

令和2年度

和歌山県

和歌山県土砂災害啓発センター一年度報

和歌山県土砂災害啓発センター

Wakayama Sabo Research and Education Institute



和歌山県土砂災害啓発センター

和歌山県土砂災害啓発センター

はじめに

このたび、令和2年度和歌山県土砂災害啓発センターの年度報を刊行する運びとなりました。

当センターは、平成23年9月の台風12号による紀伊半島大水害などの甚大な被害をくり返さないために、土砂災害の記憶を後世に伝えるとともに、土砂災害に関する研究の拠点となることを目的に平成28年4月24日に開所し、令和3年度で6年目を迎えます。

当誌は、令和2年度で当センターが行ってきた土砂災害に関する啓発活動、調査研究活動及び発表業績等の成果をまとめたものです。

令和2年度は、新型コロナウイルス感染症拡大の影響により感染症拡大防止の観点から、令和2年4月14日から5月24日まで休館の措置を行い、その後、啓発センターで感染拡大予防ガイドラインを策定し、感染防止対策を徹底したうえで啓発センターの運営に努めてまいりました。

令和2年度の来館者については、令和元年度に比べ約半分となりましたが、令和2年12月には来館者数7万人を突破するとともに、啓発研修における防災学習の実施校数が過去最高の31校(研修回数58)となり、土砂災害への関心や意識が高く持たれている状況です。

令和3年4月で開所後6年を迎え、引き続き防災・減災のため土砂災害啓発に係るコンテンツをなお一層充実させるとともに啓発研修を積極的に行い、土砂災害による死者ゼロを目指し、職員一同更なる研鑽に努める所存です。今後、なお一層のご協力を賜り、ご指導ご鞭撻の程よろしくお願い申し上げます。

令和3年4月

所長 坂口 隆紀

目 次

1.	和歌山県土砂災害啓発センターの概要	
1-1	主な出来事	1
1-2	組織	2
1-3	施設	3
1-4	開館時間・休館日	4
2.	啓発活動	
2-1	来館者の状況	5
2-2	館内展示物	6
2-3	啓発研修	13
2-4	夏休み企画	15
2-5	小学校・中学校などへの防災学習	16
2-6	関係機関と連携した啓発活動	26
2-7	その他啓発活動	28
2-8	ホームページ	29
3.	調査・研究	
3-1	研究活動	30
3-2	現地調査	31
3-3	その他	32
4.	和歌山工業高等専門学校との共同研究	33
5.	大規模土砂災害対策研究機構会議	34
6.	参考資料	
参考資料①	新型コロナウイルス感染症への対応	35
参考資料②	令和2年度団体研修一覧表	36
参考資料③	令和2年度啓発センターホームページ更新一覧表	39
参考資料④	令和2年度学会誌等投稿論文	40



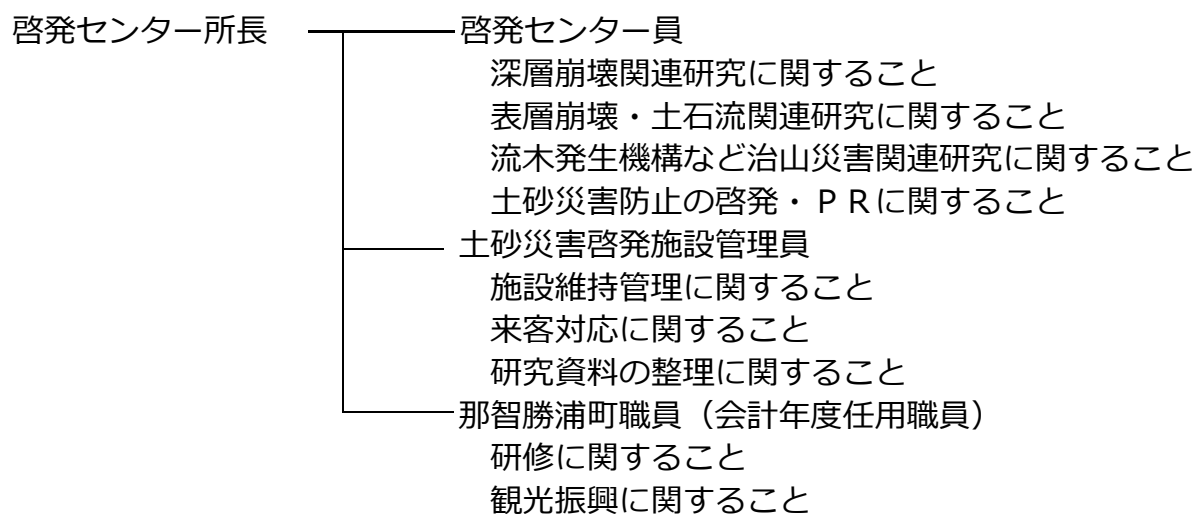
1. 和歌山県土砂災害啓発センターの概要

1-1 主な出来事

令和2年 4月 14日	新型コロナウイルス感染拡大防止のため休館（～5月24日）
令和2年 5月 19日	砂防学会研究発表会（講演集投稿5件）（開催中止）
令和2年 6月 10日	河川技術に関するシンポジウム（講演集投稿1件）（開催中止）
令和2年 6月 25日	近畿地方整備局研究発表会（web開催）（口頭発表1件） 奨励賞受賞
令和2年 8月 8日	夏休み企画「雨と土砂災害～雨のはかりかた、雨をもたらす雲とは？」（～16日）
令和2年 8月 28日	土砂災害に関するシンポジウム（講演集投稿3件）（開催中止）
令和2年 9月 1日	「土砂災害警戒区域等の360°動画」の公開 （啓発センターYouTubeチャンネル）
令和2年 10月 3日	ぼうさいこくたい2020HIROSHIMA（オンライン）」 （口頭発表1件 ジオパークセンターと合同）
令和2年 11月 2日	大規模土砂災害対策研究機構会議
令和2年 11月 5日	治山研究発表会（WEB開催）（口頭発表1件）（～16日）
令和2年 11月 20日	一般研究集会「ジオパークを活用した地域住民－レジデント型研究者－行政連携の防災活動のあり方」に参加（～23日）
令和3年 1月 13日	防災RPG「土砂災害が発生したとき」の防災学習における活用開始

1-2 組織

1-2-1 機構と所掌事務



1-2-2 職員構成

令和3年3月31日現在

採用区分	土木職	林学職	会計年度任用職員	那智勝浦町職員(会計年度任用職員)	計
所長	1	0	0	0	1
主査	1	1	0	0	2
副主査	1	0	0	0	1
土砂災害啓発施設管理員	0	0	1	0	1
事務員	0	0	0	2	2
計	3	1	1	2	7

1-2-3 職員名簿

令和3年3月31日現在

	氏名
所長	坂口 隆紀
主査	筒井 和男
主査	宮崎 徳生
副主査	岸畑 明宏
土砂災害啓発施設管理員	森 要 ※ ¹
事務員（平日）	太田 瑞希 ※ ²
事務員（土・日・祝）	濱 龍児 ※ ²

※¹ 会計年度任用職員

※² 那智勝浦町職員(会計年度任用職員)

1-3 施設

所在地 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町大字市野々3027-6

○木造2階建て

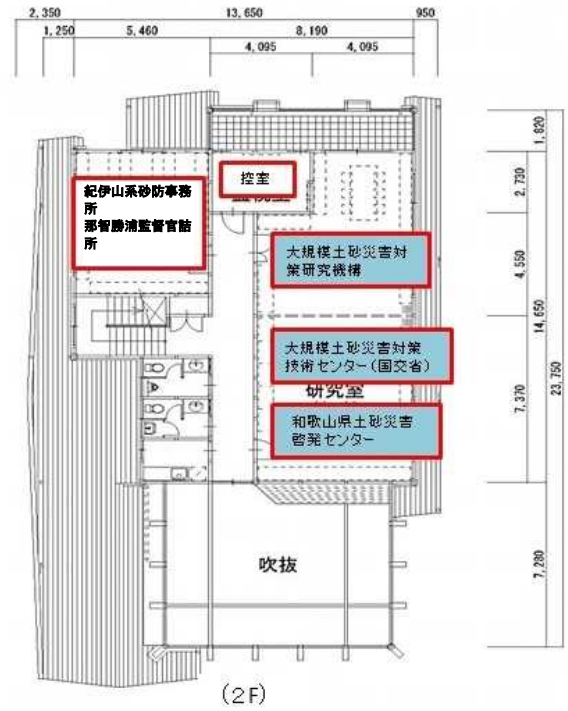
○延床面積 492 m²

1階 展示スペース 61.69 m²、事務室 23.41 m²、研修室1 40.58 m²、
研修室2 40.58 m²、資料保管室 17.39 m²

2階 研究室 87.11 m²、控室 11.18 m²

紀伊山系砂防事務所那智勝浦監督官詰所 34.78 m²

○総事業費 約2億4000万円



展示スペース



研修室1, 2

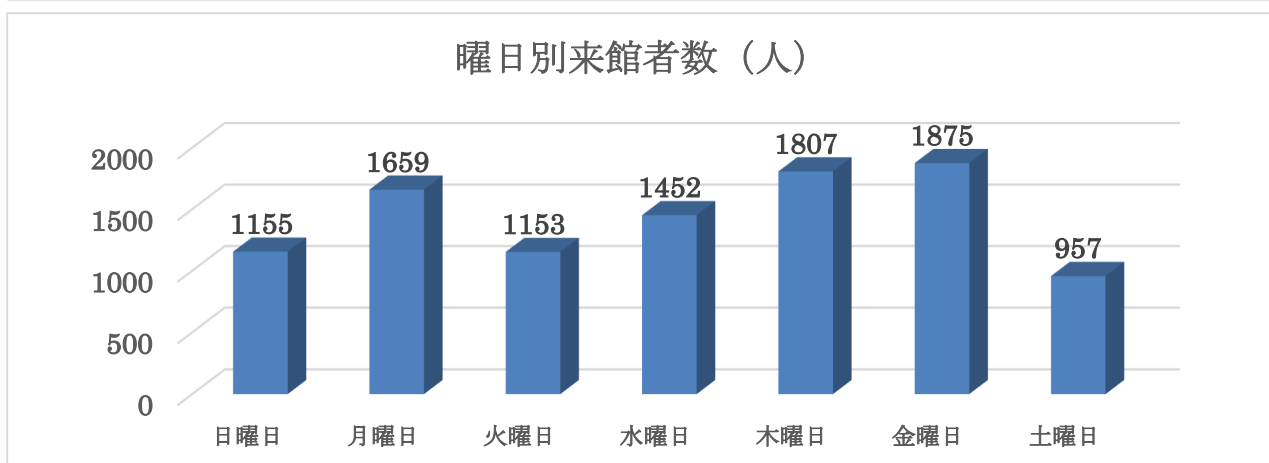
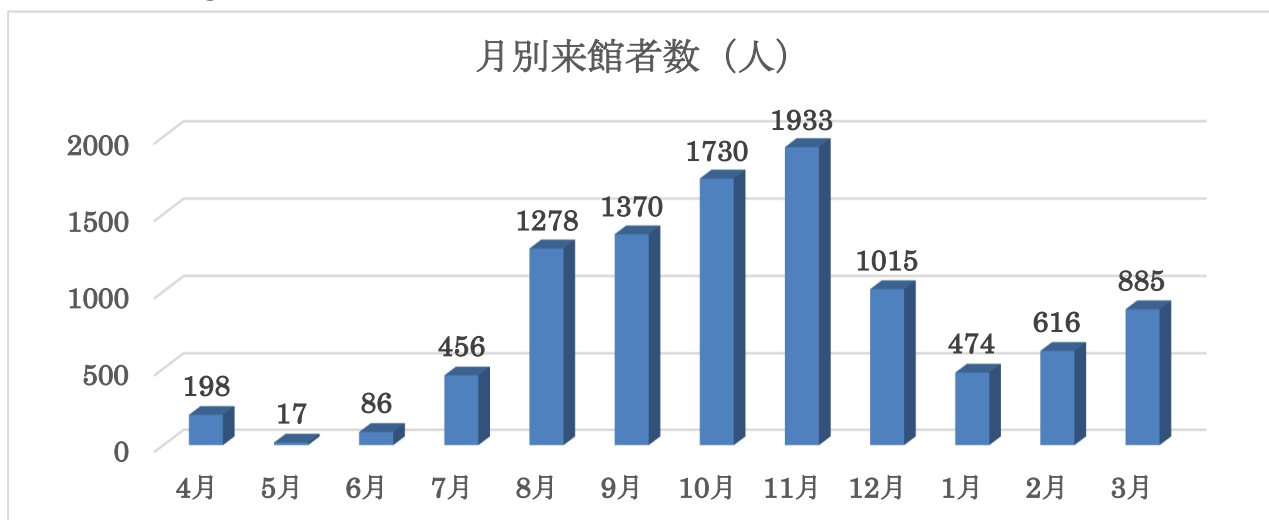
1 - 4 開館時間・休館日

- 開館時間 9時から正午
 13時から17時
- 休館日 年末年始
 大雨等による避難指示等が那智勝浦町より発令された時

2. 啓発活動

2-1 来館者の状況

令和2年4月から令和3年3月末までの来館者数は10,058人であった。令和元年度の来館者数19,575人に比べ約半分となった。これは、新型コロナウイルス感染症拡大による緊急事態宣言の発令や移動・外出自粛の影響により減少したものと考えられる。当センターも緊急事態宣言の発令による新型コロナウイルス感染症拡大防止の観点から令和2年4月14日～5月24日まで休館の措置を行った。開館後については啓発センターで感染拡大予防ガイドラインを策定し、入退館時の手指の消毒、研修室の窓の開放、研修中のマスク着用などを徹底するとともに啓発センターでの研修上限者数を通常の半分以下(20～30名程度)として施設を運営した。なお、多人数の研修申し込みがあった場合は、研修者数を分割しての実施や那智勝浦町体育文化会館を利用するなど新型コロナウイルス感染症対策を徹底し啓発研修の受け入れを行った。なお、新型コロナウイルス感染症への対応については参考資料①として巻末に示す。



来館者数は、例年、5月のゴールデンウィークに多くなる傾向があるが、令和2年度は新型コロナウイルス感染症拡大の影響により5月の来館者は大幅に減少した。その

後、8月の盆休み及び10・11月の紅葉などの観光シーズンを迎え増加傾向になったが、対前年度の来館者数と比べると約半分であった。また、曜日ごとの来館者数については、特定の曜日に偏っているという状況はない。

なお、9月25日の9時50分～14時30分、10月9日の15時以降及び翌日の10日終日は那智勝浦町から避難に関する情報が発令されたため閉館した。

開館以来の入館者数については、令和2年12月17日に70,000人を突破した。

また、開館以来の年別入館者数の推移は上表のとおりとなっており、本年度末までの総入場者数は72,377人である。

期間	入館者数
平成28年4月から平成29年3月	11,167
平成29年4月から平成30年3月	11,998
平成30年4月から平成31年3月	19,579
平成31年4月から令和2年3月	19,575
令和2年4月から令和3年3月	10,058
計	72,377

2-2 館内展示物

2-2-1 展示スペース

館内展示物は、昨年に引き続き、展示スペースに「和歌山県のすがた」「紀伊半島大水害の記録」「土砂災害の種類」「土砂災害を防ぐために」「土砂災害から身を守るために」の合計8枚のパネルを展示している。

展示物として昨年度より展示している「那智川流域の地形模型図」に加え、「大門坂周辺の地形図」、「コアストーンと土砂災害の解説」、「土砂災害警戒区域等の360°動画」、「雲の模型と雨量計」が追加された。



大門坂周辺の地形図



コアストーンと土砂災害の解説



土砂災害警戒区域等の360°動画



雲の模型と雨量計

さらに、モニター2台にて「土砂災害をよく知ろう」「紀伊半島のなりたち」「土砂災害・土石流実験の映像」などを上映するとともにタッチパネルにて、和歌山県内の雨量情報・土砂災害警戒区域を見られるようにしている。



土砂災害をよく知ろう



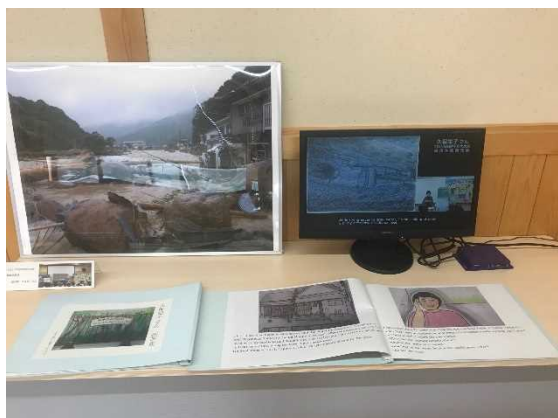
紀伊半島のなりたち

また引き続き、国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所より2基の「土石流模型装置」を貸与されているが、透過型堰堤と不透過型堰堤の機能の違いについて確認することができる。

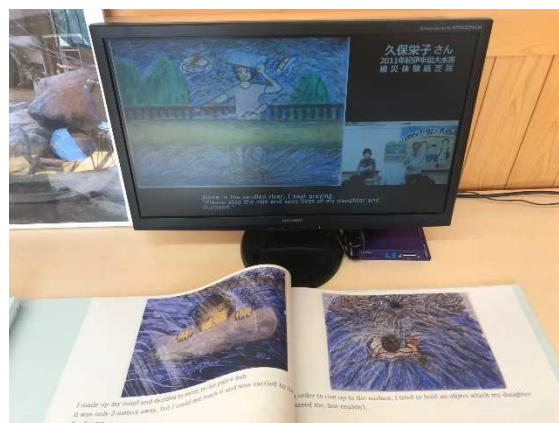
2-2-2 研修室1

研修室1では、昨年に引き続き、全国治水砂防協会等から寄贈された砂防に関する専門書等を展示するとともに平成23年の紀伊半島大水害の被災状況をより知ってもらうために、当時の新聞の切抜きを整理している。

また、令和2年9月より紀北・紀中・紀南の土砂災害による危害の恐れがある区域の冊子、令和3年1月より地元語り部久保榮子さんの被災体験紙芝居を上映（英語字幕付）、防災RPG「土砂災害が発生したとき」体験コーナーが追加された。



紀伊半島大水害体験紙芝居の冊子を展示



被災体験紙芝居の上映(英語字幕付)

(紙芝居の概要)

夫婦と娘3人家族が洪水に見舞われ、最初は3人で家のトユに捕まっていたが耐えきれず、隣の建物に移ろうと濁流に飛び込み流された。その後母親はフェンスに捕まり、娘は屋根に登って九死に一生を得たが、夫は遺体で発見された。



紙芝居の表紙



那智川の様子を見に行く場面



濁流に流されないよう必死に家のトユに捕まっている場面



濁流に飛び込み流された場面



濁流に流されたが舗道のフェンスで助かった場面



娘の無事を確認し涙を流す場面

語り部による紙芝居学習状況



田辺市立龍神中学校



みなべ町立高城中学校



北・紀中・紀南の土砂災害による危害の恐れがある区域の冊子



防災 RPG「土砂災害が発生したとき」体験コーナー

2-2-3 研修室2

研修室2では、2-3 啓発研修を行っているが、それ以外の時間には、「土砂災害を、考える ～平成23年那智川災害を教訓として～（日本語版）」のビデオをくりかえし上映している。なお、平成30年4月よりPCを常備し来館者の要望により、「土砂災害を、考える ～平成23年那智川災害を教訓として～（日本語版）（英語版）」「土砂災害をよく知ろう」の先頭からの上映を行っている。

土砂災害を、考える

～平成23年那智川災害を教訓として～

土砂災害を、考える（日本語版）

土砂災害を、考える

Examining Sediment Disasters

～平成23年那智川災害を教訓として～

- Learning from the 2011 Nachi River Disaster -

土砂災害を、考える（英語版）

また、研修室1で展示していた那智勝浦町立市野々小学校から貸与された「笑顔最高市小」「市野々の宝」の2枚の絵画は、令和2年度は研修室2で来館者に見ていただけるように展示している。



「笑顔最高市小」と「市野々の宝」の2枚の絵画

2-2-4 廊下

廊下には土砂災害を防止する砂防と土砂災害から身を守るための展示パネルを掲出している。以下にパネル内容を示す。

砂防とは？

砂防とは、土砂災害から私たちの命や暮らしを守るためにおこなわれるさまざまな工事や施策のことです。

例えば、流れの急な川では、大雨などで水がふえると、水の方で川底や川岸の土砂が大量に削られ、それが下流に運ばれて土砂災害を引き起こすおそれがあります。そのため、削られた土砂が下流に運ばれるのを防ぐために砂防堰堤などの設備を作ったりします。土砂災害が起きてしまったときには、その復旧工事も行います。

また、土砂災害が起こりやすい場所がないか点検したり、土砂災害が発生していないか監視したりする仕事も行っています。さらに、土砂災害が起きるしくみについて研究したり、土砂災害についての正しい知識や、いざというときの避難のしかたなどを人々に伝えたりするのも、砂防の大切な仕事です。

参考：土砂災害防止広報センター HP

太田川水系 赤鼻谷川砂防堰堤(那智勝浦町)

「砂防の父」赤木正雄博士

○先生が砂防を志された動機
明治43年9月にわが国は台風により大水害を受けた。たまたま帰郷先から第一高等学校へ戻るべく上京の途中でこの水害に遭遇した。その直後の始業式で新藤戸總造校長は「わが国は今回のように度々の水害で多くの人命を失い家を流し耕地等を荒し莫大な被害を受ける有様である。・・・(中略)・・・
思うに治水事業は決してはなばなしい仕事ではない。極めて地味な働きである。しかし人生は表に立って活躍するばかりが決して最善ではない。よって誰か諸君のうち一人でも一生を治水に捧げて、毎年襲来するこの水害をなくすことに志を立てる者はないか」と訓示された。

校長の言葉を暮えられる話の節々は、ついでこの間瀬川の水害で苦学した私の心にひしひしと迫って、よし、私は治水に身を委ねよう、しかも河の源から治める道に従事しよう、とこの瞬間から砂防を決意した。(出典：砂防一路 より)

赤木正雄博士略歴

大正 3年 7月 東京帝国大学農科大学林学科卒業
15年 8月 8日 京都帝国大学農学部講師を嘱託せらる
昭和13年 8月12日 内務省土木局第3技術課長を命ぜらる
15年 2月25日 (社)全国治水砂防協会常務理事兼幹事に就任
17年 3月24日 高等官一等に叙せらる
21年 7月29日 貴族院議員に任ぜらる
22年 4月20日 参議院議員に当選す
23年10月26日 建設政務次官に任命せらる
23年11月12日 砂防工事と治水について天皇陛下に御進講す
30年12月 2日 参議院建設委員会委員長に任命せらる
35年10月12日 建設事業功労者として藍綬褒章を授かる
39年 4月29日 勲二等に叙せられ瑞宝章を授かる
46年11月 3日 文化勲章(文化功労者)を授かる
47年 9月24日 逝去
従三位勲一等に叙せられ瑞宝章を授かる
(出典：新砂防、86、昭和48.1.より)

(一社)「砂防の父」赤木正雄博士館
〒668-0843 兵庫県豊岡市引野772 (駐車場あり)
TEL&FAX 0796-34-6517
開館日 土・金曜日の午前10時～午後3時 (入館無料、事前予約制)

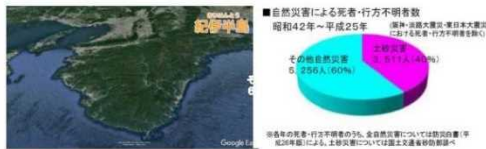
富山県 白岩堰堤
《砂防設備として日本初の重要文化財》
出典：富山県立山崎町史

和歌山県土砂災害啓発センター
Sabo Research and Education Institute

土砂災害から身を守るために
「どこが」「いつ」危険で「どこへ逃げるか」
～土砂災害警戒区域と土砂災害警戒情報を知ろう～

土砂災害への備え

- ・日本の国土は険しい山が多く、地質が複雑です。
- ・梅雨期や台風シーズンを中心とした豪雨に伴って、土砂災害が頻繁に発生しています。
- ・土砂災害は毎年必ず発生し、多くの犠牲者を出している点で際立っています。阪神・淡路大震災や東日本大震災という例外的な災害を別にすれば、自然災害による人的被害は4割を占めています。
- ・他の災害に比べても「身近な災害」である土砂災害について、正しい知識を身につけ、正しく備える必要があります。



紀伊半島大水害 (平成23年)

大型で強い勢力を持った台風12号は、ひびょうにゆっくりとした速度で進み、8月30日からの総降水量は、紀伊半島を中心に広い範囲で1000mmを越え、田辺市大杉では2000mmに達しました。死者・行方不明者は61名、うち土砂災害による死者・行方不明者は37名にのぼり、家屋全壊・半壊59件の被害が発生しました。また鈴鹿・地すべり・急傾斜の粉砕発露では、砂防堤や深溝保全工が被災し36箇所、14億590万円の被害が発生しました。

土石流	57件
地すべり	4件
がけ崩れ	36件
合計	97件

多発する土砂災害 (和歌山県: 平成30年)

○平成30年は台風20号・21号・24号が襲来するなど61件の土砂災害が発生しました。

土砂災害の発生件数

◎土砂災害は、日本全国で年間(過去38年平均)何件ぐらい発生しているのでしょうか?

- A. 約11件
- B. 約110件
- C. 約1,100件
- D. 約11,000件



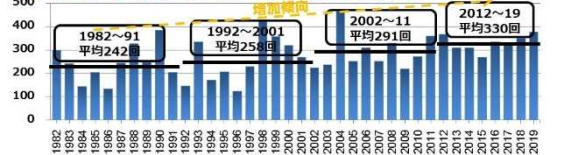
正解は C
(国土交通省集計)

●土砂災害発生件数の推移

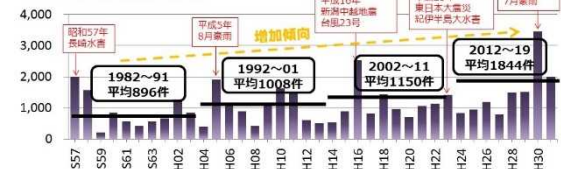


雨と土砂災害

○1時間降水量50mm以上の年間発生回数(1,300地点当たり)



●土砂災害発生件数の推移



多発する土砂災害 (全国: 令和元年) (1)

土砂災害発生件数 1,996件
土石流等: 478件
地すべり: 399件
がけ崩れ: 1,119件

【被害状況】
人的被害: 死者・行方不明23名
人家被害: 全壊77戸、半壊74戸

多発する土砂災害 (全国: 平成30年) (2)

土砂災害発生件数 3,459件
土石流等: 985件
地すべり: 131件
がけ崩れ: 2,343件

【被害状況】
人的被害: 死者161名、行方不明者117名
人家被害: 全壊413戸、半壊565戸

平成16年の2,537件を上回り、集計を開始した昭和57年以降、最多の土砂災害が発生。

土砂災害の特徴

- 突発的に発生する
 - 土砂の動きは早く、その力は非常に大きい
 - 災害発生危険性の高まりが外見的にわかりづらく、いつ・どこで発生するかを予測することは困難
- ⇒ 土砂が動き出してから逃げることは極めて難しい
- ⇒ 人的被害につながりやすく、屋内での被災も多い

土砂災害から身を守る3つのポイント

- 1 危険な箇所を知る「土砂災害警戒区域等」
- 2 危険なタイミングを知る「土砂災害警戒情報」
- 3 安全な場所への避難行動「土砂災害ハザードマップ」



2 危険なタイミングを知る「土砂災害警戒情報」(5)

警戒レベル	土砂災害に関する情報	避難情報等	住民が取るべき行動
5	(大雨特別警戒)	災害発生情報	命を守るための最善の行動
4	土砂災害警戒情報	避難勧告 避難指示(緊急)	避難場所への避難
3	大雨警戒(土砂災害) 土砂災害に関するメッシュ情報(警戒)	避難準備・高齢者等避難開始	高齢者等は避難場所へ避難 その他の者は避難準備・自発的に避難
2	土砂災害に関するメッシュ情報(注意)	洪水注意報 大雨注意報	避難に備え自らの避難行動を確認
1		警戒レベルの可能性	災害への心構えを高める

2 危険なタイミングを知る「土砂災害警戒情報」(6)

早めの避難。夜間に豪雨が予想される時は暗くなる前に避難。

大雨警戒(レベル3相当)が発表された際には、避難に時間を要する人(高齢の方・乳幼児をお連れの方等)は避難を開始。その他の者は避難準備もしくは自発的に避難(避難準備・高齢者等避難開始)

土砂災害警戒情報(レベル4相当)が発表された際には、(土砂災害警戒区域内の人は)直ちに全員避難。公的な避難場所までの移動が危険と思われる場合は、近くの安全な場所や、自宅内より安全な場所へ避難(垂直避難)
「避難勧告、避難指示(緊急)」



2 危険なタイミングを知る「土砂災害警戒情報」(1)

「土砂災害警戒情報」ってなに？

→和歌山県と和歌山地方気象台が共同で発表する土砂災害に関する防災情報です。テレビ和歌山などで情報が発表されています。

→発表されると**市町村長は直ちに避難勧告等を発令**することが基本とされています。

●避難が行われ、難を逃れた事例(東広島市)
〔災害発生状況〕

- ・約50件ある人家のうち、
全半壊約10戸、床下浸水約20戸

・人的被害無し
〔災害の経緯〕

7月6日 17:50 土砂災害警戒情報発表
19:45ごろ 避難指示(緊急)発令
7月7日 5:30ごろ 土石流発生



2 危険なタイミングを知る「土砂災害警戒情報」(3)

土砂災害警戒情報や雨量の情報を調べる

テレビでの調べ方
→テレビ和歌山のデータ放送から確認できます。

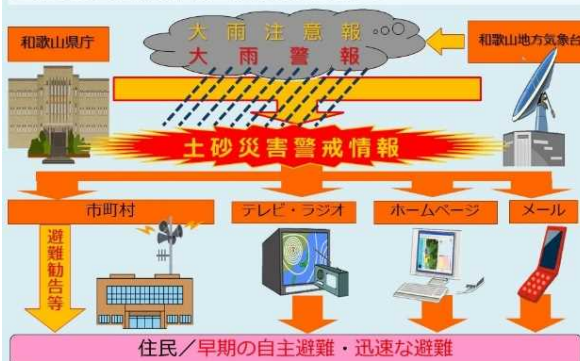


インターネットでの調べ方
→「和歌山県河川・雨量防災情報」のページから確認できます。



2 危険なタイミングを知る「土砂災害警戒情報」(2)

土砂災害警戒情報や雨量の情報に注意する



2 危険なタイミングを知る「土砂災害警戒情報」(4)

土砂災害警戒情報や雨量の情報に注意する 防災わかやまメール配信サービスに登録！



2-3 啓発研修

令和2年度は、88団体1,738名に土砂災害に関する啓発研修・防災学習を行った。啓発センターを訪れた受講者数については、令和2年度は40団体、701名で平成31年・令和元年度の57団体1,131名に比べいずれも減少した。なお、令和2年度における受講団体は参考資料②として巻末に示す。



那智勝浦町消防本部



印南町区長連絡協議会

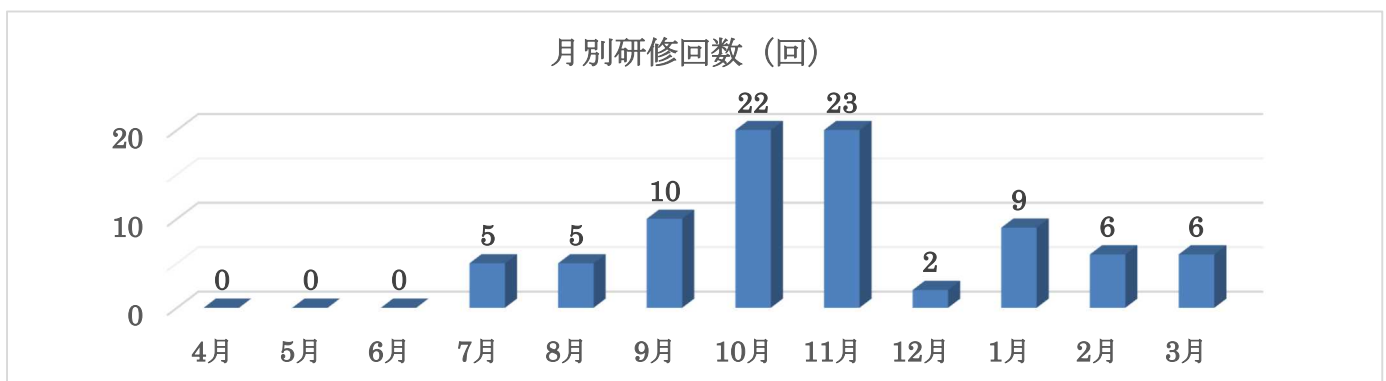


白浜町立三舞中学校

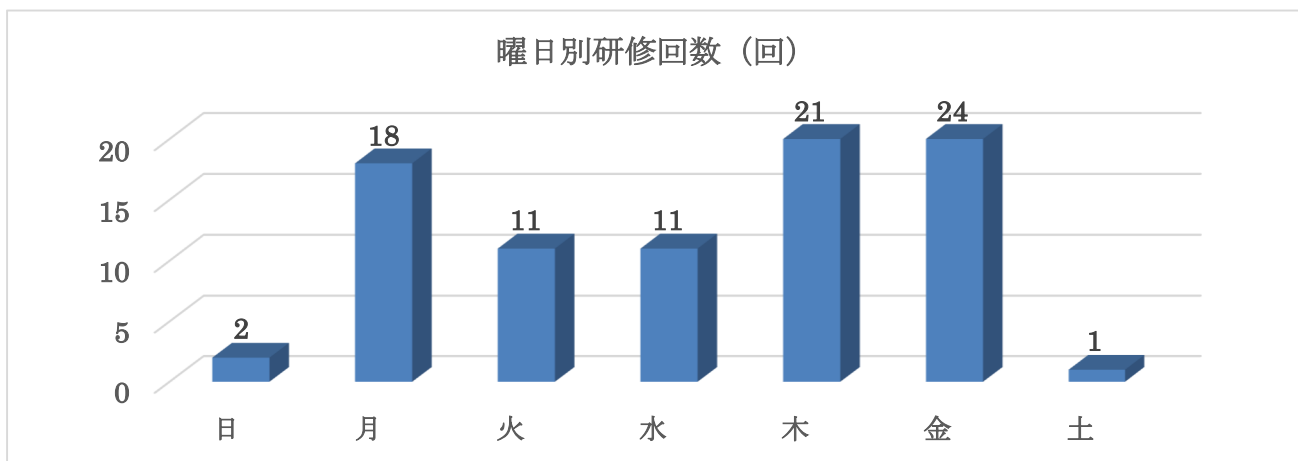


私立慶風高等学校

月別の研修回数、曜日別研修者数を次に示す。10月と11月で研修回数が最も多く、曜

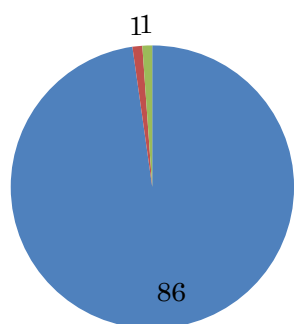


日別では週後半の研修が多い傾向である。



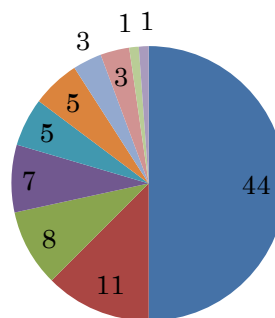
研修受講団体帰属県

■ 和歌山 ■ 奈良 ■ 三重



研修受講団体種別

■ 小学校 ■ 中学校 ■ 自治会等
 ■ その他 ■ 警察・消防 ■ 行政関係
 ■ 高等学校 ■ その他学校 ■ 議員



また、研修受講団体の帰属県及び種別を以下に示す。

研修受講団体・受講者は県内からが多いのは当然であるが、新型コロナウイルス感染症の影響により、県外からの受講団体が少なかったのが特筆される。

受講団体としては、学校関係の団体が多く研修受講者については小中学校が半数を占めている。

研修内容については、

- ・土砂災害啓発センターについて
- ・土砂災害の概要及び予兆について
- ・紀伊半島大水害について

- ・深層崩壊について
- ・土砂災害防止法・土砂災害警戒区域について
- ・早期避難の重要性について
- ・ハザードマップについて
- ・災害後の取り組みについて

などを団体の種別や要望を適宜組み合わせる研修教材としている。

また、最近発生した土砂災害や過去に発生した各地の土砂災害を題材に取り上げることにより、他人事では無く自分ごととして、土砂災害が身近な自然災害であることに留意し減災に役立てて頂けるよう啓発研修を行っている。



最近の土砂災害の例（令和元年の土砂災害）

最近の土砂災害の例（令和2年の7月豪雨）

2-4 夏休み企画

平成29年から新たな取り組みとして、那智勝浦町へ帰省する小学生以上の親子連れをターゲットに企画を行っている。令和2年度は、「雨と土砂災害～雨のはかりかた、雨をもたらず雲とは？」という企画を8月8日から16日の9日間実施し、676人の参加があった。

8月8日	8月9日	8月10日	8月11日	8月12日	8月13日	8月14日	8月15日	8月16日
17人	101人	81人	94人	77人	131人	88人	78人	9人

内容は、以下の通り。

- ・雨の表現や計りかたを学ぼう
 - 雨量はどのように測るのかを展示物で解説
- ・雨をもたらず雲について学ぼう

雨をもたらす雲の種類や、その動きかたについて展示物や動画で解説

- ・土砂災害とコアストーンについて学ぼう

コアストーンとは？そのできかたについて展示物で解説

- ・DVD「こまった土石流」の上映
- ・土石流実験装置を用いた砂防ダムの効果・仕組みの説明



雨をもたらす雲の説明の様子



土石流実験装置の様子

2-5 小学校・中学校などへの防災学習

2-5-1 防災学習の実施状況

啓発センターでは、地元の小学校等と連携・協働し、子どもたちが「自分ごととして考え・行動できる」ことを学習目標に、さらに児童への防災学習を進める中で児童から家庭へ、さらには地域への防災意識が広がることを期待し下記の1)～5)に配慮し積極的に防災学習に取り組んでいる。

防災学習の実施状況



スライドによる学習



扇状地形についての学習



砂防工事現場の見学

(協力：紀伊山系砂防事務所)



語り部による紙芝居学習(中学校)



スライドによる学習(出前授業)

1) 出張授業

啓発センターでの授業だけでなく、学校への出張授業の実施

2) 学校・地域に合わせた教材の作成

学校区のアザードマップなど、学校周辺に合った教材の作成

3) さまざまな実験・現地体験

児童・生徒が興味をもつような各種実験・現地体験の実施

4) 年齢に合わせた学習

低学年から中学生まで学習段階に合わせた授業の実施

5) 授業内容・時間の柔軟性

授業内容・時間は、教員との打ち合わせにより調整し決定

令和2年度は積極的な出前授業、修学旅行メニューへの組み込み、発達(学習)の段階に応じた防災学習などにきめ細かく取り組んだ結果、実施校31校(うち、高等学校3校)、学習回数58回(うち、高等学校3回)と前年に比べて急激に増加した。

防災学習実施校数一覧表

年度	小学校	中学校	高等学校	計	学校の所在地		研修場所		研修回数	うち 修学旅行 学校数	国の試行 学習
					那智勝浦町内	那智勝浦町外	センター	学校等			
平成28年	3	2	0	5	2	3	5	0	5	0	有
平成29年	6	2	0	8	6	2	7	1	8	0	有
平成30年	3	2	0	5	2	3	4	1	5	0	有
令和元年	5	3	0	8	4	4	8	2	10	0	無
令和2年	17	11	3	31	6	25	20	38	58	11	無

※学年毎や複式学級別で実施しており、学校数より研修回数は多くなっている。

令和2年度からは、県内に防災学習を広めるため、各市町村教育委員会に出向いて啓発センターでの学習内容を案内(7月に案内文を送付、25市町村を訪問)するとともに令和3年度に向け2月に教育委員会に対し土砂災害啓発センターの防災学習の案内を周知している。特に令和2年度は研修回数も多く、東牟婁管内以外(伊都郡・有田郡・日高郡・西牟婁郡)の申し込みもあり、防災学習を県内全域に広めるため、引き続き各市町村教育委員会や各学校に出向いて土砂災害に関する防災学習をPRし、実施校数の増加に繋げていきたいと考えている。

広報活動	
令和2年7月29日	県内30全市町村の教育委員会に、土砂災害に関する防災学習の始動の促しと啓発センターの案内を周知。
令和3年2月24日	翌年度の学校事業計画時期を考慮し、県内30全市町村の教育委員会に土砂災害に関する防災学習の始動の促しと啓発センターの案内を周知。
令和3年2月26日	啓発センターの防災学習の取り組みが分かりやすいように、ホームページのリニューアル。
令和2年度	県内25市町村(目標は30全市町村)の教育委員会を訪問し、土砂災害に関する防災学習の始動の促しと啓発センターの案内を周知。

2-5-2 防災授業の計画と内容

啓発センターは防災授業の計画段階において、児童たちの興味・関心を引き出すことをねらいに、実験・体験を多く組み入れた学習メニューを提案し、担当教員と打合せを進め学習メニューの組み合わせを決定しています。

学習メニュー					
1	 <p>土砂災害に関する単語・用語に触れるDVD研修(約10分) ※事前研修にも利用</p>	2	 <p>土砂動態などの記録映像により土砂災害の基礎を学習(約30分～)</p>	3	 <p>平成23年紀伊半島大水害写真による学習</p>
4	 <p>土石流模型実験により透過・不透過型えん堤の効果・仕組みを学習(約10分)</p>	5	 <p>花崗岩を実際に手で割って元々硬い岩でも脆くなることを体験して学習(約10分)</p>	6	 <p>小さな砂山を作り噴霧器で水(雨)をかけ、雨が降れば、山が崩れる概念を学習(約5分)</p>
7	 <p>噴霧器で模型に水(雨)をかけ扇状地は土石流が作った地形である事を学習(約10分)</p>	8	 <p>小型模型水路により、日ごろの川の状況や土石流は大きな石が先頭になり襲うことを学習(約10分)</p>	9	 <p>現場に近い利点を活かし、砂防施設を見学して学習(約20分)</p>
10	 <p>〇×ふだをもってクイズ形式で全員学習(約20分)</p>	11	 <p>学校区の警戒区域や砂防施設などの地理情報を用いた、避難路を考えるグループワーク(約40分)</p>		
12			<p>5年生理科「流れる水の働き」で学習する「しん食・運搬・たい積」を学習するとともに、紀伊半島大水害で発生した土砂・洪水氾濫の原因は学習した「たい積」が原因であること等を学び、授業内容と災害を関係づけて学習(約20分)</p>		

2-5-3 学習内容の主な特徴

(1)児童が土砂災害をイメージしやすい学習

- ア 土砂災害に関連する地質については、那智勝浦町周辺に分布する風化前後の花崗岩類を児童自身が金槌で叩いたり・手で割る、風化後の花崗岩類の「もろさ」を感じる実験 (No.5)
- イ 土砂災害発生の要因となる降水については、土を固めて作った「山」に噴霧器による「降雨」を継続的に当てることで「山が崩れる」様子を体験する実験 (No.6)
- ウ 土砂災害発生後の地形変化については、山と谷を模した模型の上部に配置した土で「斜面崩壊後の堆積土砂」を示し、噴霧器による「降雨」を継続的に当てることによって土石流が発生し、谷の出口で土石流が堆積して扇状地ができる様子を体験する実験 (No.7)

(2)教科書に沿った学習

小学校5年生の理科で学習する「流れる水のはたらき」に関連した内容として、たい積

した砂が、水流によりしん食・運搬・たい積により、河川の流路が形成する事を学ぶことから、紀伊半島大水害では河川内に土砂が急激にたい積し河川の水位が急激に上昇し氾濫したなど災害とそのはたらきが関係する事を学習(No.12)。

(3)啓発センターの実験装置・現地調査

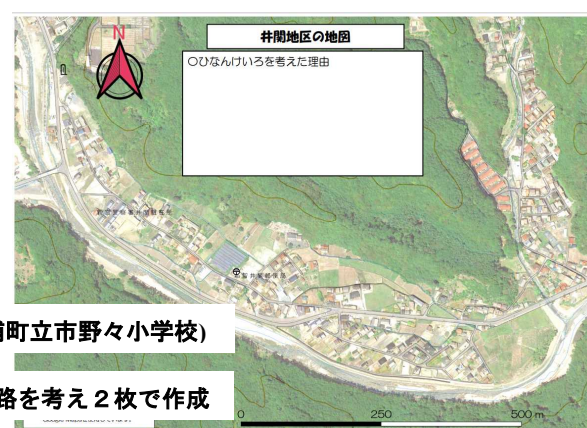
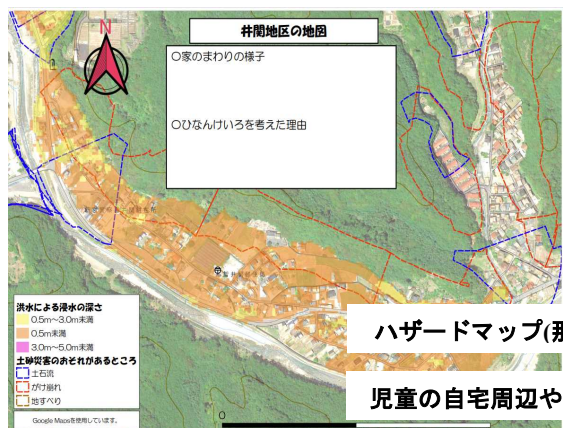
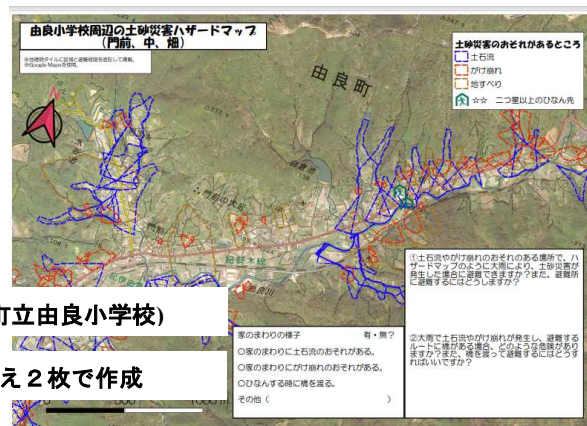
大規模装置による土石流実験(No.4・No.8)や、国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所の協力を得て砂防えん堤などの現地調査(No.9)。

(4)令和2年度に入り実施している学習

ア 啓発センター作成のハザードマップでの学習

土砂災害は突発的・突然発生し、土砂の移動は早く・強いことから家屋でも被災する。このことから自宅がどのような災害の危険性があるかを知り、早めの避難に繋げるためには、ハザードマップ・防災マップにより土砂災害のおそれのある箇所を理解する事が重要である。

学習では学校毎(地区毎)に作成したハザードマップに、児童が自宅を記入し、土砂災害のおそれがあるか・早めの避難をどうするかなどの学習に取り組んでいる。また、児童がこの資料を家に持って帰り家族や保護者の方と話しをする事も期待している。





○左の写真はハザードマップで避難方法について考えた事を発表しているところ。

(那智勝浦町立市野々小学校 3・4年生)

※資料は啓発センターで作成し提供

(ハザードマップには洪水災害と土砂災害を反映)

ハザードマップで自宅を確認
(那智勝浦町立市野々小学校)

イ 身近にある気象観測機器や使用済みの雨量計の活用
土砂災害は雨と地質に強く関係があり、雨を測定する雨量計は学校の屋上等に設置されていることが多く、雨量計を使って、雨量・雨の強さ・雨の測り方について学習する。



噴霧器を使って雨量を計測している様子
(那智勝浦町立太田小学校)

ウ 六年生で学習する「大地のなりたち」とあわせた土砂災害の学習

砂防えん堤の工事箇所地層が確認できることから、地元のフィールドを生かした学習にも取り組んでいる。

ルーペで火成岩・堆積岩の観察



標本で確認



砂防えん堤現場内の地層観察



「大地のなりたち」とあわせた土砂災害の学習
(那智勝浦町立市野々小学校)

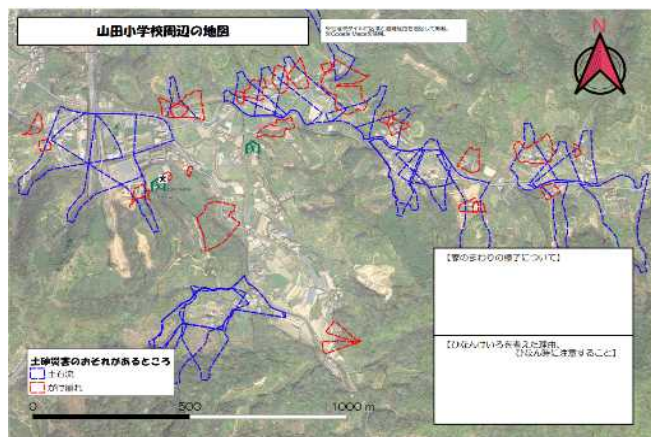
工 現地を歩いての土砂災害学習

出前授業では、学校に啓発センター職員が訪問する点を生かし、教室での学習や実験に加えて学校近隣の土砂災害のおそれのあるところをハザードマップを見ながら一緒に歩き、日頃から危ないところはどこか、土砂災害のおそれのある箇所はどのようになっているか学習する。

ハザードマップをみながら現地の確認



作成・使用したハザードマップ



現地を歩いての土砂災害学習
(湯浅町立山田小学校)

2-5-4 新たな防災学習の取り組み

(1) オンライン学習

新型コロナウイルス感染拡大の状況下では学校・教育現場への感染予防対策として対面での学習が制限されることがある。また、啓発センターには土石流実験装置などの実験装置・小型模型水路などの持ち運びが困難な実験装置もあり、出前授業ではこの実験は実施できない。そこで、オンライン形式での実験や学習なども試行で実施し課題などを抽出している。

土砂災害啓発センターで (那智勝浦町)

撮影の様子

校のみなさん、今日は土石流の模型実験を中継します。

QRコード

録画したものをご覧いただけます

日高川町防災センターで (日高川町)

※この時は、間仕切り体験などを行う事をお聞きしたのでオンラインで啓発センターでの実験(大画面)やふりかえり学習を行いました。

学校で

太地中学校での視聴の様子

ネット環境により対応できない場合もあります。(啓発センター職員が事前に確認して相談します。)

【オンライン学習の概要と課題】

実施日	学校名	概要と課題	
令和2年11月27日	太地町立太地中学校	Youtubeで対応	画質は良い・音声に遅れ・双方向は困難
令和2年11月30日	那智勝浦町立宇久井中学校	Youtubeで対応	ネット環境に課題
令和3年2月1日	白浜町立安居小・三舞中学校	Teamsで対応	特に問題なし
令和3年2月15日	由良町立由良小学校	Teamsで対応	ネット環境に課題
令和3年3月15日	日高川町立山野小学校 (日高川町防災センター)	Teamsで対応	特に問題なし

(2) 低学年向けの土砂災害学習メニューの検討

低学年の教材は全国的に調査しても少ない。教員との打ち合わせでは低学年で「土砂災害とはどのようなものか」知りたいという意見も多いことから、実際の防災学習で課題を検討しながら防災学習方法を検討した。

【低学年の防災学習実施状況】

実施日	実施校・実施こども園	学習内容
令和2年9月1日	那智勝浦町立太田小学校 1・2年生	・紀伊半島大水害で太田小学校周辺がどのようになったかスライドで説明 ・雨で山は崩れる、土砂は流れる実験を実施
令和2年10月1日	那智勝浦町立市野々小学校 1年生	・教員主体で教材作成・説明(土砂動態などの動画は視聴せず) ・雨で山は崩れる、土砂は流れる実験を実施
令和2年11月16日	高野町立花坂小学校 1・2年生	・市野々小学校の学習資料を花坂小学校の地域の情報に修正して実施 ・雨で山は崩れる、土砂は流れる実験を実施
令和3年1月18日	広川町立津木小学校 1・2年生	・花坂小学校の教材や市野々小学校教員のヒアリングを踏まえて、津木小学校の地域の情報をいれて修正 ・土砂災害という言葉は説明するが、土石流、地すべり、がけ崩れの言葉は説明しない(児童の理解難しいとのヒアリングから) ・雨で山は崩れる、土砂は流れる実験を実施
令和3年1月25日	太地町立太地子ども園 年長児	・津木小学校の教材をベースに太地町の情報に入れ替えて説明(土砂動態は視聴せず) ・土砂災害という言葉は説明するが、土石流、地すべり、がけ崩れの言葉は説明しない(児童の理解難しいとのヒアリングから) ・雨で山は崩れる、土砂は流れる実験を実施

検討した学習計画

学習のねらい ～土砂災害の存在と危険性を知る～

- ・土砂災害とはどのようなものかを知る。
- ・土砂災害について危険な時と危険な場所を知る。

【土砂災害啓発センター・出前授業で可能】

(45分)

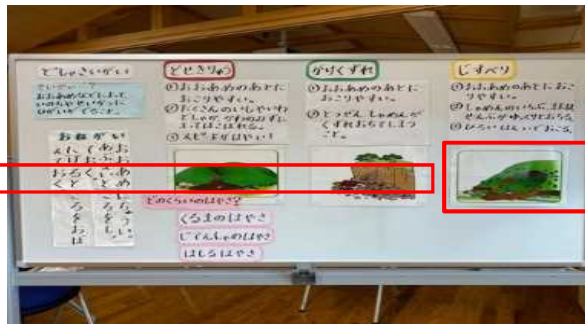
- ①「さいがい」って何？
・「さいがい」、「ひがい」という言葉から「土砂災害」がどのようなものかを知る。
- ②あぶないところ、こまったところ。
・自分たちが崖や山の下にいたり、住んでいたら、どんなことが起こるか考えさせ、土砂災害の危険性に気づかせる
- ③実験
・雨が降ると土が崩れる、流れることを知る。
- ④【映像】本当の土砂災害
・土石流、がけ崩れ、地すべりの動画を見る。
- ⑤危険なところとは？
・学校の近くをの危険なところを知る。
- ⑥【映像】こまった土石流
・ミュージカル仕立ての楽しい音楽と歌で気分転換
- ⑦先生からのおねがい
・土砂災害などの注意を呼び掛ける

The collage includes: a diagram of a slope with labels like 'いさ' (rain) and 'おおあめ' (big rain); photos of landslides with labels like 'ひとのいのち' (human life) and 'どしゃどしゃ' (heavy rain); an illustration of children in a classroom; and a musical score snippet with lyrics like '「つち」や「いし」がおそぞろ'.

【教員とのヒアリング（那智勝浦町立市野々小学校）】

市野々小学校1年生の防災学習では、教員が学習教材を作成し講師も自ら行う形式で防災学習を実施し、学習と併せて行う実験については、啓発センター職員が対応した。

低学年向けの学習内容を検討するため、授業中の児童の様子や感想文などからその効果を把握するとともに防災学習後、教員にヒアリングを行った。



教員が作った教材で学習する様子(文字を見て該当するパネルを選ぶ)
(那智勝浦町立市野々小学校)

〈ヒアリング結果〉

- ・低学年の教材が少なく苦労した。
- ・黒板だけを見るのではなく実験など興味を持つのは良い。
- ・パネルでは「どせきりゅう」、「じすべり」の違いが分かりづらい。
- ・「ひがい」という言葉の意味から教えた。
- ・間違わないようにパネルの裏にヒントの語句を記述した。
- ・文字をあてはめて文章を完成させる課題で、児童はスムーズにできたので理解できていると感じた。
- ・土砂動態などの動画は迫力があり視聴しないとした。
- ・啓発センターから提供された「こまった土石流(山口県)」は、児童が想像以上に楽しく反応したことから、土石災害のこわさを理解するか心配になった。



「いえ」と「くるま」があぶない



「いえ」と「くるま」があぶない

簡単な実験



大雨で谷の土砂が流れる実験



大雨で山が崩れる実験

【低学年向けに検討した防災学習内容の考察】

特に低学年の学習でも「簡単な実験」は有効な方法と確認でき、教員からも中学年以下の子どもに簡単な実験を見せる事はよい学習方法との意見もあった。

(3) 学習内容の分析と効果の検証

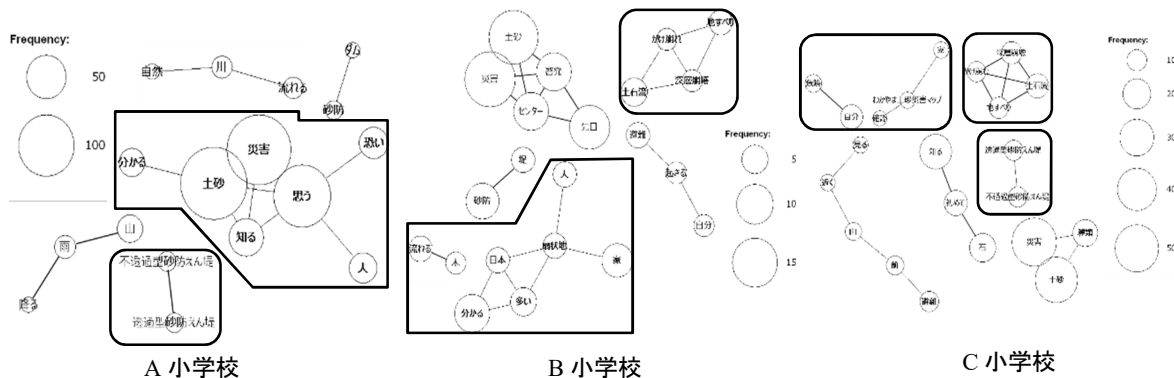
啓発センターで現在行っている防災学習内容は、児童の学習状況を踏まえ、学習教材を随時改善し、さらに学習内容をよりよいものに充実させるため、学習後の教員の意見を参考にするとともに児童が書いた感想文をテキストデータ化した上で、計量化し、研修内容とどのように関連付けられ、意味づけられているかの検討も行っている。

例では、A小学校（令和元年9月11日実施、対象生徒4年生43名）、B小学校（令和元年10月7日実施、対象生徒3・4年生12名）、C小学校（令和元年11月21日、28日実施、対象生徒5年生24名）の防災学習受講者による感想文を分析した。

この分析結果からA小学校の感想文で抽出されたクラスター1つが「土砂」「災害」「知る」「わかる」「怖い」からなるもので、これは、土砂災害による死者や行方不明者数、全国での土砂災害発生状況といった教育内容が土砂災害の危険性を強く伝えたものと思われる。また、「不透過型砂防えん堤」「透過型砂防えん堤」からなるクラスターは、講義での砂防えん堤の役割についての内容に加えて、土石流発生装置による実験、砂防工事現場見

A小学校	B小学校	C小学校
【啓発研修の内容】 ・土砂災害の概要及び予兆について ・深層崩壊について ・紀伊半島大水害について ・早期避難の重要性について ・災害後の取り組み ・土砂災害防止法・土砂災害警戒区域について	【啓発研修の内容】 ・土砂災害の概要及び予兆について ・深層崩壊について ・紀伊半島大水害について ・早期避難の重要性について ・災害後の取り組み	【啓発研修の内容】 ・土砂災害の概要及び予兆について ・深層崩壊について ・紀伊半島大水害について ・早期避難の重要性について ・地質について ・災害後の取り組み ・土砂災害防止法・土砂災害警戒区域について
【啓発研修（実験）の内容】 ・土石流発生装置での実験 ・砂防えん堤工事現場の見学 ・風化前後の花崗岩を叩く実験 ・流れる水の働きについての実験	【啓発研修（実験）の内容】 ・土石流発生装置での実験 ・砂防えん堤工事現場の見学 ・風化前後の花崗岩を叩く実験 ・雨が降ると山が崩れる実験 ・土石流が起こると扇状地ができる実験 ・流れる水の働きについての実験	【啓発研修（実験）の内容】 ・土石流発生装置での実験 ・砂防えん堤工事現場の見学 ・風化前後の花崗岩を叩く実験 ・雨が降ると山が崩れる実験 ・土石流が起こると扇状地ができる実験
【その他 実施した内容】 ・土砂災害による死者と行方不明者数（クイズ） ・全国での土砂災害発生状況	【その他 実施した内容】	【その他 実施した内容】 ・雨と川の水の色、堆積、浸食 ・わかやま土砂災害マップについて

防災教育の実施内容



共起ネットワーク解析分析結果

学により効果的に学習されたものと思われる。

B 小学校の感想文から抽出されたクラスター1 つが「土石流」「がけ崩れ」「地すべり」「深層崩壊」からなるもので、講義でのスライドや動画による説明で強く学習されたことが想定された。また、「人」「扇状地」「家」「日本」「多い」などからなるクラスターは、スライドでの説明や土石流が起こると扇状地ができる実験で日本に扇状地が多数存在することや、扇状地が形成される様子が認識されたものとする。

C 小学校の感想文においても、B 小学校と同じく、「土石流」「がけ崩れ」「地すべり」「深層崩壊」からなるクラスターがあり、B 小学校と同じく動画やスライドで強く学習されたものとする。加えて、A 小学校と同じく「不透過型砂防えん堤」「透過型砂防えん堤」からなるクラスターも確認された。「わかやま土砂災害マップ」「家」「確認」「自分」「危険」からなるクラスターは、研修の中で PC を操作し、実際に小学校区周辺の土砂災害のおそれがある箇所を和歌山県が管理する WEB サイトである「わかやま土砂災害マップ」で確認したことが、効果的であったと考えられる。

以上、防災学習を行った後、その効果を把握し、学習教材の改善や学習プログラムの時間配分の変更、新たな教育内容の追加などの研鑽につながる事が重要であるとする。学習後に児童の感想を分析し、学習内容を改善し、その上でより良い学習を行い、その結果を再度フィードバックしていく学習方法を継続的にレベルアップできるサイクルが行われるよう進めている。

2-6 関係機関と連携した啓発活動

2-6-1 日高川町防災センターと連携した啓発活動

令和2年9月に日高川町防災センターで行われた水害写真展において、関係機関と連携し効果的な啓発活動を行うために、啓発センターのパネル40点を貸出し、防災センターの水害写真の展示と併せ土砂災害啓発パネルの掲示を行った。



防災センターでのパネル掲示

また、令和3年3月に日高川町防災センターで行われた防災学習では、防災センターで行う避難パターションの実習と併せ、啓発センターにある土石流模型装置を使った実験をオンライン配信するなど防災センターと連携し防災学習を行った。



土石流模型装置を使ったオンライン学習の様子

2-6-2 和歌山工業高等専門学校と連携し開発した防災 RPG を用いた防災学習

本大震災の際に、「釜石の奇跡」と言われた「津波てんでんこ」のように、防災学習で大切なことは「学んだことを行動に移せる」ことである。そのためには、子どもたちが自発的に取り組む姿勢が大切になってくる。

啓発センターと連携し、和歌山工業高等専門学校が開発した防災 RPG「土砂災害が発生したとき」は子どもたちが自らゲームを行う(自発・自分ごと)ことで土砂災害に関する知識を身につけることができる教材であり、ゲームとあわせてハザードマップの学習・現地調査なども行っている。



防災 RPG を使用した学習の様子



＜ゲームのシナリオ＞

楽しみにしていた遠足。しかし、当日はまさかの大雨！！大雨警報、土砂災害警戒情報、避難勧告と、次々と地域の防災・避難情報が発令されています。事前にハザードマップで確認をしていた避難所に安全に避難ができるでしょうか？

＜実施校の教員からの主な意見＞

- ・教材として使いやすい。
 - ・小学校中学年以上が対象。
 - ・二人組で行うと子ども同士で相談しながら進めるので理解が深まる。
 - ・親子でゲームを行うとさらに防災学習が広がる。
 - ・ふりかえりとしてもう一度大事なところを印象づける必要がある。
- (後半の実施校ではハザードマップの学習や現地調査を組み入れた。)

【防災 RPG「土砂災害が発生したとき」実施校】

実施日	学校名	概要
令和3年1月13日	那智勝浦町立市野々小学校 5・6年生	事前の土砂災害学習有
令和3年1月14日	那智勝浦町立市野々小学校 3・4年生	事前の土砂災害学習有
令和3年2月1日	白浜町立安居小(3～6年生)・三舞中学校(1～3年生)	事前の土砂災害学習有
令和3年2月15日	由良町立由良小学校 6年生	事前の土砂災害学習有
令和3年2月19日	那智勝浦町立太田小学校 5・6年生	事前の土砂災害学習有、ゲーム後、ハザードマップの学習や現地調査を実施
令和3年3月5日	日高川町立山野小学校 5年生	事前の土砂災害学習無、ゲーム後、ハザードマップの学習や現地調査を実施

2-7 その他啓発活動

2-7-1 土砂災害防止月間

毎年6月は「土砂災害防止月間」であり、啓発センターでは展示スペースに垂れ幕及び館外に木製看板並びに幟の掲出を行っている。

また、啓発センター内においては、警戒区域や土砂災害警戒情報など土砂災害から身を守るために知って頂きたい内容を周知するため「土砂災害から身を守るために」と題しパネル展示を行った。



土砂災害防止月間の広報活動



土砂災害啓発パネルの展示



来館者の様子

2-7-2 土砂災害警戒区域の認知度向上

土砂災害への備えや警戒避難に役立ててもらうため、令和2年度より県内各市町担当職員を対象とした「土砂災害警戒区域」等にかかる研修会を実施している。

令和2年度は、県内22市町村で土砂災害警戒区域等にかかる啓発研修を実施した。

また、新たな取り組みとして、県内各市町村別に空中から土砂災害警戒区域等が確認できる土砂災害警戒区域等の360°動画を公開し、県民への周知を図っている。



見る方向を自由に動かせます。

※令和3年3月末日時点
動画再生回数 約8,000回

公開場所 和歌山県土砂災害啓発センターYouTubeチャンネル

(2次元バーコード)

(URL : https://youtube.com/channel/UC6ukXluW_ylhO5uzL9B8njw/)

県土砂災害啓発センターのHPからも、上記チャンネルへ移動できます

(URL : <https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/080604/top.html>)



2-8 ホームページ

啓発センターでは土砂災害に関する防災・減災につながる情報や啓発活動の様子をホームページで情報を発信している。令和2年度における主なホームページ更新内容は参考資料③として巻末に示す。なお、令和3年度についても引き続き積極的な情報発信に努めていく。

3. 調査・研究

3-1 研究活動

啓発センターの2階には国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センターが入所し、大規模土砂災害対策研究機構と連携を図りながら土砂災害に関する研究活動を行っている。

啓発センター職員も大規模土砂災害対策技術センターの職員と同じフロアで活動し、指導を受けながら調査研究を行うことで技術力の向上に努め、研究成果を学会等で発表するとともに学会誌等への論文投稿を実施している。以下に令和2年度中の研究成果の実績を示す。また、各学会等における発表・投稿内容を参考資料④として巻末に示す。

年月	学会名	題名	著者・共著者
2020年5月	2020年度砂防学会研究発表会「愛知大会」※ ¹	昭和28年日高川流域での土砂災害教訓伝承の取組み	森川智・崎山朋紀・宮崎徳生・榎原伴樹・岸畑明宏・坂口隆紀・伊奈高司・谷本展也・木下篤彦
		人工衛星「しきさい」を活用した那智の滝上流域の水源涵養機能に関する研究	崎山朋紀・宮崎徳生・榎原伴樹・岸畑明宏・坂口隆紀・木下篤彦・柴田俊・鈴木清敬・鈴木大和・中谷洋明
		日置川水系、新宮川水系における放射性炭素年代測定結果を用いた深層崩壊発生頻度推定方法の検討	岸畑明宏・坂口隆紀・崎山朋紀・榎原伴樹・木下篤彦・柴田俊・小川内良人・横山修・田中健貴
		地質境界付近の水文挙動が表層崩壊の発生に与える影響	榎原伴樹・筒井和男・崎山朋紀・岸畑明宏・坂口隆紀・木下篤彦・柴田俊・松澤真・田中健貴
		和歌山県土砂災害啓発センターにおける防災教育の取り組みについて	坂口隆紀・岸畑明宏・榎原伴樹・崎山朋紀・柴田俊・木下篤彦
2020年6月	2020年度河川技術に関するシンポジウム※ ¹	コアストーンが分布する斜面の水文特性に関する研究	榎原伴樹・筒井和男・崎山朋紀・岸畑明宏・坂口隆紀・木下篤彦・柴田俊・松澤真・田中健貴
2020年6月	2020近畿地方整備局研究発表会(WEB開催)	紀伊半島大水害の被災体験の研修プログラムとその生徒への効果について	岸畑明宏・坂口隆紀
2020年8月	第10回土砂災害に関するシンポジウム※ ¹	水路実験による土砂移動時の地盤振動スペクトルと距離減衰に関する考察	筒井和男・坂口隆紀・海原荘一・谷田佑太・木下篤彦・柴田俊・金澤瑛・中谷洋明・里深好文・藤本将光
		和歌山県土砂災害啓発センターにおける土砂災害に関する防災教育とその効果について	岸畑明宏・坂口隆紀・筒井和男・宮崎徳生
		人工衛星「しきさい」を活用した那智の滝上流域の森林活性度と可能蒸発散量に関する研究	宮崎徳生・筒井和男・岸畑明宏・坂口隆紀・木下篤彦・柴田俊・鈴木大和・中谷洋明・鈴木清敬
2020年9月	日本地すべり学会誌第57巻第5号技術報告	地すべり対策工の効果の簡易的な検証方法の提案	岸畑明宏・榎原伴樹・崎山朋紀・坂口隆紀・木下篤彦

年月	学会名	題名	著者・共著者
2020年11月	第60回治山研究発表会 (WEB開催)	和歌山県における山地災害教訓伝承の取組みについて	宮崎徳生・筒井和男・岸畑明宏・坂口隆紀・木下篤彦
2021年1月	砂防学会誌 第73巻 第5号 研究ノート	土砂移動時の地盤振動の再現 -模型実験からの考察-	筒井和男・坂口隆紀・海原荘一・谷田佑太・木下篤彦・柴田 俊・金澤 瑛・中谷洋明・里深好文・藤本将光

※¹新型コロナウイルス感染症拡大の影響により発表会及びシンポジウムは中止となり論文投稿を行った。

3-2 現地調査

和歌山県内で発生した土砂災害（地すべりに起因する道路災害も含む）について、県や市町村からの依頼に基づき実施する大規模土砂災害対策技術センター職員による現地調査に同行し調査を行った。また、技術開発が進められているドローン空中電磁探査における現地見学会への参加や過去の大規模土砂災害発生箇所の現地調査なども行い技術力の向上及び過去の大規模土砂災害に関する歴史的な知識の習得にも努めている。以下に令和2年度中の現地調査の実施状況を示す。



現地調査実施状況（有田川町遠井）



現地調査実施状況（田辺市石船）



現地調査実施状況（田辺市長野）

年月	路線・箇所名	事業実施主体	事業区分
2020年6月	田辺市長野地内	和歌山県	砂防
2020年7月	県道野上清水線（有田川町楠本地内）	和歌山県	道路
2020年7月	国道480号線（有田川町遠井地内）	和歌山県	道路
2020年8月	市道皆ノ川線（田辺市中辺路町温川地内）	田辺市	道路
2020年12月	市道宮谷線（田辺市中辺路町石船地内）	田辺市	道路
2021年12月	田辺市龍神村下柳瀬地内(明治22年水害箇所)		
2021年2月	田辺市湊地内（明治22年水害箇所）		
2021年3月	田辺市熊野地内	国	砂防
2021年3月	田辺市上秋津・長野地内（明治22年水害箇所）		
2021年3月	市道宮谷線（田辺市中辺路町石船地内）	田辺市	道路

3-3 その他

地震・豪雨等による大規模な浸水や土砂移動の被害状況の把握に有効とされる、合成開口レーダーSAR画像による被災区域の判読手法の研修会が、WEB形式で行われ参加した。広域災害時の初期段階においては、迅速に被害状況を把握することが重要であり大規模災害における初動対応に活用するため、SAR画像による被災区域の判読技術の向上に努めている。

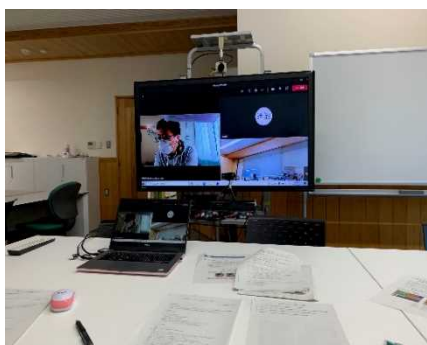
4. 和歌山工業高等専門学校との共同研究

土砂災害に関する防災学習コンテンツの開発にあたり、RPG ソフトウェアを用いた防災学習についての研究を行っている和歌山工業高等専門学校環境都市工学科辻原研究室と啓発センターが、右図に示すそれぞれの機関の強みを活かし補完することで、RPG ソフトウェアの開発から実践までを共同研究した。本研究は、令和 2 年 5 月より、対象年齢と想定した小学校高学年の学習内容の調査から始め、和歌山工業高等専門学校の学生は防災学習への興味は持っていたが土砂災害に関する知識は少なく、啓発センターで学習し土砂災害の知識を深めながら開発を進めた。同年 12 月に RPG ソフトウェアが完成し、令和 3 年 1 月から小学校などにおいて実践を開始した。特に、シナリオについては、RPG の根幹をなすところであり、防災学習の目標や内容、またゲーム性をどのように出していくかなどについて、両機関で意見を出し合い議論を重ねた。

なお、RPG ソフトウェアの開発は、和歌山工業高等専門学校環境専攻科エコシステム工学専攻の西萩一喜さんが、RPG 開発用ソフトの「RPG ツクール VX Ace」を用いて行い、RPG の題名は「土砂災害が発生したとき」とした。

各機関の強み

	和歌山高専	土砂災害啓発センター
各機関の強み	ゲーム学習を利用した防災教育の先行研究	土砂災害に関する資料（動画など）の提供
	開発を担当する学生のゲームに対する感性	小・中学校との連携
	ゲームの製作	教育機関・報道機関等への情報発信



和歌山工業高等専門学校とのオンライン会議の様子



防災 RPG「土砂災害が発生したとき」

5. 大規模土砂災害対策研究機構会議

令和2年11月2日、大規模土砂災害対策研究機構令和2年度機構会議がWEB形式で開催された。大規模土砂災害対策研究機構は、土砂災害に関する高度な知見を有する大学や研究機関が連携を図り、研究を推進することを目的とした、国・県・町・大学・研究機関からなる組織で、会議では各機関よりそれぞれの調査研究等の報告が行われた。

※大規模土砂災害技術センター

(URL : <https://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/center/index.html>)

参考資料①

・新型コロナウイルス感染症への対応

新型コロナウイルス感染症の拡大により緊急事態宣言が発令され、令和2年4月14日～5月24日まで休館の措置を行った。5月25日からの開館後については新型コロナウイルス感染症拡大防止の観点から、啓発センターで感染拡大予防ガイドラインを策定し感染対策を徹底したうえで以下のとおり施設を運営した。

・新型コロナウイルス感染防止対策の経過

令和2年4月14日～5月24日まで休館

令和2年6月 1日～策定した感染拡大予防ガイドラインの適用

令和2年6月19日～啓発センター内での研修上限者数を通常の半分以下（20～30名程度）として啓発研修の受付を再開

令和2年10月～ 所内関係職員への一斉メールによる新型コロナウイルス感染症関連情報の共有



非接触温度計による検温 (R2.7.8～)



サーマルカメラの導入 (R3.1.8～)

和歌山県感染拡大予防ガイドライン【和歌山県土砂災害啓発センターR2.6.1】

施設の種類	内訳	感染防止対策について留意すべき事項
博物館など	土砂災害啓発センター	<p>【従業員に関する行動】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 従業員に対して検温を促し、体調不良の場合、自宅待機とする。 □ 咳エチケット、マスク着用、手洗い、手指の消毒を徹底する。 □ 対人距離(できるだけ2mを目安に(最小1m))を確保するとともに、互いに手を伸ばしたら届く距離での会話や発声を控える。 □ 現金の受け渡しにはトレイを使用させる。 □ 鼻水、唾液などが付いたごみは、ビニール袋に入れて密閉して縛り、ごみを回収する従業員はマスクや手袋を着用させる。 <p>【来客へ注意を促す事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 咳エチケット、マスク着用、手洗い、手指の消毒を徹底する。 □ 発熱があったり、咳、咽頭痛などの症状がある人は入場をしないように呼びかける。 □ 対人距離(できるだけ2mを目安に(最小1m))を確保するとともに、互いに手を伸ばしたら届く距離での会話や発声を控えるよう呼びかける。 <p>【展示室等における感染防止策】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ フロアマーカ等の設置等の工夫を行い、来館者同士の距離(2mを目安に(最小1m))が確保できない場合は、入場制限等を実施する。 □ パンフレット等の配布物は手渡しで配布せず据置き方式とする。 □ 直接手で触れることができる展示物(ハンズオン)は感染リスクが高いため原則展示しない、止むを得ない場合は従業員が管理して消毒を徹底する。 □ 清掃、消毒、換気を徹底する。 □ オーディオガイド、ベビーカー、車椅子等の貸出物について十分な消毒をする。 □ 汚物を流すときは、トイレの蓋を閉めて流すよう注意書きを表示する。 □ トイレのハンドドライヤーは止め、共通のタオルは禁止し、ペーパータオルを設置するか、使い捨ておしぼり等を準備する。 <p>《窓口》</p> <ul style="list-style-type: none"> □ アクリル板等設置により購買者との間を遮蔽する。 □ 窓口に行列ができる場合は、2mを目安に(1m)間隔を開けて整列を促す等、人が密集しないように工夫する。 <p>※ 上記留意事項を入り口や店内に掲示し、啓発する。</p>

参考資料②

令和2年度研修一覧表

回	開催日	団体名	人数	都道府県	研修時間	研修会場
1	07月08日	那智勝浦町消防本部	9	和歌山	90	土砂災害啓発センター
2	07月15日	那智勝浦町消防本部	10	和歌山	90	土砂災害啓発センター
3	07月23日	那智勝浦町消防本部	14	和歌山	90	土砂災害啓発センター
4	07月29日	那智勝浦町立市野々小学校5・6年生	8	和歌山	45	小学校
5	07月31日	那智勝浦町立市野々小学校5・6年生	8	和歌山	45	小学校
6	08月06日	新宮警察署	10	和歌山	30	土砂災害啓発センター
7	08月21日	那智勝浦町役場	147	和歌山	60	那智勝浦町体育文化会館
8	08月21日	那智勝浦町役場	-	和歌山	60	那智勝浦町体育文化会館
9	08月21日	那智勝浦町役場	-	和歌山	60	那智勝浦町体育文化会館
10	08月28日	特定非営利活動法人ネオ相談室ラルゴ	15	和歌山	100	土砂災害啓発センター
11	09月01日	那智勝浦町立太田小学校1・2年生	4	和歌山	45	小学校
12	09月01日	那智勝浦町立太田小学校3・4年生	7	和歌山	45	小学校
13	09月01日	那智勝浦町立太田小学校5・6年生	13	和歌山	45	小学校
14	09月03日	和歌山県立有田中央高等学校清水分校 全学年	14	和歌山	90	高等学校
15	09月04日	田辺市立龍神中学校1年生	28	和歌山	180	那智勝浦町体育文化会館
16	09月10日	和歌山県消防学校	52	和歌山	60	那智勝浦町体育文化会館
17	09月11日	和歌山県経営者協会	20	和歌山	75	土砂災害啓発センター
18	09月16日	那智勝浦町立下里小学校4年生	11	和歌山	45	小学校
19	09月17日	白浜町立西富田小学校6年生	58	和歌山	70	土砂災害啓発センター
20	09月30日	和歌山県警察近畿管区警察局	10	和歌山	30	土砂災害啓発センター
21	10月01日	那智勝浦町立市野々小学校3・4年生	11	和歌山	45	小学校
22	10月01日	那智勝浦町立市野々小学校1年生	3	和歌山	45	小学校
23	10月02日	那智勝浦町立下里小学校4年生	11	和歌山	110	土砂災害啓発センター
24	10月08日	那智勝浦町立市野々小学校3・4年生	11	和歌山	45	小学校
25	10月09日	白浜町立三舞中学校3年生	5	和歌山	60	土砂災害啓発センター
26	10月09日	新宮信用金庫	2	和歌山	60	土砂災害啓発センター
27	10月12日	電源開発株式会社	11	和歌山	60	土砂災害啓発センター
28	10月13日	那智勝浦町立市野々小学校3・4年生	11	和歌山	45	小学校
29	10月15日	和歌山県議会建設委員会	13	和歌山	55	土砂災害啓発センター
30	10月15日	電源開発株式会社	12	和歌山	60	土砂災害啓発センター

回	開催日	団体名	人数	都道府県	研修時間	研修会場
31	10月16日	和歌山県立新翔高等学校1年生	97	和歌山	110	高等学校
32	10月18日	日高川町立中津中学校3年	19	和歌山	50	土砂災害啓発センター
33	10月18日	日高川町立美山中学校3年生 日高川町立早蘇中学校3年生	15	和歌山	60	土砂災害啓発センター
34	10月19日	みなべ町立高城中学校全学年	28	和歌山	90	中学校
35	10月22日	電源開発株式会社	7	和歌山	80	土砂災害啓発センター
36	10月22日	日高町立内原小学校6年生	40	和歌山	30	土砂災害啓発センター
37	10月23日	印南町立稲原中学校全学年	35	和歌山	90	中学校
38	10月26日	電源開発株式会社	5	和歌山	75	土砂災害啓発センター
39	10月27日	白浜町立安居小学校・三舞中学校防災 学習会	40	和歌山	110	中学校
40	10月29日	日高町立比井小学校6年生	11	和歌山	70	土砂災害啓発センター
41	10月30日	湯浅町立山田小学校5・6年生	8	和歌山	45	小学校
42	10月30日	湯浅町立山田小学校3・4年生	5	和歌山	45	小学校
43	11月04日	那智勝浦町立市野々小学校6年生	5	和歌山	60	土砂災害啓発センター
44	11月04日	和歌山県立なぎ看護学校	39	和歌山	90	看護学校
45	11月05日	那智勝浦町立下里小学校5年生	14	和歌山	90	土砂災害啓発センター
46	11月05日	日高川町立丹生中学校3年生	21	和歌山	50	中学校
47	11月05日	那智勝浦町太田小学校(行政関係)	30	和歌山	40	小学校
48	11月05日	由良町立由良小学校6年生	35	和歌山	60	土砂災害啓発センター
49	11月09日	中里いきいきサロン	16	和歌山	60	土砂災害啓発センター
50	11月09日	みなべ町立上南部小学校6年生	40	和歌山	70	土砂災害啓発センター
51	11月09日	香久山地区自治委員会	11	奈良	45	土砂災害啓発センター
52	11月12日	田辺市立中山路小学校6年生 田辺市立咲楽小学校6年生	15	和歌山	60	土砂災害啓発センター
53	11月13日	印南町区長連絡協議会	23	和歌山	80	土砂災害啓発センター
54	11月16日	高野町立花坂小学校1・2年生	3	和歌山	45	小学校
55	11月16日	高野町立花坂小学校3~6年生	3	和歌山	45	小学校
56	11月18日	那智勝浦町立勝浦小学校4年生1組	24	和歌山	45	小学校
57	11月18日	那智勝浦町立勝浦小学校4年生2組	24	和歌山	45	小学校
58	11月23日	日本赤十字奉仕団古座川支部	10	和歌山	90	古座川支部
59	11月24日	那智勝浦町立勝浦小学校4年生1組	25	和歌山	70	土砂災害啓発センター
60	11月24日	那智勝浦町立勝浦小学校4年生2組	24	和歌山	70	土砂災害啓発センター
61	11月24日	那智勝浦町立宇久井小学校5年生	16	和歌山	45	小学校
62	11月26日	いきいきサロン浦神	19	和歌山	60	土砂災害啓発センター

回	開催日	団体名	人数	都道府県	研修時間	研修会場
63	11月27日	那智勝浦町立宇久井小学校5年生	18	和歌山	90	土砂災害啓発センター
64	11月27日	太地町立太地中学校全学年	60	和歌山	90	中学校
65	11月30日	那智勝浦町立宇久井中学校1年生	35	和歌山	50	中学校
66	12月03日	私立慶風高等学校	20	和歌山	60	土砂災害啓発センター
67	12月05日	壬生野地域まちづくり協議会 防犯防災実行委員会	17	三重	100	土砂災害啓発センター
68	01月13日	那智勝浦町立市野々小学校5・6年生	9	和歌山	45	小学校
69	01月14日	那智勝浦町立市野々小学校3・4年生	11	和歌山	45	小学校
70	01月18日	広川町立津木小学校1・2年生	10	和歌山	45	小学校
71	01月18日	広川町立津木小学校3・4年生	6	和歌山	45	小学校
72	01月18日	広川町立津木小学校5・6年生	10	和歌山	45	小学校
73	01月22日	東牟婁振興局新宮建設部	4	和歌山	70	土砂災害啓発センター
74	01月25日	太地町立太地こども園年長児	16	和歌山	45	こども園
75	01月29日	那智勝浦町立勝浦小学校5年生1組	23	和歌山	45	小学校
76	01月29日	那智勝浦町立勝浦小学校5年生2組	23	和歌山	45	小学校
77	02月01日	白浜町立安居小学校・三舞中学校小学3年生～中学3年生	13	和歌山	90	中学校
78	02月05日	那智勝浦町立勝浦小学校5年生1組	26	和歌山	90	土砂災害啓発センター
79	02月05日	那智勝浦町立勝浦小学校5年生2組	26	和歌山	90	土砂災害啓発センター
80	02月15日	由良町立由良小学校6年生	31	和歌山	80	小学校
81	02月19日	那智勝浦町立太田小学校5・6年生	14	和歌山	105	小学校
82	02月24日	新宮市立高田中学校 全学年	13	和歌山	45	土砂災害啓発センター
83	03月05日	日高川町立山野小学校5年生	5	和歌山	120	小学校
84	03月09日	熊野川町小口地区(3区)	10	和歌山	60	小口地区
85	03月15日	日高川町立山野小学校4・5年生	10	和歌山	30	日高川町防災センター
86	03月15日	東牟婁地方子ども会連絡協議会	19	和歌山	60	土砂災害啓発センター
87	03月16日	那智勝浦町立宇久井中学校1年生	34	和歌山	90	土砂災害啓発センター
88	03月16日	社会福祉法人つばさ福祉社会I工房四季	40	和歌山	60	I工房四季

参考資料③

令和 2 年度啓発センターホームページ更新一覧表

更新日	更新内容
令和 2 年 4 月 13 日	休館のお知らせ
令和 2 年 4 月 30 日	休館期間変更のお知らせ
令和 2 年 5 月 7 日	休館期間変更のお知らせ
令和 2 年 5 月 19 日	地域講演会の延期について
令和 2 年 5 月 22 日	開館のお知らせ
令和 2 年 5 月 28 日	土砂災害防止月間のお知らせ
令和 2 年 6 月 1 日	感染拡大予防ガイドライン改定に伴う来館時の諸注意事項のお知らせ
令和 2 年 6 月 5 日	平成 31 年・令和元年土砂災害啓発センター年報
令和 2 年 6 月 16 日	啓発研修のお知らせ
令和 2 年 6 月 18 日	新型コロナウイルス感染拡大防止に関連した来館時の諸注意事項のお知らせ
令和 2 年 7 月 10 日	土砂災害啓発センターの活動報告
令和 2 年 7 月 28 日	土砂災害啓発センターの活動報告
令和 2 年 8 月 26 日	土砂災害啓発センターの活動報告
令和 2 年 8 月 31 日	土砂災害警戒区域等の 360 度動画公開のお知らせ
令和 2 年 9 月 8 日	土砂災害警戒区域等の 360 度動画(英語版) 公開のお知らせ
令和 2 年 9 月 14 日	土砂災害啓発センターの活動報告
令和 2 年 9 月 15 日	土砂災害啓発センターの活動報告
令和 2 年 9 月 16 日	土砂災害啓発センターの活動報告
令和 2 年 12 月 2 日	土砂災害啓発センターの活動報告
令和 2 年 12 月 4 日	土砂災害啓発センターの活動報告
令和 2 年 12 月 7 日	土砂災害啓発センターの活動報告
令和 2 年 12 月 8 日	土砂災害啓発センターの活動報告
令和 2 年 12 月 24 日	土砂災害啓発センターの活動報告
令和 3 年 1 月 27 日	啓発研修のお知らせ
令和 3 年 2 月 1 日	地域講演会の延期について
令和 3 年 2 月 15 日	土砂災害啓発センターの活動報告
令和 3 年 2 月 27 日	ホームページのリニューアル
令和 3 年 3 月 8 日	土砂災害啓発センターの活動報告
令和 3 年 3 月 23 日	防災教育のご案内について

昭和 28 年日高川流域での土砂災害教訓伝承の取組み

和歌山県県土整備部砂防課
和歌山県土砂災害啓発センター
日高川町防災センター
国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター

○森川 智
崎山朋紀・宮崎徳生・榎原伴樹・岸畑明宏・坂口隆紀
伊奈高司・谷本展也
木下篤彦

1. はじめに

昨年の東日本を縦断した台風 19 号による土砂・洪水氾濫等、近年、大規模な土砂災害が頻発している。和歌山県でも毎年土砂災害が発生しているが、幸いにして被害はそれほど深刻ではない。

しかし、平成 23 年のような大規模土砂災害への備えを平常時から行うことは災害を軽減するためにも非常に重要である。本県における大規模土砂災害としては、明治 22 年、昭和 28 年、平成 23 年と約 60 年周期で発生しており、これは一生に一度程度遭遇する間隔である。このため、土砂災害に備えるためには、「過去の災害に学び・生かす」取り組みが大切であり、全国的な事例については井上よりが調査を行っている。

本研究では、日高川町において昭和 28 年に発生した災害に関する写真、自然災害伝承碑、ヒアリングの成果を用いて講演することで、災害の教訓が聴講者に与える影響について検証を行ったので報告する。

2. 昭和 28 年水害の教訓伝承のための準備

昭和 28 年水害の教訓伝承を試みるにあたり、以下の調査を実施し成果をとりまとめた。

2.1. 昭和 28 年水害当時の写真と現在の比較

比較写真の撮影は、入手した当時の写真を基に、船津から川原河周辺エリアで実施した(図-1)。代表的な比較写真を写真-1~3 に示す。当時被災したところに家や道路が再建されているところが多い。

2.2. 自然災害伝承碑に関する調査

文献 2、住民への聞き取り調査に基づき現地を確認したところ、明治 22 年水害、昭和 28 年水害、平成 23 年紀伊半島大水害に関する伝承碑を確認できた。平成 23 年以降に建立された伝承碑の中には昭和 28 年と平成 23 年の 2 つ水位を示したものもあった。代表的なものを写真-4~7 に示す。

2.3. 当時の様子を知る住民へのヒアリング調査

昭和 28 年水害当時の様子を知る住民 2 人のヒアリング調査を実施した。

2.3.1. 弥谷の山津波に関する証言 (T 氏)

美山村史 3)によると、被害が大きかった弥谷地区では幅 150m 高さ 400m の山津波が発生し、人も家も田畑のみ込んでしまった。この山津波で 23 戸が全滅、

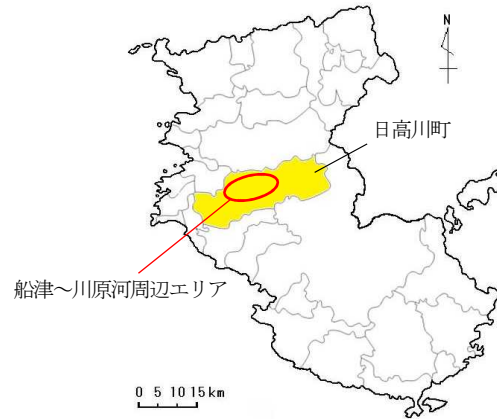


図-1 船津〜川原河周辺エリアの位置図。



写真-1 昭和 28 年水害当時の写真と現在の比較。日高川町船津地内。(左) S28 年水害時。(右) 2019. 12. 24 撮影。

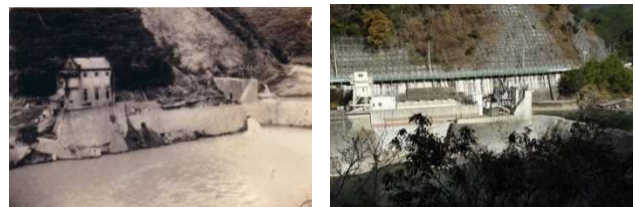


写真-2 昭和 28 年水害当時の写真と現在の比較。日高川町船津地内。(左) S28 年水害時。(右) 2019. 12. 24 撮影。



写真-3 昭和 28 年水害当時の写真と現在の比較。日高川町原日浦地内。(左) S28 年水害時。(右) 2019. 12. 25 撮影。

82 名が生き埋めになったとある。

今回、当時の様子を知る T 氏 (当時 24 歳) に慰霊碑の前でお話を聞いた(写真-8)。当日は、山津波(水害)昭和 28 年 7 月 18 日当時迄の弥谷部落のイラストマップをご持参頂いた。弥谷出身のデザイナーが作成

し、裏側にはこの惨禍に関する作者の手記が貼付されている(写真-9)。ご同席頂いた弥谷区長の藤本憲一氏によると、弥谷地区ではこのイラストマップを災害教訓の伝承に活用している。

T氏の主な証言は次のとおりである。

- ・山津波は複数回発生した。初回の山津波の後、偵察・救援に向かったT氏の弟達が犠牲になった。
- ・対岸の人家は山津波の前に川の増水で流された。住人は増水前に裏山に避難し助かった。
- ・昭和21年昭和南海地震を境に、普段洗濯などに利用していた谷水が透明から米のとぎ汁の様な色に変わった。

2.3.2. 佐井地区における災害体験者の証言(S氏)

役場職員として昭和28年水害後の復旧業務に携わった経歴をお持ちのS氏(当時高校生)の主な証言は次のとおりである(写真-10)。

- ・昭和28年水害当時、床下浸水した自宅の2階に避難していた。
- ・雨が強く降り始めたので、飼っていた牛の避難に出かけ、その帰り道に家に着く頃には膝上まで水嵩が上がっていた。その後、米を運び出せと言われ、きつい作業をした。
- ・近所の2人は、対岸の田の様子を見に出かけ、その帰り道でつり橋を渡っている時に橋が壊れて流された。
- ・避難しようとは思わなかった。
- ・当時は、戦後の食糧難の時代であり、米、牛を避難させた。

3. 講演会における災害教訓の伝承とその効果の検証

講演会は、令和元年5月に完成した日高川町防災センターにおいて実施した(写真-11)。講演会では、昭和28年水害当時の写真と現在を比較した画像、自然災害伝承碑、昭和28年水害に関する証言により災害教訓の伝承を試みた。

昭和28年水害に関する講演内容について聴講者のアンケート調査を実施した結果、全体の88%の人が災害に対する意識向上や避難の参考になったと回答した(図-2)。また、全体の88%の人が、家族・友人など誰かに話したいと思うと回答した(図-3)。

4. おわりに

本研究では、昭和28年水害の被害実態、当時の警戒避難意識や行動実態を把握できた。昭和28年水害から66年が経過し、当時の様子を知る方々が高齢化しているが、貴重な画像・証言記録を収集できた。また、地域の災害教訓により講演会を実施した結果、警戒避難意識の向上、災害教訓の伝承について一定の効果が確認できた。地震の分野では歴史地震研究会⁴⁾が活動しているように、減災のため土砂災害の歴史を研究することも大切であると考えます。



写真-4 旧高津尾小学校南側の畔にある明治22年水害水位標。



写真-5 下阿田木神社階段横にある昭和28年水害水位標。



写真-6 高津尾バス停付近にある昭和28年水害水位標。



写真-7 坂野川集会場前に建てられた昭和28年水害と平成23年の水害2つの水位を示すモニュメント。



写真-8 弥谷の山津波に関するヒアリング状況。



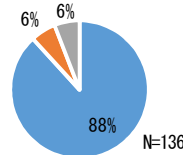
写真-9 イラストマップの裏側に貼付された手記。



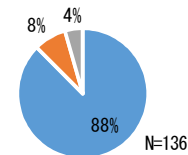
写真-10 昭和28年水害に関するヒアリング状況。



写真-11 講演会の様子。



■とても・まあまあ参考になった
■あまり参考にならなかった・ならなかった
■無回答



■思う ■思わない ■無回答

図2. アンケート結果。昭和28年水害の講演内容について、災害に対する意識向上や避難の参考になったか。

図3. アンケート結果。昭和28年水害の講演内容について、家族・友人など誰かに話したいと思ったか。

参考文献

- 1) 井上公夫: 歴史的な大規模土砂災害地点を歩く, 丸源書店, 2018.
- 2) 清水長一郎: 日高路の石碑巡礼, 御坊文化財研究会, 1998.
- 3) 美山村史編纂委員会: 美山村史通史編下巻, 美山村, p1414, 1997.
- 4) 磯田道史: 天災から日本史を読みなおす, 中公新書, 2014.

人工衛星「しきさい」を活用した那智の滝上流域の水源涵養機能に関する研究

和歌山県土砂災害啓発センター
 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター
 株式会社パスコ
 国土交通省国土技術政策総合研究所

○崎山朋紀・宮崎徳生・榎原伴樹・岸畑明宏・坂口隆紀
 柴田俊・木下篤彦
 鈴木清敬
 鈴木大和・中谷洋明

1. はじめに

本研究の目的は、流域の流量を年間通して恒常的に安定させるための方策の検討に役立てるため、森林施業の有無が流域の水収支に及ぼす影響を把握することである。

既往文献¹⁾⁵⁾から、間伐等の森林施業は森林の水源涵養機能に影響を及ぼすことが推察される。また、流域の水文状態の把握に流域スケールを定期的に観測可能な人工衛星を活用できれば効率的であり、人の立ち入りが困難な場所でも対応できるなど利点がある。そこで本研究では、森林施業の有無と森林活性度や土壌水分量を示す衛星画像データの関係性を検討し、水源涵養機能を示す指標が得られるか検討を行う。さらに、それらの結果を用いて蒸発散量を推定するなどにより流域の水収支を算出し、森林施業の有無が流域の水収支に及ぼす影響を検討する。

今回、気候変動観測衛星「しきさい」(GCOM-C)の取得データから算出した森林活性度と森林施業の関連性を検討したので報告する。

2. 調査方法

2.1. 調査地の概要

調査地は、和歌山県東牟婁郡那智勝浦町内にある那智の滝上流域である(図-1)。二級河川那智川(流域面積 24.5 km², 幹線流路延長約 8.5km)の上流部に位置し、流域面積は概ね 4.7 km², 地質は熊野酸性岩、植生の大部分はスギ・ヒノキ植林である。

2.2. 間伐の有無と森林活性度の関係性の検討

対象範囲を森林簿、造林施業履歴などを参考に、林班内の2017年間伐箇所内外と林班外(構造物及び植生を含む)の3つの領域に分割し、間伐の有無と森林活性度の関係性を検討した。森林活性度には正規化植生指数(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)を用いた。NDVIは次式から算出できる(式1)。

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \dots (式1)$$

ここで、NIR(Near Infra-Red)は近赤外バンドであり、R(Red)は赤バンドである。

NDVIの算出には、GCOM-C(分解能 250m, 画像取得周期 2~3日)の取得データ、プロダクト: Level-2, 陸: 植生指数を用いた。比較のため、GCOM-Cよりメッシュサイズが小さいLandsat-8(分解能 30m, 画像取得周期 16日)の取得データ(Band4(Red), Band5(NIR))を併用した。データの取得時期は2018年4月~2019年3月、画像枚数を表-1に示す。なお、被雲画像は対象外とした。

3. 調査結果と考察

3.1. GCOM-CとLandsat-8の比較(GCOM-C 1セル当たり)

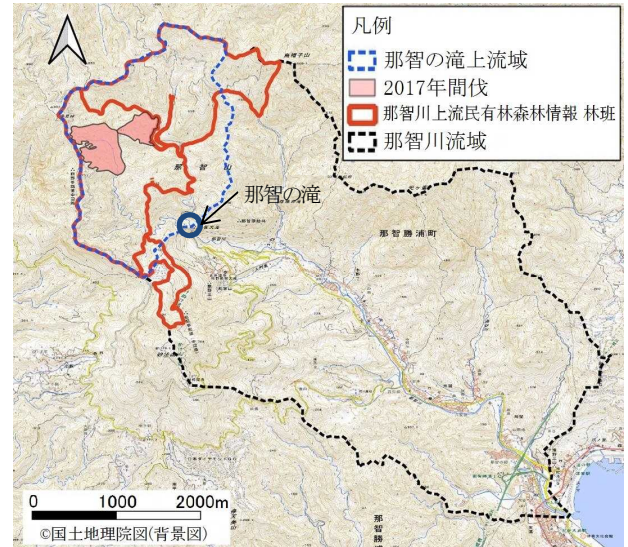


図-1 調査地位置図。

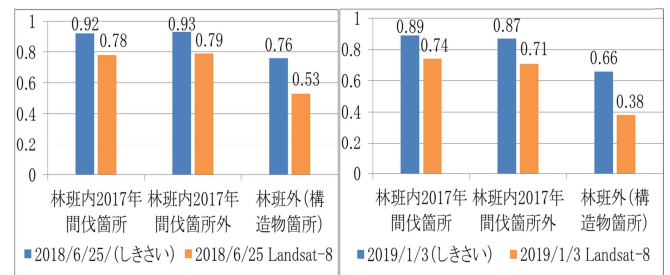


図-2 GCOM-CとLandsat-8の1セル当たりのNDVI平均値の比較。

衛星間の分解能等仕様の相違によるNDVI値への影響を把握するため、各領域においてGCOM-Cの1セルのNDVI値とそのセル内のLandsat-8のNDVI平均値を比較した(図-2)。その結果、林班内において、GCOM-Cと比較しLandsat-8のNDVI平均値が0.15程度低いことが確認された。これはメッシュサイズの違いによりLandsat-8は、山影や道等GCOM-Cでは分割できないNDVI値の低い箇所を観測するためだと考えられる。また、この傾向は夏季(2018年6月25日)と冬季(2019年1月3日)で大きな差がないことが確認された。林班外は植生以外の構造物を含むためNDVI値は低かった。

表-1 検討に使用した衛星画像枚数。

撮影月	GCOM-C	Landsat-8
2018.4月	5	1
2018.5月	2	1
2018.6月	2	1
2018.7月	2	0
2018.8月	5	0
2018.9月	0	0
2018.10月	3	0
2018.11月	6	0
2018.12月	5	0
2019.1月	12	2
2019.2月	6	1
2019.3月	8	1
合計	56	7

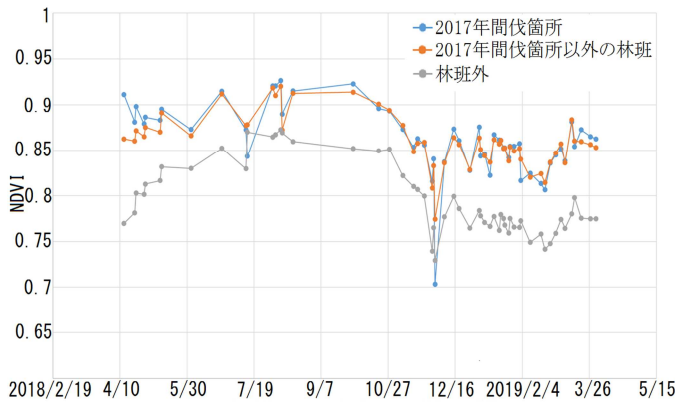


図-3 GCOM-C から算出した NDVI 平均値の経年変化

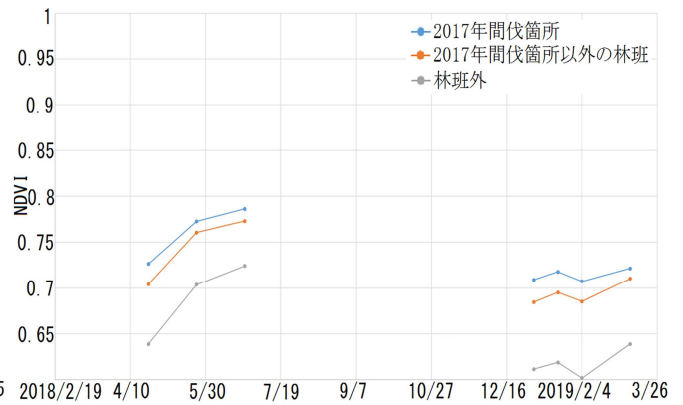


図-4 Landsat-8 から算出した NDVI 平均値の経年変化

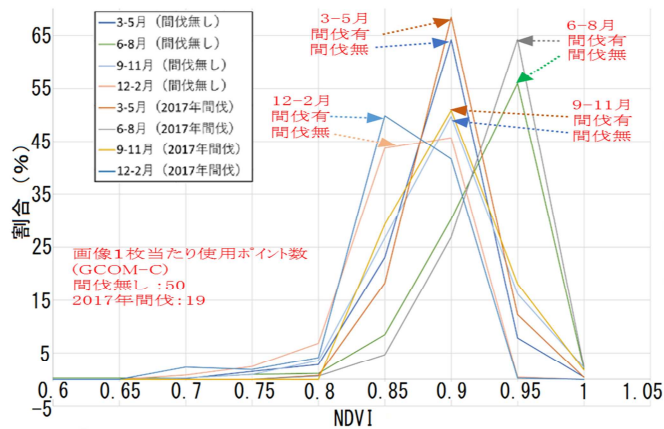


図-5 GCOM-C から算出した間伐の有無による NDVI のヒストグラムの比較図

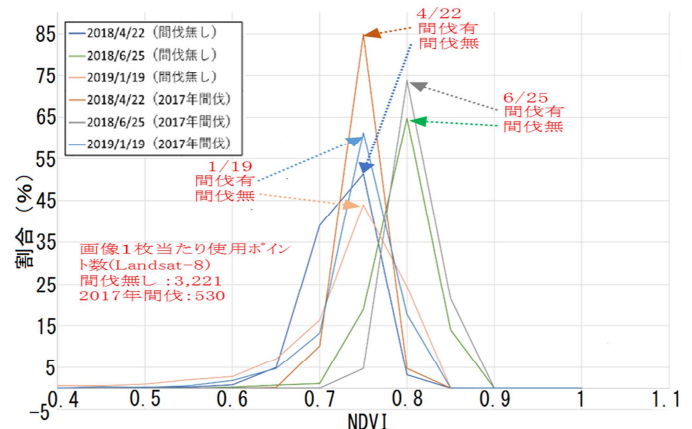


図-6 Landsat-8 から算出した間伐の有無による NDVI のヒストグラムの比較図

3.2. NDVI 平均値の経年変化の比較

各領域の NDVI 平均値の経年変化を比較した。その結果、GCOM-C を用いて算出した NDVI 平均値の経年変化では、林班内の 2017 年間伐箇所内外において大きな差が算出されなかった(図-3)。一方、Landsat-8 を用いて算出した NDVI 平均値の経年変化では、林班内の 2017 年間伐箇所内外において、GCOM-C と比較した場合、差があると考えられる。差は最大で 0.024 程度であり、2017 年間伐箇所内の方が高い値を示した(図-4)。また、各領域の GCOM-C の 1 セル当たりの NDVI 平均値の経年変化を比較したところ、両衛星ともに前述の結果と大きな差はなかった。

3.3. NDVI のヒストグラムの比較

林班内の 2017 年間伐箇所内外の NDVI をヒストグラムにより比較した。その結果、GCOM-C では、NDVI 値は夏季(6-8 月)に高く、冬季(12-2 月)に低いことが読み取れる。夏季に植生が活性化することが確認できた。また、図より間伐を行った範囲の方が間伐を行っていない範囲よりも森林の活性度が高い範囲が広いことが確認された(図-5)。一方 Landsat-8 では、NDVI 値は 4 月と 6 月は 1 月より高い。また、間伐を行った範囲の方が間伐を行っていない範囲よりも森林の活性度が高い範囲が広いことが示唆された(図-6)。

4. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- ・「しきさい」を用いて算出した NDVI 平均値の経年変化では、2017 年間伐箇所内外の森林において大きな差が算出されなかった。

- ・Landsat-8 を用いて算出した NDVI 平均値の経年変化では、2017 年間伐箇所内外の森林において、「しきさい」と比較した場合、差があると考えられる。差は最大で 0.024 程度であり、間伐箇所内の方が高い値を示した。

- ・NDVI ヒストグラムの比較を行った結果、「しきさい」と Landsat-8 の両方で、間伐を行った範囲の方が間伐を行っていない範囲よりも森林の活性度が高い範囲が広いことが示唆された。

5. 今後の検討事項

森林活性度から那智の滝上流域の年間蒸発散量を推定し、これを用いて那智の滝上流域の水収支(降雨—流出—蒸発散の関係)を算出する。

参考文献

- 1) 川崎ら：強間伐施業が森林源流域の流出に及ぼす影響，水文・水資源学会 2017 年度研究発表会概要集，2017.
- 2) 篠原ら：スギ人工林における強度間伐が雨水配分に与える影響，水文・水資源学会 2013 年度研究発表会，2013.
- 3) 武田ら：間伐遅れの針葉樹人工林における水文流出の特徴とその長期変動，農業農村工学会論文集，No.263 pp.41-48，2009.
- 4) 小松：ヒノキ林における間伐区と無間伐区の遮断蒸発量の比較，九大演報，89，1-12，2008.
- 5) 小松：日本の針葉樹人工林における立木密度と遮断率の関係，日林誌，89，pp.217-220，2007.

日置川水系、新宮川水系における放射性炭素年代測定結果を用いた深層崩壊発生頻度推定方法の検討

和歌山県土砂災害啓発センター
国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター
国土防災技術株式会社
北海道大学広域複合災害研究センター

○岸畑明宏・坂口隆紀・崎山朋紀・榎原伴樹
木下篤彦・柴田俊
小川内良人・横山修
田中健貴

1. はじめに

平成 23 年台風第 12 号での豪雨により、和歌山県の日置川水系、新宮川水系においては深層崩壊による被害が発生し、現在も熊野地区、三越地区で国土交通省による対策事業が行われている。両水系には、対策事業箇所と同じ古第三紀の付加体が分布しており、深層崩壊跡地が複数存在している¹⁾が、明治 22 年の水害以前の記録は少ない。近年の豪雨発生回数の増加に起因する土砂災害発生頻度増加が懸念されており、両水系における深層崩壊発生頻度を算定することは、深層崩壊発生リスクの評価や水系での砂防事業の計画策定を行う上で重要であり、明治 22 年以前の深層崩壊箇所においても放射性炭素年代測定を行うことで、文献調査が対象とする期間以前における深層崩壊発生年代を踏まえた深層崩壊発生頻度の評価を行う。

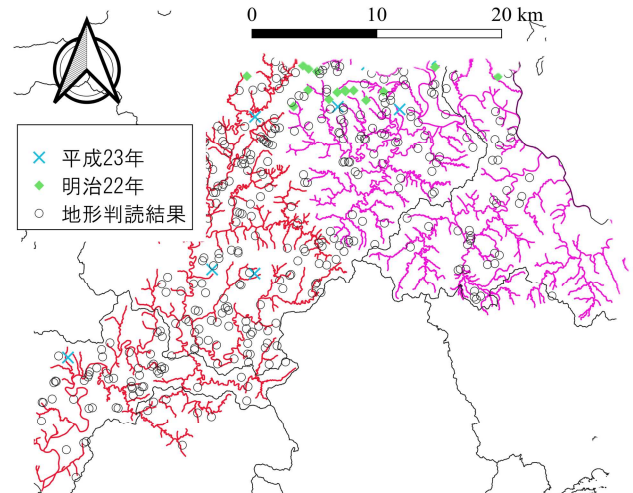


図-1 平成 23 年、明治 22 年、地形判読結果による崩壊跡地の分布

2. 調査対象地と年代測定箇所の設定と試料採取

2.1. 深層崩壊跡地の判読

対象範囲において航空レーザ測量データを用いて深層崩壊跡地の判読を行った。その際に、1889 年の明治十津川水害、2011 年の紀伊山地大水害の崩壊地については既往の崩壊跡地判読成果を用いた。また、新たにこれらの崩壊地を除外した上で対象範囲の地形判読を行い、その他の深層崩壊跡地を抽出した(図-1)。なお、判読基図には地形表現図(SL3DMap)を使用した。

2.2. 崩壊跡地の分類

既往文献²⁾から、斜面崩壊発生頻度が風化速度や土層成長速度の影響を受けることが示唆されており、本研究では滑落崖輪郭の明瞭さが崩壊跡地の風化・浸食・堆積作用の影響度に関連するものと想定し、崩壊跡地の滑落崖輪郭の明瞭さを判読結果である GIS データの属性(明瞭・不明瞭)として保存し、明瞭・不明瞭それぞれにおける崩壊年代推定を行った。

2.3. 放射性炭素年代測定対象箇所の設定と試料採取

放射性炭素年代測定の対象箇所には、年代測定用試料として炭化物、木片及び花粉のうちのいずれかが採取できる必要があり、試料が採取可能であることを示す崩壊跡地の状況としては、炭化物や木片では立木を含む崩壊土砂で、河道閉塞跡地の堆積物が、花粉については土壤中に含まれ、河道閉塞跡地の堆積物が望ましい。以上を考慮した上で、放射性炭素年代測定対象箇所を以下の 3 点から選定し、現地での試料採取を行った。

- ①崩壊土砂末端が開析され、露頭が確認できる。
- ②崩壊跡地の対岸に河道閉塞跡地が残っている。

③崩壊跡地の上流側に、河道閉塞時に堆積したと考えられる土砂が確認できる。

3. 放射性炭素年代測定方法

放射性炭素年代測定には AMS 法を採用し、IntCal13 データベース、OxCalv4.2 較正プログラムに基づく暦年較正年代を算定した^{3,4)}。また、算定された暦年較正年代のうち 2σ 暦年較正年代範囲の年代を参照し、その中で最古の年代と最新の年代の平均値を概略年代とし、これを崩壊発生の推定年代とした。なお、炭化物を漏れなく採取するために同一崩壊跡地で複数の試料を採取し、それぞれの概略年代を算定した場合には、近似した複数の測定年代がある範囲を対象とし、その上で、新しい方の年代を概略年代とした。

4. 放射性炭素年代測定結果

新宮川水系では、炭化物を採取できた 3 か所で放射性炭素年代測定を行った。そのうち 1 か所では、採取した炭化物が比較的近年に混入したものと判明した。その他 2 か所は滑落崖輪郭が明瞭な箇所で、AD 1,287 年～1,394 年、AD 1,670 年～1,888 年という分析結果であった。

一方、日置川流域においては、8 か所で放射性炭素年代測定を行い、そのうち 1 か所で採取した炭化物が近年に混入したものと判明した。また、滑落崖輪郭が明瞭な 6 か所では、BC 894 年～795 年、AD 1,416 年～1,449 年、AD 1,451 年～1,632 年、AD 1,680 年～1,763 年、AD 1,282 年～1,391 年、AD 1280 年～1389 年という分析結果で、滑落崖輪郭が不明瞭な 1 か所では、BC 23,612 年～23,176 年という分析結果であった(表-1)。これらを基に、各水系での滑落崖輪郭が明瞭・不明瞭な場合の崩壊概略年代を、表のとおり選定し、新

水系	場所	明瞭さ	暦年較正年代	概略年代	AD	AD	AD	AD	AD	BC	BC	BC	BC
					2000	1500	1000	500	0	2000	4000	6000	20000
新宮川	和歌山県田辺市本宮三越	明瞭	AD 1670 - 1888	1779									
	和歌山県田辺市本宮町静川	明瞭	Modern										
	和歌山県田辺市本宮町大瀬	明瞭	AD 1287 - 1394	1341									
日置川	和歌山県田辺市平瀬	明瞭	BC 894 - 795	845									
	和歌山県田辺市平瀬	明瞭	AD 1416 - 1449	1433									
	和歌山県田辺市平瀬	明瞭	AD 1451 - 1632	1542									
	和歌山県田辺市平瀬	明瞭	AD 1680 - 1763	1722									
	和歌山県田辺市合川	不明瞭	BC 23612 - 23176	23394									
	和歌山県西牟婁郡白浜町鹿野	明瞭	AD 1282 - 1391	1337									
	和歌山県西牟婁郡白浜町鹿野	明瞭	AD 1280 - 1389	1335									
	和歌山県西牟婁郡白浜町鹿野	明瞭	Modern										

■ 1試料のみ ■ 年代が重複する区間 □ 採用した年代

表-1 新宮川, 日置川水系における放射性炭素年代測定結果

宮川水系の滑落崖輪郭が明瞭な箇所については崩壊概略年代がAD 1,341年, 日置川水系の滑落崖輪郭が明瞭な箇所については, AD 1,335年, 不明瞭な箇所については, BC 23,394年とした。また, 新宮川水系の滑落崖輪郭が不明瞭な箇所については, 放射性炭素年代測定結果が得られなかったものの, 滑落崖輪郭が明瞭な箇所において両水系における崩壊概略年代が近接していたため, 本研究では日置川水系と同じBC 23,394年を採用した。また, 深層崩壊発生頻度は次式1に従って求めた。

$$F=Y/N \cdots (式1)$$

ただし, Fは深層崩壊発生頻度(年/回)を, Yは頻度推定対象期間(年)を, Nは対象期間における深層崩壊発生数(回)を示す。

また, 各水系における1回あたりの深層崩壊発生面積を次式2に従って算定した(表-2)。

$$A=\sum Ai/N \cdots (式2)$$

ここでAは各水系での発生1回あたりの深層崩壊発生面積(ha)を, $\sum Ai$ は頻度推定対象期間で発生した深層崩壊の面積総計(ha)を示す。

頻度推定対象期間Yは, 放射性炭素年代測定結果から最古の崩壊概略年代である滑落崖輪郭が不明瞭な箇所のBC 23,394年からAD 2019年現在とした。深層崩壊発生数N及び面積総計 $\sum Ai$ は, 平成23年, 明治22年, 地形判読結果に基づく深層崩壊発生箇所の抽出結果から別表の通り求めた。

以上から, 新宮川水系における深層崩壊発生頻度Fは157年, 日置川水系においては110年と算定され, 1回あたり深層崩壊発生面積は新宮川水系で3.2ha, 日置川水系で3.7haと算定された。文献調査においては, 深層崩壊に限定しなければ, AD 775年からAD 2,011年の間に27回の風水害による大災害が発生しており(表-3), これは46年に一回の頻度に値し, 深層崩壊の発生頻度はこの2~3分の1程度と推定された。

5. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- 放射性炭素年代測定結果から滑落崖輪郭が明瞭・不明瞭な箇所における崩壊概略年代を推定した。

新宮川水系

発生年	深層崩壊面積 (ha)	深層崩壊発生数 (回)	備考
BC 23,394	274.2	73	地形判読箇所 滑落崖が不明瞭
AD 1,341	182.7	62	地形判読箇所 滑落崖が明瞭
AD 1,889	52.7	23	明治22年災害箇所
AD 2,011	13.2	4	平成23年災害箇所

$$\bigcirc \text{ 深層崩壊発生頻度 } F=(2,019--23,394)/(73+62+23+4)=157 \text{ (回/年)}$$

$$\bigcirc \text{ 1回あたり深層崩壊発生面積 } A=(274.2+182.7+52.7+13.2)/(73+62+23+4)=3.2 \text{ (ha)}$$

日置川水系

発生年	深層崩壊面積 (ha)	深層崩壊発生数 (回)	備考
BC 23,394	610.1	163	地形判読箇所 滑落崖が不明瞭
AD 1,335	210.6	63	地形判読箇所 滑落崖が明瞭
AD 1,889	6.3	3	明治22年災害箇所
AD 2,011	25.5	4	平成23年災害箇所

$$\bigcirc \text{ 深層崩壊発生頻度 } F=(2,019--23,394)/(163+63+3+4)=109 \text{ (回/年)}$$

$$\bigcirc \text{ 1回あたり深層崩壊発生面積 } A=(610.1+210.6+6.3+25.5)/(163+63+3+4)=3.7 \text{ (ha)}$$

表-2 新宮川, 日置川水系における深層崩壊発生頻度の推定結果

- 平成23年, 明治22年の崩壊箇所と地形判読結果に基づく崩壊跡地の分布と崩壊概略年代から各水系の深層崩壊発生頻度と1回あたりの深層崩壊発生面積を求めた。

6. 今後の検討事項

両水系およびその周辺で今後実施される年代測定結果を用いて, 今回の推定方法やその結果の精度向上を行いたい。

参考文献

- 1)小竹利明, 木下篤彦, 菅原寛明, 田中健貴, 小川内良人, 横山修, 藤原美波: 放射性炭素年代測定を利用した紀伊山地における深層崩壊発生頻度の調査方法について, 2019年度砂防学会研究発表会概要集, pp.189-190, 2019. 2)西山賢一, 若月強: 日本の山地斜面における豪雨に起因した斜面崩壊・土石流の発生頻度, 応用地質, 55, 第6, pp.325-333, 2015. 3) Bronk Ramsey, C.: Bayesian analysis of radiocarbon dates, Radiocarbon 51(1), pp.337-360, 2009. 4) Reimer, P.J. et al.: IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP, Radiocarbon 55(4), pp. 1869-1887, 2013.

地質境界付近の水文挙動が表層崩壊の発生に与える影響

和歌山県土砂災害啓発センター
 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター
 パシフィックコンサルタンツ株式会社
 北海道大学広域複合災害研究センター

○榎原伴樹・筒井和男・崎山朋紀・岸畑明宏・坂口隆紀
 木下篤彦・柴田俊
 松澤真
 田中健貴

1. はじめに

平成 23 年 9 月の台風 12 号に伴う豪雨により、和歌山県那智川流域では斜面崩壊や土石流が多発し、大きな被害を受けたり。那智川流域では堆積岩である熊野層群（砂岩泥岩互層）に熊野酸性岩（花崗斑岩）が貫入しており、特異な地質構造や水理構造が崩壊発生の原因となった可能性が報告されている²⁾。このような流域では従来の危険斜面評価手法³⁾では適正に評価されない恐れがある。これまで地質境界が存在する斜面での表層崩壊危険斜面の抽出手法を提案することを目的に、斜面の地下水の排水性と空中電磁探査の結果に着目した検討がなされている⁴⁾。また、崩壊のメカニズムを検討するための地質境界付近の表層土層内の水文挙動に関する検討は、観測期間が短く、十分になされていない。本研究では、表層土層内の水文観測結果と斜面の地下水位の観測結果を元に、表層崩壊危険斜面の特性の把握を行った。

2. 調査箇所と調査方法の概要

那智川流域の左岸支溪の平野川を対象として調査を行った。那智川流域では崩壊の多くが地質境界付近の熊野酸性岩分布域で発生しており⁵⁾、平野川もその特徴を有する。右岸側の崩壊が多数確認できる斜面（以下、崩壊斜面）においてテンシオメータ等による地質境界付近の表層土層内の水文挙動の観測を実施し、崩壊斜面および左岸側の崩壊の発生が確認できない斜面（以下、非崩壊斜面）のそれぞれにおいて地質境界を貫入した観測孔で斜面の地下水位の観測を行った。平野川流域の概要図と観測点を図-1、2に示す。

表層土層内の水文観測は、斜面上部から花崗斑岩分布域（TH-1）、地質境界付近（TH-2）、泥岩分布域（TH-3）の3箇所で行った。それぞれの観測点において図-3に示すようにテンシオメータと土壌水分計を表層土層の中間部（40cm）と下部（80cm）に、地下水位計を下部（80cm付近）に設置し観測を行った。また、地下水位の観測は、それぞれの観測点で、上位の花崗斑岩層に2深度、地質境界付近と下位の熊野層群の泥岩層にそれぞれ1深度の合計4深度で行った。

3. 調査結果

図-4に崩壊斜面および非崩壊斜面の地下水位の観測結果を示す。崩壊斜面では深度の異なる複数の地下水頭が確認され、非崩壊斜面と異なり浅層部の地下水観測孔において地下水位が上昇しやすい傾向が見られた。

図-5に表層土層内の水文観測結果の内、観測期間中の最大降雨イベント時（2019年10月17日～26日、総雨量629mm、最大時間雨量50mm/h）の結果を示す。全ての観測点で降雨に伴い体積含水率の上昇が確認できるが、地質境界付近のTH-2のみ最大29cm程度の地下水位が観測された。また、全間隙圧についてはTH-2では高くなっている期間が比較的長い傾向があることが確認できた。

上記の降雨イベントの降雨前とピーク時の観測結果を基に作成した、水理水頭線および水分フラックスの状況を図-6に示す。降雨イベント前は全層が不飽和の状態蒸発が生じているため水分フラックスは深部から地表面の方向となっている。一方、ピーク時には全層が飽和の状態となり、斜面の上方では上向きのフラックスが、斜面の下方では斜面と並行のフラックスが生じている状況が確認できた。このことから、斜面の下方では地表面に沿って斜面方向に流下しているが、斜面の上方では地質境界により地下水の動きが制御され、上向きの地下水の動きが発生している可能性が考えられる。

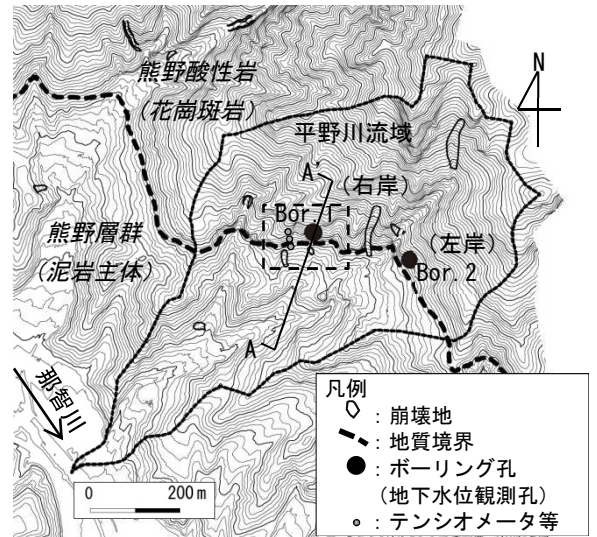


図-1 平野川流域の概要. 四角（点線）で囲ったエリアは図-2に拡大図で示す。矢印は流向を表す。

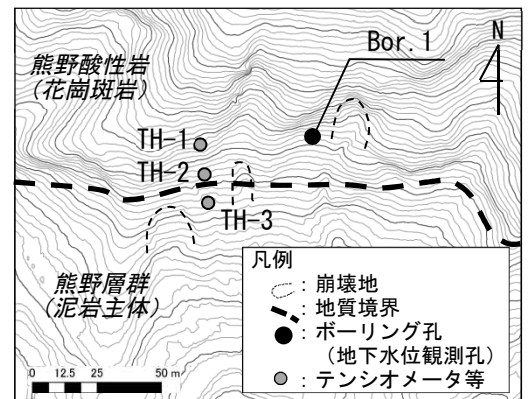


図-2 テンシオメータの配置図
 (図-1 中四角で囲ったエリアの拡大図)

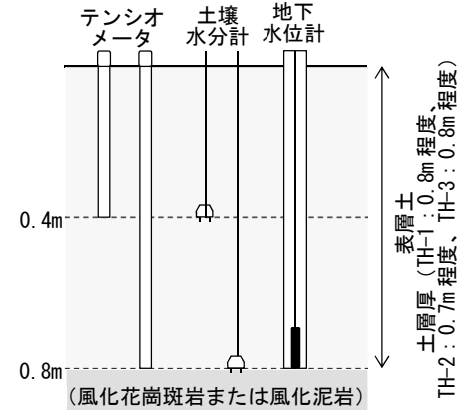


図-3 表層土層の観測機器設置概要図

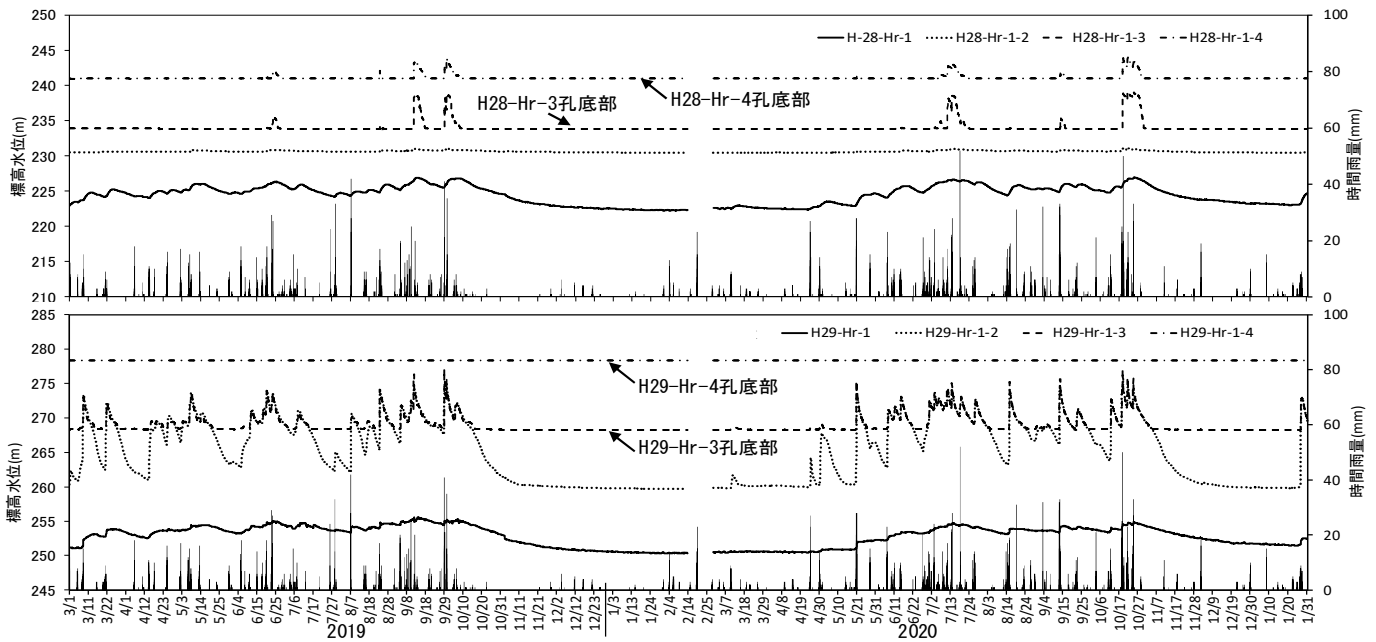


図-4 斜面地下水位観測結果（上：右岸崩壊斜面、下：左岸非崩壊斜面）

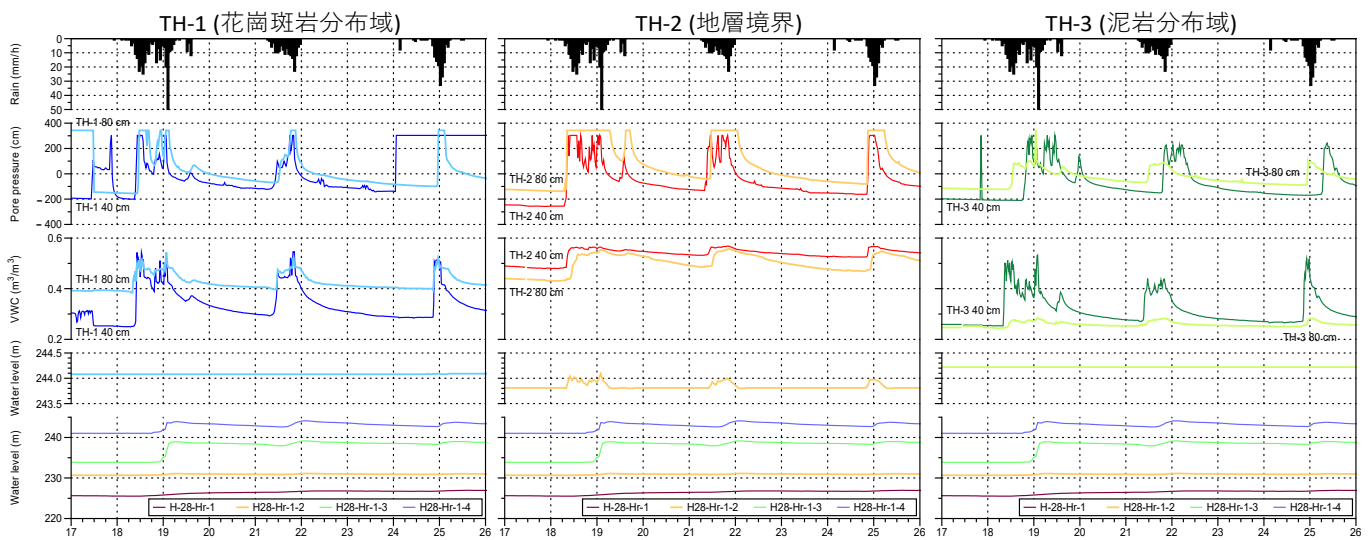


図-5 豪雨イベント時（2019年10月17日～26日）の各種水文観測結果の比較。上段から、時間雨量、全間隙圧、体積含水率、表層土層内地下水位、深層地下水位。

4. おわりに

本研究で得られた結果を下記に示す。

- ・崩壊斜面の表層土層内において、降雨の際に地質境界付近では斜面の方向と異なる上向きの水の動きが発生している可能性がある。
- ・斜面の地下水位の観測結果から、崩壊斜面では非崩壊斜面と比べて浅層部の地下水位が上がりやすい傾向がある。

これらのことが斜面崩壊の大きな原因になっていると考えられる。今後も観測を継続し、斜面崩壊を誘発する水文プロセスの把握に努めたい。

参考文献

- 1) 松村ら：2011年9月台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害：砂防学会誌，Vol.64，No.5，pp.43-53，2012。
- 2) 田村ら：平成23年台風12号で崩壊した金山谷川・鳴子谷川における斜面崩壊発生機構について，砂防学会概要集，2013。
- 3) 独立行政法人土木研究所 土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム：表層崩壊に起因する土石流の発生危険度評価マニュアル（案），土木研究所資料，2009。
- 4) 榎原ら：表層崩壊危険斜面における空中電磁探査解析と地下水位の変動に関する研究，第9回土砂災害に関するシンポジウム論文集，pp.43-48，2018。
- 5) 千東ら：平成23年台風12号の那智川流域の水文・水質特性と崩壊メカニズムに関する研究，砂防学会概要集，2015。

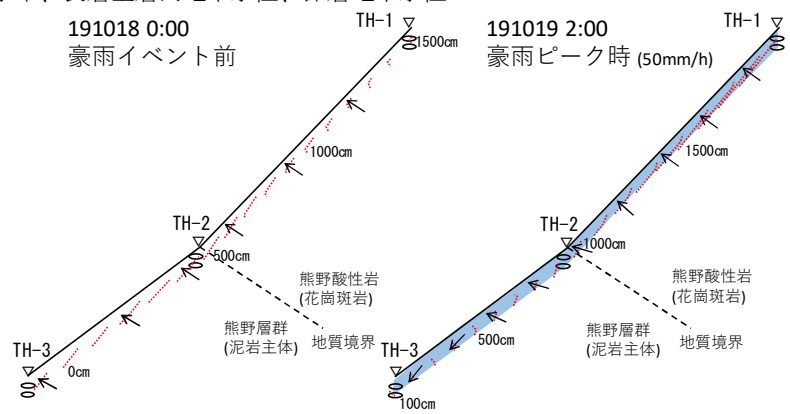


図-6 水理水頭線図（左：豪雨イベント前、右：ピーク時。赤破線は等ポテンシャル線、→はフラックスの方向、青色ハッチは飽和領域）

和歌山県土砂災害啓発センターにおける防災教育の取り組みについて

和歌山県土砂災害啓発センター

○坂口隆紀・岸畑明宏・榎原伴樹・崎山朋紀

国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター

柴田俊・木下篤彦

1. はじめに

和歌山県土砂災害啓発センター（以下、「センター」という。）では紀伊半島大水害から得た教訓を後世に継承する活動の一環として、国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センターが取り組んでいる地域主導を目指した土砂災害に関する防災教育¹⁾³⁾に参画し、防災教育のノウハウを吸収し、現在はこれらを活用し、主に近隣の小学校と連携・協働して土砂災害に関する防災教育を行っている。

本報告では、センターが那智勝浦町内の小学校と協働して実施した令和元年度の授業の事例として、その実施計画から児童らによる成果発表まで一連の取組を紹介する。また、授業後の教員らの感想・意見を分析し、今後の土砂災害に関する防災教育の展開に向けて抽出した課題について報告する。

2. 那智勝浦町における土砂災害に関する防災授業の実施状況

センターは平成28年度から令和元年度まで、那智勝浦町内にある全小学校6校において土砂災害に関する防災授業を実施した（図-1）。

那智勝浦町教育委員会では防災教育において、学校などの主体が当事者意識を持って防災意識に携わることを、組織的に防災教育を進めること、学んだことを発信することを重視している。

これら3点を踏まえ、土砂災害に関する防災授業の実施にあたっては、児童らが「自分ごととして考え・行動する。」ことを学習目標に取組を展開している。

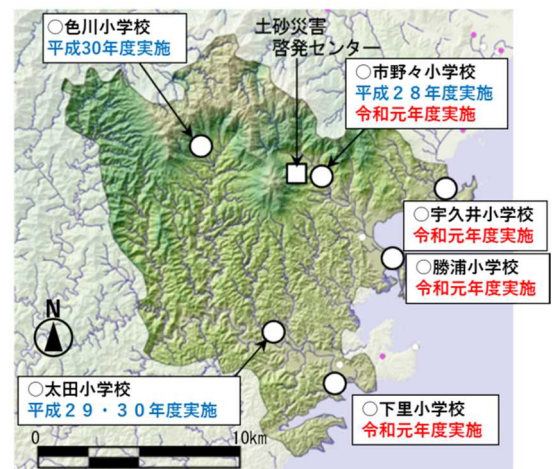


図-1 防災授業の実施状況（那智勝浦町）

3. 防災授業の計画と内容

センターは防災授業の計画段階において、児童たちの興味・関心を引き出すことを狙いに、実験・体験を多く組み入れた学習メニューを提案し、担当教員と打合せを進め学習メニューの組み合わせを決定する（図-2）。学習時間は現地見学（約30分）を含めて90～120分程度である。また、学習内容には専門用語が多く含まれるため、事前の教員との学習内容の事前打合せ、学校への啓発ビデオの提供の他、必要にあわせて担当教員らを対象とした土砂災害に関する基礎学習を行っている。

学習メニュー	
1	<p>啓発ビデオ</p> <p>土砂災害に関する単語・用語に触れるDVD研修(約10分) ※事前研修にも利用</p>
2	<p>スライド</p> <p>土砂動態などの記録映像により土砂災害の基礎を学習(約30分～)</p>
3	<p>紀伊半島大水害</p> <p>平成23年紀伊半島大水害写真による学習</p>
4	<p>実験1</p> <p>土石流模型実験により透過・不透過型えん堤の効果・仕組みを学習(約10分)</p>
5	<p>実験2</p> <p>花崗岩を実際に手で割って元々硬い岩でも脆くなることを体験して学習(約10分)</p>
6	<p>実験3</p> <p>小さな砂山を作り噴霧器で水(雨)をかけ、雨が降れば、山が崩れる概念を学習(約5分)</p>
7	<p>実験4</p> <p>噴霧器で模型に水(雨)をかけ扇状地は土石流が作った地形である事を学習(約10分)</p>
8	<p>実験5</p> <p>小型模型水路により、日ごろの川の様子や土石流は大きな石が先頭になり襲うことを学習(約10分)</p>
9	<p>現場見学</p> <p>現場が近い利点を活かし、砂防施設を見学して学習(約20分)</p>
10	<p>クイズ研修</p> <p>○×ふだをもってクイズ形式で全員学習(約20分)</p>
11	<p>グループ研修</p> <p>学校区の警戒区域や砂防施設などの地理情報を用いた、避難路を考えるグループワーク(約40分)</p>
12	<p>実験(教科書に沿った学習)</p> <p>河川内への土砂のたい積→氾濫</p> <p>5年生理科「流れる水の働き」で学習する「しん食・運搬・たい積」を学習するとともに、紀伊半島大水害で発生した土砂・洪水氾濫の原因は学習した「たい積」が原因であること等を学び、授業内容と災害を関係づけて学習(約20分)</p>

図-2 学習内容

4. 防災授業への教員の感想・意見の整理と課題の抽出

令和元年度の防災授業後、教員に感想・意見を記入する用紙を配布し、11名から感想・意見を得た。これについて、那智勝浦町教育委員会の防災学習実施方針を主眼とした3点(①教員、児童、地域が当事者意識を持って取り組むことができる学習内容となっているか。②センター、教育委員会、学校が円滑に協働して防災教育を実施できているか。③児童が学んだ内容を自主的に発信できるような学習内容、体制となっているか。)から整理を行った。(表-1)

表-1 防災授業への教員の感想・意見

①教員、児童、地域が当事者意識を持って取り組むことができる学習内容となっているか。
<ul style="list-style-type: none"> ・映像やクイズ等もあって児童は興味をもって説明を聞いていた。大変分かりやすかった。 ・地域に関わる様々な資料を集めて頂き、子どもも分かりやすい。 ・40人以上いたので、実験は見えづらいのが残念。 ・自分ごととして捉えていくのが児童にとり難しい。子どもたちも、生まれる前の話なので、他人事のように感じている。 ・実験・砂防えん堤の見学、スライドを使っての学習を約2時間、子どもたちの集中できる時間でちょうど良かった。工事現場見学はとて貴重な体験だった。映像で学習し、模型と現地見学で理解が深まる。実験や見学を一緒にやっていると子どもたちの興味関心上がる。
②センター、教育委員会、学校が円滑に協働して防災教育を実施できているか。
<ul style="list-style-type: none"> ・教科書に沿ったことに触れていただけなので大変分かりやすい。 ・事前の時間調整が良い。事前に打ち合わせがあるので学校のニーズにあった内容になっている。
③児童が学んだ内容を自主的に発信できるような学習内容、体制となっているか。
<ul style="list-style-type: none"> ・グループワーク等を用いて、発表する等、より深く考える場を設けるとさらに充実する。 ・子供が学んだことを生かせるか。 ・学校で学んだことをどう家庭や地域に広めていくかだと思ふ。
④その他
<ul style="list-style-type: none"> ・自分自身の土砂災害の知識が浅い。知識が少ない。

整理した感想・意見から①について、映像やクイズ、学校区の地理情報、現地見学を活用した授業内容は児童の主體的な学習につながるなどの意見があったが、一方で、センターで実験する際に面積の制限から集団で実験すると後ろから見ることになった児童が見づらいこと、紀伊半島大水害は児童が生まれる以前



図-3 市野々小学校での取り組み

のため他人事のように感じてしまう、との課題が確認された。②については、教育内容が教科書に沿ったものであること、学校との打ち合わせによる授業時間割の調整が事前に行われていることで、円滑に防災教育を実施できているとの内容であった。③については、グループワーク等をより効果的に用いることで、児童が学習した内容をより積極的に地域へ発信できるようにするべきとの課題が確認された。最後に④その他の課題として、教員自身の知識不足により防災教育を学校が自主的に行うことが難しいとの課題が挙げられた。

5. 抽出された課題への対応事例

前章で抽出された課題について、小学校の取り組みで対応された事例(市野々小学校)について紹介、分析を行う。市野々小学校では学校独自の取組として、防災授業で学んだ事を地域へ発信し、学んだ知識を深めるため、保護者や地域住民を対象とした発表会を行っている(図-3)。

同小学校は、平成28年にセンターと協働して防災教育と啓発ビデオ制作に関わった経緯があり、教員がセンターで土砂災害に関する研修会を受講したり、教員が土砂災害に関する教材についての相談をセンターにしたりといったセンターと緊密な関係が構築されており、これらは前章の②の点についての協働体制の強化、④に関する課題の教員自身の知識の向上が図られている。また、土砂災害等に関してセンターが作成した教材等を用いて、児童達が協働して市野々地区について学んだ内容をとりまとめて発表するという総合学習を実施しており、③に関する課題であるグループワークや学んだことを発信する場を学校自ら構築している。

6. 最後に

本研究にご協力を頂いた那智勝浦町教育委員会、各小学校関係者に感謝するとともに、今回抽出された課題を参考に、より効果的な土砂災害に関する防災教育活動を行えるよう、今後も継続して取り組みを進めたい。また、センターの近隣に位置しない小学校へも同様の活動を広めていきたい。

参考文献

- 1) 犬丸ら：土砂災害に対する警戒避難意識向上に向けた教育コンテンツの検討，平成29年度砂防学会研究発表会概要集，pp.274-275，2017。
- 2) 吉村ら：土砂災害に対する警戒避難意識向上に向けた教育カリキュラムの検討，平成30年度砂防学会研究発表会概要集，pp.681-682，2018。
- 3) 小竹ら：土砂災害に関する防災教育の地域波及支援について，2019年度砂防学会研究発表会概要集，pp.749-750，2019。

紀伊半島大水害の被災体験の研修プログラムとその生徒への効果について

岸畑 明宏¹・坂口 隆紀¹

¹和歌山県 土砂災害啓発センター (〒649-5302和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027番6)

和歌山県土砂災害啓発センターでは、土砂災害の被害軽減に向けた研修と地域の小中学校と連携した防災総合学習などを実施している¹⁾。また、紀伊半島大水害の被災者のご遺族の中では、久保榮子氏が「自らが体験した悲しみを後世の人に味あわせたくない」と考え、悲しみを抱えながら使命感を抱き、悲惨な被災体験を後世に伝承しようと体験紙芝居等を作成し懸命に活動をされており、共同して中学生を対象にした啓発研修と体験紙芝居を合わせた研修プログラムを行っている。本報告では、その効果について学習会実施後に行った生徒の感想文を基にテキストマイニング手法での効果分析を試みた。

キーワード 紀伊半島大水害, 土砂災害, 啓発活動, 体験紙芝居, テキストマイニング

1. はじめに

2011年9月の台風12号に伴う記録的豪雨により、和歌山県では紀南地方を中心に洪水・土砂災害が発生し、56人の尊い命が失われるとともに、道路の寸断による集落の孤立や世界遺産の被災など、1953年7月17日～18日の梅雨前線豪雨(紀州大水害)以来の大災害(図-1)が発生した²⁾。この災害を受け、県では被害を繰り返さないために、土砂災害の記憶や教訓を後世に伝えるとともに、土砂災害に関する調査研究の拠点となる施設である「和歌山県土砂災害啓発センター」(以下、啓発センター)(写真-1)を、土石流の多発により甚大な被害が発生した那智勝浦町に設置(図-2)し、土砂災害の発生メカニズムに関する調査研究を行うとともに、展示パネルや映像をとおして、「紀伊半島大水害」をはじめとする過去

の災害の教訓を風化させずに後世に継承し、土砂災害から身を守るための研修・啓発活動を行っている。



写真-1 和歌山県土砂災害啓発センター外観



図-1 紀伊半島大水害の発生状況



図-2 紀伊半島大水害の発生状況

2. 啓発センターが実施している研修

(1) 団体を対象とした土砂災害に関する啓発研修

啓発センターには、平成28年4月24日の開所以来、平成28年度には123団体3,166名、平成29年度には107団体2,650名、平成30年度には93団体2,051名、令和元年度には58団体1,146名の方が来館し、土砂災害についての啓発研修（以下、啓発研修）を受講している。研修受講団体の帰属県としては、図-3から、和歌山県はもとより、京阪神地域や中京地域が多く、遠くは長野県や岡山県からも来館している。また、受講団体の種別としては、学生、児童、自治会、消防団等の防災関係団体、民生児童委員が多い。

(2) 啓発研修の方法

啓発研修は30名程度以内を対象として行っており、下記の研修コンテンツを適宜組み合わせることで約30分～120分間のプログラムを受講団体に合わせて構成している。

- ・啓発センターの研修室を利用したスライドや動画を用いた土砂災害の基礎に関する研修（写真-2）（約30分～60分間）
- ・啓発センター内の土石流実験装置による透過型・不透過型砂防えん堤の役割の効果を確認する実験（写真-3）（約15分間）

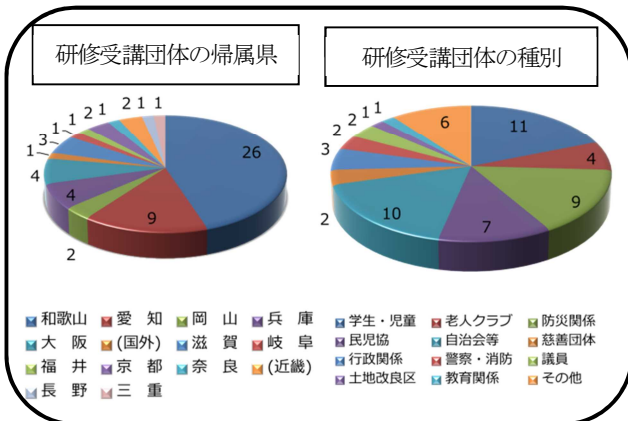


図-3 研修受講団体の帰属県及び種別



写真-2 土砂災害の基礎に関する研修の様子

- ・センターに近接している砂防えん堤工事現場の現地見学（近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所協力）（写真-4）など実験・体験（約20分間）

また、啓発研修の人数が多い場合には、各研修コンテンツを班分けすることで最大90人程度までを対象に啓発研修を行っている。

(3) 啓発研修の内容

団体への啓発研修の内容は、以下の啓発研修が対象とする各内容を、団体の種別により適宜組み合わせたものとしている。

- ・土砂災害啓発センターについて
- ・土砂災害の概要及び予兆について
- ・紀伊半島大水害について
- ・深層崩壊について
- ・土砂災害防止法・土砂災害警戒区域について
- ・早期避難の重要性について
- ・災害後の取り組み

研修にあたっては、画一的な資料を説明するだけではなく、申し込みの段階から研修で聞きたい内容を聴取し、「土砂災害の概要及び予兆について」では、土砂災害に対する興味とイメージを持ちやすい土砂災害の動画（写真-5）³⁾等を用いている。また、「紀伊半島大水害について」では、土砂災害発生から年月を経た現場の復旧状況と当時の被災状況の写真を見比べられる資料（図-4）を用いている。これらに加えて、受講団体の地元における土砂災害に係る情報を、必要に応じて関係都道府県に聞き取りするなどして研修題材（図-5）を作成して



写真-3 土石流発生装置による砂防堰堤の効果に関する実験の様子



写真-4 砂防えん堤工事現場の現地見学の様子



写真5 土砂災害発生動画

Q1. 問題 (土石流からの避難)

山の中の沢で川遊びをしていたら、山のおくてゴーツという音がした。土石流だ！さてどこにげる？

A 川原（かわら）にある大きな石のかげ
 B 川原にある木の上
 C 川の流れと直角方向の高台

正解は… **C** 川の流れと直角方向の高台

解説（かいせつ）…
 土石流は沢の上流で発生し、およそ時速60kmのスピードで一気に流れてくる。どんなに足の速い人でも追いつかれてしまう。早く沢からはなれて、高いところに避難が必要。

図-6 土砂災害に関するクイズ

6. 紀伊半島大水害 (土砂災害状況・那智川支川平野川)

流域面積	0.44km ²
土砂冠蓋面積	16,850m ²
生産土砂量	54,450m ³
流出土砂量	23,300m ³
人的被害 死者	9人
物的被害 建物	全壊 3棟 半壊 2棟 床上浸水 19棟

9月4日（日）10時39分頃
 那智勝浦市野々地内
 河口から約4.7km



写真6 紀伊半島大水害体験紙芝居の様子

6. 紀伊半島大水害 (土砂災害状況・那智川支川平野川)

とうかがたえんてい 透過型堰堤
 ふうとかがたえんてい 不透型堰堤

熊野古道
 令和2年3月17日
 那智川支川平野川
 河口から約4.7km

図-4 被災時と復旧状況の対比を示す研修資料

2. 京都府の土砂災害 平成30年7月豪雨 京都府提供

<p>綾部市 上杉町 【屋ヶ谷川】</p> <p>幅30m、高さ25mの規模の山腹崩壊が発生し、死者3名、人家全壊2戸の被害</p>	<p>舞鶴市 上福井 【大高川】</p>
<p>福知山市 大江町 【一級河川 谷川】</p> <p>幅110m、奥行180mの規模で地すべりが発生し、天然ダムが形成</p>	<p>舞鶴市 上福井 【舞ヶ谷川支流】</p> <p>土石流が発生し、谷出口の民家が全壊した。これにより、住民1名が死亡</p>

図-5 受講団体の地元で発生した土砂災害に関する研修資料

紀伊半島大水害 被災者の体験談を基にした紙芝居

※夫婦と娘の3人家族が洪水に見舞われ、最初は3人で桶に捕まって耐えていたが耐えきれず、隣の建物に移ろうと濁流に飛び込み流された。母親はフェンスに捕まり、娘は屋根に登って九死に一生を得たが、夫は遺体で発見された。

図-7 紀伊半島大水害体験紙芝居のシナリオ



写真-7 兎に扮した久保氏による〇×クイズ

4. 紀伊半島大水害(那智川での災害の特徴)



7. 紀伊半島大水害(那智川での災害の特徴)



図-8 久保氏が被災した状況を説明する資料

用いている。また、対象年齢にあわせてクイズ(図-6)を組み入れたりすることで、土砂災害を身近に感じ、危機感を持ってもらえるような啓発研修を行っている。

3. 紀伊半島大水害体験紙芝居

久保榮子氏(以下、久保氏)が行っている紀伊半島大水害体験紙芝居(写真-6)は、平成26年頃から始められ、

現在まで近隣の小中学校はもとより自治会や自主防災組織の方々などを対象に50件以上実施されている。内容は台風12号が平成23年9月4日未明に来襲し、久保氏自らが体験した事を中心に、その時感じた事や今も抱いている後悔の念などを紙芝居にまとめたもの(図-7)であり、また、紙芝居の後には、特に「早めの避難」の重要性を訴えるために、「脱兎のごとく逃げる」という言葉を用い、久保氏が兎に扮して〇×クイズを実施(写真-7)することで、物語の中で久保氏が災害の間に感じた、かけがえない命を守るための早期避難と行動の重要性を教えている。

4. 啓発研修と紀伊半島大水害体験紙芝居を合わせた研修プログラム

土砂災害に係る防災教育においては、その中で土砂災害の現象・特徴と危険な場所などを知り、それらの知識を応用できる判断力(考える力)と危険な時に自らの的確な判断で避難できる意志決定できる能力(行動する力)を養う必要がある⁴⁾とされている。

今回の啓発研修と紀伊半島大水害体験紙芝居を合わせた研修プログラム(以下、特別研修プログラム)のうち、啓発研修については、受講者が土砂災害の現象・特徴と危険な場所を知り、土砂災害について考える力を養うことが出来る研修内容とした。また、紀伊半島大水害体験紙芝居では、久保氏による、降りしきる大雨の時に避難勧告が発令されても避難しなかった事に対する後悔の念の描写と、「どうして早めの避難をしなかったのか。早めの避難行動をすれば全ての命は助かっていた」という訴えから、受講者が土砂災害に対して実際に避難する行動力の重要性について学習することを意図している。

また、特別研修プログラム全体として、受講者が土砂災害の性質と危険性を考える力を養うことに加えて、災害に際して受講者自身が判断して避難を決断できる行動する力を養うことが可能な研修内容を意図している。

なお、特別プログラムに要する時間は、土砂災害の基礎に関する研修として約30分間の啓発研修を行い、その後約60分間の紀伊半島大水害体験紙芝居とそれに続く〇×クイズの計90分と設定した。

紀伊半島大水害体験紙芝居の前に行う約30分間の啓発研修では、土砂災害の基礎に関する研修内容である「土砂災害の概要及び予兆について」「紀伊半島大水害について」「土砂災害防止法・土砂災害警戒区域について」「早期避難の重要性について」をスライドや動画によって説明し、加えて、紀伊半島大水害体験紙芝居の理解度向上を目的として、啓発研修の後に行う紀伊半島大水害体験紙芝居における久保氏が被災した場所や遭遇した災害について具体的に説明(図-8)した。特に、「早期避難の重要性について」は紀伊半島大水害体験紙芝居にお

ける久保氏の訴えやそれに続く〇×クイズにおいても扱われる内容であり、避難行動の実施に直結する内容であることから重要と考え、受講者が適切に理解できるような研修内容とした。

5. 特別研修プログラムの効果検証

(1) 特別研修プログラムの対象中学校

特別研修プログラムは、令和元年8月22日に和歌山県田辺市立龍神中学校（1年生28名）、同年10月9日に田辺市立新庄中学校（2年生38名）、同年12月4日に和歌山県立日高高等学校附属中学校（1年生38名）の計104名を対象に実施した。また、研修による効果の検証に用いた資料には、研修後に受講者が書いた感想文を用いた。

(2) テキストマイニング手法による解析

受講者が書いた感想文を計量化し、分析・可視化するにあたり、テキストデータを計量的に分析することが可能であるKH Coder⁴⁾を用いた。KH Coderでは、テキストデータにおいて出現している単語の検索や出現頻度の分析や、テキストデータにおいて、併せて出現することが多い共起関係にある単語を、多変量解析により共起ネットワークとして、単語と単語が共起する関係を直感的に捉えることができる形で示すこと等が可能である⁹⁾。このようなことから、研修を受けた感想文とこれらの研修内容がどのように関連付けられ、意味づけられているかの検討を行った。

(3) 共起ネットワーク解析と研修結果の検証

共起ネットワーク解析結果（図-9）と単語（名詞）の出現回数（表-1）を示す。大きく5つのクラスターに単語の共起関係が分類されているのが分かる。この円が

大きいものほど、出現回数が多い事を示し、また、単語と単語が線で結ばれているものは共起性や関連性があることを示し、線の太さが関連性の強さとして表現している。

なお、今回の解析においては、受講者が特別研修プログラムに対して感じた主要テーマを明確にするため、出現頻度が上位20位以内にある単語について共起ネットワーク解析を行った。

一番大きなクラスターを見ると、共起関係にあるワードは①「早期」・「避難」・「大切」、②「土砂」・「災害」・「思う」・「分かる」・「久保」、③「話」・「聞く」といった関連の強いグループを基本に大きなクラスターを形成している。特に今回の研修で一番伝えたかった「早期避難が大切」であることを学生は考え、「土砂災害を思った・分かった」という事から土砂災害に関する知識を学生が習得したと考えられる。

次に他のクラスターで抽出されているワードと啓発研修内容を比較検討した。

その中で、「深層崩壊」・「地すべり」・「土石流」・「がけ崩れ」の共起関係については、土砂災害の4種の起こり方が関連づけて認識されたものと考えられる。

土砂災害の種別に関する研修方法としては、実際の土砂災害の動画やCGを用いて説明しており、これらを用いた説明等が、土砂災害の種別の認識に有効な方法であったと考えられる。

次に、「自助」・「共助」のワードのクラスターが抽出されている。これは、紀伊半島大水害体験紙芝居の話の久保氏が行う際に研修室内では、大きな字で「自助」・「公助」・「共助」の文字を張り出しており（写真-8）、研修中に受講者が継続して文字を視認することで効果的に認識されたものと考えられる。

一方、土砂災害の危険な箇所については、土砂災害警戒区域についてスライドを使い、「自分ごと」と認識しやすいように、受講者の学校周辺の土砂災害警戒区域

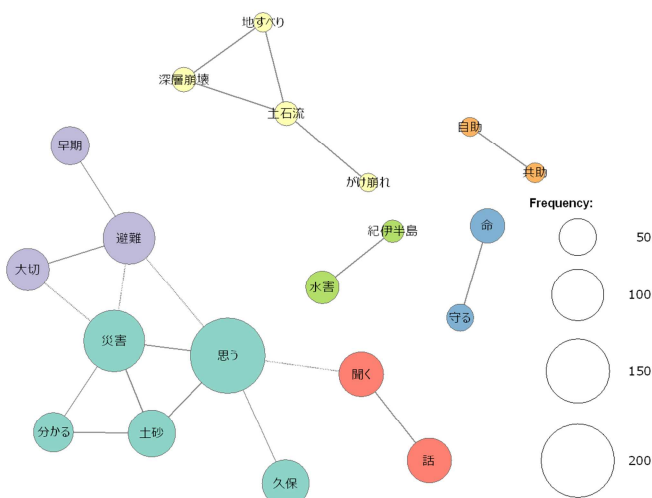


図-9 共起ネットワーク解析結果

出現回数(名詞)			
抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
災害	138	紀伊半島	18
避難	100	防災	18
土砂	83	準備	15
久保	82	お話	14
話	73	共助	14
自分	70	種類	14
早期	54	先生	14
人	51	学習	13
命	43	自助	13
水害	40	台風	13
家族	25	地すべり	13
家	23	がけ崩れ	12
紙芝居	23	津波	12
深層崩壊	21	山	11
体験	21	センター	10
土石流	21	経験	10
被害	21		
水	20		

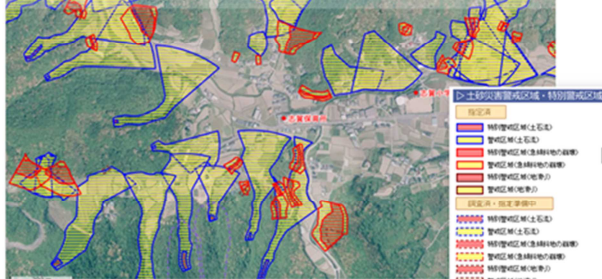
表-1 単語の出現回数



写真-8 紀伊半島大水害体験紙芝居における「自助」・「公助」・「共助」の文字

6. 土砂災害から身を守るために

①ご自宅・勤務先等が、「土砂災害危険箇所」「土砂災害警戒区域」かどうか確認する。



土砂災害の約6割は、「土砂災害危険箇所」「土砂災害警戒区域」で発生します。普段からお住まいの場所等が土砂災害の恐れがある区域に含まれているかどうか、和歌山県HPの「わかやま土砂災害マップ」(<http://sabomap.pref.wakayama.lg.jp>)で確認しておきましょう。

図-9 土砂災害警戒区域に関する研修資料

(図-9)の説明を行ったが、単語の出現頻度上位100にも関連する単語が現れず、土砂災害警戒区域に関する啓発研修の改善が必要と思われた。

6. 最後に

啓発研修の理解度を問うために、5段階評価などの形でアンケートを求める事はよく行われている手法であるが、これだけでは研修内容をどのように理解しているかを判断しづらい。一方、今回の解析に用いた感想文では、受講者が色々と研修で感じた事を自由に書いてもらえるため、啓発研修で行った各内容の理解度についての分析を行うことができ、今後の、より理解度向上を図った研修プログラム作りに非常に有用な調査資料となる。

また、啓発研修を行った講師自身がその効果を把握することにより、研修教材の改善や研修プログラムの時間配分の変更、新たな教育内容の追加などの研鑽につながる事が重要であると考えます。

研修後に受講者の感想を分析し、研修内容と講師による研修方法を改善し、その上でより良い研修を行い、その結果を再度フィードバックしていく、このような研修方法を継続的にレベルアップできるサイクルが行われるよう、研鑽に努めていきたい。

謝辞：本研究及び日々の研修に当たり、紀伊半島大水害体験紙芝居を作成し、継続的に50回以上もの講演を行い、加えて、現在も新しい紙芝居を作り続けておられる久保氏には、多大なご協力を頂き、この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 坂口ら：紀伊半島大水害の被災体験を子供達に伝承する活動について、2019年度砂防学会研究発表会概要集 pp763-764
- 2) 和歌山県：平成23年 紀伊半島大水害記録誌、2013年
- 3) (社)全国治水砂防協会：DVD「土砂動態」、2009年
- 4) 樋口耕一：社会調査のための計量テキスト分析—内容分析の継承と発展を目指して—、ナカニシヤ出版、2020年
- 5) 末吉美喜：テキストマイニング入門 ExcelとKH Coderでわかるデータ分析、株式会社オーム社、2020

コアストーンが分布する斜面の 水文特性に関する研究

STUDY ON THE HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF
THE SLOPES WHERE CORE STONES ARE DISTRIBUTED

榎原伴樹¹・筒井和男²・崎山朋紀³・岸畑明宏⁴・坂口隆紀⁵・
木下篤彦⁶・柴田俊⁷・松澤真⁸・田中健貴⁹

Tomoki ENOHARA, Kazuo TSUTSUI, Tomoki SAKIYAMA, Akihiro KISHIHATA, Takaki
SAKAGUCHI, Atsuhiko KINOSHITA, Suguru SHIBATA, Makoto MATSUZAWA
and Yasutaka TANAKA,

¹非会員 和歌山県日高振興局建設部 (〒644-0011 和歌山県御坊市湯川町財部651)

²学生会員 理修 和歌山県土砂災害啓発センター (〒649-5302和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

³非会員 和歌山県西牟婁振興局農林水産振興部 (〒646-8580 和歌山県田辺市朝日ヶ丘23-1)

⁴非会員 和歌山県土砂災害啓発センター (〒649-5302和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

⁵非会員 工修 和歌山県土砂災害啓発センター (〒649-5302和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

⁶正会員 農博 国土交通省国土技術政策総合研究所 (近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター) (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

⁷非会員 農修 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

⁸非会員 理博 パンフィックコンサルタンツ株式会社 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22番地)

⁹非会員 農修 北海道大学広域複合災害研究センター (〒060-8589北海道札幌市北区北9条西9丁目)

In recent years, Sediment disasters have occurred frequently and cause serious damage. In particular, debris flows due to shallow landslide have occurred in highly weathered granite distribution areas and cause severe damage. In the case that weathered residual cores of the granite flows down, the damage may be increased.

In order to reduce future damage, it is important to extract slopes that are at risk of shallow landslide. When core stones are distributed on the surface of granite porphyry, the hydrological characteristics may be different from those of general slopes.

In this study, we conducted an artificial rainfall survey on the slope of the granite porphyry distribution area, and examined the rainwater infiltration process during rainfall. We conducted the survey on slopes with and without corestone distribution and compared the results.

Key Words : core stones, shallow landslide, electric exploration, artificial rainfall

1. はじめに

近年, 全国的に土砂災害が多発し, 大きな被害が生じている. 特に風化の進んだ花崗岩類分布域で表層崩壊を起因とする土石流が発生し, 甚大な被害が生じている. また, その際には花崗岩類の風化残留核 (コアストーン) が流下し, 被害を大きくする事もある^(例えば¹⁾). 和歌

山県内においても2011年の紀伊半島大水害の際に, 那智川流域等において花崗斑岩分布域を中心に表層崩壊を起因とする土石流が多数発生し, 大きな被害が生じた²⁾.

今後の警戒避難体制の強化や砂防事業の優先度を決定するために, 表層崩壊危険斜面を抽出しておくことは重要である. 従来³⁾の表層崩壊危険斜面抽出手法³⁾では, 土層厚や斜面勾配, 集水面積, 土質強度, 表層土層の透水性等を基に評価することになっている. 降雨および人工

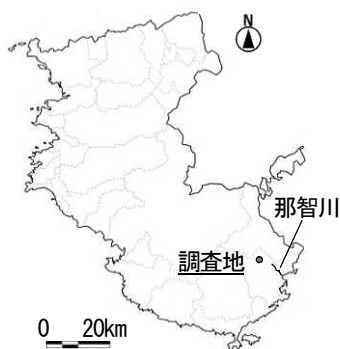


図-1 位置図

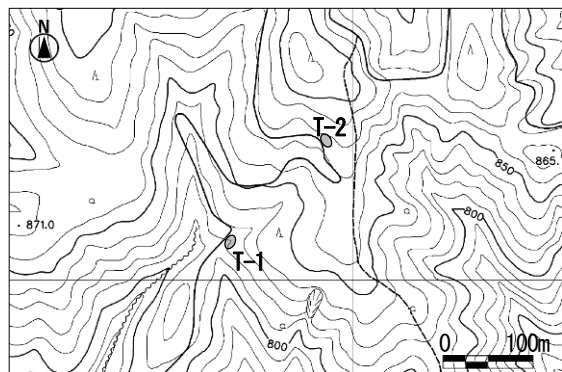


図-2 平面図

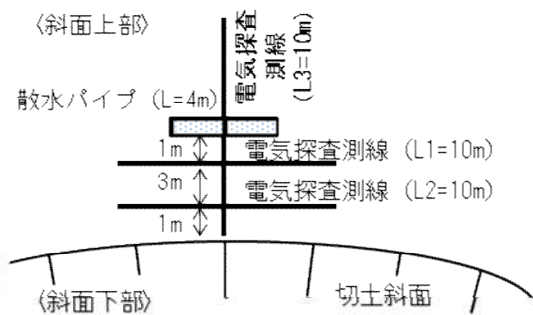


図-3 機器設置状況概要図

散水による水の浸透過程について、比抵抗の変化から検討を行った事例⁴⁾では、パイプやコアストーンが存在が水の流れに影響を及ぼすことが確認されている。花崗斑岩の表層マサ土においてコアストーンが多く分布している場合は、一般的な斜面と比べて水文特性が異なる恐れがあり、土層の透水性等を適正に評価するためにはその水文特性を正しく評価し、反映する必要がある。

そこで、本研究では花崗斑岩分布域の斜面で散水試験を実施し、連続的な高密度電気探査により比抵抗の差分を捉え、降雨時の雨水浸透プロセスの検討を行った。試験はコアストーンが多く分布する斜面と均質なマサ土が分布する斜面で実施し、その結果を比較した。

2. 調査地の概要および調査方法

(1) 調査地の概要

調査は平成23年の紀伊半島豪雨の際に多くの土石流が



写真-1 コアストーンが分布する斜面 (T-1)



写真-2 均質なマサ土が分布する斜面 (T-2)

発生した那智川流域に隣接する地区の、花崗斑岩が分布する切土斜面で実施した。調査箇所的位置図を図-1に、平面図を図-2に示す。当該箇所には風化程度の異なる露頭が点在しており、その中のコアストーンが多い風化帯が分布する斜面 (T-1) と相対的に均質なマサ土が多く分布する斜面 (T-2) で実施した。それぞれの斜面の状況を写真-1, 2に示す。切土斜面の高さは概ね2~4m程度で、調査は1月の下旬から2月の中旬にかけて実施した。

(2) 調査方法

高密度電気探査を実施し、比抵抗の差分を捉えることにより、水の浸透過程の把握を行った。図-3に散水装置および電気探査測線の設置位置の概要を示す。切土斜面の頂部から約5m離れた位置に有孔塩ビパイプを設置し散水を行った。電気探査の測線は、横断方向に散水箇所1m下部 (L-1) とさらに3m下部 (切土斜面頂部から1m上部, L-2) の2測線、縦断方向に1測線 (L-3) 設けた。それぞれの測線の延長は10m、電極間隔は25cmとし、探査深度は約8mとした。散水に使用する水は近くの溪流から採取したタンクに貯蔵しポンプにて汲み上げ、流量を調整しながら散水を行った。

散水量は、それぞれの斜面で長期降雨と短期集中降雨を想定した二つのパターンにより行った。長期降雨については30mm/hから始め、2時間毎に10mm/hずつ増加させ、最終60mm/hを想定した流量を8時間、短期降雨については100mm/hを想定した流量を4時間散水した。散水

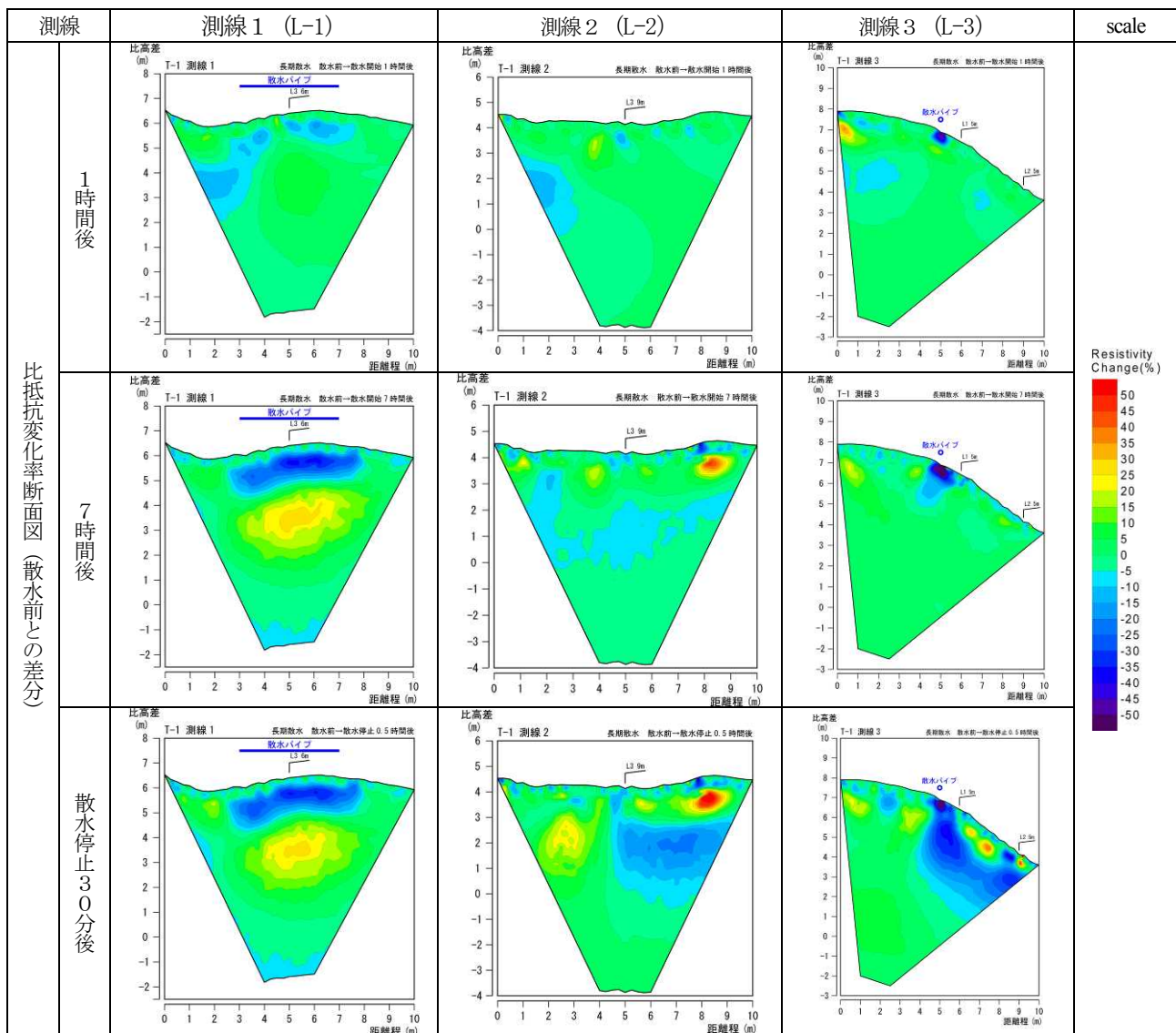


図-4 比抵抗観測結果 (コアストーンが多く分布する斜面 (T-1) , 長期降雨)

試験は、全て日中に実施し、先に均質なマサ土が多く分布する斜面 (T-2) で実施し、機器を付替えた後にコアストーンが多く分布する斜面 (T-1) で行った。2011年の紀伊半島大水害時には、3日程度降雨が続いた後に、時間雨量100mm/hを超える降雨があり崩壊が発生している⁵⁾。このため、それぞれの斜面において先に長期降雨を想定した散水を行い、翌日に短期降雨を想定した散水を実施した。短期降雨を想定した散水では、地下水の浸透経路を把握するために散水用の有効塩ビパイプの中央部を遮水し、遮水した流量と同じ量となるように濃度1.0%の硫酸アンモニウム溶液を投入した。なお、散水実施前の降雨状況は、散水開始3日前までにかけて、総雨量167mmの降雨があった (気象庁色川観測所)。

3. 調査結果

図-4から図-7に各斜面の長期降雨, 短期降雨それぞれ

の散水試験の結果を示す。それぞれ、散水前と散水開始1時間後の比抵抗値の差分、散水前と散水停止30分前の比抵抗値の差分、散水前と散水停止30分後の比抵抗値の差分を表した比抵抗変化率断面図を示す。比抵抗値の低下が見られる箇所は散水による水が浸透している箇所と考えられる。

(1) コアストーンが分布する斜面 (T-1) の浸透状況

コアストーンが分布する斜面 (T-1) における長期降雨を想定した散水の結果を図-4に示す。測線1において、距離程3m~7mの区間、高さ5m付近を中心比抵抗が低下しており、水が浸透している状況が伺える。この比抵抗値が低下している部分の下位となる距離程5~6m、高さ3~4mを中心として比抵抗値が上昇していることが確認でき、この比抵抗値の上昇は、盛土で雨水の浸透過程を検証した事例⁶⁾を参考にすると、水の浸透により地盤の間隙に存在する空気が封入され、下方に圧縮され比抵抗値が上昇していることが考えられる。また、測線2お

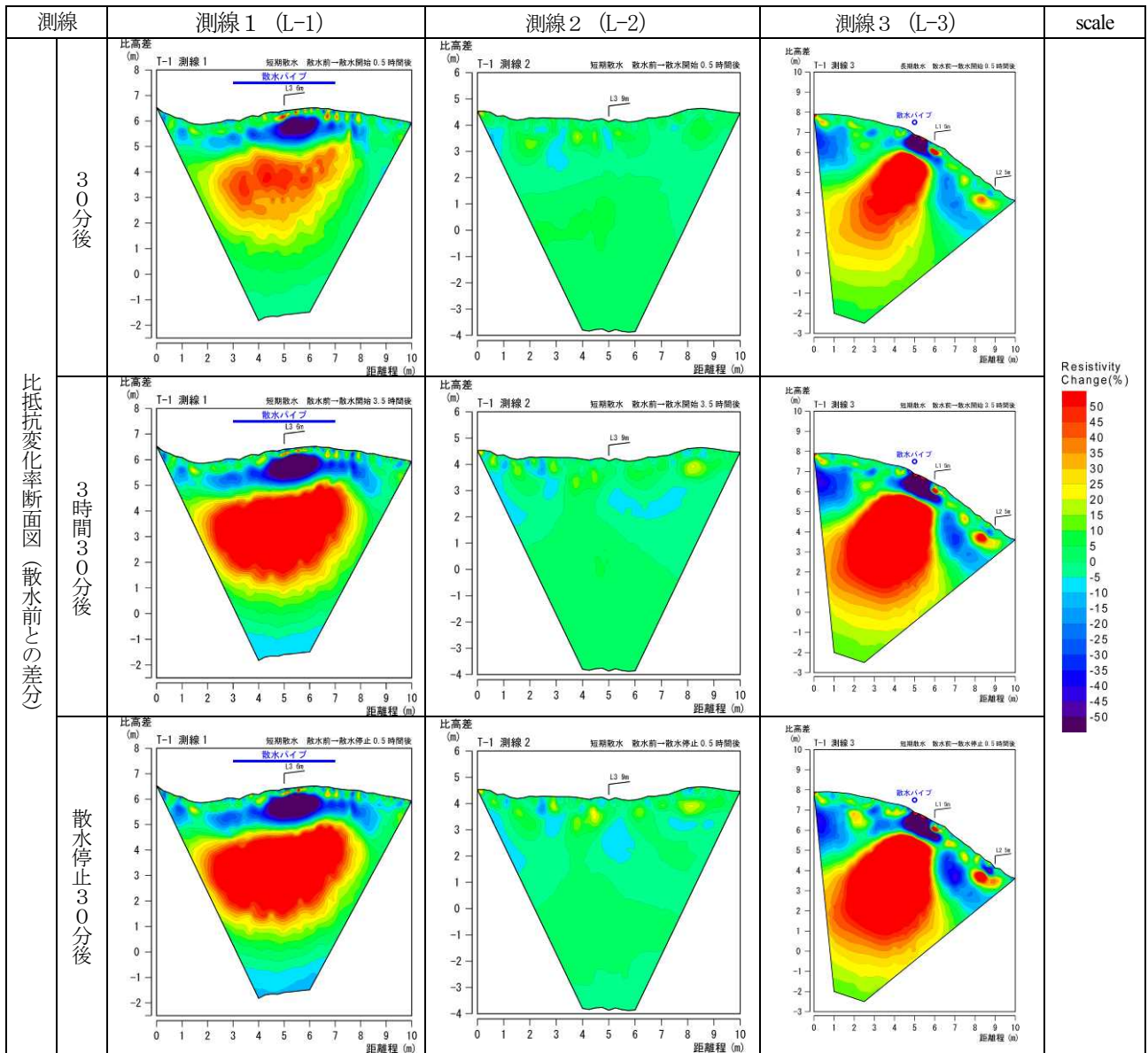


図-5 比抵抗観測結果 (コアストーンが多く分布する斜面 (T-1), 短期降雨)

よび3では散水停止30分後の比抵抗の低下が顕著であるが、これは散水停止により封入されていた空気が地上に抜ける過程で、封入空気により行く手を阻まれていた散水された水が浸透したことに起因すると考えられる。

コアストーンが分布する斜面 (T-1) における短期降雨を想定した散水の結果を図-5に示す、測線1において、距離程3m~7mの区間、高さ5~6m付近を中心として比抵抗値が低下しており、散水の影響が確認できる。この比抵抗値の低下部の下位となる距離程3~7m、高さ2~4mを中心に比抵抗値が上昇している。これも長期降雨と同様に、散水により地盤の間隙に存在する空気が封入され、下方へ圧縮されることにより比抵抗値が上昇していると考えられる。長期散水の測線2および測線3で確認できた散水停止30分後の比抵抗値が低下する様子は確認されず、これは、短期散水によって供給された水により、封入された空気が地上へ抜けることが出来なかったことに起因すると考えられる。

(2) マサ土が多く分布する斜面 (T-2) の浸透状況

相対的にマサ土が多く分布する斜面 (T-2) における長期降雨を想定した散水の結果を図-6に示す。測線1において、距離程3m~7mの区間、高さ6m付近を中心として比抵抗値が低下しており、散水の影響が現れている。また、この比抵抗値低下部の下部側方において比抵抗値が上昇している。測線2でも、浸透の影響による目立った比抵抗値の低下がみられる。測線3では、散水停止後の比抵抗値の低下が顕著で、これも散水停止により封入された空気が地上へ抜ける過程で、入れ替わるようにその間隙に水が浸透したことを捉えたものと考えられる。

相対的にマサ土が多く分布する斜面 (T-2) における短期降雨を想定した散水の結果を図-7に示す。測線1において、距離程3m~7mの区間、高さ6m付近を中心として比抵抗値が低下しており、散水の影響が確認できる。この比抵抗値低下部の周囲では著しく比抵抗値が上昇してお

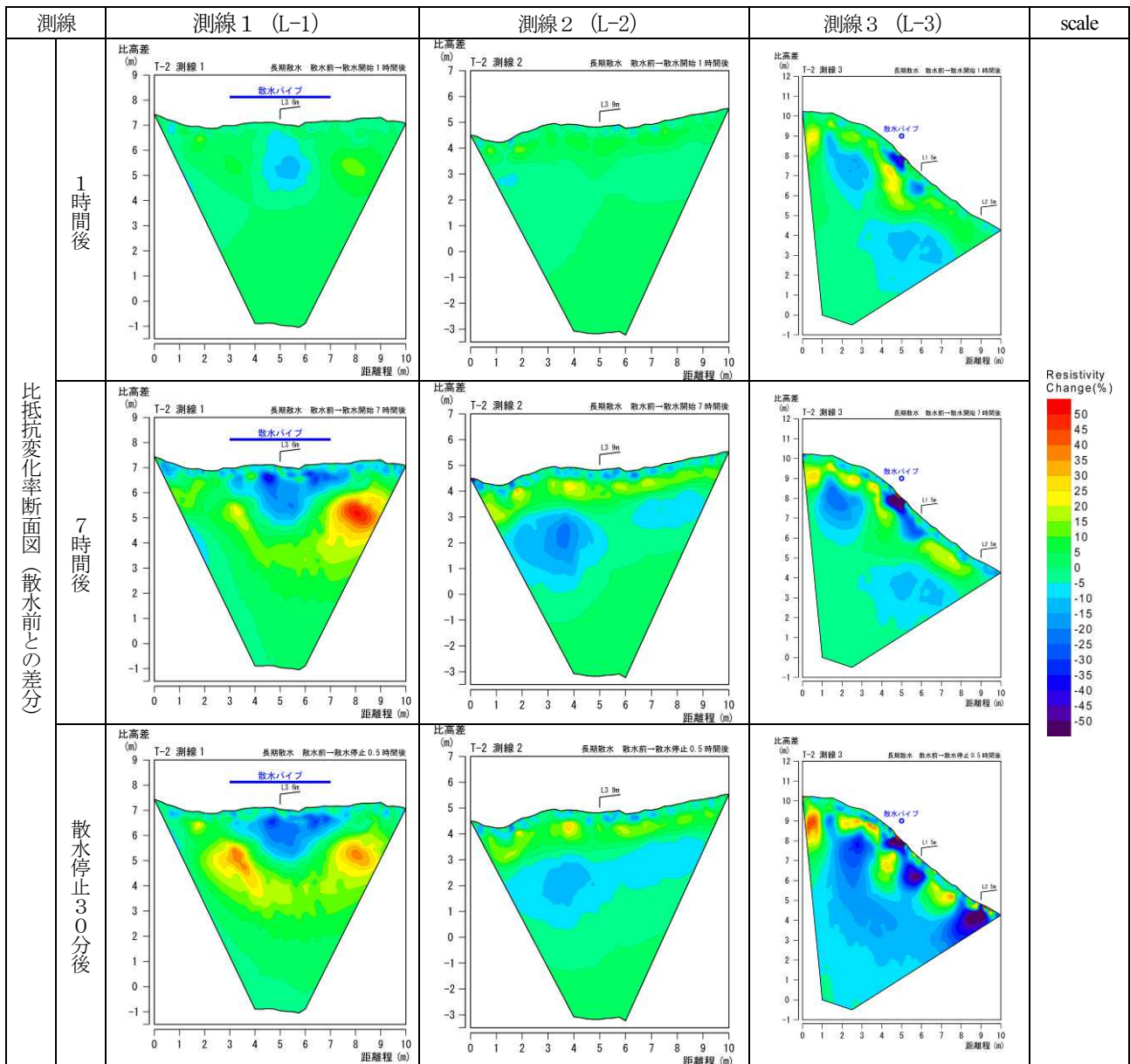


図-6 比抵抗観測結果 (均質なマサ土が分布する斜面 (T-2) , 長期降雨)

り、これは封入空気の影響を捉えていると考えられる。測線2では散水停止30分後にかけて、高さ2~3m付近を中心に比抵抗値低下部が帯状に広がる。この帯状の比抵抗値低下部の上位に、比抵抗値の上昇部が認められるが、これは水が浸透したことにより間隙中の空気が地上へ抜ける過程で一時的に圧縮された可能性がある。測線3では散水箇所の下位で比抵抗値が上昇するが、始点側の距離1~2m、高さ8m付近の比抵抗値の低下が顕著で、これは、斜面傾斜方向とは別の流路を捉えている可能性があると考えられる。

4. まとめ

花崗斑岩分布域のコアストーンが多く分布する斜面

および均質なマサ土が分布する斜面にて散水実験を行った。浸透水は、地表面の形状に沿い一律に流下するわけではなく、相対的に水が通りやすい水みちを選択的に流下することが分かった。本調査地の花崗斑岩は、柱状節理が発達しており、柱状節理沿いに風化が進行することによりコアストーンが形成され、最終的にはコアストーンが消失し、マサ土斜面になることが知られている⁷⁾。コアストーン斜面ではコアストーンとコアストーンの間マサ部が水みちになったと想定される。一方、マサ土斜面は、一見、均質に風化した砂質な土層に見えるが、散水試験斜面下部の切土斜面をハンマーで打撃したところ、部分的に軟質な部分が確認された。これは、柱状節理の中心部は岩石構造が残っているため相対的に硬質で、柱状節理の外周部は相対的に軟質になっていると想定される。そして、この軟質な部分が水みちとなったと推定さ

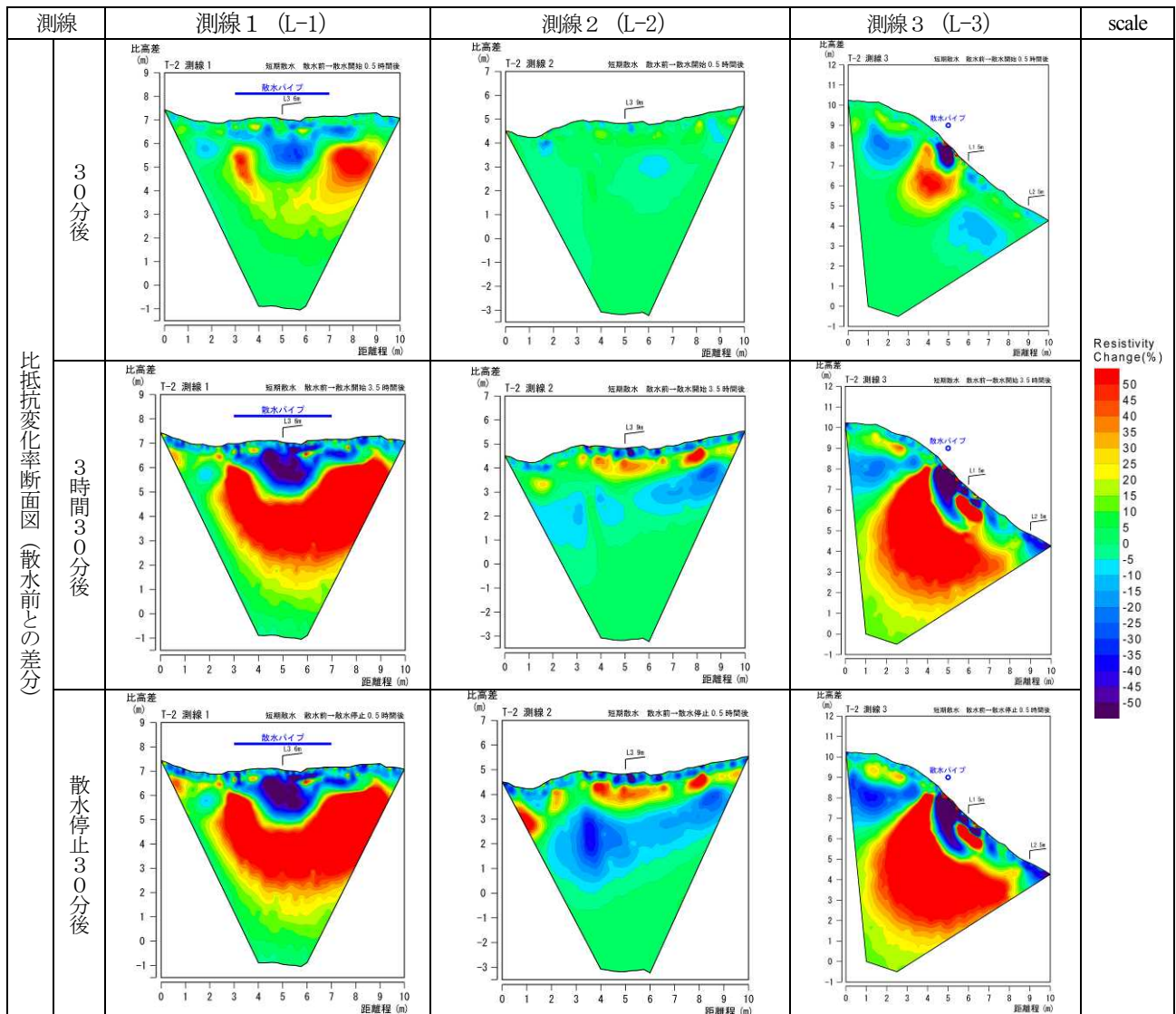


図-7 比抵抗観測結果(均質なマサ土が分布する斜面(T-2), 短期降雨)

れる. 今後, コアストーンの分布, 土層の透水性などの詳細調査を実施することから, コアストーンが水文特性に与える影響についてさらなる検討を行う予定である.

参考文献

- 1) 海堀正博, 長谷川祐治, 山下祐一, 崎田博史, 中井真司, 桑田志保, 平松晋也, 地頭菌 隆, 井良沢道也, 清水 収, 今泉文寿, 中谷加奈, 柏原佳明, 加藤誠章, 鳥田英司, 平川泰之, 吉永子規, 田中健路, 林 拙郎: 平成30年7月豪雨により広島県で発生した土砂災害: 砂防学会誌, Vol.71, No.4, pp.49-60, 2018.
- 2) 松村和樹, 藤田正治, 山田孝, 権田豊, 沼本晋也, 堤大三, 中谷加奈, 今泉文寿, 島田徹, 海堀正博, 鈴木浩二, 徳永博, 柏原佳明, 長野英次, 横山修, 鈴木拓郎, 武澤永純, 大野亮一, 長山孝彦, 池島剛, 土屋智: 2011年9月台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害: 砂防学会誌, Vol.64, No.5, pp.43-53, 2012.
- 3) 独立行政法人土木研究所 土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム: 表層崩壊に起因する土石流の発生危険度評価マニュアル(案), 土木研究所資料, 2009.
- 4) 野池耕平, 小竹利明, 菅原寛明, 田中健貴, 木下篤彦, 榎原伴樹, 崎山朋紀, 松澤真, 田村友起夫, 澤田悦史, 斉藤泰久: パイピング孔周辺における人工散水による水の浸透過程の検討: 2019年度砂防学会研究発表会概要集, pp.559-560, 2019.
- 5) 筒井和男, 西岡恒志, 福田和寿, 坂口武弘, 木下篤彦, 今森直紀, 田中健貴, 島田徹: ヒアリング調査を基にした平成23年那智川災害の避難行動に関する研究, 第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.37-42, 2016.
- 6) 高倉伸一, 吉岡真弓, 内田洋平, 石澤友浩, 酒井直樹: 比抵抗モニタリングによる盛土中の水分変化の推定, 物理探査, pp.223-236, 2012.
- 7) 平田康人: 柱状節理の発達した火成岩の組織・構造とそれに規制された球状風化メカニズム, 京都大学大学院理学研究科博士論文, pp.1-207, 2018.

(2020. 4. 2受付)

水路実験による土砂移動時の地盤振動の スペクトルと距離減衰に関する考察

A MODEL STUDY ON SPECTRUM AND DISTANCE ATTENUATION OF GROUND
VIBRATION BY MOVEMENT OF A LARGE MASS

筒井 和男¹・坂口 隆紀¹・海原 莊一²・谷田 佑太²・木下 篤彦³・柴田 俊⁴
金澤 瑛⁵・中谷 洋明⁵・里深 好文⁶・藤本 将光⁶

Kazuo TSUTSUI, Takaki SAKAGUCHI, Soichi KAIHARA, Yuta TANIDA,
Atsuhiko KINOSHITA, Suguru SHIBATA, Akito KANAZAWA, Hiroaki NAKAYA,
Yoshifumi SATOFUKA and Masamitsu FUJIMOTO

¹和歌山県土砂災害啓発センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027番6)

E-mail: tsutsui_k0002@pref.wakayama.lg.jp

²株式会社エイト日本技術開発 (〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町3丁目1-21)

³国土交通省国土技術政策総合研究所 (近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター)

(〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027番6)

⁴国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター

(〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027番6)

⁵国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒6305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

⁶立命館大学理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-7-1)

Key Words: flume experiment, Seismic characteristics, fourier spectrum, distance attenuation

1. はじめに

山間部で発生する深層崩壊等の大規模土砂移動は、天然ダムを形成し、豪雨時には越流により下流で氾濫被害を生じる可能性があり、従来から検知手法が数多く考案されている。その中で準リアルタイムでの広域監視を対象としたものとして、斜面崩壊に伴い発生する地盤振動を高感度地震観測網で検知する手法がある。

国内には、人間に感じられない非常に小さな地震による揺れを観測するための高感度な地震観測網である防災科学技術研究所の Hi-net¹⁾や広帯域地震計による観測網 F-net²⁾、国土交通省の大規模土砂移動検知システムの観測網が整備されており、2001年3月に岡山県総社市の斜面崩壊で、この崩壊によると思われる地震動が Hi-net の観測点で記録されている³⁾。また、大角らの研究⁴⁾では Hi-net データを解析し2004年8月に奈良県大塔村で発生した斜面崩壊の発

生箇所をエンベロープ解析により推定できることが示されている。高原らの研究⁵⁾では2014年の赤谷地区再崩壊時の Hi-net と国土交通省の観測局のデータから1~7Hz帯の振動波形と監視カメラによる土砂移動プロセスとの比較を行い、崩壊土砂が斜面を流下する際の振幅の増大は小さく、崩壊土砂が対岸に衝突し始めたときに振幅が大きくなっていることが明らかとなっている。他にも土砂移動時の地盤振動特性に関する過去の研究では、土石流に起因する地盤振動では20~40Hzの高周波、深層崩壊に伴う土砂移動では1~3Hz程度の低周波が卓越して観測されることが報告されている^{例え6)}。高原らの研究⁵⁾では2011年の赤谷地区の崩壊土砂中に破碎されていない岩塊が含まれ⁷⁾、その岩塊層の移動により0.01~0.1Hzの低周波が発生し、土砂が対岸に衝突する際に1~7Hzの低周波成分が増大することが明らかになっているが、低周波成分の発生原因は十分には解明されていない。一方、海原ら⁸⁾は2016年11

月の長崎県雲仙普賢岳での斜面崩壊時に離隔距離約1.5kmの非常に近接した観測局で1~20Hzの広い周波数帯で地盤振動が発生していたことを報告している。地盤振動の減衰は高周波成分ほど大きくなるため、崩壊箇所から離れた観測点では高周波成分が観測できないと考えられるが、地盤振動の距離減衰について明らかにし、その周波数特性を明らかにすることは地盤振動による斜面崩壊の検知において重要である。

上記のように地盤振動により大規模土砂移動を検知し、その発生箇所の推定やその移動プロセスもある程度推測できることが示されているが、地震のような自然現象、発破や交通振動のノイズ等の人工的な現象も地盤振動を発生させることから、大規模土砂移動のみを正確に検知できる十分な知見は得られていない。しかし、大規模土砂移動の発生頻度は低く、発生場所が事前に特定できないことから、映像によりその過程を詳細に捉えることは非常に困難である。そのため、土砂移動による地盤振動を室内の水路実験で発生させ、これまで観測観察でのみ検討されてきた実現現象時の地盤振動の主要な特徴との比較や、地盤振動の距離減衰について考察を行った。

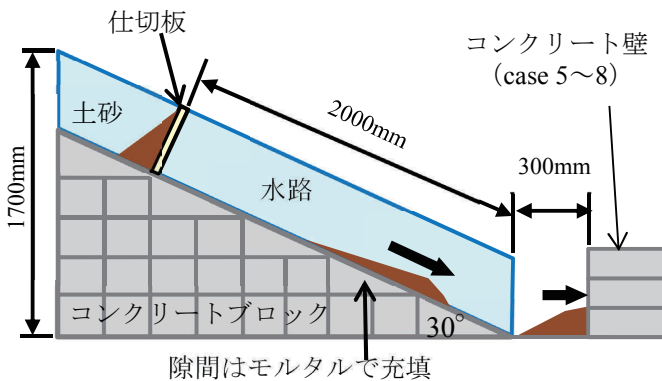


図-1 実験水路の模式図

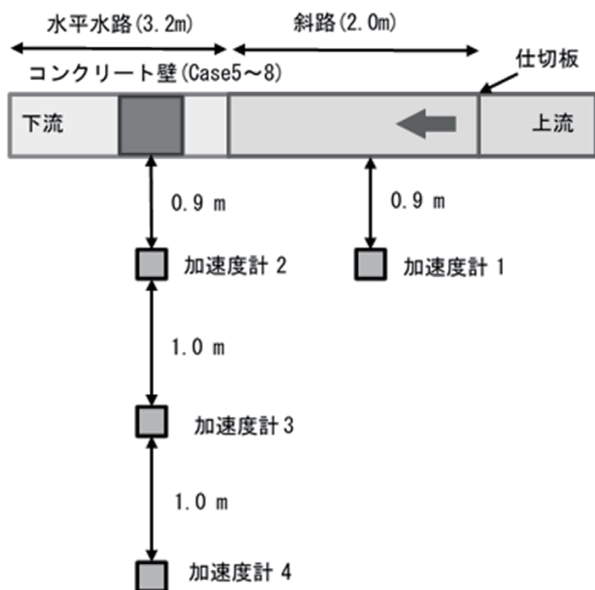


図-2 加速度計配置図

2. 実験の概要

模型実験による振動、変位などの相似則を検討した事例^{例えは⁹⁾}はあるが、今回の水路実験では土砂移動の規模に限界があり起振力が限られたものとなる。検討対象とする実現現象が深層崩壊ということもあり、現地の崩壊と実験では力の縮尺が極めて小さな値になること、伝播する地盤も現地では表層が土砂、深層が岩盤、実験では表層がコンクリート、下部は土砂地盤と媒体が異なること、また現地観測では発生箇所と観測局の距離が遠方のため実体波となるが、室内実験では振動発生箇所からの距離が近く表面波となる等その環境は大きく異なる。振幅等の特定の要因に着目した相似則を満たしていないことには注意が必要であるが、定性的な振動特性の確認はできると考えている。なお崩壊規模の振幅を求めるには、媒体の影響を含めて検討できる数値解析の方が有利と考えられる。

実験用水路は図-1に示すように斜面に見立てた斜路および河床に相当する水平水路である。縮尺規模は実現現象の200分の1程度で、土砂が水路移動時に発生する振動を直接床に伝えるため、水路の基礎はコンクリートブロックを階段状に積み、その上にアクリル製水路を設置し、水路とブロックの間はモルタルを充填して水路全体を基礎と密着させた。水路勾配は30度、斜路の長さは2.0m、水平水路の長さは3.2mである。斜路の上流に仕切板を設置し、仕切板を引き抜くことで、斜路を流下するようにした。対岸への土砂の衝突を想定しコンクリート壁の設置の有無等を変化させて計測を行った。土砂は直径5~10cmの礫と直径1cm程度の礫を混合し、これに土砂の移動を促すため水を混ぜ合わせたものを使用した。水の重量20kgは水路幅、角度から予備実験により決定した。比重の同じものでは小規模の水路を流下させるには限界があり、起振力を大きくするため、直径10cm、重量5kgの鉄球3個を加えた条件も設定した。実験ケースは対岸の壁の有無、土砂の重量を変化させるとともに鉄球を加え表-1に示す合計8ケースを実施した。

表-1 実験条件

Case	実験条件	使用材料 (kg)			
		礫 (5~10cm)	礫 (1cm)	鉄球	水
1	壁なし	10	10	0	20
2		20	20	0	20
3		30	30	0	20
4		30	30	15	20
5	壁あり	10	10	0	20
6		20	20	0	20
7		30	30	0	20
8		30	30	15	20

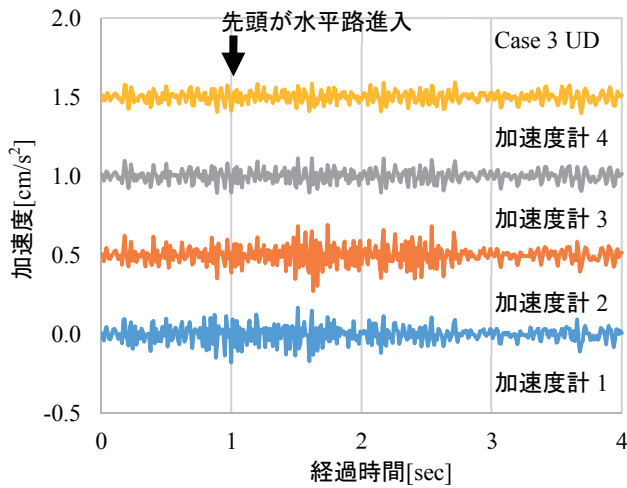


図-3 case3の加速度時刻歴 (UD成分)
0.5cm/s²ずつずらして表示

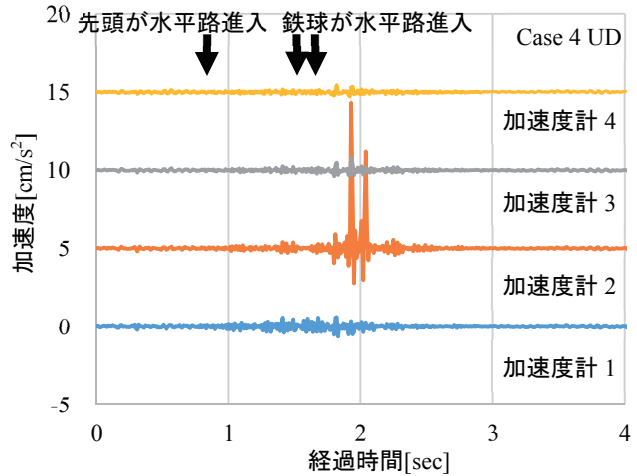


図-4 case4の加速度時刻歴 (UD成分)
5cm/s²ずつずらして表示

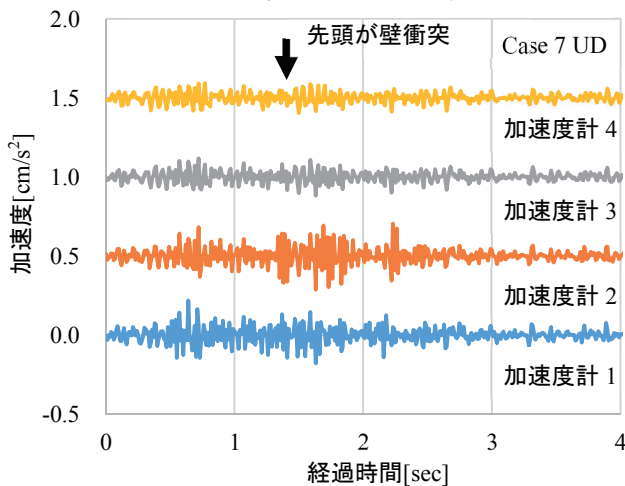


図-5 case7の加速度時刻歴 (UD成分)
0.5cm/s²ずつずらして表示

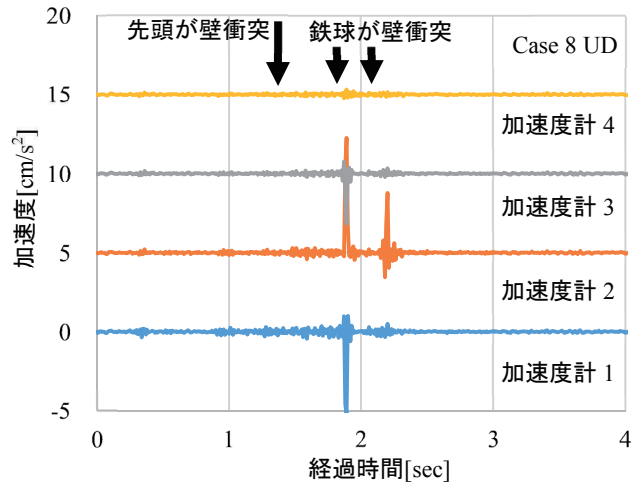


図-6 case8の加速度時刻歴 (UD成分)
5cm/s²ずつずらして表示

地盤振動の計測は白山工業社製サーボ型加速度計JU410を使用し、100Hzのサンプリングで3成分を計測した。加速度計の配置を図-2に示す。

3. 結果と考察

(1) 土砂移動プロセスと振幅増大のタイミングの関係

実験で得られた加速度計別の加速度時刻歴を、図-3~6にCase3, 4, 7, 8での上下方向成分を示す。グラフ横軸の経過時間0秒は土砂流下開始時刻である。流下土砂量が小さいケースでは計測された振幅が小さいことからCase1, 2, 5, 6の結果は割愛し、また鉄球の有無の比較と壁の有無の効果とを確認するため、Case3, 4, 7, 8のみを示す。土砂は4秒程度で流下した。鉄球を加えたCase4, 8で特に大きな振動が計測された。Case8では流下開始後1.89秒後に7.25cm/s²の最大振幅が発生した。

土砂の流下状況と振動との関係を検討するため、図-7, 8にcase4, 8のビデオカメラ画像を示す。ビデオカメラ画像の時刻は画像中の時計表示とフレー

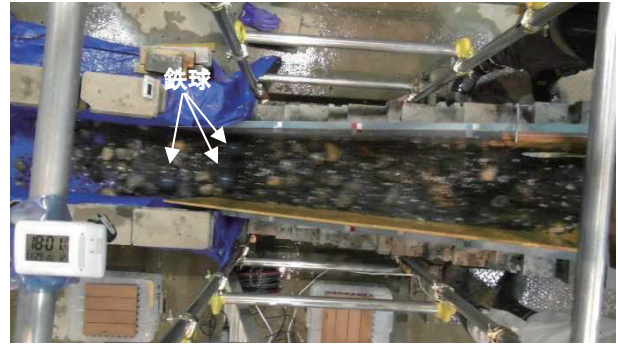
ム数(60FPS)による求めた。Case4では流下開始後0.8秒頃に土砂の先端が斜路から水平水路に進入し、1.5秒頃と1.6秒頃に鉄球が水平水路に到達した。斜路を土砂が移動している時間は振幅が増大せず、土砂が水平水路移動中の経過時間1秒付近から徐々に大きくなり、鉄球が水平水路を移動する1.8秒以降に特に大きくなっている。加速度計2の振幅は顕著に大きい。加速度計1は他の加速度計がピークに至るころには振幅は減少している。Case8では流下開始後1.3秒頃に斜路末端のコンクリート壁に土砂の先端が衝突した。鉄球は1.8秒頃と2.1秒頃に壁に衝突した。その直後に加速度計1, 2, 3において明瞭なピークを観測した。どの加速度計も振幅の増大タイミングが不明瞭なCase4と異なり加速度計1のピークの時間帯は同時刻であった。鉄球の水平水路進入および壁衝突時刻と波形ピーク時刻との差は目視による誤差の影響が大きいと考えられる。

(2) 土砂移動プロセスと周波数スペクトルの関係

土砂移動プロセスと振動の周波数スペクトルとの関係を調べるため、土砂の斜路移動時と水平水路移



(a) 経過時間 0.8 秒

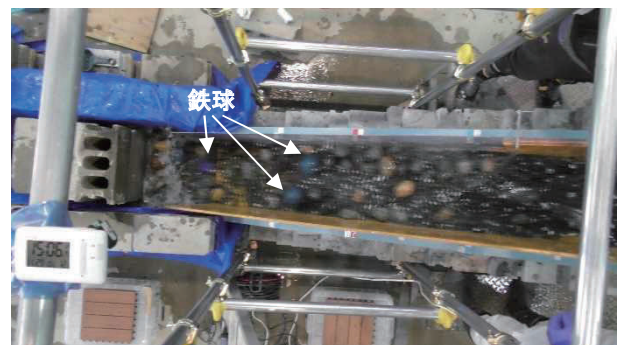


(b) 経過時間 1.5 秒

図-7 case4 の経過時間毎のビデオカメラ画像. (a)経過時間 0.8 秒 (b)経過時間 1.5 秒



(a) 経過時間 1.3 秒



(b) 経過時間 1.8 秒

図-8 case8 の経過時間毎のビデオカメラ画像. (a)経過時間 1.3 秒 (b)経過時間 1.8 秒

動時または壁衝突時のフーリエ振幅スペクトルを算出し、観測された振動には常時微動との比(S/N比)を求めた。その結果を図-9, 10に示す。常時微動は各実験開始前の約10秒前の約2.5秒間の振動データを用いた。Case4では斜路移動時は20Hz以上の高周波成分が各センサーで大きくなっているが、水平水路移動時に加速度計2では3Hz以下の低周波成分が大きくなっている。Case8では斜路移動時にCase4と同様に高周波成分が大きくなっているが、壁衝突時に加速度計1, 2, 3の10Hz以下の低周波成分が大きくなっている。これは実現現象の観測で得られた結果において、大規模土砂移動時に崩壊土砂の河床や対岸への衝突時に1~7Hz低周波成分が増大していることが明らかとなっており、室内実験による結果とも調和的であると考えられる。

(3) 振動の距離減衰

観測した地盤振動の距離減衰を評価するため、加速度計2, 3, 4の波形で、Case3, 4では水平水路移動時、Case7, 8では壁衝突時の振幅の二乗平方平均根RMS (Root Mean Square) を求めた。RMS値と各加速度計の水路中央からの距離の関係を図-11に示す。Case3, 7で加速度計2のRMS値に対する比率を求めると、距離1.9mでそれぞれ0.58, 0.52, 距離2.9mでそれぞれ0.50, 0.45に減衰している。同様にCase4, 8では、距離1.9mでそれぞれ0.12, 0.35,

距離2.9mでいずれも0.08に減衰している。

本実験は発生した振動を近距離に設置した加速度計で測定しており、その振動は表面波を捉えていると想定し、ここで地盤材料を粘弾性体と仮定すると波動エネルギーが熱エネルギーに変換されて失われ、その平面波動式⁹⁾は式(1)で表される。

$$u = B e^{-\beta z} e^{i\omega(t-z/V_S)} \quad (1)$$

ここに u は変位、 B は振幅、 β は材料減衰に起因した距離減衰係数、 z は伝播方向座標、 i は虚数、 ω は円振動数、 t は時刻、 V_S はS波速度である。したがって $e^{-\beta z}$ で表される材料減衰による距離減衰が生じる。また距離減衰係数 β は粘性係数 ξ を用いて、フオークト粘弾性体では $\beta = \omega^2 \xi / (2\rho V_S^3)^2$ で表され、円振動数 ω の2乗に比例するため、高周波ほど早く減衰する。さらに波動が振動源から表面波として伝わる場合は円筒波伝播とみなせるので幾何減衰も生じる。エネルギーの総和が等しいと仮定すると式(1)は次のようになる。

$$u = B(r/r_0)^{-0.5} e^{-\beta r} e^{i\omega(t-z/V_S)} \quad (2)$$

ここに r , r_0 は距離である。これにより地盤振動は内部減衰と幾何減衰を合わせた距離減衰が生じる。時間微分を2回行った加速度においても同様の距離減衰が生じる。距離減衰係数 β は減衰定数 D を用いて $\beta = \omega D / V_S$ と表され、卓越周波数を30Hz、減衰定数を0.1、弾性波速度を200m/sと仮定すると、式(2)によれば距離0.9mの位置での値に対し距離1.9mで

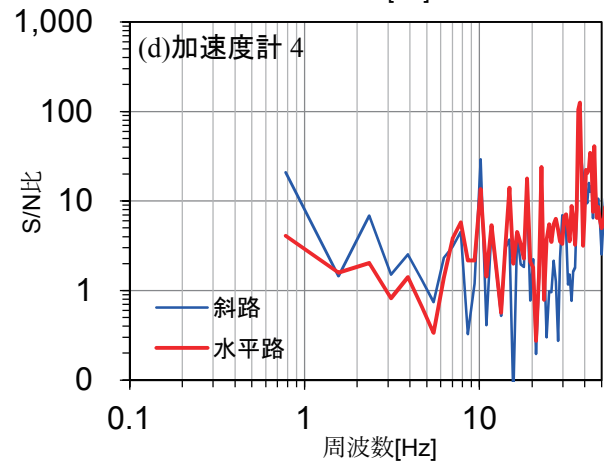
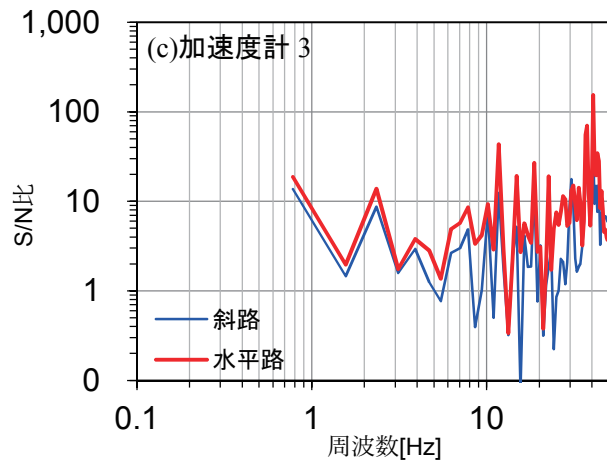
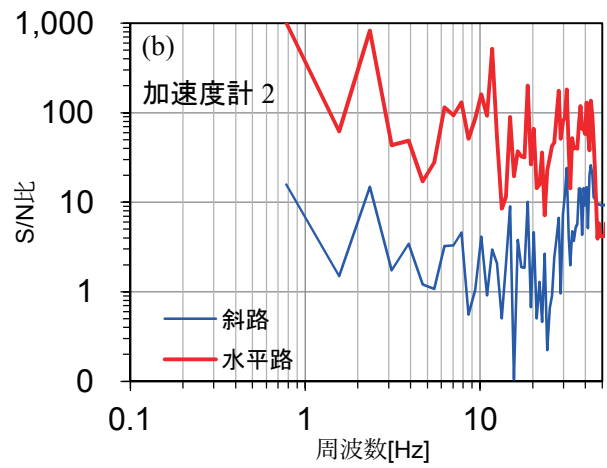
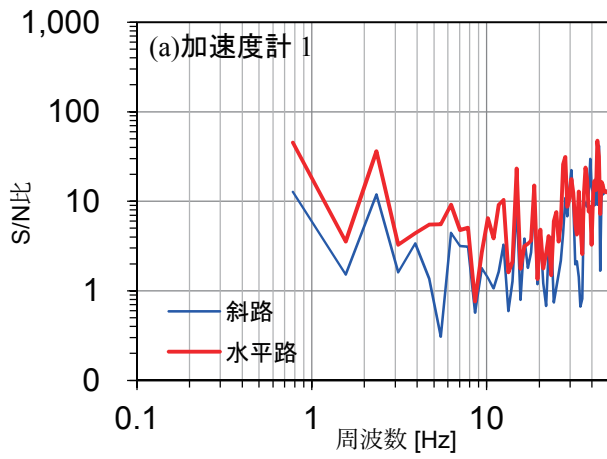


図-9 case4 の各加速度計 (UD 成分) のフーリエ振幅スペクトル比

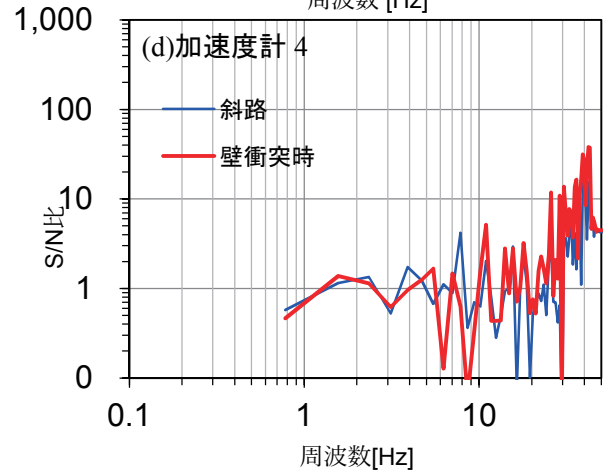
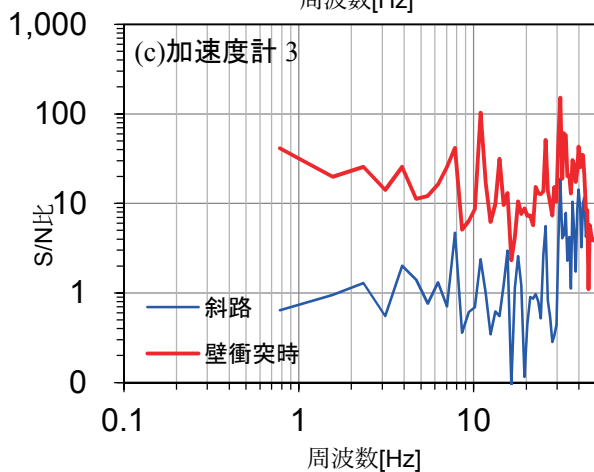
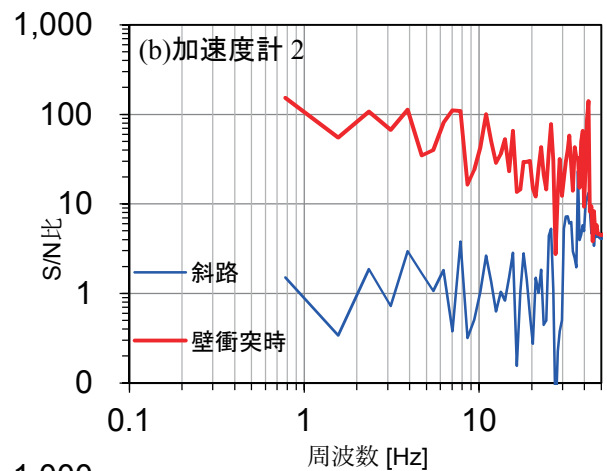
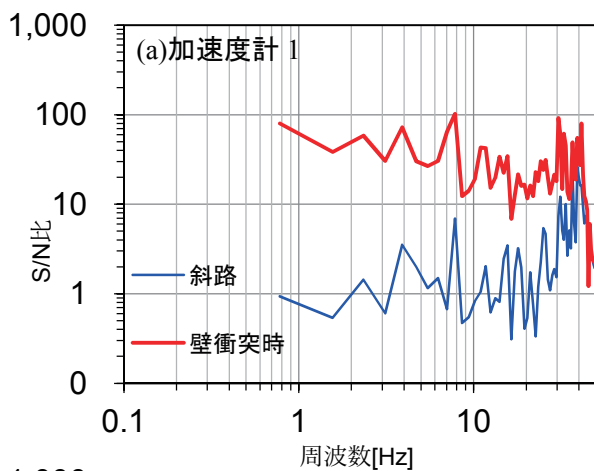


図-10 case8 の各加速度計 (UD 成分) のフーリエ振幅スペクトル比

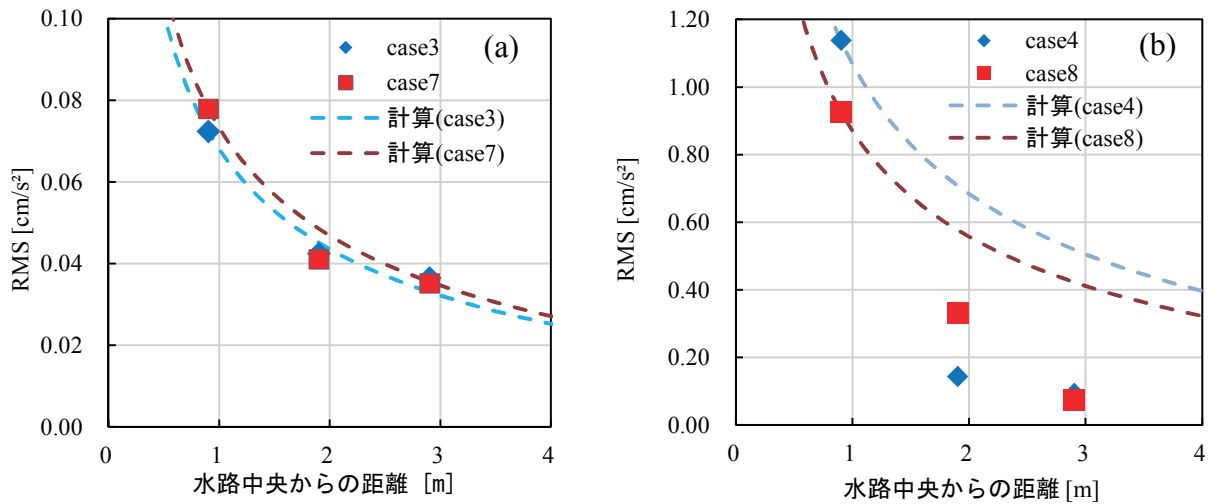


図-11 RMS 値 (UD 成分) と水路中央から加速度計までの距離との関係
(a) case3 と case7 (b) case4 と case8

0.62, 距離 2.9m で 0.45 に減衰することになる。Case3, 7 はこれと整合する減衰がみられるが, 弾性波速度等は今回計測していないこと, 実験室の地盤構造が不明であり低い弾性波速度を与えたため, あくまで簡易な評価である。Case4, 8 でより大きい減衰がみられ表面波より幾何減衰の大きい実体波が低周波成分に含まれていることも考えられる。距離減衰は媒体の特性や散乱による影響も大きいため, 実現象の観測を含めて今後知見を蓄積していく必要がある。

4. まとめ

斜面と河床に見立てた斜路と水平水路から構成する実験水路において土砂を流下させ発生した振動を計測し, 振動波形とビデオカメラ画像により確認した土砂移動プロセスとの比較を行った。斜路移動時の振幅に比べて, 水平水路移動時もしくは壁衝突時に振幅が増大すること, また, 移動過程毎にフーリエ振幅スペクトルを求めたところ, 低周波成分は鉄球を加えた場合の振幅と同様, 水平水路移動時もしくは壁衝突時に増大することが確認でき, 実現象で観察された現象と調和的な結果となった。地盤振動の距離減衰についても距離に応じ減衰することが確認できた。小規模な実験であるものの実現象で得られた知見の一部を再現できる可能性を示すと考えられる。

参考文献

1) 国立研究開発法人防災科学技術研究所: Hi-net 高感度地震観測網, <https://doi.org/10.17598/NIED.0003>, 参照 2020-4-22.
2) 国立研究開発法人防災科学技術研究所: F-net 高帯域地

震観測網, <https://doi.org/10.17598/NIED.0005>, 参照 2020-04-22.

3) 水野高志・伊藤潔・諏訪浩: 岡山県総社市における斜面崩壊にともなう地震動, 日本地震学会ニュースレター, Vol.13, No.1, pp.16-17, 2001.
4) 大角恒雄・浅原裕・下川悦郎: 2004年8月10日奈良県大塔村斜面土砂移動時の Hi-net データ解析—斜面土砂移動検知への応用—, 自然災害科学, Vol.24, No.23, pp.267-277, 2005.
5) 高原晃宙・木下篤彦・水野秀明・長谷川真英・梅田ハルミ・海原荘一・浅原裕: 振動センサデータによる大規模土砂移動現象発生タイミング及び移動プロセスの解明について, 河川技術論文集, 第22巻, pp.43-48, 2016.
6) 森脇寛: 崩壊型土石流の流下に伴う地盤の振動特性—小谷村蒲原沢土石流—, 地すべり, 第3号, 第36巻, pp.99-107, 1999.
7) 桜井亘・酒井良・奥山悠木・小川内良人・福田睦寿・佐藤美波・海原荘一・只熊典子・藤原康正: 河道閉塞の内部構造により生じる水文・浸食特性の違いと対策上の留意点, 砂防学会誌, Vol.68, No.3, pp.21-30, 2015.
8) 海原荘一・浅原裕・木下篤彦・田中健貴: 高感度地震観測網による土砂移動発生箇所近傍の地盤振動特性, 第9回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.197-200, 2018.
9) 香川崇章: 土構造物の模型振動実験における相似則, 土木学会論文報告集, Vol.275, pp.69-77, 1978.
10) 國生剛治: 地震地盤動力学の基礎エネルギー的視点を含めて, 鹿島出版会, pp.26-36, 2014.

(2020.7.1 受付)

和歌山県土砂災害啓発センターにおける土砂災害に関する防災教育とその効果について

A STUDY ON THE EFFECTS OF THE DISASTER PREVENTION EDUCATION
ABOUT SEDIMENT DISASTER AT IWSRE

岸畑 明宏¹・坂口 隆紀¹・筒井 和男¹・宮崎 徳生¹
Akihiro Kishihata, Takaki Sakaguchi, Kazuo Tsutsui, Norio Miyazaki

¹和歌山県土砂災害啓発センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027番6)
E-mail: e0806041@pref.wakayama.lg.jp

Key Words: disaster prevention education, text mining, elementary school, enlightenment

1. はじめに

2011年9月の台風12号に伴う記録的豪雨により、和歌山県では紀南地方を中心に洪水・土砂災害が発生し、56人の尊い命が失われるとともに、道路の寸断による集落の孤立や世界遺産の被災など、1953年7月17日～18日の梅雨前線豪雨(紀州大水害)以来の大災害(写真-1)が発生した。この災害を受け、県では被害を繰り返さないために、土砂災害の記憶や教訓を後世に伝えるとともに、土砂災害に関する調査研究の拠点となる施設である「和歌山県土砂災害啓発センター(IWSRE)」(以下、啓発センター)を、土石流の多発により甚大な被害が発生した那智勝浦町に設置(図-1、写真-2)し、土砂災害の発生

メカニズムに関する調査研究を行うとともに、展示パネルや映像をとおして、「紀伊半島大水害」をはじめとする過去の災害の教訓を風化させずに後世に継承し、土砂災害から身を守るための研修・啓発活動を行っている¹⁾。



図-1 啓発センターの位置



写真-1 那智勝浦町における紀伊半島大水害の発生状況



写真-2 啓発センターの外観

2. 啓発センターが実施している研修

(1) 団体を対象とした土砂災害に関する啓発研修

啓発センターには、平成28年4月24日の開所以来、平成28年度には123団体3,166名、平成29年度には107団体2,650名、平成30年度には93団体2,051名、令和元年度には58団体1,146名の方が来館し、土砂災害についての啓発研修（以下、啓発研修）を受講している。研修受講団体の帰属県としては、図-2から、和歌山県はもとより、京阪神地域や中京地域が多く、遠くは長野県や岡山県からも来館している。また、受講団体の種別としては、学生、児童、自治会、消防団等の防災関係団体、民生児童委員が多い。

(2) 啓発研修の方法

啓発研修は30名程度以内を対象として行っており、下記の研修コンテンツを適宜組み合わせることで約30分～120分間のプログラムを受講団体に合わせて構成している。

- ・啓発センターの研修室を利用したスライドや動画を用いた土砂災害の基礎に関する研修（写真-3）（約30分～60分間）
- ・啓発センター内の土石流実験装置による透過型・不透過型砂防えん堤の役割の効果を確認する実験（写真-4）（約15分間）

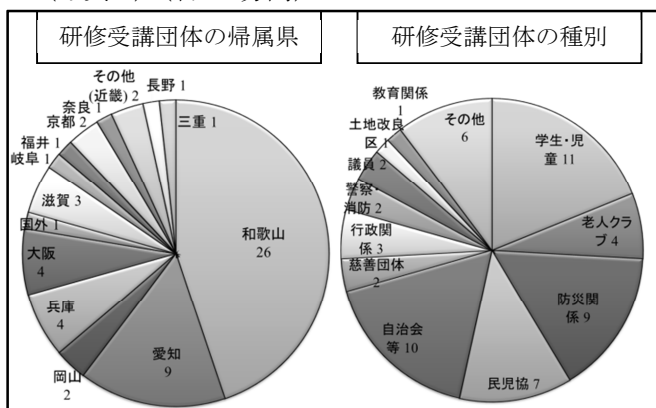


図-2 研修受講団体の帰属県及び種別



写真-3 土砂災害の基礎に関する研修の様子

- ・センターに近接している砂防えん堤工事現場の現地見学（近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所協力）（写真-5）など実験・体験（約20分間）

また、啓発研修の人数が多い場合には、各研修コンテンツを班分けすることで最大90人程度までを対象に啓発研修を行っている。

(3) 啓発研修の内容

団体への啓発研修の内容は、以下の啓発研修が対象とする各内容を、団体の種別により適宜組み合わせたものとしている。

- ・土砂災害啓発センターについて
- ・土砂災害の概要及び予兆について
- ・紀伊半島大水害について
- ・深層崩壊について
- ・土砂災害防止法・土砂災害警戒区域について
- ・早期避難の重要性について
- ・災害後の取り組み

研修にあたっては、画一的な資料を説明するだけでなく、申し込みの段階から研修で聞きたい内容を聴取し、「土砂災害の概要及び予兆について」では、土砂災害に対する興味とイメージを持ちやすい土砂災害の動画（写真-6）²⁾等を用いている。また、「紀伊半島大水害について」では、土砂災害発生から年月を経た現場の復旧状況と当時の被災状況の写真を見比べられる資料（図-3）を用いている。これらに加えて、受講団体の地元における土砂災害に係る情



写真-4 土石流発生装置による砂防堰堤の効果に関する実験の様子



写真-5 砂防えん堤工事現場の現地見学の様子

報を、必要に応じて関係都道府県に聞き取りするなどして研修題材（図-4）を作成して用いている。また、対象年齢にあわせてクイズ（図-5）を組み入れたりすることで、土砂災害を身近に感じ、危機感を持ってもらえるような啓発研修を行っている。



写真-6 土砂災害発生時の動画

6. 紀伊半島大水害 (土砂災害状況：那智川支川平野川)

流域面積	0.44㎢
土砂犯濫面積	16,850㎡
生産土砂量	54,450㎡
流出土砂量	23,300㎡
人的被害	死者 9人
物的被害	建物 全壊 3棟 半壊 2棟 床上浸水 19棟

9月4日（日）10時39分頃
那智勝浦町市野々地内
河口から約4.7km

↓

6. 紀伊半島大水害 (土砂災害状況：那智川支川平野川)

どろろかたえんてい
透過型堰堤

ふとろかたえんてい
不透過型堰堤

熊野古道
河口から約4.7km

令和2年3月17日
那智川支川平野川

図-3 被災時と復旧状況の対比を示す研修資料

2. 京都府の土砂災害 平成30年7月豪雨 京都府提供

<p>綾部市 上杉町 【屋ヶ谷川】</p> <p>幅30m、高さ25mの規模の山腹崩壊が発生し、死者3名、人家全壊2戸の被害</p> 	<p>舞鶴市 上福井 【大高川】</p> 
<p>福知山市 大江町 【一級河川 谷川】</p> <p>幅110m、奥行180mの規模で地すべりが発生し、天然ダムが形成</p> 	<p>舞鶴市 上福井 【綾ヶ谷川支流】</p> <p>土石流が発生し、谷出口の民家が全壊した。これにより、住民1名が死亡</p> 

図-4 受講団体の地元で発生した土砂災害に関する研修資料

3. 児童を対象とした啓発研修

児童を対象とした啓発研修では、通常の啓発研修の内容に加えて、児童が土砂災害をイメージしやすい各種実験を行っている。土砂災害に関連する地質については、那智勝浦町周辺に分布する風化前後の花崗岩を児童自身が金槌で叩き、風化後の花崗岩の「もろさ」を感じる実験（写真-7）を行っている。

また、土砂災害発生時の要因となる降水については、土を固めて作った「山」に噴霧器による「降雨」を継続的に当てることで「山が崩れる」様子を体験する実験（写真-8）を行い、土砂災害発生後の地形変化については、山と谷を模した模型の上部に配置した土で「斜面崩壊後の堆積土砂」を示し、噴霧器による「降雨」を継続的に当てることによって土石流が発生し、谷の出口で土石流が堆積して扇状地ができる様子を体験する実験（写真-9）を行っている。

以上に加えて、小学校5年生の理科で学習する「流れる水の働き」に関連した内容として、堆積した砂が、水流により浸食され、河川の流路が形成され、自然と蛇行し、加えて、地下水位の上昇により斜面崩壊が発生する様子を再現する実験（写真-10）を行っている。

Q1. 問題 (土石流からの避難)

山の中の沢で川遊びをしていたら、山のおくてゴーツという音がした。土石流だ！さてどこに逃げよう？

A 川原（かわら）にある大きな石のかげ
B 川原にある木の上
C 川の流れと直角方向の高台

正解は… **C** 川の流れと直角方向の高台

解説（かいせつ）…
土石流は沢の上流で発生し、およそ時速60kmのスピードで一気に流れてくる。どんなに足の速い人でも追いつかれてしまう。早く沢からはなれて、高いところに避難が必要。



図-5 土砂災害に関するクイズ

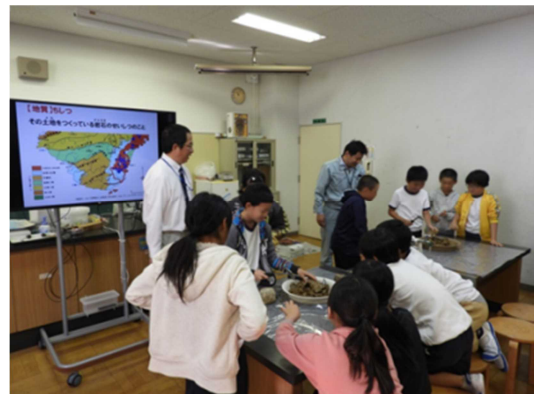


写真-7 風化前後の花崗岩を叩く実験



写真-8 雨が降ると山が崩れる実験



写真-9 土石流が起ると扇状地ができる実験



写真-10 流れる水の働きについての実験

4. 小学生を対象とした防災教育の効果検証

(1) 小学生を対象とした防災教育

啓発センターでは平成 28 年度から令和元年度にかけて、那智勝浦町内にある全小学校 6 校において土砂災害に関する防災教育を実施した。那智勝浦町教育委員会では防災教育において、学校などの主体が当事者意識を持って防災意識向上に携わること、組織的に防災教育を進めること、学んだことを発信することを重視しており、これら 3 点を踏まえ、土砂災害に関する防災教育の実施にあたっては、児童らが「自分ごととして考え・行動する」ことを学習目標に、担当教員と打合せを進め、個別に教育プロ

グラムを選定した。なお、学習時間については 90～120 分程度であった。今回の研究では、A 小学校（令和元年 9 月 11 日実施、対象生徒 4 年生 43 名）、B 小学校（令和元年 10 月 7 日実施、対象生徒 3・4 年生 12 名）、C 小学校（令和元年 11 月 21 日、28 日実施、対象生徒 5 年生 24 名）の防災教育受講者による感想文を分析した。また、表-1 に防災教育の実施内容を示す。

(2) テキストマイニングによる解析

受講者が書いた感想文をテキストデータ化した上で、計量化し、分析・可視化するにあたり、テキストデータを計量的に分析することが可能である KH Coder³⁾を用いた。KH Coder では、テキストデータにおいて出現している単語の検索や出現頻度の分析や、テキストデータにおいて、併せて出現することが多い共起関係にある単語を、多変量解析により共起ネットワークとして、単語と単語が共起する関係を直感的に捉えることができる形で示すこと等が可能である⁴⁾。このような事から、研修を受けた感想文とこれらの研修内容がどのように関連付けられ、意味づけられているかの検討を行った。

(3) 共起ネットワーク解析と研修結果の検証

各小学校を対象とした共起ネットワーク解析結果（図-6～8）を示す。単語を囲む円は大きいものほど、テキスト内での出現回数が多い事を示し、また、単語と単語が線で結ばれているものは共起性や関連性があることを示し、これらの集合をクラスターと呼び、本研究で取り扱うクラスターを枠線で明示する。なお、クラスターの位置関係は作図によるもので、共起的な関係性を示すものではない。今回の解析においては、受講者が研修プログラムに対して感じた主要テーマを明確にするため、出現頻度が上位 20 位以内にある単語について共起ネットワーク解析を行った。

A 小学校の感想文で抽出されたクラスターでは、1 つが「土砂」「災害」「知る」「分かる」「怖い」からなるもので、これは、土砂災害による死者や行方不明者数、全国での土砂災害発生状況といった教育内容が土砂災害の危険性を強く伝えたものと思われる。また、「不透過型砂防えん堤」「透過型砂防えん堤」からなるクラスターは、講義での砂防えん堤の役割についての内容に加えて、土石流発生装置による実験、砂防工事現場見学により効果的に学習されたものと思われる。

B 小学校の感想文から抽出されたクラスターでは、

表-1 防災教育の実施内容

A小学校	B小学校	C小学校
【啓発研修の内容】 ・土砂災害の概要及び予兆について ・深層崩壊について ・紀伊半島大水害について ・早期避難の重要性について ・災害後の取り組み ・土砂災害防止法・土砂災害警戒区域について	【啓発研修の内容】 ・土砂災害の概要及び予兆について ・深層崩壊について ・紀伊半島大水害について ・早期避難の重要性について ・災害後の取り組み	【啓発研修の内容】 ・土砂災害の概要及び予兆について ・深層崩壊について ・紀伊半島大水害について ・早期避難の重要性について ・地質について ・災害後の取り組み ・土砂災害防止法・土砂災害警戒区域について
【啓発研修（実験）の内容】 ・土石流発生装置での実験 ・砂防えん堤工事現場の見学 ・風化前後の花崗岩を叩く実験 ・流れる水の働きについての実験	【啓発研修（実験）の内容】 ・土石流発生装置での実験 ・砂防えん堤工事現場の見学 ・風化前後の花崗岩を叩く実験 ・雨が降ると山が崩れる実験 ・土石流が起こると扇状地ができる実験 ・流れる水の働きについての実験	【啓発研修（実験）の内容】 ・土石流発生装置での実験 ・砂防えん堤工事現場の見学 ・風化前後の花崗岩を叩く実験 ・雨が降ると山が崩れる実験 ・土石流が起こると扇状地ができる実験
【その他 実施した内容】 ・土砂災害による死者と行方不明者数（クイズ） ・全国での土砂災害発生状況	【その他 実施した内容】	【その他 実施した内容】 ・雨と川の水の色、堆積、浸食 ・わかやま土砂災害マップについて

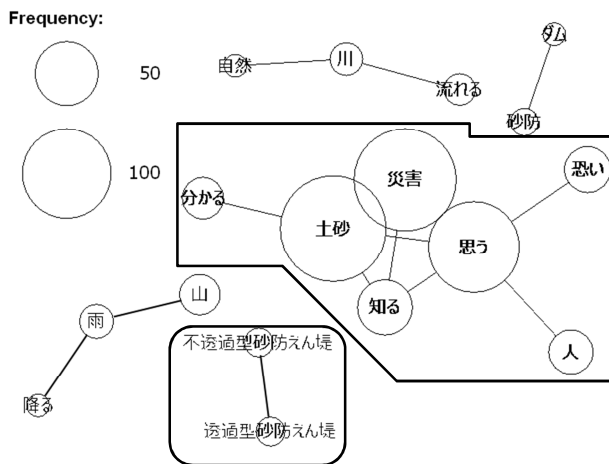


図-6 共起ネットワーク解析結果（A小学校）

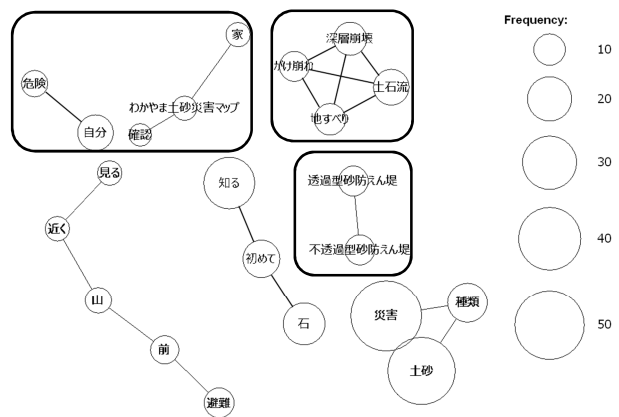


図-8 共起ネットワーク解析結果（C小学校）

1つが「土石流」「がけ崩れ」「地すべり」「深層崩壊」からなるもので、講義でのスライドや動画による説明で強く学習されたことが想定された。

また、「人」「扇状地」「家」「日本」「多い」などからなるクラスターは、スライドでの説明や土石流が起こると扇状地ができる実験で日本に扇状地が多数存在することや、扇状地が形成される様子が認識されたものとする。

C小学校の感想文においても、B小学校と同じく、「土石流」「がけ崩れ」「地すべり」「深層崩壊」からなるクラスターがあり、B小学校と同じく動画やスライドで強く学習されたものとする。加えて、A小学校と同じく「不透過型砂防えん堤」「透過型砂防えん堤」からなるクラスターも確認された。「わかやま土砂災害マップ」「家」「確認」「自分」「危険」からなるクラスターは、研修の中でPCを操作し、実際に小学校区周辺の土砂災害のおそれがある個所を和歌山県が管理するWEBサイトである「わかやま

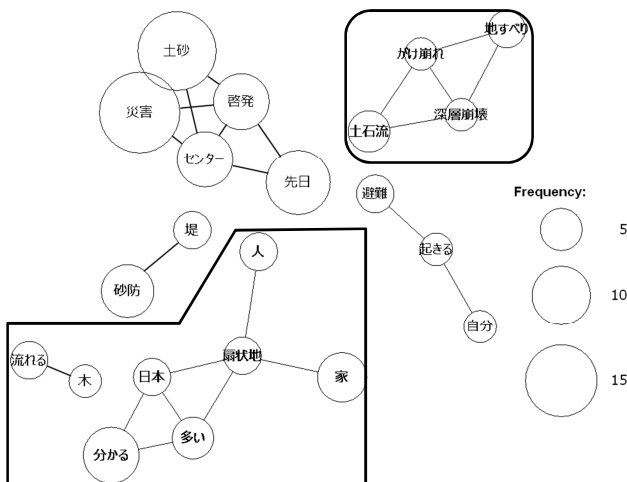


図-7 共起ネットワーク解析結果（B小学校）



写真-11 わかやま土砂災害マップを用いた防災教育

土砂災害マップ」(写真-11)で確認したことが、効果的であったと考えられる。

5. 最後に

啓発研修の理解度を問うために、5段階評価などの形でアンケートを求める事はよく行われている手法であるが、これだけでは研修内容をどのように理解しているかを判断しづらい。一方、今回の解析に用いた感想文では、受講者が色々と研修で感じた事を自由に書いてもらえるため、啓発研修で行った各内容の理解度についての分析を行うことができ、今後の、より理解度向上を図った研修プログラム作りに非常に有用な調査資料となる。

また、啓発研修を行った講師自身はその効果を把握することにより、研修教材の改善や研修プログラムの時間配分の変更、新たな教育内容の追加などの研鑽につながる事が重要であると考えられる。

研修後に受講者の感想を分析し、研修内容と講師による研修方法を改善し、その上でより良い研修を行い、その結果を再度フィードバックしていく、このような研修方法を継続的にレベルアップできるサイクルが行われるよう、研鑽に努めていきたい。

謝辞：学校での防災教育に当たり、那智勝浦町教育委員会、勝浦小学校、市野々小学校、下里小学校におかれましては多大なご協力をいただきました。また、紀伊山系砂防事務所には複数回に渡って現場見学会の開催をはじめとした様々なご協力を頂き、この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 坂口ら：紀伊半島大水害の被災体験を子供達に伝承する活動について、2019年度砂防学会研究発表会概要集 pp763-764, 2019.
- 2) (社)全国治水砂防協会：DVD「土砂動態」, 2009.
- 3) 樋口耕一：社会調査のための計量テキスト分析 ―内容分析の継承と発展を目指して―, ナカニシヤ出版, 2020.
- 4) 末吉美喜:テキストマイニング入門 ExcelとKH Coderでわかるデータ分析, 株式会社オーム社, 2020.

(2020.7.1 受付)

人工衛星「しきさい」を活用した那智の滝上流域の 森林活性度と可能蒸発散量に関する研究

STUDY ON FOREST ACTIVITY AND POSSIBLE EVAPOTRANSPIRATION IN
THE UPPER REACHES OF THE NACHI GREAT WATERFALL USING AN
ARTIFICIAL SATELLITE "GCOM-C"

宮崎 徳生¹・筒井 和男¹・岸畑 明宏¹・坂口 隆紀¹
木下 篤彦²・柴田 俊²・鈴木 大和³・中谷 洋明³・鈴木 清敬⁴
Norio MIYAZAKI, Kazuo TSUTSUI, Akihiro KISIHATA, Takaki SAKAGUCHI,
Atsuhiko KINOSHITA, Suguru SHIBATA, Yamato SUZUKI, Hiroaki NAKAYA and Kiyotaka
SUZUKI

¹和歌山県土砂災害啓発センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々 3027-6)

E-mail: miyazaki_n0008@pref. wakayama. lg. jp

²国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々 3027-6)

³国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

⁴株式会社パスコ (〒153-0042 東京都目黒区青葉台 3-10-1VORT 青葉台 II 2 階)

Key Words: *satellite image* , *forest activity* , *possible evapotranspiration*

1. はじめに

平成 23 年台風 12 号の通過により、記録的な豪雨となった和歌山県那智川流域では、複数箇所ですり崩れが発生し、下流域に甚大な被害をもたらされた。那智川流域の森林の多くは針葉樹の人工林であり、森林が有する多面的機能の維持のため適正な森林管理が求められているが、木材価格の低迷や林業就労者数の減少などにより、間伐等の森林施業が行われず放置された人工林も確認されている。放置された人工林では、過密による樹勢低下及び高齢林化等の影響で樹木の根系が衰弱し、森林の荒廃が進行することで森林活性度が低下し、森林の有する多面的機能のひとつに挙げられる土砂崩壊防止機能に影響を及ぼすことが懸念される。

また、森林施業は流域内の水分状態に影響を及ぼすことも推察され^{1) 5)}、流域内の森林状況を把握す

る際に広域を定期的に観測可能な人工衛星画像を活用できれば効率的であり、人の立ち入りが困難な場所でも対応できるなど利点がある。

本研究では、気候変動観測衛星「しきさい」(GCOM-C)の画像データを活用し、森林施業の有無による森林活性度や可能蒸発散量を推定するとともに流域内の水収支の評価と併せ森林活性度による土砂災害防止機能への影響を考察したので報告する。

2. 調査地と調査方法の概要

2. 1. 調査地の概要

調査地は、和歌山県東牟婁郡那智勝浦町内にある那智の滝上流域である(図-1)。二級河川那智川(流域面積 24.5 km²、幹線流路延長約 8.5 km)の上流部に位置し、流域面積は概ね 4.7 km²、地質は熊野酸性岩、植生の大部分はスギ・ヒノキ植林である。

2. 2. 間伐の有無と森林活性度の関係性の検討

対象範囲を森林簿，造林施業履歴(図-2)などを参考に，林班内の2017年間伐箇所内外と林班外(構造物及び植生を含む)の3つの領域に分割し，間伐の有無と森林活性度の関係性を検討した。森林活性度には代表的な植生指標とされている正規化植生指数(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)を用いた。一般的にはNDVIの値が大きいほど森林活性度が高いと言われている¹⁰⁾。NDVIは次式から算出できる(式1)。

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \dots (式1)$$

ここで，NIR(Near Infra-Red)は近赤外バンドであり，R(Red)は赤バンドである。

NDVIの算出には，GCOM-C(分解能250m，画像取得周期2~3日)の取得データ，プロダクト:Level-2，陸:植生指数を用いた(図-3)。比較のため，GCOM-Cよりメッシュサイズが小さいLandsat-8(分解能30m，画像取得周期16日)の取得データ(Band4(Red)，Band5(NIR))を併用した(図-4)。

データの取得時期は2018年4月~2019年3月とし，被雲画像を除いて解析を実施した。解析画像枚数を表-1に示す。衛星間における分解能の相違を把握するため，2017年間伐箇所内外と林班外(構造物及び植生を含む)で1セル当たりのNDVI値を比較した(図-5~図-10)。

表-1 NDVI算出に使用した画像枚数

撮影月	GCOM-C	Landsat-8
2018.4月	5	1
2018.5月	2	1
2018.6月	2	1
2018.7月	2	0
2018.8月	5	0
2018.9月	0	0
2018.10月	3	0
2018.11月	6	0
2018.12月	5	0
2019.1月	12	2
2019.2月	6	1
2019.3月	8	1
合計	56	7



図-1 調査地位位置図

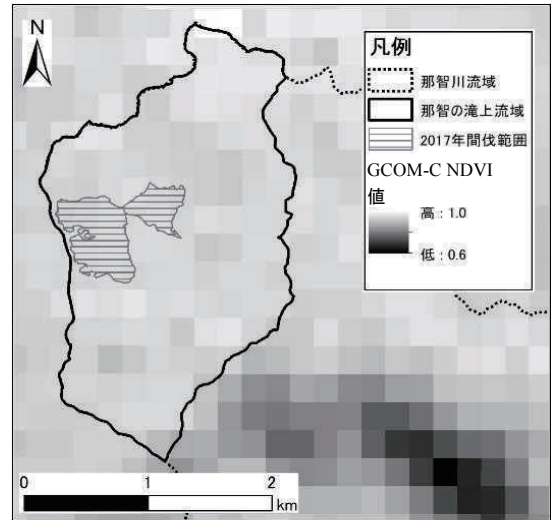


図-3 GCOM-Cを用いたNDVI算出値例

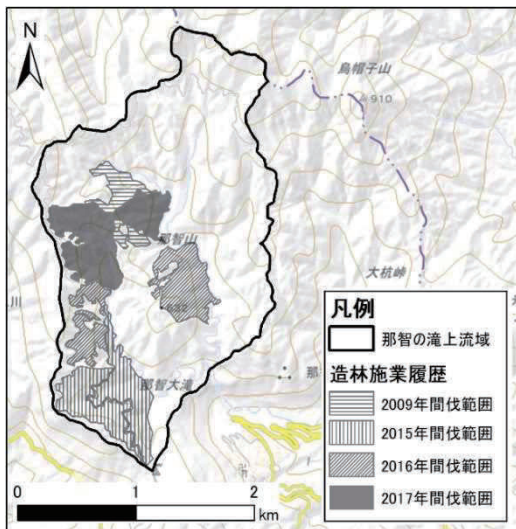


図-2 造林施業履歴図

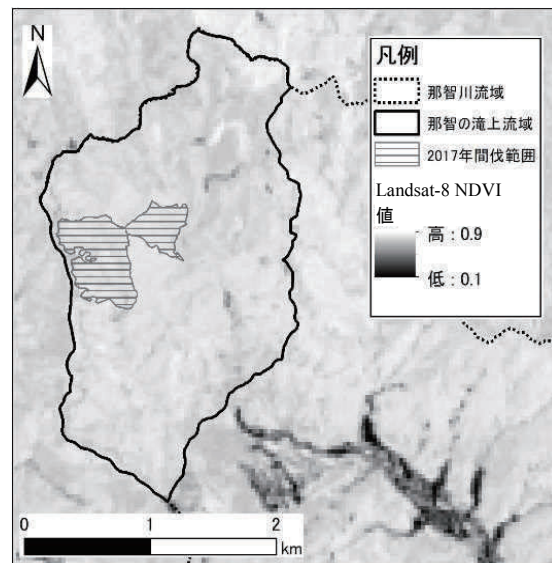


図-4 Landsat-8を用いたNDVI算出値例

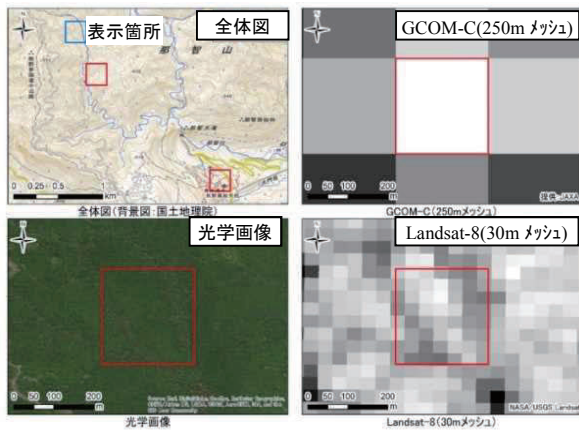


図-5 2018/6/25 間伐箇所 1セル当たり NDVI 値

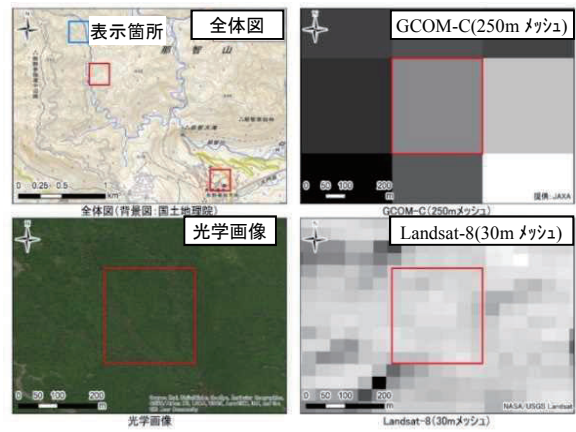


図-6 2019/1/3 間伐箇所 1セル当たり NDVI 値

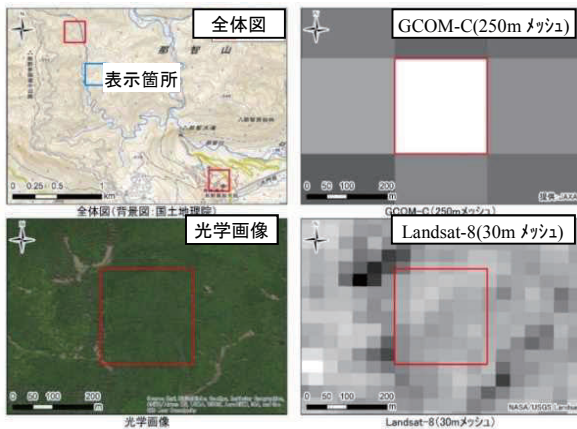


図-7 2018/6/25 間伐箇所外 1セル当たり NDVI 値

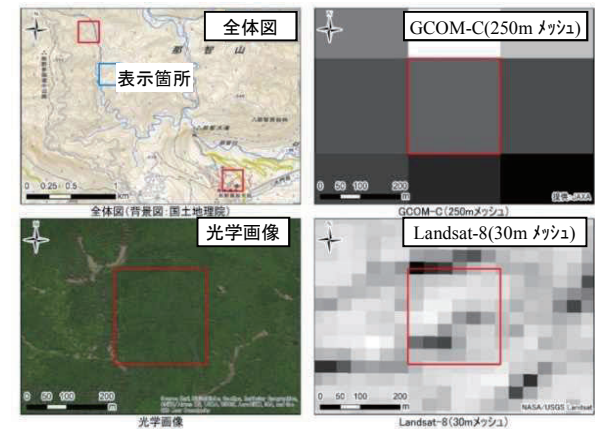


図-8 2019/1/3 間伐箇所外 1セル当たり NDVI 値

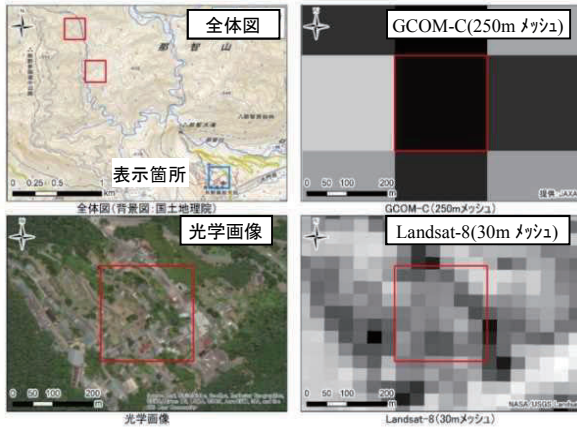


図-9 2018/6/25 林班外 1セル当たり NDVI 値

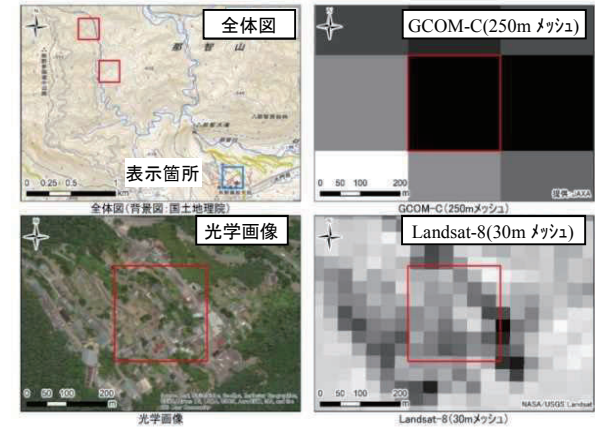


図-10 2019/1/3 林班外 1セル当たり NDVI 値

2. 3. 那智川流域における蒸発散量の検討

雨量と流量の観測結果を基に、総雨量から総流出量を差し引いた残りを蒸発散量として算出することを考えた。しかし、検討の結果、流量の観測結果の信頼性が低いと考えられた。そのため、代替案として容易に入手できるデータから月単位で可能蒸発散量が推定できるソーンズウェイト法^{6) 8)}を適用し、那智川流域における蒸発散量を推定することとした。

ソーンズウェイト法は、式2~5で表される。

ここで、 PE_i は可能蒸発散量 (mm)、 d は補正項 (月の日数 $days$ と平均日長時間 $daytime$)、 a は係数、

$$PE_i = 16d \left(\frac{10t_i}{I} \right)^a \quad \dots (式 2)$$

$$a = 0.49239 + 0.01792I - 0.0000771I^2 + 0.000000675I^3 \quad \dots (式 3)$$

$$d = \frac{days * daytime}{360} \quad \dots (式 4)$$

$$I = \sum_{Jan}^{Dec} \left(\frac{t_i}{5} \right)^{1.514} \quad \dots (式 5)$$

T_i は月平均気温(°C)ただし $t_i \leq 0$ の場合は $PE_i = 0$,
 I は熱指数である. 当該調査地に最も近い気象庁「新宮」観測所の過去10年間の平均気温データを基に2010~2019年の可能蒸発散量を推定した.

3. 調査結果と考察

3. 1. 衛星画像におけるNDVI値の比較

3. 1. 1. GCOM-CとLandsat-8の比較(GCOM-C 1セル当たり)

衛星間の分解能等仕様の相違によるNDVI値への影響を把握するため, 2017年間伐箇所内外と林班外(構造物及び植生を含む)の3箇所でGCOM-Cの1セルのNDVI値とそのセル内のLandsat-8のNDVI平均値を比較した(図-11). その結果, 林班内において, GCOM-Cと比較しLandsat-8のNDVI平均値が0.15程度低いことが確認された. これはメッシュサイズの違いによる, すなわちLandsat-8は, メッシュサイズが小さいため, 山影や道等のNDVI値の低い箇所の値を取得できる. 一方で, GCOM-Cではメッシュサイズが大きいため, 山影や道等のNDVI値の低い箇所の値を取得できないためだと考えられる. また, この傾向は夏季(2018年6月25日)と

冬季(2019年1月3日)で大きな差がないことが確認された. 林班外は植生以外の構造物を含むためNDVI値は低かった.

3. 1. 2. NDVI平均値の経年変化の比較

那智の滝上流域におけるGCOM-C及びLandsat-8にて取得したNDVI値の平均値の経年変化を比較した. その結果, GCOM-Cを用いて算出したNDVI平均値の経年変化では, 林班内の2017年間伐箇所内外において明瞭な差は確認できなかった(図-12). 一方, Landsat-8を用いて算出したNDVI平均値の経年変化では, 林班内の2017年間伐箇所内外において, 比較的明瞭な差があると考えられ, 2017年間伐箇所

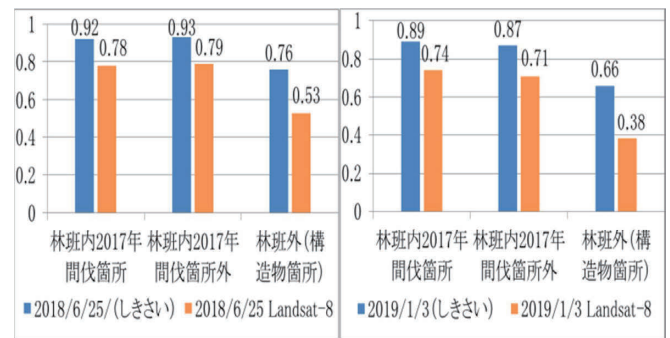


図-11 GCOM-CとLandsat-8の1セル当たりのNDVI平均値の比較

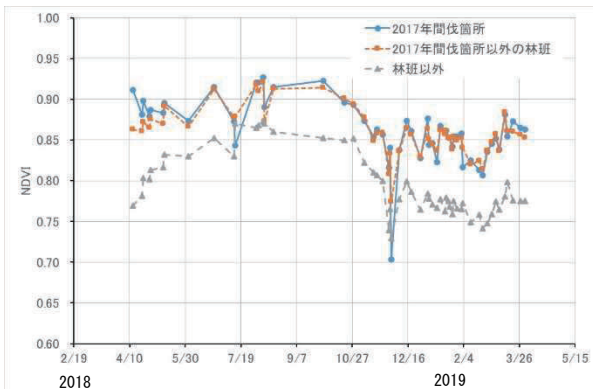


図-12 GCOM-Cから算出したNDVI平均値の経年変化

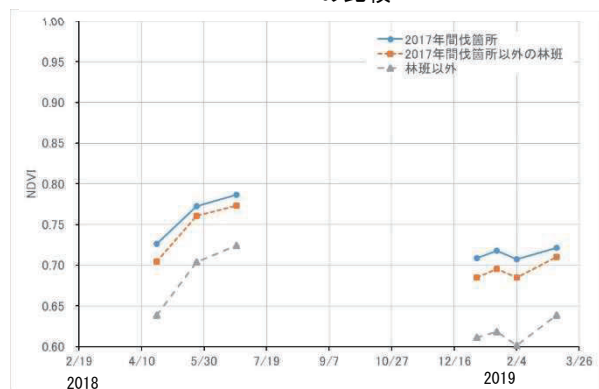


図-13 Landsat-8から算出したNDVI平均値の経年変化

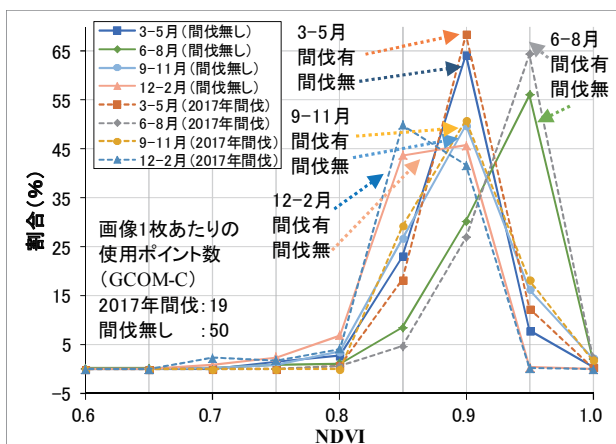


図-14 GCOM-Cから算出した間伐の有無によるNDVIのヒストグラムの比較図

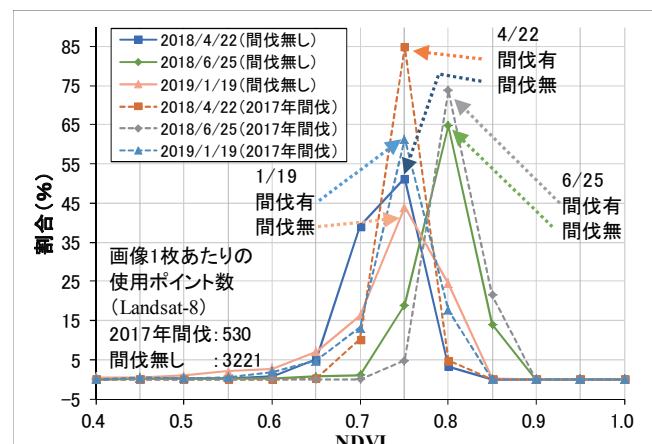


図-15 Landsat-8から算出した間伐の有無によるNDVIのヒストグラムの比較図

内の方が最大で0.024程度高い値を示し、間伐箇所の方が森林活性度は高いと考えられる(図-13)。また、各領域の代表的と思われる1セルのNDVI値の経年変化を確認したところ、GCOM-C及びLandsat-8ともに前述の平均値の比較結果と同様の傾向を示した。

3. 1. 3. NDVI値のヒストグラムによる比較

林班内の2017年間伐箇所内外のNDVI平均値の経年変化をヒストグラムにより比較した結果、

GCOM-Cでは、夏季(6-8月)にNDVI値が高く、冬季(12-2月)に低いことが読み取れる。夏季に植生が活性化することが確認できた。また、図より間伐を行った範囲の方が間伐を行っていない範囲よりも森林の活性度が高い範囲が広いことが確認された(図-14)。一方、Landsat-8では、NDVI値は4月と6月は1月より高い。また、間伐を行った範囲の方が間伐を行っていない範囲よりも森林の活性度が高い範囲が広いことが示唆された(図-15)。

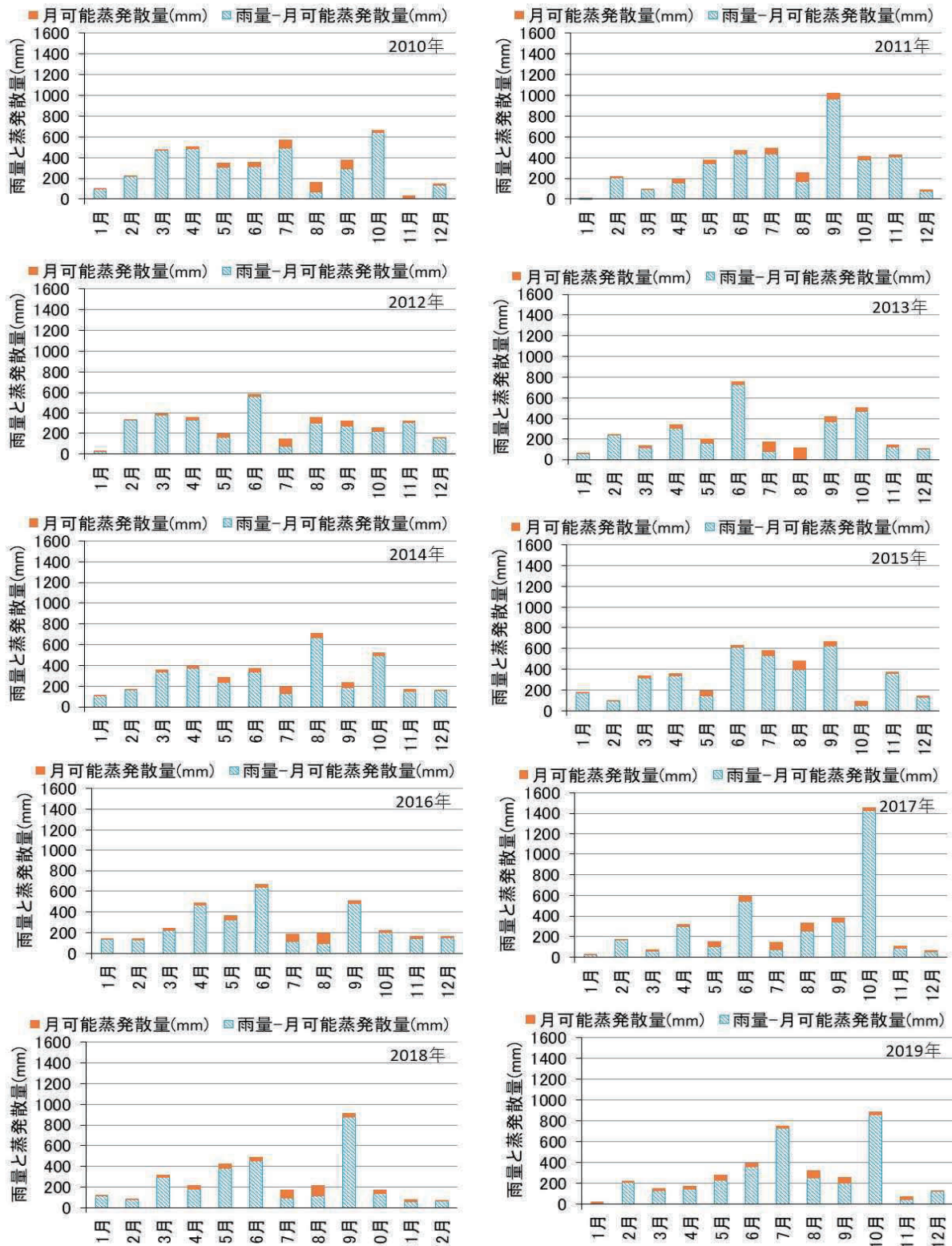


図-16 新宮観測所における降雨量と可能蒸発散量の関係

3. 2. ソーンズウェイト法による可能蒸発散量の推定

新宮観測所の2010～2019年の10年間の観測結果を用いて、年可能蒸発散量を算出すると、年間降雨量は3,144mm～4,128mmの幅があり、その平均値は3,669mmであった。

年間可能蒸発散量は893mm～955mmの幅があり、その平均値は926mmであった。そのため降雨量から可能蒸発散量を差し引いた分が水収支における流出分と推測され、2,204mm～3,213mmの幅があり、その平均値は2,744mmであった。

また、降雨量に占める可能蒸発散量の割合は、22.2～29.9%の幅があり、その平均値は25.4%で、年間可能蒸発散量は夏季に高く冬季に低い傾向が確認された(図-16)。

日本の代表的な水文観測試験地における水収支⁹⁾では、那智の滝上流から最も近く気候的にもほぼ同程度と考えられる三重県ぬたの谷流域における観測結果より蒸発散率が概ね30%程度と算出されており、新宮観測所の観測値からソーンズウェイト法で算出した年間可能蒸発散量の平均値25.4%は、概ね妥当な値であると判断する。

4. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- 1) GCOM-Cを用いて算出したNDVI値の平均値の経年変化では、2017年間伐箇所内外の森林において明瞭な差は確認できなかった。
- 2) Landsat-8を用いて算出したNDVI値の平均値の経年変化では、2017年間伐箇所内の方が最大で0.024程度高い値を示し、間伐箇所の方が森林活性度は高いと考えられる。
- 3) 一方、各メッシュのNDVI値をヒストグラムにより比較した結果、GCOM-CとLandsat-8ともに、間伐を行った範囲の方が間伐を行っていない範囲よりも森林の活性度が高い範囲が広いことが示唆され、土砂崩壊防止機能は維持されていると考えられる。
- 4) 水収支における可能蒸発散量をソーンズウェイト法で算出した値は、那智の滝上流域と気候的に近いと考えられる。ぬたの谷流域において観測された水収支の割合と概ね同程度の値であった。

5. 今後の課題

- 1) 多田ら¹⁰⁾のNDVI値を用いた蒸発散量の算出手法(図-17)を適用し、各ピクセルのNDVI値から蒸発散量の算出を行い、ソーンズウェイト法の算出値と比較し、那智の滝上流域におけるNDVI値と可能蒸

発散量の関係式を検討し、水収支の評価を検討する。
2) ソーンズウェイト法の式に代入する月平均気温に、当該調査地のGCOM-Cで観測した地表面温度の代用を検討し、森林施業の有無による年間可能蒸発散量の比較を行い、那智の滝上流域の水収支(降雨-流出-蒸発散の関係)関係性を検証する。

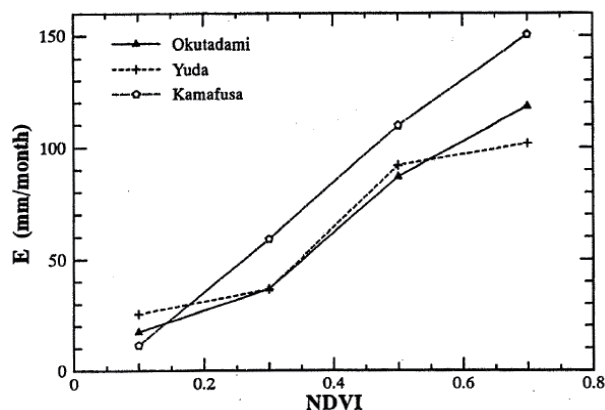


図-17 NDVI (横軸) と蒸発散量(縦軸)との関係

参考文献

- 1) 川崎正俊ら：強間伐施業が森林源流域の流出に及ぼす響、水文・水資源学会2017年度研究発表会概要集，2017。
- 2) 篠原慶規ら：スギ人工林における強度間伐が雨水配分に与える影響，水文・水資源学会2013年度研究発表会，2013。
- 3) 武田育郎ら：間伐遅れの針葉樹人工林における水文流出の特徴とその長期変動，農業農村工学会論文集，No. 263， pp. 41-48，2009。
- 4) 小松光：ヒノキ林における間伐区と無間伐区との遮断蒸発量の比較，九大演報，89，1-12，2008。
- 5) 小松光：日本の針葉樹人工林における立木密度と遮断率の関係，日林誌，89，pp. 217-220，2007。
- 6) Thornthwaite, C. W. : An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev., 38, pp. 55-94, 1948.
- 7) 沼尻治樹：月平均気温と昼の長さを用いた月可能蒸発散量推定法，法政大学情報メディア教育研究センター研究報告，Vol. 28， pp. 70-74，2014。
- 8) 野上道夫：暖かさの指数と流域蒸発散量 - 気候値メッシュデータによる解析 - ，地学雑誌，99-6，pp. 144-156，1990。
- 9) 鈴木清敬：山地小流域における水収支特性の経年変化，名古屋大学大学院生命農学研究科修士論文，pp. 159，2004。
- 10) 多田毅ら：NDVIを用いた蒸発散分布推定，水工学論文集，第38巻，p. 155-160，1994。

(2020. 7. 1 受理)

地すべり対策工の効果の簡易的な検証方法の提案

Proposal of a simplified method for verifying the effectiveness of landslide mitigation measures

岸畑明宏^{a)*}, 榎原伴樹^{a)}, 崎山朋紀^{a)}, 坂口隆紀^{a)}, 木下篤彦^{b)c)}

Akihiro KISHIHATA, Tomoki ENOHARA, Tomoki SAKIYAMA, Takaki SAKAGUCHI and Atsuhiko KINOSHITA

Key words : Continuous rainfall, Extensometer, Groundwater level
キーワード : 連続雨量, 地盤伸縮計, 地下水位

1. はじめに

近年, 全国的に豪雨等を起因とする斜面災害が多発しており, 和歌山県内においても道路のり面を含め地すべり災害が多数発生している。これらの災害に対して適切な対応を取るためには, 対策工の施工前の段階から地下水位や斜面変状等の観測を一定期間行うことが重要である。また, 再度の被災を予防するためにも, 対策工施工完了後も観測を継続し, 対策工の効果を検証することが重要である。

これまでの地すべり対策工の効果を検証する手法の研究として, 石田ら¹⁾は, 土壌雨量指数・72時間実効雨量とボーリング孔の地下水位との関係から, 地下水排除工の効果と地すべりの安定性を推定する手法を提案している。木下ら²⁾は, 雨量とボーリング孔の地下水位の観測結果を基に, 積算雨量と積算水位の関係式を求め, 対策工施工前後の傾きの変化から, 地下水排除工の効果を判定する手法を提案している。川上ら³⁾は地附山地すべりの地下水排除工の効果を排水トンネル工や集水井工での排水量と降水量との関係で整理している。木下ら⁴⁾は, 明暗渠工・集水井工・ボーリング孔などでの水質の調査結果から, 地下水排除工の効果を推定する手法を提案している。その他, 計算によって, 地下水排除工の効果を再現し, 検証した事例もある⁵⁾⁻⁸⁾。また, 地すべり対策工施工箇所での再度の地すべりに直接焦点を当てた研究事例としては, 福田ら⁹⁾による研究がある。彼らは再活動地すべりへの効果的な対策として, 地すべり面の変位量と地下水位の観測データを基に「限界間隙水圧」を推定しておくことを提案している。

著者らは, 道路のり面を含む和歌山県内で発生する地

すべり災害について, 県の所管部署や県内各市町村からの依頼を受け現地調査を行い, ハード・ソフト面に対する助言を行っている¹⁰⁾⁻¹²⁾。その際にこれら既往の研究による調査手法を提案することもあるが, 実際になされることは少ない。その理由として, 調査内容(観測データの分析やシミュレーションなど)が難解であること, 調査に予算がかかることが挙げられる。これらを踏まえ, 地すべり対策のための調査においては, 調査に必要な予算が少なく済み, コンサルタント等の専門業者に過度に頼らなくても行政職員でも簡易的に分析が可能な方法も求められている。また, 観測データの分析結果は, 首長や一般職員にも理解してもらいやすく, 住民の警戒避難を検討する上で判断可能なものであることも重要であると考え。そこで本稿では簡易的な対策工の効果の検証手法について提案し, 和歌山県内で発生した地すべりの観測結果を分析した事例について報告する。

2. 本稿で提案する簡易的な地すべり対策工の効果検証手法

図-1に本稿で提案する地すべり対策工の簡易的な効果検証手法の模式図を示す。降雨イベント毎に, X軸に総雨量を, Y軸に各降雨イベントにおける水位上昇量や伸縮計変位量をプロットし, その近似直線を用いる。木下ら²⁾の手法ではX軸に積算雨量を用いているが, その定義がやや複雑なことから, ここでは簡易的に土砂災害警戒情報のCLライン検討時¹³⁾に用いる「一連の降雨」の定義である「前後に24時間以上の無降雨期間があるひとまとまりの降雨(連続雨量)」を総雨量として採用した。

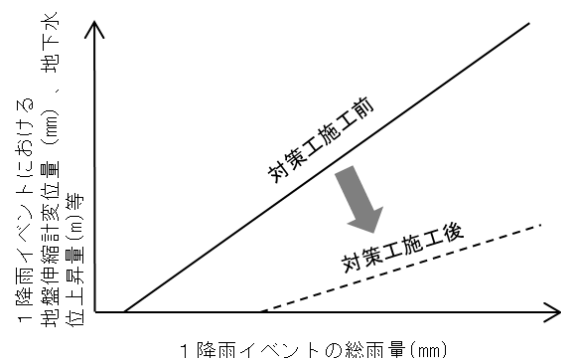


図-1 地すべり対策工の効果検証手法イメージ図

*連絡著者 / corresponding author

a) 和歌山県土砂災害啓発センター

Wakayama Sabo Research and Education Institute

〒649-5302 和歌山県東牟婁郡智勝浦町市野々3027-6

3027-6 Ichinono, Nachikatsuura Town, Higashimuro County,

Wakayama Prefecture

b) 国土交通省国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management

c) 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター

Sediment Disaster Prevention Technology Center

Y 軸についても、木下ら²⁾の手法では積算水位としていたが、本稿では1降雨イベントによる水位上昇量や地盤伸縮計の変位量としている。なお、近似直線には変位量が0となった連続雨量の最大値までを傾き0の直線とし、これを超える連続雨量による変位量に対しては、傾き0の直線の終点を通る最小二乗法に基づく近似直線を採用した。この近似直線の対策工施工前後のデータを比較し、対策工の効果を確認するものである。

3. 地すべり対策工の効果検証事例

近年和歌山県内で発生した地すべりのうち、対策工施工前からの観測データが整っている3地区について検証を行った。図-2に検証箇所的位置図を示す。今回検証を行った3箇所については、雨が止んだ後も伸縮計で観測された変位や最高水位を示す場合が見られ、それらは降雨後24時間以内には収まっていることが確認できたため、降雨後24時間までを含めた観測結果について1降雨イベントにおける変位量として整理し、分析を行った。

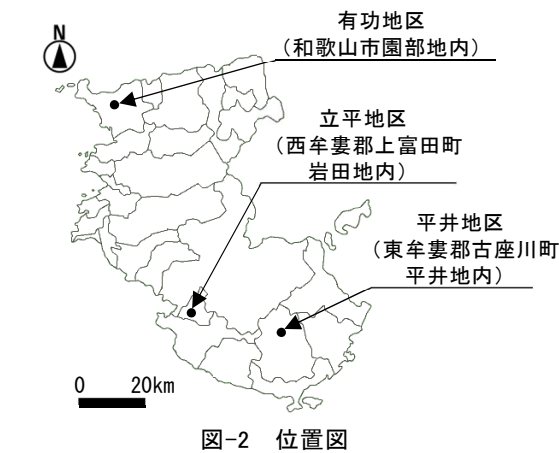


図-2 位置図

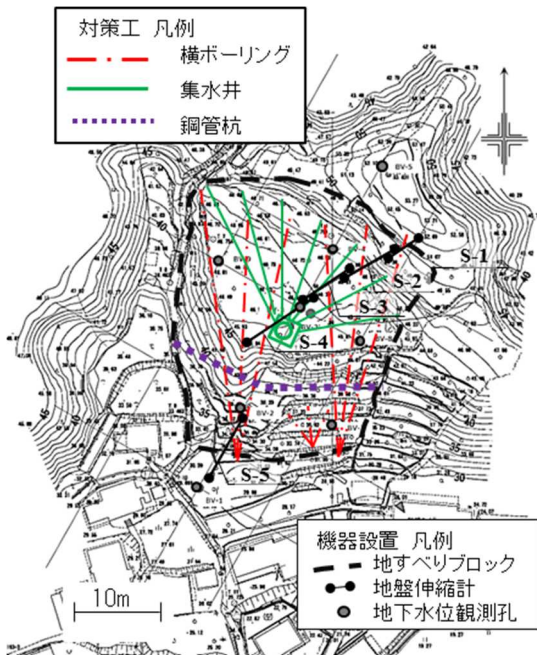


図-3 観測機器設置状況 (立平地区)
S-Oは地盤伸縮計のナンバーを表す。

3.1 立平地区地すべりについて

立平地区は和歌山県南部の西牟婁郡上富田町岩田内に位置している。第3紀堆積岩類・田辺層群(朝来累層)の分布する地域で、泥岩優先の砂岩泥岩互層で構成されている。2016年7月に亀裂の存在が確認され、その後伸縮計等により変位の監視が行われていた。2017年6月21日の降雨により最大17mm/日の変位量が確認され、その後も降雨による変位が観測され、危険性が高まったため地すべり対策が実施された。現地調査の結果、地すべりの規模は幅約60m、斜面長約70m、深さ約12mであることが確認された。図-3の平面図に地すべりブロックお



写真-1 斜面頂部での変状 (立平地区)

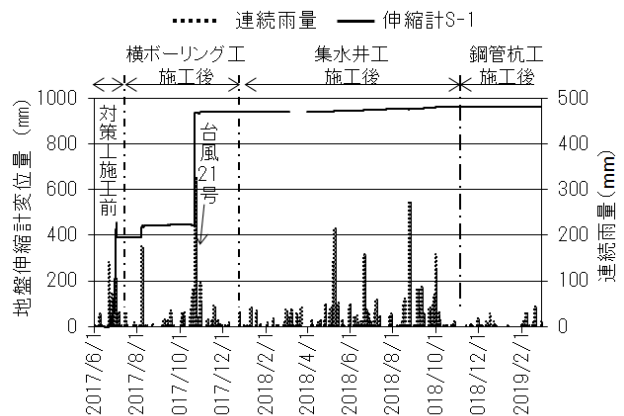


図-4 地盤伸縮計観測結果 (立平地区: S-1)

- 対策前
- 横ボーリング工施工後
- △ 集水井工施工後
- 鋼管杭工施工後
- 近似線(対策前)
- - - 近似線(横ボーリング工施工後)
- · - 近似線(集水井工施工後) ※鋼管杭工施工後についてはデータ不足のため近似線なし

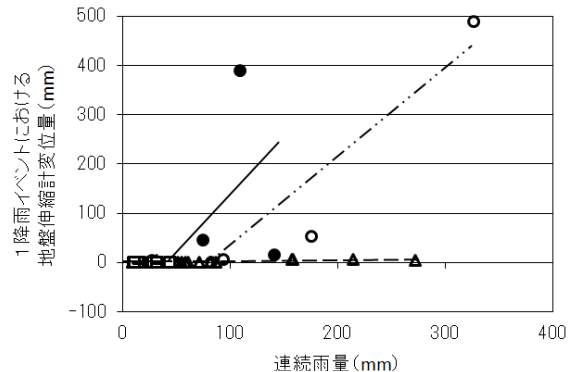


図-5 連続雨量と地盤伸縮計変位量の関係 (立平地区)

よび観測機器設置状況を示す。

応急対策として被災直後の2017年7月に横ボーリング工（15m×3本、60～70m×4本）が施工された。また、その後恒久対策として集水井工（1基）及び鋼管杭工（6～12m×23本）が計画され、それぞれ2018年1月、2018年12月に完成した。

3.1.1 立平地区の観測結果

図-4に斜面頂部に設置した地盤伸縮計S-1の観測結果を示す。2017年6月21日の総雨量142mm（和歌山県朝来観測所）の降雨では15.5mmの変位量だったが、6月30日～7月1日にかけての総雨量110mmの降雨では362.4mmの活発な地すべり活動が観測された。一方、横ボーリング工施工後の8月6日～7日にかけての総雨量176mmの降雨では54.1mmと変位量が低下したが、10月の台風21号の総雨量327mmの降雨の際には489.8mmと大きな変位量が観測され、更なる対策工の必要性が確認された。集水井工施工後には降雨による伸縮計変位量が大きく低下し、2018年5月6日～9日の総雨量215mmの降雨では5.4mmの変位量が、8月23日～24日の総雨量273mmでは1.7mmの変位量が確認された。鋼管杭工完成後は大きな雨がなかったものの、2019年2月6日の総雨量32mmの降雨では0mmの変位量であった。

3.1.2 立平地区における対策工の効果について

図-5に本稿で提案する手法を用いた地すべり対策工の検証結果を示す。Y軸には対策工の施工前から観測が実施され、降雨に対して最も大きな反応を示した斜面頂部の地盤伸縮計S-1の観測結果を用いた。前項の降雨を含む、総雨量10mm以上を記録した降雨について、その期間の伸縮計変位量の関係をプロットした。

対策前と横ボーリング工施工後の近似直線を比較すると、施工後には連続雨量約80mmまで変位量が見られず、また、直線がX軸の正方向へ移動していることが確認できた。これは、横ボーリング工によって一定量の排水効果が得られたものと推察される。

一方、集水井工施工後と鋼管杭工施工後では近似直線の傾きは大きく減少し、対策工によって地すべりが安定化し総雨量増加に対する変位量増加が抑制されたことが確認できた。ただし、連続雨量270mm程度までしか検証できておらず、今後も継続して調査が必要である。

3.2 有功地区地すべりについて

有功地区は和歌山市の北部に位置し、1970年代頃に造成された団地内を通る市道の切土のり面及びその上部斜面で地すべりが発生した事例である（写真-2）。中生代白亜紀後期の和泉層群の信達累層が分布し、基盤岩の信達累層は砂岩泥岩互層よりなる。また、当該地区の南方には中央構造線活断層系の一部である根来断層が分布している。現地調査の結果、地すべりの規模は幅約40m、斜面長約42m、深さ約10mであることが確認された。

2017年10月の台風21号に伴う豪雨（総雨量415mm：和歌山県六十谷観測所）によりのり面下部の擁壁の傾倒

や開口クラックが発生し、擁壁前面への大型土嚢の設置等の応急対応や地盤伸縮計の設置等の監視体制の確立がなされた。その後、孔内傾斜計による地中変位計測や地下水位観測が行われていたが、2018年7月に総雨量270mmの降雨により変状が拡大した。図-6の平面図に斜面変状の状況と観測機器設置状況を示す。2018年7月20日～25日の間に応急対策として横ボーリング工が施工され、その後恒久対策としてアンカー工が施工された。

3.2.1 有功地区の観測結果

図-7に地盤伸縮計の観測結果を、図-8に地下水位観測結果を示す。地盤伸縮計の観測結果について、2018年7月4日～7日の総雨量270mmの降雨の際に累積680mmの変位を記録している。その後の横ボーリング工の施工前までの間は約0.5～1mm/日の変位量が確認できるが、施工後は約0.005mm/日程度に沈静化している状況が確認できた。地下水位について、2018年7月の豪雨の際に水位観測孔が破断したため一部のデータが欠測している。その影響でBor.2についてはGL-9.0m付近で破断しており、GL-9.0m以深に水位がある場合は観測できない状況となった。

3.2.2 有功地区の対策工の効果について

地盤伸縮計と地下水位の観測結果について、本稿で提案する手法を用いて対策工の効果を検証した結果を図-9



写真-2 斜面頂部での変状（有功地区）

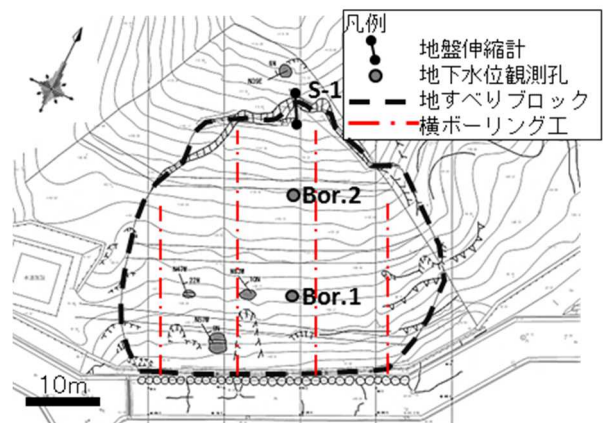


図-6 平面図（有功地区）

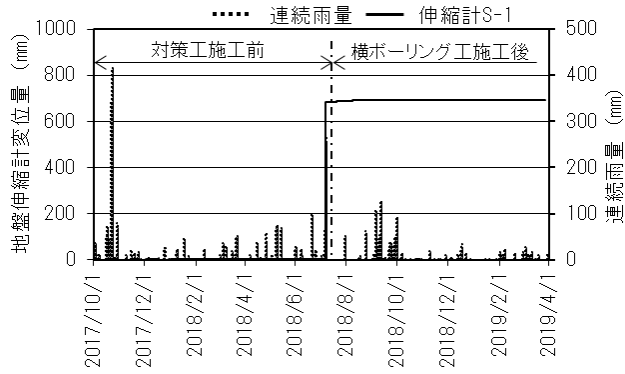


図-7 地盤伸縮計観測結果（有効地区）

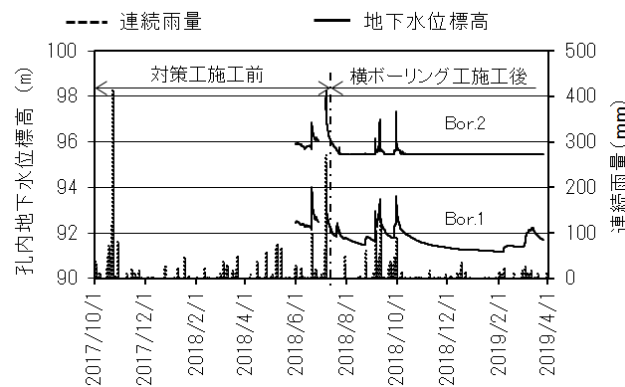


図-8 地下水位観測結果（有効地区）

～11 に示す。総雨量 10mm 以上の降雨イベントについて集計を行った。地盤伸縮計については、2018 年の 7 月の降雨（総雨量 270mm）を除いては大きな変位は見られず、横ボーリング工の施工前後ともに総雨量 130mm 程度までの降雨に対しては大きな変位は見られない。また、地下水位については、各孔ともに同程度の降雨に対する地下水位の上昇量が小さくなっている状況が確認できた。図-11 の観測孔 2 (Bor. 2) の結果において、横ボーリング工施工後の総雨量 92mm の降雨の際に、横ボーリング工施工前の 100mm の降雨の際より高い水位を記録している。これは 2018 年 9 月 29 日から 30 日にかけての降雨の際の最高水位であったが、当該降雨イベントより前の降雨により水位が上がり、降雨開始の時点で地下水位が下がり切っていなかったことに起因すると考えられる。

また、横ボーリング工施工後は、地すべり発生時や大きく変位が発生した 2018 年 7 月の規模の降雨（総雨量 270mm）を経験していないため、引き続き観測を継続し、対策工の効果を確認した上で必要に応じて追加の対策を検討する必要がある。

3.3 平井地区地すべりについて

平井地区は和歌山県南部の東牟婁郡古座川町内に位置し、平井川に隣接する町道を含む斜面で地すべりが発生した事例である（写真-3）。四万十帯牟婁層群が分布し砂岩、泥岩および砂岩泥岩互層で構成されている。2018

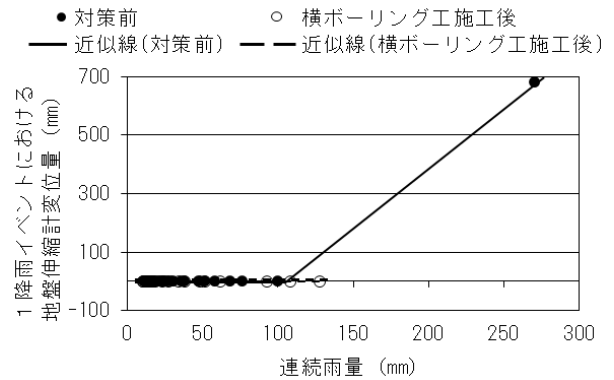


図-9 連続雨量と地盤伸縮計変位量の関係（有効地区）

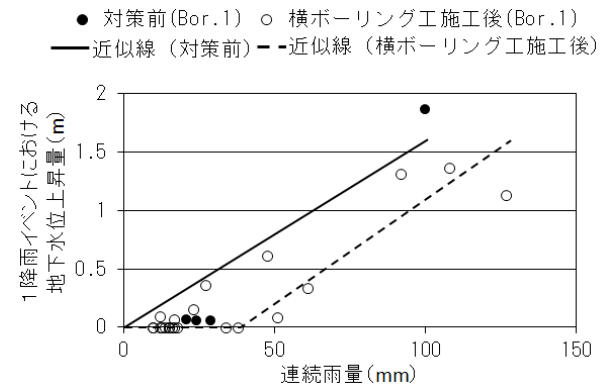


図-10 連続雨量と地下水位上昇量の関係（有効地区 Bor. 1）

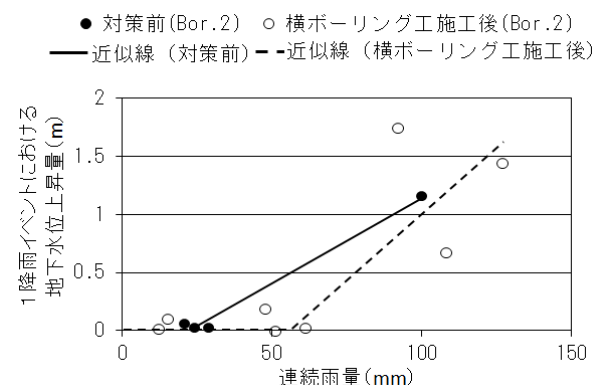


図-11 連続雨量と地下水位上昇量の関係（有効地区 Bor. 2）

年の台風 20 号に伴う豪雨（総雨量 535mm：和歌山県平井観測所）により地すべりが発生し、地盤伸縮計とパイプひずみ計による監視及び町道の通行止め規制が取られていた。現地調査の結果、地すべりの規模は幅約 50m、斜面長約 75m、深さ約 15m であることが確認された。図-12 の平面図に地すべりブロック及び観測機器設置状況を示す。応急対策として 2019 年 4 月下旬に横ボーリング工（25～30m×10 本）が施工され、恒久対策については現在計画が検討されているところである。

3.3.1 平井地区の観測結果

設置した地盤伸縮計の中で最も大きな動きを示した S-2 の観測結果を図-13 に、地下水位の観測結果を図-14 に示す。

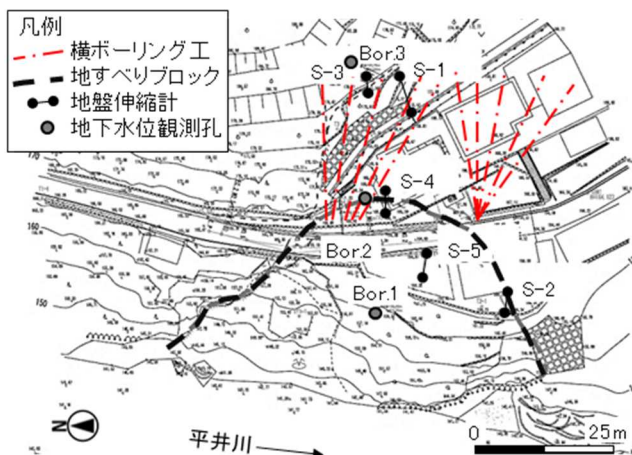


図-12 平面図（平井地区）



写真-3 斜面端部での崩壊状況（平井地区）

地盤伸縮計の観測結果について、2018年の9月末から10月上旬にかけての降雨に対してはやや顕著な動きが見られたが、その後は0.02mm/日程度の動きを示していた。しかし、2019年8月12日～17日にかけての台風10号に伴う豪雨（総雨量459mm）の際は19.5mmの変位量を示した。また地下水位については地すべりブロック内のBor.1では大きな変位は見られなかったが、地すべりブロック上部のBor.2,3では5～8m程度の大きな地下水上昇量が確認できる。

3.3.2 平井地区の対策工の効果について

図-14～16に総雨量に対する地盤伸縮計や地下水位計の変位量を整理し、対策工の効果を検証した結果を示す。

地盤伸縮計S-2の結果（図-15）について、横ボーリング工の施工前後を見比べると、同程度の規模の降雨に対しては変位量が概ね下回っていることが確認でき、総雨量360mm程度までの規模の降雨に対しては横ボーリング工の効果があることが推察できる。しかし、総雨量459mmの降雨の際には変位量が大きくなり、これらの結果から360mm～460mm程度の間に関値があり、これを超える場合には今後も地すべりが発生する恐れがあることが推察できる。

また、地下水位の観測結果について、Bor.3（図-17）では近似線の傾きは小さくなっていることを確認でき、図-15の地盤伸縮計変位量の観測結果と併せて検証すると、横ボーリング工による地すべり抑制効果があること

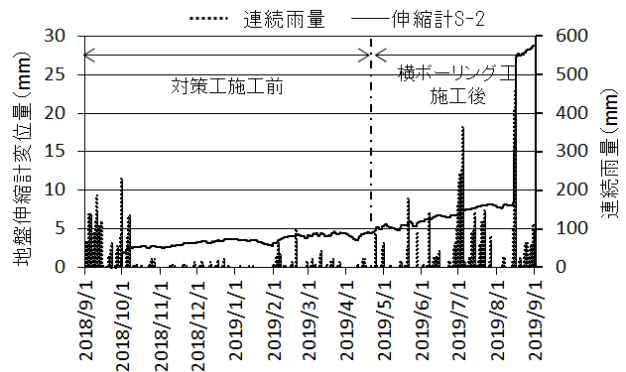


図-13 地盤伸縮計観測結果（平井地区S-2）

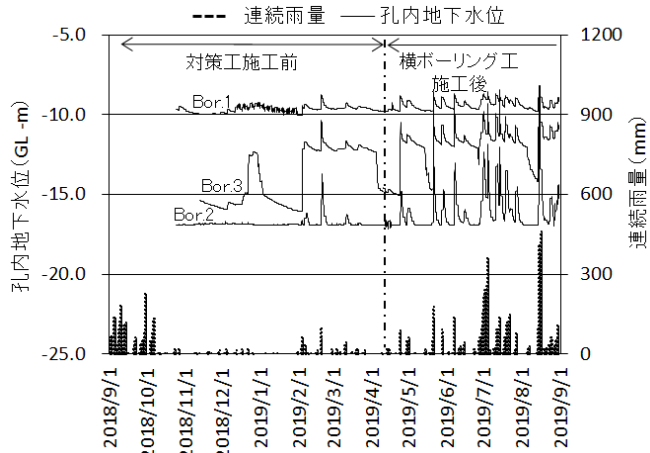


図-14 地下水位観測結果（平井地区）

が推察できる。

一方、Bor.2（図-16）、3とも地下水位の上昇が確認されない最大の連続雨量には施工前後で大きな差は確認されず、これは、更なる地下水排除工を行うことで地下水位の上昇を抑える余地があることが示唆される。

4. おわりに

本報告では、総雨量と各降雨イベントにおける変位量や最高水位の関係を整理し、対策工施工前後の結果を比較することによる、地すべり対策工の効果の簡易的な検証手法について提案した。和歌山県内で発生した地すべり災害を事例として対策工の効果の検証を行ったが、簡易的に対策工の効果の検討を行う方法の一つとして、本手法は有用であると考えられる。

ただし、次の点には注意が必要と考える。

- ・先行降雨の影響により、降雨イベント開始時点で地下水位が高い場合は、対策工の効果をうまく表現できない恐れがある。
- ・特に降雨による地下水位の上昇が比較的遅い場合などは、現場毎の特性を考慮し、1降雨イベントに対する観測データの取得期間を設定する必要がある。
- ・今回の事例においては、総雨量10mm以上の降雨に対する地盤伸縮計変位量や地下水位の関係を近似直線により表し評価したが、地下水位の上がり方等の特性に応じ、評価対象範囲を調整することも検討する必要がある。

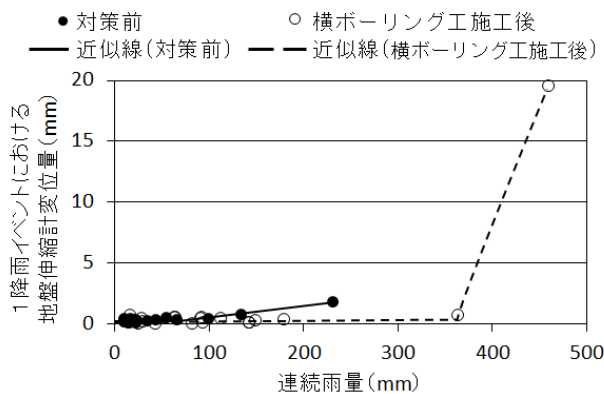


図-15 連続雨量と地盤伸縮計変位量の関係
(平井地区 : S-2)

いずれにせよ、地すべり対策の効果を検証するためには、兆候確認後早期に観測機器を設置し、対策工施工後も出水期を含む一定期間の観測の継続が重要である。今後、他の地区の事例についても検証するとともに、今回は地盤伸縮計と地下水位の観測結果により検討を行ったが、孔内傾斜計等でも同様の検証を行いたい。

謝辞

本発表にあたり、和歌山県西牟婁振興局建設部、和歌山市役所都市建設局道路管理課、古座川町役場建設課から資料の提供等ご協力をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 石田優子・木林幹・古根川竜夫・深川良一(2018) : 地下水排除工前後の地下水変動特性の分析, 日本地すべり学会誌, Vol. 55, No. 4, pp. 18-23.
- 2) 木下篤彦・坂井佑介・竹本真士・小田芳照・眞弓孝之・山崎孝成(2013) : 積算水位対積算雨量の関係に着目した地下水排除工の施工効果判定, 地すべり学会誌, Vol. 50, No. 2, pp. 1-8.
- 3) 川上浩・内藤哲・山浦直人(2003) : 地附山地すべりにおける排水工の効果, 地すべり学会誌, Vol. 40, No. 3, pp. 59-64.
- 4) 木下篤彦・坂井佑介・古谷治久・滝口潤・三浦理司・井上宏(2013) : 豪雪地帯の融雪地すべりにおける地下水排除工効果の検討, 地すべり学会誌, Vol. 50, No. 3, pp. 35-44.
- 5) 山田正雄・鶴飼恵三・鎌田智・福田毅・小澤岳弘(2008) : 亀裂等水文地質構造を反映した3次元FEM浸透流解析による地下水排除工の効果判定, 地すべり学会誌, Vol. 45, No. 1, pp. 45-56.
- 6) 高野邦夫・進藤陽介・小野由紀光・須田大祐・永井和馬(2007) : 狼沢すべりにおける地下水挙動と地下水排除工, 地すべり学会誌, Vol. 44, No. 2, pp. 27-32.
- 7) 國眼定・太田英将・林義隆・北方泰憲(2005) : 地下水モデルを用いた地下水排除工の評価方法, 地すべり学

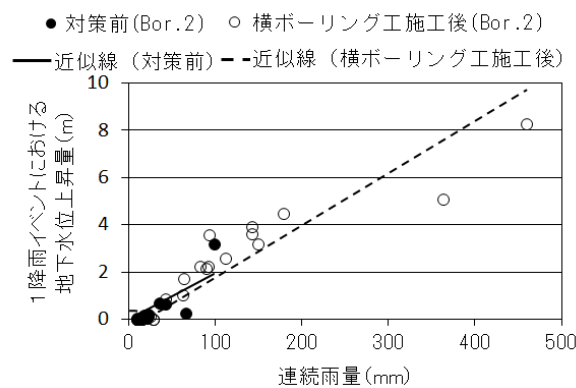


図-16 連続雨量と最高地下水位の関係
(平井地区 : Bor. 2)

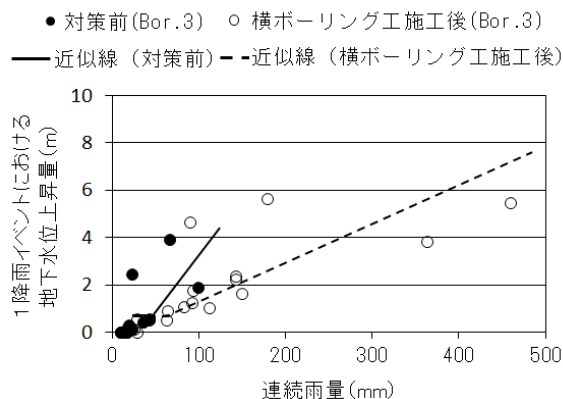


図-17 連続雨量と最高地下水位の関係
(平井地区 : Bor. 3)

会誌, Vol. 42, No. 3, pp. 32-41.

- 8) 岩堀康希・阿部真郎・吉松弘行・西真佐人・森屋洋(2005) : 平根地すべりにおける地下水排除工の効果予測, 地すべり学会誌, Vol. 41, No. 5, pp. 96-103.
- 9) 福田順二・山本哲朗・玉田文吾(2003) : 地下水排除による再発地すべり防止対策, 日本地すべり学会誌, Vol. 40, No. 4, pp. 62-70.
- 10) 森川智・岸畑明宏・坂口隆紀・榎原伴樹・崎山朋紀・木下篤彦(2019) : 立平地区地すべりにおける対策工の評価方法の提案, 第58回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 220-221.
- 11) 榎原伴樹・崎山朋紀・岸畑明宏・坂口隆紀・木下篤彦(2019) : 地すべり対策工の効果の検証方法について, 第58回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 222-223.
- 12) 榎原伴樹・崎山朋紀・木下篤彦(2018) : 住民・マスコミ・首長への地すべり発生状況及び対策工の効果の分かりやすい説明方法について, 第57回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 247-248.
- 13) 国土交通省河川局砂防部・気象庁予報部・国土交通省国土技術政策総合研究所(2005) : 国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法(案), pp. 1-13.

和歌山県における山地災害教訓伝承の取組みについて

和歌山県土砂災害啓発センター
国土交通省国土技術政策総合研究所

○宮崎徳生・筒井和男・岸畑明宏・坂口隆紀
木下篤彦

1. はじめに

近年、集中豪雨や台風等による大規模な山地災害、土砂・洪水氾濫等が頻発し被害が甚大化している。和歌山県でも山地災害等が毎年発生しているが幸いにして被害はそれほど深刻ではない。

しかし、山地災害による土砂災害等から身を守るためには、平常時からの備えが大切であり、また、平成23年の紀伊半島大水害のような大規模災害については、当時の記録や教訓を後世に伝承し、防災意識の向上を図り被害の軽減に繋げることが重要である。

本県における過去の大規模山地災害としては、明治22年、昭和28年、平成23年と約60年周期で発生しており、これは一生に一度程度遭遇する間隔で発生している。山地災害による大規模な土砂災害等に備えるためには、「過去の災害に学び・生かす」取組みが大切である。このことから、本県では山地災害等の記憶を風化させず教訓を後世に伝承するため、平成29年から県内各地域で講演会を開催している。

本報告では、和歌山県日高川町で昭和28年に発生した大規模災害に関する写真、自然災害伝承碑、地域住民へのヒアリング成果を用いて講演会を開催することで、災害の記録及び教訓が聴講者に与える影響を検証したので報告する。

2. 昭和28年水害の教訓伝承のための準備

昭和28年水害の教訓伝承を試みるにあたり、以下の調査を実施し成果をとりまとめた。

2-1. 昭和28年水害当時の写真と現在を比較

比較写真の撮影は、入手した昭和28年水害当時の被災写真を基に、船津から川原河周辺エリアで実施した(図-1)。代表的な比較写真を写真-1, 2に示す。当時被災した場所には家や道路が再建されているところが多い。

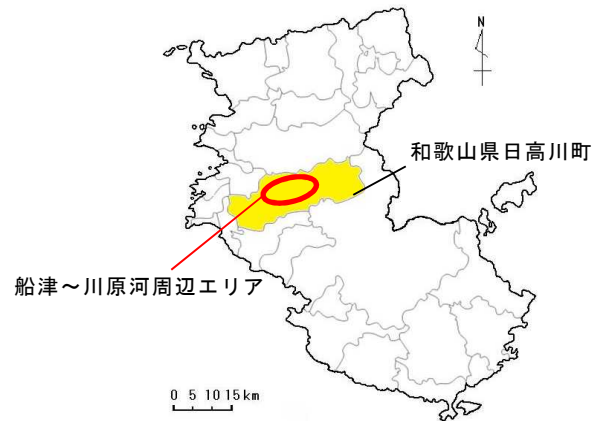


図-1 船津～川原河周辺エリアの位置図。



写真-1 昭和28年水害当時の写真と現在の比較。日高川町船津地内。(左)S28年水害時。(右)2019.12.24撮影。



写真-2 昭和28年水害当時の写真と現在の比較。日高川町原日浦地内。(左)S28年水害時。(右)2019.12.25撮影。



写真-3 下阿田木神社階段横にある昭和28年水害水位標。



写真-4 坂野川集会場前に建てられた昭和28年水害と平成23年の水害2つの水位を示すモニュメント。

2-2. 自然災害伝承碑に関する調査

住民への聞き取り調査等により現地を確認したところ、明治22年水害、昭和28年水害、平成23年紀伊半島大水害に関する伝承碑が確認できた。代表的なものを写真-3, 4に示す。

2-3. 当時の様子を知る住民へのヒアリング調査

美山村史によると、被害が大きかった弥谷地区では幅150m高さ400mの山津波が発生し、人も家も田畑のみ込んでしまった。この山津波で23戸が全滅、82名が生き埋めになったと記されている。

今回、当時の様子を知るT氏（当時24歳）に慰霊塔の前でお話を聞いた（写真-5）。当日は、昭和28年7月18日水害当時の弥谷集落のイラストマップをご持参頂いた。このイラストマップは弥谷出身のデザイナーが作成し、裏側にはこの惨禍に関する作者の手記が貼付されている（写真-6）。弥谷地区ではこのイラストマップを災害教訓の伝承に活用している。

なお、T氏の主な証言は次のとおりである。

- ・山津波は複数回発生した。初回の山津波の後、偵察及び救援に向かったT氏の弟達が犠牲になった。
- ・対岸の人家は山津波の前に川の増水で流された。住人は増水前に裏山に避難し助かった。
- ・昭和21年昭和南海地震を境に普段洗濯等に利用していた谷水が透明から米のとぎ汁の様な色に変わった。

3. 講演会における災害教訓の伝承とその効果の検証

講演会は、令和元年5月に完成した日高川町防災センターにおいて実施した（写真-7）。講演会では、昭和28年水害当時の写真と現在を比較した画像、自然災害伝承碑、昭和28年水害に関する証言を用いて災害教訓の伝承を試みた。

講演会后、昭和28年水害に関する講演内容について聴講者に行ったアンケート調査の結果は、全体の88%が災害に対する意識向上や避難



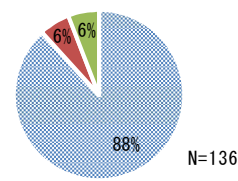
写真-5 慰霊塔の前で行った弥谷の山津波に関するヒアリング状況。



写真-6 イラストマップの裏側に貼付された手記。

写真-7 講演会の様子。

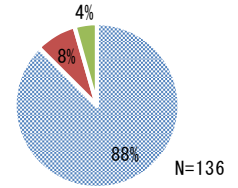
Q. 昭和28年水害の講演内容について、災害に対する意識向上や避難の参考になったか。



・とも・まあまあ参考になった
 ・あまり参考にならなかった・ならなかった
 ・無回答

図2. アンケート結果。

Q. 昭和28年水害の講演内容について、家族・友人など誰かに話したいと思ったか。



・思う
 ・思わない
 ・無回答

図3. アンケート結果。

の参考になったと回答が得られた（図-2）。また、全体の88%が講演内容を家族・友人など誰かに話したいと思うと回答した（図-3）。

4. おわりに

昭和28年水害から67年が経過し、当時の様子を知る地域の方々も高齢化しているが、貴重な画像・証言記録が収集でき、山地災害の被害実態、当時の警戒避難意識や行動実態を把握することができた。また、調査結果を基に講演会を開催した結果、防災意識の向上、災害教訓の伝承について一定の効果が確認できた。今後についても、過去の山地災害等の歴史や災害教訓を研究し、県内各地域に情報発信することで防災及び減災に繋げることが大切である。

土砂移動時の地盤振動の再現 - 模型実験からの考察 -

Reproduction of seismic waves caused by large sediment movements: Results of model experiments

筒井 和男*1,2	坂口 隆紀*3	海原 荘一*4	谷田 佑太*4	木下 篤彦*5
Kazuo TSUTSUI	Takaki SAKAGUCHI	Soichi KAIHARA	Yuta TANIDA	Atsuhiko KINOSHITA
柴田 俊*6	金澤 瑛*5	中谷 洋明*5	里深 好文*7	藤本 将光*7
Suguru SHIBATA	Akito KANAZAWA	Hiroaki NAKAYA	Yoshifumi SATOFUKA	Masamitsu FUJIMOTO

Abstract

Seismic sensor networks detect ground vibrations caused by the movement of large masses, predominantly at low frequencies of 1–3 Hz. We modeled sediment flow down a slope and measured ground vibrations in cases with and without a concrete wall at the end of the slope. The sediment weight, amount of water, and presence of iron balls were varied, and the waveform and amplitude spectrum were analyzed. As a basic, small-scale experiment, physical dissimilarities were not adjusted for. Nevertheless, the ground vibration amplitude and low-frequency waves mimicked real-world seismic vibrations.

Key words : deep-seated landslide, seismic wave, seismic characteristics, model experiment

1. はじめに

山間部で発生する深層崩壊等の大規模土砂移動を検知することは防災上重要であるが、従来から大規模土砂移動に伴い発生した地盤振動を遠く離れた地点で観測できることが知られている(例えば¹⁾)。崩壊型土石流の流下に伴う地盤の振動観測記録を規模や波形、周波数分布など種々の面から検討するとともに、過去の地盤振動事例から土石流と崩壊・地すべりとの発生源の違いによる地盤振動特性を整理した研究²⁾では、土砂移動に伴う地盤振動特性として、土石流に起因する場合は20~40 Hz、深層崩壊の場合1~3 Hzが卓越する等の特性が明らかになっている。

一方、防災科学技術研究所の高感度地震観測網 Hi-net³⁾や広帯域地震観測網 F-net⁴⁾、国土交通省の振動観測局が整備され、深層崩壊に伴う地盤振動が観測された事例が報告されている(例えば⁵⁾)。大角ら⁶⁾の研究では Hi-net データを解析し斜面崩壊の位置推定を計算する一方で、土石流と崩壊との土砂移動プロセスの違いによる卓越振動数の違いはすべり速度、攪乱を伴う運動、移動距離の規模に原因があると推察するに留まっている。F-net データを解析した研究⁷⁾では、0.01~0.1 Hz の低周波成分の地盤振動から求めた変位波形から土砂移動プロセスが推定できるケースがあることが示されている。深層崩壊の卓越周波数を含む周波数帯の1~7 Hz 波形と崩壊の様子を捉えたビデオカメラ画像との比較から土砂移動メカニズムを考察した研究⁸⁾では、変位波形による土砂移動完了後に1~7 Hz 波形のピークが現れ、これは破碎した崩土が対岸に衝突したときに生じる地盤振動と考察している。

また過去の46の深層崩壊事例を用いて地盤振動特性を検討した研究⁹⁾では、天然ダムの形成と非形成時の卓越周波数を比較し、1~2 Hz が卓越周波数の場合に天然ダムが形成される事例が多いことが報告されている。2011年の紀伊半島大水害の赤谷地区の深層崩壊において、崩壊土砂中に破碎された土砂や岩塊層が確認されているが¹⁰⁾、流下土砂中の破碎された土砂が河床や対岸に衝突した時に1~7 Hz の成分が発生していると推測されている。

Hi-net 等を用いた大規模土砂移動検知においては、振動センサーの特性と交通等の人工的なノイズ除去の必要性から、1~7 Hz のバンドパスフィルターを通すことが有用であると示唆されている⁹⁾が、この周波数帯で捉えられる土砂移動プロセスと地盤振動特性との関係を理解することは、誤検知を減らし大規模土砂移動の検知精度の向上を図るために重要である。大規模土砂移動の発生頻度は低く、その上、土砂移動プロセスを映像等で詳細に捉えることは非常に困難である。

大規模土砂移動時に生起する現象の全てを正確に再現することは難しい。しかし地盤振動等いくつかの面について再現が可能となれば、稀な実現象の発生がなくても検知技術の改良を期待できる。土柱の崩壊時の斜面の振動を計測した実験¹¹⁾を除いて、室内実験で再現した事例は見当たらない。そこで本稿では、小規模な実験設備を用いて、土砂移動プロセスと振動波形、卓越周波数等の関係がこれまで観測、観察されてきた実現象時の主要な特徴を再現できるか検討した結果を報告する。

*1 学生会員 和歌山県土砂災害啓発センター Student Member, Wakayama Prefecture Sabo Research and Education Institute (tsutsui_k0002@pref.wakayama.lg.jp) *2 京都大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University *3 正会員 和歌山県土砂災害啓発センター Member, Wakayama Prefecture Sabo Research and Education Institute *4 正会員 株式会社エイト日本技術開発 Member, Eight-Japan Engineering Consultants Inc. *5 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 Member, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism *6 正会員 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター Member, Sediment Disaster Prevention Technology Center, Kinki Regional Bureau, MLIT *7 正会員 立命館大学理工学研究科 Member, Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

2. 実験の概要

2.1 実験の目的

大規模土砂移動の発生頻度は低く、土砂移動プロセスを詳細に捉えた事例は少ないことから、実現現象の観測で得られた土砂移動時の地盤振動の特性について室内実験による再現を試みた。具体的には土砂移動時の地盤振動を測定し、既往研究から明らかとなっている振幅増大のタイミング、形状、低周波成分の卓越を確認するため、水平水路の上に土砂の対岸への衝突を想定しコンクリート壁の設置の有無、また、供給土砂量及び巨礫や岩塊層を想定した鉄球を加える等の条件を変えて地盤振動の計測を行った。実験規模は幾何学的な相似からは実現現象の200分の1程度である。なお、今回は大規模土砂移動に伴う地盤振動の特性について、実現現象と室内実験の結果とを定性的に比較する目的としているため、力学的相似則は満たしていないことに注意が必要である。

2.2 実験装置と実験条件

実験水路の概要図を図-1に示す。水路流下時の地盤振動を直接床面に伝えるため、水路基礎はコンクリートブロックを階段状に積み、その上にアクリル製水路を設

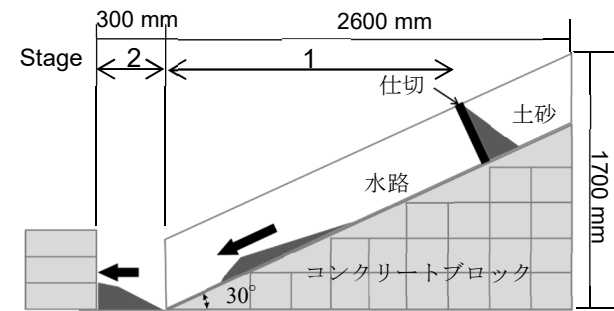


図-1 実験水路の概要

Fig. 1 Schematic of the experimental flume

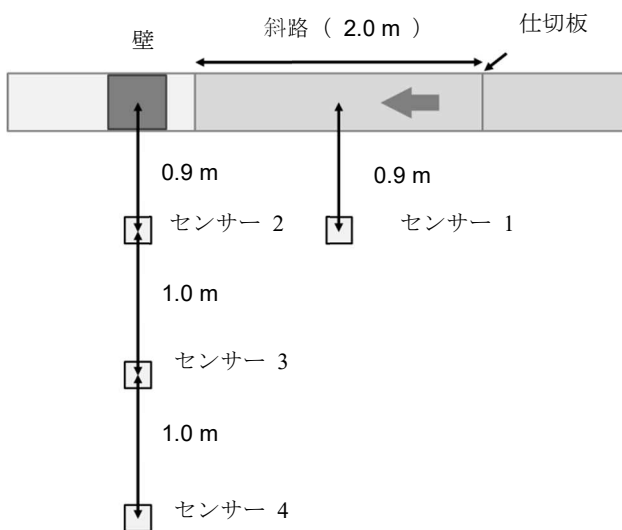


図-2 振動センサーの配置

Fig.2 Overview of the vibration sensors

置し、水路とコンクリートブロックの間はモルタルを充填して水路全体を密着させた。水路側面高さは40 cm、勾配は30度、斜路の長さは2.0 mとした。斜路の上流端には仕切板を設置し、仕切板を引き抜くことで、斜路を土砂と水が流下するようにした。また斜面水路の下流には、同じ幅の水平水路を設置した。下流水路部の長さは3.2 mである。立命館大学びわこ・くさつキャンパス内の実験施設にて行った。

振動の計測は測定範囲が±0.1~4 Gのサーボ型加速度計(白山工業社製JU410)により、100 Hzのサンプリングで3成分の振動測定を行った。センサー1は斜面水路の左岸に水路中心線より0.9 m離れた床面に、センサー2, 3, 4は水平水路左岸方向に水路中心線から直線上に0.9 m, 1.9 m, 2.9 m離れた床面に設置し(図-2)、水平方向の2成分、鉛直上下方向の1成分を測定した。水平成分は水路に平行な方向と水路に直角な方向とした。

土砂は直径5~10 cmの礫と直径1 cm程度の礫を混合し、これに水を混ぜ合わせたものを使用した。より大きな起振力を得るために直径10 cm、重量5 kgの鉄球3個を加えたケースも設定した。

実験ケースとしては対岸の壁の有無、土砂の重量を変化させるとともに鉄球を加え表-1に示す合計8ケースを実施した。

3. 結果と考察

3.1 土砂移動プロセスと振動波形について

振動センサーにより計測した加速度の時系列波形を図-3, 4に示す。図-3はCase 4(壁なし)、図-4はCase 8(壁あり)の波形である。図中のY軸に平行な破線は、時系列の順に土砂の移動開始時刻、続いてその右側に土砂の先端が図-3では水平水路に進入した時刻、図-4では壁に衝突した時刻、一番右側は土砂の移動が終了した時刻を示している。各時刻は撮影したビデオカメラ画像を用いて目視により判断した。図中の丸印は各センサーの最大振幅を示している。振幅は斜路移動時より下流水平水路移動時または壁衝突時に大きくなり、水路に近

表-1 実験条件

Table 1 The experimental conditions

Case	実験条件	使用材料 (kg)			水
		礫 (5~10 cm)	礫 (1 cm)	鉄球	
1	壁なし	10	10	0	20
2		20	20	0	20
3		30	30	0	20
4		30	30	15	20
5	壁あり	10	10	0	20
6		20	20	0	20
7		30	30	0	20
8		30	30	15	20

表-2 波形の最大振幅と発生タイミング

Table 2 Timings of the largest amplitudes

case	番号	水路方向								水路直角方向								鉛直上下方向							
		Sensor 1		Sensor 2		Sensor 3		Sensor 4		Sensor 1		Sensor 2		Sensor 3		Sensor 4		Sensor 1		Sensor 2		Sensor 3		Sensor 4	
		振幅 [cm/s ²]	Stage	振幅 [cm/s ²]	Stage	振幅 [cm/s ²]	Stage	振幅 [cm/s ²]	Stage	振幅 [cm/s ²]	Stage	振幅 [cm/s ²]	Stage	振幅 [cm/s ²]	Stage	振幅 [cm/s ²]	Stage	振幅 [cm/s ²]	Stage	振幅 [cm/s ²]	Stage	振幅 [cm/s ²]	Stage	振幅 [cm/s ²]	Stage
1	1	0.06	1	0.06	2	0.05	1	0.05	1	0.05	1	0.07	2	0.06	2	0.05	2	0.19	1	0.24	2	0.11	1	0.09	1
1	2	0.07	1	0.06	2	0.06	2	0.06	2	0.05	2	0.05	2	0.05	2	0.05	2	0.14	1	0.16	2	0.10	2	0.10	2
2	1	0.06	2	0.06	2	0.05	2	0.05	2	0.06	2	0.06	2	0.05	2	0.05	2	0.15	2	0.50	2	0.14	2	0.12	2
2	2	0.06	2	0.06	2	0.05	2	0.05	2	0.06	2	0.07	2	0.06	2	0.04	2	0.15	2	0.25	2	0.12	2	0.10	2
3	1	0.09	1	0.05	2	0.05	1	0.05	1	0.05	1	0.05	2	0.04	2	0.04	1	0.18	1	0.23	2	0.11	2	0.09	1
2	2	0.08	1	0.07	2	0.06	1	0.06	1	0.06	2	0.06	2	0.06	2	0.04	2	0.22	1	0.25	2	0.13	2	0.10	2
4	1	0.27	2	0.26	2	0.13	2	0.11	2	0.12	1	0.25	2	0.16	2	0.08	2	0.63	2	9.32	2	0.80	2	0.44	2
2	2	0.17	2	0.24	2	0.10	2	0.09	2	0.15	2	0.31	2	0.17	2	0.09	2	1.95	2	4.32	2	1.85	2	0.43	2
5	1	0.07	1	0.09	2	0.06	2	0.05	1	0.06	2	0.08	2	0.05	2	0.05	2	0.15	2	0.20	2	0.09	2	0.09	2
2	2	0.05	1	0.08	2	0.05	1	0.05	1	0.08	1	0.08	1	0.06	1	0.06	1	0.14	1	0.21	2	0.11	1	0.08	1
6	1	0.07	1	0.07	1	0.05	2	0.04	1	0.07	2	0.06	2	0.05	2	0.04	2	0.15	1	0.17	2	0.11	2	0.09	2
2	2	0.08	1	0.07	2	0.05	2	0.05	2	0.09	1	0.07	1	0.07	1	0.07	1	0.19	1	0.26	2	0.11	1	0.11	2
7	1	0.10	1	0.06	2	0.06	2	0.06	2	0.08	1	0.07	1	0.07	1	0.07	1	0.22	1	0.21	2	0.12	2	0.10	2
2	2	0.08	1	0.09	1	0.06	1	0.06	1	0.05	2	0.06	2	0.05	1	0.04	1	0.23	1	0.29	1	0.12	1	0.11	1
8	1	2.15	1	0.32	1	0.10	1	0.08	1	0.13	2	0.21	2	0.14	2	0.09	2	4.00	1	4.15	2	2.59	1	0.28	2
2	2	4.58	2	1.34	2	0.28	2	0.12	2	0.17	2	0.62	2	0.66	2	0.09	2	5.20	2	7.25	2	3.17	2	0.31	2

注) 最大振幅発生タイミング: Stage 1 67回, Stage 2 125回。着色部は最大振幅を表す。

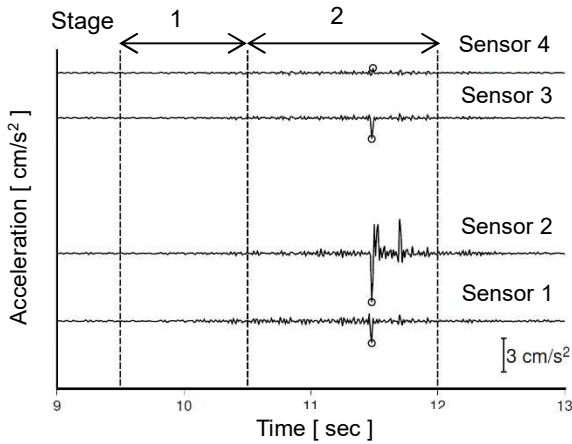


図-3 上下成分における時刻歴波形 (Case 4) 丸印はセンサーの最大振幅を示す。破線は左から土砂移動開始時刻, 水平水路進入時刻, 土砂移動終了時刻を示す。

Fig. 3 Up and down components of the acceleration waveform (Case 4)

The circle shows the waveform peak. The dotted line shows when the flow started, entered the horizontal flume, and ended.

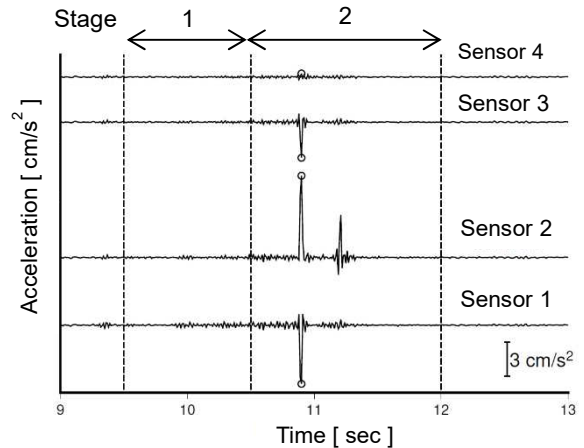


図-4 上下成分における時刻歴波形 (Case 8) 丸印はセンサーの最大振幅を示す。破線は左から土砂移動開始時刻, 衝突時刻, 土砂移動終了時刻を示す。

Fig. 4 Up and down components of the acceleration waveform (Case 8)

The circle shows the waveform peak. The dotted line shows when the flow started, hit the wall, and ended.

いもの (センサー1 とセンサー2) が大きかった。

最大振幅となる振動が発生した時刻を把握するため、土砂が斜路移動中を Stage 1, 土砂の先端が水平水路進入

- 5 もしくは壁に衝突した時点から土砂移動終了までを Stage 2 とし, 3 成分において最大振幅が観測された時刻を表-2 に整理した。鉄球を混入した Case 4, 8 で特に振幅が大きく, また 8 ケース×2 回の計 16 回の実験における 4 つのセンサーによる 3 成分計測結果において
- 10 中 125 回が Stage 2 で最大振幅が発生していた。振幅が最も大きくなるタイミングは水平水路移動時もしくは壁衝突時であった。だが、ビデオカメラ画像によると鉄球は土砂の先端でなく中間付近を移動している様子が見られた。鉄球が最大振幅を生じさせると推測されるが目視による誤差もあり, そのタイミングについては今後の追加実験により詳細な検討を進めたい。

次に, 振幅の RMS (Root Mean Square) を求め土砂量との関係を検討した。RMS は振幅の二乗平均平方根で次式により算出した

$$55 \quad RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \{y(j)\}^2} \dots\dots\dots (1)$$

ここに, $y(j)$ は j 番目の加速度成分, N はサンプル数である。土砂は概ね 3 秒程度で移動していたため, 土砂移動開始時刻からの 2.56 秒間すなわち 256 個の加速度サンプルにより求めた。

- 60 センサー1 により計測した水路方向成分波形の RMS と供給土砂の総重量との関係を図-5 に示す。土砂重量との関係は明瞭となっていないが, 鉄球を加えた場合大きくなる傾向があった。

- 65 地盤振動の振幅特性の違いを表現する指標として, 波形の立ち上がり勾配の緩急を定量評価した。具体的には,

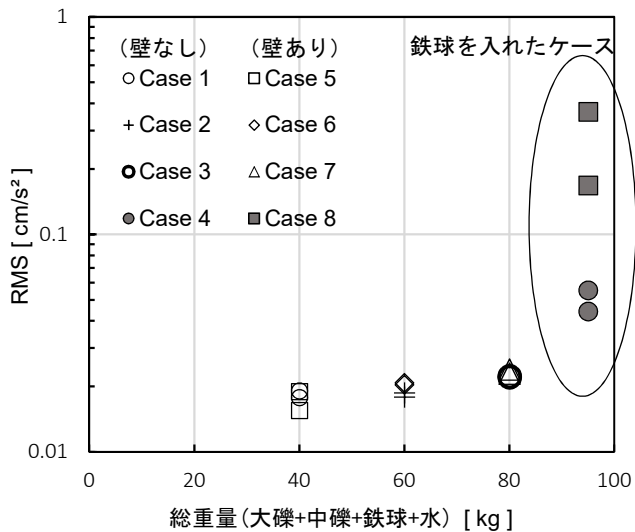


図-5 供給土砂重量とセンサー1水路方向成分のRMSの関係

Fig.5 Relationship between sediment weight and the flume directional component RMS (Sensor 1)

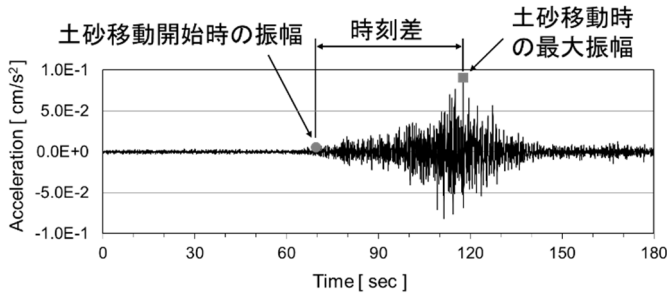


図-6 波形の立ち上がり勾配の定義
Fig. 6 Definition of a rising vibrational slope

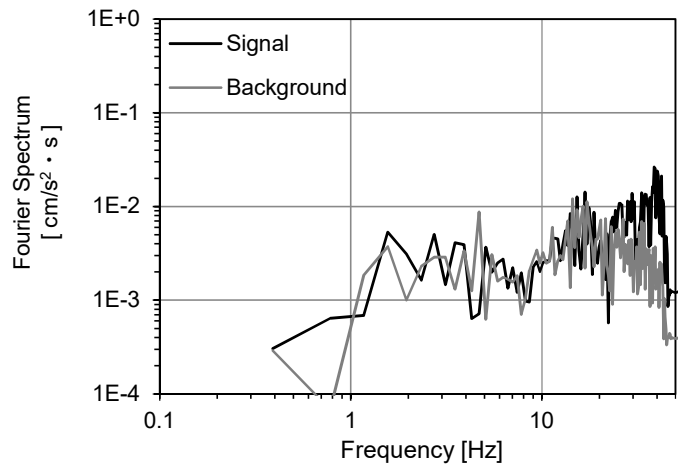


図-8 センサー2上下成分のフーリエ振幅スペクトル (Case 7)
Fig. 8 Fourier amplitude spectrum of Case 7

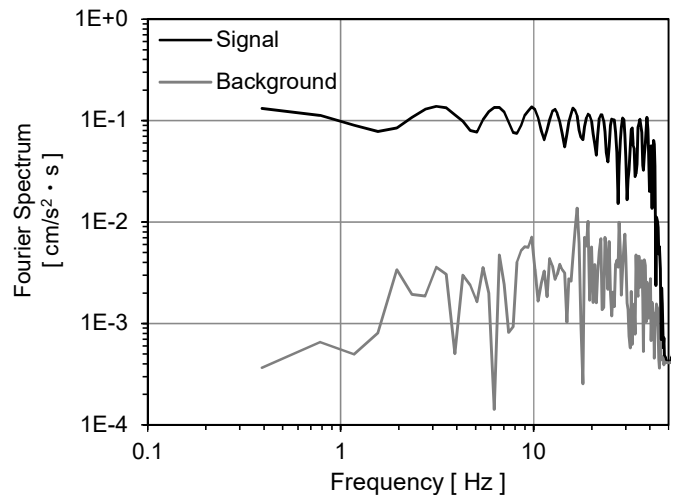


図-9 センサー2上下成分のフーリエ振幅スペクトル (Case 8)
Fig. 9 Fourier amplitude spectrum of Case 8

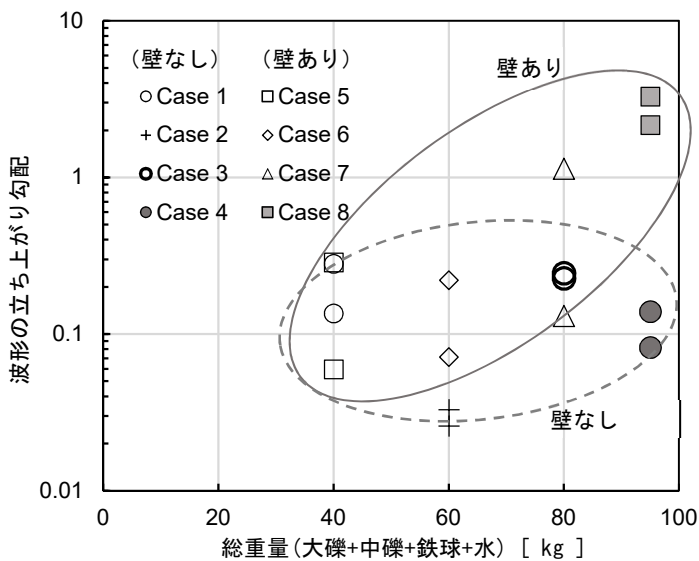


図-7 供給土砂重量とセンサー1水路方向成分の波形の立ち上がり勾配の関係

Fig. 7 Relationship between sediment weight and the rising vibrational slope of the flume directional component (Sensor 1)

既往研究⁹⁾を参考に、勾配を土砂移動開始時の振幅と最大振幅の差をそれらの時刻差で割った値とした(図-6)。

- 5 図-7に供給土砂総重量とセンサー1により計測した水路方向成分波形の立ち上がり勾配の関係を示す。既往研究⁹⁾では崩土が対岸に衝突しない場合より衝突する場合の方が、波形の立ち上がり勾配が急になるとされているが、今回行った実験でも同様に、明瞭ではないものの壁ありの実験ケースにおいて、壁なしのケースに比較して勾配が急になる傾向が確認できた。

3.2 フーリエ振幅スペクトル解析による卓越周波数について

- 10 土砂移動時および常時微動のフーリエ振幅スペクトルを求めた。常時微動は土砂移動と関係なく発生している微小な地盤の揺れで、土砂移動時に発生する振動との共振の影響を確認するため算出した。常時微動は各実験開始の約10秒前の2.56秒間の振動データを用いた。Case 7, 8におけるセンサー2の上下成分フーリエ振幅スペクトル

ルをそれぞれ図-8, 9に示す。図-8では土砂移動時と常時微動のいずれも10 Hz以上で振幅スペクトルが大きく、図-9では常時微動は図-8と同傾向だが土砂移動時に10 Hz以下の周波数においても振幅スペクトル

5
10

が大きい。これらからCase 8は土砂に鉄球を加えたものであり、低周波成分の振幅スペクトルが大きくなることが確認できた。一方、常時微動についてはかなりフラットな特性ではあるが約20 Hz前後が卓越周波数となっており、低周波成分は実験水路との共振の影響は受けていないと考えられる。

15

4. まとめ

実験水路において土砂を流下させた際に生じる振動の計測結果を、実際の大規模土砂移動時の振動特性と比較し、これまでの観測で得られた土砂移動時の地盤振動特性について振幅増大のタイミング、形状、卓越周波数の観点から下記に列記する。

1) 振幅は斜路移動時より水平水路移動時または壁衝突時に大きくなり、最大の振幅が発生するタイミングも同様であった。観測に基づく振幅増大タイミングの知見と符合する。

2) 波形形状については、波形の立ち上がり勾配は壁ありの場合が壁なしの場合に比較して大きかった。このことは、既往研究で崩壊土砂が対岸に衝突した場合に波形の立ち上がり勾配が大きくなることと一致している。

3) 鉄球を加えた場合に低周波振動が増大することが確認できた。岩塊層の衝突のような大きなエネルギー源が低周波を発生させる可能性を推察することができ、天然ダムが形成した場合に発生した地盤振動を解析した既往研究と調和的であった。

今回の水路実験では、実現象で見られる低周波振動について、剛体である鉄球を用いることで部分的に再現できる可能性が示唆された。粒体状として挙動する土砂のみでは再現できなかったことから、低周波成分が発生する土砂移動では、移動土砂中に破碎に至っていない巨礫や岩塊層等が含まれている可能性が推察される。小規模な実験ではあるものの、移動検知のために不可欠な振動の特徴をある程度再現できる可能性が示唆された。今後は、実現象においてこれまで観測、観察されてきた土砂の移動方向と変位波形との関係や、2011年紀伊半島大水害における深層崩壊の巨礫の有無と周波数についても実験による考察を交えて再検討を進めたい。

50

参考文献

- 1) 水野高志・伊藤潔・諏訪浩：岡山県総社市における斜面崩壊にともなう地震動，日本地震学会ニュースレター，Vol.13, No.1, pp.16-17, 1979
- 2) 森脇寛：崩壊型土石流の流下に伴う地盤の振動特性—小谷村蒲原沢土石流—，地すべり，第3号，第36巻，pp.99-107, 1999
- 3) 国立研究開発法人防災科学技術研究所：Hi-net 高感度地震観測網，<https://doi.org/10.17598/NIED.0003>，参照2020-4-22
- 4) 国立研究開発法人防災科学技術研究所：F-net 高帯域地震観測網，<https://doi.org/10.17598/NIED.0005>，参照2020-04-22
- 5) Masumi Yamada, Yuki Matsushi, Masahiro Chigira, Jim Mori : Seismic recordings of Landslides caused by Typhoon Talas(2011), Geophysical Research Letters, Vol.39, L13301, doi:10.1029/2012GL052174, 2012
- 6) 大角恒雄・浅原裕・下川悦郎：2004年8月10日奈良県大塔村斜面土砂移動時のHi-net データ解析—斜面土砂移動検知への応用—，自然災害科学，Vol.24, No.23, pp.267-277, 2005
- 7) Masumi Yamada, Hiroyuki Kumagai, Yuki Matsushi, Takanori Matsuzawa: Dynamic landslide processes revealed by broadband seismic records, Geophysical Research Letters, Vol.40, 2998-3002, doi:10.1002/grl.50437, 2013
- 8) 高原晃宙・木下篤彦・水野秀明・長谷川真英・梅田ハルミ・海原荘一・浅原裕：振動センサデータによる大規模土砂移動現象発生タイミング及び移動プロセスの解明について，河川技術論文集，第22巻，pp.43-48, 2016
- 9) 木下篤彦・海原荘一・山路広明・廣瀬昌宏・只熊典子・浅原裕：崩壊時の地盤振動特性に着目した大規模土砂移動の検知に関する研究，河川技術論文集，第23巻，pp.441-446, 2017
- 10) 桜井亘・酒井良・奥山悠木・小川内良人・福田睦寿・佐藤美波・海原荘一・只熊典子・藤原康正：河道閉塞の内部構造により生じる水文・浸食特性の違いと対策上の留意点，砂防学会誌，Vol.68, No.3, pp.21-30, 2015
- 11) Maxime Farin, Anne Mangeney, Julien de Rosny, Renaud Toussaint, Phuong - Thu Trinh : Link Between the Dynamics of Granular Flows and the Generated Seismic Signal: Insights From Laboratory Experiments, Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 123, 1407-1429, <https://doi.org/10.1029/2017JF004296>, 2017

100