

昭和55年度国有林野事業特別
会計技術開発試験成績報告書

治山事業における空中 写真の実用的活用法

昭和56年12月

林業試験場

治山事業における空中写真の実用的活用法

I 試験担当者

防災部 治山科 治山第1研究室 秋 谷 孝 一

経営部 経営第2科 航測研究室 樋 渡 幸 男

II 試験目的

治山事業の調査対象となる荒廃流域は、一般に急峻で歩道さえも充分つけられてはいない。こうした流域で治山事業のための調査を行うには、均一な精度で広域の調査が出来る空中写真を利用することが不可欠であるが、現在の利用状況は充分であるとは言えない。そこで現場治山技術者が利用し得る空中写真の利用体系を確立するための研究を行う。

III 試験の経過と得られた成果

1. 試験方法

営林局署、都道府県の現場治山技術者から空中写真利用の実態、利用上の問題点、今後の空中写真利用の方向などについての聴き取り調査を行い、一般の森林計画のための空中写真判読と異なる治山調査の写真利用の特徴を理解したうえで、現場の治山技術者が実際に写真判読、写真図化を行うための、いわば「治山事業における空中写真判読技術手引書」を作成した。

2. 試験の経過

本試験は昭和53年度～55年度の3年間実施したもので、次の事項について検討した。

- (1) 53, 54年度は、管内に荒廃多発地を持ち、治山事業量の大きな営林署の治山技術者からの聴取調査を行った結果、以下の諸点を明らかにした。
 - ① 撮影縮尺が20,000分の1より大きい写真が必要である。
 - ② 既成の図化図の不備を修正する必要がある。
 - ③ 崩壊地などの実測図を既成の図化図と整合させる必要がある。
 - ④ 踏査不能の遠隔地、急傾斜のがけの調査などに空中写真を利用するとメリットが大きい。
 - ⑤ 印画の焼き方が普通に行なわれた写真は崩壊地表面、溪床面などのハレーションがひどく、測定が困難である。

⑥ 崩壊予測因子として土層深や土壌水分の判読が可能になるとよい。

(2) 最終年度 55 年度は、現地調査、あるいはサンプリング調査併用で行う空中写真利用技術の体系づけを防災部治山第 1 研究室と経営部航測研究室の共同で行った。撮影、図化、判読、計測など空中写真利用の技術面の仕様の検討は航測研究室が行い、治山第 1 研究室は、現地調査と空中写真の併用技術、判読、測定精度の決定、現場技術としての写真利用の難易による仕様の調整などを担当した。最終的に治山事業を担当する技術者が利用するための「治山事業における空中写真判読技術手引書」をまとめた。内容は、空中写真の撮影、図化、判読、計測の各項目について、治山事業担当技術者が利用可能な方法について解説してある。Ⅰの基礎編は主として航測研究室の樋渡幸男が、Ⅱの応用編は主として治山第 1 研究室の秋谷孝一が執筆した。

治山事業における空中写真判読技術手引書

I 基礎編

1. 空中写真について

※
われわれが通常使用する航空写真は東西方向に飛行コースをとり、コース内の一連の写真は約60%づつ重なるように撮影されている（オーバーラップという）。またコース間は約30%の重なりで撮影される（サイドラップという）。この相隣接する2枚の写真の重なりによって写真の立体視ができ、図化や写真判読が容易にできるようになっている。

これらの一連の写真は、どの場所の写真であるのか一目でわかるように、各写真画枠の中心（主点という）位置を5万分の1地形図上に表示し、コースと写真番号を付した標定図が作成されている。これによって利用者は調査地域に必要な写真のコースと写真番号を指示して購入することができる。

※ 本文中では特に断りが無い限り空中写真および写真は航空写真を意味する。

(1) 空中写真の計器と注記の見方

写真には調査者が写真測量や写真判読を実施する際に必要なデータがわかる計器や注記が表示されている。その計器の表示は航空カメラの種類によって若干異なり、また注記は林野庁撮影と国土地理院撮影とで異なっている。計器と注記を図示すると図-1のようになる。

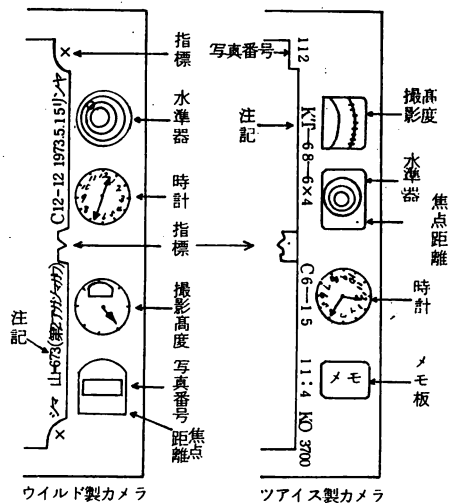


図-1 写真の計器と注記

指標は写真の中心点（主点）を求めるためのもので写真の辺の中央か、辺の中央と四隅の両方に記されている。水準器は撮影時のカメラの傾きの度合を示すもので、気泡の中心位置によって最大傾斜線方位と傾斜角がグラードによって5グラードまで読みとることができる。1グラードは 0.9° である。撮影高度計は海水面0mからの撮影高度を表示するものと、1枚前の写真の撮影高度との高度差を記録したものとの2種類がある。写真番号は同時撮影地区内での写真の通し番号である。焦点距離はカメラの焦点距離でmmで表わされている。

1) 林野関係の写真注記

最初のシマは写真が該当する5万分の1の地形図の図葉名、次の山-673は撮影地区整理番号、C12-12は12コースの12番目の写真という意味で次が撮影年月日である。最後のリンヤは撮影計画機関名である。

2) 国土地理院の写真注記

KT-68-6X4 C6-15 11:4 KO 3700 と書かれている場合、最初の2文字の英字は地方名で地方区分は次のようになっている。

北海道：HO，東北：TO，関東：KT，中部北陸：CB，近畿：KK，中国：CG，
四国：SI，九州：KU

次の68は撮影年度で1968年を表わしている。

次の6X4の6は撮影地方をさらに地区別に分類したもので、Xは写真縮尺である。Xは約2万分の1、Yは約3千分の1から4千分の1で、1万分の1の縮尺写真には何も記入していない。次の4はロールフィルムの番号、C6-15は林野写真と同じくコースと写真番号である。コース番号は地図の上から（北から）数えた番号で、写真番号は西から東へ順に番号がつけられている。11:4は撮影月日でKOは撮影を実施した航測会社の略名である。最後の3700は撮影の目標高度である。

国土地理院の写真はコース、写真番号以下の注記はコースの最初の写真のみに記入されているので、中間の写真を購入するときは、撮影月日以下の注記を試べて補充しなければならない。

(2) 空中写真の性質

1) 画像のずれ

空中写真は図-2のようにレンズの光軸を中心にして被写体（地形や地物）をフィルム面に投影した画像を印画紙（写真面）に焼付けたものである。これを中心投影といっている。これに対し地図は正射投影という。

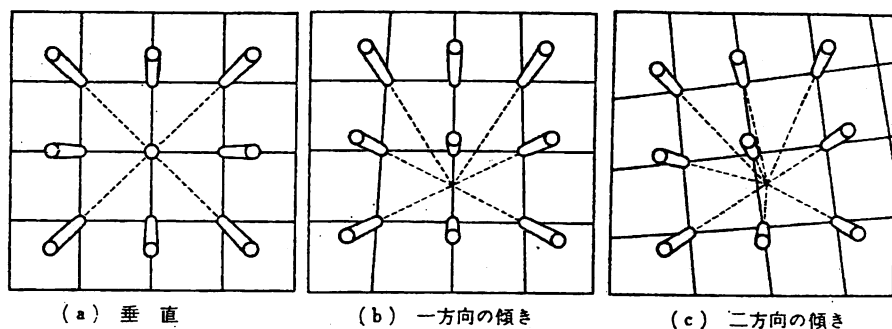


図-2 A 中心投影による画像のずれ

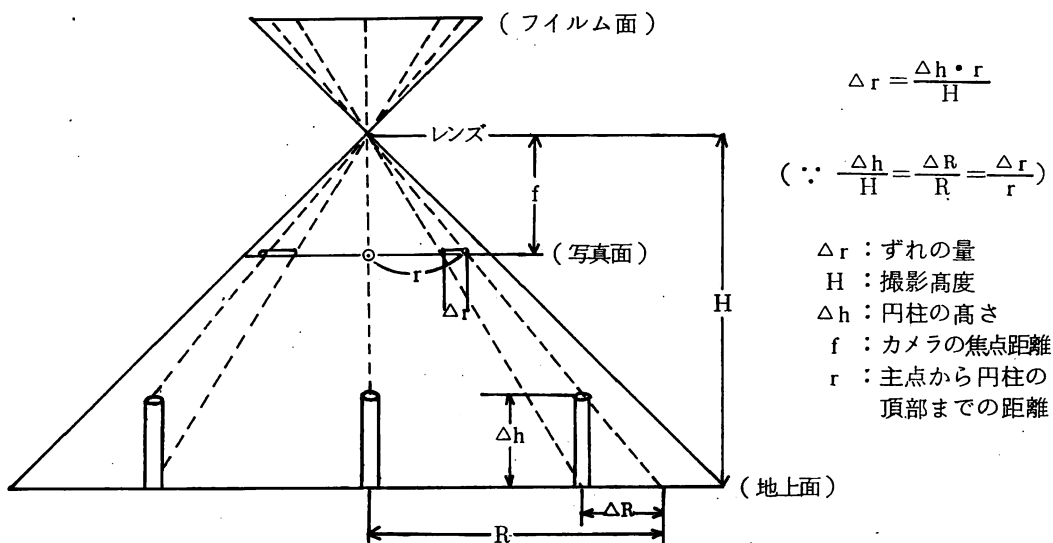


図-2 B 中心投影による画像のずれ

図-2 A, (a)はカメラを全く垂直にして撮影したときの模式図であるが、円柱の頂端部と基部の位置は画枠の中心点のみが一致し、その他の箇所は両者の位置がずれて写っている。これを中心投影による画像のずれといい、そのずれ方はレンズの光軸を中心にして放射線上にずれる。光軸の中心は完全な垂直写真の場合は画枠の中心（写真主点という）と一致し、カメラを傾けて撮影した場合は図-2 A, (b)(c)のように写真主点から、その傾きに応じて射影中心点が移動する。

しかし実際の作業にあたっては 3° 以内のカメラの傾きは垂直写真とみなして、写真主点を射影中心点として用いている。撮影も 3° 以内の傾きにおさまるように実施されている。

画像のずれの量は図-2.Bで分るように比高が高く、写真主点から画枠の周辺部にいくに従い大きくなる。また普通角カメラより広角カメラの方がより画像のずれが大きくなる。

2) 空中写真の縮尺の求め方

写真から種々の被写体を読みとる前に写真のおおよその縮尺を知っておく必要がある。写真には標高の高いところは大きく写り、低いところは小さく写っているので厳密な意味での写真縮尺は個々の場所によって異なっている。したがって1枚の写真のおおよその縮尺といった場合は次の2つの方法で写真縮尺を算出する。

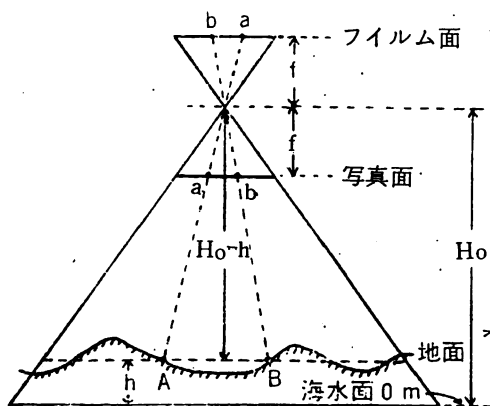


図-3 写真縮尺の求め方

図-3 でわかるように中等海水面からの撮影高度を H_o 、カメラの焦点距離を f 、写真に写っている地域の平均的な標高（地図から読みとる）を h とすると写真縮尺 $1/S$ は次式で求められる。

$$1/S = f / (H_o - h) \quad \text{..... (1)}$$

ここで2.5倍引伸写真の場合は、 f の値はカメラ焦点距離に2.5を乗じた値を用いる。

もう1つの方法は地図と比較して求める方法で次式によって求める。

$$1/S = l / L \quad \text{..... (2)}$$

ただし l は写真上の a 、 b 点間の長さ、 L は地図上の A 、 B 点間距離に地図縮尺の分母値を乗じた値である。

勿論個々の崩壊地の写真縮尺はそれらの標高を地図より読みとり(1)式の h の値とすることによって求められる。

(3) 空中写真の実体視

人間がごく自然に物を見るとき物の形を立体的にとらえている。それは两眼（2つの視点）から物をみるとき視線でできる狭角の大小によって遠近感や立体感を得ているわけである。

（図-4 参照）。そこで两眼の網膜上に写っている画像を眼ではなくカメラで写真を取り、左

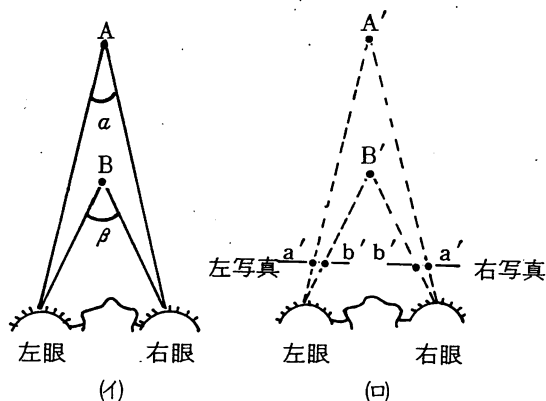
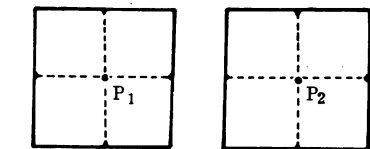


図-4 立体視の成りたち

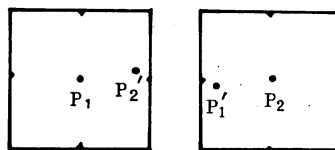
側の写真を左眼で、右側の写真を右眼で同時に見ると、2枚の写真像が1つになって立体的に

1. 主点を求める



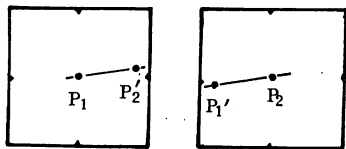
（相対する指標を結び線の交点）
（ P_1 P_2 を求める）

2. 主点を移写する



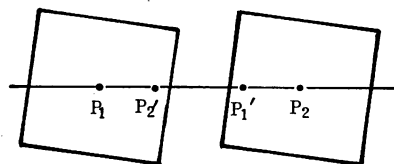
（主点 P_1 P_2 周辺の部分実体視を行って主点を隣りの写真に移す。）
これを移写点という。

3. 主点を結ぶ



（左右写真上で主点と移写点を結ぶ）
（これらの線を写真基線長という。）

4. 写真上の線が同一直線上になるように写真を並べる。



（このとき P_1 と P_1' または P_2 と P_2' の距離を約 2.5 cm 位にとる。）

図-5 実体視のための写真標定

見える。これを実体視または立体視といっている。

空中写真の実体視もこの原理を利用して、相隣接する2枚の写真の同一地物を反射式実体鏡を使って左右両眼でのぞくと実体視することができる。正しく実体視するためには、図-5のように相隣接する2枚の空中写真を撮影されたときと同じ状態になるように並べなければならない。この作業を“写真の標定”と呼んでいる。図-5のステップ4の状態は航空機が2枚の写真を一定間隔あけて撮影したときと全く同じ状態を机上で縮小して再現したものになっている。このときの左右写真の間隔は使用する実体鏡の視準間隔に等しくとる。反射式実体鏡の場合は P_1 、 P'_1 の間隔を約25cmにとる。なお主点および移写点は正確に針で刺針し、その箇所を明らかにするために写真用鉛筆または油性サインペン等を用いて、直径7mm程度の円で囲む。

このようにして正確に写真標定が完了すれば、実体鏡を写真基線に平行に設置してのぞくことにより正しい立体視が可能となる。

2. 撮影計画上の留意点

治山調査にあたって、調査時点に比較的近い年次に撮影された空中写真が無いか、または集中災害の規模が大きく、新たに写真撮影して空中写真をふるに活用することが時間、労力、経費の面で得策である場合等には、新規に写真を撮影することになる。その場合、撮影計画について撮影実行機関と打合せするときには次の諸点に留意する。

(1) 撮影縮尺

1/2,000の荒廃地現況図面を作成するには1/10,000より大きい縮尺の写真が必要である。また荒廃地の地表面の判読などには1/5,000以上の大縮尺写真が望まれる。

写真縮尺が大きければ精密調査に有利ではあるが、縮尺が2倍になれば写真枚数は4倍になり、必然的に経費、図化、判読作業量等も増大するので、調査目的を満足する精度と費用、能率等の総合判断の上、撮影縮尺を決めなければならない。

治山調査用の写真縮尺は1/5,000～1/10,000が理想的である。

(2) 撮影カメラの選択

現在わが国で使用されている主な航空写真用カメラには次のようなものがある。

表-1 航空写真用カメラの種類

種 類	焦 点 距 離	最大 画 角	画 枠
広 角 カ メ ラ	150 mm	90°	23cm × 23cm
セ ミ 広 角 カ メ ラ	210 mm	75°	23cm × 23cm
普 通 角 カ メ ラ	210 mm	50°	18cm × 18cm
長 焦 点 カ メ ラ	300 mm	60°	23cm × 23cm

崩壊が発生し易い急傾斜地や起伏の多い地形では標高差による写真像のずれや写真縮尺のちがいが大きくなり、写真判読上好ましくない。この欠点をできるだけ少なくするために、治山調査では長焦点カメラで撮影することが望ましい。画枠も広いので全体の写真枚数もそれだけ少なくなり、図化や判読調査も能率的である。何等かの理由で長焦点カメラが使用できない場合は普通角カメラを採用する。

(3) フィルム

フィルムの種類はモノクローム、モノ赤外フィルム、天然色カラーフィルム、赤外カラーフィルムなどがあり、利用目的によってそれぞれ使い分けられているが、カラー写真類はその効果の割に単価が高いため、治山調査にはモノクローム（パנקロ）を使用するのが一般的である。

(4) 露出

治山調査における調査対象地は崩壊面や溪床など比較的明るい面であるために、森林等の被覆面に露出を合わせたものは露出オーバーになり、崩壊地の形状や面積の計測はできても崩壊面の状況などは判読困難となる恐れがある。反対に露出を下げ過ぎると北急斜面等は陰影部が濃くなり崩壊地の判読を難しくする。従って治山調査用の撮影では、一般森林調査用より僅かに露出をおとす程度が適正であろう。

(5) 撮影時期

一般に空中写真は陰影があまり生じない太陽高度の高い時期と時間帯に撮影する。治山調査においても比較的晴天が続く梅雨あけ直後の7月中旬から8月中旬頃までの太陽高度の高い時間帯に撮影することが好ましい。この時期は高冷地の残雪も消え、また崩壊面の地被植生の判読にも適している。

(6) 撮影写真枚数の概算

撮影地域の写真の総枚数を概算するには、使用するカメラの種類と写真縮尺を決定して表1-2の撮影諸元表をみると簡単にその概数を算出することができる。例えば長焦点カメラを用いて1/10,000の撮影縮尺の写真を撮影するとすれば、1枚の写真の有効撮影面積は148 haである。従って撮影地域全体の面積を148 haで割って出た数字が写真枚数となる。

ただし撮影地域の境界線の形状や安全率を考えて、前記の算出枚数の2、3割増を総枚数としている。

表 - 2 撮影諸元表

撮影縮尺	カメラの 焦点距離 (cm)	撮影(対地)高度 (m)	撮影基線長 (m)	コース間隔 (m)	有効撮影面積 (ha)
1/3,000	15	450	276	483	13
	21	630	216	378	8
	30	900	276	483	13
1/5,000	15	750	460	805	37
	21	1,050	360	630	23
	30	1,500	460	805	37
1/7,500	15	1,125	690	1,208	83
	21	1,575	540	945	51
	30	2,250	690	1,208	83
1/10,000	15	1,500	920	1,610	148
	21	2,100	720	1,260	91
	30	3,000	920	1,610	148
1/12,500	15	1,875	1,150	2,013	231
	21	2,625	900	1,575	142
	30	3,750	1,150	2,013	231
1/15,000	15	2,250	1,380	2,415	333
	21	3,150	1,080	1,890	204
	30	4,500	1,380	2,415	333
1/20,000	15	3,000	1,840	3,220	592
	21	4,200	1,440	2,520	363
	30	6,000	1,840	3,220	592

3. 空中写真調査

治山調査における写真調査は、A、崩壊地自体の現状を把握するための崩壊地の形状や分布とその量（数、面積、体積）の判読。B、崩壊の素因を把握するための地形（斜面形、斜面長、傾斜、標高、谷密度、起伏量）、地質（岩質と構造）、被覆植生（土地利用、林相、樹種、疎密度、林令）の判読。C、治山工事設計に伴う諸条件（施工物物の種類と施工ヶ所の選定、機械運搬手段と径路の選定）の判読がある。

これらを写真測量の技術面からみた場合、写真判読に類するものと測定や図化技術にかかわるものとに分けられる。従ってこの基礎編では写真調査するために必要な基礎的写真測量技術を写真判読、写真測定、図化に分けて解説する。

(1) 写真判読

治山調査における写真判読はまず崩壊地や溪流荒廃地の所在の判読から始まり、それらの形状や周辺林相、地形、地質、土地利用形態等の判読が必要となってくる。

これらの判読は写真のどのような画像特性に着目して行うのか、その判読の鍵となる判読因子について述べる。

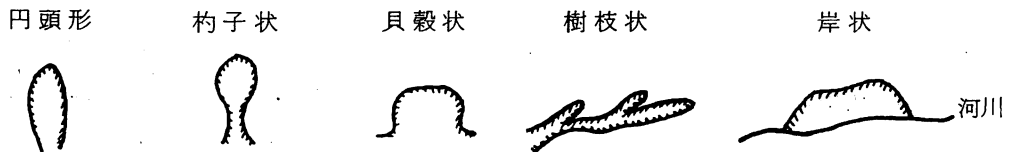
1) 判読因子

(i) 形状と大きさ

形状と大きさは色調とともに物を識別するときの最も有力な因子である。樹種判別にあたって野外では葉、花、果実や枝等の形や大きさによって樹種を判定する。つまり物体固有の形を手がかりにしている。この点は写真判読でも全く同様であるが、ただ写真の場合は上空から撮影されているので主として樹冠形の特徴によって判読する。

崩壊地の判読にあたっても、その形や大きさ（規模）と位置、分布状態が極めてよく観察され、それによって崩壊の原因究明や復旧計画が有効に立てられる。

崩壊地の形は円頭形、杓子状、貝殻状、樹枝状、岸状とかあるいは、細長、方形、円形、巾広などの言葉で表現し類型化して判読される。



図一六 崩壊地の形の類型化例

(ii) 色調

パングロ写真の映像の濃淡は被写体が太陽光線を受けて反射させる反射光線（可視光線域）の多少によってできている。多量に反射させている被写体は白く、その逆は黒く写っている。したがって同じ物体であっても、撮影時点にその物体が受けている太陽光線の入射角や撮影角度、天候などによって反射光線量が増減するために映像の色調も変化する。また当然レンズの明るさや現像の程度によっても変化する。しかしこれらの変化はあっても、相対的な物体固有の色調差があり、また人間の頭脳は諸条件の変化を考慮しつつ物体固有の色調を見当つけうる能力をもっている。

物体固有の色調差を森林地帯で概観すると、一般に針葉樹は濃く、広葉樹がそれよりう

すく、林道や崩壊地など土壌が露出しているところは明るく、なかでも岩石が露出しているところは特に明るい。つまり裸地では含有水分の少ないところが明るく、多いところが暗く写っている。

したがって崩壊地内の地被植生の有無、露出岩石の有無、既施工状況等はこの写真色調による判読が有効である。

(iii) 陰 影

陰影から地物を直接判読することは少ないが、崩壊地内の工作物や樹冠の影による模様によって物体や樹種を判読するといった物体識別の補助的因子となる。また後述する写真像のきめやパターンといった重要な判読因子を左右する要素となるものである。

(iv) き め

写真には被写体の素材によって柔らかな感じに写るものから粗い感じに写るものまで異なった感触を示す。写真に写っている河川敷をよく観察すると、大きな石がゴロゴロしているところは、砂が堆積しているところに比べてきめが粗く写っている。森林でも樹冠形がフラットで細枝に多量に小葉が附着して密生している樹種は、シャープな円錐形をなす針葉樹に比べて非常にソフトに写っている。

(v) 模 様 (パターン)

いままで取り上げてきた形状と大きさ、色調、陰影、きめによって総合的に描かれる絵画的模様、この模様を判読因子に用いることがある。樹種判読に当たっても個々の樹冠形などを細かく吟味するまでもなく、この模様によって樹種や人工林か天然林かななどを判別できる場合がある。例えば人工林は、その林分区分線や植生状態と樹冠の大きさの均一性などの規則だった模様によって容易に識別される。また地質調査における断層その他の地質構造線や、地形学的な地形判読は、このパターンが最も重要な判読因子となる。

2) 土地利用の判読

土地利用の現況調査は次の調査項目に基づいて判読分類する。

A, 耕 地

水 田

畑 地〔普通畑、樹園地(果樹園、桑園、その他荒廃樹園地)苗畑、その他の区分〕

B, 草 地 〔人工草地、自然草地、その他の区分(放牧地、採草地、菅刈場、未利用地)〕

C, 林 地 〔針葉樹林、広葉樹林、針広混交林、竹林、皆伐跡地〕

D, 裸 地

E, 集落, その他

F, 土木施設〔土地改良施設(水路, 水源施設, 排水施設, 護岸堰堤)〕

G, 交通線〔通路, 鉄道〕

H, 土地の状態〔泥炭地, 湿地, 池, 河川, 水路〕

I, その他〔ゴルフ場, など〕

3) 林分の判読

崩壊地周辺の林分を, 土地利用区分で実施した針葉樹林, 広葉樹林, 針広混交林, 竹林, 皆伐跡地を, さらに森林調査簿および写真判読によって主要樹種名, 樹冠疎密度, 樹高, 林令の階級区分を実施する。

樹冠疎密度の判読は樹冠疎密度板と写真の立体視との比較目測によって, 点生(20%以下), 疎(20~60%), 中(60~80%), 密(80%以上)の4段階に区分する。ただし新植地はその旨を記載する。

樹高は森林調査簿または後述する写真測定法にてY(2~8m), S(9~13m), B(14~17m), O(18m以上)の4段階に区分する。

林令は森林調査簿によってI~II, III~IV, V~VI, IX令級以上の4段階に区分する。林令が判明しない林分については樹高階をもって代行させる。

4) 地形の判読

山地の地形分類は形態による分類が最も基本的で一般的であり, 空中写真の立体視によって容易に判読することができる。

治山調査においてはまず崩壊地が存在する斜面上の位置を山頂部, 山腹部, 山脚部に分け, 次に縦断面形と水平断面形の2つの特徴によって分類する。縦断面形および水平断面形ともその表示は凸形, 凹形, 等斉で区分する。崩壊地の斜面上の位置が山腹部と山脚部の双方に連続している場合はその双方共記載する。

森林で覆われた山地の地形判読のときは, 地形の起伏は林冠層を透して推定することになる。この場合, 一般に凹地での樹高が伸びているので実際の地形の起伏よりもいくらかフラットになりがちである。この点を考慮して判読するように努める。

(2) 写真測定

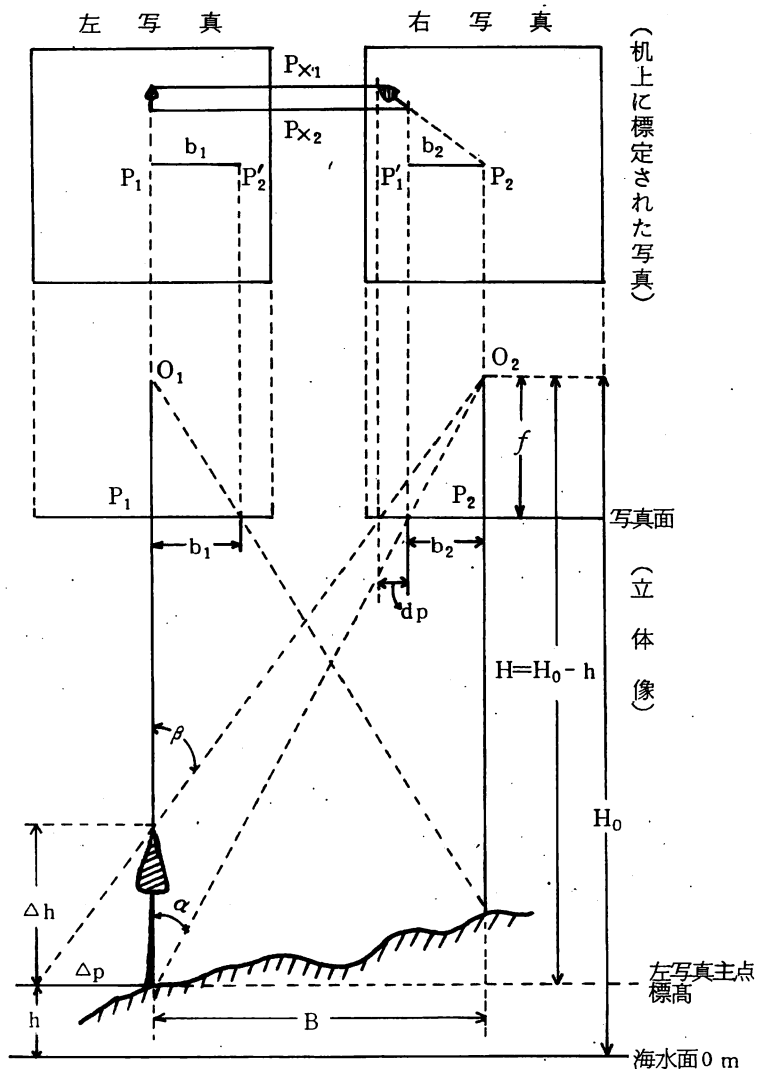
空中写真は自然界の地形地物の立体的形状をそのまま縮小した形で観察し, 三次元の表現で物体の高さと平面位置を測定することができる。

治山調査に必要な高さの測定は崩壊地の頭部と下端部との標高差, 周辺林分の樹高, あるい

平面位置の測定を必要とするものとして、崩壊地の平均長、平均巾、面積などがある。また高さと平面位置の双方が必要なものとして傾斜、溪床勾配、索張り勾配などがある。

1) 地物の高さの測定

反射式立体鏡の格納箱には付属品として視差測定桿というものが入っている。この視差測定桿を使い、後述する視差を測定することによって地物の高さを求めることができる。



図一7 地物の標高測定

(視差式の誘導)

$$\frac{\Delta h}{\Delta P} = \frac{H}{B + \Delta P} \quad \Delta h = \frac{H \times \Delta P}{B + \Delta P}$$

ここで右辺の分母、分子に f/H をかけ、写真上で測定できる因子に変換すると

$$\Delta h = \frac{H \times dp}{b_2 + dp} \quad \dots\dots\dots \text{視差式(1)} \quad [\text{撮影高度 (H) を用いる視差式}]$$

ここで $H = \frac{B \cdot f}{b_2}$ を視差式(1)に代入すると

$$\Delta h = \frac{B \cdot f \cdot dp}{b_2 (b_2 + dp)} \quad \dots\dots\dots \text{視差式(2)} \quad [\text{撮影間隔 (B) を用いる視差式}]$$

となる。

H_0 ; 海水面から上の撮影高度 H ; 左写真主点標高から上の撮影高度
 h ; 左写真主点位置の標高 f ; 写真の焦点距離 Δh ; 樹高 (地物の高さ)
 P_{x1} ; 樹梢の視差 P_{x2} ; 樹木の根元の視差, (この場合は左写真主点の視差でもある)
 dp ; 樹木の高さによって生じた視差々 ($P_{x1} - P_{x2}$)
 B ; 撮影間隔 (撮影基線長) b_2 ; 右写真の基線長

図一7 は(3)空中写真の実体視の項で述べたように写真を反射実体鏡の下に正しく標定した状態である。図の上段は写真を直上から見た状態で、下段はその写真の立体像を横からみた状態である。(立体像は虚像だから現実には観察者の頭脳の中に描かれる。)

この図は説明を解り易くするために、高さを測ろうとする物体を樹木にして、その樹木は左写真の主点位置の標高と同一標高に立ち、しかも主点を通り写真基線に対して垂直な線上に立っていると仮定した。

図の下段でわかるように標高 (Δh) は O_1 と O_2 からの視線の狭角 α , β の大小によって生じている。この狭角 α , β は上段では P_{x1} と P_{x2} の長さの差 (dp) によって表わされている。われわれは P_{x1} や P_{x2} のことを視差と呼び、2つの視差の間の差を視差々 (dp) と呼んでいる。

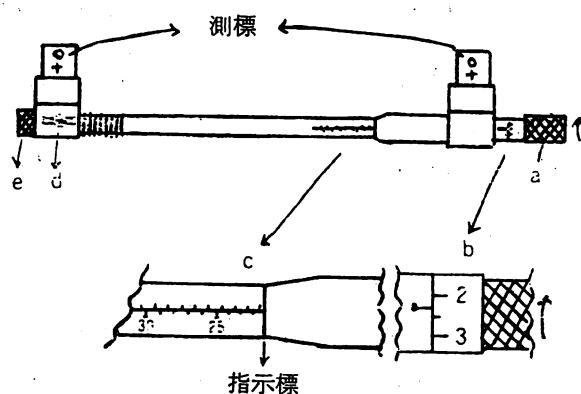
この dp の値を視差式(1)に代入して計算すると樹高 (Δh) を求めることができる。

ここで H は写真に記録されている撮影高度 H_0 から左写真主点の標高を引いた値である。(単位は m とする)。左写真主点の標高は主点位置を見とりで地図におとしコンターで読みとる。 b_2 は右写真基線長、すなわち右写真主点 (P_2) と移写真 (P_1) 間の長さである (m 単位で測る)。 P_{x1} や P_{x2} の視差は視差測定棒で測る。(視差測定棒の使い方は後述する。)

任意の点の標高測定は、左写真主点標高を基準面として、その基準面よりの高低差を算出することによって求める。具体的には任意の点の視差を測り、それから左写真主点の視差を引いて視差々 dp の値を出し、 dp の値を視差式に代入して基準面標高（左写真主点標高）からの高低差 Δh を算出する。従って 1 組の左右写真 2 枚で出来る 1 立体モデル内では H ；左写真主点標高から上の撮影高度と b_2 ；右写真基線長、それに左写真主点の視差は一定であるから、そこまでの準備が完了した後は、測定しようとする任意の点の視差を視差測定棒で測るという操作のみになる。

2) 視差測定棒の使い方と目盛の読み方

格納箱から取り出した視差測定棒と測標のガラス板は視差を測定できるように調整する。



〔例〕この図の読数は 2 1.2 3 mm です

図一八 視差測定棒

まず測標ガラス板 2 枚を図一八のように装定し、Cの指示標が 2 0 目盛のところにくるように a を回転させて調整する。次に左右測標の間隔が 2 4 ~ 2 5 cm 位になるように d のネジをゆるめて e を回して調整し、その後で d ネジを締めつけておく。これで調整は完了する。

測定棒の目盛は左右測標間の距離が短くなると読数が大きくなるように目盛られている。それは標高が高いところほど視差値も大となるようにするためである。

視差測定棒を写真基線に平行におき、実体鏡で地形を立体視しながら a ネジを向う側か手前に回転させると、測標が地面より浮いたり沈んだり立体的にみえる。左右写真上の同一地物の真上に左右の測標がきたとき測標の立体像はその地物にぴったり附着してみえる筈である。この時の目盛の値がその地物の視差値である。目盛の読み方は図一八の例題を参照され

たい。注意すべき事項は、a ネジを一回転させると 0.5 mm 動くものと、1.0 mm 動くものと 2 種類があること、またこの視差値は相対的な値になっている点である。相対的な値であっても 2 つの視差の間の差、つまり視差々は絶対的な意味をもつ値になるので視差式の計算上は差支えない。本来ある任意の点 A というものはその標高に応じた絶対視差をもっているがこの絶対視差の測定方法は精度と手間がかかる点で不利であり、絶対視差間の差も、相対視差間の差もその視差々は同じ値になるので測定し易い相対視差を測るのである。ある任意の点 A の絶対視差とは、左右写真上で A 点およびその移写点 A' よりそれぞれ基線上に垂線を下ろし、その交った脚からそれぞれの主点 P₁ , P₂ までの距離を測り、それを加えた値を A 点の絶対視差と呼んでいる。

絶対視差を実際に測定する場合は次のようにして求める。正しく標定された左右写真の主点間隔 (P₁P₂) から測定点 A の AA' の距離を引くことで求められる。(測定は物差による)。
一立体モデル内では標高が等しいところは絶対視差も等しい値を示す。

3) 崩壊地の上端と下端との高低差の測定

前述の視差式(1)を用いて高低差を算出するときは、基準標高面と崩壊地の下端との高低差を出し、さらに基準標高面と上端との高低差を算出してその差をとって崩壊地の高さを求めなければならない。しかし崩壊地の高さなど、海拔高とは別に 2 点間の高低差のみを知りたいときは視差式(2)を用いるのが便利である。

$$\text{視差式(2)} \quad \Delta h = \frac{B \cdot f \cdot dp}{b(b + dp)}$$

B : 撮影間隔

f : カメラ焦点距離 × 写真引伸率

b : 崩壊地下端の絶対視差

dp : (上端の視差) - (下端の視差)

Δh : 高低差 (崩壊地の上端と下端)

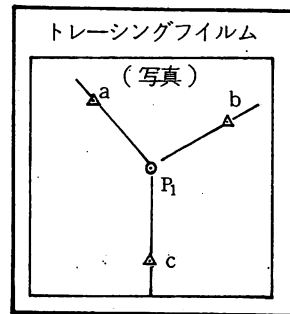
ここで崩壊地下端の絶対視差 b の求め方は前項の絶対視差の求め方で既に述べた。新たな問題は撮影間隔 B の求め方だけである。そこで撮影間隔 B の求め方にふれておこう。

地形図上に後述する方法で左右写真の主点の位置をおとし、その 2 点間の距離を測り、それに使用した地図縮尺の分母値を乗じて B を求める。地図上に主点位置をおとす方法は 2 法あるが、ここでは 1 方法のみ説明する。

まず左写真を取り出し、写真に写っているおおよその範囲を地図上で確め、地図と写真の双方で明瞭な点 (位置的に正確さのある三角点や尾根の分岐点等) で主点を中心として図 9 のように適当な 3 方に配置されるような 3 点を選ぶ。

この3点は写真と地図双方に
刺針してマークし、点名を付し
ておく。(a, b, c)

次にトレーシングフィルムを
写真上にのせ主点をフィルム上
から刺針し、a, b, cの3点
へ放射線を図のように引き点名
を書いておく。



図一 9 主点を地図へ移写する方法

この記入されたフィルムを今
度は地図上にのせ、地図上の3

点a, b, cをそれぞれの放射

線が通過するようにトレーシングフィルムをおいたとき、フィルム上の主点位置をフィルム
を通して地図上に刺針する。これが左写真主点の地図上の位置である。右写真主点の地図へ
の移写も全く同様にして行う。

あとは崩壊地の上端の視差と下端の視差を視差測定棒で測り、その差 dp を算出して視差
式(2)に代入すれば高低差が1回の計算で求められる。

4) 崩壊地の傾斜の測定

空中写真による傾斜測定法にも幾つかの方法があるが、実用的な観点から2つの方法を取
り上げる。その1つは視差測定によって求める方法で、他の1つは傾斜測定板による方法で
ある。

(i) 視差測定によって求める法

2点間の傾斜の計測は次の式によって求めることができる。

$$\tan \theta = \frac{\Delta h}{\ell} = \frac{B \cdot f \cdot dp}{b(b + dp) \ell}$$

Δh : 崩壊地の上端と下端との高低差

ℓ : 崩壊地の上端と下端との水平距離

B, f, dp, b は前項 3) と同じ

2点間の高低差(Δh)の測定は既に前項 3) で修得したので、2点間の水平距離の計測
法を知ることによって傾斜測定法が成立する。2点間の水平距離の計測は単写真(1枚の写真)
を用いて求める法と左右写真による交会法で求める法がある。

単写真で2点間の水平距離を測定する法 — この方法は2点間の高低差(Δh)によって生じる画像のずれ、つまり崩壊地の上端が下端に対して相対的にずれている量を測り、その分を修正してやることで水平距離を求める方法である。既述の図-2Bをみていただきたい。

ここで画像のずれの量は

$$\Delta r = \frac{\Delta h \cdot r}{H}$$

である。

いま崩壊地の上端をA点とし下端をB点とする。

図-10のように写真主点 P_1 からA点へ直線を引き、その長さを測りその値を r とする。

A点の画像のずれを計算するため前述の式を用いる。

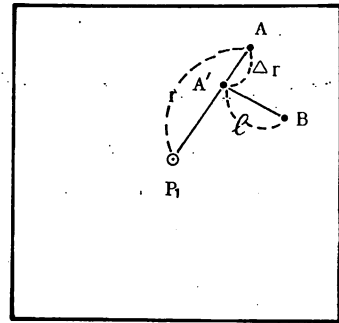


図-10 2点間の水平距離の求め方

$$\Delta r = \frac{\Delta h \cdot r}{H_B}$$

ここで H_B はB点標高から上の撮影高度、すなわち、記録されている撮影高度からB点標高を引いた値である。 Δh はA、B点間の標高差である。

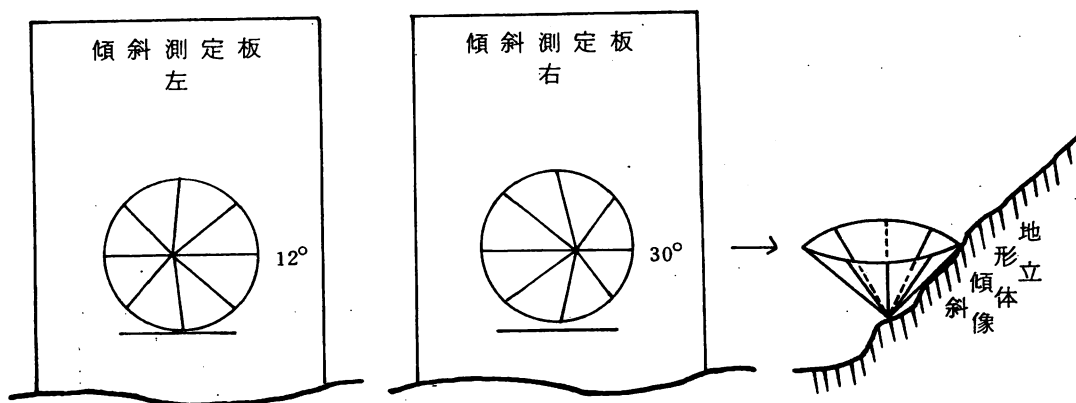
算出された Δr の長さだけA点から P_1 方向にとり、その点をA'点とする。A'点とB点との距離(l)を測り、それに H_B/f を掛けると求める2点間の水平距離となる。

左右写真による交会法で求める方法 — この方法はトレーシングフィルムを左右写真上にのせ写真主点 P_1 と P_2 からそれぞれ崩壊地の上端と下端へ線を引き、その線の交会によって画像のずれを修正し水平距離を求める図解法である。具体的な作図法は“図化”の項で説明する。

(ii) 傾斜測定板による方法

傾斜測定板は図-11のような円形模様が透明なフィルム板上に7ヶ描かれたもの2枚(左右写真上に置く)から成り立っている。

この2枚の傾斜測定板の円の中心を左右写真の崩壊地の下端部において、写真を立体視すると、図-11の右の図のように地形傾斜に沿って盃形に傾斜測定板を見ることができる。



図一 1 1 傾斜測定板による傾斜角の測定

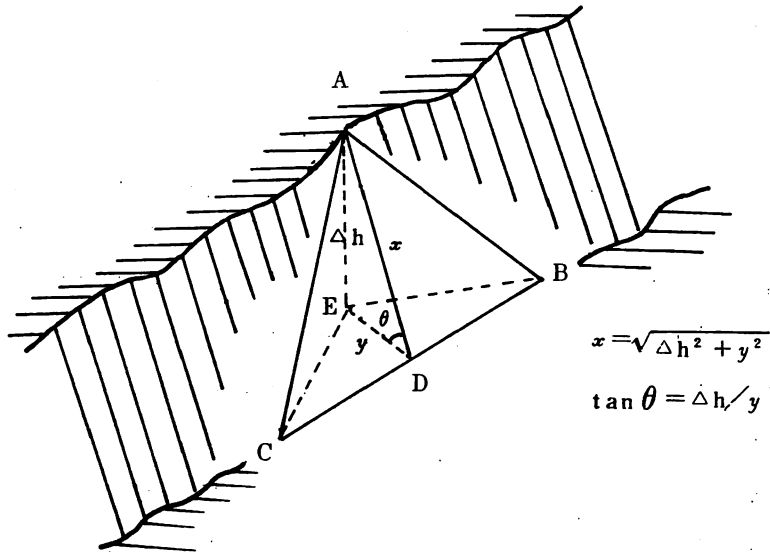
傾斜測定板の円形は立体模像の盃形が底の深いものから浅いものまで約 40 段階位変化するようにつくられている。従って測定しようとする地形の斜面にぴったり一致する盃形を探して、その右側に書かれた度数を読むと、それが傾斜角である。しかし使用する写真の条件によって度数が変化するので、カメラの種類と写真基線長に応じた修正図表がついている。それによって度数を補正しなければならない。

操作上の注意点としては傾斜測定板の円形の下に引かれた直線を写真基線に平行になるようにおくことである。また立体模像の盃形全体が地形より浮いてみえる場合は左右写真上の傾斜測定板の間隔を徐々に離していけば盃がだんだん下において地形の斜面に沿ってみえるようになる。その反対に盃が地形より沈んでみえる時は左右傾斜測定板の間隔を狭くしていけばよい。

5) 崖の高さと斜面長の測定

崖の高さおよび斜面長を測定する際に、その斜面の最大傾斜線がどの方向か判定し、その線と崖底との交点を決めなければ高さも斜面長も測定できない。そこでその交点を近似的に確定する方法を次のようにして行う。

図一 12 のように崖の上端を A 点とし、A 点からの最大傾斜線方位とその線が崖底と交わるであろう D 点附近を見当つけ、その左右に適当な距離をおいて B、C 点を設ける。これらの 3 点 A、B、C は勿論左右写真に刺針しマークする。この A、B、C 点を後述する交会法で平面図化する。図化された三角形 ($\triangle EBC$) の頂点 E より底辺 BC へ垂線を下ろし D 点



図—1 2 崖の高さと斜面長の測定

を決める。次に図上で求めたD点を写真上に移写する。その方法は図上のC D間隔とD B間隔との比によって左写真上のB C点間を分割して写真上にD点を決定する。左写真に刺針されたD点は右写真に移写しておく。

写真上でA点、D点が決まれば、その2点間の高低差 Δh は既述の方法で測定できる。またEDの長さ y は図化された三角形によって計測し図化縮尺の分母値を掛けて実距離とする。ここで崖の高さは Δh 、斜面長(x)は $x = \sqrt{\Delta h^2 + y^2}$ で求められる。また傾斜角 θ は $\tan \theta = \Delta h / y$ で求めることができる。

この測定法は近似的なものであるが通常崖での実測は不可能な場合が多いのでこのような空中写真測量で計測せざるを得ないであろう。

6) 索道予定路線の設定

治山工事用の機械の運搬に索道を設計するにあたり、理想的な路線を選定しなければならない。それには空中写真を最も有効に利用することができる。

写真を立体視して地形の起伏を観察しながら索道の先柱と元柱の候補地を左右写真上に刺針する。左写真上で刺針された先柱から元柱へ鉛筆(Bか2B 使用)で線を引く。右写真上でも同様に先柱、元柱間に線を引く。これを立体視すると先柱から元柱へ索張りされたように立体的にみることができる。従って、索道の中間に地形的障害物はないかの検討、あるいは

は既述の方法で索道の傾斜や索張長などの概算も可能である。このようにして写真上で数本の路線を仮設して検討し、その中から適切な路線を設定する。

(3) 図 化

空中写真は中心投影の画像であるため地形の標高に応じて主点（正確には鉛直点）からの放射線上で地物の水平位置がずれて写っている。この像のずれを何等かの方法で正しい水平位置に修正して平面図が作成される。

平面図の作成方法は大きく分けて図化機を用いる方法と手作業による図解射線法とがある。図化機は1級図化機から3級図化機まで数10種にのぼる機種があるが、図化の精度や図化面積、図化目的等で適当な機種が使用される。機械図化は林業技術協会や航測会社に依頼するのが通常である。

ここで取り上げる図解射線法（交会法）は身のまわりにある器具（実体鏡、トレーシングフィルム、定規等）のみで簡単に図面を作ることができ、注意深く行なえば、意外によい精度が得られるところから、種々の業務の実行現場で広く利用されうる方法である。

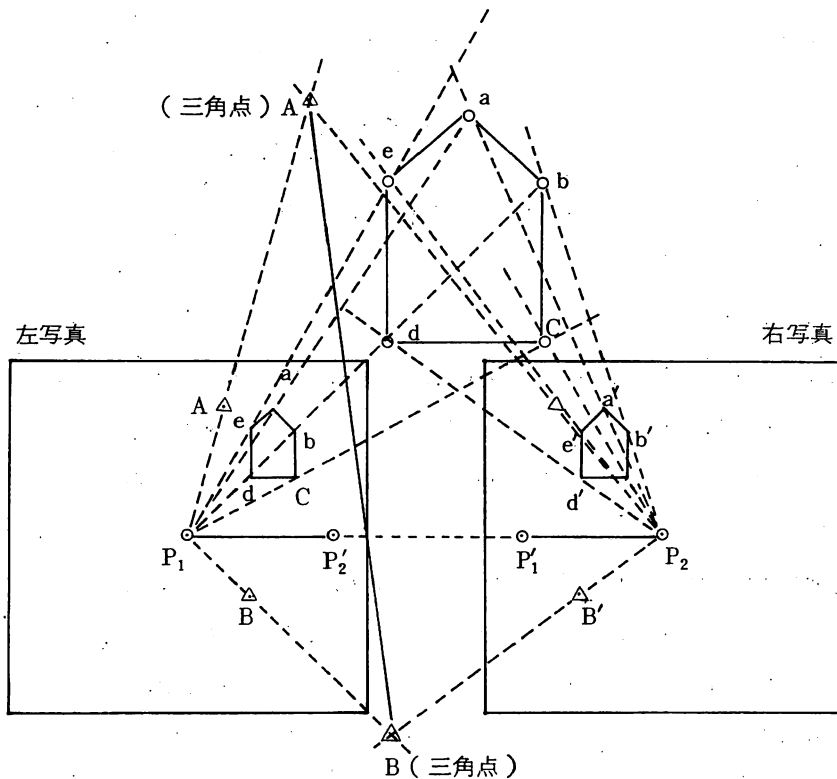
現場の治山調査においては崩壊地や溪流荒廃地の部分的図化とそれにとまなう判読測定が主たるものであるから、左右写真2枚による1立体モデル内の部分図化の方法を熟知していれば事足りる。従って図解射線法で行うコース全体の図化方法は省略して、1モデル内の部分図化方法に限定して説明する。

この方法はコンパス測量等の交会法と原理は全く同じである。まずコンパスで崩壊地の周囲測量を実施する場合を想定しながら、写真を立体視して崩壊地の周囲に適当な測量点を設け、そこを針で刺針してマークし、点名を付けていく。この測量点は左右写真の双方に刺針する。

次に写真とほぼ同じ大きさのダイヤモンド（半透明のポリエステル製のトレーシングフィルム）を左写真上に重ね、ダイヤモンド上で左写真主点（ P_1 ）と右写真主点の移写点（ P_2 ）を刺針し、鉛筆でマークして、その2点間に直線を引く。次に P_1 点から崩壊地の各測量点へ放射線を引く。この線は各測量点を中心に前後2cm位の長さだけ引けばよい。以上記入されたダイヤモンドを今度は右写真上に移し、写真主点 P_2 とさきほど記入されたダイヤモンド上の P_2 点を完全に重ね、さらに写真とダイヤモンド上の写真基線を1直線に重ね合わせたのち、 P_2 点から各測量点へ向けて放射線を引き、それぞれの測量点の放射線が交わった交点を求める。これで崩壊地の各測量点の平面位置が決定される。このときの図化縮尺はダイヤモンド上での P_1 、 P_2 間の写真基線の長さのとり方によって左右される。写真基線を長くすれば図化縮尺は大きくなり、その逆は小さくなる。通常図化原図の縮尺は測量点間の細部の測図を写真から

の見とり移写で行うために写真縮尺にはほぼ近い縮尺で図化する。

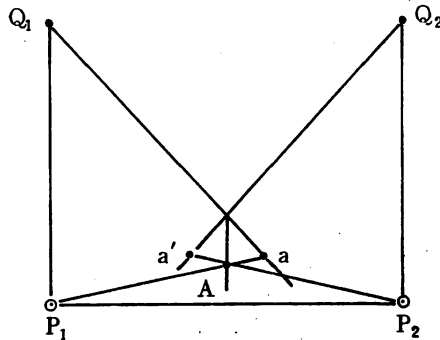
図化縮尺の決定は次のようにして行う。崩壊地の測量点を交会するとき同時に立体モデル内にある三角点等を2点以上交会しておき、図化されたこの2点間の距離と地図上のこれら2点間の距離との比によって図化縮尺を決定する。(図-13を参照)



(図を解り易くするため P_1 と P_2 間の距離を長くしたので)
(図化縮尺が写真よりかなり大きくなっている)

図-13 交会法による図化

崩壊地が写真基線附近にある場合は、交会する左右写真主点からの放射線が平行に近くなるため交会点が求めにくい。そのときは図-14のように P_1 および P_2 から写真基線に垂直な Q_1 , Q_2 点を取り(長さは適当でよいが、ただし $\overline{Q_1P_1}$ と $\overline{Q_2P_2}$ を同じ長さにとる)その点から測量点 a および a' へ線を引き、その交点から垂線を下ろした線と P_1 から a へ放射線を引いた線との交点 A が求める平面位置となる。



図一 1 4 写真基線附近の交会法

1) 面積の測定

崩壊地が分布する地域は特に急峻な地形が多いので写真画像のずれが大きいことを前提条件として面積測定法を考えなければならない。かといって複雑な修正式等を用いると現場での実用をむずかしくする。そこで両観点を考慮した 3 つの方法を提案する。

(i) 見とり図化による法

崩壊地が小さく前項の図化方法では作図が困難な場合に適用する。

写真を立体視して崩壊地周辺の尾根や沢等との関係位置を検討しながら見とりで地形図上に崩壊地を移写して図化する。この場合写真主点と崩壊地の斜面向きとの関係で写真画像が相当に歪んでいる場合があるので注意深く移写する必要がある。

面積の測定は図化された崩壊地の上に適当な点間隔の点格子板をのせ、崩壊地内におちた点格子の点数を読み、それに 1 点当の面積を掛けて面積を算出する。

1 点当りの面積は点間隔に地図縮尺の分母値を掛け、それを自乗して求める。例えば点間隔 2 m で地図縮尺 1/5,000 の場合は $(2 \text{ m} \times 5,000)^2 = (10 \text{ m})^2 = 0.01 \text{ ha}$ である。

適当な点間隔とは測定誤差を少なくするために測定しようとする区画内に少なくとも 10 点以上入るような点間隔の点格子板を使用するという意味である。(種々の点格間隔を持つ点格子板が市販されている。)

(ii) 単写真による法

測定しようとする崩壊地を含む同一地形斜面の適当な区域を写真上と地図上で区画する。

(図-15 参照)

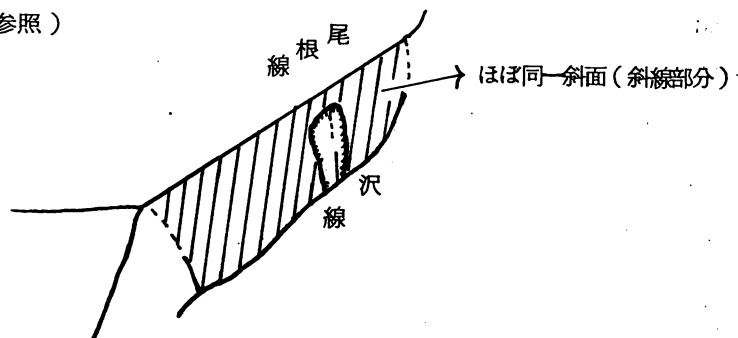


図-15 単写真による面積測定法

点格子板を写真上にのせ同一斜面の区画全体 (X_i) と崩壊地 (Z_i) の点数を数える。次に点格子板を地図上にのせて区画全体 (Y_i) の点数を数える。ここで崩壊地の面積は次のようにして求められる。

$$\text{崩壊地の面積} = \frac{Y_i \times (1 \text{ 点当り面積})}{X_i} \times Z_i$$

崩壊地の面積は一般に小さいので崩壊地の点数を読むとき点格子板の点間隔を小さいものにかえて測定してよい。そのときは、例えば、区画全体は 4 mm 間隔の点格子板を使い、崩壊地の読みに 2 mm 間隔を使用したとすると前者の 1 点が後者の点格子の 4 点に当るので崩壊地面積は

$$\text{崩壊地面積} = \frac{Y_i \times (4 \text{ mm 間隔の 1 点当面積})}{X_i} \times (Z_i / 4)$$

となる。

なお境界線上におちている点格子は、初めの 1 点は区画内として数え、次の 1 点は区画外とする、など 1 点おきに数えればよい。

(ii) 交会法を用いた図化による法

図化の項で述べた図解射線法 (交会法) によって崩壊地を図化し、点格子板またはプランイメータを使用して面積を測定する。図化縮尺が端数になっていても点間隔にその縮尺の分母値を掛けて、1 点当りの面積を計算すれば面積測定上は差支えない。最終的な報告書作成段階になって図化原図を縮少または拡大して端数のない縮尺にすればよい。

Ⅱ 応 用 編

1. 治山事業と空中写真

治山事業に於ける空中写真の利用は、昭和30年代には森林計画のために撮影した空中写真の利用から始まった。昭和40年前後には、各地で災害が発生すると空中写真を撮影する例が多くなり、最近では、災害が発生すると、航測会社が需要を見込んで想定し、自主的に撮影する場合が多い。

治山事業に於ける空中写真の利用は主として調査の面で行われる。空中写真を利用した調査の利点は、まず、季節、地利・地形など現地調査の際に制約となる条件に無関係に調査を行い得ることである。したがってどんな山奥でも、また急峻な山岳地形でも、精度一様な調査ができる。治山事業が対象とする山地は、特に踏査困難なところが多くこの面でのメリットは大きい。次に、災害時の緊急の調査に当っては、鉄道、道路等が不通で地上の調査が不可能であっても、空中からの調査は迅速かつ高精度で行ない得る。さらに、流域内の崩壊地、溪流荒廃地の昔からの推移や変化の傾向を把握するために過去にさかのぼって写真を利用することも可能である。全国の山地の大部分は、森林計画に利用する空中写真が、昭和30年頃から各地ともおおむね5年おきに撮影されており、こうした古い空中写真が利用し得る。

前述のように、治山調査を目的として撮影する場合もあるが、一般に利用し得る空中写真の大部分は、森林計画のための縮尺2万分の1のものであり、縮尺、露出、撮影時期等の点で必ずしも治山事業の要求を満たしていない写真が多い。しかし、治山調査の目的も、多種多様であり、これら既成の空中写真によって十分な情報が得られる場合も多い。要するに、調査の目的によって、治山調査のための新規の撮影が必要か否かが決まる。

2. 調査の目的と写真判読の限界

治山のための空中写真利用の目的を大別すると、1つは崩壊地、地すべり、溪流荒廃地などの現況を把握し、各流域内の治山事業の対象となる荒廃地の総量を把握し、長期の治山計画、たとえば5ヶ年計画樹立のための調査で、この種の調査では、おおむね2万分の1の縮尺の撮影の空中写真で調査可能である。もう一つの空中写真利用は、現在あまり一般的ではないが、治山ダムのダムサイトの計測あるいは山腹工事の工種配置など、治山工事の設計や実行の際の利用である。この種の調査では、既成の空中写真の縮尺では十分な結果が得られないことが多い。

以上は縮尺に関しての利用の限界の一例であるが、縮尺を含めて、空中写真判読の限界あるいは精度に関係する条件を列举すると

(1) 日 蔭

主として、北向きの急斜面が日蔭で露光不足になる問題で、太陽の低い冬期に撮影した写真では特に問題になる。治山事業の対象となる崩壊地は急斜面に発生することと、台風の崩壊多発流域の撮影は10月～12月に行われることなどの理由で、こうした写真を使わざるを得ないことがある。

対策としては、立体視によって、単写真では判読できなかったものが見えることが多い。また、ネガで確認できる程度に露光されていれば、日蔭部分を判読するための印画を特別に複製することも可能である。

(2) ハレーション

崩壊地、溪流荒廃地等がネガフィルムの露光過多で白く写ってしまい、地表面の凹凸や地表の植物等が見分けられない状態になる。乾燥した裸地が太陽光線を反射して光ることによって起る。縮尺が大きくなると比較的事物の判読は容易になる。また、図化に用いるポジフィルムは印画に較べてハレーションの影響を受けにくい。

対策としては、印画を注文する際に、崩壊地の判読に使用する旨を申し入れて崩壊地を焼き込んで特別な印画を作らせることが可能である。ただしこの場合、林地等は黒くなり過ぎて一般的な用途には向かない。

(3) 像のひずみ

空中写真は放射投影であるため、画角の周辺部で画像がひずみを持つことは基礎篇で述べた通りであるが、治山事業が対象とする山地は斜面が急傾斜でひずみが出易い。林野庁の撮影ではほとんど用いないが、 $f=150$ mm、画角 230×230 mm の広角レンズのカメラで大きな縮尺の写真を撮影する場合、飛行高度が低くなるため、周辺部のひずみが大きく使いにくい写真が出来る。

対策として、隣接するコースや隣接する写真番号を利用することで判読が行い易くなることがある。

(4) シャヘい物

たとえば地表面を判読したい場合に大きな樹木があれば樹冠が邪魔になる。特にダムサイトの判読の場合、兩岸の樹木の枝葉が障害になることがある。空中写真を利用して地形図を作成する場合、重なり合った樹冠を見ながら地表面を推定するわけで、こうしたことで地形図の精度が悪くなることがしばしばある。(3)の像のひずみと同様に隣接するコースあるいは写真で見える場合もある。

(5) 雪

高山地帯では早春や晩秋に残雪や新雪によって地表がおおわれることがある。少量の雪は地形の判読などには都合の良いこともあるが、概して事物の判読は困難になる。

(6) 縮尺

写真利用の限界について考える時、縮尺が適切であるかどうかは利用の目的によって変る。利用の目的を治山に限定して考えた場合、次のようなことが言える。

1) 図化作業と縮尺

高級な図化機を使って図化を行う場合は撮影縮尺の8倍までの図化が可能である。つまり、20,000分の1の空中写真から地形図を作成する場合、 $1/2,500$ の縮尺の図面を作成することが可能である。逆に、 $1/1,000$ の縮尺の図面を作成しようとするれば、撮影縮尺で $1/8,000$ の空中写真が必要である。

撮影縮尺 $1/20,000$ の空中写真の2.5倍引伸写真を使って交合法(基礎篇 3-(3)-1)一(Ⅲ)を参照)で図化を行う場合は、おおむね $1/5,000$ の図化図の作成が限度と考えられる。

2) 事物の判別と縮尺

鮮明な撮影の場合、 450×450 mmの引伸し写真以外に特別に 900×900 mmの引伸し写真を複製することも可能である。一般には、 450×450 mmの2.5倍伸しの写真を立体鏡附属の約3倍の望遠鏡で見るのが一般的である。この方法で例えば崩壊地に溝があったとして巾70cm以上のものでないと判読が困難である。

その他写真に直接山腹工種配置などを書き込む場合は、引き伸す部分を指定し、5倍までの部分伸しの写真を利用することが出来る。5倍以上の引き伸しも不可能ではないが不鮮明な印画になる。この場合、なるべく写真の中心点の近くに伸す目的物が写っている写真をえらぶべきである。

3. 治山調査と空中写真利用

(1) 治山調査のための写真撮影

治山調査のために写真撮影を行う場合の仕様については基礎篇ですでに説明されているが、崩壊地あるいは溪流荒廃地の概況調査だけが調査対象であれば、既成の空中写真で調査可能である。従って撮影を新規に行うとすれば、設計あるいは実行にも利用することなどを考慮しなければ意味がない。たとえばダムサイトの計測や山腹工事の工種配置までを考えると、縮尺 $1/1,000$ の地形図の図化が出来る撮影が望まれる。こうした点を含めて、治山調査のために新たに撮影を行う場合の一般的な仕様を述べると次のようになる。

1) 縮 尺

撮影縮尺は、 $1/8,000$ が適当である。倍伸しの写真を用いて、 $1/5,000$ の森林基本図への移写も容易であるし、部分伸して、 $1/2,000$ や $1/1,000$ の写真の作成も可能である。また、図化機を使えばこの縮尺からは $1/1,000$ の地形図作成が可能である。図面や写真は、実用面で $1/1,000$ のように寸法の換算が容易なものが使い易いし、 $1/1,000$ の縮尺の図面であれば山腹工事の工種の数量積算にも利用出来る。

2) 撮影に用いるカメラ

焦点距離 300mm 、画枠 $230 \times 230\text{mm}$ のいわゆる長焦点カメラが最適である。まず、画枠が広いので普通角カメラより有効面積が大きく、従って撮影枚数が少なくて済む。また、焦点距離が長いので、撮影高度が高くなるため、写真像のずれつまり写真上の事物の形のゆがみが小さいので単写真での利用が容易である。

3) フィルム

モノクローム（パンクロ）を使用するのが一般的である。天然色カラーフィルムよりは日蔭の描写力があり、各種の計測にも有利である。単価も他のフィルムより安い。モノ赤外、赤外カラー等は特殊な目的の場合利用するが現在のところ治山調査用としての用途は技術的に未開発である。

4) 露 出

治山調査用としては、崩壊面や溪床面を判読するために露出はアンダー気味が好ましい。但し、次項の撮影時期、時間に留意して、北向斜面に日蔭が出来ぬようにする必要があることは言うまでもない。

5) 撮影時期

5月中旬～8月下旬の間が良い。これ以前は残雪が判読をさまたげることがあるし、9月以降は太陽高度が低くなり、北斜面が蔭になり易い。崩壊地が北斜面にある場合、山の蔭だけでなく木の蔭にもなるため、治山用の写真は特に太陽高度の高い季節に撮影をする必要がある。撮影時間は林野庁の規定では、 $10 \sim 14$ 時であるが、上記の季節以外に撮影を行う場合にはこの時間内でも蔭を生ずるおそれがあるので注意しなければいけない。

(2) 長期治山計画樹立のための写真利用

5年又はそれ以上の長期的な治山計画樹立のための調査では、 $1/20,000$ の空中写真を利用して、調査可能な項目が多いことは前に述べた通りである。国有林の長期的治山計画のための調査の代表的なものは、治山全体調査第2部の流域別調査であり、この流域別調査で、

1/20,000 の空中写真の利用が行われる場合を想定して過去に林業試験場が研究した結果、表一3のように各項目別に空中写真による判読の可否が明らかになった。この表で明らかにように、平面的な形状や大きさ、高さなどは判読に問題がないが、崩壊地の深さのように数メートルの高さの差や、崩壊地表面の侵食によって出来た1メートル以内の溝などは判読が難しい。こうした結果から、土砂量のような量的なものや地表面の侵食状況などは1/20,000の空中写真では判読が困難であると言える。これらの各項目について多少の説明を加えると、

表一3 縮尺1/20,000 空中写真による調査の可否

- 判読可能
 × 判読不可能
 ? 不可能とは言えないが問題がある。
 △ 判読できる場合とできない場合とある。

(1) 一般崩壊地の場合

規 模			位 置	傾 斜	形 状	方 位	植 生			地 質	侵 蝕 状 況	残 留 土 量	拡大見込量	施工状況		保全対象
平均長	平均巾	面積					種 類	占有率	周辺林相					山 腹	溪 間	
		○・○一ha以上	斜面上の位置	急・中・緩	タイプ		木本・草本				多・中・少	m'	m'			直接のもの
○	○	○	○	○	○	○	?	?	○	?	×	×	×	○	△	○

(2) 溪床荒廃地の場合

規 模					溪床勾配	石礫構成	植 生		荒廃の型	保全対象	ダムサイト
延長	平均巾	面積	平均深	土砂量			種 類	占有率			
							木本草本				
○	○	○	×	×	○	×	?	?	×	○	△

1) 崩壊地の調査

(i) 規 模

1 級または 2 級図化機を用いて $1/2,500$ の縮尺の平面図を作成し、これを計測した場合、現地でコンパス測量を行なったと同程度の精度で長さ、巾、面積の計測が可能である。図化機を使わず、交会法による $1/5,000$ の図化を行う場合には小規模な崩壊地は正確な図化が困難である。(基礎篇 3-(3)-1)-(iii))

(ii) 位 置

引伸し写真の立体視によって斜面のどの位置に崩壊地が存在するかが判読できる。

(iii) 傾 斜

図化機を利用する場合は、崩壊の上下 2 点の平面図上の位置とそれら 2 点の標高から、2 点の標高差と水平距離の比を求め、傾斜角を三角函数表から読むことが出来る。引伸し写真では、傾斜測定板が最も簡便であり、図化機と同様に、崩壊の上下 2 点を定めて、2 点間の水平距離を交角法で、高低差を、視差測定桿の計測によって求め、高低差と水平距離の比から傾斜角が得られる。(基礎篇 3-(2)-4))

(iv) 形 状

引伸し写真の立体視で、崩壊地の存在する斜面の尾根と溪流との位置関係を判読し、山腹崩壊、溪岸崩壊の別を判定する。

(v) 方 位

引伸し写真の立体視で方位を判読し得る。空中写真は立体視した場合の右が東、左が西、上が北、下が南で地形図と全く同じであるから方位の判読は容易である。

(vi) 植 生

引伸し写真の立体視で、植生の有無が写真の濃淡で判読出来るが、草と木の判別や被覆率の的確な把握は出来ない。 $1/5,000$ の撮影縮尺の写真の引伸しを用いると、崩壊地内の被覆の位置や面積、草と木の別などは正確に判読可能である。

周辺林相は一般の森林判読技術で判読し得る。(基礎篇 3-(1)-3))

(vii) 地 質

治山事業で把握したいのはまず岩石種類であるが、これを空中写真で判読する技術は未だ確立されていない。現在、試みに行われ、判読の可能性を持つ方法は、尾根、谷などの分岐のパターンや微地形のパターン、地形の緩急などの特徴によって、基岩の種類を見分けるもので、経験と知識を必要とし、一般的な判読方法は実用化されていない。荒廃に関

係する岩石の風化、割れ目の多少、破碎の程度などに関連するリニアメントを写真上で見出すことは可能であるが、写真上に見えるリニアメントは非常に多く、それらのどれが荒廃に関係し、どれが無関係かを判断するのが困難である。したがって、現在の技術では、空中写真によって基岩の種類や断層、破碎帯などを調査することは一般的には困難である。土壌についても、植生の種類などから間接的に判読する方法が考えられているが、植生には人為の影響もあり、間接的な判読は精度が悪い。判読は不可能と考えた方がよい。

(viii) 侵食状況

崩壊地表面の侵食の状況は、引伸し写真の立体視で判読するが、 $1/20,000$ の撮影縮尺では、巾 1 m 以上の溝でないと判読できない。 $1/5,000$ の撮影縮尺の引伸写真があれば、その立体視で巾 30 cm の溝の判読が可能である。

(ix) 残留土量、拡大見込量

前に述べたように崩壊地の深さや土の厚み等は判読が困難である。崩壊地の上部のかぶりの状況も $1/20,000$ の撮影縮尺では判読出来ない。

(x) 施工状況

山腹の施工地は施工直後で、植生が少くとも、積工や筋工等の施工のパターンで引伸写真によって判読し得る。施工結果が良くて年数を経過したものは、周辺の林地と区別し難いが、施工地内の林木が治山用樹種が多ければ = 周辺の林木とはパターンが異なるので判読が可能である。溪流の工作物は、工作物による段差で判読できるが、流出土石の堆積が多量で、工作物が埋設的に埋没した場合や溪岸の林木の樹冠が大きい場合、工作物の高さや長さが小さい場合には判読が困難になる。

(xi) 保全対象

人家、道路、施設などは引伸写真の立体視で判読し得る。

(xii) 工種配置計画

山腹工事の工種配置を空中写真で行うには、理想的には $1/1,000$ 程度の縮尺の空中写真が欲しい。しかし、 $1/20,000$ の撮影縮尺の写真しかない場合は、左右の写真が立体視出来るよう密着写真上で判読する崩壊地をトリミングして、5倍（約 $1/4,000$ ）の部分伸しを作って、立体視しながら写真鉛筆で工種配置を書き込み、その結果を見取りによって平面図に移写する。

2) 溪流荒廃地の調査

i) 規 模

崩壊地の調査と同様に巾、延長、面積等は $1/20,000$ の写真の引伸しを用いた交会法で容易に測定し得る。但し、巾 W については、交会法を用いて兩岸の2点をそれぞれプロットする方法よりは、写真上の川巾 w を測定し、その地点の図面上の標高 h と撮影高度 H_0 および焦点距離 f から、

$$W = \frac{(H_0 - h) w}{k \cdot f} \quad \begin{array}{l} \text{(注 1. } k \text{ は使用写真の引伸倍率)} \\ \text{(注 2. } f \text{ はカメラの焦点距離)} \end{array}$$

として求める簡便な方法の方がむしろ精度は良い。平均深、土砂量等の計測が困難なのは崩壊地の調査と同様である。

ii) 溪床勾配

崩壊地の傾斜の測定と同様に可能である。但し比較的緩傾斜なので、交会法による上下流2点の平面図化と、視差測定尺による高低測量か図化機による同様な測定の二通りの方法に限られ、傾斜測定板は使用できない。視差測定尺による測定作業の場合は、撮影海拔高度 H_0 (撮影データを使う)、左写真主点の標高 H_M (地形図から読み取る)、下流の測定点の標高 H (地形図から読み取る)、右写真の基線長 b (右写真を実測)、下流と上流の各測点で測定した視差の差 dp を計測して、下流と上流の標高差 Δh を

$$\Delta h = \frac{(H_0 - H) \times dp}{b \times \frac{H_0 - H_M}{H_0 - H} + dp} \quad \dots\dots \text{基礎篇図—7 視差式(1)の変型}$$

として求める。上流、下流の2点間の距離 L を交会法で求めれば、溪床勾配 θ は

$$\tan \theta = \frac{\Delta h}{L}$$

から知ることが出来る。この作業による場合、撮影時の写真の傾きがあると数度の誤差が出るので溪流の最上流、最下流の標高差の地形図による値と、視差々からの計算値をそれぞれ求め、大巾に異なる場合は、地形図による高低差を正しいものとして、視差々から算出した各区間の高低差の合計値を補正する必要がある。補正の場合の各区間への誤差の配分は各区間の延長に比例して行えばよい。

iii) 石礫構成

$1/20,000$ の空中写真の2.5倍伸し写真では、前出の通り、1 m以上の事物でないと判

別が出来ない。従って溪床の石礫は1 m以上の大転石を除いて判読不能である。大転石についてもハレーションのひどい写真では、判読が困難である。従ってこの項目は現地調査によらざるを得ない。

iv) 植 生

溪床面に侵入した植生は草、木とも初期の間は、崩壊地の植生同様に、存在は或る程度確認出来ても、種類や本数などについては判読が困難である。ハンノキなど生長の良い林木では、10年生以上になれば一般の森林判読技術で判読し得る。

v) 荒廃の型

溪流の荒廃が、堆積型か侵食型かの区別は、前記石礫構成と同様な理由で1/20,000の空中写真では困難である。

vi) 保全対象

一般崩壊地の場合と同様に可能である。

vii) ダムサイト

ダムサイトの地形が極端に急傾斜である場合や樹冠がおおいかさっている場合を除いて、図化機による計測は勿論、引伸し写真と視差測定稜を用いた計測によって次のような手順でその概略の形状を知ることが出来る。但し、1/20,000の縮尺の写真では1%が現地で20 mに相当するため、10~20 m程度の巾のダムサイトの計測はむづかしく40~50 mの規模のもので2.5倍伸しの印画を用いてどうやら作業が可能である。流域内の要所のダムサイトを調査する場合は撮影縮尺1/8,000より大きい縮尺の写真が欲しい。

まず、左写真のダムサイトの左岸右岸にそれぞれ4点ずつ計8点、中央附近が凹形をなす場合は凹部にも1点指針をする。

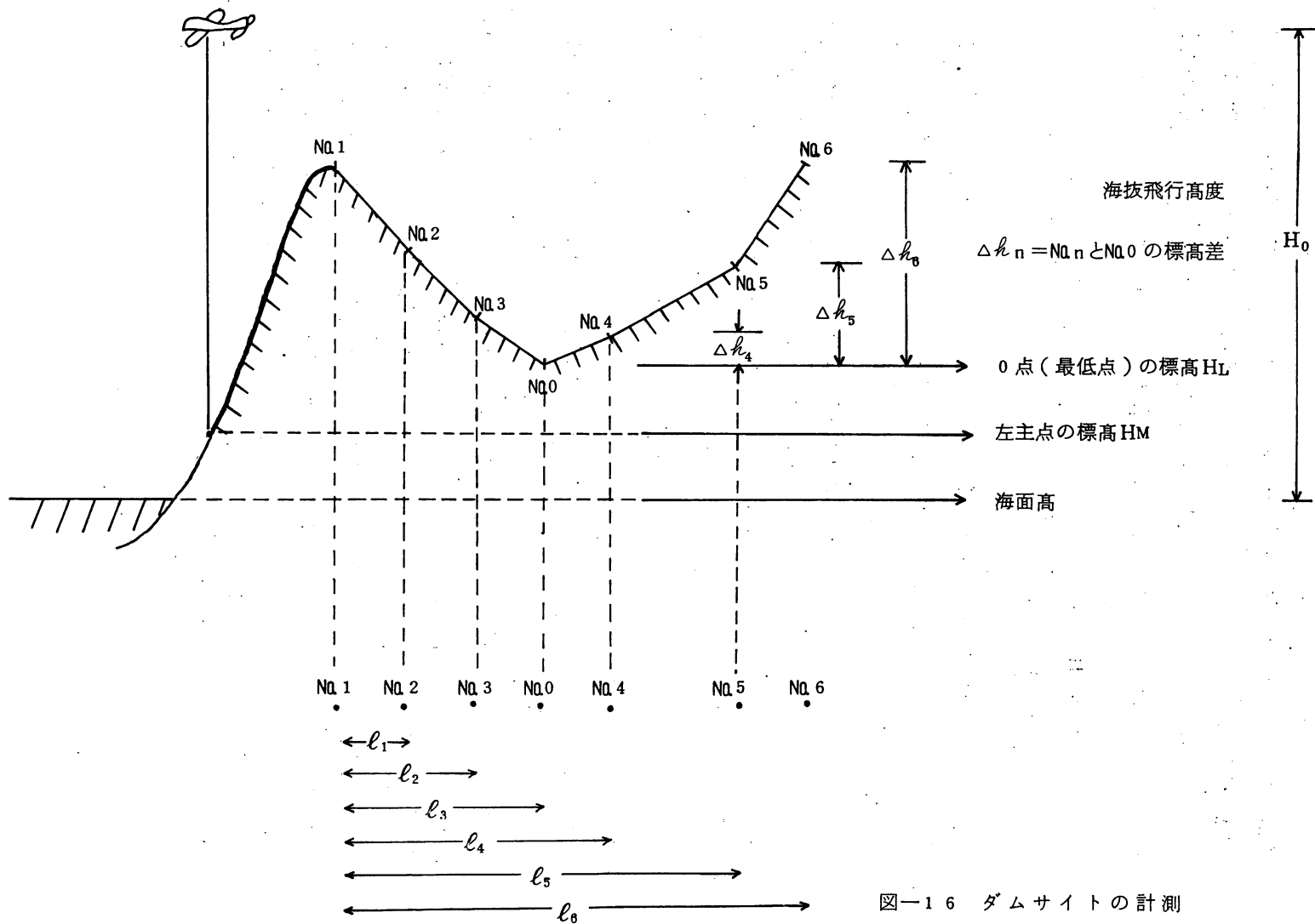
指針した測定間の水平距離は、片側の端から各点までの距離 ℓ_n を図-14のように計測する。最低点No 0地点の標高を地形図から読み取りこれを H_L とすれば、現地に於ける各測点間の距離 L_n は次の式で計算できる。

$$L_n = \frac{\ell_n}{k \cdot f} \cdot (H_0 - H_L)$$

注 1. k は印画の引伸倍率 (普通は 2.5 倍)

注 2. f は撮影したカメラの焦点距離

次に、各測点の標高は、視差測定稜を用いて、溪床の最低点 (図-16 のNo 0) と他の



図—16 ダムサイトの計測

各点（図－16 のNo 1 からNo 6）との視差の差 dp を求め、一方で、地形図から、左写真主点の標高 H_M と溪床上の最低点（溪流の形状から地形図上の位置を推定）の標高 H_L を読み取り、撮影の海拔高度 H_0 を撮影記録から調査する。また、右写真の基線長 b を実測する。これらの数値を用いて、任意の測点No n と溪床上の最低点No 0 との標高差 Δh_n は

$$\Delta h_n = \frac{(H_0 - H_L) \times dp}{b \times \frac{H_0 - H_M}{H_0 - H_L} + dp} \quad \dots\dots \{ \text{基礎篇図－7 視差式(1)の変型} \}$$

で計算できる。溪床上の最低点の標高を基準にして、各測点の Δh を方眼上に目盛れば、ルーペによって計測算出した測点間の水平距離とあわせて、任意の縮尺でダムサイトの形状が描写できる。

この方法による測定は撮影縮尺 $1/8,000$ の写真の倍伸しを用いても $1 \sim 2 \text{ m}$ の誤差が生ずる。また、ダムサイトの図形には水平方向のずれがあって実際の形状とは一致しない。従ってこの方法では、現地調査に相当する精度を得ることは出来ない。特に $1/20,000$ の写真からは概略の形状しか把握できない。しかし、踏査困難な溪流のダムサイトの広狭、あるいは 100 m^2 単位でのラフなダム体積の積算には有効である。

4. 現地調査の併用

空中写真判読には幾多の利点があるが、既存の空中写真を利用するという制約の下では、計測や判読に限界がある。また、写真にパターンとして写っている場合でも何が写っているのか判断し難い場合が多い。こうした場合、現地調査による補足を行うことによって、空中写真判読の精度も格段に向上し、同時に空中写真利用の範囲も広がる。例えば、崩壊地表面の侵食状況は、直接空中写真では判読出来ないが、現地調査の結果、崩壊地の大きさ或いは形状と関連することが明らかになれば、一部の崩壊地の地表面の侵食状況を調査するだけで、他の多くの崩壊地の地表面の侵食状況を類推することが可能になる。その他の調査についても、現地調査を併用することで空中写真判読が非常に効果を発揮することが多い。机上で作業出来る点が空中写真の利点であるが、その欠点を補うための現地調査が常に必要である。