

# 地盤工学を基本とする自然災害危険箇所の抽出と 事前観測網の整備(山口市をモデルとして)

EXTRACTION OF NATURAL DISASTER HAZARDS BASED ON GEOTECHNICAL  
ENGINEERING METHOD AND CONSTRUCTION OF PRE-OBSERVATION  
NETWORK.(RESEARCH BASED ON YAMAGUCHI CITY)

河内 義文<sup>1</sup>・鈴木 素之<sup>2</sup>・酒井 直樹<sup>3</sup>・佐伯 知春<sup>1</sup>

Yoshifumi KOCHI, Motoyuki Suzuki and Naoki SAKAI

<sup>1</sup>株式会社ケイズラブ（〒753-0212 山口市下小舗 3533744 番地 4）

E-mail: kslab@mve.biglobe.ne.jp

<sup>2</sup>山口大学大学院創成科学研究科（〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1）

E-mail: msuzuki@yucivil.onmicrosoft.com

<sup>3</sup>防災科学研究所（〒305-0006 つくば市天王台 3-1）

E-mail: sakai@bosai.go.jp

**Key Words:** Inland type Earthquake (active fault earthquake) disaster, Heavy rain disaster, Weathering Granite, Schist, Seismograph, Fluctuation observation

## 1. はじめに

2015年4月の熊本地震では、中央構造線の延長上とされる布田川断層、日奈久断層の活動により、2日間に渡ってM6.5とM7.0のエネルギーが解放され最大震度7を記録する地震が2回発生した。断層周辺では、特に益城町中心部や南阿蘇町では断層周辺700~800m幅で、搖れの加速度と周期に起因する家屋倒壊、インフラ構造物被害が発生した。また阿蘇地域では地すべりなど斜面災害が多発し、多くの人的、物的被害をもたらした。この地震以前に予測された2016年1月を基準日とする、30年以内にこれら断層の震度6弱以上の地震発生確率(J-SHS)は7%とされていた。

山口県中央部に位置する山口盆地の形成には大原湖断層系の活断層が大きく影響しており、その再活動時期などを検討することになるが、この断層系のこのときの地震発生確率は4.5%である。(兵庫県南部地震においても、この確率計算では0.02~8%であった。)

一方で西日本地域に梅雨、台風などアジアモンスーンによって極めて狭い範囲に時間雨量100mm超で発生する短時間降雨はゲリラ豪雨と呼ばれ、近年ではその発生頻度が非常に高まっている。これら豪雨のリターンピリオド(平均再現年)は200年を超

える確率である。これは、レーダー解析などにより積乱雲のバックビルディングによることが概ね判明しているが、現在の技術では、その時間、位置などの事前予測はできていない。この現象によって2009年山口府防、2010年山口県西部、2013年山口島根、2014年広島市、2017年九州北部とほぼ毎年のように、山口および近隣地域において立て続けに豪雨による土石流、斜面崩壊、浸水によって人的被害を伴う災害が発生していることから、九州北部、西中国地域では確度が高い災害として認識し、防災上の備えを行うことが急務である。また、これらの豪雨災害では豪雨に弱い地質の分布が特徴とされ、従来から地すべり発生が指摘されてきた、第三紀層、片岩類とともに、花崗岩風化部(まさ土)に土石流が発生するメカニズムが解明されつつある<sup>1)</sup>。

本論文は、これにしたがいモデルとする山口市地域において、上記2つの大規模自然災害(活断層型地震・ゲリラ豪雨)に対する発生危険箇所の抽出を行い、適切な事前観測手法・位置などの提案を行うと共に、インフラ整備・住宅建設・災害時対応などに基礎資料とすること、さらには災害後の復旧スペックを決定するための資料とすることを目標として提案を行うものである。

## 2. 山口市に分布する災害危険度の高い地質

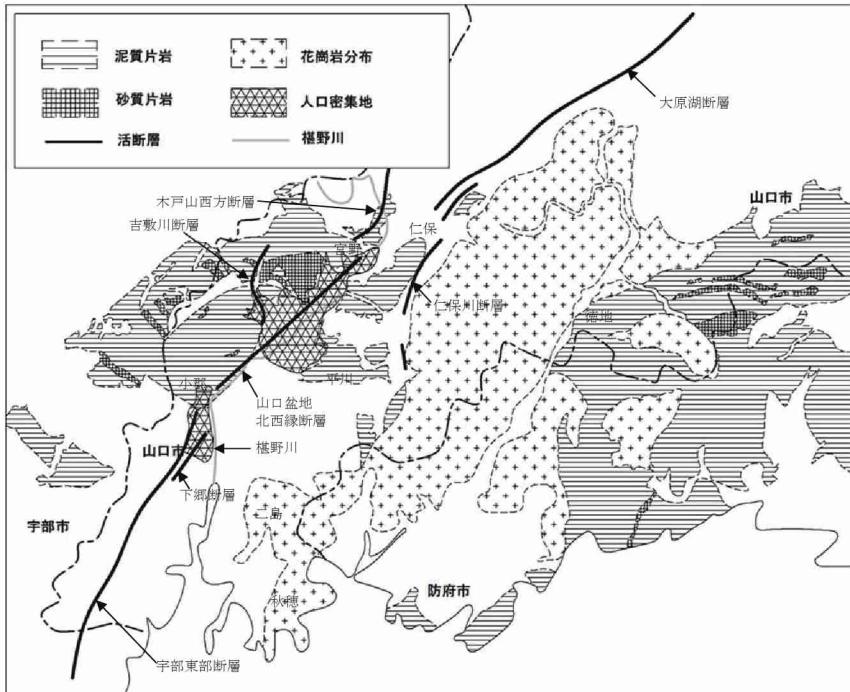


図-1 山口市地域の地質図および活断層位置図（「山口県地質図」山口地学会）<sup>2) 3)</sup>

## および活断層

前記した豪雨時に地すべり、土石流などが発生し易いとされる花崗岩および片岩の分布範囲と応力を解放して活断層型地震が発生する危険性が高い活断層の分布を図-1に示す。その概要は、

### (1) 花崗岩の分布および風化

主に樺野川の東側に中生代白亜紀の広島型花崗岩が分布する。また南部地域の二島～秋穂でも花崗岩の分布が見られる。山頂まで露岩が観察されるが、谷部には風化部（まさ土）が1.0～2.0m厚で薄く堆積し、豪雨時には土石流が発生する危険性が高い。

### (2) 片岩の分布および風化

片岩は三郡變成岩に属する变成岩類で、山口市地域では樺野川西側では小郡～宮野には黒色片岩が分布し、また鴻之峰周辺には砂質片岩の分布も見られる。また樺野川東側では平川～仁保にかけて黒色片岩が分布する。また徳地町西部にも黒色片岩が分布する。比較的急峻な山地を作るが、風化変質は進行してお

り、地形改変に伴って地すべりが発生した履歴を有する。

### (3) 活断層の分布と地震危険度

山口盆地には南南西～北北東の東西圧縮場による鉛直横ずれ断層が縦断的に分布し、盆地形成に大きく関わっている<sup>3)</sup>とされる。この断層群は南から宇部東部断層、下郷断層、山口盆地北西縁断層、大原湖断層と呼ばれ、吉敷川断層、仁保川断層、木戸山西方断層が南北方向に派生している<sup>3)</sup>。

これら活断層は、1987年山口県中部地震、1991年周防灘地震、1997年山口県北部地震によっての CFF（クローン破壊閏数）変化で、地震危険度が高まっているとされる<sup>3)</sup>。

## 3. 災害危険箇所の抽出

### (1) 土石流発生危険度が高い花崗岩分布地域



写真-1 土石流発生後の花崗岩分布地域（山口市松格）

まず、本地域に分布する花崗岩および風化土（まさ土）に成立する植生の特徴を述べる。この花崗岩地域は10数年前までは、瀬戸内暖地性気候と貧栄養の瘠悪土という土壤状況がもたらす二次林のマツ林であった。このマツ林がネマトーダ（松くい虫）の感染によって枯死した後、広葉樹林への林相の転換途上であることから、植生不全により全地域的に斜面

の降雨時安定性が低下している状況にある。

図-2は2009年7月山口・防府土石流災害が発生した範囲と地質図、さらに積算雨量分布図を重ねたものである。この図-2によると土石流は山口市東部の防府市との境界の花崗岩分布地域で発生しており、花崗岩地域では豪雨時に土石流が発生する危険性が非常に高いことが示される。また積算雨量が200mm以上の場所で土石流発生頻度が高いことが示される。（写真-1）

2009年7月の土石流発生渓流を踏査すると、渓流内には風化土が残っている場所もあるが、写真-2に示すように大半は流出したことを考えると、2009年7月の土石流発生域ではさらなる土石流の発生危険性は低いものと判定するべきである。一方で同じく図-2、写真-3に示すように、山口市北部には、土石流が発生した範囲と同様に花崗岩風化部が分布し、地形も非常に類似している地域（徳地町引谷地区）があり、2009年7月豪雨時には、積算雨量が低かったので、土砂災害は発生しなかったものと考えられる。したがって、図-2に示す範囲では積算雨量200mm超の降雨履歴がないので、今後の土砂災害危険

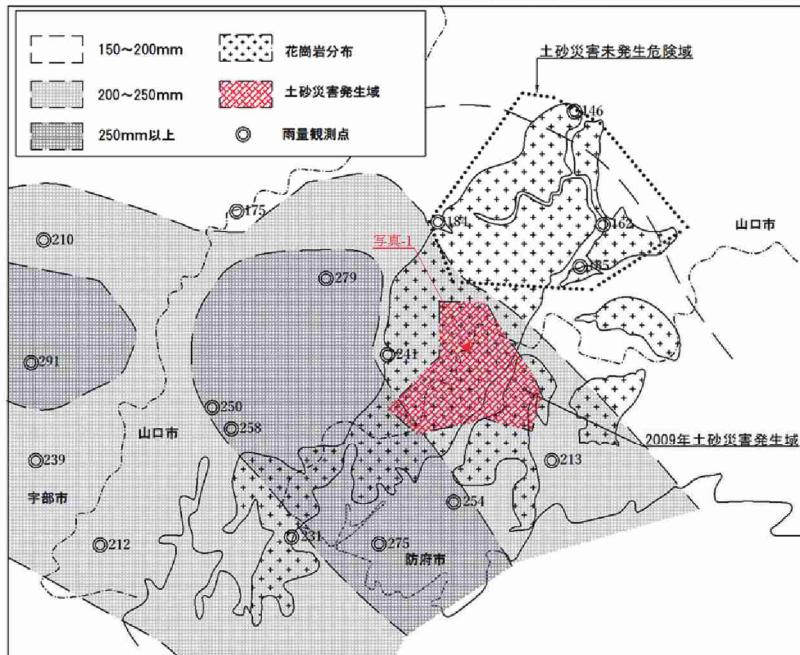


図-2 2009年7月21日豪雨にゆる被災地域を累積雨量分布と花崗岩分布<sup>2)4)</sup>

地域に抽出される。

#### (1) 片岩分布域の豪雨時および地震時の地すべり危険性

地震に起因する斜面崩壊は、2000年鳥取県西部地震、2004年中越地震の際に多く発生している。地震時には一般的に加速度が大きい場合、盛土では小規模であってもクラック、陥没、崩壊などが発生しやすい。一方で、2004年中越地震時には長岡市妙見で大規模岩盤のり面崩壊が発生し、切土のり面、自然斜面においても大きな加速度を受けた場合は地すべり性の崩壊が発生することが判明した。

山口県内の三郡変成岩分布地域では、切土に伴った地すべりが多く発生している<sup>5) 6)</sup>。山口市内においても、山口市吉敷の国道435号大規模切土のり面、山口市糸米国道9号県庁バイパス大規模切土のり面、山口市徳地町堀農免道路徳地南4期地区大規模切土のり面、山口市宮野荒谷林道開設工事切土のり面な

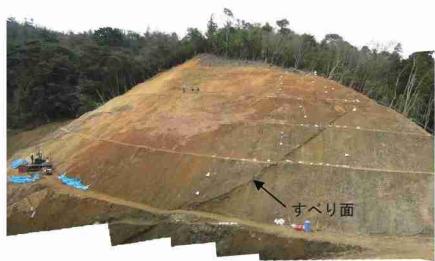


写真-4 黒色片岩に発生した地すべり (山口市徳地堀)

ど、切土によって応力を解放した斜面に比較的大規模な地すべりが発生している。写真-4には徳地町堀の農免道路の切土工事中に発生した大規模地すべりの例を示している。この地すべりは、黒色片岩強風化部に発生し、幅70m、長さ100m、最大深さ20mであった。

山口市に分布する片岩は、片理面構造に由来した強度異方性があるとされているように<sup>5)</sup>、比較的大規模切土工事に伴う応力解放によって地すべりが発生している事例が多い。したがって、山口市地域においても以下に留意して豪雨時、地震時における危険箇所を抽出する必要がある。

- (a) 片理の向きと斜面傾斜方向  
(b) 下流の保全物件、人口密集度



写真-2 土石流発生後の渓床の露岩状況 (山口市終畠)



写真-3 2009年7月土石流が発生しなかった花崗岩分布地域 (山口市徳地引谷)

表-1 大原湖断層系を構成する断層の活動データ<sup>3)</sup>

断層名	走向	長さ (km)	平均鉛直 変位速度 (m/千年)	横ずれ 変位 (m)	最新 活動時期	活 動間隔
大原湖	E NE	22	-	-	約3,200年 以前	
木戸山西方	N E ~ N NE	4.5+	0.01	90	約3,500年 以前	24,000年 以上
山口盆地 西北縫	E NE	12	0.075	-	後期更新世 以降	
吉敷川	N ~ S	4	-	-	高位段丘堆積物 堆積以降	
下郷	N N E	9	-	50~100	3500年~4500 年前	21,000年 程度
宇部東部	N N E	11	-	-	11500年~200 年前	
仁俣川	N E	10	-	-	不明	

表-2 近年山口県西部地域で発生した3つの被害地震<sup>3)</sup>

発生年 月日	地震名	震源地	マグニ チュード (M)	深さ (km)	家屋被害		死傷者
					全壊	半壊	
1987. 11. 18	山口県中 部	萩市旭村	5.2	8	0	1	0 2
1991. 10. 28	周防灘	周防灘	6	19	0	0	0 1
1997. 6. 25	山口県北 部	山口市阿東 町	6.6	12	1	7	0 2

- (c) 活断層との位置関係 (距離)

- (d) 降雨時集水地形

この視点から、片岩地帯の豪雨時、地震時地すべり危険地域を抽出する。

## (2) 活断層地震

山口市に関係する活断層は大原湖断層系と呼ばれる断層系である。これら断層系の最新活動時期は、表-1に示されるように約3,500年前と考えられる。表-2には再来間隔が20,000年程度と示されているが、近年の地震活動によって前述のようにCFF（クローン破壊閾値）変化で、地震危険度が高まっているとされる<sup>3)</sup>。活断層地震では、その加速度、速度、周期、地盤の液状化、地震断層による地面の変動（ずれ）により様々な被災が発生する。2016年熊本地震の事例では、横ずれを起こした活断層周辺の災害は、建物の倒壊・損壊、地盤の液状化であったが、倒壊が発生する範囲は最大800m幅で建物被害が大きいことが判明している<sup>7)</sup>。また、筆者の観察によると

南阿蘇村においての建物倒壊被害範囲は約500m幅であった。南阿蘇村においても地表断層の見掛けの移動距離は1,500mm程度と測定され、地すべり被害などからも益城町同等の地震動が生じたと推定されるので、この被災範囲の差は、前述した加速度、速度、周期、地盤性状（液状化）の差異から生じると予測される。したがってこれら2例は低平地における活断層地震による被害のある目安として示す。

また、2016年熊本地震において、南阿蘇村で人的被害をもたらした建物倒壊事例では、断層の向き、すなわち右横ずれの方向に長軸を持つ建物に被害が集中している。山口盆地内低平地部では、このケースに着目した建物などのスクリーニングが必要である。もちろん、今後の建築確認の際にもチェックが必要となる。

山口市内では、図-3に示すように数条の断層が伏在しているので、大歳・宮野間の人口密集地が対

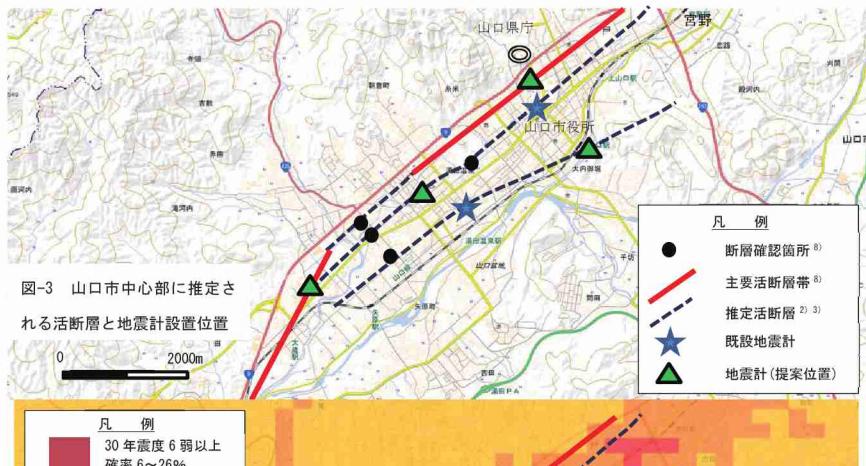


図-3 山口市中心部に推定される活断層と地震計設置位置

0 2000m

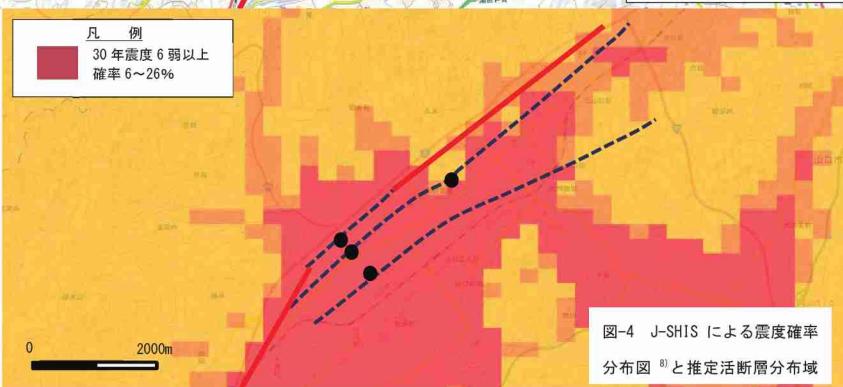


図-4 J-SHISによる震度確率

分布図<sup>⑧)</sup>と推定活断層分布域

象となり、さらに図-4 に示すように J-SHIS による 30 年震度 6 弱以上確率分布図（6～26%）<sup>⑨</sup>と比較すると若干のズレが確認できる。したがって、この結果を用いて確率分布図の精度をチェックし、ハザードマップの修正を行うべきである。

#### 4. 山口市の既存地震観測施設

図-3 に山口市人工密集地における地震観測施設位置を示す。山口市では、市役所、各総合支所、気象庁（前町）が 1 箇所および防災科学研究所の 2 箇所（阿東町生雲、秋穂二島）の計 9 箇所の地震計が設置されているが、人口密集地にはこのうち 2 箇所が設置されている。

これら地震計の大原湖断層系との位置関係は、不明であるので、地震時に正確なデータを得るためには地質データと照査して検証する必要がある。主要活断層に対しての地震計は不足であると考えられるので、増設を提案する。一例としては図-3 に示した箇所などである。

### 5. 委員会の設置と今後の調査・観測計画

#### (1) 研究委員会の設置案

研究の計画・調査・研究・観測に対して助言を行い、結果の検討・照査を行うため自治体、大学、研究所、コンサルタントで構成される研究委員会の設置を提案する。

#### (2) 自然災害危険箇所抽出のスクリーニング

##### (a) 花崗岩分布地域

3. (1) 項に示したように、花崗岩分布地域で 2009 年豪雨の影響の少なかった地域において土石流発生渓流のスクリーニングを行う。特に花崗岩分布地域では、渓流規模、集水面積などについては、山口県砂防課にて指定された土石流危険渓流のデータが参考となるが、風化の程度、堆積状況など地質情報については、踏査によって把握する必要がある。

##### (b) 片岩分布地域

片岩分布地域においては、地震時・豪雨時の地すべり（大規模斜面崩壊～地すべりダム形成）に影響する黒色片岩、砂質片岩の片理面の性質（傾向・強度）、風化状況を踏査によって把握する。対象は山口市吉敷周辺、鴻之峰周辺砂質片岩分布域および徳町堀周辺である。

##### (c) 活断層

図-5 に示した大原湖断層系活断層周辺で地震の

影響を受ける地盤状況との関係を整理し、地震ハザードマップをバージョンアップする。

#### (3) 地震観測および斜面変動観測の提案

##### (a) 地震計の設置

上記結果から、必要な地震観測箇所、深度を決定し、事前観測のための地震計を設置する。

##### (b) 斜面観測

花崗岩分布地の土石流危険渓流、片岩分布地のすべり危険斜面に対して変動調査観測箇所および手法等に関して事前観測機器（雨量計、傾斜計など）を設置する。

##### (c) 観測結果の共有化

上記観測結果は IoT を利用して委員会内で共有する。

**謝辞：**貴重な助言をいただいた山口大学名誉教授金折裕司博士、同じく西村祐二郎博士に感謝の意を表する。また検討の機会を与えていただいた山口市副市长伊藤和貴氏他防災担当部局諸氏に感謝する。

#### 参考文献

- 松本晶・河内義文・鈴木素之・兵動正幸：まさ土斜面の豪雨時浸透メカニズムと不織布フィルターによる間隙水圧抑制効果、地盤と建設、Vol. 35, No. 1, pp. 9–16, 2017.
- 山口県地学会：地質図、2012.
- 金折裕司：山口県の活断層、近未来社、2005.
- 福岡浩・山本晴彦・宮田雄一郎・汪發武・王功輝：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, 2009.
- 鈴木素之・寺山崇・河内義文：三郡變成岩不攪乱試料における片理構造に由來した強度異方性、地盤と建設、Vol. 31, No. 1, pp. 95–104, 2013.
- 山本哲朗・鈴木素之・宮内俊彦・植野泰史：三郡变成岩からなる切土斜面の豪雨時崩壊、土と基礎、Vol. 47, No. 8, pp. 29–31, 1999.
- 日本建築学会九州支部熊本地震災害調査委員会（委員長：高山峯夫 福岡大学教授）：益城町中心部における悉皆調査結果
- J-SHIS Map, www.j-shis.bosai.go.jp/map/ (2018.5.18 受付)