

令和6年度（公社）砂防学会北海道支部研究発表会

支部会員の皆様の日頃の研究に関する情報交換を目的に、令和6年度（2024年度）研究発表会を開催します。せっかくの貴重な機会となりますので奮ってご参加願います。

日時：令和6年（2024年）11月29日（金）13：30～16：40（予定）

会場：北海道大学農学部総合研究棟1階 **W109号教室**

【プログラム】

13：30～13：40 支部長 開会あいさつ 山田 孝（北海道大学）

【前半 座長 塩野 康浩（国土防災技術北海道株式会社）】

13：40～14：00 ○早川智也・清水龍来（日本工営株式会社）
『日高幌内川河道閉塞箇所の水文観測に関する振り返り』

14：00～14：20 ○村上泰啓（札幌開発建設部／北海道大学広域複合災害研究センター）・
寺林修・藤原卓（株式会社ネクシス光洋）
『VTOL 固定翼ドローンに搭載したLiDARによる有珠山火口の微地形計測について』

14：20～14：40 ○中山智博（北極域研究センター）
『グリーンランド北西部カナック氷河の流出河川の観測
ー音響センサによる観測手法の開発ー』

14：40～15：00 ○佐藤澄佳（北海道大学農学院修士）
『樹木の変色区域における火砕流熱風部の運動の実態と特性』

15：00～15：10 休 憩

【後半 座長 井上 涼子（明治コンサルタント株式会社）】

15：10～15：30 ○孫田 遼（函館工業高等専門学校社会基盤工学専攻）
『崩壊跡地における土砂の再生産
ー1973年北海道知内町小谷石地区で発生した土砂災害ー』

15：30～15：50 ○西田凌吾（明治コンサルタント株式会社）
『土砂・洪水氾濫を対象とした1次元シミュレーションの再現計算における
計算条件の検討』

- 15 : 50～16 : 10 ○塩野康浩（国土防災技術北海道株式会社）
『軽量ボーリングマシンを使用した高品質コア採取技術』
- 16 : 10～16 : 30 ○山田孝・竹中源弥・笠井美青（北海道大学農学院）
『地震時の滑動型表層崩壊の長距離移動に影響する動摩擦係数の評価』
- 16 : 30～16 : 40 閉 会（予定）

※タイトルや共同発表者は発表者の意向などにより変更する場合がございます。

【連絡事項】

◆発表時間 12 分質疑応答 8 分です。

◆予稿集の提出をお願いいたします。

予稿集は自由形式（砂防学会全国大会の投稿規定を参考）です。

標準の形式は次の通りとしたいと思います。どれかを選択ください。

【予稿の標準】A4 の半ページ程度でタイトル、発表者・共著者、アブストラクト

※砂防学会全国大会の投稿規定 A4 版 2 段組み 2 枚でも OK です！

【予稿集提出期限】11 月 27 日（水）12:00 （印刷の関係で極力ご協力願います。）

【予稿集の HP 掲載について】予稿集については北海道支部の HP に掲載いたしますので、ご同意いただければ幸いです。

（※HP などに掲載することで発表者の研究実績となります。）

日高幌内川河道閉塞箇所の水文観測に関する振り返り

日本工営株式会社 早川智也 清水龍来

日高幌内川河道閉塞箇所では 2018 年の災害発生以降北海道開発局により水文観測を開始し、2024 年 3 月までに完了している。ここでは観測結果を振り返り日高幌内川河道閉塞の特徴などについて解説を行う。

1. 湛水量の大きさと窮迫性の小ささ

発災当初、日高幌内川河道閉塞箇所は天然ダム高さ 52m 程度で湛水容量 13,324 千 m^3 程度と見積もられた。決壊したら尋常ではない被害が想定されたが、振り返ってみると流域面積 9.75 km^2 に対して少なくとも 1,337 mm の降雨がないと満水しないものであり、アメダス厚真の年平均値である 1028.4mm/年を考慮すると窮迫性が低いと考えることができるものであった。

2. 発災当初の流出率の低さ

発災後の最初のまとまった降雨は 2018 年 9 月 30 日の総雨量 67 mm である。湛水した量と下流に流出した量が河道閉塞箇所まで到達した水量とすると降雨量に対して流出率は 15% という低さであった。そして、その後の降雨で徐々に流出率が上がっていったという観測値が得られた。これは河道閉塞部上流河道上に崩壊土砂などが堆積し流出を阻害していたと考えられる。崩壊土砂が火山灰土であったことがその効果を増加させた可能性はある。

3. 最大のリスクは融雪時の降雨

観測期間では 100mm/24h を超える降雨は観測されなかった。一方、2020 年 3 月 10 日に季節外れの温かい降雨が発生し、降雨＋融雪で 168.6 mm を観測し期間内では最大となった。このとき流域総雨量 1,640 千 m^3 に対して湛水容量 1,610 千 m^3 とほぼ同量であったが流出率の低さが功を奏して越流には至らなかった。振り返ってみると最も危機感が高まった事象であった。

4. 土塊内地下水への流出の抑制

発災後 2018.12.20 に湛水位が EL102.33m に達した。その際土塊内の地下水位は EL101m 程度と湛水位と連動していることが想定された。その後湛水部の埋め立て工事が実施され最終的には 470,000 m^3 程度と湛水容量は減少したものの湛水位は EL108.3m と高くなった。しかし土塊内の地下水位は湛水位に連動することなく EL101m 前後で推移している。これは湛水部の埋め立てで用いた火山灰土の透水性が悪く湛水が地下水へ流出することを抑制していると考えられる。

5. 得られた教訓

地震で天然ダムが発生したら、越流決壊の窮迫性を評価すべきと考えられる。その後水文観測を継続し警戒すべき事象に備えることが重要である。

謝辞

本発表に用いたデータは北海道開発局より提供いただいたものであり、データの使用を快諾いただいたことに感謝する。

以上

VTOL固定翼ドローンに 搭載したLiDARによる有 珠山火口の微地形計測に ついて

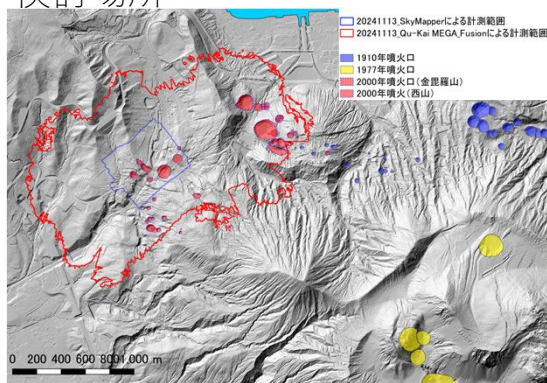
2024/11/29

札幌開発建設部/広域複合災害研究センター ○村上泰啓
株式会社ネクシス光洋 寺林修会長、藤原卓GM

背景・目的

- 2000年の有珠山噴火では、多数の火口が発生して広域に降灰をもたらしたほか、地盤の変位、泥流などが発生。
- LiDARを搭載したVTOL固定翼UAVであれば、例えば往復数十kmを飛行して噴火中・直後の火山周辺の地形・被災状況の定量的観測が可能。
- 筆者らはVTOL固定翼ドローンにLiDAR(VUX120)を搭載し、2000年有珠山噴火で形成された西山火口群周辺を計測（約257ha）した。
- 同日に別の機材（UAV+LiDAR）で小領域(28ha)を計測し、DEMの比較、機材の違いによる計測能力の比較を行った。

検討場所



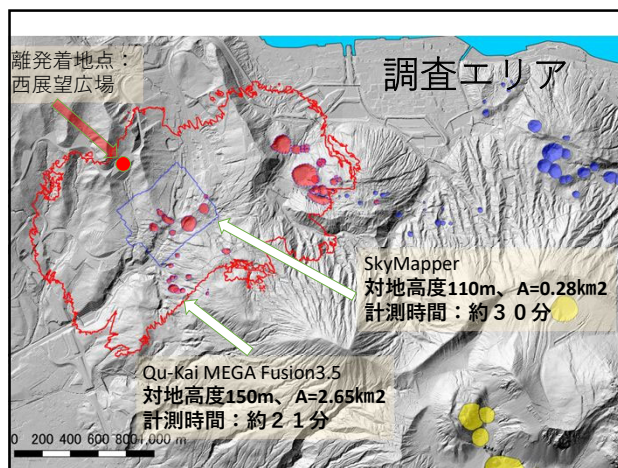
使用機材①

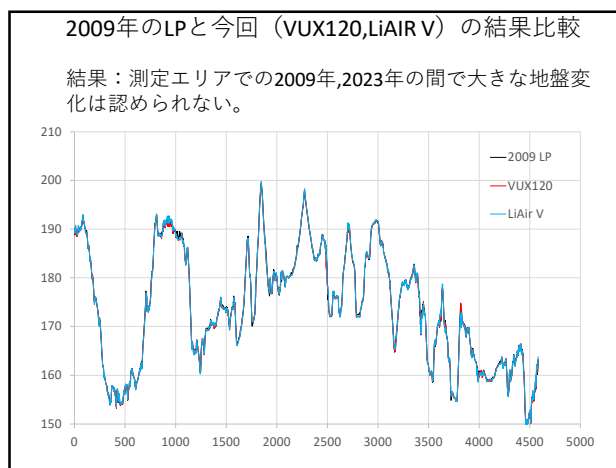
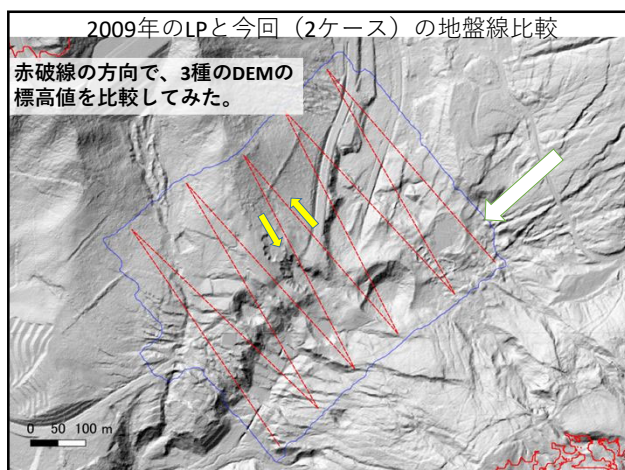
- 株式会社空解製 Qu-Kai MEGA Fusion3.5
- 日本リーグル社製 VUX120 23



使用機材②

- TPホールディングス株式会社製 SkyMapper MK II
- GreenValley社製「LiAir V」+Sony製α5100

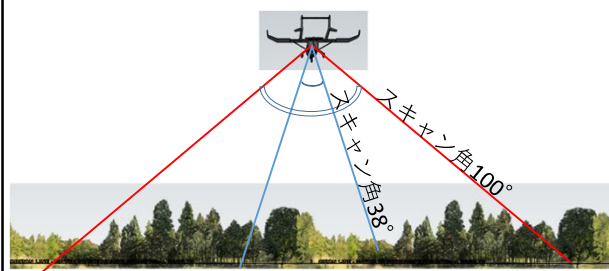




UAV + LiDARの性能比較

	Qu-Kai MEGA Fusion+VUX120	SkyMapperMK II + LiAIR V
レーザー波長	905nm	905nm
測距可能標高	最大720m	最大320m
点群密度	最大200万点/秒	最大72万点/秒
スキャン速度	最大400line/秒	-
スキャン角	100°	38.4°
1km ² あたりの計測時間（離発着込み）	8分強	1時間48分
1m ² あたり点群密度（今回）	約150点/m ²	約150点/m ²

スキャン角の違い



まとめ

- 2種のドローンLiDARで有珠山2000年噴火の火口原を調査した結果、2009年に計測された地形から大きな変化は認められなかった。
- VTOL固定翼機にLiDAR（VUX120）を搭載して計測した結果、10分あたりの計測面積がマルチコプターLiDARよりも13倍以上の面積を計測できることが把握された。
- 本調査で採用したVTOL + LiDARの組み合わせは、広域災害時の現地調査を行う上で有効なツールの1つになると思われる。

課題

- ①今後、標高2000mを超える様な山岳地帯での調査飛行に向けて、機体性能の確認のための試験飛行を行う必要（十勝岳を当面の目標）
- ②広域津波、大規模洪水などを想定した長距離飛行試験（往復100km以上）
- ③LTE地上局途絶を想定したLEO、HAPSと通信しながらの飛行試験（2, 3年後か）
- ④行政の防災スキームとの協働を見据えたVTOL機（メーカー、保有業者）の運用の位置づけ（災害協定、緊契）

グリーンランド北西部カナック氷河の流出河川の観測

—音響センサによる観測手法の開発—

○中山智博^{1,2}, Evgeny A. Podolskiy¹, 今津拓郎^{3,2}, 矢澤宏太郎^{3,2}, 杉山慎³

1. 北大北極域研究センター, 2. 北大環境科学院, 3. 北大低温科学研究所

【要旨】

近年、グリーンランド氷床及び、その周縁部の氷河・氷帽の融解が海水準上昇に大きく寄与している。海水準上昇に対する氷河氷床融解水の影響の定量化には、氷河流出河川の流量を定量化することが重要である。また、氷河流出河川は極端な融解や大雨によりたびたび洪水災害を引き起こす。そのため、河川の流量を継続的に観測し、河川の流量、流路の変化を把握することが重要である。

従来の流量観測手法は、観測者が激しい流れの中に長時間入り、高価な電磁流速計を用いて観測を行う必要があり、危険で労力がかかるものであった。

一方で、音響センサは、河川の近くに設置するだけで継続的な観測を行うことが可能であり、非常に低コストかつ効率的な手法として期待されている。しかし、この音響センサによる手法の利点や限界については十分に理解されていない。

2024 年夏、我々はグリーンランド北西部のカナック氷河の流出河川沿いに 4 台の音響センサと 3 台のタイムラプスカメラを設置して観測を行った。また音響強度を流量に較正するために、電磁流速計を用いた流量測定を繰り返し実施した。また圧力センサによる連続的な水位データとの相関関係を検証に用いて、音響信号の強弱から流量を復元することを目指した。カメラはインターバルを 10 分で設定し、連続的に河川を撮影した。撮影した写真は、音源である河川と音響センサの距離が変化していないか、音響信号から復元した河川の流量が妥当なものであるかを確かめるために使用した。

その結果、氷河流出河川の音と流量には 78-141Hz の周波数帯で、相関係数 0.89 の強い相関があることが示され、音響観測が流量の連続的な推定手法として有効であることが明らかとなった。

また、川沿いに配置された複数のセンサで記録されるピーク流量のタイムラグから、平均的な流速を得られる可能性も示された。この研究は、音響センサが河川の流量に関する貴重な情報を提供できることを示すものである。

樹木の変色区域における火砕流熱風部の運動の実態と特性

北海道大学農学院 ○佐藤澄佳

北海道大学農学研究院 山田孝

1. はじめに

小規模な火砕流の構造は本体部と熱風部(火砕サージの分類では、ash cloud surge に該当)から成るが、熱風部は本体部よりも広範囲に流下し、大きな被害をもたらす。さらに、熱風部は流路の屈曲部や障害物の付近で本体部から分離し、単独で流下するという特性があり、その場合の被害は特に甚大である。その事例として、1991 年 6 月 3 日の雲仙普賢岳で発生した火砕流が挙げられる(死者 43 名)。この火砕流の熱風部の運動についての先行研究(石川ら 1993, 山田 2007)の調査対象は、多くの人が亡くなった地点を含む「樹皮焼け焦げ・倒木区域」であり、その下流の樹木(ヒノキ林が主体)の葉が熱風部の熱によって褐変した「樹木の変色区域」での熱風部の運動については明らかにされておらず、熱風部の全体の流れは不明である。そこで、本研究では、1991 年 6 月 3 日に雲仙普賢岳で発生した火砕流の熱風部の、樹木の変色区域における熱風部の運動の実態と特性を明らかにすることで、火砕流熱風部の全体の流れを明らかにすることを目的とする。

2. 方法

長崎県島原市北上木場町での火砕流熱風部堆積物の堆積状況(層構造、堆積深、粒径)の調査、熱風部の温度とその継続時間の推定、速度の推定から、流れの状況を考察した。

堆積状況の調査は、火砕流熱風部の通過範囲内の 17 か所(樹木の変色区域内 10 か所、樹皮焼け焦げ・倒木区域内で 7 か所)で、堆積深の測定、層構造の観察、堆積物の採取を行った。堆積深から通過土砂量を推定し、採取した土砂については粒度試験(JIS A 1204, 2020)を行った。温度は、ヒノキの葉の加熱実験によって推定した。太田一也元九大島原観測所所長によって撮影された当時の写真から、火砕流の熱によってヒノキの葉が褐変したことがわかったため、現地で採取したヒノキの葉をオーブンで加熱し、ヒノキの葉が褐変する温度を調べることで火砕流熱風部の温度を推定した。加熱温度は、石川ら(1993)によって樹皮焼け焦げ・倒木区域における熱風部の温度が 300℃ 以上であることが明らかにされていることから、本実験では 80℃~280℃まで 20℃間隔で設定した。加熱委時間は、杉本ら(2009)が調査した生存者の証言から熱風部の流下時間は数分であったと考えられるため、1~5 分間とした。速度は、採取した堆積物の粒度試験の結果、熱風部の流れに関する先行研究等から推定した。堆積物の 60%粒径を代表粒径とし、代表粒径のストークスの式による沈降速度、限界摩擦速度を求め、対数則を用いて速度を推定した。沈降速度を求める際、流れの平均的な土砂濃度が不明であるため、1991 年 6 月 8 日に雲仙普賢岳で発生し、中尾川を流れた火砕流熱風部の推定土砂濃度 $C=0.011$ (山田, 2007)を含む、 $C=0\sim0.01$ の範囲で計算した。それらの結果と先行研究とを合わせ、熱風部の全体の流れを考察した。

3. 結果と考察

火砕流熱風部堆積物の堆積状況の観察を行った 17 か所のうち、樹木の変色区域内の 10 か所では、堆積物の層構造は、ほぼすべての調査地点で塊状であった。各調査地点の堆積物の粒度分布には大きな差はなく、粘土・シルトが主体であり、これは熱風部の上層の堆積物であると考えられる。樹皮焼け焦げ・倒木区域内の 7 か所のうち上流の 2 か所では熱風部の下層の堆積物のみが見られ、残りの 4 か所では上層と下層の両方の堆積物が、下流の 1 か所では上層のみの堆積物が見られた。砂が主体で、特に下層の堆積物のみが見られた 2 か所では、礫も多く含まれていた。現地調査で得られた各地点の堆積深と熱風部通過範囲の面積から通過土砂量を推定した結果、先行研究により温度が 300℃ 以上であるとわかっている地点付近(樹皮焼け焦げ・倒木区域)の通過土砂質量は、ヒノキの葉の褐変が見られた地点付近(樹木の変色区域)の通過土砂質量の約 2.7 倍であった。

ヒノキの葉の加熱実験では、各条件で加熱したヒノキの葉の加熱後の変色の様子を観察した結果、ヒノキの葉の褐変の条件は、温度が 200℃~220℃、加熱時間が 3 分間~4 分間程であり、それぞれ樹木の変色区域における熱風部の温度とその継続時間であると推定した。

今回設定した土砂濃度の範囲で計算された熱風部の速度は、5.5m/s~34.6m/s であった。参考値とした $C=0.0011$ (山田, 2007)での速度は、15.1m/s~15.7m/s であった。

また、温度と通過土砂量の推定の結果と、溶岩ドーム崩壊型火砕流の熱風部の熱源(エネルギー源)は、熱風部に含まれる土砂であること、火砕流熱風部内は強制対流熱伝達と熱放射が発生していると考えられることから、熱風部に含まれる土砂の量と粒径が熱風部の温度低下に影響しているのではないかと考えた。

崩壊跡地における土砂の再生産 -1973年北海道知内町小谷石地区で発生した土砂災害-

○孫田遼(函館高専社会基盤工学)、金俊之(函館高専)、宮武誠(函館高専)
豊原怜旺(室蘭工大)、古屋結幸大(北斗工機株式会社)、中川令惟(北海道開発局)

1. 背景

北海道知内町小谷石地区では1973年9月23日～24日にかけて発生した集中豪雨により土石流災害が発生した。災害後に建設された中ノ沢砂防ダムは2008年まで未満砂であったが、2020年の調査で満砂状態であることが確認されたものの、上流部では新たな崩壊地は確認できていない¹⁾。そこで本研究では、中ノ沢砂防ダムを満砂とした土砂の生産源が約50年前に災害をもたらした崩壊跡地における再生産土砂ではないかと仮定し、検討を進めたことから報告する。

2. 土砂災害の概要

知内町小谷石地区は、北海道の道南地域に位置する。小谷石地区での土砂災害では、小谷石土木現業所では24日に最大時間雨量133mm、降り始めからの総雨量が344mmを観測した²⁾。この豪雨に伴い発生した土砂災害により死者・行方不明者8名が生じ、小谷石地区の全248戸の約半数が全壊、その他も半壊や床上浸水などなんらかの被害を受けた²⁾。

3. 調査手法

3.1 調査流域の概要

小谷石地区へは3つの溪流が流入するが、これらは平成24年度の北海道庁により土砂災害防止法に基づく調査が実施されている。本調査で対象とした中ノ沢は危害の恐れがある人家戸数が隣接する流域と比べて41戸と最も多い流域である。

3.2 発生した崩壊地と調査する崩壊跡地の選定

図1には1974年撮影の航空写真(縮尺1/10000)を用いて、空中写真判読により1973年に発生したと考えられる崩壊地を示す。抽出した崩壊地は全39箇所であり、崩壊面積は400㎡以下が全体の8割占める。

調査対象とした崩壊跡地は発生頻度の多い400㎡以下で、発生した地形条件が異なるNo. 17(A=266㎡、段丘崖)とNo. 21(A=198㎡、山腹斜面)の2つを対象とした。

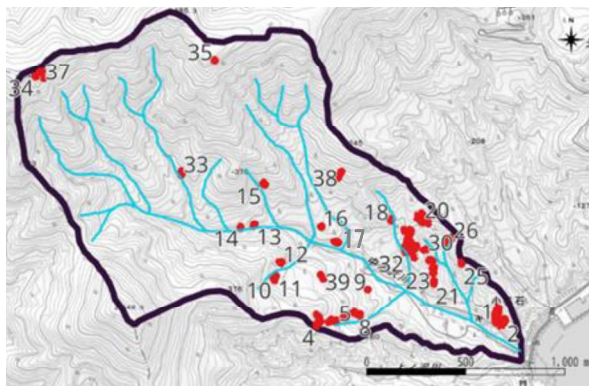


図1 1973年に発生した39箇所の崩壊地

3.3 現地調査内容

2023年10月18日、25日、2024年10月31日、11月21日に当該溪流を対象として調査を行った。初めに崩壊跡地の概観を俯瞰するためにドローン調査を実施したが、周囲の木々により崩壊跡地内を観察することは困難であった。崩壊跡地において土砂が再生産された可能性を確認するために以下の調査を行った。

- ① 崩壊跡地の地形計測と侵食状況等の確認
- ② 中ノ沢砂防ダム堆砂数での礫径調査
- ③ 崩壊跡地の植生調査
- ④ 崩壊跡地の簡易貫入試験

4. 調査結果及び考察

4.1 崩壊跡地の地形計測と侵食状況等の確認

崩壊跡地の概形の把握のため、No. 17、No. 21簡易測量を行い平面図と縦断面図を作成した(図2)。

崩壊跡地内の侵食は、No. 17で侵食深約1m、No. 21で約10cmの流路が確認されたが、著しい侵食は認められていない。また流路沿いではNo. 17で20～30cm、1m程度の礫が存在し、No. 21では礫分は確認できていない。

4.2 中ノ沢砂防ダム堆砂数での礫径調査

表1に礫径調査結果を示すが、堆砂数で比較的新鮮な堆砂地点3地点を選出し各地点で1m×1mのコドラートを組み、その中で大きい礫径から10個礫の2辺(短辺、長辺)を計測し、各地点での平均礫径を算出した。3地点での平均礫径は約12cmである。

前項4.1から崩壊跡地で軽微な侵食がみられる流路沿いの礫径は30cm程度であり、下流の中ノ沢砂防ダム堆砂数で認められた近年堆積した土砂の礫径はそれ以下であることから、崩壊跡地から流出した土砂である可能性は低いと考えられる。

表1 礫径調査結果

調査地点	(cm)			
	A	B	C	平均
中ノ沢砂防ダム堆砂数	14.5	10.5	11.1	12.0

4.3 崩壊跡地の植生調査

崩壊跡地内外の樹木の胸高直径、樹高を計測した。計測結果の平均値を図2の植生調査結果に示す。概観すると崩壊跡地内と崩壊跡地外では樹木の密度や樹高が異なっている状況が認められた。崩壊跡地内は崩壊跡地外に比べて直径は約0.2m、樹高は約3～6m程度小さい結果が得られた。崩壊跡地内では崩壊跡地外に比べて樹木の本数、直径、樹高ともに小さい値であった。考えられる理由として表面の土砂が降雨等によって流出し、種子が定着しにくいため50年経過した今も植生が回復していないと考えられる。

4.4 崩壊跡地の簡易貫入試験

簡易貫入試験を縦断測線に沿って地形変化のある地点で行った。図2に簡易貫入試験結果を示す。簡易貫入試験と崩壊の可能性についての既存研究³⁾より表層崩壊のしやすい土層は $N_c=10$ 程度のものが多いとされており、これを参考に $N_c=10$ 未満の土層を周囲に比べてゆくと、今後侵食を受けやすい土層と判断した。簡易貫入試験の結果より崩壊跡地内の $N_c<10$ の範囲は各測点でばらつきがあるものの、No. 17は最大で120cm(Pt. 5)、No. 21は最大で110cm(Pt. 3)であった。このことから1973年の崩壊後もその跡地には侵食されうる土層が存在していることが明らかとなった。

No. 17の簡易貫入試験結果においてPt. 5~Pt. 6はPt. 5の周辺で3回、Pt. 6の周辺で5回簡易貫入試験を行ったが貫入する箇所と貫入しにくい箇所が存在した。このことからPt. 5とPt. 6の地盤内には礫が存在する可能性がある。具体的には、礫が土層内に混在することで、ロッドが礫あたり貫入しないことがあることから今回複数回の実施に至った理由として考えられる。 N_c 値が低い土層内にある礫は1973年に崩壊したときに崩壊地上方から傾斜がゆるい斜面に堆積した崩壊残土と推定される。すなわち1973年の崩壊した際に崩壊地から流出した土砂はすべて下流に流出せずに、一部崩壊地内に堆積した可能性が高い。

No. 21の崩壊跡地では崩壊面と崩壊しなかった面の比高は100cm未満であり、崩壊跡地内の土層が粘性土を主体としている、崩壊跡地脚部に周長2m以上の樹木が崩壊土の影響を受けずに存在していることが確認された。このことから、当時の崩壊は小規模であり、崩壊土が流出した際の衝撃が小さかったものと推定される。

以上のことから今回サンプリング調査した2箇所の崩壊跡地における調査結果からは、No. 17とNo. 21はともに表層

に今後流出する可能性のあるゆるい土層が1m前後確認された。

5. 結論

本研究では中ノ沢砂防ダムの堆砂変化を踏まえ約50年前に発生した崩壊地から土砂が再生産された可能性があるかを調査した。2箇所の崩壊跡地における調査結果から、いずれも深さ約1mの不安定な土層の存在が確認できたものの、現時点では著しい侵食は認められなかった。このことから調査した崩壊跡地からは中ノ沢砂防ダムを満砂にするような土砂移動は確認されていない。中流域に位置するNo. 17の崩壊跡地が隣接する溪流では近年の土砂移動の様相は不明瞭であるが、満砂後に新たな崩壊地が確認されていないこと²⁾、未調査の崩壊跡地もしくは溪流内の土砂移動の可能性について検討を進めたい。

謝辞 本研究の実施にあたり知内町役場、小谷石町内会、(株)東鵬開発の協力を得ました。ここに記して関係各位へ感謝申し上げます。また、本研究は令和5年度卒業の豊原怜旺氏の卒業研究成果をベースに検討を進めたものである。

引用文献 1) 知内町: こたにいし 昭和48年9月24日災害の記録 2) 厚井高志: 中長期時間スケールを対象とした流域貯留土砂の移動実態とその把握手法 (2021) 3) 国土技術政策総合研究所: 簡易貫入試験を用いた崩壊の恐れのある層厚の推定に関する研究 (2005)

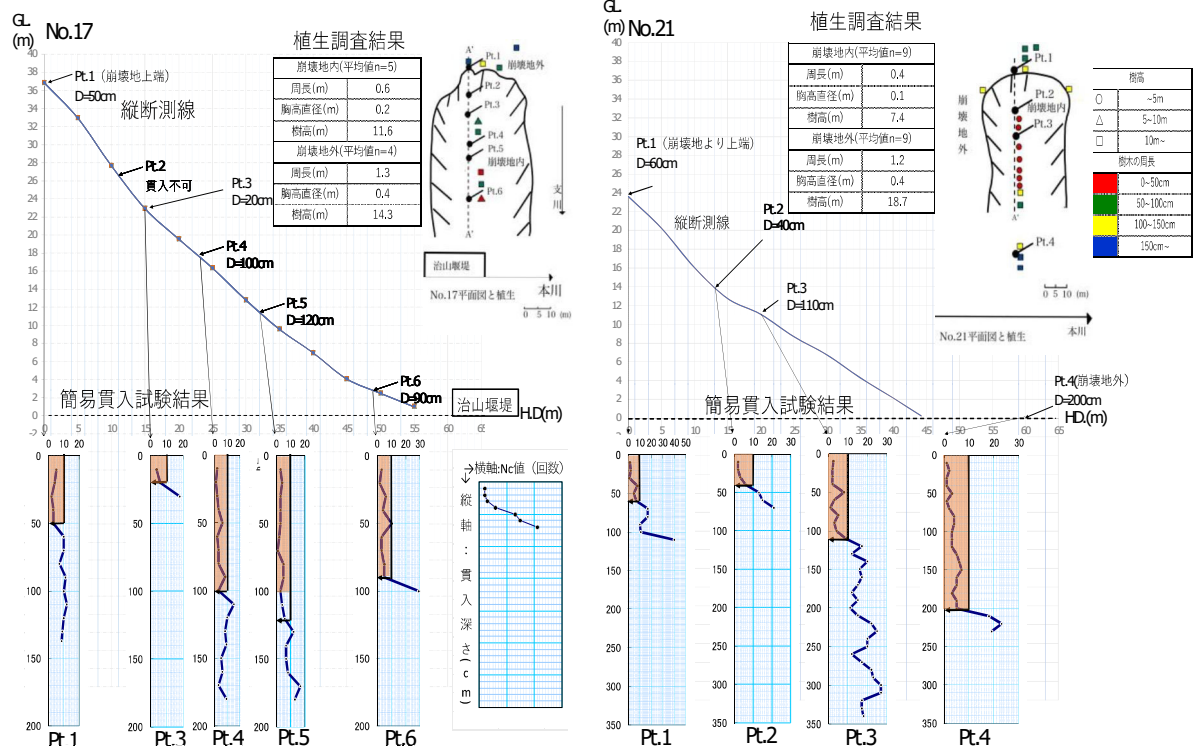
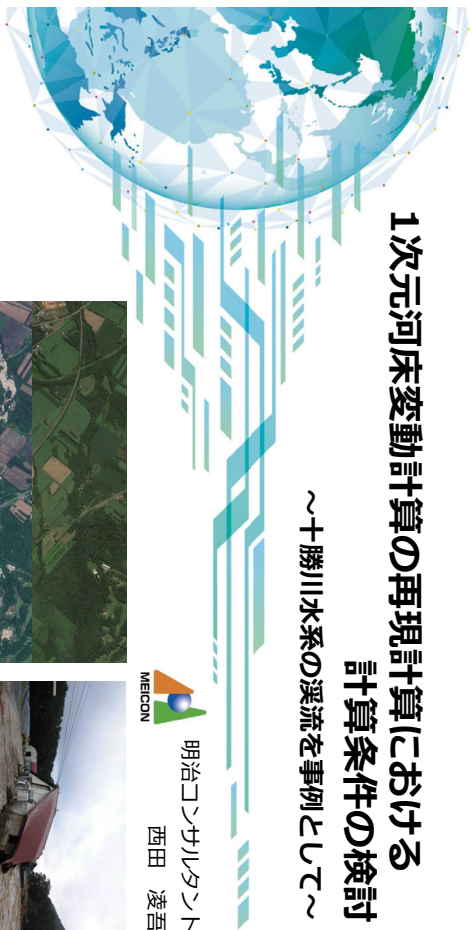


図2 No. 17(左)とNo. 21(右)の平面図と縦断図

1次元河床変動計算の再現計算における 計算条件の検討

～十勝川水系の溪流を事例として～



明治コンサルタント
西田 凌吾

1. 1次元河床変動計算の課題

■1次元河床変動計算の共通課題

- ・ 1次元河床変動計算では、河道横断形状を矩形に近似させ、縦断方向の流砂量の変化のみによって長方形の底面が上下に平均移動して河床変動を再現する。
- ・ 実際の河川では、侵食・堆積といった縦断方向の変化のみではなく、砂州の形成や流路の蛇行に伴う沿岸侵食といった横断方向の土砂移動も生じている。
- ・ 1次元河床変動計算では、横断方向の土砂移動によって生じる河床変動は表現が困難。

本事例では、

横断方向の土砂移動を、特に沿岸侵食（流路変動）に伴う河床変動に着目し、1次元河床変動計算で再現する手法について紹介する。

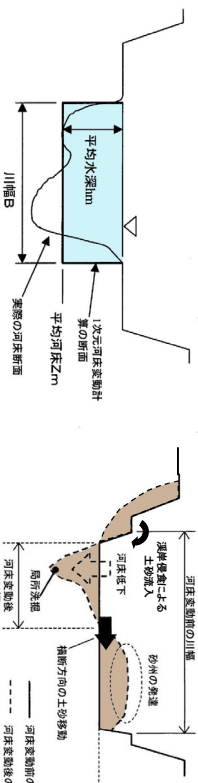


図1.1次元河床変動計算における断面設定

図2.横断方向の土砂移動による河床変動（湾曲部の例）

出處：国総研資料第69号「土砂動態予測のための河床変動モデルの改良―一般河川を事例として―」（加藤）

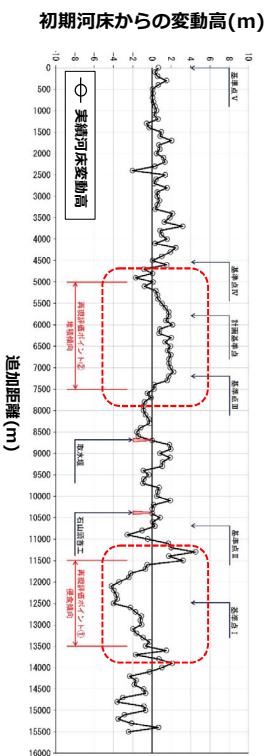
明治コンサルタント

Copyright © Meiiji Consultant Co., Ltd. All Rights Reserved.

3.1 対象溪流における1次元河床変動計算

■河道モデルの作成

- ・ 地形データや土砂移動実態調査から対象溪流の河道モデルおよび実績の変動高を設定。



再現性の評価ポイント

- 評価ポイント①：上流域（11500～13500）の**侵食傾向**
- 評価ポイント②：下流域（5000～7500）の**堆積傾向**

本事例では、評価ポイント②（堆積傾向）の再現性の向上について紹介する。

2.2 対象溪流の土砂移動実態

■山区間の土砂移動

- ・ 本川源頭及び支川の源頭付近で山腹崩壊等にもともない発生した土石流が発達し、渓床を侵食しながら流下した。
- ・ 渓流内に砂防施設は整備されていなかったため、土石流は捕捉されず、そのまま下流まで流下した。

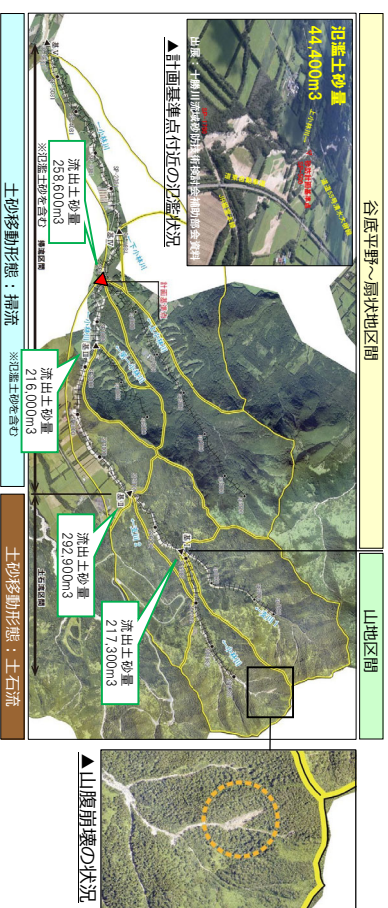


図4.土砂の流出状況（土砂動態）

明治コンサルタント

Copyright © Meiiji Consultant Co., Ltd. All Rights Reserved.

明治コンサルタント

Copyright © Meiiji Consultant Co., Ltd. All Rights Reserved.

3.2 Case1 : レジューム則の係数 α の変更

■レジューム則の係数 α の変更

・丹羽らは、流れ幅の評価をするレジューム則の係数 α は、流れの状態によって空間的に変化すると考え、任意断面の係数を α_{cs} として評価した。

●レジューム則

$$B_{flow} = \alpha \sqrt{Q} \quad \alpha_{cs} = \frac{\alpha \sqrt{Q/n_{ave}} \times n_{ave}}{\sqrt{Q} \quad n_{ave} = \frac{n_{max} + 1}{2}}$$

n_{ave} : 流れの標準的な本数

出典：砂防学会誌 Vol.70 No.6 p.34-35, 2018 丹羽ら「大規模土砂生産後の土砂流出を対象とした河床変動計画における流れ幅の設定の影響」

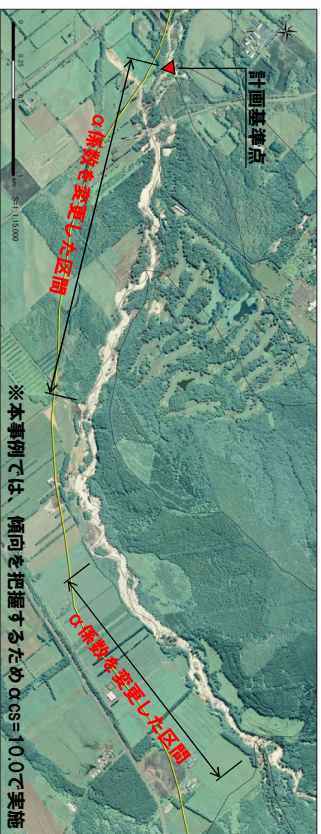


図11.任意断面の α 係数を変更した区間

3.3 Case2 : 残流域から土砂投入

■土砂を投入する残流域および投入土砂量

●投入土砂量

$$G_h = \frac{A_h}{\cos \theta} \cdot h \cdot (1 - \gamma)$$

G_h : 発生土砂量 A_h : 崩壊地面積

h : 平均崩壊深 (2.1m)

γ : 平均残土率 (11.9%)

θ : 平均崩壊斜面の配 (46°)

※各数値はベネッセ川より参照

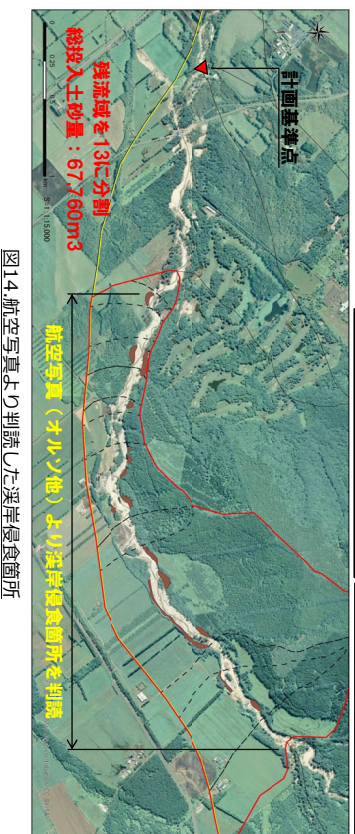
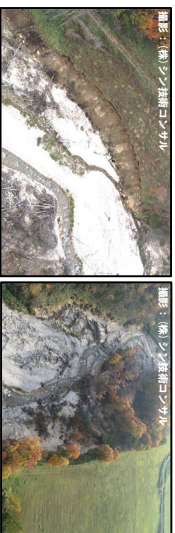


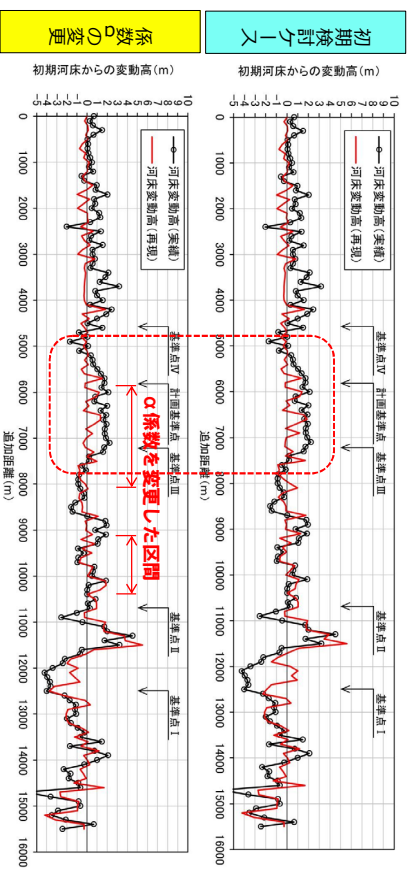
図14.航空写真より判読した沿岸侵食箇所

3.2 Case1 : レジューム則の係数 α の変更

■レジューム則の係数 α を変更した計算結果の比較

・若干の再現性の改善はみられるものの、堆積傾向を再現できていないと言いたい。

↓ 対象深流では、再現性の向上の検討において、レジューム則の係数 α の変更は適応しなかった。

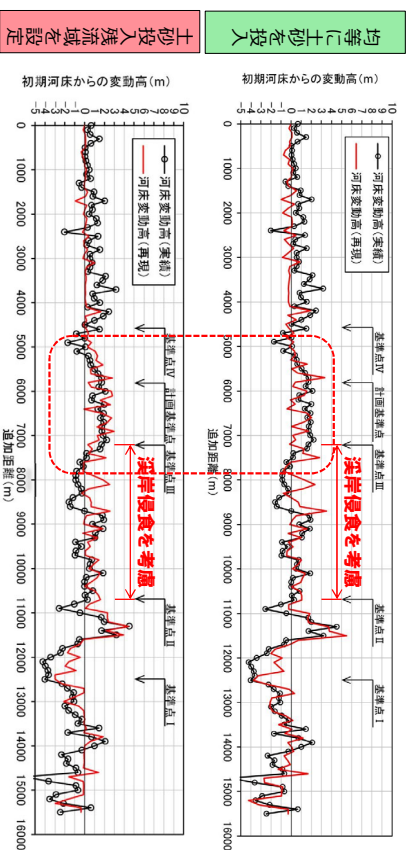


3.3 Case2 : 残流域から土砂投入

■残流域に沿岸侵食土砂量を考慮した場合の結果の再現に近づいた。

・堆積区間に変化がみられ、実績の河床変動高の再現に近づいた。

↓ 沿岸侵食土砂量を考慮した場合は、通過土砂量および河床変動高に再現性の向上することがみとれる。



地震時の滑動型表層崩壊の長距離移動に影響する動摩擦係数の評価

○山田孝・竹中源弥・笠井美青

2018 年の北海道胆振東部地震により、厚真町では、緩勾配斜面において多くの滑動型表層崩壊が発生し、甚大な土砂災害をもたらした。本論では、滑動型崩壊とは、特定の地質境界付近から上位の斜面土層が滑動し始め、崩土がほとんど攪乱せずに滑動・堆積したものと定義する。従来の崩壊地形の分類（Varnes,1978）の Translational Landslide のカテゴリー内の block slide に相当する。

滑動型崩壊とその崩土の運動の特徴としては、テフラ構成斜面で発生したこと、勾配 20° 未満の緩勾配斜面においても崩壊していること、短時間で崩土が長距離移動したことが挙げられる。特に、崩土は、現行の豪雨による斜面崩壊を対象とした土砂災害警戒区域を大幅に超過して移動した事例が多い。なぜ緩勾配斜面でも崩壊が発生したのか、崩土が長距離移動できたのかについて、私見を述べたい。

崩土が不攪乱状態を保持したまま、変形せずに剛体としてすべり面と斜面下部の区域を滑動する場合は、動摩擦係数が重要なパラメーターになる。筆者らは、厚真町東和地区などでの現地調査によって崩壊形態とすべり面を推察し、発災直後の現地踏査での様々な報告や土質試験の結果から、すべり面近傍での液状化発生を想定し、内部摩擦角 ϕ を 0 とすれば、安全率が 1 を下回り、崩壊する計算結果を得た。さらに地震時せん断を模擬した振動実験での観察結果から、せん断面直上位層の境界近傍のみで液状化の状態が発生・継続することが想定された。崩壊プロセスにおいても、通常の斜面安定解析で想定する「せん断面直上位層内で間隙水圧が上昇して有効応力が低下する」ことが支配的な要因ではないように考えられた。以上の予察を踏まえ、地震動によってすべり面境界付近

が液状化し、大きな地震動の後の継続時間の長い中・小地震動の継続によってその状態が維持されるために動摩擦係数が急減し、結果、崩土は長距離移動できると考えた。

そこで、地震動により滑動表面が液状化した状態を、小型振動台を用いて室内で再現した。次いで、土塊(恵庭火山灰 En-a 不攪乱ブロック)の引張実験を実施し、土塊底面と滑動表面との動摩擦係数の変化を計測し、厚真町東和地区などでの滑動型表層崩壊現場から得られた等価摩擦係数(見かけの動摩擦係数)との比較を行った。振動を開始すると、まず土塊の表面と底面の近傍部分に水が移動して高含水帯を形成し、次第に高含水帯は厚みを増し、水膜を形成した。加振終了後に土塊を観察すると、表面近傍部分のみが泥濁化した泥水膜の状態であることが確認された。このことから、土塊表面および底面近傍に発生する水膜・泥水膜が土塊とすべり面との接触面に介在することで摩擦抵抗(静摩擦)が低下し、崩壊に至ったと考えられる。地震中の崩壊の発生タイミングについての現地情報はないが、大きな地震動の時に崩壊土層の初期せん断が生じて土層が滑動を開始したとも想像できる。地震動による非排水条件での繰返しせん断によって土層の間隙水圧が上昇し、有効応力が低下することで、土層全体のせん断抵抗力が低下した結果、崩壊に至るという従来の崩壊プロセスとは異なる可能性が想定される。

次に、振動台上に木製流路(幅 100mm×長さ 600mm)を設置し、その流路床に泥水膜を散布した(摩擦工学で援用されるストラインバック曲線が示す「流体潤滑状態」を再現した)。等速運動中の土塊の引張力と垂直荷重との比から摩擦係数を算出した。結果、含水比、振動加速度のいずれの増加に伴い、摩擦係数は減少する傾向が認められ

た。地震動により高含水テフラ層内の間隙水の一部が表面・底面近傍に排水され、泥水膜の存在により、すべり面境界の動摩擦係数が低下すること、さらには、泥水膜の含水比が高いほど、振動加速度が大きいほど動摩擦係数は減少することも確認された(図-1)。

等価摩擦係数とみかけの動摩擦係数は力学的に等しいことから、本実験で得られた泥水膜存在時の動摩擦係数をみかけの動摩擦係数とみなした場合、含水比 50%かつ振動加速度 400~500gal、含水比 100%かつ振動加速度 300~400gal の場合に厚真町東和地区での滑動型表層崩壊の等価摩擦係数 0.18 に近い動摩擦係数となる(図-1)。これらの結果から、滑動型表層崩壊については、崩土のすべり面境界付近の高含水テフラ層境界近傍に地震動によって泥水膜が生成され、地震加速度最大値以降、加速度 500gal 未満の中・小地震動が継続することで泥水膜状態が維持されて動摩擦係数が減少し、結果、崩土が長距離移動できることが示唆された。崩土の長距離移動に関わる要因として、力学的エネルギー的観点からは、崩土が滑動を開始する際に地震動によって初速が与えられることや、崩壊・滑動区間から流下・堆積区間へ移行する際の勾配変化が緩やかであることが、崩土が地面に衝突する際の運動エネルギー損失が抑えられることも考えられる。継続的な中・小地震動によるシアニング現象によって泥水膜の粘度が低下し、その粘性抵抗が減少することにも着目できる。崩土の滑動中に、滑動による振動を崩土は受けるが、地震誘因の場合はさらに継続的に中・小地震動を受ける。この中・小地震動によって、泥水膜内土粒子の分散状態が維持される(土粒子骨格が破壊された状態)と想像できる。水膜・泥水膜に混入するのは細粒土であるため、泥水膜は微粒子懸濁液となり、そのような擬塑性流体は繰返しせん断によって粘度が低下するシアニング現象により、速度と荷重が変化しなければ、ストラインベック曲線で定義されるように摩擦係数が減少すると考えられる。

以上を総括すると、**地震動によってすべり面境界付近が液状化して水膜、泥水膜が形成され、さらに大きな地震加速度の後の継続時間の長い中・小地震動の継続によって滑動時の泥水膜内土粒子の分散状態が維持されるために動摩擦係数が減少し、結果、崩土は長距離移動できると考えられる。**

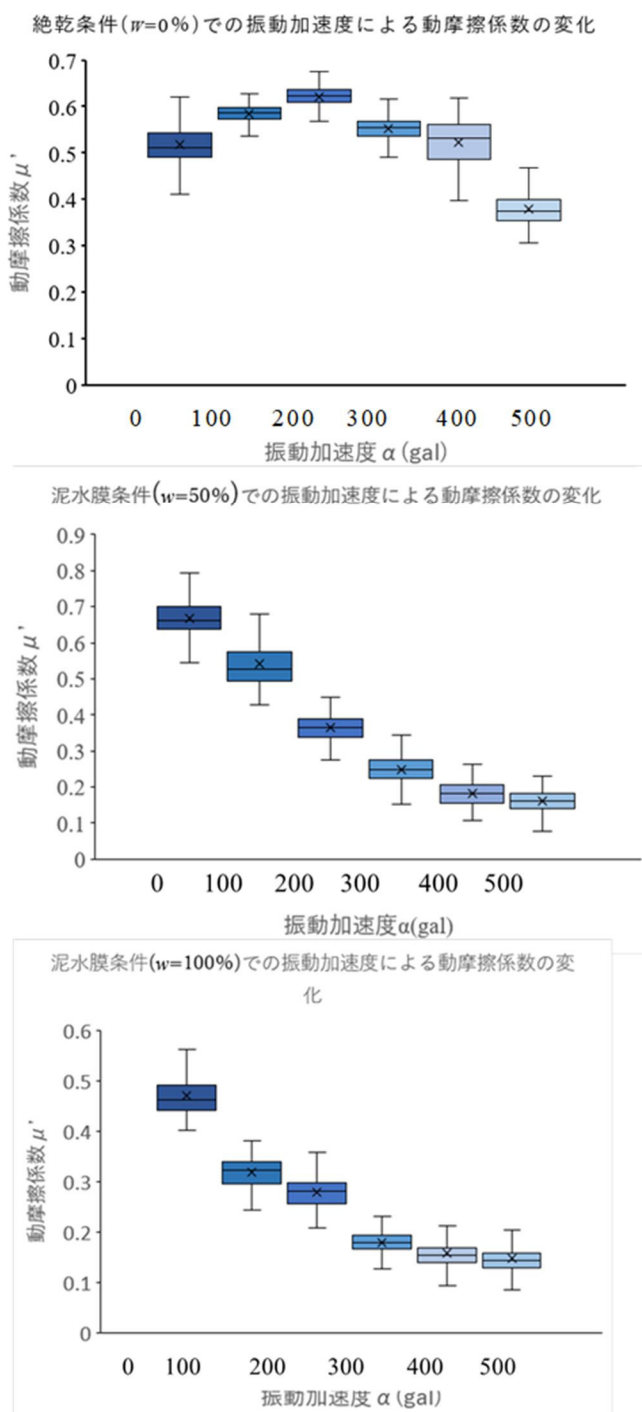


図-1 土塊引張実験で得られた振動加速度と動摩擦係数との関係