

第27回シンポジウム

平成10年8月豪雨に伴う新潟の土砂災害について

1999. 5. 7

主催 地すべり学会新潟支部
主催 地盤工学会北陸支部
後援 新潟県
新潟県地質調査業協会
地すべり対策技術協会新潟支部

目 次

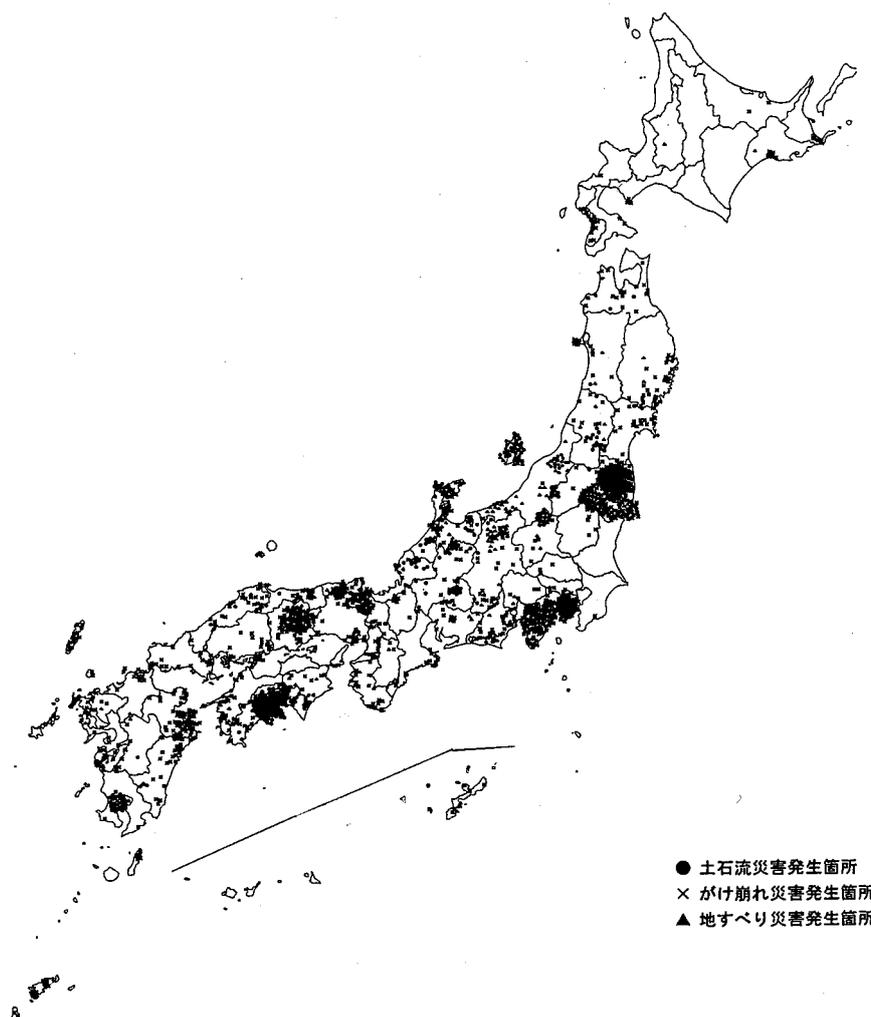
I	平成10年8月豪雨に伴う新潟の土砂災害について	1
II	8・4豪雨により佐渡で発生した土砂災害	11
III	平成10年8月4日豪雨に伴う五頭山地の土砂流出について	23
IV	平成10年8月豪雨による土砂災害の機構と特性	33

I 平成10年8月豪雨に伴う新潟の土砂災害について

新潟県土木部砂防課 大澤 正

1. はじめに

平成10年は、全国46都道府県で1,629件（土石流317件、地すべり152件、がけ崩れ1,160件）の土砂災害が発生している。8月以降に多くの災害が発生しており約74％に達しています。人的被害については、死者21名になっており、幼児・高齢者や障害者といった災害弱者が多く犠牲になっています。



(図一1 平成10年土砂災害発生箇所図)

平成10年度は、県内でも土砂災害の発生件数は、171件（土石流41件、地すべり110件、がけ崩れ20件）に上っております。特に8月は、112件（土石流41件、地すべり52件、がけ崩れ19件）の発生となっています。

8月4日は、佐渡両津市、新潟市、笹神村を中心に、また、8月16日からは、上越市、新井市、糸魚川地方に異常な集中豪雨に襲われ多数の土砂災害が発生しました。

幸いなことに県内の人的被害は、皆無でありました。

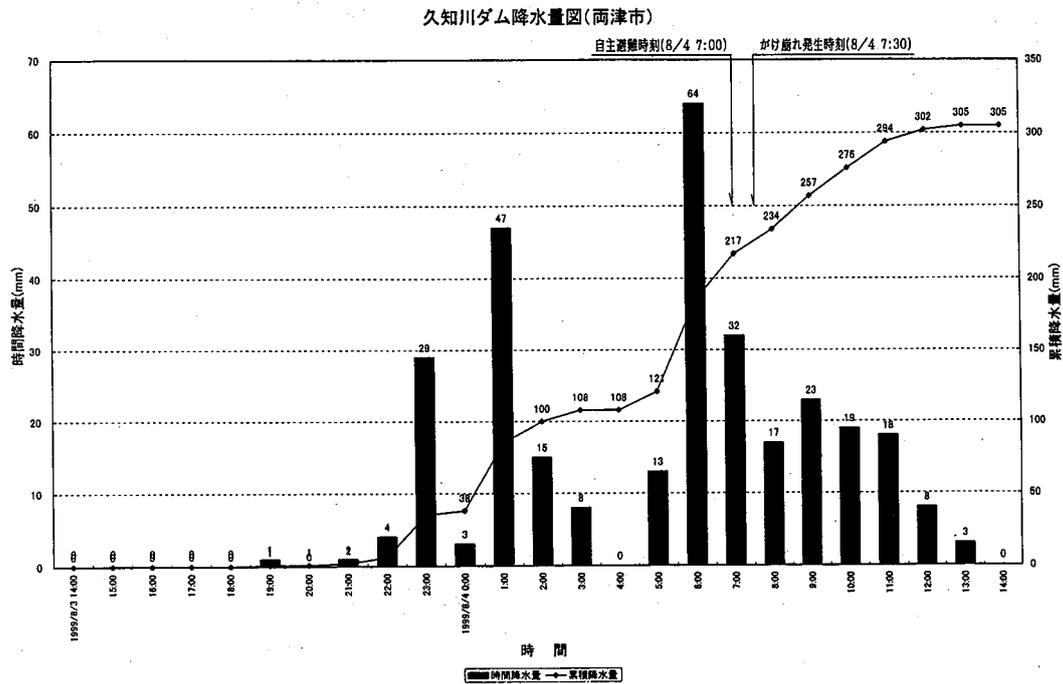
2)被害状況

4日の水害時には土石流（土砂流）40渓流、地すべり19箇所、がけ崩れ14箇所、合計73箇所の土砂移動現象が発生しました。これらの現象の中で、幸いなことに人的被害はありませんでしたが、地すべり、がけ崩れによる物的被害が発生した主な地区は次のとおりです。

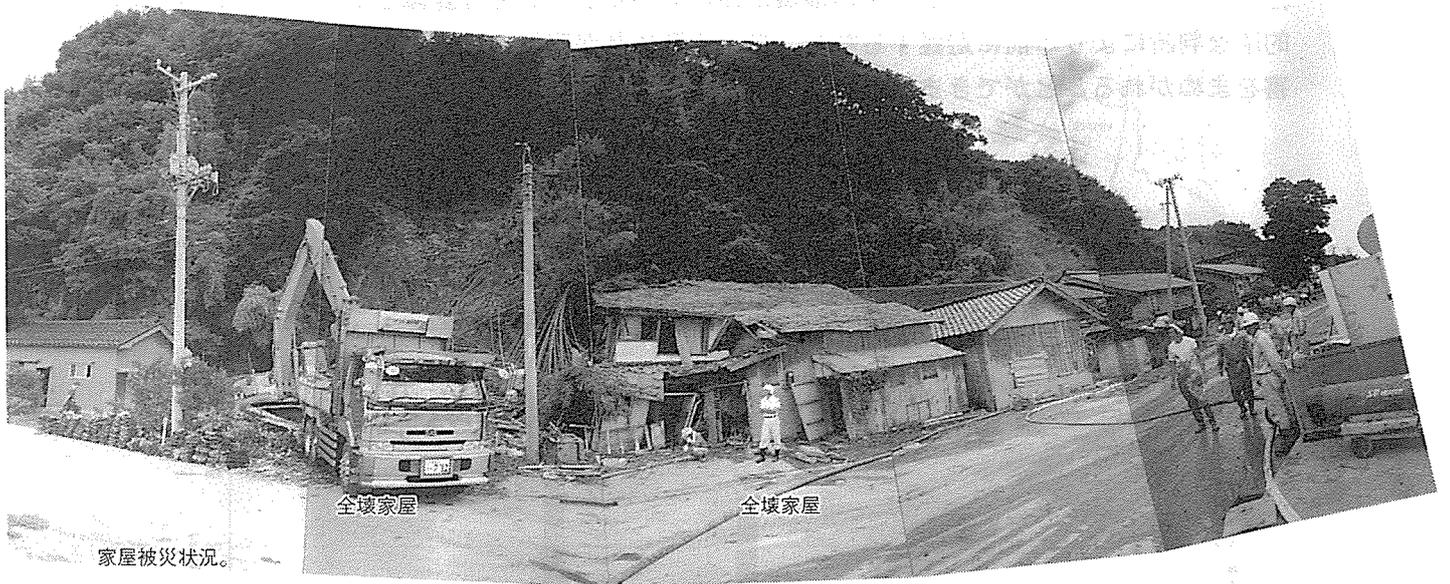
*両津市東立島地区

この地区の降雨状況は、3日の23時頃から4日の午前中に強い雨が降って、6時からの時間最大64mm、連続降雨量が200mmを超えた、午前7時の自主避難とほぼ同時刻に土石流が発生し、午前7時30分頃がけ崩れが発生しました。

この地区ではがけ崩れと土石流が発生し、がけ崩れでは人家2戸全壊、土石流では人家の一部破損5戸・床上浸水2戸・床下浸水2戸・非住家一部破損3戸の被害がありました。住民が土砂災害の発生しやすい地域に住んでいることを充分認識しており、区長等の的確な判断により事前に避難するなど、自主避難体制が整備されていることにより人的被害をまぬがれることができました。



(図-3 久知川ダム降雨量図)



家屋被災状況。

全壊家屋

全壊家屋

(写真一 東立島地区 被災直後)



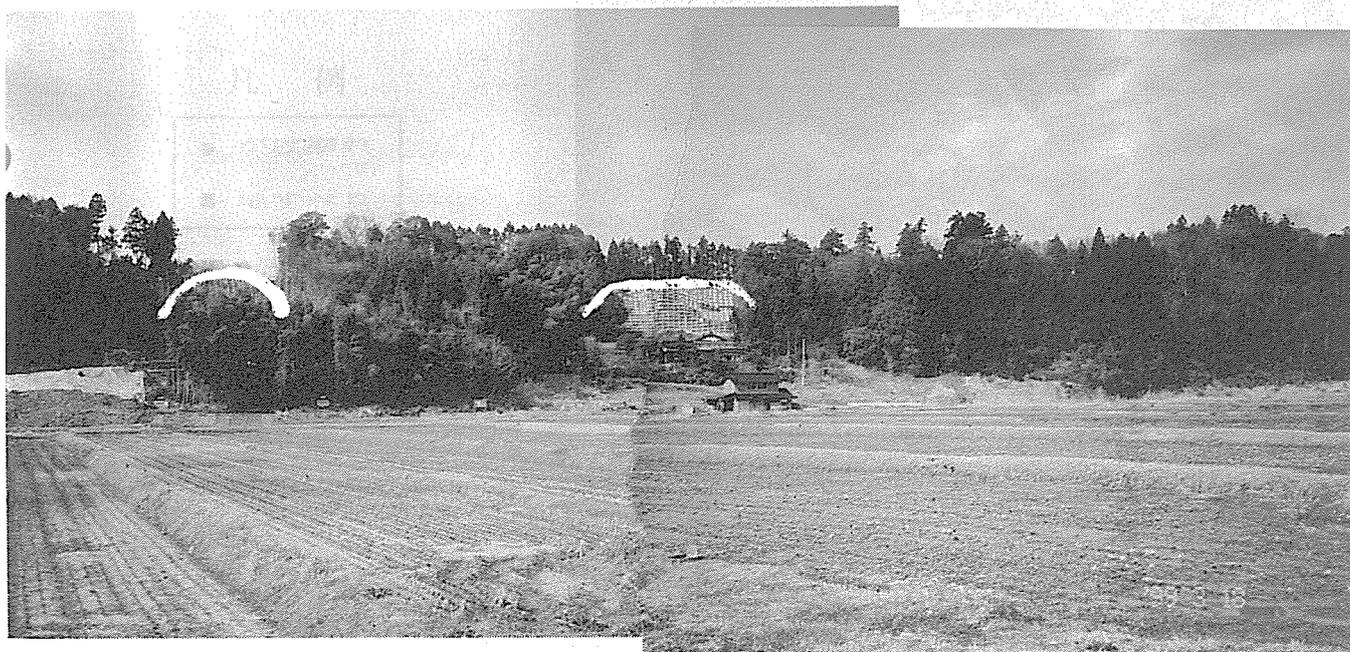
(写真二 対策工事中)

*佐渡郡佐和田町二宮地区

この地区は、4日の10時頃発生した地すべり（移動土砂量約2,000m³）により人家の全壊1戸、また隣接する斜面においても地すべりが発生し1戸一部破損の被害がありました。当地区においても災害の直前に自主避難したことからの人的被害はまぬがれたました。



(写真一3 二宮地区 全壊家屋)

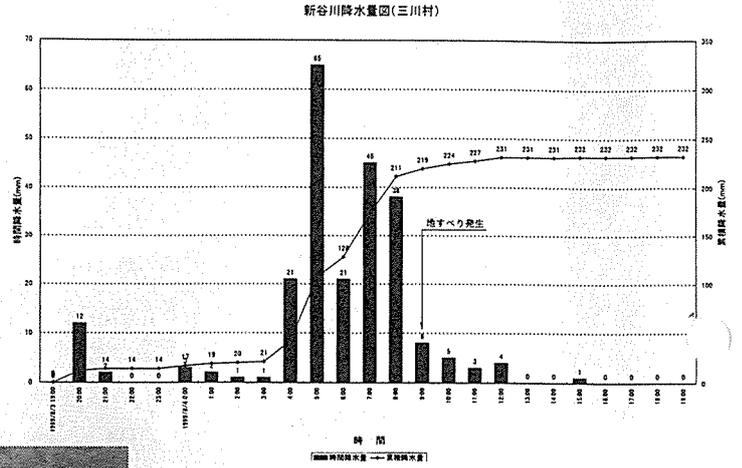


(写真一4 対策工事中)

***東蒲原郡三川村内川地区**

この地区の降雨状況は、4日朝の4時頃から強い雨が降り出し5時からの時間最大65mm、7時台45mm、8時台にも38mm、その後沈静化しましたが、連続雨量は232mmに達しました。

この地区も連続雨量が200mmを超えた4日9時頃地すべり（移動土砂量約3,000m³）が発生し、第三セクターによる新三川温泉Y O U & 湯が一部破損しました。この被害も破損個所が半地下の機械室や1階のレストランであり時間も早く営業されていなかったから、幸いに人的被害をまぬがれました。



(図一 4 新谷川降雨量図)



(写真一 5 内川 被災全景)



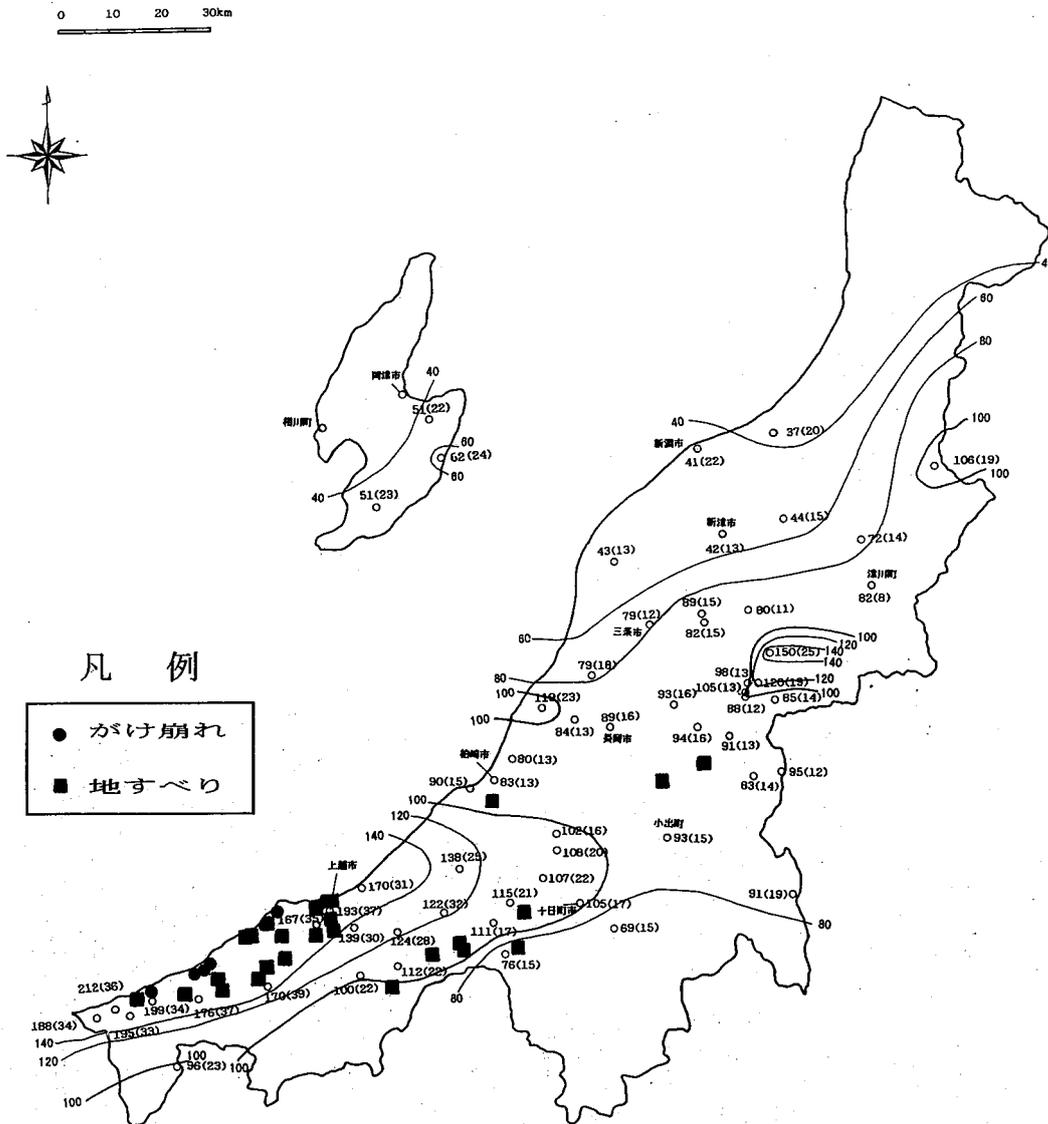
(写真一 6 崩壊部)

3. 8月16日災害

1) 気象状況

8月16日は、県内を前線がゆっくり南下したため、上越地方を中心に大雨となり、糸魚川市も激しい雨に見舞われました。

一日の降雨量は、上越市で193mm、能生町で161mm、糸魚川市で156mm、また17日は、北陸地方に前線が停滞し活動が活発となり、上越を中心に、糸魚川で104mmの豪雨となりました。18日までの約2日間の連続雨量は、上越市で269mm、糸魚川市で221mmに達しました。



(図一5 8.16土砂災害発生箇所図及び連続降雨量図)

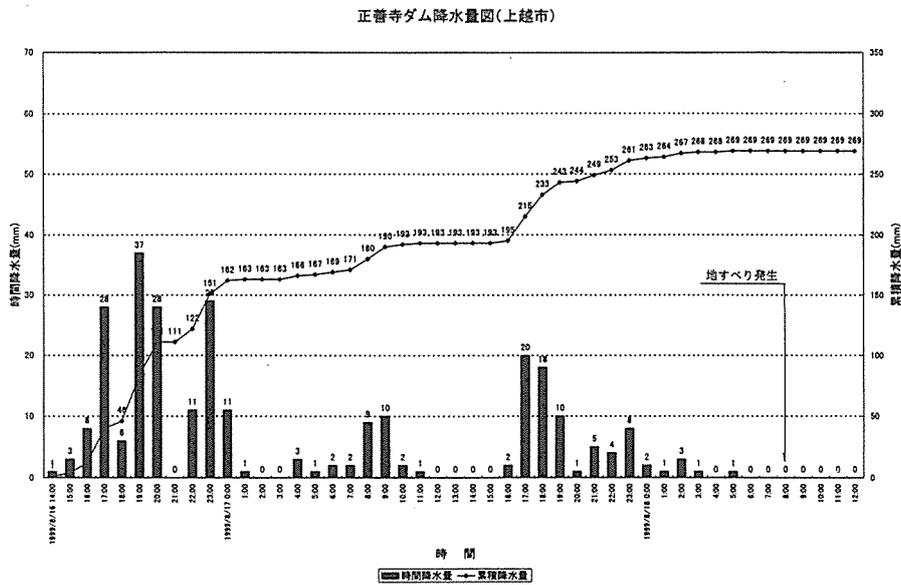
2)被害状況

16日からの豪雨時には上越地方を中心に土石流（土砂流）1渓流、地すべり31箇所、がけ崩れ5箇所、土砂移動現象が発生した。この豪雨による災害も、幸いなことに人的被害はありませんでしたが、地すべり、がけ崩れが発生した主な地区は次のとおりです。

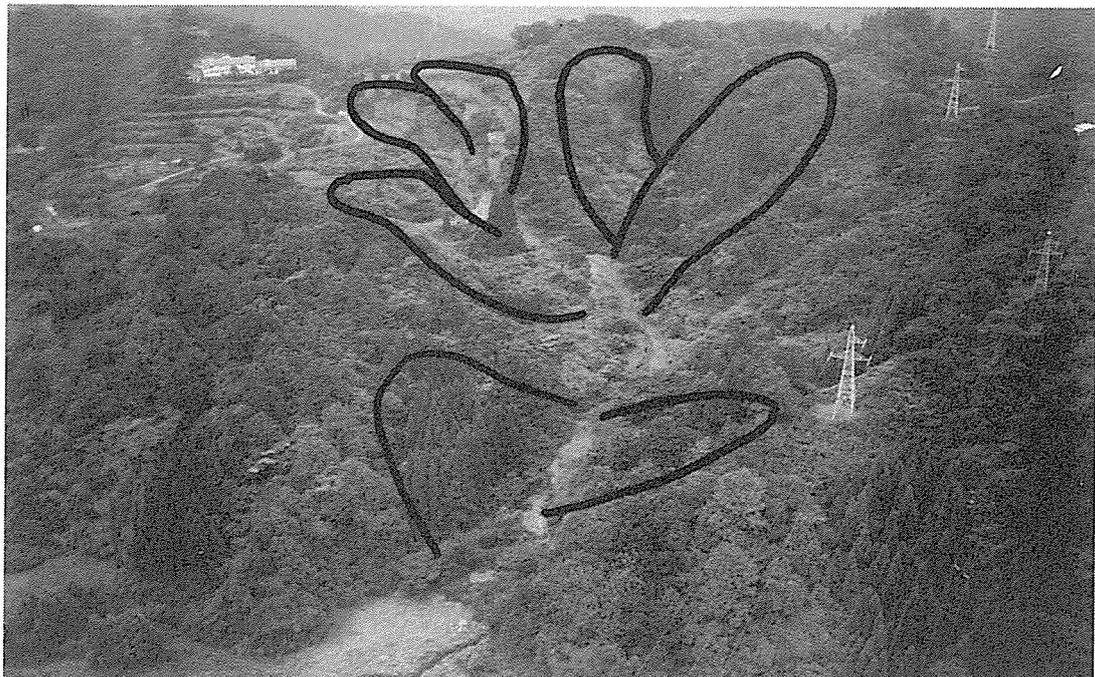
*上越市上綱子地区

この地区の降雨状況は、16日から18日にかけて断続的に強い雨が降り、時間最大37mm、連続雨量は269mmに達しました。

18日9時頃、山地上部で地すべり（移動土砂量約180,000m³）が発生し、崩壊土砂が沢を流下し下流の2級河川綱子川付近まで達する非常に大規模な現象となりました。



(図一6 正善寺ダム降雨量図)

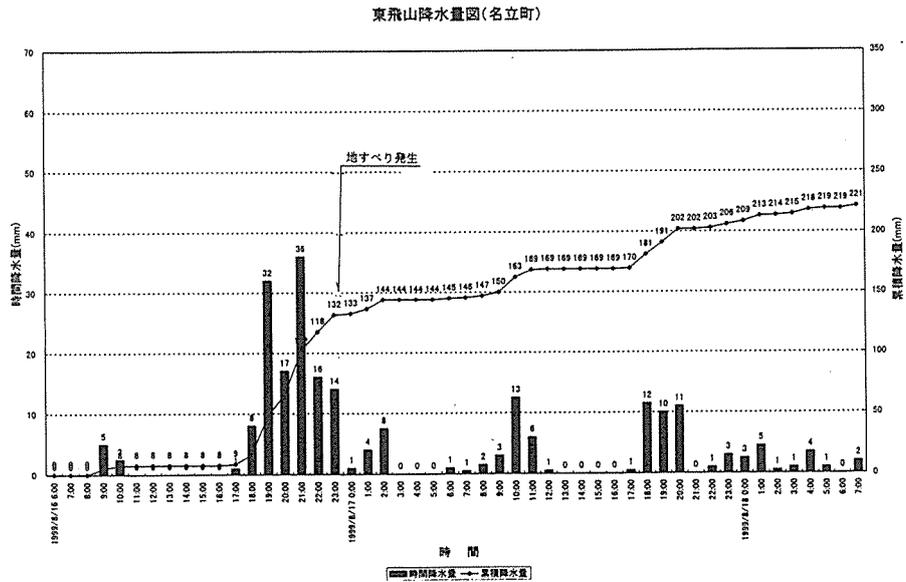


(写真一7 被害全景)

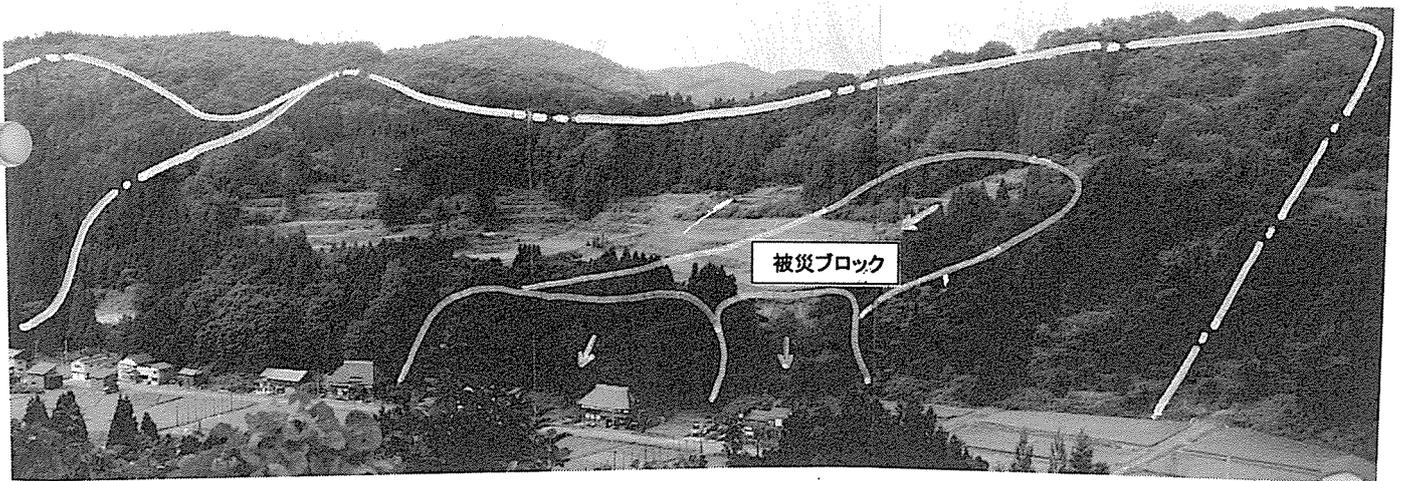
*名立町下瀬戸地区

この地区の降雨状況は、16日から18日にかけて断続的に強い雨が降り、時間最大36mm、連続雨量は221mmに達しました。

16日23時頃、地すべり（移動土砂量約3,000m³）が発生し、崩壊土砂が人家直前まで流下したことからトンパック、異型ブロックによる応急工事を行った。



(図一7 名立東飛山降雨量図)



(写真一8 被害全景)

4. 新潟県内の平成10年災害

平成10年の公共土木施設の被害は、県河川課とりまとめによりますと、異常気象が19回に及びその箇所数と決定工事費（市町村工事も含む）は次のとおりです。

河川	846箇所	決定額	17,330百万円
砂防施設	35箇所	決定額	940百万円
道路	660箇所	決定額	5,990百万円
その他施設	21箇所	決定額	1,390百万円
合計	1,562箇所		25,650百万円

ちなみに平成9年は、599箇所、決定額 7,521百万円でした。

8. 4災害の割合は、箇所、金額ともに年間の約7割を占めました。また8月の被害だけで年間の約8割も占めました。

5. おわりに

10年の土砂災害は、降雨量に対して比較的少なかったことや未対策箇所において比較的小規模の現象が数多く発生したように思われます。

土砂災害が比較的少なかったことことは、砂防、地すべり等防止施設の効果が発揮されたものと考えられます。

住民の危険意識と降雨出水状況などを的確な判断による自主避難体制が、人的被害をまぬがれたものであります。

今後も、施設整備で被害を減少させるハード対策や、異常気象時などに迅速に避難体制を整えるソフト対策の両面が重要と思われます。

Ⅱ 8・4 豪雨により佐渡で発生した土砂災害

株式会社 興和 池田 伸 俊

1. はじめに

平成10年8月4日未明から雷を伴って新潟県の下越及び佐渡地方の一部を襲った集中豪雨は、梅雨末期特有の前線に沿った雨で、各地に多大な災害をもたらし、自然の力の凄さを見せつけたものであった。特に、佐渡島においては、両津市や相川町、畑野町、佐和田町等、島内の中央部を東西方向に横断する形で、大小の崩壊や地すべり、河川の氾濫や土石流が数多く発生した。そして、その中で特に被害の大きかった

土石流災害	15箇所
地すべり災害	3箇所
急傾斜地崩壊災害	2箇所

については、災害関連緊急対策事業として対応がとられている。以下に、その調査結果の概要を報告する。

2. 災害発生と気象の関係

この集中豪雨における災害発生状況の特徴は、その発生箇所が佐渡島内の中央部を東西方向に横断する形で集まっていることである。

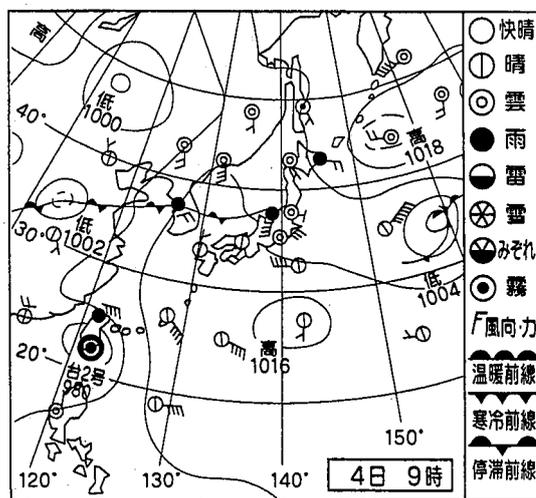
当時の天気図(図-1)を見ると、佐渡島の北部、両津湾内を西北西～東南東方向梅雨前線(停滞前線)が横たわっており、ここに南からの湿った風が吹き込んだために、前線に沿ってその南側で集中豪雨が発生したと言える。このことは8月4日の各地の日降水量を見れば、一目瞭然であり、

両津	194 mm
相川	110 mm
弾崎	26 mm
羽茂	3 mm

(いずれも、気象月報より引用)

と前線に近い両津や相川で多量の降雨が記録されていたのに対して、前線より北側の弾崎や前線南側でも前線から遠く離れていた羽茂では、降水量はるかに少なくなかったことが分かる。このように、8月4日の降雨は佐渡島内のほぼ中央部を東西方向に横断する範囲内に集中しており、災害の発生箇所もすべてこの降雨域の中に入っている。更に、8月

4日の集中豪雨以前の8月1日～8月4日の連続雨量では、被害の大きかった地域で200～400 mm以上の多量の降雨があったことが分かり(図-2)、連続降雨で緩んでいた斜面に対して、8月4日の集中豪雨が引き金を引いた形となり、災害が発生したと言える。



(資料：新潟地方気象台)

図-1 8月4日の天気図

災害関連緊急対策事業実施箇所

- | | | |
|--------|---------|----------|
| (土石流) | (地すべり) | (急傾斜地崩壊) |
| ①馬淵川 | a. 中佐為 | ア. 東立島 |
| ②名所川 | b. 上中佐為 | イ. 月布施 |
| ③東立島川 | c. 西二宮 | |
| ④姥川 | | |
| ⑤赤玉中川 | | |
| ⑥赤玉南川 | | |
| ⑦スギナダ川 | | |
| ⑧伊利川 | | |
| ⑨坊ヶ浦川 | | |
| ⑩坊ヶ崎川 | | |
| ⑪イワ河内沢 | | |
| ⑫西川 | | |
| ⑬山田川 | | |
| ⑭違者川 | | |
| ⑮むじな塚沢 | | |

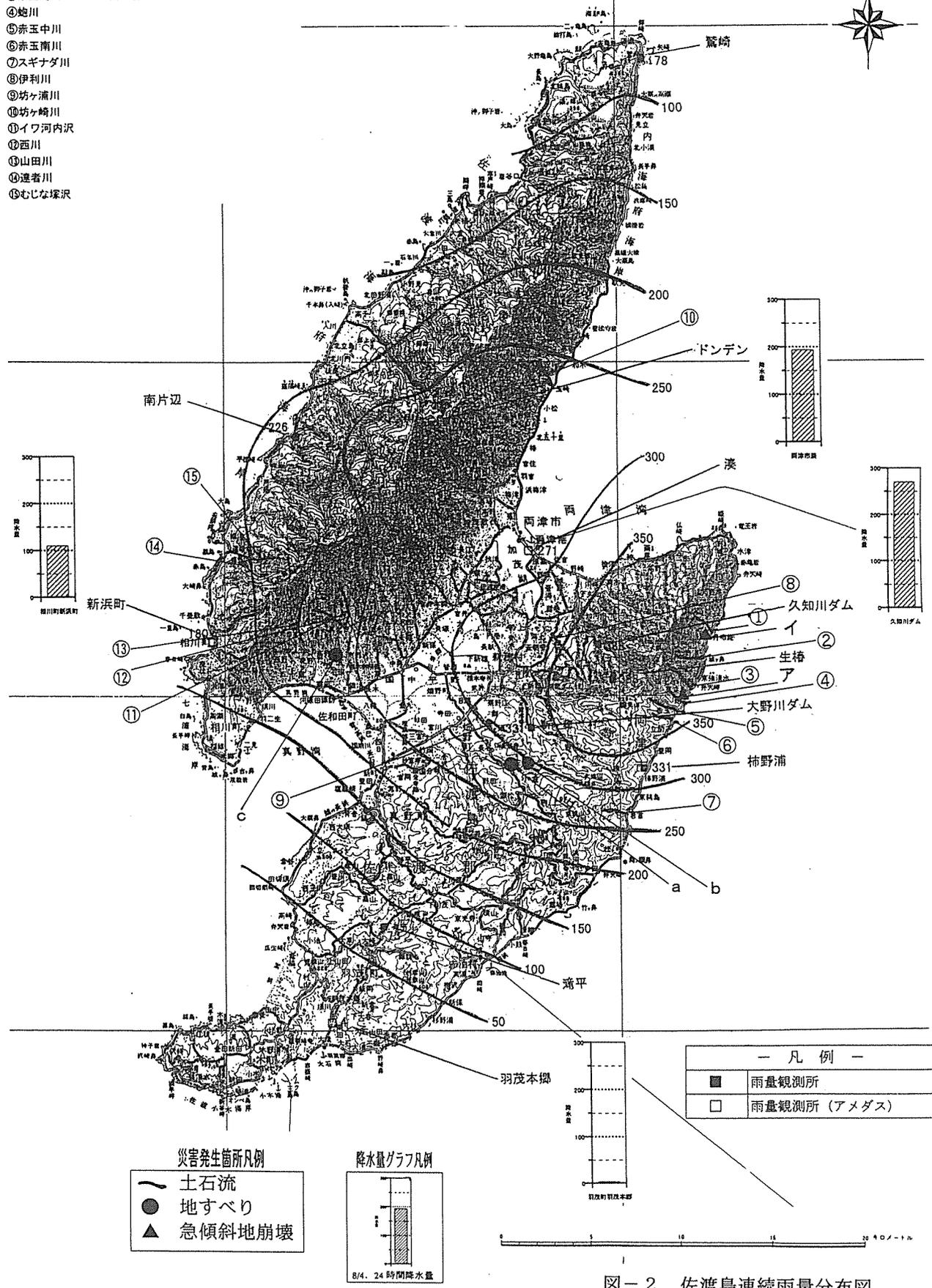


図-2 佐渡島連続雨量分布図

3. 災害の発生状況

①土石流災害

災害関連緊急土石流対策事業として対応が図られた災害発生箇所は、全 15 箇所であり、位置の内訳は、

表-1 土石流発生溪流一覧表

溪流名	所在地	佐渡島内の位置
馬瀬川	両津市大字月布施	小佐渡丘陵より日本海側
名所川	両津市大字野浦	"
東立島川	両津市大字東立島	"
蛸川	両津市大字蛸	"
赤玉中川	両津市大字赤玉	"
赤玉南川	両津市大字赤玉	"
スギナダ川	両津市大字岩首	"
伊利川	新穂村大字田野沢	小佐渡丘陵より国中平野側
坊ヶ浦川	畑野町大字坊ヶ浦	"
坊ヶ崎川	両津市大字坊ヶ崎	大佐渡山地より両津湾側
イワ河内沢	佐和田町大字真光寺	大佐渡山地より国中平野側
西川	佐和田町大字真光寺	"
山田川	佐和田町大字岩野	"
達者川	相川町大字達者	大佐渡山地より日本海側
むじな塚沢	相川町大字達者	"

となっている(表-1、図-2)。次に、今回発生した土石流の特徴を以下に列記する。

- ・上流部で崩壊が発生し、その崩壊土砂が河川を流下して土石流となったものが多い。
- ・分水嶺をなす尾根から海岸線までの距離の短い溪流(海岸に面した溪流)においては、被害を生じた土石流の発生が多くなっている。これは河床勾配が急であるために、上流で発生した土石流が途中で堆積することなく海岸線まで流下したためと考えられる。
- ・内陸側に面した溪流では、海に面した溪流に比べて河床勾配が緩いため、河川の上流で発生した土石流は多くが中流域で堆積し、人家の密集した平野部までは、土石流は達していない。

②地すべり災害

災害関連緊急地すべり対策事業として対応が図られた災害発生箇所は、

畑野町^{フカサイ}中佐為地区

畑野町上中佐為地区

佐和田町^{ニクワ}西二宮地区

の3箇所である(図-2)。これら各地区で発生した地すべり状況及び調査結果を要約して以下にまとめる。

- ・中佐為地区

〈位置〉佐渡郡畑野町大字中佐為地内

〈ブロック区分〉一次ブロック：Aブロック

主活動域：Aブロックの中央部付近

〈地表変状〉Aブロック内のほぼ中央部において、

幅 約 30 m

長さ 約 60 m

の規模の地すべりが発生した。この地すべりの地表傾斜は、頭部～中段部が 30° 前後と急であり、下部～末端部にかけては、 10° 以下と緩やかになっている。移動土塊は、この緩斜面上を約 40 m 先まで押し出し、末端部は中佐為集落まで達して、作業小屋を半壊させた。

また、Aブロックにおいては主活動域以外でも、斜面内に亀裂や段差の発生が認められる部分があり、Aブロック全体についても地すべりが不安定化しつつあることが窺われる。

- 〈基盤地質〉 基盤地質は新第三紀中新世三瀬層の凝灰角礫岩を主体とする火砕岩～安山岩溶岩で構成され、基盤の構造は地表傾斜に対して流れ盤型となっている。
- 〈移動土塊〉 基盤地質である凝灰角礫岩～安山岩溶岩を起源とする礫混じり土砂～風化岩塊で構成される。移動土塊層厚は調査ボーリング箇所において、11～21 m 程度となっている。
- 〈すべり面〉 移動土塊と基盤岩の境界部にベントナイト化した凝灰岩からなるすべり面粘土の挟在が確認できる。
- 〈地下水〉 すべり面付近を中心として、0.3～2.0(l/min)以上の揚水量が確認されている。また、簡易揚水試験時の水位の回復量は2～3 m程度のもが多く、顕著な被圧傾向を有する地下水の存在は確認されていない。

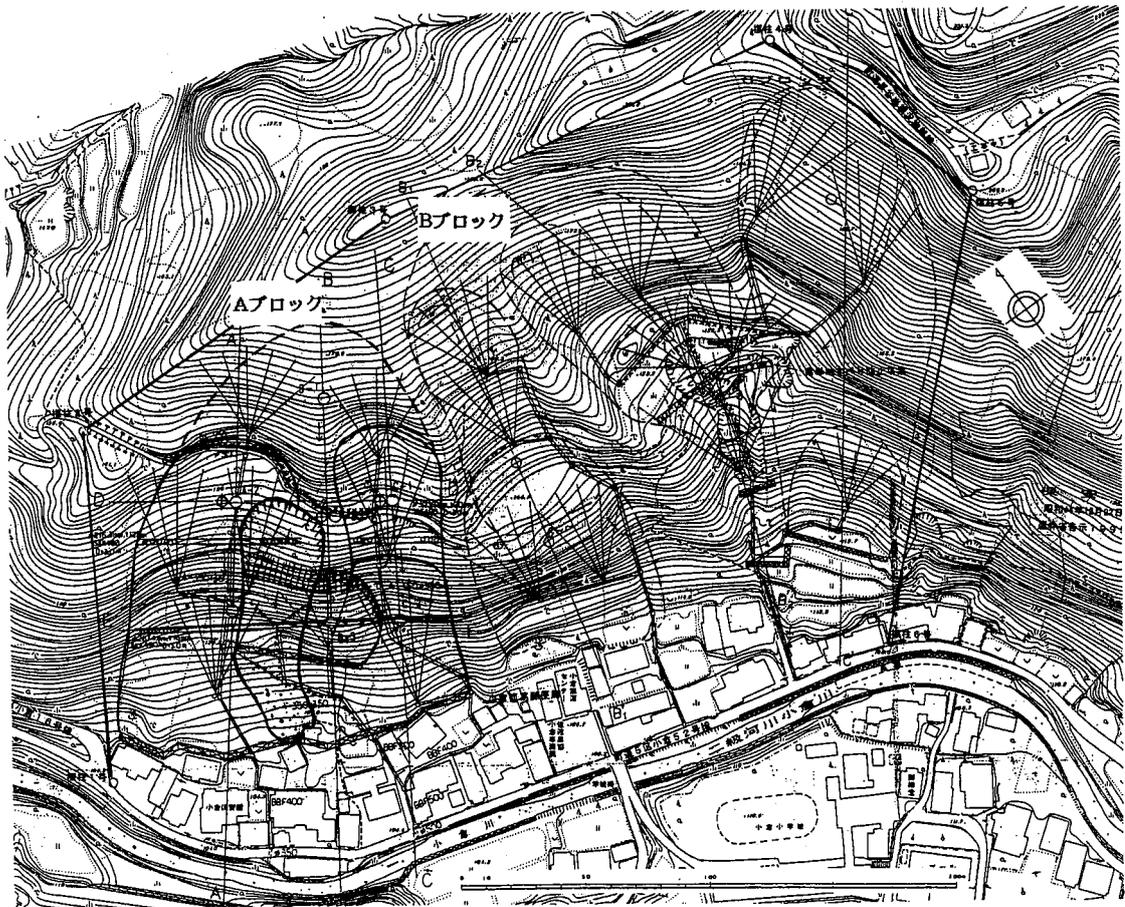


図-3 中佐為地区平面図

〈対策工〉 地すべり対策工は、
 杭打工、土留工、法枠工
 横ポーリング工、明暗渠工、暗渠工、水路工
 の組み合わせで、斜面の安定化が図られている。

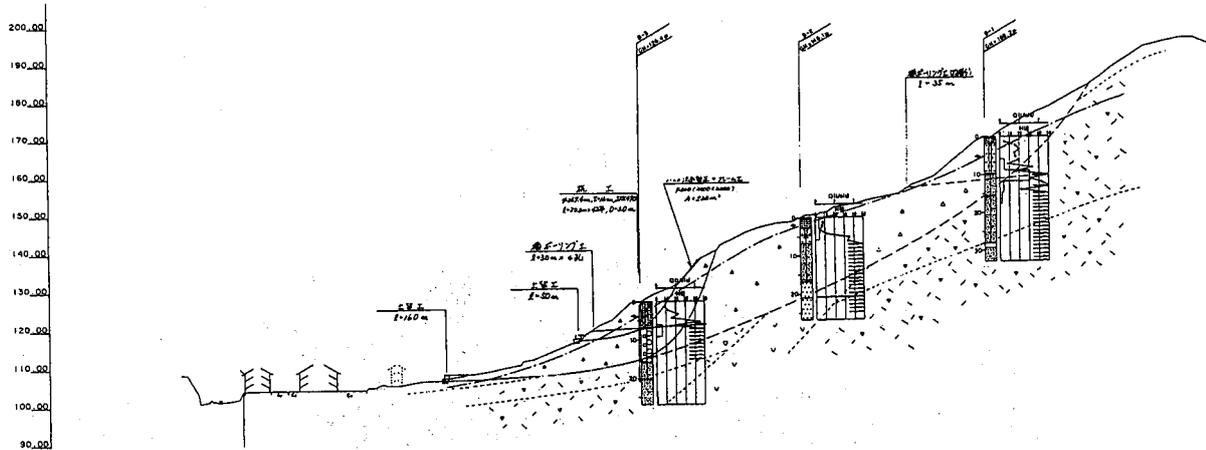


図-4 中佐為地区地質推定断面図

・上中佐為地区

〈位置〉 佐渡郡畑野町大字上中佐為地内

〈ブロック区分〉 一次ブロック：Aブロック及びBブロック

主活動域：Aブロック上部及びBブロック上部

〈地表変状〉 Aブロック及びBブロックの上部において、幅約 20～40 m、長さ約 50 m 程度の規模を有する地すべりが複数個発生した。これらの地すべりが発生した斜面はいずれも、

- ・ 沢状を呈し地表水が集水しやすい地形を呈すること
- ・ 地表傾斜が 20～30° 前後と比較的急斜面となっていること
- ・ 1次すべりブロック内の一部が再活動したものであること
- ・ 斜面内の各所に湧水が認められ、夏季でも枯渇しなかったり、降雨時には湧水量が増えるなどの現象が認められること

などの共通点が見られる。

特に、最も大きく活動したAブロック内の地すべりの一つは、移動土塊が下方の人家に向かって押し出し、半壊させた。

〈基盤地質〉 基盤地質は新第三紀中新世三瀬層の安山岩質溶岩及び同質火砕岩を主体として、一部、凝灰質泥岩を挟む。浅層部分は風化の進行が著しく、砂状となっている。

〈移動土塊〉 移動土塊は基盤地質である安山岩溶岩～火砕岩を起源とする砂質土～風化岩塊で構成される。移動土塊層厚は、調査ボーリング箇所において、

主活動ブロック：7～10 m

一次ブロック：15～18 m

程度となっている。

〈すべり面〉 砂質土層の下面及び風化岩層中に軟質部の介在が確認でき、これがすべり面

であると推定される。

〈地下水〉 主活動ブロックのすべり面付近及びそれ以深の風化部において、0.5～8.0 (l/min)以上の揚水量が確認されている。また、簡易揚水試験時の水位の回復量については、最大で6～9m以上ですべり面より高い位置まで回復するものが多く、これらの地下水は被圧傾向が強いと判断される。

〈対策工〉 地すべり対策工は、
杭打工、土留工
横ポーリング工、明暗渠工、暗渠工、水路工
の組み合わせで、斜面の安定化が図られている。



図-5 上中佐為地区平面図

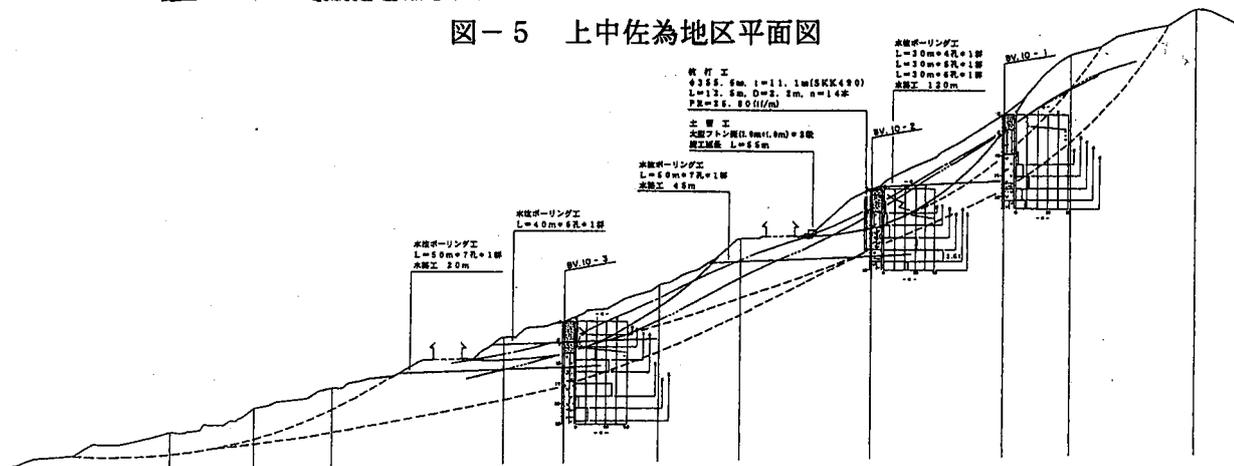


図-6 上中佐為地区地質推定断面図

・西二宮地区

〈位置〉 佐渡郡佐和田町大字二宮地内

〈ブロック区分〉 一次ブロック：吉良家裏ブロック及び本間家裏ブロック

主活動域：吉良家裏ブロック上部及び本間家裏ブロック上部

〈地表変状〉 吉良家裏ブロック及び本間家裏ブロックのそれぞれ上部において、幅約 20 ～ 40 m、長さ約 30 ～ 40 mの規模を有する地すべりが発生した。これらの地すべりが発生した斜面はいずれも、

- ・石田川右岸側の段丘崖斜面(比高約 20 m、地表傾斜約 30°)内で発生していること。
- ・地表傾斜が 20 ～ 30° 前後と比較的急斜面となっていること
- ・1次すべりブロック内の一部が再活動したものであること
- ・頭部滑落崖は段丘崖の遷急線部分に当たり、一次ブロックと同じ位置であること
- ・地すべり末端部には湧水が認められ、一部で湿地化している部分が認められること

などの共通点が見られる。

そして、吉良家裏ブロックでは、移動土塊が下方の人家を直撃し、全壊させた。また、本間家裏ブロックでも移動土塊は人家近くまで押しだし、家屋の一部を損壊させるなどの被害が生じている。

〈基盤地質〉 基盤地質は新第三紀中新世鶴子層の硬質頁岩を主体とする。この頁岩は風化の進行に伴って、黄白色に変色し、方形板状に割れやすくなるという性質を持っている。

〈移動土塊〉 移動土塊は基盤地質である黒色頁岩を起源とする礫混じり土砂～風化岩塊で構成される。移動土塊層厚は、調査ボーリング箇所において、

主活動ブロック：5～6 m

一次ブロック：10～15 m

程度となっている。

〈すべり面〉 主活動ブロックのすべり面は、礫混じり土砂と風化岩の境界部と考えられ、一次ブロックのすべり面は風化岩中に介在する脆弱部と推定される。

〈地下水〉 主活動ブロックのすべり面以深の風化部において、最大 14 ～ 15 (l/min)以上の揚水量が確認されている。また、簡易揚水試験時の水位の回復量については、最大で 6 ～ 9 m以上で主活動ブロックのすべり面より高い位置まで回復するものが多く、これらの地下水は被圧傾向が強いと判断される。

〈対策工〉 地すべり対策工は、

杭打工、土留工、法粹工

横ボーリング工、明暗渠工、暗渠工、水路工

の組み合わせで、斜面の安定化が図られている。

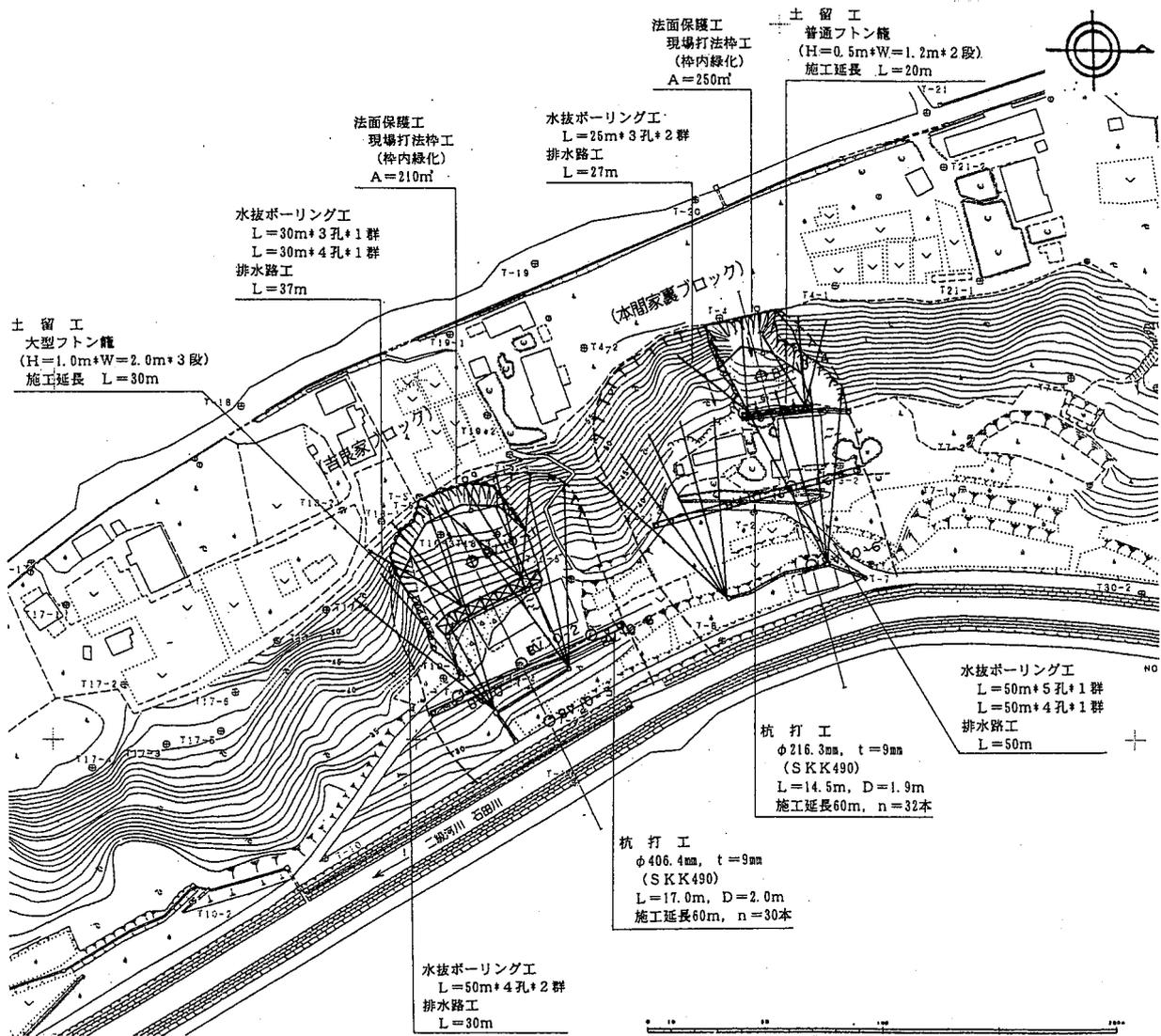


図-7 西二宮地区平面図

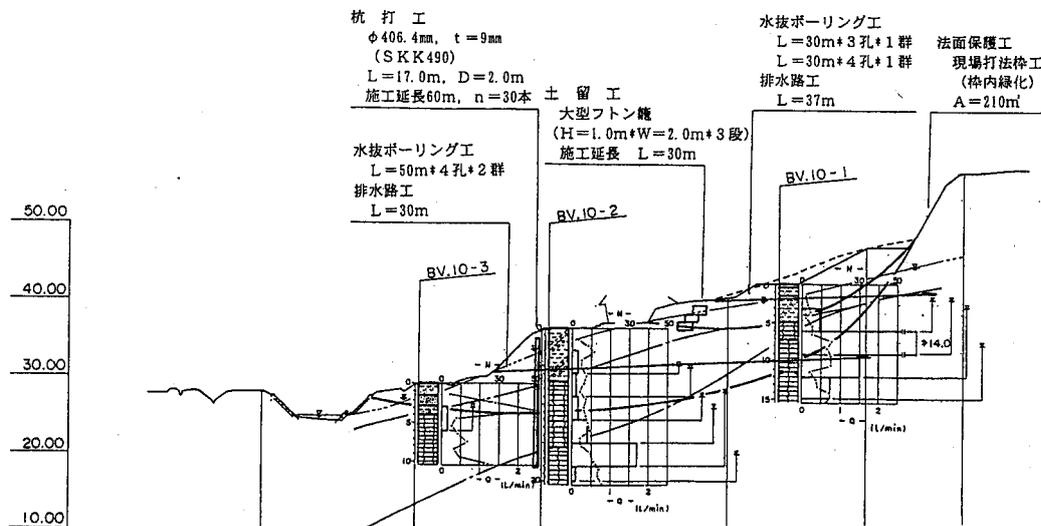


図-8 西二宮地区地質推定断面図

③急傾斜地崩壊災害

小佐渡の海岸線に面した集落の中の2箇所では、人家に被害が生じるような斜面崩壊災害が発生している。これらの集落は、地表傾斜 40° 以上の急斜面と海岸の間のわずかな平坦地に細長く存在し、この急斜面内の一部が崩壊して災害が発生したものである。

・東立島地区

〈位置〉両津市大字東立島地内

〈地表変状〉東立島地区のほぼ中央部において、

幅 約 20 m

長さ 約 35 m

推定崩壊土砂量 約 $1,000 \text{ m}^3$

の規模の崩壊が発生した。崩壊土砂は落石防護柵を突き破り、その下方にあった人家2戸を全壊させ、1戸を半壊させた。崩壊発生後の斜面を見ると、

- ・崩壊頭部には比高約5～6mの滑落崖が形成され、崖錐堆積物及び強風化岩が露頭していること
- ・滑落崖下方には湧水が認められること
- ・崩壊斜面内には風化岩が露頭し、ここが崩壊面となったと考えられること

という崩壊状況となっている。また、これを崩壊前の地形と比較すると、

- ・斜面は平均傾斜 40° 程度であるが、細かい凹凸があり、崩壊頭部付近は遷急線となっていたこと
- ・崩壊斜面の上方は尾根頂部まで同様の斜面が連続していること

がわかる。また、崩壊斜面以外の斜面でも、遷急線付近を中心として、亀裂や段差の発生が認められ、崩壊発生までは至らなかったものの、不安定化が進行したことが窺われる。

〈基盤地質〉基盤地質は新第三紀中新世豊岡層の安山岩質～流紋岩質溶岩及び同質火砕岩で構成される。ただし、浅層部分は風化の進行が著しく、土砂化している。

〈表層地質〉基盤地質を起源とし礫混じり土砂で構成される崖錐堆積物が分布している。この崖錐堆積物の層厚は2.0～3.5m程度で、遷急線付近ではほぼ地表面と平行に分布するが、斜面末端部が露岩して急傾斜となっている部分では、そこに向かって層厚が薄くなっている。

〈崩壊面〉土砂化した強風化部と下位層との境界面が、崩壊面となっていると推定される。

〈地下水〉災害発生直後は滑落崖から湧水が認められていたが、調査ボーリング時には、地下水の存在は確認されていない。

〈対策工〉斜面安定対策工は、

法枠工+アンカー工、ロックボルト工、落石防護柵工の組み合わせで、斜面の安定化が図られている。

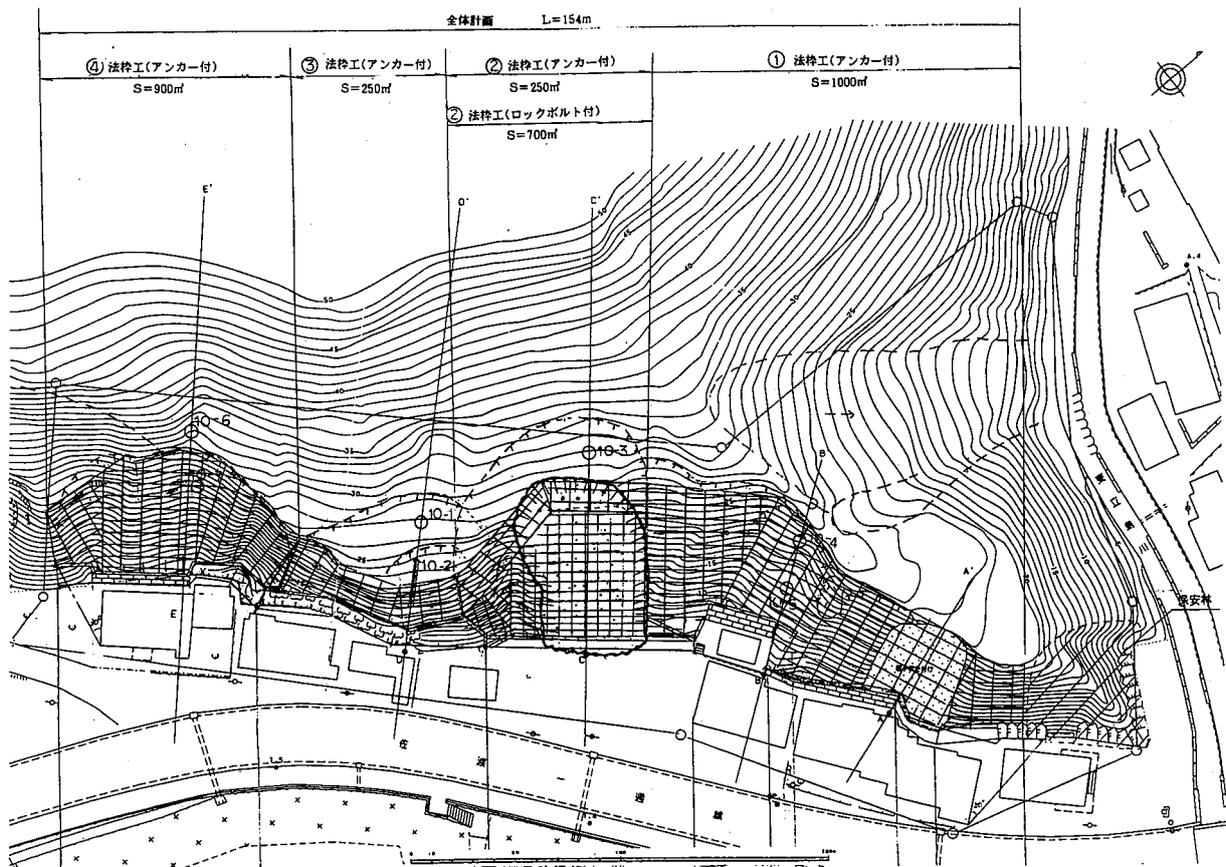


図-9 東立島地区平面図

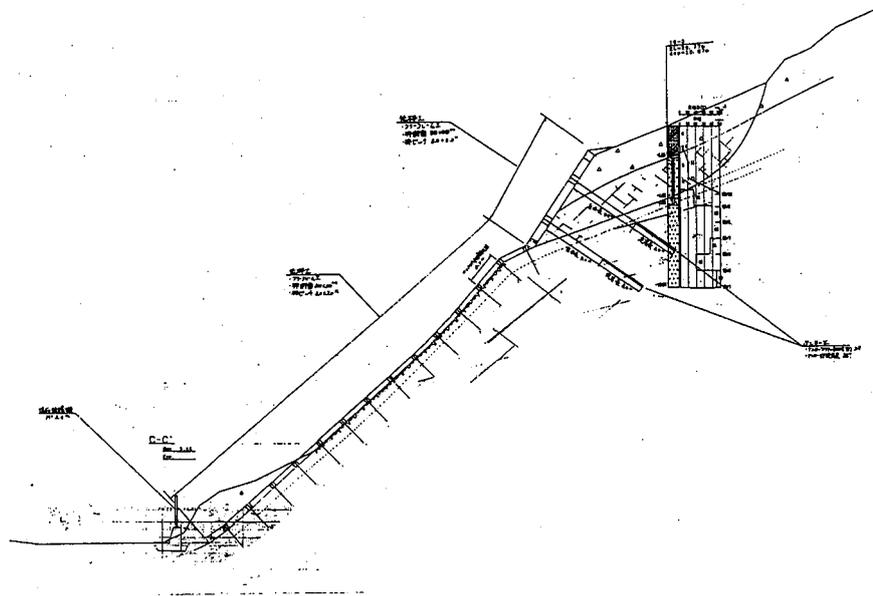


図-10 東立島地区地質推定断面図

・月布施地区

〈位置〉両津市大字月布施地内

〈地表変状〉月布施地区のほぼ中央部において、

幅 約 5 m

長さ 約 25 m

推定崩壊土砂量 約 250 m³

の規模の崩壊が発生した。崩壊土砂は、その下方にあった人家2戸に流入し、その1階部分を埋積した。崩壊発生後の斜面を見ると、

- ・崩壊斜面は地表傾斜約 45° の急斜面で、崩壊内には風化岩が露頭しており、この上位にあったと考えられる崖錐堆積物が崩壊したものであること
- ・滑落斜面の中央部を溪流が流れており、この溪流に乗った形で、土砂が下方へ流下したこと

がわかる。また、この溪流を上流に向かってさかのぼると、V字谷が形成されて両岸に浸食による崩壊地形が点在しており、崩壊発生時においては、土石流が発生していた可能性が強い。

〈基盤地質〉基盤地質は、東立島地区とほぼ同質で、新第三紀中新世豊岡層の安山岩質～流紋岩質溶岩及び同質火砕岩で構成される。ただし、浅層部分は風化の進行が著しく、土砂化している。

〈表層地質〉基盤地質を起源とし礫混じり土砂で構成される崖錐堆積物が分布している。ただし、地表傾斜が急であるため、この崖錐堆積物の層厚は 0.4 ～ 0.5 m 程度と薄く、ほぼ地表面と平行に分布している。

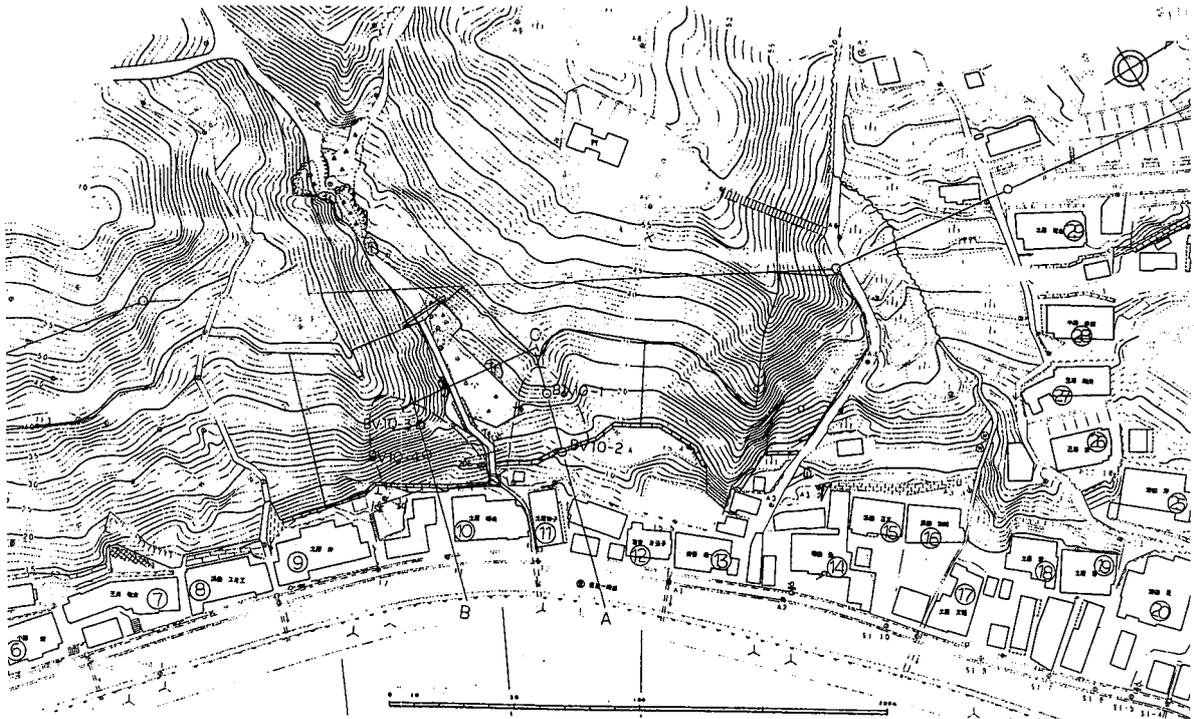


図-11 月布施地区平面図

- 〈崩壊面〉 土砂化した風化部と下位層との境界面が崩壊面となっていると推定される。
- 〈地下水〉 調査ボーリング時において、地下水は崩壊面より下位に確認されている。
- 〈対策工〉 斜面安定対策工は、
 法枠工+ロックボルト工、落石防護柵工
 の組み合わせで、斜面の安定化が図られている。

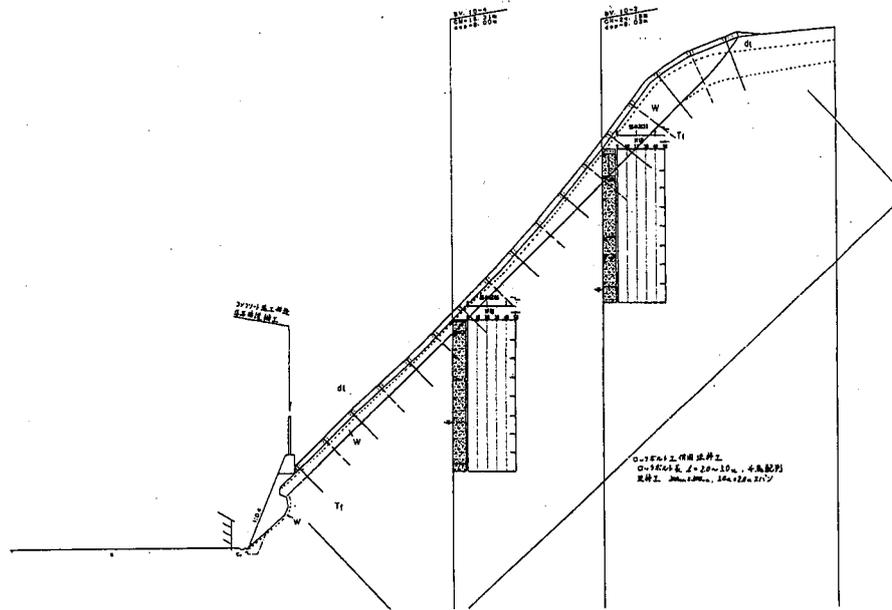


図-12 月布施地区地質推定断面図

4. まとめ

以上に述べてきた通り、8月4日の豪雨に伴って、佐渡島のほぼ中央部を東西方向に横断する形で、災害が発生している。ここで紹介した事例を総括してまとめると、

- ・土石流は溪流延長が短く急勾配な小佐渡の日本海側で被害の発生が多くなっている。
- ・地すべりはいずれも地表傾斜 $20 \sim 30^\circ$ と比較的急斜面において発生しており、一次すべりブロック内の一部が再活動したもので、発生形態は崩壊に近いものであったと考えられる。その一方で、一次すべり全体については、亀裂や段差の発生など、地すべり兆候は現れたものの、大きく動くところまでは至らなかったと言える。これは、降雨の継続時間が比較的短時間であったことが少なからず関係していると考えられ、降雨が更に継続していれば、もっと大規模な地すべりが発生していたと考えられる。
- ・崩壊は物的被害を生じたものは、今回紹介した2箇所のみであったが、小規模なものは道路法面や溪流に沿って数多く発生しており、溪流沿いで発生した崩壊土砂が土石流となったものが少なくない。

のようと言える。

Ⅲ 平成10年8月4日豪雨に伴う五頭山地の土砂流出について

株式会社 キタック 平野吉彦

1. はじめに

平成10年8月4日豪雨は、五頭山地で総降水量298mm/日を記録し、新潟県内で最大の日降雨量であった。この豪雨に伴い、五頭山地西側斜面の各溪流では崩壊や土砂流出が発生し、数溪流では国道290号線を越え宅地や耕作地に土砂が氾濫した。今回は、崩壊・土砂流出状況について紹介し、今回の豪雨における土砂生産・流出の特徴について考察した。

2. 地形・地質

五頭山地は、阿賀野川と加治川の間で、延長約20km、幅約5kmの山塊を形成しており、最高峰は標高974.2mの菱ヶ岳である。この周辺は、西から新潟平野・笹神丘陵・村杉低地帯・五頭山地の地形に区分されることが特徴で、それぞれの地形は北北東-南南西方向に延びる。

五頭山地を構成している主要な地質は五頭花崗岩類である。この花崗岩類は、白亜紀後期から古第三紀に貫入した深成岩体であり、岩石学的にはそれぞれアダメロ岩および斑状アダメロ岩である (SASADA, 1975)。

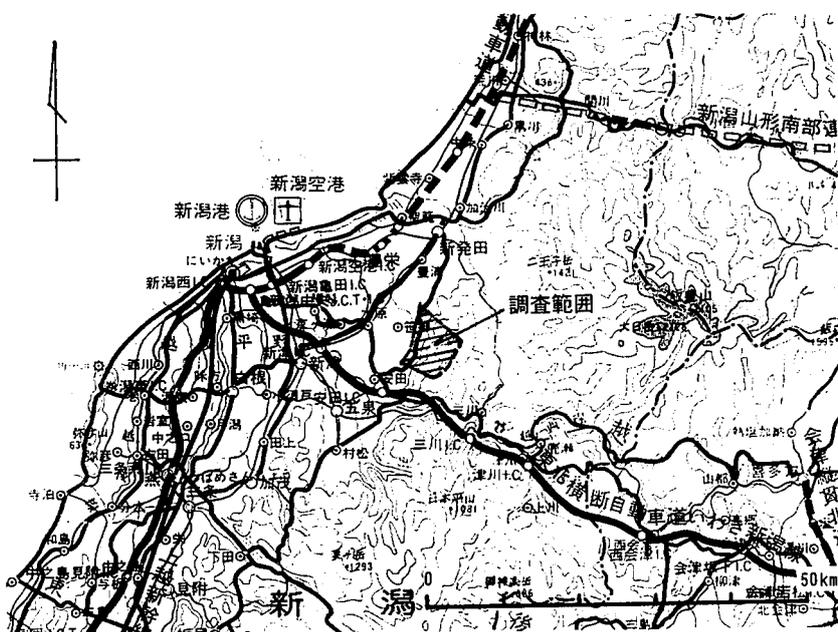


図-1 位置図

3. 崩壊・土砂流出・構造物被害の概況

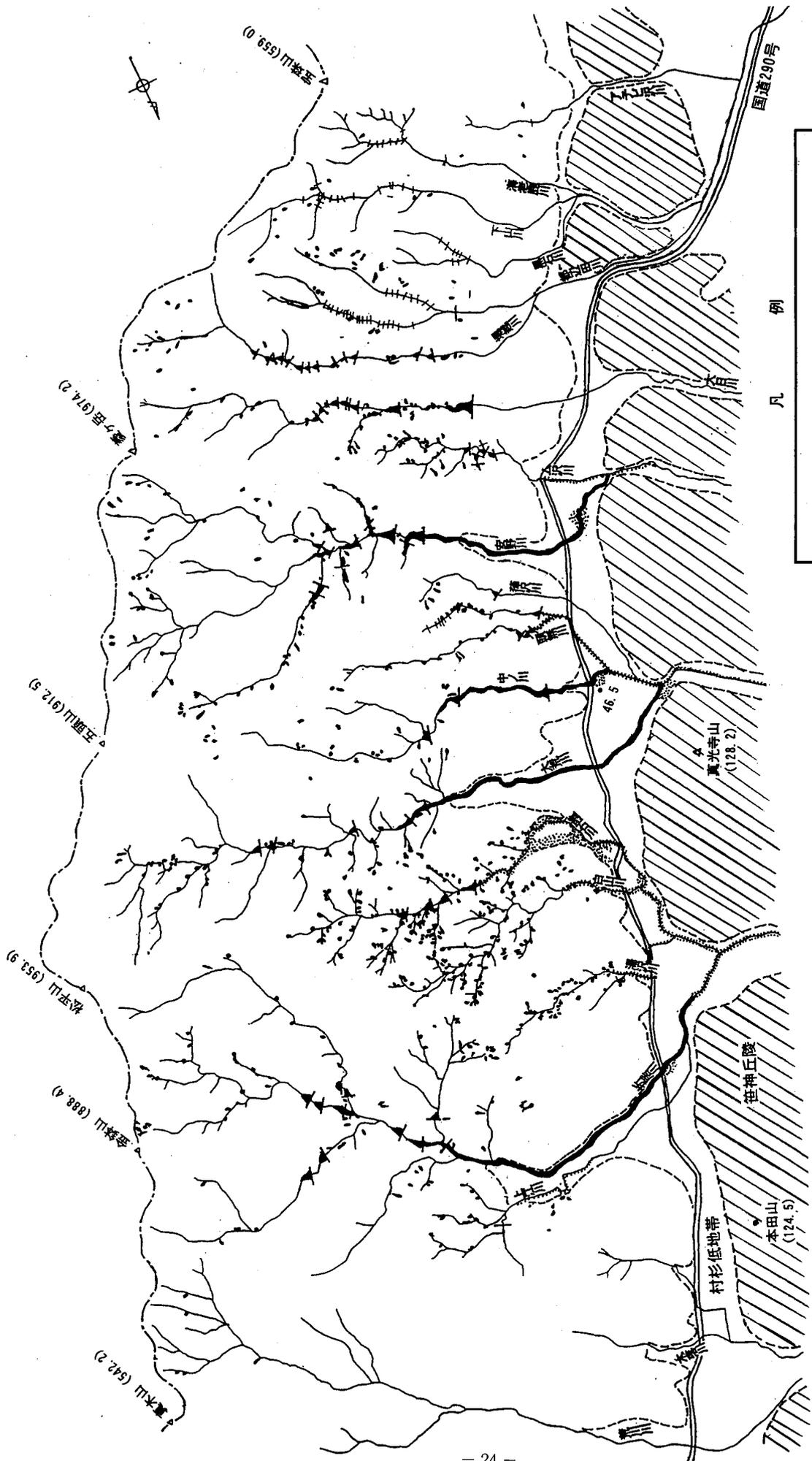
崩壊・土砂流出の概要を図-2に示す。

(1) 崩壊

図-2に示したように、崩壊地は荒川川よりも南側に形成されており、上江川～都辺田川までの間に多く見られる。

(2) 土砂流出

図-2に示したように各溪流では崩壊土砂や溪床堆積物の侵食土砂が溪流沿いに流下し、



凡 例

- 平成10年8.4豪雨で形成された崩壊地
- 平成10年8.4豪雨で流出堆積した土砂 (砂礫)
- 平成10年8.4豪雨で流出堆積した土砂 (砂が主体)
- 砂防ダム

図-2 平成10年8.4豪雨による崩壊地・流出土砂分布図 1)

数箇所の溪流では国道290号線よりも下流域まで流出している。

今回の豪雨では、土石流の発生箇所は見られず、砂礫の流下は土砂流によるものである。また、河道の屈曲部では洪水流により氾濫した砂の堆積が見られる。これらの土砂流出の特徴はおおむね次のように分けられる。

- ・ 流下した土砂の一部は各砂防ダムで捕捉されているが、最下流の砂防ダムを越え下流域まで土砂が流出している溪流。
(折居川・割石川・大荒川・中ノ川・頭無川・安野川)
- ・ 砂防ダムがなく少量の土砂流出が見られる溪流。
(上江川支流・湯沢川支流・白山川)
- ・ 砂防ダムよりも下流の溪床堆積物の侵食により、少量の土砂流出が見られる溪流。
(木落川・ム沢川)
- ・ 砂防ダムで土砂流出が100%捕捉され土砂流出が見られない溪流。
(大日川・都辺田川)

流出した土砂は、折居川・大荒川・中ノ川・安野川・ム沢川では砂・礫を主体としているが、第三紀堆積岩類が分布する木落川・上江川では砂を主体としている。また、アダメロ岩が分布する地域でも隣接する3溪流(湯沢川・白山川・割石川)では流出土砂は砂を主体としている。

(3) 構造物被害

構造物の被害は、砂防ダムよりも下流域の護岸の破壊・基礎洗掘・背面の侵食が極めて多く、とくに砂礫が流出した折居川・大荒川・中の川・安野川に集中している。

砂防ダムよりも上流域に見られる構造物被害は、折居川の橋梁流出、安野川上流の砂防ダム基礎の洗掘である。また、安野川の上流では五頭高原スキー場に発生した崩壊土砂が道路を流下し、布滝橋上に堆積している。

4. 昭和42年8.28豪雨(羽越豪雨)との比較

調査地域の五頭山地は、昭和42年8月28日の羽越豪雨の最に、多くの溪流で山腹崩壊や土石流が発生した。このため、人命が失われるなどの多大な被害が発生している。

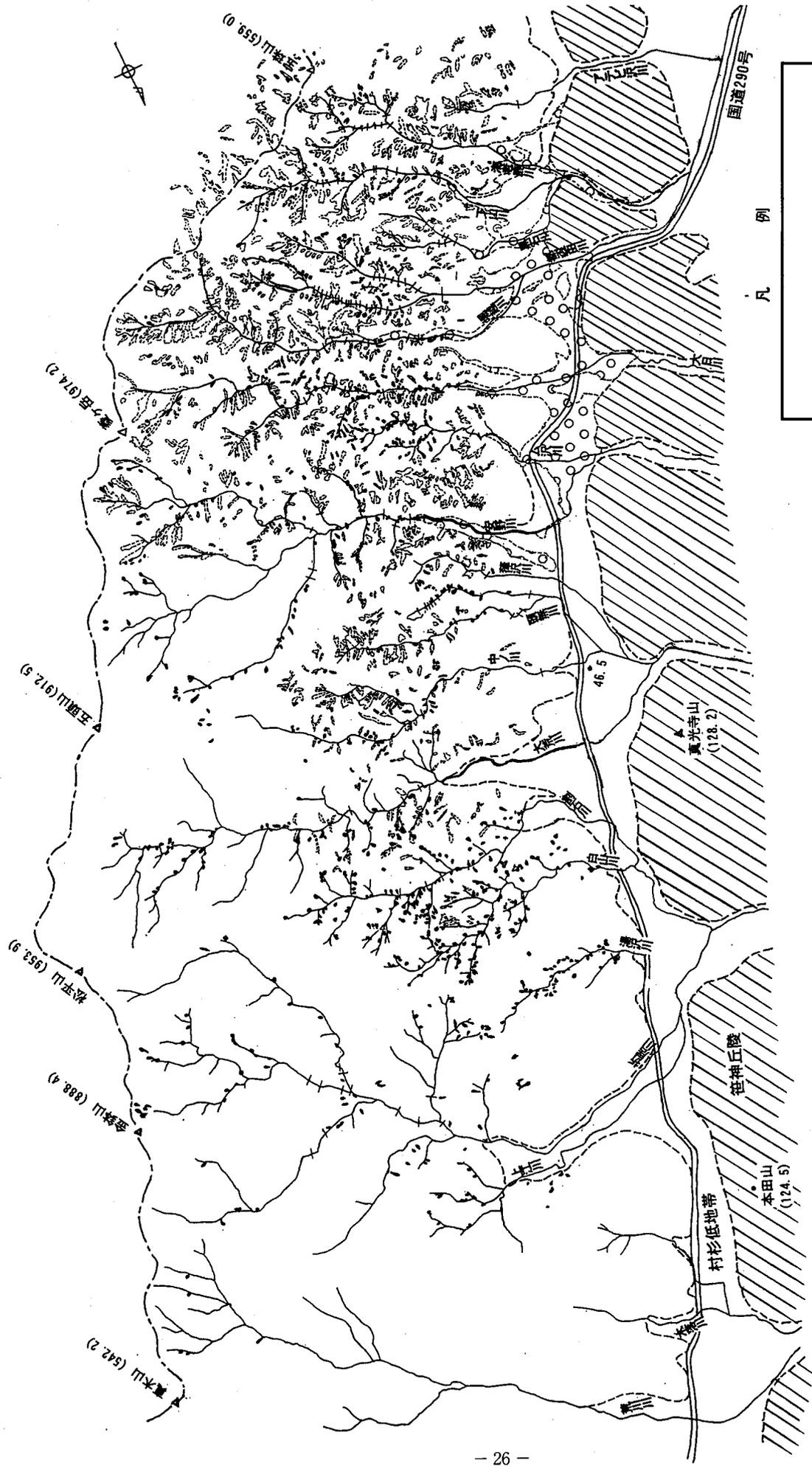
今回の豪雨では、土石流の発生は見られず、山腹崩壊も昭和42年の豪雨に比較すると極めて少ない(図-3)。この原因は次の二通り考えられる。

(1) 降水特性の差

図-4に昭和42年8.28豪雨時と今回の豪雨時の毎時降雨量を比較した。五頭山地では、昭和42年豪雨時以降に都辺田川に気象庁無人観測所「宝珠山」が設置されており、このデータと昭和42年の「赤谷」の観測データを使用して図-3の毎時降雨量比較図を作成した。

図-3をもとに昭和42年と今回の豪雨の比較を行うと、表-1に示したような差が分かる。

昭和42年および今回の豪雨とも連続総降雨量はほぼ同じである。しかし、最大1時間雨量および3時間雨量は、今回の豪雨のほうが極端に多い。また、今回の豪雨は3時間のうちに連続総降雨量の半分近い降雨が発生したことになる。つまり、平成10年8.4豪雨は、

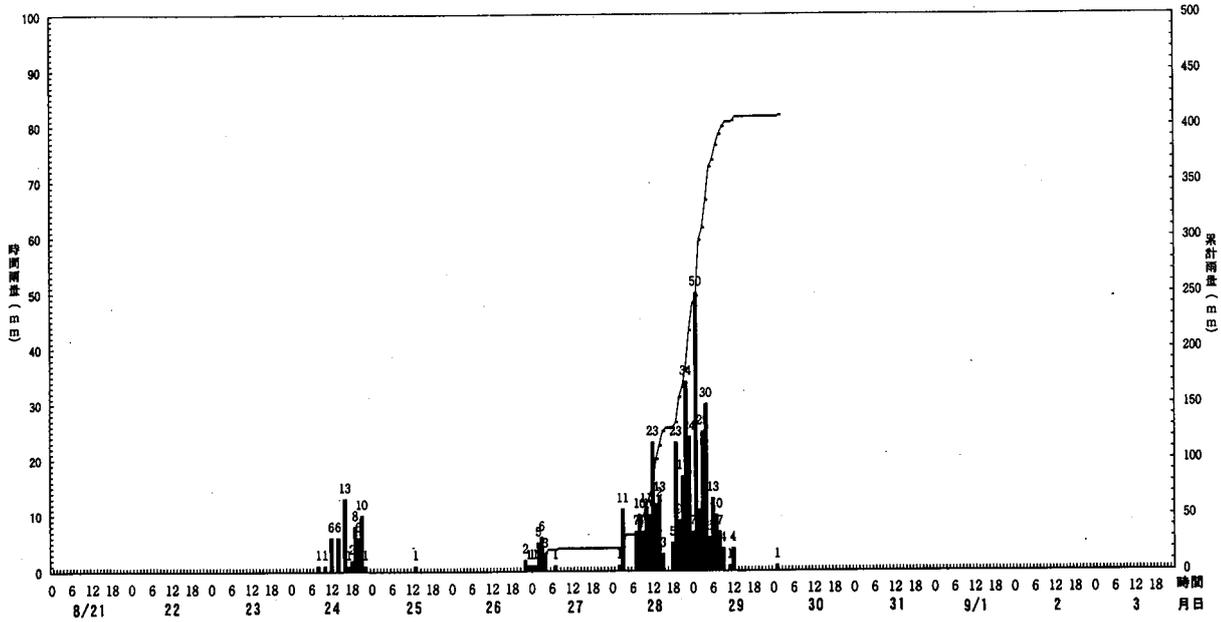


凡 例

	昭和42年8.28豪雨で形成された崩壊地 (長谷川美行原図1967による)
	昭和42年8.28豪雨で発生した土石流
	平成10年8.4豪雨で形成された崩壊地

図-3 昭和42年8.28豪雨・平成10年8.4豪雨 崩壊地分布対比図 1)

昭和42年8.28豪雨 毎時降雨量図 (赤谷)



平成10年8.4豪雨 毎時降雨量図 (宝珠山)

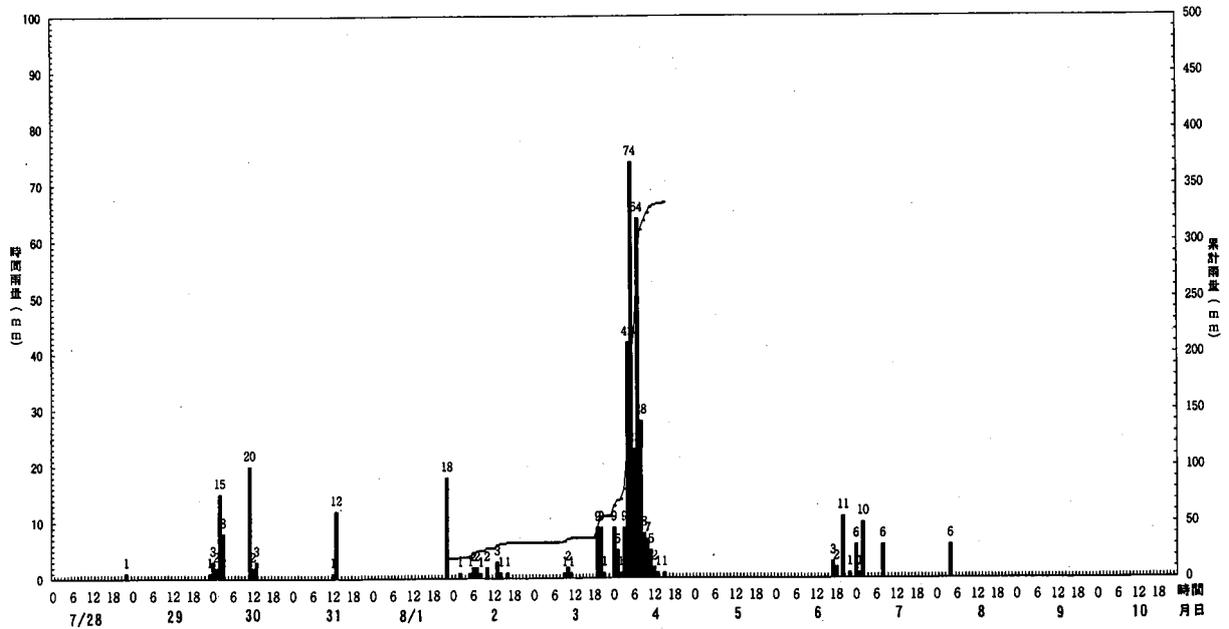


図-4 昭和42年8.28豪雨-平成10年8.4豪雨 毎時降雨量比較図 (宝珠山・赤谷) 1)

崩壊と降雨の関係は、一般的に超過保留量に大きく関係すると考えられている。今回の豪雨では、短時間での豪雨であったため、ガリー侵食を伴った表面流出が多く、超過保留量に達するまでの浸透量よりも表面流出量が多かったことが考えられる。

表-1 降雨量比較表¹⁾

降雨量	昭和42年8.28豪雨	平成10年8.4豪雨
24時間以上の無降雨期間ある一連の降雨量	410mm (8月26日22時～30日1時)	330mm (8月1日22時～4日15時)
連続総降雨量	270mm (8月19時～29日10時)	269mm (8月4日0時～4日13時)
連続降雨時間	15時間 (8月19時～29日10時)	13時間 (8月4日0時～4日13時)
最大1時間雨量	50mm	74mm
3時間雨量	86mm	161mm

(2) 崩壊物質の差

今回の豪雨では、昭和42年に崩壊が少なかった大荒川より北側の溪流（割石川・白山川・湯沢川）で崩壊地が多い傾向がある。この傾向から、昭和42年の崩壊により表層の風化物質が削除され、今回の豪雨では崩壊発生に必要な風化物質の生成が進行していなかったことが考えられる。なお、割石川・白山川・湯沢川でも昭和42年に比較すると極端に崩壊地が少ない。したがって、今回の豪雨では、(1)の降雨特性の差も大きく影響したものと考えられる。

5. 今回の豪雨における土砂生産・土砂流出の考察

(1) 崩壊と植生

今回の豪雨で崩壊が発生した箇所は、山腹および溪岸である。植生的には裸地・草地～幼木地・若い植林地に山腹崩壊の発生頻度が高い(図-5)。

崩壊は今後も豪雨ごとに発生する危険性があり、裸地・草地～幼木地・若い植林地の箇所では山腹崩壊が発生しやすい箇所と考えられる。

(2) 各溪流の生産土砂量の特性

各溪流には既設の砂防ダムがあり、最下流の砂防ダムを基準に土砂量を次のように定義して土砂量を概算した。

- ・ 流出土砂量：最下流の砂防ダムを越えて下流に流出した土砂量。
- ・ 捕捉土砂量：砂防ダムに捕捉された土砂量。
- ・ 崩壊土砂量：崩壊により生産された土砂量。

これらの土砂量は、現地調査・簡易測定の結果から概算した。また、溪床侵食土砂量は次のように算出した。

- ・ 溪床侵食土砂量 = 捕捉土砂量 + (流出土砂量 - 崩壊土砂量)

〔※比崩壊地数：各植生内に存在する崩壊地数／各植生の分布面積〕

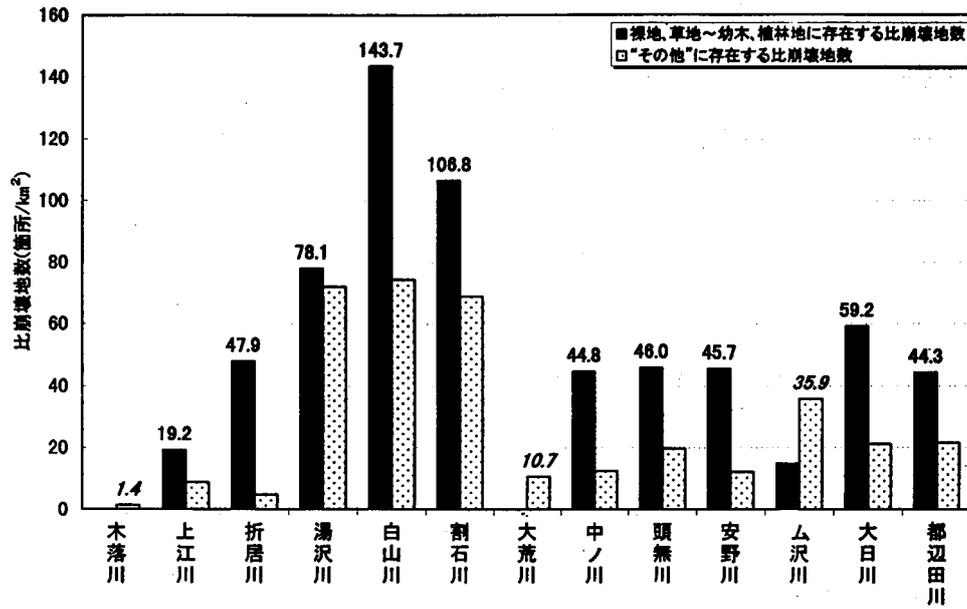


図-5 各溪流の植生別比崩壊地数¹⁾

比生産土砂量：生産土砂量合計／流域面積
ダム捕捉率：捕捉土砂量／生産土砂量合計×100%

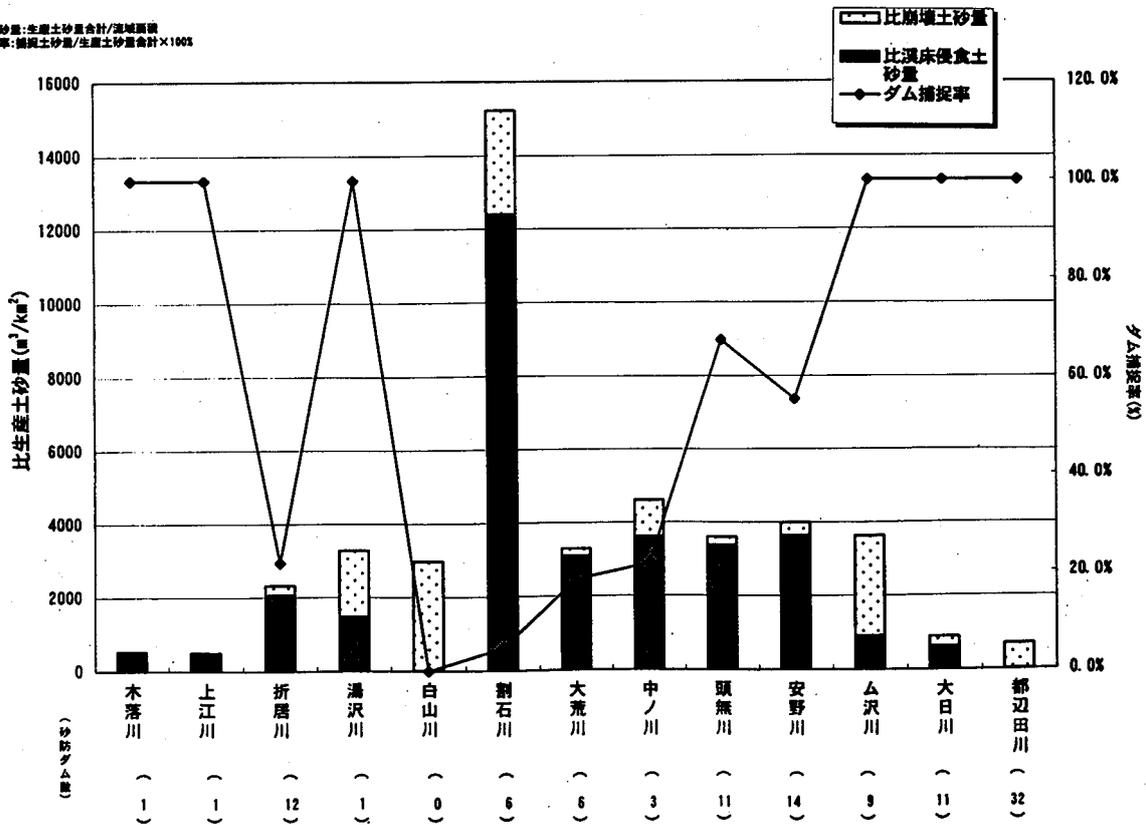


図-6 各溪流の比生産土砂量¹⁾

図-6に今回の豪雨における各溪流の比生産土砂量を示す。

* 比生産土砂量 = 崩壊土砂量 + 溪床浸食土砂量 / 最下流ダムからの流域面積

ここで定義した比生産土砂量は崩壊土砂量だけではなく、溪床堆積物の侵食による流下量も含まれている。したがって、今回の豪雨における、最下流砂防ダムまでの流下土砂量を示しているものである。

図に示したように、比生産土砂量が $2000\text{m}^3/\text{km}^2$ を越えた溪流は、折居川～ム沢川にかけてのそれぞれ隣接する9溪流であり、この限られた地域が今回の豪雨の影響を強く受けた地域であることが分かる。これらの溪流で比生産土砂量の内訳を見ると次の二つの特徴がある。

①比崩壊土砂量が比生産土砂量の50%以上を占める溪流

比生産土砂量のうち崩壊土砂量が生産土砂量の50%以上を占める溪流は次の3溪流である。(湯沢川・白山川・ム沢川)

これらの溪流では他の溪流に比べて崩壊地の分布密度が高く、流域を構成する花崗岩の風化帯が他の溪流よりも多く残存していたことが大きく影響したものと考えられる。

②比溪床侵食土砂量が比生産土砂量の80%以上を占める溪流

比生産土砂量のうち比溪床侵食土砂量が比生産土砂量の80%以上を占める溪流は次の6溪流である。(折居川・割石川・大荒川・中ノ川・頭無川・安野川)

これらの溪流は、崩壊よりも溪床堆積物の侵食・運搬が多く行われたことを示している。したがって、溪床勾配が比侵食土砂量と大きな関わりを持つことが考えられ、次に溪床勾配と溪床侵食土砂量の関係を検討した。

(3)平均溪床勾配と溪床侵食土砂量の関係

生産土砂量のうち溪床侵食土砂量のみを対象とし、平均溪床勾配との関係を検討した。溪床侵食土砂量は各溪流を比較するため全長路長で割り、単位流路長あたりの溪床侵食土砂量とした。

図-7に示したように、ある程度の相関関係が認められ、平均溪床勾配が急な溪流ほど溪床侵食土砂量が多いことが分かる。比較した溪流のうち、平均溪床勾配が大きく溪床侵食土砂量が多い溪流は、割石川とム沢川である。

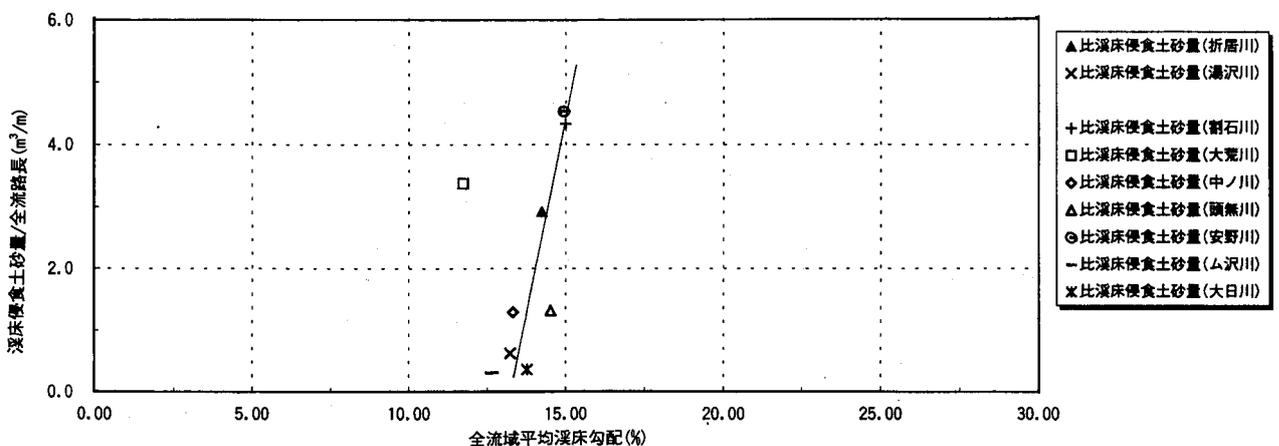


図-7 平均溪床勾配－溪床侵食土砂量¹⁾

(4) 土石流の発生に対する砂防ダムの効果

昭和42年8.28豪雨時には、都辺田川の周辺で土石流が発生した（図-3）。

この土石流の発生原因は、崩壊土砂の流下および溪床に堆積していたかつての土石流堆積物が、異常な豪雨により洗掘・侵食され土石流化したものであった。

現在の溪床には昭和42年の土石流発生源となった土石流堆積物が残存しており、今回の豪雨でも土石流が発生する可能性を持った地質状況であったと言える。

図-8に昭和42年8.28豪雨と今回の豪雨の1時間雨量と3時間雨量を示す。昭和42年8.28豪雨では、破線よりも上方に示した降雨量の地域に土石流が発生している。したがって、土石流の発生する降雨量として、1時間雨量50mm、3時間雨量90mmを上回ることが条件として考えられていた。

今回の豪雨では、図-8に示したように1時間雨量および3時間雨量とも昭和42年8.28豪雨を大きく越えており、土石流が発生しうる降雨条件であったと考えられる。

以上のように、今回の豪雨では地質・降雨量とも土石流発生の条件として揃っていたにも関わらず土石流が発生しなかった。これは、昭和42年以降に建設されたダムが大きな効果を示したものと考えられる。つまり、昭和42年8.28豪雨時に土石流が発生したム沢川・大日川・堀越川・都辺田川・黒石川・下山川・海老鹿川の各溪流には、階段状に多くの砂防ダムが建設され、溪床に堆積した土石流堆積物の侵食を大きく抑制したものと考えられる。

6. おわりに

本稿は、新潟県土木部砂防課から提供していただいた資料（図表）をもとに作成したものである。今後は、平成10年8.4豪雨における砂防施設の効果について、さらに検討を加え、効果的な砂防計画立案の基礎となる要素を抽出したいと考えている。

参考文献

- 1) 新潟県土木部：白山川通常砂防(荒廃) 砂防施設の有効性判定調査報告書, 1999
- 2) 茅原、島津、吉村：本災害における崩災地の地質条件に関する研究（その3 五頭山塊および阿賀野川流域）, 羽越豪雨（昭和42.8.28）による崩災調査とその防災研究, 1968

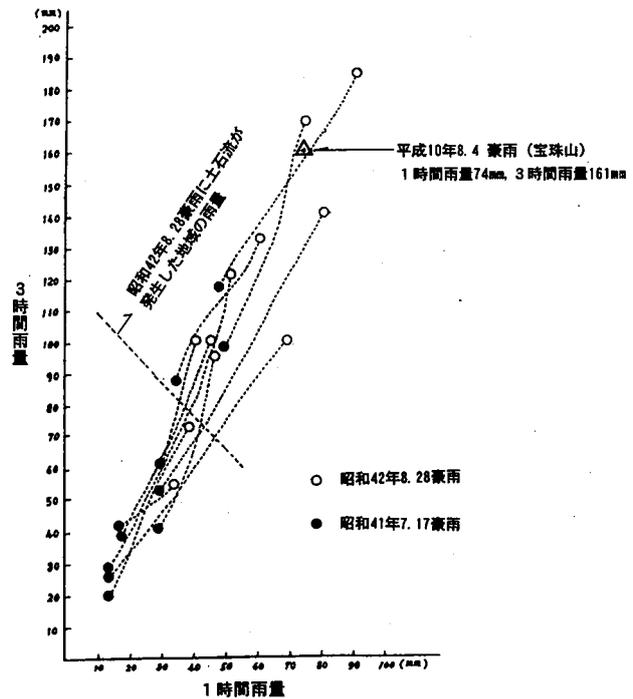


図-8 1時間雨量と3時間雨量の相関図²⁾
(茅原1967に加筆)

Ⅳ 平成10年8月豪雨による土砂災害の機構と特性

新潟大学積雪地域災害研究センター 丸井英明

1. はじめに

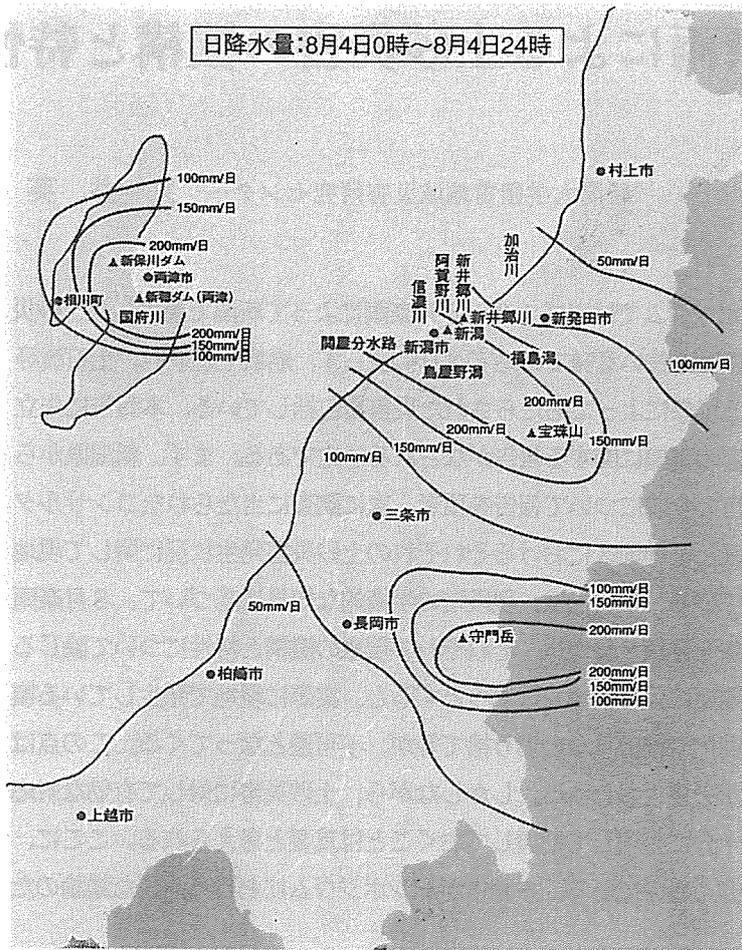
今回の地すべり学会新潟支部のシンポジウムでは平成10年8月豪雨によって新潟で発生した土砂災害を取り扱うことにしている。その対象は、狭い意味での地すべりに限らず、崩壊や崖崩れ、土石流等を含めて、広く斜面上を土砂が移動する現象によってもたらされた災害を包括している。本報告に先立つ3つの話題提供においては、土砂災害の実態に関する報告がなされる予定である。まず、新潟県からは関連部局で掌握、集計された土砂災害の全貌について報告を頂き、次に調査に当たられたコンサルタントから、特に被害の集中した佐渡地区と笹神地区におけるそれぞれの土砂災害発生状況に関して現地調査に基づいた報告を頂くことになっている。本報告は、現段階の学術的な知見に基づいて、8月豪雨による土砂災害をもたらした様々な現象を分類・整理し、それぞれの現象の機構と特性について論じることを試みたものである。このような理屈による整理を行おうとすると、実際に現地で発生している複雑な現象に対して、種々の理想化・単純化や細部事象の切り捨て等が、不可避となってくる。この点は看過し得ない問題であり、十分な注意が必要と思われる。しかしながら、土砂災害に対して有効な対応策を考える際に、種々の現象の差異を十分に整理して把握しておくことは重要と考えられる。ここに、話題提供を行い、忌憚のない御批判を仰ぐものである。本報告がシンポジウムにおける活発な議論のためのたたき台となれば幸いである。

2. 新潟豪雨による土砂災害の特徴

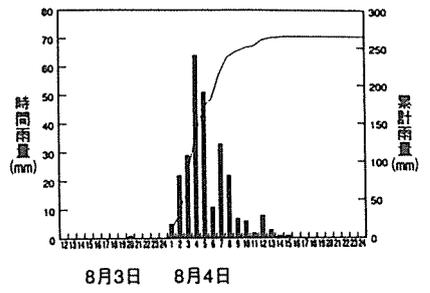
新潟地方は、停滞する梅雨前線の影響下に、平成10年8月4日未明から観測開始以来最大の豪雨に襲われ、新潟市において日雨量265mm、時間雨量64mmを記録している。日降水量の分布は図—1に示されるものであった。図で明らかのように新潟市周辺及び佐渡における極めて局所的な集中豪雨であり、上越地方などでは余り降っていないことが注目される。豪雨による災害としては、雨の強かった新潟市周辺地区における浸水・完遂被害が注目されるが、本報告においては、特に種々の土砂災害が多発した佐渡地方の状況に基づいて論じることとする。

佐渡地方における、8月4日豪雨による土砂災害は、土石流24溪流、がけ崩れ10箇所、地すべり12箇所に及ぶ。その被害が家屋の全壊ないしは一部破損及び浸水にとどまり、人的被害を免れたことは幸いであった。事前避難が有効に機能したと考えられる。佐渡地方における主要な土砂災害の発生位置と雨量分布は図—2に示すものである(SABO, 1998)。土砂災害は8月2日から4日までの連続雨量が200mm以上であった範囲に集中して発生していることが分かる。また、図—3は最大時間雨量及び最大時間雨量発生までの連続雨量の分布図である(SABO, 1998)。土砂災害の発生箇所は、最大時間雨量発生までの連続雨量が140mm以上で、かつ最大時間雨量が35mm以上の範囲に限られている。

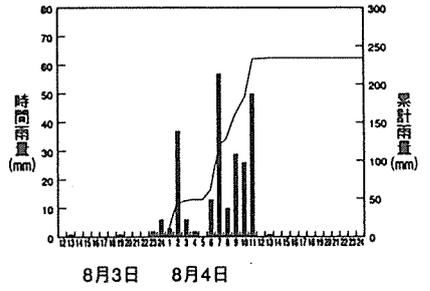
筆者らは、9月上旬に土砂災害の痕跡調査を行ったので、幾つかの土砂災害発生状況の写真を掲載しておく。



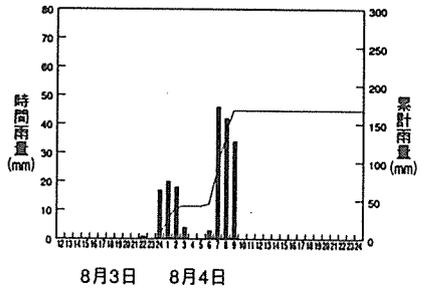
新潟



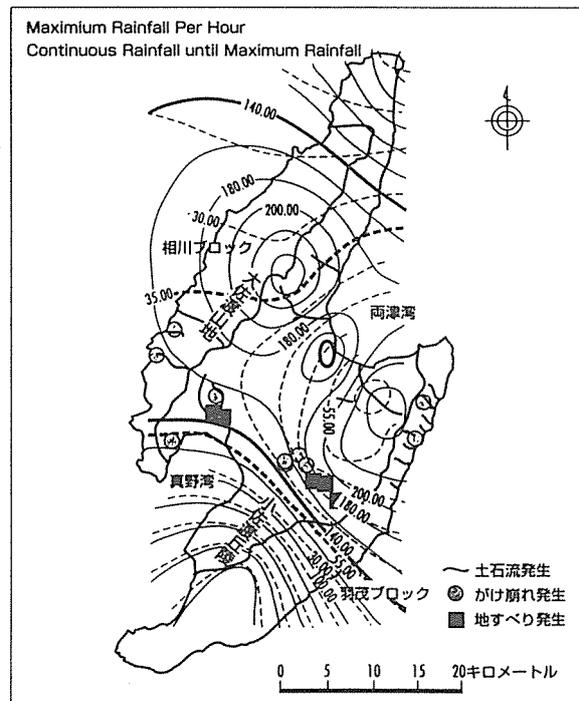
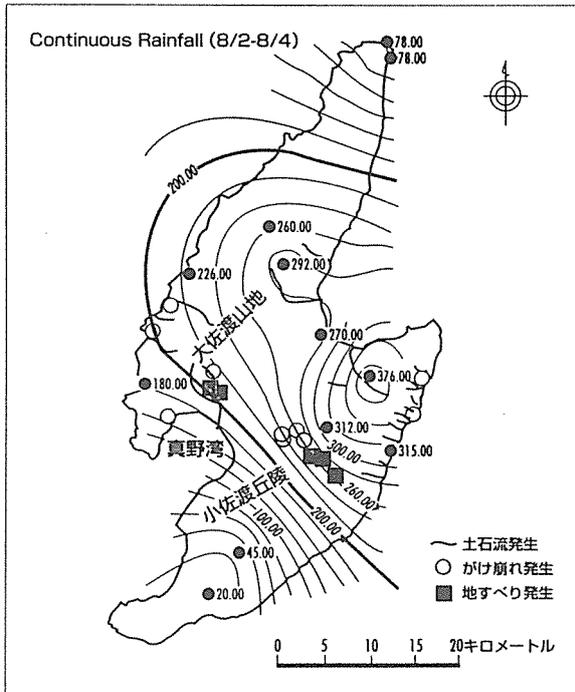
新保川ダム



新穂ダム(両津)



図一1 新潟地方における平成 10 年 8 月 4 日の日降水量分布
(新潟県土木部資料, 1998)

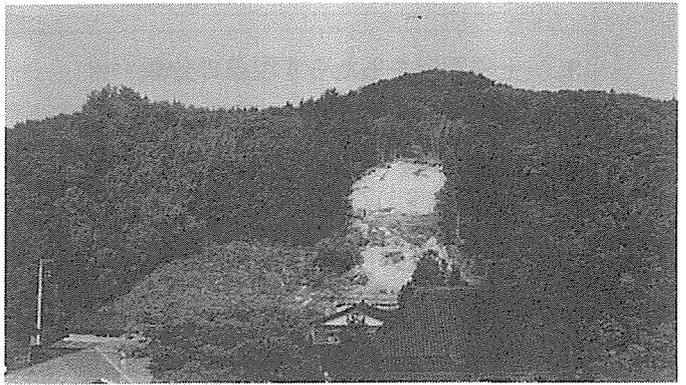


図一2 佐渡地方における主な土砂災害発生位置
と雨量分布 (SABO, 1998)

図一3 佐渡地方における最大時間雨量および
最大時間雨量発生時までの連続雨量分布図
(SABO, 1998)



写真—1 達者川／土石流堆積



写真—5 中佐為地区／地すべり



写真—2 長谷寺下流／土石流堆積



写真—6 北狄川源頭部／崩壊



写真—3 東立島川／土石流堆積



写真—7 小仏峠／崩壊



写真—4 東立島地区／崖崩れ

3. 土砂災害をもたらす現象の分類

本報告では、豪雨によって発生し土砂災害をもたらしている様々な現象を念頭に置き、分類・整理することを試みる。分類に関する種々の論点に関しては、既に平成5年度の地すべり学会シンポジウムにおいて論じているのでここでは省略する(丸井, 1993)。ここでは、土砂災害をもたらすようないわゆるマスマーブメントの現象の整理に際し、現在までに提起されている種々の分類の中で、最も体系だった分類で有効と考えられる Varnes による広義の地すべりの分類についてまず紹介する。この分類方法は、縦軸に運動型式を、横軸に物質構成を据えたものである(表-1、図-4)。運動の型式として挙げられているのは、落下、前倒、すべり、側方伸張、流動及びそれらの複合型である。

Varnes の分類に対して、幾つかの問題点が指摘されている(古谷, 1980、大八木, 1983)。一つは移動速度の問題で、極端に速度の異なる現象が同じカテゴリーの中に含まれている点である。大八木は Varnes の分類を拡張して、移動速度の軸を加えている。次は空間構成の問題で、移動土塊の空間的位置が区分されていない点である。発生域で生じた現象の流送域から堆積域へと移行する過程での変化を区別することが重要である。地すべりの地形・地質用語委員会では発生域と押出域に領域区分し、運動を6つの型死期に分類し、それぞれ規模と速度で細分している。(図-5)。しかしながら、落下と流動を押し出域での現象と規定することには疑問が残る。運動の型式を区分する上で、各型式の運動における速度分布の相違は本質的な特徴である。図-5の発生域の現象には対応する速度分布並びに加速度分布が示されている。速度分布の有無によってすべりと流動とは明瞭に区別される。しかしながら、落下と前倒、あるいは側方伸張とすべりの区別は明瞭ではない。速度分布の問題は次節においてさらに論じることとする。

4. 斜面上の流動型すべりの分類

4.1. 流動型すべり

斜面上の土砂の移動形態は、土塊の物性や場の条件等の「素因」や、外部営力である「誘因」の差異によって、移動速度、移動距離、移動土塊の規模等に顕著な差異が見られる。

誘因面から考えると、平成10年8月豪雨による土砂災害の直接の誘因は明白である。豪雨によって生じる土砂災害を考える際、水を大量に含んだ土砂の移動と捉えることができるが、水と土砂の混合割合によって、また土砂の組成によっても現象の挙動が異なってくる。この節では、その点に焦点を当てて論じることとする。前節で「すべり」と「流動」とが明瞭に区別されることを述べた。しかしながら豪雨による場合のように、誘因として大量の水の供給が前提となる場合には、一般には両者の中間的な現象が多々発生し、それらを総称して「流動型すべり」と捉えることができる。

「流動型すべり」は、水と土砂の混合物の重力に起因する移動現象で、「すべり」と「水の流れ」の中間的なマスマーブメントと考えることができる。また流動型すべりは、特に様々な型式の速いマスマーブメントを包含している。その際、それぞれの移動現象のレオロジー的な性質には、含まれている粒状の固体成分(土砂)と、水・空気の割合、流動速度が密接に関連している。固体成分の割合は粘土、シルト、砂、礫、巨礫等のそれぞれが支配的であるものから、それらの混合物までの様々な範囲のものが存在する。また、間隙流体は全くの空気、水の場合と、これらの混合物の場合が考えられる。それぞれの現象における、流動速度あるいは内部剪断速度は極端に遅いものから速いものまで様々な速度があり得る。すなわち、非常に遅いものとしてのソリフラクションの場合の0.001-0.5m/year程度の速度

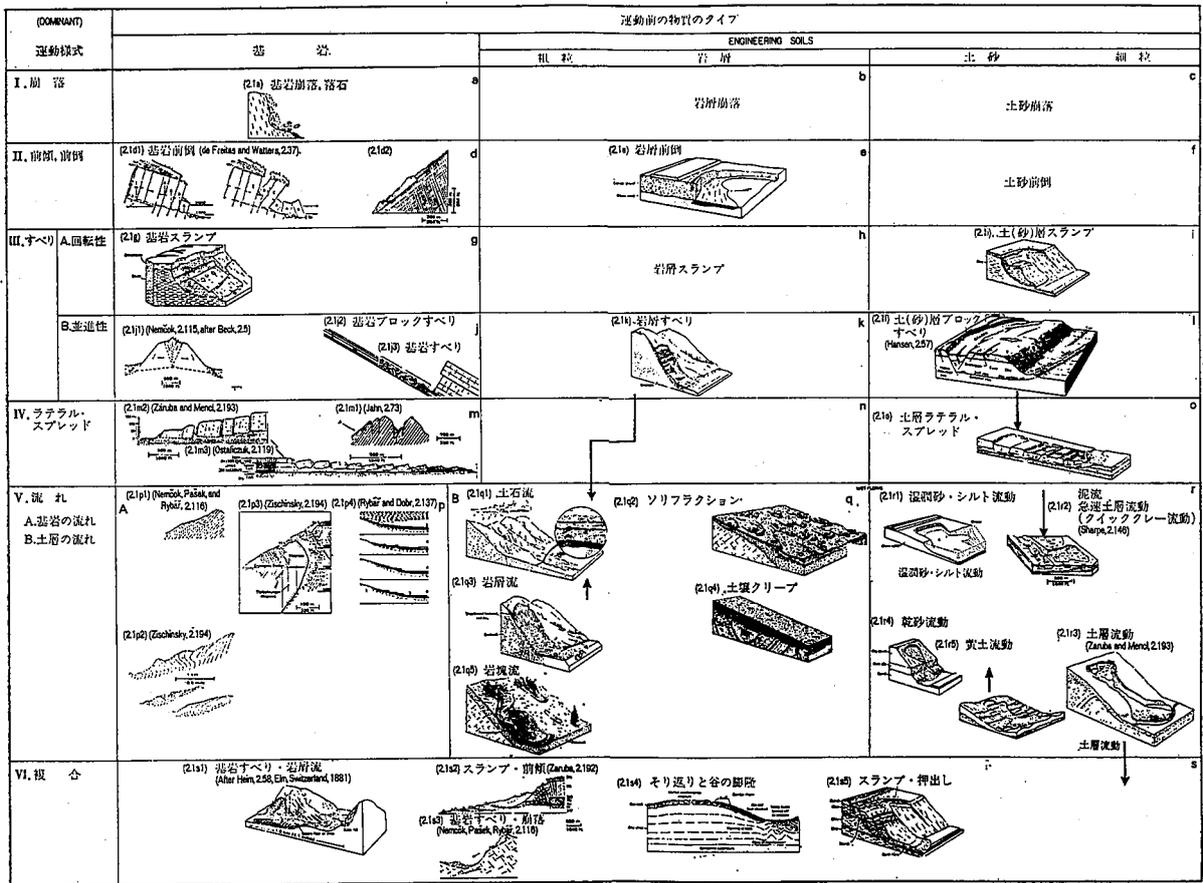


図-4 Varnes (1978) の斜面運動の分類

表-1 地すべりの分類 (Varnes, 1978)

運動のタイプ	材料のタイプ		
	基岩	工学的な土	
		岩屑	土
落下	落石	岩屑の崩落	土の崩落
前倒	基岩の前倒	岩屑の前倒	土の前倒
すべり	回転	基岩のスランプ	土のスランプ
	平面	岩屑の平面すべり	土の平面すべり
側方伸張	基岩の側方伸張	岩屑の側方伸張	土の側方伸張
流動	岩盤クリープ	土石流など	土のクリープなど
複合	2~3のタイプの複合したもの		

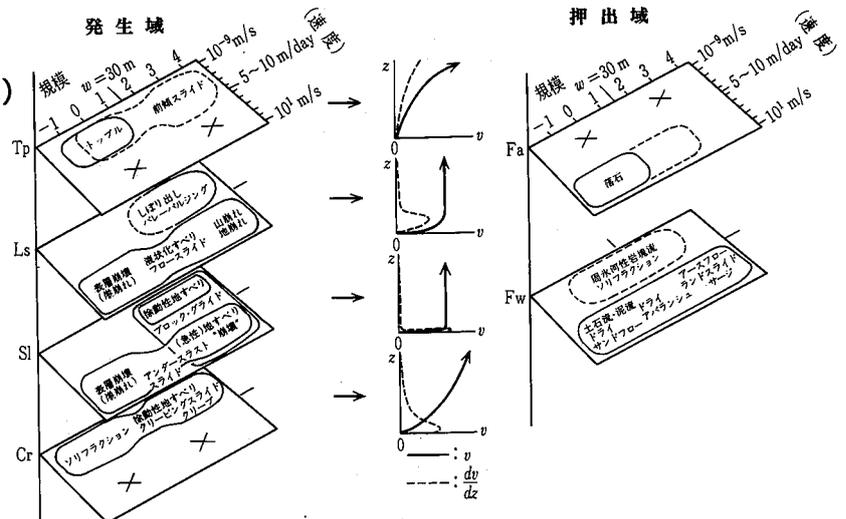


図-5 規模, 運動様式, 運動速度, 場の条件による地すべり分類 (5) に加筆 (Oyagi, 1991)

から、非常に速いものとして岩屑なだれの場合の 100m/sec 程度のもので広い範囲のものがある。また、流動体の規模も数立方メートルから数千万立方メートルあるいはそれ以上の広い範囲に及ぶ。流動型すべりは、通常移動する物質の量が大きく高速度であるために、災害をもたらす種々の現象の中でも、破壊的なものであり、そのためしばしば多くの人命が奪われ、また物的被害も甚大なものとなることが多い。

4.2. 水—土砂混合割合とレオロジー的特性

斜面上に存在する、水と土砂の混合物には剪断応力が作用する。水—土砂混合物の剪断応力に対する挙動は、①水—土砂の混合割合、②土砂の粒径分布、③土砂の物理的、化学的特性に依存する。例えば純粋の水はニュートン流体であり、液性限界付近の含水量の粘土はダイラタント塑性かビンガム塑性の挙動を示す。「ダイラタント」という用語は、剪断速度の増大に伴って、粘性の増大を示す。一方、剪断速度の増大に伴って粘性が減少する流体は、「擬塑性」あるいは「塑性」といわれる。

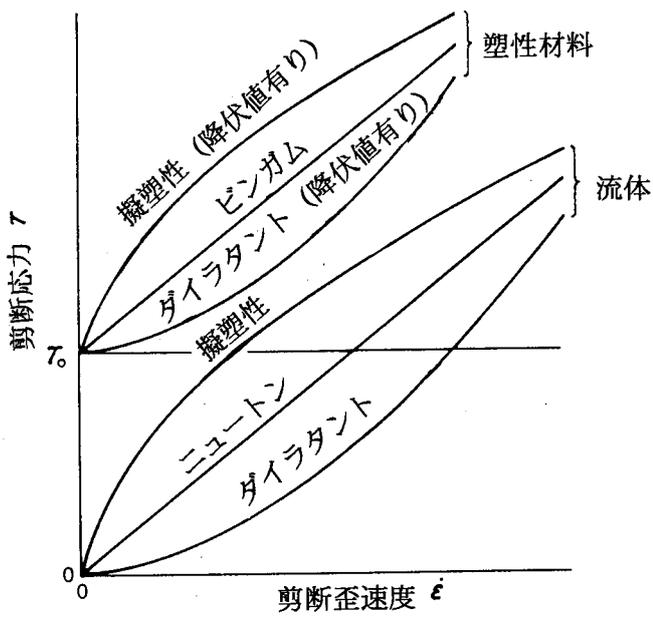
流動現象のレオロジー的な性質は図—6 に示すように剪断応力 τ と剪断歪み速度 $\dot{\epsilon}$ ($=du/dy$) の関係を表す流動曲線によって表現される。図中で、水のようなニュートン流体は原点を通る直線で表される。ダイラタント流体や擬塑性流体は直線とならず、それぞれ下に凸あるいは上に凸な曲線として示される。また、ビンガム流体やその他の塑性材料は降伏応力 (τ_0) を持つ。粘土のような微細粒子からなる高濃度流は、粘性試験を行うと、ある応力 (降伏応力) 以下では変形が起こらないが、それ以上にあると永久変形が起こるので、ビンガム流体と考えられる。粗大粒子からなる高濃度流は、粘性試験を行うと剪断応力と剪断歪み速度の関係が指数曲線 (指数 $n > 1$) となり、ダイラタント流体と考えられる。実際に発生している土石流に関しても、粘土やシルト等の微細粒子と水からなる泥流型土石流の場合はビンガム流体として説明され、砂や石礫のような粗大粒子と水からなる石礫型土石流の場合はダイラタント流体として説明される。

フィールドで発生する現象においては、剪断速度は流動速度によって代替され、流動の過程は速度によって特徴づけられる。ある歪み速度の下での水—土砂混合物のレオロジー的挙動は、第一義的に土砂濃度あるいは含水量に支配され、さらに付随的には土砂の粒径分布に支配される。したがって、流動速度と土砂濃度は流動現象の分類のための第一義的な基準となる。

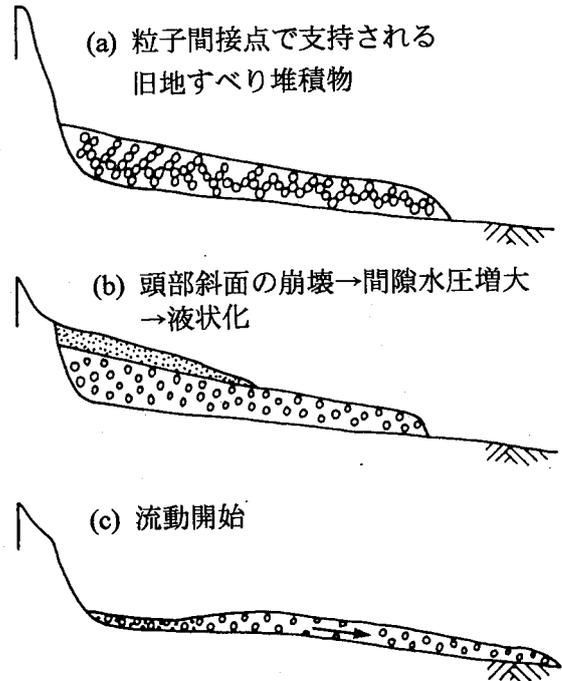
4.3. 流動速度及び土砂濃度による流動型すべりの分類

流動型すべりに包含される様々な現象は、図—7 において流動速度と土砂濃度を基準として分類される。図中で、境界線 A, B, C はその位置が固定されているものではなく、粒径分布に依存して左右に移動しうる。図示されている位置は、山地における多くの崩積土の場合に典型的である、粗粒でソーティングが悪く非粘着性の混合物の流動の場合を前提としている。粘着性の土砂及び細粒分の多い土砂の場合には、境界線は左にシフトする。粗粒でソーティングがよく非粘着性の土砂の場合には右にシフトする。陰影をつけた部分は自然界では生じない条件と考えられる。

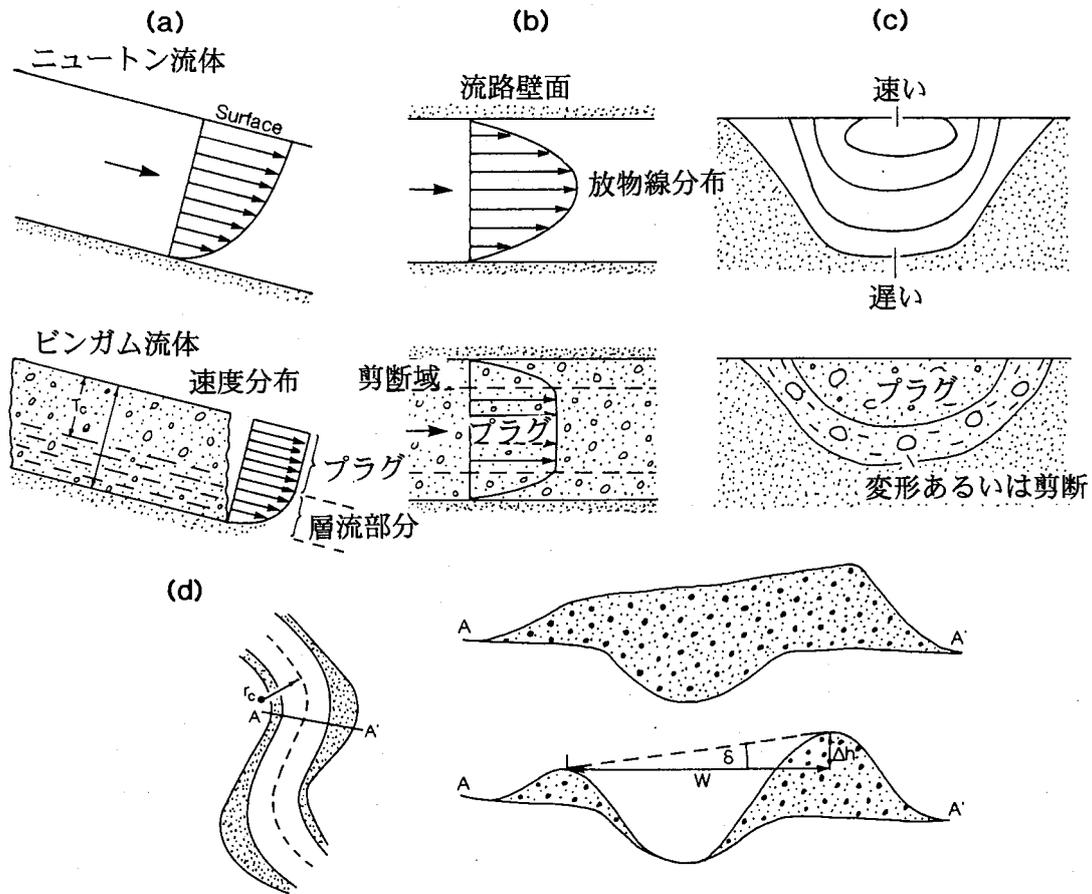
流動型すべりは、まず液状の流動と塑性流動に区分され、塑性流動はさらに①スラリーの流動と、②粒状体の流動に区分される。洪水時におけるような液状の流動は細粒土砂と気泡が水中に分散し浮遊している多相液体の運動である。この流動においては、土砂濃度が稀薄である限り粒子や気泡は相互に影響を及ぼさず、液体はニュートン流体として挙動する。土砂濃度が増大すると粒子が相互作用を及ぼすようになる。粘土の場合は凝集し、粘着力を生じる。そうすると液体は降伏応力をもち、非ニュートン流体となる。降伏応力を生じるのに必要な土砂濃度は土砂の組成によって異なる。超高濃度土砂流は、



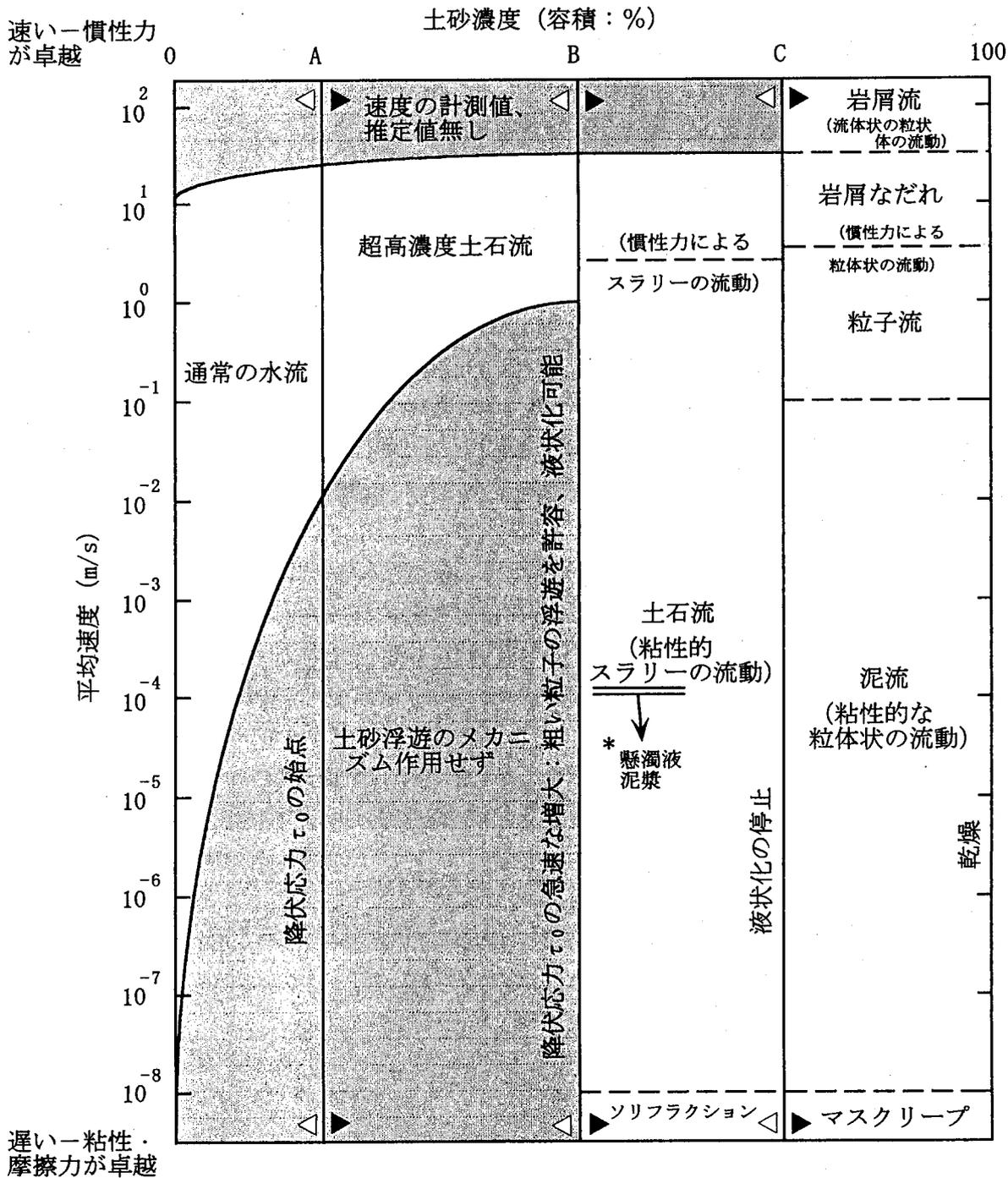
図—6 理想流体及び塑性材料の流動曲線
(Selby, 1993)



図—8 飽和した堆積物上に崩落土塊が載ることによって間隙水圧が増大し液状化が生じる場合
(Selby, 1993)



図—9 ニュートン流体及びビンガム流体における速度分布
(a)鉛直断面 (b)水平断面 (c) 横断面 (d)屈曲部での側方堆積状況
(Johnson & Rodine, 1984)



流れの形式	ニュートン流体	非ニュートン流体	
間隙流体	水	水+細粒分	水+空気+細粒分
流れのカテゴリ	液状の流動		スラリーの流動
流れの挙動	液性	塑性	
◁ 細粒土砂への境界のシフト		▶ 粗粒土砂へのシフト	

図-7. Pierson及びCosta(1987)による流体のレオロジー的な分類

- 鉛直の境界線A, B, Cは土砂の組成に関するレオロジー的な境界を示す。境界線A, B, Cは左右に移動しうる。この図における境界線の位置は、粗粒で、ソーティングの悪い混合土砂を前提としている。
- 水平の速度境界線は土砂濃度粒径分布及び密度の影響を受けている。陰影部は自然界では存在しない条件である。

水と土砂の混合体の流れであり、密度が高いため乱れが緩和され、値は低い計測可能な降伏応力をもつ（通常 $30\text{--}40\text{N/m}^2$ ）。

スラリーの流動は、塑性挙動を示すに十分な降伏応力を持つ、水と土砂の混合体において生じる。このような流動は、高濃度土砂流とは明瞭な境界を形成する（境界線B）。また、急でロブ状のフロント及び横方向の堤防を形成し、礫径の大きい粒子を浮遊させる。繰り返しを受けると部分的に液状化を生じる。このような挙動は、湿潤状態の混合コンクリート材料に見られ、粒子間の内部摩擦と粘土分の多い混合物の粘着力によるものである。混合材料の自然含水量が、ある値、粘土分の多い材料では液性限界、その他の材料では液性限界に近い値を越えると、スラリー状の流動を生じる。その含水量では固体分の重量の一部は間隙水によって受け持たれる。それによって、液状化した状態すなわち静水圧を越える間隙流体圧の作用が説明される。このような混合材料は降伏応力を越えると粘着性のマスとして流動し、マスは石礫を支持するか、あるいは石礫が運搬するのに大きすぎる場合にはそれにそって進んでいく。この混合材料は静止したときにも、均質な状態のままであり、したがって篩分けは生じず、堆積物内部に層は形成されない。このことは、超高濃度土砂流の堆積物の場合とは明瞭な対照をなす。超高濃度土砂流では、浮遊状態から沈降する際に、異なった沈降が生じる。混合材料中の粘土あるいはシルト分の割合が高い場合、あるいは速度が遅く含水量が低い場合には粘性的挙動がスラリーの流動の挙動を支配する。このような条件の下では、流動の挙動を予測するのにクーロン粘性モデルあるいはビンガムモデルが用いられる。豪雨時に大量の水が供給され溪流内を土砂が運搬される場合、超高濃度土砂流の形態の場合も、土石流形態の場合も存在する。静止し堆積した状況を観察することによって、流れの形態を判断することが可能である。

流れの運動量が粒子の衝突によって伝播される場合には、慣性力が流動の挙動を支配する。このような力は間隙流体の粘性が低い場合に作用する（例えば、浮遊物質中の細粒分が少なく、流体は主として水であり、土砂の粒径が大きく、速度が大きい場合）。このような場合に適したレオロジーモデルは、高橋(1978)の提示するようなダイラタント流体モデルである。粘性的な流動の機構と慣性力による流動の機構を分ける限界速度は、粗い土砂の場合に関しては 2m/sec と推定されるが、この推定値は流体の組成によって変化する。

粒状体の流動は、土砂濃度が繰り返しによって液状化しない値まで増大した場合に生じる。すなわち間隙流体が粒状体のマスを支持するのではなく、その全重量が粒子と粒子の接触或いは衝突によって受け持たれる場合である。剪断速度が小さい場合には、すべり摩擦、粒子のインターロッキング、間隙流体の粘性効果等によって、変形するマス中の応力が決定される。このような遅い流動は摩擦による粒状体の流動と呼ばれ、篩分けのよい粗粒材料ではおおよそ 0.1m/s 程度の速度である。 0.1m/s より大きい速度では、粒子の慣性力が増大し、流れの運動量は粒子の衝突によって伝播され、粒子を引き離そうとする分散応力が生じ、摩擦が減少する (Bagnold, 1954)。このような慣性力による粒子の流動においては、速度は $0.1\text{--}35\text{m/sec}$ 程度の範囲と考えられている。

なお、粒状体の流動に関して、稀にはマッシュな流動が発生し、「岩屑なだれ」や「岩屑流」として知られる (Hsü, 1975)。そのボリュームは百万から数百万立方メートルを越え、また速度は $50\text{--}100\text{m/s}$ ($180\text{--}360\text{km/h}$) と非常に速い。さらに極端に移動距離が大きいことも注目される。しかしながら、今回の豪雨災害においては、崩壊や土石流の規模は比較的小さく、勿論このようなマッシュなものは発生していない。

5. おわりに

平成10年8月4日の豪雨時に佐渡地方で発生した様々な土砂移動形態に関し、現段階の学術的知見に基づく整理を試みた。崩壊あるいは山崩れの形態のものと、土石流の形態が顕著であった。理論的な整理は個別の現象が典型的な形態で発生することを想定している。一方、実際に現地で発生している現象には様々な中間的な形態が見られる。しかしながら、可能な限り理論に基づいて、個別の現象の機構と特性を把握しておくことは重要であると考えられる。

様々な形態のマスマーブメントを区別するためには幾つかのやり方が考えられる。例えば、流動現象を材料の組成に基づいて区別することはしばしば行われる。それによって、泥流型土石流、石礫型土石流、泥流、土砂流等の区別がなされる。このような分類の難点は、それらの用語に論理的な首尾一貫性がないことにある。これらの用語は流動の機構には直接は言及していない。したがって、さらに踏み込んで流動の機構の差異を明確に認識する必要がある。その際、レオロジーの理論に基づいた整理は有効と考えられる。例えば、「流動」という用語と「すべり」という用語とは、それぞれ明瞭に定義され区別される。ブロック状の物質が明瞭に定義される剪断面上を移動し、移動ブロックがほとんど一様な速度で移動する場合は「すべり」という用語で適切に表現される。さらに、そのことに基づいて、この場合の剪断強度はクーロンの式によってモデル化することができ、極限平衡法による斜面安定解析が適用可能であるというように考えを進めることが出来る。また、「流動」という用語で表現される現象に関しても同様の考察が進められる。そこで支配的なプロセスを適切に評価することが重要である。

参考文献

- 1)新潟県土木部：8.4水害資料, 1998.
- 2)砂防・地すべり技術センター：平成10年8月新潟県佐渡地方土砂災害調査報告, SABO Vol.61, pp.13-23, 1998.
- 3)北陸建設弘済会：8月災害特集, けんせつ ほくりく No.347, 1998.
- 4)丸井英明：地すべり運動に関する諸問題, 平成5年度地すべり学会シンポジウム論文集, pp.31-42, 1993.
- 5)Varnes, D.J.: Slope Movement Types and Processes, Landslides, Analysis and Control, T.R.B. Spec., Rep., No.176, 1978.
- 6)古谷尊彦:地すべりと地形,「地すべり・崩壊・土石流」, 武居有恒監修, 鹿島出版会, pp.192-230, 1980.
- 7)大八木規夫ほか：土砂災害の現状と問題点, 土と基礎, Vol.31, No.3, pp.66-74, 1983.
- 8)Selby, M.J.: Hillslope Materials and Processes, Oxford Univ. Press, pp.299-319, 1993.
- 9)Pierson, T.C., & Costa, J.E.: A rheological classification of subaerial sediment-water flows, Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, 7, pp.1-12, 1987.
- 10)Bagnold, R.A.: Experiments on a gravity-free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shear, Proc., Royal Society, London, ser. A, 225, pp.49-63, 1954.
- 11)Takahashi, T.: Mechanical characteristics of debris flows, Journal of the Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, 104, HY8, pp.1153-69, 1978.
- 12)Johnson, A.M. & Rodine, J.R.: Debris flow, in D. Brunnsden and D.B. Prior(eds.), Slope Instability, Chichester: Wiley, pp.257-361, 1984.