

地層処分坑道の隅角部分が周辺地山に及ぼす影響について

福島工業高等専門学校 学生会員 ○佐藤 汐里
福島工業高等専門学校 正会員 林 久資

1. 研究目的

原子力発電で使われた燃料を再処理することで高レベル放射性廃棄物が生じる。わが国では、その高レベル放射性廃棄物を人間の環境から十分離れた場所に長期的に処分するための方法として、地層処分が提案されている。この処分施設の処分坑道や処分ピットは、放射性廃棄物を安全かつ経済的に埋設するため、直線部ばかりではなく隅角部が施工される可能性が高い。ちなみに隅角部は処分坑道に多く設置されると予想するが、処分坑道は山岳トンネルと同様の NATM で掘削される。しかしながら山岳トンネルは多くが直線で施工されるか、もしくは急カーブを避けて施工がなされるため隅角部が施工されることは稀である。そのため NATM における隅角部掘削を数値解析で模擬し力学的影響を解明した研究成果は少ない。そこで本研究では処分坑道の隅角部が NATM により施工された場合の坑道周辺地山におよぶ影響を把握する。

2. 解析概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分施設は、立坑や斜坑からなるアクセス坑道や、連絡坑道、処分坑道、処分孔などから構成され、廃棄物は地下深部に処分する計画である。本研究では高レベル放射性廃棄物処分施設における処分坑道の隅角部を数値解析により模擬し、掘削時の力学的挙動をシミュレーションする。

解析には Itasca 社の FLAC3D を用いる。解析モデルは、横 60m、奥行き 60m、深さ 60m とし、坑道は、直線坑道を 20m 掘削した後、半径 10m の隅角部を掘削、さらに 20m の直線坑道を掘削できるモデルを作成した。坑道は、トンネル径 2.5m の馬蹄形断面とした。解析入力値としては、幌延深地層研究所での既往研究¹⁾に着目すると、深度 250m 付近における岩盤物性は、幌延深地層研究所において設定された岩級区分の CM-H (Hr) が多くを占めていると示していることから、本解析の岩級区分を CM-H (Hr) とした。岩級区分 CM-H (Hr) 級の入力定数としては、単位体積重量 18.5kN/m^3 、弾性係数 2000MPa 、粘着力 1.6MPa 、内部摩擦角 25° 、ポアソン比 0.186 を設定した。地山の力学モデルは弾完全塑性体とし、降伏条件はモール・クーロンの破壊基準を用いた。解析手順は、まず初期応力解析を行った。初期応力解析では、深度 250m での坑道掘削を模擬するために土かぶりを想定した荷重をモデル最上部に载荷した。その後掘削を実施したが、掘削は全断面掘削とし、奥行き 1m ずつ逐次掘削を行った。ちなみに、本研究での解析には吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼製支保工は設定していない。

3. 解析結果及び考察

数値解析結果を以下に示す。図-1 は、坑道を掘削したときの側壁部における変位をプロットしたものである。縦軸に変位、横軸に切羽番号を示している。切羽番号とは、坑道の坑口部分から奥行き方向に番号を設定しており、直線部が 0 番から 20 番、20 番から 37 番が隅角部、さらに 37 番から 57 番を直線部に該当する。

まず、黒丸でプロットされた外側側壁部分の変位に着目すると、切羽番号の 10 番（坑口から 10m）ぐらいまで約 7mm の変位が生じているが、10 番を越えると変位が減少していき、隅角部の中間地点では最も少ない 5.7mm の変位が生じることがわかる。さらに隅角部の中間地点を越えると変位は増大し、切羽番号 50 番付近で一定値になった。

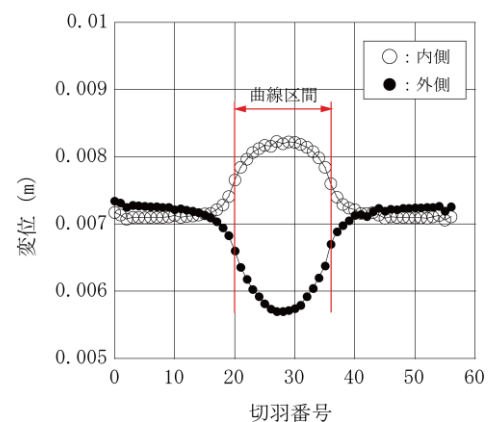


図-1 直線部および曲線部の変位

キーワード トンネル隅角部, NATM, 数値解析, 地層処分

連絡先 〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾 30 TEL 0246-46-0821

一方、内側側壁部分の変位に着目すると、切羽番号が 10 番を過ぎると徐々に変位は増加していき、隅角部の中間地点では変位は 8.3mm と最も大きい変位が生じた。これらの結果より、坑道側壁の隅角部分における変位は内側変位のほうが外側変位よりも大きく生じることがわかった。

次に、直線部側壁と隅角部側壁の変位履歴曲線を示す。図-2 は、坑口より 10m 地点側壁部に着目し、切羽進行に伴う変位をプロットした。ここでは、解析ステップ 10 地点で切羽が坑口より 10m 地点に到達しているが、切羽到達時には内側、外側どちらの側壁部分においても約 2mm の変位がみられた。その後、切羽がさらに進行すると変位は徐々に増大するが、ステップ 20 を越えると変位は一定値に収束し、内側、外側どちらも収束時の変位は 7.4mm であった。つまり直線部においては、坑道側壁部分の内側、外側の変位は同様であることがわかる。

隅角部の中間地点における側壁変位履歴曲線を図-3 に示す。ここでは、解析ステップ 28 が切羽が到達した地点を表している。まず、隅角部の外側部分の側壁部に着目すると、解析ステップ 20 ぐらいから徐々に変位が増大し、切羽が到達したステップ 28 では 1.3mm 程度の変位が生じている。その後、切羽が通過すると急激に変位が増大するが、ステップ 35 を越えると一定値に漸近する。一方、隅角部の内側部分の側壁部では、外側側壁と同様にステップ 20 ぐらいから変位が増大し始めるが、変位の増加の割合が外側側壁より多いことがわかる。また切羽が到達したステップ 28 では、変位は外側部分より大きく、3.0mm となっていることがわかる。さらに切羽が進行し、ステップ 40 を越えると一定値に収束しているが、収束時の変位は 8.2mm 程度であった。

これらより、隅角部においては切羽が 10m 程度手前にあるときから外側側壁と内側側壁の違いが現れていることがわかる。また変位の収束時期は、外側側壁部より内側側壁部のほうが遅いことがわかった。

ここまでで、変形が最後に、坑道隅角部における内側および外側の応力の違いについて着目するために、図-4 にモールの応力円を示した。これは、坑道側壁部分において、変位が収束したときの最大主応力と最小主応力の関係よりモールの応力円を描いた。ちなみに、実線が隅角部の外側側壁部分で、破線が内側側壁部分であり、破壊基準線は岩級区分 CM-H (Hr) における地山の内部摩擦角および粘着力より描いた。

その結果、内側側壁、外側側壁の主応力差には大きな違いはみられないことがわかる一方で、破壊基準線には内側側壁部の方が近づいていることがわかる。つまり、外側側壁部よりも内側側壁部の方が変位が増大しやすい応力状態であるため、内側側壁部のほうが外側側壁部よりも変位が増大した図-1 のような結果が得られたと考える。

参考文献 1)津坂仁和ら：ショートステップ工法による立坑掘削に伴う支保部材の力学挙動に関する研究，土木学会論文集 F1, Vol.68, No.1, pp.7-20, 2012.

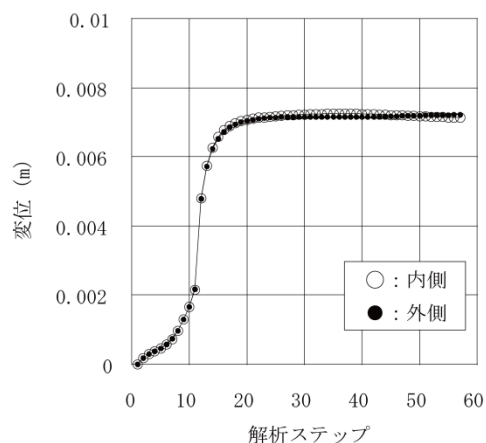


図-2 切羽進行に伴う変位履歴（直線部）

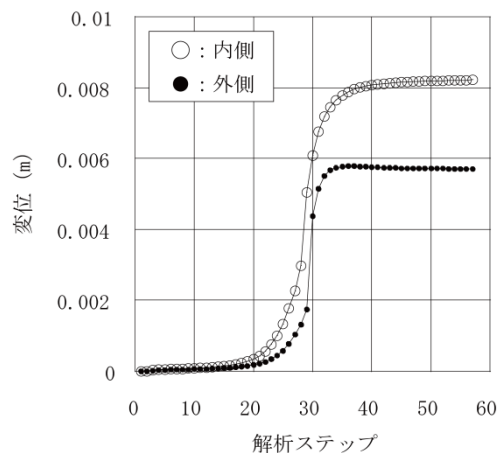


図-3 切羽進行に伴う変位履歴（隅角部）

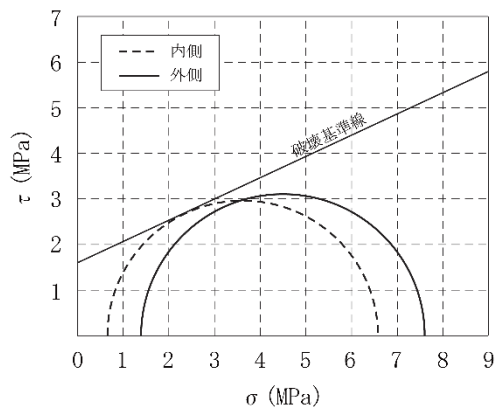


図-4 モールの応力円