

実岩体を用いた透水試験

-NETBLOCK試験報告-

(試験報告)

2001年3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・転写する場合は、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

実岩体を用いた透水試験
—NETBLOCK 試験報告—
(試験報告)

山田直之¹⁾、鐵桂一²⁾、澤田淳³⁾

要旨

NETBLOCK 試験装置ではこれまでに、アクリル試験体および模擬岩体を用いた試験を通じて、透水試験を行うまでの装置の取扱方法、試験条件等の検討を行ってきた。また、交差亀裂を有する実岩体（花崗岩：釜石鉱山より採取）を NETBLOCK で試験可能なサイズに成型を行ってきた。

今回は、亀裂交差部が透水性に与える影響を調べることを目的として、実岩体を用いた透水試験を行った。対象となる亀裂の透水性が高いために、計測システムの改良を行い、数 cm 程度の水頭差で透水試験を行った。その結果、亀裂の透水量係数が $10^{-4} \sim 10^{-5}$ (m²/s) のオーダーであることが分かった。また、注水時の亀裂内の水頭分布から、下部亀裂の NW 方向に透水性の低い箇所があることが推定できた。亀裂の透水性が高く、試験時の透水量が多くなることから、試験条件が乱流である可能性が考えられる。乱流が生じている場合、透水性を低く評価することになるので、流体の粘性を高くして層流条件で試験を実施し、透水性の正しい評価を行う必要があると考えられる。

¹⁾ ダイヤコンサルタント ジオテクニカル事業部 物理探査グループ

²⁾ 検査開発株式会社

³⁾ サイクル機構 東海事業所 環境保全・研究センター 処分研究部 システム解析グループ

Examination of Hydraulic Property of Natural Rock Specimen

Naoyuki Yamada^{*1)}, Keiichi Tetsu^{*1)}, Atsushi Sawada^{*1)}

Abstract

Handling methods and test conditions of hydraulic tests for NETBLOCK system had been examined by using acrylic and/or artificial rock specimen. A natural rock specimen (granite : excavated from Kamaishi mine) with fracture intersection was formed into practicable size for NETBLOCK system.

Recently, we conducted a series of hydraulic test, in order to study the influence of fracture intersection by using the natural rock specimen. Hydraulic tests were conducted under several centimeters of head, which could be controlled by improved system because hydraulic permeability of target fractures were high. As a result, $10^4 \sim 10^5$ (m²/s) orders of hydraulic transmissivity of target fractures could be measured. A low permeability in the NW direction at the lower fracture was estimated from the heterogeneous head distribution. However, it is also expected that turbulence flow might be occurred under this study condition because fracture permeability is high and flow rate through the fracture is relatively high. In case of turbulence-flow, an estimated hydraulic transmissivity is low. High-viscosity fluid hydraulic test to achieve laminar flow will be needed for correcting an evaluated transmissivity.

*¹⁾ Dia consultant Corporation

*²⁾ Inspection Development Corporation

*³⁾ Waste Isolation Research Division, Tokai Works, Japan Nuclear Cycle Development Institute

目次

| | |
|-------------------------------|----|
| 1.はじめに | 1 |
| 2.原位置透水試験 | 2 |
| 2.1 岩体切り出し位置 | 2 |
| 2.2 原位置透水試験 | 3 |
| 2.3 透水係数の算出 | 6 |
| 3.LABROCK透水試験 | 8 |
| 3.1 NETBLOCK岩体とLABROCK岩体の位置関係 | 8 |
| 3.2 透水試験 | 10 |
| 3.3 透水量係数の算出 | 11 |
| 4.岩体の成型 | 12 |
| 4.1 成型前の岩体 | 12 |
| 4.2 成型後の岩体 | 16 |
| 4.3 亀裂内部の構造 | 21 |
| 4.4 亀裂開口幅の測定 | 23 |
| 5.予備試験 | 25 |
| 5.1 試料の設置 | 25 |
| 5.2 透水性の高いセルの確認 | 26 |
| 5.3 透水試験 | 28 |
| 5.4 予備試験結果について | 32 |
| 6.計測システムの改良 | 33 |
| 6.1 マノメーターの作成 | 33 |
| 6.2 堀の作成およびチューブの変更 | 34 |
| 7.透水試験 | 35 |
| 7.1 試験データ | 37 |
| 7.2 透水量係数の算出 | 48 |
| 7.3 水頭分布 | 54 |
| 8.おわりに | 58 |
| 9.参考文献 | 58 |

図目次

| | |
|--------------------------|----|
| 図 2.1 対象亀裂周辺図 | 2 |
| 図 2.2 岩体切り出し領域 詳細図 | 3 |
| 図 2.3 試験区間 概要図 | 3 |
| 図 2.4 透水試験結果(ケース1) | 4 |
| 図 2.5 透水試験結果(ケース2) | 5 |
| 図 2.6 透水試験結果(ケース3) | 5 |
| 図 2.7 透水試験結果(ケース4) | 6 |
| 図 3.1 岩体表面 亀裂状況 | 8 |
| 図 3.2 岩体側面の名称(岩体上面から見た図) | 9 |
| 図 3.3 LABROCK 試験装置 | 10 |
| 図 3.4 動水勾配と流量の関係 | 11 |
| 図 4.1 成型前の岩体 | 12 |
| 図 4.2 対象亀裂センター図 | 13 |
| 図 4.3 成型後の岩体 | 17 |
| 図 4.4 亀裂トレース | 18 |
| 図 4.5 対象亀裂センター図 | 18 |
| 図 4.6 対象亀裂センター図 | 21 |
| 図 4.7 亀裂交差部の模式図 | 22 |
| 図 4.8 亀裂開口幅測定位置図 | 23 |
| 図 5.1 実岩体 | 25 |
| 図 5.2 注水方法 | 26 |
| 図 5.3 透水性の高いセル | 27 |
| 図 5.4 透水試験 配管図 | 29 |
| 図 5.5 流量-圧力グラフ ケース1 | 29 |
| 図 5.6 流量-圧力グラフ ケース2 | 30 |
| 図 5.7 流量-圧力グラフ ケース3 | 30 |
| 図 5.8 流量-圧力グラフ ケース4 | 31 |
| 図 5.9 流量-圧力グラフ ケース5 | 31 |
| 図 6.1 マノメーター | 33 |
| 図 6.2 マノメーターへの接続方法 | 33 |
| 図 6.3 壇の改良 | 34 |
| 図 7.1 測定状況 | 35 |
| 図 7.2 試験ケース 模式図 | 36 |

| | |
|---------------------------|----|
| 図 7.3 各セルの水頭(ケース 1-1) | 38 |
| 図 7.4 各セルの水頭(ケース 1-2) | 39 |
| 図 7.5 各セルの水頭(ケース 2-1) | 40 |
| 図 7.6 各セルの水頭(ケース 2-2) | 41 |
| 図 7.7 各セルの水頭(ケース 3-1) | 42 |
| 図 7.8 各セルの水頭(ケース 3-2) | 43 |
| 図 7.9 各セルの水頭(ケース 4-1) | 44 |
| 図 7.10 各セルの水頭(ケース 4-2) | 45 |
| 図 7.11 各セルの水頭(ケース 5) | 46 |
| 図 7.12 各セルの水頭(ケース 6) | 47 |
| 図 7.13 流量一水頭差グラフ(ケース 1-1) | 50 |
| 図 7.14 流量一水頭差グラフ(ケース 1-2) | 50 |
| 図 7.15 流量一水頭差グラフ(ケース 2-1) | 51 |
| 図 7.16 流量一水頭差グラフ(ケース 2-2) | 51 |
| 図 7.17 流量一水頭差グラフ(ケース 3-1) | 52 |
| 図 7.18 流量一水頭差グラフ(ケース 3-2) | 52 |
| 図 7.19 流量一水頭差グラフ(ケース 4-1) | 53 |
| 図 7.20 流量一水頭差グラフ(ケース 4-2) | 53 |
| 図 7.21 水頭分布図(ケース 1-1) | 55 |
| 図 7.22 水頭分布図(ケース 1-2) | 55 |
| 図 7.23 水頭分布図(ケース 4-1) | 56 |
| 図 7.24 水頭分布図(ケース 4-2) | 56 |
| 図 7.25 水頭分布図(ケース 5) | 57 |
| 図 7.26 水頭分布図(ケース 6) | 57 |

表目次

| | |
|-------------------------|----|
| 表 2.1 透水試験ケース | 4 |
| 表 2.2 透水係数、透水量係数 | 7 |
| 表 4.1 交差亀裂上部 座標データ(成型前) | 14 |
| 表 4.2 交差亀裂下部 座標データ(成型前) | 15 |
| 表 4.3 交差亀裂下部 座標データ | 19 |
| 表 4.4 交差亀裂上部 座標データ | 20 |
| 表 4.5 開口幅 計測データ | 24 |
| 表 5.1 予備試験 試験ケース | 28 |
| 表 5.2 試験データ ケース1 | 32 |
| 表 7.1 試験ケース | 35 |
| 表 7.2 流量・水頭平均値(ケース 1-1) | 38 |
| 表 7.3 流量・水頭平均値(ケース 1-2) | 39 |
| 表 7.4 流量・水頭平均値(ケース 2-1) | 40 |
| 表 7.5 流量・水頭平均値(ケース 2-2) | 41 |
| 表 7.6 流量・水頭平均値(ケース 3-1) | 42 |
| 表 7.7 流量・水頭平均値(ケース 3-2) | 43 |
| 表 7.8 流量・水頭平均値(ケース 4-1) | 44 |
| 表 7.9 流量・水頭平均値(ケース 4-2) | 45 |
| 表 7.10 流量・水頭平均値(ケース 5) | 46 |
| 表 7.11 流量・水頭平均値(ケース 6) | 47 |
| 表 7.12 透水量係数、亀裂開口幅 | 49 |

1. はじめに

NETBLOCK 試験装置ではこれまでに、アクリル試験体および模擬岩体を用いた試験を通じて、透水試験を行う上での装置の取扱方法、試験条件等の検討を行ってきた。また交差亀裂を有する実岩体（花崗岩：釜石鉱山より採取）を NETBLOCK で試験可能なサイズに成型を行ってきた。

本報告書では、これまでに実岩体を対象とした試験の内、以下の 5 項目についてまとめたものである。

- ・ 原位置で行われた透水試験
- ・ LABROCK で実施された室内試験
- ・ 岩体の成型と岩体表面の亀裂分布
- ・ 予備試験および試験システムの改良
- ・ 透水試験結果

さらに本論では、亀裂交差部が透水性に与える影響を調べることを目的として実施した実岩体を用いた透水試験結果から、交差する 2 本の亀裂について透水量係数を求め、各亀裂の特性を検討した。また今回の試験結果は、次年度以降実施予定である岩体内部の亀裂開口幅測定との比較により、透水試験の適用性を検討する予定である。

2. 原位置透水試験

2.1. 岩体切り出し位置

原位置での透水試験は平成5年度に、LABROCK試験で計画された放射流試験に用いる岩体を切り出す際に、室内試験とのデータの比較のために行われた。図2.1に対象亀裂周辺図を示す。図2.1の領域①で平成4年度に切り出された岩体がNETBLOCKおよびLABROCK試験岩体であり、領域②で平成5年度に切り出された岩体が放射流試験用岩体である。元々はLABROCKで試験する計画であった岩体のうち1つをNETBLOCKで試験することとなったため、ここではNETBLOCK試験岩体と呼んでいる。図に示すように領域①、②は接しており、同一の亀裂を対象としている。

原位置での透水試験は領域②において行われた。これはNETBLOCKと試験区間は一致していないが、同一の亀裂を対象としているため、原位置での透水性として参照できるものと考えられる。

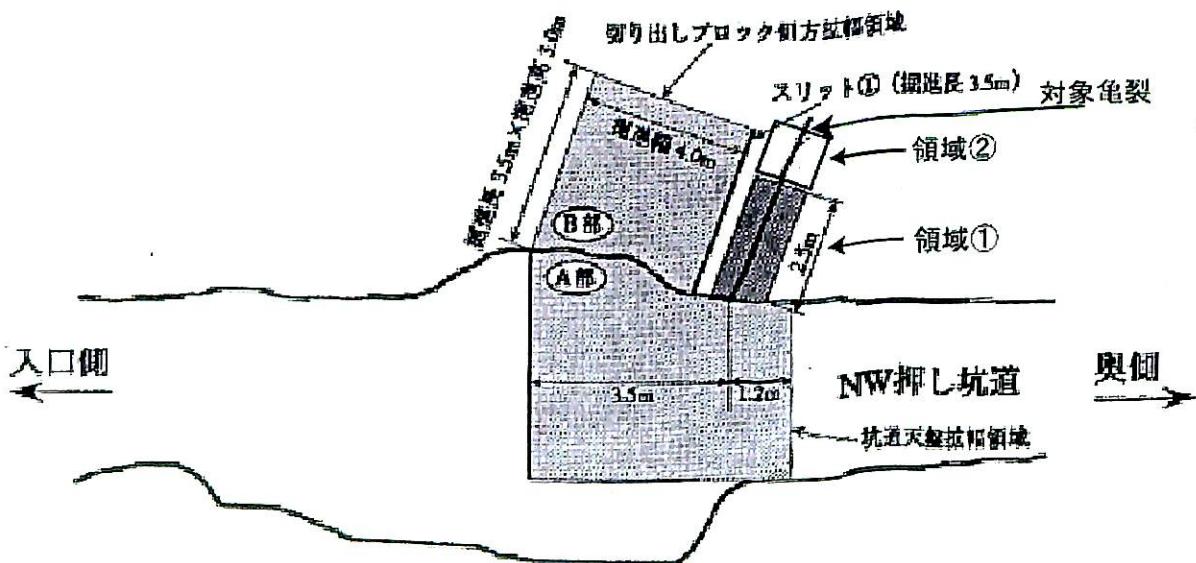


図2.1 対象亀裂周辺図

2.2. 原位置透水試驗

図 2.2 に領域①、②の詳細図を示す。領域②の中心に水平ボーリング孔を掘削し、対象亀裂に注水するために区間 10cm のダブルパッカーを設置し、透水試験を実施した。試験区間の概要を図 2.3 に示す。

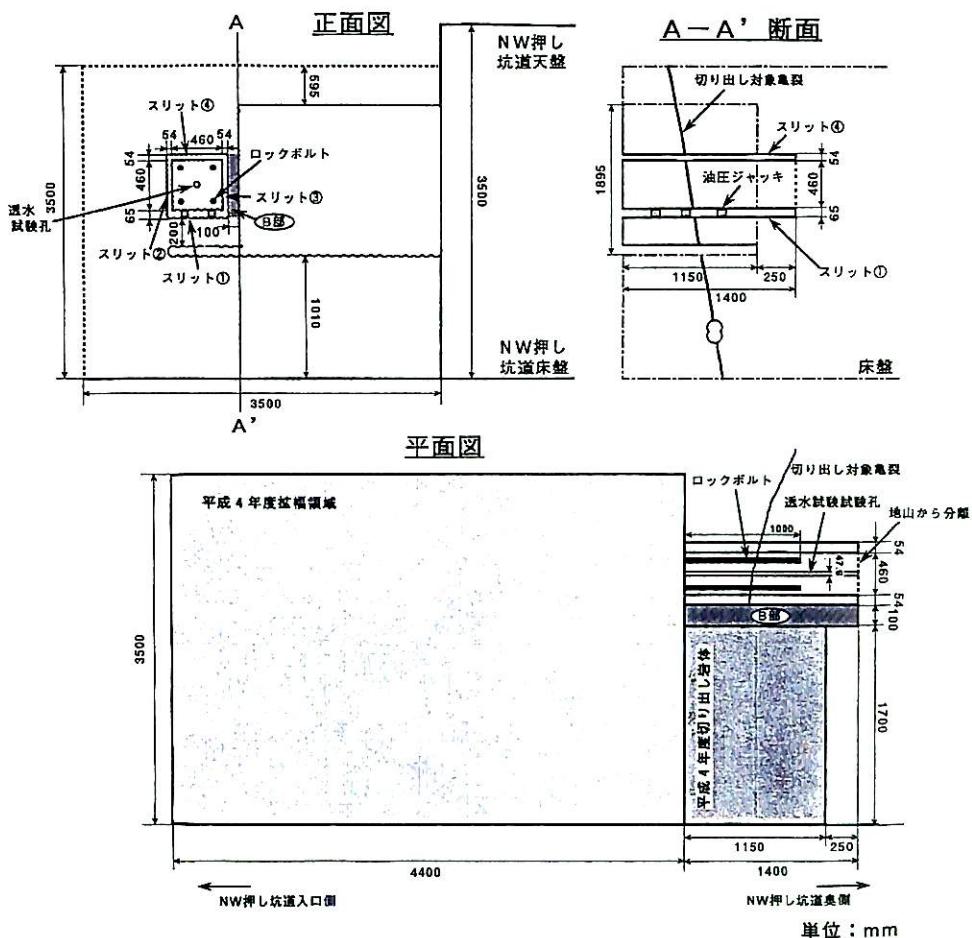


図 2.2 岩体切り出し領域 詳細図

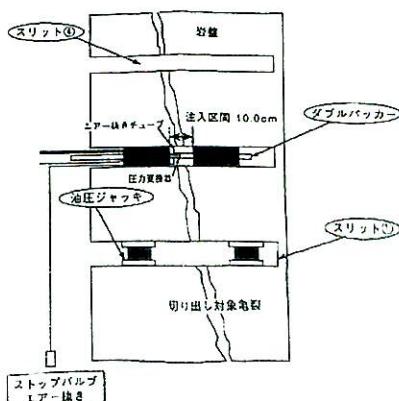


図 2.3 試験区間 概要図

透水試験は放射流試験岩体の切り出し作業を通して4回行われており、表2.1に示すケースの順に実施された。

表2.1 透水試験ケース

| 試験条件 | |
|------|---|
| ケース1 | スリット削孔前(最大注水圧力 1.54kgf/cm ²) |
| ケース2 | スリット削孔前(最大注水圧力 0.73kgf/cm ²) |
| ケース3 | 試験孔周辺すべてのスリット削孔後 (最大注水圧力 0.26kgf/cm ²) |
| ケース4 | 岩体切り出し、樹脂塗布後 (最大注水圧力 0.25kgf/cm ²) |

・ケース1

スリット削孔前の透水試験の圧力ー流量グラフを図2.4に示す。

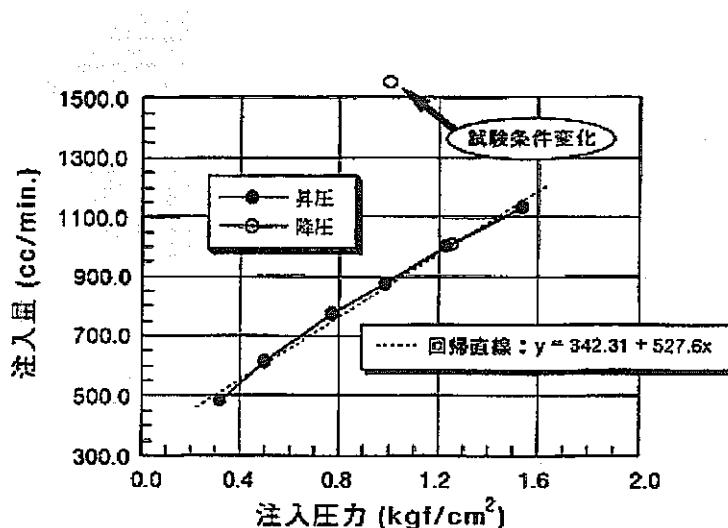


図2.4 透水試験結果(ケース1)

ここで注入圧力は0.32 kgf/cm²からスタートし、最大1.54 kgf/cm²まで約0.25 kgf/cm²おきに昇圧および降圧を行った。降圧において約1.0 kgf/cm²の時の注入量が昇圧時と比較して約1.8倍となった。これは、対象亀裂内の充填物が注入水によって抜け落ち、水みちが変化したと考えられたため、この時点での試験を中断し、さらに低い注入圧力で試験を行うこととなった。

・ケース2

ケース1よりも低い注入圧力で実施したケース2の圧力ー流量グラフを図2.5に示す。

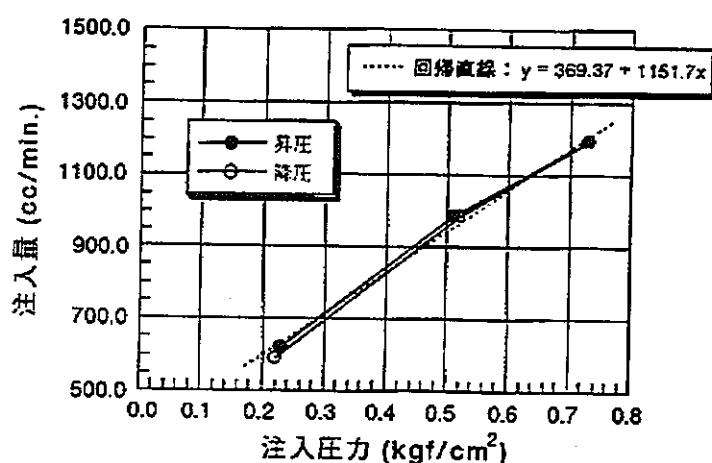


図2.5 透水試験結果(ケース2)

・ケース3

岩体切り出しのために試験孔の周囲にスリット（4孔）を削孔した後、透水試験を行った。圧力ー流量グラフを図2.6に示す。

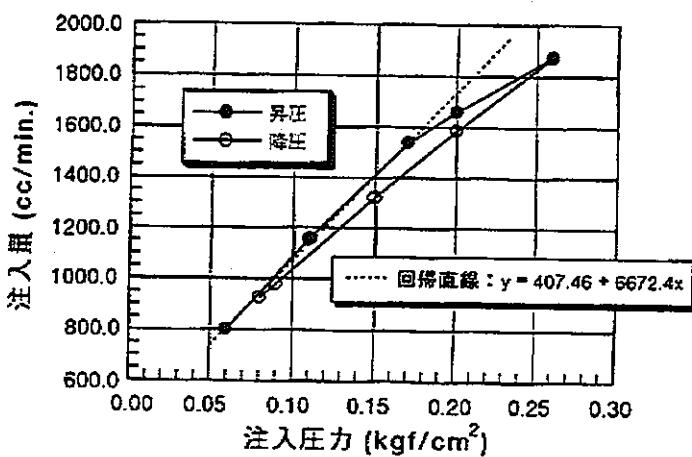


図2.6 透水試験結果(ケース3)

・ケース4

ケース3の試験時に、スリットおよび側面で注入した水の浸出箇所を観察した。その結果、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。このため室内試験と境界条件が一致しないと考えられるので、岩体切り出し後に対象亀裂以外の岩体全表面に樹脂を塗布し、人為的に不透水境界を作成した。この試験ケースは岩体を試験室に輸送する前の状況を確認するための、簡易的な室内試験に相当すると考えられる。圧力-流量グラフを図2.7に示す。

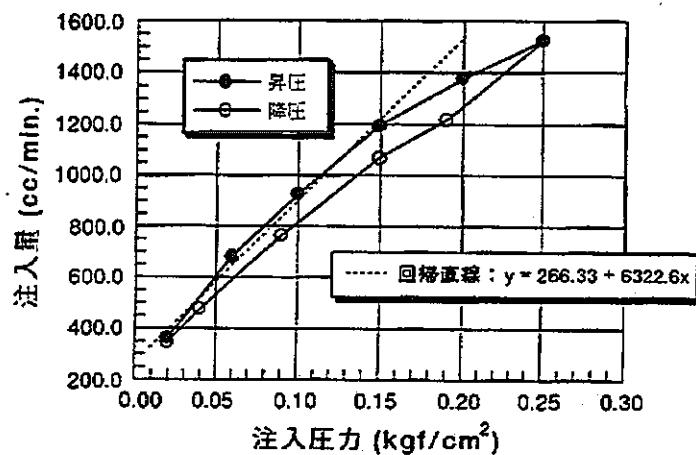


図2.7 透水試験結果(ケース4)

2.3. 透水係数の算出

各試験ケースで得られた圧力-流量グラフの近似曲線の傾きから、一般にルジオン試験で用いられている以下の式を用い、透水係数を求めた。

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

ここで k : 透水係数(m/s)

L : 試験区間長(m)

r : 試験孔半径(m)

N : 近似曲線の傾き(m^2/s)

図2.2～2.7中では注入圧力として kgf/cm^2 、注入量として cc/min の単位で標記されているが SI 単位系に換算して透水係数を求めた。その際、 $1 kgf/cm^2$ が水頭 $10m$ に等しいと仮定した。また試験区間長は $0.1m$ 、試験孔半径は $2.38 \times 10^{-2}m$ として計算した。計算結果を表2.2に示す。

試験条件がそれぞれ異なるため、得られた透水係数も異なっている。ケース1とケース2では、亀裂内の充填物が流れたことによる透水性の違いを示しており、亀裂の透水性を試験により正確に評価することの難しさを示している。ケース2と3では、スリットを削孔したために、透水性が1オーダー変化している。

ここで示した透水係数は、対象亀裂内が不飽和であり、注入水が浸出する箇所が存在すると示されていることから、その信頼性は低いものと考えられるため、完全に飽和した状態で行う室内試験とは異なる結果が得られるものと推測される。

透水係数は、試験区間の平均的な透水性を示す値であるが、亀裂性媒体の場合は、水は亀裂だけを流れると考えられる。今回の試験区間は対象亀裂1本のみと考えられるので、透水量係数は次式で求められる。

$$T = K \cdot L$$

ここで T 透水量係数(m^2/s)
 K 透水係数(m/s)
 L 試験区間長(m)

透水量係数を表2.2に示す。

表2.2 透水係数、透水量係数

| | 傾き (cc/min) / (kgf/cm ²) | 透水係数 (m/s) | 透水量係数 (m ² /s) |
|------|---|-----------------------|------------------------------|
| ケース1 | 527.6 | 2.01×10^{-6} | 2.01×10^{-7} |
| ケース2 | 1151.7 | 4.39×10^{-6} | 4.39×10^{-7} |
| ケース3 | 6672.4 | 2.54×10^{-5} | 2.54×10^{-6} |
| ケース4 | 6322.6 | 2.41×10^{-5} | 2.41×10^{-6} |

3. LABROCK 透水試験

3.1. NETBLOCK 岩体と LABROCK 岩体の位置関係

平成4年度に切り出した岩体を2つに分け、それぞれを50cm角に成型し、NETBLOCKおよびLABROCKで水理試験が行われている。図3.1に切り出した岩体表面の亀裂状況を示す。

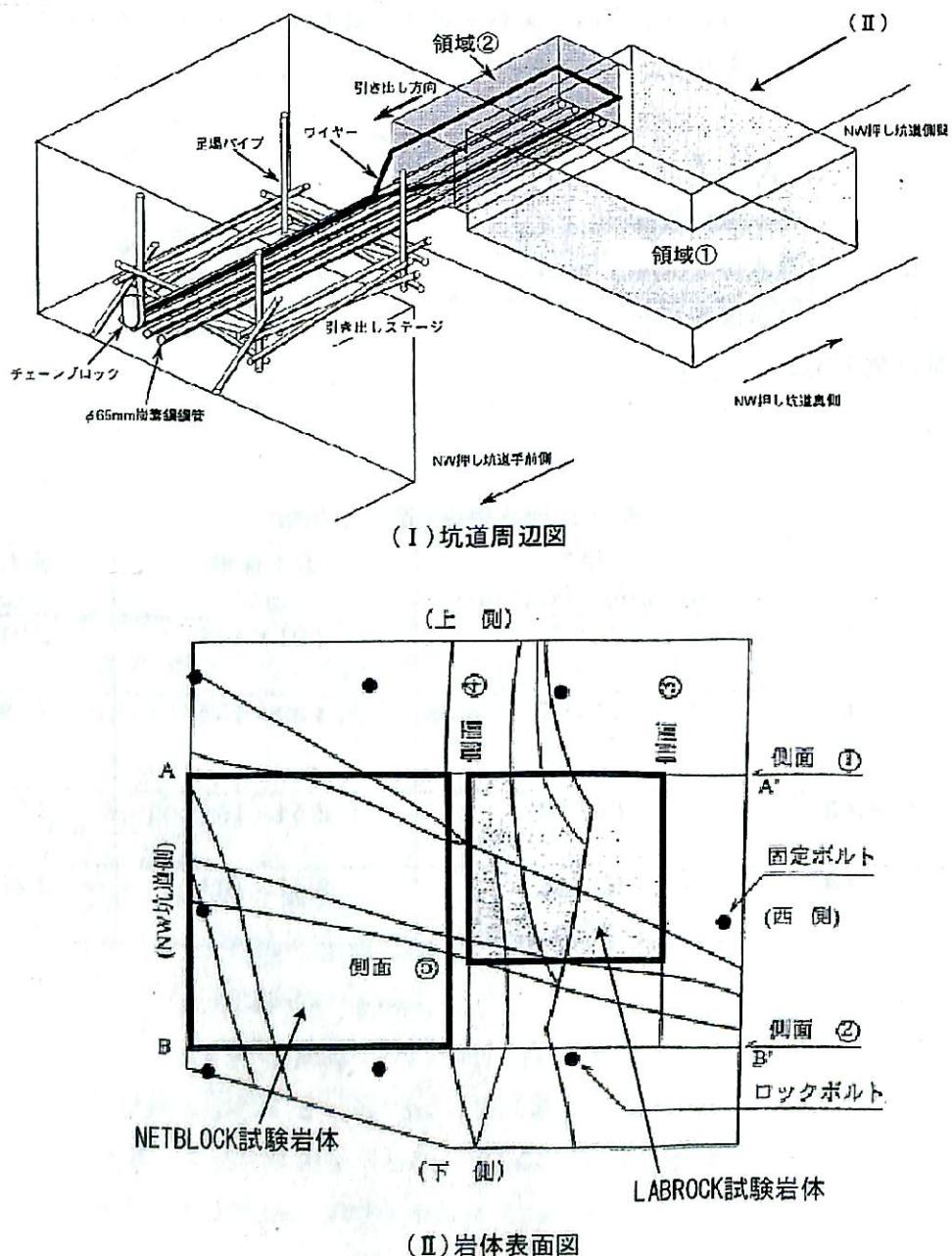


図3.1 岩体表面 亀裂状況

LABROCK 試験岩体は岩体切り出し後に 50cm 角に成型されたが、NETBLOCK 試験岩体は約 70×50×50cm に成型、保管されていた。その後、試験準備のために成型した（4 章参照）。それぞれの試験では、図 3.2 の面を岩体上面として、側面は図に示す名前を付け透水方向を区別している。

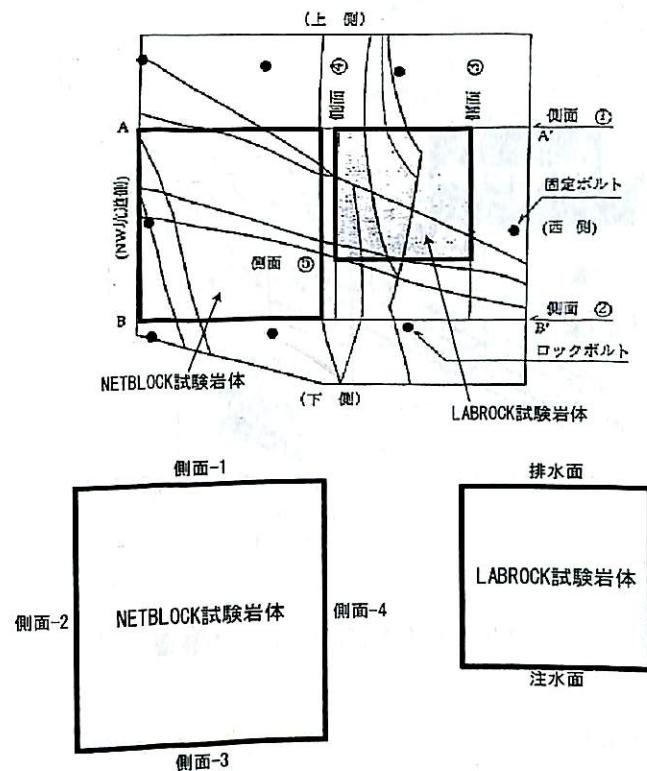


図 3.2 岩体側面の名称(岩体上面から見た図)

3.2. 透水試験

図 3.3 に LABROCK 試験装置の概要を示す。

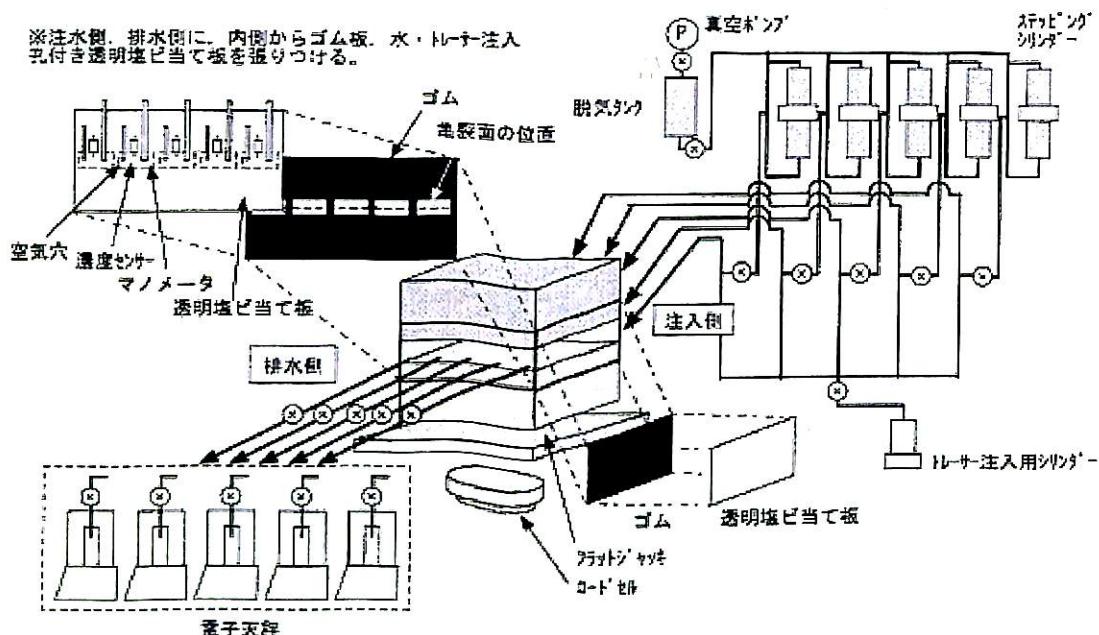


図 3.3 LABROCK 試験装置

以下では、その試験結果¹⁾を要約する。試験方法としては、注入側および排水側に5つのポートを設置し、対象とする亀裂に対して透水試験を実施することで流量を測定した。また、試験ケースは流量が 6000, 4200, 3000 cm³/sec になるようにし、同一の条件で4ケースずつ実施した。

図 3.4 に、動水勾配と流量の関係を示す。なお、流量は排出側の5つのポートでの合計値を採用しており、動水勾配は次式で表される。

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

ここで、 i : 動水勾配 (無次元)

Δh : 試験ポート 1~5 の水頭差の平均値(cm)

L : 試験岩体の透水方向の長さ (=50cm)

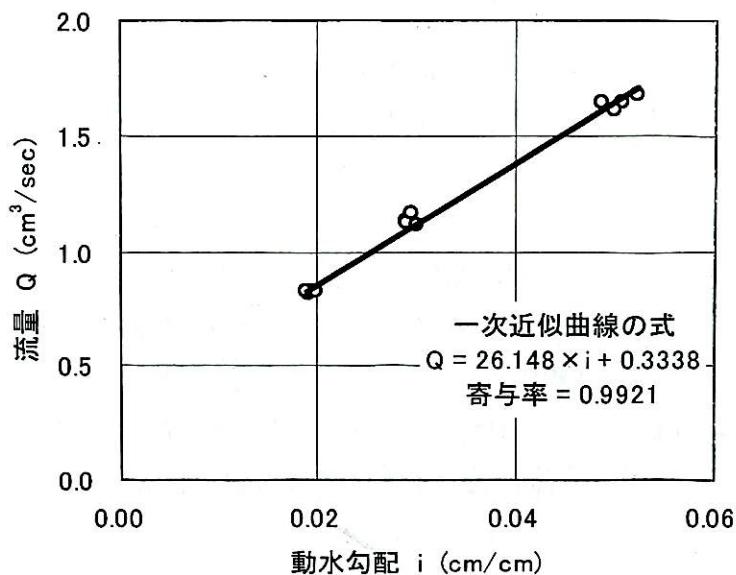


図 3.4 動水勾配と流量の関係

3.3. 透水量係数の算定

以下の式を用いて透水量係数を算出する。

$$T = \frac{Q}{W \cdot i}$$

ここで、 T : 透水量係数(m^2/s)

W : 試験岩体幅 ($= 0.5 \text{ m}$)

図 3.4 の近似曲線から $Q=26.148 \times i (\text{cm}^3/\text{s})$ であるので、透水量係数は約 $5.23 \times 10^{-5} (\text{m}^2/\text{s})$ となる。原位置での透水量係数（表 2.2 参照）と比較して、1 ~ 2 オーダー透水性が大きく求められている。

4. 岩体の成型

釜石で切り出された岩体は東海事業所に運び込まれた後、平成 12 年 3 月に成型された。以下に成型前および成型後の岩体表面の亀裂状況を示す。

4.1. 成型前の岩体

成型前の状態を図 4.1 に示す。対象亀裂を岩体側面に赤線で示す。また、岩体底部を基準として亀裂の位置（高さ）を読み取り（表 4.1、4.2 参照）、岩体内部の亀裂位置をコンター図により推定した（図 4.2 参照）。

亀裂交差部は図 4.2 (II) 中の直線付近と予想されるため、成型後の岩体の中心に亀裂交差部が位置するように図 4.1 の四角で示す部分を成型位置に設定した。

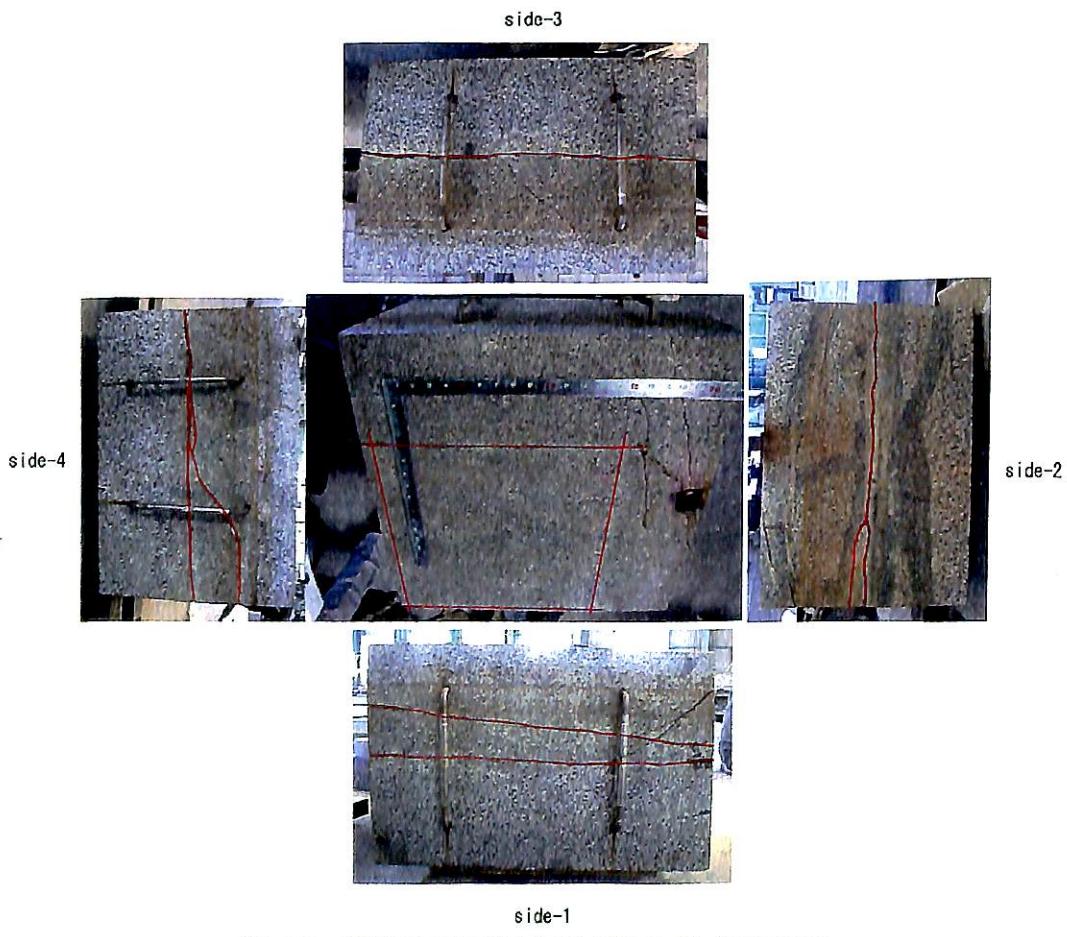


図 4.1 成型前の岩体(上面の囲みが成型位置)

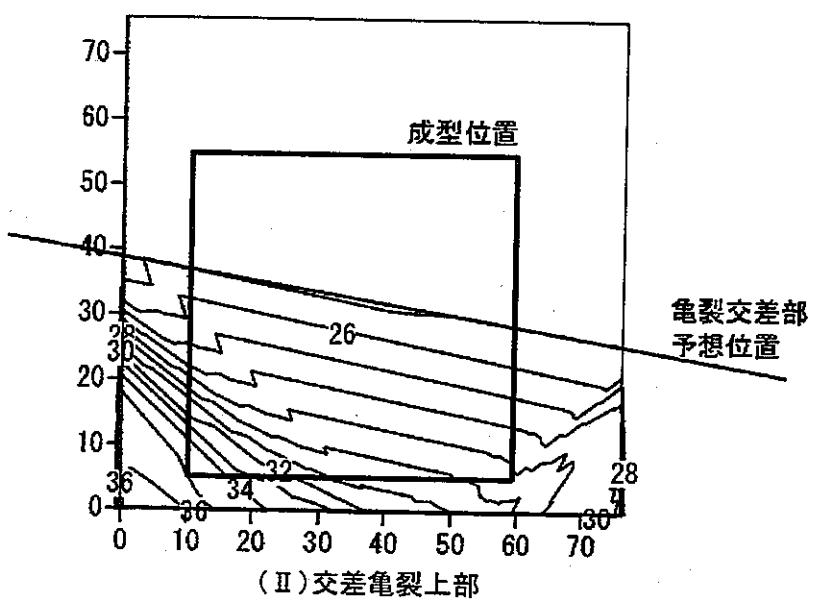
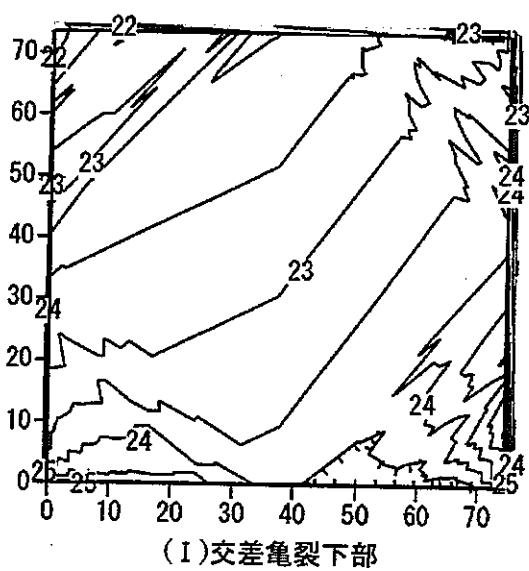


図 4.2 対象亀裂センター図(単位 cm)

表 4.1 交差亀裂上部 座標データ(成型前)

| | x(cm) | y(cm) | h(cm) | | x(cm) | y(cm) | h(cm) |
|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| side-1 | -0.73 | 0.00 | 37.21 | side-4 | 0.00 | 48.20 | 24.01 |
| | 2.42 | 0.00 | 36.98 | | 0.00 | 44.13 | 24.28 |
| | 5.36 | 0.00 | 36.53 | | 0.00 | 41.42 | 24.46 |
| | 8.79 | 0.00 | 36.19 | | 0.00 | 38.34 | 24.19 |
| | 11.89 | 0.00 | 35.63 | | 0.00 | 35.72 | 24.82 |
| | 14.66 | 0.00 | 34.84 | | 0.00 | 32.56 | 25.46 |
| | 17.19 | 0.00 | 34.61 | | 0.00 | 29.84 | 27.36 |
| | 19.39 | 0.00 | 34.33 | | 0.00 | 25.59 | 30.52 |
| | 21.14 | 0.00 | 34.27 | | 0.00 | 22.07 | 33.14 |
| | 23.23 | 0.00 | 33.77 | | 0.00 | 19.08 | 34.68 |
| | 25.20 | 0.00 | 33.60 | | 0.00 | 16.55 | 35.40 |
| | 28.13 | 0.00 | 33.43 | | 0.00 | 12.48 | 35.68 |
| | 31.01 | 0.00 | 33.20 | | 0.00 | 8.77 | 35.77 |
| | 32.98 | 0.00 | 32.87 | | 0.00 | 4.16 | 35.77 |
| | 35.18 | 0.00 | 32.36 | | 0.00 | 0.00 | 35.68 |
| | 37.66 | 0.00 | 31.91 | | | | |
| | 40.48 | 0.00 | 31.68 | | | | |
| | 42.45 | 0.00 | 31.46 | | | | |
| | 44.76 | 0.00 | 31.46 | | | | |
| | 47.13 | 0.00 | 31.23 | | | | |
| | 49.33 | 0.00 | 31.06 | | | | |
| | 51.75 | 0.00 | 30.61 | | | | |
| | 54.06 | 0.00 | 30.38 | | | | |
| | 56.15 | 0.00 | 30.27 | | | | |
| | 58.40 | 0.00 | 30.33 | | | | |
| | 60.71 | 0.00 | 29.71 | | | | |
| | 63.87 | 0.00 | 29.09 | | | | |
| | 66.58 | 0.00 | 28.58 | | | | |
| | 69.39 | 0.00 | 28.30 | | | | |
| | 71.88 | 0.00 | 28.13 | | | | |
| | 74.24 | 0.00 | 27.90 | | | | |
| | 76.89 | 0.00 | 27.40 | | | | |
| side-2 | 76.00 | -0.23 | 29.66 | | | | |
| | 76.00 | 1.22 | 29.60 | | | | |
| | 76.00 | 2.97 | 29.37 | | | | |
| | 76.00 | 5.01 | 29.19 | | | | |
| | 76.00 | 7.16 | 28.96 | | | | |
| | 76.00 | 9.55 | 28.79 | | | | |
| | 76.00 | 11.93 | 28.55 | | | | |
| | 76.00 | 13.50 | 28.38 | | | | |
| | 76.00 | 15.31 | 28.38 | | | | |
| | 76.00 | 17.41 | 27.85 | | | | |
| | 76.00 | 19.68 | 27.04 | | | | |
| | 76.00 | 20.55 | 26.34 | | | | |
| | 76.00 | 21.31 | 25.47 | | | | |

表 4.2 交差亀裂下部 座標データ(成型前)

| | x(cm) | y(cm) | h(cm) | | x(cm) | y(cm) | h(cm) |
|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| side-1 | -0.51 | 0.00 | 25.31 | side-3 | 76.83 | 75.50 | 22.53 |
| | 1.86 | 0.00 | 25.26 | | 73.50 | 75.50 | 22.59 |
| | 5.64 | 0.00 | 25.31 | | 68.59 | 75.50 | 22.64 |
| | 8.51 | 0.00 | 25.03 | | 63.95 | 75.50 | 22.70 |
| | 11.89 | 0.00 | 24.92 | | 60.40 | 75.50 | 22.86 |
| | 15.16 | 0.00 | 24.92 | | 56.31 | 75.50 | 23.03 |
| | 19.11 | 0.00 | 24.86 | | 55.00 | 75.50 | 22.92 |
| | 22.49 | 0.00 | 24.86 | | 52.05 | 75.50 | 22.64 |
| | 26.10 | 0.00 | 24.86 | | 48.45 | 75.50 | 22.59 |
| | 27.90 | 0.00 | 24.41 | | 45.07 | 75.50 | 22.37 |
| | 30.84 | 0.00 | 24.41 | | 42.29 | 75.50 | 22.37 |
| | 34.89 | 0.00 | 24.18 | | 36.94 | 75.50 | 22.21 |
| | 38.39 | 0.00 | 23.96 | | 33.50 | 75.50 | 22.10 |
| | 41.21 | 0.00 | 23.85 | | 31.54 | 75.50 | 22.32 |
| | 43.91 | 0.00 | 23.45 | | 29.52 | 75.50 | 22.86 |
| | 46.73 | 0.00 | 23.34 | | 28.16 | 75.50 | 22.64 |
| | 51.07 | 0.00 | 23.45 | | 26.41 | 75.50 | 22.92 |
| | 54.68 | 0.00 | 23.51 | | 24.28 | 75.50 | 23.19 |
| | 58.29 | 0.00 | 23.45 | | 22.70 | 75.50 | 22.86 |
| | 60.94 | 0.00 | 23.56 | | 20.73 | 75.50 | 22.75 |
| | 63.70 | 0.00 | 23.45 | | 18.12 | 75.50 | 22.75 |
| | 66.18 | 0.00 | 23.39 | | 17.19 | 75.50 | 23.03 |
| | 69.79 | 0.00 | 23.62 | | 15.99 | 75.50 | 23.03 |
| | 73.00 | 0.00 | 23.85 | | 14.79 | 75.50 | 22.81 |
| | 75.43 | 0.00 | 23.79 | | 12.06 | 75.50 | 22.59 |
| | 76.72 | 0.00 | 23.85 | | 11.08 | 75.50 | 22.92 |
| side-2 | 76.00 | -0.17 | 26.11 | side-4 | 9.49 | 75.50 | 23.03 |
| | 76.00 | 1.46 | 26.05 | | 7.97 | 75.50 | 22.86 |
| | 76.00 | 2.62 | 25.53 | | 6.82 | 75.50 | 22.64 |
| | 76.00 | 6.99 | 25.53 | | 4.37 | 75.50 | 22.37 |
| | 76.00 | 8.85 | 25.99 | | 2.29 | 75.50 | 22.21 |
| | 76.00 | 11.23 | 25.82 | | 1.04 | 75.50 | 21.77 |
| | 76.00 | 12.52 | 25.76 | | 0.00 | 75.50 | 21.88 |
| | 76.00 | 14.49 | 25.47 | | 0.00 | 75.69 | 22.11 |
| | 76.00 | 16.53 | 25.18 | | 0.00 | 71.53 | 22.20 |
| | 76.00 | 18.22 | 24.77 | | 0.00 | 68.10 | 22.38 |
| | 76.00 | 19.68 | 25.00 | | 0.00 | 64.84 | 22.92 |
| | 76.00 | 21.31 | 25.47 | | 0.00 | 61.68 | 23.47 |
| | 76.00 | 22.47 | 25.29 | | 0.00 | 58.96 | 23.11 |
| | 76.00 | 24.22 | 25.23 | | 0.00 | 56.25 | 23.11 |
| | 76.00 | 25.55 | 25.35 | | 0.00 | 52.72 | 23.56 |
| | 76.00 | 27.82 | 25.12 | | 0.00 | 49.56 | 23.65 |
| | 76.00 | 30.39 | 24.77 | | 0.00 | 48.20 | 23.92 |
| | 76.00 | 32.83 | 24.83 | | 0.00 | 46.21 | 23.47 |
| | 76.00 | 35.68 | 24.54 | | 0.00 | 43.32 | 22.92 |
| | 76.00 | 38.01 | 24.36 | | 0.00 | 40.88 | 22.83 |
| | 76.00 | 40.69 | 24.19 | | 0.00 | 37.80 | 22.74 |
| | 76.00 | 42.49 | 24.24 | | 0.00 | 33.73 | 22.83 |
| | 76.00 | 45.11 | 24.42 | | 0.00 | 29.66 | 22.83 |
| | 76.00 | 47.09 | 24.54 | | 0.00 | 26.41 | 23.20 |
| | 76.00 | 48.43 | 24.13 | | 0.00 | 21.61 | 23.11 |
| | 76.00 | 50.24 | 24.36 | | 0.00 | 18.09 | 23.38 |
| | 76.00 | 52.86 | 24.54 | | 0.00 | 15.19 | 23.47 |
| | 76.00 | 54.54 | 24.24 | | 0.00 | 12.30 | 23.65 |
| | 76.00 | 55.94 | 23.66 | | 0.00 | 8.86 | 23.74 |
| | 76.00 | 57.34 | 23.72 | | 0.00 | 5.79 | 23.74 |
| | 76.00 | 60.07 | 23.78 | | 0.00 | 2.71 | 23.92 |
| | 76.00 | 63.33 | 23.66 | | 0.00 | 0.00 | 24.01 |
| | 76.00 | 65.14 | 24.01 | | | | |
| | 76.00 | 66.65 | 23.60 | | | | |
| | 76.00 | 68.69 | 23.55 | | | | |
| | 76.00 | 70.96 | 23.66 | | | | |
| | 76.00 | 73.23 | 23.78 | | | | |
| | 76.00 | 75.67 | 23.60 | | | | |

4.2. 成型後の岩体

岩体は $50 \times 50 \times 47\text{cm}$ の大きさに成型した。高さを 47cm としたのは、対象亀裂が NETBLOCK の注排水セルの中心に来るよう調整したためである（5章参照）。

成型後の岩体を図4.3、岩体表面の開口している亀裂をトレースしたものを図4.4に示す。対象亀裂は図4.4の太線で示すように岩体とほぼ水平な亀裂と、その上方から交差する主要な2本の亀裂からなっている。側面-1では2本の亀裂はほぼ平行な亀裂であるが、側面-2,4で上部の亀裂が下部の亀裂に接近していき、側面-3ではほぼ1つの亀裂となっている。

対象亀裂について、岩体底盤を基準とした高さをトレース図から求め（表4.3,4.4参照）、岩体内部の亀裂位置（高さ）をセンター図から推定した（図4.5参照）。図4.5から、下部の亀裂はほぼ水平、上部の亀裂はなだらかに傾斜しているが、側面-3と側面-4の角部では急に傾斜している。亀裂交差部はこの付近（図4.5(II)の直線）と推測される。亀裂交差部は側面-4ではほぼ中央に来ているが、側面-2では予想に反して岩体の端に位置することとなった。



側面-1



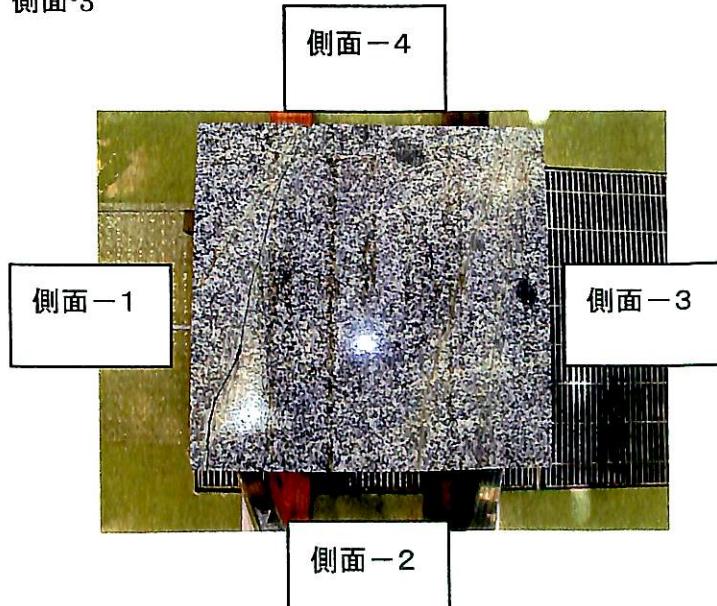
側面-2



側面-3



側面-4



上面

図 4.3 成型後の岩体

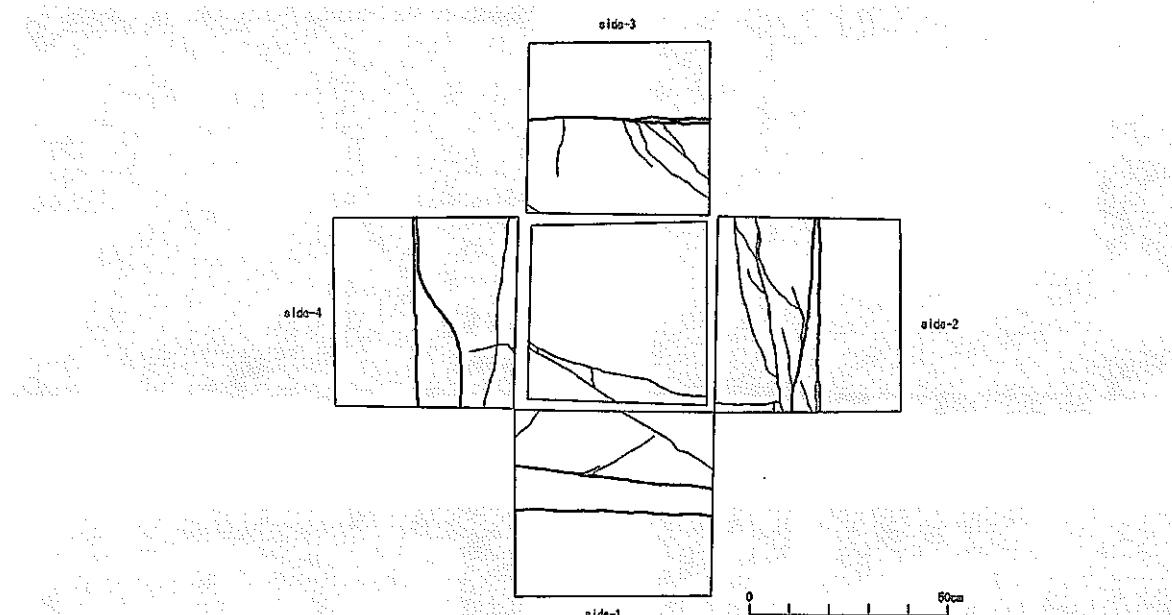


図 4.4 亀裂トレース（太線は対象亀裂を示す）

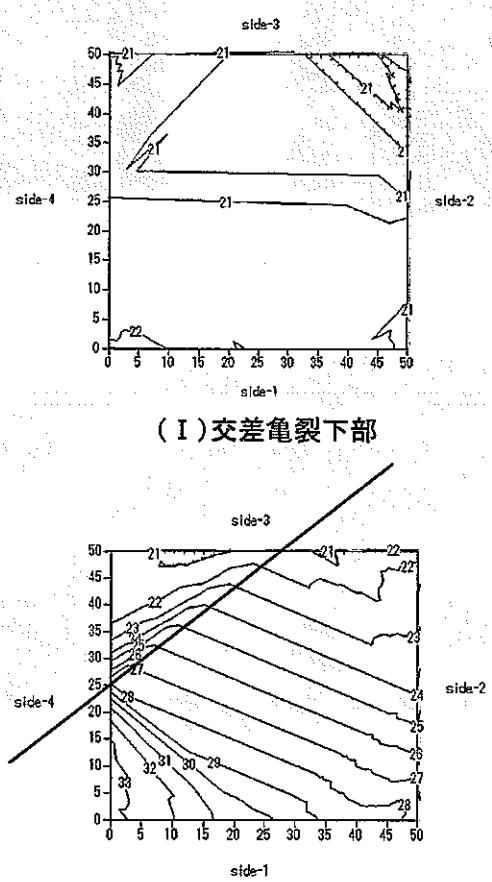


図 4.5 対象亀裂センター図(単位 cm)

表 4.3 交差亀裂下部 座標データ

| | x(cm) | y(cm) | h(cm) | | x(cm) | y(cm) | h(cm) |
|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| side-1 | 0.08 | 0.00 | 21.88 | side-3 | 50.36 | 50.00 | 21.24 |
| | 2.33 | 0.00 | 22.13 | | 48.64 | 50.00 | 21.14 |
| | 4.83 | 0.00 | 22.25 | | 47.32 | 50.00 | 21.24 |
| | 7.27 | 0.00 | 22.22 | | 45.36 | 50.00 | 20.94 |
| | 8.64 | 0.00 | 22.06 | | 43.54 | 50.00 | 21.17 |
| | 10.63 | 0.00 | 21.94 | | 41.15 | 50.00 | 21.40 |
| | 12.76 | 0.00 | 21.76 | | 39.83 | 50.00 | 21.37 |
| | 14.86 | 0.00 | 21.88 | | 38.14 | 50.00 | 21.10 |
| | 17.27 | 0.00 | 21.97 | | 36.35 | 50.00 | 20.97 |
| | 19.65 | 0.00 | 21.91 | | 34.29 | 50.00 | 20.61 |
| | 22.09 | 0.00 | 22.03 | | 32.67 | 50.00 | 21.04 |
| | 23.76 | 0.00 | 21.94 | | 31.18 | 50.00 | 21.33 |
| | 26.02 | 0.00 | 21.67 | | 28.89 | 50.00 | 21.50 |
| | 28.18 | 0.00 | 21.55 | | 25.88 | 50.00 | 21.37 |
| | 29.86 | 0.00 | 21.43 | | 22.13 | 50.00 | 21.10 |
| | 31.69 | 0.00 | 21.67 | | 17.73 | 50.00 | 20.91 |
| | 33.88 | 0.00 | 21.52 | | 15.28 | 50.00 | 20.74 |
| | 35.62 | 0.00 | 21.16 | | 13.49 | 50.00 | 20.77 |
| | 37.83 | 0.00 | 21.16 | | 10.30 | 50.00 | 20.77 |
| | 39.43 | 0.00 | 21.00 | | 8.48 | 50.00 | 20.84 |
| | 40.62 | 0.00 | 21.00 | | 6.83 | 50.00 | 21.07 |
| | 42.36 | 0.00 | 21.07 | | 5.37 | 50.00 | 21.30 |
| | 45.10 | 0.00 | 21.19 | | 3.71 | 50.00 | 21.33 |
| | 47.26 | 0.00 | 21.07 | | 2.49 | 50.00 | 21.33 |
| | 50.43 | 0.00 | 20.64 | | 0.13 | 50.00 | 21.67 |
| side-2 | 50.00 | 0.31 | 20.78 | side-4 | 0.00 | 50.50 | 20.64 |
| | 50.00 | 2.47 | 20.75 | | 0.00 | 49.99 | 20.70 |
| | 50.00 | 4.54 | 20.72 | | 0.00 | 49.17 | 20.57 |
| | 50.00 | 6.80 | 20.78 | | 0.00 | 48.12 | 20.70 |
| | 50.00 | 8.65 | 21.22 | | 0.00 | 46.70 | 20.67 |
| | 50.00 | 10.55 | 21.37 | | 0.00 | 45.25 | 20.79 |
| | 50.00 | 11.31 | 21.22 | | 0.00 | 42.69 | 20.89 |
| | 50.00 | 12.92 | 21.50 | | 0.00 | 40.57 | 20.79 |
| | 50.00 | 14.12 | 21.40 | | 0.00 | 37.03 | 20.86 |
| | 50.00 | 16.54 | 21.37 | | 0.00 | 35.38 | 20.86 |
| | 50.00 | 18.08 | 21.16 | | 0.00 | 33.86 | 20.95 |
| | 50.00 | 19.66 | 21.22 | | 0.00 | 30.04 | 20.95 |
| | 50.00 | 21.63 | 21.03 | | 0.00 | 27.38 | 20.98 |
| | 50.00 | 24.35 | 20.91 | | 0.00 | 25.80 | 20.92 |
| | 50.00 | 26.02 | 21.06 | | 0.00 | 24.19 | 21.36 |
| | 50.00 | 28.09 | 21.03 | | 0.00 | 22.51 | 21.42 |
| | 50.00 | 29.11 | 21.06 | | 0.00 | 21.03 | 21.36 |
| | 50.00 | 29.67 | 21.22 | | 0.00 | 19.38 | 21.58 |
| | 50.00 | 30.94 | 21.28 | | 0.00 | 17.52 | 21.46 |
| | 50.00 | 32.14 | 21.00 | | 0.00 | 16.51 | 21.80 |
| | 50.00 | 33.13 | 21.00 | | 0.00 | 13.75 | 21.64 |
| | 50.00 | 35.23 | 20.85 | | 0.00 | 11.19 | 21.58 |
| | 50.00 | 38.12 | 20.97 | | 0.00 | 8.85 | 21.55 |
| | 50.00 | 39.44 | 20.97 | | 0.00 | 6.83 | 21.68 |
| | 50.00 | 40.92 | 20.91 | | 0.00 | 4.96 | 21.80 |
| | 50.00 | 43.21 | 20.78 | | 0.00 | 2.97 | 21.83 |
| | 50.00 | 44.29 | 20.91 | | 0.00 | 0.28 | 22.18 |
| | 50.00 | 45.22 | 21.00 | | | | |
| | 50.00 | 46.73 | 20.91 | | | | |
| | 50.00 | 48.31 | 21.12 | | | | |
| | 50.00 | 49.73 | 21.19 | | | | |
| | 50.00 | 50.38 | 21.22 | | | | |

表 4.4 交差亀裂上部 座標データ

| | x(cm) | y(cm) | h(cm) | | x(cm) | y(cm) | h(cm) |
|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| side-1 | 0.02 | 0.00 | 33.27 | side-3 | 50.36 | 50.00 | 21.24 |
| | 2.58 | 0.00 | 33.05 | | 48.64 | 50.00 | 21.14 |
| | 4.04 | 0.00 | 32.81 | | 47.32 | 50.00 | 21.24 |
| | 6.93 | 0.00 | 32.60 | | 45.36 | 50.00 | 20.94 |
| | 8.95 | 0.00 | 32.18 | | 43.54 | 50.00 | 21.17 |
| | 10.90 | 0.00 | 31.93 | | 41.15 | 50.00 | 21.40 |
| | 12.88 | 0.00 | 31.63 | | 39.83 | 50.00 | 21.37 |
| | 14.80 | 0.00 | 31.54 | | 38.14 | 50.00 | 21.10 |
| | 16.54 | 0.00 | 31.03 | | 36.35 | 50.00 | 20.97 |
| | 18.15 | 0.00 | 30.84 | | 34.29 | 50.00 | 20.61 |
| | 19.83 | 0.00 | 30.57 | | 32.67 | 50.00 | 21.04 |
| | 21.11 | 0.00 | 30.51 | | 31.18 | 50.00 | 21.33 |
| | 22.18 | 0.00 | 30.60 | | 28.89 | 50.00 | 21.50 |
| | 23.30 | 0.00 | 30.33 | | 25.88 | 50.00 | 21.37 |
| | 25.04 | 0.00 | 30.21 | | 22.13 | 50.00 | 21.10 |
| | 26.69 | 0.00 | 30.00 | | 17.73 | 50.00 | 20.91 |
| | 28.43 | 0.00 | 29.88 | | 15.28 | 50.00 | 20.74 |
| | 30.59 | 0.00 | 29.36 | | 13.49 | 50.00 | 20.77 |
| | 32.51 | 0.00 | 29.18 | | 10.30 | 50.00 | 20.77 |
| | 35.04 | 0.00 | 28.85 | | 8.48 | 50.00 | 20.84 |
| | 37.51 | 0.00 | 28.63 | | 6.83 | 50.00 | 21.07 |
| | 39.40 | 0.00 | 28.57 | | 5.37 | 50.00 | 21.30 |
| | 40.65 | 0.00 | 28.54 | | 3.71 | 50.00 | 21.33 |
| | 42.87 | 0.00 | 28.54 | | 2.49 | 50.00 | 21.33 |
| | 44.46 | 0.00 | 28.48 | | 0.13 | 50.00 | 21.67 |
| | 45.74 | 0.00 | 28.18 | side-4 | 0.00 | 50.46 | 21.42 |
| | 46.59 | 0.00 | 28.18 | | 0.00 | 48.54 | 21.46 |
| | 47.60 | 0.00 | 27.94 | | 0.00 | 46.13 | 21.64 |
| | 48.61 | 0.00 | 27.88 | | 0.00 | 43.54 | 21.93 |
| | 50.46 | 0.00 | 27.60 | | 0.00 | 39.87 | 21.93 |
| side-2 | 50.00 | 0.09 | 27.88 | | 0.00 | 38.01 | 21.74 |
| | 50.00 | 2.47 | 27.79 | | 0.00 | 35.93 | 22.09 |
| | 50.00 | 4.51 | 27.73 | | 0.00 | 33.64 | 22.75 |
| | 50.00 | 6.46 | 27.60 | | 0.00 | 30.99 | 23.94 |
| | 50.00 | 8.04 | 26.95 | | 0.00 | 28.71 | 25.42 |
| | 50.00 | 9.24 | 26.61 | | 0.00 | 26.97 | 26.43 |
| | 50.00 | 10.91 | 26.12 | | 0.00 | 25.64 | 27.75 |
| | 50.00 | 12.36 | 25.99 | | 0.00 | 24.03 | 28.82 |
| | 50.00 | 14.19 | 25.68 | | 0.00 | 22.23 | 30.21 |
| | 50.00 | 16.75 | 25.28 | | 0.00 | 20.49 | 31.12 |
| | 50.00 | 18.79 | 24.81 | | 0.00 | 18.81 | 31.91 |
| | 50.00 | 20.83 | 24.44 | | 0.00 | 16.25 | 32.54 |
| | 50.00 | 22.10 | 24.16 | | 0.00 | 14.70 | 33.08 |
| | 50.00 | 23.18 | 24.16 | | 0.00 | 12.17 | 33.11 |
| | 50.00 | 24.82 | 23.73 | | 0.00 | 10.78 | 33.36 |
| | 50.00 | 26.77 | 23.70 | | 0.00 | 8.33 | 33.26 |
| | 50.00 | 29.36 | 23.51 | | 0.00 | 6.64 | 33.30 |
| | 50.00 | 31.65 | 23.33 | | 0.00 | 4.71 | 33.30 |
| | 50.00 | 33.72 | 23.05 | | 0.00 | 2.85 | 33.11 |
| | 50.00 | 35.05 | 22.89 | | 0.00 | 0.06 | 33.08 |
| | 50.00 | 37.15 | 22.89 | | | | |
| | 50.00 | 39.93 | 22.83 | | | | |
| | 50.00 | 40.92 | 22.89 | | | | |
| | 50.00 | 43.21 | 22.74 | | | | |
| | 50.00 | 44.85 | 22.67 | | | | |
| | 50.00 | 47.07 | 22.40 | | | | |
| | 50.00 | 50.32 | 22.12 | | | | |

4.3. 龜裂内部の構造

表 4.1～4.4 のデータを用いて、岩体内部の亀裂位置を図 4.6 に示す。図中の四角は成型位置を示す。下部亀裂はほぼ平面形状を示しているが、上部亀裂は側面-4 付近で大きく傾斜していて、複雑な面を示している。4.1 で述べたように、交差位置が岩体の中央に来るようく成型位置を決定したが、側面-2 での亀裂交差部が、予想位置（図 4.7 の点線）とは大きく異なっていることが分かる。

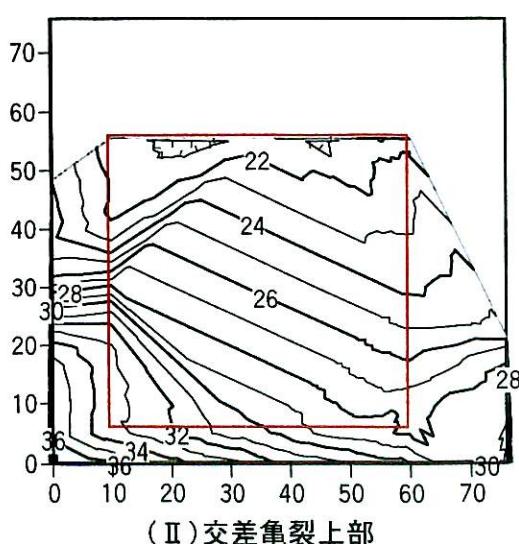
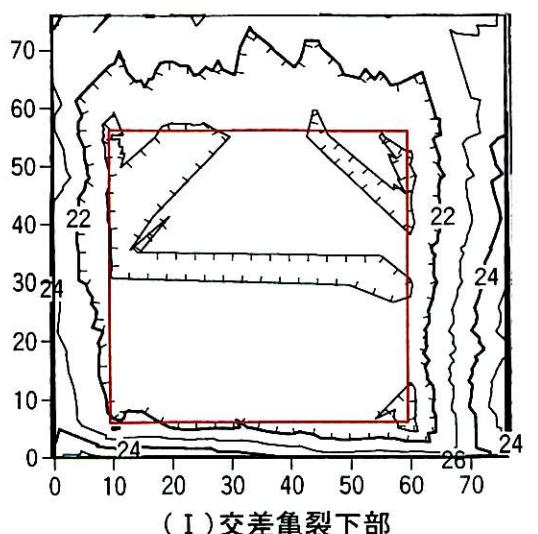


図 4.6 対象亀裂センター図(単位 cm)

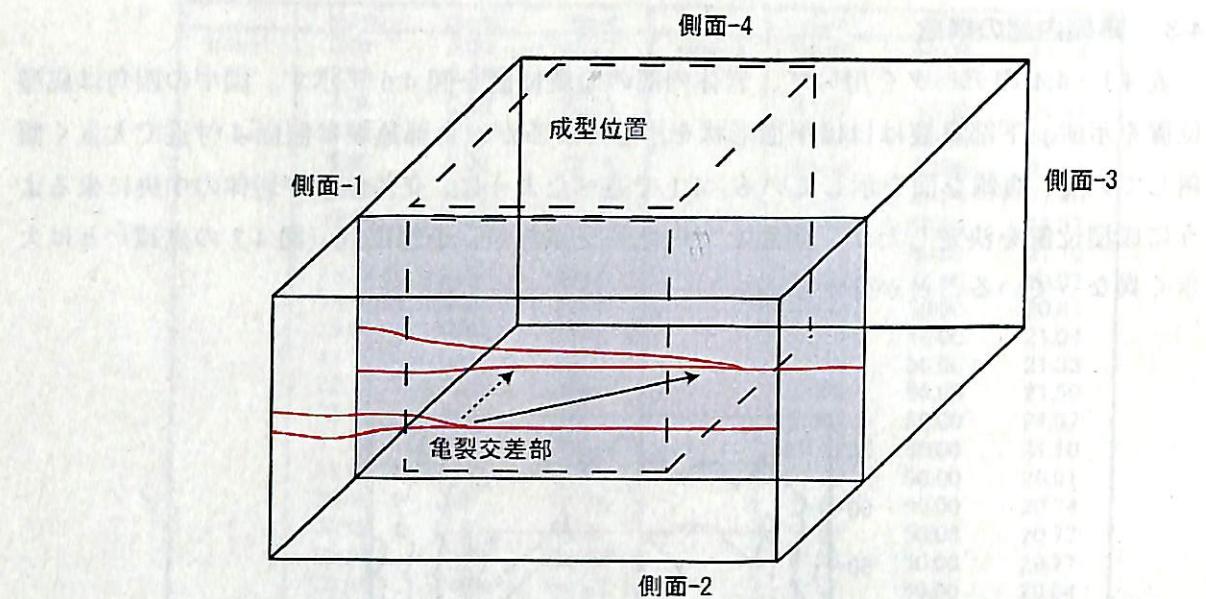


図 4.7 亀裂交差部の模式図(側面-2 から見た図)

4.4. 亀裂開口幅の測定

成型後の岩体について、図 4.8 に示す亀裂の開口幅をノギスで計測した。各側面の左側を基準に、1 cm 間隔で計測を行った。計測データを表 4.5 に示す。

このデータは、次年度以降予定されている亀裂内部の開口幅測定との比較に用いる予定である。

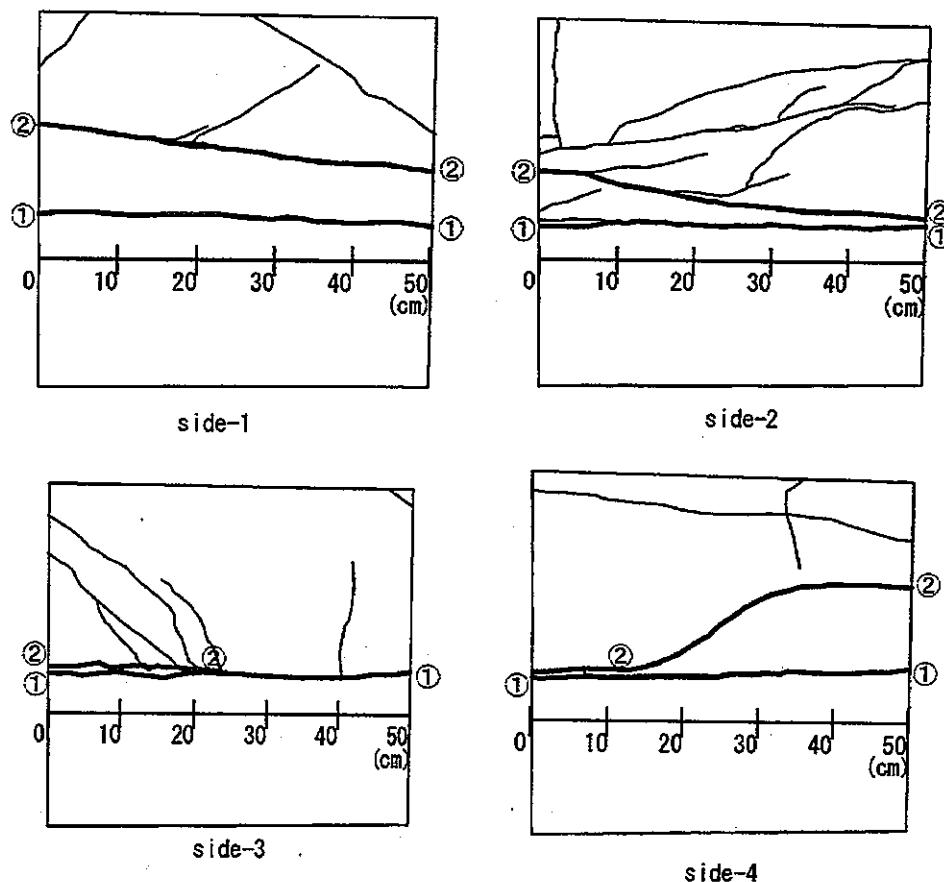


図 4.8 亀裂開口幅測定位置図

表 4.5 開口幅 計測データ

| 距離(cm) | 開口幅(mm) | | | | | | | |
|--------|---------|------|-------|------|------|------|------|------|
| | 側面1 | | 側面2 | | 側面3 | | 側面4 | |
| | ① | ② | ① | ② | ① | ② | ① | ② |
| 0 | 2.98 | 5.55 | 9.30 | 1.53 | 4.76 | 2.92 | 3.15 | |
| 1 | 1.85 | 4.16 | 10.05 | 2.62 | 4.26 | 1.16 | 6.26 | |
| 2 | 2.55 | 4.08 | 10.35 | 2.86 | 2.57 | 1.93 | 6.72 | |
| 3 | 2.77 | 2.21 | 10.07 | 2.44 | 3.88 | 1.41 | 5.87 | |
| 4 | 2.04 | 2.57 | 8.72 | 4.07 | 1.81 | 3.78 | 6.09 | |
| 5 | 3.27 | 1.93 | 8.28 | 6.15 | 2.84 | 5.74 | 4.33 | |
| 6 | 3.11 | 2.94 | 9.00 | 2.61 | 3.14 | 2.66 | 6.59 | |
| 7 | 2.65 | 2.69 | 8.14 | 2.61 | 3.47 | 5.86 | 1.97 | 4.05 |
| 8 | 1.87 | 3.49 | 4.52 | 0.89 | 2.82 | 2.87 | 1.74 | 2.48 |
| 9 | 2.80 | 4.17 | 4.23 | 2.54 | 0.95 | 1.96 | 2.26 | 2.36 |
| 10 | 2.71 | 2.97 | 3.15 | 1.62 | 1.02 | 6.05 | 2.85 | 2.42 |
| 11 | 1.35 | 2.57 | 4.69 | 1.21 | 4.77 | 2.26 | 1.95 | 2.02 |
| 12 | 2.35 | 2.88 | 2.20 | 3.62 | 3.71 | 1.99 | 1.73 | 2.52 |
| 13 | 3.59 | 2.99 | 2.28 | 2.30 | 3.78 | 6.85 | 2.86 | 3.05 |
| 14 | 3.48 | 3.48 | 3.21 | 2.12 | 4.51 | 2.30 | 1.75 | 2.50 |
| 15 | 2.79 | 2.04 | 2.87 | 1.71 | 4.19 | 6.43 | 1.51 | 1.36 |
| 16 | 2.14 | 2.10 | 1.51 | 3.23 | 5.93 | 4.31 | 1.03 | 1.51 |
| 17 | 1.33 | 1.17 | 4.35 | 2.69 | 2.33 | 3.08 | 0.99 | 3.39 |
| 18 | 2.87 | 2.33 | 2.36 | 2.24 | 3.61 | 2.79 | 1.12 | 2.37 |
| 19 | 3.73 | 1.82 | 2.35 | 1.44 | 2.01 | 2.15 | 2.13 | 2.06 |
| 20 | 2.49 | 3.50 | 2.13 | 3.14 | 2.44 | | 1.98 | 2.60 |
| 21 | 2.28 | 3.86 | 2.72 | 3.27 | 5.14 | | 1.53 | 3.33 |
| 22 | 2.00 | 1.70 | 4.13 | 2.88 | 3.57 | | 1.10 | 1.61 |
| 23 | 1.70 | 1.66 | 4.20 | 2.47 | 2.71 | | 1.63 | 3.59 |
| 24 | 1.46 | 1.53 | 4.16 | 2.80 | 2.13 | | 1.35 | 6.03 |
| 25 | 1.30 | 1.51 | 2.16 | 2.49 | 3.29 | | 1.51 | 4.51 |
| 26 | 1.25 | 1.88 | 2.34 | 1.40 | 3.25 | | 1.53 | 2.36 |
| 27 | 1.47 | 2.28 | 2.31 | 1.38 | 3.03 | | 1.19 | 2.11 |
| 28 | 1.68 | 3.03 | 3.74 | 1.31 | 4.29 | | 2.82 | 4.34 |
| 29 | 1.47 | 1.70 | 2.78 | 0.88 | 4.28 | | 1.68 | 4.89 |
| 30 | 1.34 | 1.23 | 2.65 | 1.29 | 3.77 | | 2.19 | 3.78 |
| 31 | 0.99 | 2.28 | 3.69 | 1.28 | 3.17 | | 1.61 | 4.20 |
| 32 | 0.95 | 2.08 | 3.32 | 1.99 | 3.14 | | 2.99 | 4.74 |
| 33 | 1.30 | 1.82 | 2.29 | 2.58 | 3.15 | | 2.78 | 2.57 |
| 34 | 1.20 | 3.39 | 2.54 | 3.82 | 3.37 | | 4.25 | 2.31 |
| 35 | 2.54 | 1.84 | 1.84 | 1.63 | 3.72 | | 1.71 | 4.82 |
| 36 | 4.62 | 1.58 | 1.60 | 2.20 | 2.36 | | 4.57 | 3.13 |
| 37 | 3.33 | 1.39 | 3.03 | 1.63 | 3.69 | | 3.98 | 1.69 |
| 38 | 2.70 | 2.47 | 4.90 | 0.87 | 2.94 | | 2.34 | 1.92 |
| 39 | 5.71 | 2.34 | 5.18 | 1.89 | 4.54 | | 2.01 | 1.34 |
| 40 | 6.66 | 2.12 | 5.33 | 1.43 | 2.36 | | 4.01 | 2.76 |
| 41 | 6.85 | 4.06 | 3.23 | 2.11 | 2.00 | | 3.43 | 2.90 |
| 42 | 8.17 | 2.71 | 2.01 | 1.63 | 2.67 | | 3.70 | 3.32 |
| 43 | 7.90 | 3.12 | 4.36 | 1.46 | 2.00 | | 2.11 | 2.43 |
| 44 | 6.26 | 1.95 | 5.25 | 1.62 | 1.93 | | 2.29 | 2.74 |
| 45 | 3.47 | 2.62 | 4.25 | 1.10 | 1.08 | | 1.54 | 1.73 |
| 46 | 3.94 | 1.15 | 3.44 | 1.63 | 2.26 | | 2.34 | 1.71 |
| 47 | 5.80 | 4.65 | 3.26 | 1.18 | 2.53 | | 3.75 | 2.03 |
| 48 | 8.71 | 2.15 | 7.65 | 1.11 | 2.47 | | 1.85 | 1.50 |
| 49 | 8.58 | 1.23 | 3.42 | 1.07 | 2.44 | | 2.56 | 1.33 |
| 50 | 8.90 | 7.79 | 5.07 | 2.76 | 3.40 | | 4.91 | 2.84 |

5. 予備試験

5.1. 試料の設置

実岩体は 50cm×50cm×47cm に成型しており、NETBLOCK の止水板の規格に合わせるために、厚さ 3cm のステンレス鋼板を岩体上部に載せて 50cm 角としている(図 5.1 参照)。岩体上面の亀裂はシリコンでシールを施した。

岩体表面を 6×6 個の窓(以下セルと呼ぶ)に区切り、注排水が行えるように止水エレメントを取り付けた。止水エレメントの外側に止水板を装着し、各面の止水板をボルトで固定し、隣接するセルをシールする。岩体の稜線部はシリコンでシールし、6 枚の止水エレメントを一体化した。

6 面をそれぞれ上面、下面、N 面、S 面、E 面、W 面と呼び、各面のセルを 1～36 の番号で表す。設置方向は側面-1=N 面、側面-2=W 面、側面-3=S 面、側面-4=E 面とした。

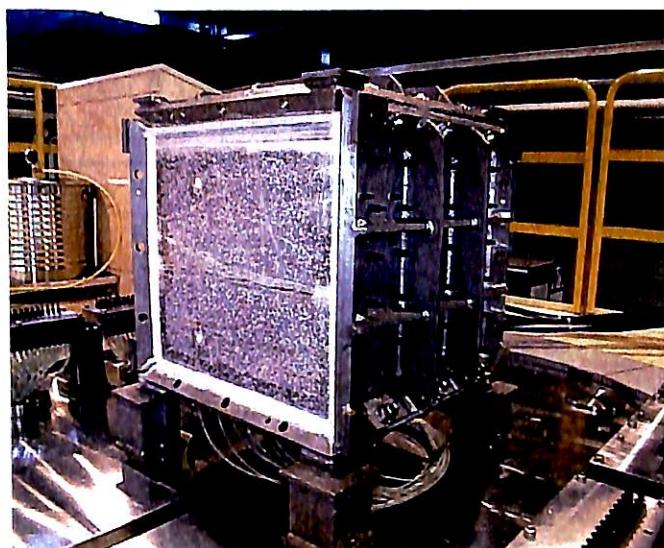


図 5.1 実岩体(上面にステンレス鋼板を載せた状態)

5.2. 透水性の高いセルの確認

図 5.2 に示すように、堰を用いて水頭差により注水を行い、岩体を通じて排水されるセルの確認を行った。

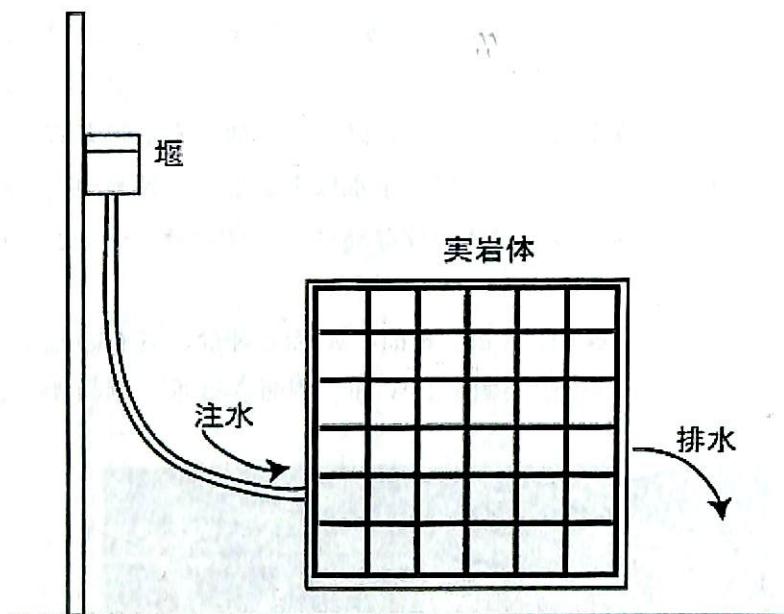


図 5.2 注水方法

S 面の 19~24 より注水を行い、水が排出されるセルを調べた。その結果、図 5.3 の数字で示すセルからの排水が確認できた。今回の条件である数 10 cm の位置水頭でも、数 L/hour 程度とかなり透水性が高い。岩体表面で観察されている亀裂はほぼ有為な透水性があることが分かった。なお、W-30、S-25 については排水が確認されてはいるが、その流量は数 cc/hour 以下であり、他の排水セルに比べ極めて少ない。

5.1 で述べたように上面はステンレス鋼板を載せているために透水するセルはない。また、下面是亀裂がないために透水するセルはない。

この試験により、対象としている主な亀裂の透水性が高く、水頭差が数 cm 程度と小さくても、数十 cc/min 程度と流量が大きいことがわかった。このため注水圧力を大きくする必要が無いので、既存のブースターを用いずに、堰による位置水頭制御で注水を行うこととした。また、NETBLOCK 既存の圧力計 ($5\text{kgf}/\text{cm}^2\text{F.S.}$) では数 cm の水頭圧測定に不適当であるため、マノメーターを用いて水頭を測定することとした。

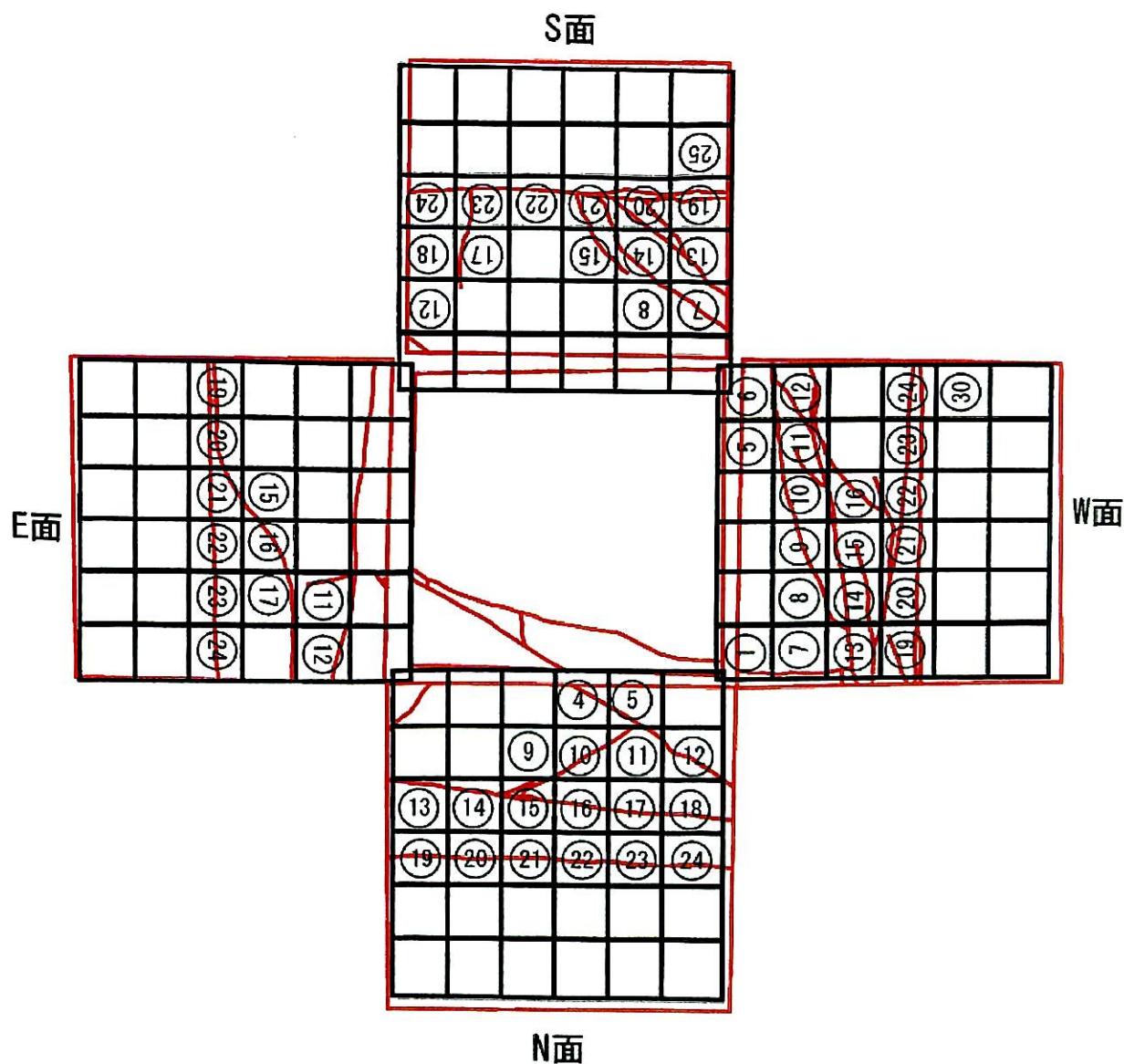


図 5.3 透水性の高いセル(図中の数字で示すセル)
(上面の亀裂はシールされている)

5.3. 透水試験

主要な2本の亀裂を対象に、表5.1に示す試験ケースで透水試験を行った。図5.4に示すように堰を固定するためのスタンドにマノメーターを取り付け、これによって試料前後の水頭をマノメーターで測定し、水頭差を求めた。水頭の計測は、S面→N面の試験ケースではS21とN21（またはN15）、E面→W面の試験ケースではE21とW21の2点を測定した。また、排水側の堰からの排水をメスシリンダーで計測し、単位時間あたりの流量を求めた。各試験ケースにおいて、注水側の堰を段階的に変化させて、各段階での試料前後の水頭および流量を測定した。測定結果から、各段階での試料前後の水頭差と流量をグラフにプロットして（図5.5～9参照）、近似曲線の傾きから $Q/\Delta h(m^2/s)$ を求めた（表5.1参照）。

表5.1 予備試験 試験ケース

| | 注水セル | 排水セル | $Q/\Delta h(m^2/s)$ | 対象亀裂 |
|------|--------|--------|-----------------------|-------|
| ケース1 | S19-24 | N19-24 | 4.23×10^{-5} | 下部 |
| ケース2 | S19-24 | N13-18 | 1.41×10^{-5} | 上部 |
| ケース3 | S19-24 | N13-24 | 7.69×10^{-5} | 上部・下部 |
| ケース4 | E19-24 | W19-24 | 3.70×10^{-5} | 下部 |
| ケース5 | E11-24 | W13-24 | 4.39×10^{-5} | 上部・下部 |

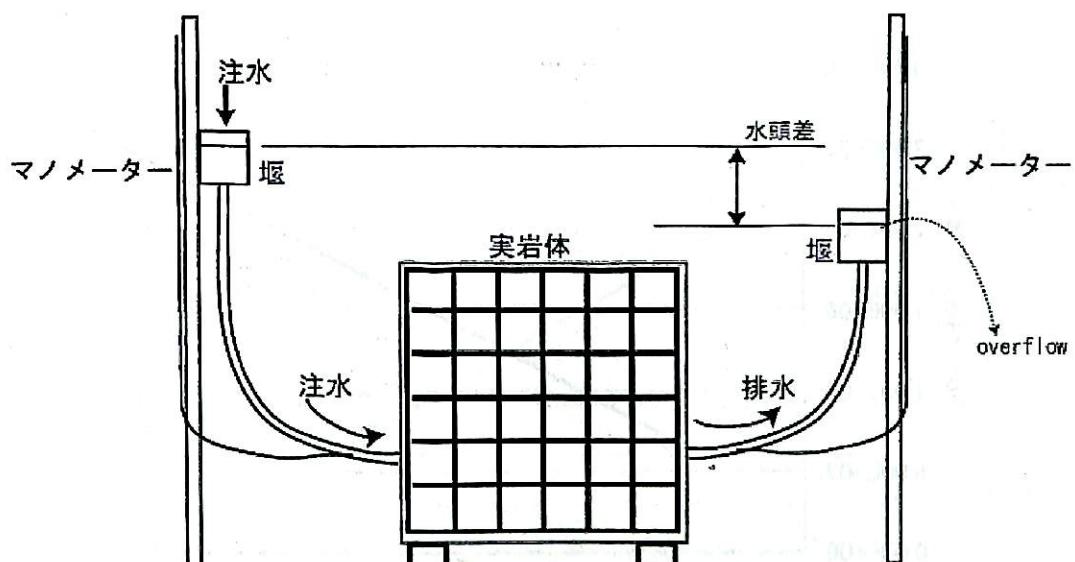


図 5.4 透水試験 配管図

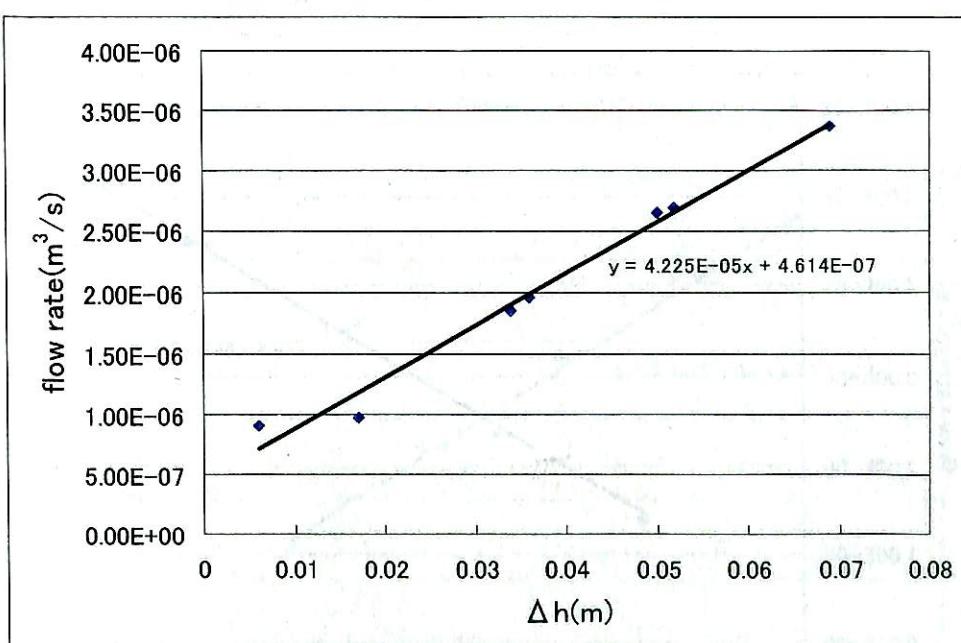


図 5.5 流量-圧力グラフ ケース1

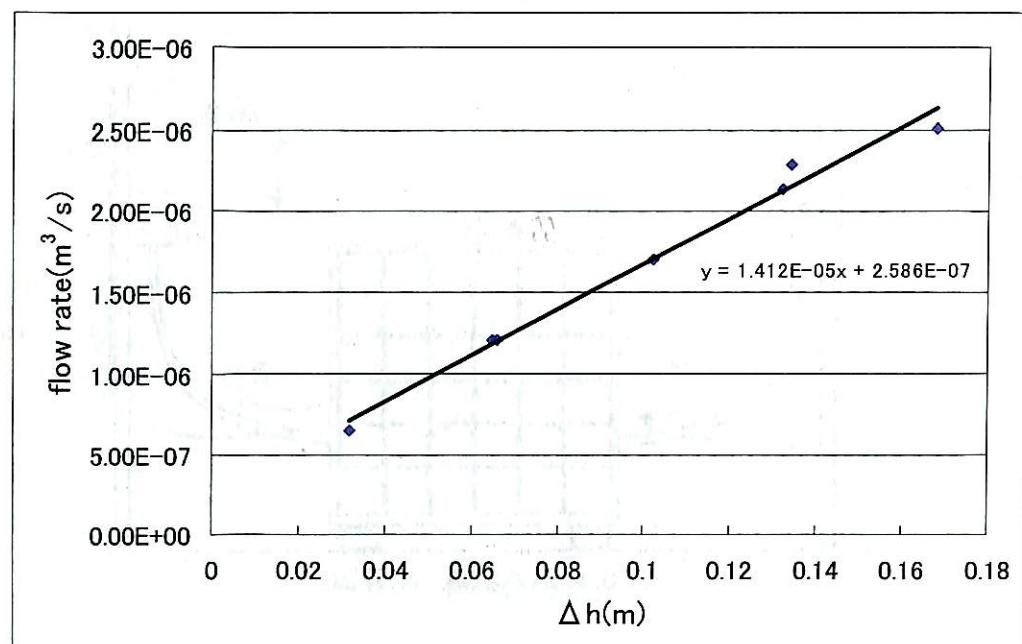


図 5.6 流量ー圧力グラフ ケース2

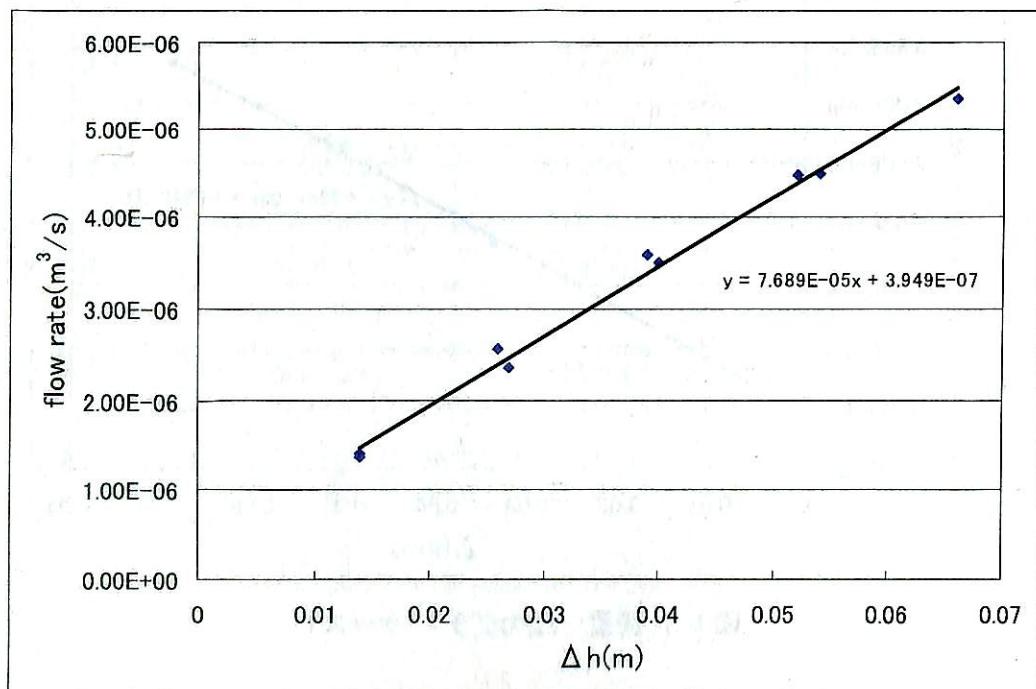


図 5.7 流量ー圧力グラフ ケース3

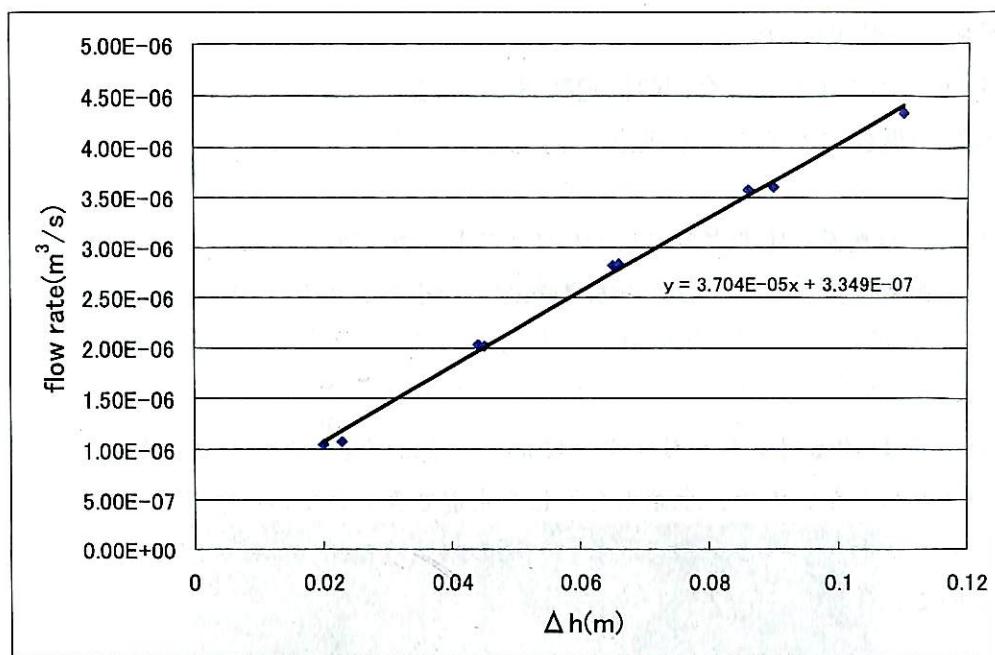


図 5.8 流量ー圧力グラフ ケース4

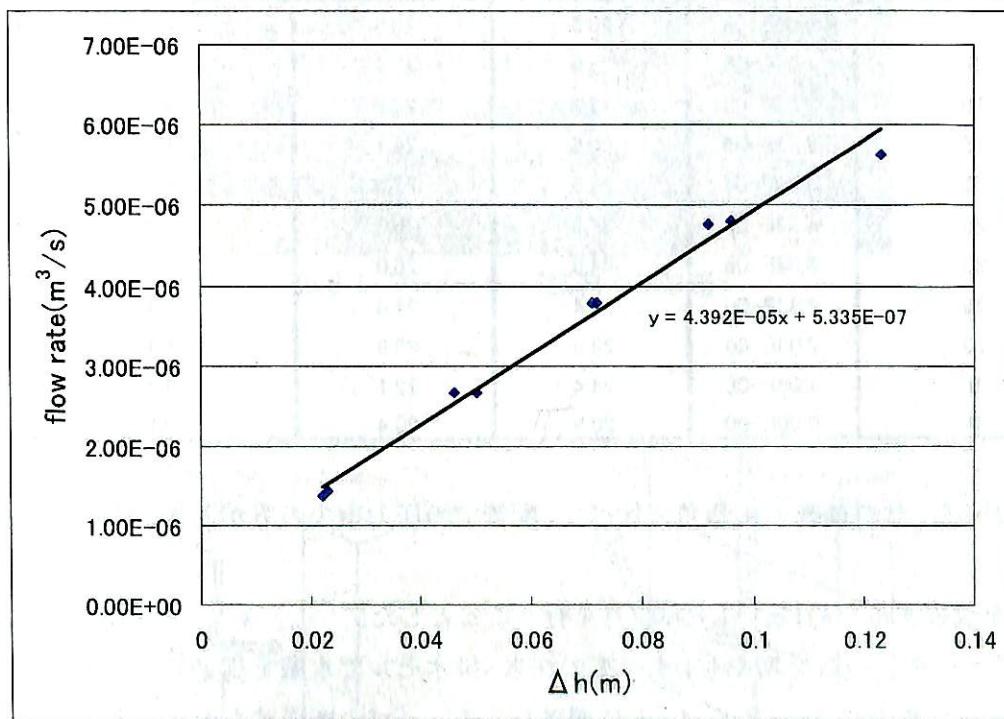


図 5.9 流量ー圧力グラフ ケース5

5.4. 予備試験結果について

図 5.5~9 に示すように、今回の測定範囲では計測データは直線上にプロットされ、圧力と流量が比例関係にあることが確認できた。しかし、以下の点が問題点として挙げられる。

- ①各ケースの流量一圧力グラフにおいて、近似曲線が原点を通らないこと。
- ②堰の水頭差と比較して、試料前後の水頭差が小さいこと（配管での圧力損失が大きいこと）。

①については、流量はメスシリンダーにより正確に測定できていると考えられる。一方、測定点が2点しかないので、水頭差を正しく測定できていない可能性が考えられる。

②については、ケース 1 を例に取ると、堰の水頭差と試料前後の水頭差は表 5.2 のようになっている。

表 5.2 試験データ ケース1

| 堰の水頭差(cm)① | 流量(m ³ /s) | 注水側水頭(cm) | 排水側水頭(cm) | 試料前後の水頭差(cm)② | ②/① |
|------------|-----------------------|-----------|-----------|---------------|------|
| 0 | 0.00E+00 | 20.5 | 20.5 | 0.0 | |
| 5 | 1.05E-06 | 23.9 | 21.9 | 2.0 | 0.40 |
| 10 | 2.02E-06 | 27.2 | 22.7 | 4.5 | 0.45 |
| 15 | 2.82E-06 | 30.6 | 24.1 | 6.5 | 0.43 |
| 20 | 3.60E-06 | 34.5 | 25.5 | 9.0 | 0.45 |
| 25 | 4.33E-06 | 37.9 | 26.9 | 11.0 | 0.44 |
| 20 | 3.58E-06 | 34.6 | 26.0 | 8.6 | 0.43 |
| 15 | 2.83E-06 | 31.4 | 24.8 | 6.6 | 0.44 |
| 10 | 2.03E-06 | 28.0 | 23.6 | 4.4 | 0.44 |
| 5 | 1.08E-06 | 24.4 | 22.1 | 2.3 | 0.46 |
| 0 | 0.00E+00 | 20.5 | 20.4 | 0.1 | |

表 5.2 から、試料前後の水頭差に比べて、配管での圧力損失の方が大きいことが分かる。

これらを改善するために、以下の改良を行うこととした。

- ・マノメーターの数を増やし、すべての注水・排水セルで水頭を測定できるようにする。
- ・チューブを内径 2mm から 4mm に変更し、チューブの断面積を大きくすることで圧力損失を小さくし、試料前後の差圧を大きく設定できるようにする。

改良の詳細について、6 章で説明する。

6. 計測システムの改良

5章の予備試験での問題点を改善するために、以下の改良を行った。

6.1. マノメーターの作成

注・排水面およびその側面の水頭を計測できるように、各側面に 50cm のマノメーターを 12 本設置した（図 6.1 参照）。試料の上に設置することにより、計測点とマノメーターをつなぐチューブを短くすることができた。また、計測箇所をチューブから T 字コネクタで分岐させる方法から、継手の影響を無くすために、セルとマノメーターを接続する方法に変更した（図 6.2 参照）。

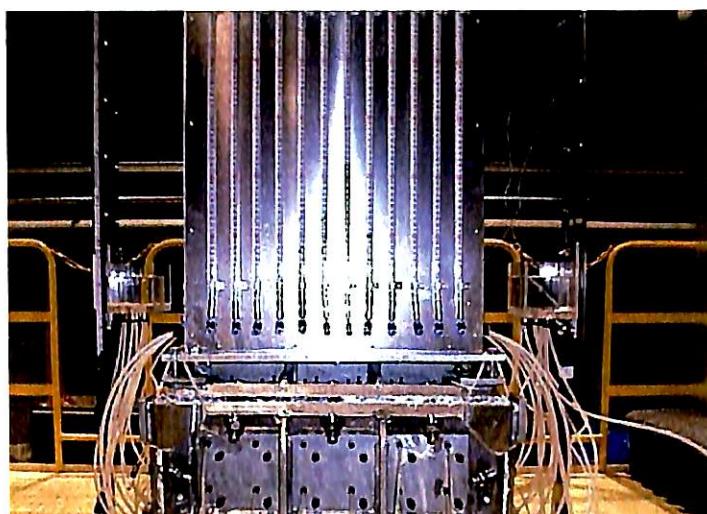


図 6.1 マノメーター(試料上に設置)

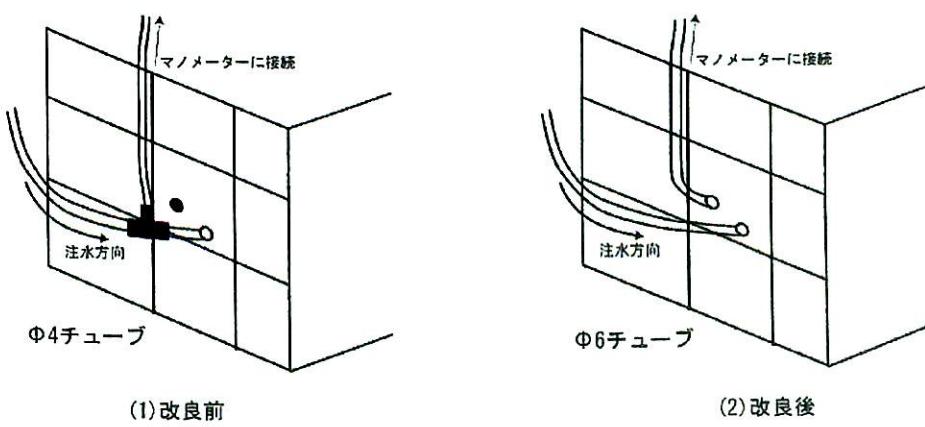


図 6.2 マノメーターへの接続方法

6.2. 壁の作成およびチューブの変更

これまで使用していた壁は、 $\phi 10\text{-}8$ （外径 10mm、内径 8mm）チューブから、6 本の $\phi 4\text{-}2$ チューブに分岐させて注水を行っていた。各セルに均一の水頭圧がかかるように壁に 6 本の $\phi 6\text{-}4$ チューブを直接取り付けられるようにした（図 6.3 参照）。配管の断面積を大きくすることにより、圧力損失は小さくなると考えられる。

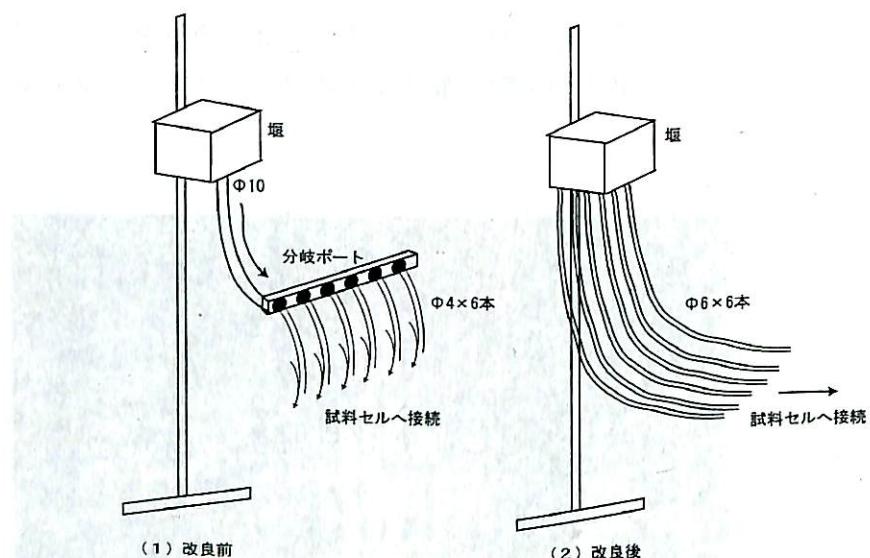


図 6.3 壁の改良

7. 透水試験

6章で述べたように、計測システムを改良し、透水試験を行った（図7.1参照）。試験ケースを表7.1に示す。各試験ケースにおいて、注水側の堰の高さを段階的に変化させ、各段階での水頭および流量を測定した。水頭計測セル、注水方向を図7.2に示す。

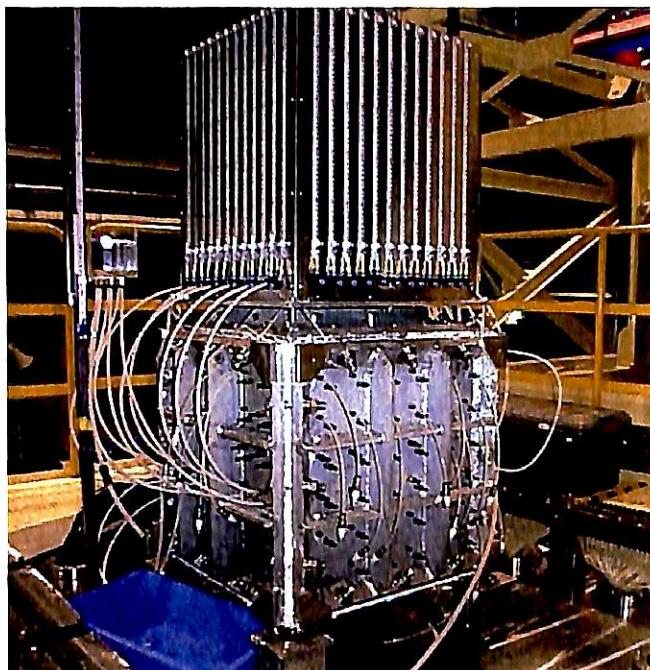
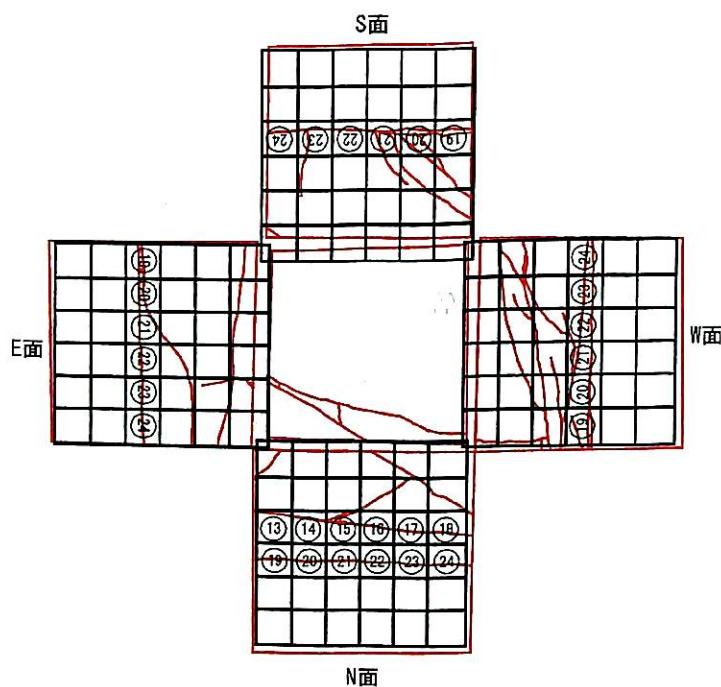


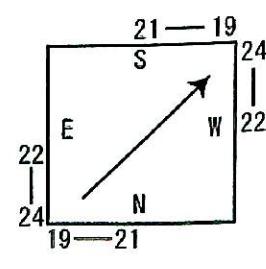
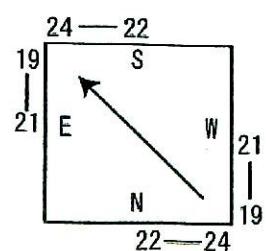
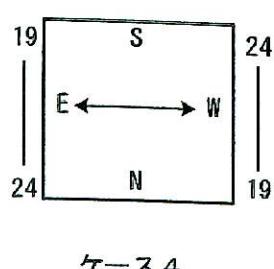
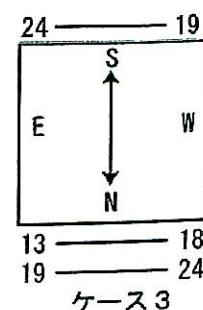
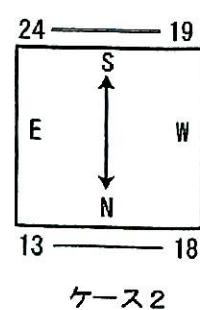
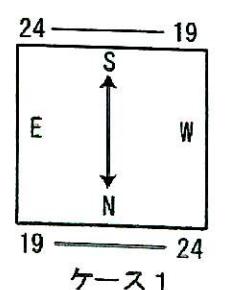
図7.1 測定状況

表7.1 試験ケース

| | 注水セル | 排水セル | 対象亀裂 |
|----------------|------------------|------------------|-------|
| ケース 1・1 1・2 | S19-24 | N19-24 | 下部 |
| | N19-24 | S19-24 | |
| ケース 2・1 2・2 | S19-24 | N13-18 | 上部 |
| | N13-18 | S19-24 | |
| ケース 3・1 3・2 | S19-24 | N13-24 | 上部・下部 |
| | N13-24 | S19-24 | |
| ケース 4・1 4・2 | E19-24 | W19-24 | 下部 |
| | W19-24 | E19-24 | |
| ケース 5 | N22-24 W19-21 | S22-24 E19-21 | 下部 |
| ケース 6 | N19-21 E22-24 | S19-21 W22-24 | 下部 |



(I) 水頭計測セル(数字で示すセル)



(II) 注水方向

図 7.2 試験ケース 模式図

7.1. 試験データ

表 7.1 に示したケース 1 ~ 4 の試験で得られたデータを以下に示す。

各ケースにおいて、セルの水頭（30 点）を図 7.3~10、排水側堰での流量、各面での水頭の平均値および注入セルと排水セルの水頭差を表 7.2~9 に示す。ただし N 面については N13-18 と N19-24 に分けて水頭の平均値を計算した。

ケース 5, 6 については、セルの水頭を図 7.11~12、注入・排水セルの水頭平均値、水頭差、流量を表 7.10~11 に示す。

表 7.2 流量・水頭平均値(ケース 1-1)

| 堰の水頭差 (cm) | 水頭平均値(cm) | | | | | 流量 (m ³ /s) | 水頭差 (m) |
|---------------|-----------|--------|-----|-----|-----|---------------------------|------------|
| | N13-18 | N19-24 | W面 | S面 | E面 | | |
| 0.0 | 4.1 | 4.1 | 4.0 | 4.1 | 4.0 | 0.00E+00 | 0.000 |
| 1.0 | 4.8 | 4.4 | 4.8 | 4.9 | 4.6 | 9.67E-07 | 0.006 |
| 2.0 | 5.4 | 4.7 | 5.6 | 5.7 | 5.1 | 1.98E-06 | 0.010 |
| 3.0 | 6.0 | 4.8 | 6.3 | 6.4 | 5.6 | 2.93E-06 | 0.016 |
| 4.0 | 6.7 | 5.1 | 7.3 | 7.4 | 6.2 | 3.90E-06 | 0.023 |
| 3.5 | 6.4 | 5.0 | 6.8 | 6.9 | 5.9 | 3.35E-06 | 0.019 |
| 2.5 | 5.8 | 4.8 | 6.0 | 6.1 | 5.4 | 2.50E-06 | 0.013 |
| 1.5 | 5.2 | 4.6 | 5.3 | 5.4 | 5.0 | 1.60E-06 | 0.008 |
| 0.5 | 4.5 | 4.3 | 4.5 | 4.5 | 4.3 | 5.17E-07 | 0.002 |
| 0.0 | 4.1 | 4.2 | 4.0 | 4.1 | 4.0 | 0.00E+00 | -0.001 |

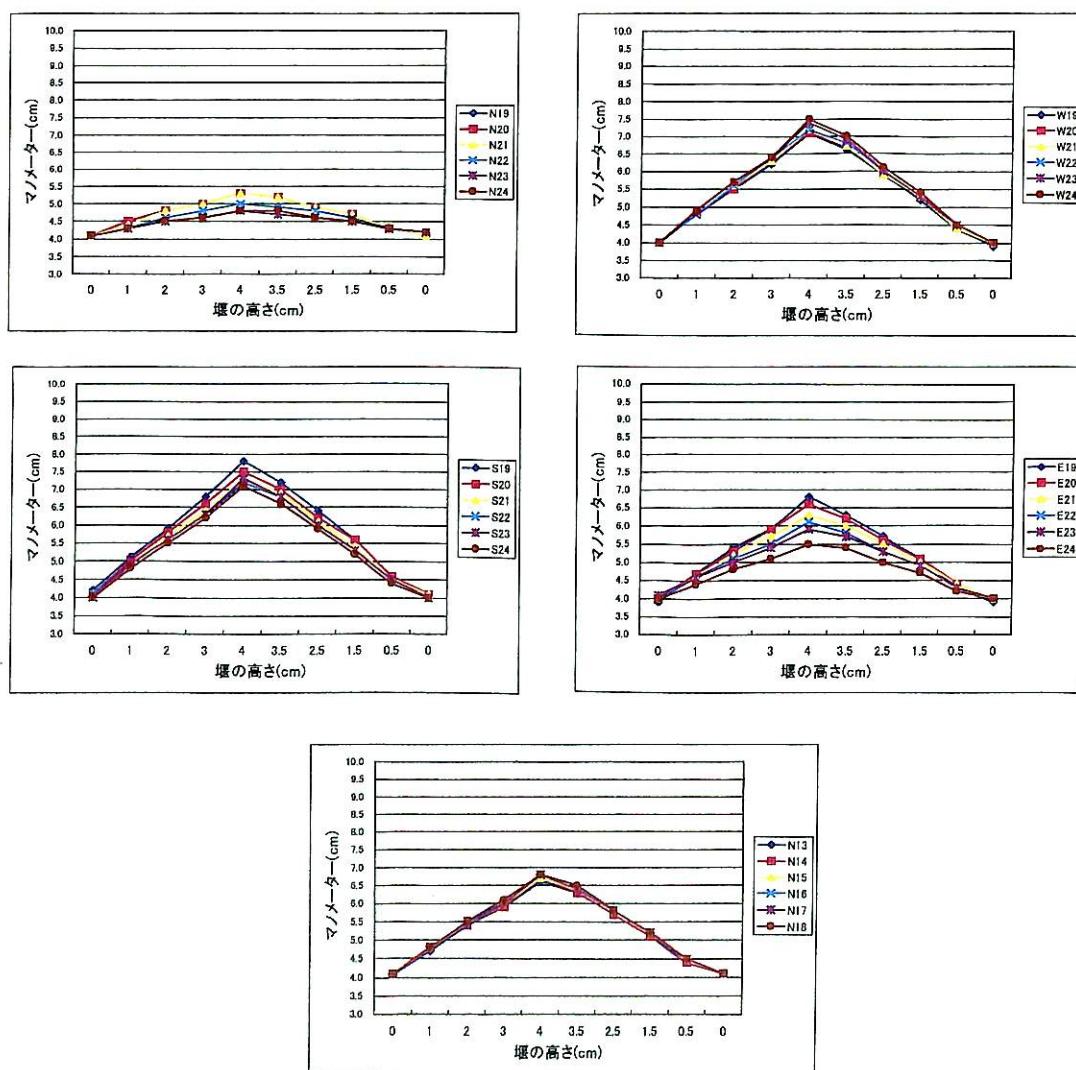


図 7.3 各セルの水頭(ケース 1-1)

表 7.3 流量・水頭平均値(ケース 1-2)

| 堰の水頭差 (cm) | 水頭平均値(cm) | | | | | 流量 (m ³ /s) | 水頭差 (m) |
|---------------|-----------|--------|-----|-----|-----|---------------------------|------------|
| | N13-18 | N19-24 | W面 | S面 | E面 | | |
| 0.0 | 3.9 | 3.9 | 3.8 | 3.9 | 3.8 | 0.00E+00 | 0.001 |
| 1.0 | 4.5 | 4.8 | 4.3 | 4.4 | 4.5 | 7.67E-07 | 0.004 |
| 2.0 | 5.0 | 5.6 | 4.6 | 4.7 | 5.1 | 1.63E-06 | 0.009 |
| 3.0 | 5.4 | 6.4 | 4.8 | 4.9 | 5.5 | 2.60E-06 | 0.015 |
| 4.0 | 5.7 | 7.1 | 5.0 | 5.1 | 6.0 | 3.40E-06 | 0.021 |
| 4.5 | 5.8 | 7.5 | 5.1 | 5.1 | 6.2 | 3.95E-06 | 0.025 |
| 3.5 | 5.5 | 6.8 | 4.9 | 4.9 | 5.8 | 3.17E-06 | 0.019 |
| 2.5 | 5.1 | 6.0 | 4.6 | 4.8 | 5.3 | 2.30E-06 | 0.013 |
| 1.5 | 4.7 | 5.2 | 4.4 | 4.5 | 4.8 | 1.33E-06 | 0.007 |
| 0.5 | 4.3 | 4.5 | 4.2 | 4.3 | 4.3 | 4.83E-07 | 0.002 |
| 0.0 | 4.0 | 4.0 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 0.00E+00 | 0.001 |

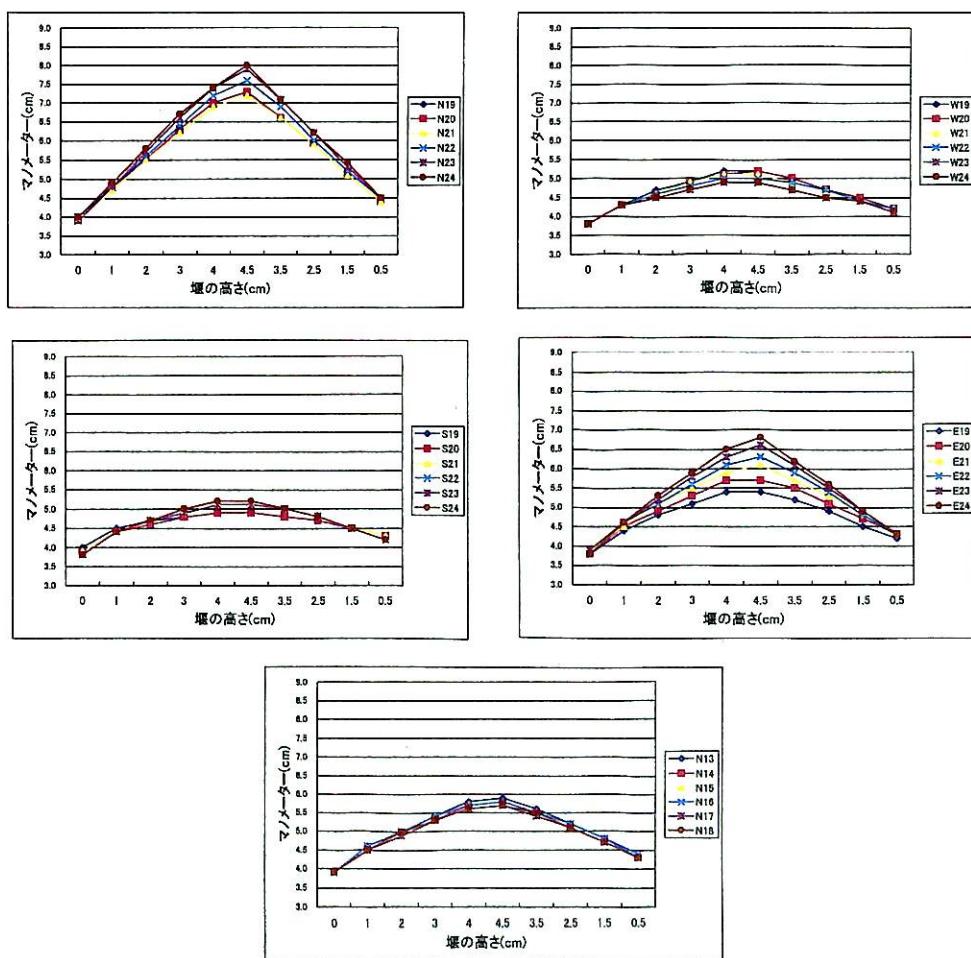


図 7.4 各セルの水頭(ケース 1-2)

表 7.4 流量・水頭平均値(ケース 2-1)

| 堰の水頭差 (cm) | 水頭平均値(cm) | | | | | 流量 (m ³ /s) | 水頭差 (m) |
|---------------|-----------|--------|------|------|------|---------------------------|------------|
| | N13-18 | N19-24 | W面 | S面 | E面 | | |
| 0.0 | 4.0 | 4.1 | 4.0 | 4.1 | 4.0 | 0.00E+00 | 0.001 |
| 2.0 | 4.1 | 5.7 | 5.7 | 5.8 | 5.6 | 7.17E-07 | 0.017 |
| 4.0 | 4.2 | 7.5 | 7.5 | 7.7 | 7.4 | 1.30E-06 | 0.035 |
| 6.0 | 4.3 | 9.4 | 9.4 | 9.7 | 9.3 | 1.87E-06 | 0.053 |
| 8.0 | 4.5 | 11.1 | 11.2 | 11.5 | 11.0 | 2.35E-06 | 0.070 |
| 10.0 | 4.6 | 13.1 | 13.3 | 13.6 | 13.0 | 2.90E-06 | 0.090 |
| 12.0 | 4.7 | 14.8 | 15.1 | 15.4 | 14.8 | 3.33E-06 | 0.107 |
| 14.0 | 4.9 | 16.9 | 17.1 | 17.5 | 16.9 | 3.83E-06 | 0.127 |
| 13.0 | 4.9 | 15.9 | 16.1 | 16.5 | 15.8 | 3.58E-06 | 0.116 |
| 11.0 | 4.7 | 14.0 | 14.2 | 14.5 | 14.0 | 3.12E-06 | 0.098 |
| 9.0 | 4.6 | 12.2 | 12.3 | 12.6 | 12.1 | 2.67E-06 | 0.080 |
| 7.0 | 4.5 | 10.2 | 10.3 | 10.5 | 10.1 | 2.10E-06 | 0.060 |
| 0.0 | 3.9 | 3.9 | 3.8 | 3.9 | 3.8 | 0.00E+00 | 0.000 |

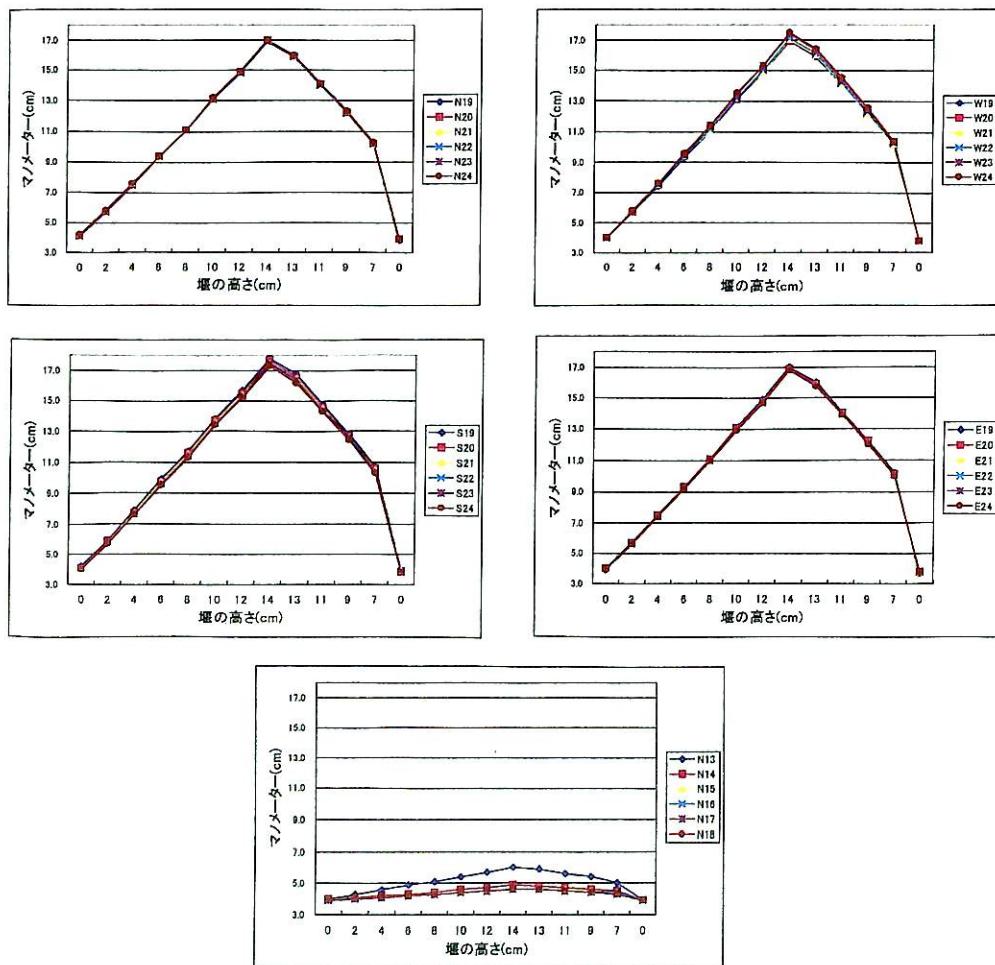


図 7.5 各セルの水頭(ケース 2-1)

表 7.5 流量・水頭平均値(ケース 2-2)

| 堰の水頭差 (cm) | 水頭平均値(cm) | | | | | 流量 (m ³ /s) | 水頭差 (m) |
|---------------|-----------|--------|-----|-----|-----|---------------------------|------------|
| | N13-18 | N19-24 | W面 | S面 | E面 | | |
| 0.0 | 3.8 | 3.9 | 3.8 | 3.8 | 3.8 | 0.00E+00 | 0.000 |
| 2.0 | 5.9 | 4.6 | 4.4 | 4.4 | 4.5 | 6.17E-07 | 0.014 |
| 4.0 | 7.7 | 4.8 | 4.6 | 4.5 | 4.7 | 1.23E-06 | 0.032 |
| 6.0 | 9.8 | 5.0 | 4.7 | 4.7 | 4.9 | 1.83E-06 | 0.051 |
| 8.0 | 11.7 | 5.2 | 4.9 | 4.8 | 5.1 | 2.35E-06 | 0.068 |
| 10.0 | 13.6 | 5.4 | 5.1 | 4.9 | 5.3 | 2.88E-06 | 0.087 |
| 12.0 | 15.4 | 5.6 | 5.2 | 5.0 | 5.4 | 3.33E-06 | 0.104 |
| 14.0 | 17.3 | 5.7 | 5.3 | 5.1 | 5.6 | 3.78E-06 | 0.122 |
| 13.0 | 16.4 | 5.7 | 5.3 | 5.1 | 5.6 | 3.58E-06 | 0.113 |
| 11.0 | 14.6 | 5.5 | 5.2 | 5.0 | 5.4 | 3.12E-06 | 0.096 |
| 9.0 | 12.6 | 5.3 | 5.0 | 4.9 | 5.2 | 2.63E-06 | 0.078 |
| 7.0 | 10.7 | 5.1 | 4.8 | 4.7 | 5.0 | 2.10E-06 | 0.060 |
| 0.0 | 3.9 | 3.9 | 3.8 | 3.9 | 3.8 | 0.00E+00 | 0.000 |

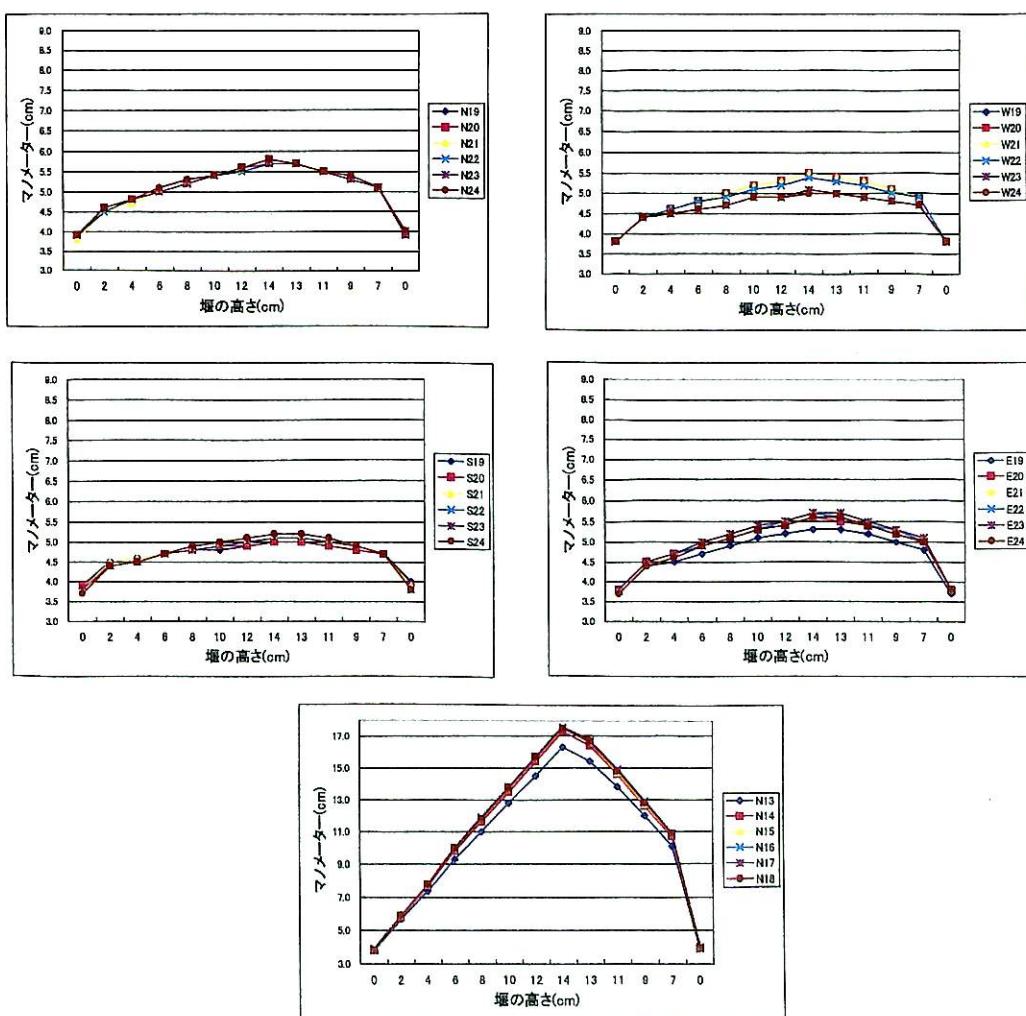


図 7.6 各セルの水頭(ケース 2-2)

表 7.6 流量・水頭平均値(ケース 3-1)

| 堰の水頭差 (cm) | 水頭平均値(cm) | | | | | 流量 (m ³ /s) | 水頭差 (m) |
|---------------|-----------|--------|-----|-----|-----|---------------------------|------------|
| | N13-18 | N19-24 | W面 | S面 | E面 | | |
| 0.0 | 3.8 | 3.8 | 3.8 | 3.9 | 3.8 | 0.00E+00 | 0.000 |
| 1.0 | 4.1 | 4.2 | 4.6 | 4.7 | 4.3 | 1.03E-06 | 0.005 |
| 2.0 | 4.5 | 4.5 | 5.5 | 5.6 | 4.9 | 2.00E-06 | 0.011 |
| 3.0 | 4.7 | 4.7 | 6.3 | 6.5 | 5.5 | 3.00E-06 | 0.018 |
| 4.0 | 4.9 | 5.0 | 7.0 | 7.2 | 5.9 | 3.73E-06 | 0.023 |
| 3.5 | 4.8 | 4.8 | 6.6 | 6.8 | 5.7 | 3.27E-06 | 0.020 |
| 2.5 | 4.6 | 4.7 | 5.9 | 6.0 | 5.2 | 2.47E-06 | 0.014 |
| 1.5 | 4.3 | 4.4 | 5.0 | 5.1 | 4.7 | 1.47E-06 | 0.008 |
| 0.5 | 4.1 | 4.1 | 4.3 | 4.4 | 4.2 | 7.33E-07 | 0.003 |
| 0.0 | 3.8 | 3.8 | 3.8 | 3.8 | 3.7 | 0.00E+00 | 0.000 |
| 1.0 | 4.2 | 4.2 | 4.5 | 4.7 | 4.3 | 9.50E-07 | 0.005 |
| 2.0 | 4.4 | 4.5 | 5.4 | 5.5 | 4.9 | 1.97E-06 | 0.011 |

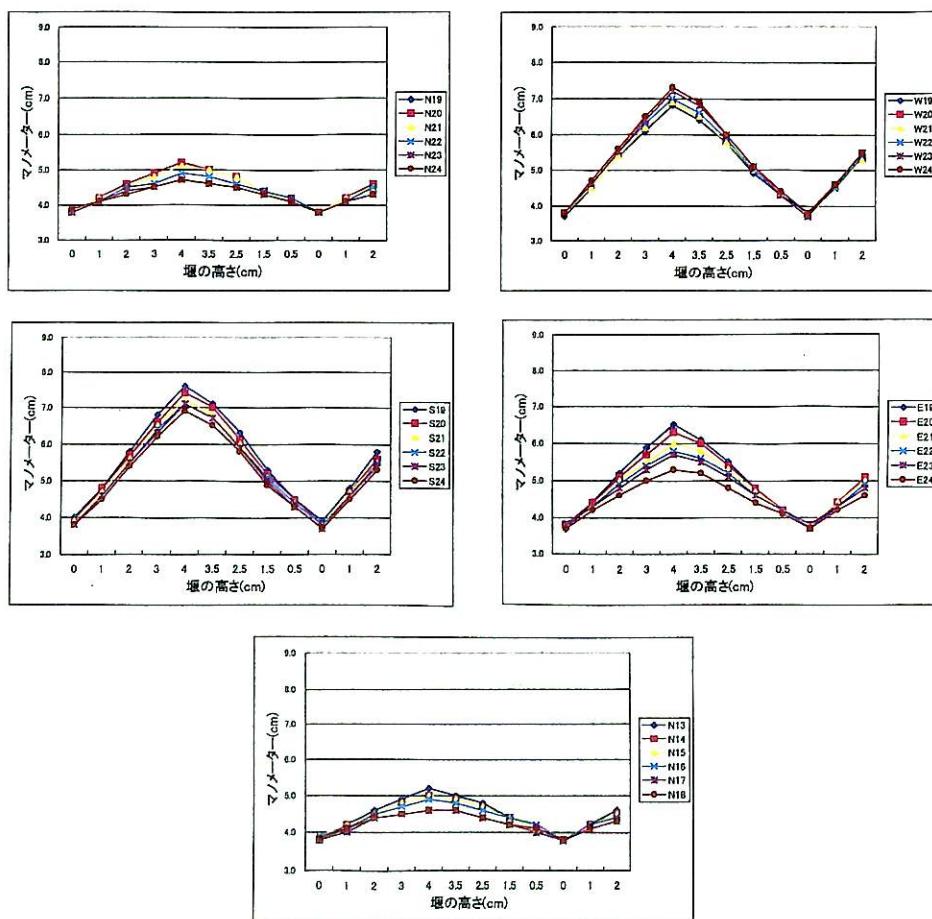


図 7.7 各セルの水頭(ケース 3-1)

表 7.7 流量・水頭平均値(ケース 3-2)

| 堰の水頭差 (cm) | 水頭平均値(cm) | | | | | 流量 (m ³ /s) | 水頭差 (m) |
|---------------|-----------|--------|-----|-----|-----|---------------------------|------------|
| | N13-18 | N19-24 | W面 | S面 | E面 | | |
| 0.0 | 3.9 | 3.9 | 3.8 | 3.8 | 3.8 | 0.00E+00 | 0.001 |
| 1.0 | 4.7 | 4.7 | 4.2 | 4.3 | 4.4 | 7.67E-07 | 0.004 |
| 2.0 | 5.5 | 5.5 | 4.6 | 4.6 | 5.0 | 1.60E-06 | 0.010 |
| 3.0 | 6.3 | 6.3 | 4.8 | 4.8 | 5.5 | 2.50E-06 | 0.015 |
| 4.0 | 7.1 | 7.1 | 5.1 | 5.0 | 6.0 | 3.35E-06 | 0.021 |
| 5.0 | 8.1 | 8.0 | 5.3 | 5.2 | 6.6 | 4.40E-06 | 0.028 |
| 4.5 | 7.6 | 7.6 | 5.2 | 5.1 | 6.3 | 3.92E-06 | 0.025 |
| 3.5 | 6.7 | 6.7 | 4.9 | 4.9 | 5.8 | 3.12E-06 | 0.018 |
| 2.5 | 6.0 | 6.0 | 4.7 | 4.7 | 5.2 | 2.37E-06 | 0.013 |
| 1.5 | 5.3 | 5.3 | 4.5 | 4.5 | 4.8 | 1.53E-06 | 0.008 |
| 0.5 | 4.5 | 4.5 | 4.2 | 4.2 | 4.3 | 6.67E-07 | 0.003 |
| 0.0 | 3.8 | 3.8 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 0.00E+00 | 0.001 |
| 1.0 | 4.8 | 4.7 | 4.3 | 4.3 | 4.4 | 8.50E-07 | 0.004 |
| 2.0 | 5.3 | 5.3 | 4.5 | 4.5 | 4.9 | 1.42E-06 | 0.008 |

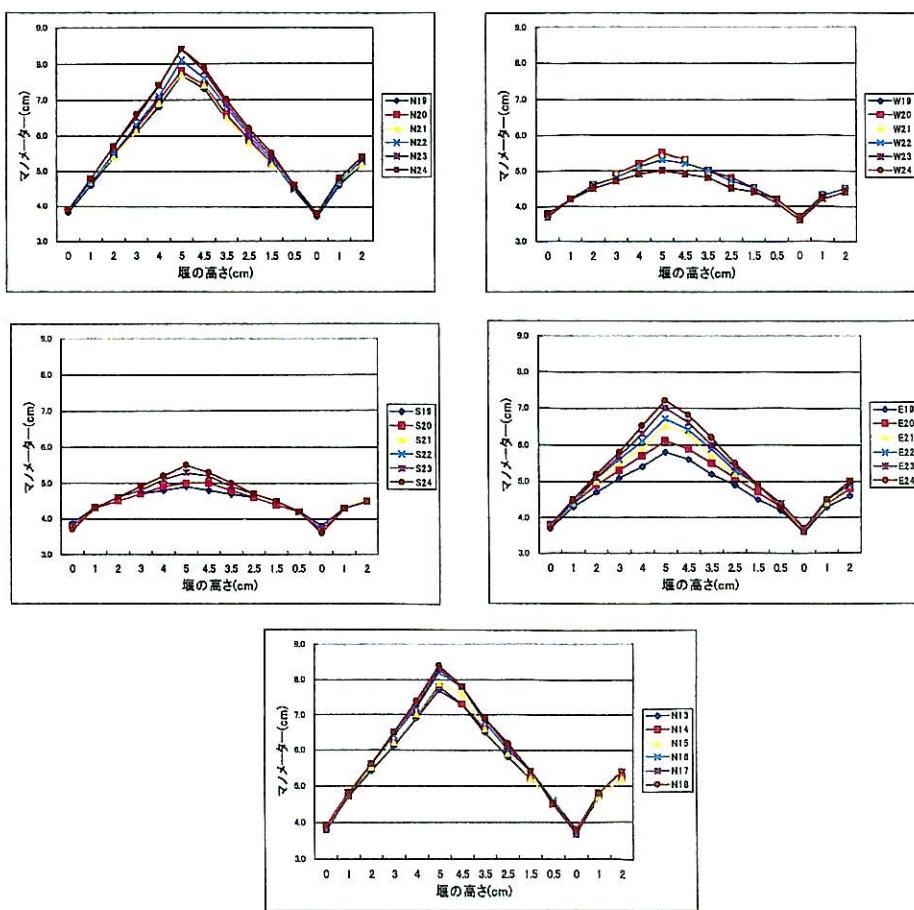


図 7.8 各セルの水頭(ケース 3-2)

表 7.8 流量・水頭平均値(ケース 4-1)

| 堰の水頭差 (cm) | 水頭平均値(cm) | | | | | 流量 (m ³ /s) | 水頭差 (m) |
|---------------|-----------|--------|-----|-----|-----|---------------------------|------------|
| | N13-18 | N19-24 | W面 | S面 | E面 | | |
| 0.0 | 4.2 | 4.2 | 4.1 | 4.2 | 4.1 | 0.00E+00 | 0.001 |
| 1.0 | 4.8 | 4.9 | 4.2 | 4.7 | 4.9 | 6.67E-07 | 0.007 |
| 2.0 | 5.5 | 5.7 | 4.3 | 5.3 | 5.7 | 1.23E-06 | 0.014 |
| 3.0 | 6.4 | 6.7 | 4.5 | 6.1 | 6.8 | 1.97E-06 | 0.022 |
| 4.0 | 7.3 | 7.7 | 4.7 | 6.8 | 7.8 | 2.63E-06 | 0.031 |
| 5.0 | 7.9 | 8.5 | 4.8 | 7.4 | 8.6 | 3.12E-06 | 0.038 |
| 6.0 | 8.8 | 9.5 | 4.9 | 8.1 | 9.6 | 3.70E-06 | 0.047 |
| 5.5 | 8.3 | 9.0 | 4.9 | 7.8 | 9.1 | 3.40E-06 | 0.041 |
| 4.5 | 7.6 | 8.1 | 4.8 | 7.1 | 8.2 | 2.87E-06 | 0.034 |
| 3.5 | 6.8 | 7.2 | 4.7 | 6.4 | 7.2 | 2.27E-06 | 0.025 |
| 2.5 | 6.0 | 6.2 | 4.4 | 5.7 | 6.2 | 1.63E-06 | 0.018 |
| 1.5 | 5.4 | 5.5 | 4.4 | 5.2 | 5.5 | 1.13E-06 | 0.011 |
| 0.0 | 4.2 | 4.2 | 4.0 | 4.1 | 4.1 | 0.00E+00 | 0.001 |

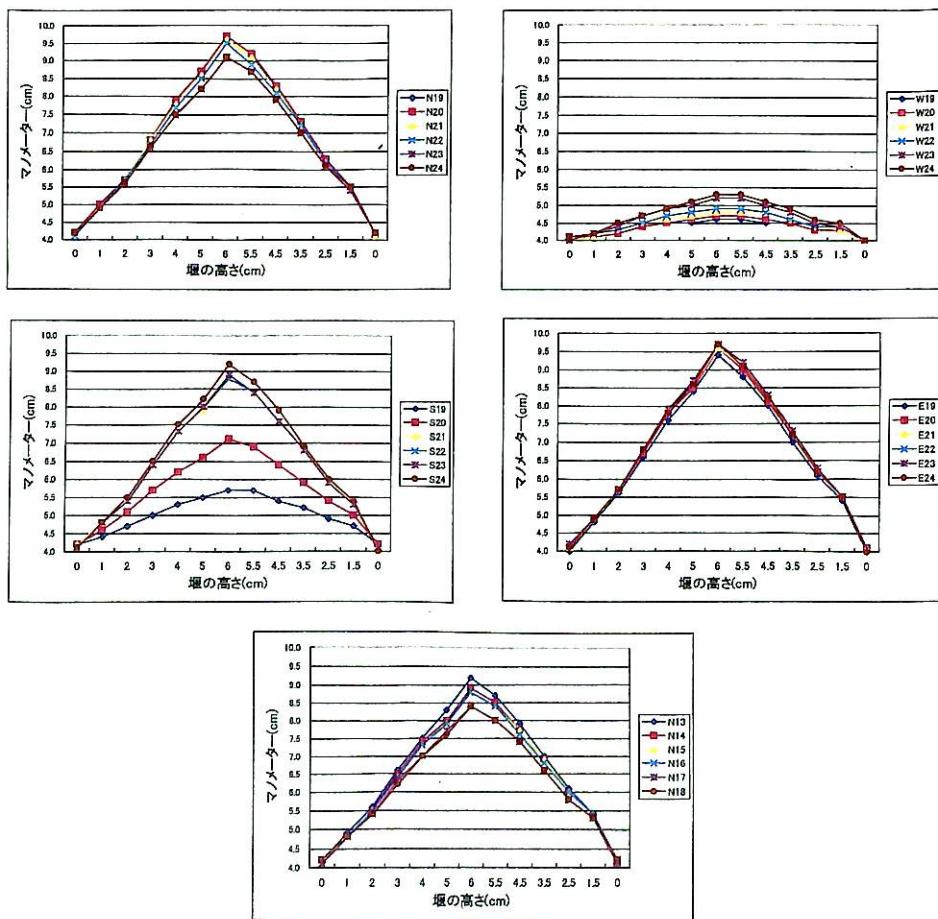


図 7.9 各セルの水頭(ケース 4-1)

表 7.9 流量・水頭平均値(ケース 4-2)

| 堰の水頭差 (cm) | 水頭平均値(cm) | | | | | 流量 (m ³ /s) | 水頭差 (m) |
|---------------|-----------|--------|-----|-----|-----|---------------------------|------------|
| | N13-18 | N19-24 | W面 | S面 | E面 | | |
| 0.0 | 3.8 | 3.8 | 3.7 | 3.8 | 3.7 | 0.00E+00 | 0.000 |
| 1.0 | 4.5 | 4.4 | 5.0 | 4.6 | 4.2 | 7.83E-07 | 0.007 |
| 2.0 | 4.8 | 4.6 | 5.8 | 4.9 | 4.4 | 1.33E-06 | 0.014 |
| 3.0 | 5.1 | 4.8 | 6.7 | 5.4 | 4.6 | 1.95E-06 | 0.021 |
| 4.0 | 5.4 | 5.0 | 7.6 | 5.8 | 4.7 | 2.60E-06 | 0.029 |
| 5.0 | 5.7 | 5.1 | 8.4 | 6.1 | 4.8 | 3.15E-06 | 0.036 |
| 6.0 | 6.0 | 5.3 | 9.4 | 6.5 | 5.0 | 3.73E-06 | 0.045 |
| 5.5 | 5.9 | 5.2 | 9.0 | 6.4 | 4.9 | 3.50E-06 | 0.040 |
| 4.5 | 5.6 | 5.1 | 8.0 | 6.0 | 4.8 | 2.92E-06 | 0.032 |
| 3.5 | 5.3 | 4.8 | 7.0 | 5.5 | 4.6 | 2.30E-06 | 0.024 |
| 2.5 | 4.9 | 4.6 | 6.1 | 5.1 | 4.4 | 1.67E-06 | 0.017 |
| 1.5 | 4.6 | 4.5 | 5.3 | 4.7 | 4.3 | 1.13E-06 | 0.010 |
| 0.5 | 4.3 | 4.2 | 4.5 | 4.3 | 4.1 | 5.00E-07 | 0.004 |
| 0.0 | 3.8 | 3.8 | 3.7 | 3.8 | 3.7 | 0.00E+00 | 0.000 |
| 1.0 | 4.5 | 4.3 | 4.9 | 4.5 | 4.2 | 7.33E-07 | 0.007 |

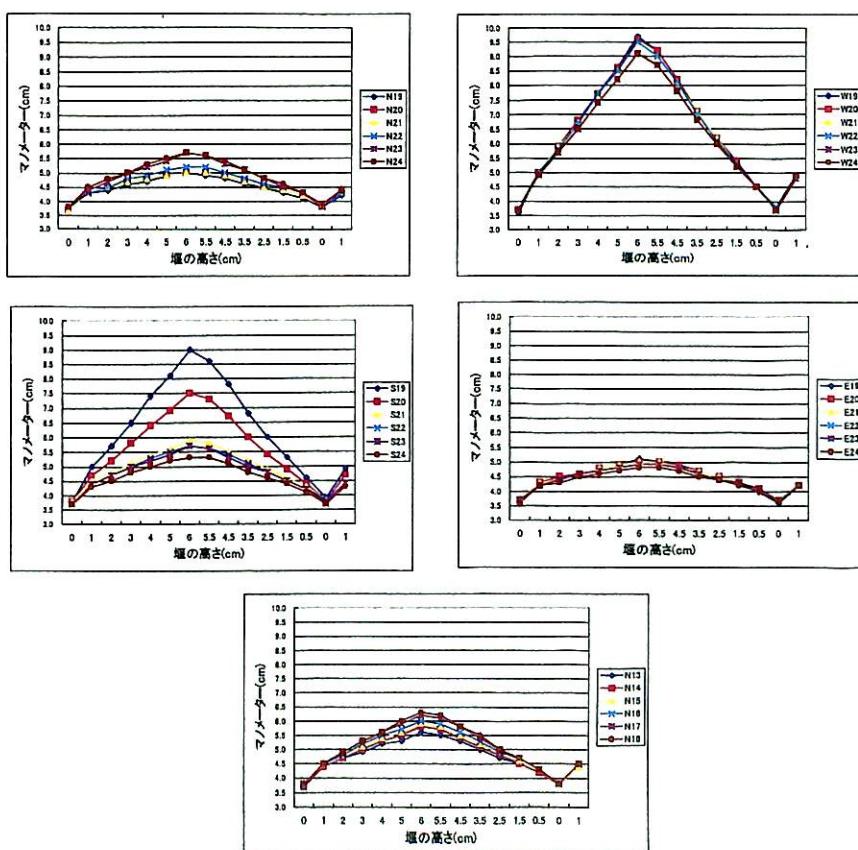


図 7.10 各セルの水頭(ケース 4-2)

表 7.10 流量・水頭平均値(ケース 5)

| 堰の水頭差 (cm) | 水頭平均値(cm) | | | | 流量 (m ³ /s) | 水頭差 (m) |
|---------------|-----------|--------|--------|--------|---------------------------|------------|
| | E19-21 | S22-24 | N22-24 | W19-21 | | |
| 0.0 | 3.8 | 3.8 | 4.0 | 3.8 | 0.00E+00 | 0.002 |
| 1.0 | 4.3 | 4.3 | 5.0 | 5.0 | 1.00E-06 | 0.007 |
| 2.0 | 4.5 | 4.5 | 5.6 | 5.6 | 1.60E-06 | 0.011 |
| 3.0 | 4.7 | 4.7 | 6.4 | 6.5 | 2.47E-06 | 0.018 |
| 4.0 | 4.9 | 4.9 | 7.3 | 7.3 | 3.27E-06 | 0.024 |
| 5.0 | 5.0 | 5.0 | 8.2 | 8.3 | 4.07E-06 | 0.032 |
| 4.5 | 5.0 | 5.0 | 7.8 | 7.9 | 3.77E-06 | 0.028 |
| 3.5 | 4.8 | 4.8 | 6.9 | 7.0 | 3.00E-06 | 0.021 |
| 2.5 | 4.6 | 4.6 | 6.0 | 5.9 | 2.12E-06 | 0.014 |
| 1.5 | 4.4 | 4.4 | 5.3 | 5.3 | 1.42E-06 | 0.009 |
| 0.5 | 4.1 | 4.1 | 4.5 | 4.4 | 6.00E-07 | 0.004 |
| 0.0 | 3.8 | 3.8 | 3.9 | 3.8 | 0.00E+00 | 0.001 |
| 1.0 | 4.2 | 4.2 | 4.8 | 4.8 | 9.00E-07 | 0.006 |
| 2.0 | 4.5 | 4.5 | 5.6 | 5.6 | 1.72E-06 | 0.011 |

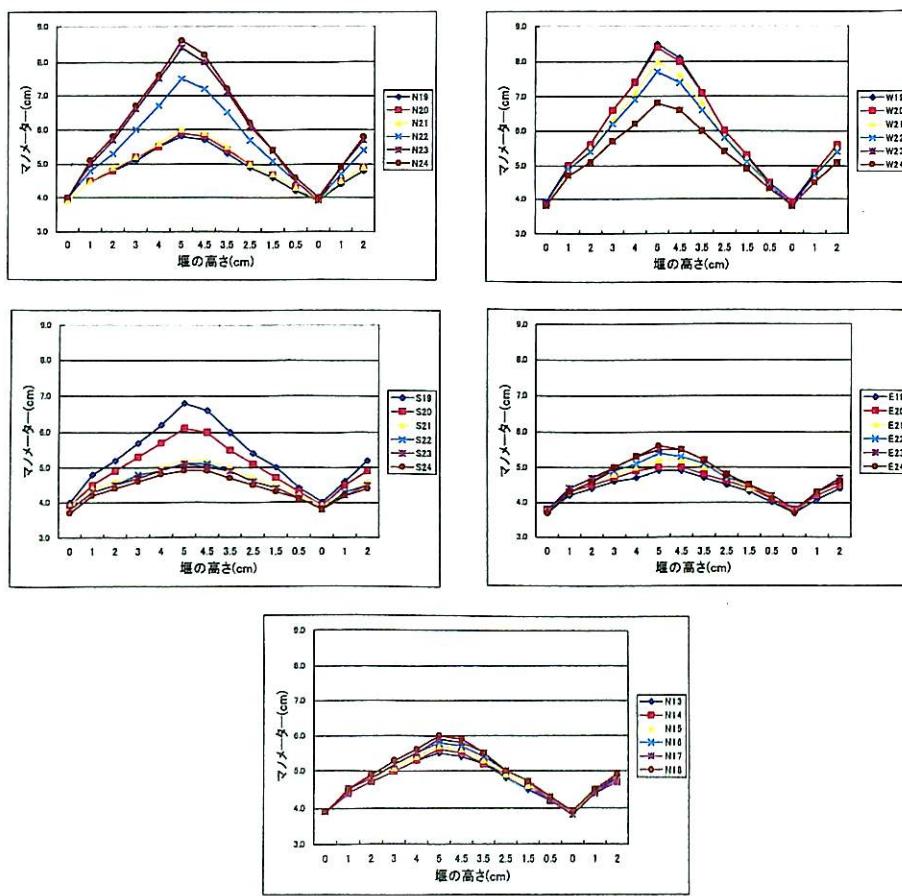


図 7.11 各セルの水頭(ケース 5)

表 7.11 流量・水頭平均値(ケース 6)

| 堰の水頭差 (cm) | 水頭平均値(cm) | | | | 流量 (m ³ /s) | 水頭差 (m) |
|---------------|-----------|--------|--------|--------|---------------------------|------------|
| | N19-21 | E22-24 | S19-21 | W22-24 | | |
| 0.0 | 3.9 | 3.8 | 3.8 | 3.8 | 0.00E+00 | 0.000 |
| 1.0 | 4.9 | 4.8 | 4.4 | 4.1 | 9.83E-07 | 0.006 |
| 2.0 | 5.8 | 5.6 | 4.6 | 4.3 | 1.65E-06 | 0.012 |
| 3.0 | 6.6 | 6.4 | 4.9 | 4.4 | 2.33E-06 | 0.018 |
| 4.0 | 7.5 | 7.3 | 5.2 | 4.5 | 3.08E-06 | 0.025 |
| 5.0 | 8.3 | 8.0 | 5.4 | 4.7 | 3.72E-06 | 0.031 |
| 4.5 | 8.0 | 7.6 | 5.4 | 4.7 | 3.43E-06 | 0.028 |
| 3.5 | 7.1 | 6.8 | 5.1 | 4.5 | 2.77E-06 | 0.021 |
| 2.5 | 6.2 | 6.0 | 4.9 | 4.4 | 2.07E-06 | 0.015 |
| 1.5 | 5.4 | 5.3 | 4.6 | 4.2 | 1.40E-06 | 0.009 |
| 0.5 | 4.5 | 4.4 | 4.2 | 4.0 | 6.00E-07 | 0.004 |
| 0.0 | 3.8 | 3.7 | 3.8 | 3.7 | 0.00E+00 | 0.000 |

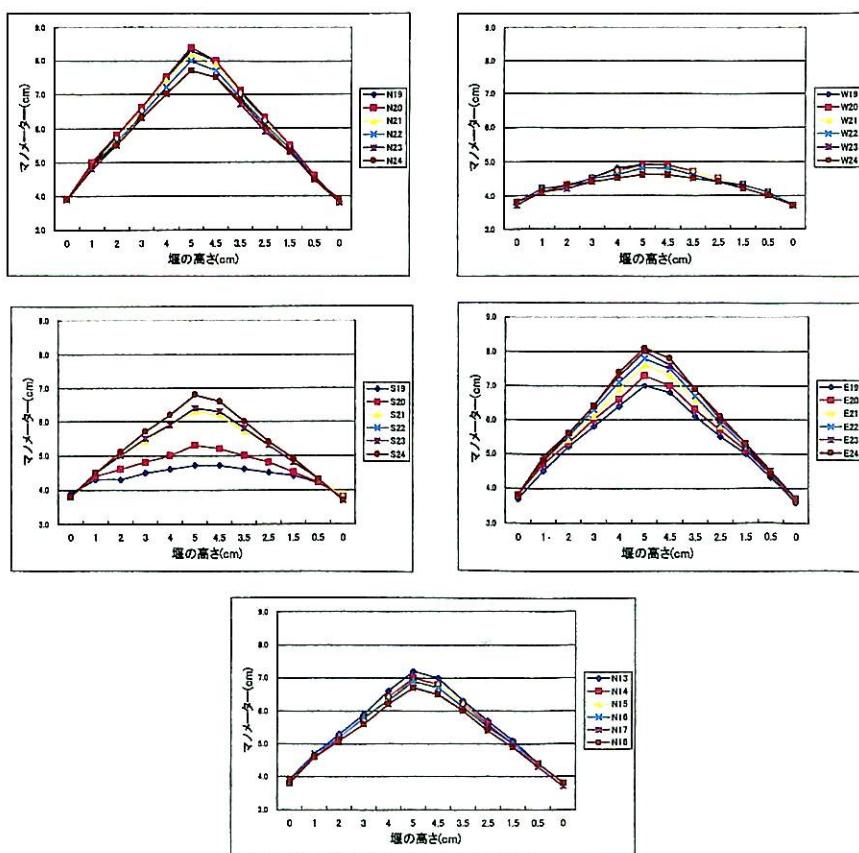


図 7.12 各セルの水頭(ケース 6)

7.2. 透水量係数の算出

ケース1～4の試験データから、注水側と排水側の水頭の平均値から水頭差を求め、流量-水頭差のグラフを図7.13～20に示す。グラフには堰の水頭差がゼロの時のデータはプロットしていない。

ダルシー則から、透水量係数を計算する。

$$\frac{Q}{A} = K \cdot \frac{\Delta h}{L}$$

$$T = K \cdot b = \frac{Q}{\Delta h} \cdot \frac{L}{W}$$

ここで Q 流量(m^3/s)

Δh 水頭差(m)

A 亀裂断面積(m^2)

W 亀裂幅(m)

L 亀裂長さ(m)

b 亀裂開口幅(m)

K 透水係数(m/s)

T 透水量係数(m^2/s)

図7.13～20の近似曲線の傾きから $Q/\Delta h$ を求め、 $W/L=0.5\text{m}/0.5\text{m}=1$ として、上式より透水量係数を求めた。透水量係数を表7.12に示す。

また、平行平板亀裂を仮定して、3乗則により開口幅を計算する。

$$\frac{Q}{\Delta h} = \left(\frac{\rho g}{12\mu} \right) \left(\frac{W}{L} \right) b^3$$

ここで ρ 水の密度($=1000\text{kg}/\text{m}^3$)

g 重力加速度($=9.8\text{m}/\text{s}^2$)

μ 水の粘性係数($=0.001\text{kg}/\text{m s}$)

上式より亀裂開口幅を求めた。開口幅を表7.12に示す。

表 7.12 透水量係数、亀裂開口幅

| | 透水量係数 (m ² /s) | 亀裂開口幅 (m) | 対象亀裂 |
|----------------|------------------------------|----------------------|-------|
| ケース 1-1 1-2 | 1.68×10^{-4} | 5.9×10^{-4} | 下部 |
| | 1.53×10^{-4} | 5.7×10^{-4} | |
| ケース 2-1 2-2 | 2.83×10^{-5} | 3.3×10^{-4} | 上部 |
| | 2.92×10^{-5} | 3.3×10^{-4} | |
| ケース 3-1 3-2 | 1.53×10^{-4} | 5.7×10^{-4} | 上部・下部 |
| | 1.52×10^{-4} | 5.7×10^{-4} | |
| ケース 4-1 4-2 | 7.62×10^{-5} | 4.5×10^{-4} | 下部 |
| | 8.13×10^{-5} | 4.6×10^{-4} | |

上部亀裂の方が、下部亀裂よりも透水量係数が小さいことが分かった。下部亀裂に対しての透水方向の異なる試験から、N-S 方向の透水量係数（ケース 1）に対して、E-W 方向の透水量係数（ケース 4）は 1/2 程度であり、透水方向により透水性が異なることを示している。

原位置試験において、透水量係数は約 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ (m²/s)と求められており（1章参照）、今回の試験よりも 1 ~ 2 オーダー小さい。この違いは原位置とは岩体への応力、水理的な境界条件が異なることによると考えられる。室内試験では岩体への応力を開放しているために、原位置よりも亀裂開口幅が広くなり、透水量係数が大きくなると考えられる。

グラフの近似曲線は、いずれも原点を通らずに、上方にシフトしている。このことから、今回の試験条件では亀裂内の流れが乱流になっている可能性が挙げられる。これは、亀裂の透水性が高いために、数センチ程度の水頭差でも流量が大きいことによると考えられる。流れが乱流である場合、層流条件よりも透水性が低くなるため、ダルシー則に基づいて結果を整理すると亀裂の透水量係数を小さく評価していると考えられる。

層流条件で試験を行うためには、流速を小さくするか、流体の粘性を高める必要がある。流体の粘性を高くすると亀裂内の抵抗が大きくなるため、水と同様の水頭差であっても流量が減少し、層流に近づくと考えられる。

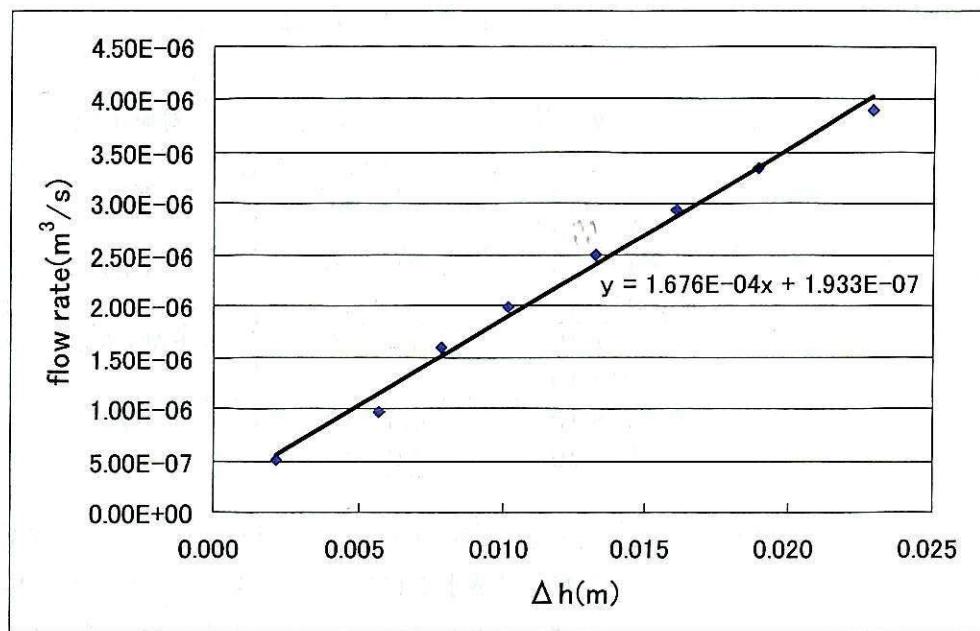


図 7.13 流量－水頭差グラフ(ケース 1・1)

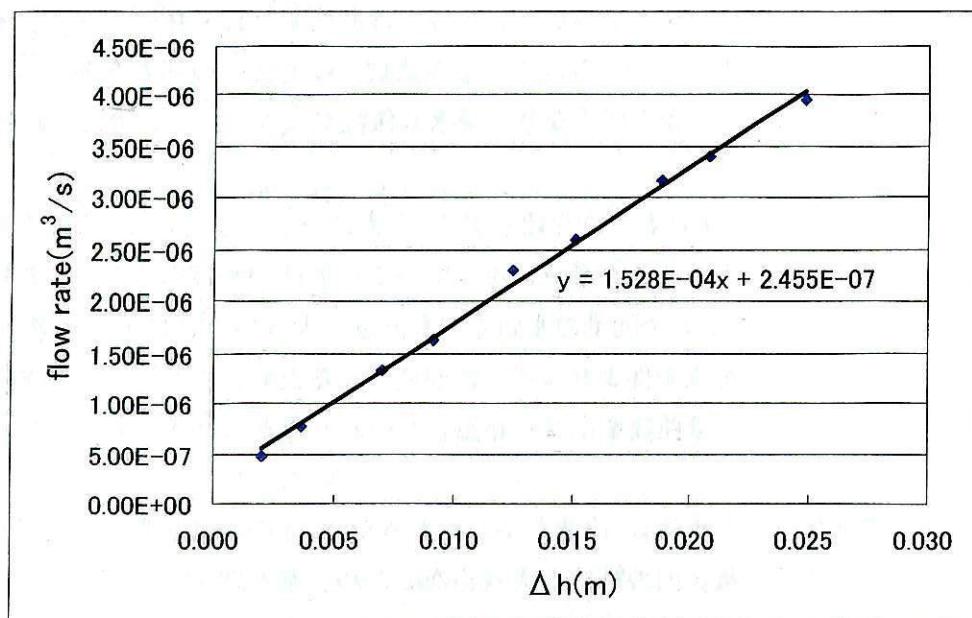


図 7.14 流量－水頭差グラフ(ケース 1・2)

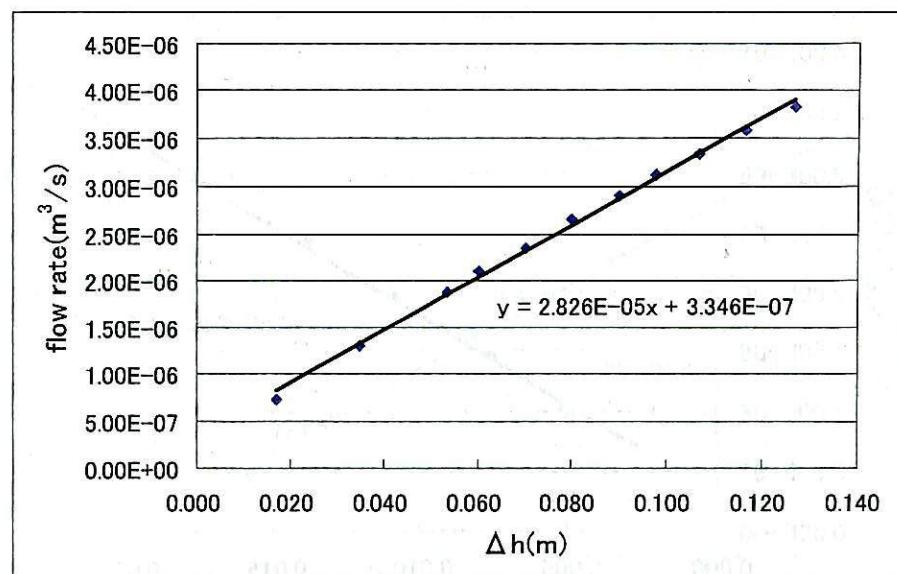


図 7.15 流量－水頭差グラフ(ケース 2-1)

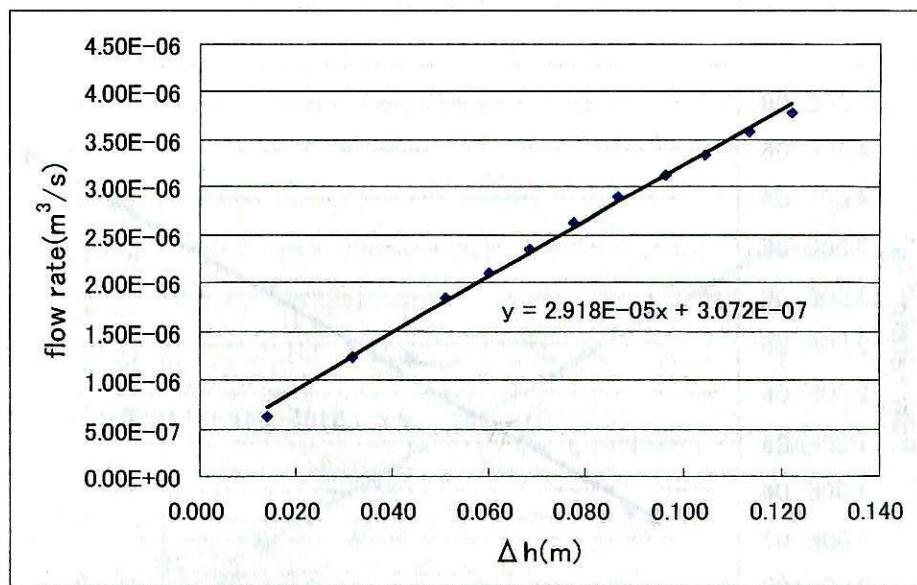


図 7.16 流量－水頭差グラフ(ケース 2-2)

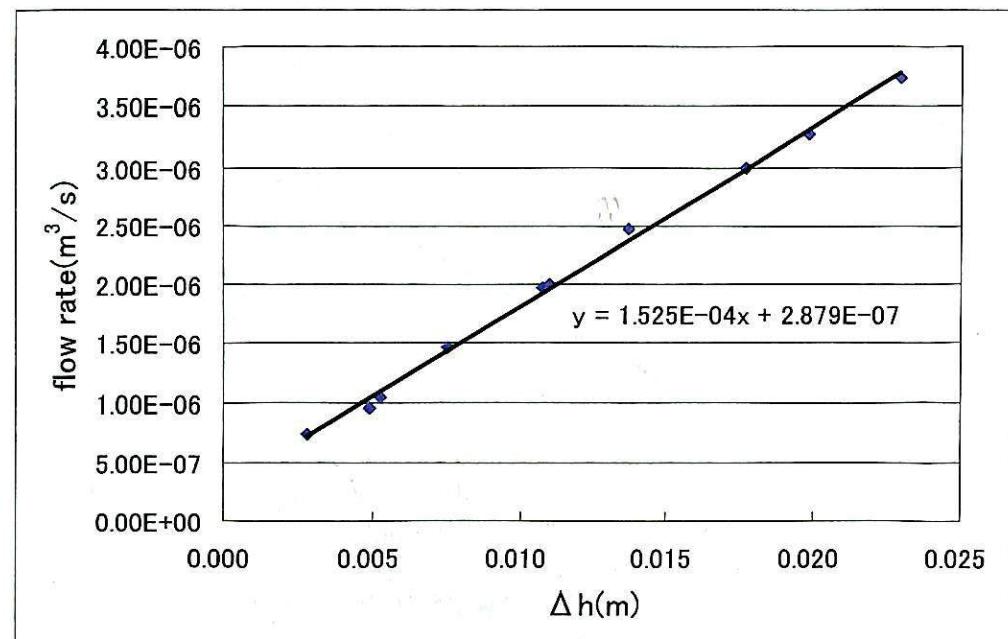


図 7.17 流量－水頭差グラフ(ケース 3-1)

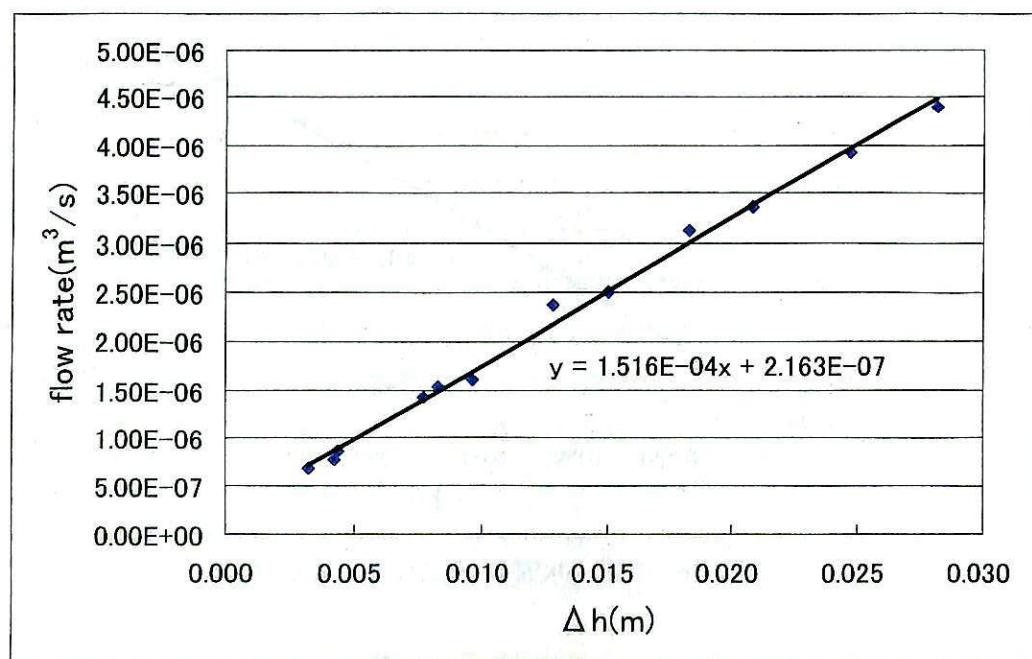


図 7.18 流量－水頭差グラフ(ケース 3-2)

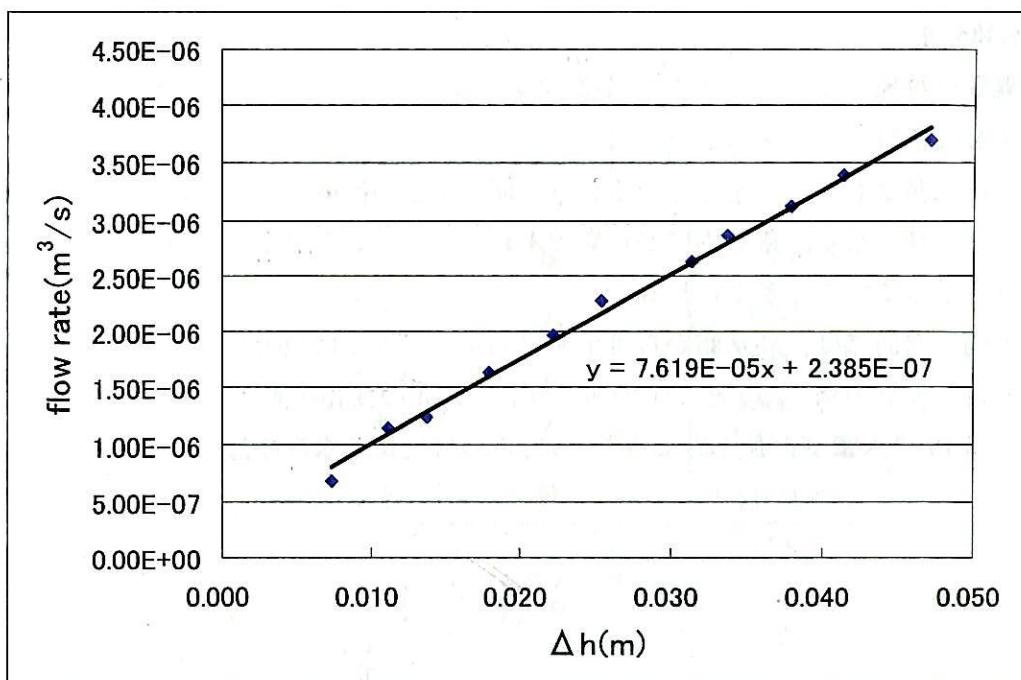


図 7.19 流量－水頭差グラフ(ケース 4-1)

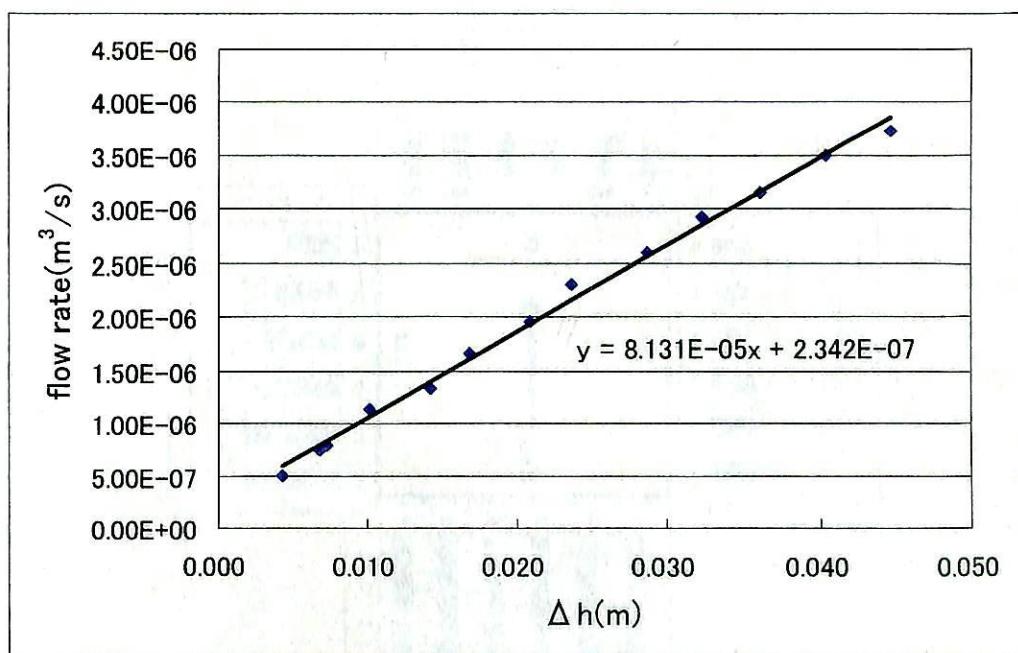


図 7.20 流量－水頭差グラフ(ケース 4-2)

7.3. 水頭分布

下部亀裂を対象としたケース 1-1、1-2、4-1、4-2、5、6 で、流量(Q)が最も多い時の水頭測定結果を図 7.21~26 に示す。

注水・排水側ともに一定水頭となるように堰で水頭の制御を行っているが、1 cm程度のばらつきが見られる。亀裂内部が均質であれば、ばらつきは生じないので、亀裂内部の不均質性を示していると考えられる。

注水方向の側面では、注水側から排水側に向かって水頭は減少していく、水頭が大きく変化する所は少ないが、S20 と S21 の間では若干水頭の変化が大きい。

N24 と W19 で水頭が大きく異なるために、この付近に透水性の低い箇所があると考えられる。

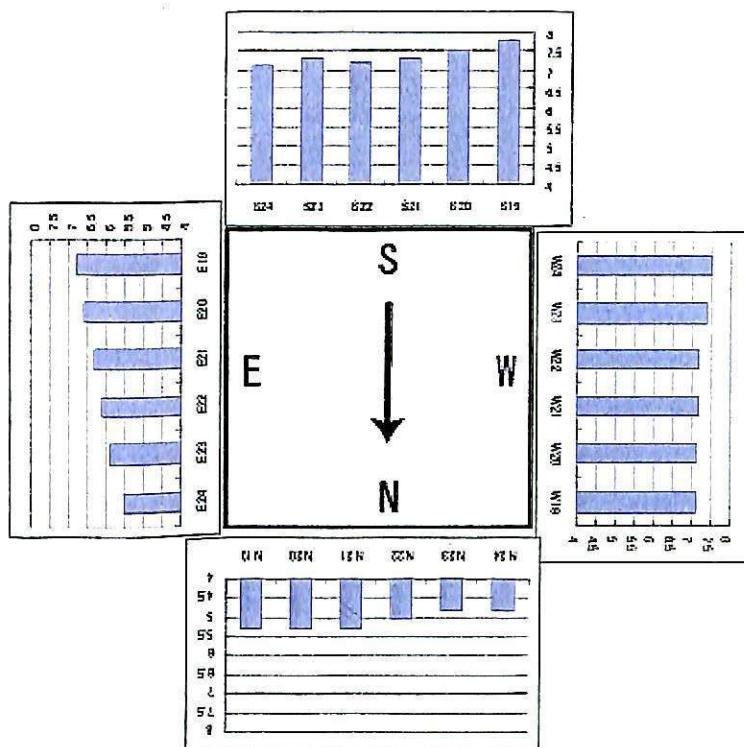


図 7.21 水頭分布図(ケース 1・1、 $Q=3.90 \times 10^{-6}(\text{m}^3/\text{s})$)

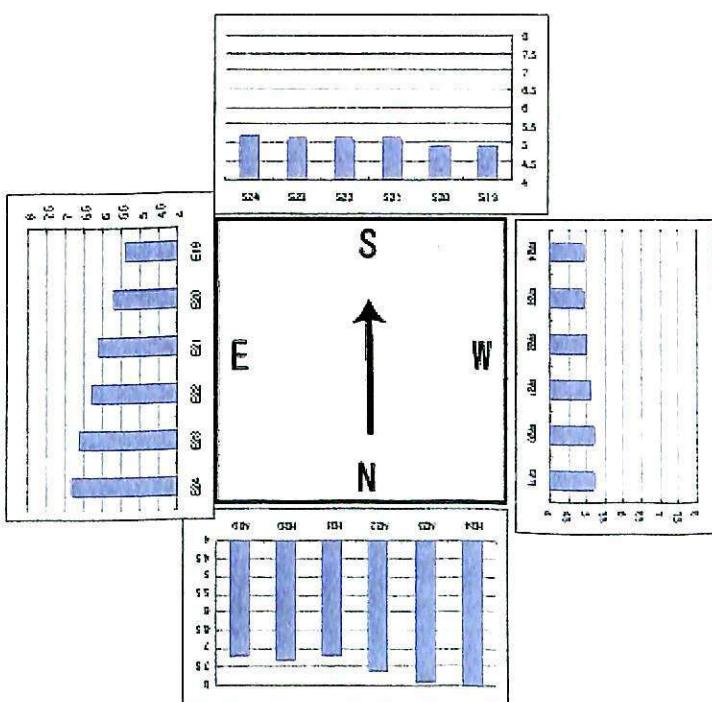


図 7.22 水頭分布図(ケース 1・2、 $Q=3.95 \times 10^{-6}(\text{m}^3/\text{s})$)

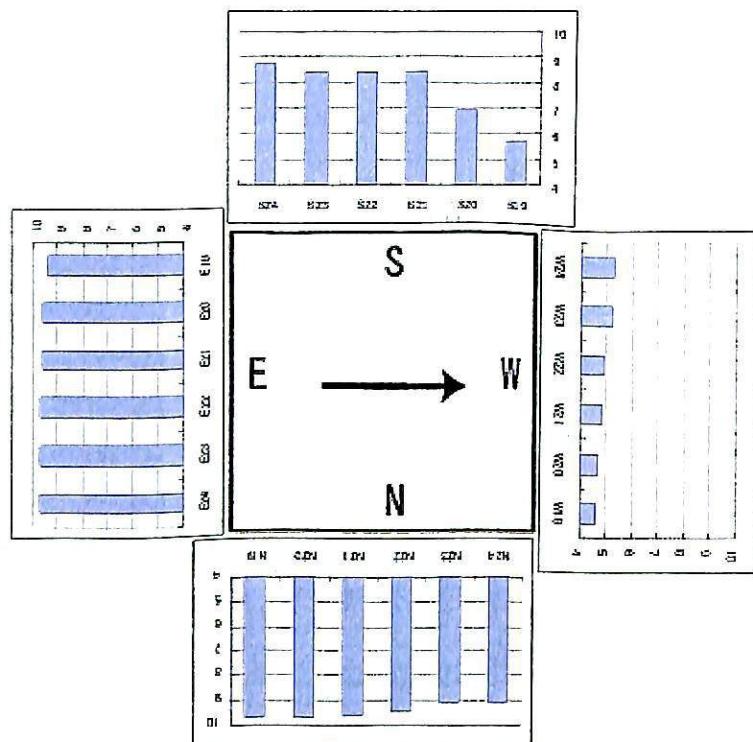


図 7.23 水頭分布図(ケース 4-1、 $Q=3.70 \times 10^{-6}(\text{m}^3/\text{s})$)

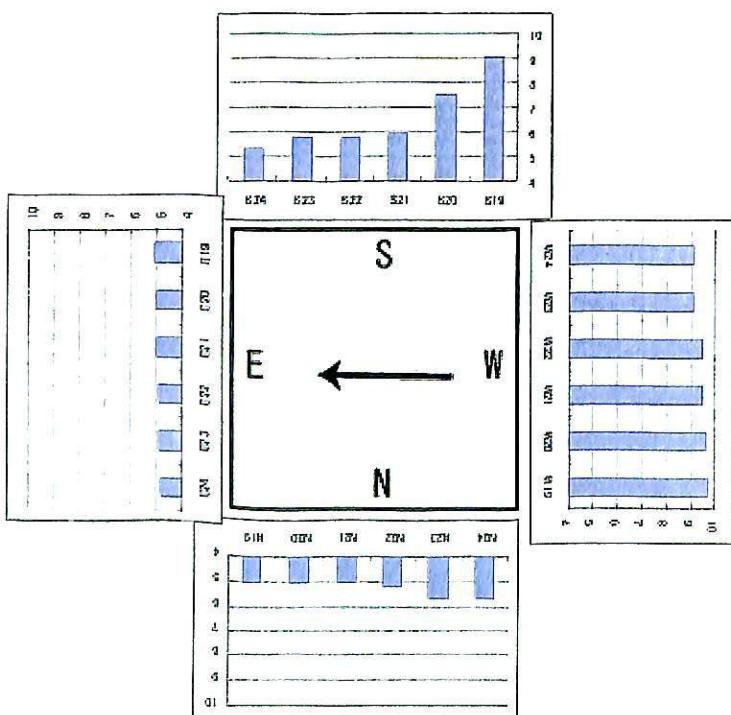


図 7.24 水頭分布図(ケース 4-2、 $Q=3.73 \times 10^{-6}(\text{m}^3/\text{s})$)

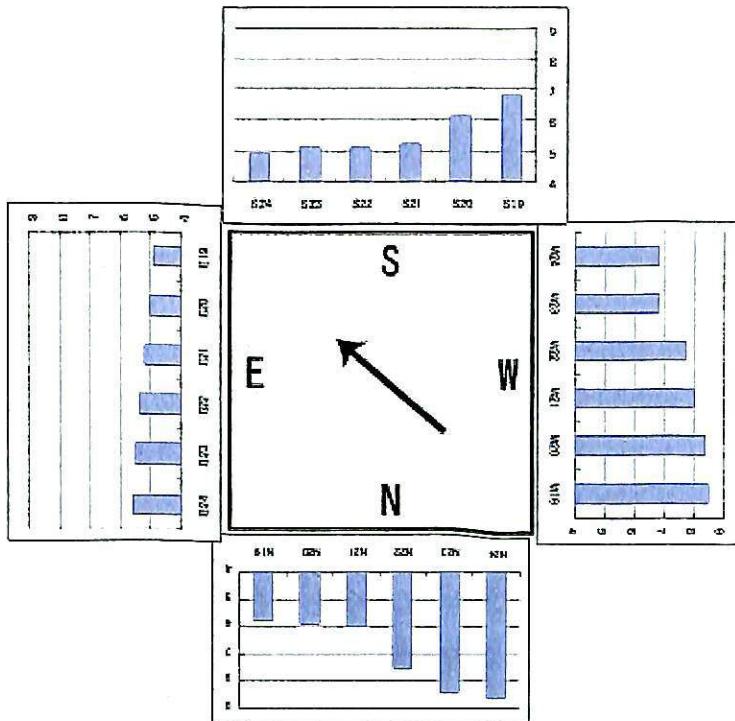


図 7.25 水頭分布図(ケース 5、 $Q=4.07 \times 10^{-6}(\text{m}^3/\text{s})$)

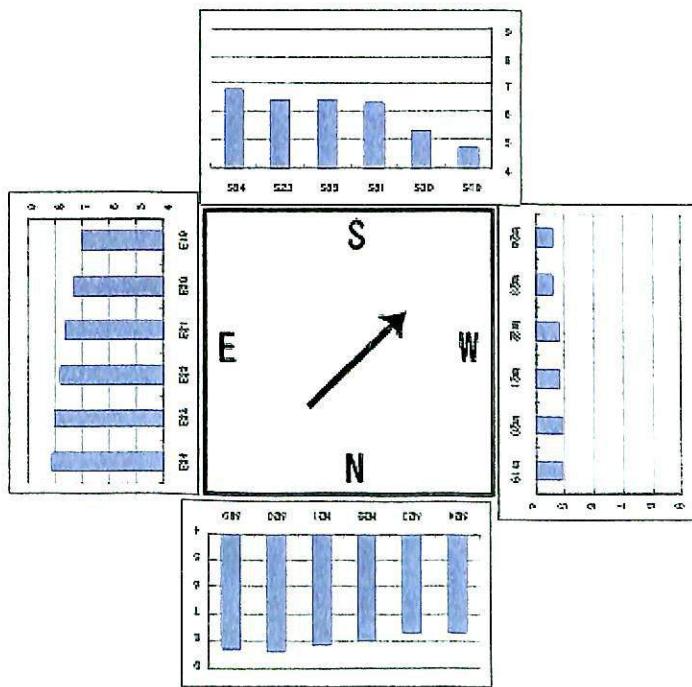


図 7.26 水頭分布図(ケース 6、 $Q=3.72 \times 10^{-6}(\text{m}^3/\text{s})$)

8. おわりに

天然の亀裂を有する岩体に対し、亀裂内の透水性を室内試験により調査した。亀裂の透水性が高いために、計測システムの改良を行い、数 cm程度の水頭差で透水試験を行った。その結果、亀裂の透水量係数が $10^{-4} \sim 10^{-5}$ (m^2/s)のオーダーであることが分かった。また、注水時の亀裂内の水頭分布から、下部亀裂の NW 方向に透水性の低い箇所があることが推定できた。

透水試験から得られた水頭差と流量の関係が原点を通らないことから、乱流条件下で透水係数が評価されている可能性があることを指摘した。これは、試験対象割れ目の透水量係数が高いため制御可能な試験条件において、亀裂を流れる水量が多いことが原因と考えられる。定性的には、乱流条件下で行われた透水試験結果を層流を仮定した評価では透水量係数は実際の値よりも小さな値となると考えられるものの、その定量的な評価は困難である。今後、亀裂交差部構造が透水特性に与える影響を把握するためにはより精度の高い測定が望まれる。そのためには、透水試験に用いる流体の粘性を上げることにより試験装置で制御可能な範囲で層流条件下の透水試験を実施する必要がある。

9. 参考文献

- 1) 吉野尚人、内田雅大：“天然単一亀裂の水理特性に関する一考察”、2001年土木学会要旨、2001(準備中)