

大深度坑道隅角部における周辺地山の力学的影響について

福島工業高等専門学校 学生会員 ○今野 小百合
福島工業高等専門学校 正会員 林 久資

1. 目的

わが国では、高レベル放射線廃棄物を処理するために地層処分が有効的な方法として考案されている。地層処分施設は、地下 300m 以深に処分坑道や連絡坑道などの坑道が設けられる。これらの坑道は、直線的な線形に加え、急曲線的な線形が設計に設けられている。佐藤ら¹⁾は地層処分坑道における隅角部と直線部の坑道周辺地山の安定性が異なることを数値解析により示した。しかしながら佐藤ら¹⁾は壁面の変位及び応力にのみ着目し、周辺地山における力学的影響は検討していないことから、坑道周辺地山におよぶ力学的影響を解明する必要があると考えた。さらに、地層処分を模擬した施設である幌延深地層研究センター（図-1）においては、地山の水平方向初期応力に方位依存性がみられ、南北方向に鉛直方向初期応力の 0.9 倍、東西方向に鉛直方向初期応力の 1.3 倍の初期応力が計測によって確認されている。そのため、初期応力の方位依存性を有する地山を数値解析的に模擬することも必要だと考える。そこで本研究では、地山の水平方向初期応力に方位依存性が認められる地山に、隅角部を有する処分坑道を数値解析的に掘削したときの岩盤周辺力学的影響を調べる。

2. 研究方法

坑道周辺地山の掘削時力学的影響を把握するために、数値解析で処分坑道の掘削を模擬する。本研究における数値解析は有限差分法三次元数値解析コードの FLAC3D を用いた。

本研究の解析は処分坑道を模擬するため、幌延深地層研究センターにおける処分坑道の深度と同様に、坑道の土かぶりが 350m となるようにモデルを作成した。地山モデルは横断方向に 30m、縦断方向に 30m、高さ方向に 30m とし、モデル上面には上載荷重を与えた。地山の力学モデルは弾完全塑性体とし、降伏判定はモール・クーロンの破壊基準を使用する。地山の入力定数の設定は、幌延深地層研究所における立坑掘削のための岩級区分の中より対象深度に多く分布している CM-H(Hr)を用いた。CM-H(Hr)のパラメータ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 とする。これらは、室内試験結果より得られたパラメータである。

解析手順としては、最初に初期応力解析を実施する。鉛直方向の初期応力は土かぶりに地山の単位体積重量をかけたものとする。水平方向の初期応力のうち南北方向は、鉛直方向初期応力の 0.9 倍（最小主応力方向）、東西方向は、鉛直方向初期応力の 1.3 倍（最大主応力方向）（図-2）したものを設定する。坑道の掘削は、全断面掘削による逐次掘削とし、1 間は 1m とする。支保工については、幌延深地層研究センターにおける処分坑道は、吹付けコンクリートが設置されているが、本研究では岩盤に坑道が掘削された時の影響を簡便に確認するために、支保工は設けないモデルとした。これらの解析条件をもとに、坑道掘削時の周辺地山の力学的影響を算出した。

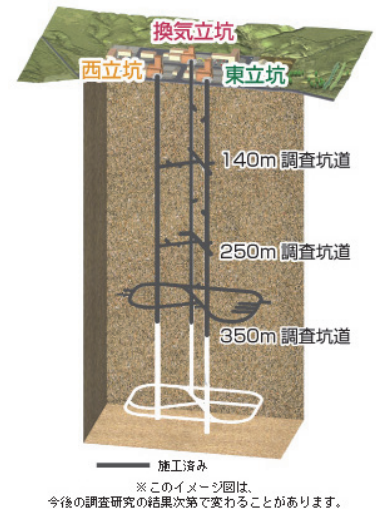


図-1 幌延深地層研究センターの地下施設坑道²⁾ (JAEA HP より引用)

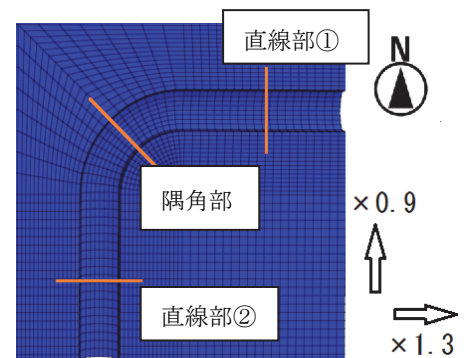


図-2 地山モデルの水平方向初期応力

キーワード NATM, 処分坑道, 隅角部

連絡先 〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾 30 福島工業高等専門学校 TEL 0246-46-0821

3. 結果

まず、図-3 に処分坑道隅角部周辺の変位を示した。これは、縦軸に坑道の隅角部の内空方向へ生じる変位を示し、横軸は壁面からの距離を示している。すなわち、壁面からの距離 0m 地点は、坑道壁面を指し、値が大きくなるにつれて坑道から遠ざかることを意味している。この図から隅角部壁面の変位は、隅角部の外側は 13mm、内側は 18mm であり、隅角部の外側より内側の方が変位が大きくなることが分かる。さらに、その傾向は壁面から 30m 程度まで続いていることがわかった。また、隅角部外側は壁面からの距離 10m を超えると変位は、2mm を下回るのに対し、隅角部内側は 20m を越えないと 2mm 以下にならない。いわゆる影響範囲が 10m ぐらい違うといえる。隅角部内側の壁面から離れた地点の変位が収束しない理由としては、直線部の掘削影響が作用しているものと考ええる。

図-4 は、坑道の直線部の内空方向へ生じる変位と壁面からの距離の関係性をプロットしたものである。直線部①は坑道内空方向が水平方向初期応力の最大主応力方向（鉛直方向初期応力の 1.3 倍）、直線部②は坑道内空方向が水平方向初期応力の最小主応力方向（鉛直方向初期応力の 0.9 倍）である（図-2）。この図から、坑道壁面の変位は、直線部②で 11.8mm、直線部①で 18.5mm となった。つまり、直線部②に対して直線部①の変位は 1.6 倍となった。このことから水平方向初期応力の最大主応力方向が内空側となる直線部①の方が、最小主応力方向が内空側となる直線部②より大きくなることがわかった。また、傾向は壁面から 20m 程度まで続いていることがわかった。

さらに、直線部①の内空方向へ生じる変位が直線部②より増大した理由を確かめるために応力的視点でも検討を行った。図-5 は、坑道の内空方向へ生じる応力と壁面からの距離の関係性をプロットしたものである。壁面からの距離が 3m 程度まではトンネル内空方向に加わる応力が直線部①、②ともにほぼ同じであるが、壁面から 3m 以上遠ざかるにつれ、直線部①と直線部②の応力に差が生じている。壁面からの距離が 15m を越えると、それぞれの応力値は一定値に漸近し、この時の応力は直線部②は 5.8MPa、直線部①は 8.15MPa であり、直線部②に対して直線部①の応力は 1.4 倍程度生じていることが分かった。これらより、壁面から 3m を越えると、直線部①の方が、直線部②よりも坑道内空側に作用する応力が増大し、その結果、図-4 に示したように、直線部①の方が直線部②よりも変位が増大したものと考ええる。

4. まとめ

本研究では、水平方向初期応力に方位依存性がみられる地山に、隅角部を有する坑道を掘削したときの坑道周辺地山の力学的影響を数値解析により検討した。その結果、直線部の変位は水平方向初期応力の最大主応力方向が坑道内空側となる直線部①の方が大きくなり、地山内部も変位が大きい傾向であることがわかった。さらに、応力的視点からも変位差が生じる理由を検証することができた。しかしながら、現時点では隅角部の内側および外側の変位差が生じた理由を解明するには至らなかったため、今後の研究の課題としたい。

参考文献 1) 佐藤汐里, 林久資: 平成 25 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, III-6, 2014.

2) (独) 日本原子力研究機構ホームページ: <http://www.jaea.go.jp/>

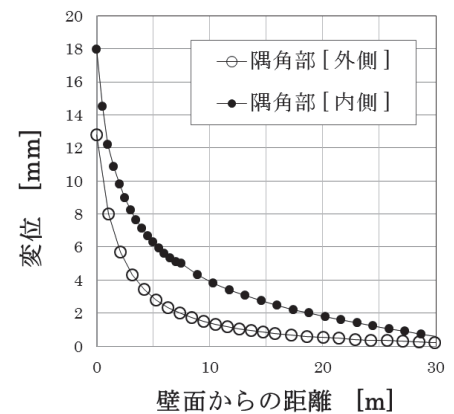


図-3 隅角部の変位と距離の関係

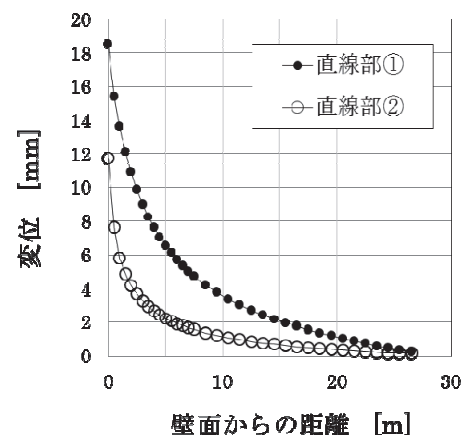


図-4 直線部の変位と距離の関係

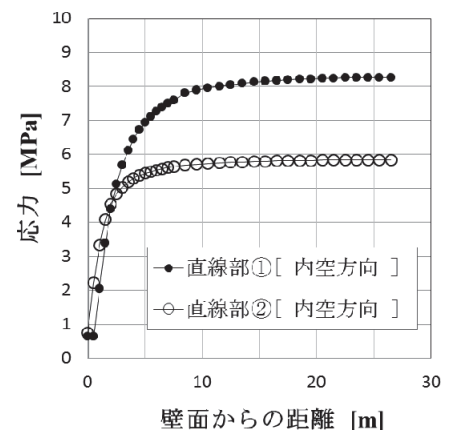


図-5 直線部の応力と距離の関係