



Title	羊蹄山における治山工法の変遷と特徴
Author(s)	木村, 正信; KIMURA, Masanobu; 東, 三郎 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 35(2), 391-431
Issue Date	1978-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20997
Type	departmental bulletin paper
File Information	35(2)_P391-431.pdf



羊蹄山における治山工法の変遷と特徴*

木村正信** 東 三郎***

Der Wechsel und die technische Eigenheit der Wildbachverbauweise am Fuß des Vulkans Yōtei

Von

Masanobu KIMURA** und Saburo HIGASHI***

目 次 Inhalt

まえがき Einleitung	392
研究方法 Methodik	393
火山山麓の扇状地 Schwemmkegel am vulkanischen Bergfuß	396
1. 地形と土石流動 Landformen und Geschiebetransport	396
2. 土地利用と災害 Landnutzungsarten und bisherige Schäden	397
3. 土砂害防止対策 Der Wechsel der bautechnischen Sanierungsmaßnahme	398
羊蹄山の治山事業 Wildbachverbauung im Vulkan Yōtei.....	400
1. 山麓の概況 Allgemeiner Zustand am Bergfuß	400
a. 地形・地質 Geographische und geologische Gegebenheiten	400
b. 開拓の歴史と災害 Die Geschichte der Rodung und der Ablauf der Katastrophe	402
2. 治山事業経過 Verlauf der Verbauung.....	403
a. 初期の治山事業 Die erste Periode	403
b. 治山事業の実績 Das gesamte Leistungsergebnis.....	404
3. 治山工事の特徴 Technische Eigenschaft der Verbauung	413
a. 北海道 Die Verbauung durch die Landesforstverwaltung Hokkaido	413
b. 民有林直轄工事 Die Verbauung durch die Staatsforstverwaltung	415
治山工事と侵食現象 Einfluß der Wildbachverbauung auf die Veränderung der Bodenoberfläche	416

* 1978年1月30日受理

** 岐阜大学農学部森林生産学研究室

*** 北海道大学農学部砂防工学研究室

** Institut für Waldbau und Wildbachverbauung, Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Gifu.

*** Institut für Wildbachverbauung, Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Hokkaido.

1. ガリー内の縦侵食防止 Die Sohlenkonsolidierung im Gully	416
2. 氾らん原の流路固定 Die Gerinnebefestigung auf der Aufschüttungsfläche	417
3. 分散方式の治山工法 Die Geschiebeausbreitung auf dem Schwemmkegel	419
4. 流動土石の特性 Wesen der Geschiebezufuhr	421
扇状地の治山工法 Wildbachverbauweise auf dem Schwemmkegel	422
1. 水と土石の流動パターン Modell vom Wasserabfluß und der Geschiebebewegung	422
2. 流出土石の根源 Entstehungsursache der Massenverlagerung	423
3. 氾らん原処理の必要性 Bedeutung von der Geschiebesteuerung auf der Aufschüttungsfläche	424
要 約 Schlußfolgerung	426
参考文献 Schrifttum	427
Zusammenfassung	429

まえがき

文明の発達に伴って、人間の居住空間と生産空間が拡大していったことは古今東西の歴史に明らかなることであり、道具の発明改良はさらに生産技術を進歩させた。たとえば、湿地が干拓され、原野が開墾され、いたるところに人間が定住するようになり、最近では自然の地形それ自体までも改造できるような段階に達した。しかし、高地から低地へと生活圏を移し、豊かな農耕文化を築いた多くの種族も、都市型の発展をみるにつれて再び低地から山麓へと進出し、居住空間と生産空間を拡大し、副次的にそれまであまり経験したことのない山腹の崩壊や土石の流出による人命・家屋・耕地の被害を受けるようになった。身近な例として、横浜市(1958)や神戸市(1967)のかけ崩れ災害⁴⁰⁾をあげることができる。こんにちでは、各方面においてこのような災害を未然に防止するために、原因の予知や防災対策の確立が強く要求されている。

山腹の崩壊や土石の流出は、いわゆる「侵食作用*」であり、「土石の流動現象」の一形態である。この土石流動に起因する災害は、最近では「土砂害」と呼ばれている。この土砂害を防ぐための対策として、古くから砂防法に基づく砂防事業と、森林法に基づく治山事業とがあり、全国各地で実施されている。「砂防事業」、「治山事業」とは、あくまでも行政上の呼び名で、両者を技術的に区別することはむずかしい。強いていえば、前者は河川行政の一環として下流域を対象とし、土木的工法を多用するのに対して、後者は林野行政の一部として上流域の荒廃山地を対象に、主として植生工法を駆使している点にウエイトのかけかたが違ってくる。

* 侵食作用(Erosion)は、地表に働きかける外因的営力の違いから、雨食・河食・風食・波食・雪食・氷食などに分けて表現される。流水の働きによる場合「浸蝕」と表現されているが、ここでは「侵食」として統一した。

しかしながら、両者とも土石の流動がわれわれの社会生活に与える被害を最小限度に抑えるための防災対策であることには変わりはない。

自然災害と呼ばれるものは、自然現象とわれわれの生活が接触したところで発生する社会現象である。自然現象は地形・地質条件に制約されて起こるが、時代とともに人間の土地利用が形態を変えるにつれて、災害の規模や質も変わってゆく。したがって、土砂害を未然に防ぐことを目的とする防災事業はその実施にあたり、災害の予想される地域や被災地区の特性を調べ、災害をひきおこす要因を理解しておく必要がある。

ところで、わが国に数多く存在する扇状地は、その緩傾斜な地形と取水に便利なこともあって稲作農耕に適し、はやくから開発利用の対象になってきた。同時に、過去の土石流動によって形成された氾らん堆積地であるため、まれに起こる豪雨に際してひどい災害に出会う危険性もあった。なかでも、火山山麓の扇状地は、他の地域に比べると土石の流動が頻繁で、また、標高が上がるにつれて無水地帯となり、用水の得難いこともあって集約的な農業を営むことは出来ず、山林や原野として未利用のまま放置されたところが多かった。ところが、わが国では都市域の膨張につれて土地利用も濃密になり、これまであまり顧みられなかった火山山麓も、新しい型の生産と居住の場として注目されだした。

すでに、火山山麓の農耕地を土砂害からまもるために、各地で砂防ダムや流路工などによる治山工法が実施されてきたが、土石流動の実態についてはいまだに不明な点が多く、技術的対策も十分に確立しているとはいえない状態にある。場合によっては、画一的な工法が採用され、地域的特性を顧みない形ばかりの手段が講じられているところさえあるように思われる。

そこで筆者らは、開発の進展に伴い危険性の高まりつつある火山山麓に焦点を合わせ、この地における土石流動の特性をとらえ、あわせて土砂害を防止し、軽減する治山工法の原理について考察することとした。

論文作成にあたって、北海道大学農学部砂防工学研究室の新谷 融助教授、若林隆三助手(現林業試験場防災第2研究室長)、小野寺弘道助手と、現地調査に際して多大の御援助をいただき貴重な資料を提供して下さった函館営林局治山課、倶知安営林署、同署尻別川治山事業所、道有林倶知安林務署の関係各位に深く謝意を表するしだいである。また、同学の大学院生・学生の諸氏からは多くの有益な助言をいただいた。本論にはいるに先だって感謝の意を述べたい。

研究 方 法

火山山麓において土砂害をひきおこす主な自然的要因は、地表を構成している火山碎屑物の流動現象である。一般的にみると、岩塊・礫・細砂からなる火山灰の三者が水や樹幹・枝条・根株と混合し、流動化して土石流と呼ばれる形態をとり、大量の土砂が急激に流下すると考えられる。この土石流動に関して、これまで、模型装置を使って土石流形態を追求した実験

的研究^{13,18,39)}や堆積地の形成年代から流動の過程を時間的・空間的に解析する研究¹⁾, ならびに樹木年代学的方法と既設ダムの機能面から流動過程を追求した研究¹³⁾などが行なわれてきた。

もともと、土石流動の実態をなまのまま観察することは、よほどの危険をおかし、また、機会にめぐまれない限り不可能に近い。現在のところ、流動の特性を理解・認識するためには流動の結果として形成される堆積地の形態 (Form) を時間的に分析し、流動の過程 (Vorgang) を推論する方法しかない。そのうえで、模型装置を使って流動現象を再現し、それを観察することによって一連の過程を実験的方法として推論することが適切であると考えられる。もちろん、堆積形態の観察から過程を推論するためには、現地形の特徴を把握するとともに、これまでの形態変化を追求しなければならないのであるから、堆積がどの程度の規模で、どのくらいの時間に、どのように変化したかということを知るために、考察する場合の時間単位と取り扱う対象の空間スケールを設定する必要がある。

この具体的な手法としては、航空写真の比較判読⁷⁾や洪水段丘の区分²⁷⁾, さらに樹木年代学的方法²⁾などがあり、同時にダム築設前後の地形変化を比較する方法¹³⁾などが挙げられる。とくに、土石流動のはげしい火山山麓の扇状地においては、既設の砂防ダムをひとつの大型実験装置とみなすことができ、地形の時間的変化を推論するのに好都合であると考えられる。すなわち、地形を改造し、構造物を施工する土木工事は、目的に応じた地形の空間・時間変化を予想した上で実行されるものである。したがって、工事の結果生じるであろう地形変化に対して、ひとつの仮説を立てて実行され、何年か経て災害をひきおこすような豪雨に出会った場合に、その事の是非が証明されるわけであるから、これをひとつの実験とみなすことができるのである。

もともと、治山工事はその目的・手段から土木工事で植栽工事に大別され、前者は床固工・土留工・水路工・護岸工などの構造物を設置することにより、侵食防止・山脚固定・流路固定・溪床維持など、工事後の地表の安定化を目標にしている。土木工事によって安定した空

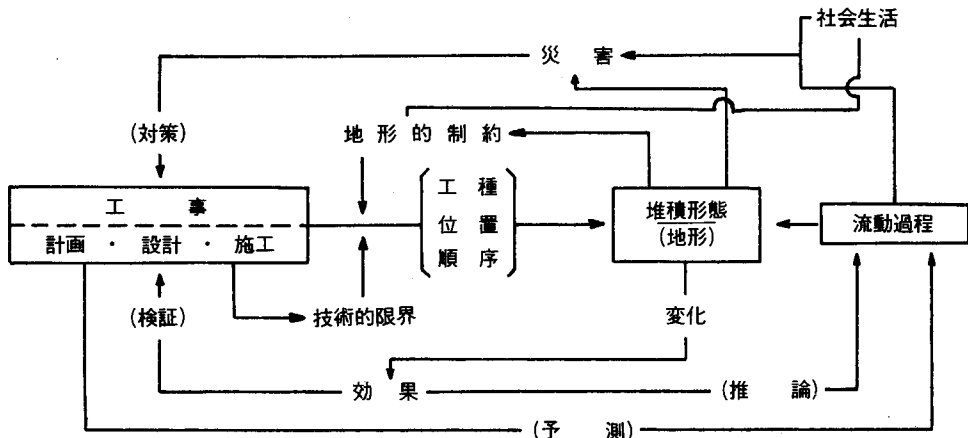


図-1 工事と地形の関連

間には引き続き植栽工事が行なわれ、両者が巧みに組み合わされて豊かな人工的自然が復元されることになっている。その基礎となる土木工事と地形の関連を示すと、図-1 のようになる。

工事が行なわれた後、予想された地形の変化が認められれば、それは工事の効果のあったことになる。逆に、予測とかけ離れた変化の生じた場合には、さらに吟味しなければならないことになる。予測が的中しなかった理由として次の点が挙げられる。

- i) 地表変動に対する見積りを誤った。
- ii) 構造物に欠陥があった。
- iii) 現象の規模が予想以上であった。
- iv) 未知の現象で、認識不足であった。

しかし、これらの点を一步踏み込んで検討すれば、予測とかけ離れた変化も、土石流動の過程を推論する上でよい材料となる。

このような見地にとつと、当初の目的が達成された工事の事例から、構造物の機能や工事の効果の評価し検討することによって、堆積形態の変化を追求でき、流動過程を推論できるといことになる。また、これまでの工事が失敗に終わっても、その後、新たな予測に基づいた工事が効果をあらわした時は、新旧の工事の特徴から堆積形態の変化を読みとれることにもなる。さらに、構造物の設置年度は時間の単位を明確にしており、施工区間の変遷から空間のスケールを設定することができる。

筆者らは、以上の点から、火山山麓において実施された治山工事の分析・検討、ならびに施工区間の地形観察を通じて、この地で災害をひきおこす土石流の本質(材料・発生場所・頻度・運動)を推論し、これまでの治山工法の効果について検証することにした。まず、火山山麓の特質を認識するため、火山山麓扇状地の地形および土地利用形態について考察した。次いで、そこに生起する土砂害の内容を明らかにし、これまでの土砂害防止対策の特徴について考察した。さらに、具体的に1カ所の火山山麓を対象にして、現地の地形および構造物の観察から、施工区間と未施工区間の堆積形態を比較し、同一区間においてダム施工年度および土石流発生記録から、施工前後の堆積地の変化について歴史的に考察した。本論文では以上の考察を通じて、土石流動の過程を推論し、実施された工事の検証と、災害を予防する今後の工法に関する見解を述べることにした。

この研究の対象地は、わが国の代表的な火山性崩壊地³⁴⁾といわれている羊蹄山である。ここを選定したのは、本地区では昭和30年代以降、北海道の治山事業が重点的に実施されてきた場所であり、実際に土石流動の激しい真狩基地の沢、滝の沢、青木の沢、ならびに雪崩の沢において、自然の変動と人間の営為を実感としてとらえやすいと思われたからである。

火山山麓の扇状地

1. 地形と土石流動

世界でも有数の火山地帯として知られるわが国には、北から南まで各地に数多くの火山が存在する。火山は、地殻変動の一つである火山活動によって地形が変化して出来上がったもので、多くの場合、山体は火山灰・火山礫・火山岩塊などの火山碎屑物と熔岩の複雑な互層から構成されている。わが国の火山は、その大半の成立が第四紀の火山活動に由来するところから、極めて若い地形であるといわれている⁴⁵⁾。さらに、その構成材料である火山噴出物は地質的に脆弱な未固結物質で、他の岩石に比べると風化されやすいため、火山噴出物におおわれた火山斜面には、雨食・風食による侵食谷 (Gully) が刻まれやすく、富士山や羊蹄山のような成層火山では、火口を中心として放射状にガリーが発達する傾向にある。

斜面から崩壊した風化土石は、いったんガリーの底に堆積し、やがて流水の働きによって下方へ運搬され、山麓において氾らん・堆積し、広く扇状にひろがった堆積地をつくりだす。この風化・崩落と流水による運搬は山体の誕生と同時に始まっているのであり、山麓において観察される扇状地は、山腹から移動してきた土石が $10^4 \sim 10^5$ 年という長い時間を経て氾らん・堆積を繰り返しながら発達したと考えられるのである。それゆえ、火山地形には比較的緩傾斜な山麓扇状地と、その上流部にガリーの発達した急傾斜な山腹斜面とがあり、両者の接点は傾斜変換点といわれている。

火山山麓扇状地に関して、戸谷ら⁴⁴⁾は、扇状地の性質が火山の規模と型に規定されるとし、「大型成層火山にはかなり大規模な扇状地が発達するのに比べ、小型の火山では、崖錐もしくは著しく急勾配の沖積扇がつくられる」と述べている。換言すると、扇状地の規模は上流からの土石供給量に左右され、扇状地の広がりはそのとりまく地形に支配されるということになる。

扇状地は、上流からの流動土石が氾らん・堆積を繰り返すため、極めて起伏に富んだ地表を呈している。扇頂部では流水の運動が堆積物に阻まれて、流路が側方に変動しやすく、いわゆる「首振り現象」が起こる。したがって、扇状地の流路は固定されることなく、局所的に再侵食・再堆積が繰り返されるため、複数の流路跡や小規模な堆積地が散在することになる^{21,37)}。

豪雨時と融雪期を除けば、ガリーや扇状地に表流水は認められない。これは、山腹斜面および扇状地が浸透性の高い火山碎屑物から構成され、雨水は地中にもぐり伏流水となって流下するためである。このような「水無沢」・「水無川」、つまり涸沢・ガリー・野溪 (Wildbach) は火山山麓の谷の特徴といえる。ただし、豪雨時などにいったん流水が地表を流下すると、溪床の洗掘、土石の運搬と堆積がさかんになって、一時的に大量の土石が流動する、いわゆる土石流が発生しやすくなる。土石流発生の要因としては、豪雨などの気象条件や地形条件のほかに、流動しやすく堆積土砂の多いことを指摘できる。通常表流水による掃流作用が皆無に近く、ガリー底や扇状地流路に流動しやすい土砂が蓄積されているからである。

火山山麓における土石流動過程および土石流発生機構については、いまだに不明な点が多く、推測の域を脱しない。ただ、通常の表流水による土石の運搬は極めて稀で、大量の土石が流動するのは豪雨時などの限られた期間と考えられ、山麓の農耕地・家屋および人命に被害を与える土石の流動は、土石流の形態をとるといってよいだろう。

2. 土地利用と災害

水はけが良く、傾斜の緩やかな地形が農業に適しているため、扇状地ははやくから利用されてきた。開発は扇端部の湧水帯付近から始まり、集落は生活用水の得られる範囲内で発達し、もっぱら湧水を利用して生活が営まれた⁴⁾。湧水帯より上流部の開発は水源確保の困難さからほとんど進展せず、山林ないし原野の状態で放置されてきた。湧水帯より下流地域では、主に水田開発に力が注がれ、灌漑施設の整備に伴って、赤城山麓の桑園、富士山麓の茶・タバコ栽培、あるいは大山山麓の果樹園などのように、火山山麓特有の農業が行なわれている²⁴⁾。このような地域でも湧水帯より上流部は、水利施設が調った明治時代以降も、わずかにその一部が放牧地や造林地として利用されただけで、大半は未利用のまま今日に至っている。

火山山麓で起こった最近の大型災害をみると、桜島噴火の際の熔岩流および泥灰流(大正3年)、十勝岳爆発にともなう泥流(大正15年)、榛名山の土石流(昭和10年)、赤城山の土石流(昭和22年)、阿蘇山の土石流(昭和28年)などが挙げられる²⁴⁾。いずれも、火山噴火および山体崩壊の結果、大量の土石が扇状地に流出して家屋や人命に多大なる被害を及ぼしたものである。この他に、扇状地における堆積物の再侵食・再移動が農耕地や道路などの埋没もしくは洗掘を招き、家屋や人命に被害を及ぼす例は多く、農耕地では、表土流亡や雨裂の発達によって耕作が不可能になったことも知られている³⁾。

これらはすべて、流下水の集中ならびに土石の流出が原因となってひきおこされた土砂害である。扇状地では、このような土砂害によってしばしば農耕地が放棄されたり、集落が離散するなどの悲劇が繰り返されてきた。したがって、火山山麓の開発利用は水利と密接な関連をもって進行し、同時に、土石流出の規模と頻度が土地利用の進展を左右したと考えられるのである。

沖積扇状地に比較して、地味がやせ、土石流出の頻繁な火山山麓の扇状地では、一般に高度な土地利用が行なわれなかったために、前述の如き大規模土石流が生じた災害を除けば、土石流出に起因する被害はもっぱら農耕地に限られ、密集した家屋群に大被害をもたらすようなことはなかったといえるだろう。ところが、土木技術の進行と道路の拡充、さらに土地利用の高度化に伴い、火山山麓の無水地帯が最近、別荘地およびゴルフ場やスキー場などのレジャー用地として開発されつつあり、この傾向は広大な裾野の広がる富士山、阿蘇山、八ヶ岳、羊蹄山などに多く認められるようになった。その結果、土石流出に起因する災害の危険地域は、扇状地下流部から上流の無水地帯へと拡大し、被災対象も農耕地から各種土木施設、建築構造物および人命などに変わりつつある。

3. 土砂害防止対策

扇状地では、水不足が深刻な問題であっただけに、はやくから用水確保の目的で人工水路の開削や河川の付替えが行なわれた⁴¹⁾。扇状地河川特有の分流・転流に対しては河床の掘削や築堤によって河道を固定し、天井川の形成あるいは氾らんを防止する土木工事が実施されたが²⁴⁾、これらの工事は主に湧水帯より下流の地域に限られている。

上流の無水地帯は、生産や居住の場として適していないし、そこでの土石流出は直接、災害に結びつかなかつたために、積極的な土砂害防止工事も実施されていなかった。むしろ、土石流出による被害の予想される地域は土地利用上不適格な場所として見放され、いったん開発されても、被災後は放棄される傾向が強かった。しかし、各種土木技術が発達し、生産空間や居住空間が扇状地上流部へと移行・拡大するにつれて、これらの地域での土石流出が問題にされるようになった。ただし、市街地が山麓の土石氾らん地帯に近接する眉山⁴⁵⁾や農地保全の必要性が高かった蔵王山麓⁹⁾を除けば、火山山麓における土砂害防止工事が本格的に実施されはじめたのは第二次大戦後になってからである。

昭和20年代に次々と発生した大水害を契機として、昭和22年と同30年の2度にわたって、林野庁による全国山地の荒廃調査が実施された。その結果、荒廃の実態が明らかになるとともに、あわせて火山山麓の荒廃にも注目されるようになった。表-1は、昭和30年に実施された「山腹荒廃地基礎調査」の結果³⁴⁾である。表にあらわれているように、火山堆積物地帯(シラス地帯を除く)の崩壊面積が他の地帯を圧倒している。したがって、これらの数字から外見上、荒廃の著しい火山山麓が注目されて、土砂害防止事業が開始されたといえる。火山山麓における土砂害防止事業は行政上、「治山事業」に包括され、林野庁および地方自治体によって実施された。さらに、荒廃形態から「火山性荒廃地」³⁶⁾ないし「火山性崩壊地」^{4,34,35)}という名称がつけられ、代表的な火山性荒廃地として、由布岳、眉山、大山、立山、富士山、男体山、羊蹄山などが挙げられた。

流動しやすい堆積物が無尽蔵に存在する火山性荒廃地の復旧は極めて困難とされながら、治山工事の実行にあたって、まず、扇状地上流からの土石流出を抑止するため^{32,42)}、ガリー上流部や土石流過地帯の安定化が重視された³⁴⁾。例えば、富士山、大山、羊蹄山など多くの山麓では、縦侵食防止と土石流の抑止を目的として、自然の堆砂勾配を基準に階段状のダム工事が

表-1 昭和30年度山腹荒廃地基礎調査結果

		全 国	花崗岩地帯	火山堆積物地帯	第三紀層帯地	中・古生層帯地
崩壊の規模	100 haあたりの崩壊面積 (ha)	1.20	1.10	3.07	1.87	0.97
	100 haあたりの個所	5.14	12.04	26.04	13.27	2.92
	1カ所あたりの面積 (ha)	0.23	0.09	0.12	0.14	0.33
	1カ所あたりの生産土砂 (m ³)	—	300~600	2,000~4,000	3,000	5,000~8,000

実施されたのである。火山性の崩壊地においては、土留工や植栽工を主役とする山腹工事だけで荒廃化を防ぐことは不可能であり、ダム工によって山腹工の基礎固めをするというより、下流に及ぼす土砂害防除のためにダム工にウエイトをおいた溪間工事を施すべきである³⁴⁾という考え方がこの工法を支えていたと考えられる。もちろん、著しく荒廃し、直接的な土砂の生成源である谷頭や溪岸斜面の崩壊部を復旧することも最終的には必要である²⁴⁾が、工事材料を運搬しにくいことや具体的な工法が見あたらないために、現時点で処理することは不可能と判断され^{5,19)}、この区間における治山工事はいまだに行なわれていない。

扇状地においては、眉山、男体山、羊蹄山などでみられるように、流出する土石の抑止ならびに洗掘防止を目的として土留工が設けられ、流路固定の目的で水路工や床固工が施工されている。一般にみて、堆積物に厚くおおわれた扇状地においては堅固な岩盤からなるダムサイトが見あたらず、ふつうの砂防ダムを築造するのに適した谷地形も存在しないため、ダムを用いた工事はいきおい現在の沢型に合わせた小規模なものになりがちである。

火山山麓における治山工事は主に湧水帯より上流の地域で実施されることが多いため、工事用水の運搬が必要となり、工事材料のうち大きなウエイトを占めるコンクリートは、その使用に著しい制約を受ける。さらに、良質の骨材がみあたらないこともあって、コンクリートブロックなどの2次製品や屈撓性のある蛇籠・フトン籠も使用されている。昭和30年代なか頃からレディー・ミクスド・コンクリート(生コン)が普及し⁸⁾、このような場所においても大型ダムの築造が可能になり、昭和40年代に入ると材料運搬の容易な鋼製パットレス・ダムが施工され、工期も短縮されるようになった。さらに、急峻な上流部の山地斜面には索道が架設され、ガリー上流部でのダム工事が可能となり、工事区間の拡大につながったが、堤高の高いダムを急峻な斜面に施工すると、築造後、ダム前庭部の洗掘が著しく、そのためダム前庭部洗掘抑止・ダム倒壊防止の目的で副ダムが新たに施工されるなど、本来の工事目的とは別に、主たる構造物を維持するための付帯工事が不可欠なものとなったのである。

このように、火山山麓における治山工事は工事用水の不足や脆弱な地質条件に制約され、工事材料の変遷や機械施工および運搬手段の難易などに影響されて、独特なタイプの工法が発達せざるを得なかったといえるだろう。これまでは、保全すべき対象が眉山の治山工事のような場合を除くともっぱら農耕地や林地であったが、最近になって火山山麓の土地利用が変化し、保全対象は農耕地や林地から、道路・経済施設・家屋・人命に変わりつつある。それにつれて、工事の重点も富士山⁶⁾、眉山⁴³⁾、羊蹄山¹⁴⁾、有珠山¹¹⁾などでみられるように、ガリーそのものから扇状地末端部へ移行している。

羊蹄山の治山事業

1. 山麓の概況

a. 地形・地質

北海道西南部に位置する標高1,893 mの羊蹄山は富士山に似た成層火山で「蝦夷富士」の名で親しまれている。山麓は図-2のように、山頂の火口を中心として半径約6 kmにわたって

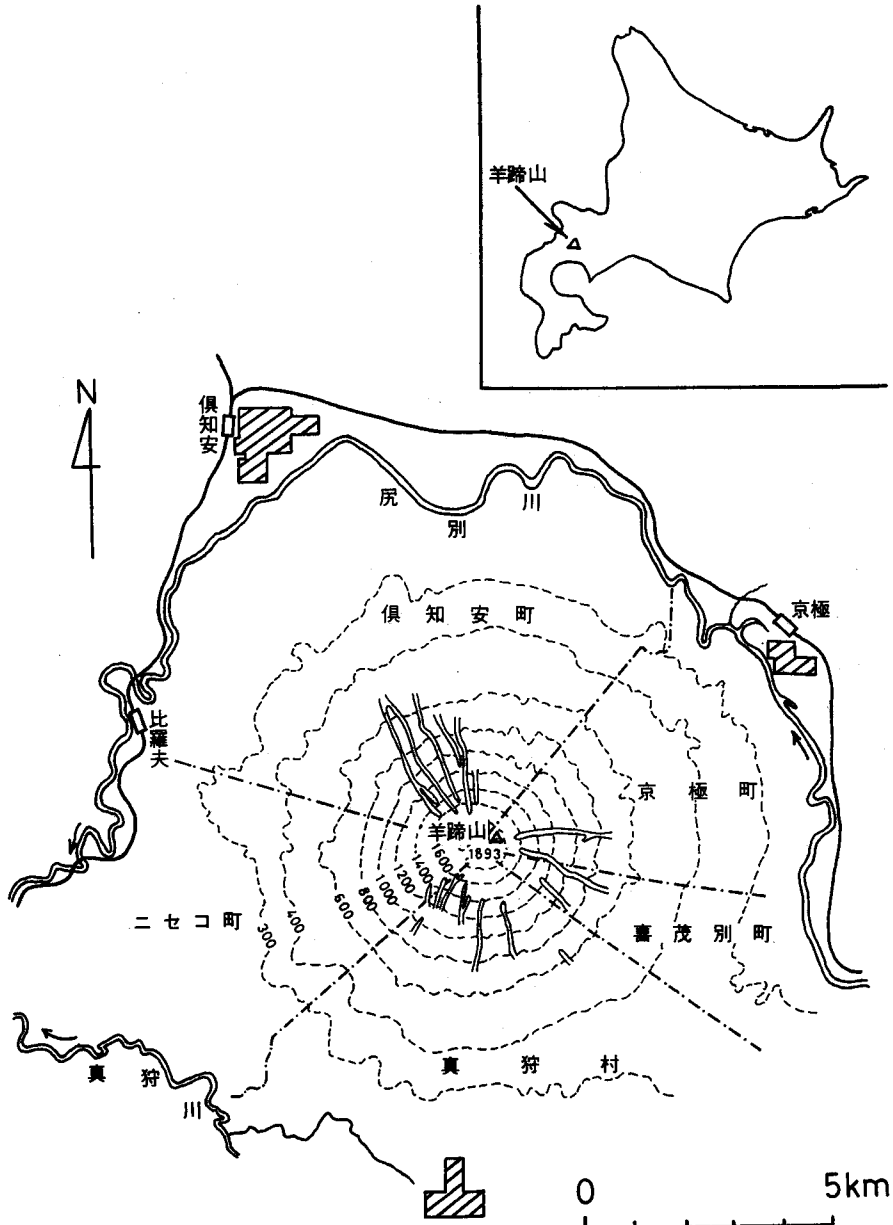


図-2 羊蹄山位置図

ほぼ同心円状に広がり、裾野をとりまくように尻別川と真狩川が流れている。沖積世初期(約1万年前)の噴火活動によって形成され、安山岩質の熔岩と火山碎屑物の互層から成りたっている有史以来活動の記録のない死火山で²⁰⁾、山頂まで植生におおわれているが、山腹斜面には大小合わせて21本のガリーが刻まれている。図-3に示されるように、熔岩におおわれた西斜面とは対照的に、風化・侵食されやすい火山碎屑物の卓越する北-東-南斜面にガリーの発達が著しい。

ガリーには通常、地表流が認められない。乾燥時には、ガリーや崩壊地に露出した熔岩が音をたてて崩落し、舞い上がる砂塵を地元住民がしばしば火災の煙と間違ふことや雪崩による

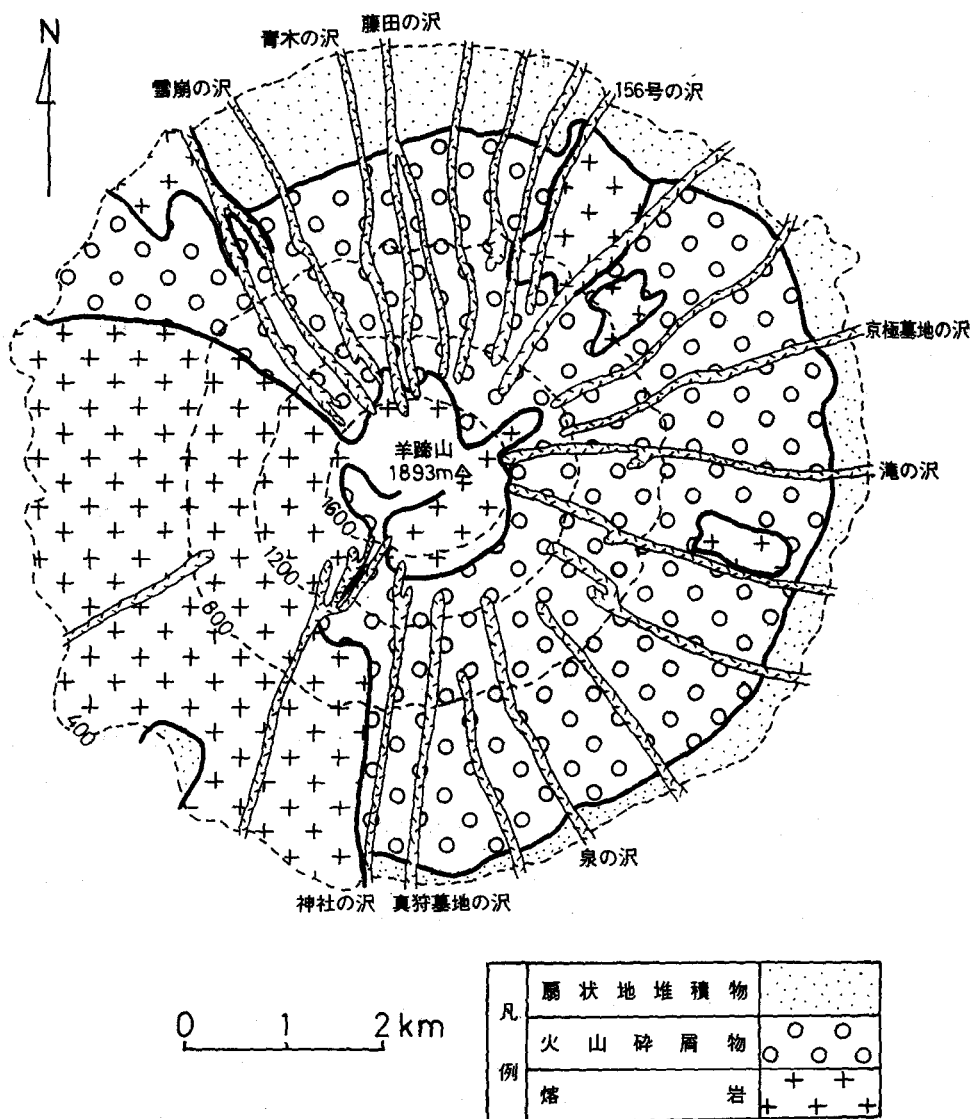


図-3 ガリー位置図および地質略図

土石移動の報告³⁰⁾から、山体は雨・風・雪により年間を通じて侵食されているものと推測される。融雪期および豪雨後にはしばしば土石が山麓に流出し、農耕地や家屋に被害を与えてきた²⁵⁾。こうした土石流出は山体の誕生以来、幾度となく繰り返され、その結果として山麓に広大な扇状堆積地が形成されたものと考えられる。

図-4に山麓を模式的に表現した。熔岩と火山碎屑物の互層からなる斜面の下方に広がる扇状地(a)は、その形成に伴って流水による侵食をうけ、ガリー(b)が扇面にまで発達

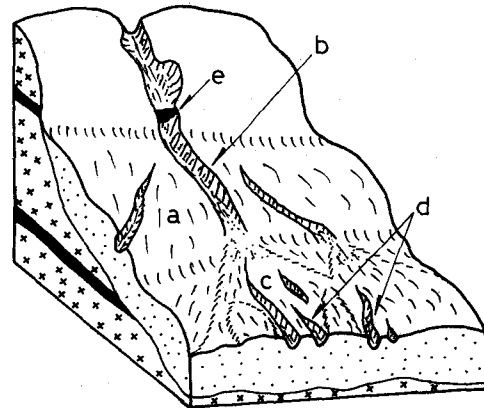


図-4 山麓模式図

a: 扇状地 b: ガリー c: 氾らん原
d: 流路 e: 溶岩滝

し、ガリーの消滅地点より下流に再び小規模な堆積地が形成されることになる。この小規模な堆積地を便宜上、氾らん原(c)と呼び、氾らん原に刻まれた小規模な侵食谷を流路(d)と表現した。すなわち、氾らん原の重合形態が扇状地である。流路とガリーの違いは、数10年から数100年といった時間単位でながめた場合に、流路が一回の土石流で埋没・消滅する可能性をもつのに対し、ガリーはその位置をほとんど変えないことにある。氾らん原にはこのような複数の流路が認められるが、多くは途中で切断され下流域までつながない。

羊蹄山の扇状地は標高600m付近を境にして、ガリーの刻まれた上流部(傾斜10~15°)と氾らん原の広がる下流部(傾斜7~10°)とに区別される³⁷⁾。標高300m付近の山麓周縁には多数の湧泉が認められ、耕地および集落はこの湧泉より下方に点在している。

b. 開拓の歴史と災害

現在、標高400m以上は森林帯で、北海道道有林の管轄下にある。同時に、この一帯は支笏洞爺国立公園の一部にあたり、土砂流出防備保安林の指定を受けている。標高400m以下は私有地で、カラマツ・トドマツの造林地や放牧地として利用されている。標高300m付近の湧水帯より下方では馬鈴薯・テンサイ・アスパラガスなどが栽培され、部分的に水田も存在する。

山麓開拓の歴史は明治27年(1894)、現在の倶知安町富士見地区に1戸が入植したことに始まる。明治30年代に入ると開拓は山麓全域に及び、大正7年(1918)には農家戸数574戸、耕地面積4,500町歩に達したが²⁶⁾、水利の不便さや経済不況に加えて、たび重なる土石流出が耕地の埋没ならびに表土の流亡をまねいたため、大正末期から昭和初期にかけて耕地は後退・減少した。この時期に放棄された耕地は、その後、農廢地造林地に転用されている。

『大正9年(1920)、羊蹄山のガリー甚し。春以来の豪雨で土砂岩石の流出等、これより毎年春秋降雨融雪期ごとに土砂の崩れ、流亡相つぎ畑地の埋没荒廢箇所100余に及ぶ』(真狩村史)²⁸⁾、『昭和2年(1927)10月の豪雨で羊蹄山の溪谷を伝って流れる水量は増し、このため西2号地内

では耕地 30 数町歩が土砂に埋まり、一瞬にして農作物は荒れくるう水と土砂に押し流され、5, 6 戸の農家は経営できずに土地を離れた』(倶知安町史)²⁶⁾『昭和 5 年 (1930) 8 月 20 日、羊蹄山の中腹より突如として噴き出した濁水は、一瞬にして大石巨木を押し流し、字川西共同墓地、火葬場の南方付近一帯を洗って尻別川に流失し、耕地山林原野の嫌なく激流と化し、遂に付近の農家の日和房一は激流に吞まれて水死をとげ、さらに同人飼養の耕馬もまた水死するに至った』(京極村史)²⁸⁾と、山麓をとりまく各町村の史料は当時の災害状況を伝えている。

第二次大戦後、食糧増産のため耕地は一時的に増大したが、昭和 30 年 (1954) 以降は減少の一途をたどっている。昭和 45 年 (1970) 頃から、観光・不動産業者による林地や農耕地の買占めが北一東山麓を中心に目立ちはじめ、分譲別荘地として姿を変えつつある。

歴史的には、開拓が進展し、耕地がより上流部へ拡大するにつれて、土石流出による被害が顕著にあらわれている。南山麓の真狩村では大正 9, 11, 12 年、昭和 7, 10, 25, 27, 28 年に、東山麓の喜茂別町および京極町では昭和 5, 7, 10, 28 年に、北山麓の倶知安町では大正 9 年、昭和 2, 4, 28 年にそれぞれ大規模な土石流が発生している²⁵⁾。いずれも本格的な治山事業の開始される以前の記録であるが、それはまた、開拓の進ちょく状況を示すパラメーターでもある。土石流による犠牲者は、これまで滝の沢での 1 名だけである。犠牲者の少ない理由として、居住地が山麓の無水地帯にまで上昇しなかったことと、被災地の多くはその後利用されなかったことが挙げられる。

2. 治山事業経過

a. 初期の治山事業

土石流災害に対して、戦前期には被災地の放棄といった消極的な対応しかみられず、わずかに昭和 9 年 (1934)、京極町において一大溝渠が掘削されたにすぎない²³⁾。この工事は昭和 5, 9 年の土石流発生を契機に、災害予防および避難の対策として地方費の補助を受け、町自体で実施されたものである。

北海道で治山事業が開始されたのは林政統一後の昭和 23 年 (1948) で、民有林においては最初、各支庁の手で事業が実施された。昭和 25 年 (1950) になると、北海道林務部の 6 つの林務署管内で治山事業が開始されている¹⁶⁾。当時の治山事業実績によると、昭和 25, 26 年の 2 カ年にわたり、倶知安林務署で羊蹄山を対象に水源林造成事業が実施されており、これが羊蹄山における治山事業のはじまりである。昭和 28 年 (1953) からは、他の林務署に先がけて荒廃防止事業が開始されているが、具体的な工事はみあたらず、ガリー復旧計画を目的とする荒廃実態調査が行なわれたにすぎない。

昭和 20 年代における北海道治山事業のうち、荒廃防止・崩壊復旧事業は主に石狩川水系樺戸山地と尻別川流域羊蹄山に重点を置いて進められた¹⁶⁾。樺戸山地は地すべりを含む第三紀層の荒廃溪流で、道央の代表的な防災拠点であることと、羊蹄山は、ガリーの発達ならびに山腹の荒廃状況から受けるイメージが、道南開発に際して国土保全事業を推進させなければならな

いという当時の政策²⁹⁾に沿って、荒廃防止事業の代表的な対象地に指定されたためと考えられる。もちろん、開拓以来のたび重なる土石流災害が羊蹄山における治山事業開始につながったことは否定し得ないが、一方においてこのような行政的側面が事業開始の背景にあったといえる。

b. 治山事業の実績

昭和32年(1957)、南山麓の真狩基地の沢に床固工としてダム2基が施工されたのを皮切りに、構造物にウエイトを置いた本格的な治山事業が始まった。昭和35年(1960)には北山麓の雪崩の沢で、翌36年には東山麓の京極基地の沢でそれぞれ治山工事が始まり、表-2に示すように、昭和50年(1975)までに9本の沢を対象に総額4億8千万円の事業費(北海道治山事業関係のみ)がつけ込まれている。

事業の目的は山麓に存在する農耕地・家屋・道路などの保全であり、標高400m付近の道有林界より下流への土石流出抑止ならびに上流部荒廃地帯の安定化をめざした治山工事が実施されている。植栽工事はほとんど行なわれず、ダムを使用した土木工事が大半を占める。具体

表-2 治山事業実績 (北海道)

町 村	工 事 地 区	構 造 物 (基)	工 費 (円)	
真 狩 村	真狩基地の沢	床固工 23	124,260,514	
	泉 の 沢	土留工 3	24,379,000	
	神 社 の 沢	土留工 3	15,530,000	
京 極 町	京極基地の沢	床固工 6	23,442,587	
	滝 の 沢	床固工15・土留工10	57,865,000	
俱 知 安 町	156号の沢	床固工 21	71,430,000	
	青木の沢	床固工2・土留工2	32,502,000	
	藤田の沢	床固工 8	38,407,000	
	雪崩の沢	床固工25・土留工2	92,936,944	
計			120	480,753,045

(昭和50年現在)

表-3 治山事業実績 (民有林直轄)

町 村	工 事 地 区	構 造 物 (基)
俱 知 安 町	藤 田 の 沢	床 固 工 9
	青 木 の 沢	床 固 工 8
	雪 崩 の 沢	床 固 工 5
計		22

(昭和50年現在)

的には、ガリーの縦侵食防止とそこからの土石流出抑止、氾らん原での流路固定、ならびに堆積土石の再移協抑止を目的に床固工や土留工などの構造物が施工され、その位置はガリーと氾らん原に大別される。

昭和25年(1950)以来、山麓全域の治山工事は北海道林務部によって実施されてきたが、昭和47年(1972)以降は、北斜面を国が直接、民有林直轄治山事業として取り扱うことにな

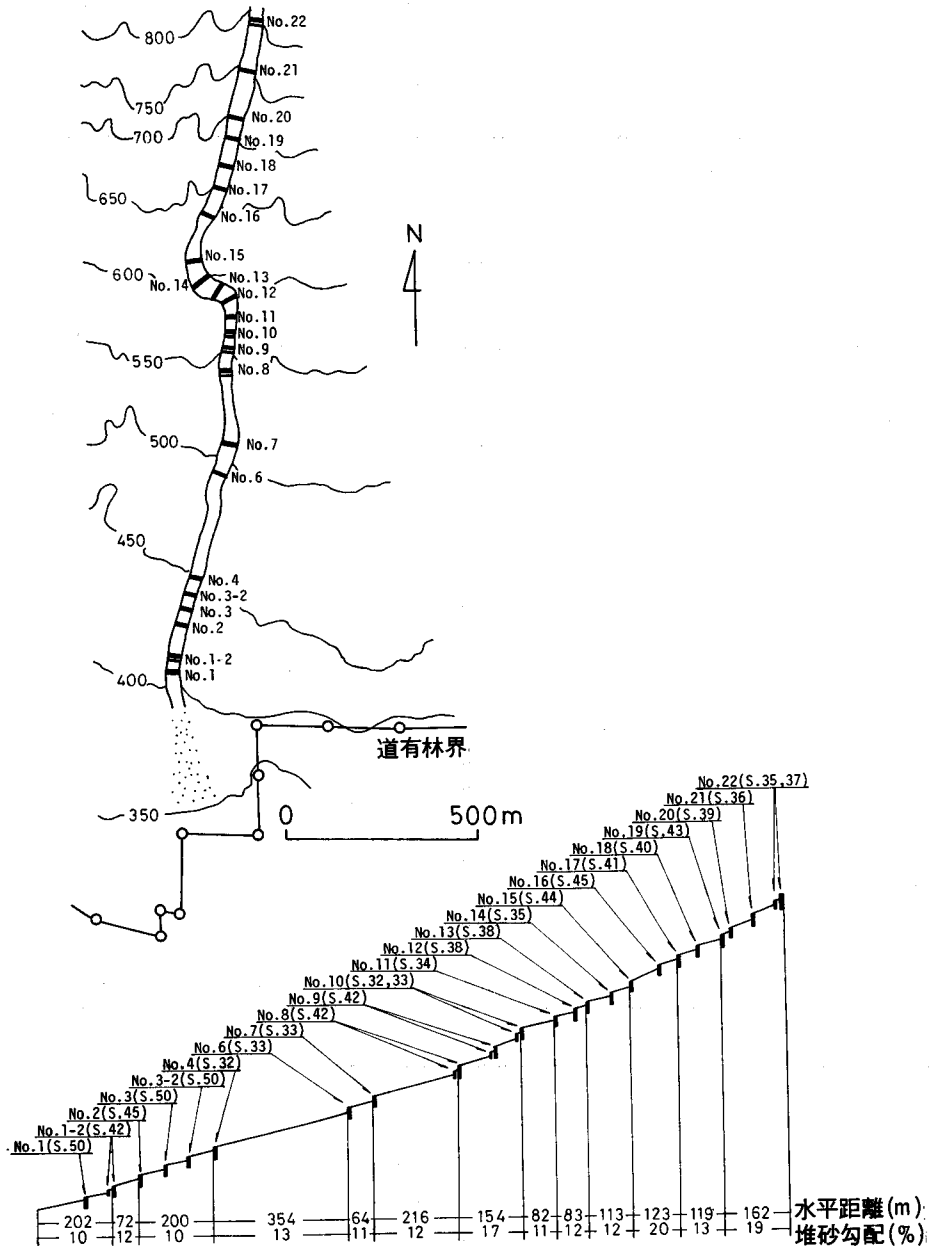


図-5 ダム配置図(真狩基地の沢)

り、函館営林局倶知安営林署尻別川治山事業所が工事の実行にあっている。民有林直轄治山事業は水源池の沢から登山道の沢まで計11本の沢を対象に実施され、表-3に示すように3本の沢で22基のダムが施工されている。

本論文で対象にした代表的な4本のガリーにおける工事経過は次のとおりである。

i) 真狩基地の沢

羊蹄山の治山工事で最初に手のつけられた真狩基地の沢は、南斜面に位置する総延長

表-4 真狩基地の沢に施工された構造物

施工年度	No.	体積 (m ³)	堤高 (m)	堤長 (m)
S. 32	4	91.0	4.0	16.0
32	10	311.5	7.0	24.0
33	10-前堤工	87.4	3.5	14.0
33	6	211.1	5.5	21.0
33	7	361.4	7.0	22.0
34	11	588.7	9.0	27.0
35	14	705.5	9.5	36.0
35	22	1,048.6	11.0	36.5
36	21	586.7	9.0	25.5
37	22-前堤工	389.8	5.0	21.5
38	12	498.3	6.0	35.0
38	13	432.2	6.0	28.0
39	20	786.9	10.0	37.5
40	18	694.7	10.0	33.0
41	17	596.5	10.0	28.5
42	1-2 (前堤工付)	233.5	6.5	18.5
42	8 (前堤工付)	201.4	5.5	15.5
42	9 (前堤工付)	258.6	5.5	22.5
43	19	512.9	8.0	31.0
44	15	1,047.3	10.0	51.0
45	2	255.9	6.0	22.0
45	16	285.0	6.0	22.0
50	1	156.8	4.5	16.0
50	3	254.2	6.0	19.0
50	3-2	221.4	5.5	18.0

その他の構造物

施工年度	工種	数量	内容
S. 42	伏工	23,200.0 m ²	金網
43	伏工	235.5 m ²	金網
42	水路工	185.0 m	蛇籠
42	積工	212.0 m ³	フトン籠
43	積工	460.0 m ³	フトン籠

2,200 m のガリーで、下流域には真狩町の中心街が発達している。ガリーは標高 1,500 m 付近から始まり、標高 600 m より下流に扇状地が広がる。扇状地中央部は深さ 20 m にわたって侵食され、標高 380 m 付近までガリーが続く。これより下流は氾らん原である。

図-5 に示したように、標高 400~820 m のガリー区間に 23 基のダムが施工されている。

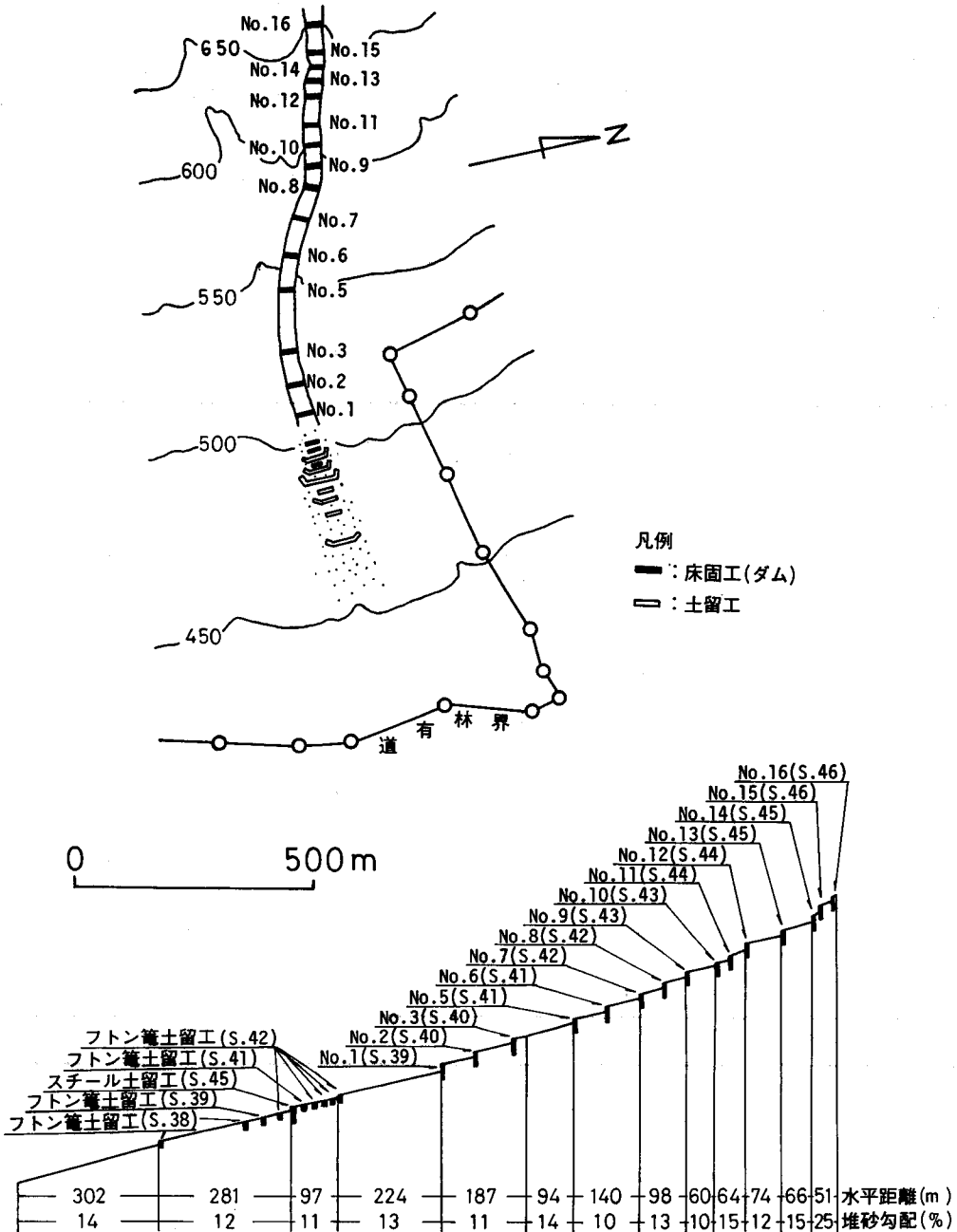


図-6 ダム配置図(滝の沢)

昭和32年(1957)に標高450mおよび540mの地点に玉石コンクリート床固工と練積床固工が施工された。昭和35年(1960)には、標高600mの地点から上流に向って、工事材料運搬の目的で索道(延長700m)が架設され、ガリー上流部でのダム工事が始まった。現在、工事の中心はガリー下流部に移ってきている。なお、昭和42年(1967)に標高600m付近のガリー側壁に伏工が、汜らん原に水路工がそれぞれ施工されている。表-4に構造物の種類を示した。

ii) 滝の沢

東斜面に刻まれた滝の沢は、標高1,100m付近から始まる総延長1,800mのガリーである。標高640mより下流は扇状地となるが、流水が扇状地を侵食して、10~15mの深さでガリーが標高500m付近まで続く。これより下流は汜らん原となり、複数の流路が汜らん原上に認められる。

工事はまず、汜らん原において始まり、昭和38年(1963)、標高470mの地点にフトン籠土留工が施工された。図-6に示したように、昭和39年(1964)以降、標高510mのガリー出

表-5 滝の沢に施工された構造物

施工年度	No.	体積 (m^3)	堤高 (m)	堤長 (m)
S. 39	1	188.9	6.0	20.5
40	2	131.7	5.5	18.0
40	3	100.1	4.5	16.0
41	5	152.0	5.0	21.0
41	6	125.5	4.5	18.0
42	7	319.2	6.0	18.0
42	8	189.7	6.5	20.0
43	9	172.3	5.0	18.5
43	10	189.2	6.5	18.0
44	11	262.4	5.5	23.0
44	12	197.3	5.0	22.0
45	13	172.4	5.0	19.0
45	14	207.2	5.0	22.0
45	スチール製土留工	138.7	5.0	32.0(スチール部分)
46	15	288.9	4.5	27.0
46	16	275.3	4.5	27.0

その他の構造物

施工年度	工種	数量	内容
S. 38	フトン籠土留工	250 m	2カ所(高さ0.4m, 幅12m)
39	フトン籠土留工	70 m	1カ所(//)
40	フトン籠土留工	100 m	1カ所(//)
41	フトン籠土留工	100 m	5カ所(//)

口付近から上流に向かって15基のダムが施工されている。氾らん原には9基のフトン籠土留工が設置され、昭和45年(1970)に分散方式の鋼製土留工が施工された。なお、昭和44年(1969)に、ガリー上流部でのダム工事実施のため、インクライン(延長117m)が導入され、翌45年には標高640mの地点から上流に向かって索道(延長250m)が架設された。表-5に構造物の種類を示した。

iii) 雪崩の沢

北西斜面に刻まれた雪崩の沢は、標高1,600mから始まる総延長4,200mのガリーである。標高520mから扇状地が広がり、ガリーは扇頂部でいったん消滅するが、引き続き深さ2~3mの流路が扇面に刻まれ、標高350m付近まで続く。標高400~500mの間は昭和28年(1953)の土石流によって出現した氾らん原である。

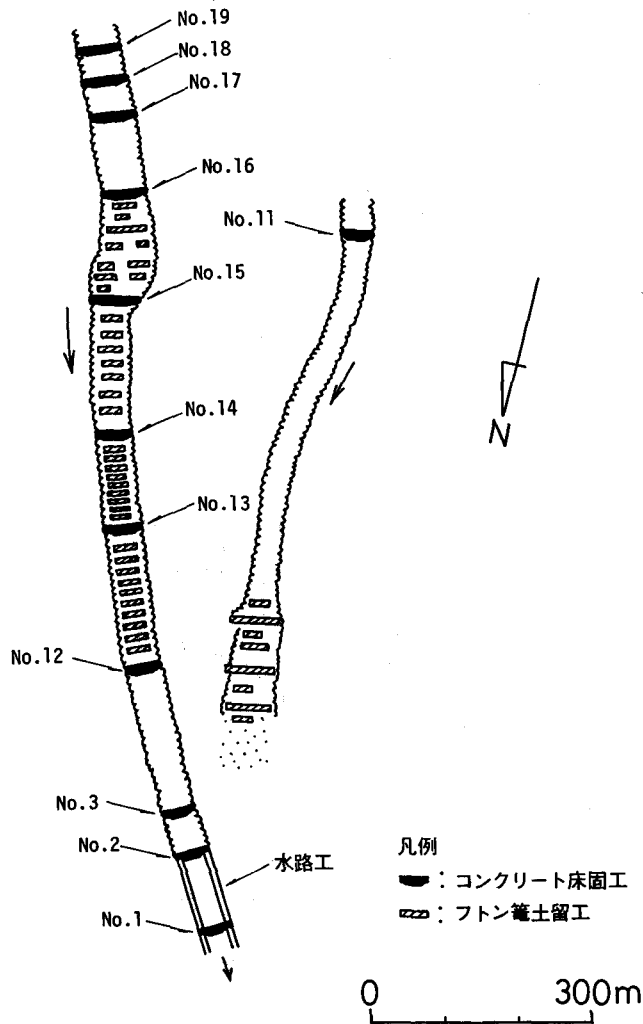


図-7 被災前の施工状況(雪崩の沢)

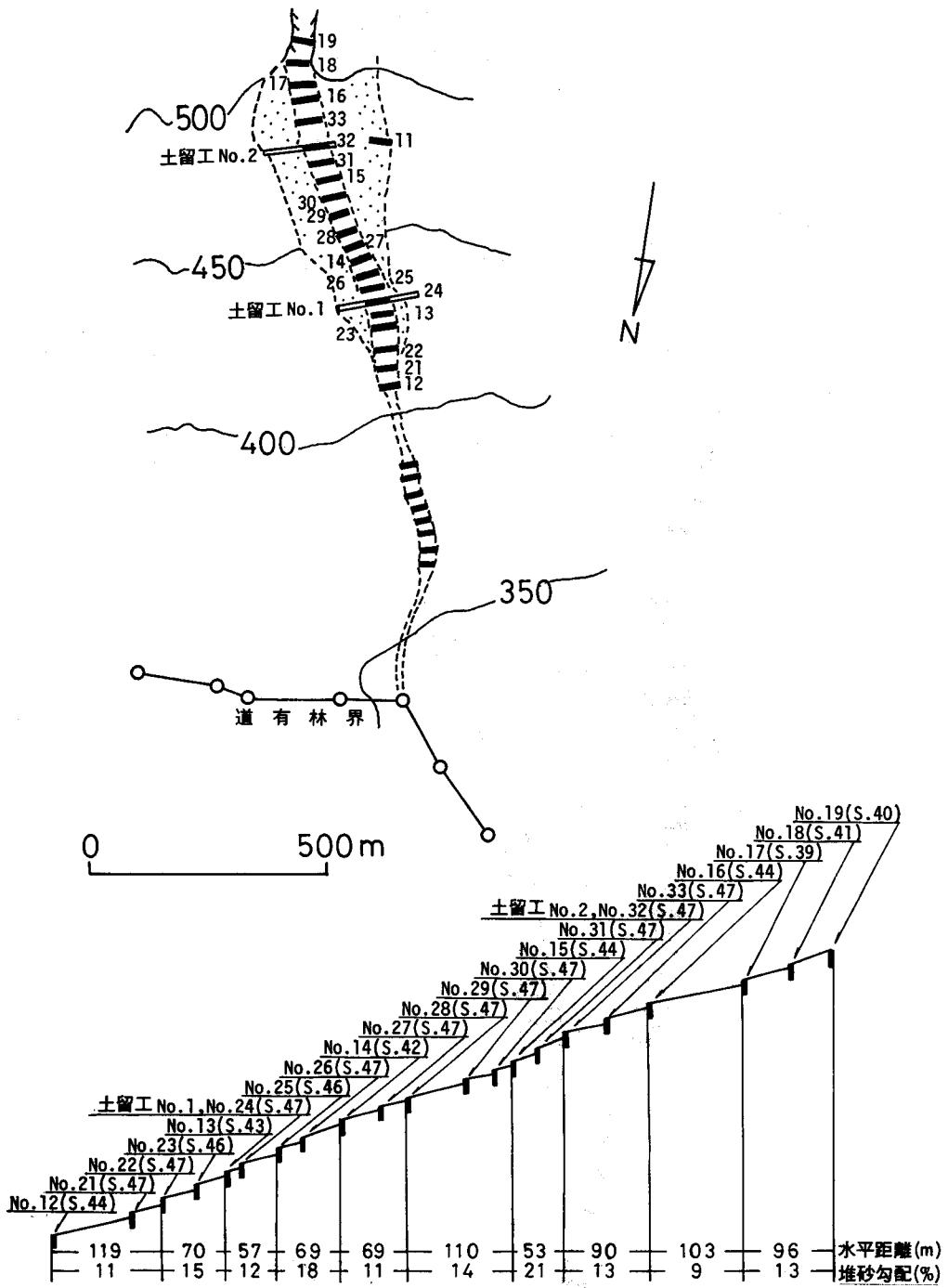


図-8 ダム配置図(雪崩の沢)

表-6 雪崩の沢に施工された構造物

施工機関	施工年度	No.	体積 (m ³)	堤高 (m)	堤長 (m)
北海道 林務部	S. 35	1	48.5	2.5	16.0
	35	2	55.9	3.0	16.0
	36	3	60.6	2.5	18.0
	39	17	245.9	6.5	21.5
	40	19	165.2	5.0	20.5
	41	18	162.6	5.0	18.0
	42	14	83.6	2.5	20.0
	43	13	79.9	2.5	20.0
	43	11	252.5	4.5	21.0
	44	15	108.2	3.5	20.0
	44	16	205.2	5.0	26.5
	44	12	113.6	3.5	20.0
	46	23	324.5	5.5	28.5
	46	25	129.6	3.5	20.0
	47	土留工 No. 1	583.2	4.5	105.5
	47	24	117.9	2.5	18.5
	47	土留工 No. 2	369.8	4.5	70.0
	47	32	138.1	3.0	19.0
	47	21	149.7	3.5	20.0
	47	22	183.5	4.0	22.0
	47	26	191.9	4.5	20.0
	47	27	214.0	5.0	20.0
	47	28	191.9	4.5	20.0
47	29	214.0	5.0	20.0	
47	30	157.3	4.0	18.0	
47	31	183.5	4.0	22.0	
47	33	182.4	4.0	19.0	
函館営林局 民有林直轄	48	3	—	3.5	23.2
	49	4	—	4.0	35.0
	49	5	—	4.5	30.0
	50	7	—	3.0	56.0
	50	8	—	2.5	33.0

その他の構造物

施工機関	施工年度	工種	数量	内容
北海道 林務部	S. 36	水路工	150 m	
	37	護岸工	180 m	
	37	フトン籠土留工	300 m	本流5カ所
	38	フトン籠土留工	200 m	本流8カ所
	42	フトン籠土留工	123 m	本流4カ所, 支流2カ所
	43	フトン籠土留工	124 m	本流7カ所, 支流3カ所
44	フトン籠土留工	197 m	本流12カ所, 支流3カ所	

工事は扇状地の流路を対象に実施され、昭和35年(1960)に2基の玉石コンクリート谷止工が標高370m付近の流路に施工された。次いで、床固工、フトン籠土留工、掘割水路工および蛇籠護岸工の施工をみるが、昭和41、45年の2度にわたる土石流発生で大量の土石が施工区間に流入し、大半の土留工を破壊・流失させた。図-7は被災前の築工状況である。昭和47年(1972)に災害復旧工事が始まり、図-8に示したように12基のコンクリート床固工と2基のコンクリート土留工が新たに施工されている。昭和48年(1973)以降、直轄治山工事が実施され、標高370m付近に5基のコンクリート床固工が施工されている。表-6に構造物の種類を示した。

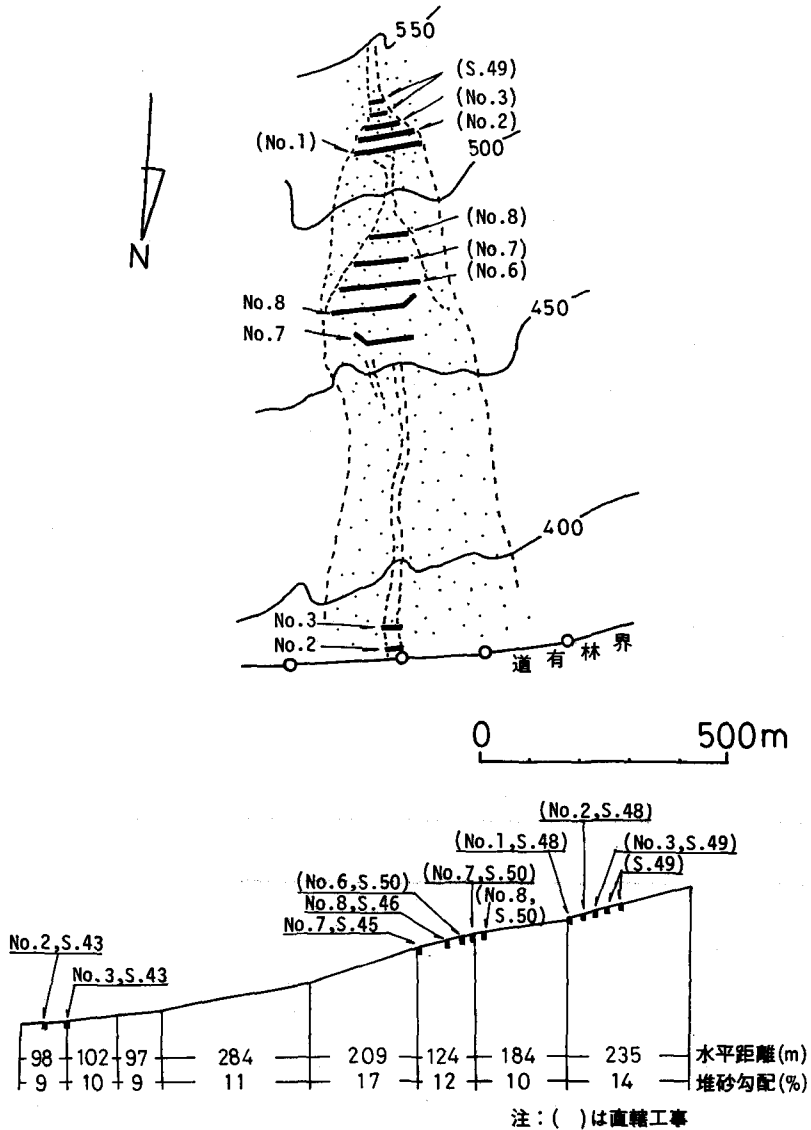


図-9 ダム配置図(青木の沢)

注：()は直轄工事

iv) 青木の沢

北斜面に位置する青木の沢は総延長 3,000m のガリーで、山頂直下から始まる。標高 600m より下流に扇状地が広がり、深さ 3~15m の流路が扇面に刻まれている。流路は標高 480m 付近でいったん消滅するが、標高 400m では再び深さ 2~3m に発達する。

工事は昭和 43 年 (1968) に始まり、私有地に隣接する標高 380m の地点の流路に、まず 2 基のコンクリート床固工が施工された。昭和 45, 46 年には、標高 470m 付近に 2 基の分散方式の鋼製土留工が施工されている。昭和 47 年 (1972) 以降、直轄治山工事が実施され、図-9 に示すように氾らん原上 2カ所にわたって計 5 基の分散ダム¹²⁾が、また、その上流部に 2 基の床固工が施工されている。分散ダムの間隔はそれぞれ 20m であり、表-7 に構造物の種類を示した。

表-7 青木の沢に施工された構造物

施工機関	施工年度	No.	体積 (m ³)	堤高 (m)	堤長 (m)
北海道 林務部	S. 43	2	104.6	3.5	16.0
	43	3	83.9	3.0	16.0
	45	7 (スチールダム)	222.8	4.0	63.0
	46	8 (スチールダム)	581.7	3.5	164.0
函館営林局 民有林直轄	48	1	—	4.0	96.0
	48	2	—	5.0	100.0
	49	3	—	3.5	78.0
	50	6	—	2.0	121.0
	50	7	—	2.0	83.0
	50	8	—	2.0	50.0

3. 治山工事の特徴

a. 北海道

治山事業の目的は山麓の耕地、家屋、道路などを土砂害からまもることであり、具体的には道有林からの土石流出を抑止するため、溪間工事を主体として、ガリーの安定に重点を置いた工事計画が立てられた¹⁷⁾。山腹に刻まれたガリーが侵食の最もさかんな個所で、道有林から下流へ流出する土石の大半はこの区間で生成されるため、ガリーにおける土石再生産防止が工事の重要課題だと考えられたのである¹⁸⁾。当時の工事関係者の間には、土石生産源であるガリーを安定化すれば、道有林から下流への土石流出はいずれおさまるであろうという見解があったと推察される。同時に、氾らん原における堆積土石の再移動も問題になり、工事はこの区間においても実施されている。

ガリーの出口が私有地境界から 400~600m しか離れていない真狩基地の沢や滝の沢では、ガリーにおいて縦侵食防止および土石流出抑止の目的で、また、ガリーの出口から私有地境界

までの距離が1,500~2,000 mと比較的長い青木の沢や雪崩の沢では、氾らん原において流路固定および2次侵食防止の目的で、それぞれ工事が実施された。ガリーあるいは氾らん原のどちらを対象に工事を行なうべきかは、各沢の荒廃状況もさることながら、工事対象地と私有地との距離関係にかかっていたと思われる。したがって、真狩基地の沢や滝の沢ではガリーの安定が急務とされ、青木の沢や雪崩の沢では氾らん原の2次侵食がより重要な問題になったと考えられる。

工事はガリーや氾らん原流路のような谷地形に応じて実施されたため、表-8に示したよう

表-8 工種一覧表

施工機関	地区	工種	数量	材料	施工位置	施工目的
北海道 道 林 務 部	真狩 基地 の 沢	床固工	23基	コンクリート・石積・ 玉石コンクリート	ガリー	縦侵食防止
		伏工	2,555.5 m ²	金網	ガリー側壁	崩壊防止
		水路工	185 m	蛇籠	氾らん原流路	流路固定
		積工	117.2 m ³	フトン籠	ダム堤側部	ダム保護
函館 市 有 限 公 司 直 轄 局	滝 の 沢	床固工	15基	コンクリート	ガリー	縦侵食防止
		土留工	1基	スチール	氾らん原	土石分散・流出抑止
		土留工	9基	フトン籠	氾らん原	土石流出抑止
北海道 道 林 務 部	青木 の 沢	床固工	2基	コンクリート	氾らん原流路	流路固定
		土留工	2基	スチール	氾らん原	土石分散・流出抑止
		床固工	8基	コンクリート	氾らん原	土石分散・流出抑止
	雪 崩 の 沢	床固工	5基	コンクリート	氾らん原流路	流末水処理
		床固工	25基	コンクリート・ 玉石コンクリート	氾らん原流路	流路固定
		土留工	44基	フトン籠	氾らん原流路	土石流出抑止
護 岸 工	土留工	2基	コンクリート	氾らん原	土石分散・流出抑止	
	水路工	150 m	蛇籠	氾らん原流路	流路固定	
護岸工	180 m	蛇籠	氾らん原流路	流路整備		

(昭和50年現在)

に、施工された工種も、溪間工の色彩が濃い。数量的にはコンクリートの床固工(ダム)が圧倒的に多く、氾らん原では、地表が流動しやすい堆積物から構成されるため、変形に耐え得るフトン籠が土留工の材料に多く使用されている。この他に、真狩基地の沢では既設床固工の前庭部における洗掘が著しくなったため、ダム保護の目的で新たに5基の副ダムが施工されている。

構造物の設計基準をみると、ガリー内においても氾らん原の流路においても主に床固工や土留工が階段状に施工されている。真狩基地の沢では延長1,700 mのガリー区間に、計画溪床勾配を6%としてそれぞれのダム施工地点が決められている¹⁰⁾。施工順序はその時点でのガリー状態をみて決めるということになっていたようで、最初は一般的な治山計画の基準に沿って200~300 m間隔でダムが施工された。滝の沢では、ガリーの溪床勾配を基準にして、ガリー出口付近から上流に向かってダムが順次階段状に施工され、ダムとダムとの間隔は平均60 mとなっている。雪崩の沢におけるダム工事も堆砂勾配を基準にしたものである。昭和41、45年の土石流発生以前には、コンクリート床固工が150 m間隔で、また、フトン籠土留工が10 m間隔でそれぞれ階段状に施工され、土砂害発生後は、新たに20 m間隔で床固工が施工されている。

b. 民有林直轄工事

直轄治山工事は谷止工や床固工を主体にした面的溪間工方式で、氾らん原を対象に実施されている。全体工事計画³⁸⁾のなかでは、標高300~600 mの堆積地帯における土石再移動を防止することが、目下の重点目標になっている。

構造物の最も多い青木の沢を例にとりて若干説明すると次のとおりである。この沢の工事目的は、氾らん原における流出土石の分散処理と堆積土石の再移動抑止である。工事は氾らん原の面的処理を行なうため、流路の谷地形に合わせたものでなく、堤長50~120 mといった長大なダムを群構成になるように施工している。これらのダムは、貯砂および勾配緩和の目的をもたないため、特定の放水路を持たず、提高も1~2 mと低く、埋設工に近い形をなしている。ダムの配列は、ダム相互間の連けいを目的とし、ダム間隔を20 mとして、3基を1組となるようにしている。

以上述べたように、これまで実施された工事は、ガリー内のダム工事、氾らん原流路でのダム工事、ならびに分散方式のダム工事に大別できる。それぞれの工事がもっている特徴は表-9に示したようになる。

表-9 工種・工法の特徴

施工位置	地形 地質的制約	目的	工種	工法	設計基準
ガリー	谷地形 脆弱地盤	縦侵食防止 土石流出抑止	床固工	連続ダム工法	階段状 (堆砂勾配)
氾らん原流路	谷地形 脆弱地盤	流路固定 2次侵食防止	床固工	連続ダム工法	階段状 (堆砂勾配)
氾らん原	脆弱地盤	土石分散 再移動抑止	床固工 (分散ダム)	土石分散ダム工法	ダム相互連けい (距離)

治山工事と侵食現象

1. ガリー内の縦侵食防止

羊蹄山のように土石流動の著しい地帯のガリーに施工された治山ダムは、築造後1年内外で満砂状態になってしまう。ダム直上流部の堆積土石はダムの天端によって固定されるが、流水はダムを越流し、落下エネルギーによってダム前庭部を洗掘する。また、ダムは上流からの土石供給をカットするため、ダムの下流部には新しい侵食現象が起こる。

昭和36年(1961)、真狩基地の沢で土石流が発生した際、No.14ダムとNo.22ダムの前庭部が洗掘され、堤底が約2m露出した。同じくNo.4ダムとNo.6ダムの堤底も露出寸前になっている¹⁰⁾。これらのダムは堤高9~11mと相対的に高く、下流のダムと数100m離れた位置に施工されていたものである。下流のダムとの間隔が360mと離れているNo.6ダムの堤底は、いまでは約80cm露出している。また、ダムとダムとの間隔が数100m離れている区間では、他の区間に比べて洗掘傾向が著しい。逆に、ダムが下流側から平均60mの間隔で順次施工された滝の沢では、工事後数回の土石流出が氾らん原に認められるにもかかわらず、ダム前庭部の洗掘は生じておらず、施工区間も比較的平穏な様相を呈している。この沢に施工されたダムは、真狩基地の沢のダムに比べると、相対的に低いのが特徴である。

したがって、ガリーの安定化を目的としたダム工事では、ダムの施工順序、施工間隔および堤高が、目的を達成できるかどうかの重要な問題になると考えられる。換言すれば、堆砂勾配を基準としたダム配置では、施工区間における侵食現象を抑えることはできないということである。

昭和49、50年と連続して真狩基地の沢に土石流が発生し、氾らん原下流に位置する道路および造林地に大量の土石が流入した。昭和50年土石流発生直後、現地を踏査したところ、氾らん原の荒廃とは対照的にガリーのダム施工区間は安定しており、土石流の通過した痕跡は認められなかった。ガリー底には、昭和41年の土石流発生後、侵入したと思われるナガバヤナギの一斉林(8年生)が認められたことから、下流に被害をもたらした昭和49、50年の2度にわたる土石流は、少なくともNo.6ダムより下流で発生したと考えられるのである。

真狩基地の沢や滝の沢のように、ガリーにダムが連続して施工された結果、階段状に位置するダム天端によって施工区間における縦侵食は防止され、土石の流出も抑止されている。その点では、ガリーのダム工事は当初の目的を達したといえるが、土石がダム天端で再移動を抑えられるのに対し、流水は相変わらず谷地形であるガリーを集中した状態で流下する。したがって、流水の洗掘力はダムの存在によって減少することなく、ダム施工区間より下流における洗掘は、ダムの有無にかかわらず、引き続いて起こると推測される。さらに、連続したダム天端はある範囲で土石を停滞させるため、下流への土石供給が相対的に低下し、下流の氾らん原では洗掘が以前に比べて一層激しくなる。真狩基地の沢で昭和49、50年に発生した土石流はそ

の顕著な例であり、このような氾らん原での洗掘激化は、ガリー内のダム工事もたらした影響と考えられる。

2. 氾らん原での流路固定

滝の沢の氾らん原には数本の流路が確認され、最も規模の大きな流路に沿って、図-10に示したように、9基のフトン籠土留工と1基の分散方式の鋼製扶壁ダムが施工されている。氾らん原中央部に位置するこの鋼製ダム(堤長50m)の下流の流路は、鋼製ダムや並列的に組み合わせられたフトン籠土留工の効果的な役割によって安定し、樹林が形成されてほとんど古谷の様相を呈している。流路には、昭和41年(1966)の土石流発生後、侵入したとみられるヤナギやドロノキの一斉林が認められた。鋼製ダムの直上流には土石が約3,500m²にわたって堆積し、同じく昭和41年の土石流発生後侵入したヤナギの一斉林が存在する。この堆積物がその後の流水を妨げたらしく、ダム上流部から右側方に向けて新しい流路が形成される。新流路は、鋼製ダムの下流で深さ約1.5mに発達し、洗掘傾向が著しい。一方、堆積地からガリー出口に施工されたNo.1ダムまでの約200mの区間においては、洗掘・堆積が繰り返され、地表は著しい凹凸を呈し、流路中央部は周囲よりも約1.5m深くなっている。この区間に施工されたフトン籠土留工は、すべてが変形したり破壊され、埋没したものもある。

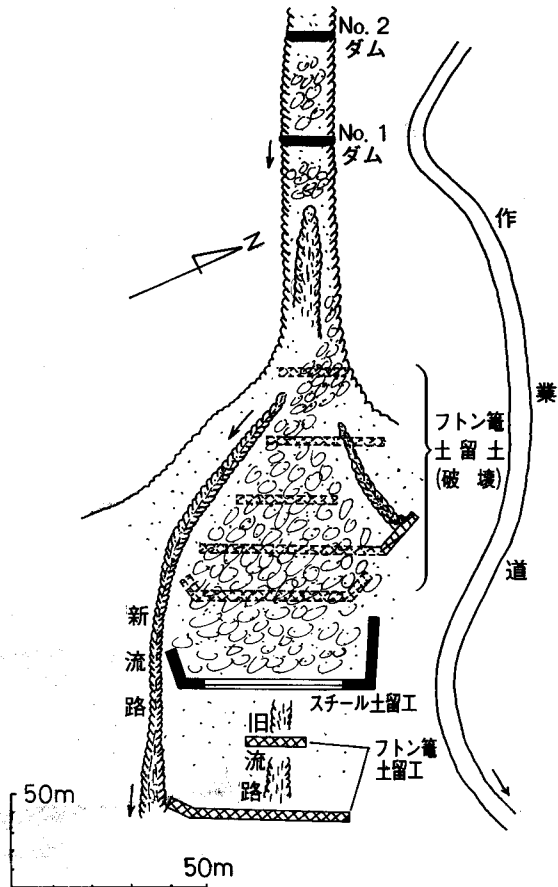
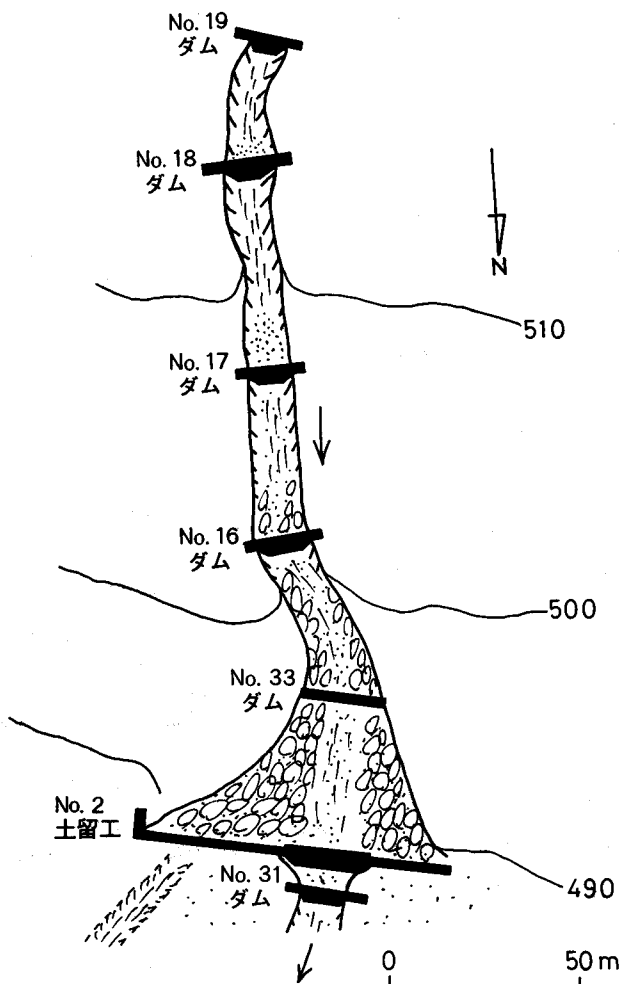


図-10 氾らん原のダム施工区間(滝の沢)

新流路は、鋼製ダムの下流で深さ約1.5mに発達し、洗掘傾向が著しい。一方、堆積地からガリー出口に施工されたNo.1ダムまでの約200mの区間においては、洗掘・堆積が繰り返され、地表は著しい凹凸を呈し、流路中央部は周囲よりも約1.5m深くなっている。この区間に施工されたフトン籠土留工は、すべてが変形したり破壊され、埋没したものもある。

滝の沢と同じく、氾らん原の流路にダム工事が実施された雪崩の沢では、昭和45年(1970)の土石流発生の際、ダム施工区間に巨礫、岩塊などが流入し、流路に設置されていたフトン籠土留工36基のうち、30基以上を破壊し流失させた。その後、新たに13基のコンクリート床固工と2基のコンクリート土留工が被災区間に施工されている。これらのダムが竣工した直後の昭和47年7月に再び土石流が発生し、No.2土留工の上流部で扇頂部にあたる約10,000m²のダム施工区間¹⁵⁾に、図-11に示したように、直径2m以上の岩塊を含む大量の土石が氾らん堆積した。この時、土留工を越流した水は泥や砂と一緒に側方のカンバ林に流入し、No.2土留



図—11 扇頂部のダム施工区間 (雪崩の沢)

工より下流の流路には水が通過しただけで、昭和45年の土石流発生の際と異なり、氾らん原流路への土石流入、ならびに構造物の破壊は認められなかった。

二つの沢での施工例から、流路に床固工や土留工を並列的に配置すれば、流路固定と2次侵食防止の目的は達せられるが、施工区間の上流部から大量の土石が流出すると、流路閉塞や構造物破壊のおそれの生じることがわかる。堤長50~70mといった土留工は、その背後に広大な氾らん堆積地をつくり出し、ここで水と土石が分離するため、その下流は構造物の並列的な配置も手伝って安定化される。しかし、滝の沢の事例が示すように、単独のダムで氾らん原の流路変動を抑えることは無理なようである。また、雪崩の沢と滝の沢の扇頂部を比較すると、前者ではダムとダムとが連けいして、扇頂部の安定化がはかられている。それに対して、後者ではダムとダムとの間隔が320mも離れているため、その間で流下水の転流、集中、洗掘が生じ、新流路の形成につながっている。したがって、氾らん原を安定化するためには、まず、

扇頂部の処理が必要になると考えられる。

水と土石の流動に関して、氾らん原では流路が容易に変動し、その原因となるのは主にダム背後の堆積物など、水の流下を妨げる地表の起伏であると考えられる。さらに、流下水の集中が新流路の形成につながるといえる。したがって、氾らん原では、たとえ既存の流路を対象に工事を行なっても、流路変動によって新しい流路が形成され、そこでの洗掘が生じるため、氾らん原の安定化という意味からすれば、一時的な流路に実施された工事には限界があるといえる。

3. 分散方式の治山工法¹³⁾

昭和50年9月、青木の沢において土石流が発生し、図-12に示したように氾らん原カ2所の分散方式ダム施工区間に土石が氾らん堆積した。S. 50ダム区間には、ほぼ全体にわたって土石が氾らんし、中央部から上流部にかけて土石流末端とみられる約500m²の岩塊堆積が認められた。その上流の長さ165mにわたる流路区間は、土石流発生以前に比べて2m以上も深く洗掘された。S. 48, 49ダム区間には土石が中高のレンズ状に堆積したが、中央部はダム天端線まで流下水の侵食を受けて凹状を呈していた。また、ダムの天端には径2m以上の岩塊がのっていた。S. 50ダム区間より下流では、流下水が再び集中したらしく、ササ

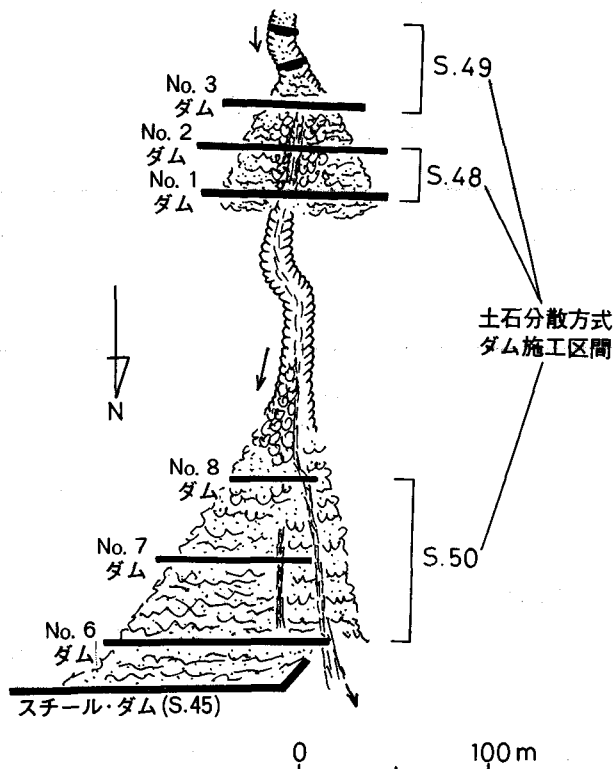


図-12 昭和50年土石流氾らん状況(青木の沢)

自生地を侵食した痕跡が認められた。ただし、ダム区間からの流出は細粒砂や泥土にとどまっていた。

土石流発生直後、現地においてダム天端を基準に地形測量を行ない、その結果から各区間における洗掘・堆積量を算出したのが図-13である。図に示されたように、区間(1)の堆積土石量は、区間(2)と(4)の洗掘量の合計にはほぼ等しいことがわかる。したがって、上流から流出した土石は、S. 48, 49 ダム区間でいったん氾らん堆積したが、その一部は後続の流下水に洗掘されて再び流動化し、下流の流路区間で流下集中水によって洗掘された土石と相まって土石流化して、S. 50 ダム区間で氾らん堆積したと推測される。すなわち、土石流は S. 48, 49 ダム区間でいったん消滅したが、流下水の集中により、下流の流路区間で新しい土石流が発生したと考えられるのである。この場合、流下水の集中・洗掘と堆積土石の再移動が土石流発生の一因になったといえる。

氾らん原のなかに施工された2カ所のダム区間において、図-13に示されたように約4,600 m³の土石が氾らん堆積し、土石流は消滅している。さらに、S. 50 ダム区間からの流出が細粒砂と泥土にとどまったことは、土石流として流出した土石が両方のダム区間で堆積し終ったことを示すとともに、ダム施工によって下流への土石再移動が抑止されたことを物語っている。したがって、分散方式のダム工事は、土石流の流下に際して土石の分散と再移動抑止に効果をあげたといえる。

青木の沢に施工された分散ダムは、いずれも堤長が50~100 mと長く、逆に堤高は0.5~2 mと低いものである。雪崩の沢や滝の沢に施工された分散方式の土留工も同様であり、これ

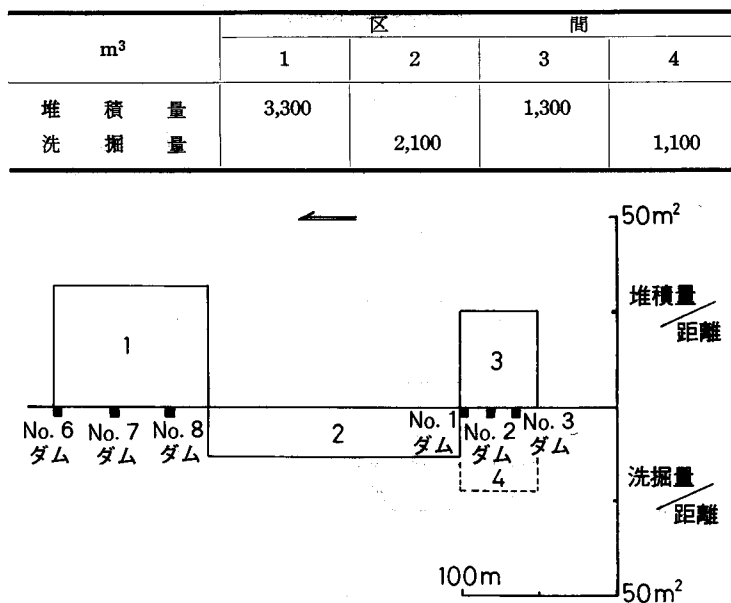


図-13 昭和50年土石流堆積・洗掘模式図(青木の沢)

らのダムに共通した点は、横に広がりをもつダム天端と、放水路のない形状である。ダムの背後には氾らん堆積地がつくり出され、土石がダムの天端面よりも盛上がった状態で堆積している。すなわち、土石と混合状態で流動してきた流水は、ダム天端の広がりによって左右に拡散し、水位が相対的に低下するため、堆積が促進され、盛上がった堆積形態になると考えられる。青木の沢のダム天端上で認められた岩塊は、こうした水位低下により取り残されたといえる。ダム背後の堆積物のうち細粒砂や泥土は、やがて流水によって下流へ運ばれるが、横に広がりのあるダム天端が流水の集中を抑制するため、後述するように、岩塊の存在によって発生する土石流のような急激な流動形態をとらないと考えられる。

青木の沢に取り入れられた分散方式の治山工法¹³⁾は、こうしたダムを群として組み合わせることにより、人工的な氾らん空間をつくり出し、土石の分散処理をより一層確実なものにしている。ただし、ダム施工区間から下流での流下水集中が示すように、流末水の処理方法が残された課題になると考えられる。

4. 流動土石の特性

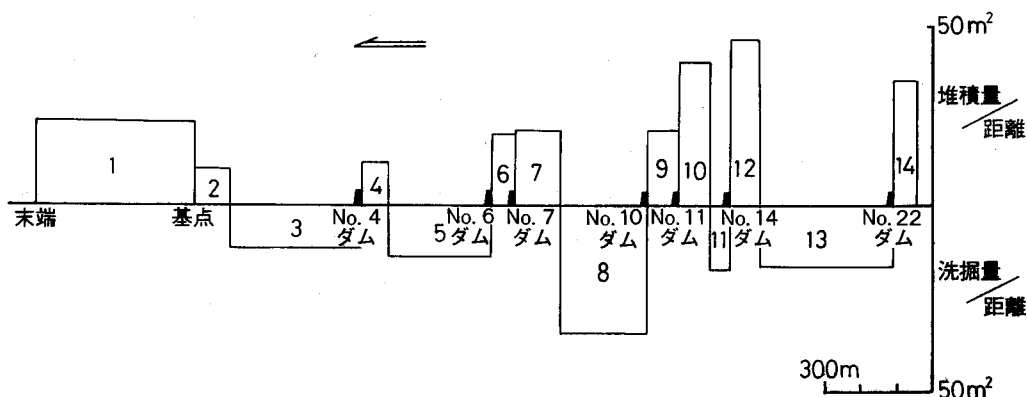
青木の沢に土石流が発生した直後の現地調査において、S. 49 ダム区間から約 300 m 上流の標高 600 m 付近の流路に、かつて天然ダムを形成していた径 4 m 以上の巨石の抜け出た跡が見つかった。周囲の状況から判断して、下流のダム区間に流出した土石流は、この地点で発生したと推測される²²⁾。つまり、天然ダムを形成していた巨石が豪雨の影響もあって滑動し、巨石の背後にせき止められていた土石が一時的に流動して、土石流化したと考えられるのである。溪床に存在する天然ダムの崩壊が土石流発生につながる事例は、他にも報告されており³¹⁾、流下水の集中とならんで、巨石による天然ダムの存在とその崩壊は、土石流発生の要因になり得ると考えられる。それと同時に、こうした巨石は、土石流構成材料の一つであるといつてよいだろう。

青木の沢の土石流は扇状地で発生したといえるが、一方、ガリー内で土石流の発生した例として、真狩基地の沢における昭和 36 年 (1961) の土石流が挙げられる。この時には、氾らん原下流の造林地に約 11,000 m³ の土石が流入した。その際の移動土石量が氾らん原とガリーでの地形測量をもとに算出されており¹⁰⁾、この値を模式化して図-14 に示した。

図に示されたように、ガリー内において堆積と洗掘が交互にあらわれている。堆積の大半はダムのせいであるとしても、ダム間隔の比較的長い区間である No. 4 ダム～No. 6 ダム (距離 360 m)、No. 7 ダム～No. 10 ダム (同 370 m)、ならびに No. 14 ダム～No. 22 ダム (同 450 m) では洗掘傾向が著しい。おそらく、ダム間隔が相対的に長くなると、ダムとダムとが互いに連けいしなくなるのであろうし、また、土石の洗掘・堆積が数 100 m の範囲内で繰り返されたと推定される。

図では、区間 (1) の堆積量が、区間 (2)～(8) の洗掘・堆積量の差引き合計にはほぼ等しく、区間 (9), (10), (12) の堆積量が区間 (11), (13) の洗掘量に近くなる。すなわち、No. 10 ダムを境に

m ³	区 間													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
堆積量	10,775	102		128		1,298	2,536		1,709	3,281		3,622		2,474
洗掘量			4,088		1,507			8,333				852		5,918



図—14 昭和36年土石流堆積・洗掘模式図(真狩基地の沢)

して、下流側と上流側で独自の土砂の移動収支が成り立つのである。したがって、ガリー上流部で発生した土石流の一部はNo. 22ダムの背後で堆積して、残りが下流へ流出し、流下水は引き続きNo. 14ダム～No. 22ダムの土石を洗掘したが、土石の流動はNo. 10ダムまでにとどまり、ここでいったん土石流は消滅したとみることができる。No. 10ダムを越流した流下水はダム下流において再び土石を洗掘し、新しい土石流が発生して、氾らん原に流出したと推測される。すなわち、No. 10ダム上流側で発生した土石流と、氾らん原に流出した土石流とは、直接的な連続関係をもっていないのである。

すでに述べたように、青木の沢で発生した土石流も、形態的に連続していない。水と異なり、土石は不連続な流動形態をとるといえるのである。さらに、土石の流動がいったんおさまっても、その下流に移動可能な堆積土石が存在し、そこに流下水が集中すれば再び新たな土石の流動化が生じると考えられる。すなわち、扇状地(氾らん原)においても、急激な土石流動が発生するということである。

扇状地の治山工法

1. 水と土石の流動パターン

ガリーでは、急激な土石流動が発生した際、洗掘と堆積が交互にあらわれ、流下水は、勢いがおとろえることなく、一気に氾らん原まで達すると推測された。また、ガリーからの土石流出を抑制すると、下流の氾らん原で洗掘激化の傾向が認められた。さらに、氾らん原では、長大なダム天端の背後に広大な堆積地が作り出され、流下水の集中、洗掘が新たな土石流動を生起させることを知ることができた。したがって、火山山麓の扇状地における水と土石の流

の概念がはなはだあいまいにされているように思われる。

土石流がガリーで発生することと、流出土石がかつて山腹斜面で生成され、ガリーに堆積していたことを否定する必要はない。しかし、ガリーで発生する土石流と、保全対象に被害をもたらす土石流とが、同一のものであるとはいえない。すなわち、ガリー内の堆積土砂のすべてが、山麓まで一気に流出するはずはないのである。

土石は水と異なり、不連続に流動すると考えられる。筆者らはすでにこれまでの研究^{12,21)}で、氾らん原に過去の土石流堆積地が不連続に存在することを確認している。さらに、氾らん原において、流水の集中と流路の発達が認められる。集中した流水は土石を洗掘し、土石の流動化につながっている。こうした、土石流動の不連続性、氾らん原における流水の集中と洗掘の現出、ならびに堆積土石の流動化は、保全対象に被害をもたらす土石流が、ガリー内の堆積土石の流動によるものでなく、氾らん原に堆積していた土石の再移動に起因することを示している。したがって、土石流災害にむすびつく土石は、ガリーから直接に流出したのではなく、氾らん原に堆積していたものと筆者らはみているのである。

氾らん原は、その名が示すように土石の氾らん、堆積するところである。上流からの流出土石は氾らん原でいったん堆積し、流水だけが流下して、もともとそこに堆積していた土石を洗掘し、再び土石流発生を促していると考えられる。つまり、氾らん原に流出した土石と、保全対象の存在する下流域に流出した土石とでは、その流出源が互いに異なるということになるのである。

山体の風化・侵食、ガリーの発達、さらに扇状地の形成は火山の成立と同時に始まり、 $10^3\sim 10^4$ 年といった長い年月を経て、今日なお営々として続いている。それに比べ、氾らん原流路の形成や土石流堆積地の出現・消滅は、 $10\sim 10^2$ 年といった短い時間内のなかで繰り返されている。さらに、一回の土石流は数分から数10分といった時間単位で生じる現象である。

長い目でみれば、山腹斜面で生成された土石は山麓の保全地域まで到達するということができる。しかし、そこにはかなりの時間的隔りがあり、その移動過程と一回の土石流動過程を同一視するわけにはいかない。したがって、防災といった観点から、山麓の保全対象を中心に土石流という短い時間単位の現象を考えると、山腹斜面の荒廃よりも、氾らん原における土石の堆積、洗掘、再移動が、より現実的な問題になってくるのである。

3. 氾らん原処理の必要性

火山山麓における開発の歴史は、同時に、そこで生起する土石流動との闘いの歴史であるといえる。したがって、土砂害を防止し軽減するための対策や工法が、試行錯誤を重ねながら過去の苦い体験をもとに、時代とともに変遷したのは当然のことである。従来は、扇状地の地形変化よりも、山腹斜面やガリーの荒廃が視覚的に注目され、荒廃区間を安定化するための工法が実施されてきた。しかし、土石流として山麓に流出する土石の根源が、考えられていたようなガリーでなく、扇状地の氾らん原にあることがわかった以上、従来の治山工法を再度検討

する必要が生じてきた。すなわち、災害にむすびつく流動土石を、どこで、どのように処理するかという問題である。

わが国の主な火山山麓で実施されている治山工事の内容を簡単に紹介すると、次のようになる。

(富士山)

- 上流地帯に、山脚固定の目的で谷止工と床固工を施工する。
- 下流部汜らん原に床固工を列状に施工して、導流堤の役割をもたせ、下流の流路工と結びつける。

(大 山)

- 上流地帯に、ガリー固定の目的で床固工と護岸工を施工する。
- 扇状地では、流路工で土石の流下を促進し、森林帯で保全対策を保護する。

(眉 山)

- 上流地帯に床固工を施工する。
- 扇状地に導流堤と土砂留擁壁(土留工)を組み合わせ、その下流に流路工を施工する。

これらの工事に共署している点は、ガリーからの土石流出の抑止と、扇状地での流水の処理に主眼を置いていることであり、流出土石はすみやかに下流にまで運搬されることをねらっている。

しかし、真狩墓地の沢におけるダム工事の例が示しているように、ガリーからの土石流出を抑止しても、それだけで扇状地の安定化をはかることはできない。反対に、ガリーからの土石供給をカットすればするほど、扇状地では、洗掘激化の傾向が認められるのである。また、流水処理を目的としたダム工事でも、扇状地を安定化できないことは、雪崩の沢に実施された初期のダム工事が失敗に終わった例で明らかである。つまり、地表変化の著しい扇状地において一時的な流路に沿ってダムを施工しても、上流から大量の土石が流入して、構造物を破壊するおそれがあるばかりか、流路が変動して、施工区間以外の場所で新たな土石の流動が生起しているのである。さらに、土石は水と異なって、ところどころに停滞しながら移動するため、われわれが期待するほどすばやく流出してくれないのである。

汜らん原の堆積土石を流動化させる原動力は、集中した流水の洗掘力である。したがって、山麓の土石流災害を予防するためには、汜らん原において流動土石を処理し、土石流動の発生を防ぐ必要がある。そのためには、流水を拡散させて、洗掘力を減殺し、堆積土石の再移動を抑止するとともに、上流からの流出土石をそこで汜らんさせる、水と土石の流動に即した工法を確立しなければならない。ただし、流水はいったん拡散しても、その下方で再び集合して洗掘力を増すので、単独の構造物だけで水と土石の流動をコントロールすることはできない。滝の沢に施工されたスチール扶壁土留工がその良い例である。流水と土石とを分離し、それぞれのもつエネルギーを減殺するためには、どうしても、汜らん原の面的処理をすることが

必要になるのである。

このような観点に立つと、長大なダムを群として組み合わせることによって、人工的な氾らん空間をつくり出し、流水を拡散させ、流動土石を氾らんさせると同時に、堆積土石の再移動をダム天端という非侵食線の設定で抑止している分散方式の治山工法が、氾らん原における流動土石の処理に有効であると認められる。つまり、ダムとダムとを有機的に配列して人工的な氾らん空間を確保し、さらに拡大大することにより、流動土石の処理範囲は広がり、扇状地は安定化してゆくといえるのである。

要 約

火山山麓で土砂害を引き起こす土石流動の予知と防災対策の確立が必要とされる。そこで従来の治山工事をひとつの野外実験としてとらえられた堆積形態の特徴から、土石流動過程を推論し、土砂害を予防する治山工法の原理について考察した。

1. 火山斜面は、地質的に脆弱な火山噴出物およびその再堆積物から構成されるため、侵食されやすく、山腹に侵食谷(ガリー)が発達し、山麓に扇状地が広がる。扇状地は、緩傾斜な地形が農耕地に適しているため、はやくから開発利用された。水利が不便なため、開発は湧水帯より下方の扇端部にとどまり、扇頂部の無水地帯はほとんど利用されなかったが、最近、別荘地やレジャー用地として開発されつつある。

2. 山麓では、土石流動に起因する土砂害が災害の大半を占める。土砂害防止対策として治山事業があり、荒廃区間の安定化と土石流出抑止を目的に、ダムなどの構造物を使った治山工事が実施されている。工事の実行に際して、脆弱な地質条件と急峻な地形条件の制約を受け、工事材料の変遷と運搬手段の難易に影響されながら、溪間工を主体とした独特なタイプの工法が発達した。最近、工事対象地はガリーから扇状地に移りつつある。

3. わが国の代表的な火山性荒廃地である羊蹄山では、山麓への土石流出抑止を目的に、ダムを使った治山工事が実施され、その内容から、

- (i) ガリーに、縦侵食防止および土石流出抑止の目的で、ダムを階段状に施工した工法。
- (ii) 扇状地の氾らん原流路に、流路固定および2次侵食防止の目的で、ダムを階段状に施工した工法。
- (iii) 扇状地の氾らん原に、土石分散および再移動抑止の目的で、長大なダムを群として組み合わせさせた工法。

に大別することができる。

4. ガリーにおけるダム工事の結果、施工区間では縦侵食防止と土石流出抑止の目的が達せられているが、かわって、下流の氾らん原で洗掘の激化が認められる。また、氾らん原流路のダム施工区間は固定化され、2次侵食は生じていない。しかし、流路が容易に変動するため施工区間以外の場所で新しい洗掘が生起している。分散ダム施工区間では、上流から土石流と

なって流出した土石が全体に分散し、堆積土石の再移動は認められない。

5. ダム施工区間および未施工区間における堆積形態の特徴と土石流発生後の堆積変化から土石は水と異なり、不連続な流動形態をとると推論した。すなわち、水は一気に流下するのに対して、土石はところどころに停滞しながら移動すると考えられるのである。さらに、流水の集中によって土石が再移動し、流動化するということができ、氾らん原においても急激な土石流動の発生することを知った。

6. 流水は、地表面の起伏に応じて集中・拡散する。集中した水は土石を洗掘し、土石と混合状態で流動する。やがて側方への移動を阻害する地形条件が消失すると、水は拡散し、土石は氾らんし堆積して、それぞれ分離する。いったん堆積した土石が次回に洗掘されるまでその場所から移動しないのに対して、拡散した水はひきつづき流下し、地表のくぼみに再び集合して、新たに土石を洗掘する。扇状地では、このような土石の堆積・洗掘と流水の集中・拡散が繰り返されていると考えられるのである。

7. 土石流動の不連続性、氾らん原における流水の集中と洗掘の現出、ならびに堆積土石の流動化から、山麓に土石流災害をもたらす土石の流出源は、従来考えられていたようなガリーでなく、扇状地の氾らん原にあると推論した。したがって、山麓を土石流災害からまもるためには、氾らん原で流動土石の処理を行なうことが必要であり、氾らん原における流水の拡散、ならびに土石再移動の抑止が、扇状地治山工法の原理であると結論した。

従来の扇状地治山工事は、主に流水のみを対象に実施されてきた。しかし、これからは、水と土石の流動に即した工法が確立されなければならない。筆者らは、扇状地において、流水の分散と土石再移動の抑止が必要であるとの結論から、扇状地での流動土石処理工法として、ダムの組み合わせによって人工的な氾らん空間をつくりだし、土石分散効果を発揮した、分散方式の治山工法が有効であることを認めた。つまり、分散ダム群による氾らん空間は、流動土石の処理空間になり、処理空間の拡大は扇状地の安定化につながるといえる。ただし、流動土石を人為的にコントロールできる空間には限りがある。同時に、土石と異なり、水の動きをカットすることはできない。したがって、工事効果の限界と工事の守備範囲を明確にし、流末水の処理方法をひきつづき考える必要があるだろう。

土石移動過程に関して、時間と空間の単位を明らかにした堆積変化を、これからも追求していかなければならない。その際、施工年度のはっきりしたダムなどの構造物を利用した調査方法は堆積の年代と地形変化をみるうえで、有効な手段になるといえる。

参 考 文 献

- 1) 新谷 融： 荒廃溪流における土石移動に関する基礎的研究。北大演報，28，2，193-258，1971.
- 2) 新谷 融： 溪床土石の移動過程調査の方法。新砂防，83，6-13，1972.
- 3) 有末武夫： 羊蹄山麓の耕地減少。地理評，21，4，1948.

- 4) 治山研究会編：「治山設計の手引」．農林出版，1964．
- 5) 遠藤隆一：「砂防工学」．共立出版，1958．
- 6) 富士砂防工事事務所：富士山の砂防．1971．
- 7) 富士砂防工事事務所・国際航業 K.K.：富士大沢扇状地土石流調査報告書．第6回砂防学会シンポジウム「土石流防災工法について」，1973．
- 8) 古川 修：「日本の建設業」．岩波新書，1963．
- 9) 伏谷伊一：「溪流工学」．地球出版，1970．
- 10) 橋本幸一郎・宮下進治・長崎信次郎：火山性荒廃地の土石流防止に関する研究．北大演報，21，2，465-477，1962．
- 11) 東 三郎・鈴木 守：大有珠崩壊地の実態とその対策．伊達町の地質，46-66，1970．
- 12) 東 三郎：流動土石の分散処理に関する考察．新砂防，75，1-16，1970．
- 13) 東 三郎：沖積扇状地の土石分散工法に関する研究．北大演報，30，2，233-296，1973．
- 14) 東 三郎：羊蹄山治山基本計画構想．林業土木コンサルタンツ，1974．
- 15) 東 三郎：北海道における火山性荒廃地の扇状地について．昭和49年度富士山大沢扇状地森林帯計画調査報告書，1974．
- 16) 北海道：道有林五十年史．1956．
- 17) 北海道林務部：昭和36年度治山事業計画説明書．1961．
- 18) 柿 徳市：土石流の実験的研究．新砂防，19，1-5，1955．
- 19) 柿 徳市：富士山大沢崩の砂防計画構想について．大沢崩に関する講演集，富士砂防工事事務所，84-89，1971．
- 20) 勝井義雄：羊蹄山の地質と岩石．地質図幅「留寿都」説明書附録，北海道開発庁，1956．
- 21) 木村正信：羊蹄山麓青木の沢扇状地における土石流堆積について．北大・農・卒論，1973．
- 22) 木村正信・笹 賀一郎・東 三郎：羊蹄山北山麓における土石流の実態．日林北支講，24，11-14，1975．
- 23) 京 極 村：京極村史．1975．
- 24) 小出 博：「日本の国土」(上・下)．東京大学出版会，1973．
- 25) 栗原節夫：羊蹄山麓の土地利用と土石流災害．北大・農・卒論，1974．
- 26) 倶知安町：倶知安町史．1961．
- 27) 町田 洋：荒廃河川における侵食過程—常願寺川の場合—．地理評，35，4，157-174，1962．
- 28) 真 狩 村：真狩村史．1965．
- 29) 日本治山治水協会：治山事業60年史．1973．
- 30) 小野寺弘道：北海道の積雪寒冷山地にみられる土石移動形態の一特徴．新砂防，91，5-9，1974．
- 31) 尾張安治：1967年羽越災害土石流調査委託報告書．1968．
- 32) 林業土木施設研究所：男体山民有林直轄治山計画に関する調査(中間報告)．1973．
- 33) 林野庁治山課編：「治山事業の実績と経過」．日本治山治水協会，1956．
- 34) 林野庁編：「治山計画と実行」．日本治山治水協会，1959．
- 35) 林 野 庁：「治山」．養成研修普通科教材，1964．
- 36) 林野庁編：「治山技術基準解説」．日本治山治水協会，1971．
- 37) 笹 賀一郎：扇状堆積地における土石移動．北大・修論，1975．
- 38) 尻別川治山事業所：尻別川地区民有林直轄治山事業概要．1973．
- 39) 田畑茂清・市ノ瀬榮彦：溪床幅・溪床勾配の変化が土石流堆積におよぼす影響．新砂防，85，25-27，1972．
- 40) 高橋 裕：「国土の変貌と水害」．岩波新書，1971．
- 41) 竹内常行：扇状地の水利と土地利用．「扇状地」—地域的特性—，181-217，古今書院，1971．
- 42) 多々内順二：富士山大沢くずれに取りくむ．建設月報，255，28-32，1970．
- 43) 鳥巢節雄：冒山の治山事業．林業技術，210，34-38，1959．
- 44) 戸谷 洋・町田 洋・内藤博夫・堀 信行：日本における扇状地の分布．「扇状地」—地域的特性—，97-120，古今書院，1971．
- 45) 吉川虎雄・杉村 新・貝塚爽平・太田陽子・阪口 豊：「新編日本地形論」．東京大学出版会，1973．

Zusammenfassung

Es wird in diesem Aufsatz auf Grund von eigenen Beobachtungen an der Geschiebeablagerungsform in verbauten Strecken am Fuß des Vulkans Yōtei versucht, bisherige Wildbachverbauung zu charakterisieren und den Geschiebebewegungsvorgang zu schließen. Darüber hinaus wird die Grundlage der Verbauweise am vulkanischen Bergfuß von neuen Seiten betrachtet.

Die vulkanische Oberfläche, die geologisch aus lockeren Materien zusammengesetzt ist, wird so leicht erodiert, daß die Gully an seinem Abhang eingraben, und an seinem Fuß entwickeln sich die Schwemmkegel. Auf ihnen sind relativ kleine Murkegel da und dort aufgeschüttet, während die Gabelung des Fließwassers zahlreiche seichten Gerinne einschneidet.

In Hinblick auf die Zusammenlegung der Bauwerke und die Baustelle ist die Verbauung in folgende drei Typen zu klassifizieren:

1. die abgetreppte Bachsperrenverbauung im Gully, zum Zwecke der Sohlenkonsolidierung.
2. die etappenweise eingerichtete Grundswellenverbauung dem Gerinne entlang, um die Aushöhlung bei der Überflut zu verhüten.
3. die gruppenweise zusammengefügte Quermauernverbauung auf dem Schwemmkegel, um herkommende Mure künstlich überfließen zu lassen.

Infolge der Verbauung im Gully tritt die stärkere Aushöhlung in seinem Unterlauf ein, da der Geschiebetransport von den Sperren hart beschränkt ist. Beim Murgang wurden die Bauwerke im Gerinne zum größten Teil von der einströmenden Geschiebemasse zerstört. Außerdem blockiert dieser Haufen das Gerinne, und dadurch verändert sich der Fließablauf seitwärts. In der Quermauern verbauten Strecke ist die einströmende Mure umfangreich ausgeschüttet.

Es ist zu schließen, daß sich das Geschiebe schubweise vorwärts bewegt und dort, wo es aufgeschüttet wird, bis zur nächsten Verlagerung liegenbleibt. Im Gegenteil fließt das Wasser ohne auszusetzen ab. Voraussichtlich wiederholt das Wasser auf dem Schwemmkegel immer seine Zusammenziehung und Ausdehnung je nach dem Relief, sowohl die Geschiebeablagerung und Geschiebeverlagerung abwechselnd stattfinden.

Es zeigt sich, daß die Wiederverlagerung des stillstehenden Geschiebes, die durch Zusammenziehung des Fließwassers hervorgerufen wird, im Unterlauf die zur Mure führende Massenbewegung veranlaßt. Daraus ist begreiflich, daß das an der Zerstörung im Siedlungsraum beteiligte Geschiebe nicht vom Gully unmittelbar sondern vom benachbarten Schütthaufen abgelaufen sein soll.

Betrachtet den Schutz im Siedlungsraum vor der Murgefährdung, handelt es sich eher um die Vermurung auf dem Schwemmkegel als die Verheerung im Gully. Die bautechnische Maßnahme ist erforderlich zu treffen, um die Zusammenziehung des Fließwassers abzuhalten und die Wiederverlagerung des ruhenden Geschiebes zurückzuhalten.

Die lineare Verbauung, z.B. die dem tempolären Gerinne entlang, hat von sich selbst die Wirkungsgrenze, weil die Seitenveränderung des Fließablaufs auf dem Schwemmkegel leicht vor sich geht. Notwendig ist dimensionale Verbauung, die in einer

Bereich mit der absichtvollen Zusammensetzung der Querwerke den Wasser- und Geschiebebewegungen steuern kann.

Von diesem Standpunkt aus gesehen, erweist die Quermauernverbauung ein vorzügliches Resultat, denn die Verbreiterung der Krone (über 100 m) und ihre Zusammensetzung (jeden 30 m Abstand) vermindern die Schurfkraft des Fleißwassers, beschleunigen die Aufschüttung des ablaufenden Geschiebes und halten die Geschiebeverlagerung von dort ab zurück. Nämlich ist ein sogenannter Geschiebesteuerungsraum künstlich gesichert.

Es liegt auf der Hand, daß die Vergrößerung des Geschiebesteuerungsraums zur Stabilisierung auf dem Schwemmkegel führt, und darüber hinaus wird die Sanierung am Bergfuß gewiß in Erfüllung gehen.



写真一 羊蹄山北斜面と青木の沢扇状地，昭和50年8月，施工直後の土石流発生による土石の泥らん堆積と洗掘状況

Bild 1. Die Verteilung der langen Quermauern und der Aufschüttungs- und Verlagerungszustand des Geschiebes nach dem Murgang im August 1975 (Aokinosawa Gully). Hintergrund: Nordhang des Vulkans.



写真一4 土石流によって変形しているフトン籠土留工 (滝の沢)

Bild 4. Durch den Murgang zerstörte Quermauer aus Drahtschotter auf dem Schwemmkegel (Takinosawa Gully).



写真一2 南斜面ガリーの全景と縦侵食防止のダム群 (真狩墓地の沢)

Bild 2. Der Oberlauf vom Gully und die Sperrenstaffelung um die Sohlenkonsolidierung (Makkari-Bochinosawa Gully). Hintergrund: Sudhang des Vulkans.



写真一5 扇状地の古い広葉樹群落とダム天端による退き水の洗掘防止効果 (青木の沢)

Bild 5. Hintergrund: der nach der Geschiebeablagerung einwachsende Bestand vom Pionierlaubbaum auf dem Schwemmkegel. Vordergrund: die Kroneverbreitung der langen Quermauer befördert die Aufschüttung des Geschiebes und unterbricht die Schurfkraft des abfließenden Wassers (Aokinosawa Gully).



写真一3 泥らん原の流路に設置されている床固工 (雪崩の沢)

Bild 3. Die der Gerinne entlang errichtete Sperre auf der Aufschüttungsfläche (Nadarenosawa Gully).



写真一6 扇状地末端の流路工と流末水を誘導したあとの状態 (雪崩の沢)

Bild 6. Leitwerk mit Grundschwelle am Schwemmkegelrand (Nadarenosawa Gully).