ISBN 4－9900618－8－8 C3051

社団法人日本地すべり学会関西支部
現　地　討　論　会

花崗岩地帯の土砂災害

論　文　集



主　催　　(社)日本地すべり学会関西支部
後　援　　(社)砂防学会・(社)地盤工学会関西支部・中国支部・四国支部

現地討論会プログラム

11月5日(金) 山口市～防府市

12:00　集合　JR 新山口駅新幹線口(昼食は各自済ませて下さい。)
13:00　現地到着　現場視察 2 箇所程度(玉泉湖周辺、剣川周辺)
16:30　現地出発
17:30　意見交換会・宿泊先到着(ホテルかめ福・スーパーホテル　山口湯田温泉)
18:00　意見交換会(ホテルかめ福)

11月6日(土) ホテルかめ福

8:30 ～ 12:00　討論会

話題提供

8:30 ～ 9:05　(1)河内義文(ケイズラブ代表取締役、山口大学非常勤講師):
非定常 FEM 解析結果による泥流発生機構の推定

9:05 ～ 9:40　(2)判野充昌(山口県防災・砂防ボランティア協会理事長):
土石流前兆現象・避難状況調査について

基調講演

9:50 ～10:50　兵動正幸(山口大学大学院理工学研究科教授、地盤工学会防府災害緊急調査団団長)
災害の概要とその後の対応について

特別講演

11:00 ～ 12:00　金折裕司(山口大学大学院理工学研究科教授)
活動期に入った日本列島－活断層と内陸地震－

12:00 ～ 13:00　昼　食

13:00 ～ 14:30　パネルディスカッション

パネラー:話題提供者、司会:鈴木素之(山口大学大学院理工学研究科准教授)

(社)日本地すべり学会関西支部長
藤村　尚（鳥取大学大学院工学研究科）
現地討論会実行委員
委員長　鈴木素之（山口大学大学院理工学研究科）
委　員　原田　博（山口大学客員教授・ライト工業㈱）
寺山　崇（㈱山口リアライズ）
室　和彦（ライト工業㈱）
山下祐一（荒谷建設コンサルタント㈱）
長嶺元二（国際航業㈱）
河内義文（㈱ケイズラブ）
末峯　章（京都大学防災研究所・支部事務局）
福岡　浩（京都大学防災研究所・支部事務局）

表紙写真：(**左上**) 上田南川土石流と被災した老人施設「ライフケア高砂」の空撮（海堀正博・広島大学准教授撮影)、(**右上**) 被災施設と堆積土砂（福岡浩・京都大学准教授撮影)、(**右中**) 土石流渓流源頭部（鈴木素之・山口大学准教授撮影)、(**下**) 勝坂地区の空撮（アジア航測撮影）

《話題提供》

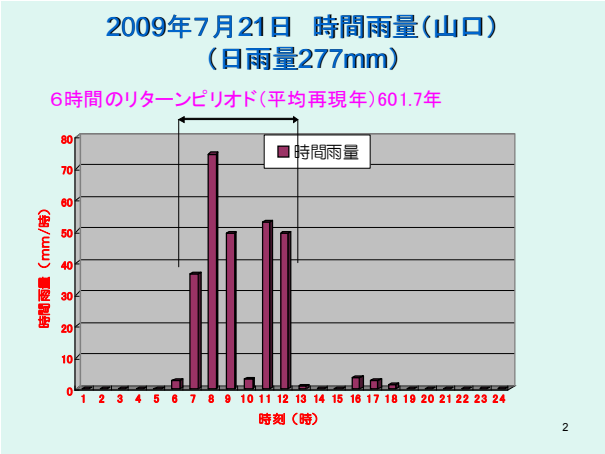
非定常 FEM 解析結果による泥流発生機構の推定

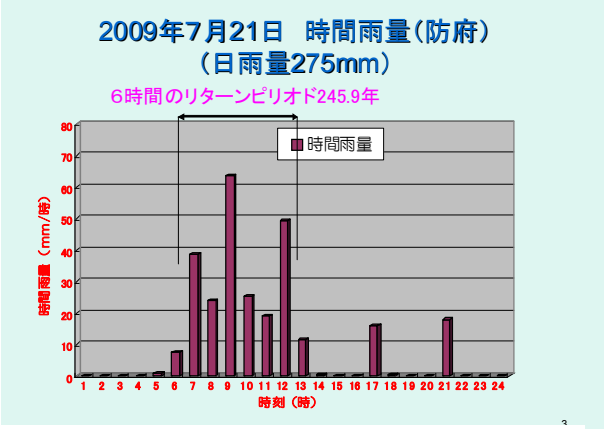
株式会社ケイズラブ　河内義文

1.　はじめに

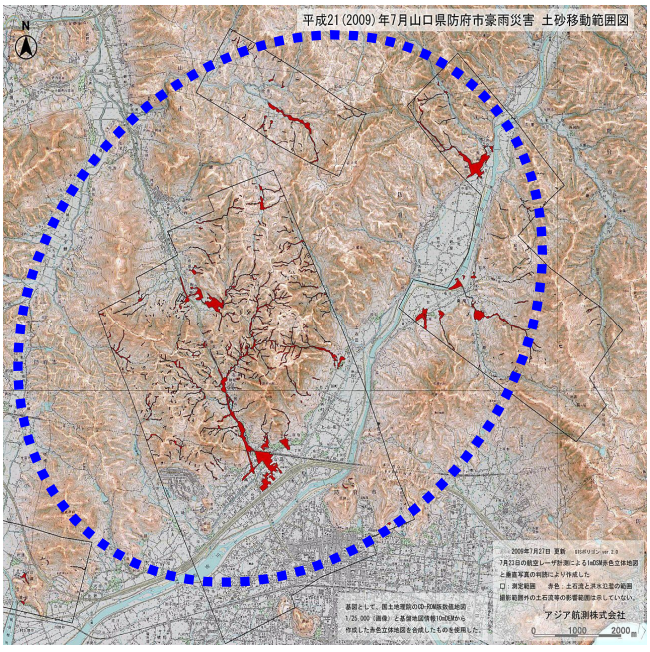
2009年7月21日に山口県中央部を襲った豪雨では，日降水量は防府市で観測史上最大の 275mm，山口市では観測史上第2位の277mmを記録した。また，この豪雨での 6時間降水量は防府市で220mmとリターンピリオドが250年，山口市の266mmは600年[1)]と極めて稀な降水現象であることが指摘されている。（図－1）[2)]

このような豪雨により図－2に示すように，山口市と防府市の境界付近を中心に土石流が多発した。これら土石流は，高速に流下した泥流状の土石流に特徴付けられ，防府市で14名の死者，23戸の全壊家屋を出すなど大きな被害が報告されている．

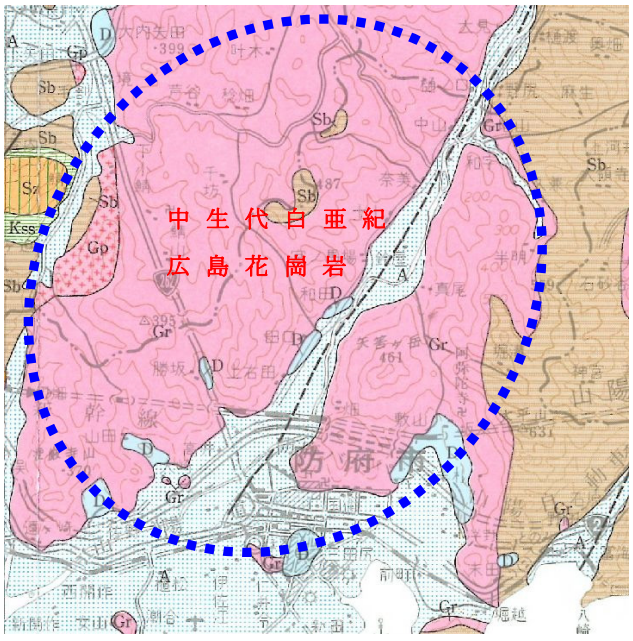




図－1　災害発生時の降雨 [1)]



図－1　山口市・防府市境界付近で発生した土砂災害位置図（アジア航測提供）



図－3　調査地の地質図

2. 土石流の概況

2.1 地形および地質

土石流が発生した範囲には，図-3の地質図[3]に示されるように中生代白亜紀に形成された広島花崗岩が分布している。付近の山容は，写真-1に示すように花崗岩の堅岩が露岩し，まさ土化した風化残積土は谷部分に非常に薄く分布するのが特徴である。

2.2 土石流の特徴

①15～20°程度の源頭部で発生し明瞭な沢地形ではない

写真-2に示すように1.0m程度の厚さの風化残積土層を有する特徴がある。崩壊地の植生状況は50%が広葉樹林，これにマツおよびシダを加えた面積は93%を超える[4]。

②中流域には花崗岩が露岩し，堆積物は流亡している（写真-3）



写真-3 土石流は中流域の1km間で堆積土を全て流亡させている。傾斜約6°（山口市山口尾）

③山体に衝突しても停止しない



写真-1 花崗岩が露岩する調査地周辺の典型的な山容（右田岳）



写真-2 源頭部。20°程度の勾配。表土厚さは約1.0m，シダおよび低木広葉樹林。（山口市千坊）



写真-4 土石流は末端部で90°曲がって流下している（山口市千坊）

写真-4に示すように末端部では90°曲流している。曲流後の堆積物は砂を主体とし，写真-5に示す流下痕や写真-6に見られる葉

理が観察され，密度は 0.22～0.36[5] と非常に小さいものと推定されている。

④ 勾配 4° 以下の平地に至っても数百 m 停止しない（写真-4）



写真-5　土石流の流下痕（防府市神里川南）



写真-6　土石流の末端部付近で観察される葉理面を持つ砂の堆積（防府市石原）

3. モデル斜面の非定常浸透流解析

3.1 斜面モデル

上記の泥流の特徴に基づいて斜面モデルを作成して，斜面@FE（群馬大学工学部建設工学科編）[6] を用いて非定常浸透流解析を行った。モデル斜面は以下の特徴を持つものとした。

(1) 土層構成

写真-2 で示されるように現地の観察状況から，表土層（腐植土 A0 層）が非常に薄いことが特徴である。解析は風化土の表面が表土で覆われているかどうかの 2 ケース行なって比較した。解析モデルを図-4 に示す。

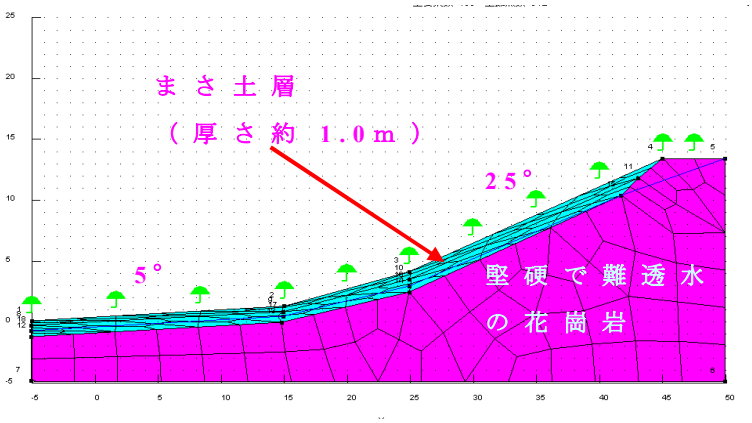


図-4　非定常 FEM 解析斜面モデル

① 表土層（厚さ 0.3m，植物の根系で緊縛された腐植土，透水係数 5E-06m/s）。不飽和領域の堆積含水率は地盤表面で 0.3 とした

② まさ土層（厚さ 1.0m，強風化部およびかつての土石流でもたらされた二次堆積物，透水係数 5E-05m/s）。不飽和領域の堆積含水率は地盤表面で 0.3 とした

③ 花崗岩（透水係数 2E-07m/s）

(2) 斜面勾配

斜面勾配は，土石流発生斜面の状況を考慮し，源頭部斜面は 25°

の斜面勾配，中流域は5°の斜面勾配とした。

(3)降雨強度

図-1に示す「アメダス（山口）」2009年7月21日6時～13時の降雨波形を地表面からモデル内に与えた。

3.2　解析結果

解析結果は表土のあるなしにかかわらず場合7時台の36.5mm/hrから8時台の74.5mm/hrの最大降雨までは，地表からの浸透があり，まさ土内の地下水流速も安定していた。

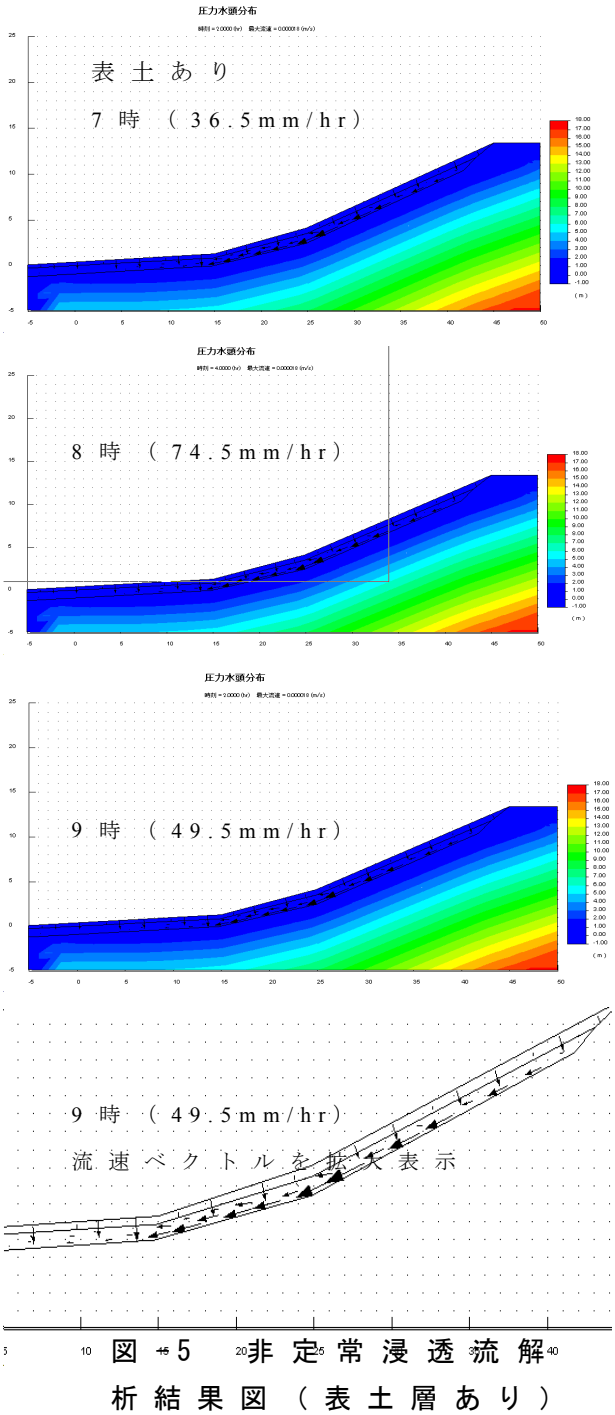


図-5　非定常浸透流解析結果図（表土層あり）

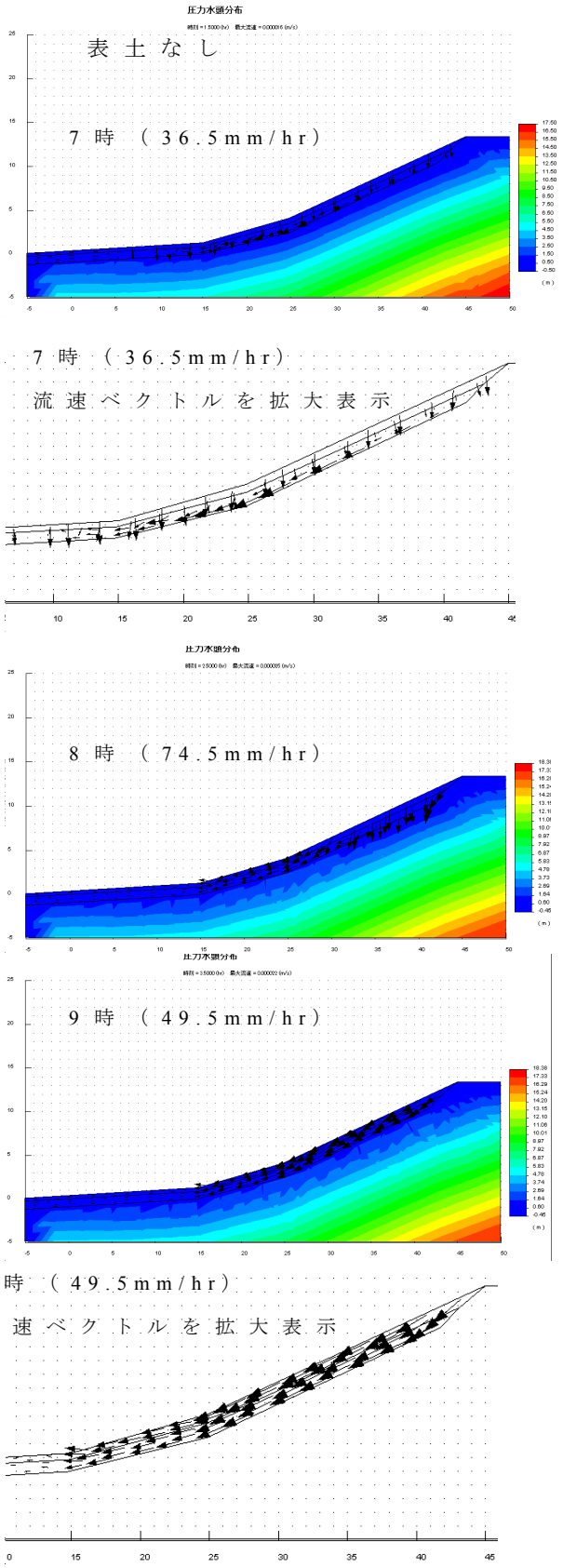


図-6　非定常浸透流解析結果図（表土層なし）

9時台には49.5mm/sの降雨が継続するが，図-5に示されるように表土がある場合は，まさ土層内の地下水流速・流量は変わらず安定している。一方で表土のない場合，まさ土層は完全に飽和し降雨は地中に浸透することが出来ない状態となる。まさ土層内には激しい地下水の流下が見られる。地形変化部付近を中心に地下水は地表に噴出し，表流水と共に地表付近の緩んだ砂を流下させるものと推定される。

また，源頭部斜面内には部分的に難透水性の表土の堆積もあり，この部分ではまさ土層と表土層に透水性の逆転があることで，キャピラリーバリアが発生し，まさ土層内を集積流が表層に噴出して[7]斜面崩壊が発生したことが考えられる。

表土層が欠如しているのは，二次植生のアカマツが枯死衰退した後シダ類が繁茂したことから，成立するべき広葉樹など潅木類が抑圧されたことで，林相遷移が良好に進まなかったこと，成立した広葉樹林も貧栄養状態であることなどが原因であると推定される。

4.ため池に流入した土石流とため池の防護効果

4.1ため池に流入した土石流

写真-7に示す斧磨（ｵﾉﾄｷｲ）ため池（防府市大道切畑東畑），長尾ため池（防府市大崎山田），江良ため池（山口市上小鯖江良）では上流から流出した土石流がため池に流入している。土石流末端部に礫の堆積は観察されない。ため池はこれら泥流を停止させており，下流の新幹線盛土などを守る結果となっている。

4.2ため池の土石流防護・貯留効果

今回の土石流では，治山ダムの土石流防護効果が確認されているが，同じく前項で示したように，ため池も土石流の防護機能を発揮している。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っており，さらに設計洪水位からの余裕高も1.5m以上が確保されている[8]。この確率雨量は山口地域では70～80mm/hrに相当する。流入する土石流のピーク流量は200㎥/s程度，ピーク流量の継続時間は40～60秒程度と推定される[5]。したがって，ため池に流入するピーク時土石流量は10000㎥程度であり，洪水吐機能と余裕高を併せると貯水面積5300㎡の長尾ため池であっても堤体上の越波が防げている。よって，洪水時には洪水吐の越流水はそのまま下流に供給されるも



写真-7 斧磨ため池の被災状況

のの，土石流は貯水のウォータークッションが効果も相乗効果として作用し，ため池内に滞砂させることが判明した。また，ため池堤体は安定性もフィルダムに準じて計画されており，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[8)]。

5. 被災山地が抱える土石流対策の問題点

平成 20 年 3 月に山口県は防府市の土砂災害警戒区域を指定している。山口県土石流災害検討委員会報告書[9)]によると，今回の土石流と土砂災害警戒区域との関係は，土石流が発生した 53 渓流のうち，42 渓流が警戒区域内，11 渓流が警戒区域外となっている。また，警戒区域指定のある 179 渓流で土石流は発生していない。同報告書では「流域面積が比較的大きく渓流長が長い渓流で土石流が発生している傾向が見られるが，同様な流域面積と渓流長でも土石流が発生していない渓流もあること，また混在している渓流の数が限られていることから，土石流が発生しなかった要因を断定することは難しい」とあり原因は究明されていない。

一方で，山口県の「平成 21 年 7 月 21 日豪雨山地災害対策検討委員会」報告書[4)]によると，「山腹被災地の平均崩壊深は 1.0～1.5m が崩壊箇所 434 箇所中 355 箇所（81.8%）を占め，平均傾斜は 25～30° が 216 箇所（49.8%）を占めている」とされている。

下流域では土石流に至る土砂を供給した山腹崩壊の状況，3 章で述べた解析結果に基づいて，警戒区域指定のある渓流での土石流発生の有無，すなわち発生箇所と未発生箇所の違いを見直すと，以下のようにまとめられる。

① 発生箇所の山地は写真-8 に示すような未風化岩盤の露頭が観察される状態，すなわち風化残積土が非常に薄く，植生も貧弱な状態である。

② 未発生箇所の山地は，写真-9 に示すように未風化岩盤の露頭はなく，比較的風化が進行していると推定され，表土状態も良好で樹林



写真-8 土石流発生渓流の多い斜面



写真-9 土石流発生渓流の少ない斜面

化へスムーズに遷移している状態である。

よって，対策のキーポイントは薄い表土と貧弱な植生ということになり，これに基づいて全国基準ではなく，ローカルスタンダードによって警戒区域を見直すことが可能であると考える。

6.まとめ

①花崗岩地帯で発生した土石流は密度の小さい泥流であった。
②土石流は表土が乏しく，風化層厚さ1.0m程度で新鮮な岩盤が浅く分布し，20°程度の斜面で発生しているが，FEM非定常解析結果で発生機構を解析することができた。
③ため池は土石流を防護し，下流への被害を食い止めている。
④本研究に基づいて被災山地を見直すことで指定時の留意点など土石流対策に対する問題点が明らかになった。

参考文献

1）　山口大学農学部山本晴彦教授データ
2）　アメダス(山口・防府)2009年7月21日
3）　山口地学会:新版山口県地質図,1995
4）　平成21年7月21日豪雨山地災害対策検討委員会報告書，2009.12
5）　黒田佳祥ほか：2009年7月防府真尾・石原地区において発生した土石流の流出規模に関する研究，第5回土砂災害に関するシンポジウム論文集，2010.8
6）　群馬大学工学部建設工学科：斜面@FE. Ver.1.3
7）　中野政詩，宮崎毅，松本聴，小柳津広志，八木久義：土壌圏の科学，朝倉書店，pp.52-53，2000.
8）　農業土木学会：土地改良事業設計指針「ため池整備」(2006)
9）　(山口県)土石流災害検討委員会報告書，2010.1

《話題提供》

土石流前兆現象・避難状況調査について

ＮＰＯ法人山口県防災・砂防ボランティア協会
理事長　判野　充昌

１．はじめに

平成２１年７月２１日は活発な梅雨前線の活動により，山口県内では早朝から各地で非常に激しい雨が降り，防府市では日雨量が 275mm，1 時間雨量が 72.5mm といずれも観測史上最大の雨量となった。この豪雨により県内各所で土砂災害や浸水被害が発生し，表-1.1 に示すように人的被害死者 17 名をはじめ，多くの被害により県民生活に大きな打撃を与えた。

表-1.1　平成 21 年 7 月 21 日豪雨の被害状況

区　分	人的被害(人)		住宅被害(棟)				
	死者	重傷者	全壊	半壊	一部損壊	床上浸水	床下浸水
防府市	14	12	30	61	2	111	1,012
山口市			2	9		412	1,561
県全体	17	12	33	78	17	708	3,862

（県防災危機管理課）

土砂災害は県全体で２００箇所発生している。地域的には山陽側では宇部市から岩国市にかけて，山陰側では萩市で発生している。表-1.2 に土砂災害の発生状況を示す。

表-1.2　土砂災害発生状況

	がけ崩れ	土石流	地すべり	計
防府市	31	53		84
山口市	7	13		20
宇部市	46			46
その他市町	48		2	50
計	132	66	2	200

このような状況において，山口県防災・砂防ボランティア協会では，災害が発生した７月２１日から災害状況の把握のため災害現場の緊急点検を実施し，７月２６日～２７日には国土交通省テックフォース（災害緊急点検チーム）の緊急点検を支援した。一方，災害発生直後から学会や大学の調査団が多数現地調査に入った。その内，山崎登（ＮＨＫ解説副委員長），田中淳（東京大学総合防災情報研

究センター長）両氏は土石流災害の避難の状況等について，被災現地での聞き取り調査，防府市の対応状況等の調査を実施した。　調査の内容としては，①土砂災害警戒情報をどう活用したか。②土石流災害のように予測が困難で突発的に発生する災害において避難体制のあり方等であった。

今後の避難体制の整備のために，土石流の前兆現象の把握や災害当日の住民の避難の実態等の把握が重要ポイントの１つであることが示され，また県砂防課から調査の依頼もあり，「土石流前兆現象・避難状況の実態調査」を実施することとした。

２．土石流前兆現象避難状況実態調査

実態調査は次の要領で行った。平成２１年７月２１日防府・山口市の土石流災害で被害を受けた住民を対象に，土石流発生前の前兆現象と避難状況の実態を聞き取り，今後の避難体制の整備に寄与されることを目的とし、平成２１年９月１５日９時～１７時に実施した。調査地区は図-2.1に示す防府市18地区，山口市5地区の計23地区である。

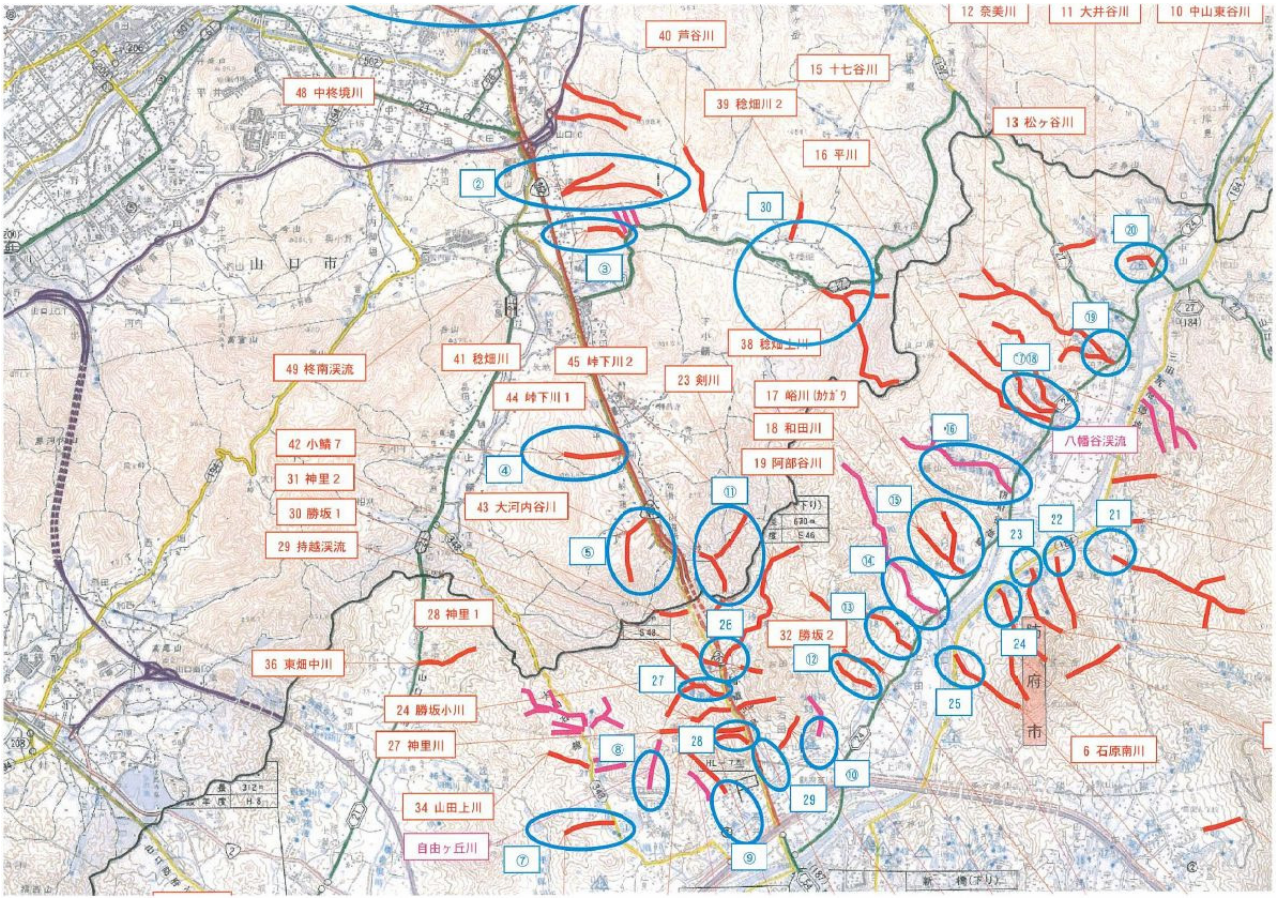


図-2.1　土石流発生渓流と調査対象地区位置図

調査方法は以下の通り。①被災した自治会単位で２２班を編成した。調査員は防災・砂防ボランティア協会員４６名で構成する。表-2.1に前兆現象調査班編成

表を示す。②調査にあたり防府市役所より自治会長に協力要請し，自治会長の同伴のもと住民の家を訪問し，聞き取り調査を実施した。③調査は表-2.2 に示す調査表を参考に実施し，聞き取り事項をまとめた。また聞き取り調査を行なった家の位置は住宅地図に記入した。

表-2.1　前兆現象調査班編成表

自治会名			県 ＯＢ	民間コンサルタント	渓流名等
1	遠ヶ崎	（防府市）	斉藤勝美	藤永孝次	遠ヶ崎地区急傾斜
2	江良	（防府市）	池田一郎　長松悦生	河村志郎	素川
3	自由ヶ丘	（防府市）	藤本哲朗	河村敏彦	自由ヶ丘川
4	大日	（防府市）	弥益信竹	井出正司	自由ヶ丘1、自由ヶ丘2
5	塚原	（防府市）	部川志朗	井上義人	塚原川
6	片山の1	（防府市）	白石孝治	国広清人	
7	片山の2	（防府市）	同上	同上	
8	新町	（防府市）	山本洋一	村田雅美	新町奥谷川
9	田の口	（防府市）	小原昌作		阿部谷川、三谷川
10	和田峪	（防府市）	中井文雄	田中盛正	峪川、和田川
11	鈴屋	（防府市）	椎木一紘		八幡谷渓流
12	奈美	（防府市）	宮本英次　柳井憲治　判野充昌	河村敏彦	平川、十七谷川、松ヶ谷川、奈美川
13	中山	（防府市）	高山岳秀	山下修美	中山東谷川
14	真尾	（防府市）	武永越　林光院重幸　中原慶昭		上田南川、石原川、石原1川
15	矢筈	（防府市）	亀松睦弘	北村晴夫	石原南川、下迫谷川
16	勝坂	（防府市）	大平米司　浅野和夫	江本雅裕	剣川、勝坂1川、勝坂小川、持越渓流
17	神里	（防府市）	池田龍次	山下昌木	神里川、神里南川、剣川29地区
18	右田市上	（防府市）	河口英明	小林和正	塚原1川、剣川中流
19	11区	（山口市）	古屋憲二	松田直樹	中柊境川
19	10区	（山口市）	本田諭	韓小軍	稔畑川
20	16区	（山口市）	岡辺芳文	青木正延	稔畑川2
21	6区	（山口市）	藤永武弘	赤松伸	峠下川1、大河内谷川
22	15区	（山口市）	判野充昌	鈴川俊道	稔畑上川
計			28名	19名	
合　計				47名	

表-2.2　調査表の様式

氏名（　　）　年齢　（　　）

① どのような異常な状況がありましたか？（事象、確認した時期）
土砂混じり・礫混じり（礫径）等
例：木の折れる音（バキバキ）がし、対岸の右岸の山が崩れ、庭に水が入ってきた。

② 避難状況を教えてください　・どういう状況の時か　・避難時期　・避難場所
例：2階へ避難し水が引いてから山越で避難所(小野小学校)に行った。
子供（小6年)、○○○○子の2名はヘリで避難所へ行った。

③ 被害状況を教えてください
人家　全壊・半壊・一部損壊（　　）
その他　（　　）
例：浄化槽の板が3m移動・車・灌木が庭へ流れ込む（写真有り）
浸水高　H＝１．３ｍ

④ その他気づき　今回の土砂災害で感じたこと、過去の災害の記憶等

⑤ 提供していただける写真はありますか。
はい・いいえ

どうもありがとうございました。

前兆現象調査様式

土砂災害の種類：土石流

地区名	奈美川			
災害発生場所	防府市・山口市　　地内			
土砂災害危険箇所番号	－　　－			
災害発生日時	平成　年　月　日　時　分			
被災内容	死者　名、行方不明者　名、負傷者　名			
	全壊　戸、半壊　戸　　その他（　　）			
確認者（　　）	住民・自治会長・消防団・役場職員・都道府県職員・その他（　　）			
家屋等の被災について	家屋へ土砂が流入した時刻　：　、家屋へ水が流入した時刻　：　、家屋へ流木が流入した時刻　：			
地点番号	現象番号	確認された前兆現象	確認時刻	ポンチ絵及びコメント
19	1	渓流の流水の異常な濁り	☑	特徴的な前兆現象を記入する。
	2	渓流の流水の急激な濁り	☑	⑳の後、対岸の山が崩れた。
	3	渓流の水位上昇	☑	
	4	渓流の水位激減		
	5	水路・側溝からの水のあふれ		
	6	渓流からの水のあふれ	☑	
	7	流木の発生	☑	
	8	渓流に上流から土砂が流出	☑	
	9	渓流内で転石がぶつかり合う音		
	10	渓流内の転石がぶつかり火花が発生		
	11	渓流付近の斜面崩壊	☑	
	12	地鳴り、山鳴り		
	13	土臭いにおい		
	14	斜面に異常な湧水の発生		
	15	斜面に表面流の発生		斜面で生じる前兆現象に関する補足
	16	斜面のはらみ出しの発生		現象番号14，18に該当する方は、下記について該当する状況に「○」
	17	斜面に亀裂の発生		(1)斜面に異常な湧水の発生
	18	斜面から小石の落下		湧水の増加・湧水の濁り・湧水の停止・湧水の噴き出し
	19	斜面での倒木の発生	☑	(2)斜面から小石の落下
	20	その他（木の折れる音　バキバキ　）		パラパラ(単発的に)落下・ボロボロ(断続的に)落下
確認した前兆現象の伝達先	(無)・有　家族・近隣住民・自治会長・消防団・役場職員・都道府県職員・その他（　　）			
避難の有無	無・(有)　(自主避難(自分自身・自治会長・消防団・役場・その他（　　）の判断)・避難勧告・避難指示			
避難のタイミング	前兆現象を確認してから　直後・　分後			
備考（自由記入）	・山越で避難、娘はヘリコプターで避難			

３．　調 査 結 果

調 査 結 果 を 以 下 に 示 す 。

地区名 ： 剣川・勝坂1　　調査対象者　4名

前兆現象	発生現象	避難状況
・午前10時頃、ゴーと云う音がして濁水が流れる。	・8時10分頃、国道262号きれい水が流れていたが、流れが泥水になり小石が大石になった。 ・11時頃、剣川から土石流が流れ出し、国道の路面より1．0mぐらいの高さで流れていた。 ・国道に水が流れ出し、一気に赤い色の水が流れ、その後土石流がゴトゴト音をたてて流れた。	・10時前後、パトロールをしている人から避難するよう指示。 ・10時頃、3人で外にある車で避難しようとしたところ車と一緒に流された。 ・自宅の2階に避難

地区名 ： 神里南川・神里川　　調査対象者　4名

前兆現象	発生現象	避難状況
	・9時30分頃、国道262号濁流化。 ・11時50分頃、背後より土石流発生。 ・国道262号の土石流は11時50分より少し前に発生。	・10時～11時頃、消防団より避難の連絡。 ・ヘリコプターで妻避難。

地区名 ： 塚原川　　調査対象者　9名

前兆現象	発生現象	避難状況
・ゴロゴロという音がした。 ・異常に暗くなった。 ・土石流第1波と第2波の間、草を刈った後のような臭いを感じた。	・11時過ぎ、雷がやんでもゴロゴロという音が続いた。 ・木の根等が流れでてきた。 ・次にゴトンゴトンと大きな石が流れてきた。 ・大きく波打って、泥水が流れて来た。	・避難していない。

地区名 ： 阿部谷川　　調査対象者　6名

前兆現象	発生現象	避難状況
・ゴーンと地鳴りがした。 ・岩がぶつかる音が聞こえた。	・10時頃茶色の水が流れ出す。 ・10時過ぎ地鳴りがする。 ・11時頃「ドン」と音がしたと同時に流木・大きな石、土砂が家に入ってきた。 ・11時30分頃、流木、石と一緒に泥水が流れてくる。	・消防団が救出に来るまで家で待つ。 ・土石流が家に入って来たので、RC建の母屋に避難。 ・泥水が家に入って来たので、自力で外の高い場所に避難。

地区名 ： 奈美川・松ヶ谷川　　調査対象者　10名

前兆現象	発生現象	避難状況
・木の倒れる音（バキバキ）。 ・山鳴がした。 ・11時半～12時頃ビシビシと音がした。 ・今までの泥水の色と違った赤色の泥水が流れた。	・10時頃、流木が流れてきた。 ・12時30分頃、土石流がピーク。	・2階に避難。 ・裏山に避難。 ・少し高い場所の家に避難。 ・避難途中でご主人が流される。

地区名 ： 山中東谷川　　調査対象者　7名

前兆現象	発生現象	避難状況
・山からドーンと音がした。 ・11時30分裏山でゴーという地鳴り。 ・土石流発生前烏（うこくけい）が小屋から逃げ込んだ。	・赤い水が流れて来たので、上流に急いで行ってみると土石流が発生していた。 ・11時30分裏山で地鳴りがして大水が流れて来たので逃げた。	・水路の掃除終了後、水が止まりビリビリと音がして土砂が流れて来たので流れ方向より直角に逃げた。 ・避難していない。

地区名 ： 上田南川　　調査対象者　2名

前兆現象	発生現象	避難状況
・11時地鳴り・地響きがあり、振動があった。	・10時～11時川の水位が異常に上昇。 ・12時10分茶色の水が流れ出した。 ・「ライフケア高砂」に土石流が入り出した	・母親と2階へ避難。

地区名 ： 石原（1）川　　調査対象者　2名

前兆現象	発生現象	避難状況
・山がゴロゴロ鳴った。	・7時～8時山から水が出だした。 ・途中で水が止まった。 ・8時30分頃音がしてかなりの土石流が流れ出した。 ・勾配が緩くなっている田で土石流が止まり、下流の人家に泥流化したマサ土が流れ込んだ。	・消防団から避難の指示があり、9時10分避難場所に避難する。

地区名 ： 石原南川　　調査対象者　4名

前兆現象	発生現象	避難状況
・雷が連続して鳴るような音が切れ目なく続いた。	・10時車のマフラー位置まで浸水、雷が止んで水嵩が上った。 ・川に赤い水が流れていた。	・10時過ぎ息子の家に自主避難。 ・とっさに2階に避難。

地区名 ： 石原川　　調査対象者　2名

前兆現象	発生現象	避難状況
・12時30分頃、小さな音からゴーという地響きのような音がした。	・9時10分、川の水量が通常でなく、多くの水量が流れていた。 ・12時30分、土石流が発生し車が流された。 ・大きな石が流木と一緒になりすべり落ちてきた。	・避難なし。

地区名 ： 下迫谷川　　調査対象者　4名

前兆現象	発生現象	避難状況
・11時～12時頃茶色の川の水が赤くなった。 ・12時30分ゴーという地鳴りの音。	・8時5分、道が滝のように水が流れていた。 ・10時頃、石積みから滝のように水が出ていた。 ・12時26分濁流。 ・12時30分ゴーと地鳴りの音。 ・12時35分ひざまで土砂堆積	・事前避難なし。

地区名 ： 峠下川　　調査対象者　3名

前兆現象	発生現象	避難状況
	・10時過ぎ、裏の沢に土石流発生。巨石流木混じり泥流が家周辺に押し寄せる。 ・庭木、バックホウ車輌が流され砂に埋まる。 ・谷川の水は以前は清澄であったが、災害後は赤褐色に染まる。	・事前避難なし。

地区名 ： 稔畑上川　　調査対象者　4名

前兆現象	発生現象	避難状況
・山に水蒸気が多く上った。 ・赤い水が出だした。 ・ゴロゴロと雷のような音がした。	・谷川の水は赤色をしていた。 ・雪崩のように土石流が押し寄せてきた。 ・土石流は第1波の後、しばらくして第2波が押し寄せた。 ・8時頃、赤い水が出だしたので上流で山が崩れたのではないかと思う。 ・9時～10時頃、ゴロゴロと音がして木が最初に流れ、その後泥水が出た。 ・7時頃、黄色の濁り水。 ・8時、真茶色の水の色に変わる。 ・9時過ぎ、沢水が真茶色であり山の崩壊が予測されるので、山へ見廻りに行く。 ・木が立ったままの状態で流れて来て、その後に巨石・土石流が流れて来た。高さは4mぐらい。 ・大きな石の後に泥水が流れ、その後水位は急激に低下した。	・当日避難していない。

4. まとめ

今回の調査結果は表-4.1 土石流前兆現象・避難状況調査集計表に示すが要約すると，以下のようになる。

１） 前兆現象

ほとんどの地区でゴロゴロと雷のような音が聞こえた。土石流の流下する音と推察される。川の水の色が赤い色をして流れていた。他に、現在も河床に赤い色が付着しているのが見られる、草のくさったような臭いがしたという報告があった。またドロバチが多く発生していた、ニワトリが騒いで小屋に逃げ込んだ等，動物の予知行動も見られる。

２） 発生現象

聞き取り調査によると，剣川は３波の土石流，稔畑上川は２波の土石流が発生したことがわかった。渓流の山腹崩壊により小規模な天然ダムを形成し，その決壊によるものと推察される。土石流の発生した山の植生は，貧弱でありほとんど

表-4.1　土石流前兆現象・避難状況調査集計表

渓流名	調査対象者数	前兆現象					避難状況			
		音	におい	異常出水	水色	その他	自宅		外部	避難所
								2階		
遠ヶ崎急傾	4	3		1			4			
素川	5			1	赤色 1		4		1	
自由ヶ丘1	5			3			2			3
塚原川	9	3	1	1			7			2
新町奥谷川	8						4		1(車)	3
阿部谷川	6	1	1		茶色 2		4		2	
峪川・和田川	5	1					1			4
八幡谷渓流	4						4			
奈美川・松ヶ谷川	10	3			赤色 1	ドロバチが多く発生		1	3	6
十七谷渓流・平川	5						5			
山中東谷川	7	4			赤色 1	にわとりが騒いで小屋に逃げ込む	3		2	
上田南川	2	1					1	1		
石原川(1)	2	2					2			
石原川	2	1					1		1	
石原南川	4	1			赤色 1	山が揺れた		3	1	
下迫谷川	4	2			赤色 1		4			
剣川(勝坂1)	4	3					2	1	1	1
持越渓流	2	2					1			1
神里南川・神里川	4						1			3
剣川29地区	3	1					3			
稔畑川	2					山腹の木が斜めに動いた	2			
稔畑川2	2				黒色 1					2
稔畑上川	4	3			赤色 2		4			
大河内谷川	2	2			黄色 1		1	1		
峠下川	3						1	1		
計	108	33	2	6	11		61	8	12	25

広葉樹林等で占められており，樹木の根も浅く小さい。災害直後の現地調査においても，流木が異常に多く，しかも根の小さい流木が多かった。

稔畑上川では，土石流に直面した人があり，土石流の先頭に木が立ったまま流

れ，その背後に大きな石が流れたのを目で確認している。

八幡谷渓流では２基のスリットダムが設置してあるが,いずれのダムも流木がスリットに引っ掛り，流出土砂を完全に捕促した。流木が先頭に流出したことが推察される。土石流発生前に，流水の色調が赤を示していた。最初発生した山腹の表層崩壊による赤い水の濁りではないかと推察される。土石流のうち，巨石等は山腹下端の勾配変移点付近（１０℃前後）で堆積しており，それより下流には流木及びマサ土が混入した泥水が，広範囲に流出し，家屋，耕作地に大きな被害をもたらしている。

今後は，土石を捕促する施設はもちろんのこと，流木補促施設，泥水をまさ土と水とに分離する施設等を検討する必要がある。

３）避難状況

当日，市から事前の避難勧告及び指示が発令されておらず，ほとんどの住民は土石流発生時自宅内に居た。自宅内で危険を感じ，２階や高い所に避難した人がかなりいた。外部に避難するため家の外に出て，土石流に巻き込まれ亡くなった人が２名いた。当日，雨は７時過ぎから本格化しており，ほとんどの家では元気な人は職場に出勤しており，家にはお年寄りばかりの限界集落化しており，防災力が低下していたと推察される。又，避難場所についても公共施設だけでなく，個人の家の２階等幅広く考えるべきではないかと思う。今後このような状況を考慮し，避難体制を整備する必要があると思われる。

参考文献

山口県土木建築部砂防課(2009)：土石流前兆現象・避難状況調査報告書

《基調講演》

災害の概要とその後の対応について

山口大学大学院理工学研究科　兵動正幸
同　鈴木素之

はじめに

平成21年7月21日の豪雨により，山口県ではかつて経験したことのない規模の土石流災害等が発生し，県内で17名もの方が亡くなられるなど深刻な被害となった．県内では200個所で土石流やがけ崩れ等が発生し，土石流災害は防府市53渓流と山口市13渓流に集中し，全体では66渓流で発生した．今回の土砂災害を引き起こした崩壊は，この地域では観測史上記録的な豪雨と水に脆弱な花崗岩という地質条件に特徴づけられる．しかしながら，花崗岩およびその風化残積土であるまさ土からなる斜面の崩壊メカニズムについては，いまだ解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ものである．

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す．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・美祢市で各1名），全壊33棟，半壊77棟，床上浸水696棟，床下浸水3,864棟であった[2)]．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．

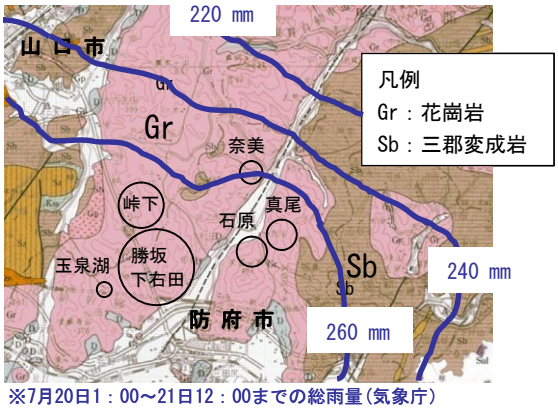


図-1　防府市周辺の主な土砂



写真-1　国道 262 *号の被災状況*

国道 262 号沿線の勝坂，下右田などの渓流では，21 日 12:00 頃，大規模な土石流が発生し，剣川を土石や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 の区間に土石が押し寄せ，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渓流の長さが約 2 km にも及び，多くの支渓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-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



（b）右田ヶ岳西向き斜面での土石流

写真-3　下右田の２箇所で発生した土石流

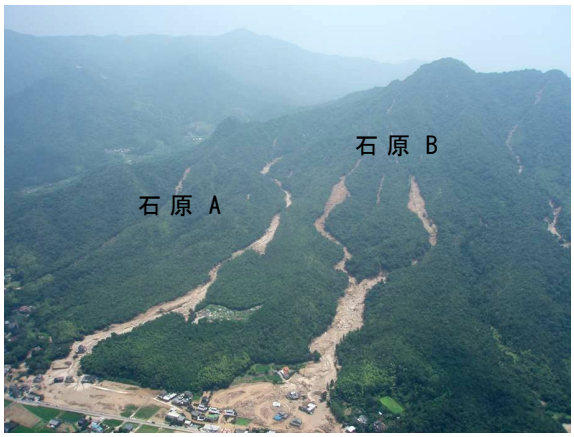


（a）老人ホームの空中写真（山口県・田上愛仁氏提供）



（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）



(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

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，渓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，いくつもの渓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．すなはち，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．本流渓床部は源頭部部では30°以上を示すが，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．

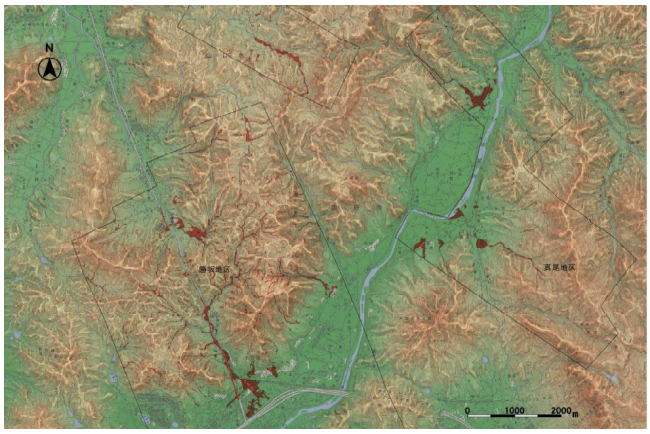


図-2　土砂災害発生域の赤色立体図

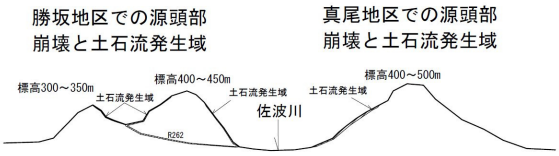


図-3　勝坂から真尾に至る地形の縦断図（模式図）

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，渓流源頭は標高 300～350 m 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渓床を流下し，2° 程度の低地で停止している．

3.　災害発生時の降雨特性

3.1　降雨特性

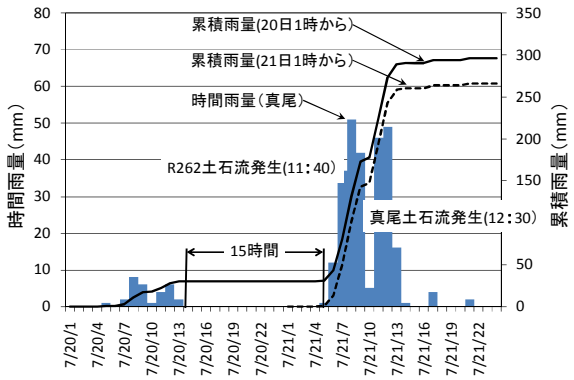


図-4　真尾観測所（国交省）の時間雨量と累積雨量

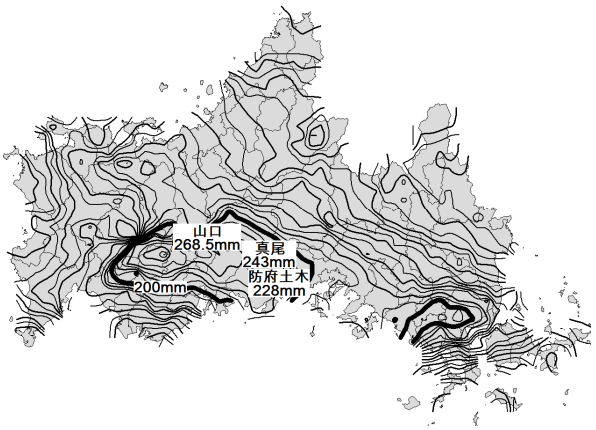
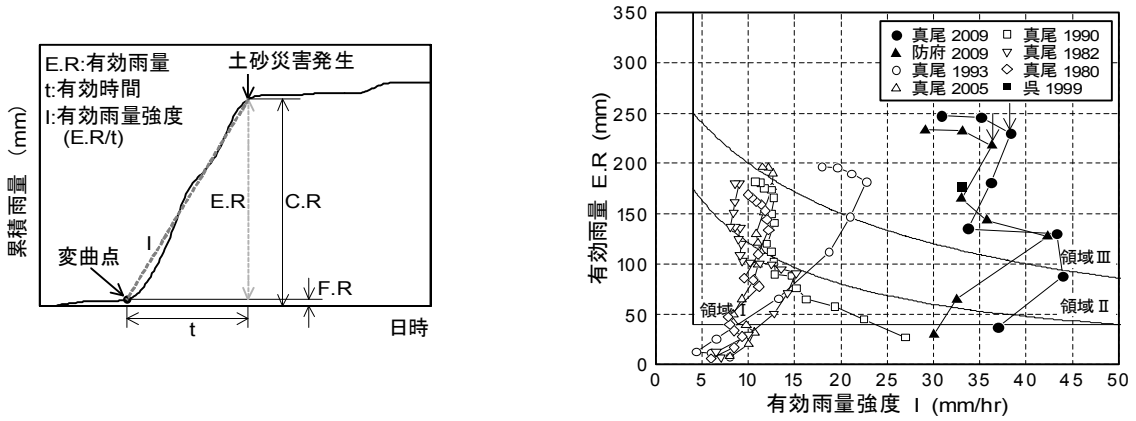


図-5 7月21日0時～12時までの総雨量分布

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時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31 mm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37 mm，山口（気象庁）で36.5 mm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51 mm，山口で74.5 mm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46 mm，山口で53.5 mmとなった．12時の時間雨量は真尾で49 mm，山口で49.5 mm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266 mm，山口で277 mm，防府（気象庁）で275 mm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200 mm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．

3.2　有効雨量と有効雨量強度の関係



（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

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にしている．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るとはいえないが，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．

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，河川両岸とその周辺家屋の数軒において1～2 mの高さで堆積した．50 cm以下の大玉礫が所々に見られたが，1 m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で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潅木類が主体であった．写真-6は2号堰堤から約1 km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，表層に近い至る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．

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がみられ，10～100万年前から土石流が発生した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



写真-6　勝坂周辺の土石流の主要源頭となった崩壊部



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

って流下している．崩壊源頭部の幅は約 10～20 m，その直下の部分で幅約 30 m であった．崩壊部の勾配は 20～30 度，崩壊深さは 1～2 m であり，尾根付近の風化層が崩壊した．また，左岸には，節理の間隔は拡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渓流ではなく，左岸側に隣接した渓流の源頭部に崩壊が発生し，土砂は渓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）．

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 箇所の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．



（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）

4.4　石原地区

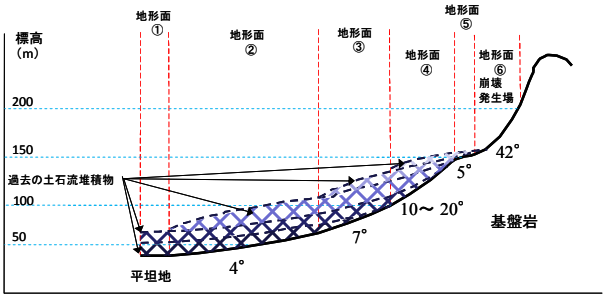


図-7　概略横断勾配と露頭から推察される過去の土石流履歴（緊急調査団　小西純一氏作成）

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，渓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．



(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



(a) 石原A



(b)石原B

写真-11 石原の土石流の主要源頭



写真-12　斧磨ため池周辺の航空写真

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．さらに下流の渓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ことが示された．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．



写真-13　長尾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

4.6　崩壊源頭部の地盤力学的性質

表-2　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/cm³）	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～（浸流が複数）	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

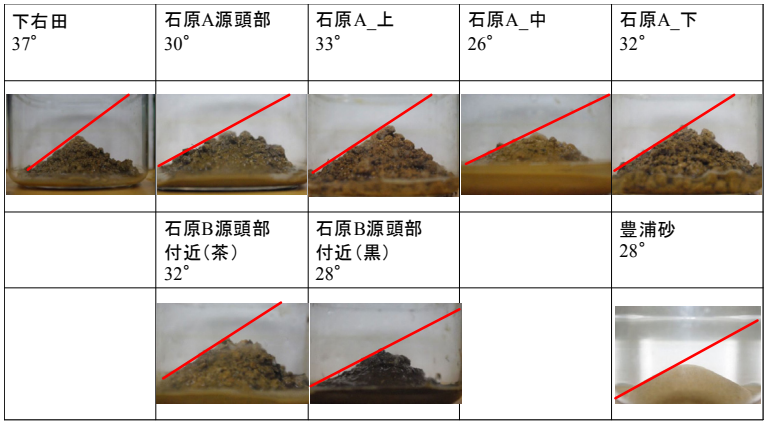


図-8　各試料の水中安息角の測定

表-2 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

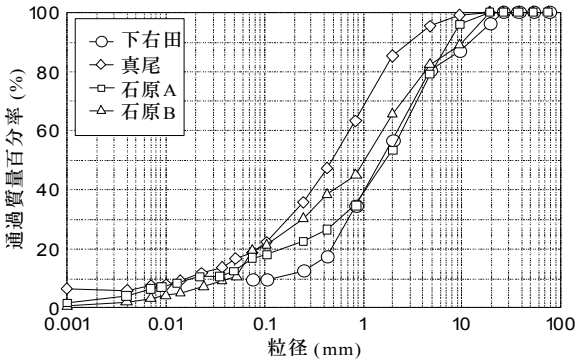


図-9　採取した土試料の粒径加積曲線

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の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．

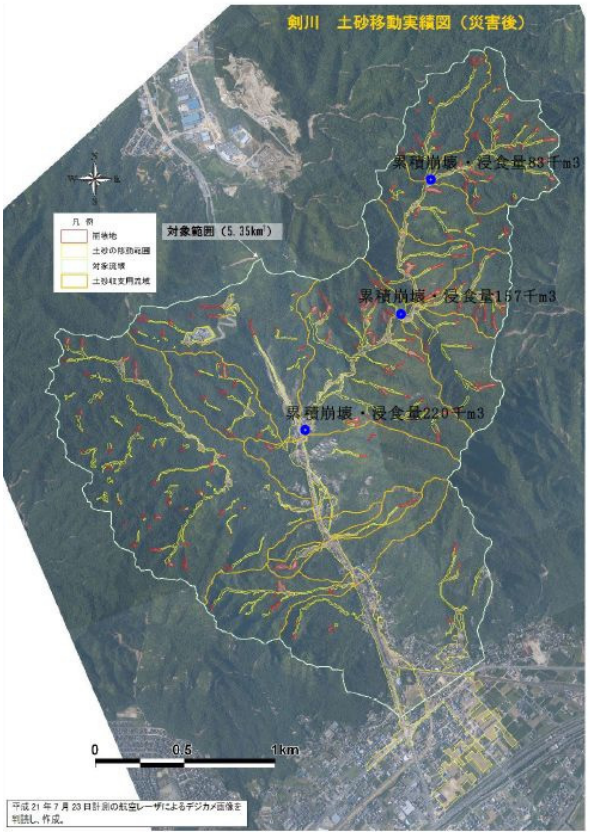


図-10　土砂移動（剣川）

5. 土石流・崩壊等による土砂収支

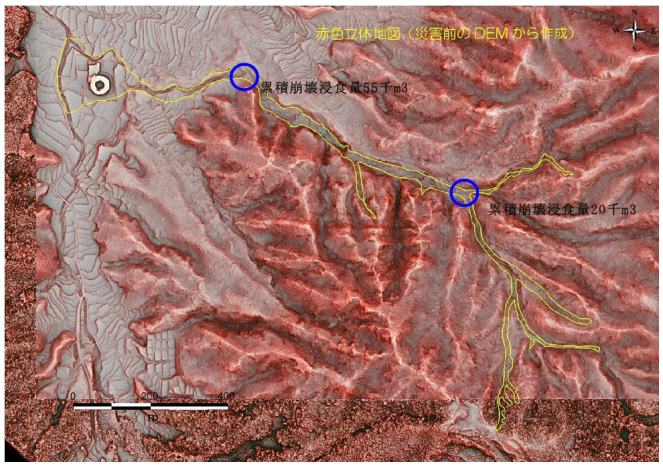


図-11　赤色立体図（上田南川）

被害を及ぼした土石流は，各渓流で，渓流源頭部の崩壊から端を発し発生し，渓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，合流の度に 110,000 m^3→130,000m^3→150,000m^3 と約 20,000m^3 ずつ増加し，国道 262 号を横断する箇所では約 220,000m^3 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 m^3 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渓床浸食による約 35,000m^3 が付加し，最終的には 55,000m^3 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 m^3 の膨大な土砂が移動し，素（す）川では本流で約 27,000 m^3，支流で約 30,000 m^3 の計約 57,000 m^3 の土砂が移動し，三谷（みたに）川で約 37,000m^3 の土砂の移動が見られるなど，剣川と奈美川を除く，主だった渓流のすべてにおいて 10,000～50,000 m^3 の土砂移動が生じ，それらの半分以上の土砂が現渓床に堆積している状況にある．

6. その後の対応

山口県では，この土砂災害に対して災害対策検討委員会が組織され，土砂災害対策，山地災害対策，福祉・医療施設災害，消防・防災連携推進の 4 検討委員会がそれぞれ調査検討を行った．4 つの検討委員会においては，土石流や山地災害の発生の究明と今後の効果的な砂防・治山事業や森林づくり，土砂災害への警戒と早期避難等のあり方や，福祉・医療施設避難対策のあり方，市町の防災部局と消防との連携等による組織力強化について検討が行われた．その中で，土石流災

害については，防府市 53 渓流と山口市 13 渓流に集中し，66 渓流で発生したが，緊急対応のため土石流発生渓流および周辺渓流の 105 渓流に対して点検が行われ対応の緊急度に応じて判定区分が行われた．その結果 49 渓流において，治山事業と調整の上，渓流に残存する不安定土砂等を捕捉する砂防堰堤等を設置する必要性があることを指摘した．具体的には，砂防事業により 36 渓流について整備することとなり全個所に着手された．

次に，土砂災害警戒区域の調査・指定のあり方について検討された．今回，防府市において土砂災害警戒区域以外でも土石流が発生したことから，区域指定のための調査方法を検証し，指定対象渓流を抽出する際の渓流の勾配基準の見直し，および地形図の縮尺を大きくして精度を向上させることにより改善された．

砂防堰堤や治山堰堤による不安定土砂等に対する対策は当面の対策であり，予防安全対策としてのハード対策の実施も望まれている．しかしながら，堰堤などの整備には膨大な時間と費用が必要となり早急に整備することは困難なことから早期避難の重要性が指摘されている．このため今後の災害への備えとして，早期避難に有効な土砂災害警戒情報の活用およびハザードマップの整備促進について取りまとめられた。

7．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，渓床の勾配は 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°前後の渓床を駆け下って 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) 各渓流で生じた移動土砂量は概ね 5 万 m^3 までの規模であったが，剣川や奈美川などでは 10 万 m^3 を越える渓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渓流長，斜面の地質状況に起因するものと考えられる．

謝辞

本研究の遂行にあたり，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）ならびに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）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/01100225170733418.pdf.
3) 西村祐二郎，今岡照喜，宇多村譲，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.

《特別講演》

活動期に入った日本列島
－活断層と内陸地震－

山口大学　金折裕司

１．地震の活動期

昭和 23(1948)年福井地震から平成 7(1995)年兵庫県南部地震が発生する前までの約 50 年間には，大きな地震はほとんど起きておらず，私たちは地震の恐怖に怯えることなく生活することができた．このことが経済の高度成長をもたらしたのかも知れない．ところが兵庫県南部地震以降，大きな地震が続発して日本各地で被害が出ている．平成 17(2005)年には予想もされていなかった福岡市にも震災が誘発された．大地震の少ない時期は静穏期と呼ばれ，地震が頻発する期間は活動期と呼ばれる．歴史的にみても，これまで地震の頻発する時期，すなわち活動期がたびたび日本列島を訪れている．

平成の活動期

表－１に示すように兵庫県南部地震以降，関東甲信越から九州北部にかけての地域では９つの大地震が発生して，悲惨な震災が発生してきている．そのうち６つの地震によって西日本では強い揺れを感じるとともに，一部の地域で家屋などに大きな被害が出た．

表－１　続発する大地震

発生年月日と発生時刻		地震名	マグニチュード	震源メカニズム
平成 7 年 1 月 17 日	午前 5 時 46 分	兵庫県南部地震	7.3	右横ずれ断層
平成 9 年 6 月 25 日	午後 6 時 50 分	山口県北部の地震	6.6	右横ずれ断層
平成 12 年 10 月 6 日	午後 1 時 30 分	鳥取県西部地震	7.3	左横ずれ断層
平成 13 年 3 月 24 日	午後 3 時 28 分	芸予地震	6.4	正断層
平成 16 年 10 月 23 日	午後 5 時 56 分	新潟県中越地震	6.8	逆断層
平成 17 年 3 月 20 日	午前 10 時 53 分	福岡県西方沖の地震	7.0	左横ずれ断層
平成 18 年 6 月 12 日	午前 5 時 01 分	大分県中部の地震	6.2	逆断層
平成 19 年 3 月 25 日	午前 9 時 42 分	能登半島地震	6.9	逆断層(右ずれ)
平成 19 年 7 月 16 日	午前 10 時 13 分	新潟県中越沖地震	6.8	逆断層
平成 20 年 6 月 14 日	午前 8 時 43 分	岩手・宮城内陸地震	7.2	逆断層

安政の活動期

表－2には安政元(1854)年の安政東海地震と安政南海地震前後に起きた被害地震が掲げてある．これら海洋地震の7年前に，信濃北部および越後西部でいわゆる“善光寺地震”が起き，同じ年に越後の頚城郡でも地震が起きている．この地震は位置的に，平成16(2004)年新潟県中越地震に対応すると思われる．その後上記の海洋地震を挟んで安政5(1858)年まで，16個の被害地震が続発している．これらの被害地震のうち，安政4(1857)年の伊予・安芸の地震は，平成13(2001)年に起きた芸予地震に対応するとみなされる．このように，安政の活動期は1847年から1858年までの12年間であったと考えられる．ただし，明治24(1891)年に起きた濃尾地震を考慮に入れると，活動期は45年間となる．濃尾地震の位置づけによって，活動期と静穏期の長さが変わってくる．

東海地震が起きた安政元年3月に吉田松陰は金子重之輔とともに，黒船に乗り込むことに失敗して伊豆の代官所に自首し，4月に江戸伝馬町獄へ送られた．10月には萩にすでに送還されていたため，その約1か月後に起きた安政の東海地震では被害を受けていないことになる．もし東海地震が1年前に起きていたら，吉田松陰は黒船に乗り込むことを断念し，日本の歴史は変わっていたかもしれない．

その後，松陰は安政4年(1857) 8月22日に松下村塾を開き，翌年12月26日野山獄に再送還された．松陰が松下村塾で教えたのはわずか1年4ヶ月である．この間に，明治維新の立役者となった多くの人物に影響を与えたことはよく知られている．安政6年(1859) 5月25日に江戸へ護送され，10月27日伝馬獄で処

表－2　江戸時代末期に起きた被害地震（*M*≧6.4）[1)]

西暦	主な地震と被害地『地震名』	マグニチュード
1847	信越北部および越後西部『善光寺地震』	7.4
	越後頚城郡	6　1/2
1853	信濃北部	6.5
	小田原付近	6.7
1854	伊賀・伊勢・大和および隣国	7　1/4
	陸奥	6.5
	東海・東山・南海道『**安政東海地震**』	**8.4**
	畿内・東海・山陽道ほか『**安政南海地震**』	**8.4**
	伊予西部・豊後	7.3～7.5
1855	飛騨白川・金沢	6　3/4
	陸前	7　1/4
	遠州灘(安政東海地震の余震)	7～7.5
	江戸および付近『江戸地震』	6.9
1856	日高・胆振・渡島・津軽・南部	7.5
	江戸・所沢	6～6.5
1857	伊予・安芸	7　1/4
1858	飛騨・越中・加賀・越前・飛騨北部	7.0～7.1
	八戸・三戸	7～7.5

刑された.享年 29 歳であった.

坂本竜馬は松陰の死後しばらくたった文久 2 年(1862)1 月 14 日に,松陰の弟子で高杉晋作とともに松下村塾の双璧と評された久坂玄瑞を萩に訪ね,武市半平太の書状を届けるとともに会談して,同 23 日に萩を去ったとされる.

表－3　昭和の南海地震前後の被害地震 [1)]

発生年	地震名（被害地名）	マグニチュード
1927	北丹後地震	7.3
1930	北伊豆地震	7.3
1931	西埼玉地震	6.9
1939	男鹿地震	6.8
1943	鳥取地震	7.2
1944	**東南海地震**	**7.9**
1945	三河地震	6.8
1946	**南海地震**	**8.0**
1948	福井地震	7.1

（『新編　日本被害地震総覧』に基づく）

それ以降,大きな内陸地震は昭和 2(1927)年の北丹後地震まで起きていない.1859 年もしくは 1891 年から 1926 年までの約 70 年間または 35 年間が静穏期であったことになる.

昭和の活動期

北丹後地震以降太平洋戦争終戦の年を挟んで,海洋地震である昭和 19(1944)年東南海地震と昭和 21(1946)年南海地震が起きた(**表－3**).昭和 18(1943)年に起きた鳥取地震は,平成 12(2000)年鳥取県西部地震に対応している可能性がある.そして,昭和 23(1948)に 7 個目の内陸地震として福井地震が発生して活動期を終えることになる.昭和の活動期は 1927 年～1948 年間で 22 年間となる.

南海地震と活動期

いずれの活動期でも,南海トラフに沿って起きる海洋地震の数十年前から地震活動が活発になり,海洋地震の発生後数年して活動期が終息している.兵庫県南部地震を契機にした“平成の活動期”はいつまで続くのであろうか？　次の“南海地震”の発生は今後数十年以内と予測されている.したがって,“平成の活動期”は今後,数十年は継続すると見積もられ,その間に日本のどこかで活断層を震源とする大きな内陸地震が発生することになろう.

２．活断層と内陸地震－アラカルト

山口市湯田温泉の両側には北東－南西方向に走る 2 本の活断層がある.活断層の間は地溝帯となっており、その底を温泉が流れているようである.２本の活断層は大原湖断層系に属し、国道 9 号線に沿って北東へ伸びる.

ここでは、国道 9 号線を北東へ進みながら、活断層と地震およびそれに関わった人たちを紹介してみよう(**図－1**).本講では畳ヶ浦と温泉津(図－1 の☆)にまつ



図－１　国道９号線に沿った活断層と地震に関するモニュメント

わる地震の話を紹介するが，紙面の都合でその内容は割愛する．

木戸山西方断層保存施設

阿東町篠目中郷の国道９号線から北約 200ｍの一般県道迫田篠目線の道路工事に伴う掘削法面において，見事な活断層露頭が出現した[2)]．この断層露頭は木戸山西方断層の北東延長上に位置し，露頭で測定された断層面の走向が木戸山西方断層の走向と一致することから，木戸山西方断層の東部延長部に当たる．

この道路工事の施主である山口県阿東土木事務所によって，この掘削法面の一部が保存されることとなった．まず，保存部分の外周を 40 ㎝ほど掘り下げて，幅 30cm のコンクリートの外枠が打設された．次に，外枠に強化ガラス板の入ったアルミサッシが取り付けられた．保存施設の表面は縦方向に仕切られた３枚の強化ガラス板(厚さ 10mm)で覆われ，中央のガラス板が左にスライドするように工夫されている．両側のガラス板は固定されている．

保存施設は平成 17(2005)年 12 月に完成した．**図－２**に活断層保存施設の写真を示す．保存施設の中央部に，北に急傾斜した白色の断層ガウジを伴う断層が上下方向に連続しているのが確認される．断層ガウジの幅は約 10 ㎝で，南側はシャープな断層面で境界されている．断層面の走向・傾斜はＮ47°Ｅ・82°Ｎである．



図－２　木戸山西方断層の保存施設

この断層ガウジは，白色で流紋岩質凝灰岩起源の岩片を含むことから，基盤岩を構成する流紋岩質凝灰岩を起源とする．基盤岩を覆う堆積物中に伸びる白色の断層ガウジは，断層運動中にその直上の堆積物を切って注入された可能性がある．

長門峡と高島北海

山口県阿武郡阿東町長門峡入り口では，南西から流れる篠目川が北東から流れる阿武川と合流して丁字形を呈している．青野山単成火山群の噴火前には，篠目川は北東に流れて徳佐盆地，津和野盆地を通り，益田市で日本海に注いでいた[3]．約 20 万年前に青野山や野坂山の噴火により，堰き止められて古徳佐湖が出現した．その後河川争奪が起こり，篠目川は阿武川に流域を奪われて，北流して長門峡を削り萩市の三角州を涵養して，日本海に注ぐようになった．まさに，この丁字形の合流点は河川争奪の現場である．

明治 11(1978)年に日本最初の地質図である『山口県地質分色図』を作成した高島北海(本名得三)は大正９(1920) 年８月に長門峡を探勝した際に，「私は今回實地視察をなせしが此奇異なる地形をなせるは東北より西南に迎える石英粗面岩の大斷層に沿い手兩方より流下せる水が御堂原に至りて長門峡なる大裂溝中に入れるに因るものにて」[4] と述べており，ここに断層があることに気づいていたようである．高島北海と長門峡の関わりに関しては，金折[5]，金折・廣瀬[6]に詳しく解説されている．

この合流部の河床には，後期白亜紀の阿武層群嘉年層に属する流紋岩質溶結凝灰岩を切る断層がはっきりと確認できる．ここには大規模なカタクレーサイト帯

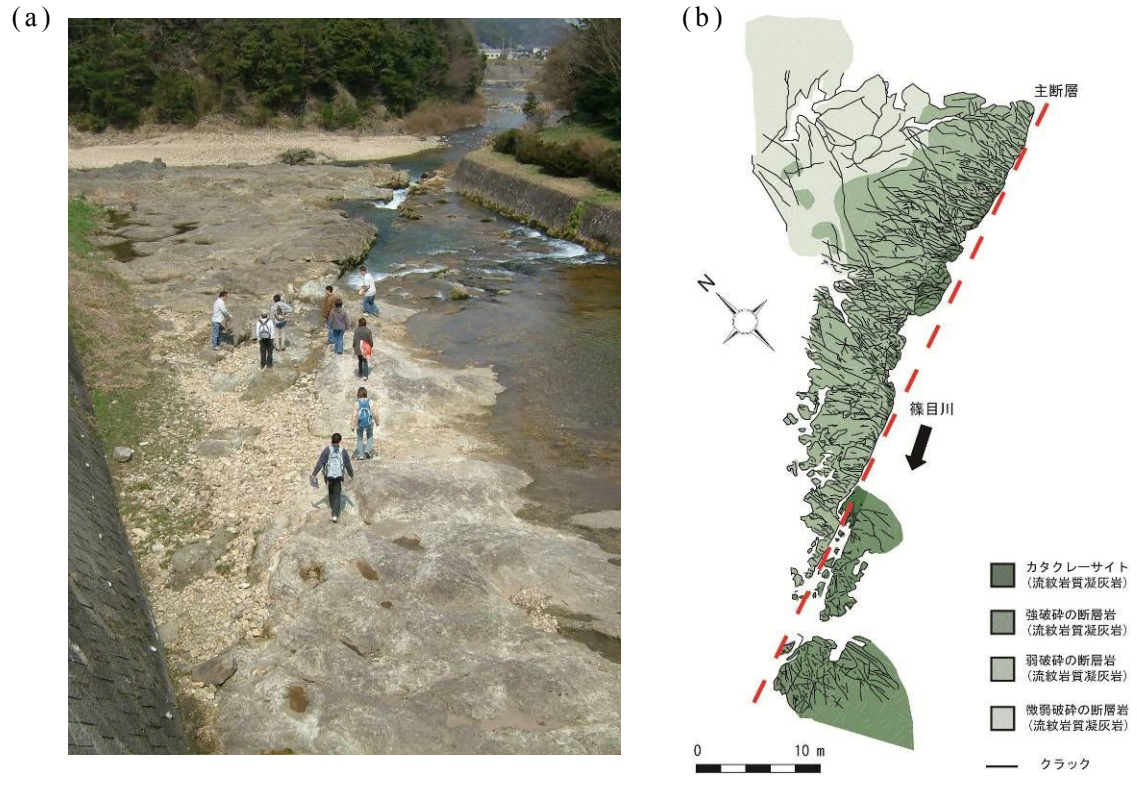
が発達する[7),8)]．**図－3**に長門峡河床露頭の写真(a)とスケッチ(b)を示す．断層の走向はほぼNE方向で，傾斜は垂直に近い．さらに，断層周辺の母岩にも断裂が発達し，断層の影響が認められる．

小藤文次郎と濃尾地震

小藤文次郎は安政3(1856)年に島根県津和野で生まれた．藩校養老館で漢学や蘭学を学んだ後，明治 12(1979)年東京帝国大学に入学し，地質学科第一期生として，ドイツから招聘されていたナウマン博士から地質学を学んだ．明治13(1880)年から4年間ドイツに留学し，ライプニッツ大学やミュンヘン大学で地質学の研究に従事した．

明治24(1891)年に起きた濃尾地震の災害調査に従事し，地表に現れた“地裂線”を詳しく調査した．このときに撮影された水鳥の断層崖の写真は，世界中の教科書に採用された．濃尾地震と根尾谷断層の因果関係から，断層が動いて地震が起きるとする『断層地震説』を主張した．

昭和10(1935)年に79歳で没し，東京都にある多磨霊園に葬られている．昭和63(1988)年には文次郎が設立した日本地質学会の創立 100 周年を記念して，島根県津和野の小藤家旧宅地跡に『小藤文次郎生誕の記念碑』が建てられた(**写真－4**)．



図－3　長門峡河床露頭の全景写真(a)とそのスケッチ(b)．
全景写真は橋の上から北東向きに撮影．

３．マイクロプレートモデルと地質断層の再活動

兵庫県南部地震以降，“内陸地震は活断層が動いて起きる”ことがあまりにも誇張されすぎてきた感が否めない．最近になって頻発している内陸地震は必ずしも後述の全国主要 110 活断層に沿っていない．こうしたことが，一部に誤解と混乱を招いてきている．ここでは，1995 年兵庫県南部地震以降，西南日本内帯で発生した内陸地震は無秩序に発生したのではなく，そこには共通するテクトニクスがあることを指摘するとともに，広域応力場に呼応して動き易い地質断層や真の“活断層”(ここでは両者をあわせて，潜在断層：potential fault と呼ぶ)の将来予測を考えてみよう．

内陸地震と地質断層の再活動

西南日本内帯，すなわち東側の糸魚川－静岡構造線と南側の中央構造線で境界された地域では，1995 年兵庫県南部地震以降，被害を誘発した内陸地震が４個発生している(**表－４**)．これらの内陸地震には，次のような特徴が認められる．すなわち，(１)震源メカニズム解はすべて，ほぼ東西(正確には西北西



写真－４　小藤文次郎生誕地の石碑
（島根県津和野）

表－４　兵庫県南部地震以降に発生した主な内陸地震の特徴

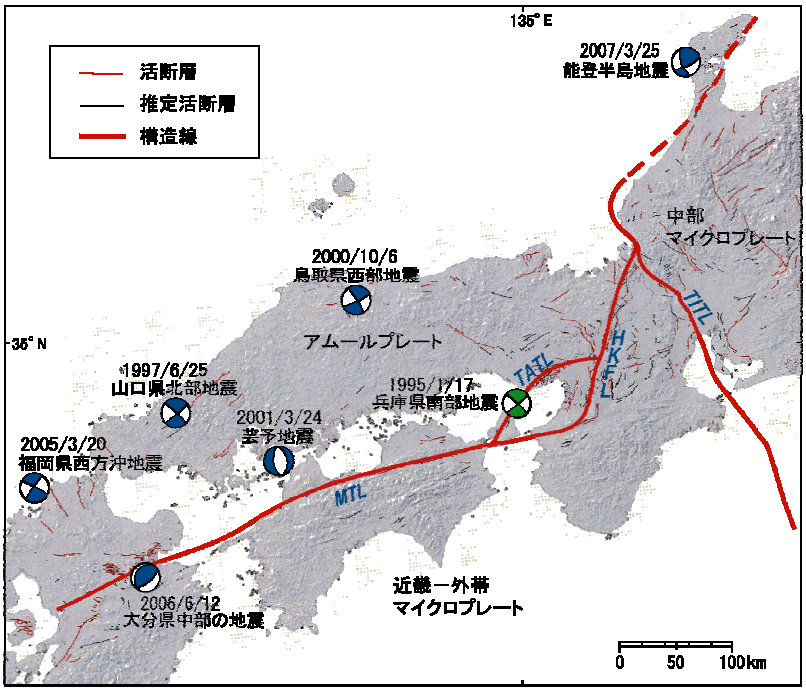
地震名	発生年月日	M	震源メカニズム 断層型	震源メカニズム 圧縮軸	余震域 長さ(km)	余震域 方向	関連断層
兵庫県南部	1995.1.17	7.3	右横ずれ	東西	40	NE-SW	野島断層
山口県北部	1997.6.25	6.6	右横ずれ	東西	10	NE-SW	迫田-生雲断層
鳥取県西部	2000.10.6	7.3	左横ずれ	東西	20	NNW-SSE	リニアメント
福岡県西方沖	2005.3.20	7.0	左横ずれ	東西	25	NE-SW	警固断層
能登半島	2007.3.25	6.9	逆断層 (右横ずれ成分)	西北西 東南東	21	NE-SW	海底活断層

－東南東)圧縮を示す．(２)1997 年山口県北部の地震(Mj6.6)と 2007 年能登半島地震(Mj6.9)の余震域は北東－南西方向を示す．これに対して，2000 年鳥取県西部地震(Mj7.3)と 2005 年福岡県西方沖の地震(Mj7.0)の余震はそれぞれ，北北西－南南東と北西－南東方向に並び，北東－南西方向と共役関係にある．

これら４個の地震の余震域の方向と断層のずれのセンスは，震源メカニズム解の東西圧縮と整合する．(３)山口県北部の地震の余震域は，地質断層である迫田－生雲断層に沿っている．福岡県西方沖の地震は，警固断層の北西延長上の海域で起きたのに対して，能登半島地震は海底活断層上とその北東延長上で発生している．鳥取県西部地震の震央付近では，震源断層と同方向で長さの短いリニアメントが集中する[9]．

マイクロプレートモデルと内陸大地震

図－５にマイクロプレート境界と最近起きた地震の震央を示す．西南日本内帯は東進するアムールプレートの南縁に位置し，現在東西圧縮場に置かれている[11]．上記の(１)と(２)はこのことと整合しており，４個の地震がテクトニクスを反映して発生していることを実証している．また，(３)は内陸地震がどこでも発生しうることを示しているのではなく，内陸大地震が地質断層もしくは“活断層”に関連して起きることを確証した事例と考えるべきである．



図－５　マイクロプレートモデルと最近になって続発した被害地震
（『200 万分の１日本列島活断層図』[10] に加筆）

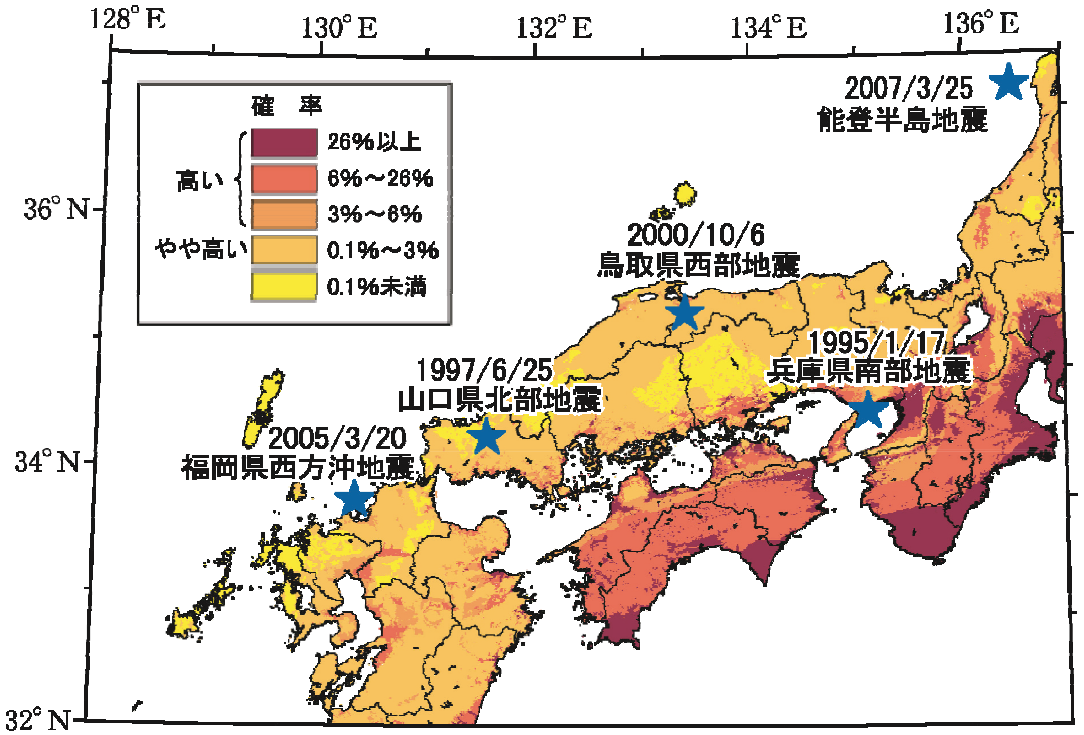
中央防災会議「首都直下地震専門調査会」[12]は，地表に活断層が認められな

いところでは全国どこにでも起こりうる地震として，防災上の観点から M6.9 を想定するとしているが，これについては早急な見直しが必要であろう．

活断層と地震の長期予測

地震調査研究推進本部によって平成 18(2006)年までに全国主要 98 活断層と追加 12 断層を対象に，詳細な活断層調査が実施され，内陸地震の長期予測結果が順次公表されてきた [13]．そこでは，次の内陸大地震は当然，調査対象とされた活断層のどれかが動いて起きるはずだという大前提があったように思われる．しかしながら，兵庫県南部地震以降に発生した内陸大地震は，主要 110 活断層に沿っていない．このことから，“内陸地震はどこで起きても不思議ではない”という誤った解釈が生まれてきた．

被害を誘発した上記 4 内陸地震は，「確率論的地震動予測地図」[13]では，今後 30 年間に震度 6 弱の揺れに見舞われる確率が 0.1%未満の地域およびその付近で発生している(**図－6**)．確率の非常に小さい地域で地震が起きているので，それより高い地域はどうみればよいのであろうか．この図には当然，全国主要活断層調査の成果が反映されている．活断層の活動間隔は数千年もしくは数万年であるのに加えて，調査で得られた結果は断層ごとに精度やばらつきが異なる．これら不確かなデータから確率を求めることはそもそも困難である．



図－6　今後 30 年間に震度 6 以上の揺れに見舞われる確率 [13]
（平均ケース：全地震）（基準日：2010 年 1 月 1 日）

４．おわりに

兵庫県南部地震以降に起きた内陸大地震から私が学んだことをまとめ、講演を締めくくることにしよう．

(１)現在は兵庫県南部地震で始まった“平成の活動期”にあたることから、今後も全国のあちらこちらで大地震が起きることが予測される．日本列島の中にある地質断層が再活動したり活断層が動いたりして、大地震がいつ起きても不思議ではない．

(２)プレート運動によって西南日本は東西方向の圧縮を受けているため、北東－南西方向の右横ずれ断層と北西－南東方向の左横ずれ断層が動き地震を起こしやすい状態におかれている．

(３)次の“南海地震”の発生までは“平成の活動期”が継続するため、今後も日本列島のどこかで内陸大地震やスラブ内地震が起きる危険性が高い．このような時期であるからこそ、断層と地震の正しい知識をもって、常日頃から地震防災について考え、取り組んでいかなければならないのである．

参考文献

1) 宇佐美龍夫：新編日本被害地震総覧．東京大学出版会，493p. 1995.
2)森岡達也・佐川厚志・金折裕司・田中竹延：山口県中央部，徳佐－地福断層南西部と木戸山西方断層北東端の性状と活動性．応用地質，48, 35-47, 2007.
3)阿東町：阿東町制施行五十年史　町誌改訂版．阿東町(山口県)，966p，2005.
4)篠生村：長門峡及其傅説．篠生村役場，31ｐ，1921.
5)金折裕司:日本最初の地質屋・高島得三と山口県の地質図.応用地質,49, 285- 292, 2008.
6)金折裕司・廣瀬健太：“長門峡”と高島北海．応用地質，50，295-304，2009.
7)金折裕司：中国地方西部におけるカタクレーサイト帯の再活動と断層ガウジの形成．月刊地球，21，22-29，1999.
8) 金折裕司:山口県の活断層－地震災害の減災をめざして.近未来社,119p, 2005.
9)井上大榮・宮腰勝義・上田圭一・宮脇明子・松浦一樹：2000年鳥取県西部地震震源域の活断層調査．地震 2，557-573，2002.
10)200万分の1活断層図編纂ワーキンググループ：200万分の1日本列島活断層図－過去数十万年間の断層活動の特徴－．活断層研究，no.19，3-12，2000.
11)Kanaori,Y., Kawakami,S., Yairi,K. and Niwa,S.： A sequence of destructive earthquakes and the coupling of fault systems in central Japan. Eng. Geol., 37, 167-180, 1994.
12)中央防災会議「首都直下地震専門調査会」:
(http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/index.html. 2005.
13)地震調査研究推進本部：
(http://www.jishin.go.jp/main/chousa/10_yosokuchizu/index.htm. 2010.

（社）日本地すべり学会関西支部協賛会員名簿

（口数・五十音順）（２０１１年１０月２５日現在）２８社

（会　社　名）	（電話番号）	（口数）
有限会社 太田ジオリサーチ	078-907-3120	3
中央復建コンサルタンツ株式会社　情報マネジメント室	06-6160-1121	3
日本工営株式会社 大阪支店	06-6449-5800	3
株式会社 アーバン・プロジェクト	088-655-5500	2
アジア航測株式会社　西日本コンサルタント部	06-4801-2250	2
株式会社 荒谷建設コンサルタント 調査設計部	082-292-5481	2
株式会社　宇部建設コンサルタント	0836-72-0392	2
株式会社 エイト日本技術開発	086-252-8917	2
株式会社 オサシテクノス	088-850-0535	2
応用地質株式会社 四国支社	089-925-9516	2
河井建設工業株式会社	0868-26-3787	2
川崎地質株式会社 西日本支社	06-6649-2215	2
株式会社 クボタ	06-6648-2283	2
国土防災技術株式会社 大阪支店	06-6136-9911	2
国土防災技術株式会社 高知支店	088-825-1330	2
株式会社 コスモ建設コンサルタント	0853-72-1171	2
株式会社 四国トライ	088-883-5908	2
株式会社 四国ボーリング工業	0883-52-1621	2
島建コンサルタント株式会社	0853-53-3251	2
住鉱コンサルタント株式会社 四国支店	0897-33-3123	2
株式会社 相愛	088-846-6700	2
株式会社 ダイヤコンサルタント 関西支社	06-6339-9141	2
中央開発株式会社 関西支社	06-6386-3691	2
株式会社 東建ジオテック	089-945-3328	2
株式会社 ナイバ	0878-62-5121	2
日本工営株式会社 四国支店	087-836-0240	2
三菱マテリアルテクノ株式会社	079-679-4511	2
明治コンサルタント株式会社 大阪支店	0727-51-1659	2