

1978年5月18日妙高災害(2)—土石流について

茅原一也* 藤田至則** 植村 武* 小林巖雄*

Earth flow ("Dosekiriyū") at Mt. Myōkō on 18th May, 1978

by

Kazuya CHIHARA, Yukinori FUJITA, Takeshi UEMURA and Iwao KOBAYASHI

(Abstract)

- 1) At about 06:20 o'clock on 18th May, 1978, the slope area of about 1.3 ha, located at 1,600m above the sea level, was broken and a mass of about 200,000m³ were slid into the valley of river Shirotagiri-gawa. The slid material was converted to the earth flow ("Dosekiriyū"), which flowed down along the valley of river Shirotagiri-gawa about 1,150 m in vertical height and about 7.5km in horizontal distance. This was the first time of earth flow.
- 2) The most violent disaster occurred in the residential area of the Shin-akakura hot spring of Myōkōkōgen-machi, located on the left bank of the river Shirotagiri-gawa, where 11 houses were destroyed and 11 persons were dead (Fig. 1).
- 3) As the slid material fell down a short distance, it passed through the flat step composed of hard lava playing a rôle of the chute at the base of the slope, and then the earth flow attained great velocity because of the steep slope of about 60°. The rock fragments in part were lanced into the air from the step. It is hypothesized that the sheet of debris trapped air between itself and the river floor to form an air cushion on which the debris slid freely. At the early stage of the earth flow, it is assumed that air was entrained in the falling debris, so that the slid material might behave like a liquefied mass.
- 4) On the upper steeper slopes from the initial slid area to the point about 950m above the sea level, the effect of the earth flow were largely erosive, but on the gentle slopes (1/10.4 on average) on the down stream below 950 m, it became to deposit material, where the total volume of newly deposited material was estimated to be about 410,000m³. As the initial volume of earth flow was assumed to be about 185,000m³, in the course of flowing down of 3.5km along the Minamijigokudani valley with an average slope 1/4, debris of about 200,000m³ had to be supplied mainly by its erosion of the talus deposits on the southern flank and also by gouging out the rock and soil on river floor.
- 5) In the A-area of Shin-akakura, the earth flow ran straightly over the left-side embankment, spreading as it went, to form eventually flat, and it covered the area of 76,100m² with lobe-shaped deposits of about 87,950m³. At the edge and periphery of the debris, the

* 新潟大学理学部 ** 新潟大学積雪地域災害研究センター

flow was retarded and was stopped by the houses and buildings.

- 6) In the C-area of Shin-akakura, the flow was spreaded and covered the area of about 68,700 m^2 with the debris deposits of about 111,050 m^3 . The earth flows successively ran down as 12 individual waves.
- 7) The earth flow reached a maximum velocity of approximately 20m/sec as it flowed down the Minamijigokudani valley. In the stream near the C-area of Shin-akakura, 19 individual waves were observed. The height of wave front was 5 to 6 m at first, then lowering to 1 to 0.5 m step by step.
- 8) Most effective causes for over-flooding at the A, B and C areas of Shin-akakura are ascribed probably to the leveling up of the river floor due to the construction of the embankment for change of the stream from original natural course to the artificially excavated river Fukazawa-gawa.
- 9) The second slide, of about 25,000 m^3 in volume, took place at 13:40 o'clock on the same day, which changed to the second time of earth flow. It flowed down without over-flooding and excavated the bank of national railway near the river Sekikawa, where 3 persons were dead. The velocity at this time was estimated to be about 14 m/sec.

1 妙高土石流の発生流下とその直接被害

昭和53年(1978年)5月18日午前6時20分ころ、新潟県中頸城郡妙高火山(標高2,445 m)の外輪山を切って東斜面を流下する白田切川上流,南地獄谷の要(かなめ)付近,標高約1,600mの南側斜面で,約2 hにわたり崩壊が発生した。これが第1次崩壊であって,崩壊土石および崩壊地脚部の既存堆積物は基岩の熔岩からなる緩斜面を滑落し,その一部は対岸にのし上り,主流は流下につれて土石流の運動形態をとり,白田切川沿いに流下し,下流では一部が深沢川に流入したが,やがて人工堤を越流し,かつ洗掘して旧流路を直進し,国鉄路床堤を越流して関川に流入した(図-1 a)(図版-VI,写真-5)。これが第一次土石流である。次いで同日の午後1時40分ころ,第1次崩壊地のの上流側に第2次の崩壊が発生し,その一部の土砂は再び土砂流となって流下して関川に流入した。これが第二次土石(砂)流である。これは主に堤外一ぱいに流れたとはいえ,堤内への越流はごく小規模であった。下流では国鉄人工堤を洗掘した。

第1次土石流,第2次土石(砂)流は要崩壊地から関川まで,標高差1,150 m,延長約7.5 kmをほぼ一気に流下した。

1 第1次土石流による被害

(1) 家屋の破壊および人身被害

第1次土石流は新赤倉の2地区(A地区およびC地区)において集落地をおそい,A地区では全壊3戸のほか3名の死者を出し,C地区では全壊11戸・半壊8戸のほか7名の死者を出した(図-6-d,e,f)。

(2) 地面および道路の埋没

新赤倉A地区では左岸に直進した土石流により約76,000 m^2 の地面が土石で覆われ,総延長400 mの町道が埋没した。同じくC地区では約69,000 m^2 の土地,および延長600 mの道路が埋没した。

(3) ゴルフ場の埋没

新赤倉地区のBおよびA地区の一部,約30,000 m^2 のゴルフ場芝生が土砂で埋没し使用不能となった。

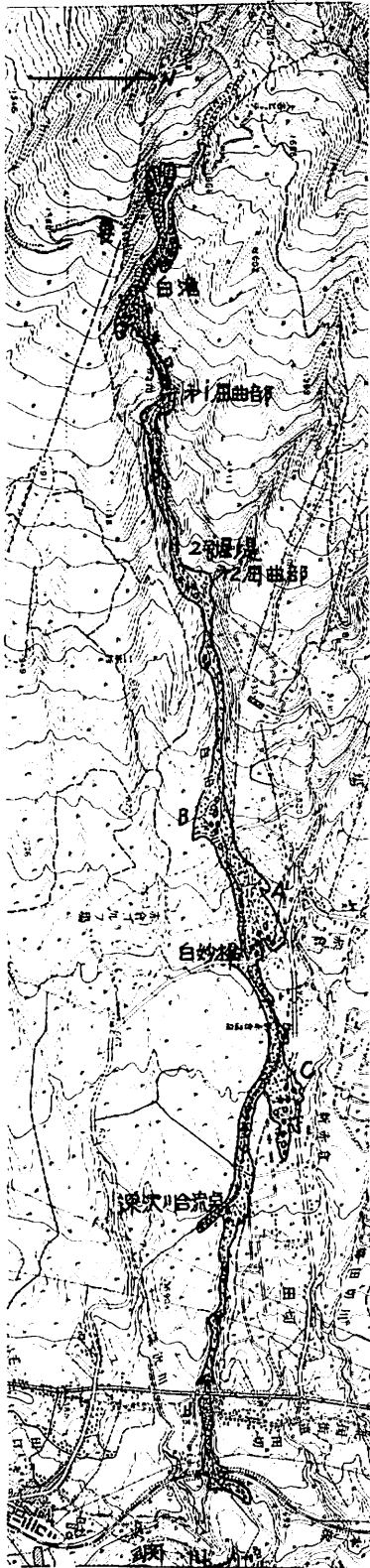


図-1a 妙高土石流の分布
 巨石の集中分布地域
 縮尺 500 M

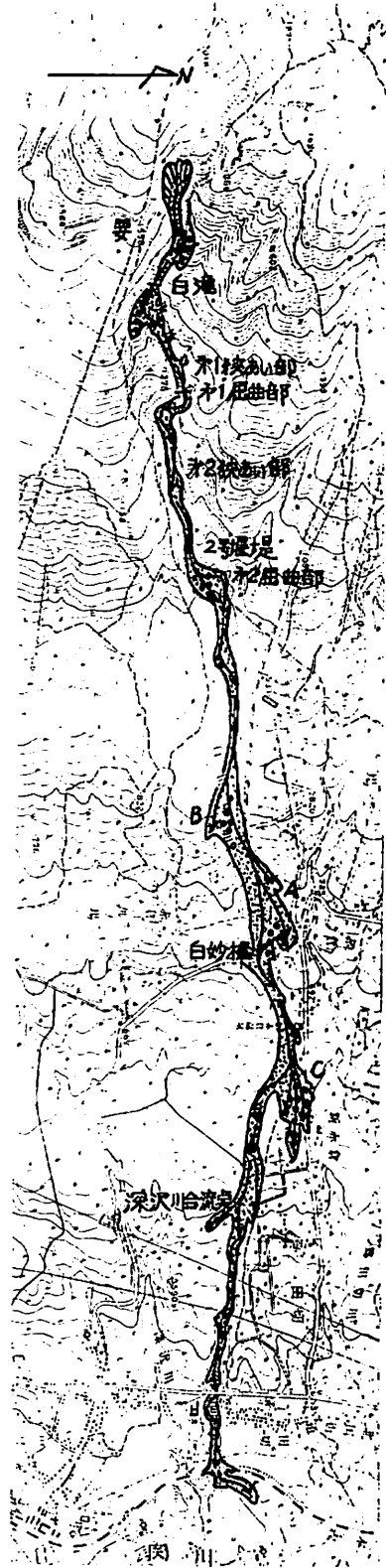


図-1b 土石流の流下方向
 ポップスレー方式の回転方向

(4) スキーリフトの破損

新赤倉 A 地区で 2 本のスキーリフト末端部の機械および構造物が破壊・埋没した。

(5) 白妙橋その他橋梁の流失

県道にかかるコンクリート橋である白妙橋が完全に破壊し流失したほか、町道橋第一白田切、第二白田切橋が流失した。

(6) 白田切橋脚部の破損およびガスパイプラインの切断

下流の国道18号線にかかる白田切橋の脚部が洗掘されると共に、地下 1 m に埋設してあった帝国石油株式会社の12インチガスパイプ（外径 318.5 mm，肉厚 8.3 mm，圧力配管用炭素鋼管）36 m の両側がねじ切られ、ガスを吹き上げ、一時、天然ガスが放出され危険な状態となった。

(7) 国鉄信越線盛土の流出

第 1 次土石流はこの盛土部分によってさえぎられるが、やがてこれをオーバーフローし、一部は両側の路線を埋没し、関川に流下した。第 2 次土石流によりやがて盛土の北端部は 8 m の深さにわたって洗掘された。このため信越線の復旧にはその後約 4 ケ月を要した。

(8) 堰堤の破損

昭和46年の土石流災害発生後、19ヶ所に砂防ダムが設置され、それ以前の古いものを含め、合計21の堰堤があったが、今回の第 1 次土石流によりこの大部分が破損を蒙った。特に上流部国有林内のもは、2 号（治山）堰堤の右岸袖部分の破壊、その下流の 3 号（治山）堰堤破損、同副堰堤の流失、などが特に顕著であった（図版-V，写真-3）。

新潟県砂防ダム関係については、“1号堰堤（石積）は高さ 5.5 m であったが、袖部および本堤上部 3.5 m が破損し、前庭も水叩きの一部を残して破壊された。2号堰堤（石積）は高さ 8 m であったが、両袖部および本堤上部 4.0 m を失った。3号堰堤（コンクリート）は、15.0 m のダムで両袖部と垂直壁工を失ったが、本堤は残り、土砂打止能を維持した。また施工中の 4 号堰堤は 14.0 m 中の 10 m が終っていたが右岸部の巾 15 m，高さ 6 m を失った。”（土木技術資料，20-9，p. 41～42，1978）。

これらの砂防堰堤は昭和46年土石流災害後に設置されたものであるが、大部分が満杯となっており、一部は今回の土石流の土砂堆積の役を演じていた。

上記 1～4 号の砂防堰堤の他に、下流では床固工が多くあったが、これらも多くは多少にかかわらず損傷を受けた。

(9) 流路工側壁の破損

中流部 1 号（砂防）堰堤下流の流路工では側壁部分が崩壊あるいは破損などの被害を蒙った部分がある。この破損部分周辺の土石流堆積物の状態をみると、巨礫の配列の延長部に被害のあることから、主として土石の衝突によったもので、脚部侵蝕（洗掘）によるものではない。

(10) その他

上記のほかに、新赤倉地区では、温泉パイプの破損、電柱の倒壊などの被害があり、更に一部の農地の埋没があった。

2 第 2 次土石流による被害

第 2 次土石（砂）流は、主として渓流内を流下したため被害は少ないが、深沢川合流点付近では左岸側に越流して神社その他の家屋を破壊した。関川合流点では 3 名の人命が失われた。

上記のうち、公共土木施設の被害総額については次のように算定されている（表-1）。

なお、要崩壊地の斜面崩壊機構についてはいろいろと議論のあるところであるが、見方によっては、治山道路の破壊、温泉パイプの切断は被害ということになるであろう。

表-1 公共土木施設被害 (新潟県砂防課)

	国 工 事		県 工 事		市 町 村 工 事		計	
	箇所	被害額	箇所	被害額	箇所	被害額	箇所	被害額
道路災害	1	160,000千円	3	208,000千円	6	149,000千円	10	517,000千円
河川災害			2	1,600,000			2	1,600,000
砂防災害			3	584,000			3	584,000
都市災害					1	70,000	1	70,000
計	1	160,000	8	2,392,000	7	219,000	16	2,771,000

なお、各種被害の総額は当時約45億円を越えると算定された。

筆者らは5月18日以降、上流崩壊地付近の基岩地質および表層地質特に崖錐性堆積物、崩土、温泉変質および湧水に関する野外調査、更に下流部一帯の基岩地質調査、土石流堆積物（古期土石流、昭和46年土石流および今回のもの）の分布状態、痕跡による土石流の流動状況の復元、堰堤・側壁などの破損状況などの調査を実施した。ここにその結果を報告する次第である。

謝辞 野外調査にあたり、妙高高原町当局、高田営林署の関係各位の御便宜をいただいた。これらの各位に対し厚く感謝する。また、地形図についても上記の各位のほか、新潟県砂防課から御供与を賜った。

調査経費の一部は文部省科学研究費によった。関係各位に感謝する次第である。

II 白田切川流域の地形概要

1. 山腹斜面の地形 (図-1a)

白田切川は妙高火山外輪山の東部を構成する前山および赤倉山の間を深く侵蝕して流下しているため、北側および南側には外輪山東斜面が広く発達している。これらの緩斜面はいずれも標高700m位まで連続しており、北側のもは赤倉観光ホテルを含む面で火砕流堆積物とこれを覆う降下軽石層からなっている。南側のもは要火砕流堆積物の作る地形面で標高1,700mから東に向け扇状に拡がっている。しかし、北側斜面のうち標高950mから西部に高まっているかなり浸蝕された地形面は更に古い泥流堆積物の作る面であろう。一方、南側でも白滝下流から白田切川に沿って要火砕流の面より一段低い細長い面が発達している。これは比較的新期の泥流（土石流）の作る堆積面であろう。

標高700mから下方に展開する緩斜面は、外輪山斜面より勾配が小さく関川まで連続している。これらの面はすべて、二次的な泥流・土石流堆積物から主になっている面であって、特に標高750mから深沢合流点（標高600m）の間では両側の面の白田切川に対する比高は小さく、3~5mとなっている。

下流の緩傾斜面についても、北側の新赤倉~田切面は著しく平坦であるのに対し、南側の面は起伏に富むように見える。

2. 白田切川の溪床勾配

白田切川の縦断図を図-2に示してある。

関川合流点より8.2Km、標高1,900m以上の地帯は源泉地を含む火口原地帯であって、溪床勾配は1/10と緩い。谷はかなり拡がっている。これから下流7Km~8.2Km（標高1,900~1,480m）の間は南地獄谷

熔岩類からなる山地を下刻し、平均 $1/2.86$ の急勾配を示す。この区間はV字谷をなし、その末端に滝（落差約20m）がかかっている。造爆層は南地獄熔岩である。

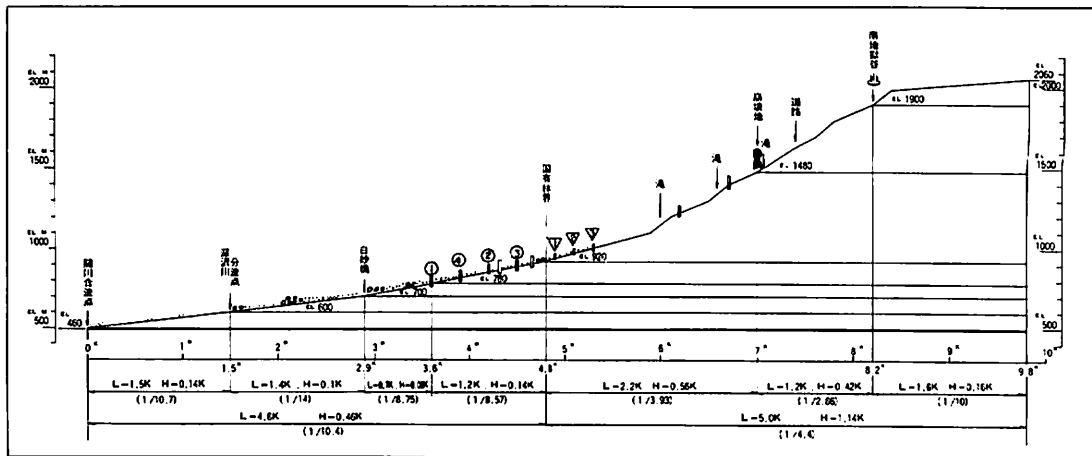


図-2 白田切川河床縦断面図（新潟県砂防課，1978，に一部加筆）

この滝から白滝までの区間はV字谷をなし、勾配は $1/2.86$ 程度で急勾配である。白滝は南地獄熔岩が造爆層となり落差約40mの大きな滝である。白滝の下流一帯は谷が開けるが全体としてはV字谷で、渓床は再び $1/2.8$ 程度のまま次の滝（標高1,200m）までV字谷の底を流下する。この末端は著しく狭隘なローカ状の谷で、次いで約85mの落差で落下する。この滝は鋭くえぐられた溝様の谷である。

この滝の下から渓床勾配は一変して緩く、 $1/8$ 程度となり、V字谷を流下し国有林境（標高920m）まで直進する。関川から4.8km、標高920mの地点から下流は谷が開け、標高780mまでは勾配も $1/8.57$ と緩くなり、更にその下流では県道白妙橋（標高700m）まで勾配は $1/8.75$ である。標高780mより下流では北側に旧河道が分岐しており谷巾は300m程度まで広がっている。

白妙橋（2.9km、標高700m）から深沢川分岐点（1.5km、標高600m）までの間約1.4kmは勾配が、 $1/14$ であって、白田切川では最も緩傾斜である。この間の兩岸の比高も小さく渓床の巾は250mと広くなっている。

深沢川分岐点から関川合流点（標高460m）までの間の1.5kmはやや渓床勾配が大きく $1/10.7$ となり、渓側には比高10~20mの崖が連続している。

5.18妙高土石流の下流での流下形態は、河床勾配と渓床巾の変化と密接に関連している。特に標高780m~700m（白妙橋）間の渓床勾配の減少、および白妙橋（700m）~深沢川分岐点（標高600m）間の緩勾配（ $1/14$ ）は、分岐点における人工堤の設置によることが多いことからみて、特にC地区での土石流の地表流下に深いかかりを持つ点で重視する必要がある。もし、この人工堤による河床上昇がなければ合流点下流の渓床勾配が上流まで連続していた筈であり、渓岸の比高も大きく土石流の地表のし上げ量はずっと少なかったことが推測されるのである。

なお、白田切川全体の縦断面図について、大きくみると、国有林界を境として上流部では平均勾配 $1/4.4$ であり、下流部では $1/10.4$ となるが、これはおおよそ外輪山地形と裾野の緩地形とに対応している。土石流との対応についてみると、上流部は主として浸蝕区であり、下流部は主として堆積区に相当する。

Ⅲ 白田切川流域の地質概要

白田切川流域の地質は崩壊地の形成，土石の供給，溪岸・溪側の土石の安定あるいは不安定状況，溪床堆積物の状況などに深くかかわっており，土石流の発生，流下形態，土石流堆積物の性質に大きな関連をもっている。

地形の項で述べたように，本流域の地質は外輪山地域と山麓部で大きな差異があるので区別して述べることにする。

1. 外輪山の地質概要

外輪山の地質は崩壊地付近から下流，標高850 m位までの間の溪岸でよく観察することができる。しかし，北岸では外輪山を構成する噴出物を覆うて，新期の泥石流堆積物や中央火口丘の活動に関係する降下堆積物があるが，これらの詳細は不明な点が多い。

白田切川流域の外輪山の地質ならびに表層地質を表-2に示してある。

表-2 外輪山の地質構成

がいすい堆積物	
新期泥石流（岩屑流）堆積物	
ローム層	
中央火口丘噴出物	
{ 降下軽石堆積物	約 5,000年
{ 火砕流堆積物（赤倉火砕流）	約 8,600年
古期泥石流堆積物（田口泥流）	約 17,700年
要火砕流堆積物	
赤倉山熔岩・火砕岩	} 外輪山
南地獄谷熔岩・火砕岩	

南地獄谷熔岩および火砕岩類は外輪山噴出物のうち最も古期のものであって，南地獄谷に広く露出している。熔岩（輝石安山岩）は厚さ2～3 mのものが多く連続性に乏しい。上流部の3つの滝の造爆層となっている。火砕岩（凝灰角礫岩，一部は火山円礫岩質）は厚く，無層理のことが多い。一般に堅硬で崩壊しにくい。一部は温泉変質を強く蒙っている。

赤倉山熔岩類の下部は成層の良好な凝灰角礫岩・火山礫凝灰岩からなり，この上に降下軽石～火山灰層があり，その上に厚い角閃石安山岩熔岩流（厚さ10 m以上）が重なっている。この熔岩流は要

崩壊地から白田切川南側に沿って連続的に露出し第2（治山）堰堤右岸まで追跡される。この熔岩には不規則な板状節理が発達し，部分的に熔岩全体を通る垂直な割れ目群があり，ここから崩壊を起こしている。今回の崩壊地のうち，主として道路よりの上部はこの崖すいによって覆われていたと推定できる。

北岸側で赤倉山熔岩類に相当するものは明らかでないが，2号堰堤下流での支流出合いの滝を構成する熔岩はこれに含まれるものであろう。この熔岩の延長は更に下流の左岸にも露出し，標高850 mで溪床下に潜入する形となっている。

要火砕流堆積物（シブタミ川火砕流（早津，1976））は赤倉山熔岩類を覆い，標高1,700 mに上部の先端があり下方に扇形分布を示している。その分布の下限は池の平西部標高約1,000 mまで達している。角閃石安山岩の本質岩片を充填する灰白色の軽石質砂からなる。固結が不十分であって岩片が崩壊し易い。要付近では厚さ15 mである。上部は褐色ローム層で覆われている。外輪山噴出物としては最末期のものであろう。

白滝下流から第2屈曲部（2号治山堰堤付近）までの南地獄谷南岸沿いに狭小な緩斜面が連続している。この面は要火砕流の面に対し100 m近い比高をもつ。巨礫を含み土石流堆積物に類似している。これを一応新期泥石流堆積物に含めてある。

がいすい堆積物は急勾配の谷壁に堆積しているが，詳細は崩壊の章で述べられているので省略する。

2. 山麓地域の地質

山麓地域を構成する地層は、外輪山起源の旧期泥流（～土石流）堆積物（田口泥流）、中央火口丘の活動に関連する赤倉山火砕流堆積物および降下火山灰層ならびに新期土石流堆積物が主なものである。地層としては、凝灰角礫岩～火山円礫岩、泥炭質シルト・砂などが主要構成要素である。泥流～土石流堆積物は白田切川の外輪山浸蝕によって最も多量に供給されたほか、これ以外の溪流の上流部あるいは源流部の浸蝕によってもたらされたものである。これらの源頭部には旧崩壊地が各所に認められるが、その崩壊は大規模な土石流下に結びついていた筈である。

旧期の泥流堆積物（田口泥流）は白田切川右岸では標高900mまで追跡され、その基底部には泥炭層がある。

泥炭層は深沢川合流点より下流部で2枚以上が介在し連続性があり、関川合流点まで追跡される。

中央火口丘降下火山灰層（5,000 B. P.）は本地域に広く分布し、よい鍵層となっている。

中央火口丘の活動に関連するものとして更に降下軽石堆積物（≡太田切川降下火山灰）があるが、これは火山体の東半分を広く被っている。

赤倉火砕流堆積物（8,640 ± 100 B. P.）は、北側の前山下部斜面を構成して分布し、新赤倉県道分岐点から赤倉観光ホテルを含む斜面の道路脇露頭で観察される。この火砕流堆積物は岩片の多い特徴があり、約5,000年前の中央火口丘降下軽石層で覆われている。全体としての高度分布は要火砕流より低く噴出時期はC¹⁴年代から、中央火口丘の活動期のものと考えられる。

古期泥流堆積物は標高950mより高い地帯の斜面にも分布するが、その詳細は不明である。

なお、白田切川より南方では、この下位に中央火口丘旧期降下堆積物が分布している（歌代ほか,1978）。

赤倉火砕流堆積物と新期火山灰層との間に、郷田切川泥流堆積物が局部的に介在している。これは郷田切川沿いに分布し、一部は白田切川右岸にも存在している（歌代ほか、1978）。

新期泥流堆積物は、降下火山灰層を被い、特に南岸地域に分布している。特に旧深沢川に沿う地域に見られるが、厚さはあまり大きくない。これは旧期において上流部で河川の争奪による深沢川・白田切川の流路変更のあったことを推定させるものである。

白田切川の流路が現在の形に固定された後、何回か大規模土石流の発生があったと思われるが、一応の堆積物分布が明らかに推定されるのは木場土石流（早津、1978）である。これは巨石の分布、旧深沢川中流部の縄文遺物の埋没状況などからその輪郭が浮かび上がるものである。

白妙橋右岸では、火砕流をはさむ泥流堆積物の上に降下火山灰の薄層があり、これらを覆うて、腐植土で境される2枚の泥流堆積物がある。これは上記の土石流の一部をなすものであろう。更に南方のゴルフ場内の露頭においても類似した堆積物が認められる。

3. 白田切川溪床堆積物

標高900mから上流では溪床に基岩（赤倉山熔岩類および南地獄谷熔岩類）が点々と露出するので、溪床堆積物の性質や厚さが明瞭である。この間の溪床は主として浸蝕区間であるので、現在見られるものは比較的最近のものであろう。国有林境付近には基質が青灰色粘土質砂からなり土石流堆積物らしいものが厚さ2m程度で分布し、現溪流路によって洗掘されている。これらはその堆積物の性質からみて主に昭和46年土石流の堆積物とみられる。

標高900mより下流では、溪床堆積物の断面が完全に見えるところは少ないが、下流ほど次第に厚くなっている。

深沢川合流点での断面では、下位から3枚の礫層があり、右岸側では最下位礫層の上に厚さ2mの火砕流堆積物が挟まれている。この層位は不明である。

白妙橋より下流では、常時の流水路から1～2m高い平坦な段丘様微地形が白田切橋まで、両岸に交互に分布している。これらは洪水時など河水上昇時の堆積物や昭和46年土石流あるいは、それ以前のものを含んでいる。

Ⅳ 5.18 妙高土石流の土砂収支

災害発生直後、要地点の崩壊土量についてはかなり巾のある値が報ぜられ、下流の堆積土砂量については90万～100万 m^3 と報ぜられた。筆者らは現地での測量、土石流堆積地全域についての観察に基づいて、崩壊土量、堆積量、流失量などから土石流の土砂収支について考察し、流下過程での土石付加の主要因について推定を行った。以下、その結果について述べるが、不確定の量が依然としてあり、問題の複雑さを感じずる次第である。

1. 要崩壊地の流出土砂量

要地点における第1次崩壊土砂量は180,000 m^3 であった(新潟大農 霜鳥・早川の計算)。なお、この崩壊量については異なる値、例えば29万 m^3 (政府調査団・新潟県砂防課)、などが報告されている。

崩壊地では、2時間後の写真の判読から、約10,000 m^3 以上の残留土を崩壊地脚部に残していた。また、崩壊前の緩傾斜地に堆積していた既存土量約15,000 m^3 は崩壊流下時に流出したと推定されるので、第1次土石流に転化した初期崩壊流出土砂量は

$$180,000\text{ m}^3 - 10,000\text{ m}^3 + 15,000\text{ m}^3 = 185,000\text{ m}^3$$

程度と推定される。

2. 第1次土石流堆積物の分布面積

第1次土石流の主な堆積区域は南地獄谷末端部、第2堰堤上流部から下流、関川合流点までの間であった。この間について1/1,000地形図を基図として、土石流堆積物の野外調査に基づいて計算した結果は、総計395,300 m^2 (\div 39ha)である。この堆積域のうち最も土石流の広がった3地域についてみると、溪床勾配の最も小さい地域に一致しており、新赤倉A地区：76,100 m^2 、同右岸B地区：49,200 m^2 および下流部の新赤倉C地区：68,700 m^2 である。

3. 第1次土石流堆積量

土石流分布面積の計算と同様に、1/1,000地形図を基図とした野外調査に基づき堆積土石量を計算した。その結果は、上記の堆積域全体について総量410,000 m^3 であり、ほぼ平均1mの厚さに相当する。主要な3地域については、新赤倉A地区：87,950 m^3 、同B地区：53,700 m^3 、新赤倉C地区：111,050 m^3 である。なお、関川に流入し流失した土砂量および白滝付近の堆積量は計算に入れていない。従って、上記の総量は少し下回った量である。また数日後の測定で含水比が45%程度であったことから、全体として固体土砂量は逆にかなり下回った値になることが考えられる。

4. 溪岸・溪床侵食による土石の付加量

要地点における崩壊流出土砂量185,000 m^3 と堆積・流失土砂量との差約20万 m^3 の土石は、主として白滝～白滝下流第1屈曲部の間に存在していた崖錐堆積物の崩落および溪床侵食、ならびに第2屈曲部(2号堰堤付近)の既存溪床堆積物(主に昭和46年土石流堆積物)の洗掘によって供給されたものと考えられる。

特に、白滝下流右岸山腹には、要崩壊地の面積に匹敵する大崩壊地を生じ（図-4）、下部の崖錐堆積物はほとんどが崩落した。これは土石流の衝撃によるもので、上部の樹木はなぎ倒されている。また、滝の直下から次の滝の間には溪床堆積物がかなり存在していたことが、地形から推定されるが、土石流通過後の残留土石は少ない。

下流の第2屈曲部では、2号堰堤上流部から既存溪床堆積物特に昭和46年土石流堆積物の洗掘が顕著で、更にその下流の標高900mまでは最大で3m深に及ぶ洗掘が行われた（図-6b）。

V 5.18 妙高土石流のダイナミックス

A 総説

(1) 土石流の流下速度

a. 第1次土石流

この流下速度を算出する資料としては、白滝落下時刻（白妙橋通過時より4分10～15秒前）および赤倉観光ホテルわき通過時刻（鴨井国博氏談話）、新赤倉白妙橋通過時間（6時26～27分を示す埋没時計指針）および下流の白田切橋通過時刻などがある。これらを総合して算定すると平均20m/秒となる。もちろん、これは第1波の速度である。流下速度の大きかったことは、5.18妙高土石流の特徴の一つである。

b. 第2次土石流

目撃者が多いので比較的正しい値と思われるが、上記各地点の通過時刻から第1波は平均約16（～14.3）m/秒と算出される。平均速度は以上のものであるが、河床の屈曲、溪床勾配の変化があり、ところにより差があることは当然である。白妙橋付近の緩勾配地域では、NHKのフィルムのコマ数から8～10m/秒程度と算出される。

なお、第1次土石流については、相次ぐ段波が50mおきに、2～3秒の間隔で白田切川を流下したという（鴨井氏談話）。もしそうだとすると、各段波の速度は18～20m/秒以上ということになる。そして写真にみられる衝突状況から、第1波が最も速く次第に速度が小さくなったと考えられる。

(2) 目撃された土石流の流下状況

a. 地表地域（堤内地）の流下形態

5月18日妙高第1次土石流の流動状況については、鴨井国博氏はか目撃者があった。これらの方々の談話によると、赤倉観光ホテル付近より下流では、表面が波立つように、しかも全体として壁のような感じで押しよせたといわれる（図版-Ⅳ，写真-1～3）。

地表部を流走する際には、先端に舌状部が先行し、これが家屋の土台や脚部を破壊し、次いで上部構造が、時には180回転してつぶれたという（図版-Ⅳ，写真-3）。その背後に土煙りが立つといった状況で進行したようである。新赤倉C地区では、北側の県道沿いに最初流下し、以後相次いで12回見られたという（図版-Ⅳ，写真-4，5）（図-3a）。

b. 溪流中の流下形態

白田切川（C地区南側）で観察された、溪流を流下する土石流先端部は、図-3bに示したように、最先端部に低いプリフローが先行し、次いで巨礫が上に浮かぶようにしてフロント部、次いでヘッド（ボディ）が盛り上がった形で連なり高さが減じてテイル部分となっていた。ヘッド部分はかなり粗粒の感じがするがテイル部分は泥質である。このような「こぶ」状の高まりが相次いで2～3秒おきに、約50mの間隔において19波観察され、始めから終わりまでは40分位の間であったという（鴨井氏談話）。時間が経過す



図-3 a 地面を流走する土石流の先端部
先端の舌状部が家屋の土台あるいは脚部
を破壊し、家屋上部構造は転回してつぶ
れたものがある。

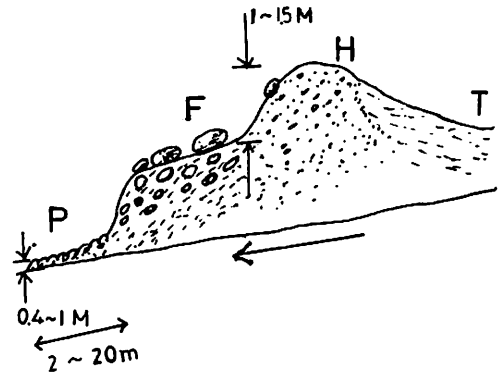


図-3 b 溪流における土石流模式図
P：プリフロー，F：フロント
H：ボディ・ヘッド，
T：テイル

るにつれて、溪床の段波は前端が低く、全体として巾広くなり、津波状の段波として流下するようになった(図版-V, 写真-1, 2, 3, 4)。

これらの現象は継続的な段波群として理解される。

各段波の前面波高は、連続写真(鴨井氏撮影)(図版-V, 写真-1~6)から判断すると、第1波は最大で4~6m、その後のものは次第に低く2m程度のもが多く、最後のころのものは50cm程度まで低くなっている。

一方、第2次土石流は堤内に越流していないので最大3m以下で、溪床勾配の小さい新赤倉地区では1m程度、下流の白田切橋では7波が数えられるとともに波高は再び高く2~3mであったと推測される(山津波様であったとの目撃者談)。

(3) 段波の発生地点と発生機構

第1次土石流がいくつかの独立波として流下したことは、1つは上記の目撃者の談および写真から、1つは第1次土石流堆積物の野外地質調査から確認される。

第2屈曲部(治山第2号堰堤付近)から下流では、1つ1つの土石流に対応する巨石の集合累積(堆積フロント)の存在や巨石の連続堆積状況が区別され、それぞれの土石流が独自の流速およびその変化、ならびに流路をもっていたことが窺われるのである。(これらの識別には、昭和42年8.28羽越豪雨に伴う土石流調査の経験が大きく役立った(茅原ほか, 1967))。

南地獄谷第1狭隘部を土石流が通過する際、一部は上部を飛ぶ形で直進し、左岸岩壁に衝突落下した。また下部の部分は若干減速され、落差約80mの滝を落下した。こうして、それまではほぼ一塊として流下して来た土石流が分解~分岐したことが考えられる。この滝を落下した土石流はそのすぐ下流で大きく東方へ廻りこんで第2狭隘部を通過した。この際にも上記と似た土石流の分散が起った。その下流では直進コースとなり、堆積と洗掘が開始され、流速変化が各部分に起り、段波の分化が起った。

この下流、治山第2号堰堤を破壊流下した土石流の一部は直進し、比高約20mの丘にのり上げてこれを越流し、土石流主部は大きく北へ廻転し、一部は溪床洗掘を行い、主部は左岸にのり上げながら大きく東へ回転流下した。このような土石流各部位における運動変化が独立した各段波の発生に結びついたものと推定される。勾配の急な側溝を流下する定常流が、流路の屈曲・巾変化・障害物(例えば石)などと共に段

波を生ずる例を各地でしばしば見ることができる。

写真から判断すると、第2屈曲部通過後の第1波前面波高は著しく高く泥しぶきの上限は20mは上がっているように見えるのに対し、新赤倉C地区堤内地に越流した土石流第1波の泥しぶきは約5～6mと推定される。これはA地区での堤内地越流の後であるとともに、溪流への分岐など、土石流の独立段波への分岐の一環として理解されよう。

溪床の土石流堆積物量と越流堆積量から、個々の土石流で運搬土砂が大部分、先端部に集合していたと仮定すると、C地区の越流土石流の一波当り量は $111,050\text{ m}^3/12 \div 9,250\text{ m}^3$ となる。また、C地区溪流土石流については、写真から一波当り500～700 m^3 であろう。

(4) 第1次土石流堆積物の特徴

第1次土石流堆積物は巨礫、砂泥および流木から構成されている。

巨礫は径2mから4mに及んでおり、その集中堆積域の分布に特徴があり、一般の土石流堆積物と性格が同様である。すなわち、最も大きな巨礫堆積部は地表部ではAおよびC地区の土石流堆積域先端部に集中している。溪流部では、土石流堆積物の盛り上がり各所に存在し、この先端近くに巨礫の集中域がある。このことは、土石流がいくつかの段波として流下し、溪床勾配の変化や流速の変化に伴って巨礫を残したものと見ることができよう。また、特に深沢川合流点より下流では、溪流の屈曲部において巨礫堆積域がある(図-6g)。しかも屈曲部の内側にあたる微高平坦地に巨礫のみがのし上っているところが見れば存在する。これは巨礫が土石流先端部の上方にのり形で集合運搬され、屈曲部で巨礫のみが直進し、減速され堆積したことを示している。

第1次土石流静止後、地表部では含水比35～45%で、極めて軟弱で、歩行不可能の状態であった。A、C地区とも表層は軟泥で覆われ、一見、泥流のような外観を呈していた。日を経て固結した表面はAa 熔岩様の極めて凹凸に富む形を示し、第2次土石流の溢流堆積物が平滑な表面形態を示していたのと極めて対照的であった。

地表部に残留した土石流堆積物には、大小の木片が多量に存在していたのが今回の一つの特徴であった。このことは、土石流が流下する際、溪岸の木を根こそぎ、あるいは打ち折って巻き込んだことを示すものである。ある種の木片は表皮部が青灰色に変じ、一見焼けたように見えたが、これはタンニン鉄の形成によるものである。残存した立木の表皮にもこの現象がしばしば認められた。

(5) 土石流の流路と微地形との関係

白田切川から地表部へ土石流が直進してのし上がる際には既存の微地形に支配されている。

新赤倉A地区(図-6d)では、土石流北縁は旧河川敷に沿って流下してこれを埋没した。この地域はかつて川中が広く、あるいは北側に支流の旧河道があって、近年まで湿地帯として残り、小さい流路が存在していたものである。

この対岸(新赤倉B地区)では小丘(自然堤防?)を乗越えているが、この地点から南東々方向には古い土石流堆積物(木場土石流)が分布しており、両者ともかつての微低地を通過したものと考えられる。

新赤倉C地区では、以前、中央部を東方に流下する小溪流が存在していたが、今回の土石流はこの小溪流に沿って最東方まで流下し、しかもこれに沿って土石流堆積物が最も厚くなっている。

(6) ポップスレー方式の流下形態

既に述べたように、土石流は、流路の方向の変化に応じて流れているのであるが、流れが屈曲するときに、土石流自体には大きい遠心力が働いて、土石流の表面は、新しい流れの方向と反対側に高くなり、新

くような形の層流状の形をとり、それと河床の間の空気が air cushion の役を演じたことが推定される。この層流状土石集合体は対岸に一部のし上がり、一部は空中を直線的に飛行する形で対岸の頂部をかすめて巨礫を残し、主部は北岸に高く南岸に低い上面痕跡を残す形で東方へ回転しながら流下した。この痕跡の両岸での高低差(角度で 30° ±)は“ポップスレー方式”の回転運動を示すものである。

第1次土石流発生に関連したダムアップの問題：土石流発生時以前の前駆的現象として、午前6時頃あるいはそれ以前に、音響を聞いたこと、白田切川の流れが止ったこと、などの情報があったので、初期崩壊によって白滝上流部で一時的にダムアップ現象があったのではないかとの疑いが持たれた。

そこで、崩壊土砂が流入したと思われる地点を詳しく調査したが、ここでは一時的滞水を示すような水平痕跡は認められなかった。また、土石流への転化、対岸への土石ののり上げ現象などから、急速な崩壊速度が土石流の初期運動エネルギーの大きいことに結びついたと考えざるを得ないことから、土石流発生前のダムアップはほとんど存在しなかったと結論される。しかし、2次土石流については、ダムアップによる遅れの可能性がある。

(2) 白滝～第1屈曲部間の流下形態

崩壊地対岸から東南へ流下してきた土石流の本体は、白滝の約200mほど上流地点一流路が南東方向から東方へ屈曲する部分(図-4)からそのまま南東方向へ直進して右岸側の谷壁をえぐりつつ、その一部は右岸側にみられる小さな沢へ流れこんで消滅している。このため、図-4に示したように、立木は南東側に倒れ、小沢の上流部に存在した小尾根部分の植生と表土は岩盤もろともに剥ぎとられ、そこには、巨大礫を含む土石流のもたらした堆積物が残されている。一方、こうして右岸を流れた土石流の多くは、谷壁をけずりながら東流する本流側へと流れこみ、大量の土砂礫を新しく土石流につけ加えたものと判断される。白滝を落下する際にも air cushion の存在が考えられる。

この下流部(標高1,100m)では、兩岸の谷壁が直立に近く、川底で巾約1.5mといった狭隘部(ローカ状)がある(図-4の②)。この部分は水面から10mほどの高さの部分でも巾10m程度である。この狭隘部から10数mはなれた上流部には、土石流の残した巨礫が多く残されている(図-4の②)。これは、土石流が谷の狭隘部で一時停滞したときに、土石流中の巨礫が沈積したことを意味する。

この狭隘部のすぐ下流側には、いくつかの大きい滝が連続し約80mほど急激に落ち込んでいる。しかも流路がその落ち込み先で急に南へ屈曲している。このような地形のために、狭隘部で一時停滞した土石流は、一気に、正面の左岸断崖(図-4の②)へ air cushion の上を直進し、植生を破壊し岩盤をえぐった。この部分の流路は80mも下方にあるため、谷壁(北岸)へ衝突した土石流は、そのまま下方へ落下しつつ、狭い流路を150m程の間南流したが、流路は再び急に屈曲しているため、土石流は右岸の谷壁に衝突し回転しながら東方へ流下した。

(3) 南地獄谷末端部～第1号堰堤間の流下形態(洗掘と堆積)(図-6a, b, c)

白滝下流の第1屈曲部を回転するように落下した土石流は、更にもう1回転して第2狭隘部を通過した(図-6a)(図版-V, 写真-4)。

第2狭隘部を通過すると、第2号堰堤までは直線的流路である。この区間では昭和46年土石流と考えられる堆積物が平均の厚さ1.5mで残っており、その上を今回の土砂が0.5mの厚さで覆っている。46年土石流堆積物は温泉変質を受けた青緑色の砂泥で充填されているため区別が容易である。この堆積物は1号堰堤上流で一たん新しい河床堆積物の下に潜るが、中央部が盛り上がる形をしている(図版-V, 写真2, 3)。

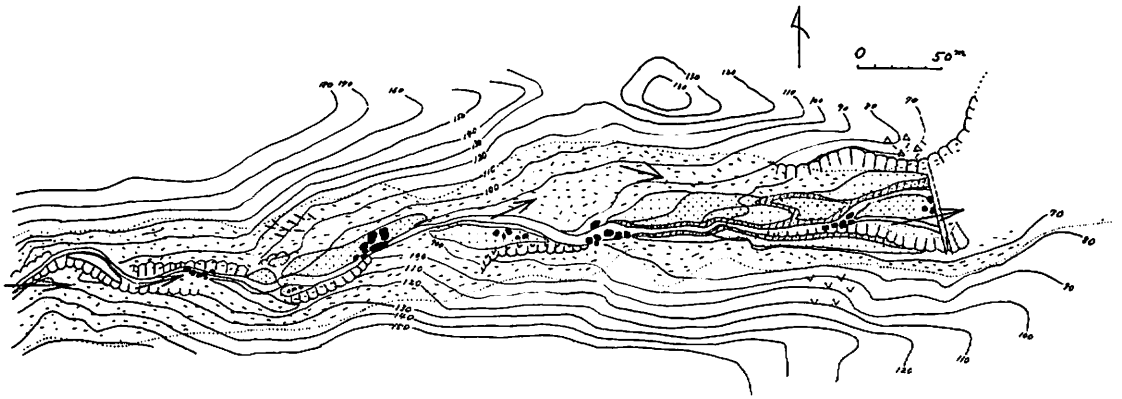


図-6a 第2狭隘部～治山2号堰堤間の土石流流下・堆積形態

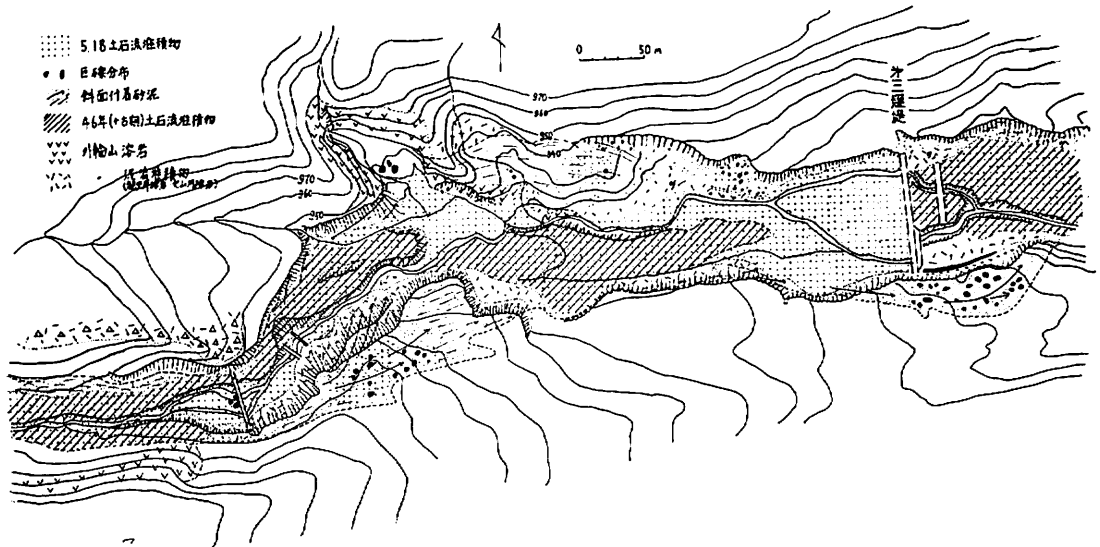


図-6b 治山第2号堰堤～砂防第3号堰堤間の流下・堆積形態

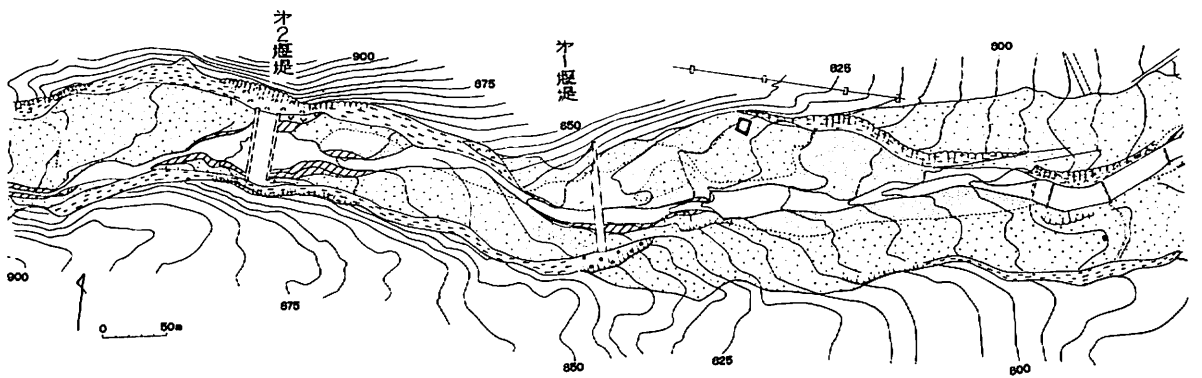


図-6c 砂防第2号堰堤～白妙橋上流間の流下・堆積形態
(凡例は図-6d参照)

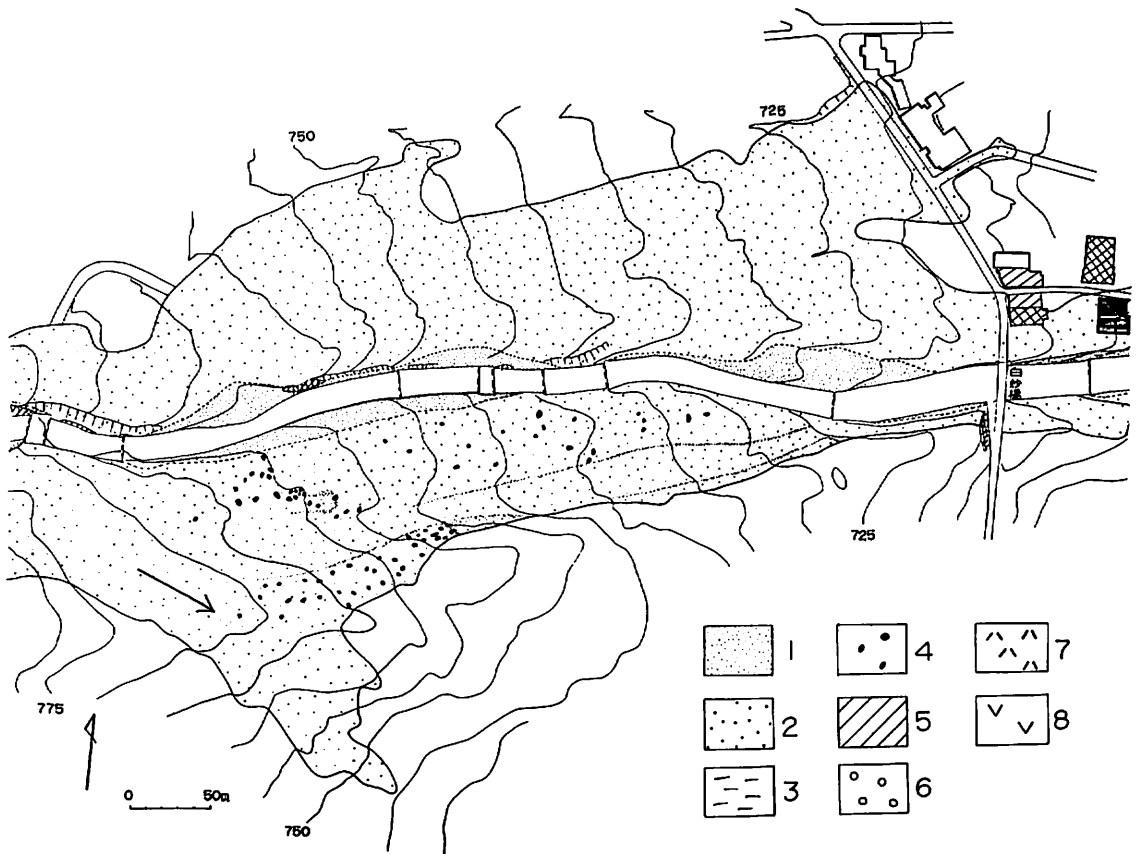


図-6d 新赤倉A・B地区の流下・堆積形態

1 第2次(第1次)堆積域 2 第1次土石流堆積域 3 植生のなき倒し域 4 巨礫 5 旧期溪床堆積物 6 泥流堆積物 7 凝灰岩 8 安山岩熔岩

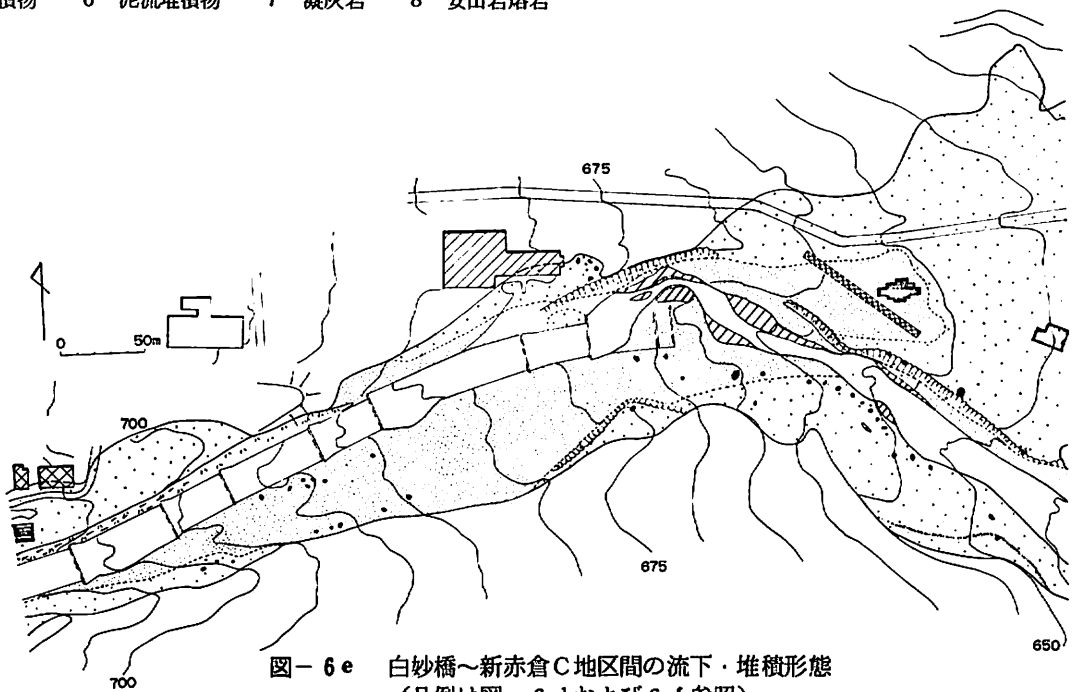


図-6e 白妙橋~新赤倉C地区間の流下・堆積形態
(凡例は図-6dおよび6f参照)

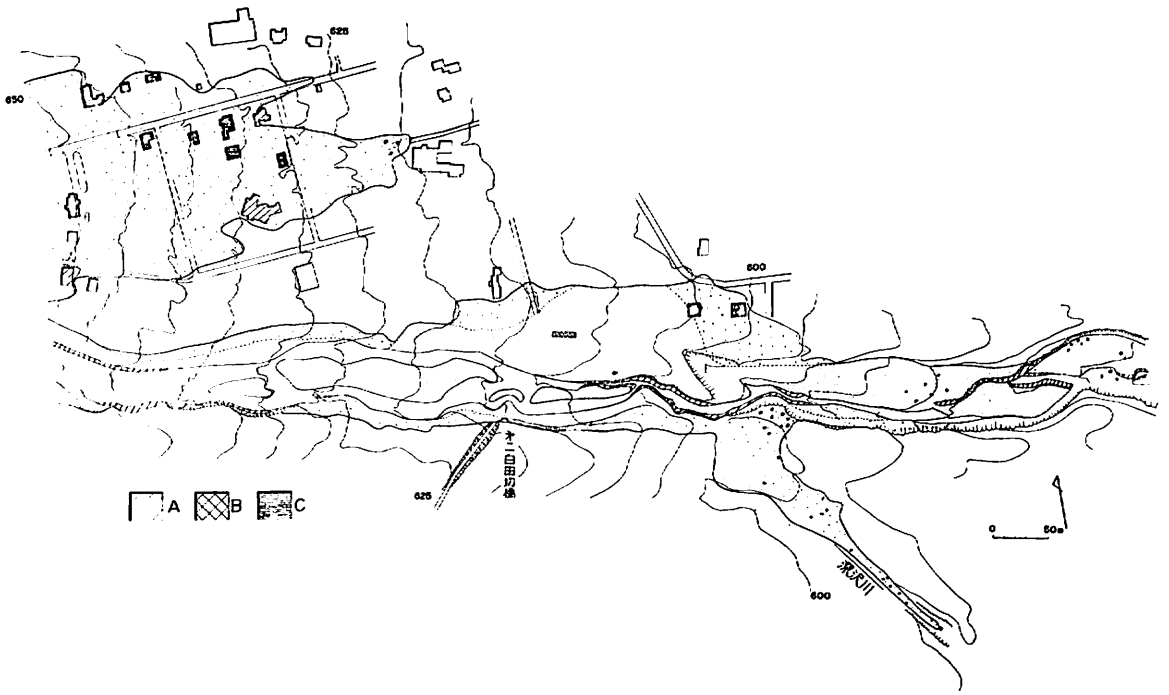


図-6f 新赤倉C地区～深沢川合流点間の流下・堆積形態
 A：一部破損，B：半壊，C：全壊家屋

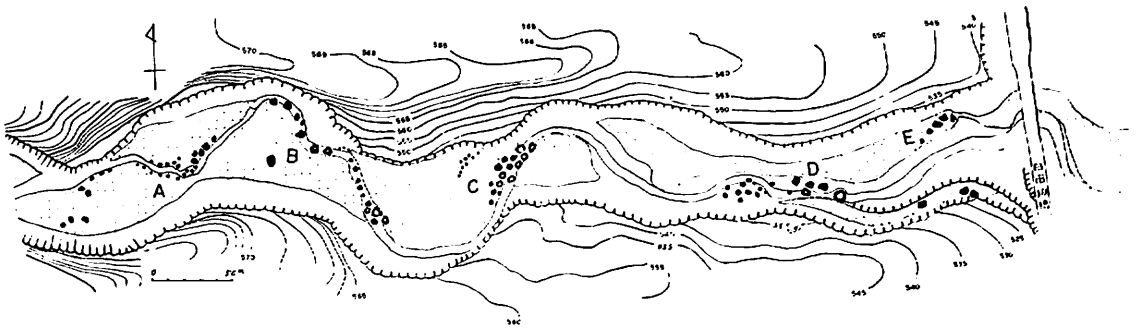


図-6g 深沢川合流点下流～白田切橋間の流下・堆積形態

2号堰堤上流および下流では46年堆積物に対し洗掘が進行し、洗掘深は1～1.5mである。一部では基岩まで達し熔岩が溪床に露われている(図版-V, 写真-3)。

2号(治山)堰堤の下、標高950m付近で溪床は北へ屈曲している。左岸側から右岸側へポップスレー方式で流心を変えた土石流はここで2号堰堤の右岸袖部分を破壊し主流は北へ流路を変えたが、一部は正面の比高20mの小丘に乗り上げてこれを越している(このことから流速約20m/秒という推定がなされている)。このため、小丘上には多数の巨礫を残した(図版-V, 写真-2)。主流は左岸(北岸)にのし上げながら東へ回転し、直進して第3号堰堤右岸に向い、一部は右岸の平地にのし上がり巨礫を残した。

(4) 1号堰堤～白妙橋間の流下形態(A地区の被災)(図-6c, d)

この間は溪床の巾が最も広い区間であって、土石流堆積物は最も広く厚く堆積した。しかも溪岸の比高が小さいため地表部へ広く越流した。

1号堰堤を流下した土石流は南東に直進し、一部は右岸の微高地を乗り越えた。ここから流路が北東東に変るため南岸の段丘様低地には巨礫を多数残した。その下流では土石流の直進性が顕著にあらわれ、地表部を直進したものは新赤倉A地区を広く覆い、県道近くで減速され、県道沿いの建物で遮えぎられて停止した。しかし、主流沿いでは運動量が大きく、白妙橋を破壊・流失させるとともに、一部は左岸側の西山山荘の建物の中を通過し破壊した。この時の衝撃力は、土砂の飛沫が高さ13mの3階屋根に多数付着しており、一部はこれを飛び越したと考えられることから推定される。

(5) 白妙橋～深沢川間の流下形態(C地区の被災)(図-6e, f)

白妙橋下流も溪床巾が広く兩岸は低い。しかもC地区では流路が南東に大きく屈曲している。そのため土石流は直進してC地区の地表に乗り上げ、微地形に支配されながら流下し拮がったため甚大な被害を生じた。この土石流先端部には巨礫が累積した。C地区における土石流の流下被災状況については、既に述べたように目撃され写真撮影がなされている(図版-IV)。

この屈曲部左岸では著しい溪岸侵蝕と洗掘が行われたが、溪床中央部に設けられていた流路床固工は被害が少なく、逆にいえば土石流の進路に影響を与えていなかった。

この屈曲部を通過した土石流は、大部分の土石をC地区地表部に残したため、溪流では量的には小規模となり、19波の段波が観察された。これらの段波は相次いで深沢川合流点に達し、初期のものは深沢川へ約240mの間、約8,700m³の土石が流入し、これを完全に埋積した。この先端部上層には巨礫が集積した。そのほかに巨礫のみが更に溪床へ落ちこんでいるのが見られた。

深沢川の埋積以後、相次ぐ土石流は人工堤の西側で集まる形となり湧き上がるような状態となり、やがて人工堤をオーバーフローし、一部は右岸側を破るとともに洗掘して旧白田切川へ流下した。

なお、この合流点左岸は地表部に土砂流が溢流し、広い部分に堆積し、神社の被災、農地の埋没があったが、目撃者の談によると二次土石流(～土砂流)によるものであったといわれている。堆積物の表面が平滑である点で確からしく思われる。

(6) 深沢川合流点～関川合流点間の流下形態(図-6f, g)

深沢川合流点から下流は溪床勾配が再び大きくなり、溪床は兩岸に対して深く、比高10mを越える崖が連続している。溪流の屈曲部には微高地が内側に存在し、巨礫が残っていることが多い。このことから、土石流は水量が多い土石流状の流下をして、屈曲部では直進した巨礫が微高地にのり上げたものであろう。それに対する屈曲部の崖では溪岸侵蝕が行われている。

白田切橋を通過する際には、木橋である第1白田切橋を流失させ、一部の巨礫は道路上に直進して残っ

た。その100m下流の白田切橋の橋脚基部は2m程度洗掘され、埋設してあったガスパイプラインが切断された。

白田切橋の下流は著しく屈曲するが、土石の一部は上の比高20mの平坦地の上まで乗り上がった。主流は蛇行しながら溪岸を一部侵蝕しながら流下した。国鉄信越線の路線堤で土石流はさえぎられ、ここで巨礫を堆積した。やがて人工堤を越流して50m下の関川に流入したが、急斜面を落下する際、多くの林木をなぎ倒し流失させた。関川合流点では主として土砂流となって、面積約29,100㎡の地域に土砂の堆積があって流路が変わった。

Ⅵ 5.18 土石流災害の問題点と今後の対策

(1) 堰堤の問題

南地獄谷末端に設けられていた治山第2号堰堤は、昭和46年土石流に対し土砂貯溜の役を果たしていたが、今回は満杯となっていたのでその効果はなかった。このほかの砂防堰堤も貯溜効果はなかったが、溪床勾配の減少には若干の意味があったことが、土砂堆積量からみて考えられることである。しかし、今回の土石流は速度が著しく大きかったため、減速効果については疑問が多い。逆に、砂防3号および1号堰堤の場合のように、溪床が上がっているため、堤内越流を容易にしたともいえるのである。

白妙橋～深沢川合流点の間の床固工は、洗掘防止という側面があった反面、溪床の上昇を促進しており堤内越流を助けていると共に、流速を増大する一面を持っていたのではあるまいか。特に新赤倉C地区の屈曲部では、土石流流心は、中央部の床固工を避けて左岸側に寄り、ここで深い洗掘を行っているのは皮肉であるといわざるを得ない。

(2) 深沢川合流点の人工築堤（瀬分け）の問題

この築堤は、明治21年、国鉄信越線建設に伴ない、白田切川本流を深沢川へ流路変更するためになされたものである。この築堤は結果として約10mほど上流の溪床を高める役を果たし、同時に、屈曲部を新しく作ったことにより流速を減殺し、そのため土砂堆積を加速したのである。これらの要因が相乗的に、元来溪床勾配の小さい扇状地様地帯の勾配を減じ、かつ溪床を高めたのである。この地帯の溪岸は自然堤防の性格をもち、特に人工的なかさ上げがないことから比高が低い。これらの要因が新赤倉A・B・C地区の土石流越流の加速原因であり、甚大な土石流災害をもたらしたのである。

なお、新赤倉A地区の越流に関連して、左岸側に設けられていた、溪床まで延びていた車道を見逃し得ない。この道路はA地区への土石流の進入路としての役割を演じていたともいえる。

このようにみえてくると、新赤倉土石流災害には人災的側面を強く認めざるを得ない。

(3) 河川敷開発の問題

新赤倉A地区における土石流の越流は、微地形、特に左岸側の旧河川敷流路によって助長されたものである。

新赤倉A・C地区被災地の開発は、昭和33年の使用認可以降に行われたものである。私権その他により開発規制には多くの問題があるとは思いますが、昭和5年、32年、37年および46年の経験から危険区域であるとの認識に立った行政指導が必要ではなかったかという疑問が残る。

(4) 今後の問題点

過去および今回の土石流災害の経験にかんがみ、指向すべき調査研究、および防止対策には多くの検討が必要であろう。

先づ第一に、南地獄谷上流部における崩災の潜在的要因の実態把握が必要である。そして可及的抑止対策の施工が必要である。

次に、治山・砂防堰堤の問題であるが、既にいくつかの堰堤の建設が立案され、施工段階に入っている。これらについては、その早期完工が望まれる。

しかし、問題としたいのは深沢川人工堤の排除である。この排除と、それによる効果については前述したことから明白であろう。

この人工堤の排除による白田切川本来の流路の再現とともに、屈曲部の減少、側岸築堤などに十分の考慮がなされることが望ましい。

参 考 文 献

- 茅原一也・島津光夫・吉村尚久(1968)：羽越豪雨(昭和42・8・28)による崩災の調査とその防災研究、羽越豪雨災害調査報告書、35～51。
- HAYATSU, K. (1976) : Geologic Study of the Myoko Volcanoes, Central Japan, Part I. Stratigraphy. *Memoir Fac. Sci. Kyoto Univ.*, Vol. XLII, No 2, 131～170.
- 早津賢二(1978)：妙高火山の形成史と泥流。地理、23, 10, 68～77。
- 妙高土石流災害調査班(1978)：土木技術資料、20, 9, 41～42。
- 歌代 勤ほか(1979)：未公表資料。