

ひずみ軟化型弾粘塑性モデルによる軟岩の地下空洞支保の影響検討

東電設計(株) 正会員 宇野晴彦、東 均、田坂嘉章
 岐阜大学 正会員 八嶋 厚、張 鋒
 東京電力(株) 正会員 西野隆之、兵藤英明

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物処分については、現在、300m~1000m 程度の地下深部岩盤内への地層処分が考えられているが、中低レベル放射性廃棄物処分については、それより浅層での処分が考えられている。ここ数年、高レベル放射性廃棄物処分の対象領域が陸域処分から大陸棚を利用した海域処分にまで拡張されており、処分対象岩盤が軟岩となる可能性もある。本検討では、軟岩の力学特性が表現可能なひずみ軟化型弾粘塑性モデルにより地下空洞掘削挙動、および支保（覆工）を考慮することによる周辺岩盤への影響について検討した。

2. 弾粘塑性パラメータの抽出

本検討で対象とした軟岩は、一軸圧縮試験強度 $q_u=4\text{MPa}$ 程度の新第三紀鮮新世~中新世の泥岩である。この泥岩の応力~ひずみ関係は、顕著なひずみ軟化特性を示すことから軟岩の構成則として、ひずみ軟化型弾粘塑性モデルである足立-岡モデル^{1),2)}を用いることとした。

表-1 に対象岩石供試体の初期拘束圧 $\sigma_3=0.4\text{MPa}$ 条件下での CD 三軸試験および CD 三軸クリープ試験から得られた弾粘塑性パラメータを示す。図-1 には、このパラメータを用いた初期拘束圧 $\sigma_3=0.05\sim 1\text{MPa}$ における CD 三軸試験条件下による応力~ひずみ関係を示す。

表-1 解析用物性値

G	247MPa
K	251MPa
	9,500
m_b	7.00MPa
b	1.81 MPa
M_f^*	1.41(0.3)
G'	2471
E	550 MPa
M_m	1.26
a	0.959
C	0.065
	0.125

3. 解析条件

本検討で実施した地下空洞掘削解析条件の概要を図-2 に示す。初期応力については、地下空洞中心の土被厚相当鉛直応力を等方圧として均等に与えた。解析ケースは、Case1 として無支保空洞、Case2 として $t=20\text{cm}$ の吹き付けコンクリート覆工、Case3 として $t=50\text{cm}$ の吹き付けコンクリート覆工の 3 ケースを設定した。空洞掘削は、全断面を 1 日で掘削し、掘削終了後に覆工（ビーム要素）を打設した。なお、表-1 の物性値を用いた予備解析の結果、本検討で対象とした軟岩の粘弾塑性パラメータでは、クリープ破壊しなかったため、定性的な岩盤挙動を評価する目的で、表-1 の弾粘塑性パラメータのうち硬化パラメータ M_f^* を 0.3 の極端な値に変更して検討を実施することとした。

4. 解析結果

解析結果の一例として、図-3 に Case1 での空洞周辺岩盤の掘削終了時および掘削終了 8 年後の偏差応力分布の比較を示す。図によれば、(a) の空洞掘削終了時の空洞壁面に集中する大きな偏差応力領域は、(b) の 8 年後には応力緩和することが分かる。また、図-4 には、Case1~Case3 の空洞深部への周方向応力分布の時刻変化を示す。Case1 の周方向応力は、掘削終了時（0 日）には、弾力的な応力分布を示すが 100 日後から 8 年後へと時間の経過に伴い、応力緩和して周方向

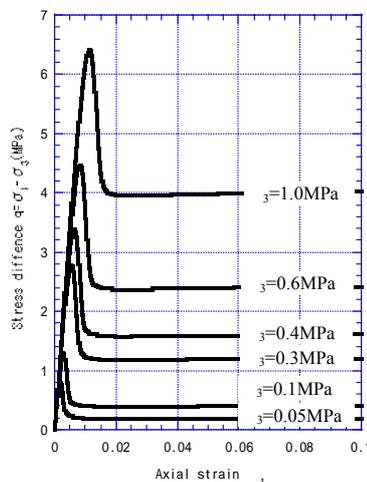


図-1 応力~ひずみ関係

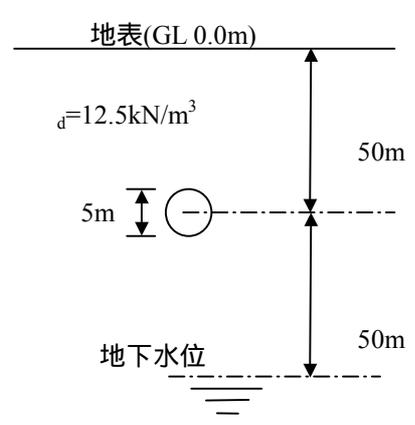
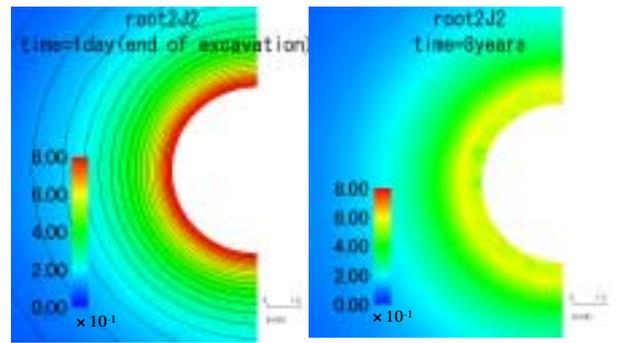


図-2 掘削解析条件概要

キーワード：地下空洞、ひずみ軟化特性、弾粘塑性モデル、軟岩、支保

〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 TEL：03-4464-5572 FAX：03-4464-5595

応力のピークが壁面深部に後退する状況が表現されている。一方、吹き付けコンクリート覆工による支保を打設した Case2、Case3 では、Case1 に比べて 255 日後までは、壁面近傍の応力緩和は小さいが、その後の 2.1 年以降では、壁面近傍での応力緩和が著しい結果となっている。そして、Case2、Case3 では、空洞壁面から深部でも周方向応力分布の低下が認められる。これらの挙動について、図-5 に示す空洞壁面要素の(a)ひずみ速度時刻歴、(b)平均主応力時刻歴、(c)覆工軸力時刻歴の比較から考察する。



(a)掘削終了時 (b)掘削終了 8年後

図-3 偏差応力分布図の時間変化

(a)ひずみ速度時刻歴の比較によれば、無支保の Case1 は、Case2、Case3 に比べて、同時刻でのひずみ速度が大きく、早く遷移クリープ状態に達する。この状態は、覆工の厚さが大きい Case3 の方が遅い。破壊時の要素の応力状態について、平均主応力 σ_m で比較すると、(b)に示すように Case2、Case3 は急激に応力低下している。これは、Case2、Case3 では、破壊要素の応力を覆工が負担しており、(c)に示すように、覆工の軸力が急激に上昇することから説明できる。以上のことから、本検討での物性値を用いた場合、支保(覆工)を打設することにより空洞周辺のクリープ破壊は遅延し、周辺岩盤の応力が大きく低下することが判明した。

5. おわりに

今後は、地層処分でのプロセス(空洞掘削、操業、埋戻し)を考慮した弾粘塑性モデルによる支保設計手法についてさらに検討を実施する予定である。

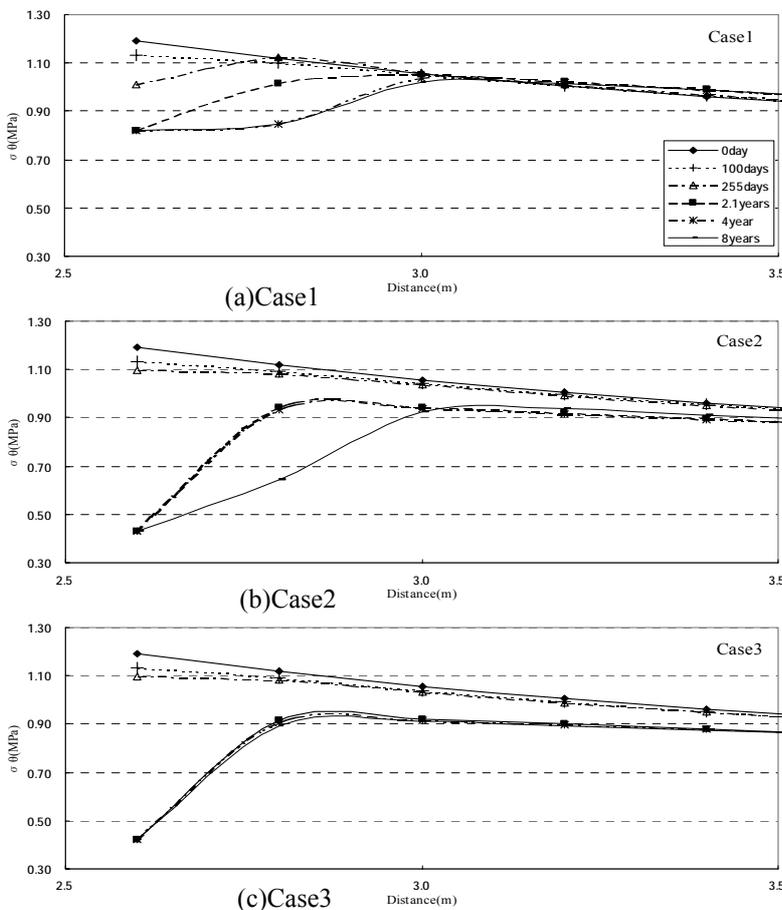


図-4 周方向応力分布の比較

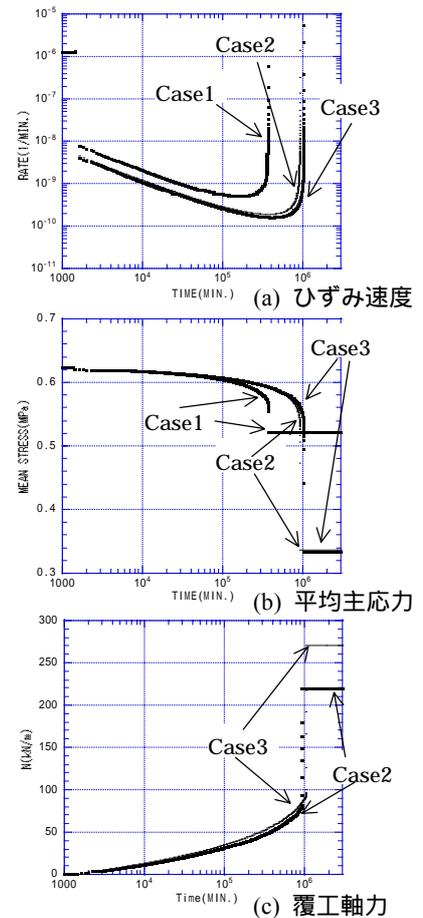


図-5 壁面要素の時刻歴挙動

参考文献

- 1)足立紀尚、岡二三生：軟岩のひずみ軟化型弾塑性構成式、土木学会論文集、No.445/ -18、pp.9-16、1992。
- 2)足立紀尚、岡二三生：凍結砂のひずみ軟化型弾塑性構成式、土木学会論文集、No.454/ -20、pp.75-81、1992。