

JAERI - M
85-096

マイクロコンピュータを用いた通気層中
水流速の非破壊計測システム

1985年7月

大貫敏彦・山本忠利

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、お申しこしてください。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）で複写による実費頒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, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1985

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 樹 橋高野高速印刷

マイクロコンピュータを用いた通気層中
水流速の非破壊計測システム

日本原子力研究所東海研究所環境安全研究部

大貫 敏彦・山本 忠利

(1985年6月17日受理)

不飽和多孔質媒体中における水流速を測定するためにマイクロコンピュータを用いた非破壊計測システムを開発した。本システムは環境シミュレーション試験における通気層試験において水流速を測定するために開発されたものである。カラム内土壤中における水流速は、方程式 $V = a \cdot \tan \psi / (N_0 - N_1)$ により求められる。ここに、 a は透過高速中性子の検出幅、 $\tan \psi$ は検出計数率の減少率、 N_0 と N_1 はそれぞれ水浸透前と後の検出計数率である。カラム内土壤中における水流速は本システムにより、測定できることが確認された。本システムにより水流速を測定する場合、透過中性子の計数率減少率を求めるにあたり、測定区間、平滑区間および平滑回数の影響を受けることが明らかとなった。さらに、本システムの検出限界についても検討した。

Non-Destructive Measurement System of Water
Velocity in an Unsaturated Porous Medium using
Micro-Computer

Toshihiko OHNUKI and Tadatoshi YAMAMOTO

Department of Environmental Safety Research,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received June 17, 1985)

A non-destructive measurement system of soil water velocity in an unsaturated porous medium using micro-computer have been developed to determine the soil water velocity in Simulation Test for Environmental Migration (STEM). The water velocity (v) in a soil column was obtained by the equation of $v = a \tan\psi (N_0 - N_1)$, where a is the detection width of transmitted fast neutron, $\tan\psi$ is the decreasing rate of the detected counting rate of transmitted fast neutron, and N_0 and N_1 are the counting rates before and after infiltration, respectively.

It was recognized that the water velocity in the soil column (30 cm ϕ \times 120 cmL) could be determined by the present system. The present system was affected by the determination period, the smoothing period and the number of smoothing in the measurement. The measurement limit of the system was also discussed.

Keywords: Non-destructive Method, Water Velocity, Unsaturated Porous Media, Micro-computer, Soil Column, Smoothing, Fast Neutron, Environmental Migration, Simulation Test

目 次

1. 緒 言	1
2. 測定原理	1
2.1 水の浸透に伴う検出計数率の経時変化	1
2.2 一定点計測法	2
3. マイクロコンピュータを用いた水流速計測システム	3
3.1 水流速計測システムの概要	3
3.2 マイクロコンピュータによる水流速の計測	3
3.2.1 計数率取り込みプログラム	3
3.2.2 水流速算出プログラム	4
3.3 水流速測定	4
4. 測定結果および考察	5
4.1 水流速の計測	5
4.2 検出限界についての検討	6
5. 結 言	7
謝 辞	7
参 考 文 献	7
付 録	19

Contents

1.	Introduction	1
2.	Principle	1
2.1	Change in counting rate with water filtration	1
2.2	Measurement method at one point of depth	2
3.	Measurement system of water velocity by micro-computer	3
3.1	Measurement system of water velocity	3
3.2	Algorithm of measuring water velocity by micro-computer	3
3.2.1	Micro-computer program for sampling counting rate	3
3.2.2	Micro-computer program for determination of water velocity ...	4
3.3	Measurement of water velocity	4
4.	Results and discussion	5
4.1	Determination of water velocity	5
4.2	Discussion of detection limit	6
5.	Conclusions	7
	References	7
	Appendix 1	19

1. 緒 言

原子力発電所等から発生する低レベル放射性廃棄物を処分する方法として、陸地処分が考えられている。陸地処分を実施するにあたっては、その安全性を十分検討する必要がある。現在、陸地処分の安全性についてのさまざまな研究が進められている。

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、施設内において放射性核種の移動試験を行なう、すなわち“環境シミュレーション試験”の実施を計画した⁽¹⁾。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層に処分した際に、天然バリアと成る通気層および帯水層における放射性核種の移動について検討している。放射性核種の移動を検討するためには、移動に影響を与えるパラメータの値を試験と同時に計測する必要がある。これらパラメータの中でも、水の移動速度すなわち水流速の値を求めることは重要である⁽²⁾。

通気層に関する放射性核種移動試験は、(以下、単に通気層試験という)カラム内に採取した自然状態の通気層土壌を用いて行なう。このため、水流速を計測する方法としては、自然状態を乱さない非破壊計測法が望ましい。

著者らは、土壌中における1次元の水流速を1定点で計測する方法を提案し、直径5 cmの小カラムを用いた実験でその有効性を確認した⁽³⁾。さらに、通気層試験において直径30 cmのカラム内での水流速を測定するために、マイクロコンピュータを用いて計測するシステム(通気層水流速測定装置)を開発した。

本報告は、通気層試験においてカラム内土壌中における水流速を測定するために、マイクロコンピュータを用いて水流速を計測するシステムについて検討した結果である。

2. 測定原理

2.1 水の浸透に伴う検出計数率の経時変化

高速中性子線源(Cf-252)と検出器(NE-213シンチレータ)を土壌カラムの両側に配置した系(Fig. 1)に土壌層上部より水を流下させた場合、水の浸透に伴う検出計数率の経時変化について検討する。

土壌中を浸透する一次元の不飽和流は、次のような偏微分方程式で表わされる⁽⁴⁾。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \left[K(\theta) \left(\frac{\partial h}{\partial Z} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

ここに、 θ は土壌中の水分率、 h は圧力水頭(cm)、 K は透水係数(cm/sec)、 t は時間(sec)、 Z は土壌層の深さ(cm)である。

一方、高速中性子線源より放射された高速中性子が水分率 θ のカラム内土壌中を透過したときの検出計数率 N_0 は、

1. 緒 言

原子力発電所等から発生する低レベル放射性廃棄物を処分する方法として、陸地処分が考えられている。陸地処分を実施するにあたっては、その安全性を十分検討する必要がある。現在、陸地処分の安全性についてのさまざまな研究が進められている。

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、施設内において放射性核種の移動試験を行なう、すなわち“環境シミュレーション試験”の実施を計画した⁽¹⁾。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層に処分した際に、天然バリアと成る通気層および帯水層における放射性核種の移動について検討している。放射性核種の移動を検討するためには、移動に影響を与えるパラメータの値を試験と同時に計測する必要がある。これらパラメータの中でも、水の移動速度すなわち水流速の値を求めることは重要である⁽²⁾。

通気層に関する放射性核種移動試験は、(以下、単に通気層試験という)カラム内に採取した自然状態の通気層土壌を用いて行なう。このため、水流速を計測する方法としては、自然状態を乱さない非破壊計測法が望ましい。

著者らは、土壌中における1次元の水流速を1定点で計測する方法を提案し、直径5 cmの小カラムを用いた実験でその有効性を確認した⁽³⁾。さらに、通気層試験において直径30 cmのカラム内での水流速を測定するために、マイクロコンピュータを用いて計測するシステム(通気層水流速測定装置)を開発した。

本報告は、通気層試験においてカラム内土壌中における水流速を測定するために、マイクロコンピュータを用いて水流速を計測するシステムについて検討した結果である。

2. 測定原理

2.1 水の浸透に伴う検出計数率の経時変化

高速中性子線源(Cf-252)と検出器(NE-213シンチレータ)を土壌カラムの両側に配置した系(Fig. 1)に土壌層上部より水を流下させた場合、水の浸透に伴う検出計数率の経時変化について検討する。

土壌中を浸透する一次元の不飽和流は、次のような偏微分方程式で表わされる⁽⁴⁾。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \left(\frac{\partial h}{\partial z} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

ここに、 θ は土壌中の水分率、 h は圧力水頭(cm)、 K は透水係数(cm/sec)、 t は時間(sec)、 z は土壌層の深さ(cm)である。

一方、高速中性子線源より放射された高速中性子が水分率 θ のカラム内土壌中を透過したときの検出計数率 N_0 は、

$$N_0 = \frac{I_0 \kappa \xi}{a} \int_0^a \exp [- \{ (\mu_1 f + \mu_2 \theta_0) d + \mu_3 X_3 \}] dZ \quad (2)$$

で表わすことができる。ここに、 I_0 は高速中性子線源の中性子放出数、 κ は大気中における高速中性子の減少係数、 ξ は検出器の検出効率、 a は検出器の検出幅 (cm)、 μ_1 、 μ_2 、 μ_3 はそれぞれ高速中性子に対する土壌、水、カラム材質の線吸収係数 (1/cm)、 f は土壌の充填率、 d はカラムの内径 (cm)、 X_3 はカラムの肉厚 (cm)を表わす。

したがって、水が浸透した場合の検出計数率の経時変化 $N(t)$ は、(1)式より得られるある測定位置における水分率の経時変化を $\theta(z, t)$ とすると、

$$N(t) = N_0 \int_0^a \exp [- \mu_2 (\theta(z, t) - \theta_0) d] dZ \quad (3)$$

となる。(1)式を差分法により解いて得られた水分率の経時変化を用いて、(3)式から求めた検出計数率の経時変化を Fig. 2 に示す。

この計算では、各値を $a = 5$ cm、 $\mu_2 = 0.15$ cm⁻¹、 $d = 6.6$ cm とした。図中における計数率は N_0 により規格化した相対計数率である。同図より、透過高速中性子の検出計数率は水の浸透とともに減少し、さらに、その減少率は一定であることがわかる。

2.2 一定点計測法

Fig. 2 において検出計数率が N_0 から N_1 まで減少する時間 $T_2 - T_1$ は、水が検出器の検出幅を通過するのに要した時間である。したがって、水流速 v は、

$$v = a / (T_2 - T_1) \quad (4)$$

となる。しかしながら実際の測定に際しては、Fig. 2 に示されるように、検出計数率は減少開始時刻 T_1 と減少終了時刻 T_2 において、なだらかな減少を呈するため、水が検出幅内を通過するのに要する時間の測定が困難となる。

そこで、検出計数率が同図に示すように、水の浸透に伴い一定の減少率で減少するので、検出計数率の時間的な減少率を $\tan \psi$ とすると、水の通過時間 $T_2 - T_1$ は、

$$T_2 - T_1 = (N_0 - N_1) / \tan \psi \quad (5)$$

となる。したがって、水流速 v は、(5)式を(4)式に代入して、

$$v = a \cdot \frac{\tan \psi}{N_0 - N_1} \quad (6)$$

となる。

このことから、土壌中の水流速は、透過高速中性子の検出幅 a を求めることができれば、(6)式により水の浸透に伴い検出計数率が変化する任意の深さの位置において一定点で計測できる。

3. マイクロコンピュータを用いた水流速計測システム

3.1 水流速計測システムの概要

高速中性子透過方式により、土壌中の水流速を測定するために用いるシステムの構成を Fig. 3 に示す。本システムは、照射部、検出部、演算部および駆動部より構成される。Photo 1 (A) および (B) には、照射部、検出器、駆動部、計数系および演算部の写真を示す。

照射部は高速中性子をビーム化してカラム内土壌中に照射する部分で、Cf-252 高速中性子線源 (536 μCi) およびコリメータ (30 cm ϕ \times 30 cm ℓ) から成る。Cf-252 は直径が 0.78 cm、長さが 1.0 cm の円筒形のステンレス鋼で加工されている。コリメータはアルミ (厚さ 2 mm) 製の円筒体にパラフィンを鑄込んだもので、前面に Cf-252 を収納し中性子をビーム化するための照射口 (2.2 cm ϕ \times 1.5 cm ℓ) が設けられている。

検出部は、カラム内土壌中を透過した高速中性子を検出する検出器と、中性子の計数を行なう計数系より構成される。

検出器は、高速中性子を検出する NE-213 液体シンチレータ (2" ϕ \times 2" ℓ) と P.M.T. (電子増倍管) から成る。計数系は、検出した中性子と γ 線を弁別して計数する部分である。検出部のブロックダイヤグラムを Fig. 4 に示す。NE-213 液体シンチレータは高速中性子を効率よく検出するが、 γ 線に対しても感度を有するため、実際の測定にあたっては中性子と γ 線の弁別が必要となる。これらの弁別には、NE-213 液体シンチレータの反跳陽子による発光と電子による発光との持続時間の差により行なった。弁別した中性子の数をスケアラにより計数する。

演算部は検出部で計数した高速中性子の値をマイクロコンピュータシステムのディスク上に取り込み、水流速を測定する部分である。マイクロコンピュータシステムには、日本電気製 PC-8801 システムを用いた。マイクロコンピュータシステムの構成を Fig. 5 に示す。

駆動部は、水流速を通気層中の任意の位置で測定するため、照射部と検出器とを一体のものとして、一緒に昇降するための部分である。

3.2 マイクロコンピュータによる水流速の計測

マイクロコンピュータシステムを用いて土壌中の水流速を測定する場合には、マイクロコンピュータシステムのメモリ内に中性子の計数率を取り込み、(6)式により水流速を計算するプログラムを作成しなければならない。それぞれのプログラムの内容について説明する。

3.2.1 計数率取り込みプログラム

検出部において測定した高速中性子の計数値をマイクロコンピュータシステム内に読み込むプログラムのフローチャートを Fig. 6 に示す。Fig. 6 に示すように、本システムではスケアラを自動的にスタートさせて中性子を計数し、その値を読み込んでファイルに格納するようになっている。本システムでは、データをファイルに格納するとき、データサンプリング開始時刻を 0 時 0 分 0 秒とし

たサンプリング時刻，測定位置， γ 線計数値も一緒に格納する。この処理をデータサンプリングが終了するまで続けて行なう。マイクロコンピュータで実行するプログラム言語は BASICである。ここで，読み込んだデータのファイルへの格納は，シーケンシャルファイルを用いた。

3.2.2 水流速算出プログラム

マイクロコンピュータ内に取り込んだ中性子の計数値の経時変化から，(6)式を用いて水流速を求めるプログラムのフローチャートを Fig. 7 に示す。Fig. 7 に示すように，水流速算出プログラムでは，ファイルより計数値等の値を読み込み，中性子の計数値の経時変化より水流速を算出し，検出計数率の経時変化と解析により得られた計数率の減少率より求めた経時変化を図示し，水流速の値を確認する。それぞれの処理が独立のサブルーチンになっている。これらのサブルーチンは BASIC で表わされており，CHAIN機能により連続的に処理できるようにした。

水流速算出サブルーチンでは，水流速を以下のようにして求める。すなわち，

- ① 最初のデータと最後のデータの時間を設定する。
- ② ①で得たデータから順に10個ずつ時間的に後（最初）と前（最後）のデータの平均をとり，それぞれ N_0 および N_1 とする。
- ③ N_0 と N_1 の値の中間値を求める。
- ④ 中間値のデータの時間的に前後の任意の数のデータに対して，(7)式により平滑化を行なう。⁽⁵⁾

$$N'_i = N_i + \frac{1}{5} (N_{i+2} - 4N_{i+1} + 6N_i - 4N_{i-1} + N_{i-2}) + N_{i+1} + 2N_i + N_{i-1} \quad (7)$$

- ⑤ 平滑化したデータについて，計数値の時間的減少率を求め，水流速を得る。
- ⑥ ⑤で得た減少率を用いて水の浸透に伴う経時変化を求めて，実際に測定したそれとを図形化することで比較をし，得られた水流速の値を確認する。
- ⑦ もし⑥で確認が得られなかった場合には，もう一度，①あるいは④からの操作を繰り返して行ない水流速を求め直す。

3.3 水流速測定

本システムを用いた水流速の測定実験は，通気層試験用の地中シミュレーション装置を用いて行なった。この装置に形成した通気層の大きさは，30 cm ϕ \times 120 cm ℓ である。実験に用いた土壌は，日本原子力研究所東海研究所敷地内で採取した海岸砂である。通気層中への水の供給は，水流ポンプを用いて行なった。実験で設定した供給流量は， 1.6×10^{-6} m³/sec であった。

本システムによる水流速の測定は，0.1，0.4，0.7 mの3ヶ所で行なった。透過高速中性子の測定間隔は，30 sec であった。本システムを用いて水流速を測定するための操作手順を付録1に示す。

4. 測定結果および考察

4.1 水流速の計測

通気層試験 AE-1 について本システムにより水流速を測定した結果を述べる。Fig. 8 は、通気層中の 0.1, 0.4 および 0.7 m の深さ位置で測定した水浸透時における透過中性子の計数率の経時変化を示したものである。Fig. 8 より、透過中性子の計数率は水の浸透とともに減少することが明らかである。それぞれの位置において測定した計数率の経時変化から水流速を求めた結果について手順に従って述べる。

Fig. 9 は、深さ位置 0.1 m における計数率の経時変化から水流速を求める際に、測定区間の平滑を行なわないで計数率の減少率を求めた場合の、検出計数率の経時変化と本方法により得られた計数率の減少率より求めた経時変化をそれぞれ図示したものである。本方法により得られた計数率の減少率より求めた経時変化は、実際のそれを表わしていないことは明らかである。Fig. 10 は、本方法により解析を行なう際に測定区間の平滑を 3 回行なった結果である。本方法により得られた計数率の減少率より求めた経時変化は、実際のそれをよく表わしていることがわかる。Fig. 9 における不一致の原因としては、検出計数率の大きさがそれほど高くない（数十カウント程度）ために、局所的に計数率が変動したことが考えられる。このことから、本方法により解析を行なう際に計数率の経時変化を平滑することは有効である。

Fig. 11 は、深さ位置 0.4 m における計数率の経時変化から水流速を求める際に、測定区間の平滑を 3 回行なって本方法により解析した結果である。本方法により得られた減少率より求めた経時変化は、実際のそれをよく表わしていないことがわかる。この原因としては、経時変化を平滑した部分が 21 個と大きすぎたために、水の通過開始および終了時間付近の計数率についても解析に加えたことが考えられる。Fig. 12 は、本方法による解析に用いた計数率の部分を 7 個にした場合の結果である。解析により得られた減少率より求めた経時変化は、実際のそれをよく表わしていることがわかる。このことから、減少率を求めるために解析する部分を選定することも重要である。

深さ位置 0.7 m における計数率の経時変化から水流速を求める際に、測定区間の平滑する部分を 21 個として平滑を 3 回行なって本方法により解析した結果を Fig. 13 に示す。減少率を求めるため本方法により解析している部分は、実際に水の通過時間内の計数率の経時変化部分ではないことがわかる。これは、測定位置が 0.7 m と深いために水が浸透する前の水分率が高かった結果、計数率の変動の中間値が計数率の統計変動による計数率の変化と区別がつかなくなったためと考えられる。Fig. 14 は、本方法により解析する区間を Fig. 13 の場合よりも小さくして本方法により減少率を求めた結果である。本方法により得られた減少率より求めた経時変化は、実際のそれをよく表わしていることがわかる。

したがって、本システムにより通気層中における水流速を測定する場合には、水流速を求めるための解析区間、経時変化を平滑化する区間（平滑区間）、および平滑回数の影響を受けることが明らかとなった。本システムは、検出計数率の経時変化と解析により得られた計数率の減少率より求めた経時変化とを図形出力することにより、計測した水流速の値を確認することができるので、これら影響因

子に影響されずに水流速を計測できる。

上述したような手順で求めた水流速の値を Table 1 にまとめて示す。一方、Table 2 には、0.1 ~ 0.4 m および 0.4 ~ 0.7 m における計数率の経時変化より、それぞれの区間について水が通過する時間を求めて水流速を測定した結果を示す。Table 2 より、通気層中における水流速の値はほとんど一定であると考えられる。Table 1 と Table 2 に示す水流速の値を比較すると、Table 1 の 0.1 および 0.4 m の深さ位置における結果は、Table 2 の結果とよく一致するが、Table 1 の 0.7 m の結果は Table 2 の結果より小さな値になっている。これは、0.7 m においては水浸透前の水分率が浅い位置におけるそれよりも高かったために、水の浸透による計数率の変化が十分得られなかったためと考えられる。しかしながら、比較的水分率の変化量の大きい 0.1 および 0.4 m の位置では本システムにより水流速を計測できる。

4.2 検出限界についての検討

本システムのように、計数率の減少率より水流速を求める方法では、水の浸透によりわずかでも水分率が変化するならば、水流速は計測できる。しかし、本システムは透過高速中性子の計数率を測定することによって水流速を計測するので、計数率の統計誤差の影響を受ける。したがって、水浸透前の検出計数率に対する、水の浸透による計数率の変化量と水分率の変化量の関係について検討する。

本システムによる水流速の計測では、水浸透に伴う計数率の変化量が計数率の変化量の統計誤差よりも大きくなると考えられる。したがって、計数率の変化量と計数率の変化量の統計誤差との関係は次式で表わすことができる。

$$\Delta N > \delta \Delta N \quad (8)$$

ここで、 $N_1 = N_0 - \Delta N$ であるから、(8)式は(9)式となり、

$$\Delta N > \sqrt{2N_0 - \Delta N} \quad (9)$$

水浸透前の計数率と計数率の変化量の統計誤差との関係式(10)式が得られる。

$$\Delta N > \frac{1}{2} + \sqrt{1 + 8N_0} \quad (10)$$

(10)式により、水浸透前の計数率と計数率の変化量の統計誤差との関係を求めた結果が Fig. 15 である。Fig. 15 より、水流速の計測限界に対する計数率の相対変化量は検出計数率が高いほど小さくなることが明らかである（例えば、検出計数率が 100 カウントでは相対変化量は 0.27 であるが、検出計数率が 200 カウントでは相対変化量は 0.4 となる）。

一方、水浸透前の計数率と水分率の変化量 $\Delta \theta$ の関係は、次の式で表わされる。

$$\Delta \theta > -\frac{1}{d} \ln \left\{ 1 - \frac{1}{N_0} \left(\frac{1}{2} + \sqrt{1 + 8N_0} \right) \right\} \quad (11)$$

(11)式より求めた水浸透前の計数率と水分率の変化量の関係を Fig. 16 に示す。Fig. 16 より、水浸透前の計数率が高ければ、水浸透に伴う水分率の変化量は小さくても水流速の計測が可能となることがわかる。また、同図より水浸透前の計数率が 70 カウント程度では、水浸透に伴う水分率の変化量は

0.02以上あれば水流速の計測が可能となることがわかる。

5. 結 言

以上、通気層試験においてカラム内土壌中での水流速を測定するために開発した、マイクロコンピュータを用いた非破壊計測システムについて検討した。その結果、本システムにより、カラム内土壌中における水流速が測定できることが確認された。本システムで水流速を測定する場合、透過中性子の計数率減少率を求めるにあたり、解析区間、平滑区間および平滑回数の影響を受けることが明らかとなった。さらに、検出限界に対する透過中性子の計数率と水浸透に伴う水分率の変化量との関係について検討した結果、水浸透前の計数率が70カウント程度の場合、水浸透に伴う水分率の変化量が0.02以上あれば測定可能であることがわかった。

謝 辞

本システムを開発するにあたって、助言をいただいた環境安全研究部、今井和彦部長、ならびに、低レベル放射性廃棄物処理処分研究室、和達嘉樹室長に感謝の意を表します。また、本報告をまとめるにあたって討論に参加していただいた、小川弘道、大塚芳郎研究員に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 和達嘉樹，他：日本原子力学会誌，24，182（1982）。
- (2) 大貫敏彦，武部慎一，山本忠利，和達嘉樹：保健物理，18，11（1983）。
- (3) 大貫敏彦，山本忠利：応用物理，52，268（1983）。
- (4) R. Harverkamp，M. Vauclin，J. Touma，P. J. Wierenga and G. Vauchaud：
Soil Sci. 114，1（1977）。
- (5) 沼倉三郎：“測定値計算法”，267，森北出版，（1978）。

0.02以上あれば水流速の計測が可能となることがわかる。

5. 結 言

以上、通気層試験においてカラム内土壌中での水流速を測定するために開発した、マイクロコンピュータを用いた非破壊計測システムについて検討した。その結果、本システムにより、カラム内土壌中における水流速が測定できることが確認された。本システムで水流速を測定する場合、透過中性子の計数率減少率を求めるにあたり、解析区間、平滑区間および平滑回数の影響を受けることが明らかとなった。さらに、検出限界に対する透過中性子の計数率と水浸透に伴う水分率の変化量との関係について検討した結果、水浸透前の計数率が70カウント程度の場合、水浸透に伴う水分率の変化量が0.02以上あれば測定可能であることがわかった。

謝 辞

本システムを開発するにあたって、助言をいただいた環境安全研究部、今井和彦部長、ならびに、低レベル放射性廃棄物処理処分研究室、和達嘉樹室長に感謝の意を表します。また、本報告をまとめるにあたって討論に参加していただいた、小川弘道、大塚芳郎研究員に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 和達嘉樹，他：日本原子力学会誌，24，182（1982）。
- (2) 大貫敏彦，武部慎一，山本忠利，和達嘉樹：保健物理，18，11（1983）。
- (3) 大貫敏彦，山本忠利：応用物理，52，268（1983）。
- (4) R. Harverkamp，M. Vauclin，J. Touma，P. J. Wierenga and G. Vauchaud：
Soil Sci. 114，1（1977）。
- (5) 沼倉三郎：“測定値計算法”，267，森北出版，（1978）。

0.02以上あれば水流速の計測が可能となることがわかる。

5. 結 言

以上、通気層試験においてカラム内土壌中での水流速を測定するために開発した、マイクロコンピュータを用いた非破壊計測システムについて検討した。その結果、本システムにより、カラム内土壌中における水流速が測定できることが確認された。本システムで水流速を測定する場合、透過中性子の計数率減少率を求めるにあたり、解析区間、平滑区間および平滑回数の影響を受けることが明らかとなった。さらに、検出限界に対する透過中性子の計数率と水浸透に伴う水分率の変化量との関係について検討した結果、水浸透前の計数率が70カウント程度の場合、水浸透に伴う水分率の変化量が0.02以上あれば測定可能であることがわかった。

謝 辞

本システムを開発するにあたって、助言をいただいた環境安全研究部、今井和彦部長、ならびに、低レベル放射性廃棄物処理処分研究室、和達嘉樹室長に感謝の意を表します。また、本報告をまとめるにあたって討論に参加していただいた、小川弘道、大塚芳郎研究員に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 和達嘉樹，他：日本原子力学会誌，24，182（1982）。
- (2) 大貫敏彦，武部慎一，山本忠利，和達嘉樹：保健物理，18，11（1983）。
- (3) 大貫敏彦，山本忠利：応用物理，52，268（1983）。
- (4) R. Harverkamp，M. Vauclin，J. Touma，P. J. Wierenga and G. Vauchaud：Soil Sci. 114，1（1977）。
- (5) 沼倉三郎：“測定値計算法”，267，森北出版，（1978）。

0.02以上あれば水流速の計測が可能となることがわかる。

5. 結 言

以上、通気層試験においてカラム内土壌中での水流速を測定するために開発した、マイクロコンピュータを用いた非破壊計測システムについて検討した。その結果、本システムにより、カラム内土壌中における水流速が測定できることが確認された。本システムで水流速を測定する場合、透過中性子の計数率減少率を求めるにあたり、解析区間、平滑区間および平滑回数の影響を受けることが明らかとなった。さらに、検出限界に対する透過中性子の計数率と水浸透に伴う水分率の変化量との関係について検討した結果、水浸透前の計数率が70カウント程度の場合、水浸透に伴う水分率の変化量が0.02以上あれば測定可能であることがわかった。

謝 辞

本システムを開発するにあたって、助言をいただいた環境安全研究部、今井和彦部長、ならびに、低レベル放射性廃棄物処理処分研究室、和達嘉樹室長に感謝の意を表します。また、本報告をまとめるにあたって討論に参加していただいた、小川弘道、大塚芳郎研究員に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 和達嘉樹，他：日本原子力学会誌，24，182（1982）。
- (2) 大貫敏彦，武部慎一，山本忠利，和達嘉樹：保健物理，18，11（1983）。
- (3) 大貫敏彦，山本忠利：応用物理，52，268（1983）。
- (4) R. Harverkamp，M. Vauclin，J. Touma，P. J. Wierenga and G. Vauchaud：Soil Sci. 114，1（1977）。
- (5) 沼倉三郎：“測定値計算法”，267，森北出版，（1978）。

Table 1 Water velocity determined by the present method at the depth of 0.1, 0.4 and 0.7 m.

Depth(m)	Velocity(m/s)
0.1	1.40×10^{-4}
0.4	1.15×10^{-4}
0.7	7.20×10^{-5}

Table 2 Water velocity determined by the transmitted time from the depth of 0.1 to 0.4 m and that from the depth of 0.4 to 0.7 m.

Measurement period(m)	Velocity(m/s)
0.1 ~ 0.4	1.27×10^{-4}
0.4 ~ 0.7	1.20×10^{-4}

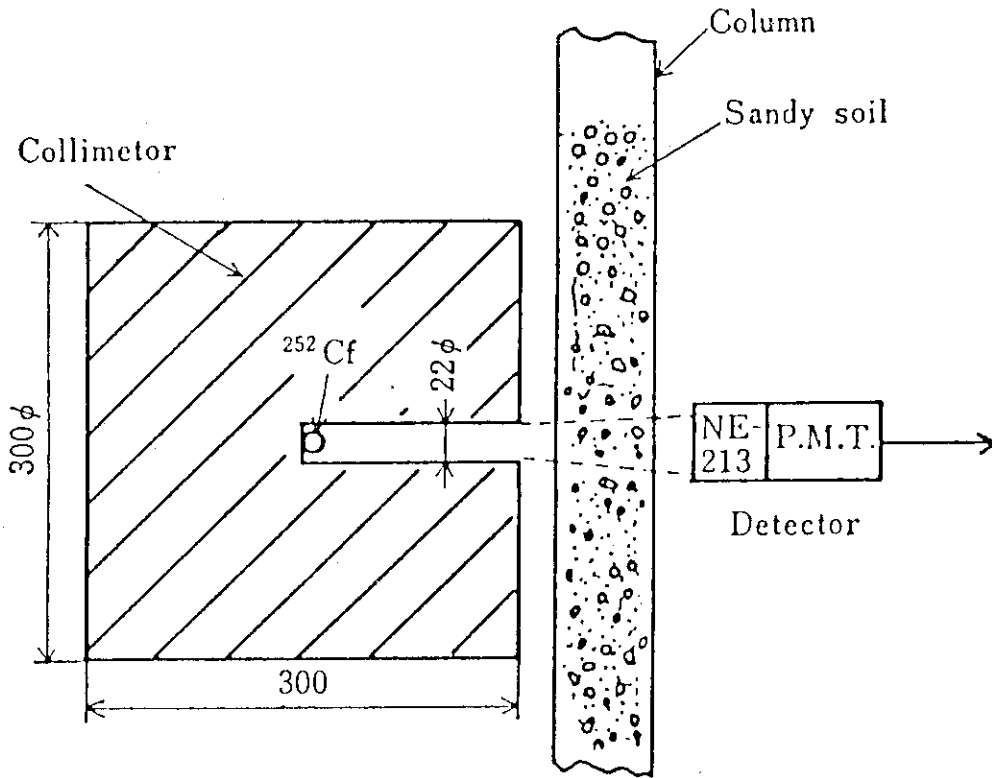


Fig.1 Arrangement of water velocity measurement system by fast neutron transmission.

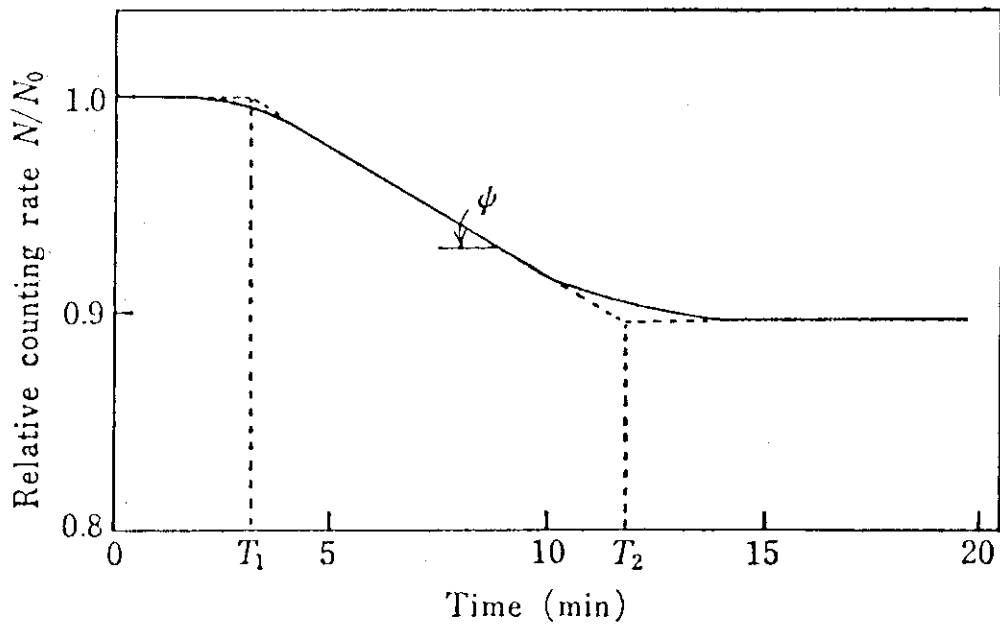


Fig.2 Relative counting rate of transmitted fast neutron with infiltration.

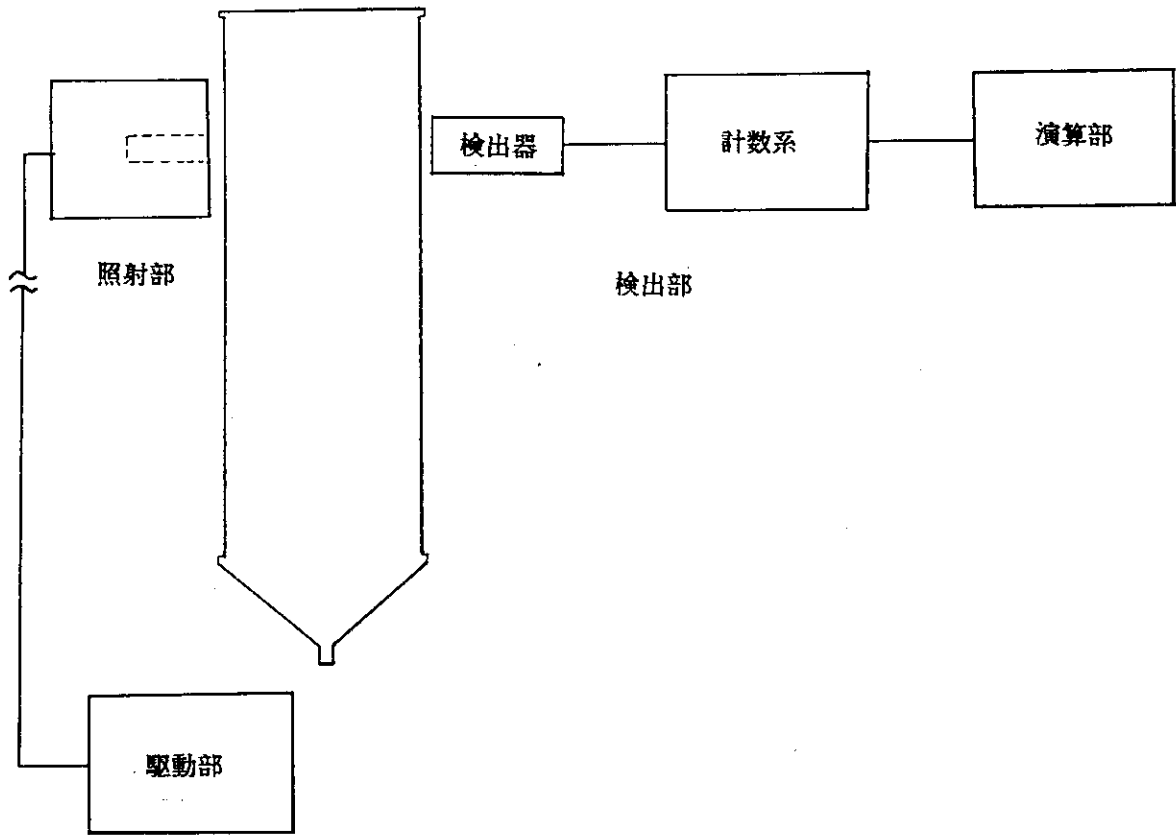


Fig.3 Arrangement of the present system and soil column.

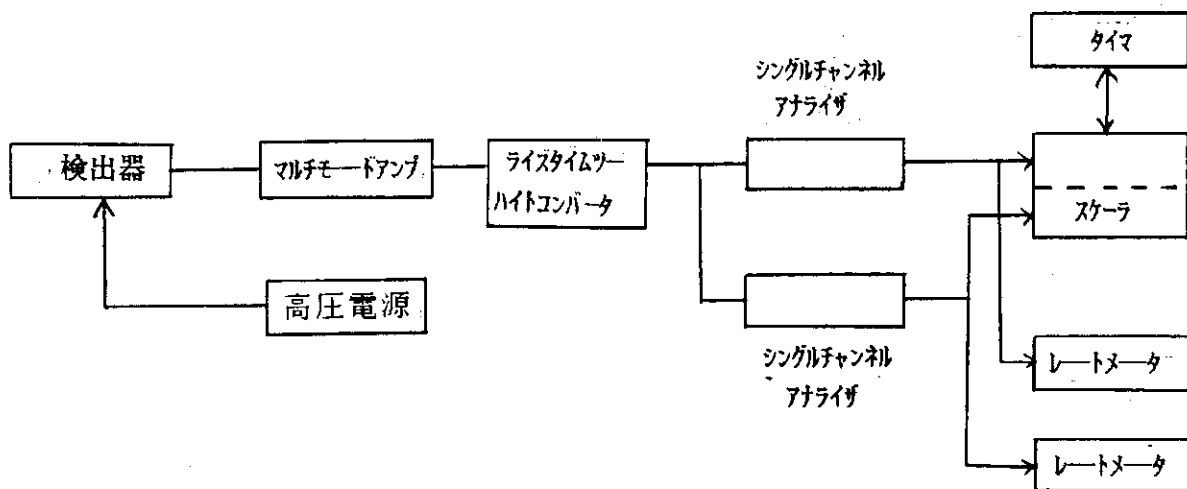


Fig.4 Block diagram of fast neutron detection.

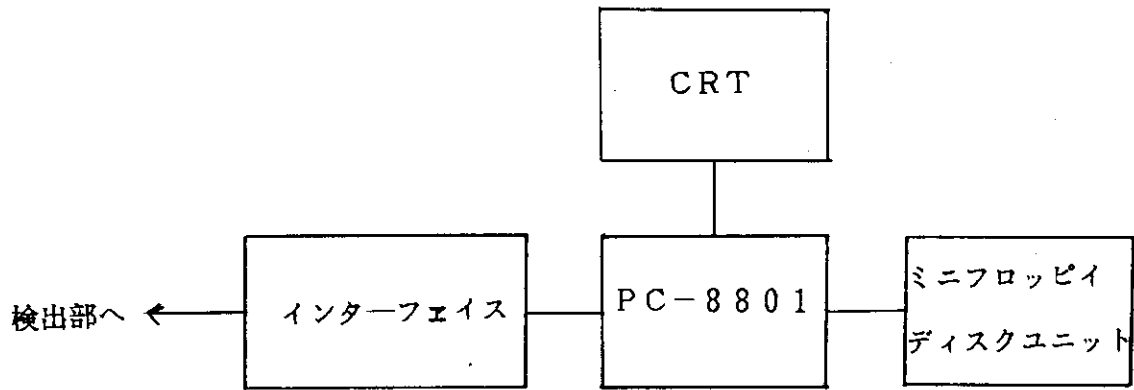


Fig.5 Block diagram of micro-computer system.

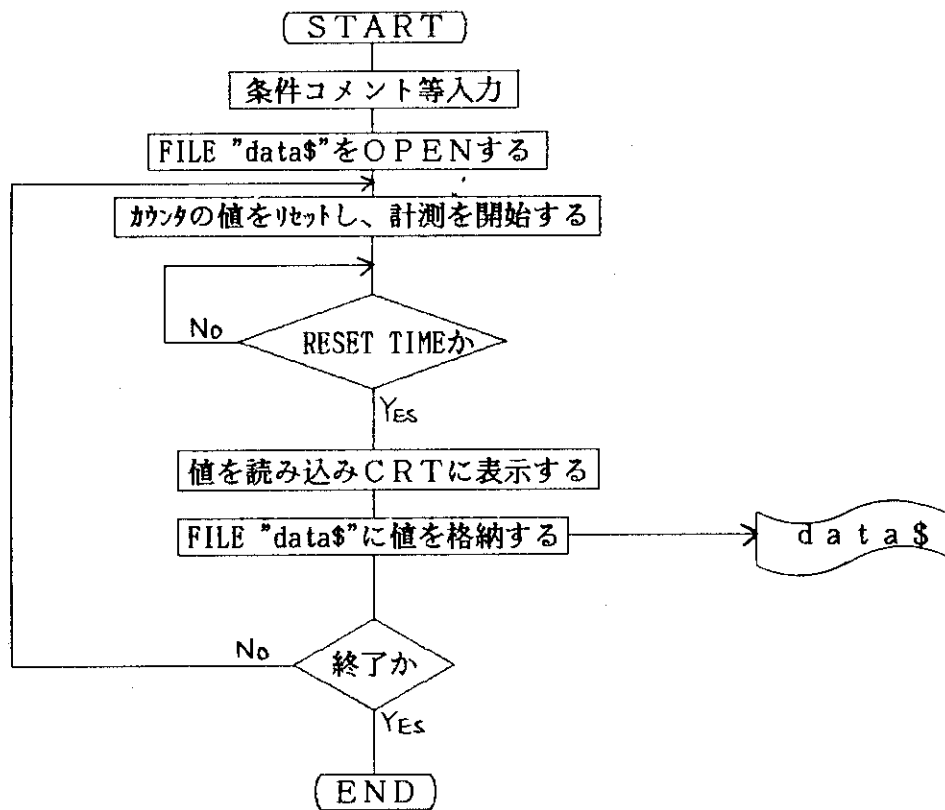


Fig.6 Flow chart to obtain counting rate of transmitted fast neutron by micro-computer.

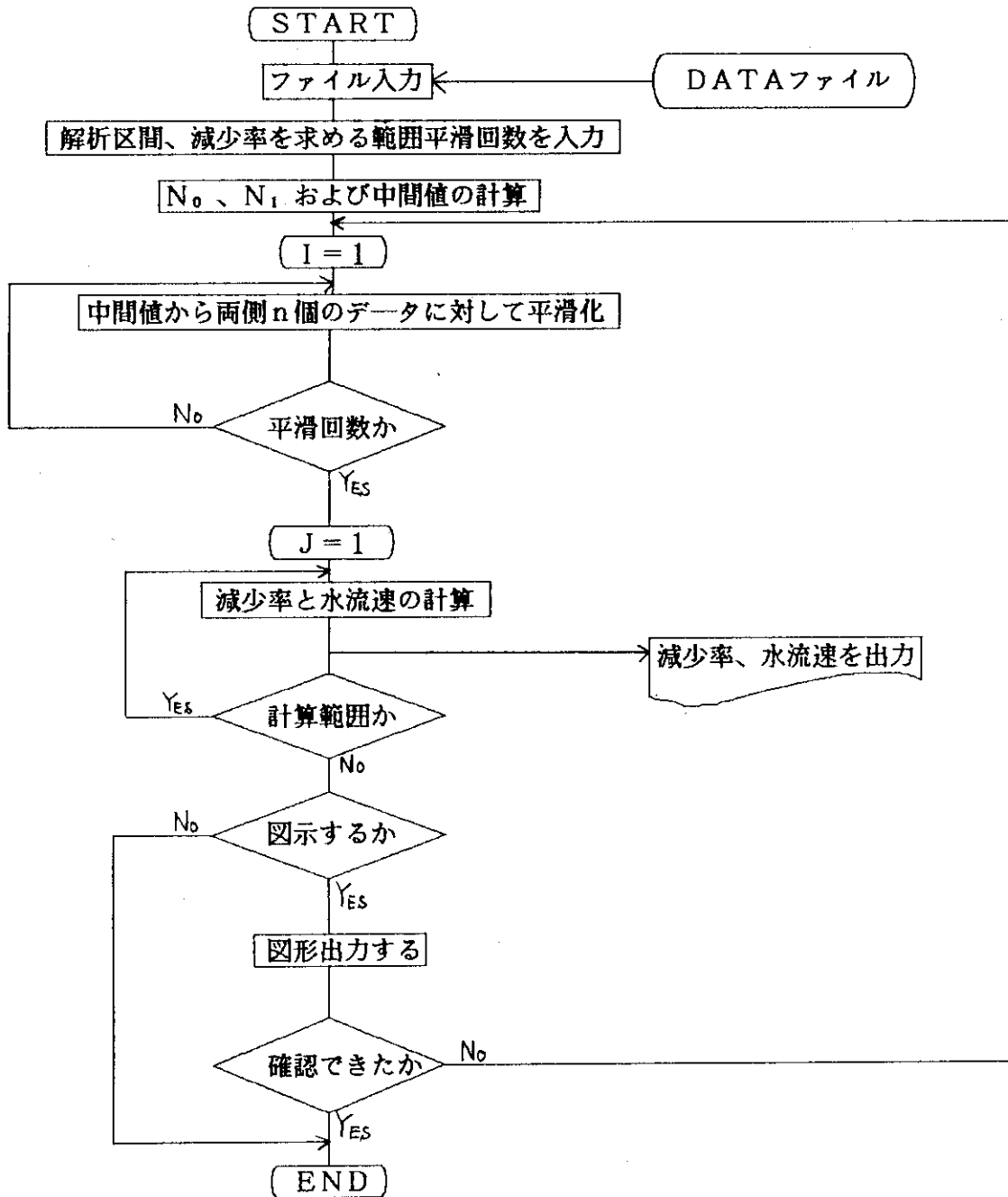


Fig.7 Flow chart to determine the water velocity by micro-computer.

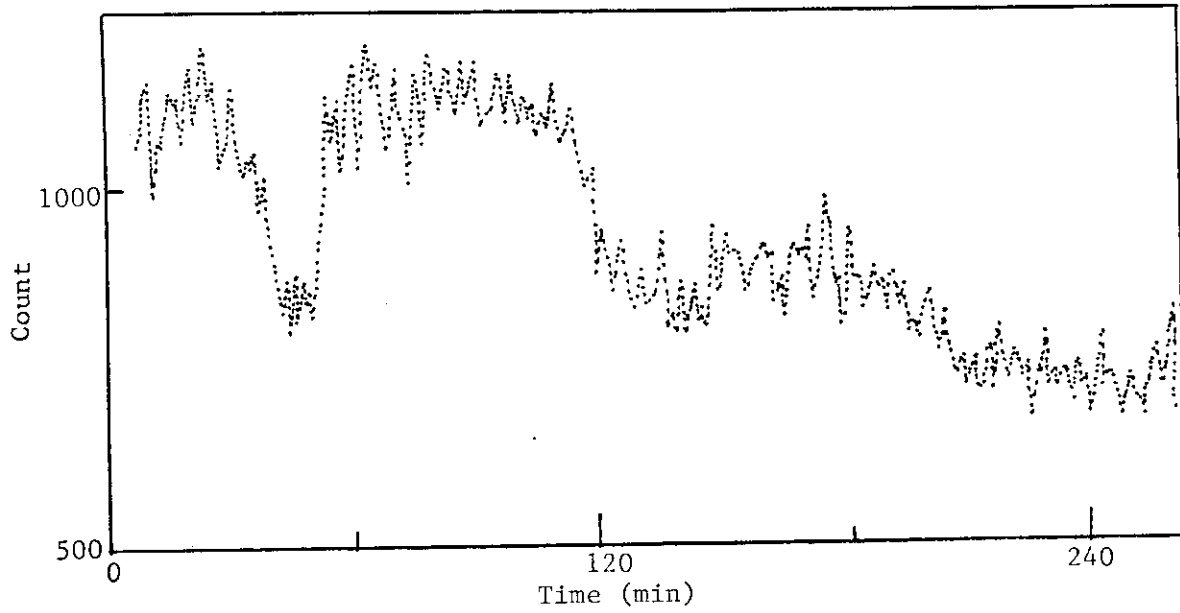


Fig.8 Observed counting rate of transmitted fast neutron with water infiltration at the depth of 0.1, 0.4 and 0.7 m, respectively.

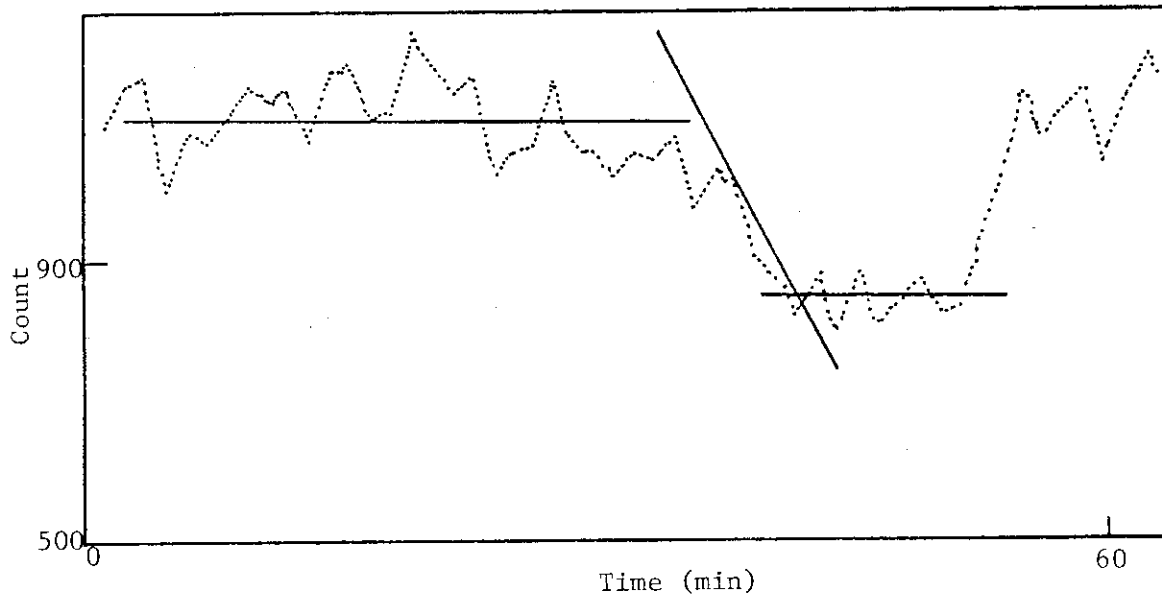


Fig.9 Relationship between observed counting rate of transmitted fast neutron with infiltration at the depth of 0.1 m (broken line) and calculated one from the decreasing rate of fast neutron (solid line) ; the determination period 3-50, the smoothing period: 11, the number of smoothing: 0.

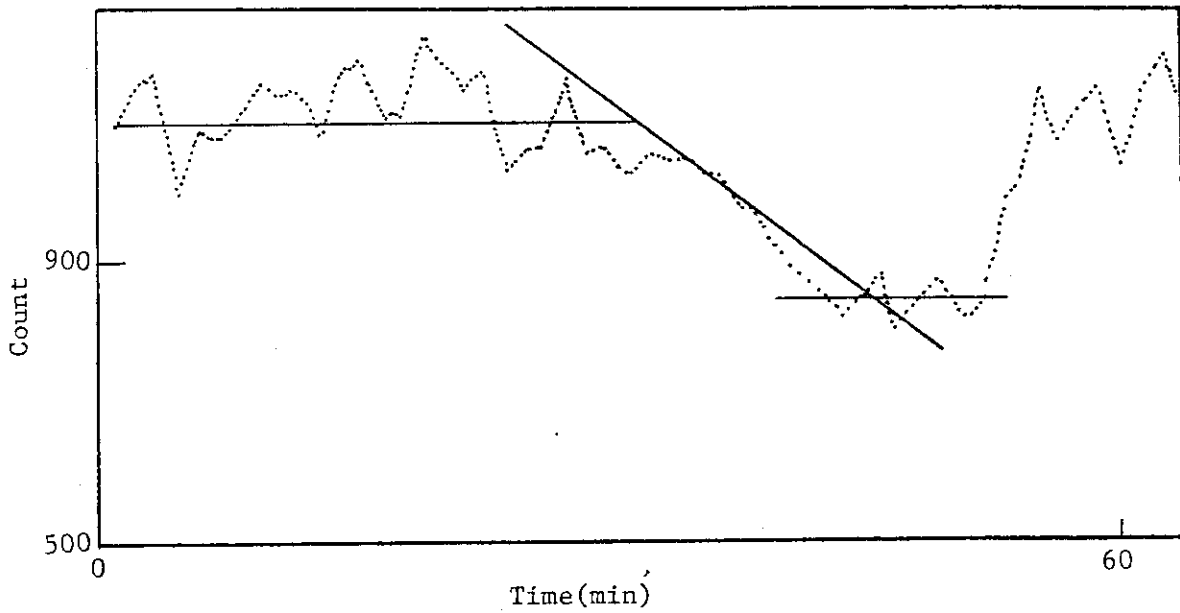


Fig.10 Relationship between observed counting rate of transmitted fast neutron with infiltration at the depth of 0.1 m (broken line) and calculated one from the decreasing rate of fast neutron ; the determination; the measurement period 3-50, the smoothing period: 11, the number of smoothing: 3.

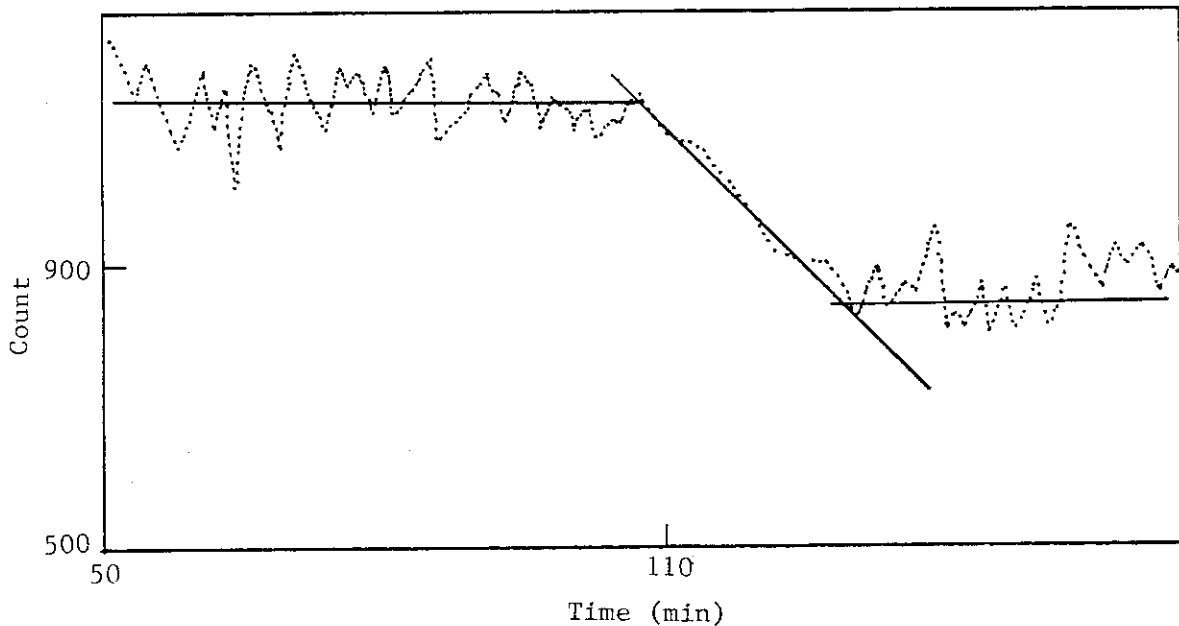


Fig.11 Relationship between observed counting rate of transmitted fast neutron with infiltration at the depth of 0.4 m (broken line) and calculated one from the decreasing rate of fast neutron (solid line) ; the determination period 55-141, the smoothing period: 21, the number of smoothing: 3.

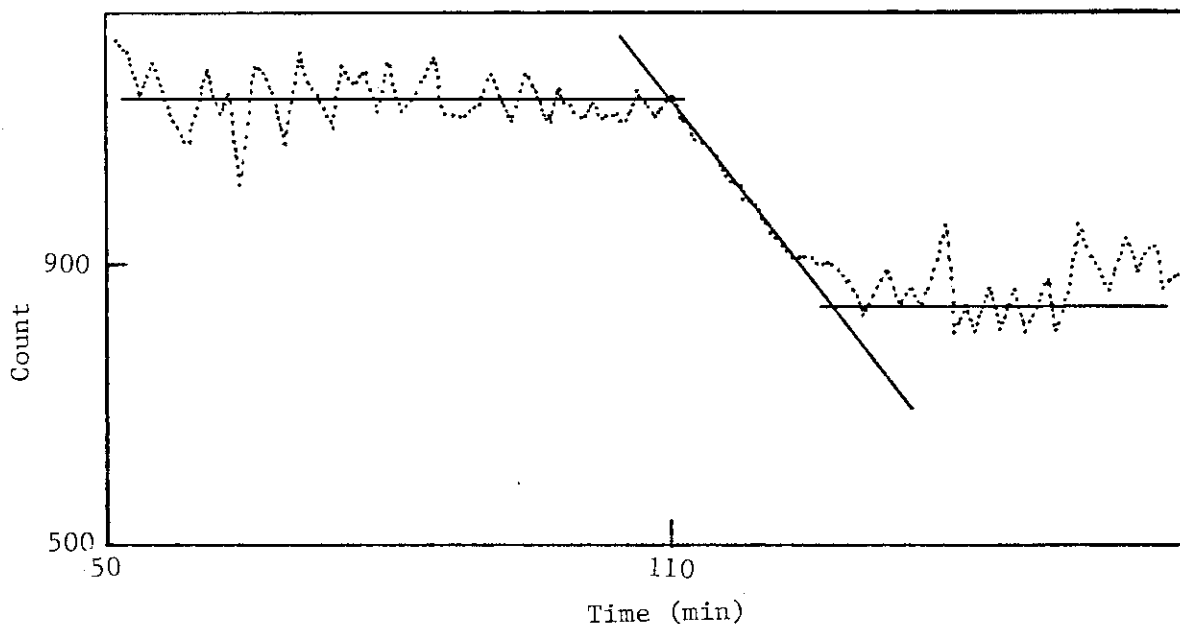


Fig.12 Relationship between observed counting rate of transmitted fast neutron with infiltration at the depth of 0.4 m (broken line) and calculated that from the decreasing rate of fast neutron (solid line) ; the determination period 55-141, the smoothing period: 7, the number of smoothing: 3.

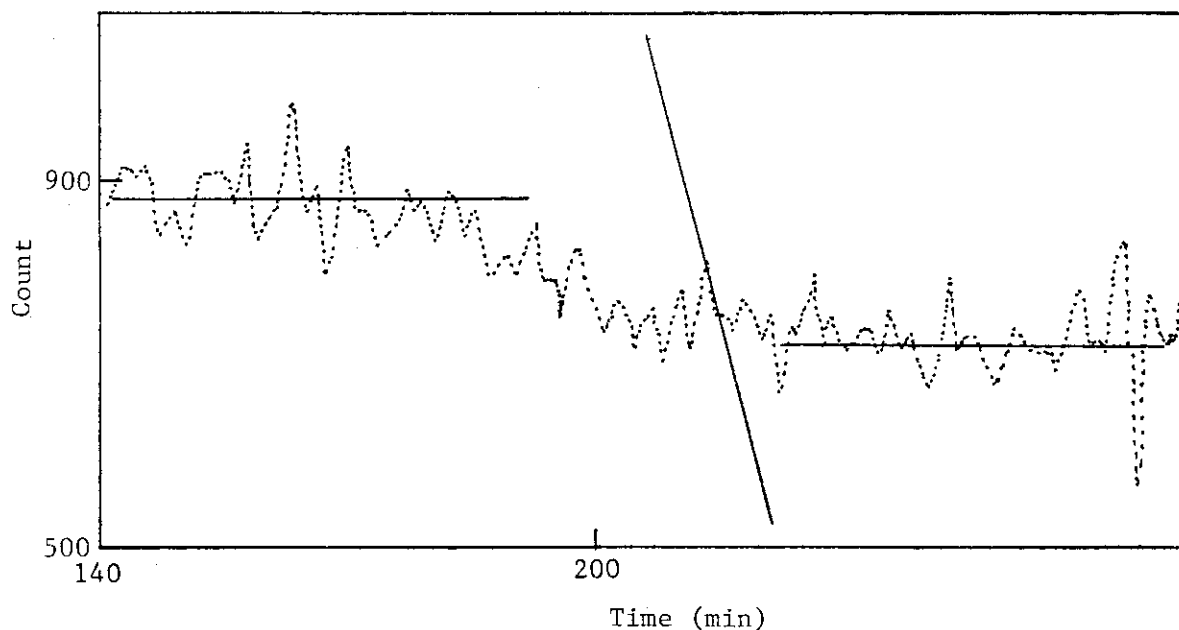


Fig.13 Relationship between observed counting rate of transmitted fast neutron with infiltration at the depth of 0.7 m (broken line) and calculated that from the decreasing rate of fast neutron (solid line) ; the determination period 150-220, the smoothing period: 21, the number of smoothing: 3.

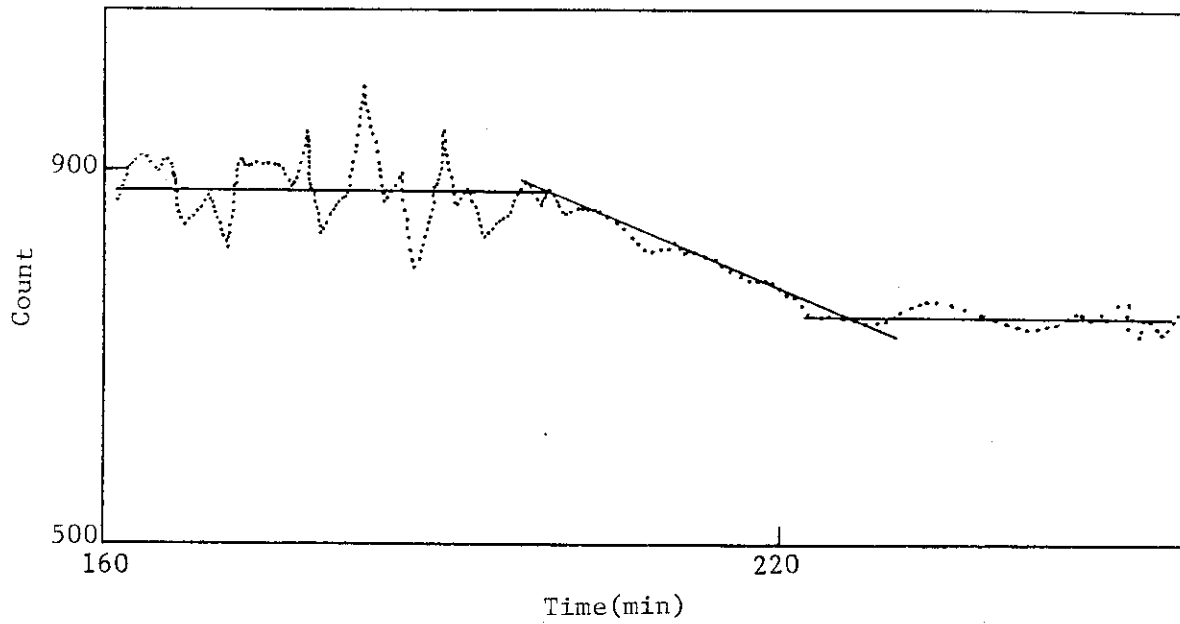


Fig.14 Relationship between observed counting rate of transmitted fast neutron with infiltration at the depth of 0.7 m (broken line) and calculated that from the decreasing rate of fast neutron (solid line) ; the determination period 180-220, the smoothing period: 21, the number of smoothing: 3.

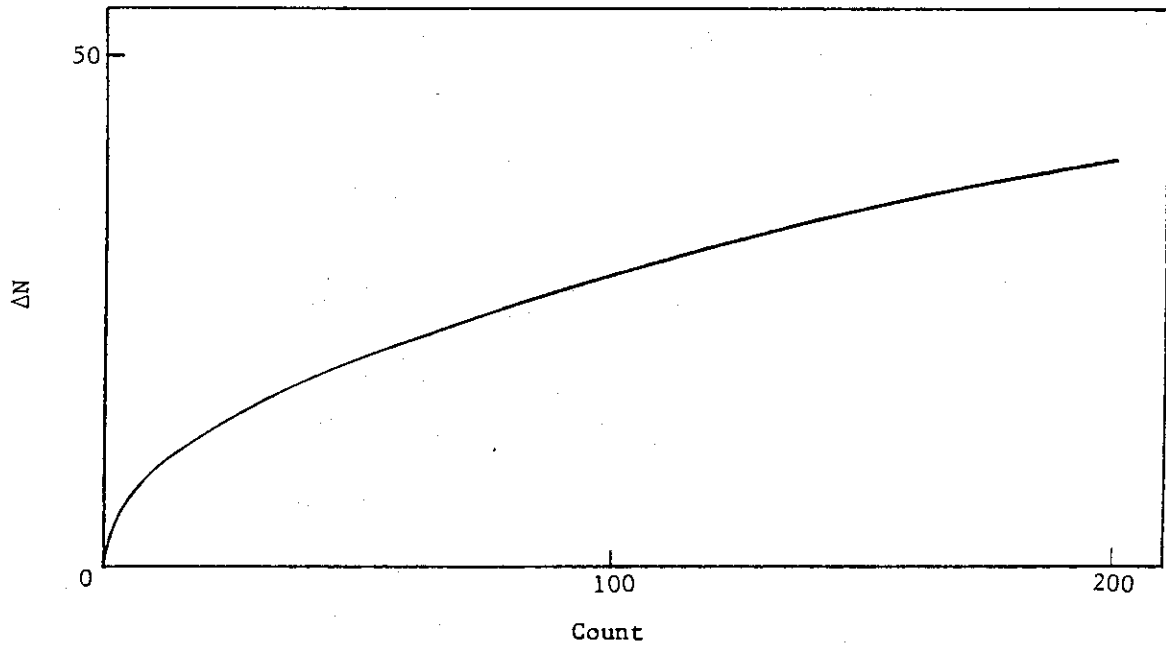


Fig.15 Detection limit of the present method determined by the relationship between the counting rate and the changing ratio of counting rate with infiltration.

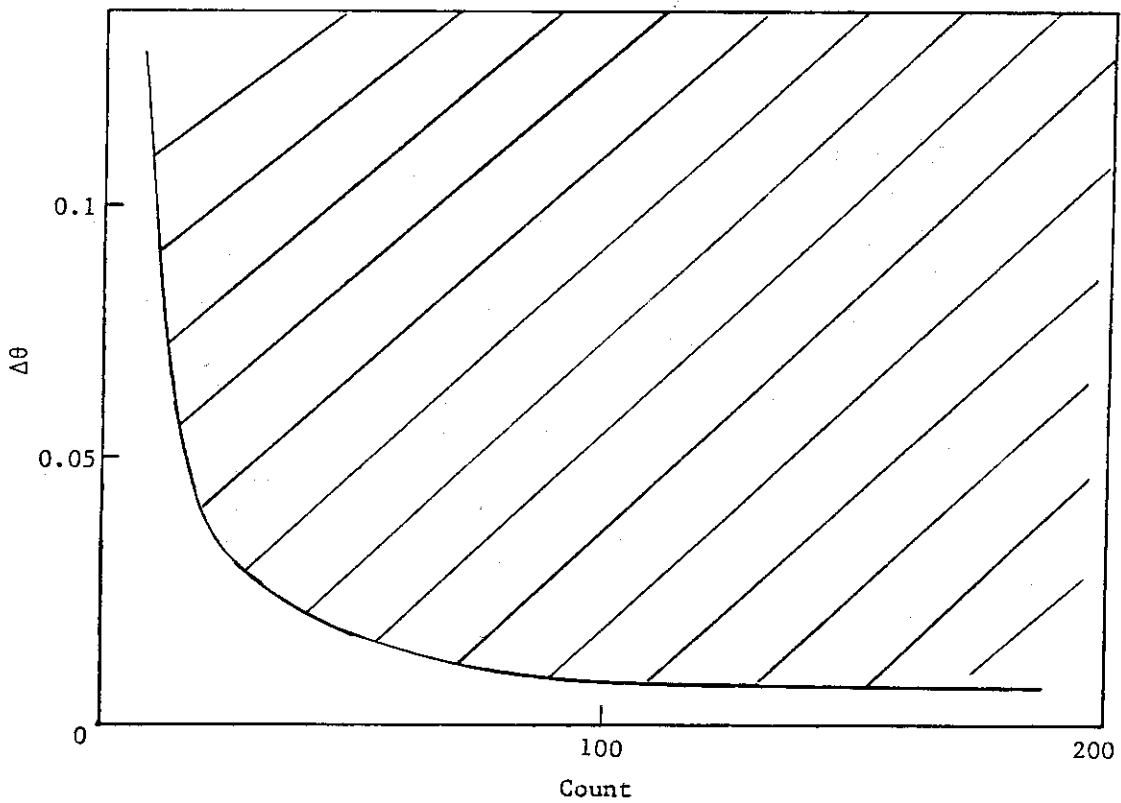
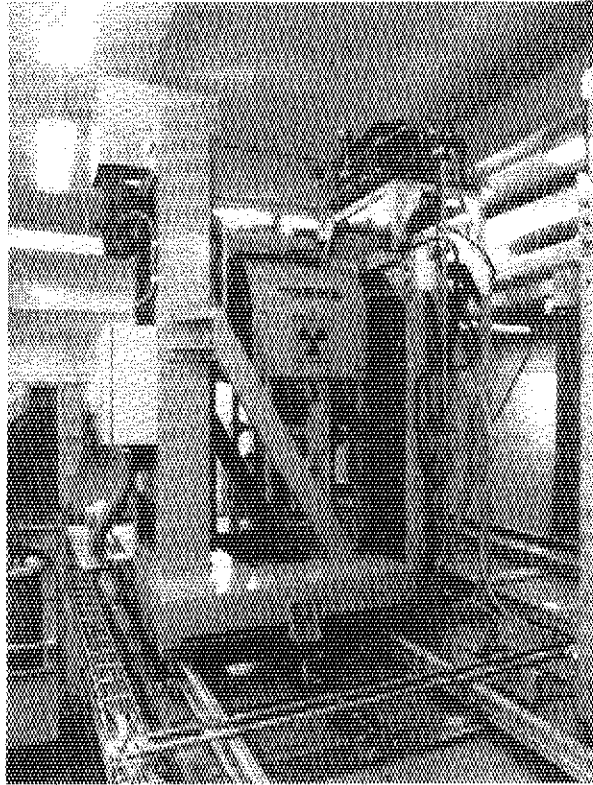
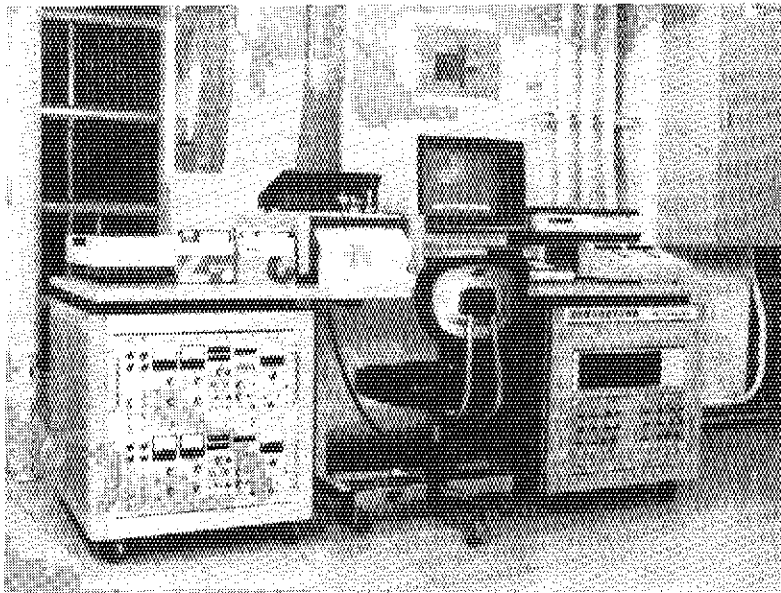


Fig.16 Detection limit of the present method determined by the relationship between the counting rate and the changing ratio of water content with infiltration.



(A)



(B)

Photo.1 Apparatus of non-destructive measurement system of soil water velocity in an unsaturated porous medium, (A) part of emitter, detector and driver, (B) part of scaler, controller.

付録1 水流速測定手順

I. 透過中性子計数率取り込み操作手順

1. システムディスクをフロッピーディスクユニット1にセットする。
2. 水流速測定システムの主電源をONにする。
3. CRT上に How many disks use ? と表示されたら, 1~15または Return キー押す。
4. 照射器昇降ボタンを押して, 照射器を Cf-252高速中性子線源がマウントできる位置に移動する。
5. RI 貯蔵室に保管してある Cf-252高速中性子線源を照射器にマウントする。
6. NE-213シンチレータを透過中性子を検出できる位置にセットする。
7. スケーラのタイマの値を所定の測定時間(実際にはマイクロコンピュータではデータ取り込みに時間を要するので, 所定の測定時間-0.8秒)に設定する。
8. キーボードにより,
LOAD "1: WATER. SMP" と入力する。
9. CRT上に READY と表示されるのを確認する。
10. RUN (PF5) と入力する。
11. CRT上に,
"Start of water measurement in STEM"
Are you ready ?
と表示される。
12. 照射器の盲蓋を開ける。
13. 各機器が測定できる状態になっていることを確認して
yもしくはYと入力する。
14. CRT上に
"Measurement system A or B?"
と表示される。
15. 使用するシステムにより, AならばAまたはaと, BならばBまたはbと入力する。
16. CRT上に,
"コメント ラ インプットシテクダサイ"
と表示される。
17. コメントを入力する。
18. CRT上に,
"サンプリングジカンハ?"
と表示される。
19. スケーラに設定した時間に0.8秒加えた値を設定する。
20. CRT上に,

” ミズガナガレテキタラ RETURN KEY ヲ オシテクダサイ”
と表示される。

21. 水が土壌層表面に達したら RETURN KEY を押す。

注 上述のようにして得られたデータは、データファイル “data\$” として保存される。したがって、データを処理する場合には名前を変えて行なう。

name "data\$" as "*****"

ここに、*****は変更したファイル名である。

II. 水流速計算手順

1. LAOD "WATER. CLC" とキーボードから入力する。
2. RUN (PF 5) と入力する。
3. CRT 上およびプリンタに、I で入力した諸条件が表示される。
4. CRT 上に、

” ナンバンメカラ ハジメマスカ?”

と表示される。

5. 水流速を求めるために解析するデータの始めの番号を入力する。
6. CRT 上に、

” ナンバンメマデ カイセキシマスカ?”

と表示される。

7. 水流速を求めるために解析するデータ区間の終わりの番号を入力する。
8. CRT 上に、

” ゲンジョウリツ ヲ モトメルハンイハ?”

と表示される。

9. 減少率を求める範囲を入力する。
10. CRT 上に、

” ヘイカツカノカイスウハ?”

と表示される。

11. 平滑化の回数を入力する。
12. CRT 上およびプリンタに計算された水流速の値が出力される。
13. CRT 上に、

” カクニン シマスカ?”

と表示される。

14. 実際に測定された計数率の経時変化と減少率より求めたそれとを図により比較する場合には、y それ以外には n を入力する。
15. 14 で y を入力した場合には、実際に測定された計数率の経時変化と減少率より求めたそれを比較し、一致していることを確認する。

16. CRT上に,

” マダ ツツケマスカ?”

と表示される。

17. 水流速を求める計算を続ける場合には y をそれ以外の場合には n (終了) を入力する。

18. 17で y を入力した場合には CRT上に,

” ソクテイ クカン ヲ ヘンコウ シマスカ?”

と表示される。

19. 測定区間を変更する場合には y を, 変更しない場合には n を入力する。

20. 19で y を入力した場合には 4 から, n を入力した場合には 10 からの手順により水流速の計算を行なう。