

結晶質岩における坑道掘削等に伴う 周辺岩盤中の間隙水圧変化

Water pressure monitoring during excavation of a drift in crystalline rock

松井裕哉¹⁾, 佐藤稔紀¹⁾, 杉原弘造¹⁾

Hiroya MATSUI, Toshinori SATO and Kozo SUGIHARA

Discharge of groundwater due to excavation of a drift and the drilling of a borehole possibly induces water desaturation of the surrounding rock, i.e. air intrusion into the surrounding rock. This phenomenon may cause the change of chemical condition of groundwater around the drift. The authors conducted Excavation Disturbed Zone(EDZ) experiment with new drift excavation in crystalline rock at the Kamaishi mine in Japan from 1995 to 1998. As a part of the experiment, the water pressure in the EDZ experiment site was monitored for three years and the large water pressure changes were observed due to the excavation of new drifts and the drilling of the boreholes from the drift wall. The major factors of the changes were derived from the results of the fracture mapping around the experiment site. The conclusions are; 1) the fractures with reddish alteration are major water conductive fractures in the experiment site, 2) the water pressure change during the drift excavation and the borehole drilling is caused by the discharge from major water conductive fractures and its displacement in this experiment site.

Keyword: Water pressure change monitoring, Drift excavation, Water conductive Fracture, Crystalline rock

1.はじめに

岩盤中に坑道や試錐孔を掘削すると、それらへの地下水の排水に伴い、周辺岩盤中の間隙水圧に変化が生じる。この変化は、坑道周辺部に不飽和領域の発生を誘起するとともに、坑道等からの岩盤中への大気の影響により地下水の化学的性質の変化を引き起こす可能性がある。また、坑道や試錐孔の掘削に伴い発生するような非定常的な水理環境の変化に関する情報は、特に結晶質岩系では、地下水流動モデルの構築やその検証の上で重要である。著者らは、岩手県釜石市にある釜石鉱山内において、坑道や試錐孔の掘削等に伴う周辺岩盤中の水圧変化を3カ年にわたり連続観測した。この調査は、結晶質岩を対象とした新規坑道掘削に伴う掘削影響試験¹⁾の一環として実施したものである。

2.調査位置及び地質概要

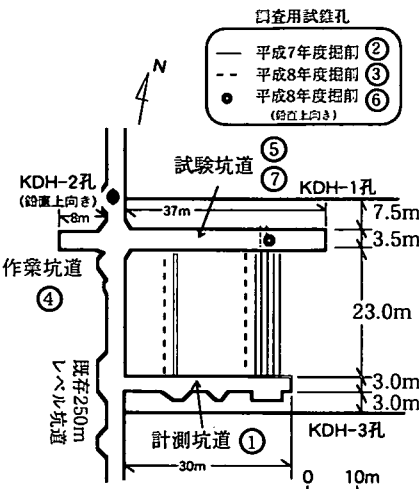
本調査は、釜石鉱山内の海拔 250m (土被り約 730m) に位置する坑道 (以下 250m レベル坑道と称する) で実施した。調査対象サイトは、栗橋花崗閃緑岩体 (一軸圧縮強度約 150MPa, 原位置岩盤の P 波速度約 6 km/sec) 中に位置している。本サイトで実施した掘削影響試験では、図-1 に示すように、既存の 250m レベル坑道に直交する方向に、計測坑道 (平成 7 年度) および試験坑道 (平成 8 年度) と呼ばれる 2 本の新規坑

1)核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター

道を掘削するとともに、掘削影響試験のための調査用試験孔を掘削した。これらの坑道及び試験孔の掘削順序を時系列で示したものが表1である。表中のイベント番号は、図1中の番号と対応している。なお、水圧観測孔は、計測坑道掘削よりも約半年～1年ほど前に掘削し、後述する計測システムを設置している。

本報告で述べる水圧観測は、これらの坑道及び調査試験孔の掘削前・掘削中・掘削後に渡って実施したものである。水圧観測孔は、坑道掘削や調査用試験孔掘削等に伴う水理環境の3次元的な変化を把握するため、図1に示すように計測坑道及び試験坑道を挟み込む形で3孔(KDH-1,2,3 孔)配置した。各水圧観測孔とも 50m の孔長を有し、KDH-1,3 孔は計測坑道及び試験坑道の坑道軸に平行に掘削した水平ボーリング孔、KDH-2 孔は鉛直上向きの試験孔である。

掘削影響試験前の既存の 250m レベル坑道における割れ目調査から、栗橋花崗閃緑岩体内に分布する割れ目は、図2に示す3つのタイプに分類可能であることが明らかになっている²⁾。図1に示す掘削影響試験サイトでは、N25E 80NW、N85W 85SW、N20W 75NE~75SW の3つの卓越する割れ目系が観察された。このうち、N85W 系の割れ目群は、Bタイプに分類され、割れ目沿いに熱水変質によると考えられる赤色変質部を伴うとともに粘土化した厚い充填物(数mm～数cm 程度)を有し、トレース長も数10mの規模を有するという特徴を持つ。水圧観測用孔及び2つの新規坑道は、このN85E系の割れ目群とはほぼ平行な方向に掘削された。



*図中の番号は、水圧観測孔掘削後実施した坑道及び試験孔掘削の順序を示す(表1参照)

図1 坑道及び試験孔レイアウト

表1 本計測中の坑道及び試験孔掘削の実施時期及び期間

イベント	番号	イベントの開始・終了日	経過日数(日)
計測坑道掘削開始	①	H7. 8.29	166
掘削終了		H7.11.21	250
調査用試験孔掘削開始	②	H7.12. 7	266
掘削終了		H8. 2.26	347
調査用試験孔掘削開始	③	H8. 7. 5	477
掘削終了		H8. 8. 3	506
作業坑道掘削開始	④	H8. 9.27	561
掘削終了		H8.10. 5	569
計測坑道掘削開始	⑤	H8.10. 8	572
掘削終了		H9. 1.10	666
調査用試験孔掘削開始	⑥	H9. 1.17	673
掘削終了		H9. 2.24	711
計測坑道掘削終了	⑦		

* 経過日数は平成6年3月16日からの日数

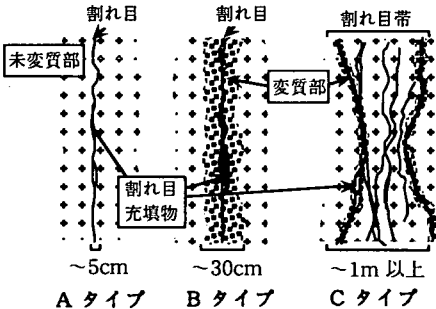
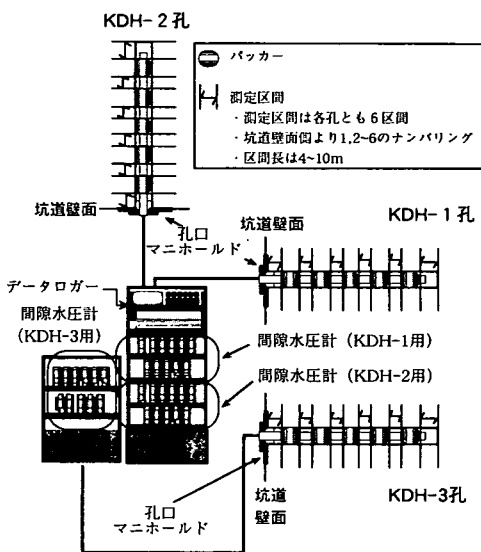


図2 釜石鉱山の栗橋花崗閃緑岩体で観察された割れ目のタイプ²⁾

3.計測システム

図3に水圧計測システムの概要を示す³⁾。試験孔に挿入された多点式パッカーシステムは、測定部・パッカー部・孔口マニホールドより構成される。各孔5つのパッカーにより6つの測定区間を形成する。パッカーは水圧式であり、様々な間隙水圧状況に対応できるように個々のパッカー圧を個別に調整することが可能であり、測定区間及びパッカーが各々独立して注水・排水できるシステムとなっている。地下水は、チューブを介して測定区間より外部に設置した間隙水圧計まで誘導され、水圧計測が行われる。水圧計はひずみゲ

ージ式間隙水圧計を用いた。この計測システムの利点は、最も不具合を生じやすい間隙水圧計を外部に設置したことで、メンテナンスが容易に行えることである。すべての間隙水圧データは、データロガーを介してメモリーカードに記録し、数カ月毎にメモリーカードを回収しデータ処理を行う。データサンプリング間隔は10分である。なお、以降に示す図中で測定値が瞬間的にゼロまで低下する部分があるが、これは釜石鉱山内の電源系統の老朽化や停電によるノイズであり、計測システムのトラブルではない。また、3カ年間の水圧モニタリング期間中に計測システムのメンテナンスを数回実施した結果、幾つかの間隙水圧計では大きなゼロ点ドリフトが生じていたことがわかったため、その時点で水圧計を交換し計測を続行した。ゼロ点ドリフトについては、計器設置直後と観測終了時に得られた間隙水圧計のゼロ点のひずみ量を測定し、その差から1日毎のひずみの増分を求め、補正を行っている。



*バッカー及び測定区間の注：排水ラインは各孔22本づつ

図3 間隙水圧計測システムの概要

4. 計測結果

図4に掘削影響試験開始前の初期状態の250mレベル坑道周辺の間隙水圧分布を示す。坑道壁面から50m離れた地点においても、間隙水圧は6~14kgf/cm²程度であり、土被りから想定される静水圧(約73kgf/cm²程度)の1/7~1/10程度になっている。他方、掘削影響試験サイトから水平距離で約700m離れた地点に、地表から試験孔が掘削されており、この試験孔での250mレベル坑道地点の深度における間隙水圧は、静水圧にほぼ等しい。これらの結果より、計測坑道掘削前の段階で既存の250mレベル坑道等による水圧低下領域が、同坑道壁面から50m以上700m以内の範囲で広がっていることが推定される。

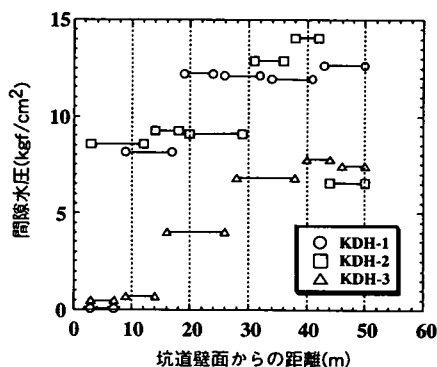


図4 初期状態における250mレベル坑道周辺の間隙水圧分布

図5に、平成6年3月16日からの約2年6ヶ月間の水圧モニタリング結果を示す。データ量が膨大なため、釜石鉱山内の作業が完全に停止し、それらの影響を受けていないと判断される毎日の午前0:00付近で計測したデータのみを示している。また、図中の網掛けは、モニタリング中に調査地点周辺で実施した坑道や調査用試験孔の掘削時期を示し、番号は図1および表1のイベント番号に対応する。同図から、モニタリング期間中に、調査用試験孔掘削と新規坑道掘削に伴う数回の間隙水圧変動が観測されている。最も大きな間隙水圧変化を生じたイベントは、平成7年度の調査用試験孔掘削（図中の②）と平成8年度の試験坑道内から実施した調査用試験孔掘削（図中の⑥）であり、KDH-1,2孔のほとんどの測定区間で2~5kgf/cm²程度の水圧変化が観測された。

図6は、平成7年度の調査用試験孔掘削時（図中のイベント番号②）にKDH-1~3孔で観測された間隙水圧変化を示す。なお、これらの調査用試験孔では、試験終了後も調査機器の設置のため孔口を解放していたため、湧水が発生していた。同図から、試験孔掘削に伴う水圧変化は、調査用試験孔と水圧観測孔(KDH-1,2,3孔)との位置関係の違いによらず、調査用試験孔先端部がある地点に到達した時点でほぼ同時に生じていることが読み取れる。また、調査用試験孔掘削時の水圧変化は、すべて水圧が低下する方向に生じていることも

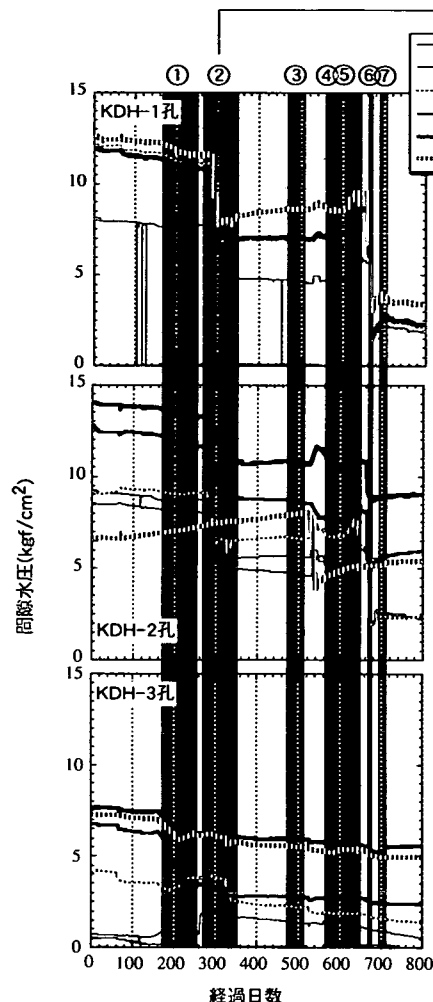


図5 間隙水圧モニタリング結果
(初期状態～試験坑道掘削後)

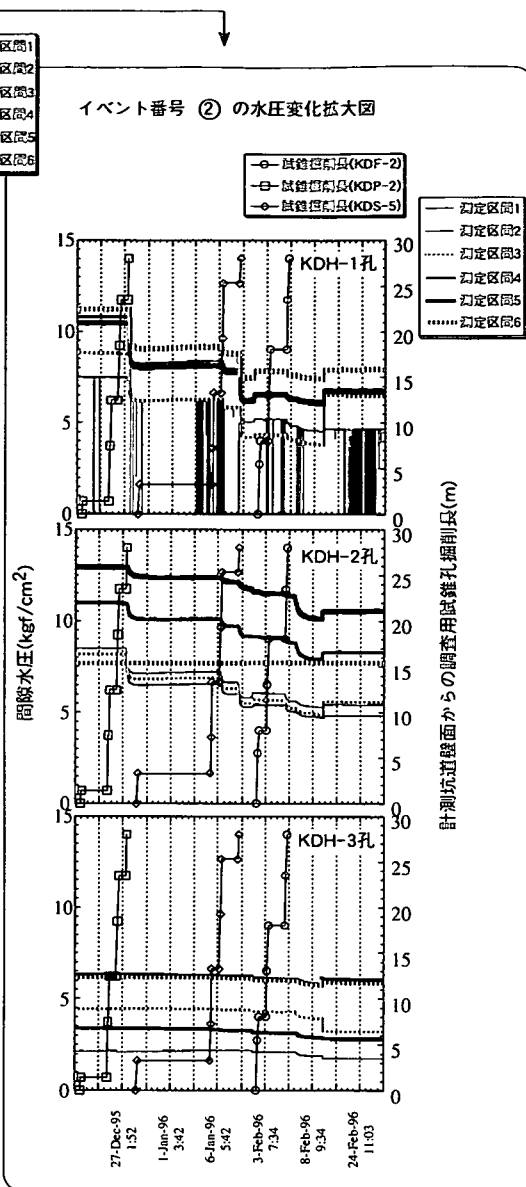


図6 調査用試験孔の掘削時の水圧変化
(図6中のイベント番号②の部分)

特徴的である。

図7は、試験坑道掘削中（イベント番号⑤～⑦）にKDH-1,2孔で生じた水圧変化を示す。この間には、坑道壁面から約30m離れているKDH-3孔の水圧変化はほとんど認められなかった。KDH-1,2においては発破に伴い水圧が上昇・下降していることがわかる。逆に、計測坑道掘削時（イベント番号①）には、KDH-1,2孔において坑道掘削に起因するような水圧変化はほとんど認められない。これらの結果から、坑道掘削に伴う水圧変化の範囲は、坑道を含む約30m以内の領域と考えられる。また、KDH-1,2孔の掘削方向が90°異なるにもかかわらず、水圧変化が生じた時期やその傾向が一致している。なお、KDH-2孔の測定区画6では、測定期間中に坑道や調査用試験孔掘削に伴う水圧変動は観測されなかった。これは、この測定区画が割れ目と

交差していない唯一の区間であるためと考えられる。

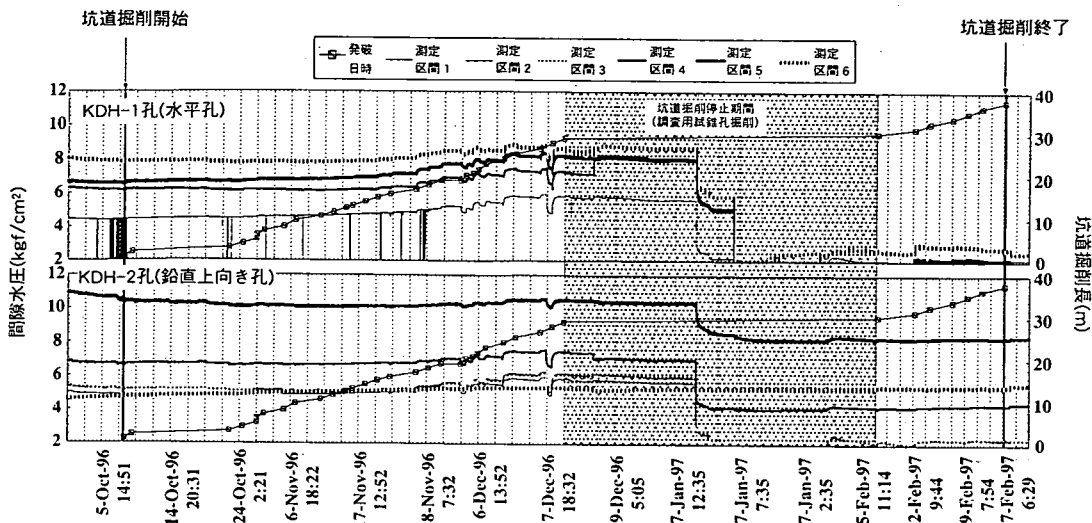


図 7 試験坑道掘削中の間隙水圧変化

5. 考察

5.1 割れ目分布と水圧変化との関係から類推される水理地質構造

図 8 に、平成 7 年度の調査用試験孔掘削中、大きな水圧変化が観測された時点(1995 年 12 月 27,28 日)に試験孔先端が到達していた位置付近の BTV 観察結果を示す。調査用試験孔は、前出の B タイプ割れ目の卓越方向とはほぼ直交する方向に掘削している。大きな水圧変化が生じた前後の試験孔先端位置の近くには赤色変質を伴う割れ目が多く分布している。また、試験坑道内から掘削した試験孔(鉛直上向き孔, イベント番号⑥)掘削時にも水圧が低下しており、同様に赤色変質を伴う割れ目を通過する際にその変化が生じたことが BTV 観察結果から明らかになっている。

図 9 に、試験坑道底盤における割れ目調査結果を示す。試験坑道の掘進長が 15~30m 程度の範囲で、赤色変質割れ目が試験坑道壁面にあらわれている。試験坑道掘削時に水圧変化が生じた期間は、この赤色変質割れ目を通過している期間とはほぼ一致する。また、坑道掘削中あるいは調査用試験孔掘削中に各水圧観測孔の各測定区間で観測された水圧変化は、水圧観測孔との距離の違いや水圧観測孔の方向の違いによらずその発生時期や変化の傾向が一致している。このため、ある地点で生じた水圧変化は、その地点と水理的に連結している周辺岩盤に時間遅れな

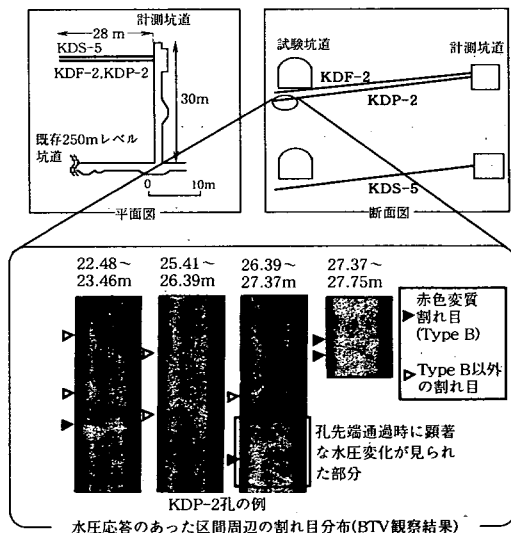


図 8 水圧変化を生じた試験孔と変化を生じた時点で試験孔先端が到達した付近の割れ目分布

く伝達されていることが想定される。以上の考察から、本サイトでは、赤色変質を伴う割れ目が地下水の主要な流動経路となっており、それに交差する割れ目に地下水を供給するような水理地質構造を有することが推測される。

5.2 坑道等の掘削方向と間隙水圧変化との関係

計測坑道及び試験坑道掘削時の水圧変化は、その変化が両坑道に近い水圧観測孔に限定され、かつ試験孔掘削時の水圧変化と比べ複雑な挙動を示す。例えば、図5中の計測坑道掘削（イベント番号①）には、同坑道に最も近いKDH-3孔の測定区間4,5,6では水圧が低下しているが、測定区間2,3では逆に上昇するような傾向が認められる。また、試験坑道掘削（イベント番号⑤、⑦）では、KDH-1,2孔のほぼ全測定区間で水圧が上昇するような傾向が見られる。先に述べたように、試験孔掘削では、単純に水圧が低下する傾向である（図5、イベント番号②、⑥）。これらの結果から、坑道掘削時に生じた水圧変動は、主要な水みちである赤色変質割れ目が、坑道掘削時の応力再配分によって変位し、割れ目内の水みちが変化したことが主要因と考えられる。これは、坑道方向、主応力方向および水みちとなる割れ目の方向性との関係で水圧の変化量や傾向が異なる可能性があることを示唆している。一方、試験孔掘削による水圧変化については、割れ目の大きさに比べ孔径の小さい試験孔掘削では、割れ目の変位を発生するような応力変化が生じなかったために、水みちの変化はなく、地下水の排水のみで水圧低下が生じたと考えられる。

6.まとめ

本調査で得られた結果を以下にまとめる。

- 1)本サイトでは、赤色変質を伴う割れ目が地下水の主要な流動経路となっており、それに交差する割れ目に地下水を供給するような水理地質構造を有することが推測される。
- 2)本サイトにおいて生じた坑道掘削や試験孔掘削に伴う水圧変化は、試験孔からの地下水の排水あるいは坑道掘削に伴う応力再配分により生じた赤色変質を伴う割れ目の変位によって生じていると考えられる。

7.参考文献

- 1) Sugihara, K., Matsui, H., Ishijima, F. and Sato, T. (1996): STUDY ON EXCAVATION DISTURBANCE IN THE KAMAISHI MINE, JAPAN; International Conference on Deep Geological Disposal of Radioactive Waste Proceeding of EDZ Workshop, pp.15-24, Winnipeg, Canada.
- 2) Osawa, H., Sasamoto, H., Nohara, T., Ota, K. and Yoshida, H. (1995): Development of a conceptual flow-path model of nuclide migration in crystalline rock, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol.353 pp.1267-1273.
- 3) 和久田 孝雄, 佐藤稔紀, 中野勝志 (1996): 坑道周辺の岩盤を対象とした間隙水圧観測装置の開発, 日本原子力学会中部支部 第28回研究発表会講演予稿集, p.32

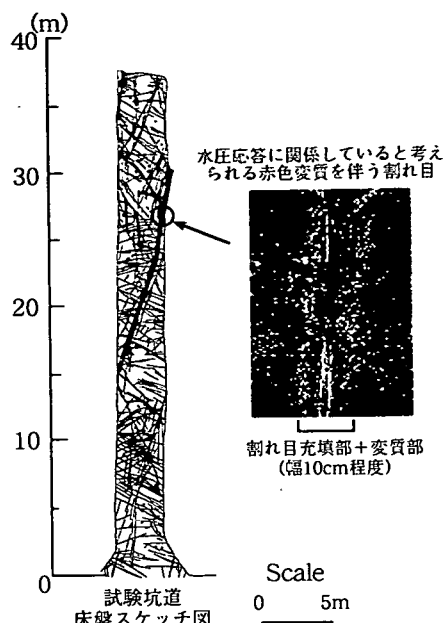


図9 試験坑道底盤における割れ目調査結果