



高レベル放射性廃棄物の
地層処分研究開発特集

地層科学研究

6. 調査技術開発

中部事業所 環境地質課

資料番号：85-20

Geosciences Research

6. Development of Techniques and Instruments for Investigation Geological Environments

(Waste Isolation Research Section, Chubu Works)

深部地質環境をできるかぎり非破壊で、かつ高い精度で把握するための技術開発を行った。具体的には、岩盤内の地質構造や割れ目を調査するための技術として①岩盤内の割れ目に関する調査技術と②地質構造調査技術、そして、岩盤内の地下水の透水性等を調査するための技術の開発として③水理特性調査機器の開発、さらに、岩盤内の地下水の性質を調査する技術として④地球化学特性調査機器の開発を行った。その結果、①では割れ目が単純なパターンにそれぞれ分類可能であることが明らかになった。②では地球物理学的調査法の適用性の把握と問題点の抽出を行った。③では難透水性岩盤の透水係数等を高い精度で測定できる装置を開発した。④では地層中に本来存在している地下水を採水できる装置等を開発した。

1. はじめに

地層科学研究では、深部地質環境をできるかぎり非破壊で、岩盤内の割れ目や地質構造、岩盤内の地下水の透水性、岩盤内の地下水の性質等を高い精度で把握する必要がある。しかし、これらの必要性に応じたデータを取得するためには既存の調査技術や調査機器では取得データの信頼性、適用深度等の点において不十分であり、新たな調査技術や調査機器の開発が必要となる。

本稿ではこれまでに動燃事業団で開発した調査技術・機器について述べる。これらは岩盤内の割れ目や地質構造を調査する技術としての①岩盤内の割れ目に関する調査技術と②地質構造調査技術、岩盤内の地下水の透水性等を調査するための技術の開発としての③水理特性調査機器の開発、岩盤内の地下水の性質を調査する技術としての④地球化学特性調査機器の開発に分けることができる。

これまでの開発の結果、①では割れ目が単純なパターンにそれぞれ分類可能であることが明らかになった。②では地球物理学的調査法の適用性の把握と問題点の抽出を行った。③では難透水性岩盤の透水係数等を高い精度で測定できる装置を開発した。④では地層中に存在している地下水を本来の性状を

保った状態で採水できる装置等を開発した。

今後は、①試錐孔を利用した大深度対応の水理・地球化学特性調査機器の開発と信頼性の向上、②坑道周辺岩盤内の地質環境を詳細に調査する技術と機器の開発、③各調査技術および機器を実際の調査へ適応する際の合理的な調査システムの確立を行う必要がある。

以下、各項目について説明する。

2. 調査手法の開発

花崗岩等の堅硬な岩盤中には多くの割れ目が存在し、この割れ目は地下水の主な流動経路になっているものと考えられる。したがって、岩盤中の地下水の流れを評価するためには、このような割れ目に着目した岩盤特性を明確にする必要がある。そのために、東濃地域の花崗岩岩盤中から採取された岩芯を用いて、割れ目特性の詳細な分類を行った¹⁾。また得られた割れ目の情報を用いて、各割れ目特性と透水係数との関係の多変量解析手法による評価²⁾を行った。さらに地球統計学的手法による岩盤性状の把握を試みている。

(1) 花崗岩割れ目調査・解析

岩芯を用いた割れ目調査は、水理地質学的に重要

と考えられる13項目（割れ目タイプ、割れ目幅、充填鉱物等）について実施した。これらの調査項目は、その記載事項をすべて数値化・略号化し、割れ目の情報を客観的かつ統計的に処理できるように配慮した。

各割れ目特性と透水係数との関係を明らかにするため、多変量解析の手法（重回帰分析、クラスター分析）を用いた解析を実施した。その結果、岩盤の透水性は割れ目の開口幅・充填鉱物の有無・交差本数・孔井の割れ目の卓越方向等に支配されていることが明らかとなった。また、地盤内部の割れ目性状を評価するために地球統計学的手法を用いた解析を試みている。地球統計学的手法とは、サンプリング領域での場の特性とサンプル点の幾何学的な配置より、ある推定点に対する最適な重みを計算し、数学的に模擬のある推定値を算定するものである。

(2) 割れ目調査に係わる岩盤区分

岩芯観察より求めたRQD(%)（掘削長1m当たりに含まれる10cm以上の岩芯の総長）および物理検層（中性子検層、密度検層）により求めた孔隙率(%)をそれぞれ7段階に区分し、両者の和を岩盤区分とした（表1）。この岩盤区分において、Aは割れ目がほとんど認められない極硬岩部、Bは密着した割れ目が認められ変質等の影響が少ない硬岩部、C～Eは風化・変質がかなり進み開口割れ目や粘土鉱物が認められる部分、F～GはC～Eよりさらに風化・変質が進み固結度がかなり低く全体が粘土化した破砕帯・断層部に対応する。

3. 調査機器開発

(1) 地質構造調査技術適用試験

地質環境特性の把握に際しては、地質環境本来の状態をできるだけ乱すことなく、精密にかつ効率的に調査を行う必要がある。

地質構造調査に用いられる地球物理学的調査手法には多種多様の調査法があり、その原理が異なれば得られる物性値等の情報も異なってくる。したがって、地下の多様な情報を得るためには、調査は多種の手法を併用して行う必要があり、精度の高い調査

を行うためには、個々の調査手法を改良・高度化していく必要がある。さらに、地球物理学的調査手法の中には、広い調査対象領域の概略的調査に適した手法もあれば、狭い領域の精密な調査に適した手法もあるので、対象領域を効率的に調査するためには、まず、概括的な調査から始め、精密な調査を必要とする地域を順次絞り込んでいながら、それぞれの段階に最も適した調査手法を用いる必要があり、システムとしての調査手法を確立する必要がある。

以下、個々の調査法の適用性を把握し調査システム確立の基礎資料とする目的で実施された試験結果ならびに試験孔掘削技術について述べる。

1) CSAMT (Controlled-source audio-magnetotelluric) 法

比較的広範囲にわたる深部の岩盤の性状を把握するための技術開発の一環として、結晶質岩を対象に、CSAMT法の適用性を評価する試験を行った。

CSAMT法は岩盤の比抵抗分布を測定する手法の一つであり、地下深部の水理構造の重要な規制要素である岩盤の不均質性を明らかにする目的での利用が期待される。

今回の適用試験から以下の結果が得られた。

- ① 深度500mまでの岩盤の電気比抵抗分布の解析が可能である。
- ② 解析された電気比抵抗分布は電気検層の結果と調和的であり、さらに、後述する時間領域電磁法による結果とほぼ一致する。

今後は、より深部の情報を取得するために、低周波でのデータの取得・補正技術を確立することや、3次元解析を行うために必要な調査手法やデータ解析手法を開発する必要がある。

2) 時間領域電磁法

地下深部の岩盤の性状を、高精度で把握するための技術開発の一環として、結晶質岩を対象として、時間領域電磁法の適用性を評価する試験を行った。

時間領域電磁法は、地表に設置された送信用ループに電流を流し、電流切断後の二次の磁界の時間的な変化を測定することにより、岩盤の電気比抵抗分布を求める手法である。時間領域電磁法も、電気比抵抗が低い部分を検出する能力に優れている。図1は測定データを解析して得られた電気比抵抗分布の一例である。

今回の適用試験から以下の結果が得られた。

- ① 深度1500mまでの岩盤の電気比抵抗分布の解析が可能である。
- ② 解析された電気比抵抗分布は電気検層の結果とよく一致する。
- ③ 岩盤の電気比抵抗は深部ほど高いのが一般的

表1 割れ目調査に係わる岩盤区分

RQD 指数 + 孔隙率 指数	岩 盤 区 分
2	A
3~4	B
5~6	C
7~8	D
9~10	E
11~12	F
13	G

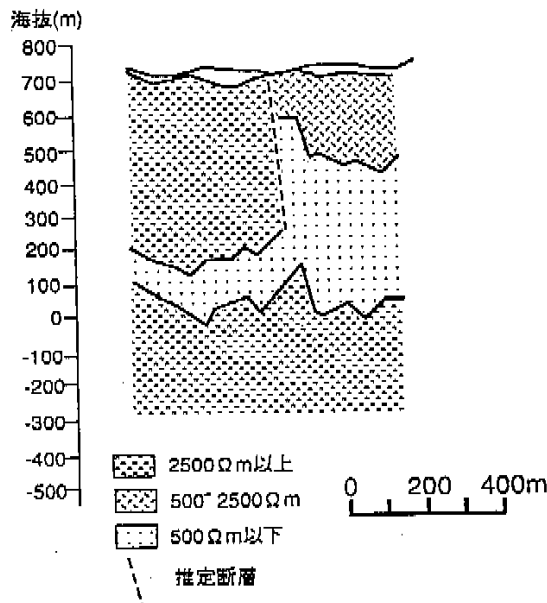


図1 時間領域電磁法で得られた電気比抵抗断面の例

であるが、今回は深部に低比抵抗を示す部分が解析された。この部分は透水係数の高い部分とほぼ対応したことから、この低比抵抗部では、周囲の岩盤に比べ割れ目等が発達していることが推定された。

今後は、3次元解析を行うために必要な調査手法やデータ解析手法を開発する必要がある。

3) オフセットVSP (Vertical seismic profiling) 法

地下深部の岩盤の割れ目系等の構造を把握するための技術開発の一環として、結晶質岩を対象に、オフセットVSP法の適用性を評価する試験を行った。

オフセットVSP法は、地表で弾性波を発生させ、岩盤中を伝播してきた直接波や、地下の断層や割れ目帯で反射された反射波を、試錐孔内に設置した受信器で観測し、断層や割れ目帯の位置や規模を求める手法である。

今回の適用試験の結果、以下の結果が得られた。

- ① 既往の調査により推定されている断層の走向と傾斜が明らかになった。
- ② 使用する弾性波の波長の1/5～1/10の幅を持つ断層や割れ目帯まで検出可能であることが明らかになった。

今回はP波（縦波）を用いた解析を行ったが、今後は分解能をさらに向上させるために、S波（横波）を用いた調査や、3次元的な測線配置や複数の試錐孔を利用した3次元調査のための調査手法や解析手法を確立し、解析精度をさらに高める必要がある。

る。

4) PLMT (Power line magnetotelluric) 法装置の開発

前述したCSAMT法や時間領域電磁法のように電磁界を測定する調査では、商用送電線に起因する50 Hzないし60 Hzとその高調波の電磁界がノイズとして測定データに混入してくるため、アナログフィルターやデジタルフィルターを駆使してこれを除去している。しかしながら観点を変えると、このノイズと考えられてきた商用送電線に起因する電磁界も一つの信号源と考えることができる。一般に、商用送電線がつくる電磁界は大きくかつ安定しており、さらに調査深度の目安となる表皮深度は、電気比抵抗100 ohm-mの大地の場合、周波数60 Hzで約650 mとなり、深部の地質構造の調査に利用可能である。

PLMT法は、こうした考えの下に考案されたものであり、測定装置は動燃事業団が三井金属資源開発㈱と共同で開発した。PLMT法の測定原理は前述したCSAMT法と同じであるが、電磁界源として商用送電線を利用するので、送信源を設置する必要がなく、地下の電気比抵抗の分布を、小型の装置できわめて短時間に測定することが可能である。

開発された装置の適用試験を、すでに電気探査データのある地域において実施した。解析結果の一例を図2に示す。図中の□は測定値であり、この測定値から、調査地点は、中間層の電気比抵抗が一番低く、最下層の電気比抵抗が上部層に比してきわめて高い3層構造をなしており、電気比抵抗値より堅固な岩盤であると推定される第3層の深度は約400 mであると解析された。図中の曲線は解析構造が与える見掛け比抵抗曲線を示している。

適用試験の結果、以下の結果が得られた。

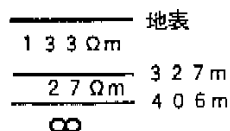
- ① 他の手法による調査結果と整合性のあるデータが得られた。
- ② 測定は非常に簡便で、数分間に一つの測定が可能であることが実証された。

今後は、低電圧線のような人工物からのノイズの除去法や局地的な地形の影響の除去法を開発していく必要がある⁴⁾。

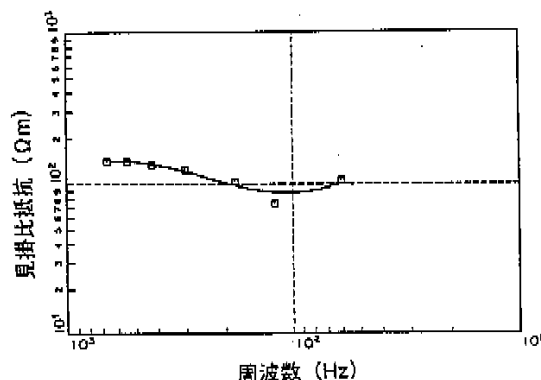
5) リモートセンシング調査法

本調査法は、広域の地下水流動解析における外側境界の設定と領域内部での割れ目系のモデル化に必要な情報を衛星データや空中写真から抽出する手法および植生を指標にした地下水流動解析結果の評価手法の構築を目的に調査・解析を実施している。

解析対象範囲の外側境界の設定に関しては、岐阜県東濃地方を対象に、当地域に分布する活断層系（高角度断層）に囲まれた地区毎のリニアメント分



(a) 層構造解析結果



(b) 測定値と見掛け抵抗曲線

図2 PLMT法調査の解析結果例

有特性について解析を実施した。(図3) その結果、高角度の断層によって囲まれた地区毎に卓越方向等のリニアメント分布特性が異なっていることが明らかになり、これらの断層を境にして地質構造区が異なっている可能性がある。これにより水理地質構造も地区間で不連続である可能性があり、高角度の断層が広域の地下水流動の境界をなしていることが考えられる。

割れ目系のモデル化に関連しては、同地方に位置する東濃鉾山周辺域において地表露頭(花崗岩)に

おける割れ目とリニアメントの関係を調査している。

また、植生を指標にした地下水流動解析結果の評価手法の構築については、地下水以外の植生への影響因子とその影響の度合いを明らかにするため、デジタル標高データおよびSPOT衛星データを用いて解析を実施している。

6) 試錐技術

地層科学研究では、掘削終了後に各種の孔内試験・測定を行うため、岩石や地下水の状態をできるかぎり変化させないで、試錐孔を掘削する必要がある。

そのために以下のような測定孔井の掘削および維持等の技術開発を行った。

① 清水掘削工法

掘削する試錐孔は、透水性係数、流向・流速、ボーアホールテレビ等の測定および調査の妨害となるような泥水を用いない清水掘りであることから、軟弱岩盤では孔内崩壊が生じる。このため掘削水の送水量、掘削時の回転数、掘削圧等の調整および圧縮空気を用いたエアーリフトによる崩壊物の排出等により、対象岩盤に適した掘削工法の開発を行っている。

② レスター泥剤の使用

清水掘りでは掘削深度が深くなるにつれ、掘削具の回転摩擦が増加する。これを緩和するため、レスター泥剤を使用することがある。この泥剤の特徴として、約1週間後には泥剤特有の粘性が消失し、岩盤中の割れ目等に侵入しても水理試験には影響のないことがわかっている。

しかし、レスター泥剤を使用した試錐孔からの採水・分析の結果、レスター泥剤の成分が地

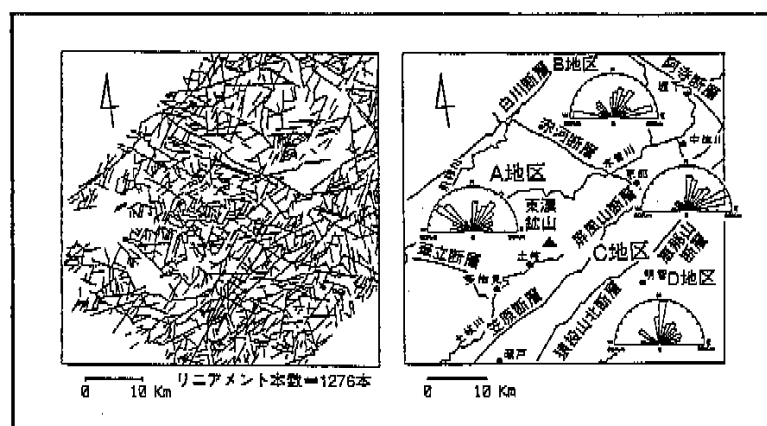


図3 岐阜県・東濃地方のリニアメント判読図(左)と活断層系に囲まれた各地区のリニアメントの卓越方向(右)

下水中に溶け込んだり、またレスター泥剤が微生物活動を活性化することで、地下水の化学組成が変化することがわかり、地下水の地球化学的特性調査用の試験孔には適さないことが明らかとなった。地下水の化学組成を変化させないような泥剤についての文献調査等を実施中である。

③ メッキ型インナチューブの開発

従来使用してきた鋼管型インナチューブ（岩芯採集管）では、割れ目帯において岩芯の詰まり等が生じていた。このため採取した岩芯の取り出し時の破損を極力少なくするため、インナチューブの内面にクロムメッキを施すことにした。これにより割れ目帯での掘削時の岩芯詰まりや岩芯の取り出しが良好となった。

④ ダイヤモンドビットの改良

結晶質岩での掘削を効率良く行うため、市販のビット面の掘削水の水路を標準タイプの6本から12本に増加させた。この結果、掘削により出る掘削屑の排出が良好となり、ダイヤモンドの磨耗が減少し、掘削能率および耐久性が向上した。

⑤ 大孔径不攪乱岩芯の採取

堆積岩中の砂質岩における岩芯採取は、岩芯採集具の回転および掘削水の循環等により、従来の岩芯採集具では岩芯が崩壊し、岩芯の採集率を低下させていた。このため、直径146mm・116mmの大孔径の岩芯採集具を使用すること、また岩芯を破損させないために岩芯採集具を2重管から3重管に変更することを行った。これにより、不攪乱状態で100%の岩芯を採取することが可能となった。

⑥ 材料開発

地下水採水用の試験掘削では、地下水の化学組成に影響を与える物質の使用は極力避けなければならない。このため、このような条件を満たし得る掘削具（保孔パイプ等）や泥剤の開発が必要であり、これらの材料について文献調査や技術的検討を行っている。

7) 物理検層技術

一般に試験孔を利用した原位置透水試験は多大な時間と経費がかかり、測定区間も不連続となる。これに対し、物理検層は岩盤の諸物性を迅速かつ連続的に測定することが可能なため、物理検層結果と原位置透水試験結果に良い相関が得られれば、試験孔周辺の水理学的特性を連続的に把握することが可能であると考えられる。

このような観点に基づき、物理検層の一つである

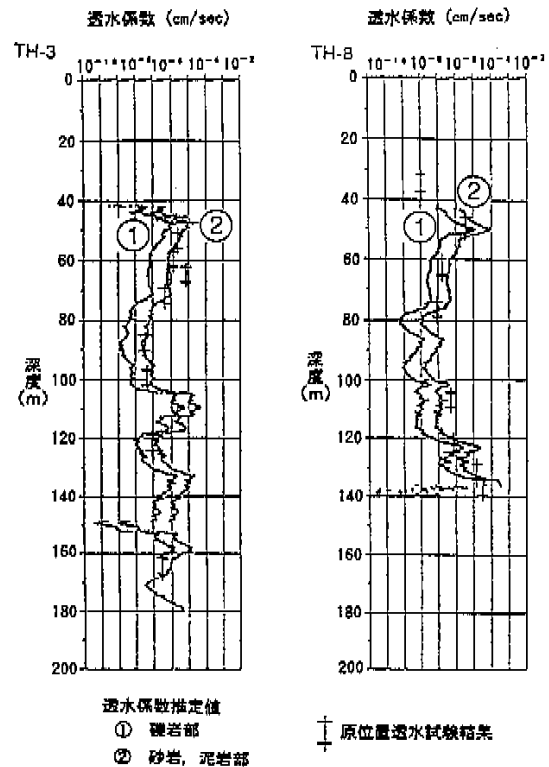


図4 電気検層による透水性推定の比較

電気検層より得られる見かけ比抵抗値と、原位置透水試験より得られる透水性係数の比較を行った。実施にあたっては、対象を大きく泥岩・砂岩部と硬岩部とに分けて検討を行った。この検討から、堆積岩中で測定された見かけ比抵抗値と透水性係数との間には良い相関が得られた。この検討結果を用いて、深度方向に透水性係数値を推定した例を図4に示す。図より、見かけ比抵抗値から推定した透水性係数の深度方向の分布と原位置透水試験より得られた透水性係数値は比較的良好に一致していることがわかる。以上の結果より、堆積岩において、電気検層の見かけ比抵抗値から深度方向の透水性係数分布を推定できる可能性が明らかとなった。

8) 試験孔を利用したレーダー調査

岩盤内の割れ目帯の位置、規模、および透水性について、これらを非破壊で評価する手法の開発を行っている。その一環として、試験孔レーダーシステムを導入し、日本の岩盤に対する適用試験を実施した。

レーダー法は短波長の電磁パルスが岩盤内に発信し、含水量に起因する電磁波の速度や減衰の変化から、岩盤の水理地質特性に深く関連している割れ目

や割れ目帯の3次元的分布を非破壊で求める手法である。

① シングルホール調査

シングルホール調査は、1つの試錐孔にレーダーの送信器と受信器を挿入し、一定の間隔ごとに送・受信器を移動させながら取得したデータからの割れ目の方向や連続性を調べるものである。

適用試験結果例を図5に示す。このレーダー反射図から割れ目の多い部分が定性的にわかり、また連続した割れ目帯の位置を把握することができた。

② クロスホール調査

クロスホール調査は、2本以上の試錐孔を利用して、1つの試錐孔に送信器を他の試錐孔に受信器を挿入して測定するもので、測定結果をトモグラフィー処理することにより、割れ目帯の空間的分布を把握することができる。

坑道内において4本の試錐孔を用いたクロスホール調査を実施した(図6)。その結果以下

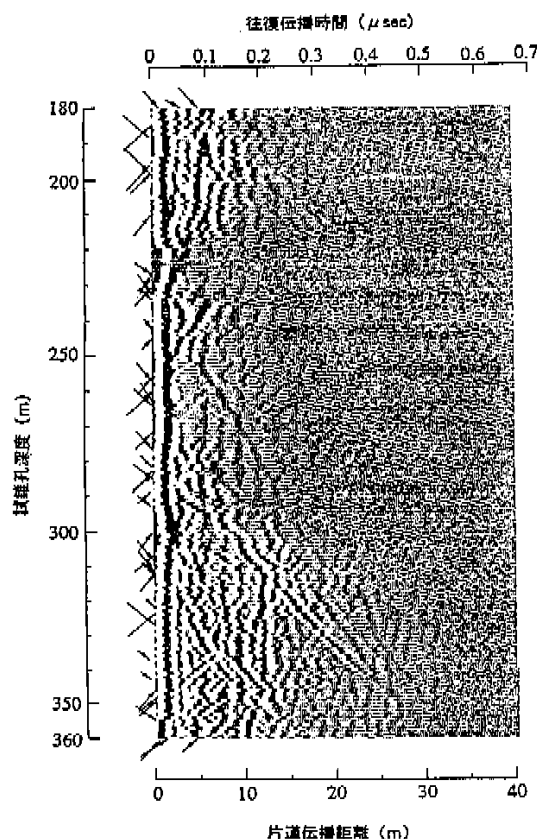


図5 シングルホール調査適用試験例

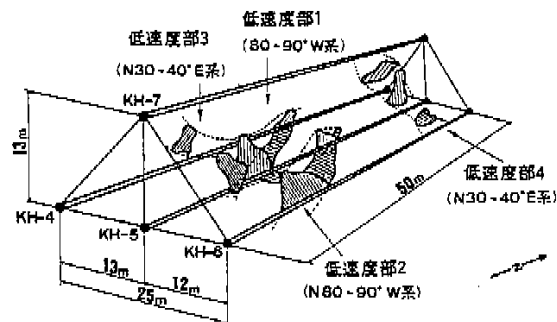


図6 クロスホール調査適用試験結果例

のことが明らかになった。

- ・岩盤内の電磁波速度の低速度部および高速度部の3次元的連続性を推定することができた。
- ・本調査後に掘削した坑道側壁面を直接観察した結果、電磁波速度の低速度部分は湧水のある連続した割れ目帯であることが判明した。

(2) 水理特性調査機器の開発

地下深部の地質環境特性を把握するためには、難透水性岩盤の水理学的特性を明らかにすることが必要である。そのため、水理学的特性調査機器として、難透水性岩盤を対象とした試錐孔による原位置透水試験装置をはじめ、坑道内における岩盤壁面からの蒸発量を測定することにより超難透水性岩盤の透水性を評価する機器、および坑道掘削に伴う周辺岩盤のゆるみ領域を水理学的に把握する装置等を開発した。

また、地表部の水の流れを明らかにするために表層水理定数測定システムを開発した。

1) 低圧岩盤透水試験装置

(低圧ルジオン試験装置)

本装置⁵⁾は、単孔式の定常注入法を用いた原位置透水試験装置である(図7)。同装置は従来のルジオン試験装置に比べ難透水性岩盤の透水係数を測定可能とするために以下に示す改良がなされている。

- ① 注入圧力による岩盤への影響を低減するためにレギュレーターと加圧自動制御装置を併用し、低圧での高精度な圧力制御を可能とした。
- ② 容量の異なるアキュムレータを設置し大流量から極少流量まで高精度に測定可能な構造とした。
- ③ 圧力計を試錐孔内の測定区間直上に設置し、注入圧力を高精度に測定できる構造とした。

本装置の性能を以下に示す。

- ・試錐孔径: $\phi 66 \sim 100 \text{ mm}$
- ・最大測定深度: 200m

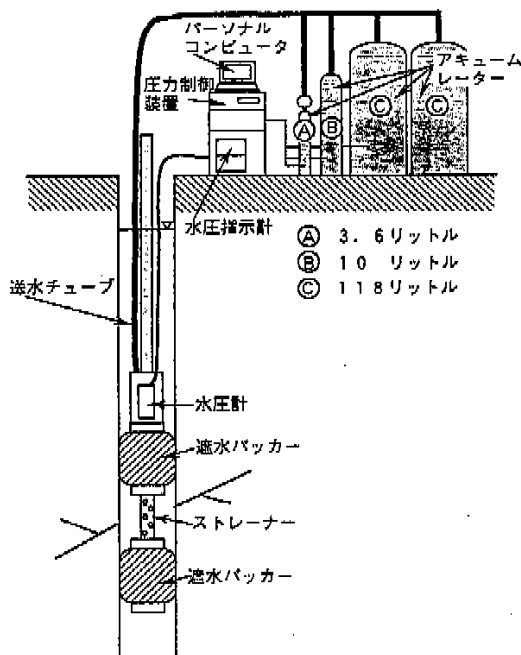


図7 低圧JFT試験装置

・透水係数測定範囲： $10^{-3} \sim 10^{-7}$ cm/sオーダー

2) 低水圧制御水理試験装置

(動燃式JFT試験装置)

本装置⁶⁾は、単孔式の非定常法を用いた原位置透水試験装置である(図8)。同装置は、従来のJFT試験装置を基に、難透水性岩盤の透水係数と間隙水圧を効率的かつ精度良く測定するために開発したもので、以下に示す特徴を有する。

- ① 難透水性岩盤の透水係数を迅速に測定するために、圧力変化を測定対象としたパルス法を適用した。
- ② 作業を効率的に行うために、地上で操作できるバルブを設置した。
- ③ 間隙水圧を迅速に測定するために、圧力変化を測定対象とした方法を用いた。
- ④ 水圧による岩盤への影響を低減するために、孔内部で水圧を制御できる構造とした。

本装置の性能を以下に示す。

- ・試験孔径： $\phi 66 \sim 100$ mm
- ・最大測定深度：500 m
- ・透水係数測定限界： $10^{-4} \sim 10^{-9}$ cm/sオーダー

(アメリカ特許No.4986120。カナダ・EC・日本において特許申請中。)

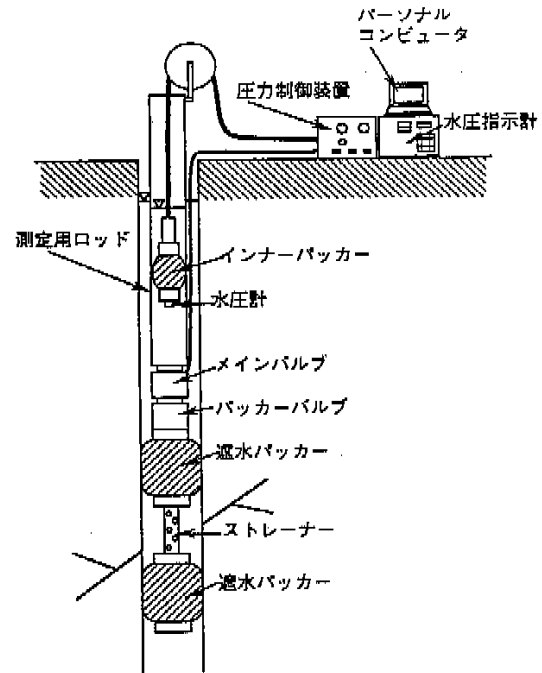


図8 動燃式JFT試験装置

3) 蒸発量測定装置

坑道周辺の超難透水性岩盤の水理学的特性を明らかにするため、坑道における湧水量分布を岩盤壁面からの蒸発量計測により把握できる測定装置を開発した(図9)⁷⁾。

本装置では、坑道壁面直上の2点で測定した絶対湿度から湿度勾配を求め、水分拡散係数をこれに乗じて坑道壁面近傍の水分移動量を算定する。

本装置は既にストリーバ国際プロジェクト、釜石鉱山、東濃鉱山で測定実績を挙げている。これらの現場計測の結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 相対湿度95%以上の高湿度条件下でも蒸発量計測が可能である。

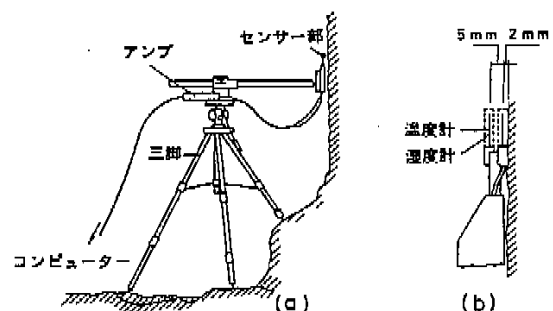


図9 蒸発量測定装置

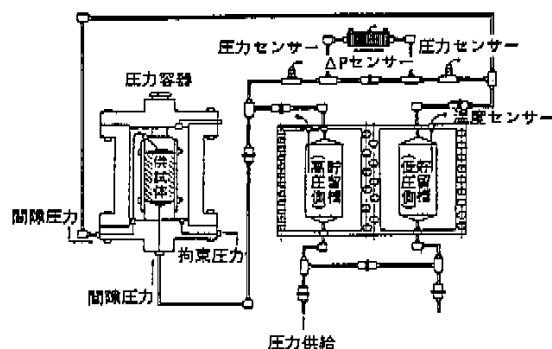


図10 室内岩石透水試験装置

- ② 割れ目上の蒸発量について、位置による変化が把握できた。
- ③ 乾燥状態の割れ目からも蒸発量が測定された。
- ④ 風化花崗岩では、表面からの蒸発量が大きく、割れ目が主要な浸透経路とはなっていない。

4) 室内岩石透水試験装置

本装置⁸⁾は、従来の定水位法とともに難透水性岩石を対象としたトランジェントパルス法を採用し、高透水性～難透水性岩石の透水係数を高精度に測定することができる(図10)。それぞれの試験方法の概要を以下に示す。

① 定水位法

供試体の両端に一定の水圧を与え、供試体内の透過水量を測定して透水係数を求める。

② トランジェントパルス法

供試体の両端に貯留槽を設置し、それぞれの貯留槽に異なる水圧を加えて、その水圧の経時変化から透水係数を求める。

本装置は、以下に示す性能を有している。

- ・供試体寸法：直径5～10cm、長さ5～20cm
- ・測定範囲： $1.5 \times 10^{-4} \sim 3.7 \times 10^{-12}$ cm/sec
- ・測定精度：±10%以内
(日本において特許申請中。)

5) 孔間透水試験装置

本装置は、坑道周辺の単一割れ目を対象に、比貯留係数、透水係数、透水異方性、および間隙水圧の測定を目的として、現在開発を行っているものである。本装置は、注水装置と圧力測定装置を2本以上の試験孔に別々に設置して、注水装置から正弦波状の圧力を発信させ、岩盤内を伝播した圧力の減衰や正弦波の位相差を圧力測定装置で受信し、上述の岩盤内における水理特性を測定するものである(図11)。本装置の目標性能を以下に示す。

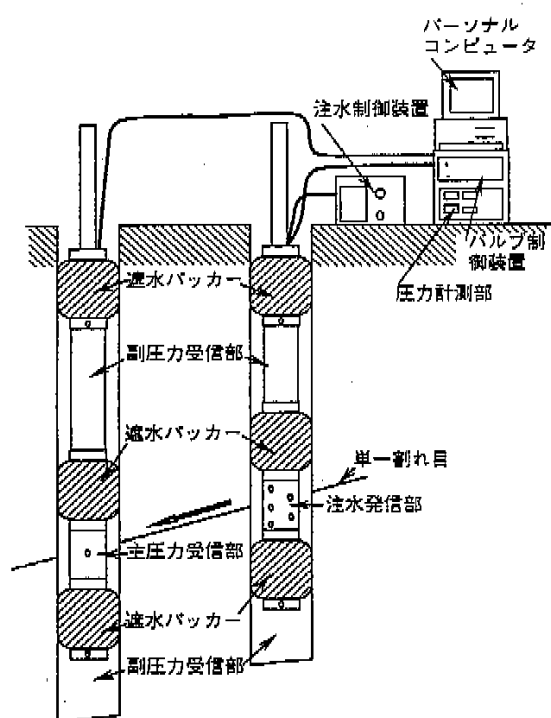


図11 孔間透水試験装置

- ・試験孔径： $\phi 75 \sim 100$ mm
- ・注水・受信孔間距離：1～10 m
- ・注水パターン：正弦波、定圧注水、定流量注水
- ・正弦波周期：1 cycle/1 hour～1 cycle/1 day
- ・透水係数測定範囲： $10^{-4} \sim 10^{-7}$ cm/s オアダ

6) 水理学的ゆるみ領域計測装置

坑道掘削に伴って発生する岩盤周辺のゆるみ領域を定量的に把握するため、岩盤中の水理学的パラメータを指標として、ゆるみ領域を定量的に評価できる試験装置を開発した。

本装置(図12)は、坑道周辺に掘削した試験孔を利用して、任意の区間をバッカーで閉鎖し、同区間内の間隙水圧と透水係数を測定することでゆるみ領域の範囲と性状を把握するものである。開発した試験装置の特徴と性能を以下に示す。

- ① 坑道掘削に伴う岩盤内の不飽和状態を考慮し、閉鎖区間に注水することにより、疑似的飽和状態とみなした試験が実施できる。
- ② 透水試験法には、一定圧で注入し単位時間あたりの流量から透水係数を算定する定常法を採用した。
- ③ 岩盤内の不飽和状態を考慮して、負の圧力も測定できる間隙水圧計を用いた。

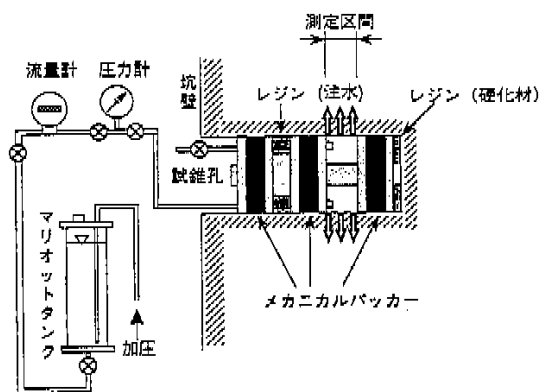


図12 水理学的ゆるみ領域測定装置の概念

④ ゆるみ領域の分布を詳細に把握するために、測定区間を13cmに設定した。

⑤ 最大測定深度：2 m

⑥ 透水係数測定範囲： $10^{-5} \sim 10^{-9}$ cm/sオーダ
(※日本において特許申請中。)

7) 表層部における水収支調査手法

調査地域の表層部における水収支を把握するために、気象観測装置、河川流量計、地下水位計、土壌水分計、およびデータ処理解析機器で構成される表層水理定数測定システムを開発した(図13)⁹⁾。観測装置の概要を以下に示す。

- ① 気象観測装置：温度・湿度・降雨量・蒸発量等10項目の観測を行う。
- ② 河川流量計：測定容量の異なる4台のフロート式流量計が用意され、流出面積、時期的変動に応じた測定が可能である。
- ③ 地下水位計：試験孔内の任意の深度に、水圧式水位検出装置を設置し、岩盤内水位を連続的に測定できる。

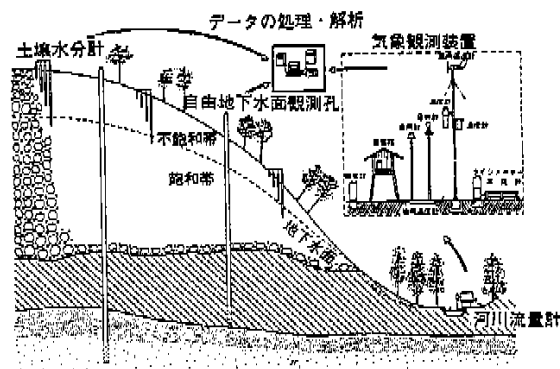


図13 水収支観測施設の概念図

④ 土壌水分計：土壌水分に平衡な圧力を検知し、水理水頭値として計測装置に連続記録する。

⑤ データ処理装置：すべてが10分毎に1か月分にまとめられ1枚のフロッピーディスクで管理(統合ファイル)される。

同システムは東濃鉱山周辺においてすでに3年以上の測定実績を挙げている。この測定から、観測地域における表層部から下層の岩盤への浸透量として、207.5mm/yearという結果が得られた。この値は当地域の平均的な岩盤の透水係数とほぼ一致した。

(3) 地球化学的特性調査機器の開発

地球化学的特性調査技術として、地下水の採取技術の開発を行った。また同時に調査機器として、①地下水の物理化学パラメータ〔酸化還元電位、電気伝導度、pH、水温、溶存酸素濃度〕を、不活性雰囲気下で連続的に計測する装置(水質連続モニタリング装置)、②ある地層中に本来存在している地下水(地層水)を被圧不活性状態で採取できる装置(マッカー式地下水サンプラー)の開発、および③各設定区間において採水と間隙水圧測定が可能なMPシステムの適用試験を行った。

1) 地下水の採取技術の開発

深部地下水の地球化学的特性を把握するためには、ある深度の地層中に本来存在している地下水(以下地層水とよぶ)のみを採取する技術を確立することが重要である。従来のような試験孔全体を利用した採水方法では、地下水の混合や掘削水の混入を避けることができない。このため動燃事業団では、バックカーを備えた装置を用いて地下水を採水している。採水手順は、①採水区間のバックカーによる閉鎖、②採水区間からの掘削水や他深度の地下水の除去(予備採水)、③地層水の採取(本採水)、の三過程からなる。この方法においては、予備採水終了の判断基準が重要となる。そのため、地層水の化学組成が一定であると仮定し、採取した試料水の物理化学パラメータ、主要化学成分濃度が一定の値に収束することを判断基準とした。この基準が妥当であることを検討するために、採取した試料水について、上記のパラメータ等を測定した結果、採水区間の数倍程度採水すると、ほぼ一定となることがわかった。また、予備採水の過程で取得したデータを二成分混合で計算すると、地層水の化学組成を推定できることも明らかとなった。

2) 水質連続モニタリング装置

地下水の地球化学的特性の重要なデータの一つに物理化学パラメータが挙げられる。これらのパラメータ値は、地下水を大気に開放して測定すると、

大気中の酸素や二酸化炭素の影響によって変化する可能性がある。また上記のパラメータのうち酸化還元電位は、測定に伴う様々な因子（大気、共存イオン、測定電極の種類、測定時間等）によって影響を受ける可能性があるため、信頼性のある測定値を得ることが困難である。

上記の影響因子を把握するために、酸化還元電位を含めた物理化学パラメータを不活性雰囲気下で連続的に測定できる装置を開発した。本装置の測定部は、地下水との反応性が低いアクリル性のフローセル構造である。そして、各パラメータ測定用に電極を備えている。さらに、本装置には酸化還元電位測定用に金属電極として金、白金の2種類を参照電極として甘こう電極を用いている。測定値はデータ記録部で連続的に記録される。

3) バッカー式地下水サンプラー

従来の試錐孔全体を利用したつるべ式の採水方法では、掘削水の混入や地下水の混合を避けることができない。このため、試錐孔内において採水区間の上下をバッカーで区切ることによって、任意の深度から地下水を採取できる装置を開発した。

本装置はスウェーデンBAT社が開発したBAT式地下水モニターシステムに遮水用のラバーバッカー

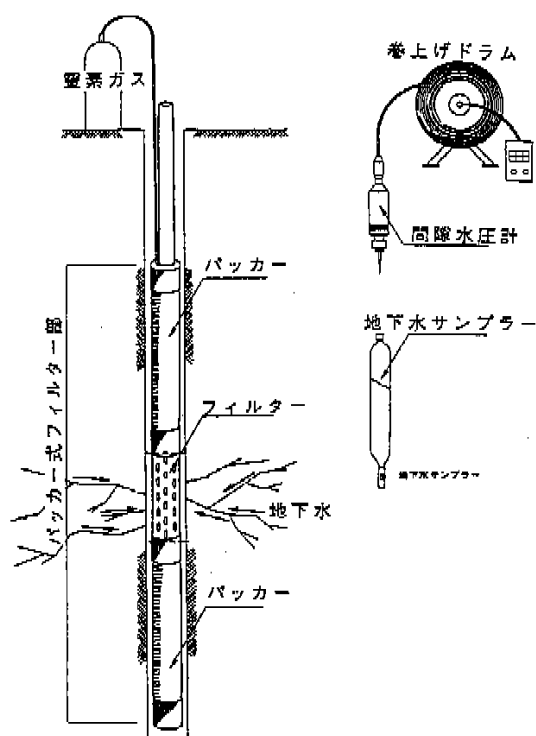


図14 バッカー式地下水サンプラー概念図

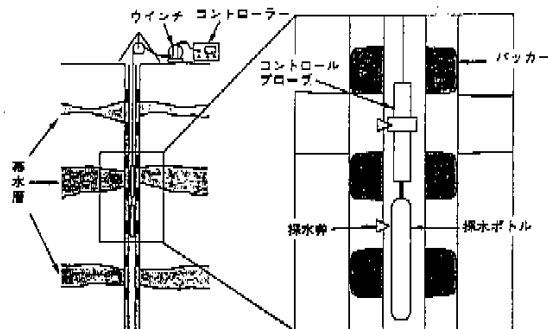


図15 MPシステム概念図

を組み合わせたもので、地下水が存在していた環境を極力保持した状態での採取が可能のように設計したものであり、すでに国内特許を取得した¹⁰⁾。図14に本装置の概略を示した。本装置は、①試錐孔内の採水区間を区切るラバーバッカー部分、②採水区間から地下水を採取し、地上まで運搬する部分（地下水サンプラー）、③昇降装置、の3つの部分から構成される。地下水サンプラーはステンレス製でその容量は500mlであり、深度500mまでの試錐孔に適用可能である。

4) MPシステム

MPシステムは、カナダのWest Bay社が開発した地下水モニタリングシステムで、試錐孔内に複数のバッカーを設置することによって、多区間での水圧計測および地下水採取が可能であり（図15）、我が国への適用性を検証するために、東濃鉱山周辺に設置した。本システムは設置後3年を経過し、順調な計測が進められており、我が国への適応性が確認された。本システムは、①一本の試錐孔内で同時に多数の測定・採水区間を設定できる、②各区間における間隙水圧・透水係数の測定および採水が可能である、③被圧・不活性状態を保存したままの地下水採水が可能である、等の特長がある。カナダでは、すでに深度1,000mまでの機器が実用化されており、国内でも500mまでの実績がある。

（中部事業所 環境地質課
長谷川健、濱 克宏、前川恵輔）

参考文献

- 1) 吉田英一、大澤英昭、他：東濃鉱山周辺の割れ目解析、応用地質、Vol.30, No.3, 11-22, (1989)。
- 2) 尾方伸久、大澤英昭、他：多変数解析手法を用いた結晶質岩盤の割れ目解析、PNC TN7410 92-001 (1992)。
- 3) 尾方伸久、大澤英昭：地下水特性調査技術開発の現状、核燃料技術(1)、PNC TN7410 90-005 (1990)。

- 4) 坪田清二、則竹和光他：簡用周波数およびその高周波を使った簡易電磁探査法の開発。動燃技報No.88, 82-91 (1988.6)。
- 5) 尾方伸久、大澤英昭、他：地層岩の地質学的特性および透水係数、見かけ比抵抗相互の関係とその水理地質構立モデル化への適用。応用地質、Vol.32, No.6, 51-62 (1992)。
- 6) 柳澤孝一、斎藤 豊、他：新しい現場透水試験法(動燃式JFTの開発と制定例)。土と基礎、Vol.37, No.7, 47-52 (1989)。
- 7) 渡辺邦夫、柳澤孝一、他：蒸発量計測によるトンネル壁面からの湧水量の測定(その2)。応用地質、Vol.31, No.1, 1-11 (1990)。
- 8) 中野勝志、斎藤 豊：透水性能の石を封鎖とした米内透水試験。土質工学会論文報告集、Vol.31, No.3, 164-174 (1991)。
- 9) 中野勝志、中島 誠、他：表層部における水収支の調査研究。動燃技報、No.78, 46-52, (1991)。
- 10) 柳澤 孝一、中野 勝志、他：ベッカー式地下水サンプラーの開発。日本地下水学会、1991年度秋季講演会要旨、204-207, (1991)。