

## 超大深度立坑連接部掘削時挙動に関する考察

三井住友建設(株) 正会員 ○山田 文孝  
 三井住友建設(株) 正会員 山地 宏志  
 (独)日本原子力研究開発機構 正会員 佐藤 稔紀  
 山口大学大学院 正会員 船津 貴弘  
 山口大学大学院 正会員 清水 則一

**1. はじめに**：立坑連接部は、地表からのアクセスと水平坑道展開の結節点として機能し、当該部の安定性は上部立坑の安定性に直結するため、超大深度地下構造物においては最も高い安全性が要求される。しかしながら、立坑連接部の定量的な設計手法は確立されておらず、また設計に資することのできる知見も十分に蓄積されていない現状にある。過去の鉱山立坑における接続施工事例を見ても、地質良好地点に接続箇所を移動させることがしばしば行われてきたために、接続部施工時の崩壊・変状発生はほとんど報告されていない。このような現状にかんがみ超大深度立坑連接部の設計に資することを目的として、瑞浪超深地層研究所主立坑最深ステージ連接部をモデルとした数値シミュレーションを実施した。本報は、その数値シミュレーションより得られた結果と考察を示すものである。

**2. 数値シミュレーションの概要**： 図-1に瑞浪超深地層研究所主立坑の中間と最深のステージ連接部構造図を示す<sup>1)</sup>。図に示すように、当該連接部は接続上部、テーパ部、連接本体部、水平坑道取付け部からなり、主立坑断面をテーパ状に切り広げ連接本体部を掘削してから水平坑道への接続が行われる。これを基に作成した連接部周辺の要素分割図を図-2に示す。

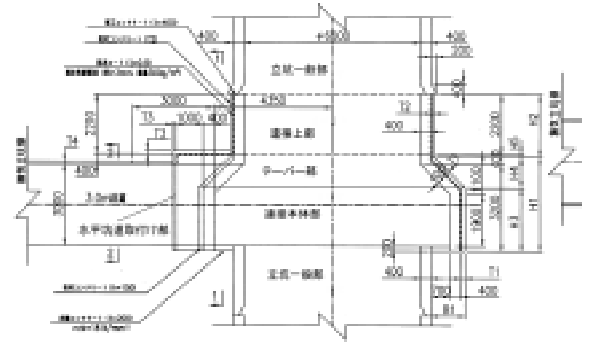


図-1 中間ステージ連接部構造図

表-1 解析に供した岩盤物性値

単位 体積重量 $\gamma$	弾性係数 $E$	粘着力 $c$	内部 摩擦角 $\phi$	引張強度 $\sigma_t$	ポアソン 比 $\mu$	限界ひずみ $\epsilon_0$
2,600kg/m <sup>3</sup>	150GPa	31MPa	45°	0MPa	0.2	0.1%

解析は最深ステージ連接施工深度 GL. -1,000mに相当する初期応力環境を与え、GL. -950m から 2.5m ずつ立坑掘削と覆工打設を繰り返し、接続部施工深度にいたることとした。また、接続部施工は各部掘削後、速やかに吹付けコンクリートと覆工打設を実施し、次の掘削を実施するものとした。解析は有限変形の有限差分法を用い、構成則は tension cut の Mohr-Coulomb 則に従うものとした。解析に供した岩盤物性値は表-1 に示すものである。なお、シミュレーションは種々の初期応力状態に対し実施したが、ここでは最も基本的な静水圧状態での結果のみを示す。

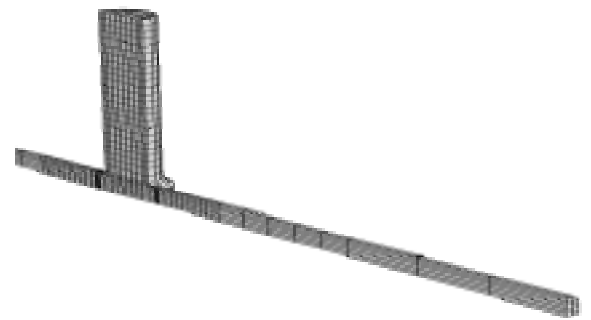


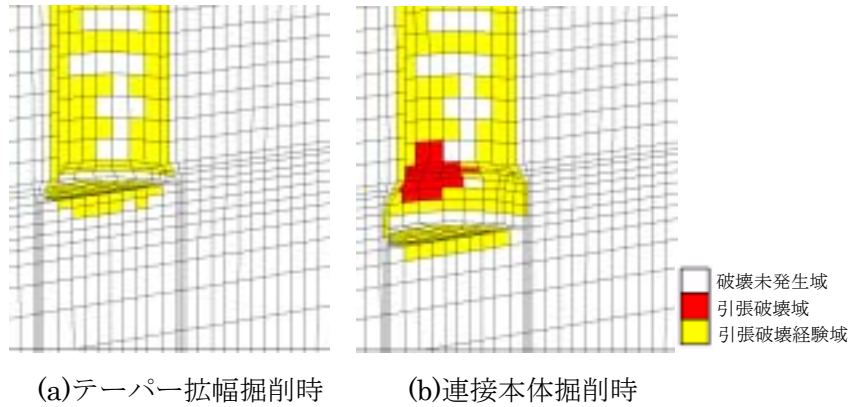
図-2 立坑連接部周辺要素分割図

**3. 解析結果の概要と考察**：今回のシミュレーションでは、二つの興味ある知見を得ることができた。一つは、図-3 に示すように接続部本体掘削時にテーパ隅角部に引張破壊が発生する点である。この引張破壊は当該部の変形を図-4 のように、若干、増大させるようであり、これは施工時の隅角部欠損等を示唆すると判

キーワード 超大深度立坑 連接部 応力集中 有限差分法

連絡先 〒164-0011 東京都中野区中央1丁目38-1 三井住友建設(株) TEL：03-5337-2132

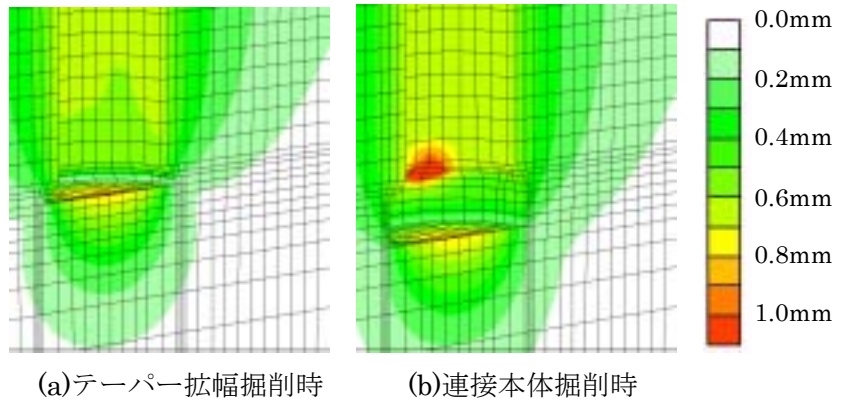
断された。しかし、岩盤深部へ引張破壊が進行することはないようであり、ロックボルトの早期打設が有効であるものと考えた。なお、引張破壊箇所が局所的である理由は、有限差分法の計算手法によるものである。すなわち、最初に引張破壊が判定された要素の剛性が変化することで、構造の対象性が失われるためである。



(a)テーパ拡幅掘削時 (b)接続本体掘削時

図-3 接続部本体掘削による破壊履歴の変化

一方、水平坑道取付け部掘削時に水平坑道入口上部に図-5のように圧縮の応力集中が発生する。この応力集中発生箇所の地山応力状態は、図-6に示すように立坑円周方向成分が卓越し、鉛直方向成分はほぼ土被り相当で、立坑半径方向成分がほぼゼロに等しい二軸応力状態である。一般に、水平坑道入口上部のように鋭角な隅角部には形状による応力集中が発生する。この場合、応力集中発生箇所では主応力の作用方向が乱れるが、図-6に示されるように、当該応力集中発生箇所の主応力分布はほぼ立坑掘削時の状態を保っている。

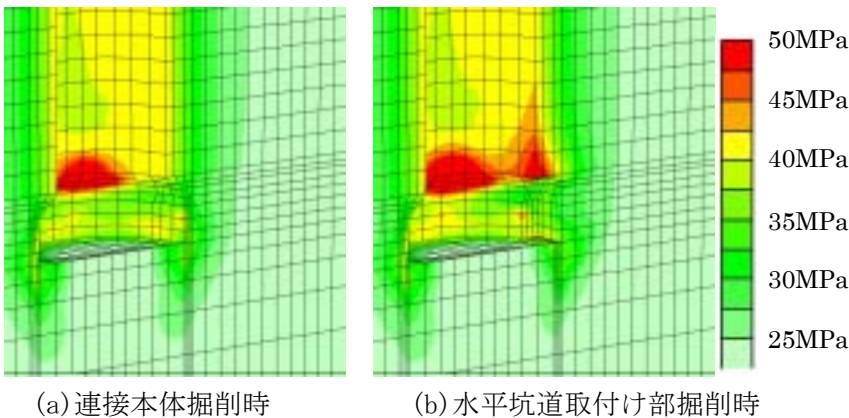


(a)テーパ拡幅掘削時 (b)接続本体掘削時

図-4 接続部本体掘削による変位分布の変化

図-6の接続本体部やテーパ部の主応力分布も、接続坑道掘削にもかかわらず円周方向に最大主応力が作用し、グラウンドアーチが形成される。このことから、当該部に発生する応力集中の原因を次のように考えることが妥当であると判断した。すなわち、接続本体部周辺地山が接続坑道掘削後もグラウンドアーチを保つために、掘削によって欠損した地山が分担していた応力を、その直上の地山が受け持つために応力集中が発生する。したがって、当該箇所の応力集中は接続部全体の安定性を担保するものと考えられ、当該箇所の崩壊を防ぐことが立坑と接続部の長期安定性を確保する上で最も重要と判断される。

**4. 今後の課題**：今後は、接続部における計測工を実施し、数値シミュレーションの結果と比較する予定である。



(a)接続本体掘削時 (b)水平坑道取付け部掘削時

図-5 水平坑道取付け部掘削による最大主応力の変化

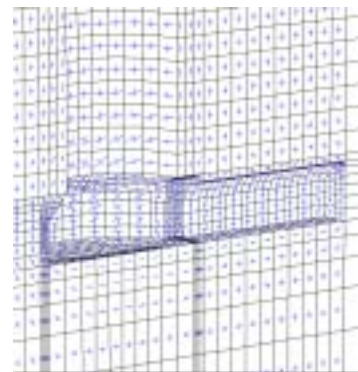


図-6 水平坑道 10m 掘削時の主応力軸分布

1) 今津雅紀, 佐藤稔紀, 坂巻昌工: 地下 1,000m の立坑工事に着手-瑞浪超深地層研究所坑道工事-, トンネルと地下, Vol. 35, No. 6, pp. 31-42, 2004.