

平成21年7月中国・九州北部豪雨による山口県防府市土砂災害

福岡 浩*・山本 晴彦**・宮田 雄一郎***・汪 発武*・王 功輝*

Preliminary Report on landslide disaster in Hofu city,
Yamaguchi Prefecture, Japan triggered by the July 2009
Chugoku – Northern Kyushu District Heavy Rainstorm

Hiroshi FUKUOKA*, Haruhiko YAMAMOTO**,
Yuichiro MIYATA***, Fawu WANG* and Gonghui WANG*

Abstract

A heavy rainstorm caused by a stationary front (Bai-u front) attacked Chugoku district and northern Kyushu district in late July 2009. Extra-ordinary intense rainstorm was recorded in Hofu city and Yamaguchi city of Yamaguchi Prefecture from 6 am – 12am of July 21, which could occur once in a period of 200–600 years statistically. It induced many debris flow disasters in Hofu city, claiming lives of 14 residents. Most of the debris flows were triggered by small-scale debris slides at the head of the stream, then scraping torrent deposits to increase its mass. Authors organized investigation team and conducted joint field investigation of debris flows on July 27 and July 31 – August 1. This preliminary report includes the characteristics of the heavy rainstorm and general description of debris slide – debris flow sites.

キーワード：集中豪雨，地すべり，土石流，現地調査，山口県防府市

Key words：heavy rainstorm, landslides, debris flows, site investigation, Hofu, City, Yamaguchi Prefecture

1. はじめに

平成21年7月19日から26日にかけて中国地方の広島県，山口県，および九州北部の福岡県，佐賀県，

長崎県において大雨が降り観測史上1位を更新する箇所および土砂災害が多数報告され，死者行方不明が防府市を中心とする山口県の他，広島県，福岡

* 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University
** 山口大学農学部
Faculty of Agriculture, Yamaguchi University

*** 山口大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Yamaguchi University

本速報に対する討論は平成22年2月末日まで受け付ける。

県、佐賀県、長崎県で報告された（気象庁 2009、消防庁 2009）。気象庁はこの豪雨災害を「平成21年7月中国・九州北部豪雨」と命名した。

特に山口県防府市において7月21日午前中に記録的な豪雨により土石流災害が多発し14名の死者が発生したため、京都大学防災研究所、(社)土木学会、(社)日本地すべり学会関西支部の合同調査団が組織され、7月28日に防府市において土砂災害と被害の合同現地調査を実施し著者のうち、福岡、山本、宮田、汪が参加した。また、京都大学防災研究所では第二次調査団が組織され王が参加した。本報ではこれらの調査結果に基づき、速報として防府市を襲った集中豪雨の気象的特徴、防府市周辺の地質特性および、土砂災害の概況について述べる。

2. 防府市における集中豪雨の概要

防府市において集中豪雨が発生した2009年7月21日9時における地上天気図を図1に、気象衛星ひまわり「赤外画像」を図2に示した。梅雨前線が対馬海峡から山口県の北の海上をゆっくり南下し、山陰沖から近畿地方を通して東海地方に延びる前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込み、前線の活動が非常に活発化した。これにより、梅雨前線に近い山口県では、21日明け方から激しい雨が降り始め、8時までの1時間に北部、西部、

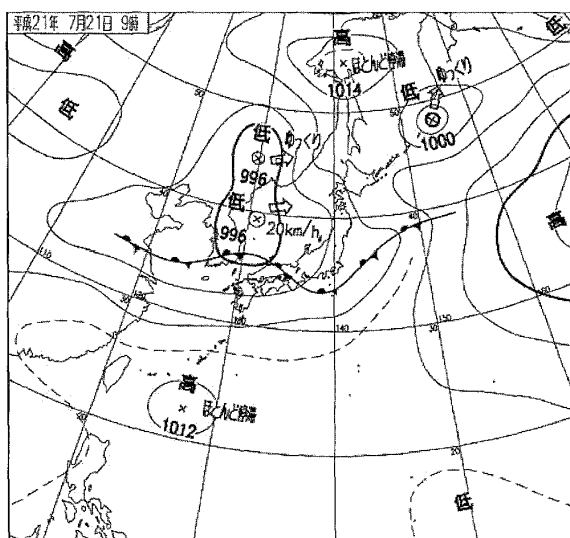


図1 地上天気図 (2009年7月21日9時)

中部で80mm以上の猛烈な雨となった。8時30分には、山口市阿知須付近で1時間に約100ミリの記録的短時間大雨が発生した。山口県の広い範囲で昼頃にかけて50mm/h以上の非常に激しい雨が降り、防府(アメダス)では明け方から昼過ぎにかけて270mmに達するなど各地で大雨となって、県内のほぼ全市町において土砂災害警戒情報が発表された。

図3には、山口県中部における7月21日の日降水量(mm)の分布を示した。ここで示した雨量観測所は、気象庁(アメダス)、国土交通省および山口県の所管である。大規模な浸水被害が発生し

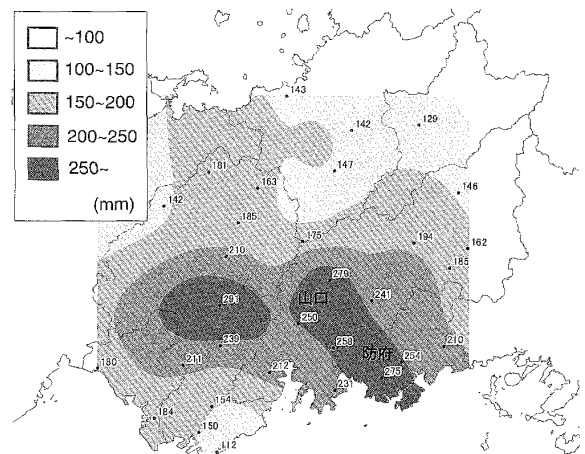


図2 7月21日積算雨量分布

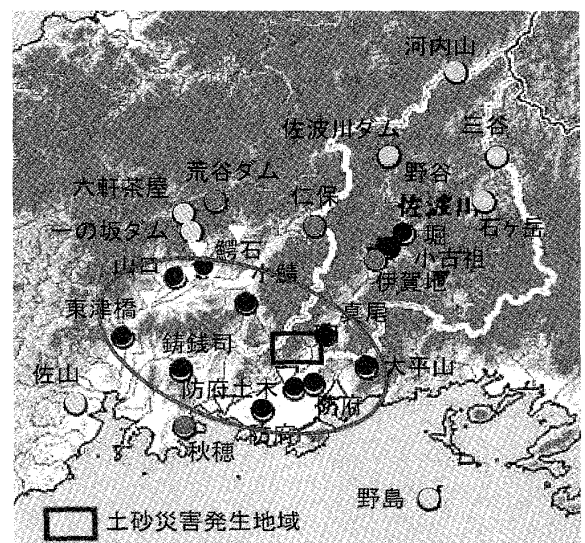


図3 山口県中部における7月21日の日降水量の分布

た山口（測候所）277 mm, 甚大な土砂災害が発生した防府（アメダス）275 mm, 柳井（アメダス）272 mm, 下松（アメダス）264 mm, 桜山（アメダス）250 mmをはじめ, 真尾266 mm, 防府（国河川）256 mm, 防府（防府土木）254 mm, 小鯖241 mm など, 内陸部の美祢市・宇部市北部から山口市・防府市, 瀬戸内海沿岸の柳井市にかけての東西に延びる範囲で局地的な豪雨に見舞われた。

図4には, 2009年7月21日に防府（アメダス）で観測された1時間・10分間降水量の推移を示した。早朝の5時頃から雨が降り始め, 6時前後に10分間降水量が15 mmを超える第1の降水のピーク, さらに8時30分を中心とする第2のピークが認められており, 8時40分には18.0 mm/10分間, この前後で最大1時間降水量74.5 mmを観測している。さらには11~12時には第3のピークが現れており, 6時から13時までの6時間に220.0 mmの集中豪雨に見舞われている。防府（アメダス）は1976年から気象観測を開始しており, リターンピリオド（再現確率）は最大3時間降水量126.0 mmが48.7年, 最大6時間降水量220.0 mmが

245.9年, 24時間（日）降水量275.0 mmは82.6年であり, 6時間の短時間できわめて稀な降水に見舞われていることが明らかになった。

表1には, 防府における過去の日降水量の順位（1950年~2009年）を示した。ここでは, 1976年からの防府（アメダス）の観測データに, 山口県の区内観測所（1950年~1975年）のデータを統合して構築した雨量データベース（東山・山本, 2009）を用いた。60年間にわたるデータベースから, 7月21日に観測された275.0 mmは第1位の記録であり, 1954年に観測された第2位の225.9 mmを約50 mmも上回る記録であり, 最近では1993年8月2日に観測された203.0 mmが第6位に相当しており, 死者5名の人的被害が発生している。

表1 防府における過去の日降水量の順位（1950年~2009年）

順位	日降水量(mm)	年月日
1位	275.0	2009年7月21日
2位	225.9	1954年7月4日
3位	221.0	1990年6月15日
4位	214.1	1955年4月15日
5位	214.0	2005年9月6日
6位	203.0	1993年8月2日
7位	194.0	1951年7月9日
8位	186.9	1955年7月6日
9位	186.0	1966年6月30日
10位	182.0	1954年9月24日

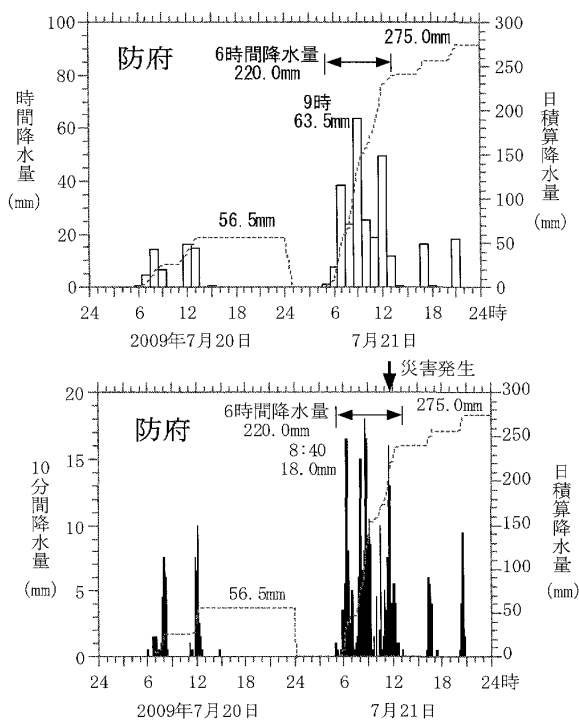


図4 防府（アメダス）で観測された1時間・10分間降水量の推移（2009年7月21日）

3. 防府市周辺の地質特性

防府市周辺では, 佐波川（さばがわ）両岸の山地や丘陵地の大半が花崗岩類で占められている。これは「防府花崗岩」と呼ばれ, 西南日本内帯山陽帯の白亜紀花崗岩類に区分されており（Ishihara, 1977; 石原, 1980）, 今回と同様の土砂災害で知られる広島花崗岩と一連のものである。防府花崗岩体は, 山口・防府・宇部の3市およびその周辺町村にまたがって分布し, 南北38 km, 東西50 kmの広がりを持つバソリスをなしている。調査地域周辺の地質図を図5に示す。周辺には周防（すおう）変成岩（Nishimura, 1998）が分布し, 調査地域では南東部の大平山（おおひらや

ま)の尾根周辺にループペンダントとしてみられる(山本ほか, 2006)。泥質片岩を主とし, 防府花崗岩による接触変成作用を受けている。

山本ほか(2006)は, 防府花崗岩をその組織や鉱物粒度による岩相の違いによって, 粗粒花崗岩・斑状花崗岩・中粒花崗岩・花崗閃緑岩・細粒花崗岩の5タイプに区分した(図5)。粗粒花崗岩は佐波川より西側にのみ分布し, 中粒花崗岩に貫かれ, その構造的上位にある。両者はシート状の形態を示す。斑状花崗岩は粗粒花崗岩と漸移する。中粒花崗岩は佐波川を挟んで最も広い分布域を有し, 均質な黒雲母花崗岩からなる。花崗閃緑岩は佐波川東部に分布し, 中粒花崗岩の上位にシート状に載っている。細粒花崗岩は小規模な分布を示し, 上記花崗岩を高角で貫いているところと, 周防変成岩の直下にシート状に貫入しているところがある。調査地域北西部-西部では, 珪長岩・石英斑岩および花崗斑岩が, 防府花崗岩に貫入している。

図5に示す斜面崩壊・土石流の分布は, 国際航業株式会社, アジア航測株式会社, および株式会社パスコがそれぞれ空中写真判読から作成したも

のをまとめている。暫定的な分布図ではあるが, 地質とよく対応していることがわかる。すなわち, 斜面崩壊・土石流の発生域はいずれも防府花崗岩の分布域にあたり, 周防変成岩と石英斑岩および花崗斑岩の分布域には発生していない。粗粒・中粒・細粒花崗岩と斑状花崗岩・花崗閃緑岩では, 発生頻度にとくに違いは認められない。花崗岩類には, しばしば節理やマイクロシーティングがみられる。本地域の土石流堆積物をみても, 大小の花崗岩礫とマサ起源の砂が多く, 泥は比較的少ない。礫は最大径数メートルに及び, 比較的丸みを帯びたものが多い。

これらのことから, この地域における斜面崩壊・土石流といった斜面災害発生の一因として, 花崗岩類特有の岩質に由来した風化様式を挙げることができるだろう。すなわち, コアストーンを残して深層風化によるマサ化が進みやすいことが, 巨礫と砂を生産すると同時に, 地盤の強度を低下させる点である。

いっぽうで, 特別養護老人ホーム「ライフケア高砂」を襲った真尾地区の土石流堆積物には, しばしば周防変成岩の泥質片岩礫が見られた(図6)。

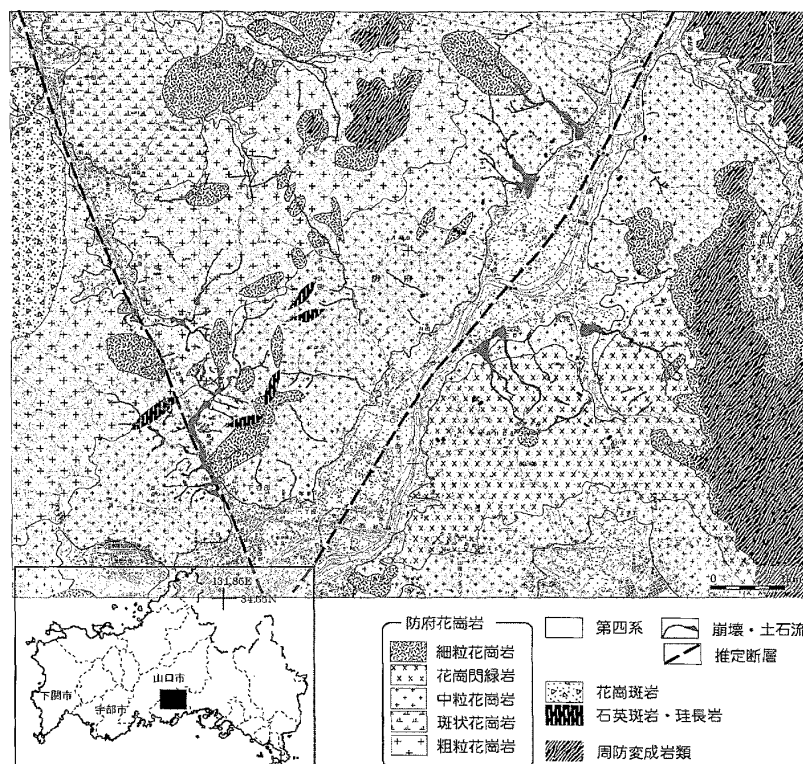


図5からもわかるとおり, 源流部には花崗閃緑岩と細粒花崗岩しか分布せず, 周防変成岩はさらに数百メートル東方の上流域に分布する。このことは, 過去の斜面崩壊などで沢にもたらされた土砂もまた, 今回の土石流の母材となったことを示している。さらに, 国道262号沿いを襲った勝坂地区では, 土石流の流路に角礫主体の崖錐堆積物の断面がみられ, 末端の断面には過去の土石流堆積物がみられた(図7)。これらのことは, 流路に蓄積された堆積

図5 防府地域の地質図：地質区分と地質図は山本ほか(2006)による。崩壊・土石流分布は国際航業株式会社, アジア航測株式会社, および株式会社パスコの資料に基づく。地形図は国土地理院の1/25,000を使用。

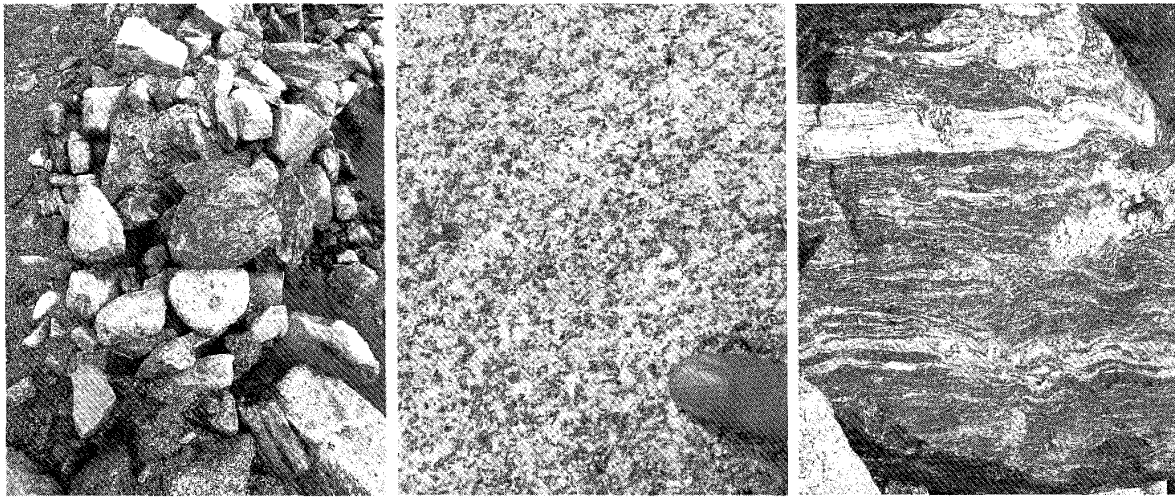


図6 真尾地区土石流堆積物の礫種:花崗岩礫と変成岩礫(左), 細粒花崗岩礫のクローズアップ(中央)および周防変成岩起源の泥質片岩礫(右:長径約60cm)。



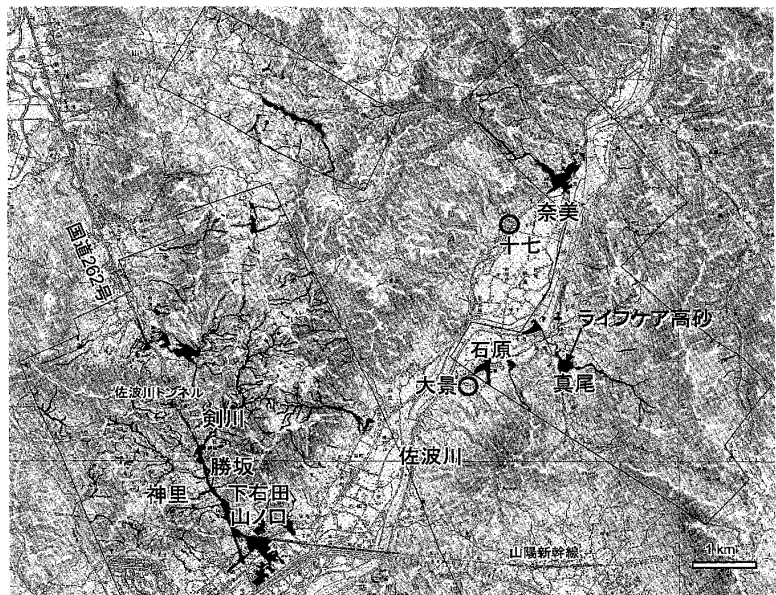
図7 下右田地区の土石流の流路の側面に見られた過去の土石流堆積物と思われる土砂と石礫。

物が今回の土石流に取り込まれたことを示しており、流路における土砂の蓄積もまた、土石流被害を拡大させる要因として検討すべき点といえるだろう。

4. 防府市で発生した土砂災害の概要

図8は豪雨発生直後に撮影した空中写真判読による防府市の広い範囲で発

図8 豪雨発生直後に撮影した空中写真判読による土砂災害発生分布図。アジア航測株式会社作成の図に加筆。図の上が北。



生じた土砂災害発生の分布図に地名等を加筆したものである。図中黒枠で囲んだ範囲が7月23日に撮影した写真の範囲である。しかし、この時点で撮影された写真の範囲が十分でなく黒枠の外側およびこの図幅の外側でも崩壊、土石流は多数発生しており、詳細な土砂災害状況図は本報を執筆時点でまだ公表されたものはない。合同現地調査では土石流の被災地を中心に踏査した、すなわち7人の入居者が犠牲となった老人施設がある真尾地区、その近くの石原、大景地区、佐波川対岸の奈美・十七の両地区、次いで、最も崩壊・土石流の発生密度が大きかった国道262号の東西に広がる山地、特に佐波山トンネル南側の区間の勝坂、神里地区を調査したので順次以下に紹介する。

(1) 真尾・老人施設の土石流

図9は老人施設・ライフケア高砂周辺の災害直後の空中写真である。右手に今回の土石流が流下した上田南川がある。ライフケア高砂の位置はこ

の溪流の出口の正面であった。この立地条件が今回被災した第一の原因と考えられる。溪流の出口にはこの溪流を横断する農道が近年建設され、暗渠の出口で直角に曲げていたが、土砂量が多く農道をあふれて直進し土砂の大半が同施設の1階に流入、中を通過して真尾川に流入した。

図10、図11に現地の写真を示す。図10左上は山

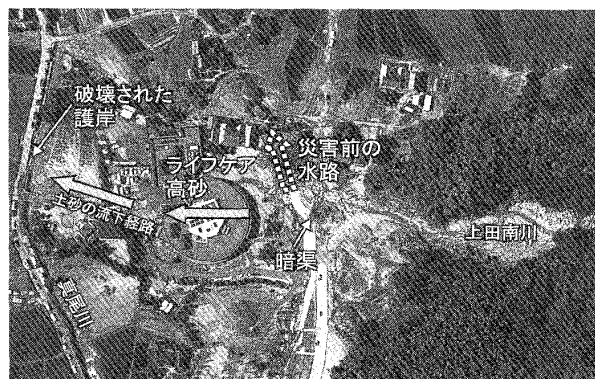


図9 入居者7名が死亡した老人施設・ライフケア高砂（中央左の円形の建物）と上田南川（右）。（アジア航測提供）

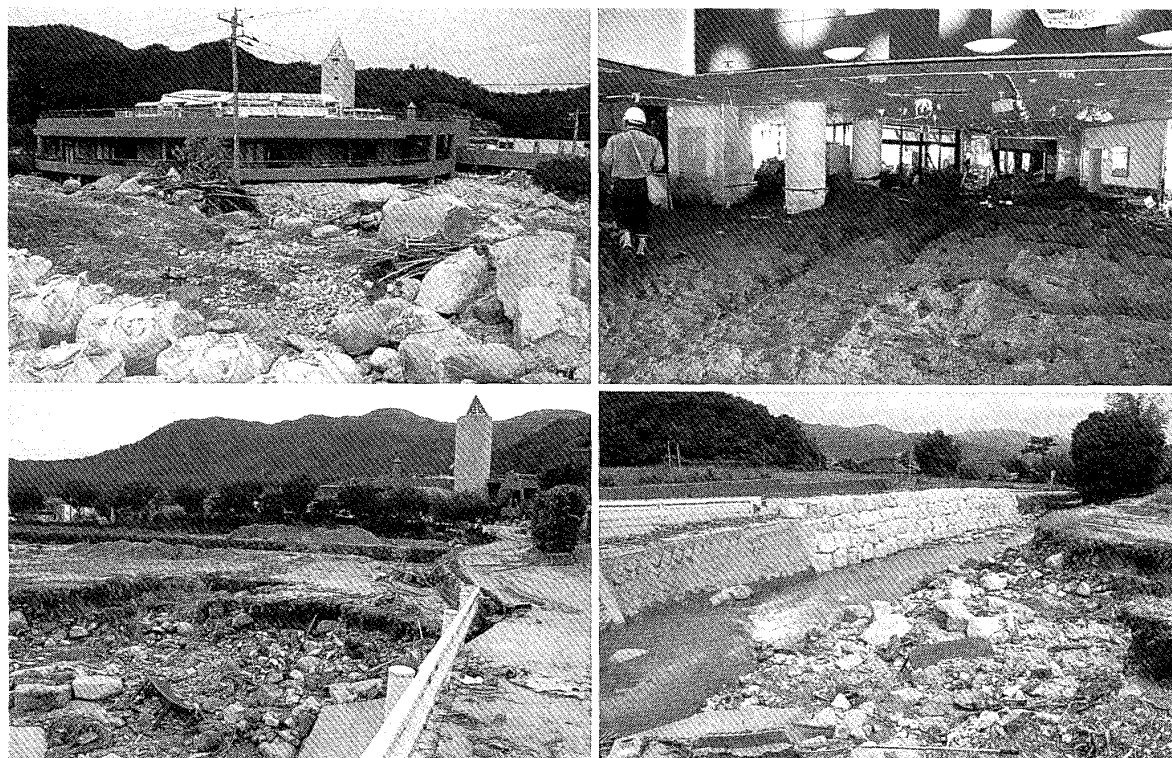


図10 左上：上流側から見たライフケア高砂。山側に面した1階部分は土砂で埋まっていた。右上：施設内部は土砂が大量に堆積した。左下：真尾川から見た同施設と施設敷地を土砂が通過した跡。右下：施設正面の真尾川の護岸が破壊され応急対策が施された。

側から見たライフケア高砂の円形の本館である。図10右上はテレビニュース等で大きく報道された施設エントランス内部の様子で調査時にも砂が大量に堆積したままであった。同施設の山側に面した1階部分の居室は砂で埋まっていた。しかし、土石流が運搬した巨礫の堆積域は施設の10m程度手前までであった。これは上田南川の出口出前にはほぼ水平な区間が長くあり、倒木も多く見られたことから、この区間でほとんどの巨礫は停止し、砂以下の粒径のマサのみが土砂流として流入した。そのため、施設内部には窓を破って大量の土砂が堆積したが、壁面など施設の構造が破壊されることはなく、二階に避難した入居者、職員は無事であった。図10左下は下流側から見た同施設の様子で大量の土砂が施設内を通過した跡が残る。図10右下は施設正面の流路の護岸が破壊された跡である。施設1階を直進した土砂流が真尾川に直角に流入し攻撃したため、護岸が破壊、流されたためトンパックで応急対策が施工されていた。

図11左上と右上は上田南川の出口付近の写真である。大量の巨礫と流木が堆積している。図9では出口の少し上流付近で流路が蛇行しておりその区間でも多くの樹木が土石流により倒されたと思われる。図11左下、右下は農道が近年建設された際に設けられた暗渠の下流側出口と内部の写真である。内部は上流側から流入した流木で詰まっており、細砂、シルトが薄く堆積していた。この暗渠の容量は限定的なものであるが、被害の規模に影響を与えたとは考えられない。

調査団訪問時に同施設の上田和枝理事長に災害発生当時の状況について聞き取りすることができた。同施設は理事長所有の土地に建設し1999年に開所した。2004年に土石流危険区域に指定されると防府市から通知があったが、施設側は指定地を「土石流危険区域」ではなく、ただの「危険地」としてしか認識していなかった。その一方、砂防ダム建設の要請は行っており、2008年から県は調査を開始していた。上田南川出口正面に位置するため土石流が発生

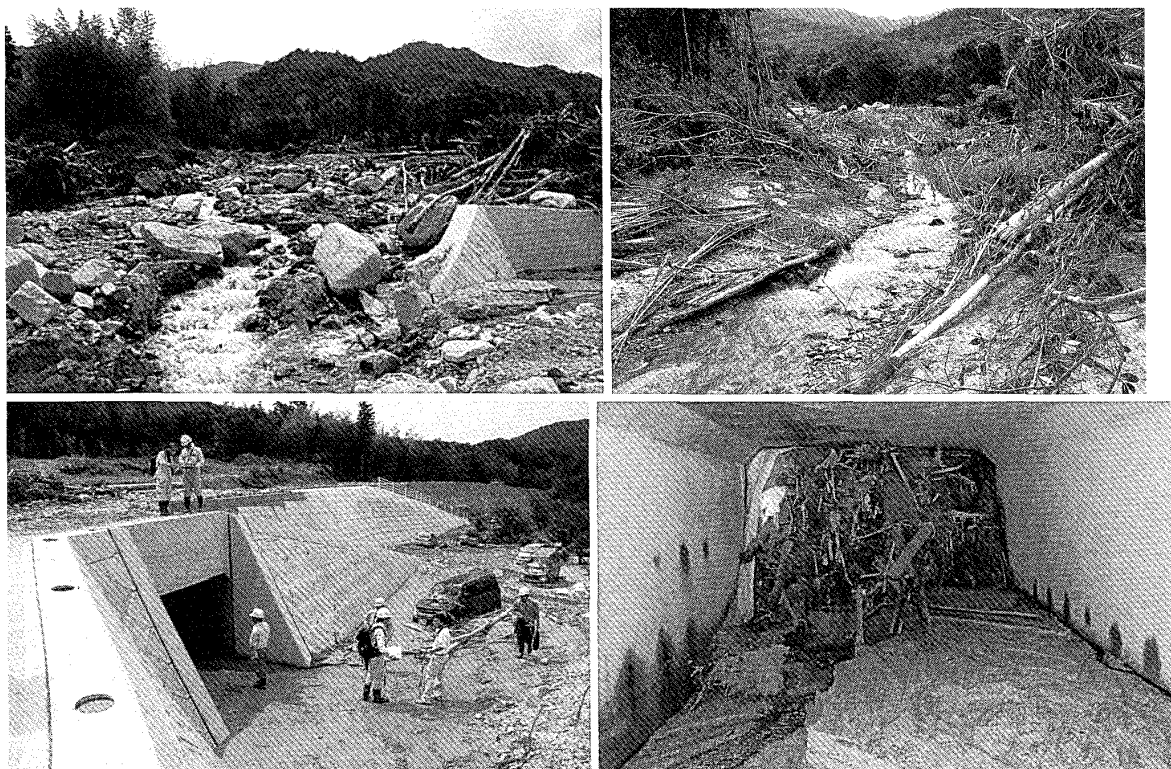


図11 左上・右上：施設裏から見た溪流の出口。巨礫と流木が大量に堆積している。左下・右下：近年建設された暗渠。内部は上流側から流入した流木で詰まっており、細砂、シルトが薄く堆積していた。

すれば、直撃を受ける危険性や洪水の危険性があることは認識していたと思われる。今回の災害以前から市役所より大雨注意報の連絡を受けるたび、2階に避難していたという。今回の災害が発生する1時間半ほど前の午前10:30頃に豪雨が一旦小休止した際に、洪水を心配した職員が上田南川を巡視し、濁流化した様子をデジカメで撮影したものの、土石流によりカメラは失われたそうである。避難に時間がかかる入居者が多かったため土砂が流入し始めてからでは避難が間に合わず、多数の入居者が犠牲となったと思われる。市役所から避難連絡が来なかったため避難が遅れたと報道されているが、施設側も当時、極端な気象条件であることは認識しており、大規模災害発生時には自治体は機能不全になることがわかっていれば、災害危険情報を自ら収集し自主的に避難を判断することもできたのではないか。不安があったために入居者の昼食を30分早くして避難する予定であったというだけに悔やまれる。また、入居者のほとんどは県内出身者であるがその土地の多くはおそらく同地区出身ではなかったと思われ、危険を認識していたかについては不明である。その後入居者は全員県内他施設に転出したそうである。

図12にアジア航測が撮影した上田南川の上流の写真を示す。レーザースキャナ (LiDAR) で計測した結果から解釈した今回の土石流の発生域から堆積域を細い白線で囲っている。施設より1.5~2

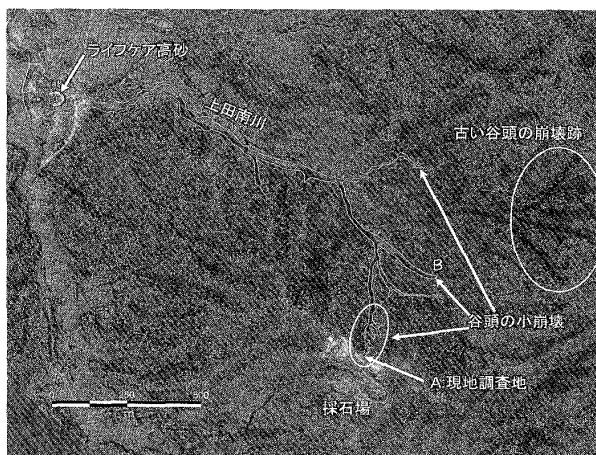


図12 上田南側の上流域の空中写真と土石流が発生した谷頭からライフケア高砂までの範囲。アジア航測株式会社提供の写真に加筆。

km 上流の複数の谷頭から土石流が発生していることがわかる。さらに標高の高い上流には古い谷頭の崩壊跡も見えるが今回は発生していない。

今回の土石流発生箇所のうち、最も流走距離の長いものは図中の南にある白楕円で囲った谷頭である。そのうち道路によるアクセスが可能な採石場から図12中の「A: 現地調査地」と記した土石流発生源頭部のひとつを調査した。調査値周辺のステレオペアの空中写真を図13に示す。図14は採石場の尾根から見下ろした谷頭の崩壊源頭部、図15は源頭部下端付近から見上げた写真である。この小規模崩壊はマサ土で傾斜34度、長さ約30m、幅約10m、深さ約1~2mで土量は200立米前後と思われる。土石流の主要な土砂は上田南川出口近くの約300m程度の区間で堆積しており、土量は全体で1~2万立米程度と推定される。図12から土石流発生源頭部が10カ所程度あるとしても谷頭の崩壊土砂が溪床に堆積していたマサ土を流動化させて何倍にも体積が膨らんだと考えるのが妥当で、これは1999年の広島豪雨災害で多発した土石流災害と同様である。

図16は源頭部下端付近で滑ったものと同種と思われる土砂の採取状況とその近くで露出していたすべり面の一部と思われる花崗岩表面の写真である。現場密度は1.72g/cm³、乾燥密度は1.41g/cm³、間隙比0.84である。付近には湧水があり崩土もまだ多く残っていた。他の谷頭の崩壊源および溪床

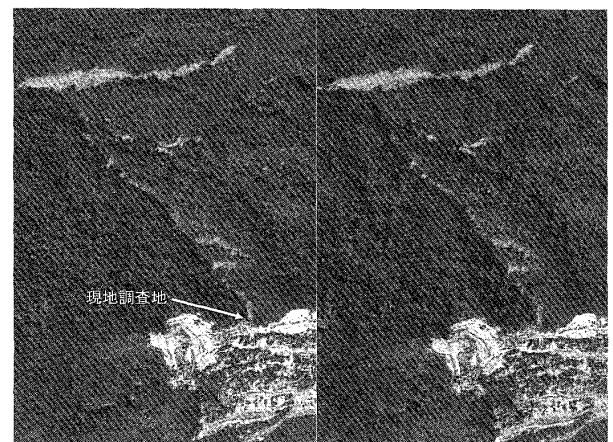


図13 上田南側の上流部の現地調査した谷頭周辺のステレオペアの空中写真 (アジア航測株式会社提供)。



図14 上田南川上流の採石場の尾根から始まる谷頭のひとつで発生した小規模崩壊。尾根より見下ろした写真。

左は石原地区の土石流溪流，図19上右は源頭部の



図15 図7の谷頭の小規模崩壊を下から見上げた写真。



図16 左：谷頭の小規模崩壊源頭部内で土砂試料を採取した。右：すべり面と思われる花崗岩表面の上の土砂を採取した。

でもまだ飽和度の高い崩土が大量に堆積していると推定される。

(2) 石原・大景

真尾川の西の大景地区，石原地区の隣接する3溪流で土石流が発生し2名が死亡した。それらのうち2溪流を調査した。図17，図18に大景地区の状況を示す。図17は大景地区の石原南川の土石流堆積の状況，図18上は大景地区の土石流による被災状況である。住宅地域まで巨礫を含む土砂が到達し多くの被害が出た。図18下左は堆積物中に多く見られた粗粒花崗岩礫である。図18下右は後続の土砂流堆積物であるが，土石流発生後に何度も流下，堆積したことが堆積縞からわかる。図19上



図17 大景地区の石原南川の土石流堆積の状況。源頭部は見えない。

崩壊，下の2枚は土石流による家屋の被災状況を示す。土砂，流木，自動車が家屋に衝突し，図19下右の家屋は回転したと見られている。



図18 上：大景地区の土石流による被災状況，下左：堆積物中の粗粒花崗岩の礫，下右：後続の土砂流堆積物。多数の堆積縞が見える。

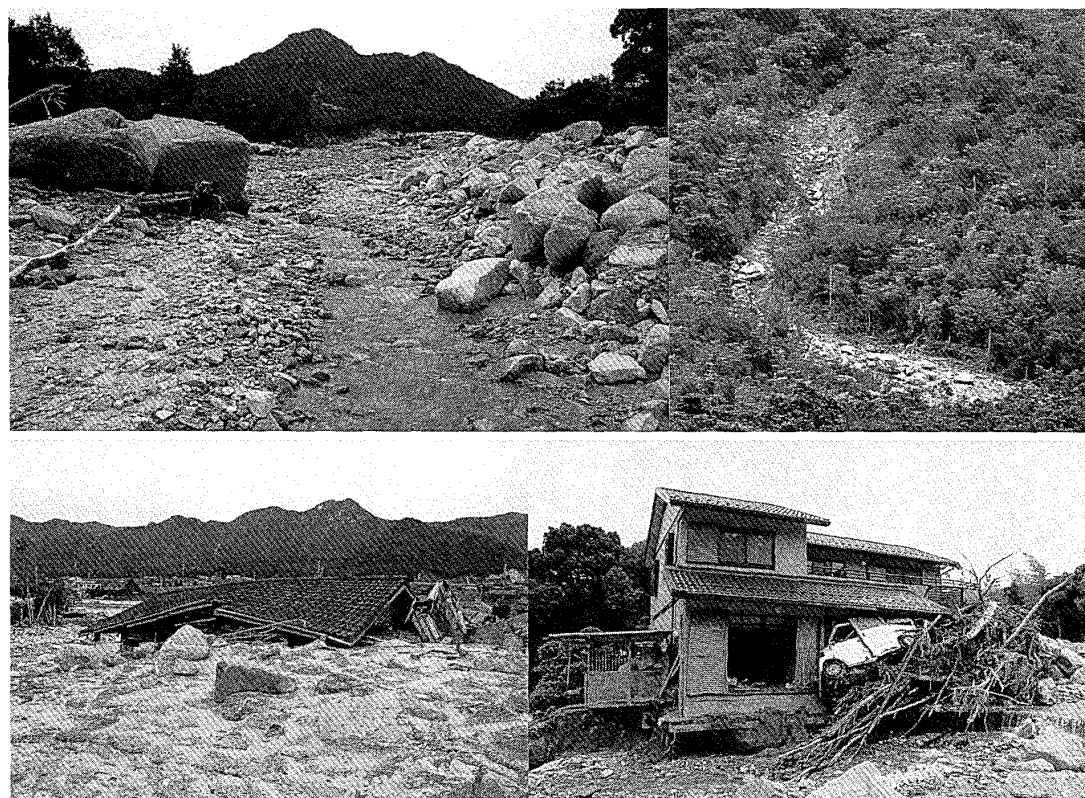


図19 上左：石原地区の土石流渓流，上右：源頭部の崩壊，下左：下右：土石流による家屋の破壊。



図20 上左：奈美地区の土石流渓流，上右：平地の田圃に流出した砂。下左，下右：源頭部崩壊の状況。



図21 上左：十七地区で土砂に埋まった家屋の例。この家屋のすぐ上に渓流がある。上右：堆積したマサ砂。縞構造は何度も流出，堆積したことを示す。下：宅地内に堆積した砂を周辺の道路に排出，山積している状況。

(3) 奈美・十七地区

真尾地区の佐波川の対岸にある奈美地区、十七地区の2本の溪流から大規模な土砂流が発生し、麓の両地区の家屋内部に流入、奈美地区で1名が犠牲となった。巨礫はほとんどなく家屋が全壊、半壊した箇所は多くないが、広い範囲に1～2m程度堆積した。図20上左は奈美地区で被害にあった土石流溪流と家屋、上右は平地の田圃に流出した砂である。図20下はマサ土の崩壊源頭部の状況である。図21上左は十七地区で土砂に埋まった家屋の例。この家屋のすぐ上に溪流の出口が迫っていたため大量の砂が敷地内に堆積した。図21上右は堆積したマサである。堆積縞は図18同様、何度も流出があったことを示す。図21下は周辺の宅地内に堆積した砂を周辺の道路に排出、山積している状況である。

これら両地区では土砂が家屋の中にそれほど大量に入っておらず、家屋に構造的な被害が無い場合も多いが、実際に家の中で生活できる状況にな

い場合がほとんどである。しかし公的支援を受ける優先順位は相対的に低く、敷地内の何トンもの砂を個人で排出するしかない人もいた。

(4) 勝坂地区

図22にアジア航測が撮影した国道262号佐波山

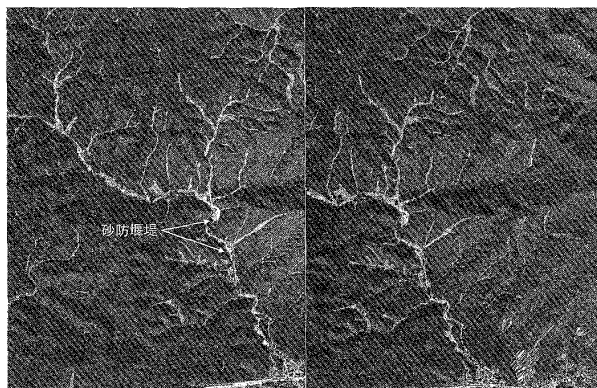


図22 国道262号佐波山トンネル南出口付近（勝坂地区）の東側山地斜面の剣川流域で多発した土石流のステレオペア空中写真。（アジア航測株式会社提供）

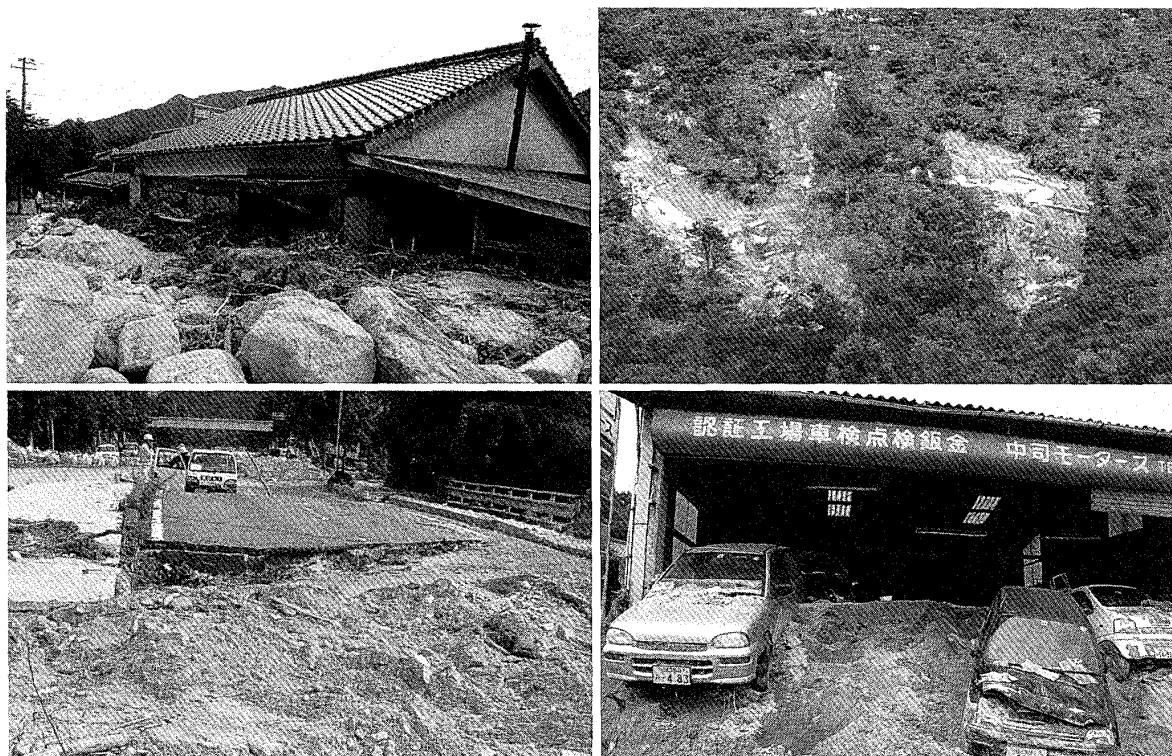


図23 剣川流域で多発した土石流による勝坂地区の被害の状況。上左：土砂に埋もれた家屋、上右：国道から見える斜面で発生した浅層崩壊、下左：剣川にかかる国道の橋の下に堆積した土石が橋梁を持ち上げた状況。下右：流入した土砂で浮き上がった自動車。

トンネル南出口付近（勝坂地区）の東側山地斜面の剣川流域で多発した土石流のステレオペア空中写真を示す。流域の多くの沢で土石流が発生し大半は2基の砂防堰堤で止めたが、その下流で発生した土砂が勝坂地区を横切る剣川に流出した。図23は剣川流域で多発した土石流による勝坂地区の被害で、上左は土砂に埋もれた家屋、上右は国道から見える斜面で発生した浅層崩壊、下左は剣川にかかる国道の橋の下に堆積した土石が橋梁を持ち上げた状況、下右は自動車修理工場に流入した土砂で自動車が浮き上がった状況を示す。

（5）神里・下右田地区

勝坂地区と同じく国道262号線の両側の山地溪流から土石流が流出し4名が犠牲となった。図24に空中写真を示す。左側（西側）が神里地区である。図25左上は国道から見た溪流の状況、右上は溪流出口近くの堰堤であるが袖が破壊され下流の宅地付近まで流されている。図25左下・右下は崩壊源頭部の状況である。崩土が抜け落ちたあとのスムーズな花崗岩のすべり面が露出している。千木良他（2009）では防府市では1999年広島災害と同様、花崗岩中に発達するシーティング、マイクロシーティングの影響ですべり面が形成されやす

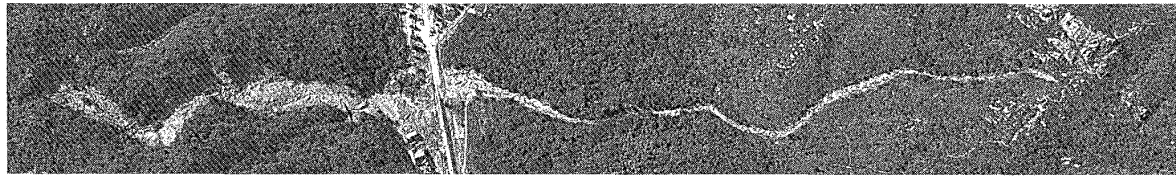


図24 神里地区（左）、下右田地区（右）の土石流の空中写真。

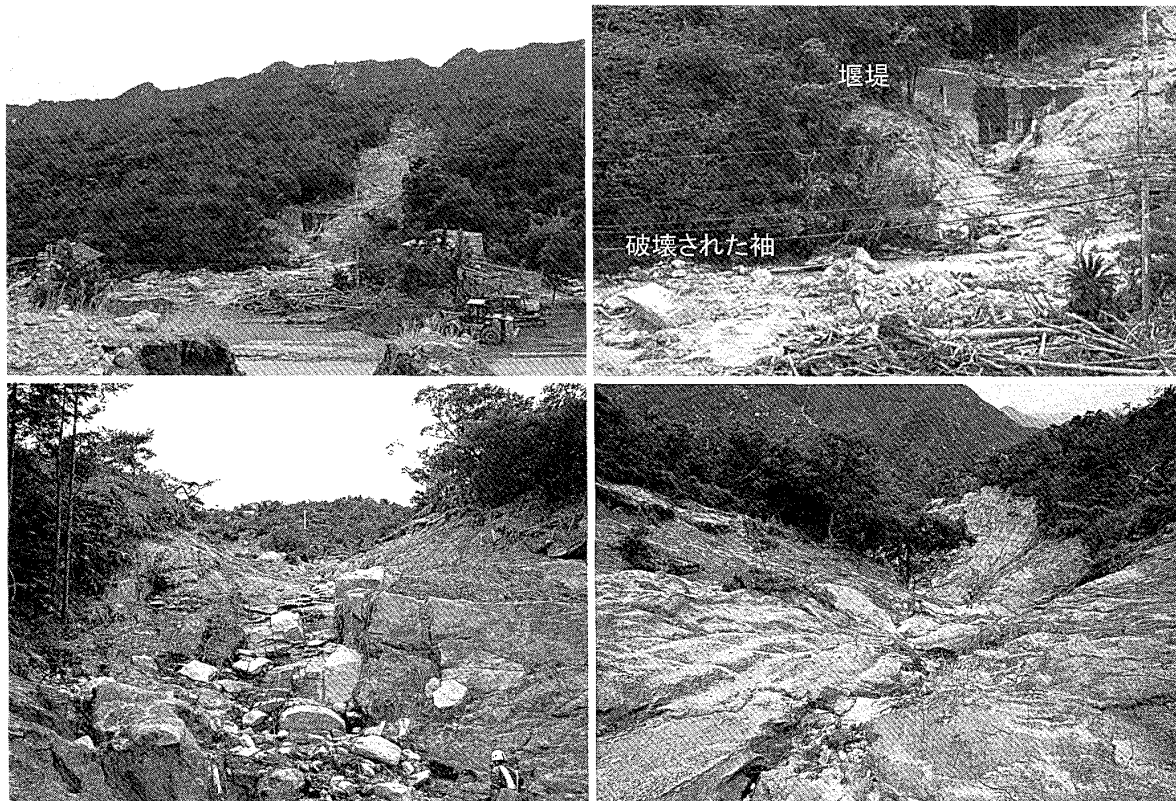


図25 神里地区の土石流，左上：国道から見た溪流，右上，袖が破壊された堰堤（以上，福岡撮影），左下・右下：崩壊源頭部の状況（王功輝撮影）。



図26 下右田地区の土石流。破壊された流路末端の断面

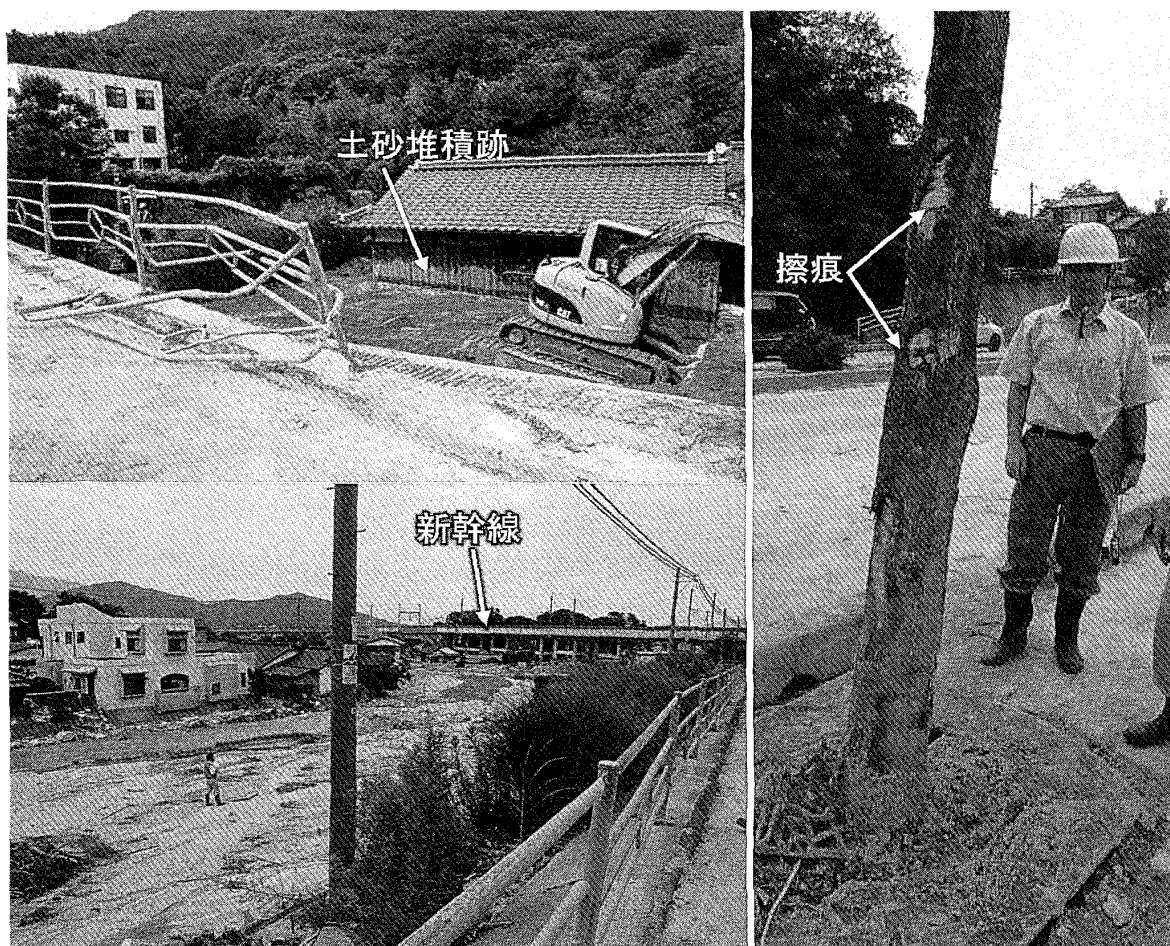


図27 国道262号沿いの土砂の堆積状況。左上：山ノ口地区の民家敷地に大量に堆積した例，下左：
剣川を流下，氾濫し新幹線を越え右田市の市街地まで広く堆積した。右：国道262の街路樹
に見られた土砂の跡と擦痕。

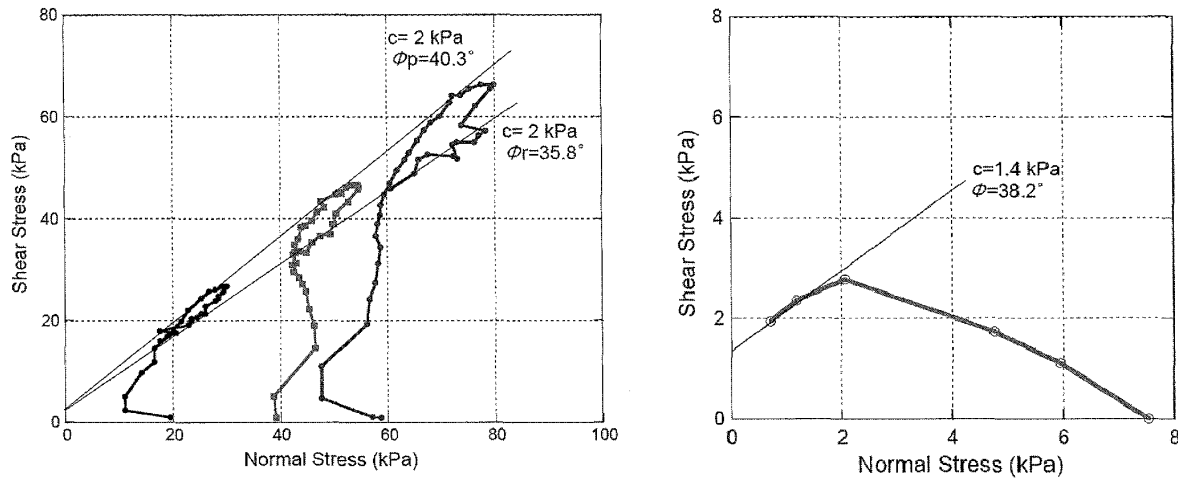


図28 左：奈美の土石流源頭部で採取した土砂の乾燥試料に対する定体積一面せん断試験の結果。右：真尾の上田南川上流の採石場内の源頭部で採取した土砂の飽和試料に対する定体積一面せん断試験結果。

い環境にあったとしている。図26に下右地区の土石流の現地の状況を示す。図26左上・右上には国道から見た破壊された流路末端の断面である。

(6) 国道262号と剣川沿い氾濫，流出した土砂の状況

剣川と平行して走る国道262号は南に向かって緩やかに傾斜しているが，図27に国道262号と剣川に流出，氾濫した土砂の堆積状況を示す。図27左上は旧道沿いの山ノ口地区の民家敷地に大量に堆積した例である。旧道は現在の国道より低地にあるため大量の土砂が流入し住宅地に多くの被害が出た。図27左下は土砂が剣川下流を流下，氾濫し新幹線を越え右田市の市街地まで広く堆積した状況である。国道262の街路樹に見られた土砂の跡と擦痕を図27右に示す。

5. 発生メカニズムについて

図20下に示した奈美の土石流の源頭部崩壊で王功輝が土砂を採取したが，乾燥試料に対し定体積一面せん断試験を実施したものを図28左に示す。乾燥試料に対する定体積一面せん断試験は飽和非排水条件の挙動を概ね再現できる。垂直応力20–60 kPaで実施したところ，せん断と共に体積増大傾向を示し，ピーク強度後，破壊線上を原点に向かって移動している。ピーク時の摩擦角は40°，

残留時の摩擦角は35°と推定できた。京都大学防災研究所が所有するリングせん断試験機による試験はまだ実施できていないが，図28は大せん断距離を与えれば大きな強度低下が現れることが期待できる結果である。一方，Wang, Sassa, and Fukuoka (2002, 2003)では1999年の広島豪雨災害で発生した谷頭のマサ土の浅層崩壊発生過程と溪床堆積物への衝撃による液状化・流動化過程を実験的に明らかにしている。同種の試験を今後実施したいと考えている。図28右は図16で採取した真尾の上田南川上流の採石場内の源頭部で採取した土砂の飽和試料に対する定体積一面せん断試験結果である。この崩壊は浅層であるため定圧の8 kPaから始めているが，すぐに沈下したため液状化のような応力経路を示した。

6. まとめ

本災害の特徴は以下のように整理できる。

- 1) 2009年7月21日，山口県中部の山口市から防府市にかけての東西20km，南北15kmの狭い範囲で日降水量240mmを超える局地的豪雨に見舞われた。特に，今回の災害を引き起こした防府市の集中豪雨は6時間雨量で220.0mmであり，リターンピリオド(再現確率)は245.9年と記録的なものであったことが土砂災害の多発を招いたと考えられる。

- 2) 豪雨の範囲の中でも、土砂災害は花崗岩分布地域で発生しており、花崗斑岩・石英斑岩および変成岩分布域では発生していない。
- 3) 1999年6月に広島市で集中豪雨により広島市周辺の斜面で今回の災害と同様に多数のマサ土の土石流、土砂流が多発し多くの死傷者を出した。今回の土石流災害は花崗岩地区の地表に風化で生成されていたマサ土の土層が谷頭で小規模崩壊を引き起こし、飽和した溪床堆積物上に急速載荷することにより土量を増大させながら大規模土石流化したと考えられる。
- 4) 七名の犠牲者があった特別養護老人ホームは上田南川の出口に立地しており、大半の巨礫はその前の緩傾斜区間で停止し土砂のみが建物内に流入したが、避難に時間がかかる入居者が多かったため被害が大きくなったと思われる。市役所から避難連絡が来なかったため避難が遅れたとされているが、極端な気象条件では自治体も機能不全になることがあり、自主判断で避難するための指針、方策を考えるべき時に来ているように思われる。
- 5) 砂防堰堤、治山堰堤も一定の効果を発揮したが、国道262号沿いの地区や奈美、十七地区では大量に流出、堆積した土砂が復興の障害になっている。また溪床には落ちのこりの崩土が大量に残っている箇所もあり、今後の豪雨により流動する可能性も詳細に調べる必要があるようである。

謝 辞

本調査を実施するにあたり京都大学防災研究所の所長裁量経費の補助をいただきました。土木学会調査団の山口大学・羽田野袈裟義教授、(社)日本地すべり学会関西支部長の鳥取大学・藤村尚教授には合同調査団を組織するにあたりご協力いただきました。2回の調査団に参加された山口大学の種浦圭輔助教、京都大学防災研究所の千木良雅弘教授、諏訪浩准教授、寺嶋准教授、齊藤隆志助教にも現地でご貴重な情報をいただきました。アジア航測株式会社の小野田敏氏には空中写真他の資

料および情報をいただきました。ライフケア高砂の上田和枝理事長には聞き取りでご協力いただきました。記して感謝いたします。

参考文献

- アジア航測株式会社：平成21年7月中国・九州北部豪雨災害，<http://www.ajiko.co.jp/bousai2/hofu/hofu2.htm>，2009。
- 石原舜三：花崗岩と流紋岩。岩波講座地球科学，**15**，105-141，1980。
- 牛山素行・里深好文・海堀正博：1999年6月29日に広島市周辺で発生した豪雨災害の特徴，自然災害科学，pp.165-176，1999。
- 気象庁：平成21年7月19日から26日に中国地方及び九州北部地方で発生した豪雨の命名について，<http://www.jma.go.jp/jma/press/0907/27a/gouumeimei200907.pdf>，2009。
- 国際航業株式会社，【速報】平成21年7月 山口県豪雨災害，http://www.kkc.co.jp/social/disaster/200907_yamaguchi/index.html
- 国土交通省国土地理院：平成21年7月中国・九州北部豪雨に関する対応，<http://www.gsi.go.jp/kohokocho/h21-7-ooame-index.html>，2009。
- 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23報），<http://www.fdma.go.jp/data/010907101714443867.pdf>，2009。
- 千木良雅弘・諏訪 浩・寺嶋・王 功輝：2009年7月中国・九州北部豪雨による防府市土砂災害調査報告（その2），http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web_j/contents/event_text/20090813.pdf，2009。
- 内閣府：平成21年7月中国・九州北部豪雨による被害状況等について，<http://www.bousai.go.jp/090721/090810higaizyoukyou006.pdf>，2009。
- 広島豪雨災害緊急調査団：平成11年6月広島豪雨災害緊急調査団現地調査結果（速報），(社)日本地すべり学会誌「地すべり」，Vol. 36，No. 2，pp. 48-51，1999。
- 福岡 浩：平成21年7月中国・九州北部豪雨による防府市土砂災害第1回初動調査団概要の報告，http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web_j/contents/event_text/topics_20090730.pdf，2009。
- 山本慎一・今岡照喜・金丸龍夫・田結庄良昭：山口県中南部，白亜紀防府花崗岩パソリスの岩石学的特徴と帯磁率異方性：貫入・定置機構の解明に向けて，地球科学，**60**，415-429，2006。
- Chigira M: Micro-sheeting of granite and its relationship with landsliding specifically after

- the heavy rainstorm in June 1999, Hiroshima Prefecture, Japan, *ENGINEERING GEOLOGY*, Vol. 59, Issue 3-4 pp.219-231, 2001.
- Ishihara, S.: The magnetite-series and illmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.*, **27**: 293-305, 1977.
- Nishimura, Y.: Geotectonic subdivision and areal extent of the Sangun belt, Inner Zone of Southwest Japan. *Jour Metamorphic Geol.*, **16**, 129-140, 1998.
- Wang, G., Sassa, K., Fukuoka, H.: Landslide-triggered debris flow: a case study on the 29 June 1999 Kameyama landslide, Hiroshima, Japan. *Proc. of INTERPRAEVENT 2002 in the Pacific Rim*, pp.571-582, 2002.
- Wang, G., Sassa, K., Fukuoka, H.: Downslope volume enlargement of a debris slide-debris flow in the 1999 Hiroshima, Japan, Rainstorm. *Engineering Geology*, Vol.69, No.3-4, pp.309-330, 2003.

(投稿受理:平成21年8月24日)