

歴史的記録からみた大崩壊の土石堆積状態の特性

奥 田 節 夫

FEATURES OF DEBRIS DEPOSITS OF LARGE SLOPE FAILURES INVESTIGATED FROM HISTORICAL RECORDS

By Setsuo OKUDA

Synopsis

Historical records of large slope failures in Japan and foreign countries were collected and analyzed to investigate occurrence frequency of the large slope failures and some dynamical and geometrical features of debris deposits of the slope failures.

It is shown that large slope failures have occurred in Japan much more frequently than in Western countries. The relationship between the volume of slid debris and the equivalent coefficient of friction for the debris motion is common to Japan and Western countries. The features of deposits spreading of slid debris showed a similar relationship between deposit area and volume, but different shape over a wide range of debris volume with various types of slope failures.

1. ま え が き

災害研究の研究過程において、歴史的資料を収集、解析することの重要性にかんがみ、防災研究所防災科学資料センターでは昭和57年度より「災害の歴史的研究」がプロジェクト課題としてとりあげられ¹⁾、関連諸災害分野で研究が進められている。

われわれはその一環として、とくに「災害史料にもとづく崩壊災害の復元・分析と危険域の予測」というテーマで研究所内外の有志が集まってグループ研究に着手した。その目的とするところは、単なる過去の崩壊災害に関する歴史的記録の収集、史実の記述にとどまることなく、異常な崩壊現象の発生から被災に至るまでの過程を正確に復元し、現在の科学技術の成果を用いて統一的な見直しを行ない、できるだけ現在の防災計画に役立つような定量的な情報を得ようとするものである。とくに各種の崩壊にともなって下方に流動してきた土石がどのような状態で停止、堆積したかに着目して、その到達範囲を明らかにし、その結果を崩壊災害に対する危険域の予測に利用しようとするところみがなされた。

具体的な研究手法としては、崩壊災害に関する歴史的な資料の収集、整理、歴史的記録と現地調査結果との照合、対比を通じて、過去の災害の発生経過をできるだけ客観的に復元し、そのデータにもとづいて定量的、解析的な考察を進めた。ただし本年度は予察的な研究段階として、概括的な調査に重点をおき、歴史的資料として個々の古文書、古記録の直接的利用まではあまり行わないで、すでに現代語で収録されているような資料を利用した。

また調査対象となる崩壊の件数の過大なることを配慮して、当面は崩壊土石の容積が 10^6 m^3 程度以上の大崩壊を重点的にとり上げた。

このようにして行われたグループ研究の成果は、本報告のほかに3編の報告にして^{2), 3), 4)}、本年報に掲載されている。本報告はそのなかでとくに総括的な内容を有し、日本および諸外国における大崩壊の発生頻度、崩壊土石の停止、堆積状態について、定量的検討をこころみた結果を概論的にまとめたものである。

2. 大崩壊の発生頻度

全世界的な観点からみた地球上での大崩壊の発生について、その多発地域が存在、分布に関しては、B. Voight と W. G. Pariseau によるレビュー的な解説⁵⁾ があるが、その発生頻度に関しては、あまり定量的な考察は行われていなかった。最近 K. J. Hsü は、主としてヨーロッパ付近での大崩壊の資料にもとづいて、崩壊土石量が 10^6 m^3 程度のもので10年に1回、 10^7 m^3 で100年に1回、 10^8 m^3 で1000年に1回と大規模な崩壊ほど発生が稀である傾向を指摘した⁶⁾。

一方、わが国における大規模な崩壊（山くずれ、地すべりをふくむ）の統計については、建設省によって過去の大崩壊に関する年譜が作製、発表されている⁷⁾。著者はこの年譜を用いて、とくに崩壊の大きさ（崩壊の土石量、面積）が記述されているものをとり上げ、年代順に崩壊土石量もふくめて配列し、Fig. 1 に示すような図を作製した。なおこの図中には、他資料で判明した古い時代の大崩壊もプロットした。この図によると、年代を遡るにつれて規模の小さい崩壊から記録にもれてくる傾向が認められる。一般に崩壊災害の歴史的記録は、大地震の発生の記録⁸⁾ や大洪水被害の記録（各府県別の災害史誌等によく記載される）にくらべると、異常な大崩壊でない限り、行政的機関の公文書にはとり上げられない場合が多く、古い時代には、山間、山麓での悲惨な事変もあまり遠方までは情報が伝達されていなかったように思われる。

Fig. 1 のように年代的に情報の精度が異なる資料から統計的な結論を導くことは避けるべきであるが、一応の目安としては、崩壊土石量が 10^6 m^3 程度のもものは数年に1回、 10^7 m^3 のものは数十年に1回、 10^8 m^3 のものは約百年に1回程度発生しており、これを前述の Hsü の示した頻度にくらべると、ほぼ1桁くらい高い頻度で発生しているように推定される。

3. 崩壊土石の到達距離（等価摩擦係数の価）

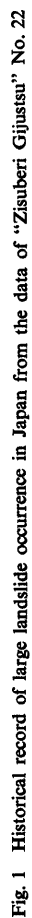
斜面あるいは谷のなかで発生した崩壊によって流動を始めた土石の集塊が、下流のどこまで到達し得るかを定量的に予測することは、防災科学の基本的な課題の一つであり、最近土砂災害に関連した研究において、理論的また実験的な努力がつけられ、その成果も発表されつつある段階である⁹⁾。

しかしながら崩壊土石の流動を支配する水理学的、土質工学的また地形学的因子の複雑な関連状況からみて、現地調査例にもとづく経験的な法則性の検討も、この問題の究明に関しては重要な意義を有しているものと考えられる。

崩壊土石の到達範囲を定量的に表現する幾何学的な量としては、崩壊源の上端と土石の堆積塊の下端とを見通した線が水平線となす角の tangent がよく用いられる。その理由の一つは、現地調査で崩壊に関する幾何学的量としてもっとも測りやすく、かつ直観的に土石到達範囲を表現するのに適当な無次元量であるが、もう一つの理由はある程度力学的な意味づけのある物理量の目安になるということである。すなわち見通し仰角の tangent は、崩壊土石塊を質点とみなし、重力と摩擦力のみが作用し、かつ動摩擦係数が一定であると仮定した場合には、この値が途中の運動経路の如何に拘らず、その摩擦係数に等しいことが力学的に示示されており¹⁰⁾、このような意味でこの tangent を等価摩擦係数 (Equivalent coefficient of friction) と称する場合がある。

このように単純化したモデルの思考に対して、ある大きさをもった土石塊が、その形状を変えながら（一般的には薄くなって拡がりながら）流下する過程が、質点力学的モデルでとり扱い得るか、また速度の1乗または2乗に比例するような流体力学的抵抗力を無視し得るかなどの疑問が直ちに生じてくる。しかし過去の崩壊における流動の実態や流動物の性質などに対する定量的情報が非常に得難いとすれば、もっとも計測が簡単で、かつある程度の物理的意味もふくんでいる見通し仰角の tangent を一つの尺度にして、異なった場所でのさまざまな形態の土石塊の流動のしやすさを相互に比較するために利用することも、第一近似的なアプローチの段階ではそれなりに有用である。

このような観点から世界的な大崩壊¹⁰⁾、またヨーロッパアルプスにおける大崩壊¹¹⁾ の例を集めて、崩壊



土石の容積 V と見通し仰角の tangent ($\tan \theta$ または等価摩擦係数の意味で μ_e の記号が用いられる) の関係を調べた結果は Fig. 2 のようにまとめられている。すなわちかなり相関係数は低いが、大体 $\mu_e = CV^{-n}$ の経験式で表現され、 C は 4.2~4.6, n は 0.153~0.157 の範囲で V が大きいほど μ_e が小さくなる傾向が示されている。

このような諸外国での例に対して、わが国での大崩壊における V と μ_e の関係を現地調査によって求めることが、今回のわれわれのグループ研究において行われた。具体的にはまず文献調査によって国内の主要大崩壊の発生した場所、時期、発生原因、崩壊土石の容積などの概略の情報を入手したうえで空中写真判読¹²⁾、現地踏査等を行って正確な発生源、堆積状況を確認し、さらに大縮尺地図あるいは現地測量によって崩壊土石の運動経路の縦断形を描き、これにもとづいて $\tan \theta (= \mu_e)$ を算定した。このようにして求めたわが国での大崩壊地の縦断形状およびこれと比較対照するための世界的に顕著な大崩壊地 ($V > 10^6 \text{ m}^3$) の縦断形状の数列を Fig. 3, 4 および 5 に示す。一般にわが国では Fig. 3 に示すように崩壊土石が谷に沿って押し出して来たり、Fig. 4 に示すように河川を堰き止め横切って流下する場合が多い。とくに崩壊土石塊が河

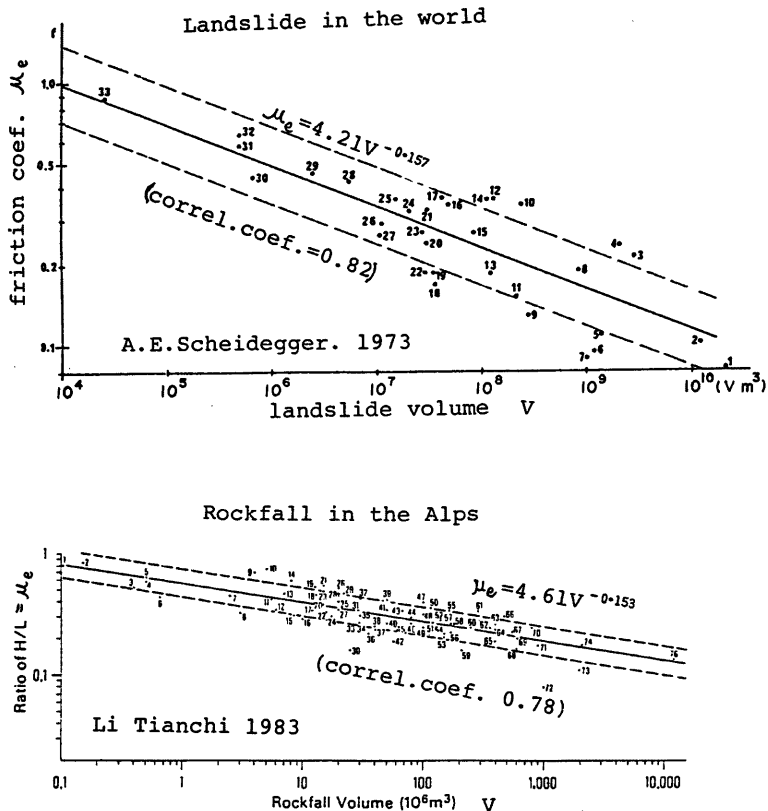
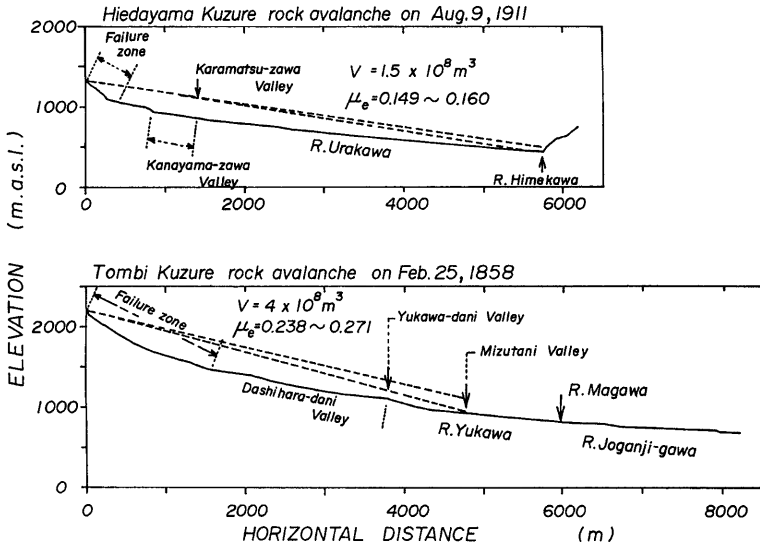
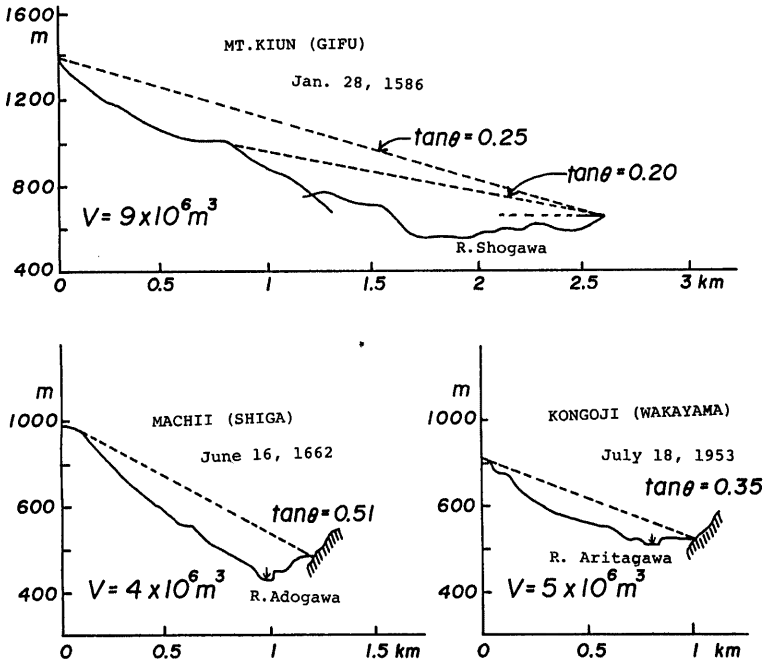


Fig. 2 Relationships between slid debris volume V and equivalent coefficient of friction μ_e by A. E. Scheidegger (upper figure) and Li Tianchi (lower figure)


 Fig. 3 Profiles of large slope failures in Japan (Part 1, $V > 10^8 \text{ m}^3$) by K. Okunishi and H. Suwa

 Fig. 4 Profiles of large slope failures in Japan (Part 2, $10^7 > V > 10^6 \text{ m}^3$) by the research group on slope failure with historical records

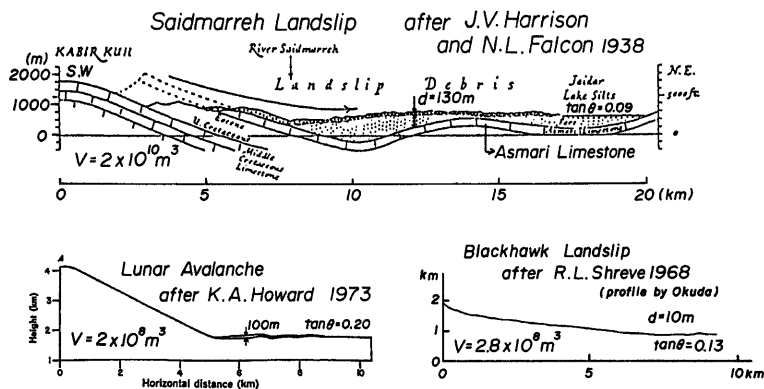


Fig. 5 Profiles of large slope failures in the world and on the moon after J. V. Harison N. L. Falcon (1938)¹³⁾, K. A. Howard (1973)¹⁴⁾ and R. L. Shreve (1968)¹⁵⁾

川を横断する場合には対岸にぶつかってとまるために、平地を流下する場合にくらべて短かい距離で停止し、 $\tan \theta (= \mu_s)$ が大きくなる可能性がある。また河川を堰止めるために上流側の水位が上昇し、つづいてこの堰の決壊が生じて二次的な洪水災害をもたらしたことが多くの歴史的記録に示されている。

このように国内の調査例にもとづいて得られた、崩壊土石容積 $V(\text{m}^3)$ と等価摩擦係数 μ_s との関係は世界的な大崩壊での関係とくらべるために、Fig. 5 にプロットされている大崩壊をふくめて、個々の例の説明が付記されている K. J. Hsü¹⁶⁾ の図の中に、日本の大崩壊に相当する点をプロットすると Fig. 6 のような関係が示される。この結果をみると、わが国での大崩壊における V と μ_s の関係も、世界的な大崩壊におけるそれとほぼ共通の傾向があることが認められる。ただし、立山麓くずれ、大谷くずれなどが比較的大きな μ_s の値をとるのは、崩壊源に近いところで別の崖にぶつかったためと想像されるが、真相は明らかではない。

なお同図左下の方に、最近わが国で発生した豪雨による播磨一宮の地すべり性崩壊および1972～1977年に国内で生じた大土流について、 V と μ_s の関係を記入したが、これらは前述の大崩壊の例から V の小さい方に外挿して求められる μ_s の範囲より著しく小さい値の範囲に入っている。このことは $V > 10^6 \text{ m}^3$ の大崩壊にくらべて、豪雨によって発生し、崩壊土石塊が水で飽和された状態で流動する場合には、そうでない大崩壊とは流動機構が異なっていることを示している。なお国内の大崩壊の個々の例について、それぞれの流動の特徴を明らかにするためには、さらに詳しい調査を行い、他の理論的また実験的な研究成果と対比しながら検討を進める必要があるが、本報告ではとりあえず概括的な V と μ_s の関係を記述する段階にとどめておく。

3. 崩壊土石の拡がり

崩壊土石塊が下流に向かって流動をつづける状態では、集塊全体としての移動 (movement) と塊がほぐされて生じる拡がり (spreading) が同時的に進行をつづけて、その複合的な結果として土石塊の到達範囲が決定されるであろうということは直観的に想像される。しかしその二つの現象が果して独立的に生じるか、互いに深い相互関連性があるか、また移動と拡がりのスケールが相対的にどの程度の割合になるのか、などの問題については、いまのところ定量的な情報はほとんど得られていない。

そこで前節では土石塊の拡がりとは全く無視して、崩壊出発点と終止点の相対的位置関係のみに着目したが、本節では逆に全体的な移動は無視して、土石塊の拡がり状態のみに着目し、歴史的資料にもとづいてやや定

Large landslides (rockfalls) in the world and Japan
by K.J.Hsü (1975) and S.Okuda et al (1984)

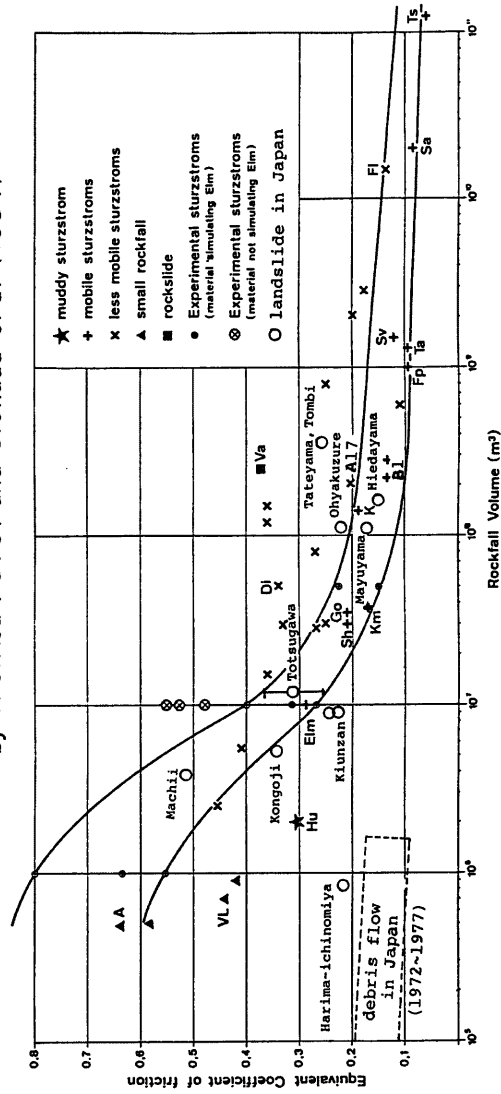


Fig. 6 Relationship between slid debris volume V and equivalent coefficient of friction μ_e of large rockfall and landslides in the world by K. J. Hsü (1975) and in Japan by S. Okuda. The data of debris flow in Japan are written in by S. Okuda.

量的な考察をこころみる。

土石塊の運動中の拡がり状態を調べるには、崩壊開始から、土石塊の停止、堆積までの過程を追跡する必要があるが、その動態の観察は現在の測定記録技術をもってしても至難であり、過去の崩壊土石塊が堆積している現状の形態的調査にとどまらざるを得ない場合がほとんどである。

そこでわれわれは国外の例については文献資料によって、国内の例については文献および現地調査を併用して崩壊土石容積 V 、土石塊の堆積深 D 、および堆積面積 A に関するデータを集めて、それらの量の間の関係を求めた。このような調査例について以下に説明する。

(i) スコットランドにおける土石流堆積物

J. L. Innes はスコットランドにおける過去 500 年間に生じた土石流の堆積物を調べて、19 世紀以後の人間活動（牧畜、農耕）が土石流発生を促進したことを示すとともに、その堆積面積 $A(\text{m}^2)$ と堆積容積 $V(\text{m}^3)$ の間に Fig. 7 の関係があり、相関係数 (correl. coef.), 0.91 で

$$V = 0.0329 A^{1.3862}$$

の関係式が成立することを示した¹⁷⁾。

(ii) 日本における大規模な地すべり、山くずれ

著者は 1. で引用した国内の地すべり（山くずれをふくむ）の年譜⁷⁾に記載されたデータを利用して、 $V > 10^3 \text{ m}^3$ の崩壊について、 A と V の関係をプロットして Fig. 8 に示すような結果を得たが、これから correl. coef. 0.82 で

$$V = 0.052 A^{1.45}$$

の関係式を導いた。

(iii) 十津川 1889 年の大崩壊

平野昌繁ほかは 1889 年 8 月の日雨量 1000 mm をこえる記録的豪雨で十津川上流域に発生した大崩壊群について、文献調査および現地踏査によって、当時の崩壊状況を復元し、崩壊土石塊の原形状を推定した²⁾。その結果にもとづいて、崩壊面積 $A(\text{m}^2)$ と崩壊深 $D(\text{m})$ との関連をプロットして Fig. 9 のような図が描かれ、これから correl. coef. 0.66 で $D = 0.926 A^{0.307}$ の関係式が導かれた。崩壊土石容積 V は単純に $V = A \times D$ ではなく、斜面に直角方向の崩壊深を用いるための補正、土塊の立体的形状を想定しての補正等の配慮が必要であるが、現時点で当時の詳しい情報の入手は不可能なので、当面粗い近似として $V = A \times D$ とみなすと、

$$V = 0.926 A^{1.307}$$

の関係が得られる。

(iv) ニュージーランドにおける大崩壊

I. E. Whitehouse と G. A. Griffiths はニュージーランド南島の中央アルプスの 10^4 km^2 の拡がりの中に分布する $V > 10^6 \text{ m}^3$ の大崩壊（主として rock avalanche）について 45 例の調査を行い、その発生時代、土石の拡がり程度等を調べてその結果を表示している¹⁸⁾。著者はこの表のデータを利用して、 $A(\text{m}^2)$ と $V = A \times D(\text{m}^3)$ の関係をプロットして Fig. 10 のような結果を得て、さらにこの図から correl. coef. 0.77 で

$$V = 1.01 A^{1.23}$$

の関係を導いた。

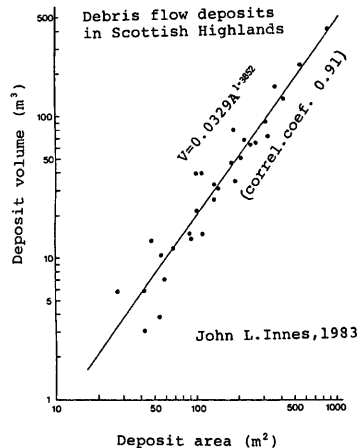


Fig. 7 Relationship between deposit area A and deposit volume V of debris flow deposits in Scottish Highlands by J. L. Innes (1983)

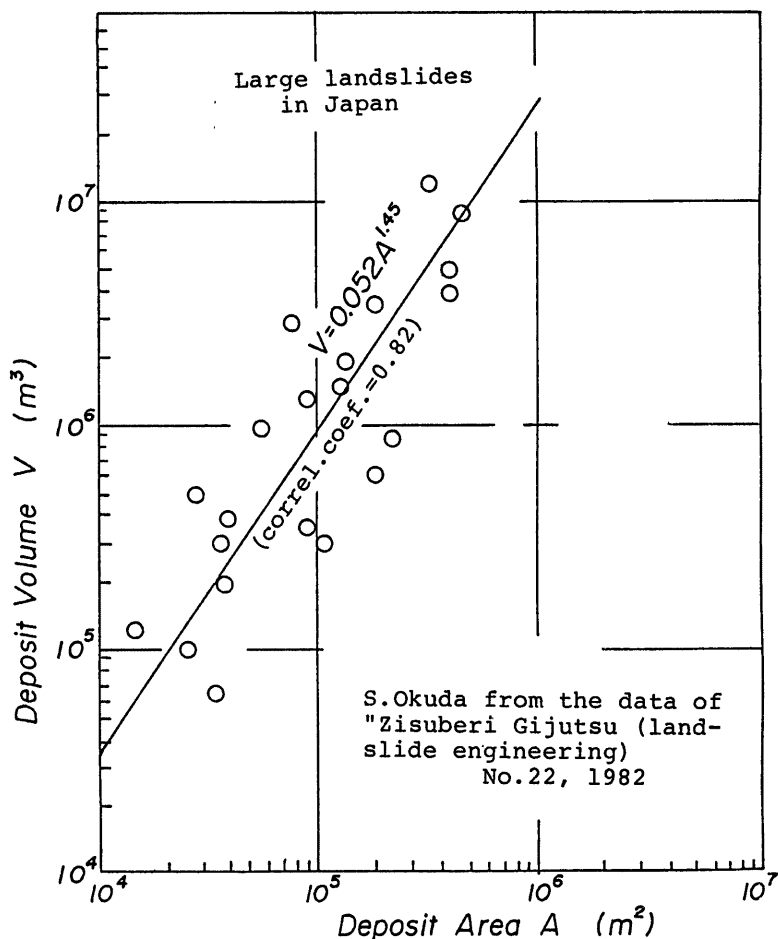


Fig. 8 Relationship between deposit area A and deposit volume V of large landslides in Japan

(v) ヨーロッパアルプスにおける大崩壊

Li Tianchi (李天池) はヨーロッパアルプスでの 76 例の大きな崩壊のデータから A と V の関係をプロットして Fig. 11 に示すような図を描き、これから $\text{correl. coef. } 0.88$ で

$$V = 0.00048 A^{1.76}$$

の関係を導いた¹¹⁾。

(vi) 世界的な大規模崩壊

T. R. H. Davies はとくに崩壊土石の到達範囲を予測する上で土石の拡がりの果す役割の重要性を指摘し、Fig. 2 および 6 にとりあげられたような世界的な大規模の崩壊例 26 について、崩壊土石容積 $V(\text{m}^3)$ と土石

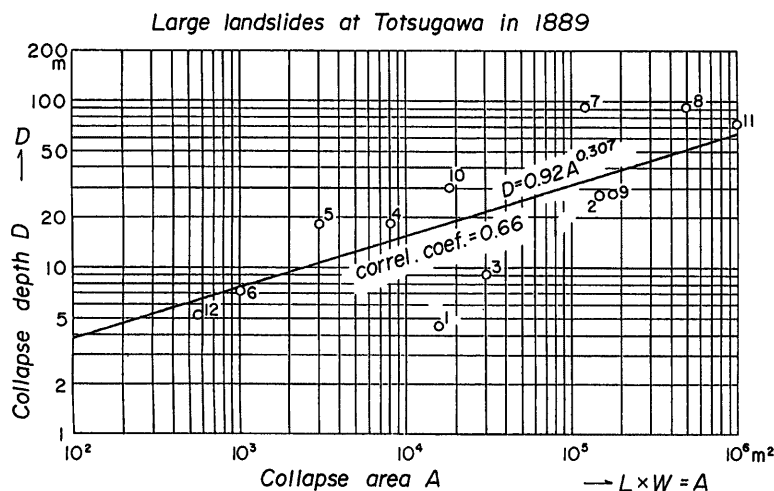


Fig. 9 Relationship between collapse area A and collapse depth D of large landslides in Totsugawa region 1889 by M. Hirano et al. (1984)

堆積の長さ L (m) の関係を調べて Fig. 12 に示すような関係を得て、これから $\text{correl. coef. } 0.95$ で $L = 7.73 V^{0.334}$

の関係を導いた。(原著者の式は $L = 9.98 V^{0.32}$ であったが奥田はその誤りを原データにより訂正した)。堆積長 L から堆積面積 A を求めるためには、堆積の面的形状とくにその縦横比に関する定量的情報が必要である。十津川の崩壊土石塊については A がふえるにつれて縦横比は 2 に近づくことが認められ²⁾、また世界的な大崩壊での堆積土石の堆積形状の図によると¹⁵⁾、その比は 1～3 くらいの範囲にある。しかし、Davies の対象とした調査例での縦横比は不明なので、とりあえずその比を 1 とし $A = L \times L$ とみなすと、上述の関係式から

$$V = 0.0021 A^{1.51}$$

の関係式が導かれる。

以上、崩壊土石の容積 V と拡がりの面積 A との関連を、それぞれの調査例について説明してきたが、それらの相互の類似性、独自性をみるために、一枚の図にまとめてみると Fig. 13 に示すような 6 本の直線が得られる。

これらの直線を描くのに用いた原データとしては、上述の (v) と (vi) の間に 5 例の共通の崩壊例を含むほかは、全く独立したデータを利用してそれぞれの直線が求められているにもかかわらずその結果として非常に広い A, V の範囲にわたり、かつさまざまな種類の崩壊をふくめて、かなり高い相似性を示す直線群、すなわち A と V の関係が得られている。もっとも個々の関係式では相関 (correl. coef.) の高くないものもあるので、近似的な関係としてはあるが、この図はある共通の法則性があることを示唆するものと考えられる。

この法則性をさらに定量的に考察するために $V(\text{m}^3)$ と $A(\text{m}^2)$ との経験的關係式を $V = CA^a$ で表現する

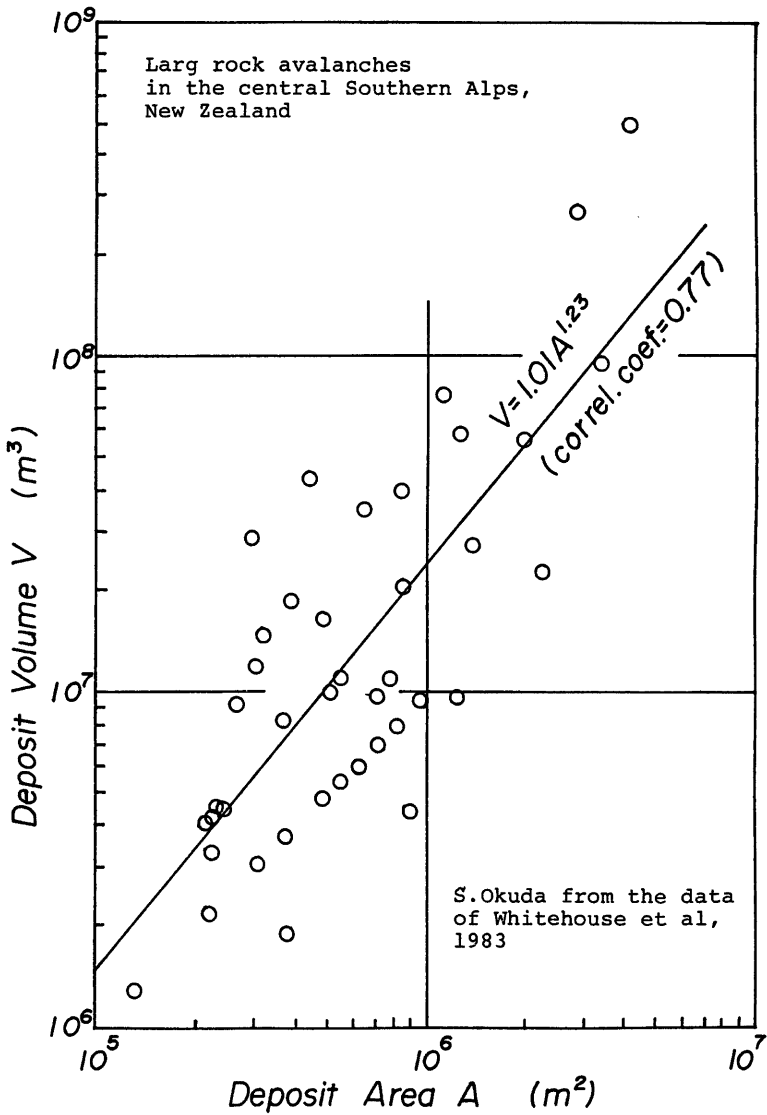


Fig. 10 Relationship between deposit area A and deposit volume V of large rock avalanches in the central Southern Alps, New Zealand with the data of I. E. Whitehouse and G. A. Griffiths (1983)

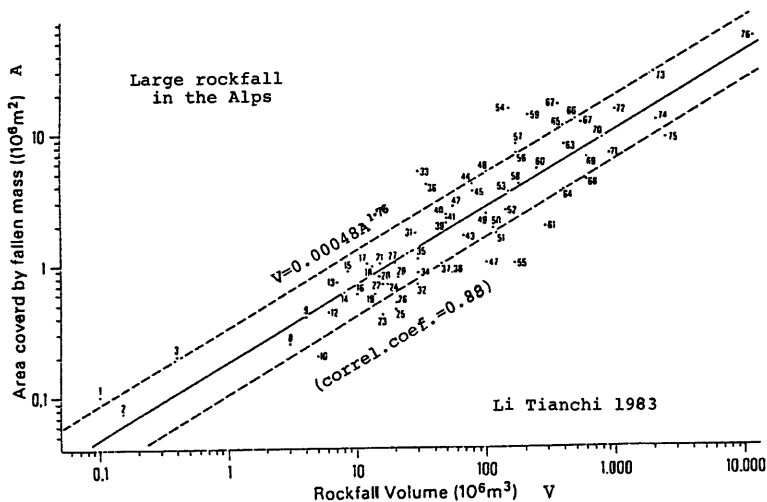


Fig. 11 Relationship between rockfall volume V and deposit area A of large rockfalls in the Alps by Li Tianchi (1983)

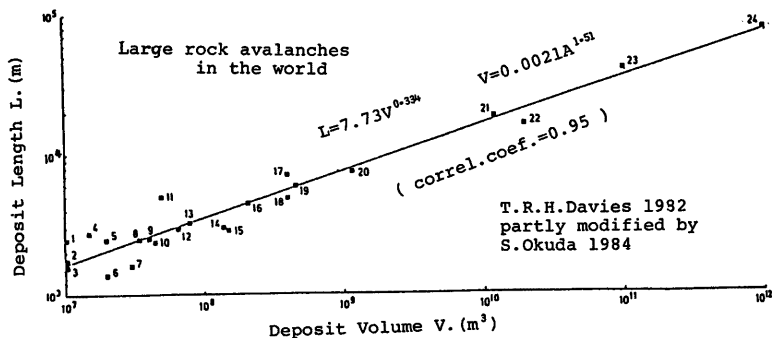


Fig. 12 Relationship between deposit volume V and deposit length L of large rock avalanches in the world by T. R. H. Davies (1982) partly modified by S. OKUDA about the numerical values in the figure

ときの冪指数 n , 係数 C , 相関係数 correl. coef. , 調査の対象となった V の範囲, 崩壊の種類, および引用文献番号をまとめて Table 1 に示す。

冪指数 n については, もし崩壊土石塊の堆積形状が互いに幾何学的に相似であれば, $n=1.50$ (Fig. 13 のなかに相当勾配が図示してある) になるはずである。Table 1 では n は平均値 1.44 の周りにばらついてはいるが, 粗い近似ではそれぞれの調査群のなかである程度相似の形状を保っていると云えよう。つぎに係数 C については, もし完全な相似形の出現を仮定して, $V=CA^{1.50}$ の成立を前提とすれば, 平均の厚みは $D=CA^{0.50}$ となり, $A^{0.50}$ が堆積塊の長さのスケールを表すものと考え, C は厚みを表す比例係数 (厚み/長さ) に相当するはずである。Table 1 では, line no. 3, 4 に対応する C が格段に大きく, ついで line,

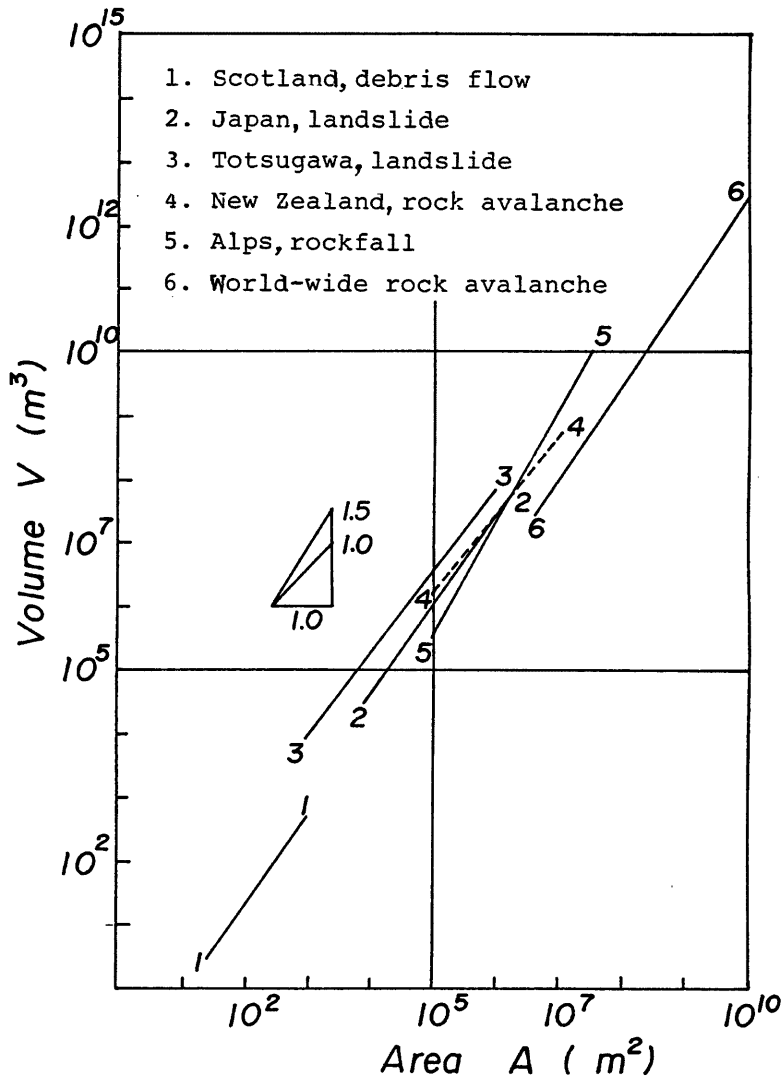


Fig. 13 Relationship between deposit (or collapse) area A and deposit (or collapse) volume V of various types of large rock fall and landslides in the world and Japan. The lines 1, 2, 3, 4, 5 and 6 correspond to the lines in Fig. 7, 8, 9, 10, 11, and 12 respectively

Table 1 Numerical explanation of relationship between deposit area A and volume V of slope failure debris $V=CA^n$ as shown by the lines in Fig. 13

line No. in Fig. 13	n	C	correl. coef.	range of V	kind of collapse and location	reference No.
1	1.385	0.0329	0.91	$10^1 \sim 10^3 \text{ m}^3$	debris flow in Scotland	17)
2	1.45	0.052	0.82	$10^5 \sim 10^6$	landslide in Japan	7)
3	1.307	0.926	0.66	$10^6 \sim 10^8$	landslide in Totsugawa, Japan	2)
4	1.23	1.01	0.77	$10^6 \sim 10^8$	rock avalanche in New Zealand	18)
5	1.76	0.00048	0.88	$10^9 \sim 10^{10}$	rockfall in Alps	11)
6	1.51	0.0021	0.95	$10^7 \sim 10^{12}$	world-wide rock avalanche	19)
mean	1.44	0.337	0.83	—	—	—

1, 2 の C の値が中間的で, line, 5, 6 の C の値は非常に小さくなり, C についてはあまり共通的な類似性は認められない。

すなわち, あらゆる崩壊の形態をふくんで, また崩壊のスケールの広い幅に対して, 崩壊土石塊の拡がりの形状は, あるグループ (各直線で示される調査対象) ごとにある程度相似的な堆積形状をとっているが, それらのグループ相互には形状の相似性はないようである。

すでに V と μ_s の関係について指摘されている大規模な崩壊の土石塊ほど相対的に遠方まで到達し得る傾向については, その物理的説明を志向した研究が幾つか進められているが, この表で示されるような大崩壊の土石塊が薄く拡がりやすいという傾向もその一因と考えられるから, その薄層展開の機構の研究も必要であろう。

4. む す び

以上主として歴史的資料と一部現地調査によって, 大崩壊の頻度, およびその土石塊の流動, 拡がりの範囲に関する経験的則則性について考察してきた。その結果としてつぎのような特徴的な事項が着目されるに至った。

- (i) わが国における大崩壊の発生は, 世界的にみて諸外国にくらべてかなり頻度が高い。
- (ii) 崩壊土石塊の運動経路の断面を調べてみると, わが国の大崩壊では土石塊が河川を堰きとめて横断する場合が多く, この現象は土石塊の運動にかなりの影響を及ぼすと思われるが, 一方これによって二次的な洪水災害がおこりやすくなっている。
- (iii) 崩壊土石の容積 V と見通し仰角から求めた等価摩擦係数 μ_s との関係については, わが国と諸外国とであまり相異はなく, V が大きいほど μ_s が小さくなっている。しかし豪雨時に水で飽和した土石塊が流動するような山くずれ, 土石流では μ_s は格段に小さく, 含水量による運動状態の差異は大きいものと考えられる。
- (iv) 崩壊土石の容積 V とその堆積面積 A との間には, ある程度の形状の相似性を示唆する $V \propto A^{1.5}$ に近い関係式が粗い近似で成立している。しかし調査グループごとに土石塊の堆積形状はかなり異なっており, ことに大規模な崩壊では土石塊は薄く拡がる傾向がある。

以上, 主として大崩壊の発生頻度と崩壊土石塊の運動範囲, 堆積形状に関する概括的な調査を行い, あらゆる崩壊形態をふくめて共通的な則則性の認められる面と, 形態によって顕著な差異の現われるような面とが指摘された。

今後の研究の目標としては,

- (i) 発生頻度については, 日本とヨーロッパというような地理的地域の相互比較ではなく, ある程度共通の面積をもち, 地質構造, 地震, 豪雨などの崩壊発生原因の組合せの比較が可能なような対照地域の選定をなすべきである。

- (ii) 崩壊土石の容積と等価摩擦係数との関係、また崩壊土石塊の拡がり形状等の定量的検討に関しては、さらに崩壊形態、崩壊原因（地震、豪雨、人間活動）、崩壊規模等によって、調査対象をより均一な集団に分類したうえで、データを整理し、流動物質の性質、流動経路の形状との対応を明らかにする努力が必要である。
- (iii) そのためには、国内および国外の崩壊災害の歴史的データを一定の Format に従って収集、整理し、いろいろな目的に利用しやすいような data base を構築することが必要である。
- (iv) 今回の研究の主対象からはずされたより小規模な崩壊 ($V < 10^6 \text{ m}^3$) については、わが国ではほとんど毎年のように山くずれ、土石流の形態で発生しているのでそのデータを収集、整理して、崩壊の規模、形態による諸特性の独自性あるいは共通的一般性の検討を進める必要がある。

謝 辞

本研究の一部は文部省科学研究費自然災害特別研究(I)「災害史料にもとづく崩壊災害の復元・分析と危険域の予測」(代表者 京都大学 奥田節夫)の補助を受けて行われたものであり、その研究分担者より多くの研究成果の提供また報告内容の検討について多大の御援助をいただいた。また防災研究所地形土壤災害研究部門および防災科学資料センターより史料の収集、整理について特別の御援助をいただいた。

さらに史料の入手、現地調査に関しては、奈良県十津川村、大塔村、和歌山県花園村役場、および大津市葛川 葛野常満氏より特別な御協力をいただいた。ここに記して深い謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 芦田和男ほか：防災問題における資料解析研究(00), 京大防災研年報, 第26号 A, 1983, pp. 45-51.
- 2) 平野昌繁ほか：1889年8月豪雨による十津川災害の再検討—とくに大規模崩壊の地質構造規制について, 京大防災研年報, 第27号 B-1, 1984, pp. 369-386.
- 3) 古谷尊彦ほか：地震に伴う歴史的な大崩壊の地形解析, 京大防災研年報, 第27号 B-1, 1984, pp. 387-396.
- 4) 柏谷健二ほか：六甲山系南西部における崩壊と地形特性および雨量特性の変遷, 京大防災研年報, 第27号 B-1, 1984, pp. 397-408.
- 5) Voight, B. and W. G. Pariseau: Rockslides and avalanches, an introduction, Rockslides and Avalanches 1. edited by B. Voight, Elsevier, 1978, pp. 1-67.
- 6) K. J. Hsü: Actualistic Catastrophism, Sedimentology, 30, 1983, pp. 3-9.
- 7) 建設省河川局砂防部傾斜地保全課：過去における主な地すべり年譜, 地すべり技術, No. 22, 1982, pp. 26-32.
- 8) 萩原尊礼編著：古地震, 東大出版会, 1982.
- 9) 芦田和男代表：扇状地における洪水・土砂災害の発生とその防止軽減に関する研究, 文部省科研費 自然災害特別研究成果, No. A-57-4, 1982, pp. 76-107.
- 10) A. E. Scheidegger: On the Prediction of the Reach and Velocity of Catastrophic Landslides, Rock mechanics 5, 1973, pp. 231-236.
- 11) Li Tianchi: A mathematical model for predicting the extent of a major rockfall, Z. Geomorph. N. F., Bd. 27, Heft 24, 1983, pp. 473-482.
- 12) 平野昌繁：空中写真でみる地形災害—歴史的な大災害(その1), 京大防災研年報, 第24号 B-1, 1981, pp. 449-460.
- 13) Harrison, J. V. and N. J. Falcon: An ancient landslide at Saidmarreh in Southwestern Iran, Jour. Geology, Vol. 45, 1938, pp. 296-309.
- 14) K. A. Howard: Avalanche mode of motion — Implications from Lunar Examples, Science, Vol. 180, 1973, pp. 1052-1055.
- 15) R. L. Shreve: The Blackhawk Landsides, Geol. Soc. Amer. Special Paper No. 108, 1968, pp. 1-47.

- 16) K. J. Hsü: Catastrophic Debris Streams (Sturzstroms) Generated by Rockfalls, Geol. Soc. of Amer. Bull., Vol. 86, 1975, pp. 129-140.
- 17) J. L. Innes: Lichenometric dating of debris-flow depositions in the Scottish highlands, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 8, 1983, pp. 579-588.
- 18) I. E. Whitehouse and G. A. Griffiths: Frequency and hazard of large rock avalanches in the central Southern Alps, New Zealand, Geology, Vol. 11, 1983, pp. 331-334.
- 19) T. R. H. Davies: Spreading of Rock Avalanche Debris by Mechanical Fluidization, Rock Mechanics, Vol. 15, 1982, pp. 9-24.