

崩壊災害の地形的特性 (1)

—昭和42年7月豪雨, 羽越豪雨に伴う崩壊—

奥田節夫・柳瀬 訓*・横山康二

GEOMORPHOLOGICAL CHARACTER OF LANDSLIDES

PART (1)

—Landslides resulting from heavy rains at Kansai
and Uetsu Districts in 1967—

By *Setsuo OKUDA, Satosu YANASE**
and *Kōji YOKOYAMA*

Synopsis

Airphoto analysis and field surveys were carried out for the study of geomorphological character of landslides resulting from heavy rains at Rokko mountain system and Tsubeta districts in 1967.

The relations between the number of landslides, the number of stream segments and the mean relief at specified areas were investigated with reference to geological conditions at Rokko mountain system.

Boulder distributions after mud flows at Tsubeta and Horikoshi valleys were observed by the use of radio controlled airplane and it was found that large boulders were distributed almost uniformly over the lower valleys and alluvium fans.

1. 緒 言

豪雨ともなる崩壊災害は、地質・土壌・地形などの素因的条件と降雨特性の誘因的刺戟のさまざまな組合せによって複雑な様相を呈し、その発生のメカニズムに対して統一的なイメージを作ることは容易ではなく、多くの崩壊地の調査解析を必要とする。

崩壊災害に対する研究方法は主として土質力学的に特定の斜面の安定不安定を論ずる微視的な立場と、ある拡がりをもった地域の地形、地質的条件から崩壊地の分布、形状を論じる巨視的な立場があるが、現段階では両者が十分に補足しあって成果が上っているとは云えない。

本稿は、微視的な研究の成果との対応を考慮しながら、主として巨視的な視点に立って崩壊災害の地形的特性を明らかにすることを目的とするものである。

具体的には、昭和42年に西日本地方を襲った7月豪雨によって発生した六甲山系（神戸市周辺）の崩壊災害および羽越豪雨による菱ヶ岳山麓（新潟県北蒲原郡安田町）の崩壊災害を対象として、空中写真判読および現地調査の結果にもとづいて、その地形的特色を述べるものであるが、両地域は地質的にはともに花崗岩

* 建設省国土地理院技官 研修生

風化地帯であり、降水特性も近似しているなのでその比較は興味深い。

2. 六甲山系の崩壊地分布

六甲山系の豪雨による崩壊は、正確な記録が保存されている近年に限っても昭和13年7月(1938年)、昭和36年6月(1961年)および昭和42年7月(1967年)と三回もくり返されており、その実態調査、崩壊のメカニズムに対する研究も数多くなされている^{1), 2)}。しかしながら今年度の崩壊は数が多くその分布も過去のものとかかり異っているので精密な現地調査の完了する以前の段階でも空中写真判読に基づいて崩壊地分布の地形的特性を検討することは、意義深いものと考えられる。

近畿地建六甲砂防工事事務所より提供された空中写真(1/1万)約300枚を利用して、六甲山地の識別出来る崩壊地(殆んど山腹崩壊で一部崖くずれを含む)を地図に記入すると、Fig. 1の分布図が得られる。ただし、図中の崩壊地記号はその位置を示すものであり、記号の大きさは、とくに大きな崩壊地を除いては崩壊面積の大きさを現わしていない。

昭和42年7月豪雨の降水特性を Fig. 1 に記入した4地点(R_1 , R_2 , R_3 , R_4)の雨量観測のデータから求めると Fig. 2 の hyetograph が得られる。このグラフから裏六甲の R_1 地点のみが、やや雨量が少なく、表六甲では殆んど同程度の降水があったものと考えられる。

しかるに Fig. 1 の分布図では、新湊川、宇治川、生田川の流域にとくに崩壊地が多く、地質的あるいは地形的特性を考慮しなければこの分布の説明は不可能である。

ちなみに昭和13年の豪雨による崩壊地分布をみると¹⁾、雨量が西寄りにやや少なかった割に¹⁾、西方の千

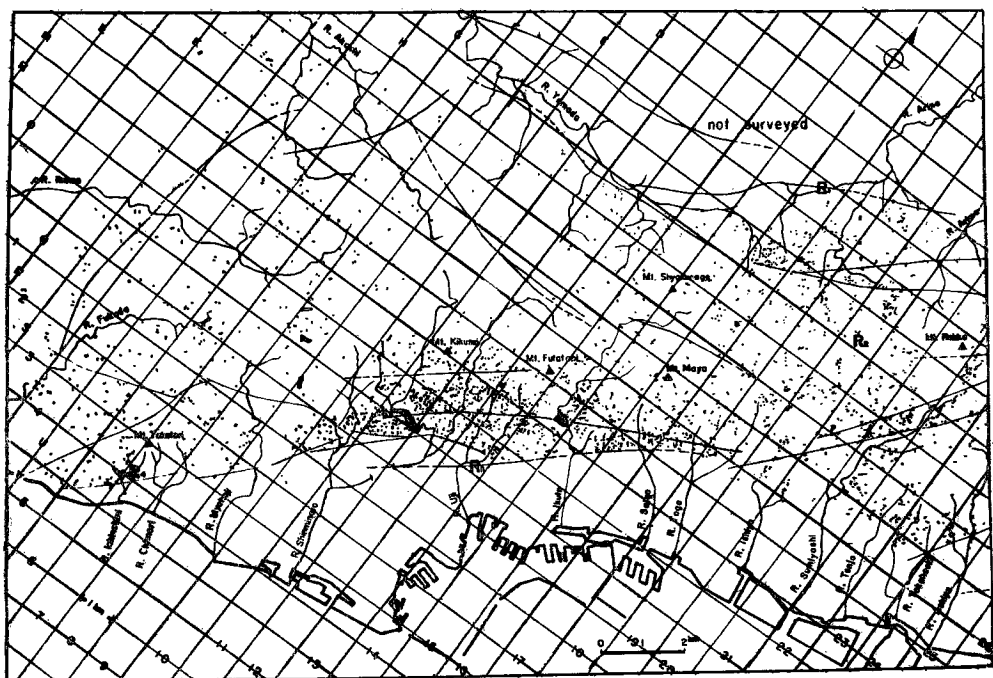


Fig. 1 Distribution of landslides which occurred in 1967 July at Rokko mountain system.

R : rain gauge station, ----- : main fault,
• : position of landslide.

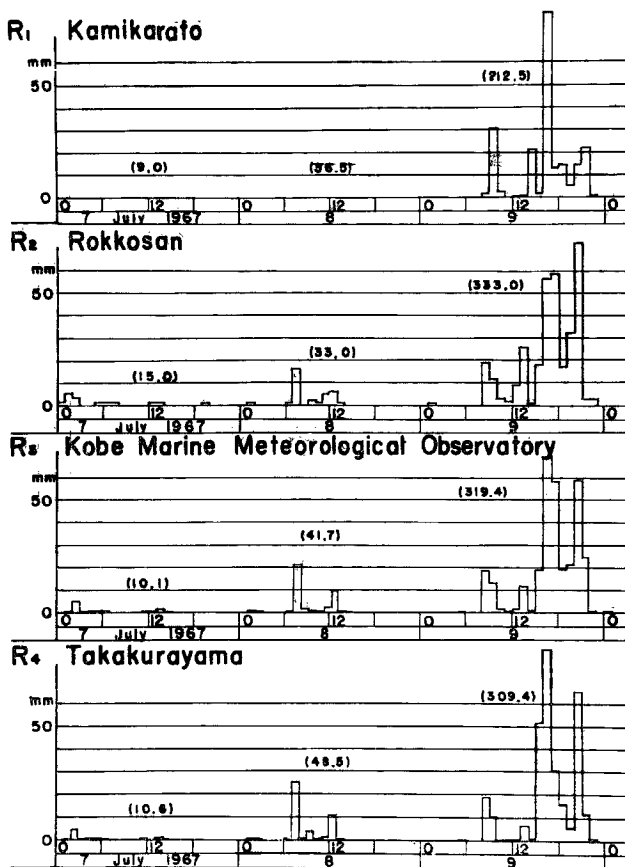


Fig. 2 Hyetographs recorded at rain gauge stations R₁, R₂, R₃ and R₄ in Fig. 1.

森川、妙法寺川流域に崩壊地が多く、42年の分布と異なっている。

ただし異なった年次の崩壊地点数は調査者のとり上げる崩壊の規模の差により左右されるおそれもあるので、とくに精密調査が行なわれている再度谷について3回の崩壊地分布の比較を試みると Fig. 3 が得られる。ただし前2回は、すでに発表されている分布図¹⁾ を利用し、42年の崩壊地は前述の空中写真の判読によった。

この図によると、昭和36年と42年の崩壊地は重複が少なく、最近崩れたところは続けては崩れないいわゆる「崩壊の免疫性」を示しているように思える。しかしながら昭和33年の崩壊地点は、殆んど後年のものと重複しており、20年をこえると免疫性がなくなるのか、あるいは昭和13年以前に長い間大規模な崩壊がなくてこのときに一時に全面的崩壊が発生したのかは不明であるが、単純な免疫性の考え方では説明出来ない。

3. 崩壊地分布の地形的特性

崩壊発生の分布の地形的特性を定量的に表現することは、すでに村野³⁾ によってこころみられているが、六甲山系についてはまだ充分な検討は行なわれていない。

地形を表現する最も簡単な量としては、起伏量があげられるが、山腹崩壊の発生に極めて関連の深い降水に対する斜面の抵抗の強弱は、水系の発達規模で判断されよう。水系の発達を簡単に表現する量としては

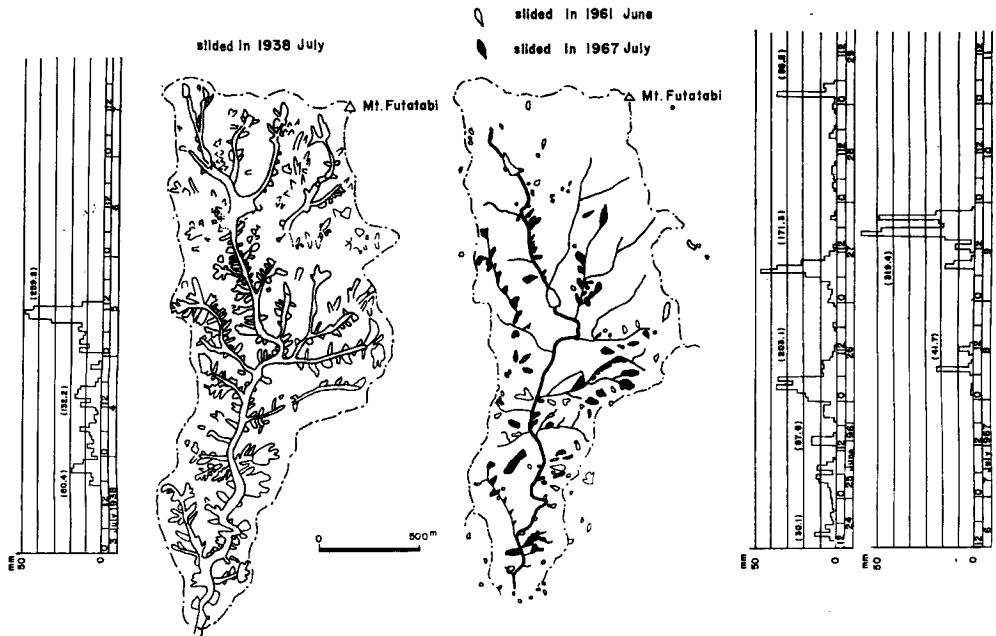


Fig. 3 Comparison of distribution pattern between new and old landslides at Futatabi valley, and hyetographs at Kobe marine meteorological observatory.
(Old distribution of landslides are cited from reference 1).

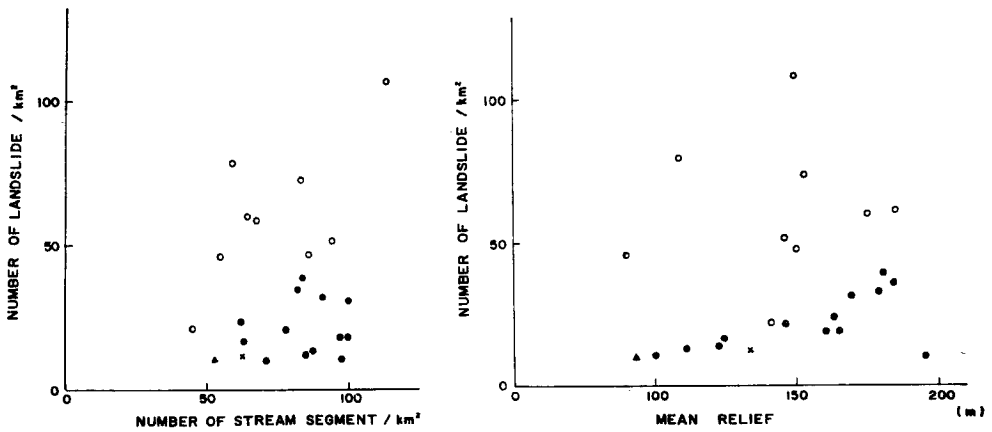


Fig. 4 Relation between the number of landslides, stream segments and relief at unit area. Geological characters of slided area are shown by the following symbols.

- N_g : Nunobiki granodiorite
- R_{g0} : Rokko granite (coarse grain)
- × A_r : Arima group
- ▲ K_{28} : Kobe group, Shirakawa formation (lower)

水系密度・水系分岐比があげられる。

作業量を制限するために対象地域を崩壊の多発域に限り、 1km^2 当りの崩壊地点数、空中写真で観察し得るかぎりの水系（次数別）数および 1km^2 を 500m 四方の四区画に分け各区画毎の起伏（最高地点高度—最低地点高度）から求めた 1km^2 当りの平均起伏量を算出した。更にこの中から 1km^2 当り10ヶ所以上の崩壊のあった区域について、これらの相互の関係を調べると Fig. 4 の関係が得られる。ただし Fig. 4 では崩壊多発地域の地質的特性を記号によって示している。

この図によれば対象地域内では、布引花崗閃緑岩の地帯が最も崩壊が多く、粗粒六甲花崗岩地帯がこれに次ぎ、他の地質地帯では崩壊はあまり生じていないことが認められよう。しかも、布引花崗閃緑岩地帯では崩壊数はほぼ水系数に比例し、起伏量にはあまり左右されていないが、粗粒花崗岩地帯では逆に崩壊数は水系数に関係なく起伏量と正の相関があることが認められる。

その原因については地質学的な検討を要しここに論じ得ないが、一つの経験的な傾向として注目に値する分布である。

ただ水系の次数（order）と水系数の関係は Fig. 5 に示す例のように半対数グラフで直線的傾向があり、その勾配から容易に分岐比が求められる。各地域の分岐比は、ほぼ $3\sim 4.5$ の間に分布し、一般的に崩壊数との間に密接な相関は認められなかったが、とくに分岐比が5を超えるような地域では、起伏量が小さくても崩壊数の多い例があった。

その他に勾配30度以上の急斜面地の単位面積に占める割合と、崩壊数との関係も調べたが、とくにはっきりした相関は認められず、起伏量と崩壊数の関係と類似の傾向を示したので説明を省略する。

なお地質図⁴⁾上で花崗岩体圧砕部（crushed part）付近に崩壊地点がとくに密集した地域も二三認められたが、その傾向を定量的に表現することは困難である。

結局、崩壊数を地質構造の差を無視して地形学的諸量のみ関数として表現することは不適當であったが、将来地質的要素の差を地表に現われた物理量で表現するころみはつつけられるべきであろう。

また、昭和13年の崩壊は、相対的にみて須磨地区の粗粒花崗岩地帯が多かったことも問題を残している。

4. 崩壊土の流走範囲

崩壊災害の危険域を知るためには、崩壊によって流動化した土石塊が最大限どの位の範囲まで拡がり得るかを知る必要がある。

この範囲も崩壊斜面の条件、下流堆積面の条件の各種の組合せによってさまざまな値をとり得るであろうが、最も単純な場合として傾斜面が水平面（またはこれに近い面）に接して特殊な障害物にさえぎられない状況のみに限って調べあげた数例を掲げると Fig. 6 のような状況が観察された。

これらはいずれも溪流沿いに土砂が流れた場合ではなく、平面的な斜面から突発的に崩壊土が落下した場合を対象としたものであり、とくに市ヶ原の崩壊地の状況は Photo. 1 に示されている。

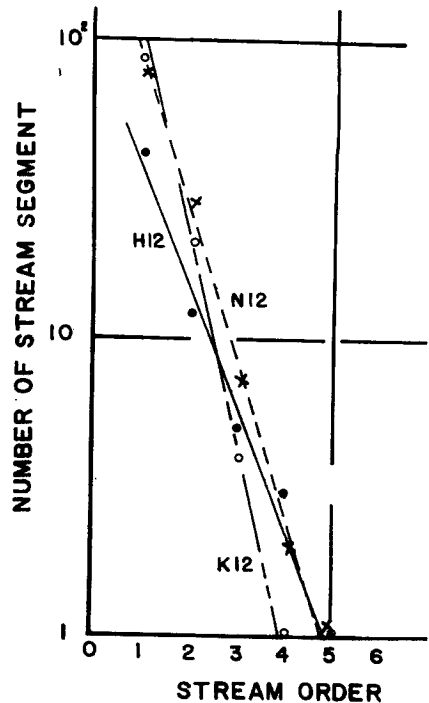


Fig. 5 An example of drainage basin character of landslide zone. Symbols show the positions of the areas specified in Fig. 1.

Fig. 6 Sketch of slope failure profiles. These figures show only the inclination and stretch of erosional and depositional areas, and do not show the thickness of erosion and deposition correctly.

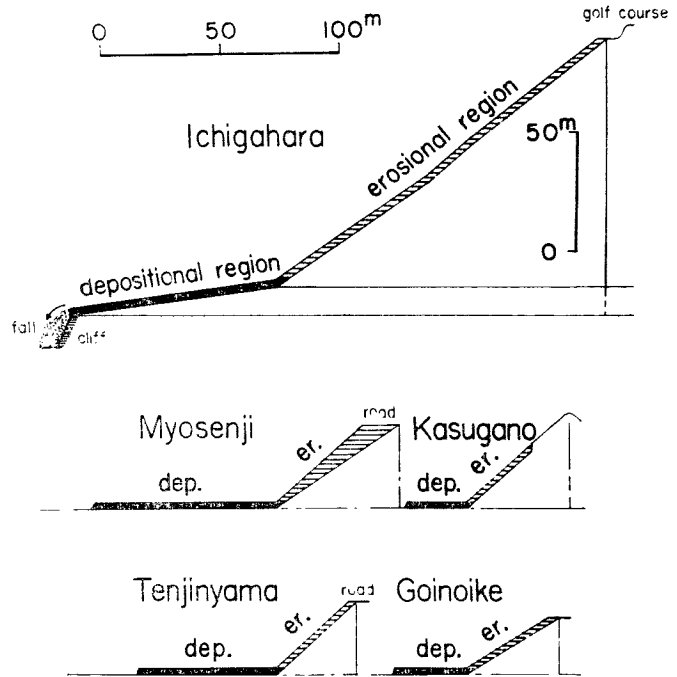


Photo. 1 The landslide at Ichigahara in Kobe city. The slope profile is shown in Fig. 6.

現地では上述のような単純な地形条件の例が少ないのであまり定量的な法則性は導き出し得ないが、斜面下の危険域に対する一応の目安は得られよう。

5. 羽越豪雨に伴う新潟山地の崩壊

昭和42年8月末に山形、新潟両県を襲った豪雨は各地に崩壊災害をもたらしたが、著者（奥田）が飛行機を利用して現察した結果では、とくに新潟県内の櫛形山脈、およびその周辺の山岳地帯に集中的に山腹崩壊、土石流が発生していた。しかしながら櫛形山脈を中心とする広い地域の降雨特性、および崩壊災害の発生状況については資料を蒐集している段階なので本稿ではとくに菱ヶ岳山麓の都辺田部落（新潟県北蒲原郡安田町）を中心とした地域を対象とした調査結果の記述にとどめる。

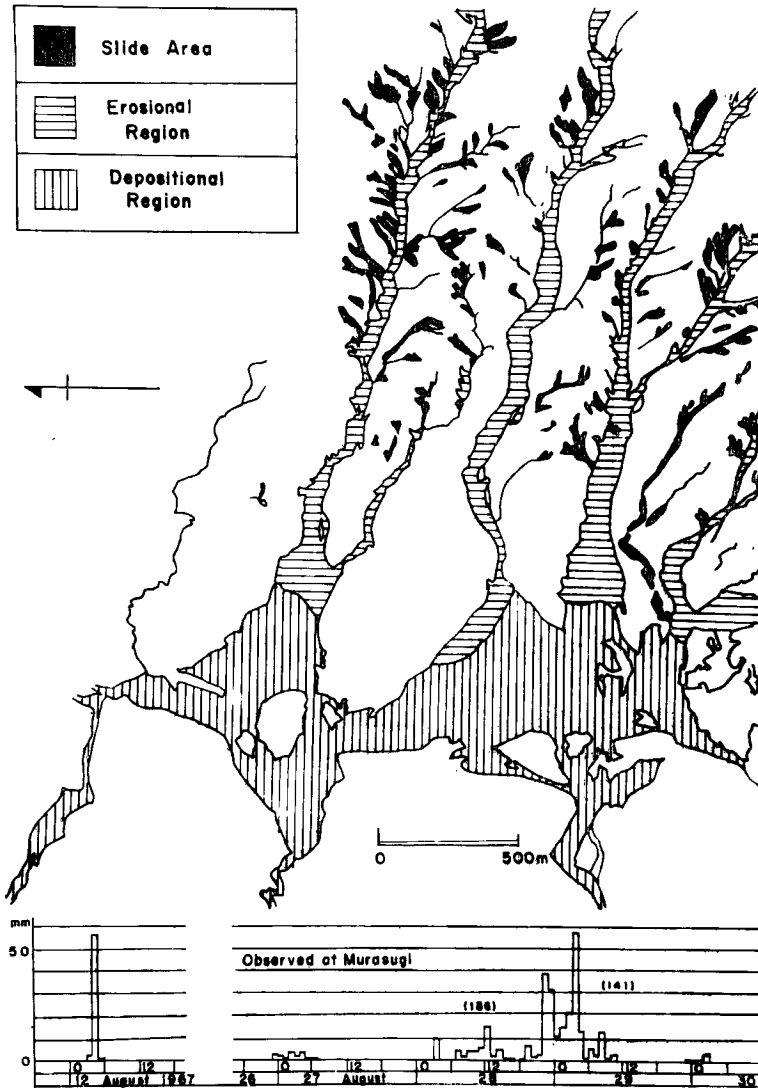


Fig. 7 Distribution of landslides and mud flows which occurred in 1967 August at Tsubeta region and the hyetograph.

都辺田川, 堀越川流域における山腹崩壊, 溪流沿いの土石流発生の概況を空中写真および現地調査の結果にもとずいて示すと Fig. 7 が得られる。なおこの地域の概形は Fig. 8 に示されている。

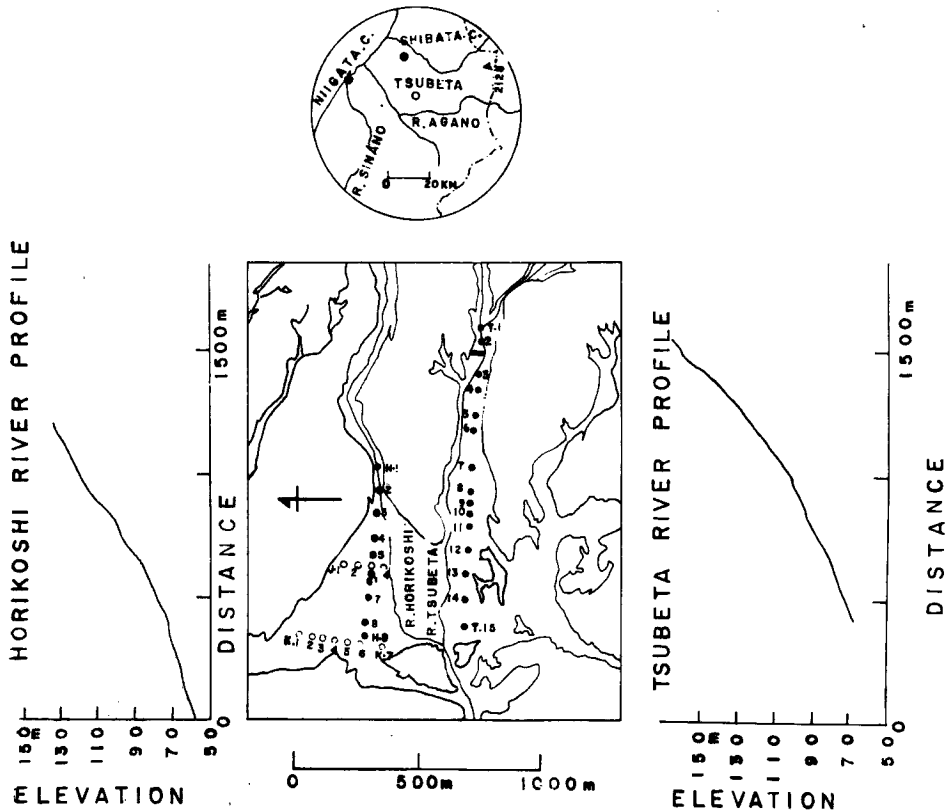


Fig. 8 General view of surveyed area of Tsubeta region.

当時の降雨状況は近くの村杉（北蒲原郡笹神村）で観測された雨量によって示すと Fig. 7 中の hyetograph が得られる。

この graph によれば集中豪雨襲来の数日前 8月12日に極めて短時間ではあるが, 50 mm/hr を越える強雨が合ったが, その際は崩壊が全く発生せず, その後の2日間にわたる豪雨で大規模な崩壊が一せいに生じており, 降雨特性と崩壊災害発生との間に極めて臨時的な関係が予想される。

なお Fig. 7 に示された領域の山地の詳細な地質調査は新潟大学理学部地質学教室によって行なわれつつあるが, 大部分が風化花崗岩地帯であり, また渓谷の規模は Fig. 3 に示した再度谷に類似している。

山腹崩壊や溪流浸食の様子は昭和13年の再度谷の状況に似ており, 長期間にわたって溪流に堆積していた土石が一時に流出したものと推定される。

この地域では六甲山系のような最近の崩壊の記録は残されていないが, 300 年程前に溪流から大量の土石が流出して部落が壊滅したという云い伝えが残っている。

6. 流出礫分布の計測

この地域の溪流下端の扇状地では, 巨大な花崗岩の礫が数多く流出して広い範囲に分散しており, 当時の水勢の強さを物語っているが, どのような大きさの石がどのくらいの距離まで流出し得るかを調べておくこ

とは山間溪流の巨大な掃流力を推定する一助ともなり、また災害範囲の予想にも役立つと思われるので、とくに重点的な調査をこころみた。

堆積領域は Fig. 7 に示すように大きな拡がりをもつので、とくに都辺田川、堀越川の扇状地に重点をおき、アジア航測KKの協力を得て模型飛行機による空中写真撮影をこころみた。現地調査によって Fig. 8 に示すような撮影コースをえらび、高度約 100 m で radio control された模型飛行機を飛ばして所定の位

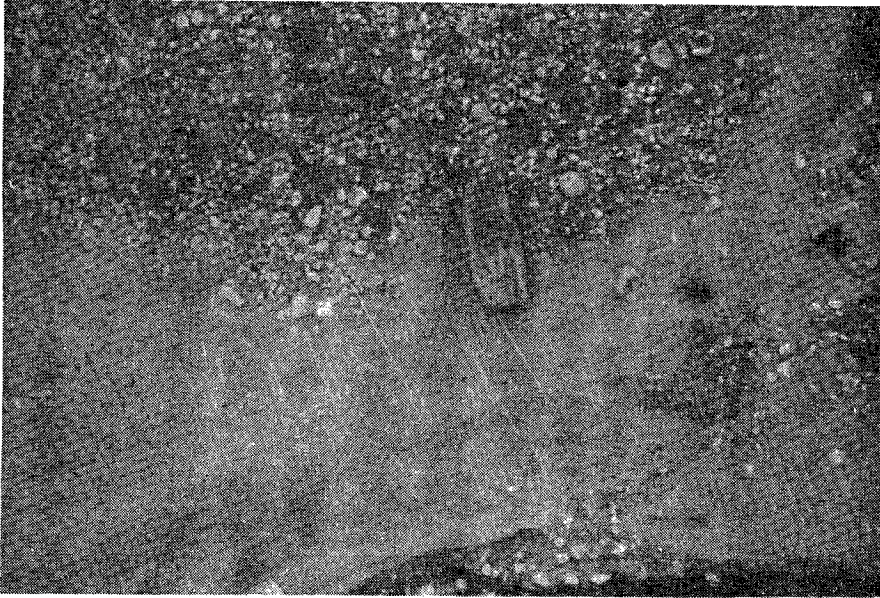


Photo. 2 Boulder distribution at Tsubeta region photographed from a radio-controlled model aeroplane. A white square in the photo is the standard plate (1m×1m) for airphoto survey.



Photo. 3 A radio-controlled model aeroplane for the special photo survey and a large concrete block (10m×2m×4m) which flowed down in the distance of 800m along the valley from the broken dam. This large block is looked in Photo. 2.

置で写真撮影を行なった。

地表にはあらかじめ 50m 間隔に 1m 四方の白い対空標識をおいて写真倍率の検定を行なった。撮影時強風が多くて飛行機が予定のコースを外れたり、光軸が大きく傾いたりして十分な成果は得られない点もあったが、多くの地点で Photo. 2 に示すような写真が撮影された。

撮影に利用した模型飛行機は Photo. 3 に示されているが、この背景の巨石状の物体は 800 m 程上流にある砂防堰堤が破損したコンクリートのブロックで約 $10\text{ m} \times 4\text{ m} \times 2\text{ m}$ の大きさで当時の水勢の強さを示している。

上述のようにして得られた写真をスライドにしてスクリーンに一定の倍率で投影すると、ほぼ直径 20 cm 以上の礫は計数可能となるので Fig. 8 に示すような地点をえらんで 10 m 四方の枠内の礫を 10 cm おきの階級にわけて数えあげた。

その結果をさらにまとめて礫の径を 4 階級にわけて示すと、Fig. 9 のような分布が得られた。

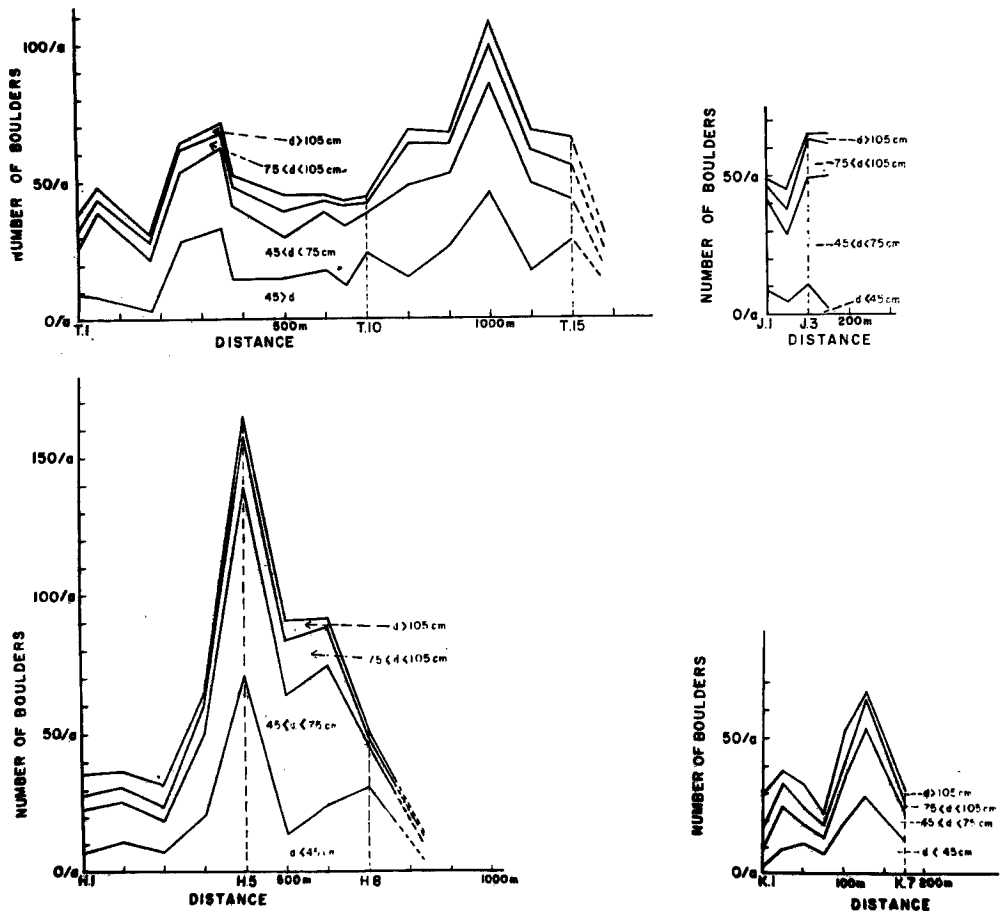


Fig. 9 Distributions of boulders carried into the valleys by great mud flows at Tsubeta region. Number of boulders in the sampling unit area ($a=100\text{m}^2$) was counted by the use of airphotos and classified with diameter (d).

これらの分布によると礫の数は堆積域に入っている程度の距離だけ流下した所で最大に達し、それより下流では減少して行くが、とくに変動が大きいのは直径 45 cm 以下の礫であり、それ以上の礫は比較的一ような密度で扇状地の全面に散らばっている。勿論局部的には水路が蛇行しながら遷移しており、土砂におおわれて礫の見当たらない地点もあるが、2, 30 m のスケールで平均化してみると上述の傾向が認められる。

このような分布が定常的な水路を流されて行く状態でふるい分けられて出現する筈はないから、極めて短時間の突発的な激流によって運ばれた結果と思われるが、そのメカニズムについては今後の検討を待たねばならない。

ただこのような礫の供給については **Photo. 4** に示すように渓流沿いの側方に浸食された断面に多くの巨礫が見出され、上流の山腹崩壊地点から流れて来なくて、比較的近い所から供給されたものと考えられる。このような渓流にもとから存在していた礫の直径分布と扇状地に流出した礫の直径分布の比較などによって、さらに礫の移動の機構を検討する必要がある。



Photo. 4 Lateral erosion along Tsubeta river showing the source of boulders.

謝 辞

本研究の遂行に際しては特別の御援助をいただいた京都大学防災研究所矢野勝正教授、神戸大学工学部田中茂教授、ならびに大阪市立大学藤田和夫教授に深謝する。

また、各種の資料を提供していただいた近畿地建六甲砂防工事事務所、神戸市臨海開発局の諸氏に感謝する。

なお、本研究は文部省科学研究費（特定）の援助によって行なわれたものである。

参 考 文 献

- 1) 建設省国土地理院・土地条件調査報告書（京都・播磨地域）並付図・昭和41年3月。
- 2) 田中茂，他・昭和42年7月豪雨並びに過去の豪雨による神戸市がけ崩れ災害の特徴・第4回災害科学総合シンポジウム論文集・1967年10月・p. 108—111.
- 3) 村野義郎・山地における砂石の生産に関する研究・土木研究所報告・114，（1962），1～46.
- 4) 藤田和夫，他・神戸市および隣接地域地質図（付説明書）・1965. 12.