

地すべりと砂防

谷口 敏雄*
村野 義郎**

1. 地すべり

(1) はじめに

地すべりを予知したり、あるいは防止対策を計画するために、地すべり地で調査しなければならない項目には、地形、地質、土質あるいは地下水などいろいろあるが、とくに知っておかねばならないのは、現在の地すべりの変動状況である、すなわち地表面ならびに地中における傾斜変動やひずみ量の変化である。これらの量を測定することによって、地すべりのこれからの進展を推測することができ、また、地中ひずみ量の測定結果からすべり面の位置や形状をは握ることが可能となり、地すべりを土質力学的に解析することができ、防止対策にどのような工法を採用すれば、合理的かつ経済的な計画がたえられるか検討することができることになる。したがって、ここでは地すべり地における地盤傾斜変動量、地表面ひずみ量、地中傾斜変動量および地中ひずみ量の測定について、その方法と測定値の整理、解析について述べることにする。

(2) 地盤傾斜変動量の測定

a) 地盤傾斜変動量の測定法¹⁾

地すべり地、特に潜在性地すべり地においては、地すべりによって地表面に割れ目やきれつなどの異常変化があらわれる前に、その前駆現象ともいえる微小な地盤の傾斜変動が生ずるものである。

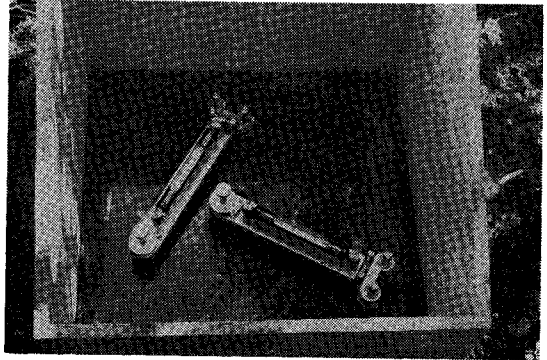
この変動量は、地すべりの発達とともにいちじるしく増加してくる。したがって、この微小な傾斜変動量を測定し、初期の地すべり活動を知るとともに、変動量の累積状態から、この地すべりの推移を予測し、破壊的地すべりの起こる危険度を予知することができる。

さて、地盤の傾斜量を測定するためには、一般に傾斜計が用いられている。傾斜計には写真-1に示すよう

* 正会員 工博 日本工営(株)防災部長、大阪工業大学教授
** 正会員 農博 信州大学教授 農学部

写真-1 傾斜計

a) 水管式傾斜計



b) 水平振り子型傾斜計

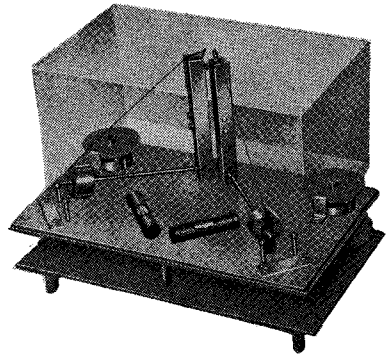
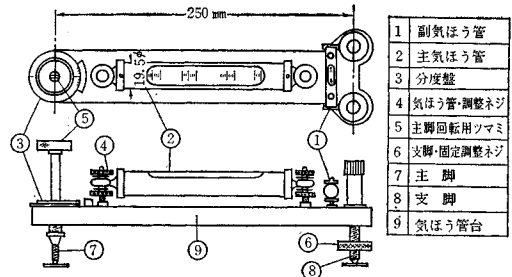


図-1 水管式傾斜計の構造



に、水管式傾斜計と水平振り子型傾斜計とがある。前者は図-1に示されるように、三脚によってささえられた気ほう管台上に、主気ほう管と副気ほう管が取り付けられており、三脚を回転することによって、気ほう管が傾斜するようになっていて、主脚の回転角または回転数が読みとられる。傾斜計は 50 cm×50 cm で、高さ 30 cm~40 cm の現場で打設されたコンクリートの設置台上に、1 基は N-S 方向、他を E-W 方向に、互いに直角になるよう 2 基設置し、2 成分の傾斜量を測定し、後にこれを合成し、主たる傾斜方向と傾斜量を知ることができるようになっている。

測定は傾斜計の気ほう管の移動量を読みとり、これから傾斜角度を換算する。読みとりは移動した気ほう管の気ほうを中央へ戻すときの回転分度盤の読み数、あるい

表-1 水管式傾斜測定量の計算表

月 日	X 測定回	N-S 変動量 Y	E-W 変動量 Z	Y ² +Z ²	$\sqrt{Y^2+Z^2}$ =O _n 最大傾斜角	(O _n -O _m) ² 標準偏差	y 傾斜累積量	z 傾斜累積量	xy	xz	X (x ²)	備 考
	1											
	2											
	3											
	⋮											
	n-1											
	n											
	Σx				$O_m = \frac{\Sigma O_n}{n}$	$\Sigma(O_n - O_m)^2$	Σy	Σz	Σxy	Σxz	ΣX	
					$\sqrt{\frac{\Sigma(O_n - O_m)^2}{n(n-1)}}$							

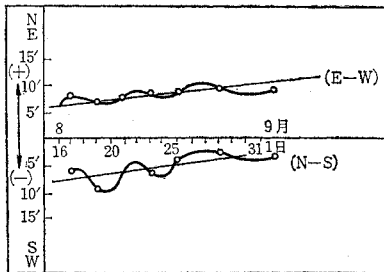
は気ほう管に刻まれた目盛りの読み数によって行ない、換算はそれぞれの傾斜計によって決められた換算値を用いるが、普通、回転分度盤の1回転が約1.2"の傾斜にあたり、また気ほう管の1目盛の移動は、約10"の傾斜角にあっている。

b) 測定結果の解釈

傾斜計による測定は普通、1日1回で、大体同一時刻に行なうようにし、測定値は前日の読み数から当日の読み数を差し引いた値をもって当日の測定値としている。

このようにして、図-2 に示すような地盤傾斜変動図

図-2 地盤傾斜変動図



を描き、これから傾斜変動の累積状況を検討する。またこれらの資料から、日平均傾斜変動量および最大傾斜方向を求めるには、上のようにして計算する。計算を簡単に行なうため、つぎに掲げた計算表を用い、表から得られた数値をつぎの式に代入して、N-S 方向および E-W 方向の日平均傾斜変動量 α と β を求める (表-1 参照)。

$$\text{N-S 方向; } \alpha = \frac{n[\Sigma xy] - [\Sigma x][\Sigma y]}{n[\Sigma X] - [\Sigma x][\Sigma x]} \dots(1)$$

$$\text{E-W 方向; } \beta = \frac{n[\Sigma xz] - [\Sigma x][\Sigma z]}{n[\Sigma X] - [\Sigma x][\Sigma x]} \dots(2)$$

α および β が求めれば、これをつぎの式によって合成し、日平均傾斜変動量 θ と最大傾斜方向の方位 N-φ の値を求める。

$$\sin \theta = \sqrt{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta} \dots\dots\dots(3)$$

$$\cos \phi = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta}} = \frac{\sin \alpha}{\sin \theta} \dots\dots\dots(4)$$

この場合、傾斜変動の方向はこの傾斜累積量の正、負によってあらわれる範囲が異なるので、これを図示すると図-3 のようになる。

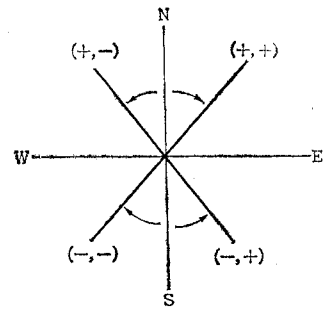
c) 測定成果の解釈

傾斜計を用い

て、地すべり地域の適当な地点で、地盤の傾斜量のある期間連続測定し、この結果を整理し、傾斜状況を検討することによって、その地点付近の地すべりの進行状態が推定できる。たとえば、日平均傾斜変動量が基底変動量を上まわり、しかも傾斜方向が地形、地質などから想定される地すべりの移動方向と一致する場合、明らかに地すべりがはじまっていると解釈すべきであるし、傾斜量がすべり方向に次第に累積されつつある場合、その累積量の多寡で、地すべりの活動状況を推定できる。ここで、基底変動量について説明すると、一般に地盤の傾斜変動はかならずしも地すべりだけによって起こるものでなく、いろいろの自然的な現象によっても起こるものであり、こうした地すべり以外の影響によって生ずるこの付近の固有の変動量を基底変動量と呼んでいる。この値は、たとえば標高、地形、地盤の状態、気象そのほか、その地点の諸条件によって異なり一定してない。したがって、地すべり地で地盤傾斜量を測定する場合には、これと同時に、この付近で地すべりの影響を受けないと考えられる地点を選んで、その地点での基底変動量をあわせて測定しておくことが必要である。いままで行なわれた各地の測定結果から大ざっぱに基底変動量の値をみると、丘陵地帯では日平均傾斜量は 2" 以内、山岳地帯では、日平均 6" 以内となっている。

つぎに、水平振り型傾斜計は精度は高くなるが、それだけに取り扱いもやっかいであるし、経費もかかるの

図-3 Σy, Σz の正負によって φ の表われる範囲



で、特にその必要がある場合のほかは用いられていない。

(3) 地表面ひずみ量の測定

a) 地表面ひずみ量の測定法

地表面のひずみ量を精密にかつ連続的に測定するために、図-4 に示すような伸縮計が用いられる。これは20m~40m程度離れた2点に温度変化の少ないインバー線あるいはスパーインバー線を張り、その一端を固定し、他端を測定器に連結し、地すべりによって、2点間の地表面が伸びたり縮んだりする、いわゆる伸縮変化を測定する。測定器は一般に自記記録できるようになっており、その量も適当な倍率で拡大記録される。この適当な倍率というのは、地すべり以外の、たとえば温度変化などによって生ずる地表面の日変化が記録されるくらいの倍率にしておくことが望ましい。普通は5倍から10倍の倍率で用いられている。

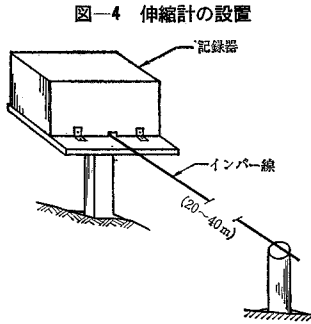
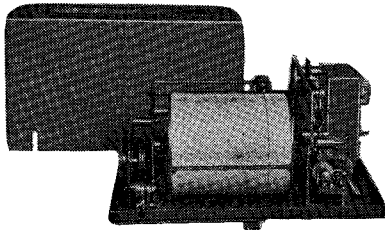


写真-2 は坂田式自記記録装置であるが、これは遠隔

写真-2 伸縮計の自記記録装置



測定ができるようになっており、インバー線と組み合わせて発信器が設けられており、記録をとる地点に自記記録器をもった受信器をおいて遠隔記録が行なえるようにしてある。

測定にあたって、一方の点を不動地内に設置し、他端を地すべり地内に設けると、移動計として使用されるが、両端が移動地内におかれる場合は、前者のように移動の絶対量は求められないが、2点間の相対的な移動、すなわち2点間の伸縮量が求められることになる。

伸縮計を用いて地表面の伸縮量を測定するにあたって、インバー線が風や降雨あるいは降雪などのため、たれ下がったり、振動したりすると、その影響が記録されるし、また人がふれたり、鳥がとまったりしてもこれが記録に入るので、その影響を記録の形から推定して除か

ねばならない。そこで、このような影響をうけないようにするために、この設置にあたってインバー線を節を抜いた竹かあるいはパイプの中に入れて保護してやるのが大切である。

b) 測定値の解析と成果の解釈

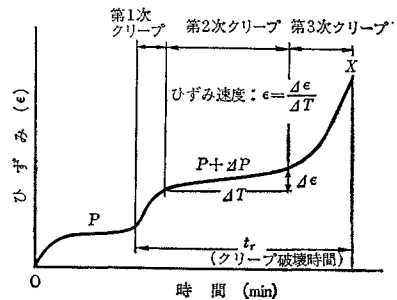
自記記録紙から測定値を読みとり、これを縦軸に、時間を横軸にとって、プロットし、経日変化の状況をグラフで示し、これを解析することによって地すべりの移動の状況を解明することができる。

また、この測定値をひずみ量に換算し、縦軸にひずみ、横軸に時間をとってプロットすると、ひずみの曲線が得られ、この曲線を解析することによって、地すべりの発生の時期を推測することが可能である。

国鉄鉄道技術研究所の斎藤²⁾は、定常ひずみ速度から、地すべり地の安定、不安定を判断する方法を提案している。

ひずみと時間の関係がたとえば、図-5 に示されてい

図-5 土のクリープ破壊曲線



るとして、これを説明すると、この曲線でひずみと時間との関係が直線的になった部分を第2次クリープと呼び、このひずみ速度 $\epsilon = \frac{\Delta \epsilon}{\Delta T}$ を定常ひずみ速度とっている。また、ひずみが増加してついに破壊が起こるとして、この破壊に至るまでの時間をクリープ破壊時間と呼んで、 t_r であらわしている。

いままでの測定結果から、このクリープ破壊時間とひずみ速度の関係を実験的につぎのように求めている。

$$\log t_r = 2.33 - 0.916 \log \epsilon \pm 0.59 \dots\dots\dots (5)$$

ここで、

t_r : クリープ破壊時間 (min)

ϵ : ひずみ速度 ($10^{-4}/\text{min}$)

また、一般にはつぎの式で表わして差し支えないとしている。

$$t_r \div \epsilon = 214$$

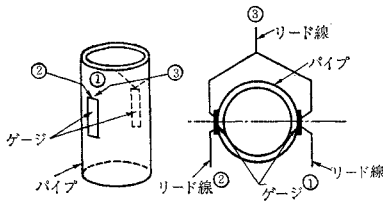
したがって、ひずみを連続測定し、定常ひずみ速度を求めておけば、この地すべりが現在安定であるか、また、破壊的地すべりの発生が近いかどうかの判断が下せることになる。

(4) 地中ひずみ量の測定

a) 地中ひずみ量の測定法

地中のひずみ量を測定するには、地すべり地でせん孔された地質調査用ボーリング孔の中に、ひずみゲージをはりつけた塩化ビニールパイプ、すなわち地中ひずみ計をそう入し、このゲージに生ずるひずみ量をひずみ測定器で測定する。ひずみゲージは直径 0.025 mm のアドバンス線を焼きなましたものを、大きさ 35 mm×7 mm で厚さ 0.05 mm の和紙の上にグリット型に接着した。いわゆるペーパーゲージや、ベークライトに接着したゲージが用いられる。この規準の抵抗値は 120 Ω になっている。

図-6 ひずみゲージのはりかた



これを図-6に示すように、相対して2枚、塩化ビニールパイプにはりつけ(2ゲージ法)、あるいは、さらにこれに直角方向に2枚はりつけて(4ゲージ法)用いる。はりつけられたゲージには、それぞれリード線をハンダ付けして、これを地表面まで引き出しておく。これらの線にはそのゲージのはり付けられた深さを明記した札をつけ、測定に際して、その位置を間違えないようにしなければならない。

ゲージは普通、地質状態から検討して、ひずみの生じそうな所にあたるように設けなければならないが、その箇所が想定しにくい場合は、パイプの全長にわたって、2~3m 間隔にはりつけて用いる。

ひずみ量は各ゲージからのリード線をひずみ測定器(たとえば PS 7/LT 型静ひずみ指示計)に連結し、各深さにおける値を読みとる。

b) 測定値の解析と成果の解釈

地中ひずみ測定のため使用するパイプがやわらかいと、ボーリング孔にそう入して、地すべりとともに変形する前に、パイプ自身がボーリング孔になじむまでの変形があるので、そう入後少し期間が経ってからの形を

基準にとり、それからの変形を問題にすることが必要である。したがって、普通はパイプをそう入後1週間くらい経ったときの各深さのひずみの測定値を地すべりによる変形以前の基準値としているが、測定値の経日変化から判断して基準値を確認しておくことが必要である。

地中ひずみ量は、各深さにおける測定値から基準値を差し引いたものが、地すべりによるひずみ量を示すものである。毎日これを測定しておけば、これを積算して経日変化を調べることができる。特にパイプの直径やゲージをはった間隔によって決まる一定係数を求めて、各深さのひずみ変化量にこの値を乗ずると、それぞれの深さでのすべりの方向におけるずれの量が示めされるので、横軸に時間、縦軸に下部の不動点から地表へ向っての各深さのひずみの積算量をプロットするとパイプの変形の様子が図-7の例に示されるようにグラフをもって明示することができる。

これによって、地表面からの深さごとに生ずるひずみ量の変化の状況が明らかになり、地すべりの進展の模様を推測できるし、地すべり地ですべりの方向の断面で数ヵ所、この測定が行なわれれば、すべり面の位置とその形状がわかり、地すべりを力学的に解析する資料が得られる。また、各深さでのひずみ量の経日変化を知ることによって、この地すべりの機構を解明する上に貴重な資料を得られる。

(5) 地中傾斜量の測定法

a) 地中傾斜量の測定法

地すべり地では、地中に垂直にせん孔したボーリング孔が地すべりによって次第に曲げられるものである。そこでこの孔の傾斜量を測定することによって、地中ひずみ量の測定と同様に、地すべりの深さ方向での移動の状況を知り、この地すべりのすべり面の位置を求めることができる。

図-7 ひずみ累積曲線

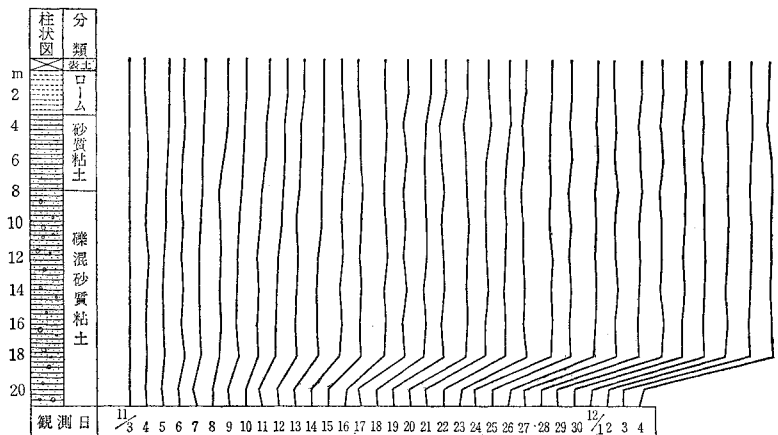
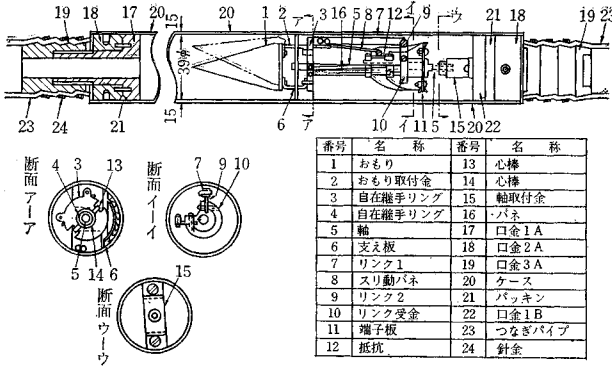
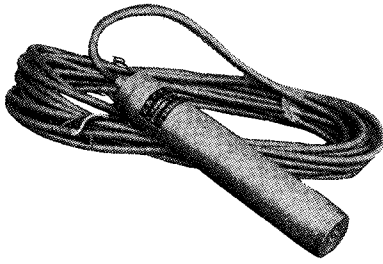


図-8 地中傾斜計の構造



番号	名称	番号	名称
1	おもり	13	心棒
2	おもり取付金	14	心棒
3	自在継手リング	15	軸取付金
4	自在継手リング	16	パネ
5	軸	17	口金1A
6	支え板	18	口金2A
7	リング1	19	口金3A
8	スリ動パネ	20	ケース
9	リング2	21	パッキン
10	リング受金	22	口金1B
11	端子板	23	つなぎパイプ
12	抵抗	24	針金

写真-3 地中傾斜計



地中の傾斜量の測定には、写真-3 に示されるような傾斜計が用いられる。これは直径 48 mm、長さ 235 mm の鋼管に防錆のため銅メッキおよび塗装した円筒状のもので、この構造は図-8 に示すように鋼材リンク、心血巻線抵抗、しゅう動ばね、しゅう動接点、端子盤、鉛材の振り子などから構成されており、測定管の中心軸に基準方向と直角に固定された2個のしゅう動抵抗があり、振り子の傾斜角に応じてしゅう動する2個の接点とその抵抗のそれぞれ中央点に設けられている。したがって、もし測定管が傾斜すると振り子はそのまま垂直の位置にあるので、しゅう動接点の位置が変化し、抵抗値が変わる。

そこで、この抵抗値の変化量を測定器によって求めれば傾斜角度がわかるようになっている。なお規準方向とこれに直角方向の二つの傾斜方向で測定することができるので、後に示す校正曲線からただちに最大傾斜方向とその角度を求めることができる。

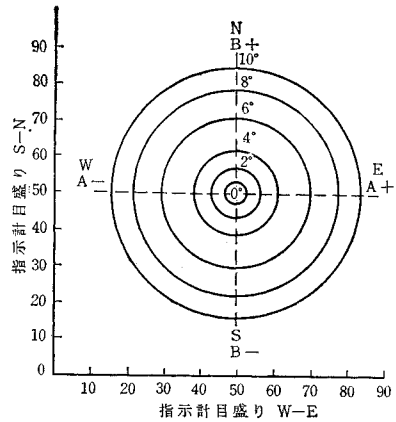
傾斜量の測定はまず測定せんとする地点にボーリング孔をせん孔し、この中に傾斜計を垂直に降ろし、測定せんとする位置に達したら周囲から砂を入れて固定し、リード線を地表に引き出し、これを測定器に連結して測定する傾斜計の埋設はかならずしも1カ所とは限らず、必要な本数だけ屈曲自在な軟質のパイプで接続してボーリング孔の中に入れることもある。また傾斜計を埋設しないで、ボーリング孔の中にそう入したままで、必要な位置に上下して、その位置の傾斜量を測定する方法もある。さらに、自記記録器と連結して多数の測定管の記録を長期にわたって自記させることもできる。

測定は、傾斜計の地中での傾むきによって生ずる抵抗の変化を前述の構造の測定器ではかるのであるが、しゅう動抵抗が真中のところで0度で、上下に各 10 度の範囲で測定されるようになっているので、これ以上に傾斜が進むと測定は不能である。

b) 測定値の解析と成果の解釈

地中傾斜量の測定値の解析は、図-13 に示される図表を用いてなされる。すなわち、測定された N-S および E-W の2方向における指示計の読みを図表の縦、横座標の目盛りにしたがってプロットすれば、測定時における位置が示され

図-9 測定値の校正曲線図



る。したがって、各測定時の位置を結んで行けば、その期間に傾斜した方向と角度が示される。

また、測定された2方向の値、すなわちX軸、Y軸の方向の傾斜角を α, β とすれば、つぎの式から合成された傾斜角 ϕ とその X 軸からはかった傾斜方向 θ が求められる。

$$\sin \phi = \sqrt{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta} \dots\dots\dots (6)$$

$$\cos \theta = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta}} \dots\dots\dots (7)$$

このようにして、ボーリング孔の各深さにおける傾斜量を求めるとともに、地すべり方向の数カ所でボーリング孔をせん孔し、各孔で同様な測定を行なうことによって、すべり面の位置を知ることができるとともに、地すべり機構を解明するための貴重な情報が得られることになる。

2. 砂 防

(1) 土砂生産量に関する測定

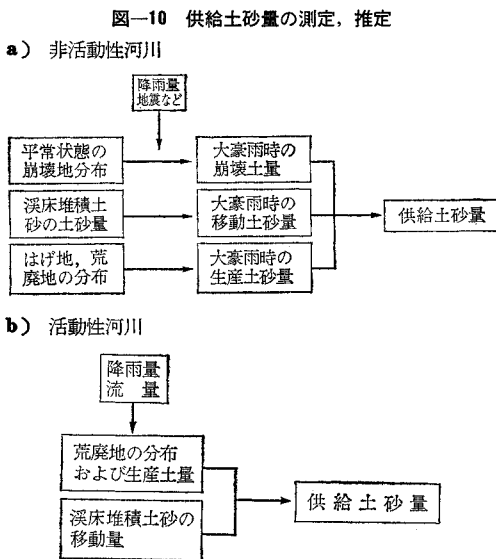
a) 崩壊地調査の意義

わが国のように比較的温暖で湿潤な地域では山地にお

ける土砂の生産様式は、(1) 表面侵食、(2) 溪流侵食、(3) mass movement (山くずれ、地すべり) の三種類に大別することができる。

これら三種類の土砂生産様式のうち、どれが卓越しているかによって、山地河川は活動性河川と非活動性河川とに二大別される。前者は表面侵食や溪流侵食が卓越する山地を流れる河川であって、流量や降雨量に対応する土砂量が供給されているが、後者は大豪雨時のみに mass movement によって一挙に大量の土砂が供給されるのである。

このような山地河川の性格の相違から、生産土砂量の測定、あるいは推定には 図-10 のような手続が必要である。



活動性河川では荒地における生産土砂量はその面積に比例するものと考えられる。しかし、非活動性河川では、豪雨にさいして発生するであろう山くずれの規模、生産土量を推定しなければならないのである。地下水型山くずれとか地すべりのように大規模な山くずれは地形的な特徴を有する斜面に発生しやすいので、その発生位置を予測し得る場合もあるが、小規模な豪雨型山くずれや地震型山くずれは発生位置や規模を推定することが一般に困難である。ただ、平常の状態で崩壊地の多い流域は、豪雨によって多量の崩壊地を発生する傾向のあることがわかっているから、これによって流域内における支溪の重要度順位がつけられるにすぎない。

さらに、斜面の安定条件から崩壊の可能性を推定することはできても、広大な流域斜面に対してこのように綿密な調査を行なうことは不可能であり、また、数百年、あるいは数千年にわたって安定していた山腹斜面が、何時、どのような環境条件のもとで崩壊するに十分な条件

を持つにいたるかを知ることは実際上不可能である。

したがって、個々の斜面についてその安定条件から崩壊の可能性を知ろうとするよりも、ある与えられた条件のもとで、流域全体としてどの程度の崩壊を発生するかを推定するほうが実際的である。このため、個々の崩壊地を調査測定するにしても、その取りまとめ整理は一定の規準にしたがって定めた流域ごとに行なうのが得策である。

b) 流域区分

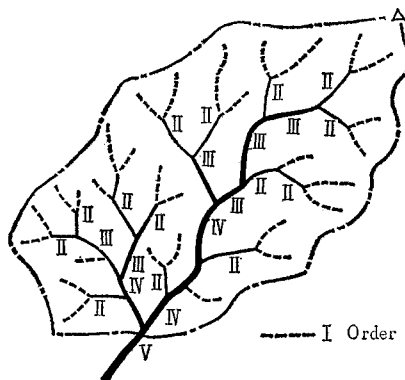
流域を単位として崩壊量を取り扱おう場合には、単位となる流域の規模がほぼ等しくなければならないはずである。たとえば、単位流域の面積が過小な場合には、その流域が崩壊地の中に含まれてしまうことになるし、また過大であれば流域全体として均一性に欠けるので、単位面積当りの崩壊量は適確に崩壊地発生状況を示さないことになる。

崩壊量のみならず、流域の諸特性も流域面積の大小によって相違するものであって、たとえば、上流水源部の小流域について測定した流域平均傾斜にくらべて、これより下流部を含むより広い流域の平均傾斜は一般に緩になっているから、このような流域条件を比較するためにも、流域の規模はほぼ等しくしなければならないのである。

この単位流域を決定するには Strahler の order 区分の方法³⁾を用いることができる。すなわち、流域内において分岐しない最上流の谷を第 1 order の谷とし、第 1 order の谷が二つ合流すれば、これより下流を第 2 order の谷とする。第 2 order の谷が二つ合流すればこれより下流を第 3 order の谷とし、以下同様に第 4 order, 第 5 order の谷を定義する。そして同 order の谷の合流点より上流部の全体をその order の流域とするのである (図-11 参照)。

この方法で定められた各 order の流域においては、流域地形に関する Horton の法則⁴⁾、すなわち、(1) 水

図-11 流域の order 区分



路数, (2) 水路延長, (3) 流域面積, (4) 水路勾配のそれぞれの法則が成立している。したがって, 調査区域を Strahler の方法で区分し, 一定 order の流域を単位として取り扱えば, 谷の発達程度に応じて流域区分がなされたことになる。

この流域区分法では, まず最上流の谷を決定することが必要である。その方法には種々あるが, 村野は地形図上で谷を示す等高線の彎入が奥行と等しいところまでを谷とし, 彎入が奥行より大きい部分は谷と考えないことにしている。ただし, 等高線描画の精粗は地形図の縮尺によって異なるから, 同じ地域でも縮尺が異なれば第 1 order の谷の上流端の位置は異なってくることに注意する必要がある。

単位流域の order としては, 縮尺 1/10 000, および 1/5 000 地形図を用いて実施した結果によると, 第 1 order の流域は過小であって, この程度の縮尺の地形図では最小の単位流域として第 2 order が適当であった。

c) 崩壊地の測定

① 測定方法: 面積 a の流域内にある崩壊地の数, 面積, 土量のそれぞれの合計を cn , ca , cv とすれば, 流域単位面積当りの崩壊土量は,

$$cv/ca = (ca/cn) \times (cn/a) \times (cv/ca) \dots\dots\dots(8)$$

である。式 (8) 中, ca/cn は流域内の崩壊地の 1 ヶ所当りの平均崩壊面積であり, cn/a は流域単位面積当りの崩壊数, cv/ca は平均崩壊深である。また $(ca/cn) \times (cn/a) = ca/a$ であって, これは流域単位面積当りの崩壊面積である。

これら各種の崩壊量のうち, ca/cn は流域の谷密度と起伏量の, cn/a は地質と降雨量の強い支配を受けていると報告されており^{5), 6)}, cv/ca はおそらく地質と ca/cn とに関係するものと想像される。また流域単位面積当りの崩壊面積が等しくても, 小規模な崩壊が多数発生している場合と, 少数ではあるが大規模な崩壊が発生している場合とでは計画の立て方がかなり相違するはずである。したがって, 流域内の崩壊地発生状況を表わすには ca/cn , cn/a , cv/ca の三種の量を測定することが必要である。崩壊地の現地調査には, 調査コースからは望見できない崩壊地の調査もれを防ぐために空中写真を携行すべきである。しかし, 空中写真も積雪期の撮影になるものは伐採跡地と崩壊地の区別が付きがたい場合が多く, 利用価値は少ない。また盛夏時に撮影したものは樹冠に妨げられて, 崩壊地が過小に見積られがちであることに注意する必要がある。

現地と空中写真を照合するために, 簡易な実体鏡や各種の器具が考案されており, また 2 倍に引伸した空中写真を携行する場合もあるが, 器具の数が多かったり, 写真があまりに大きいと, 現地での取り扱いが面倒であ

る。それよりも肉眼の実体視に馴れた人ならば, 普通の老眼鏡を用いることで十分 2 倍伸しの写真を実体視するのと同じ効果を得ることができる。

現地調査においては, 崩壊箇所, 面積, 土量のほか斜面や崩壊面の状態を調査している。しかし地域が広い場合には現地調査が困難になるから, 空中写真を図化した地形図を用いて測定を行ない, その補足として現地調査を行なうことになる。流域全体としての崩壊地発生状況を知ろうとする場合であれば, この方法で十分である。

なお, 空中写真の図化にあたっては, 崩壊地を記号化することなく, 実際の形が描画されるように注意する必要がある。

② 崩壊数: 崩壊地の形は雑多であって, 特に豪雨型山くずれは樹枝状をなす場合が多い。樹枝状崩壊地はその全体を 1 個の崩壊地として数える場合もあるが, 本来は斜面上に発生した数個の崩壊地の下部や, これからの流出土砂がたまたま斜面の凹部で合流したために樹枝状を呈するようになったものと考えられるから, 崩壊数としては個々の枝先の数を数えなければならないはずである。

③ 崩壊面積: 崩壊面積は, 流域の荒廃状況を示すのに都合のよい量である。現地調査には崩壊面積が斜面積で測定される場合が多いが, 流域内で一般に最も占有面積の広い $40^\circ \sim 45^\circ$ の斜面では水平投影面積に比して約 40% 過大な値になるから, 水平投影面積に換算しておかなければならない。

現地調査を行なわない場合には, 空中写真から直接崩壊面積を測定する場合もあるが⁷⁾, これを図化した地形図から測定するほうが面倒が少ない。しかし, 小縮尺の地形図を用いて小規模な崩壊地の面積を一つ一つ直接測定するのは困難であるから, 区分流域ごとにまとめて秤量法によるのがよい。この場合マライラー ベースに焼付けた地形図を用い, 崩壊地を切り抜いて秤量すれば, 用紙の乾湿による誤差を除くことができ作業が容易である。

さらに, 測定の自動化をはかる方法として, 紙面上に点在する崩壊地を区分流域ごとに一定濃度で塗りつぶし, その上を走査する写真濃度測定器が拾い上げた一定濃度の光点数を電子計算機に数えさせる方法がある。

④ 崩壊土量: 崩壊土量を正確に測定するには, 崩壊以前の斜面の形がわかっていなければならないはずである。空中写真を利用する場合は, 後述するような低高度の撮影になる崩壊前後の 2 枚の空中写真が必要である。

豪雨によって一挙に発生した崩壊地であれば, 周辺の斜面の形からかなりの精度で崩壊土量を推定することができる。しかし, 古い崩壊地であると, その発生時期を知ることが困難であるし, また発生後時日の経過にした

がって変形するが多い。さらに、谷そのものが長年にわたる侵食、崩壊の結果形成されたものであって、谷壁斜面の全部がかつての崩壊面なのであるから、古い崩壊地についての崩壊土量が持つ意味はまことにあいまいである。このような場合には崩壊土量の測定は行なわず、崩壊面積をもってその流域の荒廃程度を表現すべきである。

d) 崩壊密度分布図

崩壊地分布図によって地域全体の崩壊地発生状況を概観することはできるが、崩壊密度分布図を作成すればいいそう便利である。

崩壊密度分布図を作成するには、崩壊地分布図に1ますが単位面積の1/4の面積を有する方眼をかぶせ、上下左右に隣接する方眼内に存在する崩壊地の数、面積、土量などの合計を計算する。そして、これが4個の方眼の中央にある方眼線交点に集中するものと考え、等高線を画くのと同一要領で等しい崩壊量を有する点を結ぶのである。

この図を薄紙にトレースし、別に作成した各種の斜面条件の分布図に重ねれば、崩壊地分布の特徴、傾向を知るのに便利である。

e) 侵食土量の測定

はげ地やいわゆる荒廃地における土砂生産量を測定するには、周囲をコンクリート壁などで囲った試験斜面を設定し、その下端で流出土砂を捕捉したり、試験斜面上に多数の測定杭を打ち込み、杭頭と地表面との高低差の変化を継続的に観測する方法などがとられている。しかし、これらは斜面侵食の実験に用いられる方法であって、大面積の地域に適用するのは困難である。

写真—4 ベル KH 4 に装備された低高度写真撮影装置

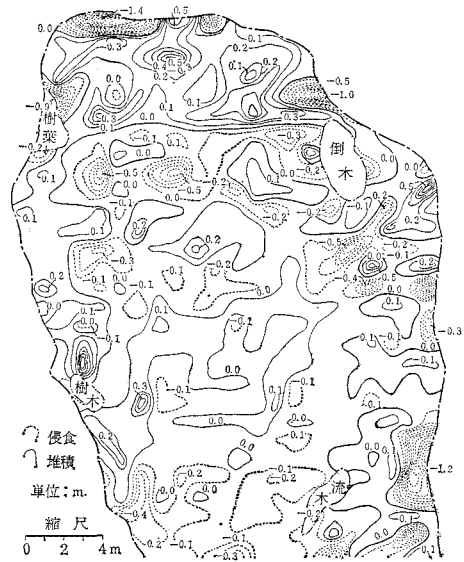
(操縦席の外右側が防震装置およびカメラ、左側が撮影士席)



最近ヘリコプターを用いて低高度空中写真を撮影するために、カメラの防震装置が開発されたので、上記の調査が比較的簡単に実施できるようになった(写真—4 参照)。

図—12 は、低高度空中写真から作成した崩壊面の等侵食線図である。第1回撮影は昭和41年6月30日で、

図—12 崩壊地等侵食線図



撮影高度約 250 m、撮影縮尺 1/1 200、ヘリコプターはベルー KH 4 である。撮影直後に豪雨があったので、7月19日に再撮影を行ない、両方の写真をステレオプラニグラフ C8 で標定して、縦横 1 m 間隔に組んだ方眼線の交点の標高を cm 単位で測定した結果から作成したものである。6月30日から7月19日までの間にこの崩壊地から流出した土砂量は 9.5 m³ で、平均侵食深は 1.9 cm であった⁸⁾。

この方法は荒廃地の拡大や表面侵食量のみならず、河道堆積土砂の変動量測定にも使用することができる。

ただし、一般の空中写真とは異なり撮影高度がきわめて低いために、作業の全体計画、撮影におけるわずかな過失が調査を失敗に終らせる可能性が強いから注意が必要である。また荒廃地の面積が広大であって、コースごとに撮影高度を変えなければならない場合の写真の標定図化方法などについては今後問題が残されている。

参考文献

- 1) 土質工学会：土質調査法，昭和 39 年 6 月
- 2) 斎藤迪孝・上沢 弘：土のクリーブ破壊に関する実験研究，鉄研報告 No. 128，昭和 35 年 6 月
- 3) Schumm, S.A. : Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey, Bull. Geol. Soci. Amer., Vol. 67, No. 5, May 1956.
- 4) Horton, R.E. : Erosional development of streams and their drainage basin, hydrophysical approach to quantitative morphology, Bull. Geol. Soci. Amer. Vol. 56, No. 3, March 1945.
- 5) 村野義郎：豪雨型山くずれの研究，天竜川上流流域について，新砂防，No. 56，昭 40 年 3 月
- 6) 村野義郎：福井県，岐阜県豪雨による山地崩壊機構に関する研究，科学技術庁，防災センター，防災科学技術総合研究報告，印刷中
- 7) 藤原滉一郎・倉持寿夫：沙流川流域における第3紀層山地の崩壊について，新砂防，No. 58，昭 40 年 10 月
- 8) 関戸研一・天田高白・村野義郎：低高度空中写真による崩壊地の拡大調査，土木技術資料，Vol. 8, No. 12, 昭 41 年 12 月