

蒲田川および平湯川流域における陸水の分布

——水質と崩壊の関連性について——

芦田 和 男・沢田 豊 明

DISTRIBUTION OF GROUND WATERS IN THE GAMADA AND THE HIRAYU RIVER BASIN

——On the Relation Between the Characters of
Ground Waters and the Landslide——

By Kazuo ASHIDA and Toyooki SAWADA

Synopsis

In this paper, the authors discussed the relationship between the landslide and topographical, geological conditions in the Gamada and the Hirayu river basin, by taking three factors as follows;

1) Relief energy, which may be a index for the topographical conditions, 2) Conductance (Characters of waters), which may be a index for the geological conditions, and 3) The volume of landslide material, which expresses the history of landslide.

1. 緒 論

現在まで、崩壊防止ならびに流出土砂量の予知を目的として、崩壊に関する数多くの研究が行われてきた。これらの研究は、大別して次の2つの分野に分けることができる。

一つは崩壊の発生機構に関する研究で、土質、岩質、地質構造、浸透水、地下水、表面流水、地表形態などの局所的な場の条件から崩壊の発生機構を明らかにしようとするものであって、斜面の安定性の検討や崩壊防止にとって重要な研究成果を提供するものである。

他の一つは、崩壊現象を巨視的な観点からとらえ、ある広がりをもった地域の中に発生している崩壊の個数や規模を、その地域全体としての特性から解明しようとする研究分野であって、対象となる地域における地質、地形、植生および気象などの平均的な条件と崩壊との関連性を解明しようとするものである。したがって、このような研究は、河川上流部に発生する崩壊による流出土砂量の予知やその制御ならびに崩壊発生の危険性の判定に関して、科学的な基礎資料を提供するものである。

福尾¹⁾、林²⁾らは、主として前者の立場から、崩壊の発生機構に関する研究を進めている。一方、崩壊現象をマクロに取り扱って行く立場では、崩壊を地形発達的主要原因として位置づけ、地形発達過程の解明から崩壊予知を行なおうとする、村野³⁾、平野⁴⁾、大石⁵⁾らの研究がある。また、崩壊発生の要因として地質条件を重視するものとして、三浦⁶⁾、黒田⁷⁾、大八木⁸⁾、横田⁹⁾、池田¹⁰⁾、田中¹¹⁾らの研究があり、その他、岩石の風化などを地球化学的に解明しようとするものに、北野¹²⁾らの研究がある。崩壊の発生要因として、降雨条件を重視したものには、打萩¹³⁾、渡辺¹⁴⁾らの研究がある。

以上のように、崩壊現象は、地形、地質および水文条件が関与する非常に複雑な現象であるが、崩壊量を予知しようとする立場からの研究において、特に重要なことは、崩壊現象に関係する各種の要因をいかにして計量化するかということであり、さらに、それらの計量化された諸量と崩壊量との間の定量的な関係を見出すことである。

著者らは、このような立場から崩壊地の地形・地質学的特性について研究を行ない、崩壊発生の経年変化について¹⁵⁾、あるいは、崩壊に関連する地質特性として、岩石風化および岩石のひび割れを取り上げ、それらの測定とその表現方法について研究^{16), 17)}を行なってきた。それと同時に、植生や表層土壌などで地質学的な地盤の調査・研究が困難な未崩壊地を対象とした場合、あるいは流域の平均的(岩石の風化などを含む)な状態を知るための一つの方法として、流域を流れる水の化学的性質と崩壊の関係についての研究^{18), 19)}を行なってきた。

今回は、上記の研究に引きつづいて、崩壊の発生要因が発生場所の地域性に関連しているものと考え、どのような指標が地域性を代表するかについて検討を加えるとともに、その指標と崩壊との関係について考察した。

その結果、採水時期および採水場所を適切に判断することによって、水質の地域的特性から流域の他の特性が推定できることが明らかとなった。さらに、この神通川水系蒲田川および平湯川流域において、地質学上の地域区分と水質特性による地域区分とがよく対応することが明らかにされた。

以上のことから、崩壊に関与する流域の地域特性を代表する指標として水質をとりあげ、さらに、地形特性を代表するパラメーターを加えて、崩壊量との関係を検討したので、その結果を報告する。

2. 流域の一般的特性と水質について

前回¹⁹⁾の結果に基づいて、今回は調査流域を拡大し、水質の分布と流域の諸特性との関係を明らかにしようとするものである。

前述したように、水質は流域の種々の特性を反映したものといえるが、その中で、地質的要素としての岩種、岩石の風化、断層、破碎帯および熱水熱気など、地形的要素としては地形面の角度、起伏量、谷密度および地ぼう係数などが、主なものとして考えられる。

地質、地形および崩壊の特性と水質の関係は、一般的に、次のように考えられる。地形の発達を進めてきた崩壊、ならびに、その崩壊の発生機構にある役割をはたしてきている水の性質は、いずれも、それらの現象の母体としての地質の影響を強く受けており、上記の3つの特性は相互に強い関連を持っているはずである。したがって、それらの現象の一側面である地形の起伏量、地ぼう係数あるいは谷密度などの地形特性、崩壊の土砂量、面積、深さなどの崩壊特性、ならびに水質の pH、電導度あるいは溶存 SiO_2 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} などの溶解量などの水質特性などの間には強い関連があると考えられ、崩壊予知の立場から、これらの諸特性の関連性について検討を行なった。さらに、これらの関連性から崩壊の予知を行なうためには、関連のある諸特性が時間の経過とともに、どのように変化しているか、つまり、崩壊しやすい傾向に変化しているかどうか重要になってくる。そこで、諸特性の時間的な変化量の計量化についても検討を行なった。

以上の諸特性の関連性を明らかにするためには、各特性の内容、測定値に関して統一されたものが必要で、特性の計量化、測定要素の選択、および特性の時間的な変化量のとりあつかいが問題である。

以上の3つの問題点について考えてみた場合、計量化については、地質特性に比較して水質、地形および崩壊の特性などは計量化が可能なものが多い。それは、ある地域の平均的な特性を求めようとする場合、とくに重要になってくる。

崩壊の主要因として、測定要素を選択するとすれば、計量化の可能な点あるいは測定の簡単な点を考慮して、一般的には次のものが適当であるといえる。地形については、起伏量、地ぼう係数、谷密度、斜面の角度などである。水質については、各元素の溶解量あるいは電導度などである。地質としては、岩石の強度、岩石のひび割れなどである。

各特性において、時間的な変化量のとりあつかいは困難で、地質および地形特性については、時間の尺度が大きすぎて測定などの困難なものが多い。しかし、岩石の強度あるいは風化の程度、岩石のひび割れ、地かく変動などの測定は比較的可能である。水質および崩壊特性については、変化の時間の尺度も比較的小さく、

測定も比較的簡単に行なうことができる。

以上の諸特性の中から、測定や測定値の計量化および時間的変化量のとりあつかいが可能なものを選び、それらの間の関係を求めることができれば、逆に、その関係から、計量化が困難なものに対する尺度を求めることが可能になる。計量化された地形、崩壊および水質の特性の関連性から、計算化の困難な崩壊しやすさの尺度が求められるのではない。

以上の考えに基づいて、各流域の水質、地形および崩壊特性から、崩壊しやすさの推定法を検討した。各流域の水質、地質、地形および崩壊特性などは Table 1 のとおりである。

Table 1 Characters of ground waters, topographical factors and the factors of landslide in the Gamada and the Hirayu river basin.

Location	Conductance $K_{18}(\mu\text{g}/\text{cm})$	Soluble SiO_2 (mg/l)	Ca^{2+} (mg/l)	Relief energy	Volume of Landslide material (m^3)	Area of landslide (m^2)
No. 1	20.0	7.5	4.5	412	—	—
No. 2	24.1	8.1	4.0	362	94,375	21,937
No. 3	34.8	7.3	6.6	370	120,732	42,267
No. 4	13.1	5.1	5.5	435	—	—
No. 5	13.2	3.8	5.1	407	7,692	803
No. 6	62.7	8.2	13.4	325	715,739	81,138
No. 7	109.0	17.2	18.1	288	—	—
No. 8	233.3	42.5	50.6	293	123,293	19,321
No. 9	96.3	17.5	18.3	298	12,169	6,185
No. 10	241.9	43.2	41.5	293	264,836	35,031
No. 11	75.4	9.9	18.5	295	—	—
No. 12	44.4	20.4	8.3	380	1,893,913	149,130
No. 13	57.6	17.6	7.9	281	1,040	1,520
No. 14	453.3	36.7	52.5	310	1,087,878	174,236

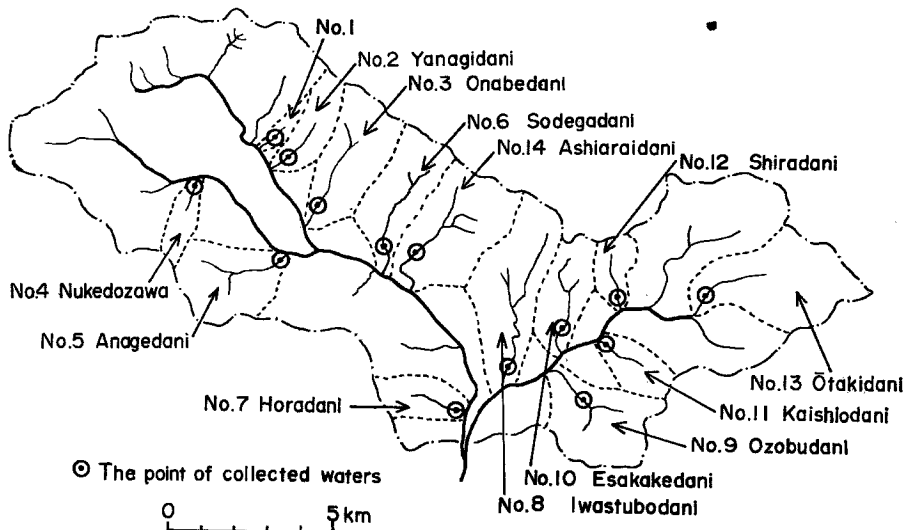


Fig. 1 Investigation area in the Gamada and the Hirayu river basin.

水質の調査地点は Fig. 1 に示すとおりで、採水地点は 1 から 14 までの番号で示してある。調査流域は地質および崩壊の有無を考慮し、種々の組合せについて調査ができるように選んだ。採水地点 1 カ所で 1 つの流域を代表させ、流域の面積も $3 \sim 10 \text{ km}^2$ の範囲になるようにした。採水は、昭和 46 年 6 月 9 日、6 月 26 日、8 月 25 日および 10 月 19 日の計 4 回行なった。Table 1 に示した値は平均値である。なお、水質の 4 回の値には、ほとんどばらつきがみとめられなかった。このことは、流域に固有な水質特性を求めるため、降雨などの影響を考慮し、降雨後 1 週間を置いて採水を行なったことによる結果と考えられる。

全流域における水質の一般的特性については、溶存 SiO_2 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ などの値と電導度の値との間に一定の相関がみとめられる。それらの 1 例は Figs. 2 および 3 のとおりである。さらに、水質の分布にも地域性がみとめられる。つまり、Table 2 に示すように、地質学的な地域区分と水質特性による地域区分がよく対応している。このことから、電導度の値で流域の平均的水質特性を代表させ、流域の平均的地質特性も代表させることができる。

地形の特性については、地形学分野で一般に使用されている起伏量および地ぼう係数を採用した。起伏量および地ぼう係数は、地理調査所 5 万分の 1 地形図を使用して、面積 0.25 km^2 の方眼をかけて求めたもので、Table 1 に示したものは各流域における平均値である。

崩壊の特性については、崩壊土砂量および崩壊面積を採用した。崩壊調査は昭和 29 年および 30 年に行なわれたものである。²⁰⁾

3. 水質、地形および崩壊特性と崩壊しやすさ

流域の平均的な崩壊しやすさを明らかにするため、水質、地形および崩壊特性の 3 者の関係について検討する。

Fig. 4 は電導度、起伏量および 1 km^2 における崩壊面積の関係を示したものである。この図からも明らかのように、電導度が大きくなるに従って崩壊面積が大きくなる傾向がある。さらに、起伏量が大きいほど、崩壊面積が大きくなる傾向にある。なお、図中の 2 本の実線は起伏量が 300 前後のものと 350 前後のものを区別するために引いたものである。上記のような関係において、崩壊面積が大きいということは、流域の岩石の風化あるいは岩石脆弱化が進んでいることを、その条件としている。そのような地域の地中の性質が水質

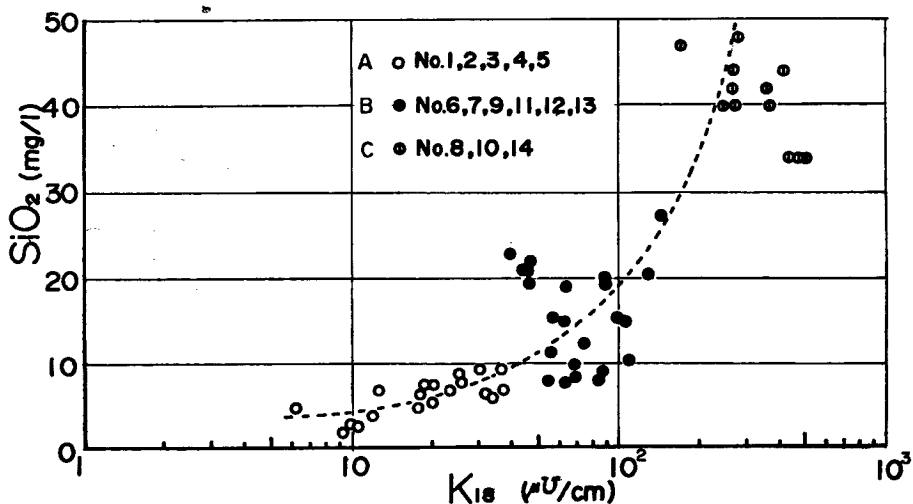


Fig. 2 Relation between soluble SiO_2 and conductance (K_{18}), in the Gamada and the Hirayu river basin.

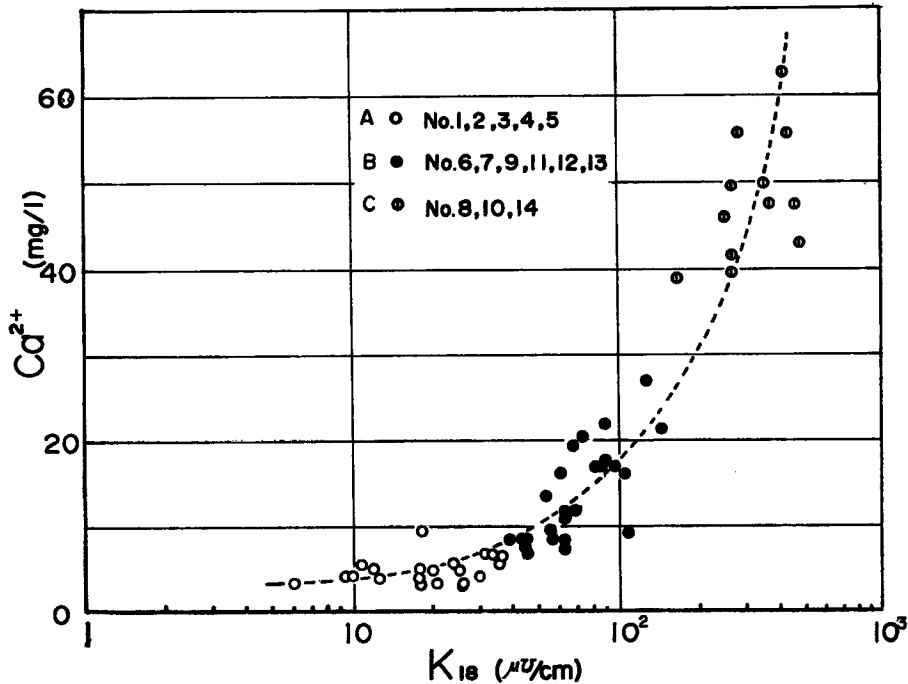


Fig. 3 Relation between Ca^{2+} and conductance (K_{18}), in the Gamada and the Hirayu river basin.

Table 2 Corresponding relation between the characters of ground waters and geological conditions, in the Gemada and the Hirayu river basin.

	Andesite group	Sedimentary rock group	Rhyolite group
A group			No. 1, No. 2 No. 3, No. 4 No. 5
B group		No. 6, No. 7 No. 9, No. 11 No. 12, No. 13	
C group	No. 8, No. 10 No. 14		

の電導度の増大となっているとすれば、電導度が増大するということは崩壊面積の増大に関する1つの条件を示しているといえる。また、起伏量が大きくなるということは、斜面勾配が急になることである。つまり、斜面が急になるほど、岩石土砂に働く重力のすべり成分が大きくなり、崩壊しやすくなる。したがって、この図に示される関係は、起伏量の増加が崩壊面積の増大に無関係ではないということを十分に説明している。つまり、電導度が同一の値を示している場合でも、崩壊面積が異なるのは起伏量の差に原因していることを示している。

このような関係は、Fig. 5 のように、電導度、起伏量および崩壊土砂量の3者の間にもみとめられる。

したがって、以上のような関係が一般的に成り立つとすれば、ある流域の電導度と起伏量が求まれば、その流域における 1 km^2 あたりの崩壊面積あるいは崩壊土砂量の推定が可能になる。

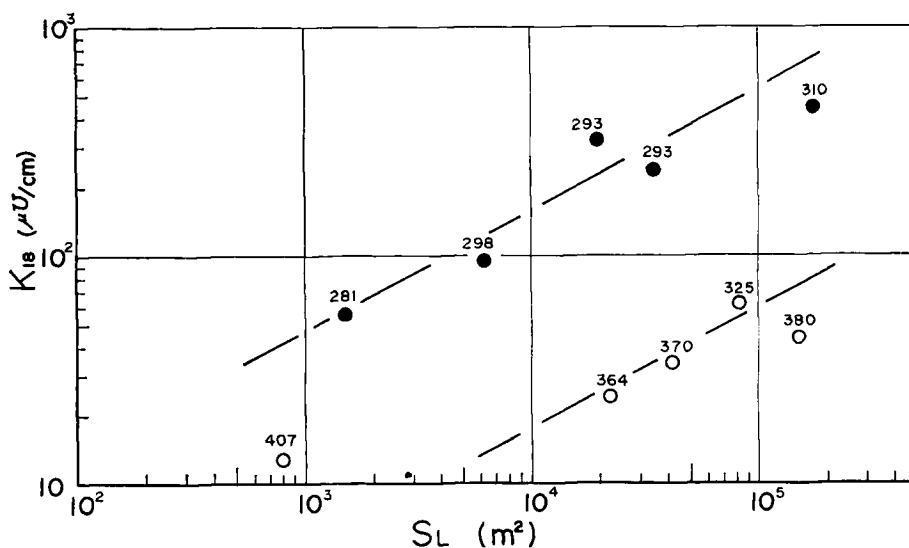


Fig. 4 Relation between conductance (K_{18}) or relief energy and the area of landslide (S_L), in the Gamada and the Hirayu river basin. The numbers in this figure are relief energy.

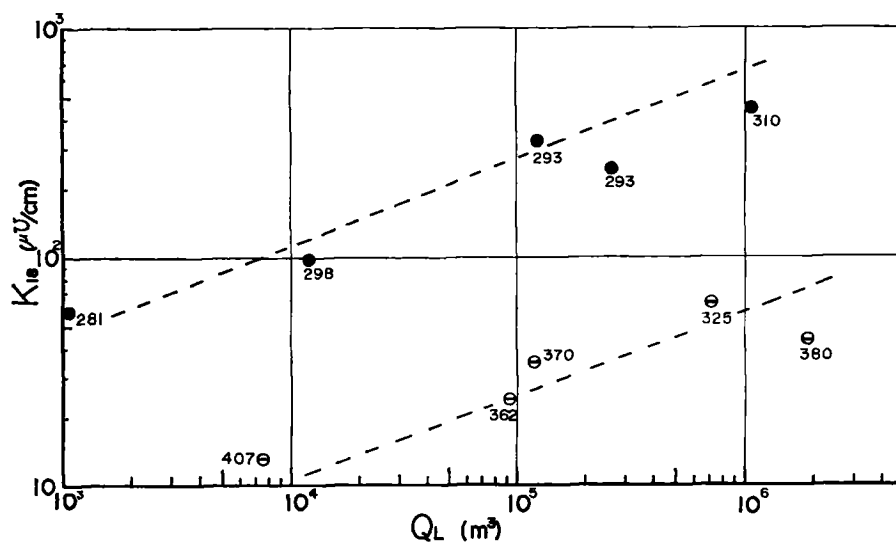


Fig. 5 Relation between conductance (K_{18}) or relief energy and the volume of landslide material (Q_L), in the Gamada and the Hirayu river basin. The numbers in this figure are relief energy.

しかし、ここでとりあつた崩壊に関する資料は崩壊の発生時期が不明確であるため、古い崩壊も新しい崩壊も同様にとりあつている。したがって、電導度と起伏量などから、ある流域に何年間でどれだけの崩壊土砂量が供給されるかという定量的な崩壊予知に関しては、非常に問題点が多いことが指摘された。その中の1つとして、水質特性がある流域において、どのような早さで変化するか、たとえば、10年前の水

質も現在の水質もほぼ同じ値を示すものかという点である。このことは、10年前の崩壊について、崩壊特性を求め、現在の水質特性との関係を求める場合に問題となる。

けれども、時間的要素を欠くこのような関係でも、長い時間尺度で考えれば、ある一定期間における山地流域の侵蝕量あるいは侵蝕率に相当するものを推定することが可能である。つまり、上記の関係における崩壊土砂量を、ある地域の岩石の風化の程度あるいは崩壊の危険度として考えれば、崩壊の発生予知に関する1つの指標になるのではないかと考える。

4. 結 語

本報文において、著者らの崩壊予知に関する基本的な考え方を説明し、崩壊に関連する要因として、次の3つの要素を考えた。1) 地表面の条件を代表するものとして、起伏量、2) 地中の条件を代表するものとして、水質（電導度）、3) 地域の崩壊の履歴条件として、崩壊土砂量（崩壊面積）。

以上の3つの要素から、ある流域の崩壊危険度は、電導度の大小および起伏量の大小によって推定できるのではないかという結論を得た

しかし、この結果はある限られた地域内での結果であり、他の地域について多くの資料を収集し、この事実がどの地域にもあてはまるものかを検討しなければならないという大きな課題が残されている。

さらに、このような研究の成果に加えて、前述したように、崩壊発生・拡大・消滅に関する時間的（経年的）変化量の資料を得ることによって、崩壊危険度に時間的要素をとり入れることが可能となり、防災計画に具体的基礎資料を提供することができよう。

そのために、今後、崩壊（地形の変化量）の時間的な計測について、あるいは、岩石の脆弱性と水質の関係および水質特性の経年変化についても不明の点が多く基礎的な実験など加え、調査・研究を行なう方針である。

最後に、本研究の遂行にあたって、野外調査などに協力していただいた防災研究所付属穂高砂防観測所の志田正雄技官および滝沢梅雄補佐員の労に感謝する。

なお、本研究は文部省科学研究費による研究成果の1部であることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 福尾義昭：斜面崩壊の理論的考察(Ⅱ)—浸透地下水流によってひき起こされる崩壊とそのスベリ面—第7回災害科学総合シンポジウム講演論文集，昭45，pp. 103-106.
- 2) 林 正夫・藤林原義一：逐次破壊現象としての斜面の安定性と数値解析—粘・塑性有限要素法・模型実験との比較—，土木学会論文報告集，171，昭44，pp. 11-24.
- 3) 村野義郎：山地における砂石の生産に関する研究，村野義論文集，昭46，pp. 1-78.
- 4) 平野昌繁：斜面発達モデルの比較検討，新砂防，73，昭44，pp. 1-6.
- 5) 大石道夫・皆川 真：砂防調査における地形解析について（第2報），新砂防，42.
- 6) 三浦 清：島根県加茂町附近の花崗岩類とその崩壊について（Ⅰ），岩鉱，56巻6号，昭41，pp. 256-283.
- 7) 黒田和男：集中豪雨による山くずれ発生密度の岩種別特性について，第7回災害科学総合シンポジウム講演論文集，昭45，pp. 109-112.
- 8) 大八木規夫：島根県加茂・大東花崗岩類地帯における風化帯の構造と崩壊，防災科学技術総合研究報告，No. 14，昭43，pp. 113-127.
- 9) 横田知昭：崩壊調査資料の地質別集計に基づく一考察，新砂防，57，昭40，pp. 16-31.
- 10) 池田和彦：崩壊堆積物斜面の安定について，応用地質，第12巻，3号，昭46，pp. 14-21.
- 11) 田中 茂：46・7・18豪雨による西播地区の山崩れ災害の研究，昭和46年度災害科学総合研究河川分科会シンポジウム，pp. 9-16.
- 12) 北野康・金森 悟・加藤喜久雄：伊吹山周辺水系（姉川本川および草野川）の水質による岩石風化、崩壊の調査，災害の地域的特異性に関する基礎的総合研究，昭41，pp. 72-78.

- 13) 打萩珠男：雨による山腹崩壊土量の実用計算法試案，新砂防，69，昭 43，pp. 30-35.
- 14) 渡辺正幸・瀬尾克美：豪雨による山崩れ 一六甲山における昭和 36 年と 42 年豪雨一 新砂防，68，昭 43，pp. 17-20.
- 15) 矢野勝正・土屋義人・沢田豊明：蒲田川流域の地形・地質学的特性に関する研究 (3) 一酸性進入岩体における崩壊の特性について一，京都大学防災研究所年報第 12 号 B，昭 44，pp. 311-321.
- 16) 矢野勝正・沢田豊明：岩石の風化と崩壊 (1) 一花崗岩質岩石にみられる風化一，京都大学防災研究所年報第 13 号 B，昭 45，pp. 621-627.
- 17) 沢田豊明：岩石の風化と崩壊 (2) 一崩壊の要因としての岩盤の特性一，京都大学防災研究所年報第 14 号 B，昭 46，pp. 717-726.
- 18) 矢野勝正・沢田豊明：蒲田川流域における陸水の分布 (1) 一崩壊地の概況と陸水の地球化学的特性一，京都大防災研究所年報第 13 号 B，昭 45，pp. 629-645.
- 19) 矢野勝正・沢田豊明：蒲田川流域における陸水の分布 (2) 一陸水の特性と岩石の風化一，京都大学防災研究所年報第 14 号 B，昭 46，pp. 727-743.
- 20) 建設省神通川水系砂防工事事務所：神通川水系砂防調査報告書，昭 33，pp. 10-45.