

力学的観点に着目したパイロットボーリング調査の有効性検討

(株) 大林組 正会員 ○納多 勝, 佐藤 伸, 畑 浩二

(独) 日本原子力研究開発機構 正会員 松井 裕哉, 見掛 信一郎

1. はじめに

瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事のうち、主立坑は、深度 180m 程度までの堆積岩層の掘削中に、実施設計では想定していなかった断層に遭遇するとともに、湧水等の問題から以深の施設の掘削計画等の見直しを行うため 2008 年にパイロットボーリング調査¹⁾を実施した。現在、主立坑は GL-460m まで掘削が進み、ショートステップ工法を採用することにより実施設計の支保工パターンで目立った変状なく施工が行われている。これは、実施設計で決定した支保工パターン等に大きな裕度があったためと考えられる。しかしながら、円滑なプロジェクトの推進やコスト縮減の観点からは、設計そのものの精度向上が今後の地層処分場建設にあたり重要になると考えられる。そこで本検討では、実施設計時の地質情報による掘削解析とパイロットボーリング調査から得られた地質・力学的情報に基づき設定した岩盤モデルによる掘削解析を実施するとともに、主立坑にて実測された地中変位、覆工コンクリート応力及び鋼製支保工応力を比較することにより、力学的観点に着目したパイロットボーリング調査の有効性を検討した。

2. 実施設計で仮定した地質構造

実施設計で想定した岩盤モデルは、主立坑から南側へ約 120m 離れた位置で行われたボーリング (DH-2 孔) 調査結果に基づき設定した。電研式岩盤分類をもとに設定した実施設計時における地質区分および力学定数を図-1 に示す。実施設計では GL-175.2m 以深では健全な花崗岩が出現すると想定され、設定された力学定数も健全な花崗岩部の代表値となっている。よって、実施設計で設定された支保工パターンは硬質な花崗岩中に設置される支保工を想定していた。

3. パイロットボーリング調査から設定した地質構造

パイロットボーリング調査は主立坑中心部から鉛直下向きに GL-180m から GL-528m までの断層付近を掘削した。本検討では、掘削解析を用いた検討を行うため力学定数が必要となる。そこで、パイロットボーリング調査時に再評価された電研式の岩盤分類の結果を参照しながらサンプリングを行い、岩芯コアを用いた一軸圧縮試験を行った。その一例を図-2 に示す。パイロットボーリング調査に基づく GL-220m から GL-340m までの岩盤等級区分を図-3 左図に示す。実施設計では当該区間は一部 CM 級の岩を挟むものの B 級～CH 級主体の地層構成になっていたが、評価した岩盤等級は CM 級～CL 級の岩質が主体となっており、実施設計時の岩盤等級よりも明らかに軟質な区分となっている。この区分に基づき採取した岩芯コアを用いた一軸圧縮試験結果より設定した力学定数が図-3 右図である。弾性係数の算出は各区分で実施した一軸圧縮試験結果の中から代表的と考えられるデータを抽出し行った。具体的には、一軸圧縮試験の応力ひずみ曲線より割線剛性を算出し、その傾きの平均値を弾性係数とした。ただし、極端に傾向の異なるものは母集団から棄却した。その他の定数については実施設計値あるいは吉中ら²⁾の文献の値の最低値を採用した。

4. 主立坑における計測データ

主立坑の GL-250m 地点と GL-350m 地点では地中変位、覆工コンクリート応力および鋼製支保工応力を逐次計測している。



図-1 当初設計時の地層構成と力学定数

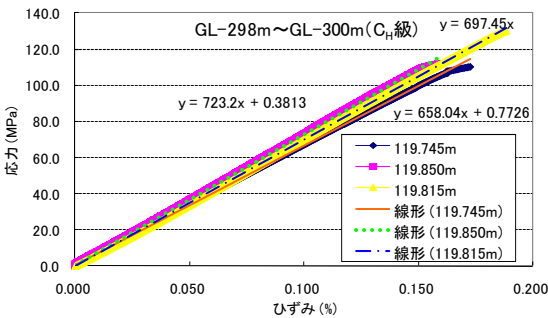


図-2 パイロットボーリング調査より得られたコアの応力ひずみ関係

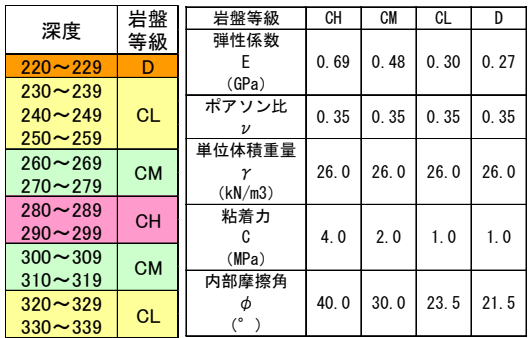


図-3 パイロットボーリング調査結果をもとに設定した試験位置の地層構成と設定した力学定数

計測結果の一例として切羽がGL-300mに到達した際のGL-250mの地中変位を示す。本計測結果から、立坑が北西および東南方向の変形が北東および西南方向に比較して大きく、変形モードは異方的となっていることが分かる。

5. 掘削解析

力学的な観点からパイロットボーリング調査の有効性を検証するため、実施設計時の岩盤等級と力学定数及び、パイロットボーリング調査から設定したそれを用い、有限要素法による掘削解析を実施した。初期応力の異方性や3次元的な地層構成の影響を考慮するため、3次元モデルとし立坑の1/4(90°)をモデル化した。岩盤および覆工コンクリートは3次元ソリッド要素、鋼製支保工はビーム要素とした。掘削対象領域は全長65mとし、その内訳は着目深度(GL-250m)から上方に26m、下方に39mである。下方は主立坑の変位等の計測結果が切羽までの離れが40mを超えたあたりで収束することによる。モデル化領域は境界条件の影響が及ばない範囲として、側方へは100m程度、下方は解析における最終掘削深度から50mまでを対象とした。掘削ステップは、ショートステップ工法の1サイクルあたりの掘削長1.3mを再現した。解析モデルを図-5に示す。なお、図-5左側はパイロットボーリング調査に基づき想定した地層構成を、右側は実施設計の地層構成を反映している。ここで、立坑中心から半径15mの範囲およびYZ面の最外縁の要素列1列は、本検討で得られた力学定数を設定した。これは、主立坑部に断層が存在すること、および坑道の壁面観察等から断層に付随した変質部が主立坑から15m程度離れた地点まで分布することが確認されたことによる。初期応力等のパラメータは、実施設計と同一とした。本解析では解析コードABAQUS³⁾を用いた。岩盤の構成則は弾塑性モデルとし、降伏判定はMohr-Coulomb則を適用した。覆工コンクリートおよび鋼製支保工は線形弾性体とした。

解析結果の一例として、図-6に地中変位の経時変化(坑壁から0.5m)を、図-7に鋼製支保工軸力の経時変化を示す。凡例内のPBはパイロットボーリング調査結果に基づく物性値設定ケースにおける解析結果を示す。また、解析解の経時変化は着目深度の次ステップ以降の経時変化を示す。実施設計の解析結果は、力学定数が健全な花崗岩を想定した値を用いているため変位、軸力とも計測値よりも小さい値となっているが、今回実施したパイロットボーリング調査から得られる諸情報をもとに設定した解析解は概ね計測値と一致している。これらの結果は、パイロットボーリング調査を行うことで、岩盤性状を反映した精度の高い支保工設計が可能になることを示唆している。

6. おわりに

本検討では、パイロットボーリング調査の有効性を力学的観点から確認した。ただし、変形モードの異方性の影響による各測点における地中変位等の相違は解析では表現できていない。よって、パイロットボーリング調査からの力学定数の設定法、施工サイクルの再現、さらに大深度であることから水-応力連成現象の考慮が今後の課題である。

参考文献

- 1) 鶴田ら:瑞浪超深地層研究所における立坑内からのパイロットボーリング調査報告書, JAEA-Research 2008-098, 2009.
- 2) 吉中ら:岩盤工学体系(1) 岩盤分類とその適用, 土木工学社, 第2編岩盤分類各論, pp.51
- 3) Dassault Systemes Simulia Corp.: ABAQUS Analysis User's Manual Version 6.5, 2004.

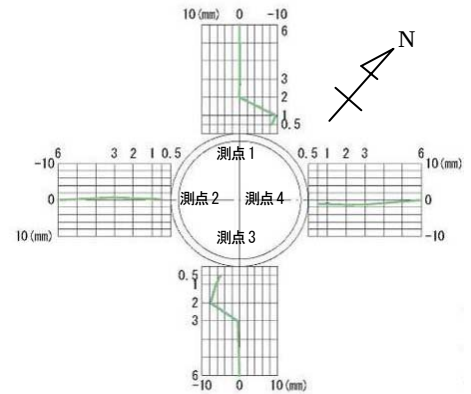


図-4 主立坑周辺の地中変位計測結果

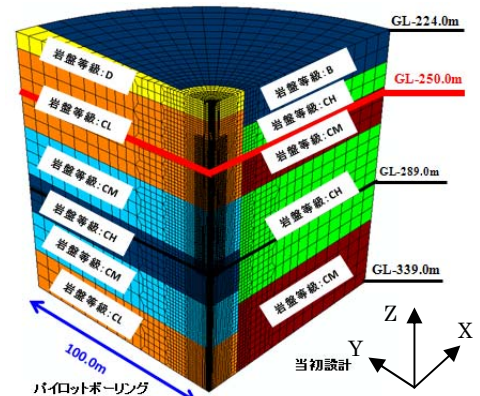


図-5 解析モデル

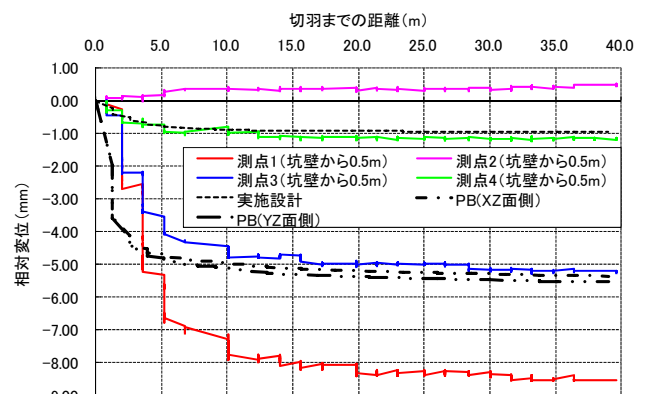


図-6 地中変位の経時変化(坑壁から0.5m)

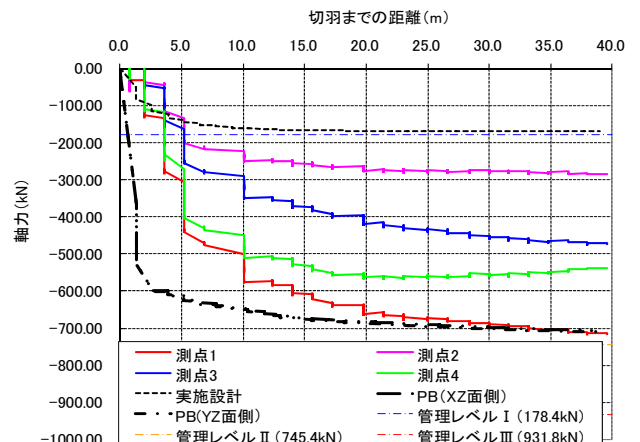


図-7 鋼製支保工軸力の経時変化