

# 地質調査の方法と計画

## ー地すべり調査を例としてー

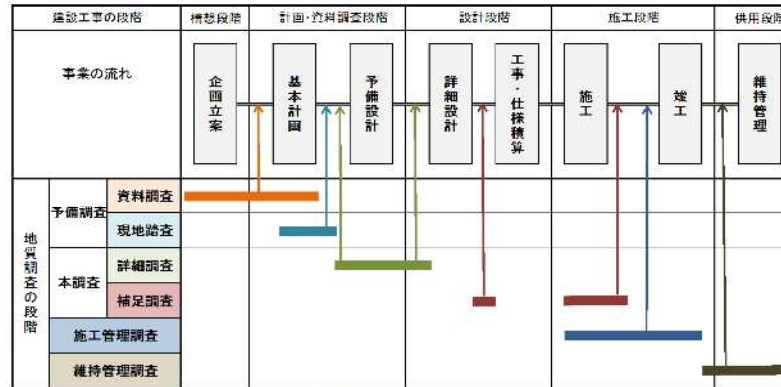
山形県地質土壌調査業協会  
技術委員 瀬野孝浩 (技術士:建設部門・森林部門)

### 本講習の内容

1. 地質調査の種類
2. 地質調査方法
3. 地すべりの特徴
4. 地すべり調査の項目と目的
5. 安定解析
6. 建設工事における調査事例
7. 地すべり調査のチェックポイント

# 1. 地質調査の種類

## ➤事業段階と地質調査



**予備調査** : 大局的、既存資料や現地踏査から調査重点箇所や調査方針を計画  
**本調査・解析** : 高い精度、設計用の地盤構成や地盤定数の設定  
                   設計業務を伴う地すべりや軟弱地盤の解析・対策工設計  
**施工管理調査** : 品質管理や動態観測  
**維持管理調査** : 定期的観測（地下水位観測、地盤沈下観測、地すべり動態観測等）

図1.1 建設工事の段階と地質調査の順序

2

表1.1 地すべり等調査の段階と調査項目

| 地質調査の目的     | 地質調査のポイント |               | 留意点                              |
|-------------|-----------|---------------|----------------------------------|
|             | 時期        | 検討事項          |                                  |
| 地すべり地形の抽出   | 計画立案      | 範囲の特定、危険度評価   | 机上調査と現地踏査                        |
| 地すべり変動状況の把握 | 予備調査      | すべり面、変動状況の把握  | 地表移動量調査、モニタリング<br>範囲内での概略ボーリング調査 |
|             | 詳細調査      | すべり面特定、安定度評価  | 詳細ボーリング調査、地下水調査                  |
| 対策工設計       | 補足調査      | 対策工設計に必要な地盤条件 | 構造物毎の補足調査                        |
| 効果の判定       | 施工後       | 変動状況、地下水位など   | 観測を主とする調査                        |

道路計画では地すべりの可能性がある地形の抽出と、施工に伴う  
 影響の評価が重要 →末端の切土、頭部での盛土、トンネルによる緩み

3

## 2. 地質調査方法

### 2.1 機械ボーリング

- (1) ビットを回転させ掘削、コア採取を行う。
- (2) 掘削孔は各種原位置試験孔としても利用する。

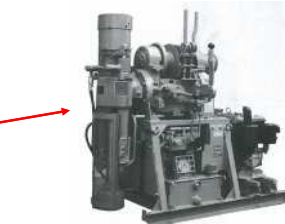
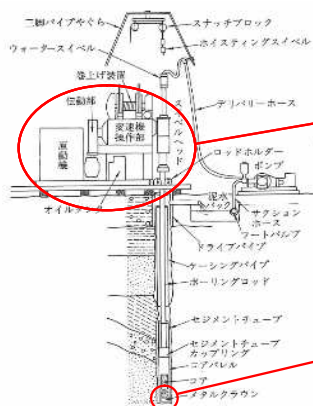


写真2.1.1 ボーリングマシンの例



写真2.1.2 ビット  
(メタルクラウン・ダイヤモンド)



図2.1 ボーリングマシンの設備例

(出典：地盤調査の方法と開設P183,186,193)

4

## 機械ボーリングを積算する上での各種補正

表2.1 せん孔深度、せん孔方向による補正

| 補正の区分 | 土質ボーリング |      | 岩盤ボーリング |      |
|-------|---------|------|---------|------|
|       | 適用基準    | 補正係数 | 適用基準    | 補正係数 |
| せん孔深度 | 0～50m   | 1.00 | 0～50m   | 1.00 |
|       | 50～80m  | 1.10 | 50～80m  | 1.10 |
|       | 80～100m | 1.15 | 80～120m | 1.15 |
|       |         |      | 120m～   | 1.25 |
| せん孔方向 | 鉛直下方    | 1.00 | 鉛直下方    | 1.00 |
|       | 斜め下方    | 1.15 | 斜め下方    | 1.15 |
|       | 水平      | 1.20 | 水平      | 1.20 |
|       | 斜め上方    | 1.40 | 斜め上方    | 1.40 |

＊土質ボーリングは構造物調査など最もポピュラーなボーリングで、主に**ノンコア仕様**  
岩盤ボーリングはトンネル、構造物基礎、地すべりなどで行う、**全コア仕様**で計画

＊土質ボーリングの積算は「建設物価」などによる市場価格が一般的であるが、  
**軟弱地盤、橋梁、トンネルや地すべり**など、**土砂の全コアが必要な場合でもノンコア単価が適用されている** → **業者の企業努力で対応している**

＊全コアについては**P842の全コア単価もしくは(一社)全地連単価(赤本)の適用を要望**  
→ 粘性土・砂 1.10倍 礫混り土砂 1.15倍 玉石混り土砂 1.20倍

5

## ボーリングの必要孔径

表2.2 ボーリングの掘削孔径

| 種別・規格            |                        | 必要な孔径         | 備考                                |
|------------------|------------------------|---------------|-----------------------------------|
| 標準貫入試験           |                        | φ 66mm        |                                   |
| シンウオール<br>サンプリング | 軟弱な粘性土<br>(0 ≤ N値 ≤ 4) | φ 86mm        | 湿潤密度<br>一軸圧縮試験<br>三軸圧縮試験<br>圧密試験等 |
| デニソン<br>サンプリング   | 硬質な粘性土<br>(4 < N値)     | φ 116mm       |                                   |
| 現場透水試験           |                        | φ 86mm        |                                   |
| 孔内水平載荷試験         |                        | φ 66mm、φ 86mm |                                   |

＊計画する孔内試験や、サンプリング方法によって必要な孔径が異なる  
→機械ボーリングの孔径は上表の**最大孔径として積算**

＊ただし、地盤構成が不明な場合のサンプリングでは、サンプリング精度、試験試料と試験値の品質を確保することが問題となる → **一発取りは難しい**

＊現実には**調査孔(φ 66mm)をパイロットとして、別孔を掘削して採取している**  
→**調査孔を標準孔径(φ 66mm)で計上し、別途サンプリング孔(ノンコア)を計上することを要望**

6

## 仮設等の積算

表2.3 現場内小運搬

| 種別・規格   |           |
|---------|-----------|
| 人肩運搬    | 0～50m     |
|         | 50～100m   |
| 特装車運搬   | 0～100m    |
|         | 100～500m  |
|         | 500～1000m |
| モノレール運搬 | 0～100m    |
|         | 100～500m  |
|         | 500～1000m |

表2.4 仮設足場

| 種別・規格 |         |
|-------|---------|
| 平坦地足場 | 0～15度   |
| 湿地足場  | -       |
| 傾斜地足場 | 15～30度  |
|       | 30～45度  |
|       | 45～60度  |
| 水上足場  | 水深1m以下  |
|       | 水深3m以下  |
|       | 水深5m以下  |
|       | 水深10m以下 |

表2.5 その他の間接費

| 種別・規格   |          |
|---------|----------|
| 準備・跡片付け |          |
| 搬入路伐採   |          |
| 環境保全    | 仮囲い      |
| 調査孔閉塞   |          |
| 給水費     | 20m～150m |

(表2.1.1～表2.1.5の出典；設計業務等標準積算基準書 国土交通省大臣官房技術調査課監修)

＊運搬仮設は現場の地形、勾配、距離などの諸条件を考慮して決める

＊山地ではモノレール運搬が主体となるが、積算は**架設・撤去費、運搬費**に加えて、**機械器具損料費の計上を要望** → **建設物価では別途計上することが明記**

7

## 2.2 標準貫入試験

- (1) 質量63.5kgのハンマーを760mmの高さからアンビルに自動落下させSPTサンプラーを打ち込む。
- (2) N値はSPTサンプラーを300mm打ち込むのに要する打撃回数。

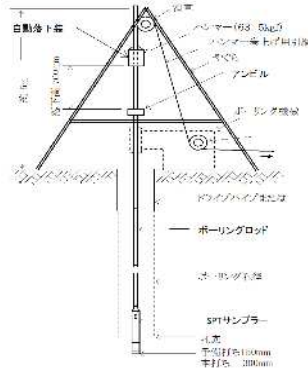
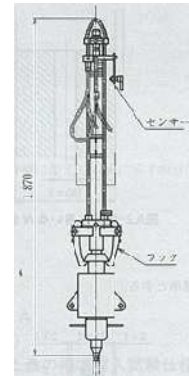


図2.2 標準貫入試験装置の例



写真2.3 自動落下装置の例



8

- (1) N値と相対密度やせん断抵抗角などの地盤定数との関係が提案されているが、N値はあくまでも土の硬軟、締まり具合を間接的に表す相対的な指標であることに注意。
- (2) 参考にN値で表現される相対密度とコンシステンシーを示す。

表2.6 N値と砂の相対密度

| N値    | 相対密度<br>Terzaghi and Peck | 現場判別法                        |
|-------|---------------------------|------------------------------|
| 0~4   | 非常に緩い(very loose)         | 鉄筋が容易に手で貫入                   |
| 4~10  | 緩い(loose)                 | スコップで掘削可能                    |
| 10~30 | 中位の(mediaum)              | 鉄筋を5ポンドハンマで打込み容易             |
| 30~50 | 密な(dense)                 | 同上、30cm程度貫入                  |
| >50   | 非常に密な(very dennse)        | 同上、5~6cm貫入、掘削につるはし必要、打込み時金属音 |

表2.7 N値とコンシステンシー、一軸圧縮強さ

| N値    | 一軸圧縮強さ<br>qu(kN/m2) | コンシステンシー |
|-------|---------------------|----------|
| 0~2   | 0.0~24.5            | 非常に柔らかい  |
| 2~4   | 24.5~49.1           | 柔らかい     |
| 4~8   | 49.1~98.1           | 中位の      |
| 8~15  | 98.1~196.2          | 硬い       |
| 15~30 | 196.2~392.4         | 非常に硬い    |
| 30<   | 392.4<              | 固結した     |

(出典：地盤調査の方法と解説 P305,308)

9

## 2.3 ボーリング位置、数量、深さ

- ボーリング位置の選定は、調査において重要である
- 必要な箇所で、必要な数量、必要な深さまで実施する
- **各構造物毎**に地盤の支持力やすべり、基礎の沈下や水平変位の影響する深さまで (地質状況・規模等により増減)
- **良質な支持層を基礎底面から基礎の最小幅程度の深さまで連続して存在することの確認**
  - ＜良質な支持層とは？＞
    - 粘性土：N値が20程度以上 (一軸圧縮強度 $q_u$ が0.4N/mm<sup>2</sup>程度以上)
    - 砂質土：N値が30程度以上
  - ただし、**層厚が薄い、その下に圧密層が分布等は要注意**
- **地すべり**などでは、**不動岩盤と判断される地層を5.0m程度確認できる深さ**

10

## 2.4 室内土質試験

表2.8 室内土質試験の方法一覧表 (出典：土質試験の方法と解説)

| 区分          | 試験の項目    | 試験方法                                   | 試験結果から得られる主な値                                 | 試験結果の利用                                          | 試料                                  |
|-------------|----------|----------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 物理的<br>性質試験 | 土粒子の密度   | 土粒子の密度                                 | 土粒子の密度                                        | 土の基本的性質(間隙比、飽和度等)<br>粒度の沈降分析                     | 乱した試料                               |
|             | 含水比      | 含水比                                    | 含水比                                           | 土の基本的性質の計算                                       |                                     |
|             | 粒度       | ふるい分析<br>沈降分析                          | 最大粒径<br>粒径加積曲線と各粒径                            | 土の工学的分類<br>液状化の検討                                |                                     |
|             | コンシステンシー | 液性限界試験<br>塑性限界試験                       | 液性限界、塑性限界、塑性指数<br>コンシステンシー指数                  | 土の工学的分類<br>粘性土の安定性の判定                            |                                     |
|             | 湿潤土の密度   | ノギス法                                   | 湿潤密度                                          | 土の基本的性質の計算<br>土圧・土載圧、締固め度の計算                     |                                     |
|             |          |                                        |                                               |                                                  |                                     |
| 力学的<br>性質試験 | 圧密試験     | 段階載荷<br>定ひずみ速度載荷                       | e-logP、f-logP曲線<br>圧縮指数、圧密降伏応力<br>体積圧縮係数、圧密係数 | 粘性土地盤の圧密沈下量の計算<br>粘性土地盤の圧密沈下時間の計算                | 乱れの少ない試料<br>(サンプリング)<br>(φ86~116mm) |
|             | 一軸圧縮試験   | 土の一軸圧縮試験                               | 一軸圧縮強さ、破壊歪み<br>変形係数                           | 粘性土地盤の基礎、斜面の安定<br>安定計算、横方向支持力                    |                                     |
|             | 三軸圧縮試験   | 非圧密-非排水(UU)<br>圧密-非排水(CU)<br>圧密-排水(CD) | 圧縮強さ(粘着力、せん断抵抗角)<br>変形係数                      | 粘性土地盤の基礎、斜面の安定<br>安定計算、横方向支持力<br>圧密促進工法等の地盤改良の設計 |                                     |
|             |          |                                        |                                               |                                                  |                                     |

**赤字は「乱れの少ない試料」が必要、ボーリング孔径は最低φ86mmとなる**

11



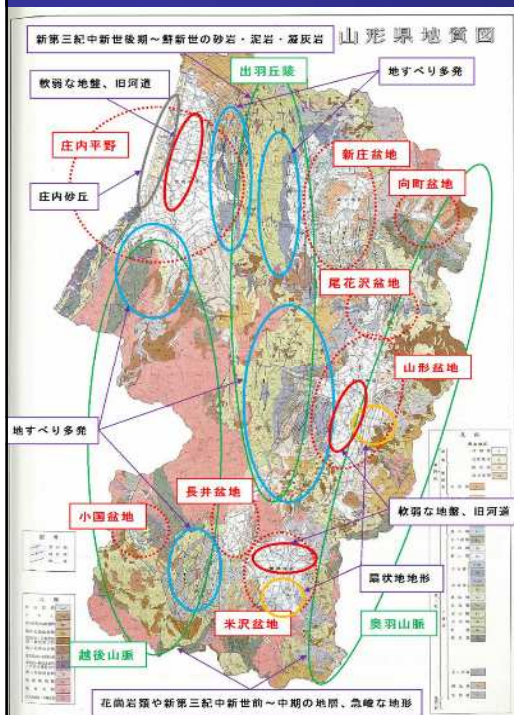
### 3. 地すべりの特徴

- 地すべりとは・・・
  - ・比較的ゆっくりと継続的に滑動する斜面変動をさす場合が一般的
  - ・斜面地形はある程度原形を保っている
- 斜面崩壊とは・・・
  - ・動きが急激で一気に崩れ落ちる
  - ・崖崩れや法面崩壊など規模は比較的小さいものが多い

ただし、最近では土石流や落石を含め**広義的に土砂移動現象を「地すべり(LandSlide)」と規定する場合が多い**

12

### 山形県の地質的問題点と留意点



- (1) 奥羽山脈、出羽丘陵、越後山脈と内陸盆地群、庄内平野で構成。
- (2) 奥羽山脈、越後山脈は古い地層で急峻地形。
- (3) 出羽丘陵は地質が上記より新しく軟らかい岩盤。地すべり多発。
- (4) 扇状地は砂礫や玉石で支持力が問題になることは少ない。
- (5) 扇状地の先端部は礫・砂・シルトの互層。支持層の決定に留意必要。被圧地下水の存在。
- (6) 低地は軟弱地盤であることが多い。砂地盤であれば液状化の懸念。

#### 山形県の地質と留意点

(出典：山形県の地すべりに加筆)

13

## 3.1 地すべりのタイプ

### ➤ 発生原因による分類

#### ・雨雪地すべり

主に地下水を誘因とし、最も一般的に発生する**自然発生型の地すべり**

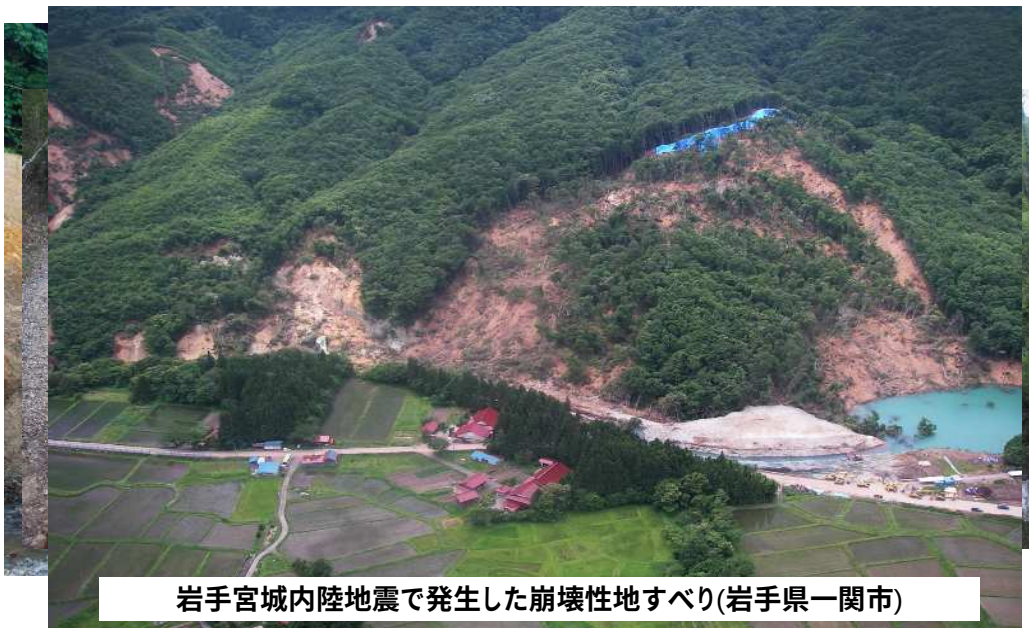
#### ・地震地すべり

**地震動を誘因**とし、中越地震や岩手宮城内陸地震で多く発生（荒砥沢、市野々原etc）

#### ・人為的地すべり

斜面の**切土**や**盛土**などを誘因として発生し、建設工事と関係が深い  
(仙台市の宅盤すべりは地震とも関連)

14



岩手宮城内陸地震で発生した崩壊性地すべり(岩手県一関市)

15



## ➤ 構成地質による分類

### ・岩盤すべり → 移動体は岩盤

断層などの地質構造に規制され、動きが急で短期間で終息し、頭部に大きな滑落崖か陥没帯を伴い、末端は急斜面をなす

### ・風化岩すべり → 風化岩盤または礫混り土砂

岩盤すべりが再活動したもので、尾根型または台地状地形が特徴で、地すべり地形が明瞭で、末端部は土砂化

### ・崩積土すべり → 礫混り土砂、末端は粘土化

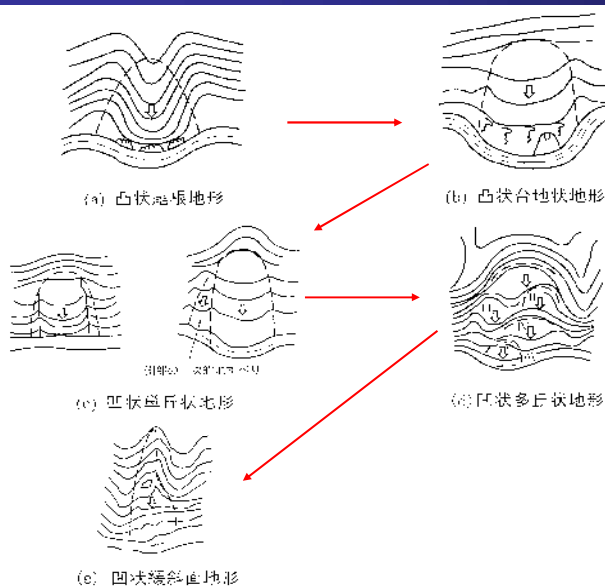
最も一般的な自然発生型すべりの典型で、雨雪型がほとんどを占め、明瞭な地すべり地形を示す

### ・粘質土すべり → 粘性土・泥流状

繰り返し活動したもので、すべり面は浅く、緩やかな凹状地形をなす

16

## 3.2 地すべり地形の変遷に沿って分類される地形的特徴



(a) 岩盤すべり

(b) 風化岩すべり

(c)～(d) 崩積土すべり

(d)～(e) 粘質土すべり

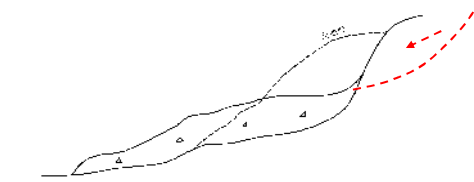
(a)から(e)に向かって地すべりが進化している

地すべり防止技術指針及び同解説 p135

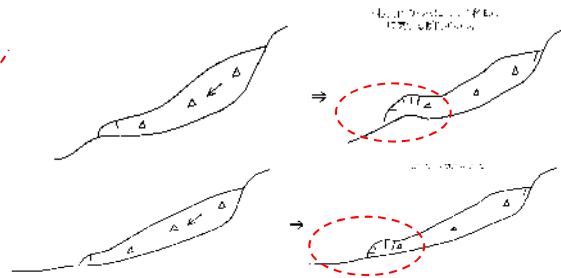
17

### 3.2 移動土塊の挙動の傾向

#### ➤ 移動が終息しやすいタイプ

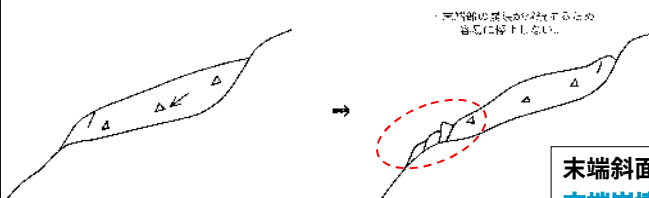


滑落後の移動土塊は安定度が高い  
ただし、**上方斜面の不安定化**に注意



末端に隆起を伴う場合や斜面勾配が緩い場合  
**すべり面が水平、または逆勾配で抵抗体となる**

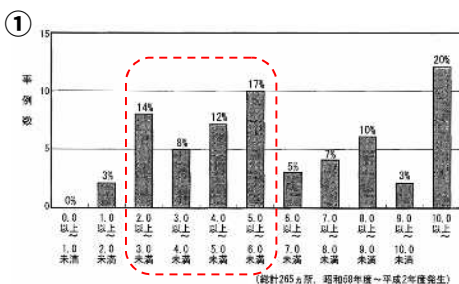
#### ➤ 移動が終息しにくいタイプ



末端斜面が急な場合  
**末端崩壊が継続し、抵抗体が形成されにくい**

18

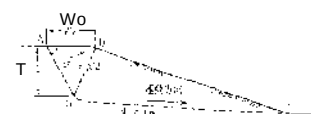
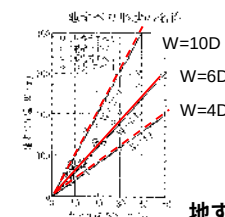
### 3.3 地すべり幅とすべり面深度の関係



地すべり防止技術指針及び同解説 p137



②



地すべり安定解析用強度決定法 p51

- 地すべり幅(W)とすべり面深度(D)の関係は、①は概ね $W/D=2.0\sim6.0$   
②では $4.0\sim10.0$ が多いとされている。
- 実務的には地すべり幅の $1/4\sim1/6$ 程度を目安にすべり面深度を想定し、ボーリング調査ではこれに**不動層厚(5.0m)**を加えた長さを計画する
- 陥没帯を伴う直線すべりでは、 $W/T=0.9$ 程度と想定

19

## 4. 地すべり調査の項目と目的

### ➤ 地すべりや崩壊の発生機構を解明するために実施

表4.1 把握すべき内容と調査項目

|         |                     | 調 査 項 目 |      |         |         |       |      |      |
|---------|---------------------|---------|------|---------|---------|-------|------|------|
|         |                     | 地形調査    | 地質調査 | 地表移動量調査 | 地中移動量調査 | 地下水調査 | 土質試験 | 環境調査 |
| 把握すべき内容 | 地形・地質等に基づく地すべりのタイプ  | ○       | ○    |         |         |       |      |      |
|         | 地質構造上の弱線等           | ○       | ○    |         |         |       |      |      |
|         | 地すべりブロックの範囲の特定と到達範囲 | ○       |      | ○       |         |       |      |      |
|         | 各ブロックの活動状況          |         |      | ○       | ○       |       |      |      |
|         | すべり面形状及び位置、構成地質     |         | ○    |         | ○       |       |      |      |
|         | 地下水の分布・流動状況         |         |      |         |         | ○     |      |      |
|         | 各地層及びすべり面強度         |         | ○    |         |         |       | ○    |      |
|         | 地すべり地の自然環境          | ○       |      |         |         |       |      | ○    |

20

## 4.1 地すべりの調査方法

表4.2 調査項目毎の調査種とその利用

| 調 査 項 目             | 調 査 種                                             | 結 果 の 利 用              |
|---------------------|---------------------------------------------------|------------------------|
| 地 形 調 査             | 空中写真判読、地形図判読、レーザープロファイラー                          | ブロック区分、微地形判読           |
| 地 質 調 査             | ボーリング調査、弾性波探査、電気探査、地表踏査                           | 構成地質、すべり面判定            |
| 地中移動量調査<br>(すべり面調査) | コア判定、パイプ歪計、すべり面測棒、孔内傾斜計、地中伸縮計                     | すべり面の深さ、変動量            |
| 地表移動量調査             | 地盤伸縮計、地盤傾斜計、移動杭観測、GPS測量                           | 地表移動量、移動方向             |
| 地 下 水 調 査           | 試錐日報解析、地下水位観測(触針式・水圧センサー)、地下水検層、間隙水圧計、簡易揚水試験、地温探査 | 流動層判定、水位変動、被圧水の有無、流動経路 |
| 土 質 試 験             | 物理試験、せん断試験(繰返し一面・リング)、X線回折                        | すべり面強度、粘土鉱物            |

- 道路計画などにおける地すべり調査では、「**地形調査**」「**地質調査(概査)**」が重要で、**計画段階での地すべり地形の抽出と影響評価**がポイントとなる

21

## 4.2 地形判読

- 地形図では地すべり地形は不明瞭
- 空中写真では2つのブロック、滑落崖、  
複数の陥没帯が明瞭に判読

写真判読は  
必須！

踏査で確認



空中写真判読でのブロック区分

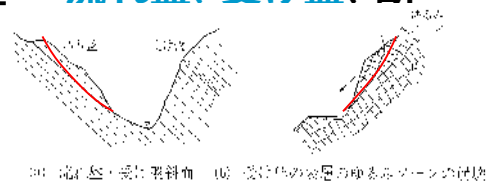


地形図では地すべり地形は不明瞭

22

## 4.3 地表踏査

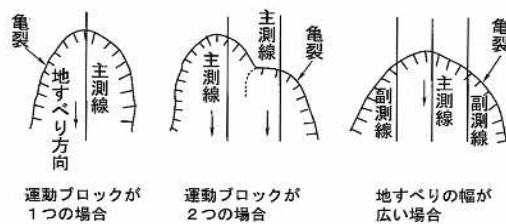
- 地すべり現象の分布などを現地で確認、推定し、調査計画を立案
  - ① 地すべり範囲及び危険範囲の推定
  - ② 地質性状と地質構造の把握…流れ盤、受け盤、断層などの弱線部
  - ③ 地下水(湧水)分布の把握
  - ④ 亀裂や陥没などの微地形の分布
  - ⑤ 地物の変状分布などから範囲や移動方向を推定
  - ⑥ 地すべり誘因の推定…地下水？切土？盛土？
  - ⑦ 今後の活動予測と被害の想定…応急対策は？



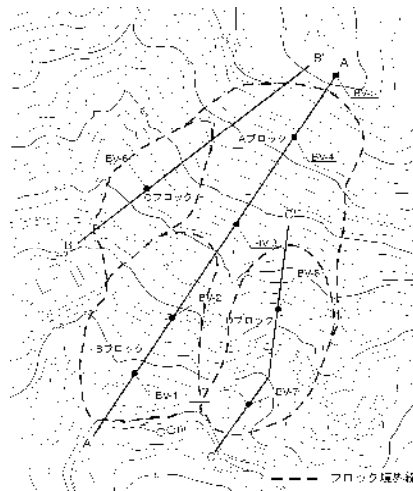
23

## 4.4 調査測線の配置

- ▶ 地形判読と地表踏査をもとに  
ブロックを区分
- ▶ 調査測線の本数、配置、  
ボーリング位置を決定する



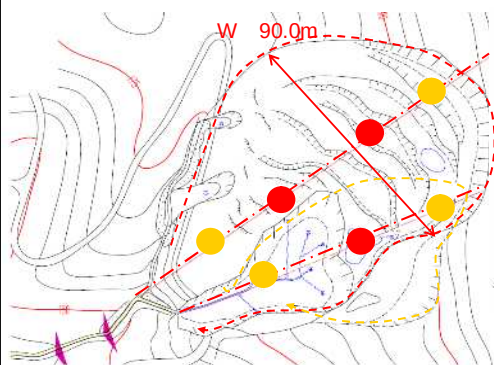
調査測線の配置例



ブロック区分と測線の配置例

地すべり防止技術指針及び同解説

## 4.5 ボーリング深さの想定 (3.3参照)



主ブロックは幅W 90.0m

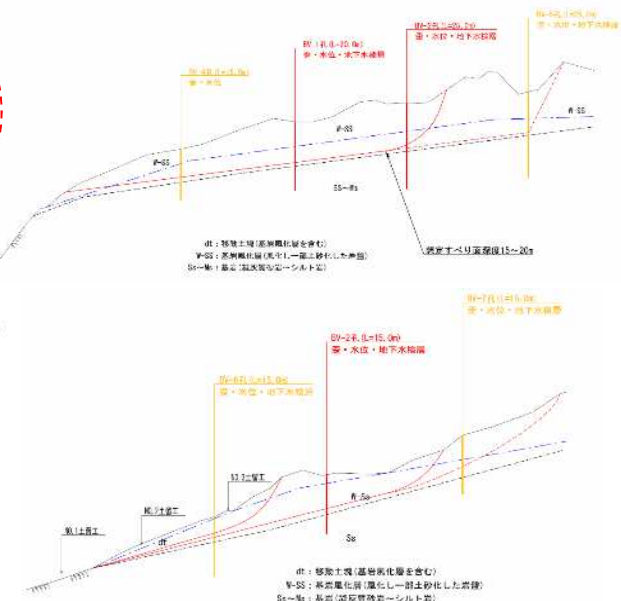
副ブロックはW 50.0m

陥没帯幅B 18.0m



W/D 6.0と想定

すべり面は15.0~16.0mと想定





## 4.6 ボーリング調査

- 調査孔、測線の間隔は**30～50m**を目安に配置
- ボーリング調査を主とし、掘削は**オールコアボーリング**が原則とし、標準貫入試験は**別孔**が望ましい  
→**地質の連続性やすべり面判定に影響するため**
- 現地作業では運搬・仮設方法に留意  
→モノレール、クローラ、傾斜地足場
- 掘削は**原則、清水掘削**とし、必要に応じて泥水使用
- 掘削時の水位変化をもとに**試錐日報解析**を実施し、**被圧水や漏水層の有無を分析**
- 柱状図は**水位変化、孔壁保護の方法、流動層区分、観測計器設置深度**などを対比できるように整理する

| 標高<br>(m) | 深度<br>(m) | 柱状図   | 地質      |         |    |          | 標準貫入試験<br>N | 地下水 |    |      |       | 孔壁保護<br>方法・理由 | 計測機器 | 備考 |
|-----------|-----------|-------|---------|---------|----|----------|-------------|-----|----|------|-------|---------------|------|----|
|           |           |       | 地質区分    | 色       | 硬軟 | コア形状     |             | 透水率 | 水量 | 水位   | 圧力    |               |      |    |
| 1         |           |       |         |         |    |          |             |     |    |      |       |               |      |    |
| 2         |           |       |         |         |    |          |             |     |    |      |       |               |      |    |
| 3         |           |       | 玉石混じり砂礫 | 暗褐色     | E  | IV<br>VI |             |     |    | 7.17 | 8.00  |               |      |    |
| 4         |           |       |         |         |    |          |             |     |    |      |       |               |      |    |
| 5         |           |       |         |         |    |          |             |     |    |      |       |               |      |    |
| 6         | 840.42    | 5.30  |         |         |    |          |             |     |    |      |       |               |      |    |
| 7         |           |       |         |         |    |          |             |     |    |      |       |               |      |    |
| 8         |           |       |         |         |    |          |             |     |    |      |       |               |      |    |
| 9         |           |       | 粘土質砂礫   | 茶褐色     | E  | V<br>VII |             |     |    | 7.18 | 8.00  |               |      |    |
| 10        |           |       |         |         |    |          |             |     |    |      |       |               |      |    |
| 11        |           |       |         |         |    |          |             |     |    |      |       |               |      |    |
| 12        | 841.05    | 12.30 |         |         |    |          |             |     |    |      |       |               |      |    |
| 13        |           |       |         |         |    |          |             |     |    |      |       |               |      |    |
| 14        |           |       | 風化凝結火山岩 | 灰褐色～茶褐色 | C  | IV<br>A  | 3           |     |    | 7.00 | 11.20 |               |      |    |
| 15        | 836.57    | 15.70 |         |         |    |          |             |     |    |      |       |               |      |    |
| 16        | 837.47    | 16.60 | 風化凝結火山岩 | 灰褐色～茶褐色 | E  | VII<br>A | 3           |     |    |      |       |               |      |    |
| 17        |           |       |         |         |    |          |             |     |    |      |       |               |      |    |
| 18        |           |       | 凝灰岩     | 暗褐色     | E  | II<br>B  | 1           |     |    | 7.04 | 11.20 |               |      |    |
| 19        |           |       |         |         |    |          |             |     |    |      |       |               |      |    |
| 20        | 833.92    | 20.00 |         |         |    |          |             |     |    |      |       |               |      |    |
| 21        |           |       |         |         |    |          |             |     |    |      |       |               |      |    |

## 4.7 地中移動量調査

- 機器観測によるすべり面の判定を行う
- コアの判定を加味し、地下水調査結果を考慮する
- 最近では現地に観測機器を設置した半自動観測方式が主流

表4.3 地中移動量調査の種類

| 調査種    | 特 徴                                                                                                                                                               | (半)自動観測           | 測定精度<br>(測定範囲)      |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|
| パイプ歪計  | <ul style="list-style-type: none"> <li>パイプの曲がりによる電気抵抗の変化を歪量とする</li> <li>微小な動きを捉えられ、地すべりの兆候を予測できる</li> <li>地下水位観測を同時に行える</li> <li>大きく動いた場合は切断され、測定不能となる</li> </ul> | 可                 | (変位量は直接測定できない)      |
| 孔内傾斜計  | <ul style="list-style-type: none"> <li>変位量(移動量)を直接計測できる</li> <li>地下水位観測は別途観測孔を設ける必要がある</li> <li>大きな変位では測定不能となることが多い</li> <li>他の方法より費用がかかる</li> </ul>              | 基本的に不可<br>(埋設型は可) | 1.0mm<br>(10.0cm程度) |
| 地中伸縮計  | <ul style="list-style-type: none"> <li>パイプ歪計と合わせて設置できる</li> <li>すべり面位置を特定することが出来ない</li> <li>歪計切断後のモニタリング調査に利用される場合が多い</li> <li>ワイヤーの設置弛みによる初期無感帯がある</li> </ul>    | 可                 | (200cm程度)           |
| すべり面測棒 | <ul style="list-style-type: none"> <li>孔内に短いパイプを挿入し孔曲がり位置を測定</li> <li>簡易的な調査</li> </ul>                                                                           | 不可                | (変位量は直接測定できない)      |

28

## パイプ歪計



パイプ歪計



パイプ歪計設置状



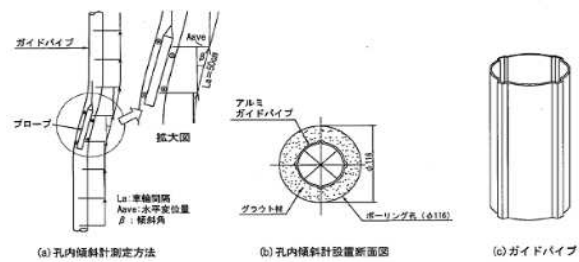
半自動観測機器

29

## 孔内傾斜計



孔内傾斜計測定器

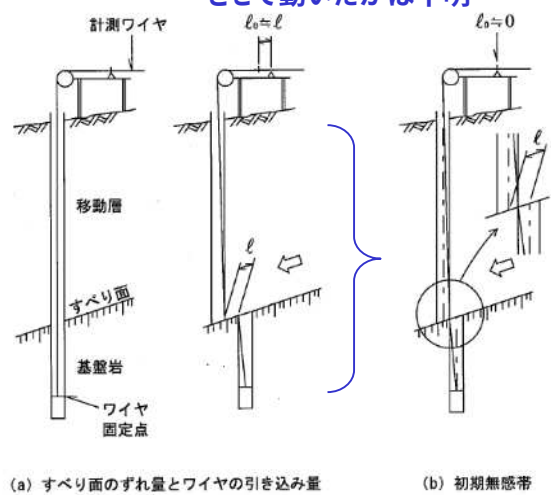


孔内傾斜計概念図

30

## 地中伸縮計

設置深度より上部の  
どこで動いたかは不明



概念図



設置状況

31

## 4.8 地表移動量調査

- 地すべりブロック内の移動量、移動方向、移動範囲を把握
- 施工時の安全管理や施工管理にも利用

表4.4 地表移動量調査の種類

| 調査種   | 特 徴                                                                                                                                                                                                          | (半)自動観測 | 測定精度      |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------|
| 地盤伸縮計 | <ul style="list-style-type: none"> <li>計器は地すべりの運動方向を考慮して設置</li> <li>一般に頭部では引張変動、末端部では圧縮変動を示す</li> <li>降雨や地下水位の変動と対比して解析</li> <li>設置スパンは15～20m程度以下とする</li> <li>変位量と時間の関係から、<b>滑落予測が可能</b>(斉藤式、福岡式)</li> </ul> | 可       | 0.2～1.0mm |
| 地盤傾斜計 | <ul style="list-style-type: none"> <li>傾斜量の大小で運動状態を推定</li> <li>傾斜方向から運動方向を推定できる</li> <li>降雨や地下水位の変動と対比して解析</li> <li>1基につき2台の計器が必要</li> </ul>                                                                 | 可       | 1.0秒程度    |
| 移動杭観測 | <ul style="list-style-type: none"> <li>運動方向が不明瞭な場合、または激しい場合に実施</li> <li>横断見通し測量やブロック内に観測点を設置して観測</li> <li>観測点の設置箇所は局所的な影響を受けにくいところを選定</li> </ul>                                                             | 不可      | 測量誤差程度    |
| GPS測量 | <ul style="list-style-type: none"> <li>運動方向が不明瞭、または大規模、広範囲な地すべりで実施</li> <li>近年は増加傾向にあり、モニタリング調査などで活用</li> <li>費用は比較的高価</li> <li>一回毎の誤差があっても、連続観測により傾向を把握できる</li> </ul>                                       | 不可      | ±5～10mm   |

32

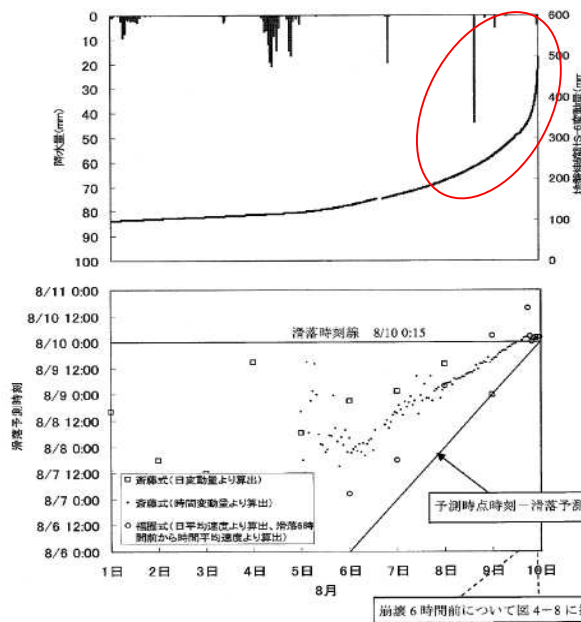
## 地盤伸縮計



33



## 崩壊予測の事例

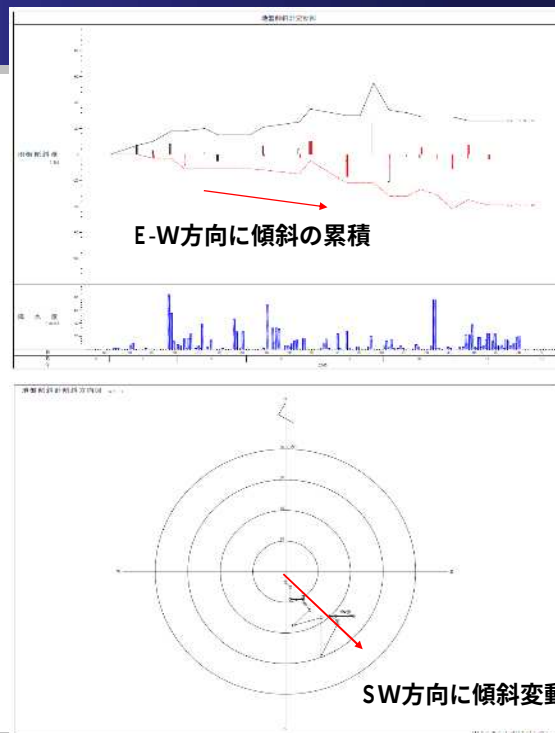
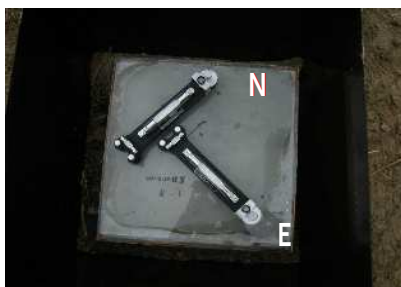


- 8月5日頃から地すべり変位量が急増し、3次クリープに移行
- 崩壊は8月10日 0:15に発生した
- 避難警戒や安全管理に利用される

「地すべり防止技術指針及び同解説 p73」

34

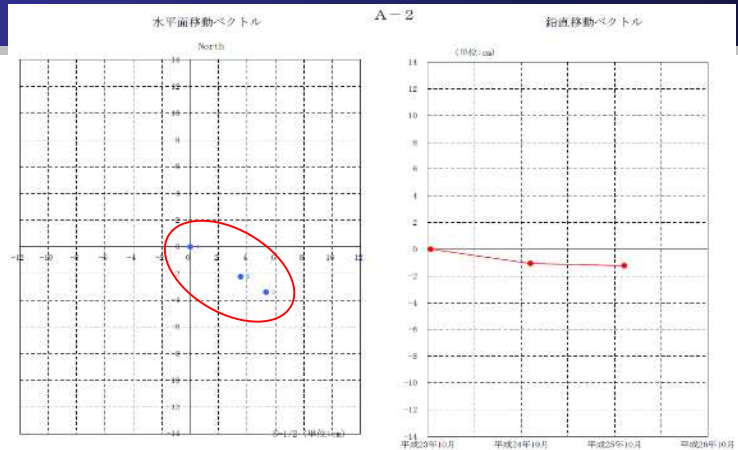
## 地盤傾斜計



35



## GPS測量



| 月別平均 A-2 |      |             |              | 単位: 距離変動量 (mm), 方向: 磁北角 (°) |            |          |       |       |       |      |  |
|----------|------|-------------|--------------|-----------------------------|------------|----------|-------|-------|-------|------|--|
| 観測回数     | 観測日付 | 緯度 (北緯)     | 経度 (東経)      | X (North方向)                 | Y (East方向) | H (鉛直方向) | 方位角   | 水平変動  | 鉛直変動  | 傾斜角  |  |
| 1        | 6    | 35° 15' 15" | 139° 47' 35" | 521.363                     | 0.000      | 0.000    | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |  |
| 2        | 30   | 35° 15' 15" | 139° 47' 35" | 521.363                     | 0.000      | 0.000    | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |  |
| 3        | 7    | 35° 15' 15" | 139° 47' 35" | 521.363                     | 0.000      | 0.000    | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |  |

- 水平・鉛直成分の移動ベクトル量から、地すべりの運動方向や活動状態を評価
- 長期モニタリングに利用

36

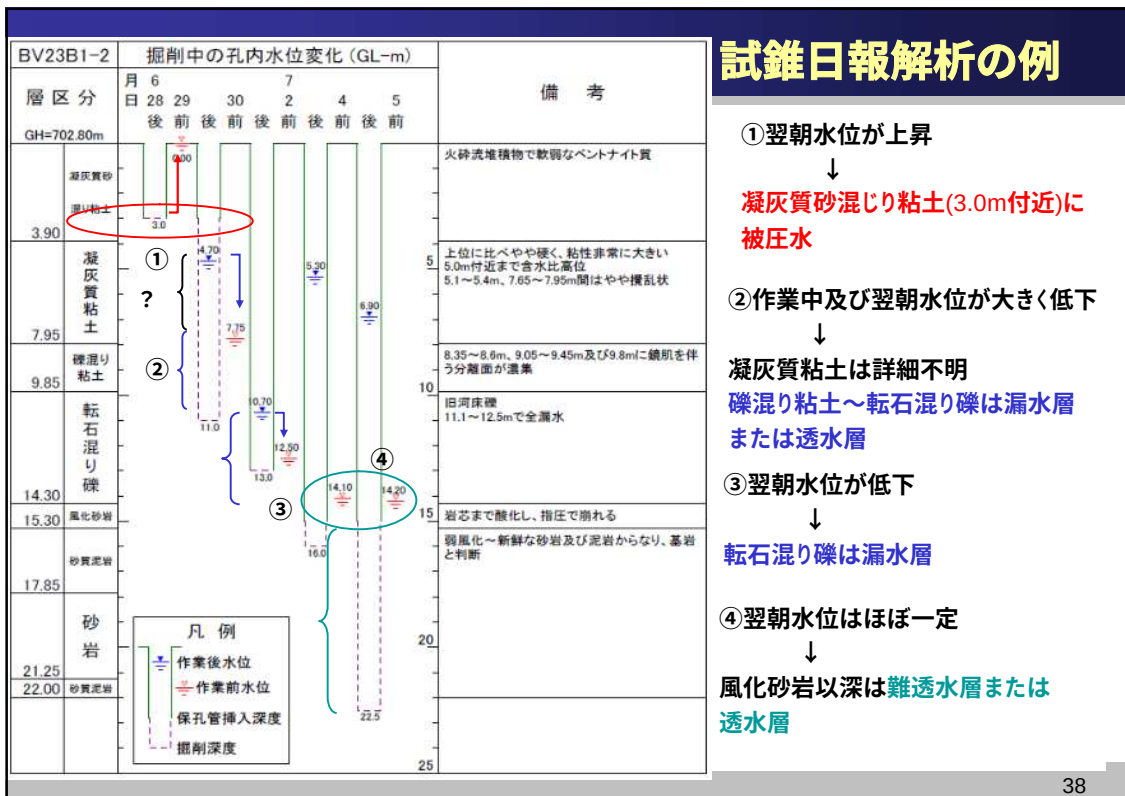
## 4.9 地下水調査

表4.5 地下水調査の種類

| 目的                 | 調査項目                |
|--------------------|---------------------|
| すべり面に作用する間隙水圧の把握   | 地下水位測定、間隙水圧測定       |
| 地下水位変動と降雨との相関性等の検討 | 地下水位測定、間隙水圧測定       |
| 地下水流動層の把握          | 地下水検層、温度検層、簡易揚水試験   |
| 地下水流動経路の把握         | 地下水追跡、水質分析          |
| 地下水分布の把握           | 電気探査、地温探査、水温探査、水質分析 |
| 透水性の把握             | 透水試験、簡易揚水試験         |

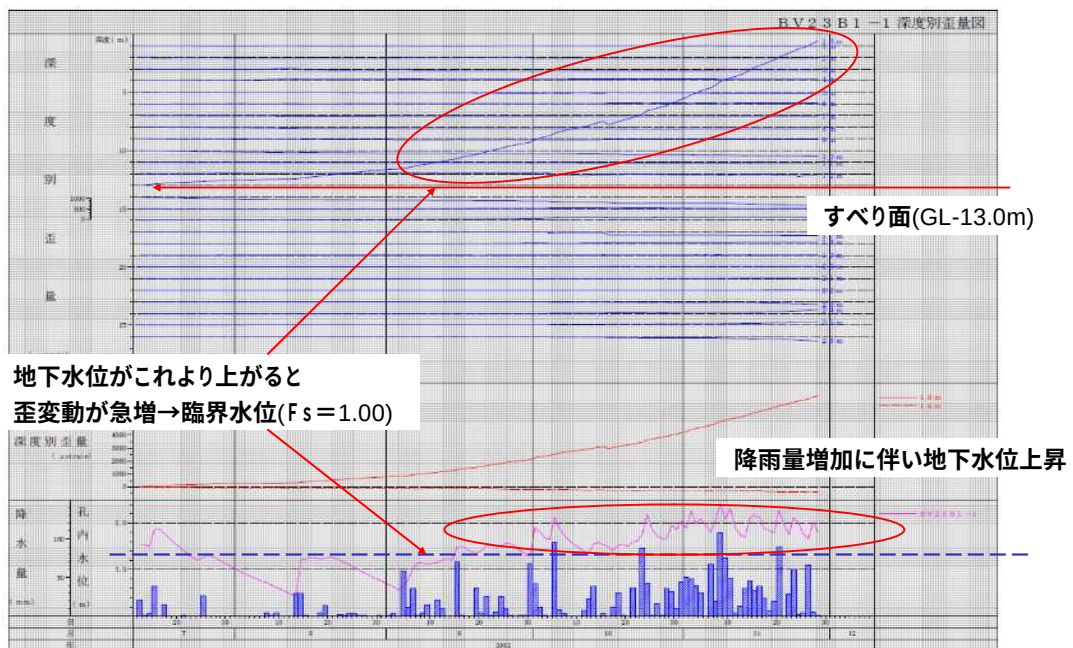
| 調査種    | 特徴                                                                                                           | 留意点                                    |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 試錐日報解析 | ・ボーリング掘進中の孔内水位の変化から地下水文状況を推定<br>・ケーシングの挿入深度、作業後、作業前水位の変化から、 <b>被圧地下水、透水層・漏水層</b> などを判定する                     | ・ケーシングの挿入深度に左右される<br>・清水掘削が前提          |
| 地下水位観測 | ・降雨と地下水変動、及び地すべり活動との関連を把握<br>・触針式観測週1〜2回程度、(半)自動観測は毎日観測が多い<br>・最近では水圧センサーによる歪計と同時観測が主流                       | ・偽水位の場合は別途観測孔が必要                       |
| 地下水検層  | ・孔内水の電気抵抗を食塩等で低下させ、地下水流入による希釈に伴う <b>電気抵抗値の増加と時間の関係から流動層と流動程度を判定</b> →対策工計画に反映<br>・流動層が不明瞭な場合は孔内水を汲上げると検出しやすい | ・掘進中の水位変動やコア性状も加味して判定する<br>・孔内水位がないと不可 |
| 温度検層   | ・孔内水を温水等で加温し、地下水流入に伴う水温の変化を利用して流動層の位置や流動の程度を判定する                                                             | ・孔内水がなくとも可                             |

37



38

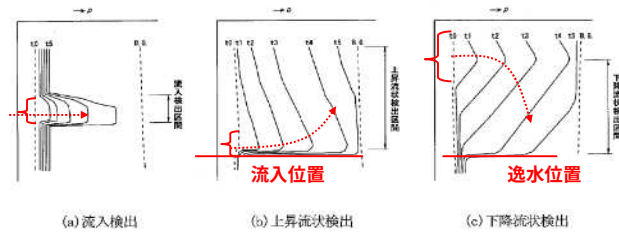
## 地下水位変動と歪変動の対比



39

## 地下水検層

- ▶ ボーリング地点における**垂直方向での地下水流動位置**を検出する
- ▶ 比抵抗値の変化パターンから、**流動形態や流動の程度、流動層厚**を判定する
- ▶ 地下水排除工(ボーリング)は**流動層を狙って計画**



| 地下水検層結果 | 図例 | 備考                           |
|---------|----|------------------------------|
| 流入検出    | →  | 図2-31(a)に示すように地下水の流入が認められる区間 |
| 上昇流状検出  | ↑  | 図2-31(b)に示す変化が認められる区間        |
| 下降流状検出  | ↓  | 図2-31(c)に示す変化が認められる区間        |
| 非検出     | ■  | 比抵抗値にほとんど変化が認められない区間         |
| その他     |    | 流入検出、上昇流状検出、下降流状検出、非検出以外の区間  |

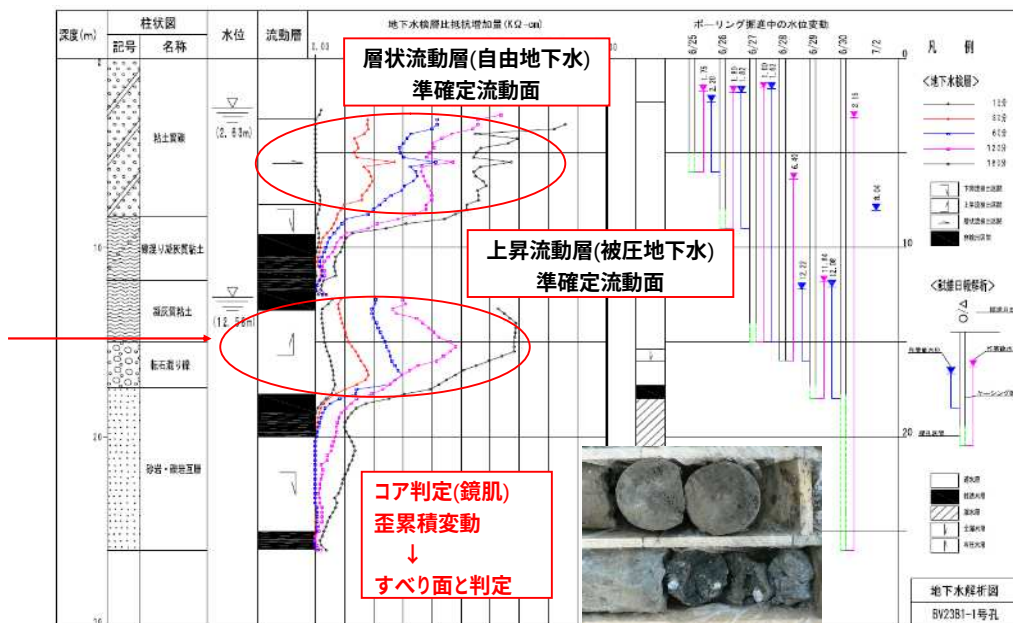
比抵抗値変化パターン  
と判定区分



測定器具の例

40

## 地下水検層の例



41

## 4.10 土質試験

- **すべり面強度**や**対策工設計**に供する地盤強度を把握するために行う
- 物理試験
  - 含水比、粒度、液性・塑性、湿潤密度
  - 土の基本的な性状
  - ×線回折 →膨潤性粘土鉱物の含有
- 力学試験……繰返し一面せん断、リングせん断、すべり面直接せん断など
- 地すべりの活動状態、変位の大小、地すべりのタイプ(岩盤、風化岩・崩積土)などによって試験方法を選択

42

## 土質試験方法と適用

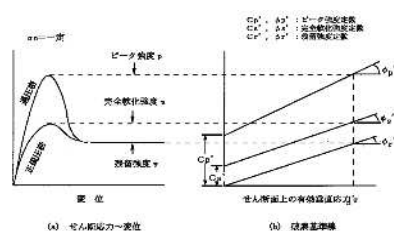
| 試料    | 強度                 | ピーク強度                         | 完全軟化強度     | 残留強度       | せん断試験法   |
|-------|--------------------|-------------------------------|------------|------------|----------|
| 不攪乱   | ○、 $\overline{CU}$ | ×                             | ×          | ×          | 三軸圧縮     |
|       | △、 $CD$ 、Ⅲ         | △、 $CD$ 、Ⅱ                    | △、 $CD$ 、Ⅰ | ○、 $CD$ 、Ⅰ | 繰返し一面せん断 |
|       | △、 $CD$ 、Ⅲ         | △、 $CD$ 、Ⅰ                    | ○、 $CD$ 、Ⅰ | ○、 $CD$ 、Ⅰ | リングせん断   |
| スラリー  | ×                  | ○、 $\overline{CU}$            | ×          | ×          | 三軸圧縮     |
|       | ×                  | ×                             | △、 $CD$ 、Ⅲ | ○、 $CD$ 、Ⅰ | 繰返し一面せん断 |
|       | ×                  | ×                             | △、 $CD$ 、Ⅲ | ○、 $CD$ 、Ⅰ | リングせん断   |
| プレカット | ×                  | ×                             | ×          | ○、 $CD$ 、Ⅱ | 繰返し一面せん断 |
|       | ×                  | ×                             | ×          | ○、 $CD$ 、Ⅱ | リングせん断   |
| 含すべり面 |                    | △、 $\overline{CU}$ 、あるいは $CD$ |            |            | 三軸圧縮     |
|       |                    | ○、 $CD$ 、Ⅱ                    |            |            | 繰返し一面せん断 |
|       |                    | ○、 $CD$ 、Ⅱ                    |            |            | リングせん断   |

測定強度  
○：利用可能  
△：場合によっては利用可能  
×：利用不可能

試験条件  
 $\overline{CU}$ ：圧密排水  
(間隙水圧測定)  
 $CD$ ：圧密排水

せん断変位量  
Ⅰ：かなり大きくする  
Ⅱ：大きくする  
Ⅲ：小さくする

ボーリングコアを使って出来る



せん断強度の概念図

「地すべり防止技術指針及び同解説 p45」

- **ピーク強度** →初生的な岩盤すべりなど(切土など人為的要因)
- **完全軟化強度**→一旦停止していた岩盤すべりが**2次的に再活動**した風化岩すべりや崩積土すべりなど
- **残留強度** →**大きなせん断変位**を受けた地すべりで、 $C=0.0\text{kN/m}^2$ 鏡肌を伴ったようなもの

43



## 5. 安定解析

- 地すべりの安定を確保するために**必要な対策工の規模を決定することが目的**

### ➤ 安定計算

$$\text{安全率}(F_s) = \frac{\text{すべり面に沿ったせん断抵抗力の和(抵抗力)kN/m}}{\text{すべり面に沿ったせん断応力の和(滑動力)kN/m}}$$

- 計算式は**地すべりの規模、すべり面の形状(円弧・非円弧)、地下水条件**など特性に合わせて選択

円弧すべり : 簡易Bishop式、Fellenius式(簡便法)など

非円弧すべり : 簡易Janbu式、SHIN-Janbu式など

- 大規模なすべりや非対称すべり面などでは、近似三次元解析(Lamb-Whitman法)も有効

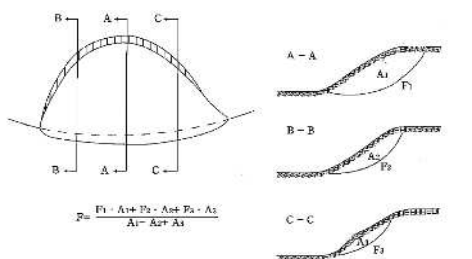
44

$$F_{3D} = \frac{A_1 \cdot F_1 + A_2 \cdot F_2 + A_3 \cdot F_3}{A_1 + A_2 + A_3} \quad \text{<3-5-11>}$$

ここで、 $F_{3D}$  : 三次元安全率の近似値

$F_1, F_2, F_3$  : 二次元解析による安全率

$A_1, A_2, A_3$  : 同上における断面積

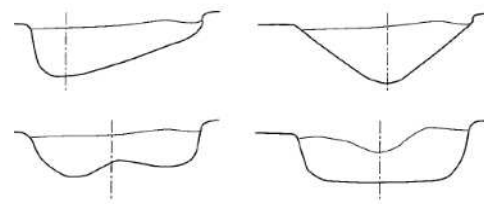


(a) 地すべり平面図

(b) 異なる断面上での安全率

Lamb-Whitman式(近似三次元)

「治山技術基準解説-地すべり防止編 p144」



二次元解析では不十分な地すべり横断面形の例  
「治山技術基準解説-地すべり防止編 p146」

- 三次元解析が可能なソフトもあるが、  
「高い調査精度が必要」  
「費用が高価」  
「対策工設計手法が確立されていない」  
などの課題がある

45



## 5.1 安定解析の要因

- すべり面強度…安定解析の最も基本的な値
  - ・一般には初期安全率に対する**逆算法**が多い →経験則
  - ・粘着力(C)を移動土塊層厚とし、せん断抵抗角( $\phi$ )を求める
  - ・最近**は土質試験から $\phi$ を求め、Cを逆算**する場合も多い  
→停止中の地すべりにも適用可能

表5.1 粘着力の参考値

| 地すべりの最大鉛直層厚 (m) | 粘着力C (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-----------------|---------------------------|
| 5               | 5                         |
| 10              | 10                        |
| 15              | 15                        |
| 20              | 20                        |
| 25              | 25                        |

表5.2 風化岩のすべり面強度の範囲

| 風化岩の種類 | 事例数   | 粘着力C (kN/m <sup>2</sup> ) | (tf/m <sup>2</sup> ) | せん断抵抗角 $\phi$ (度) |
|--------|-------|---------------------------|----------------------|-------------------|
| 変成岩    | 6     | 0~2(1)                    | 0~0.2                | 20~28(26)         |
| 火成岩    | 8     | 0~(0)                     | 0                    | 23~36(29)         |
| 堆積岩    | 古生層   | 7                         | 0~4(0)               | 0~0.4             |
|        | 中生層   | 6                         | 0~10(5)              | 0~1.0             |
|        | 古第三紀層 | 4                         | 0~20(7)              | 0~2.0             |
|        | 新第三紀層 | 32                        | 0~25(20)             | 0~2.5             |

- 地下水条件…**活動状態に応じた地下水位を設定**
  - ・基本的には観測最高水位とするが、試錐日報解析や機器観測結果を加味する
  - ・**臨界水位、将来予想される最高水位(確率水位)などにも留意**

46

## 5.2 安全率の設定

- 初期安全率…地すべりの活動状態に応じて設定  
計器変動状況や地下水位変動、現象等を参考  
 $F_s=0.90$ (著しく活動)~ $0.95$ (活動中)~ $0.98$ (緩慢に活動)  
 $F_s=1.00$ (極限平衡)  
 $F_s=1.03\sim1.05$ (停止中) →これが難しい } 観測では無変動

- 目標安全率  
保全対象を勘案して設定  
工事規模を決めるための  
目標値、  
 $F_s=1.10\sim1.20$ が多い

| 保全対象物                  | 対策後の安全率            |
|------------------------|--------------------|
| ① 人家                   | $F_s=1.2$          |
| ② 学校、病院等公共施設           | $F_s=1.2$          |
| ③ 耕地                   | $F_s=1.1$          |
| ④ 交通(林道、その他)           | $F_s=1.1$          |
| ⑤ 交通(市、町、村道)           | $F_s=1.15$         |
| ⑥ 交通(県、国道、鉄道)          | $F_s=1.2$          |
| ⑦ 治水(海に押出すもの)          | $F_s=1.1$          |
| ⑧ 治水(二級河川に押出すもの)       | $F_s=1.15$         |
| ⑨ 治水(一級河川に押出すもの)       | $F_s=1.2$          |
| ⑩ ①②③④が同一地域内に3つ以上あるもの  | $F_s=1.3$          |
| ⑪ ⑩以外で同一地域内に2つ以上重複する場合 | 重複する中で1番高い安全率を採用する |

47

## 6. 建設工事における調査事例

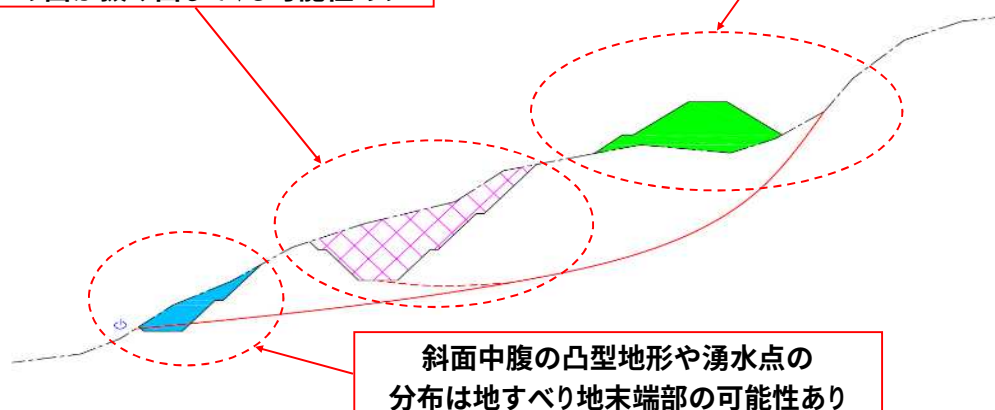
- 丘陵地や山地における道路計画において、しばしば地すべりや崩壊が発生している
- ルート計画時の**地形判読、現地踏査により、危険箇所を抽出**し、基本的には回避することが最善
- 斜面**末端部での切土**や、台地状の**緩斜面における盛土**が誘因となる場合が多い → **特に切土が注意**
- 斜面内の**帯状凹地形や湧水点の分布、不規則な段差地形**は要注意
- 想定される**すべりの規模が小さい**ほど、**土工の影響が大きくなりやすく注意が必要**

48

## 地すべりと土工の模式図

斜面中腹の大きな切土では  
すべり面が抜け出してくる可能性あり

斜面内の連続する傾斜変換点と緩斜面の  
分布は地すべり地の冠頭部の可能性あり



逆に、**末端部の盛土、冠頭部の切土は不安定化しにくい**が、  
隣接する地すべりの有無やその影響がないかチェックする

49

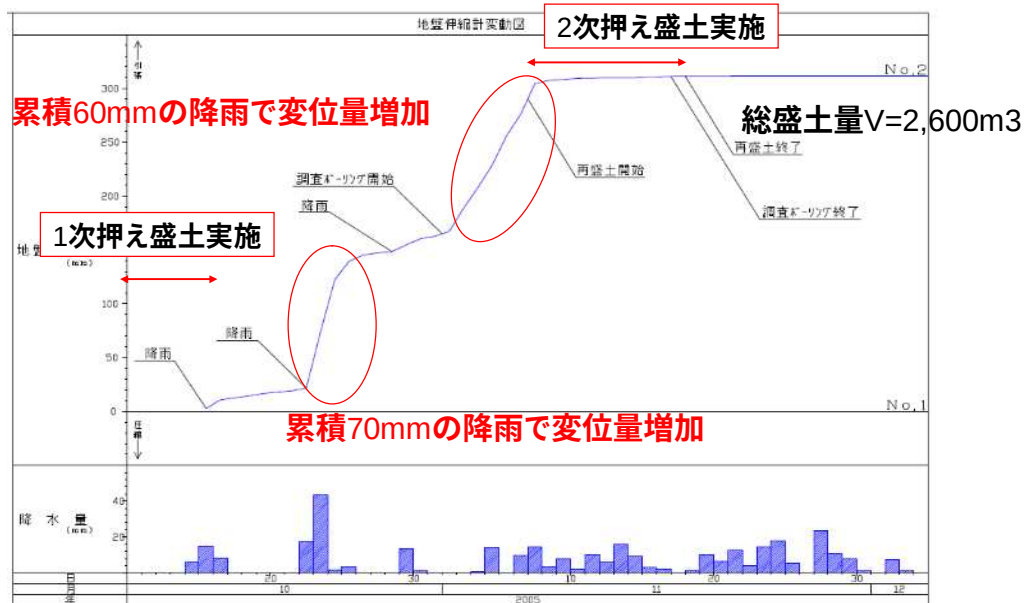
## 6.1 切土に伴う地すべり発生事例①

- 丘陵地における農道開設時に発生した地すべり
- 地すべり発生から調査までの経緯
  - ①農道設計……幅員8.0m、最大切土高 $H=8.5\text{m}$   
延長 $L=80.0\text{m}$
  - ②施工基面付近まで切土後に、法面に亀裂発生、背後斜面に段差亀裂発生
  - ③地表踏査と地盤伸縮計を設置、観測開始  
→古い地すべり地と判明、追加平面測量を実施
  - ④応急対策として、 $V=2,600\text{m}^3$ の押え盛土
  - ⑤ボーリング調査、パイプ歪計観測、地下水調査  
を中心とした地すべり調査を立案 →工事中止
  - ⑥対策工計画及び詳細設計  
→アンカー工、水抜きボーリング、水路工ほか

50



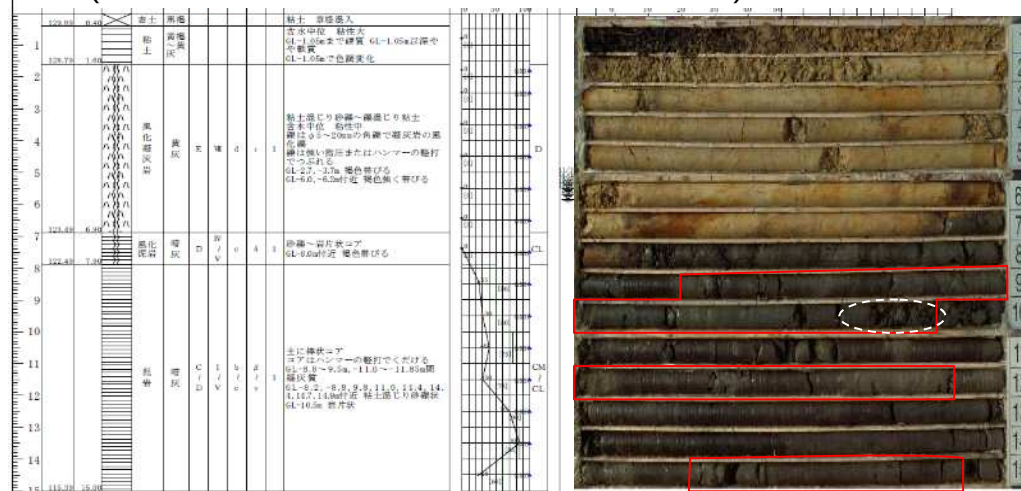
## 地盤伸縮計観測



52

## ボーリング調査

- すべり面の可能性がある深度  
風化泥岩下面 GL-7.80m  
泥岩内のコア不良部  
(GL-8.20~9.80m, 11.0~11.85m, 14.4~14.9m)



53





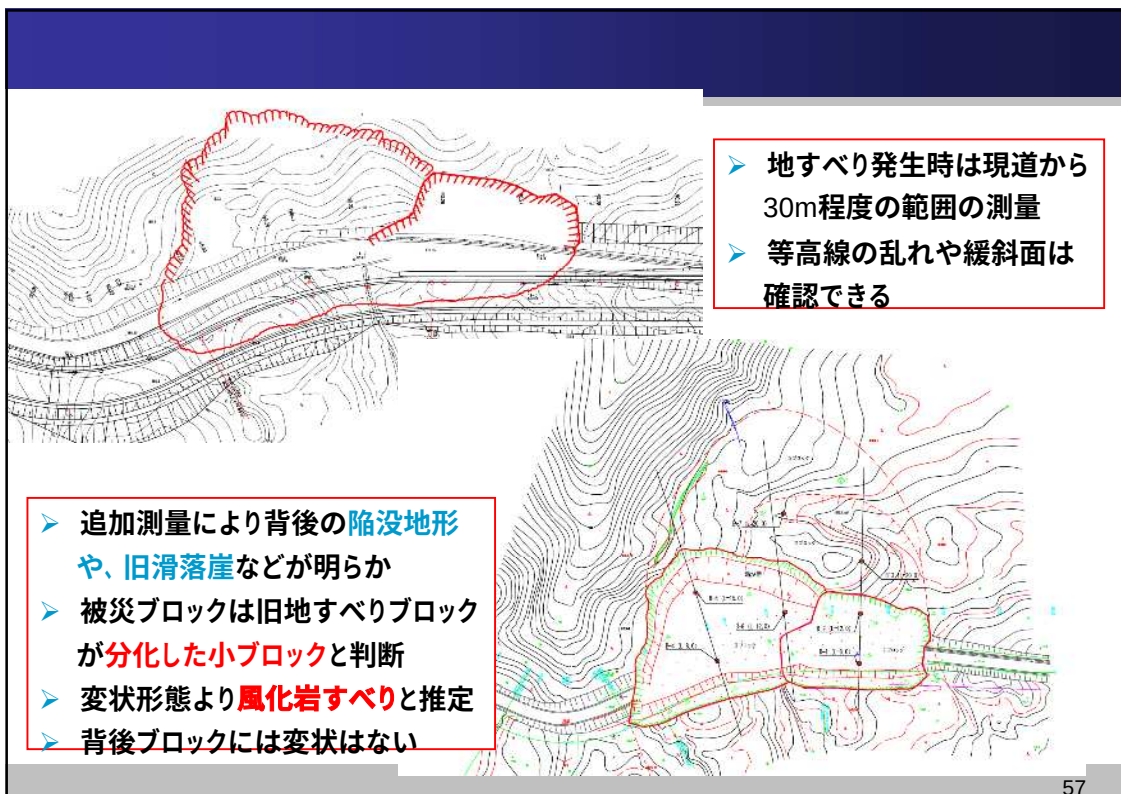


## 6.2 切土に伴う地すべり発生事例②

- 道路改良に伴う盤下げ掘削で2つのすべりが発生
  - I ブロック：幅 $B=50\text{m}$ 、斜面長 $L=35\text{m}$
  - II ブロック：幅 $B=65\text{m}$ 、斜面長 $L=40\text{m}$
- 施工基面に隆起が生じ、冠頭部には幅4m程度の陥没帯を伴う滑落崖と、開口した側方亀裂が発生
- ブロック末端の旧道は約2mほど水平に変位
- 末端には湧水点が複数点在
- 踏査の結果、被災ブロックの背後には地すべり地形が確認され、その一部が切土を誘因に崩壊した
- ルート選定時には見落としの可能性

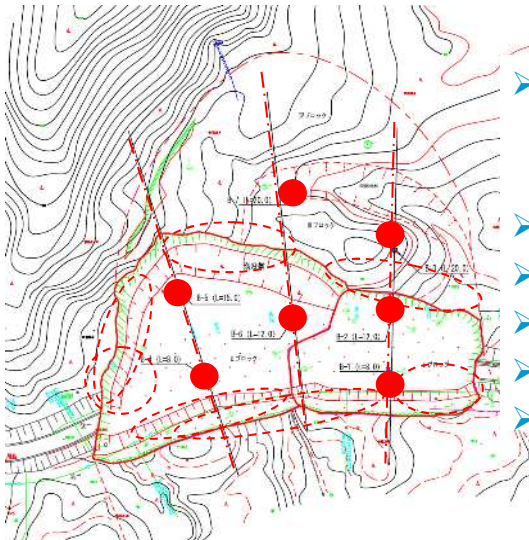
→ 測量範囲不足、写真判読？

56



57

## 地表踏査と調査計画



58

## 地すべりの素因と誘因

### <素因>

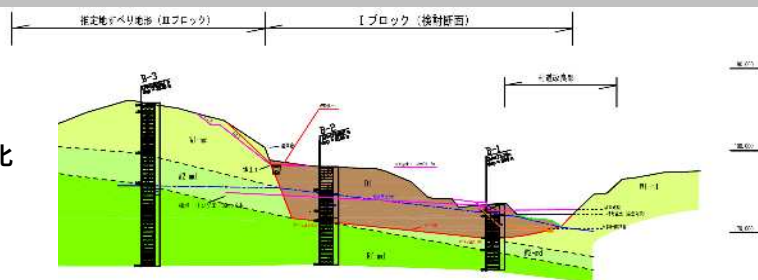
- ・地すべりの履歴、小ブロック化
- ・脆弱な地質(風化砂質泥岩)
- ・**流れ盤構造**

### <誘因>

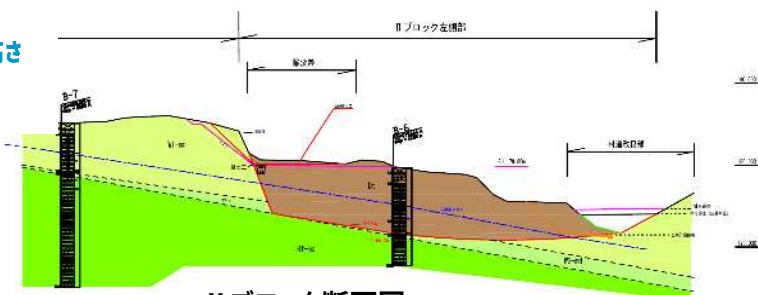
- ・**切土に伴う土塊バランスの変化**
- ・梅雨に伴う降雨と豊富な地下水

### <応急対策工>

- ・計画基面より**1.5~2.5mの高さ**で押さえ盛土を実施
- ・その後の観測で**変動なし**



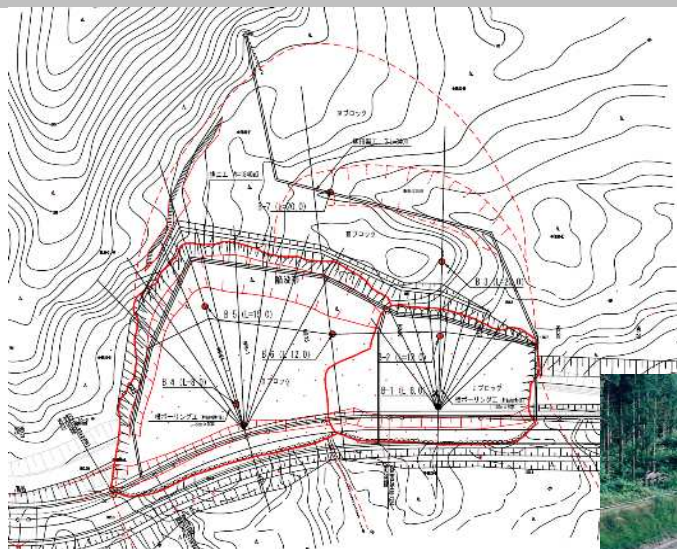
Ⅰブロック断面図



Ⅱブロック断面図

59

## 対策工



- 頭部排土工  $V=1,840\text{m}^3$
- 横ボーリング工  $n=17$ 本
- 押さえ盛土を兼ねて道路縦断計画を変更



60

## 7. 地すべり調査のチェックポイント

- 空中写真判読は重要、特に道路計画の際は必須
- 地すべりや崩壊地形がある場合、測量はその範囲まで行う必要あり → 地表踏査で必要
- ボーリングでは運搬・仮設計画に留意  
→ モノレール運搬では損料を計上
- 地すべりの活動状況や観測期間に応じて、調査項目を組み合わせる  
→ 歪計、地下水位、地下水検層は必須
- 初期安全率及び目標安全率を適切に設定する  
→ 工事規模に直結する
- すべり面強度決定の根拠及びその方法の妥当性

61

## 謝 辞

- ・長時間にわたり、ご静聴いただき誠にありがとうございました。
- ・本日の内容が、実際の業務に少しでもお役に立てば幸いと存じます。
- ・本日の内容で、ご不明点がございましたら、当協会のホームページでご確認いただくか、メールでお問い合わせいただければと思います。

山形県地質土壤調査業協会

<http://www.yamagata-geo.jp>