

JAERI-M  
87-194

帯水層水流速測定装置とその性能

1987年11月

山本 忠利・向井 雅之

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.  
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1987

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 日青工業株式会社

帯水層水流速測定装置とその性能

日本原子力研究所東海研究所環境安全研究部

山本忠利・向井雅之

(1987年10月27日受理)

環境シミュレーション試験装置に付属する水流速測定装置として、ヒーター1本とセンサー2本の組合せのパルス加熱検出方式による装置を製作し、900 mm W × 2700 mm L × 450 mm Hの帯水層槽内での水流速分布を測定した。0 ~ 1.25 mm / min の水流速範囲において、45箇所の測定点での水流速の測定値には、多少のバラツキが見受けられたが、槽全体の平均流速は設定値に近い値となり、設定値に対する誤差は最大12%であった。帯水層土壌内の水流速測定装置として十分な性能を有することを確認した。

Measurement Apparatus of Water Flow Rate  
in Aquifer Zone and its Performance

Tadatoshi YAMAMOTO and Masayuki MUKAI

Department of Environmental Safety Research  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received October 26, 1987)

As an apparatus attached to the simulation apparatus for environmental radionuclide migration, a measurement apparatus of water flow rate equipped with a heater and two sensors was made for the measurement of the distribution of water flow rate. In the aquifer zone vessel of 900mmW x 2700mmL x 450mmH, the measurement was carried out by heat pulse method. In the range of water flow rate of 0 - 1.25mm/min, the measured values in water flow rate had some scatters at 45 measured points. The mean value of the distribution observed was close to the setting value and maximum error of 12% had been obtained in the measurement. The sufficient performance as measurement apparatus of water flow rate in aquifer zone was ascertained here.

Keywords: Water Flow Rate, Aquifer Zone, Heat Pulse Method, Measurement Apparatus, Heater, Sensor, Simulation Apparatus, Environmental Radionuclide Migration

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 測定装置 .....	1
2.1 検出部 .....	2
2.2 電源部 .....	2
2.3 制御計測部 .....	2
2.4 記録部 .....	3
2.5 データ処理部 .....	3
3. 測定方法 .....	4
4. 検量線の作成 .....	4
5. 測定結果 .....	5
5.1 ヒーター加熱時間と検出上昇温度差との関係 .....	5
5.2 水流速の各設定値に対する測定値 .....	5
6. あとがき .....	6
謝 辞 .....	6
参考文献 .....	6

Contents

1. Introduction ..... 1

2. Measuring apparatus ..... 1

    2.1 Detection ..... 2

    2.2 Electric source ..... 2

    2.3 Control and measurement ..... 2

    2.4 Record ..... 3

    2.5 Data process ..... 3

3. Method of measurement ..... 4

4. Making of calibration curve ..... 4

5. Results of measurement ..... 5

    5.1 Relationship between heating period and elevated  
        temperature ..... 5

    5.2 Measured values corresponding to various setting  
        values of water flow rate ..... 5

6. Remarks ..... 6

Acknowledgement ..... 6

References ..... 6

## 1. ま え が き

原子力発電所等から発生する低レベル放射性廃棄物は、これまでに約50万本のドラム缶に相当する量が、原子力発電所敷地内に貯蔵されており、その処理処分対策の確立が急がれている。これら低レベル放射性廃棄物の具体的な処分方式として、容器にセメント固化等安定化処理された固体廃棄物を比較的浅い地層に処分することが計画されている。このような方式により低レベル放射性廃棄物を処分する場合、その安全性を事前に充分検討する必要がある。したがって、現在、陸地処分の安全性に関するさまざまな研究が展開されている。<sup>1)</sup>

日本原子力研究所では、フィールドと同じ自然状態の土壌を用いて放射性核種の移動試験が可能な地中シミュレーション装置<sup>2)</sup>を製作し、施設内での放射性核種の地中移動試験、すなわち“環境シミュレーション試験”<sup>3)</sup>を行なっている。環境シミュレーション試験においては、低レベル放射性廃棄物を浅地中に処分した場合に、天然バリアとなる通気層および帯水層の核種移動阻止効果を評価している。そのためには、核種移動に影響を与える重要なパラメータの一つである水の移動速度、すなわち水流速の値を試験と同時に測定しておかなければならない。

帯水層に関する放射性核種移動試験は、採取した地下水水位にある帯水層土壌を帯水層槽に充填して行なう。このような土壌層における水流速の測定方法の一つとして、土壌層に埋設したヒーターに加熱を行ない、その熱移動量をセンサーで測定する方法が考えられる。

筆者らは、ヒーター1本とセンサー1本の組合せのパルス加熱検出方式による帯水層土壌中の水流速測定装置を試作し、各種基礎実験により有効な知見<sup>4)</sup>を得た。さらに、低流速範囲における検出感度の向上を目指して、ヒーター1本とセンサー2本の組合せにより、0.5mm/minの水流速まで測定できることを明らかにした。<sup>5)</sup>この結果を基に、900mmW×2700mmL×450mmHの帯水層槽内での水流速分布を測定するために、45箇所を連続測定できる装置を開発した。

本報告は、帯水層土壌中における水流速測定を行なうために開発した測定装置の概要、測定方法、および検量線の作成について述べ、さらに本測定装置の性能を検討した結果について述べたものである。

## 2. 測 定 装 置

本装置は、ヒーターおよびセンサーとから成る検出部を帯水層土壌中に埋設しヒーターにパルス状の印加電圧を加え、センサーが検出した温度変化をデータ処理することにより土壌中の水流速を測定するもので、検出部、電源部、制御計測部、記録部およびデータ処理部から構成されている。本装置のブロックダイヤグラムを図1に示す。

## 1. ま え が き

原子力発電所等から発生する低レベル放射性廃棄物は、これまでに約50万本のドラム缶に相当する量が、原子力発電所敷地内に貯蔵されており、その処理処分対策の確立が急がれている。これら低レベル放射性廃棄物の具体的な処分方式として、容器にセメント固化等安定化処理された固体廃棄物を比較的浅い地層に処分することが計画されている。このような方式により低レベル放射性廃棄物を処分する場合、その安全性を事前に充分検討する必要がある。したがって、現在、陸地処分の安全性に関するさまざまな研究が展開されている。<sup>1)</sup>

日本原子力研究所では、フィールドと同じ自然状態の土壌を用いて放射性核種の移動試験が可能な地中シミュレーション装置<sup>2)</sup>を製作し、施設内での放射性核種の地中移動試験、すなわち“環境シミュレーション試験”<sup>3)</sup>を行なっている。環境シミュレーション試験においては、低レベル放射性廃棄物を浅地中に処分した場合に、天然バリアとなる通気層および帯水層の核種移動阻止効果を評価している。そのためには、核種移動に影響を与える重要なパラメータの一つである水の移動速度、すなわち水流速の値を試験と同時に測定しておかなければならない。

帯水層に関する放射性核種移動試験は、採取した地下水水位にある帯水層土壌を帯水層槽に充填して行なう。このような土壌層における水流速の測定方法の一つとして、土壌層に埋設したヒーターに加熱を行ない、その熱移動量をセンサーで測定する方法が考えられる。

筆者らは、ヒーター1本とセンサー1本の組合せのパルス加熱検出方式による帯水層土壌中の水流速測定装置を試作し、各種基礎実験により有効な知見<sup>4)</sup>を得た。さらに、低流速範囲における検出感度の向上を目指して、ヒーター1本とセンサー2本の組合せにより、0.5mm/minの水流速まで測定できることを明らかにした。<sup>5)</sup>この結果を基に、900mmW×2700mmL×450mmHの帯水層槽内での水流速分布を測定するために、45箇所を連続測定できる装置を開発した。

本報告は、帯水層土壌中における水流速測定を行なうために開発した測定装置の概要、測定方法、および検量線の作成について述べ、さらに本測定装置の性能を検討した結果について述べたものである。

## 2. 測 定 装 置

本装置は、ヒーターおよびセンサーとから成る検出部を帯水層土壌中に埋設しヒーターにパルス状の印加電圧を加え、センサーが検出した温度変化をデータ処理することにより土壌中の水流速を測定するもので、検出部、電源部、制御計測部、記録部およびデータ処理部から構成されている。本装置のブロックダイヤグラムを図1に示す。



## 2.1 検出部

本検出部は、線状ヒーターに印加電圧電流を加えて水流速を測定するための熱を発生させ、線状センサーによりその熱を検知し、土壌中の水流速を検出するもので、線状ヒーター、線状センサー等から構成されている。その外観を写真1、構造を図2にそれぞれ示す。

### ① 線状ヒーター

型 式：特殊小型ヒーター

保護管材質：ステンレス

寸 法：3 mm $\phi$ ×30mm L

### ② 線状センサー

型 式：サーミスタ型センサー

被覆材材質：テフロン

寸 法：3 mm $\phi$ ×25mm L

## 2.2 電源部

本電源部は線状ヒーターに所定の電圧、電流を供給するもので、数チャンネル同時に電源を供給でき、その電流値を可変できる（写真2参照）。

### ① 印加電圧電流電源

型 式：両波整流式

チャンネル数：最大9チャンネル

電流設定値：0～3 A（9チャンネル同時可変）

電 圧：DC12V

## 2.3 制御計測部

本計測部は線状ヒーターに供給する印加電圧電流を数チャンネル同時にパルス的に発生させ、そのパルス巾（印加時間）を可変、制御し、線状センサーで検出された温度変化を数チャンネル同時に演算、表示して水流速を求めるもので、電圧パルス発生器、mV-アッテネータ、演算器、メモリー、ブロックセレクト等から構成されている。

### ① 電圧パルス発生器

型 式：デジタル式

チャンネル数：最大9チャンネル

パルス時定数：0～99 sec（時間精度 $\pm 1/10$  sec以下）

出力インピーダンス：100 $\Omega$

### ② mV-アッテネータ

型 式：IC方式

チャンネル数：最大9チャンネル

出力値：0～50°C = 0～100 mV

出力インピーダンス：100 Ω

③ 演算器

型式：デジタル方式

演算能力：9チャンネル同時および5ブロック連続の演算

演算方式：最大温度差検出方式

④ メモリー

型式：LSI方式

記憶容量：9チャンネル×5ブロック=90データ

記憶時間：電源OFFにて最大3時間

⑤ ブロックセレクト

作動方式：5ブロック連続自動切替

測定間隔：0～99min（デジタルスイッチにて1分間隔切替可能）

## 2.4 記録部

本記録部は線状ヒーターおよび線状センサーの作動，および検出された温度変化を連続的に記録するものである。

① 記録計

型式：卓上3ペン式レコーダ

作動方式：DCサーボ方式

DC電圧マルチレンジ：1 mV～10V（24段切替）

精度：フルスケールの±0.25%

感度：フルスケールの±0.1%

ペンスピード：最大1,600 mm/sec

チャートスピード：2～120 cm/min & hr（10段×2切替）

## 2.5 データ処理部

本処理部はメモリーに記憶されたデータから水流速を求めるもので，中央演算器（CPU）およびプリンタ等から構成されている。

① 中央演算器（CPU）

型式：TEAC（株）製PS-85型

プロセッサ：Z80A（クロック4 MHz）

メモリ容量：ROM13Kバイト，VRAM1Kバイト，RAM48Kバイト

キーボード：JIS準拠配列

その他：9インチグリーンCRTと200Kバイト×2ドライブのミニディスクが付属。

## ② プリンタ

プリント型式：感熱式ドットプリンタ

印字速度：80字/sec

## 3. 測定方法

帯水層土壌内の水流速測定には、原研東海研究所敷地内より採取した未調整砂が充填されている帯水層槽（写真3）を使用した。帯水層槽の大きさは900mmW×2700mmL×450mmHであり、底部には豊浦砂が約50mm敷き詰められている。2.1の検出器15本を槽上部より差込み、槽上蓋のノズルフランジに取付け固定した。帯水層土壌への通水は試料液ポンプ（ダイヤフラム式定量ポンプ、イワキ<sup>（株）</sup>製）により流入槽（900mmW×150mmL×450mmH）を介して所定の流速の下で行なった。このときの流速は試料液ポンプのストローク長を変化させて流量計（容積式、日東精工<sup>（株）</sup>製）により調整した。帯水層槽内における水流速測定箇所を図3に示す。

まず、本装置における測定条件を次のように設定した。①ヒーターの加熱電流値を1A、②水流速の測定開始から終了までの時間を5分、③ブロックセレクトの切替時間を20分、とした。なお、ヒーターとセンサーの間隔は、これまでの検討結果<sup>5)</sup>により、上流側20mm、下流側10mmに決定し、固定した。

つぎに、帯水層槽が所定の流速で安定した運転状態になっていることを確認した後、制御計測部の測定ボタンを押して水流速測定を開始した。ヒーターをパルス加熱した後の水の移動に伴う土壌内の温度変化は図4に示した温度変化曲線を描きながら、加熱前の温度に戻った。このとき、温度変化曲線を記録計に描いた。5ブロック全ての測定が終了し、データ処理部の中央演算器（CPU）に“RUN”指令を行ない、水流速を求めた。同時にその値をプリンターに印字した。センサーが検出した温度差から水流速への換算は、水流速が0mm/minのときの値との上昇温度差に、換算係数（ $K=2.22\text{ mm/min}/^{\circ}\text{C}$ ）を乗じて行なった。

## 4. 検量線の作成

水流速に対する検量線、すなわち水流速と上昇温度差との関係を求めた。使用した土壌槽は写真4に示した100mmW×280mmL×100mmHの透明アクリル樹脂で製作されたものである。まず、未調整の原研砂を高さ75mmまで充填し、検出器を土壌槽の中央の位置で、底部から35mmのところから先端部分が来るように埋設した。測定はヒーターにパルス加熱して、水流速0mm/minのときの温度差を2本のセンサーで検出した。次いで、水流速を0.25、0.5、0.75および1mm/minの各値に設定した状態で温度差を測定した。土壌槽への通水は定量ポンプ（東京科学精機<sup>（株）</sup>製、CV-1型）により流入槽を通して行なった。この場合、検出部分における水流速 $V(\text{cm/min})$ は流量（ $\text{ml/min}$ ）÷実効断面積（ $\text{cm}^2$ ）の式より求め、所定の値になるように定量ポンプにより流量を設定した。図5は水流速と上昇温度との関係（検量線）を示す。任意に選んだ4本の検出

## ② プリンタ

プリント型式：感熱式ドットプリンタ

印字速度：80字/sec

## 3. 測定方法

帯水層土壌内の水流速測定には、原研東海研究所敷地内より採取した未調整砂が充填されている帯水層槽（写真3）を使用した。帯水層槽の大きさは900mmW×2700mmL×450mmHであり、底部には豊浦砂が約50mm敷き詰められている。2.1の検出器15本を槽上部より差込み、槽上蓋のノズルフランジに取り付け固定した。帯水層土壌への通水は試料液ポンプ（ダイヤフラム式定量ポンプ、イワキ<sup>5)</sup>製）により流入槽（900mmW×150mmL×450mmH）を介して所定の流速の下で行なった。このときの流速は試料液ポンプのストローク長を変化させて流量計（容積式、日東精工<sup>5)</sup>製）により調整した。帯水層槽内における水流速測定箇所を図3に示す。

まず、本装置における測定条件を次のように設定した。①ヒーターの加熱電流値を1A、②水流速の測定開始から終了までの時間を5分、③ブロックセレクトの切替時間を20分、とした。なお、ヒーターとセンサーの間隔は、これまでの検討結果<sup>5)</sup>により、上流側20mm、下流側10mmに決定し、固定した。

つぎに、帯水層槽が所定の流速で安定した運転状態になっていることを確認した後、制御計測部の測定ボタンを押して水流速測定を開始した。ヒーターをパルス加熱した後の水の移動に伴う土壌内の温度変化は図4に示した温度変化曲線を描きながら、加熱前の温度に戻った。このとき、温度変化曲線を記録計に描いた。5ブロック全ての測定が終了し、データ処理部の中央演算器（CPU）に“RUN”指令を行ない、水流速を求めた。同時にその値をプリンターに印字した。センサーが検出した温度差から水流速への換算は、水流速が0mm/minのときの値との上昇温度差に、換算係数（ $K=2.22\text{ mm/min/}^\circ\text{C}$ ）を乗じて行なった。

## 4. 検量線の作成

水流速に対する検量線、すなわち水流速と上昇温度差との関係を求めた。使用した土壌槽は写真4に示した100mmW×280mmL×100mmHの透明アクリル樹脂で製作されたものである。まず、未調整の原研砂を高さ75mmまで充填し、検出器を土壌槽の中央の位置で、底部から35mmのところから先端部分が来るように埋設した。測定はヒーターにパルス加熱して、水流速0mm/minのときの温度差を2本のセンサーで検出した。次いで、水流速を0.25、0.5、0.75および1mm/minの各値に設定した状態で温度差を測定した。土壌槽への通水は定量ポンプ（東京科学精機<sup>5)</sup>製、CV-1型）により流入槽を通して行なった。この場合、検出部分における水流速 $V(\text{cm/min})$ は流量（ $\text{ml/min}$ ）÷実効断面積（ $\text{cm}^2$ ）の式より求め、所定の値になるように定量ポンプにより流量を設定した。図5は水流速と上昇温度との関係（検量線）を示す。任意に選んだ4本の検出

## ② プリンタ

プリント型式：感熱式ドットプリンタ

印字速度：80字/sec

## 3. 測定方法

帯水層土壌内の水流速測定には、原研東海研究所敷地内より採取した未調整砂が充填されている帯水層槽（写真3）を使用した。帯水層槽の大きさは900mmW×2700mmL×450mmHであり、底部には豊浦砂が約50mm敷き詰められている。2.1の検出器15本を槽上部より差込み、槽上蓋のノズルフランジに取付け固定した。帯水層土壌への通水は試料液ポンプ（ダイヤフラム式定量ポンプ、イワキ<sup>（株）</sup>製）により流入槽（900mmW×150mmL×450mmH）を介して所定の流速の下で行なった。このときの流速は試料液ポンプのストローク長を変化させて流量計（容積式、日東精工<sup>（株）</sup>製）により調整した。帯水層槽内における水流速測定箇所を図3に示す。

まず、本装置における測定条件を次のように設定した。①ヒーターの加熱電流値を1A、②水流速の測定開始から終了までの時間を5分、③ブロックセレクトの切替時間を20分、とした。なお、ヒーターとセンサーの間隔は、これまでの検討結果<sup>5)</sup>により、上流側20mm、下流側10mmに決定し、固定した。

つぎに、帯水層槽が所定の流速で安定した運転状態になっていることを確認した後、制御計測部の測定ボタンを押して水流速測定を開始した。ヒーターをパルス加熱した後の水の移動に伴う土壌内の温度変化は図4に示した温度変化曲線を描きながら、加熱前の温度に戻った。このとき、温度変化曲線を記録計に描いた。5ブロック全ての測定が終了し、データ処理部の中央演算器（CPU）に“RUN”指令を行ない、水流速を求めた。同時にその値をプリンターに印字した。センサーが検出した温度差から水流速への換算は、水流速が0mm/minのときの値との上昇温度差に、換算係数（ $K=2.22\text{mm/min}/^{\circ}\text{C}$ ）を乗じて行なった。

## 4. 検量線の作成

水流速に対する検量線、すなわち水流速と上昇温度差との関係を求めた。使用した土壌槽は写真4に示した100mmW×280mmL×100mmHの透明アクリル樹脂で製作されたものである。まず、未調整の原研砂を高さ75mmまで充填し、検出器を土壌槽の中央の位置で、底部から35mmのところから先端部分が来るように埋設した。測定はヒーターにパルス加熱して、水流速0mm/minのときの温度差を2本のセンサーで検出した。次いで、水流速を0.25、0.5、0.75および1mm/minの各値に設定した状態で温度差を測定した。土壌槽への通水は定量ポンプ（東京科学精機<sup>（株）</sup>製、CV-1型）により流入槽を通して行なった。この場合、検出部分における水流速 $V(\text{cm/min})$ は流量（ $\text{ml/min}$ ）÷実効断面積（ $\text{cm}^2$ ）の式より求め、所定の値になるように定量ポンプにより流量を設定した。図5は水流速と上昇温度との関係（検量線）を示す。任意に選んだ4本の検出

器は、いずれも上記関係において直線性が得られた。この直線の傾きから換算係数を求めると、平均  $2.22 \text{ mm/min/}^\circ\text{C}$  であった。この換算係数は単位水流速当たりの上昇温度差（水流速  $0 \text{ mm/min}$  のときの上昇温度の差）の逆数であり、測定条件（ヒーター加熱時間、ヒーター、センサー間の距離等）、測定対象（土壌の種類）により支配される。

## 5. 測定結果

### 5.1 ヒーター加熱時間と検出上昇温度差との関係

一定の水流速条件下で、ヒーター加熱時間を20、30および40秒に変化させて、加熱時間に対する温度変化を調べた。測定は水流速  $V = 0.82 \text{ mm/min}$  に設定した状態のときに行なった。また、流入直前と直後における水流速  $V = 0 \text{ mm/min}$  の状態で基準値として上昇温度差を測定した。加熱時間が20、30および40秒のとき、チャンネル別、ブロック別の上昇温度差を表1および図6（B-1）に示す。表1より明らかのように、全ての測定点において加熱時間と上昇温度差との間に比例関係があることがわかる。そして、流入直後における水流速  $V = 0 \text{ mm/min}$  のときの上昇温度差は流入直前におけるそれとほとんどの測定点において一致するが、 $A_{18}$ （B-1, 8 ch）、 $A_{46}$ （B-4, 6 ch）、 $A_{52}$ （B-5, 2 ch）の測定点で多少のずれが生じた。これは土壤槽へ通水することによって土壤の充填状態に変化が起こったことによるものと考えられる。なお、 $A_{18}$ （B-1, 8 ch）と $A_{23}$ （B-2, 3 ch）の測定点において、水流速の増大に伴う温度変化の逆転現象が見受けられるが、その原因の一つとしてはヒーターの故障が考えられる。

### 5.2 水流速の各設定値に対する測定値

水流速を0、0.25、0.5、0.75、1.0および1.25  $\text{mm/min}$  の6点に変化させて、帯水層槽内45箇所全ての水流速測定を行なった。水流速測定を行なったデータの1例として、水流速が0および1.0  $\text{mm/min}$  であるとき、チャンネル別、ブロック別の上昇温度差を表2に示す。表2より明らかのように、いずれの測定点でも、水流速の増加に伴って上昇温度差が大きくなるが、その値にはバラツキが見られる。この場合、上昇温度の変化曲線は図7に示すように加熱してから数秒後に急激に温度が上昇し、最大ピークを経てなだらかに下降している。

次に、水流速の各設定値に対する全測定箇所における水流速測定結果をまとめて表3に示す。各測定値は水流速が  $0 \text{ mm/min}$  のときの値との上昇温度差に、換算係数（ $K = 2.22 \text{ mm/min/}^\circ\text{C}$ ）を乗じて求められている。0～1.25  $\text{mm/min}$  の水流速範囲において、45箇所の測定点での水流速の測定値には、バラツキが見受けられたが、槽全体の平均流速は設定値に近い値となり、設定値に対する誤差は最大-12%であった。表3において水流速の測定値が零であると表示されているところは、設定水流速が小さいときに多く認められる。実際に水が土壤中を流れていないことによるものと考えられる。この原因は土壤槽に充填された砂の粒度分布が不均一であるため、すなわち粒度の細かい土壤が塊状に充填されているためであると考えられる。

器は、いずれも上記関係において直線性が得られた。この直線の傾きから換算係数を求めると、平均  $2.22 \text{ mm/min/}^\circ\text{C}$  であった。この換算係数は単位水流速当たりの上昇温度差（水流速  $0 \text{ mm/min}$  のときの上昇温度の差）の逆数であり、測定条件（ヒーター加熱時間、ヒーター、センサー間の距離等）、測定対象（土壌の種類）により支配される。

## 5. 測定結果

### 5.1 ヒーター加熱時間と検出上昇温度差との関係

一定の水流速条件下で、ヒーター加熱時間を20, 30および40秒に変化させて、加熱時間に対する温度変化を調べた。測定は水流速  $V = 0.82 \text{ mm/min}$  に設定した状態のときに行なった。また、流入直前と直後における水流速  $V = 0 \text{ mm/min}$  の状態で基準値として上昇温度差を測定した。加熱時間が20, 30および40秒のとき、チャンネル別、ブロック別の上昇温度差を表1および図6（B-1）に示す。表1より明らかなように、全ての測定点において加熱時間と上昇温度差との間に比例関係があることがわかる。そして、流入直後における水流速  $V = 0 \text{ mm/min}$  のときの上昇温度差は流入直前におけるそれとほとんどの測定点において一致するが、 $A_{18}$ （B-1, 8 ch）、 $A_{46}$ （B-4, 6 ch）、 $A_{52}$ （B-5, 2 ch）の測定点で多少のずれが生じた。これは土壤槽へ通水することによって土壤の充填状態に変化が起こったことによるものと考えられる。なお、 $A_{18}$ （B-1, 8 ch）と $A_{22}$ （B-2, 3 ch）の測定点において、水流速の増大に伴う温度変化の逆転現象が見受けられるが、その原因の一つとしてはヒーターの故障が考えられる。

### 5.2 水流速の各設定値に対する測定値

水流速を0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0および1.25  $\text{mm/min}$  の6点に変化させて、帯水層槽内45箇所全ての水流速測定を行なった。水流速測定を行なったデータの1例として、水流速が0および1.0  $\text{mm/min}$  であるとき、チャンネル別、ブロック別の上昇温度差を表2に示す。表2より明らかなように、いずれの測定点でも、水流速の増加に伴って上昇温度差が大きくなるが、その値にはバラツキが見られる。この場合、上昇温度の変化曲線は図7に示すように加熱してから数秒後に急激に温度が上昇し、最大ピークを経てなだらかに下降している。

次に、水流速の各設定値に対する全測定箇所における水流速測定結果をまとめて表3に示す。各測定値は水流速が  $0 \text{ mm/min}$  のときの値との上昇温度差に、換算係数（ $K = 2.22 \text{ mm/min/}^\circ\text{C}$ ）を乗じて求められている。0～1.25  $\text{mm/min}$  の水流速範囲において、45箇所の測定点での水流速の測定値には、バラツキが見受けられたが、槽全体の平均流速は設定値に近い値となり、設定値に対する誤差は最大-12%であった。表3において水流速の測定値が零であると表示されているところは、設定水流速が小さいときに多く認められる。実際に水が土壤中を流れていないことによるものと考えられる。この原因は土壤槽に充填された砂の粒度分布が不均一であるため、すなわち粒度の細かい土壤が塊状に充填されているためであると考えられる。

## 6. あとがき

以上、帯水層水流速測定装置の概要、ならびに帯水層土壌内の水流速分布を測定し、性能を確認した結果について述べた。本測定装置は、海岸砂層に対する帯水層移動試験にすでに使用され、十分な機能を示した。現在、透水係数の小さいローム層に対する帯水層移動試験に使用できるように検出器の改良を行なっている。一方、本測定装置は野外における帯水層内の地下水流向・流速測定への進展が考えられる。

## 謝 辞

最後に、本測定装置の開発にあたり、絶えざる御激励と御助力をいただいた低レベル廃棄物処理処分研究室の和達嘉樹室長に感謝の意を示します。

## 参 考 文 献

- 1) 原子力安全委員会放射性廃棄物安全規制専門部会：“低レベル放射性廃棄物安全研究年次計画”，（1983）
- 2) 山本忠利，大塚芳郎，武部慎一，大貫敏彦，小川弘道，原田芳金，斎藤和明，和達嘉樹：JAERI-M 84-125（1984）
- 3) 和達嘉樹，山本忠利：“放射性廃棄物フォーラム'84講演録集”，Ⅲ-21（1984）
- 4) 山本忠利，斎藤和明，武部慎一，和達嘉樹：JAERI-M 84-231（1984）
- 5) 山本忠利，斎藤和明：JAERI-memo 60-234（1985）



## 6. あとがき

以上、帯水層水流速測定装置の概要、ならびに帯水層土壌内の水流速分布を測定し、性能を確認した結果について述べた。本測定装置は、海岸砂層に対する帯水層移動試験にすでに使用され、十分な機能を示した。現在、透水係数の小さいローム層に対する帯水層移動試験に使用できるように検出器の改良を行なっている。一方、本測定装置は野外における帯水層内の地下水流向・流速測定への進展が考えられる。

## 謝 辞

最後に、本測定装置の開発にあたり、絶えざる御激励と御助力をいただいた低レベル廃棄物処理処分研究室の和達嘉樹室長に感謝の意を示します。

## 参 考 文 献

- 1) 原子力安全委員会放射性廃棄物安全規制専門部会：“低レベル放射性廃棄物安全研究年次計画”，（1983）
- 2) 山本忠利，大塚芳郎，武部慎一，大貫敏彦，小川弘道，原田芳金，斎藤和明，和達嘉樹：JAERI-M 84-125（1984）
- 3) 和達嘉樹，山本忠利：“放射性廃棄物フォーラム'84講演録集”，Ⅲ-21（1984）
- 4) 山本忠利，斎藤和明，武部慎一，和達嘉樹：JAERI-M 84-231（1984）
- 5) 山本忠利，斎藤和明：JAERI-memo 60-234（1985）

## 6. あとがき

以上、帯水層水流速測定装置の概要、ならびに帯水層土壌内の水流速分布を測定し、性能を確認した結果について述べた。本測定装置は、海岸砂層に対する帯水層移動試験にすでに使用され、十分な機能を示した。現在、透水係数の小さいローム層に対する帯水層移動試験に使用できるように検出器の改良を行なっている。一方、本測定装置は野外における帯水層内の地下水流向・流速測定への進展が考えられる。

## 謝 辞

最後に、本測定装置の開発にあたり、絶えざる御激励と御助力をいただいた低レベル廃棄物処理処分研究室の和達嘉樹室長に感謝の意を示します。

## 参 考 文 献

- 1) 原子力安全委員会放射性廃棄物安全規制専門部会：“低レベル放射性廃棄物安全研究年次計画”，（1983）
- 2) 山本忠利，大塚芳郎，武部慎一，大貫敏彦，小川弘道，原田芳金，斎藤和明，和達嘉樹：JAERI-M 84-125（1984）
- 3) 和達嘉樹，山本忠利：“放射性廃棄物フォーラム'84講演録集”，Ⅲ-21（1984）
- 4) 山本忠利，斎藤和明，武部慎一，和達嘉樹：JAERI-M 84-231（1984）
- 5) 山本忠利，斎藤和明：JAERI-memo 60-234（1985）

表 1 加熱時間の増大に伴う上昇温度差の変化

電 流 値 : 1.0 A                      測 定 時 間 : 5 min

ヒータ・センサー : 上流側 20 mm

の間隔                      下流側 10 mm

(1) 加熱時間  $T = 20$  sec, 流速  $V = 0$  mm/min のとき

(単位 °C)

チャンネル名 ブロック名	1 ch	2 ch	3 ch	4 ch	5 ch	6 ch	7 ch	8 ch	9 ch
B - 1	0	1.8	1.7	0	2.3	2.5	0	2.3	2.1
B - 2	0	2.6	2.6	0	1.7	1.5	0	2.0	1.6
B - 3	0	2.3	3.3	0	2.6	2.0	0	2.3	1.8
B - 4	0	2.0	1.7	0	2.2	2.9	0	1.6	1.5
B - 5	0	2.4	1.5	0	2.8	1.9	0	1.3	1.6

(2) 加熱時間  $T = 30$  sec, 流速  $V = 0$  mm/min のとき

チャンネル名 ブロック名	1 ch	2 ch	3 ch	4 ch	5 ch	6 ch	7 ch	8 ch	9 ch
B - 1	0	2.5	2.5	0	3.3	3.6	0	3.3	3.1
B - 2	0	3.7	3.7	0	2.8	2.3	0	2.9	2.3
B - 3	0	3.4	4.9	0	3.8	3.0	0	3.3	2.8
B - 4	0	3.0	2.5	0	3.2	4.2	0	2.4	2.4
B - 5	0	3.9	2.2	0	3.9	2.8	0	2.0	2.4

(3) 加熱時間  $T = 40$  sec, 流速  $V = 0$  mm/min のとき

チャンネル名 ブロック名	1 ch	2 ch	3 ch	4 ch	5 ch	6 ch	7 ch	8 ch	9 ch
B - 1	0	3.1	2.9	0	4.1	4.7	0	3.8	3.8
B - 2	0	4.6	4.4	0	3.6	3.1	0	3.7	3.1
B - 3	0	4.5	6.4	0	4.8	4.0	0	4.0	3.5
B - 4	0	3.9	3.3	0	4.1	5.8	0	3.4	3.4
B - 5	0	4.7	3.1	0	5.1	4.1	0	2.7	3.4

表 1 (続き)

(4) 加熱時間  $T = 20$  sec, 流速  $V = 0.82$  mm/min のとき

チャンネル名 ブロック名	1 ch	2 ch	3 ch	4 ch	5 ch	6 ch	7 ch	8 ch	9 ch
B - 1	0	2.0	2.1	0	2.5	3.1	0	2.7	3.3
B - 2	0	2.9	3.0	0	2.0	1.8	0	2.2	2.0
B - 3	0	2.8	4.0	0	3.3	2.4	0	2.8	2.1
B - 4	0	2.3	2.1	0	2.3	3.5	0	1.8	1.9
B - 5	0	2.7	1.8	0	3.3	2.6	0	1.7	1.8

(5) 加熱時間  $T = 30$  sec, 流速  $V = 0.82$  mm/min のとき

チャンネル名 ブロック名	1 ch	2 ch	3 ch	4 ch	5 ch	6 ch	7 ch	8 ch	9 ch
B - 1	0	2.9	2.9	0	3.6	4.3	0	3.8	4.8
B - 2	0	3.9	3.8	0	3.1	2.8	0	3.0	2.8
B - 3	0	4.1	5.8	0	4.8	3.6	0	3.9	3.1
B - 4	0	3.4	3.1	0	3.6	5.1	0	2.7	2.9
B - 5	0	4.2	2.6	0	4.9	3.9	0	2.4	2.9

(6) 加熱時間  $T = 40$  sec, 流速  $V = 0.82$  mm/min のとき

チャンネル名 ブロック名	1 ch	2 ch	3 ch	4 ch	5 ch	6 ch	7 ch	8 ch	9 ch
B - 1	0	3.7	3.7	0	4.7	5.5	0	4.3	6.2
B - 2	0	4.9	3.5	0	4.1	3.6	0	3.8	3.7
B - 3	0	5.3	7.4	0	6.0	4.6	0	4.8	4.1
B - 4	0	4.4	3.9	0	4.5	6.7	0	3.6	4.0
B - 5	0	5.0	3.5	0	5.9	5.2	0	3.2	3.8

表 1 (続き)

(7) 加熱時間  $T = 20$  sec, 流速  $V = 0$  mm/min のとき

チャンネル名 ブロック名	1 ch	2 ch	3 ch	4 ch	5 ch	6 ch	7 ch	8 ch	9 ch
B - 1	0	1.7	1.7	0	2.3	2.6	0	2.5	2.2
B - 2	0	2.7	2.6	0	1.7	1.5	0	2.2	1.7
B - 3	0	2.4	3.4	0	2.7	2.1	0	2.4	1.9
B - 4	0	2.0	1.7	0	2.2	2.9	0	1.6	1.6
B - 5	0	2.5	1.6	0	2.8	1.8	0	1.3	1.6

(8) 加熱時間  $T = 30$  sec, 流速  $V = 0$  mm/min のとき

チャンネル名 ブロック名	1 ch	2 ch	3 ch	4 ch	5 ch	6 ch	7 ch	8 ch	9 ch
B - 1	0	2.6	2.5	0	3.4	3.7	0	3.6	3.1
B - 2	0	3.7	3.7	0	2.9	2.3	0	2.9	2.3
B - 3	0	3.4	5.0	0	3.9	3.1	0	3.3	2.7
B - 4	0	3.1	2.5	0	3.2	4.4	0	2.4	2.4
B - 5	0	3.7	2.2	0	3.9	2.7	0	2.0	2.4

(9) 加熱時間  $T = 40$  sec, 流速  $V = 0$  mm/min のとき

チャンネル名 ブロック名	1 ch	2 ch	3 ch	4 ch	5 ch	6 ch	7 ch	8 ch	9 ch
B - 1	0	3.3	3.2	0	4.2	4.7	0	4.6	4.1
B - 2	0	4.6	4.2	0	3.7	3.1	0	3.6	3.0
B - 3	0	4.3	6.5	0	4.8	4.1	0	4.0	3.5
B - 4	0	4.0	3.2	0	4.0	5.6	0	3.1	3.3
B - 5	0	4.5	2.8	0	4.8	3.7	0	2.6	3.2

注)

- (1) ~ (3) : 流速  $V = 0$  mm/min 流入直前  
 (4) ~ (6) : 流速  $V = 0.82$  mm/min  
 (7) ~ (9) : 流速  $V = 0$  mm/min 流入直後



表3 各測定箇所における水流速測定結果

(1) 流速  $V = 0.25 \text{ mm/min}$ (単位  $\text{mm/min}$ )

チャンネル名 ブロック名	1 ch	2 ch	3 ch	4 ch	5 ch	6 ch	7 ch	8 ch	9 ch
B - 1	0.89	0	1.11	0	0.44	0	0.22	0	0
B - 2	0	0	0.22	0	0	0.44	0.67*	0.22	0
B - 3	0*	0.44	0.44	0.44	0	0	0.67*	0	0
B - 4	0.44	0	0.44	0.22	0.22*	0.22	0	0.22*	0.44
B - 5	0.22	0.22*	0	0.67*	0	0.22*	0	0	0

平均 0.22 ( -12.0 % )

(2) 流速  $V = 0.5 \text{ mm/min}$ 

チャンネル名 ブロック名	1 ch	2 ch	3 ch	4 ch	5 ch	6 ch	7 ch	8 ch	9 ch
B - 1	0.44	0	2.00	0.22	0.67	0.89	0.22	0.89	0.67
B - 2	1.11	0	0.44	0.44	0	0	1.11	0.44	0.67
B - 3	0	0.22	0.22	0.67	0.89	0.89	1.33*	0.44	0.67
B - 4	0.89	0.67	0.44	0.67	0.22	1.33	0	0.22	0.44
B - 5	0.44	0	0.44	1.78	0	0.22	0	0.22	0.22

平均 0.53 ( +6.0 % )

(3) 流速  $V = 0.75 \text{ mm/min}$ 

チャンネル名 ブロック名	1 ch	2 ch	3 ch	4 ch	5 ch	6 ch	7 ch	8 ch	9 ch
B - 1	0.67	0.22	2.88	0.44	0.89	1.11	0.22	0.89	0.89
B - 2	1.55	0	0.89	0.22	0.22	0.44	2.66	0.67	0.89
B - 3	0.22	1.33	0.89	1.11	1.11	1.33	0.89	0.67	0.67
B - 4	1.33	0.44	1.33	0.89	0.22	1.33	0.22	0.44	0.67
B - 5	0.44	0.22	0.22	2.22	0.89	0.44	0.67	0.22	0.22

平均 0.81 ( +8.0 % )

表 3 ( 続き )

(4) 流速  $V = 1.0 \text{ mm/min}$ 

チャンネル名 ブロック名	1 ch	2 ch	3 ch	4 ch	5 ch	6 ch	7 ch	8 ch	9 ch
B - 1	2.00	0.22	3.33	0.44	1.33	2.00	0.44	1.11	0.89
B - 2	1.55	0	1.11	0.44	0.22	0.44	2.66	0.67	0.89
B - 3	0.67	1.98	0.67	1.55	1.55	1.33	2.66	0.67	0.89
B - 4	1.11	0.67	2.00	1.33	0.22	2.88	0.22	0.44	0.89
B - 5	0.44	0.22	0.44	2.44	1.11	0.89	0.67	0.22	0.22

平均 1.07 ( +7.0% )

(5) 流速  $V = 1.25 \text{ mm/min}$ 

チャンネル名 ブロック名	1 ch	2 ch	3 ch	4 ch	5 ch	6 ch	7 ch	8 ch	9 ch
B - 1	2.22	0	3.99	0.44	1.55	2.66	0.44	1.11	1.11
B - 2	1.33	0	1.11	0.44	0	0.44	2.66	0.67	2.00
B - 3	0.89	2.44	0.67	2.00	2.00	1.11	3.33	0.89	1.11
B - 4	1.11	0.67	2.88	2.00	0.44	3.55	0.22	0.22	0.66
B - 5	0.44	0.89	0.44	2.88	1.33	1.11	0.44	0.22	0.22

平均 1.25 ( ±0% )

\* : グラフの内そう値を使用して計算した。



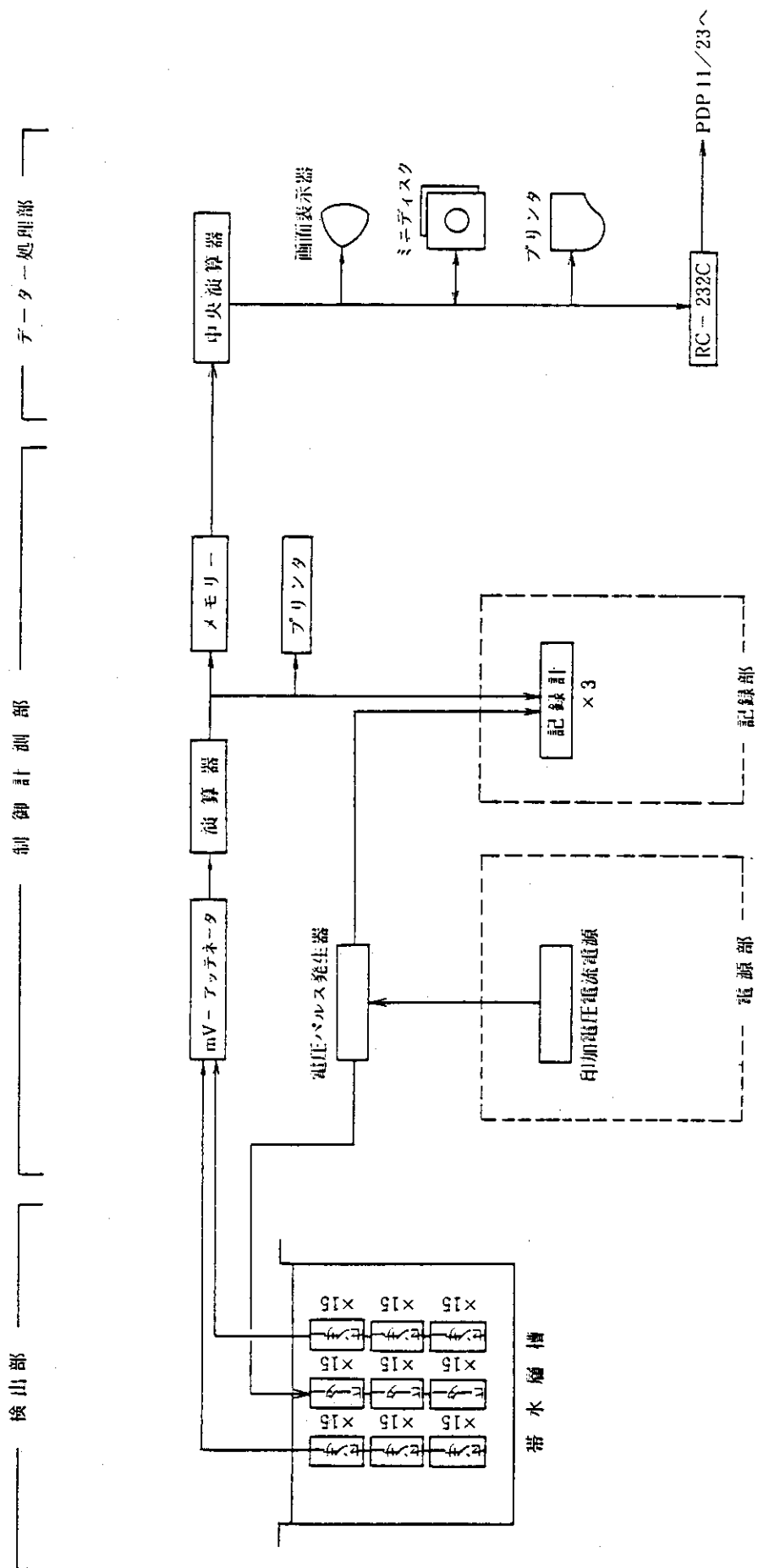


図 1 帯水層水流速測定装置ブロックダイヤグラム

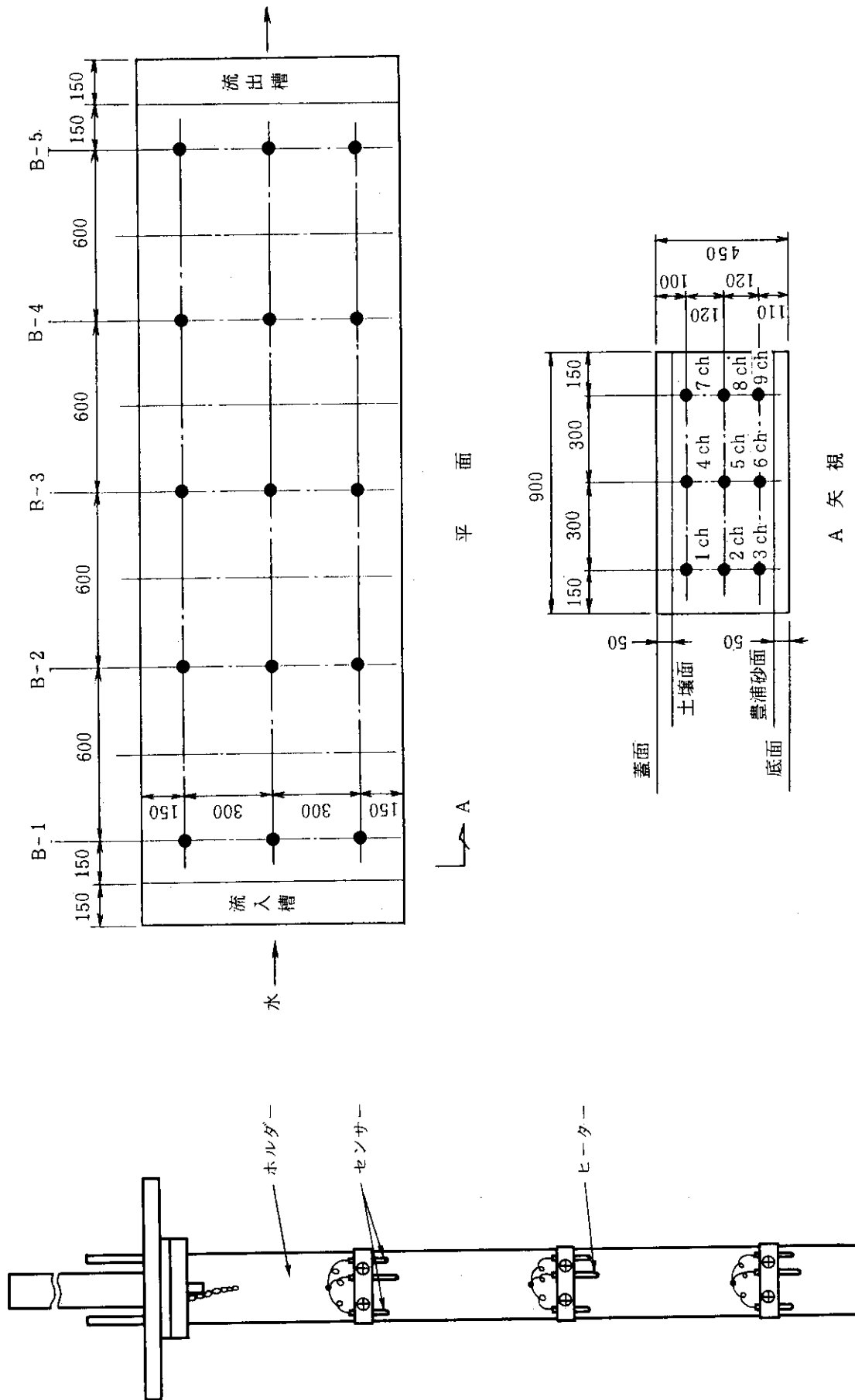


図3 帯水層槽内における水流速測定箇所

図2 検出部の構造

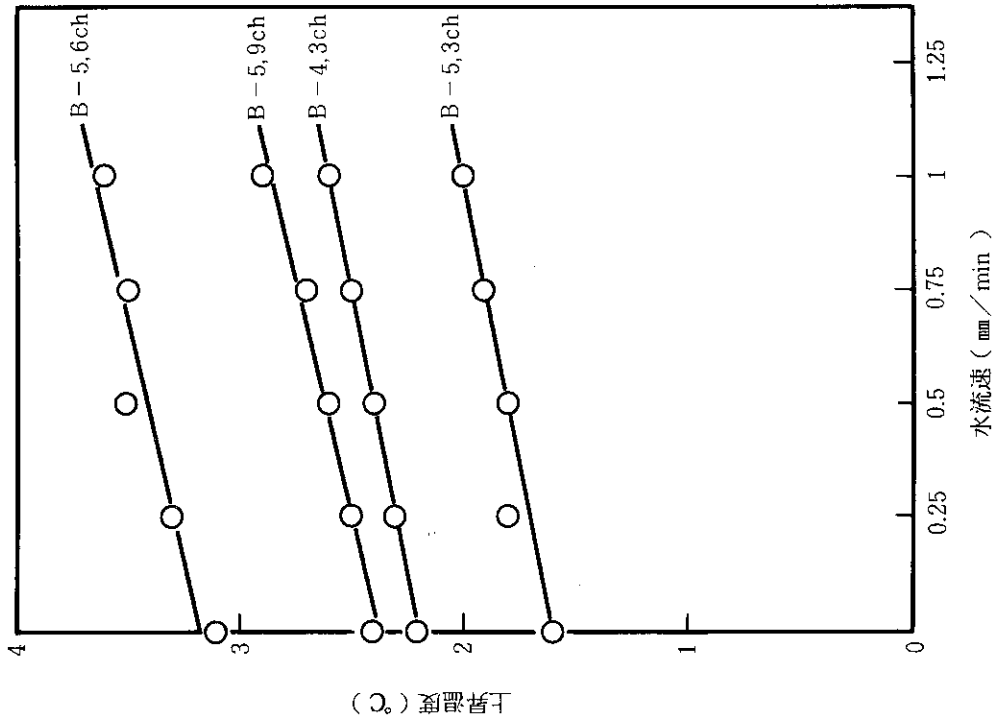


図5 流速と上昇温度との関係(検量線)

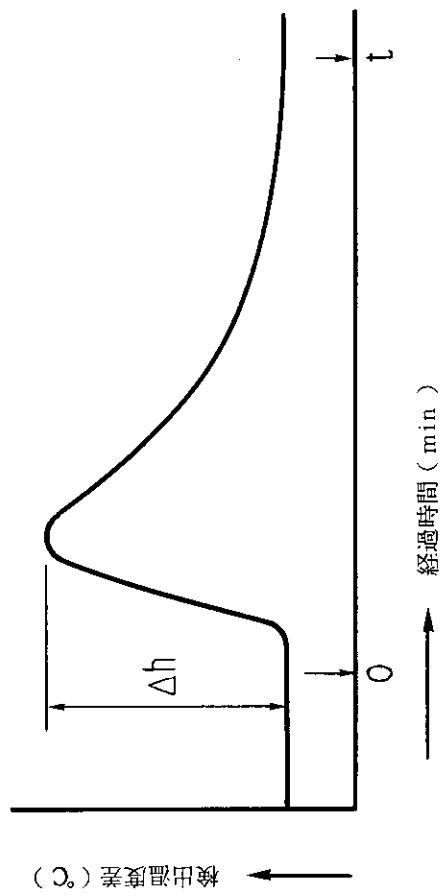


図4 センサー検出温度変化曲線

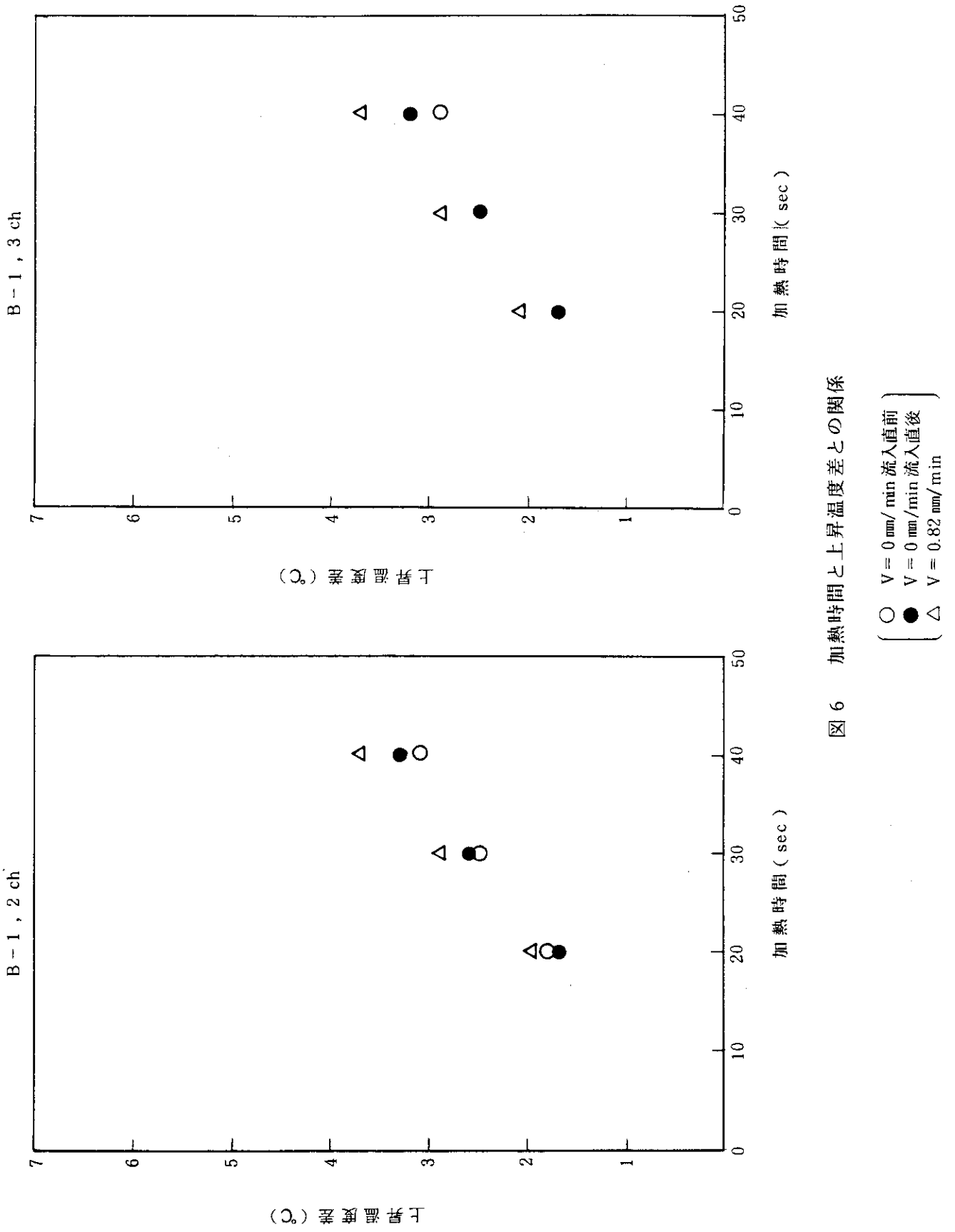


図 6 加熱時間と上昇温度差との関係

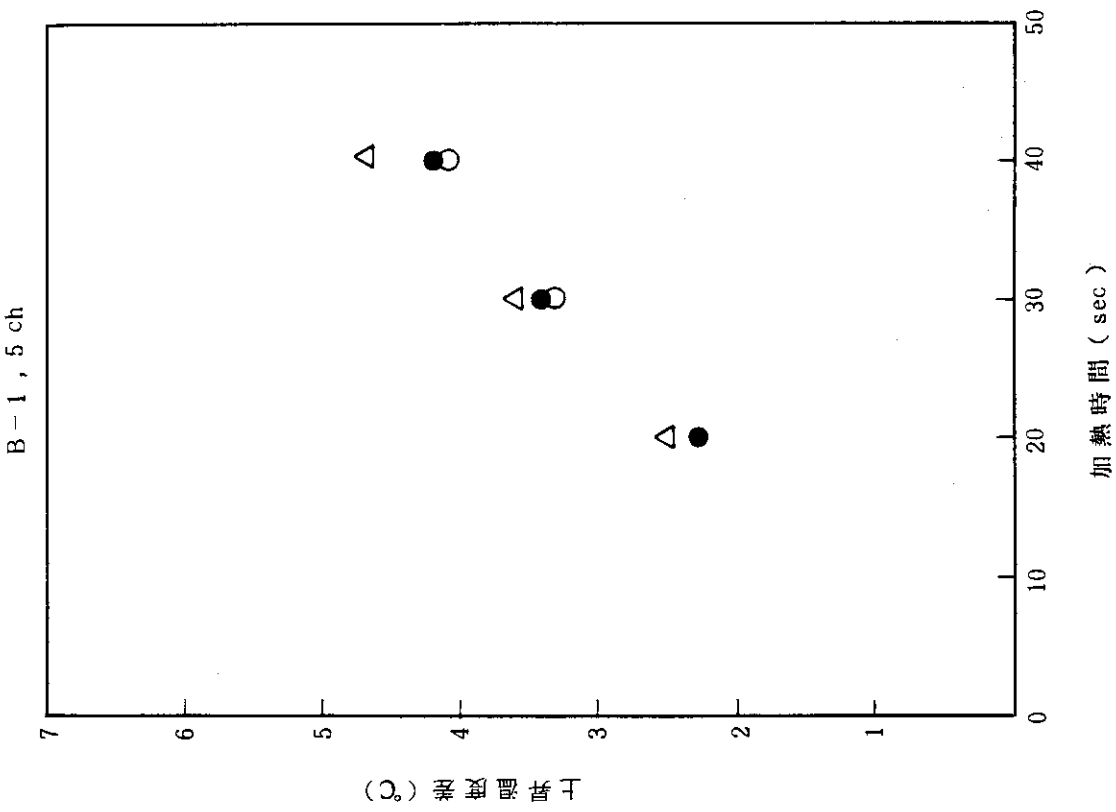
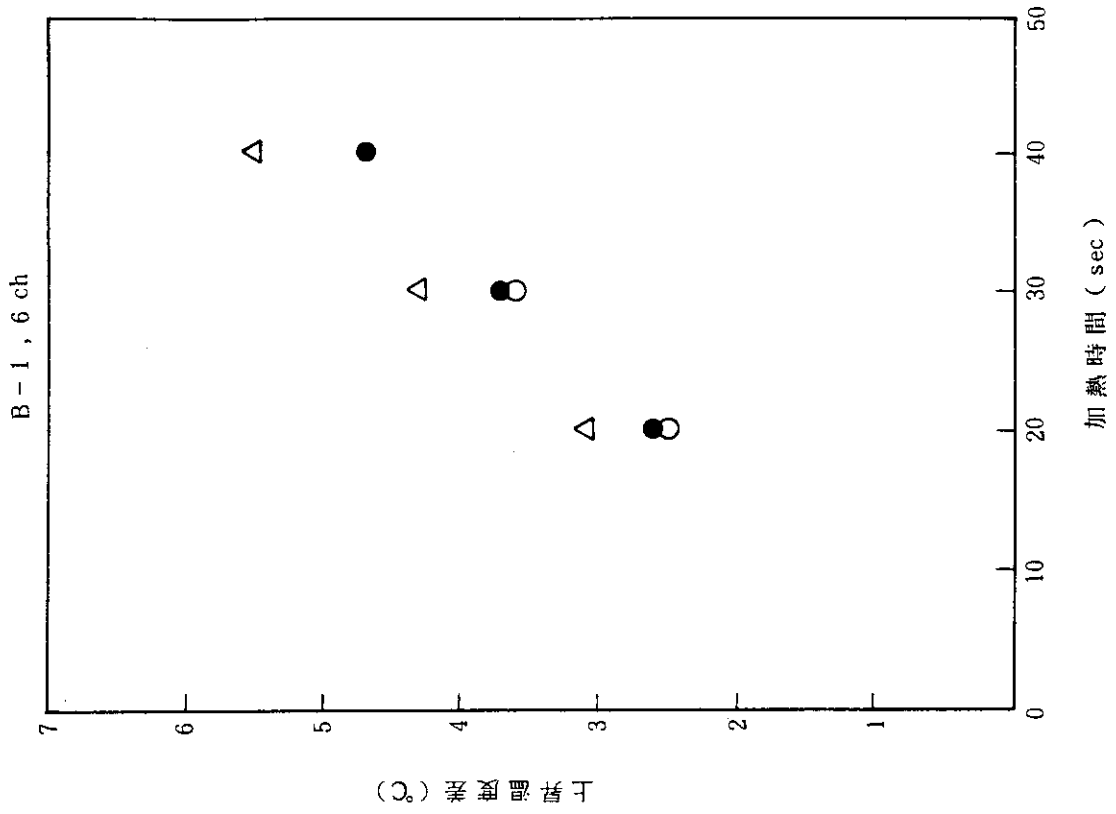


図 6 (続き)

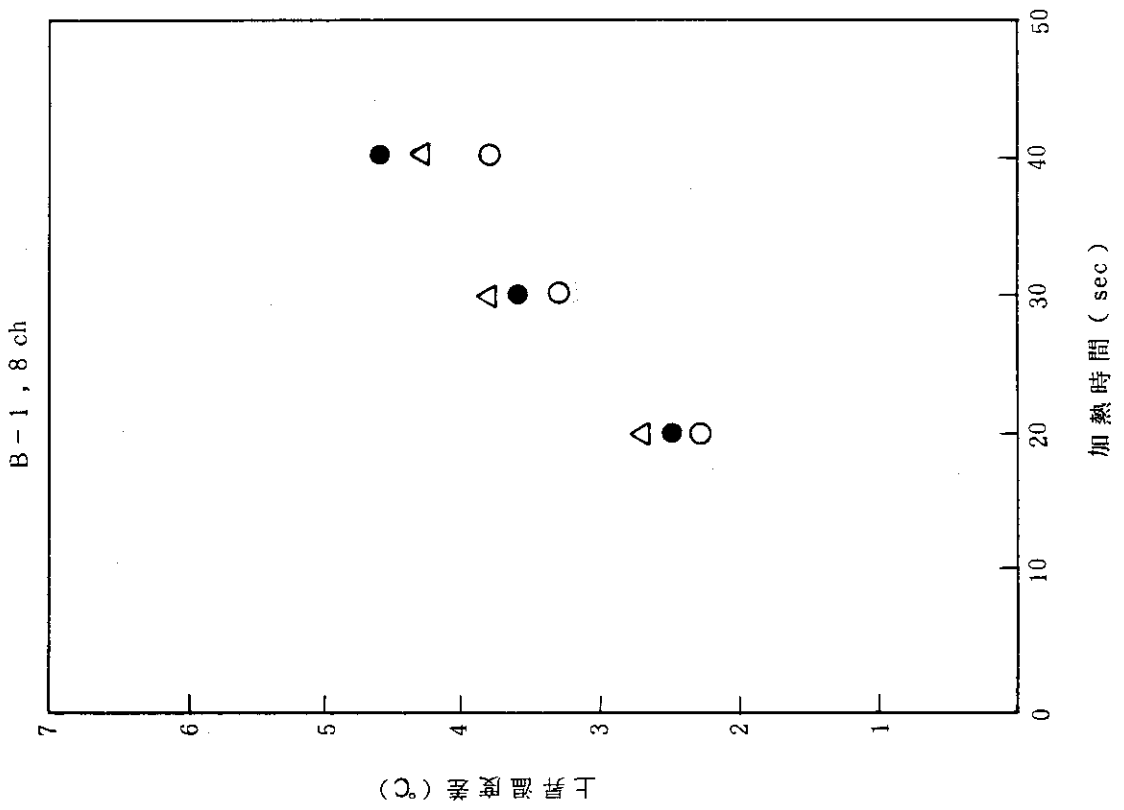
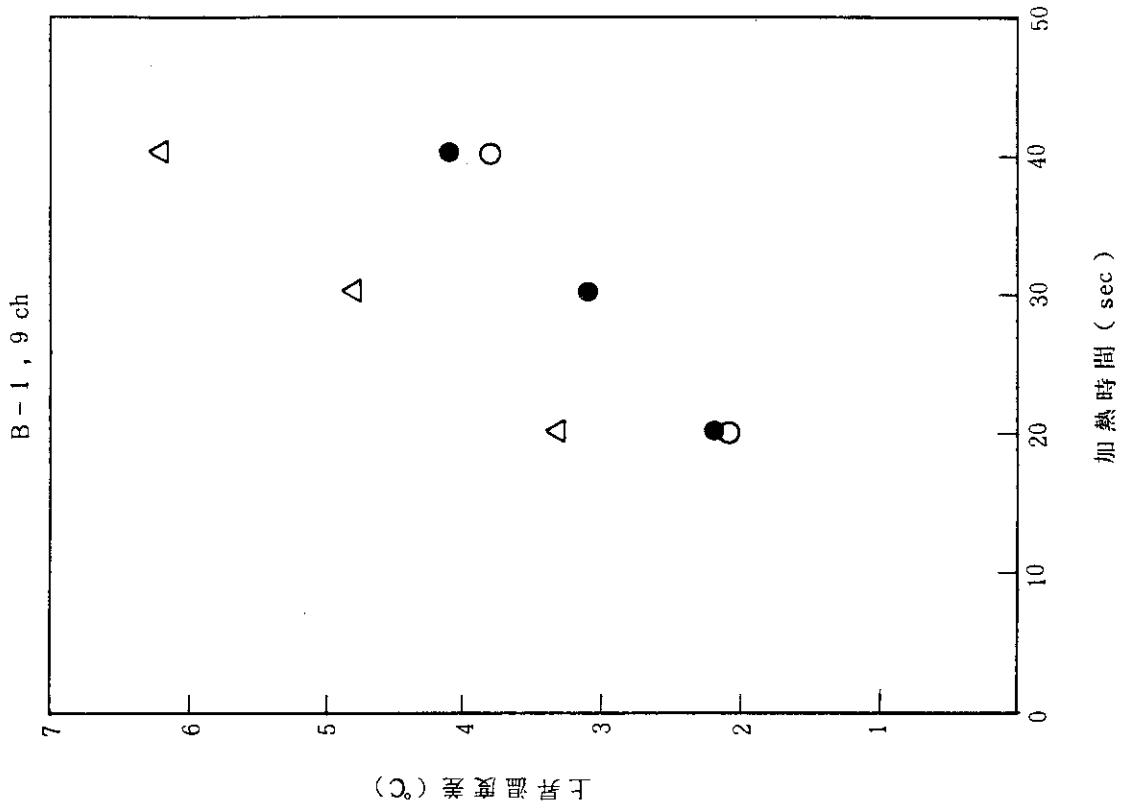
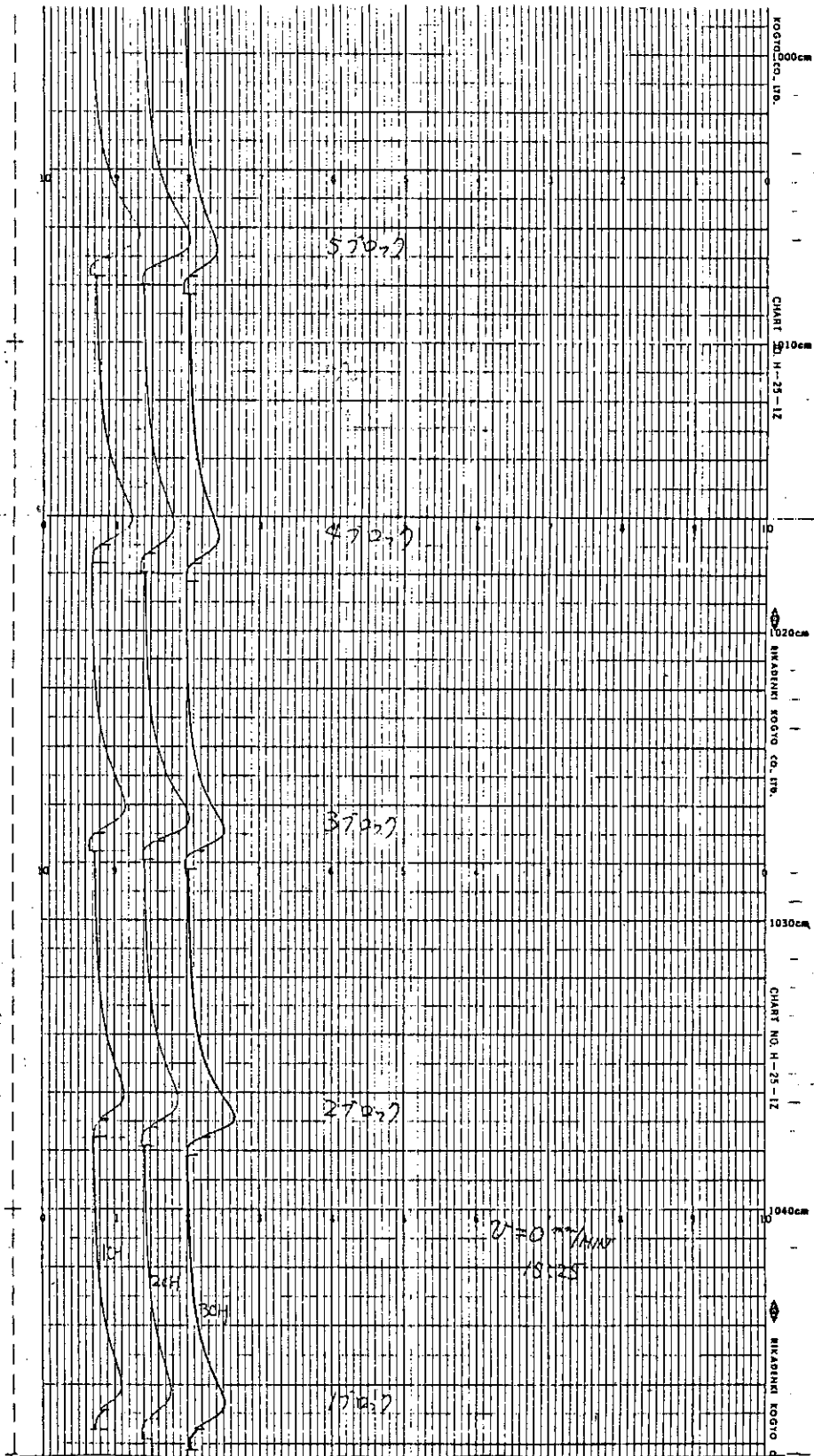
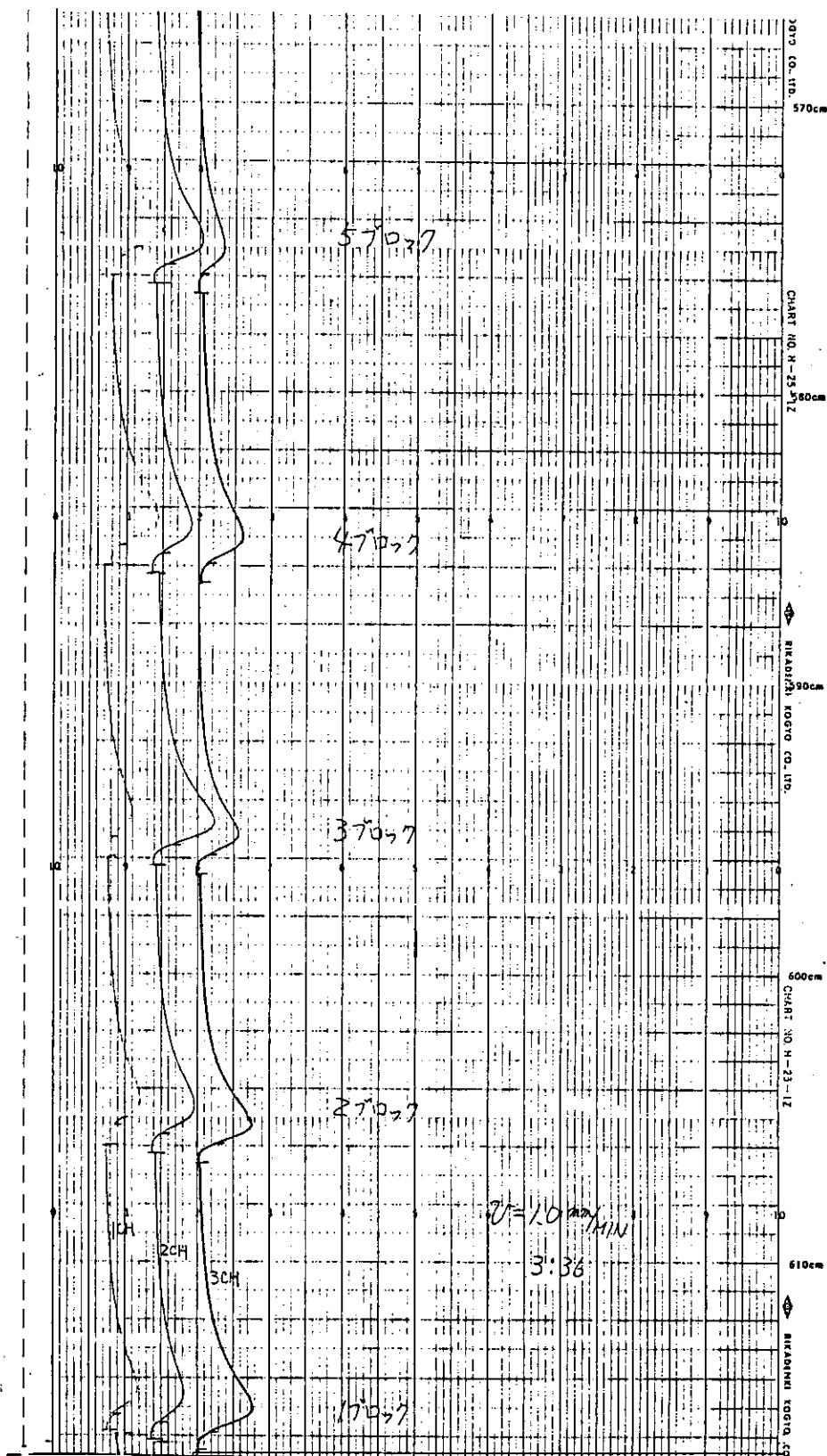


図 6 (続き)



(1)  $V = 0 \text{ mm/min}$  ( 1 ~ 3 ch )

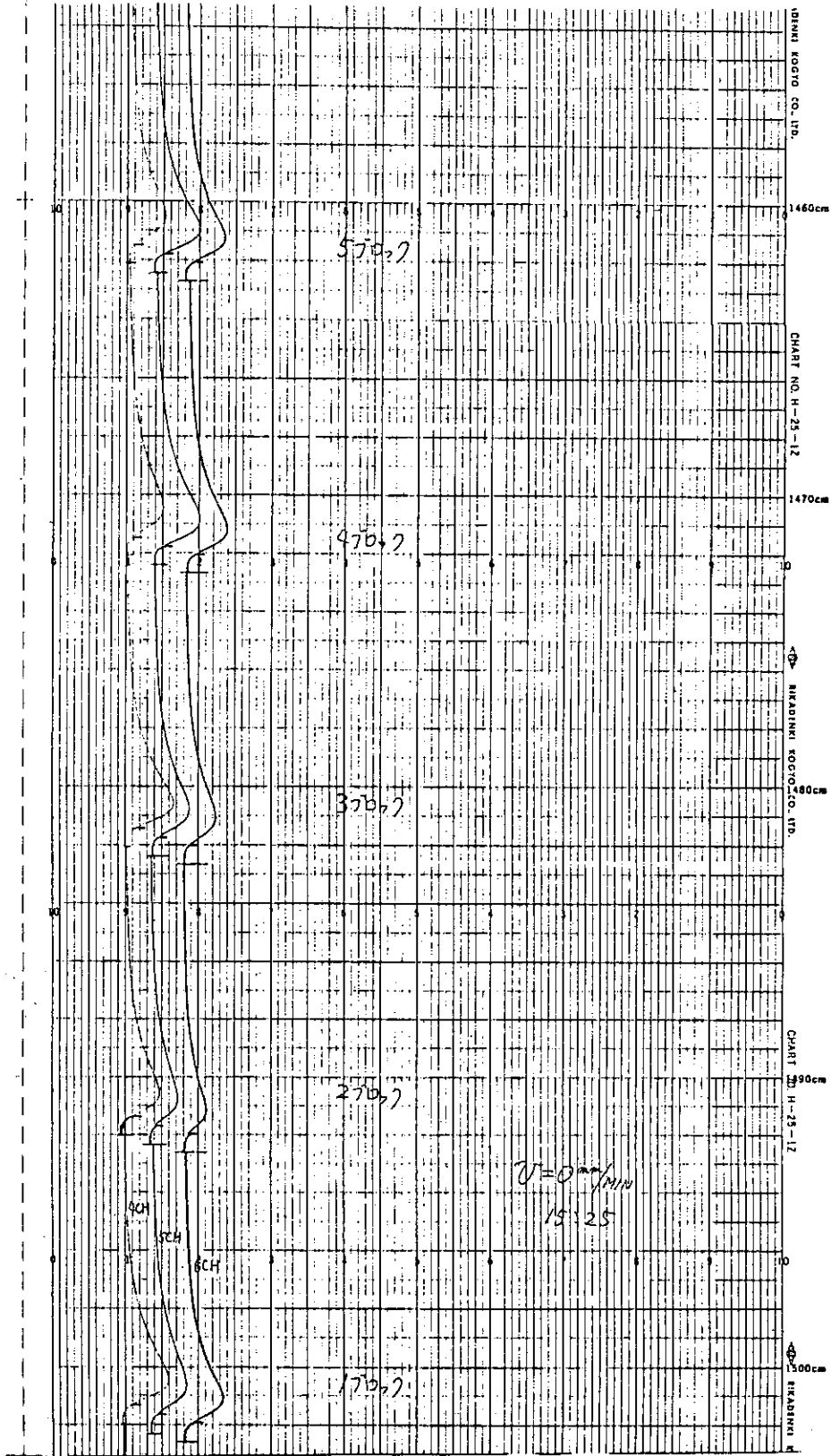
図7 各水流速測定箇所における温度変化



(2)  $V = 1.0 \text{ mm} / \text{min} (1 \sim 3 \text{ ch})$

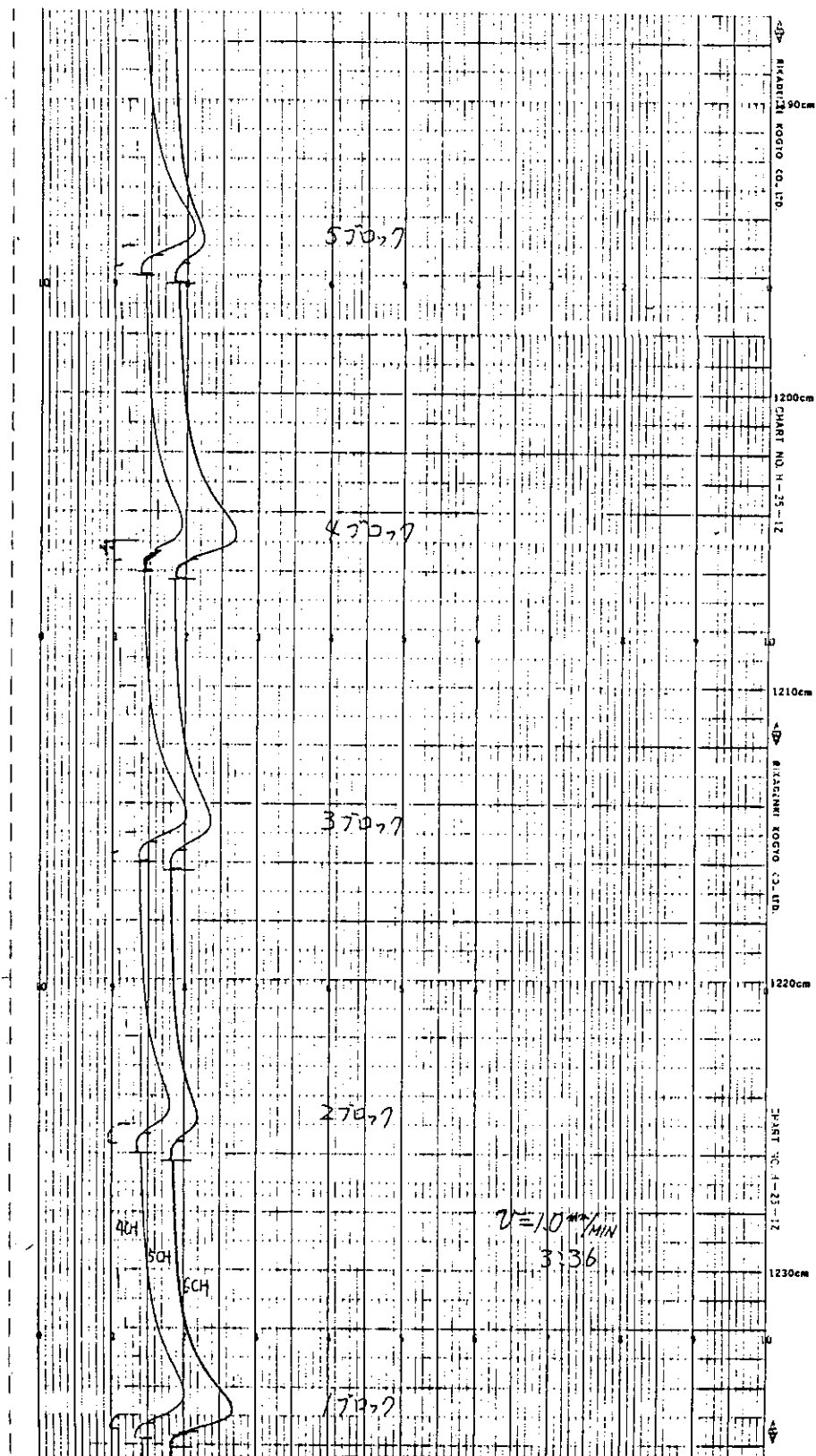
図7 (続き)





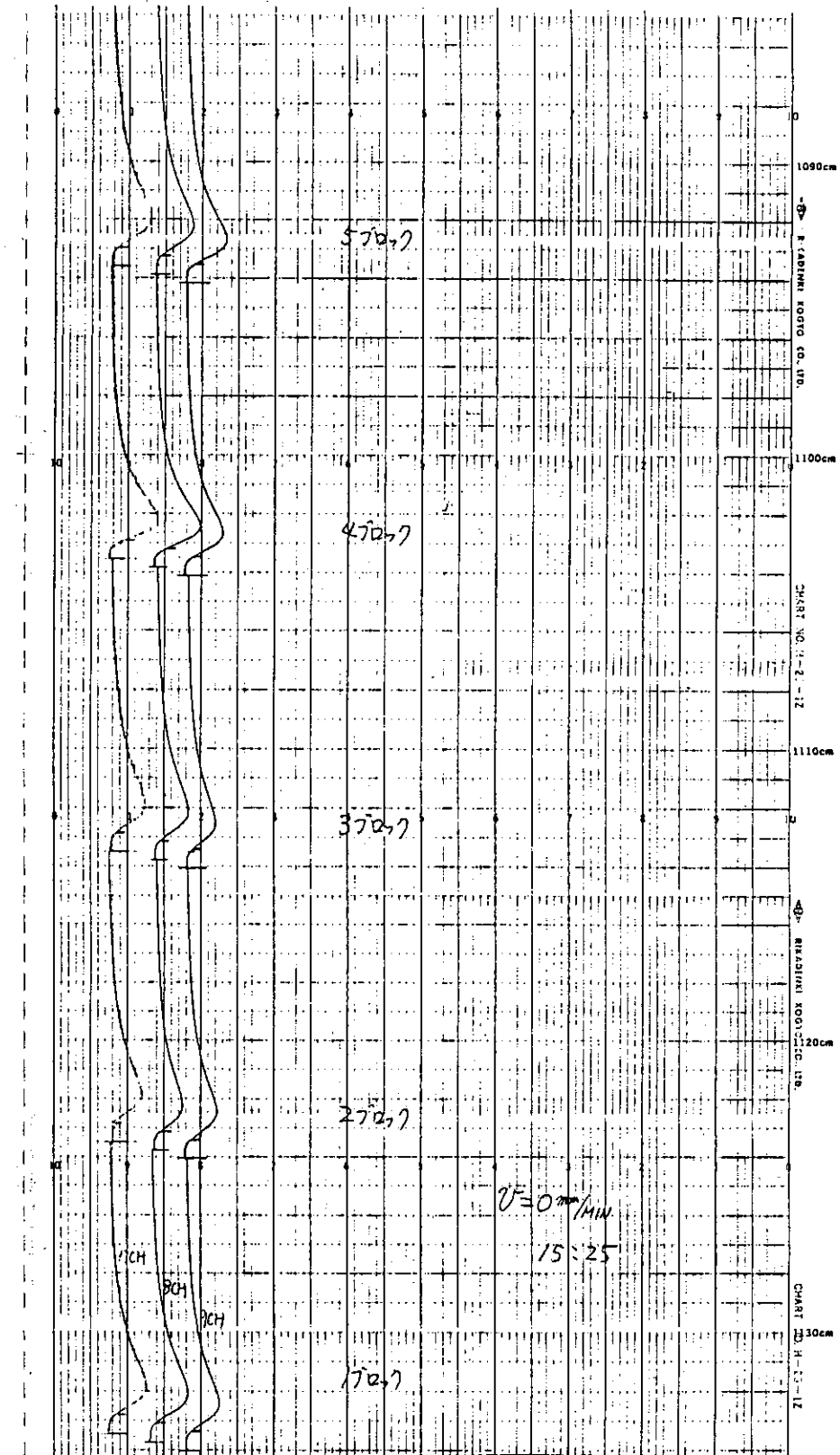
(3)  $V = 0 \text{ mm/min}$  ( 4 ~ 6 ch )

図 7 ( 続き )



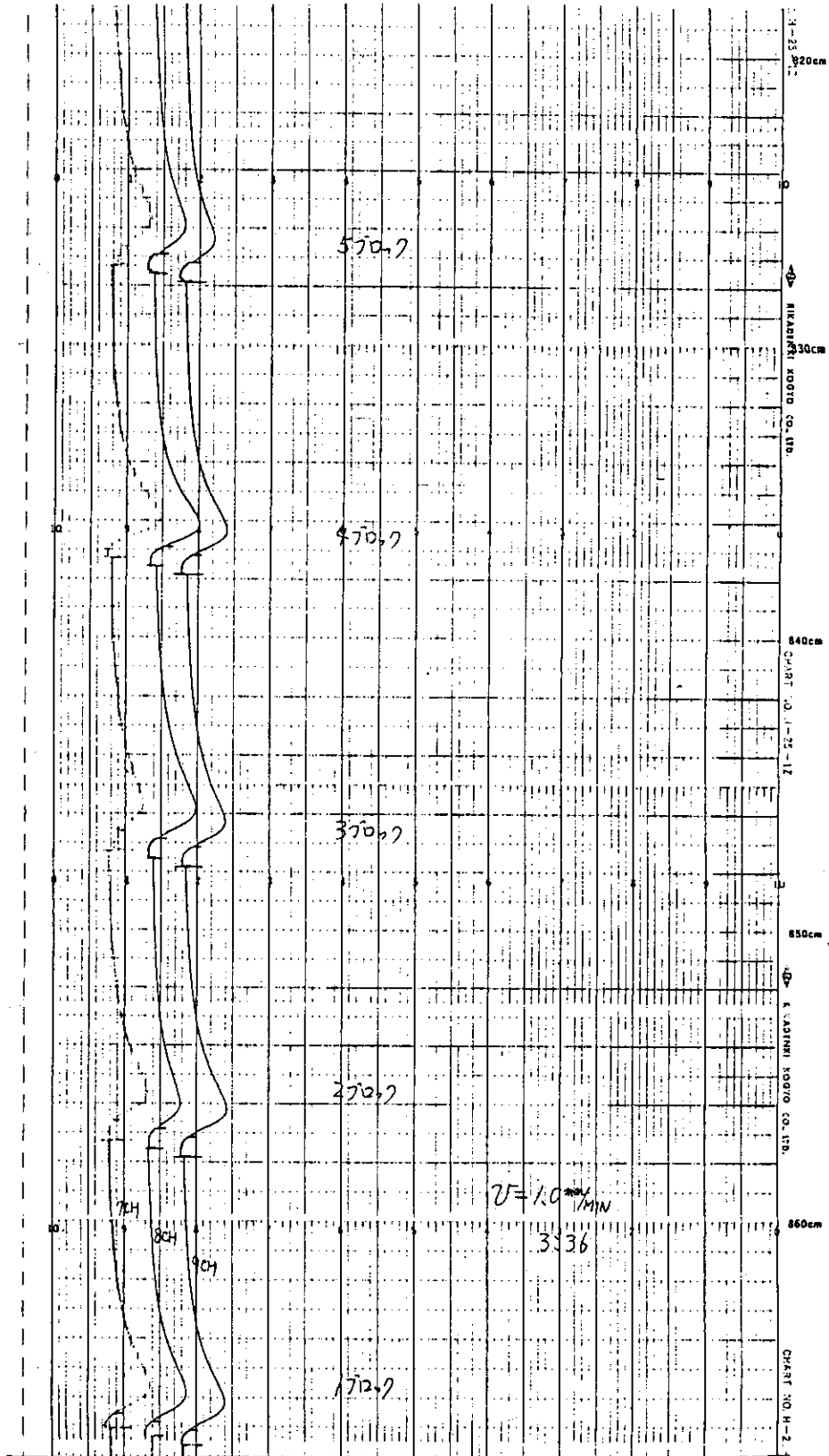
(4)  $V = 1.0 \text{ mm / min}$  ( 4 ~ 6 ch )

図 7 ( 続き )



(5)  $V = 0 \text{ mm/min}$  ( 7 ~ 9 ch )

図 7 ( 続き )



(6)  $V = 1.0 \text{ mm/min}$  ( 7 ~ 9 ch )

図7 ( 続き )

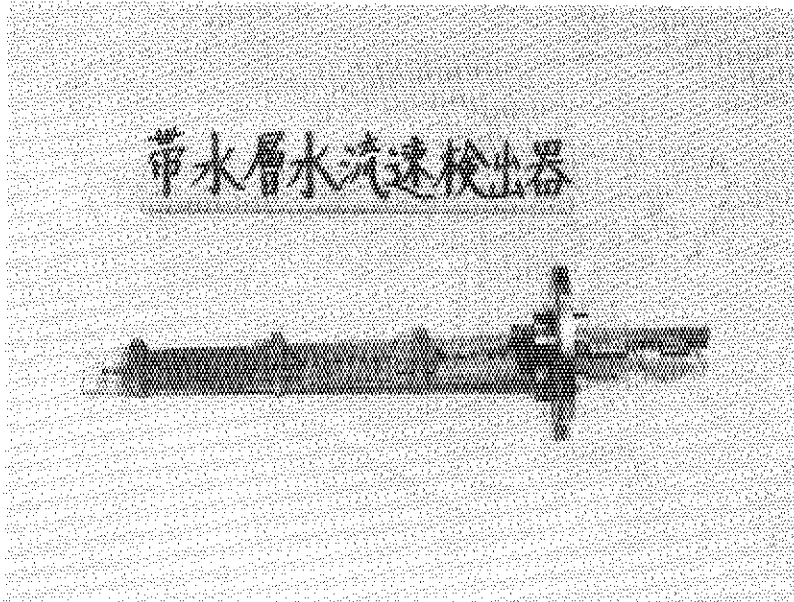


写真1 検出部



写真2 電源部，制御計測部，記録部およびデータ処理部

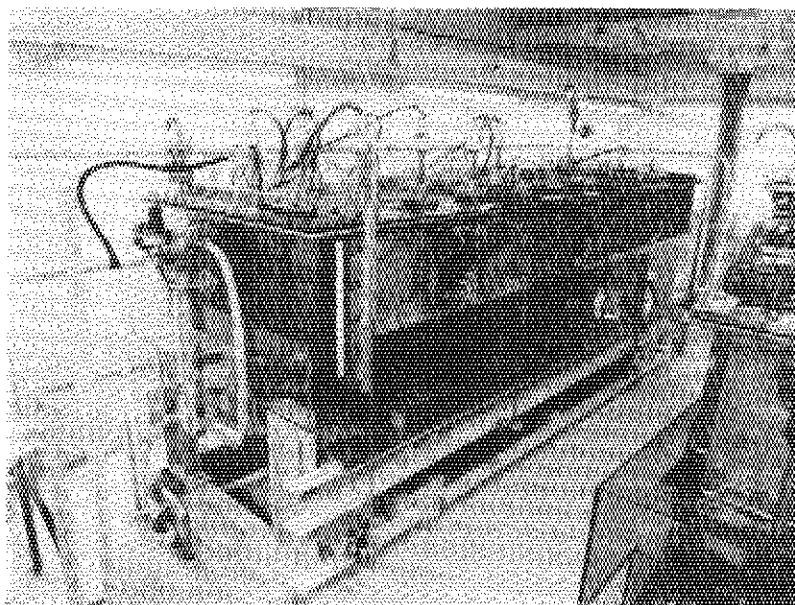


写真3 帯水層槽

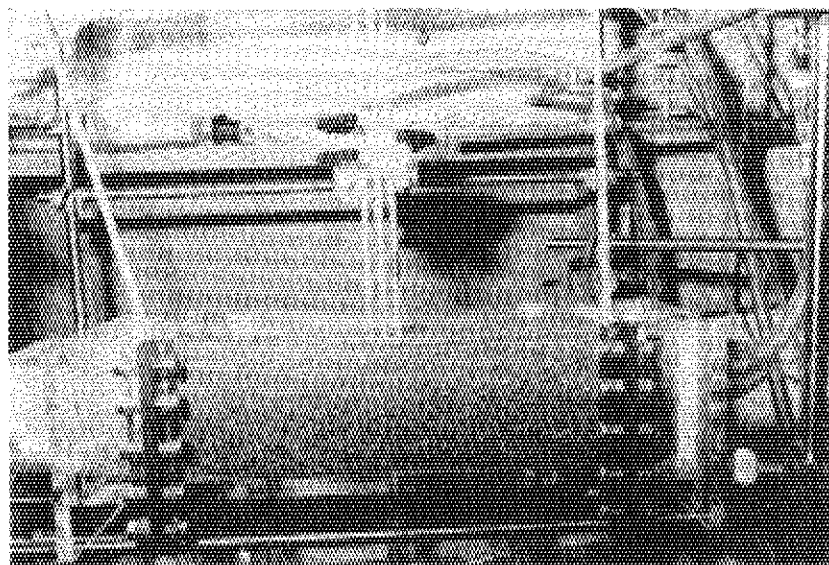


写真4 検量線作成用の土壌槽