

551.3 : 551.4 : 551.577.61(521.7/.8)

昭和42年7月豪雨災害による山地崩壊の 地形的条件について

高崎正義

建設省国土地理院地区部

小林基夫

建設省国土地理院地区部資料課

On the Geomorphological Conditions of Landslides Caused by the Heavy Rainfall on July 9, 1967

By

Masayoshi Takasaki and Motoo Kobayashi

Geographical Survey Institute, Tokyo

Abstract

The disasters due to the heavy rainfall in the Kure and Mihara regions, Hiroshima Prefecture, and in the Rokko mountain region, north of Kobe City are investigated from the geomorphological standpoint.

Results obtained are as follows:

- (1) Maps of the distribution of disasters in the regions were compiled by interpreting the aerial photographs, and the density of landslides is quantitatively analysed.
- (2) From the micro-topography, it is recognized that a typical landslide in the regions is to be divided into three parts, e.g. collapsed, running-flow and accumulated parts.
- (3) Topographical classification was attempted in relation to slope types and dip of slope, location of landslides on slopes, topographic structure and so on.
- (4) The collapsed part was found to be concentrated on straight slopes and valley-head slopes.
- (5) The repetition of landslides is statistically considered from the distribution maps of the past landslides and the present ones with the same criteria.

目	次		
1. 調査の概要.....	8	2.3 傾斜分布.....	13
1.1 問題の設定.....	8	2.4 線状構造.....	14
1.2 災害分布図の作製.....	8	2.5 侵食平坦面と緩急斜面.....	15
1.3 一般斜面の崩壊地形.....	8	2.6 切土などの影響.....	15
1.4 溪流沿い崩壊地形.....	9	3. 崩壊斜面の数量的分析.....	15
1.5 大縮尺地形図の図化.....	10	3.1 崩壊密度図.....	15
2. 崩壊地の地形条件.....	10	3.2 崩壊地の規模、面積、標高.....	17
2.1 微地形分類.....	11	3.3 流域別荒地化面積.....	18
2.2 斜面形と崩壊位置.....	12	3.4 山地崩壊の反復性.....	18

4. 崩壊地域の現地調査……………19
 4.1 山腹崩壊の事例……………19
 4.2 崖状崩壊(壁状崩壊)の事例……………20

4.3 溪流崩壊の事例……………20
 4.4 竹原・三原地区の崩壊地……………22
 5. 結語……………23

1. 調査の概要

1.1 問題の設定

昭和42年7月9日に発生した西日本の豪雨災害について、国土地理院では広島県の呉、三原地区(面積約530km²)と神戸市の背山をなす六甲山地(面積180km²)を対象として崩壊地の地形条件調査を行った。そこで、取り上げた事柄のおもなものはつぎのようである。

- a. 空中写真の判読による崩壊地分布図の作製とその解析。
- b. 代表的崩壊地域における大縮尺の詳細な地形図の作製
- c. 山地崩壊の地形条件調査

これらのうち、cについてはa、bの解析結果の考察と現地調査による観察事項の整理を含むものである。

1.2 災害分布図の作製

この作業は、災害の状況を全般的に把握するために行なったものであるが、今回の災害とともに既往の大きな災害時の状況も同様な方法で調べ、比較検討することとした。

呉、三原地区については、国土地理院の直営で作業を実施し、六甲地区については作業力の関係で外注作業とし、東洋航空事業KKに委託した。

災害分布図の作製は、災害地域調査の基礎資料として、地形、地質、林野、土木などの各調査分野において有用であると考えられる。この作業は、災害後に撮影された空中写真を用いて、その実体判読により崩壊地や土石流堆積地などの分布の状態をできるだけ詳しく表現するよう試みた。分布図のベースマップとしては、三原・竹原地区を除いて1万分の1図を用いた。すなわち、呉市については呉市1万分の1都市計画図を使用し、また六甲地区については国土地理院5万分の1写真地図を1/2に縮小して使用した。三原・竹原地区では2万5千分の1地形図を基図に用いた。

今回の災害の判読に使用した空中写真は、呉地区では42年8～10月に国立防災科学技術センターにより撮影された1万分の1写真と3千分の1写真(要部)であり、六甲地区では42年8月に建設省六甲砂防工事事務所により撮影された1

万分の1写真と防災センターによる2千5百分の1写真(要部のみ)である。

既往の大きな豪雨災害としては、呉地区では昭和20年9月の枕崎台風時の災害があり、その状況の記録は昭和21～24年撮影の米軍空中写真(4万分の1と部分的に1万分の1)により判読できる。また、広島県砂防課による当時の調査報告書も貴重な資料である。六甲地区については昭和13年に大災害があり、その後、昭和35年、36年にも大きな豪雨災害が生じている。昭和13年災害では詳細な崩壊地調査が再度谷などで実施されており、今回の災害との比較考察も可能である。昭和35、36年については、災害の数か月後に空中写真が撮影され崩壊などは変化の少ない状態で判読できる。

災害の分布図は、空中写真上で判読分類したものを所定の基図上に移写することによってまとめられた。これを各災害年次ごとに行ない、その分布状況(発生位置、個所数、規模、密度など)を明らかにするとともに、各年次相互の比較検討に役立てることとした。表現すべき内容としては崩壊地、流送地、堆積地、構造物被害、家屋被害の5項目の凡例を定め、さらに位置の手がかりとなる山地の稜線、谷線のほかダムもあわせて図示することとした。ここで若干の説明を加えると、従来、山地の斜面上において一括して崩壊地として取り扱われていたものを形態と機能の点から崩壊部、流送部、堆積部に細分して表わすこととした。この崩壊地の区分について、すでに上田一人(1954)は純崩壊源、流路、堆積地に3分しており、とくに崩壊源の研究は危険地域の予想につながることを述べている。

1.3 一般斜面の崩壊地形

まず、崩壊部の形態的な特徴は原斜面の一部が崩落して失なわれたために、原斜面との境に半円形の小屋がみられることである。空中写真上における崩壊部の映像は、新鮮な地肌の反映として一般に汚れない純白さに特徴がある。つぎに、流送地とは何かというと、崩壊部より崩壊した土砂が流送する部分であり、その際に地表面が削奪されるか、または部分的に堆積をこうむったりする。

この部分は土砂の侵食、流送、堆積が複雑に行なわれるものと考えられる。現地での観察からすると、流送地は一般に侵食される割合が多いと判断されるが、上部よりの崩落土砂の勢いが比較的弱く、しかも灌木のある所では、その灌木が流送土砂のために撫で伏せられ、薄く土砂をかぶっている事例を見ることがある。そこでは流送土砂は立木にさえぎられ、立木を倒すだけで表層の土壌をえぐりとすることはない。また、立木を倒し、その上をおおっている流送土砂の厚さはきわめて薄いものであり、堆積地とするのは適当でない。空中写真上における崩壊斜面の流送地の特徴は、白でなく灰色のトーンを示し、隣接する原斜面との境には高さの差はあまり認められない。

つぎに、堆積地としては、簡単に言えば斜面の上部から崩落してきた土砂が堆積した部分である。単一の斜面では流送部に続いて、押し出された形で堆積するものが多い。堆積のみられる箇所は、斜面下部の比較的傾斜の緩やかな部分と、それに接する山麓低地である。堆積地が空中写真上で明瞭に判読しうる場合は、ある程度以上の規模のものであって、形態的な特徴としては扇状に広がる沖積錐をなすもの、押し出し状の土石流をなすもの、壁状に崩壊した土砂が崖錐のように堆積したものなどがある。それぞれは、崩壊→堆積の営力と環境およびその組合わせの相違によって異なるものと考えられる。崩壊の規模の小さなもの、斜面長がいちじるしく長いものの中には、流送地の範囲に土砂を薄く敷きこめてしまい、下方の山麓斜面まで土砂を運び出さない例が多い。

以上は、斜面崩壊地の細部の区分を説明したものであるが、その模式図を描けば図-1に示すよ

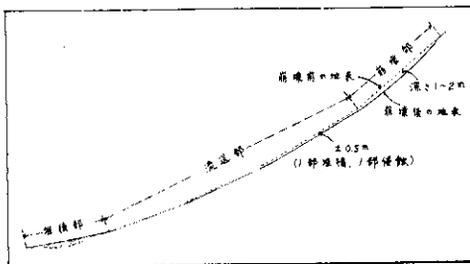


図-1 崩壊地の断面模式図

うなものとなる。斜面崩壊は崩壊地のうちでもっとも数多くを占め、さきに述べたような形態上の

相異がかなり存在する。さらに、台地の崖のように傾斜が急で、しかも斜面長が短い場合には、崩壊部はただちに堆積部へと連なり、中間の流送部は明らかでない。換言すると、崩壊地にはかならず崩壊部は存在するが、流送部と堆積部とはどちらかその存在が不明瞭な場合があり、片方に含まれてしまう例が多い。

1.4 溪流沿い崩壊地形

ここでいう溪流とは、ある規模以上の河床があり、そこに常時水流がみられるようなものをいい、溪流の崩壊とはそのような溪流沿いの岸がおもに洗掘によって欠壊することをいう。豪雨災害時において、溪流はそれ自体の岸欠壊や河床の洗掘と、上流側の山腹斜面の崩壊土砂を下流側に流送する作用をなす。溪流の流送区間は山腹斜面の流送部に比べてはるかに長大であり、水量の集中もいちじるしい。災害後の痕跡によると、溪流の河床より数メートルも高い位置の樹木に洪水流の土砂が付着している例がしばしばみられ、流送作用の激しさを思わせる。

溪流は全体として流送の機能をもつが、部分的にこれを見ると、一般に傾斜の急な上流部側は流送と下方侵食が、下流部側は流送と堆積が卓越する。いわゆる河川縦断面の平衡曲線化作用がはたしているわけである。

なお、溪流の最上流部と谷型の山地斜面の長大なものとは明瞭に区別することがむずかしい。豪雨の際の崩壊、流送の状況も類似性をもっている。これを分類する目安としては、第一次谷および第二次谷は山地斜面として扱い、第三次谷以上を溪流とすればどうかと思われる。似たような問題として、山地の地形の細分類において、谷型の山地斜面と谷底平野の急傾斜のものとの分類基準をどこに置くかということがある。谷底の幅がある程度の広がりを示す部分から谷底平野であるが、経験的には谷田の分布上限が一つの目安となる。溪流はがながい水路として人工的に統御されている場合が多いが、豪雨災害時には自然状態に戻って谷底部にはらんする事例がみられる。

災害分布図の写真判読には、以上のような指標を分類の基準として作業を進めた。作業の手順としては、各災害年次ごとの空中写真を実体判読し、写真上に赤インクなどで崩壊地等の範囲を区分する。この写真上に行なった分類を1万分の1などの基図上に移写して原稿図とした。ついで、透明

なマイラベース上に分類図を清絵して複製用原図とした。さらに、原図のネガ版より透明なマイラ上に色別マジック焼きで小部数の複製を行なった。これらの分布図を種々重ね合わせて使用することによって、数多くの事象が明らかになると考えられる。すなわち、災害分布とその発生の諸要因と

の関連性を考察する場合に、また各災害年次相互の崩壊状況を比較検討する場合などに、きわめて有用な資料となるものと思われる。

この調査に関して作成した災害分布図ならびに大縮尺地形図は表-1のとおりである。

表-1 今回作成した災害状況図の種類

地 域	縮 尺	災 害 年 次	面 数	備 考
六 甲 地 域	1/10,000	昭和42, 36	7 面	マジックコートに複製
"	"	" 35, 13	7 "	"
呉 地 域	"	" 42	2 "	陽 面 原 図
"	"	" 20	2 "	草 稿
三 原・竹 原	1/25,000	" 42	4 "	陽 面 原 図
六甲(市ヶ原等)	1/500	" "	5 "	"
呉(浜田等)	"	" "	4 "	"
呉(休山地区)	1/2,500	" "	12 "	草 稿

1.5 大縮尺地形図の図化

代表的な崩壊地点の大縮尺地形図は、崩壊地の詳細な地形解析を行う上で必要であり、さらに、共同調査の他の部門においても細部調査用の基図に利用するという目的をもつものである。

この地形図の図化に使用した空中写真は、今次の災害後に撮影された1/2,500~1/3,000の縮尺のもので、これらの写真を用いて1/500の大縮尺図を作製した(写真図化の倍率は4~6倍が標準である)。等高線の間隔は1mごととし、緩傾斜部では必要に応じ0.5mの間曲線を挿入することとした。

図化についての問題点の一つは、空中写真の標定作業をどうすべきかということであった。一般の地図作製の空中写真では、あらかじめ座標値の知られている基準点に対空標識を設けて標定点とするが、今回使用した写真には対空標識は置かれていない。したがって、オーソドックスではない別の標定方法を考えねばならない。

六甲地域においては、山麓の市街地に神戸市当局が設置した既存の標定点が図化対象地区とその周辺に数点あり、これらの点を基準に前方交会とトラス測量を併用して、現地では標定点網の観測を行なった。

また、呉地域においては、国土地理院が1/2,500国土基本図骨核図を調製した際に設けた標定点がある。この標定点の位置をフィルム(ダイアポジ)

上に刺針してから、精密実体図化機において1/500の縮尺で標定点のXY座標を展開し、ダイアポジ上の標定点と図紙の標定点の位置がよく合致するように調整する方式をとった。この場合、標定点の数は1モデル最低3点が必要である。各標定点間の平均誤差は1/500図上0.4mmで、相対的な誤差は約1/1,250である。調査目的からいって、この程度の誤差を含むことは許されるものと考えられる。

図化に当っては、一級図化機ステレオプロッタA8を使用した。地形を表わす等高線の間隔は1mごとであるが、その描画は1本ずつ描いて割り込みを排し、かつ、微細な地形のひだが表現されるように細かな注意力をもって描くこととした。急な斜面の描画に際しては、しばしば相隣る等高線が交さくることが起こるが、これについては清絵に際して手を入れ線を揃えて書くこととした。また、3~5cm²に一点の割合で図化機から標高点を読みとり、地形図上に図示した。縮尺が1/500であるため、崩壊地は図上4~6mmに相当する幅2~3mの小さなものまで描かれている。

この大縮尺地形図より、崩壊地などの位置、面積、傾斜、微起状などを測定することができ、また、地形解析の基準の検討に使用した。

2. 崩壊地の地形条件

崩壊地の発生要因として、気象、地質、植生な

どとともに地形要因があげられる。崩壊に関係する地形因子には傾斜、斜面形、斜面長、起伏量、などが考えられる。また、構造地形や地形発達段階も広い意味で崩壊現象に関連すると思われる。それらのうち、ここではつぎの諸点に注目し若干の考察を行なった。調査の対象地域は呉と六甲の広範な地域にまたがり、両地域について詳しく調べることが多くの作業力を必要とするので、とくに呉の休山半島地区を重点的に取り上げることとした。この地域の面積は約20km²であり、長軸方向(NE~SW)が8km、短軸方向は3kmの紡錘形をした平面形を呈している。

2.1 微地形分類

1万分の1空中写真を実体判読して、地形をその形態と成因によって区分した。基図としては呉市役所刊行1万分の1呉市全図を使用した。分類の基準と凡例は国土地理院で実施している土地条件調査の規定を準用した。土地条件図は2万5千分の1の縮尺ですでに六甲地区の調査図が刊行されており、縮尺は異なるが、呉地区との比較をすることが可能である。

微地形分類図は、浜田川流域を図-2に例示す

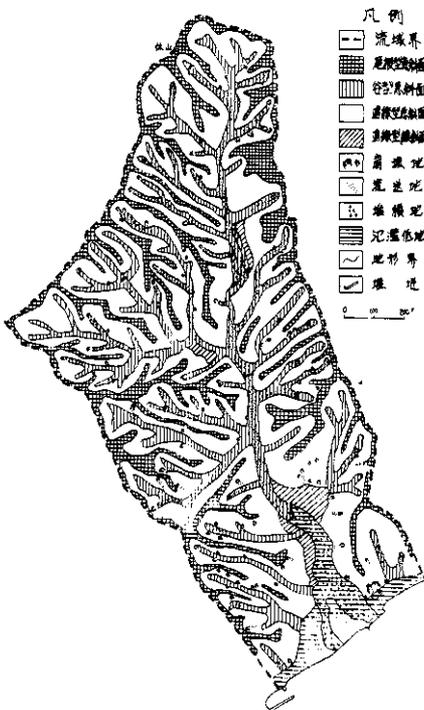


図-2 微地形分類図(浜田川流域)

るが、これは崩壊地、流送地、堆積地の範囲を地形分類とあわせて記入してある。微地形分類図上における崩壊地の発生地点をみると、総数115のうち直線型斜面に48%が集まり、谷頭斜面に27%、谷型斜面に20%が分布し、屋根型斜面下部に起こったものは5%であった。このうち、谷頭斜面とは谷型斜面の最上部をさすもので、頭部侵食のさかんな部分に相当する。山地の斜面形の種類基準としては山稜を構成する凸形の尾根型斜面から、等斉形の直線型斜面に下り、さらに凹形を示す谷型斜面へと降る。斜面形分類の手法は調査者によって若干の相異があり、尾根型と谷型斜面を広くとり直線型斜面を僅かにする分け方もみられるが、筆者らの手法は尾根型、谷型として明瞭な斜面をそれぞれ分けてから、そのいずれにも属さない等斉な斜面をもって直線型斜面とする。なお、段丘崖や海食崖なども、断面形が等斉であるために一般的には直線型斜面として表現している。

直線型斜面に発生している崩壊地のなかには規模の小さなものがかなり多いことが特徴的である。すなわち、55か所のうち、23か所の崩壊地は面積500m²以下である。これに対して、谷頭型ならびに谷型においてはそれぞれ2か所ずつが500m²以下であるにすぎない。その理由としては、直線型斜面の集水域は上方の尾根型斜面を含むのみであり、側方から集まる性格のものではない。したがって、集水域が狭いゆえに崩壊も小型のものが多いことになる。直線型斜面にみられる崩壊地の位置をくわしくみると、多少凹型や細かな刻みを呈し、今後侵食が進めば谷型斜面に変わると考えられるものがかなりみられる。

つぎに、谷頭斜面の崩壊地については、さきにも述べたように、谷型斜面の最上部にあたり、まさに谷頭侵食が進行中の地点である。その他、直線型ならびに尾根型斜面の崩壊地のなかにも、単独型谷頭状崩壊の凹形のくぼみはかなり明瞭なものがみられるが、それらは谷頭斜面には含めていない。また、浜田川流域における一次谷81本のうち4割に当る一次谷の谷頭部に崩壊が発生している。したがって、今回崩壊しなかった谷頭部でも確率的には、崩壊発生の可能性がきわめて大きいものといえる。

谷型斜面の崩壊地は、頭部侵食の復活による斜面中間の再崩壊、あるいは拡大的崩壊によるもの

である。その発生箇所数は前にのべたようになりに少ない。谷型斜面は、むしろ谷頭斜面の下方への連続として、上方よりの崩壊土砂を下流側へ流送する部分であり、部分的には土砂の堆積もみられる。

山地の斜面形の形成、とくに直線型急斜面の形成につき言すると、斜面は豪雨時における崩壊のみでなく、表層物質の物理的、化学的風化、たとえば温度変化による膨張と収縮、凍結と融解などの進行によって崩落ないし匍行が起りやすくなる。風化作用は面的に作用し、雨食などによる斜面の部分的な刻みができても、面的な侵食後退により、また上部よりの崩落物質の中途堆積により、斜面形は等斉な状態が維持される。このように、直線型急斜面は溝状あるいは線状の侵食よりも、面状あるいは布状の侵食作用がまさっている斜面であると考えられる。

2.2 斜面形と崩壊位置

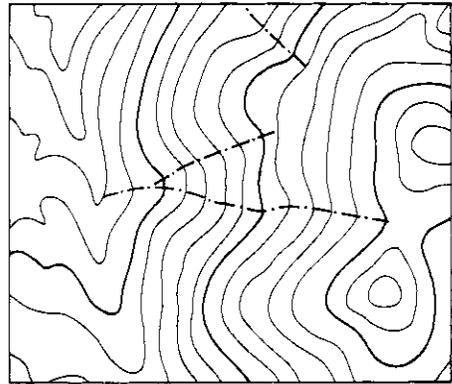
斜面形と崩壊位置に関して、前項では微地形分類の一環としての斜面形単位についてその関係を考察した。これに対して、安芸元清は六甲山地の一部について、等高線入りの5千分の1写真地図（オルソホトグラフ）上での作業から崩壊地の地形位置と傾斜との関係について検討された。すなわち、今次災害直後に撮影された空中写真にみられる新しい崩壊地をオルソホトグラフ上に描写し、この図上で崩壊地の特徴を区分している。以下において、その所論の一部を紹介する。

まず、崩壊の状況を形態上からみて、1. 単独型、2. 複合型に2大別する。単独型は比較的小規模で、尾根、山腹、急崖地などいたるところで発生している。複合型は、細かくみると多種の型式が見られるが、その大部分は樹枝型のものであり、50 mから500 mに及ぶ崩壊分枝が崩壊幹線に連なる。

つぎに、崩壊地の比高、延長を図上で読みとり、傾斜角を求めるとともに、崩壊地に接する直上部の傾斜角ならびに直下部の傾斜角をあわせて読定している。サンプル地区は布引貯水池付近で20か所が選ばれている。崩壊線の平均傾斜角 θ は 3.2° （標準偏差 $\pm 8^\circ$ ）でもっとも傾斜が大きく、また、崩壊線直上部 θ_u は $2.9^\circ \pm 1.0^\circ$ と θ よりはやや緩傾斜となっているが、 θ との差 3° という小量と、 $\pm 1.0^\circ$ という標準偏差が示すように、 θ_u と θ との差に面然とした区別を認めがたい。

つぎの段階として、主として樹枝型の大型崩壊について、幹線と枝線に分けて個別に統計をとっている。この際、等高線の形状から判断して、これらをさらに谷型と浅谷型に分ける。この両者の区分は図-3に示すごとくであり、浅谷とは地形

a. 浅谷型の例



b. 谷型の例

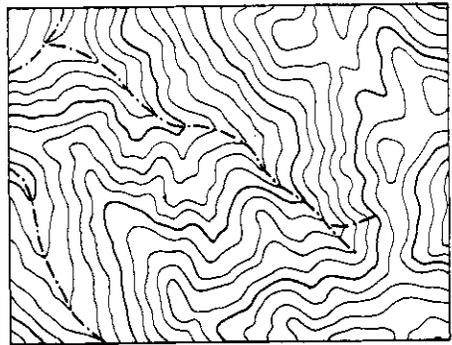


図-3 浅谷型と谷型

図上の凹線を横切る両側の等高線の延長角度が 180° に近いものであり、一方、谷型はこの延長角度が $100^\circ \sim 120^\circ$ 以下のものをとる。幹線はほとんど例外なく谷型である。山腹の崩壊線には浅谷型と谷型の両者がみられるが、それが谷型のときは幹線の延長である場合が多い。そして、そのときは山頂から中腹までは浅谷型、それから下流にかけては谷型に移行している。

つぎに、単独型と同様な方法により、六甲山地の高尾山北方ほか9個所の崩壊地区について、幹線谷型（20個所）、枝線谷型（22個所）、枝線浅谷（50個所）の崩壊地型式別に傾斜角を読

定し、それぞれの平均傾斜と標準偏差を算出した。その結果はつぎのようである。

- 幹線主谷 $\theta = 8.1^\circ$ SD=± 2.3°
- 枝線谷型 $\theta = 19.5^\circ$ SD=± 5.9°
- 枝線浅谷型 $\theta = 33.3^\circ$ SD=± 6.3°

これらのうちで、幹線主谷型崩壊については、崩壊地とするよりはむしろ流送の作用による災害として取り扱うべきではないと思われる。

2.3 傾斜分布

斜面の傾斜は崩壊発生の主要な因子である。とくに、安息角を越える急な斜面における表土層は力学的に不安定であって、雨水の影響などにより崩壊をおこしやすいといえる。斜面の傾斜を地形図から読み取る作業として呉地区ではつぎの方法を用いた。すなわち、2万5千分の1地形図「呉」図幅上に1cm ごとの方眼をかけ、その方眼内の最高点から低所に向かって長さ1cm（実長にして250m）の最大傾斜線を引き、その線と交わる等高線の本数を数えた。そして、 $S = \tan(\alpha/n/l)$ （ただし、 l は地形図上1cm の実長、 α は等高線の間隔、 n は等高線の本数）の式により計算を行ない、その結果をもって各方眼内最高点付近の代表傾斜とした。

図-4は、このようにして得られた単位区域ごとの傾斜度から、その上下左右に隣接する方眼区域との移動平均をとり、傾斜5°ごとに区分して

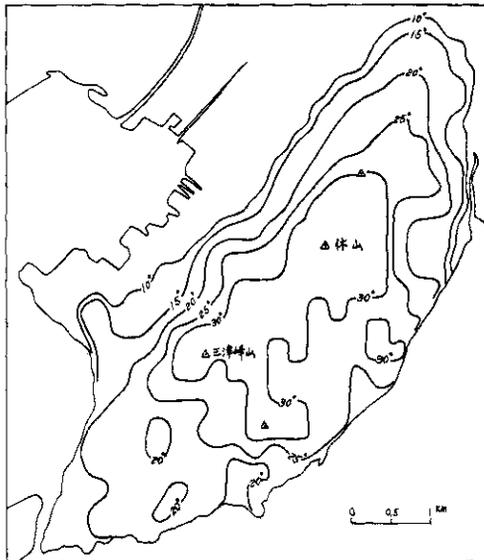


図-4 傾斜分布図（呉市休山）

等値線で傾斜分布を表わした。この図は地形図上で測定した平均的な斜面の傾斜を示すものであるが、30°以上の斜面の分布範囲は、休山山地の背稜部に相当しており、それを取り巻いて山地周辺部では傾斜はしだいに緩やかとなる。しかし、海岸部で山地が急に海に臨むところでは部分的に急傾斜を示すところが見られる。

つぎに、崩壊斜面の傾斜度については呉市2千5百分の1地形図上で崩壊部の上下の長さとその間の高度の読み取りから、崩壊部の傾斜度を算出した。表-2はその結果を5°ごとに区分したものである。この表のうち、傾斜30°~35°の崩

表-2 崩壊地の傾斜別個所数（呉市休山）

傾 斜	個 所 数	百分率(%)
> 20°	141	9.2
20°~25°	188	12.3
25°~30°	274	18.0
30°~35°	368	24.1
35°~40°	304	19.9
40°~45°	150	9.8
45°<	102	6.7
計	1,528	100.0

壊部の割合が全体の24%に及びもっとも高く、ついで、その前後の階級が大きな割合を占めている。これを呉市とその付近での実測値と比較する

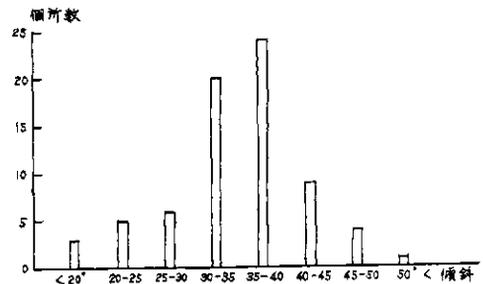


図-5 崩壊地の傾斜角別頻度（呉市とその付近の実測）

と、実測では35°~40°の傾斜角がもっとも卓越している。しかし、実測の地点の選び方はかなり恣意的であり、計測した数も72と少なくて十分な検証とはいえない。一般に、地形図の等高線は現地の起伏の状況を多少総描して描くから、地形

図上の読取値は実際の傾斜よりも少な目になる傾向にあるといえよう。

さらに、2.1でみた崩壊斜面の三つの型において、傾斜度の平均はどの程度であるかを調べてみた。その対象は浜田川流域の総数115個所の崩壊地についてである。その結果は、

直線型斜面の崩壊地	$\theta = 33.7^\circ$ SD = $\pm 8.9^\circ$
谷頭斜面	" $\theta = 35.2^\circ$ SD = $\pm 5.7^\circ$
谷型斜面	" $\theta = 33.1^\circ$ SD = $\pm 8.5^\circ$

であって、型別の平均傾斜は谷頭斜面がやや急であるほか、相互の差はあまりみられない。また、それぞれの標準偏差を考慮すると $25^\circ \sim 40^\circ$ の範囲にはばば集まり、表-2の結果とかなり符合している。また、直線型斜面と谷頭斜面の平均傾斜と、2.2で紹介した六甲山地の単独型と枝線浅谷型の

平均傾斜の数字とはかなり近似しているが、谷型斜面に関しては双方の数字に大きな差がみられる。この点の理由はさらに検討する必要がある。標準偏差については、一般に浜田川の方が大となっている。

2.4 線状構造

空中写真の判読によって、休山地区の地形配置にみられる線状構造を調べた。この休山半島全体は一つの地壘山地をなし、その東西の山麓線は断層によって規定されているという事が今村外治によりすでにのべられている。われわれの写真判読では、この東西の山麓・海岸線に沿う断層は、比較的短小なものが雁行して連なり、全体として北北東方向をとって連続するもののように思われる。半島の内陸部についても、おもに北北東方向ならびに南北方向をとる線状構造がかなりよく判

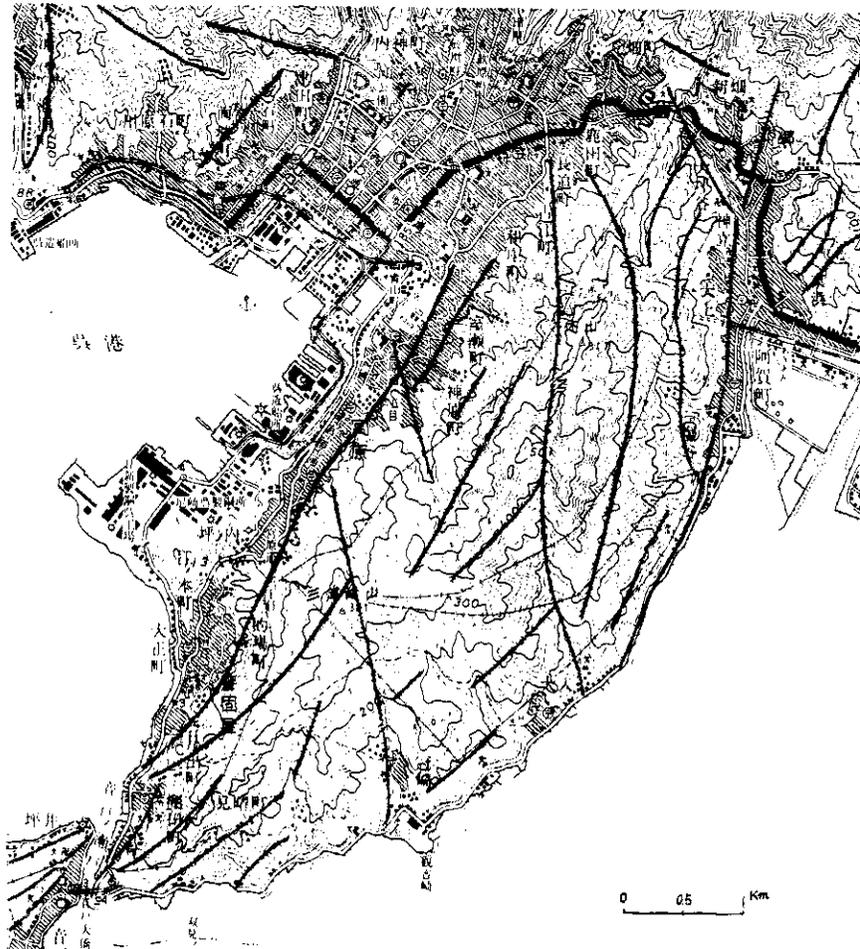


図-6 写真判読による線状構造分布図(呉市休山付近)

説できる。

呉、三原地区を包含する中国山地には断層地形、とくに断層谷、断層線谷が広くみられるが、その形成は中生代末期から第三紀の地質時代に行なわれ、新規の断層運動を伴なうものはほとんどみられない。断層構造は、現在の地形にかなり明瞭に残されているが、崩壊地の発生要因としての断層系、あるいは節理などの影響は直接的に明らかでない。しかし、図-6に示した断層線と想定される線状構造のなかには、断層作用の地形的な反映として一連の急傾斜部があり、そこには崩壊地が多発する傾向がみられる。

2.5 侵食平坦面と縁辺急斜面

今回のような豪雨災害による崩壊の発生は、じつに過去から現在に及ぶ地形の形成過程のひとつまでであることが現地の調査において認識を新たにさせる。すなわち、斜面崩壊による谷地形の出現ないし拡大、溪流沿いの側方侵食と洗掘ならびに土砂の流送、緩傾斜部や溪口部における土砂の堆積など、急激に生じた地形変化の様相が認められるのである。

仮に一回の豪雨災害における侵食、堆積の地形変化量が予測されるとすれば、その程度の災害に対する対策に資するところが大きいと考えられる。

呉市付近では、中国山地に広く分布する数段の侵食平坦面のうちの低位面がみられる。すなわち、休山山地の山腹下部の高度60~80mの範囲には、台地状の侵食平坦面がほぼ連続的に分布している。これは、いわゆる瀬戸内面に含まれるものである。この平坦面は、山地を流下する溪流によって細かく開析されており、縁辺の崖状急斜面には崩壊地が数多く発生している。

休山一帯の山稜部は300~500mでかなり高度差があるが、一連の侵食平坦面と考えることもできる。とすると、図-10において250~300mの高度帯の面積と崩壊数の関係がやや異常で崩壊密度のいちじるしいことは、開析斜面の侵食作用がもっとも強くはたらいている部分と想定されるのである。

2.6 切土などの影響

市街地が背後の山麓部斜面に向かって広がっている呉市や神戸市などにおいては、人工的な地形改変に起因する崩壊の発生がかなりの割合を占めている。すなわち、山麓に家屋や道路が造られ、山地斜面の裾部を切り取ったために、豪雨時に斜

面が不安定となって崩落する例が多い。また、山腹を巻いて道路が造られた場合に、道路上は未舗装であっても雨水の浸透は大きくなく、むしろ道路上に水が集まって流路と化し、それが道路端から谷側に流れ出すことによって、その部分は水の力で侵食され崩壊の発生源となる。

前項の場合については、切取り面に擁壁工を施すとともに、切取り面より上部の斜面についても、とくに長大な斜面の場合には、斜面の安定と崩壊に対する防止工が必要である。さらに、斜面崩壊のおそれのある場所では、擁壁と家屋とのあいだに一定の距離を保つことが望ましい。

また、後項の場合の対策として、門田博知がのべているように道路際に側溝を設け、側溝には土石や木片などによる埋積を防ぐためにグレーチング(網目のふた)を施すことが必要と考えられる。

3. 災害斜面の数量的分析

3.1 崩壊密度図

山地崩壊の分布状況を数量的に把握するために、呉・三原地域と六甲山地の双方について崩壊個所の等密度線を作製した。これらの作業方法は、1.2でのべた災害分布図に縦横1kmごとの方眼を引き、その方眼内の崩壊個所数を数えて崩壊密度とした。さらに、数値10ごとの等値線図をえがき、20万分の1図上にまとめた(図-7~9)。以下、各地区ごとに崩壊密度の内容について記述する。

a. 呉市とその付近

崩壊密度の高い地域は、休山地区を主とする呉市南部から音戸町北部に及ぶ地域がもっともいちじるしく、1km²当り個所数は30以上60余に及んでいる。ついで、安浦町、川尻町の南部、蒲刈町、下蒲刈町の南東部において、密度20から30程度の地区が散在する。これらの崩壊多発地

表-3 崩壊数と崩壊密度(呉市他)

市 町 村 名	総面積(A)	崩壊個所(B)	崩壊密度(B/A)
呉 市	144.0km ²	2,115	14.7
(休山地区)	(21.4)	(1,087)	(50.8)
川 尻 町	16.2	123	7.6
安 浦 町	64.2	267	4.2
蒲 刈 町	19.1	224	11.7
下 蒲 刈 町	8.7	112	12.9
音戸町(北部)	10.5	388	37.0

域に共通的なことは、いずれも花崗岩、花崗斑岩からなる山地であり、一方、野呂山を中心とする流紋岩の山地では崩壊密度はいちじるしく少なくなっている。また、上蒲刈、下蒲刈の両島では、それぞれ島内において、地質の相異によって崩壊密度が判然と異なっており、花崗岩の山地地域に

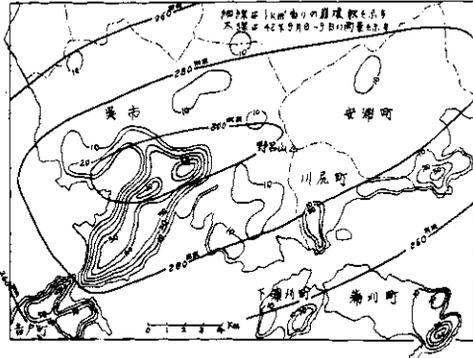


図-7 崩壊密度図(県とその付近)

きわ立って崩壊数が多く、古生層の粘板岩の山地では少なくなっている。

b. 竹原・三原地区

図-8は竹原市ならびに三原市付近の崩壊密度図である。この地区でもっとも崩壊の多発した地

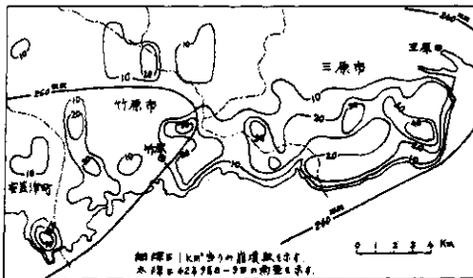


図-8 崩壊密度図(竹原・三原地区)

区は、竹原市の東部から三原市の南部にかけての範囲で、1km²当り崩壊数は20~40に及んでいる。また、安芸津町の東南部などに密度20~30の地域が散在してみられる。これら崩壊密度の高い地域は、地質図によると三原市天井川南部流域と竹原市東部の花崗岩地域、三原市筆影山から黒滝山付近に広がる古生層の粘板岩地域ならびに竹原市西部から安芸津町に及ぶ流紋岩地域の一部とかなりの多様性を示している。前述した上蒲

刈島における粘板岩地区や野呂山流紋岩地区では、隣接する花崗岩地域に比べて崩壊の発生はきわだって少なかったが、本地域では粘板岩や流紋岩地区でも崩壊の多い状況がみられる。筆影山付近の古生層は、花崗岩の上部にルーフペンダント状に載っていると判断されるもので、山頂部は緩傾斜で風化土層におおわれ耕地もよく開けているが、山腹部はいちじるしい急傾斜地をなし崩壊地が多く発生している。

安芸津町南東の流紋岩地区は台地状の丘陵地形を呈し、背面は緩傾斜であるが、丘陵縁辺の急斜面には小規模の崩壊が多く発生している。丘陵背面はよく耕地化されているが、部分的に禿積地が散在しているのが注目される。

c. 六甲山地

六甲山地の崩壊密度は図-9に示すようなものであるが、この山地の中で崩壊の多発地域は、摩耶山南麓から再度谷を経て鶴越にいたる範囲がもっともいちじるしく、1km²当り50~130に達している。これについては、住吉谷中流部から金鳥山に連なる部分が50~60の密度を示しており、また六甲山北西斜面の小川谷流域にも50~70の密度の部分が見られる。

六甲地区における昭和36年6月の豪雨災害における崩壊地の多発地域をみると、とくに六甲山地の北側斜面に集まり、小川谷、長尾谷、地獄谷などは1km²当り50~70か所の崩壊が数えられる。一方、六甲山地の南斜面は10~20の密度のものが多く、摩耶山の南麓から鶴越付近を経て鉢伏山にいたる南西山麓部においては30~60と高い密度の地域がみられた。

このように、昭和42年と昭和36年、さらに昭和35、昭和13年の既往豪雨災害における崩壊の発生状況からみて、六甲地区の崩壊については、

- 1) 六甲山地南麓部、すなわち表六甲では、とくに摩耶山麓から鉢伏山にいたる西南部に顕著である。
- 2) 六甲山主峰の北西側、すなわち裏六甲の有野川上流部の地獄谷、小川谷などにいちじるしい。また、大多田川、有馬川の上流部もこれについて目立っている。
- 3) 表六甲の東部では、住吉川の上中流域がいちじるしい。

これらの地域に崩壊の多発する条件としては、

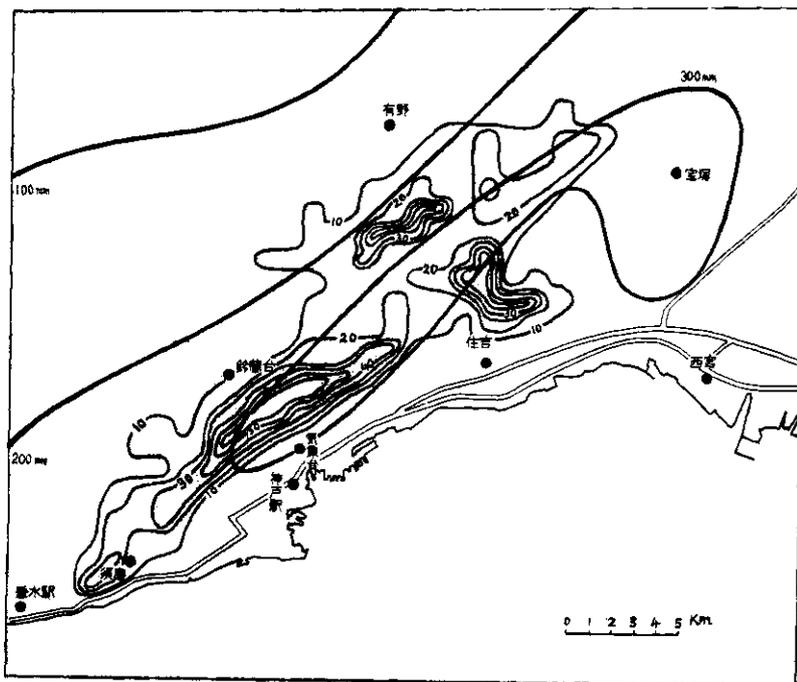


図-9 崩壊密度区(六甲山地)

太線は42年7月9日の日雨量, 細線は1km²当り崩壊数を示す.

とくにつぎのような諸点があげられる.

1)については, 布引花崗閃緑岩の分布する地域と崩壊多発地域がかなり共通していることである. とくに, 表-9に示す密度40以上の範囲とほとんど一致している. また, 諏訪山断層など山地南斜面に断層が卓越し, 急斜面が多い.

2), 3)に関しては, 六甲主峰をはさんで南と北から侵食する溪流河川の源流部にあたり, 谷頭侵食がもっともさかんな部分である. 傾斜もいちじるしく急斜面をなしている.

3.2 崩壊地の規模, 面積, 標高

崩壊の発生か所数とともに, その規模, 面積などを考察した. 呉市の休山地区を対象に, 空中写真より崩壊状況を2千5百分の1都市計画図に書入れ, 崩壊地の斜面長, 斜面幅, 面積, 標高差を地図上で測定した.

すでに広島大学工学部土木教室では現地調査によって上に示した項目, その他について詳しい報

告をされている. ここでは空中写真の判読からアプローチしたわけであり, 広島大の調査範囲が休山地区の高度150m以下であるのに対して, 地域全体を計測の対象とした.

まず, 崩壊地の規模については, 崩壊部に限ってみると, その平均的な大きさは約1aであり, 正方形とすると10m×10mとなる. この大きさは, 休山地区の流域地区別にもみても偏差は少なく0.7~1.2aの間にある. 個々の崩壊部についてみると, 規模の大きなものは10aにも及ぶものもあるが数は限られている. 大きな崩壊部の形成要因としては, 二つ以上の崩壊部が拡大複合して見掛け上一つの崩壊部の形を示すもの, 崩壊源が道路の欠陥などに起因しているものなどが考えられる.

つぎに, 標高差については, 0~50m, 50~100mというように50mごとに階級区分し, 各階級ごとの崩壊か所数を求めた. それによると, もっ

とも崩壊の多い高度帯は50~100mであって全体の23%を数え、ついで100~150mの20%、0~50mの17%、150~200mの14%とつづき以下高度を増すごとに低減している。

これらの高度別の比率は、各高度帯の面積を明らかにしたりうえで算定すべきであろう。ゆえに、その結果を図-10にまとめ、高度帯別の面積と崩壊数との関係を示した。これによると崩壊密度の大きいゾーンは標高100~300mであり、とくに250~300mはいちじるしく、100~150mがそれについている。この二つの高度帯では面積のグ

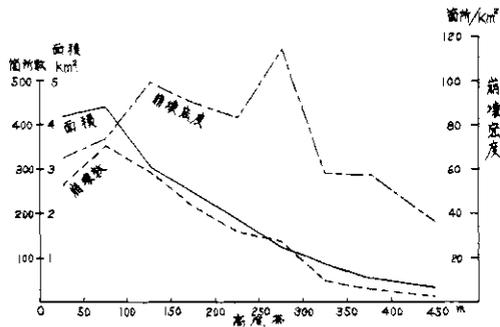


図-10 高度帯別面積と崩壊数との関係(呉市休山)

ラフが相対的に落ち込んでいるのに対して、崩壊数のグラフは突出している。このことから、谷頭侵食などがもっとも活発で、傾斜も急である部分に相当するのではないかと判断される。

3.3 流域別荒地化面積

豪雨による土砂の崩壊、流送、堆積作用の結果として、流域別にどの程度の面積が荒地化を示しているかを調べた。呉市内でその最もいちじるしい区域は浜田川の流域であり、流域面積に対する荒地化面積の割合は9.1%に達している。休山地区全体の荒地化率は3.3%であり、これを背稜部で2分して北西斜面側と南東斜面側についてみると、2.5%と4.0%であり、後者が大となっている。また、後者から浜田川流域を差引くと3.5%となり、浜田川流域の災害がとくに大きな比重を示すことがわかる。

つぎに、荒地化面積の内訳をみると、休山地区の平均では、概略のところ崩壊部1、流送部2、堆積部1.4の割合である。しかし、この内訳は各河川流域別にみるとかなり差異があり、たとえば浜田川流域では崩壊部に対して流送部や堆積部の面積が平均

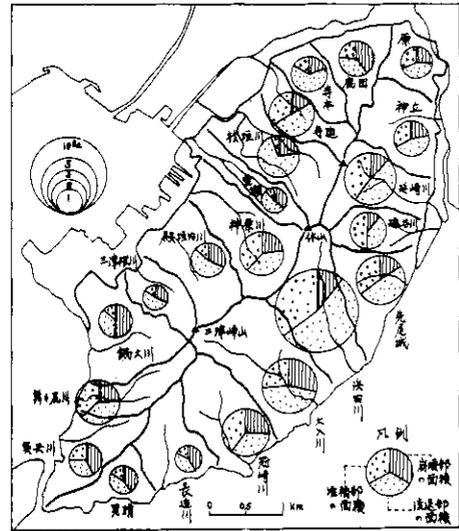


図-11 流域別荒地化面積(呉市休山)

よりはるかに多い値を示している。これは、溪流の中流部における流送、堆積と下流部における土石流堆積がいちじるしかった結果と考えられる。このような浜田川に似た様相を示す河川としては、休山南東側斜面域では塩谷川、延崎川があり、荒地化率も4%前後である。休山北西斜面では和庄川、檜垣川、舞々尻川の流域がかなり荒地化し、4~5%の高い割合を示している。

3.4 山地崩壊の反復性

この項については、すでに別に発表しているもので、詳しくはそれにゆずりたい。崩壊の反復性とは、崩壊が同一地点かそれに接した地点に反復して発生することをいう。たとえば、呉市については昭和20年9月の枕崎台風による豪雨で、今回の災害に比較される大きな災害が発生した。この枕崎台風時の崩壊地を昭和22~23年撮影の米軍4万分の1空中写真から判読して、1万分の1地形図上に記入し、今回の同じ縮尺の崩壊地分布図と対照した。それによると、昭和20年に崩壊した地点で、今回も崩壊しているか所の重複度は7%であり、あまり多くはない。これは両災害年次の降雨中心域が地域的に多少ずれていることによるもので、20年の豪雨域は呉市の北部に偏しているのに対して、42年の豪雨域は南部を中心としている。北部と南部の漸移する中間地区では、反復性は10%とやや大きな数値を示している。六甲地区では、昭和36年6月の崩壊と昭和42

表-4 崩壊地の反復発生度

項目	呉地域	六甲地域
面積	7.4 km ²	7.12 km ²
崩壊か所数 (A)	712か所	3,513か所
(B) S20年	—	—
S36年	—	—
S42年	1,971 "	3,589 "
重複か所 (W)	83 "	821 "
重複度 ($\frac{W}{\sqrt{A \times B}}$)	7.0 %	2.31 %

年の崩壊との反復度はかなり高く2.3%に及んでいる。

4. 崩壊地域の現地調査

現地調査においては、空中写真、地形図とともに、崩壊地調査カードを用意し、各項目について現地で観察、測定しながら記入を行なった。調査項目としては、

- (1) 崩壊規模(幅、長さ、深さ)と傾斜度の測定
- (2) 崩落層および基盤層の構成物質についての観察
- (3) 基盤岩石の走向傾斜、節理の状況
- (4) 地下水、植生ならびに土地利用の状況
- (5) 崩壊地の形状スケッチと注釈
- (6) その他の特記事項

などである。

調査地域の選定は崩壊による地形変容のいちじるしい地区、家屋などの被害の大きかった地区を対象とした。ここでは、それらについて崩壊の類型別に数地区を例としてあげ、豪雨災害の概況をのべることにする。

4.1 山腹崩壊の事例

呉市郷においては、国道185号線をはさんで東側の大空山の山腹と西側の山腹に崩壊地が2,3か所ずつ発生し、山麓の市街地に土砂を押し出して家屋を倒壊させた。崩壊源は山腹の谷型斜面の頭部であり、山頂より分岐する尾根筋のすぐ下部から起こっているものもある。崩壊地の規模は斜面長のやや長い大空山側の2か所が大きく、40~50aに達しているが、斜面長の短い西側では10a程度にとどまっている。しかし、崩壊源だけの規模はおしなべて1~2aで差はあまりみられない。傾斜については、平均して崩壊部38°、流送部25°、堆積部10°であった。

これらの中でもっとも大きな崩壊地は、大空山

自動車道の道路際からくずれ出したものである。崩壊の発端として、道路上に山側からの小崩壊があり土砂が堆積した。豪雨時に道路を流れていた雨水は、これに妨げられて路肩から谷側にあふれ、下部をえぐったことが大きな崩壊の因となった。斜面を流下した流送土砂は、豪音を発して一挙に山麓部に押し出し、10人の人命を奪い数戸の家屋を倒壊させた。災害後、郷東の3か所の崩壊地にはそれぞれ谷止めダムが設置され、また郷西の2か所には階段状の小ダムや流路工が施工された。

呉市長浜町における集落背後の山腹急斜面には、数か所の崩壊地が発生し、そのうち2か所では土石流の押し出しにより家屋の倒壊があった。崩壊地の特徴としては、谷幅が狭く溝状をなしており、とくに下流側ではV字状に深さ数メートルも掘り込まれている。傾斜はかなり急で崩壊部では35°~40°に達する。このような谷筋が細かく入り込み、隣接する谷筋との間隔もせまい。崩壊部の表土は厚さ50cm前後の細粒のマサ土で多少粘土化しており、その下部はやや固い花崗岩の半風化層である。また、流送部は一般斜面よりも溪流の河床に近い深い刻みがみられ、花崗岩の基盤が露われている。斜面の規模に対してV字型の深いき

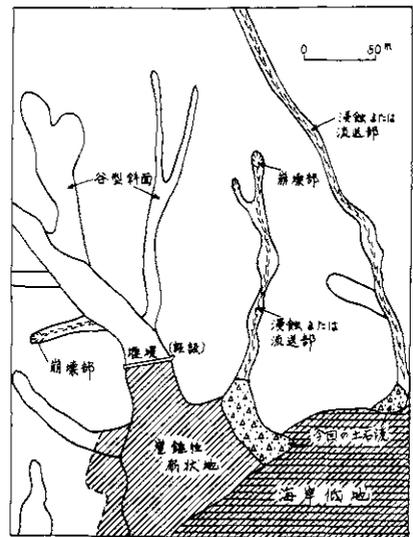


図-12 呉市長浜の崩壊地(斜線部は集落を示す)

ざみが顕著なことはいかなる理由であろうか。一つには、地下水の影響が考えられるが、なお今後の調査に待ちたい。それに関して、長浜部落東方

の螺山の中腹以上は古生層の粘板岩よりなり、山頂部はかなり緩傾斜をなしている。この一帯に貯えられた地下水は、中腹以下の花崗岩地域に流下しているのではなからうか。そして、表層の花崗岩に水みちをつくり、深くそれを刻むようになったものと推定される。この螺山中腹以下の花崗岩地区の谷密度の細かなことは、地下水の影響によるものではないだろうか。呉市横路における深く狭い崩壊斜面が多いことも、山地上部が流紋岩で下部は花崗岩地域であることから、こと共通の理由が考えられる。

音戸町音戸の裏山の急斜面にも崩壊が多数発生した。そのうち、広島銀行裏側では山腹より崩壊、流送した土砂が末端でジャンプし、木造の建物に衝突した。その破壊の状況を見ると、建物の下部1mほどを残して上部が大破している。いわゆる鉄砲水に類する流送の仕方をなしたものと考えられる。この崩壊地の規模は幅18m長さ55m、平均傾斜は35°である。この地点より30mほど西には、古い崩壊地跡とみられる石積みの山腹工を施した谷筋の部分があるが、今回の豪雨においては少しの崩壊もみられない。

4.2 崖状崩壊（壁状崩壊）の事例

呉市警固屋8丁目における石油給油所裏の崩壊地が例としてあげられる。これは傾斜角41°、高度5~47m幅48m、長さ45m（斜面長60m）、面積は22aに及び、崖状崩壊の規模としては呉市では最大級のものである。崩壊発生の直接の原因とみられるものは、斜面上方における山腹を縫う幅1.5mほどの道路の側壁と路肩の欠壊である。急な斜面を崩落した土砂は直下にあった家屋を埋積した。堆積の土砂量は1,000m³程度と推定される。

浜田川河口部東側の斜面崩壊もかなり規模の大きな壁状の崩壊で傾斜角は46°、比高35m、長

さ34m、幅45m、面積は14³に及び、この崩壊発生地点は警固屋8丁目と同じく、休山花崗岩山地の末端部にあたる山脚が直接海岸に臨むところである。斜面の走向は判読の断層構造線に沿っており、また、かつての海食崖を思わせる極急斜面を形づくっている。さらに警固屋8丁目と同じく、急傾斜の斜面の直下に家屋が位置していたが、斜面とやや距離を置いていたので、被害は家屋の一部の損傷に止まった。

壁状崩壊の二つの例はともに崩壊面積が大きい。これは単一の崩壊ではなく、隣り合った二つないしそれ以上の崩壊が複合的に発生したものと判断される。すなわち、崩壊斜面のくずれ方をみると、中央部などに原斜面があまり変形を受けないで島状に残っているのが認められる。

4.3 溪流崩壊の事例

斜面崩壊に対して、溪流沿いに発生する溪流崩壊の事例として、呉市浜田川流域があげられる。溪流崩壊の典型は側方侵食（岸欠壊）であるが、溪流部の地形災害としてはその他に、下方侵食（河床の洗掘）、河床部への堆積、下流部低地に対する土石流はんらんを含むものである。

浜田川流域の災害は、呉市域においてもっとも規模の大きい災害であった。とくに、下流部に押し出した土石流は、大入小学校や十数戸の家屋を倒壊し、河口部の製粉工場の建屋内に1m余りも厚く礫を堆積した。

浜田川流域全体の崩壊地域（山腹斜面を含む）は122か所を数え、その面積の合計は7haに及び、さらに、主谷流送部の面積は2.2ha、堆積部は3.4haに達した。

表-5に示すように浜田川の本流における標高334mの合流点より上部を源流部とし、それより下流の右岸側の一支流との合流点（標高158m）

表-5 浜田川の流路区分と性状

本流区分	延長	標高差	傾斜	河床幅	運搬様式
源流部（1~2次谷）	440m	161m	20°		崩壊、流送
上流部（3次谷）	770m	176m	13°	10~25m	流送、堆積
中流部（4次谷）	610m	102m	10°	13~30m	流送、堆積
下流部	490m	56m	6°	40~100m	堆積
計	2,350m	495m	12°(平均)		

までを上流部、それより浜田川堰堤（昭和42年3月竣工、ダムの頂部の標高は約60m）までを

中流部、それより以下海岸までを下流部とする。

表-5のうち、源流部の傾斜は20°であるが、

これを中点で2分して計ると源流部上部は25°、源流部下部は1.4°であった。崩壊が多く発生している地点は、源流部の上部とくに谷頭部に集中しており、傾斜の急なことがその大きな条件であると思われる。源流部の下部の傾斜は3次谷の傾斜に接近しており、ここでは両者の間の差はほとんどない。

上流部においては、その一部に堆積段丘が延長180mにわたってみられる。これは、洪水流のピーク時に河床部を広く埋めた土石がその後水位の低下とともに中央部分が侵食され、両側の部分が段丘状に取り残されたものである。この堆積段丘が形成された部分は、以前から谷幅が多少広く、傾斜も10°程度でやや緩い盆地状の地形で1haほどの棚田が開かれていた。今回のような堆積は以前から繰返し行なわれていたと考えられる。なお、棚田の大半は今回の洪水流による堆積、侵食によって潰滅した。この盆地状地形の下流は急傾斜の遷急点をなしている。

中流部では、支流合流点より下方100mに幅25m、高さ5mの石積みダムがあり、その背後は流送土石でいっぱい埋まっている。土石は、さらにダムを越えて下流に流下したが、その際にダ

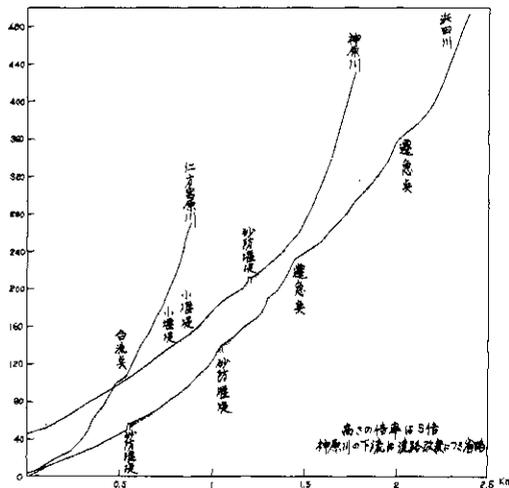


図-13 浜田川ほか2河川の縦断面

ムの天端の一部がこわされている。

中流部の流送を主とする区間では花崗岩質の岩盤が露出し、また、所々に長径が数メートルに及ぶ巨石もみられる。岩盤の反発度をシュミットテストハンマで調べると40~60で比較的硬い。浜田川

堰堤の手前120mからは堆積区間となり、ダムまでのあいだ土石が広い河原をつくっている。土石の大きさはダム付近では2~30cm大の礫が多く、ダムの横手からみると土石堆が天端の線より盛上りがって堆積しているのが認められる。

浜田川の下流部は幅3mの狭い水路であるが、はんらん時の土石流はその水路幅の10倍以上に広がって、扇状地性の谷底平野を流下し、流路の跡はいちめんの土石堆となった。なかには直径数10cmから1mの大石もみられる。この下流部の傾斜は6°であるが、隣接する大入川や冠崎川の下流部の傾斜が3°~4°であるのに比べて急であり、しかも、河口部近くまではほぼ同じ傾斜で続き、そこで末端が急に落ちている。これは、いままでも土石流的な堆積作用が盛んであったことを示すものであろう。明治32年測図の2万分の1地形図、同じく明治43年修正版には浜田川流域には人家が描かれてないが、大正14年測図の2万5千分1地形図から若干の家屋がみられる。永らく集落の立地がみられなかった理由の一つは、はんらんの頻度が高かったことによるとと思われる。

呉市周辺は休山山地に代表されるように、短小な溪流河川が数多くあり、溪流部の災害として、それぞれ多少異なる様相を呈している。休山北西斜面では今回の災害でいちじるしかったものに寺迫川槍垣川があり、昭和20年の災害では神原川、室瀬川があげられる。寺迫川では溪口部に設置された

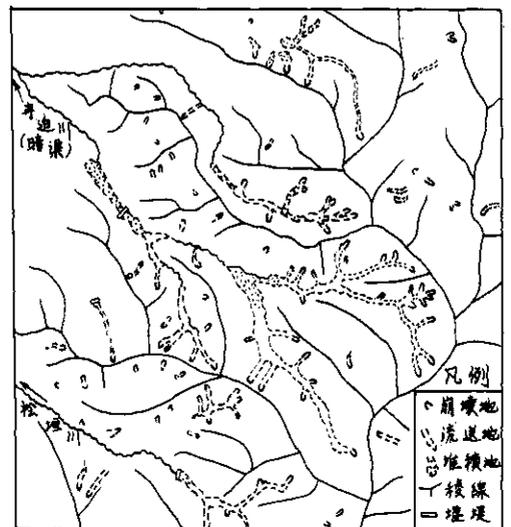


図-14 呉市寺迫川流域の崩壊地

高さ8mのダムを流送土砂がオーバーフローして、下手の水路沿い25aの区域に堆積し家屋数軒を破壊した。ダムは吐口まで土砂で埋積され、大石も散乱している。ダムより上手では木の幹や枝葉に2~3mの高さに洪水流の泥が付着し、ピーク時の洪水流の激しさを示している。

檜垣川については、中流部に昭和26年に建設省呉砂防工事事務所によって施工されたダム(幅30m、高さ8m)があり、上流側は土石の堆積で大部分埋まっているが、上流からの土石をここで止める役割を果たした。しかしながら、ダムより下流で水路が道路下を暗きよでくぐる部分では、流木と石が詰まって閉塞し、ために水流は流路より越水して左岸側の道路上を流れ、暗きよより50mほどの間をはげしく洗掘した。

神原川については、昭和20年の土石流は多くの家屋を破壊し死者102名の多きに及んだが、今回の災害では上流部に発生した崩壊は標高210m地点にある長さ50mのダムの手前で止まっており、下流側にほとんど被害はなかった。

休山山塊の東側斜面にある延崎川では、部落上手の標高100mの地点にある広さ12aの溜池が砂防ダムの役割を果たし、上流よりの流送土砂はここでほとんど止まった。この溜池が欠陥すれば下方の集落は大きな被害を受けたであろうが、土のうを積んで補強した甲斐あってか大事に至らなかった。ため池とその背後の水田はいちめんの砂礫堆積地となったが、地形的にみてここは本流と二つの支流が合流する地点であり、はんらん危険が大きいと考えられる。

今回の災害は延崎川の南の塩谷川においては、本流より北側の支流に崩壊が多く発生し、流木の数多い流出と小ダムの大破がみられ、1haに及ぶ水田が埋没された。堆積土砂の厚さは薄く30~50cm程度である。塩谷川の流域の地形については、中流部に段丘状の山麓緩斜面が数十ヘクタールの規模で分布する。この緩斜面では花崗岩の風化がいちじるしく進み、表面より数メートルの厚さにわたってマサ土化している。塩谷川の流域は、山地斜面に必従的に東へ流れる数本の谷が中流部で山麓緩斜面を刻み、塩谷部落の上手でつぎつぎに主流に合流してから海に注ぐ。ここも、上流部の拡がりに対して、下流の流路が狭く、出水に対する対策が望まれる。

つぎに、呉市仁方の宮原川は、延長800m程

度の急なこう配の短小な溪流である。その上流部の2か所はかなり大規模な谷頭侵食型の崩壊が発生し、流送土砂は谷型斜面とそれにつづく溪流部の河床を洗掘し、下流部では基盤の花崗岩が連続的にあらわれた。これまでは野溪のままの状態です砂防工事はなされておらず、今回の豪雨によって谷の出口まで土石流を押し出し、国道185号線と国鉄呉線を埋積した。災害後、谷止めの砂防ダムが下流部に設けられている。

呉市の北東部の山地、すなわち灰ヶ峰から野呂山の地域は流紋岩からなり、休山地区とは地質の相異から崩壊の規模、密度、様式などが異なっている。ここでは広大川右岸の大広川の流域に例をとってみると、山の細かなひだが少なく、斜面が長大であるのを反映して、崩壊地の規模は比較的大きなものが多い。風化土は40cm前後の薄い層からなり、その下部に割れ瓦のような板状の角礫が基岩をおおっている。山腹に発生した崩壊地五つの平均では、傾斜38°、頭部(崩壊発生部)の平均の大きさは8m×12m、流送部の平均は7m×90mで、その面積は7.3aである。五つの崩壊地のうち二つは斜面下の田に流送の土石を崖錐状に堆積させている。

4.4 竹原・三原地区の崩壊地

竹原市の西方、在屋川の流域は流紋岩の地質からなり、崩壊の規模は呉の大広川流域に似て長大なものが多い。ここでは風化土は厚さ70cm前後あり、白味噌のような淡褐色を呈し、水を含むとかなりべとつく性質をもっている。100mに及ぶ長い斜面を流れすべった崩壊土砂が下の溪流を飛び越し対岸ののし上がって堆積しているのが2か所で認められた。

竹原市街の東方から三原市にかけての一带には花崗岩山地が拡がり、崩壊の状況は呉市休山のそれとかなり共通的である。

三原市においては、西部を流下する天井川の流域にかなりの密度で崩壊が起こっている。すなわち、広島県下では呉市、音戸町について三原市西部の密度が高い。天井川の名称から推察されるように、花崗岩山地をおもな流域とするこの川は流出する土砂のために比高10mに達する天井川を形ついている。今回の災害では、南側山地より流出する支流の土砂流出が多く、なかでも平家谷川流域では崩壊の発生がいちじるしかった。この川の中流で二つの溪谷が合流する地点に長さ52

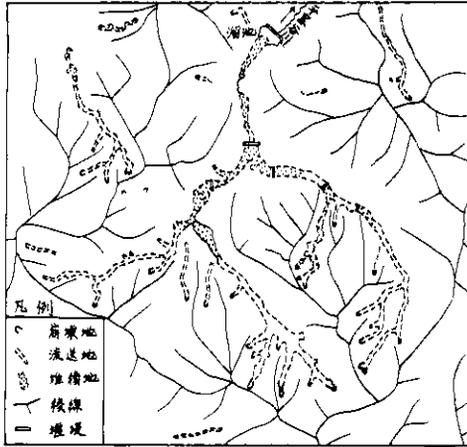


図-15 三原市天井川上流の崩壊地

m, 高さ1.2mほどの大ダムがあるが, 流送してきた土石はこの大ダムの内部をいっばいに埋めている。さらに, この大ダムから越流した土砂は下流の石積み小ダムならびにその下流の広さ30aのため池の大部分を埋め, とくにため池の内部には砂礫からなる堆積段丘とその先端に砂泥の扇状地がつくられている。また, 大ダム背後の溪流には中規模のダムがあり, そのうち西側の溪流のダムでは径1~2mの岩塊が盛り上がり堆積し, 東側の溪流では3段のダムがそれぞれ土石で埋まり, 上流のダムほど岩塊の割合が多くなっている。これらダムの上流部は急傾斜のV字谷となり, 河床には巨石が転在する。平家谷川の上流域には大小37か所の崩壊地が発生し, かなり荒廃した様相を呈している。また, 平家谷川の東南側の尾根筋には, 堅い花崗斑岩の岩塊があらわれ, けわしい斜面を形づくっているのが特徴的であり, 溪流に押し出した岩塊の供給源をなしていると考えられる。

天井川の支流では, そのほかに関屋部落を流れる小川が欠壊して3軒の家を破壊し, 1.2haの水田を埋没させ, さらに本支流の高い堤防でさえぎられた水は1週間余り水田にたん水した。池内部落でも同様にして規模は小さいが水田の埋没があった。

三原市内において, 家屋災害のもっともいちじるしかったのは宗郷部落であり, 倒壊家屋は10戸に及んだ。この部落は天井川の一支流である宗郷川の谷底平野に位置しており, 宗郷川はこれまで砂防工事がほとんどなされていない自然河川で

あった。流域における崩壊地の発生は比較的少ないが, 溪流河床部の洗掘, 流送, 堆積の作用はいちじるしく, とくに部落上手の水田は潰滅し数百メートルにわたって花崗岩, 石灰岩, 変成岩の巨石が累積した。土石流の末端は流路沿いの家屋を倒壊し, また下流に押し出された細粒の土砂は水田に流入して2haを埋積した。宗郷部落の集中的な被害は土石流の勢いを抑える砂防ダムを設置していれば軽減されたと思われる。おそらく今回のような災害は従来経験されなかったものであろう。宗郷川は3.1kmの流長があり, 流域の縦断平均傾斜は6°で呉の浜田川に比べてかなり緩やかである。流域に発生した崩壊地は53か所で, 崩壊密度は1km²あたり1.7にとどまる。斜面崩壊は比較的少ないにもかかわらず, 溪流部のいちじるしい荒廃が特徴的であり, とくに河床の洗掘による巨石の流出, 土石流堆積は溪流災害の一典型をなすと考えられる。

5. 結語

本調査において明らかにした事項としては, 調査期間が短いことなどによって, 十分な結論を得られたとは言いがたい。しかしながら, 山地崩壊の問題について今までのべたような作業から, 新たな検討を行ない若干の知見をうることができた。まとめとして, それらを項目別に記すとつぎのようなものである。

(1) 空中写真の判読をおもに, 崩壊地の状況などを地形的条件のもとにおいてとらえたこと。ただし, 対象地域が呉, 三原地域と六甲地域の広い範囲にわたり, 災害分布図の作製には多くの労力をついやした。

(2) 崩壊地を崩壊部, 流送部, 堆積部に3区分し, その分布状況を明らかにするとともに, 崩壊から堆積にいたる一連の状況を形態上から検討した。

(3) 2千5百分の1ないし3千分の1空中写真を使用して, 5百分の1細部調査地形図を9地区について作製した。とくに, 崩壊地など微細地形の忠実な表現に留意した。

(4) 山地の斜面形と崩壊地の発生位置について考察を行ない, 直線型斜面と谷頭斜面に崩壊地の発生がいちじるしいこと, 前者は散在的で小規模のものが多く, 後者は侵食作用の集中地点で崩壊発生の確率が高いことを明らかにした。

(5) 過去の大きな災害について, 今回のものと

と同じ基準で崩壊分布図を作製し、崩壊の反復性に関する統計的な考察を行なった。

(6) 現地調査により、主要な崩壊地域の状況を観察・測定し、類型別にそれらの特色を明らかにした。

謝辞

今回の調査には、関係した多くの方々に種々お世話になった。とくに、同僚の羽田野誠一氏には調査の実施計画その他について助力して頂き、また、鈴木(旧姓野呂)勝義、坂本千代子の両氏には、現地調査ならびに災害分布図の作製に協力していただいた。あわせて感謝する次第である。

参考文献

- 安藝元清(1969): 防災と地図——防災計画への地図の利用——, 全国防災協会
広島県(1963): 広島県地質図(20万分の1)同説明書
広島県土木部砂防課(1951): 昭和20

- 年9月17日における呉市の水害について
建設省国土地理院(1968): 第22回建設省技術研究会報告, 研究課題・空中写真の判読研究
建設省近畿地方建設局(1968): 六甲山系砂防調査報告書(第5回)
小林基夫(1968): 豪雨による山地崩壊の反復性について——呉・六甲の事例——
第5回災害科学総合シンポジウム, pp. 207~208
門田博知(1968): 昭和42年7月集中豪雨の実態について, 土木工学会中国支部災害科学中国地区班(1967): 昭和42年7月豪雨による呉市の災害の調査速報, 呉市役所刊
上田一人(1954): 門司市大山崩における崩壊源の性格——防災都市計画の基礎として—— 地理学評論, Vol. 27, No. 9