

ショートステップ工法による立坑掘削時の支保応力に関する一考察

大成建設（株） 正会員 ○小池 真史 井尻 裕二
 （独）日本原子力研究開発機構 正会員 稲垣 大介 津坂 仁和

1. はじめに

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、堆積岩を対象とした地下研究施設が建設されている。本施設は、三本の立坑および各立坑を連絡する複数深度の水平坑道からなっており、立坑は、2m 掘削するごとに 2m の覆工を打設するショートステップ工法で施工されている。施設建設段階で取得される種々の施工データを用いて、立坑の構造部材である覆工コンクリートの挙動を理解し、その長期的な健全性を確保する設計手法を確立することは、重要な工学的課題の一つである。そこで筆者らは、施工条件をできるだけ忠実に再現した三次元逐次掘削解析を実施し、施工中に得られた種々の計測データと比較することにより、ショートステップ工法による立坑掘削時の周辺岩盤および支保の挙動について分析を行ってきた^{1),2)}。本報告では、既往の研究により、立坑掘削時の支保の挙動を精度よく再現できることが明らかとなった解析手法を用いて、岩盤物性と初期応力比をパラメーターとした三次元逐次掘削解析を実施し、岩盤物性の違いや初期応力の異方性が覆工コンクリートの挙動に及ぼす影響を考察する。

2. 解析手法

図 1 に、切羽周辺部分を拡大した解析モデルを示す。本解析モデルでは、覆工コンクリートをソリッド要素とし、打設継ぎ目の切欠き部をモデル化した。覆工コンクリートの応力-ひずみ関係は線形弾性としてモデル化した。また、覆工コンクリートが地山からの荷重を材齢変化しながら負担する場合には、材齢に応じた力学特性を設定しないと、覆工の変形挙動や応力状態を精度よく再現することは出来ないと考えられた。そこで本解析では、コンクリート標準示方書「設計編」に基づいて、打設後からの経過時間に応じた覆工コンクリート（設計基準強度 40N/mm²）の弾性係数を算出し、解析ステップごとに变化させることとした。

岩盤は Mohr-Coulomb の破壊規準に従う弾完全塑性体とした。岩盤物性は、本施設の実施設における代表的な 3 種類の岩盤等級の物性値を採用した（表 1 参照）。初期応力の異方性については、表 2 に示す 3 ケースを採用した。等方圧状態と幌延相当の偏圧状態に加えて、国内の初期応力の測定結果に基づき、幌延よりも厳しい偏圧状態として現実的な初期応力比を設定した。なお、鉛直応力は深度 220m 相当とした。

上記の岩盤物性 3 種類と初期応力比 3 種類を組み合わせて、合計 9 ケースの三次元逐次掘削解析を実施することとした。

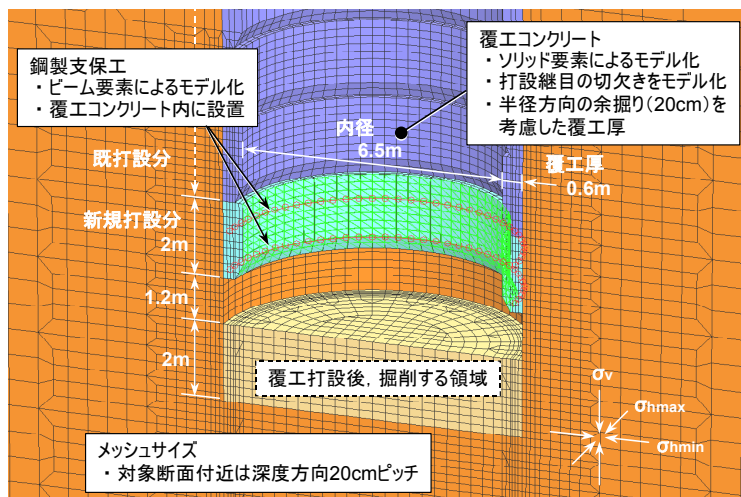


図 1 解析モデル

表 1 岩盤物性値

岩盤等級	弾性係数 E (MPa)	粘着力 c (MPa)	内部摩擦角 φ (deg.)	ポアソン比 ν	引張強度 T (MPa)
CL-H	1300	2.20	15.0	0.164	0.57
CL-H (Hr)	1040	1.50	15.0	0.164	0.39
CL-M (Hr)	450	0.60	15.0	0.164	0.16

表 2 初期応力比

	σ _v : σ _{hmax} : σ _{hmin}
等方圧状態	1.0 : 1.0 : 1.0
幌延相当の偏圧状態	1.0 : 1.3 : 0.9
幌延より厳しい偏圧状態	1.0 : 1.5 : 0.7

σ_v: 鉛直応力, σ_{hmax}: 最大水平応力, σ_{hmin}: 最小水平応力

キーワード 立坑, ショートステップ工法, 三次元逐次掘削解析, 覆工

連絡先 〒163-6009 東京都新宿区西新宿 6-8-1 大成建設（株）原子力本部 TEL 03-5381-5315

3. 解析結果の考察

表2に、掘削の影響が及ばない程度まで切羽が離れた状態における覆工コンクリートの円周方向応力分布を示す。初期応力を等方圧としても、覆工一打設長の中で、上部よりも下部の圧縮応力の方が大きくなっており、このような傾向は、岩盤等級が低いほど顕著である。等方圧から偏圧状態になると、最大初期応力方向に直交する断面の覆工下端部の圧縮応力が増大し、逆に最大初期応力方向に位置する断面の覆工上端部の圧縮応力は減少している。その結果、幌延よりも厳しい偏圧状態の場合、覆工上端部には引張応力が発生しており、その範囲は岩盤等級が高いほど広がっている。

4. まとめ

三次元解析による覆工コンクリート応力分布の特徴から、立坑支保の設計において解析的手法を適用して支保に発生する応力を評価する場合、岩盤物性を低く設定することは必ずしも安全側の設計条件にはならないと想定される。したがって、立坑支保の設計を合理的に行うためには、岩盤物性に幅がある場合、施工条件によっては岩盤物性の下限値だけでなく上限値も考慮する必要があると考えられる。

表2 覆工コンクリートの円周方向応力分布

岩盤等級	等方圧状態 1.0:1.0:1.0	幌延相当の偏圧状態 1.0:1.3:0.9	幌延より厳しい偏圧状態 1.0:1.5:0.7
CL-H			
CL-H (Hr)			
CL-M (Hr)			
凡 例	引張 ← → 圧縮 -2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 (MPa)		

参考文献

- 1) 坂井一雄, 小池真史, 青木智幸, 山本卓也, 稲垣大介, 山崎雅直: 三次元解析による立坑掘削時の覆工および周辺岩盤の挙動分析, 第39回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.381-386, 2010.
- 2) 津坂仁和, 稲垣大介, 小池真史, 井尻裕二, 羽出山吉裕: 幌延深地層研究所における立坑掘削に伴う周辺岩盤および支保の挙動分析 (その2), 第40回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.7-12, 2011.