

土木研究所資料

切土のり面内への降雨の浸透と安定性

昭和57年 3 月

建設省土木研究所

土 質 研 究 室

Copyright © 57年度 by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

まえがき

道路盛土や切土のり面などの土構造物は、豪雨時に雨水が浸透するとその安定性が著しく低下し、のり面崩壊を起こすことがしばしば経験されている。ところが、豪雨時に降雨がのり面内へどのように浸透し、それに伴ってのり面の安定性がどの程度低下するかといったような崩壊のメカニズムにかかわる問題になると、現場の諸条件が多様であるうえにのり面内への降雨の浸透に関する観測データが少ないこともあって、未解明の点が多く残されている。

そこで本調査では、一つの試みとして、実際の山岳道路沿いに試験のり面を選定し、のり面内への降雨の浸透現象を調べる計器観測ならびに土質調査を実施し、その結果にもとづいて豪雨時における現地のにり面の安定性の低下について検討を加えたので報告する。

なお、本調査は、関東地方建設局相武国道工事事務所の依頼を受けて実施したものである。調査の実施にあたって御尽力いただいた当事務所の関係各位ならびに当時の共同研究者であった元土質研究室の真下陽一技官に対し、深く感謝の意を表する。

昭和57年3月

土質研究室	久 楽 勝 行
	三 木 博 史
	関 一 雄

目 次

まえがき

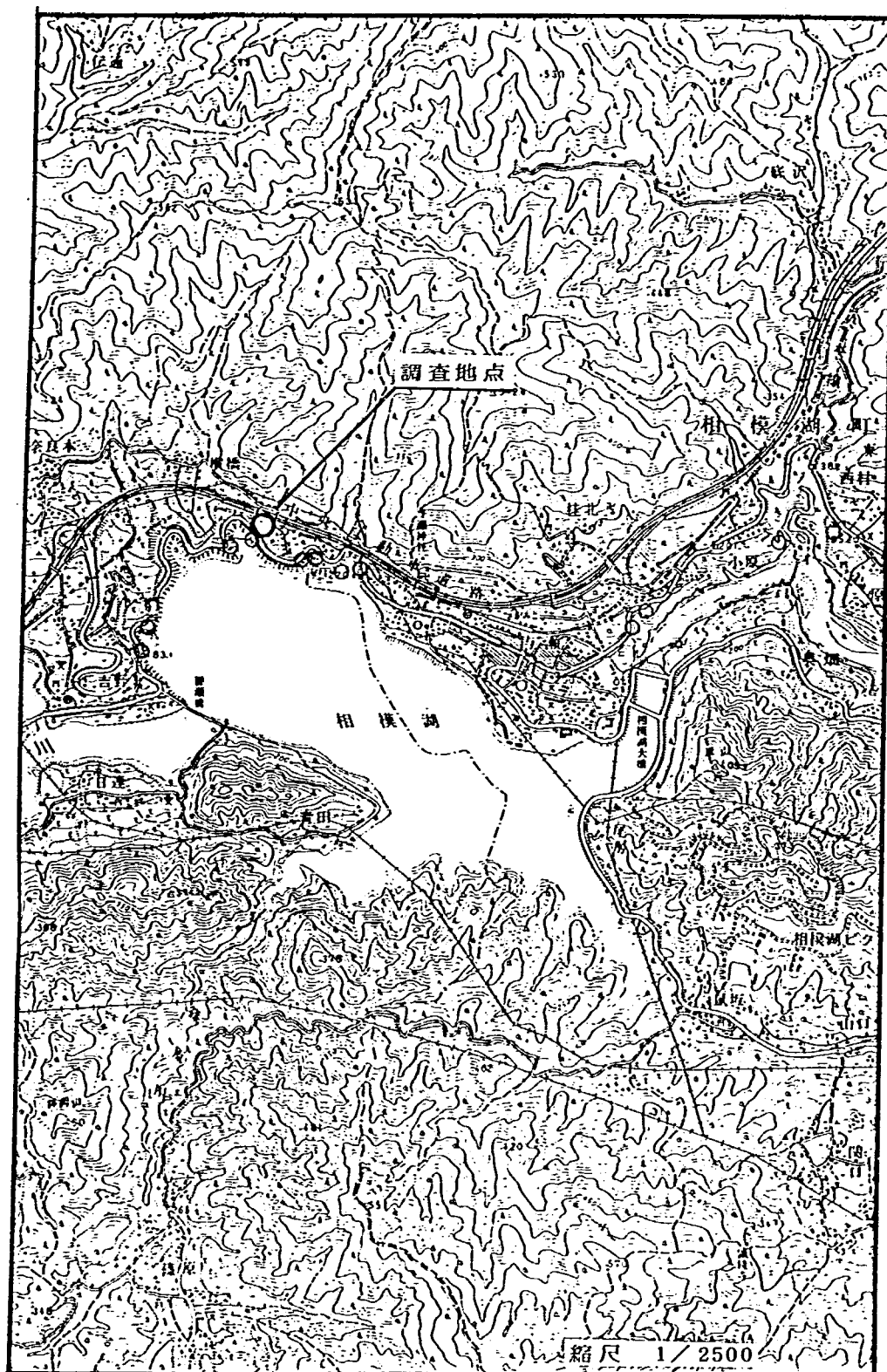
1. 調査目的	1
2. 調査方法	6
2-1 土質試験	7
2-2 計測調査	12
3. 調査結果	19
3-1 土質調査結果	19
3-2 段丘面について	25
3-3 観測結果	34
3-4 安定検討	62
3-4-1 過去の崩壊箇所の安定検討	62
3-4-2 将来の拡幅予定箇所の安定検討	64
4. まとめ	66
参考文献	67

1. 調査目的

調査地は、図－1に示すように、神奈川県津久井郡相模湖北岸に位置する国道20号沿いの切土のり面である。相模湖周辺には第四紀洪積世に形成された相模川の河成段丘が広く発達しており、国道20号がこうした高さ20～30mを超える段丘崖の直下をぬうように通っている箇所が多い。このため、このような地形の切土のり面の箇所では、過去の豪雨時に何度かのり面崩壊を生じた例がある。今回選定した調査地付近でも、のり面崩壊やもたれ擁壁にはらみ出しが生じている区間もあり、そのための対策をこれまで実施してきている。

本調査は、豪雨時における切土のり面の安定性の低下について評価を試みることを目的として、災害発生の危険度が高いと判断される調査地周辺に試験のり面を選定し、土質調査ならびに豪雨時における現地のり面への降雨の浸透現象を調べるための計測調査を実施したものである。

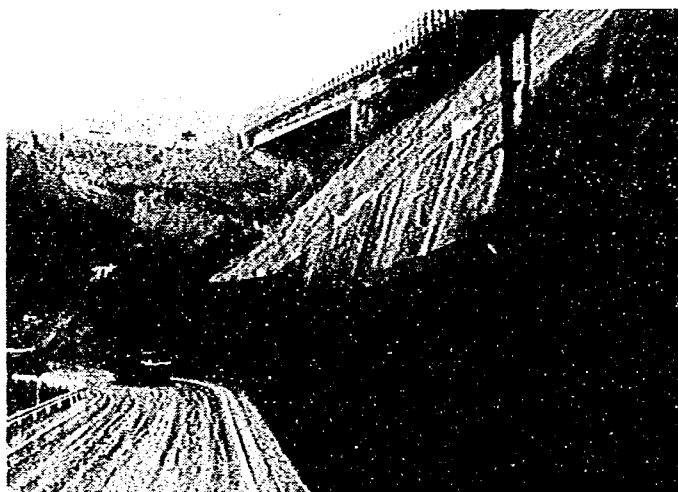
なお、調査地周辺の遠景を示す写真、過去の崩壊箇所の写真およびはらみ出しの生じているもたれ擁壁の写真を示すと、それぞれ写真－1、写真－2および写真－3のとおりである。



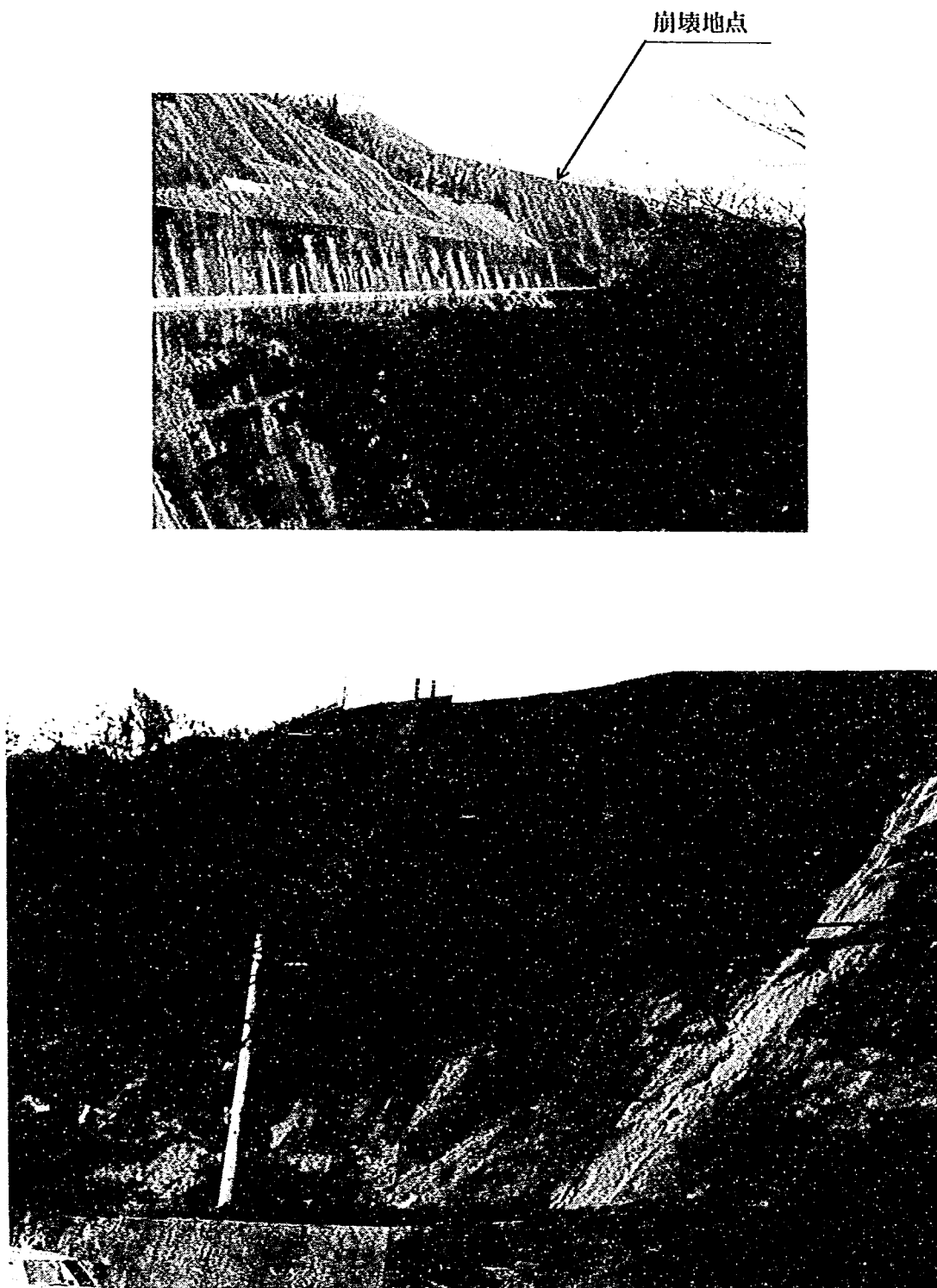
図一1 調査地位置図



写真一 調査地遠景（相模湖南岸より北岸を臨む）



写真一 2 はらみ出しの生じているもたれ擁壁



写真一3 過去の崩壊箇所

2. 調査方法

土質調査においては、図-2に示すB-1～B-7の位置でボーリング及び標準貫入試験を実施するとともに、B-5の位置ではデニソンサンプラーを用いて不攪乱試料を採取し、代表的な土層ごとに一連の土質試験を実施した。

また、計測調査においては、①ボーリング（B-1, B-2, B-4, B-5）を利用した地下水位の観測、②地表から50cm間隔で3mの深度まで埋設した土壌水分計（テンションメータ）による降雨浸透時の土中のサクション変化の測定、及び、③自記雨量計による雨量観測を約1年間にわたって実施し、降雨と地下水変動の関係ならびに降雨とのり面内への雨水の浸透深さの関係などを調べた。

なお、土質調査の結果をもとに、3種類の土質断面図を作成したが、これらはそれぞれ次のような検討目的と対応する断面である。

- ① 過去の崩壊箇所の解析に用いる a - a'断面
- ② はらみ出しの生じるもたれ擁壁の安定検討に用いる c - c'断面
- ③ 将来の拡幅予定箇所の安定検討に用いる b - b'断面

以下、各調査の詳細について述べる。

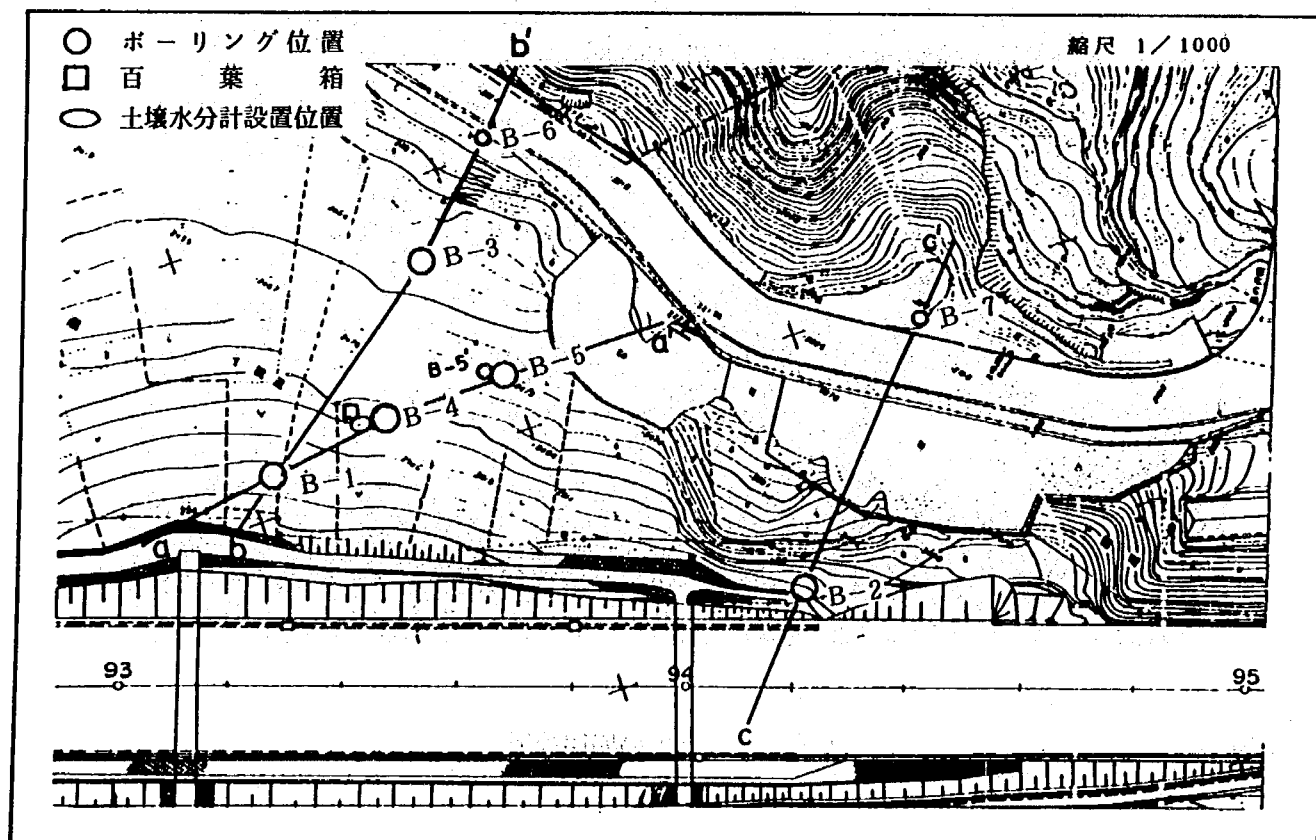


図-2 ボーリング位置及び計器配置図

2-1 土質試験

B-5の位置で採取した不攪乱試料を用いて実施した一連の土質試験の種類を列挙すると次のとおりである。

- 土の粒度試験 (2mmふるい通過分) J I S A 1204
- 土の含水量試験 J I S A 1203
- 土粒子の比重試験 J I S A 1202
- 土の透水試験 (案) J I S A 1218 T-1979

(変水位)

- 土の液性限界試験 J I S A 1205
- 土の塑性限界試験 J I S A 1206
- 三軸圧縮試験 (CU試験) 土質工学会基準

「土の三軸圧縮試験法 (案)」

特に、三軸圧縮試験においては、降雨の浸透による地山の強度低下を考慮した強度定数を得るために、不攪乱試料を十分に時間をかけて飽和させたのちに三軸CU試験を実施し、有効応力表示による飽和時の強度定数 c' と ϕ' を求めた。

なお、参考までに、今回の実験で使用した三軸圧縮試験装置の概要と試験方法ならびに各試験過程での写真を示すと、以下のとおりである。

(1) 三軸圧縮試験装置

今回の実験で使用した三軸圧縮試験装置は、図-3に示すような空気圧制御による水圧置換負荷式の三軸圧縮試験機 (三連式) である。本試験装置は3台の三軸室と3連の圧縮及び圧縮装置を備えており、3供試体を同時に異なる側圧で圧密し、圧縮する機能を持っている。以下、詳細な性能を記す。

品 名	仕 様
○ 三 軸 室	適用供試体 50mm ϕ ×125mm
○ 垂直荷重載荷装置	電動32段ひずみ制御式 AC100V 10W×3
○ 側圧載荷装置	空気圧制御による水圧置換負荷式
側圧調圧弁	コンスタントブリード超精密型 調圧範囲 0~10kgf/cm ² 調圧精度 0.005kgf/cm ²
側圧圧力計	圧力範囲 0~10kgf/cm ² 最小目盛 0.1kgf/cm ² (1/100)
○ バックプレッシャー載荷装置	空気圧制御による水圧置換負荷式
調 圧 弁	側圧調圧弁と同じ
圧 力 計	側圧圧力計と同じ
○ 体積変化測定	ビューレット開放式 容量 25m ℓ 最小目盛 0.05m ℓ
○ 間隙水圧測定装置	小型ストレンゲージ式フラッシュダイヤフラム型 測定範囲 0~5kgf/cm ²

(2) 三軸圧縮試験方法および試験条件

① 供試体の成形

供試体の成形は J I S A 1216 に準じてトリマーを用い、直径 5.0cm、高さ 12.5 cm に成形後、供試体の寸法及び質量を測定した（写真－４）。

② 三軸室へのセット

図－４に示すように、三軸室の試料台にホーラスストーン、ろ紙、リング状のテフロンシート、シリコンオイル（シリコングリースとシリコンオイルを適度な粘性に調合したもの）、ろ紙などをのせ、供試体の周面には縦方向に切欠きをつけろ紙を巻いてその上にセットしてから、下部と同様にろ紙、テフロンシートなどをのせて載荷キャップを取付けた（写真－５）。次に供試体にゴムスリーブをかぶせ、上下それぞれ２本ずつＯ－リングで締め付けた（写真－６）。

三軸室を組み立て、供試体上部の載荷キャップにピストンを接触させ、軸方向変位測定用ダイヤルゲージをセットし、ゼロ点調整を行った（写真－７）。

③ 飽和過程

三軸室に水を満たしたあと、側圧を 0.2 kg f / cm^2 にし、脱気水を供試体下部より水頭差約 1 m で供試体内部に通し、ゴムスリーブと供試体及びろ紙との間に存在する空気を上部より外部へ導びいて飽和した。この過程を少なくとも 24 時間維持した。

④ 等方圧密過程

飽和終了後、三軸室のコックを閉じ、所定の側圧に調整したあと、圧力側とビューレット側のコックを同時に開いて圧密を開始した。圧密時間は 24 時間である。

⑤ バックプレッシャー作用

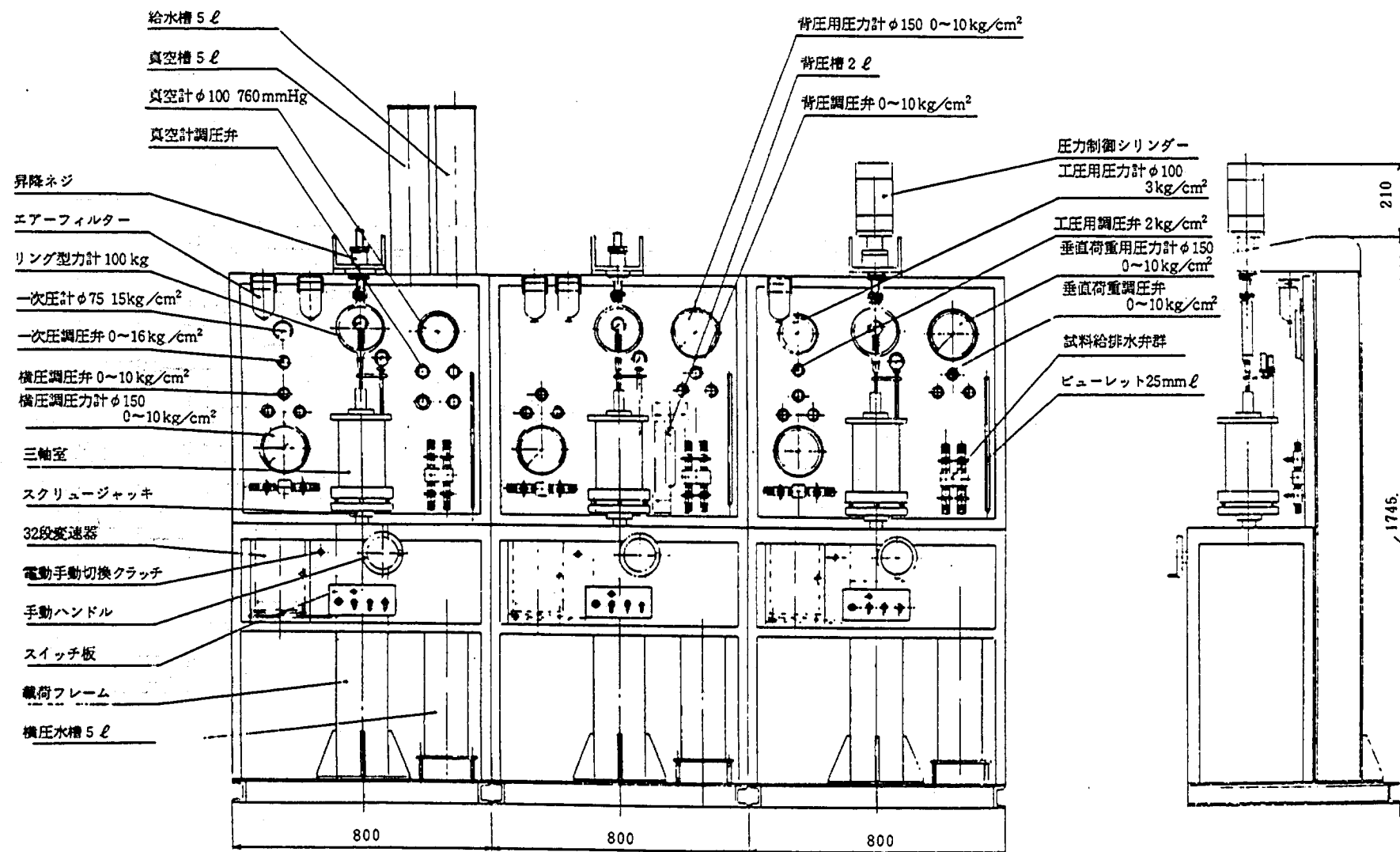
24 時間後、間隙水圧計で圧密終了を確認ののち、バックプレッシャーを 0.2 kg f / cm^2 の増分で 10 分おきに増分させ、 1.0 kg f / cm^2 に達してから約 24 時間放置した。

24 時間後、間隙水圧係数 B 値を測定し、0.98 以上になるまで B.P を増加させてこれを繰返した。

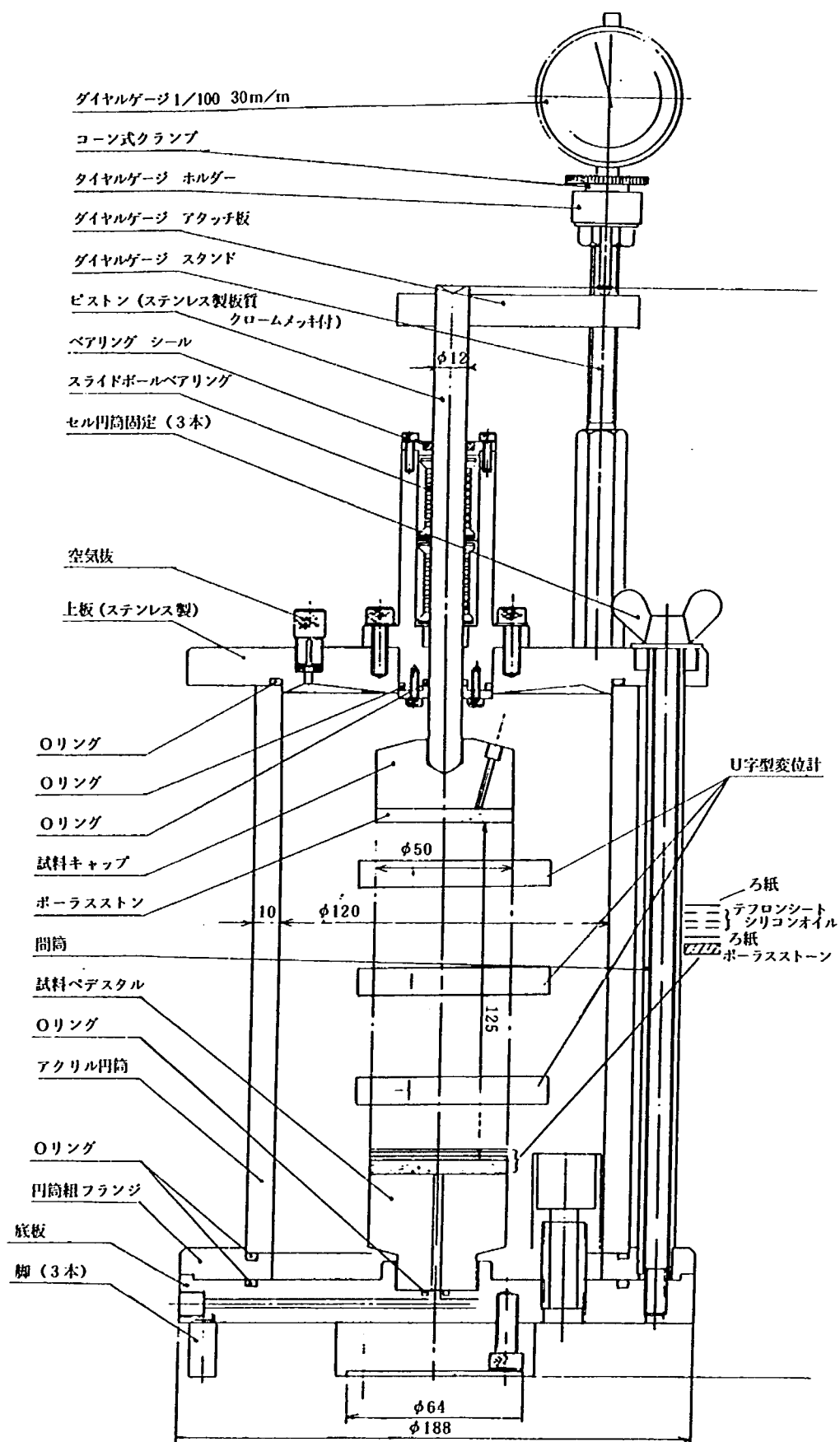
⑥ 軸圧縮過程

力計を 0 点調整したあとひずみ速度 $0.25 \% / \text{min}$ で軸圧縮を開始し、力計の読みと軸変位とが直接的に増加する点を求め、それを原点として軸変位、力計、間隙水圧計の順に測定した。試験後供試体のせん断面付近の含水比を 3 ケ所測定した。

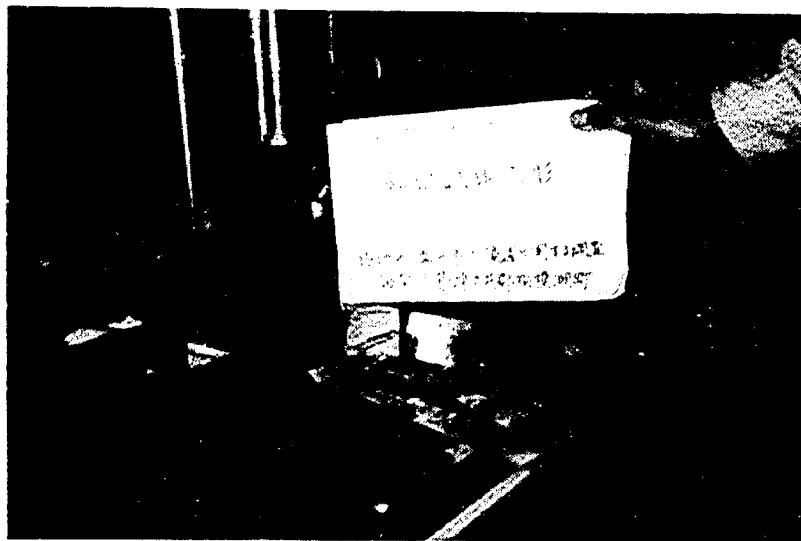
以上の説明で明らかのように、この試験の条件は圧密非排水条件で間隙水圧を測定する $\overline{\text{CU}}$ 試験である。ただし、B 値が 0.98 以上あることが条件で、この条件を満たすまで B.P を加えている。



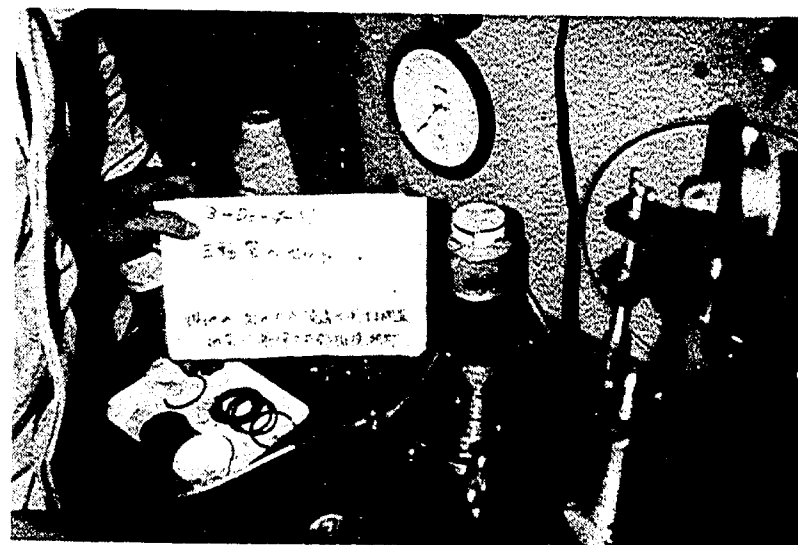
図—3 三軸圧縮試験装置全体図



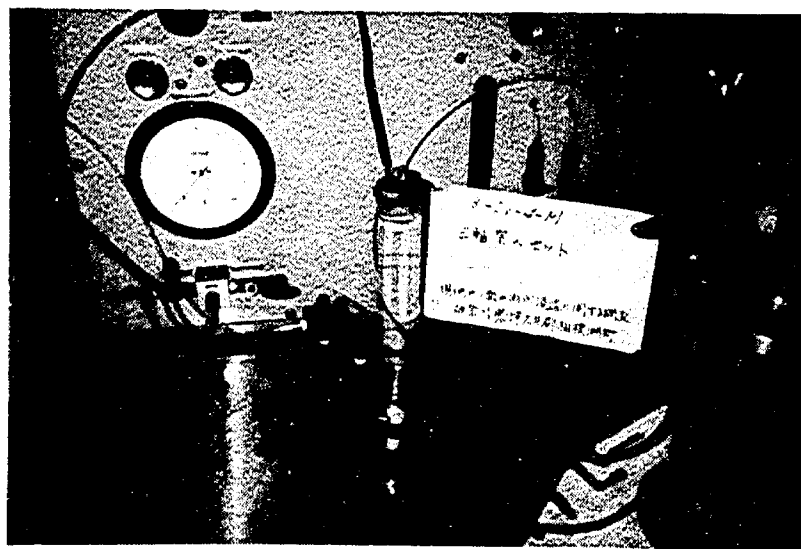
図—4



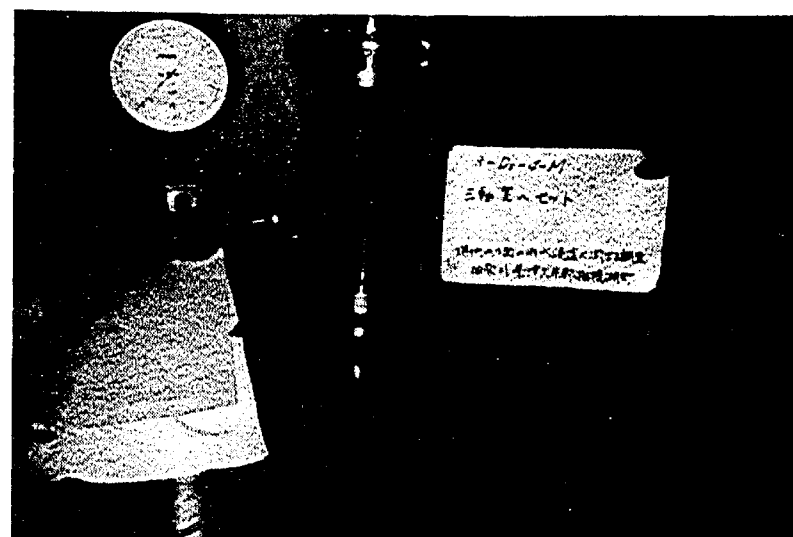
写真—4



写真—6



写真—5



写真—7

2-2 計測調査

計測調査で実施したのは、次の3種類の観測である。

- ① ボーリング孔（B-1, B-2, B-4, B-5）を利用した地下水位の観測
- ② 地表から50cm間隔で3mの深度まで埋設した土壌水分計（テンションメータ）による降雨浸透時の土中のサクション変化の測定
- ③ 自記雨量計による雨量観測

観測期間は、昭和55年9月4日から昭和56年9月8日までの約1年間であり、この期間内における降雨量と地下水変動の関係ならびに降雨量とのり面内への雨水の浸透深さの関係などを調べた。

上記の観測に用いた各計器の仕様ならび設置方法は、次のとおりである。

(1) 地下水位計

自動水位観測に一般に用いられる測定器は、通常、図-5の①に示すような自記記録タイプのもので、②のような増幅器を介して出力するタイプのものに大別できる。一般的にみると、①のタイプのものが多く使用されているようであるが、今回のように水位観測点数の多い場合には②のタイプのものの方が経済的になるので、図-6に示すような計器の組み合わせを採用した。

なお、水位計はフロート式のものであり、図-7に示すような諸元をもつ。

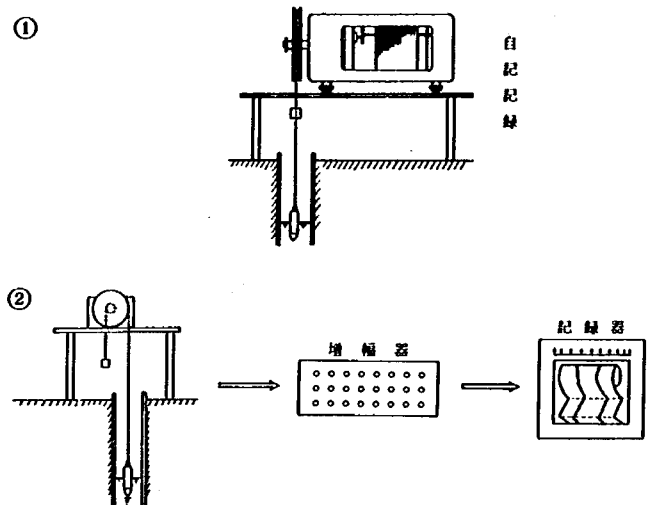


図-5 水位観測方法

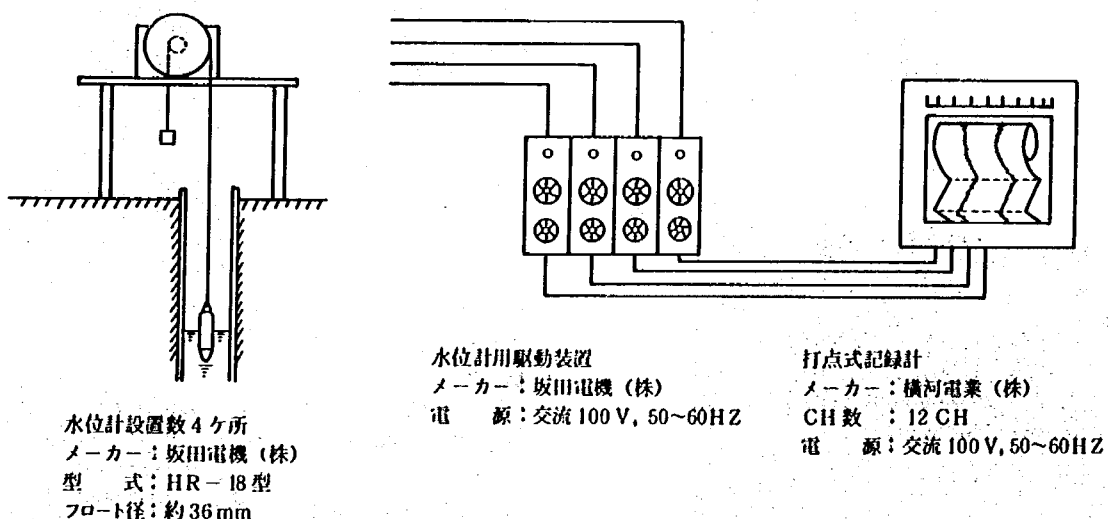


図-6

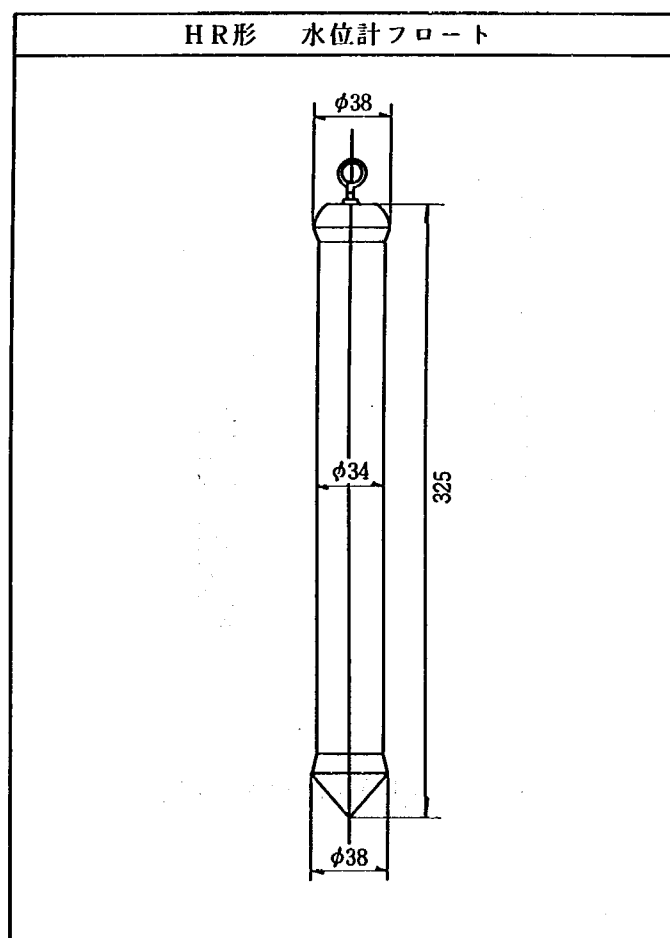
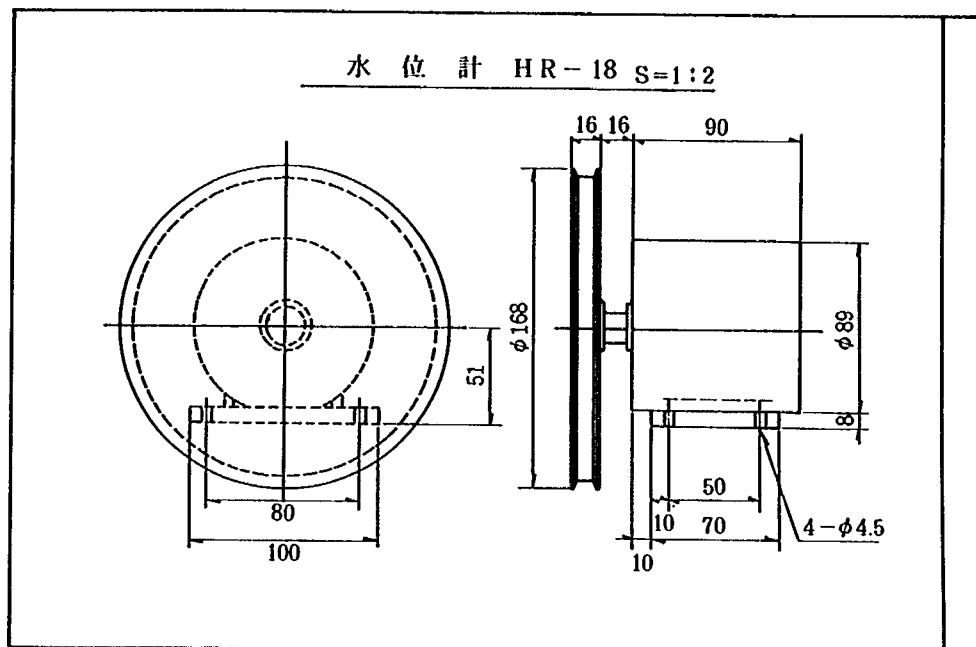
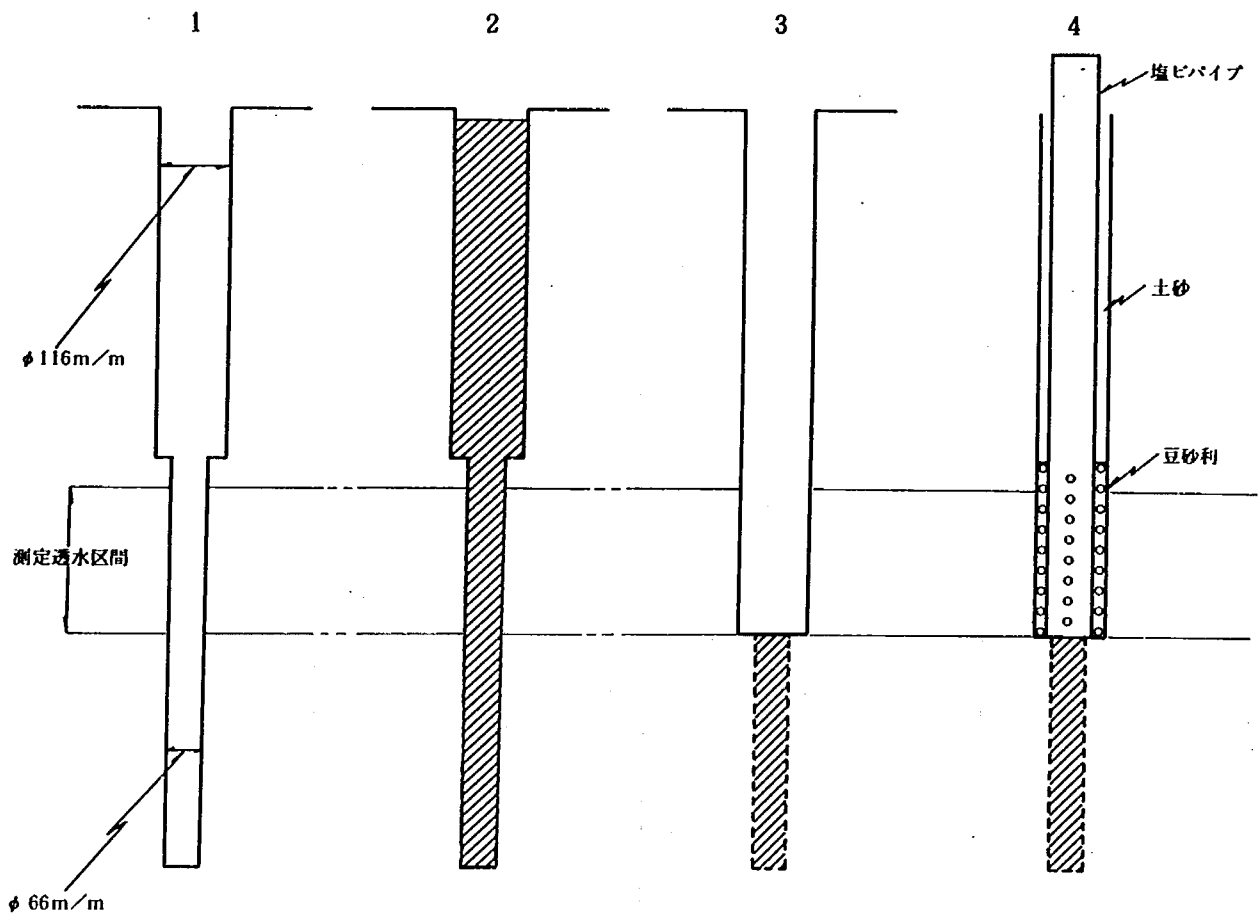


図-7 フロート式水位計の諸元

次に、地下水位計の設置方法について述べる（図－8 参照）。

1. 上部土砂区間は $\phi 116 \text{ m/m}$ で掘進した後に $\phi 66 \text{ m/m}$ にて掘進する。
2. $\phi 66 \text{ m/m}$ にて地層確認後、上部までセメンテーションを実施する。
3. 透水区間まで 116 m/m にてリーミングする。
4. 所定の位置まで塩ビ管を挿入する。（塩ビ管 $\phi 75 \text{ m/m}$ ）
5. 塩ビ管挿入後、ボーリング孔内を清水にて洗浄する。
6. 透水区間（ストレーナー部分）は豆砂利を充填し、その他の部分は土砂を埋め戻し、上部はセメントを打設して固定した。
7. 地下水位計を設置する。



図－8 地下水位計設置施工図

(2) 土壌水分計（テンションメータ）

地山内の水分量を測定する方法には、大きく分けて次の3通りの方法がある。

- ① 土の水分量と密接な関係をもつ土中のサクションを測定し、その値から間接的に土の水分状態を推定する方法
- ② 土中の水分変化を敏感に把える吸収体（石こうブロック、ナイロンブロック、グラスファイバーブロック）などを土中に埋設しておき、土中の水分変化による吸収体の物理的性質の変化（重量変化、熱伝導率の変化、電気抵抗の変化、誘電率の変化、通気性の変化など）をとり出して測定する方法
- ③ 吸収体を用いずR.Iなどを利用して土の物理的性質の変化（電導度、熱電導度、誘電率、中性子の散乱特性、貫入抵抗など）を直接とり出して水分状態を調べる方法

今回の観測においては、長期的な連続観測が可能で、しかも比較的安価な①の方法を採用した。

土中のサクションの測定器具としては、通常テンションメータ（図-9参照）が使用される。テンションメータは、土中に埋設する部分が“水は通すが空気は通さない”という特殊性質をもつ多孔質の素焼きカップからできている。このほか、水を満たした埋設本体と本体上部に取り付けられている圧力計より構成される。これに水を満たして密栓をし、素焼きカップの部分を土中に挿入すると、土の毛管現象に起因するサクション（吸引力）によりテンションメータ内の水が外部に引張られ、計器内に負圧が発生する。この負圧を圧力計により検知して、土中のサクションの測定を行うものである。

土中のサクションの値は土の含水状態と密接な関係にあり、同じ土であれば土が乾燥しているほどサクションの値が大きい。逆に、乾燥している土に降雨が浸透していくと含水比の増加に応じてサクションの値が徐々に低下していき、土の間隙が完全に水で飽和した状態に達するとサクションの値がゼロとなる。従って、

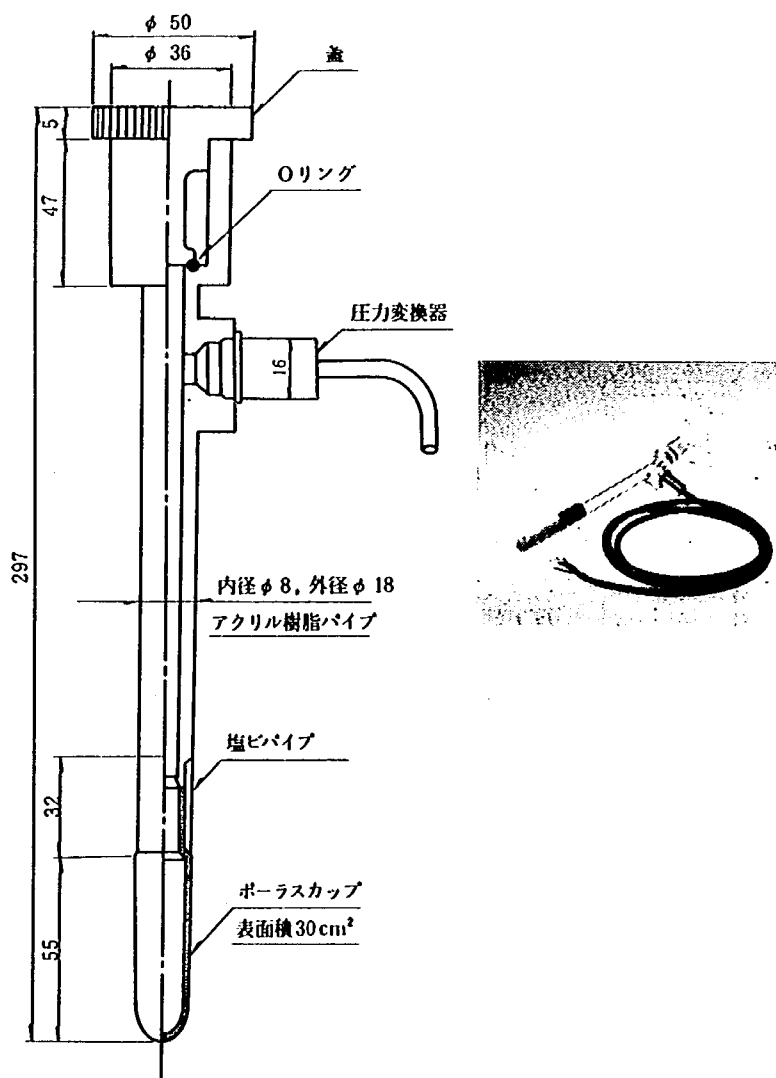


図-9 テンションメータ構造図

土中のサクシヨンの値を連続的に測定しておけば、降雨時における地表からの降雨の浸透状況が把握できることになる。

そこで、今回の実験では、地表から 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m, 2.5 m, 3.0 m の各深度に 2 台ずつ土壤水分計を設置して、サクシヨンの連続測定を行った。

土壤水分計の設置は、①ハンドオーガーによる埋設孔の掘削、②土壤水分計の設置、③埋戻し の順序で行ったが、掘削前の地山の締まり状態にできるだけ近い状態に埋戻しを行うことが、地山本来の浸透能を正確に知るうえで極めて重要と考えられたので、次のような方法によって注意深く埋戻しを行った。すなわち、ハンドオーガーで上部から順次掘削を行うときには、ハンドオーガーの刃先きの長さ（約 30 cm）分の土が順次排出されるが、これをビニール袋に入れて順番に保管しておく。次に、埋戻しを行うときには、この保管しておいた排土を、ビニール袋 1 袋分の土の埋戻し厚さがハンドオーガーの刃先きの長さ（約 30 cm）になるように順次棒で締め固めながら埋戻しを行った。このような方法を採用することにより、掘削前の地山の状態をできるだけ再現するよう配慮した。

(3) 自記雨量計

今回の観測では、雨量計感部と記録計とが図-10 のように分離している型のものを用いた。雨量計感部は、受水口径が 200 mm, 一転倒雨量が 0.5 mm/パルスの転倒ます式のものであり、記録計は記録速度が 6 mm/hr で電池により 3 ヶ月の連続記録が可能なものである。

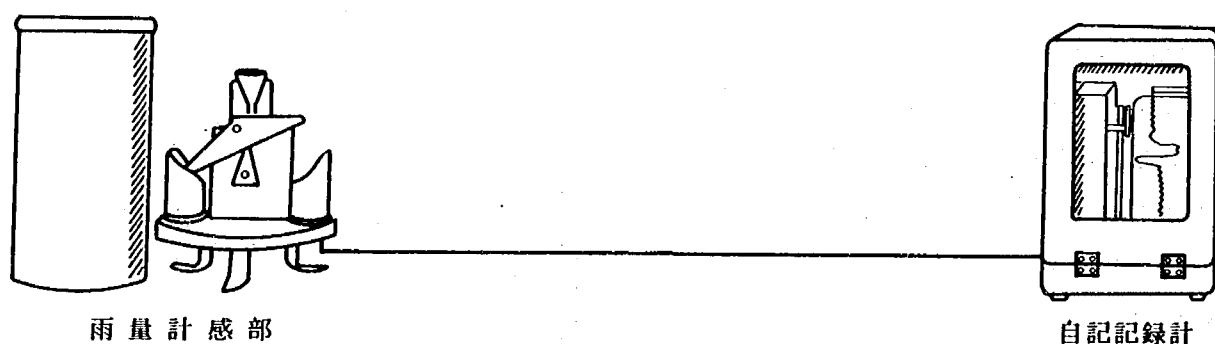


図-10

(4) 全体計測システム

以上みてきたような地下水位計、土壤水分計および雨量計を用いた計測システムの概念図を示すと図-11のようになる。各計器は、設置箇所から接続コードを介して百葉箱の中に納められている増幅器と記録器に接続されている。

写真-8は、現地の設置状況を示したものであり、B-1地点からB-4、B-5の地点に設置した地下水位計とB-4地点付近に設置した百葉箱を臨んだものである。土壤水分計は、百葉箱の周囲に約50cm間隔の格子配置で埋設してある。また、写真-9は、B-4地点付近に設置した百葉箱と雨量計の設置状況を示したものである。

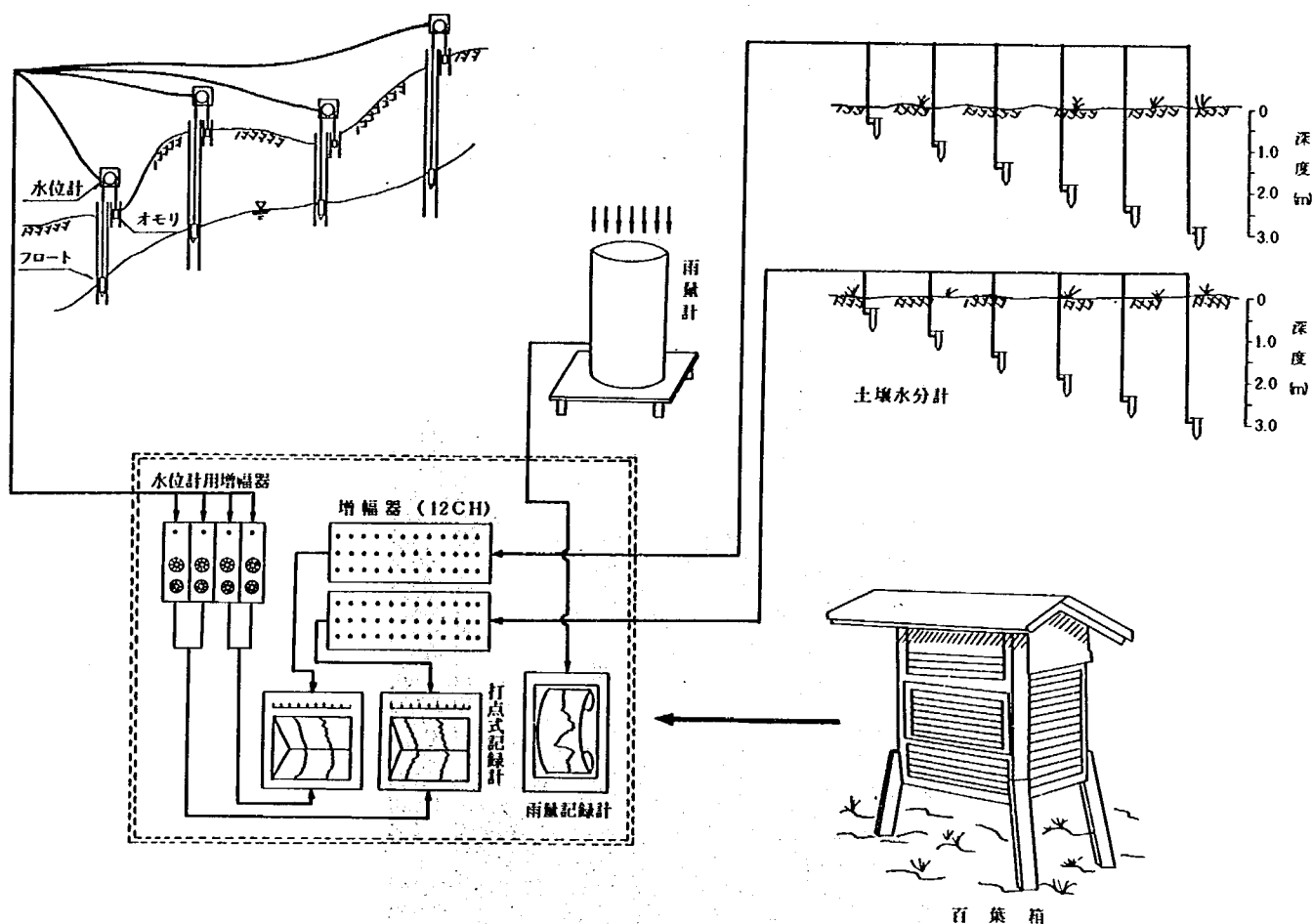
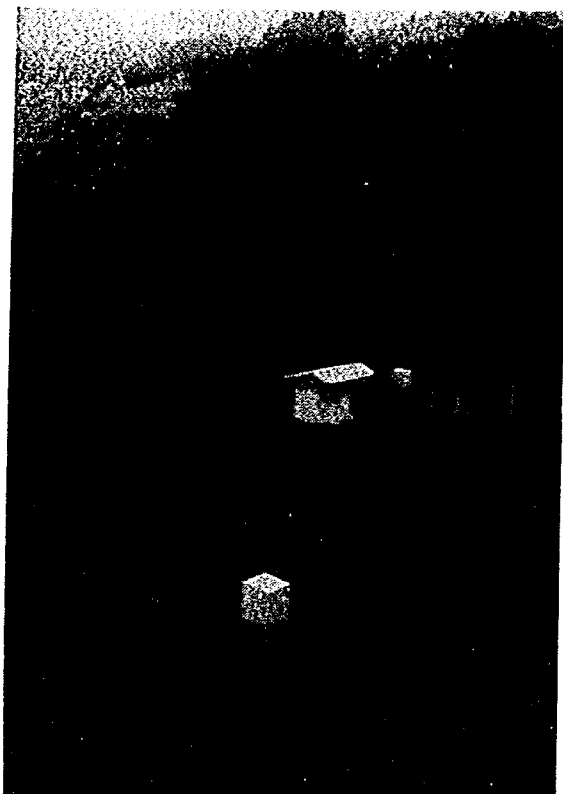
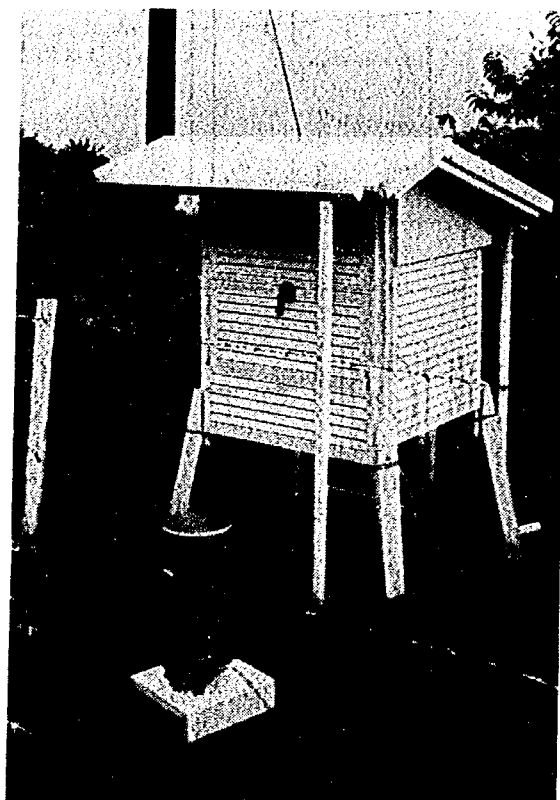


図-11 計測システム概念図



写真—8 百葉箱及び計器設置点状況



写真—9 ボーリングB-4地点に設置された百葉箱，
雨量計及び土壌水分計

3. 調査結果

3-1 土質調査結果

土質調査の結果得られた過去の崩壊箇所の土質断面図(a-a'断面),もたれ擁壁にかなりののはらみ出しが生じている箇所の土質断面図(c-c'断面)および将来の拡張予定箇所の土質断面図(b-b'断面)を図-12(a)~図-12(c)に示す。また,これらの土質調査結果をもとに,調査地付近の地層構成を模式的に表わすと図-13のようになる。図から,調査地の地層構成は,基盤岩をなす砂岩と粘板岩およびこれらの互層からなる「小仏層群」(k)と,この上に40mにも及ぶ厚さで堆積している第四紀洪積層に大別でき,洪積層はさらに,表層2~3mのローム層(Lm)と上,中,下の3層からなるレキ混り凝灰質粘性土層(Dtf-1~Dtf-3)に区分できる。

また,B-5の位置で実施した土質試験により明らかになった上記の各層の性質をとりまとめると図-14のようになる。深度が深くなるにつれて,含水比と間隙比が減少する傾向にあることが特色である。

以下,各層の性質の概略について述べる。

(1) 沖積層

(a) 崖錐堆積物(dt)

調査地の比較的緩かな斜面上に分布する二次堆積物で,ローム質土ないしレキ混り粘性土を主体とする。未固結で,その成層状態も不均質である。

(2) 洪積層

本層は調査地を構成する地層の主体をなし,上位よりローム層(Lm),上部凝灰質粘性土層(Dtf-1),中部凝灰質粘性土層(Dtf-2)および下部凝灰質粘性土層(Dtf-3)に区分される。

(a) ローム層(Lm層)

土質は比較的均質な火山灰質粘土からなり,色調は暗褐~灰褐色を呈する。全般に,径が2~3mm程度の風化したスコリア粒を含む。N値は2~3程度で比較的軟かい。層厚は2~3m程度であるが,B-2地点では本層は分布しない。

(b) 上部凝灰質粘性土層(Dtf-1層)

本層は凝灰質シルトないし凝灰質凝固シルトよりなる。全般に,径が2~5mm程度の風化したスコリア粒を多く含み,局部的に浮石を混入する。また,所々に砂レキ層(Itg-1)を挟在する。混入するレキは角レキで砂岩レキが多い。N値は5~27を示し,層厚は8~15m程度である。

(c) 中部凝灰質粘性土層(Dtf-2層)

土質は,Dtf-1層と同じく,凝灰質シルトないし凝灰質凝固シルトよりなる。全般にレキ分(角レキ)を多く含むことはDtf-1層の場合と同様であるが,本層のレキ分は大部分の径が20~50mm内外とかなり粗粒なのが特徴である。また,所々に砂レキ層(Itg-2)を挟在する。Itg-2層は,砂岩レキと粘板岩レキを主体とする。レキは角レキであり,径は30~120mm前後のものが多く,時おり径が1mにも達する巨レキ(転石)を混入する。Itg-2層の水平方向の連続性はあまりよくないと判断される。N値は,レキ打ちの箇所を除けば,5~28程度の値を示し,層厚は

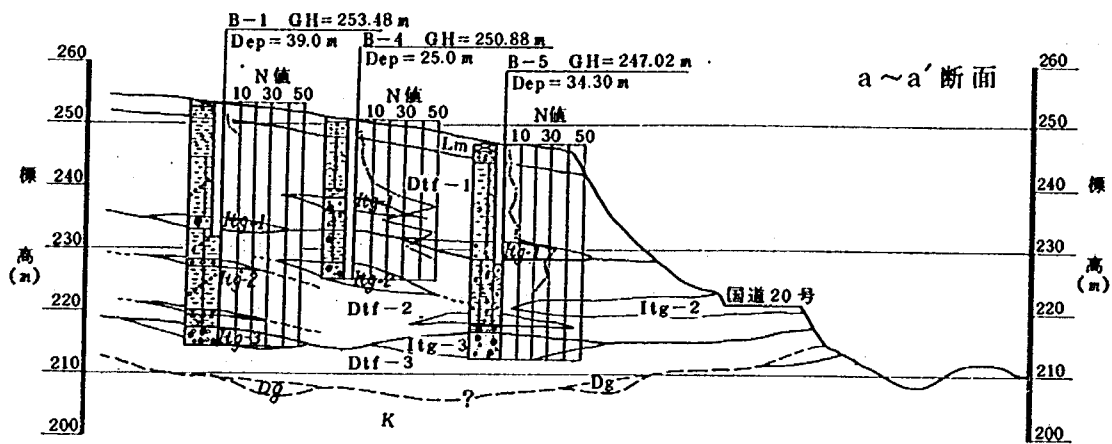


図-12(a) 土質断面図 (a~a'断面)

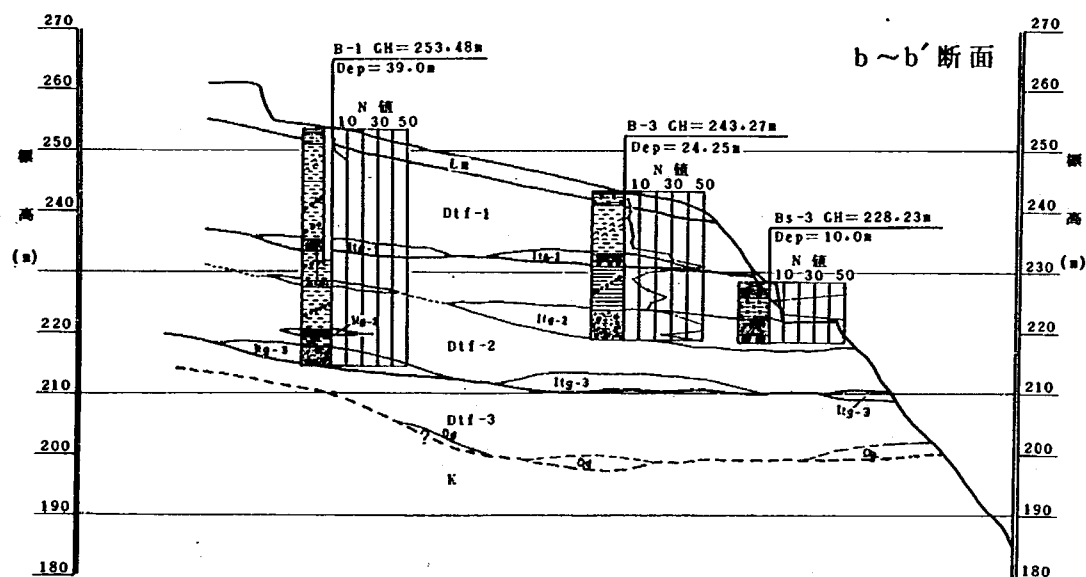


図-12(b) 土質断面図 (b~b'断面)

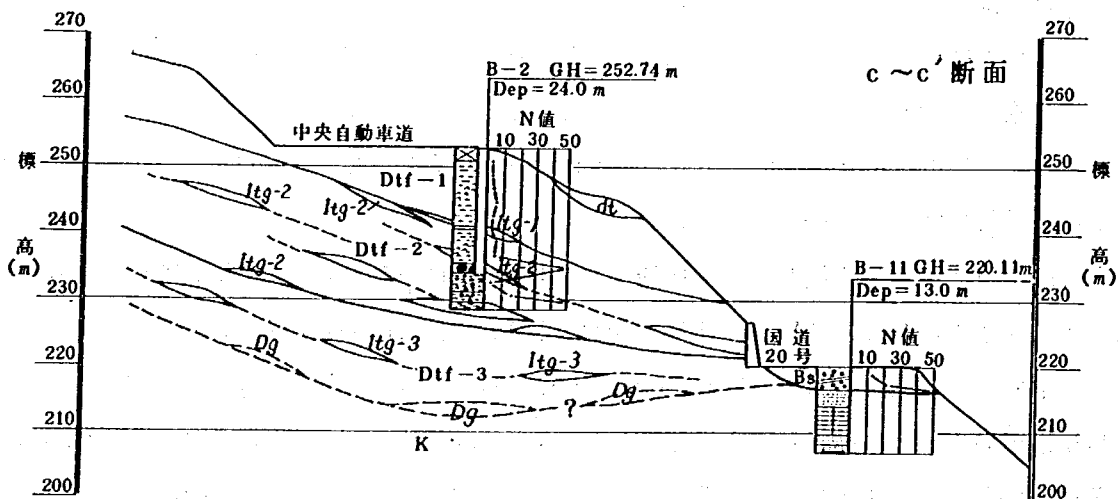
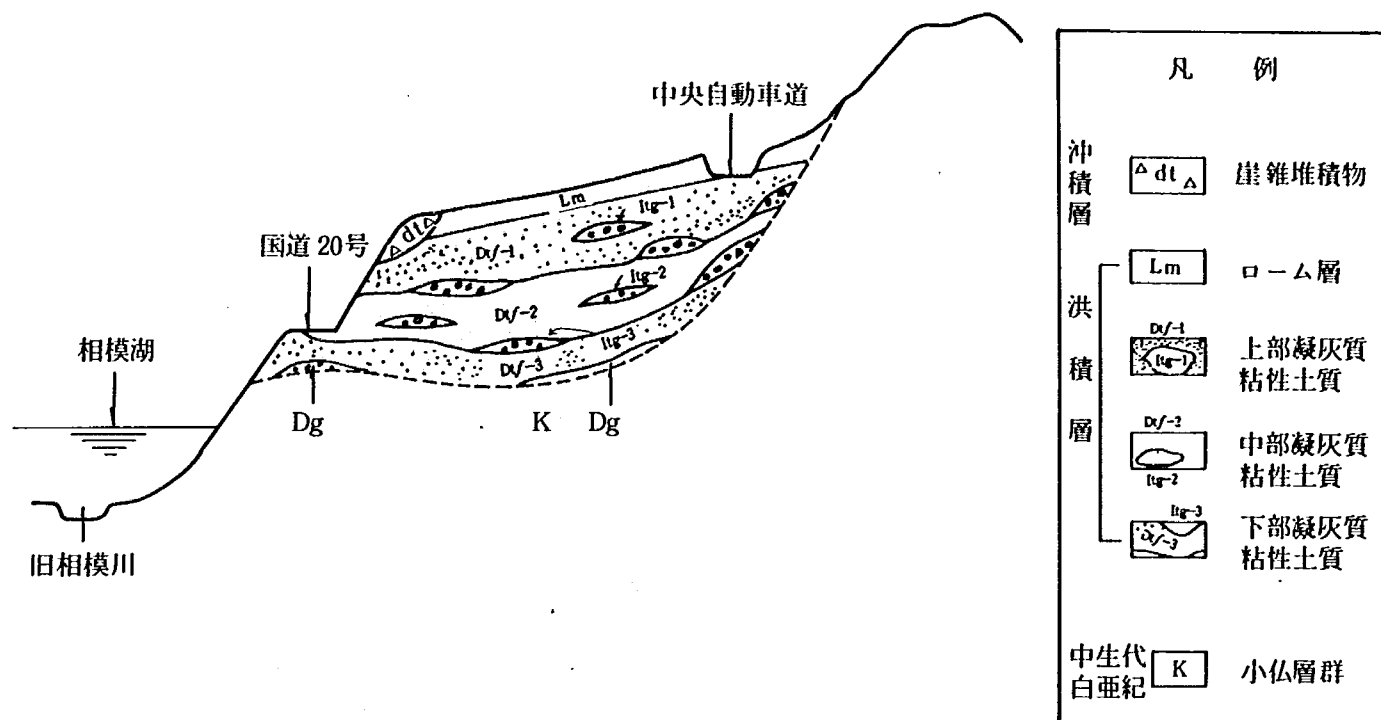


図-12(c) 土質断面図 (c~c'断面)

地質概略図



地質時代		地 層		柱 状 図	記 号	N 値
新 生 代 第 四 紀	沖積世	沖積層	埋土・盛土		Bs	10 ~ 22
			崖錐堆積物		dt	—
	洪積世	洪積層	口-△層		Lm	2 ~ 3
			上部凝灰質粘性土層		Dt f-1 lg-1	5 ~ 27 32 ~ 50
			中部凝灰質粘性土層 (砂レキ層を挾任)		Dt f-2 lg-2	8 ~ 28 50
			下部凝灰質粘性土層		Dt f-3 lg-3	— 50 ~ 貫入不能
中生代	白亜紀	小仏層群			K	50 貫入不能

地質層序表

図-13

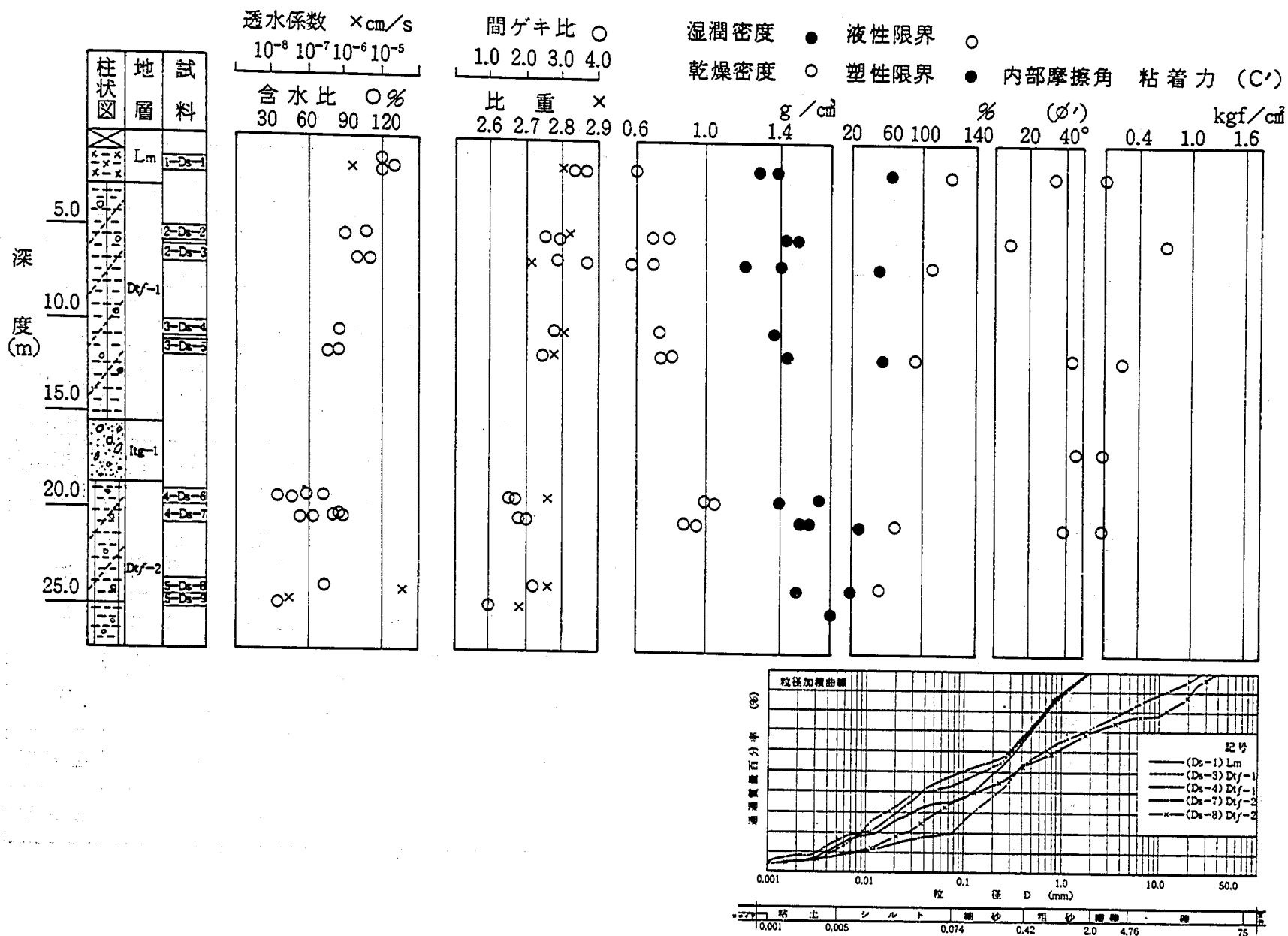


図 - 14 土質試験結果一覧図

9～20 mである。

(d) 下部凝灰質粘性土層 (Dtf-3層)

洪積層の最下部に分布する。土質は、レキ混りシルトないしレキ混り粘性土よりなる。レキの径50～70 mmとかなり大きく、砂岩または粘板岩よりなり角レキが主体である。このDtf-3層は、レキの混入割合がDtf-1層やDtf-2層に比べて多いのが特徴で、中間砂レキ層 (Itg-3層)を多く介在する。

なお、本層の下部には基底レキ層 (Dg) が分布する。Dg層を構成するレキは比較的円磨されており、流水によって運搬されたことを示す覆瓦構造 (Imbrication) を示すところがある (下図参照)。



(3) 小仏層群 (K)

本層は調査地の基盤をなすものである。粘板岩、砂岩およびこれらの互層からなり、地表近くでは風化して亀裂が多く発達する。この小仏層は、図-15の「段丘面区分図および地質平面図」にも示されるように藤野木-愛川構造線の北側に分布し、その走向は概ね北西-南東方向である。また、複雑に褶曲しており、走向方向に平行の断層が多く発達しているのが特徴である。

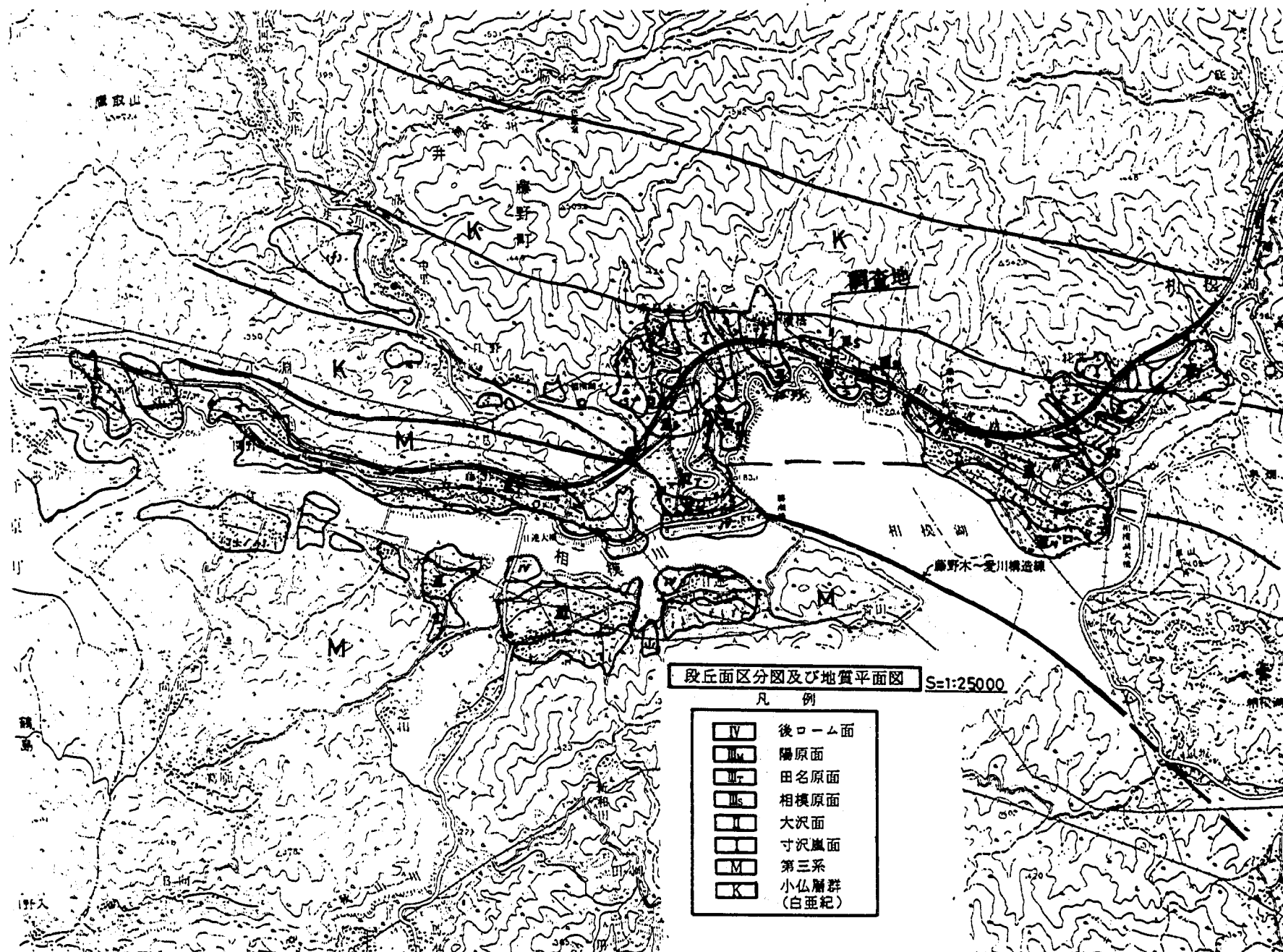


図-15 段丘面区分図及び地質平面図

3-2 段丘面について

図-15の「断丘面区分図および地質平面図」に示すように、相模湖北岸には何段かの段丘が比較的よく発達している。調査地の段丘面は貝塚(1970)によるとⅢs面(相模原面)に相当し、その地形面は相模湖側(南側)に向って若干傾斜している。この傾向は他の段丘面についても言えることであり、特に時代の古い段丘ほどその傾向は著しい(図-16参照)。これは、古い時代に生成した段丘ほど、基盤岩の地殻運動(隆起)の影響を受けて段丘面が傾斜し、その変位を累積していることによるものである。

相模原面は、南関東地域では武蔵野面と呼ばれているものに相当し、小原台段丘に対比される。この段丘面は富士、箱根、御岳起源の火山灰からなるローム層に被覆されており、その生成年代は8万年～5万年前である。

調査地に分布するローム層(Lm)、Dtf-1～Dtf-3層の各層の特徴については3-1で既に述べたとおりであるので、ここではこれらの段丘構成層の分布状態や特徴などから堆積環境について考察を加える。すなわち、Dtf-3層からLm層にかけては、次のような堆積環境の変遷の過程で形成されたものと考えられる。

- ① 河成層(DgおよびDtf-3層)の堆積
- ② 河成層(Dtf-2, Dtf-1層)の堆積——ある時期には沼沢性の環境にあったと考えられる。
- ③ 風成層(Lm層)の堆積

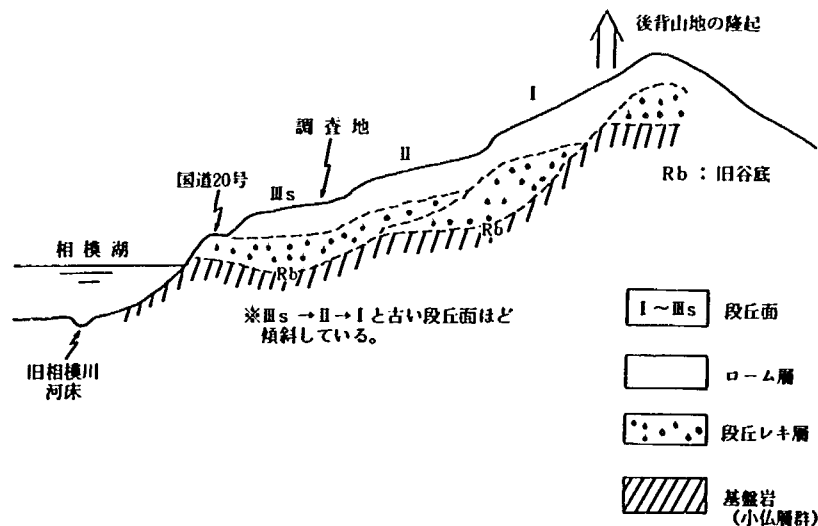


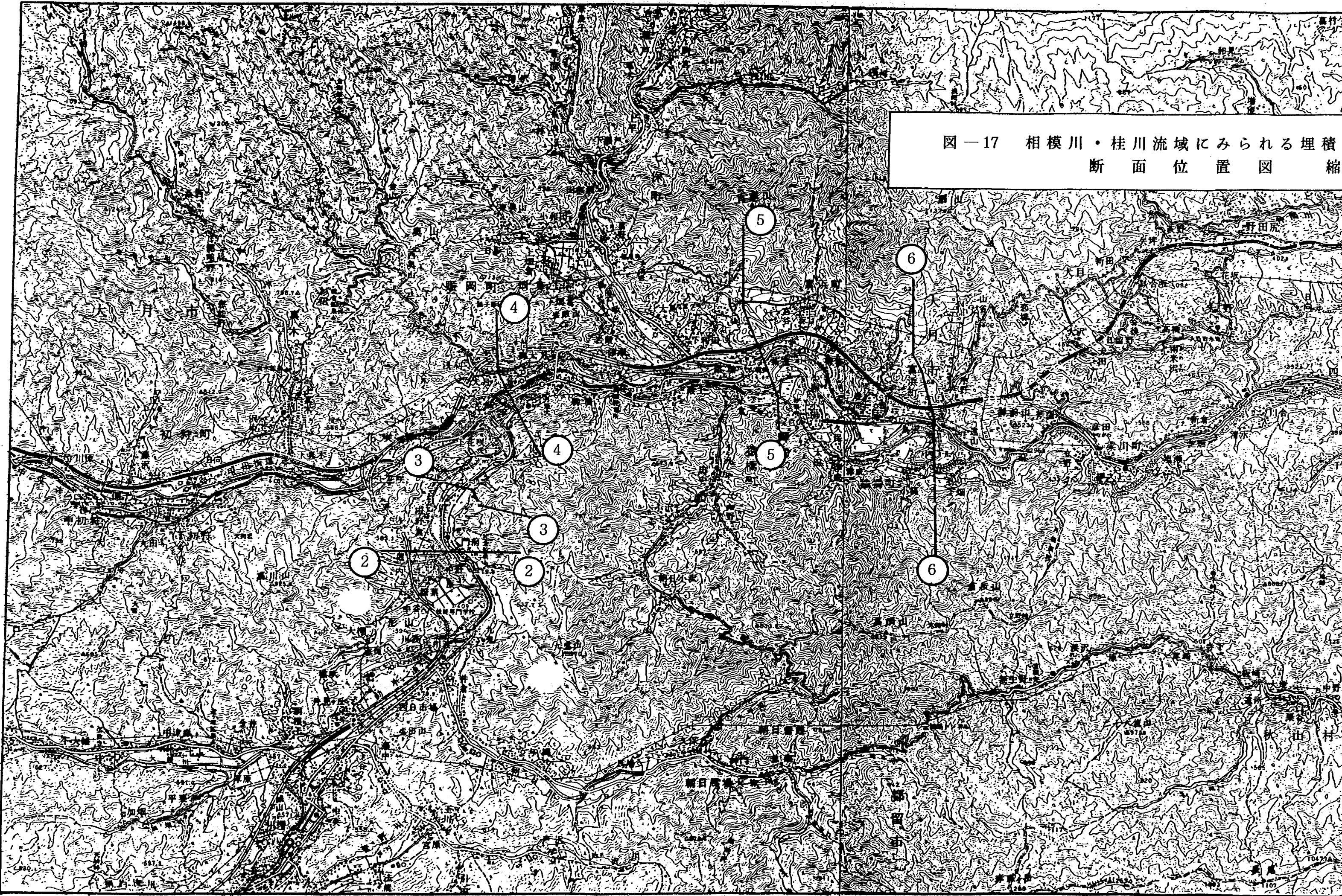
図-16 調査地付近の段丘面

なお、Dtf-3層堆積末期より火山活動(富士、箱根、御岳)が活発になり、火山噴出物(スコリア、軽石など)が堆積した。

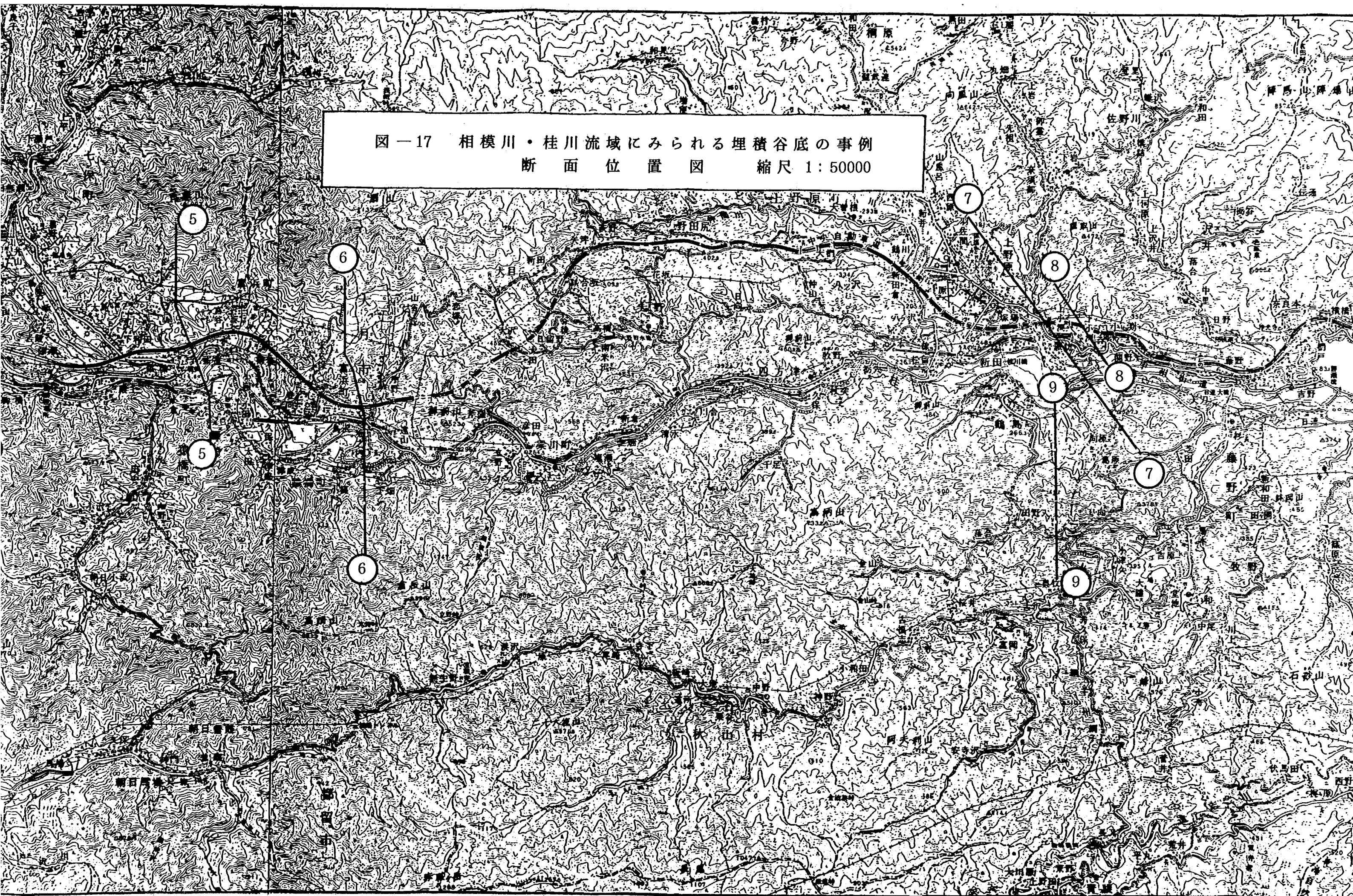
特に、Dtf-1からDtf-3の段丘構成層は“崖錐性”堆積物の性格を有し、比較的急激に谷を埋積しながら堆積が進んだことが推測される。

調査地にみられるような旧谷底が埋積された、いわゆる埋積谷底に相当する地形は、図-17～図-20に示すように相模川および桂川流域にその事例が多く認められる。

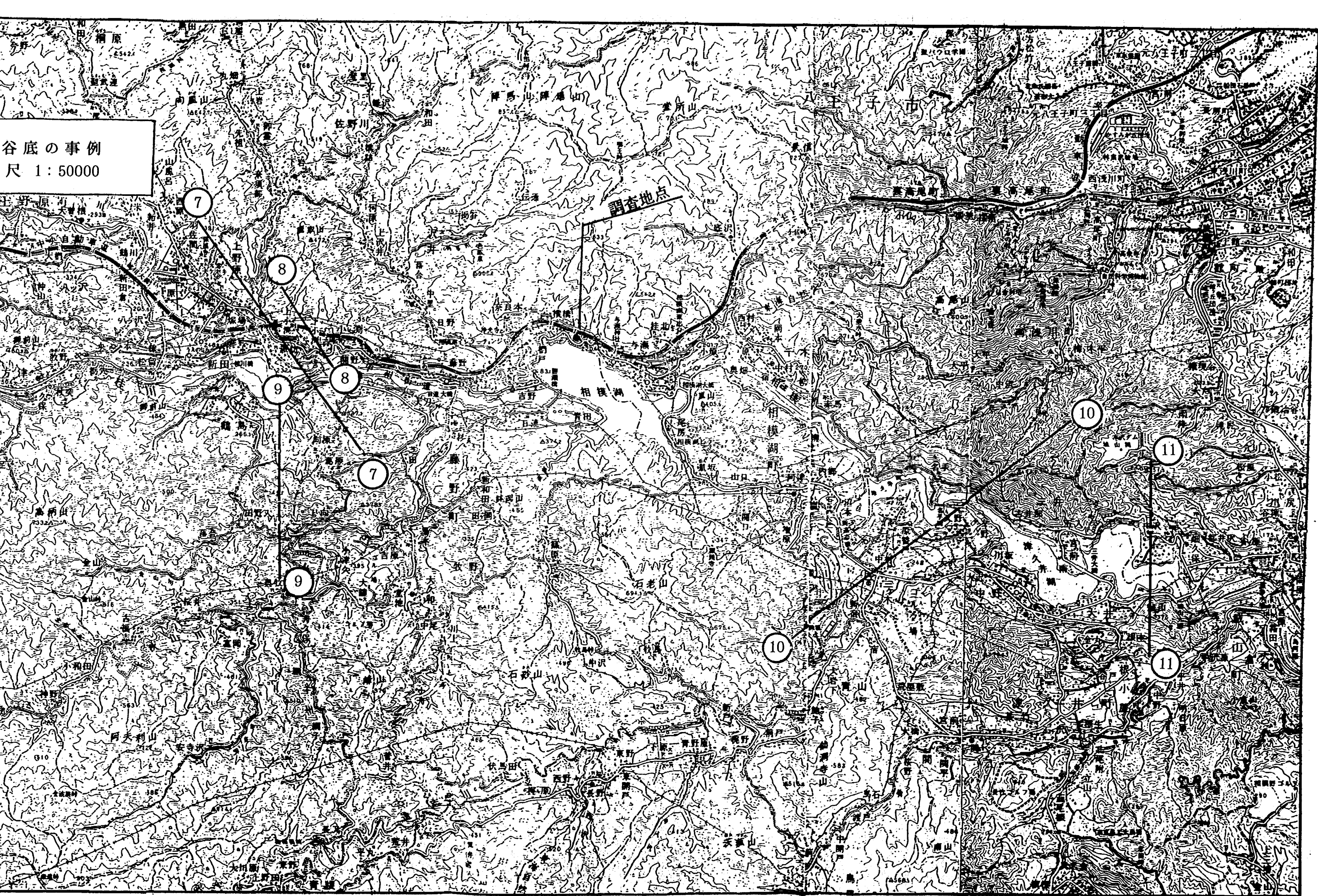
図一17 相模川・桂川流域にみられる埋積
断面位置図 縮



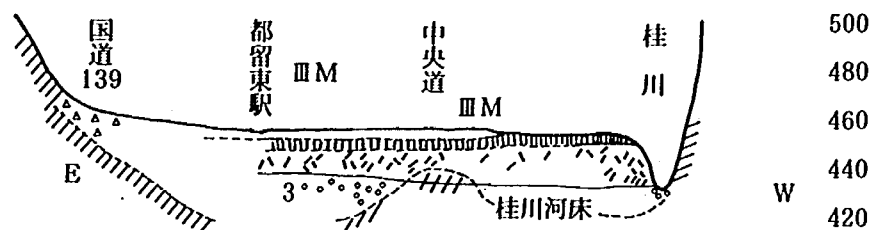
図一17 相模川・桂川流域にみられる埋積谷底の事例
断面位置図 縮尺 1:50000



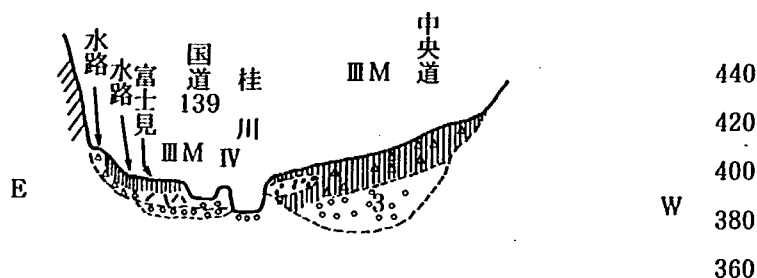
谷底の事例
尺 1:50000



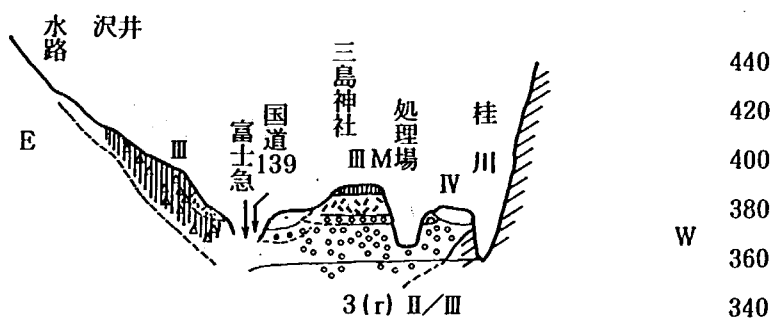
① 都 留



② 小形山



③ 沢 井



④ 大月駅

- ~~~~~ 軽石
- 猿橋客岩
- ||||| ローム
- /// 古富士泥流
- 円～亜円礫
- △△△ 角礫
- //// 基盤岩
- 玄武岩礫の多い礫層

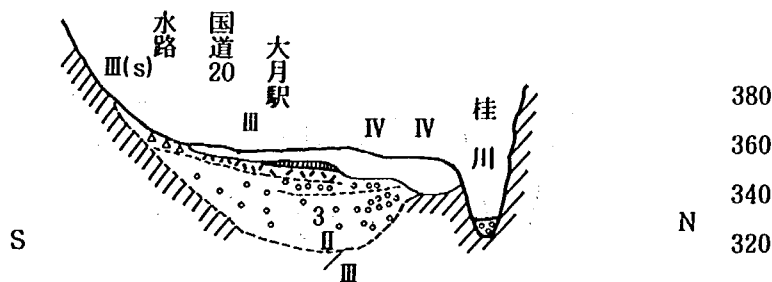


図-18 相模川桂川流域にみられる埋積谷底の事例 (1) *参考文献 (5)
VI 参考文献参照

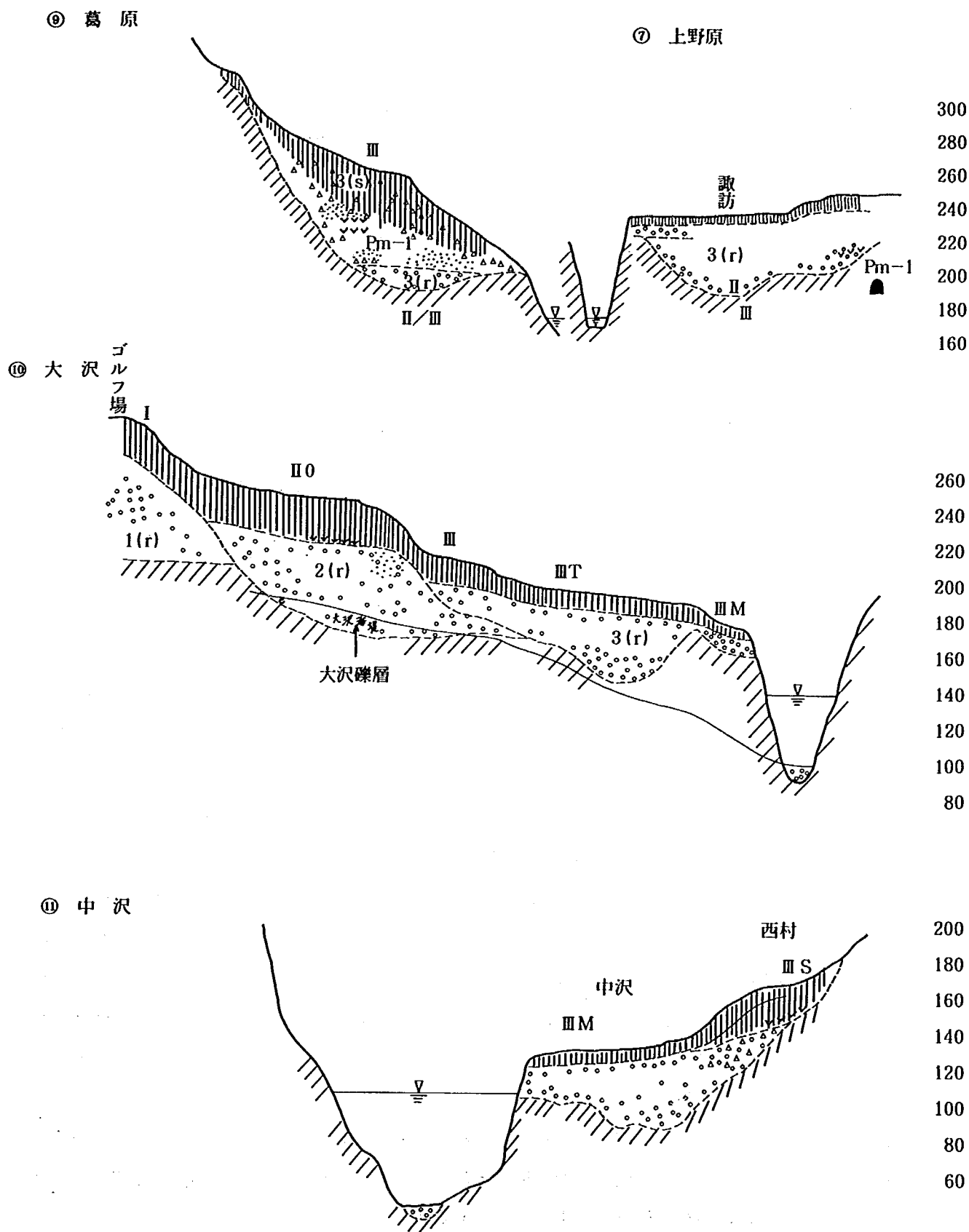


図-20 相模川桂川流域にみられる埋積谷底の事例 (3) *参考文献 (5)
VI 参考文献参照

3-3 観測結果

図-21～図-39に、昭和55年9月4日から昭和56年9月8日までの約一年間に観測された雨量、地下水位および地表面から0.5m、1.0m、1.5m、2.0m、2.5m、3.0mの各深度に埋設した土壤水分計による土中のサクション変化の観測記録を示す。

約1年間の観測期間中に、注目すべき降雨は計19回あった。図-21～図39に示した観測記録の雨量記録の欄には、この19回の降雨を①～⑱までの通し番号で記載してある。特に、⑱番目の降雨は連続雨量が284mmにも達する集中豪雨であり、このような異常時における地下水変動と土中のサクション変化に関する貴重な観測記録が得られている。

まず、土中のサクションの変化に着目すると、①～⑱の各降雨時において、地表に近いものから順次サクションの値が低下していることが認められる。図-21～図-39の土中のサクション変化の記録欄には、①～⑱の各降雨時に土中のサクションの値が低下してほぼゼロに近くなった時点を地表に近い深度のものから順次むすんだ一本の曲線が示してある。一般に、土中のサクションの値は、土の含水比が増加するにつれて低下し、土が水で飽和した状態に達するとサクションの値がほぼゼロになるという特性をもつので、サクションの値がほぼゼロに低下した時点をむすんだ上記の曲線は、降雨時における雨水の浸透深さの時間的進行を示すものであると考えられる。言い換えれば、上記の曲線から、降雨時における飽和領域の広がりや時間的進行がよみとれる。たとえば、連続雨量が104mmの①の降雨においては、図-21に示すように、深度が深くなればなるほど浸透速度が鈍る傾向を示しながらも、最終的には約3.0mの深度にまで雨水の浸透が達していることがわかる。これに対して、図-23に示す連続雨量が52mmの③の降雨の場合には、降雨量が少ないこともあって、雨水の浸透は1.0mの深度にまでも達していない。このように、降雨の特性に応じて雨水の最大浸透深さは異なるが、以上のように土中のサクション変化に着目すれば、降雨時における雨水の浸透による飽和領域の広がりや状況が明瞭に把握できるといえる。

そこで、降雨特性と雨水の浸透速度の関係を調べるために、図-40(1)～図40(19)には、図-21～図-39の降雨量と土中のサクション変化の記録を整理し直し、連続雨量（あるいは累積雨量）と雨水の浸透深さの関係を求めてみた。図をみると、いずれの降雨においても、降雨の継続とともに雨水の浸透深さが増大し、降雨終了後も雨水の浸透が徐々に進行していく様子がわかる。降雨終了後は徐々に雨水の浸透速度がにぶり、最終的には降雨終了から1日～2日の後に雨水の浸透深さが最大に達している。雨水の最大浸透深さは、降雨の大きさに左右され、連続雨量が50mm程度の降雨で約1.0m、連続雨量が100mm程度の降雨で約2.0～2.5m、連続雨量が285mmに達する降雨⑱では、計器の最大埋設深度である3.0mを軽く超えていることがよみとれる。

以上のことから、連続雨量が150mmを超えるような豪雨の場合には、雨水の浸透がかなりの深部にまで及ぶことが十分に予想され、飽和領域の広がりによる地山の重量の増加や浸水による土の強度低下によって、切土のり面の安全性はかなり低下するものと考えられる。

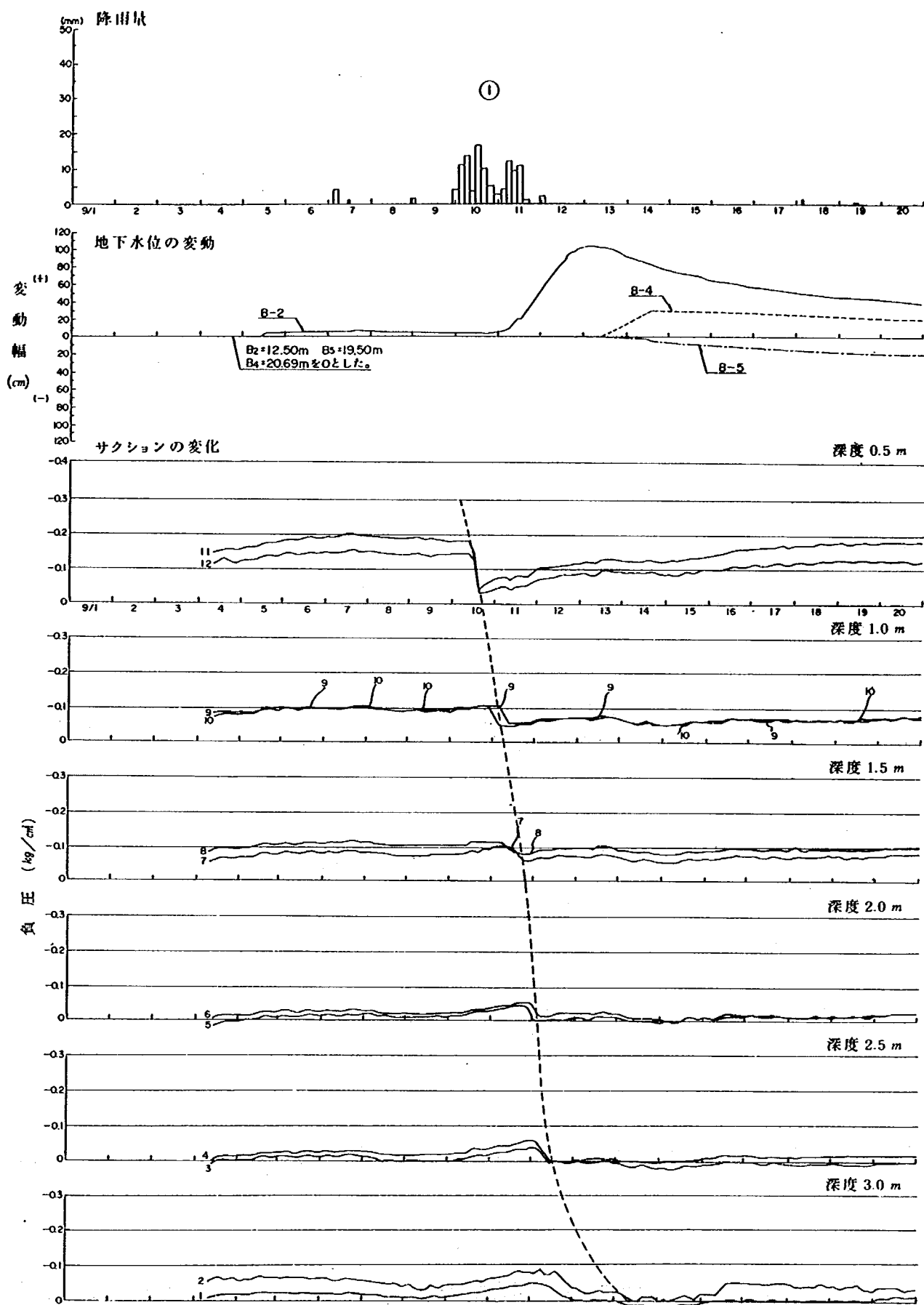


図-21 降雨量，地下水位及び土中のサクシヨンの観測記録

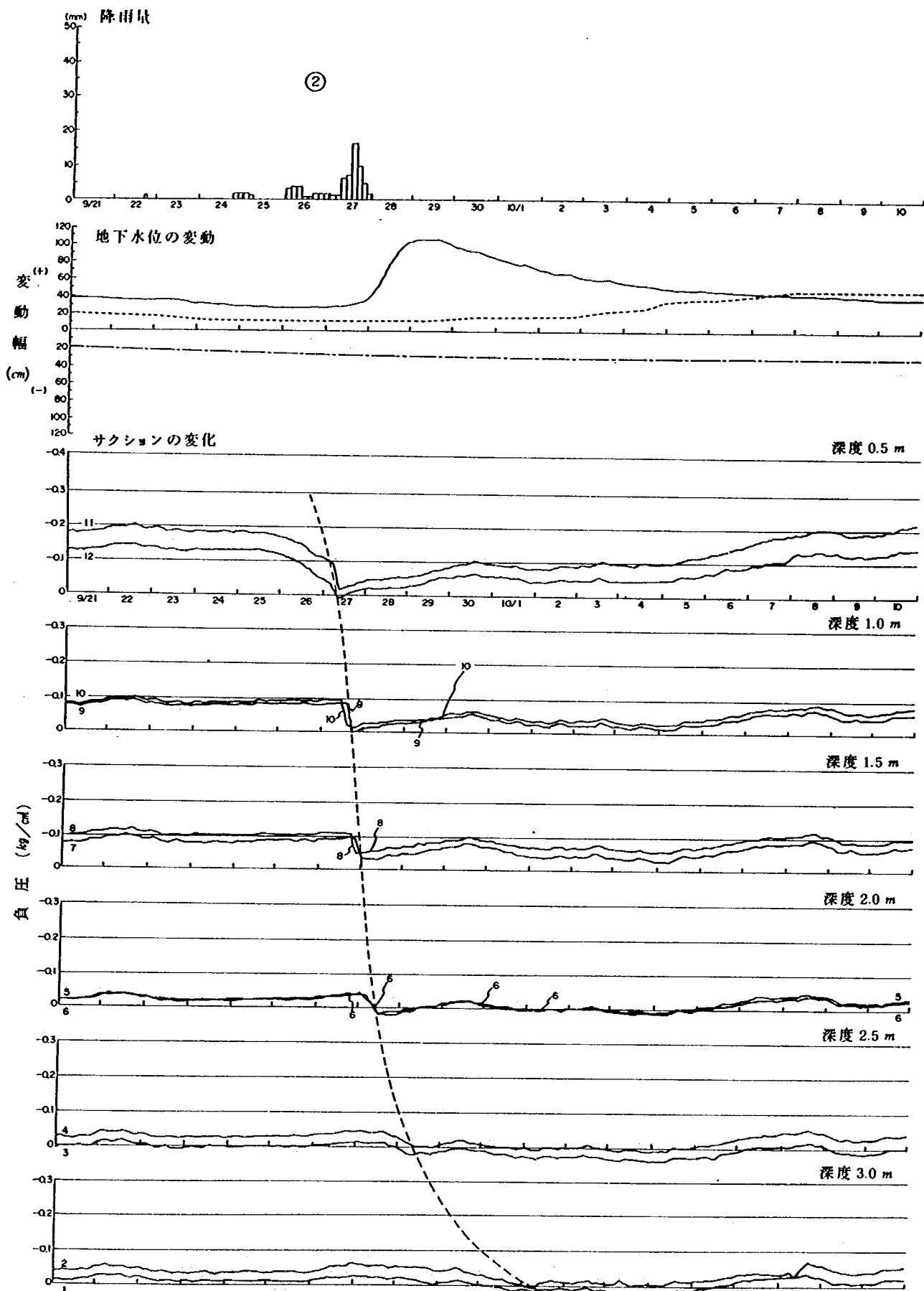


図-22 降雨量, 地下水位及び土中のサクションの観測記録

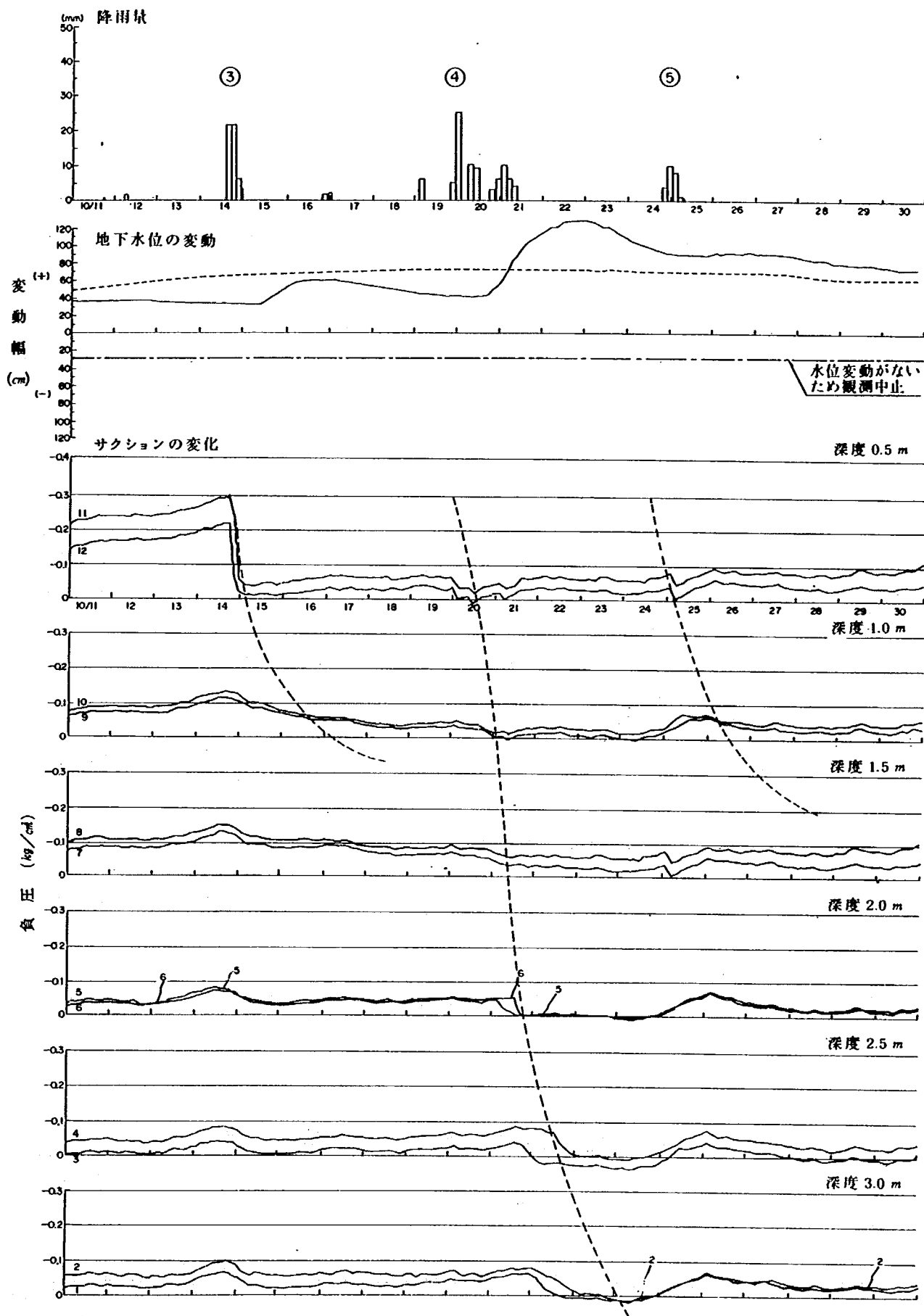


図-23 降雨量、地下水位及び土中のサクシヨンの観測記録

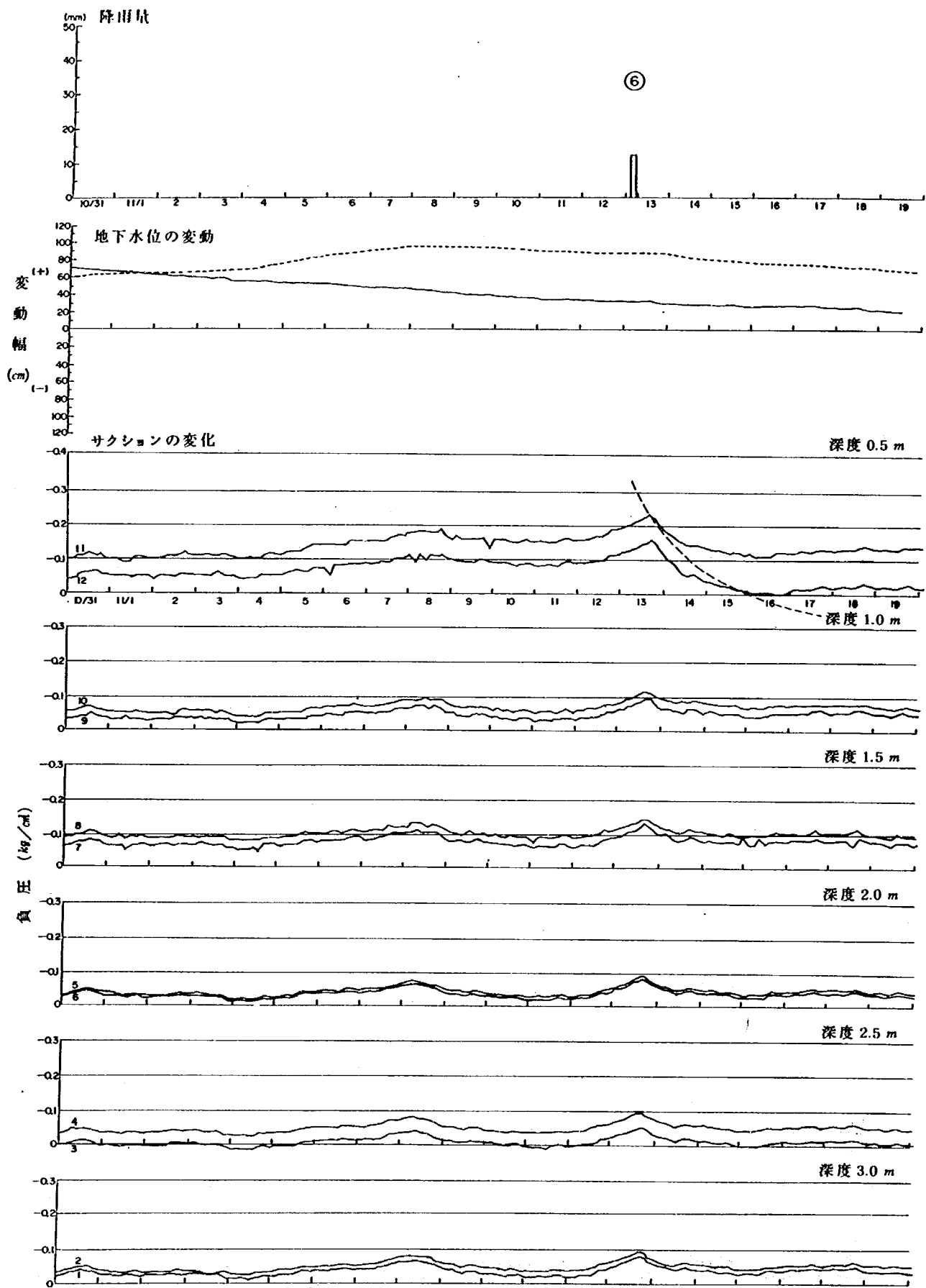


図-24 降雨量、地下水位及び土中のサクションの観測記録

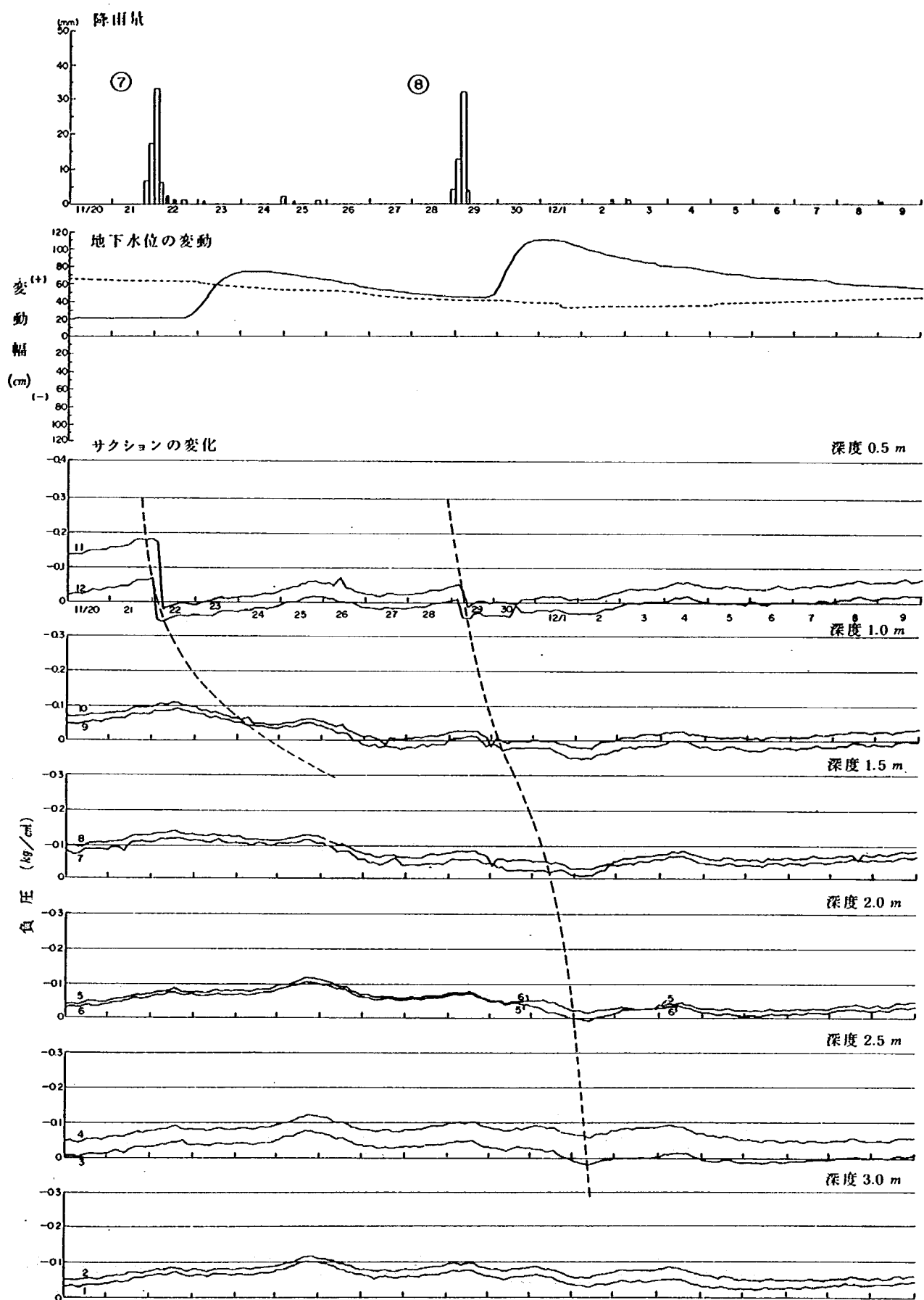


図-25 降雨量、地下水位及び土中のサクションの観測記録

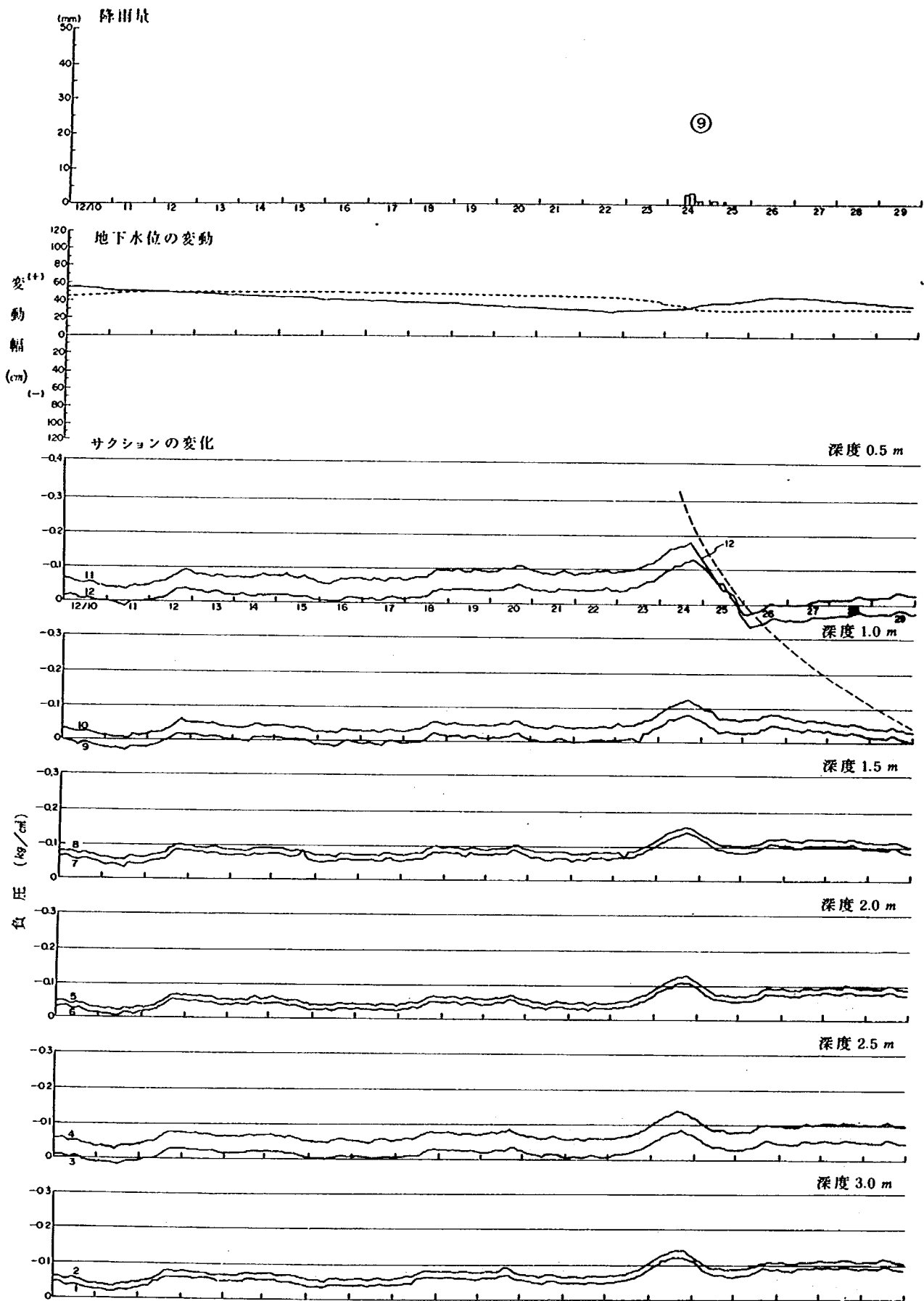


図-26 降雨量、地下水位及び土中のサクションの観測記録

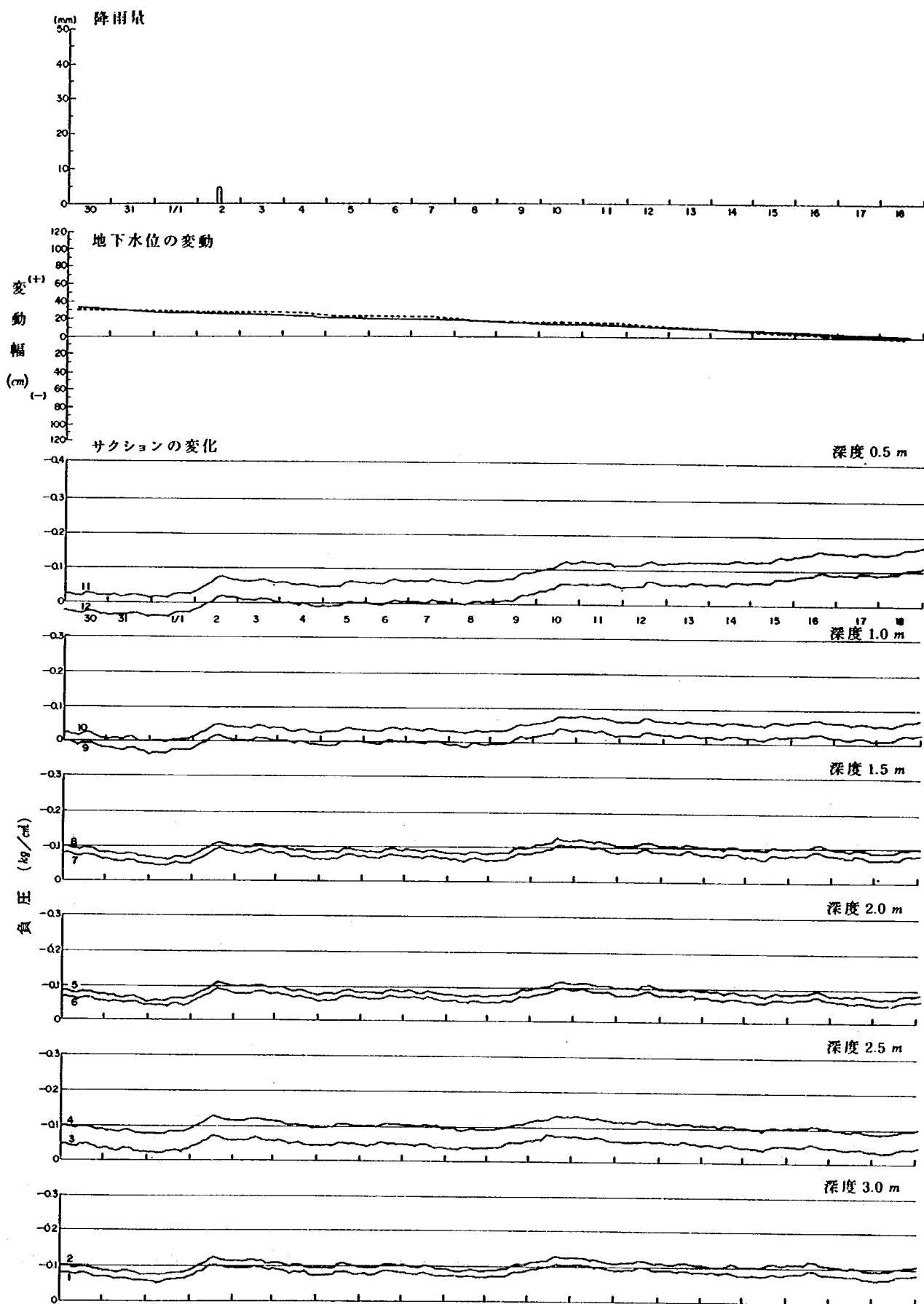


図-27 降雨量、地下水位及び土中のサクションの観測記録

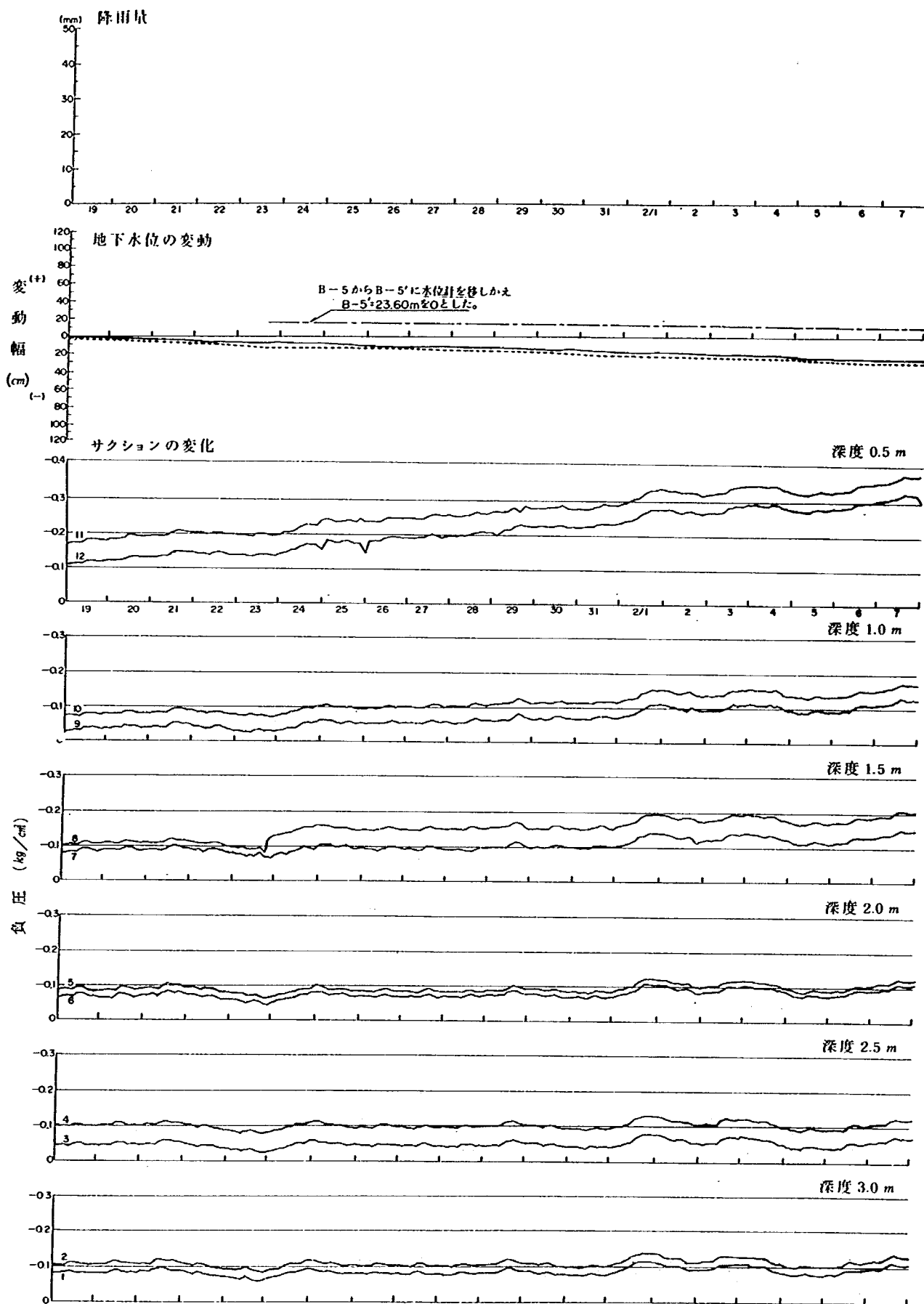


図-28 降雨量、地下水位及び土中のサクシヨンの観測記録

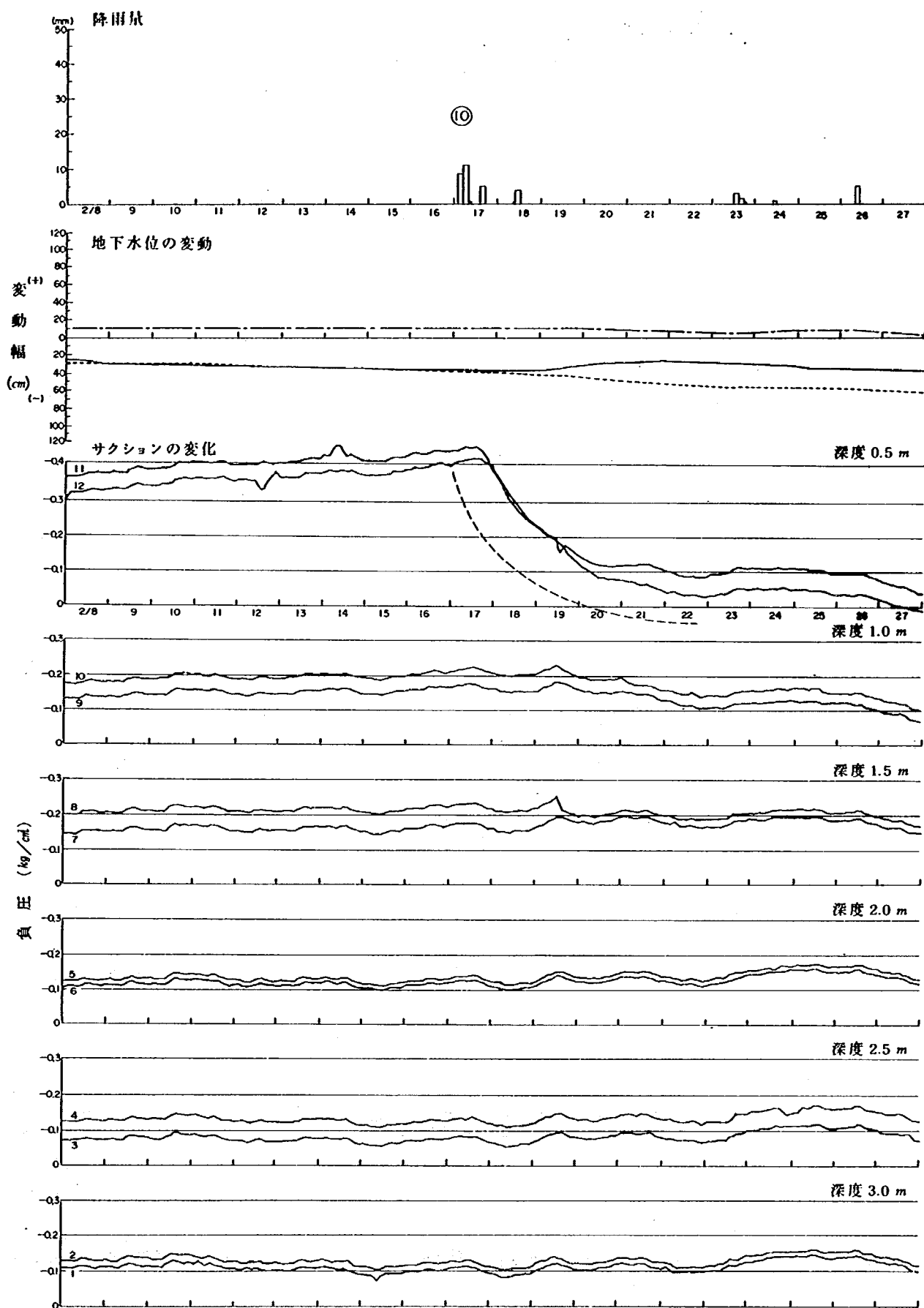


図-29 降雨量, 地下水位及び土中のサクションの観測記録

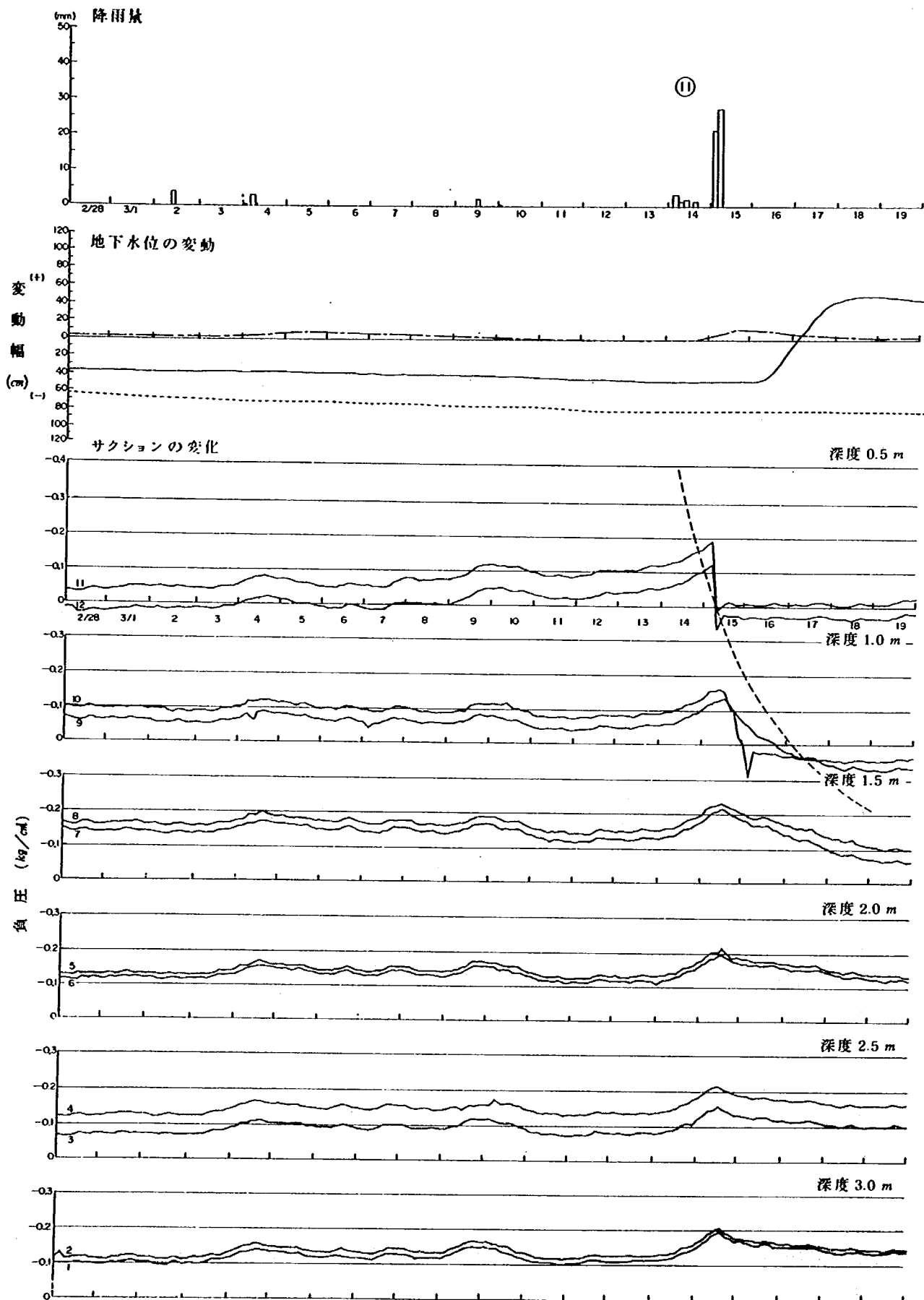


図-30 降雨量、地下水位及び土中のサクションの観測記録

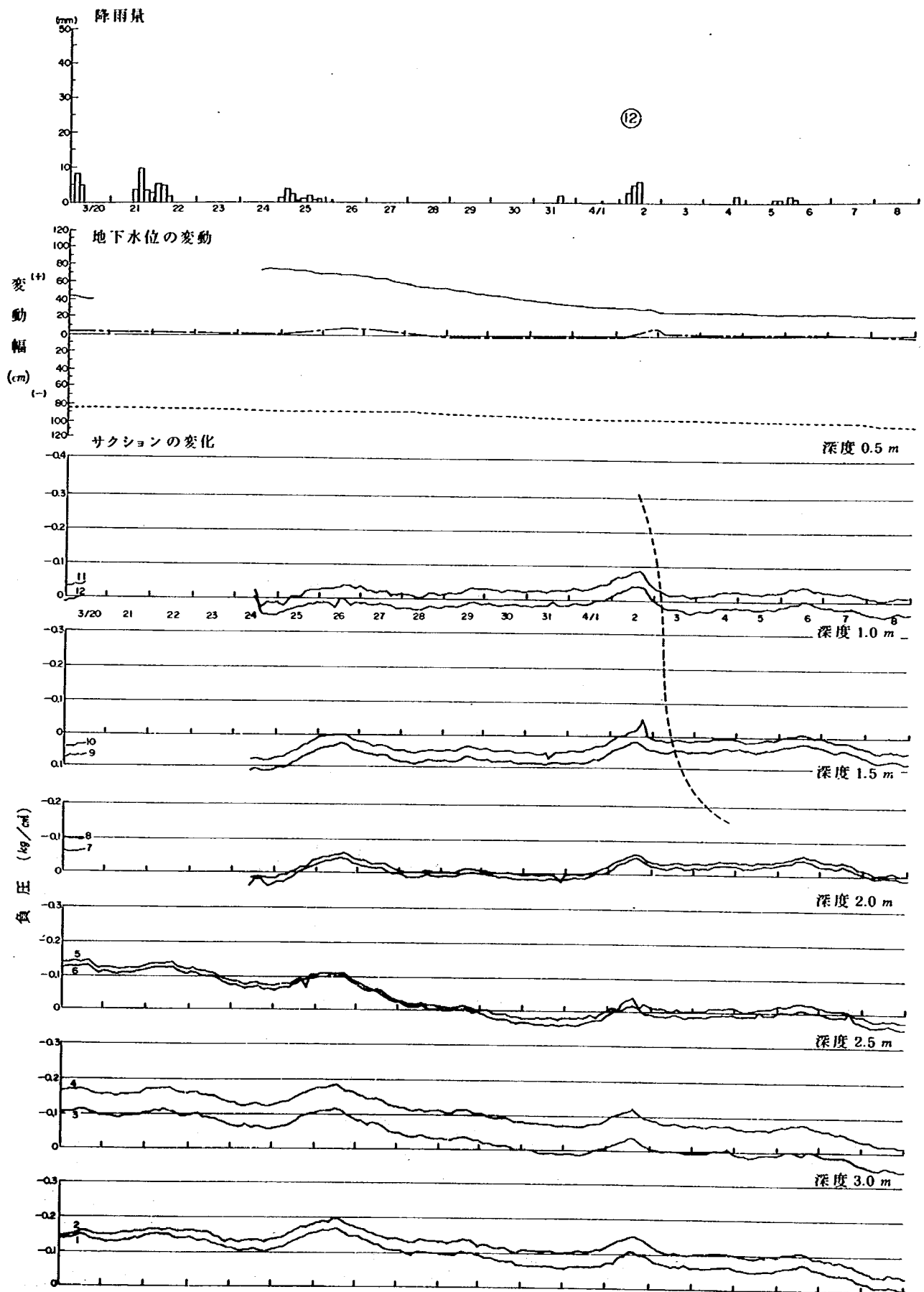


図-31 降雨量, 地下水位及び土中のサクションの観測記録

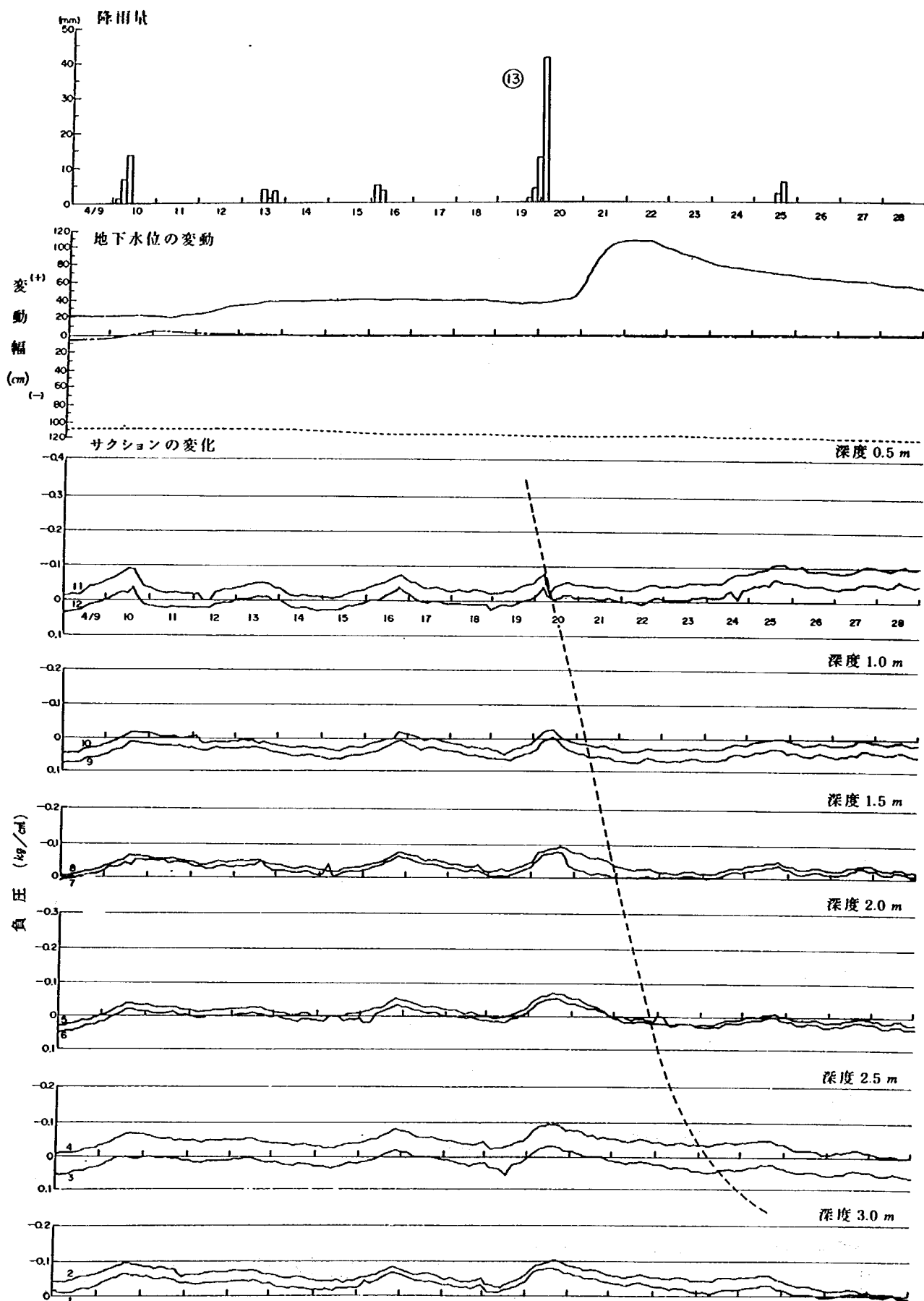


図-32 降雨量，地下水位及び土中のサクションの観測記録

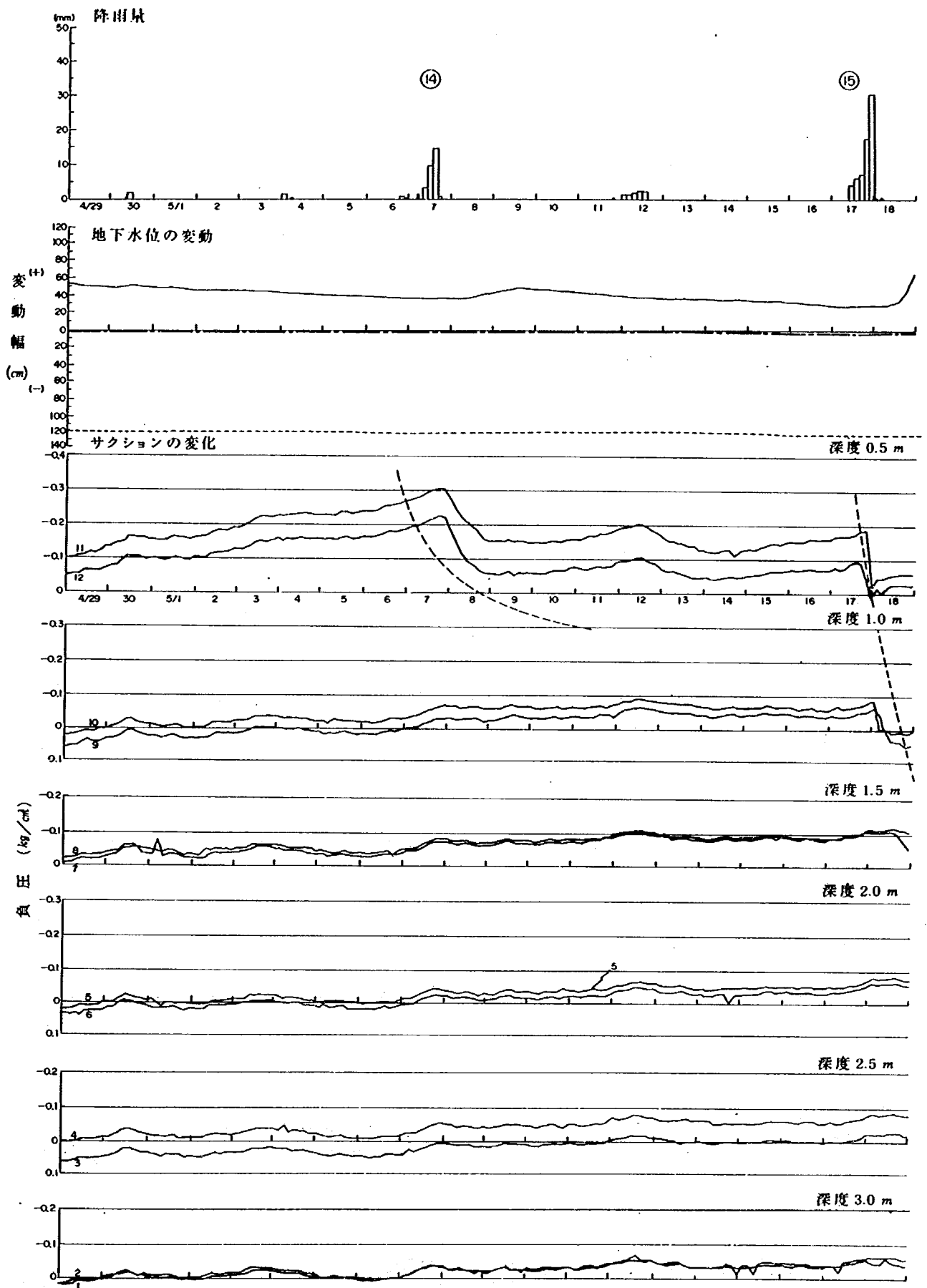


図-33 降雨量，地下水位及び土中のサクションの観測記録

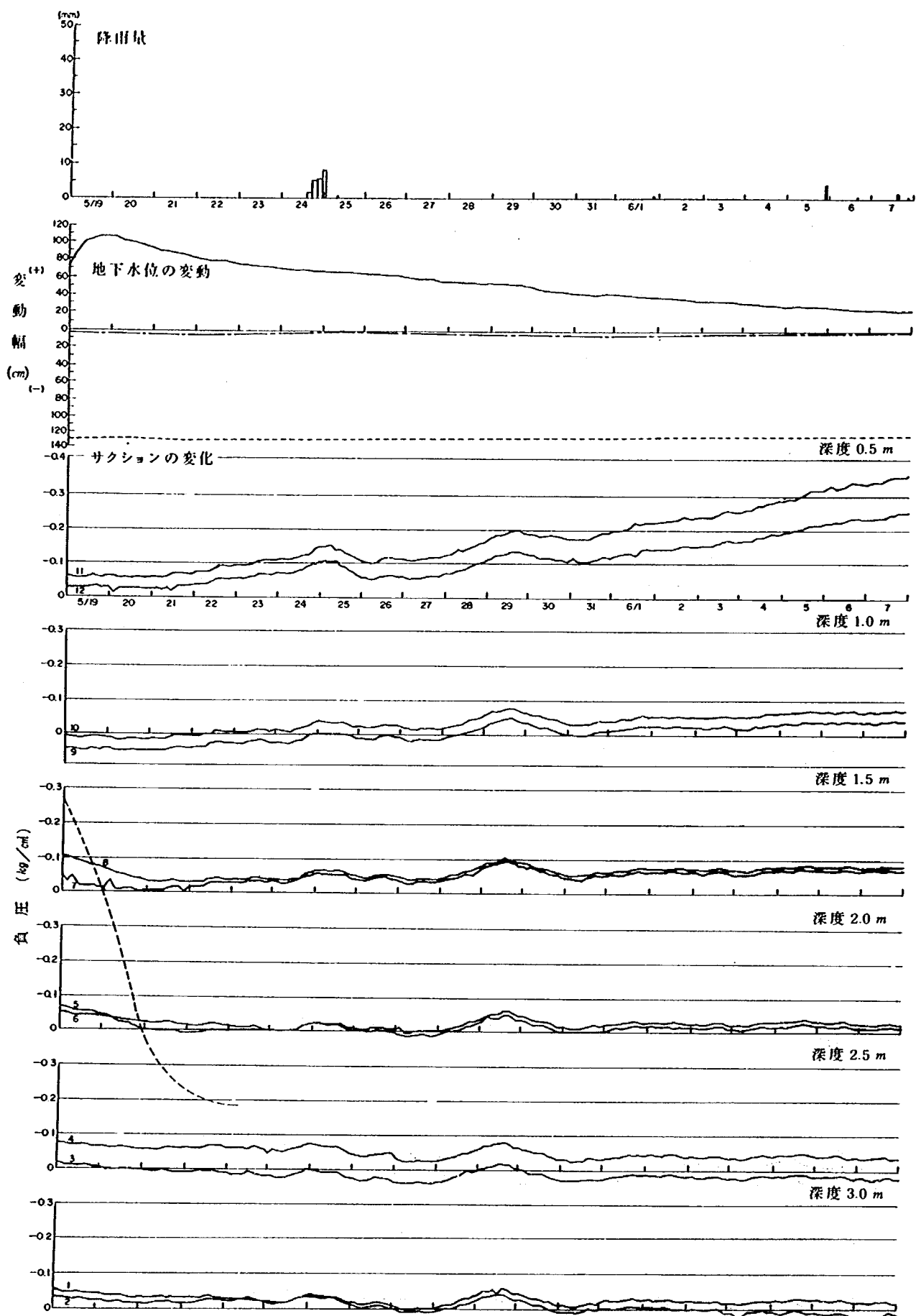


図-34 降雨量，地下水位及び土中のサクションの観測記録

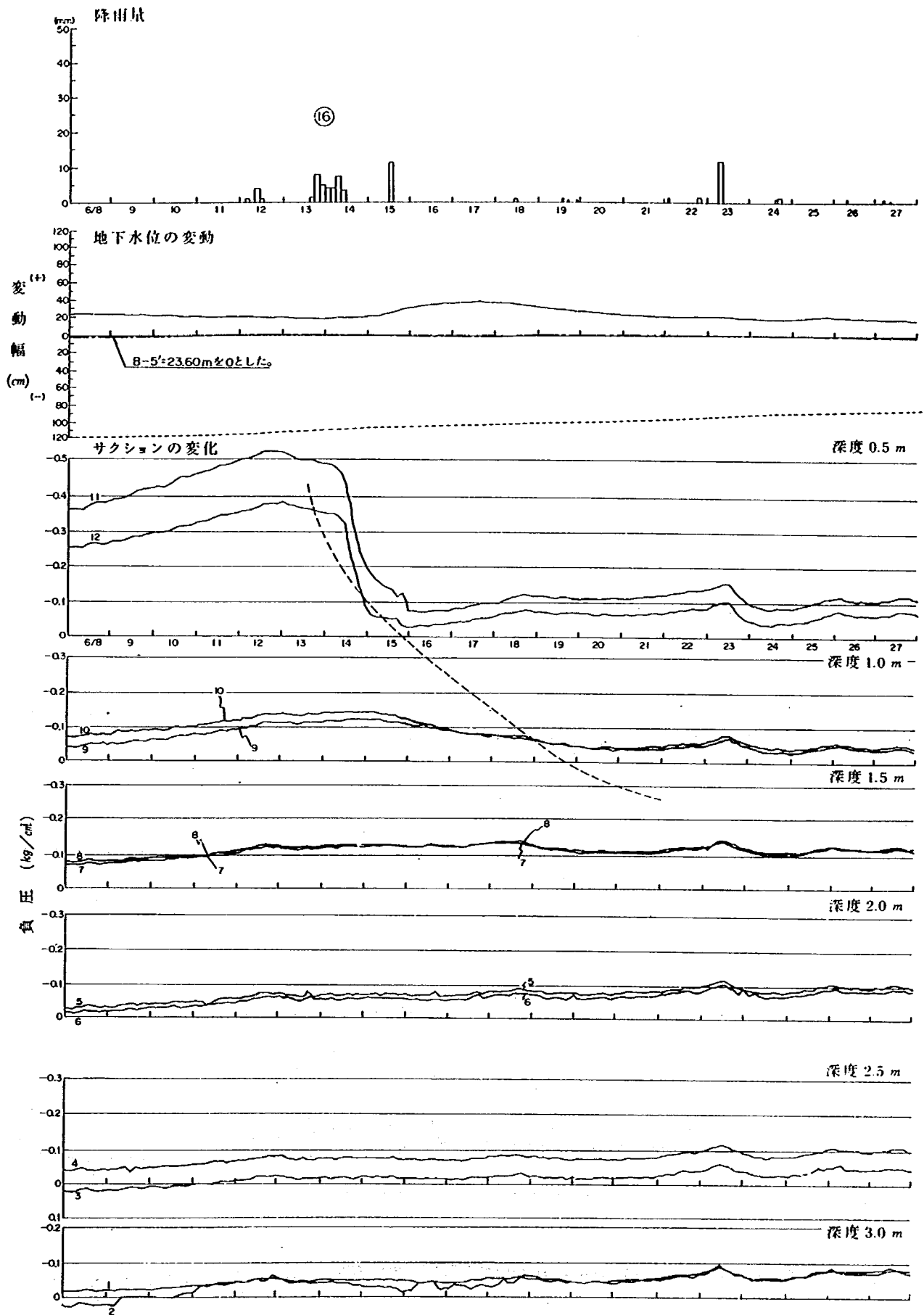


図-35 降雨量、地下水位及び土中のサクションの観測記録

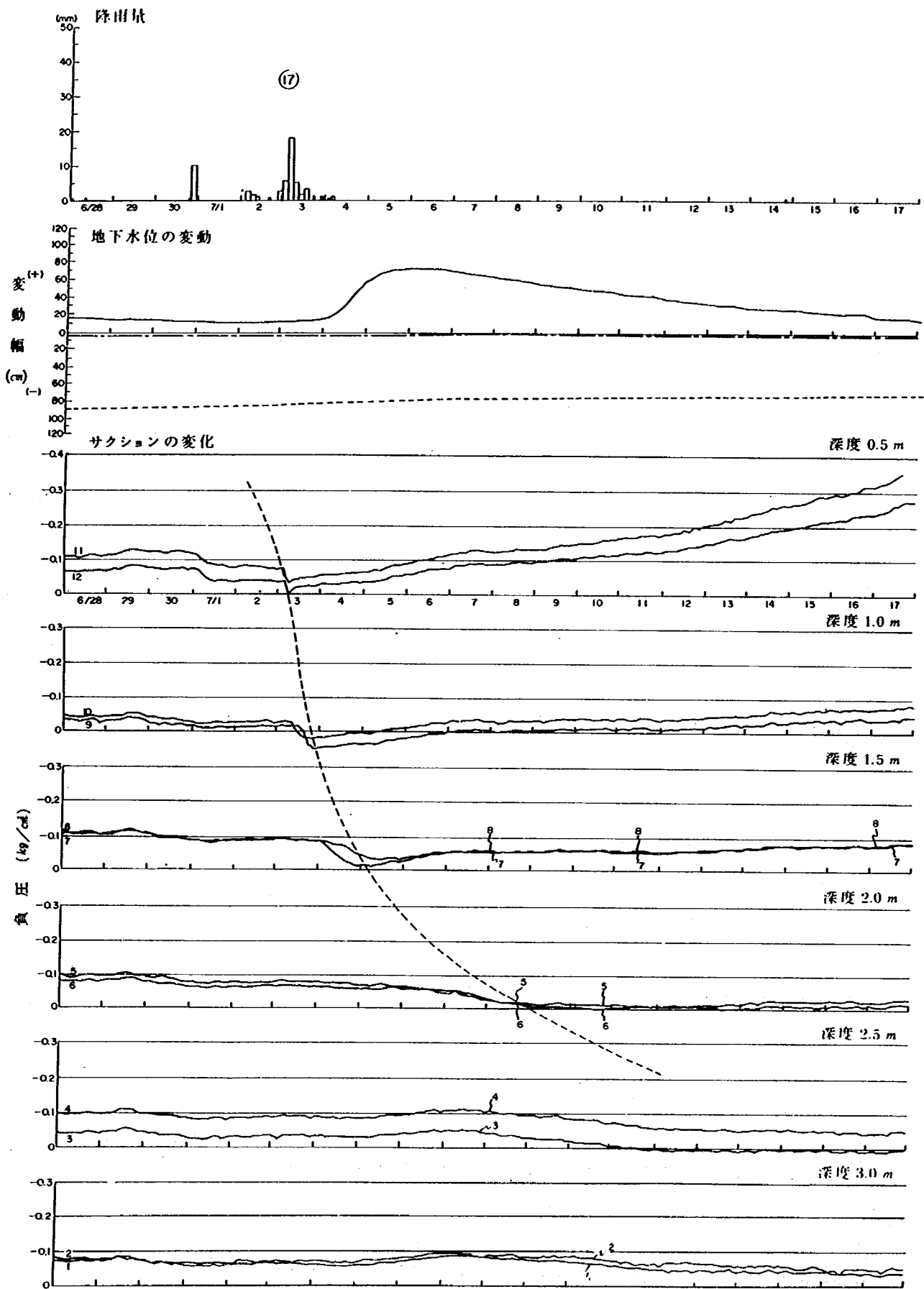


図-36 降雨量、地下水位及び土中のサクシヨンの観測記録

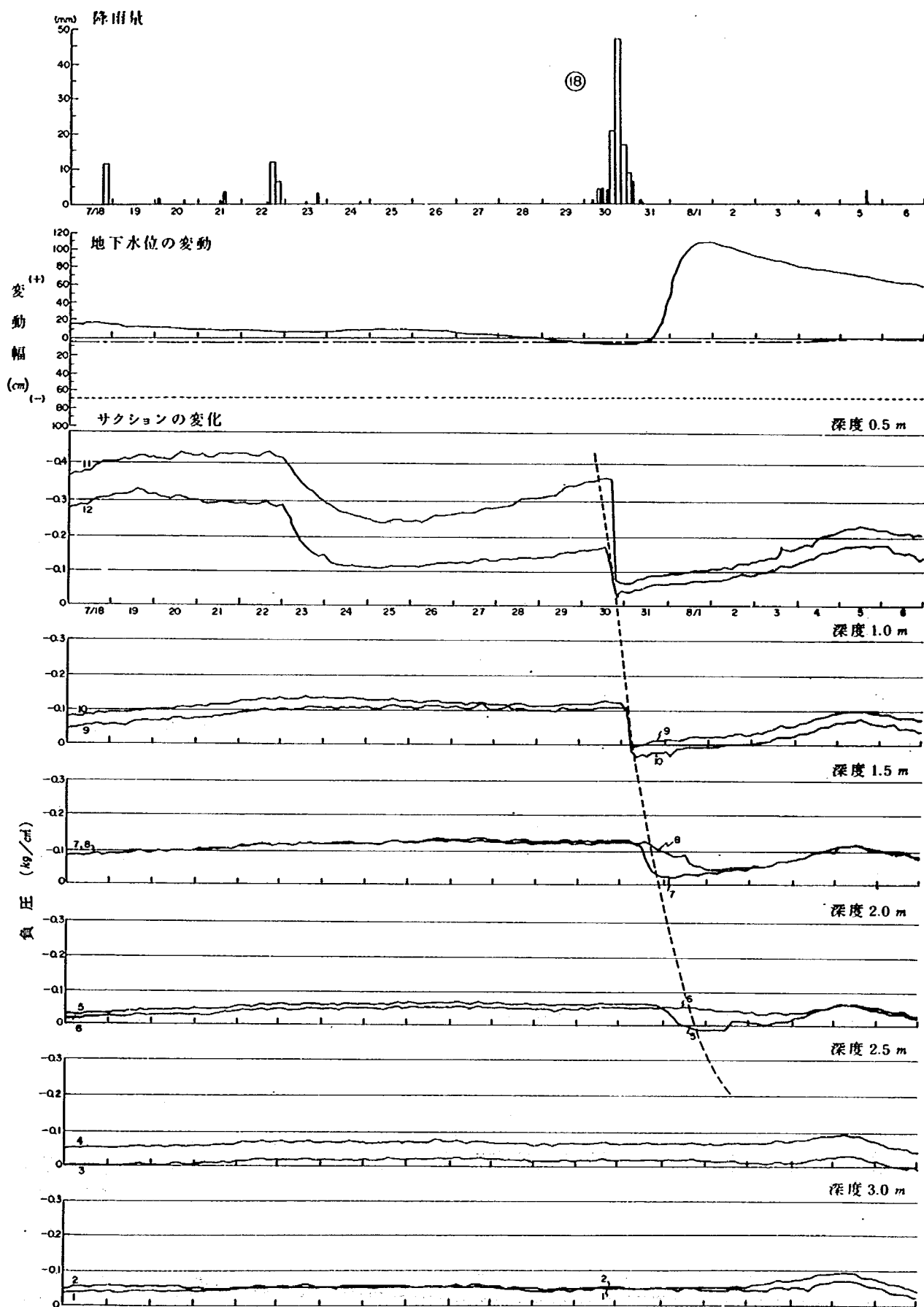


図-37 降雨量, 地下水位及び土中のサクションの観測記録

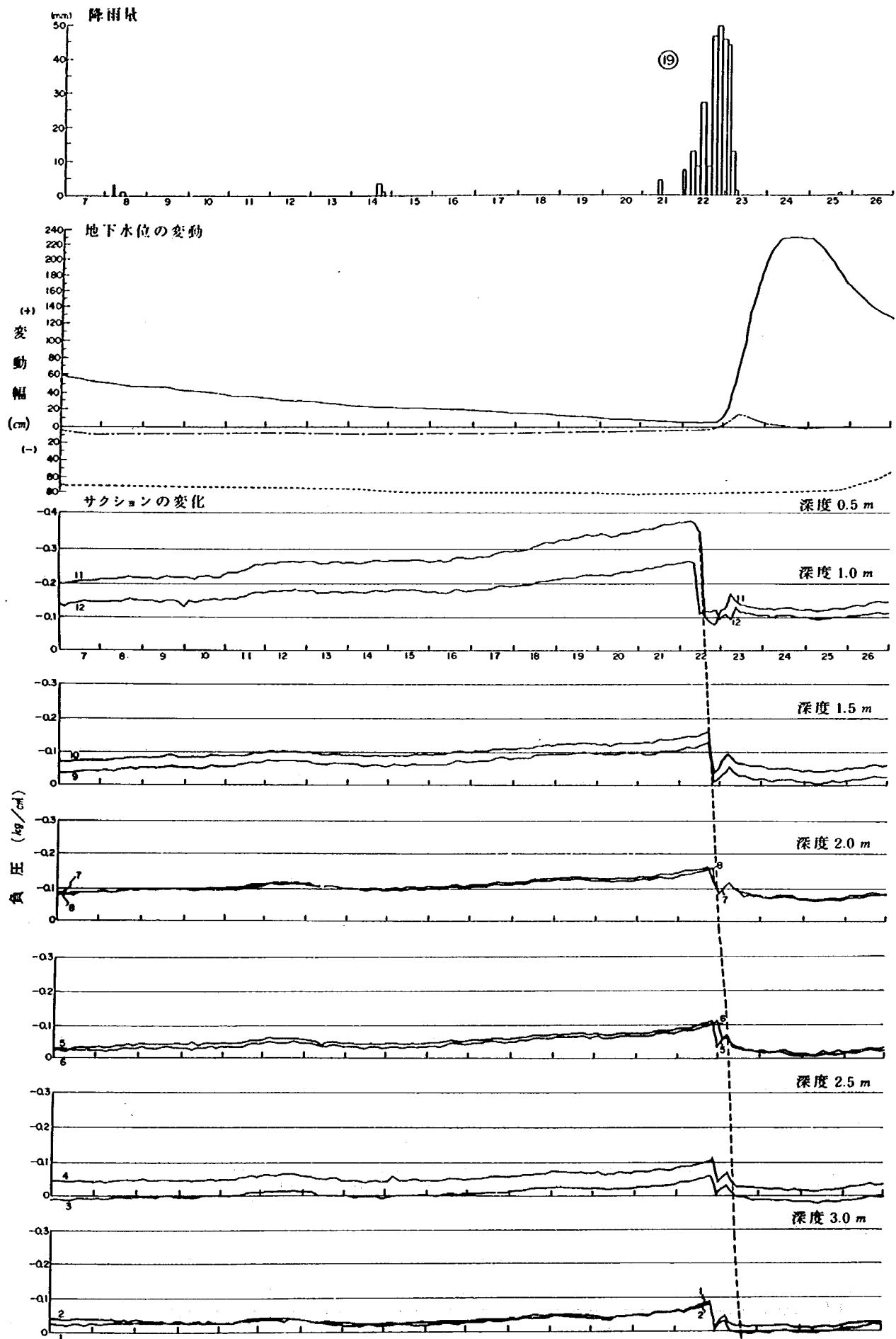


図-38 降雨量，地下水位及び土中のサクションの観測記録

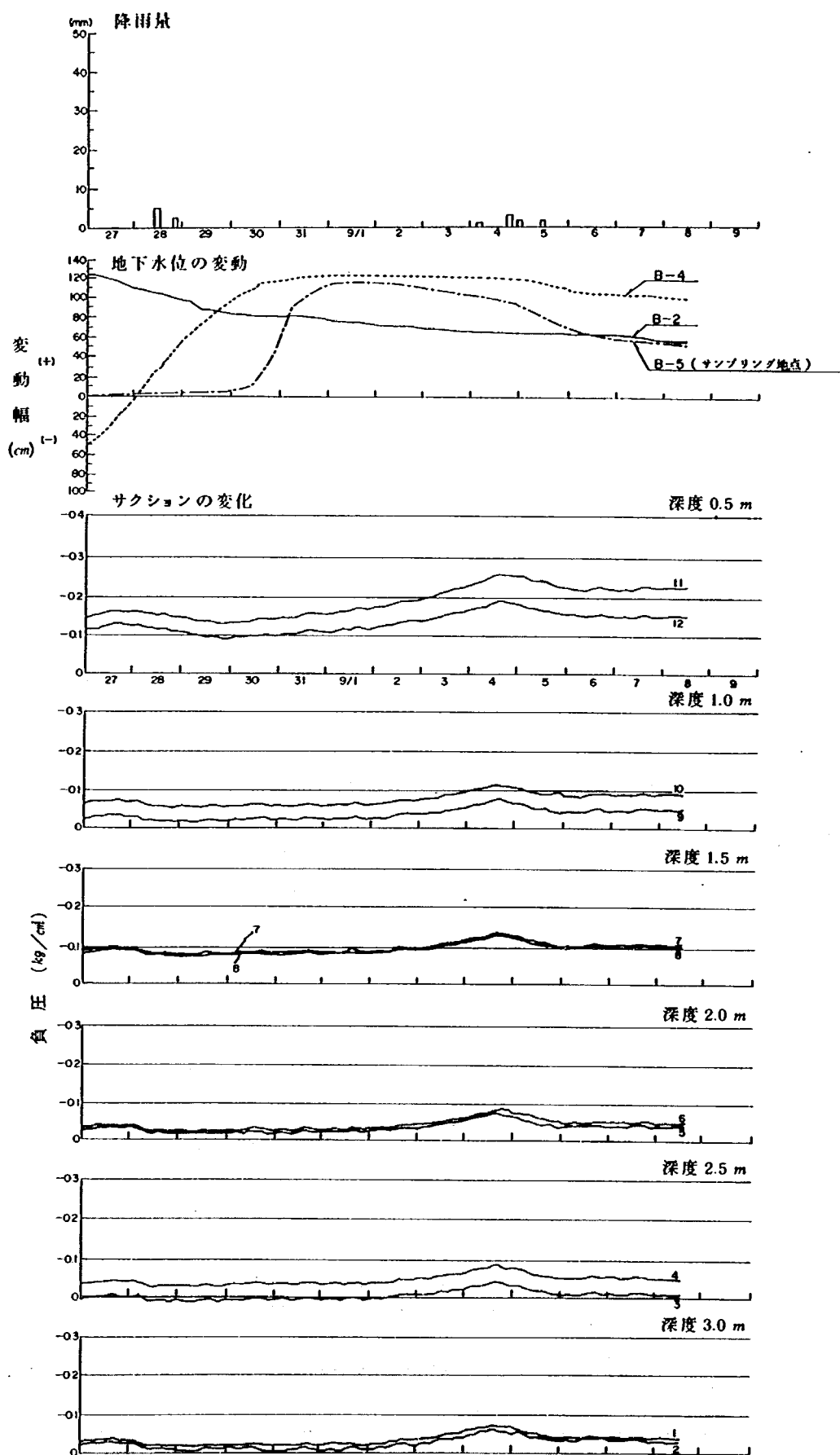


図-39 降雨量，地下水位及び土中のサクションの観測記録

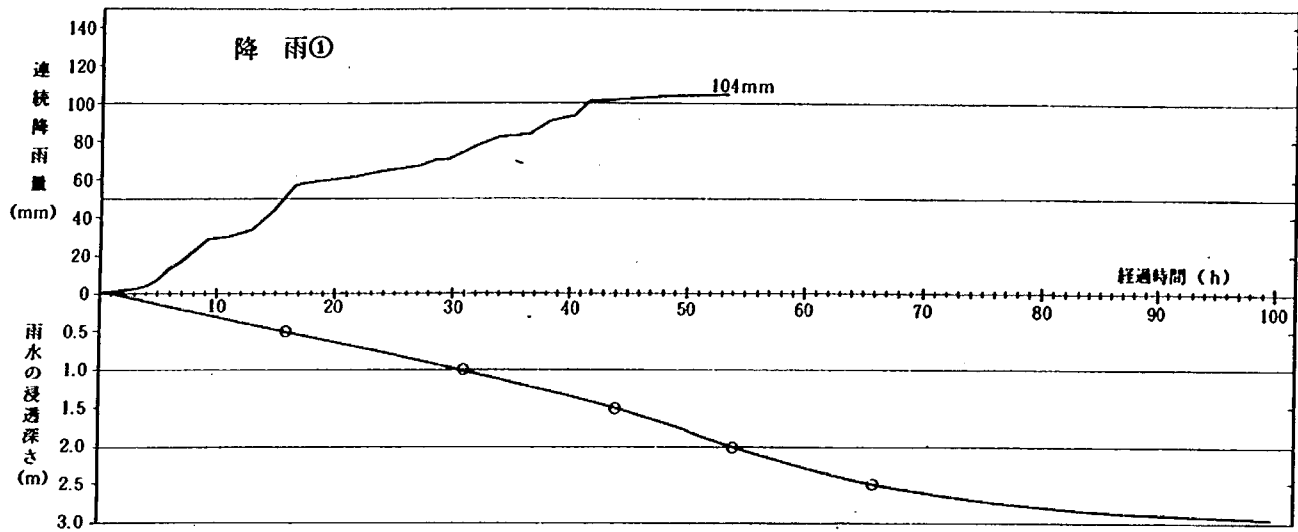


図-40-(1)

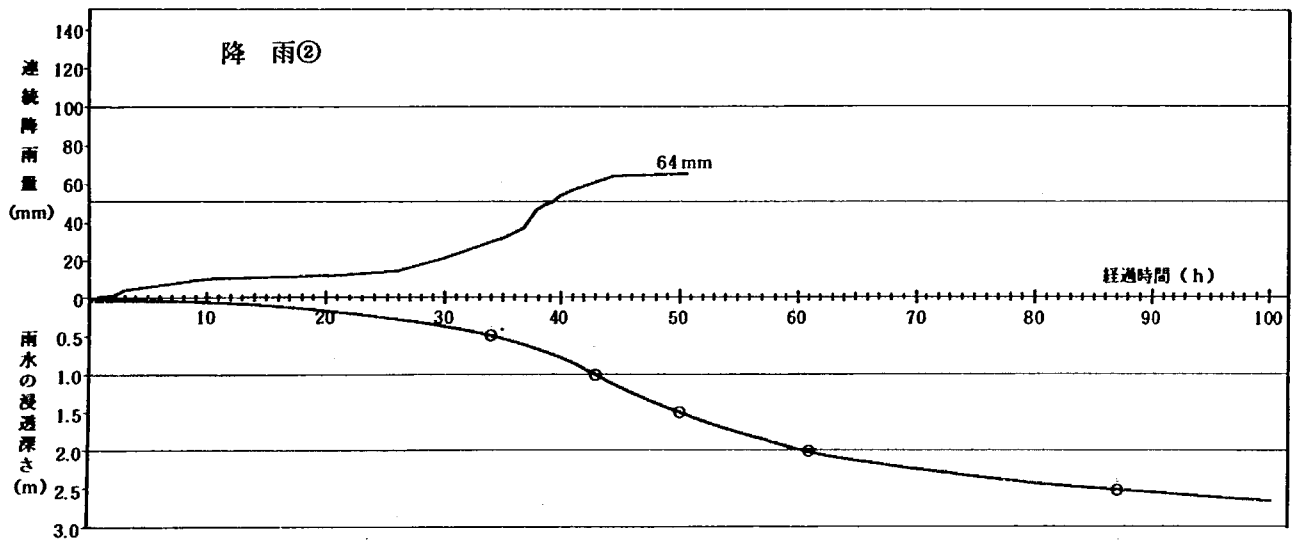


図-40-(2)

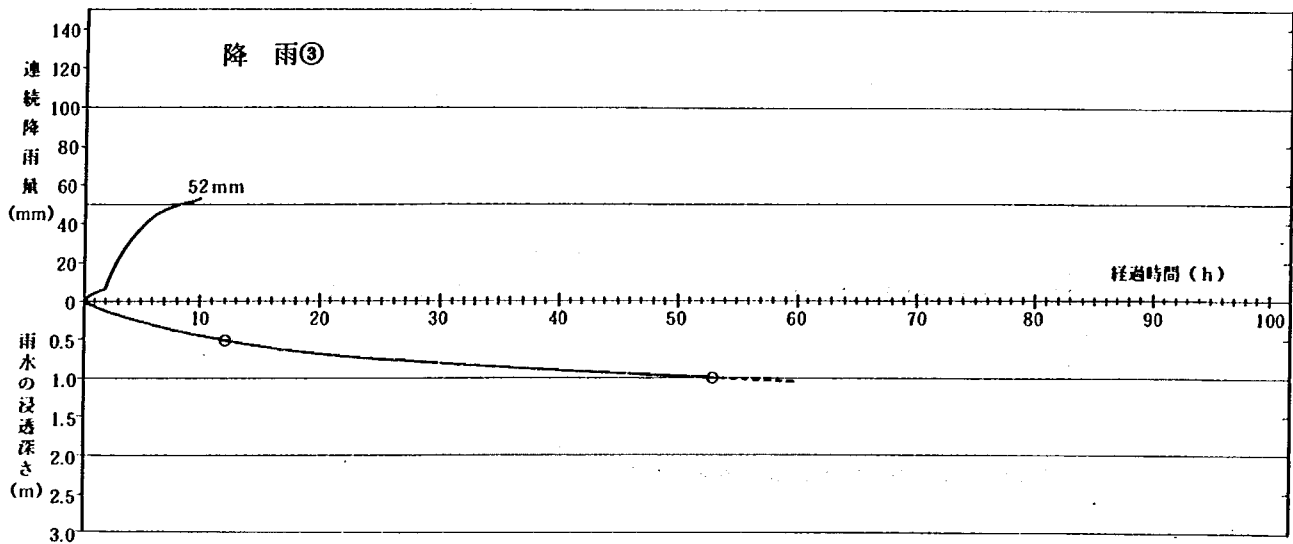


図-40-(3)

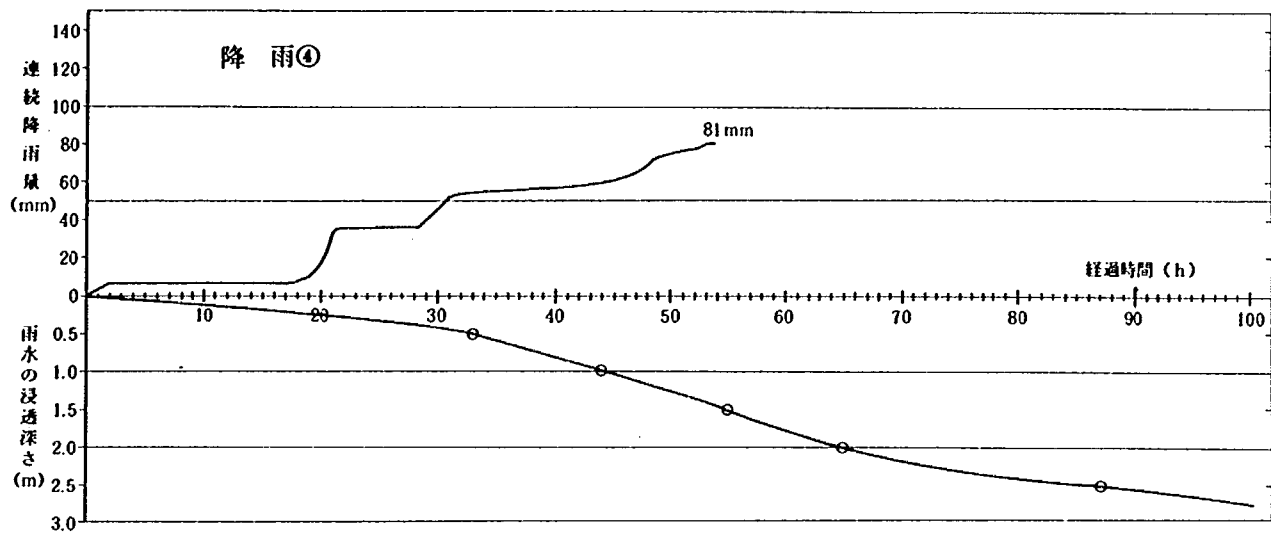


図-40-(4)

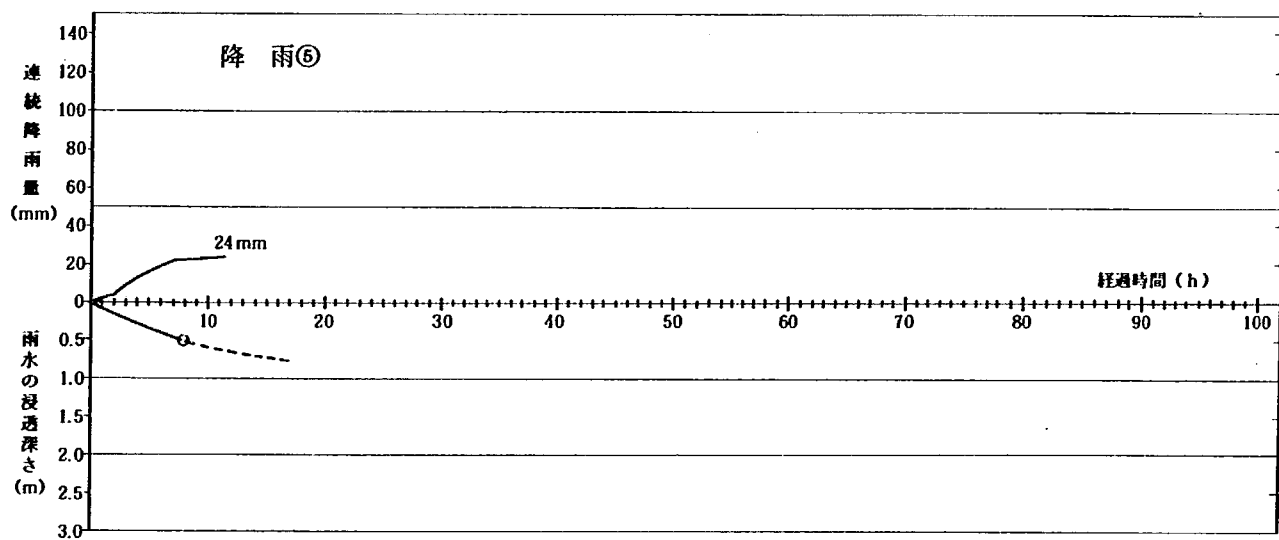


図-40-(5)

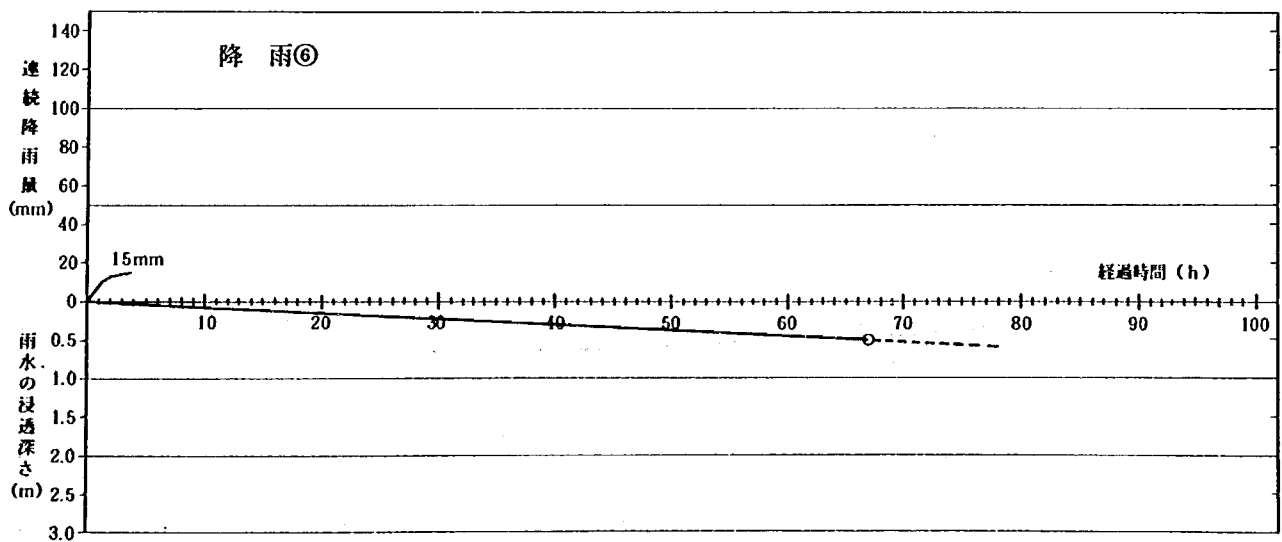


図-40-(6)

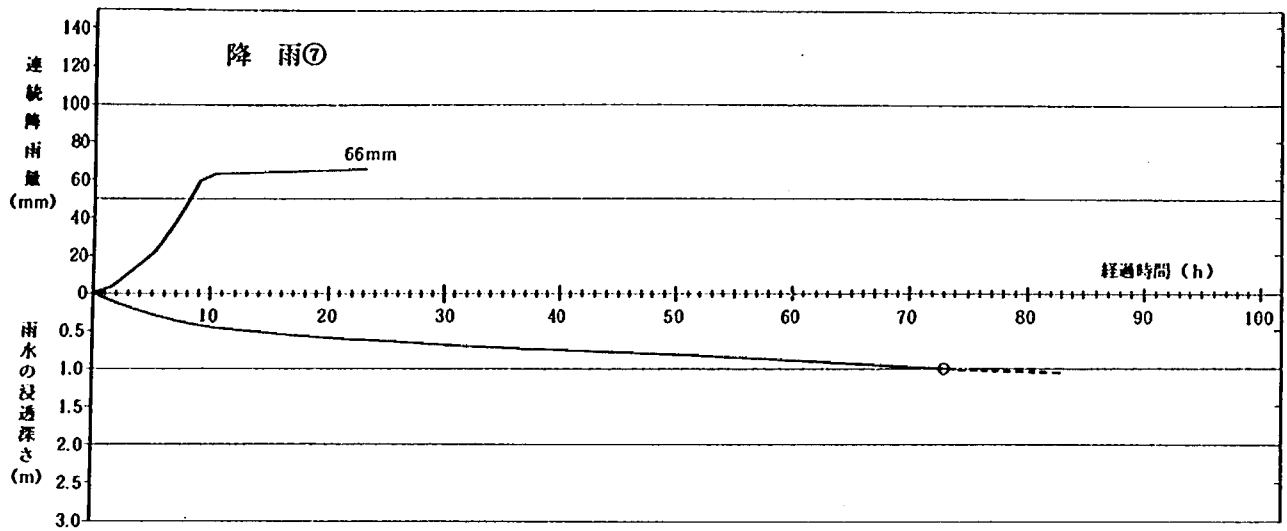


図-40-(7)

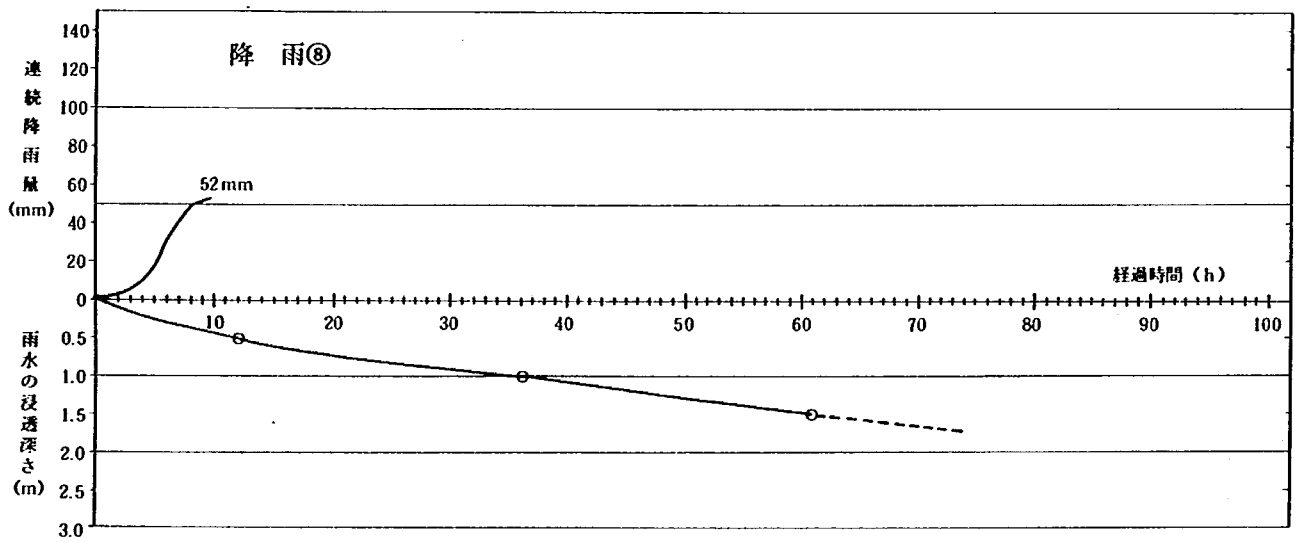


図-40-(8)

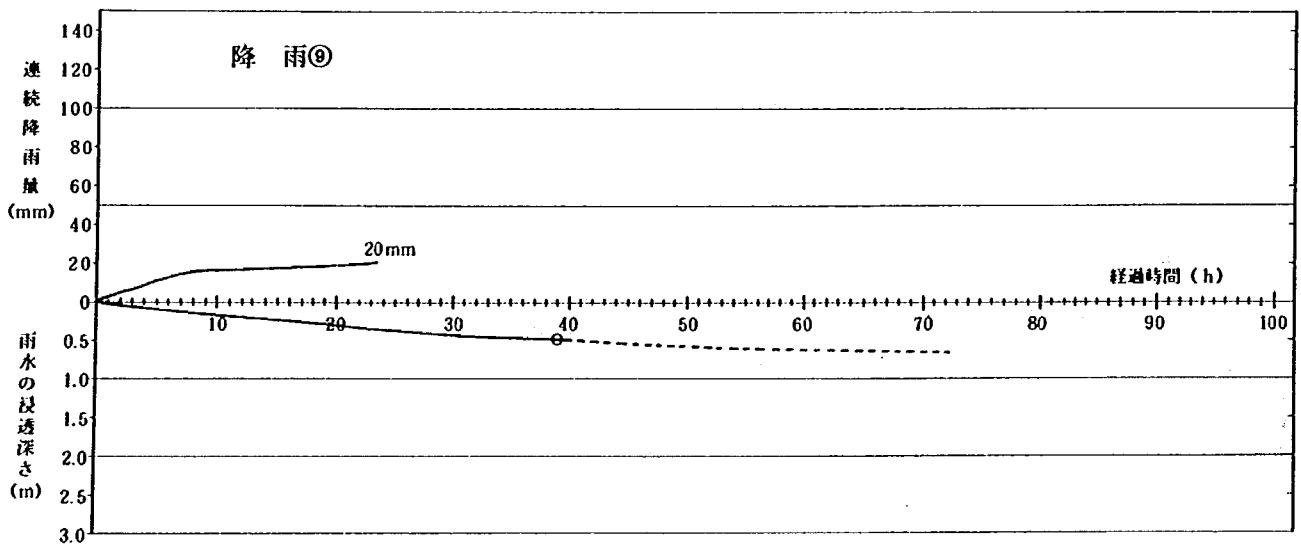


図-40-(9)

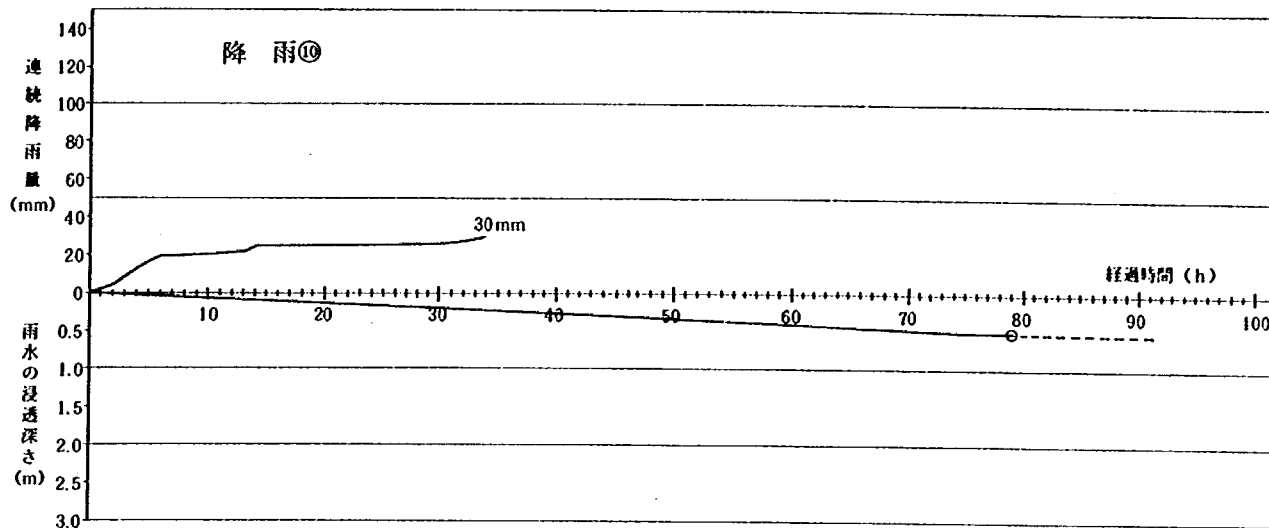


図-40-(10)

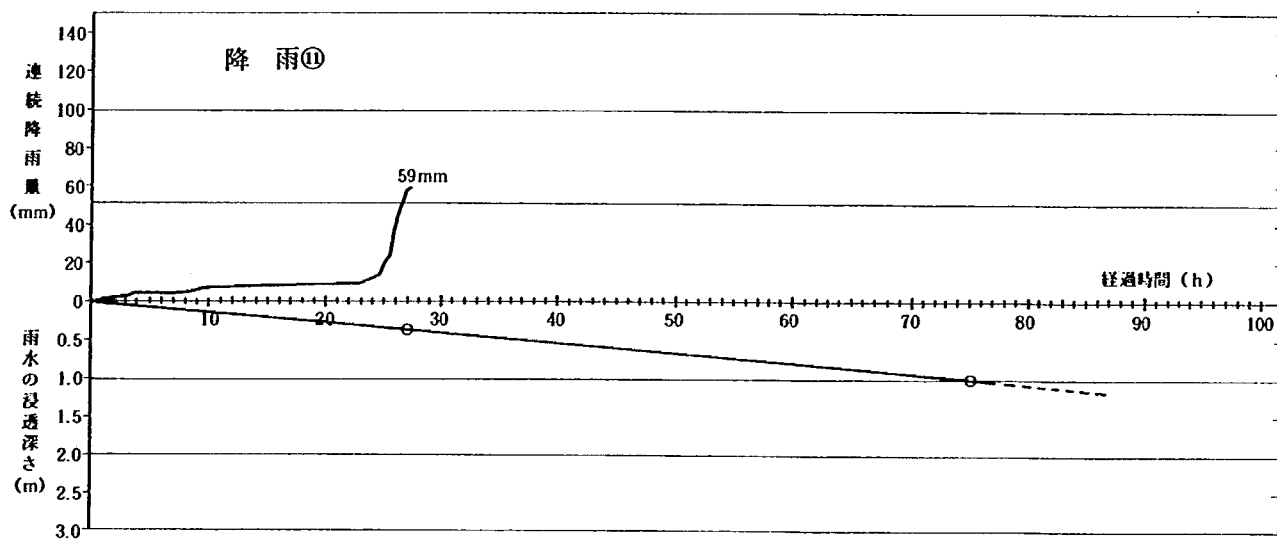


図-40-(11)

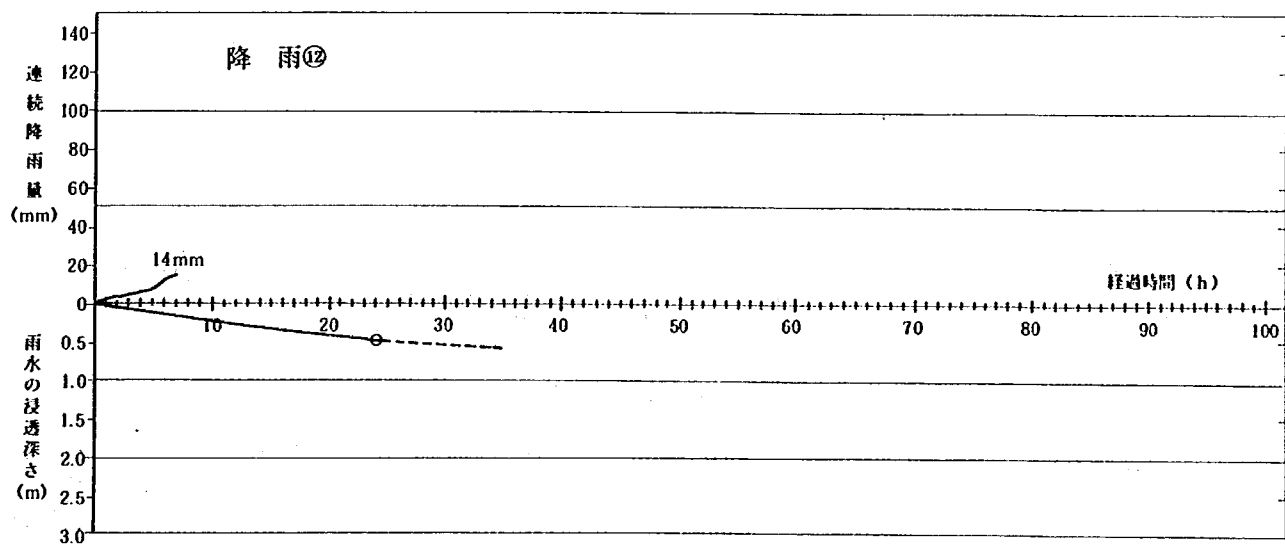


図-40-(12)

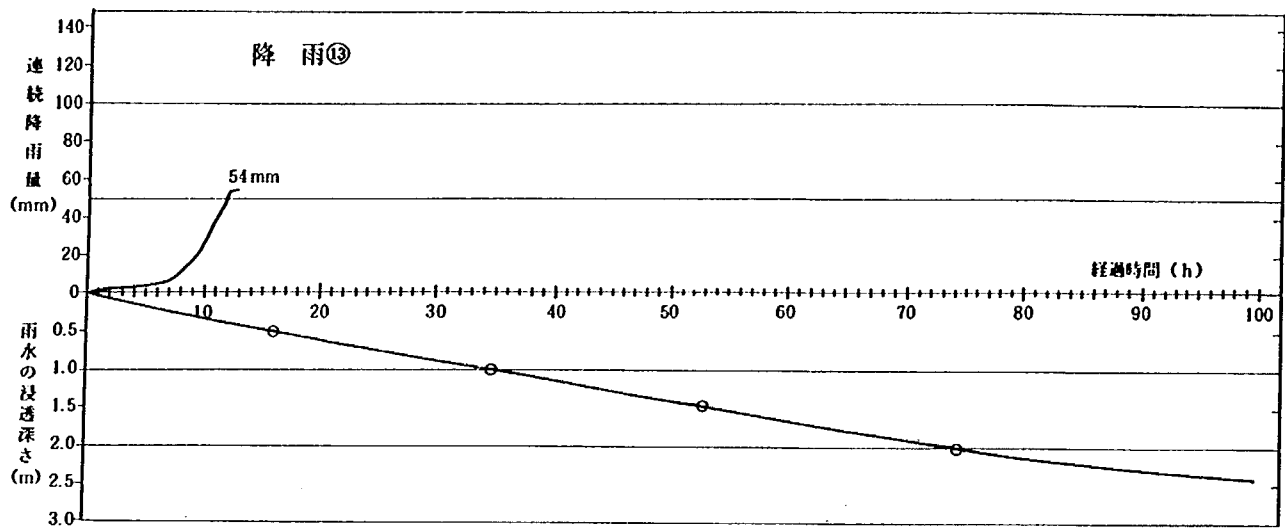


図-40-(13)

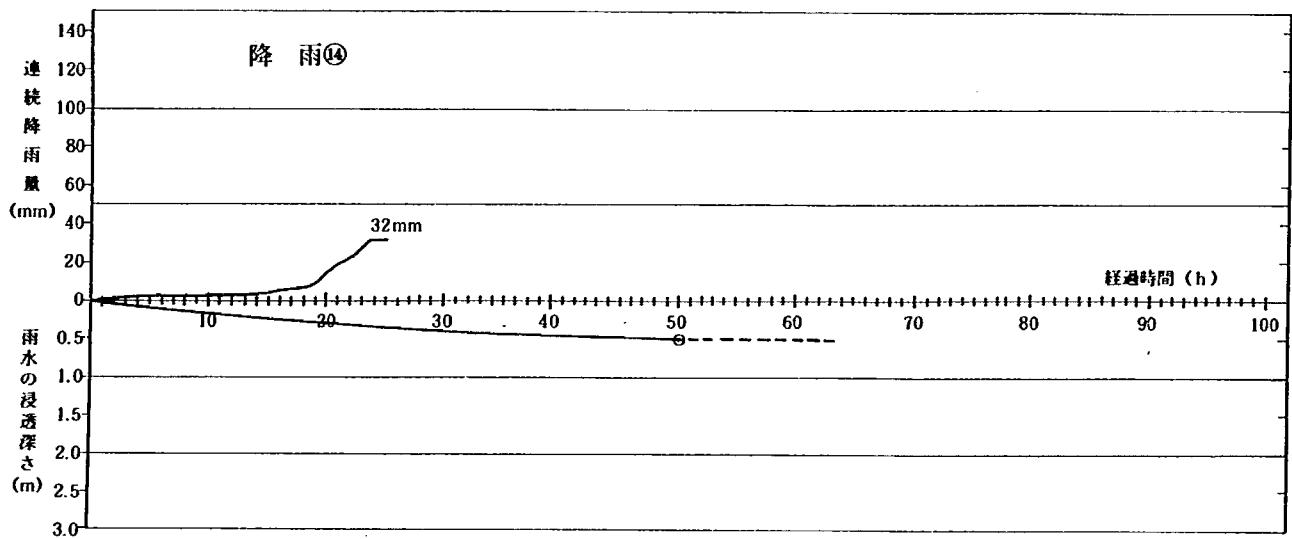


図-40-(14)

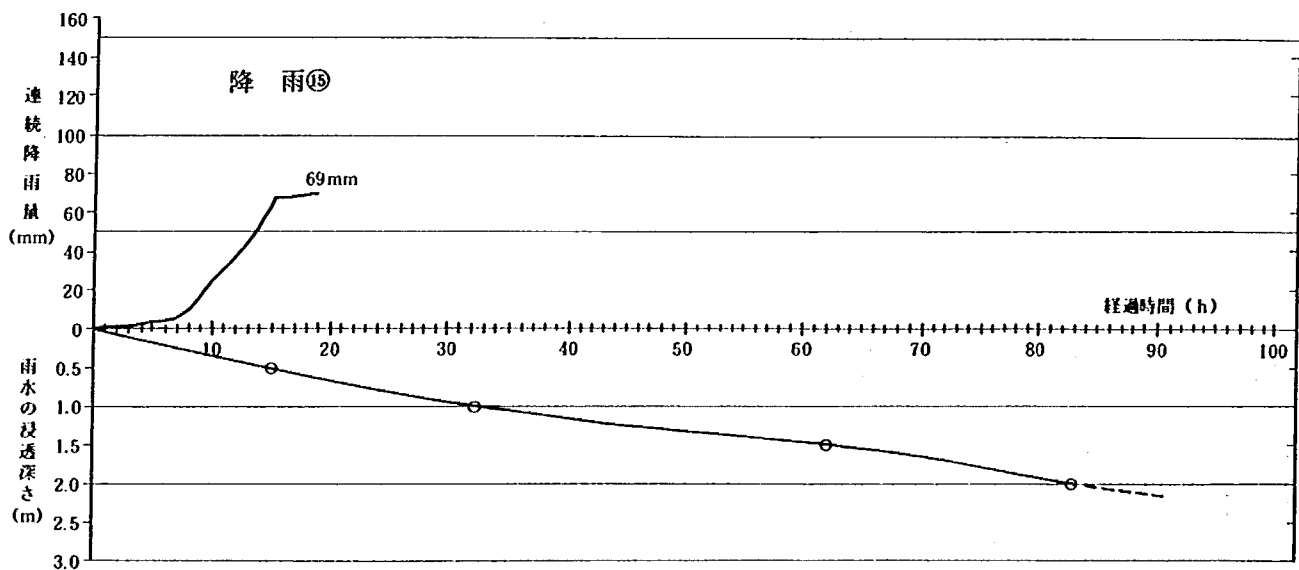


図-40-(15)

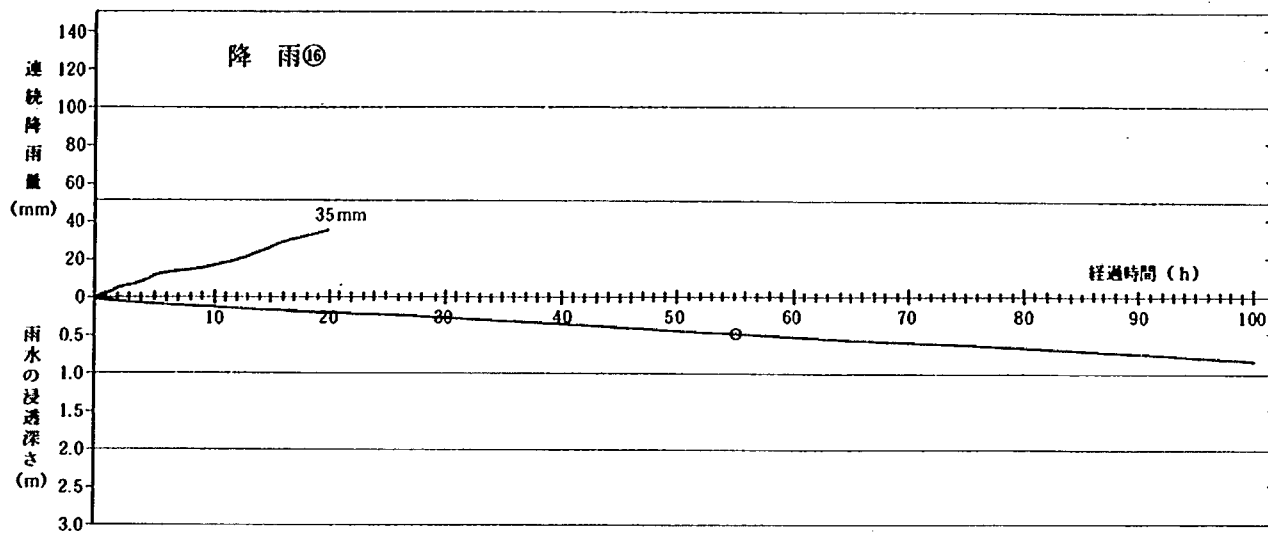


図-40-(16)

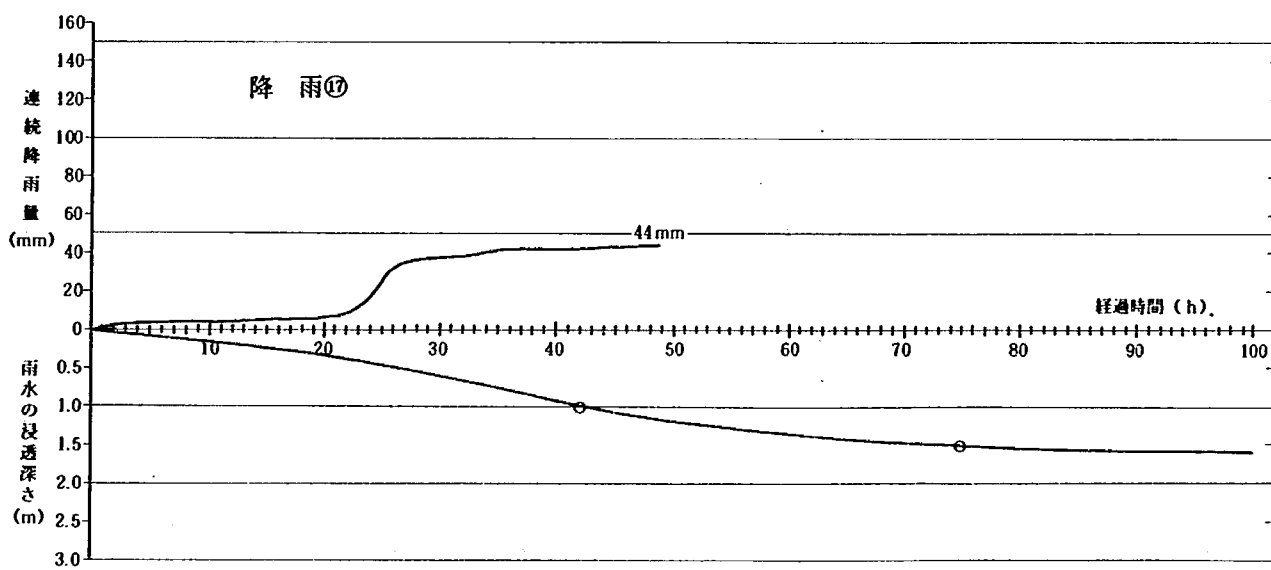


図-40-(17)

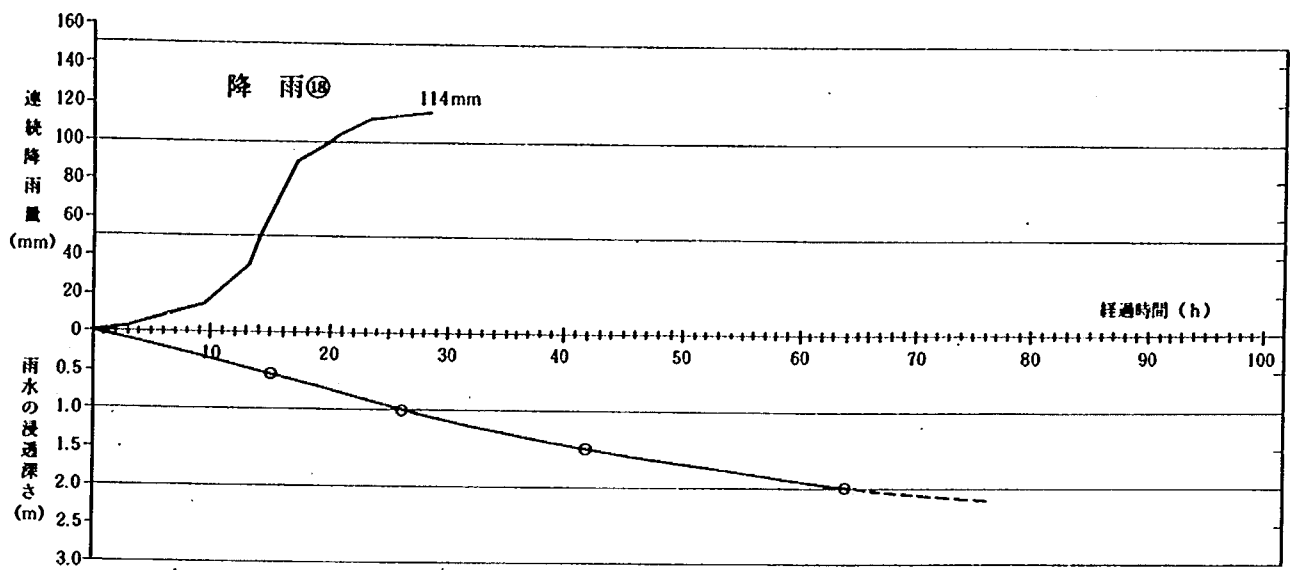


図-40-(18)

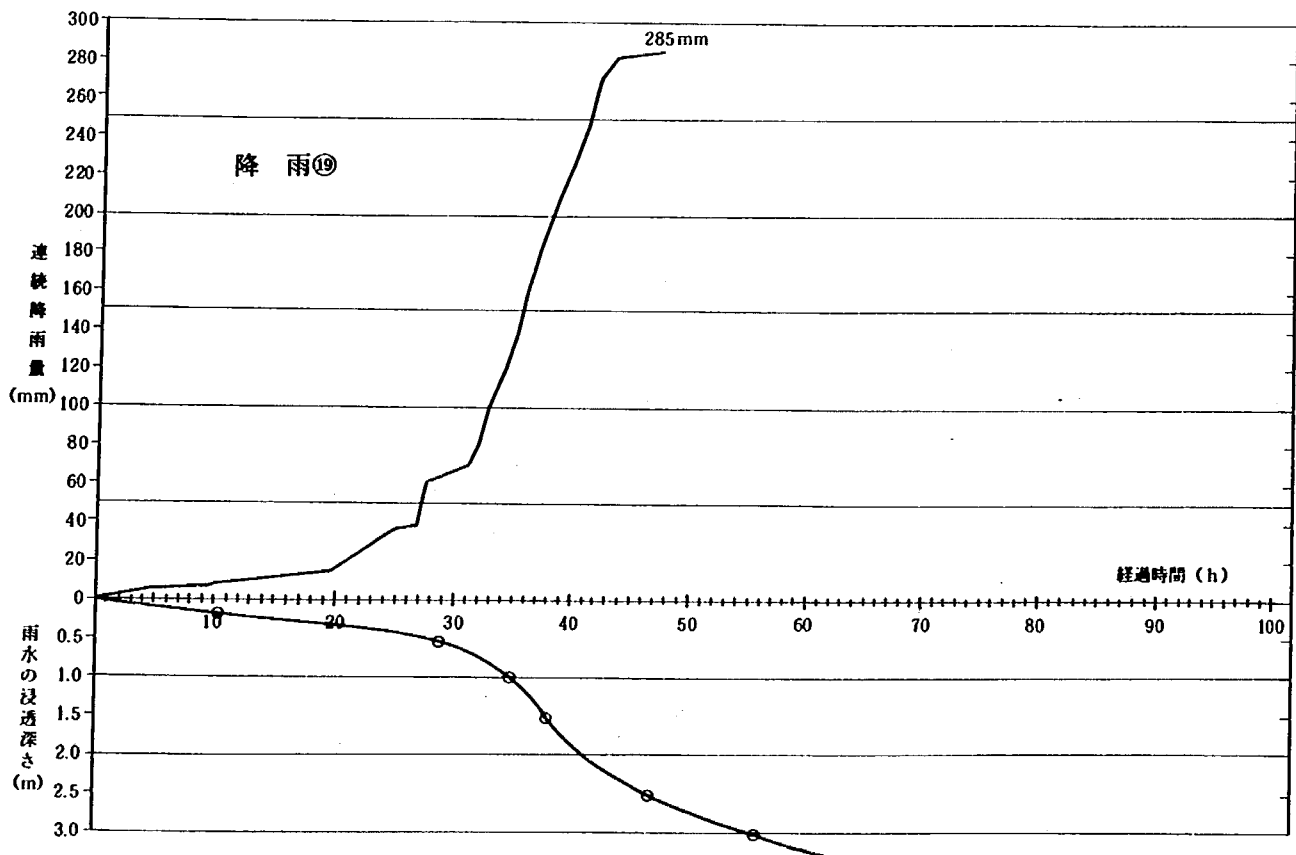


図-40-(19)

次に、レキ混り凝灰質粘性土層中に介在する中間砂レキ層（Itg-1～Itg-3）中の地下水の挙動について述べる。地下水の観測は、図-41にストレーナーの設置位置を示すように、B-1の位置におけるItg-1層、B-2の位置におけるItg-2層、B-4の位置におけるItg-2層、および、B-5の位置におけるItg-3層の4測点において実施した。このうち、B-2の位置で観測したItg-2層中の地下水位は、図-21～図-39に示すように、降雨に従って顕著に上昇していることが認められる。地下水位の上昇量は、連続雨量が285mmの⑬の降雨の際には最大220cmにまで達していることがよみとれる。従って、このような豪雨時におけるItg-2層の地下水位の上昇が、b-b'断面においては、もたれ擁壁のはらみ出しに大きく原因しているものと推察される。

一方、B-1およびB-5（B-5では途中からItg-2層にストレーナーの設置位置を変更した）の位置で実施したItg-1層の地下水観測の結果によると、Itg-1層では豪雨時においても地下水位の上昇がほとんど認められない。従って、Itg-1層は、切土のり面の安定に悪影響を及ぼすような地下水脈とはならないと判断できる。また、B-4の位置におけるItg-2層では、降雨に伴う地下水位上昇が観測されてはいるが、その上昇はB-2のItg-2層に比べると極めて緩慢であり、同じItg-2層ではあっても、B-2の場合ほど明瞭な地下水脈を形成しているとはいえないようである。

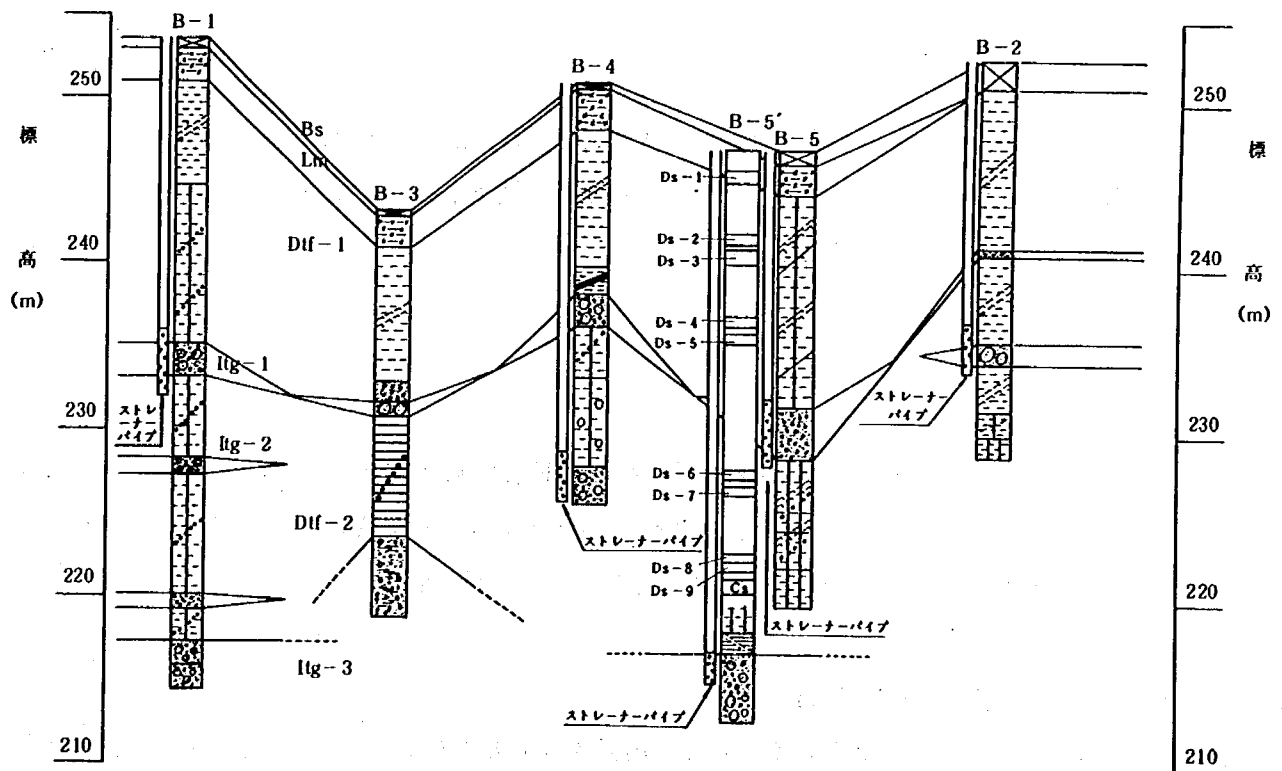


図-41 ストレーナーパイプ位置

以上のように、凝灰質粘性土層中に介在する中間砂レキ層のうち、地下水脈を形成して切土のり面の安定性に悪影響を及ぼすのはItg-2層であることがわかったが、同じItg-2層であっても位置によって地下水の集まりやすさが異なるようである。そこで、本調査地における地下水脈を推定するために、調査地周辺の小規模な尾根や沢などの微地的な特徴に着目し、調査地の集水区域を図-42に示すような5つの小集水域に区分してみた。これらの各小集水区域においては、中央部付近が凹部となるため、各小集水区域内の浸透水を集めて地下水脈を形成しやすいと考えられる。このような方法で集水区域を区分してみると、B-2は地下水脈を形成しやすい凹部に位置しているのに対し、B-4は地下水の集まりにくい凸部に位置していることがよみとれ、前述したItg-2層中の地下水観測の結果とよく符号していることがわかる。さら

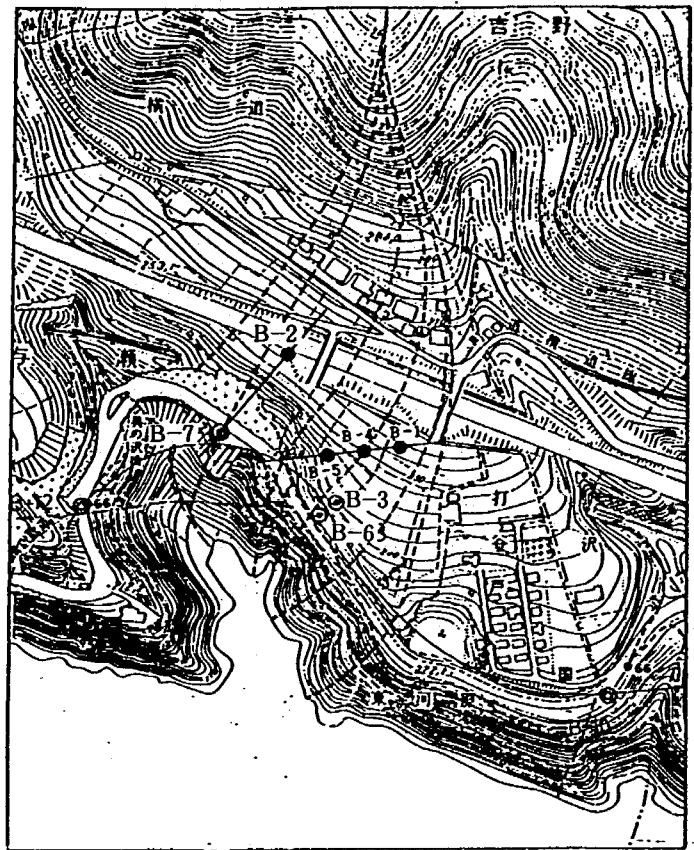


図-42 地下水脈の推定図

に、地下水脈があると考えられる各小集水区域の中央部付近では、過去にのり面崩壊が生じたり、もたれ擁壁のはらみ出しが特に大きくなったりしており、このような地下水脈の存在が切土のり面の安定にかなり大きな影響を及ぼしているものと考えられる。

3-4 安定検討

以上述べてきた土質調査の結果ならびに雨水の浸透や地下水変動に関する観測結果にもとづき、過去崩壊箇所を対象とした安定計算、および将来の拡幅予定箇所を対象とした安定計算を実施し、雨水の浸透あるいは地下水変動に伴う現地のにり面の安全率の低下について検討を加えた。

3-4-1 過去の崩壊箇所の安定検討

安定計算は、崩壊前のa-a'断面を対象として、円弧スベリ法（Bishopの有効応力法）により実施した。計算に用いた土質定数は、土質試験結果にもとづき図-43(a)のように決定した。

検討は、(a)雨水の浸透がない場合、(b)雨水の浸透が3mに達した場合、(c)雨水の浸透が4mに達した場合、(d)雨水の浸透が4mに達し、かつのり尻部の地下水位がかなり上昇した場合などについて行い、図-43に示すような最小安全率の値を得た。

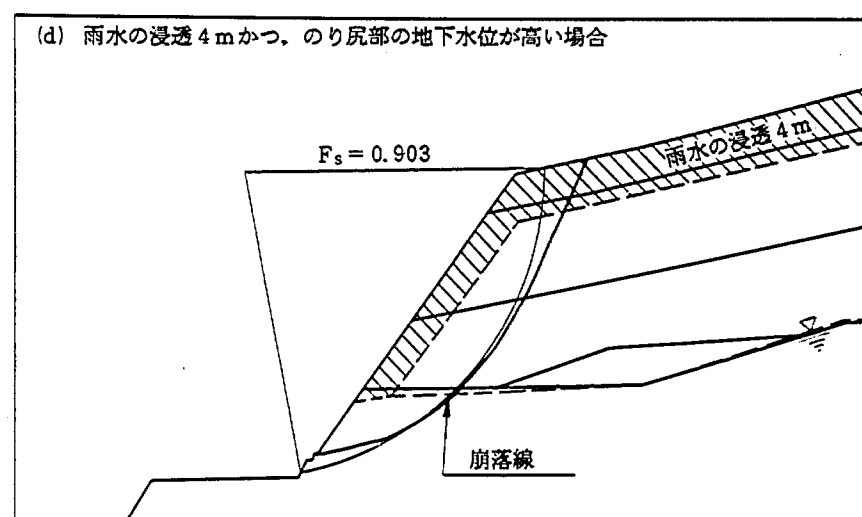
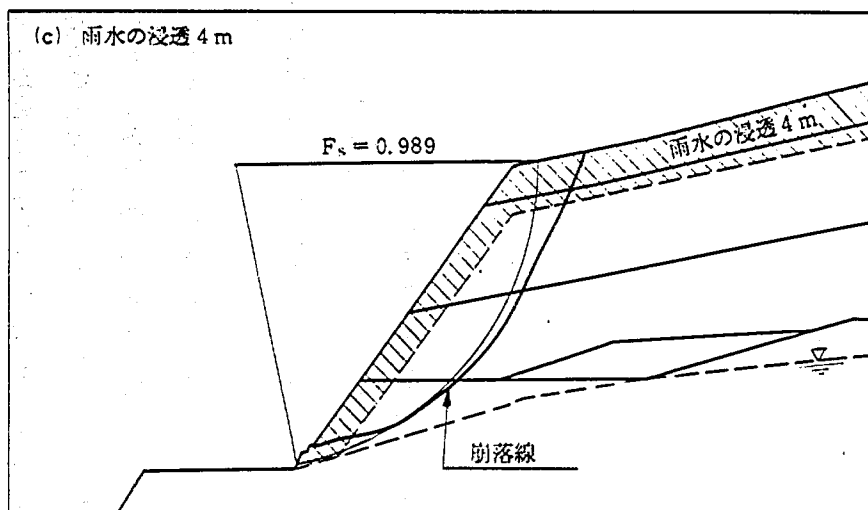
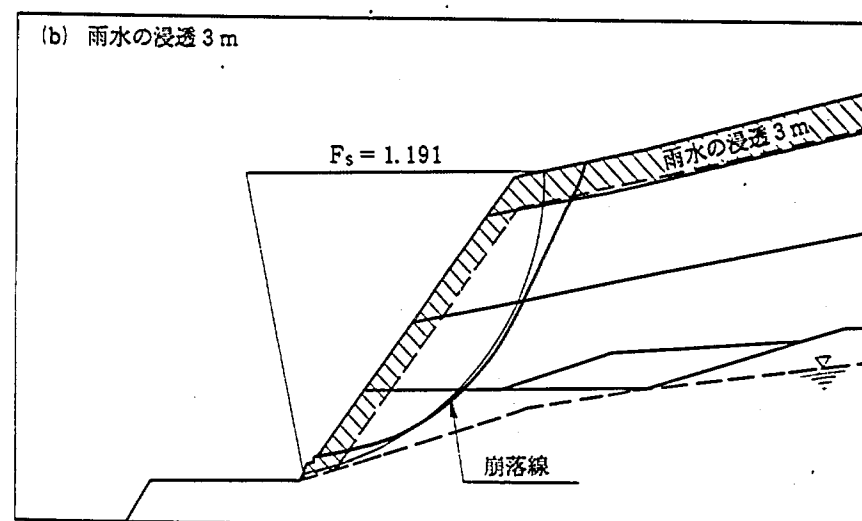
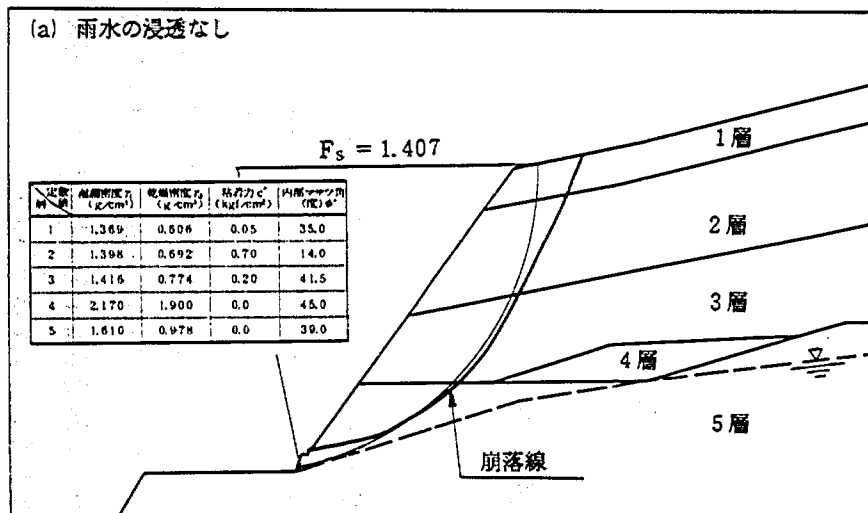


図-43 過去の崩壊箇所の安定検討結果

図より、雨水の浸透による地山の重量の増加と、のり尻部の地下水位の上昇により、切土のり面の安全率が大きく低下することが認められる。前述した連続雨量が約110mmの降雨の場合を例にとると、雨水の浸透深さが約3mに達しているので、最小安全率の値は、のり尻部の地下水位が低い場合で約1.2、地下水位が高い場合には1.0程度になる。また、図-44は、雨水の浸透深さと最小安全率の関係を整理しまとめたものである。図から、雨水の浸透深さが約4mに達し、のり尻部の地下水位がかなり上昇した場合には最小安全率の値が1.0を下回っていることが認められ、過去の崩壊は、かなりの降雨があり、雨水の浸透が4m程度に進んだ状況のもとで発生したものであると判断される。

このように、不攪乱試料を用いて求めた飽和時の強度定数 c' と ϕ' を計算に用いることによって浸水による地山の強度低下を考慮し、かつ雨水の浸透による地山の重量の増加ならびに地下水位の上昇などを正しく評価すれば、豪雨時における現地のり面の安全性の低下をかなりの的確に予想しうる事が今回の調査により明らかとなった。

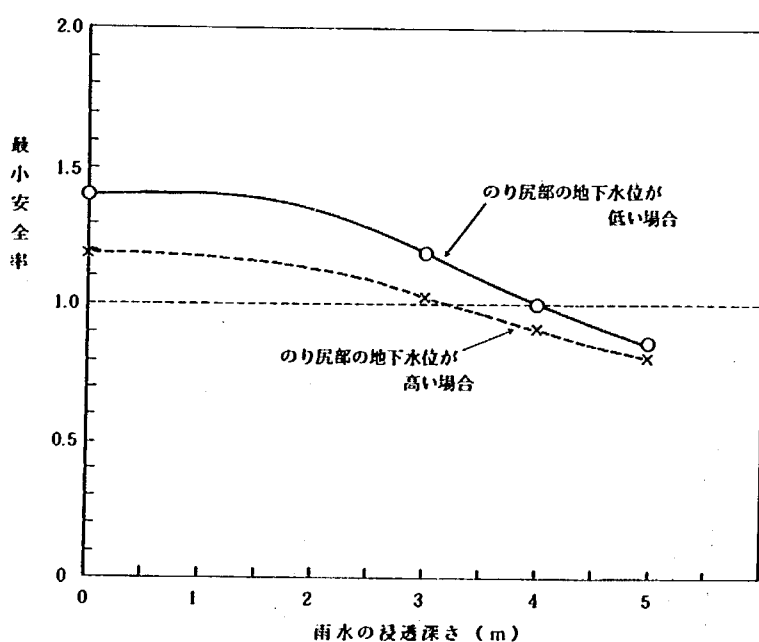


図-44 雨水の浸透深さと最小安全率の関係

3-4-2 将来の拡幅予定箇所の安定検討

図-45に、将来拡幅が予定されているb-b'断面における安定検討結果を示す。検討は、(a)雨水の浸透がない場合、(b)雨水の浸透深さが3mの場合、及び(c)雨水の浸透深さが5mの場合の3ケースについて実施した。

図より、前述した崩壊箇所の検討結果と同様、雨水の浸透による安全率の低下がかなり大きいことが認められるが、安全率の値は、雨水の浸透を考慮した場合でも1.3程度となっていることから、崩壊の危険性はあまり高くないといえる。ただし、小段の部分を薄く削るような表層滑落は十分に起こりうると考えられるので、適切なのり面保護工ならびにのり面排水工を計画しておく必要があるといえる。

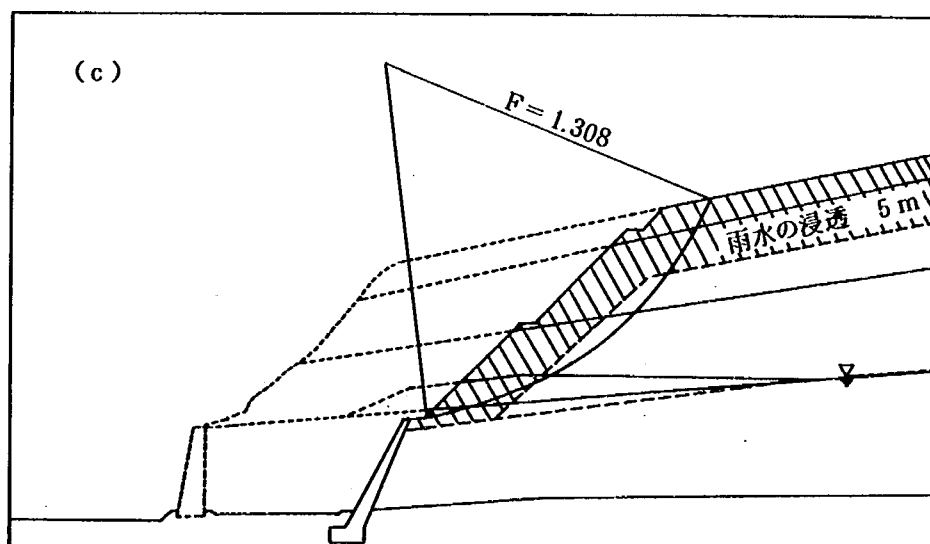
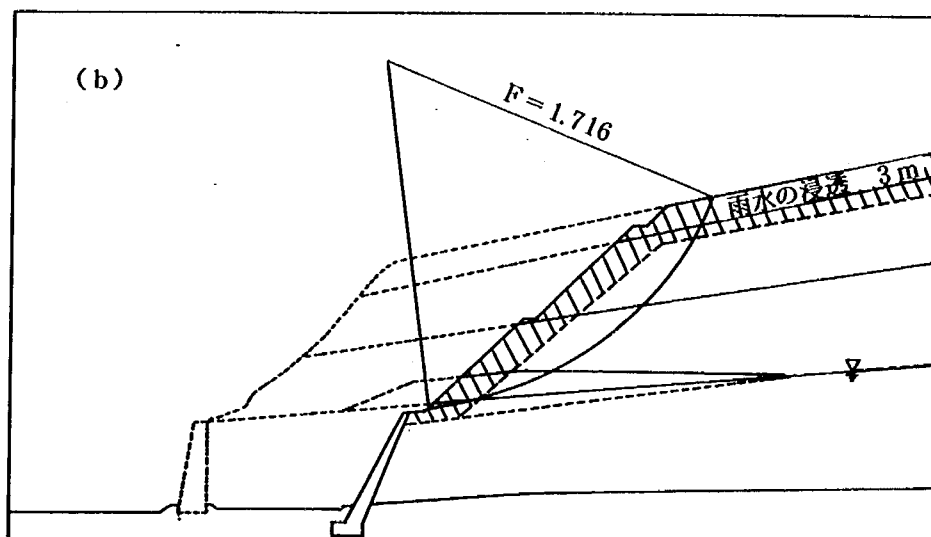
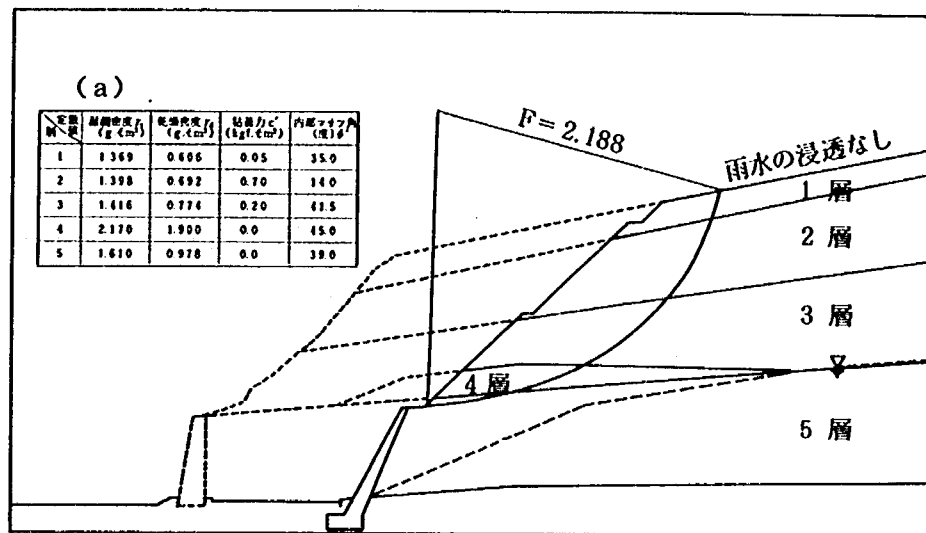


図-45 拡幅予定箇所の安定検討結果

4. まとめ

現地のり面の豪雨時の安定性あるいは「耐降雨性」を評価するための一つの試みとして、現地の切土のり面に諸計器を設置し、豪雨時におけるのり面内への降雨の浸透状況や地下水の挙動を調べる長期観測を実施した。

調査の結果、現地の土質条件、降雨量と雨水の浸透深さの関係、降雨量と地下水変動の関係ならびに地下水脈の位置などについて知見が得られた。また、これらの調査結果にもとづいて過去の崩壊箇所の安定検討を実施し、雨水の浸透による現地のり面の安全率の低下の度合を明らかにした。さらに、不攪乱試料を用いて求めた飽和時の強度定数 c' と ϕ' を計算に用いることによって浸水による地山の強度低下を考慮し、かつ雨水の浸透による地山の重量の増加ならびに地下水位の上昇などを正しく評価すれば、豪雨時における現地のり面の安全性の低下をかなりの的確に予想しうることを確認した。最後に、このような雨水の浸透を考慮した安定解析方法を用いて将来の拡幅予定箇所の安定検討を実施し、雨水の浸透による安全率の低下はかなり大きいながらも、崩壊の発生にまでは至らないであろうという結果を得た。

今後もいくつかの試験のり面において、のり面内への降雨の浸透とそれに伴う安定性の低下を調べるケーススタディを継続して実施していく予定である。

参 考 文 献

- 1) 建設省相武国道 (1979) 相模湖道路橋梁予備設計地質調査報告書 (株)東京建設コンサルタント
工事々務所
- 2) 建設省相武国道 (1980) 相模湖道路予備設計地質調査報告書 (株)東京建設コンサルタント
工事々務所
- 3) 町 田 洋 (1977) 火山灰は語る P 1 ~ P 311 蒼樹書房
- 4) 吉川, 杉村, 貝 (1973) 新編 日本地形論 P 1 ~ P 415 東大出版会
塚, 太田, 阪口
- 5) 貝 塚 爽 平 (1970) 日本第四紀学会
相模川河岸段丘巡検資料
- 6) 皆 川 紘 一 (1968) 相模川山間部のローム層と第四紀地史 I 第四紀研究
vol 7 No 3 P 101 ~ 108
- 7) 皆 川 紘 一 (1969) 相模川山間部のローム層と第四紀地史 II 第四紀研究
vol 8 No 1 P 1 ~ 9

久楽勝行, 三木博史, 関 一雄

キーワード 切土のり面, 降雨, 浸透, 安定

要 旨

本調査は, 切土のり面の耐降雨性を評価するための一つの試みとして, 実際の山岳道路沿いに試験のり面を選定し, のり面内への降雨の浸透現象を調べる計器観測ならびに土質調査を実施し, その結果にもとづいて豪雨時における現地のり面の安定性の低下について検討を加えたものである。

○

郵便はがき

40円切手
をはって
下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

土質研究室

御中

○

土木研究所資料第 1805 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印