

結晶質岩における大深度立坑掘削を対象とした岩盤の変位・ひずみ計測

(独)日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門 結晶質岩地質環境研究グループ 正会員 平野 享
 (独)日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門 結晶質岩工学技術開発グループ 正会員 松井裕哉
 (独)日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター 施設建設課 木下晴信

1. はじめに

地下に空洞を掘削すると、掘削作業や空洞周辺に生じる応力再配分により、岩盤の損傷や既存割れ目の変位などの掘削影響領域が発生する。その掘削影響の程度と範囲の定量的評価は、合理的な地下空洞の設計・施工や岩盤中の物質移動を評価する上で重要である。そこで、本研究では、超深地層研究所計画¹⁾で実施中の、結晶質岩盤での発破工法による立坑掘削を対象として、立坑周辺の岩盤内の変位・ひずみを連続計測し、切羽通過で生じる周辺岩盤の全変形とその変化の挙動を把握して、立坑掘削による掘削影響の程度と範囲の推定を試みた。

2. 計測方法

立坑、およびボーリング横坑とボーリング孔の配置を図 2.1 に示す。計測装置として、ひずみ計測には埋設型ひずみ計(東京測器 KM-50F)を、変位計測には連続式傾斜計(応用地質 Q-ティルト)を使用した。ひずみ計は、ボーリング横坑や接続部の影響が少なく立坑切羽通過の変化が収束するような位置に設置し、モルタル充填で固定した。ひずみ計を、モルタルを介して岩盤と結合させる場合は、計測結果の評価に注意が必要である²⁾。具体的には、弾性数値解析で一軸載荷を模擬すると、モルタルのヤング率が岩盤の 1/5 で、計測ひずみは岩盤の約 2 倍となることが確認されたため、これを考慮して計測結果を評価した。一方、傾斜計は、モルタルを用いて岩盤に結合させたアルミ管の内側をプローブが上下に走行し、走行時に傾斜が測定されるシステムである。変位は傾斜角から求められるが、ある深度の変位が不動点とした深度からの累積値で得られるため、不動点から遠いほど誤差が大きくなる。具体的には、傾斜角の分解能が 10 秒以上であるのに対して、変位換算後の誤差は、ひずみ計を設置した深度において最大 0.5mm 程度あると考えられた。

3. 計測結果

ひずみ・変位の時系列データを、各時点における計測深度からの切羽深度の離れに対して整理し直したものを、図 3.1 に示す。全ての計測において、切羽通過時の応力再配分によるひずみ・変位の急変が認められた。なお、埋設型ひずみ計では、切羽通過時以外でも横軸全体にわたる単調な変化が認められたが、連続式傾斜計では、同様の変化は認められない。この変化は温度・地下水位の変化では説明できず、類似の事例³⁾においても認められなかったことから、原因はひずみ計の絶縁劣化等、他の要因によるドリフトと考えられる。つぎに、掘削影響領域の範囲を推定するため、理論解を用いた解析を実施した。具体的には、ボーリング横坑の影響が無視できる深度の水平面内のひずみ・変位は、平面ひずみ状態にあると仮定できるので、均質等方弾性体の円孔周りの問題として理論的に計算できる⁴⁾。計測値と理論解の比較を行った結果を表 3.1 に示す。ここで、理論解の値は立坑設計値⁵⁾(水平主応力 $S_H=10$ MPa、 $S_h=6$ MPa、 S_H 方位は NW-SE、ヤング率 50GPa、ポアソン比 0.27)を用いて計算した。一方、計測値は、切羽通過の影響を認めた前後の値の差を図 3.1 から読み取った。差のとり方として、深度 216(GL-m)・水平離隔 1.2D の ε_r などの様に、切羽通過で一旦変化しても、最終的に元に戻ればその差は 0 とした。また、ドリフトの影響は全体的なプロットの傾向(勾配)分を目視で補正して取除いた。ひずみ計の計測値は、先述の通り、岩盤とモルタルのヤング率の差により感度が 2 倍となるので、1/2 倍して岩盤のひずみ値へと補正した。

4. 考察

表 3.1 の変位での比較では、理論解も計測値も 1mm 前後であり、オーダー的には一致している。また、ひずみでの比較では、理論解が引張(正の値)となる位置で、計測で 0 か比較的小さな圧縮が得られている。原位置の結晶質岩盤が亀裂性であることを踏まえると、その亀裂が引張力を伝達できない、あるいは充填モルタルと岩盤の接着面が亀裂同様の作用をしていることが考えられる。また、0.2D では理論的に推定されるひずみ量よりも実測値が小さく、均質等方弾性体の仮定は、多数の割れ目を有する岩盤とは異なることを示している。しかしながら、全体的には ε_r と ε_θ の大小関係、絶対値のオ

キーワード 大深度立坑 現場計測 変位 ひずみ 掘削影響

連絡先 (〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内 1-64・電話 0572-66-2244・FAX 0572-66-2245)

ーダーで理論解と計測は概ね一致していることから、計測範囲の岩盤は、立坑掘削時において定性的に均質等方弾性体が示す挙動をしたものと言える。また、掘削時に生じた岩盤の全ひずみ量は、立坑設計時に想定した岩盤の限界ひずみ⁵⁾0.3~0.37%(300~370 μ)より十分小さい。以上のことから、少なくとも0.2D(=立坑壁面から1.1m地点)離れた位置は、発破掘削や応力集中による損傷を受けていないものと推定される。

5. おわりに

立坑周辺の岩盤内の変位・ひずみ計測を行った結果、結晶質岩中の立坑掘削による岩盤の損傷範囲は、立坑壁面から0.2Dには及ばないものと推定された。今後は、物性変化を含めた掘削影響の定量的評価を行っていく予定である。

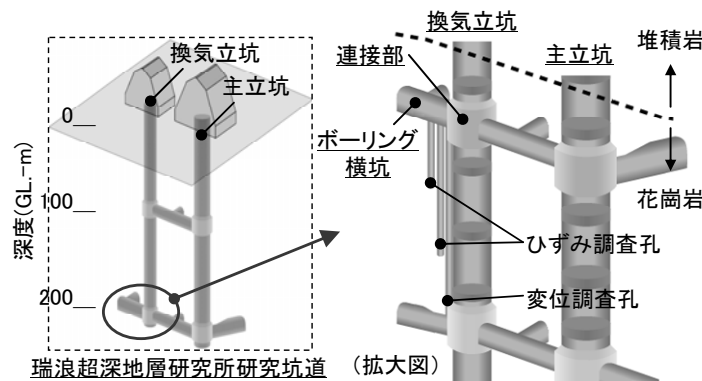


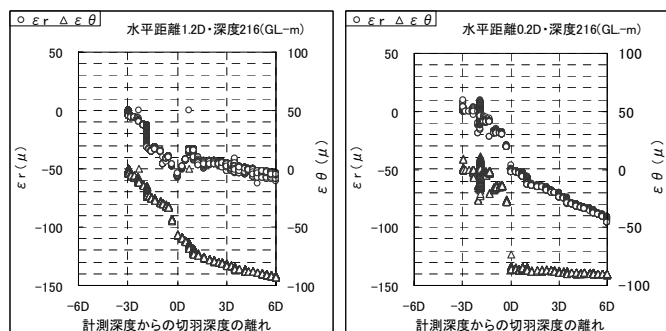
図 2.1 立坑およびボーリング横坑等の配置

表 3.1 均質等方弾性解と計測結果の比較

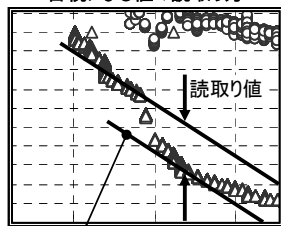
換気立坑との 水平距離	深度 (GL-m)	1.2D ひずみ, μ	0.2D ひずみ, μ	0.2D 変位, mm
		※数値の符号のとり方は図 3.1 を参照 ※※D は換気立坑掘削径 5.3m		
216	理論解	$\varepsilon_r = 7$ $\varepsilon_\theta = -15$	$\varepsilon_r = 68$ $\varepsilon_\theta = -117$	$u_r = -0.3$ $u_\theta = -0.1$
	計測	$\varepsilon_r = 0$ $\varepsilon_\theta = -15$	$\varepsilon_r = -10$ $\varepsilon_\theta = -36$	$u_r = -1.5$ $u_\theta = -1.0$
234	理論解	/	$\varepsilon_r = 73$ $\varepsilon_\theta = -127$	$u_r = -0.4$ $u_t = -0.1$
	計測		$\varepsilon_r = 0$ $\varepsilon_\theta = -20$	$u_r = -0.5$ $u_\theta = -0.5$

埋設型ひずみ計の計測結果

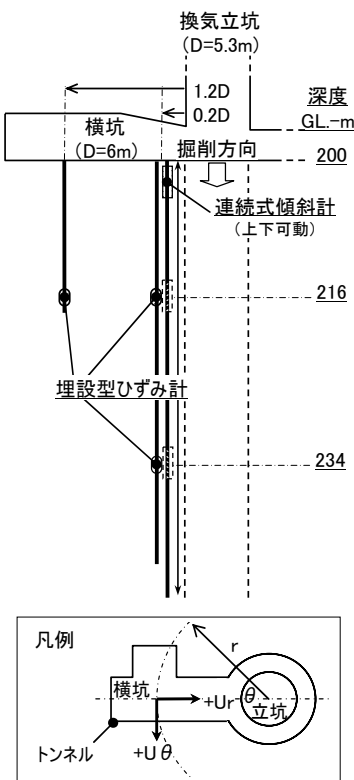
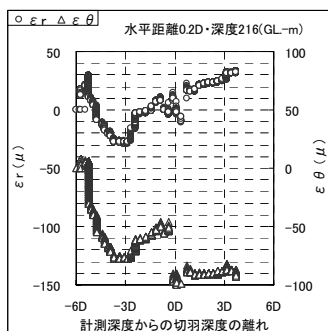
※ひずみは引張が正とする



目視による値の読み取り方



直線の勾配ドリフト



連続式傾斜計の計測結果

※変位の符号は下の凡例のとおり

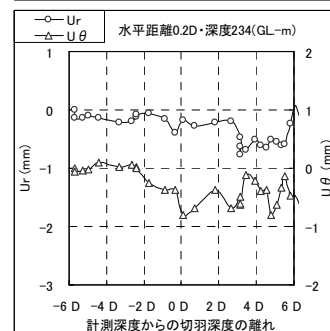
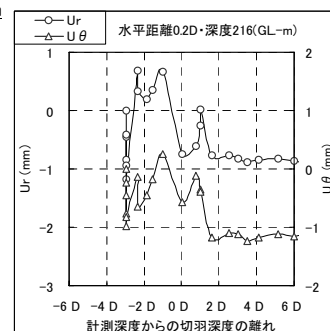


図 3.1 計測深度からの切羽深度の離れに対するひずみ・変位の変化

謝辞

本研究に必要なデータ取得にあたり、清水・鹿島・前田共同企業体のご協力を頂いた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構: 超深地層研究所地層科学研究基本計画, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-018, 2002.
- 2) 佐野修, 中山芳樹, 横山幸也, 平田篤夫: 神岡鉱山跡津川坑内における地殻応力測定結果について, 東濃地震科学研究所報告, No.21, pp.143-149, 2007.
- 3) 福田和寛: 花崗岩中のトンネル掘削に伴う岩盤挙動と物性変化, 第8回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.231-236, 1990.
- 4) 福島啓一: わかりやすいトンネルの力学(5), トンネルと地下, 土木工学社, Vol.22, No.12, pp.67-76, 1991.
- 5) 渋谷旬, 鈴木隆, 黒田英高: 瑞浪超深地層研究所研究坑道 予備解析 -平成16年度-, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2008-027, 2008.