

大深度立坑掘削に伴い岩盤や覆工コンクリートに生じる力学的影響について

福島工業高等専門学校

学生会員 ○坂本 美咲

福島工業高等専門学校

正会員 林 久資・金澤 伸一

福島工業高等専門学校

フェロー会員 緑川 猛彦

1. 目的

高レベル放射性廃棄物を人間の生活に悪影響を及ぼさず、安全に処分できる方法として地層処分の研究が進められている。その研究施設の施工において、立坑を掘削した際に覆工コンクリートの壁面にクラックが生じた。しかし、クラックのはっきりとした発生要因は分かっていない。地山に起因して覆工にクラックが発生する原因として一般的には、地山条件や断面形状、掘削方法、支保工などの施工環境により起こる岩盤の変状によるものとされているが、岩盤の変状予測はこれ以外も考慮することが必要と考える。本研究では、岩盤に変状が生じる要因として岩盤に発生するクラックも関連しているのではないかと考え、幌延深地層研究センターの東立坑（ショートステップ工法）を対象に、実計測や数値解析、岩盤の健全度（性状）を表すクラックテンソルを用いて、掘削後に覆工コンクリートに生じるクラックの発生メカニズムについて検討する。これを解明できれば、掘削による影響・安定性予測など立坑等の施工や管理に役立つと考えている。

2. 覆工コンクリートに生じたクラックの発生メカニズムについて

覆工コンクリートの東西壁面に鉛直方向のクラックが生じた東立坑深度 300m 地点でのクラック発生メカニズムについて考察する。まず、実際に岩盤や覆工にどのような変位が生じたのかを調べるため、立坑掘削後にコンバージェンスメジャーによって計測された変位データ¹⁾に着目した。図-1 は測定された 2 点間の相対変位を半分にし、その値を両壁面（計測点）に示すことを 4 方向でそれぞれ行ったものである。図-1 の左側に示す深度 300m の岩盤変位（青点）は、方向による変位量の違いはみられないが（平均約 5mm）、岩盤に生じた変位（青点）に覆工の打設後に計測された変位を足し合わせると（赤線）、東西方向の方が南北方向に比べて変位が大きく、南北方向に長い楕円形のような分布をしていた。

次に、今回の研究で対象としている幌延深地層研究センター東立坑の地山条件²⁾や、掘削方式、支保工規模、内空断面、初期応力状態などの地質的・施工的特徴を模擬して解析することで、立坑を掘削した時の周辺地山の力学的影響を予測できるのではないかと考え、FLAC3D による評価を実施した。解析領域は深度 270m から 350m を対象とし（図-2）、モデルの寸法は南北方向 40m、東西方向 80m、深度方向 80m とした。境界条件は南北面の要素は南北方向を拘束、東西面は東西方向を拘束、底面は深さ方向を拘束し、モデル上端は自由境界とした。地山や鋼製支保工、覆工コンクリートの入力定数は図-2 に示す。なお、地山の力学モデルは弾性体とし、深度 270m～350m において多く分布する岩盤等級 CM-M(Hr 有)の物性値を用いた。図-3 は切羽進行に伴う深度 300m 地点に着目した変位履歴を示したものである。収束変位は、南北壁面が約 11mm、東西壁面が約 27mm であることから、立坑内空側に生じる変位は初期地圧の最大主応力方向である東西壁面の方が南北壁面よりも大きく、南北に長い楕円のような変形傾向であることが分かった。これは現地地山の初期応力の方位依存性（鉛直方向初期地圧 1.0 としたとき東西方向初期地圧 1.3、南北方向初期地圧 0.9）によるものと考えられ、深度 300m 地点の実測結果と同様の傾向であった。

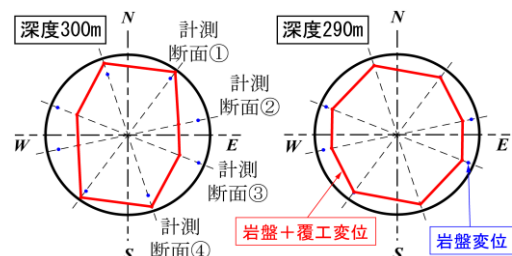


図-1 コンバージェンス計測結果

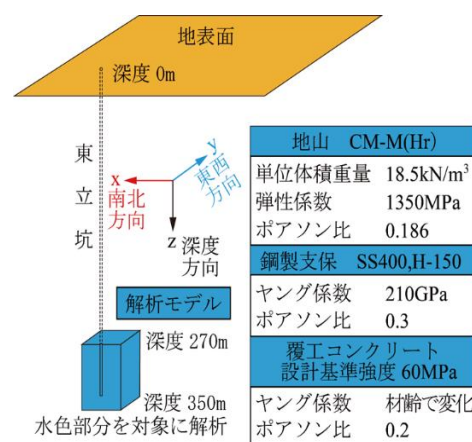


図-2 解析概要

キーワード 地層処分, クラックテンソル, 数値解析, ショートステップ工法

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

また、岩盤の覆工に接する壁面における主応力について、最大主応力と最小主応力の差は東西と南北で異なり、東西壁面よりも南北壁面の主応力差が大きいことが分かった（主応力差：南北壁面約 14.6Mpa、東西壁面約 6.9Mpa）。そこで主応力差の大きい南北壁面について着目すると、東西壁面より最大主応力すなわち接線方向応力が大きい結果となり、南北壁面の岩盤の安定性が低下しているのと同時に、全体的に東西方向から立坑内側に押されるような変位が起こるため、南北に長い楕円のような変形になると推測できる。

次に、覆工コンクリートにクラックが発生したのは、その背面の岩盤性状も関係しているのではないかと考え、クラックテンソル理論³⁾を用いて分析した。クラックテンソル理論について、既往研究（瑞浪超深地層研究所）では深度約 30m～40m ごとにクラックテンソル理論を用いて岩盤の属性を検討していた⁴⁾。本研究は覆工クラックの有無のような微細な地点変化を考慮するため、深度を 1m 単位でメッシュを細かく切り、クラックテンソルを使って調査すれば、何らかの傾向がみられるのではないかと考えた。岩盤性状の調査には対象場所の立坑掘削時に記録された坑壁クラック（CAD データ）を使用し、クラックの密度を表わすクラックテンソル（以下 F0）のマップを作成した。作成手順は、以下の通りで、

①立坑掘削後の坑壁面について円周方向を 12 分割に、深度 1m 毎にメッシュ分割、②各メッシュ内のクラックの座標を抽出し、クラック情報（長さ・方向）を算出、③メッシュ毎に F0 を算定、④図-4 のように南北方向（オレンジ色）と東西方向（青色）それぞれ 20 要素ずつ F0 データをプロットし（図-4 右図）、図化（縦軸：方位、横軸：F0）。結果は図-4 の右下の深度約 300m の図からも分かるように、南北岩盤壁面よりも東西岩盤壁面の方が比較的大きな F0 の値もみられた。

以上のことから、実測と数値解析とで変形傾向が合致することや覆工クラックが生じた東西壁面の背面（岩盤）の F0 の値が比較的高いことから、内空変位の断面分布と F0 の方位別分布に関連性があることが推測できる。従って、F0 の値が高い壁面は変状が大きく、覆工クラックが生じているということが分かる。

3. 覆工コンクリートにクラックが生じていない地点での調査

覆工クラックが生じなかった深度 290m 地点を調査し、覆工クラックの有無の違いについても調べた。コンバージェンス計測結果について、図-1 の右側に示す深度 290m をみても分かるように、岩盤変位（平均約 3mm）に覆工の打設後に計測された変位を足し合わせても各方向の変位に差異はなく、概ね円形に分布していた。また、F0 についても図-4 の右上の深度約 290m の図をみても分かるように、南北岩盤壁面と東西岩盤壁面とで F0 の値に大きな違いはなく、2 章で示した F0 と覆工の健全性の関係と同意義となる。一方で、数値解析結果は深度 300m 地点と同様に楕円のような変形となることが推測できるため、実測結果とは異なり、整合が取れなかった。

4. まとめ

2 章で述べたことから岩盤に生じたクラックから覆工壁面の安定性を知ることができるなど影響予測の指標として活用できる可能性がある。3 章で述べたように整合が取れなかった原因としては岩盤掘削時の不陸や地山物性値のばらつきが考えられる。そのため、地山条件により生じる岩盤の変状だけではなく、クラックも考慮して施工することが良いのではないかと考える。

参考文献 1) 稲垣ら：平成 23 年度地下施設計測データ集, JAEA-Data/Code 2012-029, pp.30-33,2013. 2) 森岡ら：幌延深地層研究計画における地下施設の支保設計（実施設計）, JAEA-Research 2008-009, pp.7-10,2008. 3) 小田ら：岩石構造の数量化とその岩盤力学への応用, テクトニクスと変成作用（原郁夫先生退官記念論文集）, 創文, pp.367-378,1996. 4) 真田ら：瑞浪超深地層研究所計画におけるクラックテンソル理論に基づく等価連続体モデル化手法の検討, JAEA-Research2014-006, pp.2-46,2014.

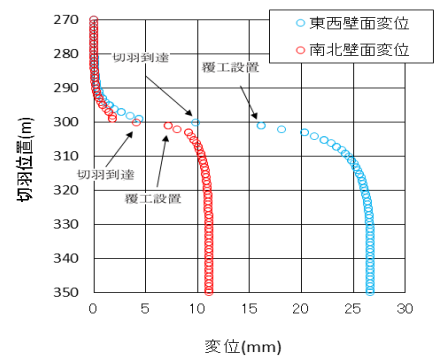


図-3 変位履歴曲線（深度 300m）

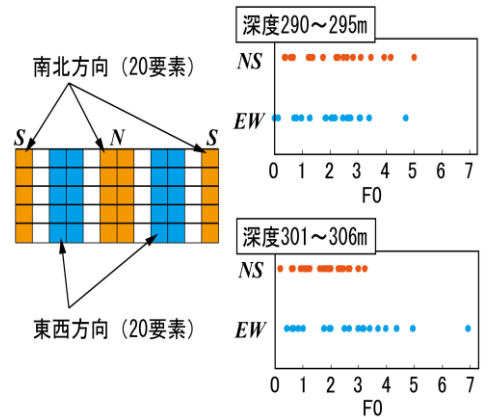


図-4 F0 と方位の関係