

(39) ボーリング孔掘削時の水理応答観測による透水性割れ目調査

A CHARACTERIZATION OF CONDUCTIVE FEATURES USING PRESSURE INTERFERENCE OBSERVATION DURING BOREHOLE DRILLING

澤田 淳*・内田雅大*・仙波 毅**・下茂道人***・トーマス ドー****

Atsushi SAWADA, Masahiro UCHIDA, Takeshi SENBA, Michito SHIMO, Thomas W. DOE

Fracture network characterization is one of the essential issues for the fluid and transport simulation. Despite of a large amount of efforts, even in STRIPA Project, the approach for identifying geometry and transport properties of the conductive fractures has not been fully developed. This is mainly due to the difficulty associated with the conventional packer test where more than one fractures are usually contained within each packer section. In this paper, we propose a simple and effective method for identifying conductive fractures. In our method, the pressure responses during the borehole excavation is monitored using a multi-packer system installed in the existing boreholes. The drilling progress is monitored continuously so that one can identify the exact location of the conductive fracture. This paper briefly describes the overall test plan which is ongoing at Kamaishi mine and then summarizes several findings obtained so far.

1. まえがき

花崗岩等に代表される結晶質岩中の水理物質移行は、岩盤中に存在する割れ目に支配されると考えられるため、その定量的評価には個々の割れ目の地質学的特性ならびに水理学的特性、さらには物質移行に寄与する特性と、それらの特性の相互関係を原位置で詳細に把握する必要がある。このような観点からこれまでに割れ目に関する調査研究が数多くなされてきたが、いまだに透水性割れ目（水みち）を特定する調査手法が確立していないのが現状である¹⁾。岩盤の水理特性を把握する方法としてダブルパッカーを用いた透水試験が一般的に用いられるが、水理特性が割れ目に支配される岩盤の場合にはパッカー区間に複数の割れ目が含まれ、透水性割れ目の特定や個々の割れ目の透水性を把握できないという限界があった。そこで、本研究では、新規ボーリング孔掘削時の既存孔への水圧応答を詳細に観測することでボーリング孔間を水理的に連結する“水みち”を抽出し、新規ボーリング孔での流量検層や BTV 検層等の各調査方法を併用することにより詳細な水理地質構造の把握を目指した評価を調査を実施している。

本論では、釜石原位置試験場で平成 6 年より継続して実施している水理地質構造調査計画の概要を述べるとともに、これまでの調査結果について報告する。

* 動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所 環境技術開発部 地層処分開発室

** 動力炉・核燃料開発事業団 釜石事務所

*** 大成建設㈱ 技術研究所 地盤研究部 岩盤研究室

**** Golder Associates Inc. (米国)

2. 試験計画

本試験においては釜石原位置試験場 550m レベル坑道に位置する KD-90 坑道²⁾ (図-1 参照) の北側領域の水理地質構造を把握することを目的として、既存の KH-19 孔 (図-1 参照) に加えて 6 本のボーリング孔を新たに掘削する計画である。新規ボーリング孔を掘削する際には、既存のボーリング孔に設置したマルチパッカーシステムと間隙水圧自動観測装置を設置し、既存孔での間隙水圧を常時観測した。また、水圧変化の発生した位置を正確に測定するためにボーリング孔の掘削深度を連続的に測定した。毎日の掘削作業終了後には孔口からの湧水量を測定した後、孔口に蓋を施し水圧を測定した。さらに、ボーリング孔掘削終了後には下記の調査を組み合わせて実施した。

- ① 流量検層
- ② 孔曲がり検層
- ③ BTV 検層、コア観察による割れ目の地質学的調査
- ④ マルチパッカーシステムによる水圧モニタリングの継続

流量検層はシングルパッカーまたはダブルパッカーを孔内の任意の区間に設置し、特定区間からの湧水量を測定する方法を採用し、ボーリング孔全孔にわたって繰り返し測定した。この結果からボーリング孔への湧水量分布を把握する。孔曲がり検層結果からはボーリング孔の正確な三次元的位置を把握する。既存の KH-19 孔においては②と③がすでに実施されており、新たに①を実施した。これまでに、新たに 2 本のボーリング孔 (KH-20 孔、KH-23 孔) の掘削と各調査を実施した。また、試験対象領域へのアクセスとボーリング孔掘削や各調査のための作業エリアを確保することを目的として、KH-20 孔掘削調査終了後に KD-90 坑道の北側にアクセス坑道を掘削した。また、KH-23 孔はアクセス坑道掘削後、アクセス坑道から削孔した。図-2 にボーリング孔とアクセス坑道のレイアウトを示す。

以下では、KH-19 孔で観測された水理学的状況を簡単に記すとともに、KH-20 孔、KH-23 孔の掘削調査結果について報告する。

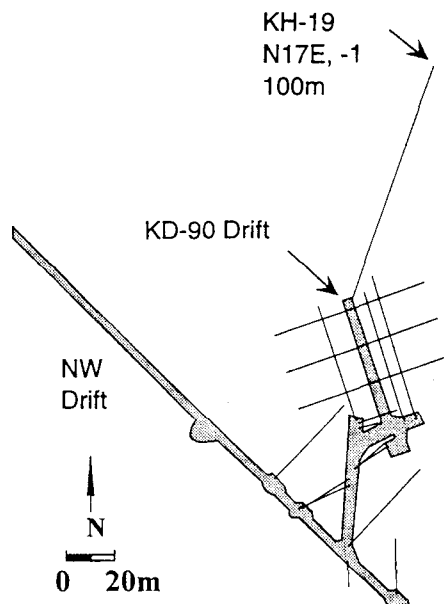


図-1 釜石原位置試験場坑道配置図

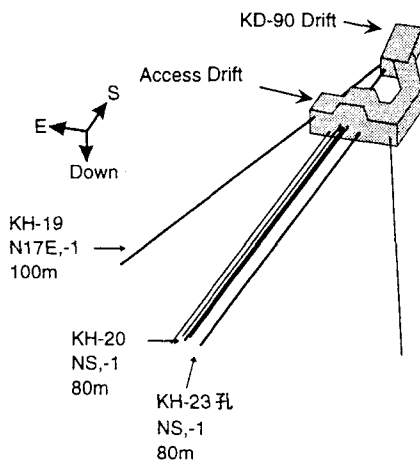


図-2 ボーリング孔とアクセス坑道配置図

3. 試験結果

3-1 KH-19孔における水理的状況

図-3にKH-19孔で観測された間隙水圧分布を示す。同図に掘削時の湧水量と間隙水圧の測定結果を併せて示す。各パッカーで区切られた区間（孔奥から区間1、区間2、区間3・・・と呼ぶ）の間隙水圧分布から、区間1～4の間隙水圧はそれより手前の区間に比べて非常に高く、区間4～5付近を境に異なる水理場が存在することを示している。また掘削時の湧水量と間隙水圧測定の結果も同様に深度50mを境に奥で急増している。このことは、区間4～5付近に不透水部が存在する可能性を示唆しており、その不透水部より北側においてはKD-90坑道の掘削等による水理学的影響（間隙水圧の低下、坑道方向への動水勾配）が及ばない領域である可能性がある。

流量検層の結果、KH-19孔からの湧水のほとんどが孔口から47m以深からのものであることが分かった。また、湧水量の大きい箇所と小さい箇所が明確に分かれていることから、そこでは十数mの規模の湧水帯が存在するわけではなく、1m～数mの独立した湧水箇所が存在することが分かった。

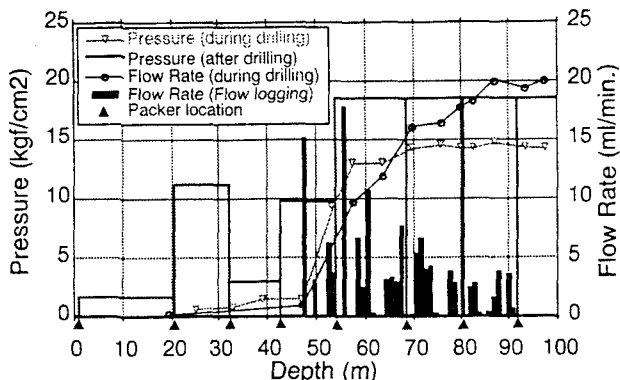


図-3 KH-19 孔間隙水圧と湧水量

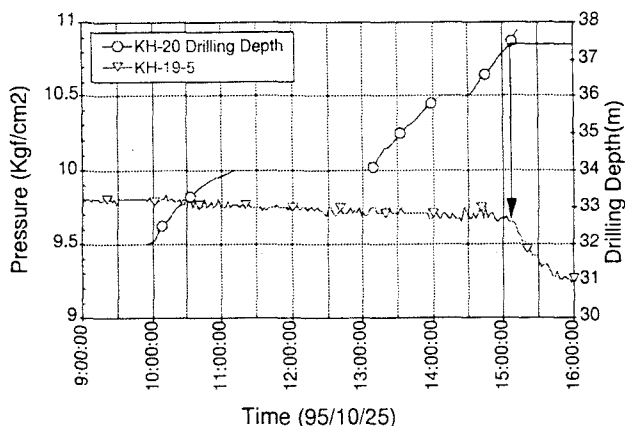


図-4 KH-20 孔掘削に伴う水圧変化
(区間 5、深度 43～54m)

3-2 KH-20 孔

KH-19 孔で観察された高間隙水圧部の分布を確認するとともに KH-19 孔と KH-20 孔間の水理学的な連結性（水みち）を把握するために KH-20 孔を掘削した（図-2 参照）。なお、KH-19 孔内へは図-3 に示すように 8 本のパッカーを設置し、各パッカーで区切られた区間の水圧を常時測定した。KH-20 孔掘削中には 5 箇所で KH-19 孔への水圧応答が観測された。そのうち、KH-19 孔区間 5（深度 43～54m）で観測された KH-20 孔掘削に伴う水圧変化を図-4 に示す。このとき区間 1～4 の高間隙水圧部への水圧の干渉は認められず、掘削深度が約 72m で初めてこれら高間隙水圧部への水圧応答が観測された。図-5 に KH-20 孔掘削時に観測された 5 つの水みちを示す。同図には KH-20 孔掘削時の孔口からの湧水量変化、流量検層結果、ならびに掘削後の KH-19 孔と KH-20 孔の間隙水圧の分布を併せて記している。この図から、KH-19 孔への水圧応答の結果は流量検層で流量が多かった区間とほぼ一致していることが分かる。また、KH-19 孔で個々の水圧応答が観測された時点では、それより北側の区間への水圧の干渉が認められなかったことから、これらの水みちはお互いに独立していると考えられる。そして、KH-20 孔で観測された間隙水圧分布から、これらの水みちはお互いに異なる間隙水圧を保持していることが分かった。

KH-20 孔掘削調査終了後、アクセス坑道を掘削した。アクセス坑道は KH-19 孔と KH-20 孔を横切るため、両孔に設置したマルチパッカーシステムを一旦回収し、アクセス坑道掘削後新たにマルチパッカーシステムを設置した。そして、アクセス坑道から KH-23 孔を掘削した（図-2 参照）。

3-3 KH-23 孔

KH-23 孔掘削の結果、図-6 に示すように KH-20 孔もしくは KH-19 孔へ連結した水みちを 5 箇所把握することができた。同図には、KH-23 孔掘削時の孔口からの湧水量変化、流量検層結果、ならびに掘削後の KH-23 孔の間隙水圧の分布を併せて示している。KH-23 孔掘削時には KH-20 孔や KH-19 孔で観察された高間隙水圧部への水圧応答は認められなかったものの、KH-23 孔区間 4 において約 16kgf/cm^2 の間隙水圧が観測された。この約 16kgf/cm^2 程度の高い間隙水圧が観測されたことは KH-23 孔区間 4 が高間隙水圧部につながっている可能性を示しているが、主要な水圧応答が観測されなかったことからその水頭拡散率が非常に低いと考えられる。流量検層の結果 KH-23 孔で最も多くの流量が観測されたのは孔口から 77m～80m の区間で、KH-23 孔掘削時に KH-20 孔の区間 1 と 2 への水圧応答が観測された箇所を含んでいる。この付近（区間 1）の間隙水圧は約 13kgf/cm^2 であり、隣接する区間 2 がその前後の区間に比べて間隙水圧が低いことから、区間 2 の北側に別の独立した水みちが存在することが推定された。

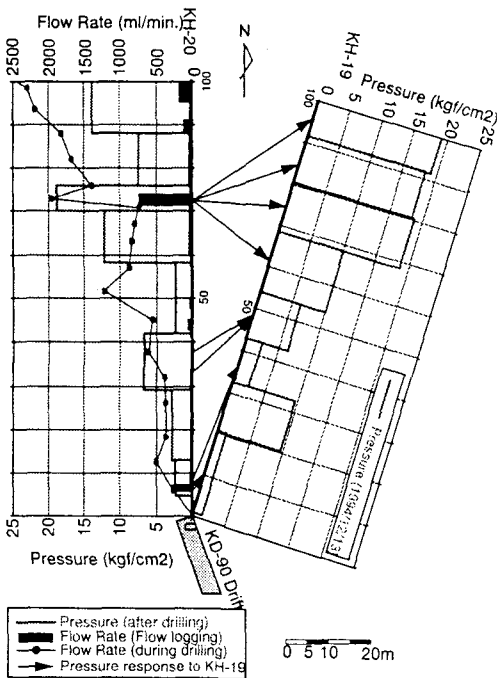


図-5 KH-20 孔掘削調査結果

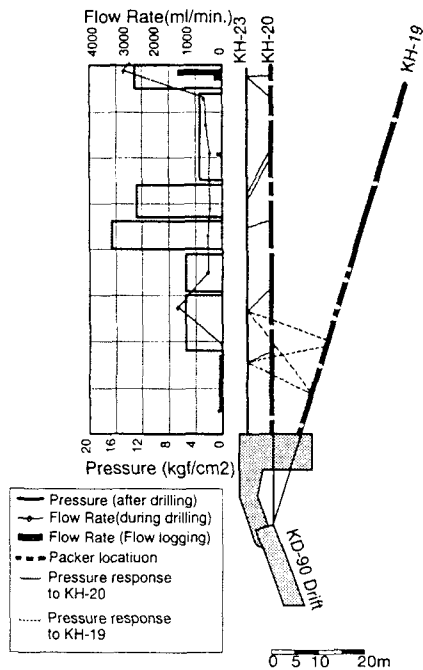


図-6 KH-23 孔掘削調査結果

4. 割れ目の地質学的調査

KH-20 孔、KH-23 孔において BTV 検層を実施し、抽出された割れ目についてコア観察による地質学的な記載を行った。図-7 に KH-20 孔、KH-23 孔で観察された割れ目の方向分布（シュミット図）を示す。KH-20 孔、KH-23 孔ともに割れ目方向の分布は $N70^{\circ}\sim 80^{\circ}E$ に集中している。この割れ目の卓越方向は KD-90 坑

道(図-1)で観察された結果と一致している²⁾。図-8にKH-20孔の開口割れ目の頻度分布を示す。この図から、割れ目が卓越する箇所とそうでない箇所に分けることができる。KH-20孔で実施した流量検層では、6m付近、50m付近、78m付近、98m付近の各深度で孔内への湧水が確認されているが、これらの区間は図-8の開口割れ目が集中している区間に対応している。今後、透水試験を実施し、これらの割れ目の透水性の評価を行なう予定であるが、これまでに実施した間隙水圧測定結果と流量検層結果からこれらの開口割れ目付近の透水性を概略評価できる。その結果によると、78m付近の透水量係数は、 $6 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ 程度であることが分かった。

今回実施した調査法では、試験孔掘削時に水圧応答が得られた時点の掘削深度が記録されているので、BTV検層やコア観察による地質学的調査結果とを対比することにより、水みちとなる割れ目を特定することができる。ただし、水圧応答には時間遅れが生じるので、より正確な割れ目の同定には、それぞれの水みちの水頭拡散率を考慮した解析が必要であり、現在検討を進めている。

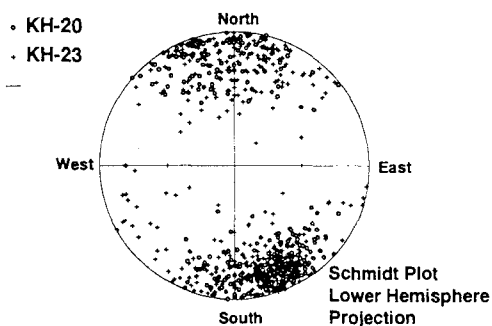


図-7 KH-20孔、KH-23孔で観察された割れ目の方向分布

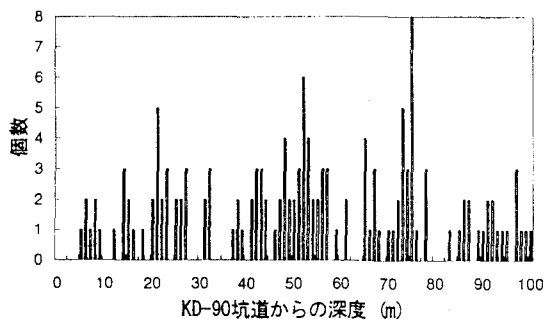


図-8 KH-20孔の開口割れ目の分布

5. まとめと今後の予定

新規ボーリング孔掘削に伴う既存孔への水圧応答を詳細に観測し、流量検層等の調査を併せて実施することで、ボーリング孔間の主たる水みちを抽出することができた。これらの水みちは互いに異なる間隙水圧を保持していることから、互いに独立している可能性があることが分かった。今後は、これら抽出された水みちを割れ目の地質学的なデータと対比することで、透水性割れ目を同定していく予定である。

今後の試験計画としては、さらに4本のボーリング孔を新たに掘削し、これまでと同様の調査に加えて、抽出された水みちを対象とした透水試験等の水理試験やレーダー検層等の物理探査を併用して、KH-20孔を中心とした対象領域の割れ目の水理地質構造調査を進めて行く予定である。

6. 参考文献

- 1) Fairhurst, C. et al.: OECD/NEA International Project Overview, 1993
- 2) Uchida, M., et al. Simulation of Fracture Flow to The KAMAISHI Validation Drift, HIGH LEVEL RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT PROCEEDING of the Fourth Annual International Conference, Vol.1, p437-442, 1993