

立坑掘削に伴う周辺岩盤の力学挙動解析

大阪工業大学大学院  
大阪工業大学工学部

学会員　○林　正寿  
正会員　吉岡　尚也

1. はじめに

日本原子力研究開発機構は、北海道幌延町で高レベル放射性廃棄物の地層処分にに関する研究開発のために、地下研究施設の建設を行っている。現在、主として、換気およびアクセス立坑の掘削を進めている。既存の岩盤構造物としての立坑は、仮設構造物と考えられており、立坑の掘削に伴う坑壁周辺の岩盤挙動を評価した事例は少ない。そのため、立坑の掘削による周辺岩盤の変形と応力変化を、数値解析を用いて考察した。

2. 解析方法

**2.1 解析モデル** 解析領域は、鉛直方向を 250m、水平方向を 100m と設定した。この領域の中心に、内径 4.5m の立坑を深度 200m まで掘削する 3 次元モデルを作成した。解析には有限差分コード FLAC3D を用いた。支保部材は、厚さ 60cm 相当の覆工コンクリートをシェル要素で、鋼製支保工をビーム要素でモデル化した。

**2.2 掘削手順** 立坑の掘削を行う前に初期応力解析を行った。ただし、鉛直方向の応力については自重を作用させた。水平方向の応力は、地下施設建設前のボーリング調査<sup>1)</sup>に基づき、側圧係数を東西方向は 1.3、南北方向は 0.9 として設定した。立坑は 1m ずつ 2m 掘削した後、次のステップで支保部材（覆工コンクリートと鋼製支保工）を打設した。ただし、覆工コンクリートは 2m 同時に打設し、鋼製支保工（H-125）は 1m ごとの中間の位置に打設した。この一連のステップを繰り返して、深度 200m までの逐次掘削解析を実施した。

**2.3 入力定数** 表-1、2 に岩盤と支保部材の入力定数を示す。岩盤の弾性係数は、孔内載荷試験の結果をもとに深度依存性を考慮して、深度 50m ごとに設定した。弾性係数以外の岩盤物性値は、ボーリングコアで得た室内力学試験の結果をもとに設定した。岩盤の応力・ひずみ関係は弾完全塑性体、岩盤の降伏規準はモール・クーロンに従うものとした。支保部材の入力定数は、トンネル標準示方書<sup>2)</sup>をもとに設定した。

表-1 岩盤の入力定数

| 地 層                        | 1     | 2      | 3       | 4       | 5       |
|----------------------------|-------|--------|---------|---------|---------|
| 深度(m)                      | 0-50  | 50-100 | 100-150 | 150-200 | 200-250 |
| 弾性係数(MPa)                  | 500   | 560    | 675     | 800     | 910     |
| 粘着力(MPa)                   | 2.2   |        |         |         |         |
| 内部摩擦角(°)                   | 15    |        |         |         |         |
| 単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> ) | 15.1  |        |         |         |         |
| ポアソン比                      | 0.164 |        |         |         |         |

表-2 支保部材の入力定数

| 支保部材                       | 覆工コンクリート | 鋼製支保工    |
|----------------------------|----------|----------|
| モデル                        | シェル要素    | ビーム要素    |
| ヤング係数(MPa)                 | 8.70E+03 | 2.10E+04 |
| ポアソン比                      | 0.2      | -        |
| 引張強度(MPa)                  | 0.39     | 0.16     |
| 断面積(m <sup>2</sup> )       | 0.4      | 3.00E-03 |
| 断面二次モーメント(m <sup>4</sup> ) | -        | 8.39E-06 |

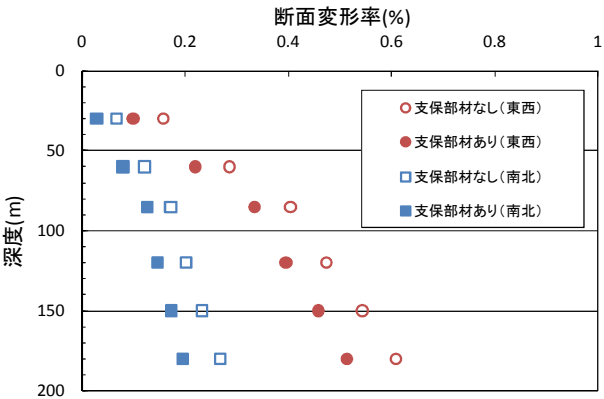


図-1 断面変形率の分布

### 3. 解析結果と考察

**3.1 断面変形率** 図-1 に内空変位計測を実施した深度近傍における東西および南北方向の断面変形率（内空変位を掘削幅（ $D = 5.7\text{m}$ ）で除した百分率）の分布を示す。図-1 より、各方向とも深度の増大とともに断面変形率も大きくなる。また、東西方向の断面変形率が卓越しているのは、側圧係数の大きい東西方向における掘削壁面の変形が助長され、南北方向の変形が抑制されるという楕円状の変形モードを示すためである。そして、立坑掘削が深度 200m までは、数値解析による断面変形率が 0.5%以下であり、津坂ら<sup>3)</sup>の分類によると区分  $I_S \sim III_S$  に属していることがわかる。

つぎに、立坑切羽が深度 120m を通過するときの断面変形率の変化を図-2 に示す。横軸の切羽距離は、着目断面である深度 120m と切羽との相対距離を示し、負の値は切羽が深度 120m より浅であることを示す。切羽が到達する直前まではほとんど変形していないが、切羽の通過とともに断面変形率は増加し、切羽が掘削径の約 2 倍進行した時点で収束している。

**3.2 応力変化** 東西および南北方向における深度 120m～121m 壁面近傍の応力変化を図-3, 4 に示す。縦軸の変化比は、掘削に伴って変化する応力を初期応力で除した値である。図-3 より、収束状態における最大主応力の変化比は、初期応力よりもわずかに大きくなるのに対し、空洞の最小主応力は、初期応力の約 25% にまで減少する。この最小主応力は、支保工による内圧効果に相当するため、約 25% の内圧効果が表れていることになる。一方、図-4 に示した南北方向の収束状態では、支保工による内圧効果が初期応力の約 40% 表れる。この内圧効果によって立坑の安定性が確保されていることになる。両図における現象は、水平面内の初期応力の異方性に起因し、楕円状の変形モードとも調和している。

### 4. まとめ

立坑掘削に伴って周辺岩盤の変形と応力変化を数値解析により分析した。得られた結果を以下に示す。

- 1) 断面変形率は南北方向よりも東西方向が卓越し、楕円状の変形モードを示す。
- 2) 応力変化は東西方向よりも南北方向で顕著であり、楕円状の変形モードとも調和する。
- 3) 本解析は、立坑を深度 200m まで掘削したときの解析結果であるが、さらに深い深度でも同様の現象が生

じることが推察される。

**参考文献** 1) 太田久仁雄ほか：幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階（第 1 段階）研究成果報告書 分冊「深地層の科学的研究」, pp.109-136, JAEA-Research, 2007-044. 2) 土木学会：トンネル標準示方書 [山岳工法編], p.88. 3) 津坂仁和ほか：幌延深地層研究所の立坑掘削におけるコンバージェンス曲線の評価, 第 12 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.311-317.

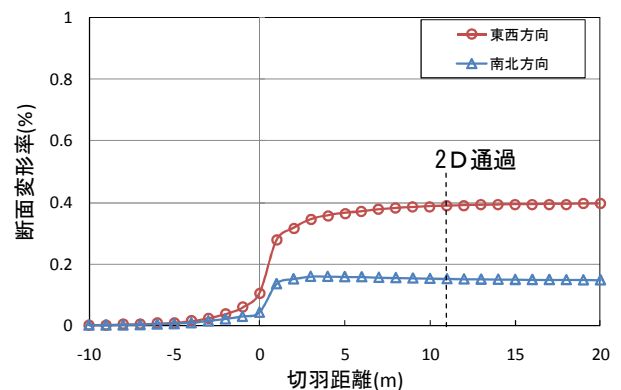


図-2 深度 120m における断面変形率

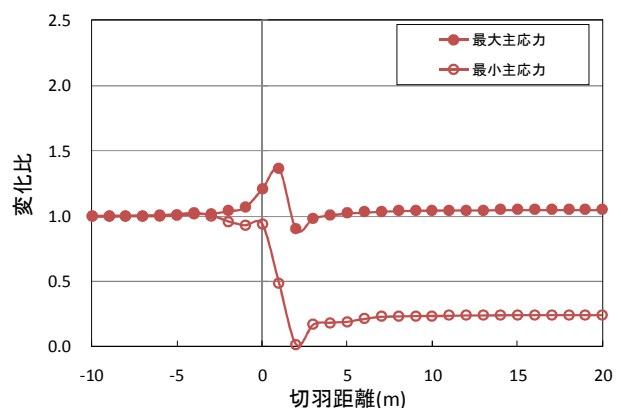


図-3 東西方向の応力変化

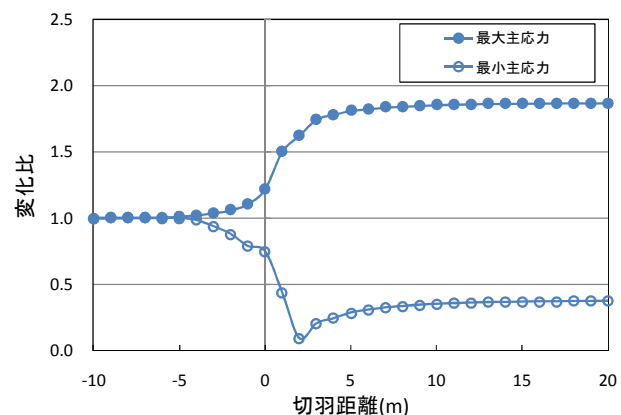


図-4 南北方向の応力変化