ダム調査におけるルジオン試験の一事例
～長尺斜孔における各種試験トラブルとその対応例～

中央開発（株）
市川　健・土生田　政之・佐藤　眞治

1.はじめに

本報告は、あるダム調査において実施したルジオン試験の一事例を紹介するものである。ルジオン試験の圧力測定にはその地質・測定条件より「高精度透水試験装置」を、流量測定には過去に使用例のない「超音波流量計（ドップラー式）」を用いた。以下に使用機材の選定理由およびそれらの利点・留意点・改良点を述べるとともに現場におけるトラブル対処法を紹介する。

2.調査概要

本調査は現在建設中のAダムダムサイトで実施したものである。Aダムダムサイトには柱状節理の発達した火山岩が広く分布しており、既存調査によりダム基礎深部に高透水ゾーンが分布することが判明していた。この高透水ゾーンは、主に鉛直方向に発達する節理によるものと考えられていたが、その詳細は不明なままであった。そこでダム基礎深部の高透水ゾーンの分布とその透水性を把握するために、節理と斜交（掘進角度30°：鉛直下方より）した延長200mの長尺ボーリング、ルジオン試験およびボアホールカメラ観測を実施した。

3.試験装置の選定理由

岩盤の透水性を把握する「ルジオン試験」は、通常のボーリング機材（マシン・ポンプ等）の他に、主要機材として「パッカー」、「圧力計」、「流量計」等を使用し、実施するものである。本業務においても、これらの機材を調達することとなったが、現在多数の計測機が公表されており機種選定は試験精度を左右することもある。そこで筆者は以下の理由によりそれぞれを選定した。

(1) パッカーおよび圧力測定器

この2つは、おのおのをリースすることも可能であるが、本調査においては「高精度透水試験装置」と称し、パッカーの上下に圧力センサーを有した試験装置を用いることとした。本装置はその構造により、注入水のリーク等を見つけ出すことができるものである。試験対象となる火山岩は軟質な部分を介在する節理の発達した岩盤である。岩盤軟質部は、限界圧が低く、低圧注入段階における精度確保が必要であった。以上の地質条件および試験条件より本装置の構造が最適と判断し、これを選択した。

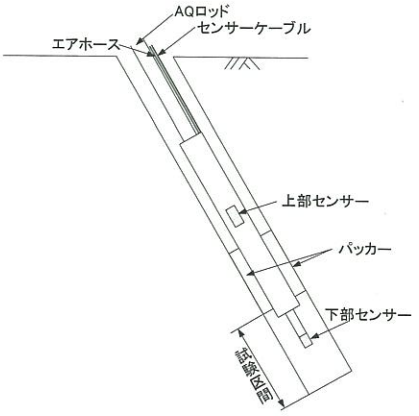
(2) 流量計

一般的にルジオン試験の流量測定には、電磁流量計が多く用いられている。そこで筆者は、今までとは違う流量測定法（超音波測定法：流速を超音波で測定）を試みるため、「超音波流量計（ドップラー式）」を選択した。本流量計は小型で軽量かつ低流量でも測定できることが大きな特徴であり、今後のルジオン試験に適応可能と考え使用を試みたものである。

4.試験装置の設置概要

(1) 高精度透水試験装置

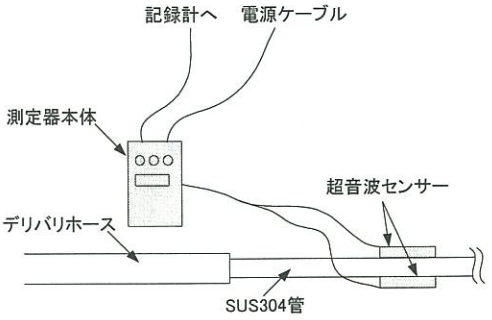
高精度透水試験装置の設置状況（孔内状況）を図－1に示した。本装置は前述したように試験区間を区切るパッカーの上下に圧力センサーを有していることが最大の特長といえる。また、パッカーを膨張させる「エアホース（以下、ホース）」、圧力センサーと測定器本体を繋ぐ「信号ケーブル（以下、ケーブル）」がロッドの外側（ロッドと孔壁の間）に存在することがトラブルの原因となっている。



図－1　高精度透水試験装置孔内設置状況

(2)「超音波流量計(ドップラー式)」

超音波流量計の設置状況を図−2に示した。超音波流量計は、デリバリホースに接続した配管用炭素鋼鋼管(SUS304管)を超音波センサーで挟むように設置する。測定に用いた鋼管は、送水量が少ない状態でも層流状態を保てるように長さ3m、内径1/2inとした。この長さは層流を作るためであり、管径はルジオン値の目標精度(最低流量)より設定した。



図−2　超音波流量計設置状況

5.トラブルの現象

ルジオン試験は深度35〜200m間で計33回実施した。このうち、現場で発生したトラブルを二例紹介する。

(1)パッカー挿入におけるホース・ケーブル損傷のトラブル

本トラブルは、100m以深の測定で頻繁に発生したものであり、その一例を以下に述べる。第15ステージ(GL−105〜110m)の測定中、筆者は上部センサー値の異常な上昇を発見した。この圧力上昇を不信に思い、レギュレーターの値を確認したところ圧力が極少量ずつ低下していることに気付いた。上部センサーの圧力上昇の原因として、注入水のリークの可能性も考えられたため、一度セットしたパッカーを除圧し、ゾンデを地上に引き上げた。パッカーはもちろんのことホースを入念に調べた結果、パッカー接続部付近のホースに擦り傷の様な跡があり、ここから極微量ながらガスが抜けていたことが判明した。なお、このときホースの他に硬質ゴムで被覆したケーブルも損傷を受けていることに気付いた。

(2)超音波流量計のトラブル

今回ルジオン試験における流量測定に、はじめて超音波流量計を採用した。試験当初は測定も順調で、データも正確なもの(一般的な電磁流量計で確認)であった。しかし、あるステージ(4〜5回目の試験)から、送水の有無や送水量の増減と無関係に流量計の数値が変動(誤作動)するトラブルが発生した。

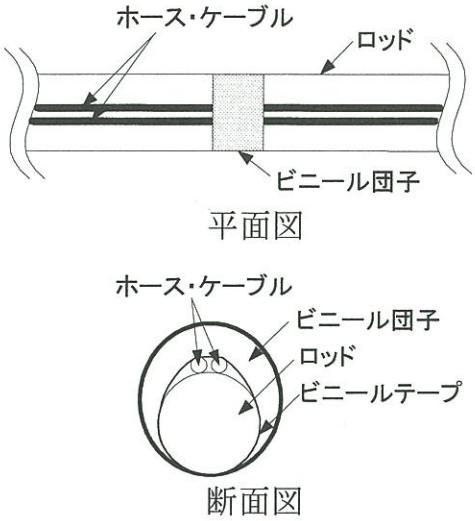
6.現場でのトラブル対応

本試験において現場で遭遇したトラブルは、「ホース・ケーブルの損傷」と「超音波流量計の誤作動」である。以下に、それぞれのトラブル対応を述べる。

(1)ホース・ケーブル損傷のトラブル対応

ホース、ケーブルの損傷は、上述したように100m以深の測定で頻発に発生した。その原因はホース、ケーブルがケーシングや孔壁に擦れることで発生すると考えた。そこでこの擦れをなくす(ガードする)ための方法を考えた。それは毎回の試験で多量に発生するビニールテープ(ロッドとホースの固定に使用)を再利用するものである(つまり廃材利用)。この方法は、ロッドとホースを通常どおりビニールテープで固定した後に、廃材ビニールテープを「団子状」に巻きつけるものである。図−3にビニール団子の設置概要を示した。ビニール団子の径は孔径よりやや小さめの60mm程度とし、その設置間隔は孔底に近い部分(深度100以深)で6〜12m、浅部は18〜24m程度とした。この方法(対処法)により、ホースやケーブルに傷がつくことがなくなり(テープ団子はボロボロになるが)、試験を順調に行うことができた。なお、この方法は掘進完了後に実施したボアホールカメラ観測(傾斜孔のためロッ

ドによりカメラを昇降して測定）にも大いに役立った。



図—3　ビニール団子の設置概要

(2) 超音波流量計のトラブル対応

超音波流量計誤作動の原因としては、試験の主電源である発電機（7.5KWA、ディーゼルエンジン）の振動を考えた。発電機は当初ボーリング櫓に隣接して設置していたが、誤作動の原因と考えられる振動を軽減させるためボーリング櫓（測定器）から15m程度離れた位置に再設置した。さらに、測定鋼管にウエスを巻きつける等の振動軽減に努めたが、誤作動を完全には解消できなかった。その他、誤作動の原因として、注入水のキャビテーションやその他振動を発する機材の影響を考えたが、誤作動の原因を特定するには至らなかった。このため、本現場における超音波流量計の継続使用をあきらめ、予備とした用意していた電磁流量計を使用することでそれに対応した。超音波流量計の使用には今後何らかの対応が必要であると感じた。

7. 今後の課題

高精度透水試験装置および超音波流量計を用いたルジオン試験についてここまで述べてきたが、本調査において実感した各装置の利点・留意点を表—1にまとめて示す。

表—1　各装置の利点・留意点・課題

	高精度透水試験装置	超音波流量計
利点	・パッカーの前後に圧力センサーを有しているため，パッカーの不良やリーク等を確認することができる。	・電磁流量計と比較し，精度の高いデータ収集が可能。 ・小型且つ軽量であるため設置場所を選ばない。
留意点（改良可能）	・ホース，ケーブルがロッドの外側にセットされるため，斜孔には不向き。	・誤作動の原因がまだ判っていない。
課題	・ホース・ケーブルがロッドの内側にセットされる。もしくは安価なプロテクターが必要。	・誤作動の原因究明に努める。振動が原因ならば発電機等の振動を計器に伝達させないための工夫が必要。

今後は、表に示した利点を生かし、留意点を改良可能な部分ととらえ、課題として述べた事項を現実にしていく努力が必要であると考える。