自然災害研究協議会

## 中国地区部会

## 研究論文集

### 第9号

2022年12月

自然災害研究協議会 中国地区部会

共催:山口大学地域防災・減災センター

山口大学グローカル環境・防災学研究会

### 目 次

【特別講演】わが国で発生する風水害の特徴-32年間(1991~2022年)の現地調査とデータ解析を基礎として
線状降水帯と災害発生の関連に関する研究
アメダスデータを用いた山口県の暖候期における降雨特性に関する研究9 朝位孝二・田邉虎太郎
深層学習を用いたリアルタイム河川水位予測システムに関する基礎的検討
数値シミュレーションを用いた土石流を起因とする河川氾濫リスクの評価17 江口翔紀・大中臨・赤松良久
筑後川支流下弓削川流域における土地利用変遷による水害リスクの変化
広島市周辺の花崗岩地帯と東広島市黒瀬町周辺の流紋岩地帯の土石流発生頻度
大規模地震後の降雨により発生した土砂災害に関する文献調査
河川護岸などからの吸い出しによる空洞・陥没発生過程に関する模型実験
排水の濁りに着目した動水勾配変動下における細粒分流出挙動の時間変化
関門層群地山での切土に伴う斜面安定性に関する2次元数値解析の適用検討41 鈴木素之・田中亨昌・森本真吾・岸田展明
土壤藻類を組み込んだ自然侵入促進型植生マット(BSC マット)の性能評価45 松本晶・冨坂峰人・尾関哲史・荒木功平

パイルスラブ式盛土の改良杭頭部に用いるジオテキスタイル土のうの動的特性……………………………49 藤井公博・鈴木素之・近藤政弘・小島謙一

### Chugoku Regional Division Research of Natural Disaster Research Council No. 9 Contents

[Special Lecture] Comparison of the Gust Wind and Flood Damage to Occur in Japan -Based on the Field
Survey for 32 Years (1991-2022) and Data Analysis
Haruniko YAMAMOTO
Study on Relationship between Disaster Occurrence and Linear Rainband
Kotaro TANABE, Koji ASAI
Study on Characteristics of Precipitation in Summer Season in Yamaguchi Prefecture Using AMeDAS9
Koji ASAI, Kotaro TANABE
Fundamental Study on Real-time Water Level Forecasting System Using Deep Learning
Daichi FUKUMARU, Yoshihisa AKAMATSU, Tetsuya SHINTANI
Numerical Simulation of Risk Assessment of River Inundation Caused by Debris Flow
Shoki EGUCHI, Nozomu ONAKA, Yoshihisa AKAMATSU
Changes in Flood Risk Caused by Land Use Transition in the Shimoyuge River Watershed, a Branch of the
Chikugo River ····································
Debris Flows Frequency in and around Hiroshima City and Higashihiroshima City 25
Hiroaki MATSUGI, Motoyuki SUZUKI, Kyoko KAGOHARA, Takamune KAWASHIMA
A Literature Survey on Characteristics of Landslide Caused by Rainfall after Large Earthquake
Yuki USHIRONE, Motoyuki SUZUKI
Model Experiment on the Process of Cavity/Sinking Caused by Soil Flow-out from River Revetments
Haobo SONG, Motoki YOSHII, BAYANMUNKH JARGALMAA, Hirotoshi MORI, Jyunpei OKAMOTO,
Kyoko SEKA, Itaru SEKI
Time Variation of Suffusion Behavior under Condition of Fluctuated Hydraulic Gradient Focusing on Turbidity
In Drainage 37 Taichi ISHIMARU Motovuki SUZUKI Shota TAKANO Asahi KOMORI
Application of 2D Numerical Analysis to Cut Slope Stability in the Kanmonsougun
MOIOYUKI SOZONI, NYOSUKE IANANA, SHINGO MOKIMOIO, NORIAKI NISHIDA

Performance Evaluation of Natural Vegetation Recovery Promotion Type Mat Incorporated with Soil Algae (BSC Mat) ······ 45 *Aki MATSUMOTO, Mineto TOMISAKA, Tetsushi OZEKI, Kohei ARAKI* 

Comparative Research on Impression of Past Monochrome Disaster Photo and Its Colorized Photo ..... 57 *Gyo YAMADA, Koji ASAI* 

### わが国で発生する風水害の特徴

#### -32年間(1991~2022年)の現地調査とデータ解析を基礎として--

#### 山本晴彦

#### 山口大学大学院創成科学研究科

#### 1. はじめに

1991 年から 2022 年までの 32 年間を対象に、わが国で発生した気象災害の中から筆者が実施した 現地調査を表 1 に示す。調査件数は約 80 件に上り、特に 2011 年代から災害の頻発により調査件数も 増加している。ここでは、特徴的な 13 件の発生事例を選び、その概要を紹介する。なお、2012 年ま での気象災害に関する画像は「<u>気象災害画像データベース</u>」で閲覧・利用が可能となっている。

西暦	元号		台	風 <sup>1)</sup>	•	梅雨前線2)	秋雨前線2)	冷害	竜巻	猛暑	暖冬
		強風	高潮	洪水・土砂	塩害	-		冷夏	突風	干ばつ	
1991年	平成3年	17,19	17,19		17,19					沖縄	
1992年	平成4年	10									
1993年	平成5年	13						東北 西日本			
1994年	平成6年									西日本	
1995年	平成7年										
1996年	平成8年	12									
1997年	平成9年			9山口 19宮崎							
1998年	平成10年	7 近畿		4那須 10岡山			9高知				11-5 福岡麦作
1999年	平成11年	(18西日本)	18西日本	8玄倉		6福岡・広島			5大阪 <mark>8小野田</mark>		
2000年	平成12年						9東海				
2001年	平成13年										
2002年	平成14年			15韓国							
2003年	平成15年	14宮古島									
2004年	平成16年	22伊豆横浜		23四国	15東北 18九州山口				6佐賀		
2005年	平成17年			14山口錦川		7山口柳井					
2006年	平成18年			(13九州)	13九州山口				9延岡 11佐呂間		
2007年	平成19年										
2008年	平成20年										
2009年	平成21年			9佐用		7防府山口					
2010年	平成22年					7厚狭					
2011年	平成23年			12紀伊							
2012年	平成24年					7日田 7熊本			5つくば		
2013年	平成25年			23伊豆大島		7山口島根					
2014年	平成26年						8広島				
2015年	平成27年						9常総				
2016年	平成28年			10北海道 16延岡北川							
2017年	平成29年			18津久見		7福岡大分					
2018年	平成30年		21大阪湾		24東京湾	7岡山 7広島					
						7山口					
		15		19長野							
2019年	令和元年	15 房総東京湾		19千曲 19郡山			8佐賀		9延岡		
0000 <i>/</i> ~	ム印のケ				10九州北部	7人吉球磨					12-2
2020年	"司和2"年				10山口	7福岡大分					西日本
2021年	令和3年					7熱海	8佐賀		5牧之原		
2022年	令和4年			14宮崎 15静岡	]	8新潟					

表1 筆者が実施した気象災害に関する現地調査

注1: 台風災害に示したの数字は台風番号。注2: 梅雨前線・秋雨前線に示した数字は発生月。注3: 赤字は山口県で発生した災害を含む。

#### 2. 特徴的な気象災害の事例

#### 1) 1991 年台風 17・19 号による九州の農業災害・水稲被害

9月14日早朝,長崎市に上陸した台風17号は九州北部を通り,山口県北西部をかすめて日本海に進んだ。台風19号も27日夕方にほぼ同様な進路で九州北部を通過し,28日には北海道西部に再上陸した後,オホーツク海に抜けて温帯低気圧となった。特に台風19号により九州北部の気象官署で最大瞬間風速が50m/sを超える暴風が吹き,その一方で通過時の降水は有明海沿岸で40mm以下の少雨となり,いわゆる「風台風」の様相を呈した。両台風に伴う農業被害は九州地方で1,753億円にも達し,海岸近くでは晩生水稲やカンキツの塩害が発生し,強風による晩生ナシの落果,農業用ハウスの倒壊や破損の被害が顕著であった。林業でも九州北部の有名林業地(八女,日田,小国)の民有林で風倒木の被害が発生し,全国の被害額は2,159億円にも上った。本台風は青森県津軽地方のリンゴ産地で落果や倒木に被害を与えたことから「リンゴ台風」とも呼ばれている。海岸地域では台風通過時の強風による海塩粒子の飛散と少雨に伴い,塩害による停電が最大1週間にわたり発生した。

<u>山本晴彦:農業気象,48(1),pp.77-83,1992年.</u> 山本晴彦・鈴木義則・早川誠而・岸田恭允:農業気象,48(2),pp.175-180,1992年.

#### 2) 青森県における 1993 年夏季の気象的特徴と水稲冷害の実態 九州・山口地方における 1993 年冷夏・凶作と 1994 年猛暑・豊作

1993年は6月から9月にかけて、冷夏、台風、豪雨等により全国各地で記録的な農業被害が発生した。特に北日本における水稲の作況指数は北海道が40、東北が56の記録的な大冷害で、青森県の作況指数は28であった。西日本では4つの台風(5・6・7・13号)の上陸、低温・日照不足により、水稲・野菜・果樹等の農作物で生育遅滞による減収・品質低下、倒伏、落果等の被害が発生し、豪雨による農地の流失被害も相次いだ。九州地方の水稲被害額は725億円にも達し、1991年の台風17・19号の被害額(471億円)を大幅に上回った。特に、宮崎県では台風13号が直撃して57.9m/sの暴風が吹き、農地被害を含めて812億円にも及んだ。

山本晴彦・鈴木義則・執行盛之・早川誠而:自然災害科学,17(4),pp.347-359,1999年3月. 山本晴彦・早川誠而・鈴木義則:天気,45(3),pp.163-170,1998年.

#### 3) 1999 年台風 18 号に伴う気象の特徴と山口県における強風・高潮災害

1999年9月24日早朝に九州西岸に上陸した台風18号は、九州を縦断し周防灘から山口県に再上陸し西中国地方を通過した後、日本海に抜けた。これにより、九州や西中国地方を中心に強風や高潮の被害が相次いだ。とくに、台風通過時には、西日本各地で満潮が重なり、熊本県不知火町松合地区では高潮により12名が水死し、周防灘沿岸でも高潮により港湾や防波堤に甚大な被害が発生した。山口県では旧山陽町の埴生地区や宇部市の床波地区では漁船や住家の浸水被害が発生した。

山本晴彦・岩谷潔・鈴木賢士・早川誠而・鈴木義則:自然災害科学,19(3), pp.315-328, 2000年.

#### 4) 2003 年台風 14 号 (MAEMI) による宮古島の気象的特徴と農林災害

2003年9月10日夕方から翌12日昼前にかけて、台風14号が先島諸島の宮古島を直撃した。これにより宮古島(地方気象台)では最大瞬間風速が74.1m/sの暴風を観測し、最低気圧も912.0hPaを記録した。さらに、航空自衛隊の宮古島分屯基地では86.6 m/sを観測している。暴風により、サトウキビの倒伏、果樹ハウスの倒壊、海岸保全林の損傷をはじめ、島内の農業被害は33億円にも上った。また、電柱の倒壊、光ファイバー設備、体育館などの公共施設、風力発電施設の倒壊や損傷など、島内が広域的かつ大規模な強風害に見舞われた。

山本晴彦・岩谷潔:自然災害研究協議会 西部地区部会報・論文集,28, pp.137-140,2003年.

#### 5) 2009 年 7 月 21 日に山口県において発生した豪雨の特徴と土砂災害の概要

2009年7月19日から26日にかけて,西中国地方(広島県,山口県)から九州北部地方(福岡県, 佐賀県,長崎県,大分県)において,記録的な大雨が断続的に降った。これにより,各地で土砂災害 や浸水被害が発生し,山口県(17名),福岡県(10名),鳥取県,広島県,佐賀県,長崎県(各1名) と31名の死者が発生した。とくに、山口県防府市においては、7月21日明け方から昼にかけての6時間に220.0mmの記録的な集中豪雨に見舞われたことにより、風化した花崗岩の「まさ土」により 土石流が頻発し、特別養護老人ホーム「ライフケア高砂」での死者7名を含め14名の死者が発生した。また、山口市内では椹野川流域で内水氾濫による住家や水道施設の浸水被害が発生した。

山本晴彦・山崎俊成・有村真吾・原田陽子・高山成・吉越恆・岩谷潔:自然災害科学, 29(4), pp.471-485, 2011 年.

#### 6) 2012 年 7 月 12 日に熊本県で発生した豪雨と洪水災害の特徴

2012 年 7 月 11 日から 13 日にかけて、本州付近に停滞した梅雨前線に向かって南から非常に湿った空気が流れ込み、九州地方を中心に西日本から東日本にかけての広い範囲で大雨となった。本豪雨により、土石流や河川の氾濫が発生し、熊本県(23 名)・福岡県(4 名)・大分県(3 名)で計 30 名の死者、行方不明 2 名の人的被害、住家の全半壊(1,860 棟)、浸水被害(12,600 棟)が相次いだ。特に阿蘇地方の阿蘇谷の阿蘇乙姫では最大 6 時間降水量が 459.5mm(再現期間:284 年)に達し、火山灰に起因する黒ボク土壌が崩壊して多くの犠牲者が生じた。また、白川下流の熊本市北区の龍田陳内四丁目では最大 5m弱の洪水被害に見舞われ、その後、大規模な河川の改修工事が進められた。

山本晴彦・山崎俊成・山本実則・小林北斗:自然災害科学, 33(2), pp.83-100, 2014年.

<u>兼光直樹・山本晴彦・渡邉祐香:自然災害科学,40(特別号),pp.11-29,2021年.</u>

#### 7) 2014 年 8 月 20 日に広島市で発生した豪雨と土石流災害の特徴

2014年8月20日未明,秋雨前線が広島市北部を通過し、1時30分から4時30分にかけてのわずか3時間に217.5mmの猛烈な短時間豪雨を観測した。これにより、安佐北区から安佐南区にかけて 土石流が多発し、死者74名の甚大な人的被害が発生した。広島市や呉市では、1999年6月29日に も梅雨前線豪雨により死者31名・行方不明者1名の人的被害が発生(6.29豪雨)しているが、今回 の豪雨災害はこれを大きく上回る甚大な被害となった。今回の豪雨では、風化した花崗岩の「まさ土」 が大量の降水や岩石を含み土石流が住宅地を直撃し、特に安佐南区の八木地区ではほとんどの土石流 危険渓流で土石流が発生し、死者52名と全体の70%以上を占めた。

山本晴彦・小林北斗:自然災害科学, 33(3), pp.293-312, 2014年.

#### 8) 2015 年9月10日に茨城県常総市で発生した洪水災害の特徴

2015年9月9日から10日にかけて、台風18号および台風から変わった低気圧に向かって南から 湿った空気が流れ込んだ影響で、西日本から北日本にかけての広い範囲で大雨が降り、特に関東地方 と東北地方では記録的な大雨となった。鬼怒川上流の藤原(日光市)では24時間降水量が578mm を 観測し、下流では増水により水海道水位観測所(常総市)で既往の記録を大きく超える8.08m を観 測(10日13時10分)し、左岸の堤防が決壊して住宅が流失する被害が発生した。鬼怒川と小貝川 に挟まれた低平地では住家や農地で浸水する被害が発生し、八間堀川の両側では200cm を越える浸 水被害に見舞われた。市内南部の小貝川右岸では、鬼怒川堤防決壊6日後の16日でも水が引かない 地域が認められた。両河川に挟まれた地域は、カスリン台風(昭和22年)やキティ台風(昭和24年) を始め、幾度となく洪水災害に見舞われていることから、水害常襲地帯として水害を災害文化として 捉え、過去の災害の記録を収集し、防災・減災教育に役立てると伴に、後世に伝えることが水害を防 止・減災する大きな手段と考えられる。

山本晴彦・野村和輝・坂本京子・渡邉薫乃・原田陽子:自然災害科学,34(3),pp.171-187,2015 年.

#### 9)2017年7月5日に発生した九州北部における豪雨と災害の特徴

2017 年 9 月 5 日,梅雨前線が九州北部付近に停滞して南から暖かく湿った空気が流入し,昼頃から福岡県の筑後地方北部から大分県の西部にかけて線状降水帯が形成されて猛烈な雨が降り続いた。 朝倉のアメダスでは 5 日の日降水量は 516.0mm と極値を更新し,福岡県河川課が黒川の北小路公 民館に設置した雨量計では 12 時間で 792mm と朝倉の 1.5 倍強の、わが国で観測された中でも記録 的な値であった。これにより,福岡県朝倉市から大分県日田市にかけて大規模な森林崩壊による流木 災害や土石流,洪水災害が多発し,死者 37人,行方不明者 4人の人的被害,住家の全半壊や浸水被害,水田やカキ園などでは土砂流入や洪水流による農林被害が発生した。

山本晴彦・山崎俊成・坂本京子・山下奈央:自然災害科学, 36(3), pp.257-279, 2017年.

#### 10) 2018 年 7 月豪雨により倉敷市真備町で発生した洪水災害の特徴と土地利用の変遷

2018年7月5日から8日にかけて、梅雨前線により岡山県の北中部を中心に豪雨が降り続き、新 見では7日8時までの48時間降水量が418.5 mm,真備では5日9時までに304 mmの豪雨を観測 した。倉敷市真備町では、豪雨に伴う水位の上昇により高梁川支川の小田川とその支流の末政川と高 馬川が決壊し、真備町での死者は51人(高齢者が9割、8割強が1階で被災)に達した。水害史に よれば、真備町は江戸時代から幾度となく水害に見舞われている常襲地であったが、昭和48年頃か らの農地転用による宅地開発で人口が急増している。この時期に転入してきた「新住民」の多くは、 水害履歴を十分に理解しておらず、避難の遅れが被害の拡大を招く結果となった。

山本晴彦・那須万理・川元絵里佳・渡邉祐香・坂本京子・岩谷潔:自然災害科学, 38(2), pp.147-168, 2019 年.\_\_

#### 11) 2018 年台風 21 号 (Jebi) により大阪湾沿岸で発生した強風・高潮災害の特徴

2018年台風21号は、非常に強い勢力を保ったまま9月4日12時頃徳島県南部に上陸し、その後 も北東に進み、14時頃には兵庫県神戸市付近に再上陸し、15時には日本海海上へ抜けた。台風の通 過に伴い、近畿地方や四国地方東部では暴風となり、関西国際空港では観測史上第1位の最大瞬間 風速58.1mを観測した。台風の通過時には950hPa台の最低海面気圧を観測し、大阪湾沿岸の神戸、 西宮、尼崎、大阪等では観測史上最高の潮位を観測し、関西国際空港が冠水した他、大阪湾や紀伊水 道の沿岸でも高潮や高波による被害が発生した。また、暴風により自動車の横転や住家の損壊、電柱 の倒壊による停電も各地で発生し、損害保険金の支払い総額は1兆700億と史上第1位であった。

山本晴彦・渡邉祐香・那須万理・川元絵里佳・坂本京子・岩谷 潔:自然災害科学, 38(2), pp.169-184, 2019 年.

#### 12) 2019 年台風 19 号による福島県郡山市の浸水被害の特徴と土地利用の時空間的変遷

2019年台風19号の通過時に、栃木県の日光から福島県の白河に延びる那須連山、茨城県北部から 福島県浜通り地方と宮城県南部の阿武隈高地では、降水量が300mmを超える記録的な豪雨に見舞わ れた。両山系から阿武隈川に流入した降雨により、中流の須賀川、郡山、本宮、福島の各市、下流の 丸森町等では既往の水位を超えて洪水災害が発生した。郡山市では阿武隈川からの越水、支流の谷田 川の破堤や逢瀬川の越水等により、死者6名、浸水被害は1万件に上り、1986年の「8.5 水害」を超 える水害規模となった。特に阿武隈川と谷田川に挟まれた水門町、十貫河原、中央工業団地等では事 業所や工場等で最高4m近くまで浸水する被害が発生し、工場の移転を計画する企業が生じている。

山本晴彦・渡邉祐香・兼光直樹・宮川雄太・大谷有紀・坂本京子・岩谷潔:自然災害科学,39(3), pp.221-251,2020年.(千曲川の決壊による長野市の浸水被害)

#### 13) 2020 年 7 月の梅雨前線豪雨により熊本県球磨村の渡地区で発生した洪水災害の被害調査

梅雨前線豪雨により、2020年7月3日12時から翌4日12時までの24時間降水量は、熊本県の天草・ 芦北地方から球磨地方を中心に400mm以上を観測した。本豪雨により、芦北地方では土石流災害や浸水 被害が発生した。特に、球磨川中流の球磨村では、渡水位観測所では4日7時30分に12.88mを観測し た後、水没により欠測となった。渡地区にある特別養護老人ホーム千寿園は氾濫平野の低平地に立地し、洪 水ハザードマップ(計画規模)では浸水想定区域外であるが、想定最大規模のハザードマップでは10~ 20mの浸水が想定されていた。急激な水位の上昇により2階への避難が間に合わず、入所者14人が亡く なる人的被害が認められた。渡地区の峯集落では最高760cmの浸水痕跡が確認され、国土地理院が作成 した浸水推定図の8~9mとほぼ一致しており、甚大な浸水地域では遊水地の整備が計画されている。 山本晴彦・渡邉祐香・兼光直樹・坂本京子・岩谷潔:自然災害科学、40(1)、pp.103-122、2021年.

### 線状降水帯と災害発生の関連に関する研究

田邉 虎太郎・朝位 孝二 山口大学大学院創成科学研究科

#### 1. はじめに

近年降水帯が線状の形態をとる線状降水帯が着目されている.線状降水帯は、積乱雲群が数時間に わたって同じ場所を通過、停滞することで作り出される.線状に伸びる長さ 50~300km 程度、幅 20~50km 程度の強い降水をともなう雨域である.線状降水帯が発生しているところではバックビルデ ィングと呼ばれる現象が発生している.バックビルディングとは積乱雲が上層の風に乗って移動し、 移動した後に上層と方向の異なる下層の風によって水蒸気が運ばれそれが上昇し新たな積乱雲が発生 する.これら一連の現象が継続的に発生することで狭い範囲で強い雨が継続する.このときの降水帯 が線状になっていることから線状降水帯と呼ばれている.線状降水帯では豪雨となりやすいため河川 氾濫や土砂災害の発生が懸念される.このため線状降水帯と災害は密接な関係があるため気象庁では 線状降水帯の発生予測を開始している<sup>1</sup>.

さて、山口県においても近年豪雨災害が多発しており、線状降水帯の発生も報告されている.そこ で山口県で発生し線状降水帯と災害発生リスクの関係について検討行うことが大切である.本研究で は解析雨量から山口県で発生した線状降水帯を抽出し、災害発生の関連を試みたものである.

#### 2. 山口県における線状降水帯

本研究では解析雨量を用いて線状降水帯の形状について検討をおこなう.解析雨量は 1988 年から 5km<sup>2</sup>メッシュで運用された.その後解像度が向上し 2006 年から 1km<sup>2</sup>メッシュで運用されている.そ こで本研究では 2006 年以降の豪雨災害を対象とする.本研究で調査の対象とした災害事例は平成 21 年(2009 年)7月 21 日に防府市で土砂災害を引き起こした豪雨,平成 22 年(2010 年)7月 15 日に 厚狭川,木屋川で氾濫を引き起こした豪雨,平成 25 年 7月 28 日に阿武川,須佐川,田万川で氾濫を 引き起こしたの豪雨,平成 30 年(2018 年)8月に島田川の氾濫や獺越や周東で土砂災害を引き起こし た豪雨を対象とする.また参考として広島市で土砂災害を引き起こした平成 26 年(2014 年)8月 20 日の豪雨,平成 27 年(2015 年)台風 15 号の事例を加えた全 6 事例である.緯度(33.4°~34.8°), 経度(130.8°~132.3°)の範囲において,事例ごとに解析雨量を抽出しこの範囲内での雨量分布の解 析を行った.図-1 に各豪雨事例の最大降雨時の解析雨量分布を示す.

図-1(a)は防府市で土砂災害を引き起こした事例である. 2009 年7月21日8時に 50~80mm/h の強い 雨域が下関から防府にかけて東西に延びており,豪雨をもたらす線状降水帯が確認できる. 解析対象 範囲内の 1mm/h 以上の降雨面積(降雨が認められた範囲)は 14,399m<sup>2</sup>, 30mm/h 以上の降雨面積は 3,199m<sup>2</sup>, 50mm 以上の降雨面積は 1,099m<sup>2</sup>, 80mm/h 以上の降雨面積は 103m<sup>2</sup>となった. この豪雨で は7月21日の8時頃に土砂災害警戒情報が発表され<sup>2)</sup>, 12時頃に防府市で土石流が発生している. ここでは示していないが9時, 10時の降雨分布を精査すると 80mm/h を越える強い降水帯は防府市の 土砂災害発生地域には掛かっていないことが分かった. 花崗岩地質であることが大きな要因であるこ とが改めた分かった.

図-1(b)は厚狭川、木屋川氾濫時の事例である. 2010年7月15日7時に1mm/h以上の降雨面積が最

5



大となり 12,872m<sup>2</sup>であった.また 30mm/h 以上で 343m<sup>2</sup>, 50mm/h 以上で 155m<sup>2</sup>, 80mm/h 以上で 9m<sup>2</sup> であった.1mm/h 以上の降水帯は全体的に南西から北西に伸びている.山口県西部に豪雨が集中して いる.厚狭川では 7月 15日 8時以降に橋や浄水場で冠水が発生 <sup>3</sup>しているので,最大降雨時の 7月 15 日 7時の大雨が厚狭川の氾濫に大きく影響していると考えられる.

図-1(c)は阿武川などの氾濫事例 <sup>4</sup>で 2013 年 7 月 28 日 11 時に降雨面積が最大となり 11,407m<sup>2</sup> であった. 30mm/h 以上の降雨面積は 828m<sup>2</sup>, 50mm/h 以上の 542m<sup>2</sup> である. 降水帯は日本海から須佐に向かって伸びている. 80mm/h 以上が 313m<sup>2</sup> とである. 30mm/h 以上の降雨面積において 80mm/h 以上の降雨が占める割合が 37.8%となっており,非常に強い雨が阿武川をはじめとする各流域に降った

6



ことが理解できる.

図-1(d)は広島市の土砂災害の事例である. 2014 年 8 月 20 日 2 時に降雨面積が最大となり 5,146m<sup>2</sup> である. 30mm/h 以上の降雨面積は 82m<sup>2</sup>, 50mm 以上の降雨面積は 31m<sup>2</sup>となり, 80mm 以上の降雨面 積は無かった. この事例の線状降水帯は極めて狭く,山口県東部の一部に降水帯が掛かっている程度 であり,山口県には大きな被害は無かった.

図-1(e)は台風性の豪雨の事例である. 2015 年 8 月 25 日 10 時に降雨面積が最大となり 14,192m<sup>2</sup>, 30mm/h 以上の降雨面積は 4,087m<sup>2</sup>, 50mm/h 以上の降雨面積は 1,405m<sup>2</sup> となり, 80mm/h 以上の降雨面積は 358m<sup>2</sup>である. 山口県西部に三本の北北西に伸びる降水帯が見られる. またこの降水帯から離れた県東部にも豪雨域が見られ,台風特有の降水帯となっている. この台風は高潮警報が発令されており,豪雨に加えて海岸災害も懸念された.

図-1(e)は西日本豪雨災害の事例である<sup>5)</sup>. 2018 年 7 月 7 日 2 時に降雨面積が最大となり 10,204m<sup>2</sup>, また 30mm/h 以上の降雨面積は 666m<sup>2</sup>, 50mm/h 以上の降雨面積は 150m<sup>2</sup> となり, 80mm 以上の降雨は 無かった. 2009 年の防府市土砂災害と同様に 80mm/h を越える豪雨は無かったが,花崗岩地質のた め,岩国市周東町や周南市樋口で土砂災害が発生し犠牲者がでた.山口県光市<sup>5</sup>では 8 日未明に島田 川の氾濫が発生したが島田川流域に降水帯が位置してた.

#### 3. 山口県における線状降水帯の分布

図-2 は図-1 に示した解析雨量の時間雨量分布から線状降水帯の位置と長さを読み取り、それを山口 県上によりプロットしたものである.2013 年の須佐の線状降水帯は日本海側から陸域へと伸びており. 海上からの発達した積乱雲が須佐町、萩市に連なっていったものと考えられる.2009 年と2018 年の

順位	事例日時	時間雨量80mm以 上の面積(m2)	災害事例の名称
1	2015082510	358	平成27年台風15号
2	2013072811	313	平成25年7月山口・島根豪雨
3	2015082509	204	平成27年台風15号
4	2013072812	191	平成25年7月山口・島根豪雨
5	2013072810	145	平成25年7月山口・島根豪雨
6	2009072108	103	平成21年中国・九州北部豪雨
7	2009072109	38	平成21年中国・九州北部豪雨
8	2013072809	37	平成25年7月山口・島根豪雨
9	2013072808	15	平成25年7月山口・島根豪雨
10	2010071507	9	平成22年7月15日大雨

表-1 対象領域での降雨 80mm 以上の面積上位 10 位以内の事例

線状降水帯は内陸で発達している.この豪雨では土砂災害による犠牲者が発生したが,降雨量の他に 地質が強く関係していた.2010年の降水帯は他の事例と比べると2015年の台風15号による線状降水 帯は何本もの降水帯が現れるのが特徴的である.

表-1 は各事例の中で 80mm/h 以上の降雨面積の上位 10 位を示したものである. 2013 年の豪雨と 2015 年の台風 15 号で 80mm 以上の降雨が多く確認され, 10 位以内中 7 個を占めている. 2015 年 8 月 25 日 10 時に 358m<sup>2</sup> の面積を記録している. 6 つの事例で降雨も規模が最も大きいことが分かる.

#### 4. おわりに

本研究では山口県で発生した6つの豪雨事例を対象とした,線状降水帯と災害発生の関連の調査を 試みた.結果として,近年の事例では2013年7月豪雨と2015年の台風15号が80mm以上の降雨面 積で最大の規模であることが分かった.

災害の程度は降雨強度の他に降雨時間も関わっている.台風は比較的短時間で雨域が移動するが, 前線では比較的長く停滞する場合がある.今回は1時間雨量に直目したが,24時間雨量や48時間雨 量などの積算値での検討も行う予定である.

#### 参考文献

1) 線状降水帯に関する各種情報:気象庁,

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/kishojoho\_senjoukousuitai.html

2) 2009 年(平成 21 年) 中国·九州北部豪雨: 内閣府,

https://www.bousai.go.jp/kaigirep/houkokusho/hukkousesaku/saigaitaiou/output\_html\_1/pdf/200901.pdf

3) 平成 22 年 7 月豪雨による厚狭川水系断水事故報告:山陽小野田市水道局,

https://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/tantousya/2010/dl/01n.pdf

- 4) 平成 25 年 7 月 28 日山口・島根豪雨災害調査報告:水工学委員会山口・島根水害調査団, https://committees.jsce.or.jp/report/system/files/201307yamaguchi-shimane.pdf
- 5) 平成 30 年 7 月豪雨:山口県, https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/uploaded/attachment/20218.pdf

## アメダスデータを用いた山口県の暖候期における 降雨特性に関する研究

朝位 孝二・田邉 虎太郎 山口大学大学院創成科学研究科

#### 1. はじめに

防災においては避難行動が重要であるが、その行動開始のタイミングが難しい. 避難指示が発令 された時点では豪雨になっており避難行動ができない可能性がある.特に夜間の避難は非常に危険で あり、明るいうちでの避難行動が重要である.適切な避難行動のためには降雨の日変化特性を正しく 理解しておくことが必要と考えられる.栗原・加藤 いは九州を対象にレーダーアメダス解析雨量デー タを用いて 1996年6月15日1時から7月8日24時までの23日間データを解析して降雨の日変化 について調べた.その結果、朝6時から9時で豪雨の範囲が最大となり、21時から23時にかけて最 小になることを見出した.また、西山ら20も九州全域を対象に2006年から2020年の暖候期(6月1 日~9月30日)の解析雨量を用いて時間帯別の降水特性を検討した.その結果、就寝時間帯を含む午 前に豪雨が発生しやすい傾向があることを見出した.これらの研究は南シナ海からの水蒸気供給が顕 著な九州を対象としている.そこで本研究ではアメダスデータを用いて中国地方である山口県を対象 として時間帯別の降水特性を検討するものである.

#### 2. 解析データ

1 章で述べたように本研究では地上雨量計で あるアメダス(AMeDAS,地域気象観測システム)のデータを用いる.アメダスは1976年より 運用されているので、1976年から2022年の暖 候期(6月1日~9月30日)雨量を用いた.本 研究で解析雨量でなく、アメダスを用いた理由 は二つある.一つは解析雨量の運用は1988年 からであり(現在の1km<sup>2</sup>メッシュデータは2006 年以降)、アメダスの運用年数のほうが長い事 である.もう一つは先に紹介した先行研究は陸 域だけでなく海域も含んだ降雨を対象とした





広い範囲で検討しているが、ここでは陸域の局所的な降雨特性を対象としいるからである.

#### 3. 解析結果

図-1 に本研究で対象とした山口県内の雨量観測所の位置を示す.全部で 16 箇所である.アメダスの雨量観測所は他にも存在しているが,1976年以降のデータが存在している観測所を選出した.図-2 に時間帯別の 0.5mm/h 以上の降雨(降雨があったと認められる雨量)の出現回数を示す.縦軸は降雨の出現回数で,横軸は時刻である.例えば2時であれば前1時間(この場合1時から2時)時間雨量が出現回数の対象となる.図-2 は全観測所の合計である.最高値は7時9,067回であり,最低値は22時の 6534回である.1時から出現回数の動向をみれば,明け方に向かって出現回数は増加し7時にピ





図-2 0.5mm/h 以上の時間帯別出現回数



ークを取って、その後 13 時まで減少していく.13 時以降は 15 頃まで若干増加傾向にある。その後は 18 時まではほぼ横ばいである。19 時から再び減少傾向になり 22 時で最低値を取る。23 時から増加に 転じ、明け方まで増加する。これは先行研究で指摘されているように朝に豪雨範囲が大きくなること と一致している。なお、出現回数の 9 割以上を占める時間雨量は 10mm/h 以下の降雨である。

図-3 に 30mm 以上の降雨の時間帯別出現回数を示す. 全体的には図-2 と同様の傾向があり 7 時に ピークと 17 時にピークをとることが分かる. それぞれ 75 回および 60 回である. また 11 時前後と 23 時前後は出現回数が低くなる. 11 時で 34 回, 23 時で 25 回である.

図-4 に 50mm 以上の降雨の時間帯別出現回数を示す. 全体的に降雨事例が少なくなってきているが, 6時から10時までの午前中に出現回数が多い. 10時以降は18時まで減少傾向にあり,これまでの傾向とは異なる. 19時以降増加傾向にある. 着目すべきは夜間の1時に7回を記録していることで

2









ある. 50mm 以上の豪雨が夜間に多く発生していることは防災上注意を要する.

図-5 に 80mm 以上の降雨の時間帯別出現回数を示す. 全体の出現回数は6回であり発生事例は極め て少ない. 発生時間帯は6個あるがすべて発生回数は1回である. 12時以降の発生回数は2回である ので,多くは深夜を含めて午前中に発生している.

これまでは山口県全体で時間帯別降雨出現回数を見てきた.ここでは観測所雨量別に出現回数を見てみる.代表として瀬戸内海側の宇部観測所と日本海側の萩観測所を取り上げる.また紙面の都合上30mm/hの場合を図-6に示す.両観測所とも30mm/h以上の豪雨を記録していない時間帯が存在する. 宇部では3時,14時,24時,萩では20時,21時,23時である.宇部では8時,9時に5回記録している.萩では8時に6回を記録しておりやはり朝の時間帯に豪雨が発生しやすい傾向にある.一方午後において宇部では12時から17時は出現が少ないが17時以降に出現回数が増える.しかし24時,1



 7

 6

 5

 4

 3

 2

 1

 0

 1
 2

 1
 2

 1
 2

 1
 2

 1
 2

 1
 2

 1
 2

 1
 2

 1
 2

 1
 2

 1
 2

 1
 2

 1
 2

 1
 2

 1
 2

 1
 2

 1
 2

 1
 2

 3
 3

 4
 3

 5
 6
 7

 8
 9
 10
 11

 1
 12
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24

 1
 1
 1
 <

(a) 宇部観測所

#### (b) 萩観測所

図-6 宇部観測所と萩観測所における 30mm/h 以上の時間帯別出現回数

時,2時の深夜には発生回数は少ない.一方萩では8時以降の出現回数は少なくなるが24時~1時で は出現回数が多くなっている.また,両者とも3時,4時の就寝中の時刻にも発生回数が多くなって いる.深夜もしくは就寝中の時刻における豪雨には注意が必要である.

#### 4. おわりに

山口県全体では7時を前後の朝に降雨の発生回数が多くなり、その後減少して夕方頃に回数が再び 増加する傾向が見て取れた.今後はさらに詳細な解析を行う予定である. 参考文献

- 1) 栗原和夫・加藤輝之:九州の梅雨期における降雨の日変化の特徴, 天気, 44, 9, 15-20, 1997.
- 2) 西山浩司・白水元・朝位孝二:自己組織化マップに基づく九州地方における豪雨の発生時間帯の 傾向に関する分析,77巻,2号,1\_1135-1\_1140,2021.

## 深層学習を用いたリアルタイム河川水位予測 システムに関する基礎的検討

#### 福丸大智\*・赤松良久\*・新谷哲也\*\* \*山口大学大学院創成科学研究科,\*\*東京都立大学都市基盤環境学科

#### 1. はじめに

気候変動に起因した集中豪雨の激甚化に伴い,全国各地で毎年のように洪水氾濫被害が発生している.災害時に逃げ遅れによる人的被害を軽減するためにも,流域一貫の河川水位を即時的かつ高精度 に予測し,リアルタイムで表示するシステムが求められている.本研究で用いた深層学習手法は,多 種多様なパラメータの同定なしに,瞬時の水位予測が可能<sup>1),2)</sup>であり,従来用いられる物理モデルの ように地形や河道断面などの複雑なデータを必要としない.そのため,雨量や水位などの基本的な諸 量のみに基づいて瞬時の水位予測が可能である.我が国においても,深層学習モデルの適用は進んで いるものの,実運用を前提としたシステム化やその有用性に関する検討は不足している.

そこで、本研究では流域一貫の高精度な水位予測情報をリアルタイムで瞬時に提示可能とすること を目的に、深層学習を用いてリアルタイム河川水位予測システムを開発し、システムの有用性に関す る基礎的検討を実施した.

#### 2. 方法

#### 2.1 対象河川

対象河川は、厚東川流域とした(図-1).本川の厚東川は山口県美祢市秋芳町を源に発し、厚東川ダムにおいて支川の大田川と合流した後に宇部市の市街地に流下する流域面積約405km<sup>2</sup>,幹川路延長59.9kmの二級河川である.流域内には雨量観測所が7地点,水位観測所が7地点位置ある.なお、潮位変動の影響を受け、なおかつ後述の検討期間中に水防団待機水位を超過するような増水が見られなかった中川水位観測所は精度検証の対象から除く.

#### 2.2 リアルタイム河川水位予測システムの開発

本研究で開発したリアルタイム河川水位予測システムの概念図を図-2に示す.このシステムは、 リアルタイムの観測データの自動取得から予測水位のグラフ表示までを一体的に可能とする.まず、 山口県土木防災情報システム<sup>3)</sup>から10分間隔の水位、雨量データを逐一取得する.そして、取得し たデータを基に、学習済みの深層学習モデルにより流域内全地点における3時間先の水位を10分間 隔で予測する.さらに、流域内全地点における視認性の高い水位ハイドログラフが自動出力される. これにより、将来的な水位変化に加え、水防団待機水位、氾濫注意水位、避難判断水位および氾濫注 意水位の基準水位との関係をユーザー自身で確認可能とした.

システムに実装している深層学習モデルには、時系列データの学習・推論の能力が高く、長期の 時系列情報の保持が可能な Long Short Terms Memory(以降,LSTM と表記)<sup>4)</sup>を使用した.LSTM は、 再帰型ニューラルネットワーク(Recurrent Neural Network: RNN)の一種である.従来型の RNN は学 習計算時に誤差関数の勾配が0となる勾配損失や発散する勾配爆発に起因する短期記憶問題が生じ得 る.それに対して、LSTM は①過去の記憶を保持する記憶セル、②入力データの制御をする入力ゲー



#### **図-1** 厚東川流域

ト,③不要な情報を忘却する忘却ゲート,④ 出力データの制御をする出力ゲートを通して 不要な情報は忘却しつつ時系列情報の保持が 可能なので短期記憶問題は改善される.深層 学習モデルは、過去72時間前から現在までの



図-2 リアルタイム河川水位予測システム表-1 ハイパーパラメータの設定値

	各値
バッチサイズ	512
エポック数	150
中間層のノード数	400

流域内全地点における1時間毎の雨量,水位変化を入力に与え,3時間先の流域内全地点における水 位変化を1時間間隔で同時予測する構造とした.なお,深層学習モデル自体,1時間間隔で水位予測 をするものであるが,リアルタイム水位予測システムではこの予測を10分毎に行うことで,10分間 隔の予測結果表示を実現している.

#### 2.3 検討条件

本研究では、2000年9月~2020年12月で観測された1時間間隔の雨量(mm/h),水位(cm)を使用 し、深層学習モデルに入出力データ間の関係性を学習させた.また、学習時に使用する雨量と水位の スケール間で大きな偏りがある場合、学習に悪影響を及ぼすことが考えられる.そこで、本研究では 福丸ら<sup>20</sup>の手法に従い、各種データの平均値が0、標準偏差が1となるような標準化を施した.学習時 に設定が必要なハイパーパラメータのバッチサイズ、エポック数、中間層のノード数に関しては、試 行錯誤的に決定し、表-1に示す値とした.この学習済みのモデルをリアルタイム河川水位予測システ ムに実装し、厚東川流域で増水が見られた令和4年台風第14号の増水を含む期間(2022/9/180:00~ 2022/9/210:00)を対象に、実際にリアルタイムの河川水位予測を実施した.

#### 3. 結果

システムにより出力された水位ハイドログラフを図-1に示す.まず,実測水位が氾濫注意水位以下 となる平水時に関して,予測水位は実測水位をよく再現している.ハイドログラフの立ち上がり時に 関して,下流域の末信橋,持世寺水位観測所および木田橋水位観測所は実測水位を非常に良好に再現 し,避難時に重要となる基準水位を超過するタイミングまで高精度に捉えた.一方,上流域に位置す る岩永,綾木,信高橋水位観測所に関しては,立ち上がりが大きく遅れ,その後の時系列も実測水位 を過小評価し続ける結果となった.これは,集水域面積の小さい上流地点では,降雨発生後にハイド ログラフが立ち上がるまでの時間が短く,短時間当たりの水位変化量も大きいことから,モデルがそ の傾向を予測しきれなかったためと考えられる.ピーク水位付近の時系列に関して,下流域の末信橋,



持世寺水位観測所および木田橋水位観測所は過大評価傾向が見られたものの,安全側の予測であることも踏まえると,概ね良好に予測していることが分かる.しかしながら,いずれの地点も逓減時は過 大評価傾向を示した.これは、ピーク水位を過大評価したことに伴い、逓減時の水位も過大評価した ものと考えられる.

精度を定量的に評価するために、①ハイドログラフの時系列全体の再現性を表す Nash-Sutcliff 係数(以下, Nash 係数と表記)の、②ピーク水位の誤差率 J<sub>pe</sub>(%)、③ピーク水位発生の遅れ時間(TE)の3種類の指標を用いた. それぞれの指標の定義を式(1)~(3)に示す.

Nash = 
$$1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} (H_{si} - H_{oi})^2}{\sum_{i=1}^{N} (H_{oi} - H_{oave})^2}$$
 (1)

$$J_{\rm pe} = \frac{H_o^{Max} - H_s^{Max}}{H_o^{Max}} \times 100$$
<sup>(2)</sup>

$$TE = T_s^{Max} - T_o^{Max}$$
(3)

なお、 $H_{oi}$ ,  $H_{si}$ はi番目のデータにおける実測水位および予測水位、 $H_{oave}$ は実測水位の時間平均(cm),  $H_{o}^{Max}$ ,  $H_{s}^{Max}$ はそれぞれ実測、計算のピーク水位であり、 $T_{o}^{Max}$ ,  $T_{s}^{Max}$ それぞれ実測、計算ピーク水位の 発生時刻である.また、Nash 係数は 1.0 の場合に完全予測を表し、0.7 以上でハイドログラフの再現性 が良好と判断される<sup>5)</sup>.さらに、Nash 係数は平水時だけではなく、予測上重要な高水位時全体の再現 性も評価するために、実測水位が水防団待機水位を上回った時系列においても算出した.図-4 に、各 種指標を算出した結果を示す.まず、計算期間全体で算出した Nash 係数について、流域内全地点にお

いて 0.8 を上回り、数値上はハイドログラフ全体における再現性が良好と判断された.一方で、水防 団待機水位以上の時系列で算出した Nash 係数は全地点で 0.7 を下回った.この結果に関して、本シス テムは平水位時の再現性は高いものの、特に上流域では高水位時に課題があることを示している.ま た、下流から上流にかけて値が低くなる傾向が確認され、綾木および信高橋水位観測所では負値であ った.これは、図-3で示したように、上流域はハイドログラフの立ち上がりが大幅に遅れたためであ る. 下流域の末信橋, 持世寺および木田橋水位観測所における Nash 係数が低かったのは, 逓減時を全 体として過大評価したためと考えられる.次に,J<sub>e</sub>を全地点で評価すると,最大で10%程度の誤差で あり、ピーク水位の再現性は概ね良好である.各地点で比較すると、下流域の木田橋、持世寺、末信 橋水位観測所のJ<sub>we</sub>は過大評価傾向であり、10%程度と上流に比較して若干大きかった.この結果に関 して、図-1から厚東川流域の雨量観測所の位置を見ると、下流域の雨量観測所の散布はほとんどない. そのため、モデルが下流域の降雨発生後からピーク水位までの過程を完全に表現できず、このような 結果になった可能性が考えられる. 今後, このような雨量観測所の空間分布が精度に及ぼす影響を検 討する必要がある.また,木田橋水位観測所の上流約1.5kmに厚東川ダムが存在している.本来,モ デルが入出力間の関係性を学習する過程でダムの洪水調節による影響を受けた水位変化も学習すると 考えられるが、このような影響を直接的に学習させた場合に比べては精度が劣ったと推察される.最 後に, TE は下流から上流に向かって大きくなっていることが分かる. さらに, 信高橋および綾木水位 観測所に関しては, TE が 3h 以上と非常に大きい. これは, ハイドログラフの立ち上がりが遅れたた め、それに付随してピーク水位の発生も遅れたためである.一方、下流域の木田橋、持世寺水位観測 所についても最大で1.5h 程度の遅れが生じた.これは、図-3から明らかなように、立ち上がりの再現 性は良好であったが、ピーク水位の過大評価に伴って逓減時が良好に再現されなかったためである.

#### 4. まとめ

本研究では、深層学習を用いて観測データの自動取得から予測水位のグラフ表示までが一体的に可 能なリアルタイム河川水位予測システムを開発し、山口県厚東川流域において令和4年台風第14号 時の増水期間を対象に精度評価を実施した.その結果、下流域の多地点では避難時に重要となる基準 水位を超過する時刻の水位やピーク水位を良好に捉えた.一方で、下流域においても逓減時の再現性 が低かったほか、上流域はハイドログラフの立ち上がりからピーク水位時にかけて大幅な遅れが確認 され、ピーク水位発生時刻の遅れは3h以上と大きかった.以上より、下流域に位置する水位観測所で は基準水位超過時の水位変化や、その後のピーク水位を概ね良好に予測したものの、流域一貫した高 精度な予測の実現という観点からは実用上課題がある.今後は、他流域への適用を通した知見の蓄積 に加え、雨量観測所の空間分布が予測精度に与える影響分析等を通して現状のシステムの課題解決に 向けた検討が必要である.

#### 5. 参考文献

- 一言正之, 櫻庭雅明, 清雄一: 深層学習を用いた河川水位予測手法の開発,土木学会論文集 B1(水工学), Vol.72, No4, I\_187-I\_192, 2016
- 2) 福丸大智,赤松良久,新谷哲也,藤井晴香:深層学習を用いた流域内多地点における河川水位・流量予測モデルの 開発,土木学会論文集 B1(水工学) Vol.77, No2, I\_1231-I\_1236, 2021.
- 3) 山口県土木建築部河川課・砂防課・港湾課:山口県土木防災情報システム, http://y-bousai.pref.yamaguchi.lg.jp/kco\_top.aspx.
- 4) Hochreiter, S. and Schmidhuber, J.: Long Short-Term Memory, Neural Computation, Vol.9, No.8, pp.1735-1780, 1997.
- Nash J. E. and Sutcliff J. V.:River flow forecasting throu-gh conceptual models part I-A discussion of principles, Jo-urnal of Hydrogy, Vol.10, pp.282-290, 1970.

## 数値シミュレーションを用いた

## 土石流を起因とする河川氾濫リスクの評価

江口翔紀<sup>1)</sup> ・ 大中臨<sup>1)</sup> ・ 赤松良久<sup>1)</sup> <sup>1)</sup>山口大学大学院創成科学研究科

#### 1. はじめに

近年,気候変動の影響で頻発する豪雨災害に伴い,土石流と同時に他の災害が発生する複合災 害の発生が頻発している.平成30年7月豪雨では,山口県岩国市獺越地区において,土石流で発 生した大量の土砂が,河道内に流出することに起因する河川氾濫によって多大な被害が発生した. 当該災害について大中ら<sup>1)</sup>は,UAV写真測量と数値シミュレーションを用いて実態解明を試み, 土石流の発生が無ければ河川氾濫が発生しなかったことを明らかにしており,土石流を起因とし た河川氾濫への対策の必要性を示している.現状の土石流警戒区域の情報だけでは,このような 複合災害の被害を予測することは困難であるため,複合災害の発生機構を解明し,今後の複合災 害の防災・減災対策を講じていくことが必要である.

そこで本研究では、土石流を起因とする河川氾濫の特性を明らかにするために、土石流が河道 に流出するまでの土石流シミュレーション、および河床に土砂が堆積することを反映した状況で の河川氾濫シミュレーションを実施し、土石流を起因とする河川氾濫のリスク評価を行った.

#### 2. 土石流シミュレーション

#### 2.1 方法

土石流シミュレーションには iRIC の Morpho2DH を用いた. なお,解析対象地域は,山口県長 門市湯本地域(図-1)とした.この地点は,観光地であり家屋や商業施設が多く,人口が密集して



図-1 解析対象地域の概観(山口県長門市湯本地域)

いるが,地域が山麓の河川沿い(深川川)に位置 しており、付近には計4か所の土石流警戒区域 が河道に沿って分布しており、土石流による河 川氾濫の被害を受ける危険性が高いと考えられ る. 源頭部の位置は、図-1 に記した土石流警戒 区域に指定されている危険渓流沿いの 0 字谷の 遷急点とした.地形データは国土数値情報の10m メッシュの DEM を内挿補間したものを使用し た. その他パラメータを表-1に示す. なお, パラ メータは iRIC の技術報告書<sup>2)</sup>を参考とした.

表-1 土石流シミュレーションの条件

計算格子サイズ	2m × 2m
タイムステップ (s)	0.01
斜面崩壊面積 (m)	5 × 5
斜面崩壊深さ(m)	0.3
最大浸食深さ(m)	0.1
土砂濃度	変化
静止堆積濃度	0.6
液体として振る舞う土砂割合	0.2
土砂粒径,最小流動深(m)	0.01
内部摩擦角 (Degree)	34
層流層の厚さの比	0.4
抵抗係数	72

#### 2.2 結果

土石流シミュレーションの結果を図-2に示す.土石流シミュレーションの結果,発生した土石 流は渓流沿いを発達し、多くの家屋や鉄道線路を巻き込みながら河川へ流出した、シミュレーシ ョン結果より算出した河道内への流出土砂量は1807.00m<sup>3</sup>であり,非常に多くの土砂が流出するこ とが分かった.なお、シミュレーションでは流木や石などの流出を考慮していないため、実際に 河道へ流出する体積はこれよりも多いと考えられる.また、土石流による土砂流出範囲が警戒区 域を超えており、土石流警戒区域外であっても土石流や土石流による河川氾濫の危険性があるこ とが明らかとなった.



(a) 土石流発生後の土砂堆積厚分布

図-2 土石流シミュレーションの結果

#### 3. 河川氾濫シミュレーション

#### 3.1 方法

河川氾濫シミュレーションには iRIC の Nays2DFlood を用いた. 地形データは解析対象地域を UAV 空撮したものを基に作成した DSM (2.7cm/px) を用いた. なお, DSM は神野ら<sup>3)</sup>の手法によ り水面下の地形補正を実施している.また,対象 地域が属する深川川流域で降雨流出氾濫モデル

(以下, RRIモデル)を用いて、当該地点の既往 最大豪雨である 2010 年の豪雨を対象に降雨流出 解析を行い,上流端および下流端の境界条件を得 た.また、マニングの粗度係数は河道内を 0.03、 それ以外を 0.02 として設定し, 計算格子は 2m間 隔とした.計算範囲を図-3示す.なお本研究で は、Casel: 土石流の影響を反映しない場合、 Case2: 土石流による河道への土砂堆積を反映し た場合, Case3: 土石流による河道への土砂堆積 に加えて橋梁部での河道閉塞を反映した場合の 3パターンで計算を行った.土石流による河道へ の土砂堆積を考慮した計算(Case2,およびCase3) では、土石流シミュレーションの結果より算出し た河道への土砂堆積厚を地形データに反映した. また,橋梁部での河道閉塞を反映した計算 (Case3)では、土石流による最も被害が大きい と考えられる橋梁で水を通さない障害物を設定した.



図-3 河川氾濫シミュレーションの 計算範囲および橋梁の位置



図-4 河川氾濫シミュレーションの結果(最大水深)

#### 3.2 結果

図-4 に Case1~Case3 で得られた橋梁付近 の最大水深コンターを示す. Casel に比べて、 Case2 では、全体的に水深がやや高くなって いる様子が確認できる.これは、土砂堆積箇 所で流水が堰上げられたことや,河道断面積 が縮小したことが要因と考えられる. 当該結 果より, 土石流による河道への土砂堆積によ って,河川氾濫のリスクが増大することが示 唆された.また,Case2の場合でも河川氾濫 は発生していないことから,この地点の河川 は,豪雨時の流下能力が高く,河道への土砂 堆積のみでは河川氾濫の決定的な要因には なり得ないと考えられる. Case3 では, 河道 閉塞に伴う流水の阻害により,橋梁より上流 で堰上げにより水深が著しく高くなり, 氾濫 が発生している様子を確認できる. 左岸側で は複数の家屋が浸水し、右岸側では道路から 沿岸のホテル駐車場にかけて大規模な迂回 流が発生した. Case3 における右岸側迂回流 発生時の流速分布を図-5に示す.図-5より,



図-5 Case3 における右岸側迂回流発生時 の流速分布

橋梁の近傍では流速 7m/s を超える流れが発生していることが確認でき, 護岸や河床が浸食される 危険性が高いことが示された.したがって,この地点では,土石流による河道への土砂堆積に加 えて,橋梁部での河道閉塞が発生することにより河川氾濫が発生し,付近の家屋への浸水被害お よび護岸や河床の浸食・破壊が発生する危険性があることが明らかとなった.

#### 4. 結論

土石流による河川氾濫の危険性が高いと考えられる地点において、土石流の影響を考慮した河 川氾濫シミュレーションを実施した.その結果、当該地点においては、土石流による河道内への 土砂堆積のみでは氾濫は発生せず、河道内での土砂堆積に伴い、供給された流木や土砂などが橋 梁部で堆積することにより、河道閉塞が発生することで氾濫が発生することが明らかとなった. 以上より、土石流による河道内への土砂や流木の流出が、河川氾濫のリスク増大に大きく影響す ることが示された.また、本検討より、土石流を起因とする河川氾濫の被害予測において、数値 シミュレーションが有用であることが考えられる.

#### 参考文献

大中ら (2019) 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 75, No. 1, pp.260-269
 田中 (2016) 応用技術株式会社 OGI Technical Reports, Vol. 24, pp.39-44
 神野ら (2017) 河川技術論文集, 第 23 巻, pp.185-190

## 筑後川支流下弓削川流域における 土地利用変遷による水害リスクの変化

古場杏奈<sup>1</sup>·山本晴彦<sup>1</sup>·松岡光美<sup>2</sup>

1山口大学大学院創成科学研究科・2山口大学農学部(現 厚生労働省広島労働局)

#### 1. はじめに

2018年7月、梅雨前線や台風7号の影響により、西日本を中心に全国的に広い範囲で記録的な大雨となった<sup>1)</sup>。福岡県久留米市においても大雨となり、内水氾濫による浸水被害が発生した。本研究では、2018年7月豪雨において、広島県、岡山県に次いで浸水被害の大きかった福岡県<sup>2)</sup>の中でも筑後川支流下弓削川流域の久留米市合川地区を対象として、豪雨災害に関連する社会構造の中でも特に土地利用に注目して、土地利用の変遷によってもたらされる水害リスクの変化を明らかにすることを目的とする。

#### 2. 対象地域および 2018 年 7 月豪雨による浸水被害の概要

図1には、九州地方および久留米市周辺の色別標高図を示した。本研究の対象地域である久留米市 は福岡県南西部の筑後平野に位置しており、久留米市を流れる筑後川は、熊本県、大分県、福岡県、 佐賀県の4県を流れる九州最大の一級河川であり、流路延長は143.0km、流域面積は2,860km<sup>2</sup>であ る。



図1 九州地方および久留米市周辺の色別標高図(国土地理院「地理院地図」より、筆者が加筆)

図2には2018年7月4~6日における久留米ア メダスの時間降水量・積算降水量の推移を示し た。7月6日に久留米アメダスで、日降水量の値 が当時観測史上最大となる277mmを記録し、水文 統計ユーティリティを用いて、久留米(アメダ ス)の日降水量のリターンピリオド(再現期間)

> **図2** 2018年7月4~6日における久留米 アメダスの時間降水量・積算降水量の推移



を算出すると50~100年であった。本豪雨により、筑後川と支流の水位は一斉に上昇し、久留米市内 を流れる筑後川では破堤や堤防からの越水などの外水氾濫は発生しなかったものの、支流の下弓削川

(流域面積は 5.0km<sup>2</sup>) と江川(流域面積は 4.7km<sup>2</sup>)の流域では内水氾濫が発生した。内水氾濫とは 堤内地の低平な土地に強い雨が降り続くと、下水道や小河川・排水路・側溝では雨水が排水出来ずに 地表面に滞留し、溢れ出して道路や建物が浸水する現象である<sup>3)</sup>。図 3 には、2018 年 7 月豪雨にお

ける下弓削川・江川流域の浸水 範囲を示した。下弓削川流域で は床上浸水 304 戸、床下浸水 1,059 戸の浸水被害が発生して いる一方で、江川流域では住宅 の浸水被害は発生しておらず <sup>4)</sup>、QGIS を用いて浸水面積を算 出した結果、約 245ha(下弓削 川流域 115ha、江川流域 130ha)であった。



図3 下弓削川・江川流域の浸水状況(水色が浸水範囲) (福岡県河川整備課(2020)を基に筆者らが作成)

#### 3. 合川地区における土地利用の変遷

浸水被害に見舞われた下弓削川・江川流域を対象に、土地利用変遷の解析には QGIS を用いて行った。解析には、国土地理院の旧版地図(1900年、1931年、1958年、1982年、1998年)・電子地形図 (2012年)、株式会社ゼンリンが発行している住宅地図(1970年、1976年、1980年、1986年、1990 年、1995年、2000年、2005年、2010年、2015年、2020年)、都市計画図(1971年、1978年、1984

年、1989年、1992年、1997 年、2000年)および国土地理院 の治水地形分類図(2007~2021 年)を用いた。旧版地図は「今 昔マップ on the web」<sup>5)</sup>を用 い、河川名などを筆者らが加筆 した。旧版地図を用いた解析に より、市街化区域が定められて いる下弓削川流域では、商工業 施設等の建設や宅地開発が進行 する一方で、市街化調整区域に 指定されている江川流域では、 浸水域内に農業用ハウスと JA くるめ園芸流通センター以外の 建物はほとんど見られず、農地 として利用されており、土地の 開発がほとんど行われていない ことが明らかとなったため、こ れ以降の解析は市街化区域とな



図4 旧版地図(1900年)と電子地形図(2012年)(赤枠は市 街化区域の浸水範囲、紫枠は市街化調整区域の浸水範囲)

っている下弓削川流域の合川地区を対象として行った。合川地区は図4の黒枠で囲んだ範囲に位置す る。開発の変遷を見るために、紙媒体のゼンリン住宅地図から得た情報を用いて、GIS 上で建物履歴 のデータを作成し、都市計画図と結合して、建物面積の推移などを解析した。図5には2000年都市 計画図と1970~2020年の建物履歴、図6には都市計画図における建物面積と年増加率および構成比 率の推移を示した。1970年の建物面積は 3.5ha で、1976年は 5.4ha (年 9%増)となっている。 1980年は12ha(年31%増)であり、1986年は23ha(年15%増)、1990年は34ha(年12%増)と年 増加率は高い比率で推移している。1970~1990年の期間は、九州自動車道の開通および久留米イン ターチェンジの開業により工業地域に運輸業が創業して物流拠点となっており、さらに合川地区と久 留米市街地を結ぶ合川バイパスが開通したことで工業系の用途地域に含まれるバイパス沿いにロード サイド店舗が建設されて、周辺の住居系の地域に住宅が増加して開発が進められた。1995年以降も ロードサイド店舗の拡大は進行している一方で、1995年は39ha(年3%増)、2000年は46ha(年4%) '増)、2005年は54ha(年4%増)と年増加率が低下し、2010年は57ha(年1%増)、2015年57ha(年 0.2%増)および 2020 年は 58ha(年 0.3%増)とさらに年増加率が大きく低下しており、開発がほぼ 終了している。 住居系 - 工業系



#### 4. 洪水浸水想定区域による水害リスクの評価

次に対象地域の水害リスクを評価するため、洪水浸水想定区域のデータを用いて解析を行った。 計画規模は100年に一度の降水(L1)、想定最大規模は1,000年に一度の降水(L2)を想定してい る。図7には洪水浸水想定区域(想定最大規模)と1970年~2020年の建物履歴、図8には洪水浸水 想定区域(想定最大規模)における建物面積と構成比率の推移を示した。1970年に存在する建物面 積3.5haの80%近くが浸水深3.0m~5.0m未満に立地している。しかし、建物面積が12haに拡大し た1980年には0.5~3.0m未満が8%、3.0m~5.0m未満が33%であるのに対して、5.0m~10.0m未満 が58%と浸水リスクが大きく高まっている。これにより、1986年以降、5.0m~10.0m未満の比率が 全体の70%以上を占めている結果となった。浸水深5.0m~10.0m未満は建物の2~3階相当が浸水す る深さである。2000年と2005年の間で5.0m未満の構成比率が増加しているが、これはゆめタウン 久留米の建設によるものだと考えられる。1970~2020年までの半世紀の間に建物面積は増加を続け ているが、建物面積の構成比率については洪水浸水想定区域の深い範囲で比率が高くなっているため、増加した建物は浸水リスクの高い土地に建設が進められていたと言える。計画規模においても洪水浸水想定区域の深さは異なるものの同様の推移を示す結果となった。



地球温暖化に伴う気候変動により豪雨が多発する傾向にあるなか、将来の豪雨災害を軽減するた めには過去に発生した豪雨災害を例に取り事例解析していくことが必要である。人間の社会活動の変 化に伴う社会構造の変化は、豪雨研究における重要な要素の一つとなっており、さらなる継続的な事 例解析は将来の防災・減災のための土地利用規制のあり方や防災計画に寄与するものと考えている。

#### 謝辞

本研究では、久留米市役所都市建設部都市建設課から都市計画に関する資料のご提供を頂いた。本 調査研究は、(公財) 鹿島学術振興財団、(公財) 大林財団の研究助成金により実施した成果の一部で ある。ここに厚く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 気象庁:平成30年7月豪雨(前線及び台風第7号による大雨等)、53p、2018.
   https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180713/jyun\_sokuji201806
   28-0708.pdf
- 2) 黒木貴一: 福岡県内の平成 30 年 7 月豪雨災害の特徴、地理科学、75(3)、pp. 146-154、2020.
- 3) 山本晴彦・渡邉祐香・兼光直樹:洪水災害の発生状況、自然災害科学・防災の百科事典、日本自 然災害学会編、丸善出版、pp. 370-371、2022.
- 4) 福岡県河川整備課:総合内水対策計画(下弓削川・江川総合内水対策計画)、2020. https://www.pref.fukuoka.lg.jp/contents/r2sougounaisuikeikaku.html
- 5) 谷謙二:「今昔マップ旧版地形図タイル画像配信・閲覧サービス」の開発. GIS-理論と応用、25 (1)、pp. 1-10、2017.

## 広島市周辺の花崗岩地帯と東広島市黒瀬町周辺の 流紋岩地帯の土石流発生頻度

松木宏彰<sup>1)</sup>・鈴木素之<sup>2)</sup>・楮原京子<sup>3)</sup>・川島尚宗<sup>4)</sup> <sup>1)</sup>復建調査設計(株),<sup>2)</sup>山口大学大学院創成科学研究科, <sup>3)</sup>山口大学教育学部,<sup>4)</sup>広島大学総合博物館

#### 1.はじめに

2018年7月に起こった西日本豪雨災害では,各地で土石流や斜面崩壊などの土砂災害が発生し, 多大な被害を生じた。広島県南部の花崗岩地帯や,東広島市や呉市の流紋岩類地帯でも,多くの土 砂災害が発生した。我々の研究グループは,2014年8月20日に広島市で発生した土石流によって 被災した地域を中心に,土石流の発生履歴に関する研究を進め,広島市周辺の花崗岩地帯の土石流 発生間隔は,150年~400年であることを明らかとした<sup>1),2)</sup>。花崗岩は,風化するとまさ土となり やすいが,流紋岩は風化が進むと粘土質となりやすい特性があり,土砂災害の特徴は,地質特性を 反映すると考えられる<sup>3)</sup>。そのため,地質条件の違いによる,土石流の発生頻度の相違を把握する ことを目的として,流紋岩が分布する東広島市黒瀬町広島国際大学南方斜面と,その西側の地区を 調査対象として調査を行った。それらの結果をもとに,花崗岩地帯と流紋岩地帯の発生履歴につい て述べる。なお,本研究の一部は地盤工学研究発表会で報告を行ったものである。

#### 2. 調査方法

#### 2.1 調査方法

図-1 に国土地理院の写真を利用した位置図を示す。現地調査は、土石流発生渓流および周辺部の 地形地質と、土石流堆積物の状況を観察・記載し、堆積物の分布状況の観察と炭化物試料のサンプ

リングを行った。調査箇所は、2018 年 7 月に土石流 の発生した広島国際大学南方斜面の5 渓流で、細粒な 堆積物が卓越する箇所を重点的に観察し、炭化物試料 の放射性炭素年代を測定することにより、土石流堆 積物の年代を推定した。

#### 2.2 調査地の地形地質と土石流の状況

調査地域は、基盤岩として中生代の流紋岩類の分布 する、東広島市黒瀬町の広島国際大学南方の斜面であ る。この地域は、前平山(標高 500.9m)の北向き斜 面で、斜面上方の傾斜が 20°~30°の付近で崩壊が多発 し、土石流は斜面の中腹や斜面下方の途中で停止した が、土石流の一部は県道を越え、大学の構内に流入し た。被災地区の一部は、林野庁による災害復旧工事が 実施されており、調査は工事による地形改変の行われて



図-1 東広島市黒瀬町の調査箇所 (基図:国土地理院)

いない, stop1, 2, 3 地点の渓流, 422 と 423 渓流および 500 の渓流と, さらに西側の KR-20 地 点の渓流で実施した(渓流番号はいずれも仮称)。

#### 2.3 地層の特徴

図-2に stop1 地点の渓流左岸側の崖の写真を示し、地層の状況を述べる。この渓流は、主渓流の 西側に位置する長さ約 250m の支川で、浸食により形成された深さ 1.5m,幅 1~3m の崖で、過去 の堆積物の状況を観察した。地層は下位より、Ac1層(暗褐色の砂質粘土層)、As3層(黄褐色の砂 質土)、As2層(黄褐色のシルト質砂)、As1層(黄褐色の砂質土)、表層に分布する新期土石流堆積 物(2018年の堆積物)に区分した。なお、Ag層は、マトリックスサポートの特徴を示し、直径約 0.2mの流紋岩の転石を含み、Ac1層の側部を覆って分布する土石流性の堆積物である。

また,図-3に stop2 地点の渓流左岸側の崖の写真を示し,地層の状況を述べる。この渓流では, 航空写真では不明瞭であるが,約 200m の区間で土砂流出が認められ,渓崖部で過去の堆積物の状

況を観察した。地層は下位より, Ag1b 層(暗褐 色の古期土石流堆積物), As3b 層(淡褐色の粘性 土質砂), As2b 層(淡褐色の砂質土), As1b 層(表 層の褐色の砂質土)に区分した。

Ag1b 層は、マトリックスサポートの特徴を示 し、直径約 0.1~0.2m の流紋岩の転石を含む土石 流性の堆積物である。地層は写真右側の下流側に かけて収れんし、その先端部は As3b 層に覆われ る。また、その上部は土砂流性堆積物の As2b 層 に覆われる。

stop3 地点は、常時は流水のない渓流で、2018 年7月の豪雨で、深さ1m程度の浸食崖が形成さ れた渓崖部で地層の観察と試料採取を行った。こ の渓流の KR-14 と KR-15 の試料は、直径 20cm の転石を含む土石流堆積物の上に堆積した腐植土 より採取したものである。この腐植土は、層厚が 20cm程度で、土石流発生後の水流の少ない静穏 期に堆積したものであり、試料の年代がわかれば、 その堆積前に発生した土石流の時期がそれよりも 少し前であることを示す。

#### 2.4 年代測定結果

地層の堆積年代を知るために、炭化物の放射性 炭素年代を測定した。採取した試料は洗浄調整後、 加速度質量分析計(コンパクト AMS, NEC 製、 1.5SDH)を用いて試料の<sup>14</sup>C 濃度を測定した。

得られた<sup>14</sup>C 濃度に対して同位体分別効果の補 正(炭素同位体比<sup>13</sup>C)を行った後,<sup>14</sup>C 年代およ



図-2 stop1 地点左岸の堆積物区分と試料年代



図-3 stop2 地点の堆積物の区分と試料年代

び暦年代を算出した。暦年代は、2 σ の年代範囲の値とし、複数の年代の可能性がある場合は、確率値の高いものを採用した。

また,図-2に示す KR-5 は, 亜角礫を含む褐色の砂質土をマトリックスとする土石流堆積物中の 試料で,その年代値から,1285-1318 年に土石流が発生したことを示唆する。黒色の砂質粘土層は, 粗粒成分を含まず静穏な環境で堆積したことを示し,その年代は,下位の KR-1 の年代が 1044-1086 cal. AD. で(以下 cal. BC と cal. AD, 西暦については省略する),それよりもやや上位の KR-3 と KR-2 の値から, Ac1 層の最上位の堆積時期は, 1224-1227 年に絞り込める。

図-3 に示す Kr-9 の年代は、1802-1928 年であり、その下位に分布する古期土石流堆積物の年代は 1800 年以前と推測される。Kr-10 の年代は、1395-1434 年であり、年代と地層の関係が逆転しており、再堆積した試料の可能性がある。また、422 渓流と 423 渓流および 500 渓流の土石流堆積 物周辺の地層に含まれる 3 試料の放射性炭素年代については、1378~1453 年の間に集まっており、これらの渓流では、1400 年前後に土石流が発生したことがうかがえる。

#### 3.考察

#### 3.1 広島市と東広島市周辺の土石流発生履歴の比較

図-4に、これまで土石流の履歴調査を実施した地区の位置図を示し、図-5に広島市南西部に位置 する海田町と坂町の土石流の履歴調査<sup>2),4)</sup> と今回の結果によって判明した、土石流の履歴結果を示 す。これらの3地区は、いずれも2018年の豪雨災害で土石流災害の発生した箇所である。海田町 と坂町の基盤地質は花崗岩類であるが、黒瀬町の海老根山北西地区の基盤地質は流紋岩類である。 ここでは、1058-1158年の1地点のデータしか得られていない。しかし、坂町総頭川や広島国際大 南方斜面の静穏期を示す腐植土層の年代値とほぼ重なっており、この静穏期の直後に土石流があっ た可能性も考えられる。坂町と黒瀬町の調査箇所の距離は15km程度離れているが、そこで得られ た1400年代と1700年後半~1900年代の土石流の発生時期のデータは近似しており、2018年に起こ った広域的な土砂災害と同様の土砂災害が発生した可能性も考えられる。

西山<sup>5)</sup>は、東広島市周辺の流紋岩地域の地層の放射性炭素年代分析を行い、東広島市黒瀬〜呉市 安原において最新イベントから順に、60-80BP頃、310BP頃、410BP頃、550-270BP頃の5回のイベ ントを報告した。ただし、これらのデータは一つの渓流ではなく、複数箇所のデータであり、個別 の渓流における土石流の発生履歴は不明である。

鈴木ほか<sup>6)</sup>は、地形地質条件による土石流発 生頻度について検討し、花崗岩地帯では数百年 に1回程度の頻度であるのに対し、火山灰層が 緩く堆積する東京都大島町や熊本県阿蘇市では、 数十年に1回程度の発生頻度と推定している。 この違いについては、透水性や岩屑の生産・堆 積プロセスを要因として挙げている。

2018 年以前の海田町の土石流発生時期は, 95 年前,坂町では 217~255 年前,黒瀬町では 年代の誤差が大きく 90~216 年前と推測される。 広島市安佐北区と安佐南区の花崗岩地帯の土石 流発生間隔は,150 年~400 年である<sup>20</sup>。



図-4 広島市南部から東広島市周辺の調査地区



#### 図-5 広島市南部から東広島市周辺の土石流の履歴(黒瀬町のデータは代表的な値をプロット)

今回調査した地区の流紋岩地帯での,土石流発生頻度は,データが限られ年代誤差があるものの, およそ 90~480 年であり,広島周辺の花崗岩地帯と流紋岩地帯で,発生頻度の大きな差は認められ ない。この理由として,調査地の地質は,花崗岩も流紋岩も同種の珪長質の火成岩類であり,土石 流の発生条件に関しては,大きな違いがなかったと考えられる。

以上のように、広島市南部と東広島市黒瀬町周辺部においては、その発生履歴が同様であったこ とから、2018年の土砂災害と同様な発生状況が推測され、今後の防災対策にあたっては、これらの 点に留意が必要である。

謝辞:本研究は JSPS 科研費基盤研究(A) (鈴木素之, JP19H00785)の研究助成を使用して実施 した。ここに記して関係各位に対して謝意を表す次第である。

#### 参考文献

- 1) 松木宏彰・鈴木素之・楮原京子・阪口和之・小笠原洋・片岡知(2018):広島市安佐南区と安佐北区 周辺地域の土石流堆積物の状況と土石流の発生頻度,地盤工学ジャーナル, Vol.13, No.4, pp.403-421.
- 2) 松木宏彰・楮原京子・川島尚宗・鈴木素之(2020):2018 年西日本豪雨における広島県坂町総頭川 周辺での土石流発生状況と堆積物特性,地盤と建設,38,1, pp.105-113.
- 3) 加藤弘徳・曽我部淳・小笠原洋・宮本新平・岸本剛(2019):地形・地質の違いから見た土石流の個 性と被災状況,平成30年7月豪雨災害調査団報告書,pp.47-62,日本応用地質学会.
- 4) 松木宏彰・鈴木素之・楮原京子・川島尚宗(2022): 東広島市黒瀬町の流紋岩地帯における土石流発 生頻度,地盤工学研究発表会発表講演集, pp.DS7-03.
- 5) 西山賢一(2019):広島県東広島市・呉市に分布する崩壊堆積物の<sup>14</sup>℃年代,発表予稿集,応用地質 学会中国四国支部, pp. 37-42.
- 6) 鈴木素之・ 楮原京子・ 阪口和之・ 松木宏彰(2016):地形・地質条件による土石流発生頻度のちがい, 地盤工学会誌, pp.8-11, Vol. 64, No.4.

### 大規模地震後の降雨により発生した土砂災害

### に関する文献調査

#### 後根裕樹<sup>1)</sup> 鈴木素之<sup>1)</sup>

1) 山口大学大学院 創成科学研究科

#### 1.はじめに

大規模地震後には地盤が不安定化し、地震前よりも降雨による土砂移動が発生しやすくなることが指摘されている。例えば、2016年の熊本地震では、地震後の梅雨期の大雨により、阿蘇地域を中心に多数の土砂移動が発生し、二次被害を及ぼしたことが報告されている<sup>1)</sup>。

このような大規模地震後の降雨による土砂災害から被害を軽減するため、地震後の降雨により 発生した土砂移動の特徴を把握することが重要と考えられる。そこで本稿では、近年の大規模地 震後の降雨により発生した土砂移動に関する論文や報文などの文献資料を収集し、その発生エリ アや発生時期、発生時の降雨量の関する特徴等について整理した結果を報告する。

#### 2. 調査結果

#### 2.1 地震後の降雨による土砂移動の事例

文献資料の収集は、国内における歴史地震、 および 1995 年以降に国内外で発生した大規模 地震(M6.4 以上)を対象に行った。その結果、 表-1 に示される大規模地震について、その後 の降雨により発生した土砂移動について報告・ 研究された資料文献が確認された。

これらの資料文献によると、地震後の降雨で 発生した土砂移動は、主に地震が発生した周辺 域において地震後数日~数か月以内に発生し たとされ、その土砂移動形態は、地震時の崩壊 の拡大や、新規崩壊、土石流等であったことが 報告されている。また、土砂移動が発生したエ リアは、地質的には主に花崗岩、新第三紀堆積 岩類、第四紀火山堆積物に区分される。

表-1 大規模地震後の降雨による主な土砂移動

	地震名	発生場所・地質	降雨時の土砂移動形態 (主な発生時期)	
歴史地震	宝永4年(1707年) 宝永地震	高知県東洋町	深層崩壊 <sup>2)</sup> (地震から約半年後)	
	大正12年(1923年) 関東地震	神奈川県伊勢原市 小田原市 など	土石流 <sup>3)</sup> (地震から約2週間後)	
	平成7年(1995年) 兵庫県南部地震	神戸市灘区・花崗岩	地震時の崩壊拡大,新た な崩壊 <sup>4)</sup> (地震から約4~6か月)	
	1999年集集地震	台湾・渓頭地区	新たな崩壊 <sup>5)</sup> (地震から約5か月後)	
1 9 9	平成20年(2008年)	岩手県一関市・第四紀 火山堆積物	地震時の崩壊拡大,新た な崩壊 <sup>6)</sup>	
, 5 年 以	岩手・宮城内陸地震	宮城県栗原市・新第三 紀堆積岩	(地震から約3か月以 内)	
降	平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震	茨城県北部・花崗岩	降雨と余震による新たな 崩壊 <sup>7)</sup> (地震から約9か 月以内)	
	平成28年(2016年) 熊本地震	熊本県阿蘇地域周辺・ 第四紀火山堆積物	地震時の崩壊拡大,新た な崩壊,土石流の再発 <sup>1)</sup> (地震後5日後〜地震か ら約2か月後)	

#### 2.2 地震後の降雨による土砂移動が多発したエリアの特徴

地震後の降雨により土砂移動が多発したエリアの特徴を明らかにするため、表-1のうち、1995 年以降の地震後の土砂移動エリアを対象として、それぞれ地震時の震央から距離や地震動(最大 加速度・震度)との位置関係を整理した(図-1)。この図によると、地震後の降雨で土砂移動が 発生したエリアは、多くが加速度400gal以上、震度6弱以上を記録したエリアにあり、地震時の 揺れが比較的大きかったところに相当するとみられる。また、震央からの距離をみると、内陸(直 下型)地震の事例では、震央から概ね40km以内に位置する。 このような特徴から、地震後の降雨により発生する土砂移動も、地震時に発生する土砂災害と同様、地震動により地盤の影響が大きかったエリアで多く発生する可能性が考えられる。



図-1 地震後の降雨で発生した土砂移動エリアの特徴

(兵庫県南部地震の最大加速度・震度は気象庁<sup>8)</sup>、集集地震に関する地震データは岩楯・吉嶺<sup>9)</sup>、それ以外の地震の震央位置は気象庁<sup>10)</sup>、推計震度・最大加速度については QuiQuake<sup>11)</sup>に基づく)

#### 2.3 地震前後の土砂移動発生時の降雨の比較

既往の研究によると、大規模地震後の降雨により発生する土砂移動は,地震前よりも少ない降 雨量で発生する傾向にあるとされる。

例えば、冨田ら<sup>4</sup>の事例では、平成7年兵庫県南部地震から約4~6か月後に認められた崩壊の 拡大について、地震前の崩壊発生時の降雨指標と比較・分析し、その結果、地震前の3~5割程度 少ない値であったと報告されている。また渡邊ら<sup>12)</sup>は、阿蘇外輪における平成28年熊本地震前後 の土砂移動時の降雨量について、複数の降雨指標を基に比較・分析し、地震直後(2016年4月) は地震前の1~3割程度であり、約2か月後(2016年6月)は地震前の3~8割程度であると報告 した。

堀田ら<sup>5</sup>は、台湾大学渓頭実験林内において、1999 年集集地震の前後で発生した崩壊を対象と して、発生時の連続雨量や発生件数などを比較した結果、地震後から約5か月後に発生した崩壊 (2000 年 2 月)は地震の影響を受けていたのに対して、地震から2 年以上経過し発生した崩壊 (2002 年 5 月)には地震の影響が顕著ではなかったと考察した。堀田ら<sup>5)</sup>では、地震前後の降雨 指標の割合は具体的に算出していないが、参考までに論文中の崩壊発生時の連続雨量の一覧表を もとに、地震1か月前(1999 年 8 月)と地震後に発生した崩壊の連続雨量から割合を求めると、 地震影響があったとされる 2000 年 2 月の崩壊は地震前の 4~6 割程度、地震の影響がなかったと される 2002 年 5 月の崩壊は地震前の 10 割以上とそれぞれ見積もられる。

図-2 に上述の各事例にて報告される地震前と比較した発生時の降雨指標の割合をそれぞれの 地震発生から土砂移動発生までの経過日数をもとに整理した。各事例は、それぞれ分析手法や地 震規模、土砂移動の特徴等が異なるため直接的に比較することができないが、いずれのケースに おいても、地震発生から半年以内の直近に発生した土砂移動において、発生時の降雨指標が地震 前に比べて小さい特徴にある。また、発生時の降雨指標の割合の推移をみると、地震の影響は地 震直後が特に大きく、その後は時間の経過に伴って影響が不明瞭となり、小さくなる傾向が示唆 される。



図-2 地震発生から土砂移動発生までの経過日数と地震前の土砂移動発生時の降雨指標 との割合<sup>4),5),12)をもとに作成</sup>

#### 2.4 地震がその後の降雨により発生した土砂移動に及ぼした影響

地震後の降雨により土砂移動が発生する要因として地震動により地盤強度の低下が引き起こさ れる可能性が検討されている<sup>13),14)</sup>。鳥居ら<sup>13)</sup>は、平成7年兵庫県南部地震後の降雨により多発 した斜面崩壊に地震動が与えた影響を検討するため、崩壊地で採取したまさ土の不撹乱試料に対 する一面せん断試験とそれを模した石こう混じりまさ土に対する繰返し三軸試験を実施した。実 験では、繰返し載荷過程を地震動の影響、水浸過程を降雨の影響と見立て、それぞれの過程を経 た供試体に対する圧密排水(CD)試験から得られるピーク強度を比較している。その結果、繰返 し載荷を行った試料の強度は、繰返し載荷・水浸過程のない試料よりも18%低下し、さらに繰返 し載荷後に浸水過程を行った試料の強度は44%低下したことを報告した。この事例から、地震時 に土砂移動に至らなくても、地震動やその後の降雨の影響によって地盤強度が著しく低下し、土 砂移動が発生する可能性が考えられる。

また、平成28年熊本地震では、地震後に阿蘇外輪を中心としたエリアに多数の亀裂が発生されたことが報告され(写真-1)、このうち大規模な崩壊が多発した立野地区では、崩壊の背後の尾



写真-1 熊本地震時に発生した亀裂



図-3 立野地区における亀裂判読結果<sup>16)より引用</sup>

根部や山頂緩部に生じた亀裂判読結果が報告されている<sup>15,16</sup>(図-3)。この図では、地震時に発生した亀裂は形態によって4区分され、このうち遷急線より下方の谷向き崖では、地震後の降雨時に崩壊に至ったことが報告されている<sup>16)</sup>。この事例から、地震時に発生した亀裂がその後の降雨によって発生した土砂移動に影響を及ぼした可能性も考えられる。

#### 3. まとめ

本稿では、地震後の降雨により発生した土砂移動について、既存の文献調査から得られた情報 をもとに、その特徴を整理した。その結果、地震後の降雨により発生した土砂移動の多くは、地 震後から数か月以内の降雨により発生した事例がほとんどであり、おおよそ震央から40km以内、 最大震度6弱以上、最大加速度400gal以上と、地震動により地盤の影響が大きかったエリアで多 く発生する可能性が考えられた。また、地震後の土砂移動発生時の降雨量は地震前の1~8割程度 少なく、その影響は時間の経過とともに小さくなることが示唆された。さらに、その要因として、 地震動による地盤強度の低下や地震時に発生した亀裂が影響を及ぼしている可能性が考えられた。

今後はこれらの情報を踏まえつつ、大規模地震後の降雨により発生する土砂移動について、よ り詳細な特徴を把握するための研究を進めていきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 石川芳治ほか 22 名:平成 28 年熊本地震後の降雨による二次土砂移動と二次土砂災害,砂防学 会誌, Vol.69, No.4, pp.25-36, 2016.
- 2) 井上公夫: 宝永地震と半年後の激甚災害: 高知県東洋町名留川の大規模崩壊地を歩く, 地理, Vol.60, No.10, pp.66-73.
- 3) 井上公夫・笠原亮一:関東地震(1923) 時の震災地応急測図原図と土砂災害, 歴史地震, Vol.24,pp.53-64.
- 4) 冨田陽子・桜井亘・中庸充: 六甲山系における地震後の降雨による崩壊地の拡大について, 新 砂防, Vol.48, No.6, pp.15-21, 1996.
- 5) 堀田紀文・康恰慧・執印康裕・魏聰輝・張振生・陳信雄・鈴木雅一:集集地震後の降雨で発生 した崩壊に対する地震の影響について-台湾大学渓頭実験林における長期林道補修記録を用 いた検討-,砂防学会誌, Vol.58, No.1, pp.3-13, 2005.
- 6) 村上亘・大丸裕武・江坂文寿: 2008 年岩手・宮城内陸地震により発生した 2 次的な斜面崩壊 の地形・地質的特徴,森林総合研究所研究報告, Vol. 12, No. 1, pp. 23-40, 2013.
- 7) 木下祐介・八反地剛・八木勇治・江崎隼輝・奥村大輔:東北地方太平洋沖地震とそれ以降の雨 による斜面崩壊:茨城県北部の花崗岩山地における事例,地形,第35巻,第1号,pp.25-39, 2014.
- 8) 気象庁, 入手先<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/1995\_01\_17\_hyogonanbu/index> (参照日 2021.10.30).
- 9) 岩楯敞広・吉嶺充俊: 台湾集集地震土木構造物の被害と特徴, 都市総合研究, No.72, pp.77-115, 2000.
- 10) 気象庁, 入手先<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>(参照日 2021.10.30).
- 11) QuiQuake-地震動マップ即時推定システム-,入手先<https://gbank.gsj.jp/QuiQuake/>(参照日 2021.10.15).
- 12) 渡邊輝嗣・桂真也・林真一郎・梅谷涼太・齋藤はるか・野呂智之・村田郁央:平成28年熊本 地震前後の阿蘇地域における土砂移動現象発生時の各種降雨指標値の比較,土木学会西部支 部,第9回土砂災害に関するシンポジウム論文集,pp.151-156,2018.
- 13) 鳥居宣之・沖村 孝・加藤正司: 地震後の降雨による斜面崩壊発生機構に関する実験的検討, 土 木学会論文集 C, Vol.63, No.1, pp.140-149, 2007.
- 14) 中澤博志・石澤友浩・檀上徹・尾上修浩:降雨と地震の作用を受ける斜面の安定性評価に関する基礎的実験,土木学会論文集,土木学会論文集 A1, Vol.77, No.4, pp.I\_243-I\_255, 2021.
- 15) 林野庁, 熊本地震に係る「森林域における航空レーザ計測業務」の成果一覧, 崩壊箇所等位置 図(図郭4), 入手先<https://www.rinya.maff.go.jp/form/pdf/zukaku4.pdf>(参照 2022.1.3).
- 16) 熊本県, 立野地区亀裂対策検討委員会報告書について, 入手先 <https://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/93/1875.html>(参照 2021.11.15).

## 河川護岸などからの吸い出しによる 空洞・陥没発生過程に関する模型実験

SONG HAOBO<sup>1)</sup>·吉井幹<sup>1)</sup>·BAYANMUNKH JARGALMAA<sup>1)</sup>·森啓年<sup>1)</sup>·岡本順平<sup>2)</sup>·瀬良良子<sup>2)</sup>·関至<sup>2)</sup> 1)山口大学大学院創成科学研究科,2)ジオ・サーチ株式会社

#### 1. はじめに

近年,道路陥没が頻繁に発生している,令和2年度における,道路陥没発生件数<sup>1)</sup>は全国で約9,000 件あり、そのうち、河川や海岸などの護岸沿いの道路陥没は主要な要因の一つとなっている. しかし 本研究の対象とする護岸沿いの道路陥没を含め、地盤内の空洞・陥没の発生過程は未だ不明なことが 多い.

本研究は、護岸沿いの道路陥没を対象に、その発生過程を実験により明らかにすることにより、空 洞探査の効率化を図ることを目的に実施する.具体的には珪砂7号を用いた道路盛土の小型模型実験 を行い、護岸側の水位と盛土側の水位差が、空洞・陥没の発生過程にどの様な影響を与えるか明らか にした.

#### 2. 実験方法

実験は図1に示す実験モデルを用いて行った.実験土槽は幅900mm,高さ300mm,奥行150mmのアク リル製であり、両側に幅 80mm の給水槽(排水槽としても機能)を有している. その土槽に幅 450mm, 高さ 200mm, 奥行 150mm の道路盛土の実験モデルを硅砂 7 号(表 1,図 2)により作成した,道路盛土 には、片側に盛土側の給水槽が、その反対にはアクリル板(厚さ 2mm)を用いた護岸が垂直に設置さ れている. 護岸には損傷を模した直径 5mmの開口部を設けており、実験開始とともにそれが開放され る.



図1 実験モデル

					100 -		7문	+++			
材料	透水係数 (m/s)	最大 乾燥密度 ρd (g/cm³)	施工時 乾燥密度 ρd (g/cm³)	締め 固め度 %	- 08 %						
珪砂7号	2.39×10 <sup>-4</sup>	1.44	1.29	89.6	ی 20 ق 0 -						
					1	0-3	10-2	I	10 <sup>-1</sup> Particle S	10 <sup>0</sup> Size (mm)	101
表1 十質材料の諸元						図 2		-啠	の粉	径加積的	由線

図2 土質の粒径加積曲線

実験ケースは表2と図3に示す通り,護岸側の水位を開口部と同じ高さ(50mm)に固定したケース 1と開口部より50mm高い位置(100mm)に固定したケース2の2ケースを実施した.いずれのケース も盛土側の地下水位を初期水位50mmから,10分毎に50mmずつ段階的に上昇させる水位操作を行っ た.なお、実験前には、実験モデルの飽和度を一定にするため、護岸の開口部を塞いだまま盛土側の 水位を高さ200mmで60分固定し、硅砂7号を飽和させ、その後初期水位である50mmまで水位を低下 させ30分固定した後に護岸の開口部を開けて実験を開始した.実験は、空洞が発達し、地表面に陥没



ケース	初期水位	護岸側水位	盛土側水位
1	50mm	50mm	50mmから10分毎に50mm上 昇させ,最大200mm
2	100mm	100mm	50mmから10分毎に50mm上 昇させ, 200mm

表2 ケース一覧表

が観察されるまで実施した.

また,計測のため,間隙水圧計を護岸から5mm,50mm,100mm,200mmの距離に設置した.あわせて,間隙水圧計と同じ位置に,地表面の変形を測定するレーザ変位計も設置している.

#### 3. 実験結果

ケース1の実験の状況を図4に、ケース2の実験の状況を図5に示す、ケース1では実験開始から、 12分後に空洞が発生し、それが少しずつ発達し、25分後に陥没が発生する様子が確認された、一方、 ケース2は22分後に空洞が発生し、それが急速に発達し、23分後に陥没が発生した.

実験では、いずれのケースも盛土側の水位が護岸側の水位より高くなると、盛土内部の土砂が護岸 の開口部から流出し、空洞が発生する様子が確認された.その後、空洞が徐々に護岸にそって上方に 発達し、最終的に陥没に至った.擁壁の存在により、空洞の発達が擁壁に沿って上方に進行することが 特徴的である.

実験で観測された間隙水圧の結果を、間隙水圧計のドリフト現象を補正し、図6と図7に示す.実 験開始後、盛土側の水位が上がるとともに、各点の間隙水圧が段階的に上昇し、盛土内部に護岸の開



(a) 12 分経過空洞発生



(b) 15 分経過空洞拡大図 4 ケース1 実験状況



(c) 25 分経過陥没発生



口部に向かって動水勾配が発生することがわかる.実験では、その動水勾配により開口部から盛土を 構成する土砂が吸い出しにより、空洞を発生・発達させ、陥没が引き起こされたと考えられる.

次に、実験ケースの地表面変位を図8と図9に示す.ケース1では実験開始後25分後に、ケース2 では23分後に陥没が発生した.陥没発生前には、護岸の近傍(50mm程度)で、僅かであるが沈下が 観測されることが確認された.また、地表面変位の見られる範囲は、護岸から50mm程度の範囲に限ら れ、実際の護岸沿いの道路陥没が護岸近傍に発生する様子をよく再現できている.



#### 4. まとめ

本研究は,護岸沿いの道路陥没を対象に,その発生過程を護岸側の水位と盛土側の水位を変化さ せた,空洞及び陥没の発生過程の模型実験を実施した.その結果,以下のことが確認された. ・盛土側の水位が護岸側の水位より高くなり,護岸の開口部に向かって動水勾配が発生する際に 空洞の発生・発達が発生すること

- ・擁壁の存在により、空洞の発達が擁壁に沿って上方に進行すること
- ・空洞及び陥没の発生に伴う地表面変位が見られる範囲は、護岸近傍に限られること
- 今後は、繰り返しの水位や道路盛土の土質の影響についても確認していく所存である.

参考文献

国土交通省道路局:道路の陥没発生件数とその要因(令和2年度), https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/ijikanri/pdf/h30-r2kanbotu.pdf (2022.11.16 確認)

## 排水の濁りに着目した動水勾配変動下における 細粒分流出挙動の時間変化

石丸太一\*・鈴木素之\*・高野翔太\*・小森朝陽\* \*山口大学大学院創成科学研究科

#### 1 はじめに

近年多発する豪雨や大地震により盛土構造物に関する被害が多数報告されている. なかでも, 貯水 を目的としたため池堤体や河川堤防の内部では, 水の浸透を長期間受けた結果, 土粒子が間隙流体に 取り込まれ, 間隙を移動, さらには堤体外に流出する現象である内部侵食が発生する. 内部侵食の一 種で, 細粒分流出(Suffusion) といわれる地盤中の細粒分の移動は土の透水性や密度を変化させるこ とから, 盛土構造物において細粒分流出の挙動やメカニズムの解明が待たれている. 既往の研究によ り細粒分流出は土粒子の移動と目詰まりを繰り返しながら徐々に進行することが指摘されている<sup>1)</sup>. 本研究では, 水位変動下の河川堤防やため池堤体のように動水勾配が時間的に変化する場合を想定し た細粒分流出実験を実施し, 動水勾配の変化によって, 土粒子の侵食量や流出する土粒子径がどのよ うに変化するのかを調べた.

#### 2 使用した土試料

図1に使用した土試料の粒径加積曲線を示す. 粒 径が異なる複数の珪砂を混合した混合珪砂(Q) お よび珪砂4号(Q4)に対して所定の割合でカオリン を混合した土試料を使用した.QK5 は混合珪砂にカ オリンを 5%加えた土試料で,実際にため池堤体土 として使用されている宇部まさ土の粒径加積曲線 に似るように配合した.GG10 は珪砂4号にカオリ ンを 10%加えた土試料である.GG10 のようなギャ ップのある土(Gap-graded soil)は一般的に内部侵食 が発生しやすいとされている.

#### 3 実験装置と実験方法

図2に本実験で使用したカラム通水実験装置を示 す.供試体寸法は直径100mm,高さ200mmの円筒 型である.最適含水比に調整した土試料を,所定の 密度になるように5層に分けて1層ずつ突き固め て,供試体を作製した.通水開始前に供試体内部を 二酸化炭素で置換し,脱気水を24時間浸透させる ことで,飽和度を92%以上にした.供試体下部には 425µmのメッシュと5mmの孔が109個空いたアク



	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
土試料	QK5	QK5	QK5	GG10	GG10
初期間隙比 $e_0$	0.85	0.85	0.85	0.66	0.66
限界動水勾配 $i_c$	0.89	0.89	0.89	0.99	0.99
初期動水勾配 $i_0$	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0
動水勾配の 変動パターン	1.0⇔1.5	1.0⇔0.5	0.5⇔1.0	1.0⇔1.5	1.0⇔1.5
変動回数 (回)	6	7	6	6	30

表1 実験条件

リル多孔版を設置し、それ以上の径の土粒子が 流出しないようにした.載荷板上部に空圧を与 えることで上載圧を付与できる機構を有してい る. 本実験では、載荷板と供試体上面を密着させ るために一律 10kPa の上載圧を与えた. 上部タ ンクの高さを変えることで動水勾配を調整し, 供試体に下向きの浸透流を与えた.表1に本実 験の実験条件を示す. Casel~Case4 までは, 動 水勾配の上昇下降を6回もしくは7回繰り返し た. Case5 では、動水勾配の上昇下降を 30 回繰 り返した.動水勾配を変動させる直前に、採水容 器を交換しながら、排水をすべて回収した.予備 実験の結果,動水勾配一定の条件では1500mL 程 度通水すると, 土粒子の排出がほぼ停止したた め、1500mL 通水するごとに動水勾配を変動させ た. また、全ケースにおいて、動水勾配の変動幅 は0.5 であり、上昇下降は約30秒かけて行った. 測定項目は通水量, 採水時間, 採水容器毎の排出 土粒子の質量と排水の濁度である. 通水量と採 水時間は電子天秤で自動計測し、排出土粒子の 質量は蒸発皿を用いて計測した.



#### 4 実験結果

図3に Casel の動水勾配と排水量および流量の時間変化の一例を示す.排水量は、サイクル毎の累 積値を示しており、採水容器を交換する度に排水量はゼロからの累積値となっていることに留意され たい.流量は動水勾配を上昇または下降させ終えてから、次に変動させ始める直前までの区間ごとに 算出した.動水勾配の変動と連動して、流量も変動していることが分かる.図4に Casel~Case4 にお けるサイクルごとの流量の変化を示す.動水勾配を繰返し変動させるにつれて、同じ動水勾配でも流 量が小さくなる傾向がすべてのケースでみられた.細粒分の移動によって目詰まりが発生し、透水性 が低くなったと考えられる.図5に Case5 の動水勾配と排水量および流量の時間変化を示す. Casel~ Case4 と同様に、動水勾配を繰返し変動させるにつれて、同じ動水勾配でも流量が小さくなる傾向が



みられた.図6にCase5における流量の変動が 分かりやすいようにスケールを調整したグラフ を示す.流量が低下した後,安定し,動水勾配 の変動をしばらく与えると再び流量が低下する といった傾向が繰返し発生した.また,ひとた び流量が低下すると,数サイクルに渡って低下 し続けていることが分かる.動水勾配の変動を 受けた土内部では,細粒分の移動による間隙構 造の変化が発生していると考えられる.透水性 の変化をもたらす比較的大きな間隙構造の変化 は,何らかのきっかけで発生した後,連鎖的に 発生するものと考えられる.

図7に採水容器毎の土粒子排出量を示す. Case 5については,排出土粒子量の計測は行っ ていないため,参考として図8に各サイクルに おける排水の濁度を示す.動水勾配の変動を与 え始めてからは,土粒子の排出量は0.5g以下と 僅かであるが,動水勾配が上昇すると,土粒子 の排出量が増加し,その状況が継続した.図8 についても同様の傾向を示した.通水開始直後 の排出土粒子量と比較すると,動水勾配変動開 始後の排出土粒子量はごく僅かであるが,排水 の濁度は動水勾配の変動による影響を確実に受 けているといえる.

図9に排水の濃度と濁度の関係を示す.図10 は、図9の低濃度領域を拡大したグラフである. 図には、カオリンおよびQK5の流出可能成分 (425µm以下の土粒子)を用いて作製した懸濁 液の濃度と濁度の関係を併せて示している.通



水開始直後は,排水の濃度,濁度ともに高く, グラフの右上にデータがプロットされる. そ の後、濃度と濁度は小さくなり、左下の領域 にデータがプロットされる. 濁度は, 濃度が 同じでも懸濁物質の粒径が小さい方が高い値 を示すことが分かっている2. したがって, 浸 透力を与え始めた最初の方は, 土試料中の細 粒成分であるカオリンの濃度―濁度関係より も上方にデータがプロットされていることか ら,細粒成分の中でも径が小さな土粒子が卓 越して流出したと推測できる. 一方, 動水勾 配の変動を与え始めてからは、QK の流出可 能成分の濃度―濁度関係に近づくようにデー タがプロットされた.このことから、供試体 に初めて浸透力を与えた段階で、粒径が小さ く流れやすい土粒子は既に抜けており、動水 勾配の変動で流出する土粒子は、比較的径の 大きな土粒子であると考えられる.また、初 期動水勾配 0.5, 2 サイクル目で動水勾配 1.0 に上昇させた Case3 の結果をみると, 2 サイ クル目の濃度と濁度の関係もカオリンの基準 線上にデータがプロットされた. 過去に受け た動水勾配よりも大きい動水勾配を受けた場



合は、まだ流出していない比較的径が小さな土粒子が排出してくると推測される.

#### 5 おわりに

カラム通水実験を実施し、動水勾配が変動する条件下における細粒分流出の進行を調べた.以下に 得られた結果を要約する.1)動水勾配が繰返し変動することで、流量が徐々に低下した.また、流量 は低下と安定を繰り返していることが分かった.2)動水勾配が繰返し変動することで、土粒子の排出 量の増減を繰り返しながら、細粒分流出が継続していることが分かった.3)供試体に初めて浸透力を 与えた段階で、粒径が小さく流れやすい土粒子は既に抜けており、動水勾配変動下で流出する土粒子 は、流出可能成分の中でも比較的径が大きい土粒子であると推測された.

謝辞 本研究は、公益財団法人鹿島学術振興財団研究助成金(研究代表者:鈴木素之)ならびに JSPS 科研費特別研究員奨励費(JP21J14582,石丸太一)により実施したものである.ここに記して関係各位に深く感謝の意を表す次第である.

参考文献 1) Luo, Y., Qiao, L., Liu, X., Zhan, M., Sheng, J.: Hydro-mechanical experiments on suffusion under long-term large hydraulic heads, Natural Hazards, Vol.65, pp.1361-1377, 2013. 2) 横山勝英: 濁度計の粒径 依存特性と現地使用方法に関する考察, 土木学会論文集, No.698, II-58, pp.93-98, 2002.

# 関門層群地山での切土に伴う斜面安定性に関する

## 2次元数値解析の適用検討

鈴木 素之<sup>1)</sup>・田中 亨昌<sup>1)</sup>・森本 真吾<sup>2)</sup>・岸田 展明<sup>2)</sup> <sup>1)</sup>山口大学大学院創成科学研究科,<sup>2)</sup>ドボクリエイト株式会社

#### 1. はじめに

山口県北西部から南西部に分布する白亜紀後期の安山岩,流紋岩,堆積岩からなる関門層群は深 部まで風化し,切土による応力解放を受け,その後スレーキングの進行とともに徐々に強度低下を起 こす特性を有している.図-1は、関門層群地山において暫定切土後の法面にクラックが生じた事例 である.当該法面の地質は,風化した関門層群安山岩質凝灰岩(以下,関門層群風化岩)に黒色薄層 土が挟在し,流れ盤を呈する黒色薄層土の層理面とほぼ垂直に節理面が発達した状況であった(図-2).法面のクラックは,切土後の応力解放に伴う強度低下と節理面の開口等により不安定化しやすい 状況において,降雨による節理への水の浸入が要因で生じたと考えられる.

本研究では、当該法面において切土高さの異なる2断面を選定し、切土後の応力解放により強度低 下を生じる関門層群地山の安定評価について、2次元数値解析の適用性を検討した.



図-1 法面のクラック発生状況



図-2 法面の分離面(層理面および節理面)の状況

#### 2. 解析概要

解析モデルは、図-3 に示すように関門層群風化岩および黒色薄層土で構成される数値モデルをモ デル化し、いずれもソリッド要素として Mohr-Coulomb 構成則を適用した弾塑性体とした. 境界条件 は、側方を水平固定・鉛直ローラーとし、底面を水平・鉛直固定とした. ここで、奥行き方向は変位 を拘束して、平面ひずみ状態とした. 入力物性値は、現地調査結果等から表-1 に示すように設定し た. 黒色薄層土については、せん断強度のばらつきを考慮し、既往研究 <sup>2</sup>から粘着力 *c*=0, 4kN/m<sup>2</sup>の 2 ケースについて検討した. また、節理面の開口を模擬するため、節理面の引張強度は考慮していない. 本解析では施工過程を模擬するため、①初期応力解析、②暫定切土、③試験切土、④関門層群風化岩 の強度低下の順に4段階の解析ステップを設定した. 本研究では、解の収束が難しい斜面崩壊時の挙 動を安定的に評価できる有限差分法解析コード FLAC3D (Itasca 社製, ver.7)を適用した.



 二
 黒色薄層土(水平方向)

 二
 黒色薄層土(鉛直方向)

#### 図-3 解析モデル

表-1 入力物性值一覧

	単位体積重量	変形係数	ポアソン	粘着力	内部摩擦角	引張強度 <sup>1)</sup>
	$\gamma (kN/m^3)$	$E (kN/m^2)$	比1)	c ( $kN/m^2$ )	φ(°)	$\sigma_t$ (kN/m <sup>2</sup> )
黒色薄層土	16. 58	15 × 10 <sup>3</sup>	0. 35	$ \begin{array}{c} 0 \\ (7-3) - 1, & (2-1) \\ 4 \\ (7-3) - 2) \\ \end{array} $	<b>23. 0</b> <sup>2)</sup>	0.2×c
関門層群 風化岩	16.58	15 × 10 <sup>3</sup>	0.35	29.1 (強度低下時 20)	27.6	0.2×c

- 3. 解析結果
  - ①-1 (図-4) から、ステップ④ (関門層群風化岩の強度低下を考慮)において、黒色薄層土の粘着力 c=0kN/m<sup>2</sup> のケースでは分離面に沿って変状が発生し、不安定化する可能性があること、また、その規模を確認した.
  - ①-2 (図-4) から、ステップ④でも斜面は安定する結果となった. 黒色薄層土の粘着力を見込ん だことが安定化に寄与したものと考えられる.
  - ②-1 (図-4) から、①-2 と同様にステップ④でも斜面は安定する結果となった.入力物性値は①
     -1と同様で、試験切土の勾配はより急傾斜であるが、断面①より切土高が低いので、斜面が安定 化したと考えられる.



図-4 数值解析結果(一部抜粋)

#### 4. まとめ

本研究では、関門層群地山において切土後の応力解放で強度低下が生じる斜面の安定性について、 数値解析による評価を行った.その結果、同地山の斜面安定には、分離面のせん断強度だけでなく、 応力解放に伴う関門層群風化岩の強度低下も影響することを確認した.また、斜面崩壊時の挙動を安 定的に評価できる有限差分法解析コードを適用することで、節理、黒色薄層土層が潜在する斜面崩壊 のメカニズムや崩壊規模の推定も可能となると考えられる.

#### 謝辞

本研究は、国土交通省中国地方整備局山陰西部国道事務所の受託研究の一環として実施したもの である.地質構造の数値モデル化では応用地質・上野将司氏にご助言いただいた.ここに記して謝意 を表する.

#### 参考文献

- 1) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構(2008): 山岳トンネル設計施工標準・同解説, p.310
- 2) 山本哲朗,鈴木素之,吉原和彦,宮内俊彦(2001):不連続面上の光沢質黒色薄層土に起因した斜面崩壊と設計強度定数,地すべり,第37巻,第4号,pp.49-57

## 土壌藻類を組み込んだ自然侵入促進型 植生マット(BSC マット)の性能評価

松本 晶<sup>1)</sup>・冨坂峰人<sup>2)</sup>・尾関哲史<sup>2)</sup>・荒木功平<sup>3)</sup> <sup>1)</sup>多機能フィルター株式会社,<sup>2)</sup>日本工営株式会社,<sup>3)</sup>徳山工業高等専門学校

#### 1. はじめに

近年,植生工では,自然に飛来する種子の定着により緑化を図る自然侵入促進工が着目されている. 本研究では,土壤藻類を組み込んだ自然侵入促進型植生マット(BSC マット)の性能評価を行った. BSC(バイオロジカル・ソイル・クラスト)とは,糸状菌類,土壌藻類,地衣類及びコケ植物などが 地表面の土粒子や土塊を絡めて形成するシート状の土壌微生物のコロニーのことである.BSCは植生 遷移の最初に見られる自然現象で,表面侵食を防止する効果を有する.BSCマットは,侵食防止用植 生マットにBSC資材を組み込むことにより,施工直後から侵食防止機能を有するマットと,クラスト 形成により高い保水性を有し早期植生遷移が可能となるBSC資材の,両者の利点を活かした自然侵 入促進型植生マットである.BSCマットで用いる土壌藻類資材(BSC-1)は全世界に分布する汎存種 のため外来種には該当せず,無性生殖のため自生種との交雑も生じないため,自然環境への影響はな いと考えられる.本研究では,屋外試験及びASTM規格の小規模降雨試験を実施し,BSCマットの植 生及び侵食防止性能の評価を行った.

#### 2. 屋外試験

#### 2.1 試験方法

山口県周南市の徳山工業高等専門学校敷地内の南西向き斜面にまさ土を用いて勾配 30 度, 斜面長 7m の盛土を造成した. 造成した盛土に 90cm 間隔で木の板を設置し, 合計 6 区画を調製した. 試験 は,対照区として裸地,試験区として侵食防止マット及び BSC マットを 2 区画ずつ敷設して, 2021 年 5 月 28 日から開始した. 試験品の構造を図-1 に示す. 侵食防止マット及び BSC マットは,ポリエチ レン製のネット及びポリエステルの不織布により構成されており,両マットの厚さは約 10mm である. 各区画の下端部に容器を設置し,降雨により流出した土砂量の計測を行った. また,土壌藻類の増殖 や周辺からの自然侵入植生の状況等について調査を行った.

#### 2.2 試験結果

#### (1) 侵食防止性能

試験開始から6日後の6月3~4日の降雨で裸地\_1が崩壊した.6月3日昼頃からの降雨は夜に強 くなり,翌日の4日午前3時の1時間降雨量32.0mmをピークに昼過ぎまで降り続いた.降り始めか らの積算降雨量は137.5mmであった.裸地\_1の崩壊時刻は4日2:04であった.裸地\_1は斜面中央か ら崩壊が発生し,土砂流出量は18kgを超えた.一方,試験区の斜面の変状は見られなかった.平均土 砂流出量は,侵食防止マットは31.6g,BSCマットは1.4gとわずかであり,施工直後からの高い侵食 防止効果を裏付けているといえる.さらに,3日間の総雨量が162.9mmとなった7月7日~9日の豪 雨で裸地\_2が崩壊した.7月7日18時の時点で裸地\_2は約9kgの土砂流出量が確認されており,こ

![](_page_50_Figure_1.jpeg)

の時点で裸地\_2 は崩壊とみなした. 図-2 に対照区と試験区の土砂流出量を示す. なお, 裸地\_1 は崩壊した 6 月 4 日までの土砂流出量である. 崩壊した裸地と比較して, 試験区の侵食防止マット及び BSC マットは大きな変状は見られず, 土砂流出量も少ない値であった. 特に, BSC マットの平均土砂流出量は裸地平均の 1/4,500 以下であり, 高い侵食防止効果が確認された.

#### (2) 植生

5 か月間の植被率の推移を図-3 に示す.施工から 5 か月経過後の 11 月初旬に対照区及び試験区の 侵入植物の個体数及び種類の調査を行った.施工から 5 か月後の斜面状況を写真-1 に示す.

BSC マットの植被率は裸地及び侵食防止マットに比べて,比較的高い値となった.10月の降水量は 0.7mm と非常に少なく周辺からの植生が侵入・成長しにくい条件にも関わらず植被率が増加している ことから,BSC 形成により植物の侵入が促進されたことが推測される.また,侵入植物の個体数は裸 地の約 2.5 倍となり,BSC マット 1 では試験区内で唯一木本類(アカメガシワ)が見られた.植生調

![](_page_51_Picture_1.jpeg)

 $裸地_1 侵食防止 BSC 裸地_2 侵食防止 BSC$  $マット_1 マット1 マット_2 マット_2$ 

写真-1 施工後5か月

査により,試験法面の周囲に自生している植物がBSCマットに侵入し,自然植生が成立したことが確認された.裸地の植物の生育範囲は土壌崩壊痕に偏るのに対し,BSCマットは全体に比較的偏りなく植物の定着がみられた.なお,自然侵入促進工の評価方法<sup>1)</sup>では施工後6か月における成績判定を挙げているが,11月以降は降雨が少なく,気温低下等により植物侵入も減少することから,施工後5か月時点での評価を行った.

#### (3) BSC 形成状況

試験開始から17日経過時のBSCマットに目を近づけ観察したところ、不織布に広く土壌藻類(緑 藻類)が増殖しており、全体的に緑色に変化していた.また、5か月経過後にBSCマットをめくり背 面を観察したところ、濃淡はあるが全面的に土壌藻類が分布していることが確認された.裸地及び侵 食防止マットではこのような状況は見られず、BSCマット試験区では土壌藻類によるBSC形成が進 んだと推測される.

#### 3. 小規模降雨試験

本論文ではアメリカの ASTM 規格に準拠した小規模降雨試験を行った. ASTM 規格は, アメリカの 標準化団体である ASTM International (旧称 American Society for Testing and Materials:米国試験材料協 会)が策定し,発行する規格である. ASTM 規格は任意規格でありながら,世界各国で法規制などの 基準とされるなど,国際的に広く通用している.この ASTM 規格の中の小規模降雨試験(ASTM D7101) に基づき,徳山高専人工降雨試験装置を改良して,試験を行った.

#### 3.1 試験方法

試験は,降雨強度 50mm/h, 100mm/h, 150mm/h を 30 分毎斜面に与え,試験区(侵食防止材による 土砂被覆)の土砂流出量に対する対照区(裸地)の土砂流出量の比率(SLR: Soil Loss Ratio)で評価 する.試験は裸地(対照区)とBSCマット(試験区)について行った.試験に用いた試料は屋外試験 で使用したものと同一のまさ土である.

#### 3.2 試験結果

BSC マットの土砂流出量は土壌藻類などの有機物等が含まれていることから強熱減量値を測定し、 得られた結果より補正を行った.土砂流出量と SLR を表-1 に示す.表-1 より対照区の裸地に比べて、 試験区のBSC マットの土砂流出量は極めて小さい値となった.BSC マットの平均 SLR は 192 であり、

47

降雨強度	土砂流	SIP	
(mm/h)	裸地	BSCマット	SLK
50	88.6	0.8	106
100	203.2	1.1	177
150	465.9	1.6	294
平均值	_	_	192

表-1 土砂流出量と SLR

高い侵食防止機能が示された.アメリカで行われた同規格の試験結果では、アメリカ製侵食防止マットの平均 SLR は 5.0~14.0 となっており<sup>2)</sup>, BSC マットの SLR が非常に高いことが示唆される. 濁水 サンプルを比較すると、裸地に比べ BSC マットは濁度が低くなった.なお、BSC マットの土砂流出量 には、試験時に試験装置上部に敷設した未養生の BSC マットから流出した藻類資材や肥料等が含ま れている可能性があることから、表-1 の値は安全側の数字となっている.

#### 4. まとめ

本論文では,屋外試験及び小規模降雨試験を実施し,BSC マットの法面保護効果について検討を行った.試験で得られた知見を以下に示す.

- ・ BSC マットの侵入植物の個体数は裸地斜面の約 2.5 倍で,侵食部にのみ植生が見られた裸地と異なり,全体に偏りなく植物の定着がみられた.
- ・ BSC マットの屋外試験における平均土砂流出量は裸地平均の 1/4,500 以下であった.
- ・ BSC マットの平均土砂流出比 SLR は 192 となり,侵食防止機能は高いといえる.

屋外試験において BSC マットの植生形成状況は裸地と比べて早く、かつ良好であり、土砂流出量も 抑えられることが分かった.また、小規模降雨試験においても、高い侵食防止効果が裏付けられた.

今後は、BSC マットの植生の侵入能力の向上のために、飛来種子の捕捉を向上させるネットの仕様 等を検討する予定である.また、今回の小規模降雨試験では、ASTM 規格に準拠して勾配は 18.43°と したが、国内の一般的な斜面勾配<sup>1)</sup>と比較すると非常に緩勾配である.同規格の試験で勾配を変化さ せた場合、勾配が急になるに従って試験品の土砂流出量は増加することが示されている<sup>3)</sup>.これを踏 まえて、国内の盛土・切土法面の勾配に合わせた試験条件の選定を検討する必要がある.

#### 謝辞

本研究を行うに当たり徳山工業高等専門学校の上俊二特命教授,桑嶋啓治准教授,福田靖技術長に は多大なるご協力を頂いた.記して謝意を表する.

#### 参考文献

- 1) 公益社団法人日本道路協会:道路土工—切土工·斜面安定工指針(平成 21 年度版), p.266, 2009.
- Sprague, C.J. and Sprague, J.E. : Testing and Specifying Erosion Control Products, Conf. XXXXVI, International Erosion Control Assoc., San Antonio, TX., 2016.
- V. K. Midha1 and S. Suresh Kumar : Influence of woven structure on coir rolled erosion-control products, Geosynthetics International, 20, No.6, pp.396-407, 2013.

## パイルスラブ式盛土の改良杭頭部に用いる ジオテキスタイル土のうの動的特性

藤井 公博<sup>1)</sup>・鈴木 素之<sup>2)</sup>・近藤 政弘<sup>1)</sup>・小島 謙一<sup>3)</sup> <sup>1)</sup>ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社,<sup>2)</sup>山口大学大学院創成科学研究科, <sup>3)</sup>公益財団法人 鉄道総合技術研究所

#### 1. はじめに

新幹線の軌道構造は、軌道の変形が非常に小さく、有床道軌道と比べて保守作業を低減可能な省力 化軌道(スラブ軌道等)が一般的に用いられている.この省力化軌道を盛土に適用する場合、盛土に は高い性能が要求され、盛土沈下に伴う軌道沈下を抑制するために盛土材は良質な材料が用いられ る.一方、トンネルずり等の建設発生土を盛土材として利用することは、環境面・経済面において有 効であるが、建設発生土が省力化軌道を支持する高規格な盛土の盛土材として必ずしも適している訳 ではない.このため、筆者らはコンクリート路盤をジオテキスタイルを敷設した補強盛土内に地盤改 良杭を打設し、杭頭部に設置したジオテキスタイル土のうを介して支持することで盛土材によらず高 規格盛土としての性能を有する盛土工法(パイルスラブ式盛土)の検討を行っている<sup>例えば1,2</sup>.

図-1 にパイルスラブ式盛土の概要を示す. コンクリート路盤と地盤改良杭は, 杭頭部に設置したジ オテキスタイルを用いた大型土のう(以下, ジオテキスタイル土のうと略記)を介して接続する構造 (以下, パイルスラブ構造と略記)である. ジオテキスタイル土のうは L2 地震といった大規模地震 時においても杭頭部とコンクリート路盤間の砕石の抜出しを防止し, コンクリート路盤自体は沈下せ ず軌道の変形を抑える構造となっている.また, ジオテキスタイル土のうという柔構造部材であるた め, 地震時に地盤改良杭から伝達するコンクリート路盤への応答を抑制し, 地盤改良杭への応力発生, 損傷を防ぐ効果を期待したものである.パイルスラブ式盛土については, これまで 1/10 スケール模型 に対する振動台実験<sup>1)</sup>やジオテキスタイル土のうの実大規模模型に対する水平載荷試験等<sup>2)</sup>により, 主に耐震性について十分な性能を有していることを確認してきた.今後, 杭頭部に設置するジオテキ スタイル土のうの動的応答メカニズムを明らかにし, 地震時減衰効果を考慮可能となれば, 合理的な 設計手法構築に資する可能性がある.そこで, 実応力レベルに即したパイルスラブ式盛土のジオテキ

は、実施した模型振動台実験の実験方法及び結果について報告する.

![](_page_53_Figure_6.jpeg)

![](_page_53_Figure_7.jpeg)

#### 2. ジオテキスタイル土のう模型に対する振動台実験

#### 2.1 実験概要

振動台動台実験は、山口大学が所有する幅 2.5m×奥行 1.2m の振動台を用いて実施した.ジオテキ スタイル土のうは実物寸法(縦 1.2m×横 1.2m×高さ 0.15m)であるが、実験では振動台の寸法を考慮 し、ジオテキスタイル土のう模型は平面的に 1/4 スケールとなる縦 0.3m×横 0.3m×高さ 0.15m とし、 加振方向に 2 箇所配置した.

図-2 にジオテキスタイル土のう模型作製イメージを示す. 模型は, あらかじめ所定の大きさ(縦 0.3m×横 0.8m) に裁断したジオテキスタイル (製品保証値 81kN/m) 2 枚を直交方向に敷設後, 粒度調整砕石 (M40) を締固め度 97%程度で締固めた中詰め土のうを 2 段設置し, ジオテキスタイルを折り返す ことで作製した. なお, パイルスラブ式盛土ではジオテキスタイル土のう下面と杭頭部は非固定であ るが, 本実験ではジオテキスタイル土のう自体の動的挙動や動的特性を評価することに着目し, ジオ

テキスタイル土のうに対しては厳しい条件となるが、ジオテキ スタイル2枚を直交に敷設後、コンクリートを直接打設するこ とでジオテキスタイル土のう下面と基礎コンクリートを固定 することとした.また、ジオテキスタイル土のう配置後にコン クリートを直接打設することで、パイルスラブ式盛土と同様、 コンクリート路盤とジオテキスタイル土のう上面を固定して いる.コンクリート路盤模型はジオテキスタイル土のう模型に 作用する上載荷重が実物と同じ15kN/m<sup>2</sup>となるよう大きさ(縦 0.78m×横1.50m×高さ0.55m)を設定し、ジオテキスタイル土 のう模型は平面的には1/4 スケールであるが、実物と同じ応力 状態を再現した.

#### 2.2 実験条件

図-3 に計測機器配置図を示す.計測は、コンクリ ート路盤の沈下、水平変位、加速度及びジオテキスタ イルのひずみである.沈下は、加振によるジオテキス タイル土のうのせん断変形に伴うコンクリート路盤 の沈下や傾きの有無を確認することを目的にコンク リート路盤上面に4箇所設置した.水平変位はコン クリート路盤中心高とし、加振に伴いコンクリート 路盤が回転しないことを確認するため、線路方向に2 箇所レーザー変位計を設置した.加速度計は、コンク リート路盤天端中心部に設け、ひずみゲージはジオ テキスタイル土のうがせん断変形する際にジオテキ スタイルが粒度調整砕石を拘束する効果を確認する ため、加振方向のジオテキスタイル土のう側面に1 箇所ずつ計2箇所貼り付けた.

入力波は正弦波 20 波,周波数 2.5Hz とし,実験 は入力加速度 100gal から 900gal までの 100gal 毎 の段階加振を行った.

![](_page_54_Figure_9.jpeg)

図-2 土のう模型製作イメージ

![](_page_54_Figure_11.jpeg)

#### 3. 実験結果

#### 3.1 供試体の残留変位

図-4 に各加振後の残留鉛直変位と入力加速度の関係を示す.実験の結果,300gal までは全ての計 測点でコンクリート路盤の沈下はゼロに近い値であった.測点3では,400gal 以降,徐々に残留鉛直 変位の増加が確認された.最終加振である900gal 加振後の最大残留鉛直変位は測点3で約2.0mm と 土のう高に対して高々1.3%と微小な値であり,土のう形状を保持していることが確認された.

なお、各測点間で残留鉛直変位量に多少の違いがみられるが、これはコンクリート路盤を2つのジ オテキスタイル土のうによる加振方向での2点支持としたため、加振に伴い測点3の一方向に変形が 表れたものと考えられる.実際のパイルスラブ式盛土では、コンクリート路盤を線路直角方向(本実 験での加振方向)だけでなく、線路方向においても多点支持となるため、一方向に鉛直変位が残留す るような現象は生じないと考えられる.

図-5 には、各加振後の残留水平変位と入力加速度の関係を示す. 残留水平変位は残留鉛直変位と 同様、300gal までゼロに近い値であった. 400gal 加振後は揺れ戻しの影響により小さい値であるが、 500gal 以降は一方向に累積し、900gal 加振後の残留水平変位は測点 A で 1.6mm, 測点 B で 1.2mm と なり土のう高に対し約 1%と微小な変位であった. また、測点間の残留水平変位差は約 0.4mm と微小 であり、加振に伴うコンクリート路盤の回転はみられず一方向に加振することができた.

![](_page_55_Figure_6.jpeg)

#### 3.2 加振に伴うジオテキスタイル土のうの応答結果

図-6に、過去に実施した土のう下端を固定した正負交番水平載荷試験<sup>20</sup>のせん断ひずみ1×10<sup>6</sup>時の 値を G<sub>0</sub>として、今回実施した振動台実験結果であるジオテキスタイル土のうのせん断剛性より算出 したせん断剛性比 G/G<sub>0</sub>と各加振後の残留せん断変位をジオテキスタイル土のうの高さで除した残留 せん断ひずみyの関係を赤線で示す.また、正負交番水平載荷試験結果であるジオテキスタイル土の うの G/G<sub>0</sub>-y を青線<sup>2)</sup>で示す.ここで G<sub>0</sub>に正負交番水平載荷試験結果を用いた理由は、両試験ともジ オテキスタイルは同じ製品(製品保証値81kN/m)を用いており、土のうの中詰め材もM40であるた め、微小なひずみレベルにおいては両試験とも同等な G<sub>0</sub>を示すものと考えられるためである.振動台 実験では揺れ戻しのあった400galは除外し、300galと500gal間は破線で結んでいる.振動台実験結果 と正負交番水平載荷試験結果を比較すると、ほぼ同等のG/G<sub>0</sub>であった.加振に伴いせん断剛性比は大 きく低下していき、300gal以降は0.1以下と小さくなっている.このため、コンクリート路盤の残留 変位は、加振に伴い中詰め材であるM40が塑性化する400gal以降で徐々に表れたものと考えられる.

図-7には、ジオテキスタイルの各加振後の残留ひずみと入力加速度の関係を示す.400gal 以降、測点 a でジオテキスタイルの引張りが確認される.図-4、5に示したように残留水平変位では400gal で

揺れ戻しの影響があるものの、これ以降で鉛直、水平ともに残留変位が徐々に増加している.また、 図-6 に示すようにせん断剛性比は 0.1 以下と小さく、加振に伴い粒度調整砕石が塑性化するにつれて せん断変形は大きくなろうとするが、ジオテキスタイルが粒度調整砕石を拘束することで土のう形状 を保持し、せん断変形を抑制する際にジオテキスタイルに引張りが発生しているものと考えられる.

![](_page_56_Figure_2.jpeg)

#### 3.3 コンクリート路盤の応答加速度

![](_page_56_Figure_4.jpeg)

![](_page_56_Figure_5.jpeg)

![](_page_56_Figure_6.jpeg)

![](_page_56_Figure_7.jpeg)

#### 4. まとめ

実物と同じ材料,同じ応力状態を再現したパイルスラ 図-8 加速度応答比と入力加速度の関係 ブ式盛土のジオテキスタイル土のう模型に対し振動台実験を実施した.実験の結果,ジオテキスタイ ル土のうは 900gal 加振においても残留変位は微小であることを確認した.加速度が大きくなるにつれ て、ジオテキスタイルの包み効果により加振時の粒度調整砕石のせん断変形を抑制するものと考えら れる.また、700gal 以降のコンクリート路盤の加速度応答比は 0.8 程度であり、ジオテキスタイル土 のうの減衰効果が確認された.

#### 謝辞

本研究は、(公財) 土科学センター財団の助成を受けて実施したものである.また、山口大学技術 職員である牧原貴之氏、(有) 中原鉄工所、新光産業(株)、トキワコンサルタント(株) 及び鈴木素 之研究室の学生の皆様には多大なるご協力を頂いた.ここに、謝意を表する.

#### 参考文献

- 野中隆博,小島謙一,瀧山清美,森野達也,陶山雄介,青木一二三:改良杭頭部にジオテキスタ イル土のうを用いたパイルスラブ式盛土の振動実験について,ジオシンセティック論文集,第28 巻,pp.73-80,2013.
- 藤井公博,野中隆博,小島謙一,陶山雄介,青木一二三:路盤を杭で支持するための大型土のうの特性,Geokanto2013, A0172, 2013.

### 山口県における住民参加支援ツールによるハザードマップの運用 住民参加型土砂災害ハザードマップ策定支援プロセスの検討#5

#### 目山直樹\*

#### \*徳山工業高等専門学校

1.はじめに

本稿では、令和元年度から3年度の3年間にわたり実施した山口県との官学共同研究<sup>1)</sup>の成果にもとづき、NPOなどの活動団体と協力しながら、住民参加支援ツールを用いたハザードマップの運用について報告する.なお、このツールは、すでに山口県砂防課のホームページで公開済みであり、著者の管理する「住民参加型土砂災害ハザードマップ」、 https://sabo-tokuyama.com/において公開している.

#### 2. 山口県おける土砂災害ハザードマップを作成するための「住民参加支援ツール」の紹介

山口県砂防課は,我々の共同研究の成果として,令和4年5月に「作成の手引き」を公表した.山口県砂防課主導に よるモニタリングから,地域住民独自の活動に展開する段階にきている.構成は,第2章ワークショップの運営,第3 章ワークショップの資料作成,第4章ワークショップの意見整理の3部構成となっている(図-1).

![](_page_57_Figure_8.jpeg)

図-1 山口県砂防課策定の「住民参加型土砂災害ハザードマップ作成の手引き」.

#### 3. スライド集による「DIG作成支援ツール」の考案と試行(2019-2021年)

(1) ワークショップの運営と資料作りのプロセスを分けて考える

今回の取り組み課題は、3回のワークショップで課題をみつけ、図上にあらわしてみんなで避難することを促す. 簡単にはできないことを、手順にのっとって行い、かつ、ある程度のまとまりをつくる(仕上げる)手法を開発する ことである.そのため、3年間の試行錯誤の中で、ワークショップの運営はそれ自体で組み立てが考えられるように 工夫し、マニュアル化を図った.一方、ワークショップの資料作りは、各回で、単独に個別で考えられることができ るように配慮している.

(2) STEP1課題抽出⇒STEP2まち歩き⇒STEP3ハザードのマップ化 (DIG)

祖業手順として、まず、地図上で課題を見出し、情報共有し、地域固有のハザードについて、認識を共有することとした.ただし、1回きりの検討にとどめず、3回目までのワークショップで随時修正する余地を残した(図-2). 2回目には、全員でまち歩きをして、課題を現地で確認し、地図と現実の地域との隔たりを縮める工夫をした.

3回目は、ハザードマップの作成を目標とするが、マップとしてのまとまりを優先することなく、検討のプロセス を重視することとした.

その検討過程から出てきたものが, 通れるマップ(レベル3で通れても.レベル4では通れなくなる道路を認知), 声かけマップ(当初は「連れ出すマップ」としていたが,近隣の人を連れ出すことの「重さ」から,あくまで「声かけ」をするイメージに転換した)である.

これらの成果物も、地域の実情に合わせて取捨選択すればよく、必ず作らなければならないというものでもない. どのようにすれば、地域の人が、自ら「避難」を選択するようになるのか?を、つねに問いかけることになる.

ワークショップ	第1回	第2回	第3回	
作成地図等	STEP1.自治会単位 ハザードマップ原案 (DIG手法による作成)	STEP2.まち歩きによる ハザードマップに示され た災害事象の確認	STEP3.自治会単位 ハザードマップと 関係資料の最終確認	
ベース図	白図を自治会単位に取り 出す	1.に同じ	1.に同じ	
作成手法	DIGの手法で作成する。 (A図と呼ぶ)	A図を手に取りながら まち歩きを行う。 * まち歩きのあと A図を補足する	最初にA図を確認する. 関係資料の作成後, A図の微調整を行う. ↓ DIGの完成	
意見聴取	ワークショップによる	まちあるき、ワーク ショップをふまえる	ワークショップによる。 自宅で考えてくる。	
特徴	自治会単位での災害に 対する脆弱性を認識 させる。	まち歩きをふまえ, 身近にある災害の可能性 を認識させる.	3度のステップをふまえ, 完成形を作り出す. * マップづくりによる 合意形成	

図-12 2021年度・DIG手法によるハザードマップ作成の組立て(目山の考案による)

(3) スライド集としてのとりまとめと公開

2か年目を終えたところで、資料の構成はほぼ完成し、ツールは出そろっていたが、3年目のワークショップで運用 してみると、参加者の理解にばらつきがみられた.アンケート結果は省略するが、マニュアル類だけでは成果物を想 起しにくいことがわかってきた.

そのため、作成支援ツールとして、手引書をパワーポイント化し、場合によっては、これに音声等をつけていくこととした.また、動画が冗長にならぬよう、数分から10数分で区切れるように工夫した(図-3).

![](_page_59_Figure_4.jpeg)

図-3 2021年度に作成したDIG作成ツールの一例(目山と山口県砂防課の考案による)

#### 4. 山口県内の活動団体と連携した取り組み(2022年以降)

2021年度の段階で、このようなツールを活用した いという団体はいくつかあり、わたしのもとに問い 合わせを受けていた.その中の一つ、NPO法人である 「いのちを守る防災危機管理協会(代表、幸坂美彦 氏)から防災講演を依頼された際、作成途上の「ツ ール類」を持ち込み、デモンストレーションしたこ とがあった(**写真-1**).

この段階では、まだ、コロナ禍の制約が大きく、 コロナ禍がある程度収束してから、取り組みに協力 することをお互いに考えていた.

令和4年11月現在,コロナ禍は,第8波を迎えている. さてさて,どの段階で,これらのツールが活用できるだろうか. 今は,待ちの姿勢である.

![](_page_59_Picture_10.jpeg)

写真-1 いのちを守る防災危機管理協会(NPO)での講演

#### 5. むすびにかえて

3か年で、山口県土木建築部が、このような取り組みをしたことの成果を以下のように総括したい.

(1) 県土木系技術職員職によるソフト対策の一つとしての意義

土木行政は、ややもすると、ハード整備に力点を置きがちであるが、防災の視点に立てば、つくることより、予防 することの方が少額の投資で「安心」につながることは分かっている.今回、土砂災害ハザードマップの住民参加に よる作成支援システムの構築では、ソフト対策に知恵と時間と費用をかける試みがなされた.

今回の知見は、ソフト対策の具体化という意味で、大変貴重である.

#### 目山直樹:山口県における住民参加支援ツールによるハザードマップの運用 住民参加型土砂災害ハザードマップ策定支援プロセスの検討#5

(2)県下4自治体(防府・周南・下関・山口の各市)を実践の場とした住民参加の取り組みの意義

県内を大まかに、中部、東部、西部と分け、異なる風土を持つ地域社会をフィールドとすることができた.2009 年の災害経験を持つ防府市(県中部)の被災エリアに隣接する地区を皮切りに、下関市(西部)の開発団地、周南市 (東部)の小規模集落、山口市(中部)の2種類の市街地縁辺部の地区を対象とすることができた.

3か年の期間に、4市で展開する中では、バリエーションにとんだ地区に協力いただくことができたといえる。各地 区のワークショップ参加者は、総勢で100人弱、3回のワークショップに参加したと考えると300人・回の方々に関わ っていただいたことになる.感謝に堪えない、参加者の安全・安心が向上し、災害安全が実現することを願うもので ある.

(3) 県内企業によるサポートを含む技術と経験の蓄積

まことに幸運なことに、県内の建設コンサルタント企業による作業体制が継続的に組まれたため、このようなソフト技術と経験の蓄積が県内で行われることとなった. 今後の業務展開に期待ができる.

(4) 県内の活動団体への橋渡し

冒頭に説明したように、住民参加型の土砂災害ハザードマップ策定の取り組みは、3段階で資料を構成してきた. すなわち、①ワークショップの運営、②ワークショップの資料作成、③ワークショップの意見整理である.運営面で、 だれが担い手となるのか、それは、地域社会に存立する活動団体と、その構成である住民そのものである.

今後,公開したツールを活用してれる存在との「橋渡し」が課題となる. コロナ禍で,人と人とのコミュニケーションが制限される中,様々な工夫を織り交ぜながら,これらのマニュアル類を作成してきた. 地域の方々に活用していただき,具体的な活動につなげていきたい.

そのため、私自身も支援をおしまないのである.わたしとの協働を希望される方は、徳山高専の「地域生涯学習プ ラットフォーム」(いわゆる出前授業の講師派遣)を活用していただきたい.

窓口は,私に直接でもよいが,徳山高専の正式窓口(地域連携推進係,e-mail: <u>tiren@tokuyama.ac.jp</u> または, 電話0834-0834-29-6227, FAX 0834-28-7605) にお申込みいただきたい.

**謝辞**:本研究成果は徳山高専都市計画研究室と山口県砂防課との官学共同研究で得られたものである.本研究の遂行 にあたり、ご協力いただいた地域住民のみなさま、山口市防災危機管理課、都市計画研究室学生諸君、わけても高木 祐歩さん(現シーエムエンジニアリング)、中野悠我君(現トクヤマ)、藤中亮輔君(現竹中工務店)の各位に深く謝 意を表します.

参考文献 1)目山直樹,山口県砂防課:住民参加型土砂災害ハザードマップ作成の手引きの策定支援プロセスの検討 に関する実践的研究,2019年度~2021年度,山口県官学共同研究,山口県建設技術センター

2)目山直樹,中野悠我,藤中亮輔,林謙一,寒川章:率先避難を促す「声かけ」の仕組みづくりについて,住民参加型土砂災害ハザードマップ策定支援プロセスの検討#1,令和2年度自然災害研究協議会中国地区部会・研究論文集第7号,2021年3月

3)目山直樹,藤中亮輔,中野悠我,林謙一,寒川章:マイ・タイムラインの作成により避難時期を自分が定める仕組 みづくりについて,住民参加型土砂災害ハザードマップ策定支援プロセスの検討#2,令和2年度自然災害研究協議会 中国地区部会・研究論文集第7号,2021年3月

4) 目山直樹,松村寛樹,寒川章:3回のワークショップを通じた意見整理の手法の提案,住民参加型土砂災害ハザー ドマップ策定支援プロセスの検討#3,令和3年度自然災害研究協議会中国地区部会・研究論文集第7号,2022年3月

5) 目山直樹,松村寛樹,寒川章:DIG作成支援ツールの開発,住民参加型土砂災害ハザードマップ策定支援プロセスの検討#4,令和3年度自然災害研究協議会中国地区部会・研究論文集第7号,2022年3月

6) 松村寛樹, 目山直樹:住民参加型土砂災害ハザードマップ作成支援事業にいて, 第73回中国地方技術研究会, 2022 年9月

## 過去の白黒災害写真とそのカラー化された写真の

### 印象に関する比較調査

#### 山田暁<sup>1)</sup>・朝位孝二<sup>2)</sup>

#### 1)山口大学工学部社会建設工学科,2)山口大学大学院創成科学研究科

#### 1.はじめに

豪雨災害において人的被害を減らすためには避難行動が重要である.しかし,避難指示が出て も危機感をあまり感じず避難しない住民がいる.全国的には豪雨災害は度々発生しているが,地 域別で見た時には甚大な災害が長く発生していない地域も多々あり,このような地域では豪雨災 害の危機意識が低下していることが危惧される.特に若い世代ではそのような傾向が強いものと 思われる.そこで過去に発生した災害を地域住民に紹介し地域の災害リスクを認識してもらうこ とが大切である.

地域の災害リスクを認識については大正時代以降写真技術が普及し、当時の災害の様子が撮影 されている.それらを防災教育に活用することは有用と考えられる.しかし、それらのほとんど は白黒写真であるため、当時の様子が伝わりにくいことが懸念される.一方、AI技術の進歩によ りモノクロ画像をカラー画像に加工できるようになり、過去の白黒の災害写真をカラー化するこ とにより防災教育効果の向上が期待される.そこで若澤・朝位は小学生、山口県土木建築部職員 に対して佐波川の過去のカラー化された災害写真と元の白黒の写真を比較してその印象を調査し た<sup>1)</sup>.その結果、小学生は白黒写真に恐怖感を感じるが県職員はそうではない結果を得た.本研究 では、大人と子供の感じ方の違いを再確認するべく、新たにアンケート調査を行った.その結果 の一部を報告する.

#### 2. カラー化された災害写真

本研究を行う上で用いたカラー化サービスは「Data Chef」,「siggraph2016\_colorization」, 「Image Colorizer」の3つである.これらのサービスを利用してカラー化を行い,最もカラー化 が上手くできていると判断した写真をアンケートに用いた.オリジナルのモノクロ写真をカラー 化した写真を5種類,カラー化された写真は現実の色になっているか確証がないため比較として カラー写真を白黒化した写真を3種類アンケート行った.ここでは紙面の都合上,白黒写真から カラー化写真の結果の代表例として**写真-1**を,カラー写真から白黒化写真の代表例として**写真-2** を選んで,その結果を報告する.

#### 3. アンケート方法

本研究の調査対象者は、昨年度調査した防府市立新田小学校5年生と山口県土木建築部職員に 加え<sup>1)</sup>、今年度防府市で開催された防災イベントの参加者にアンケートを実施した.アンケート 対象者には、2章で示した写真それぞれ並べて見せ、現実感、恐怖の2つの項目でそれぞれ自分 の考えに近いものを「白黒」、「どちらかと言えば白黒」、「白黒もカラーも同じ」、「どちらかと 言えばカラー」,「カラー」の5つの選択肢から選んで頂いた.新田小学校では,現地で令和3年 12月20日にアンケート調査を行った.山口県土木建築職員に対しては,Google アンケートフォ ームを用いて web で回答して頂いた.回答期間は令和4年1月19日~1月26日とした.防災イ ベント参加者に対しては,令和4年10月30日の防府市メバル公園での防災啓発イベントの際に 現地で調査を行った.回答者数は新田小学校で64名,山口県土木建築職員で175名,防災講義 受講者で99人(一般55人,公務員44人(山口河川国道事務所職員31人,防府市役所職員6人, 警察職員2人,消防署職員4人,防災±1人など防災に携われる方々))であった.防災イベント 参加者の年代や性別については図-1にまとめた.

![](_page_62_Picture_2.jpeg)

(a) 白黒写真(オリジナル)
 (b) カラー化写真(Image Colorizer)
 写真-1 佐波川水害(大正7年,右田村)

![](_page_62_Picture_4.jpeg)

(a) モノクロ化写真 (b) カラー写真 (オリジナル) 写真-2 厚狭川水害(平成 22 年,山陽小野田市・鴨橋)

![](_page_62_Figure_6.jpeg)

図-1 防災イベント受講者の年代や性別

#### 4. アンケート結果

図-2 に写真-1 に対する結果を示す.小学生に結果を図-2 の(a)に,県職員の結果は(b)に示す. これはすでに文献 1)に報告しているが参考のためここでも示している.小学生は現実感と恐怖感 はカラーにも白黒にもほぼ同数の回答者がいるが,県職員では白黒の回答数は極端に少なくほぼ カラー側に偏っている.このことより子供と大人では白黒写真に対する恐怖感の感じ方が異なる のではないかと推測された.

県職員は防災や災害についてある程度の知識や業務での各種経験を有していることも関係して いるのではないかと考え,防災イベントの参加者については一般と公務員に分類して,その結果 を表示している.それぞれ図-2 の(c)と(d)に示している.(c)と(d)を比較すると恐怖感は「カラー も黒白も同じ」の回答が一般では多いが,全体的には顕著な相違は見受けられない.むしろ白黒 における現実感は公務員の方が多いようである.カラーの回答では県職員,一般,公務員とも同 等の割合を示している.一方で「白黒」の回答割合については一般,公務員は県職員よりも多い が小学生よりは少ないようである.白黒の回答における恐怖感や現実感の回答割合が県職員と比 較して公務員のほうが多いことが興味深い.防災に関する仕事に従事していることは白黒写真の 回答割合とはあまり関係ないかもしれない.

![](_page_63_Figure_4.jpeg)

![](_page_63_Figure_5.jpeg)

![](_page_63_Figure_6.jpeg)

![](_page_63_Figure_7.jpeg)

図-2 アンケート結果(写真-1)

図-3 に写真-2 に対する結果を示す.図-2 と同様,小学生に結果を図-3 の(a)に,県職員の結果 を(b)に,一般の結果を (c)に,公務員の結果を(d)に示している.写真 2 はカラーで撮影された写 真を白黒化しているものである.このためすべての(a)~(d)ともに現実感についてはカラーが一番 多い回答となっている.恐怖感についてもカラーの回答が一番多いが,小学生は白黒との回答が カラーと同じ割合である.子供は大人よりも白黒モードの画像に恐怖を感じやすいかもしれない.

![](_page_64_Figure_2.jpeg)

図-3 アンケート結果(写真-2)

#### 5. まとめ

昨年度と今年度において過去の災害白黒写真とカラー化されたその災害写真についてそれらの 印象についてアンケート調査を行った.その結果カラー化された写真は現実感を醸し出す一方で, 恐怖感は大人にたいしても白黒写真にも感じることが分かった.とくに子供は白黒写真に恐怖感 を感じる傾向が大人よりも強いようである.

今後は実際にカラー化された過去災害の写真を用いて防災授業を行い,その効果を具体的に確 かめる予定である.

#### 参考文献

1) 若澤啓太・朝位孝二:防災教育のためのカラー化された災害写真の利用に関する研究 自然災 害研究協議会中国地区部会研究論文集第8号, pp.21-24, 2022年3月.

### 熱帯沿岸泥炭地の地盤崩壊発生時期の特定

香川 拓輝<sup>1)</sup>・山本 浩一<sup>1)</sup>・神山 惇<sup>2)</sup>・神野 有生<sup>1)</sup>・関根 雅彦<sup>1)</sup> 鈴木 素之<sup>1)</sup>・Noerdin Basir<sup>3)</sup>・Muhammad Haidar<sup>4)</sup>・Sigit Sutikno<sup>5)</sup>

1)山口大学大学院創成科学研究科

2) 宮崎大学工学部

<sup>3)</sup> Lecturer, Bengkalis state Polytechnic

<sup>4)</sup> Geospatial Information Agency, Indonesia

#### <sup>5)</sup>Lecturer, Faculty of Engineering, University of Riau, Indonesia

#### 1.はじめに

現在,熱帯沿岸泥炭地では Warburton ら<sup>1)</sup>によって定義された北方泥炭地の泥炭地崩壊と類似の 地盤崩壊が発生している.泥炭地崩壊は,16世紀以降イギリス北部とアイルランドの高緯度地方 の泥炭地で多く報告されている<sup>2)</sup>.高緯度地方の泥炭地崩壊は,豪雨や長時間の降雨(~90 mm/90 分)に伴って発生する傾向がある<sup>3)</sup>.多くの泥炭地崩壊は,厚さ2~3 m程度の薄い blanket bogs の斜面上で発生し<sup>4)</sup>,数万~数十万 m<sup>3</sup>の泥炭が伴っている場合がある<sup>5)</sup>.高緯度地方の泥炭地崩 壊の被災として,河川の魚の大量死<sup>6)</sup>,インフラへの損害<sup>7)</sup>,泥炭地の自然排水への影響を与える ことが報告されている<sup>2)</sup>.

熱帯沿岸泥炭地での泥炭地崩壊の発生の報告例は少なく,熱帯沿岸泥炭地での泥炭地崩壊の実態は明らかになっていない.熱帯沿岸泥炭地で泥炭地崩壊が発生した後の特徴として,一時扇状地が形成されることと,地盤が露出し,植生被覆箇所が減少することが UAV 画像より確認できた.そこで,衛星画像と現地調査結果から泥炭地崩壊の発生時期の特定することを目的とした.

#### 2. 研究方法

#### 2.1 研究対象地域

インドネシア共和国リアウ州ブンカリス県,東経 102°北緯 1.6°に位置するブンカリス島 (Bengkalis Island)は、マラッカ海峡とブンカリス海峡に挟まれた面積約 900 km<sup>2</sup>の熱帯沿岸泥炭 地の小さな島である.ブンカリス島は 5 つの主要なピートドームで構成されている<sup>8)</sup>.ブンカリ ス島を図-1 に示す.島の多くの泥炭湿地林はパームオイルプランテーションに転換され、島の縦 横に水路が建設されている.ブンカリス島の北西部は現在、海岸侵食が進行している.衛星画像 解析によれば、1988 年 12 月 22 日から 2013 年 6 月 18 日の約 25 年間で 34 m yr<sup>-1</sup>の速度で侵食し ていることが報告されている<sup>9)</sup>. 1950 年代、このブンカリス島北西部にはマングローブ帯が存在 していたことがアメリカ陸軍によって作成された地図に記載されている<sup>10)</sup>.しかし、現在ではブ ンカリス島北西部のマングローブ帯は一部であり、内陸部に存在していたはずの泥炭地湿地林の 倒壊や 6m 程度の泥炭地盤の崖が形成されている.ブンカリス島北西部は、海岸侵食のみならず、 沿岸部で泥炭地崩壊が発生していることが報告されている<sup>9</sup>.

#### 2.2 現地調査方法

現地調査は、泥炭地盤断面測量、空中写真測量、地下水位計測、気象観測を実施した. 泥炭地 盤断面測量した測線(A-A')を図-1に示す. 測量は、2013年8月24日~2016年9月7日まで約 1年間隔で計7回実施し、パームオイルプランテーション内の南北方向の水路沿いを北部の海岸

![](_page_66_Figure_1.jpeg)

図-1 研究対象地域((a):ブンカリス島,(b):ブンカリス島北西部)

に向かって行った.機材は、測量用 RTK-GNSS Sokkia GRX2 を用いた.基準点はブンカリス高専 (ブンカリス市内)にとった.泥炭地崩壊の三次元的な領域の把握のため、図-1の対象領域で UAV を用いた空中写真測量を実施した.2014年12月17日,2015年1月10日,2017年3月4日に実 施した.泥炭地崩壊多発箇所の地下水位の変化を観測するために、図-1に地下水計測器を設置し た.計測方法としては、計測位置に塩ビパイプを差し込むことで観測井を造り、水位計測器(HOBO U-20)によって観測を実施した.泥炭地崩壊の発生時期の特徴を明らかにするために、ブンカリ ス島北央部の Selatbaru (図-1)に気象観測装置(みどり工学研究所 SESAME II-05d)を設置して 継続的な気象観測を実施した.本研究では、地下水位計測結果と気象観測装置によって観測され た結果は2014年12月1日~2015年1月31日までのデータを使用した.

#### 2.3 画像解析方法

図-1の空撮対象箇所の2017年3月4日の撮影結果をVARI画像に換算し,2017年3月22日の Sentinel-2のNDVI画像と比較するためにピクセルサイズを合わせ,植生被覆率としてNDVIとの 関係を示したところ,図-2のように相関関係が示された.そのため,崩壊によって植生被覆が薄 くなる箇所はNDVIが低くなる.そのため,NDVIが低下した時期を泥炭地崩壊が発生した時期 と推定できるのではないかと考えられる.2013年4月15日から2018年3月12日の晴天率100% の崩壊域のLandsat8のNDVI平均値の時系列変化をEOBrowser上で示した.また,2014年10月 22日から2018年3月30日までSentinel-1のSAR画像を使用して崩壊域の陸域面積の変化を解析 した.画像解析の手順としては,撮影時期三区間の移動平均をとり,ぼかし処理を行うことで海 岸線の平滑化を行った.その後,二値化し,陸域のみを抽出することで,抽出箇所の面積変化を 示した.

#### 3. 研究結果と考察

#### 3.1 2014年3月11日時点で確認された泥炭地崩壊の発生時期の特定

図-3 に測線(A-A')における定期断面測量の結果を示す. UTM-N 座標(X 軸),標高(Y 軸) からなる二次元散布図である. 2014年3月11日時点で沿岸部(UTM-N 177300 m-177400 m 間) で標高の低下および地盤の凹凸の変化が見られた. これは,2014年12月17日のUAV 空撮画像 より,泥炭崩壊によって発生した二次的特徴である,テンションクラックが地盤に発生したため

![](_page_67_Figure_1.jpeg)

であると考えられる. また,凹凸が発生している箇所では,平均2.01m 地盤が低下していた. 泥 炭地崩壊が発生した箇所は,植生が薄くなり,地盤が露出することから NDVI が低下することが 考えられる. そこで,Landsat8の NDVI 画像を確認したところ,2013 年 12 月 27 日から2014 年 2 月 13 日にかけて大きく NDVI が低下している(図-4).2014 年 2 月 13 日に低下しているところ から徐々に NDVI が大きくなっていることから,泥炭地崩壊が発生した後,徐々に植生が戻って いるのではないかと考えられる.2018 年 2 月 8 日にも NDVI が低下しているが,この時期につい ては海岸侵食が進行し,干潟の領域が拡張されたためである.

#### 3.2 2015年1月10日時点で確認された泥炭地崩壊の発生時期の特定

2015年1月12日時点で2014年3月11日時点よりも内陸部(UTM-N177000m-177300m間)で 平均2.07m標高が低下していた.ここでも地盤の凹凸が見られ,これは,2015年1月10日のUAV 空撮画像より泥炭地崩壊発生によって形成された湿地裂あるいは泥炭筏によるものである.この 崩壊箇所では,平均2.07m標高が低下および地盤の凹凸が発生していた.さらに崩壊域よりも海 側に崩壊した泥炭土が張り出し,扇状地地形(一時扇状地)が形成されていた.この一時扇状地 を関心領域として、陸域の面積変化を Sentinel-1 衛星画像で確認したところ、2014 年 12 月 22 日 と 28 日では、約 2 ha の面積が突発的に増加していた(図-4). これは、泥炭地崩壊によって形成 された一時扇状地による増加である.従って、12 月 22 日から 12 月 28 日の間で大規模な泥炭地 崩壊が発生したことが明らかになった.その崩壊跡の規模は約 11.6 ha であった.この期間では大 雨が降っており、12 月 23 日に降雨量は観測期間最大の 107.9 mm day<sup>-1</sup>を記録しており、26 日に は 84.1 mm day<sup>-1</sup>を記録している.12 月 27 日に突如止水堰付近の水路水位が急激に約 1.4 m 低下 していたことから、2014 年 12 月 27 日に崩壊が発生したと推定された.さらに、後日の踏査で現 地に設置していた当該水位計は止水堰の崩壊により 30 m 程度水平移動していた.よって止水堰が 崩壊して泥炭地崩壊が誘発されたことが明らかになった.

#### 4. まとめ

2014年3月11日時点で確認された泥炭地崩壊は、2013年12月27日から2014年2月13日に かけて発生したと推定された.また、2015年1月10日時点で確認された泥炭地崩壊は、2014年 12月27日に発生したことが現地観測から明らかになった.特に後者のケースの場合、泥炭地崩 壊は多量の降雨が引金になっていた.泥炭地崩壊発生時は、NDVIが減少することから泥炭地崩壊 発生跡を推定することができる.今後は時系列解析によって降雨と泥炭地崩壊発生の関係を明ら かにするとともに、泥炭地崩壊の長期的な経年変化の状況を明らかにする.また、泥炭地崩壊は 周辺地域への災害をもたらすだけでなく、地球環境の炭素収支へ影響を与える可能性があること から、泥炭地崩壊によって海洋中へ流出した懸濁態炭素流出量を推定することが必要である.

#### 参考文献

- Alan P. Dykes, Jeff Warburton 2007. Mass movements in peat: Aformal classification scheme, Geomorphology 86 (2007) 73 93.
- Alexander, R.W., Coxon, P., Thorn, R.H., 1986. A bog flow at Straduff Townland, county Sligo.Proc. R. Ir. Acad. 86B, 107-119.
- 3) Dykes, A.P., Warburton, J., 2007b. Geomorphological controls on failures of peat-covered hillslopes riggered by extreme rainfall. Earth Surf. Process Landforms 32, 1841-1862.
- Alan P. Dykes, Jeff Warburton 2007. Mass movements in peat: Aformal classification scheme, Geomorphology 86 (2007) 73 93.
- Jeff Warburton, 2015. Chapter 6-Peat Landslides, Landslide Hazards, Risks, and Disasters, 2015, Pages 159-190
- McCahon, C.P., Carling, P.A., Pascoe, D., 1987. Chemical and ecological effects of Pennine peat-slide. Environ. Pollut. 45, 275-289.
- Colhoun, E.A., Common, R., Cruikshank, M. M., 1965. Recent bog flows and debris slides in the north of Ireland. Sci. Proc. R. Dublin Soc., Ser. A2, 163-174.
- Supardi and A.D.Subekty, Sandra G. Neuzil 1993. General geology and peat resource of the Siak Kanan and Bengkalis Island peat deposits, Sumatra, Indonesia, Geological Society of America Special Paper 286, 45- 61.
- 6) 香川拓輝,山本浩一,Muhammad HAIDAR,神野有生,赤松良久,鈴木素之,Sigit SUTIKNO, Noerdin BASIR,関根雅彦:インドネシア共和国リアウ州島嶼域における海岸侵食の現状,土木 学会論文集G(環境)(環境工学研究論文集),Vol.73,No.7,III\_213-III\_219, 2017.
- 10) U.S. Army Map Service:Bengkalis, Series T503, NA48-9, 1955.