

# 堆積軟岩における立坑の覆工コンクリートのひび割れ発生メカニズムと抑制

大成・大林・三井住友特定建設工事共同企業体 正会員 ○南出 賢司, 萩原 健司, 名合 牧人  
 小川 弘之, 宇山 幹紀, 木須 芳男, 森本 勤, 矢吹 義生  
 (独) 日本原子力研究開発機構 工藤 元, 稲垣 大介, 正会員 津坂 仁和  
 大成建設(株) 松元 淳一, 地層科学研究所 菅原 健太郎

## 1. 概要および目的

(独) 日本原子力研究開発機構は、北海道幌延町において、堆積岩を対象とした高レベル放射性廃棄物の地層処分に關する技術の信頼性向上のための研究開発を進めるため、深度 500m 程度の 3 本の立坑ならびに複数深度での水平坑道からなる地下研究施設の建設を行っている。平成 17 年 11 月に着手した地下研究施設の建設は、平成 25 年 3 月末現在で換気立坑、東立坑は約 350m、西立坑は約 300m の掘削を完了している。

本稿では、立坑覆工コンクリートに生じているひび割れの原因についての検討結果とそのひび割れを抑制するために実施した対策の結果について報告する。

## 2. ひび割れ発生に関わる諸条件

### 2.1 初期地圧の異方性

立坑掘削範囲の対象地山は一軸圧縮強さが 5~25MPa 程度の珪藻質泥岩および珪質泥岩である。対象地山の初期地圧は異方性を有しており側圧係数は東西方向 1.3、南北方向 0.9 である。

### 2.2 施工方法と計測結果

図-1 に内空変位計測位置を含む立坑概要図を示す。本立坑工事では、掘削 1m を 2 回繰り返して、2m の覆工コンクリートを打設するツーステップシンキングのショートステップ工法を採用している。今回分析対象とした西立坑の内径は 6.5m で、覆工コンクリートの設計厚さは 400mm である。

図-2 に覆工コンクリートの内空変位計測結果を示す。内空変位測定の結果、初期地圧の異方性等の影響により立坑は東西方向の方が強く押される傾向がみられ、覆工コンクリートが東西方向に縮み、南北方向に伸びる挙動を示すことが確認された。

### 2.3 覆工コンクリート打設環境および養生環境

覆工コンクリートと地山の間にはシートや不織布等は設置せず、地山に直接コンクリートを巻きかためるように打設している。地山温度は概ね 20℃前後であり、立坑内の温度(養生環境)は通年を通して 10~25℃程度である。なお、コンクリートは早強コンクリート(60-21-20H)を使用しており、脱型時期は打設後約 1.5 日後である。

## 3. ひび割れ発生メカニズム

図-3 に立坑のクラックマップ(覆工コンクリートの展開図)を示す。覆工コンクリートに発生するひび割れは縦方向(深度方向)に入り、東西の方角に集中して発生している。上記の諸条件を含め、東西の方角にひび割れが発生する要因を特定するために構造解析および温度応力解析を行った。

### 3.1 構造解析

図-4 に施工順序を再現した 3 次元逐次掘削解析による覆工応力の結果を示す。構造解析の詳細について

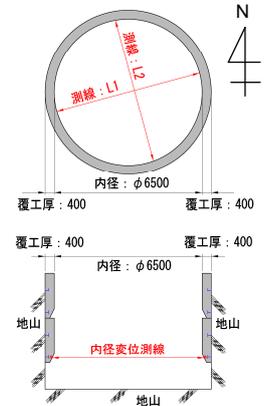


図-1 立坑概要図

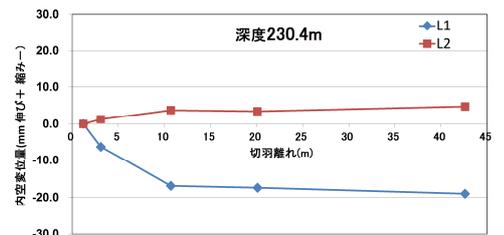


図-2 内空変位計測結果の一例(西立坑)

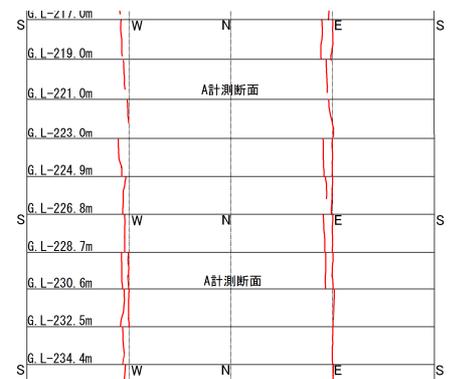


図-3 クラックマップの一例(西立坑)

は別報に譲る<sup>1)</sup>が以下のような結果が得られた。計測結果と同様に、初期地圧の異方性により覆工コンクリートは東西方向が内空側へ縮むように変形したが、覆工コンクリートにひび割れを発生させるような引張応力は東西方向を含め、覆工全周に発生していない。しかし、東西方向の応力状態は南北方向に比べて圧縮応力は小さく、無応力に近い状態となっていることが確認される。以上の事より、東西方向の応力状態が無応力に近い状態となっているがひび割れを発生させるような応力は発生していないため、異方性を有する掘削解放力のみでは覆工コンクリートにひび割れを生じさせないと判断される。

3.2 温度応力解析

図-5に温度応力解析結果を示す。温度応力解析は、前述した施工方法、養生環境、岩盤状況および配合等の各種条件を反映した。また、コンクリートの各種物性の設定については、日本コンクリート工学会の「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008」に準じて行った。その結果、コンクリート内外温度差は 10℃未満であり温度差に起因する内部拘束応力が卓越する状況は確認されなかったが、外周岩盤による外部拘束により覆工コンクリート表面および内部の円周方向に比較的大きな引張応力が発生することが確認された。また、ひび割れ指数が 1.25 程度となる範囲があり、ひび割れ発生リスクが高くなる事が確認された。

3.3 メカニズムの考察

これらの解析的検討の結果、覆工コンクリートは異方性を有する掘削解放力を受けて変形し、覆工コンクリート東西位置の応力が無応力に近い状態となる（力学的要因）一方で、外部拘束による引張応力（温度応力的要因）の影響を受けていることが確認された。よって、これらの要因が複合的に作用し、覆工コンクリートにひび割れを発生させていると推察される。

4. ひび割れ抑制対策

覆工コンクリートに発生するひび割れを抑制するため、覆工コンクリート内部にユニット鉄筋を配置することとした。図-6にひび割れ抑制対策の概要図を示す。ユニット鉄筋の仕様は異形鉄筋 (D10) を 150mm ピッチの格子状に配置した鉄筋金網とした。なお、ユニット鉄筋の設置範囲はひび割れの発生が集中する東西位置を中心とした約 3m 範囲にすることとした。

ユニット鉄筋を配置した区間のひび割れ観察の結果、これまで東西方向に確認されていたひび割れが発生しなくなる、もしくはひび割れ幅が小さくなるという結果が得られた。

5. まとめ

堆積軟岩における立坑の覆工コンクリートのひび割れ発生メカニズムとその抑制対策についてまとめると以下の通りとなる。

- ・覆工コンクリートの東西位置に発生するひび割れは異方性を有する掘削解放力による覆工コンクリートの変形（力学的要因）と外部拘束による引張応力（温度応力的要因）の複合的な要因によるものと推察される。
- ・覆工コンクリートの東西位置に発生するひび割れは、ひび割れが発生する東西方向のみに異形鉄筋 (D10) のユニット鉄筋を配置することにより抑制可能である。

参考文献：1) 津坂ほか (2012)：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的挙動に関する研究，土木学会論文集 F1（トンネル工学），Vol.68，No.1，7-20。

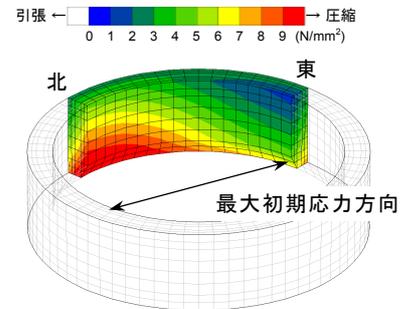


図-4 構造解析結果

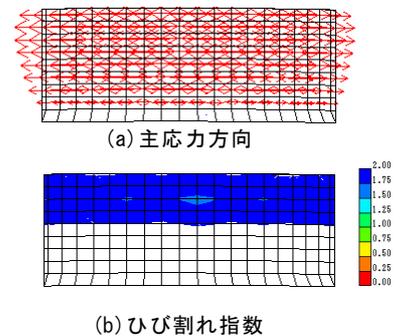


図-5 温度応力解析結果

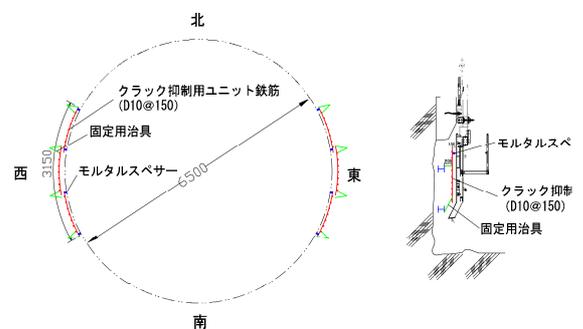


図-6 ひび割れ抑制対策概要図