

マイクロフィルム用資料

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3646号

コピーが揃いました  
製本版が来たので差し替え下さい

## 土木研究所資料

降雨浸透による表層崩壊を対象とした  
のり面の調査・モニタリング手法

平成11年3月

建設省土木研究所  
材料施行部土質研究室

# 降雨浸透による表層崩壊を対象とした のり面の調査・モニタリング手法

土質研究室 室 長 三 木 博 史  
研究員 藤 井 厚 企  
" 古 田 光 弘

## 要 旨

道路周辺の降雨による崩壊から道路交通を保護するため、各種斜面内部調査手法、モニタリング計器設置、解析手法の適用などにより、合理的な道路管理を行うための方法を報告書としてまとめたものである。

キーワード：道路のり面・斜面、表層崩壊、斜面内部調査手法、モニタリング手法、浸透流・安定解析

# 降雨浸透による表層崩壊を対象とした のり面の調査・モニタリング手法

## 目 次

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| <b>1. 概要</b>                           |     |
| 1.1 はじめに .....                         | 1   |
| 1.2 マニュアルの内容 .....                     | 1   |
| <b>2. 降雨浸透による表層崩壊のメカニズムと代表的な崩壊パターン</b> |     |
| 2.1 表層崩壊のメカニズムと特徴 .....                | 2   |
| 2.2 代表的な崩壊パターン .....                   | 2   |
| <b>3. 調査・モニタリング手法マニュアル</b>             |     |
| 3.1 斜面調査手法 .....                       | 4   |
| 3.1.1 既存資料の調査 .....                    | 4   |
| 3.1.2 現地調査 .....                       | 5   |
| 3.2 モニタリング手法 .....                     | 10  |
| <b>4. 浸透流・安定解析による安定度評価手法</b>           |     |
| 4.1 浸透流・安定解析の流れ .....                  | 15  |
| 4.2 浸透流解析 .....                        | 17  |
| 4.2.1 浸透流解析に必要な入力パラメータ .....           | 17  |
| 4.3 安定解析 .....                         | 21  |
| 4.4 最終診断 .....                         | 23  |
| 4.5 解析例 1 .....                        | 24  |
| 4.6 解析例 2 .....                        | 28  |
| <b>5. 現場調査事例</b>                       |     |
| 5.1 東北地建 .....                         | 33  |
| 5.1.1 山田町斜面 .....                      | 35  |
| 5.1.2 飯豊町斜面 .....                      | 40  |
| 5.2 関東地建 .....                         | 55  |
| 5.2.1 長野斜面 .....                       | 57  |
| 5.2.2 勝沼町斜面 .....                      | 61  |
| 5.3 中部地建 .....                         | 69  |
| 5.3.1 関ヶ原町斜面 .....                     | 71  |
| 5.4 北陸地建 .....                         | 79  |
| 5.4.1 能生町斜面 .....                      | 79  |
| 5.5 近畿地建 .....                         | 89  |
| 5.5.1 すさみ町斜面 .....                     | 89  |
| 5.6 中国地建 .....                         | 99  |
| 5.6.1 阿武町木与斜面 .....                    | 99  |
| 5.7 四国地建 .....                         | 109 |
| 5.7.1 安野々斜面 .....                      | 109 |
| 5.8 九州地建 .....                         | 123 |
| 5.8.1 四家斜面 .....                       | 123 |
| 5.9 調査事例のまとめと考察 .....                  | 130 |
| <b>6. まとめ</b> .....                    | 133 |

# 1. 概 要

## 1. 1 はじめに

我が国は、国土の7割が山地で急峻かつ土質・地質が悪く、しかも、梅雨や台風による豪雨など厳しい自然環境下にあると言える。このため、我が国は道路に隣接するのり面斜面について精力的に対策工事を行っているにもかかわらず、豪雨によるすべりや斜面崩壊などの被害が後を絶たないのが現状である。

そこで、豪雨によるのり面斜面の崩壊の危険性がある道路については、降雨による安定度を評価した上で事前通行規制などを実施して対応している。しかしながら、これらの安定度評価手法は、過去の災害履歴や地形、表層の地質、表面の変状といった外観上からの判断にすぎない。

そこで、本マニュアルは道路のり面斜面のより精度の高い安定度評価をするために、斜面内部も含めた調査方法や斜面内部モニタリング手法、さらには、浸透流解析や安定解析を用いた斜面安定度評価手法を提案するものである。

## 1. 2 マニュアルの内容

本マニュアルは、対象を降雨に起因する表層崩壊とし、崩壊現象を予測するための、斜面調査、モニタリング、解析的検討の各種手法についてまとめた内容となっている。

2. 浸透降雨による表層崩壊のメカニズムと代表的な崩壊パターンでは、降雨による斜面崩壊のパターン分類を、基本的な知識として紹介した。

3. 調査・モニタリング手法マニュアルでは、表層崩壊を対象とした斜面調査法について、現存する調査方法の中で特に有用な斜面調査手法や、モニタリング手法及び解析的検討に向けた調査試験方法を詳しく述べた。また、モニタリング手法についても、モニタリングの考え方や機器構成、さらには設置位置の決定法について述べた。

4. 浸透流・安定解析による安定度評価手法では、斜面を対象とした解析的検討(浸透流・安定解析手法)について紹介し、のり面の定量的な評価法の提案、それらの解析手法を用いた評価事例を述べた。

5. 現地調査事例では、各地方建設局の技術事務所が実施した検討事例を紹介し、実際の調査事例、モニタリング事例などを掲載した。

## 2. 降雨浸透による表層崩壊の メカニズムと代表的な崩壊パターン

### 2. 1 表層崩壊のメカニズムと特徴

ここで扱う表層崩壊は崩壊のメカニズムによって、表層滑落型、表層崩壊型および比較的深い崩壊型に分けられる。

#### (1) 表層滑落型

表土や強風化層で被われた比較的急勾配の斜面では、表土と強風化層もしくは強風化層と基盤を滑り面として表層滑落が生じやすい。このタイプの崩壊は、地表水もしくは浸透水によって発生するので集中豪雨時に多発することが多い。

#### (2) 表層崩落型

破壊の進んだ岩や割れ目の多い岩、あるいは局部的に風化が進んだ岩が露出した急勾配の斜面では、表層の崩落が生じやすい。また、硬質な玉石と軟弱な基質で構成されている斜面では、基質が侵食されて玉石が崩落することがある。以上のような崩落のうち、崩落物が岩塊で個数で把握できるような場合は、一般に落石として取り扱われる。

#### (3) 比較的深い崩壊型

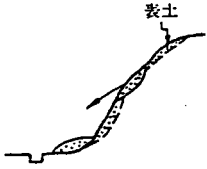
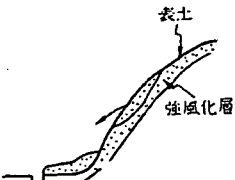
岩盤上の崖すい層などのような固結度や透水性が極度に異なる場合や砂層など全体が軟弱で固結度の低い地層からなる斜面は豪雨や融雪水などにより崩壊する場合がある。一部地滑りの的なものもあるが、これらの崩壊の多くは発生兆候がつかみにくく瞬時に起こるものも多い。崩壊規模も大きくなる。

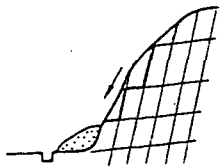
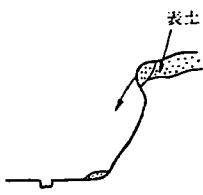
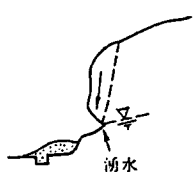
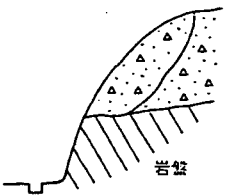
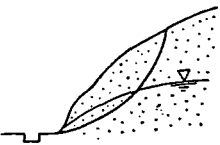
### 2. 2 代表的な崩落パターン

上記で分けた、これらの崩壊タイプを素因・誘因別に分類すると表 2.1 に示すようになる。これらの崩壊タイプに分けるのに必要な調査は3.1 斜面調査手法の項目を参照する。

モニタリングを行う場合は、これらの崩壊タイプを考慮して計測項目・計測位置について検討することとなる。これらについて詳しくは、3.2 モニタリング手法の項目を参照する。

表 2.1 崩壊パターン分類

| 解 説                                            | 模 式 図                                                                               | 代 表 地 層                | 備 考 |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----|
| <b>1. 表層滑落</b><br><b>a. 表土滑落型</b><br>①表土が滑落する。 |  | 特に地質との関連はない。           |     |
| <b>b. 強風化層崩落型</b><br>②強風化層内部に亀裂が発生し崩壊する。       |  | マサ土、凝灰岩、泥岩、風化した粘板岩、安山岩 |     |

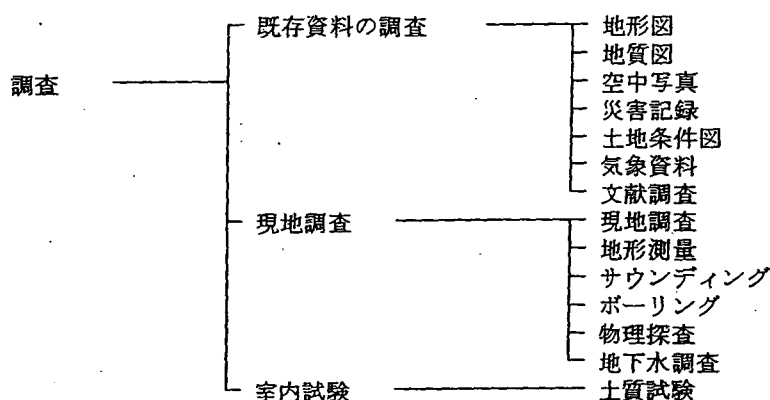
| 解 説                                                                                                      | 模 式 図                                                                               | 代 表 地 層                             | 備 考                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>2. 表層崩落型</b><br><b>c. 割れ目滑落タイプ</b><br>③ 割れ目の発達した岩からなる斜面の表層部が滑落する。                                     |    | 粘板岩、結晶片岩、蛇紋岩、一部の花こう岩、安山岩、チャート、石英はん岩 |                                               |
| <b>d. 急崖上部崩落タイプ</b><br>④ 急崖をなす斜面上部の表土が崩落する。                                                              |    | シラス、凝灰岩、段丘砂礫層                       |                                               |
| <b>e. オーバーハング崩落タイプ</b><br>⑤ 斜面内の湧水作用によりオーバーハング状を呈する部分が崩落する。                                              |   | 崩積土、火山碎屑物                           |                                               |
| <b>3. 比較的深い崩落型</b><br><b>f. 比較的深い表層崩壊タイプ</b><br>⑥ 固結度、透水性などの極度に違うもので斜面が構成される場合、雨水や地下水の浸透によって境界面に沿って崩壊する。 |  | 岩盤状に崖すい層、崩積土、砂礫、火山灰土などを厚く堆積している場合。  | 地下水の多い場合特にこの型の崩壊が多い。土質や地質条件により大規模な崩壊となる場合がある。 |
| ⑦ 全体に軟弱で固結度の低い地層からなる斜面で豪雨や融雪水などによる地下水位の上昇に伴い崩壊する。                                                        |  | 砂層<br>火山灰層<br>崩積土層<br>粘性土層<br>強風化岩層 |                                               |

### 3. 調査・モニタリング手法マニュアル

#### 3.1 斜面調査手法

本調査の目的は、表層崩壊の危険性、モニタリングの計画もしくは実施位置などをより具体的に把握するために行う。また、ここでは、ある程度危険度が把握できているモニタリング対象斜面に対する調査とする。

調査項目としては、下記の項目などがある。



##### 3.1.1 既存資料の調査

既存資料としては、地形図、地質図、空中写真、災害記録、土地条件図、気象資料、文献資料などがある。これらの資料からその地域の崩壊の特徴や危険度などを予測するのに有用な情報が得られる。これら資料についてとそれらの着眼点を下記に示す。

##### (1) 地形図・空中写真判読

対象斜面周辺の地形を地形図・空中写真を用いて判読を行い、地形分類や植生、地質の分類を行う。最初に谷頭凹地、遷急線、崩壊地などの微地形に区分し(図 3.1)、崩壊頂部の位置・形態、末端部を読みとる。遷急線が明瞭なほど、植生が乏しいほど、崩壊が著しいことを示す。特に崖錘地形、海食崖、崩壊跡地、河川の攻撃斜面、谷などの地形に注意する。また、斜面頂部の土地利用や水文にも注目すること。

概査の段階では国土地理院発行の2万5千分の1地形図を利用し、対象斜面での現地観察・計測にはそれよりも小縮尺(1万分の1～1千分の1)の地形図を利用するなど、調査段階に応じて縮尺を小さくしたほうがよい。空中写真(4万～5千分の1)はモノクロよりもカラーの方が、植生・地質などの区分が行いやすい。また、都市域では宅地造成が進んでいるため、自然地形を読みとるには米軍撮影の写真を用いるとよい。

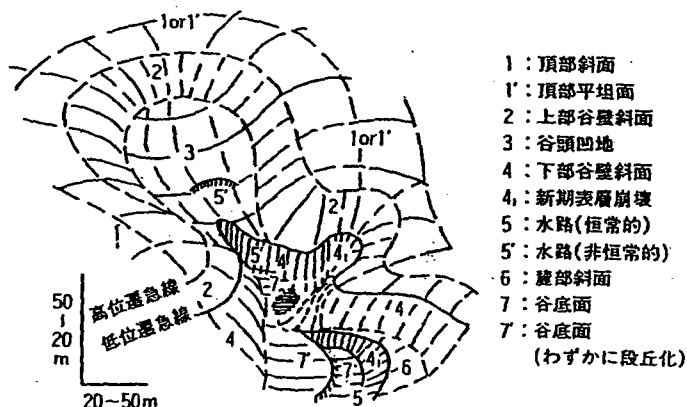


図 3.1 丘陵谷頭部を構成する微地形単位 (田村、1933)

## (2) 災害記録

崩壊などの災害記録としては、建設省（工事事務所）、農林省（治山事務所）、J R（工事局）、道路公団（建設局および管理局）、都道府県（土木部、林総部および農地管理課）、気象庁、日本気象協会や工事記録などから現場近くの災害資料を収集する。崩壊は地形、地質、気象と関連があるので、地形および地質の相似した箇所ではほぼ同じ型の崩壊が起こりやすいため、これらの資料を調べることで、この現場に起こりうる崩壊の特徴を把握することができる。

## (3) 地質図

地形は地質に規制されることが多いので、表層崩壊は同じ地質・土質で繰り返して発生することが多い。各地域での崩壊形態の特徴を把握することが重要で、地質背景を明らかにしておく。地質図については、工業技術院地質調査所発行の地質図幅（5万分の1）、国土庁発行の土地利用図などがある。

### 3.1.2 現地調査

現地調査としては、現地踏査、サウンディング調査、物理探査、ボーリング調査、サンプリング調査、地下水や湧水状況調査、植生調査などがある。

#### (1) 現地踏査

地形、地質、土質、湧水、植生、土地利用および崩壊などの災害状況を調査する。調査ポイントを下記に挙げる。

##### 1) 地形の調査

調査項目は勾配、斜面長さや幅、傾斜変換線、斜面形状、斜面崩壊に結びつく微地形、変状、崩壊土砂の形態、既設の対策工の有無などとする。

調査時には崩壊形態を仮定し、崩壊の規模を予測する。崩壊長さ、崩壊幅、崩壊深度を想定する（図 3.2）。一般に目視と地形図から計測されることが多い。また、斜面の地質、変状、形状から崩壊の形態をある程度予測することが必要である。

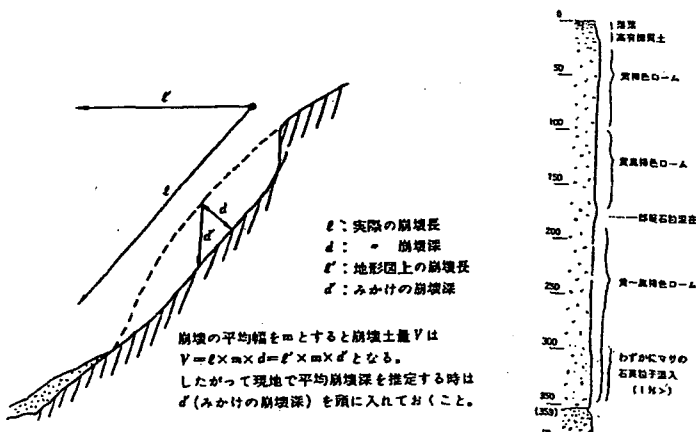


図 3.2 崩壊範囲の見積もり

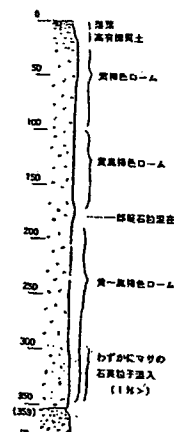


図 3.3 柱状図

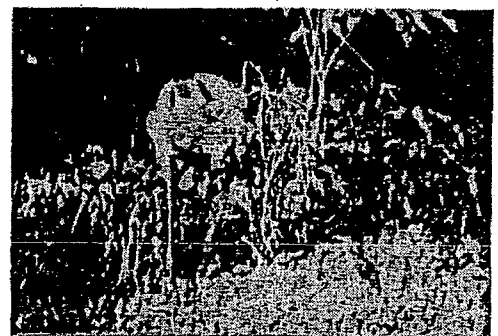


写真 3.1 表土層の観測と計測

#### 2) 地質・土質状況の調査

調査項目は、土質、地質構造、風化状況とする。土質に関しては、土質の種類、分布状況（残積風化物か崖すい堆積物など）と厚さ、礫とマトリックスやそれらの関係（粒度や比率）、含水状況などを調査する。地質構造として地質的不連続面、火成岩の貫入形態、断層および破碎帯、変成帯などを調査する。また、風化状況として岩盤のゆるみ、風化変質状況、斜面上の浮石、転石状況などについて調査するものとする。

調査時には、斜面の断面を観察し、地質・土質柱状図、平面分布図を作成し（図 3.3）、



定値は見かけ上おおきくなるので、可探深度は 5m 程度である。時折、試験中に突然リバウンド（ノッキングヘッドでウエイトが跳ね返る）を起こし  $N_c$  値が急増することがある。この原因として、先端コーンが基盤岩に到達したか、もしくは礫や玉石に接触していることなどが考えられる。礫や玉石に接触していると考えられる場合は、試験を再度行う。礫や玉石に接触している場合は、再度打撃することで礫をそらしたり割ることがあり、試験を継続させることができる。

調査事例として、調査位置、調査結果、結果の解釈例を示す。この場合、基盤岩の位置を  $N_c=50$ （図 3.6）とした。

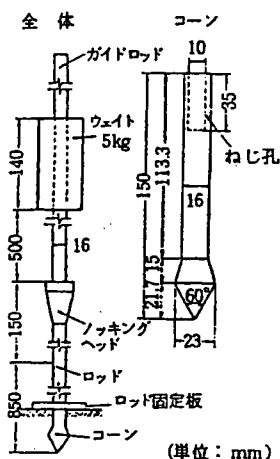


図 3.5 土研式簡易貫入試験器

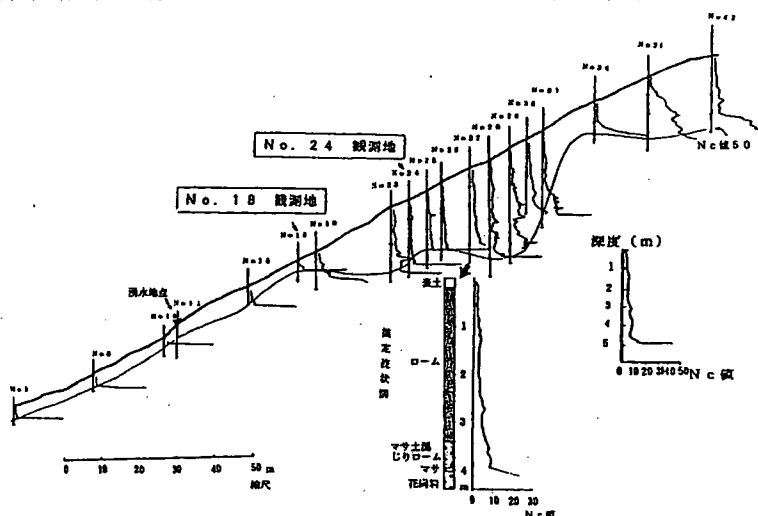


図 3.6 筑波山での貫入試験

## 2) 検土杖

長さ 1.5m の棒を使用する。これを体重で斜面に押し込み回転させ、ある程度攪乱されるが、現地地質観察やボーリングで得た土質柱状図を参考に、地質解釈することで、非常に簡便に表土の分布状況を調べることができる。

## 3) ポータブルコーン貫入試験

先端の尖ったロッドを 1cm/s で地面に押し込み、貫入抵抗を測定する。10cm ごとに計測する。深い位置ではロッド周辺での摩擦抵抗の影響で過大に評価されるので、可探深度は 3m 程度である。単管式よりも 2 重管式の方が、摩擦抵抗を受けない。

### (3) ボーリング

#### 1) コアボーリング

地質調査する上で、もっともオーソドックスな方法である。深度は数 m 程度でよい。基盤岩の堅岩部分まで掘削することが望ましい。ただし、表層物質は表土や風化した岩石から構成されるので、大口径で掘削したとしても試料を攪乱しオールコアで採取するのは難しい。それゆえ、採取された試料は力学試験を除いた土質試験に利用することが望ましい。

ボーリングはコストが高い割に、表層物質の採取効率が悪い。その反面、掘削された孔にケーシングを挿入しパイプ傾斜計を設置による観測、地下水位の観測、各種原位置試験に利用できる利点もある。しかし、削孔位置の選定時点で、モニタリング位置をも決定してしまうので、選定には慎重を要する。そのため、斜面全体の表土分布を計測してから、ボーリングを行うことが望ましい。

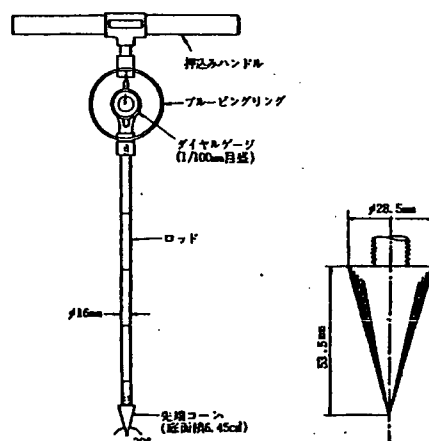


図 3.7 ポータブルコーン貫入試験器

## 2) ハンドオーガーボーリング

ドリル状の軸をねじり込むなどして試料を採取する手軽な調査手法である。しかし、試料は攪乱されるため、力学試験や密度試験には利用できない。また、深度も数mが限界で、かたい地盤は掘削できない。土質の種類が変化状況、さらに地下水位の発生の有無を観測しながら調査をすすめる。

## (4) 物理探査

物理探査手法としては、電磁波反射法、比抵抗探査法、弾性波探査などが一般的であるが、弾性波探査手法は表層崩壊などの浅い深度範囲を調査対象とする場合探査が困難であるためあまり向かない。

### 1) 電磁波反射法

300～500MHz帯域を、地中へ送信し、地層境界で反射した電磁波を受信する(図 3.8)。受信された電磁波の反射強度、反射面の連続性、反射面の深度や形態、反射面の位相、反射波の集まりなどを整理し、地質を解釈する(図 3.9)。整理する際には、反射と地質データを対比する。地質データとしては、ボーリングによる層相の記載、標準貫入試験、地下水位、各種土質・土質試験などがある。誘電率は、含水比や粘土の含有率と相関があるので、各地層により異なる。そのため、土質試験での含水率・誘電率は、地層の誘電率や、深度を測定するのに役立つ。

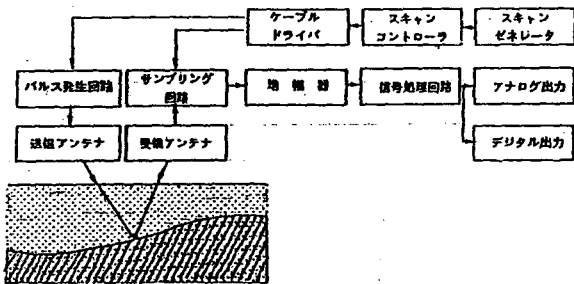


図 3.8 電磁波反射法計測システム

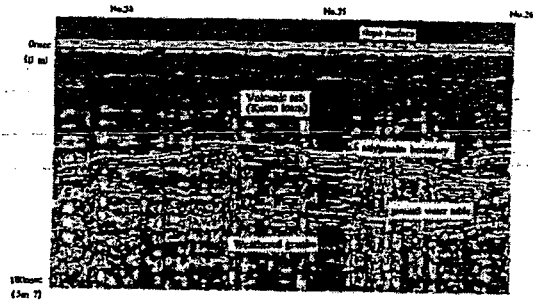


図 3.9 筑波山での電磁波反射波の解釈

## 2) 比抵抗探査法

電気探査の一種である。地面へ直流電流を流し、地面に突き刺した電極で電位を計測し、二次元解析することで地下の比抵抗分布がわかる(図 3.10)。比抵抗値は、地層に含まれる鉱物の種類、間隙率、含水比、水の比抵抗などに左右される。降雨後は、できるだけ地層の水分量が一樣な時期に計測することが望ましい。

探査の仕様は、目的に応じて使い分けが必要である。表層崩壊の場合には深度 20m 以浅を対象とすればよいので、電極間隔は 1m が望ましい。電極の配置には、二極法、ダイポール・ダイポール法、ウェンナ法などがある(図 3.11)。そのうち、遠電極を必要としない作業性や、深度方向の再現性などの面から、ダイポール・ダイポール法を推奨する。

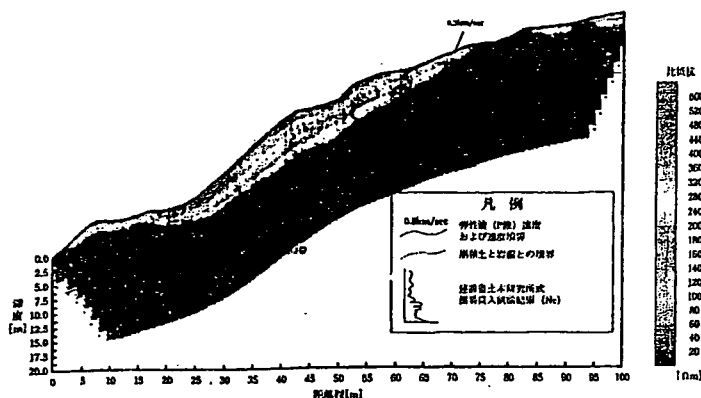


図 3.10 斜面の比抵抗分布

### (5) サンプル調査

表土層の土質の物性をより詳細に把握するためや解析に必要なパラメーターを得るためにサンプリングを行う。サンプリング試料は大きく分けると不攪乱と攪乱試料に分けられる。不攪乱試料を得る場合はブロックサンプリングやコアサンプリングとなり、攪乱試料であればオーガーボーリングや掘削によるサンプリングとなる。サンプリング試料量や方法については、この後行う土質試験を考慮して決める必要がある。また、サンプリング箇所の土質データが代表となるので、深度や位置など十分検討したうえで行う。

### (6) 土質試験

対象斜面の土質性状を知るための試験としては、下記に示した試験項目が考えられる。

- ①含水比試験
- ②粒度試験
- ③土粒子の比重試験
- ④液性限界
- ⑤塑性限界
- ⑥透水試験
- ⑦単位体積重量試験
- ⑧PF試験
- ⑨締固め試験
- ⑩三軸圧縮試験
- ⑪一面せん断試験
- ⑫一軸圧縮試験

特に、モニタリング箇所の土質性状の把握や解析的検討する場合のパラメーターの設定する際には、非常に重要となる。このため、含水比試験、粒度試験、土粒子の比重試験、単位体積重量試験といった基本的な土の物理試験や、透水試験、PF試験、力学試験などは重要な試験項目となる。以下、表層崩壊を検討対象とした際に注意を要する土質試験項目について下記で述べる。

#### 1) 強度試験

ここでは、安定解析などに用いる強度定数( $c, \phi$ )を得る目的から、一面せん断試験や三軸圧縮試験を対象に述べる。試験方法や試験条件によってかなり異なるので注意を要する。表層崩壊の再現性を高めるため、低拘束圧下の定体積法一面せん断試験をおこなうことが望ましい。実際のすべり面は瞬間的に形成されるので、圧密非排水条件でおこなうものとする。低拘束圧下で試験をおこなうのは、表層崩壊のすべり面は深さ1m付近、深くても5mといわれている。つまり、すべり面の深さを1mと仮定すると、その深度での拘束圧は、

$$2.0\text{g/cm}^3 \times 100\text{cm} = 200\text{g/cm}^2 = 0.2\text{kg/cm}^2$$

となる。ことから、実現象は非常に低拘束圧下であることがわかる。低拘束圧下の $c, \phi$ は、拘束圧下のように線形関係にない場合が多いことから、 $1.0\text{kgf/cm}^2$ 以下の低拘束圧で試験を複数実施することが望ましい。また、含水比によっても $c, \phi$ が異なることから飽和時のみならず、不飽和時の試験も行うことが望ましい。

せん断速度は、透水係数を考慮し粘土で $0.10\text{mm/min}$ 、砂で $0.25\text{mm/min}$ 程度でよい。

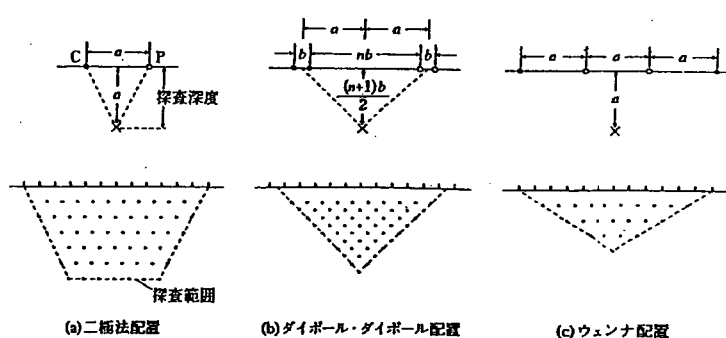


図 3.11 電極配置と計測範囲

## 2) pF試験

サクション(水分を吸引しようとする力)と体積含水率(含水比)との関係を求める試験で、この試験結果を基に浸透流解析に必要な水分特性曲線を得ることができる。

測定は、サクション値の低い範囲(pF 値が 0.0 ~ 2.0 程度の範囲)は密に行い、pF3.0 程度まで試験をおこなうこととする。

## 3) 透水試験

原則として室内で透水試験を行い、斜面の垂直方向(深度方向)の透水係数を求める。原位置で透水試験を行う場合には、現実の降雨浸透に近い状態の透水試験が望ましい。その一つの方法として表層から 10 ~ 20cm 程度まで管( $\phi=30\text{cm}$  程度)を貫入させ、それに水を注ぎながら水位を一定に保ち透水量を測定する方法がある。それに対して、ボーリング孔での透水試験は水平方向の透水係数を計測するため、あまり効果的でない。また、浅層での浸透を考慮していることから、3m 以深での透水係数は、基本的に不要である。

## 3. 2 モニタリング手法

### (1) 目的と対象

ここで言うモニタリングとは、道路のり面斜面の表面もしくは内部に傾斜計や土壌水分計などのセンサー機器を設置し、動態観測することを指す。モニタリングは、亀裂・変状などの明確かつ局所的な観測や、3.1 斜面調査手法で述べた調査だけでは安定度を判断するのに不十分な場合、さらには、浸透流解析などの解析的検討する際の再現性の検証や解析パラメーターを得るなどの目的で行う。これらは、目的や対象斜面によってかなり異なるシステム構成となる。

これまで、実現場を対象にモニタリングを実施してきたが、モニタリング現場で崩壊事例がないため、ここでは、モニタリング観測結果のみの安定度評価は行わないこととする。

以下に、表層崩壊を対象としたモニタリング手法として機器の構成、センサーの種類、設置方法、設置位置の考え方などについて述べる。

### (2) モニタリング機器の構成

各種センサー、データ回収装置(データロガー)、電源、防水箱(防護箱)および場合によってはデータ転送装置からなる。データ転送装置がない場合は定期的なデータ回収が必要となる。

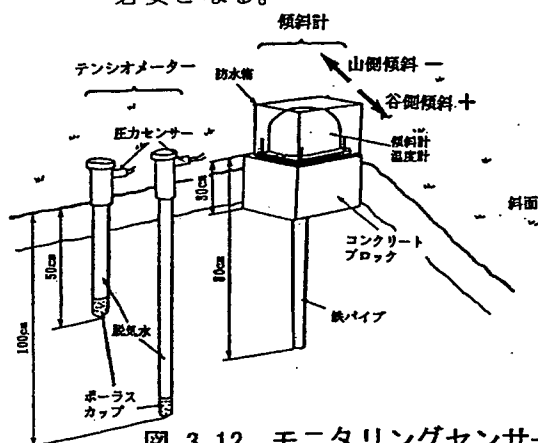


図 3.12 モニタリングセンサー配置例



写真 3.2 モニタリング実施状況

表層崩壊を対象とした場合、降雨の浸透による斜面内部の飽和状態の変化やそれに伴う微少な変動をとらえることが重要となる。よって、浸透現象を把握するために土壌水分計(不飽和箇所)や間隙水圧計(地下水位以下)を用い微少な変動をとらえるために高精度な傾斜計を用いたものを基本システムと考える。

### (3) 代表的なモニタリング機器

#### 1) 土壌水分計（テンシオメーター）

不飽和土の含水状況を測定するもので、土中水の表面張力で発生する負の水圧（サクション）を計測する。岩石には適用できない。

機器によっては、正圧まで測定できるものもあり、この場合、簡易な間隙水圧計となりうる。原理としては、陶器製のポーラスカップと呼ばれる箇所の中に脱気水が密閉されており、不飽和土がその奪気水を引く力（サクション）を圧力センサーで計るものである。この圧力を水頭換算の  $\text{cmH}_2\text{O}$  で示すか、それを自然対数で示した  $\text{pF}$  値で表示する。土は乾燥状態になればなるほど、サクションは強くなる。これらサクションの現れ方は土質に依存するもので、測定対象土の含水量を知るためには、あらかじめ  $\text{pF}$  試験を行い、サクションと含水率との関係を調べておく必要がある。

通常の測定間隔は、対象斜面の透水係数を考慮して15分～1時間の範囲で設定することとし、降雨浸透による飽和度の変化を追跡できるようにすることが重要である。

この計測機器はメンテナンスが重要で乾燥の激しい斜面に計器を設置した場合、1～2週間程度で計器内の脱気水がなくなることもあり、計測不可能になるケースがあるので注意を要する。

測定範囲： -900（正圧を計れるタイプ） or 0（通常タイプ）～1000 $\text{cmH}_2\text{O}$  ( $\text{pF}=3$ )  
 計測温度： 0～80℃  
 分解能： 10～20 $\text{cmH}_2\text{O}$

#### 2) 間隙水圧計（水位計）

一般に地下水位以下の土の飽和部分に設置し、土の間隙水圧を測定することで、地下水位の変化などを計測するものでボーリング孔などを利用して設置する。

土中水で飽和された水はフィルター部を通った水が圧力センサーに水圧として働き、これを測定する。なお、土壌水分計の機種選定の際に正圧まで計測可能なものを選定しておく、間隙水圧計の代用にもなるが、土壌水分計での正圧計測は若干遅れ気味の反応を示すことが多いため、精密な水圧データが要求される場合には別途、間隙水圧計を設置したほうがよい。

間隙水圧計の機種選定の際には、対象が浅層崩壊であることから、計測範囲よりも、計測精度のほうを優先して選定したほうがよい。設置に際しては、ボーリング孔などを利用して設置をおこなえばよい。計測についての注意は、土壌水分計と同じく、比較的短スパンで計測をおこない、浸透の過程を緻密に追跡できるようにすることがあるが、それほどメンテナンスを必要としない点は利点である。ただし、設置時や乾湿が繰り返される箇所については圧力板付近に空気が溜まりやすいので注意を要する。

測定容量： 2～20  $\text{kgf/cm}^2$  (max)  
 測定温度： 0～60℃  
 測定分解能： 0.004～0.08  $\text{kgf/cm}^2$

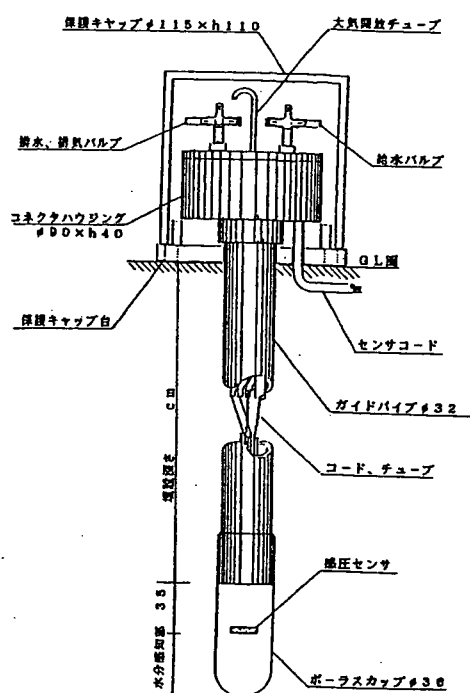


図 3.13 土壌水分計測器

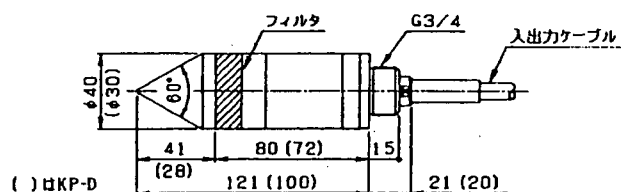


図 3.14 間隙水圧計

### 3) 傾斜計

傾斜計とは、地表や地中の微妙な傾斜変化を計測し変形・変位を捕らえるものである。地表設置型、多段式埋設型、挿入型などのタイプがある。一般的に地表設置型に精度が良いものが多いが、ブロックや鉄パイプなどで固定する必要がある。(図 3.15)。多段式や挿入式ボーリング孔などに設置もしくは挿入する。多段式は各設置深度ごとの傾斜が測定できる。また、挿入型は連続した傾斜変動が測定できるといった特徴がある。測定方向は1方向の1軸タイプのものや2方向の2軸タイプのものがある。2軸タイプの場合は、高価になるが面的な方向が把握できる。

測定範囲： $\pm 0.5 \sim 1^\circ$  (地表設置型、高精度)  
 $\pm 5 \sim 10^\circ$  (多段式、挿入型)  
 分解能： $10^{-3} \sim 10^{-4}$  (地表設置型、高精度)  
 $10^{-2}$  程度 (多段式、挿入型)  
 測定温度： $-20 \sim 60^\circ\text{C}$

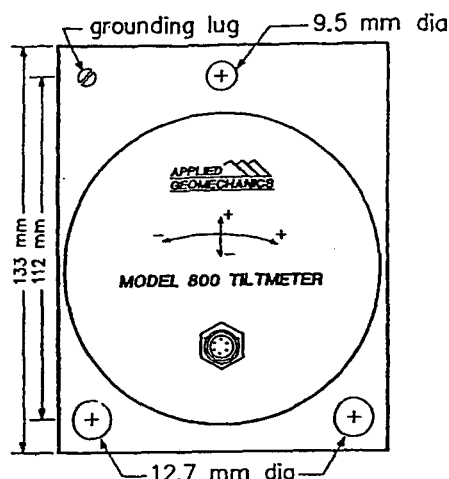


図 3.15 傾斜計センサー部（設置型）

### 4) 伸縮計

固定杭（計測側）と移動杭の間をインバー線と呼ばれるものを張り、地表が変動すればそれに応じてインバー線が伸び縮みする。設置概略図を図 3.16に示す。

これらの量を測定することで地表の動き、変位量を測定するものである。明確な亀裂がある岩や土塊などで移動方向などが明確かつ比較的大きな動きをする場合には特に有効であるが、表層崩壊を対象とした微小な動きまでは対応が難しいと思われる。

測定範囲：200mm  
 測定分解能：1mm 程度  
 測定温度： $-20 \sim 60^\circ\text{C}$

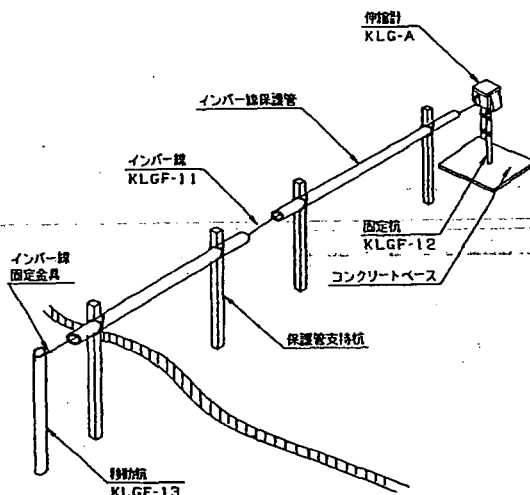


図 3.16 伸縮計配置概念図

### 5) 温度計

様々なタイプがあるが一般的に安価である。温度を測定することで、モニタリング現場の気象状況が把握できる。温度を測定することで他のセンサーが温度による影響を受けた場合(日変化)やセンサーの故障原因を明らかにする手がかりを得ることができる。

## 6) 雨量計

対象現場の降雨量を量るために設置する。通常、口径 20cm、1 転倒 0.5mm の転倒ます型雨量計が用いられる。雨量計の概略図を図 3.17 に示す。受水器で受けた降雨は転倒ますへ滴下され、転倒ますの転倒をパルス変換して回数を記録する。寒冷地用にはヒーターを組み込んだものもある。

設置の際は、風邪の影響や上空の障害物の影響を避け、なるべく地表付近に設置する。周りの樹高の 1 ～ 2 倍程度の半径の平地に設置を目安とする。設置の際は動かないようにコンクリートブロック等で備え付ける。

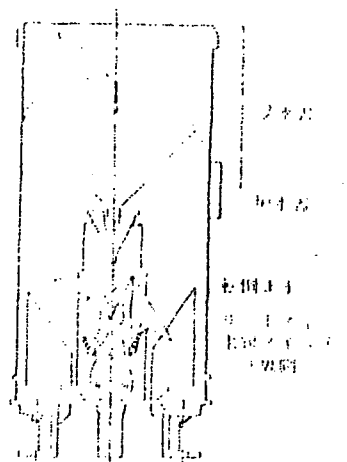


図 3.17 雨量計の構造図

## 7) データ回収装置（データロガー）

各種センサーをデータ回収装置につなげ、設定したインターバルで自動的にデータ回収を行う。電話回線などで転送する装置があればデータ回収などでリアルタイムのデータが得られる。しかし、これらは高価なシステムとなるため、リアルタイムに判断する必要のない箇所や安価に計測する場合は、回収したデータはメモ리카ードなど記憶装置部分に記録される。

## 8) 電源

山間部の自然斜面では、なかなか AC 電源が確保されにくい。また、モニタリング機器も DC 電源対応のものが多いため、それらに応じた変電、変圧が必要となる。DC 電源としては、カーバッテリーなどを用いて 1 ～ 2 ヶ月の測定を可能にしている例がある。

## 9) 防護用品

雨滴、衝撃や野生動物などから守るために、センサー、データロガー、コードに対して保護するものである。防護箱やフレキシブルパイプなどである。

### (4) モニタリング機器の配置

地質・土質調査結果から、対象斜面の崩壊モデルを予想する（2.2 代表的な崩壊パターン参照）。斜面の崩壊モデルを明確にしてから、設置する計測機器や設置位置・深度などを選定する。

基本構成は、土壌水分計と傾斜計を設置するものとする。以下の条件を満たす位置は、透水性が高いことや、侵食を受けやすいことなどが原因で、基盤岩にまで水が浸透しやすく不安定になりやすい。そのような位置では最初に崩壊の変状が（予兆）があらわれる、と予想される。特に、斜面末端部分、表土厚の変化するところは背後に不安定な土塊をかかえているため、崩壊が発生した場合、崩壊の規模が大きくなる。

また、計測機器はできるだけ一地点に多深度に設置することが望ましい。多地点、多深度に設置するほど、水の移動過程が明白になる。

- A) 弱層（透水性の高い地層、断層など）
- B) 不透水層の上部
- C) 表土層が薄い
- D) 斜面最上部
- E) 表土厚（基盤岩の深度）が変化している
- F) 地形の傾斜が変化している（遷急線）
- G) 末端部
- H) 土砂斜面の湿潤・湧水箇所

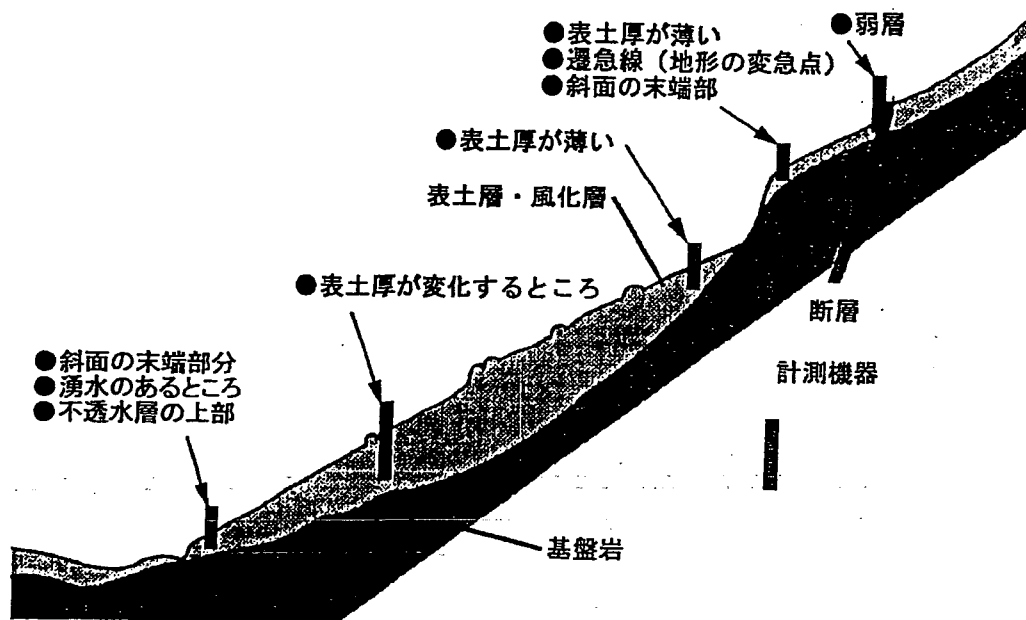


図 3.18 モニタリング計器配置箇所

## 4. 浸透流・安定解析による安定度評価手法

本章では、浸透流及び安定解析手法を用いた、のり面・斜面の定量的な安定度評価手法について述べる。

のり面・斜面の安定度の低下は、おもに雨水の浸透によって起こる現象であるため、安定度評価の際には雨水の浸透挙動を解明(解析)することが必要である。しかし、扱う対象が非常に巨大で未知の部分が多いこと、対象とする土質の均質性が非常に低いこと、植生など土質物理の領域外の物質が結果に大きな影響を及ぼすことなどから、解析に当たっては、かなり思い切ったモデル化を行なわなければならない。

以下に述べるような安定度評価の試みは始められたばかりであり、結果の精度検証が行われた事例はほとんどないため、得られた評価結果は慎重に取り扱う必要がある。

### 4. 1 浸透流・安定解析の流れ

浸透流・安定解析によるのり面・斜面の安定度評価の流れを図4.1に示す。

基本的に以下の3段階の手順を踏んで安定度評価を行う。

#### ①現地で起こる現象の再現

測量および原位置試験などの現地調査結果、持ち帰った試料を用いた室内土質試験結果、経時的に計測された土壌水分の推移などのモニタリング結果などをもとに、解析パラメータを決定し、浸透流解析を行う。目的は、現地斜面の浸透現象を再現できる解析モデルの構築である。つまり、現地と同様の降雨状況(雨量計データ)をモデルに与えたときに、現地と同様の浸透状況(土壌水分計データ)が発生するような、解析モデルを構築する。

#### ②現地斜面の安定度の評価

測量および原位置試験などの現地調査結果、持ち帰った試料を用いた室内土質試験結果などをもとに、解析パラメータを決定し、安定解析(円弧すべり解析)を行う。降雨の浸透により、斜面表土(風化土)の飽和度が上昇し、土の重量の増加、粘着力、内部摩擦角の低下が起こることで、飽和度がいくらになると崩壊が発生するかを求めるために実施する。この解析では、飽和度の上昇による安定度の低下を求めることが目的であるため、単純なモデルを用いて、飽和度、崩壊深度をいく通りにも変化させて解析を行う。

#### ③崩壊の危険性のある降雨の評価

①のモデルに仮定の降雨を与え、②の崩壊条件に適合するか否かを評価する。与える仮定の降雨は、雨量強度1~50mm程度の連続雨量、前期降雨を設定した梅雨の再現、任意の計測雨量データなどを用いる。ここでは、崩壊発生危険性がある降雨量は累積雨量でいくらか、前期降雨がどれほど崩壊の発生に影響を与えるかなどについて評価することができる。

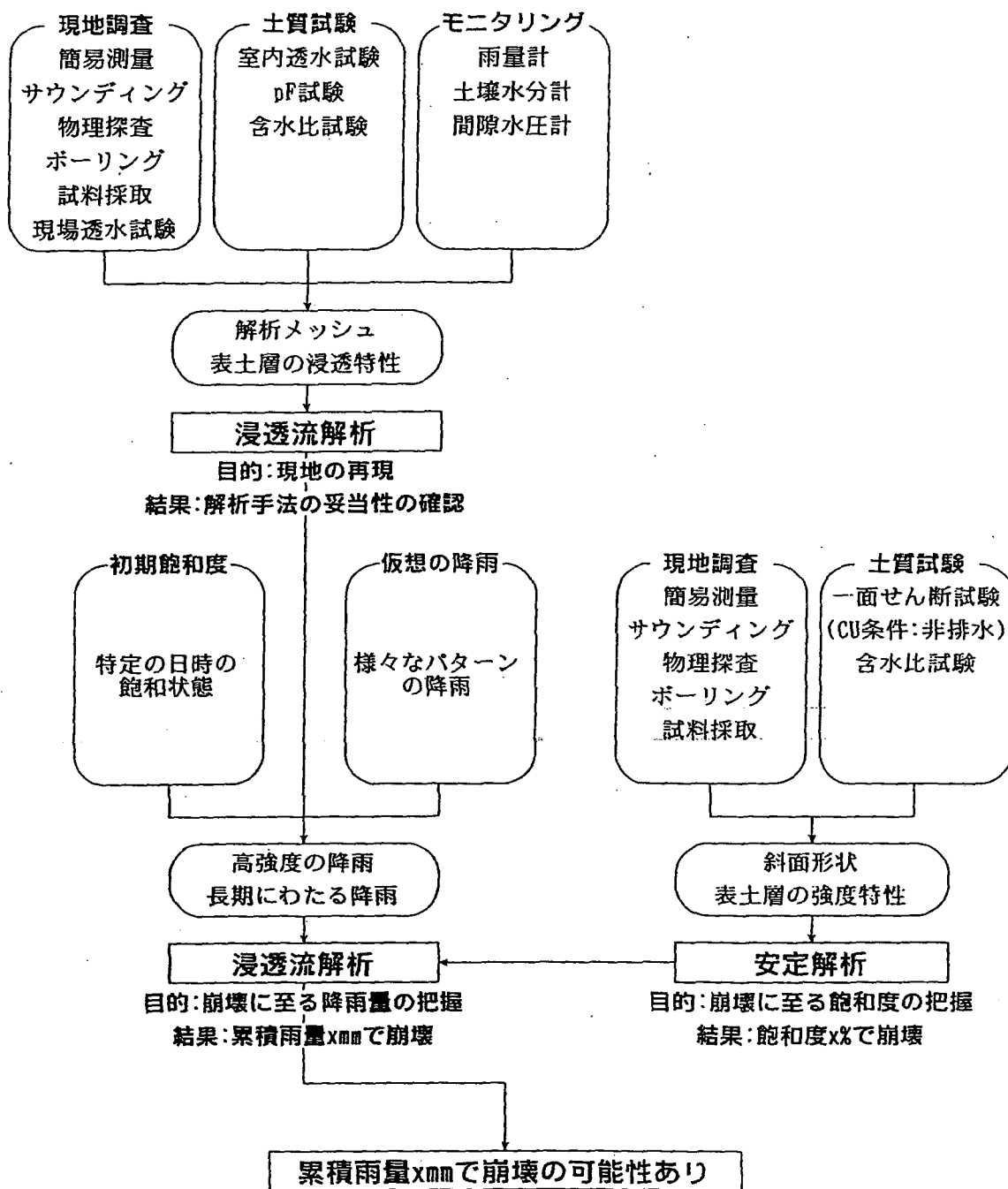


図 4.1 浸透流・安定解析によるのり面・斜面の安定度評価の流れ

## 4. 2 浸透流解析

浸透流解析は、降雨によりのり面・斜面にどのような浸透現象が発生するか推測する目的で実施する。

基本的に、現地調査、土質試験、モニタリングの実施などにより得られた、斜面形状、風化層厚、透水係数、初期飽和度、水分特性曲線、比透水係数、降雨状況などを解析プログラムに入力し、地盤内の各ポイントの水分量の増減を求める。ここでの解析の目的は、現地の状況を再現する解析モデルの構築であるため、解析結果はモニタリング結果と照合し、現地の状況が十分に再現できているかを確認することが重要である。

### 4.2.1 浸透流解析に必要な入力パラメータ

#### 1) 斜面形状、風化層厚

現地調査で実施した簡易測量結果およびサウンディング結果などをもとに入力する。

斜面形状は、表面的な斜面の起伏形状のことで、簡易測量結果をもとに図面化する。簡易測量は、クリノメータ、メジャーなどを用いて行う簡易的な測量のことで、 $\bigcirc\bigcirc$ 度の角度の斜面が $\bigcirc\bigcirc$ m連続するという測定を繰り返して、測線の勾配、起伏を測量するものである。

風化層厚は、斜面に堆積した風化土の厚さのことで、各種サウンディング、物理探査結果をもとに図面化する。基本的に風化層厚は、土研式簡易貫入試験結果を中心に、検土杖、各種物理探査手法(高密度電気探査手法、電磁波反射法)を併用して求める。

上記のように図面化された斜面形状、風化層厚図は、浸透流解析プログラムに解析メッシュとして入力される(図4.2)。通常、のり面・斜面の浸透流解析は、解析の対象が大きいこと、鉛直方向への浸透状況を非常に密に得る必要があることから、解析メッシュが細くなり、要素数が膨大になりがちである。そのため、解析メッシュは計算時間との兼ね合いから、解析精度が必要とされる表層のメッシュを細かく、それほど解析精度を必要としない深層部のメッシュを粗く切り、効率良く計算させることが重要である。

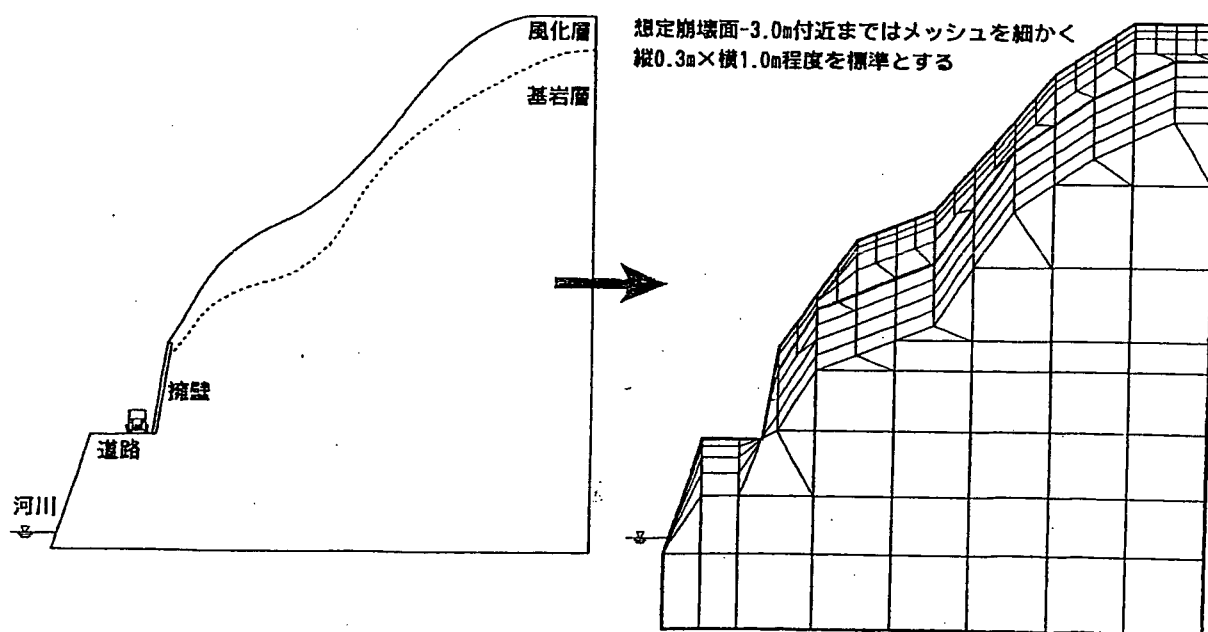


図4.2 斜面形状、風化層厚図をもとにした解析メッシュの作成

## 2) 透水係数

表土層の透水係数は室内試験により求める方法と、原位置試験により求める方法がある。

土は重力や堆積の過程に起因して、透水係数が鉛直方向、水平方向で異なることが多く、これは土の透水係数の異方性と呼ばれる。一般的に水平方向の透水係数が鉛直方向よりも大きく、土質によっては10倍以上の差がみられる場合もある。のり面・斜面を対象として浸透流解析を行う場合、降雨に起因する鉛直浸透の再現が重要となるため、鉛直方向の透水係数の重要性が高い。そのため、室内透水試験を実施して透水係数を測定するか、5章で示した方法により表層の透水係数を測定するとよい。

なお、ボーリング孔を利用して行う透水試験は、主に水平方向の透水係数を測定するものであるため、前述のとおり鉛直方向の透水係数を求めた後、補足的におこなう程度でよい。

一方、基岩層の透水係数は、基本的には不透水にするべきであるが、完全に不透水にするとのり尻付近に浸透水が集中し、のり尻付近が完全に飽和するという挙動を示すことが多い。そのため、モニタリング結果と照合して不自然がないような解析結果が出るように、基岩層には若干の透水係数を与えてよい。実際に与える透水係数は $k=10^{-5}\text{cm/sec}$ 程度である。

## 3) 初期飽和度

初期飽和度は、解析を開始する際の水分分布の初期条件のことで、各要素ごとに飽和度を与えることが可能である。しかし、実際には飽和度を各要素ごとに不自然でないように与えることは難しいため、構築した斜面モデルに適切な水位条件を与えてやり、定常流浸透流解析を行うことで、自然な飽和度分布を解析して初期飽和度とすることが多い。

のり面・斜面の解析では、現場調査によりのり先の水位を把握しておき、入力の際の参考にするといよい。具体的には、河川があれば河川水の高さを通常的水位とする。また、斜面中腹などでも、常時湧水などが見られるような箇所は、該当部を水位とする。

一方、山側の水位の位置は把握することが非常に難しく、相当深くボーリングを実施しても水位が発見できない場合が多い。水位が発見できた場合は、その高さを参考に、発見できなかった場合は、のり先の水位位置と違和感のないような高さに水位を設定して定常流浸透流解析を行い、初期飽和度を決定すればよい。

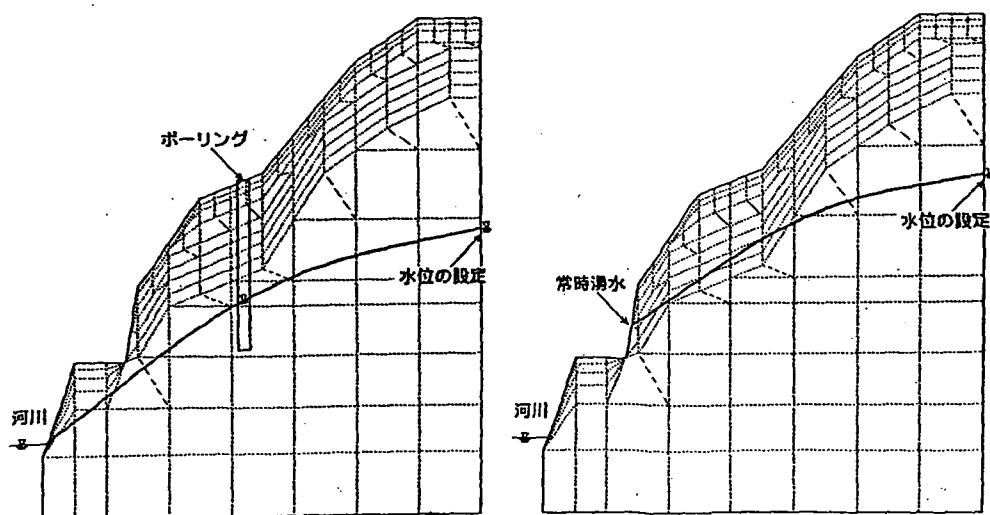


図 4.3 水位の設定法

#### 4) 水分特性曲線(pF曲線)、比透水係数

水分特性曲線(pF曲線)は、土の飽和度とサクシオン(水分の吸引力)の変化をグラフに表したもので、横軸に飽和度(0~100%)、縦軸にサクシオン( $pF0 \sim 7$ ,  $pF = \log_{10}(\phi)$ ,  $\phi = 0 \sim 1000000 \text{ cmH}_2\text{O}$ )をもつ、S字カーブを描く曲線である。

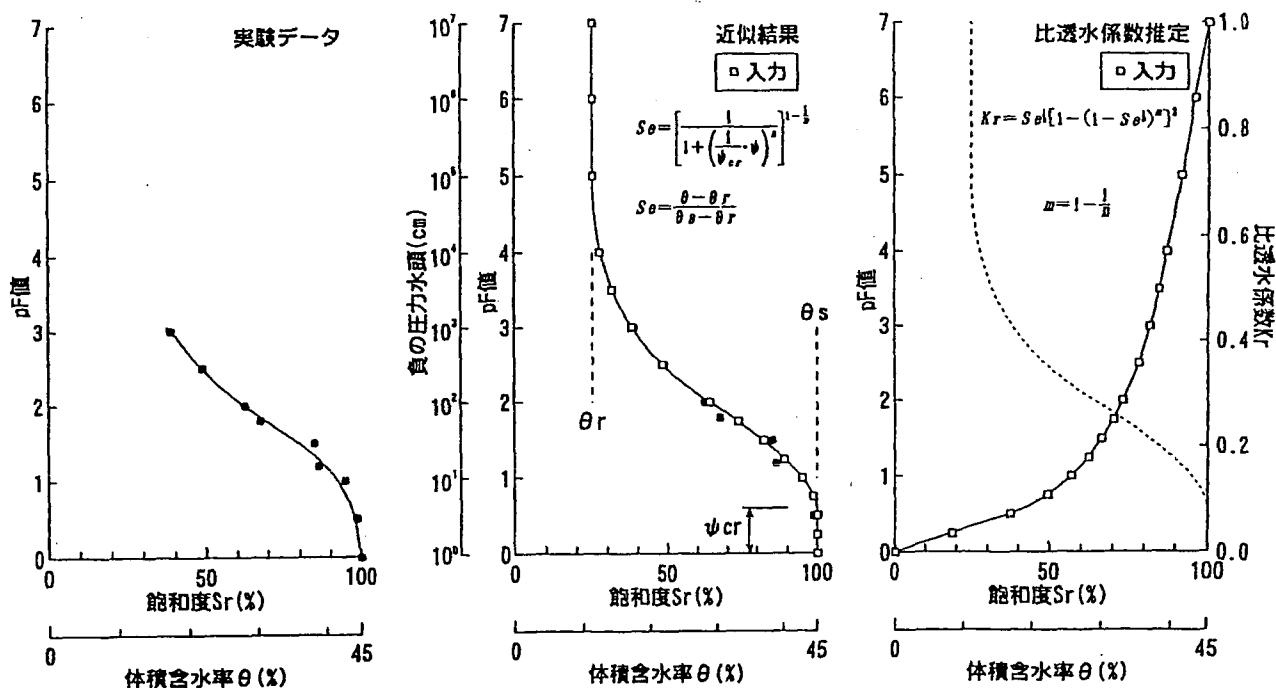
通常、水分特性曲線は、現地にてブロックサンプリングされた不攪乱試料に対して4~10点のpF試験を実施し、グラフ上に点をプロットして求める。

多くの場合、解析プログラムは、バイリニアモデル(Bi-Linear:折れ線グラフ状の多数の線形データからなる関係モデル)による $S_r - \phi$ (飽和度-サクシオン)の関係を要求するが、そのとき実験データをそのまま入力するのでなく、Van-Genuchtenモデル(水分特性曲線の近似モデル)を用いて滑らかな曲線に近似したデータを入力するとよい。その際、高精度な近似をおこなうためにも、pF試験は、とくに解析で大きな意味をもつpF値の小さい部分(pF0.0~2.0付近)に対して、多数の試験を実施し、精度の高いデータを得ておくことが重要である。

一方、比透水係数は、土が飽和状態にある時の透水係数を1とした時に、各飽和度での透水係数の大きさの比率を0~1で表すものである。

比透水係数は、本来、実際に土試料を各飽和度の状態に調整し、不飽和透水試験を実施して求めるとよいが、試験に非常に多大な時間が必要とされること、試験が一般に認知されていないことから、実際にはVan-Genuchtenモデルを用いて求められる比透水係数曲線を用いればよい。

以上の項目をまとめたものを、図4.4に示す。



$\theta_r$ : 最小含水量、土の中から重力によって排水しない水分量の体積含水率、砂で0~0.05程度、粘土では大きい

$\theta_s$ : 飽和体積含水率、飽和時の体積含水率で間隙率に等しい値

$\psi_{cr}$ : 限界毛管水頭、毛管現象により水を吸い上げて飽和する限界水頭で、砂で20~30、まさ土では80~100程度

$n$ : 曲率係数、曲線の曲がり具合を決定する値、砂で5~9、粘土では小さい、実験結果に一致するような値を与える

図4.4 水分特性曲線の入力法

## 5)降雨状況

解析プログラムに与える降雨状況は、時間-降雨強度の形で、調査地に設置した雨量計データをもとに入力する。近傍に気象観測所があり、雨量データが得られる環境にあれば、それを用いてもよい。

降雨データ入力の際は、時間-降雨強度をそのまま入力するのではなく、降雨量が同量になるように簡略化して入力するとよい(図4.5)。これは、解析時の安定性を増すことと、入力作業の簡略化の意味がある。

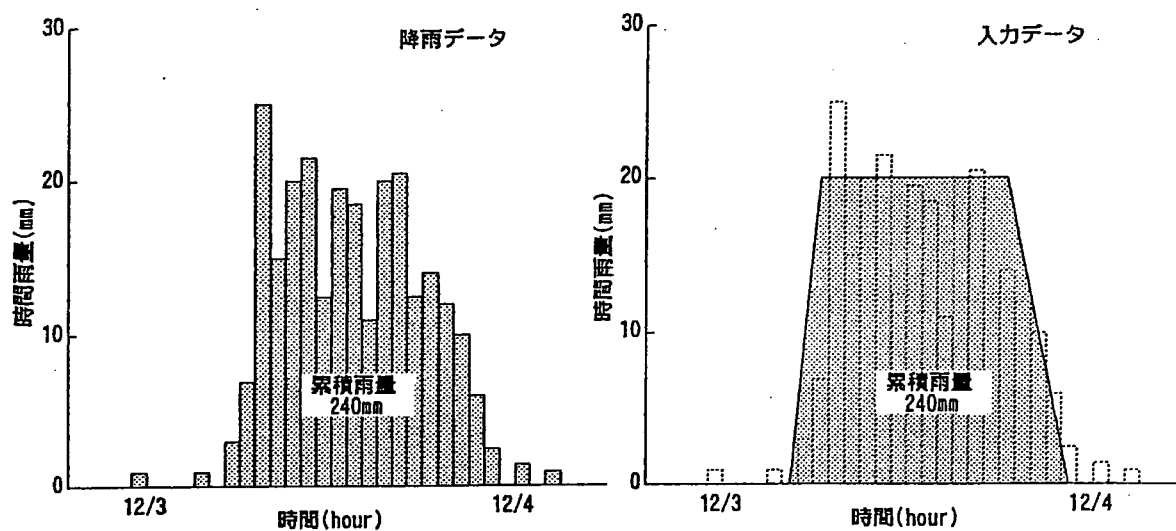


図 4.5 降雨状況の入力法

### 4.3 安定解析

降雨により表土層に水分が含まれるにつれ、土の重量の増加、せん断応力の低下が発生し、それが極限まで達すると崩壊が発生する。安定解析は、崩壊が発生する極限状態の、表土層の飽和度を求めるために実施する。

基本的に、現地から得られた斜面の傾斜角、風化層厚、飽和度変化に伴う土の重量、粘着力、内部摩擦角の変化の関係を解析プログラムに入力し、各状態での安定度を求めることを目的とする。

#### 1) 斜面の傾斜角、風化層厚

現地調査で実施した斜面測量結果から得る。基本的に安全側の計算をおこなうため、最も傾斜の急な部分や最も風化層の厚い部分など、安全率が低いと思われる部位をモデル化して安定計算を行う。ただし、露岩等の露出箇所のように、ほぼ垂直な箇所などは除外してよい。これは、土砂崩壊を対象外であるためである。

安定計算モデルを図4.6に示す。図に示したように非常に単純なモデルで計算をおこなえばよい。このとき実際の測量結果を直接用いず、単純なモデルを用いる理由として、自然斜面は不均一性が非常に高いため、精密に斜面形状を入力してもそれほど安全率が変化しないこと、崩壊が逐次破壊<sup>1)</sup>で発生する場合は計算通りの安全率とは異なること、後述するように各飽和度別の計算を実施するため計算コストを減少する必要があることなどが挙げられる。

逐次破壊<sup>1)</sup>: のり尻の一部の小崩壊を引き金に、上部の土塊が次々に崩壊するような、連続性の崩壊のこと。のり面全体を対象とするような大きなモデルを構築し安定解析を行うと、小崩壊が計算されない場合が多い。

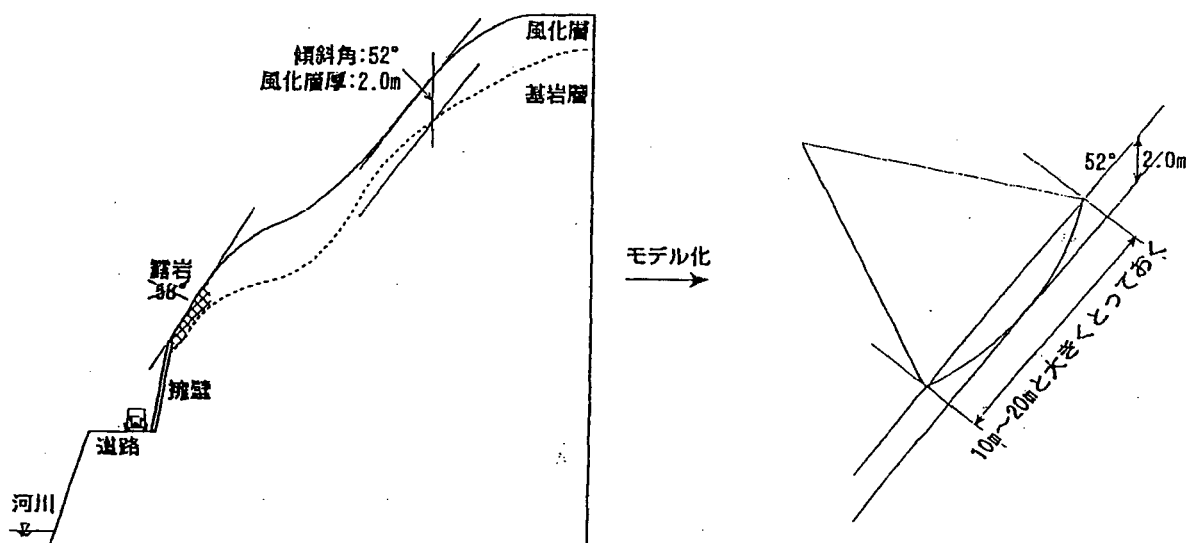


図 4.6 安定解析モデルの構築

## 2)飽和度変化に伴う土の重量、粘着力、内部摩擦角の変化の関係

土材料は、土粒子と間隙に大きく分けられ、間隙には水と空気がある割合で含まれている。水が間隙を全て満たした状態を飽和状態と呼び、それ以外の状態は不飽和状態と呼ぶ。

土の重量は、間隙に占める水分の割合が増すほど増加する。また、土の強度は、間隙に占める水分の割合が増すほど低下する。これら、土の重量の増加、土の強度の低下は、安定度の低下に直結し、飽和状態での安全率は最低となる。

このような現象を安定解析に反映するためには、各飽和度における、風化土の重量、粘着力、内部摩擦角を求める必要がある。具体的には、各飽和度別に、土の湿潤密度試験、一面せん断試験(非排水:定体積)、三軸圧縮試験(CU条件)を実施すればよい。また、試験の注意点としては、加水調整してすぐに実験をおこなうのではなく、若干、目的の飽和度よりも高めに加水しておき、一昼夜放置したのち、試料整形して実験をおこなったほうがよい。これは、土の加水過程と排水過程で強度が異なること、排水過程のほうが水分の均一性の高い試料が作成しやすいことに起因する。

最終的には、以下のようなグラフを作成し、飽和度50%以上の領域について、10%刻みに飽和度100%時点まで安定解析を実施すればよい。

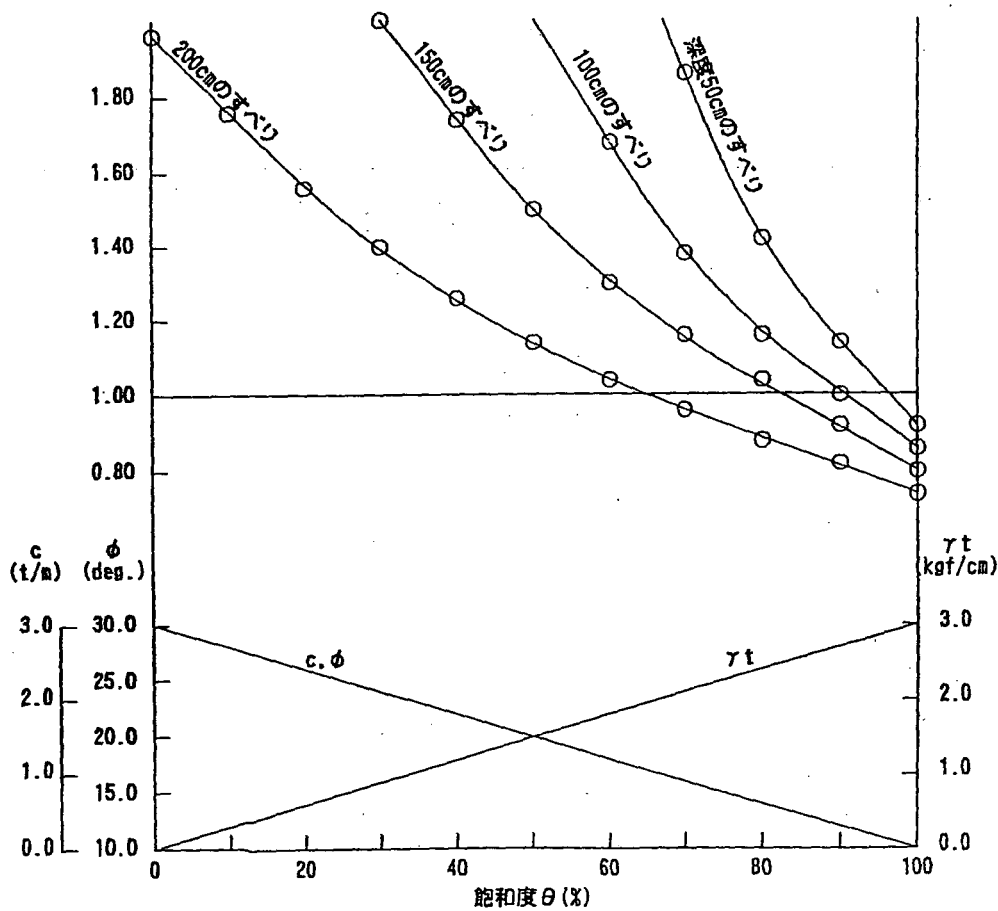


図 4.7 安定解析結果のまとめ方

#### 4. 4 最終診断

以上の解析結果を踏まえて、最終診断をおこなう。降雨条件を、時間雨量の1mm～50mm程度の連続とし、各深度の飽和度の変化をグラフにまとめる。

安定解析により、深度別の安全率-飽和度の関係は求めてあるので、飽和度は安全率に変換して縦軸とし、横軸は累積雨量とする。図4.8に作成例を示す。

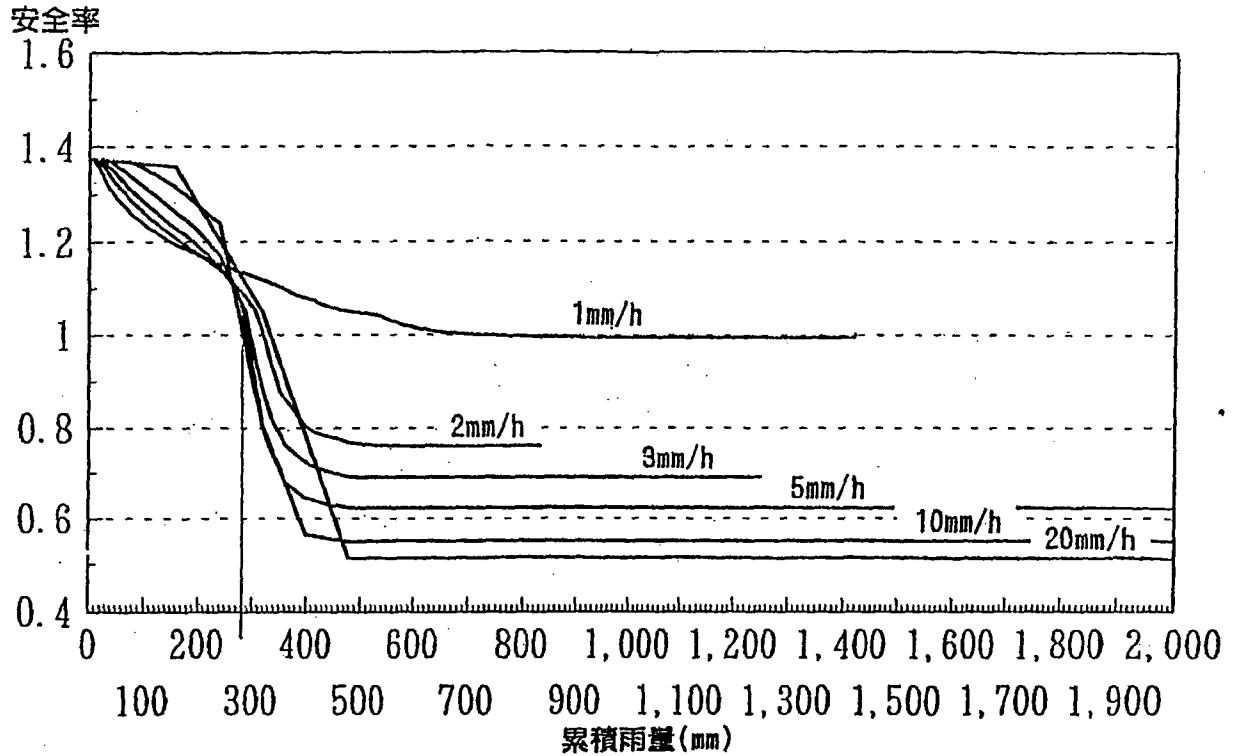


図 4.8 累積雨量と安全率の変化

以上の作業により、崩壊の危険性のある累積降雨量を得ることができる。また、必要に応じて事前降雨のあった場合など、降雨パターンを変化させて安全率の変化を調査してもよい。

## 4. 5 解析例 1

### 4.5.1 現場状況(図 4.9参照)

現場は、高さ25m、傾斜45度程度の、小段が設けられている切土斜面である。上部から下部にかけて徐々に風化層厚が薄くなっていく典型的な斜面で、地質はまさ土系である。

主に上部の風化層の崩壊を想定し、土壌水分計及び地盤傾斜計によるモニタリング、不攪乱サンプリング試料による土質試験を行っている。

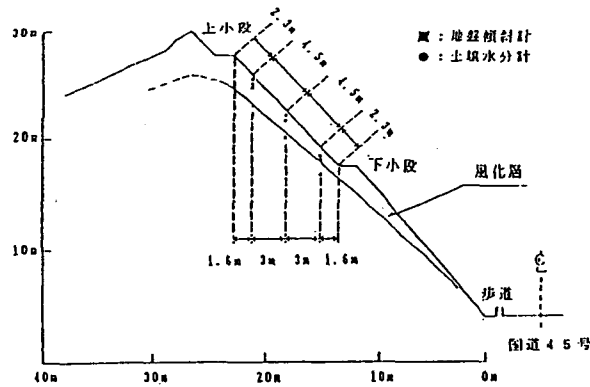


図 4.9 現場状況

### 4.5.2 入力パラメータ(図 4.10参照)

室内試験より求めたpF値、透水係数、UU三軸圧縮試験結果を入力した。

pF試験は試験点数も多く、van-Genuchtenモデルで容易に近似可能であった。そのため、pF値はそのまま入力値とした。

室内透水試験からは $k=3.5\sim 5.0\times 10^{-3}$ (cm/s)程度の結果が得られたが、 $2.0\times 10^{-3}$ を用いた場合が最もモニタリング結果との整合が良く、それを入力値とした。

UU三軸圧縮試験は非常に多くの試験が行われているが、低拘束圧下での試験ほどばらつきが大きく、若干信頼度が低い。実斜面でのすべりは、深くて3m程度であるから、 $0.6\text{kg/cm}^2$ 以下での $c, \phi$ が得られればよく、一面せん断試験により求めるのが妥当である。

※低拘束圧下での $c, \phi$ は、高拘束圧下での $c, \phi$ と異なり、線形関係にない場合がほとんどである。そのため、現地での土被り状態に即した拘束圧での $\tau$ をそのまま用いたほうがよいと考える。

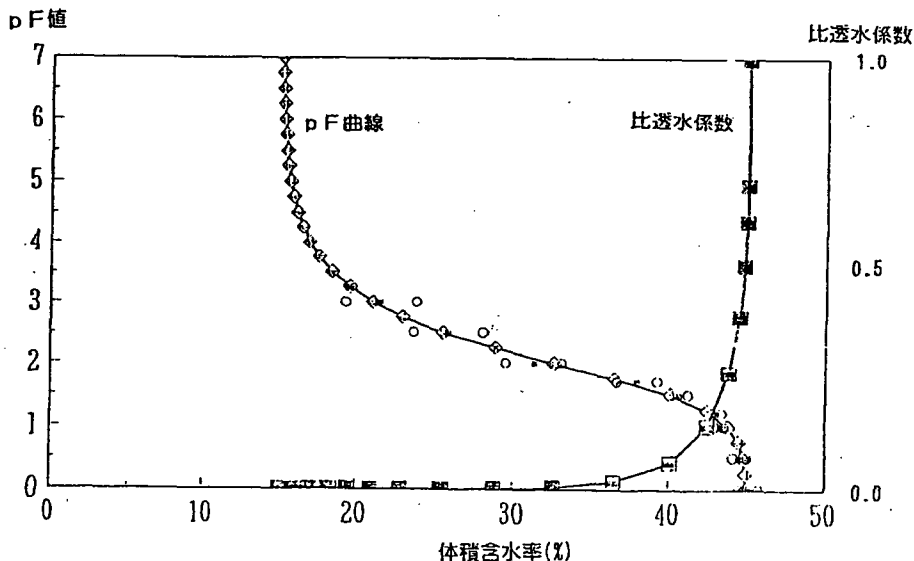


図 4.10 入力パラメータ(水分特性曲線)

#### 4.5.3 浸透流解析結果(図 4.11参照)

モニタリング結果より比較的妥当かつ良好なデータが得られたと思われる、上段のテンシオメータ(深度1.0m, 深度3.0m)のものに解析結果を重ねてみた。

解析結果の挙動は、若干計測結果よりも敏感(早く低下し、早く戻る)に反応したが、比較的現地の挙動を表現できていると思われる。また、解析結果では小量の降雨に大きく反応しすぎる傾向が見られるが、解析では実際の斜面に現存する植生などが反映されず、裸地の扱いとなっていることが原因だと思われる。

※小量の降雨の場合は全て植生に受け止められ、雨後の天候の回復によって雨水が葉上等からそのまま蒸発するため、全く地面に浸透しない場合もあると思われる。

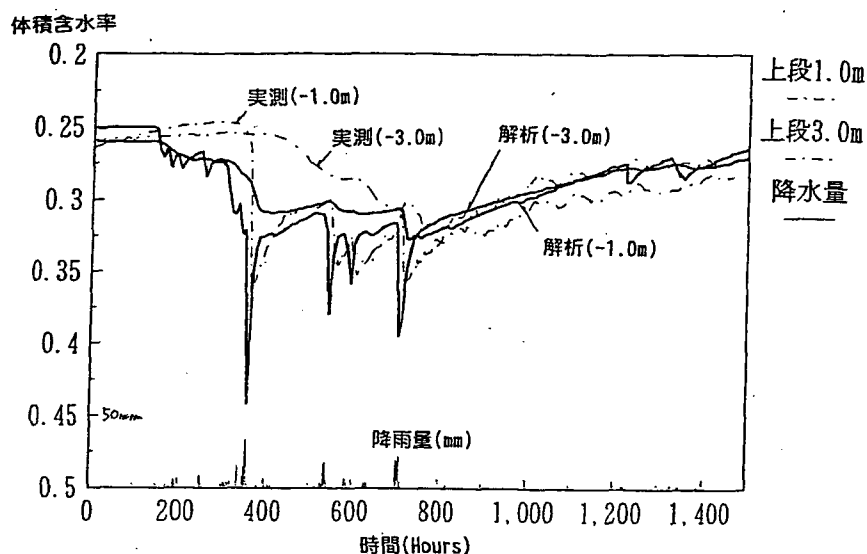


図 4.11 浸透流解析結果

#### 4.5.4 安定解析結果(図 4.12参照)

UU三軸圧縮試験結果より求めた $c, \phi$ - $Sr$ (粘着力, 内部摩擦角-飽和度)の関係をを用いて、層状すべり計算を行い、各深度でのすべり安全率を飽和度別にグラフ化した。

解析の結果、浅層すべりの安全率ほど乾燥時は高く飽和度の上昇と共に急激に低下し、深層すべりほど乾燥時は低く飽和度の上昇と共に緩やかに低下するという挙動を示した。

今回の斜面では、1.0m深度では崩壊は発生せず、3.0m深度で74%を超えると崩壊が発生するという結果が得られた。

※円弧すべりの安全率は同深度のすべりを考えた場合、円弧の半径が大きくなるほど(すべり規模が大きくなるほど)低下し、最終的には層状すべり計算の値に収束するため、層状すべり計算が最も安全側を見た安定計算方法となる。

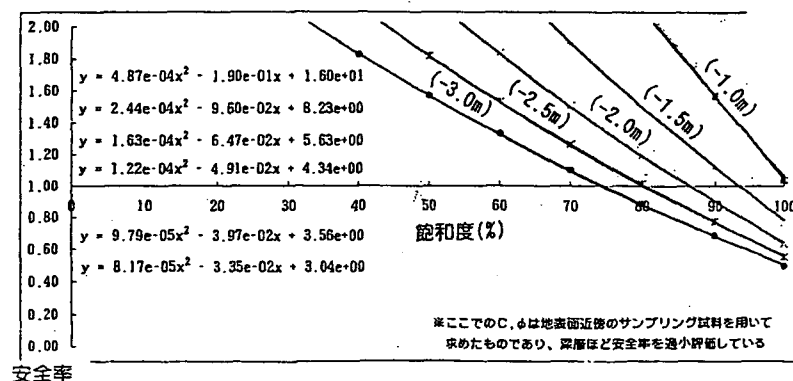


図 4.12 安定解析結果

#### 4.5.5 現地斜面の安全率評価(図 4.13参照)

浸透流解析と安定解析を組み合わせ、山田町対象斜面の9～10月の斜面安定度の推移をまとめてグラフ化した。

解析の結果、深度1.0m、3.0mの両者で安全率が1.1を切る期間が認められたが、1.00を切るまでには至らなかった。しかし、該当期間においてもモニタリング結果を用いた安定解析では相当安全側であることから、今回の浸透流解析が若干危険側を評価したことが確認できた。また、深度3.0mほどの深さを持つすべりは発生しにくく、実際の斜面はさらに安全であると考えられる(UU三軸は1～2m深度の試料を用いて行っていることも、その要因である)。

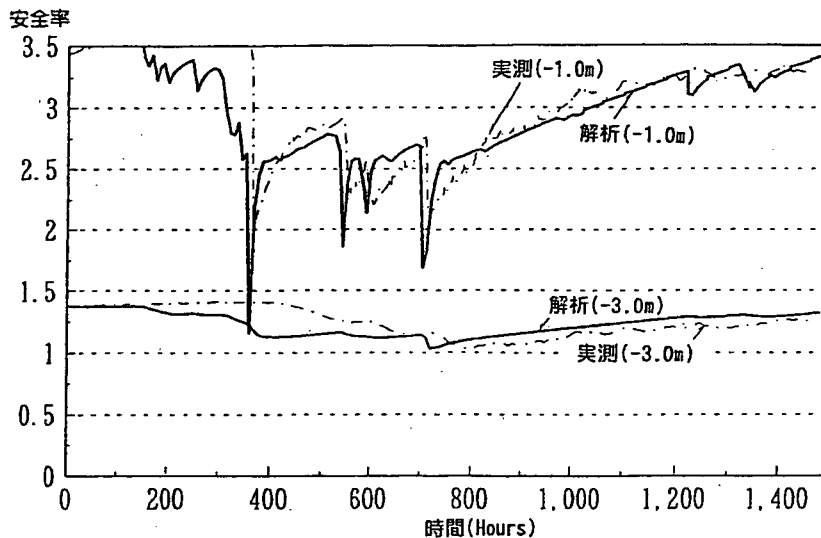


図 4.13 現地斜面の安全率評価

#### 4.5.6 崩壊に至る降雨量の評価(図 4.14参照)

以上の結果より、浸透流解析モデルが現地斜面を(若干危険側に)表現することが確認できたため、次に仮定の降雨を与えて当自然斜面の降雨に対する安定性を評価してみた。斜面の初期条件は比較的無降雨が続いた乾燥状態とし、与えた仮定の降雨は、連続雨量で、1～20mm/hrとした。

解析の結果、10mm/hrの連続雨量を与えた場合、累積雨量280mm程度で安全率が1.00を切る挙動を示し、その時点で崩壊が発生する可能性があることがわかった。

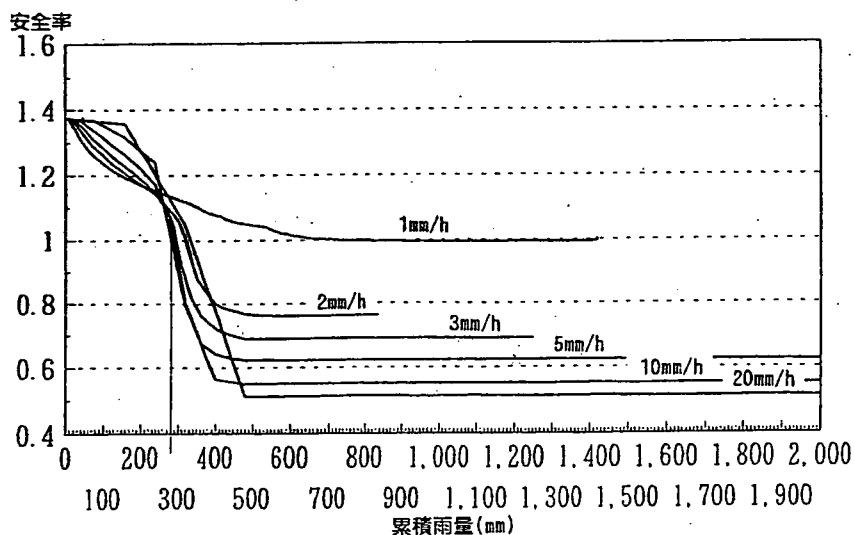


図 4.14 崩壊に至る降雨量の評価

#### 4.5.7 考察

今回の解析、特に浸透流解析については、現地から得られたパラメータをほぼそのまま入力することで、比較的現地斜面に忠実なモデルを作成することができた。しかし、安定解析については、多数のUU三軸圧縮試験結果からも、十分に説得力のある $c, \phi$ - $S_r$ の関係が得られない結果となった。 $c, \phi$ - $S_r$ の関係と、現地斜面の安全率評価とは非常に密接な関係にあり、そのため今回の累積雨量280mmで崩壊という最終評価にも、若干の疑問が残ってしまった。より精度の高い解析結果を得るには、もう少し詳細に斜面のせん断力について検討する必要があると思われる。

## 4.6 解析例2

### 4.6.1 現場状況(図4.15参照)

現場は、高さ30m、傾斜45度程度の自然斜面である。中央部に厚い風化層を持つ斜面で、地質はまさ土系である。

主に中央部の厚い風化層の崩壊を想定し、土壌水分計及び水位計によるモニタリング、不攪乱サンプリング試料による土質試験を行っている。

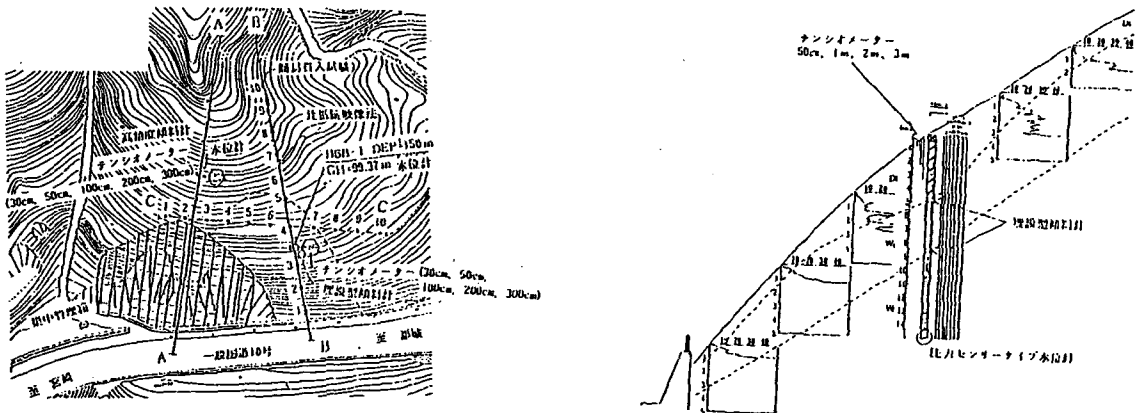


図 4.15 現場状況

### 4.6.2 入力パラメータ(図4.16参照)

室内試験よりpF値、透水係数、UU三軸圧縮試験結果を入力した。

pF試験の試験点数は4点で、van-Genuchtenモデルで近似するには、若干不自然なデータであった。解析で用いられるpFの範囲は0~3(1cmから1000cm)程度であり、特に低い範囲が浸透流解析で重要な意味を持つことから、pF値が1.0以下で数点の試験をする必要性は高いと思われる。

透水試験からは $k=3.0\sim9.0\times10^{-4}$ (cm/s)程度の結果が得られた、 $3.0\times10^{-4}$ を用いた場合が最もモニタリング結果との整合が良く、それを入力値とした。

UU三軸圧縮試験の試験点数は5点で、大きなばらつきが見られた。また、飽和時の試験が行われておらず、 $c$ 、 $\phi$ - $S_r$ (粘着力、内部摩擦角-飽和度)の関係を求めることが、困難であった。UU三軸圧縮試験は試験単価も高く、重要性の高い拘束圧領域でのパラメータの信頼性が低いことから、試験単価が安く低拘束圧下での試験がやりやすい一面せん断試験を実施する方が妥当であると考えられる。

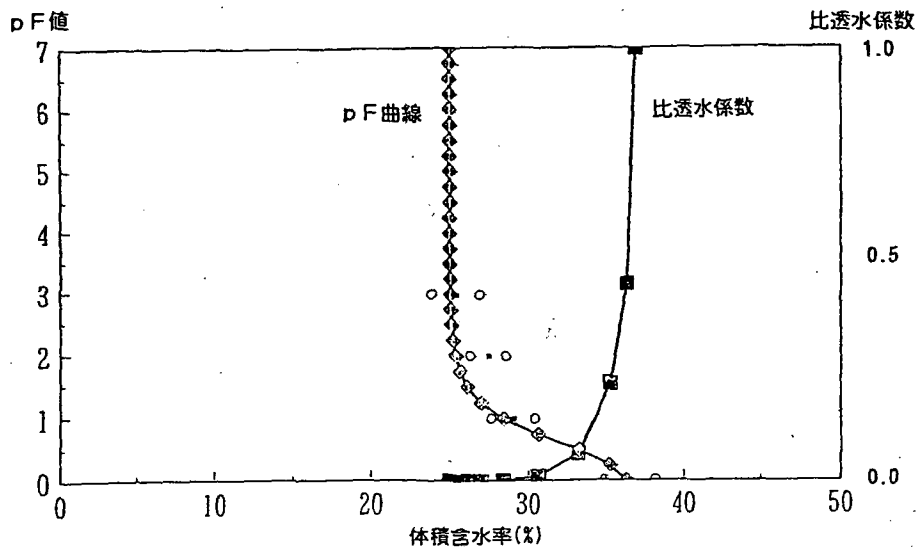


図 4.16 入力パラメータ(水分特性曲線)

#### 4.6.3 浸透流解析結果(図 4.17参照)

モニタリング結果より比較的妥当なデータが得られたと思われる、上段のテンシオメータ(深度1.0m, 深度3.0m)のものに解析結果を重ねてみた。モニタリング結果は、温度の影響を大きく受けており、酷いところでは一昼夜の中で自然含水状態から飽和状態まで激しく振動しており、信頼性が低い。テンシオメータの設置状況を確認する必要があると思われる。

解析結果の挙動は、比較的理にかなった挙動をしているが、前述のようにモニタリング結果の精度に問題があり、一概に現地の挙動を表現できたという結果は得られなかった。

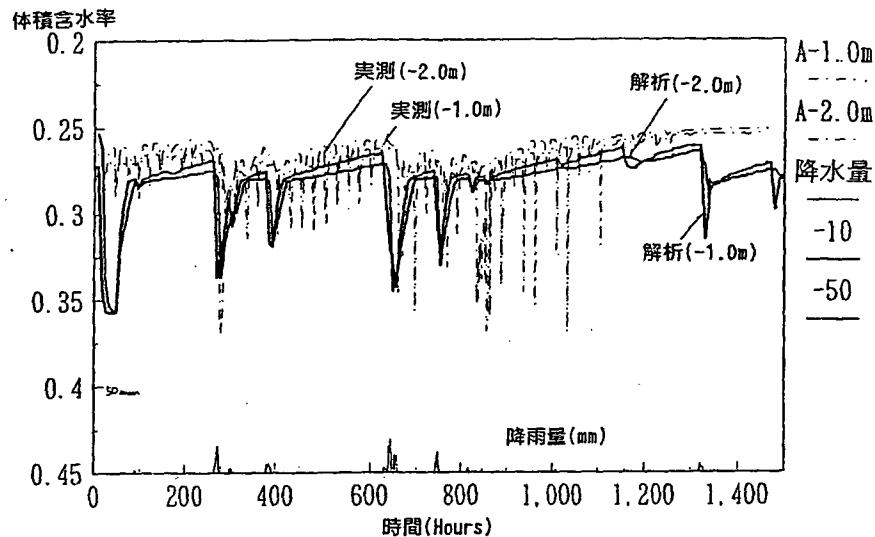


図 4.17 浸透流解析結果

#### 4.6.4 安定解析結果(図 4.18参照)

UU三軸圧縮試験は、加水量が飽和度に反映されておらず、また飽和まで加水したはずにも関わらず飽和度70%以下という試験結果が出ており、試験方法が不明である(試験後のデータか?)。そこで乱暴ではあるが、自然状態, 25cc, 40cc, 50cc加水, 飽和状態の試験結果を、飽和度20%, 40%, 60%, 80%, 100%の各データと仮定して、 $c$ ,  $\phi$ - $S_r$ (粘着力, 内部摩擦角-飽和度)の関係とし、層状すべり計算を行い、各深度でのすべり安全率を飽和度別にグラフ化した。

解析の結果、1.0m深度では全く崩壊は発生せず、2.0m深度でも飽和状態で1.01程度まで安全率が低下するものの崩壊は発生しないという結果が得られた。しかし、UU三軸圧縮試験が5点のみであり、飽和度の増加と強度低下との対応関係や、深度方向への $c$ ,  $\phi$ の増加などに疑問があることから、さらに深度の深い部分での安定度については、今後検討が必要である。

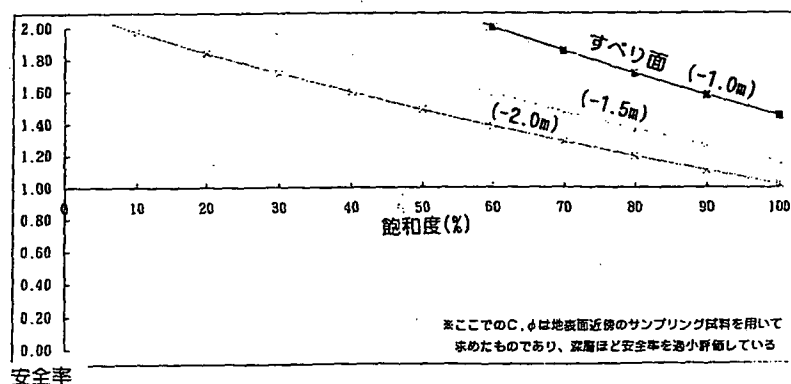


図 4.18 安定解析結果

#### 4.6.5 現地斜面の安全率評価(図 4.19参照)

浸透流解析と安定解析を組み合わせ、四家町対象斜面の4～5月の斜面安定度の推移をまとめてグラフ化した。

解析の結果、深度1.0mでは常に1.7以上、深度2.0mでも1.1程度までしか低下しないという結果になった。今回は安定解析結果に検討の余地がある。

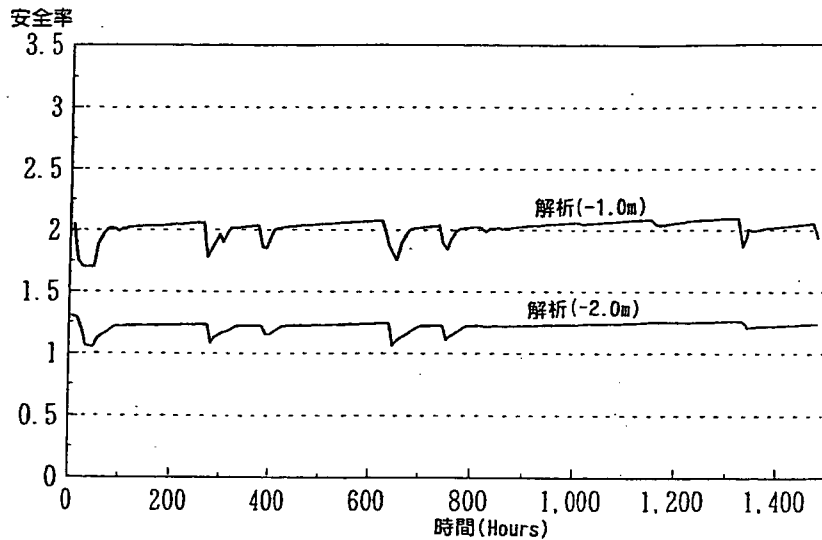


図 4.19 現地斜面の安全率評価

#### 4.6.6 崩壊に至る降雨量の評価(図 4.20参照)

以上の結果に加え、次に仮定の降雨を与えて当自然斜面の降雨に対する安定性を評価してみた。斜面の初期条件は乾燥状態とし、与えた仮定の降雨は、連続雨量で、1～10mm/hrとした。

解析の結果、本斜面は降雨が200～300mm程度で急激に安定度が低下する挙動を示すことがわかった。

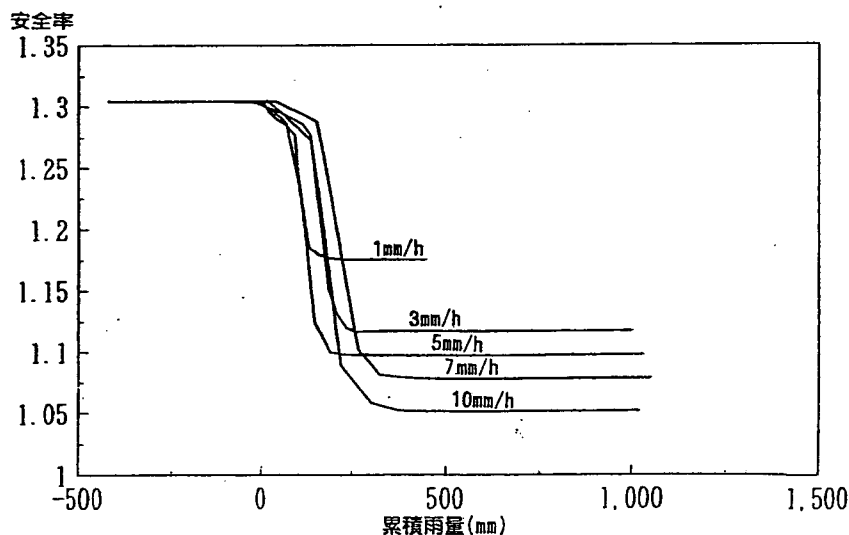


図 4.20 崩壊に至る降雨量の評価

#### 4.6.7 考察

今回の解析では、浸透流解析、安定解析の両面で、十分に説得力のある結果を得ることができなかった。本斜面については、試験等を大幅に追加し、精度の向上を図る必要があると思われる。

## 5. 現場調査事例

### ・調査現場

ここでは、建設省が直轄管理している道路のり面に対する、現地調査及びモニタリングの実施例を示す。

これは、各地方建設局の技術事務所と土木研究所が共同で表層崩壊のメカニズム解明に向け、斜面内部調査およびモニタリングによるデータ収集を行ったものである。平成6年度から全国で表層崩壊危険箇所を抽出し、斜面内部調査やモニタリング実施などを行っている。対象現場を表 5.1に示す。

表 5.1 現場調査対象箇所

| 地建名                                                                                                        | 東北地建                                                                              | 東北地建                                                                                                                               | 関東地建                                                                                                                     | 関東地建                                                                                                   | 土木研究所                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 地点名                                                                                                        | 岩手県下閉伊郡山田町<br>横安地内<br>まき土                                                         | 山形県西置賜郡鮎川町<br>添川<br>粘性土                                                                                                            | 長野県長野市<br>第三紀新統<br>砂岩泥岩互層 泥盤構造<br>風化岩 (砂質粘土)                                                                             | 山梨県東山梨郡勝沼町・<br>大和村<br>頁岩、砂岩<br>重なり地層 (砂泥りレキ状)                                                          | 茨城県真壁町東部斜面<br>基盤：花崗岩<br>風化層：マサ<br>表土：関東ローム層、腐植土                                                               |
| 斜面地質                                                                                                       |                                                                                   |                                                                                                                                    |                                                                                                                          |                                                                                                        |                                                                                                               |
| モニタリング項目                                                                                                   | 土壌水分計×8<br>地盤傾斜計×2<br>雨量計×1<br>気温計×1                                              | 間隙水圧計×3<br>地盤傾斜計×2<br>雨量計×1<br>気温計×1<br>水位観測計×1                                                                                    | 土壌水分計×3<br>間隙水圧計×3<br>地盤傾斜計×1<br>孔内傾斜計×1<br>雨量計×1<br>地盤伸縮計×1<br>比抵抗水分計×1                                                 | 土壌水分計×3<br>間隙水圧計×2<br>地盤傾斜計×1<br>孔内傾斜計×1<br>雨量計×1                                                      | 土壌水分計×4<br>地盤傾斜計×2<br>雨量計×1<br>温度計×2                                                                          |
| 計測期間                                                                                                       | 平成5年10月～<br>平成9年2月                                                                | 平成6年7月～<br>平成9年2月                                                                                                                  | 平成5年10月～<br>平成9年12月                                                                                                      | 平成5年10月～<br>平成9年12月                                                                                    | 平成5年6月～<br>平成7年3月                                                                                             |
| 中部地建                                                                                                       | 北陸地建                                                                              | 近畿地建                                                                                                                               | 中国地建                                                                                                                     | 四国地建                                                                                                   | 九州地建                                                                                                          |
| 岐阜県不破郡関ヶ原町<br>大字山中<br>中生代 二疊紀<br>塊状泥岩 (未風化部)<br>軟質化部 (強風化部：風化泥岩)<br>土砂状風化部<br>土壌水分計×10<br>地盤傾斜計×1<br>雨量計×1 | 新潟県西蒲原郡能生町<br>大字小田地区<br>第三紀層泥岩<br>産維堆積物<br>土壌水分計×4<br>間隙水圧計×2<br>孔内傾斜計×6<br>雨量計×1 | 和歌山県西牟婁郡<br>すさみ町大串<br>第三紀・漸新生～中新生前部<br>砂岩・泥岩の互層<br>(地表面部：強風化岩)<br>受容構造<br>土壌水分計×3<br>水位計×1<br>孔内傾斜計×6<br>雨量計×1<br>地盤伸縮計×2<br>温度計×1 | 山口県阿武郡阿武町木与<br>礫混じり粘性土<br>粘土混じり礫質土<br>熱変成流紋岩類<br>黒雲母花崗岩類<br>土壌水分計×8<br>地盤傾斜計×1<br>地下水位計×4<br>地表面伸縮計×6<br>排水量計×1<br>雨量計×1 | 高知県長岡郡大豊町安野々<br>三波川結晶片岩 (蛇紋片岩)<br>土壌水分計×7<br>地表面傾斜計×3<br>水位計×1<br>孔内傾斜計×1<br>雨量計×1<br>地盤伸縮計×1<br>温度計×1 | 宮崎県北諸郡高城町四家<br>四万十層群日向層<br>砂岩・頁岩互層<br>産維層<br>(礫混じり砂質土～粘性土)<br>土壌水分計×3<br>地下水位計×2<br>地盤傾斜計×3<br>雨量計×1<br>温度計×1 |
| 平成6年4月～<br>平成8年10月                                                                                         | 平成6年3月～<br>平成9年3月                                                                 | 平成5年12月～<br>平成10年3月                                                                                                                | 平成6年3月～<br>平成9年12月                                                                                                       | 平成5年12月～<br>平成9年12月                                                                                    | 平成6年7月～<br>平成8年11月                                                                                            |

今回の現場選定から調査・モニタリングの流れの概略を図 5-1に示す。

まず、表層崩壊の可能性がある箇所を既存資料や目視調査などで絞り込み、検討対象箇所を各地方建設局管内で1～2カ所選定した。対象現場で測量、簡易貫入試験、サンプリング、その試料の土質試験などを行った。さらに、モニタリング測線を設定し、モニタリング項目、設置位置、計測項目、設置方法などの詳細事項を決定した。

以後、現場ごとに調査項目やモニタリング項目について各現場で一枚ごとに調査表としてまとめ、設置位置、内部調査から得られた断面図を示した。さらに、代表的なモニタリング結果を挙げ、各現場ごとの考察を加え、最後に全体の考察を加えている。

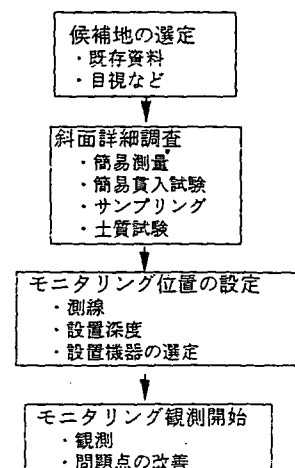


図 5.1 モニタリング計測までの流れ



5.1.1 三陸工事事務所管内 山田町切土斜面

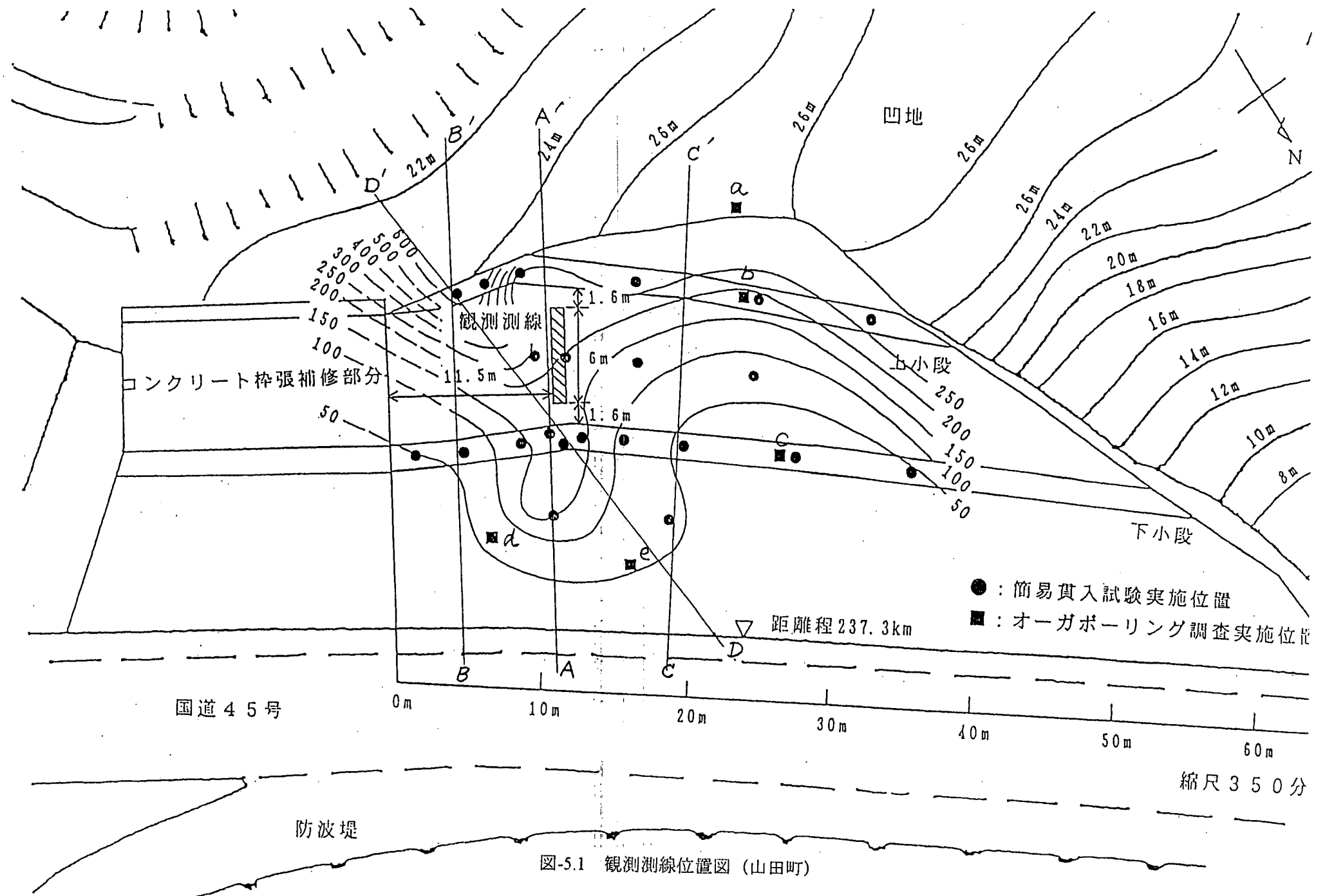
5.1.2 山形工事事務所管内 飯豊町切土斜面

東北地方建設局  
担当：東北技術事務所



## 5.1.1 山田町現場斜面調査票

|         |                                                                                    |                                                                              |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 斜面管理者   | 東北地方建設局 三陸国道工事事務所                                                                  |                                                                              |
| 地点名     | 岩手県下閉伊郡山田町織笠地内                                                                     |                                                                              |
| 路線・キロ程  | 国道45号・237.3km                                                                      |                                                                              |
| 通行規制    | 規制区間外                                                                              |                                                                              |
| 斜面条件    | 地質                                                                                 | まき土                                                                          |
|         | 向き                                                                                 | 北東向き                                                                         |
|         | 勾配                                                                                 | 45度(平均40度)                                                                   |
|         | 風化層厚                                                                               | 0.5～6m                                                                       |
|         | 対策工                                                                                | コンクリート法枠工(一部区間)                                                              |
| 斜面調査    | 簡易貫入試験                                                                             | 22点/41.3m                                                                    |
|         | ボーリング調査                                                                            | なし                                                                           |
|         | その他                                                                                | ボーガーボーリング 5点/7.2m                                                            |
| 計測位置    | 土壌水分計                                                                              | 上部(0.5, -1.0, -3.0m)中部(0.5, -1.0, -2.5m)下部(1.0, -2.5m)                       |
|         | 間隙水圧計                                                                              | なし                                                                           |
|         | 地盤傾斜計                                                                              | 上部(埋設-1.2m), 下部(埋設-1.2m)                                                     |
|         | 孔内傾斜計                                                                              | なし                                                                           |
|         | 雨量計                                                                                | 下段の小段部                                                                       |
|         | その他                                                                                | 気温計                                                                          |
| 計測期間    | H5.10.29～H9.2末                                                                     |                                                                              |
| サフリング仕様 | 斜面上部:1試料 深度0.7～1.5m 不攪乱フロックスフリング<br>" 中部:1試料 " 0.5～1.8m "<br>" 下部:2試料 " 0.3～2.2m " |                                                                              |
| 土質試験    | pF試験                                                                               | 1地点 - 4試料 - pF 0～3.0                                                         |
|         | 一面せん断(CU)                                                                          | なし                                                                           |
|         | 三軸圧縮試験(UU)                                                                         | 3地点-8試料×5飽和条件 拘束圧0.25～2.0kgf/cm <sup>2</sup><br>飽和度(自然40～50%, 70, 80, 90%飽和) |
| 備考      | H7.1 土壌水分計2基が測定不可<br>H8.2 同上                                                       |                                                                              |



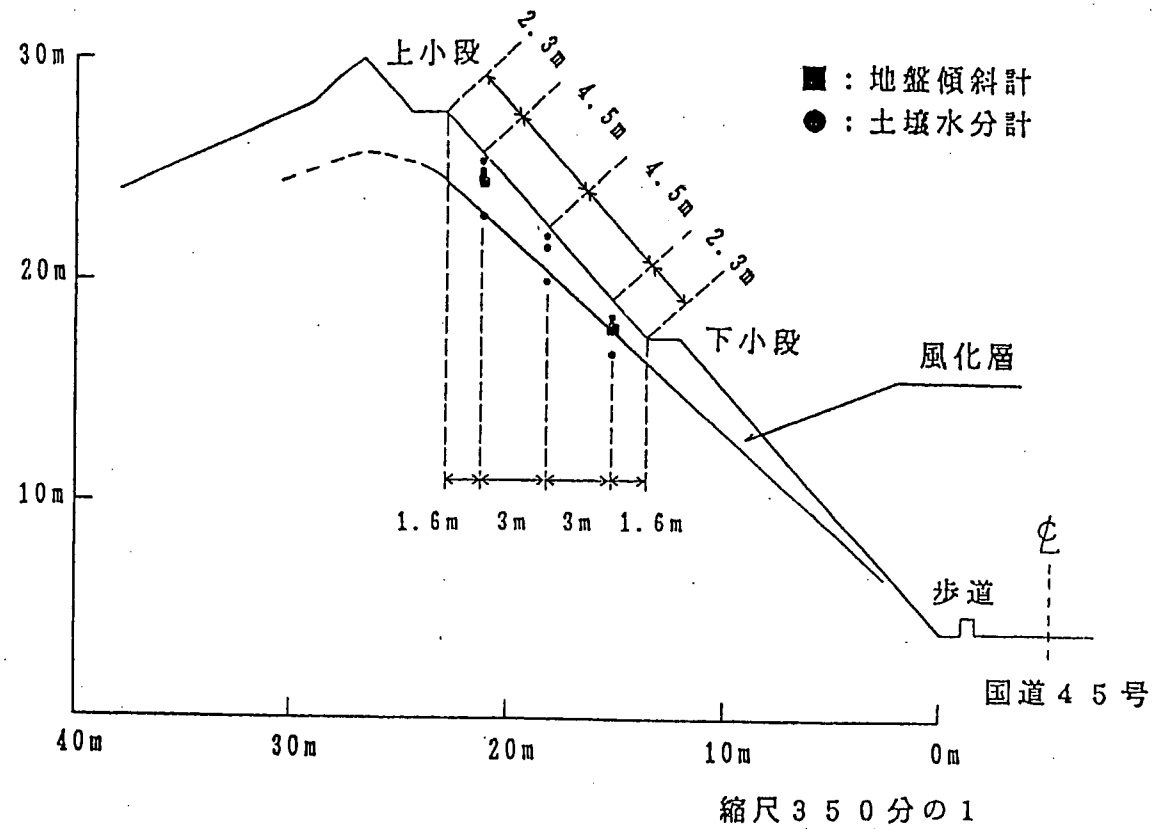


図-5.2 観測計器設置位置断面図 (山田町)  
(A-A')

| 深度<br>(m) | 地点 a   |    | 地点 b   |    | 地点 c  |    | 地点 d  |    | 地点 e |    |
|-----------|--------|----|--------|----|-------|----|-------|----|------|----|
|           | 記 事    | Nc | 記 事    | Nc | 記 事   | Nc | 記 事   | Nc | 記 事  | Nc |
| 0.1       | 黒色, 粘性 | 1  | 褐色, 細粒 | 2  | 薄褐色   | 5  | 薄褐色,  | 5  | 褐色,  | 5  |
|           | 黒色     |    | やや粘性   | 8  | 茶灰色   | 24 | 砂質    |    | 砂質   |    |
|           | 黒褐色    |    |        | 22 | 優白色,  | 74 |       |    |      |    |
|           | 赤褐色,   | 3  | 黄褐色,   | 19 | 締まってい |    | 灰白色   | 30 | 茶灰色, | 25 |
| 0.5       | 細粒     |    | 細粒     | 20 | る     |    | 砂質    |    | 砂質   |    |
| 0.6       | 褐色, 細粒 | 5  | 薄褐色,   | 23 |       |    | 優白色,  | 50 | 灰白色, | 50 |
|           | 粘性     |    | 砂質     | 28 |       |    | 締まってい |    | 砂質   |    |
|           |        |    | 粘性少ない  | 20 |       |    | る     |    |      |    |
| 1.0       | 褐色     |    | 黄灰色    | 17 |       |    |       |    |      |    |
| 1.1       | 褐色, 細粒 | 10 | 茶灰色,   | 24 |       |    |       |    |      |    |
|           | 粘性少ない  |    | 粘性なし   | 27 |       |    |       |    |      |    |
|           |        |    |        | 31 |       |    |       |    |      |    |
|           | 茶灰色,   | 20 |        | 19 |       |    |       |    |      |    |
| 1.5       | 砂質     |    | 乳灰色    | 37 |       |    |       |    |      |    |
| 1.6       | 薄褐色    | 30 | 砂質     | 40 |       |    |       |    |      |    |
|           |        |    | 灰白色    | 58 |       |    |       |    |      |    |
|           | 茶灰色    |    |        |    |       |    |       |    |      |    |
|           | 薄褐色,   | 30 |        |    |       |    |       |    |      |    |
| 2.0       | 砂質     |    | 砂質     |    |       |    |       |    |      |    |
| 2.1       | 灰白色,   | 50 |        |    |       |    |       |    |      |    |
|           | 砂質     |    |        |    |       |    |       |    |      |    |
|           | 優白色,   |    | 砂質,    |    |       |    |       |    |      |    |
| 2.5       | 粗粒     |    | 優白色, 締 |    |       |    |       |    |      |    |
|           |        |    | まっている  |    |       |    |       |    |      |    |
| 2.6       | 灰白色, 締 |    |        |    |       |    |       |    |      |    |
|           | まっている  |    |        |    |       |    |       |    |      |    |
|           | 優白色, 締 |    |        |    |       |    |       |    |      |    |
| 3.0       | まっている  |    |        |    |       |    |       |    |      |    |
| 3.1       |        |    |        |    |       |    |       |    |      |    |
| 3.5       |        |    |        |    |       |    |       |    |      |    |

表-5.1 オーガボーリング調査結果一覧

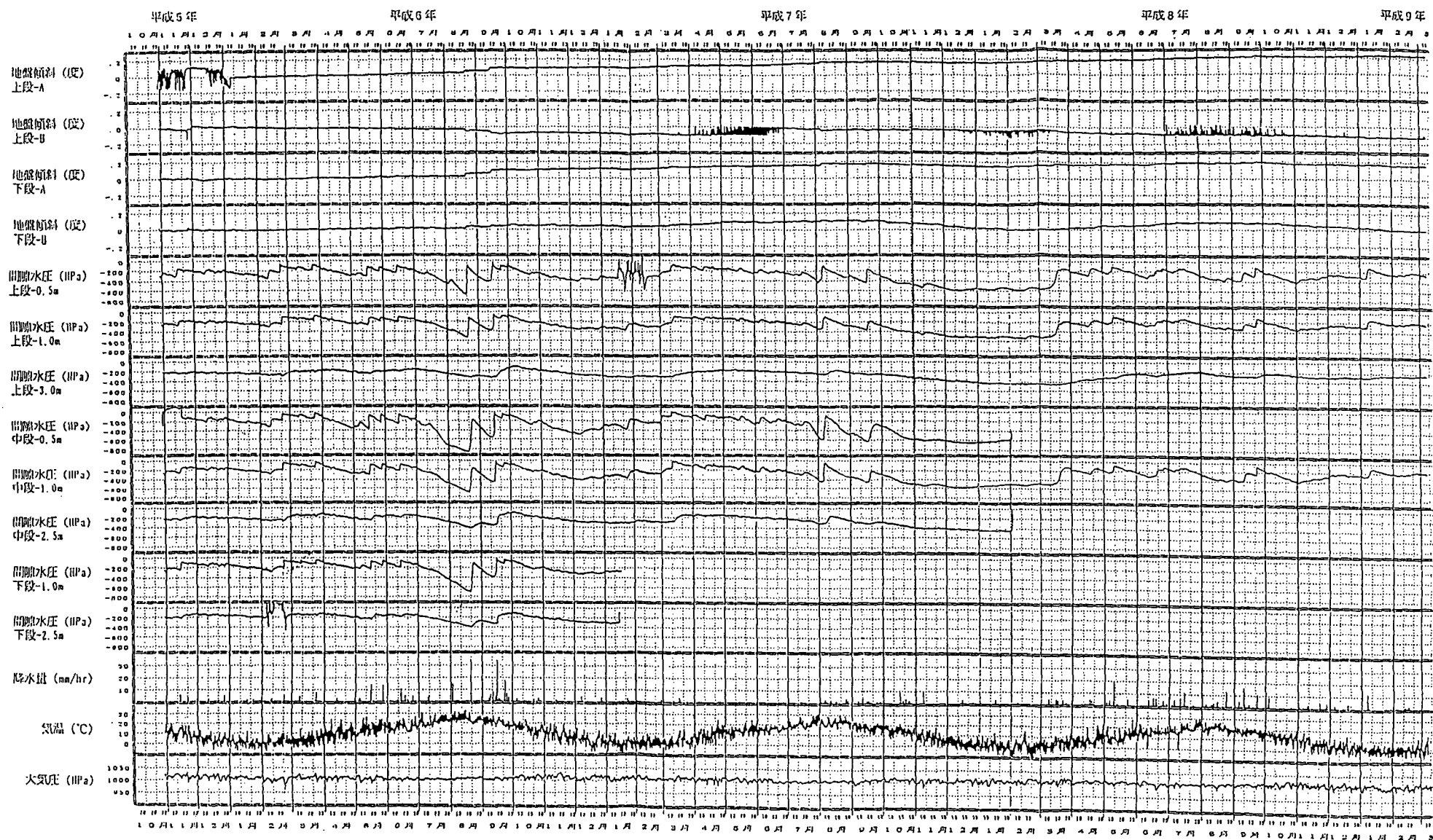


図-5.3 観測結果例

## 5.1.2 飯豊町現場斜面調査票

|          |                         |                                                                               |
|----------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 斜面管理者    | 東北地方建設局 山形工事事務所         |                                                                               |
| 地点名      | 山形県西置賜郡飯豊町添川            |                                                                               |
| 路線・キロ程   | 国道113号・110.6km          |                                                                               |
| 通行規制     | 規制区間外                   |                                                                               |
| 斜面条件     | 地質                      | 粘性土                                                                           |
|          | 向き                      | 北向き                                                                           |
|          | 勾配                      | 25度                                                                           |
|          | 風化層厚                    |                                                                               |
|          | 対策工                     | 水抜き工及び切土勾配調整                                                                  |
| 斜面調査     | 簡易貫入試験                  | 22点/41.3m                                                                     |
|          | ボーリング調査                 | なし                                                                            |
|          | その他                     | ボーラーボーリング5点/7.2m                                                              |
| 計測位置     | 土壌水分計                   | なし                                                                            |
|          | 間隙水圧計                   | 下小段(1.5, -3.0, -4.0m)                                                         |
|          | 地盤傾斜計                   | 法肩(埋設-9.0m), 下小段(埋設-3.0m)                                                     |
|          | 孔内傾斜計                   | なし                                                                            |
|          | 雨量計                     | 法頂上                                                                           |
|          | その他                     | 気温計、水位観測計                                                                     |
| 計測期間     | H6.7.14~H9.2末           |                                                                               |
| サンプリング仕様 |                         | すべり面上部: 1試料(深さ50cm 不攪乱)<br>すべり面付近: 3試料(深さ50cm 不攪乱)<br>すべり面下部: 1試料(深さ50cm 不攪乱) |
| 土質試験     | pF試験                    | 1地点 - 1試料 - pF 0~3.0                                                          |
|          | 一面せん断(CU)               | なし                                                                            |
|          | 三軸圧縮試験(UU)              | 20試料 拘束圧(0.25~2.0kgf/cm <sup>2</sup> )<br>飽和度(自然70%、80%、90%飽和)                |
| 備考       | H7.12 間隙水圧計1基(4.0m)測定不可 |                                                                               |

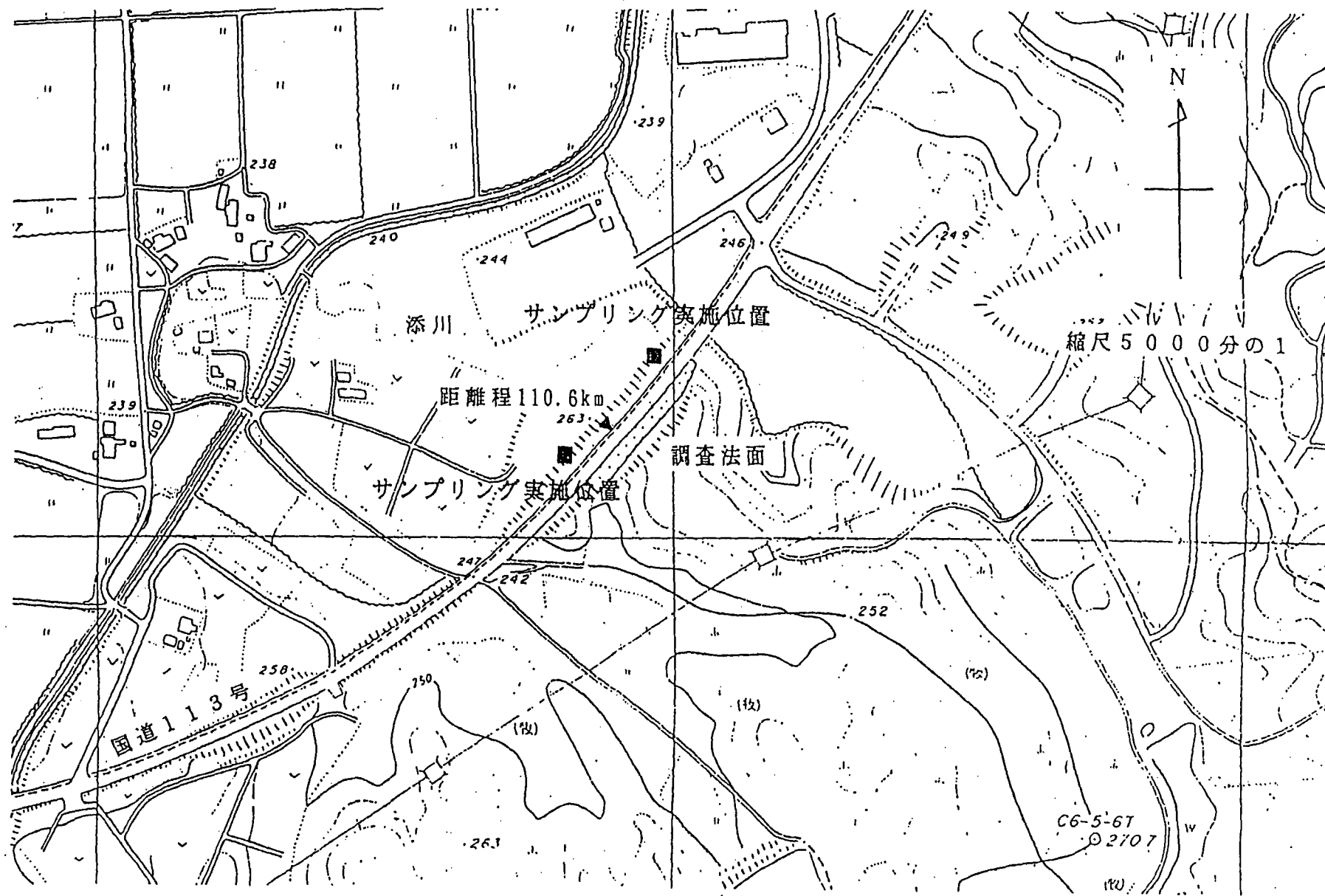


図-5.4 サンプリング実施位置図（飯豊町）  
（飯豊町発行5000分の1地形図に加筆）

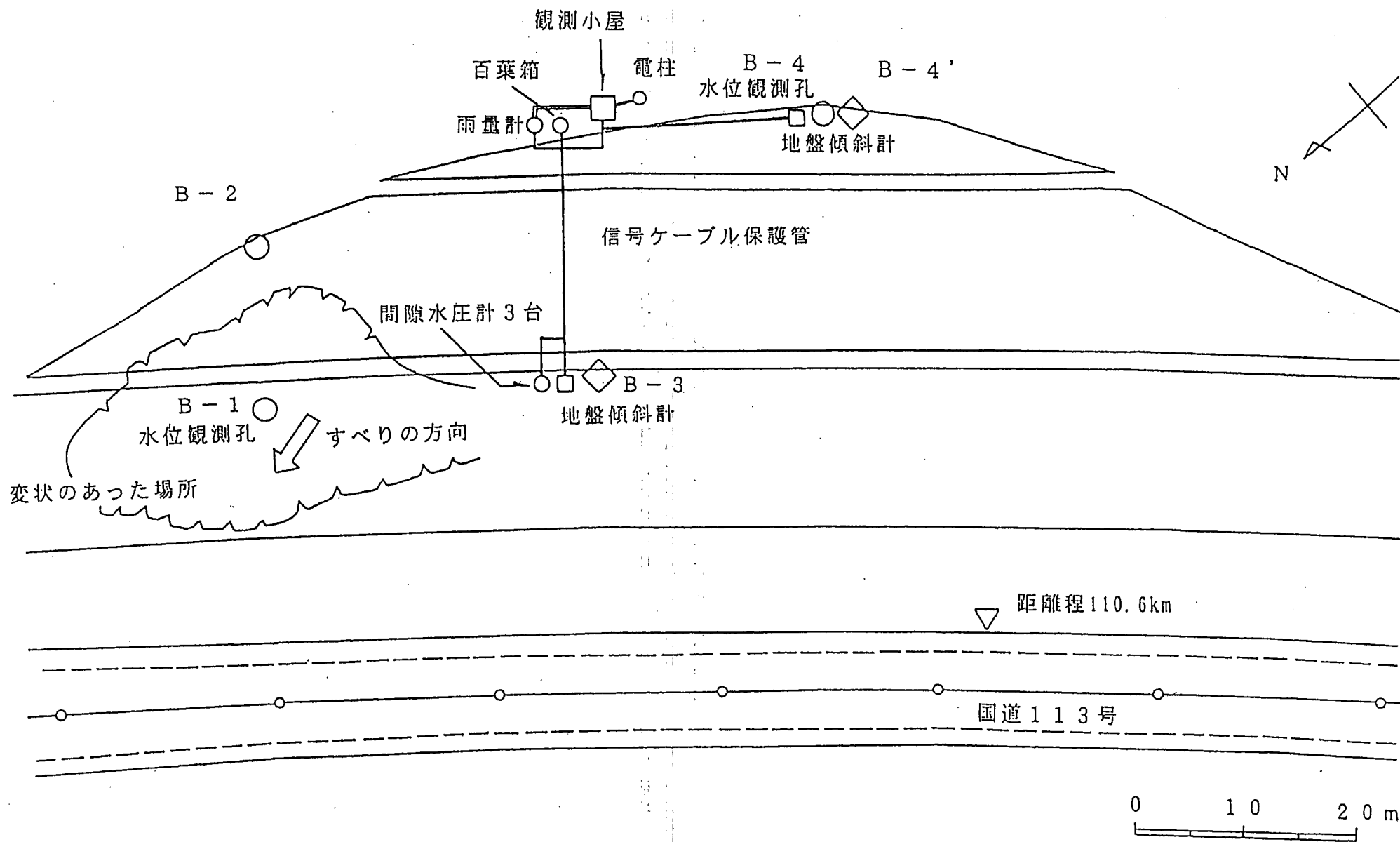


図-5.5 観測計器設置平面図（飯豊町）

縮尺 1 / 500

凡 例

| 土 質     | 記号         |
|---------|------------|
| ローム     | △△△        |
| 粘性土     | ≡≡≡        |
| 礫混じり粘性土 | ≡≡≡<br>○●○ |
| シルト     | ≡≡≡        |
| 砂質シルト   | ≡≡≡<br>△△△ |
| 砂       | □□□        |

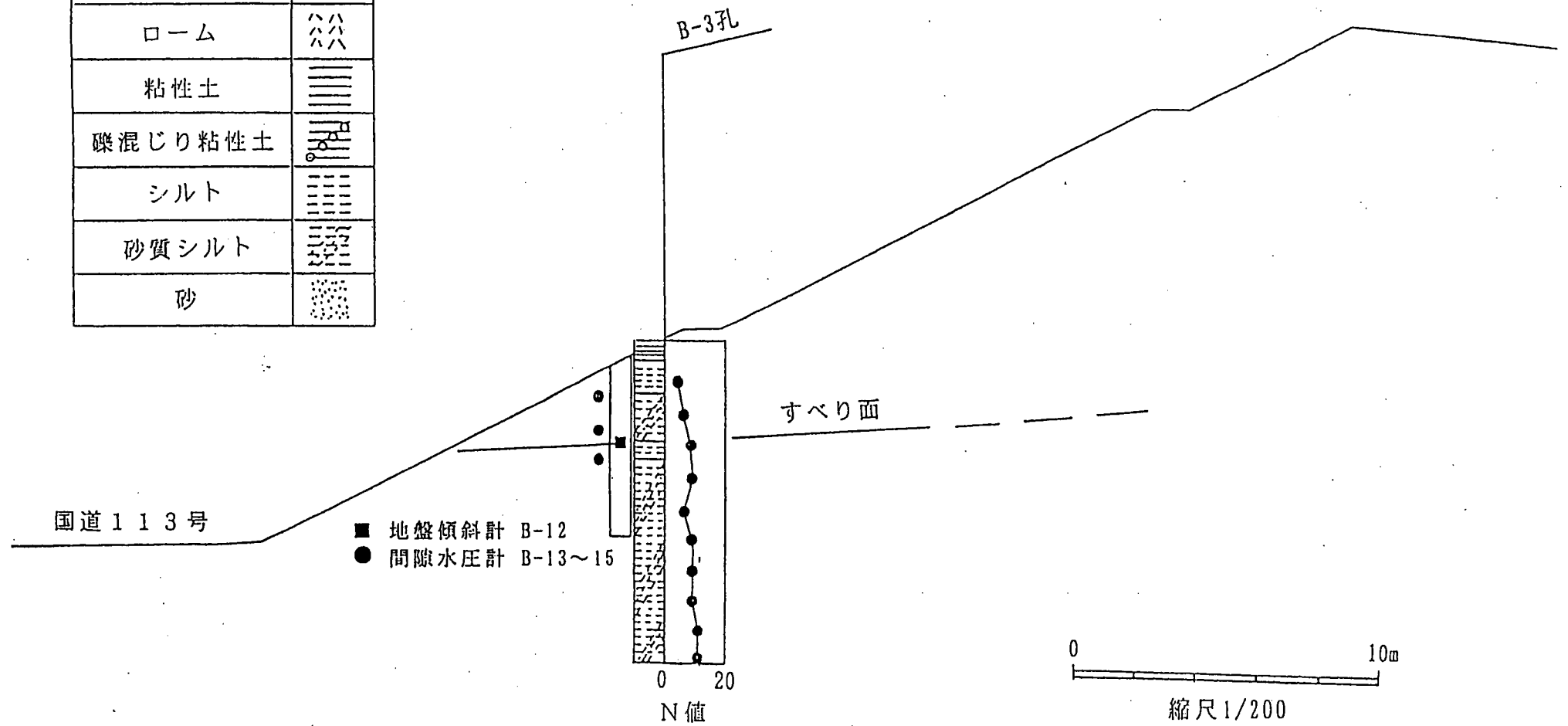


図-5.6 観計器設置平面図 (飯豊町)



図-5.7 飯豊町における観測開始から平成9年3月までの観測記録

## (1) まとめ

### 1) 観測計器の選定

法面の不安定化は、地盤の浸潤に伴う強度低下によって誘発される。したがって、観測計器としては、地盤の浸潤過程における変形が経時的に観測できるものとする必要がある。また、その深度における土壌水分量いふなれば発生間隙水圧の経時変化も捉える必要がある。

地盤の変形を捉えるものとしては、傾斜計があるが、同じ位置での微妙な経時変化を捉えることから、設置型でかつ高精度のものが要求される。また、間隙水圧は、地盤内部の状態が不飽和であることから、負の間隙水圧を測定できるものとする必要がある。

以上のことを勘案して、平成5年度に設置した山田町においては、地盤傾斜計は、インクリノメータを用いるものとし、間隙水圧については、不飽和の含水比状態における土壌水分量から、地盤材料のpF値から間隙水圧を把握するタイプの土壌水分計を用いることとした。

地盤の浸潤過程を捉えるためには、水の供給源である降雨を観測する必要がある。また、そのときの気温を把握することも重要である。したがって、ここでは雨量計ならびに、温度計を設置して、降水量及び、気温もモニタリングすることとした。これらの計器も地盤傾斜計や土壌水分計と同時に計測する必要があることから、自動観測が可能な計器を用いることとした。

## 1) 山田町における観測結果

### 1)－1 地盤傾斜計

平成7年4月から平成9年3月までの2年間の傾斜計の動きについてみると、下表に示すように、年間約0.05度程度の動きを示している。傾斜計の測定区間を60cmとして、傾斜計の上端と下端の変位を計算すると、0.1度の動きがあった場合でも、その変位は  $\sin(0.1) \times 60\text{cm} = 0.1\text{cm}$  となり、動きはあったものの、のり面が不安定化するような大きな変状には至っていないことが伺える。なお、地盤傾斜の動きは間隙水圧の上昇と対応している。

|    |   | 地盤傾斜 (度)   |            |            |
|----|---|------------|------------|------------|
|    |   | H7. 04. 01 | H8. 04. 01 | H9. 03. 07 |
| 上段 | A | 0.12       | 0.17       | 0.23       |
|    | B | -0.10      | -0.05      | -0.03      |
| 下段 | A | 0.13       | 0.18       | 0.17       |
|    | B | 0.06       | 0.02       | 0.00       |

### 1)－2 間隙水圧 (土壌水分計)

センサー設置部は不飽和帯であり、各センサーは負圧を示している。上段、中段とも、深度が浅いほど変化が急激で、深くなる緩やかな変化を示している。また、間隙水圧の上昇の仕方は、時間降雨量ばかりでなく、降り始めの間隙水圧 (土壌水分) や降雨の継続時間にも依存している。なお、間隙水圧の測定は大気圧の影響を受けるため、大気圧データを入手し、補正を行っている。

### 1)－3 降水量観測

雨量計は法面下段に設置している。雨量計自体に埃などの対策は施されているが、覆い等をかぶせることが出来ないため、どうしても埃が入ってしまう。平成7年4月～7月にかけて、観測記録上、雨が異常に少ないのは、埃等により、感度が悪くなっていたためと考えられる。

8月の観測時に雨量計を点検・清掃し、その後は正常に機能している。調査地は比較的雨の少ない所であり、観測期間中の時間雨量の最大値は10mmであった。

### 1)－4 気温観測

気温の観測は、下小段に設置した百葉箱内で行っている。観測点では期間を通じての最高気温が30.8度 (H07. 07. 28)、最低気温が-10.8度 (H8. 02. 02) であった。

## 2) 飯豊町における観測結果

### 2)－1 地盤傾斜計

地盤傾斜計は、上段(B-11)と下段(B-12)に1台ずつ設置している。

平成7年4月から平成9年3月までの2年間の傾斜計の動きについてみると、下表に示すように、A方向すなわち法面に直交する方向に年間約1.1度程度の動きを示しており、B-12の動きが特に大きい。傾斜計の測定区間を60cmとして、B-12傾斜計の上端と下端の変位を計算すると、1.1度の動きがあった場合、その変位は  $\sin(1.1) \times 60\text{cm} = 1.1\text{cm}$  となる。

なお、地盤傾斜に変動が現れたのは、平成7年3月頃（雪解けはじめ頃）が最も大きく、7、9、11月に少し変動している。平成8年4月以降は、急激な変動は見られないものの、徐々に変位が増えている傾向にある。しかしながら、11月以降は比較的落ち着いている。この地区については、山田町のまさ土法面と比較すると、間隙水圧との対応は明瞭ではない。

|      |   | 地盤傾斜（度）    |            |           |
|------|---|------------|------------|-----------|
|      |   | H7. 04. 01 | H8. 04. 01 | H9. 03. 7 |
| B-11 | A | -0.03      | -0.08      | -0.15     |
|      | B | -0.03      | -0.12      | -0.15     |
| B-12 | A | 3.35       | 4.48       | 5.60      |
|      | B | 0.15       | 2.18       | 2.00      |

### 2)－2 間隙水圧観測

間隙水圧計は、中段ですべり面を挟んで3深度で測定している。深度4mに設置したB-13は地下水位面より下にあり、B-14, B-15は地下水位より上にある。3箇所とも降雨に反応して変化するが、B-14, 15は降雨がない時期には間隙水圧が負になることもあり、不飽和状態になっていることを示している。B-13は間隙水圧が負になることは無く、常に飽和状態に有ることを示している。

### 2)－3 地下水位観測

B-1（中段）の水位はGL-2.5m前後、B-4（上段）の水位は、GL-7m前後を中心に变化しており、2箇所とも降雨に応じた変化を示している。

### 2)－4 降水量観測

雨量計は法面上段に設置している。

観測期間中の時間雨量の最大値は17mmであった。

なお、平成8年の2月初旬に連続降水量が100mmを越えた形で観測されているが、これは、雨量計に取り付けてあるヒーターの影響で、積雪が降雨として観測されたものと思われる。

## 2)－5 気温観測

気温の観測は、上段に設置した百葉箱内で行っている。観測点では期間を通じての最高気温が37.2度 (H07.07.24)、最低気温が-12.2度 (H8.01.14)であった。

### 3) 考察

#### 1) まさ土単一構造法面

観測期間中の比較的大量の降雨があった平成6年6月13日と9月15日の降雨観測記録の図を次ページに示す。

図に見られるように、地盤の浸潤は降水により地表から始まり、浸潤過程の一般的特性として、土壌水分増加量が浅部で大きく深部では小さく、深部の増加開始時刻が浅部に対して遅れ、また地盤の吸水過程の時間が短く、排水に要する時間が長い現象が検証された。

本調査で得られた結果の1つは、降水と地盤の遅延応答の関係が見いだされ、それが降雨前の地盤の湿潤状態と深く関わっていることである。地盤が乾燥状態あるいは、降水量が少ない場合には、降水による影響は深部にまでは及ばず、浅部でも2次遅延応答となる。しかし、地盤が湿っている場合や、5mm/h以上の降雨が半日以上続くような場合には、深部にまでその影響が顕著に現れ浅部では1次遅延応答となる。

降水による地盤浸潤の影響は、地表からの深度が同じであっても、法面上部より下部で強く現れている。

室内試験では、含水比が臨界値（30%）を越えた場合には、せん断変位が起こるという結果が出ており、実際の地盤の含水比が臨界値以上に達した回数は10回で、そのすべてにおいて、変動量そのものは小さいが、せん断変位が観測されている。地盤の含水比が30%未満の場合には、地盤変動はほとんど認められていない。

地盤内の含水比の増加についての観測結果と、室内試験及び斜面変動観測結果とから導き出される重要な結論は、斜面の不安定化は降雨が原因となるが、降雨の様式や降雨量そのものだけではなく、降雨前の地盤の浸潤状態にも大きく依存していることである。

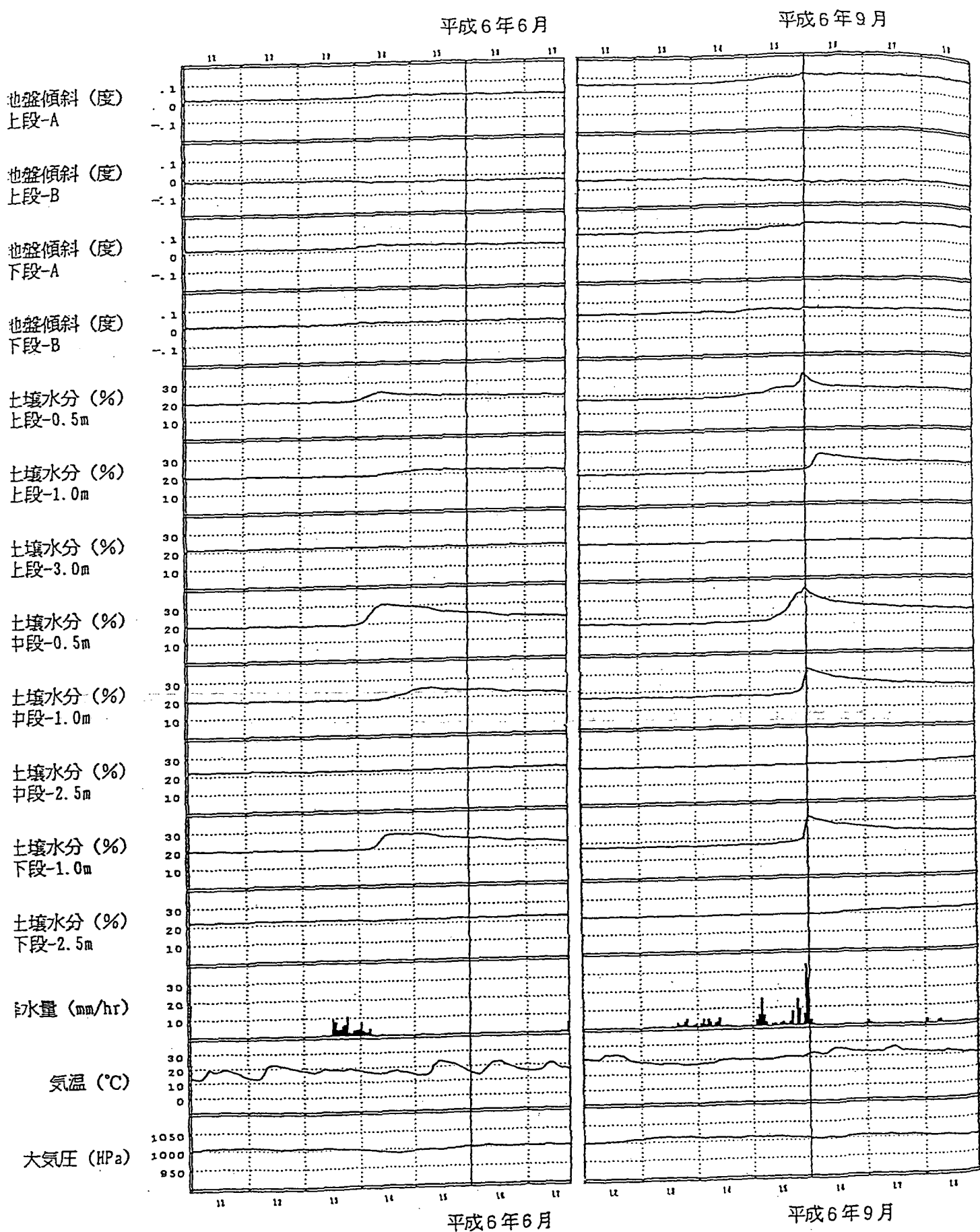
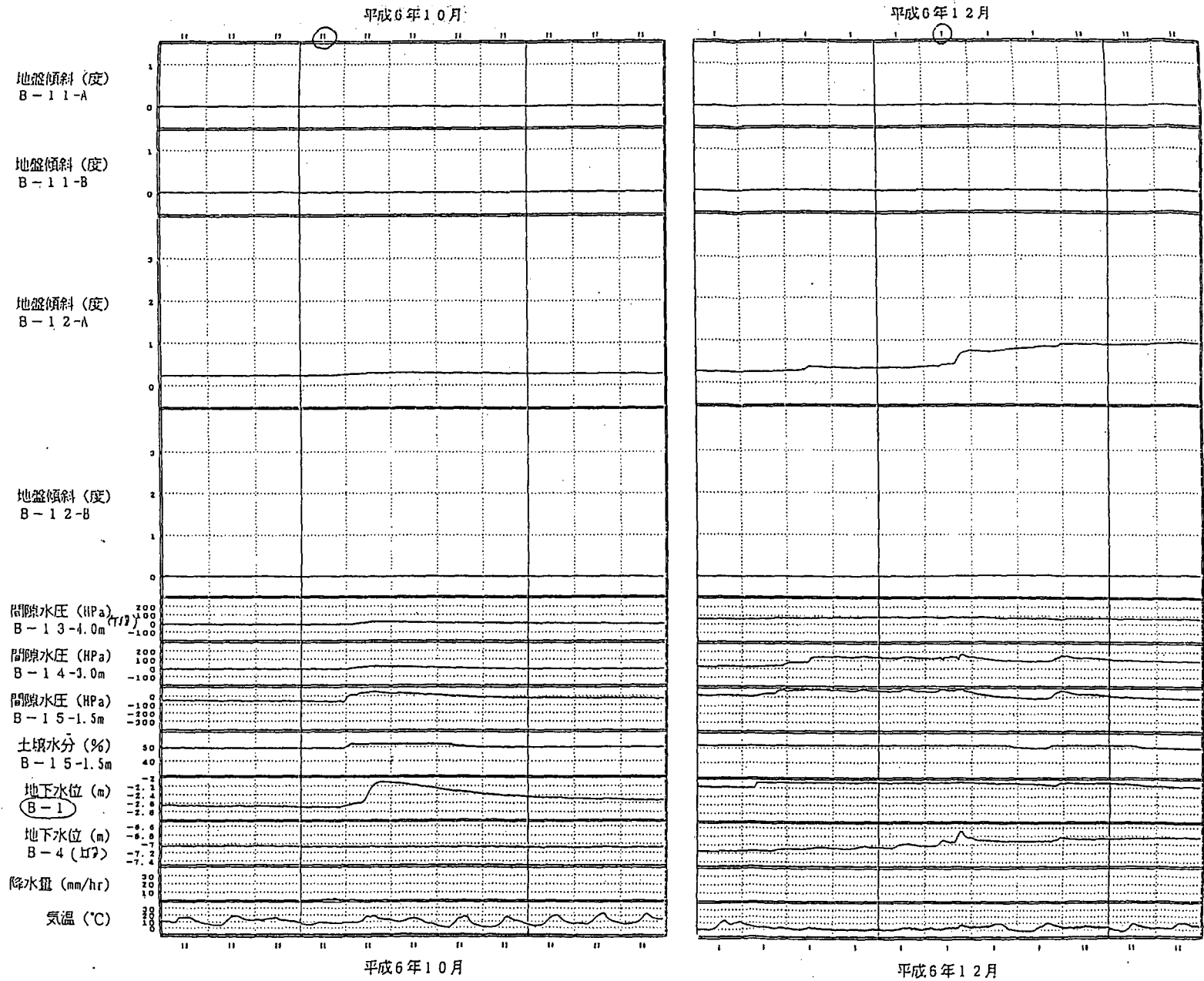


図-5.8 降雨によるマサ土斜面の不安定化



降雨による粘性土斜面の不安定化

融雪による粘性土斜面の不安定化 (2)

図-5.9 降雨と融雪によるモニタリング結果の違い

## 2) 既存すべり面を有する火山灰質粘性土法面

調査法面には弱面の存在が明確であり、不安定化の要因は、降水あるいは融雪水の浸潤による弱面より上盤の重量の増加と地下水位の上昇、それに引き起こされる間隙水圧の増加によるすべり粘土のせん断強さの低下である。

平成6年度の観測記録のうち、少量の降雨があった平成6年10月21日、および法面表面の積雪が融けて降雨と同じような効果を及ぼした12月7日の観測記録を次ページに示す。

夏季の地盤が乾燥して地下水位がすべり面より下にあるときには、すべりは発生しない。降雨によりすべり面上盤が水を含み、地下水位がすべり面より上になると、変位量は1～2mm程度とわずかであるがすべりが発生する。降雨がやめば、地盤含水比は低下し、地下水位も低下する。

冬季に入り法面表面を積雪が覆うと、地表面からの水の蒸発はなくなり、さらに融雪水が地盤にしみ込むため、すべり面上盤土壌の含水比は非常に大きくなり、地下水位も上昇したままになる。このとき、地盤の含水比あるいは、地下水位がある一定値を越えるとすべりが発生する。その臨界値より再び下がるとすべりは停止する。

ここで注目すべき観測結果は、地盤の含水比あるいは、地下水位が臨界値を越えている期間が長いと、すべりの変位量は5～7mmと大きいことである。

夏季には、臨界値を越えている期間は降雨中だけであったが、冬季には、表面の積雪と融雪のため、臨界値を越えている期間は、ときには1週間近くになっている。そのため、1回の変動量も5倍以上の大きな値となっている。

(添川地点に代表される積雪地帯における融雪期の浸潤の問題について)

北陸地建においては、積雪・降雪量を雨量に換算して検討を進めているようであるが、今回調査地点では、積雪量を測定しておらず、それを雨量に換算して検討することは現状では難しい。しかしながら、それを間隙水圧及び地下水位で見ると、融雪期に若干間隙水圧の上昇や水位の上昇が見られており、地盤傾斜計の動きと比較的一致した傾向が見られている。したがって、間隙水圧等のモニタリングを行えば、雨量に対する融雪量の補正は行わなくてもいいものと思われる。また、当地点に設置してある雨量計には、ヒーターがついているため、雪は解けて降水量としてカウントされる。



5.2.1 長野工事事務所管内 長野市斜面

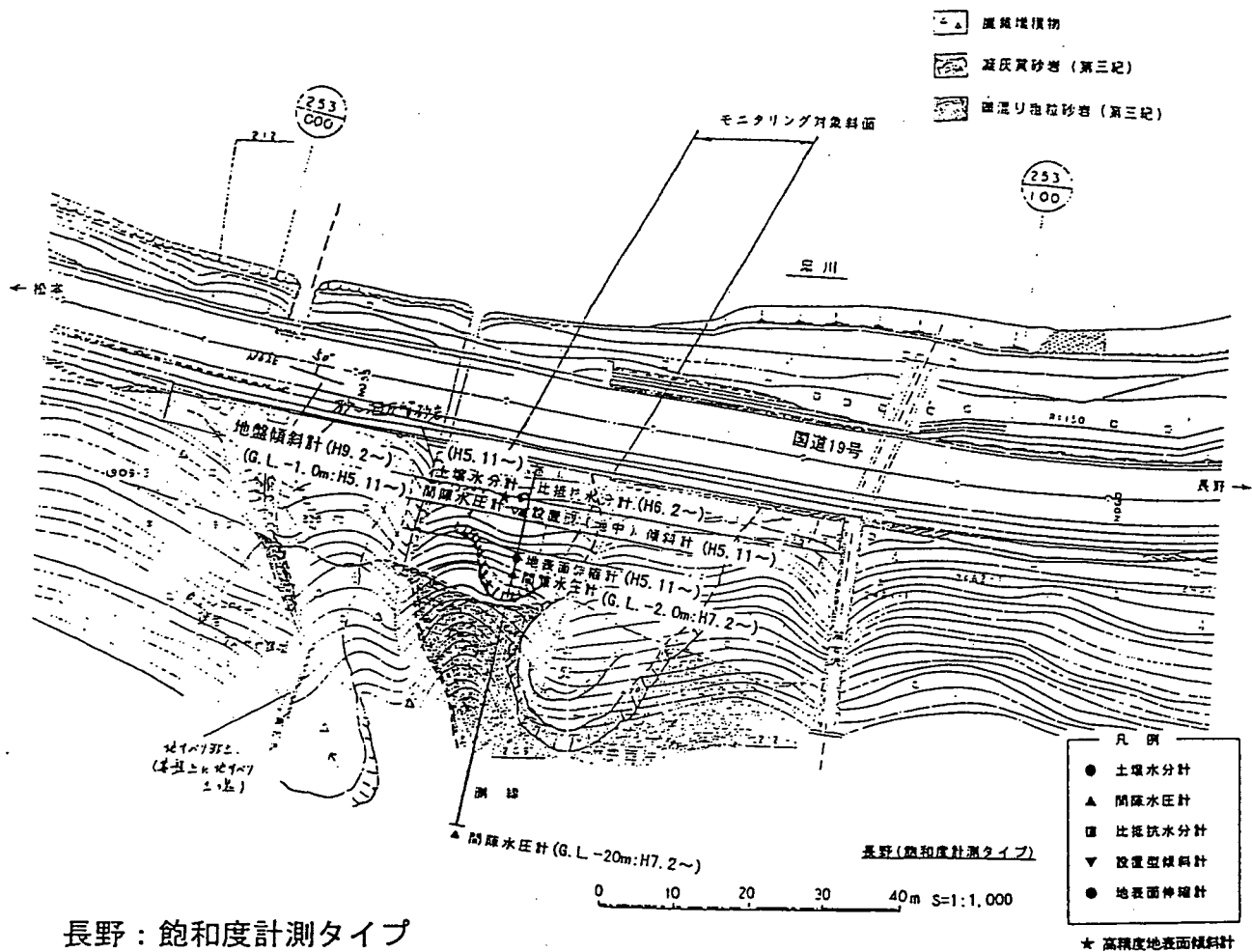
5.2.2 甲府工事事務所管内 勝沼町斜面

担当  
関東地方建設局  
関東技術事務所



## 5.2.1 長野市斜面

|              |                                                                                  |                                                |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 斜面管理者        | 関東地建 長野国道事務所                                                                     |                                                |
| 地点名          | 長野県長野市                                                                           |                                                |
| 路線・キ口程       | 国道19号 253.1km                                                                    |                                                |
| 通行規制         | 連続雨量130mm                                                                        |                                                |
| 斜面条件         | 地質                                                                               | 第三紀鮮新統 砂岩泥岩互層 流盤構造<br>表土層 風化岩（砂質粘土）            |
|              | 向き                                                                               | 北西向き                                           |
|              | 勾配                                                                               | 35°～40°（平均40°）                                 |
|              | 風化層厚                                                                             | 0.5～1.5m                                       |
|              | 対策工                                                                              | なし                                             |
| 斜面調査         | 簡易貫入試験：1測線9点                                                                     |                                                |
|              | 比抵抗映像法：1測線, 夏・冬,                                                                 |                                                |
|              | 地下レーダー：1測線                                                                       |                                                |
|              | サンプリング：シンウォール -0.6～-1.0m 6ヶ（表土層）                                                 |                                                |
| モニタリング<br>計測 | 土壌水分計                                                                            | 下部×3点(0.3m, 0.6m, 1.0m) 計3点                    |
|              | 間隙水圧計                                                                            | 下部×1点(1.0m)<br>中腹×1点(2.0m)<br>上部×1点(20.0m) 計3点 |
|              | 地盤傾斜計                                                                            | 下部×1点（平成9年2月より） 計1点                            |
|              | 孔内傾斜計                                                                            | 下部×1点(1.25m) 計1点                               |
|              | 雨量計                                                                              | 上部×1点 計1点                                      |
|              | その他                                                                              | 地盤伸縮計×1点, 比抵抗水分計×1点(0.85m)                     |
| 土質試験         | 現場透水試験： $k=2.2 \times 10^{-2} \sim 3.2 \times 10^{-3} \text{cm/s}$               |                                                |
|              | 三軸圧縮試験：1地点, 6試料のうち1試料で実施<br>(CU) $c'=0.07 \text{kgf/cm}^2$ , $\phi'=33.85^\circ$ |                                                |
| 計測期間         | 平成5年10月～平成9年12月                                                                  |                                                |
| 備考           | ・地表面伸縮計が春と秋に断線する（山菜とキノコ狩り？）                                                      |                                                |



長野：飽和度計測タイプ

図-5.11 計器設置地点概要平面図 (S=1:1000)

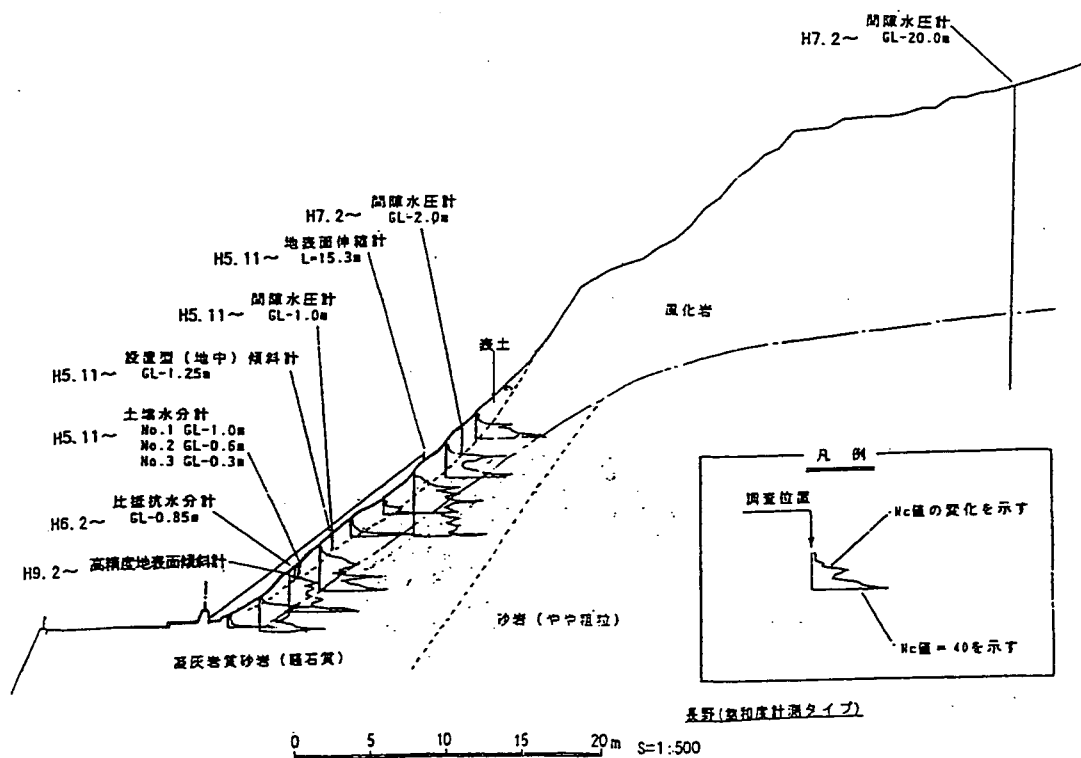


図-5.11 計器設置地点概要断面図 (S=1:500)

モニタ地区：長野

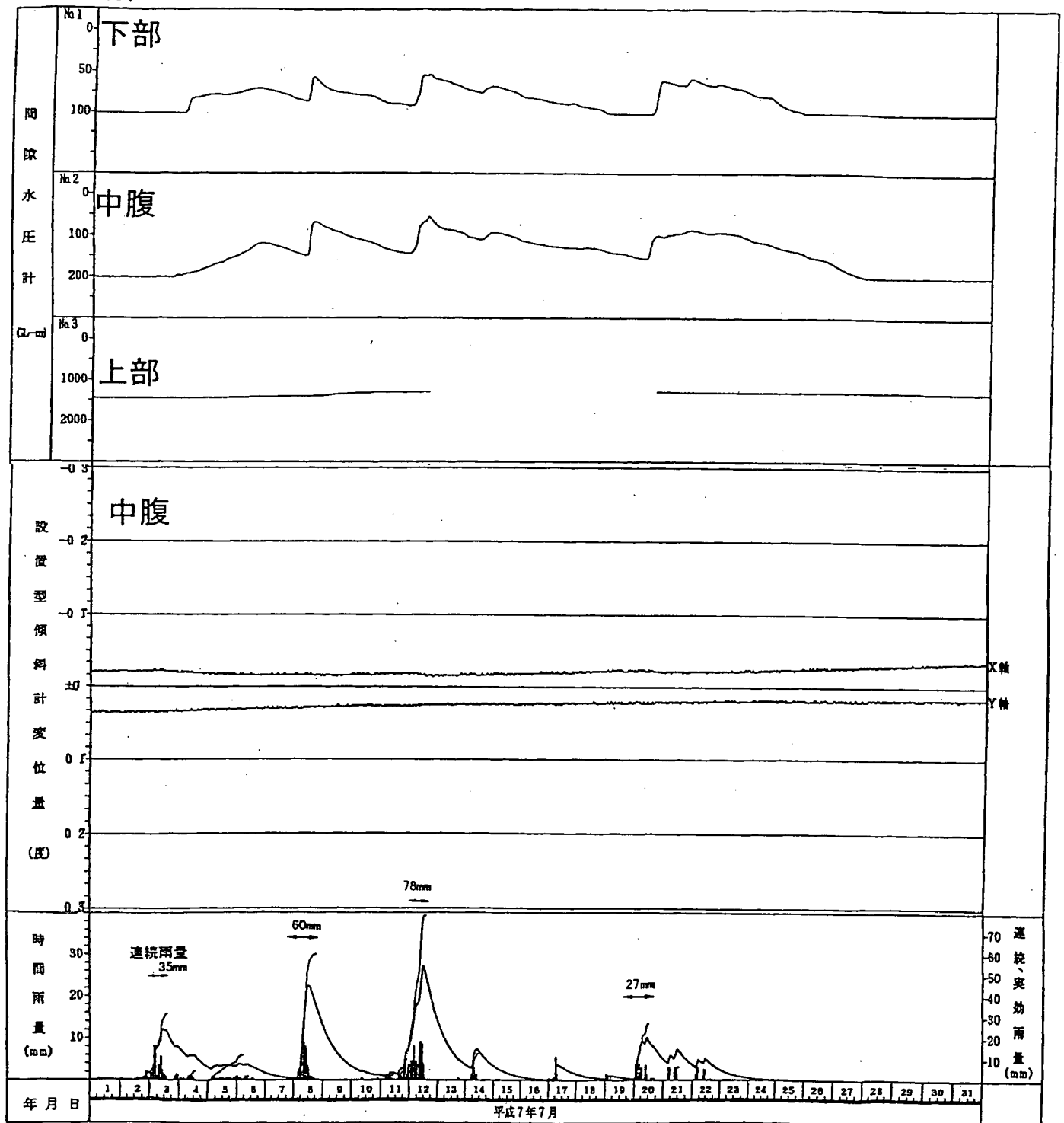


図-5.12 モニタリング観測例（長野：平成7年7月）

## 試験試料の採取

試験試料は、シンウォールサンフラーを用い採取したが、力学試験を行うための整形ができず、突き固め、湿潤密度を調整し力学試験を行った

## 基本的物性試験

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| 土粒子の密度試験 $\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>  | 2.690  |
| 自然含水比試験 $\omega_n$ g/cm <sup>3</sup> | 27.900 |

## 粒度試験

|          |                |   |               |
|----------|----------------|---|---------------|
| レキ分      | 2~75mm         | % | 1             |
| 砂分       | 75 $\mu$ m~2mm | % | 65            |
| シルト分     | 5~75 $\mu$ m   | % | 28            |
| 粘土分      | 5 $\mu$ m未満    | % | 6             |
| 均等係数     | $U_c$          |   | 15.0          |
| 曲率係数     | $U'_c$         |   | 2.20          |
| 最大粒径     | mm             |   | 4.75          |
| 日本統一土質分類 |                |   | 火山灰質粘性土 (VH1) |

## 液性塑性限界試験

|      |            |   |      |
|------|------------|---|------|
| 液性限界 | $\omega_L$ | % | 39.3 |
| 塑性限界 | $\omega_p$ | % | 27.0 |
| 塑性係数 | $I_p$      |   | 12.3 |

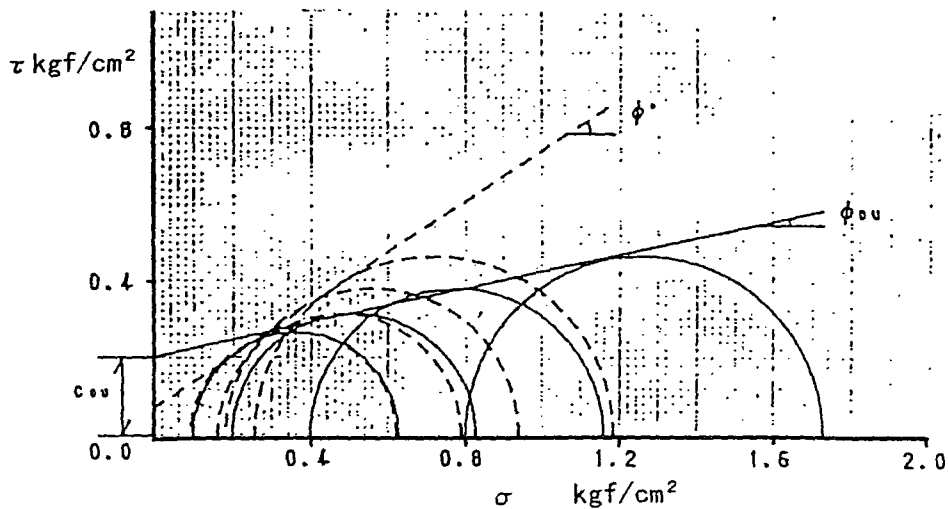
## 力学試験

### 三軸圧縮試験 CU

|       |         |                     |       |
|-------|---------|---------------------|-------|
| 粘着力   | $C'$    | kgf/cm <sup>2</sup> | 0.07  |
| 内部摩擦角 | $\phi'$ | 度                   | 33.85 |

※湿潤密度を1.7g/cm<sup>3</sup>に調整し行った。

この結果を表土の強度とし、現地形を元に安定計算を行うと、圧力水頭が0.7mで安全率1を切ることとなる。



#### 5.2.4 勝沼町斜面

|              |                           |                                     |       |
|--------------|---------------------------|-------------------------------------|-------|
| 斜面管理者        | 関東地建 甲府工事事務所              |                                     |       |
| 地点名          | 山梨県東山梨郡勝沼町・大和村            |                                     |       |
| 路線・キ口程       | 国道20号 116.7km             |                                     |       |
| 通行規制         | 連続雨量200mm                 |                                     |       |
| 斜面条件         | 地質                        | 古第三系 頁岩, 砂岩<br>表土層 崖すい堆積物 (砂混じりレキ状) |       |
|              | 向き                        | 南西向き                                |       |
|              | 勾配                        | 35° ~50° (平均38° )                   |       |
|              | 風化層厚                      | 1.0~1.5m                            |       |
|              | 対策工                       | なし                                  |       |
| 斜面調査         | 簡易貫入試験 : 1 測線 (移設前)       |                                     |       |
|              | 比抵抗映像法 : 2 測線・移設箇所選定のため   |                                     |       |
|              | ボーリング : 深度5m×2 孔, 標準貫入試験  |                                     |       |
|              |                           |                                     |       |
| モニタリング<br>計測 | 土壌水分計                     | : 下部×3 点 (0.3m, 0.6m, 1.0m)         | 計 3 点 |
|              | 間隙水圧計                     | : 下部×1 点 (1.6m)<br>中腹×1 点 (1.9m)    | 計 2 点 |
|              | 地盤傾斜計                     | : 下部×1 点 (平成9年2月より)                 | 計 1 点 |
|              | 孔内傾斜計                     | : 下部×1 点 (3.0m)                     | 計 1 点 |
|              | 雨量計                       | : 上部×1 点                            | 計 1 点 |
|              | その他                       |                                     |       |
| 土質試験         |                           |                                     |       |
| 計測期間         | 平成5年10月~平成9年12月           |                                     |       |
| 備考           | 平成6年に西方500mより現在の位置に観測点を移動 |                                     |       |

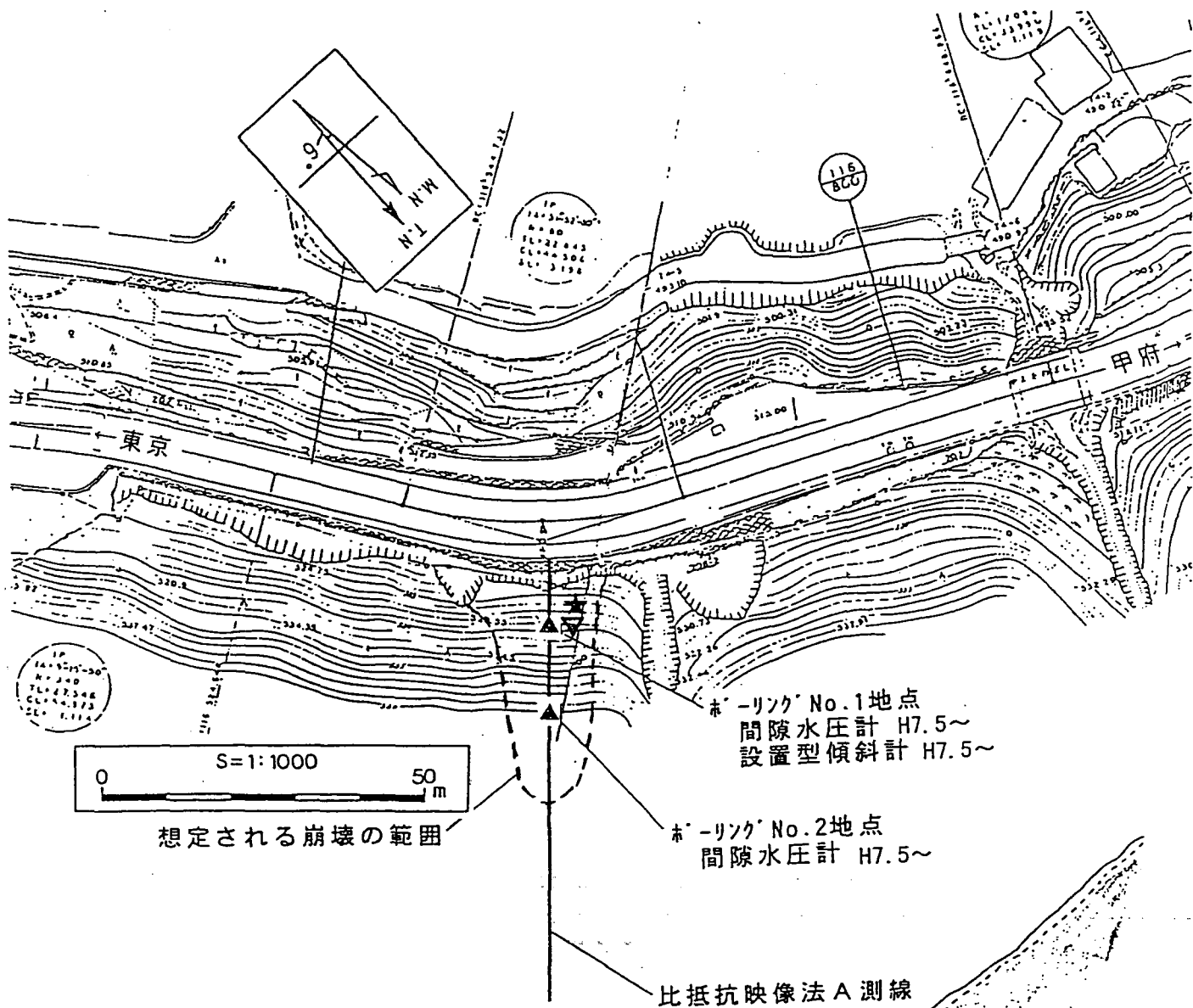


図-5.13 調査現場平面図

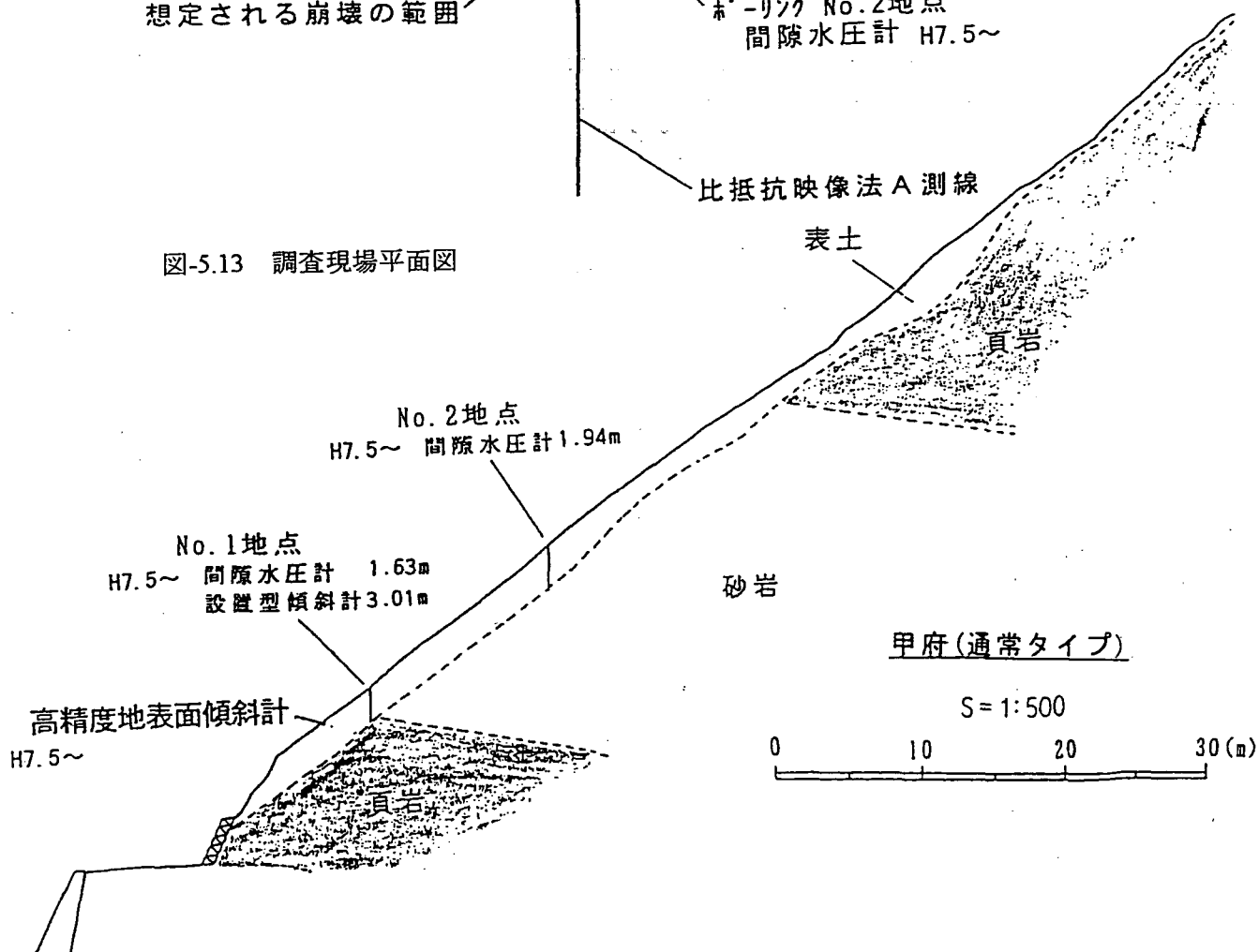


図-5.14 調査現場断面図

モニタ地区：甲府

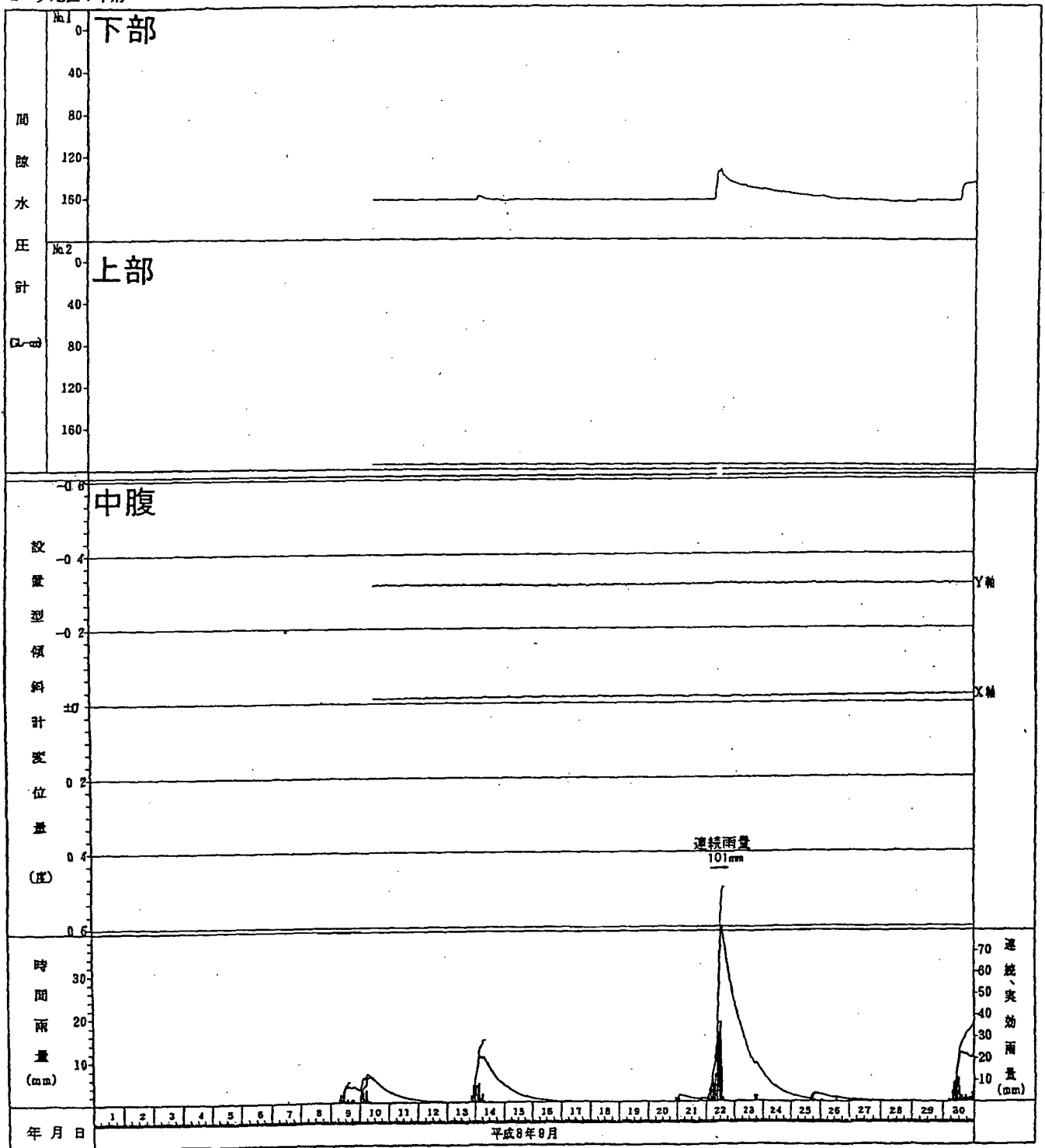


図-5.15 モニタリング観測例（山梨：平成8年9月）

## 5. 検討事項

### ①調査方法について

斜面の地質を把握するために、長野の飽和土モニタリング地点では、同測線上で簡易貫入試験、比抵抗映像法および地下レーダー探査を実施した。その結果、簡易貫入試験と比抵抗映像法を併用した方法が地山状態をよく表していた。一方、地下レーダーは、当斜面の表土と地山の新第三系凝灰質砂岩との物性のコントラストが明瞭でないために、良い結果が得られなかった。

以上のことを踏まえ、山梨の通常モニタリング地点では、現在のモニタリング個所に移設する際、計器埋設に先立つボーリング時に標準貫入試験を実施、あわせて同測線で比抵抗映像法を行い、地山の状態を把握した。

要約すると以下に挙げた方法の併用が必要である。

- ・ ボーリングや簡易貫入試験など直接地山を把握できる方法
- ・ 比抵抗映像法などの面的に把握できる探査手法

また、分布する地質状況に合わせた調査計画を立案する必要がある。

### ②モニタリング項目と計器の選定

モニタリング項目としては以下のものが挙げられる。

- ・ 降雨 (雨量計・短時間降雨予測など)
- ・ 表土の飽和度
- ・ 地盤の動き

#### <表土の飽和度>

当斜面では、表土の飽和度を測定する機器として、以下の3種類を設置した。

| 機 器 名  | 利 点                             | 問 題 点                                                                       |
|--------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 土壌水分計  | ・ 降雨によるサクション力の変化が詳しくわかる         | ・ 夏季乾燥期に計測異常が多い<br>・ 脱気水の補充が必要                                              |
| 間隙水圧計  | ・ メンテナンスフリーである                  | ・ 正の間隙水圧しか計測しない<br>・ タイムラグがある<br>( $k=3 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ で 20 秒) |
| 比抵抗水分計 | ・ 不飽和状況を把握できる<br>・ メンテナンスフリーである | ・ 補正が必要(今のところ不明)<br>・ 比抵抗を計測するため、気温の影響が大きい                                  |

#### 表土の飽和度をモニタリングする計器の比較

以上のように、用意に間隙水圧を把握できる計測機器としては、土壌水分計および間隙水圧計がある。土壌水分計は表土中のサクション力の変化が詳しくわかるが、夏季に表土の過剰な乾燥によって、脱気水の中に気泡を生じ、計測異常が発生するため、秋季の台風シーズンの降雨時に対応できない場合がある。また、これまでのモニタリングの結果、正の間隙水圧が発生しても斜面に異常が見られていないことから、正の

間隙水圧しか計測できない間隙水圧計でも飽和度をモニタリングする計器としては十分であろう。間隙水圧計の場合、前述したメンテナンスの点でも優位である。

# ＜地盤の動きを測定する機器変位＞

| 機 器 名          | 利 点                                                                                        | 問 題 点                                                                                                                     |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 地表面伸縮計         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・原理は単純で計測も容易</li> <li>・微少な地盤の動きも捉える事ができる</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・インバール線への着雪や植物の密着、入山者による切断などによる異常値が多い</li> <li>・すべり面を特定できないので設置個所の選定が困難</li> </ul> |
| 設置型傾斜計<br>(孔内) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・異常値が少ない</li> <li>・メンテナンスフリーである</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>・精度が低い(0.01°程度)</li> <li>・計器が地山になじむまで時間がかかる</li> </ul>                             |
| 高精度<br>地表面傾斜計  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・メンテナンスフリーである</li> <li>・高精度である(0.001°程度)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・データの蓄積がない</li> <li>・温度による補正が必要</li> </ul>                                         |

以上のように、地表面伸縮計および設置型傾斜計の場合、地すべりを対象とした計器であるため、すべり面が明確で、なおかつゆっくりと動く大きな変位を対象としている。したがって、表層崩壊のような、すべり面が不確定で、急激な変位を対象とした計測には不向きである。このような、急激かつ微少な変位をとらえる目的で高精度地表面傾斜計を平成8年度より導入した。データは解析中であるが、センサーが地表面に近いと、温度による補正が必要になることがわかった。

その他、モニタリングを行うに当たり注意する点は以下のことであった。

- ・誘導雷対策(光ケーブルの使用)
- ・動物によるケーブルの食害および被覆の腐食対策(フレキシブルチューブの使用)

## ③災害発生モデルと管理手法、およびその問題点

今までの計測結果で、正の間隙水圧の発生が確認された。にもかかわらず、斜面の変状は発生していない。

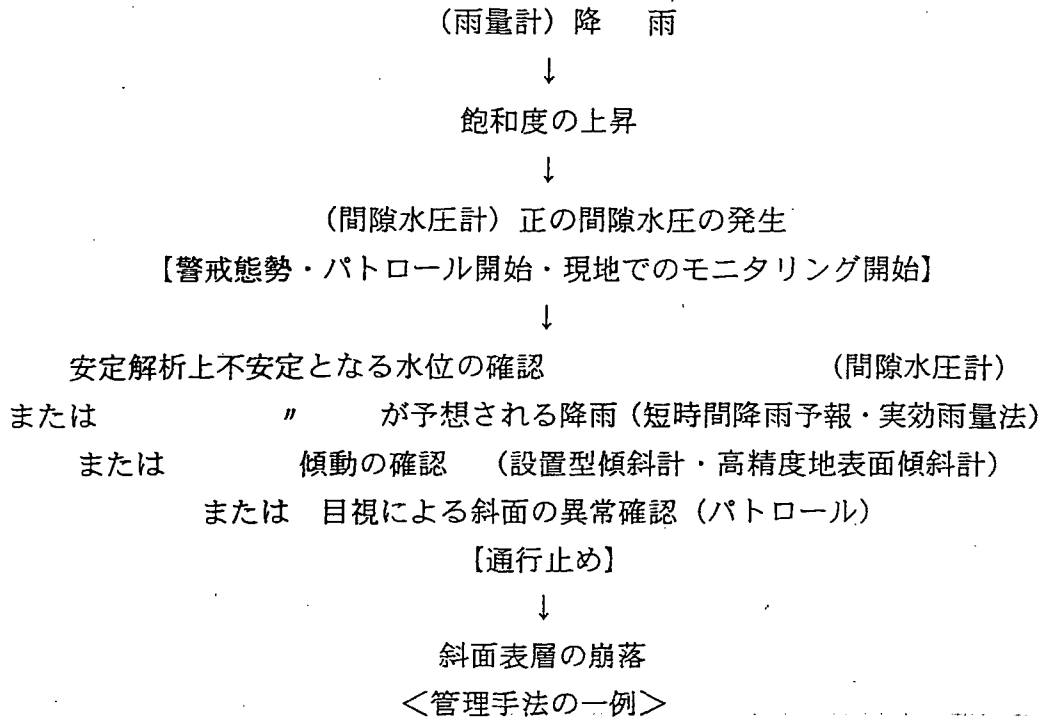
長野の現場において、付き固め試料ではあるが、表土の三軸圧縮試験の結果選られた $c, \phi$ を用いた安定計算では、70cmの正の間隙水圧が発生した場合安全率が1を下回る。今までの最高は約50cmであり、それに達していないからかもしれない。

したがって、斜面の安定度を土の飽和度から監視する場合はこの値が目安となるであろう。

今まで発生した正の間隙水圧を観測した結果、実効雨量法で半減期を現行の6～24時間ではなく、36～72時間にすることにより、変化のパターンが似通ってくることがわかった。今後、短時間雨量予測とリンクさせることができれば、表土中の間隙水圧の変化を予測することが可能になる。

また、佐々木他の研究でも明らかなように、崩壊に至るまでには微小ではあるが地盤の前駆的な傾動があるはずである。

以上のことから、現状、管理システムのイメージは以下の通りである。



上図で示した方法は、まず、日常は間隙水圧に着目し、正の間隙水圧が発生した時点で【警戒体制・パトロール】を開始する。

表層崩壊の場合、変動から崩壊までの余裕時間が短い。したがって、現地のパトロールにもパソコンを持参し、現地では目視による斜面の異常の確認はもちろんのこと、現地のデータがリアルタイムで観測できるシステムで監視する。降雨が停止しても間隙水圧はすぐに下降しないことから、正の間隙水圧がなくなるまで【通行止め】にすることが望ましい。または、現地のモニタリングでは、水位の上昇、および高精度地表面傾斜計による傾動に着目し、以上のいずれかで異常を検知したら直ちに【通行止め】にする。

さらに、降雨の短時間予測を取り込めれば、数時間後の間隙水圧の値を計算によって予想でき、数時間後の不安定の状態を把握することが可能となるであろう。

## 6. まとめ

### <斜面の調査方法>

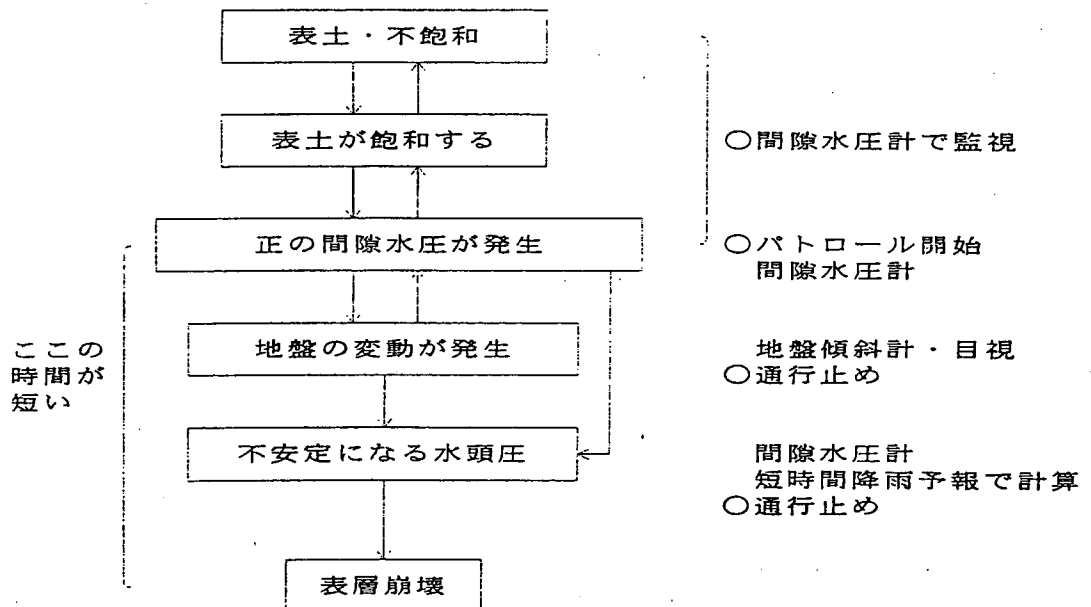
- 直接的な手法（ボーリング、貫入試験など）と間接的で面的な手法（比抵抗映像法などの物理探査）の併用が望ましい。ただし、各斜面の地質にあった手法を用いる必要がある。

### <モニタリング>

| 項目    | 計測機器           |
|-------|----------------|
| 土の飽和度 | 間隙水圧計          |
| 地盤の変位 | 傾斜計（孔内設置型・地表面） |
| 降雨量   | 雨量計、短時間降雨予報    |

その他、光ケーブルの使用、フレキシブルチューブによる保護

### <管理手法>





#### 5.3.1 岐阜国道工事事務所管内 関ヶ原町斜面

担当  
中部地方建設局  
中部技術事務所



## 5.3.1 関ヶ原町斜面

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 道路管理者        | 中部地建 岐阜国道工事事務所                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 地 点 名        | 岐阜県不破郡関ヶ原町大字山中                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 路線・キロ程       | 国道 21 号 85.4 km 下り線側                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 交通規制         | 規制区間外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 斜面条件         | <p>地質 基 盤：中生代 二疊紀 塊状泥岩（未風化部）<br/> 表土層 1：軟質化部（強風化部：風化泥岩）<br/> 表土層 2：土砂状風化部</p> <p>向き：北北西<br/> 勾配：45°（1割勾配）<br/> 表土（風化）層厚：0.8～3.3m<br/> 対策工：なし</p>                                                                                                                                                                                                          |
| 斜面調査         | <p>簡易貫入試験：1測線9点<br/> サンプリング：攪乱 DS-1 -0.2～-0.3m（表土層）<br/> DS-2 -0.2～-0.3m（表土層）</p>                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 土質試験         | <p>密度試験 沈降法 3地点（上・中・下部）×各1試料<br/> 粒度試験 2地点（上・中部）×各1試料<br/> 室内不飽和透水試験（定水位）×1<br/> 室内PF試験 砂柱法（PF:0～1.5）DS-1,DS-2<br/> 加圧板法（PF:1.5～2.0）上記試料を使用<br/> 力学試験 三軸圧縮（CD）：DS-1（初期間隙<math>e \approx 1.4</math>）<br/> DS-2（初期間隙<math>e \approx 1.2</math>）<br/> 飽和度は各試料で40,60,80,100%</p>                                                                              |
| モニタリング<br>計測 | <p>土壌水分計：上部×2点（-0.7、-1.0m）<br/> 中部×6点（-0.5、-1.0、-1.5、-2.0、-2.5、-3.0m）<br/> 下部×2点（-0.5、-1.0m） 計10点<br/> ±1.0kgf/cm<sup>2</sup>、PF:0.0～3.0、精度0.02kgf/cm<sup>2</sup>、安定度2%FS</p> <p>地盤傾斜計（温度計付）：1点（中部）<br/> （地表設置型 傾斜測定範囲±0.5度、精度<math>1.75 \times 10^{-6}</math>ラジアン/0.36秒）<br/> （温度計部測定範囲-25～70℃ 精度0.1度） 計1点</p> <p>雨量計 1点（上部：ヒーター付、転倒マス型、精度0.5mm） 計1点</p> |
| モニタリング<br>期間 | <p>土壌水分計（上部、中部） 平成6年4月～平成8年10月<br/> "（下部） 平成7年9月～平成8年10月<br/> 表面傾斜計 平成6年6月～平成8年10月<br/> 雨量計 平成6年7月～平成8年10月</p>                                                                                                                                                                                                                                            |
| 備 考          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

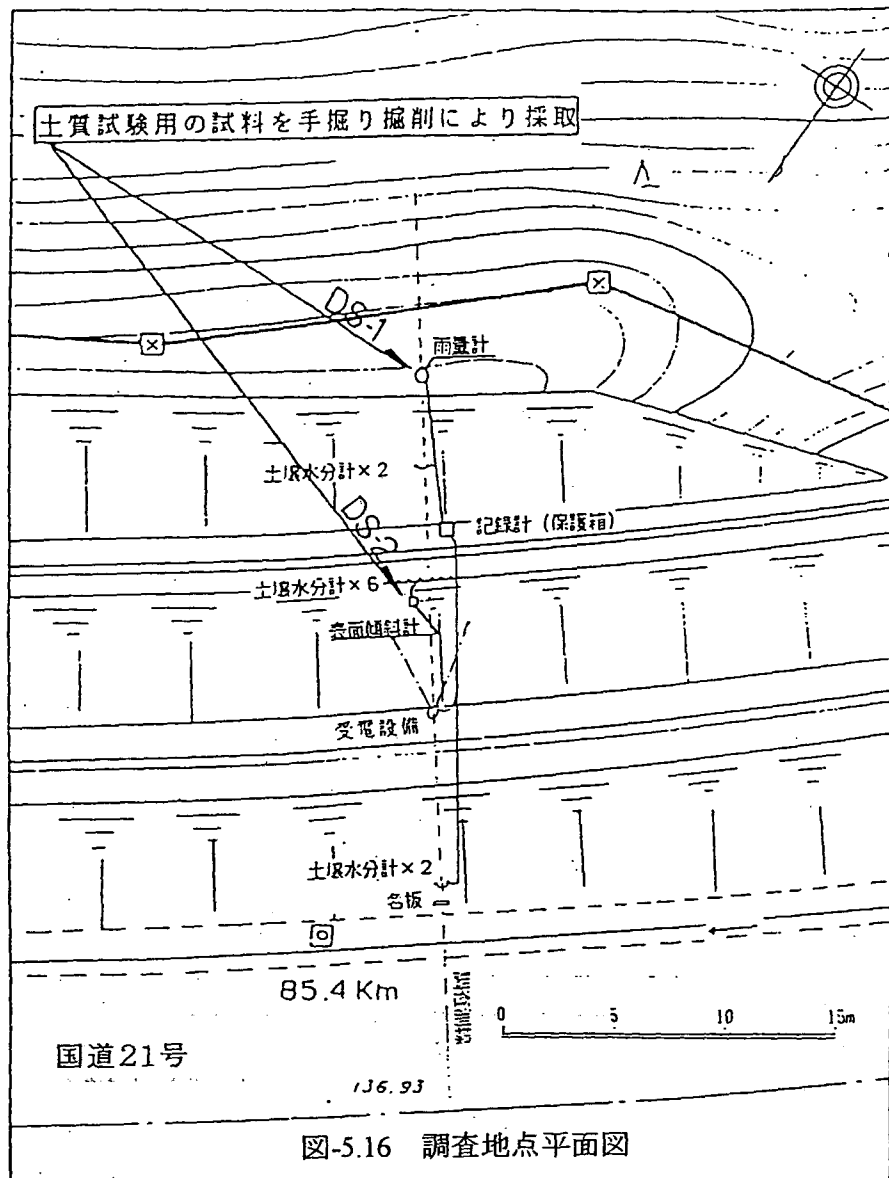


図-5.16 調査地点平面図

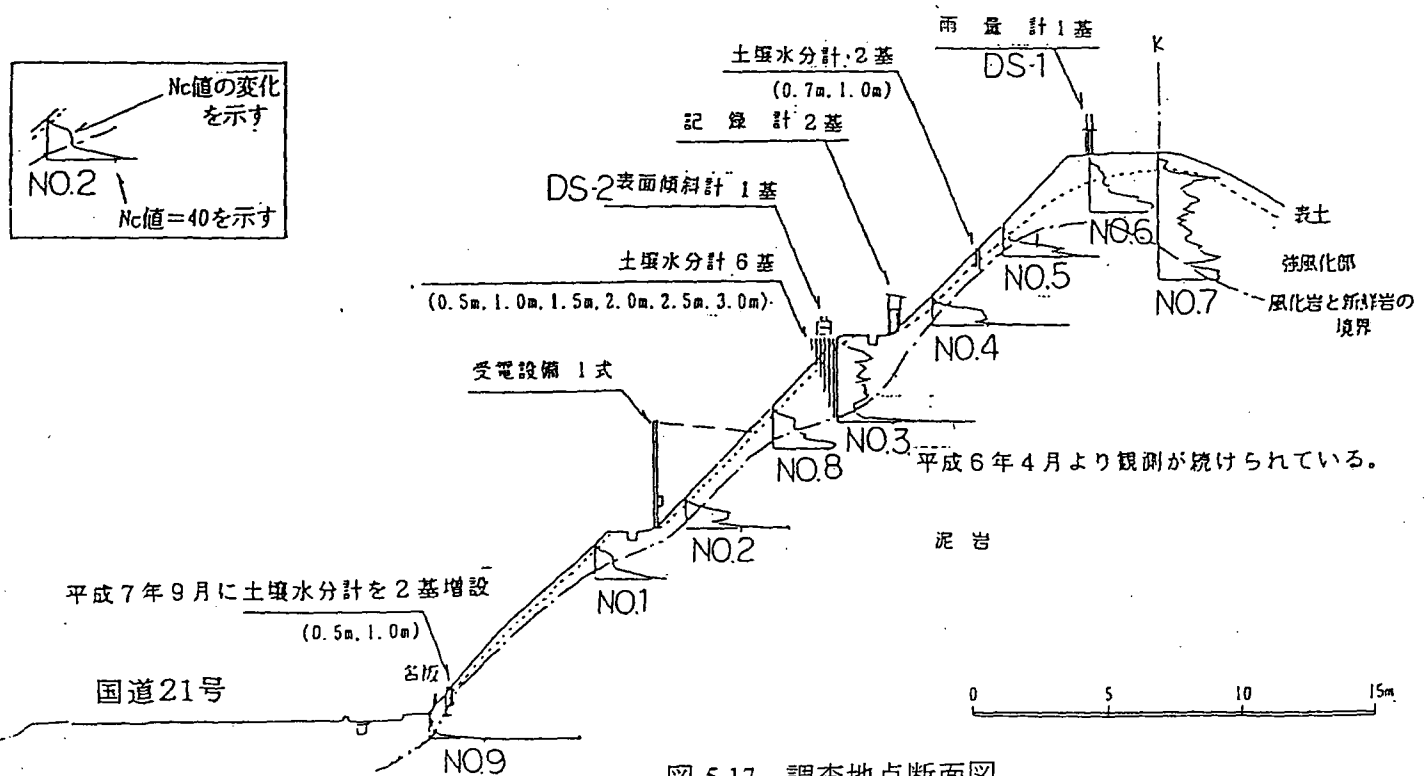


図-5.17 調査地点断面図

表-5.3 物理試験結果

| 試験項目   |                              | DS-1  | DS-2   |
|--------|------------------------------|-------|--------|
| 湿潤密度   | $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>   | 1.557 | 1.582  |
| 乾燥密度   | $\rho_s$ , g/cm <sup>3</sup> | 1.148 | 1.213  |
| 土粒子の密度 | $\rho_s$ , g/cm <sup>3</sup> | 2.705 | 2.711  |
| 自然含水比  | W, %                         | 35.6  | 30.4   |
| 間隙比    | e                            | 1.356 | 1.235  |
| 粒度試験   | 礫分                           | %     | 0      |
|        | 砂分                           | %     | 10     |
|        | シルト分                         | %     | 40     |
|        | 粘土分                          | %     | 50     |
|        | 50% 粒径                       | mm    | 0.0052 |

湿潤密度  $\rho$  は、砂置換法による土の密度試験結果を示した。自然含水比  $W_n$  は、粒度試験等に供した DS-1, DS-2 それぞれの試料調製した試料の含水比を示した。乾燥密度  $\rho_s$ 、間隙比  $e$  は試料調製した試料の含水比で求めた。

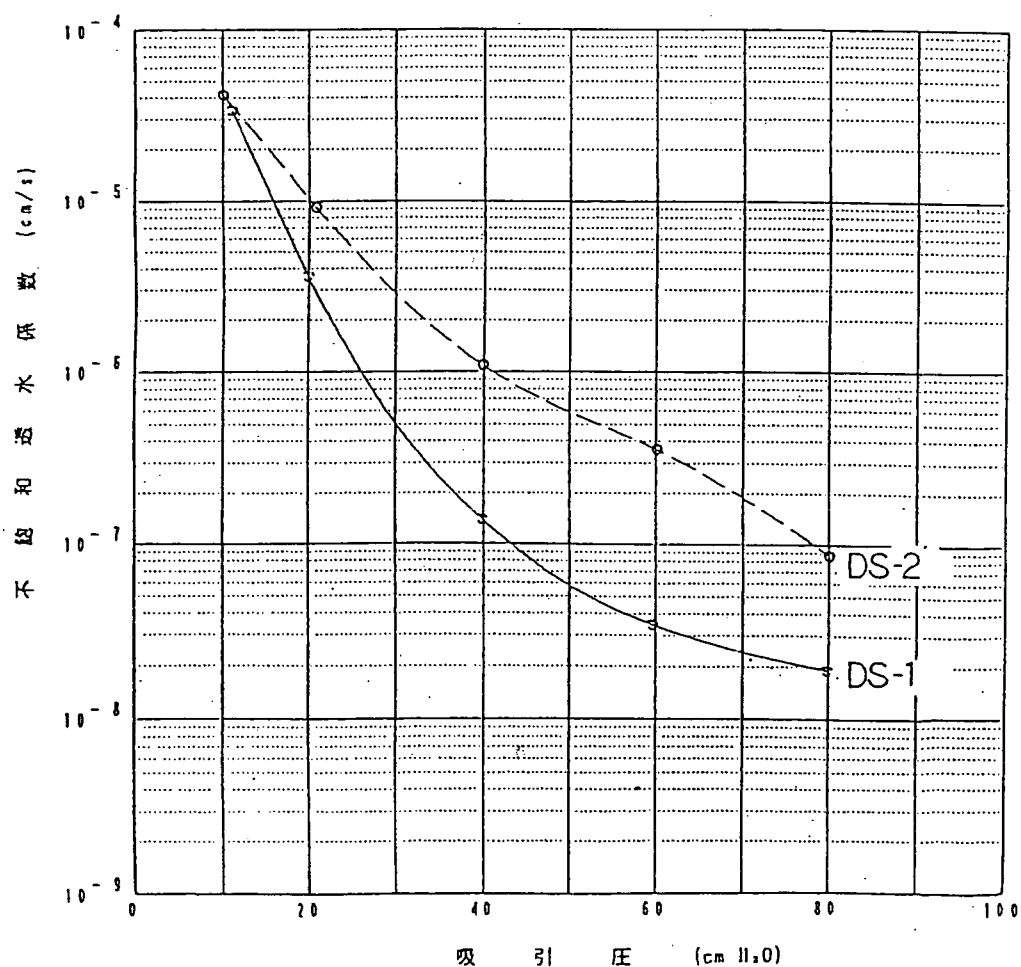


図-5.18 不飽和透水試験結果

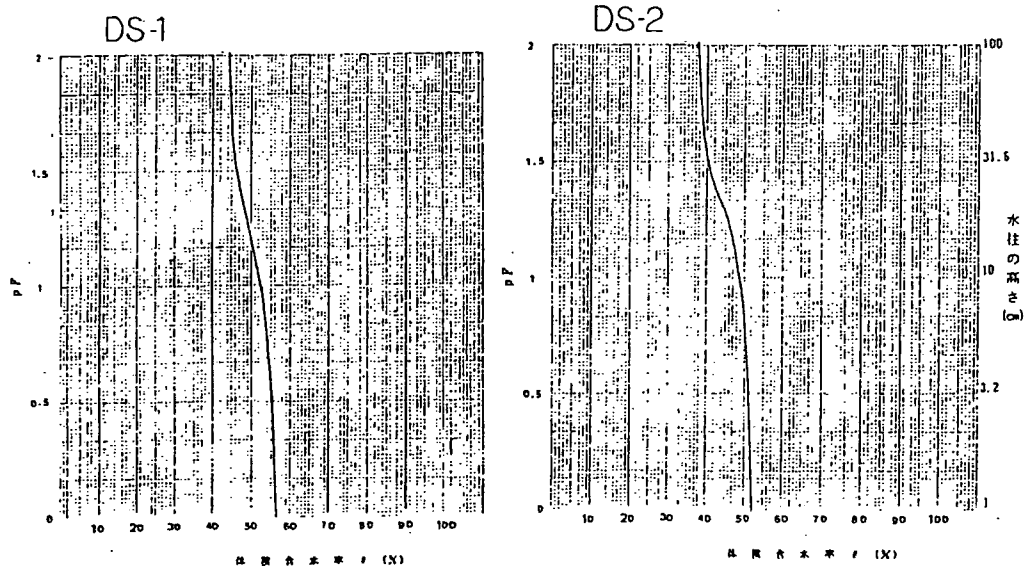


図-5.19 P F 試験結果

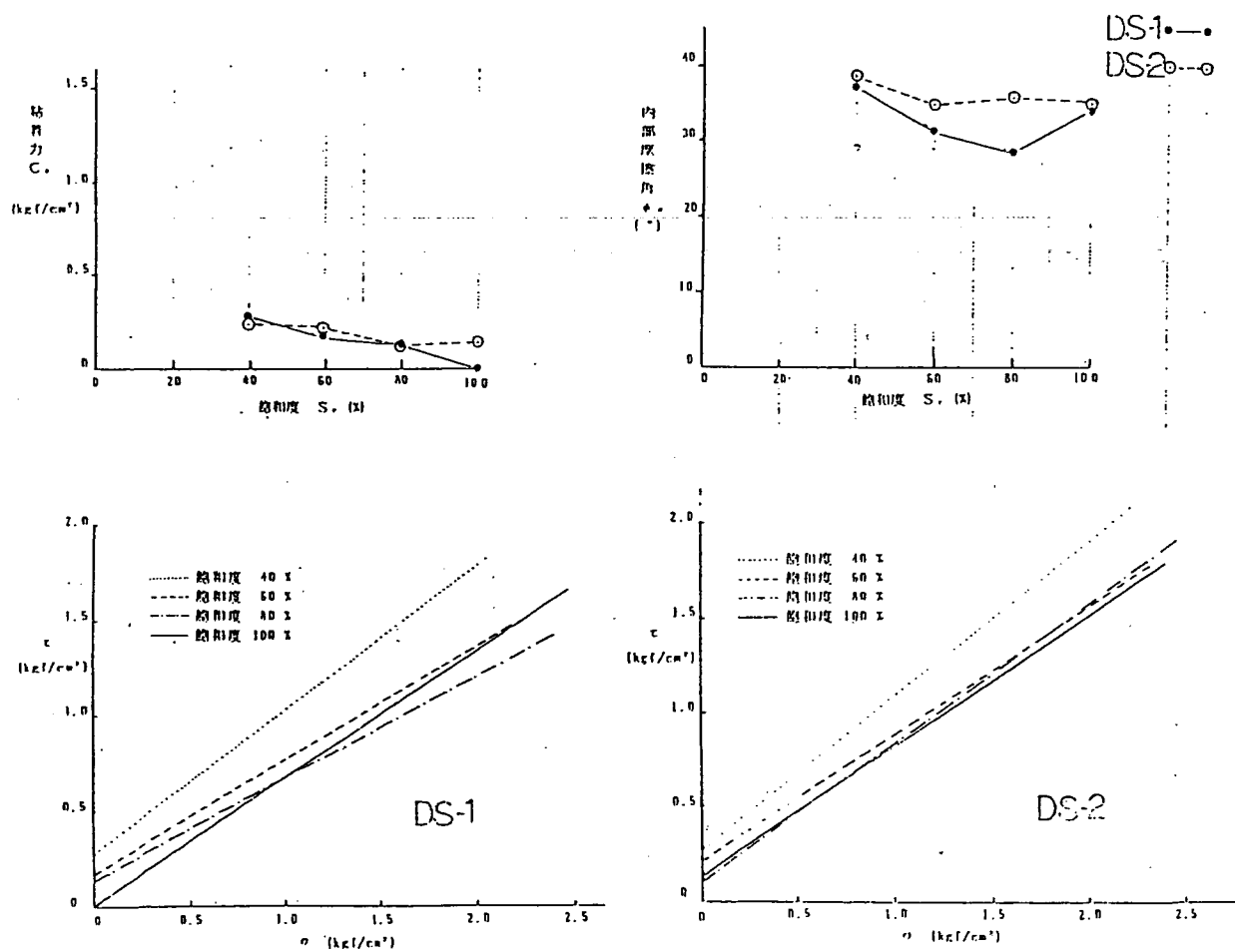


図-5.20 三軸圧縮試験結果

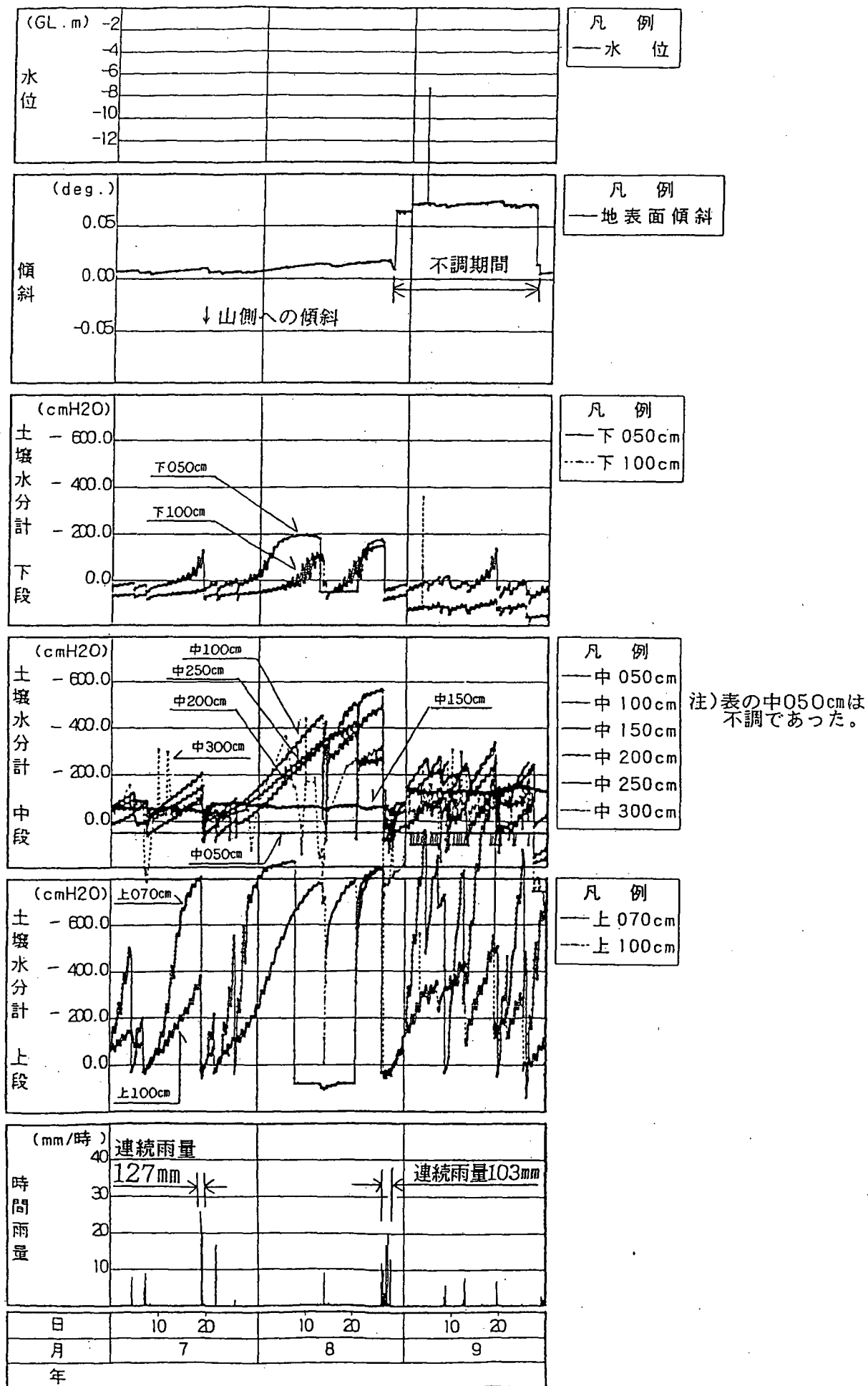


図-5.21 モニタリング観測例 (平成8年7/1~9/30)

# 1. モニタリング結果による適用性と問題点

## 1) モニタリング結果による解析及び予測モデルの適用性 モニタリング期間より得られた結果と概要を以下に示す。

### ①土質・地質条件と考察

調査地点断面図に示す様に、表土部は  $N_c \leq 10$ 、強風化部は  $10 < N_c \leq 30$ 、基岩部は  $N_c > 30$  であり、基岩上部は亀裂が多く節理面としては指し目、層理面は法面に直交している。  
法面崩壊の可能性としては、表層崩壊若しくは浅い切土崩壊のケースが想定される箇所である。

### ②降雨量データと考察

モニタリング調査結果に示す平成8年7月～9月については、過去10年の平均的な降雨量であり、調査期間の3箇年においても土壌水分計観測データから、代表的な期間である。

降雨データから見た斜面安定度評価の点でいえば、雨量規制区間外でもあり、斜面安定度評価上は、法面を不安定にさせる程の絶対的な降雨量が無かった為に、安定度評価判定をするには至っていない。

### ③土壌水分計の観測データと考察

設置深度は、上・中・下段共にそれぞれの最深度水分計は基岩の直上であり、その他は強風化部内に設置している。

以下に、降雨量と土壌水分の浸透深さの関係について示す。

**上段部：** 深度0.7mは降雨開始の2～3時間後に上昇、深度1.0mは更に1～2時間後に上昇する傾向になる。

但し、降水量が少ない降雨が続く梅雨期に、深度1.0mの方が早く上昇することが得られている。これは下図のイメージモデルに示す様に、透水性の良好な亀裂の多い基岩中の地下水の浸透水が上昇して来るという仮説により説明が出来る。

**中段部：** 深度0.5mは降雨開始の3～5時間後に上昇、その後深度1.0m～2.5mにかけて、深度と共に5～10時間遅れて上昇する。それに対し、深度3.0mは深度2.0mより早い時間に上昇する。

**下段部：** 1週間以上晴天が続いた後に深度0.5mが負圧を示す以外は、2箇所共に正圧を示す。即ち、地下水位面がこの辺りに常時存在していることを示している。

### ④傾斜計の観測データと考察

データが正常に取れた期間では、降雨後に谷側へ傾斜した値は0.1度(5～10秒)程度を示すのみであり、傾斜計の埋設深度と同位置の土壌水分計(深度0.5m)と相似変化をするが、弾性領域内の変動である。これは、強風化岩部の亀裂内に水分が含まれることで膨らみ地盤を山側へ傾斜させ、含水分低下後に元に戻るものと推定する。

### ⑤モニタリング箇所の雨水浸透(予測)モデルと考察

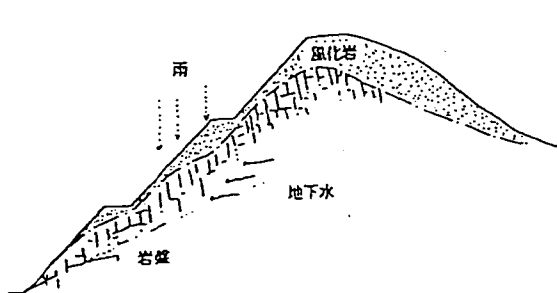
上記の土壌水分計観測データ結果より、以下のイメージモデルとすると矛盾が無い。

#### 地表面からの雨水浸透と岩盤内の浸透水上昇での複合によるイメージモデル

地表からの雨水浸透と同時に、岩盤上面を流れる水や亀裂の多い岩盤内部の間隙水が、逆に上方に向かって水分を供給する。

これにより、法面の安定度評価を判定する場合においては、以下の点も留意すべきといえる。

- ・土質試験結果による、透水係数等での推定と土壌水分計からの推定が不整合の事由となる。
- ・土壌水分計のサクション(負の間隙水圧)の時間データ等を基に、法面各段の安定度の推定。
- ・観測頻度は、雨水の浸透速度と各測定箇所での相対的な時間差による観測精度が必要。



岩盤からの地下水供給概念図

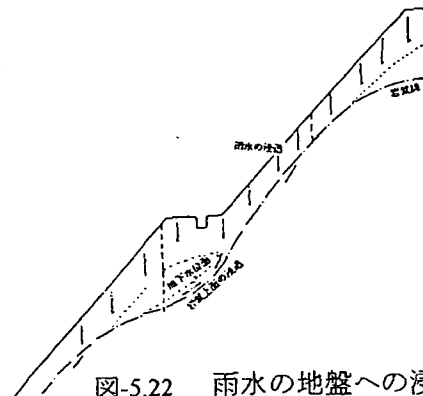


図-5.22 雨水の地盤への浸透状況図

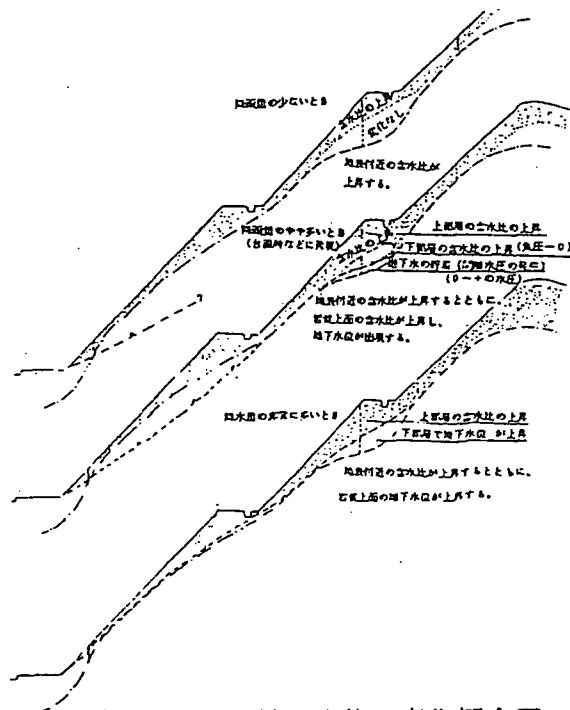


図-5.23 地下水位の変化概念図

## 2. まとめ

### 1) 計測機器の耐久性の検討

平成6年3月より現場設置された計器類について、現在まで蓄積された使用状況結果並びに撤去後の試験結果を基に検討を行った。今後のモニタリングの為に望まれる観測機器の特徴等を以下に示す。

#### ① 土壌水分計

マノメーター中の水の減少を抑えるため、できるだけ直射日光の当たらない法面に設置する。また、自然斜面（樹木等で覆われた）を評価する上でも、樹木は伐採せず木陰を残して直射日光を避ける。また、水を用いないタイプの土壌水分計を用いることも有効である。

表-1に、現場モニタリングにおいて得られた不調現象と考えられる原因および対策を示す。

表-5.4 土壌水分計の不調現象と考えられる原因および対策案一覧表

| 現 象                             | 考えられる原因                                                              | 対 策 案                                                               |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| ①気泡の発生による測定値の不安定<br>(測定管の水の蒸発等) | ①計器設置法（泥水で埋め戻し）<br>②ポータブルからの水分の流出<br>③測定管頭部からの水分の蒸発<br>④測定管の水から空気の遊離 | ①ポータブルの周囲の地盤の空隙の充填<br>②適正なポータブル値のポータブルの採用<br>③頭部の蒸発防止改良<br>④管理方法の改善 |
| ②配線の接触不良による欠測や異常測定値             | ①雷等による誘導電流<br>②水分のケーブル被覆内への進入<br>③圧力変換器の劣化                           | ①光ケーブルの採用<br>②ケーブルの保護法の改善<br>③安定性のある変換器の採用                          |
| ③測定管の水温上昇等に<br>伴う水圧上昇・低下        | ①太陽光線による温度膨張<br>②気温低下による測定管内の水の収縮                                    | ①温度上昇・温度低下の防止対応                                                     |
| ④測定値のドリフト                       | ①気泡の発生                                                               | ①適正なポータブルの採用・設置<br>②脱気水等の管理の徹底                                      |
| ⑤電圧のバラツキ                        | ①定電圧装置で一定の電圧を圧力変換器に印荷しているが、圧力が変化すると測定値のバラツキが発生する。                    | ①バッテリーより電圧の安定している100V商用電源の採用                                        |

#### ② 地盤傾斜計

地盤傾斜計の地中への埋設は、温度変化を受けない点で有効である。しかし、埋設を前提とした、防水性の優れた機器を選定する必要がある。

表-2に、現場モニタリングにおいて得られた不調現象と考えられるその他の原因および対策案を示す。地盤傾斜計のデータのバラツキがひどく、十分機能を発揮しなかった。計器撤去後に、地中に埋設した部分のうち、地表付近のコードに動物の歯形がついており、絶縁が不良となった為、ここからの水浸透による電気信号のリークが不調の最大の原因と考えられる。

表-5.5 地盤傾斜計の不調現象と考えられる原因および対策案一覧表

| 現 象                 | 考えられる原因                       | 対 策 案                                                       |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| ①データのバラツキ           | ①気象や日照変化による温度変化<br>②水分によるリーク  | ①地中への埋設<br>②温度変化の補正（ソフトによる）<br>③温度変化に影響のない計器の採用<br>①防水機能の向上 |
| ②配線の接触不良による欠測や異常測定値 | ①雷等による誘導電流<br>②水分のケーブル被覆内への進入 | ①光ケーブルの採用<br>②ケーブルの保護法の改善                                   |
| ③本体の故障              | ①耐久性の問題                       | ①防水機能の向上                                                    |

#### ③ データロガー

安定した電源を供給することが重要であり、メンテナンスの面からも商用電源または、太陽電池を採用するのが有効であると考えられる。

現場モニタリングにおいては、データロガーについては、特に不都合な問題は生じなかった。

#### ④ 雨 量 計

誤動作に備え、電源を他計測機器と分離独立した回路システムにすることも有効と考えらる。

現場モニタリングにおいて得られた不調現象と考えられる原因については、無降雨時に降雨のデータが記録される場合があった。計測機器の撤去後、使用した自記雨量計を点接記録計に接続して動作をチェックしたところ、正常に作動したため、積算回路に異常がある可能性もある。

不調現象と考えられる原因および対策案を表-3に示す。

表-5.6 雨量計の不調現象と考えられる原因および対策案一覧表

| 現 象        | 考えられる原因                      | 対 策 案                  |
|------------|------------------------------|------------------------|
| ①無降雨時の降雨記録 | ①誘導電流による異常信号<br>②外的振動による異常信号 | ①絶縁の改良<br>②振動に対する影響の確認 |

#### ⑤ 配 線

配線の保護は、配線の交換が可能となるように工夫する。例えば、スリットのついた塩化ビニールパイプをU字溝に入れ、その中に配線する等。地表だけでなく地中にも配線の保護を行い、コードを動物に噛まれないようにする。



#### 5.4.1 高田工事事務所管内、能生町斜面

担当  
北陸地方建設局  
北陸技術事務所



#### 5.4.1 小泊地区現場

|              |                                                                                                                                                                                                               |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 斜面管理者        | 北陸地方建設局 高田工事事務所                                                                                                                                                                                               |
| 地 点 名        | 新潟県西頸城郡能生町大字小泊地区                                                                                                                                                                                              |
| 路線・キロ程       | 国道 8 号・159.70km                                                                                                                                                                                               |
| 交通規制         | な し                                                                                                                                                                                                           |
| 斜面条件         | <p>地 質 : 新第三紀層泥岩とその崖錐堆積物</p> <p>向 き : 北西</p> <p>勾 配 : 35° ~ 55° (上部平均45°, 下部平均35°)</p> <p>風化層厚: 上部 0 ~ 2 m, 下部約10m</p> <p>対 策 工: 鋼製土留工</p>                                                                    |
| 斜面調査         | <p>簡易貫入試験 : 14点, 58.8m</p> <p>ボーリング調査 : 3 孔, 35m, 標準貫入試験32点</p> <p>比抵抗探査 : 3 測線 166m</p> <p>現場透水試験 : 3 点 (1, 2, 3 m)</p> <p>サンプリング : 0 ~ 10m間, 19試料, 攪乱試料(物理試験用)<br/>1.5m ~ 3.3m, 4.3 ~ 6.2m間 2 試料, 不攪乱試料</p> |
| 土質試験         | <p>pF試験 : 3 点 (1, 2, 3m) pF = 0 ~ 4</p> <p>一面せん断 (CU): なし</p> <p>三軸圧縮試験 (UU): 1.5 ~ 3.3m間, 4.3 ~ 6.2m間 2 試料<br/>含水比を調整して 3 回試験</p>                                                                            |
| モニタリング<br>計測 | <p>土壌水分計: 4 基 新 1 m, 1 m, 2 m, 3 m</p> <p>間隙水圧計: 2 基 4.5m, 9.5m</p> <p>地盤傾斜計: なし</p> <p>孔内傾斜計: 6 基 1.5m, 2.5m, 3.5m, 5.0m, 6.5m, 11.5m</p> <p>雨 量 計 : 1 基</p>                                                 |
| モニタリング<br>期間 | 平成 6 年 3 月 ~ 平成 9 年 3 月, 1 回 / 1 時間                                                                                                                                                                           |
| 備 考          | 平成 6 年 6 月, 11 月に地中傾斜計が落雷のため故障, 平成 7 年 7 月に再設置<br>土壌水分計の新 1 m は平成 7 年 3 月に新設                                                                                                                                  |

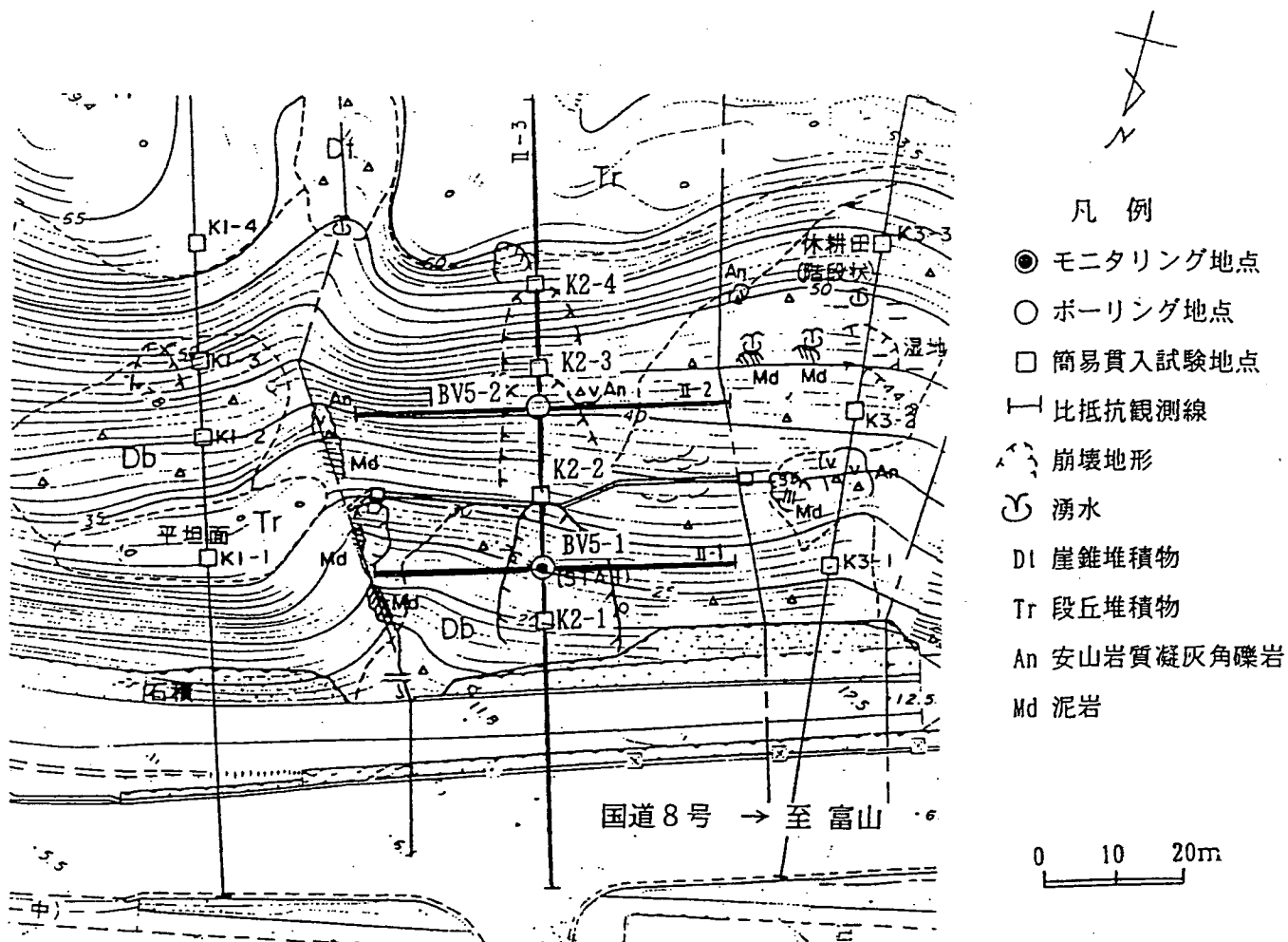


図-5.24 調査地点断面図 縮尺 1/1000

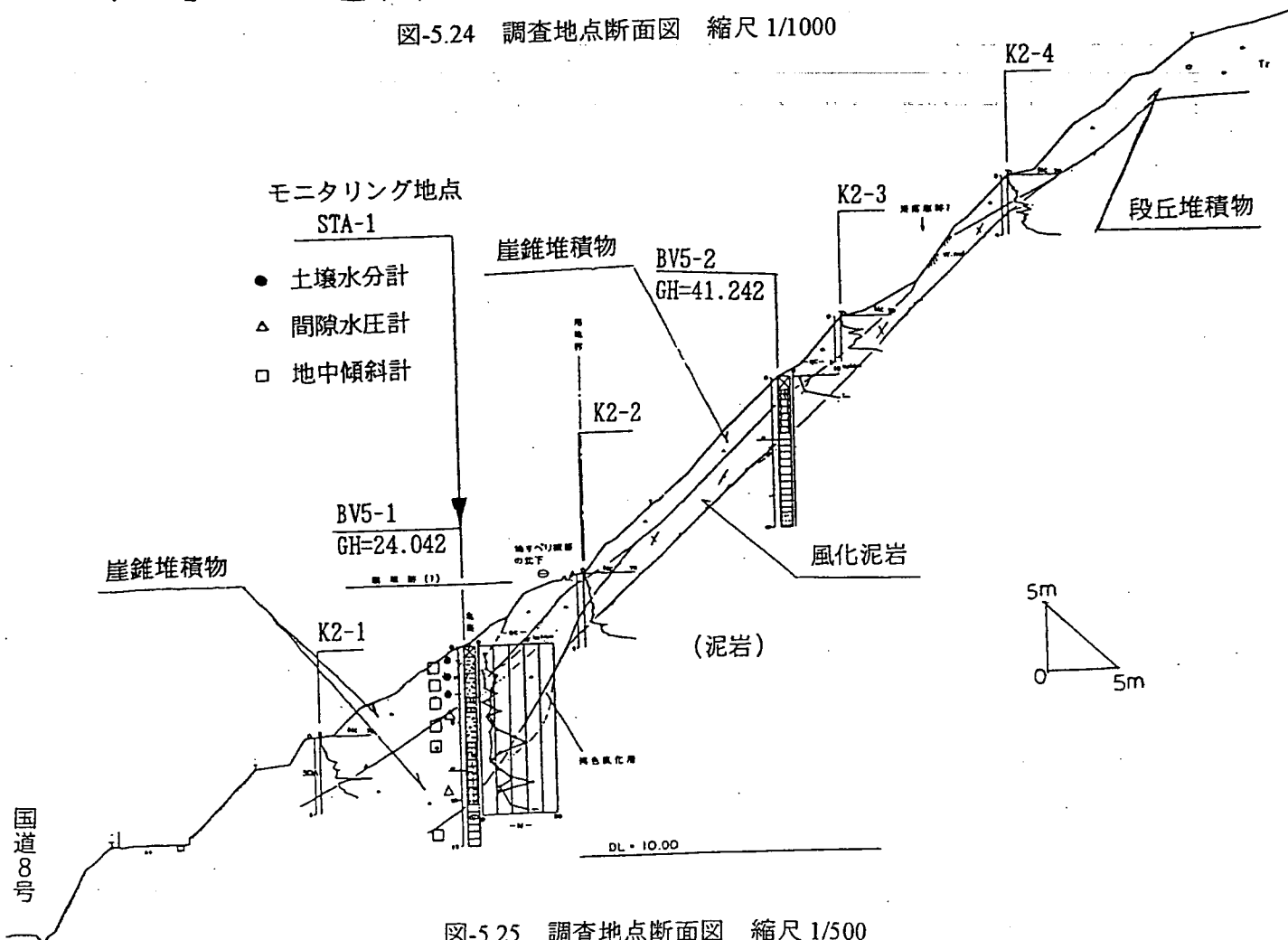
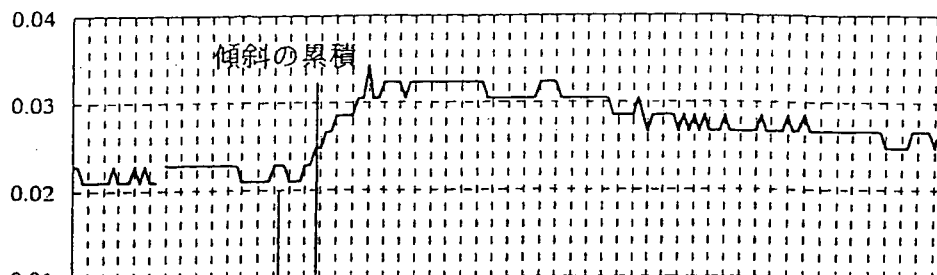
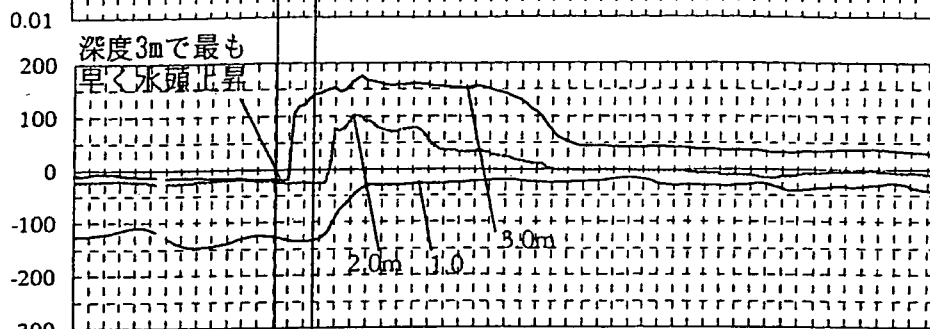


図-5.25 調査地点断面図 縮尺 1/500

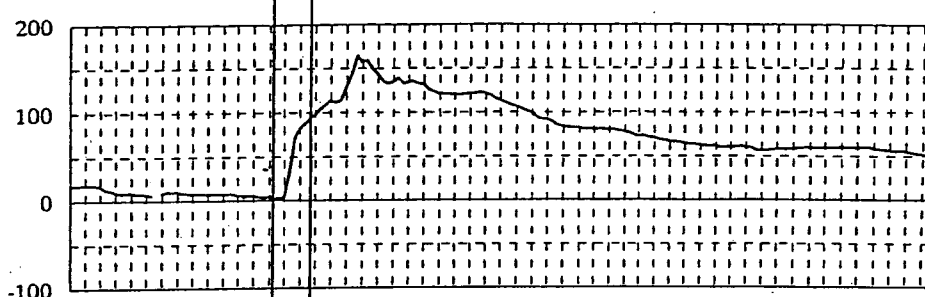
地中傾斜計  
3.5m



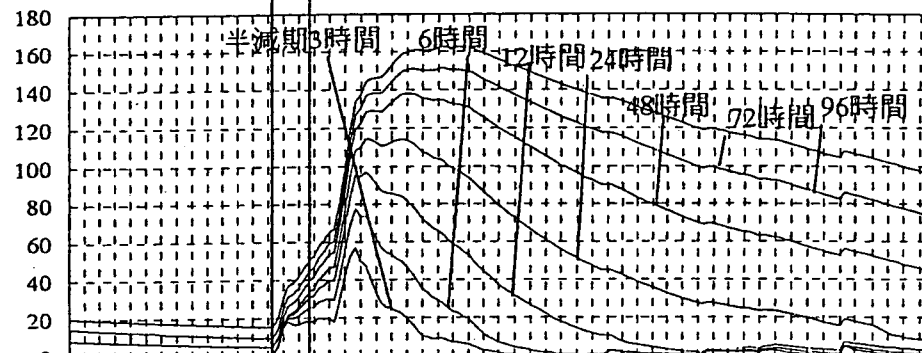
土壌水分計  
1.0m  
2.0m  
3.0m



間隙水圧計  
9.5m



実効雨量



時間降水量

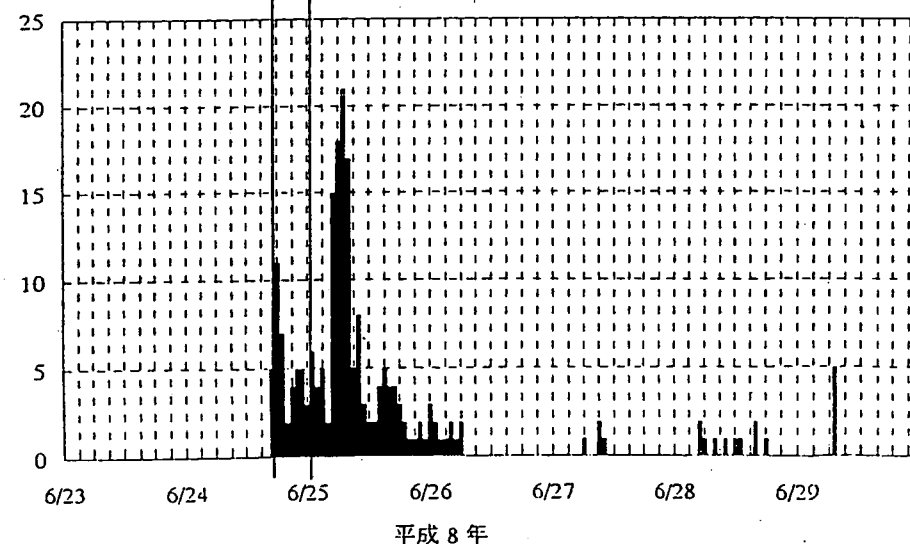


図-5.26 モニタリング観測例  
(平成8年6月23日～6月30日)

#### 4. 土質試験結果

##### ・試料概要

基本的な物理試験は、標準貫入試料を用いた。

三軸圧縮試験は、ボーリングコアを用い、自然含水比を3段階に調整した。

pF試験はボーリングコアを用いた。

表-5.7 基本的物性試験

| 試料番号                 |                        | P-1               | P-2   | P-3   | P-4   | P-5   | P-6   | P-7   | P-8   | P-9   | P-10  |
|----------------------|------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 採取<br>深度             | 上 限                    | m                 | 0.65  | 1.15  | 1.65  | 2.15  | 2.65  | 3.15  | 3.65  | 4.15  | 4.65  |
|                      | 下 限                    | m                 | 0.95  | 1.45  | 1.95  | 2.45  | 2.95  | 3.45  | 3.95  | 4.45  | 5.15  |
| 一般                   | 湿 潤 密 度 $\rho_t$       | g/cm <sup>3</sup> | 1.044 | 0.955 | 1.602 | 1.605 | 1.5   | 1.119 | 1.738 | 1.937 | 1.479 |
|                      | 乾 燥 密 度 $\rho_d$       | g/cm <sup>3</sup> | 0.728 | 0.701 | 1.145 | 1.209 | 1.13  | 0.824 | 1.311 | 1.441 | 1.036 |
|                      | 土 粒 子 の 密 度 $\rho_s$   | g/cm <sup>3</sup> | 2.544 | 2.599 | 2.591 | 2.572 | 2.628 | 2.606 | 2.634 | 2.597 | 2.537 |
|                      | 自 然 含 水 比 $w_n$        | %                 | 43.5  | 36.3  | 40.3  | 27.3  | 32.8  | 35.8  | 32.6  | 34.4  | 42.8  |
|                      | 間 隙 比 $e$              |                   | 2.495 | 2.708 | 1.263 | 1.127 | 1.326 | 2.163 | 1.009 | 0.802 | 1.449 |
|                      | 飽 和 度 $S_r$            | %                 | 44.3  | 34.8  | 82.7  | 62.3  | 65.0  | 43.1  | 85.1  | 111.4 | 74.9  |
| 粒 度                  | 礫 分 (2 ~ 75mm)         | %                 | 11.5  | 8.0   | 4.5   | 2.5   | 3.0   | 11.5  | 5.5   | 10.5  | 8.0   |
|                      | 砂 分 (75 $\mu$ m ~ 2mm) | %                 | 22.0  | 31.0  | 25.0  | 28.0  | 31.0  | 39.5  | 25.5  | 37.0  | 27.0  |
|                      | シルト分 (5 ~ 75 $\mu$ m)  | %                 | 32.5  | 30.0  | 34.0  | 33.5  | 37.0  | 13.0  | 49.0  | 26.5  | 41.0  |
|                      | 粘土分 (5 $\mu$ m未満)      | %                 | 34.0  | 31.0  | 36.5  | 36.0  | 29.0  | 36.0  | 20.0  | 26.0  | 24.0  |
|                      | 均 等 係 数 $U_c$          |                   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 44.6  | -     | -     |
|                      | 曲 率 係 数 $U_c'$         |                   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 4.54  | -     | -     |
| コン<br>テン<br>シー<br>特性 | 最 大 粒 径                | mm                | 19.0  | 9.5   | 9.5   | 9.5   | 9.5   | 9.5   | 19.0  | 19.0  | 9.5   |
|                      | 液 性 限 界 $w_L$          | %                 | 69.2  | 76.7  | 75.0  | 73.3  | 65.0  | 55.4  | 62.7  | 80.2  | 72.7  |
|                      | 塑 性 限 界 $w_P$          | %                 | 29.8  | 27.5  | 24.9  | 26.8  | 24.8  | 18.2  | 24.8  | 28.9  | 29.0  |
|                      | 塑 性 指 数 $I_p$          |                   | 39.4  | 49.2  | 50.1  | 46.5  | 40.2  | 37.2  | 37.9  | 51.3  | 43.7  |
| 分 類                  | 流 動 指 数 $I_f$          |                   | 12.2  | 14.7  | 11.8  | 12.5  | 14.6  | 10.6  | 10.5  | 10.5  | 8.7   |
|                      | 分 類 記 号                |                   | CHg   | CHg   | CH    | CH    | CH    | SCg   | CHg   | CHg   | CHg   |

| 試料番号                 |                        | P-11              | P-12  | P-13  | P-14  | P-15  | P-16  | P-17  | P-18  | P-19  |
|----------------------|------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 採取<br>深度             | 上 限                    | m                 | 5.65  | 6.15  | 6.65  | 7.15  | 7.65  | 8.15  | 8.65  | 9.15  |
|                      | 下 限                    | m                 | 5.95  | 6.45  | 6.95  | 7.45  | 7.95  | 8.45  | 8.95  | 9.45  |
| 一般                   | 湿 潤 密 度 $\rho_t$       | g/cm <sup>3</sup> | 1.618 | 1.541 | 1.629 | 1.77  | 1.694 | 1.786 | 3.037 | 1.714 |
|                      | 乾 燥 密 度 $\rho_d$       | g/cm <sup>3</sup> | 1.165 | 1.33  | 1.271 | 1.364 | 1.358 | 1.343 | 2.351 | 1.515 |
|                      | 土 粒 子 の 密 度 $\rho_s$   | g/cm <sup>3</sup> | 2.637 | 2.546 | 2.522 | 2.542 | 2.563 | 2.568 | 2.624 | 2.683 |
|                      | 自 然 含 水 比 $w_n$        | %                 | 38.9  | 15.9  | 28.2  | 29.8  | 24.7  | 33.0  | 29.2  | 13.1  |
|                      | 間 隙 比 $e$              |                   | 1.264 | 1.914 | 0.984 | 0.864 | 0.887 | 0.912 | 1.116 | 1.771 |
|                      | 飽 和 度 $S_r$            | %                 | 81.2  | 44.3  | 72.3  | 87.7  | 71.4  | 92.9  | 68.7  | 19.8  |
| 粒 度                  | 礫 分 (2 ~ 75mm)         | %                 | 6.5   | 2.0   | 2.5   | 11.0  | 32.0  | 18.0  | 22.5  | 81.5  |
|                      | 砂 分 (75 $\mu$ m ~ 2mm) | %                 | 38.0  | 21.5  | 30.5  | 30.0  | 25.5  | 31.0  | 53.0  | 16.0  |
|                      | シルト分 (5 ~ 75 $\mu$ m)  | %                 | 25.5  | 33.5  | 38.5  | 30.5  | 20.5  | 27.0  | 14.5  | 2.5   |
|                      | 粘土分 (5 $\mu$ m未満)      | %                 | 30.0  | 43.0  | 28.5  | 28.5  | 22.0  | 24.0  | 10.0  | 27.0  |
|                      | 均 等 係 数 $U_c$          |                   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 157   | 29.7  |
|                      | 曲 率 係 数 $U_c'$         |                   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 4.0   | 2.83  |
| コン<br>テン<br>シー<br>特性 | 最 大 粒 径                | mm                | 9.5   | 9.5   | 4.8   | 9.5   | 19.0  | 19.0  | 19.0  | 26.5  |
|                      | 液 性 限 界 $w_L$          | %                 | 69.9  | 68.6  | 64.3  | 62.3  | 49.8  | 58.4  | 66.9  | N.P   |
|                      | 塑 性 限 界 $w_P$          | %                 | 24.6  | 24.8  | 25.3  | 25.0  | 23.9  | 27.9  | 26.8  |       |
|                      | 塑 性 指 数 $I_p$          |                   | 45.3  | 43.8  | 39.0  | 37.3  | 25.9  | 30.5  | 40.1  |       |
| 分 類                  | 流 動 指 数 $I_f$          |                   | 10.4  | 13.3  | 9.5   | 9.8   | 10.2  | 6.5   | 10.7  |       |
|                      | 分 類 記 号                |                   | CHg   | CH    | CH    | CHg   | GC    | CHg   | SMg   | GW    |

・三軸圧縮試験

表-5.8 三軸圧縮試験結果一覧

| 試料番号                       |                       | 褐色粘土層 |       |       | 青灰色粘土層 |       |       |
|----------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
|                            |                       | 1     | 2     | 3     | 1      | 2     | 3     |
| 採取深度                       | 上限 m                  | 1.50  | 1.50  | 1.50  | 4.30   | 4.30  | 4.30  |
|                            | 下限 m                  | 3.30  | 3.30  | 3.30  | 6.20   | 6.20  | 6.20  |
| 試験条件                       |                       | UU    | UU    | UU    | UU     | UU    | UU    |
| 全応力                        | c kgf/cm <sup>2</sup> | 0.26  | 0.12  | 0.06  | 0.24   | 0.15  | 0.05  |
|                            | φ 度                   | 3.83  | 1.25  | 1.25  | 7.33   | 1.00  | 1.00  |
| 調整含水比 %                    |                       | 37.63 | 40.01 | 46.73 | 37.26  | 42.06 | 47.41 |
| 調整湿潤密度 kgf/cm <sup>2</sup> |                       | 1.644 | 1.679 | 1.712 | 1.721  | 1.791 | 1.791 |

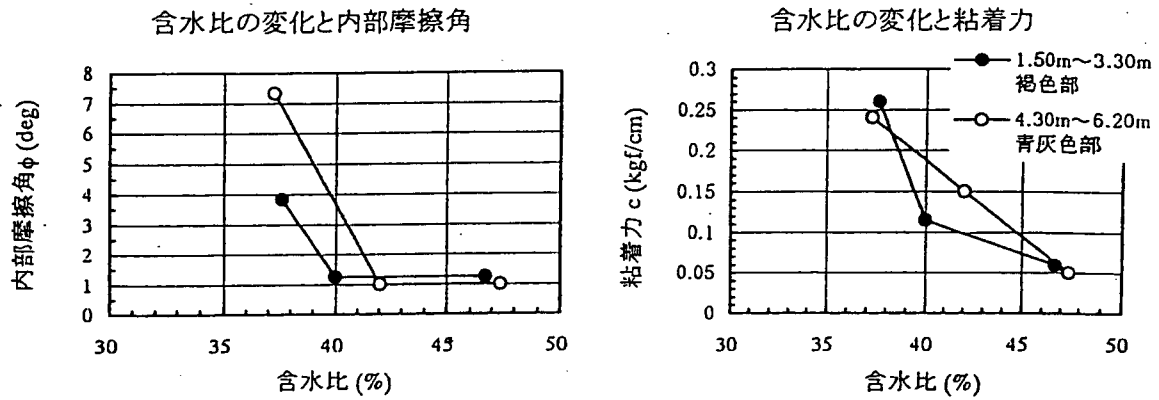
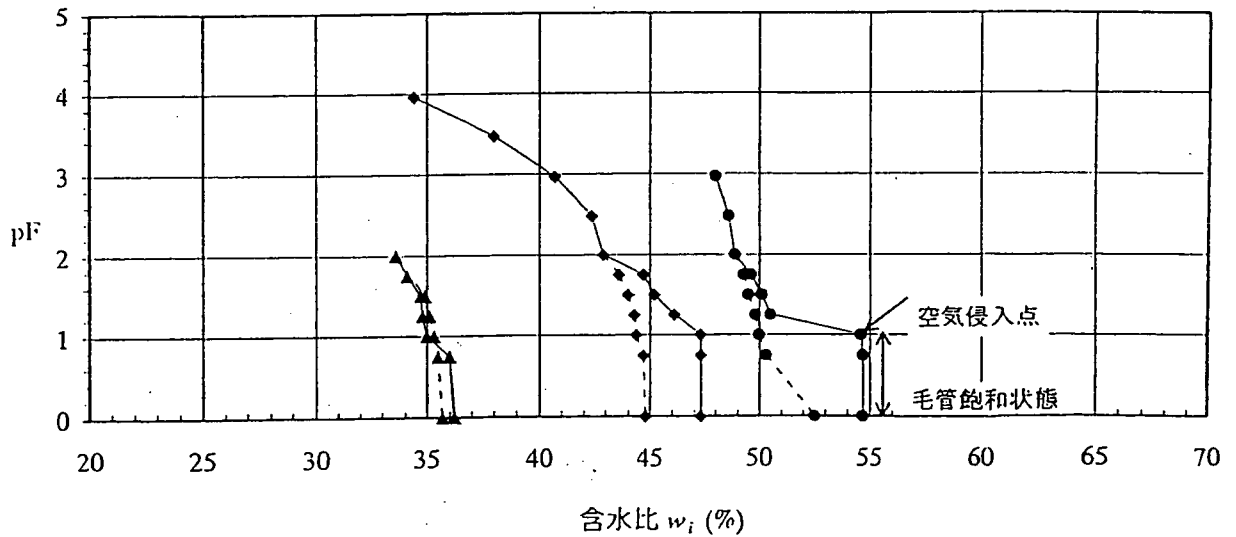


図-5.27 含水比の変化と強度特性

・pF試験



—●— 0.85-0.90m (脱水)      —●— 1.80-1.85m (脱水)      —▲— 2.75-2.80m (脱水)  
 ---◆--- 0.85-0.90m (吸水)      ---●--- 1.80-1.85m (吸水)      ---▲--- 2.75-2.80m (吸水)

図-5.28 水分特性曲線

## (1) 検討事項

### 1) 各種斜面調査法の適用性と問題点

斜面崩壊が発生する場合、地盤強度の不連続面にすべり面が形成され、斜面崩壊へとつながる場合が一般的である。当モニタリング斜面の場合も同様であり、崩積土と(風化)岩盤の境界面においてすべり面が形成され、地盤の傾斜変動が生じると予測し、斜面モニタリングを行ってきたものである。

当モニタリング斜面のように、地盤強度の不連続面の形態を明らかにする調査方法としては、ボーリング調査に簡易貫入試験並びに比抵抗探査を併用すればかなりの精度で把握することが出来る。しかし、崩積土中に発生する崩壊面の推定を行う場合、上記の試験方法で崩壊面の推定を行うことは困難である。

一般に、崩積土中に発生する崩壊面の形態を明らかにする方法としては、細粒土と粗粒土あるいは腐植土の挟みなどを詳細に区分できる試掘調査(トレンチやテストピット)があげられる。しかし、試掘を多数出来ない斜面も多く、このような場合には、地層を対比する手段としてサウンディングがあげられる。簡単な方法から、簡易貫入試験、スウェーデン式サウンディング、ダッチコーンなどがあげられるが、いずれも地層中の礫に遭遇するとそれ以深が貫入不能となり岩盤との区別ができないという問題も残している。

### 2) モニタリングの適用性と問題点

降雨状況から事前通行規制を行う場合、どの程度の降雨で斜面が不安定化するかという評価が重要である。そのため、斜面が不安定化する要因として考えられる降雨の影響による土壌水分の変化を観測する必要がある。

土壌水分の計測は地表面に近いいわゆる不飽和帯の圧力水頭の変化を把握しようとするものであり、地下水位が高い(飽和帯が浅い)場合や、推定崩壊面(すべり面)が深い場合には間隙水圧計による計測も重要となる。

当モニタリング斜面では、強い降雨があると深部の土壌水分計に圧力水頭の上昇がまず最初に現れ、徐々に上方へ伝播するという傾向がみられた。これは、降雨が地下へ浸透し、地層の含水比が上昇し強度が低下することによって斜面崩壊が発生するという一般的なケースとは異なる観測結果となっている。しかし、土壌水分計、間隙水圧計、地中傾斜計を用いた斜面モニタリングを行った結果、斜面内部における圧力水頭の経時的な変化と地盤変動とは比較的近い挙動を示していることが把握できており、斜面モニタリングを行うことにより、よりの確に斜面内部の地盤変動を観測できることが分かった。

なお、地盤の変動をその予知の観点からミクロにかつ連続してとらえようとする場

合、埋設型の地中傾斜計などの使用が考えられるが、コスト面や斜面観測施設などに問題が残る状況になっている。

### 3) 解析および災害予測モデルの適用性および問題点

#### ①傾斜変動と崩壊発生の関係

モニタリングを行った斜面では、斜面崩壊に直接つながるような地盤変動が観測されなかった。そのため、管理基準を設定した場合、その妥当性を評価出来ない状況になっている。

#### ②積雪地域における実効雨量の適用法について

積雪期間には実効雨量と観測される圧力水頭の間かなりの隔たりが生じた。積雪深や密度を現地計測し浸透量を見積もる手段も考えられるが、高い精度で行うことが出来ない状況になっており、積雪地域の実効雨量をどのように行っていくかという問題点を残している。

#### ③難透水性地盤における表面流失の問題

粘土質地盤では、降雨強度が大きいほど表面流出の割合が高くなり、地下へ浸透する割合が小さくなると考えられる。そのため、実効雨量の計算に表面流失の影響を加味する必要があると考えられる。

#### ④揚圧力の問題

観測結果では降雨時に上向きの動水勾配が発生していることを示している（最大75 cmH<sub>2</sub>O/100cm）。上向き動水勾配は揚圧力として土塊に力学的に作用することが考えられるが、安定解析上どのように評価していけばよいかといった問題を残している。

## (2) まとめ

当モニタリング斜面は、北陸地方を代表する地すべり性崩壊を対象として選定している。

モニタリング斜面は国道8号に面する標高差約50mの海岸段丘崖で傾斜は35～55°の急斜面である。斜面には基岩の第三紀層泥岩に由来する崩積土が分布しており、所々には古い崩壊地形も残存している。崩積土は斜面上部で1～2mと薄く、斜面下部では8～10mと厚くなる。モニタリング地点では10.3mまでN値10以下の崩積土、それ以深が泥岩となっている。崩積土層は褐色に酸化されているが、その中で4.3～6.2m間は青灰色を呈し、地下水の飽和帯を構成している。

モニタリングは、雨量観測とともに土壤水分(1.0, 2.0, 3.0mの3深度)と間隙水圧4.5, 9.5mの2深度)について行った。また、地盤変動の観測として地中傾斜計(1.5, 2.5, 3.5, 5.0, 6.5, 11.5mの6深度)による観測を合わせて実施した。

本格モニタリングを実施した平成6年度から平成8年度の期間で特徴的な気象は、平成6年の異常渇水、平成7年の7.11豪雨、平成8年の6.25豪雨があげられる。この間の代表的な地盤変動としては、平成6年の渇水後の降雨により深度6.5mの地中傾斜計に緩慢な地すべり性の変動が認められた。また、降雨時の圧力水頭の上昇に伴い深度3.5mの地中傾斜計に弱いながらも変動が認められた。深度3.0mの土壤水分計と深度9.5mの間隙水圧計は降雨に対応した短周期的変動が明瞭で、その変動は実効雨量(半減期2日)とよく一致している。

モニタリング地点における圧力水頭の変動の特徴として、強い降雨があるとまず深度3.0mの土壤水分計の圧力水頭が上昇し、その後深度2.0m, さらに深度1.0mの順に上昇するケースが見られている。しかし、土壤水分計、間隙水圧計、地中傾斜計を用いた斜面モニタリングを行った結果、斜面内部における圧力水頭の経時的な変化と地盤変動とは比較的近い挙動を示していることが把握できた。また、半減期2日間の実効雨量からも概ね地盤変動と対応していることも把握できた。斜面モニタリングを行うことにより、的確に斜面内部の地盤変動を観測できることが分かった。

本来であればこの後、強度特性である内部摩擦角 $\phi$ 、粘着力 $c$ を用い、実効雨量が何mm以上になれば斜面の安全率( $F_s$ )が1.00を下回り、崩壊に至るまでを予測する斜面安定度解析等の検討を行う予定であった。しかし、北陸のモニタリング斜面では、地盤変動が小さいことや土壤水分が高いといった理由から実効雨量と安全率の関係を用いた安定度評価の検討を行うことはできなかった。

#### 5.5.1 紀南工事事務所管内、すさみ町斜面

担当  
近畿地方建設局  
近畿技術事務所



調査斜面一覧表

|          |                           |                                          |
|----------|---------------------------|------------------------------------------|
| 斜面管理者    | 近畿地建 紀南工事事務所              |                                          |
| 地点名      | 和歌山県西牟婁郡すさみ町大串            |                                          |
| 路線・キロ程   | 国道42号 133.4～133.5km地点     |                                          |
| 交通規制     | 連続雨量 250mm                |                                          |
| 斜面条件     | 地質                        | 第三紀・漸新生～中新生前期<br>砂岩・泥岩の互層(地表部は強風化岩) 受盤構造 |
|          | 向き                        | 西向き                                      |
|          | 勾配                        | 45～70度(平均57度)                            |
|          | 風化層厚                      | 2.0～5.0m                                 |
|          | 対策工                       | モルタル吹き付け・落石防護ネット                         |
| 斜面調査     | ボーリング調査                   | 1箇所(深度15m、オールコア)                         |
|          | 現場透水試験                    | 簡易透水試験(不飽和) 1回                           |
| 土質試験     | 含水比試験                     | 3試料(滑落崖より採取)                             |
|          | 土粒子の密度試験                  | 3試料(滑落崖より採取)                             |
|          | 粒度試験                      | 3試料(滑落崖より採取)                             |
|          | 室内透水試験(変水位)               | 3試料(滑落崖より採取)                             |
| モニタリング計測 | 土壌水分計                     | 3点(-1.0m、-2.0m、-3.0m)                    |
|          | 水位計                       | 1点(GL-13.0m)                             |
|          | 孔内傾斜計                     | 6点(-1.0m、-2.0m、-3.0m、-4.0m、-5.0m、-6.0m)  |
|          | 雨量計                       | 1点                                       |
|          | 地盤伸縮計                     | 2測線(L=5m、L=10m)      温度計 1点              |
| モニタリング期間 | 平成5年12月(一部平成6年7月)～平成10年3月 |                                          |
| 備考       |                           |                                          |

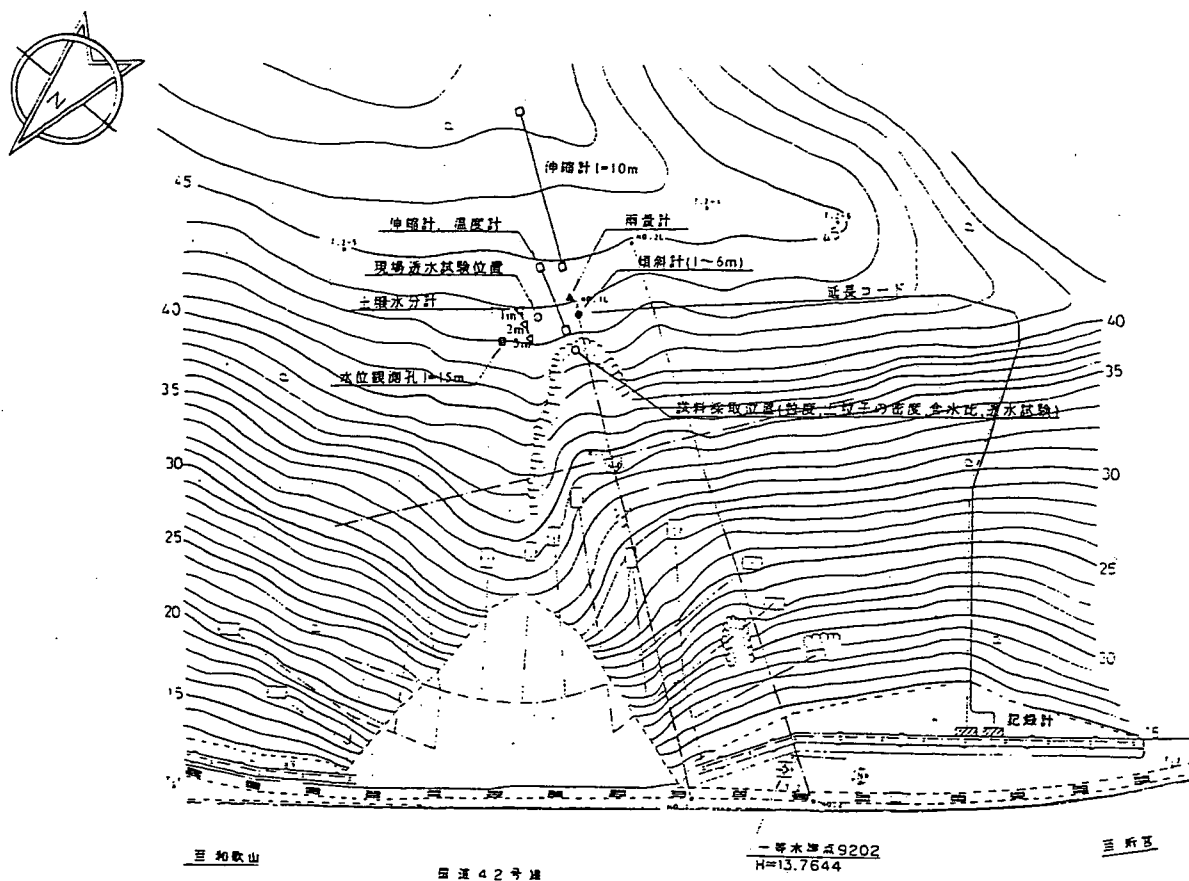


図-5.29 調査地点平面図 Scale=1:500

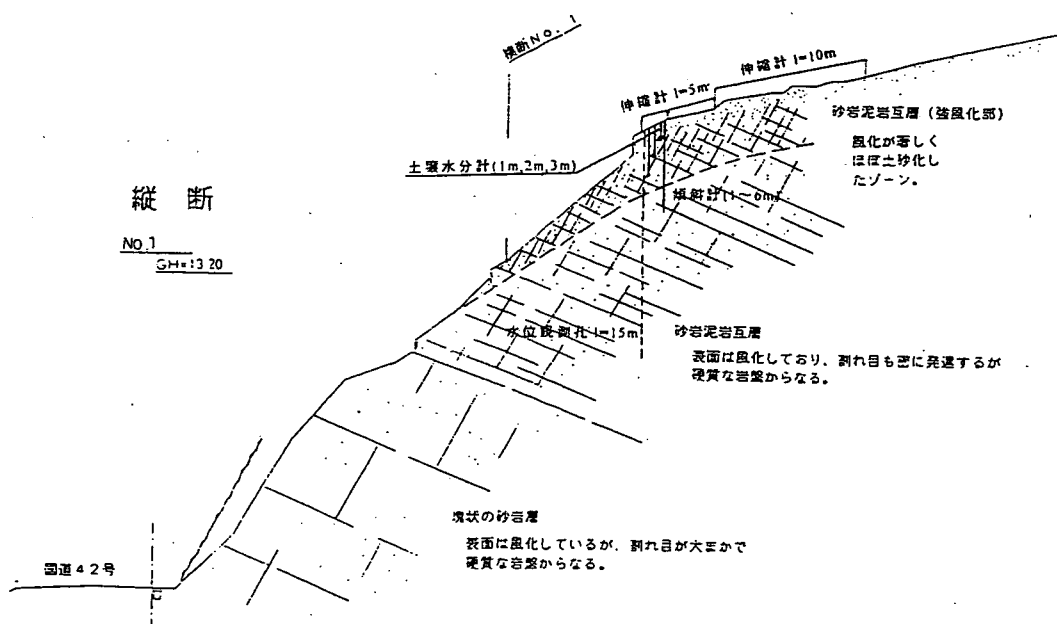


図-5.30 調査地点断面図 Scale=1:500

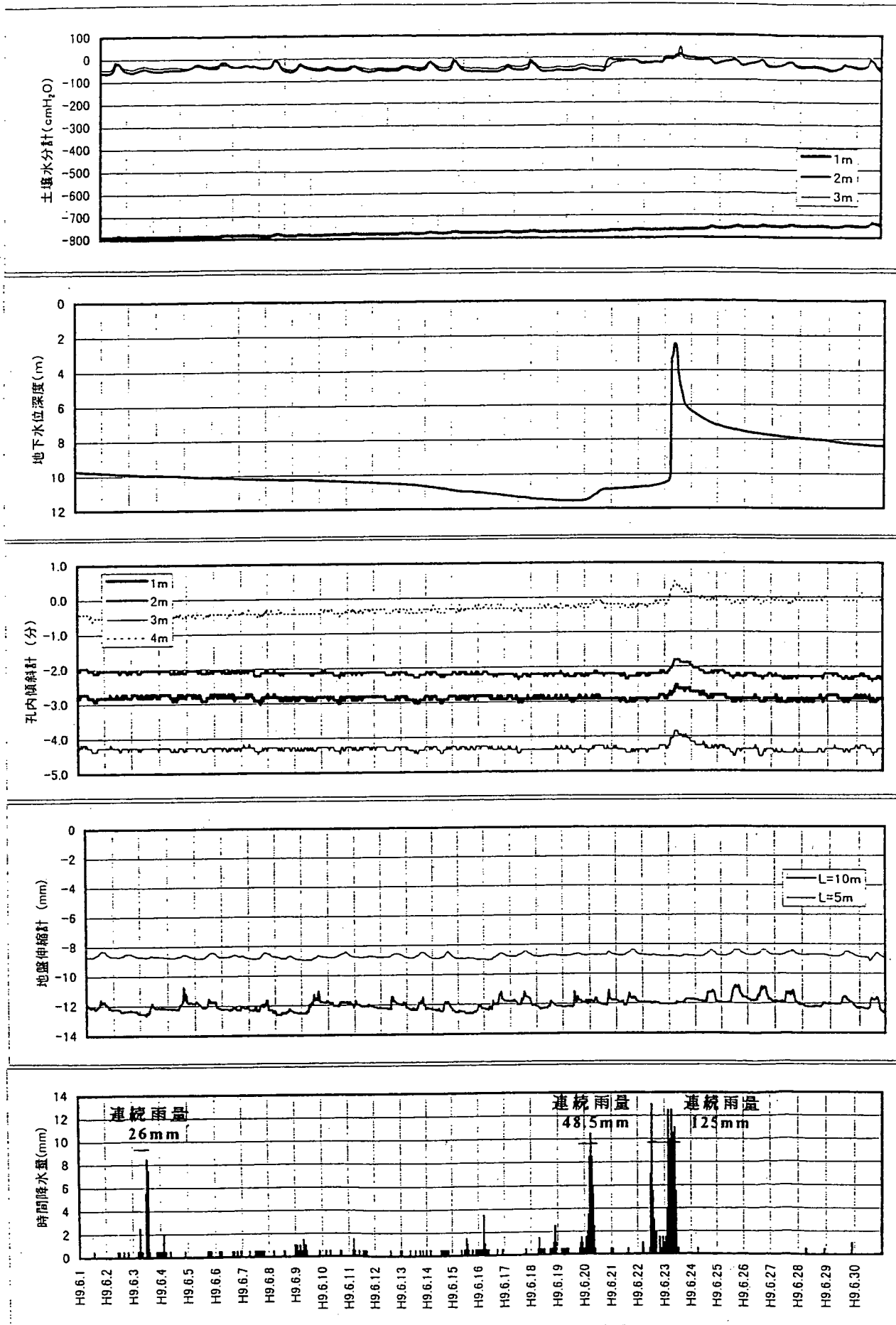


図-5.31 モニタリング観測例 (平成9年6月1日～6月30日)

試料概要

D-1～D-3(-0.3m)はスコップにより採取した攪乱試料である。

表-5.9 室内土質試験結果

|                         |          | D-1                  | D-2                  | D-3                  | 平均                   |
|-------------------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 土粒子の密度 $\rho_s(g/cm^3)$ |          | 2.693                | 2.694                | 2.694                | 2.694                |
| 自然含水比 $W_n(\%)$         |          | 11.4                 | 12.0                 | 11.5                 | 11.6                 |
| 粒<br>度                  | 礫分 (%)   | 72.3                 | 73.0                 | 66.8                 |                      |
|                         | 砂分 (%)   | 11.2                 | 10.1                 | 14.7                 |                      |
|                         | シルト分 (%) | 10.9                 | 9.3                  | 11.9                 |                      |
|                         | 粘土分 (%)  | 5.6                  | 7.6                  | 6.6                  |                      |
| 均等係数 $U_c$              |          | 662                  | 1000                 | 702                  |                      |
| 曲率係数 $U_{c'}$           |          | 70.1                 | 78.4                 | 27.2                 |                      |
| 最大粒径(mm)                |          | 19.0                 | 26.5                 | 19.0                 |                      |
| 分 類 名                   |          | 礫質土                  | 礫質土                  | 礫質土                  |                      |
| 分 類 記 号                 |          | (GF-S)               | (GF-S)               | (GF-S)               |                      |
| 透水係数 $k_{15} (cm/sec)$  |          | $8.6 \times 10^{-7}$ | $7.6 \times 10^{-7}$ | $8.3 \times 10^{-7}$ | $8.2 \times 10^{-7}$ |

## モニタリング手法の考察

今回、すさみ地区において各種計器を用いた観測を行った結果、観測期間中に連続雨量で100mmを上回る大雨が幾度か観測されたものの、斜面崩壊性の著しい変位は1度も観測されていない。傾斜計による変位観測においても微小変位が何度か観測されたものの、降雨後には変位前の状態に戻る事が多く、累積に至るような変位は認められていない。

このような状況において、法面崩壊予知に向けてその手法を模索することは精度上の問題が残されるが、傾斜計により得られた微小変位について考察を行ったところ、降雨および水位との間におおまかな相関性が得られた。また、変位の有無について実効雨量（ $T=24$ ）および降雨前の圧力水頭について整理を行ったところ、曖昧ながらも一つの判定基準の目安を得ることができた。

以下にこれらの考察結果を示す。

### (1)降雨量および水位との相関性

図-1には各傾斜計による変位角と主な定数との相関性を示した。

これらの図に示されるように、連続雨量についてはあまり相関性が高くないが、実効雨量（特に $T=24$ ）や水位については比較的良好な相関性が認められた。

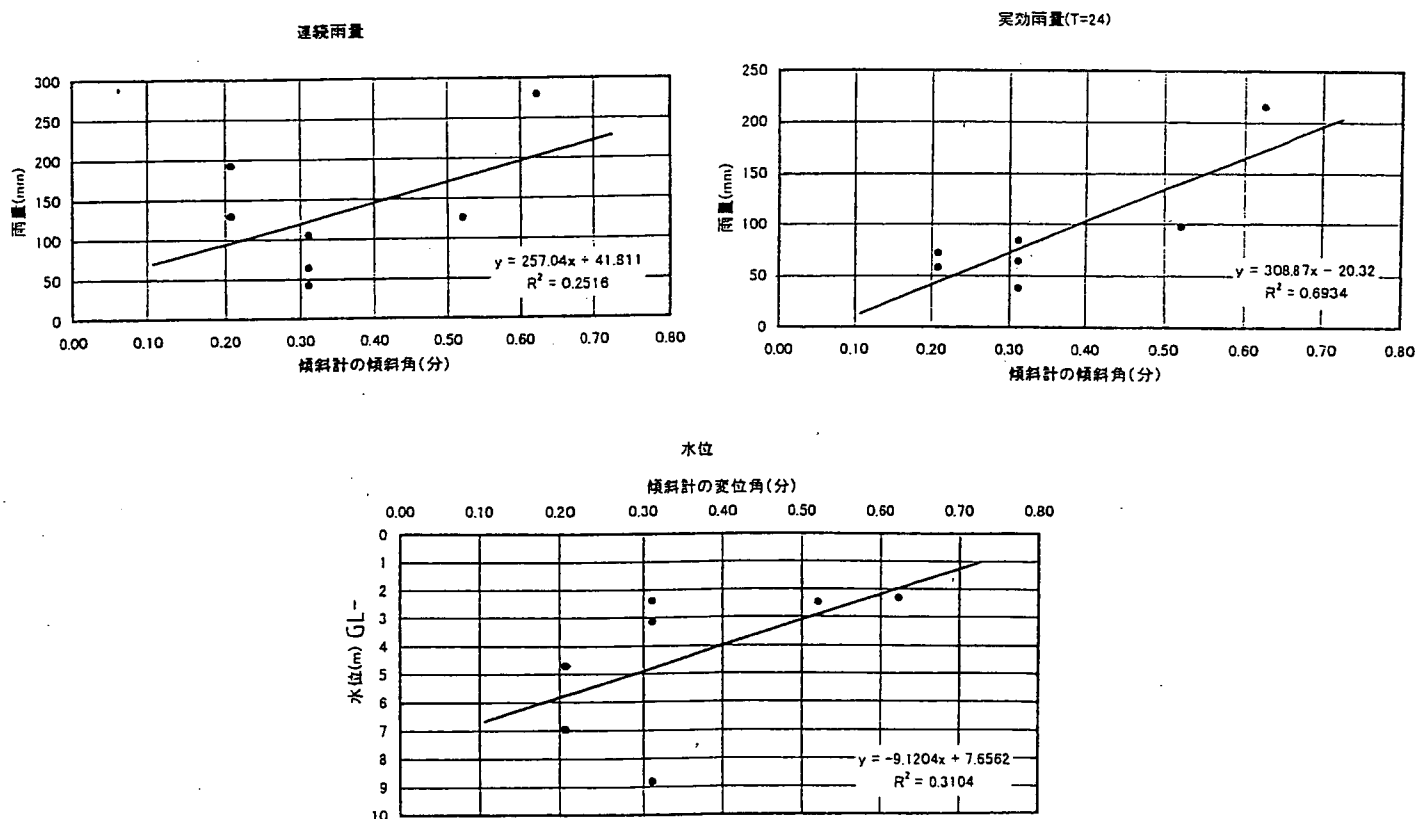


図-5.32 傾斜計における変位角と主な定数との相関

## (2)変位の有無に関する判定

地盤の変位が発生する要因としては、「地形」、「地質」の条件の他に「降雨」、「圧力水頭」、「水位」等が挙げられ、これらの条件が複雑に作用して変位が発生しているものと考えられる。

ここでは、実効雨量 ( $T=24$ ) と降雨前の圧力水頭に着目し、変位の有無について整理を行った。整理の結果を図-2に示した。

同図に示されるように、例外も若干認められるものの判定基準線を境界として左下が「安定」、右上が「不安定」に概ね分類される傾向が認められた。すなわち、降雨前の圧力水頭が高い（飽和側）場合は、少しの降雨でも変位が発生しやすいことを示し、一般的な傾向と一致する結果が得られた。

今回の整理に用いたデータは傾斜計による微小変位をベースとしているため、将来の大きな変位への適用性については精度上問題が残されるが、現時点では一つの目安が得られたものと考えられる。

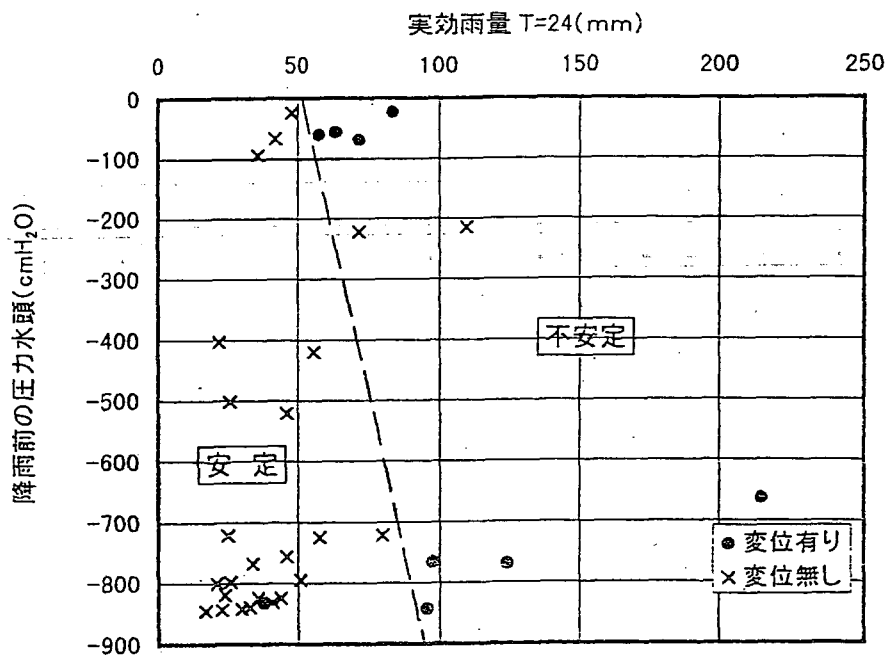


図-5.33 降雨前の圧力水頭、実行雨量と変位の関係

## まとめ

当地区における観測は平成5年12月より開始しており、現在までの約4年間にわたり下記の計測機器について継続観測を行ってきた。

- ・ 地表面伸縮計
- ・ 孔内傾斜計（埋設型）
- ・ 土壌水分計
- ・ 地下水位計
- ・ 雨量計
- ・ 温度計

上記の内、変位を観測する計器としては地表面伸縮計と孔内傾斜計となる。前者については観測の結果、斜面崩壊に起因する有意な変位は一度も認められなかったが、後者の孔内傾斜計については降雨の影響により微小ながらも変位が観測された。ただし、孔内傾斜計による変位も降雨の後には変位前の状態にもどることが多く、累積に至るような変位は観測されていない。このような理由により、地表面伸縮計では有意な変位が観測されていないものと考えられる。その他の計器については降雨等により変化が認められた。

このように観測期間中は崩壊性の顕著な変位が一度も認められていないことから、当地区が崩壊跡地の直上部に位置しているものの、結果として斜面が比較的安定していたことを示している。

なお、孔内傾斜計については前述したように微小変位が認められたため、このデータを基に整理を行った。

変位との相関について連続雨量、実効雨量、地下水位等との間で整理した結果、変位は連続雨量（従来より交通規制の指標として使用）よりも、実効雨量の方が相関性が高い結果が得られた。実効雨量については地盤の透水性等により半減期  $T$  の設定が異なるが、当地区の場合は  $T=24$  時間とした場合の相関性が最も高かった。

また、降雨前の圧力水頭が高い（飽和側）ほど、小さい実効雨量でも変位が発生しやすいことが明らかとなり、一般的な傾向と一致する結果が得られた。

このような点から、法面の安定性の指標としては実効雨量が比較的有效であり、土壌水分計と組み合わせることにより更に精度良く予測できるものと思われる。



#### 5.6.1 山口工事事務所管内、阿武町木与斜面

中国地方建設局  
担当：中国技術事務所



調査斜面一覧表

|          |                                                                                                                     |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 道路管理者    | 中国地方建設局 山口工事事務所                                                                                                     |
| 地点名      | 山口県阿武郡阿武町木与                                                                                                         |
| 路線・キロ程   | 一般国道191号 121.7km                                                                                                    |
| 交通規制     | 連続雨量：200mm                                                                                                          |
| 斜面条件     | 地質 表土層：粘性土<br>古期崖錐堆積物層1：礫混じり粘性土<br>古期崖錐堆積物層2：粘土混じり礫質土<br>基盤岩層：熱変成流紋岩類、黒雲母花崗岩類（キャップロック構造）                            |
|          | 向き：北西                                                                                                               |
|          | 勾配：30°～40°                                                                                                          |
|          | 表土（風化）層厚：0～0.2（15～20）m                                                                                              |
|          | 対策工：吹付けシート工、水路工                                                                                                     |
| 斜面調査     | 簡易貫入試験：1測線38点                                                                                                       |
|          | ボーリング調査：4箇所（深度20m、35m、31m、30m）                                                                                      |
|          | サンプリング：不攪乱<br>斜面下部（ℳ6+15）－0.5m×1箇所（古期崖錐堆積物層1）<br>斜面中部（ℳ7+10）－0.5m×1箇所（古期崖錐堆積物層1）<br>斜面上部（ℳ9+15）－0.5m×1箇所（古期崖錐堆積物層1） |
| 土質試験     | 室内透水性試験（定水位）×1箇所                                                                                                    |
|          | P F 試験：－0.5m×2箇所（古期崖錐堆積物層1）<br>（－1.0m、－2.5m、－6.5m、－8.5m）×1箇所（古期崖錐堆積物層1）                                             |
|          | 力学試験 一面剪断試験(CU)：－0.5m×1箇所（古期崖錐堆積物層1）<br>－12.8m×1箇所（古期崖錐堆積物層1）<br>－12.2m×1箇所（古期崖錐堆積物層2）                              |
| モニタリング計測 | 土壌水分計：中部×2点（－1.0m、－1.5m）、<br>上部×6点（－1.0m、－1.5m、－3.0m、－6.0m、－9.0m、－12.0m） 計8点                                        |
|          | 地盤傾斜計：上部×1点（埋設型：－0.5m、分解能：1秒） 計1点                                                                                   |
|          | 地下水位計：中部×3点（－11m、－17m、－35m）<br>上部×1点（－19m） 計4点                                                                      |
|          | 地表面伸縮計：上部×6点 計6点                                                                                                    |
|          | 排水量計：下部×1点 計1点                                                                                                      |
|          | 雨量計：下部ブロック外×1点（斜面近傍の国道路肩） 計1点                                                                                       |
| モニタリング期間 | 平成6年3月～平成9年12月                                                                                                      |
| 備考       | H8年10月に山口工事事務所が、地滑り対策工として当該観測斜面に吹付けシート工及び水路工を施工し、不安定斜面への雨水の浸透防止措置を講じた。                                              |

自動観測システム一覧表

| 種 別        | 測線  | 名 称        | 設置年度       | 型 式                  | すべり面における位置 | 管理機関 |
|------------|-----|------------|------------|----------------------|------------|------|
| 土 壌 水 分 計  | A   | BV-1(1.0m) | H5         | SK-5500E             | 本端部        | 中国技術 |
|            |     | BV-1(1.5m) |            |                      |            |      |
|            |     | BV-2(1.0m) |            |                      |            |      |
|            |     | BV-2(1.5m) |            |                      |            |      |
|            |     | BV-2(8.0m) |            |                      |            |      |
|            |     | BV-2(8.0m) | H6         | SK-5500E             | 頭部         | 中国技術 |
|            |     | BV-2(1.0m) |            |                      |            |      |
|            |     | BV-2(1.5m) |            |                      |            |      |
|            |     | BV-2(1.5m) |            |                      |            |      |
|            |     | BV-2(1.5m) |            |                      |            |      |
| WL-1(1.0m) | S62 | PWL-7 型    | 本端部        | 山口工事                 |            |      |
| WL-1(5.0m) |     |            |            |                      |            |      |
| WL-3(1.0m) |     |            |            |                      |            |      |
| WL-3(5.0m) |     |            |            |                      |            |      |
| 水 位 計      | A   | BV-2(1.0m) | H6         | BVL-10MB             | 中腹部        | 中国技術 |
|            |     | BV-2(1.5m) |            |                      | ブロック外      |      |
|            |     | BV-2(8.5m) |            |                      |            |      |
| 地盤傾斜計      |     | LS-X-K-117 | H5(H6 移設)  | BE-100DS             | 頭部         | 山口工事 |
| 降水量計       |     | NG-5       | H7         | OS-100CI             | 中腹部        |      |
| 伸 縮 計      | A   | EG-1       | S62        | KRC 型<br>(SKL-3 改良型) | 本端部        |      |
|            |     | EG-3       |            |                      |            |      |
|            |     | EG-5       | H5         |                      | 頭部         |      |
|            |     | EG-6       |            |                      |            |      |
| 土 壌 水 分 計  | B   | WL-4(1.0m) | S62        | PWL-7 型              | ブロック外      | 山口工事 |
| WL-4(5.0m) |     |            |            |                      |            |      |
| WL-3-23    |     | S62        |            |                      | P-1-S      |      |
| 伸 縮 計      |     | EG-2       | H5         | KRC 型                | ブロック外      |      |
| 雨量計        |     | EG-4       | S62        | (SKL-3 改良型)          | 頭部         |      |
|            | 雨量計 | S62        | SKJ-1200 型 | ブロック外                |            |      |

管内土質試験

| 試料  | 長さ (cm) | 直径 (cm) | 単位重量 (g/cm <sup>3</sup> ) | 含水率 (%) | 液性指数  | 塑性指数  | 圧縮係数 | 圧縮率 (%) |
|-----|---------|---------|---------------------------|---------|-------|-------|------|---------|
| 試料1 | 10.0    | 1.0     | 1.82                      | 2.42    | 18.2  | 0.596 | 0.6  | 0.6     |
| 試料2 | 10.0    | 1.0     | 1.84                      | 1.54    | 2.79  | 0.723 | 0.6  | 0.6     |
| 試料3 | 10.0    | 1.0     | 1.87                      | 1.57    | 2.75  | 0.72  | 0.6  | 0.6     |
| 平均値 | 1.923   | 1.648   | 2.719                     | 28.9    | 0.587 | 0.7   |      |         |

圧縮試験 (ケーシング法)

| 試料  | 長さ (cm) | 直径 (cm) | 単位重量 (g/cm <sup>3</sup> ) | 含水率 (%) | 液性指数  | 塑性指数  | 圧縮係数 | 圧縮率 (%) |
|-----|---------|---------|---------------------------|---------|-------|-------|------|---------|
| 試料1 | 10.0    | 1.0     | 1.82                      | 2.42    | 18.2  | 0.596 | 0.6  | 0.6     |
| 試料2 | 10.0    | 1.0     | 1.84                      | 1.54    | 2.79  | 0.723 | 0.6  | 0.6     |
| 試料3 | 10.0    | 1.0     | 1.87                      | 1.57    | 2.75  | 0.72  | 0.6  | 0.6     |
| 平均値 | 1.923   | 1.648   | 2.719                     | 28.9    | 0.587 | 0.7   |      |         |

圧縮試験 (自由圧縮法)

| 試料  | 長さ (cm) | 直径 (cm) | 単位重量 (g/cm <sup>3</sup> ) | 含水率 (%) | 液性指数  | 塑性指数  | 圧縮係数 | 圧縮率 (%) |
|-----|---------|---------|---------------------------|---------|-------|-------|------|---------|
| 試料1 | 10.0    | 1.0     | 1.82                      | 2.42    | 18.2  | 0.596 | 0.6  | 0.6     |
| 試料2 | 10.0    | 1.0     | 1.84                      | 1.54    | 2.79  | 0.723 | 0.6  | 0.6     |
| 試料3 | 10.0    | 1.0     | 1.87                      | 1.57    | 2.75  | 0.72  | 0.6  | 0.6     |
| 平均値 | 1.923   | 1.648   | 2.719                     | 28.9    | 0.587 | 0.7   |      |         |

現場透水試験 (ケーシング法)

| 試料  | 長さ (cm) | 直径 (cm) | 単位重量 (g/cm <sup>3</sup> ) | 含水率 (%) | 液性指数  | 塑性指数  | 圧縮係数 | 圧縮率 (%) |
|-----|---------|---------|---------------------------|---------|-------|-------|------|---------|
| 試料1 | 10.0    | 1.0     | 1.82                      | 2.42    | 18.2  | 0.596 | 0.6  | 0.6     |
| 試料2 | 10.0    | 1.0     | 1.84                      | 1.54    | 2.79  | 0.723 | 0.6  | 0.6     |
| 試料3 | 10.0    | 1.0     | 1.87                      | 1.57    | 2.75  | 0.72  | 0.6  | 0.6     |
| 平均値 | 1.923   | 1.648   | 2.719                     | 28.9    | 0.587 | 0.7   |      |         |

現場透水試験 (自由圧縮法)

| 試料  | 長さ (cm) | 直径 (cm) | 単位重量 (g/cm <sup>3</sup> ) | 含水率 (%) | 液性指数  | 塑性指数  | 圧縮係数 | 圧縮率 (%) |
|-----|---------|---------|---------------------------|---------|-------|-------|------|---------|
| 試料1 | 10.0    | 1.0     | 1.82                      | 2.42    | 18.2  | 0.596 | 0.6  | 0.6     |
| 試料2 | 10.0    | 1.0     | 1.84                      | 1.54    | 2.79  | 0.723 | 0.6  | 0.6     |
| 試料3 | 10.0    | 1.0     | 1.87                      | 1.57    | 2.75  | 0.72  | 0.6  | 0.6     |
| 平均値 | 1.923   | 1.648   | 2.719                     | 28.9    | 0.587 | 0.7   |      |         |

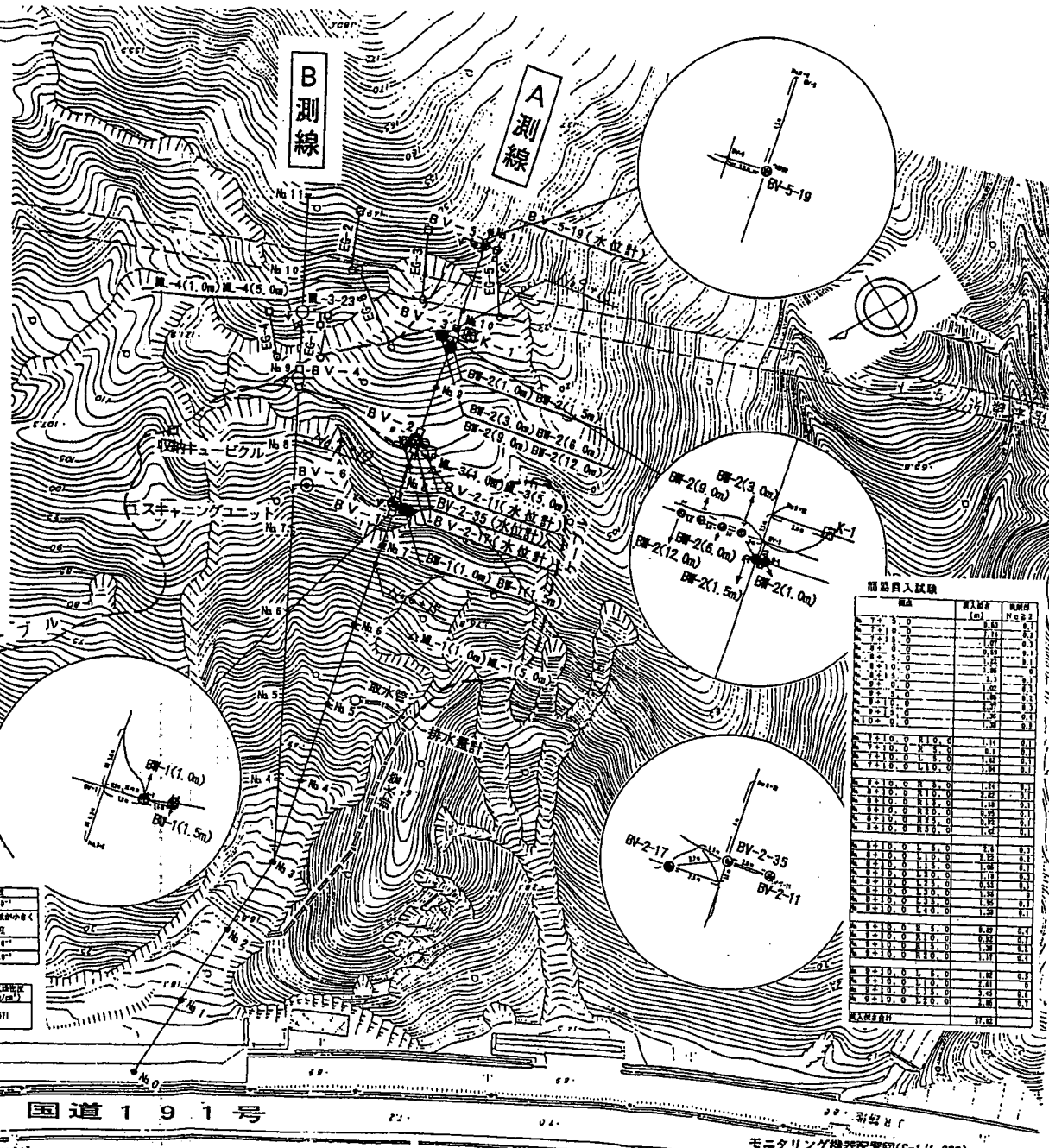


図-5.34 調査斜面平面図

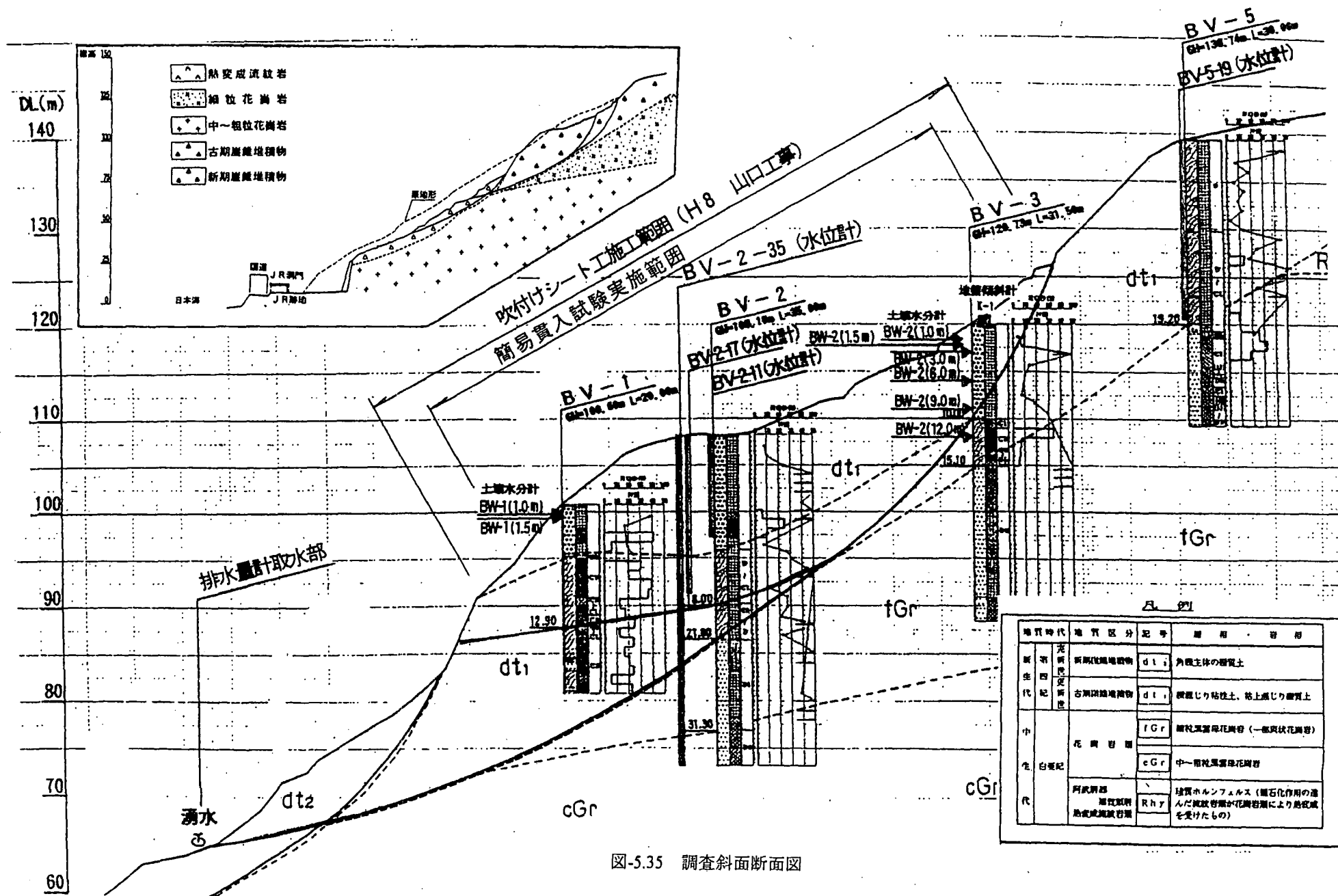


図-5.35 調査斜面断面図

# 土質試験結果

## 1. 土質試験結果総括

### (1) 現位置試験

#### 1) 現場透水試験 (ケーシング法)

| 試験孔  | 深度         | 土質 (岩級区分)                 | 透水係数                  |
|------|------------|---------------------------|-----------------------|
| BV-3 | 5.0~10.0m  | 礫混じり粘性土(dt <sub>1</sub> ) | $3.74 \times 10^{-4}$ |
|      | 15.0~20.0m | マサ土 (DM)                  | 透水係数が小さく<br>測定不可      |
|      | 23.0~25.0m | マサ土 (DM)                  | $7.60 \times 10^{-8}$ |
|      | 29.0~31.0m | 風化花崗岩(CM~CL)              | $1.12 \times 10^{-6}$ |

#### 2) 現場単位体積重量 (砂置換法)

| 試験位置<br>深 度        | 含水比<br>$\omega(\%)$ | 土の湿潤密度<br>$\rho_t(\text{g/cm}^3)$ | 土の乾燥密度<br>$\rho_d(\text{g/cm}^3)$ |
|--------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| No6+15<br>深度0.5m付近 | 13.29               | 1.893                             | 1.671                             |

### (2) 室内土質試験

| 試験位置<br>深 度        | 湿 潤<br>密 度<br>$\rho_t(\text{g/cm}^3)$ | 乾 燥<br>密 度<br>$\rho_d(\text{g/cm}^3)$ | 土粒子の<br>密 度<br>$\rho_s(\text{g/cm}^3)$ | 自 然 含<br>水 比<br>$\omega_n(\%)$ | 間隙比<br>e | 飽和度<br>Sr(%) |
|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|----------|--------------|
| No6+15<br>深度0.5m付近 | 2.006                                 | 1.682                                 | 2.685                                  | 19.2                           | 0.596    | 86.6         |
| No7+10<br>深度0.5m付近 | 1.888                                 | 1.554                                 | 2.679                                  | 21.5                           | 0.723    | 79.6         |
| No9+15<br>深度0.5m付近 | 1.892                                 | 1.587                                 | 2.765                                  | 19.2                           | 0.742    | 71.4         |
| 平 均 値              | 1.929                                 | 1.608                                 | 2.710                                  | 20.0                           | 0.687    | 79.2         |

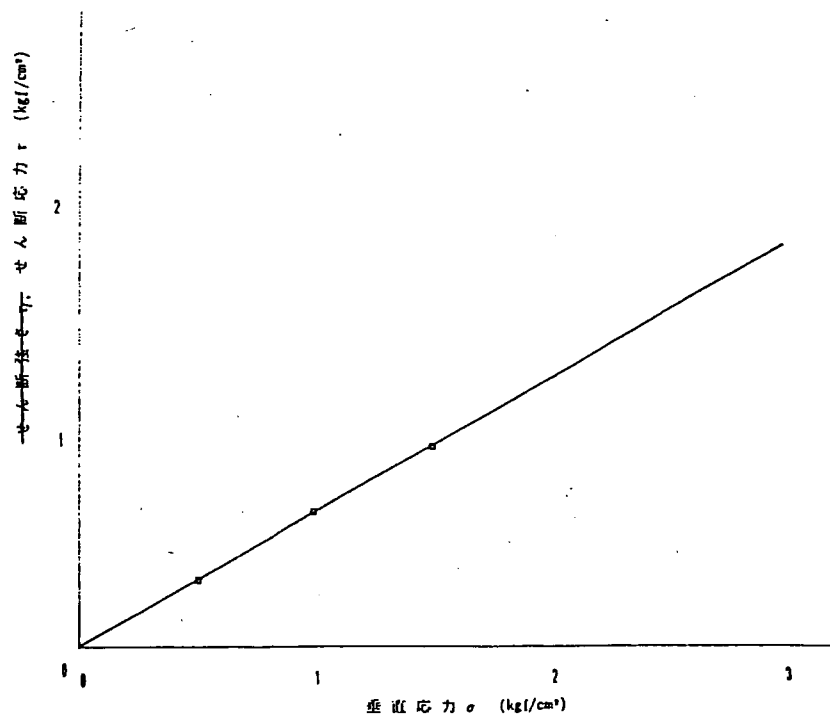
| 試験位置<br>深 度        | 一面せん断試験(全応力)            |            | 透水試験<br>K(15cm/sec)   | P F 試験    |
|--------------------|-------------------------|------------|-----------------------|-----------|
|                    | C(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\phi$ (度) |                       |           |
| No6+15<br>深度0.5m付近 | 0.22                    | 25.7       |                       |           |
| No7+10<br>深度0.5m付近 | 0.19                    | 22.9       |                       | 6 試料<br>○ |
| No9+15<br>深度0.5m付近 | 0.11                    | 36.3       | $5.66 \times 10^{-6}$ | 5 試料<br>○ |
| 平 均 値              | 0.17                    | 28.3       |                       |           |

| 試験位置<br>深 度          | 一面せん断試験(全応力)            |            | P F 試験 |
|----------------------|-------------------------|------------|--------|
|                      | C(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\phi$ (度) |        |
| BV-1<br>深度12.8~12.9m | 0.11                    | 29.6       |        |
| BV-2<br>深度12.2~12.7m | 0.04                    | 35.7       |        |
| BW-2                 | 1.0~1.5m                |            | ○1 試料  |
|                      | 2.5~3.0m                |            | ○      |
|                      | 6.5~6.8m                |            | ○      |
|                      | 8.5~9.3m                |            | ○      |
| 平 均 値                | 0.08                    | 32.7       |        |

一面せん断試験 (UU, (CU) CD)

試料番号・深さ: No. VB-1 ( m - m ) 試験者

| 強度定数 | 応力範囲   | c kgf/cm <sup>2</sup> | φ 度  | tanφ | c <sup>(注)</sup> kgf/cm <sup>2</sup> | φ <sup>(注)</sup> 度 |
|------|--------|-----------------------|------|------|--------------------------------------|--------------------|
|      | 正規圧密領域 | 0.11                  | 29.6 | 0.57 |                                      |                    |
|      | 過圧密領域  |                       |      |      |                                      |                    |



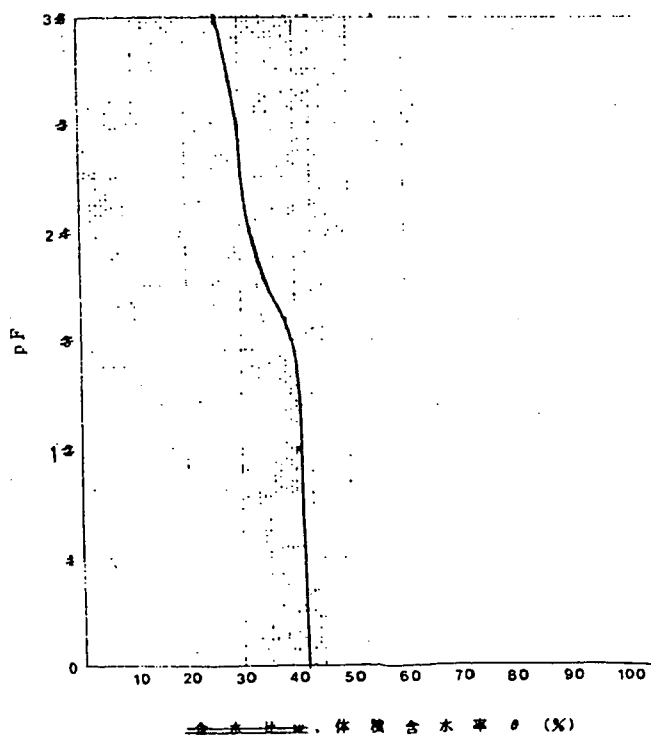
土の pF 試験 (水分特性曲線)

調査地点 (試料採取地点) BW-2 試験年月日

試料番号・深さ 1.0 ~ 1.5 m 試験者

| 測定番号 |         | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      |
|------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| サンプル | 保土時重量   | PFO    | PFO.5  | PFI.0  | PFI.2  | PFI.5  |
|      | 173.84  | 203.31 | 202.92 | 201.94 | 201.84 | 200.73 |
| 13   | VL      | 42.65  | 42.26  | 41.28  | 41.18  | 40.07  |
|      | 169.17  | 202.31 | 202.29 | 201.07 | 201.01 | 200.46 |
| 14   | VL      | 41.49  | 41.47  | 40.25  | 40.19  | 39.64  |
|      | 体積含水率 % | 42.07  | 41.87  | 40.77  | 41.0   | 39.86  |
|      | 含水比 %   | 26.13  | 26.01  | 25.32  | 25.47  | 24.76  |
|      | 測定法     | 砂注法    |        |        |        |        |

|  |         | 6      | 7      | 8      | 9      | 乾燥重量   |
|--|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  |         | PF1.7  | PF2.0  | PF2.5  | PF3.0  |        |
|  |         | 196.39 | 193.52 | 191.12 | 188.96 |        |
|  | VL      | 35.73  | 32.86  | 30.46  | 28.3   | 160.66 |
|  |         | 196.43 | 192.16 | 188.79 | 183.68 |        |
|  | VL      | 35.61  | 31.34  | 29.97  | 22.86  | 160.82 |
|  | 体積含水率 % | 35.67  | 32.1   | 30.03  | 25.58  |        |
|  | 含水比 %   | 22.16  | 19.94  | 18.65  | 15.89  |        |
|  | 測定法     | 加圧板法   |        |        |        | 160.74 |



## 調査斜面の検討事項等

### (1) 斜面調査手法の適用性と問題点

- ① 簡易貫入試験による表層厚は0.1～0.7m程度であるのに対し、ボーリング調査による風化層（古期崖錐堆積物）厚は15～20m程度と、大きな違いが生じている。要因として当該斜面の特殊性（地滑り地形）や礫の影響が考えられるが、簡易貫入試験だけで斜面の崩壊土層厚を推定することは困難（危険）な場合がある。
- ② 土質試験については、一般的な項目が実施され、また斜面の土質性状もよく把握できており、特に問題はないものと思われる。

### (2) モニタリング手法の適用性と問題点

- ① モニタリング斜面の選定に当たっては、過去に土砂災害が頻発し現在もなお不安定な状態にあるということで当該斜面を選定したが、当該斜面のように地滑り地形で風化土層厚が厚い場合は、降雨量に対する地下水位や地盤傾斜量等の変動の反応が鈍く、明瞭な相関も表れにくい傾向にある。
- ② また、今回の観測でいま一つ有意なデータが得られなかったのは、渇水傾向に当たったことと、この現場が既に過去に大規模な変動を起こして、斜面としては一時休息状態にあり、外観と違って比較的安定した状態にあったためと考えられる。
- ③ 当該斜面の観測では、メインの土壤水分計が全般に不規則な動きが多く安定度がいま一つであった。また、乾燥状態がしばらく続くとセンサー部の水分の放出に伴う異常値又は欠測状態が頻繁に発生した。  
今後の本格運用で実用化するには、極力メンテナンスフリーで安定した計測が可能な観測項目（センサー）を選定する必要がある。
- ④ 当該観測斜面では、地盤傾斜計の動きに降雨に連動した顕著な累積傾向や特徴的な動きが見られず、あまり有効な観測項目（センサー）とは言いがたい。
- ⑤ 安定した観測体制を確保する上で懸念される事項として、データロガー等の周辺機器の故障や落雷による被害が挙げられる。  
対策としては、電話回線等による常時又は頻繁な遠隔監視による故障の早期発見と復旧体制の確保、並びに落雷被害防止対策の向上等が必要と考えられる。

### (3) 解析及び災害予測モデルの適用性と問題点

- ① 当該観測斜面については、安定度評価モデルとして想定している表層崩壊とは異なる（地滑り）形態の斜面であることと、折からの渇水傾向と相まって解析に必要な顕著な変動データが得られなかったということで、浸透流解析及び安定度解析は行なわれていない。
- ② 簡易解析として、降雨と各観測項目との相関並びに、各観測項目及びセンサー相互間の相関性の有無と程度について調査した結果、短期間の一部の組み合わせにおいて高い相関を示すケースが見られた。

## まとめ

### (1) 全体観測結果

#### ① 降雨量

時間雨量では、H 6 年度の渇水に引き続き全般的に平年より降雨が少なく、高いものでも 27 mm 程度と総じて低い値となっている。なお、連続雨量では、H 7 年 7 月 2 日から 7 月 3 日にかけて 192 mm を記録し、通行規制（200 mm 以上）の一手手前の状況に至ったことがあった。

期間中の日降雨量は 137 mm を最大に梅雨時期に高い値を記録しているものの、こちらも平年より全般的に少ない降雨量であった。

#### ② 地下水位

地下水位計は、A 測線に沿って、地滑りブロック頭部の外側（主滑落崖の上方斜面）に 1 基、ブロック中腹部の中央に 3 基の合計 4 基設置している。このうち、水位が確認できるのは地表面下 3.5 m の深さに設置した 1 基のみであり、その水位も孔底近くではほぼ一定で通年及び降雨に伴う変動量もわずかである。

#### ③ 地盤傾斜量

地盤傾斜計は、地滑りブロックの頭部に 1 基設置している。観測対象期間を通して見ても顕著な累積傾向は認められず、当該観測期間内では斜面は比較的安定した状態にあるものと考えられる。

#### ④ 地盤伸縮量

地盤伸縮計は、山口工事事務所により主滑落崖に沿って 6 基設置されている。いずれも、当該観測期間中に顕著な累積傾向は認められず、比較的安定した状態にあるものと考えられる。

#### ⑤ 土壌水分量

土壌水分計は、A 測線に沿って、地滑りブロック頭部に 6 基、ブロック中腹部の端部に 2 基の合計 8 か所に 8 基設置している。殆どの土壌水分計では、全般に計測値の不規則な変動が大きく、また、土壌の乾燥により計測不能状態又は計器の誤作動による異常値と見られる観測値が頻繁に生じている。ただし、浅い位置に設置したセンサーでは降雨に連動して敏感に反応しているものもあり、当該斜面で土壌水分計が有効に機能するには、地表面より 1.5 m 程度までの深度での適用が望ましいと考えられる。

#### ⑥ 排水量

当該斜面の中腹から常時流出している湧き水の量に着目し、地下水（排水）量と降雨量や地下水位との関係を把握する目的で排水量計を設置して変動状況を観測した。観測期間中常時毎分約 3.5 ℓ 程度の流出量が観測されたが、通年及び降雨に伴う変動は殆どなく、降雨量や地下水位との明瞭な相関は見られなかった。

### (2) 相関性

① 地表面下 3.5 m の水位計が、多降雨時に降雨量に連動してわずかではあるが水位の上昇を示している。時間雨量との相関性は低いが、3 日間累積雨量や実効雨量との間には 0.6 程度の比較的良い相関性が見られた。

② 土壌水分計については、いずれも時間雨量との相関性は低いが、地表面下 1.5 m 程度以下の浅い位置に設置したものは、3 日間累積雨量や実効雨量との間には 0.7～0.8 前後の高い相関性が確認された。

### (3) 降雨量や地下水位と土砂災害の関係（既往観測資料より）

① 過去の土砂災害の発生履歴と観測結果から、当該地区においては月間降雨量が 500 mm に、あるいは 7 日先行降雨量が 300 mm に達した時に土砂災害が多く発生している。

② 同じく、当該斜面で過去に発生した斜面崩壊時の地下水位の変動状況を見ると、降雨に伴って地下水位が上昇し、ピーク付近で斜面崩壊が発生している。

# 木与法面

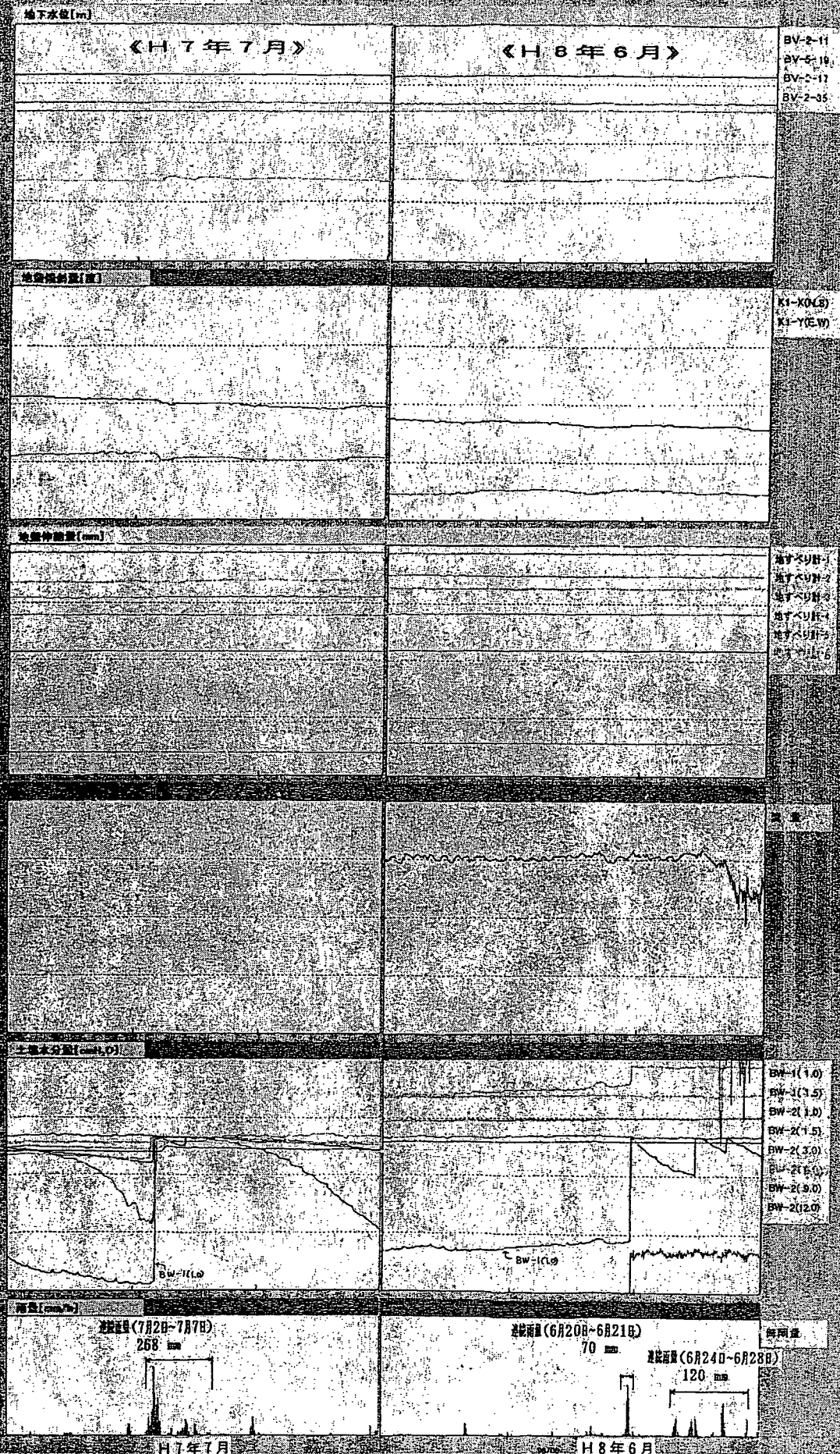


図-5.36 特定期間の計測結果 (H 7・H 8 年度)

#### 5.7.1 土佐国道工事事務所管内、大豊町安野々斜面

担当  
四国地方建設局  
四国技術事務所



# 1. 法面安定度評価調査 調査表 建設省四国技術事務所

|                                                                                                                                                                                                                            |                                  |                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------|
| 斜面管理者                                                                                                                                                                                                                      | 四国地建土佐国道工事事務所                    |                                                |
| 地点名                                                                                                                                                                                                                        | 高知県長岡郡大豊町安野々                     |                                                |
| 路線・キロ程                                                                                                                                                                                                                     | 国道32号 90K800M                    |                                                |
| 通行規制                                                                                                                                                                                                                       | 連続雨量250mm                        |                                                |
| 斜面条件                                                                                                                                                                                                                       | 地質                               | 三波川結晶片岩（泥質片岩）の強風化部                             |
|                                                                                                                                                                                                                            | 向き                               | 南向き                                            |
|                                                                                                                                                                                                                            | 勾配                               | 34～45°（平均40°）                                  |
|                                                                                                                                                                                                                            | 風化層厚                             | 2～5m                                           |
|                                                                                                                                                                                                                            | 対策工                              | なし                                             |
| 計測状況                                                                                                                                                                                                                       | 土壌水分計                            | 上部(-3m,-1.5m)・中腹(-3m,-2m,-1m)・下部(-3m,-1.5m)    |
|                                                                                                                                                                                                                            | 地表面傾斜計                           | 斜面上部・中腹・下部（埋設-0.5m）                            |
|                                                                                                                                                                                                                            | 水位計                              | 斜面中腹（設置深度 GL-12.5m）                            |
|                                                                                                                                                                                                                            | 孔内傾斜計                            | 斜面中腹（月1回の手計り式、深度-13.0m）                        |
|                                                                                                                                                                                                                            | 雨量計                              | 斜面外部約90m、自記記録式                                 |
|                                                                                                                                                                                                                            | その他                              | 地盤伸縮計（斜面頭部）・温度計（斜面中腹）                          |
| 計測期間                                                                                                                                                                                                                       | 平成5年12月25日より計測開始、6年3月5日より本格計測開始。 |                                                |
| 試験・探査                                                                                                                                                                                                                      | P F 試験                           | 1地点2試料、p F 1. 0～3. 5（砂中・加圧・遠心法）                |
|                                                                                                                                                                                                                            | 三軸圧縮試験                           | 1地点2試料、飽和不攪乱CU、拘束圧0. 5～4. 0kgf/cm <sup>2</sup> |
|                                                                                                                                                                                                                            | その他                              | 透水試験（不攪乱）1地点2試料                                |
|                                                                                                                                                                                                                            | 弾性波探査                            | 1測線、スタッキング方式                                   |
|                                                                                                                                                                                                                            | 水平電気探査                           | 3測線（Dipole-Dipole 法、Pole-Pole 法）電極間隔最小2m       |
|                                                                                                                                                                                                                            | 調査ホーリング                          | 斜面中腹1ヶ所、深度-13m                                 |
|                                                                                                                                                                                                                            | 簡易貫入試験                           | 10ヶ所                                           |
| 備考                                                                                                                                                                                                                         |                                  |                                                |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・主測線横約20mに昭和49年の崩壊跡地あり。</li> <li>・計器は何れも良好に作動。</li> <li>・地盤傾斜計が豪雨時に変動するも、その後逆戻りする。地盤の乾燥収縮によるものと考えられる。</li> <li>・斜面内に水位は認められない。</li> <li>・土壌水分計は斜面内土壌の異常乾燥、その後の湿潤等を良好に捕捉。</li> </ul> |                                  |                                                |

2. 斜面平面図・断面図

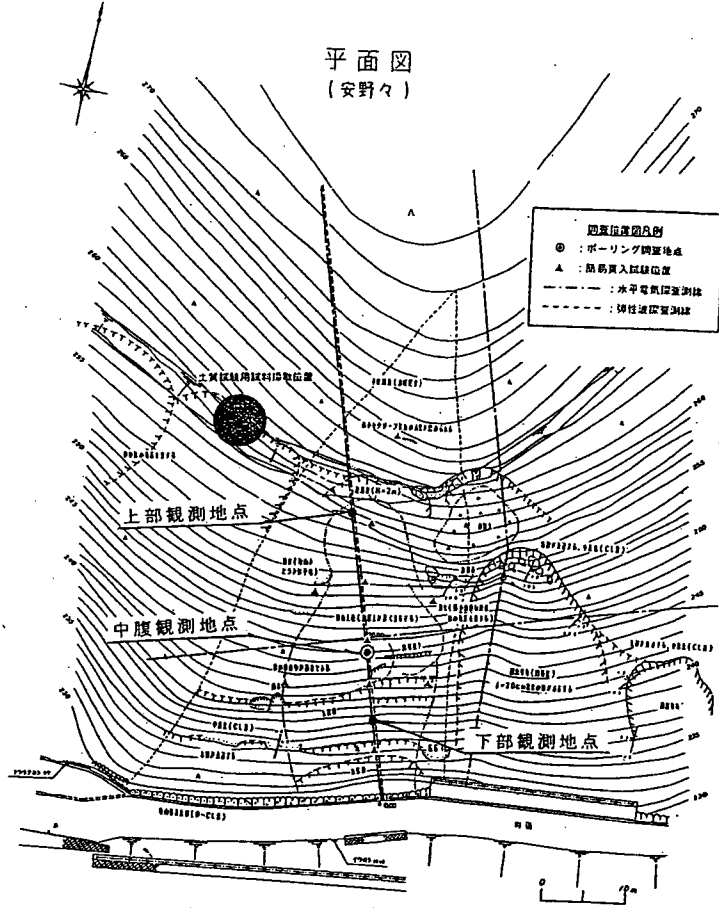


図 5-40 調査地点平面図

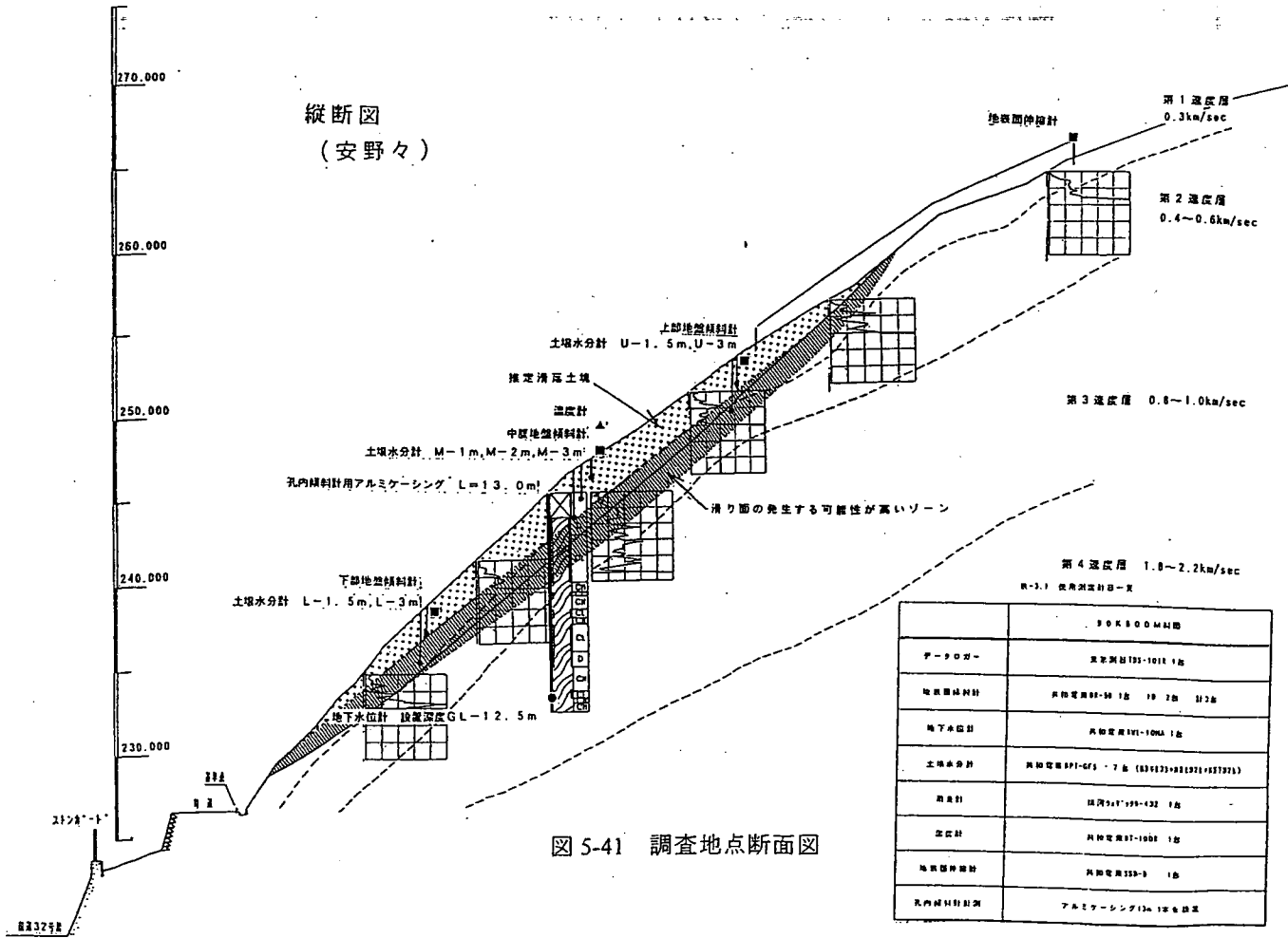


図 5-41 調査地点断面図

### 3. モニタリング調査結果（代表的な観測データ（次頁図）の説明）

#### 1. まず深度別の変化傾向であるが、

##### ア)上図参照

たとえば平成7年（1995）4月29日から5月2日にかけての水分計の挙動に見られるように土壌水分計は降雨による地盤の湿潤状況を良好に捕捉しているが、この時浅い深度ほどサクシヨンの変動が急激で、深いほど穏やかにまたある程度のタイムラグをもって湿潤側に変化する傾向にある。これは雨水の地表面部からの浸透状況を表現しているためと考えられる。これは平成6年度の観測においても確認できた現象である。

##### イ)下図参照

ただし、平成7年9月24日の降雨時等ではア)の傾向との逆の傾向が表れており、深度 3m→2m→1mの順に湿潤側への変化が始まり、かつサクシオン約0kgf/cm<sup>2</sup>への収束が速やかに終了している。当初はこの原因を長時間高温状態に置かれたためにセンサー内の 気体成分が膨張し、センサー反応速度が低下したためと説明づけたが、平成7年には9月 下旬にもこの現象が現れており、上記理由では完全な説明が行えない。

このイ)の現象はいずれも長期の乾燥状態に置かれ、降雨前のサクシオン値が異常に高い（負の方向に大きい）時期についてのみ認められることから、地盤ではその初期の含水状態により浸透現象に違いが生じている可能性がある。これを検証する方法としては数値解析による現象の再現等が考えられるが、いずれにしても地表面浸透のみでこれらの現象が合理的に説明できるかは興味をもたれるところである。

#### 2. 次に斜面上中下部における湿潤速度の違いについてであるが、

##### ア)下図参照

平成7年9月24日と10月2日の降雨により斜面の何れの部分でも急激な湿潤が始まっている。このときサクシオンが約0kgf/cm<sup>2</sup>へと完全に収束しきるのは斜面下部で10月4日、斜面中腹で10月5日、斜面上部で10月6日と明らかに差が生じている。これは斜面内において湿潤速度に違いのあることを示しており、斜面下部に向かうほど浸透流が集中する傾向にあることがわかる。勿論これは重力作用により下部に集中するものと考えられるが、数値解析においてこの傾向および速度が正確に表現できるのか興味をもたれるところである。

このように同一の降雨でも斜面内の湿潤傾向は一樣ではなく、斜面の各部位によって湿潤傾向に差異があることが読みとれる。この原因は地表面部に発生した乾燥収縮クラック分布量や、杉植林の植生密度の差による局所的な降雨強度の差等に起因するものと考えられる。

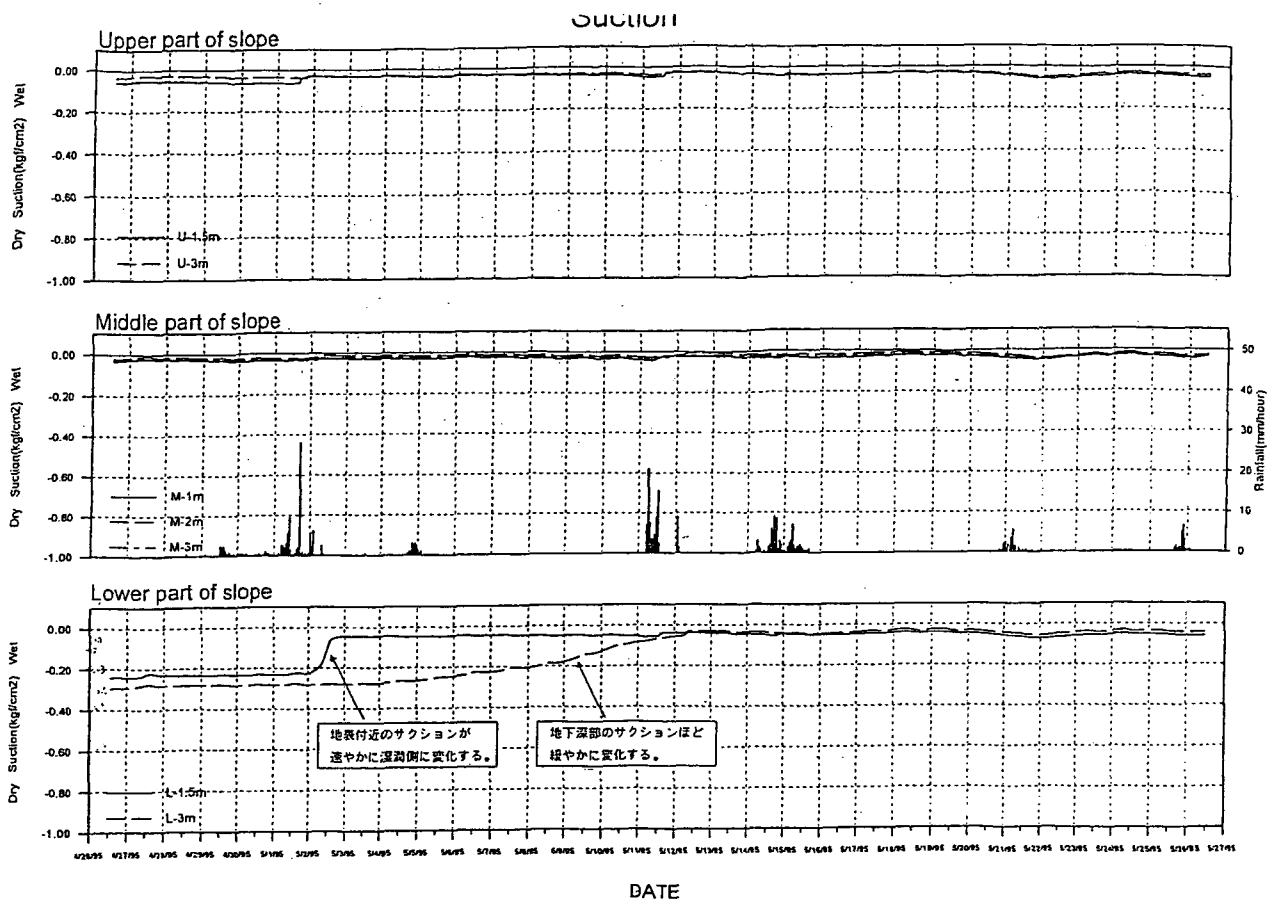


図 5-42 モニタリング観測例(その 1)

四 - 45

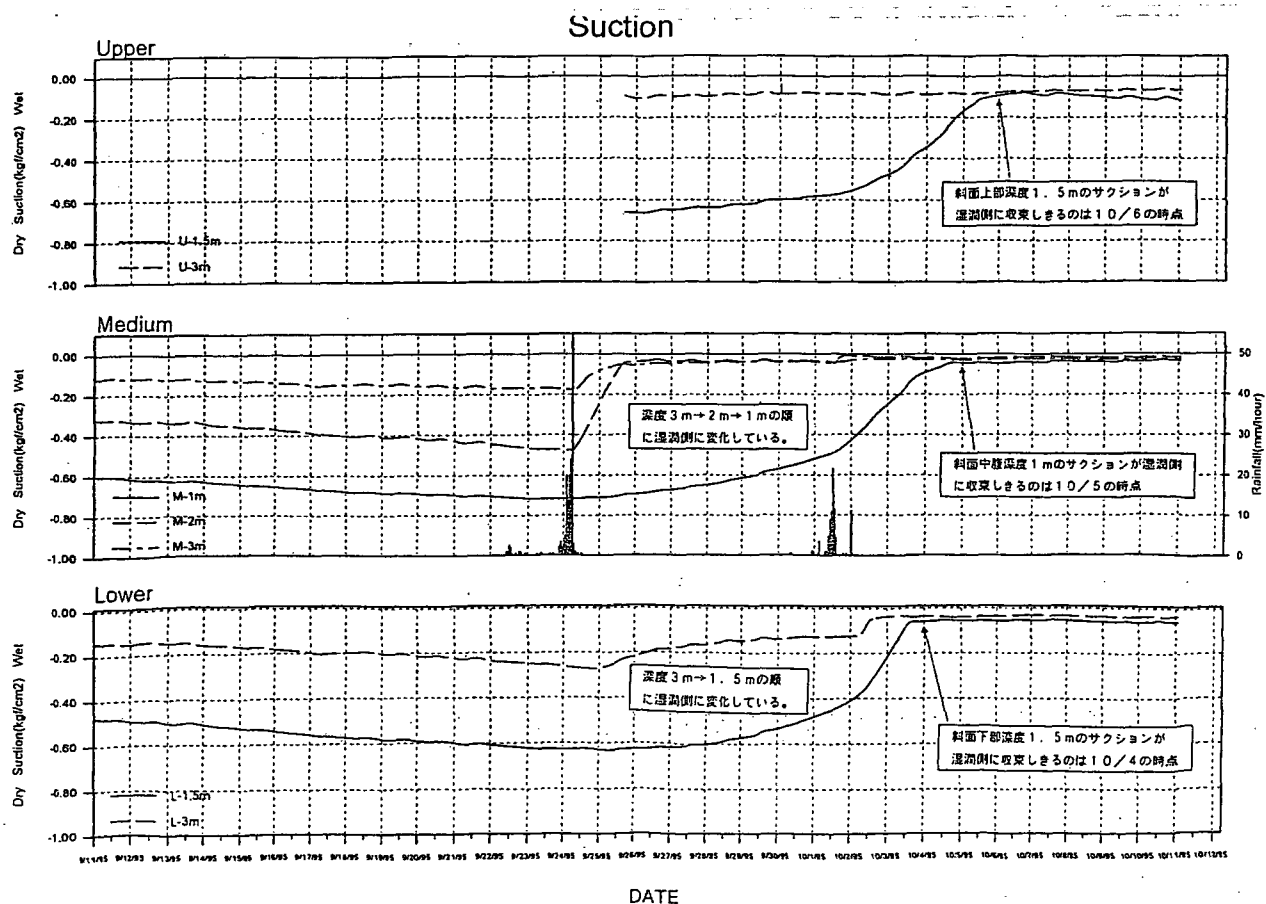


図 5-43 モニタリング観測例(その 2)

四 - 46

## 4. 土質試験結果

### 試料概要

試料は何れも同一箇所より採取した。

物性試験（比重・含水・粒度）は3試料に対して試験を行い、平均値を算出した。

単位体積重量試験は不攪乱状態での三軸圧縮試験、透水試験の供試体合計 13 個について実施し、その平均値を求めた。

三軸圧縮試験（不攪乱・飽和のみ・CU条件）は2ステージ実施した。

透水試験（不攪乱・変水位）は3試料に対して試験を行い、平均値を算出した。

### 基本的物性試験

#### ①土粒子の密度試験

|                         | 1     | 2     | 3     | 平均値   |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| $\rho_s(\text{g/cm}^3)$ | 2.735 | 2.741 | 2.728 | 2.735 |

#### ②自然含水量試験

|           | 1    | 2    | 3    | 平均値   |
|-----------|------|------|------|-------|
| $W_n(\%)$ | 13.1 | 16.8 | 12.4 | 14.1  |
| $S_r(\%)$ | -    | -    | -    | 68.56 |

#### ③粒度試験

| 試料名                         | 1        | 2    | 3             |
|-----------------------------|----------|------|---------------|
| 礫分 (2~75mm)%                | 56       | 35   | 27            |
| 砂分 (75 $\mu\text{m}$ ~2mm)% | 25       | 31   | 38            |
| シルト分 (5~75 $\mu\text{m}$ )% | 10       | 15   | 15            |
| 粘土分 (5 $\mu\text{m}$ 未満)%   | 9        | 19   | 20            |
| 均等粒径 $U_c$                  | 934      | -    | -             |
| 曲率係数 $U_c'$                 | 13       | -    | -             |
| 最大粒径 (mm)                   | 53.0     | 53.0 | 37.5          |
| 日本統一土質分類法                   | 礫質土 {GF} |      | 礫混じり砂質土 {SFg} |

#### ④単位体積重量試験

・平均湿潤密度： $\rho_t=1.928\text{g/cm}^3$

・平均間隙比： $e=0.653$

・平均乾燥単位体積重量： $\gamma_d=1.655\text{g/cm}^3$

・平均飽和単位体積重量： $\gamma_{\text{sat}}=2.050\text{g/cm}^3$

・平均水中単位体積重量： $\gamma_{\text{sub}}=1.050\text{g/cm}^3$

⑤室内透水試験

|           | 1                     | 2                     | 3                     | 平均値                   |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| k(cm/sec) | $5.32 \times 10^{-4}$ | $8.14 \times 10^{-4}$ | $7.63 \times 10^{-4}$ | $7.03 \times 10^{-4}$ |

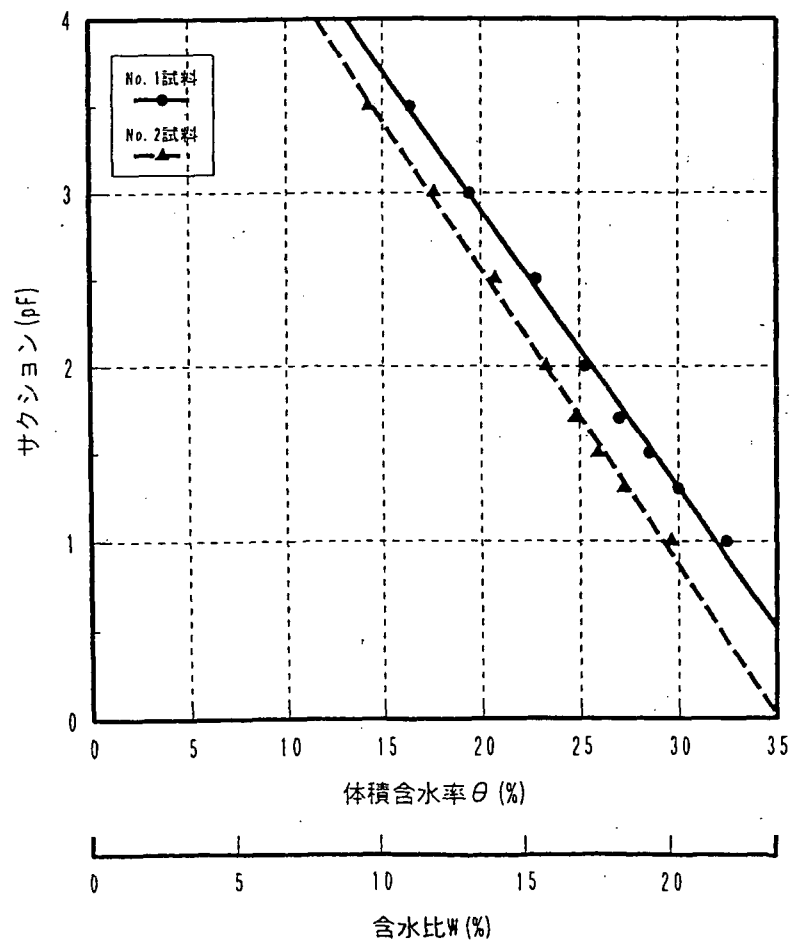
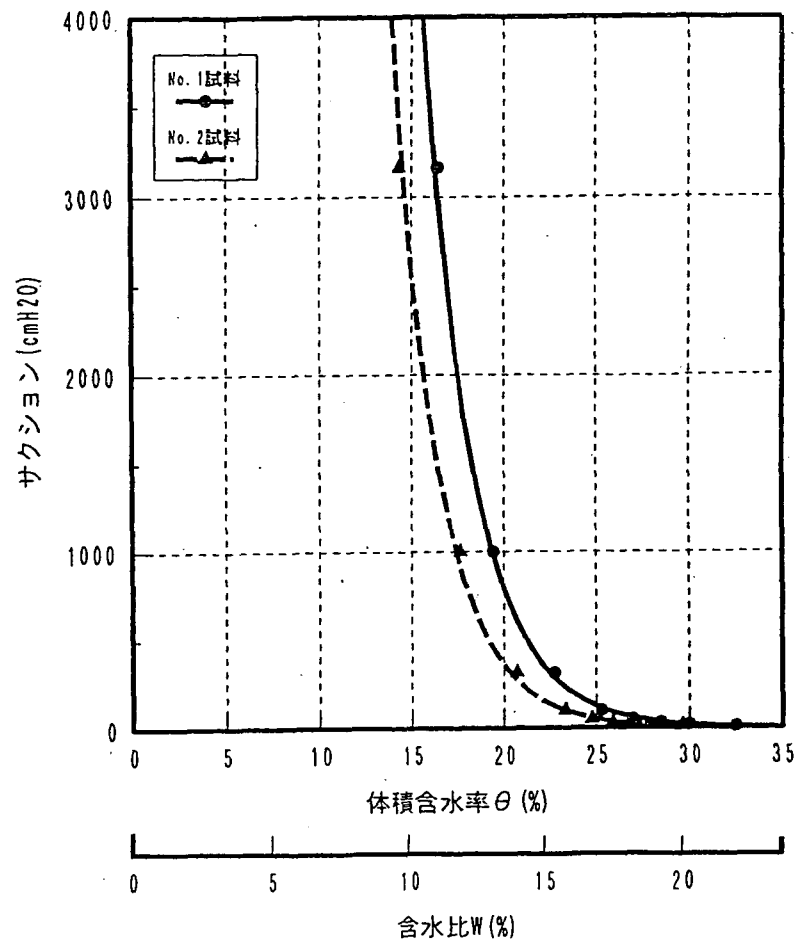
⑥三軸圧縮試験

| 試料 No. | 全応力強度（非排水強度）             |                    |               | 有効応力強度（≒排水強度）             |                   |              |
|--------|--------------------------|--------------------|---------------|---------------------------|-------------------|--------------|
|        | Cu(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\phi_u(^{\circ})$ | $\tan \phi_u$ | C' (kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\phi'(^{\circ})$ | $\tan \phi'$ |
| 1      | 0.10                     | 19.73              | 0.36          | 0.09                      | 31.56             | 0.61         |
| 2      | 0.24                     | 19.51              | 0.35          | 0.14                      | 29.67             | 0.57         |
| 平均値    | 0.17                     | 19.62              | 0.36          | 0.12                      | 30.62             | 0.59         |

⑦PF試験

| 試料 No. | サクション<br>$\phi$ (pF) | サクション<br>$\phi$ (cmH <sub>2</sub> O) | 含水比<br>W(%) | 体積含水率<br>$\theta$ (%) |
|--------|----------------------|--------------------------------------|-------------|-----------------------|
| 1      | 1.00                 | 10.00                                | 21.86       | 32.48                 |
|        | 1.30                 | 20.00                                | 20.19       | 30.01                 |
|        | 1.50                 | 31.60                                | 19.18       | 28.50                 |
|        | 1.70                 | 50.10                                | 18.17       | 27.01                 |
|        | 2.00                 | 100.00                               | 17.02       | 25.31                 |
|        | 2.50                 | 316.00                               | 15.33       | 22.80                 |
|        | 3.00                 | 1000.00                              | 13.06       | 19.42                 |
|        | 3.50                 | 3163.00                              | 11.06       | 16.40                 |
| 2      | 1.00                 | 10.00                                | 19.99       | 29.64                 |
|        | 1.30                 | 20.00                                | 18.36       | 27.22                 |
|        | 1.50                 | 31.60                                | 17.46       | 25.90                 |
|        | 1.70                 | 50.10                                | 16.70       | 24.77                 |
|        | 2.00                 | 100.00                               | 15.74       | 23.34                 |
|        | 2.50                 | 1000.00                              | 11.89       | 17.64                 |
|        | 3.00                 | 1000.00                              | 11.89       | 17.64                 |
|        | 3.50                 | 3163.00                              | 9.62        | 14.27                 |

90K800M斜面水分特性曲線



## 5. 各斜面の検討事項

### ・各種斜面調査法の適用性と問題点

#### ①ボーリング

1. 「法面安定度評価調査」においてボーリングの掘削深度は、基底水位が確認できるまでの深度とすることが望ましい。本調査においては掘削深度を崩壊により滑落する可能性のある土層厚の倍程度の確認を目的とし、深度10～13mに決定した（あくまで調査目的を表層の土砂崩壊と限定したため）。しかし、結果的にはこの深度内に基底水位は存在しなかったため、浸透流解析の初期条件（数値解析モデルを作成する際の初期水位条件）を与えるには至らなかった経緯がある。この理由により、解析までを含めたトータルの調査計画を考える場合、掘削深度を基底水位分布深度+2m程度（水位変動の余裕を考えて）とする必要性が感じられる。
2. ボーリング調査は調査地の地質状態（亀裂等の分布や地下水位）を直接把握する上で非常に大きな役割を果たすが、調査中に多量の循環水を斜面内に供給し、崩壊現象を助長する可能性のあることから、調査に当たっては斜面の危険度等を慎重に考慮した上で実施する必要がある（本調査で大きな危険性はなかったが）。
3. 仮に調査対象を岩石崩壊に近い形態をとる場合まで含める場合には、ボーリング孔を利用したボアホールカメラによる亀裂の確認なども有効な調査手法と考えられる。

#### ②サウンディング

1. 本調査では表層土の層厚を平面的に把握する目的で簡易貫入試験を採用し、実施したが、簡易貫入試験は崩壊土層の厚さを迅速に把握する上で有効な手法であることが判明した。これは  
ア. 簡易貫入試験の貫入可能深度が弾性波探査及びボーリング調査で確認した土砂層の層厚と概ね一致していること、つまり滑落土層厚の把握に有効であること  
イ. 小型軽量で迅速に調査でき、急傾斜地上での作業に適していることから、短時間に多点数の調査が実施できること  
等の理由による。一方で、この試験法は貫入力がいいため礫の混入等によりしばしば貫入不能になる場合がある。結果の整理においては異常データの抽出について注意を払う必要がある。

#### ③弾性波探査

1. 弾性波探査は供用している道路近傍での調査となることから、起震源の問題（火薬の使用が難しい）、交通によるノイズの問題が残る。本調査で行ったスタッキング方式での探査においては今回程度の測線延長（約60m～100m）が限界であろう。
2. 斜面内での岩質の変化や亀裂の分布量を把握する意味では重要な調査法といえる。

#### ④水平電気探査

1. 水平電気探査は斜面内の水分分布性状を捉える上で有効な手法である。これは本調査で実施した2回の探査において、結果の再現性が高いことによる。何れの調査結果にも斜

面上部の滑落崖付近の地下に低比抵抗部の盛り上がり分布が確認され、水みち等の存在が予想された。

- 2.ただし、探査結果が絶対量を持つ物理量で表現されるわけではないため、その結果の取り扱いについては”あくまで相対的な水分量の差異を表現している”ことを念頭におきながら、各種調査結果と対比させて確認を行う必要がある。

## ・サンプリング・土質試験法の問題点

### ①サンプリング

- 1.調査斜面を構成する結晶片岩の強風化残積土は剥離性に富むため一般的には不攪乱試料の採取が困難とされており攪乱試料試験で代用される場合が多い。今回の調査ではネイルサンプリングと呼ばれるブロックサンプリングの一種及びこれをもとに考案された不攪乱力学試験・透水試験方法を適用したところ高精度かつ多点数な試験が行えることが判明した。これは試料の目視観察、力学値・透水係数のばらつきの少なさ、現場密度測定との結果比較の中で確認できた。

### ②土質試験

- 1.土質試験については、不攪乱状態での三軸圧縮試験・透水試験・PF試験等が良好な状態で行うことが出来、特に問題点は感じなかった。しかし、試料中に含有される多量の礫分により供試体整型に難儀したこと、細心の注意を払ったことも事実であり、今回以上に礫含有量が増加すると事実上不攪乱状態での実施は不可能であろう。

## ・モニタリング適用性と問題点

### ①雨量計

- 1.四国地方の山間部は全国でも特に降雨が多く、局所的な集中豪雨が発生する地域として知られている。本調査でも（平成4年度調査結果）、一台風通過時に距離が10km離れるだけで200mmに及ぶ降雨量の差（4日間累計）が発生している例もある。このことから当地域における降雨の局所性が理解できる。そこで既往災害が発生した場所の降雨環境に極力近いデータを用いて災害履歴の抽出を行うためには、可能な限りの降雨データを収集することが望ましい（斜面毎の降雨観測が必要）。

### ③伸縮計

- 1.本調査においてはペン記録の手動計測タイプを採用した。これは自動観測計器類とは別に土塊の変位現象を現地において目視確認し、断線等の可能性を予め察知するための計器を設けるための目的による。手動観測用計器として伸縮計を選定した理由は、
  - ・異常気象時に土塊内部に立入らずに観測が可能であること（被災の可能性が少ない）。
  - ・上記理由により、地盤傾斜計等の他の計器に人為的なノイズを与えないこと。
  - ・土塊の変状発生時に移動状況のデータが残る可能性がやや高いこと。
- 2.ただし、伸縮計には異常データ（インバー線トラブル等）発生の可能性が高い。本調査でも倒木等による異常データが数回発生している。

#### ④地盤傾斜計

1. 本調査では外気温変化による傾斜計測定値の変動を極力小さく押さえ込む目的で平成6年度設置分から傾斜計を地中に設置した（土木研究所の指導による、同時に5倍精度の傾斜計を採用した）。これは地盤傾斜計の基礎部分を地表面深度約1m程度の位置に設けて傾斜計の保護箱上部に30～50cm程度の土被りが設けられるようにしたものである。傾斜計精度を変更したため、外気温変化が計測値に与える影響を直接比較することは出来なかったが、埋設設置した傾斜計（5倍精度）の日温度変化による計測値変動量は最大0.002°（2digit）程度で、埋設せず地表面に設置した計器の変動量が最大0.01°（2digit）程度である。したがって温度変化による歪みの変動量自体は同程度と見ることが出来る。

#### ⑤孔内傾斜計

1. 本調査においては、月1回の手動計測を行った。
2. 自動観測に馴染みにくいという短所がある。最近ではこの短所を補うべく、プローブ自動昇降装置によるロボット観測や孔内に傾斜計を多段に埋設した自動観測タイプのものが開発されているが、何れも高価であることや、多段埋設設置型のものは埋設できるセンサー数が限られるため、測定精度に劣る等の問題点が残されている。

#### ⑥水位計

1. 常に水中に没した状態で設置することが基本である。空気中に露出すると、ポーラスカップ内に空気が混入し、測定値に異常が出る場合がある。本調査ではボーリング孔内に基底水位が確認できなかったため、水位計が常に空気中に露出した状態での設置となった。
2. キャピラリーチューブが結露や泥の付着等により閉塞すると測定値に異常（負の水頭値の発生）が出る。本調査ではこの対策としてキャピラリーチューブの解放口を保護箱内に設置し、結露や泥対策を行った。

#### ⑦土壌水分計

1. 土壌水分計先端のポーラスカップは衝撃に弱く破損しやすいため、注意深く設置する必要がある。設置時に傷が生じると脱気水漏れ等のトラブルが発生し、正確な計測が行えない。このため、観測期間中の脱気水量の確認・充填等の点検も重要な作業項目である。
2. 幸い本調査においては全ての水分計について脱気水漏れ等の機械的なトラブルは生じておらず、途中2回のシステム点検時においても脱気水充填の必要性は認められなかった。特に斜面中腹の水分計は平成6年3月の設置より約2年9ヶ月間安定した作動が継続でき、平成6年7月の異常乾燥や平成7年7月の短期的な豪雨を経験してなお正常な作動が確保できた。

## 6. 今後の展望

### a. 災害の前兆現象として効率的に捕捉できる物理現象の抽出

過去の人工降雨による斜面崩壊実験（八木・矢田部ら）によれば、間隙水圧は崩壊の5～20分前から急激に上昇しはじめるが、地表変位は崩壊発生前にほとんど計測されず、地中ひずみも崩壊予知に使えるような目立った変動は見られなかったと報告されている。これはいわゆる表層崩壊の場合、土の拘束圧は $0.1 \text{ kgf/cm}^2$ 以下という低圧におかれているため、破壊ひずみが小さくまたすべり層厚も薄いことが多いため、結果として地表変位がほとんど観測されなかったものと考えられる。一方、間隙水圧は土のダイレイタンス（せん断にともなう体積変化）によりもたらされたもので、その急激な立ち上がり等が発生予知に役立てる可能性が示唆されている。ただし、測定圧力が高々 $0.1 \sim 0.2 \text{ kgf/cm}^2$ 以下であるので、非常に精度が要求されることが注意点としてあげられている。

何れにしても間隙水圧の上昇が確認されてから崩壊が発生するまでの時間間隔は比較的短く、せいぜい数十分前であるため、これら物理現象の計測のみでは災害発生予知に役立てる事は難しいのではないかと考えられる。

### b. 定量的な斜面安定性の評価

災害発生の子知を数時間から数日前に引き伸ばすためには、上記の間隙水圧の測定と数値解析に基づく危険降雨量による予知法が、理論的裏付けが強く、より信頼性の高い方法であると考えられる。これはあらかじめ崩壊の危険性がある間隙水圧の上昇限度（危険降雨量）を数値計算において求めておくものである。

具体的には有限要素法による飽和一不飽和浸透流解析（大西ら<sup>2)</sup>）とMorgenstern & Price法<sup>3)</sup>等の高次の安定解析を組合わせるものである。この際に浸透流解析においては土壌水分計が初期値データ及び解析結果のフィードバックを、雨量計が解析外力条件を提供する。また安定解析においては間隙水圧計が水圧成分値を提供することから、解析の精度が格段に向上するものと期待できる。

これらの手法を確立するために取得しなければならない要素としては斜面内土壌の基本的物理特性・水分特性曲線・飽和・不飽和透水係数・精密な力学特性等である。これらは一般には室内の土質試験で得られるものであるが、より精度の高い実験値を得るためには不攪乱状態での試験や排水条件を変化させた複数の力学試験等が望まれる。

### c. 効率的な動態観測システムの構築

斜面の動態観測システムは物理的現象を検知するセンサーを設置することにより斜面の安定性を検討するという構造上、得られる数値データはあくまで点的な情報に限られ、延長を持つ

た道路の安全性を確保するための広域を網羅する情報は同時に取得し解析しにくいという短所がある。従って動態観測システムの良否を決定するのはその設置場所の選定に尽きるといっても過言ではなく、延長を持った一定道路区間の災害危険性を代表できる斜面でなくてはならない。これを解決する方法の一つとして、今回は予備モニタリング・本格的モニタリングの２段階構えを考えたが、予備モニタリングといえどその経費的な問題から自ずと設置箇所が限られてくることは明らかである。

一方、動態観測システムは斜面の安定性検討について直接的な評価を下すことができる唯一の調査という長所があることも事実である。従って、モニタリング候補地の選定に当っては、目視調査や空中写真判読調査の結果をもとに適地を選定していく必要がある。

#### 5.8.1 宮崎工事事務所管内、高城町四家斜面

担当  
九州地方建設局  
九州技術事務所



調査斜面一覧表

|          |                                                                                                                                                         |                                                                                                               |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 斜面管理者    | 建設省九州地方建設局宮崎工事事務所                                                                                                                                       |                                                                                                               |
| 地点名      | 宮崎県北諸県郡高城町四家                                                                                                                                            |                                                                                                               |
| 路線・キロ程   | 一般国道10号 357k600                                                                                                                                         |                                                                                                               |
| 通行規制     | 連続雨量200mm                                                                                                                                               |                                                                                                               |
| 斜面条件     | 地質                                                                                                                                                      | 基盤岩類;四万十層群日向層 砂岩・頁岩互層<br>表層部;崖錐層(礫混じり砂質土～粘性土)                                                                 |
|          | 向き                                                                                                                                                      | 北東向き                                                                                                          |
|          | 勾配                                                                                                                                                      | 35～50° (平均40°)                                                                                                |
|          | 風化層厚                                                                                                                                                    | 0.5～8.0m                                                                                                      |
|          | 対策工                                                                                                                                                     | 平成6年4月に表層崩壊発生し、起点側法面に(枠工+アンカー工)採用                                                                             |
| 斜面調査     | 簡易貫入試験                                                                                                                                                  | 20箇所 延べ43m                                                                                                    |
|          | ホーリング調査                                                                                                                                                 | 2地点;上部H5B1 Dep=25m,下部H6B1 Dep=15m                                                                             |
|          | 比抵抗二次元探査(梅雨期・冬期の2季)                                                                                                                                     | 1測線 延長50m                                                                                                     |
|          | サンプリング                                                                                                                                                  | H6・・・不攪乱フックサンプリング; 崖錐層7地点25試料, 強風化岩1地点5試料<br>H8・・・不攪乱サンプリング; 崖錐層1地点6試料 攪乱試料; 1地点20kg                          |
| 土質試験     | pF試験                                                                                                                                                    | 2地点, 6試料, pF=0.0～4.1                                                                                          |
|          | 一面せん断試験(UU)                                                                                                                                             | 1地点・5試料・拘束圧0.2～1.6kgf/cm <sup>2</sup> ・飽和度(46～88%)                                                            |
|          | 三軸圧縮試験(UU)                                                                                                                                              | 3地点・5試料・拘束圧0.3～0.9kgf/cm <sup>2</sup> ・飽和度(64～79%)                                                            |
|          | 室内透水試験                                                                                                                                                  | 3地点, 3試料                                                                                                      |
|          | 現場透水試験                                                                                                                                                  | 3深度                                                                                                           |
| モニタリング計測 | 土壌水分計                                                                                                                                                   | 上部(深度-0.3, -0.5, -1.0, -2.0, -3.0m)<br>下部(深度-0.5, -1.0, -2.0, -3.0m)<br>下部(深度-0.5, -1.0, -1.5, -2.0m)・・・平成8年度 |
|          | 地下水位計                                                                                                                                                   | 2基; H5B1孔深度25m, H6B1孔深度15m                                                                                    |
|          | 地盤傾斜計                                                                                                                                                   | 地表置き型傾斜計 1基 上部 平成8年度に下部に移設<br>埋設型傾斜計 2基 H6B1孔 深度-5.0m -8.7m                                                   |
|          | 雨量計                                                                                                                                                     | 斜面のり尻部の観測小屋上(百葉箱)                                                                                             |
|          | その他                                                                                                                                                     | 温度計(百葉箱内)                                                                                                     |
| 計測期間     | 平成6年3月(テスト), 平成6年7月～平成7年3月, 平成7年6月～平成8年3月, 平成8年6月～平成8年11月                                                                                               |                                                                                                               |
| 備考       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・土壌水分計は周辺の崖錐層の乾燥が速いため、計測期間10R以内で測定不能となる。</li> <li>・地表部に分布する崖錐層(礫混じり砂質土～粘性土)の層相および物性は斜面内の場所によって変化が大きい。</li> </ul> |                                                                                                               |

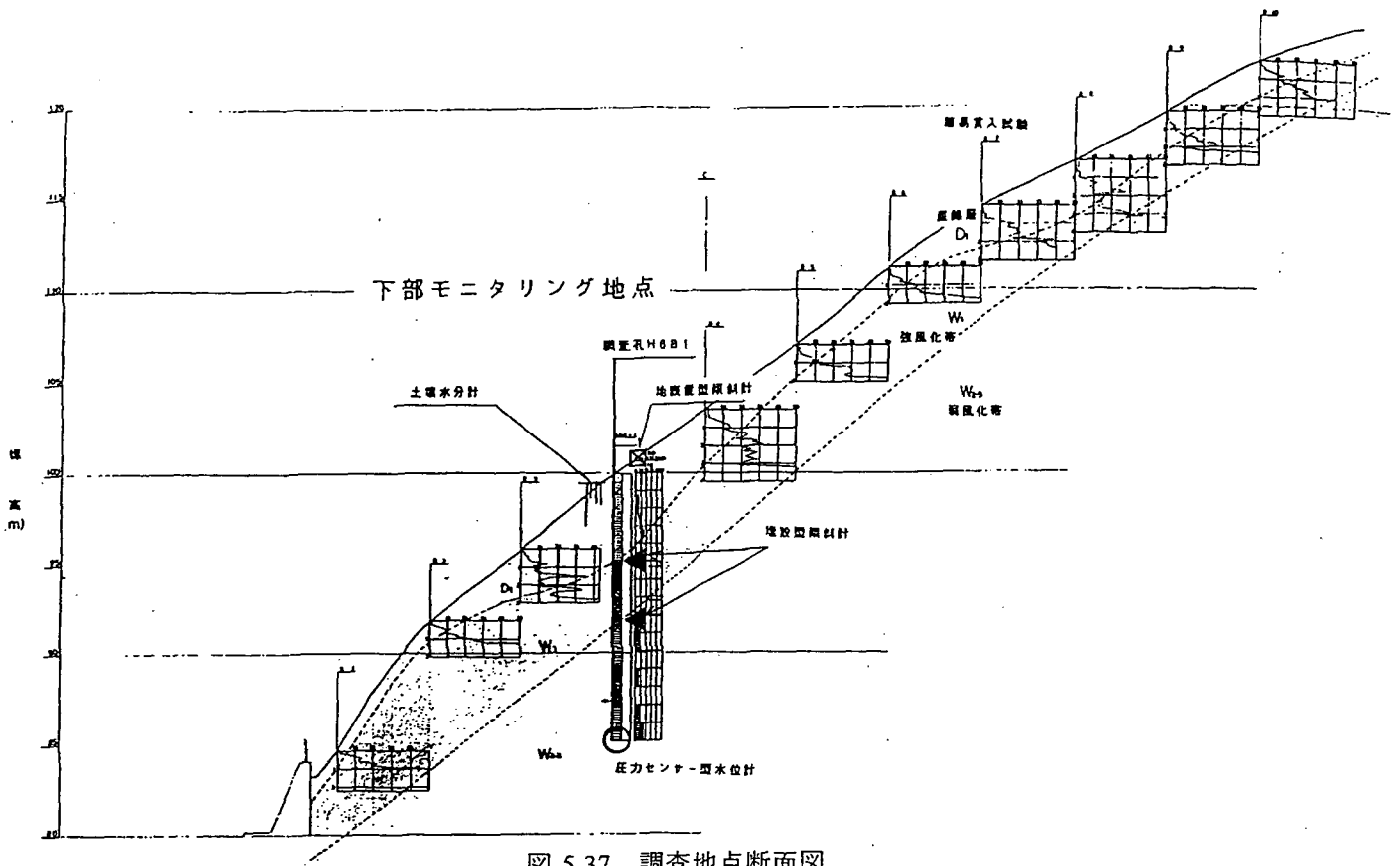


図-5-37 調査地点断面図

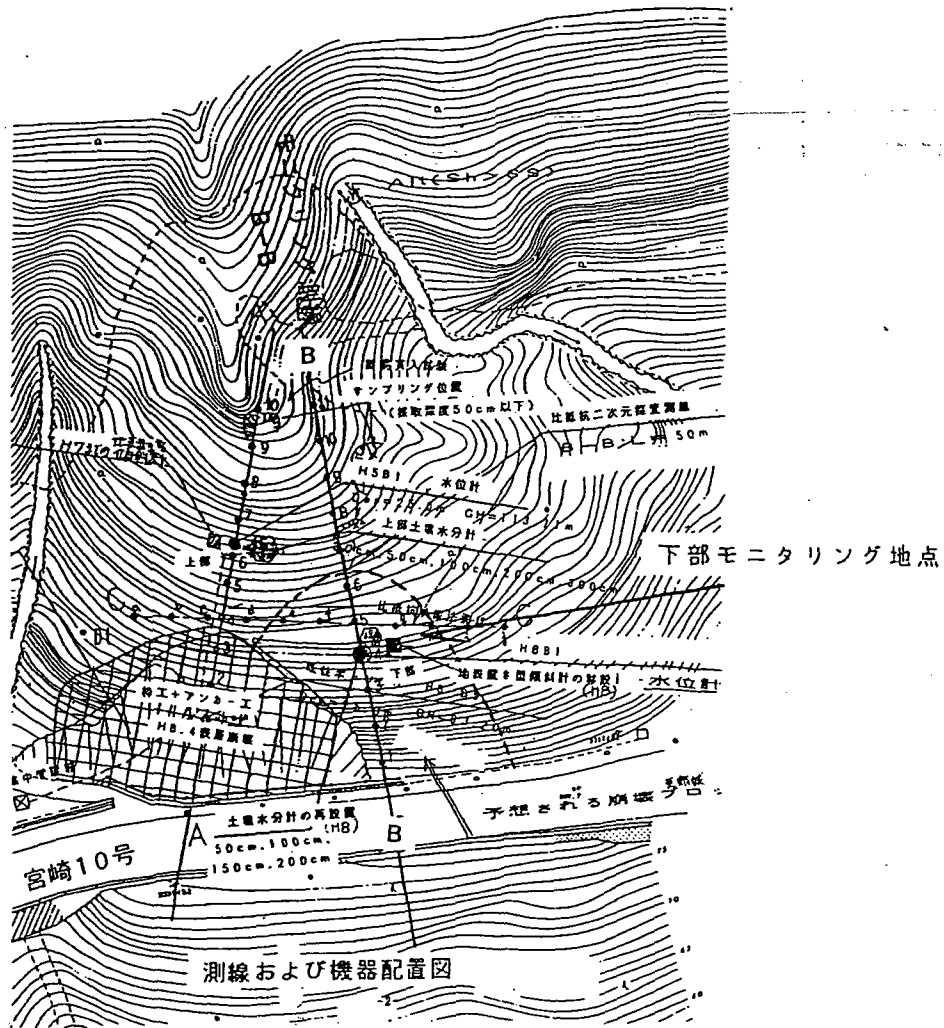


図 5-38 調査地点平面図

高城四家計測（国道10号）  
平成8年度8月

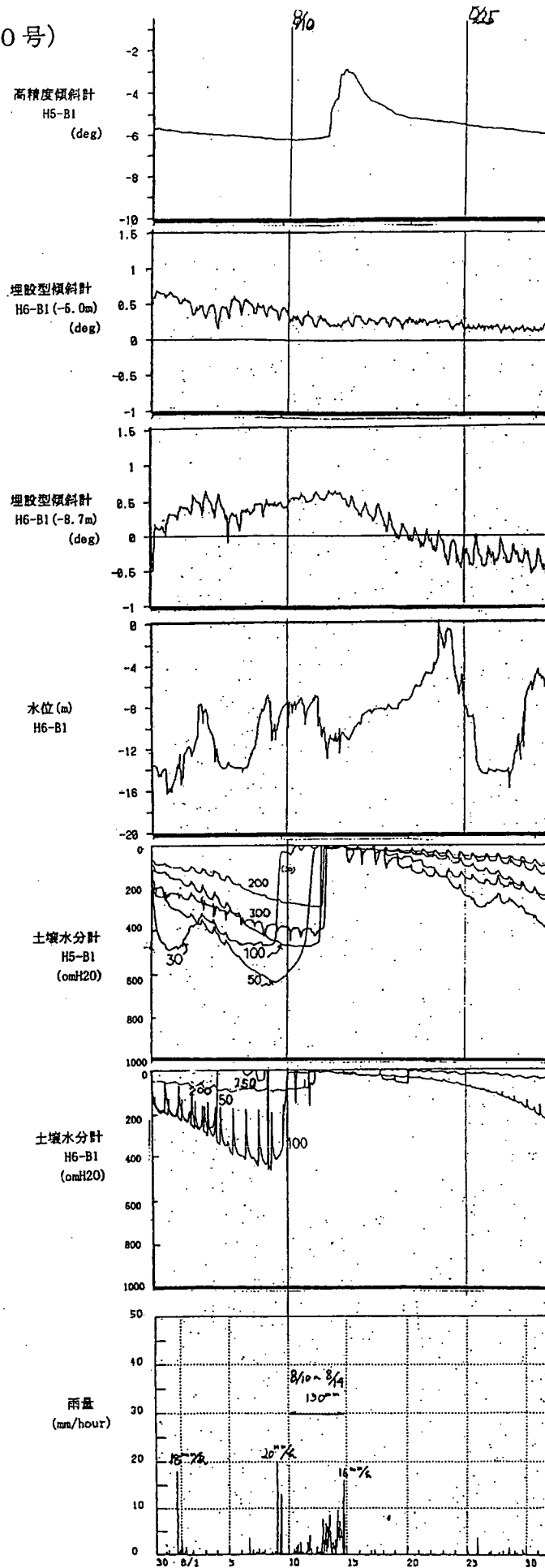


図 5-39 モニタリング観測例

土質試験結果一覧表

| 試料番号                                   |          | 1                    | 試料番号                   |          | 1                     | 2                     | 3                     | 平均                    |
|----------------------------------------|----------|----------------------|------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 地層                                     |          | 崖錐 D t               | 地層                     |          | 崖錐 D t                | 崖錐 D t                | 崖錐 D t                |                       |
| 湿潤密度 $g/cm^3$                          |          | 1.22                 | 湿潤密度 $g/cm^3$          |          | 1.216                 | 1.491                 | 1.922                 | 1.46                  |
| 乾燥密度 $g/cm^3$                          |          | 0.89                 | 乾燥密度 $g/cm^3$          |          | 0.873                 | 1.098                 | 1.686                 |                       |
| 土粒子の密度 $g/cm^3$                        |          | 2.513                | 土粒子の密度 $g/cm^3$        |          | 2.520                 | 2.574                 | 2.734                 | 2.59                  |
| 自然含水比 $w_n \%$                         |          | 37.0                 | 自然含水比 $w_n \%$         |          | 39.3                  | 35.9                  | 14.0                  | 31.6                  |
| 間隙比 $e$                                |          | 1.824                | 間隙比 $e$                |          | 1.890                 | 1.349                 | 0.623                 |                       |
| 飽和度 $S_r \%$                           |          | 51.0                 | 飽和度 $S_r \%$           |          | 52.4                  | 68.4                  | 61.7                  | 58.4                  |
| 粒度                                     | 礫分 (%)   | 30.3                 | 粒度                     | 礫分 (%)   | 33.8                  | 42.9                  | 51.3                  |                       |
|                                        | 砂分 (%)   | 55.1                 |                        | 砂分 (%)   | 43.3                  | 33.9                  | 26.5                  |                       |
|                                        | シルト分 (%) | 7.9                  |                        | シルト分 (%) | 17.6                  | 17.6                  | 13.5                  |                       |
|                                        | 粘土分 (%)  | 6.3                  |                        | 粘土分 (%)  | 5.3                   | 5.6                   | 8.7                   |                       |
| 均等係数 $U_c$                             |          | 63.0                 | 均等係数 $U_c$             |          | 64.5                  | 162.1                 | 540.4                 |                       |
| 曲率係数 $U_c'$                            |          | 2.9                  | 曲率係数 $U_c'$            |          | 0.7                   | 1.0                   | 3.7                   |                       |
| 日本統一土質分類                               |          | S-V                  | 日本統一土質分類               |          | S F                   | G F                   | G F                   |                       |
| 液性限界 $w_L$<br>塑性限界 $w_p$<br>塑性指数 $I_p$ |          | 87.1<br>61.3<br>25.8 | 透水試験 $k_{1s} (cm/sec)$ |          | $2.58 \times 10^{-4}$ | $9.14 \times 10^{-4}$ | $1.33 \times 10^{-3}$ | $8.34 \times 10^{-4}$ |

(平成8年度)

(平成6年度)  
\* 平均は4試料 (室内透水試験は3試料)  
\* サンプルは「ポツナツ」による不攪乱試料

飽和度の変化による強度低下 (平成8年度) …一面せん断試験

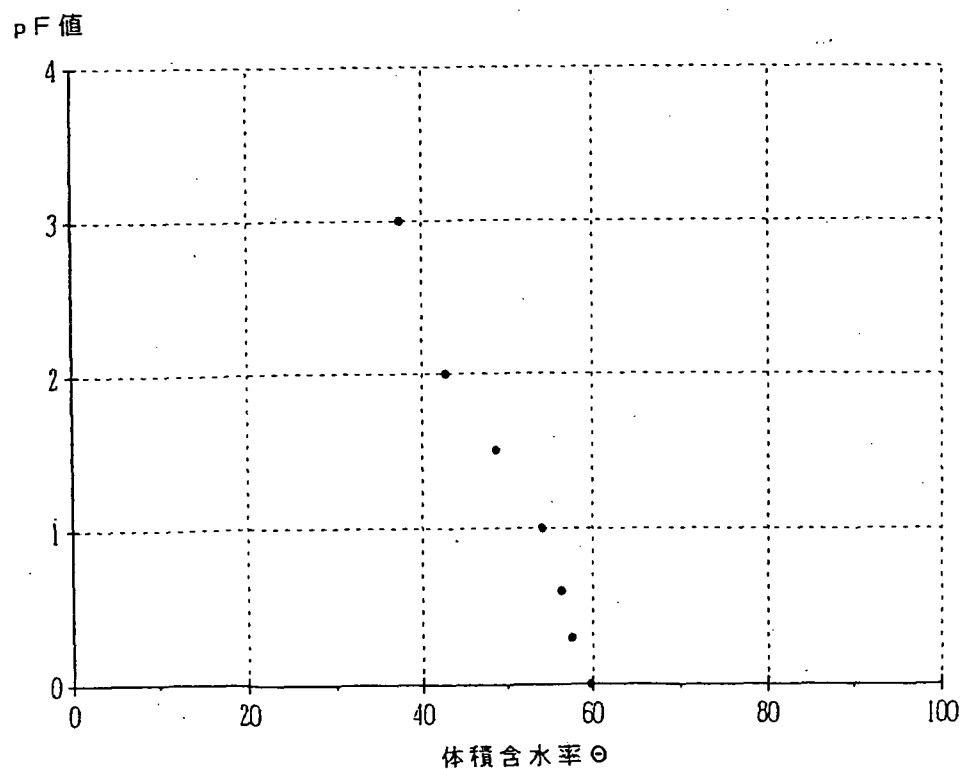
| 試験条件 | 供試体の平均含水比 $w_n \%$ | 飽和度 % | 一面せん断強度     |                   |
|------|--------------------|-------|-------------|-------------------|
|      |                    |       | $C kg/cm^2$ | $\phi (^{\circ})$ |
| 自然状態 | 31.79              | 46.83 | 0.06        | 41.24             |
| 飽和度1 | 57.27              | 64.53 | 0.07        | 45.33             |
| 飽和度2 | 74.91              | 72.70 | 0.17        | 40.96             |
| 飽和度3 | 88.96              | 77.46 | 0.03        | 42.31             |
| 飽和状態 | 132.75             | 88.08 | 0.01        | 34.70             |

飽和度の変化による強度低下 (平成7年度) …三軸圧縮試験 (UU)

| 試験条件    | 供試体の平均含水比 $w_n \%$ | 飽和度 % | 湿潤密度 $g/cm^3$ | 三軸圧縮強度      |                   |
|---------|--------------------|-------|---------------|-------------|-------------------|
|         |                    |       |               | $C kg/cm^2$ | $\phi (^{\circ})$ |
| 自然状態    | 13.93              | 66.59 | 1.922         | 0.03        | 22.7              |
| 自然+25cc | 13.93              | 71.01 | 1.960         | 0.04        | 17.0              |
| 自然+40cc | 34.10              | 69.26 | 1.530         | 0.02        | 15.3              |
| 自然+50cc | 17.30              | 68.81 | 1.854         | 0.02        | 14.9              |
| 飽和状態    | 35.22              | 67.20 | 1.491         | 0.03        | 13.1              |

p F 試驗結果一覽表

| 試料番号                      |         | 1                | 2                | 3                | 平均值              |
|---------------------------|---------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 地層                        |         | 崖錐 D t           | 崖錐 D t           | 崖錐 D t           |                  |
| 乾燥密度 $\text{g/cm}^3$      |         | 1.221            | 1.220            | 1.500            | 1.31             |
| 含水比<br>／<br>体積<br>含水<br>率 | p F 3.0 | 40.1<br>( 34.5 ) | 42.3<br>( 35.5 ) | 40.1<br>( 42.5 ) | 40.3<br>( 37.5 ) |
|                           | p F 2.0 | 45.0<br>( 38.7 ) | 48.6<br>( 40.8 ) | 46.3<br>( 49.1 ) | 46.3<br>( 42.8 ) |
|                           | p F 1.5 | 53.0<br>( 45.6 ) | 56.1<br>( 47.1 ) | 50.2<br>( 53.2 ) | 53.1<br>( 48.6 ) |
|                           | p F 1.0 | 63.7<br>( 54.8 ) | 64.7<br>( 54.3 ) | 50.6<br>( 53.6 ) | 59.7<br>( 54.2 ) |
|                           | p F 0.6 | 67.7<br>( 58.2 ) | 67.9<br>( 57.0 ) | 50.7<br>( 53.7 ) | 62.1<br>( 56.3 ) |
|                           | p F 0.3 | 70.1<br>( 60.3 ) | 69.4<br>( 58.3 ) | 51.4<br>( 54.3 ) | 63.6<br>( 57.6 ) |
|                           | p F 0.0 | 73.9<br>( 63.6 ) | 71.9<br>( 60.4 ) | 52.2<br>( 55.3 ) | 66.0<br>( 59.8 ) |



## 5. 各斜面の検討事項

### ① サンプリング・土質試験法の問題点

地質構成と各層の物性値を把握する目的で、調査ボーリングを主体とした通常の地質調査に加え、表層崩壊を対象とした場合、土研式の簡易貫入試験は、表層付近に分布する崖錐層の分布を的確とらえることができ有効である。

ただ、簡易貫入試験は、礫を主体とした崖錐層では、礫障害が発生しやすく、同じ箇所でも少し位置を替えて実施する必要があるとあり、現場作業は思ったほど効率よいものではない。

次に、物理探査としては、比抵抗二次元探査法が、浸透流解析を行う上で、非常に有効であることがわかった。特に、当地区で採用したように乾季と雨季との2回測定することにより、比抵抗値の差を利用して、土層の湿潤状態や含水しやすい層の確認が容易に解析できる。この方法の発展としては、降雨の降りはじめから1時間おき程度の連続測定を行って、リアルタイムに降雨が地表から浸透していく状況を把握できるようになれば、更に精度が上がるものと期待できる。また、pF値の現場計測値との対応をとれば、浸透速度の解析も容易になるものと考えられる。

室内土質試験に供する不攪乱試料の採取では、崖錐層のような礫を主体とした層からのサンプリングは非常に難しく、また、室内試験結果にもバラツキが多いため基本的には、現場で強度試験やpF試験ができる試験方法の開発が望まれる。

### ② モニタリング適用性と問題点

現場に設置する計器類の選定は慎重にすべきである。特に、当地区のように崖錐層の場合、崖錐層の厚さ、地下水位の位置等を勘案する必要がある。また、表層崩壊のみの監視には、あまり地下水位やすべり面の動きを把握することにはとられずに、地表面の傾斜変動や浸透水の動きを捉えることを重点的に考えた方がよいと思われる。

また、計測の容易さを考えると、計器類は同一メーカーのものに統一した方が、室内でのデータ処理時間がかからない。現場計測結果をリアルタイムにNTT等の回線で送らない限り、ICカードの交換で済ませるだけで対応した方が回収作業としては容易であるが、欠測状況や機器の異常を現場で迅速に検知できないというデメリットがある（特に、現場が遠隔地である場合）。今回使用した土壌水分計は、もともと農業の分野で開発されたセンサーであるため、軟質で均質な地盤では挿入が容易で、周辺地盤との密着も良好であるが、当地区のように礫主体の崖錐層の場合は設置が難しく、強度の改良化、または、自穿孔型のセンサーの開発が望まれる。また、機器によって耐久性に差が見られるため耐久性の向上を図る必要がある。

### ③解析および災害予測モデルの適用性および問題点

浸透流解析では、対象斜面に対して広い範囲の地盤モデルを設定する必要がある。特に、斜面である場合浸透した雨水が定常的に流出する箇所と明らかに水系が変わる尾根まで設定しないと解析が難しい。また、地山の地層構成が複雑な場合、作成した地盤モデルを用いて行う、現況への降雨の浸透状況（原位置での  $p$   $F$  変化）がシュミレーション結果と調和的でない場合がある。

一方、解析では非定常解であっても、降雨条件をあまり変化した形で入力できない（時間当りの降雨の累積）。できれば、調査地の現実の集中豪雨の降雨データをそのまま入力できるようになれば更に詳細な検討を加えることができるものと考えられる。

そのため、浸透流解析と安定解析が同時に行えるプログラムの開発が望まれる。浸透流によって生じる圧力水頭（ベクトル）をそのまま力学的に反映した形で安定解析ができる方が、現実に近いと考えられる。安定解析は、すべて不飽和土の強度特性によって決まるため、この分野の研究が更に進むことが望まれる。

## 6. まとめ

九州地方の直轄道路は、その置かれている地形・地質上の素因及び集中豪雨の襲来確率が高いといった誘因から土砂災害を被りやすい。現在、異常気象時の通行規制基準は、一般には連続雨量が用いられている。この基準は通行規制区間に発生した既往災害時降雨特性や降雨確率等の統計に基づいて設定されており、連続雨量がある基準値に達した場合事前に通行止めを行うものである。現場の管理が容易にできる一方、事前通行止めを行っても災害が発生しない場合や通行止め以前に災害が発生するという場合もあり、降雨特性と災害発生との相関が連続雨量でカバーできない欠点がある。斜面のモニタリングシステムは、雨量特性ではなくて地山の挙動を直接把握し、評価することから非常に有効と思われる。ただ、問題は対象区間に発生する土砂災害のメカニズムを捉え、それに対して適切なセンサー類の配置を行えるかといった技術的な問題とある斜面（点）のモニタリングシステムでの地山の挙動観測結果を全区間（線）に適用できるかという2点につきる。

ここでは、今まで当地区で実施してきた斜面のモニタリングシステムの試行から挙がってきた技術的な問題を明確にしておきたい。

### A) 崩壊のメカニズム

計測、特に土壌水分計のデータから判断すると、表層崩壊は、降雨が表層部へ浸透することによって表層部の強度低下並びに浸透流の水頭の発生によって引き起こされる可能性がわかった。ただし、それをシュミレーションする場合、次のような問題に遭遇した。

a) 主に礫質土のような材料からなる崖錐層の場合の強度の評価

b) 崖錐層への降雨の浸透特性の把握

表層崩壊としては、崖錐層が崩壊することが多いが、このメカニズムとしては、降雨が表層から浸透し、それが水みちに集中してパイピングを起こし規模の大きな崩壊へとつながるといったことも考えられる。このようなメカニズムに対しては、土壌水分計による測定では対応できないため、他のセンサー類や探査方法（例えば1m深地温の連続測定）とクロスさせての計測手法が必要となる。

### B) 崩壊のシュミレーション

精度の高いシュミレーションを行うためには、その基礎となる表層土の不飽和・飽和特性（ $p$ - $F$ 特性や強度特性）を十分に把握する必要がある。また、発生するであろう浸透流の水頭による応力の取り扱いをシュミレートできるような浸透流解析と安定解析を同時に解くプログラムの開発・展開を図る必要がある。

## 6. まとめ

表層崩壊を対象としたのり面斜面の安定度評価をより精度の高いものとするために、対象斜面の内部を含めた調査方法、モニタリング方法さらに解析を用いた安定度評価手法などについて検討した。この結果、精度的な検討が必要と思われるが解析による定量的な評価までが可能になることがわかった。すなわち、斜面内部も含めた調査手法を行うことで、モニタリングを用いた調査が可能になり、さらには、モニタリングを行うことでより精度の高い浸透流・安定解析が可能になることを示した。

しかし、モニタリングや解析的検討のコストや労力を考慮すると局所的な適用にならざるを得ない。よって、調査段階やモニタリング段階で危険箇所を絞り込んでいかななくてはならない。とくに、調査段階での絞り込みが重要になると思われる。以下、各調査段階についてまとめる。

### (1) 斜面調査方法

従来の崩壊履歴や地形判読などの従来の安定度評価方法は重要であり、ここで得られる情報は多い。しかし、より高精度でより定量的な評価を行う場合は、従来の調査情報に斜面の内部情報が不可欠と思われる。表層崩壊の場合は表層土層の分布状況の把握が重要であり、以後、モニタリングや解析的評価を行う際にはきわめて重要となる。表土層の分布状況を把握するためには多くの箇所さらには連続的な調査が必要であることから、簡便な調査方法が不可欠である。これらのことを考慮すると、土研式簡易貫入試験器が最も優れた調査方法と思われ、これを主体とし、さらにハンドオーガーやボーリングによる調査も併用する事が望ましい。

しかし、いかに簡便な土研式簡易貫入試験でも、道路のり面斜面全体を調査対象にすることは不可能であり、従来の外的な調査方法から危険と思われる調査対象斜面の抽出が重要と思われる。

### (2) モニタリングによる調査

降雨による表層崩壊は降雨の浸透状況把握が重要なことから、土壌水分計や間隙水圧計による検討、さらに、表層崩壊の前兆現象をとらえる目的で傾斜計、伸縮計を用いて調査した。

#### 1) 降雨の浸透状況把握

降雨の浸透状況については、表層崩壊が対象となる現場のため表土層が薄く浅深部分を対象としているため、よほど地下水位が高くない限り、土壌水分計のほうが浸透状況を把握しやすいようである。しかし、間隙水圧計のほうが圧力変化については敏感であることがわかった。

土壌水分計の動きをみると、斜面の土質や表土層の厚さ、さらには設置位置などが原因と思われる箇所もあるが、基盤に近い部分から飽和度が高くなるケースが多い。この点については今後、浸透水の流れを詳細に検討する必要がある。

#### 2) 降雨前後の変状把握

高精度傾斜計、孔内傾斜計、さらに伸縮計を用いてモニタリングを実施している。降雨時に変状をとらえている現場ととらえられていない現場がある。おおむね、変状は角度にして  $0.001^{\circ} \sim 0.005^{\circ}$  程度の動きを示しており、この程度の分解能を持った機器の使用が有効であると思われる。とらえられた微少な傾斜変動の一部は、ピークを持っている。これらの動きについては、崩壊に結びつく動きかどうかは今後もデータの蓄積による検討や崩壊実験により検討する必要があるが、崩壊の際にはピークを持たず、この傾斜変動が逐次大きくなっていくと思われる。ただし、温度と思われるノイズが見られ、レベルが大

きいことから、温度対策や補正など行う必要がある。

伸縮計については、よほど、亀裂などが明らかになっている地点以外は表層崩壊を対象とした観測には向かないと思われる。

### **（３）浸透流・安定解析による安定度評価**

定量的な安定度評価を行うために、現地の降雨浸透状況を再現した浸透流解析モデルを作成・実施、安定解析を実施し、再度浸透流解析を行うことで、崩壊に至る降雨量の予測を行った。この結果、対象斜面の崩壊に至る降雨量の算出が可能になることが明らかになった。しかし、モデル化の際に、土の物性や植生状況の無考慮といったかなり思い切ったモデルづくりがひつようなこと、さらに、解析段階を多く含むことからの誤差の影響といった精度的な問題がある。今後、実験や実例からの検証による精度的な検討が必要と思われる。

今後、のり面・斜面の安定度評価については、さらに、多くの現場で適用し、問題点の抽出やデータの蓄積、評価精度の向上を図っていく必要がある。