

# 瑞浪超深地層研究所における研究坑道掘削の現状

(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  
見掛信一郎・山本 勝・池田幸喜・竹内真司・原 雅人

## 1. はじめに

(独)日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)は、高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発の基盤となる深地層の科学的研究の一環として、岐阜県瑞浪市と北海道幌延町において深地層の研究施設を建設中である。このうち、岐阜県瑞浪市で建設を進めている瑞浪超深地層研究所は、花崗岩を主な対象として研究を行っている。

本計画では、第1段階「地表からの調査予測研究段階」、第2段階「研究坑道の掘削を伴う研究段階」、第3段階「研究坑道を利用した研究段階」の3つに分けて調査研究が実施される(図-1)。調査研究は、「深部地質環境の調査・解析・評価技術の整備」および「深地層における工学技術の基盤の整備」の2つを全体目標とし、現在、第2段階「研究坑道の掘削を伴う研究段階」の調査研究を進めている。その成果は、主に高レベル放射性廃棄物の処分事業における地下施設の建設中の調査に対する基盤的な技術や情報として活用されることを目指している<sup>1)</sup>。本報告では、瑞浪超深地層研究所における研究坑道掘削の概要を述べる。

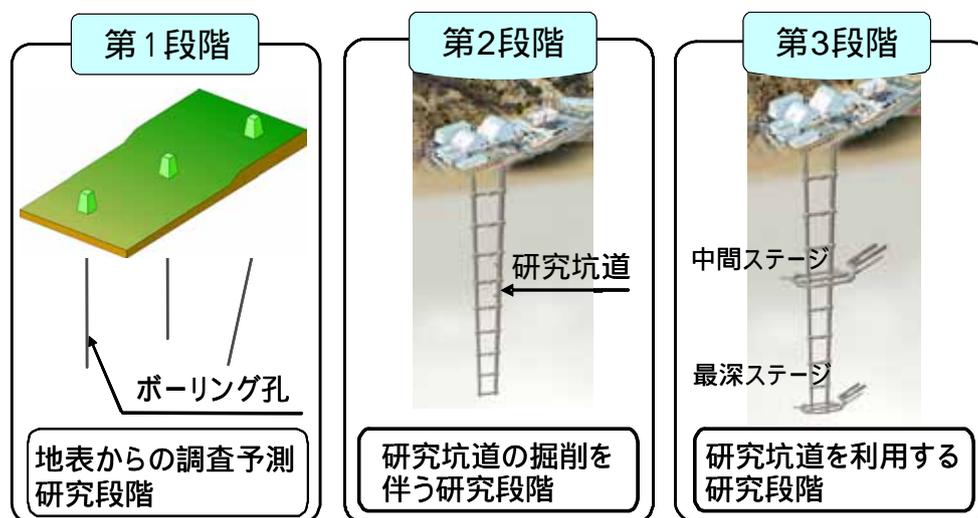


図-1 超深地層研究所計画の進め方

## 2. 研究坑道の概要

瑞浪超深地層研究所では、2本の立坑（主立坑及び換気立坑）と複数の水平坑道からなる研究坑道の掘削工事を行っている。

研究坑道掘削工事は2003年7月に主立坑及び換気立坑の坑口（地表から立坑深度10m程度まで）の施工を着手し、その後、檣、巻上機などの地上設備やスcaffoldingなどの立坑内に設置する設備を構築し（写真-1）、2005年2月から立坑掘削（立坑深度約50m以深）を開始した。立坑は発破により掘削し、掘削サイクルとして、1.3mの発破とズリ搬出を2回繰り返した後に、2.6mの覆工コンクリートを打設するショートステップ工法を標準とした。この掘削サイクルのなかで、地質環境情報を取得するため坑道壁面の地質観察、湧水の採取等の調査研究を実施している。



写真-1 研究坑道掘削工事の主要な設備と建設状況



図-2 研究坑道のレイアウト

研究坑道の掘削は、2007年11月現在で、主立坑及び換気立坑の深度200.2mまでの掘削と、深度100mと200mにおいて同深度の両立坑をつなぐ水平坑道（「予備ステージ」）、深度200mにおいてボーリング調査を実施するための水平坑道（「ボーリング横坑」、主立坑側及び換気立坑側各1箇所）の掘削を完了している（**図-2**）。

### 3．研究坑道の掘削に伴い発生する地下水

研究坑道の掘削は、研究所用地において花崗岩まで達する深度約200mのボーリングと深度1,000mに達するボーリングのデータなどを用いて設計を行った。その後、掘削中において、地質構造や地下水状況に関する情報を取得し、適宜設計の見直しを行いつつ掘削を進めてきた。掘削に伴い発生する地下水（湧水）は、湧水の量はこれまでの施工において掘削作業への影響等はなかったが、上記のボーリングデータや湧水量の予測解析結果によれば、深度200m以深の土岐花崗岩上部の水平割れ目が卓越するゾーンから多く発生する可能性がある。また、湧水中にはふっ素及びほう素が環境基準を超える濃度で含まれていることから、岐阜県及び瑞浪市と原子力機構の間で締結している「瑞浪超深地層研究所に係る環境保全協定」にもとづき放流先河川における環境基準に適合する濃度に低減させる処理を行っている。

これらのことから、今後研究坑道の掘削を効率的に進め、湧水の合理的な処理を継続して行う観点から、花崗岩部の掘削に先がけて「立坑設置地点」の地質構造や地下水状況に関する情報を取得し、より高い精度で湧水量や水質を予測することを目的として、両立坑の坑底からパイロットボーリング調査を実施した<sup>2), 3)</sup>。

### 4．パイロットボーリング調査

パイロットボーリング調査は、地質・地質構造、水理、水質などに関する情報を取得することを目的として、両立坑の坑底（主立坑：深度180m、換気立坑：深度191m）から実施した。掘削長は主立坑では348m（深度528m：06MI02号孔）、換気立坑では336m（深度526m：06MI03号孔）である。パイロットボーリングの配置と実施深度を**図-3**に示す。

パイロットボーリング調査では、岩芯観察、物理検層、ポアホールテレビ計測などの地質学的調査と、流体検層や温度検層などによる水みちの調査を行った。**図-4**にパイロットボーリング調査の結果にもとづいて作成した地質断面図と岩盤等級縦断面図を示す。

調査の結果、両立坑の深度200m付近より以深に幅約60mで低角度の割れ目が集中するゾーン(LAFZ: Low Angle Fractured Zone)が分布することが推定された。また、両立坑の間に存在すると考えられる低透水性の断層を境に、主立坑側は脆弱部(CL級, D級が主体)が広く分布するのに対し、換気立坑側は非常に堅硬な岩盤(B級, CH級が主体)が分布している。水理試験結果より、両立坑は非常に極端な水理状況を示すことがわかった。フローメータ検層の結果、換気立坑では深度210m付近と深度400～460m付近で顕著な水みちが存在するものと想定される。一方、主立坑では深度500m付近までほとんど湧水が確認されなかった。

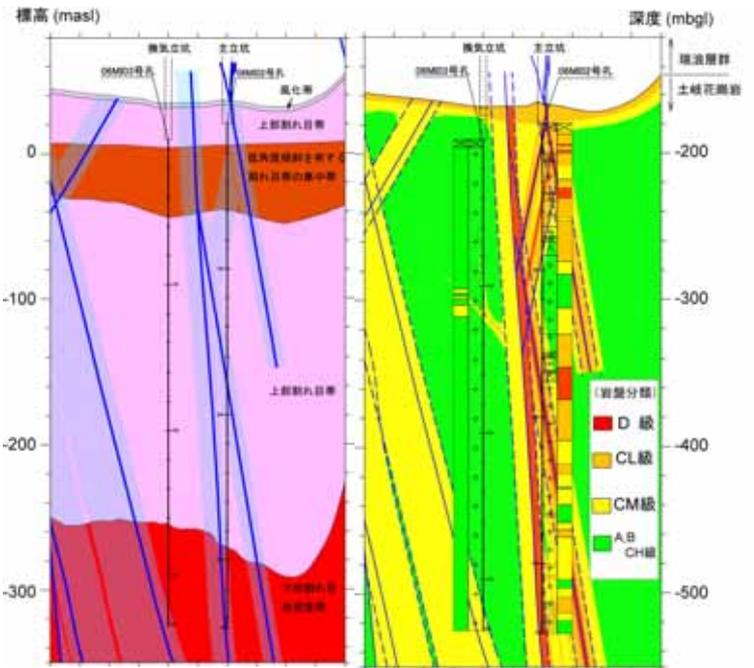
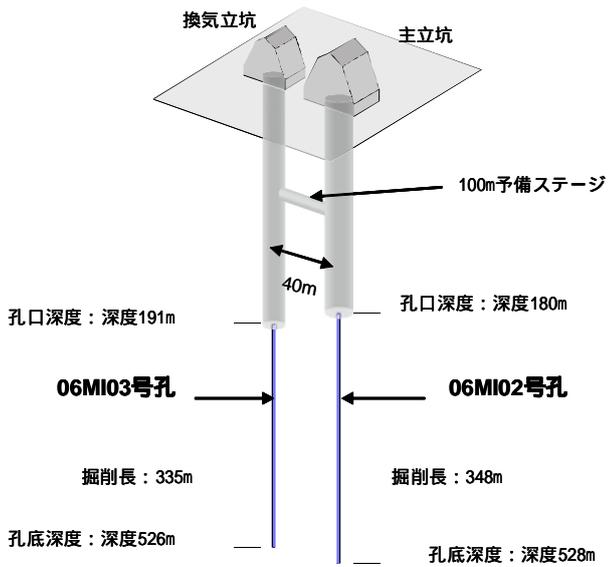


図-3 パイロットボーリング配置図 図-4 地質断面図(左)と岩盤等級縦断面図(右)

### 5. 湧水抑制対策

湧水量を抑制する対策として、花崗岩上部の割れ目頻度が高い部分の中でも特に低角度の割れ目が集中し、湧水が想定される深度 200m における換気立坑と両立坑を結ぶ水平坑道（予備ステージ）との接続部及び換気立坑ボーリング横坑（図-5）を対象に、掘削に先立ちグラウトを実施した<sup>4), 5)</sup>。パイロットボーリングの結果、換気立坑接続部から換気立坑ボーリング横坑にかけて LAFZ と、それとネットワークを形成する高角度の割れ目が分布し、これらの割れ目が水みちを形成しているものと想定された。

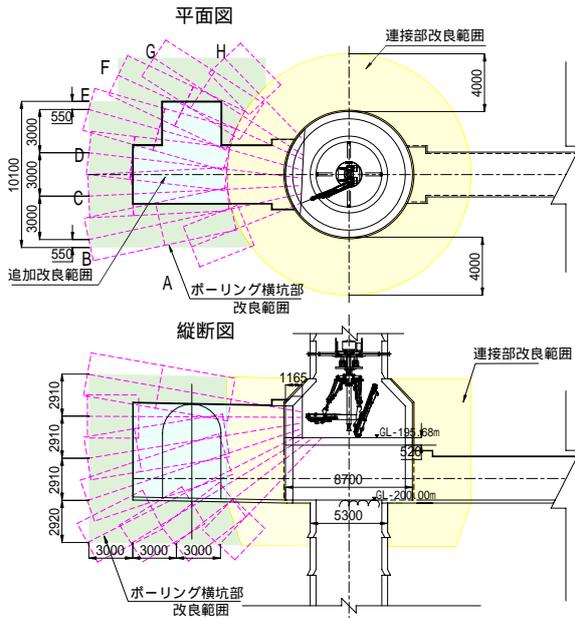


図-5 換気立坑ボーリング横坑グラウト対象範囲



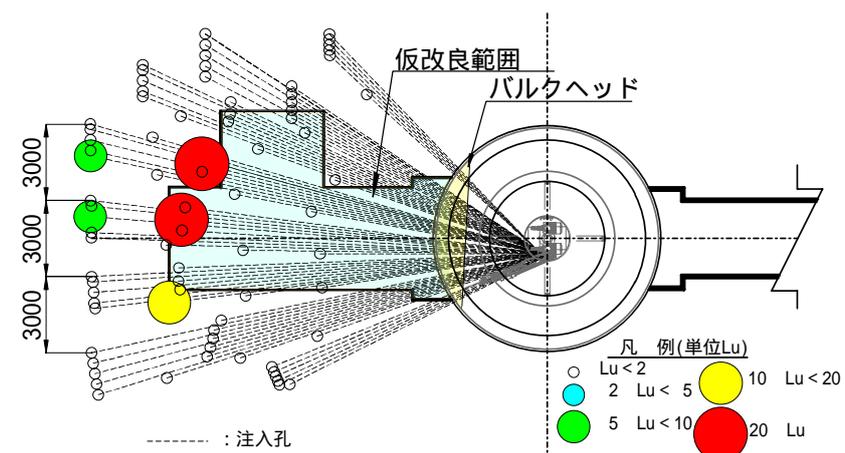
写真-2 シャフトジャンボによるグラウト注入孔の削孔状況（換気立坑接続部からボーリング横坑への削孔）

グラウトは以下に示す仕様を基本として実施した。グラウトによる透水性の低減目標値と注入範囲に関しては、地下水の浸透理論や数値解析等を参考に設定した。

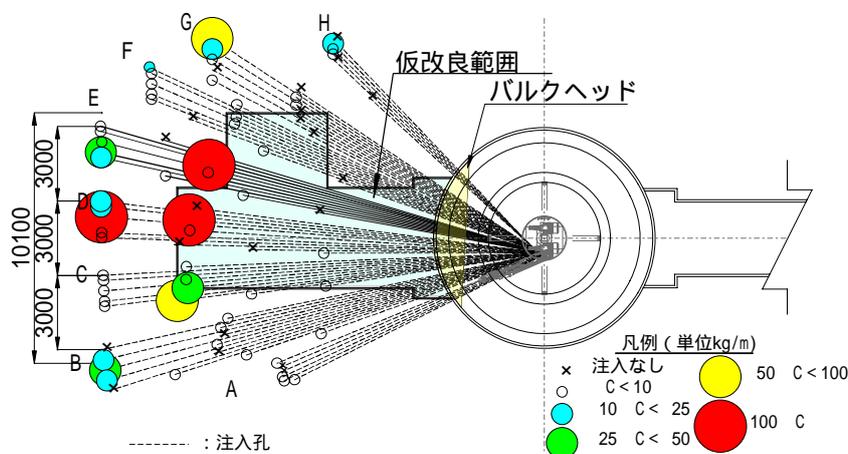
- ・グラウトによる透水性の低減目標値：グラウト注入範囲の透水性を 2 Lu 以下
- ・注入範囲：掘削面から 3.0m 以上を設定
- ・注入孔配置：注入孔先端で 3.0m 以内の離隔
- ・注入順序：注入孔は 1 次孔と 2 次孔を千鳥状に交互に配置し、先行して 1 次孔を削孔し注入。その後、1 次孔の中間に 2 次孔を削孔し注入する中央内挿法を標準とする。
- ・注入圧：湧水圧 + 1.0MPa ( 深度 200m の接続部周辺では 2.0MPa に相当)
- ・注入材料：普通ポルトランドセメントミルク + 分散剤

以下に換気立坑ボーリング横坑におけるグラウトの概要について示す。

注入範囲は換気立坑ボーリング横坑の形状に合わせて掘削面より 3.0m 程度の範囲とし、削孔はシャフトジャンボ（発破装薬孔掘削機械）を使って実施した（写真-2）。グラウト結果として、ルジオンマップ及び単位注入セメント量（注入量単位：kg/m）マップを図-6 に示す。



(a) ルジオン値



(b) 単位注入セメント量

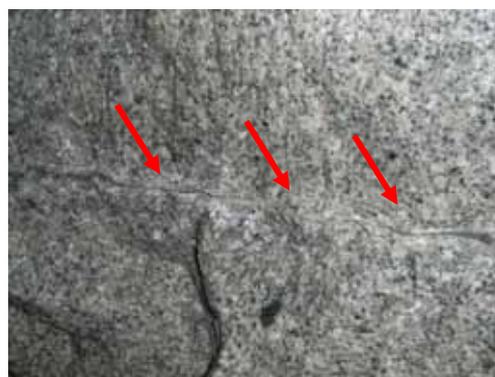
図-6 換気立坑ボーリング横坑グラウト結果

図-6 は換気立坑ボーリング横坑の 3 次元的な注入孔配置を鉛直断面図に投影して示しており、注入孔でも透水性が高い（ルジオン値：高） または注入量が多い区間の分布は局所的であった。

グラウト対象領域の掘削時の状況は、掘削壁面からにじみ出し程度の湧水はあるものの、顕著な湧水は認められなかった。また、坑内湧水量にはほとんど増加が認められなかった。これらの結果から、現状の注入仕様で湧水量の抑制が達成されていると評価できる。壁面地質観察においては、特に多くの注入量が必要とされた注入区間付近で注入材料が高角度の割れ目を中心とする割れ目の内部に浸透・固化している状況が確認された（写真-3）。注入材料は、特定の割れ目の中に部分的に浸透・固化していることが特徴である。



(a) 高角度亀裂



(b) 低角度亀裂

写真-3 注入材料の浸透・固化状況（矢印部分）

## 6 . おわりに

研究坑道掘削においては、今後も湧水抑制対策として掘削予定箇所周辺を対象に掘削に先行してグラウトを必要に応じ実施していく。グラウトの施工方法については、グラウトの専用機械を用いて実施する方法や、立坑掘削で使用している機械(シャフトジャンボ)を用いて一連の施工サイクルの中でグラウトを実施できる方法などについて、実際の施工に適用しつつ施工効率の向上について検討を行う。湧水抑制をより効果的に行うために、2006 年に実施したパイロットボーリング調査やその結果にもとづく湧水量予測解析などに加え、現在、両立坑のボーリング横坑で実施しているボーリング調査(ボーリング孔を利用した地下水水圧やひずみの計測、孔間トモグラフィなど)を実施している。これらの地質や地下水に関するデータにもとづき、掘削予定箇所周辺の地山状況を事前に把握し、地下深部の地質環境についてより精度の高い予測を行いつつ掘削を進めていく。また、これらの成果をもとに、深部地質環境における工学技術の課題である「施工対策技術」に対して、湧水抑制対策の適用性を確認していく予定である。

## 参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構 (2004): 超深地層研究所計画における調査研究の考え方と進め方 (平成 15~17 年度) JNC TN7400 2004-008 .
- 2) 竹内真司、鶴田忠彦、竹内竜史、中俣公德、水野 崇 (2007): 瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題(その2) - パイロットボーリング調査結果の概要 -、土木学会第 62 回年次学術講演会、CS5-066, pp.291-292 .
- 3) 大山卓也、三枝博光、尾上博則、竹内竜史、下茂道人、熊本 創 (2007): 瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題(その3) - パイロットボーリング調査に基づく湧水量予測解析 -、土木学会第62回年次学術講演会、CS5-067, pp.293-294 .
- 4) 原 雅人、久慈雅栄、南出賢司、見掛信一郎、佐藤稔紀、池田幸喜 (2007): 瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題(その4) - 瑞浪超深地層研究所における湧水抑制対策としてのプレグラウチング施工 -、土木学会第 62 回年次学術講演会、CS5-068, pp.295-296 .
- 5) 久慈雅栄、原 雅人、南出賢司、竹内真司、見掛信一郎、佐藤稔紀 (2007): 大深度立坑における湧水抑制対策のためのプレグラウチング、土木学会第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム、投稿中.