

## 堆積軟岩の断層部が大深度立坑の覆工応力へ及ぼす影響の事前評価

(独) 日本原子力研究開発機構 稲垣 大介, 津坂 仁和, 青柳 和平  
大成建設(株) 正会員 ○萩原 健司, 名合 牧人, 南出 賢司, 井尻 裕二

### 1. 概要

(独) 日本原子力研究開発機構は、北海道天塩郡幌延町において、堆積岩を対象とした高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する技術の信頼性向上のための研究開発を進めるため、深地層の研究施設を平成17年11月から建設している。図-1に示すように、本研究計画は深度500m程度の3本の立坑ならびに複数深度での水平坑道からなっており、幌延深地層研究計画地下研究施設整備(第Ⅱ期)等事業では、平成26年6月までに、換気立坑(φ4.5m)および東立坑(φ6.5m)は深度250mから380mまで、西立坑(φ6.5m)については新規に掘削を開始し深度365mまで施工する計画である。これらの立坑を構築する地山には、立坑の健全性に複雑な影響を及ぼすと考えられる複数の立体的に交差する断層の存在が確認されているため、支保設計においては、断層部を施工する際の覆工コンクリートの三次元的な応力分布を定量的に評価し、立坑の健全性を確保することが課題の一つとして挙げられる。本稿では、この課題に対して、掘削前に実施した三次元逐次掘削解析による対象断層部の影響評価について報告するものである。

### 2. 施工状況

#### 2.1 地山状況

研究施設近傍の地質は新第三紀～第四紀の地層で構成されている。地質年代の新しい順に更別層、勇知層、声間層、稚内層と続き、今回の施工対象は稚内層である。稚内層は珪質泥岩からなり、一軸圧縮強さは5～25MPa程度、地山強度比は2～5程度となっている。本立坑近傍の地山は、側圧係数が東西方向1.3、南北方向0.9と異方性があり、事前に行った調査ボーリング結果や深度250m底盤より実施した湧水抑制対策工(プレグラウト)のパイロット孔により、複数の断層の存在が確認されている。

#### 2.2 施工手順

本立坑工事では、深度方向に1mの掘削を2回繰り返し、2mの覆工(覆工厚 $t=40\text{cm}$ 、設計基準強度 $f'_{ck}=60\text{MPa}$ )を打設するツーステップシンキングのショートステップ工法を採用している。本工事では、覆工コンクリート打設用の鋼製型枠の妻枠設置等による必要最低限のスペース確保のために、鋼製型枠下端より1m先行して掘削している。このため、最大3mの区間が一時的にコンクリート打設まで無支保の状態となる。

### 3. 断層をモデル化した三次元逐次掘削解析

西立坑深度320m付近に出現すると予想された断層を対象に、立坑の三次元逐次掘削解析を行い、覆工コンクリートの健全性に及ぼす断層の影響を分析した。解析の全体モデルの大きさは、水平方向は立坑壁面より5D(D:余掘りを含む掘削径7.7m)程度、深度方向は、断層が壁面に出現する深度(上部:314m,下部:326m)からそれぞれ8D、東西方向を対象面とする1/2モデルとした(図-2)。断層のモデル化は、壁面観察および計測データに基づいて、走向N45W、傾斜 $40^\circ$ 、見かけの幅(壁面での鉛直高さ)は5mとし、深度320mを中心とした壁面トレース長が5mとなるように設定した。解析で考慮する初期応力については、鉛直方向:東西方向:南北方向 $=1.0:1.3:0.9$ とした。岩盤および覆工コンクリート( $f'_{ck}=60\text{MPa}$ ;材齢23時間)の解析用物性値は、既往の試験結果に基づいて設定した(表-1,表-2,図-3)。岩盤は、Mohr-Coulombの破壊規準に従う弾完全塑性体とし、塑性流動則には非関連流れ則を採用した。覆工コンクリート

注) 今後の調査研究結果によりレイアウト変更の可能性がある

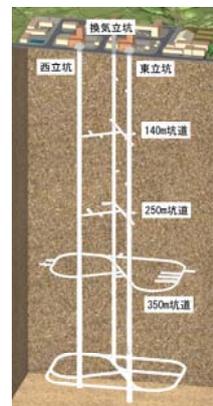


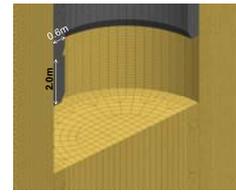
図-1 地下研究施設イメージ図

は弾性体としてモデル化し、余掘りを考慮して覆工厚を60cmに設定した。

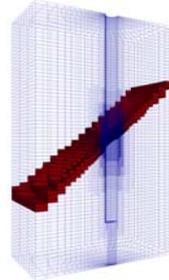
キーワード 堆積軟岩, 大深度立坑, 地層処分, 断層, 三次元逐次掘削解析, ショートステップ工法

連絡先 〒098-3224 北海道天塩郡幌延町北進432-2 (独) 日本原子力研究開発機構 TEL01632-5-2022

解析手順は実際の施工ステップに従って、覆工下部と底盤までの距離（切羽離れ）が3mとなるまで掘削し、その後覆工コンクリート（高さ2m）を設置するサイクルを繰り返した。図-4に覆工コンクリートの周方向応力分布を断層の存在の有無で比較した結果とともに、図-5に断層が存在しない場合の結果に対して断層が存在する場合の周方向応力の増加割合を示す。この図より、最大主応力方向である東西方向と直交した北側の覆工コンクリート下部で周方向応力は高い応力を示しており、また図中に示した断層範囲内よりも断層以浅および以深付近にて大きい応力を示していることが分かる。図-6に覆工コンクリートの水平変位分布を示す。水平変位分布に関しても同様に断層前後の範囲の影響が大きいことが分かる。これらの結果、断層を対象とした対策工としては、断層の出現範囲とその円周方向応力が増加している前後4mの範囲とすることが適切であるといえる。



(a) 切羽周辺拡大



(b) 断層全体図



(c) G.L.-320m付近拡大

図-2 解析メッシュ

表-1 岩盤物性値

パラメータ	単位	健全岩部	断層部
弾性係数	MPa	1,350	500
ポアソン比	—	0.186	0.186
粘着力	MPa	1.6	1.0
内部摩擦角	deg.	25	25
引張強度	MPa	0.50	0.31
ダイレーション角	deg.	3	3

4. まとめ

本検討では、実際に出現した断層を対象に、三次元逐次掘削解析を実施し、覆工コンクリートの円周方向応力と水平変位影響を及ぼす断層の影響評価を数値解析により分析した。この結果、断層の出現前後において、覆工コンクリートの円周方向応力が大きくなることを定量的に評価した。本報告にあたり、解析には菅原健太郎氏（株式会社地層科学研究所）に多大なご尽力をいただいた。ここに謝意を記します。

表-2 覆工コンクリートの物性値

パラメータ	設定値
材齢	23 時間
弾性係数	13.5GPa
ポアソン比	0.2
単位体積重量	23kN/m <sup>3</sup>

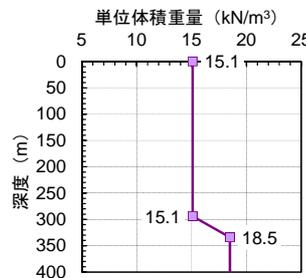


図-3 単位体積重量分布図

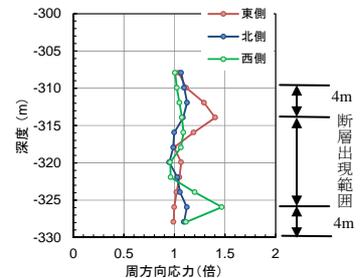
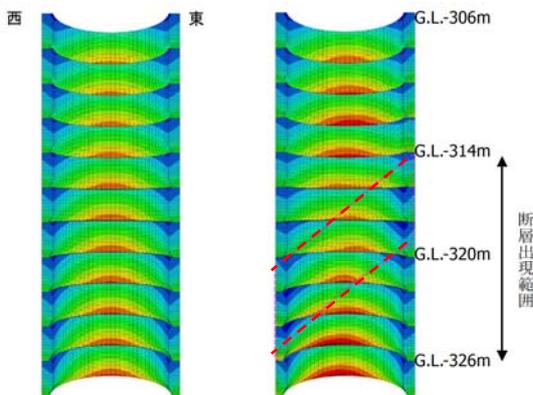


図-5 覆工コンクリートの周方向応力増加率



(a)断層無し

(b)断層有り

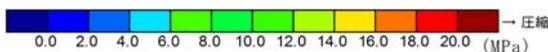
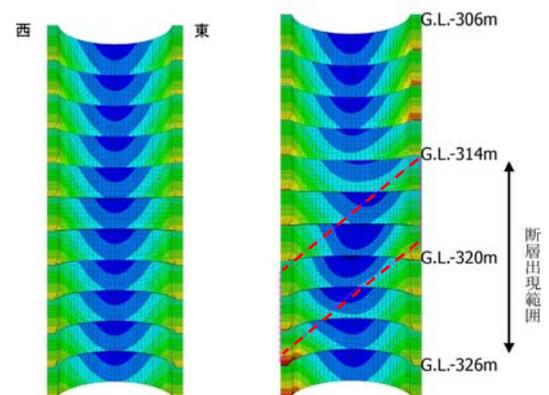


図-4 円周方向の応力分布



(a)断層無し

(b)断層有り



図-6 水平変位分布