

山地流域における土砂生産 Sediment Yield in a Mountain Basin

京都大学防災研究所 正員 沢田 豊 明

“ 正員 芦田 和 男

1. 緒 言

地表における土砂れきの移動が地表の生態系に対して種々の影響を与えており、世界的な規模としては砂漠化の問題、局地的なものとしては山地の裸地の拡大とそれともなう河川環境の変化の問題、あるいは土石流などによる施設の破壊や人命の損失などが挙げられる。また、これらの問題は社会構造の質的・量的変化にともなって変化しており、土砂生産による環境の変化を予測することは防災科学の重要な課題となっている。

地表における土砂の移動過程は土砂生産から出発し、土砂輸送および堆積へと続くが、これらの現象は大局的には高所から低所へと伝播され、その生起場は固定されることなく、同じ場所が土砂生産の場であったり、土砂輸送・堆積の場になったりする。本研究は土砂生産を裸地斜面に限定し、場の条件と外力の条件の組み合わせを考慮し、土砂生産量の予測法を確立しようとするもので、現地試験の成果を中心にまとめられている。

本文では、1980年から裸地斜面における土砂生産の観測を行っている足洗谷流域の成果に加え1984年から足洗谷流域を含む高原川流域(782 km²)の浅井田ダム集水域に試験流域(472 km²)を設定し、土砂生産と地域特性の関係を観測・調査成果に基づいて考察している。

2. 流域の概要と各試験地の特性

高原川は檜ヶ岳に源流を有する神通川の大きな支川で、その流域のうち浅井田ダムより上流に試験流域を設定した。この流域は図1に示すように、北俣岳(2661 m)、双六岳(2860 m)を源流とする双六川流域(170 km²)、檜ヶ岳(3180 m)、西穂高岳(2909 m)、焼岳(2455 m)を源流とする蒲田川流域(100 km²)、四ツ岳(2744 m)を源流とする平湯川流域(59 km²)、大雨見山(1336 m)を源とする蔵柱川流域(38 km²)に大きく分けられる。これらの流域は、冬期間に1~5 mの積雪があり、年間平均降水量は、この流域のほぼ中心にある栃尾で約2100 mmとなっている。気温は-15~30℃の間で、凍結・融解が短期間で繰り返されるのは11月から12月と3月から4月の間である。土砂生産の試験地は地形・地質、流域の代表性を考慮して図1に示すように11ヶ所の地点を選定した。微細土砂の流出の観測は蒲田川の支川の足洗谷出口、蒲田川出口、平湯川出口、および双六川出口で行われた。

各試験地の特性は表1に示すとおりである。Na 1~3の流紋岩はNa 8~10の流紋岩に比較して凝灰質の割合が多い。Na 5, 6の古生層は粘板岩、砂岩、石灰岩、凝灰岩などからなっていて、この地点では風化が著しい。圧縮強度は簡易型の土壌強度計から求められたもので、風化岩盤では割れ目、土砂れきの部分では土砂の部分の値を示している。斜面勾配は平均値である。斜面の平均粒径は斜面から直接採集してもとめられている。総生産土砂量は6月17日から9月25日までの土砂量で1 m²単位に換算した値である。これらの試験地で土砂生産が多い地点は、双六川のNa 4、平湯川のNa 6、足洗谷のNa 7であり、特に平湯川のNa 6は圧縮強度が比較的大きい値を示しているにもかかわらず生産土砂量が多い理由として斜面勾配が急であることが考えられる。

3. 観測・調査の内容と方法

裸地斜面の侵食は便宜上次のように大別している。

- ① 斜面勾配が安息角より緩く、水流などの外力が加わらなければ斜面の土砂が移動しない。
- ② 斜面勾配が安息角より急であって、粘着力を失った土砂れきが落下する。

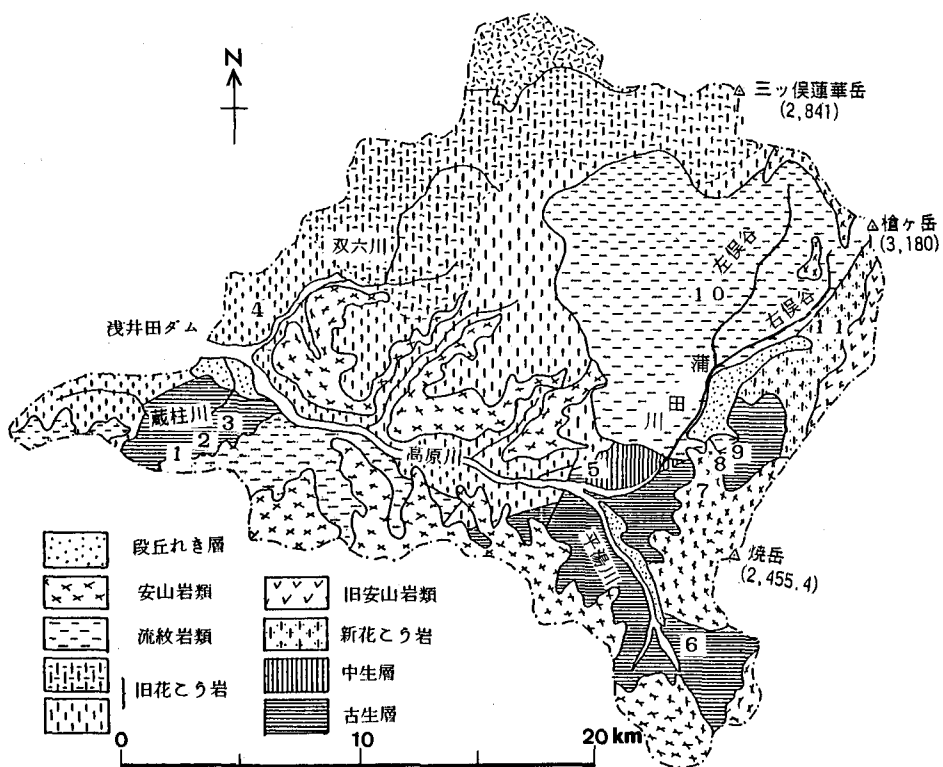


図1 流域の概要および地質

表1 各試験地の特性

流域名	地点番号	地質	圧縮強度 (kg/cm^2)	斜面勾配 (degree)	斜面土砂の 平均粒径 (cm)	14週間の 総生産土砂量 (kg/m^2)
蔵柱川	1	流紋岩	5.0	52	2.4	3.80
蔵柱川	2	流紋岩	10.5	54	4.1	2.25
蔵柱川	3	流紋岩	3.3	50	1.2	4.25
双六川	4	花こう岩	1.2	43	1.3	15.60
蒲田川	5	古生層	4.3	50	1.5	1.15
平湯川	6	古生層	3.8	60	2.5	10.50
足洗谷	7	火砕流堆積物	0.9	55	10.0	8.10
足洗谷	8	流紋岩	0.6	42	0.9	2.20
足洗谷	9	流紋岩	0.5	35	1.7	2.65
左俣谷	10	流紋岩	2.0	50	2.1	2.05
右俣谷	11	花こう岩	2.8	48	2.6	2.65

①の場合は、図2のような方法で侵食量の調査を行っている。図2の調査は春と秋に行われている。この方法は、斜面に鉄棒を打ち込み、鉄棒の露出長の変化を測定して侵食深を求めるものである。②の場合、図3の調査は、斜面の下に置かれた幅1mの箱の中に入った土砂を1週間ごとに採集し、この土砂量を幅1mの斜面における侵食量とした。採集された土砂の粒径分布も測定されている。また、各試験地から約1km以内には雨量計が設置されている。さらに、No 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9の近くには温度計も設置されている。その他、図4のような方法で侵食量の測定が行われている。比高が10～20mのガリ壁面の侵食深を測定するためには、光波測距儀を用いるこのような方法が必要である。この様な測定は、足洗谷において約10ヶ所の地点で、春と秋に行われている。図5は測定の一例を示したものである。

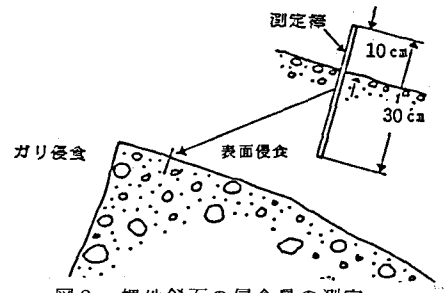


図2 裸地斜面の侵食量の測定

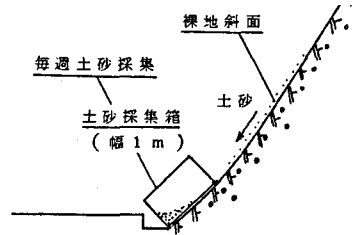


図3 裸地斜面の侵食量の測定

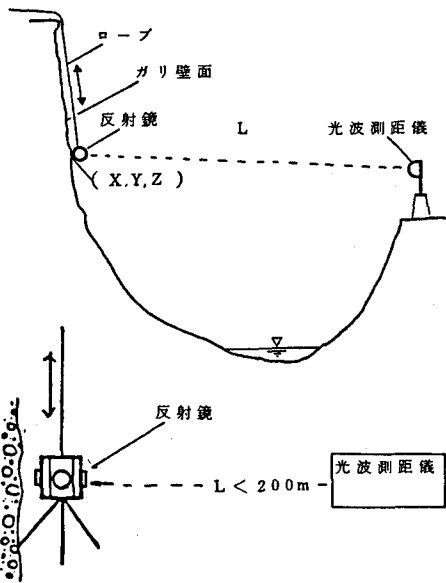


図4 ガリ壁面の侵食量の測定

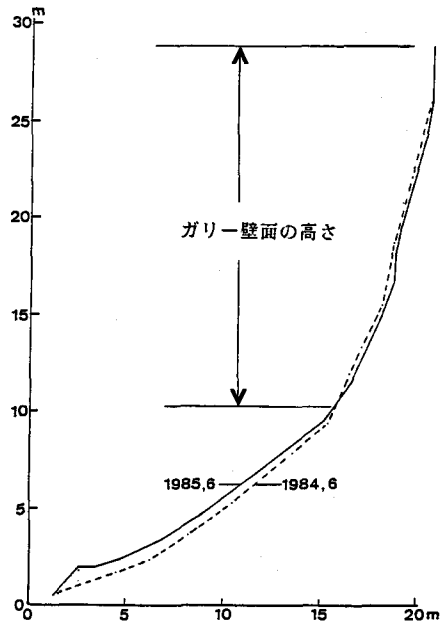


図5 ガリ壁面の侵食量の測定例

4. 観測結果とその考察

4.1 表面侵食による土砂生産

斜面勾配が約 30° 以下の侵食量について、侵食量と勾配の関係を図6に示している。この図において、年間侵食 E は斜面勾配 θ に支配され

$$E = E_0 + E_1, \quad E_1 = a \sin^3 \theta, \quad (\text{cm/year}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

のように表すことが出来る。なお、 E_0 は勾配に直接関係のない要因(凍上・融解など)に支配されるものとする。参考までに、富士山の大沢崩れ(1969～1977年)、黒部川不帰谷(1979～1981年)の測定値も図6

に示している。これらの地域は冬期に凍上・融解が認められる地域であり、また、一般に土砂生産の顕著なところとして知られている。ここで示されている斜面勾配、土砂生産量（侵食深）は、いずれも裸地全体の観測期間の平均値である。

ところで、このように斜面勾配が 30° 以下の場合、一般に土砂の侵食量は少なく、何らかの原因で裸地となっても数年で植生が回復するが、凍上・融解などが多い場所では植生の回復が遅いようであり、凍上・融解の影響は非常に大きく、土砂生産に占める割合は大きいと考える。

斜面勾配が約 $30^\circ \sim 60^\circ$ の斜面における侵食量の調査結果は図7, 8に示すとおりである。図7は図1の中のNo.7地点の結果で、上から順に気温、日雨量、1週間の侵食量（ 1m^2 当り）を示している。

この図において、3月に降雨量が少ないにもかかわらず侵食量が多いのは、気温が1日で 0°C を上下していることから、そこで凍結融解が発生しているものと考ええる。5月以後について、降雨量と侵食量の関係を見ると、徐々に降雨量に対して侵食量が減少しているような傾向が認められる。図8はNo.1, 2, 3地点で、地理的には近くにあるため、気温、降雨量は同じと考える。この図においても、上記の場合と同様に、降雨量と侵食量の間には明瞭な関連性は認められない。なお、斜面の圧縮強度はNo.3, 1, 2の順に大きくなって

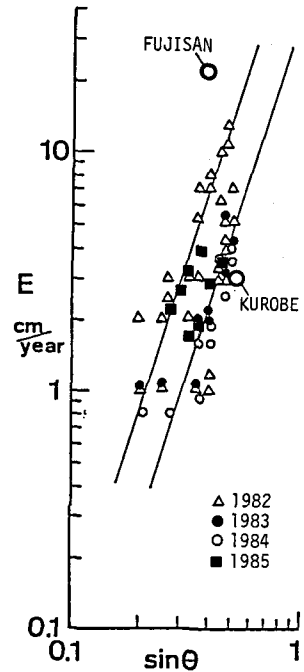


図6 裸地斜面の侵食深と勾配の関係

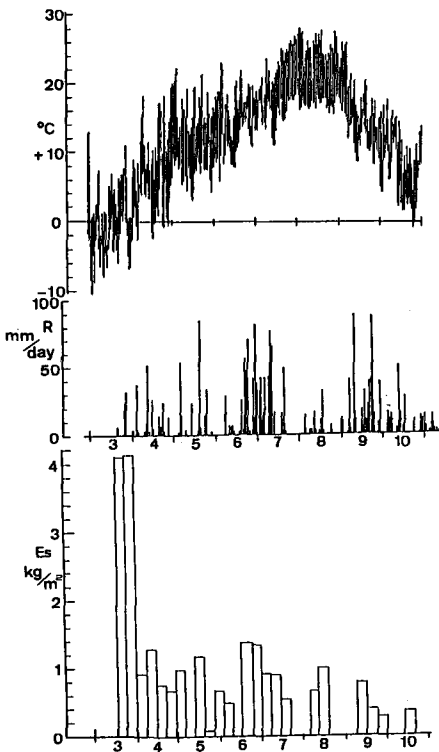


図7 侵食量、気温、日雨量の分布 (No.7 地点)

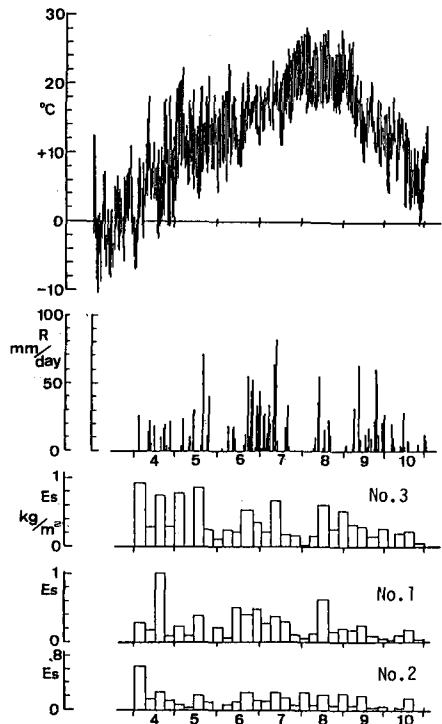


図8 侵食量、気温、日雨量の分布 (No.1,2,3 地点)

おり、侵食量はこの順で少なくなっているのが認められる。このことは、このような場の特性が侵食量に
関与していることを示しているものと考える。

図9は侵食量と生産土砂量の粒径の関係を示したものであるが、これらの間には特に明瞭な関係はなく、凍上・融解の発生による土砂生産では、粒径が
大きく、侵食の形態による差が大きく、細粒径のものは表面流によるものと考える。

以上のように、表面流による侵食が認められることから、表面流の発生を考慮して、降雨強度と侵食量の関係について検討してみよう、図10、11は裸地斜面の侵食量と降雨量の関係を示したもので、図10は、1週間の総雨量と時間雨量8mm以上の総雨量を比較したものである。図中の黒丸は4月のものである。この図において侵食量と降雨量の関係をみると、1週間の総雨量では不明瞭であったものが、時間雨量8mm以上の総量では 比較的良い関係が認められる。なお、ここでは示していないが、時間雨量2mm、4mm、6mmについても同様の検討を行っているが8mm以上のものが 最も良い相関にあることが認められた。

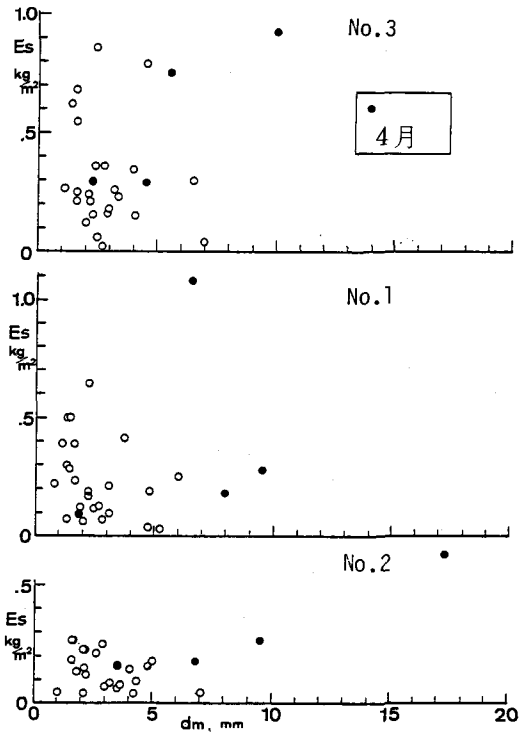


図9 裸地斜面の侵食量と生産土砂の粒径 (No.1, 2, 3 地点)

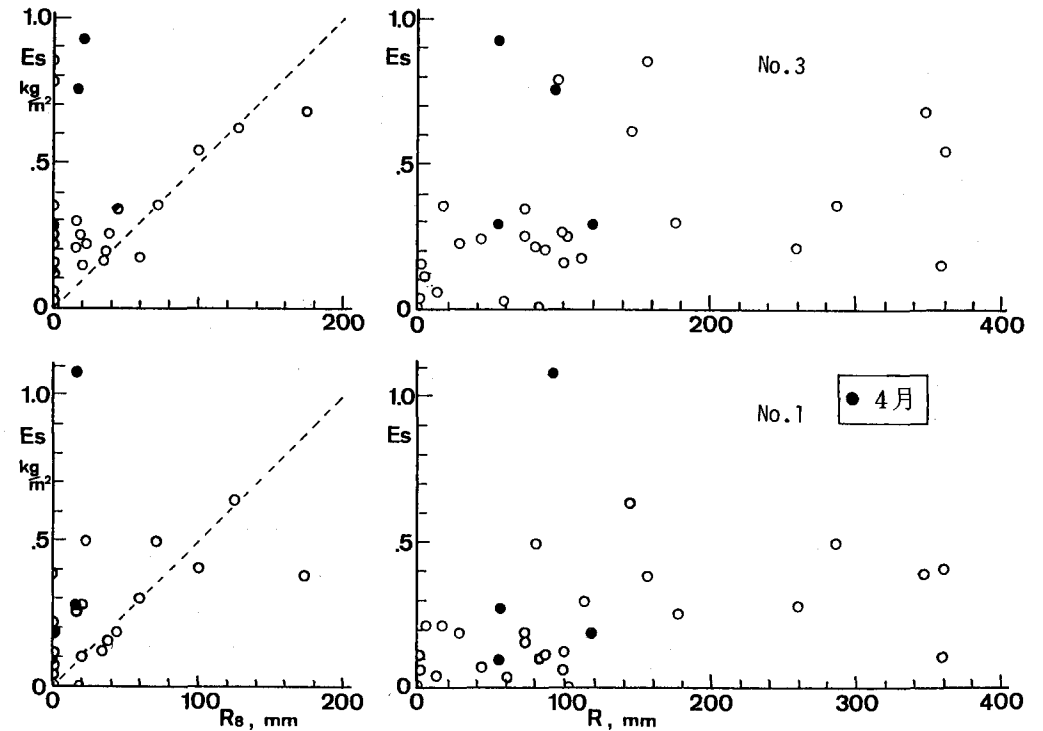


図10 裸地斜面の侵食量と降雨量 (R₈: 時間雨量8mm以上の合計) の関係 (No.1, 3 地点)

以上のように、時間雨量 8 mm 以上のものが良い傾向にあることから、他の試験地についても同様の傾向があるかを示した図 11 である。この図においても、ほぼ上記と同様の傾向が認められる。なお、図中の点線が侵食量と降雨強度の一般的な直線関係を示すものとすれば、このような関係から侵食量を予測することが可能となる。

ところで、これらの関係を示す直線の勾配は、各試験地で異なっている。このような差が生じる原因として、場の条件が考えられる。そこで、斜面勾配が比較的同様である No. 1, 3, 5, 7, 11 について、圧縮強度を比較してみると、圧縮強度の大きいものほど、その直線の勾配は緩く、侵食量が少ない傾向が認められる。

したがって、降雨による裸地斜面の侵食量の予測は、場の条件である圧縮強度や斜面勾配を測定し、その斜面の侵食量と降雨強度を比較的短時間（1 年以内）観測することによって可能になるものと考ええる。

4.2 ガリ侵食による土砂生産

ガリ壁面における侵食は、その侵食面が図 5 に示すように垂直に近いために、降雨よりも凍結・融解および風（湿度の低下による粘着力の減少によって）などの影響を強く受けている。図 12 は侵食深とガリ壁面の高さの関係を示している。この図に示されるように、ガリ壁面の高さで侵食深が比例する一つの理由として、このガリ壁を構成する土砂れきの粒径分布が 1 mm 以下の火山灰から 1 m 以上の巨礫まで含んでおり、ガリ壁面の微細粒子が凍結・融解および風などによって壁面から離脱することによって、大きな礫が壁面から次第に露出し、やがて、その礫の重量を支えきれなくなって壁面の破壊が生じる。このようにして壁面が侵食されるのと同時に、壁面から離脱した礫が落下の途中で壁面に衝突して、新たに壁面を侵食するので、壁面が高ければその機会が多くなることによるものと考ええる。

5. 結 語

以上、本文において、山地流域における土砂生産量の予測法を確立するために、場の条件（斜面勾配、圧縮強度など）と外力（降雨、凍結・融解など）を考慮して侵食機構について考察し、降雨強度と侵食量の関係を明らかにした。しかし、凍結・融解、風などの的確な評価には多くの課題が残されている。（参考文献：山地流域における出水と土砂流出（14）、京大防災研年報、第28号B-2、1985 富士山大沢崩れ砂防調査成果報告書、富士砂防工事事務所、1978 黒部川総合土砂計画調査報告書、黒部工事事務所、1985）

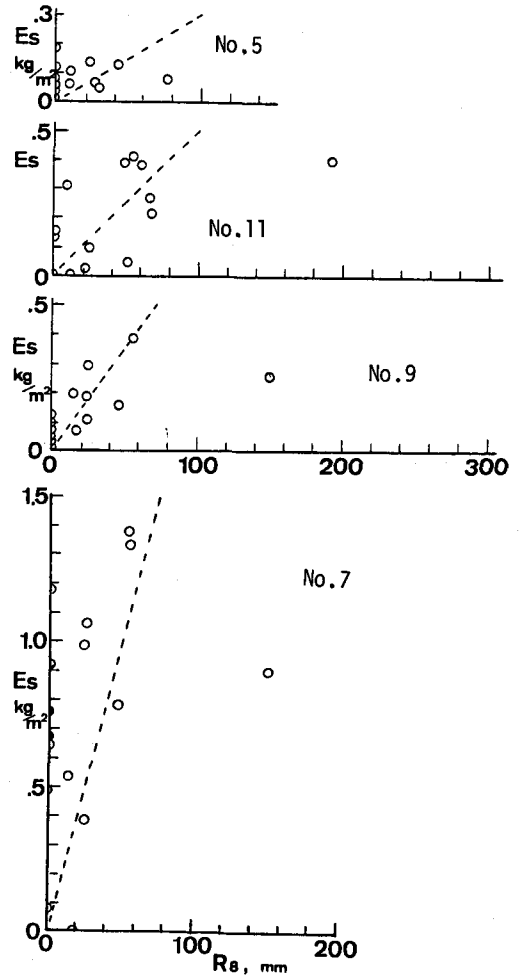


図 11 裸地侵食量と降雨強度（ R_s ：時間雨量 8 mm 以上）の関係

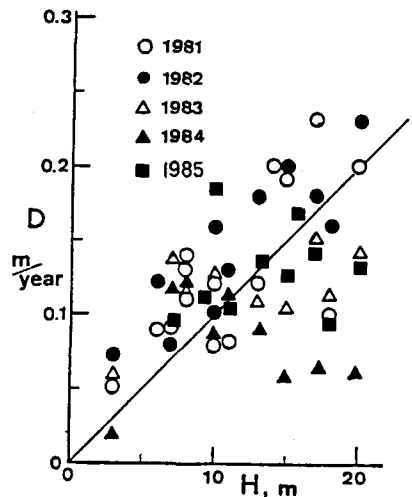


図 12 ガリ壁面の侵食深とガリ壁面の高さの関係