

## 「地域防災計画」のための調査(6)

今村遼平・足立勝治

## 5. 2. 3 土石流

## 1) 土石流の性質

土石流は、かつて山津波だとか山潮・鉄砲水などとよばれていましたが、1968年の飛騨川バス転落事故や1972年の全国的な災害などを契機に、マスコミによってしばしばとりあげられたため、「土石流災害」という用語が定着してきました。しかし厳密にいうと土石流というのは、土砂の流下形態のことです。土砂と水との割合は様々で、水っぽい土石流もあれば石礫っぽい土石流もありますが、いずれも水と土砂とが混然一体となった流体として流下する特徴があります。流れるときにはものすごい音と振動を伴い、2メートル以上、時には5～6メートルもの巨礫を先頭に、雪だるま式に谷の側方を侵食しながら、数百メートルから数キロメートルを流下します。

この衝撃力は非常に大きく、流れの道筋にある土木構造物や建物はひとたまりもなく破壊されてしまいます。しかもその速度は普通4～14メートル/秒、泥っぽいものは8～16メートル/秒、速いものは20メートル/秒に達することもあり、礫質のものは4～7メートル/秒といずれも速いため、逃げ遅れてまき込まれてしまうケースが多い。

このように、山崩れ・崖崩れとならんで、致命的な被害をもたらすのが土石流災害です。重くて速い流体のため慣性があるため、溪流がカーブしているところではカーブの外側の高いところまで流体がのし上がってくるし、沢の曲がりがあり急だと曲がりきれずに直進して氾濫することもしばしばです。

土石流本体が流れたあと、引き続き泥水を主体とした後続流が流下します。しかし、この方は細粒の土砂は含んでいても破壊力は弱く、土石流本体の堆積したところを削りとりながら流下していきます。

このような土石流は、(1)豪雨によって山腹に山崩れや地すべりが起きてその崩土が沢を流下するケース、(2)これらの崩土が一度溪流をせき止めて一時的に池を生じ、それが破れて流下するケース、(3)溪流中の異常な洪水流が溪床を侵食して多量の土砂を含み、これが侵食を続けながら流下するケースなどがあり、一般には(1)、(2)が多いようです。そのほか昭和元年に十勝岳で起きたように、火山の噴火によって発生するケースもありますが、これはきわめてまれです。

## 2) 土石流被害をうけやすい土地の特徴

土石流の発生しやすい場所の特徴は、次のようになります。

- 1) 上流側に山崩れのおきやすい岩質（花崗岩類など）の山地がある。
- 2) 上流側の溪流に堆積物が多い（溪流の幅が全体に比較的ひろい）。
- 3)  $8^{\circ}$  以上の溪床の中で勾配がゆるやかになったり、急に広がるポケットがない。
- 4) 上流域の流域面積が、約  $1 \text{ km}^2$  以下の溪流が、土石流発生溪流の約70%を占める。

いっぽう、土石流被害をうけやすい場所は、次のようなところです。

- (1) 扇状地性の地形をしているところ（図-5）。
- (2) しかも、土地の勾配が  $3^{\circ}$  以上のところ。

つまり、扇状地性の地形——とくに沖積錐もしくはその類似地形——のところは、主に土石流や土砂流などによって形成された地形面で、いいかえると過去に土石流や土砂流がくり返し流出・堆積することによって、現在みる扇状地性の地形が形成されたということです。したがって、こういった比較的新しい扇状地性の地形面に土石流が到達するのは、むしろ当然のことなわけです。



図-5 小豆島のある沢における土石流の堆積

### 3) 扇状地地形面の危険度

扇状地の地形面がどこも一様に危険かというとは必ずしもそうではなく、現時点という制限をおくと、危険性の高い扇状地地形面と、そうでないところがあります。

#### (1) 扇頂溝底からの比高

富士山大沢扇状地や上高地の4堀沢のように、毎年とか数年おきに土石流による土砂堆積があるところの調査結果や、これまでの土石流被害の実態から見ますと、扇面に刻まれた谷(扇頂溝)の底と扇面との比高が7,8m以上あると、扇面にまで土石流があふれてくることは少ないようです(図-6)。

しかし、たとえ扇頂部での比高は十分であっても、扇状地下流部でこの差が小さくなったところでは、土石流の氾濫がおこることは十分あり得ます。したがって、溪床勾配と扇面との勾配が交わる点(これをインターセクション・ポイント\*といいます)より下は、常に危険な領域といえます(図-7)。

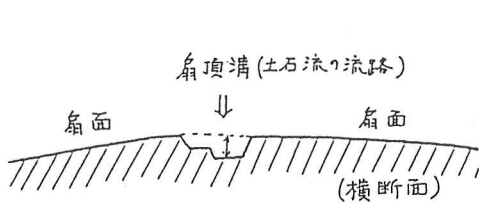


図-6 扇面と溪床との比高が、5,6mより小さくなると危険度が高くなる。

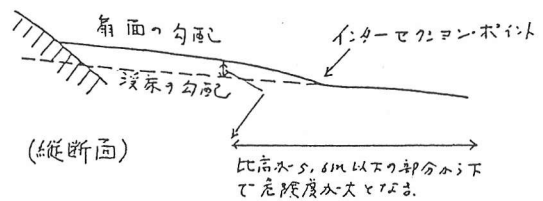


図-7 インターセクションポイントより下流側では、危険度は著しく大きくなる。

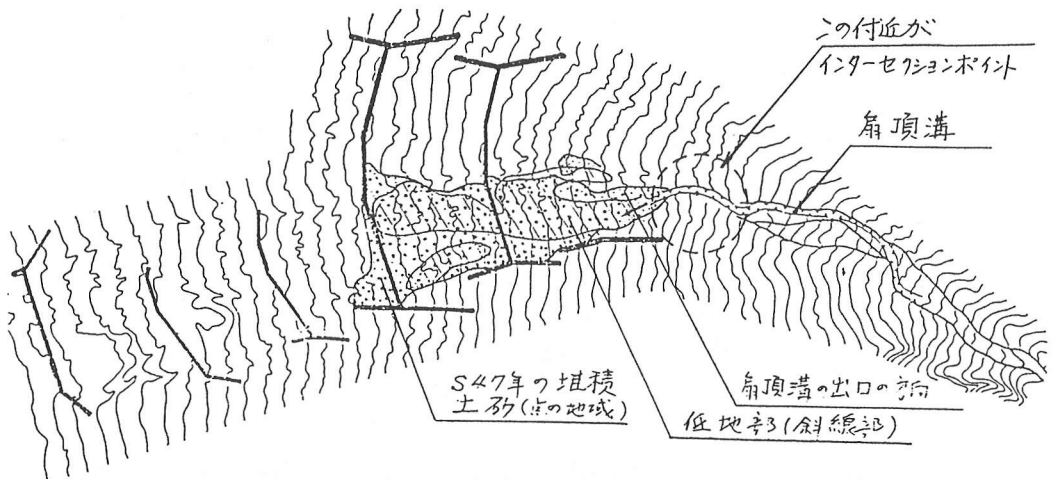


図-8 扇頂溝とインターセクション・ポイントの例(富士山大沢)

以上のような事実から、土石流被害をうけやすいところ、つまり土石流による土砂の堆積地は基本的に、

- 1) 約1.0km<sup>2</sup>以下の比較的小面積（とりわけ0.2km<sup>2</sup>のところ）の流域で、
  - 2) 山崩れのおきやすい溪流の下にある、
  - 3) 扇状地性の地形（沖積錐）をしたところ、
- ということが出来ます（図-8）。もちろん、このような堆積地に至る溪流沿いの低い段丘面も危険なことは、言うまでもありません。

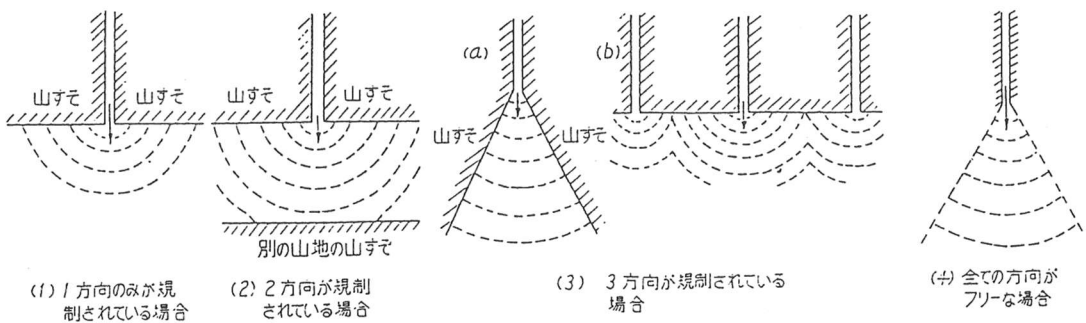


図-9 土石流被害をうけやすい扇状地性の地形

#### 4) 土石流被害域と土砂被害域の差

毎年のように土石流が出ている焼岳の扇状地（前記4掘沢）の縦断形を見ると（図-10）、やや上に凸の縦断形部分と平滑もしくは下に凸をした縦断形のところがかなり明瞭で、これまでの実績から、(1)上に凸のところは主に土石流による土砂の堆積物であり、(2)平滑な縦断形のところは、主に土砂流（掃流を主とした土砂のながれ）による土砂の堆積域であることがわかります。

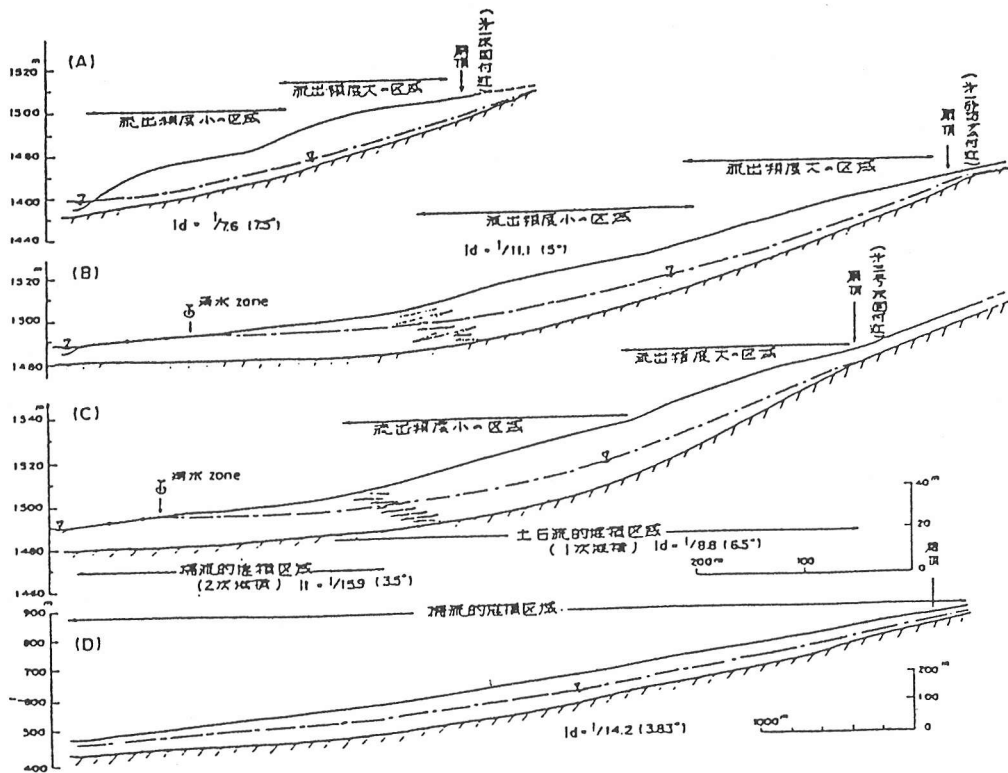
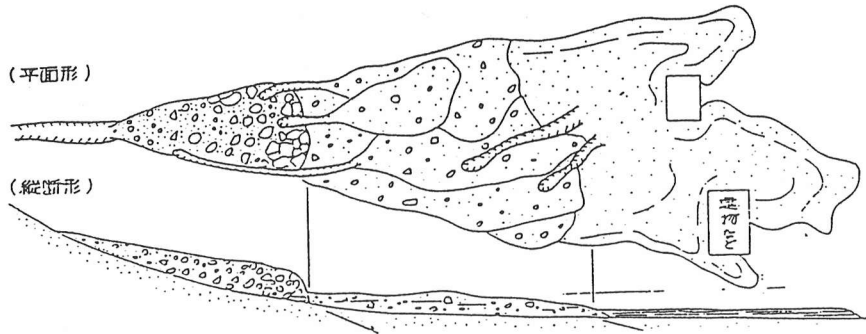


図-10 扇状地の縦断形状  
(A; 焼岳・下堀沢、B; 上堀沢、C; 上々堀、D; 富士山大沢)

図-11は、小豆島などの災害実態にもとづく1回の土石流堆積時の土砂堆積状況を模式的に示したものです。小豆島などの実態からみても、土石流は数10秒とか数分の間に直撃的な堆積がおこり、致命的な被害をもたらします。これに対し、土砂流（掃流的な流送）は、数10分とか場合によっては、1、2時間といった時間をかけておこる（図-11）。

このように、扇状地性地形面の縦断形状を詳しく読むことによって、どこまでかは土石流被害をうけやすく、どの付近からは掃流的であって直撃をうけにくいかの目安が得られます。



流送形態	土石流	掃流	
流送される物質	土石(土砂)*1	土砂〔I〕*2	土砂〔II〕
堆積の特徴	土石流堆積物の本体	土石流本体直後に短時間に堆積する部分	土石流堆や掃流土砂〔I〕の堆積にひきつづき、長時間かけて堆積する部分
礫径	Max $\phi$ —1.5m以上 時に $\phi$ —3~4mのこと がある 平均 $\phi$ —2.0m±	Max $\phi$ —1 m 平均 $\phi$ —5 cm±	Max $\phi$ —10~20cm 平均 $\phi$ —0.5cm
堆積の厚さ	最大4 m、平均2 m	最大1.5m、平均0.5m	最大1 m、平均0.3m
表面形状	不規則	地形や構造物などに左右され、不規則な場合と平滑な場合の双方あり	ほぼ平滑
断面形状	カマボコ型に盛上っている。ほとんど層理なし	平担型をなす層理(層状構造)あり	明確な層理が認められる
破壊力	きわめて大きく、致命的破壊力をもつ	比較的弱い、木造家に被害を及ぼす	ほとんど破壊力はない

\*1、\*2；諏訪(1982)のいう「盛り型」が\*1、「平担型」が\*2に相当すると思われる。

図-11 1回の土石流の発生によって形成される土砂堆積(単式)模式図(小豆島、焼岳、日光荒沢等の実例にもとづく)

## 5) 扇面における土石流堆積の頻度差

図-10をよく見ると、上に凸の部分のピークが2箇所あることがわかります。上高地善六沢の扇状地のように3箇所あるところもあります。このようなピークは土石流の堆積頻度を反映しており、中小規模のものが頻繁に出て上流側のピークをつくり、まれに大規模な土石流が出ると扇状地下方まで流下して、下のピーク付近まで到達するものと考えられます。このように、上に凸のピークの数は土石流堆積の頻度の差を示していると見ることができます。

## 6) 扇状面での危険度

土石流堆積の実験室のような富士山大沢扇状地での、昭和22年から50年までの調査結果によりますと、扇面における土砂の堆積場所は、

- (1) まず、インターセクション・ポイント付近の沢の出口（扇面と沢の高さの差がなくなるあたり）の向きによって、土砂の堆積場所の方向づけが行われ、
- (2) いったん方向づけられたあとは、その方向域での低地部に堆積しやすい（図-8）

このような事実から、扇状地性地形面における土石流堆積の危険度を概念的に示すと、図-12のようになります。以上述べた点を念頭において山麓部の土地の地形を見ると、土石流災害に対して安全な土地を相当詳しい精度で知ることができます。さらに詳しく知るためには、1/2,500程度の地形図を使ったRandom Walk Model（確率モデル）による土石流堆積のシミュレーション（今村・杉田、1981）などが効果的でしょう。

最近のシミュレーションモデルでは、決定論的モデルもあります。

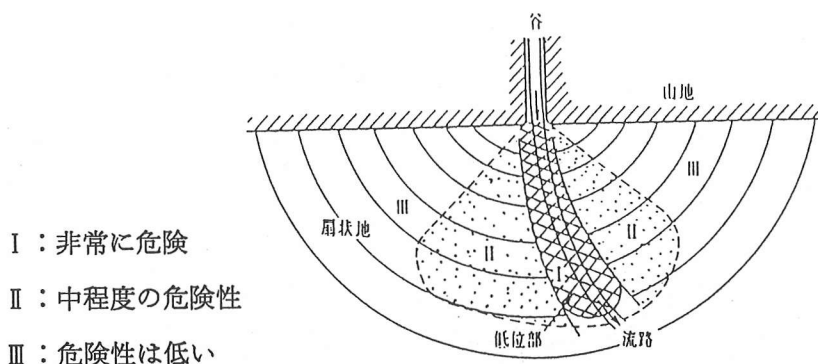


図-12 扇面における土石流に対する危険度を示す概念図

## 7) 溪流における土石流発生の危険度評価

土石流の発生危険度の評価手法は、建設省河川局砂防課の「土石流危険溪流および危険区域調査要領」(1998)に詳述されています。これによる危険度評価は次のとおりです。

土石流の発生に関係する素因としては、次の要素があります。

- (a) 溪床勾配
- (b) 溪床堆積物の有無
- (c) 地形、地質関係要因(崩壊要因)
- (d) 流域面積
- (e) 溪床堆積物の質

溪流のもつ土石流発生の危険度は、(1)溪床勾配と溪床勾配 $15^{\circ}$ 以上部分の流域面積による危険度(表-12)と、(2)各溪流で溪床勾配 $10^{\circ}$ 以上の河道における平均的な堆積土石量の厚さにもとづく危険度(表-13)、の双方の要因の組み合わせによって決めます(表-14)。

表-12 溪床勾配および溪床勾配 $15^{\circ}$ 以上での流域面積による危険度

危険度分類	溪床勾配および溪床勾配 $15^{\circ}$ 以上での流域面積
a1	$15^{\circ}$ 以上の溪床勾配で5ha以上の流域面積を有する
a2	$15^{\circ}$ 以上の溪床勾配で5ha未満の流域面積を有する
b	$10^{\circ}$ ～ $15^{\circ}$ の溪床勾配を有する
c	$10^{\circ}$ 以下の溪床勾配を有する

溪流勾配による危険度がa2、bもしくはcの場合には地形・地質による危険度を調査する(表-15、表-16参照)。地形地質調査の結果、評価点数5点以上の危険ありと判断された場合には実際の溪床勾配の危険度分類がa2、bもしくはcであっても溪流勾配の危険度分類をa1として取り扱う。



表-13 平均堆積土砂量（厚）による危険度

危険度分類	渓床勾配10° 以上での各断面の最深堆積土砂厚の平均値
a	2 m以上もしくは多い
b	0.3 ~ 2 mもしくは中
c	0.3 m未満もしくは少ない

表-14 渓流の危険度（調査要因と危険度分類）

調査要因の組み合わせ		渓流としての危険度分類
渓床勾配の評価	堆積土砂量	
a1	a	A（非常に危険な溪流）
a2	a	A（非常に危険な溪流）
a1	b	A（非常に危険な溪流）
a2	b	B（危険な溪流）
a1	c	B（危険な溪流）
a2	c	B（危険な溪流）
b	a	B（危険な溪流）
b	b	B（危険な溪流）
b	c	C（やや危険な溪流）

ただし、溪流勾配が15° 未満、あるいは15° 以上でも流域面積が5 ha未満の溪流の場合は、山腹斜面について表-15、16の項目を調査し、その点数から5点以上になった場合は、溪流勾配危険度をaとして扱います。

表-15 点数一覧表（地形地質調査、崩壊地 1,000㎡/1ヵ所以上）

調査項目	点数	備考
1) 地質条件		
(1) 表土層がとくに発達している地帯	1	
(2) 崩壊土層の地帯	2	
(3) 風化岩地帯	2	
(4) 火山岩層地帯	2	
(5) 火山灰地帯	1	
(6) 破碎帯	2	
(7) 第三紀層、第四紀層	1	
(8) その他の地層、岩	0	
2) 常時湧水箇所		
(1) 有	2	
(2) 無	0	

調 査 項 目	点 数	備 考
3) 比較的規模の大きい崩壊履歴		
(1) 有	2	
(2) 無	0	
4) 新しい亀裂、滑落崖		1項目以上
(1) 有	5	
(2) 無	0	
5) 積雪地帯		
(1) 積雪地帯	1	
(2) その他	0	

表-16 点数一覧表（地形地質調査、崩壊地面積10%以上）

調 査 項 目	点 数
1) 地質条件	
(1) 風化岩地帯	2
(2) 火山岩屑地帯または火砕流堆積地帯	2
(3) 火山灰地帯	2
(4) 破碎帯	2
2) 地被状況	
(1) 10%以上	3
(2) 10%未満	0
3) 山腹勾配	
(1) 45° 以上	2
(2) 45° 未満	0

#### 8) 土石流の氾濫危険区域の想定

##### (1) 谷底平野部

建設省河川局砂防課の手法（1978）は、以下の通りです。

- (i) 氾濫起点……支溪の合流点、狭さく部の出口、原地形の溪床勾配 $8^{\circ}$ 以下では堆積のはじまる可能性があります。
- (ii) 氾濫終息点……原地形勾配 $3^{\circ}$ （約1/20）（土砂流は $0^{\circ}$ まで）
- (iii) 氾濫土砂厚……土石流の規模や溪流の溪床幅等によるが5～6mが最も多い。最高では10m。



(iv) 危険区域の想定……氾濫起点から氾濫終息点までの間において、氾濫土砂厚に対する地盤面まで（図-13参照）をすべて氾濫区域とします（一次危険区域）。

ただし、土石流の流土砂量と不安定土砂量がわかっているときには、平面的な氾濫区域とその土砂厚からもとめた堆積推定量とを照合して、危険区域を設定します。

## (2) 扇状地部

(i) 氾濫起点……谷の出口、扇状地頂部、原地形勾配が $10^{\circ}$ 以下（土砂流の場合 $8^{\circ}$ 以下）で堆積が開始すると考えられます。

(ii) 氾濫終息点…… $3^{\circ}$ （約 $1/20$ ）（土砂流は $0^{\circ}$ まで）

(iii) 氾濫土砂厚…… $3\sim 5\text{ m}$ が多い（土砂流の場合 $2\sim 3\text{ m}$ 以下が多い）。

(iv) 危険区域の想定……谷底平野と同様の方法をとると扇面全部が土石流危険区域となる（一次危険区域）。土石流の量的把握が可能であれば土石流の流下幅を推定して、その流下幅の10倍程度を土石流危険区域とする（二次危険区域）。土石流の堆積長と土石流の土砂量との関係が使用できる地域では、この堆積長から土石流危険区域を想定する（三次危険区域）。

土石流の流下方向は谷の出口を中心に $40^{\circ}$ 以内の扇形の区域と考えられるが、扇状地上では原地形による影響も大きいので、現地踏査をしたうえで現地にあった危険区域を設定すべきです。