

## 平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨における防府地域の斜面崩壊形状とその特徴

Slope Failure Forms and Their Characteristics in The Houfu Area, Caused by Heavy Rainfalls  
Broadly Occurred in The Chugoku and Northern Kyushu Region, July 2009

阪口 和之 Kazuyuki SAKAGUCHI (アジア航測株式会社)

平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨では山口県防府地域において 24 時間降雨量が過去最大の 250mm を越え、それに起因して 600 箇所を越える崩壊とそれに伴う土石流が発生した。これらは、ある限られた範囲に集中するものの、その中でもすべての支流で発生する溪流や、一部の支流で発生する溪流など、近接する中でもその特徴に差異が認められた。また、小規模な源頭部崩壊が土石流を引き起こしていることのほか、流域内の源頭部崩壊数と土石流規模との相関性も見られた。本文では、特徴が異なる溪流の源頭部崩壊やそれにつながる土石流状況を地形的観点からまとめた。また、多数の崩壊・土石流の面積を算定し、その情報を整理することから防府地域の崩壊・土石流の特性を見いだすことを試みた。

キーワード: 航空写真判読, 地形解析, 源頭部崩壊, 土石流, 地域偏在性 (IGC: B-9, C-1)

## 1. はじめに

平成 21 年 7 月 21 日から 7 月 26 日までの記録的な豪雨により山口県から福岡県の広い地域に多くの箇所崩壊や土石流が発生した。特に山口県防府地域では 24 時間雨量で観測史上最多の 250mm 以上を記録し、多くの死者や負傷者が発生する大きな土石流災害が生じた。本文では防府地域で発生した崩壊・土石流についてその発生状況と地形的な特徴について述べる。

## 2. 崩壊・土石流の発生状況

平成 21 年 7 月 21 日の集中豪雨によって防府地域で多くの崩壊・土石流が同時・多発的に発生した。発生箇所を図-1 に示すが、空中写真判読と現地踏査によって確認できた崩壊総数は約 600 箇所を越える。その分布は北が防府市中山から南が防府市大道までの狭い区域に限定されているが、中でも右田ヶ岳、西目山、矢筈ヶ岳の斜面での発生が際立っているが、その中でも崩壊・土石流が頻発している区域とほとんど発生していない区域に分けることができた。また、局所的な流域単位で見たときに、すべての沢で崩壊・土石流が生じた溪流、ほとんど生じていない溪流など発生域にもバラツキが認められた。崩壊の多くは源頭部の 0 次谷で生じており、多量の雨水を含む崩落土砂が急勾配の沢地形を流下して土石流となって河川本流に到達する形状がほとんどであった。また、土石流が流下する過程で溪岸を浸食して側部崩壊が誘発された箇所も多く認められた。ただし、一部には崩壊でとどまったケースや主溪流に到達せずに活動が停止したケース、本流に到達せずに

活動が停止したケースも認められた。

源頭部崩壊は崩壊面積が概ね 200m<sup>2</sup> から 600m<sup>2</sup> が多く、土石流は流長が 100m 程度の短いものから本地区最大の勝坂の数 km まで幅広く認められたが、概ね 500m までがほとんどであった。

## 3. 崩壊・土石流発生地域の概況

防府地域では多くの箇所崩壊・土石流が生じたが、その中で、地形的な水系パターンと異なる崩壊・土石流形状と見られる勝坂(剣川)、真尾、下右田及び奈美の 4 地区の状況を表す航空垂直写真を図-2 に示した。勝坂(剣川)地区は、本流に多くの小規模支流が流入する水系パターンを示した。大規模な土石流が発生した下右田地区も剣川に流入する支流の一つである。写真に点在する白い斑状が今回の崩壊・土石流で移動した土石、もしくは溪床の花こう岩露岩である。勝坂地区では、源頭部や支川合流部などに数多く白色部が見え、この状況から今回の豪雨で、剣川に流入するほとんどの支流で崩壊・土石流が発生していることがわかった。

対して、真尾地区は、本流に流入する支流が少ない水系パターンを示し、崩壊・土石流の発生頻度も小さい傾向を示す。崩壊・土石流の発生を示す浸食・堆積の痕跡も本流に見えるのみで、ほとんどの支流では浸食や堆積の痕跡は認められなかった。この状況から、真尾地区では主溪流に限定して崩壊・土石流が発生したことがわかった。

本文では、発生形態に違いが見られる勝坂(剣川)地区と真尾地区に焦点を絞って状況を説明する。

### 3.1 勝坂（剣川）地区

勝坂（剣川）地区の源頭部から国道262号までの状況を示した航空垂直写真を図-3に示す。剣川は北東から南西方向に向かって流下し、国道262号を横断して南向きに転流する溪流である。古くから顕著な土砂の流出が見られた

ことから、本溪流には2基の既設砂防ダムが認められる。地区の斜面を覆う植生は全般に疎であり、灌木などの低木やマツなどの針葉樹が主体であるが、一部の斜面では広葉高木林も認められる。

剣川に流入する小規模な支流は50溪流以上に上り、本

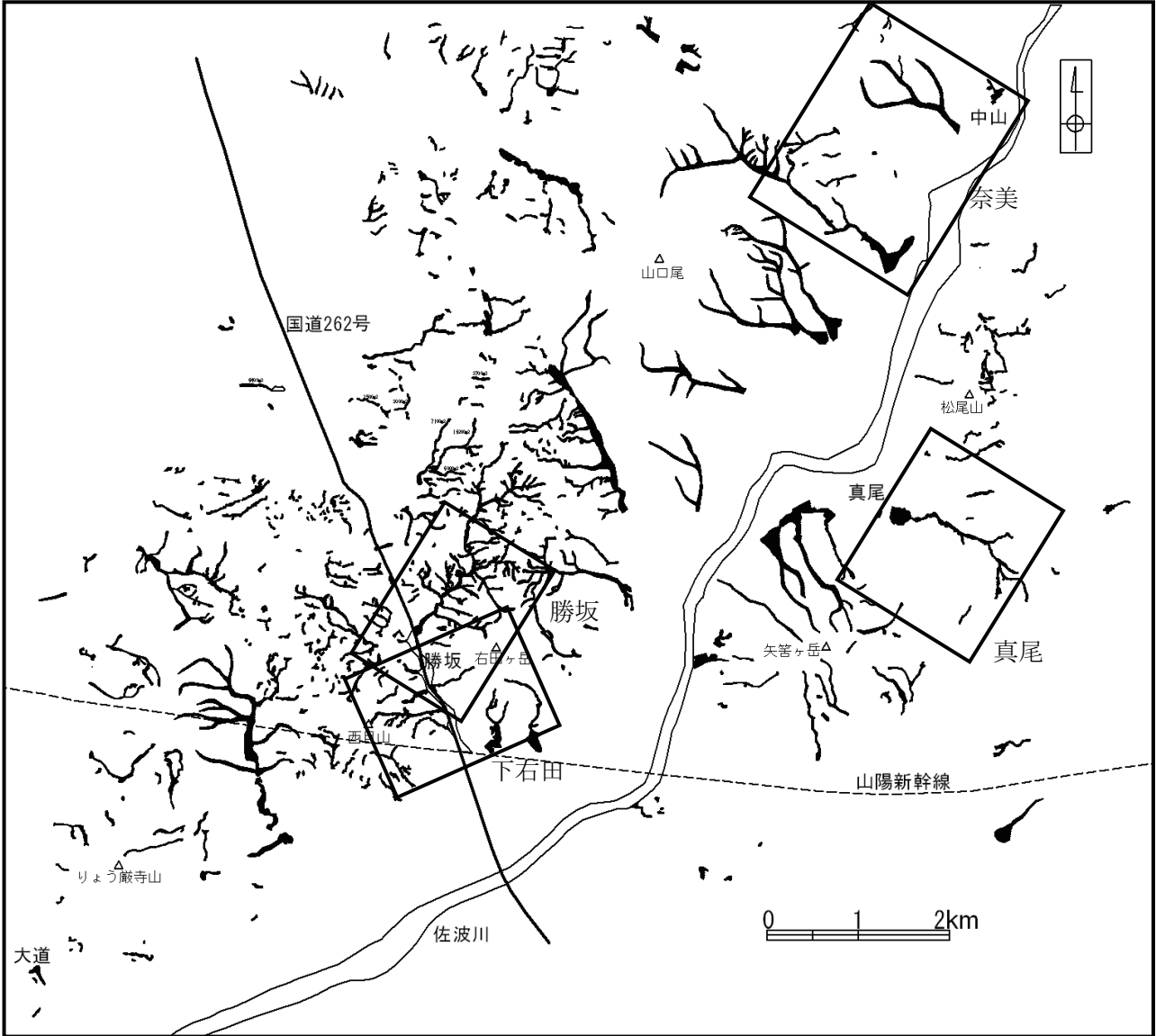


図-1 平成21年7月21日に発生した崩壊・土石流位置

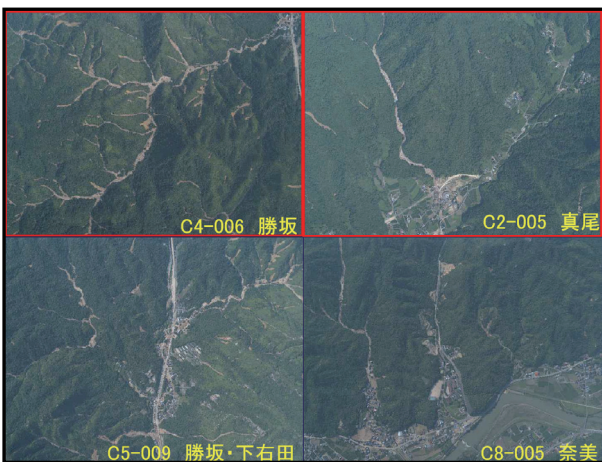


図-2 勝坂地区ほか3地区の発生状況



図-3 勝坂地区の崩壊・土石流発生状況

豪雨では崩壊・土石流が40 渓流以上で発生した。源頭部崩壊はいずれも規模が小さく、それに伴って発生した土石流幅も狭小であった。崩壊・土石流が発生した渓流は西向斜面(写真では渓流より上側), および支流の南向斜面(写真では渓流より右側)に多く, 東向き, 北向き斜面では比較的発生頻度が小さい傾向が見られる。



図-4 勝坂地区の源頭部から下流域の状況

図-4 には渓流合流部や砂防ダム堆砂域, 国道 262 号付近, および源頭部付近の状況拡大写真を示す。写真-4 では本豪雨で生じた崩壊・浸食を受けた溪床や堆積土砂が確認できる。また, 写真-5 では合流部付近には本豪雨で堆積した土石流堆積物の縁辺部に新たな浸食筋があり, 堆積後も新たな流水によって一部土砂が浸食を受けた状況が見られる。これらの状況から, 勝坂地区では何度にも渡って豪雨を受け, それに伴って土石流も数度にわたって生じた可能性を示唆している。同時に, 写真-5 の砂防ダム堆砂域ではφ2m 程度の巨石がダムで捕捉されているものの, ダム袖部の灌木がなぎ倒されている状況から, 細粒分が越流し, 下流に流下した状況が見られる。写真-6 では国道 262 号付近には巨石が付近に見られず, 細粒分が堆砂している状況が見られる。道路に流出した土砂は流動性に富み, 周囲に薄く拡散している。

源頭部付近には基盤岩である花こう岩が源頭部や溪床に露岩しており, 崩壊深が小さいことが読めるとともに, 崩壊周囲には高木が見られず, 灌木などの低木主体の植生であることが写真(写真-1~3 参照) から認めることができる。

### 3.2 真尾(上田南川) 地区

真尾地区の災害状況を示した航空垂直写真を図-5 に示す。真尾地区にある上田南川は東から西に向かって流下し,

佐波川と合流する。本溪流では, 5つの支流の源頭部で発生した崩落土砂が中流域部で合流し, 大規模な土石流となって下流に向かって流下して最下流域にある特老施設へ被害を与えた。溪流内に1基の既設治山ダムが確認でき(写真-9, ○部), ダム本体は残存するが右岸袖部が消失している状況が確認できる, また治山ダム上流の溪床には白色の花こう岩が露岩しており, その上下流には土砂が溪床を覆っている状況が認められる。

当地区は, 多くの支流から土砂が流出した勝坂(剣川)地区とは異なり, 数条の支流から土石の流出が見られた(図-5 参照)。



図-5 真尾地区の崩壊・土石流発生状況

崩壊・土石流発生域の植生は勝坂地区と比べて密であり, 勝坂地区のような灌木などの低木は見られず, 右岸は植林によって形成された針葉樹林が, 左岸は里山林と考えられる広葉樹林が優勢である(図-5 参照)。

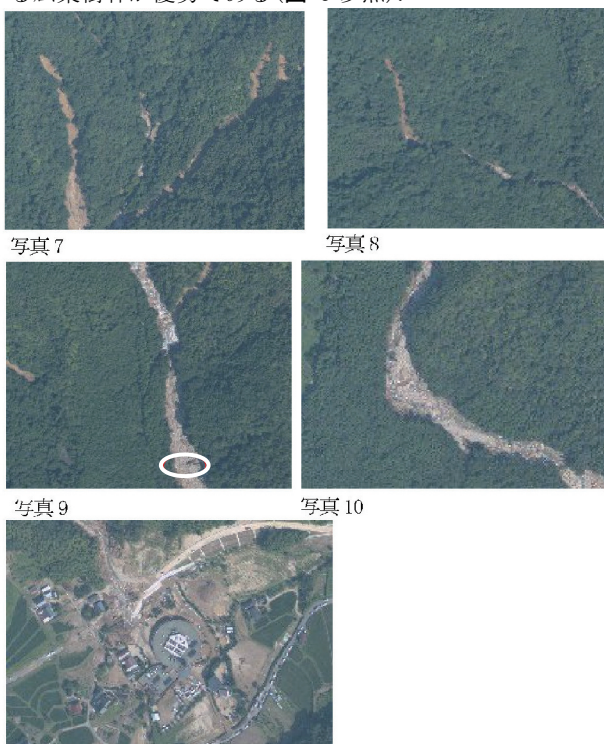


図-6 真尾地区の源頭部から下流域の状況

図-6 に土石流最下端部から源頭部までの状況拡大写真を示す。写真-11 中央に写っている円形の建物が被災を受けた特老施設であり、周囲の田畑を流出土砂が被覆する状況が認められる。土石流によってもたらされた土砂は、谷出口から工事中の道路を乗り越えて特老施設の周囲を埋めるように流下し、特老施設下流では佐波川に向かって広く拡散している状況が見られる。本写真では、流出土砂は建物を避けるように流下し、建物は破壊されていないように見える。

写真-10 では下流域の屈曲部で、土石流は直進せず、溪流に沿って流下していることがわかり、屈曲部から狭窄部の間では溪床に巨礫が散在していることや攻撃斜面側では幅広く浸食を受けてその対岸側では石礫が堆積している状況が見られる。

写真-9 では中流域付近に狭窄部上流部で新鮮な白色の花こう岩露岩が認められる。この露岩部付近にはほとんど堆積土砂が残存しないことから、流下した土砂によって溪床が浸食されたことが伺える。写真-7 がその上流部であるが、両溪流の源頭部崩壊規模がほぼ同じ大きさであるものの、左側の溪流が直線に近い形状であり、かつ流下距離が短い中で合流部付近では急激に浸食幅が広がっている状況が見える。これは、合流点より下流部で溪床幅が急激に狭まっていることから、狭窄部を破壊するだけのエネルギーを持たない流下土砂が一時的に狭窄部で堆積した後に、順次堆積土砂が流下していった可能性を示唆している。

源頭部では幾つかの小規模な崩壊が発生し、溪床を浸食しつつ崩落土砂が下流に向かって流下する状況が認められる。写真-7 は合流右部付近の状況を示しているが、上記のように、右上から合流する溪床の幅に比べて左上から合流する溪床の幅が広がっている状況が確認できる。

写真-8 が示す源頭部付近は、勝坂地区とは異なって白色部が見られない。地質的には同じ花こう岩分布域でありながら、真尾地区が勝坂地区に比べて風化が進んでいることが想定できる。

#### 4. 災害発生区域の地形特性

##### 4.1 高度段彩図と傾斜区分図から見た特徴

本豪雨で発生した防府地域の災害箇所の地形特性を得るために、勝坂地区と真尾地区、およびその周辺の崩壊・土石流発生箇所を高度段彩図(図-7)と傾斜区分図(図-8)に示した。

高度段彩図は地形を高度別に色分けした図であり、傾斜区分図は地形を勾配別に色分けした図である。両図ともに地形解析を行う際にはよく用いられる手法である。高度段彩図では、佐波川右岸の勝坂(剣川)地区はほぼ稜線付近から、同左岸の真尾地区は斜面途中から崩壊が発生している状況を読み取ることができる。また、勝坂地区では源頭部で発生した小規模な崩落土砂が土石流となって流下

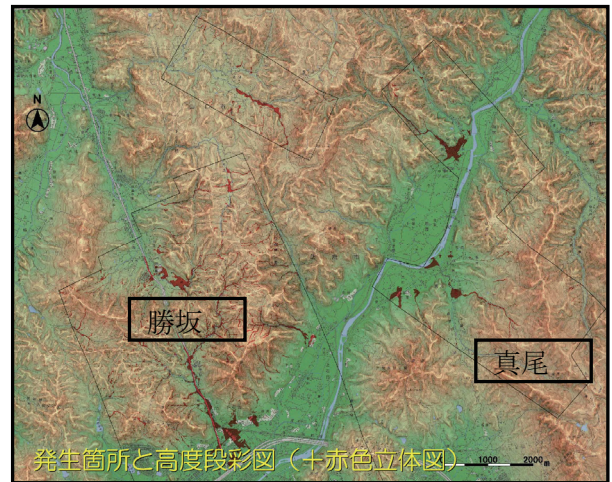


図-7 高度段彩図と崩壊・土石流発生箇所

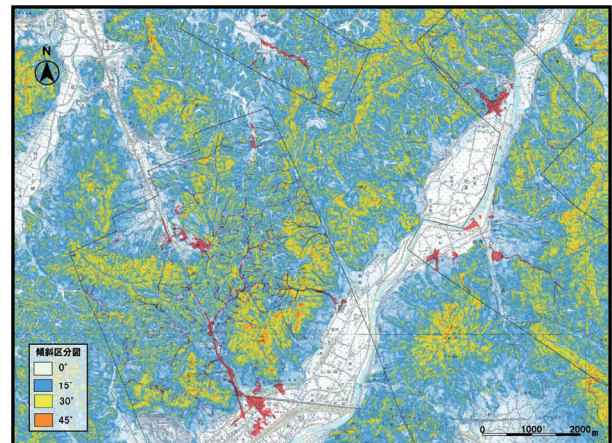
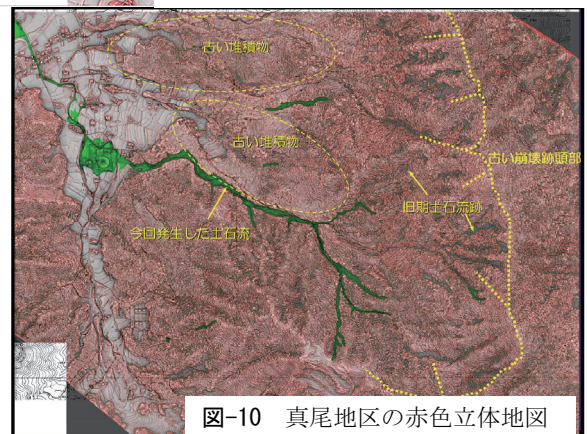
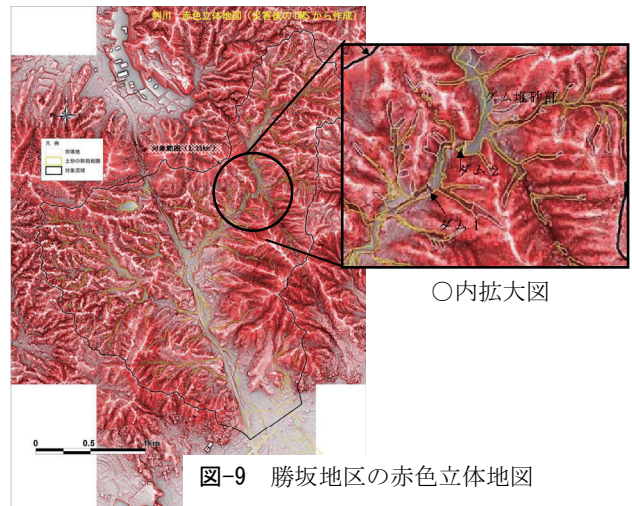


図-8 傾斜区分図と崩壊・土石流発生箇所



する状況が、ほぼすべての溪流で発生しており、剣川が国道262号を横断する前に次々と合流して、大きな一筋の土石流となった。それに対して真尾（上田南川）地区では限られた溪流で比較的規模の大きい土石流が発生し、途中で合流して一つの大きな土石流となったことが読み取れる。真尾地区の北側では小規模な土石流が数溪流で発生しているが、いずれもが、溪流の途中で停止し、下流域には到達していない。また、本図から勝坂地区・真尾地区ともに標高300～350m付近で崩壊が生じており、勝坂地区では流下距離の短い、多くの土石流が剣川に流入して、佐波川まで到達したこと、真尾地区では長い流長を持つ土石流として佐波川氾濫原に到達していることがわかる。

傾斜区分図では、対象区域は、総じて30度以下（水色）であり、源頭部崩壊の大部分が30度以上の勾配の位置（黄～橙色）で発生し、15度以下の緩勾配の溪流を流下したのちに0度勾配（白色）で停止したことが認められる。

地形を立体的に見ることができる赤色立体図を図-9（勝坂地区）、及び図-10（真尾地区）に示した。本図では稜線を白く、沢や川を淡灰色に、斜面を濃色に着色し、勾配が急なほど色が濃くなるように表現している。

図-9から、勝坂地区では浸食による開析を強く受けているためか、多方向にやせ尾根が分布し、やせ尾根頂部から谷に向かって多数の小規模な沢が発達している状況を明確に認めることができる。また、図-9から剣川流域は比較的淡色斜面が主体であることから、勾配が緩い、いわゆる開析丘陵のような地形であるのに対して、流域の外側にある佐波川に面した斜面は濃色であり、急勾配斜面であることがわかる。剣川本流域は稜線を示す白色部や沢部を示す灰色部はいずれも狭小であり、大きく開析が進んだ地形であること、剣川右岸側は比較的白色部の幅が広く、なめらかな本流域に比べて開析度合いが小さいことを読み取

ることができる。これは、本流域では土砂の流出が進んでいることに対して、右岸側では不安定土砂が源頭部付近に残存している可能性を示唆している。

図-10（真尾地区）では南北に伸張する主稜線から幾つかの副稜線が分岐し、それらが円弧状に広がる地形が読み取れる。これら円弧状の稜線は下流に広がる大きな緩斜面地形（崩壊堆積物）と合わせて古期に発生した大規模崩壊の滑落崖であることが予想できる。この滑落崖から下位の斜面中腹までには明瞭な沢地形を認めることなく、下流域から突然沢地形が現れる状況を認めることができる。これは、雨水が崩壊堆積物中を伏流することから浸食沢地形を作らず、湧水地点付近から再び沢地形を形成するためと考えられる。

先に述べたように山頂付近の崩壊跡地形では高木類が認められないことから、これら崩壊部は高木が生育する間もなく、常に土砂が移動している状況が考えられる。本豪雨で発生した土石流は左岸に分布する基岩と右岸に分布する山体崩壊物の境界付近を流下する形状を示す。

#### 4.2 溪床縦断面図から見た特徴

図-11に航空レーザ計測成果から作成した剣川本川の溪床縦断面図を示す。本図には各区分での溪床勾配を併記したが、最急勾配でも17.6度にしかすぎず、概ね5度未満の緩勾配を示す。既設ダム区間はダム高の影響で見かけの勾配が4.6度であり、その上下流に比べてやや急勾配となっているが、ダム背面の堆砂勾配は実質3度前後であり、実勾配はその上下流の溪床勾配と近似する。ただし、図-7に見られるように源頭部崩壊域は30°を越える箇所も見られ、山体は山稜に近づくにつれて急激に勾配が増す形状にある。

剣川が国道262号を横断する地点付近の勾配は2.5度で

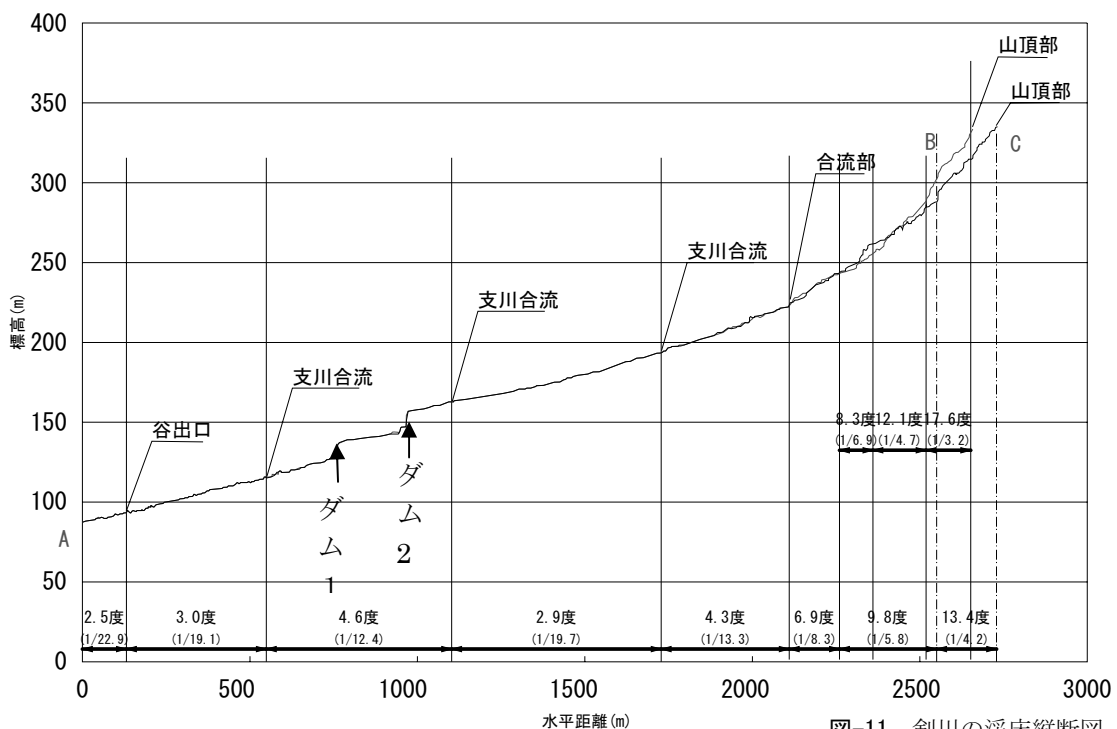


図-11 剣川の溪床縦断面図

ある。一般的に土石流が停止する勾配（2 度前後）に近似するのに、数 km 先の佐波川付近まで土石流が流下した現象は、河川の閉塞に伴って、代わりに摩擦が小さい直線的な国道を土石が流下したことなど、通常とは異なる状況で土石が流下したことが考えられる。

図-12 には真尾地区（上田南川）の溪床縦断面図を示す。真尾地区では、特老施設がある末端部で 4.7 度であり、支流が合流する中流域では約 10 度、崩壊が発生した源頭部で約 23 度、と上流に向かって急激に勾配が増す傾向にあり、発生域はところによっては 30 度を越えるところも見られる。このような地形的特徴の中で、20 度以上の源頭斜面で発生した崩落土砂が土流となって流下しつつ、10 度勾配付近では溪床・溪岸を浸食しつつ流走し、4 度勾配前後で停止している。

本土石流の大部分は、極めて含水量が多いことから流動性が高まり末端部で幅広く拡散した状況で停止するが、一部は水路に沿って佐波川護岸付近まで流下した。

### 4.3 両地区の浸食土砂量の概算

対象区域内では、崩壊・土石流の発生に伴って多くの土砂移動が生じたが、佐波川護岸付近まで流下し、そこから再び薄く広く拡散する状況を認めることができた。崩壊によって発生した土砂が流下する際に溪床や溪岸を浸食しつつ、かつ一部で溪床に堆積している状況にあることから、正確な数値を導き出すことは困難である。ここでは、当初地形と土石流発生直後の地盤高の差から浸食量を求めるものとする。その結果、勝坂地区では最上流域から国道 262 号を横断する地点までに約 16 万 m<sup>3</sup> の土砂浸食が発生し<sup>2)</sup>、

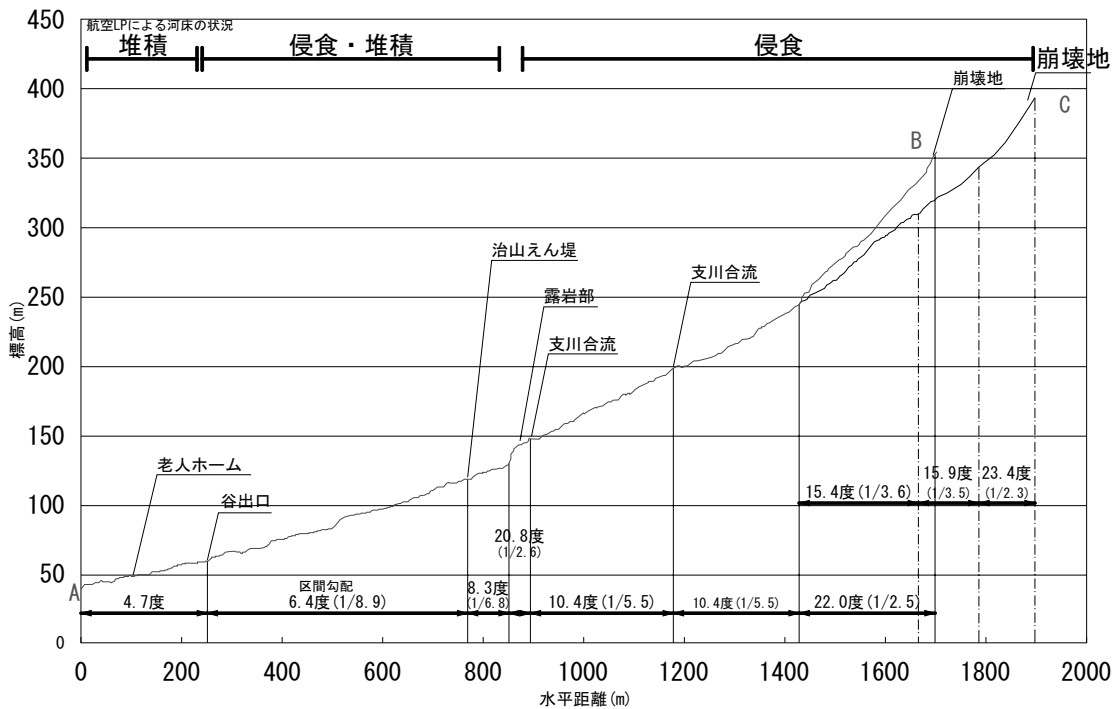


図-12 上田南川の溪床縦断面図

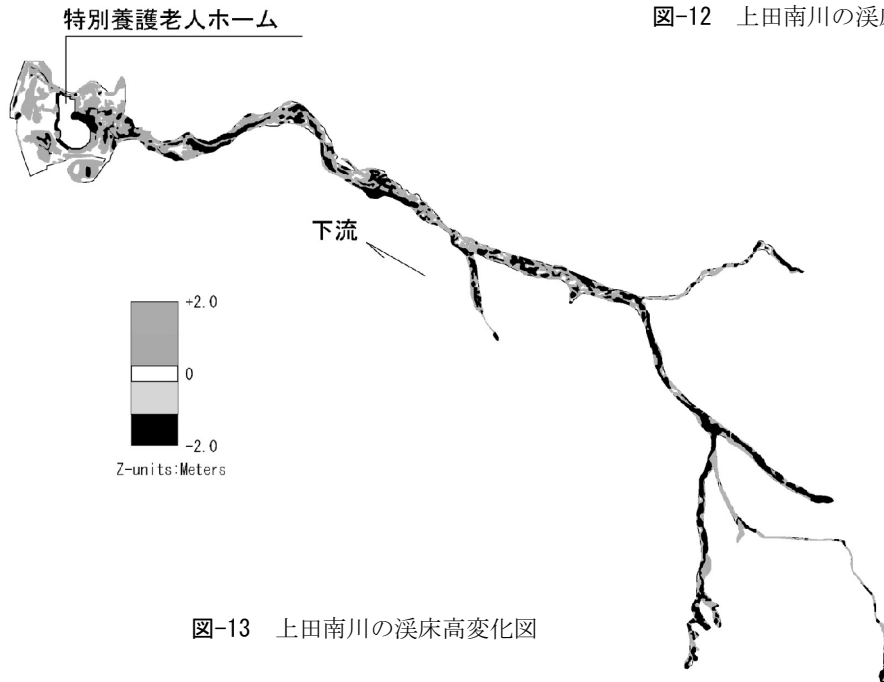


図-13 上田南川の溪床高変化図

同様に真尾地区では最上流域から特老施設までの間で約3万m<sup>3</sup>の土砂浸食が生じた<sup>2)</sup>結果となった。

図-13に真尾地区の溪床高さの増減を示す。本図では白色部分が増減無しの箇所であり、色調が濃くなるほどにその差が大きい状況を表している。この中でもっとも差が大きい箇所が-2m程度であるが、全体では概ね-0.5m以内に収まっており、全体では表層崩壊や表層浸食であったと言える。

#### 4.4 崩壊・土石流の規模から見た特徴

総括的には、本豪雨で発生した崩壊や土石流は一つ一つの規模を見れば小さいものの、同時多発的に生じたことから大きな災害につながっているが、発生のバラツキや発生規模など、地区ごとに崩壊や土石流の発生形状が異なっている特徴が見られる。

そこで、個々の源頭部崩壊とそれに起因した土石流の影響範囲面積を求め、防府地域での特徴を見いだすことを試みた。崩壊・土石流の抽出例を図-14に示した。区域内で抽出した崩壊数は670箇所へのぼり、それに伴って0次谷の浸食を含めて488溪流で土石流が発生した。崩壊・土石流による被災面積は3,352,833m<sup>2</sup>(=3.35km<sup>2</sup>)であり、対象流域面積約150km<sup>2</sup>の2.2%にあたる。

抽出した個々の崩壊・土石流の中で浸食形状が発生する源頭部崩壊から土石流流走域までの面積集計を表-1にまとめた。

求められた浸食域面積は2,611,083m<sup>2</sup>(=2.61km<sup>2</sup>)であり対象流域面積の1.7%にあたる。ここではこの浸食域面積を影響面積と呼ぶ。表-1右列の影響面積/崩壊箇所数の全数は各溪流の影響面積を溪流内の崩壊数で除した値の総和である。個々の面積を見ると、全数の中で最も小さい面積は89m<sup>2</sup>であり、最も大きい面積は121,558m<sup>2</sup>あった。全溪

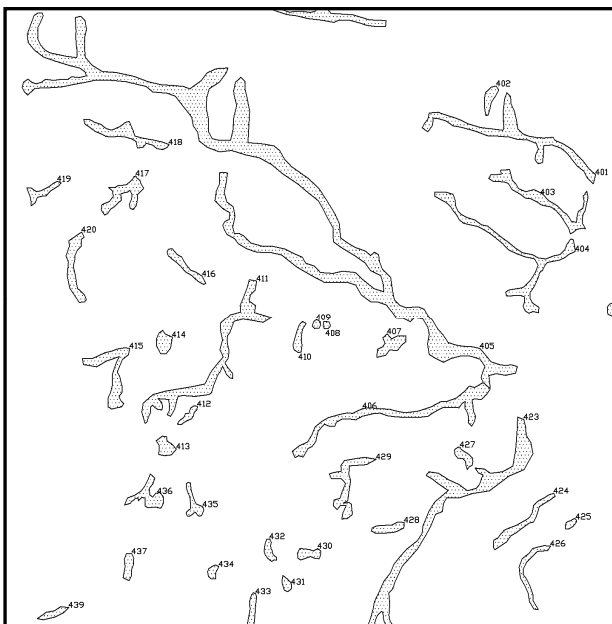


図-14 各崩壊・土石流の抽出例

表-1 崩壊・土石流（溪流）数と影響面積

	溪流数 (本)	影響面積 (m <sup>2</sup> )	崩壊箇所数 (箇所)	影響面積/崩壊箇所数
全数	488	2,611,083	670	1,235,767
平均		5,160		2,532

流の平均は5,160m<sup>2</sup>であった。また、前項で述べた真尾地区は浸食域面積が約82,000m<sup>2</sup>であり、約3万m<sup>3</sup>の土砂浸食が見られたことから、面積単位当たり平均約0.36深さの浸食を受けたことになる。

最終的に一つの土石流が発生していた中で、その流域内でいくつの崩壊が発生したかを図-15にまとめたが、1個から14個までの範囲の中で1個が338箇所と極めて多く、2個が80箇所、3個が32箇所と全488箇所のうち、3個までが約92%を占めることがわかった。

また、溪流単位の影響面積と源頭部崩壊数の相関を図-16に示すが、本図では15,000m<sup>2</sup>までにほとんどの箇所が入るにことがわかるとともに、明らかに崩壊数と影響面積は比例関係にあり、流域内の崩壊数が多いほど影響面積が大きくなる傾向が認められた。これは、各崩壊規模に大きなバラツキがなく、概ね崩壊数によって影響面積が規定されていることを意味するものと考えられる。

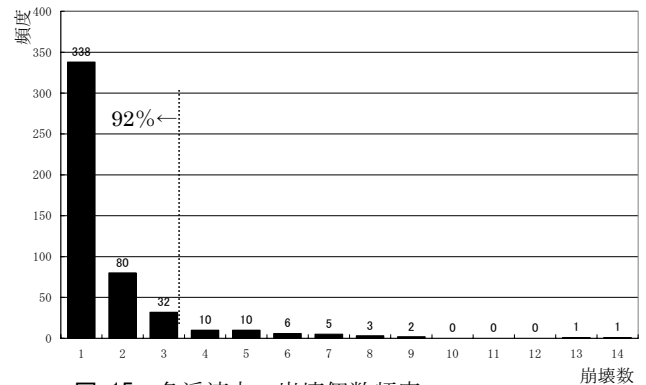


図-15 各溪流内の崩壊個数頻度

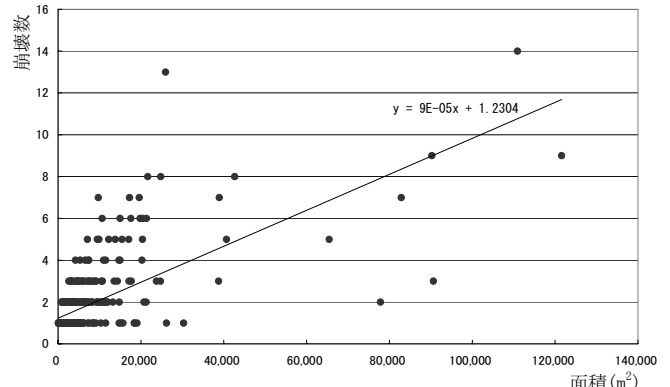


図-16 各溪流内崩壊個数と影響面積との関係

図-17には各1溪流における影響面積と、その面積を溪流内崩壊数で除した崩壊1箇所当たりの換算面積の頻度分布を示した。ここでは、どちらの頻度も1,000m<sup>2</sup>にピークを持ち、5,000m<sup>2</sup>までが溪流当たりの影響面積頻度で76%に、換算面積頻度で89%に当たることを示している。これは1

箇所当たりの崩壊換算影響面積が 1,000m<sup>2</sup> までが大部分を占め、同時に全溪流単位の影響面積も 1,000m<sup>2</sup> をピークとした 5,000m<sup>2</sup> までの小規模であることを示す。

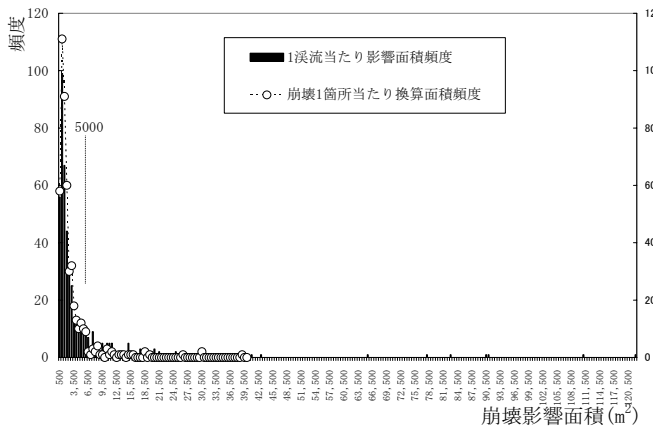
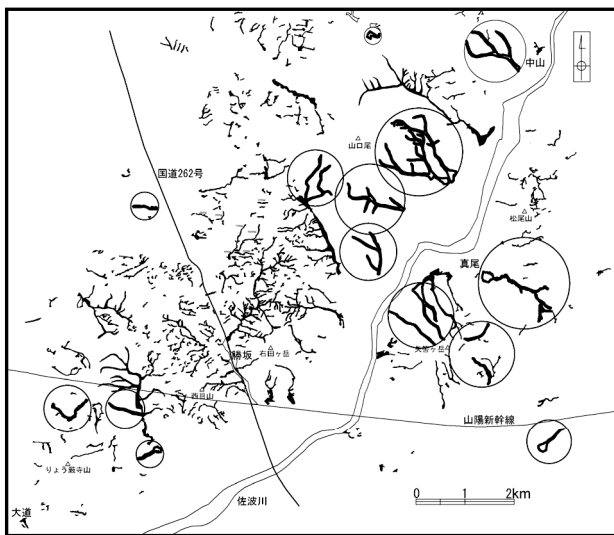


図-17 崩壊による影響面積頻度

崩壊 1 箇所当たりの換算影響面積が 10,000m<sup>2</sup> を越える溪流は本地域内には 19 溪流であった。換算面積が 10,000m<sup>2</sup> を越える溪流位置を図-18 に示す。



※図中○位置が対象溪流

図-18 換算面積が 10,000m<sup>2</sup> を越える溪流位置

本図から 10,000m<sup>2</sup> を越える換算面積を持つ溪流は、地域全体に散在するものの、ある地区に偏る傾向が認められる。

その分布域は明らかに源頭部崩壊分布密度が小さく、同分布密度が大きい勝坂地区とは一線を画す。この理由については、降雨状況、地形や地質の違いなどの影響が考えられるが、分布域が特定の斜面方向にはなく、ほぼ全域にまたがることから降雨状況の違いとは考えられず、素因としての谷密度や斜面勾配などの地形的要因や風化度や崩壊のしやすさなどの地質的要因による影響が大きいものと思われる。この原因については、今後の研究で明らかにしていきたい。

## 5. まとめ

今回発生した防府地域の崩壊・土石流の特性としては以下の点をあげることができる。

- ①地域全体では 670 箇所以上の源頭部崩壊が発生し、それにともなって 488 箇所以上の溪流で土石流が発生した。これらの影響面積は地区全体面積の 2.2% にあたる。
- ②発生した源頭部崩壊面積のほとんどは 1,000m<sup>2</sup> 以下であり、それに伴って生じた土石流の影響面積も概ね 1,000m<sup>2</sup> から 5,000m<sup>2</sup> までの小規模なものであった。
- ③崩壊・土石流による影響面積は 89m<sup>2</sup> から 121,558m<sup>2</sup> まで幅広い範囲にあったが流域内の崩壊数と面積とは相関関係が見られた。
- ④崩壊 1 箇所当たりの換算影響面積が 10,000m<sup>2</sup> を越える溪流は 488 溪流中 19 溪流にすぎず、その分布には地域偏在性が認められる。
- ⑤真尾地区では単位面積当たり平均 0.36m の土砂浸食が生じた。仮に対象地域内全体の溪流が真尾地区と同様の浸食量であった場合には約 94 万 m<sup>3</sup> の土砂移動が生じたことになる。

## 謝辞

本文をまとめるにあたっては、平成 21 年度 7 月 21 日山口豪雨による土砂災害調査団の皆様には格別の協力とご配慮をいただきました。ここに謝辞を表します。

## 参考文献

- 1) (社)地盤工学会 山口・九州北部豪雨災害調査団：山口・九州北部豪雨災害調査報告書,2010.
- 2) 平成 21 年 7 月 21 日山口豪雨災害 アジア航測(株)内部資料,2009

(2010 年 7 月 5 日 受付)