

LABROCK用透水性
キャリブレーション岩体の採取
(技術報告)

2001年5月

核燃料サイクル開発機構
東 海 事 業 所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001

2001年5月

LABROCK用透水性キャリブレーション岩体の採取

(技術報告)

※ ※

内田 雅大 吉野 尚人

要旨

本技術報告は、東海事業所地層処分基盤研究施設に設置してある亀裂状媒体水理試験設備（LABROCK）において、原位置と同じ垂直荷重状態するために原位置での透水試験を行った天然岩体の採取状態についてまとめたものである。なお、本資料は、平成5年10月に動力炉・核燃料開発事業団によって取りまとめられたものである。

May,2001

Sampling of Rock Block for Water Flow Calibration on LABROCK
(Technical Report)

※

※

Masahiro Uchida, and Naoto Yoshino

Abstract

This technical report summarizes sampling of the natural rock including conductive fracture. Hydraulic test was conducted at the target fracture prior to excavation. Objective of the sample was to reproduce same transmissivity at LABROCK by adjusting normal stress. This report was originally compiled by PNC in October, 1993.

※ Repository System Analysis Group Waste Isolation Research Division Tokai Works

目 次

1. はじめに · · · · ·	1
2. 室内試験における垂直荷重条件の設定 · · · · ·	1
2.1 開口幅と透水性の考え方 · · · · ·	1
2.2 透水試験の概要 · · · · ·	1
2.3 原位置試験と室内試験 1 · · · · ·	3
2.4 方向の差異（室内試験 1 と 2） · · · · ·	3
2.5 ロックボルトの撤去 · · · · ·	4
2.6 垂直荷重の載荷（室内試験 5） · · · · ·	5
3. 切り出し箇所の調査、試験および切り出し箇所周辺のスリット削孔 · ·	6
3.1 調査、試験およびスリット削孔の概要 · · · · ·	6
3.2 調査、試験結果 · · · · ·	17
4. 岩体引き出しおよび亀裂開口幅測定 · · · · ·	29
4.1 岩体引き出しの概要 · · · · ·	29
4.2 亀裂開口幅測定 · · · · ·	29
4.3 樹脂塗布後の透水試験 · · · · ·	33
4.4 岩体の運搬 · · · · ·	37
5. 試験体整形 · · · · ·	39
5.1 概要 · · · · ·	39
5.2 上下面切断 · · · · ·	39
5.3 上下面整形 · · · · ·	40
5.4 試験体寸法測定 · · · · ·	40
5.5 表面養生 · · · · ·	41
6. 実施工程 · · · · ·	41
7. おわりに · · · · ·	43

図 目 次

図-2.2.1 透水試験の過程	2
図-2.4.1 方向の違いによる水の流れ予想	3
図-2.4.2 方向の違いによるP-Qの関係	4
図-2.5.1 ロックボルトの撤去	4
図-2.6.1 初期開口幅 Δ_0 となるP ₅ -Q ₅	5
図-3.1.1 岩体の切り出しの概要	7
図-3.1.2 試験装置およびダブルパッカーの概要	10
図-3.1.3 ダブルパッカーの詳細図(1)	12
図-3.1.4 ダブルパッカーの詳細図(2)	13
図-3.1.5 油圧ジャッキの詳細図	15
図-3.1.6 油圧ジャッキ設置の概要	16
図-3.2.1 透水試験孔亀裂スケッチ	18
図-3.2.2 ダブルパッカー性能試験の概要	20
図-3.2.3 ラバー膨張時の各部の移動量	20
図-3.2.4 注入圧力と注入量の関係(スリット削孔前)	23
図-3.2.5 注入圧力と注入量の関係(スリット削孔後)	25
図-3.2.6 注入圧力と注入量の関係(スリット削孔後)	27
図-4.1.1 岩体引き出しの概要	30
図-4.1.2 岩体側面の亀裂展開図および開口幅測定点の位置	31
図-4.3.1 岩体側面において樹脂を塗布した領域および注入水の浸出位置	34
図-4.3.2 注入圧力と注入量の関係(樹脂塗布後)	36
図-4.4.1 岩体運搬の概要	38
図-5.1.1 試験体整形の概要	39
図-5.2.1 試験体切断時の養生	40

付図1 切り出し岩体の亀裂スケッチ図

表 目 次

表-3.1.1 試錐機とポンプの仕様	6
表-3.1.2 ロックボルトおよびレジンの仕様	8
表-3.1.3 試験装置およびダブルパッカー仕様一覧	9
表-3.1.4 KH-80 形ディープホールドリルの仕様	11
表-3.2.1 亀裂評価一覧表	19
表-3.2.2 透水試験時のデータシート（スリット削孔前）	22
表-3.2.3 透水試験時のデータシート（スリット削孔後）	24
表-3.2.4 透水試験時のデータシート（スリット削孔後）	26
表-4.2.1 亀裂開口幅測定結果	32
表-4.3.1 塗布した樹脂の仕様	33
表-4.3.2 透水試験時のデータシート（樹脂塗布後）	35
表-4.3.3 各試験条件における注入圧力と注入量の回帰直線の傾き	37
表-5.4.1 試験体上下面間隔測定結果	41
表-6.1.1 LABROCK 用透水性試験岩体の切り出し、整形 実施工程	42

1. はじめに

実岩体を用いた亀裂状媒体中のミクロ的な水の流れと物質移行メカニズムを把握する目的で LABROCK試験が計画されている。この LABROCK試験に供する試験体に含まれる亀裂の透水性の予測と、亀裂の開口幅の拘束条件を把握するために、平成4年度に切り出した岩体の奥に隣接する亀裂において原位置での透水試験を行い、その後透水試験を行った亀裂を含む岩体を切り出し、 LABROCK本試験のキャリブレーションのための試験体として整形を行う。

2. 室内試験における垂直荷重条件の設定

2.1 開口幅と透水性の考え方

原位置での透水試験は、目的で述べたように室内透水試験での亀裂開口幅の拘束条件すなわち垂直荷重条件を把握するために行うが、その考え方をここで述べる。

LABROCK試験は可能な限り原位置と同条件で行う必要がある。この条件の中で水の流れに影響を及ぼす最も重要な要因の1つとして亀裂開口幅があげられる。しかし、岩体内部の亀裂開口幅を直接測定する事は困難である事から、これに替わる代用特性が必要となり、この代用特性として亀裂の透水性を考えるものである。この場合、以下の3項目を仮定条件として設け、原位置と室内で同様の透水試験を行う。ただし、本研究で実施するのは原位置透水試験のみであり、室内透水試験は別途実施する。

- ・亀裂の透水性は開口幅の増減に対応して増減する。
- ・他の条件が同一であれば同じ透水性を示す亀裂開口幅は同一とみなす。
- ・初期地圧の開放によって開口した亀裂開口幅は拘束荷重の載荷により再現できる。

2.2 透水試験の概要

昨年度実施したLABROCK試験用岩体採取位置近傍の対象亀裂において原位置透水試験（注入試験）を行い、注入圧力Pと注入量Qの関係を得ておく。次いでそのブロックを整形の後、亀裂の拘束圧力P（鉛直荷重）をパラメータとした室内透水試験を行い、原位置と同様のP-Qの関係が得られた時の拘束圧力Pが、初期状態の亀裂開口幅を再現しているものとする。以上の試験過程を図-2.2.1に示す。これら一連の試験により開口幅 $\Delta_0 = \Delta_s$ となる垂直荷重pを求めることになる。

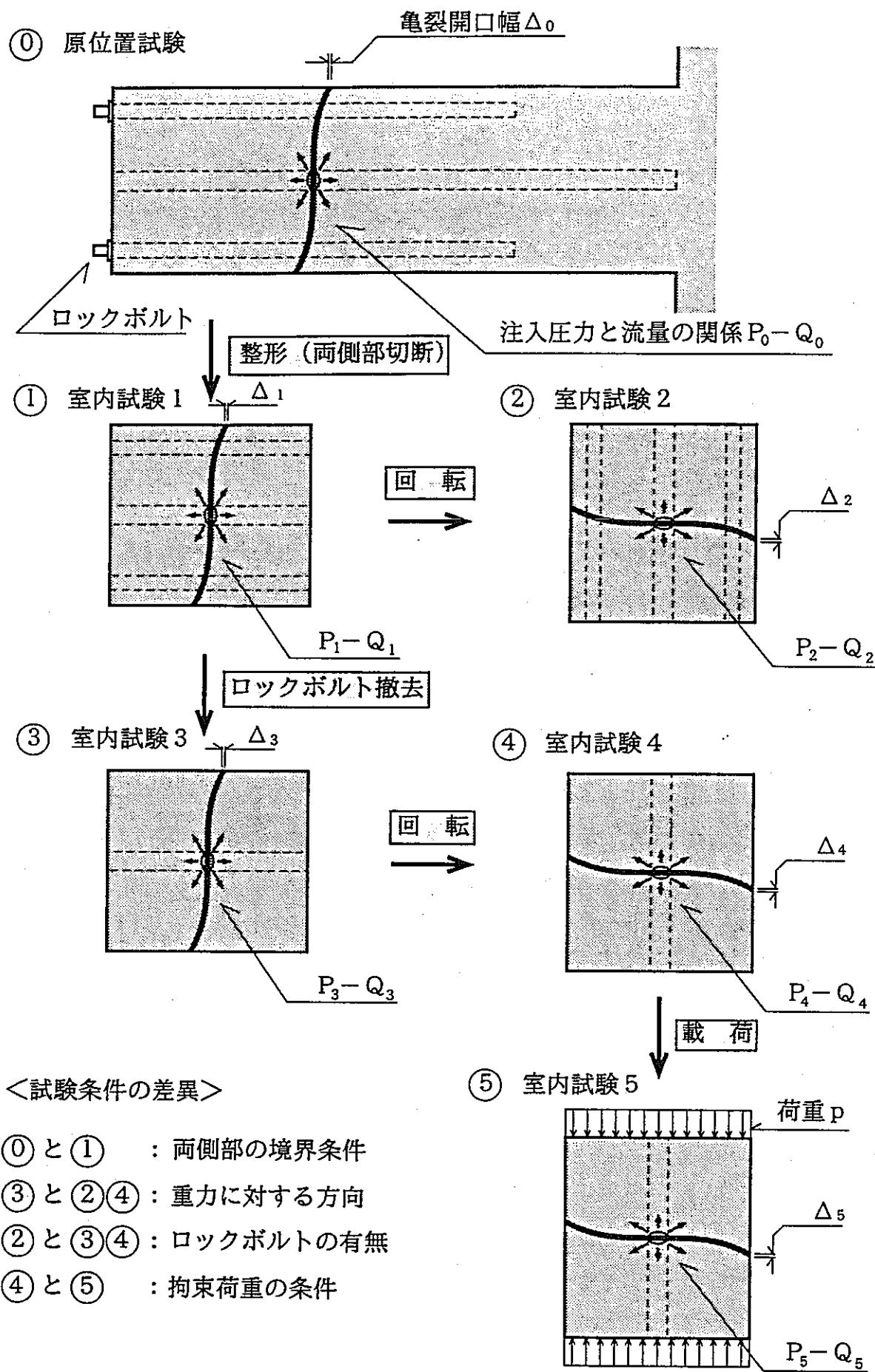


図-2.2.1 透水試験の過程

2.3 原位置試験と室内試験 1

水は対象亀裂内のみを流れると仮定すれば、原位置試験と室内試験 1 は全く同条件である事から、 $\Delta_0 = \Delta_1$ であり、 $P_0 - Q_0 = P_1 - Q_1$ となるはずである。しかし、その差が誤差の範囲を越えて有意に大きいと認められる場合、以下のような原因及びそれらの複合が考えられ、状況に応じた検討が必要となる。

- ・ $\Delta_0 = \Delta_1$ は保たれているが、介在物の剥離、移動によって水みちが対象亀裂内において変化した場合
- ・ $\Delta_0 = \Delta_1$ は保たれているが、両側端部等対象亀裂外への水みちが新たに発生した、または塞がれた場合
- ・振動、温度、飽和度等の変化により $\Delta_0 \neq \Delta_1$ と開口幅そのものが変化した場合
- ・原位置と室内で使用機器が異なり、特にパッカー特性の違いにより実際の注入区間に差異を生じている場合

2.4 方向の差異（室内試験 1 と 2）

LABROCK試験装置の載荷機構は垂直方向のみである事から亀裂に拘束荷重を作用させる場合、試験体の方向を原位置と 90° 変える必要がある。試験体を回転させて試験する場合、試験条件としては重力の作用方向のみ異なる。変化により $P - Q$ の関係も影響を受けるものと考えられ、

- ・方向の変化により水の流れが変わる（図-2.4. 1）
- ・方向の変化により開口幅 Δ が変化する

の 2 つが考えられるが、この内後者はロックボルトによる固定で無視できる、すなわち $\Delta_1 = \Delta_2$ とみなせるものと仮定する。また、前者に関しては試験体が飽和状態であり、注入圧力が試験体寸法に比べて大きければ、その影響は小さくなる事が推定される。

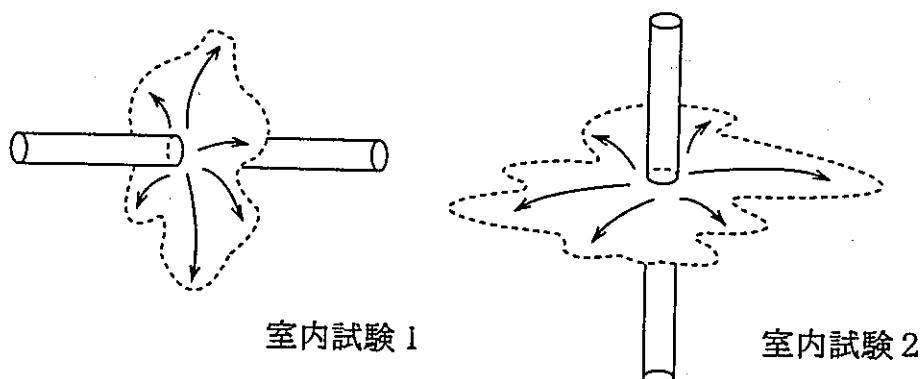


図-2.4. 1 方向の違いによる水の流れ予想

室内試験1と2でP-Qの関係に有意の差が見られる場合、図-2.4.2のような形でその差異をとらえておく。また、このときの $P_2 - Q_2$ の関係が室内試験5において垂直荷重を求める時の基準になると予想される。

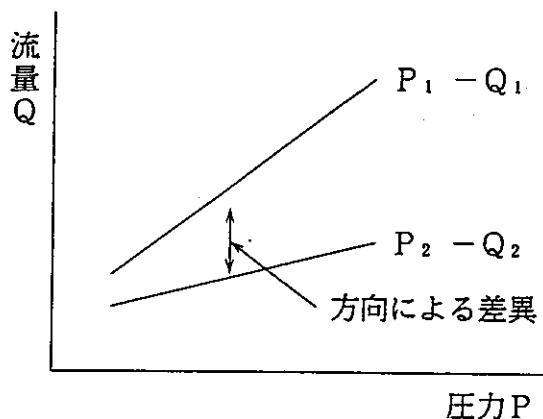


図-2.4.2 方向の違いによるP-Qの関係

2.5 ロックボルトの撤去

垂直荷重の載荷により亀裂開口幅を再現しようとするときに、ロックボルト（ $\phi 25$ 鋼棒×4本）はその支障となり撤去の必要がある。ただし、そのまま撤去を行うと亀裂の固定措置がなくなり、試験体が分離する恐れがあるため、試験装置による垂直荷重載荷までの代替固定措置として、ターンバックル型の金具を取り付ける。ボルトの撤去はコアボーリングにより行い、撤去後の孔は軟質のコーティング材にて充填する。

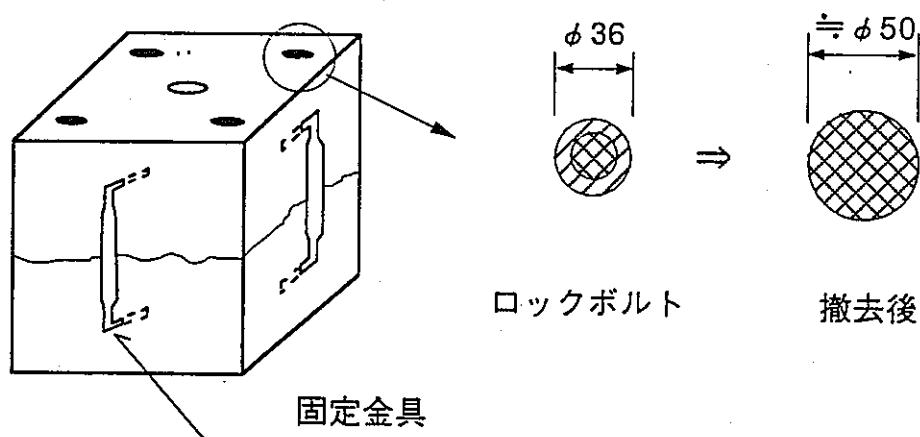


図-2.5.1 ロックボルトの撤去

ロックボルトの撤去による室内試験1(2)と室内試験3(4)の試験条件の違いは、

- ・拘束方法、拘束荷重の差により開口幅 Δ が変化する
- ・ロックボルト部分は径が大きくなる事により、水の流れ得る面積が減少する

の2項目となる。しかし、この内後者は全体面積(46cm×46cm)に比べると0.4%と極くわずかである事から無視するものとする。よって、前者のみを条件の差と考え、室内試験1と3の比較により、拘束荷重によって亀裂開口幅が変化する事、すねわち適切な荷重を載荷すれば原状の開口幅を再現し得る事を確認しておく。

2.6 垂直荷重の載荷（室内試験5）

試験体をLABROCK試験装置に設置し、載荷できる状態にしてから固定金具を撤去し、段階的に載荷しながらそれぞれのP-Qの関係を求める。方向の影響を係数として $P_1 - Q_1$ に対応する $P_5 - Q_5$ が得られた時、その荷重 p において $\Delta_0 = \Delta_5$ と考える。

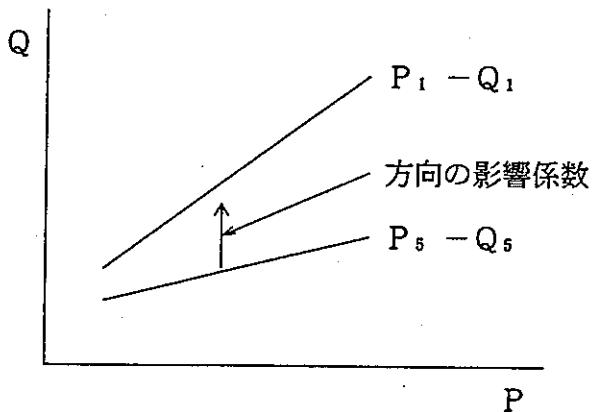


図-2.6.1 初期開口幅 Δ_0 となる $P_5 - Q_5$

3. 切り出し箇所の調査、試験および切り出し箇所周辺のスリット削孔

3.1 調査、試験およびスリット削孔の概要

岩体の切り出し箇所としては、図-3.1.1に示すように平成4年度に切り出した岩体の奥側とした。ここで、平成4年度に切り出した岩体中の亀裂は、流下試験の結果、水みちとしてのチャンネリングが存在することが確認されているが、奥側の亀裂部分にチャンネリングが存在するとは限らないのでチャンネリングが存在することを確認するとともに、亀裂開口幅の拘束条件を把握するための調査、試験を実施した。この調査、試験では、岩体内部の開口幅を直接測定することが不可能であるため、開口幅に代わる特性として亀裂の透水性を取り上げ、原位置で透水試験を実施し、その透水特性を室内試験において再現することにより原位置での亀裂開口幅を再現するものとする。ここで、原位置での透水試験を行うに当たって、境界条件の影響が無視できないと考えられることから、スリット削孔の前後において透水試験を行った。

調査、試験およびスリット削孔の概要を順を追って以下に述べる。

(1) 透水試験試験孔錐進

図-3.1.1に示すように切り出し岩体のほぼ中央付近で、昨年度発破によって拡幅した方向から孔径 47.6mm、孔長 1.4mの試錐を行い透水試験試験孔を錐進した。試錐機とポンプの仕様を表-3.1.1に示す。

表-3.1.1 試錐機およびポンプの仕様

試錐機		ポンプ	
製造	鉱研試錐機	製造	鉱研試錐機
型式	オリンパス形	型式	R P - 1 A
機体寸法	1280×1825×800mm	吐出量	max. 25litter/min
機体重量	600kg	吐出圧力	max. 70kgf/cm ²
スピンドル回転数	100-300-600-1000rpm		
スピンドルストローク	600mm		

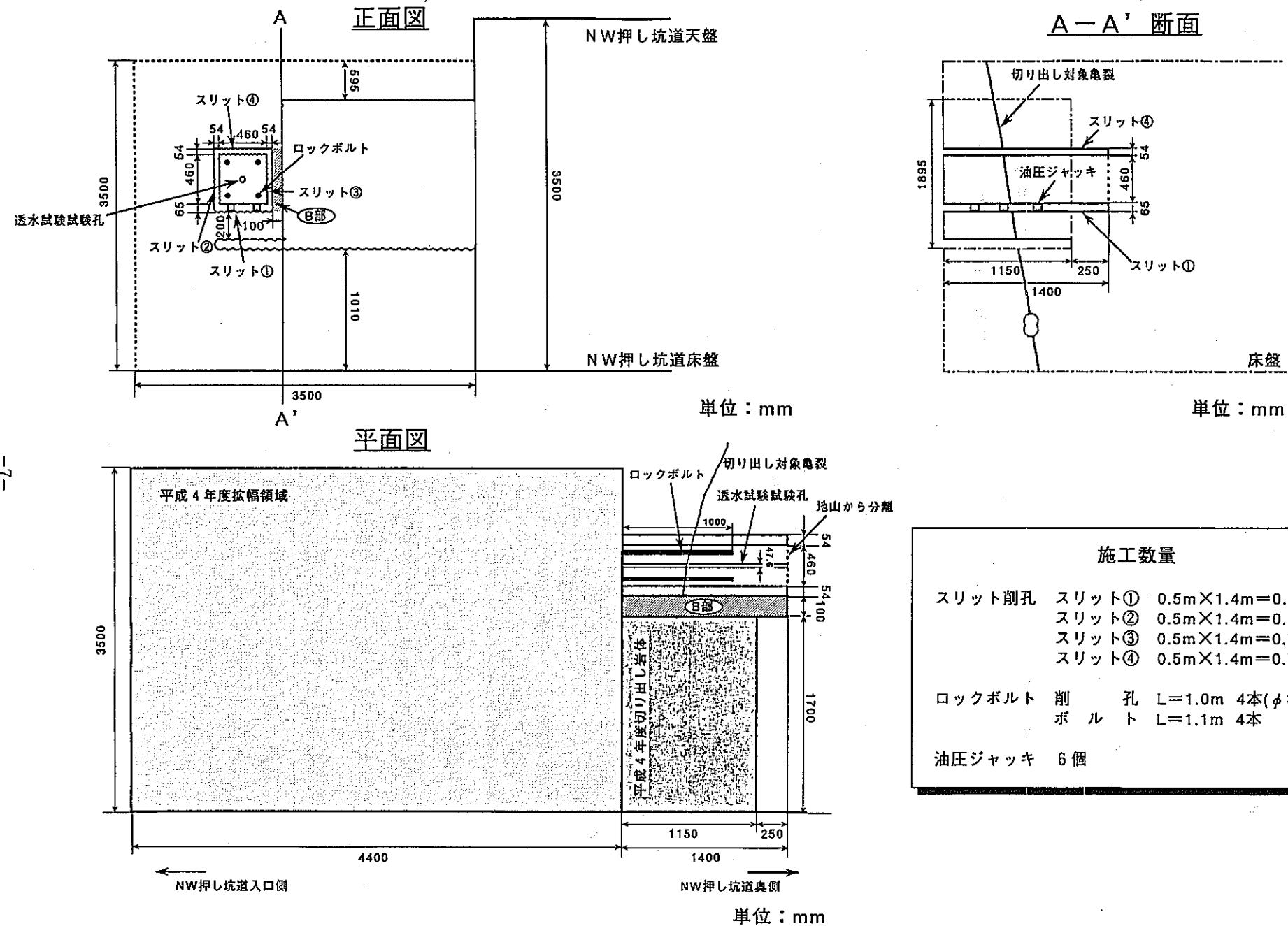


図-3.1.1 岩体の切り出しの概要

(2) 岩芯鑑定

試験孔の錐進が終了した時点で、岩芯鑑定を行い、透水試験時のパッカー設置位置を決定した。

(3) ロックボルト打設

まず、亀裂固定用のロックボルトを打設するための、孔（孔径 36.0mm、孔長 1.0m）を 4 本削孔した。次に、亀裂固定用のロックボルトを打設した。このロックボルトの配置を図-3.1.1に示す。なお、ロックボルトは全面接着型のレジンタイプである。ロックボルトおよびレジンカプセルの仕様を表-3.1.2に示す。

表-3.1.2 ロックボルトおよびレジンの仕様

	製品名	仕 様	製 造
レジンカプセル	セリフィックスN	Φ32.0mm×500速硬タイプ	株式会社エフ・シー
ロックボルト	異形棒鋼	D25×1.0m	株式会社エフ・シー

(4) 透水試験

ルジョン試験は、試錐孔内にパッカーを設置し、孔口よりロッドを通して圧力水を注入した時の注入圧力と注入量から地盤の透水性を評価する方法で、定常法の透水試験の一つである。このうち、低圧ルジョン試験は、注入圧力レベルの低いもので、現状の岩盤にあまり影響を与えない方法である。今回実施する透水試験においても、対象亀裂内の充填物等に与える人為的な影響を極力小さくすることが望ましいため、低圧ルジョン試験を採用し、注入圧力レベルの低い領域で数段階の昇圧、降圧を行った。

一般に、低圧ルジョン試験を行った場合の透水係数は、次式で算出することができる。

$$k = \frac{N \cdot \ln(L/r)}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

ここで、 k : 透水係数(cm/sec)

Q : 注入量(cm³/sec)

L : 試験区間長(cm)

r : 試験試錐孔半径(cm)

N : 注入圧力 - 注入量線図で得られる直線の勾配(cc/sec/cm)

しかしながら、今回実施した低圧ルジョン試験では、試験対象亀裂内が不飽和であり、浸出面も存在することから、透水係数の算出は行わなかった。

試験装置およびダブルパッカーの概要を図-3.1.2、仕様を表-3.1.3に示す。

表-3.1.3 試験装置およびダブルパッカー仕様一覧

名 称	仕 様		
圧力タンク	注入圧力 大流量用	最大 内径	10.0 ϕ mm
		断面積	345.6 cc/mm
	小流量用	容量	93.8 cc/mm
		内径	75.0 litter
		断面積	35.0 ϕ mm
		容量	0.962 cc/mm
			0.770 litter
流量計	流量範囲	0.1~ 1.5	litter/min
	一次圧力	1.0~ 5.0	kgf/cm ²
	耐圧試験	10.0	kgf/cm ²
	流量精度	1.0	%full scale
パッカー	全長	320.0	mm
	エレメント長	300.0	mm
	無圧時径	47.0	mm
	区間長	100.0	mm
圧力変換器	容量	2.0	kgf/cm ²
	非直線性	0.23	%R0
	ヒステリシス	0.35	%R0
データロガー	測定範囲	$\times 1$ レンジ	$0 \sim \pm 10000 \times 10^{-6}$ ひずみ
注入用圧力 レギュレーター	一次圧力	0.0~150.0	kgf/cm ²
	二次圧力	0.0~ 10.0	kgf/cm ²

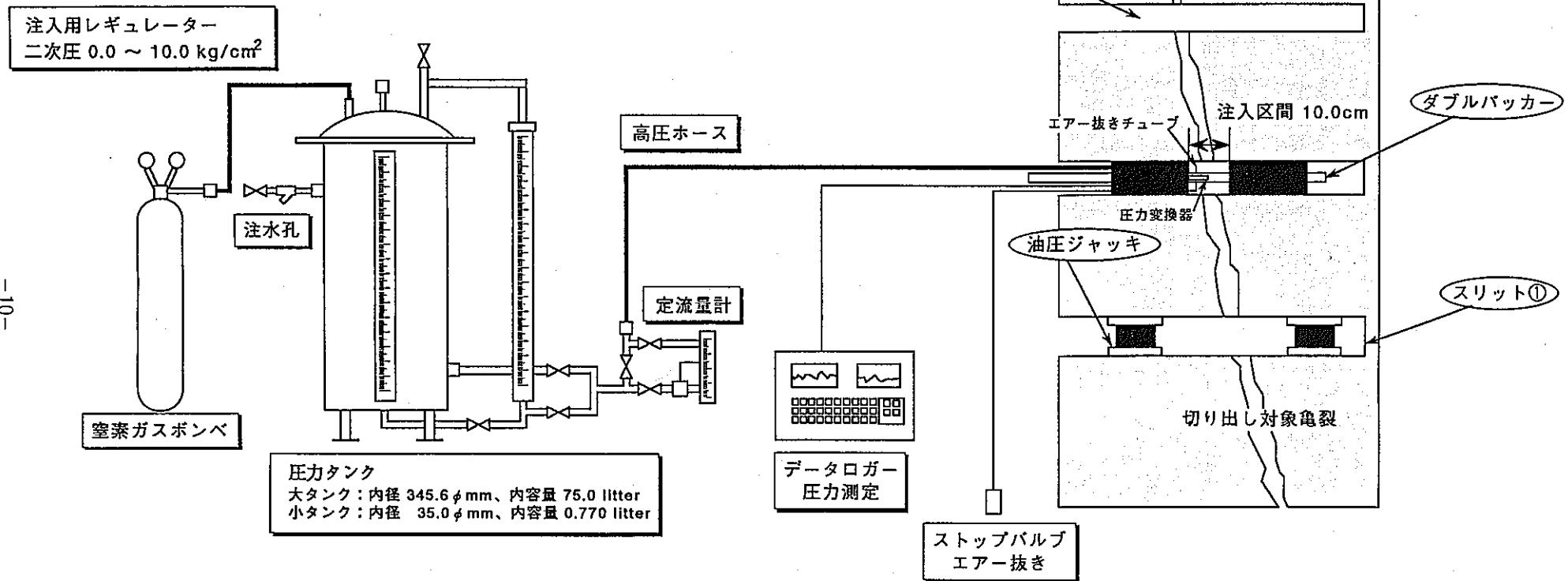


図-3.1.2 試験装置およびダブルパッカーの概要

この低圧ルジオン試験では、ダブルパッカーを用いて設定した注入区間に水を注入し、注入圧力と注入量の関係を把握した。定圧注入は、窒素ガスポンベの圧力をレギュレーターにより一定に調整し、内部を水で満たせた圧力タンクに加圧することにより行った。一定圧力に加圧された水は、注水ホースを通じてダブルパッカーにより隔離された区間に注入される。注入量はタンク内水位の下降量から算出し、注入時の圧力は注入区間に取り付けられた圧力変換器により電気信号に変換されたものを指示器により読みとった。

図-3.1.3および図-3.1.4にダブルパッカーの詳細図を示す。使用したダブルパッカーは、一般に、メカニカルパッカーと称されるもので、ロッドの部分が二重管構造となっており、上側のロッドを油圧によって押し込むことによりラバー部を膨張させる構造となっている。水圧の伝達には、内径 6.0mm、外径 8.0mmのジュンロンチューブを用い、注入区間長は対象亀裂のみを含む構造とするため、10.0cmとした。また、平成4年度に切り出した岩体の状況から、試験対象亀裂内は不飽和であることが予想されたため、注入区間にはエアー抜きチューブも併せて取り付けた。

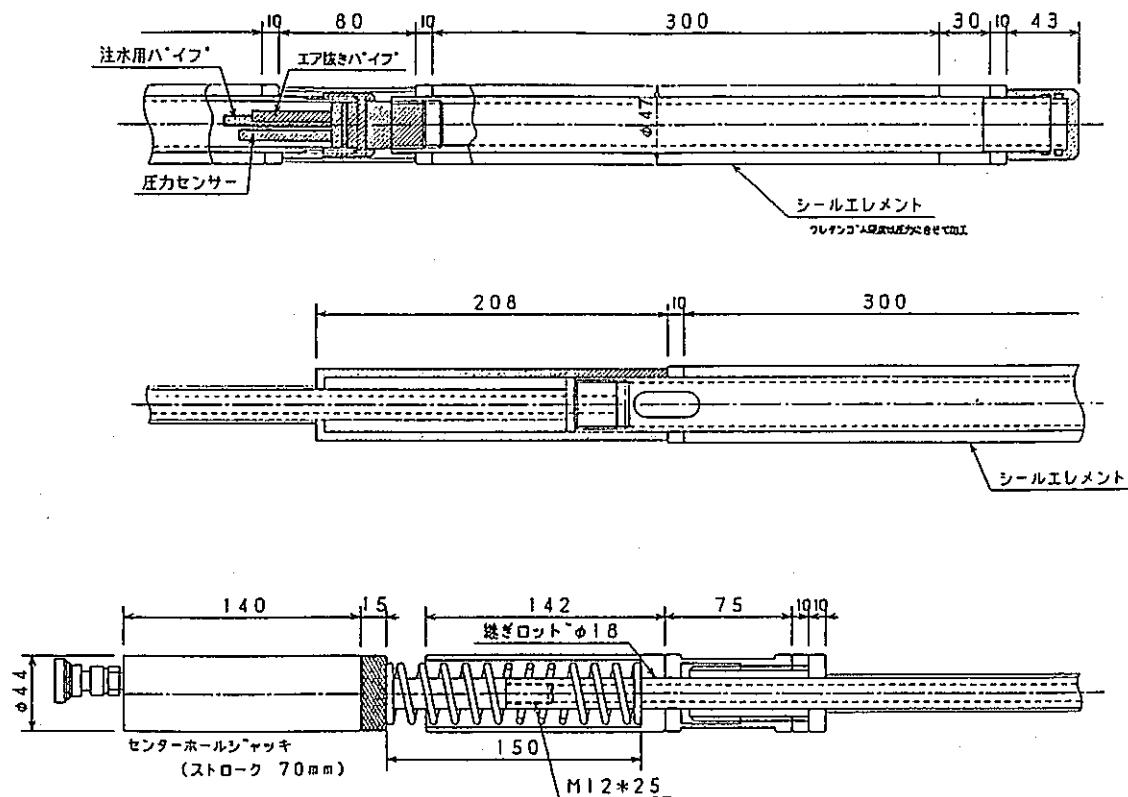
(4) スリット①削孔

境界条件を制御するため、図-3.1.1に示すように切り出し箇所の周辺にスリットを削孔した。このスリット削孔は、昨年度発破によって拡幅した箇所から行い、スリット①は岩体の下面に沿って水平に削孔（乾式、孔径 65.0mm、孔長 1.4m）した。削岩には、大成削岩機械株式会社製の KH-80形ディープホールドリルを用いた。その仕様を表-3.1.4に示す。ここで、亀裂面と接触する削孔において湿式

表-3.1.4 KH-80形ディープホールドリルの仕様

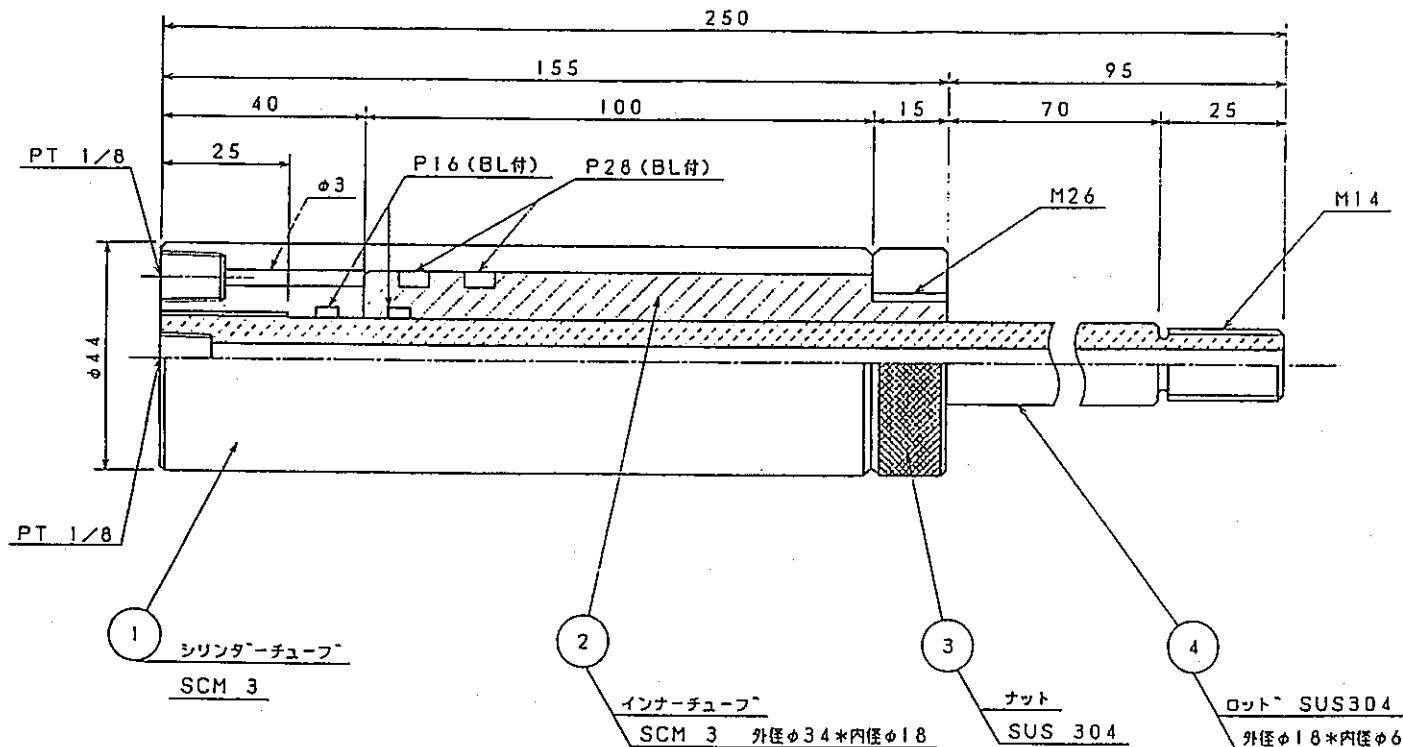
重量	全長×高	シリヤー径	ハンマー		打撃数	回転数	空気消費量
kg	mm	mm	ストロークmm	重量kg	N/min	rpm	m ³ /min
80	780×195	114.3	92	6.53	1600	280	7.7

とした場合、濁水の侵入による異物の侵入や、亀裂内充填物等の流失の可能性が



名 称	ルシ"オン試験用タ"フルハ'ッカ-
機器名	メカニカルハ'ッカ-概略図
図 番	— —

図-3.1.3 ダブルパッカーの詳細図 (1)

NOTE

- 1. 定格圧力: 450 kgf/cm²
- 2. 見圧面積: 9.42 cm²
- 3. 押力 : 4.24 ton
- ストローク: 70 mm

名 称	ルシオン試験用タフ・ルバッカ	
機器名	センターホール・シャッキ	
図 番	—	—

図-3.1.4 ダブルバッカの詳細図 (2)

あり、試験状態としては適当でない。したがって、このような状況を防ぐために亀裂面と接触するスリット削孔は平成4年度と同様にすべて乾式とした。なお、乾式削孔を行うことによって発生する粉塵に関しては、ウォーターカーテンを用いて対処した。

(5) 岩体受工

スリット削孔の進展とともに、岩体が不安定な状態になるのを防ぐために、スリット①削孔終了時に岩体の受工を行った。受工は、 $\phi 65.0\text{mm}$ の孔内に挿入可能な小型の油圧ジャッキ（株大阪ジャッキ製作所製、T04G1.5形、揚力 4tf）をスリット①の2列の孔に3個ずつ、計6個挿入して行った。なお、設置に際しては、切り出し対象亀裂に人為的な応力が作用しないように十分注意を払った。使用した油圧ジャッキの詳細図を図-3.1.5に示し、設置の概要を図-3.1.6に示す。

(6) スリット③削孔

昨年度発破によって拡幅した箇所から対象岩体に向かって右側面に沿って垂直に削孔（乾式、孔径 54.0mm、孔長 1.4m）した。なお、削孔終了後、図-3.1.1に示すB部を、切り出し岩体に影響を与えないよう十分注意して除去した。

(7) スリット②削孔

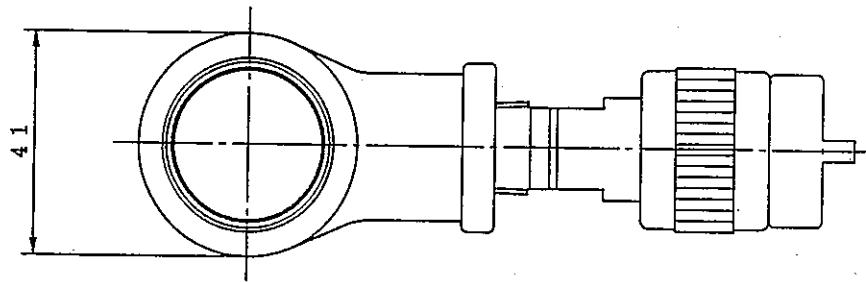
昨年度発破によって拡幅した箇所から対象岩体に向かって左側面に沿って垂直に削孔（乾式、孔径 54.0mm、孔長 1.4m）した。

(8) スリット④削孔

昨年度発破によって拡幅した箇所から対象岩体の上面に沿って水平に削孔（乾式、孔径 54.0mm、孔長 1.4m）した。

(9) 透水試験

スリット削孔によって境界条件を制御した後、再度透水試験を行った。なお、試験の実施方法はスリット削孔前の透水試験と同様のものとした。



仕 様	T04G1.5
形 式	
揚 力	4 t f
ストローク	15 mm
使用圧力	約 623 kgf/cm ²
試験圧力	720 kgf/cm ²
最低高さ	44 mm
所要油量	約 10 ml
重 量	約 0.8 kgf

-51-

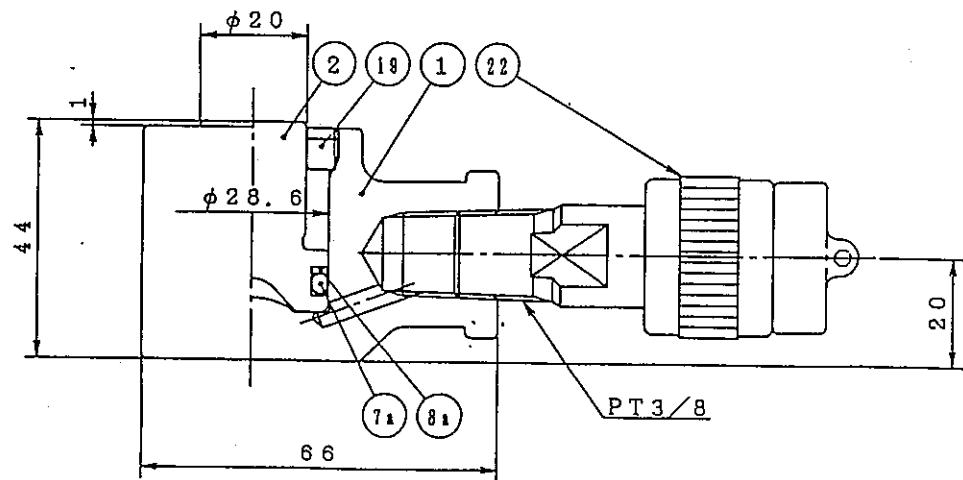
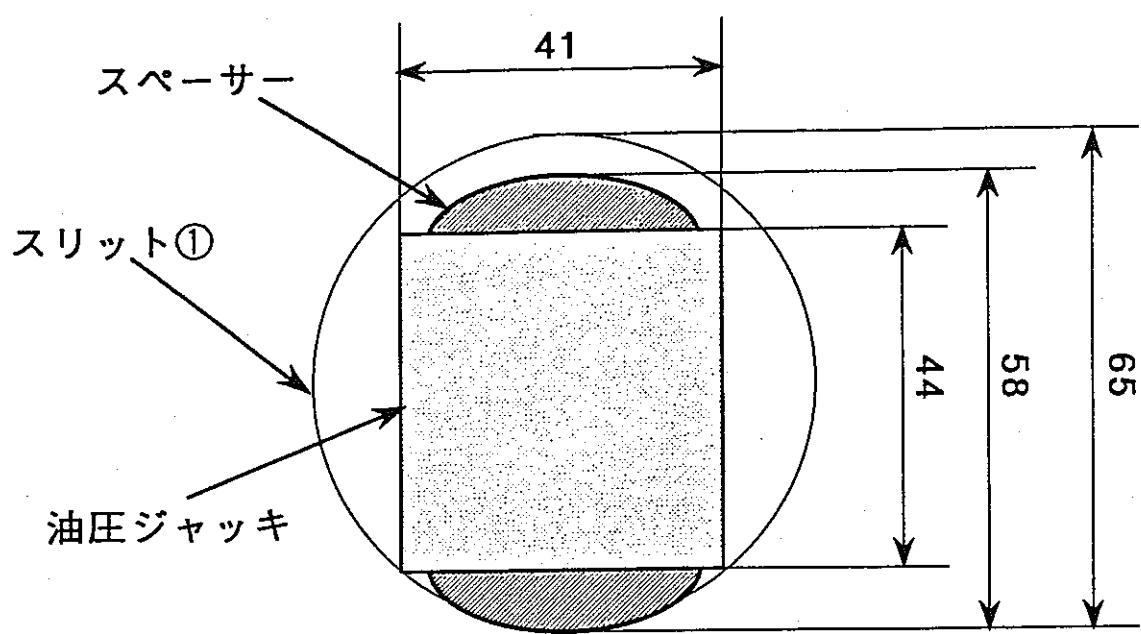
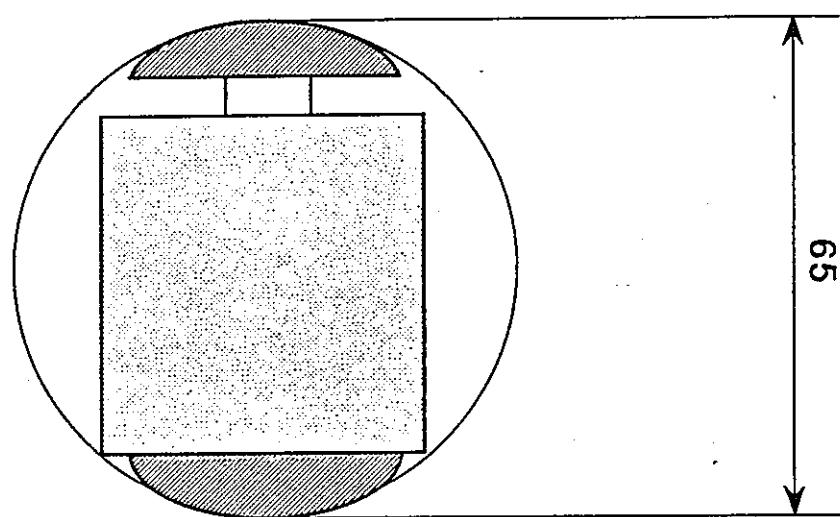


図-3.1.5 油圧ジャッキの詳細図

部 品	部 品 名 称	材 料	数 量	单 箇 量	記 事
22	カップラー		1	B-6 (J)	
19	ロッドカバー	SCM435	1	熱処理	
8a	バックアップリング	PTFE	1	N0. 17	
7a	O-リング	N B R	1	N0. 17 Hs: 90°	
2	ピストンロッド	SCM435	1	熱処理 ハードクロムメッキ	
1	シリンダチューブ	PCD50	1		
18	可	担当	圖面ファイル名: T04G1.5 FLNO. PJ881102		
三 角 法	四 面 名 称				
尺 度 1 / 1	T04G1.5形 油圧ジャッキ				
製図年月日 88.12.1	四 面番号 O.J.T -31-0152				監理番号



(a) 油圧ジャッキ加圧前



(b) 油圧ジャッキ加圧後

単位 : m m

図-3.1.6 油圧ジャッキ設置の概要

3.2 調査、試験結果

(1) 透水試験孔岩芯鑑定結果

透水試験孔亀裂スケッチを図-3.2.1に示し、評価した亀裂の一覧表を表-3.2.1に示す。深度 63cm付近の岩芯破碎部においては、方解石および束沸石が黒色混合鉱物に挟まれた亀裂の破片が認められ、この亀裂は平成4年度に切り出した対象亀裂であると考えられる。これらの破片中の亀裂も対象亀裂同様に充填脈と母岩の境界が破断面となっており、元来開口していたものと推測される。また、深度 70～80cm付近の岩芯破碎部でも同様の亀裂が認められ、平成4年度に切り出した対象亀裂が枝分かれ（対象亀裂と同時期に同様の成因で応力拡散のために亀裂が数本に分かれたもの）した亀裂と考えられる。さらに、深度 80cm～110cm付近の黒色混合鉱物を充填物とする亀裂は、平成4年度に切り出した対象亀裂に派生して生じたもの（亀裂が活動することにより生じたもの）と考えられ、この区間は亀裂の影響域と考えられる。

(2) ダブルパッカーの性能試験

透水試験に先立ち、ラバー膨張時の各部の移動量、遮水状況および注入区間に取り付けた圧力変換器の性能試験を行った。すなわち、図-3.2.2に示すように、プルドン管式圧力計（GA11-231-10K）を取り付けた内径 48.0mmの透明のアクリルパイプを作成し、そのアクリルパイプの中にダブルパッカーを挿入してラバーを膨張させ、前述の各項目について性能試験を実施した。ラバー膨張時の各部の移動量を図-3.2.3に示す。

注水ホースを通じて水を注入し加圧を行った結果、試験区間からの注入水の漏れはなく、プルドン管式圧力計の読み値と圧力変換器の出力値は精度良く一致した。

(3) スリット削孔前の透水試験結果

図-3.2.1に示した透水試験孔亀裂スケッチより、対象亀裂は、試験孔の位置で口元から深度 63cm付近に出現しているものと推定される。したがって、まず初めに、注入区間を深度 58.0～68.0cmとして透水試験を行った。しかしながら、対象

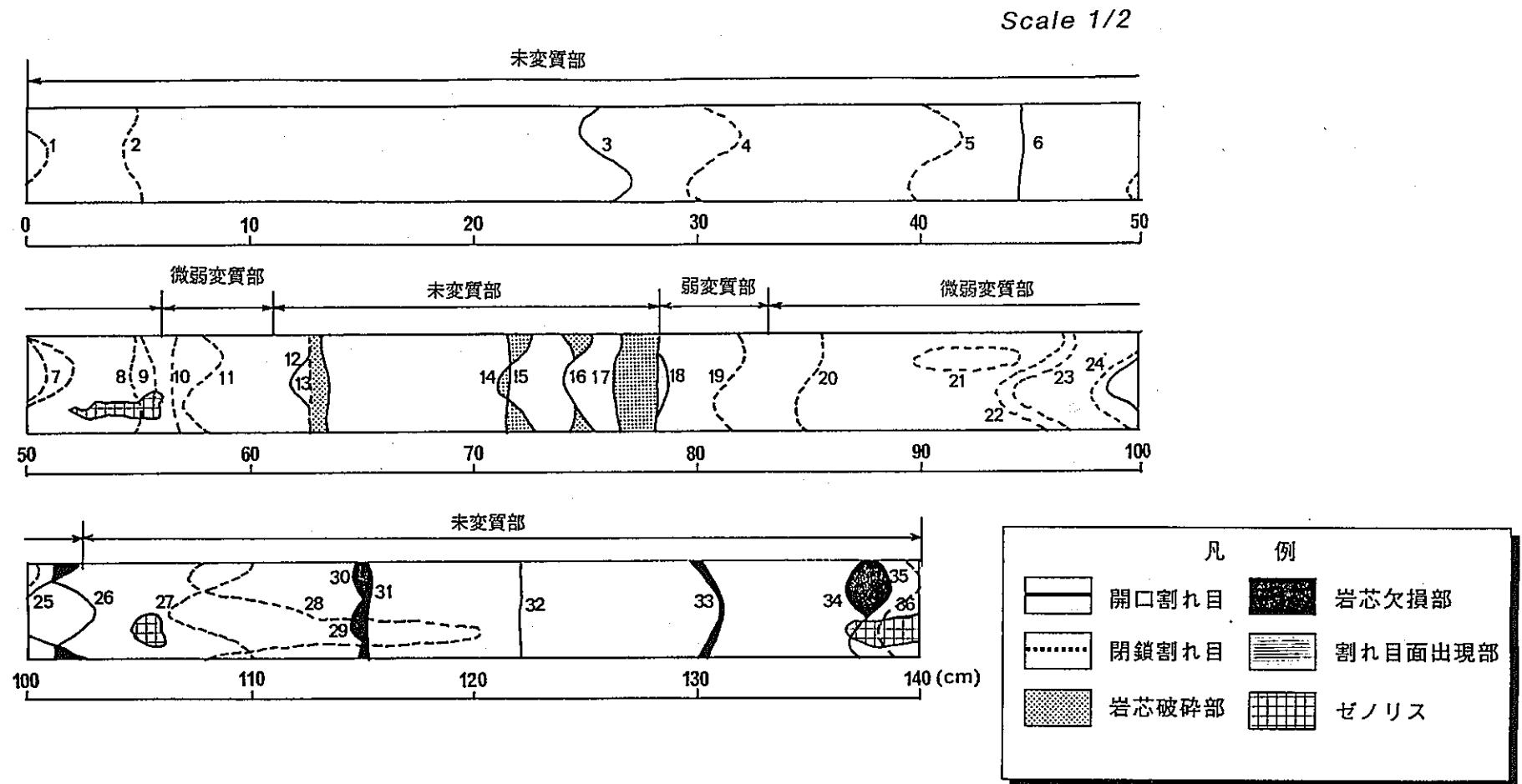


図-3.2.1 透水試験孔亀裂スケッチ

表一3.2.1 亀裂評価一覧表

亀裂番号	亀裂深度(cm)	開口の有無	開口幅(mm)	充填幅(mm)	端形状	充填鉱物	備考
1	1.0	C	—	1.7	X?	cal	
2	4.4	C	—	—	XX	—	オレンジ色変質を伴う
3	25.2	O	0.1	—	XX	—	
4	30.0	C	—	—	XX(BR)	—	黄緑色変質を伴う
5	41.0	C	—	—	XX	—	黄緑色変質を伴う
6	44.8	O	0.1	—	XX	—	
7	51.0	C	—	—	XX(BR)	—	オレンジ色変質を伴う
8	54.6	C	—	0.1	XX	ST	
9	55.6	C	—	—	BR	—	オレンジ色変質を伴う
10	56.4	C	—	0.1	XX	ST	
11	57.4	C	—	0.3	XX	cal	オレンジ色変質を伴う
12	63.0	O	2.0	—	XX	—	
13	64.0	C	—	0.1	XX	cal	
14	71.0	O	0.1	—	XX	—	
15	72.0	O	0.3	2.0	XX	BKM	赤色変質(5mm)を伴う
16	74.0	O	0.1	—	XX	—	
17	76.0	O	16.0	—	XX	—	岩芯破碎
18	78.0	O	?	0.1	X?	BKM	
19	82.0	C	—	5.0	XX	cal+BKM	
20	85.0	C	—	4.0	XX	cal+BKM	
21	92.0	C	—	2.0	XX	cal	
22	94.4	C	—	0.5	XX	BKM	
23	95.2	C	—	0.5	XX	BKM	
24	100.0	C	—	4.5	XX	ST+BKM	
25	100.0	O	0.1	—	XX	—	
26	102.0	O	0.1	—	XD	—	
27	108.0	C	—	0.3	XX	BKM	白色変質を伴う
28	112.0	C	—	2.5	XX	ST+cal	白色変質を伴う
29	114.0	O	0.1	—	XD	—	
30	114.0	O	0.1	—	XD	—	
31	115.0	O	0.4	—	XX	—	
32	122.0	O	0.7	—	XX	—	
33	130.0	O	1.5	0.1	XX	cal	
34	136.0	O	?	—	XD	—	
35	138.4	O	0.2	—	XX	—	
36	139.0	C	—	2.8	XX	cal	

凡例

開口の有無	充填鉱物	亀裂端形状
O：開口亀裂	cal：方解石	XX：岩芯を横切る亀裂
C：閉鎖亀裂	ST：束沸石	XD：他の亀裂により切られている亀裂
	BKM：黒色混合鉱物	BR：数本に分れている亀裂

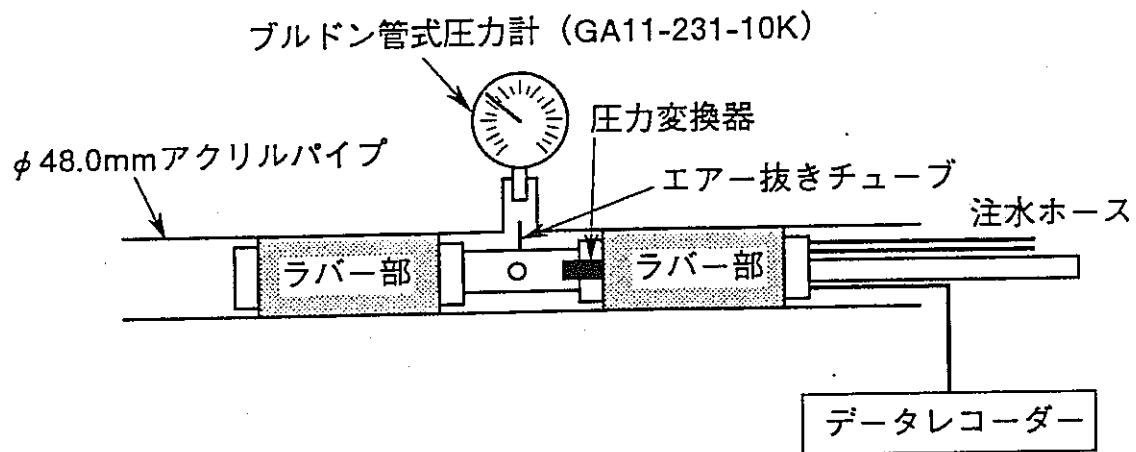


図-3.2.2 ダブルパッカー性能試験の概要

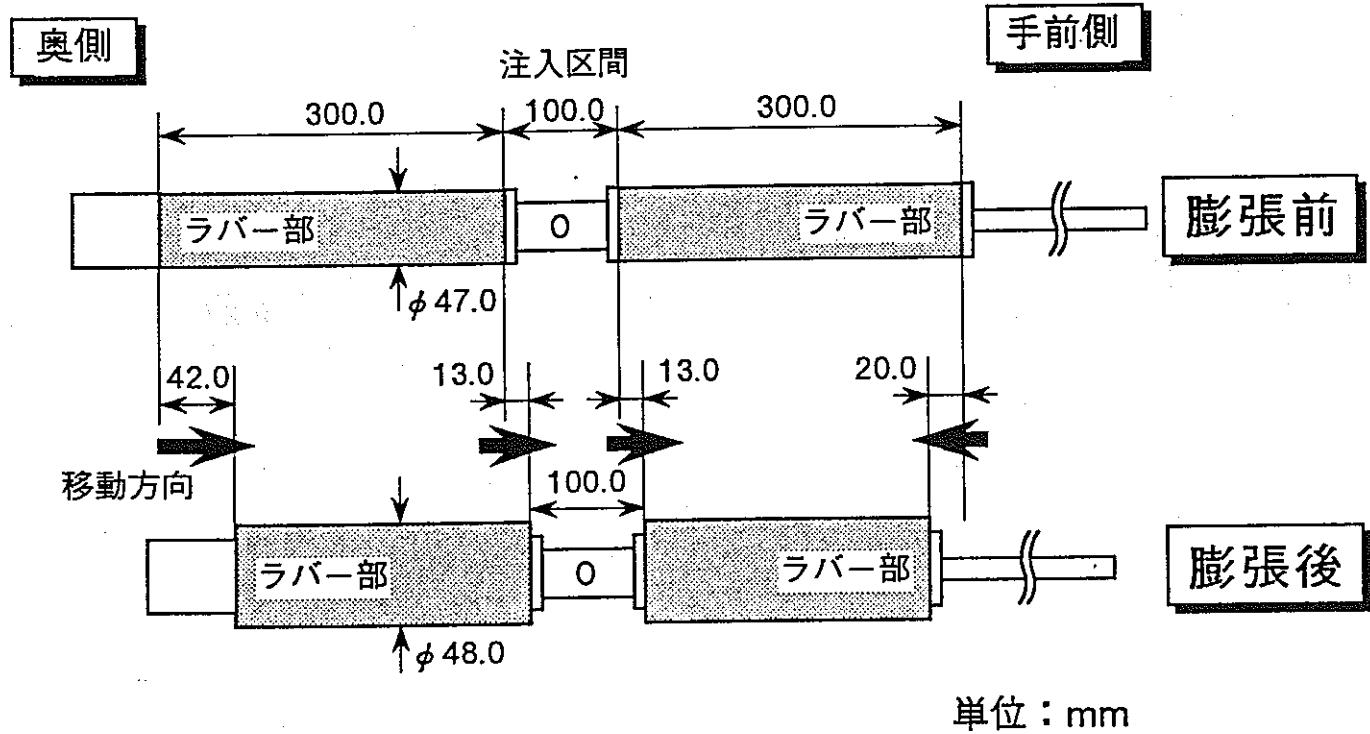


図-3.2.3 ラバー膨張時における各部の移動量

亀裂の開口部分が非常に大きく注入ラインでの圧力損失が極めて大きくなり、試験区間内の注入圧力の計測ができなかった。ダブルパッカーの構造上、これ以上注水ホースの内径を大きくすることは不可能であることから、試験対象亀裂を深度 70~77cm付近に出現しているものに変更し、注入区間を深度 68.7~78.7cmとして透水試験を行うこととした。

スリット削孔前の透水試験時のデータシートを表-3.2.2に示し、各注入圧力段階における注入圧力と注入量の定常値をプロットしたものを図-3.2.4に示す。なお、各注入圧力段階においては、エアーバルブからエアーバルブが完全に抜けた状態から注入圧力と注入量がほぼ定常に達するまで加圧し続けた。また、注入圧力と注入量の定常値は、各注入圧力段階の最後の5分間のデータを平均して算出した。

注入圧力は、0.32kgf/cm²からスタートし、最大 1.54kgf/cm²まで約 0.25kgf/cm²おきに昇圧および降圧を行った。図-3.2.4に示すとおり、降圧において注入圧力が約 1.0kgf/cm²の時の注入量が昇圧時のそれと比較して約 1.8倍となった。これは、試験対象亀裂内の充填物が注入水によって抜け落ち、水みちが変化してしまったことに起因するものと考えられる。したがって、この時点で注入を中止し、さらに低い注入圧力レベルで試験を行うこととした。

さらに低い注入圧力レベルで実施した時のデータシートを表-3.2.3に示し、各注入圧力段階における注入圧力と注入量の定常値をプロットしたものを図-3.2.5に示す。ここで、注入圧力は、0.23kgf/cm²からスタートし、最大 0.73kgf/cm²まで約 0.25kgf/cm²おきに昇圧および降圧を行った。注入圧力と注入量の関係は概ね直線関係にあり、昇圧の全データから最小二乗法により算出した回帰直線の傾きは、1151.7(cc/min)/(kgf/cm²)であった。

(4) スリット削孔後の透水試験結果

スリット削孔後の透水試験時のデータシートを表-3.2.4に示し、各注入圧力段階における注入圧力と注入量の定常値をプロットしたものを図-3.2.6に示す。ここで、注入圧力は、0.05kgf/cm²からスタートし、最大 0.26kgf/cm²まで約 0.05kgf/cm²おきに昇圧および降圧を行った。昇圧段階において、注入圧力と注入量の関係は注入圧力が 0.17kgf/cm²付近までは概ね直線関係にあり、この圧力値付近

表-3.2.2 透水試験時のデータシート(スリット削孔前)

調査名	LABROCK試験体切り出し(低圧透水試験)										試験実施年月日	平成5年8月3日(火)										
試験深度	68.7~78.7cm										試験孔名	LABROCK透水試験孔										
試験区間長	10cm										試験孔長	1.4m										
圧力計深度	1.4m										試験孔径	48.0mm										
パッカーワーク	油圧 55kgf/cm ²										水温	12.0°C										
間隙水圧測定	経過時間(min.)	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分		
	観測圧力(kgf/cm ²)																					
タンク内圧力(kgf/cm ²)	0.5										経過時間(min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分
タンク断面積(cc/mm)	94.762										タンク水位(mm)	654.5	649.8	644.7	639.9	634.7	629.3	624.5	619.0	614.0	608.8	603.7
	観測圧力(kgf/cm ²)	0.278	0.302	0.315	0.319	0.323	0.323	0.324	0.323	0.322	0.322	0.319										
タンク内圧力(kgf/cm ²)	0.7										経過時間(min.)	11分	12分	13分								定常値
タンク断面積(cc/mm)	94.762										タンク水位(mm)	598.6	593.5	588.6								注入量: 481.4cc/min 注入圧: 0.32kgf/cm ²
	観測圧力(kgf/cm ²)	0.319	0.318	0.317																		
タンク内圧力(kgf/cm ²)	1.1										経過時間(min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分
タンク断面積(cc/mm)	94.762										タンク水位(mm)	553.1	546.7	540.1	534.3	527.8	521.6	514.7	508.1	502.1	495.5	488.9
	観測圧力(kgf/cm ²)	0.508	0.509	0.509	0.509	0.508	0.506	0.506	0.504	0.503	0.501	0.500										
タンク内圧力(kgf/cm ²)	1.5										経過時間(min.)	11分	12分	13分	14分							定常値
タンク断面積(cc/mm)	94.762										タンク水位(mm)	482.7	476.1	469.8	463.1							注入量: 614.1cc/min 注入圧: 0.50kgf/cm ²
	観測圧力(kgf/cm ²)	0.499	0.497	0.496	0.495																	
タンク内圧力(kgf/cm ²)	1.75										経過時間(min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分
タンク断面積(cc/mm)	94.762										タンク水位(mm)	662.8	654.1	646.0	638.9	629.3	621.0	613.0	604.9	596.7	588.2	580.2
	観測圧力(kgf/cm ²)	0.770	0.772	0.774	0.773	0.773	0.770	0.770	0.769	0.769	0.769	0.769										注入量: 773.3cc/min 注入圧: 0.77kgf/cm ²
タンク内圧力(kgf/cm ²)	2.2										経過時間(min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分
タンク断面積(cc/mm)	94.762										タンク水位(mm)	482.1	473.0	464.0	454.0	444.0	435.8	426.0	417.0	408.0	398.7	389.0
	観測圧力(kgf/cm ²)	0.987	0.992	0.993	0.996	0.996	0.996	0.996	0.995	0.993	0.993	0.993										
タンク内圧力(kgf/cm ²)	1.75										経過時間(min.)	11分	12分	13分	14分							定常値
タンク断面積(cc/mm)	94.762										タンク水位(mm)	380.3	370.7	362.0	352.5							注入量: 875.6cc/min 注入圧: 0.99kgf/cm ²
	観測圧力(kgf/cm ²)	0.993	0.992	0.989	0.989																	
タンク内圧力(kgf/cm ²)	1.75										経過時間(min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分
タンク断面積(cc/mm)	94.762										タンク水位(mm)	695.2	684.1	673.9	663.0	653.0	642.8	632.0	621.8	611.2	600.6	590.0
	観測圧力(kgf/cm ²)	1.246	1.242	1.242	1.240	1.237	1.236	1.231	1.227	1.221	1.221	1.217										注入量: 1000.7cc/min 注入圧: 1.23kgf/cm ²
タンク内圧力(kgf/cm ²)	1.75										経過時間(min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分
タンク断面積(cc/mm)	94.762										タンク水位(mm)	735.1	724.9	714.0	702.9	692.5	681.6	671.0	660.1	649.8	639.0	628.5
	観測圧力(kgf/cm ²)	1.266	1.266	1.262	1.257	1.254	1.252	1.250	1.248	1.245	1.244	1.241										注入量: 1006.4cc/min 注入圧: 1.25kgf/cm ²
タンク内圧力(kgf/cm ²)	1.9										経過時間(min.)	0分	1分	2分	3分							定常値
タンク断面積(cc/mm)	94.762										タンク水位(mm)	640.4	624.0	607.9	591.1							注入量: 1557.3cc/min 注入圧: 1.00kgf/cm ²
	観測圧力(kgf/cm ²)	0.999	1.001	1.001	1.000																	

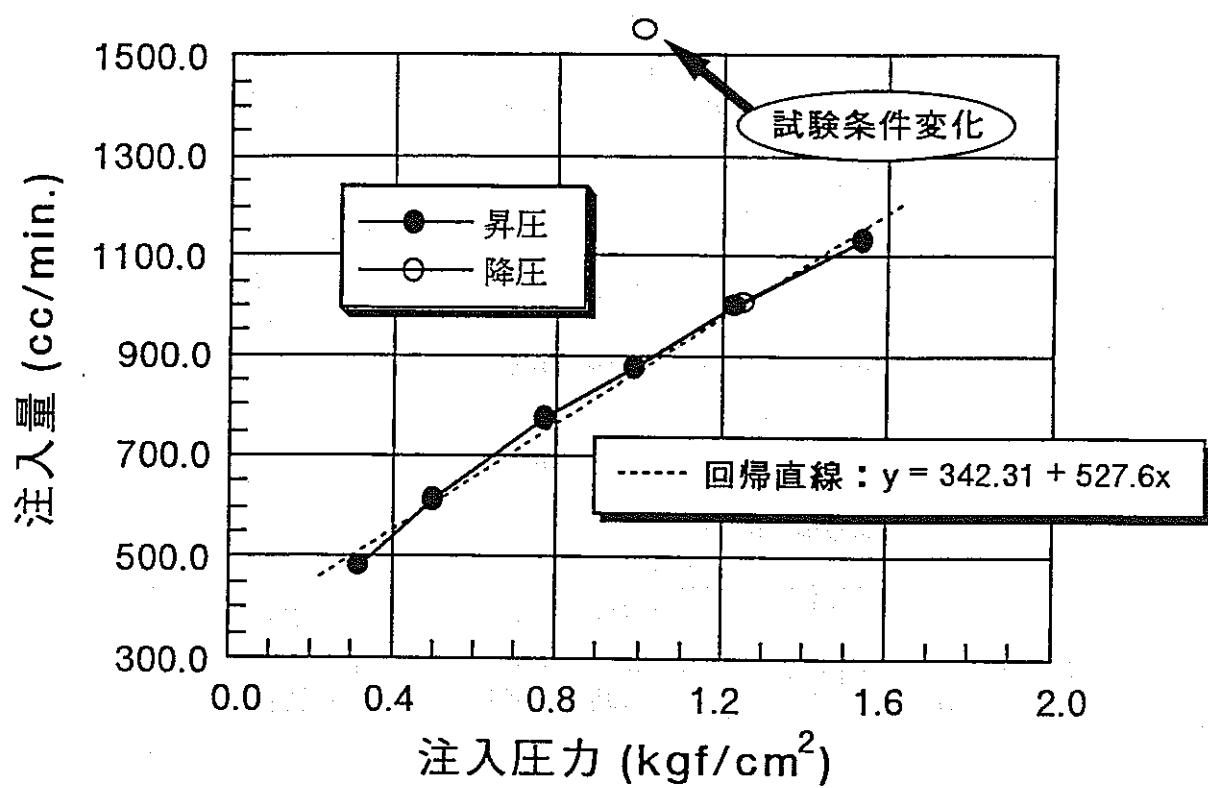


図-3.2.4 注入圧力と注入量の関係（スリット削孔前）

表-3.2.3 透水試験時のデータシート（スリット削孔前）

調査名	LABROCK試験体切り出し（低圧透水試験）										試験実施年月日	平成5年8月4日（木）	
試験深度	68.7~78.7cm										試験孔名	LABROCK透水試験孔	
試験区間長	10cm										試験孔長	1.4m	
圧力計深度	1.4m										試験孔径	48.0mm	
パッカーパターン	直角										水温	12.0℃	
間隙水圧測定	経過時間(min.)	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分
	観測圧力(kgf/cm ²)												
タンク内圧力(kgf/cm ²)	0.5	経過時間(min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分
タンク断面積(cc/mm)		タンク水位(mm)	745.0	737.3	730.8	724.4	717.9	710.8	704.4	697.9	691.0	684.9	678.0
		観測圧力(kgf/cm ²)	0.252	0.243	0.240	0.237	0.235	0.231	0.230	0.227	0.227	0.226	0.224
タンク内圧力(kgf/cm ²)	1.0	経過時間(min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分
タンク断面積(cc/mm)		タンク水位(mm)	620.2	609.1	598.9	588.0	577.8	567.5	557.1	546.8	536.0	525.7	515.5
		観測圧力(kgf/cm ²)	0.508	0.512	0.514	0.516	0.516	0.514	0.514	0.514	0.512	0.510	0.510
タンク内圧力(kgf/cm ²)	1.47	経過時間(min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分
タンク断面積(cc/mm)		タンク水位(mm)	727.4	714.5	701.8	689.5	675.7	663.0	650.5	638.0	625.5	612.5	600.0
		観測圧力(kgf/cm ²)	0.745	0.743	0.741	0.737	0.735	0.733	0.732	0.732	0.729	0.728	0.728
タンク内圧力(kgf/cm ²)	1.0	経過時間(min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分
タンク断面積(cc/mm)		タンク水位(mm)	691.7	680.9	670.0	659.2	649.1	639.0	628.0	617.7	607.0	596.9	586.4
		観測圧力(kgf/cm ²)	0.522	0.529	0.529	0.530	0.529	0.529	0.528	0.525	0.525	0.524	0.522
		経過時間(min.)	11分										
		タンク水位(mm)	576.0										
		観測圧力(kgf/cm ²)	0.522										
タンク内圧力(kgf/cm ²)	0.5	経過時間(min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分
タンク断面積(cc/mm)		タンク水位(mm)	759.3	752.8	746.1	739.9	733.4	726.9	720.1	714.0	707.8	701.1	695.0
		観測圧力(kgf/cm ²)	0.248	0.241	0.241	0.231	0.226	0.222	0.221	0.219	0.216	0.216	0.215
		経過時間(min.)	11分										
		タンク水位(mm)	689.0										
		観測圧力(kgf/cm ²)	0.214										

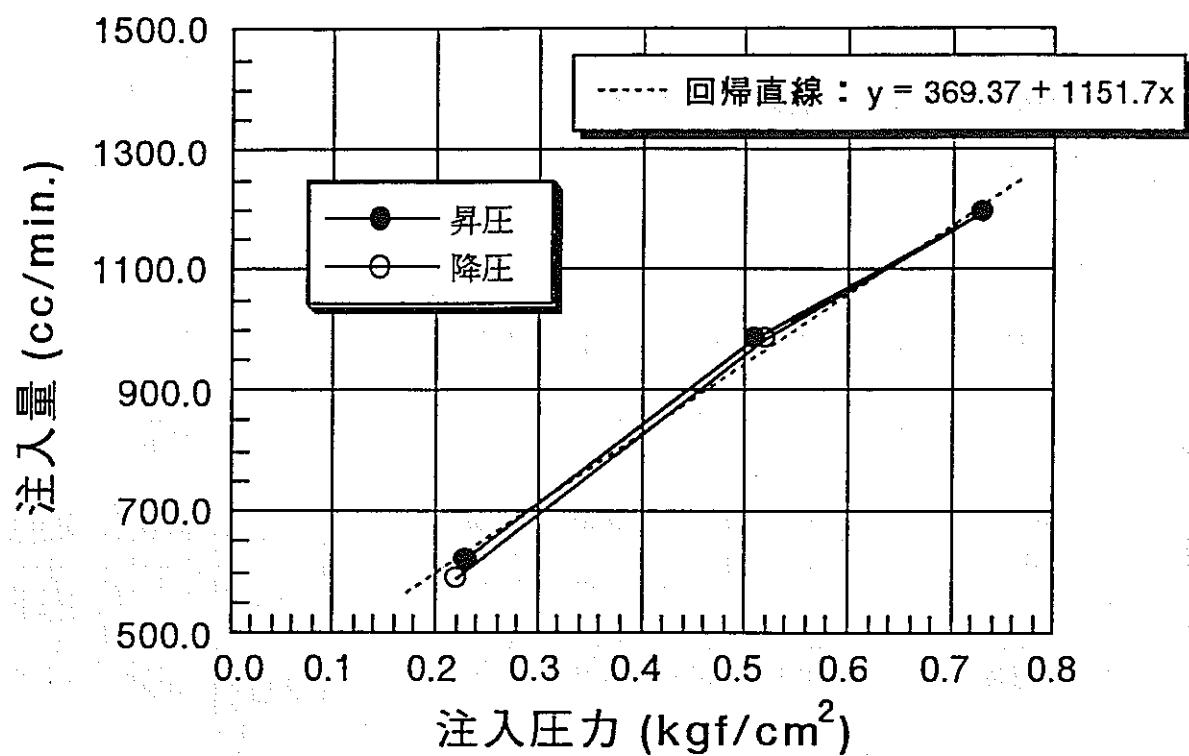


図-3.2.5 注入圧力と注入量の関係（スリット削孔前）

表-3.2.4 透水試験時のデータシート（スリット削孔後）

調査名	LABROCK試験体切り出し（低圧透水試験）									試験実施年月日	平成5年8月24日（火）											
試験深度	68.7~78.7cm									試験孔名	LABROCK透水試験孔											
試験区間長	10cm									試験孔長	1.4m											
圧力計深度	1.4m									試験孔径	48.0mm											
バッカーパーク	油圧 50.0kgf/cm ²									水温	12.0°C											
間隙水圧測定	経過時間 (min.)	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分						
	観測圧力 (kgf/cm ²)																					
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	0.5									経過時間 (min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分	定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762									タンク水位 (mm)	663.0	654.0	645.0	637.0	627.1	618.5	609.9	601.0	593.0	584.7	576.0	
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.066	0.066	0.065	0.063	0.063	0.062	0.062	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061		
	経過時間 (min.)	11分																			定常値	
	タンク水位 (mm)	567.7																				注入量 : 799.8cc/min 注入圧 : 0.06kgf/cm ²
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	0.7									経過時間 (min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分	定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762									タンク水位 (mm)	718.7	706.1	694.7	682.5	670.0	657.9	645.8	633.8	621.5			注入量 : 1156.1cc/min 注入圧 : 0.11kgf/cm ²
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.104	0.106	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107		
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	1.0									経過時間 (min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分	定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762									タンク水位 (mm)	682.8	667.7	650.0	634.0	617.7	601.1	585.0	569.1	553.0			注入量 : 1535.1cc/min 注入圧 : 0.17kgf/cm ²
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.162	0.164	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166		
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	1.2									経過時間 (min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分	定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762									タンク水位 (mm)	735.0	717.0	699.0	682.2	665.0	648.0	630.0	612.7	595.0	578.0	560.3	注入量 : 1662.1cc/min 注入圧 : 0.20kgf/cm ²
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.197	0.198	0.198	0.198	0.198	0.198	0.198	0.198	0.198	0.198	0.198	0.198	0.198	0.198	0.198	0.198	0.198	0.198	0.198		
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	1.4									経過時間 (min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分	定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762									タンク水位 (mm)	731.9	711.0	690.7	670.1	650.0	631.0	610.5	590.6	570.3	550.1	531.0	
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.256	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257		
	経過時間 (min.)	11分																			定常値	
	タンク水位 (mm)	511.5																			注入量 : 1876.3cc/min 注入圧 : 0.26kgf/cm ²	
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	1.2									経過時間 (min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分	定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762									タンク水位 (mm)	722.1	705.1	689.7	672.2	655.8	639.0	622.0	605.7	588.5			注入量 : 1586.3cc/min 注入圧 : 0.20kgf/cm ²
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.202	0.200	0.200	0.199	0.199	0.198	0.198	0.198	0.198	0.197	0.197	0.197	0.196								
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	1.0									経過時間 (min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分	定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762									タンク水位 (mm)	763.5	748.8	734.1	720.0	705.4	691.7	677.4	663.9	650.0	636.0		注入量 : 1315.3cc/min 注入圧 : 0.15kgf/cm ²
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.158	0.157	0.156	0.154	0.153	0.152	0.150	0.148	0.146	0.145											
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	0.7									経過時間 (min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分	定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762									タンク水位 (mm)	768.1	757.7	746.5	736.3	725.7	715.7	705.1	694.9				注入量 : 977.9cc/min 注入圧 : 0.09kgf/cm ²
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.100	0.098	0.096	0.094	0.092	0.091	0.091	0.090													
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	0.5									経過時間 (min.)	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分	定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762									タンク水位 (mm)	708.8	699.0	689.2	680.0	670.0	660.1						注入量 : 923.0cc/min 注入圧 : 0.08kgf/cm ²
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.084	0.083	0.082	0.080	0.079	0.078															

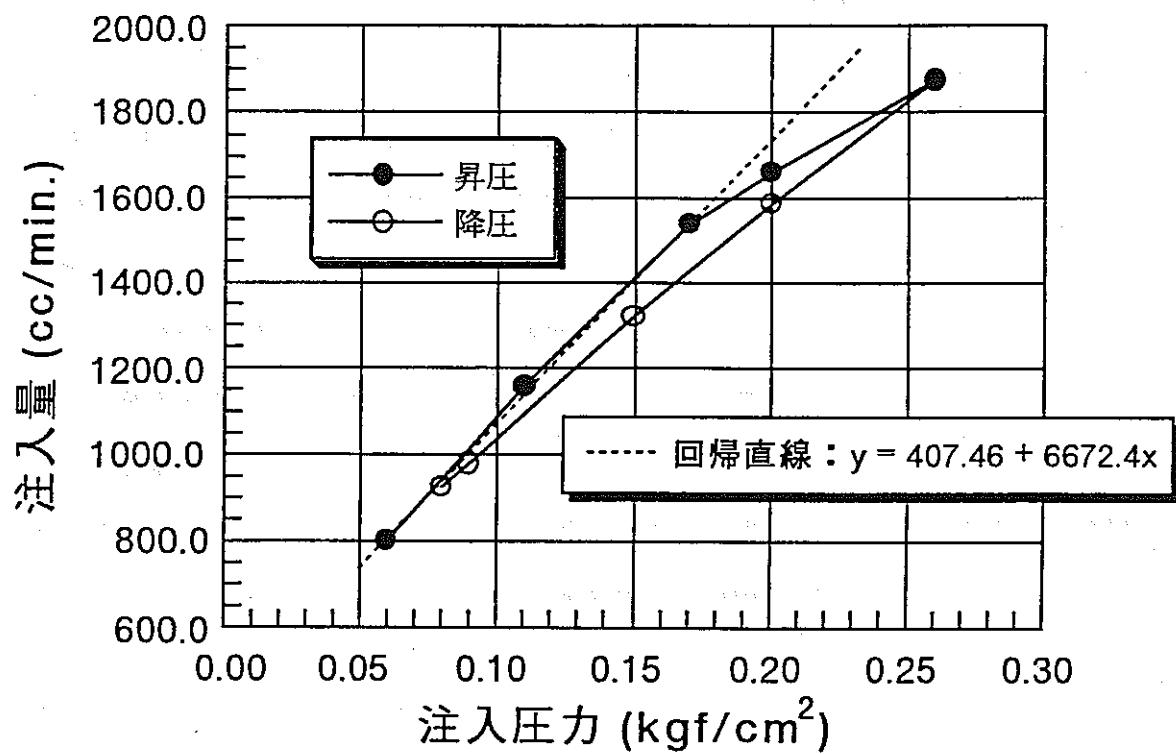


図-3.2.6 注入圧力と注入量の関係（スリット削孔後）

に限界圧力が存在するものと考えられる。この注入圧力 0.17kgf/cm^2 までのデータから最小二乗法により算出した回帰直線の傾きは、 $6672.4(\text{cc}/\text{min})/(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ であった。この回帰直線の傾きとスリット削孔前の透水試験から得られた回帰直線の傾き $1151.7(\text{cc}/\text{min})/(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ とを比較すると、スリット削孔後の透水試験から得られた回帰直線の傾きは、スリット削孔前の透水試験から得られた回帰直線の傾きの約 5.8倍となり、注入圧力-注入量線図は上方向にシフトした。これは、主として境界条件の影響と考えられる。なお、この他にスリット削孔時の削岩機による振動等の影響により、割れ目内の水みちが変化したことも可能性として考えられる。

スリット①、スリット②および NW押し坑道側の側面で注入した水の浸出箇所を観測した。その結果、スリット①および NW押し坑道側の側面において岩体整形範囲以外の領域で注入水が浸出していると判断される箇所が存在した。一方、整形終了後、室内で亀裂開口幅の拘束条件を把握するための透水試験が計画されている。この時、注入水の浸出箇所を含まない範囲で岩体を整形し、透水試験を実施すると、原位置と境界条件が一致しないことになる。そこで、岩体引き出し後、試験対象亀裂以外の岩体全表面に樹脂を塗布することによって人為的に不透水境界を作り、原位置での透水試験を再度実施することにした。この結果は、後述の 4.3で述べる。

4. 岩体引き出しおよび亀裂開口幅測定

4.1 岩体引き出しの概要

岩体引き出しの概要を順を追って以下に述べる。

(1) スリット⑤削孔

当初、スリット⑤の削孔は、岩体に向かって奥側の面に沿って垂直に削孔（湿式、孔径 36.0mm、孔長 0.5m）する予定であった。しかしながら、スリット④削孔終了時に鋼性パイプを挿入した時、岩体端部に応力集中が起こり、切り出し岩体前面から約 140cm に存在するほぼ垂直に立った亀裂の影響もあいまって地山の部分と切り出し岩体が完全に分離した。したがって、スリット⑤の削孔は行わなかつた。

(2) 岩体引き出し

鋼製パイプ（配管用炭素鋼钢管 50A、外径 60.5mm、厚さ 3.8mm）をスリット①に複数本設置し、足場パイプを用いて岩体引き出し用ステージを組み立てた。この引き出しステージの準備完了後、油圧ジャッキを徐々に除荷し、岩体の荷重を油圧ジャッキから鋼製パイプに移し換えた。次に、設置した鋼製パイプを 20cmほど手前に引き出し、岩体背後にワイヤーが入るスペースを確保した。その後、岩体にワイヤーを大回しにかけて徐々に引き出した。岩体引き出しの概要を図-4.1.1 に示す。

引き出し作業が終了した時点で、岩体外周を複数の鋼製バンドおよびワイヤーで固定した。次に、チェーンブロックで岩体を吊り上げた後、台車に乗せ代えて NW 押し坑道まで静かに岩体を移動させた。

4.2 亀裂開口幅測定

引き出し作業後、亀裂マッピングおよび亀裂開口幅測定を行うために岩体を鋼製の台上に設置し、亀裂固定用の鋼製バンドおよびワイヤーを取り外した。まず最初に、岩体 2 側面、上面および下面に現れた全亀裂のマッピングを行った。この展開図を図-4.1.2 に示すとともに付図 1 として巻末に添付する。この図からもわかるように、切り出した岩

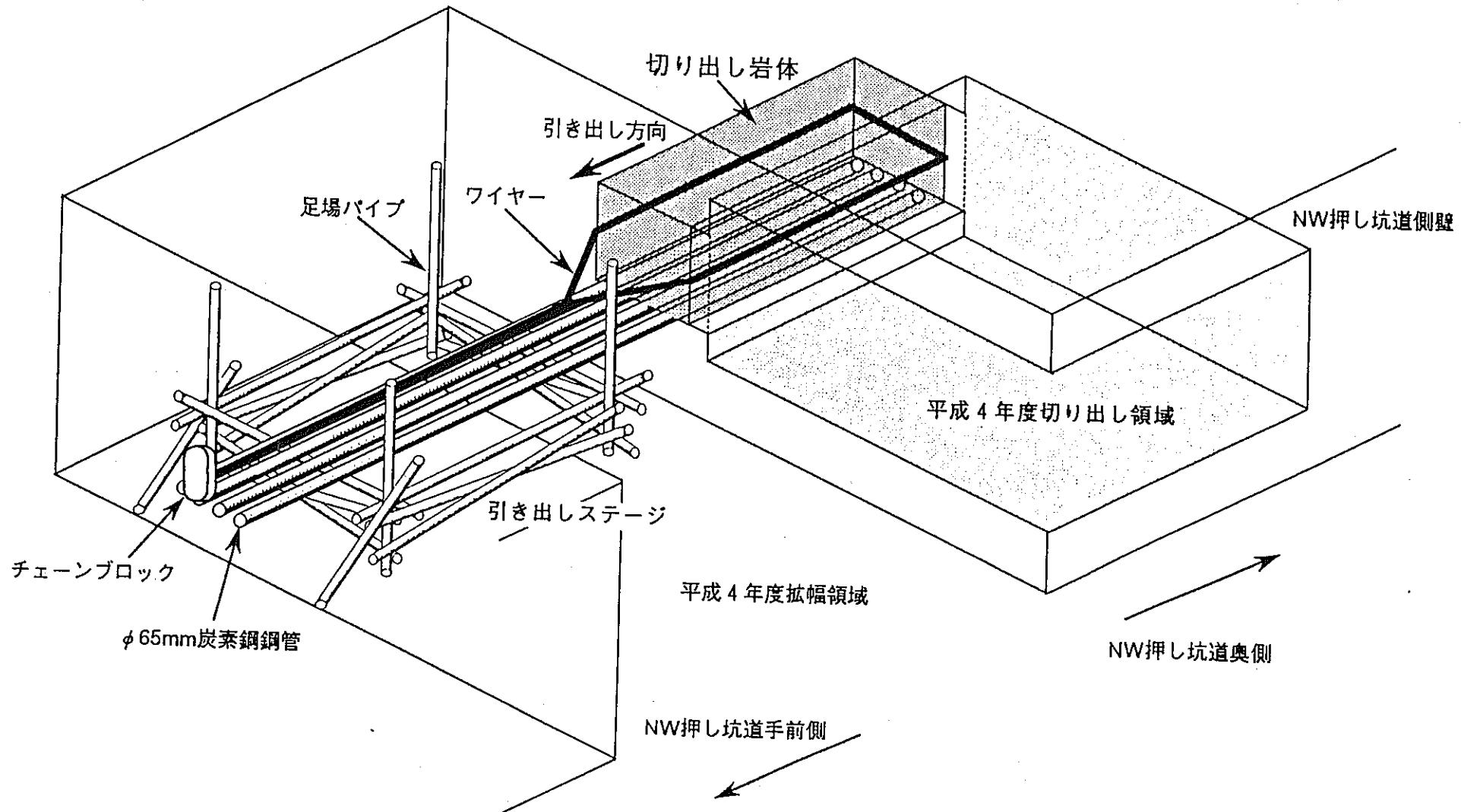


図-4.1.1 岩体引き出しの概要

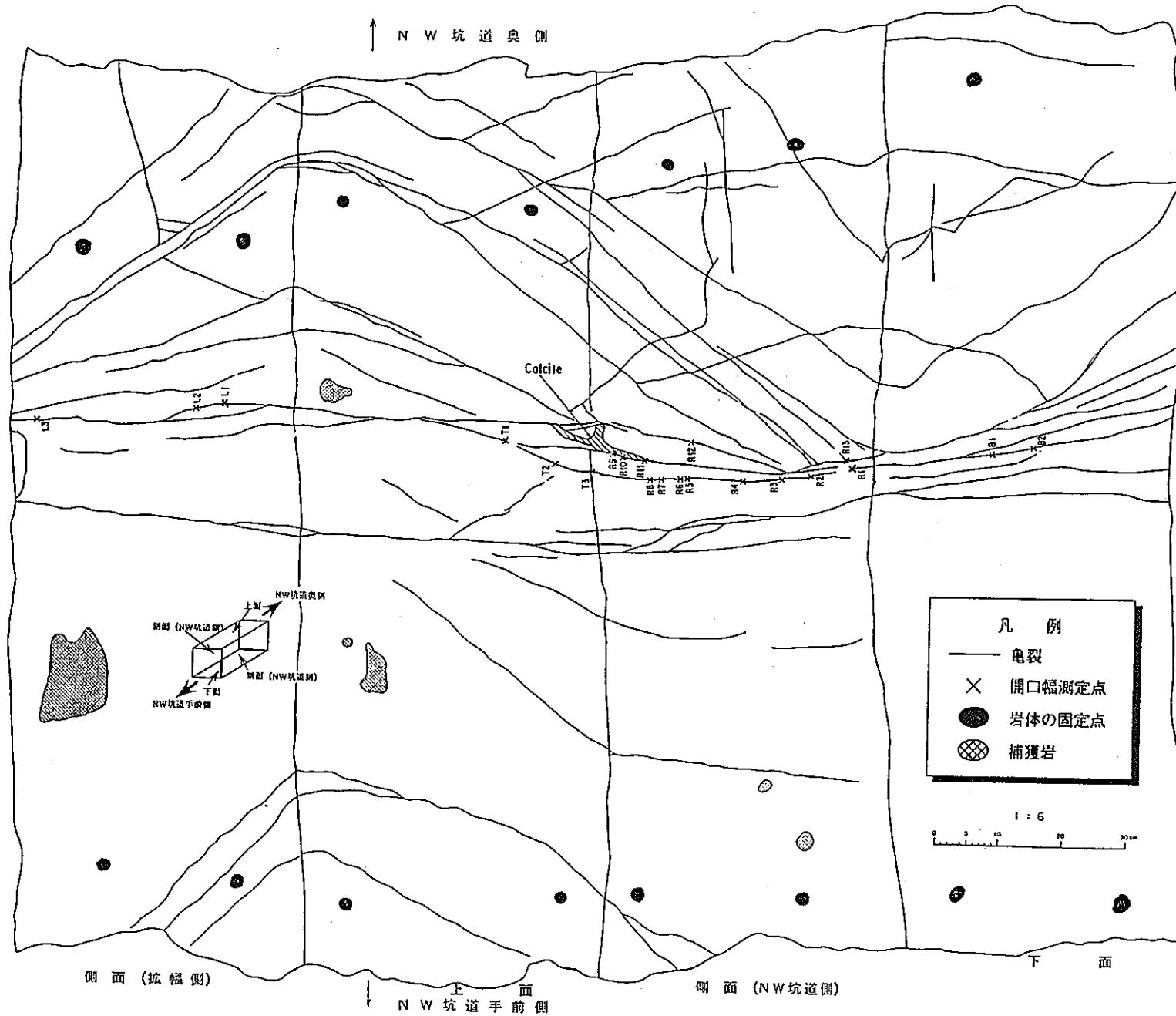


図-4.1.2 岩体側面の亀裂展開図および開口幅測定点の位置

体には、対象亀裂以外にも亀裂が多数存在する。昨年度切り出し位置を決定した時には、このような亀裂は NW押し坑道側壁ではほとんど観察されなかつたことを考えると、岩盤中の亀裂の複雑さを示している。

次に、透水試験で対象亀裂としたものについて、ルーペ（株式会社マルイ製、1/20mm 最小目盛り）を用いて亀裂の開口幅を測定した。測定点は全部で 21箇所であり、測定結果を表-4.2.1に示す。

表-4.2.1 亀裂開口幅測定結果

測定点	開口幅mm	測定点	開口幅mm	測定点	開口幅mm
R 1	3.10	R 8	1.00	L 2	0.50
R 2	0.60	R 9	0.30	L 3	0.50
R 3	0.50	R 10	1.00	T 1	0.50
R 4	0.10	R 11	0.50	T 2	0.30
R 5	1.50	R 12	0.30	T 3	0.20
R 6	1.20	R 13	1.00	B 1	2.00
R 7	1.00	L 1	3.50	B 2	1.50

なお、測定点の位置はマッピングした亀裂とともに図-4.1.2および付図1に示す。当初、測定は 2cmおきに行う予定であったが、各側面に出現した対象亀裂のほとんどが充填鉱物によって充填されていること、およびスリット削孔の影響で各側面に凹凸があることから、測定点を多くとることができなかつた。そこで、ルーペで試験対象亀裂を観察していくながら、開口が認められる位置で測定を行つた。測定点の中には、表面の充填鉱物が単に抜け落ちただけのものもあり、このような箇所では、見かけの開口幅を測定しているにすぎないであろう。しかしながら、岩体運搬による対象亀裂のずれのチェックや、整形後の荷重条件設定での目安になるデータであると考えられる。

4.3 樹脂塗布後の透水試験

3.2(4)で述べたスリット削孔後の透水試験では、前述したように、NW押し坑道側の側面において岩体整形範囲以外の領域で注入水が浸出している箇所が存在した。したがって、岩体引き出し後、試験対象亀裂以外の岩体全表面に樹脂を塗布することによって人為的に不透水境界を作り、原位置での透水試験を再度実施した。塗布した樹脂の仕様を表-4.3.1に示す。

表-4.3.1 塗布した樹脂の仕様

	製品	製造
樹脂	エポキシ樹脂系GY260	㈱長瀬産業
硬化剤	ハードナーHY956	㈱長瀬産業

まず最初に、岩体2側面および上面を水で清掃し、樹脂を塗布した。その後丸1日放置し養生を行った。次に、岩体を回転させ、岩体下面に樹脂を塗布した。これも同様に、丸1日放置し養生を行った。樹脂と硬化剤はほぼ1:1の割合で混合したものを用いた。なお、樹脂を塗布した領域を図-4.3.1に示す。

この樹脂塗布後の透水試験時のデータシートを表-4.3.2に示し、各注入圧力段階における注入圧力と注入量の定常値をプロットしたものを図-4.3.2に示す。ここで、注入圧力は、0.02kgf/cm²からスタートし、最大0.25kgf/cm²まで約0.05kgf/cm²おきに昇圧および降圧を行った。昇圧段階において、注入圧力と注入量の関係は注入圧力が0.15kgf/cm²付近までは概ね直線関係にあり、この圧力値の付近に限界圧力が存在するものと考えられる。この注入圧力0.15kgf/cm²までのデータから最小二乗法により算出した回帰直線の傾きは、6322.6(cc/min)/(kgf/cm²)であった。ここで、各透水試験で得られた注入圧力と注入量の回帰直線の傾きを表-4.3.3に示す。この回帰直線の傾きとスリット削孔後の透水試験から得られた回帰直線の傾き6672.4(cc/min)/(kgf/cm²)とを比較すると、若干低くなる傾向が見られる。これは、人為的に不透水境界を作ったことを考えれば妥当な結果であろう。しかしながら、絶対値で比較するとそれほどの差ではないことから、境界条件すなわち樹脂を塗布した箇所での注入水の浸出の影響はそれほど大きいもので

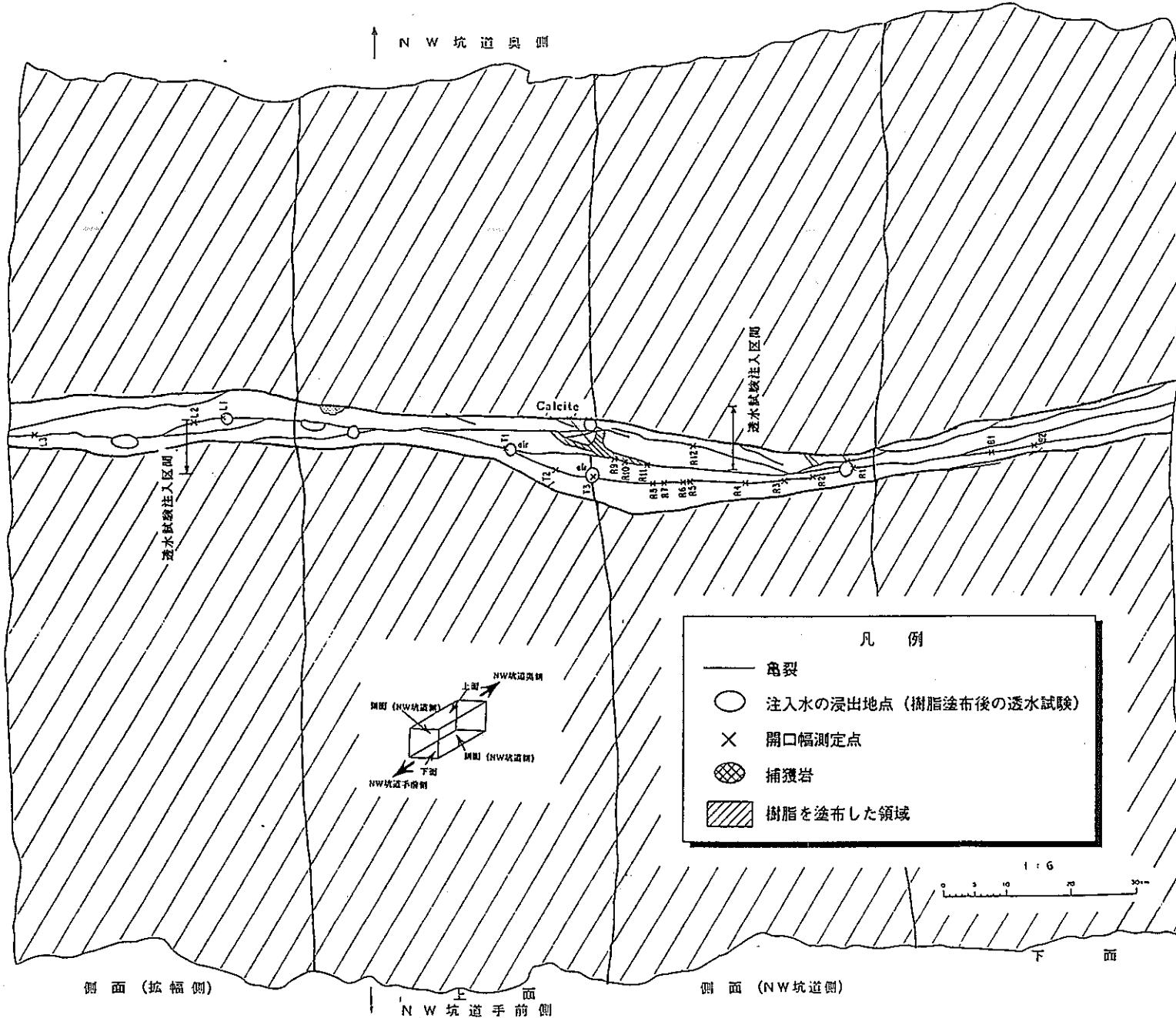
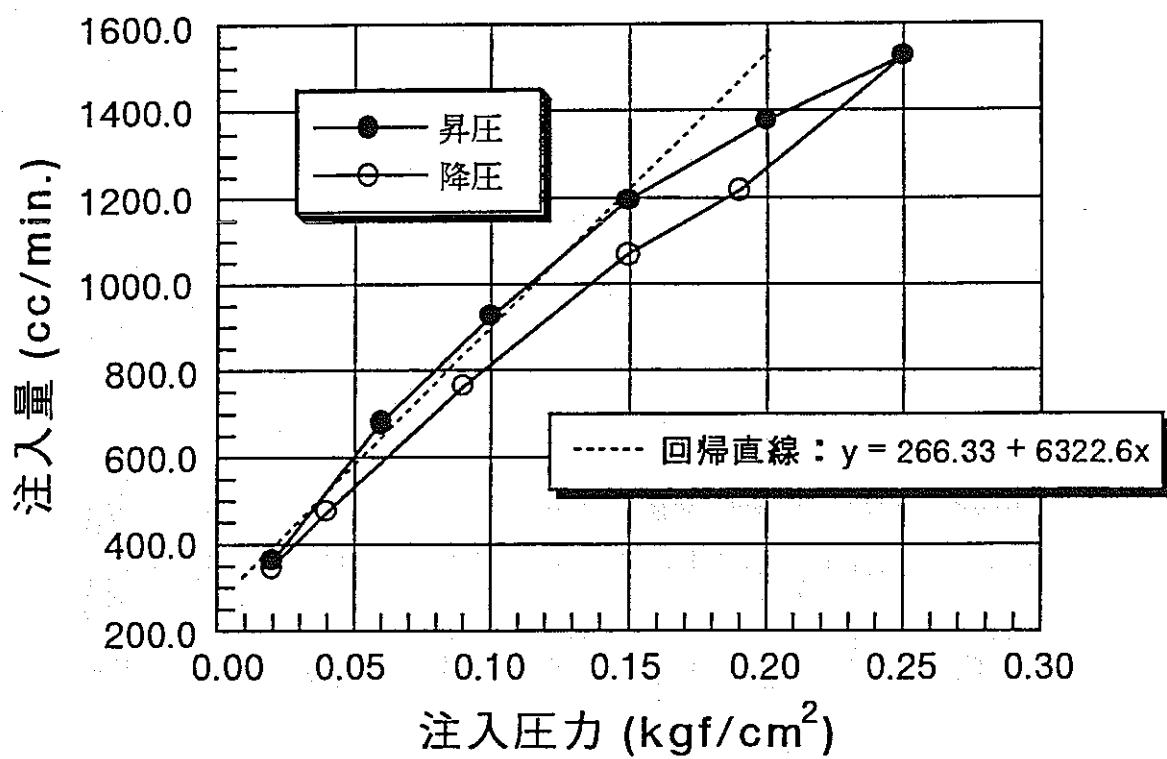


図-4.3.1 岩体側面において樹脂を塗布した領域および注入水の浸出位置

表-4.3.2 透水試験時のデータシート（樹脂塗布後）

調査名	LABROCK試験体切り出し（低圧透水試験）					試験実施年月日	平成5年9月9日（木）					
試験深度	68.7~78.7cm					試験孔名	LABROCK透水試験孔					
試験区間長	10cm					試験孔長	1.4m					
圧力計深度	1.4m					試験孔径	48.0mm					
バッカーワークス	油圧 50.0kgf/cm ²					水温	12.0°C					
間隙水圧測定	経過時間 (min.)	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分
	観測圧力 (kgf/cm ²)											
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	0.0	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分		定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762	748.0	742.9	738.6	734.2	730.3	726.4	722.7	718.9	715.1		注入量：362.0cc/min
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.030	0.030	0.028	0.025	0.024	0.022	0.021	0.020	0.020		注入圧：0.02kgf/cm ²
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	0.0	0分	1分	2分	3分	4分	5分					定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762	686.9	679.9	672.8	666.7	658.3	651.2					注入量：676.6cc/min
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.058	0.059	0.061	0.059	0.059	0.059					注入圧：0.06kgf/cm ²
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	0.5	0分	1分	2分	3分	4分	5分					定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762	609.9	600.0	590.3	580.7	571.0	561.2					注入量：923.0cc/min
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.099	0.102	0.103	0.103	0.103	0.103					注入圧：0.10kgf/cm ²
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	0.74	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分				定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762	494.9	482.1	469.6	456.8	444.2	431.9	419.3				注入量：1190.2cc/min
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.152	0.152	0.152	0.153	0.152	0.152					注入圧：0.15kgf/cm ²
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	0.95	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分			定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762	739.0	714.4	699.2	684.8	670.0	655.8	641.1	626.4			注入量：1379.7cc/min
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.207	0.207	0.207	0.206	0.204	0.204	0.203	0.202			注入圧：0.20kgf/cm ²
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	1.1	0分	1分	2分	3分	4分	5分					定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762	568.8	552.7	536.5	521.4	504.2	488.1					注入量：1529.5cc/min
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.251	0.253	0.255	0.255	0.255	0.255					注入圧：0.25kgf/cm ²
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	0.85	0分	1分	2分	3分	4分	5分					定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762	732.1	718.8	705.9	693.4	680.5	668.0					注入量：1214.8cc/min
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.198	0.197	0.194	0.191	0.190	0.188					注入圧：0.19kgf/cm ²
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	0.7	0分	1分	2分	3分	4分	5分					定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762	709.1	697.4	686.3	673.2	664.0	652.9					注入量：1065.1cc/min
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.153	0.156	0.156	0.154	0.153	0.150					注入圧：0.15kgf/cm ²
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	0.48	0分	1分	2分	3分	4分	5分					定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762	752.4	744.3	736.1	728.1	720.1	712.2					注入量：761.9cc/min
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.100	0.099	0.094	0.090	0.088	0.084					注入圧：0.09kgf/cm ²
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	0.0	0分	1分	2分	3分	4分	5分					定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762	699.2	694.0	688.8	684.0	679.1	674.2					注入量：473.8cc/min
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.045	0.045	0.044	0.042	0.040	0.038					注入圧：0.04kgf/cm ²
タンク内圧力 (kgf/cm ²)	0.0	0分	1分	2分	3分	4分	5分					定常値
タンク断面積 (cc/mm)	94.762	658.6	654.9	651.0	647.1	644.0	640.3					注入量：346.8cc/min
	観測圧力 (kgf/cm ²)	0.024	0.025	0.025	0.024	0.024	0.024					注入圧：0.02kgf/cm ²



図一4.3.2 注入圧力と注入量の関係（樹脂塗布後）

表-4.3.3 各試験条件における注入圧力と注入量の回帰直線の傾き

	回帰直線の傾き(cc/min)/(kgf/cm ²)
スリット削孔前	1151.7
スリット削孔後	6672.4
樹脂塗布後	6322.6

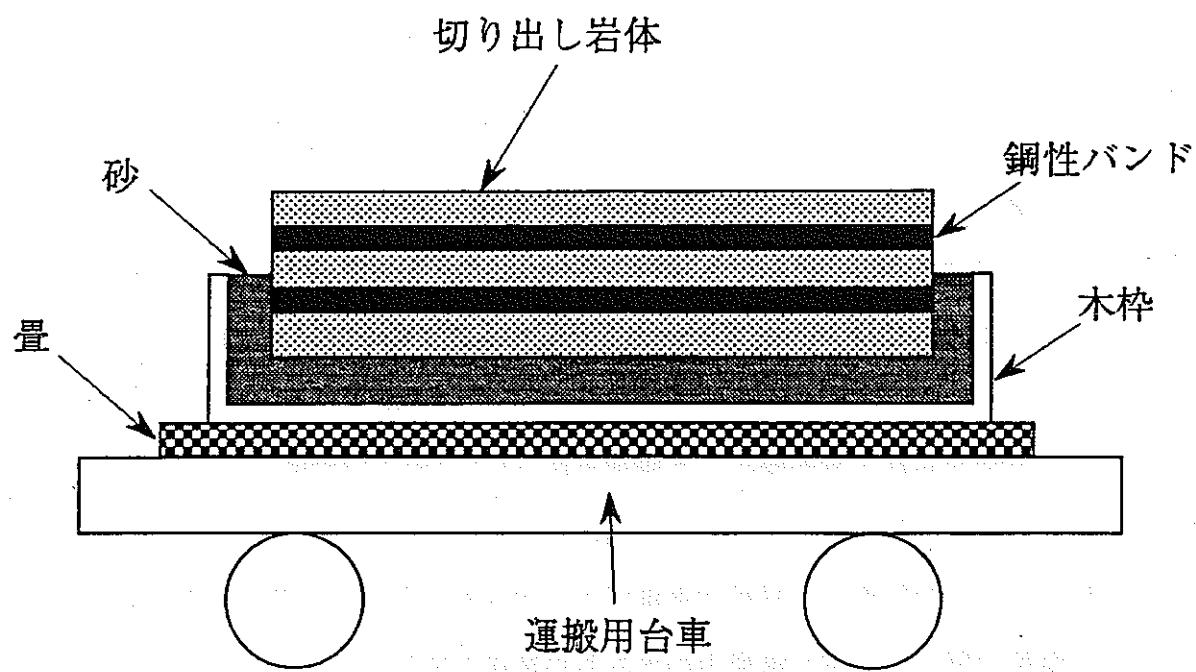
はなかったと考えることもできる。

一方、室内試験で亀裂開口幅の拘束条件を把握する場合、樹脂を塗布し人為的に不透水境界を作った時の透水試験から得られた注入圧力と注入量の関係を再現することになる。

試験時に各側面から注入水が浸出した箇所を図-4.3.1および付図1に示す。注入水が浸出した箇所は合計9箇所であり、開口幅測定を行った箇所と注入水の浸出位置は比較的良好く一致した。この結果は、試験対象亀裂内の水みちの存在を予想させるものであるとともに、亀裂の開口幅分布と亀裂内の水みちの密接な関係を示唆しているものと考えられる。なお、樹脂を塗布した箇所からの浸出は認められなかった。

4.4 岩体の運搬

亀裂固定用ロックボルトの補強として、鋼性バンドとワイヤーで岩体外周を再度固定した。さらに、輸送時の振動に対処するために、台車上に砂漕を置き、この上に岩体を設置した。岩体運搬の概要を図-4.4.1に示す。その後、バッテリー式トロ台車にて坑外まで徐行運転で搬送し、クレーンによりトラックに積み替えて試験体整形箇所に運搬した。



図一4.4.1 岩体運搬の概要

5. 試験体整形

5.1 概 要

試験体整形は、釜石原位置試験場で切り出された長さ約1.4mのブロックを50cmの長さに切断・整形するものである。

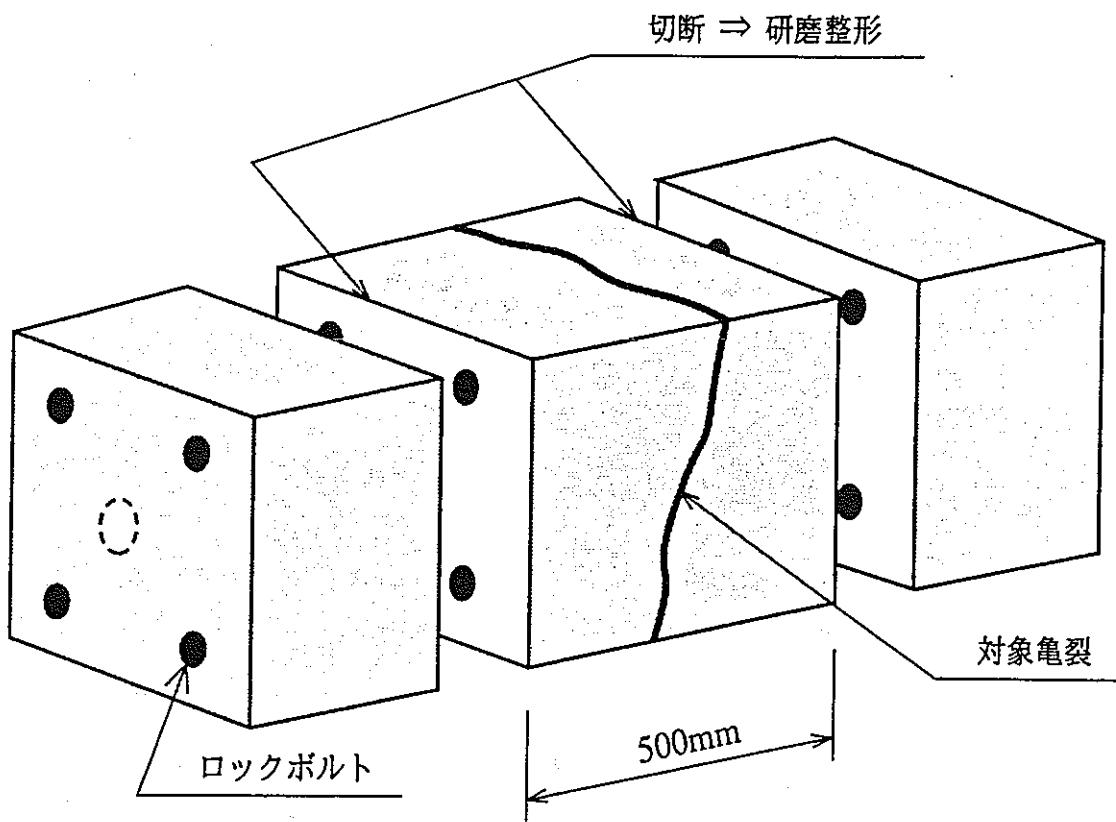


図-5.1.1 試験体整形の概要

5.2 上下面切断

切断方法は昨年度と同様、ワイヤーソーを採用した。この切断は亀裂と接しないため、通常の水を用いた切断方法とした。ただし、注入孔内および試験体表面に表れている亀裂部分に水がかかる事を避けるため、養生を行っている。注入孔内については、孔内にゴムボールを挿入し、表面はラップで覆い、さらにラップを密着させるためにクッション材を巻付け緊結した。

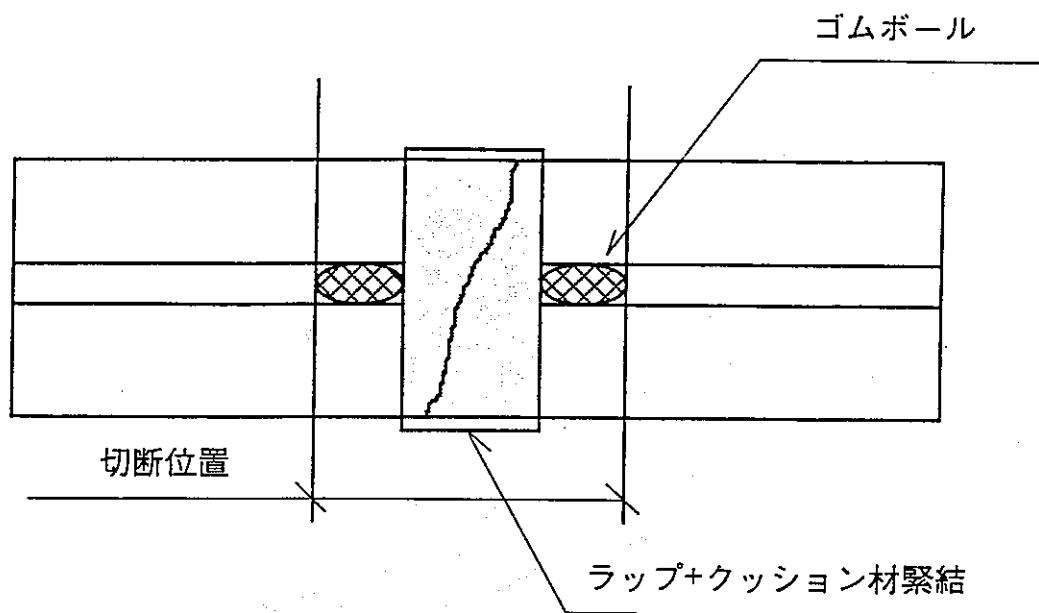


図-5.2.1 試験体切断時の養生

5.3 上下面整形

ワイヤーソーによる切断面の凹凸を取り除き、上下面間隔を整えるため、研磨装置による整形を行った。切断面にあるロックボルトは同時に研磨ができないため、この部分のみ先行して削り凹ませている。なお、研磨作業も水を使用するため、切断時の養生はそのまま存置させると共に、これに加えた養生を行った。

5.4 試験体寸法測定

研磨整形後、試験体上下面の間隔をノギス（1/50mm読み）にて測定した。この結果を表-5.4.1に示す。3回測定の平均値の最大値と最小値の差は0.42mmとなっている。

表-5.4.1 試験体上下面間隔測定結果

(単位: mm)

位置	1回目	2回目	3回目	平均	(位置図)
A	504.48	504.30	504.22	504.33	E 上側 F G
B	504.20	504.38	504.18	504.25	D H道側
C	504.00	504.00	504.02	504.01	· · ·
D	504.12	504.12	504.12	504.12	· ○ ·
E	504.68	504.34	504.26	504.43	· · ·
F	504.14	504.08	504.12	504.11	C B 下側 A
G	504.32	504.32	504.32	504.32	
H	504.40	504.36	504.36	504.37	

総平均 504.25mm

MAX-MIN 0.42mm

5.5 表面養生

試験体切断時および研磨整形時の養生と共に、試験体を飽和状態に保つため、研磨終了後試験体を水槽の中に水浸する養生を継続的に行ってている。

6. 実施工程

以上に述べた作業内容の実施工程を、表-6.1.1に示す。

表-6.1.1 LABROCK用透水性試験岩体の切り出し、整形 実施工程

		平成5年7月							平成5年8月							平成5年9月							平成5年10月								
		1	5	10	15	20	25	30	1	5	10	15	20	25	30	1	5	10	15	20	25	30	1	5	10	15	20	25	30		
岩体 切り出しおよ び 調査・試験	透水試験孔鋤進								■	□																					
	ロックボルト打設								□																						
	透水試験孔岩芯鑑定								□																						
	透水試験								□																						
	スリット①削孔									□																					
	スリット③削孔									□																					
	スリット②削孔									□																					
	スリット④削孔									□																					
	透水試験									□																					
	岩体引き出し										□																				
	亀裂マッピング、開口幅測定										□																				
	樹脂塗布、養生										□																				
	透水試験										□																				
岩体 整形	岩体運搬（坑外まで）																				□										
	岩体運搬（整形場所まで）																				□										
	上下面切断																				□										
	上下面整形																				□										
	寸法測定および表面養生																				□										
	報告書作成																			□											
	納入																				□										

7. おわりに

本年度は、LABROCK試験に供する試験体に含まれる亀裂の透水性の予測と、亀裂の開口幅の拘束条件を把握するために、平成4年度に切り出した岩体の奥に隣接する亀裂において原位置での透水試験を行い、その後透水試験を行った亀裂を含む岩体を切り出し、LABROCK本試験のキャリブレーションのための試験体として整形を行った。

一連の作業を通して、ほぼ当初の計画通りの切り出し、整形を行うことができた。整形精度についても研磨工程を行う事により、試験体寸法の誤差は0.42mmであった。さらに、樹脂を塗布し人為的に不透水境界を作った透水試験の結果、室内試験における亀裂開口幅の再現に供する注入圧力-注入量の関係が得られた。しかしながら、得られた注入圧力-注入量の関係は、境界条件の制御および岩体切り出しのために実施したスリット削孔の影響を比較的強く受けている事が考えられる。LABROCK試験の目的からして、試験装置内に設置された試験体は、原位置の初期状態に極力近い条件であることが望ましいことから、切り出し岩体に与える影響がより少ない切り出し方法の検討も今後望まれる。一方、試験対象亀裂の水理状況に目を向けると、試験対象亀裂内は地下水の流れが存在せず、不飽和であった。室内試験を実施する際に、原位置と室内での飽和度が違う状態であれば、得られる注入圧力-注入量線図もおのずと変わってくる可能性がある。したがって、試験対象亀裂内が不飽和である状況下では、飽和度を測定するような手法の開発も是非必要であろう。この場合、比抵抗や蒸発量の測定が有効であると考えられる。

透水試験で対象亀裂したものについて、亀裂の開口幅を測定した結果、測定を行った箇所と前述の透水試験における注入水の浸出位置は比較的よく一致していた。これは試験対象亀裂内の水みちの存在を予想させるものであると共に、亀裂の開口幅分布と亀裂内の水みちの密接な関係を示唆するものである。さらに、この亀裂開口幅の測定データは、岩体運搬による対象亀裂のずれのチェックや室内試験における垂直荷重設定の目安になるものと考えられる。

以上のような、切り出し方法の影響や飽和度の測定など、本年度の業務を通じて抽出された課題と共に、今後の室内試験においては以下のような点が注目点あるいは課題として考えられる。

- ・試験体を水平→垂直とえたときの方向の影響がどの程度あるか。
- ・垂直荷重の増減に対応して、注入量がどの程度変化するか。

- ・垂直荷重の最大値をどの程度に限定するか、また垂直荷重によりその他の亀裂に作用するせん断力にどう対処するか。