

平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨による防府市土砂災害

福岡 浩・羽田野袈裟義*・山本晴彦**・宮田雄一郎*・汪発武***・王功輝

* 山口大学理工学研究科
** 山口大学農学研究科
*** 島根大学総合理工学研究科

要 旨

平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨により防府市で土石流が多発し 14 名が死亡した。調査の結果、主要な災害発生の要因は防府で観測された 6 時間雨量 220.0mm が 245.9 年確率の集中豪雨であったこと、谷頭において防府市に広く分布するマサが崩壊し、土石流を引き起したことがわかった。一面せん断試験と水圧制御リングせん断試験により崩壊発生過程の再現を試みた。

キーワード: 集中豪雨, マサ, 土砂災害, 崩壊誘起土石流, リングせん断試験

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その他, 広島県, 福岡県, 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, 直後に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, 後日防災研究所単独の第二次調査団も組織された。その後, 羽田野を代表とする科研費突発災害調査費が認められ共同研究が実施された。本報ではこれらの調査結果に基づき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, 土石流発生メカニズムについて述べる。

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 Fig. 1 に示す。

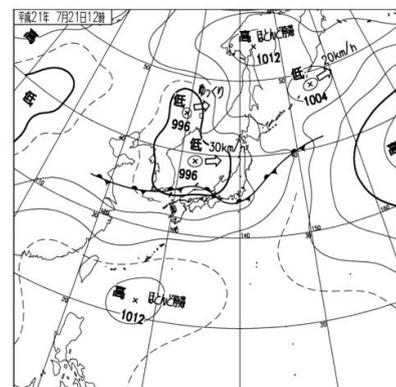


Fig. 1 Surface weather chart of east Asia on July 21, 2009. Baiu-front was passing by the Yamaguchi prefecture, which is activated by warm moisture-laden air flow.

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って東海地方に延びる前線に向かって東シナ海からの暖湿流の流入, 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, 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。

Fig. 2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15mm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18.0mm/10分間、この前後で最大1時間降水量74.5mm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220.0mm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126.0mmが48.7年、最大6時間降水量220.0mmが245.9年、24時間（日）降水量275.0mm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。

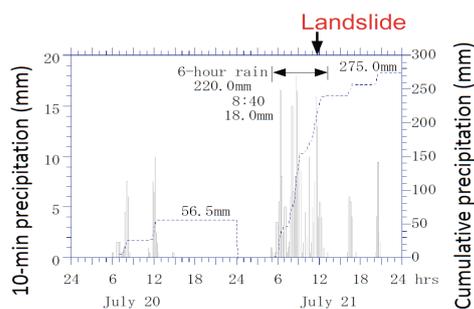


Fig. 2 Cumulative and 10 minutes precipitation recorded at JMA monitoring station in Hofu city. The maximum 6-hours precipitation starting at 6 am was 220mm, of which the return period was calculated to be 245.9 years.

山本らは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）のデータを統合した雨量データベース（東山・山本, 2009）を構築しているが、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275.0mmは第1位の記録であり、さらに国土技術研究センターのモデルを用いた7月21日の午前6時からの6時間雨量のリターンピリオドは245.9年と極めて稀な豪雨であったことがわかる。

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38km、東西50kmの広がりを持つパソリスをなしている。調査地域周辺の地質図を図3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）の尾根周辺にルーフ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。

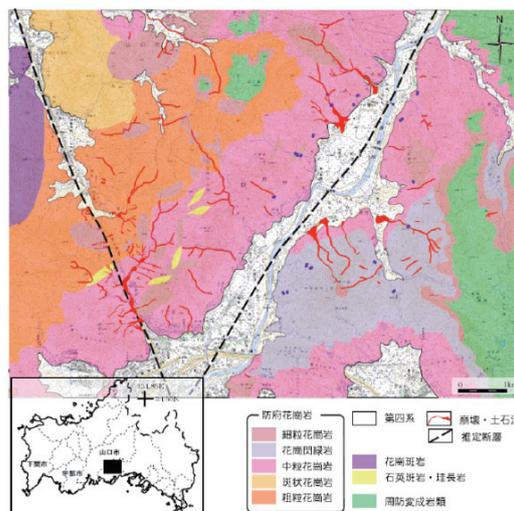


Fig. 3 Map of the geology and distribution of the July 2009 debris flow affected torrents in Hofu city. (Fukuoka et al., 2009)

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（Fig. 3）。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。

Fig. 3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。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。

一方、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。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。これらのことは、流路に蓄積された堆積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

Fig. 3に示したように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生した土砂災害発生分布図が各航測会社から発表され、合同現地調査団は以下の主要な土石流の被災地を調査した。(1) 7人の入居者が犠牲となった老人施設がある真尾地区、(2) 石原、大景地区、(3) 佐波川対岸の奈美・十七の両地区、(4) 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。以下に真尾地区を紹介する。

4.1 真尾・老人施設の土石流

Fig. 4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。



Fig. 4 Photo of the special elderly nursing home "Life Care Takasago," that which was affected by the 21 July 2009 debris flow from Ueda-Minami river. Photo was taken by Asia Air Survey.



Fig. 5 Photo of the special elderly nursing home damaged by debris flow. The mountain-side rooms on the first floor were filled with the sands.

Fig. 5は山側から見たライフケア高砂の円形の本館である。施設エントランス内部は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1m程度までの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手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。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、流されトンパックで応急対策が施工された。施設の裏手には農道が近年建設され、これをまたぐ形で暗渠も作られ

ていたが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。当初、この暗渠の存在が被害を拡大したという報道もあったが、閉塞せずとも土砂流は越流していたはずで、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た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主張していたが、高橋(2010)は、災害発生当日は早朝より防府市役所は市内各所で多発した土砂災害、洪水の対応で麻痺に近い状態となっていることを電話記録から明らかにしており、極端な気象条件の下では本施設のような社会的弱者に通常配信されている安全安心に関わる重要な情報発信機能にも障害が発生することがわかった。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自治体が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と。施設職員も不安を感じていて入居者の昼食を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。現在、上田南川では対策工事を施工中であり、完成後に施設は営業を再開する意向を持っているといわれるが、いかなる防災対策も万全でないため、自主避難基準を定めることが望まれる。

Fig. 6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 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。



Fig. 6 Air photo of the upstream of the special elderly nursing home showing the debris flow paths. Several small landslide scars are visible at the head of those torrents.



Fig. 7 Masa sampling site (A) at the landslide head scar in Fig. 6.

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Fig. 5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内の「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。採石場の尾根から見下ろした谷頭の崩壊源頭部をFig. 7に示す。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。

源頭部下端付近では露出していたすべり面の一部

と思われる花崗岩表面が露出し、滑ったものと同種と思われる落ち残りのマサが堆積し付近には湧水があり崩土もまだ多く残っていた。現位置風化したものではなく、ある程度上方斜面から移動したと思われるが、堅い未風化の花崗岩の面の直上にあつたものであることから、この小崩壊のすべり面で動いた材料と見なせる。

5. 土石流発生メカニズム

5.1 一面せん断試験

Fig. 8は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。この小崩壊の発生時の最大土かぶり厚は1.5~3 mと小さいこと、発生前には集水域であった可能性が高く常時水位があつた可能性もあることから8 kPaの初期応力で定体積試験を実施したところ、すぐに沈下傾向の挙動をしたため原点に向う応力経路を示し液状化する可能性があることを示した。

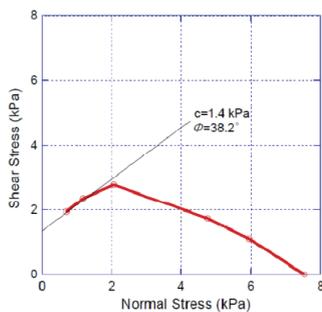


Fig. 8 Stress path of the constant-volume direct shear test result on the saturated masa sample taken at Fig. 6 site.

5.2 水圧制御リングせん断試験

京都大学防災研究所が開発したリングせん断試験機DPRI-7 (Fig. 9) は応力制御、水圧制御が可能で、地盤内のすべり面上に働く応力、すなわち垂直応力、せん断応力、間隙水圧を独立して制御することができる。この試験機を用いてCO₂を用いてほぼ完全飽和した試料に対し、垂直応力100 kPaで正規圧密した試料に対し、せん断応力25 kPa、初期間隙水圧30 kPaを試料上方から与え、その後水圧を一定の速度0.05 kPa/secで上昇させ続けた。Fig. 10はその試験結果のうち、破壊の前後の挙動を示す。間隙水圧上昇開始から860秒付近と890秒付近でせん断面付近の水圧が2回急激に上昇した。制御している水圧は試料上方から与えているが、計測している水圧はせん断面の2mm上方で測定している。これは応力状態が破壊線に近づき変形が進むが、ある瞬間に急激に土粒子構造が収縮し始め正の過剰間隙水圧が発生し始めた

解釈できる。900秒過ぎに間隙水圧は90kPaとなり、垂直応力とほぼ同等の間隙圧比 $ru=u/\sigma=0.9$ に達し、せん断抵抗は40%程度低下した。その間、せん断変位(図中のShear displacement)は860秒から900秒すぎまで下に凸の二次曲線的な形を示し加速した。その後直線的になり、速度が一定となったが、これは試験機のモーターの定格によるものである。地すべりの自然状態では斜面傾斜が同じであれば加速は続いていたことを示す。有効応力経路から得られる最小の見かけの摩擦角は12.7度となった。源頭部の傾斜より相当程度小さいため、加速的な運動をしたことは十分に説明できる。破壊線は38.7度であり、源頭部傾斜が34度であることから、間隙水圧が発生しない限りは動かないことも説明できるに試験終了後の試料を観察すると、せん断ゾーンは構造変化を起こしたため締め固めたように堅く、色も明らかに異なっていた。



Fig. 9 The stress and pore pressure control ring shear apparatus DPRI-7.

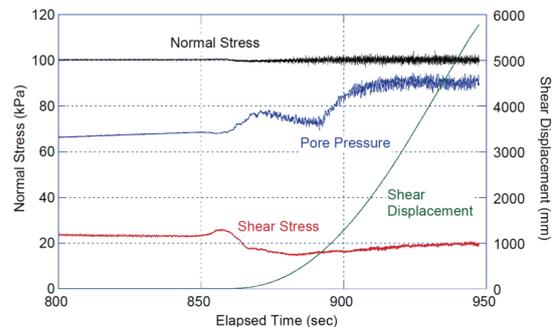


Fig. 10 Time series data from the result of pore-pressure control test. Pore pressure increase rate is 0.05 kPa/sec. Accelerating motion was observed after failure at about 860 sec due to sudden shear resistance reduction.

6. おわりに

平成21年7月中国・九州北部豪雨により防府市で広域の土砂災害が発生し14名が死亡したため合同調査団を組織し、調査を実施した。主要な災害発生要因は防府で観測された6時間雨量220.0mmが245.9年確率の集中豪雨であったこと、防府市の被災

地周辺の山地や丘陵地の大半の地質は防府花崗岩類で地表のマサは豪雨による崩壊、土石流を引き起こしやすかったことである。土石流の発生した源頭部崩壊の土砂について土質試験を実施し、豪雨条件下で崩壊発生する過程を調べた。社会的に注目された真尾地区の特別養護老人ホーム・ライフケア高砂では7名が死亡したが、谷の出口正面の立地条件が第一の原因である。極端気象条件かでは行政も適切な情報を発信できなくなるため、災害危険情報を自ら収集し自主的に避難を判断できるための有効な方策が今後の課題であると思われる。

謝 辞

本稿作成に当たり貴重な資料を提供していただいたアジア航測株式会社の小川紀一朗氏、千葉達朗氏、広島大学・海堀正博准教授、九州大学・久保田哲也教授、山口大学・鈴木素之准教授、長崎大学・高橋和雄教授、現地調査に同行していただいた京都大学防災研究所の齋藤隆志助教、山口大学・種浦圭輔助教、(社)日本地すべり学会関西支部の山下祐一氏、中井真司氏らに謝意を表する。

参考文献

アジア航測株式会社 (2009):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>.

気象庁 (2009):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/goumeimei200907.pdf>.

国土交通省国土地理院 (2009):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>.

総務省消防庁 (2009):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>.

高橋和雄・清水誠・中村聖三 (2009):2009年7月山口豪雨災害時の組織の対応,自然災害研究協議会西部地区部会報,第34号研究論文集,pp.97-100.

千木良雅弘・諏訪浩・寺嶋智巳・王功輝 (2009):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

内閣府 (2009):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>.

福岡浩 (2009):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

福岡浩・山本晴彦・宮田雄一郎・汪発武・王功輝 (2009):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,自然災害科学,28-2,pp.185-201.

福岡浩・山本晴彦・宮田雄一郎・汪発武・王功輝(2009):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,自然災害科学,Vol. 28, No.2, pp.185-201.

福岡浩・王功輝・汪発武・Ogbonnaya IGWE. (2010):平成21年7月中国・九州北部豪雨による防府市土石流発生機構,自然災害科学研究西部地区部会報,第34号研究論文集,pp.85-88.

Fukuoka, H., Hong, Y., Cui, P., and Yamamoto, H. (2009): Detection of heavy rainstorm which induced debris flows by TRMM-based satellites and networked rain gauges, Eos Trans. AGU, 90(52), Fall Meet. Suppl., Abstract NH41C-1248.

Fukuoka, H., Wang, F.W. and Wang, G.H. (2010): Sudden pore pressure rise and rapid landslide initiation induced under extreme rainfall conditions - a case study, EGU (European Geosciences Union) General Assembly 2010, Geophysical Research Abstracts, Vol.12, EGU2010-14480.

Debris Flow Disaster in Hofu city, Japan, Induced by the July 2009 Chugoku – Northern Kyushu Heavy Rainfall

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

* Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University, Japan

** Graduate School of Agriculture, Yamaguchi University, Japan

*** Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Shimane University, Japan

Synopsis

Since July 19 to 26, 2009, Hofu and surrounding cities in the western Japan had a extremely severe rainfall and it caused numerous debris flows in the torrents which claimed lives of 14 residents. Those debris flows started as small debris slides mostly in the "masa" (weathered granite soils) slope. The return period of the 6-hours cumulative precipitation just before the disaster is evaluated to be about 250 years. Pore pressure controlled ring shear test was conducted to reproduce the debris slide by raising the pore pressure (back pressure) at a constant and slow rate. A sudden big drop of shear resistance accelerated the shear displacement. This was caused by excess pore pressure generation due to the negative dilatancy.

Keywords: localized intense rainfall, masa (weathered granitic soils), debris flow disaster, debris slide – debris flow, ring shear test