

1978年妙高土石流調査とその考察 Mud Flow Field Survey at Myoko Disaster, May 1978

建設省土木研究所 正員 須賀 堯 三

近年、土砂移動によりもたらされる災害は顕著であり、その災害形態や運動に関する研究の必要性は、相対的に重要度を増大させている。なかでも、土石流に関する研究は緊急を要するものといえよう。土石流の災害対策に資するためには、土石流の発生機構や加速から減速に至る運動機構を、実際上の問題として解明してゆくことが必要である。さらに、対策工法のほか、土石流発生危険度の評価、土石流流達区域の推定、および警戒避難体制なども重要な課題となっている。これらの問題を考察し、災害対策をおしすすめるに当っては、十分なる基礎的な研究はもとより、ここでは現象の複雑さのゆえに、一層の事例研究の必要性和重要性が強調される。

この報告の目的は、従来からの事例研究に加えて、土石流の運動の実態を追求する立場から、一事例として妙高土石流に関する調査資料を示し、特徴的な現象の指摘を行って、将来の防災対策や研究の発展に資することにある。なお、妙高土石流による被害状況、および一般的あるいは全般的な特性等については、筆者も関与した報告¹⁾および²⁾、ならびに種々な観点からの調査報告や論説^{3)~8)}などが発表されているので、できるだけ重複を避けることとする。また、今回の報告では土石流の発生原因および実際の対処工法等の問題は、直接的には取扱い範囲にないことを付記しておく。

1 妙高土石流の概要

1978年5月18日、妙高山(2445m)の外輪山の一つである赤倉山(2141m)の東側中腹部の標高1600mあたりの斜面に突如発生した崩壊が引き金となって、関川支川の白田切川上流部の南地獄谷において土石流が発生した。これは、土石流として特に、流出土砂量および流下速度において規模の大きいことが特徴となっており、妙高高原などにおいて災害が生じた。

大きな斜面崩壊は2回発生した。当日は晴天であり、当日を含めて5月に入ってから雨はほとんどなく、ただ前日に極く少量の雨が降った。また、当日および前日の気温の高かったことから、夜間にも融雪が促進されていたと考えられる。第1回目の崩壊は同日午前6時20分頃の水平面積約2.5haに及ぶ崩壊であり、第2回目は同地点の直上流側の隣斜面において同日午後1時40分頃に発生した1ha余りの崩壊である。新潟県土木部が実施した崩壊前後のそれぞれの航空写真に基づく調査結果によると、合計の崩壊面積は3.5haであり、合計の侵食量は28.2万 m^3 となっている。第1回目および第2回目の崩壊土量はそれぞれ、22.7万 m^3 および5.6万 m^3 程度であり、第1回目は第2回目の約4倍程度の規模であったと推定される。なお、これより先1971年12月31日にも今回の崩壊地より高度にして100m、水平距離にして600m上流地点において斜面崩壊が生じている。このときの崩壊土量は約10万 m^3 とされている。

さて、この崩壊土砂は谷床および谷岸を侵食し、土石流に発達した。殊に、朝方の土石流は平均勾配1/4の南地獄谷の中で大きな勢力となり、最初に襲ってきた第一波では平均17m/s以上という速さで水平距離3km余りを流下し、谷の出口の標高850m付近から氾濫して、平均勾配1/13の新赤倉温泉(700m)の旅館および保養寮等を直撃した。その後も小さな崩壊は発生したようであるが、午後1時40分頃には再び土石の流出があった。午後の土石流はほぼ河道内におさまリ、氾濫はなかったが、関川合流点の鉄道敷用の締切堤において越流が生じ破堤した。

2 土石流の発達の条件

土石流には、その定義にもよるが、火山降灰が降水により流動し、徐々に発達するものとか、鉄砲水と共に大量の土砂が流送されるものとか、その他のものが存在すると思われる。しかし、一般に破壊力の大きい土石流は、大きな斜面崩壊が起因となり、渓谷部の谷床や側壁部を侵食し、その位置エネルギーを運動のエネルギーに変換することによって、土石量と流下速度とを増大させ、もって次第に発達するような、多量な土砂を含んだ流れを指すものと思われる。このような土石流の発達の条件として、次の各項について考察することが必要である。

- 崩壊土量と落下高による初期総侵食エネルギー、および土砂の落下方向と谷線方向の関係
- 渓谷地形 — 縦断勾配(渓床勾配と長さ、滝などの配置)、横断形状、および平面形状
- 地質、土質、および植生
- 水分量 — 降雨、地下水、融雪、流水量および積雪量

e その他として、渓谷における堆積土砂量、過去の土石流による侵食状況、砂防堰堤および護岸等の工作物、ならびに林道等の開発状況

以上の各項について、妙高土石流を照合させてみると次のようである。

まず、崩壊土量と落下高は午前のものについては約23万 m^3 と約150mである。もっとも後者については落下高の定義により異なるが、最高位にある崩落土砂が移動の勾配を急変させる点までの標高差とする。これだけの土砂が非常に短い時間に崩落したものである。当日朝、山へ出掛ける予定で現場付近を見ていた新赤倉温泉の朝日生命赤倉山荘管理人の鴨井国博氏の証言によれば、瞬間的に山が崩れ、白煙をあげると共にドーンという音がした。なお、この時鴨井氏は赤倉山荘にいたが、そこから崩壊地までは約5km余りの距離であった。現地踏査によると、崩壊地点直下の7300m地点の横断面(谷高1422m)においては、右岸側において谷底から26m迄の侵食があるが、多くは飛沫程度によるものであり、土石流の主流は右岸側ではかなり低いと思われた。これに対し、左岸側では45m迄の侵食があり、多くの樹木は根こそぎ消失し、わずかな上部において一部樹木の幹のみ残存する状態であった。これは土石流が横断的に片寄り、左岸側に主流部があったことを物語る。この左岸側は丁度、崩落土がそのまま直撃する位置である。そして、左岸斜面の上部の目測による標高1520m程度の平地には、径2m程度の巨石や泥土が乗りあげ、一部の樹木をなぎ倒していた。また、渓谷部一帯に水平の痕跡はない模様で、一時的なダムができた形跡は見当たらない。以上の諸事実を総合すると、谷の方向と小さな角度を有する向きの土砂崩壊があり、しかも土砂の移動速度は非常に大きく、初期の侵食エネルギーが土石流へと発達するに十分であったものと判断される。なお、土砂崩壊の方向が谷の線と完全には一致せず、崩落土砂がわずかのわん曲で谷を流下したことは、土砂流下勢力の平均化と分散化がわずかですんだこと、および侵食が容易な側壁に高くのぼることが可能となったことで、土石流の発達を助長させる効果があったものと思われる。

つぎに、渓谷地形としては非常に急であり、狭谷であり、かつわん曲があまり大きくないことを挙げることができる。縦断勾配は平均で1/4であるが、崩壊地下流の400mほどのところに大規模な滝があり、いっきに130mほどの落差をかせいだ後も、さらに100m余り下流には実質100m余りの滝が連続しており、ある程度のまとまった土砂の流れの場合には、勢力の分散よりも侵食エネルギーの増大がもたらされたものと判断される。土石流発達の条件として側壁の勾配が $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 以上の狭谷とされているようであるが、この付近の側壁勾配は 50° 程度あり、側岸の侵食の容易性と土石流勢力の分散がさまたげられたものと思われる。谷の平面形状としては、6300m付近を除いて、土石流の発達をとめるほどの大きな屈曲はなく、適度なわん曲は土石流を側岸高所にまで呼び寄せる効果があり、土石流の発達を促進させる効果があったものと考えられる。

土質・地質については、妙高火山の活動で火砕流、軽石流、および火山灰降下の影響があり、温泉源でもある当地は地質的に弱い性質を有しているといえる。また、崩積土の分布や厚さは土石流の発生・発達に密接な関係がある。さらに過去の土石流や泥流の影響も考えておかなければならないであろう。南地獄谷はV字谷となっており、その下流には約5000年前の泥流による扇状地が形成されている。この付近では、最近だけでも昭和5年、32年、37年および46年に土石流が発生している模様で、地質のみの影響とはいえないが、土石流の発生および発達のしやすい条件はそなえられているように思われる。妙高では巨石は比較的少く、細かい土砂が多いが、何んらかの関係はあるであろう。

土石流は一般に含水率が小さい。桜島の土石流では流体の密度は $1.8 \sim 1.9 \text{ g/cm}^3$ 、含有土砂の乾燥重量に対する含水比はおおよそ30%以下と報告されている⁹⁾。今回の土石流について土木研究所新潟試験所(酒井淳行所長)によれば、3時間半後の5月18日10時頃、赤倉ゴルフ場付近および下流の国道18号線白田切橋上流にて採取した堆積物の含水比は45～53%であり、液性限界59.3%、および塑性限界43.4%で細粒土に分類された。妙高土石流と桜島土石流の間には多少の相異が存在するが、含水比が非常に小さいことは共通した事実であろう。したがって、長雨や大きな降雨がなくても、残雪が多く異常な気温上昇があれば、土石流の発生・発達にとってさしたる障害とはならないといえる。白田切川の自流量は、せいぜい $Q = 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度(実測値はない)と思われるが、火山灰に泥流および溶岩等の互層に崩積土が分布し、保水能力はかなり大きいので、長期に亘る融雪により地下水は非常に豊富であったものと考えられる。災害直後および4ヶ月後の視察によっても、谷は粘土質で水分が非常に多い軟い岩が広く分布し、非常にじめじめした感じの谷であることが判明している。そのうえ、渓谷をある程度埋めており、また斜面等に残っていた残雪は土石流に容易にまき込まれて水分の供給源となったものと想像される。

その他として、6年前に崩壊土量ならびに流出土砂量ともに今回の約1/3の規模の土石流を経験しており、渓谷におけるその後の流出堆積土砂もかなり存在していたと思われる。

3 妙高土石流の運動の形態

鴨井証言によると、ドーンという音から4分10～15秒で3100m地点の西原山荘（白妙橋付近）まで来た。崩壊地点を7600mとすると4500mを流下するに要する時間は、音の伝播に要する時間を音速340m/s、赤倉山荘と崩壊地点間距離5450mとして16秒と算定すれば、おおよそ265秒であり、最も早く到達した第1波の平均流下速度は17m/sということになる。なお、第1波の到達に要する時間は、意識して時計を見ていたから正確とのことである。いっぽう、午後の土石流の第1波は、読売新聞記者の証言によると、崩壊に伴うと考えられる音から土石流の到達までの時間5分と音の伝播に要する時間約15秒を加えて315秒とし、流下距離を4500mとすれば、最も早い第1波の平均流下速度は14.3m/sとなる。この土石流について扇状地河道における流下速度は、NHK撮影のコマ数から8～10m/s程度と求められている。なお、既往の土石流観測によると、礫の目立つ流れでは5～8m/s程度であり、泥流型のものでは15m/s程度になりうるとされている。

つぎに、鴨井証言ならびに同氏撮影の写真によると、土石流は段波として連続して流下するのではなく、それぞれ独立の孤立波のような状態でつぎつぎに来襲した。土石流の段波は、最初のものが最大であった。その波高は写真より判断すると5～7m程度であり、あとから到達する段波ほど小規模となった。おそらく2m程度と思われる。いっぽう、午後の土石流は河道内を越流せずに流れたことから1～3m程度と推定される。

新赤倉温泉附近を流下する土石流の流動状況について鴨井証言によると次のようである。土石流は薄い下敷（厚さ50cm程度）を敷いたように来た。大きい石はゴロゴロせず、浮いたように来た。すなわち、先端は細くて刃物が飛んでくるようであった。その細い部分は横方向に平らであった。それが上流からすごい速さですすんできた。横断的にはカマボコ型であった。しぶきが先に来て、あとに土砂が来た。土石流は細い先端の次にコブがあり、次にまたコブが乗りあげてくるように見えた。地面はかなり揺れ、写真がおれた。土石流先端では上から下への回転運動をしていた。また、堤内地に乗りあげた土石流による家屋の破壊状況は次のようである（図-2参照）。第1波でマスコ寮がやられた。第2波は大正海上火災寮から道づたいに来た。同寮は2～3mとび上った。第3波は有沢寮の土台を飛ばした。この寮は下が飛んでから家が倒れ、上は3回転した。家は下敷に乗って走り、後からの波でつぶれた。段波は川沿いに19回、道路沿いに12回来た。おわりの頃は規模も小さくなり、間隔も長くなったが、朝の土石流は40分位で完全に終わった。いっぽう、白妙橋右岸200m地点に住む役場職員の証言によると次のようである。川の流れに直角方向の風と樹木が横になびく音、ならびに激しいほこりに驚いて家をとび出してみると、泥が盛りあがって流れ、木片が飛び、切れた水道管から水が上方に飛びだしていた。風は1～2分で弱まった。時刻は6時23～24分であった。土砂は1分くらいの間隔で繰り返し来た。何波目から数えたかについては不明だが、河道を流下したもの11波、および、上方のゴルフ場へのりあげたもの9波を数えた。この証人の場合、風のやむのを待ってから出ており、川岸に到達するまでの時間を加えると、第1波の通過3～4分経過後であると思われる。また、風から判断して初期の段階の土石流が勢力としては非常に大きかったと思われる。白田切川下流端近くの国道橋地点において、音を聞いてとび出した役場職員の後藤弘明氏は、同様にすごい風を経験している。そして、土砂は1分半の間に7回位来たが、やがて規模が小さくなり、間隔もあいて来たので現場を離れたと証言している。

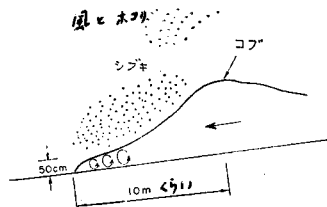


図-1 土石流先端の形状
（鴨井氏による）

以上の証言等から判断すると、土石流の運動形態としては、発生源で1波の土石流が数波に分岐する機構、ならびに最初の頃に流下する勢力の大きい土石波の規模と運動とが重要であると思われる。このような現象を考察するためには、谷の中における土石流の運動を調べる必要がある。南地獄谷の平面を図-3、河床縦断を図-4、左右岸の側壁勾配、側壁における侵食高、ならびに谷床における侵食高を図-5、および横断面形の例を図-6に示す。これらは新潟県が実施した災害前後の航空写真に基づく100m間隔の横断図から整理したものである。また、一部谷の踏査を行っている。調査結果の一部を次に列挙する。

a 崩落地点より約400m下流に滝がある。この間はいちがんとって、若干右まわりのわずかに弯曲した勾配1/4.4の河道を流下したものと思われる。側壁勾配は50°前後あるが、谷はそれほど狭くはなく、河床から10mの高

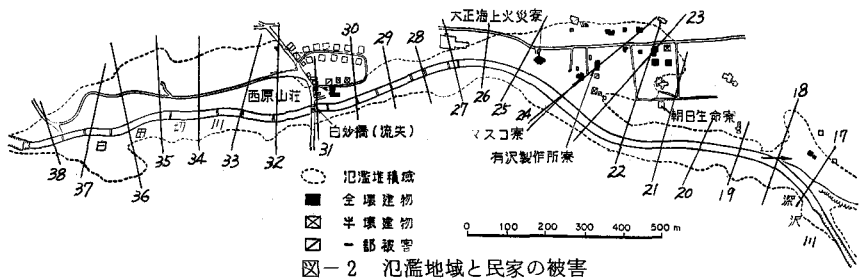


図-2 氾濫地域と民家の被害

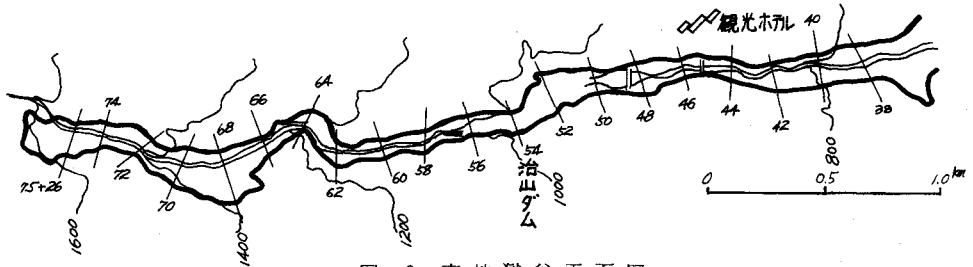


図-3 南地獄谷平面図

さで巾は20～30mある。両側岸の侵食高は30～40mであるが、左右岸の差は極端に大きくはなく、この間では土砂が小さな塊となって振子のように流下したのではないと思われる。谷床では、ところどころに岩の露出がみられ、侵食は顕著ではない。ここでいう両側壁の侵食高は、航空写真より判断したものであるが、現地では、樹木の枝葉がむしり取られた縦断線、岩が削られた線、崩落の跡、および飛沫のあとなどがあり、写真との対応は現段階では必ずしも十分ではない。

b 土石流は滝の上流で左岸から右岸に向けて落下している。滝直下の6900mおよび7000mの断面では左右岸の侵食高差は50～65mにも及ぶ。激しい勢いで右岸壁にぶつかり侵食して、土石流の勢力を増大させたものと思われる。滝の下から350mくらいの間は、土石流は側壁と空を飛び、河床には大きな作用力の働きがなく、むしろ堆積ぎみであった(側壁からの崩落土が堆積したのかも知れない)。この滝の左岸側には泥でおおわれた

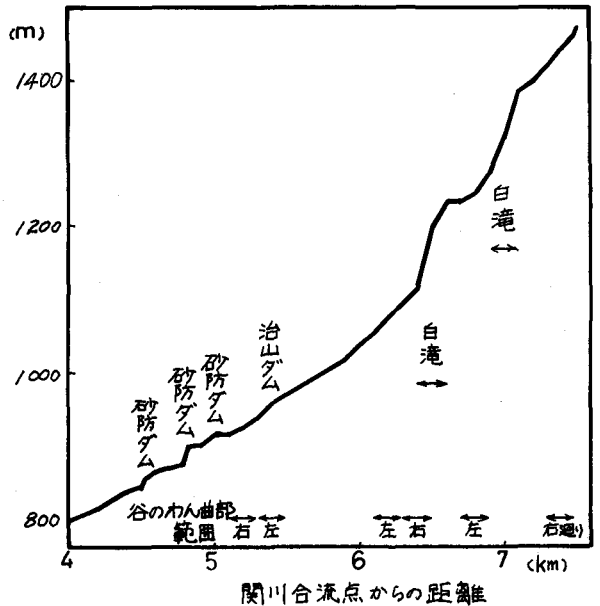


図-4 縦断図

切り立った壁があり、左岸側より極小谷を2本入れて、その下はほぼ垂直の高さ70～80mの壁となって本谷に合流している。右岸側は過去の土石流の作用により侵食を受けて、非常に広く、かつ深い雄大な渓谷の様相を呈している。このことは侵食を受けやすい地質であることを物語る過去の泥流と溶岩の作用の結果であろう。この滝は土石流を発達させたものと思われる。さらに、下流にもう一つ滝がある。6500mから6400mにかけて85mほどの落差がある。左岸を大きく侵食し、ここで大きく右へわん曲し、さらに100mほど下って左へわん曲している。

c 二つの大きな滝があり、河道が左、右、ついで左と大きく弯曲する度に、6900m右岸、6400m左岸、ついで6200m右岸において、それぞれ河床から105m、95m、45mと大きな側壁の侵食高を示している。ただし、二つの滝で発達した土石流は、側壁部を走るので水の流れほどではないが、二つ目の滝の下に存在する二つの90°近いわん曲部により若干弱められたと思われる。それは、側壁の侵食高が減衰していることのほか、滝直下の6400m地点で

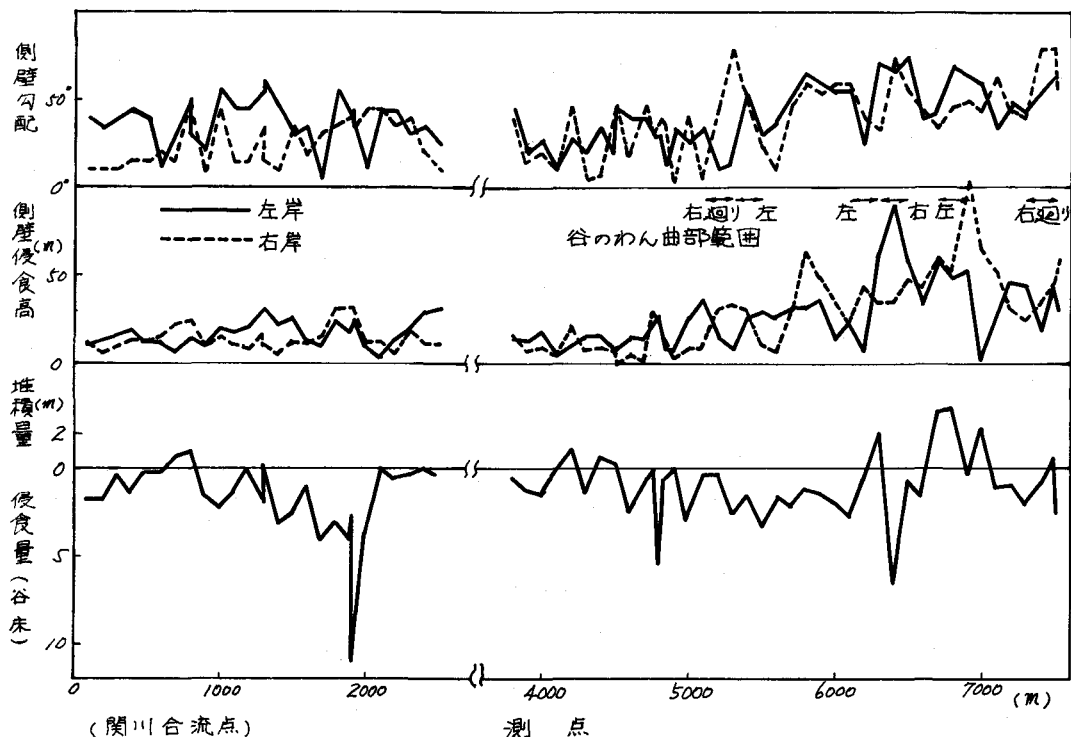


図-5 南地獄谷における侵食量

は河床が 6.5 m も侵食されているのに、その 100 m 下流では逆に 2.2 m の堆積を示していることからもうかがえる。第 2 の滝の下あたりに大きな深い穴あきの堰堤があれば効くであろう。

d 6400 m あたりまでは土石流はあまり分岐せず、全体としてまとめて流下していたものと思われる。それは全体の河道の曲り具合により、侵食高が定められ、かなり直進性を有する流体としての流れの様相を示しているからである。しかし、その下流から乱れ始める。第 1 の滝直下の 6900 ~ 7000 m 左岸は全く侵食を受けていないのに、これ以上大きく曲っている第 2 の滝直下の 6400 ~ 6300 m 地点右岸においてはかなり大きな侵食を受けている。このことは、このあたりより土石流のまとまりが崩れ、分岐が生じ、あちこちあばれだしていることを示す。

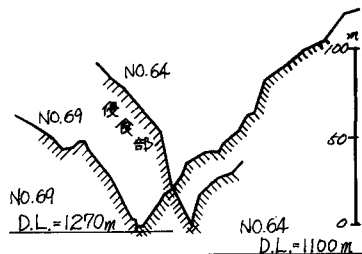


図-6 谷の横断形の例

e 6100 m より下流 400 m ほどは非常に狭いろうかとなる。この付近では側壁の侵食高も大きくなく、河床の洗堀深も 1 ~ 1.5 m 程度である。おそらく、時間をかけて流下し、流量が小さくなっているのであろう。現地で見ると、谷床はあまり侵食を受けた形跡はなく、土石流はかなり上方を加速しながら通過したように思われた。なお、ろうか部の河床は溶岩と思われる滑らぬ硬い岩であるが、側壁部はどろどろの粘土でおおわれ、大きな軽石をはさみこんだ軟岩のように思われた。谷の広さは縦断的にかなり変化している。土石流による過去の侵食の歴史である。

f 5600 m あたりより下流では谷がひろがり始め、谷床勾配もゆるくなる。土石流は谷床を走るので谷床が侵食を受ける。かなり硬い礫まじりの層が巾 10 m、深さ 3 m ほど削られている。減速域である。その下流からは砂防堰堤が連続している。堰のそでの部分はほとんど破壊された。減速域では乱雑な流れ方を示したと思われる。河道内において一様に流下するのではなく、平面形状や土石流の蛇行に応じて、あるときは一方に片寄り、カマボコ状の横断形も変形して流下したものと推察される。高度 900 m あたりの治水ダム付近の彎曲部で比高 20 m 程度を直進して乗りあげた痕跡から、流速を逆算すると約 20 m/s 以上ということになり、減勢されつつあるとはいえ、砂防堰堤をものともせず破壊し、堰堤

下流を洗掘し、なお大災害を引き起すだけの巨大なエネルギーを保持して流れ下っている。この付近の土石流は20波近くに分散したものであるが、上流部ではまとまった、かつはるかにエネルギーの大きい土石流が存在したと推察される。

4 土石流の停止と堆砂

土石流の停止条件としては、流下区域は勾配 6° (約1/9)程度以上で、それ以下となると急激に減速するといわれる。妙高原では堆積範囲の勾配はほぼ1/13程度であるから土石流の流速がかなり大きかったのであろう。

停止の様子は鴨井証言によると、次のようである。ひとつ止まると、後からかぶさるようにして止まる。表面が止まっているようでその上に波が伝ってくるように見える。土の表面は止まっても中は動いていて砂利ががらがら足に当たった。停止しても水は全く抜けなかった。巨石は比較的少く泥ばかりであった。堆積土砂の高さは、10日後で停止直後の1/3くらいになった。土石流は空気混入流なのである。

つぎに、土石流の氾濫は流れの直進性に基づくものが顕著であり、このとき相当の高さを乗り越える。今回主として堆砂のあった観光ホテル下のゴルフ場と新赤倉温泉はそういう場所である。総流出土砂量、氾濫面積、堆積土砂量(厚さ)などは新潟県の調査によると、最終的な数値ではないが、おおよそ表-1のようである。遊砂池計画などにとって重要である。これによって、土砂収支はおおよそ説明されるようである。

5 結 論

土石流にはそれぞれ特徴がある。妙高土石流の運動形態は、ある程度の崩壊規模、崩壊方向と谷線とがわずか交差し土砂が側壁を侵食し成長したこと、侵食容易な地質であったこと、その後も谷は広すぎず、側壁勾配は急で斜面高くはい上り侵食を継続できたこと、大きな滝が存在して土石流が大きく発達したこと、泥流であって抵抗が小さいこと、滝の存在により空気が十分混入したこと、残雪などを連行し一層流動性を増したことなど、各種の非線型な相乗効果により、かたちづくられたものといえる。今後なお、水収支や土質(粒度分布)に水と空気による流動特性の変化、土石流の分派特性、一波あたりの土砂量、土石流の破壊力、巨石の分布、および先端渦の特性など数多くの興味ある問題が残されている。今後の調査によって、妙高土石流の位置づけがなされ、一般の土石流対策に役立てられれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 農林水産省、建設省：昭和53年5月18日妙高高原町における土砂災害調査報告書 S. 53. 7.
- 2) 妙高土石流災害調査班(土研)：昭和53年5月18日妙高高原に発生した土石流災害 土木技術資料20-9, 1978
- 3) 白石一夫：妙高高原町に発生した土石流災害について 地すべり15-2, 1978
- 4) 近藤政司：妙高山土石流災害調査報告 土木研究所、所内研究発表会 S. 53. 10.
- 5) 大熊 孝：妙高々原に大土石流発生、土木学会誌、1978年8月号
- 6) 宮村 忠：妙高土砂災害を発生させた構造 地理10月号, 1978
- 7) 矢島基臣、大熊 孝：5・18妙高災害の緊急調査研究Ⅱ—土石流災害と今後の安全問題 第15回自然災害科学総合シンポ 1978
- 8) 茅原、植村、小林、教代、藤田：昭和53年5月18日妙高災害(2)—土石流の流下形態 第15回自然災害科学総合シンポ 1978
- 9) 田原正清：桜島の土石流とその水文・水理学的特性 第30回建設省技術研究会 S.51.

表-1 土 砂 収 支 表

新潟県土木部調べ
{ 空中写真(51.9および53.5.24, 1/1万)による
見掛け量であり、換算率は調査中

区 域	面 積 千 m^2	侵 食 A 千 m^3	堆 積 B 千 m^3	A-B
崩 壊 地	35	282	15	267
治山ダム下端迄	416	333	41	292
砂防1号ダム迄		104	53	51
白 妙 橋 迄	141	26	145	-119
深 沢 分 岐 迄	262	26	339	-313
白 田 切 橋 迄	59	54	50	4
関川合流点迄	29	26	116	- 90
関川流出分	-	-	?	

註 20cm程度の誤差はあるといわれている。しかし、
白妙橋～1号ダム間の実測値(6月初)と比較すると、
堆積145千 m^3 に対し132,554 m^3 、面積140千 m^2 に対し144,852 m^2