

1. まえがき

土石流は地震、豪雨による山崩れ、地すべりなどに起因して発生する多量の土砂の流動現象であると定義されており、山津波、鉄砲水などとも呼ばれてきた。土砂の流動が巨大なヘッドをもった津波のように高速であり、強烈な破壊力をもっていること、崩落土砂によって堰きとめられた流水が自然ダムの決壊によって一挙に流動し、進路にあたる流路の渓岸を破壊し、河床の堆砂礫・立木を侵食して下流に大転石・流木類を押し流す段波的な高連流をいあらわす格好の表現であったように思われる。体系的にまとめられた我が国最初の砂防工学の専門書である諸戸砂防工学¹⁾では土石流を山潮あるいは土石の押出しとし、その発生要因を(i)強雨、(ii)急激な融雪、(iii)山崩れ、(iv)侵食作用および決壊作用、(v)雪崩れ・氷河等によって起る増水、(vi)多量の風化物質の堆積として列記している。その後、土石流の発生要因、流動特性について種々の見解が報告されているが、地震・豪雨によって発生する山崩れ・地すべり土塊が土石流に発達して山地荒廃(mass wasting)を起す移動物質の流動過程は人里離れた高山地帯に発生することが多く、研究者が実証的に観測することができず、その発生→流動機構を把握することが困難であったから“幻の土石流”といわれた。近年になって、ビデオカメラの発達により自動的に土石流の発生→流動状況をカメラにおさめることに成功し、²⁾遂次その解析が進んだ。しかし、この土石流は豪雨に由来する大出水に伴って、雪ダルマ式に発達する土石流の1つのタイプに限られ、予期することの困難な急傾斜の山岳地帯で発生する大規模な山崩れ・地すべり土塊が巨大な運動量をもって流動する土石流についてはいまだ把握されていない。

一方、外国のアルプス地方の高山における雪崩れ、氷河侵食に伴って発生する土石流(岩屑流)や地震によって起こる巨大崩壊→岩屑流(土石流)の情報が伝えられ、流動機構、形態の異なる各種の土砂の流動現象が明らかにされ、土石流の駆動力についても、標高差の大きい斜面を崩落するときの大土塊のもつ運動量、流水の押圧力によるものと、表層なだれ(dry avalanche)に類似する“air cushion”(空気バネ)が駆動力になって流動する粉体流の考え方も報告されるようになった。³⁾

このような過程で昭和59年長野県西部地震によって御岳崩壊→伝上川土石流が発生した。そして、御岳崩壊による土石流、特に伝上川に沿って流動した土砂、土塊の駆動力について幾多の解釈がなされ論議を呼んでいる。筆者は、この度の地震で発生した多数の山崩れ、地すべりによる被害地を調査し、そのなかで特に異常現象としてとらえられる御岳崩壊→伝上川土石流について若干の検討を行い、改めて広義の土石流を定義づけ、移動土砂の構成材料の面から岩屑流、土石流、土砂流、泥流に区別して呼称することを提案する。

2. 長野県西部地震による崩壊、地すべりの発生機構

2.1 崩壊、地すべりの発生機構

マグニチュード6.8の地震によって長野県木曾郡玉滝村では御岳山の8合目付近における巨大崩壊をはじめ、滝越、松越、倉越、清滝、新滝地区にも山崩れ、地すべりが発生し、下流に土石流を流下させて幾多の人命を奪うとともに住宅、道路、橋梁、水路などの施設、構造物に甚大な被害を及ぼし、広大な荒廃山地を生じた。各地区に発生した山崩れ、地すべりの規模は異なるが、それらには共通的な誘因と素因があ

ると指摘できる。すなわち、山崩れ、地すべりを発生させた直接的な引き金作用は地震動によるものであるが、地質構造、下層土の土質条件が重要な要因になっている。前記6地区の山崩れ、地すべりのなかで滝越地区を除く他の5地区は、地表部を形成する溶岩層、ローム層、礫層の下層に厚さ、分布範囲など規模に大小の差はあるが、旧期火山堆積物であるスコリア層 (scoria: かなくそ、火山岩のかす)、パミス層 (pumice: 浮石層、軽石層で一般に鹿沼土と呼ばれるものと同類である。信州地方では味噌土と呼ばれ、露出部でも70~140%、飽水状態では200~300%の含水比を示す)の堆積があり、パミス層の下部にはパミスが風化し、粘土化した白土が存在している。このような地質条件のところにて地震がおこると、地震動の初期は地表に向かって張力が働き、下層土との接続状況が脆弱であると、裂け目が生じあるいは遊離するといわれる。⁴⁾したがって、図-1のように、張力の反力としての圧縮荷重が加わるので、ルーズなパミス、スコリア層は押しつぶされ、場合によっては液状化し、山腹斜面や段丘崖ではその瞬時に形成される粘土がすべり層になってスランプ状に崩壊し、あるいはそのまま地すべり運動を続け、土石流となって流下することになるということができよう。御岳崩壊をはじめ5地区ではいずれもこのような状況によって崩壊し、地すべりを起こしたと思われる。滝越地区の場合は下層土にパミス層の存在は認められないが、ルーズな多孔質凝灰岩や脆弱な複雑節理構造をもった溶岩が下層土を形成しており、地震動に対した場合、前5地区におけるパミス層と同様に弱点となって上部の溶岩が一挙に崩落したものと考えられる。

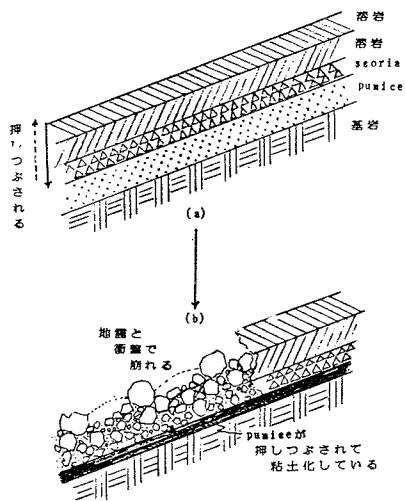


図-1 地震による崩壊、地すべりの模式図

2.2 崩壊後の流動機構

大崩壊あるいは地すべりを起こした土塊のその後の流動状況は下層土を構成するパミス層の厚さ(量)および含水量とその分布状況によって崩落あるいはスランプ状の滑動状況が規定され、発生した場所の地形(落差、山麓・崖下の傾斜)との関係によって流動状況を支配したものと推定される。

滝越、松越地区の崩壊、地すべりは落差が前者で50~60m、後者は70~80mであってかなりの高速度で崩落し、あるいはスランプ状に滑動した。そのため、対岸の尾根を乗り越え、あるいは対岸の建造物を吹き飛ばす程であったが直下に貯水ダムがあって崩落土砂の多くはその貯水ダムに流出した。崩壊した場所が居住地に近くあるいは居住地区そのものであったため、多数の人命を失うことになったが、他地区の場合のように流動土砂による下流への直接的な被害は少なかった。

清滝、新滝地区では段丘地形におけるいわゆる崖崩れで、落差は10~15m程度であったから崩落土砂がそのまま流動し、大又川上流部の流水が加わって下流に土石流を流下させたことによる被害が大きかった。清滝地区ではパミス層とそれが粘土化した白土の層が厚く、霊神碑方向へ流動した土塊はそのまま下流へ土砂を押し出した。

倉越地区の場合は落差5~10m程度の崖崩れであったが、本震の震源地に近かったこと、下層土のパミス層と白土層が厚く、含水量が多かったと考えられ、崖崩れによる崩落土砂が倉越沢を流動したと考えられる。しかしながら、他地区の場合と異なり、倉越沢上流部の深床勾配が12%と比較的緩傾斜であったか

ら下流への流動がなく、溪床周辺を隆起傾動による地表の攪乱程度にとどめたということができよう。崩落崖の落差が大きく、崖下の溪床勾配が急傾斜であったら大又川上流の倉越沢でも土石流となって下流へ被害を及ぼしたであろうと推定される。

3. 巨大崩壊による土塊の崩落速度と伝上川土石流の流動状況

御岳崩壊による崩落土砂は巨大であって、 $3.6 \times 10^7 \text{ m}^3$ と推定されている。この大土塊が 500m の落差で崩落し、その余勢で伝上川を流動した現象は我が国ではもちろん世界的にもまれにしか発生していない。たまたま現地で、崩落についてはその速度が超高速であったと推察されるような大岩塊の崩落経路→落下到達位置が確認され、地震の発生から土石流の先頭が王滝川筋の柳ヶ瀬と氷ヶ瀬の中間地点にある狭窄部（銀鬼ヶ咽トンネル）に到達したと思われる現場に居合わせて、土石流の危険から脱出することができた体験者の談話から大土塊の崩落速度と伝上川土石流の流動状況を推定した。

3.1 大土塊の崩落速度

一般に大土塊の崩落現象は図-2に示すようである。崩落のきっかけによって土塊が運動を開始し、自重による斜面方向の分力によって下降運動を続けるが、すべり面近くには

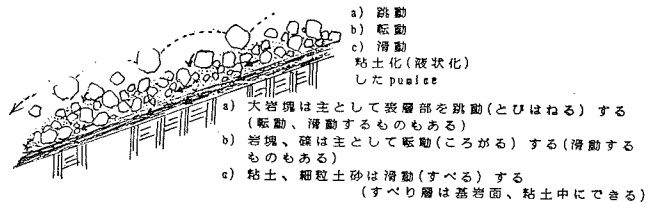


図-2 崩壊、地すべり機構の模式図

粘土が形成されるか、細粒土砂と水が集まり、すべり面を流動し、あるいは滑動する。この場合、すべり面はかならずしも固定的な面ではなく、粘土層、細粒土砂層の内部に不連続、不規則に随時形成される。したがって、この運動を全体的にみると一定のすべり面を滑動するようにみえる。崩落土塊中の砂礫は表面に浮き上るような状態になり、下層土の上を転動し、その間に滑動をはさみながら移動する。大粒径の石礫、岩塊はさらに表面にあらわれる傾向が強く、転動、跳動運動で崩落する。このように、大土塊の運動機構は複雑であるから御岳崩壊の土塊が転動したものであるか、滑落したものであるか一律に規定することは困難である。実際には転動、滑動の複合したものであろう。崩落土塊の一部は伝上川の側壁を乗り越え、小三笠山山麓の段丘上に崩落し流動、飛散している。この大土塊の崩落（最高）速度を推定すると⁵⁾伝上川源頭部では80 m/sec（約300km/h）に達し、その巨大な運動量によって多量の土砂が伝上川へ押し出され、伝上川土石流となって流動したと推定される。

3.2 伝上川土石流の流動状況

大目義弘（王滝管林署）、田中亮治（恵工電設）両氏は銀鬼ヶ咽トンネル付近を自動車で通過中に地震に遭い、その直後に轟音を聞き、王滝川上流に構築されている既設の貯水ダムが決壊したと思い前者は脱出する直前の時刻から山腹斜面を約30～40m上方へかけ上るまでの時間経過から、後者は斜面を駆け上る途中、最初の余震の記憶から、地震の発生から土石流の先頭が銀鬼ヶ咽トンネル付近へ到達するまでの時間を約8分と証言している。⁵⁾伝上川源頭部から銀鬼ヶ咽トンネルまでの距離は約10kmであるから伝上川土石流の平均流動速度は約20m/secと推定される。超高速で崩落した大土塊の運動量が土石流の駆動力となって伝上川を流動したということができよう。伝上川を

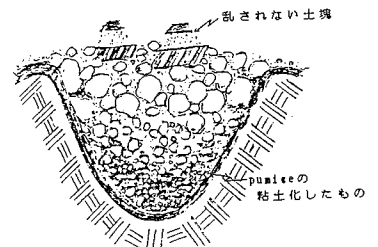


図-3 伝上川土石流の断面模式図

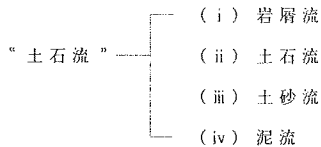
流動するときの状況は図-3の模式図に示すように、十分に水分を含んだパミス層が押しつぶされて粘土化し、その泥流の上に溶岩塊を含む多量の崩落土塊が乗かって伝上川を流動したと考えられる。このことは、(i) 伝上川溪岸の両斜面に付着している泥土の存在、(ii) 堆積地帯にみられる“流れ山”の存在、(iii) 重機が移動するとき堆積地帯の表層土が“浮き島”のように波打つこと、(iv) ボーリングおよび床掘り掘削中に泥土のなかから破断された樹木片が掘り出されていることなどから推察することができる。

御岳崩壊による崩落土塊の一部は伝上川を飛び越えて小三笠山山麓の樹林を破壊し、隣接する鈴ヶ沢上流部へ流動した。この流動土砂によって鈴ヶ沢には土石流が発生し、鈴ヶ沢部落下流の流路工では泥流を流下させている。鈴ヶ沢上流部で発生した土石流の発生状況は不明であるが、段破的に流動したとする下流部住民の談話から推察するとダムアップ→決壊型の土石流であったと思われる。

4. むすび

3.6×10^7 m³という大土塊が伝上川を流動したその駆動力について、崩落する土砂がもつ運動量あるいは流水の押圧力によって流動する土石流と、土砂中に送り込まれ、含まれる空気の“air cushion”によって流動する粉体流であるとする論議がなされている。一般に粉体流は穀物、農業・医薬・顔料などの主要成分である粘土粉およびセメントなどの輸送手段として用いられる工学的な流れの概念でパイプライン中の噴気流を総称しており mass flowと訳されている。したがって、自然現象における土砂の流動をいいあらわす言葉としては使用されなかった。流動土砂中へ絶えず噴気が送り込まれると粉体流的土石流もあり得るが現実的には流動土砂中の空気は流動過程で放出されるので、“air cushion”が駆動力になることは少ないと考えられる。

一方、土石流の発生機構、流動現象をふまえてその発生を予測し、対応策を考える砂防の立場では、土石流の発生機構を大きく次の3種に区分し、定義している。(i) 標高差の大きい急傾斜の山腹、段丘崖で山崩れ・地すべりが発生し、崩落、滑動した土砂がそのまま流動体(土石流)となって流下する。(ii) 山崩れ、地すべりによって崩落土砂が河川を堰きとめ、その自然ダムが決壊し土石流となる。(iii) 山岳地帯に豪雨があると、普通の降雨では侵食されない多数の侵食溪(山ひだ、凹地などでU字谷、短水食溪などと呼ばれている)から土砂が流出し、それらが集合して土石流となるいわゆる雪ダルマ式土石流である。長野県西部地震では木曾郡玉滝村にこの(i)、(ii)タイプの土石流が発生しており、豪雨にともなう(iii)のタイプはみられなかったのが特徴である。したがって、上述の発生機構において多量の土砂が流動する現象を広義の土石流と定義し、移動物質の構成材料の種類と流動特性を明示するため、次のように分類、呼称して理解を深め、対応策を考えることが必要ではないだろうか。



参考文献

- 1) 諸戸北部(1916); 理水及砂防工学本論, 三浦書店, 東京,
- 2) 建設省北陸地方建設局松本砂防工事事務所(1975); 焼岳・浦川における土石流調査関係資料集, 技術資料No.5
- 3) O.ZARUBA ; V.MENCL (1982) ; Landslides and Their Control, Development in Geotechnical Engineering Vol.31.
- 4) 地震学者の解説,
- 5) 堀内照夫(1985); 1984長野県西部地震による災害調査報告書(印刷中)