NO 1　斜面崩壊の調査・対策の問題点

藤井三千勇　宮内彰　神門誠　大内茂

1. まえがき　過去10年間にわたり、我々は、工事中の切取斜面の崩壊、降雨による完成斜面の崩壊、又は自然斜面の崩壊等、所謂道路災害、又は道路災害と同じではあるが規模がやや大きい地すべり災害等、斜面の安定にかかわる問題を数多く扱い調査・対策を立案してきた。その数は、約100個所におよぶ。

我々はこの十周年にあたり、これらの調査法及び対策立案に際しての問題点を明らかにし、今後これらの仕事を進める上での技術的方向を明確にしておきたいと思う。

地すべり崩壊発生から対策立案までの手順は、次のフローの通りである。

以下このフローに従って問題点を提起する。

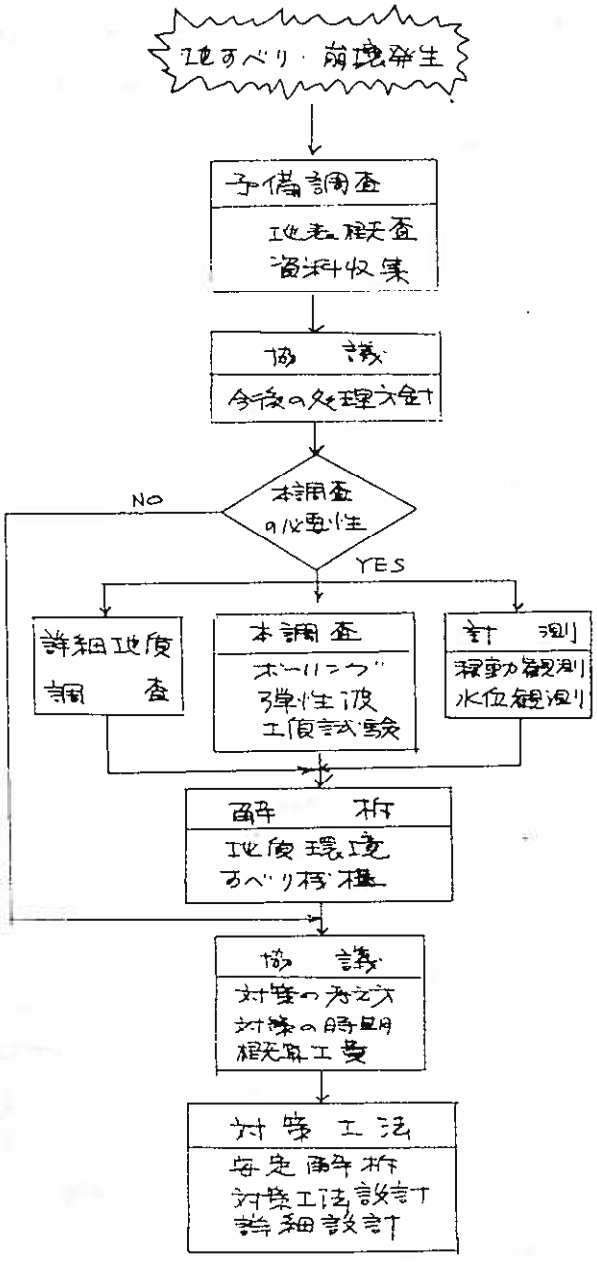


図-1

1. 予備調査の留意点

2. 予備調査のみで対策を立てる場合
本調査が必要な場合の判断と本調査の規模

3. 本調査の問題点
すべり面の判定法
地下水の動き
計測期間　etc.

4. 詳細調査・計測方法

5. 解析の問題点
c.φ.γ.すべり面角度等が安定におよぼす影響等

6. 対策工法の問題点
頭部処理
地下水の動きと対策工
etc.

2. 予備調査の留意点

予備調査はフローに示されているように、今後の処理方針を協議するまでの間にできるだけ早く地表踏査及び資料収集を行い、災害の本質的な機構を把握するように努める段階である。この時点における特に留意すべき事項を、これまでの経験をもとにして整理すると次のようである。

1) 崩壊のり肩よりも後背地に亀裂線があるかないかを丹念に調べること。

このことは災害調査となると早く結論を出そうとして崩壊のり面の外見を頼りに規模を決めてしまい勝ちであるので、大切である。大規模な地すべり災害になるほど、のり肩よりもより後背部に引張り亀裂線が入っていたり、10～20cm 位の小滑落崖をなす亀裂が入っている場合が多い。この引張り亀裂線、滑落崖の有無によって後の対策のための調査方針も多いに異ってくるものである。多伎町の町道大須線（蔵谷地区）の場合は道路面から崩壊のり肩までの斜長は約100mであり、これより後背部70mの所に頂天滑落崖が発生していた。

（参考）右に示す地すべり図は完全に地すべりが進行した場合のものと考えてよい。実際には(イ)の滑落崖となる以前のものが、崩壊肩よりも背部に何本か入っているのが災害の初期の段階である。

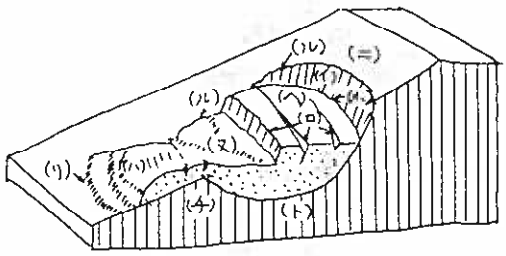


図-2. 地すべり当初は(イ)が小規模、地すべり各部の名称

2) 地質構造に支配された地すべりか、単なる崩壊かを周辺踏査によって察知すること。

切取斜面の災害の場合は降雨とは特に関係のない地すべりを生ずる場合がある。たまたま降雨も重って地すべりを生ずる場合もある。

特に右図のように微小尾根地形あるいは凸状台地地形を示すところの山脚部を

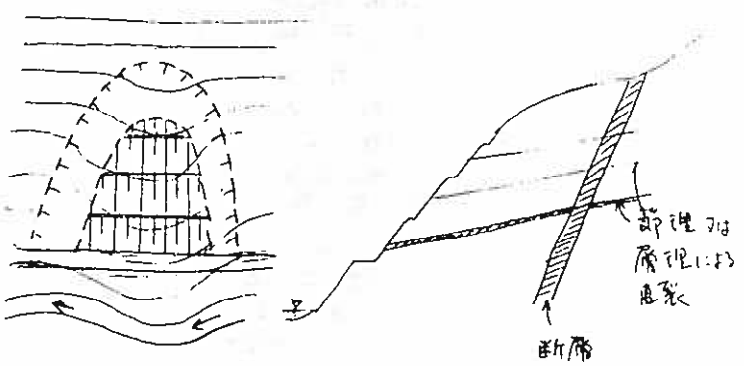


図-3 例えば国道261号線（断魚地内）地すべり

切土して崩壊を生じたのり面は背部に断層，剪断帯又は旧地すべり面が存在している場合が多い。　このような地質条件の所での地表踏査で断層等の弱線を見付けることは容易ではない場合が多いが，崖錐，崩土が多い，末端部で地下水が多いなどの特徴から推定することができる。　断層・剪断帯・流れ盤構造・褶曲単斜構造・貫入岩脈の著しい風化・下盤側表層の粘土化などが典型的な地質構造に起因する地すべりである。

3) 泥岩地すべりの場合は深い円弧すべりを生じるのが多い。　表面観察で早急に判断しないこと。

泥岩地帯の災害で落差0.5～1m以上の滑落崖をなす場合は大略深い円弧すべりを生じているとみてよい。　初期の段階ではのり尻の前側がわずかにふくれ上がりを生じている程度である。　しかし一雨毎に確実にふくれ上がり，表層すべりであると見做して押え工法をしていた対策構造物がものの見事にガタガタになるケースがある。

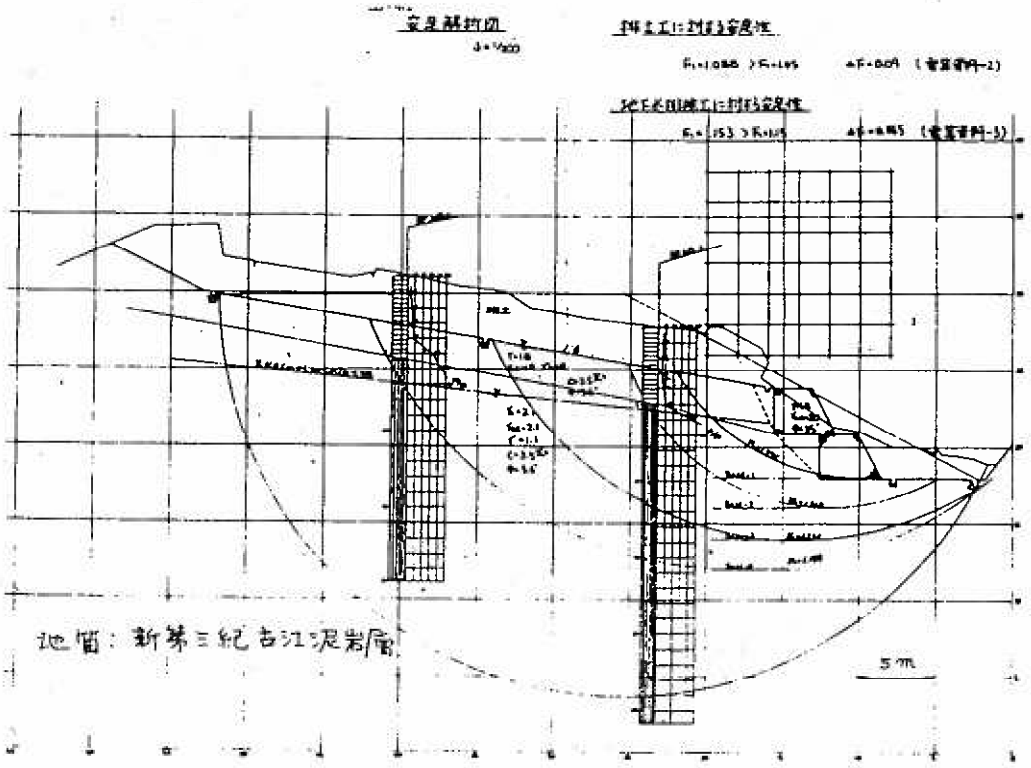


図-4　平田市　市道別所線（布崎地内）地すべり

図-4は宍道湖北岸に分布する古江泥岩層の地すべりである。　予備調査の時点では，最深部の円弧すべり面は推定し難い状態であった例である。

4) 地下水位湧出箇所をできるだけ綿密に調べること。

崩壊の場合は降雨に対して一過性であるから，地下水の湧出が永続することはない。これに反し地すべりの場合は ①．地すべり粘土の連続的分布，② 崩積土層のうちの粘土分の多い部分，③ 流水盤節理のうちですべり面となりうる節理面，④ すべり側面の末端部 などにおいて地下水が浸出している場合が殆んどである。 二重・多重の地下水位が予想される場合は 本調査計画の中に，地下水位の多重性を測定できるように一項入れるべきである。 二重水位があるにもかかわらず，上方地下水位の存在を無視した場合は その過小評価，間隙水圧比の変化を過小評価することになり安全率設定にとって危険となるから予備調査時に留意しておきたい事項である。

5) 予備調査時の検証表をもっておくこと。

地すべりの分類方法には幾種類かの方法があるが，使用してみて 最も分りのよい分類は 前建設省土木研究所地すべり研究室長 渡 正亮 の作成した "地すべりの型分類" 表である。

道路土工指針によれば崩壊とは人工ののり面であろうと自然の斜面であろうと，予測しがたい形で突発的に崩れるものをいい，地すべりとは大きな地塊がゆっくりと長い時間かかって移動するものをいう。 用語の統一の立場から両者の違いをはっきりさせておく必要がある。

表-1. 地すべりの型分類

分類 / 特徴	岩盤地すべり	風化岩地すべり	崩積土地すべり	粘質土地すべり
平面形	馬蹄形，角形	馬蹄形，角形	馬蹄形，角形，訳形 ボトルネック形	訳形，ボトルネック形
微地形	凸状尾根地形	凸状台地形 単丘状凹状台地形	多丘状凹状台地形	凹状緩地形
すべり面形	椅子型，舟型	椅子型，舟型	階段状，層状	階段状，層状
旧分類名	幼年型	青年型	壮年型	老年型
主な土塊の性質（頭部）	岩盤または弱風化岩	風化岩（キレツが多い）	レキ混じり土砂	巨レキまたはレキ混じり土砂
〃（末端部）	風化岩	巨レキ混じり土砂	レキ混じり土砂，一部粘土化	粘土またはレキ混り粘土
運動速度	2cm/day以上	1.0～2.0cm/day 程度	0.5～1.0cm/day	0.5cm/day以下
運動の連続性	短時間突発的	ある程度断続的（数十～数百年に一度）	断続的（5～20年に1回程度）	連続的（1～5年に1回程度）
すべり面の形状	平面すべり（椅子型）	平面すべり（頭部と末端がやや円弧状）	円弧と直線状，末端が流動化	頭部が円弧状だが大部分は流動状
ブロック化	大抵1ブロック	末端，側面に2次的地すべり発生	頭部がいくつかに分割され2～3ブロックになる。	全体が多くのブロックに分かれ，相互に関連し合って運動
予知の難易	非常に困難，綿密な踏査と精査を必要とする。	1/3,000～1/5,000地形図で予知できるし，空中写真の利用も可能	1/5,000～1/10,000 地形図でも確認できる。地元での聞込みも有用	地元での聞込みによって予知できるし，非常に容易に確認できる。
一般的な斜面形	一般に台地部があるが不明瞭である。凸型斜面に多く，裾部から発生する。	明瞭な段落ち，崩状の陥没地と台地を有す。大きくみれば凹型だが，主要部は凸型	滑落崖を形成し，その下に沼，湿地等の凹地あり，頭部に幾つかの残丘あり，凹形斜面に多い	頭部に不明瞭な台地を残し大部分は一様な緩斜面，訳状の斜面である。
平均的な安全率	大抵の場合 $F_s > 1.10$，一時的にある程度の切土，盛土も可能	$F_s = 1.05 \sim 1.10$，一時的に5%程度の安全率を低下させる事は可能	$F_s = 1.03 \sim 1.05$，一時的には3%程度安定率を悪化させても安定している。	切土，盛土は不可能，小量の土工でも運動を再発する。
主要な対策工	深層地下水排除，土塊除去，抑止工	深層地下排除，土塊除去，地表水排除，抑止工	頭部での深層地下水排除，地表水排除，渓流工	頭部での集水井工，末端での浅層地下水，地表水排除，渓流工
対策工の効果	即効的で完全安定化可能	即効的であるが，異状天然現象時に再発の恐れがある。	対策工施工後1～3年を要す，末端部の安定化が困難	遅効性で対策工施工後数年を要し，完全な安定化は困難
主な原因	大規模な土工，斜面の一部の水没，地震，強雨	集中豪雨，異常な融雪や河岸欠潰，地震，中規模の土工その他	異常な降雨，融雪，台風，集中豪雨，土工，等	降雨，融雪，河川浸食，積雪，小規模な土工
主な地質と構造	断層，破砕帯の影響を受けるものが多い。	結晶片岩地帯，新第三紀層に広く分布する。断層，破砕帯の影響あり。	結晶片岩地帯，新第三紀層に広く分布	新第三紀層に最も多く，御荷鉾破砕帯等の構造線沿いにも一部見られる。

3. 本調査の必要性.

工事中に地すべり又は崩壊が発生した場合又は、降雨による災害が発生した場合、直ちに対策を立てて工事にかかるか、或る程度の調査を行って対策にかかるか又は十分時間をかけてしかる後に十分な対策を検討するか、きわめて判断にまようところである。

現交通の処理、周辺人家等への影響等を考えると災害発生時はとかくあわてるものである。

今までの経験を整理してみるとおおよそ次の様な手順になる。

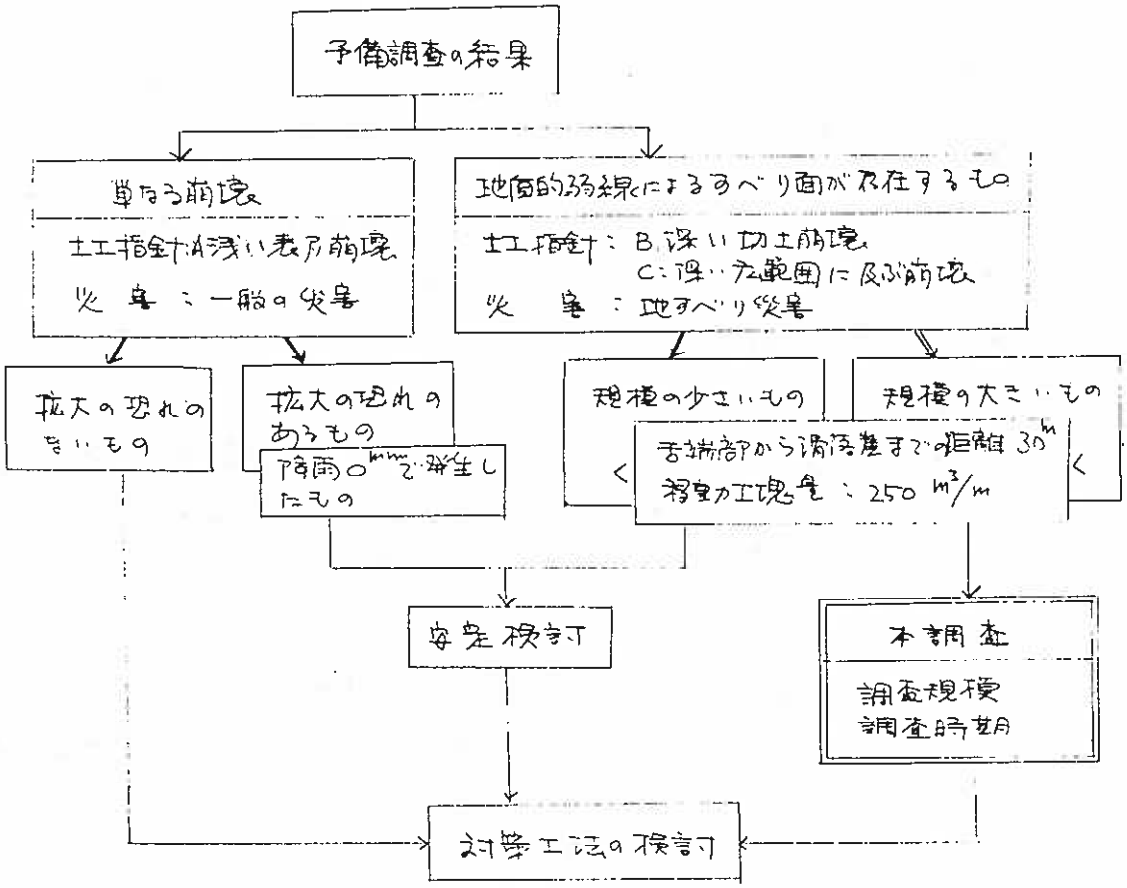


図-5

1). 単なる崩壊と地質的弱線によるすべり面が存在するもの（以下崩壊性地すべりと呼ぶ）との区分は、一般的分類としては「のり面工・斜面安定工指針」（日本道路協会）1-3 崩壊に分類されている。

現地踏査でのこれらの区分は、すべりのトップにその特徴がある。即ち崩壊性地すべりの場合は、ほぼ垂直に落ちる滑落崖をともなう。

図-6

単なる崩壊の場合は崩壊時に引張りを受けるため土がやわらかく感じたり部分的に亀裂がはり込んでいる状況がある。

災害に関しては、河川以外の施設災害として イ.最大24時間雨量80mm以上の降雨 ロ.時間雨量が特に大である場合.(一般に30mm以上) があり これらの災害時には 単なる崩壊が多い。 崩壊性地すべりは.梅雨時の連続降雨量の多い場合に発生し易く 地震地すべり等によって発生した施設災害に区分される場合が多い。

2) 単なる崩壊で拡大の恐れのあるものとして降雨量がなく.切取工事中又は完了時に崩壊した場合は.現地踏査の結果 単なる崩壊に区分されても,次の降雨時に再度崩壊する場合が多い。この場合は.降雨をまって様子を見るか 或る程度の予測を行って排土する必要がある。

3) 崩壊性地すべりで規模が小さい場合とは、今までの経験より ,末端部から滑落崖までの距離が30m以下で すべり面上の移動土塊量が250 m^3/m 以下の場合である。この場合には、予備調査からすべり面を推定し安定検討を行った上で対策を立てて問題はない。

4). 土砂の範囲以上の場合には.原則としてボーリングによる調査を行うべきである。

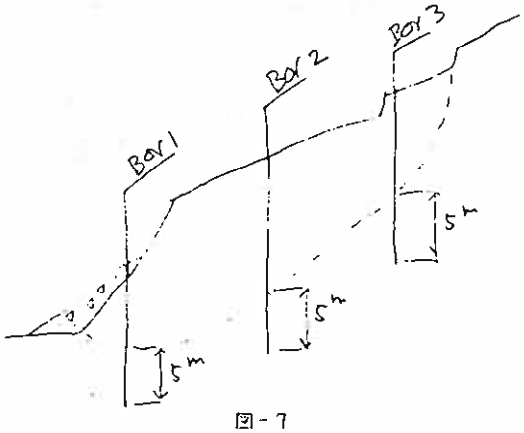


図-7

調査は すべりの中央断面について3本行うのを原則とする。

末端部のNo1については.多くの場合擁壁等の構造物を設置する場合がありこれら構造物の安定及び施工時の安定上必ず実施する必要がある。

No2.及び3は.すべり面の位置を確認することが主な目的であり 予想されるすべり面の深さ、すべりの規模、すべり面の傾斜角度の予想等により2本にするか1本にするかを決定する。 又縦断的な範囲が広くすべり面の深さが異っていることが予測され.対策も縦断的に変えることが適切と判断される時は3断面3×3=9本行うか 又はNo2の縦断方向へ2本追加する。

ボーリング調査を行う時期は.すべりの進行をよく把握した上で行う。 すべり等は直後は まだ移動が進行しており 崩壊性の強い場合は.危険をともなう。或る期間(大体1ヶ月)を経過すれば.大体安定するのでこれらの状況を伸縮計により把握し、セズミ速度が 10^{-6}/min 以下で調査するのがよい。

4．本調査の問題点、

第3節に述べたように舌端部から滑落崖までの距離が30m以上．で すべり面上の移動土塊量が250 m^3/m 以上の場合は，本調査としてボーリングによる調査を行いすべり面の位置判定，地下水の動き，などを精度を上げて調査する。実際には．これらの調査を行うにあたっていくつかの問題点がある。これらの問題点を提起する。

(1)．すべり面の判定法における問題点

現在すべり面を判定する精度の高い方法として i) ボーリングコア調査，ii) パイプ歪計，iii) テストピット がある。精度が低い方法としては iv) 弾性波探査，があげられる。 i)及び ii) は最も有効なすべり面判定方法であるがこれらにも問題点があるので明らかにしておく。

i) ボーリングコアによるすべり面判定の問題点、

a)．表－1に示した地すべり型によって，ボーリングコアの状態は異なる。すべり面に相当すると考えられる弱線あるいは粘土を狭む部分が 3箇所，4箇所と出現する場合には，ボーリングコアだけでは，どの箇所が移動面であるかを正確に指摘できない。

b)．地すべり調査のボーリングはオールコアボーリングを原則とする。後々の地下水位測定のためにベントナイトは用いないで清水掘りを行う。この時に 岩盤すべり，風化岩すべりなどでは掘進中に送水圧ですべり粘土を洗い流してしまうことがある。これは、すべり面粘土と称する土質が砂，礫分を多く含む状態であるために流出する場合であって，コアのみからでは粘土分の存在を読みとれない点である。

c)．工期に間に合うようにするために急いで掘進して，正確なコア採取をしない場合がある。コアの掘りどを礫状にくだいたり，スライム状にして採取することがある。岩の状態に合ったビットを用いて，丁寧に掘ることが肝心であり，地すべり調査を十分に心得た技士に依頼することである。

ii) パイプ歪計による判定の問題点、

a)．地すべり災害の場合は すでに地すべりを発生して $F_{S滑動中} = 0.90 \sim 0.99$ であったものが 調査中では $F_{S運動停止中} = 1.00 \sim 1.10$ の安全率をもっている状態になっている。したがって少々の降雨では すべり活動を生じない場合が多い。地すべりの分類に応じて動きやすいものとそうでないものとがありそれらの滑動中と運動停

止中との安全率のあり方は表-2に示す値であろうと云われている。

表-2. 地すべり区分に応じた安全率（高速道路調査会，1977）

運動＼分類	岩盤すべり	風化岩すべり	崩積土すべり	粘質土すべり
運動停止中	1.10	1.05～1.10	1.03～1.05	1.00～1.03
滑動中	0.99	0.95～0.99	0.93～0.95	0.90～0.93

パイプ歪計測定

では1ケ月間の累積歪量が1000μ～5000μ以上で漸増性の動きであれば準確定～確定変動とみなしている。しかし運動停止中のFsとなっていると，1ケ月間では1000μ（1000 strain = 1000×10⁻⁶）もいかず，100μ以下の動きで終るものがある。このような場合は当然計測期間を延長する必要がある。またすべり面となり得るところはわずかの降雨でそれに応じてわずかに動きを示すものもある。50μ前後の動きであれば吟味すべき値と云える。10～20μ程度の動きは機械誤差及び読み取り誤差を含んでいるのであまり重要視できない値である。

b) すべり面の判定としてヒズミ累積柱状図とヒズミ経日変化図を作成して判断する。この時に変化図表現のスケールとして，1000μを1cmとして示すことになっており，100μは1mmの大きさとなるから，累積ヒズミが100μ前後の場合には，変化図で判別するのが困難で，"変化なし"の範ちゅうに入る。現実には地すべりを発生しているが計測では微小変動であるため読みとめない場合である。このような場合は100μは1cmの大きさにスケールを拡大して示すようにしてその累積傾向を追求すべきである。このような見方の必要であった具体例としては，擁壁がある箇所での地すべり発生（町道滝見線），フトン籠を設置してある前の当初の時期（平田寺別所線）などがある。これらはむしろ貴重な資料であるので今後十分活用すべきである。

c) 塩ビパイプ歪計のゲージ妥当間隔について。

パイプに貼りつけたゲージの間隔は①すべり面位置の精度を向上させるという意義を含んでいるがゲージコードの本数を25本以下（φ66mm口径）にする必要があり，25本以上となるとボーリング口径を大きくする必要がある。したがってゲージ間隔をむやみやたらと狭くする訳にはいかない。②1m間隔のゲージではヒズミ変化に対応しない場合がある。これはゲージ貼付の相手が塩ビ管であるために生じる。実験例では，ゲージ間隔を，25cm，50cmでは明瞭なすべり面として確認できたが，75cm間隔ではやや不明瞭となり，1m間隔ではパイプの変状がはっきりしなかったという報告もある。岩盤すべりでは50cm間隔がよい。

(2) 地下水の動きにおける問題点。

a) ボーリング孔を利用した地下水位の測定では普通の場合，細針式水位記を用いる場合が多い。 細針式の場合は測定回数が限られるので，水位変動の大きいと考えられる岩盤すべり，風化岩すべりに対しては実際の水位をつかむチャンスが少ないことになる。「地すべり対策事業」の調査では，自記水位計を設置するようになってきているが，「地すべり災害」においても自記水位計を設置することが必要になってきている。 問題は単一のボーリング孔を利用するとフロート側の紐とバランス重錘側の紐とがからまないように二重管式にするのであるが，このようにした場合重錘の径が大きいために内管にひっかかったりすることがある。 単一孔を利用した正確な自記水位計装置の開発が待たれるところである。

b) 二重水位，多重水位の存在を無視しないこと。

右図は，二重水位をもつ地山の地下水位変化を模式図で示したものである。降雨が少量の時は B1 孔も B3 孔も類似の水位を示すが，降雨多量の場合には B1 孔のみでは $u_{1,max}$ の水位しかよみとれない。 これに反し，二重水位を考慮した水位観測では B2 孔の孔底よりも高い水位を示す状態になったということが確認できるので $u_{2,3\,max}$ の地下水位を採用することができる。

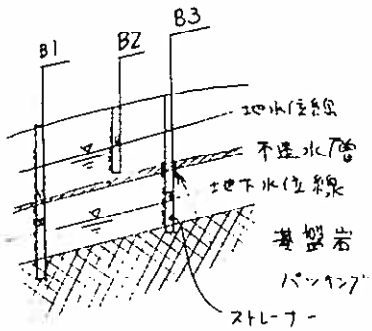


図-8

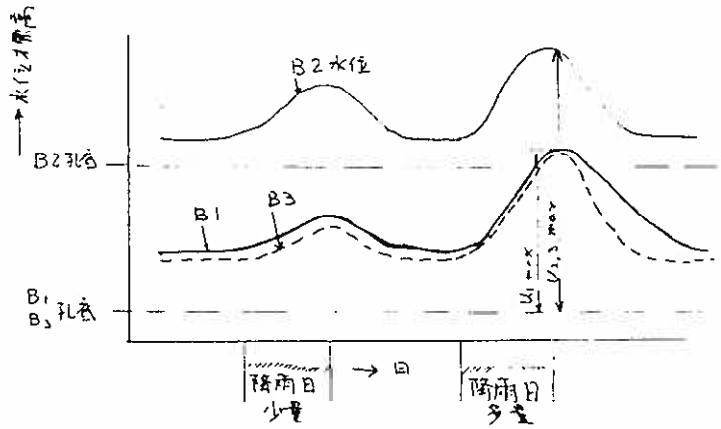


図-9 模式地下水位変化図

(3) 計測期間のとり方に対する問題。

計測期間は，それぞれの計測値の変化に応じて変化させるのが原則である。 現在動きがみられない場合は，1日～7日間隔で測定する。 1日に1cmも動くようであれば日に2～4回位測定する。 全体としての計測期間は災害の場合は1～2ケ月間である。 岩盤すべりの場合はめったに動かないので，降雨日の直後は必ず測定するべきである。

5 計測調査の問題点、

地盤傾斜計・伸縮計及びヒズミ計などによる計測調査は、ボーリング調査と同様重要な調査の一つである。調査の対象となる斜面崩壊地が、現状で活動しているか否か、あるいは、今後の活動を秘めているか否かなどの予知について、定量的に把握するための有力な資料になりうるからである。

しかし、これら重要な調査にもかかわらず、道路災害の場合、緊急を要するため、観測期間が短かく、明確に把握できないのが現状である。

この機会に今までの計測上の問題を、思いつくままに述べることとし、今後の資料としたい。

(1). 地形測量の問題点、

(1) 一般に、現地踏査に先立って、地形図を作成する必要があるが、緊急な場合が多く、踏査時には、被災前の図面を利用するか、又は、スケッチで行なっている。

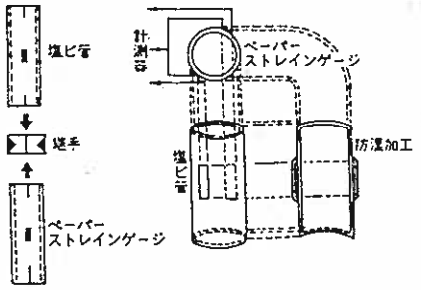
道路災害地の地形図は、S=1/1000の縮尺で小さく、また、測量の範囲が狭いため、背後地の地形が不明瞭な場合が多い。特に樹木の繁茂が著しい場合は、すべりの方向性、範囲等に誤まりを起すことになる。このような場合、コンパス測量でクラックの位置を確認しているが、充分な測量でなく、微少クラックを見落すことがある。

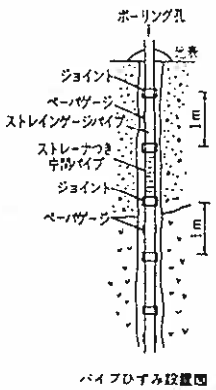
(2) 横断測量は、すべりの拡大や背後地の状況を把握するため、尾根まで測る必要があるが、時々、斜面途中まで行ない、設計時点で再測することがある。

(2). すべり面調査の問題点、

a. パイプ地中ヒズミ計

パイプ地中ヒズミ計は、図-10に示すように、塩化ビニールパイプにペーパーストレインゲージを貼布したもので、パイプの外径は48mm、必要なボーリング孔径は、66mm、孔壁との間隙は、砂で充填する。





パイプひずみ設置図

図-10