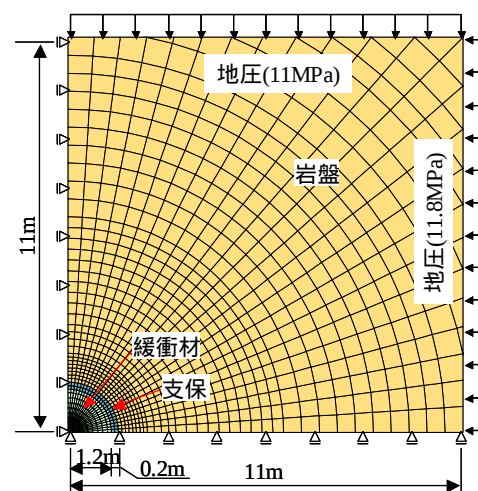


図1 解析モデル(2次元平面ひずみ，対称1/4モデル)

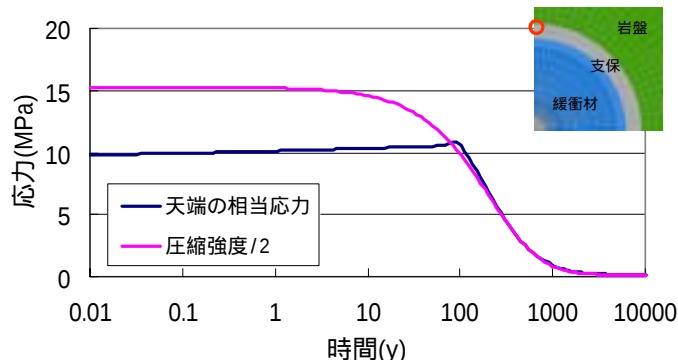


図2 支保の相当応力と圧縮強度の経時変化

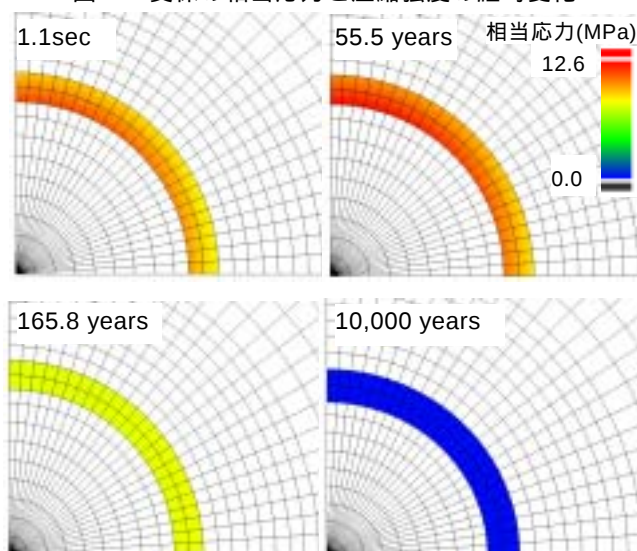


図3 支保の相当応力コンター図

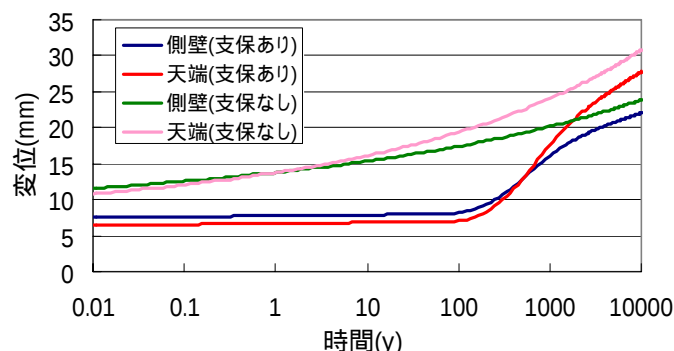


図4 処分坑道の変位(坑道内側方向の変位が正)