

幌延深地層研究計画における地下施設坑道の安定性評価

核燃料サイクル開発機構 正会員 松村 修治・正会員 白戸 伸明
大成建設(株) 正会員 瀧 治雄

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構が北海道幌延町で実施している幌延深地層研究計画は、我が国の原子力政策の基本を定めた「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画（平成6年6月）」に示された深地層の研究施設計画の一つであり、堆積岩を対象に深地層の地層科学研究と地層処分研究開発を行うものである。本報告は、幌延深地層研究計画における地下施設建設計画のうち地下施設建設の成立性を検討するため、平成13年度の試錐調査で得られたデータ等に基づき坑道の安定性評価を行ったものである。以下にその概要及び結果を述べる。

2. 解析手法及び条件

1) 岩盤物性値の設定

平成13年度の試錐調査で得られたデータ等に基づき、解析に用いる岩盤物性値を設定した。なお、粘着力については、モール・クーロンの破壊規準との整合性を計るため、一軸圧縮強度と内部摩擦角から算定した。また、引張強度については、一軸圧縮強度の1/10の値とした。初期地圧については、鉛直応力を土被り相当として水平応力を求める上で必要な側圧係数を水圧破碎試験の結果(1.3~1.4)に余裕を考慮して1.5と想定した。設定した解析用物性値を表-1に示す。

表-1 岩盤物性値

	深 度 (m)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	変形係数 D (MPa)	ポアソン比 ν	粘着力 c (MPa)	内部摩擦角 ϕ (°)	一軸圧縮強度 q_u (MPa)	引張強度 σ_t (MPa)	側圧係数 K ₀
B-1-①	0 ∩ 50	15.0	600	0.40	1.1	20	3	0.3	1.5
B-1-②	50 ∩ 320	15.0	800	0.25	1.8	20	5	0.5	1.5
B-1-③	320 ∩ 500	18.0	2,000	0.20	4.3	30	15	1.5	1.5

2) 断面形状及び支保仕様の設定

アクセス立坑の断面寸法・形状は、研究内容、施工性、掘削機械等の搬出入を考慮し内径6.5mの円形断面に、換気立坑は掘削時の最小施工可能寸法を検討し、内径4.5mの円形断面とした。

坑道の断面寸法は、坑道内からの試錐調査を考慮し内空幅4mとし、形状は岩盤強度が小さいことと施工性を考慮し三心円馬蹄形断面とした。

立坑については、標準的な支保パターンが確立していないことから、施工性を考慮したうえで、必要最低限な支保パターンを設定することとし、一掘進長2.0m、一次覆工コンクリートの覆工厚を最小40cmとした。また坑道については、施工法にNATMを想定しているため、日本道路公団の地山区分に準拠して吹付けコンクリート厚の最小値を設定した。なお、覆工及び吹付けコンクリートの設計基準強度は、40MPaを上限值とした。表-2に支保部材の物性値を示す。

表-2 支保部材物性値(左側:立坑、右側:坑道)

弾性係数 (MPa)	ポアソン比	厚 さ (cm)	許容応力度 (MPa)	備 考	弾性係数 (MPa)	ポアソン比	厚 さ (cm)	許容応力度 (MPa)	備 考
7,500	0.2	40 45 50	7	f _{ck} '=18MPa	3,000	0.2	15 (D I) 20 (D II)	7	f _{ck} '=18MPa
9,000			9	f _{ck} '=24MPa				9	f _{ck} '=24MPa
10,000			11	f _{ck} '=30MPa				11	f _{ck} '=30MPa
11,500			14	f _{ck} '=40MPa				14	f _{ck} '=40MPa
			4,000						

キーワード：堆積岩、初期地圧の異方性、支保パターン、FEM解析、地下施設

連絡先：核燃料サイクル開発機構 〒098-3207 北海道天塩郡幌延町野宮園町1-8 TEL 01632-5-2022 FAX 01632-5-2344

）解析手法及び解析モデル

解析手法として、二次元の有限要素法（FEM）を採用した。有限要素法による掘削解析を実施するにあたり、岩盤の応力～ひずみ関係（構成則）には、完全弾塑性モデルを採用した。完全弾塑性モデルにおける破壊規準としては、モール・クーロンの破壊規準を採用した。なお、切羽進行に伴う三次元効果を二次元解析に取り込む手法として、応力解放法を採用した。この方法は、切羽進行にあわせて掘削解放力を順次作用させる方法である。

解析モデルの作成にあたり、断面形状の対称性から立坑については、断面形状の1/4を、坑道については、断面形状の1/2をモデル化した。また、解析領域については、掘削壁面から境界までの距離を4D（D:掘削径あるいは掘削幅）とした。

岩盤及び支保部材のモデル化については、岩盤を平面要素、支保部材をビーム要素にてモデル化し、岩盤は前述の通り完全弾塑性体、支保部材は線形弾性体としてモデル化した。なお、解析上は、各立坑における一次覆工コンクリートならびに坑道における吹付けコンクリートのみを支保部材として考慮することとした。

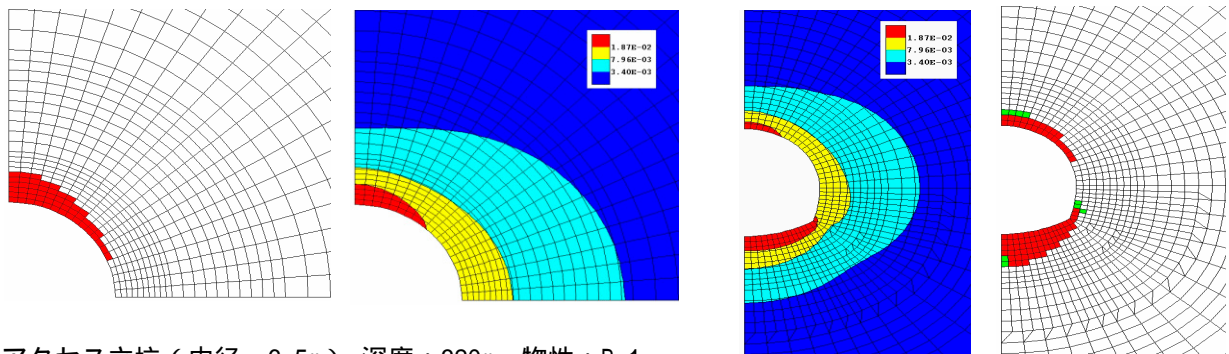
3. 解析手法結果及びまとめ

表-3に、支保仕様の解析結果を示す。ここでの支保部材応力の評価については、第2次取りまとめ同様、許容応力度法に基づくこととした。表-3に示した支保仕様により、立坑及び坑道の支保部材の発生応力は許容応力以下となるものの、図-1に示すように、掘削完了時点において塑性領域及び限界せん断ひずみの上限値を越える区間も認められる。これらの区間に対しては、坑道周辺岩盤の長期的な安定性が懸念されるため、立坑及び坑道ともロックボルト及び鋼製支保工を設置することにより緩み領域の保持を図る計画とした。

今後は、上記のような坑道周辺岩盤の長期的な安定性に関する検討を、坑道周辺の不連続面によって形成される岩塊の崩落に関する検討とあわせて実施していく予定である。

表-3 解析結果

深度 (m)	地山区分	物性	アクセス立坑 (φ6.5m)			換気立坑 (φ4.5m)			坑道 (幅4.0m)			深度 (m)
			掘進長 (m)	一次覆工コンクリート 設計 基準強度 (MPa)	厚さ (cm)	掘進長 (m)	一次覆工コンクリート 設計 基準強度 (MPa)	厚さ (cm)	掘進長 (m)	吹付けコンクリート 設計 基準強度 (MPa)	厚さ (cm)	
0											0	
100	C II	B-1-①	坑口掘削 18	40	坑口掘削 18	40	坑口掘削 18	40	1.0	18	15	100
200	D I	B-1-②	2.0	24	40	2.0	24	40	1.0	30	20	200
	D II		30	40	30	40	30	40				
			40	40	40	40	40	40				
			40	45	30	40	30	40				
300			18	40							300	
400	D I	B-1-③	2.0	24	40	2.0	24	40	1.0	18	15	400
	D II		30	40	30	40	30	40				
			40	40	40	40	40	40				
			40	45	30	40	30	40				
500			40	40	40	40	40	1.0	30	20	500	



アクセス立坑（内径 6.5m）深度：320m、物性：B-1-
一次覆工コンクリート：40MPa,50cm

坑道（幅4.0m）深度：250m、物性：B-1-
吹付けコンクリート：30MPa,20cm

図-1 塑性領域分布図および最大せん断ひずみ分布図