ショートステップ工法による立坑掘削時の覆工および周辺岩盤の挙動について

大成建設株式会社	正会員	坂井 一雄	小池 真史	青木	智幸
大成建設株式会社	正会員	山本 卓也	羽出山 吉裕		
日本原子力研究開発機構	正会員	山崎 雅直			

1.目的

北海道幌延町における幌延深地層研究センターでは,地下研究施設の建設を伴う研究プロジェクトを進めて おり,換気立坑と東立坑の2本を施工中である.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,重要な課題の一つである.本研究では,立坑にて計 測されたショートステップ工法に特徴的な覆工応力および立坑周辺岩盤の挙動を理解し,将来の合理的な設計 に資することを目的として,切羽・覆工形状や施工過程をできるだけ忠実に再現した三次元逐次掘削解析を実 施した.

2.解析条件

解析は、地中変位計測や覆工コンクリート応力計測等が実施された、換気立坑の G.L.-220m 付近を対象とし、 モデルを作成した.図1に切羽周辺部分の拡大図を示す.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、鋼製支保工はビーム要素で表現した.その上で、実際の施工条件をできる限り反映することを目的に、 覆工コンクリート打設継ぎ目の切欠き部や、立坑中心部の先行掘削形状についてモデル化した.

地盤は Mohr-Coulomb の破壊規準に従う弾完全塑性体とした.解析用地盤物性値は,表1に示すように,事前に実施したボーリング孔での孔内載荷試験やボーリングコアの三軸試験結果等を用いて設定した.

覆エ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.覆エコンクリートは,弱材齢時に強度やヤング率といった力学特性が大きく変化する.そのため,本立坑のように覆エ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が,覆工の変形挙動や応力状態に多大な影響を及ぼすと考えられる.さらに,鋼製支保工との荷重分担比率が覆エコンクリートの材齢により異なるため, 鋼製支保工が負担する荷重にも大きな影響を与えると考えられる.上記の観点より,本解析では,対象深度での設計基準強度(24N/mm²)からコンクリート標準示方書「施工編」に基づき算出した,**図2**のようなヤング率の材齢変化を考慮して,覆エコンクリートに打設後からの経過時間に応じたヤング率を与えた.



図1 解析モデル

表1 解析用地盤物性値

		岩盤物性値	備考	
ヤング率(MPa)		700		
ポアソン比		0.13		
粘着力(MPa)		1.24		
内部摩擦角(°)		12.5		
ダイレーション角(°)		4.0		
引張り強度(MPa)		0.47		
単位体積重量(kN/m ³)		15.3	G.L220mでの値 ^{*1}	
初期応力 ^{*2}	σ _v (MPa)	3.190	G.L220mでの値 ^{*1}	
	σ _{MAX} (MPa)	4.148		
	σ _{MIN} (MPa)	2.871		
(備考)				

1 単位体積重量および初期応力は深度依存する値として入力した。

*1 初期応力比は v: MAX: MIN=1.0:1.3:0.9

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 連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設㈱ 技術センター TEL 045-814-7237



3.解析結果と計測結果の比較

図3に初期地圧の最大主応力軸と一致する東方向における地中変位の計測結果と解析結果を示す(Dは掘削 径:5.5m).ただし,計測および解析ともに,立坑壁面から4mの位置を基準とした地中変位分布である.計測 結果では,壁面近くほど地山側への変位が大きく,かつ切羽離れが大きくなるに従って地山側に変位が増大す る傾向が見られた.解析では,絶対値の差はあるが,定性的には壁面近傍での傾向を再現できている.

壁面近傍で地山側への地中変位が発生している原因は以下のように考えられる.立坑掘削に伴う応力解放に より,地山は立坑内空側に変位する.ショートステップ工法では,掘削後すぐに剛性の高い覆工コンクリート を打設するため,立坑壁面近傍では,内空側への変位が大幅に抑制される.一方,立坑壁面から半径方向に遠 方の位置では覆工の影響が小さいため,内空側への変位はそれほど抑制されない.その結果,立坑壁面から 4mの位置の変位量よりも壁面近傍の位置の変位量が小さくなり,この二点間の相対変位は地山側に発生する.

図4に覆エコンクリート応力の計測結果と解析結果を示す.解析においては,図中の東西方向を初期地圧の 最大主応力軸としているため,覆工の南北位置に最大圧縮(5.87N/mm²)を持つ応力分布となっている.また, 局所的に大きな応力が計測されている南西位置以外では,解析結果は計測結果とほぼ同程度の応力となった.

図5に覆エコンクリート内縁・外縁応力の解析結果を示す.同図より,覆エコンクリートは曲げの影響を大きく受け,覆エコンクリートに生じる応力は巻厚内で複雑に変化することがわかる.その結果,覆工内側では南北位置に最大圧縮応力が発生し,外側では覆工全周でほぼ均一な応力分布となることが明らかとなった.

4.まとめ

三次元逐次掘削解析により,計測結果に見られるショートステップ工法に特有の挙動を表現することができた.今後,実際の覆エコンクリートの巻厚内における応力分布やひずみ分布を計測し,覆エコンクリートの複 雑な応力変化等を解明することで,合理的な設計手法を確立する予定である.