

幌延深地層研究計画における地下施設坑道の安定性の検討

Estimation of Stability of Tunnels on Horonobe Underground Research Laboratory

核燃料サイクル開発機構 ○正員 森岡宏之 (Hiroshi Morioka)
 核燃料サイクル開発機構 正員 白戸伸明 (Nobuaki Shirato)
 大成建設 (株) 正員 瀧 治雄 (Haruo Taki)

1. まえがき

核燃料サイクル開発機構では北海道幌延町において、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発の一環として、地下研究施設の建設を予定している。本計画は、第2次取りまとめ¹⁾で示した地層処分に対する技術的信頼性を実際の深部地質環境(幌延では堆積岩(泥岩)を対象)に適用することにより確認することを目的としている。地下施設の建設は平成17年度に着工し平成22年度の竣工を目指しており、調査研究は平成31年度まで実施される。

以下に、これまでの試験調査で得られたデータ等に基づき、現時点で地下施設坑道(立坑および水平坑道)の安定性を検討した結果について報告する。

2. 地下施設の概要

当地下施設は、深度500m程度の立坑3本(アクセス立坑2本、換気立坑1本)を設置し、深度250mおよび500mに試験研究を行うための水平坑道を展開する計画である²⁾。

断面形状は立坑で円形、水平坑道で3心円馬蹄形とし、それぞれの標準断面の寸法は、アクセス立坑で内径6.5m、換気立坑で内径4.5m、水平坑道で内空幅4mとしている。

地質については、近傍での試験調査(HDB-1孔)結果に従えば、深度320m以浅は珪藻質泥岩(声間層)、それ以深は硬質泥岩・硬質頁岩(稚内層)が分布する。声間層は単位体積重量が15kN/m³程度で稚内層の18kN/m³程度と比較して小さく、割れ目密度が高くRQDも低い。また、一軸圧縮強度は自然含水状態で、深度50mまでが3MPa、50~320mが5MPa、320~720mが10~30MPa程度である²⁾。

3. 空洞安定性の検討結果

(1)解析用岩盤物性値

解析に用いる岩盤物性値は、平成13年度の試験調査(HDB-1孔)で得られたデータに基づいて設定した。設定した解析用物性値を表-1に示す。

表-1 解析用岩盤物性値(HDB-1孔)

物性	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
①	0 ~ 50	15.0	600	0.40	1.1	20	3	0.3	1.5
②	50 ~ 320	15.0	800	0.25	1.8	20	5	0.5	1.5
③	320 ~ 500	18.0	2,000	0.20	4.3	30	15	1.5	1.5

ここで、粘着力cについては、Mohr/Coulombの破壊規準との整合性を図るため、一軸圧縮強度q_uと内部摩擦角φから算定した。また、引張強度σ_t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、鉛直応力を土被り圧相当として、水平応力を求めるための側圧係数を試験孔での水圧破碎試験の結果(1.3~1.4)に対して安全側を考慮して1.5とした。

(2)支保仕様の設定

立坑の覆工コンクリートおよび水平坑道の吹付けコンクリートの設計基準強度f_{ck}は、一般的に用いられる普通コンクリートの強度(18~40MPa)に設定した。

立坑の最小覆工コンクリート厚は、既往の実績から40cmとした。また、水平坑道の吹付けコンクリート厚は、日本道路公団の地山区分および標準支保パターンに準拠して15~20cmに設定した。立坑および水平坑道の支保部材の仕様および物性値を表-2に示す。

表-2(1) 支保部材の仕様・物性値(立坑)

弾性係数 (MPa)	ポアソン比	厚さ (cm)	設計基準強度 (MPa)	許容応力度 (MPa)
7,500	0.2	40 45 50	18	7
9,000			24	9
10,000			30	11
11,500			40	14

表-2(2) 支保部材の仕様・物性値(水平坑道)

弾性係数 (MPa)	ポアソン比	厚さ (cm)	設計基準強度 (MPa)	許容応力度 (MPa)
3,000	0.2	15 (D I) 20 (D II)	18	7
3,200			24	9
3,500			30	11
4,000			40	14

(3)解析手法および解析モデル

空洞の挙動予測解析手法は、2次元の有限要素法(FEM)を採用した。FEMによる挙動予測解析を実施するにあたり、岩盤の応力~ひずみ関係(構成則)は、完全弾塑性モデルを採用した。なお、切羽の進行に伴う3次元効果を2次元の解析に反映させる方法として、切羽の進行にあわせて掘削解放力を順次作用させる方法を採用した。

解析モデルの作成にあたっては、断面形状の対称性を考慮し、立坑については断面形状の1/4を、水平坑道については1/2の形状をモデル化した。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掘削径あるいは掘削幅の4倍とした。

岩盤および支保部材のモデル化については、岩盤を平面ひずみ要素、支保部材(覆工コンクリートあるい

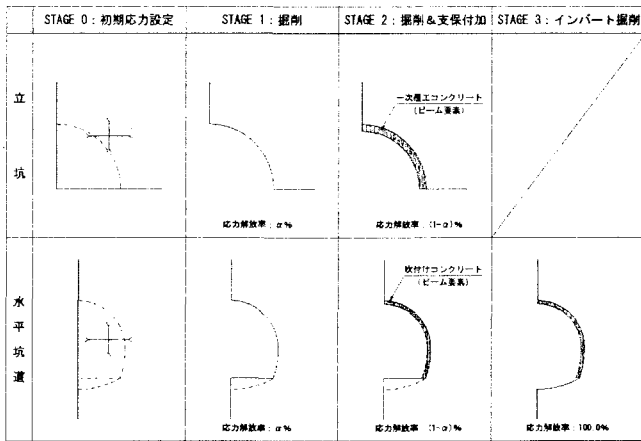


図-1 解析上の掘削手順

は吹付コンクリート)をビーム(梁)要素にてモデル化した。解析上の掘削手順を図-1に示す。

(4)解析結果

支保部材に発生する応力の評価については、許容応力度法に基づいて行った。また、一掘削長は、立坑で2m、水平坑道で1mとした。支保仕様を決定するため

表-3 挙動予測解析結果および支保仕様

深度 (m)	地山区分	物性	7m立坑 (φ6.5m)		換気立坑 (φ4.5m)		深度 (m)	坑道 (幅4.0m)		深度 (m)
			次覆工コンクリート	厚さ (cm)	許容応力度/最大発生応力 (MPa)	厚さ (cm)		吹付けコンクリート	厚さ (cm)	
0			7/1.9	40	7/1.3	40	0			0
100	C II	①	坑口掘削		坑口掘削		100	7/3.7	15	100
200	D I	②	7/6.7	40	7/7.0	40	200			200
300	D II		9/8.7	40			11/10.8	20	300	
400	D I	③	11/11.0	40	7/6.7	40	400	7/6.4	15	400
500	D II		14/13.5	40	9/8.9	40	500			500
			14/13.8	45	11/9.9	40				
			14/13.7	50						

の解析結果を表-3に、初期地圧の異方性を考慮した場合(側圧係数1.5)と考慮しない場合(側圧係数1.0)のそれぞれの塑性領域図を図-2に示す。

これらの結果から、各立坑および水平坑道における支保部材の発生応力は許容応力以下となるものの、一部の空洞周辺岩盤においてゆるみ領域(塑性領域)の発生が推定された。このため、岩盤の肌落ちや長期的なゆるみ領域の進展を防止するため、立坑・水平坑道とも必要に応じて掘削直後の1次支保(吹付コンクリート、ロックボルト、鋼製支保工)を併用する計画とした。また、初期地圧の異方性を考慮した場合、立坑・水平坑道ともに最小主応力方向で塑性領域が大幅に進展することが確認された。

現在計画している立坑および水平坑道の標準的な支保パターンを図-3に示す。

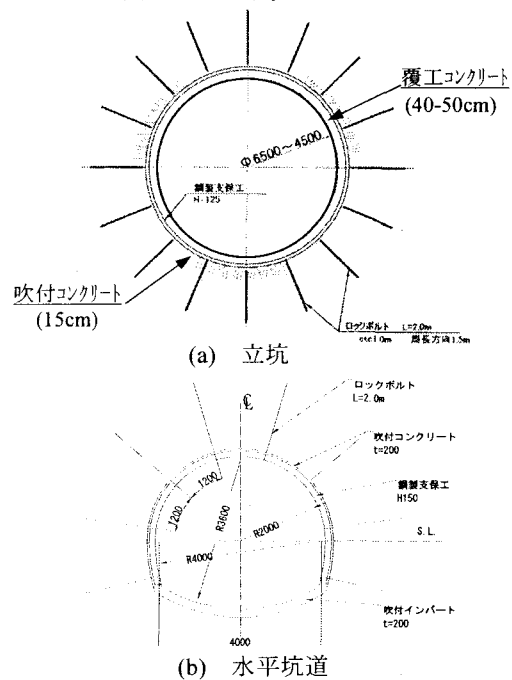


図-3 標準的な支保パターンの例

4. あとがき

幌延における地下施設建設工事は、平成15年7月に造成工事に着手した。今後は、造成工事終了後、平成17年度から工事用仮設備等の準備工事を開始し、平成18年度から本格掘削を開始する予定である。

現在、これまでの検討結果に平成14年度の調査結果を加味し、地下施設の基本設計を行っている。基本設計の検討にあたっては、深地層研究のための地下施設に要求される性能を満足し、施設を安全に建設・維持できることを前提として、経済的かつ合理的な設計・施工計画の策定を目指すこととしている。

参考文献

- 核燃料サイクル開発機構：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—, サイクル機構技術資料, JNC TJ1410 99-020~024, 1999.
- 白戸伸明, 畠山信也, 森岡宏之：幌延深地層研究計画における地下施設計画, 平成15年度土木学会北海道支部論文報告集, (投稿中), 2004.

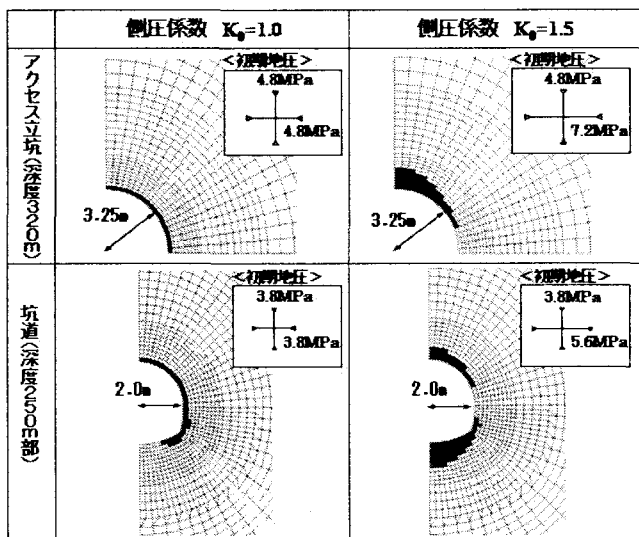


図-2 塑性領域図(地圧異方性の影響)