

2009年7月21日豪雨による山口県防府地区での土石流災害の実態 とその発生メカニズムの多角的検討

Debris Flow Disasters Occurred around Hofu in Yamaguchi Prefecture due to Heavy Rainfall on 21st July 2009 and Many-sided Investigations of their Mechanism

鈴木素之	Motoyuki Suzuki	(山口大学大学評価室)
兵動正幸	Masayuki Hyodo	(山口大学大学院理工学研究科)
阪口和之	Kazuyuki Sakaguchi	(アジア航測)
河内義文	Yoshifumi Kochi	(ケイズラブ)
川崎秀明	Hideaki Kawasaki	(山口大学大学院理工学研究科)
中田幸男	Yukio Nakata	(山口大学大学院理工学研究科)
朝位孝二	Koji Asai	(山口大学大学院理工学研究科)
吉本憲正	Norimasa Yoshimoto	(山口大学大学院理工学研究科)
石蔵良平	Ryohei Ishikura	(山口大学大学院理工学研究科)

2009年(平成21年)7月21日、梅雨前線による集中豪雨により、山口県防府市を中心に土石流や崩壊が同時多発的に発生し、甚大な人的・物的被害が生じた。この土石流災害は、水に対して脆弱なまさ土・花崗岩地帯における観測史上記録的な豪雨により発生したものといえる。これを受けて、防府市の勝坂、下右田、真尾、石原など各地区の土石流の崩壊源頭部を現地踏査して、土石流の崩壊状況を調査し、崩壊源頭部で土試料を採取し、土試料の物理特性およびせん断特性を調べた。また、崩壊発生時の降雨特性を国土交通省等の降雨データを基に解析した。これらの結果をもとに、源頭部崩壊メカニズムについて地盤力学的検討を行った。本文では、これまでの調査研究の結果を総括して、土石流災害の実態とその発生メカニズムについて検討した結果について述べる。

キーワード：土石流，豪雨，花崗岩，まさ土，土砂収支 (IGC：E-6)

1. はじめに

平成21年7月21日未明からの豪雨により、山口県では過去に例をみない土砂災害が発生した。防府市を中心に各地で大規模な土石流が多発し、多くの人的・物的被害を受けた。災害発生後、地盤工学会緊急調査団(団長：兵動正幸 山口大学教授)を組織して(表-1参照)、調査研究を開始し、一連の成果は地盤工学研究発表会での緊急報告会(九州北部での土砂災害とともに報告)ならびに地盤工学会誌¹⁾にて報告された。

今回の土砂災害を引き起こした崩壊は、観測史上記録的な豪雨と水に脆弱な土質で特徴づけられるが、まさ土と花崗岩からなる斜面の崩壊メカニズムについては、いまだ説明されていない点が残されている。今回の甚大な土砂災害を教訓として、地盤防災の観点から調査研究を推進し、その成果をまとめることがまさ土や花崗岩が分布する地域の防災・減災対策の充実に向けて有益であることから、平成22年度～24年度の3年間、研究委員会(委員長：兵動正幸 山口大学教授)が地盤工学会中国支部に設置された。

本文では、これまでに報告した調査結果¹⁾に加えて、崩壊発生時の降雨特性、土石流の崩壊源頭部の状況および崩壊源頭部で採取した土試料の物理特性、土砂収支について総合的に検討した結果について記述する。

表-1 緊急調査団構成(順不同、敬称略)¹⁾

氏名	所属	氏名	所属
兵動正幸 団長	山口大学	折原敬二	基礎地盤コンサルタント
中田幸男 副団長	山口大学	河内義文	ケイズラブ
松田 博	山口大学	河村志朗	ソイル・ブレン
川崎秀明	山口大学	北村晴夫	宇部建設コンサルタント
朝位孝二	山口大学	小西純一	サノココンサルタント
鈴木素之 幹事	山口大学	阪口和之	アジア航測
吉本憲正 幹事	山口大学	瀬原洋一	常盤地下工業
石蔵良平	山口大学	寺山 崇	山口リアライズ ²⁾
北村良介	鹿児島大学	森岡研三	宇部興産コンサルタント
土田 孝	広島大学	野村英雄	栄建設コンサルタント
安福規之	九州大学	渡辺修士	中電技術コンサルタント
藤村龍太郎	山口県	福田直三	復建調査設計
井上義人	応用地質	渡辺真悟	復建調査設計

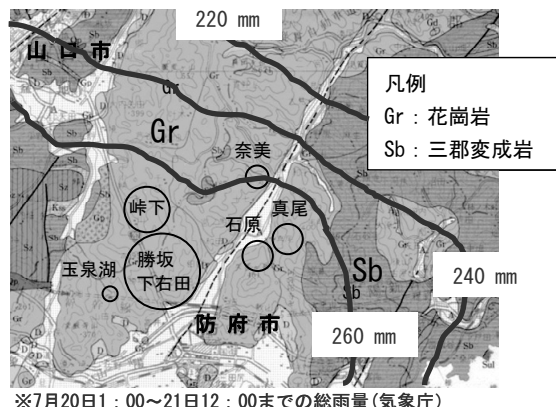


図-1 防府市周辺の主な土砂災害発生地点と地質状況 (文献3)に加筆)

表-2 大規模な土砂災害発生箇所とその状況²⁾

地点名	所在地	状況
真尾	防府市大字真尾	12:15頃発生 上田南川上流の数箇所崩壊に起因し、土石流が発生 老人ホームが被災し、12名死亡
石原	防府市大字真尾字石原	12:00頃発生 矢筈ヶ岳北斜面の土石流災害 下流の住宅地が被災 大歳神社付近で2名死亡 山火事の痕跡あり
勝坂	防府市大字下右田字勝坂	剣川上流の広い範囲で表層崩壊が発生 最奥の源頭部では大規模崩壊の発生を確認 「ヤセ尾根」地形の様相を呈す 谷部の堆積土砂の侵食により、土砂流が発生し、下流の住宅地・道路・橋梁が被災 土砂を堆積させた砂防堰堤あり
下右田	防府市大字下右田・高井	12:00頃発生 国道262号の東西両側から土石流が発生して国道で合流し、消防隊員らが一時行方不明 国道付近で4名死亡 流出土砂は国道を流下し、住宅街に土砂堆積 西側に治山ダムあり
奈美	防府市大字奈美	奈美川で土石流が発生 土石流により集落が被災し、1名死亡
峠下	山口市大字下小鯖	泥流が発生、下流側の広域に広がる 粗粒のまさ土が主体

生し、麓の家屋が土砂に埋没し、2名の死者が出た。これらの状況は写真-1～写真-5に示している。



写真-1 国道262号の被災状況

2. 被害状況および地形・地質

2.1 被害状況

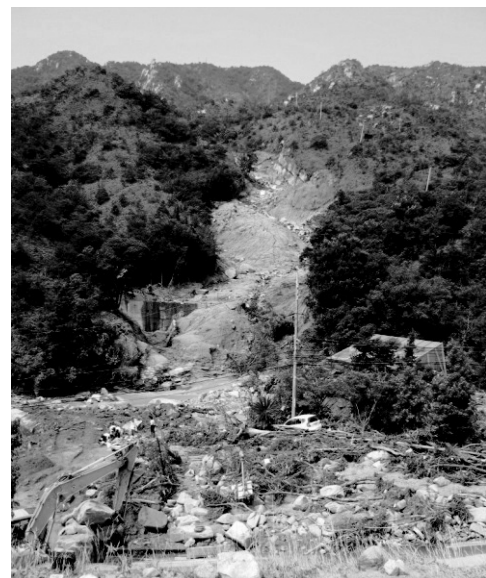
図-1に防府市周辺の主な土砂災害発生地点を示している。山口県における被害は死者22名(防府市で19名、下関市・岩国市・美祿市で各1名)、全壊33棟、半壊77棟、床上浸水696棟、床下浸水3,864棟であり²⁾、表-2に特に被害が大きかった土砂災害発生地点とその状況を示す。いずれも下流域に大量の水・土砂・巨礫・流木が排出され、それらによる家屋や乗用車の被害、道路・橋梁の損壊など甚大な被害が生じた。二次的被害として、停電・断水・道路通行止めなど公共インフラに大きな影響があった。

国道262号沿線の勝坂、下右田などの溪流では、21日12:00頃、大規模な土石流が発生し、剣川を土砂、巨礫、流木が閉塞したため、土砂流が国道を流下し、佐波山トンネルから新幹線の高架橋付近まで約2.5kmの区間に土砂が押し寄せ、通行中の車両数台とそれを救出するために駆けつけた消防車等が土砂の中に閉じ込められた。また、家屋や車が土砂に埋没し、甚大な被害が生じた。特に勝坂の土石流は溪流の長さが約2kmにも及び、多くの支溪流から多量の土砂が流出した。

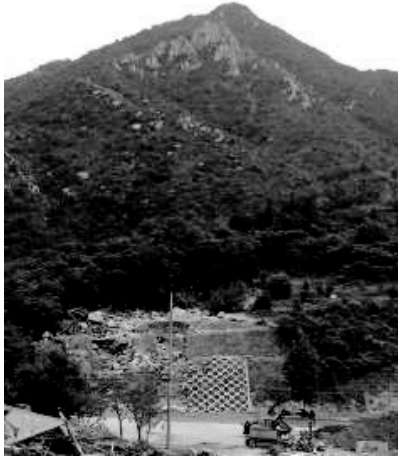
一方、これと佐波川を挟んで対岸にあたる真尾において、大規模な土石流が12:15頃に発生し、特別養護老人ホーム「ライフケア高砂」に土砂流が押し寄せ、1階部分をほぼ埋めつくし、その時点で7名の死者を出した。また、隣接する石原地区では2つの土石流が発



写真-2 勝坂付近の土石流(写真中央の橋梁が損壊)



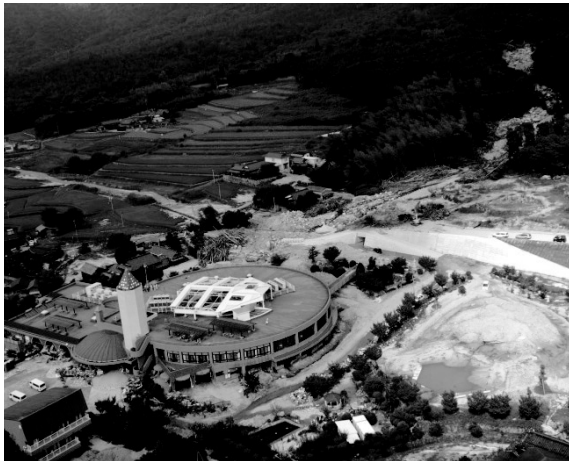
(a) 西目山東向き斜面での土石流
写真-3 下右田の2箇所発生した土石流



(b) 右田ヶ岳西向き斜面での土石流
写真-3 下右田の2箇所発生した土石流



(b) 氾濫域の被災状況
写真-5 石原地区における2つの土石流と氾濫域の被災状況



(a) 老人ホームの空中写真(山口県・田上愛仁氏提供)



(b) 老人ホームの裏側の土石流の堆積状況
写真-4 真尾地区の土石流と特別養護老人ホームの被災状況



(a) 石原地区での土石流(山口県提供)

2.2 地質・地形

今回発生した土石流は佐波川とその支流の両岸における標高300m~400m程度の山地で発生している。図-1の防府市周辺の地質図³⁾によれば、本地域の地質は主に広島花崗岩である。花崗岩の多くは深層までマサ状に風化し、斜面や尾根部に玉ねぎ状風化した花崗岩や低角度節理(シーティング・ジョイント)を有す花崗岩がみられる。いずれも土砂は粘性のないまさ土であった点が特筆される。

本災害は、溪流源頭部の崩壊が同時多発的に、起伏量が200~400m、斜面勾配が15°~30°の小起伏山地で発生し、崩壊土砂が土石流となり、いくつもの溪流からの土砂が合流しつつ駆け下り、佐波川の低地に至る形態であった。図-2に発生域の地形を立体的に見ることができる赤色立体地図を示す。本図は勾配が急なほど色が濃くなり、上方開度が大きくなるほど白くなるように配色している。すなわち、急な斜面は濃赤色に、緩やかな斜面は淡赤色になり、尾根は白く、谷は黒く見える。本図で勝坂地区と真尾地区を見ると、勝坂地区は、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する状況が見られる。これらの沢はいずれも幅が狭く、長さは短い。本流源頭部の勾配は30°以上を示すが、本流溪床部の勾配は概ね15°までの緩勾配を示す。また、真尾地区は、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っている状況が読み取れる。この円弧状の稜線は下流にある急緩傾斜面と併せて古い時代に発生した大規模な崩壊滑落崖、と予想でき、滑落崖から下位の中腹斜面までには明瞭な沢地形を示さず、下流域にある緩斜面との地形変換線付近から突然に沢地形が現れる形状を示す。

図-3に崩壊の発生域を横断する勝坂地区から真尾地区に至る模式断面を示している。発生域では西から東にかけて、総じて山頂が高くなってゆく。それに対して、溪流源頭は標高300~350mにあり、いずれの源頭部崩壊もその高さ付近で生じている。また、崩壊は30°前後の斜面勾配で発生しており、15°以下の緩勾配を示す溪床を流下し、2°程度の低地で停止している。

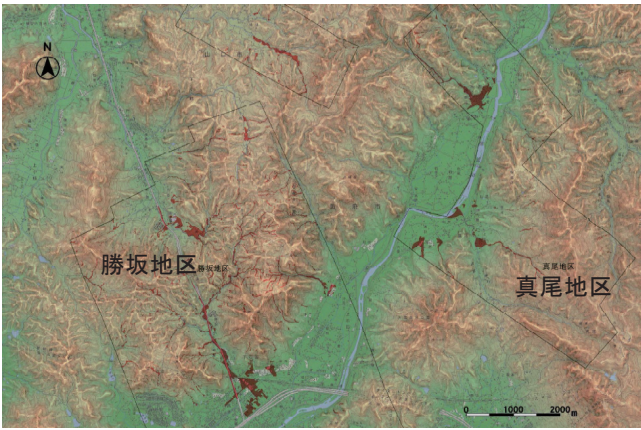


図-2 土砂災害発生域の赤色立体図

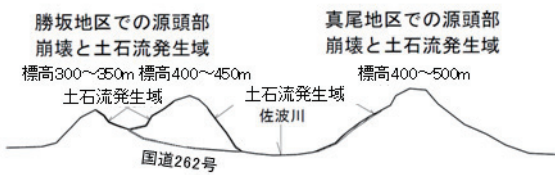


図-3 勝坂から真尾に至る地形の縦断面図（模式図）

3. 災害発生時の降雨特性

3.1 降雨特性

7月20日から21日にかけて、山口県の北の海上にあった梅雨前線に向かって湿った空気が流れ込み、前線活動が活発となった⁴⁾。図-4に真尾観測所（国交省）における時間雨量と累積雨量を示す。20日1時から21日24時までの時間雨量を示している。累積雨量は20日1時からと21日1からの両者を示している。真尾では20日午前7時から午後1時まで降雨があり、累積雨量は31mmであった。15時間ほど経過した後、21日未明から再び雨が降り始めた。21日の6～7時の時間雨量では真尾（国交省）で37mm、山口（気象庁）で36.5mmとなった。7～8時では美祢、山口、防府にかけて強い降雨の領域が広がった。8時の時間雨量は真尾で51mm、山口で74.5mmとなった。9～10時には萩、長門など日本海側で雨が強く降ったが、それ以外の地域では雨脚が一旦弱くなった。10時から再び雨脚が強くなり、11時の時間雨量は真尾で46mm、山口で53.5mmとなった。12時の時間雨量は真尾で49mm、山口で49.5mmとなった。その後雨雲は東へと進んで行き、降雨はおさまっていった。21日の日雨量は真尾で266mm、山口で277mm、防府（気象庁）で275mmとなった。真尾の日雨量は1979年以降では最大であった。また、防府も1976年以降では最大であった。この日雨量の確率年を求めると真尾および防府は150～200年程度と算出された。一方、山口は30～50年であった。山口と比較して防府での降雨は非常にまれな降雨であったといえる。図-5に21日0時から災害発生直前の12時までの総雨量分布を示す。総雨量が200mm

を超える領域内に美祢、山口、防府が含まれている。短時間に集中して土砂災害が発生した地域に雨が降ったことがわかる。また、図-1の地質図には、20日1:00～21日12:00までの総雨量コンターを併記しているが、同図から花崗岩分布域で260mm以上の降雨があった地域で土砂災害が発生していることがわかる。

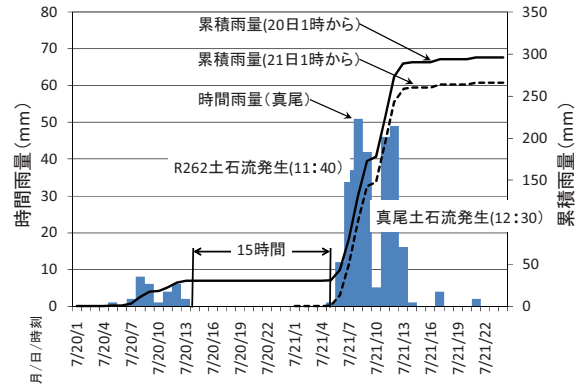


図-4 真尾観測所（国交省）の時間雨量と累積雨量

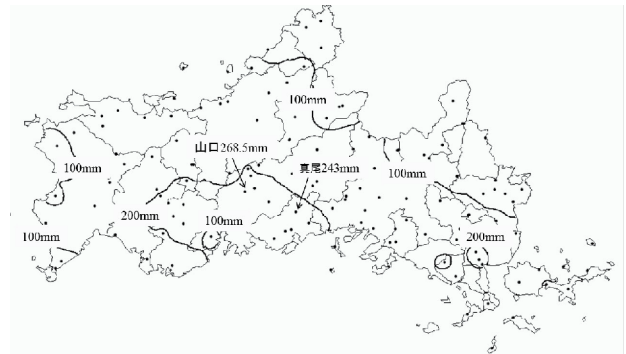
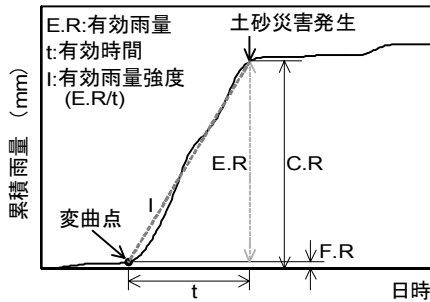


図-5 7月21日0時～12時までの総雨量分布

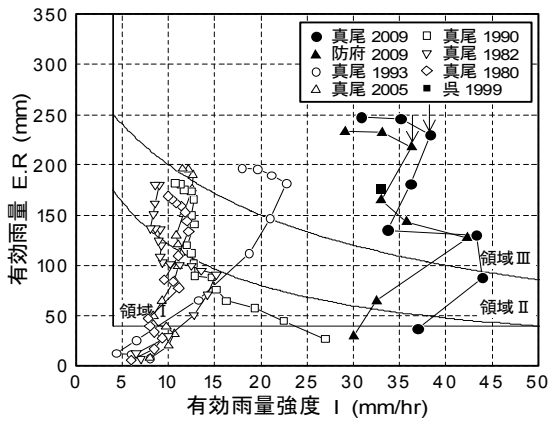
3.2 有効雨量と有効雨量強度の関係

図-6は今回の降雨特性を有効雨量E.Rと有効雨量強度Iとの関係⁵⁾で示したものである。ここで、図中に模式的に示すように、E.Rは変曲点から任意の時点までの積算雨量、IはE.Rを変曲点から任意の時点までの時間tで除したものをいう。また、変曲点は一連の降雨において雨量曲線が急激に立ち上がる時点の累加雨量曲線上の点をいい、1時間雨量で4mm以上の雨が降り始めた時点を目安としている。同図に示された3つの領域I、II、IIIは、1971年と1972年の土砂災害の記録に基づいて、発生する土砂災害の程度と関連付けられている⁵⁾。領域Iが「ほとんど土砂災害はおきない」、領域IIが「軽微な土砂災害がおこる」、領域IIIが「大きな土砂災害がおこる」である。今回の真尾の記録は早い段階から、領域IIに達し、最終的には領域IIIの中央に位置した。過去の記録に基づいた領域区分であるため、降雨記録の精度、防災対策の拡充などの理由で、最近の記録を十分に反映できないが、大規模な崩壊の発生を示唆している。この図には、先に述べた土砂災害時の降雨記録を含む過去

の真尾で記録された降雨記録5つと、1999年6月29日広島県呉市周辺で発生した土砂災害時の記録も示している。観測史上記録的な降雨であった今回の降雨記録は、過去のものよりも右側に位置し、有効雨量強度の大きさに特徴があることがわかる。前回の防府市で土砂災害がおきた1993年の記録も、最終的には有効雨量強度が大きくなり、領域IIIへ達していたことがわかるが、今回はそれを大きく上回っている。また、呉市での記録も領域IIIに達しているが、今回の土石流が発生した時間での降雨データを示す矢印よりもやや下側であった。



(a) 有効雨量および有効雨量強度の決定法



(b) 有効雨量および有効雨量強度の関係

図-6 崩壊発生に至るまでの有効雨量および有効雨量強度の関係

4. 源頭部崩壊の特徴

4.1 勝坂地区

勝坂地区は今回の豪雨において斜面崩壊と土砂流出が最も多かった地区である（前掲の**写真-2**）。7月27日の現地調査では、剣川本川の上流（距離約2km）の現地踏査を行った。国道262号勝坂橋付近には剣川から大量のまさ土が大量の水とともに流下し、河川两岸とその周辺家屋の数軒において1~2mの高さで堆積した。50cm以下の大玉礫が所々に見られたが、1m以上の巨礫はほとんど見られなかった。剣川右支川のやせ尾根部における数箇所斜面崩壊が密集して発生していたが、いずれの源頭も尾根のすぐ下から発生しており、崩壊面の勾配は総じて緩い。また、崩壊部周辺の

植生は根の浅い低灌木類が主体であった。**写真-6**は下流から2番目の堰堤から約1km上流に遡った地点の土石流の主要源頭の一つとなった斜面崩壊である。源頭部直下の斜面には花崗岩の残存基盤と岩片が所々破断された状況で散在していた。源頭部周辺の勾配は比較的緩く（15~20度）、崩壊土砂の厚みも薄いことが確認できた。なお、表層に近いところで開口したシーティング・ジョイントが観察され、源頭部で節理のある花崗岩が露頭し、新鮮な破断面をもつ岩片が散在していたことから、まさ土とその下位の花崗岩の境界部で地下水流の変化または低角度節理の拡大・切断によって岩すべりが助長された可能性がある。



写真-6 勝坂周辺の土石流の主要源頭となった崩壊部

4.2 下右田地区

下右田地区では国道262号線をはさんで西側に位置する西目山の東向き斜面と東側に位置する右田ヶ岳の西向き斜面で土石流が発生し、国道付近に大量の土砂が排出された（前掲の**写真-3**）。国道東側の右田ヶ岳西向き斜面での土石流は、小沢上流の山腹斜面の凹状地での崩壊により発生したものと推定される。沢の出口には過去の土石流堆積物からなる土石流錐が形成されていたとみられるが、道路の建設により末端が切り取られて、土石流堆積物が露出した切土面にプレキャスト法枠工が施工されていた。沢を流下してきた土石流は、法枠工を侵食して国道に到達した。本調査では、道路から流路に沿って上がって200m付近まで踏査した。今回の土石流では旧土石流堆積物層はたいして掘られておらず、削剥された厚さは1m程度と推定される。また、過去の土石流堆積物にはクサリ礫（強風化した礫）がみられ、10~100万年前から土石流が発生していたことをうかがわせる。下流から約200mまで上がると、新鮮な花崗岩の基岩が露出するようになり、土砂はほとんど流下した状態であった。

一方、国道西側の西目山東向き斜面では、尾根付近で崩壊が発生し、土石流となって流下している。崩壊源頭部の幅は約10~20m、その直下の部分で幅約30mであった。崩壊部の勾配は20~30度、崩壊深さは1~2mであり、尾根付近の風化層が崩壊した。また、左岸には、節理の間隔は広がったシーティング・ジョイントを有す花崗岩が明瞭に観察された（**写真-7**）。防災施設としては、崩壊地直下に山腹工（土留工1基）が

施工されていた。また、隣接した沢の出口に治山ダム1基が設置されていたが、土石流が沢を削りながら小尾根を乗り越えて流下したため、治山ダムの左岸側袖部が破損した。この土石流は、治山ダムを設置した溪流ではなく、左岸側に隣接した溪流の源頭部に崩壊が発生し、土砂は溪流を侵食しながら流下し、低い尾根を越えて袖部に衝突したものとみられる。この現場の植生については、ウラジロ *Gleichenia japonica* やコシダ *Dicranopteris linearis* の羊歯植物が優勢で、表層部の根の付き方は悪く、表層土の厚さは薄いのが特徴である(写真-8)。



写真-7 シーティング・ジョイントの入った花崗岩



写真-8 西目山の源頭部直下の状況



(a) 源頭部 1



(b) 源頭部 2



(c) 源頭部 3

写真-9 真尾の土石流の主要源頭部崩壊(3箇所)

4.3 真尾地区

真尾地区では土石流が標高 300~400m の各支流の少なくとも 4 箇所崩壊部から発生したと考えられ、そのうちの 3 箇所の状況を写真-9 に示した。被災した老人ホームの北側には過去の土石流あるいは大規模な崩壊によって形成されたとみられる崖錐地形が存在し、土石流はこの崖錐地形に乗り上げることなく、上田南川の流路に沿って流下し、老人ホームを直撃した(前掲の写真-3)。扇状地には上流からの土石流等によって供給された花崗岩の土砂や巨礫などが堆積した。また、扇状地堆積物の露頭にはクサリ礫が観察され、古い時代から崩壊や土石流が繰返し発生していたことが示唆される。

4.4 石原地区

石原地区では 2 つの土石流が発生し、写真-5 に示したように、東から石原 A、石原 B として区別した。石原 A 地区では、山頂付近の沢部横から源頭部を一つとする土石流が発生し、石原 B 地区では、山頂付近の沢部から源頭部を三つとする土石流が発生した。これらの土石流は少なくとも削剥長が 1km 以上の大規模なものであった。また、石原 A 地区の下流~中流域付近において、写真-10 に示すように、今回の土石流の流下によって侵食を受けた堆積層から、旧土石流堆積物が数層確認された。今回の流下による堆積物は見られず、侵食深さは 4~5 m 程度であった。堆積層は 3 層に区分され、過去の土石流による巨石が旧堆積層内に含まれているのが確認された。図-7 に、溪岸の露頭から推察される石原 A 地区の概略横断勾配と過去の土石流履歴を示す。年代は不明であるが、石原 A 地区では過去に数度、土石流が発生していたことが伺える。写真-11 に石原 A および B 地区での崩壊源頭部の状況を示している。石原 A 地区では斜面は約 40° の急勾配で、節理

の卓越した基盤岩が露頭していた。地山は水平面に対して高角度の節理がシート状に発達しており、源頭部斜面に対して差し目となる受け盤構造であった。このため、降雨による崩壊時に大規模なトップリング破壊が併発し、流下したものと推察される。一方、石原 B 地区では源頭部付近の勾配は約 35~40° であった。斜面では節理面に沿った崩壊が発生しており、基盤岩の節理の方向が斜面に沿った流れ盤構造であったものと考えられる。



(b) 石原 B

写真-11 石原の土石流の主要源頭



(a) 中流域



(b) 下流域

写真-10 石原 A の下流から中流域の状況

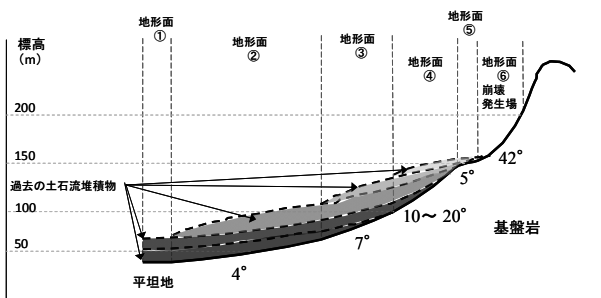


図-7 概略横断勾配と露頭から推察される過去の土石流履歴 (緊急調査団 小西純一氏作成)



(a) 石原 A

4.5 ため池の状況

今回の土石流では、治山ダムの土石流防御効果が確認されているが、ため池もまた土石流や泥流の防御機能を発揮している。その状況を写真-12~写真-14に示している。

写真-12 に斧磨(ちょうのとぎ)ため池(防府市大道切畑東畑)の状況を示す。上流から流出した土石流が2条ため池に流入している。泥流末端部に礫の堆積は観察されていない。ため池は、これら泥流を停止させており、下流の新幹線盛土を守る結果となっている。

写真-13 に長尾ため池(防府市大崎山田)の状況を示す。上流から発生した土石流は約1.0 km 流下し、長尾ため池を完全に埋めつくし、一部は越流している。さらに下流の溪流に発生した土石流は約0.6 km で長尾ため池直下を通り、新幹線高架橋下を通過し、玉泉湖(ぎょくせんこ)に流入して止まっている。玉泉湖には、他の泥流が流入しているが、決壊は免れている。新幹線橋の橋脚には土石流の巨石が多数衝突しているが、大きな変形は免れている。新幹線橋が被災を免れた原因の一つは、長尾ため池が大半の土石流を防御したためである。また、玉泉湖下流には比較的大きな集落があり、玉泉湖によって土石流の到達が防御されている。

写真-14 には、江良ため池(山口市上小鯖江良)を示す。上流から流出した泥流は、治山ダムを越流し江良ため池に流入している。江良ため池もまた決壊には至っていない。

これらのため池は、いずれも改修年度が比較的最近であることから、洪水吐の計画は200年確率雨量を用いて行なわれており、さらに設計洪水位からの余裕高も1.5 m以上が確保されている。この確率雨量は山口地域では70~80 mm/hrに相当し、本豪雨の降雨強度に対して、上流からの多量の土砂混入にもかかわらず、堤体上を貯水が越流することも防げる事が示された。また、ため池堤体は安定性も大ダムに準じて設計されており、上流側が洪水位に達しても1.2以上の安全率が確保されている。したがって、洪水時には余水そのものは下流に放流されるものの、土石流・泥流は貯水のウォータークッション効果によって、ため池内に留まることが判明した。

表-3 各地区の崩壊源頭部の特徴と土試料の物理特性

地点名	源頭の数	斜面勾配(度)	崩壊厚(m)	崩壊幅(m)	源頭部の状況	土粒子密度(g/cm ³)	土質分類	水中安息角(°)
勝坂	50程度	20~30	1~3	—	尾根部でも発生	—	—	—
下右田	10~ (溪流が複数)	20~30 (西側)	1~2 (西側)	10	西側:尾根沢部 東側:山腹沢部	2.612	細粒分まじり 砂質礫	37
真尾	4	20~30	1~2	10~15	山腹~尾根沢部 での表層崩壊	2.618 ~2.660	礫まじり 細粒分質砂	—
石原A	1	40~45	2~3	10	頂上付近の沢部 横での岩盤崩壊	2.588 ~2.659	細粒分質砂	30
石原B	3	35~40	2	8	頂上付近の沢部 の表層崩壊	2.636 ~2.659	細粒分質砂	32

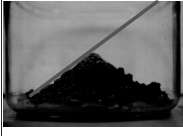
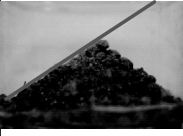
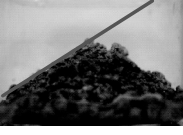
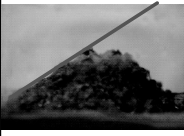

下右田 37°	石原A源頭部 30°	石原A_上 33°	石原A_中 26°	石原A_下 32°
				
	石原B源頭部 付近(茶) 32°	石原B源頭部 付近(黒) 28°		豊浦砂 28°
				

図-8 各試料の水中安息角の測定

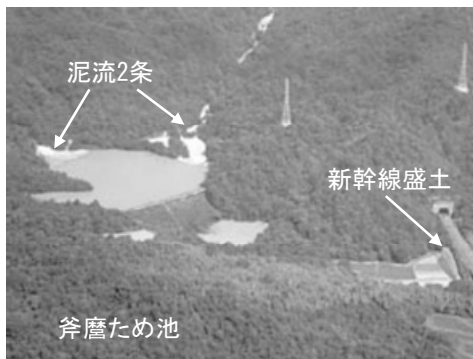


写真-12 斧磨ため池周辺の航空写真



写真-14 江良ため池周辺の航空写真



写真-13 長尾ため池周辺の航空写真

4.6 崩壊源頭部の地盤力学的性質

表-3 に崩壊源頭部の特徴と土の地盤力学的性質について整理したものを示す。土粒子密度および水中安息角は源頭あるいは源頭近くで採取した土試料の土質試験から得たものである。土粒子密度は 2.59~2.66 g/cm³ の範囲にあり、過去に調べたまさ土の値と同程度である。水中安息角は水で満たした水槽に土砂をゆっくりと堆積させ、そのときの土塊の傾斜角を測定するという方法で求めたもので、その状況を図-8 に示している。石英を主成分とする豊浦標準砂の水中安息角は 28° であったことから、調査地域のまさ土の水中安息

角は総じて豊浦砂のそれより高い．ここで重要な点として下右田の水中安息角は 37° であるのに対して，斜面勾配は 30° 以下であったことである．水中安息角が緩詰めせん断抵抗角とみなせば，実際のまさ土のせん断抵抗角よりも低い斜面勾配で崩壊が発生したことになり，力学的に矛盾する．このことは，不飽和土であった地山が飽和することで崩壊するというよりは，地盤内に発生した浸透圧により有効応力が低下して崩壊に至った可能性があることを示唆している．調査時に源頭部からの湧水を確認していることも，この崩壊メカニズムの確からしさを示している．また，源頭部で節理のある花崗岩が露頭し，新鮮な破断面をもつ岩片が多く散在していたことから，浸透圧の作用が引き金となって，節理を持った花崗岩の弱面で破断し，崩壊が発生したとも推察できる．なお，これらの試料の粒度試験の結果を図-9に示している．いずれの試料も砂あるいは礫に分類され，均等係数は29.3（下右田）～130（石原B）ときわめて大きいのが特徴である．また，細粒分を10～20%含んでいるのも特徴である．

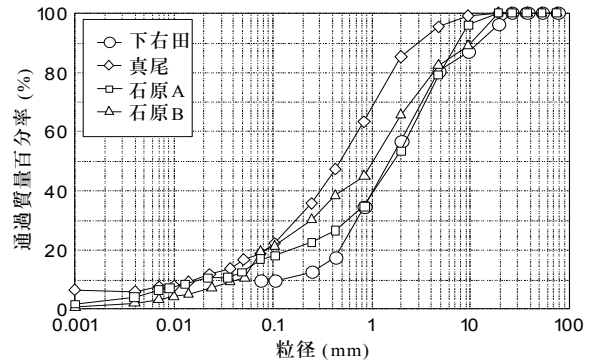


図-9 採取した土試料の粒径加積曲線

5. 土石流・崩壊等による土砂収支

被害を及ぼした土石流は，各溪流で，溪流源頭部の崩壊から端を発し発生し，溪流が合流する毎に土量を増して最下流部では数千～数万 m^3 の規模に至った．最も土砂移動が多かった剣川では，図-10に示すように，最上流域 83,000 m^3 の移動土砂量が見られ，合流の度

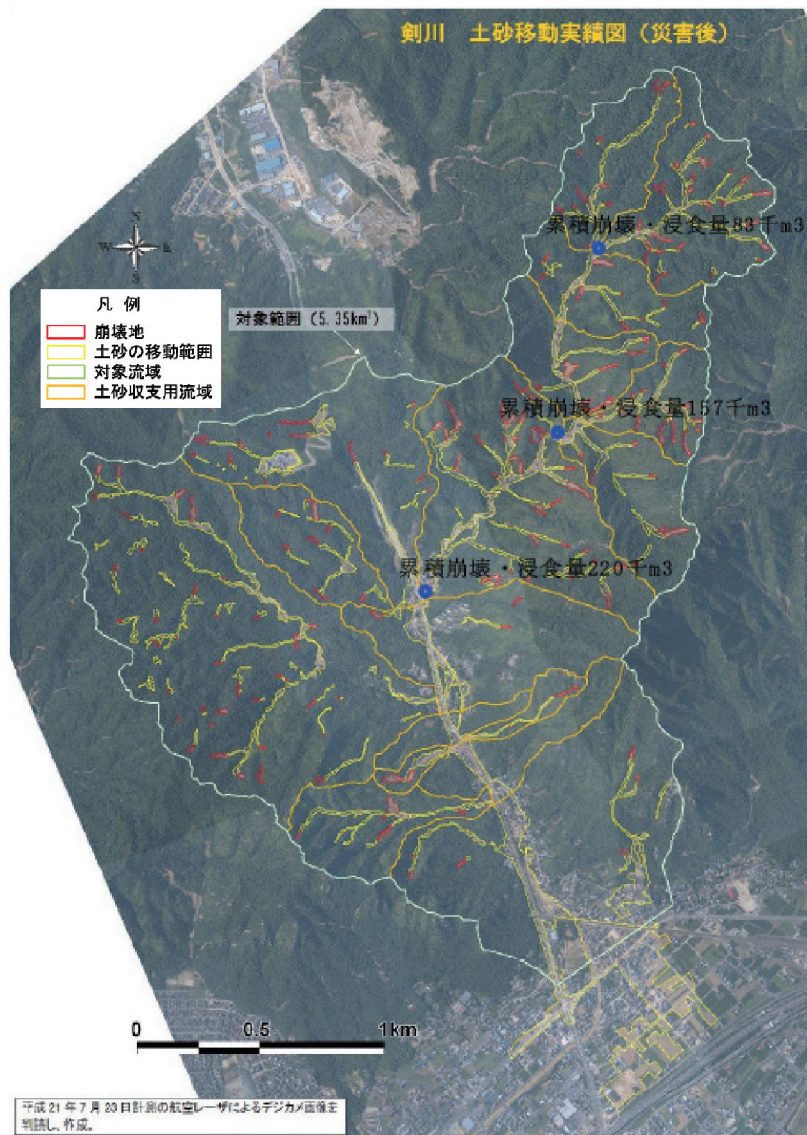


図-10 土砂移動（剣川）

に 110,000 m³→130,000m³→150,000m³ と約 20,000m³ ずつ増加し、国道 262 号を横断する箇所では約 220,000m³ にふくれあがった。

老人ホームに被害を与えた上田南川では図-11 に示すように、最上流域で約 2 万 m³ の移動土砂が生じたが、剣川とは異なって、下流域まで土砂量に大きな変化が見ないまま流下し、緩斜面に到達してから溪床浸食による約 35,000m³ が付加し、最終的には 55,000m³ の土砂が最下流域に流出している。

同時に大きな土石流が発生した奈美川では約 110,000 m³ の膨大な土砂が移動し、素（す）川では本流で約 27,000 m³、支流で約 30,000 m³ の計約 57,000 m³ の土砂が移動し、三谷（みたに）川で約 37,000m³ の土砂の移動が見られるなど、剣川と奈美川を除く、主だった溪流のすべてにおいて 10,000～50,000 m³ の土砂移動が生じ、それらの半分以上の土砂が現溪床に堆積している状況にある。

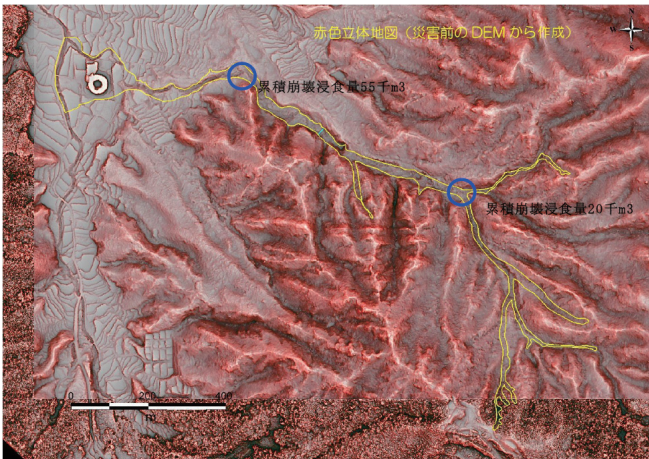


図-11 赤色立体図（上田南川）

6. 総括

本豪雨災害の調査研究結果を以下に要約する。

- (1) 土石流発生源頭部において、表層の地質が広島花崗岩に覆われた地域への観測史上記録的な豪雨によって、崩壊が引き起こされた。
- (2) 崩壊が多発した地域は、谷の両側の斜面が急峻な「ヤセ尾根」地形を呈し、まさ土の風化層は薄く、しかも表土の植生は貧相であった。
- (3) 源頭部の崩壊はおおむね花崗岩とまさ土の境界で発生した。このまさ土のせん断抵抗角は比較的高く、斜面勾配より高い地点もあった。これより、雨水の浸透による有効応力の低下が崩壊の主誘因と考えられるが、尾根付近の表層部において雨が集水されて浸透圧の増加につながったメカニズムは不明である。
- (4) 源頭部から流下域において、まさ土が削剥されながら、また、過去の土石流堆積物と流木を巻き込

みながら流下したことがわかった。削剥長は 900～2,000m で、溪床の勾配は 5～20° が大半であった。巨石は斜面勾配 5～10° 付近に堆積していた。多量の雨水とともに、砂や礫に分類され、細粒分を 10～20% 含むまさ土が流下したことで、氾濫域が広域となった。

- (4) 同時多発的に発生した源頭部崩壊は、起伏量が 200～400 m、斜面勾配が 15°～30° の小起伏山地で発生し、土石流となって 15° 前後の溪床を駆け下って 2° 程度の平地部で裾が大きく広がるように滑動を停止した。
- (5) 各溪流で生じた移動土砂量は概ね 5 万 m³ までの規模であったが、剣川や奈美川などでは 10 万 m³ を越える溪流も認めることができた。これらの違いは抱える流域面積や溪流長、斜面の地質状況に起因するものと考えられる。

謝辞

本調査研究の実施にあたり、国土交通省中国地方整備局山口河川国道事務所には降雨データ、アジア航測(株)には航空測量データを提供いただいた。また、本調査研究は山口大学工学部平成 21 年度プロジェクト S「7.21 防府地区土砂災害の発生メカニズムに関する調査研究」(代表者 兵動正幸教授)、科研費特別研究促進費「2009 年 7 月中国・九州北部の豪雨による水・土砂災害と防災対策に関する研究」(代表者 羽田野袈裟義教授)ならびに科研費基盤研究(B)「山口県防府地区で発生した土石流災害の発生メカニズムに対する地盤学的解明」(代表者 中田幸男教授)の助成を受けた。ここに記して、関係各位に対して謝意を表す次第である。最後になりますが、お亡くなりになった方々に哀悼の意を表すとともに、被害に遭われた方々に改めてお見舞いを申し上げます。

参考文献

- 1) 地盤工学会 2009 年 7 月豪雨による山口県土砂災害緊急調査団: 2009 年 7 月 21 日豪雨による山口県防府地区での斜面災害, 地盤工学会誌, 第 57 巻, 第 12 号, pp.39-42, 2009.
- 2) 総務省消防庁: 平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨について(第 32 報), <http://www.fdma.go.jp/data/011002251707333418.pdf>.
- 3) 西村祐二郎, 今岡照喜, 宇多村 謙, 亀谷 敦: 新編山口県地質図 1:150,000, 山口地学会, 1995.
- 4) 下関気象台: 災害時気象資料 平成 21 年 7 月 20 日から 21 日にかけての梅雨前線に伴う山口県の大雨について, 2009.
- 5) 瀬尾克美, 船崎正継: 土砂害(主に土石流的被害)と降雨量について, 新砂防, Vol.22, No.2, pp.22-28, 1973.

(2010 年 7 月 21 日 受付)