

JAERI-M
85-217

地中シミュレーション装置の性能試験

1986年1月

山本 忠利・大塚 芳郎・武部 慎一・大貫 敏彦
小川 弘道・古宮 友和・原田 芳金*・和達 嘉樹

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）にて、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, 1986

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 日青工業株式会社

地中シミュレーション装置の性能試験

日本原子力研究所東海研究所環境安全研究部

山本 忠利・大塚 芳郎・武部 慎一・大貫 敏彦
小川 弘道・古宮 友和・原田 芳金*・和達 嘉樹

(1985年12月19日受理)

天然バリア中における放射性核種の挙動を調べるために、自然状態の土壌を用いて試験できる地中シミュレーション装置について、性能試験を行った。本装置は、通気層用装置、帯水層用装置、ウェザールーム空調装置、水流速測定装置、核種移動速度測定装置等から構成される。性能試験として、各装置の特性試験を実施し、さらに実際の試験と同一条件下で通気層用装置と帯水層用装置の総合試験を実施したところ、各試験において所定の性能がそれぞれ得られることを確認した。

本報告は、地中シミュレーション装置の性能試験結果についてまとめたものであり、各性能試験ごとに、目的、方法および結果に区分して記述したものである。

*現在、三井金属鉱業株式会社

JAERI-M 85-217

Performance Tests on Simulation Apparatuses of Shallow Land

Tadatoshi YAMAMOTO, Yoshiro OHTSUKA, Shinichi TAKEBE,
Toshihiko OHNUKI, Hiromichi OGAWA, Tomokazu KOMIYA,
Yoshikane HARADA* and Yoshiki WADACHI

Department of Environmental Safety Research,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received December 19, 1985)

Performance tests on simulation apparatuses of shallow land, in which natural condition soil can be used as testing materials, were carried out to study the migration behavior of radionuclides in a natural barrier. The apparatuses consist of the simulation apparatuses for aerated and aquifer zones, the air control apparatus, the measurement apparatuses of water and radionuclide moving velocities, etc. As performance tests, characteristics tests were done for these apparatuses and overall test of the simulation apparatuses for aerated and aquifer zones was also done under the actual test condition. It was confirmed that the all of apparatuses have achieved the designated performance requirements.

This report describes the results of performance tests on simulation apparatuses of shallow land, which is categorized into three parts, that is, objective, method and result.

Keywords: Simulation Apparatuses, Shallow Land, Migration Behavior, Aerated Zone, Aquifer Zone, Soil, Natural Barrier, Performance Test

* Mitsui Mining & Smelting Co. Ltd.

目 次

1. まえがき	1
2. 試験装置の特性試験	2
2.1 通気層用装置	2
2.2 帯水層用装置	4
2.3 ウェザールーム空調装置	6
2.4 通気層水流速測定装置	8
2.5 帯水層水流速測定装置	8
2.6 核種移動速度測定装置	9
2.7 除染装置	10
2.8 廃棄物処理装置	11
2.9 土壌サンプリング装置	12
3. 試験装置の総合試験	13
3.1 通気層用装置	13
3.2 帯水層用装置	13
4. あとがき	15
参考文献	15

Contents

1. Introduction	1
2. Characteristics tests of apparatuses	2
2.1 Simulation apparatus for aerated zone	2
2.2 Simulation apparatus for aquifer zone	4
2.3 Air control apparatus	6
2.4 Measurement apparatus of water moving velocity in aerated zone	8
2.5 Measurement apparatus of water moving velocity in aquifer zone	8
2.6 Measurement apparatus of radionuclide moving velocity in soil	9
2.7 Decontamination apparatus	10
2.8 Waste packaging apparatus	11
2.9 Soil sampling apparatus	12
3. Overall test of simulation apparatuses	13
3.1 Simulation apparatus for aerated zone	13
3.2 Simulation apparatus for aquifer zone	13
4. Remarks	15
References	15

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昭和58年末で200ℓドラム缶の数にして約52万本に達しており、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陸地処分はすでに多くの国々が実施しており、それぞれ国情に合った処分方式が採用されている。我が国の場合、雨が多く地下水位も浅いなどの地理的要因と、人口密度が高いなどの社会的要因から、処分を実施するにあたっては、十分な現地調査と精度の高い環境安全評価が必要である。

陸地処分に関する我が国の方針によると、地表面近くの地中に構築したコンクリート構造物中にパッケージ化した廃棄物を処分する方法が考えられている¹⁾。このような処分方式で廃棄物を浅地中に処分した場合、通気層と帯水層から構成される天然バリアにおける放射性核種の挙動について、正確な情報が必要である。

放射性核種の地中移動を把握するには、放射性物質を用いて水理学的なフィールド試験を行うことが最も直接的な方法であるが、我が国ではこのようなフィールド試験の実施は非常に困難である。そのため、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を製作し、施設内で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を行う計画を立てた²⁾。

56年度と57年度に試験施設の建設³⁾を行い、引続き57年度と58年度に地中シミュレーション装置等の内装機器の整備⁴⁾を行った。58年度後半から各内装機器の試運転を行い、引続き日本原子力研究所敷地内の海岸砂層を対象として、 ^{60}Co 、 ^{85}Sr および ^{137}Cs の主要放射性核種について地中移動試験を実施した。一方、透水係数の小さい土壌試料に対し促進試験ができるように地中シミュレーション装置に改良を加えた。

本報告は、天然バリア中における放射性核種の挙動を調べるために製作した地中シミュレーション装置（通気層用装置、帯水層用装置等）について性能試験を実施したので、その結果についてまとめたものである。

2. 試験装置の特性試験

2.1 通気層用装置

本装置(図1)の特性試験として、1) 散布試験、2) 流下安定試験、3) サンプルング試験、4) 流下液量測定試験、および5) ポイント流下試験を実験した。各試験の詳細を以下に述べる。

2.1.1 散布試験

1) 目的

水を使用して散布器を運転し、散布状態が均一であること、および戻り液量の比率が所定条件(20%)以下であることを確認する。

2) 方法

本試験における流量を300mmφ通気層カラム(A, B, C系列)で0.5 l/minおよび1 l/minに、600mmφ通気層カラム(D系列)で1.5 l/minおよび3 l/minに調整し、5分間水を流下した。その流下時に流入カラム下に設置した計量用受皿(内容積を6ブロックに分割したもの)で流下液を受けるとともに戻り液配管から流出する水をポリ容器に受けて採水した後、各ブロックおよび戻り液配管からの液量をメスシリンダーで測定した。なお、受皿のブロック番号は装置前面から反時計回りにNo.1~No.6とし、散布器モーターの回転数は450 r.p.mとした。

3) 結果

本試験の結果をまとめて表1に示す。

散布状態の均一性については、1ブロック当りの平均液量に対する各ブロックの液量の誤差が10%以下と良好なものであった。また、全散布液量に対する戻り液量の比率は20%以下と所定条件を満足していることが確認できた。さらに本試験において均一性および戻り液量の比率にバラツキを生じたが、これは流量変化によるものでなく、主に散布器ノズルの方向と径のバラツキによるものと考えられる。

2.1.2 流下安定試験

1) 目的

通気層カラムに土壌を充填した後、水を使用して流下運転を行い、安定した運転状態が得られることを確認する。

2) 方法

各系列の流量を設定し(A系列: 0.2 l/min, B系列: 0.4 l/min, C系列: 0.13 l/min, D系列: 1.03 l/min), A, B系列およびC, D系列の2系列を3時間同時運転を行い、温度、流量、流量積算等の時間的変化が安定したものであることを確めた。温度は試料液タンク、流入液配管および流出液配管内の液温を、流量は流入側の瞬時流速を、流量積算は流入側の値を記録させた。使用した土壌は未調整原研砂である。

3) 結果

本試験の温度、流量および流量積算の記録データを図2～7にそれぞれ示す。試料液タンク温度、流入液温度および流出液温度は、23～25℃で安定していた。また、流入液の流量は各系列の設定値で、流量積算値は各系列の流量に対して安定した値を記録した。

2.1.3 サンプリング試験

1) 目的

水が通気層カラムから一定の流速条件下で流出しているとき、オートサンプラーにより一定量(1ℓ)ずつサンプリングができることを確認する。

2) 方法

各系列の流量を設定し(A系列: 0.23 ℓ/min, B系列: 0.42 ℓ/min, C系列: 0.08 ℓ/min, D系列: 0.9 ℓ/min), 通気層カラムからの流出液をオートサンプラーで5分間隔ごとに24個連続サンプリングし、各サンプリング量を秤量した。

3) 結果

オートサンプラーによる各サンプル番号別のサンプル量を表2に示す。

各系列のサンプル誤差は-3.3～+2.1 mlであり、サンプリング精度が良好であり、かつ流量の違いによるサンプリングの影響も認められなかった。

2.1.4 流下液量測定試験

1) 目的

通気層カラム内土壤中の流下液量の液面計による読取り精度および通気層カラムの流入側液量と流出側液量の水収支について確認する。

2) 方法

- ① A系列の装置を用い、通気層カラムに土壤を充填した後、戻り液が試料液タンクへ戻る状態にして流量を0.12 ℓ/minに設定し、9時間48分の流下運転を行った。流下液量は、試料液タンクの液面計の読取り値とタンク内試料液のメスシリンダーによる実測値を求め比較した。
- ② C系列の装置を用い、通気層カラムに土壤を充填した後、戻り液をポリ容器に受ける状態にして流量を0.13 ℓ/minに設定し、9時間48分の流下運転を行った。流下液量は、試料液タンクの液面計の読取り値とタンク内試料液のメスシリンダーによる実測値を求め比較した。
- ③ A系列およびC系列装置の同時運転を行い、二つの系列の試料液タンクの液量実測値の合計を総流入液量とし、二つの系列のオートサンプラー採水量および流出液計量容器の液面計の読取り値の合計を総流出液量として水収支の確認を行った。なお、本測定は①および②の運転時に並行して行ったものである。

本試験における試料液の流れを図8に示す。

3) 結果

系列別の流下液量の比較および通気層カラムの水収支の測定結果を表3に示す。

流下液量の比較は、AおよびC系列ともに実測値と読取り値が同値かそれに近い値を示し、液

面計での読取り精度が良好であることが確認できた。また、通気層カラムの水収支についても 0.5% の誤差であるので、オートサンプラーの採水精度および流出液計量容器の読取り精度も良好であることが確認できた。

2.1.5 ポイント流下試験

1) 目的

土壤中に漏出した放射性水溶液が降水によって流下する状況を想定した試験で、散布器からの散水と並行して、土壤中に挿入したノズルから水を流下し、ノズルの流量変化に伴う土壤表面の状態を観察する。

2) 方法

B系列の装置を用い、土壤表面散布流量を $0.209 \ell/\text{min}$ に設定し、単位面積当りのノズル流量を 24 倍、94 倍、122 倍および 187 倍と変化させ、4 時間あるいは 5 時間の流下時間を要して行った。なお、ノズルは 7.7 mm ϕ のガラス製のもので、一方をマイクロチューブポンプへ接続し、他方は通気層カラムの土壤中へ 5 cm の深さに挿入して固定した。

3) 結果

目視による観察の結果、ノズル流量の変化に伴う土壤表面の変化は認められず、正常な流下状態が確保されていることが確認できた。本試験における土壤試料の充填状態は比較的弛く、水が流れ易い状態にあったためであり、今後は密充填した土壤試料等についても試験を行う必要がある。なお、本試験の流下状況をまとめて表 4 に示す。

2.2 帯水層用装置

本装置(図 9)の特性試験として、1) 流動試験、2) 流下安定試験、3) サンプリング試験、4) ヘッド圧流入試験、および 5) 加圧流入試験を実施した。各試験の詳細を以下に述べる。

2.2.1 流動試験

1) 目的

赤色色素を用いて、土壤が充填された帯水層槽内を均一に水が流れることを確認する。

2) 方法

約 500 ppm の赤色色素(ローダミン B)を帯水層槽内に約 $0.1 \ell/\text{min}$ で 20 時間以上流入させた後、土壤表面から 50 mm 毎に土壤断面を観察し水が土壤内を均一に流れることを確かめた。帯水層槽には底面から約 50 mm のところまで豊浦砂を敷き、その上に未調整原研砂を充填した。槽の傾斜角度は 1° に設定した。

3) 結果

流下終了後、土壤断面を 50 mm 毎に目視により観察したスケッチを図 10 に示す。赤色色素が帯水層土壤中を下流方向へほぼ均一に流れたが、高さ方向の流れを比べると、下層が速く流れる傾向にあることが認められた。なお、図 11 は流動試験における温度、流量、流量積算の記録データである。

2.2.2 流下安定試験

1) 目的

帯水層槽に土壌を充填した後、水を使用して流下運転を行い、安定した運転状態が得られることを確認する。

2) 方法

流量約 0.3 l/min で、6 時間以上の水流下運転を行い、温度、流量、流量積算等の時間的変化が安定したものであることを確かめた。温度は試料液タンク、流入槽および流出槽内の液温を、流量は流入側の瞬時流速を測定し記録させた。流量積算については流入側および流出側の両方の値を記録させた。槽の傾斜角度は 5° に設定した。試験は帯水層槽の A 型および B 型の両方について行った。

3) 結果

流下安定試験における温度、流量、流量積算の記録データを図 12 と図 13 に示す。試料液タンク、流入槽、流出槽の温度は $24 \sim 26^\circ\text{C}$ で安定していた。また、流入液の流量は $18 \sim 20 \text{ l/hr}$ で安定していた。流入液と流出液の積算値については帯水層槽 A 型では流入側が初期に多少大きかったが、それ以外は流入側と流出側の値がほぼ平行して上昇した。これは帯水層槽内の水位が平衡になっていなかったためと考えられる。

2.2.3 サンプルング試験

1) 目的

水が帯水層槽から一定の流速条件下で流出しているとき、オートサンプラーにより一定量 (1 l) ずつサンプルングができることを確認する。

2) 方法

流量が 0.3 l/min および 1 l/min であるとき、オートサンプラーにより 1 l 毎に 24 個連続サンプルングし、各サンプル量を秤量した。サンプルングの間隔は 5 分に設定した。

3) 結果

オートサンプラーによる各サンプル番号のサンプル量を表 5 と表 6 に示す。オートサンプラーの A および B のいずれも、 $-3.0 \sim +5.8 \text{ ml}$ のサンプル誤差内に収まっており、精度がきわめて良好であるが、流量の違いによるサンプルングの影響が多少認められた。

2.2.4 ヘッド圧流入試験

1) 目的

土壌を充填した帯水層槽において、流入流量とヘッド圧差 (流入槽と流出槽の水位差) との間に直線性が得られることを確認する。

2) 方法

帯水層槽 (B 型) を使用して、未調整原研砂を対象としたときの流入流量とヘッド圧差との関係を求めた。この場合、流入流量としては $0.1, 0.2, 0.3$ および 0.5 l/min に設定した。一方、それぞれの流入流量に対応して、ヘッド圧差が得られるように傾斜角度を変化させた。なお同時に、前記関係に及ぼす傾斜角度の影響および定常状態 (流入流量と流出流量が一致して、ヘッド

圧が平衡状態になるとき)になるまでの時間変化も調べた。

3) 結果

試験結果の1例として、流入流量を0.2 ℓ/minに設定し、傾斜角度を1°にしたとき、流入流量、流出流量およびヘッド圧差の時間的変化を図14に示す。流入流量については時間的変化はほとんどなかったが、流出流量については時間とともに上昇し、5時間以上のところで飽和状態になった。ヘッド圧差は流出流量の時間変化曲線と同じ様相を呈し、約160mmのヘッド圧差で飽和した。図15は各流入流量に対するヘッド圧差を求めた結果を基にしてまとめたものである。両者の間には直線性が存在し、傾斜角度(1~5°)には影響を受けなかった。

2.2.5 加圧流入試験

1) 目的

帯水層槽に土壌を充填した後、水を使用して3 kg/cm²G以上の加圧下で、流入試験を行い、安定した運転状態が得られることを確認する。

2) 方法

加圧室の圧力約3.5 kg/cm²G、試料液ポンプの流量約0.5 ℓ/minの下で、5時間以上の連続運転を行い、圧力、土圧、流量積算等の時間的変化が安定したものであることを確かめた。圧力は流入室、圧力置換タンクおよび加圧室内の水圧を、土圧は帯水層槽の上流、中流、下流の3箇所における上部の土圧を測定し記録させた。流量積算については、流入側および流出側の両方の値を記録させた。使用した土壌は愛知県瀬戸市産の8号砂(150~270メッシュ)である。

3) 結果

流入試験における圧力、土圧、流量積算の記録データを図16~18に示す。流入室、圧力置換タンクおよび加圧室の圧力はそれぞれ0.45、3.4および3.4 kg/cm²Gで安定していた。流入室の圧力が加圧室のそれに比べ低いのは、帯水層槽への加圧作用が流入室まで及ばないためと考えられる。また、帯水層槽の上流、中流、下流における土圧はそれぞれ0.9、0.7および0.4 kg/cm²Gで安定していた。流入液と流出液の積算値については、ほぼ平行して上昇した。この場合、流入流量は33 ℓ/hrの安定な状態であった。

2.3 ウェザールーム空調装置

本装置の特性試験として、1) 定常運転試験、および2) 非定常運転試験を実施した。両試験の詳細を以下に述べる。

2.3.1 定常運転試験

1) 目的

本装置を24時間連続運転し、ウェザールーム室内の温度、湿度および差圧の状態が所定の条件で安定して保たれることを確認する。

2) 方法

本装置のエアフローシートを図19に示す。中央盤の排気ファンおよび給気ファンの起動ス

スイッチを入れ、24時間連続運転を行い、ウェザールーム室内の温度 $15 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $40 \sim 80\%$ 、差圧 -5 mmAq で安定した状態が得られることを確かめた。温湿度は中央盤の自記記録計で通気層および帯水層の両室について24時間連続測定した。差圧は同盤の差圧指示計で両室について1時間毎に24時間測定した。なお、試験時には試験ホールを 23°C にコントロールし、ウェザールーム室との差を約 5°C に設定した。

3) 結果

通気層室および帯水層室における温度、湿度の記録を図20に示す。温度については $16 \sim 21^{\circ}\text{C}$ の範囲で収まっており、大きな変動は見られなかった。通気層室の温度が帯水層室のそれより $1 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 低かった。定常状態でのウェザールーム室内の温度分布については、図21に示すごとく場所による違いが認められなかった。通気層室の温度が低く検出されるのは、温度検出器が冷氣吹き込み口の下に取付けられているためである。

一方、湿度については、 $55 \sim 80\%$ の範囲内で周期的な大きな変動が見られた。通気層室の湿度が温度との関係で帯水層室より高くなる傾向が出た。本装置では、パン型加湿器による湿度調整方式を採っているため、機器発停と同調した、周期的な変動が生じるものと考えられる。差圧については、両室のいずれも、 -5 mmAq で安定していた。

2.3.2 非定常運転試験

1) 目的

本装置ウェザールーム室の扉および天井を開口状態にしたとき、ウェザールーム室内の温度、湿度および差圧の状態がどのように変化するかを確認する。

2) 方法

ウェザールーム室の扉および天井の開口状態下で、2.3.1の定常運転試験と同じ条件で運転を行い、温度、湿度および差圧に関する定常状態がどのように移行するかを確かめた。本試験で実施した扉および天井の開口状態を表7に示す。6種類(A~F)の開口状態における試験を各4時間以上行った。ウェザールーム室本体の配置(扉および天井)を図22に示す。

3) 結果

通気層室の天井開口部全開と半開の状態(CとE)のとき、温度と湿度には大きな乱れがなく、両者の間に大きな差は見られなかった。通気層室の扉を開放する(A)と、通気層室内の温度が試験ホール外気の影響を受け、定常運転時より約 2°C 高くなった。一方、帯水層室の天井開口部全開と半開の状態(DとF)のとき、通気層室の場合と異なり、通気層室の温度が過冷却になった。帯水層室内の温度および両室の湿度については、大きな乱れが起こらなかった。また、天井開口部の違いによる影響度の差は見られなかった。帯水層室の扉を開放した場合(B)には、通気層室に対する温度の過冷却が一番大きかった(14°C)。差圧については、いずれの開口状態においても、試験ホールの圧力と平衡になった。なお、非定常運転の平衡に達する時間は約1時間程度であり、運転停止したときの試験ホールとの平衡時間は約4時間程度であった。

非定常運転時における両室の温度および湿度の記録は定常運転時のそれに続いて図20に示す。

2.4 通気層水流速測定装置

1) 目的

通気層土壤中に ^{252}Cf の速中性子線をビーム状に照射し、土壤を透過した ^{252}Cf からの速中性子線を放射線検出器で検出して、そのときの計数率の時間的変化の記録およびデータ処理を行い、水流速が求められることを確認する。

2) 方法

未調整原研砂を充填した通気層カラム (B 系列) まで線源昇降機を移動し、照射器、カラムおよび検出器の中心が一直線上になった所で固定する。そして照射器と検出器の高さを所定の位置にセットする。つぎに、2 とおりの流入方式により土壤表面に水を供給しながら、本装置 (図 23) により土壤中における水分率の時間的変化を計測し、さらにデータ処理を行うことにより水流速を求めた。初期におけるフロント水の浸透速度を土壤表面から 10 cm、40 cm および 70 cm のところで実測した。この場合、流入方式として、①試料液ポンプにより $0.207 \ell/\text{min}$ の流量での散布器による単一散布、②①の状態の下で、マイクロチューブポンプにより $19 \text{ ml}/\text{min}$ の流量でのノズル注入との複合散布をそれぞれ行った。

3) 結果

通気層土壤中の水流速測定における透過中性子線の計数率の時間的変化を図 24 と図 25 に示す。単一散布においては、土壤表面から 10 cm、40 cm および 70 cm のところでの水流速はそれぞれ $2.0 \text{ cm}/\text{min}$ 、 $1.5 \text{ cm}/\text{min}$ および $1.4 \text{ cm}/\text{min}$ となり、深くなるほど、水流速は多少遅くなる傾向を示した。一方、複合散布においては、土壤表面から 10 cm、40 cm および 70 cm のところでそれぞれ $0.67 \text{ cm}/\text{min}$ 、 $0.72 \text{ cm}/\text{min}$ および $0.90 \text{ cm}/\text{min}$ の水流速が得られ、前者の単一散布と逆様な傾向にあることがわかった。また、両散布方式における水流速の間には、大きな違いが見出され、その原因の一つとしてカラム内土壤の保水状態の違いが考えられる。

2.5 帯水層水流速測定装置

1) 目的

帯水層土壤中に検出部を埋設し、水流速を変化させヒーターを加熱して、各チャンネルで検出された温度変化の記録およびデータ処理を行い、水流速が求められることを確認する。

2) 方法

未調整原研砂を充填した帯水層槽 (B 型) に検出器を差込み、ノズルフランジに固定して、試料液ポンプにより流量を $0 \sim 0.34 \ell/\text{min}$ (水流速* : $0 \sim 1.25 \text{ mm}/\text{min}$) まで変化させて、本装置 (図 26) により帯水層槽内 45 箇所全ての水流速測定を行い、測定値の平均が設定値の 20% 以内に収まっていることを確めた。帯水層槽内における水流速測定箇所を図 27 に示す。まず、水流速を 0、0.25、0.5、0.75、1.0 および $1.25 \text{ mm}/\text{min}$ の 6 点に変化させた。そのときの設定測定条件は次のとおりである。①加熱時間 20 秒、②電流値 1 A、③測定時間 5 分、④

* 供給流量を帯水層槽内土壤の断面積で除して求めた。

測定間隔 20 分。ヒーターとセンサーの間隔は上流側 20 mm, 下流側 10 mm に固定した。

つぎに, 一定の水流速条件下で, 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, 加熱時間と上昇温度差との間に比例関係があることを確かめた。設定した測定条件は加熱時間を除いて前記と同じである。

3) 結果

水流速測定を行ったデータの 1 例として, 水流速が 0 および 1.0 mm/min であるとき, チャンネル別, ブロック別の上昇温度差および温度変化をそれぞれ表 8 および図 28 に示す。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った。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 9 に示す。各測定値は水流速が 0 mm/min のときの値との上昇温度差に, 換算係数 ($K = 2.22 \text{ mm/min}/^{\circ}\text{C}$) を乗じて求めた。0 ~ 1.25 mm/min の水流速範囲において, 設定値に対する誤差は最大 - 12.0% であった。

つぎに, 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 10 および図 29 に示す。いずれの測定点でも, 加熱時間が長くなるほど温度差が大きくなり, 加熱時間と上昇温度との間には比例関係が存在することが認められた。

2.6 核種移動速度測定装置

1) 目的

本装置は, 土壌中における放射性核種の濃度分布を非破壊的に測定するものであり, 測定対象により, 通気層用および帯水層用に分けられる (図 30)。したがって, その特性試験としては, 通気層および帯水層に対して個別に行い, 本装置により得られた濃度分布と実際の濃度分布との一致性が良好であることを確認する。

2) 方法

a) 通気層

未調整原研砂を 30 cm ϕ \times 120 cm H の通気層カラム内に空隙率 0.4 で充填し, 蒸留水をカラム上部より流下させて通気層を作成した。通気層内に ^{60}Co , ^{85}Sr および ^{137}Cs の混合放射性水溶液を 0.3 ℓ/min の一定流量で流下し, 流下終了後, 本装置により濃度分布を測定した (測定時間は 60 min)。つぎに測定終了後の実際の濃度分布を得るために, 通気層カラムを解体し, 所定の位置から土壌を採取し, 10 g の測定用サンプルを作成して, 純 Ge 半導体検出器を用いて吸着濃度分布を測定した。なお, 放射性水溶液の流下は, 散布器を用いた均一流下法 (^{60}Co ; $1.2 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}/\text{ml}$, ^{85}Sr ; $3.0 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}/\text{ml}$, ^{137}Cs ; $2.9 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}/\text{ml}$, 総量 100 ℓ) およびスプリンクラーを用いた不均一流下法 (^{60}Co ; $1.3 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}/\text{ml}$, ^{85}Sr ; $3.2 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}/\text{ml}$, ^{137}Cs ; $3.0 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}/\text{ml}$, 総量 50 ℓ) の二種類を行った。

b) 帯水層

未調整原研砂を 90 cm W \times 270 cm L \times 45 cm H の帯水層槽内に空隙率 0.4 で充填し, 蒸留水を飽和させて帯水層を作成した。帯水層槽を傾斜させることにより, 蒸留水を 0.3 ℓ/min の一定流量で槽全面に流入させ, 同時に混合放射性水溶液 (^{60}Co ; $1.0 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}/\text{ml}$, ^{85}Sr

; $2.0 \times 10^{-2} \mu\text{Ci/ml}$, ^{137}Cs ; $2.0 \times 10^{-2} \mu\text{Ci/ml}$)を $0.08 \ell/\text{min}$ の一定流量で帯水層上部より深さ 10 cm の位置にポイント流入させた。流入した後(蒸留水約 400ℓ , 放射性水溶液約 100ℓ), 本装置の検出部を図 31 に示した水平位置に挿入し, 濃度分布を測定した(測定時間は 60 min , 深さは 5 cm , 15 cm および 25 cm)。また, 測定終了後, 通気層の場合と同様に帯水層槽を解体し, 所定の位置から土壌を採取し, 純 Ge 半導体検出器を用いて吸着濃度分布を測定した。

3) 結果

a) 通気層

散布器を用いて放射性水溶液を均一に流下させた場合の深さ方向の濃度分布を図 32 ~ 34 に示す。これらの図はそれぞれ ^{60}Co , ^{85}Sr および ^{137}Cs に対する結果であり, 実線は純 Ge 半導体検出器による測定値(濃度分布)を示し, 白丸は本装置により測定された濃度分布を表わしている。3核種とも両者の濃度分布がよく一致しており, 放射性核種が半径方向に均一に分布している場合には, 本装置による測定が十分有効であることがわかった。

つぎにスプリンクラーを用いて放射性水溶液を不均一に流下させた場合の深さ方向の濃度分布を図 35 ~ 37 に示す。これらの図はそれぞれ ^{60}Co , ^{85}Sr および ^{137}Cs に対する結果であり, 実線は通気層カラム中心, 破線は中心より 7.5 cm , 一点鎖線は中心より 12.5 cm の位置の濃度分布(純 Ge 半導体検出器による測定値)を示し, 白丸は本装置により測定された濃度分布を表わしている。本装置により測定された濃度分布は, 中心より 7.5 cm の位置の濃度分布によく一致している。したがって, 放射性核種が半径方向に不均一に分布している場合には, 2次元的な濃度分布測定が必要であると考えられる。

b) 帯水層

帯水層に対する測定結果を ^{60}Co , ^{85}Sr および ^{137}Cs についてそれぞれ図 38 ~ 40 に示す。これらの図において, 破線は純 Ge 半導体検出器による測定結果, 実線は本装置による測定結果を示し, 上層は深さ 5 cm , 中層は深さ 15 cm , 下層は深さ 25 cm における濃度分布である。全体的に上層における両者の一致は良いが, ^{85}Sr の場合には, スペクトル解析を行う際にそのピークが ^{60}Co および ^{137}Cs のコンプトン散乱により隠れるため, 濃度が低く見積られている。また, 中層および下層においては計数率が低いために上層からの寄与分を差し引くと分布の一致性が悪くなる。 ^{60}Co , ^{137}Cs の存在下で ^{85}Sr のピークを有意に検出するためには, エネルギー分解能の向上が必要であり, 低い計数率を精度よく測定するためには, より高いピーク効率が必要である。したがって, 検出器性能の向上によって, 上記の難点は改善されるものと考えられる。

2.7 除染装置

1) 目的

地中シミュレーション装置に使用した機器, 配管類が本装置により効果的に除染されることを確認する。

2) 方法

絵の具およびチョークを塗付した試験片（SUSおよびPVC）を用いて、一連の除染操作を行い、試験片の表面を目視により検査し、汚れが容易に除去されることを確かめた。本装置による除染に関する試験手順を以下に述べる（図41）。なお、本装置の性能試験時においてRIの使用許可が得られていないため、放射性物質の代替として上記の除染を実施した。

- (1) 洗浄槽に水を満水になるまで給水する。
- (2) 洗浄槽内の水を洗浄ポンプにより攪拌しながら、酸性液タンク内の溶液を酸性液ポンプにより槽内に注入し、所定濃度（ $\text{pH} = 3$ ）の洗浄液を作成する。
- (3) 蒸気を洗浄液に吹込み、所定温度（ $30 \sim 40^\circ\text{C}$ ）まで加温する。
- (4) 洗浄カゴに試験片を入れ、それをホイストで洗浄槽内の洗浄液に浸漬させ、洗浄液ポンプによる循環流に試験片をさらすことにより除染する。
- (5) 除染が終了した後、洗浄液にアルカリ性液タンク内の溶液をアルカリ液ポンプにより注入し中和する。
- (6) 洗浄ポンプのバルブを排水側に切替え、廃液をDPタンクへ排出する。

3) 結果

SUSおよびPVCの試験片について、除染前後におけるそれらの表面状態を写真1～4に示す。いずれの材質の試験片でも、絵の具およびチョークの汚れは完全に除去できた。さらに、試験片の形状（パイプとプレート）の違いによる除染効果の影響は見受けられなかった。

2.8 廃棄物処理装置

1) 目的

地中シミュレーション装置に使用した水を含む土壌を本装置により安全に廃棄物容器（ドラム缶）に収納処理できることを確認する。

2) 方法

水を含んだ土壌を用いて、 200ℓ のドラム缶への土壌収納時間を測定し、土壌が短時間にドラム缶へ安全に収納できることを確かめた。本装置による土壌収納に関する試験手順を以下に述べる（図42）。

- (1) 水を含んだ土壌が充填された廃棄物移動容器をフォークリフトにより廃棄物処理室へ運搬する。
- (2) 移動容器をホイストでホッパーの上部まで移動する。
- (3) 移動容器を所定の高さまで下し、静かに反転させて土壌をホッパーに投入する。
- (4) 土壌をホッパーへ投入した後、土壌払い出し機を起動させ、土壌を空のドラム缶へ充填する。
- (5) ドラム缶の重量を測定し、所定重量に達したとき、土壌払い出し機を停止する。
- (6) 土壌の入ったドラム缶をドラムポーターで廃棄物保管室に運搬する。

3) 結果

含水率が6.3、8.1および14.7%である土壌について、土壌排出に関する測定データを表

11に示す。いずれの水を含んだ土壌でも、約7分間でドラム缶に安全に収納できた。

2.9 土壌サンプリング装置

1) 目的

通気層カラムおよび帯水層槽に土壌を充填した後、土壌の採取を行い、所定の採取比（採取深さ/押し込み深さ×100）（90%）以上であることを確認する。

2) 方法

土壌サンプリング装置を通気層カラムおよび帯水層槽にセットして土壌の採取を行い、90%以上の採取比が得られることを確かめた（写真5、6）。通気層については、300mmφおよび600mmφの両方のカラムより採取を試みた。通気層カラムおよび帯水層槽における土壌採取位置を図43に示す。また、押し込み深さについては、通気層の300mmφカラムは600mm、600mmφカラムは300mmであり、帯水層は420mmと定めた。

3) 結果

通気層カラムおよび帯水層槽より土壌を採取した結果を表12に示す。通気層および帯水層のいずれも、97%以上の採取比が得られており、圧密がほとんどなく、きわめて良好であった。この場合、土壌としては、5～10%の水分率を有する砂層である。

3. 試験装置の総合試験

3.1 通気層用装置

1) 目的

ホット流下試験に備えて、同一状況で流下運転を行い、①温度、流量および流量積算の記録、②土壤中を流下した水収支、③オートサンプラーの運転状態、④ウェザールームの温度、湿度の記録が長時間安定した状態であることを確認する。

2) 方法

B系列300mmφ通気層カラムに土壤を充填した後、試料液ポンプを0.35ℓ/minに設定し、試料液タンク2台(A系列およびB系列試料液タンク)を用いて50時間の流下運転を行った。なお、試料液タンクの切替は2系統の配管バルブの操作により行った。オートサンプラーのタイマーの設定値(サンプリングの間隔)は55分間隔、ウェザールーム室内の温度は18℃、湿度は50%に設定した。

3) 結果

本試験の温度、流量および流量積算の記録データを図44～46に示す。流下運転状態は、安定していることが確認できた。そのときの水収支を表13に示す。土壤中の総流下液量は743ℓ、平均流量は0.248ℓ/minであった。表14はオートサンプラーの運転状態(1部分)の記録を示したものである。オートサンプラーの試料採取個数は合計55個であった。一方、ウェザールーム室内の温度は18℃、湿度は47～58%でコントロールできた。

3.2 帯水層用装置

1) 目的

ホット流下試験に備えて、同一状況で流下運転を行い、①温度、流量および流量積算の記録、②オートサンプラーの運転状態、③土壤中に挿入したノズルからの水の流入状態が長時間安定した状態であることを確認する。

2) 方法

土壤が充填された帯水層槽(B型)を使用して、試料液ポンプを13.7ℓ/hrに設定し、試料液タンク2台(A系列およびB系列試料液タンク)を用いて50時間の流下運転を行った。なお、試料液タンクの切替は2系統の配管バルブの操作により行った。槽の傾斜角度は約4°に設定した。オートサンプラーのタイマー設定値(サンプリングの間隔)は1時間間隔とした。

さらに、前記の流下運転を行いながら、帯水層槽上蓋から175mm(土壤面から100mm)のところに挿入したノズル(4mmφのガラス製のもの)を介して、電磁定量ポンプにより21ml/min以下の流量で水をポイント流入した。

3) 結果

本試験の温度、流量および流量積算の記録データを図 47～49 に示す。流下運転状態は、安定していることが確認できた。試料液ポンプ停止後、流出液の積算値は多少の増加が認められ、約 8 時間経過した後に流出は終了した。土壤中の総流入液量は 684 ℓ、平均流量は 13.7 ℓ/hr であった。表 15 はオートサンプラーの運転状態（1 部分）の記録を示したものである。オートサンプラーの試料採取個数は合計 46 個であった。

さらに、ノズルによるポイント流入状態については、ノズル上部に設けた液留の部の水位を帯水層槽上部より約 280 mm のところで維持することができ、そのとき槽全体の流入流量に対して約 1/11 のノズルの流入流量を得た。

4. あとがき

以上、地中シミュレーション装置の性能試験結果について述べた。特に各試験装置の特性試験、および実際の試験条件下での通気層用装置と帯水層用装置の総合試験を実施した結果について詳述した。すでに、海岸砂層に対する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を終了し、得られた試験データの解析評価を進めているところである。次の試験として、我が国の代表的表面地層であるローム層を対象とした環境シミュレーション試験を行う。この土壌は透水係数が小さいので、通気層カラム全体を吸引することにより減圧下で水の浸透を促進する装置を通気層用装置に付加し、促進試験ができるように対処している。

最後に、本地中シミュレーション装置の設計および製作にあたり、所内外における関係各位に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会：“放射性廃棄物処理処分方策について”（中間報告）、（1984）
- (2) 和達嘉樹，他：日本原子力学会誌，24，182（1982）
- (3) 山本忠利，原田芳金，斎藤和明，和達嘉樹：JAERI-M82-143（1982）
- (4) 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-M84-125（1984）

4. あとがき

以上、地中シミュレーション装置の性能試験結果について述べた。特に各試験装置の特性試験および実際の試験条件下での通気層用装置と帯水層用装置の総合試験を実施した結果について詳述した。すでに、海岸砂層に対する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を終了し、得られた試験データの解析評価を進めているところである。次の試験として、我が国の代表的表面地層であるローム層を対象とした環境シミュレーション試験を行う。この土壌は透水係数が小さいので、通気層カラム全体を吸引することにより減圧下で水の浸透を促進する装置を通気層用装置に付加し、促進試験ができるように対処している。

最後に、本地中シミュレーション装置の設計および製作にあたり、所内外における関係各位に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会：“放射性廃棄物処理処分方策について”（中間報告）、（1984）
- (2) 和達嘉樹，他：日本原子力学会誌，24，182（1982）
- (3) 山本忠利，原田芳金，斎藤和明，和達嘉樹：JAERI-M82-143（1982）
- (4) 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-M84-125（1984）

表1 散布器による散布状態の均一性

カラムNo.		A 系 列				B 系 列			
項目									
条件									
流 量	ℓ/min	0.48		1.03		0.42		1.0	
散布器回転数	R/M	450		450		450		450	
測定時間	min	5		5		5		5	
結果									
散布量	No. 1 ml	348	2.3	744	-0.3	288	-6.1	635	-5.0
	2	325	-4.5	753	0.9	312	1.7	695	3.9
	3	359	5.5	794	6.4	321	4.7	679	1.5
	4	332	-2.4	696	-6.8	280	-8.7	640	-4.3
	5	325	-4.5	735	-1.5	320	4.3	693	3.6
	受皿 6	352	3.5	757	1.4	319	4.0	670	0.2
平均値	ml	340. ²		746. ⁵		306. ⁷		668. ⁷	
戻り量	ml	351	14.7	657	12.8	275	13.0	1006	20.0
合 計	ml	2392		5136		2115		5018	

カラムNo.		C 系 列				D 系 列			
項目									
条件									
流 量	ℓ/min	0.48		1.08		1.41		2.9	
散布器回転数	R/M	450		450		450		450	
測定時間	min	5		5		5		5	
結果									
散布量	No. 1 ml	295	-8.2	750	1.3	1006	1.8	2055	5.9
	2	310	-3.5	729	-1.6	1044	5.6	1889	-2.6
	3	295	-8.2	735	-0.7	948	-4.1	1954	0.7
	4	340	5.8	775	4.7	900	-8.9	1778	-8.4
	5	338	5.2	712	-3.8	1017	2.9	1940	0
	受皿 6	349	8.7	742	0.2	1015	2.7	2026	4.4
平均値	ml	321. ¹		740. ⁵		988. ³		1940. ³	
戻り量	ml	482	20.0	934	17.4	1103	15.7	2910	20.0
合 計	ml	2409		5377		7033		14552	

表2 オートサンプラーによる採水量

サンプル No.	サ ン プ ル 量 (ml)				
	オートサンプラーA	オートサンプラーB	オートサンプラーC	オートサンプラーD	
1	991.0	993.7	994.8	989.8	
2	993.8	999.1	993.7	989.3	
3	993.7	999.2	992.2	988.7	
4	993.2	998.1	994.5	988.2	
5	992.8	998.9	993.2	990.4	
6	993.9	999.2	994.4	988.6	
7	992.1	999.1	993.2	989.2	
8	992.9	996.7	994.6	987.9	
9	992.3	998.4	993.4	990.3	
10	991.2	998.0	994.6	989.2	
11	992.1	997.3	994.0	988.8	
12	992.6	999.1	996.2	991.3	
13	991.2	998.1	996.2	990.1	
14	990.9	996.8	993.7	988.6	
15	988.6	997.3	992.8	990.8	
16	990.1	996.9	994.6	989.2	
17	992.9	996.7	994.6	988.8	
18	990.3	996.8	994.7	990.4	
19	992.2	995.6	994.4	990.4	
20	992.1	996.9	994.3	989.1	
21	990.0	998.5	994.6	990.2	
22	991.1	996.3	992.8	988.7	
23	990.6	996.8	994.9	989.4	
24	994.0	997.5	994.9	991.2	
平均値	991.9	997.5	994.2	989.5	
誤差	Max	+ 2.1	+ 1.7	+ 2.0	+ 1.8
	Min	- 3.3	- 3.8	- 2.0	- 0.9

オートサンプラーA流入流量 0.23 l/min オートサンプラーB流入流量 0.42 l/min

オートサンプラーC流入流量 0.08 l/min オートサンプラーD流入流量 0.9 l/min

表3 流下液量測定試験における通気層カラム流下液量および水収支の結果

① A系列の通気層カラム流下液量

測定方法	流下前試料液タンク液量 (a)	流下後試料液タンク液量 (b)	流入側配管内残留液量 (d)	通気層カラム流下液量 (c=a-b-d)
実測値	192.5ℓ	113.7ℓ	1.9ℓ	76.9ℓ
計器読取值	192.5	114.1	1.9*	76.5

② C系列の通気層カラム流下液量

測定方法	流下前試料液タンク液量 (a)	流下後試料液タンク液量 (b)	戻り液量 (c)	流入側配管内残留液量 (d)	通気層カラム流下液量 (e=a-b-c-d)
実測値	192.5ℓ	91.0ℓ	32.4ℓ	1.9ℓ	67.2ℓ
計器読取值	192.5	91.0	32.4*	1.9*	67.2

* 計器読取りが不可能なため実測値を用いた。

③ 水収支

流	入側		出側		合計
	A系列	C系列	A系列	C系列	
76.9ℓ	67.2ℓ	144.1ℓ	40.7ℓ	71.6ℓ	143.4ℓ
				流出液計量容器	

表4 ポイント流下試験における通気層カラム流下条件

Run No. 流下条件	I	II	III	IV
流下時間	5時間	4時間	5時間	4時間
カラム内散布液量	62.7 l	50.2 l	62.7 l	50.2 l
カラム内散布流速*	209 ml/min	209 ml/min	209 ml/min	209 ml/min
ノズル液量	1 l	3.1 l	5.2 l	6.3 l
ノズル流速	3.3 ml/min	13 ml/min	17 ml/min	26 ml/min
ノズル流下ポンプダイヤル	4 %	28 %	51 %	100 %
単位面積当り流速比 (ノズル流速 / 散布流速)	24 倍	94 倍	122 倍	187 倍
流下液量合計	63.7 l	53.3 l	67.9 l	56.5 l

* 散布流速は試料液タンク液面計より間接的に求めた平均流速である。

表5 オートサンプラーによる採水量

サンプルNo.	サンプル量 (ml)		
	オートサンプラー A	オートサンプラー B	
1	1003.5	991.6	
2	1001.8	993.4	
3	1002.8	991.0	
4	1001.9	991.1	
5	1002.9	992.6	
6	1003.2	990.3	
7	1003.2	991.2	
8	1002.1	991.3	
9	1002.1	988.1	
10	1002.4	989.1	
11	1001.3	989.3	
12	1002.2	989.0	
13	1002.7	989.6	
14	1000.7	990.5	
15	1000.5	990.2	
16	1002.1	989.7	
17	1002.7	991.3	
18	1002.7	989.8	
19	1001.5	990.9	
20	1001.5	988.8	
21	1002.1	991.4	
22	1001.7	991.0	
23	1000.7	991.2	
24	1002.8	990.6	
平均	1002.1	990.5	
誤差	Max	+ 1.3	+ 2.7
	Min	- 1.7	- 2.6

流出槽出口流量 : 0.3 l/min

表6 オートサンプラーによる採水量

サンプルNo.	サ ン プ ル 量 (ml)		
	オートサンプラー A	オートサンプラー B	
1	1 0 0 2.1	9 9 3.8	
2	1 0 0 3.8	9 9 1.0	
3	1 0 0 3.4	9 9 1.6	
4	1 0 0 3.4	9 9 1.1	
5	1 0 0 2.1	9 9 2.3	
6	1 0 0 2.3	9 9 1.3	
7	1 0 0 3.0	9 9 0.4	
8	1 0 0 2.6	9 9 2.0	
9	1 0 0 3.5	9 9 2.0	
10	1 0 0 3.4	9 9 3.5	
11	1 0 0 3.1	9 9 2.7	
12	1 0 0 2.7	9 9 2.1	
13	1 0 0 2.9	9 9 3.0	
14	1 0 0 3.8	9 9 3.6	
15	1 0 0 4.2	9 9 9.2	
16	1 0 0 4.4	9 9 3.8	
17	1 0 0 4.7	9 9 4.0	
18	1 0 0 4.1	9 9 6.8	
19	1 0 0 4.2	9 9 4.3	
20	1 0 0 5.6	9 9 4.7	
21	1 0 0 4.8	9 9 5.5	
22	1 0 0 5.2	9 9 7.1	
23	1 0 0 3.5	9 9 3.9	
24	1 0 0 6.6	9 9 2.4	
平均	1 0 0 3.7	9 9 3.4	
誤差	Max	+ 2.9	+ 5.8
	Min	- 1.6	- 3.0

流出槽出口流量：1 ℓ/min

表7 ウェザールーム空調装置特性試験における扉および天井開口状態

○：開放 ×：閉鎖

試運転状態	通気層室				帯水層室			
	扉		天井開口部		扉		天井開口部	
	大	小	全開	半開	大	小	全開	半開
1. 定常運転状態	×	×	×	×	×	×	×	×
2. 非定常運転状態								
A	○	×	×	×	×	×	×	×
B	×	×	×	×	○	×	×	×
C	×	×	○	×	×	×	×	×
D	×	×	×	×	×	×	○	×
E	×	×	×	○	×	×	×	×
F	×	×	×	×	×	×	×	○

表9 各測定個所における水流速測定結果

(1) 流速 $V = 0.25 \text{ mm/min}$

(単位 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9 (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。

表 10 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 $^{\circ}\text{C}$)

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

(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

(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 11 含水率の異なる各土壌の排出時間

含水率 排出時間(min)	6.3 (%)		8.1 (%)		14.7 (%)	
	土壌重量(kg)	電流値(A)	土壌重量(kg)	電流値(A)	土壌重量(kg)	電流値(A)
0.0	0.0	5.6	0.0	5.6	0.0	5.6
0.5	18.0		21.5			
1.0	39.0		—			
1.5	59.0		65.0			
2.0	79.5		86.5			
2.5	99.5		107.5			
3.0	119.5		127.5			
3.5	138.5		148.0			
4.0	159.0		168.0			
4.5	178.5		188.0			
5.0	198.5	207.5				
5.5	218.0	228.0				
6.0	237.0	244.5				
6.5	245.0	259.5				
7.0	255.0					

但し、土壌払い出し機無負荷時の電流値は5.5 A を記録。

表 12 土壌サンプリング結果

種 別	採取位置	押し込み深さ (a)	採取深さ (b)	採取比 (b/a ×100)	種 別	採取位置	押し込み深さ (a)	採取深さ (b)	採取比 (b/a ×100)
通気層カラム (300 mm ϕ)	1	600 mm	599 mm	99.8%	通気層カラム (600 mm ϕ)	1	300 mm	293 mm	97.7%
	2	600	600	100.0		2	300	298	99.3
	3	600	598	99.7		3	300	299	99.7
	4	600	600	100.0		4	300	299	99.7
	5	600	598	99.7		5	300	299	99.7
帯水層槽	1	420	418	99.5		6	300	298	99.3
	2	420	419	99.8		7	300	299	99.7
	3	420	418	99.5		8	300	298	99.3
	4	420	417	99.3		9	300	299	99.7
	5	420	419	99.8					
	6	420	416	99.0					

表 13 通気層用装置総合試験における水収支

通気層カラム流入側			通気層カラム流出側		
試料液タンクからの流下液量	合計		オートサンプラー採取液量	流出液計量容器流入液量	合計
A 系列	413 l	743 l	55 l	686 l	741 l
B 系列	330 l				

表 14 オートサンプラー稼動時間表

タイマー設定： 60分 / サイクル

サンプルNo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
計 量		4分08秒	4分09秒	4分07秒	4分07秒	4分09秒	4分08秒	4分12秒	4分11秒	4分12秒	4分10秒
送 水		1 36	1 34	1 36	1 34	1 34	1 34	1 35	1 33	1 34	1 33
移 動		55	56	55	55	56	56	55	56	55	56
排 水		52 22	52 56	52 51	52 20	52 16	53 00	52 53	52 48	52 21	52 38
実 排 水 時 間*		54 53	55 26	55 22	54 59	54 46	55 30	55 23	55 17	54 50	55 07
1 サイクル 稼動時間		59 01	59 35	59 29	58 56	58 55	59 38	59 35	59 28	59 02	59 17

サンプルNo.	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	平均 値
計 量	4分08秒	4分10秒					4分16秒	4分15秒	4分13秒	4分10秒	4分10秒
送 水	1 35	1 35					1 34	1 35	1 34	1 35	1 34
移 動	56	55					56	56	56	55	56
排 水	52 37	52 35					52 59	52 05	52 01	52 12	52 30
実 排 水 時 間*	55 08	55 05					55 29	54 36	54 31	54 42	55 00
1 サイクル 稼動時間	59 16	59 15					59 45	58 51	58 44	58 52	59 10

* 実排水時間は送水、移動および排水に要する時間の総和である。

表 15 オートサンブライダー稼動時間表

タイマー設定：65分 / サイクル

サンプルNo	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
計量時間	4分25秒	4分07秒	4分22秒	3分35秒	4分20秒	4分25秒	4分20秒	4分22秒	4分23秒		
実排水時間	60 40	60 33	60 03	59 35	60 25	60 33	60 20	59 25	59 37		
1サイクル稼動時間	65 05	64 40	64 25	63 10	64 45	64 58	64 40	63 47	64 00		

サンプルNo	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	平均値
計量時間			4分22秒	3分36秒	3分44秒	3分40秒	4分20秒			4分21秒	4分09秒
実排水時間			60 18	61 34	60 51	60 09	59 11			60 27	60 13
1サイクル稼動時間			64 40	65 10	64 35	63 49	63 31			64 48	64 22

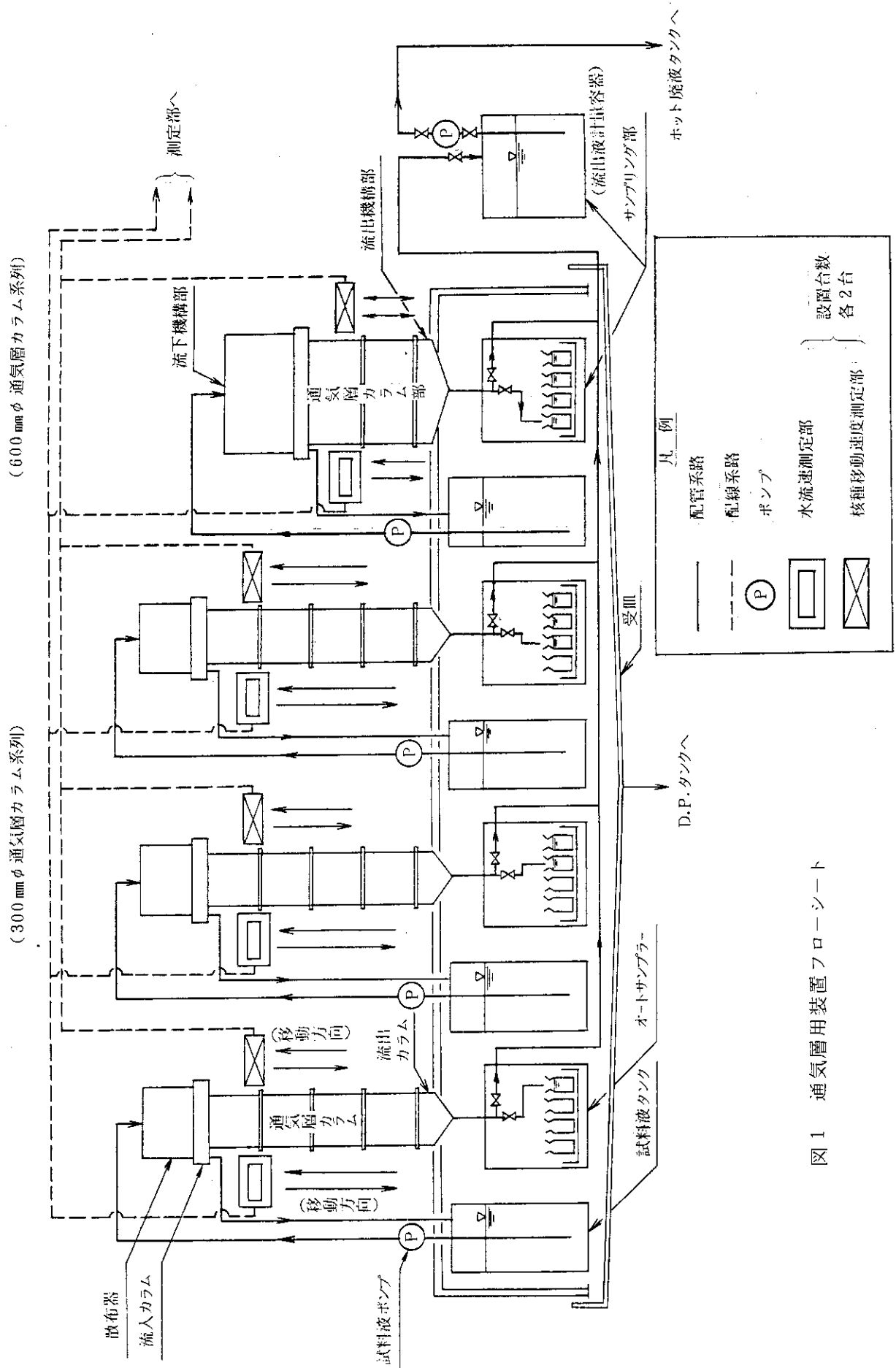


図1 通気層用装置フローシート

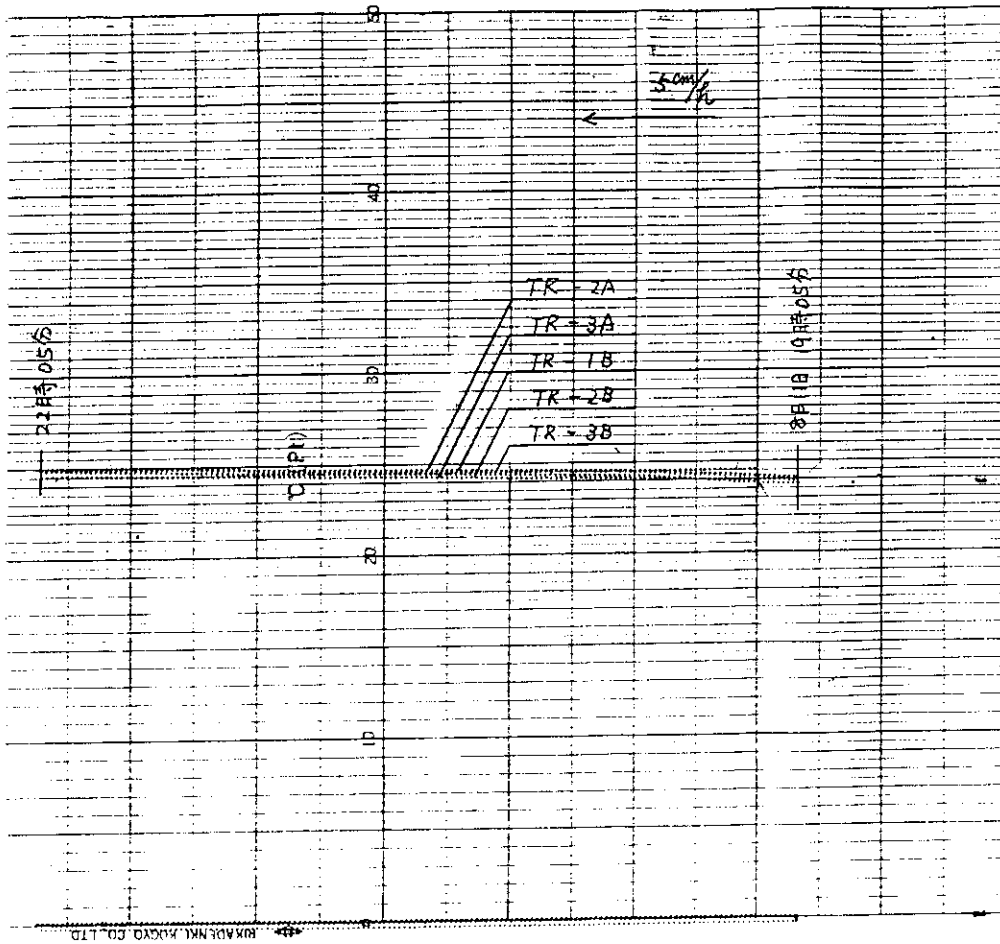


図2 流下安定試験における通気層カラムA, B系列の温度記録
 TR-2A: 流入液温度(A), TR-2B: 流入液温度(B)
 TR-3A: 流出液温度(A), TR-3B: 流出液温度(B)
 TR-1B: 試料液タンク温度(B)

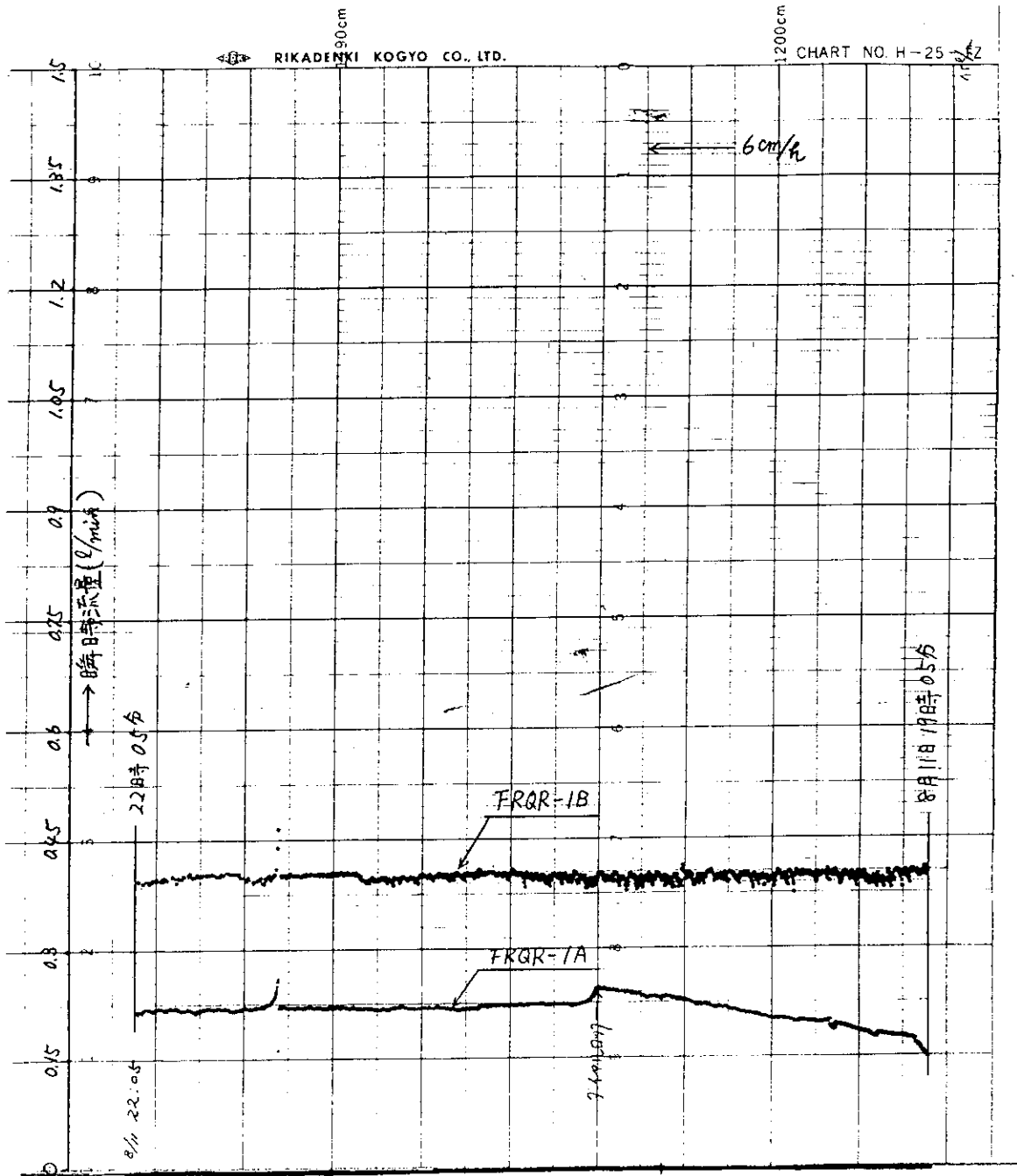


図3 流下安定試験における通気層カラム A, B 系列の瞬間流速記録
 FRQR-1A : 試料液流量(A)
 FRQR-1B : 試料液流量(B)

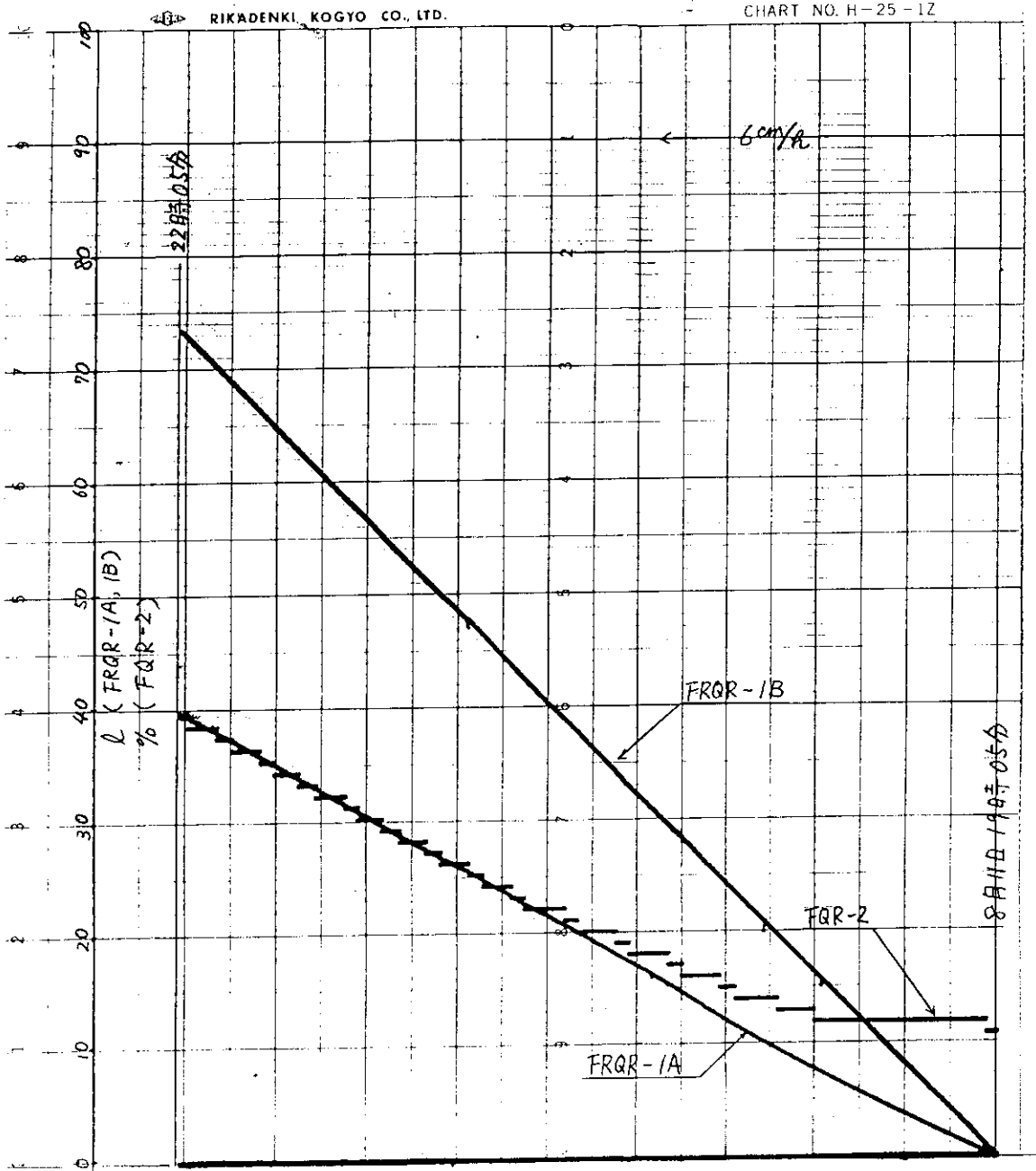


図4 流下安定試験における通気層カラムA, B系列の流量積算記録

- FRQR-1A : 試料液流量(A)
- FRQR-1B : 試料液流量(B)
- FQR-2 : 流出液計量容器

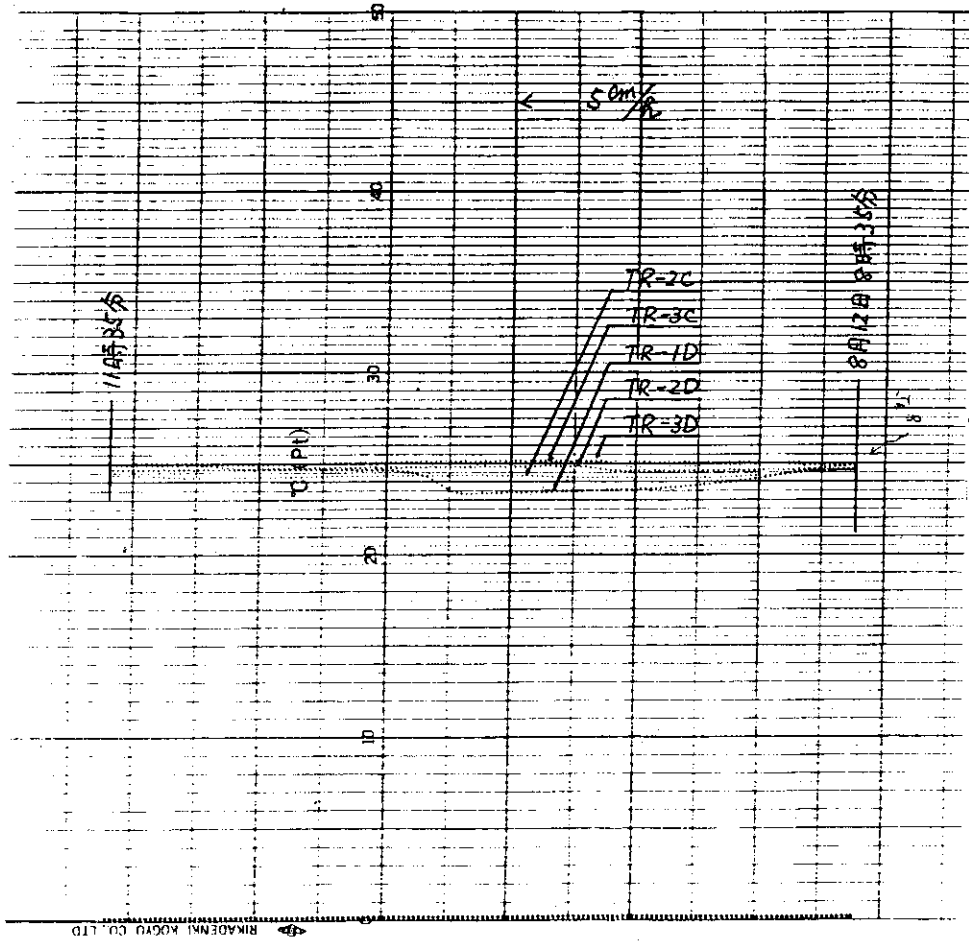


図5 流下安定試験における通気層カラムC, D系列の温度記録
 TR-2C: 流入液温度(C), TR-2D: 流入液温度(D)
 TR-3C: 流出液温度(C), TR-3D: 流出液温度(D)
 TR-1D: 試料液タンク温度(D)

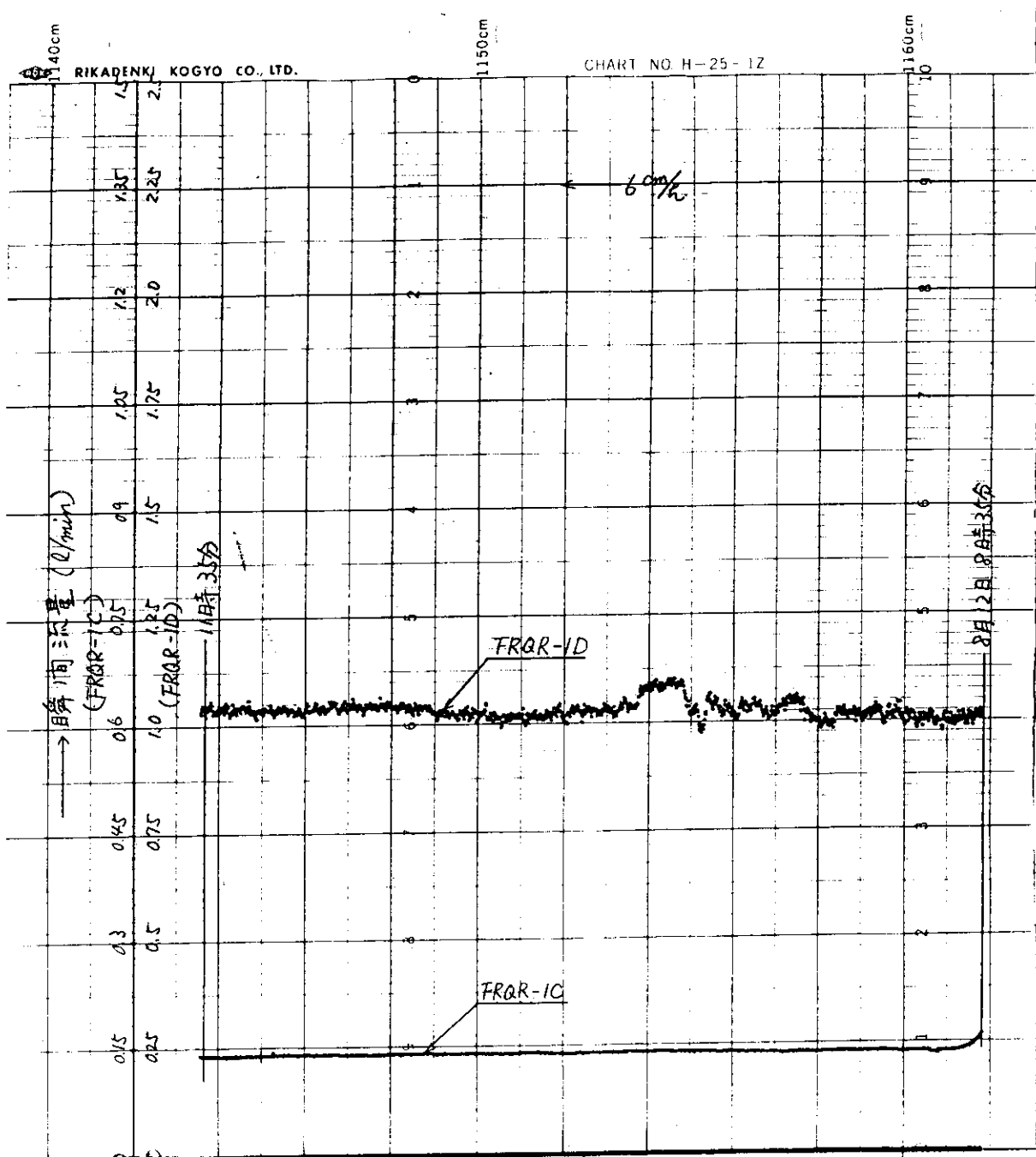


図6 流下安定試験における通気層カラムC, D系列の瞬時流速記録
 FRQR-1C : 試料液流量(C)
 FRQR-1D : 試料液流量(D)

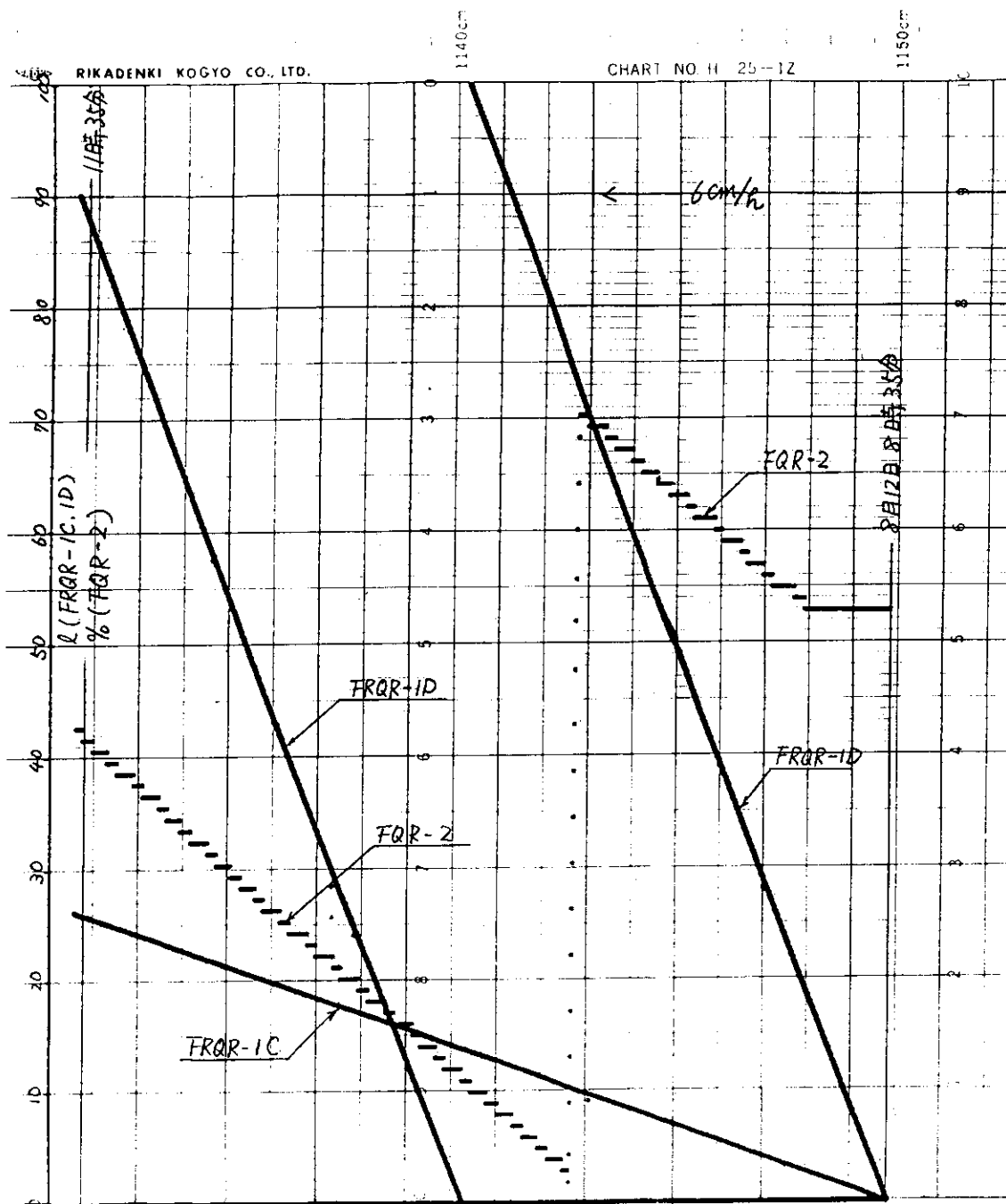


図7 流下安定試験における通気層カラムC, D系列の流量積算記録
 FRQR-1C : 試料液流量(C)
 FRQR-1D : 試料液流量(D)
 FQR-2 : 流出液計量容器

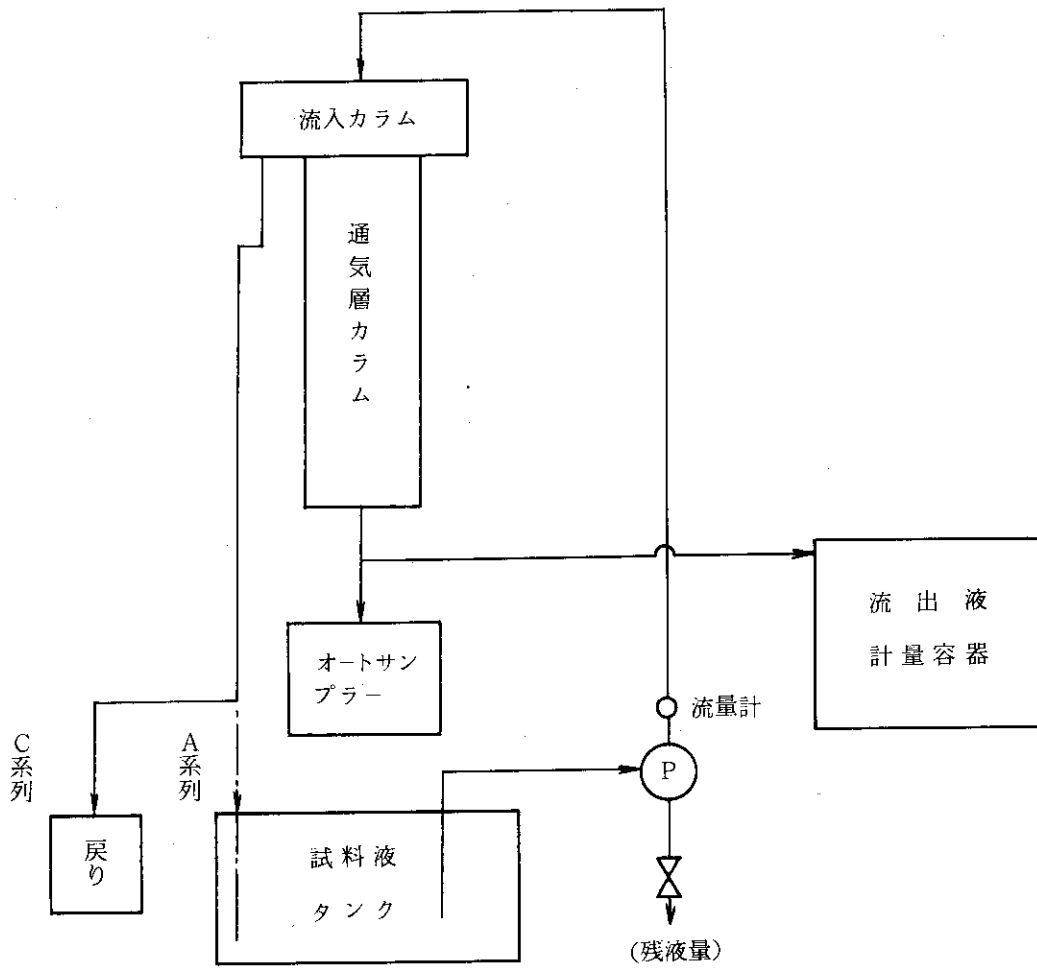


図8 試料液の流れ

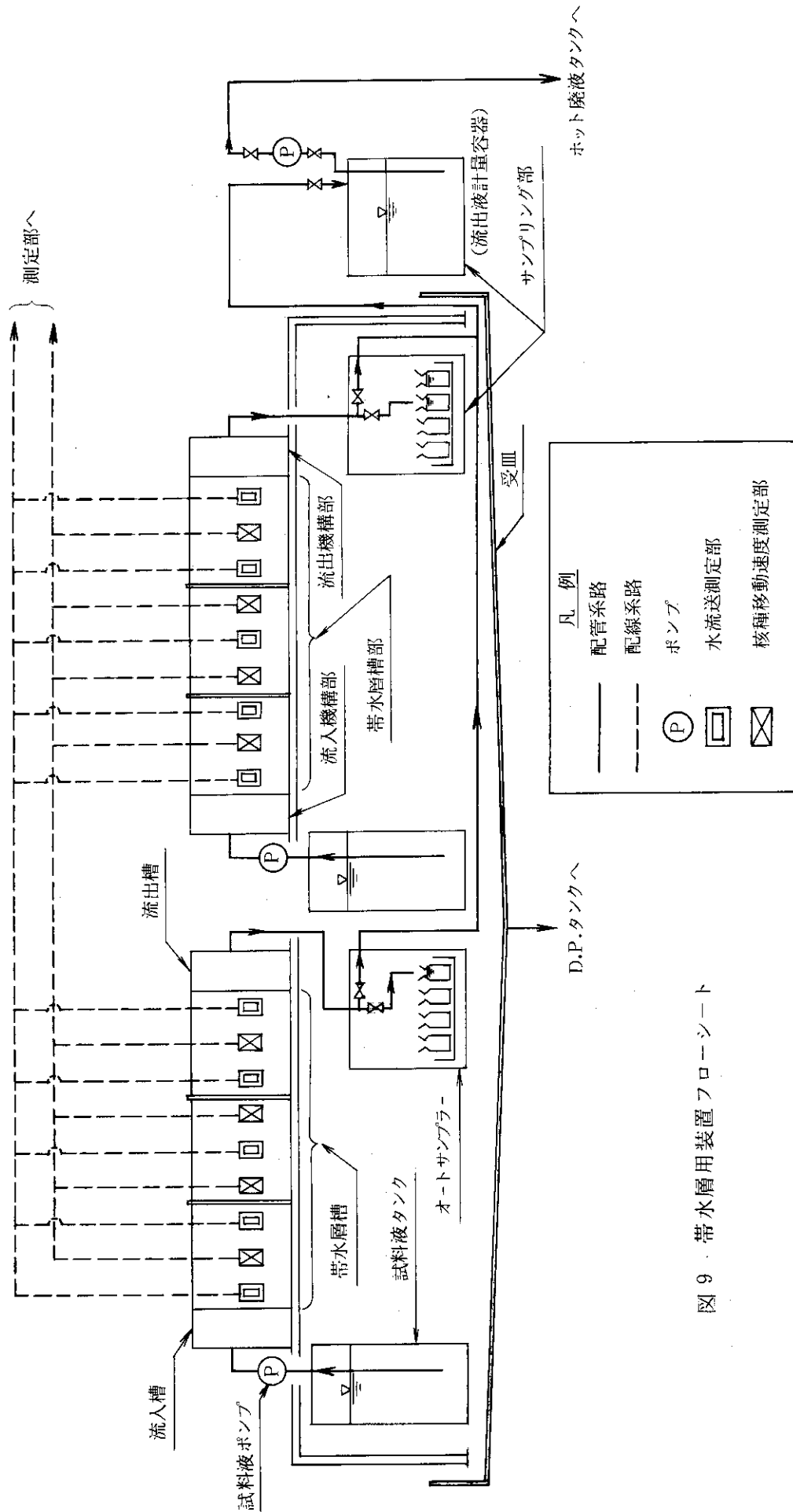
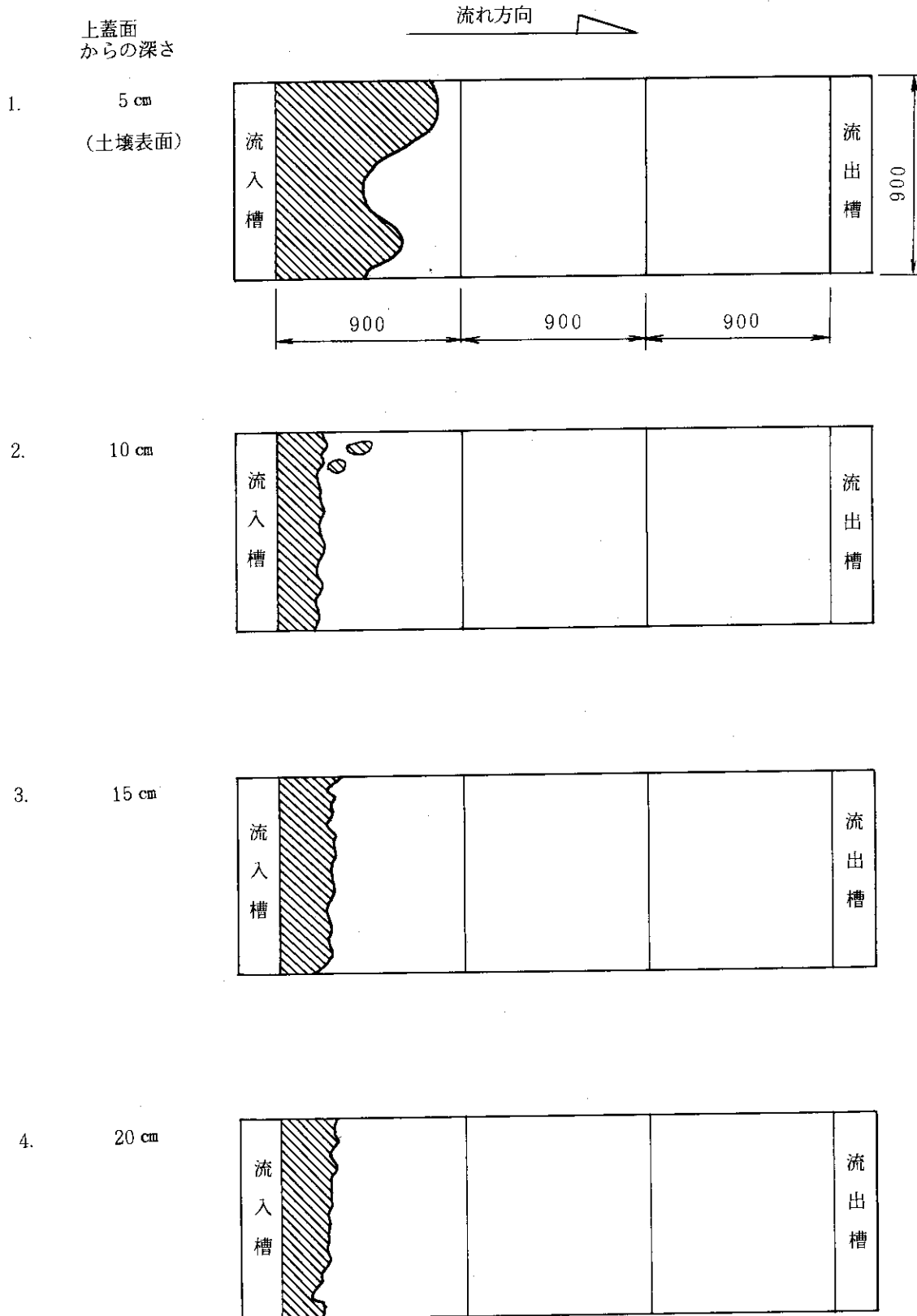


図9 帯水層用装置フロースキート

図 10 流動試験における土壌断面観察スケッチ



流れ方向

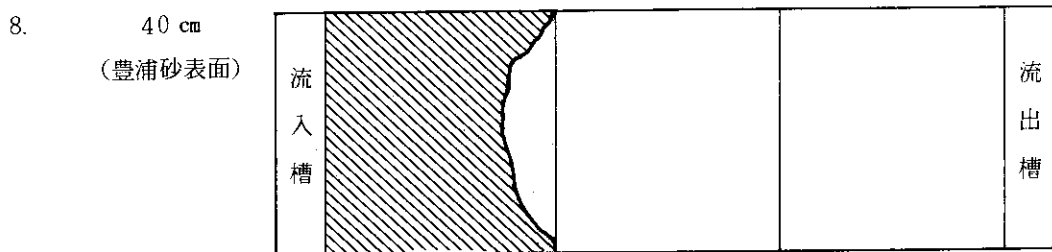
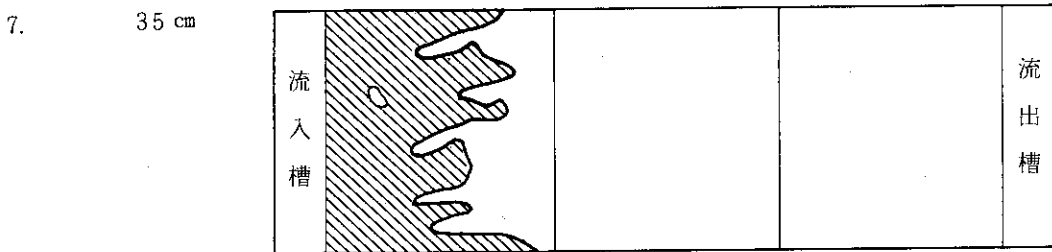
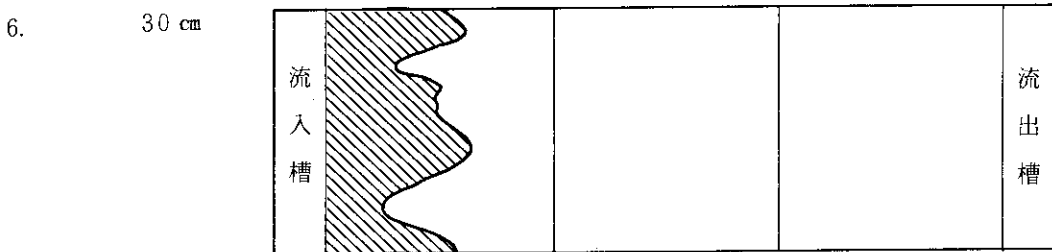
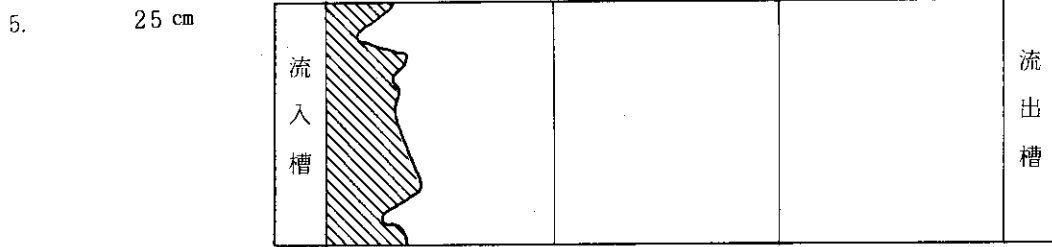
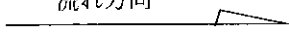


図11 流動試験における温度、流量、流量積算の記録(帯水層槽B)

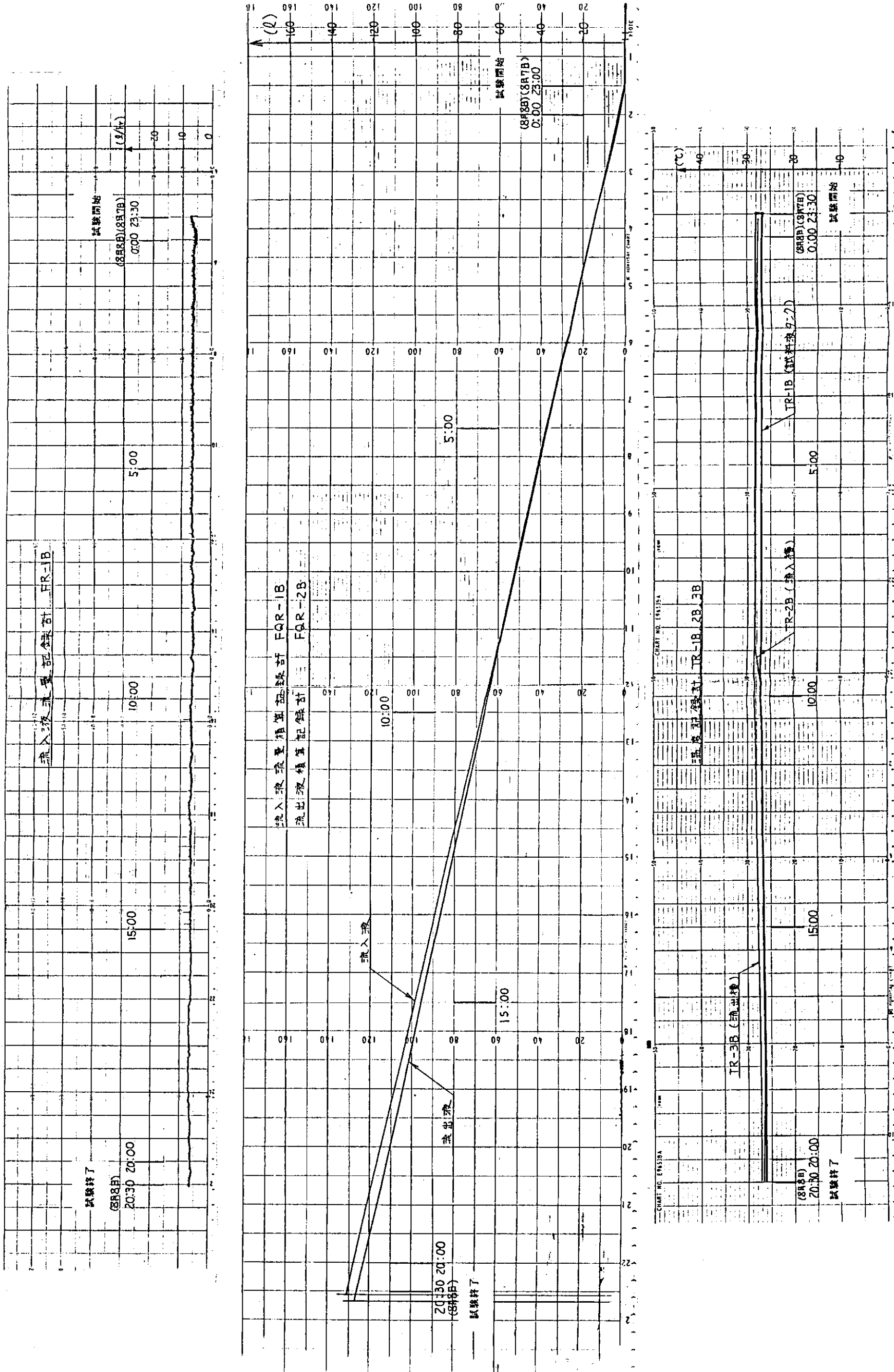


図12 流下安定試験における温度、流量、流量積算の記録(帯水層槽A)

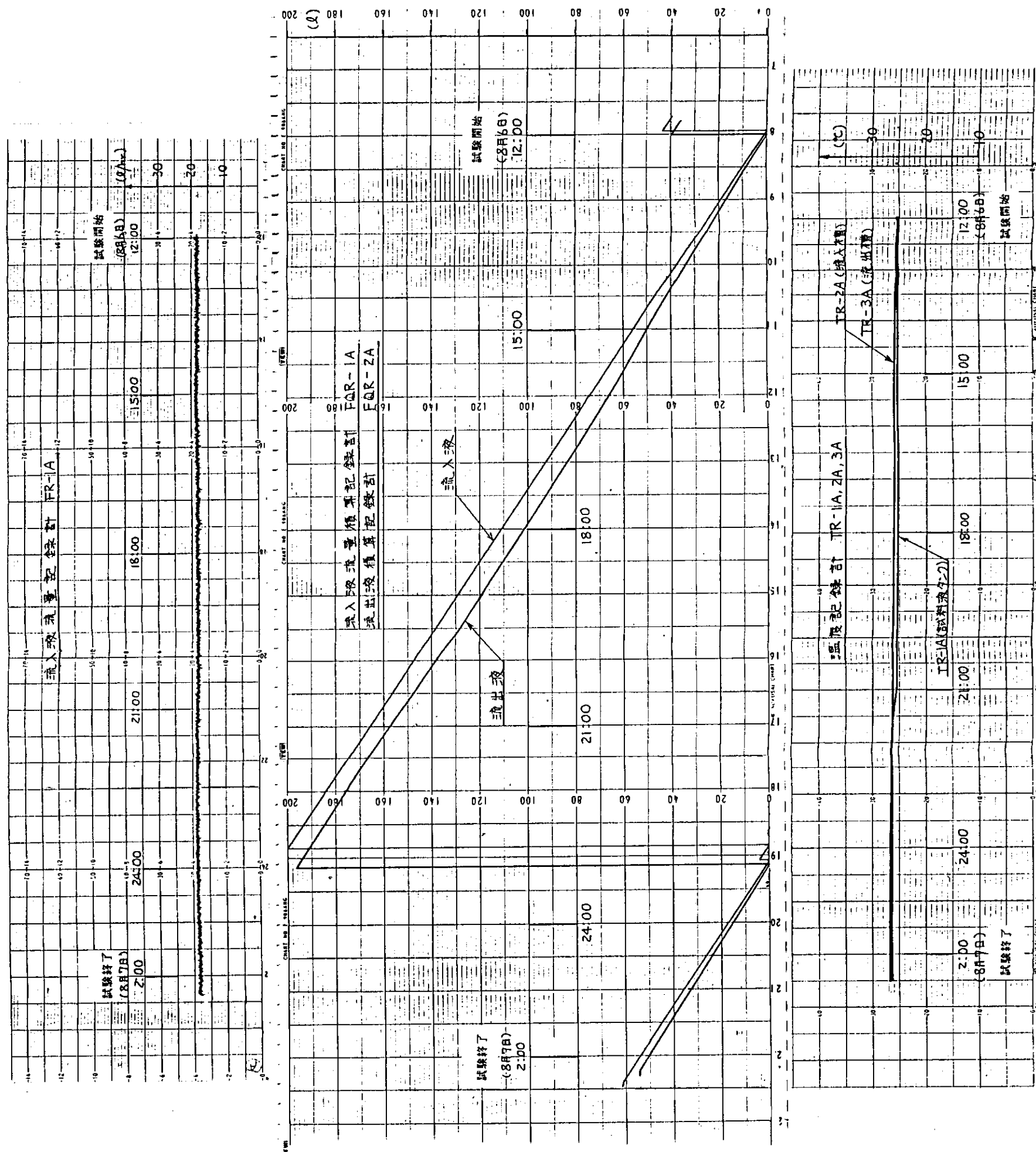
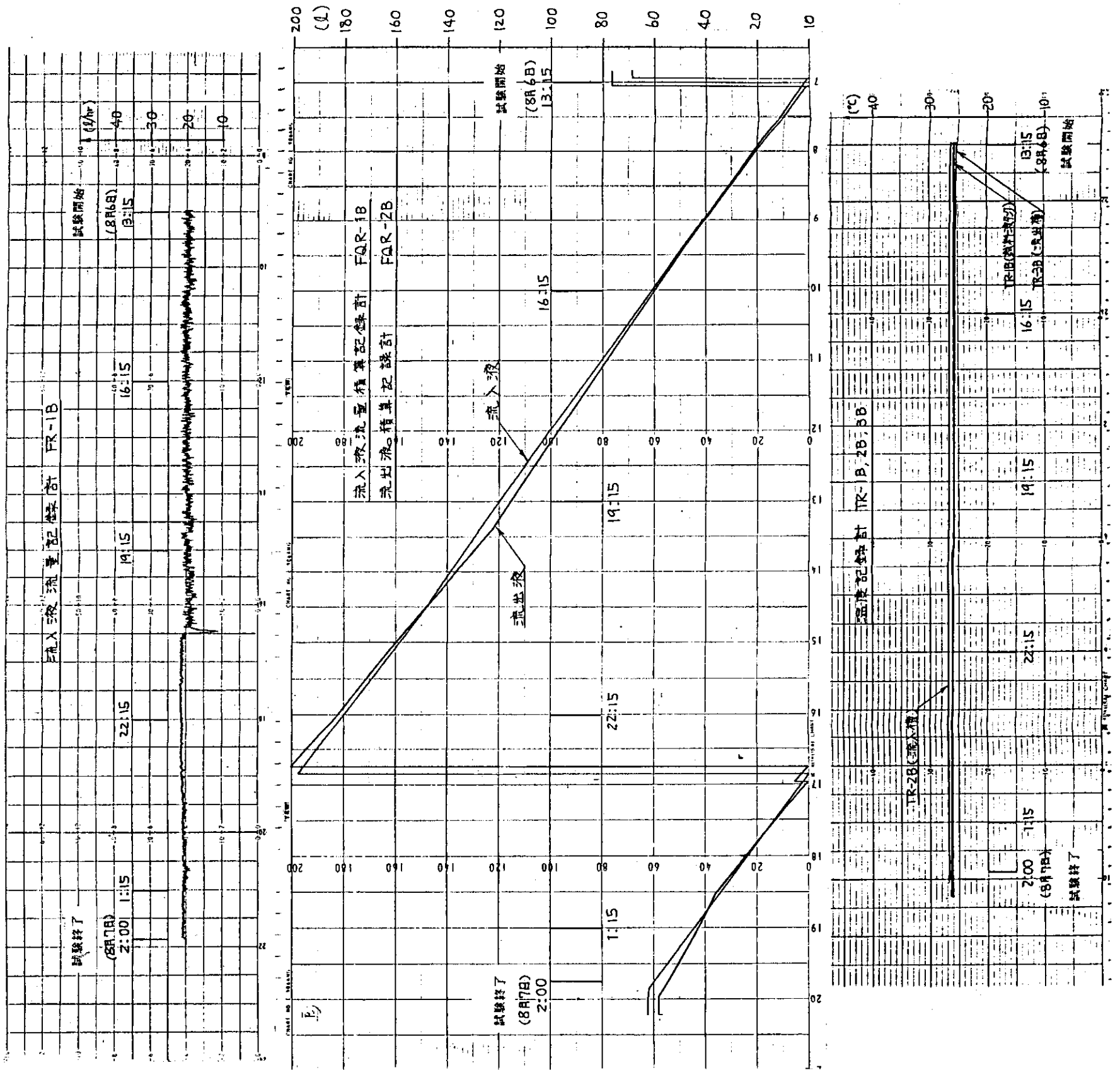


図13 流下安定試験における温度、流量、流量積算の記録(帯水層槽B)



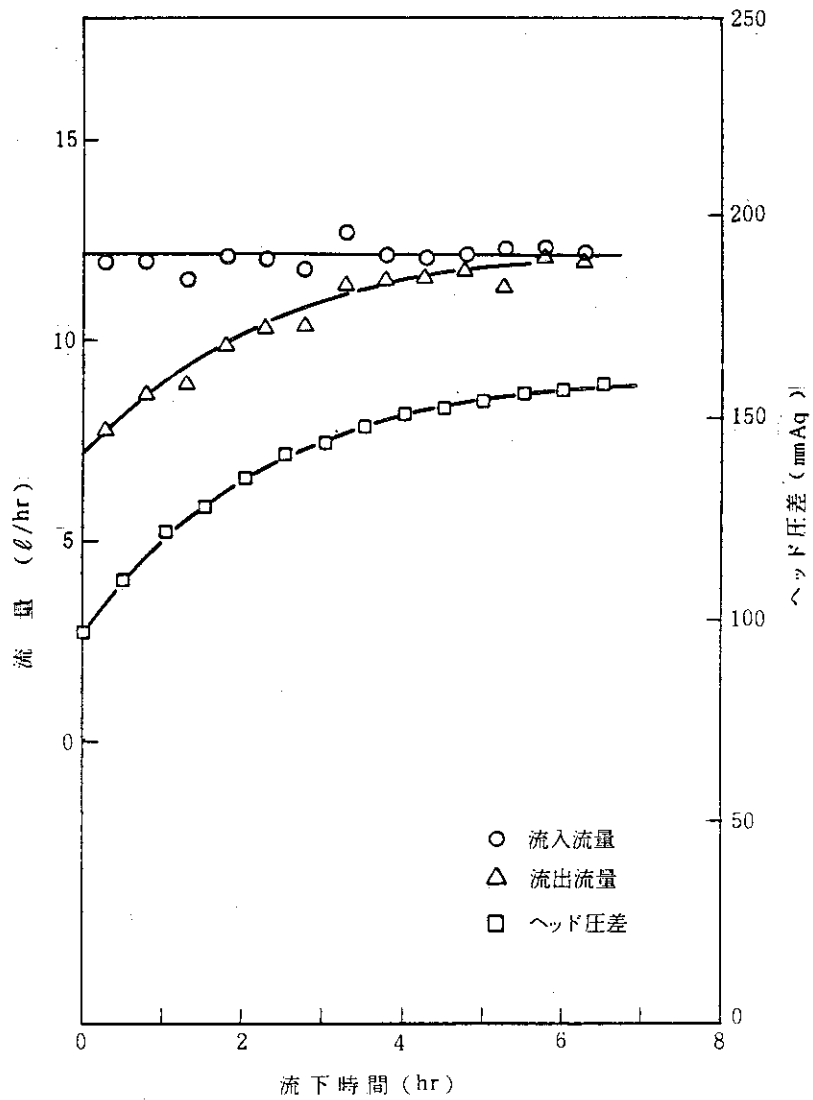


図 14 流入流量, 流出流量およびヘッド圧差の時間的变化

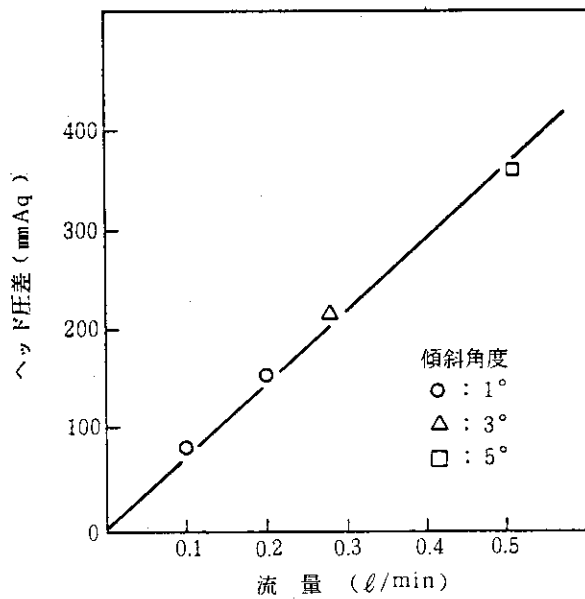


図 15 流入流量とヘッド圧との関係

図16 加圧流入試験における流入室水圧, 圧力置換タンク空気圧, 加圧室水圧の記録

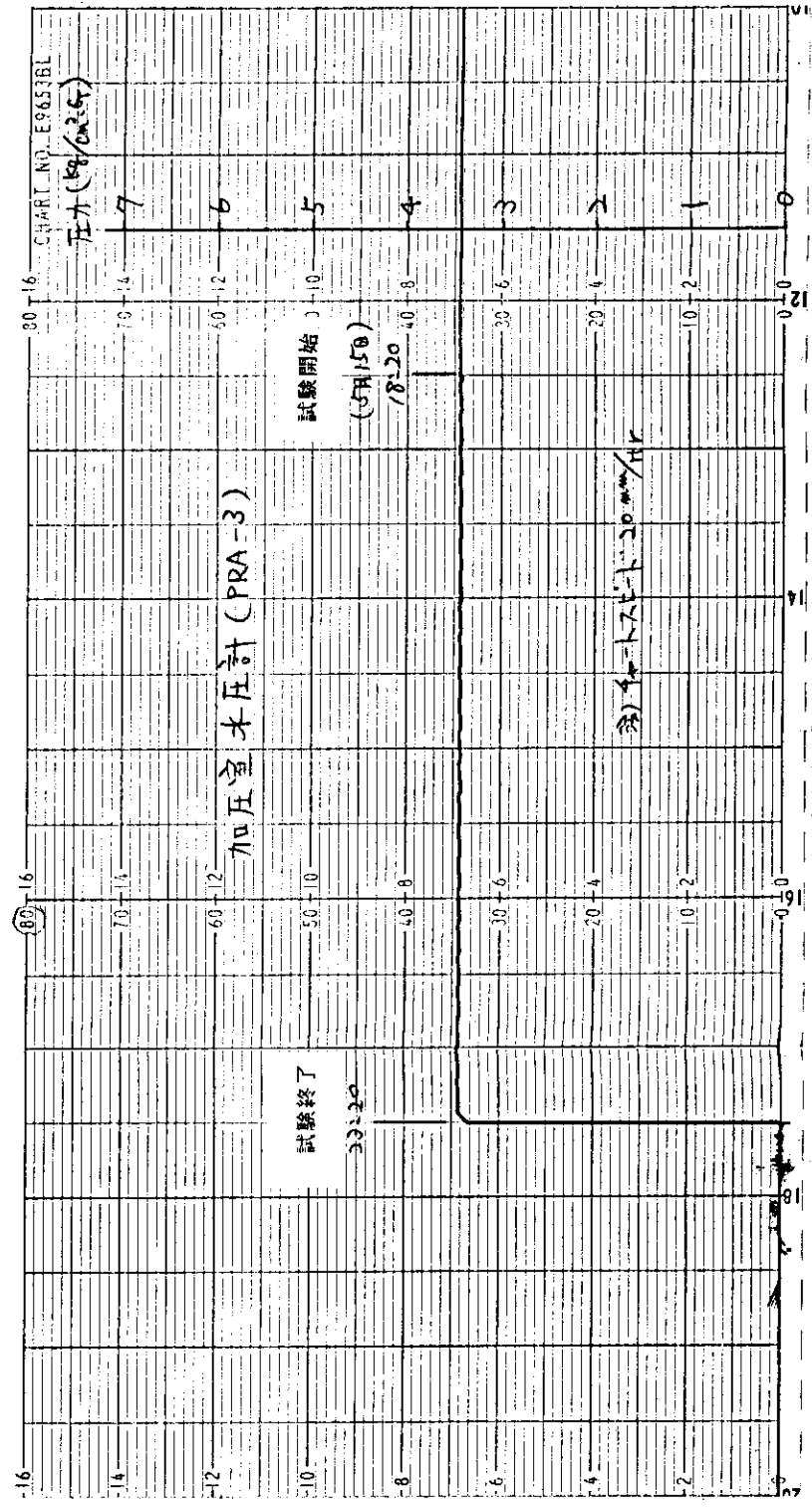
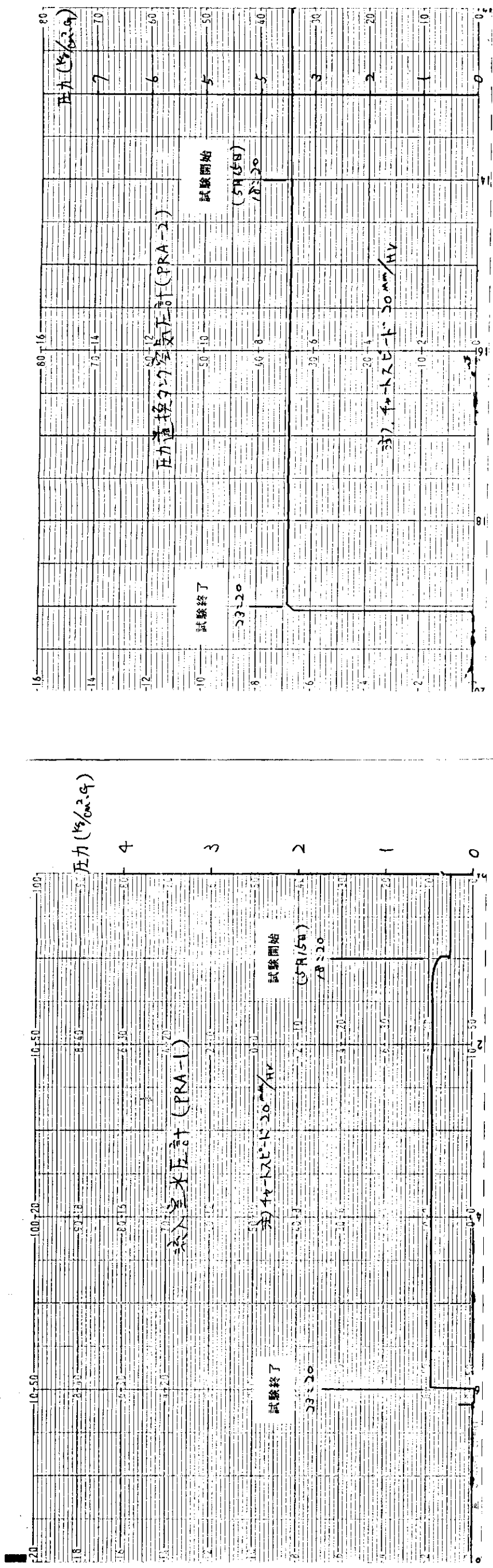


図17 加圧流入試験における帯水層槽土圧の記録

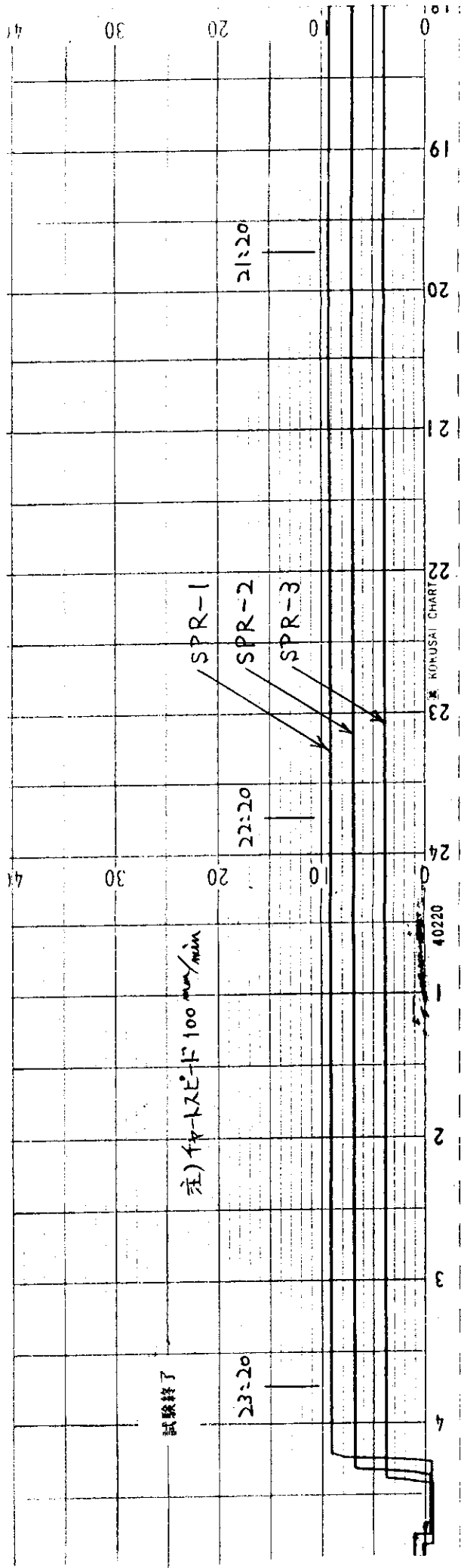
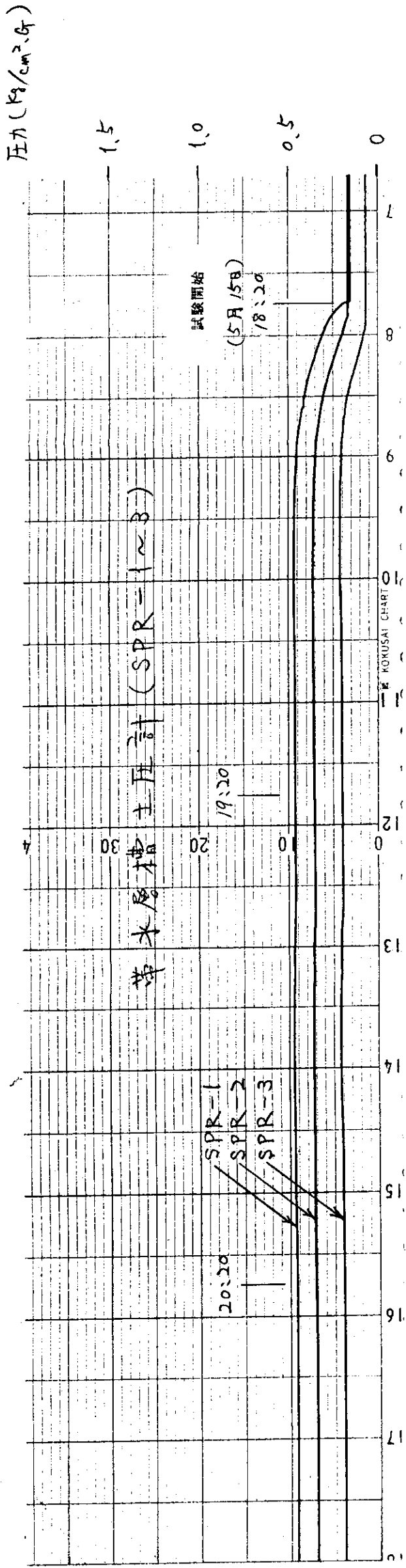
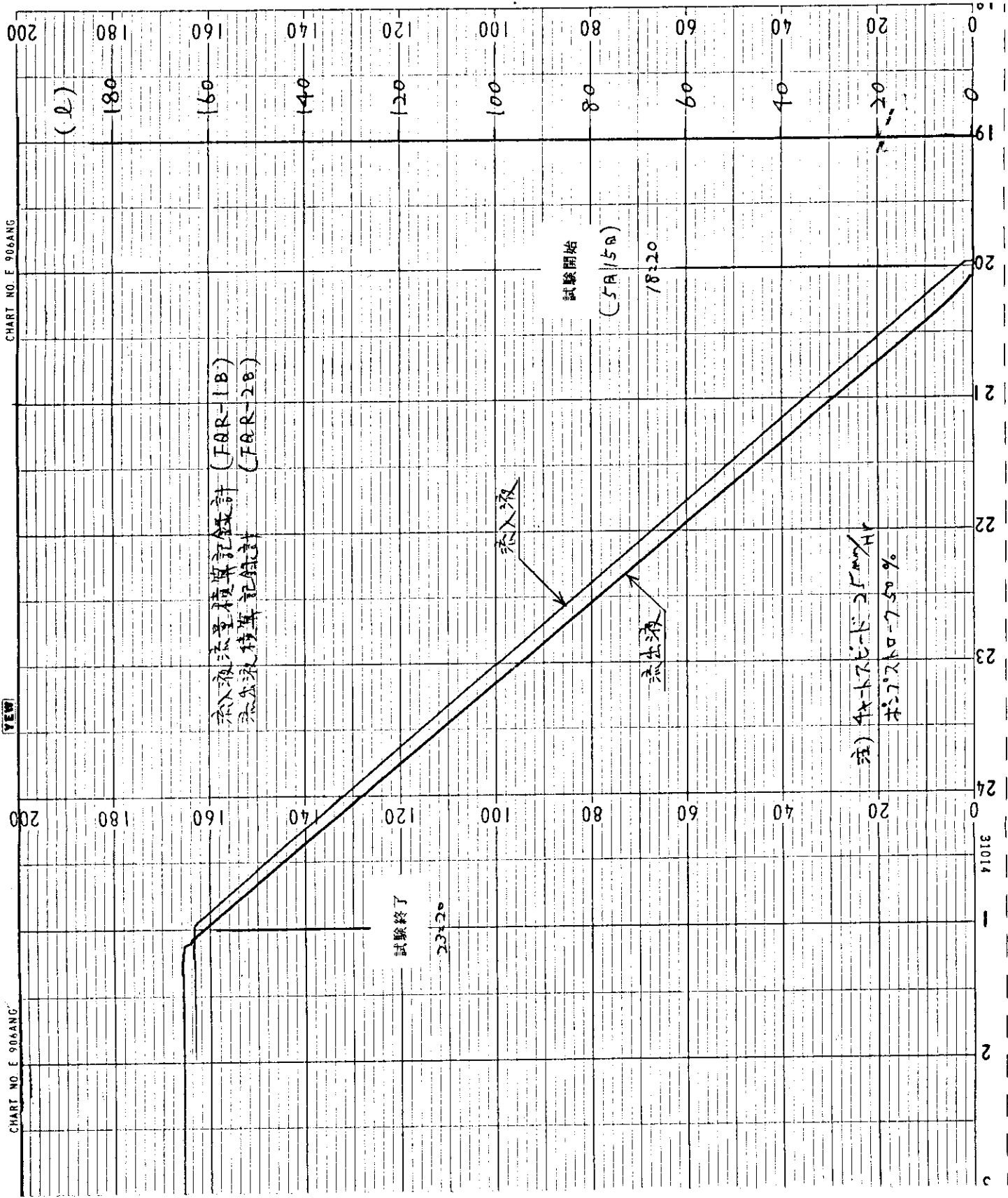


図18 加圧流入試験における流入液および流出液の流量積算の記録



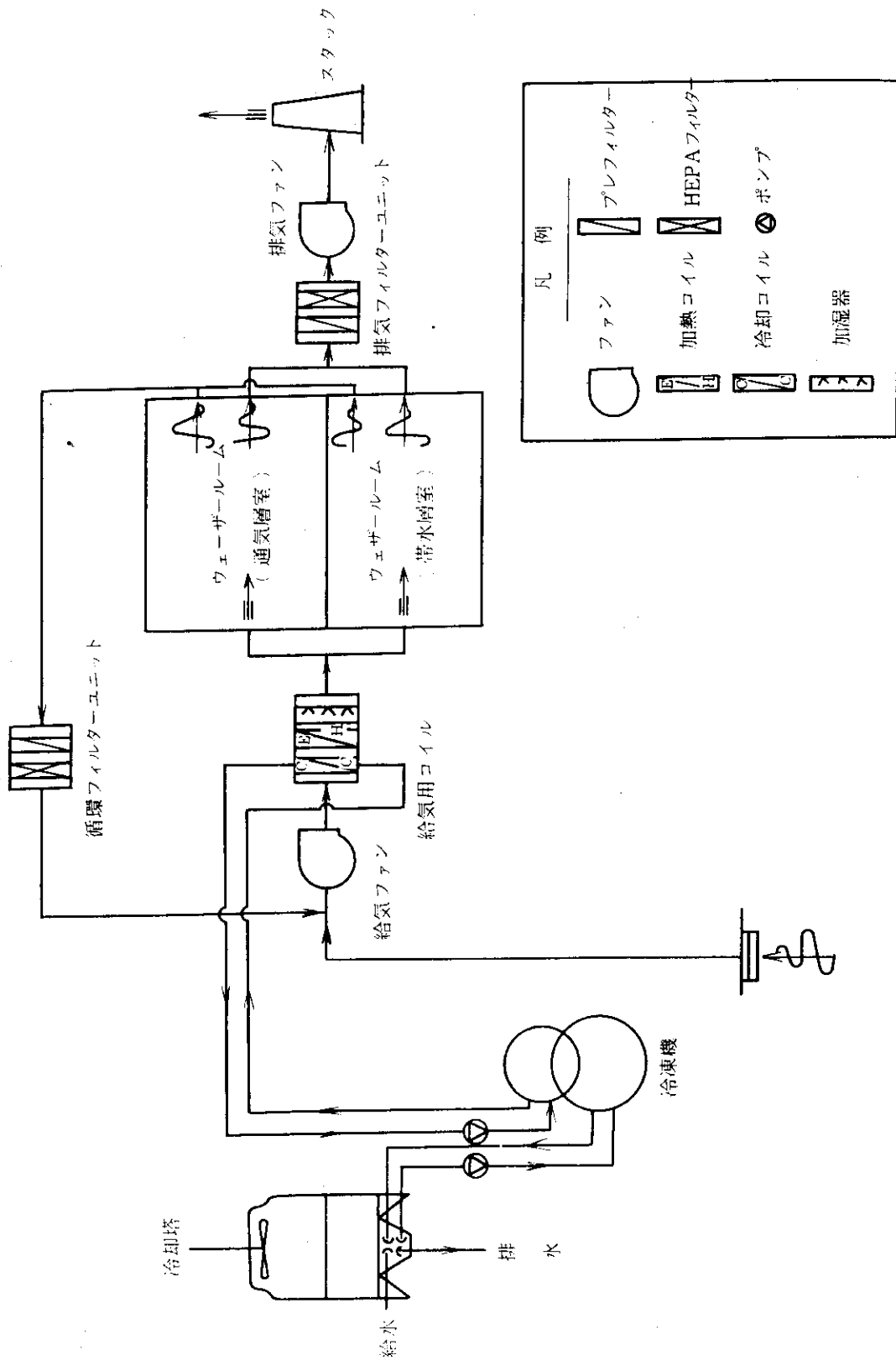
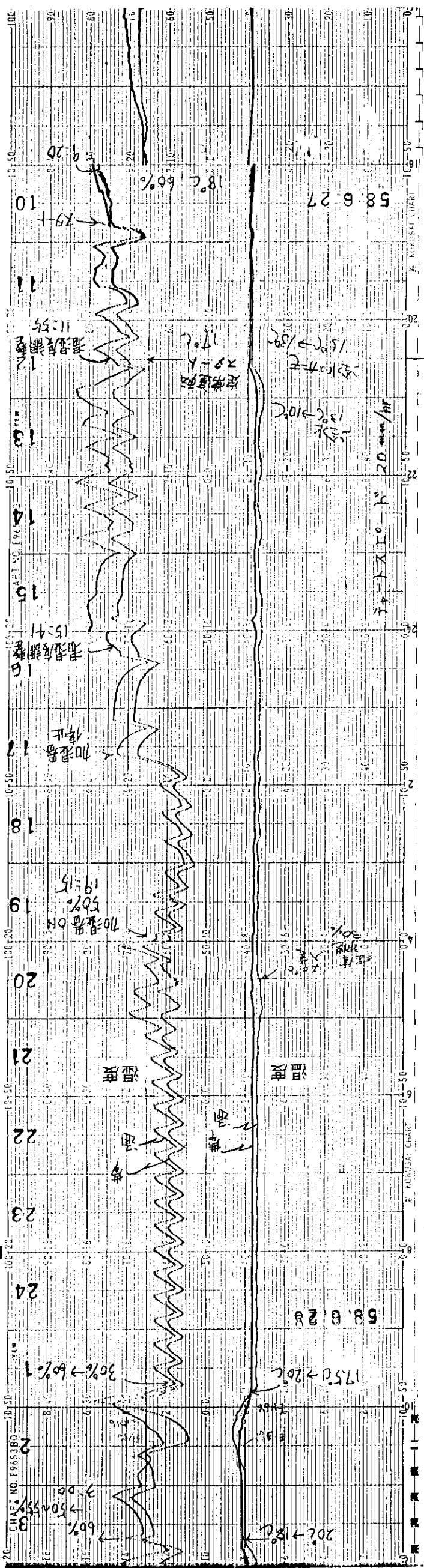
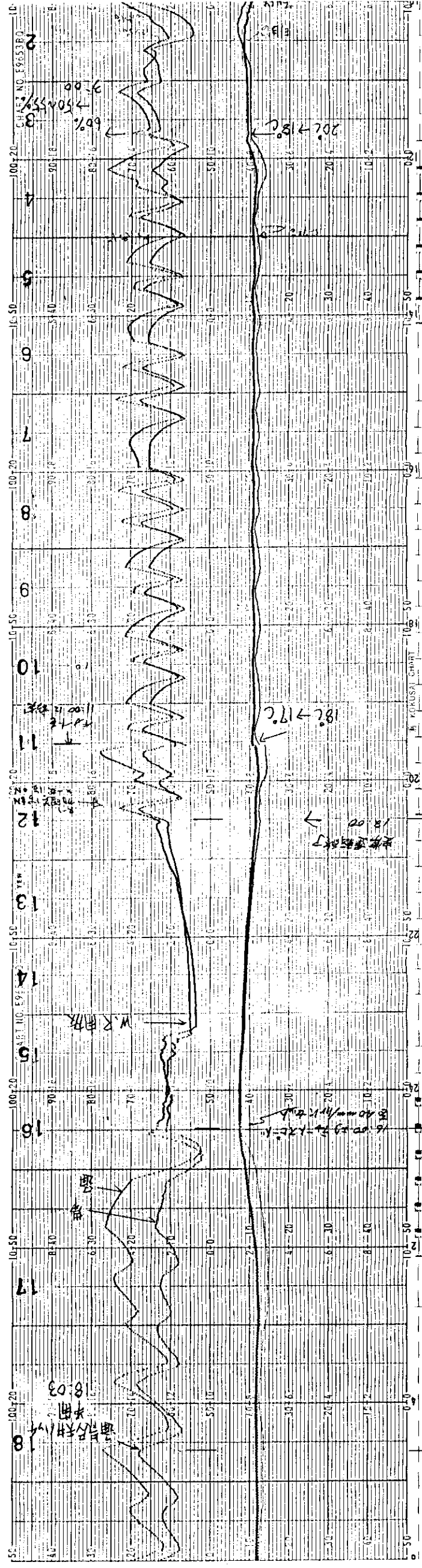


図19 ウェザールーム空調装置のエアフローシート



定常運転試験

試験開始



定常運転試験

空調装置停止

定常運転

図20 通気層および帯水層室における温度、湿度の記録

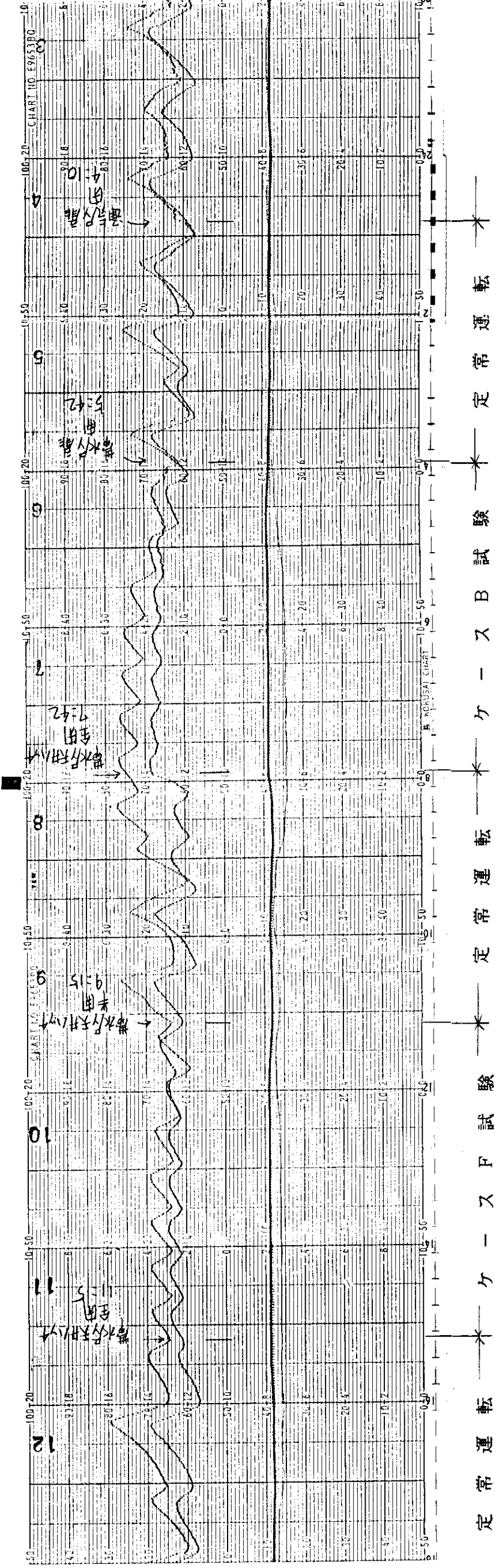
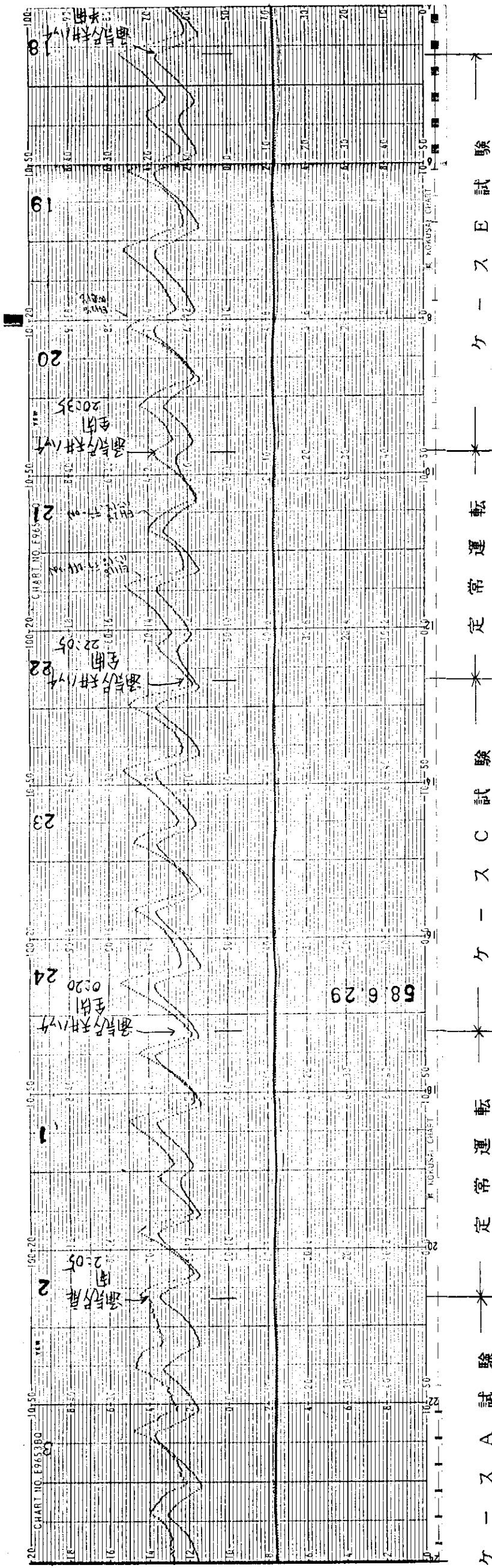


図20 (続き)

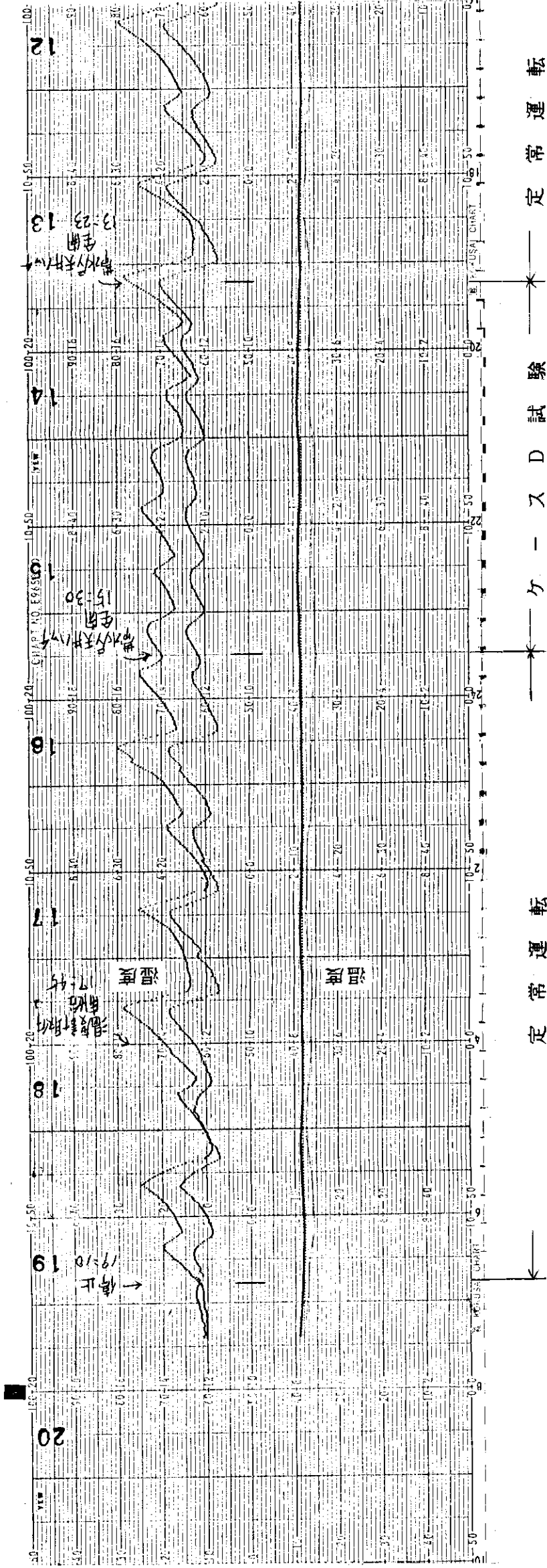
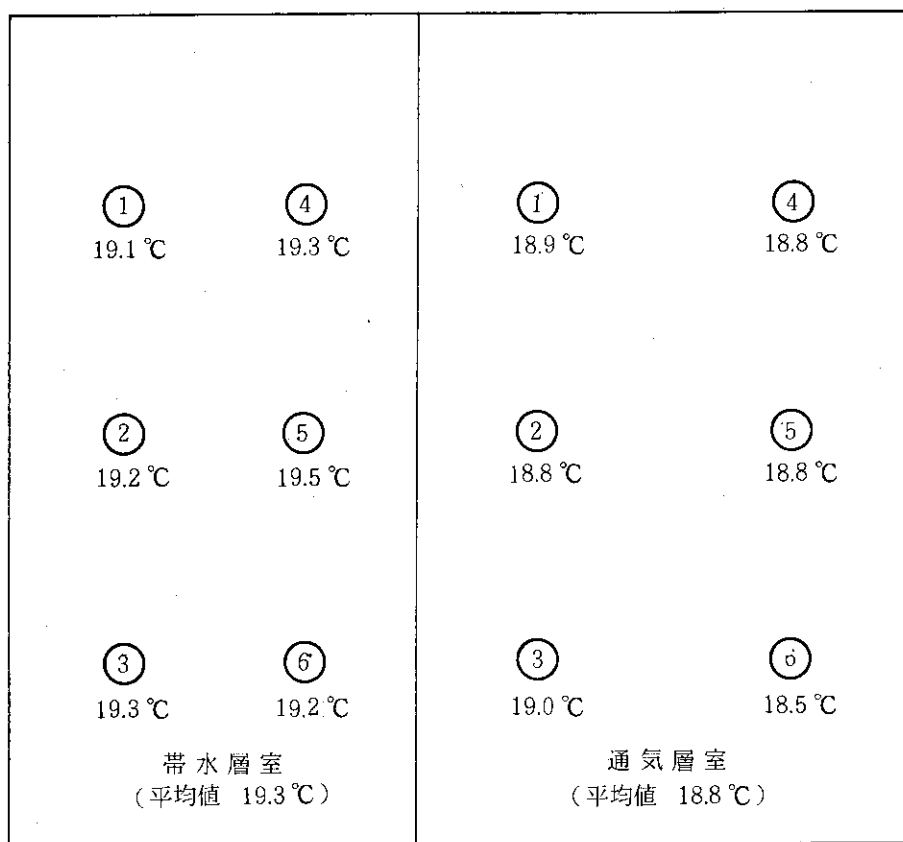


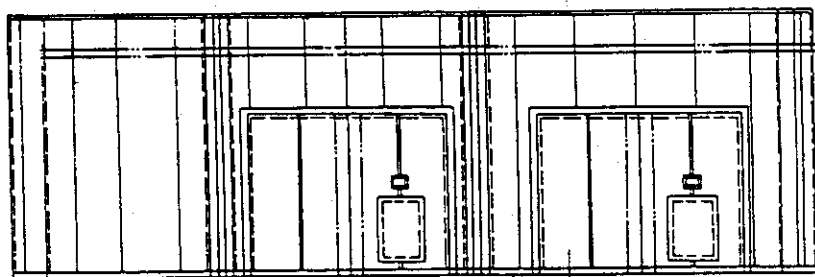
図20 (続き)



(1) 水銀温度計による温度測定

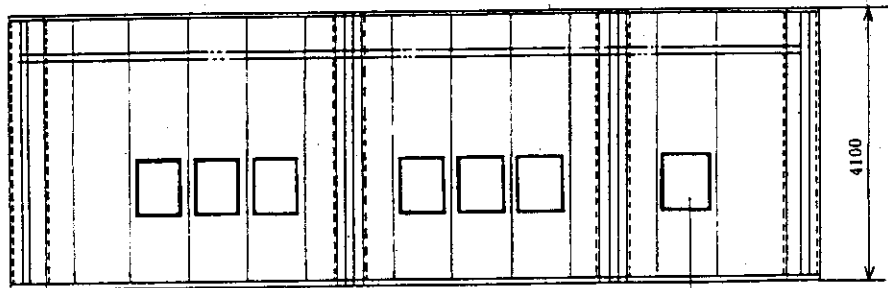
(2) 水銀計測定高さ FL + 1750 mm

図 21 ウェザールーム室内の温度分布



A-A 矢視

両窓枠 3000^W × 2500^H
 小窓 600^W × 900^H
 FIX 200^W × 150^H
 (ガラス 5×6×5)



B-B 矢視

朝天窓 5ヶ
 700^W × 900^H
 フッ素

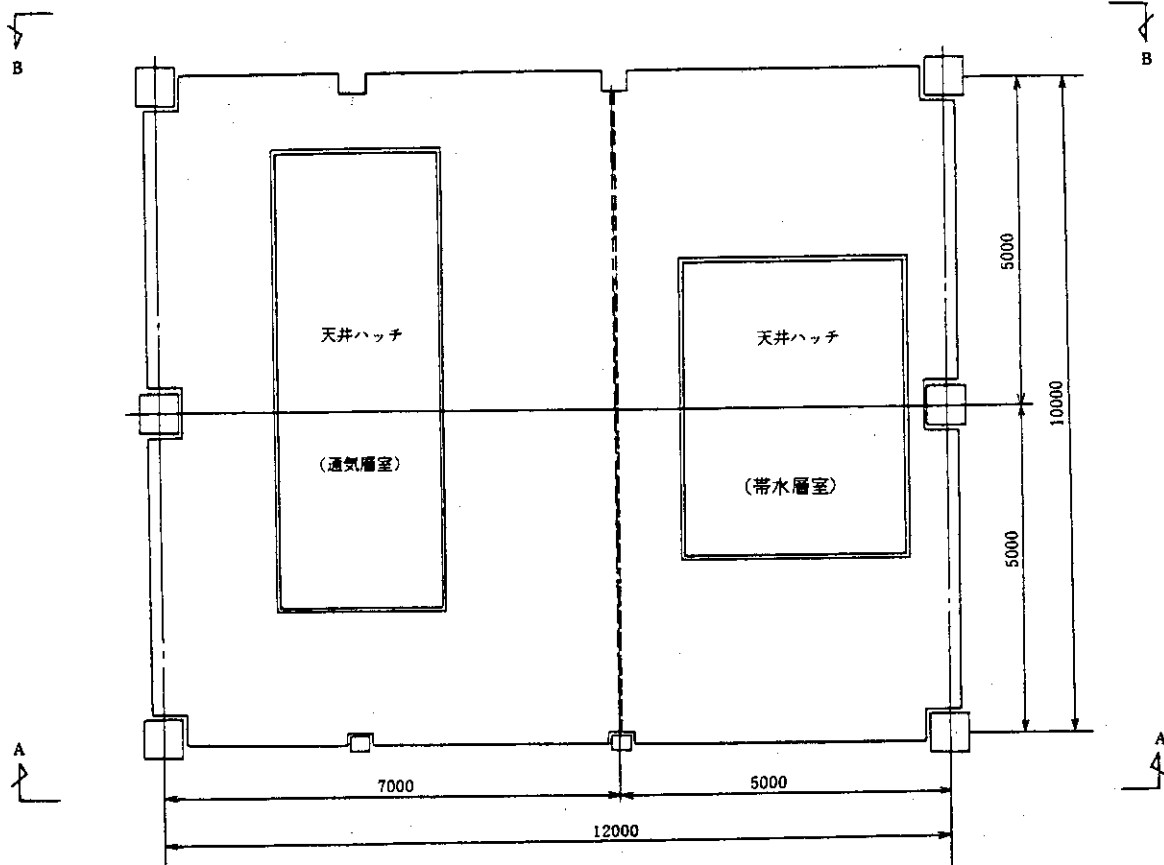


図22 ウェザールーム室の配置

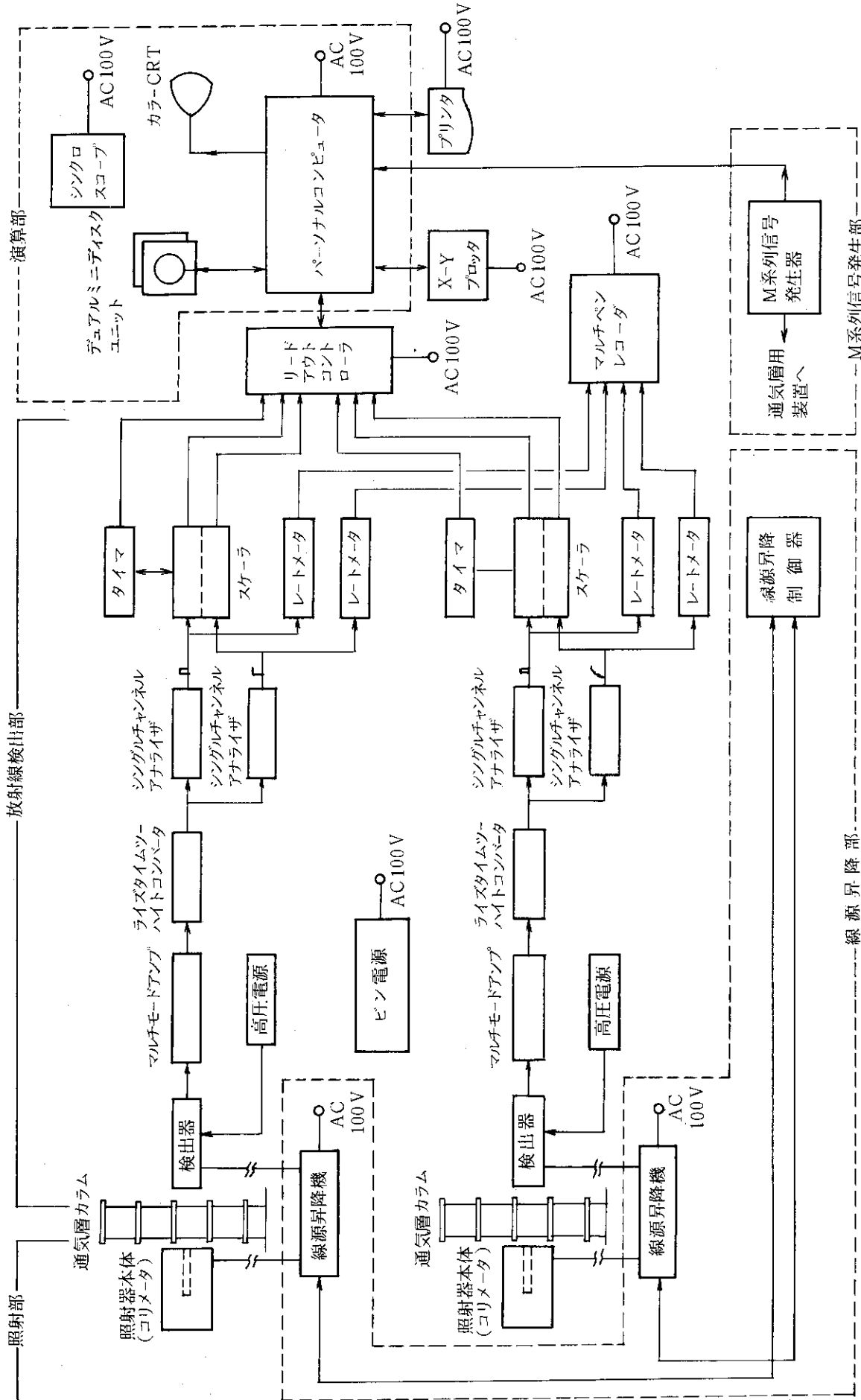


図 23 通気層水流速測定装置ブロックダイヤグラム

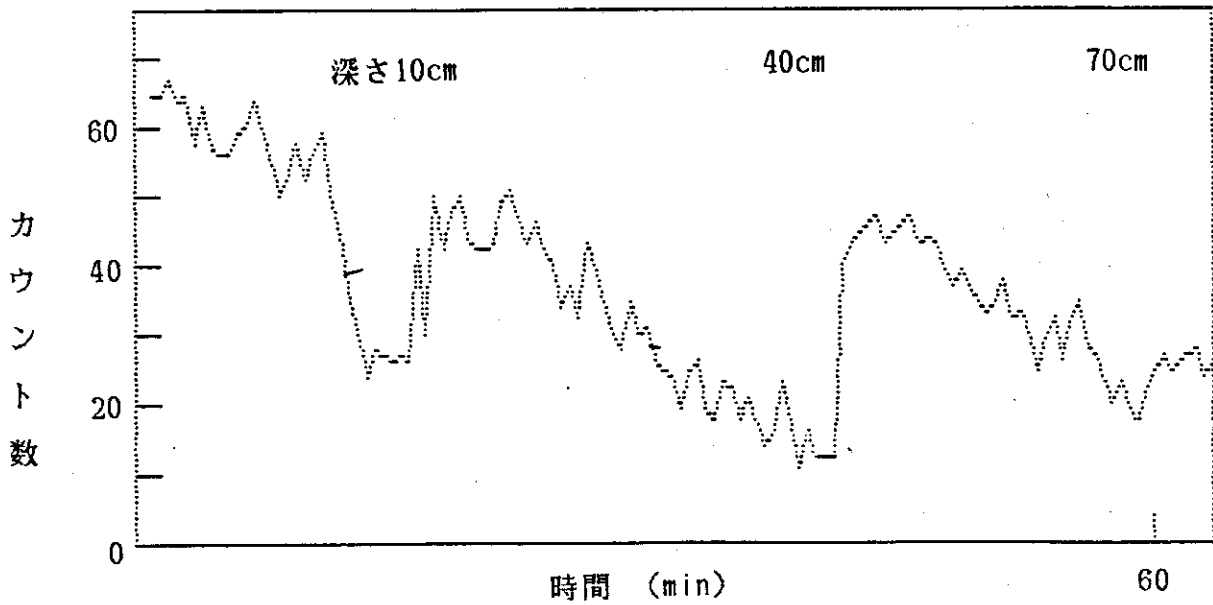


図24 通気層水流速測定における透過中性子線の計数率の時間的变化(単一散布の場合)

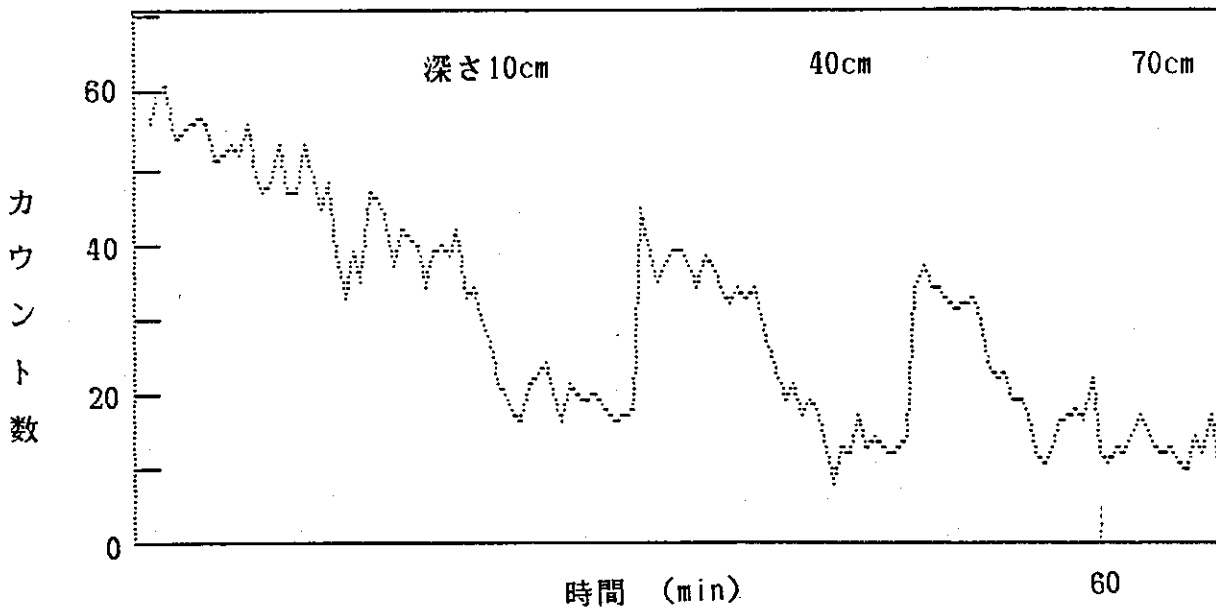


図25 通気層水流速測定における透過中性子線の計数率の時間的变化(複合散布の場合)

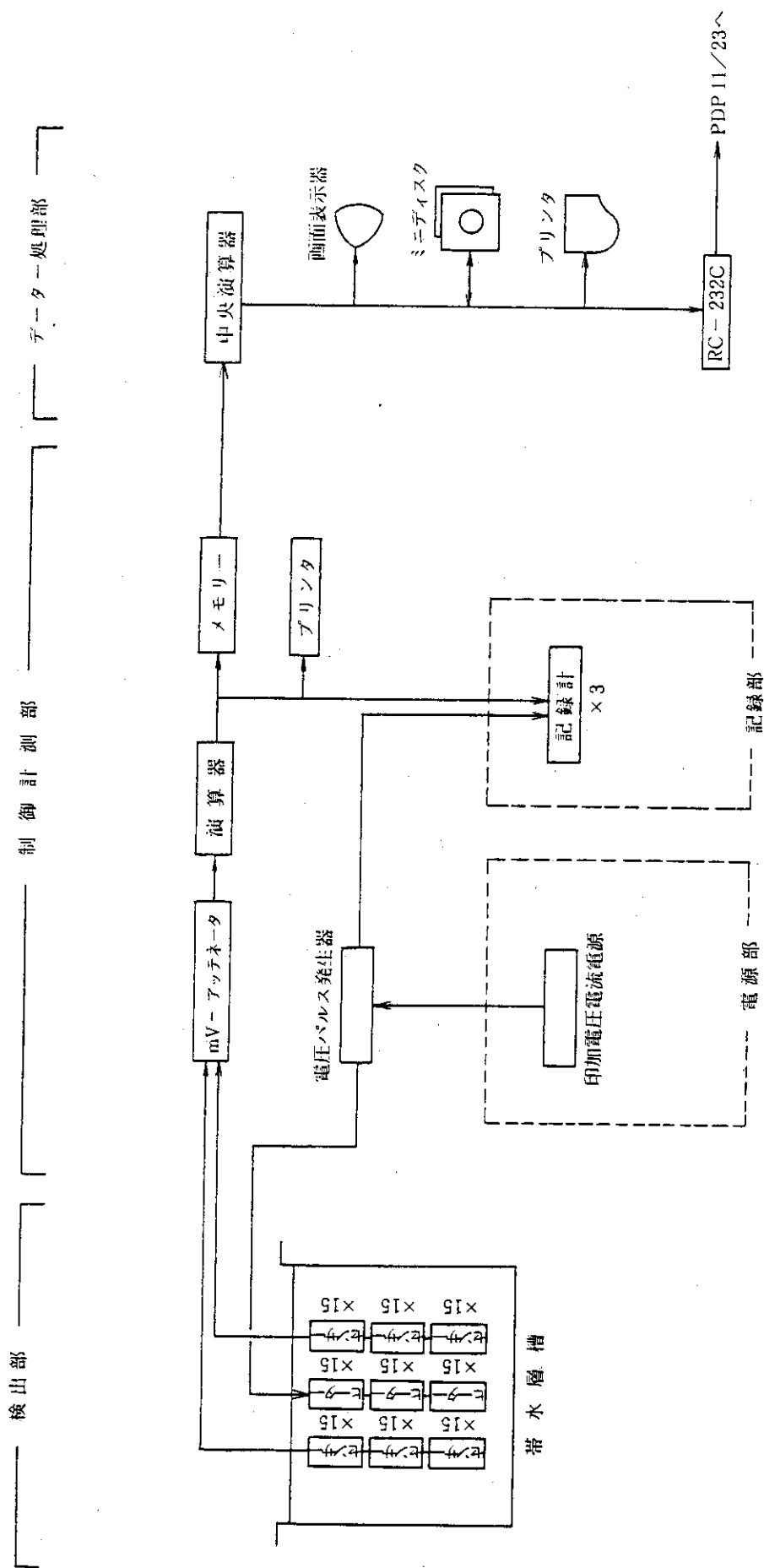


図26 帯水層水流速測定装置ブロックダイアグラム

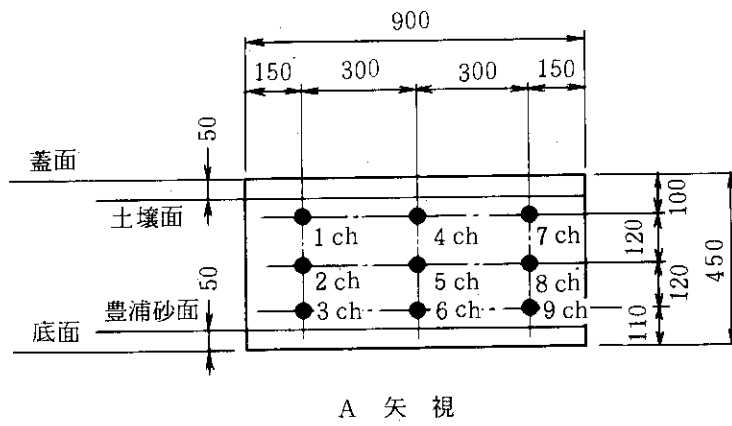
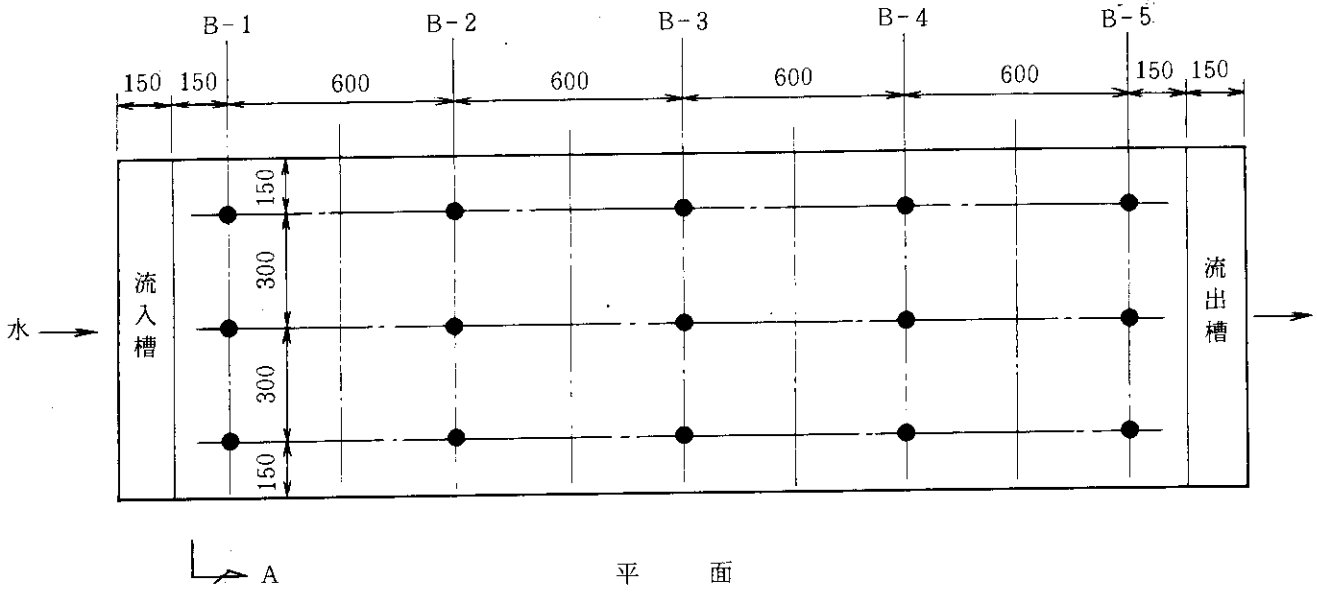
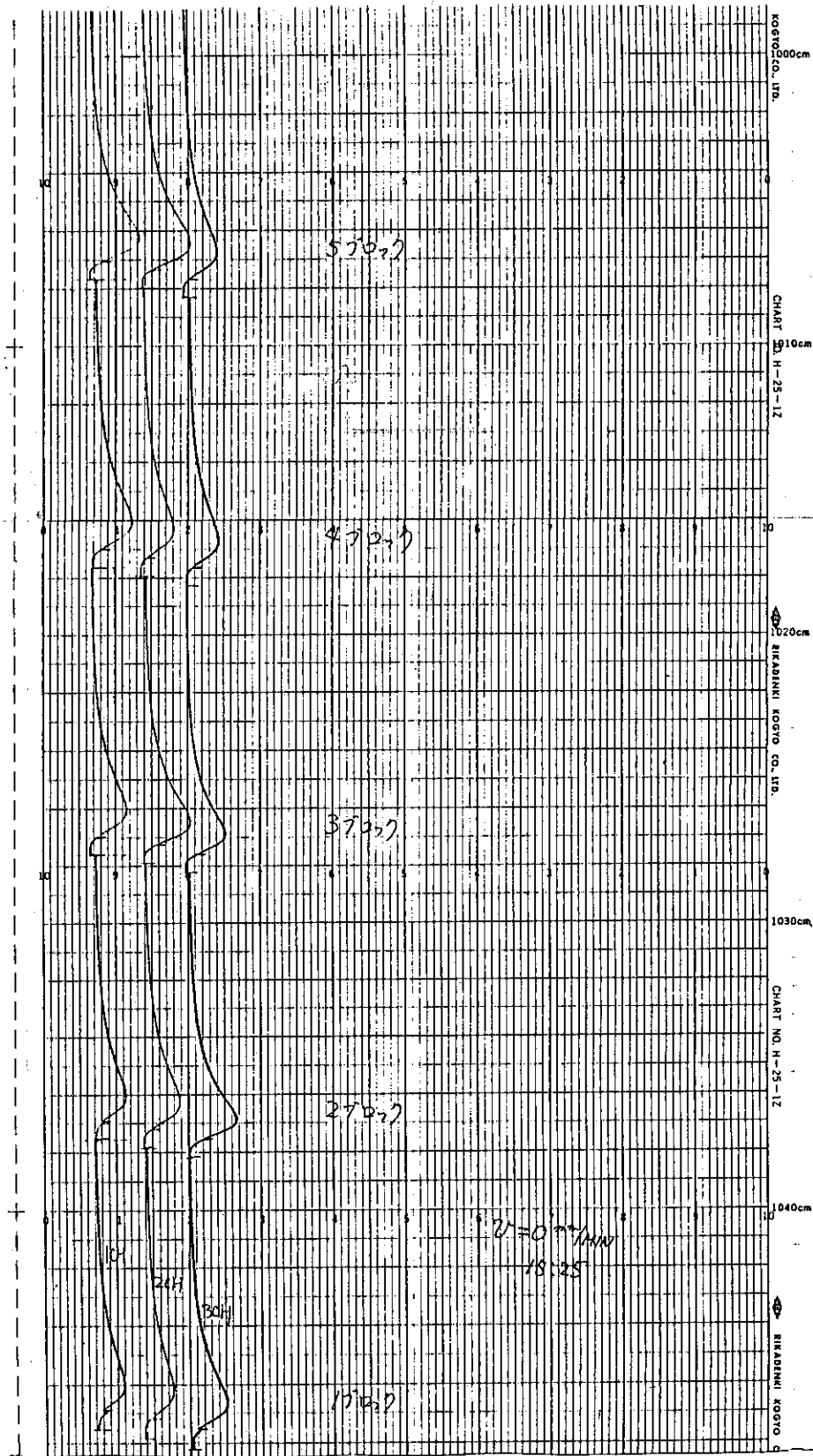
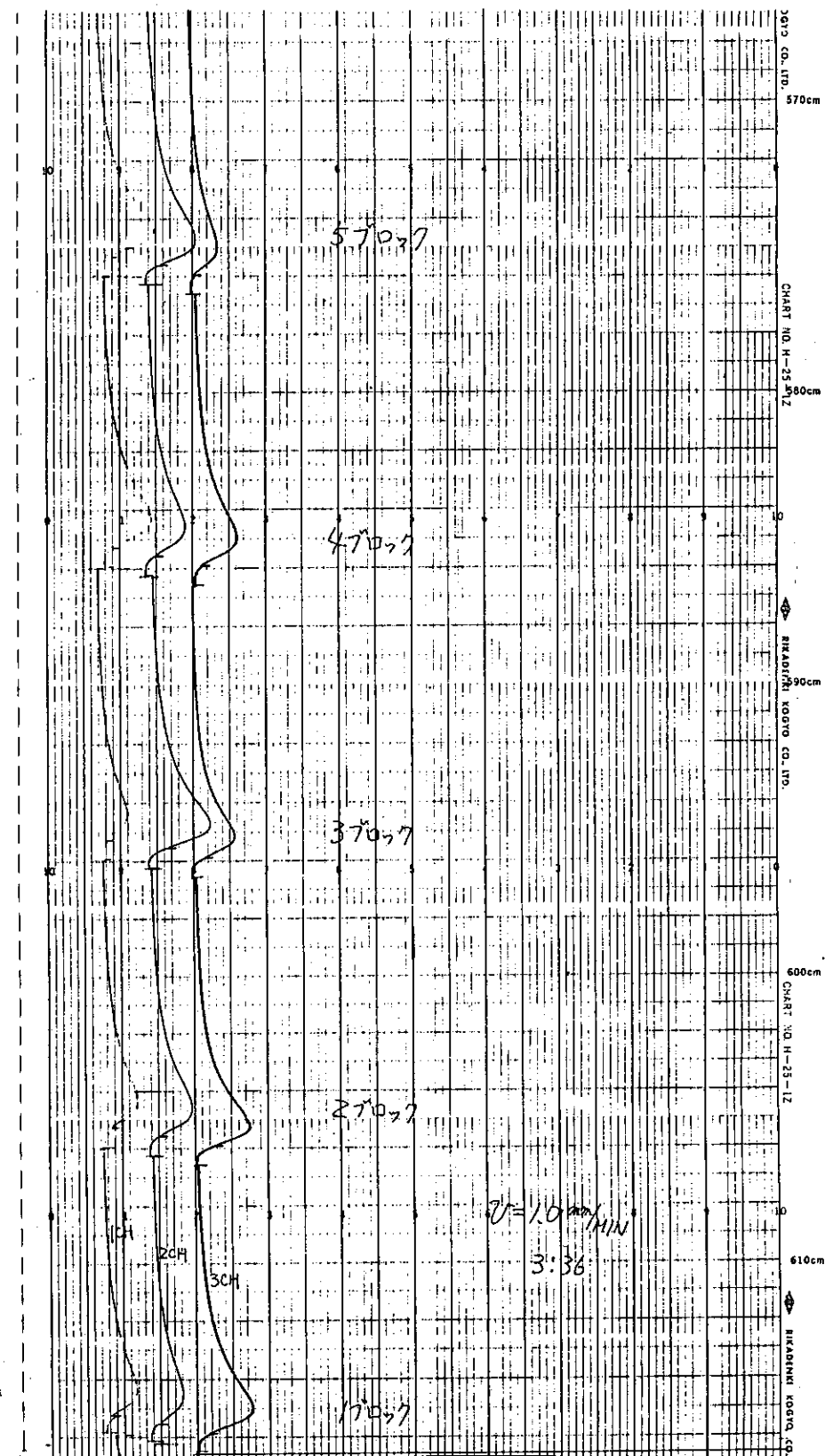


図 27 帯水層槽内における水流速測定個所

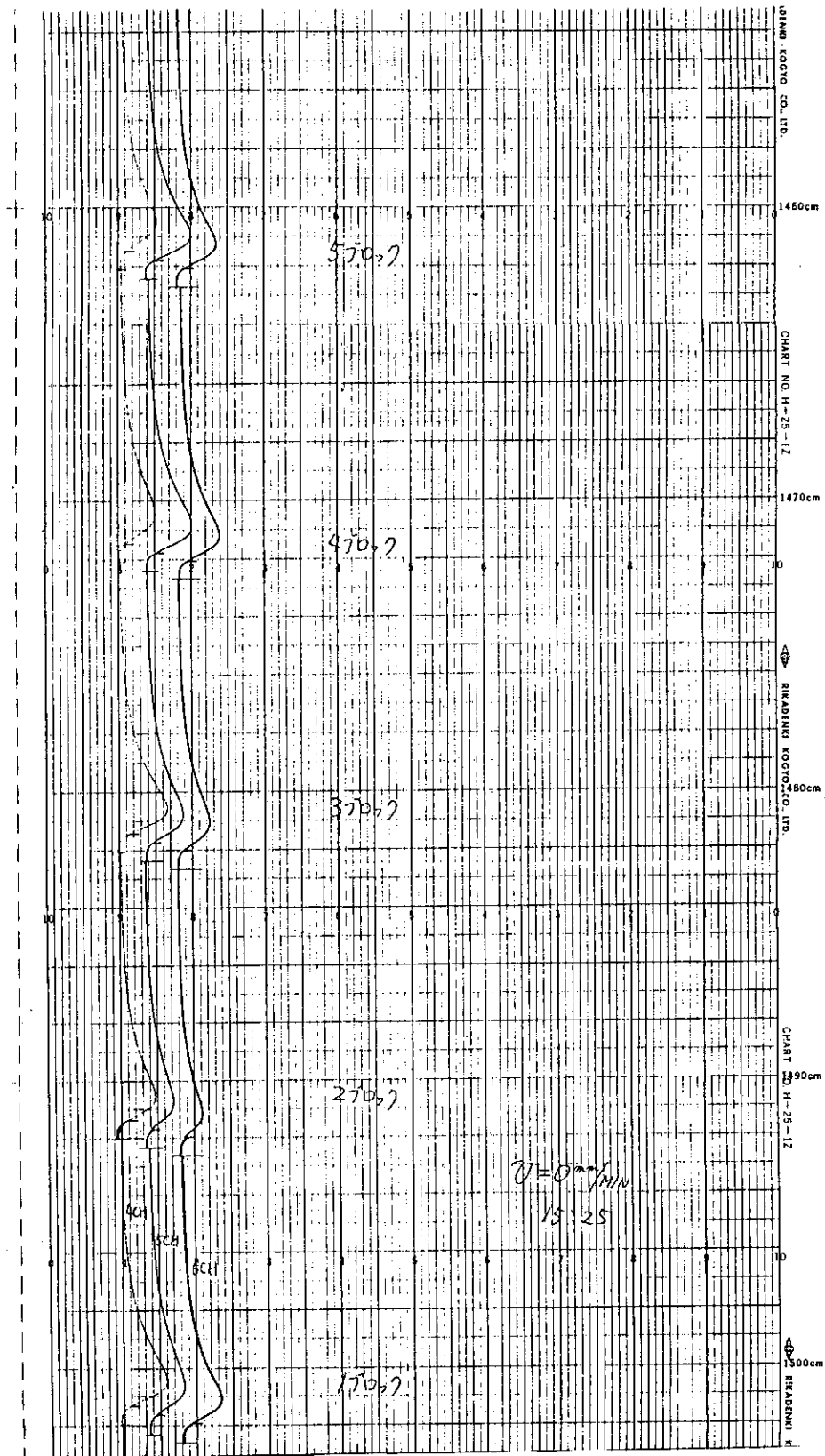


(1) $V = 0 \text{ mm/min}$ (1 ~ 3 ch)

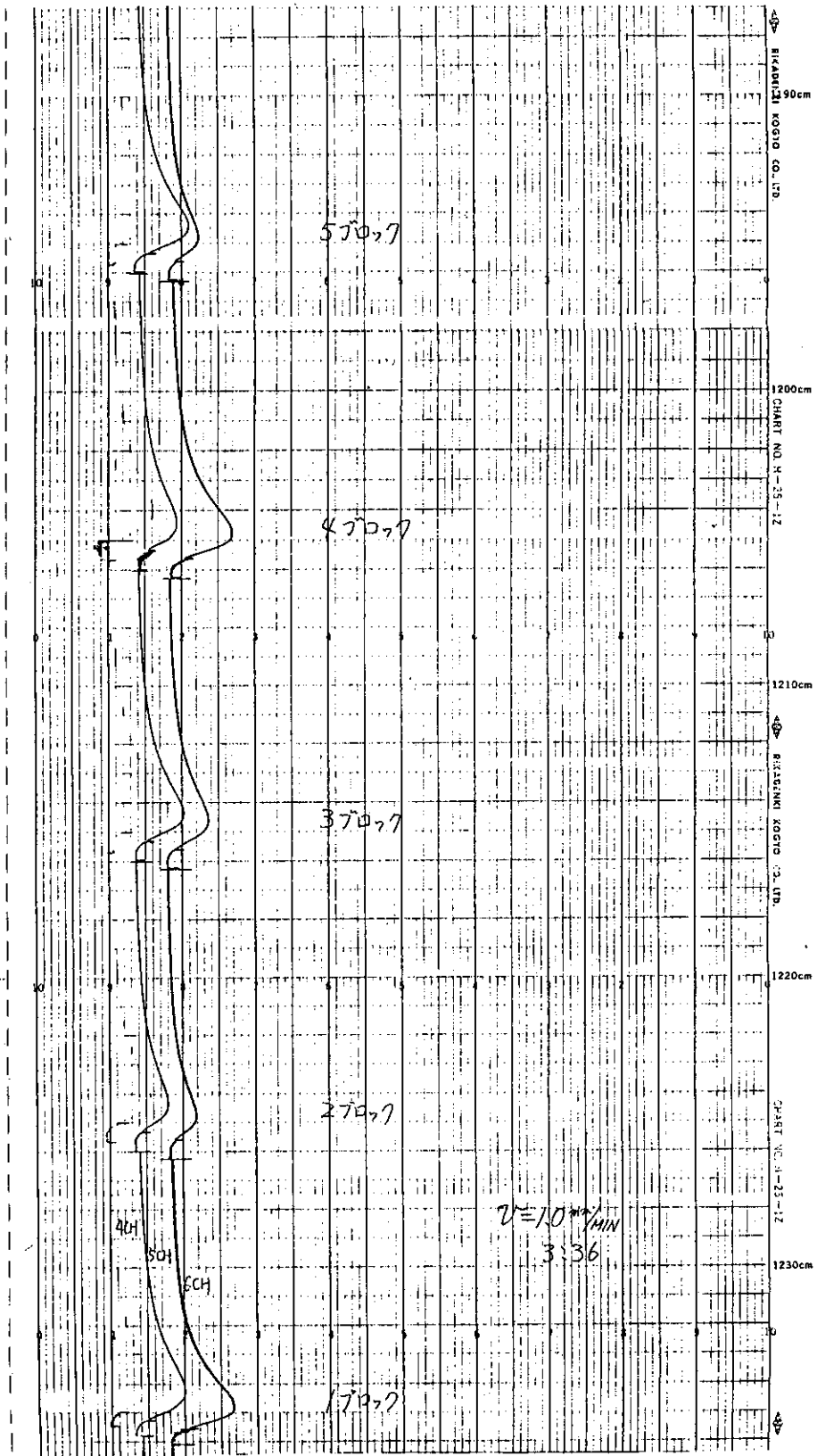
図28 各水流速測定個所における温度変化



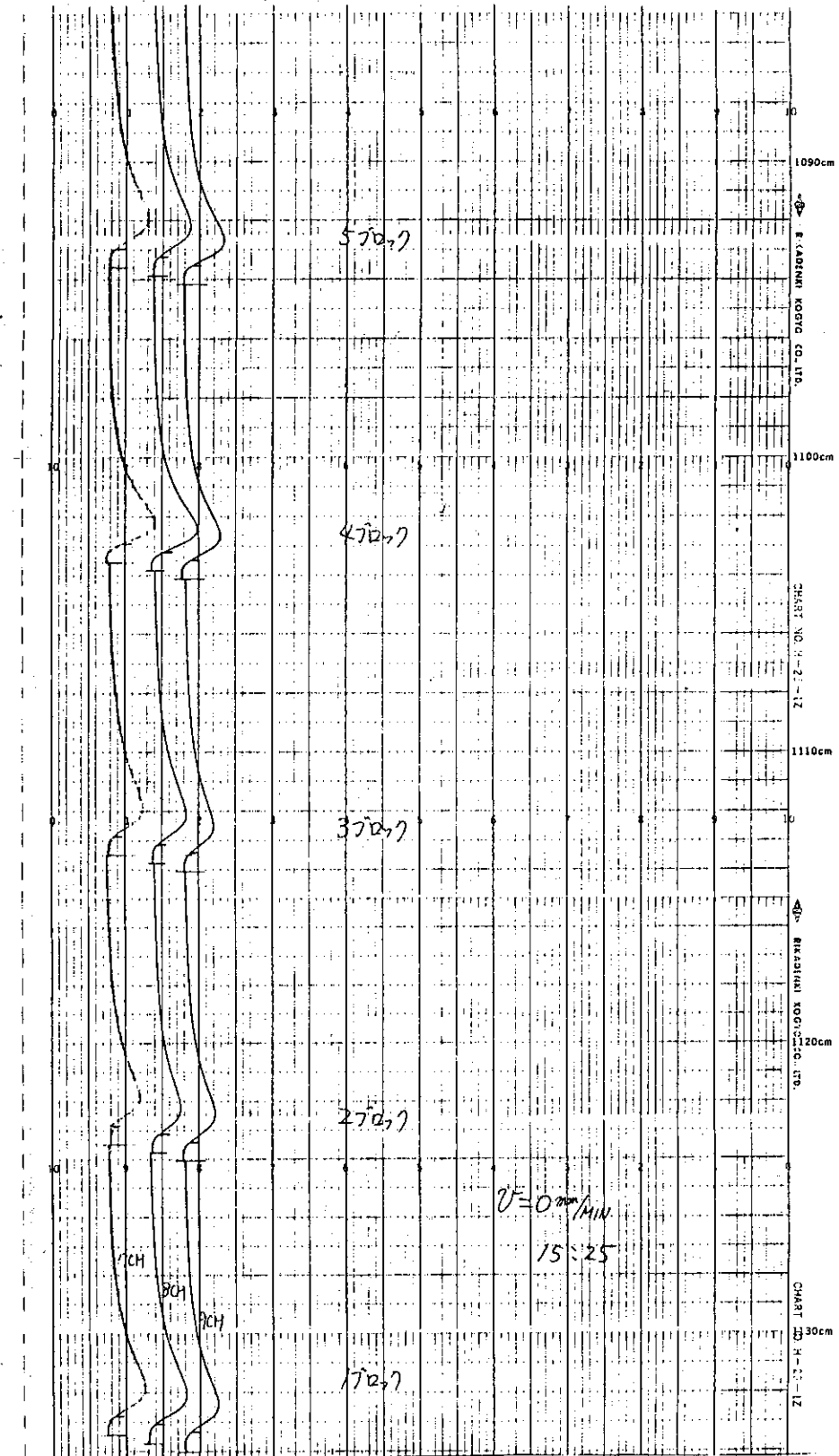
(2) $V = 1.0 \text{ mm / min}$ (1 ~ 3 ch)



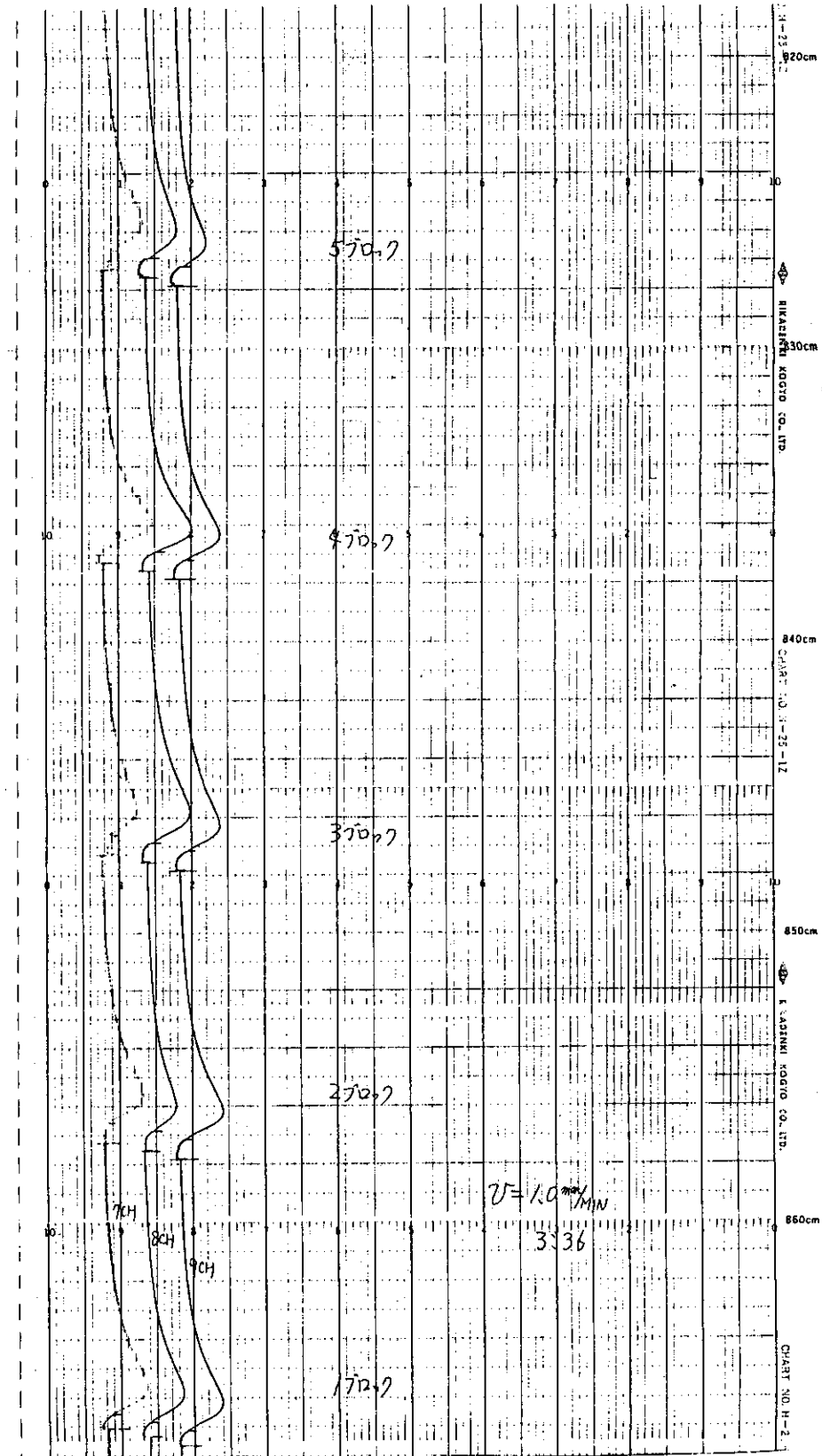
(3) $V = 0 \text{ mm/min}$ (4 ~ 6 ch)



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



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



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

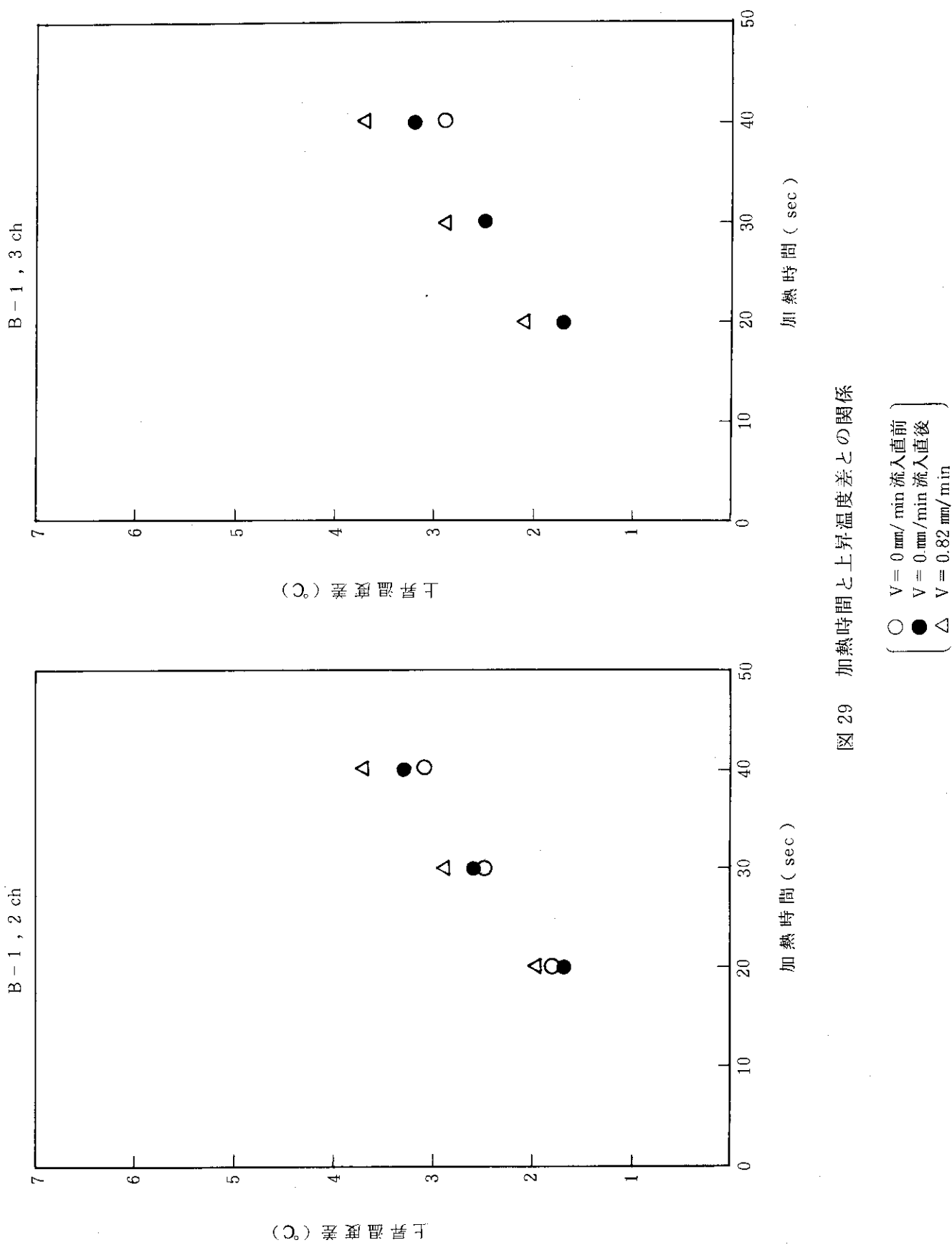


図 29 加熱時間と上昇温度差との関係

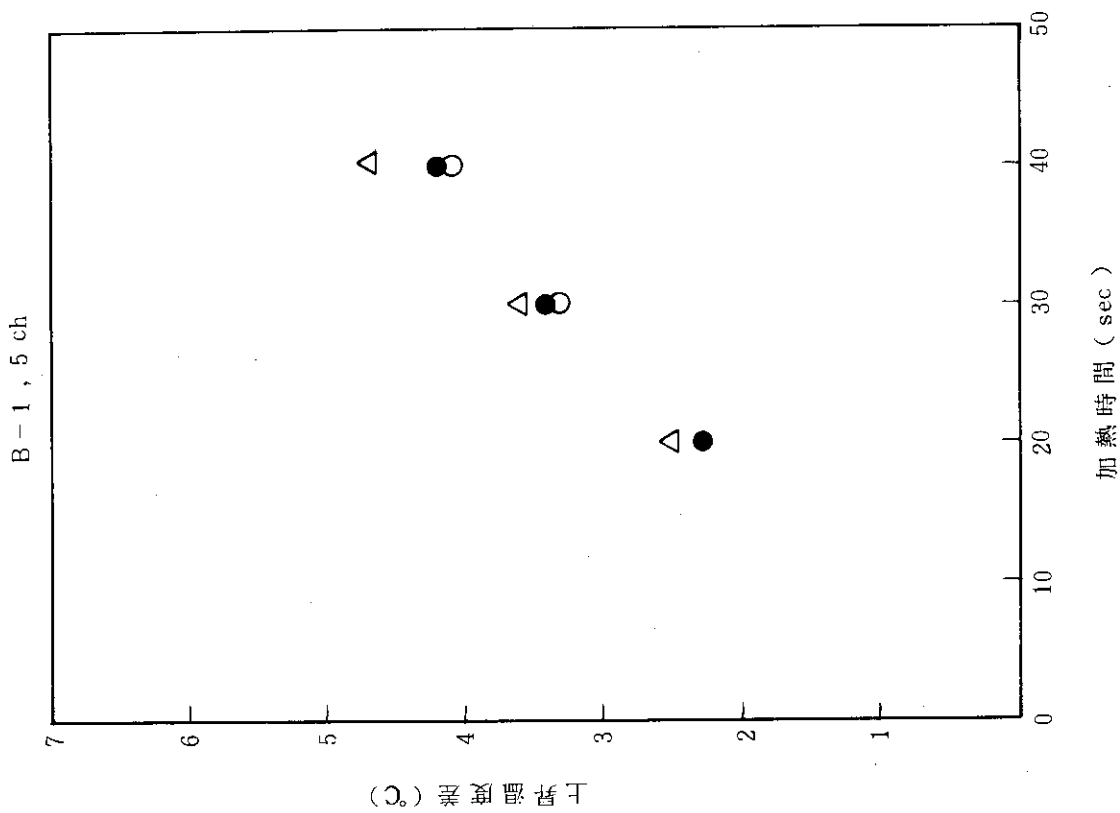
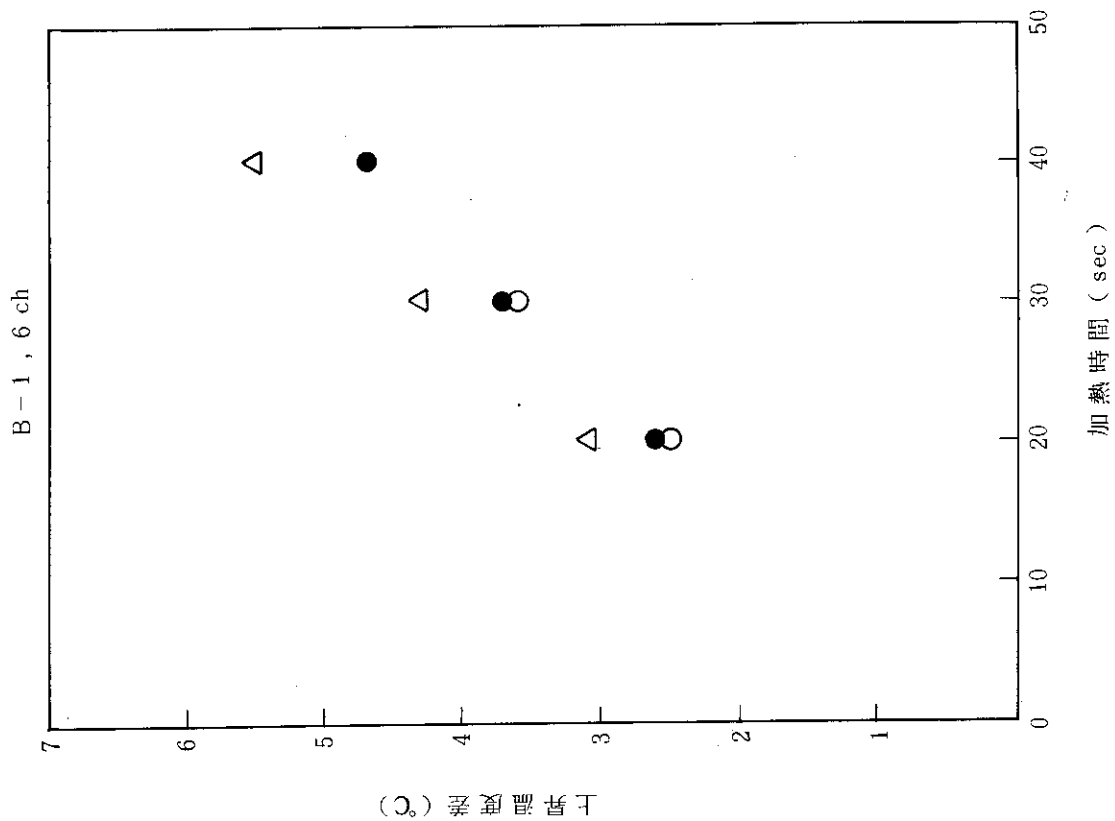


図 29 (続き)

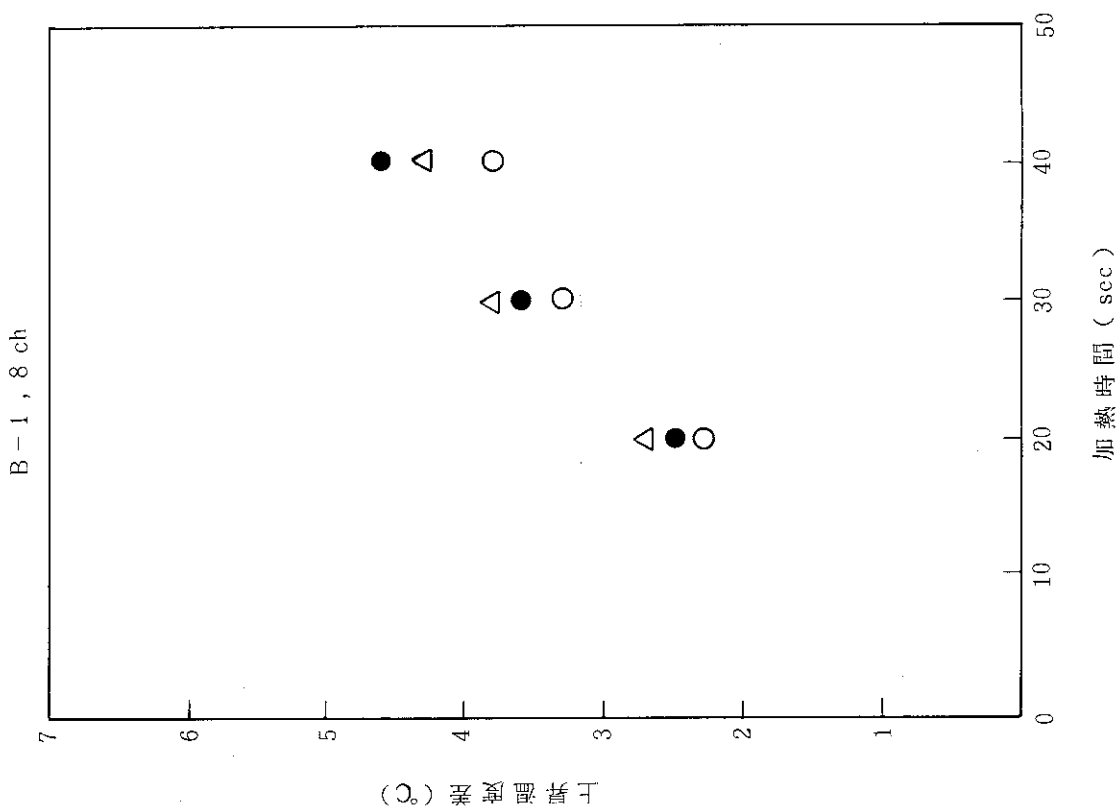
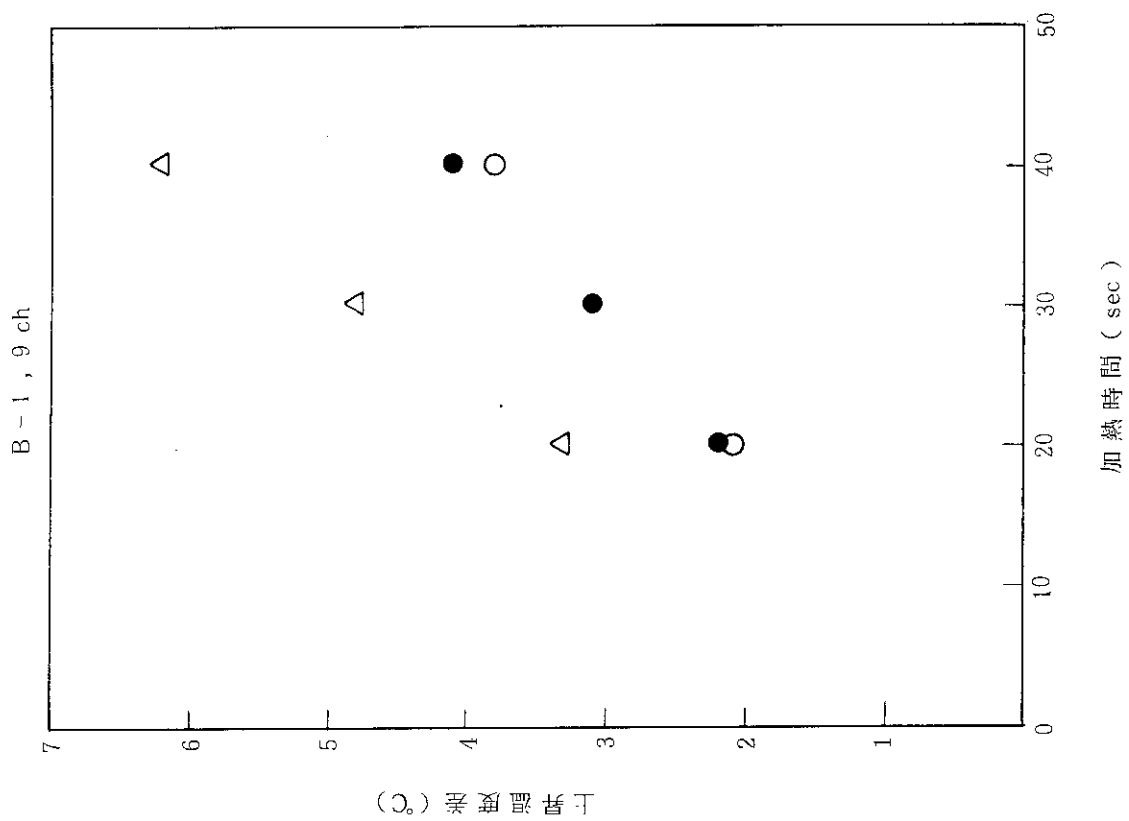


図 29 (続き)

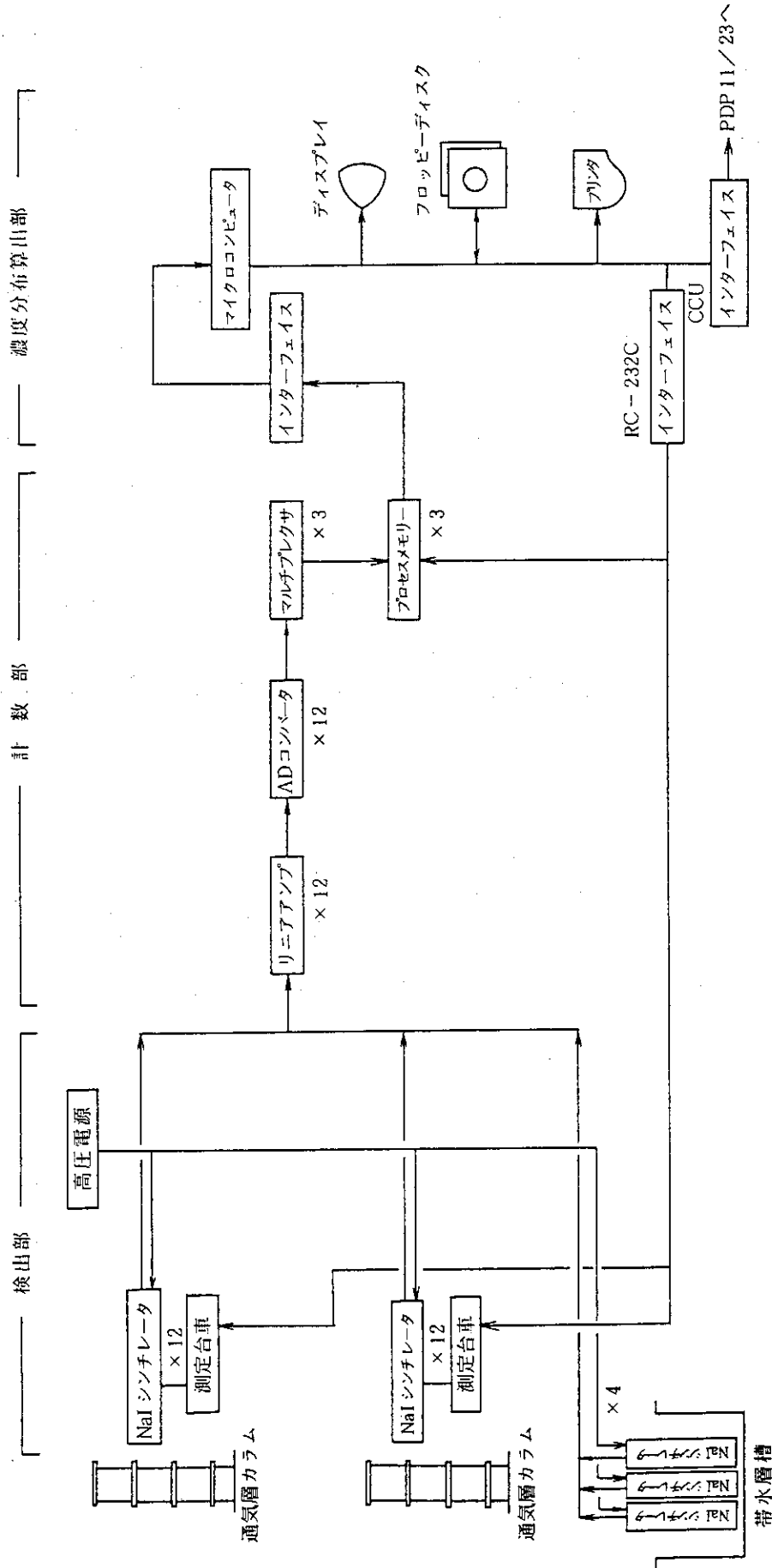


図30 核種移動速度測定装置ブロックダイヤグラム

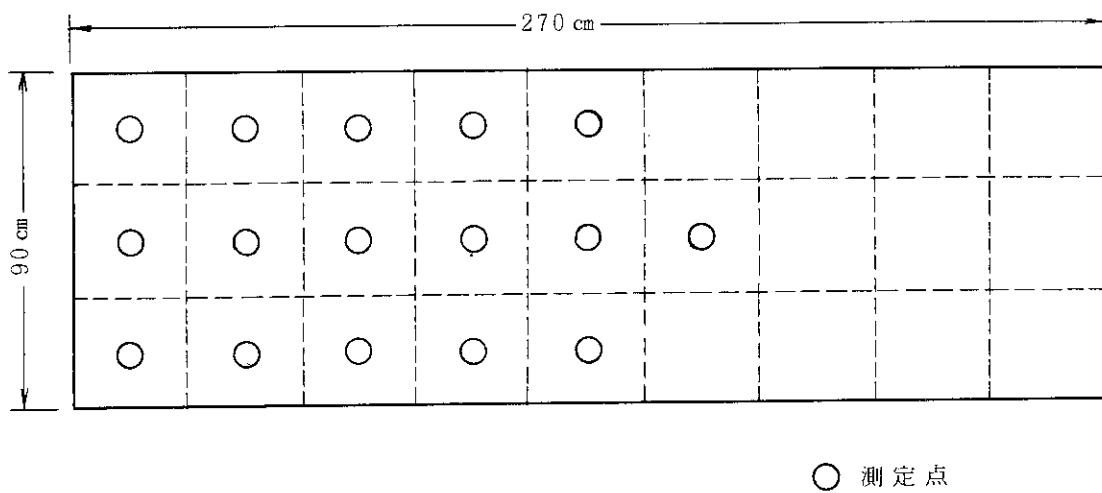


図31 帯水層核種移動速度測定における測定位置

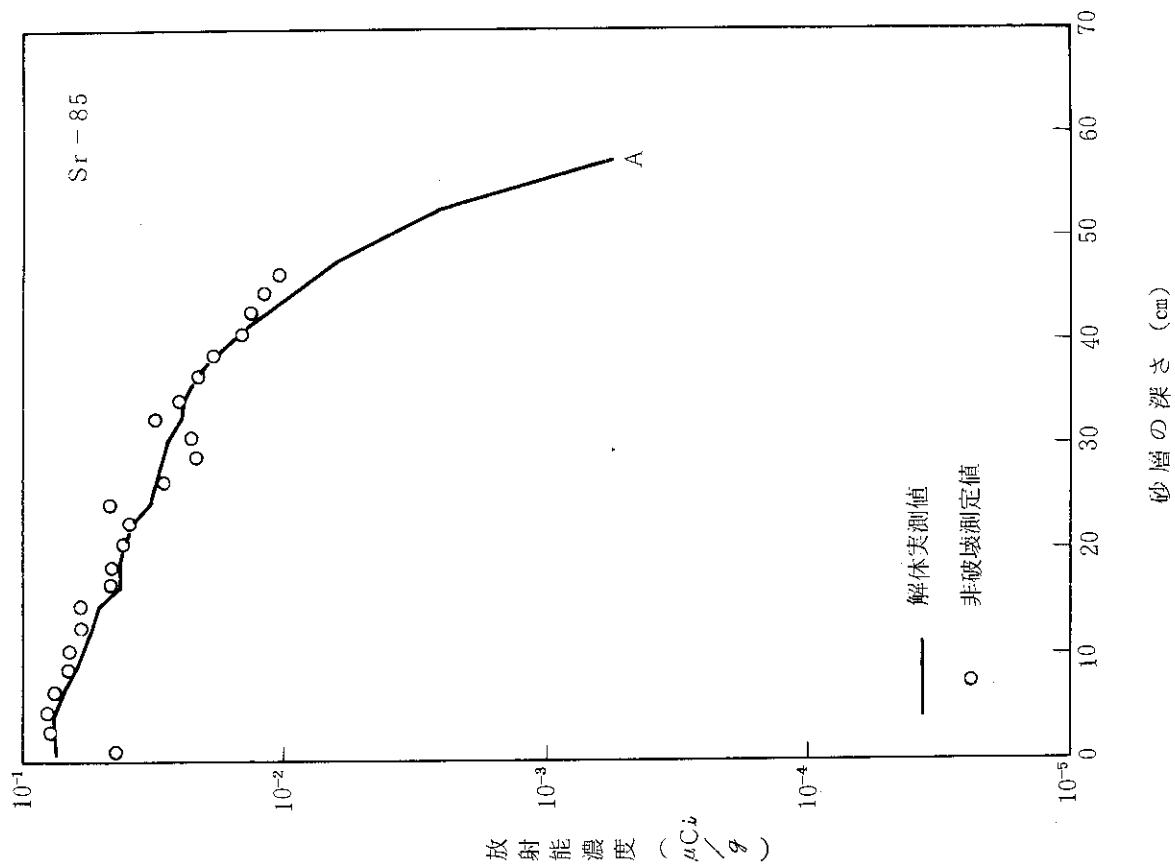


図 33 通気層カラム内核種濃度分布 (^{85}Sr)

(散布器を使用した場合)

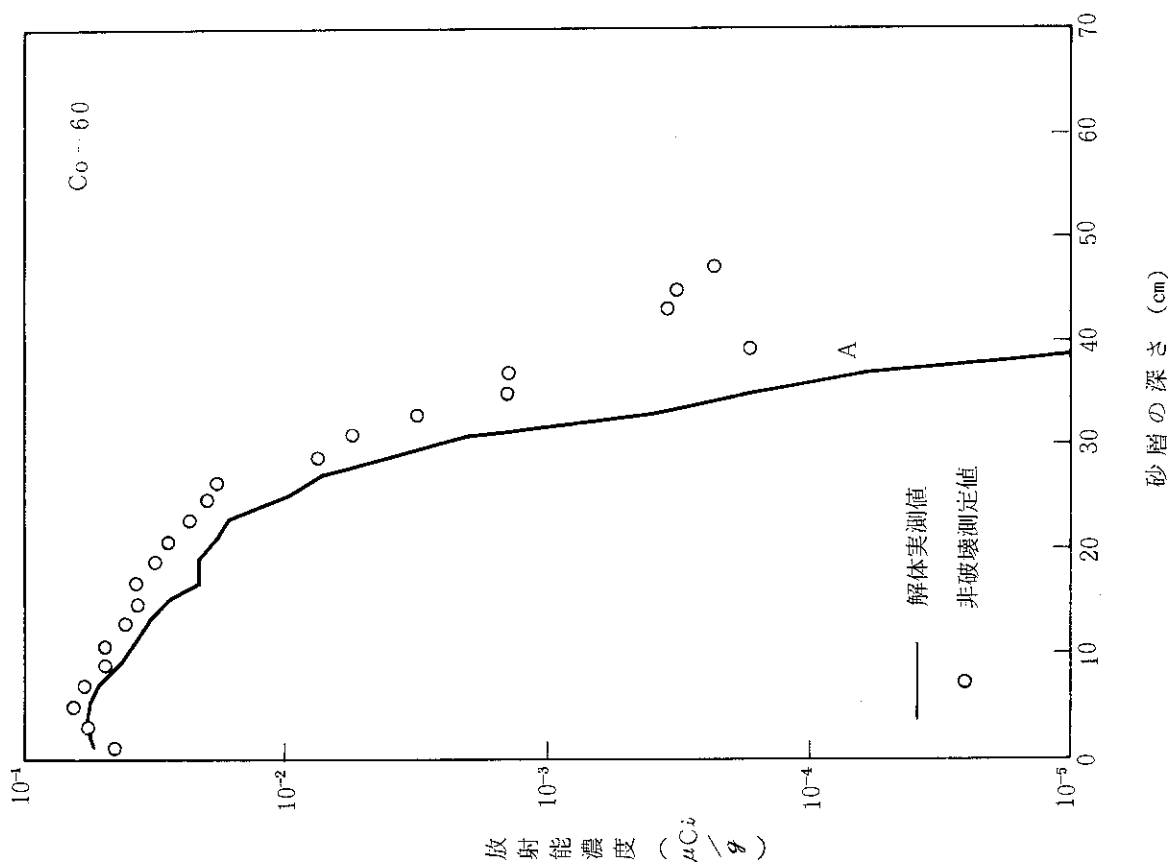


図 32 通気層カラム内核種濃度分布 (^{60}Co)

(散布器を使用した場合)

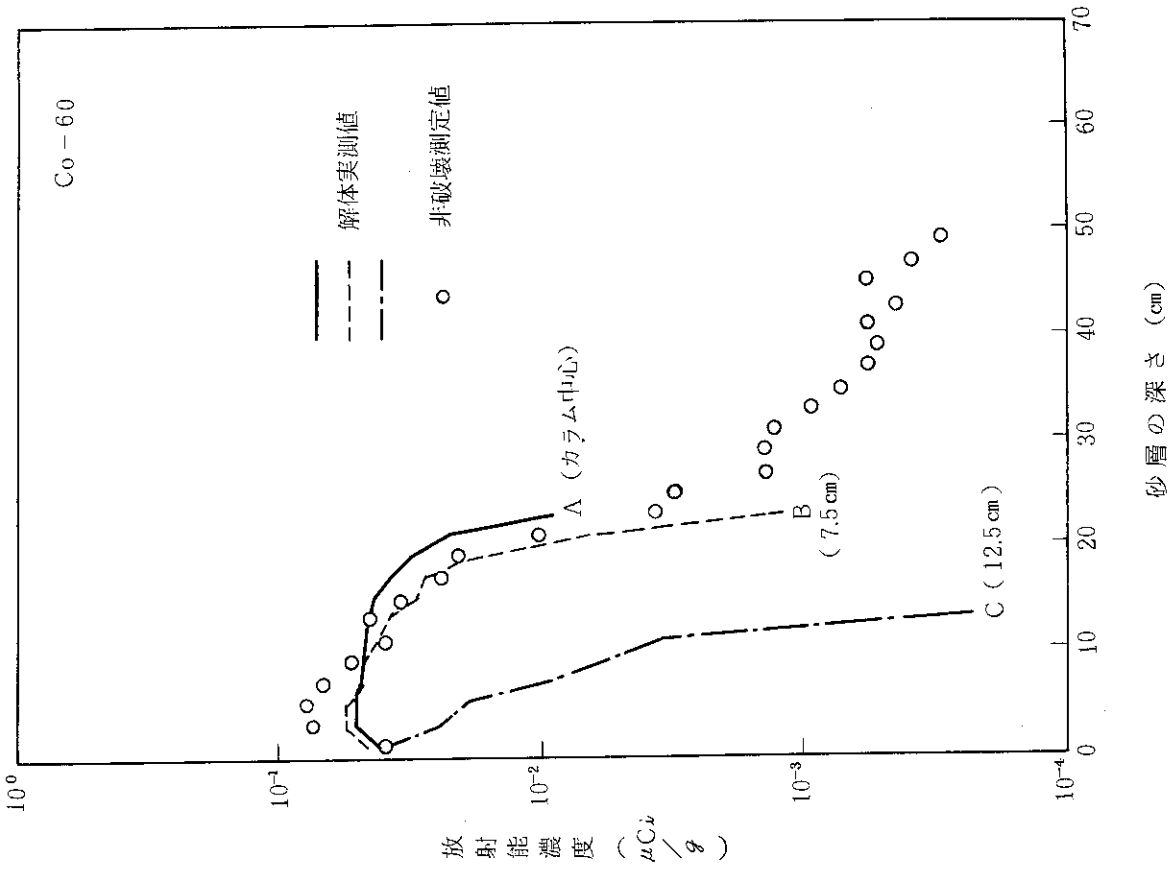


図 35 通気層カラム内核種濃度分布 (^{60}Co)
(スプリングラーを使用した場合)

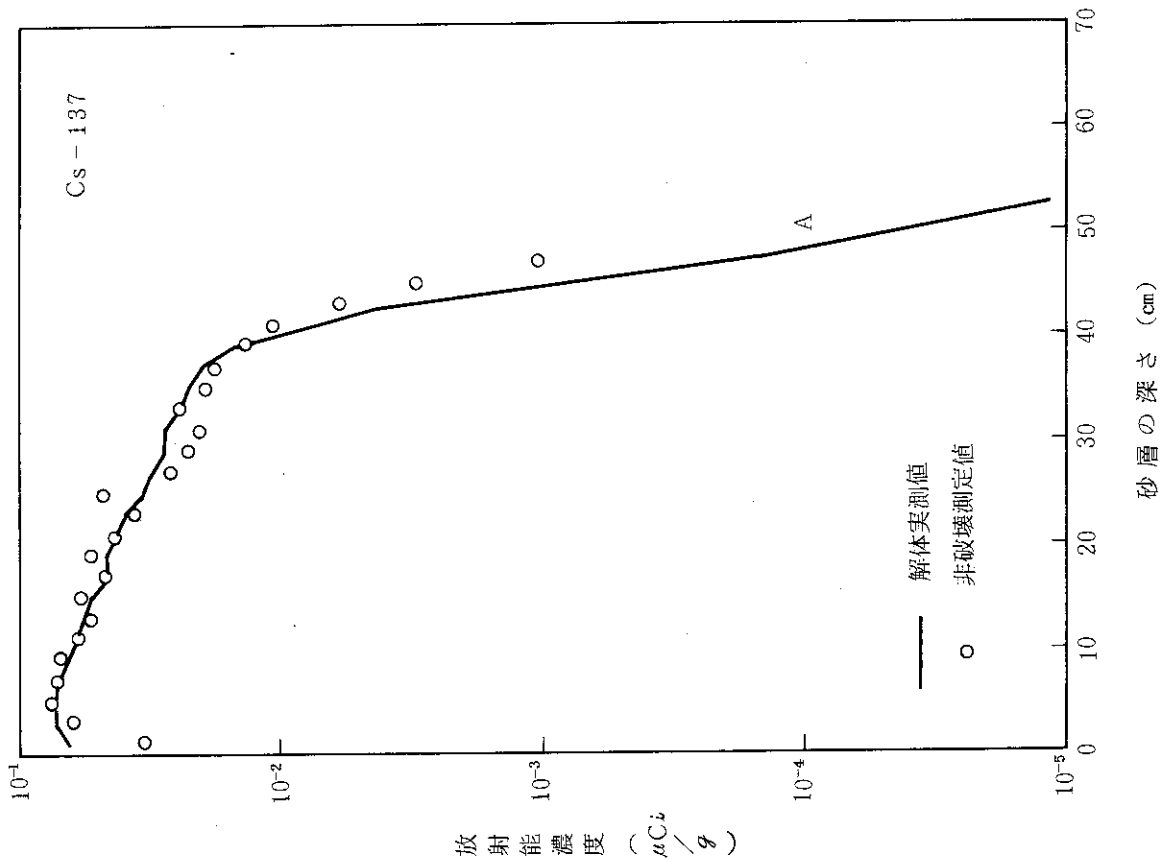


図 34 通気層カラム内核種濃度分布 (^{137}Cs)
(散布器を使用した場合)

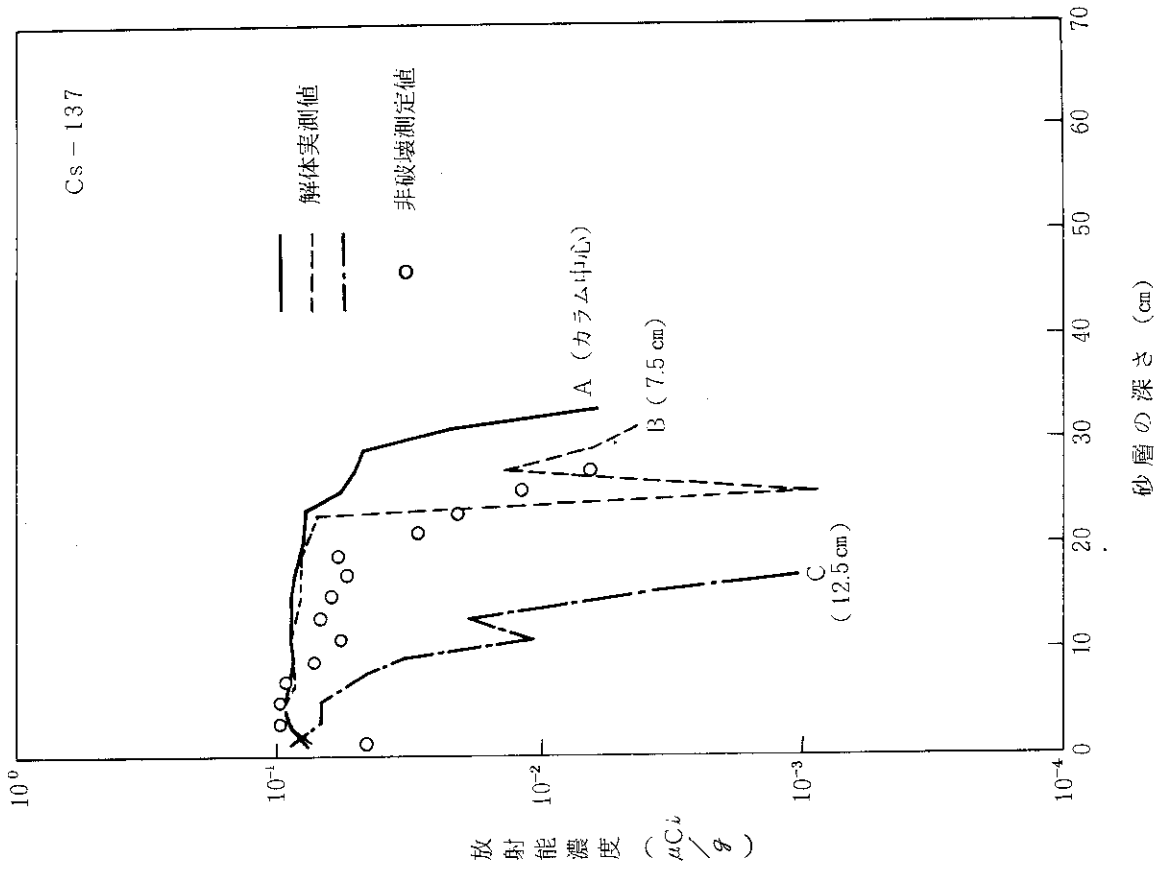


図 37 通気層カラム内核種濃度分布 (^{137}Cs)
(スプリングラーを使用した場合)

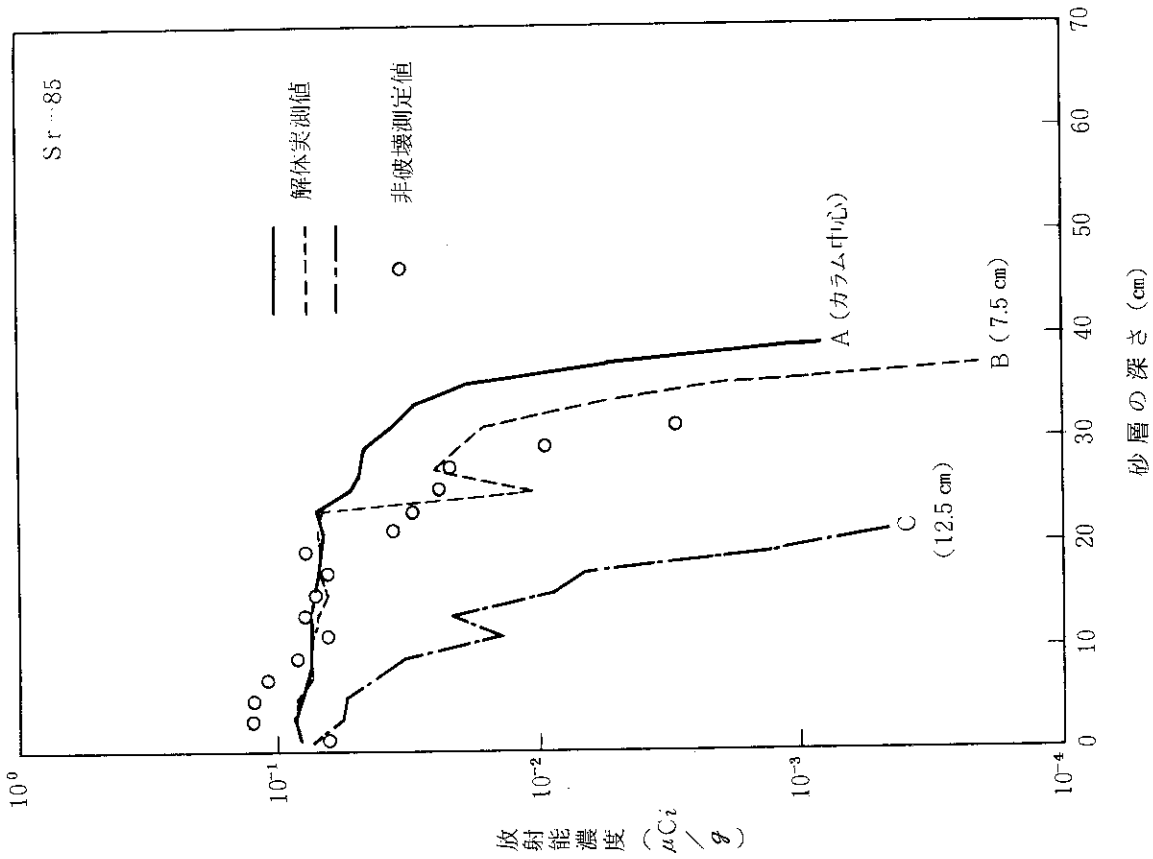
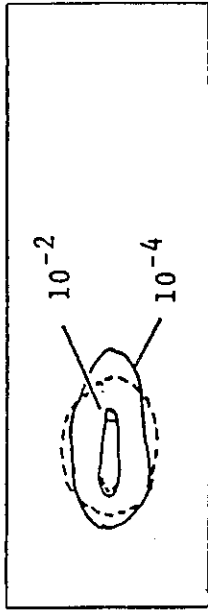
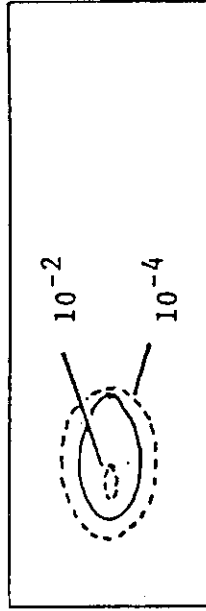


図 36 通気層カラム内核種濃度分布 (^{85}Sr)
(スプリングラーを使用した場合)

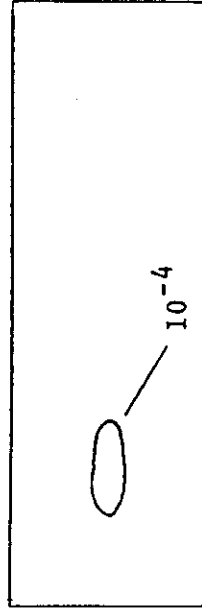
Cs-137



上層 (5 cm)



中層 (15 cm)

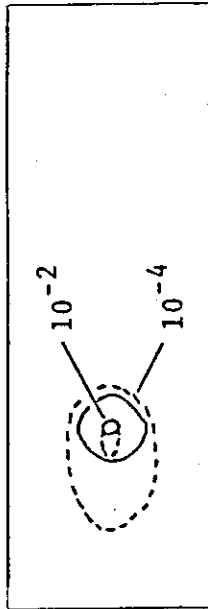


下層 (25 cm)

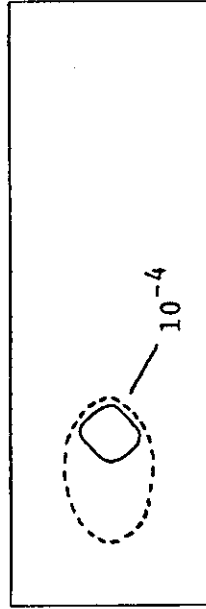
$\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$

----- 解体実測値 —— 非破壊測定値

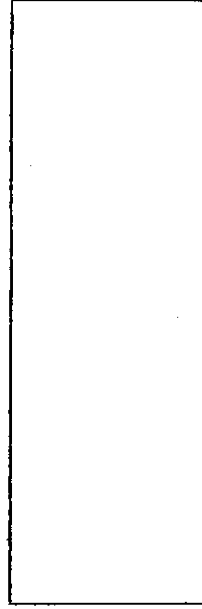
Sr-85



上層 (5 cm)



中層 (15 cm)

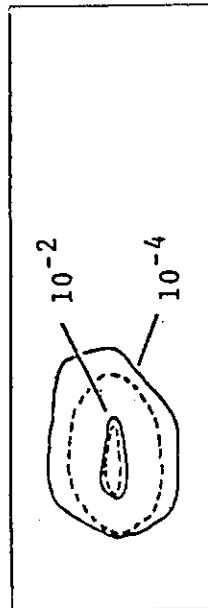


下層 (25 cm)

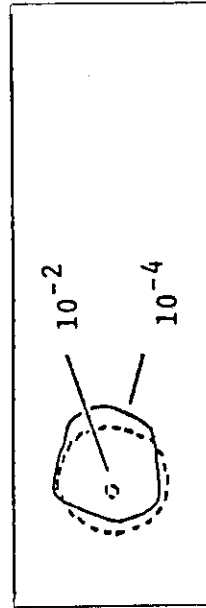
$\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$

----- 解体実測値 —— 非破壊測定値

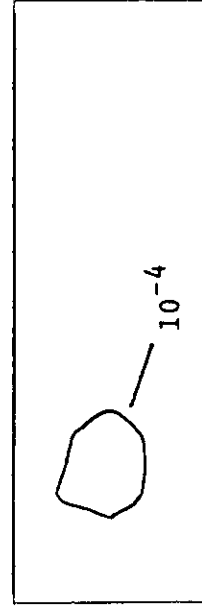
Co-60



上層 (5 cm)



中層 (15 cm)



下層 (25 cm)

$\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$

----- 解体実測値 —— 非破壊測定値

図40 帯水層槽内核種濃度分布 (^{137}Cs)

図39 帯水層槽内核種濃度分布 (^{85}Sr)

図38 帯水層槽内核種濃度分布 (^{60}Co)

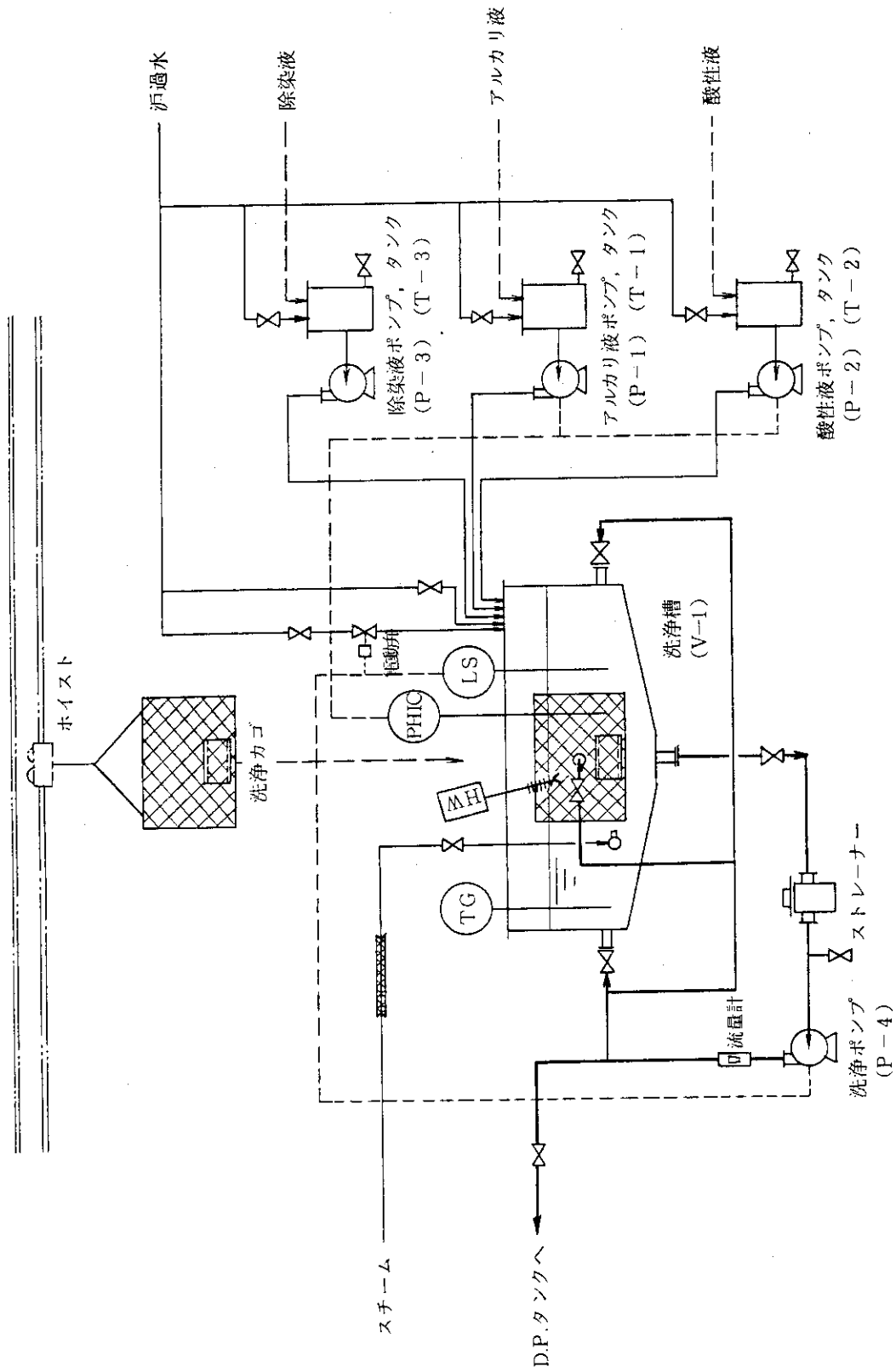


図41 除染装置フローシート

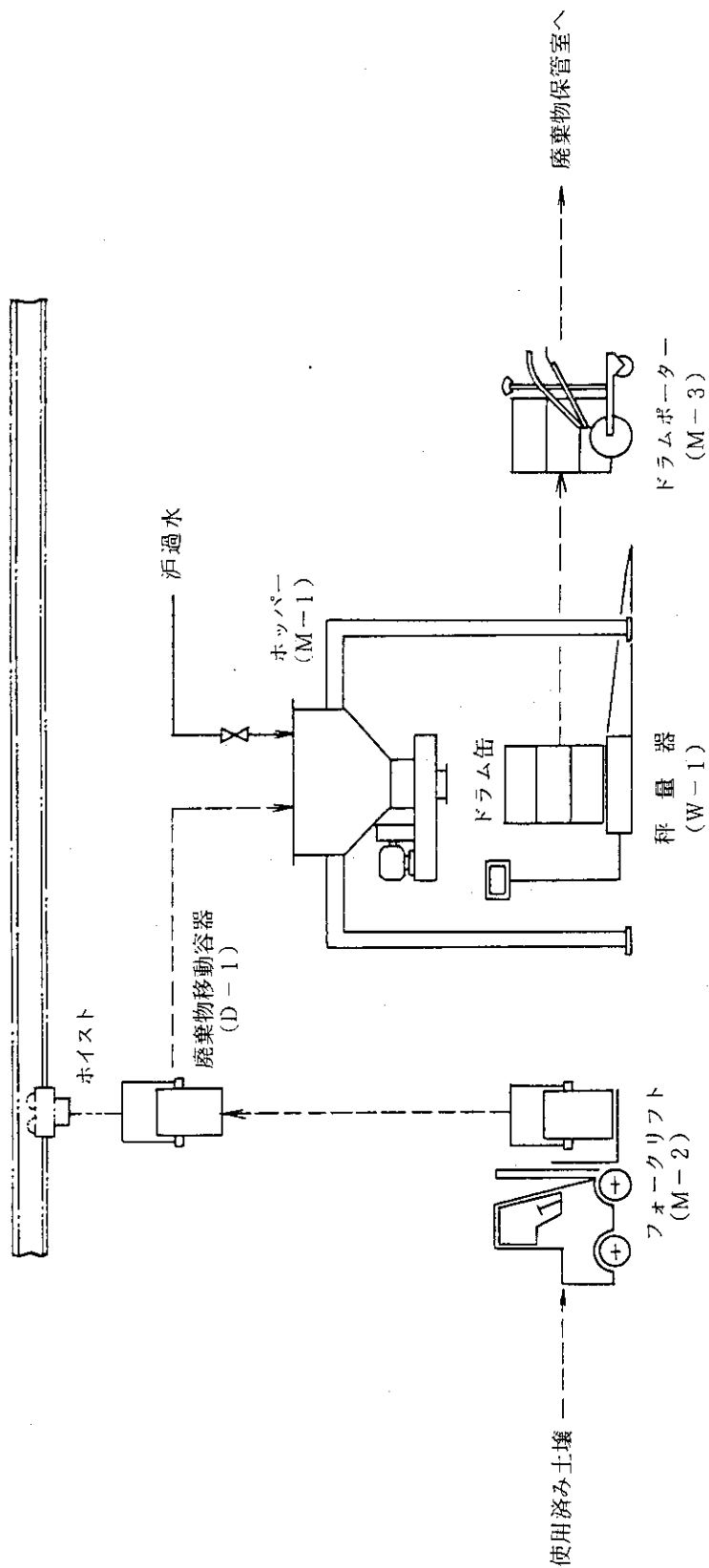
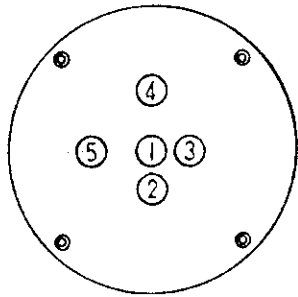
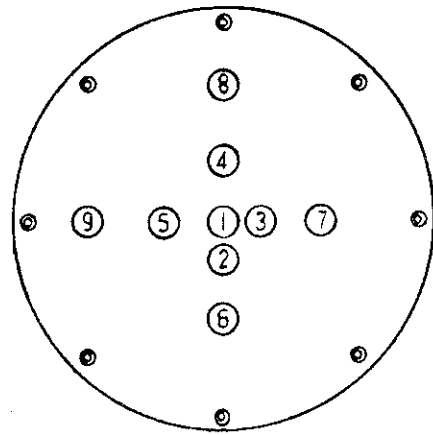


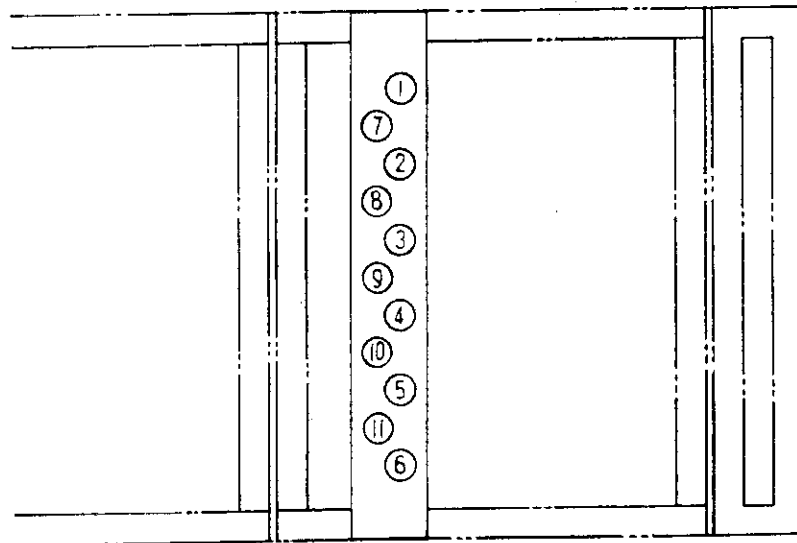
図42 廃棄物処理装置フローシート



300mmφ 通気層カラム採取位置



600mmφ 通気層カラム採取位置



帯水層槽採取位置

図43 通気層カラムおよび帯水層槽における土壌サンプリング位置

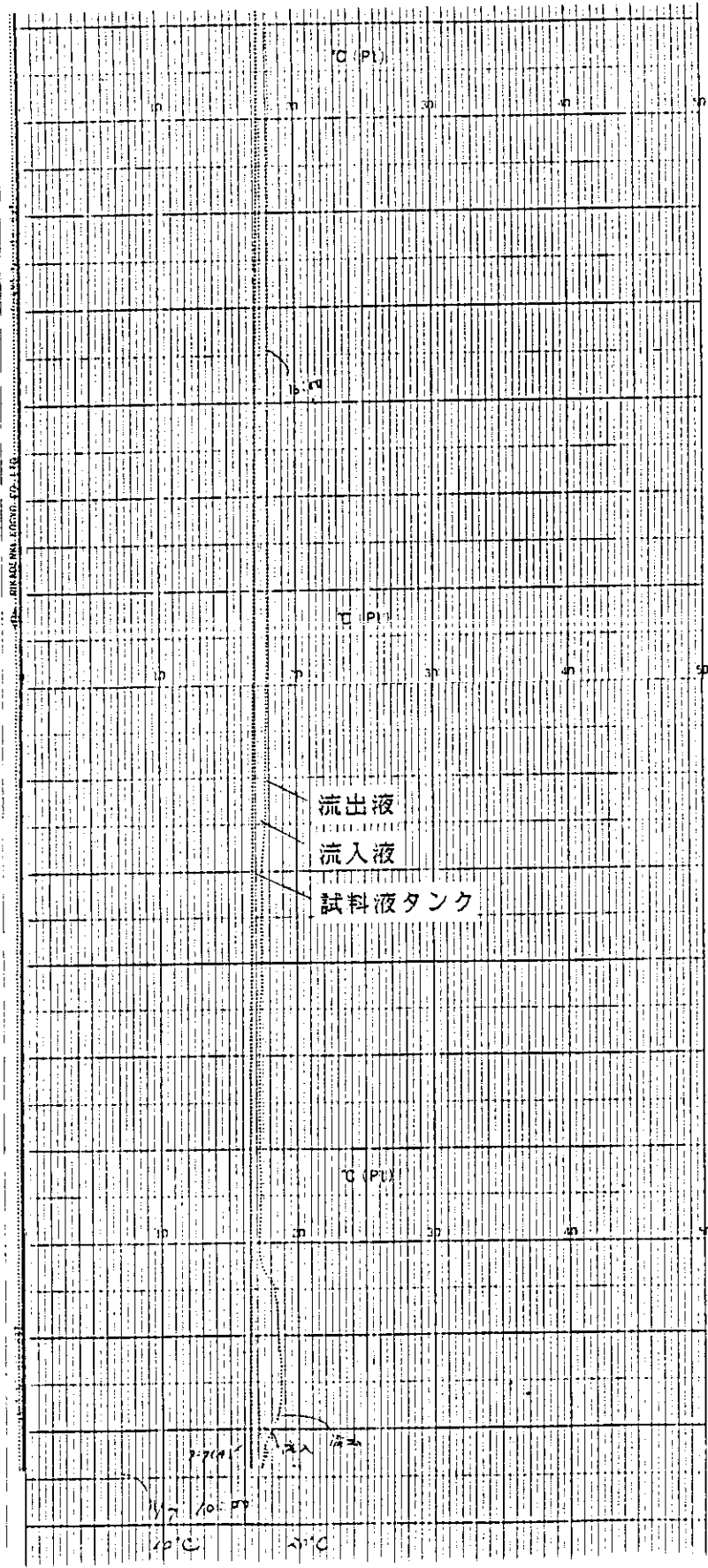


図44 通気層用装置総合試験における温度の記録 (0 ~ 7.5 hr)

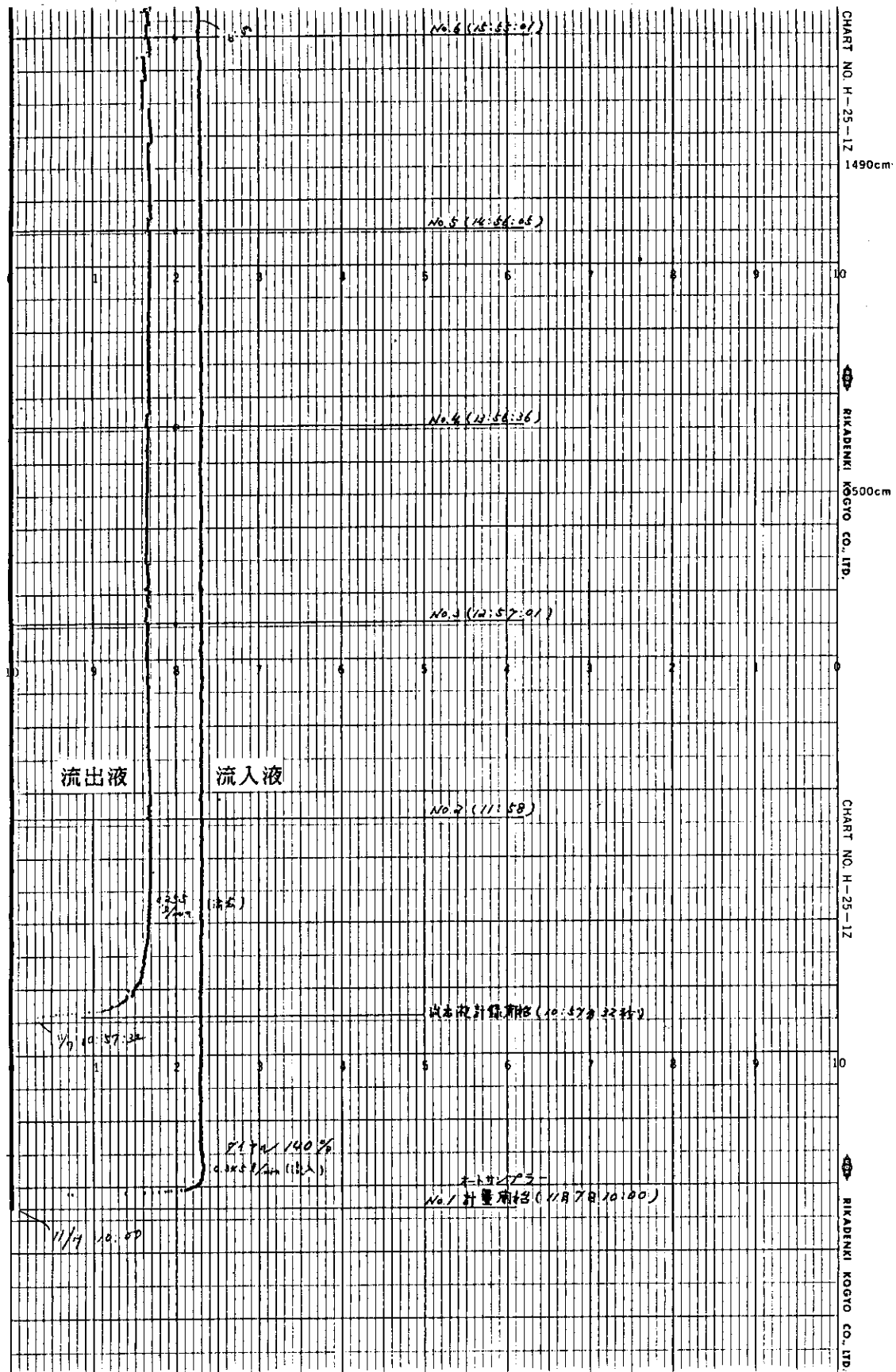


図45 通気層用装置総合試験における瞬時流量の記録 (0 ~ 6 hr)

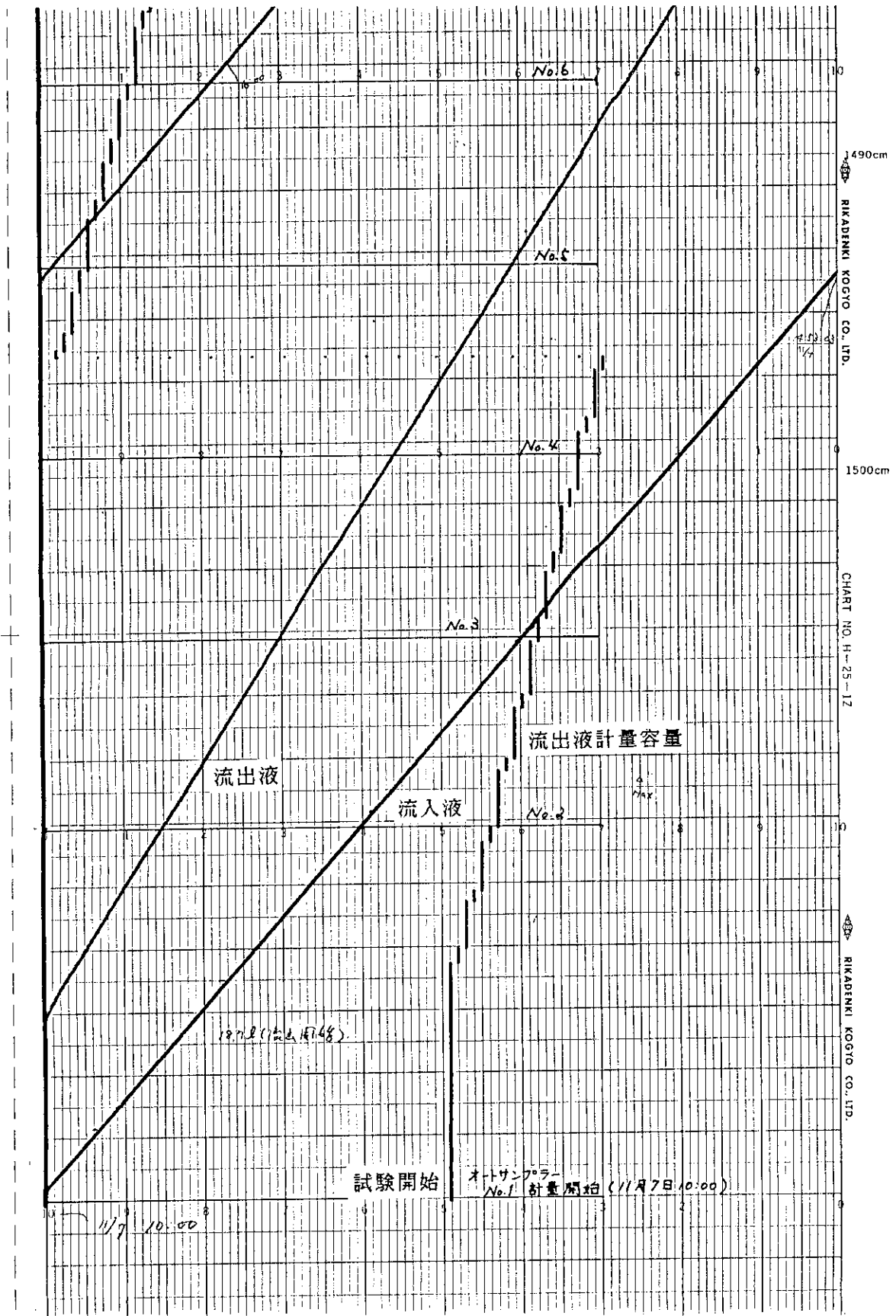


図46 通気層用装置総合試験における流量積算の記録 (0 ~ 50 hr)

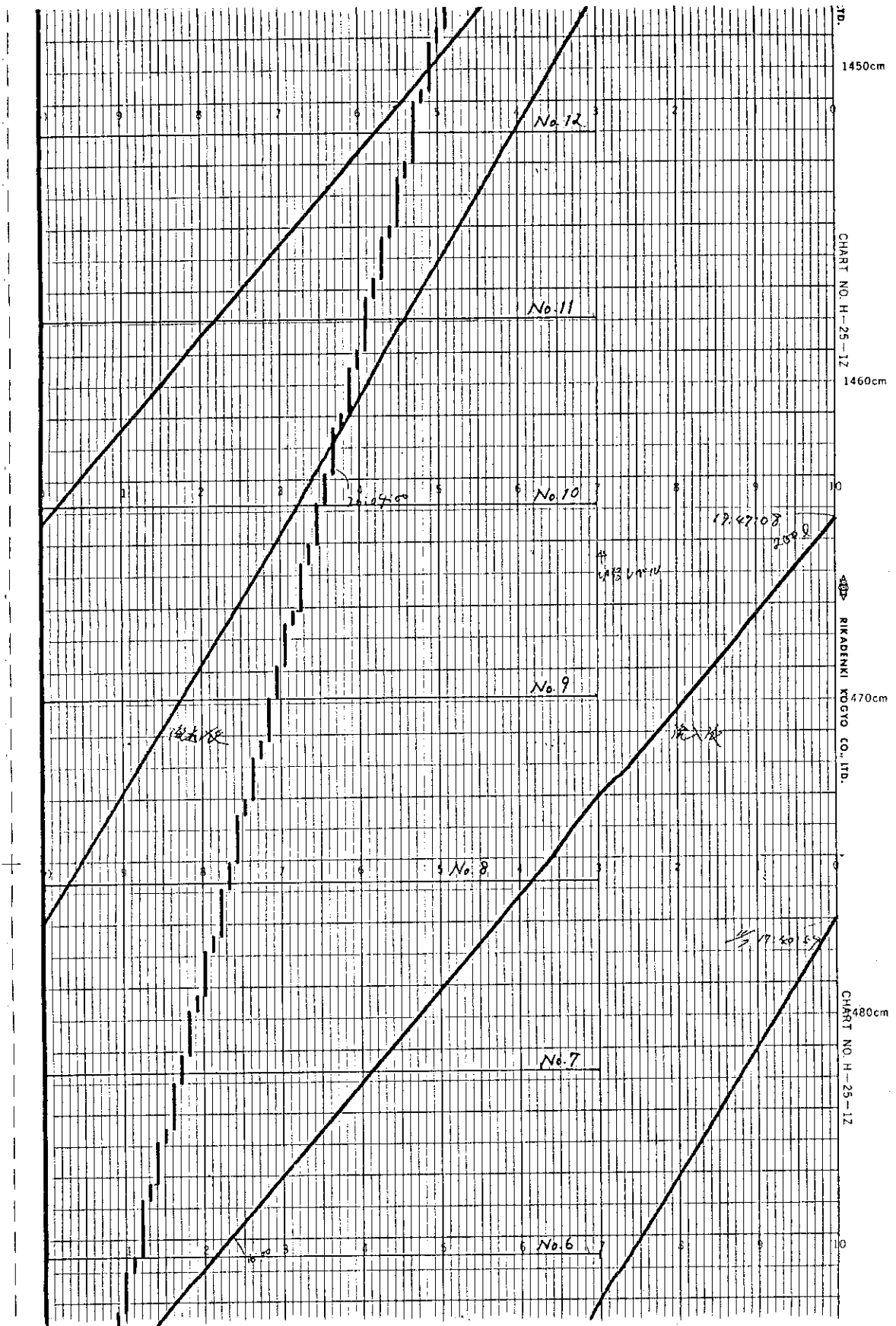


図46 (続 き)

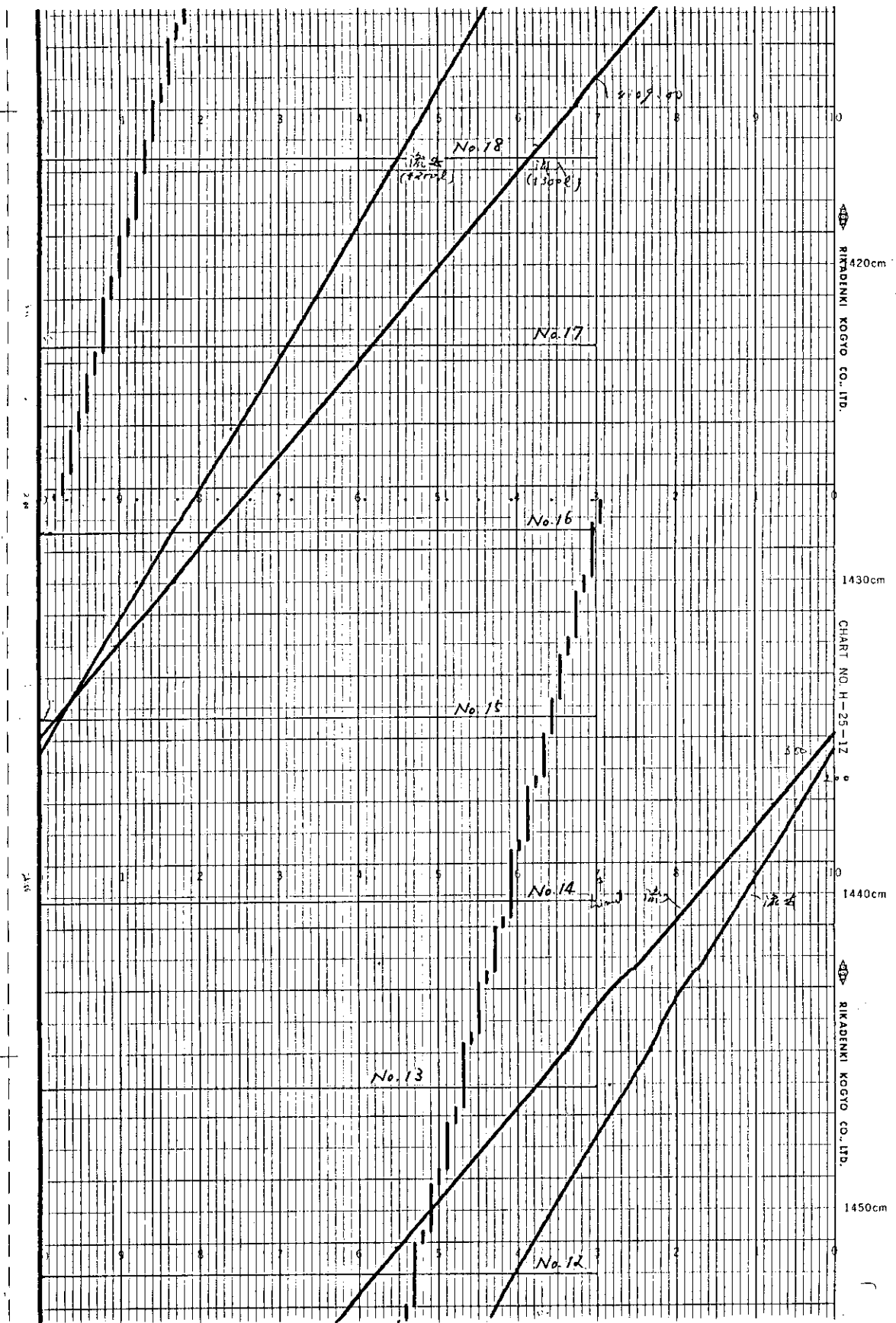


図46 (続 き)

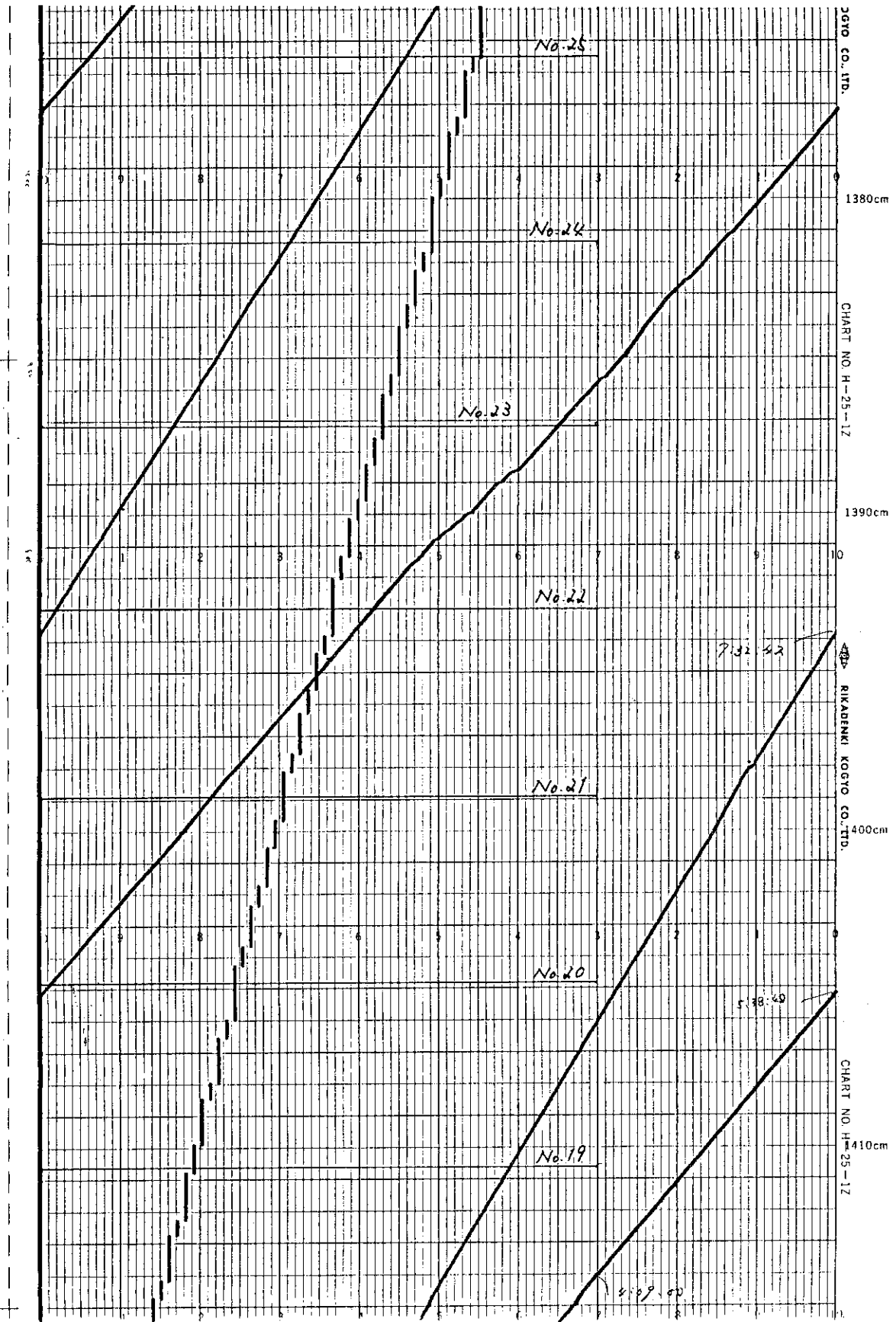


図46 (続 き)

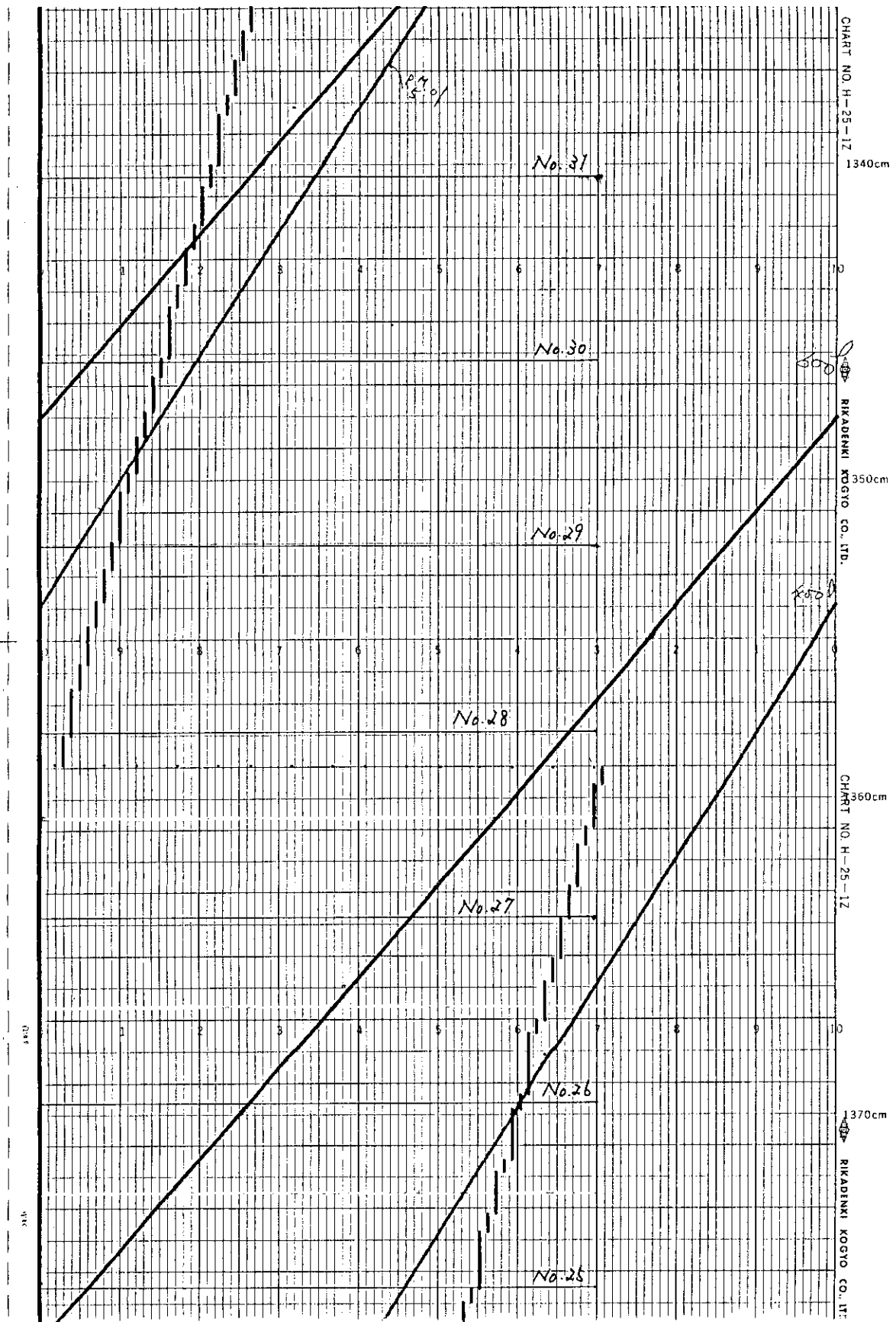


図46 (続 き)

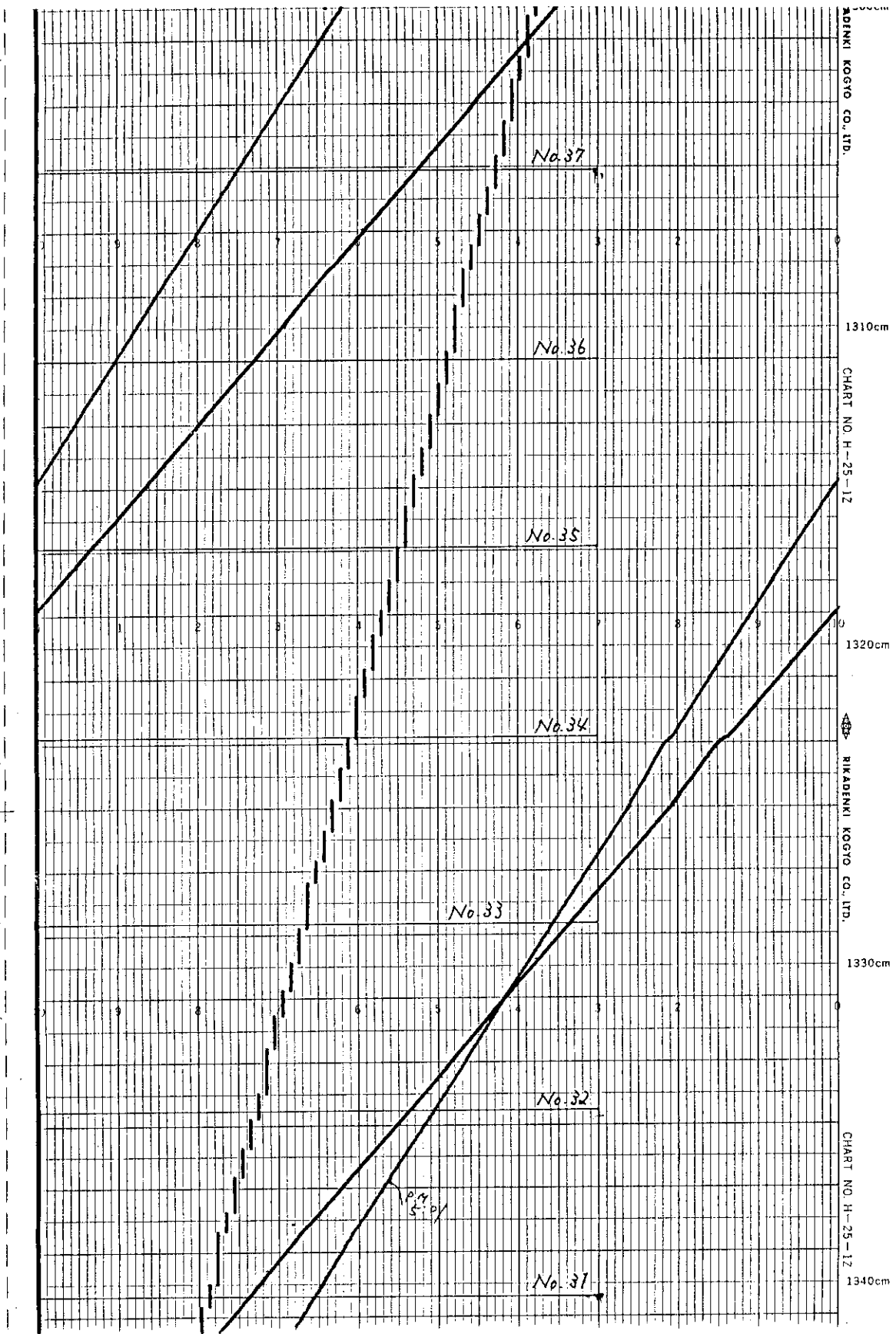


図46 (続 き)

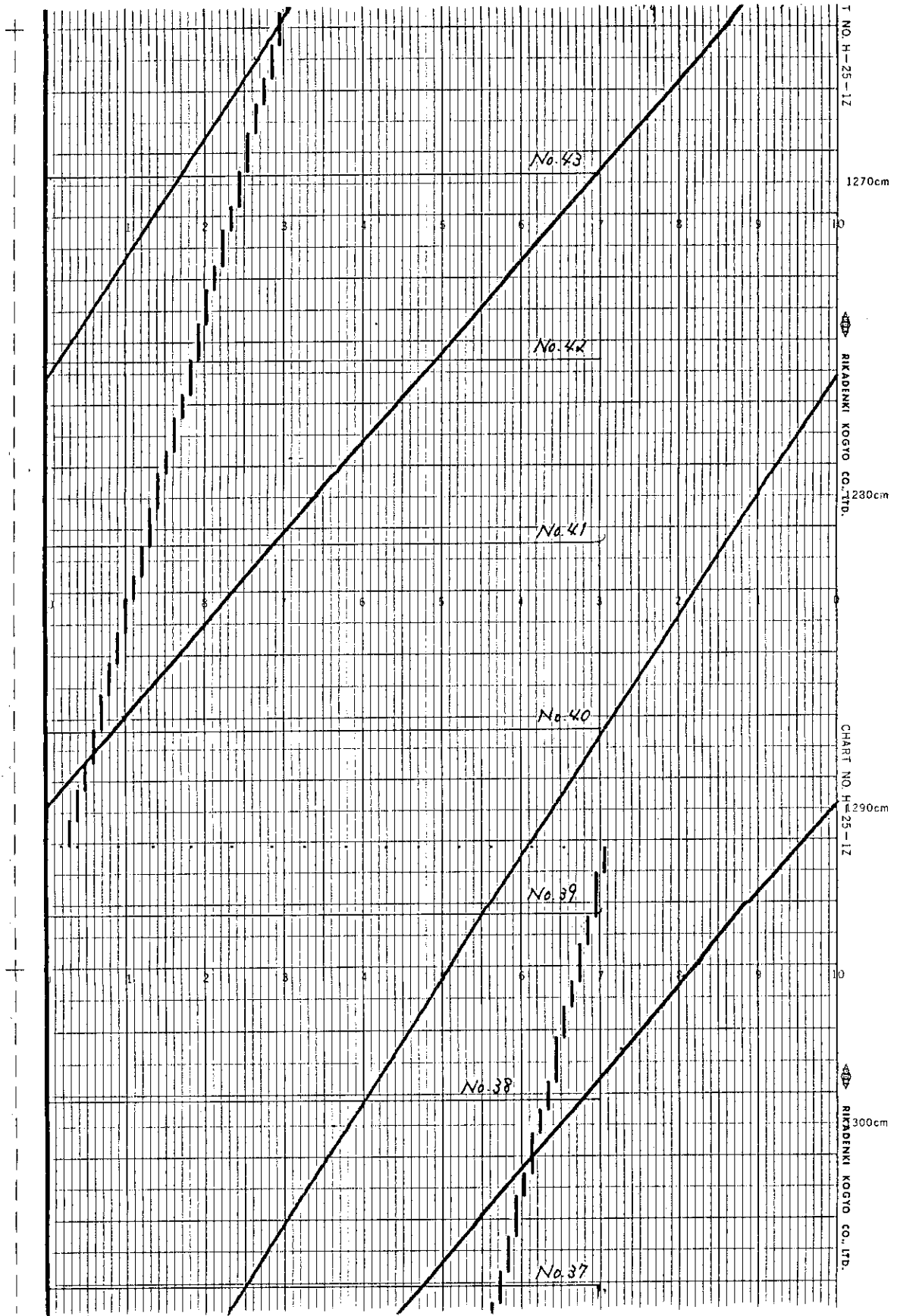


図46 (続 き)

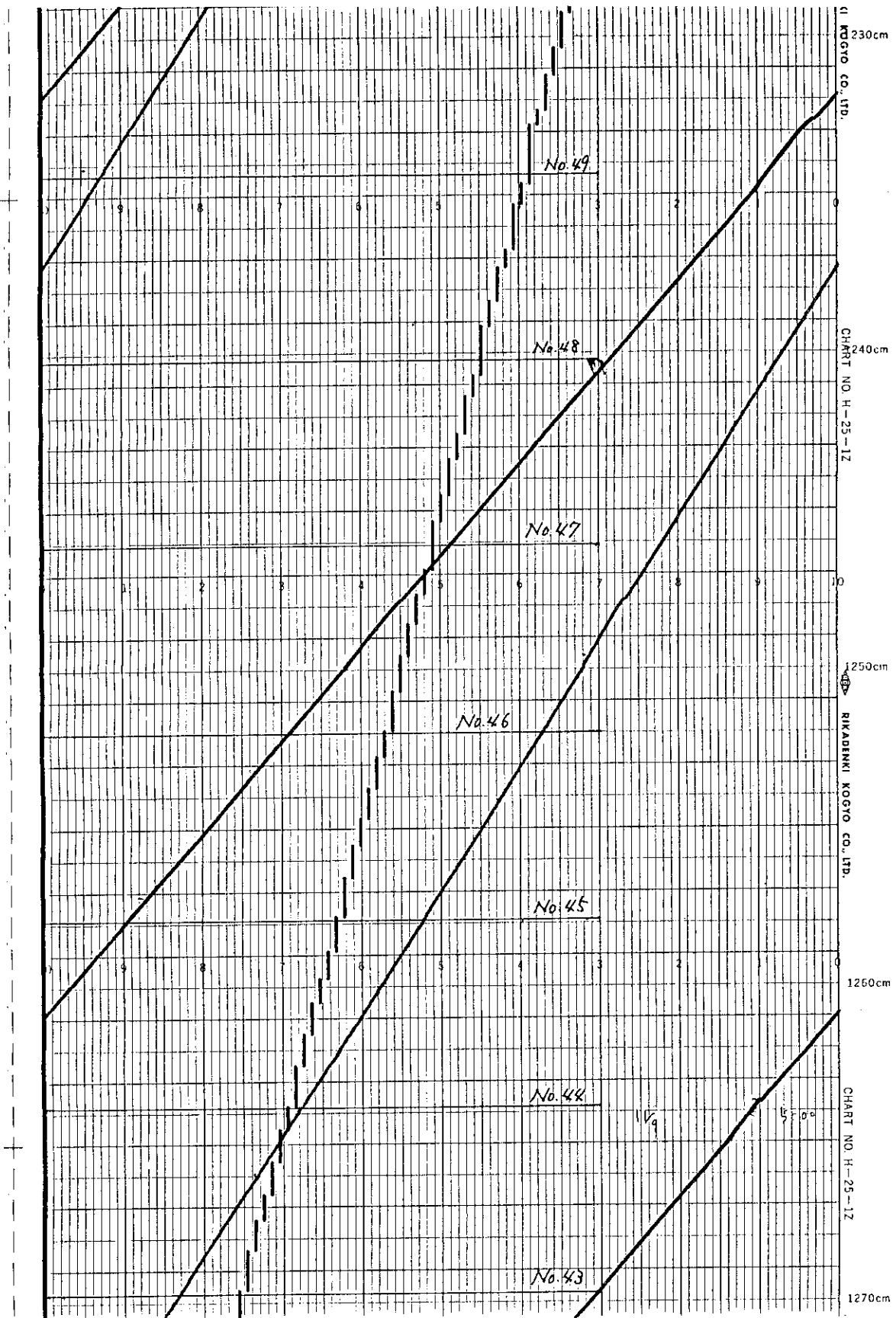


図46 (続 き)

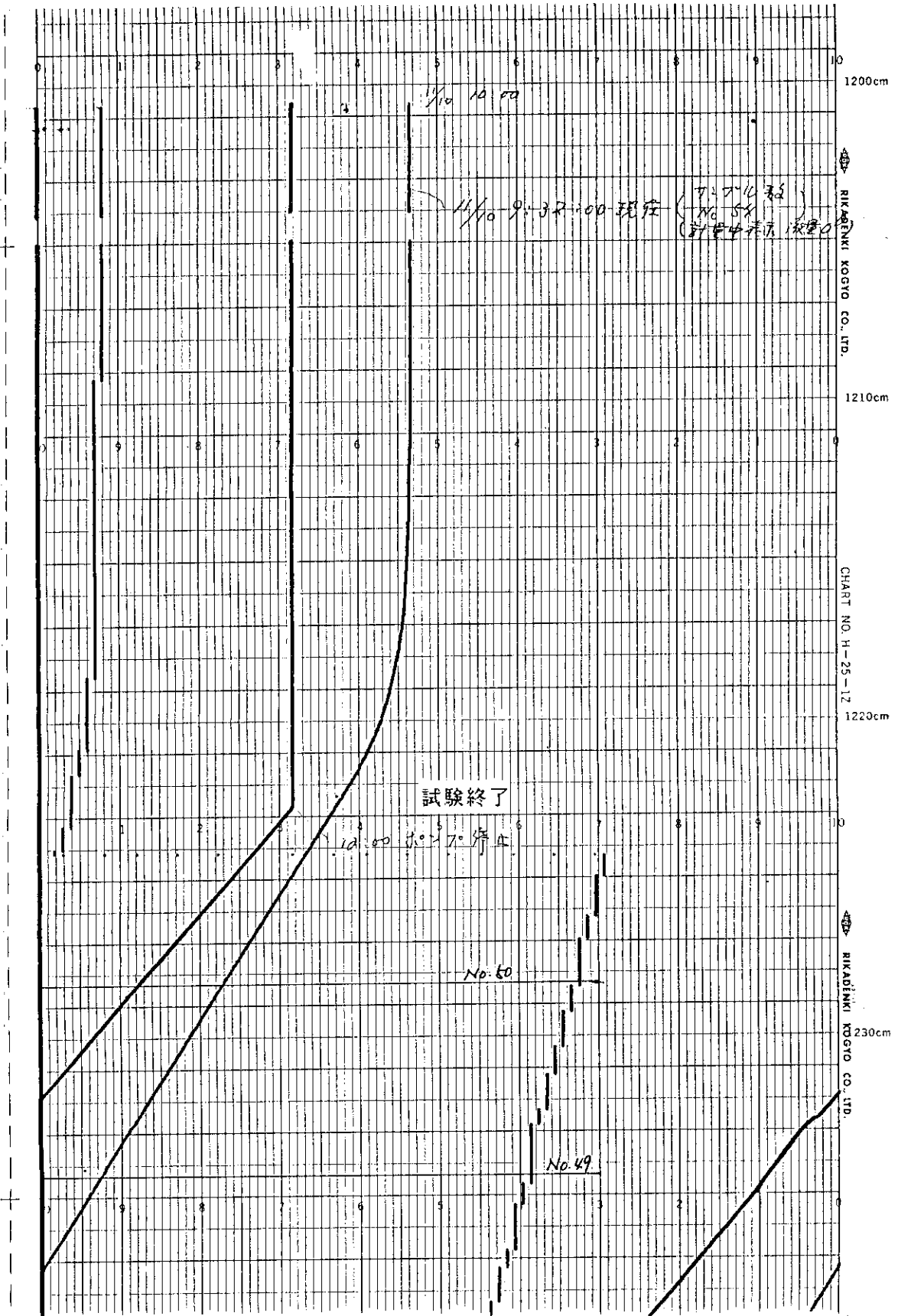


図46 (続き)

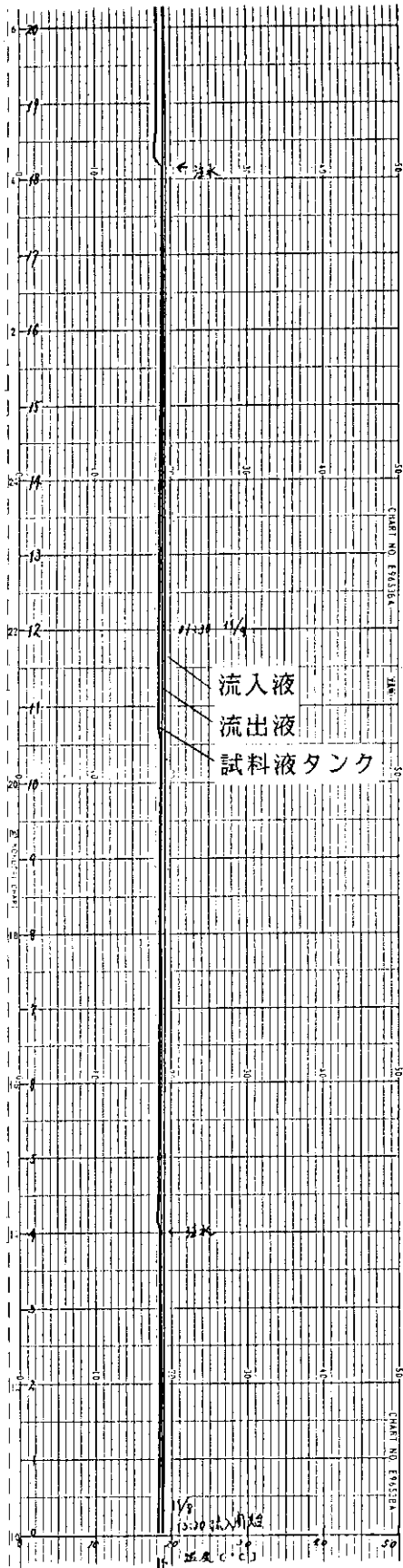


図47 帯水層用装置総合試験における温度の記録 (0~20 hr)

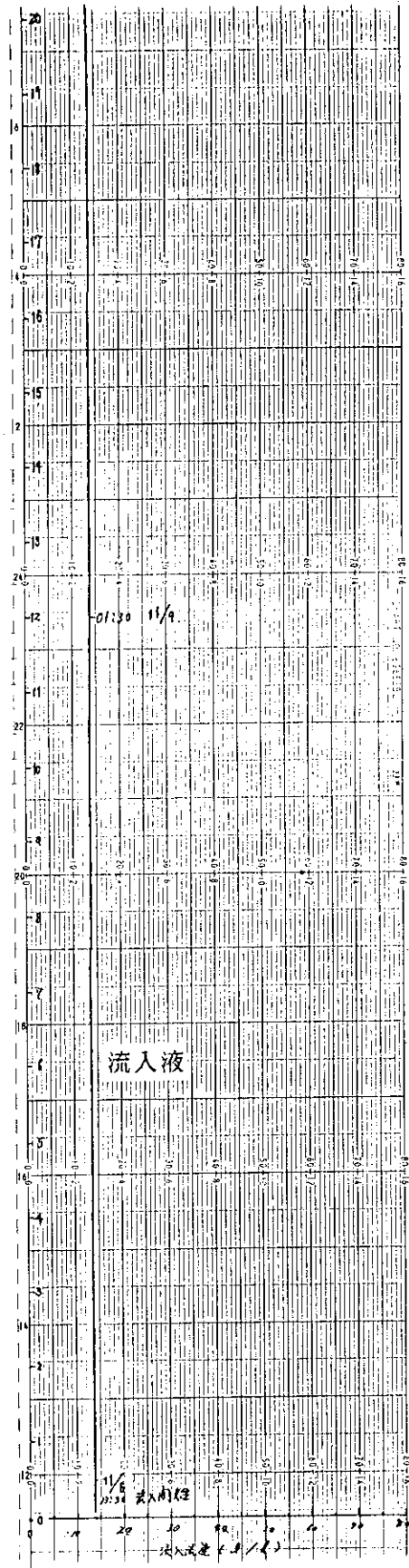


図48 帯水層用装置総合試験における瞬時流量の記録 (0~20 hr)

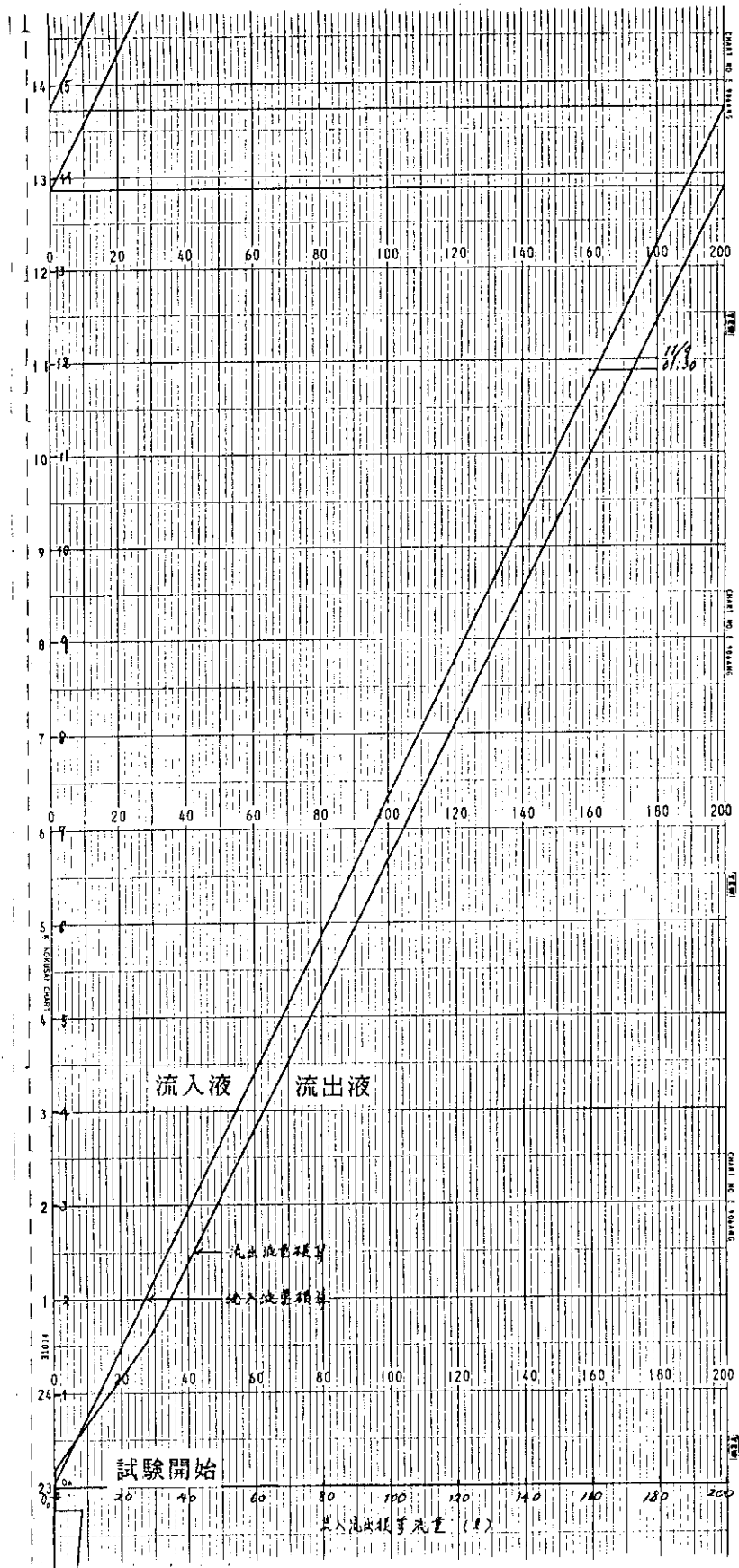


図49 帯水層用装置総合試験における流量積算の記録 (0 ~ 50 hr)

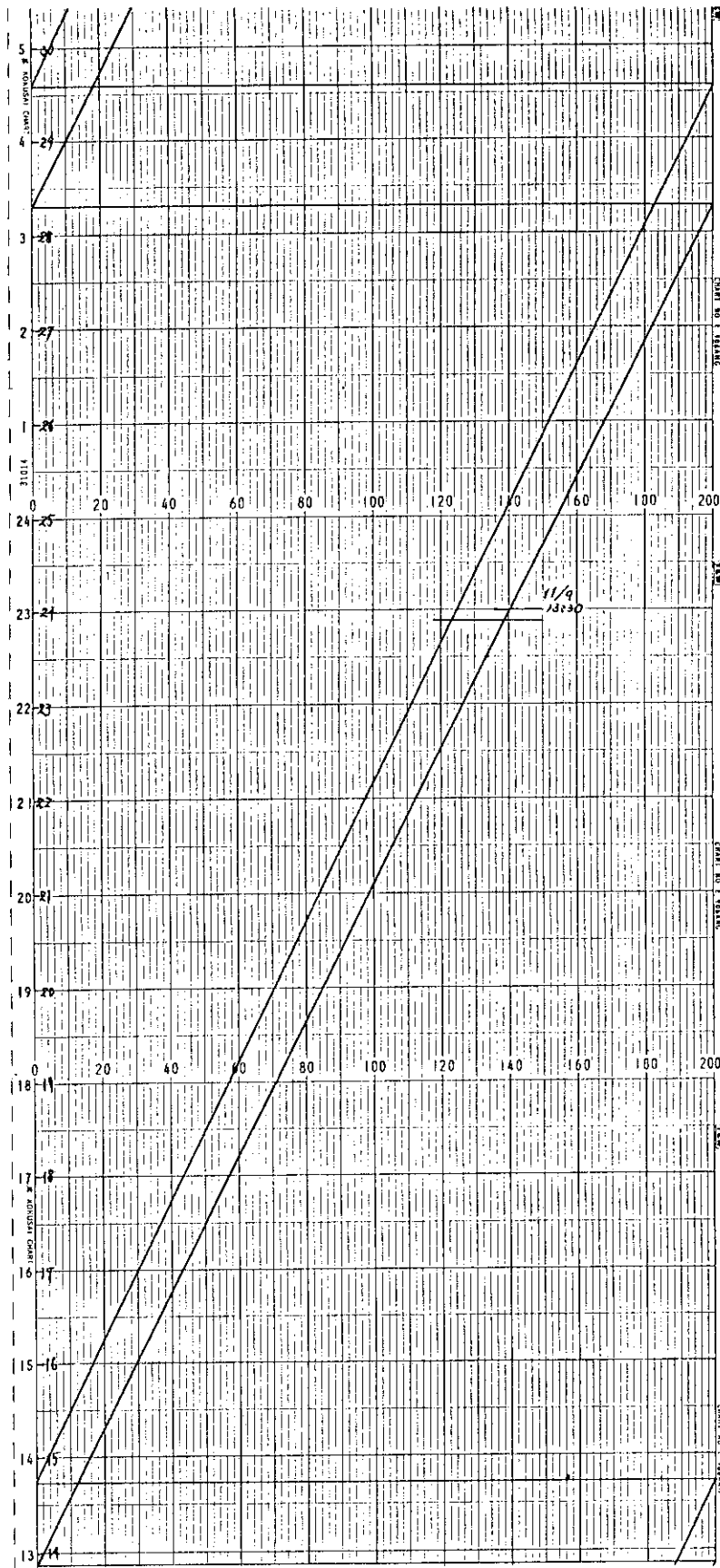


図49 (続 ぎ)

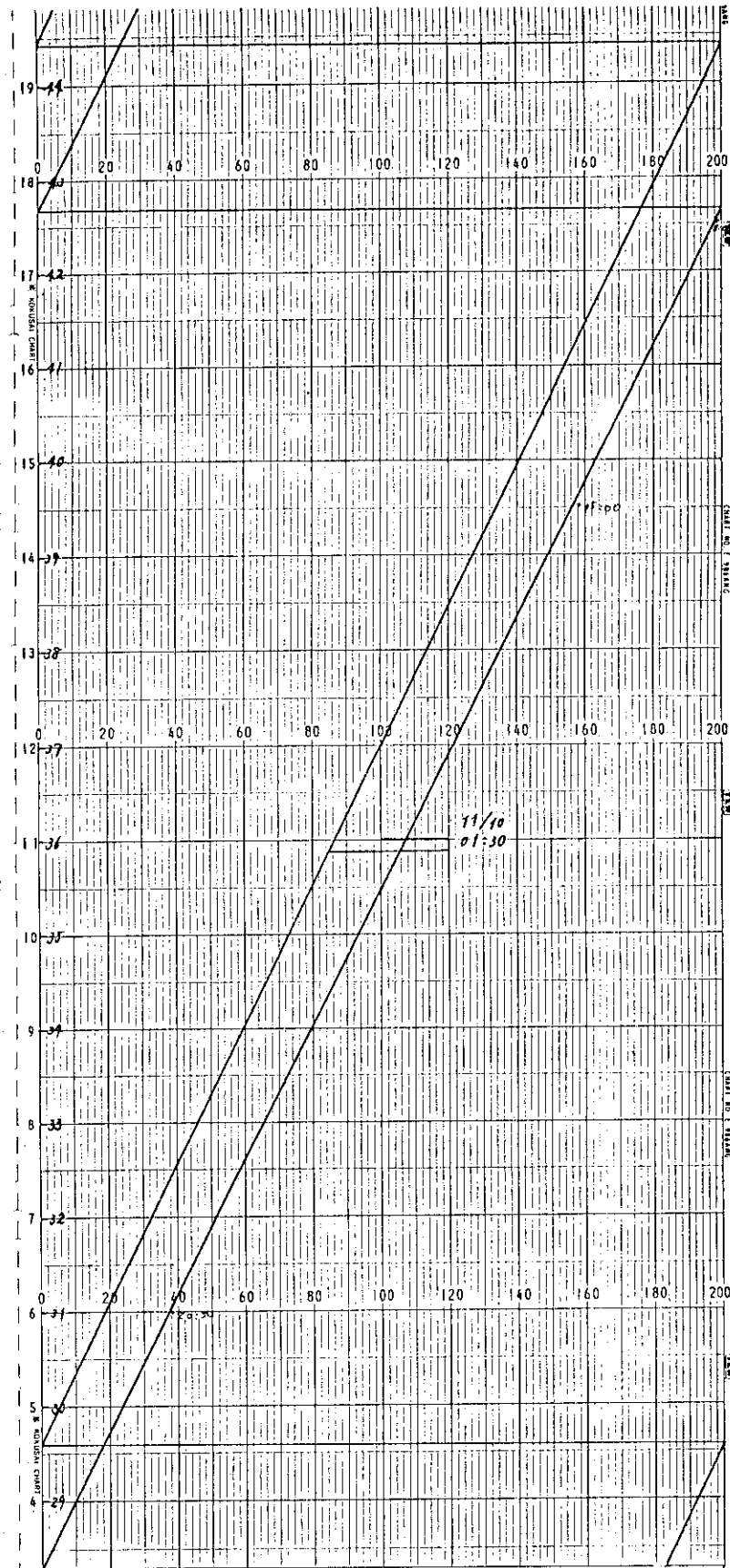


図49 (続 き)

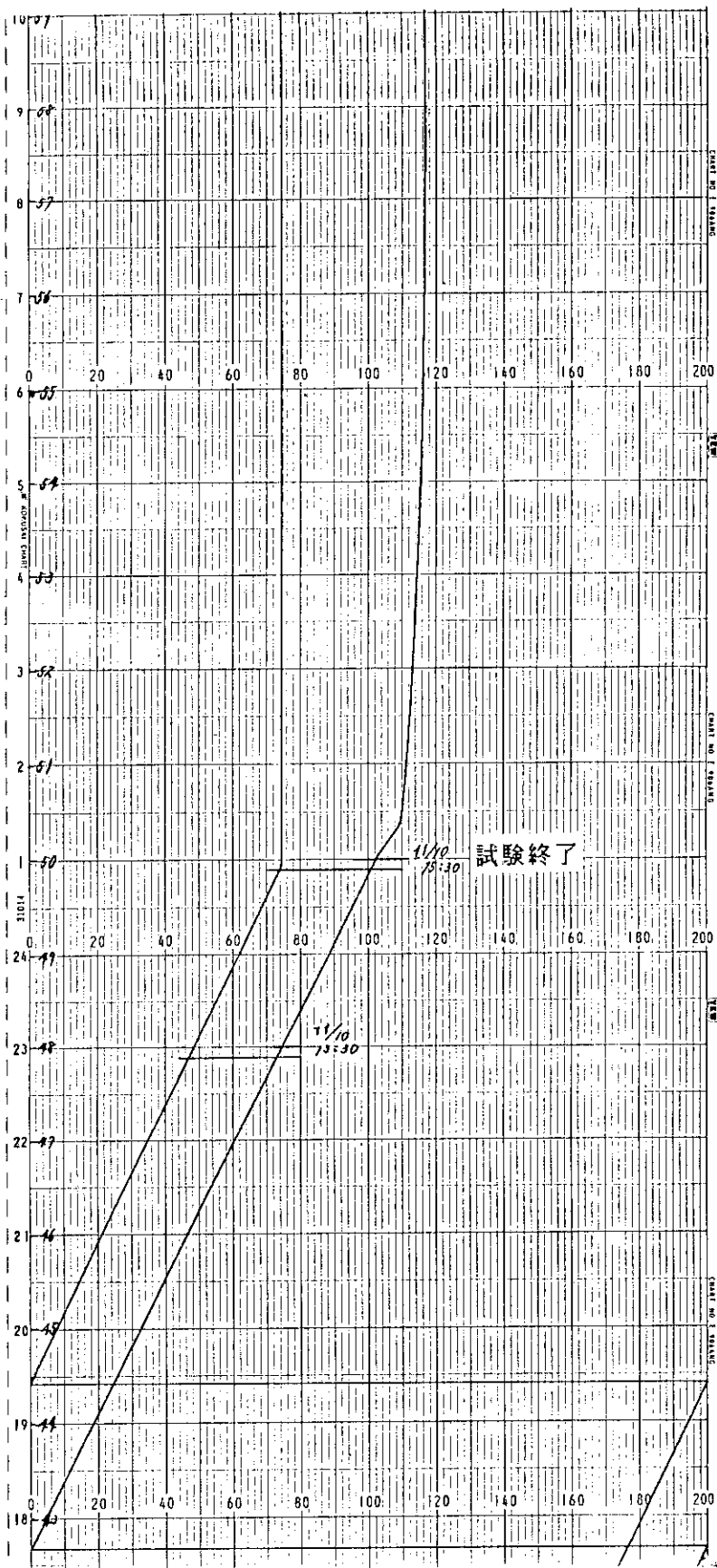


図49 (続 き)

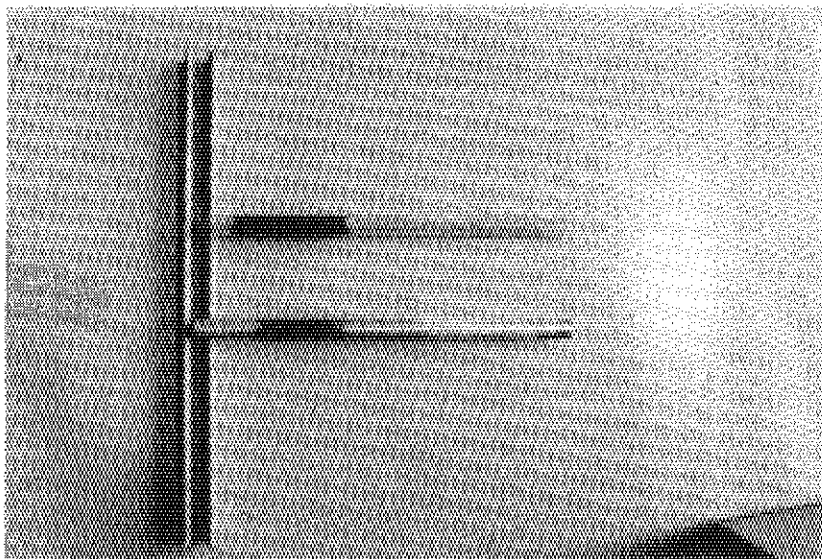


写真1 除染前における試験片（パイプ）の表面状態

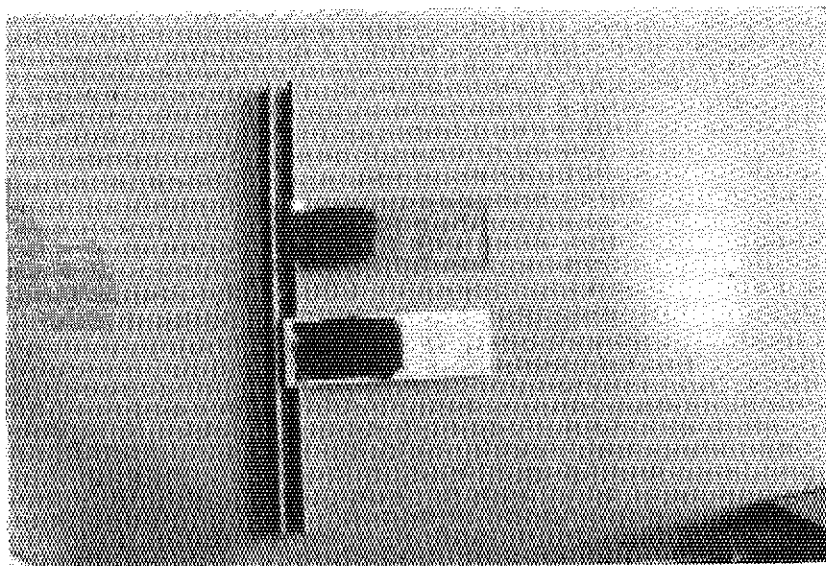


写真2 除染前における試験片（プレート）の表面状態

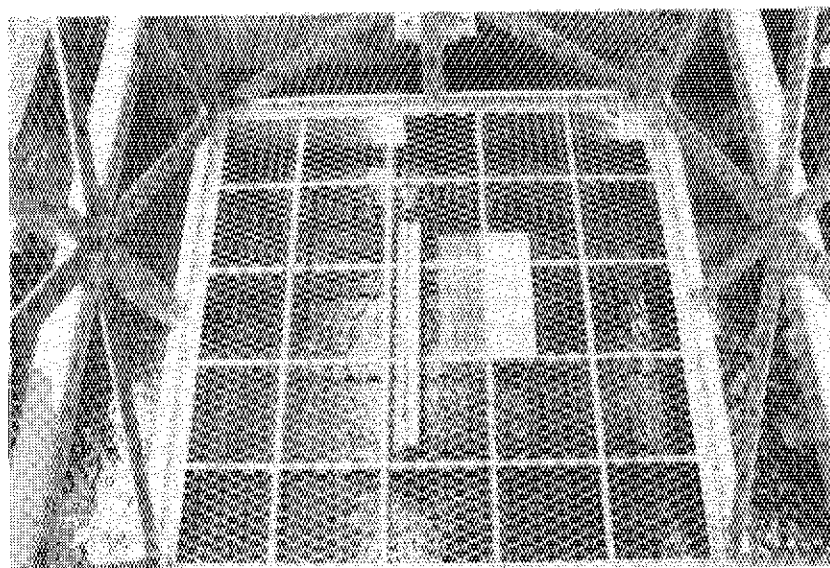


写真3 除染作業中の試験片の表面状態

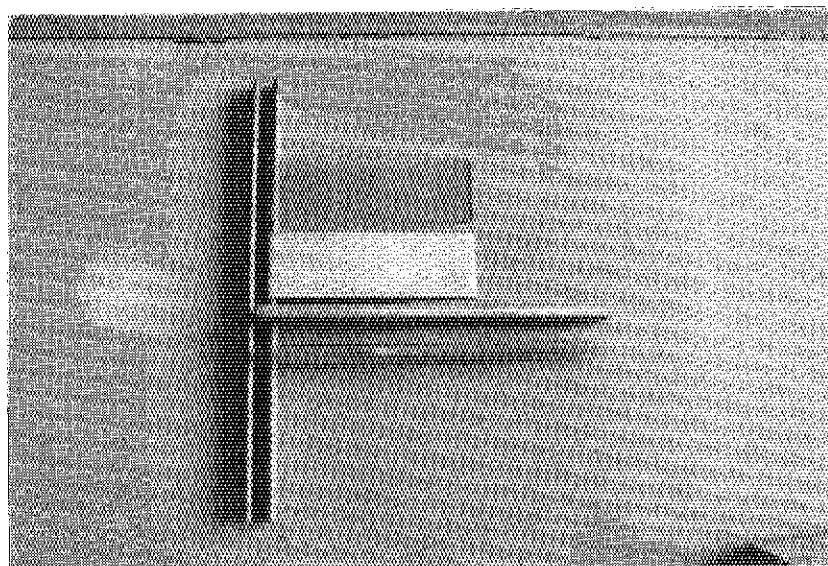


写真4 除染後における試験片の表面状態

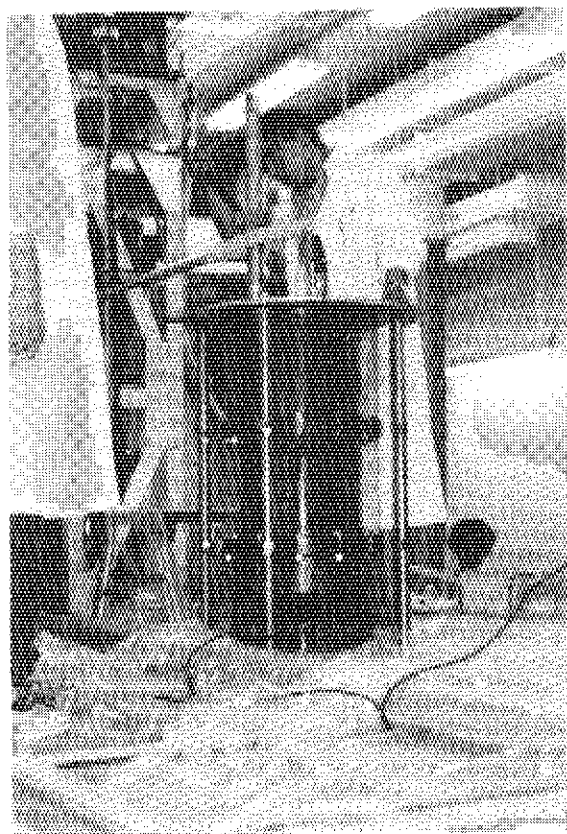


写真5 通気層カラムからの土壌サンプリング

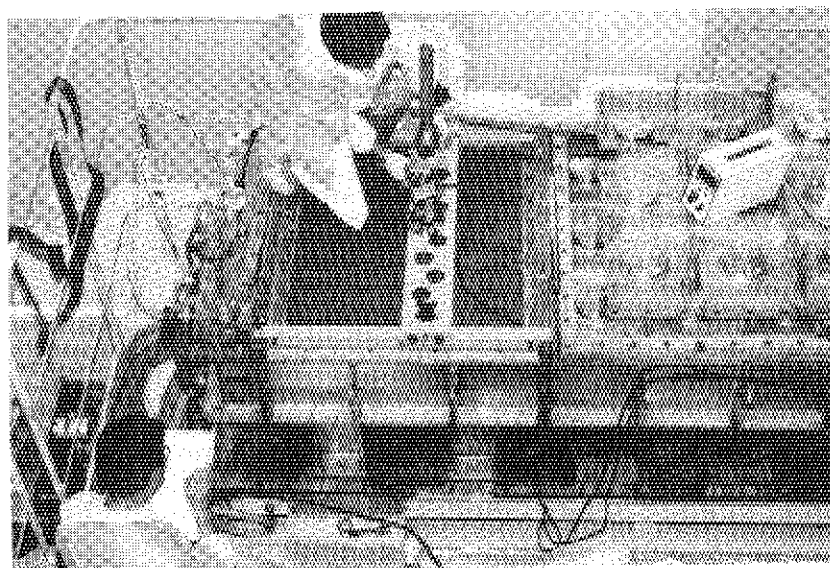


写真6 帯水層槽からの土壌サンプリング