

立坑掘削に伴う周辺地山物性に関する調査例

An In-situ Experiment of Rock Mass Property Changes by Shaft Excavation

三 上 哲 司 * 大 野 完 *

Tetuzi MIKAMI Osamu OHNO

丸 山 誠 **

Makoto MARUYAMA

A rockmass is changed in state of mechanical, hydrogeological and thermal properties according to the excavation of a drift or shaft, and these changes are already reported by some researchers. The excavation also influences on hydrocircumstances and causes the change of underground water flow. In order to understand the changes of rock mass properties by shaft excavation quantitatively, the author performed in-situ experiments and investigations.

In this paper, the methods and measuring devices to investigate such changes are mainly reported.

Keywords : shaft, drift, rock mechanics, hydrogeology, ground water flow, in-situ

1. まえがき

岩盤における坑道の掘削が、本来の岩盤の力学的や水理学的な物性に影響を与える事は多くの報告事例がある¹⁾。また、坑道の掘削影響領域に関しては多くの調査・試験の実施例が見受けられるが、大部分が横坑を対象にしたもので立坑においてはほとんど皆無である。

いままでの坑道における実施例によると、掘削に伴うゆるみ領域に関する評価項目には数々の考え方が適用されてきた。その主なものは、亀裂の開口性に関するもの、物性の変化に関するもの、あるいは応力や変位の変化に関するものを挙げることができる。亀裂の開口性に関する測定項目には亀裂分布や開口幅の頻度分布が挙げられる。また、物性の変化としては、弾性波速度、変形係数、透水係数などを測定し評価している事例が多い。その他挙動計測に関するものには、内空変位、地中変位、地中ひずみを測定し、シミュレーション解析を実施する例がある。これらの項目を調べるために種々の試験方法や計測方法が開発され適用されているのが現状である。特に、最近のデータ解析ではかなり精密に解析できるようになり、従来の手法と比較してもはるかに高性能化されており、解析手法や機器などの改良が計られている。

そこで、原位置の実規模での立坑掘削に伴う周辺地山挙動や影響程度を定量的に把握、評価することを目的に一連の調査・試験を実施した。この報文では、周辺岩盤の物性変化について実施した試験方法や調査機器について重点的に述べる。

* 正会員 ㈱大林組東京本社土木技術本部

** 正会員 ㈱大林組技術研究所

2. 調査地点と立坑

2.1 調査地点の地形・地質概要

調査地点は岐阜県土岐市にある動力炉・核燃料開発事業団中部事業所東濃鉱山である(図-1 調査位置図参照)。調査地点は標高300m程度のなだらかな丘陵地で、周辺地域は堆積盆状地を形成し、中央を土岐川が流れている。この流域には、沖積底地や河岸段丘の平坦地が分布し、周辺にはいくつもの断層が認められている。新立坑の建設地点にも月吉断層と呼ばれる大きな断層の存在が確認されている。

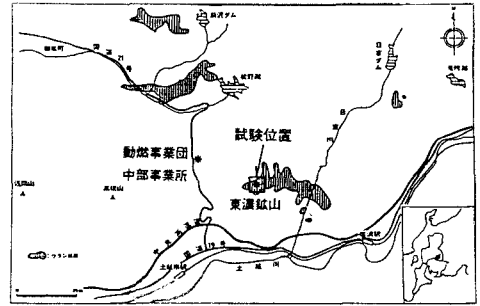


図-1 調査位置図²⁾

本地域は、土岐花崗岩と呼ばれる花崗岩類や濃飛流紋岩を基盤とし、新第三紀中新世及び鮮新世～第四紀の各地層から構成される。調査地点には瀬戸層群や瑞浪層群である生俵累層、明世累層及び土岐夾炭累層と基盤岩が認められる。土岐夾炭累層は、泥岩、砂岩、礫岩及びそれらの互層からなり部分的に凝灰質で炭質物を含む。また、明世累層は、主に砂岩、泥岩からなり、瀬戸層群は、粘土層と砂礫層に分けられる未固結の陸成層である。

新立坑建設地点の事前ボーリング調査結果によると、上部から瀬戸層群(深度GL. -17m 付近まで)、明世累層(深度GL. -17～-60m)及び土岐夾炭累層(深度GL. -60～-155m)が分布している。さらに、基盤岩(深度GL. -155m以深)として土岐花崗岩及び岩脈(石英班岩)などが瑞浪層群と断層を境に分布している。岩石試験結果によると、砂岩では密度 $1.8 \sim 2.0(t/m^3)$ 、圧縮強度 $70 \sim 80(kgf/cm^2)$ 、泥岩では密度 $1.6 \sim 1.8(t/m^3)$ 、圧縮強度 $30 \sim 50(kgf/cm^2)$ が得られている。透水係数は、おおむね $10^{-7}(cm/s)$ 程度を、岩盤等級は大部分が $C_H \sim C_L$ 級の範囲まで、一部はD級を示している。

2.2 立坑施設配置と施工

立坑施設には、本体部、坑道部(2ヶ所)及び連絡坑道部(2ヶ所)より構成されている(図-2 調査・試験レイアウト図参照)。立坑本体部は仕上り内径6m、掘削深度150m(坑口部標高287m)である。坑道部は立坑の途中に設けられた水平坑道で(深度GL. -45.5m、-96.0m)、いずれも高さ4.5m、幅4.5m、長さ20mの幌型形状の坑道である。上部を第一計測坑道、下部を第二計測坑道と称する。また、連絡坑道部は既設坑道への連絡通路で、高さ3.0m、幅3.0mの幌型坑道である。

立坑本体部の施工は立地条件や経済性、安全性から一発破毎に掘削、覆工を繰り返すショートステップ工法を採用した。なお、2ヶ所の坑道部のうち、第一計測坑道(上部)はNATMで、第二計測坑道(下部)は鋼製支保工と矢板による工法で施工を行なった。立坑本体部の施工状況を図-3に示す。

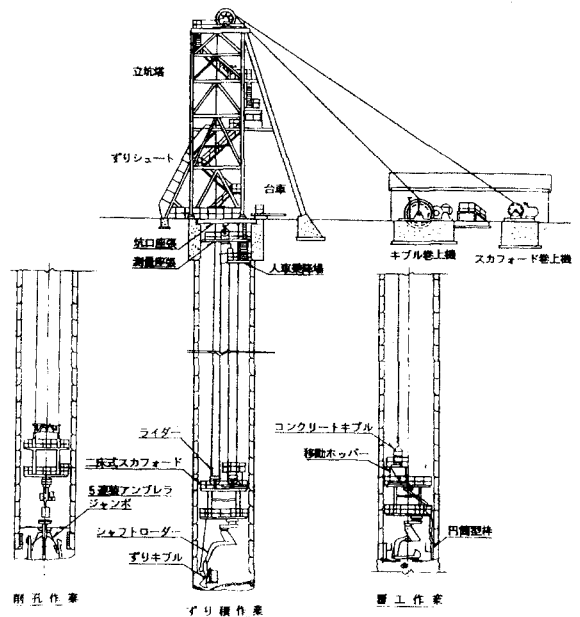


図-3 立坑本体部の施工

3. 調査・試験計画

3.1 調査・試験レイアウト

調査・試験のレイアウトを図-2に示す。立坑本体部並びに坑道部における深度の異なるA、B、Cの3断面を対象に配置計画の検討を行なった。A断面では立坑本体部の坑道掘削の影響の及ばない範囲に、またB、C断面では立坑壁面に最も近接した範囲にボーリングの配置を行なった。立坑掘削に伴う周辺地山の物性変化に関する評価項目と、実施した調査・試験手法を以下のように選定した。

- ① 亀裂、割れ目の変化 → ボアホールテレビ観察
- ② 弾性(変形)係数の変化 → 孔内载荷試験
- ③ 透水係数の変化 → 低圧岩盤透水試験
- ④ 弾性波速度の変化 → 孔間弾性波試験
超音波パルス試験
- ⑤ 電磁波速度の変化 → 孔間レーダー試験
- ⑥ 岩盤ひずみの経時変化 → 岩盤ひずみ計の計測

これらの調査・試験は立坑、坑道のボーリング配置に適した手法で、基本的に立坑の掘削前後にそれぞれ実施した。

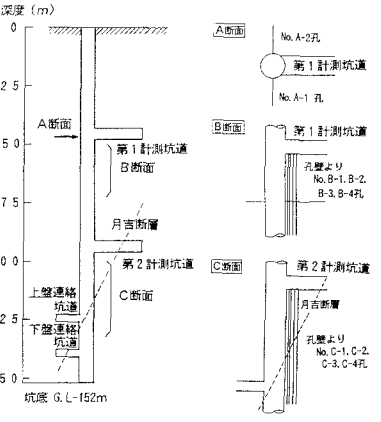


図-2 調査・試験のレイアウト⁵⁾より

各断面における調査・試験項目の一覧を表-1に示す。

表-1 調査・試験項目⁵⁾より

調査項目	A断面	B断面	C断面
ボアホールテレビ観察	○	○	○
孔内载荷試験	○	○	○
透水試験	○	○	○
超音波パルス調査	○	-	~
孔間弾性波試験	-	○	○
孔間レーダー調査	-	-	○
ひずみの連続測定	-	-	○

A断面は、180°方向の2本の水平ボーリング孔を利用した計測である。主に、立坑壁面に近接する4点で孔内载荷試験と透水試験を別々のボーリング孔で実施した。B断面は、第一計測坑道を利用して、主に明世累層と土岐炭累層の地層境界を中心に実施した。地層の違いによる特性変化を捉えるために、特に孔間での弾性波試験を試みた。C断面は、第二計測坑道における月吉断層を伴う地層で、断層による影響を把握するために断層の上盤と下盤を対象に種々の試験を行なった。特に、孔間での弾性波試験とともにレーダー試験も合わせて試みた。また、岩盤ひずみ計を埋設し立坑掘削に伴うひずみの経時変化の測定も行った。

3.2 調査・試験手法の選定とその概要

実施した調査・試験方法の概要について述べるが、いずれも現状で最も信頼性の高い手法を選定した。まず、ボアホールテレビ観察は精度が高く観察速度の速いボアホールスキャナ装置を使用した。例えば、割れ目の開口幅0.1mmまで検出可能な性能を有している。孔内载荷試験は等変位载荷方式の装置を採用し、各ボーリング孔に対して一定の载荷方向で試験を行なった。計測にあたっては現地でモニタリングしながら、载荷応力30(kgf/cm²)までの繰り返し条件で実施した。透水試験は高精度、低流量の測定が可能で実績の多い低圧型の試験装置を採用した³⁾(図-4参照)。試験方法はルジオンテスト技術指針に準拠し、有効注入圧力を最大1.0(kgf/cm²)とした。ダブルパッカー方式の他にシングルパッカー方式も孔底で実施した。超音波パルス試験はボーリング孔内の不連続面を検知するために開発された装置である⁴⁾(図-5参照)。これは2個の発振、受振用の回転盤探触子(磁器振動子内蔵)から構成され、この探触子間(11cm)の

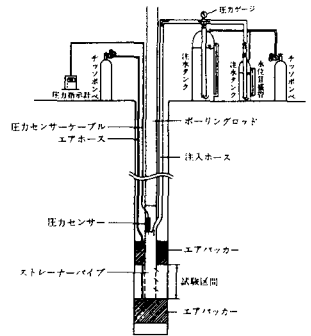


図-4 透水試験装置

超音波速度を連続的に測定することができる。測定は、ウルトラスコープの受振波形を写真撮影し、その波形パターンから割れ目の有無や超音波伝播速度を算定した。孔間弾性波試験は最も実績の多い手法で、起振を立坑側と切羽側のボーリング孔（孔間距離2.5m）2ヶ所でそれぞれ実施し、起振点と受振点間隔を1mずつ同一深度ですべてのボーリング孔で同時測定を行なった。起振源は瞬発型電気雷管を使用し、受振器は3成分内蔵型で、パッカーで孔壁に圧着させた。なお、解析に当たっては通電後の時間遅れを考慮して補正の計算を行なった。孔間レーダー試験は各ボーリング孔間での3断面を対象に、発振・受振アンテナを同一深度で0.5m間隔で測定を行なった。なお、ボアホールレーダー測定装置は、中心周波数100MHz、最大送信出力100V_{PP}、パルス幅5nsecの性能を有している。

4. 代表的な調査・試験結果

代表的な調査・試験結果のうち、A断面におけるボアホールテレビ観察結果の孔壁展開図と、B断面における孔間弾性波試験結果の弾性波速度の深度分布を図-6、7に示す。

孔壁展開図では、掘削前後の割れ目分布の違いがわかるように事前事後の孔壁写真、展開図及び割れ目の分類、開口幅、深度、走向傾斜をまとめた。この解析結果では新たに開発した画像の濃度補正や濃淡補正など最近の画像処理技術を駆使している。全般的な傾向として、掘削によって不規則な割れ目が増えていること、開口している割れ目は少なく密着した割れ目が多くなることなどが判明した。

この孔壁観察結果は、他のボーリング試験結果を評価するための基本的なデータとなる。つぎに、孔間での弾性波試験結果によると、立坑に近いボーリング孔間ほど弾性波伝播速度の低下の著しいことがわかる。最大で40%程度の低下が認められ、地層の種類の違い、あるいは不連続面や孔内水位などの影響が考えられる。

これらの調査・試験結果はほんの一例を紹介したのみである。この試験工事では、得られた結果がどうなったかに加え、そのモデル化、さらには立坑掘削に伴う諸現象を解明するために精力的な研究を進めている。この研究は、動力炉・核燃料開発事業団の委託研究として実施した一部で、そのデータの使用にあたり関係各位に深く感謝します。

5. 参考文献

- 1) 例えば平間邦興他：岩盤のゆるみ領域に関する調査の試み 大林組技術研究所報 No.25, pp.99-104, 1982
- 2) 杉原弘造他：東濃地域における立坑掘削影響試験全体計画 日本原子力学会 1991年春の年会, pp.524, 1991.3
- 3) 本岡智毅他：ルジオン試験における微流量測定装置の開発と一測定例 日本応用地質学会発表論文集, pp.36-39, 1984
- 4) 小林良二他：回転深触子型岩盤割れ目検知計による現場試験 日本鉱業会誌, pp.307-312, 1980
- 5) 杉原弘造：立坑掘削影響試験 第7回放射線廃棄物セミナー資料集, pp.87-127, 1991.7

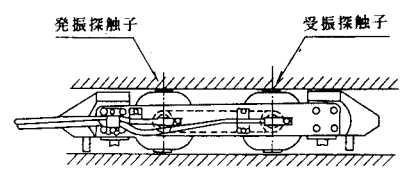


図-5 超音波パルス試験装置

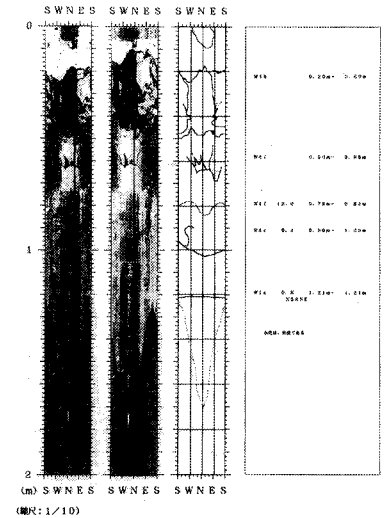


図-6 ボアホールテレビ観察結果 (A断面)

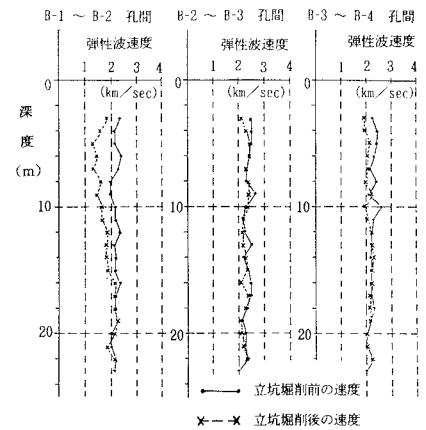


図-7 孔間弾性波試験結果 (B断面)