

第2回

応用斜面工学シンポジウム論文集

斜面安定工及びその関連施設の建設と
維持管理・強化に関する技術

2024年1月19日（金）

常盤工業会館

主催

特定非営利活動法人応用斜面工学研究会

後援

国土交通省中国地方整備局

（公社）日本技術士会山口県支部

（公社）地盤工学会中国支部

（一社）日本応用地質学会中国四国支部



緒 言

特定非営利活動法人 応用斜面工学研究会は 2020 年 4 月に設立し、今年度（2023 年度）に 4 年目を迎えました。この間、会員の皆様には格別のご高配を賜り、厚く御礼を申し上げます。

さて、この数年間を振り返りますと、新型コロナウイルス感染症が拡大するなか、各地において記録的豪雨が発生し、山間部では人的被害をもたらした斜面災害が多発しました。このような災害を引き起こすレベルの豪雨の発生は地球温暖化の影響によるものと考えられ、大気中の炭素量が増大し続けるサイクルから一刻も早く脱し、グローバルで持続可能な社会・経済モデルを構築することが求められています。また、直面する災害に対応する技術力の高度化とそれを担う人材確保が急務であると思われま

す。このような現状認識のもと、斜面工学分野においても、想定外の豪雨や大規模地震が引き起こす斜面災害に対して、その原因やメカニズムの究明、対策技術の改良・開発が行われています。しかしながら、豪雨や地震は想像以上の頻度と強度で発生しており、それに対処するには、より速く・より効果的な対策を講じていく必要があります。また、今日までに整備されてきた社会インフラは老朽化による劣化が進行し、点検・補修・更新が待ったなしの状況にあります。当研究会は、これらの問題に対して、既存技術の改良・転用や組合せ応用によって、現場にマッチした新しい技術・工法を創出し、社会へ普及させることが早道であると考えています。また、その過程で技術者人材の掘り起こしと育成を行うことが重要であると考えています。

そこで、当研究会は、その設立趣旨に則り、技術者の立場で遭遇した様々な課題を他者と共有し、解決の方策を探る場として応用斜面工学シンポジウムを定期的に開催することにしてしています。本シンポジウムでは、現場重視の技術成果を積極的に取り上げること、技術者同士で知見・技術の継承を図ることを第一の目的としています。

今回のシンポジウムでは、株式会社第一コンサルタンツ・右城 猛氏に『落石対策技術に魅せられてー半世紀の技術者人生ー』という題目で特別講演をいただきます。この特別講演は、先達の技術者から自己研鑽の在り方を学ぶことを目的として第 1 回シンポジウムから開催しています。技術者にとって、理論だけでなく経験から得られた知見を、独自の切り口で整理・体系化することの大切さ・面白さを学べる機会になると思います。

また、今回のシンポジウムでは計 22 編の論文が投稿・発表されました。投稿論文に対しては、技術士、博士あるいは高度な専門知識を有す技術者・研究者が、読みやすさ、分かりやすさに重点を置いて全文査読し、原稿の質の向上を目指しました。ただし、技術内容のディスカッションについては、シン

ポジウムでの発表後の質疑応答に委ねております。

著者の多くが、原稿の執筆から査読対応を経て発表・質疑応答に至る過程で、ふだんの業務にはない困難さや苦勞を感じられたと思います。その一方で、新たな発見や思わぬ誤りに気付かれたかもしれません。このように実務経験を客観的に振り返るプロセスが社会インフラ整備の一翼を担う技術者の技術力の向上と誇りの醸成に資すると信じています。

今後も、このシンポジウムを継続して開催するよう尽力する所存ですが、あわせて、皆様には更なるご協力をいただけますと幸甚に存じます。

なお、本シンポジウムは国土交通省中国地方整備局、公益社団法人日本技術士会山口県支部、公益社団法人地盤工学会中国支部、一般社団法人日本応用地質学会中国四国支部に後援をいただきました。また、アクア・コントロール株式会社、アジア航測株式会社、株式会社荒谷建設コンサルタント、宇部興産コンサルタント株式会社、株式会社エイト日本技術開発、基礎地盤コンサルタンツ株式会社、極東興和株式会社、株式会社ケイズラブ、ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社、大日本ダイヤコンサルタント株式会社、株式会社東建ジオテック、東電設計株式会社、ドボクリエイト株式会社、日特建設株式会社、ヒロセ補強土株式会社、株式会社山口建設コンサルタントの各社（以上、五十音順）に協賛いただきました。当日運営では地域レジリエンス研究センター・山本裕子氏、山口大学鈴木素之研究室学生諸君に協力いただきました。末筆ながら、ここに記して謝意を表します。

本シンポジウム論文集が、ご覧になる皆様にとって有益な情報源になることを願って、筆を擱きます。

2024年1月19日
特定非営利活動法人 応用斜面工学研究会
理事長 鈴木 素之
(山口大学教授)

シンポジウム実行及び運営技術委員会

- 実行委員長・運営技術委員長 鈴木 素之（山口大学）
副実行委員長・副運営技術委員長 河内 義文（株式会社ケイズラブ）
実行委員 北村 晴夫（株式会社アクア・コントロール）
実行委員 今野 良治（株式会社山口建設コンサルタント）
実行委員 森岡 研三（宇部興産コンサルタント株式会社）
実行委員 小西 純一（サンコーコンサルタント株式会社）
運営技術委員 石丸 太一（東京理科大学）
運営技術委員 神山 惇（宮崎大学）
運営技術委員 小松 晃二（株式会社ケーティービー）
運営技術委員 佐原 邦朋（ヒロセ補強土株式会社）
運営技術委員 志村 直紀（ヒロセ補強土株式会社）
運営技術委員 田口 岳志（秋田大学）
運営技術委員 徳久 晶（株式会社ケイズラブ）
運営技術委員 野村 英雄（基礎地盤コンサルタンツ株式会社）
運営技術委員 原中 浩二（株式会社山口建設コンサルタント）
運営技術委員 藤本 哲生（大阪工業大学）
運営技術委員 松木 宏彰（復建調査設計株式会社）
運営技術委員 松下 英次（長野工業高等専門学校）
運営技術委員 民部 雅史（サンヨーコンサルタント株式会社）

※ 論文査読は上記の実行委員および運営技術委員で行った

査読に協力いただいた方（敬称略）

- 岩佐 直人（株式会社藤井基礎設計事務所）
上野 将司（応用地質株式会社）
海原 荘一（株式会社エイト日本技術開発）
鏡原 聖史（大日本ダイヤコンサルタント株式会社）
北爪 貴史（東電設計株式会社）
酒井 直樹（国立研究開発法人防災科学技術研究所）
吉川 修一（八千代エンジニアリング株式会社）

シンポジウム準備・運営業務

- 宮本 さやか（応用斜面工学研究会事務局）
王丸 祐佳、植田 翼（山口大学鈴木素之研究室）

目 次

大規模盛土造成地における変動予測調査に関する所感	1
(宇部興産コンサルタント・山縣 宏紀 他)	
古大内湖と活断層を踏まえた流域対策の提案	5
(ケイズラブ・河内 義文 他)	
関門層群地山での切土掘削における斜面の安定性評価への有限差分法解析の適用	11
(ドボクリエイト・森本 真吾 他)	
開発した軽量ボーリングマシンによる高品質コア採取と地すべり面のせん断強度評価	13
(国土防災技術・室伏 文佳 他)	
斜面崩壊と原位置試験結果について～北九州市内の崩壊事例における考察～	17
(福山コンサルタント・岡本 憲治 他)	
ガンロック擁壁の試験施工ならびに動態観測結果	19
(極東興和・三原 孝文 他)	
自然斜面の崩壊を予防する耐震治山工法の効果を伝える～模型実験を用いた取り組み～	23
(大日本ダイヤコンサルタント・鏡原 聖史 他)	
空石積擁壁の表面波探査による危険度評価及び補強工法	27
(太田ジオリサーチ・美馬 健二 他)	
盛土造成地の固有周期に着目した健全性評価手法の確立に向けた基礎的研究	31
(大阪工業大学・藤本 哲生 他)	
『スロープセイバー』の新しい挑戦と技術開発	35
(日特建設・池野 綾)	
航空レーザデータを用いた盛土被災等への対応事例	39
(アジア航測・藤田 安秀 他)	

DEM データ及び GIS を用いた 0 次谷の抽出手法	43
(東電設計・遠藤 秀祐 他)	
GIS を用いた 0 次谷抽出に基づく土砂流動の再現解析	47
(東電設計・関 悠花里 他)	
地盤振動計測による豪雨および土砂流動検知の試み	51
(東電設計・北爪 貴史 他)	
橋台背面アプローチ部における鋼製帯状補強土壁工法の適用に関する研究	55
(ヒロセ補強土・松永 崇史 他)	
傾斜台実験によるパネル式大型ブロック積擁壁における地震時作用力の検討	57
(ヒロセ補強土・Vuong Thanh Tuyen 他)	
GNSS/GPS を用いたクラウド型自動計測システムによる斜面監視	61
(国際航業・馬場 俊行 他)	
細径鋼管挿入による擁壁背面土の補強効果に関する振動台実験	63
(報国エンジニアリング・小川 正宏 他)	
子供の防災意識萌芽と向上に向けた防災授業における「どぼく模型」の効果と課題	67
(藤井基礎設計事務所・岩佐 直人 他)	
加速器質量分析法による放射性炭素年代測定で使用される主な試料タイプの紹介	71
(パレオ・ラボ・加藤 和浩)	
変動斜面における切土時の安定性評価とその対策	73
(荒谷建設コンサルタント・土肥 倖輔 他)	
直轄国道地すべり災害における建設 DX を活用した効率的・効果的な災害復旧対応事例	77
(基礎地盤コンサルタンツ・糸原 浩)	

【特別講演】落石対策技術に魅せられて—半世紀の技術者人生—…………… 81

(第一コンサルタンツ・右城 猛)

大規模盛土造成地における変動予測調査に関する所感

宇部興産コンサルタント株式会社 賛助会員 山縣 宏紀
 宇部興産コンサルタント株式会社 賛助会員 西村 一彰

キーワード：宅地耐震化，大規模盛土造成地，優先度評価

1. はじめに

1995年（平成7年）の兵庫県南部地震や2004年（平成16年）の新潟県中越地震等において、大規模に谷を埋めた盛土造成地での滑動崩落による被害が多数発生した。これを受けて国土交通省は、2006年（平成18年）4月に、宅地の滑動崩落等による被害を防止するため、「宅地耐震化推進事業」を創設した。また、大地震等により滑動崩落等のおそれがある大規模盛土造成地の抽出や、安全性把握のための調査等「変動予測調査」および対策事業を支援するため、2015年（平成27年）5月に「大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン」(以下、『ガイドライン』と記載する)をとりまとめた。これ以降、各市町村による変動予測調査が推進されている。

著者らも、山口県内の各市町を対象に変動予測調査を実施した。今回、ガイドラインに基づき優先度評価を行ったが、地表変状を重視する結果となり、大地震時の滑動崩落の重要な要因と考える盛土材料や地下水の状況が優先度評価にあまり関わっておらず、違和感があった。今回、業務を実施した際の所感についてここに紹介する。

2. 大規模盛土造成地と変動予測調査について

(1) 大規模盛土造成地について

大規模盛土造成地とは、宅地造成等を目的とした盛土造成地のうち、以下のいずれかの要件を満たすものと定義されている。

- ・盛土の面積が3,000平方メートル以上
 (=谷埋め型大規模盛土造成地)
- ・盛土をする前の地盤面(=原地盤面)の水平面に対する角度が20度以上で、かつ、盛土の高さが5メートル以上
 (=腹付け型大規模盛土造成地)

(2) 変動予測調査について

変動予測調査の作業フローを図-1に示す。今回の対象業務は「第二次スクリーニング計画の作成」である。当該業務は、第一次スクリーニングで抽出された大規模盛土造成地に対して、基礎資料整理および現地踏査の結果より、第二次スクリーニングを実施する優先度を判定し、それらの結果を宅地カルテ等にとりまとめるものである。

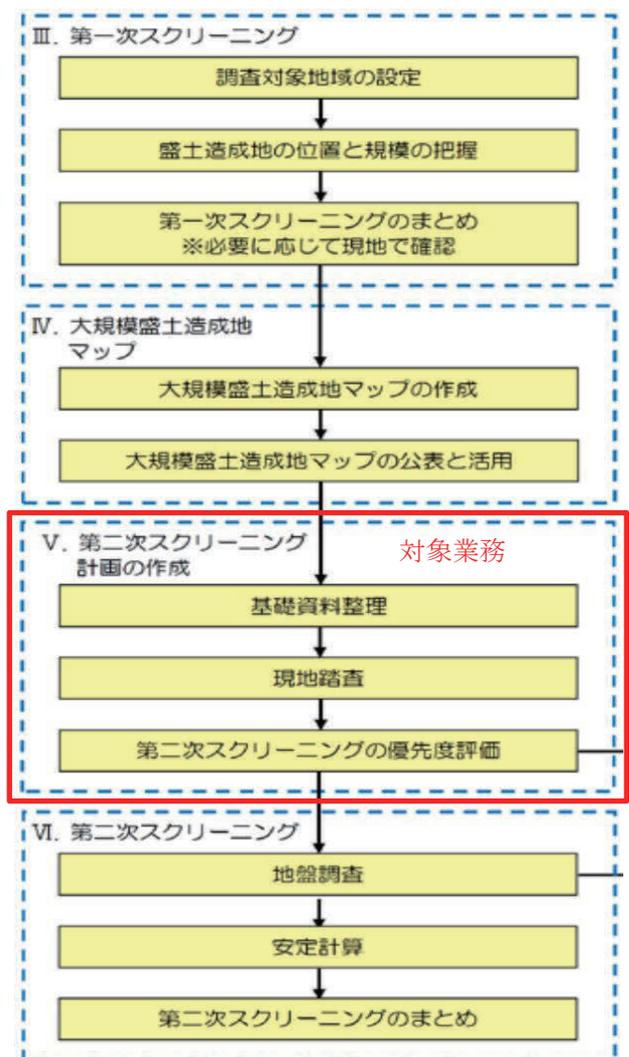


図-1 変動予測調査の流れ(ガイドラインより一部抜粋)

3. ガイドラインによる優先度評価

第二次スクリーニングの相対的な優先度は、図-2に示すガイドラインの優先度評価フローに従った。また、当図には山口県内のある市町における大規模盛土造成地（全 65 箇所）の判定箇所数を併記した。評価の結果、優先度が高い A ランクに該当した箇所は 47 箇所（全体の 72%）と相当数に上る結果となった。各判定項目における特徴は、以下のとおりまとめられる。

- ・盛土および擁壁が標準的な形状と構造に該当しない箇所が 15 箇所（全体の 23%）である。
- ・宅地地盤、擁壁、のり面の変状有りは 41 箇所

（全体の 63%）である。

- ・大地震等による液状化や活動崩落の重要な要因と考えられる「③地下水の有無」や「④盛土下の不安定な土層の有無」で「有、もしくは可能性有」と判定されたことにより優先度が高くなった箇所は、24 箇所のうち 4 箇所である。

なお、ランク A の A1 が最も優先度が高いグループというわけではない点に留意する必要がある。例えば、A4 グループに分類された盛土造成地においても、「地盤変状有り」かつ「地下水有り」かつ「盛土下に不安定な土層有り」など、危険要因が複合的に存在する場合は、第二次スクリーニングの優先度は高いと判断される。

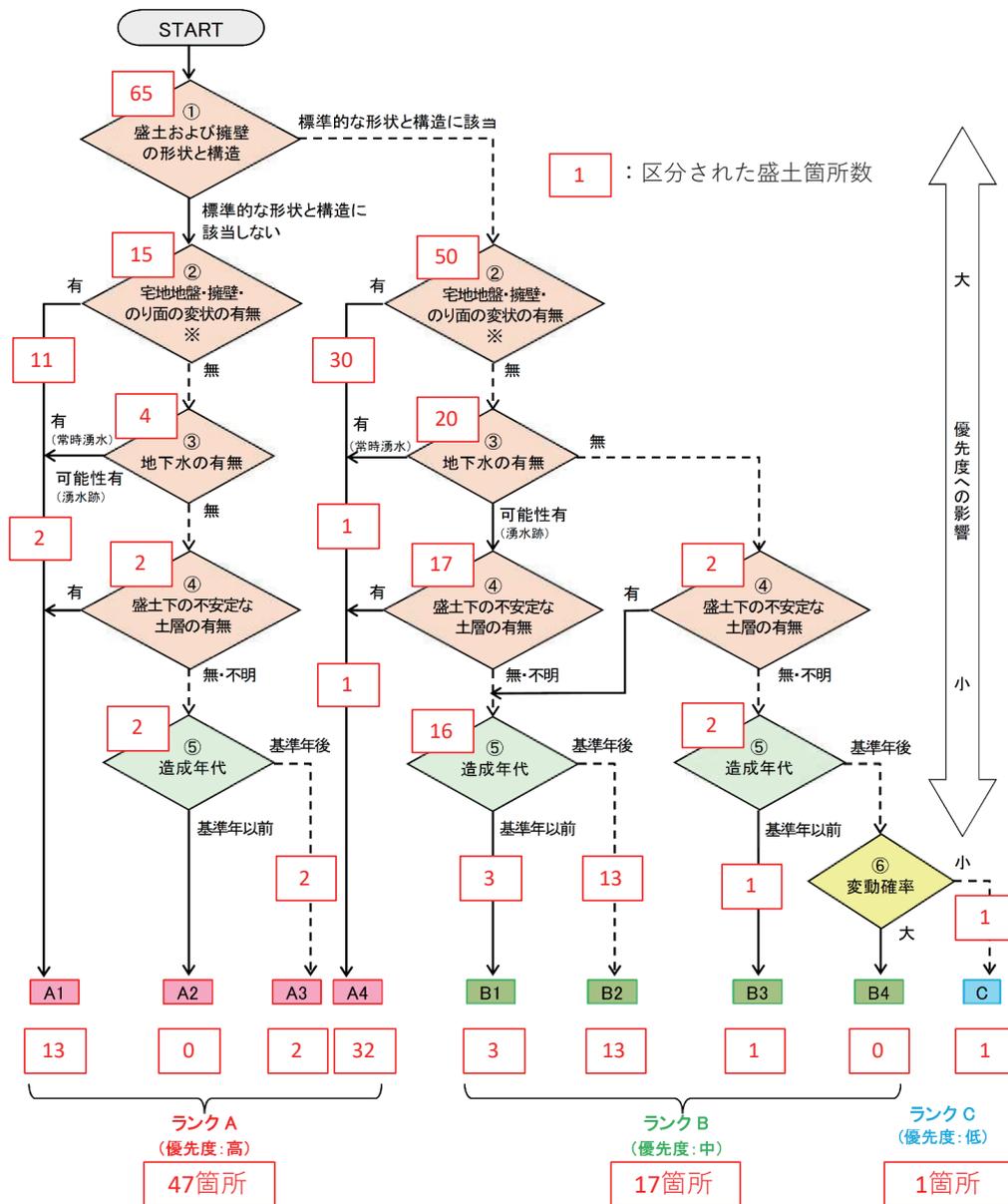


図-2 ガイドラインにおける優先度の評価フロー

ここで、優先度評価フローの上位判定項目である「盛土および擁壁の形状と構造」や、「宅地地盤・擁壁・のり面の変状の有無」について、現地調査により以上が確認された一例を紹介する。

(1) 標準的な形状と構造に該当しない盛土・擁壁

写真-1は、ブロック積み擁壁の上にブロック塀を増し積みして盛土が行われている「増積み擁壁」であり、宅地造成等規制法等の技術的基準に適合しない、いわゆる不適合擁壁である。不適合擁壁は、優先度評価フローの造成年代基準年より古い宅地造成地の中間部ひな壇で多く確認された。なお、基準年は、宅地造成に関する工事の許可や開発許可の審査を開始した1970年代（昭和45～54年）である。

写真-2は、のり高約8m程度で小段が設置されていない盛土のり面である。このような小段が設置されていない法面では、表流水の浸食によるものと推定される、小規模な表層崩壊がのり尻部に集中している。



写真-1 標準的な構造に該当しない擁壁（増積み擁壁）



写真-2 小段が設置されていない盛土のり面

(2) 宅地地盤・擁壁の変状

写真-3は、盛土上部の平坦地に位置する建屋周囲のアスファルトが沈下している事例である。建屋は杭基礎により施工されており沈下していないが、周辺の宅地地盤は全体に沈下している。沈下原因は、盛土の締固め不足や、既往地質調査結果資料より確認された盛土下の不安定土層（軟弱層）の分布による圧密沈下と推定される。

写真-4は、盛土末端に位置する上段と下段のブロック積み擁壁が近接して設置された2段擁壁のうち、下段の擁壁で確認された水平方向開口亀裂である。当亀裂の開口幅は、接着補修部分を含め40mm程度と大きな変状である。上段の擁壁の根入れ深さや各擁壁背面の土質が不明であるが、下段の擁壁に設計以上の積載荷重がかかっていることが原因と考えられる。なお、グラウンドアンカー工による補強対策により、変状の進行は沈静化しているように見受けられるが、無対策であれば大地震時に擁壁が倒壊もしくは崩壊する危険性が高いと判断される擁壁である。



写真-3 宅地地盤の沈下



写真-4 ブロック積擁壁の水平亀裂

4. 早期に第二次スクリーニングを実施すべき盛土の選定について

ガイドラインの優先度評価における A ランクは、第二次スクリーニングを実施すべき対象箇所である。しかしながら、第二次スクリーニングでは、ボーリングなどの地盤調査と安定計算を要するため、盛土が多い場合に長い期間と多大な費用を要する。このため、早期に第二次スクリーニングを実施すべき優先度の高い盛土を効率的に選定するため、国土交通省により図-4 に示す新たな考え方が示されている。

新たな考え方がガイドラインと異なる点は、面的に連続した滑動ブロックの移動を示唆する変状「滑動崩落を示唆する変状」と、常時湧水・滲水が認められることを条件に、スクリーポイント試験等の簡易地盤調査結果より「地下水位および盛土が脆弱か否か」により判断されることである。

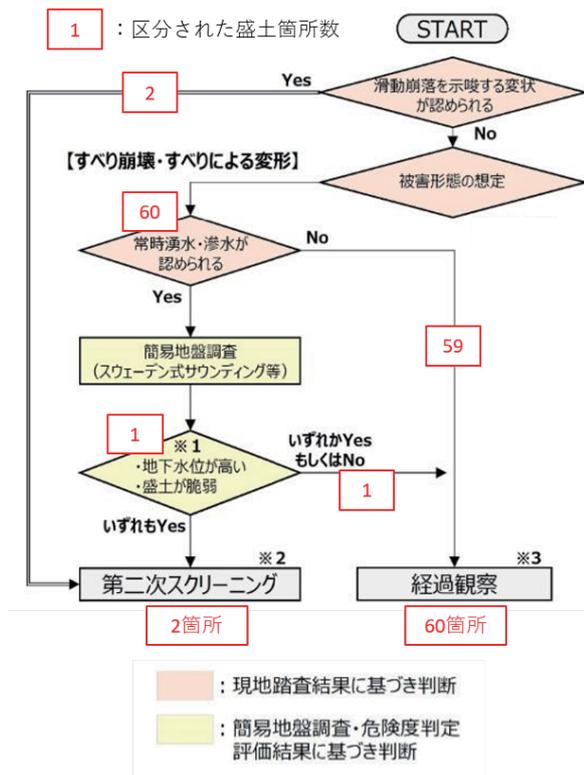


図-4 早期に第二次スクリーニングを実施すべき優先度の高い盛土を選定するフロー（フローより一部抜粋）

対象業務の大規模盛土造成地(全 65 箇所)のうち、被害形態が「すべり崩壊・すべりによる変形」に該当する 62 箇所について、図-4 の各要因で判定された盛土箇所数を併記した。評価の結果、滑動崩落を示唆する変状により早期に第二次スクリーニングを実施すべき盛土は 2 箇所となった。また、それ以外

の 60 箇所のうち、簡易地盤調査結果により判断をした盛土は 1 箇所に留まった。

5. おわりに

ガイドラインによる優先度評価の結果、第二次スクリーニングを実施すべき大規模盛土造成地は全 65 箇所の内、47 箇所であった。しかしながら、新たな考え方による「早期に第二次スクリーニングを実施すべき優先度の高い盛土」は 2 箇所となった。また、大地震時における盛土の安定性を評価する上で、地盤調査による地下水や地盤状況の把握が重要と考えられる。しかし、ガイドラインでは基礎資料調査および現地調査結果のみでの評価であり、新たな考え方では簡易地盤調査が追加されたものの、調査の実施に至った盛土は 1 箇所であった。

現況の評価および選定フローは、第二次スクリーニングを優先すべき箇所を効率的かつ客観的に判断する手法としては優れているものの、盛土材料や地下水の状況を確認するための地盤調査も併せるべきではないかと感じた。なお、2023 年 5 月 17 日に「第 6 回盛土等防災対策検討会」が開催され、盛土規制法に関する新たな指標も公表されている。今後も、検討会等の新たな動向を注視しながら、大規模盛土造成地の滑動崩落対策を推進する必要がある。

謝辞：写真使用許可を出してくださった担当者，論文執筆にあたり添削をしてくださった方々，大変お世話になりました。ありがとうございました。

参考文献

- 1) 国土交通省：大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説，国土交通省ホームページ，2015.
- 2) 国土交通省：「早期に第二次スクリーニングを実施すべき盛土の考え方」の解説，<https://www.mlit.go.jp/toshi/content/001397826.pdf>，(2023. 11.23 参照).

(2023. 11. 30 受付)

[著者代表連絡先]

山縣 宏紀 (宇部興産コンサルタント株式会社)
 電話: 0836-44-1452
 E-mail: yamagata@ube-ic.co.jp

古大内湖と活断層を踏まえた流域対策の提案

株式会社ケイズラブ 正会員 河内 義文
株式会社 NTO 堀田 政則

キーワード：活断層，河川争奪，瀬戸内面隆起

1. はじめに

近年の豪雨により梅雨期や台風により避難情報が頻発される傾向にある。山口県山口市においても AMeDAS 山口観測所で 2023 年 6 月 30 日 208.5 mm，7 月 1 日 86.5 mm の日雨量を観測し，榎野川，仁保川周辺で溢水被害が発生した。この山口市の市街部を占める山口盆地内では，近年では 2009 年 7 月 21 日の中国・九州北部豪雨，2013 年 7 月 23 日の島根県と山口県の大雨において同様な溢水被害が生じており，2020 年 7 月 14 日には，仁保川の固定堰が決壊する被害も生じている。その前後に河川浚渫，排水ポンプ場の建設などの対策が実施されているが，2023 年の災害では排水機場の不具合などソフト面の問題点も指摘されている。

この盆地内の河川は，北東～南西に瀬戸内海の山口湾に流下する榎野川が本流で，支流として仁保川，問田川，一の坂川，吉敷川が合流するが，図-1 に示すように，仁保川，問田川，一の坂川の 3 河川はほぼ同じ位置で榎野川本流に合流している。表-1 に示すように本流の榎野川より東側から合流する支流の仁保川の方が河川長も長く流域面積が広いという特徴を持ち，流量は明らかに多く，合流部近くの河川勾配も緩いので降雨の状況によっては，合流部周辺の度々の溢水の主な原因になるものと考えられる。この特徴的な地形をもたらしたのは，山口盆地の形成にも大きく関わっているとされる活断層の大原湖断層¹⁾であり，復旧工事，対策工事では，本研

究による地史学的形成史を踏まえた理解が重要であると考えられる。



図-1 山口盆地と河川合流(基図:地理院地図/GIS Maps)

表-1 山口盆地中央部で合流する河川諸元

河川名	流域面積 (km ²)	河川長 (km)	下流部河川勾配 (%)
榎野川	45	10.5	4.78
仁保川	79	20.6	3.75
問田川	55	12.9	2.93
一の坂川	14	6.4	6.15
合計	193		



図-2 古大内湖とその地形 (基図: 地理院地図/GIS Maps)

2. 古大内湖形成史

山口盆地主要部の東側には仁保川流域である大内盆地在が広がっている。この盆地内からの河川流下は仁保川と問田川により、図-2 に示すように現在では4河川合流部付近で榎野川に合流する地形形状であるが、前述のように、この10数年の短期間をもってしても合流部の流下能力が明らかに不足しており、気候変動が顕著であるとしても自然河川の流下形態としては非常に不自然である。そこで以下の根拠を持って大内盆地は「古大内湖」であったと仮定して議論を展開する。

2.1 古大内湖の概要

古大内湖は図-2 に示すように現在の4河川合流部が姫山～象頭山間の約500mが尾根で塞がれていたと仮定することで成立する。また同じく図-2 に示すように、古大内湖の流下河川が南方の千切峠で防府市大道方向であったと仮定すると、千切峠を源流とするには不自然に大きい横曽根川扇状地(図-

表-2 大内層の分布と特徴

箇所名		標高 (m)	特徴
1	仁保南	100	砂・礫 (円磨) 水成
2	仁保西	90	径 20cm 玉石が特徴の水成
3	仁保北	95	流理構造を持つ砂礫・砂層
4	高野北	100	シルト粘土はさむ砂礫・砂
5	高野	100	玉石・砂礫層 (円磨)
6	佐波山	100	花崗岩上に玉石・礫層
7	小野	100	3mの高さの流理構造砂層
8	氷上	50	花崗岩上に玉石・礫層
9	坂堂西	70	シルト主体の軟弱層
10	長谷	50	砂礫層の平坦面
11	妙見	80	円磨度の高い礫を含む
12	菅内	100	砂礫, 流理構造
13	氷上 B	20	玉石混じり砂礫 (N=15~30)
14	矢田 B	30	礫混じり砂 (N=20)

※B: ボーリングデータによる

2) の形成史も理解でき、千切峠の地形は風隙であるといえる。古大内湖が約10万年前(100Ka)に成立していたと仮定し、湖面は後述の堆積物の分布から現在の標高100m付近とすると、古大内湖の面積は約32km²程度と推定される。

2.2 湖沼時代の堆積物

大内盆地は東西5km、南北2kmの東西方向に細長い形状で、北端に仁保川、南端に問田川がそれぞれ西流している。かつては稲作が盛んで“水郷大内”と呼ばれるように、両河川を結んだ水路網が築かれていた²⁾。この水路網はかつての古河道跡と密接に関連しており、標高差がないことから、かつては広い湖沼であったことが示唆される。古大内湖周辺に分布する更新統堆積層をここでは大内層と呼称し、その分布および層相について述べる。

(1) 層相

砂および礫層で構成され、礫は良く円磨されており水成堆積物である。また流理構造が観察される。

(2) 分布

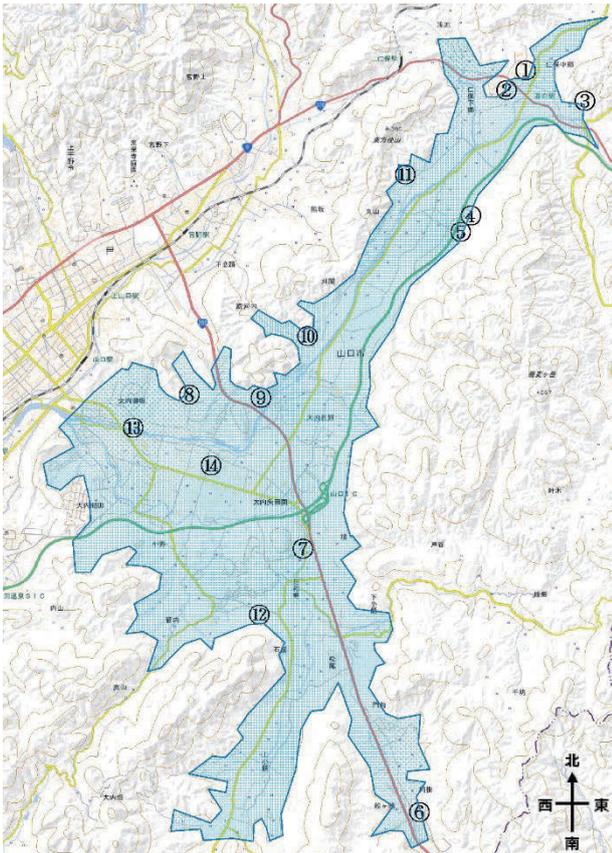


図-3 大内湖分布位置図(基図:地理院地図/GIS Maps)

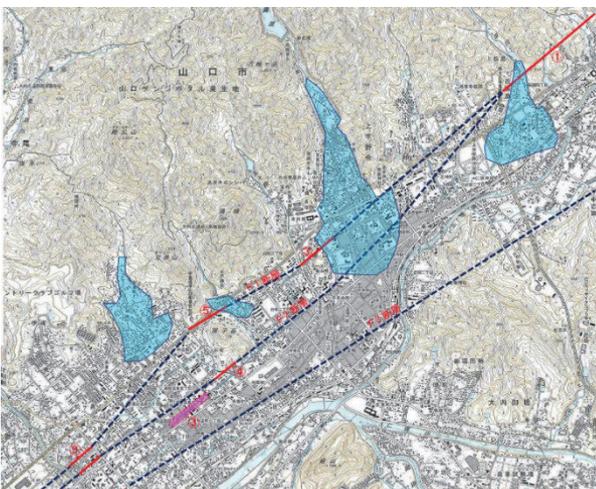


図-4 山口盆地の活断層分布と扇状地分布³⁾(基図:地理院地図/GIS Maps)

分布は図-3 に示す箇所を確認されており、特徴を表-2 にまとめるが、推定される古大内湖範囲のほぼ全周の標高 50~100mの範囲に確認される。縁辺部においては、標高 100m付近の遷急線から丘陵地形、段丘台地となっている。

(3) 古大内湖形成消滅時期

形成時期については、定性的であるが堆積物の固結度から第四紀更新統(洪積世)であると推定される。また、古大内湖湖底であった可能性が高い御堀地区には「まんじゅう石」を伴う地層が層厚 50cm 前後で分布している。「まんじゅう石」は ASO-4 火砕流の産物であり、水中では形成されないことから、ASO-4 噴出年代の 90Ka⁵⁾ には古大内湖は既に消滅していた可能性が高いと考えられる。

3. 山口盆地の活断層と扇状地の分布

図-4 に活断層の活動によって形成されたプリアパートベズンとされる山口盆地における活断層の大原湖断層¹⁾と扇状地の分布³⁾を示す。北東-南西走向で伸びる活断層に直交した河川流域に扇状地は北西方向から南東に向けて発達している。

このように山口盆地の扇状地は盆地の北側からのみ発達しており、南側山地には見られない。これはこの盆地の地形が活断層によって大きく偏向しているために見られる特徴の一つである。

4. 大原湖断層の活動と古大内湖の消滅に伴って形成された不自然な河川合流

(1) 瀬戸内面の隆起

古大内湖が形成された 100Ka から現在の瀬戸内面の隆起は、隆起速度を $0.14 \text{ mm/y}^4)$ と仮定すると約 14m となる。この隆起に伴って徐々に横曽根川方向への流下が困難になったものと推定される。

(2) 大原湖断層の活動

大原湖断層の活動は、後期中新世(8Ma)から鮮新世(4Ma)にかけて左横ずれの活動でプリアパートベズンとして山口盆地が形成され、その後は現在にかけて右横ずれの運動で 300 から 400 万年後には盆地は消

滅するものと考えられている。²⁾ したがって、山口盆地の約2km幅を350万年で消滅させるための収縮運動の速度は0.57mm/y、すなわち10万年当たりでは57mと計算される。

(3) 4河川合流部の成因

日本の活断層は約2,000箇所であり、活断層に起因する地震は10年に一度程度の頻度で発生するといわれている。日本の主要な活断層においても活動間隔は一定ではなく、記録の確かな江戸期以降では、新潟では40～77年の再来間隔、熊本では98～166年の再来間隔で頻度は2倍以上の差がある。さらに、主要な活断層である中央構造線においても四国地方では1594年以降に主だった活動記録はない。したがって、過去に規模の大きい活動の形跡があって比較的知られた活断層であっても、平均活動間隔は1000年～3000年の場合が多く、ほとんどの活断層は最新活動時期が有史以前であるため、活断層地震に伴って発生する現象は十分に把握されていない。

古大内湖が100万年間存在したと仮定すると、この間に大原湖断層に起因する活断層地震は300回程度で少なくとも570m程度の右横ずれが生じ、象頭山～姫山閉塞部の尾根は容易に崩壊し消滅したものと推定される。

瀬戸内面の隆起に伴って南側への流路が徐々に狭隘となった古大内湖は、大原湖断層の変動にともなって、脆弱部の姫山～象頭山間の崩壊が発生し西側が決壊して榎野川への合流河川が出来れば、通常の地形開析による本流・支流関係とは大きく異なる非常に不自然な4河川が同じ位置で合流し、互いの流下を阻害する現象が生じる。

5. 地形形成史を踏まえた流域治水対策

古大内湖は仁保川・問田川両流域を合わせても流域

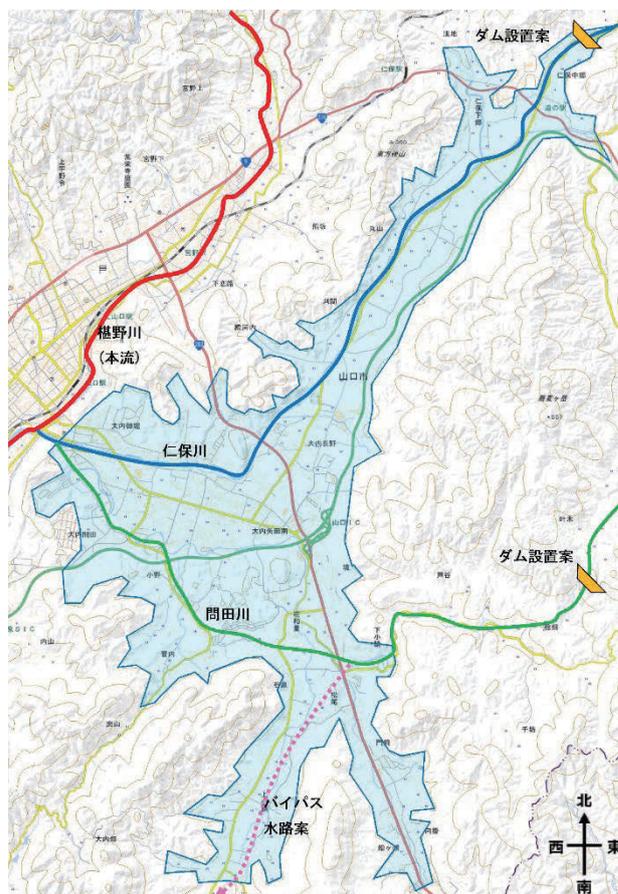


図-5 ダムおよびバイパス水路案(基図:地理院地図/GIS Maps)

面積134km²に対し、32km²と非常に大きな満水面積を持っていたことから、非常に有利な洪水調節機能を有していた。また、現在では合流部に至る付近の河床勾配は、流域が広い両河川の方が緩やかであるので(表-1)、大内盆地側からの合流に際して不利になるものと考えられる。さらに、本来なら本流となる流路が断層のずれによって合流が発生したことから、本流に対して概ね90度の合流となり流路形状も不利である。これらのことを踏まえて、仁保川・問田川の流域治水についての提案を行う。

(1) ダム設置案

山口盆地では、大原湖断層の活動により不自然かつ最も不利な形での河川合流が行われ、対して治水が可能なダムに関しても、榎野川および一の坂川には建設されているが、流域の広い仁保川および問田川では設置されていないなど、偶然であろうが、いわば地史的条

件が考慮されていない治水的取組がなされている。古大内湖は流域に比較して貯水面積は異常に大きいですが、流域治水に対しては、最も自然で容量も十分であったと考え、図-5 に示すダム建設が最適解であることは明らかである。

(2) バイパス排水路案

次善の解は、流路を大内湖時代に戻す方法である。図-5 に示すような、山口市小鯖の間田川(標高 40m)と防府市切畑間(標高 30m)の 5km間で小鯖川を逆流させる形で結ぶバイパス排水路の建設計画である。この案は現在の河川状況、利水、水利権の状況から実現は困難であるものと考えられる。

(3) 大規模調整池案

この盆地における治水対策は、効果的には前記両案には劣るものの現実的には図-6 に示すような大規模調整池の設置である。既にゲリラ的に地域集中的かつ短時間雨量の増加が特徴の豪雨に対して、それぞれの流域毎に適切に到達時間を延ばすことが有効であると考えられる。

- ① ハード的対策: 図-6 に示すように大規模な調整池を設置する。ただし、通常はほ場として活用できる形状を模索する。
- ② ソフト対策: 仁保川・問田川流域の水田・ため池など貯水機能を有する農業構造物の宅地開発などのための改築を制限する。あるいは 1ha 未満の開発に対しても雨量調整機能(既往最大雨量に対して)を求める。

6. おわりに

わずか 14 年で 4 度の洪水被害を概ね同じ場所が受けることを地球温暖化だけの原因としても良いのだろうか。早急に流域治水を根本的に見直す必要が

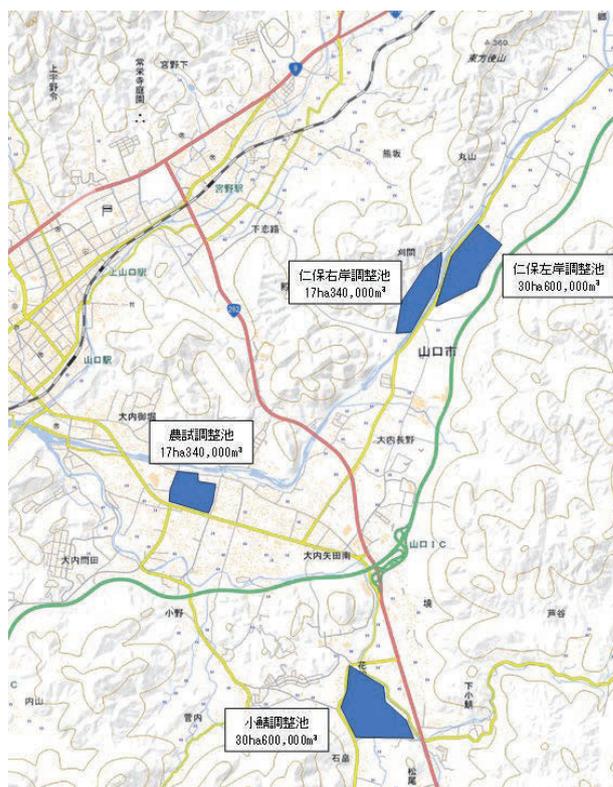


図-6 流域調整池位置図(基図:地理院地図/GIS Maps)

あることは明らかであり、そのためには対象地の河川形状、地形のバックグラウンドを正しく理解する必要がある。

また流域がおかれている現状に正しく目を向け、周辺の開発が与える影響を正しく想像することである。2009年7月、盆地の背景にある山地では大きな土石流が数多く発生し、農地や山林が壊滅的な被害を受けた。その後 14 年間に次々に発生する豪雨災害を経験しても、法に則った郊外地の水田をアスファルト舗装に変えた宅地開発、山林の伐採とメガソーラー発電施設の建設は止めることはできなかった。広大な流出率低下面積を増やしたことにより洪水到達時間を大幅にマイナス側に調整し、一方のプラス側要因としては、①河川浚渫、②用水路の排水路化転換整備、③調整池建設、④排水機場の設置であった。この内、②～④は下水事業であり、河川事業、流域治水事業の規模は凡そ見込めないものである。仁保川、問田川は流路を確保しても排出先が貧弱な榎野川なのである。なぜこのように頻繁に警戒水位、

氾濫危険水位を超える事態となるのかを根本的に捉え直す時期が来ている。

謝辞：元山口大学教授金折裕司先生には，山口盆地における大原湖断層に関してご指導いただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 金折裕司：山口県の活断層,近未来社,2005.
- 2) 堀田政則：“水郷大内”に学ぶ，地学教育と科学運動，55号，2007.
- 3) 山口県環境生活部政策課：快適環境づくりシステムGISマップ，

<https://yamaguchi-gishiroba.org/gis.html>

- 4) 前埜英明：瀬戸内海沿岸の海成段丘地形の分布とその特徴，日本研究特集号2号，pp.13-18,2003
- 5) 松本哲一，宇都浩三，小野晃司，渡辺一徳：阿蘇火山岩類のK-Ar年代測定-火山層序との整合性と火砕流試料への適応-。日本火山学会講演予稿集，1991，no.2，73.

(2023.11.30 受付)

[著者代表連絡先]

河内 義文 (株式会社ケイズラブ)

電話: 0839-927-7004

E-mail: Yoshifumi.kochi@kslab.jp

関門層群地山での切土掘削における斜面の安定性評価への有限差分法解析の適用

ドボクリエイト株式会社 正会員 森本 真吾
 ドボクリエイト株式会社 非会員 大坪 晋三
 山口大学大学院 非会員 田中 亨昌
 ドボクリエイト株式会社 非会員 岸田 展明
 山口大学大学院 正会員 鈴木 素之

キーワード：関門層群，切土法面，有限差分法解析

1. はじめに

山口県の北～南西部に広く分布する関門層群は中生代白亜紀の湖成層で、砂岩・頁岩など堆積岩層と凝灰岩、火山岩層なども含まれている。関門層群は、地域的に風化変質作用に差異が見られ、一部では深部まで風化し、切土による応力解放された場合、その後のスレーキングの影響を受けて強度低下する特性を有している。図-1は、暫定切土後ののり面にクラックが生じた事例である。当該法面の地質は、風化した安山岩質凝灰岩（以下、関門層群風化岩）の節理面に黒色薄層土¹⁾が付着し、流れ盤を呈する黒色薄層土付着面とはほぼ垂直に共役する節理面が発達した状況であった（図-2）。のり面のクラックは応力解放と節理面の開口部に雨水が浸入して不安定化したことで生じたものと考えられる。既往研究²⁾では、当該地山における斜面の安定性評価に有限差分法解析コードを適用し、関門層群の強度低下特性が斜面安定への影響を確認した。

本研究では、流れ盤を呈する黒色薄層土付着面とはほぼ垂直に節理面が発達した関門層群地山を対象とし、掘削から強度低下までの過程を模擬したステップ解析の実施により、切土掘削時の斜面安定解析への有限差分法の適用性について検討した。

2. 解析概要

本検討で用いる有限差分法解析コードはFLAC3D（Itasca社製，ver.7）で、解の収束が難しい斜面崩壊時の挙動を安定して評価できることが可能となる。解析モデルは、関門層群風化岩および黒色薄層土をソリッド要素としてモデル化し、Mohr-Coulomb構成



図-1 のり面のクラック発生状況

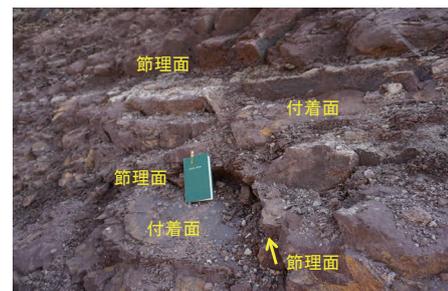


図-2 のり面の分離面（付着面および節理面）の状況

表-1 解析物性値

	黒色薄層土	関門層群風化岩
単位体積重量 γ (kN/m ³)	16.58	16.58
変形係数 E (kN/m ²)	15×10^3	15×10^3
ポアソン比	0.35	0.35
粘着力 ¹⁾ C (kN/m ²)	8	29.1 (強度低下時20.0)
内部摩擦角 ¹⁾ ϕ (°)	23	27.6
引張強度 σ_t (kN/m ²)	1.6	5.8

則を適用した弾塑性体とした。境界条件は側方を水平固定・鉛直ローラーとし、底面を水平・鉛直固定とした。また入力物性値は、現地調査結果等から表-1に示すように設定した。ここで、節理面の開口を模擬するため、節理面の引張強度は考慮していない。本解析では施工過程を再現するため、①初期応力解析、②切土施工、③関門層群風化岩の強度低下の順に3段階の解析ステップを設定した。

3. 解析結果

- ・ ケース 1 (図-3) では、付着面の傾斜角 $\alpha=10^\circ$ とした関門層群地山の切土 (掘削高 20m) を想定した数値解析を実施した。その結果、切土後の関門層群風化岩の強度低下により分離面に沿って最大せん断ひずみが発達し、斜面が不安定化する可能性があることがわかり、崩壊形態は節理の開口部から法尻部の付着面を通過する複合すべりになると考えられる。
- ・ ケース 2,3 (図-3) では、ケース 1 の付着面の傾斜角を $\alpha=30^\circ, 40^\circ$ としたケースで、数値解析の結果、切土後に斜面が不安定化する可能性があり、崩壊形態は節理の開口部から付着面に沿って挙動する平面すべりになると考えられる。

4. まとめ

本研究では、切土後に徐々に不安定化する特徴を有する関門層群地山を対象とし、切土掘削時の斜面安定検討に有限差分法解析を適用した。その結果、本解析により、実現象に即した斜面の挙動および安定性について評価できたとともに、不安定化した斜面の崩壊形態を想定することができた。

今後の課題としては、地下水位の高い地山への適用について検討を行いたいと考えている。

謝辞：本研究は国土交通省山陰西部国道事務所の受託研究として実施したものである。ここに記して謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) 山本哲朗, 鈴木素之, 吉原和彦ほか：不連続面上の光沢質黒色薄層土に起因した斜面崩壊と設計強度定数, 地すべり, 第 37 巻, 第 4 号, pp.49-57, 2001.
- 2) 鈴木素之, 居石和昭, 森本真吾ほか：関門層群地山における切土後の応力開放に伴う斜面安定性に関する解析的検討, 第 77 回土木学会年次学術講演会, III-193, 2022.

[著者代表連絡先]

森本真吾 (ドボクリエイト株式会社)
 電話: 090-2094-4603
 E-mail: charlie@dobocreate.jp

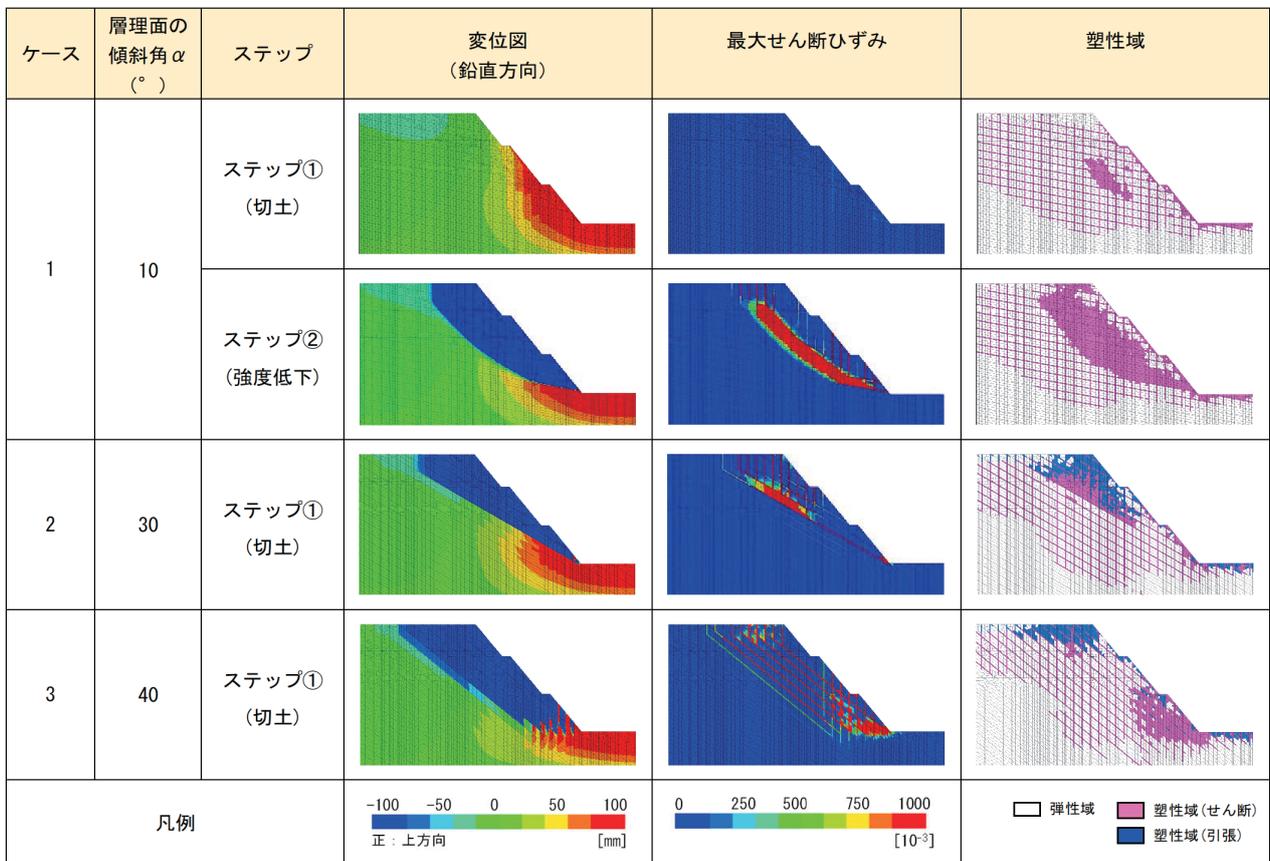


図-3 数値解析結果 (一部抜粋)

開発した軽量ボーリングマシンによる高品質コア採取と地すべり面のせん断強度評価

国土防災技術株式会社 賛助会員 室伏文佳
 国土防災技術株式会社 賛助会員 柴崎達也

キーワード：軽量ボーリングマシン，地すべり面，せん断試験

1. はじめに

盛土などの土質材料を主体とした浅層地盤のボーリング調査では、調査コストや運搬・仮設などの作業性の面から、ロータリー式機械ボーリングではなく、打撃式簡易ボーリングが用いられる場合も多い。打撃による打ち込みでコアを採取する場合には、含有する礫の粒径や量によって採取されるコアの採取率や品質が劣ることがある。そこで、人肩運搬が可能でありながら盛土や自然地盤から機械式と同等の品質のコア採取が可能な工法の開発を行った。その開発の経緯や技術的な内容について、2023年7月に開催された第58回地盤工学研究発表会において発表している¹⁾が、本発表では、地すべり調査において本ボーリング工法を活用した例を紹介する。

また、地すべりの安定度評価においては、すべり面部位に発揮されるせん断強度の評価が重要となる。特に再活動型の地すべりでは、すべり面が残留強度状態にまで低下している場合も多く、現地から不攪乱状態ですべり面を採取することができれば、弱層のせん断強度を直接的に評価できる²⁾。本発表では、この新工法で採取した高品質ボーリングコア試料で、一面せん断試験を実施した結果についても報告する。

2. 軽量ボーリングマシンの概要

新しく開発した軽量ボーリングマシン（図-1）は電動モーターとハンドフィード式の給圧によりツールズに回転を与え、ツールズ先端へ送水するもので、通常のロータリー式機械ボーリングと同様の掘削方式を採用している。らせん状のスパイラルアンカーを地中に貫入させることで掘削機が自立するため、足場の仮設が不要であり、掘削開始までの工程が大幅に短縮できる利点がある。現場条件としては、搬入距離が150m以内を目安とし（図-2）、適用可能な地盤としては、粘性土、砂質土、玉石混じり土砂、礫混じり土砂、軟岩からなる盛土や自然地盤である。保孔のためのケーシングを深部まで挿入することが困難な崩壊性地盤への適用は難しいが、掘削深度は開発後3年間で土質材料主体の地盤では深度10m、軟岩クラスの岩盤地山では深度15mの実績がある。

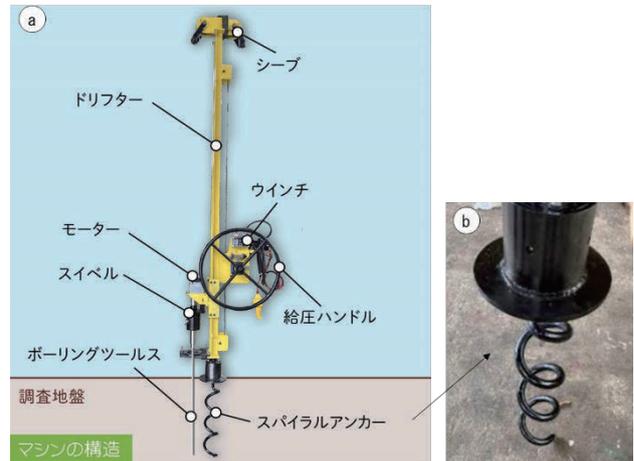


図-1 開発したボーリングマシンの全体の構造 (a) と地盤との固定部のスパイラルアンカー (b)

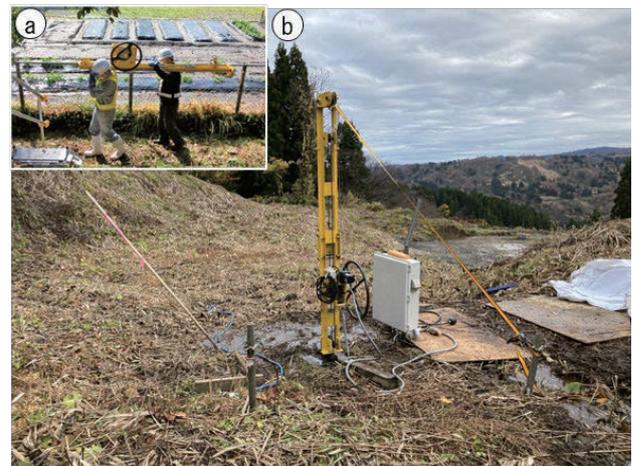


図-2 ボーリングマシンの運搬状況 (a) と設置状況 (b)

3. 調査地概要

調査地は、新潟県上越市安塚区に位置する伏野峠地すべりである（図-3）。伏野峠地すべりは、長さ約350m、幅30～60mの細長い形状をし、斜面勾配5～15°の緩斜面で発生している。新第三系の黒色泥岩や凝灰岩を基盤地質とした崩積土中の二次すべりである。1980年代後半から地すべりの動態観測が続けられており、晩秋を中心に例年m単位での移動が確認されていた再活動型の地すべりであるが、2004年新潟県中越地震以降は、移動が沈静化

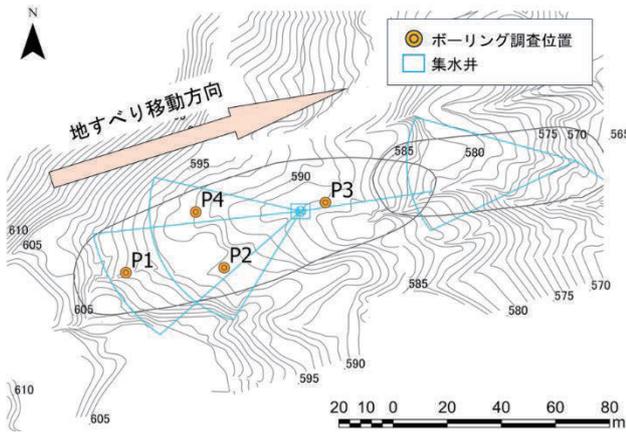


図-3 調査位置図

している^{4),5)}。すべり面深度は、4~6m程度と浅く、令和4年度にすべり面付近に間隙水圧計を設置する目的で4孔のボーリング調査を、本工法により実施した。

4. コア試料による室内試験

(1) 観察及び試験の方法

ボーリングコアで確認されたすべり面を挟んだ上下20cmのコア試料に対して、X線CT撮影を実施した。X線CT撮影には、テスコ株式会社製非破壊構造解析装置(TXS-CT300)を使用した。X線CT像を参考に、試験機のせん断位置にすべり面が一致するように呼径86(コア径70mm)のコアからカッターリングを用いて、直径6cm、高さ2cmの試験供試体を成形した(図-4(a))。繰返し一面せん断試験の方法は木下ほか⁶⁾に従い、所定の荷重で圧密後に定体積条件で前後約6mmずつの両振りの繰返し試験を実施した(図-4(b))。その後、圧密荷重を段階的に増加させ、同様の定体積繰返しせん断試験を複数回実施し、応力経路から支持される現場残留強度の破壊基準線から粘着力 C_{R} 及びせん断抵抗角 ϕ_{R} を評価した。

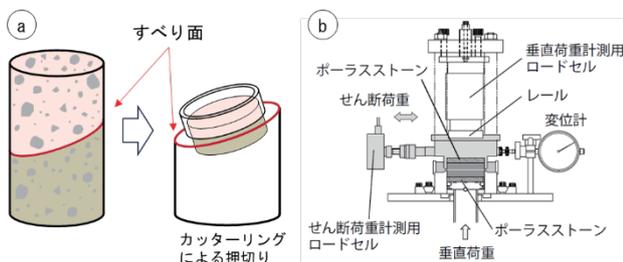


図-4 供試体作成例(a)と一面せん断試験機(b)

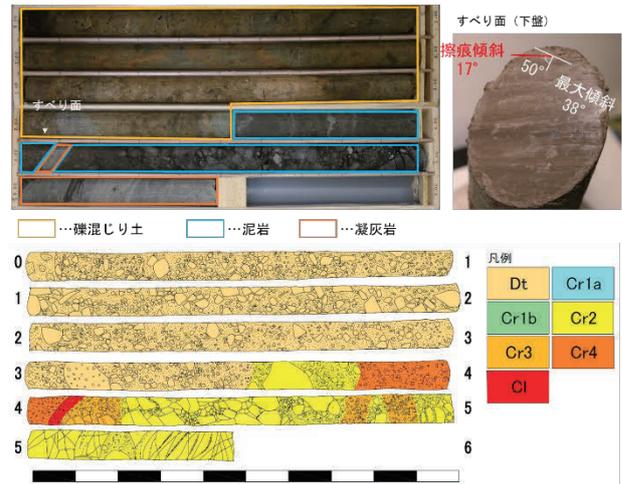


図-5 P-1孔のボーリングコアとすべり面の写真、破砕度区分⁷⁾を反映させたコアスケッチ

(2) すべり面の観察

ボーリングコア観察より、表層の礫混じり土の下位には泥岩や凝灰岩が分布しており、全体的に破碎して土砂化し、岩盤の初生構造が喪失している様子が確認された。本調査において掘削された4孔全てからすべり面に伴う擦痕や鏡肌が確認されたが、本発表では明瞭な岩相境界にすべり面を形成していた2孔(P-1, P-2)について主に報告する。

a) P-1

P-1で掘削されたボーリングコア写真を図-5に示す。ボーリングコア観察より、GL-3.52m以深は主に土砂化した泥岩と凝灰岩で構成されており、GL-4.07mとGL-4.10mにおいて強風化した泥岩と凝灰岩起源の崩土の境界が認められた。図-5に示すように、GL-4.07mのシャープな層境界において分離面が確認され、その面には明瞭な擦痕を伴う鏡肌が観察されたため、GL-4.07mをすべり面として判定した。

すべり面を挟んだ上下20cmのコアの周面写真とX線CT像を図-6(a)に示す。X線CT像より、泥岩層と凝灰岩層の明度が大きく異なっている様子が確認された。両層の一部で自然含水比を測定したところ、泥岩層は26%、凝灰岩層は36%であったことから、CT像は含水比や密度の違いを反映していることが考えられる。また、X線CT像からそれぞれの岩相における内部構造を観察すると、凝灰岩層にはほとんど礫が含まれておらず、主に粘性土基質である様子が確認された一方で、泥岩層には2~3cm程度の破碎岩片の礫が点在している様子が認められた。

近年、地すべり調査ではすべり面判定においてコアの破砕度区分⁷⁾が重要視されており、各層における基質の割合や礫の粒径の違いを把握する必要がある。そこで、凝灰

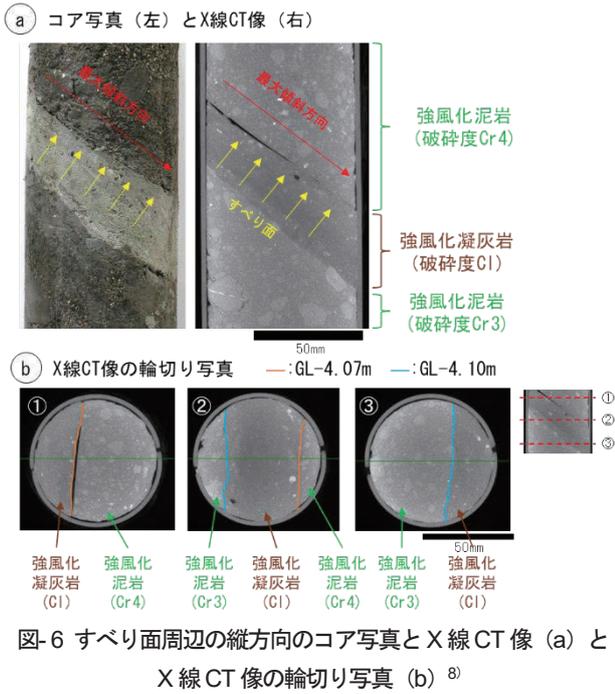


図-6 すべり面周辺の縦方向のコア写真とX線CT像 (a) と X線CT像の輪切り写真 (b) ⁸⁾

岩層の上位と下位にそれぞれ分布する泥岩層を比較すると、下位の泥岩相中の礫の方が大きい傾向が認められた。そのため、凝灰岩層の上位の泥岩層は破碎度 Cr4 として判定をし、下位の泥岩層は破碎度 Cr3 として判定をした。このような破碎度の違いはコア周囲の観察だけでは判定しきれないこともあるため、X線CT撮影で内部構造を把握した上で検討することにより、破碎度区分のより客観的な判定が期待できる。

すべり面付近におけるコアの輪切り（地盤の水平方向）のX線CT像を図-6(b)に示す。GL-4.07mにおける岩相境界は3深度において最大傾斜方向に対して垂直方向に直線的に発達していたことから、すべり面には大きなうねり等が認められず、コア観察による平滑なすべり面の性状と整合的であることが判明した。

b) P-2

ボーリングコア観察より、P-2はGL-2.15m以深が主に破碎されて崩積土化した泥岩と凝灰岩で構成されており、GL-3.57mとGL-3.67mに泥岩と凝灰岩起源の崩土の層境界が認められた。GL-3.57mの分離面に擦痕が確認されたため、GL-3.57mをすべり面として判定したが、P-1で観察されたすべり面と比較して、鏡肌の光沢感はやや喪失していた。また、図-7(a)に示すように、コアの周面観察から粘土化した凝灰岩層には泥岩由来の礫が点在していた。

すべり面付近におけるコア上下方向のX線CT像を図-7(b)に示す。X線CT像より泥岩層と凝灰岩層における明瞭な違いは確認されなかったが、すべり面付近において明度が低い（低CT値）箇所が認められ、該当箇所には礫がほとんど点在せず、厚みが不均質ながら薄層状に連続し

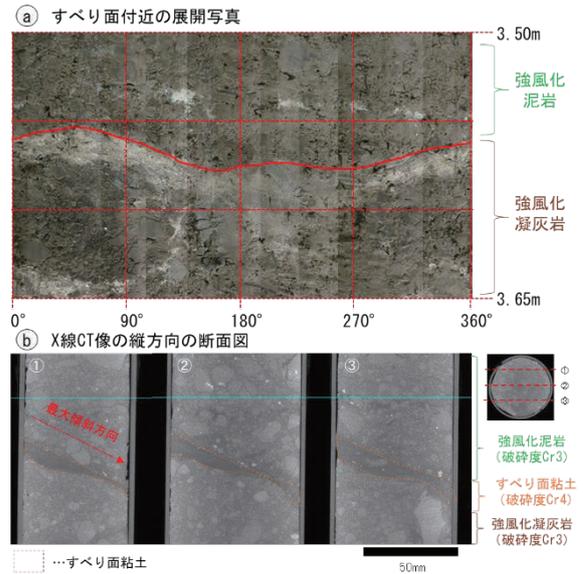


図-7 P-2におけるすべり面付近の展開写真 (a) と X線CT像の縦方向の断面図 (b)

ている様子が確認され、この箇所をすべり面粘土として判定した。すべり面粘土とその上下の含水比を測定すると、すべり面粘土は34%で、その上下の21~24%に比べ、高含水状態にあることが確認され、CT像による濃淡にも反映されている。

(3) せん断試験結果

4孔全てにおける一面せん断試験結果を表-1に示す。各孔における試験結果に大きな違いは認められず（図-8）、 $\phi_{fr}'=6.8\sim 10.0^\circ$ 、 $c_{fr}'=0.4\sim 3.0\text{kPa}$ であった。また、全試験結果を用いて強度定数を評価した破壊線を図-9に示す。全試験結果を用いた場合は、 $\phi_{fr}'=8.9^\circ$ 、 $c_{fr}'=1.3\text{kPa}$ であった。Shibasaki et al.⁹⁾もこの斜面で採取されたすべり面試料を用いた定圧一面せん断試験結果から、 $\phi_{fr}'=8.9^\circ$ を報告しており、今回の試験結果は既存データとも整合している。今回の試験により得られたすべり面のせん断抵抗角（ $\phi_{fr}'=8.9^\circ$ ）は、眞弓ほか³⁾が報告した新第三紀の堆積岩地帯の地すべりで得られた事例に調和的である。当地区のすべり面粘土のX線回折試験からは、スメクタイトが多量に検出されており⁹⁾、含有するスメクタイトの多寡が、当地すべり地のすべり面の残留強度特性に大きく影響している¹⁰⁾と判断される。

表-1 一面せん断試験によるすべり面の強度パラメータ

	粘着力 c_{fr} (kPa)	せん断抵抗角 ϕ_{fr} (°)	$\tan \phi_{fr}'$
P-1	0.7	10.0	0.176
P-2	0.4	9.5	0.167
P-3	2.1	6.8	0.118
P-4	3.0	7.3	0.128
全試験	1.2	8.9	0.156

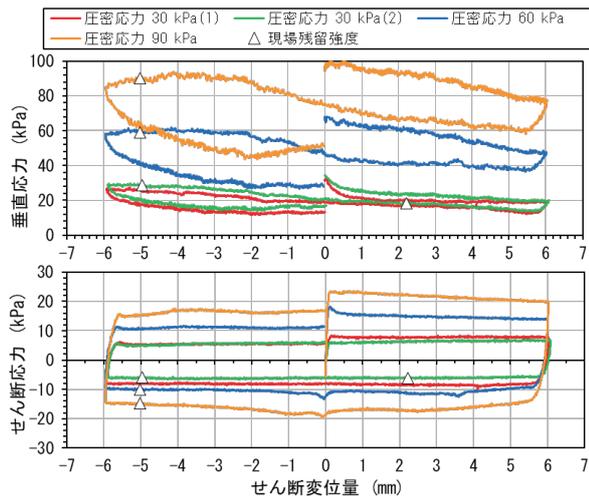


図-8 定体積繰り返し一面せん断試験による変位-応力関係図 (P-4 試料)

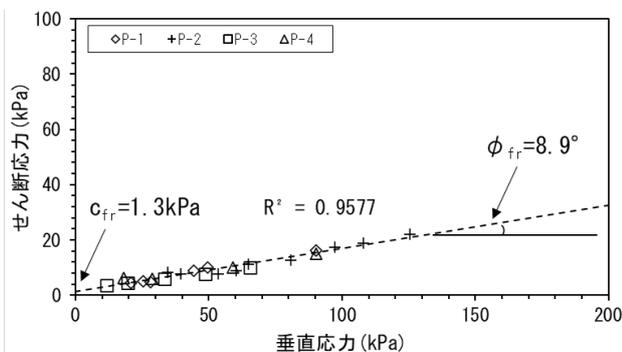


図-9 全試験結果を採用した場合の破壊基準線

5. まとめ

今回、新しく開発した軽量ボーリングマシンを利用して、すべり面深度の浅い地すべり地においてボーリング調査を実施した。礫混じり土や粘性土主体の土質地盤と風化軟岩からなる地盤でコアの品質が劣ることなく掘削することができた。そのボーリングコアに確認されたすべり面の試料を用いて、そのせん断強度特性を一面せん断試験機を用いて評価した。その際、ボーリングコアのすべり面候補箇所について、X線CTにより内部構造を観察し、礫の分布や粘性土基質の高含水箇所の分布、亀裂の発達状況などからすべり面を判定した。ボーリングコアから鏡肌面のようなすべり面の存在を判断するのは、経験の少ない技術者にとって難しい場合も多いが、X線CTでコアのすべり面の性状の精査は、試験箇所の見誤りを防ぐことにもつながり、客観的なすべり面判定をする上で有効である。すべり面の力学特性の評価や安定解析の精度向上に寄与することから、今後も活用を検討していきたい。

参考文献

- 1) 柴崎達也, 高島誠, 伴博史, 氏家亨: 開発した軽量ボーリングマシンによる浅層地盤の高品質コア採取事例, 第58回地盤工学研究発表会講演集, pp.298-299, 2023.
- 2) Skempton, A.W.: Residual strength of clays in land-slides, folded strata and the laboratory, Geotechnique, Vol.35, No.1, pp.3-18, 1985.
- 3) 眞弓孝之, 柴崎達也, 山崎孝成: すべり面せん断試験によるすべり面のせん断強度評価, 日本地すべり学会誌, Vol.40, No.4, pp.273-282, 2003.
- 4) Matsuura S., Asano S., Okamoto T., and Takeuchi Y.: Characteristics of the displacement of a landslide with shallow sliding surface in a heavy snow district of Japan, Engineering Geology, Vol.69, Issue.1-2, pp.15-35, 2003.
- 5) 岡本隆, 松浦純生, 浅野志穂: 積雪地域における浅層地すべりの変形機構, 日本地すべり学会誌, Vol.44, No.6, pp.358-368, 2008.
- 6) 木下篤彦, 山口真司, 山崎孝成, 柴崎達也, 小島健, 吉松弘行: 2004年新潟県中越地震により大滑動した地すべりのすべり面の土質特性に関する研究, 日本地すべり学会誌, Vol.45, No.6, pp.418-427, 2009.
- 7) 脇坂安彦, 上妻睦男, 綿谷博之, 豊口佳之: 地すべり移動体を特徴づける破碎岩—四万十帯の地すべりを例として—, 応用地質, Vol.52, No.6, pp.231-247, 2012.
- 8) 室伏文佳, 柴崎達也, 村井勇介, 渥美賢拓: 地すべり面を含むコア試料のX線CTによる観察とせん断試験事例, 第58回地盤工学研究発表会講演集, pp.1861-1862, 2023.
- 9) Shibasaki T., Matsuura S., and Okamoto T.: Experimental evidence for shallow, slow-moving landslides activated by a decrease in ground temperature, Geophysical Research Letters, Vol.42, Issue.13, pp.6975-6984, 2016.
- 10) 山崎孝成, 眞弓孝之, 由田恵美: 高純度粘土鉱物のリングせん断特性: すべり面粘土との対比, 地すべり, Vol.37, No.2, pp.30-39, 2000.

[著者代表連絡先]

室伏 文佳 (国土防災技術株式会社)

電話: 024-555-0255

E-mail: murofushi-a@jce.co.jp

斜面崩壊と原位置試験結果について～北九州市内の崩壊事例における考察～

株式会社福山コンサルタント	賛助会員	岡本 憲治
基礎地盤コンサルタンツ株式会社	賛助会員	東風平 宏
日本地研株式会社	賛助会員	山下 武志
大分大学		山本 健太郎

キーワード：斜面崩壊，原位置試験，危機管理

1. はじめに

降雨による斜面災害から住民の生命と財産を守るためには、降雨と斜面崩壊の危険度の関係を明らかにし、住民にとって分かりやすい警戒避難体制を構築することが必要と考える。本論文で扱う災害発生箇所は、福岡県北九州市であり、同市では雨の降り方と斜面崩壊の関係についての研究が進められ、その成果が警戒避難情報に関する意思決定時の参考資料に供されている¹⁾。本研究は北九州市圏域で平成30年7月に発生した斜面崩壊を対象として、地形・地質、降雨・崩壊状況、崩壊土砂や崩壊面付近の土の物性値等を把握し、崩壊メカニズムおよび降雨と飽和度の関係について検討するものである。本稿では研究対象地の一つとして、北九州市門司区で発生した斜面崩壊を例に、現地踏査、原位置試験(簡易動的コーン貫入試験、原位置透水試験)および室内土質試験結果から考察できる斜面崩壊メカニズムについて報告する。

2. 地形・地質概要

対象地は、北九州市南部を通る九州自動車道新門司ICの南東500m付近の南向き斜面(標高50～100m)である。北九州地域には、上部古生界、下部白亜系、古第三系、第四系および白亜紀深成岩類、鮮新世-更新世の玄武岩類などの幅広い年代の多様な岩石・地

層が複雑な構造をなして分布している。当該地の地質は、古生界の呼野層群である凝灰質砂岩・頁岩・玄武岩が分布し、表層は表土や強風化土で覆われる。

3. 崩壊状況

崩壊は尾根先端の旧崩壊跡と東側へ向かう斜面で発生し、非崩壊部が細尾根状に残る。崩壊規模は幅約25m、長さ約40m(図-1、写真-1)で、崩壊頭部の一部には分離小丘(写真-2)や二次クラック(写真-3)が見られる。崩壊面には赤褐色の強風化土が露頭し、乾燥クラック、パイピング孔(写真-4)、および雨水による浸食跡が確認され、表流水が浸透しやすい環境にある。

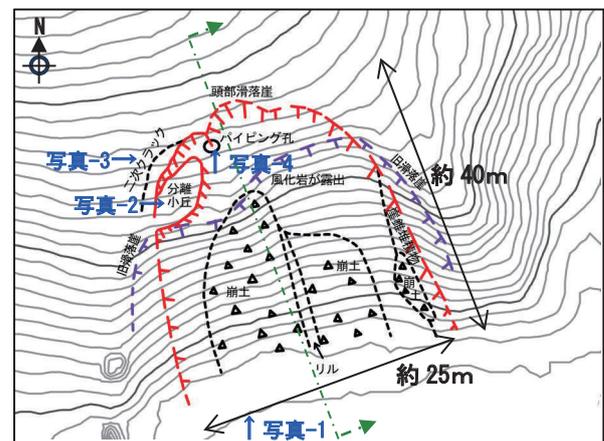


図-1 対象地周辺の地形図



写真-1 崩壊地全景



写真-2 分離小丘



写真-3 二次クラック

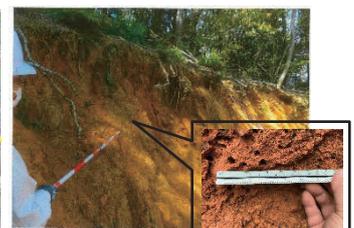


写真-4 乾燥クラックとパイピング孔

4. 調査・試験結果

(1) 簡易動的コーン貫入試験 (No. 4, 5, 6)

図-2 に示す通り、崩壊斜面の崩壊層の厚さは最大 6m 程度、Nd 値 10 以下であった。

(2) 現場透水試験 (No. 6)

試験対象は深さ 0.5m 程度までの範囲で、崩壊層 W2 で実施した。その結果は $k=2.5 \times 10^{-5}(\text{m/s})$ で中位の透水性を示した。

(3) 室内土質試験 (No. 5)

室内試験用の試料採取は崩壊面の地山 W3 (弱風化部) で実施した。透水係数は $k=4.1 \times 10^{-7}(\text{m/s})$ を示し、崩壊層 W2 と比較して、低い透水係数を示した。細粒分含有率も $F_c=70(\%)$ と高い結果であった。

5. 斜面崩壊メカニズム

調査結果から、斜面崩壊のメカニズムを以下のように推定した(図-3)。

- ① 尾根地形の先端部に、Nd 値 10 以下の脆弱な強風化土(W1~W2)が、層厚 5m 以上で分布していた。
- ② 表層は乾燥クラックやパイピング孔が確認され、透水性は高いと推定される。一方、風化の弱まる深部は乾燥クラックが少なく、透水性は徐々に低くなる。したがって、Nd 値が高く透水性の低い W3 層上面が帯水面となり、シート状の割れ目が横方向に繋がって弱面を形成していた可能性が高い。
- ③ そこに、豪雨に伴う浸透水が強風化土(W1~W2)に形成された乾燥クラックやパイピング孔を伝って急激に供給され、これらの層が飽和して「重量増加」と弱面の「せん断抵抗力の低下」が生じ、崩壊が発生したとみられる。

6. まとめと今後の予定

平成 30 年 7 月豪雨により発生した斜面崩壊について、現地の地形・地質状況および崩壊状況を確認し、原位置・室内試験結果を踏まえ崩壊のメカニズムを検討した。本崩壊は締まりの緩い強風化土に、豪雨に伴う地表水が乾燥クラックを伝って浸透し、急激に飽和して崩壊に至ったと考えられる。現在、現地に土壤水分センサー(写真-5)を設置して 10 分間毎の体積含水率データを収集しており、そのデータを基に降雨浸透特性を把握し、警戒避難情報に資する降雨量(提案式)の検証を行う予定である。

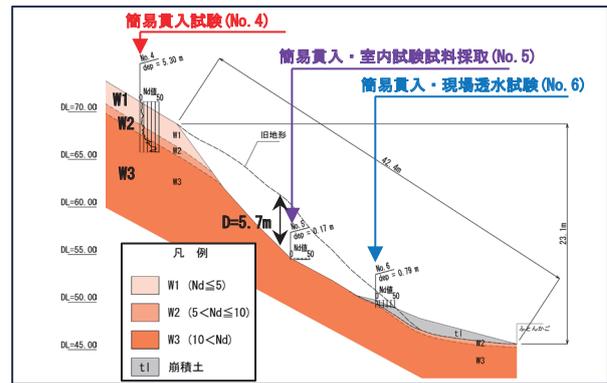


図-2 調査・試験・試料採取位置

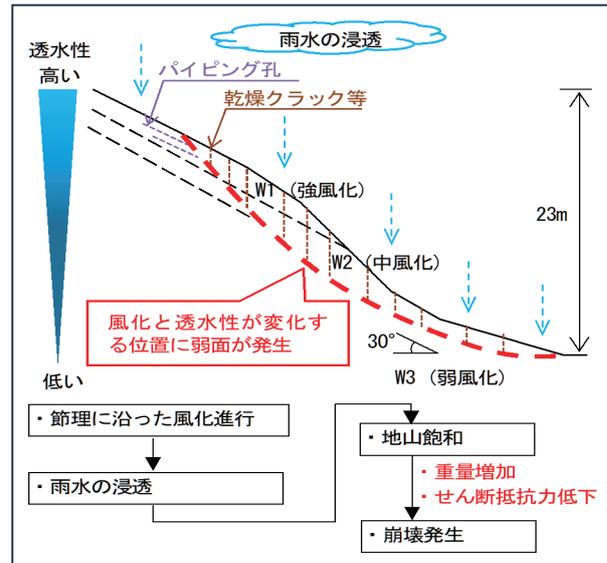


図-3 崩壊メカニズム模式断面図



写真-5 土壤水分センサーの設置状況

参考文献

- 1) 玉田文吾, 横矢直道, 森与志信, 北九州市: 崩壊斜面と雨の降り方との関係—福岡県北九州市・長崎県などにおける考察—, 2018. 139 p. (2023. 11. 30 受付)

[著者代表連絡先]

岡本 憲治 (株式会社 福山コンサルタント
インフラマネジメント事業部 建設・保全 北九州
第1グループ)
電話: 093-512-5726
E-mail: okamoto@fukuyamaconsul.co.jp

ガンロック擁壁の試験施工ならびに動態観測結果

大阪工業大学	正会員	藤本 哲生
極東興和(株)	賛助会員	三原 孝文
極東興和(株)	賛助会員	北田 達也
キッコウ・ジャパン(株)	賛助会員	吉村 隆顕
山口大学大学院	正会員	鈴木 素之
(有)山口ティール・エル・オー	非会員	三浦 房紀

キーワード：擁壁，試験施工，動態観測

1. はじめに

我が国では近年、地球温暖化による平均気温の上昇や大気中の水蒸気量の増加に伴い、豪雨が毎年のように発生し、河川の氾濫による浸水被害や各種土木構造物の被害、さらには人的被害が発生している。自然斜面や人工斜面に着目すると、豪雨により多量の地下水が斜面内に供給されるため、地下水位の上昇に伴いすべり破壊に対する安定性が低下し、最終的に崩壊に至る場合がある。ここで、斜面の下端部に法留めとして擁壁を設置する際、背後斜面の地下水位の上昇を防止するために、水抜き孔等を用いて速やかに地下水を排水することが求められるが、豪雨により供給される地下水の量が水抜き孔等からの排水量を上回り、背後斜面の地下水位が上昇して崩壊に至る事例も報告されている¹⁾。

このような状況を鑑み、著者らは豪雨などの自然災害に強い法留めの構築を目的として新たに「ガンロック枠」を開発し、道路擁壁や河川護岸への適用を目指して設計手法の確立に向けた各種検討のほか、ガンロック枠を用いた切土擁壁(ガンロック擁壁)の試験施工を実施している²⁾。本稿では、ガンロック擁壁の試験施工において、施工時および施工後の安定性を動態観測により確認した結果について述べる。

2. 切土擁壁の試験施工および動態観測

(1) 試験施工の概要

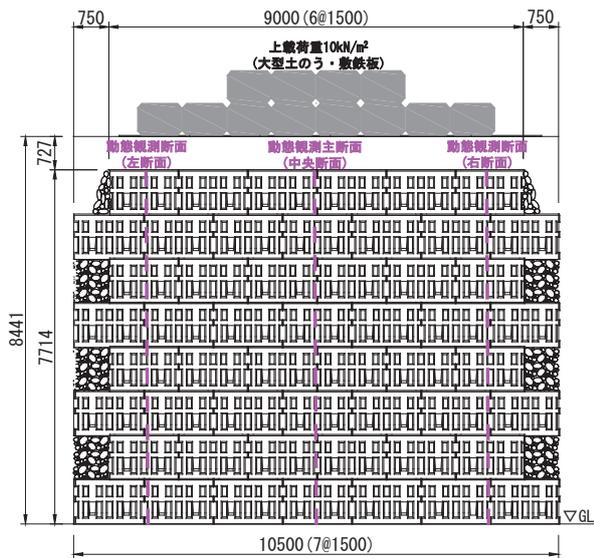
ガンロック枠を用いた擁壁構造の施工時および施工後の安定性を確認することを目的として、山口県美祢市内の私有地において、2021年4月1日から4月27日にかけて図-1および写真-1に示す切土擁壁

の試験施工を実施した。当該切土擁壁の規模は、壁高約7.7 m、延長10.5 mであり、砂状の風化花崗岩(DM級)の地山を掘削後、その前面にプレキャスト鉄筋コンクリート製(コンクリートの圧縮強度 $\sigma_c=35 \text{ N/mm}^2$)のガンロック枠(高さ1 m、幅1.5 m、奥行き1.5 m)を1:0.3の勾配で8段積み上げた形状となっている。ここで、ガンロック枠は写真-2に示すように格子状の前面枠と井桁状の背面枠を2本の横梁で結合した形状を呈しており、前面枠と背面枠の上部に設けた凹みにガンロック枠をはめ合わせて積み上げることが可能である。また、ガンロック枠内には中詰め材として、前面枠側に粒径150~200 mm、背面枠側に粒径50~150 mmの割栗石をそれぞれ締め固めて充填しており、ガンロック枠と中詰め材のかみ合わせによりもたれ式擁壁として機能する構造となっている。さらに、ガンロック枠の背面側には透水性の高い砕石等を裏込め材として配置することにより背面側からの地下水の浸透を阻害するような部分が無いため、高い排水性を有している点が特徴として挙げられる。なお、ガンロック枠を用いた切土擁壁の下位には礫状の風化花崗岩(DH級)が分布しているが、擁壁底面直下は深さ2 mの埋戻しを行っているほか、試験施工最終日の2021年4月27日には、ガンロック背面の地表面に敷鉄板と大型土のうを設置することにより、上載荷重 10 kN/m^2 を載荷し、後述する動態観測により試験施工後の挙動を確認した。

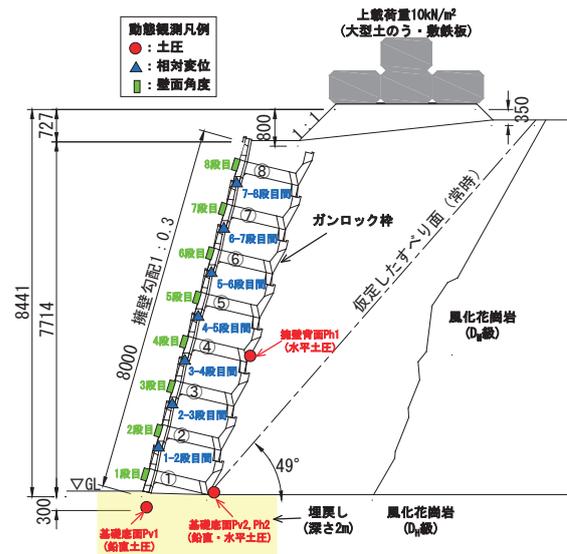
(2) 動態観測

a) 観測項目および方法・頻度

表-1に、前述した切土擁壁の試験施工において実施した動態観測の項目と観測方法および頻度を示す。



(a) 正面図(動態観測実施断面も併記)



(b) 断面図(中央断面, 動態観測位置も併記)

図-1 ガンロック枠を用いた切土擁壁の試験施工一般図(寸法の単位: mm)

動態観測は、前掲図-1 (a)に示す3断面において実施し、中央断面では土圧、相対変位、壁面角度の3項目、左・右断面では壁面角度のみを観測した。また、観測項目毎の観測位置と観測方法、頻度の詳細を述べると、まず、土圧については、前掲図-1 (b)に示す中央断面において、擁壁底面の前面側(つま先)と背面側(かかと)における鉛直土圧、擁壁背面部の水平土圧を1回/時間の頻度で自動観測した。次に、相対変位については、中央断面においてガンロック枠の各段間の相対変位を1回/時間の頻度で自動観測した。最後に、壁面角度については、中央断面および左・右断面において、ガンロック枠の各段の前面部においてガンロック枠の前面枠と水平面とのなす角度を手動により計8回観測した。なお、観測期間は観測項目毎に異なるものの、土圧計は2021年4月5日から2022年8月2日まで、相対変位は2021年4月19日の観測値を初期値とした変動量を2021年10月13日まで、壁面角度は2021年4月19日の観測値を初期値とした変動量を2022年8月3日までそれぞれ観測した。これらの観測項目のほか、ガンロック枠の各部材に発生するひずみもひずみゲージにより観測したが、施工に伴う変化が明瞭には確認できなかったことから本文では省略することとする。

b) 試験施工箇所の降雨および地震履歴

動態観測の結果を考察するにあたり、試験施工箇所の動態観測期間(2021年4月1日から2022年8月3日)までにおける、降雨および地震履歴を公開資料に基づき整理した。

まず、降雨履歴については、気象庁過去の気象データ検索³⁾を用い、試験施工箇所の北西約5.7 kmに



写真-1 ガンロック枠を用いた切土擁壁の試験施工(上載荷重載荷完了時: 2021年4月27日)

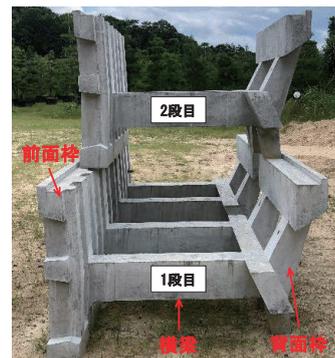


写真-2 ガンロック枠(2段に積み上げた状態)

表-1 動態観測項目および観測方法・頻度

観測項目	観測機器	観測箇所数	観測方法・頻度
土圧	土圧計	4×1断面	自動 1回/時間
相対変位	防水型変位計	7×1断面	自動 1回/時間
壁面角度	携行型傾斜計	8×3断面	手動 期間内に8回

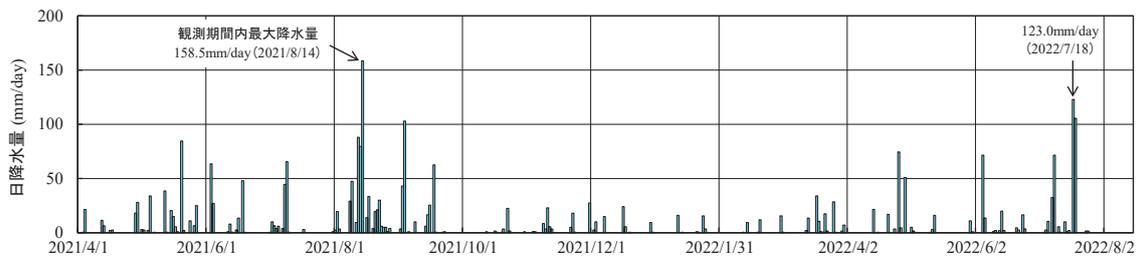


図-2 試験施工箇所近傍のアメダス豊田における日降水量³⁾
(2021年4月1日から2022年8月3日まで)

位置するアメダス豊田における動態観測期間の日降水量を整理した。図-2に、その結果を示す。試験施工箇所の近傍では、日降雨量が100mmを超える豪雨が複数回観測されたものの、試験施工箇所周辺の切土法面(裸地)に小規模な表層すべりやガリ浸食が多く発生したが、切土擁壁については壁面のほらみ出しや背面土砂の流出等の変状はみられなかった。

次に、地震履歴については、気象庁震度データベース検索⁴⁾を用い、試験施工箇所である山口県美祢市内の地震計(計3地点)において動態観測期間に震度1以上を観測した地震を整理した。表-2に、その結果一覧を示す。山口県美祢市内の地震計において震度1以上を観測した地震は7回発生しており、そのうち最大震度は震度2となっている。したがって、試験施工箇所は動態観測期間中に小規模な地震の履歴を受けたものの、地震による大きな慣性力は作用していないと推察される。

3. 観測結果および考察

図-3(a)~(c)に、切土擁壁の試験施工箇所において実施した動態観測結果を示す。まず、図-3(a)に示す土圧については、擁壁底面の前面側に設置した鉛直土圧計Pv1以外は施工に伴う土圧の変化が明瞭には確認できなかったことから、図中にはPv1のみの観測値を日平均値として示している。Pv1における鉛直土圧は、ガンロック枠の1段目を施工した2021年4月5日から施工の進行とともに上昇し、10kN/m²の上載荷重を載荷した2021年4月27日以降は概ね250~300kN/m²の値で推移している。ここで、試験施工断面を対象として実施した試行くさび法による常時の安定計算(上載荷重10kN/m²を考慮、すべり面の位置は前掲図-1(b)に併記)において、擁壁底面の前面側における地盤反力の値は $q=270.2$ kN/m²であることから、動態観測内で得られたPv1の値はその値と調和的である。なお、Pv1の鉛直土圧は観測期間において比較的降水量の少ない冬季に減少する傾向がみられるが、試験施工箇所は冬季の最低気温が氷点下となることから、文献⁵⁾において指摘され

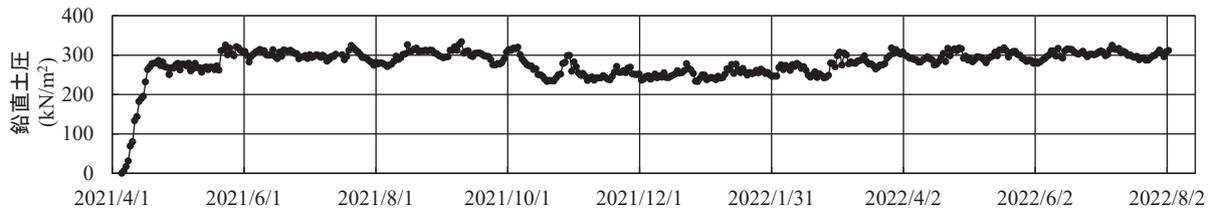
表-2 試験施工箇所周辺の地震計の地震履歴⁴⁾
(2021年4月1日から2022年8月3日まで)

地震								美祢市内 の 最大震度
発生日	発生時刻	震央地名	緯度	経度	深さ(km)	M _j	最大震度	
2021/6/19	7:39:13	愛媛県南予	33°27.6'N	132°30.8'E	42	4.7	震度4	震度1
2021/7/8	1:24:36	伊予灘	33°42.7'N	132°16.3'E	50	4.3	震度3	震度1
2021/7/17	20:50:01	伊予灘	33°38.3'N	131°51.3'E	76	5.1	震度4	震度2
2022/1/22	1:08:38	日向灘	32°42.9'N	132°04.3'E	45	6.6	震度5強	震度2
2022/3/8	5:02:03	山口県中部	34°11.1'N	131°43.8'E	11	3.2	震度1	震度1
2022/3/9	8:31:12	山口県中部	34°11.0'N	131°43.9'E	11	3.6	震度2	震度1
2022/4/23	7:46:18	山口県中部	34°11.0'N	131°43.9'E	11	4.2	震度3	震度2

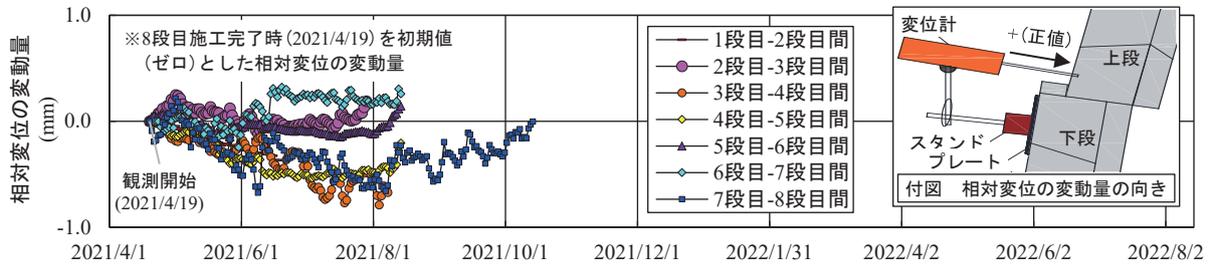
ているように地中温度や地盤の凍結融解が鉛直土圧に影響を及ぼしているのではないかと推察される。

図-3(b)に、ガンロック枠の各段間に生じる相対変位の観測結果を示す。ここで、相対変位については、ガンロック枠の8段目の施工が完了した2021年4月19日の観測値を初期値(ゼロ)として、その後の変動量を日平均値として示している。付図に示すように正值の場合は初期値と比較して上段のガンロック枠が下段のガンロック枠に対して背面側へ変位(緩勾配化)、負値の場合はその逆に変位(急勾配化)していることを表している。各段間の相対変位の初期値からの変動量は、ばらつきがあるものの、1段目と2段目間および3段目と4段目間では観測期間を通じて負側の数値がわずかに漸増する傾向がみられるが、それ以外では一定の傾向はみられない。しかし、全ての観測位置において各段間の相対変位の変動量は絶対値として1mm未満となっていることから、切土擁壁の試験施工では有意な変形は生じていないといえる。

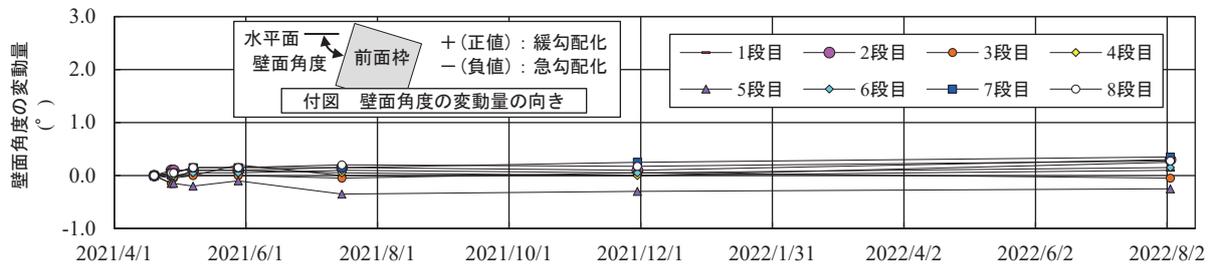
図-3(c)に、ガンロック枠の各段の壁面角度の観測結果を示す。ここで、壁面角度については、前述した相対変位と同様にガンロック枠の8段目の施工が完了した2021年4月19日の観測値を初期値(ゼロ)として、その後の変動量を示している。付図に示すように正值の場合は初期値と比較して壁面が緩勾配化、負値の場合は急勾配化していることを表している。なお、各段の壁面角度の初期値は中央断面では73.80~74.50°であり、前掲図-1(b)の計画勾配1:0.3(=73.30°)よりもわずかに急勾配となっている。しかし、各段の壁面角度の変動量は、ばらつきがあ



(a) 擁壁底面 (Pv1) の鉛直土圧



(b) ガンロック柱の各段間の相対変位 (初期値からの変動量)



(c) ガンロック柱の各段の壁面角度 (初期値からの変動量, 中央断面)

図-3 試験施工箇所における動態観測結果

るものの観測期間を通じて全ての観測位置において各段の壁面角度の変動量は絶対値として 1° 未満となっていることから、切土擁壁の試験施工では有意な変形は生じていないといえる。

4. おわりに

本稿は、ガンロック柱を用いた切土擁壁(ガンロック擁壁)の試験施工において施工時および施工後の安定性を動態観測により確認した結果について述べた。ガンロック擁壁は小規模地震や日降水量が 100mm を超える豪雨を複数経験したものの、壁面のはらみ出しや背面土砂の流出等の変状はみられなかった。また、擁壁底面における鉛直土圧は試行くさび法による地盤反力の値と調和的であり、特異な挙動は確認できなかった。さらに、ガンロック柱の各段間の相対変位や各段の壁面角度の初期値からの変動量はわずかであり、有意な変形の発生は確認できなかった。以上より、ガンロック柱を用いた切土擁壁は安定した状態であると判断される。

今後は、地震により大きな慣性力が与えられた場合の擁壁の挙動や安全性の把握についてモデル実験と解析等を用いて検討したい。

参考文献

- 1) 橋之口剛, 須井健次, 伊藤通和, 松場康二: 愛媛県下における豪雨災害対応事例, 全地連「技術フォーラム 2019」岡山技術論文, pp.No.2019_013, 2019.
- 2) 藤本哲生, 吉村隆顕, 鈴木素之: ガンロック柱を用いた切土擁壁の地震時挙動に関する基礎的検討, 第1回応用斜面工学シンポジウム論文集, pp.63-66, 2021.
- 3) 気象庁: 過去の気象データ検索, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, (2023.10.2 参照)
- 4) 気象庁: 震度データベース検索, <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html>, (2023.10.2 参照)
- 5) 鈴木信太郎, 川口貴之, 中村大, 川尻峻三, 山下聡, 内島典子: 寒冷地の道路内における鉛直土圧の季節変化, 土木学会論文集 A2, Vol.71, No.2, pp.I_475-I_484, 2015.

(2023. 11. 30 受付)

[著者代表連絡先]

三原孝文(極東興和株式会社技術本部技術開発部)
電話: 082-261-1204 E-mail: mihara@kkn.co.jp

自然斜面の崩壊を予防する耐震治山工法の効果を伝える

～模型実験を用いた取り組み～

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 賛助会員 鏡原 聖史

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 賛助会員 岡崎 敬祐

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 賛助会員 西原 玲二

株式会社ダイカ 寺岡 克己

一般財団法人建設工学研究所 沖村 孝

キーワード：斜面对策，模型実験，防災教育

1. はじめに

近年，地震や豪雨によって自然斜面が表層崩壊することを予防する対策工として，樹木を残したまま自然斜面を補強できるロープネット・ロックボルト併用法（以降，対策工と呼ぶ）¹⁾，が施工されるケースが増加している（図-1 参照）。

この対策工は，通常の支圧板と鉄筋挿入工にネットまたはワイヤーを網目状に組み合わせて施工することで地盤変形の追従性を高め，崩壊に至る地盤変形を抑制する工法である。

大変形を抑制する新たな対策工であることから，地盤の変形に追従して各部材がどのように働き，対策の効果がどのように発現されるかを理解してもらうことが重要である。

著者らは，対策工の効果を視覚的に理解できる一般向け教材として簡易な土層を傾斜及び加振させることが出来る模型実験装置を作製し，活用^{2),3),4),5),6)}している。



図-1 対策工施工後の状況

本稿は，自然斜面の崩壊を予防する対策工の効果を視覚的に理解できる簡易な模型実験装置の概要とそれを活用した活動ならびに試行錯誤した説明内容や参加者から得た意見や改善点等について紹介する。

2. 対策工ならびに模型実験装置の概要

対策工の概要ならびにこれまで改良を加えた模型実験装置の概要について述べる。

(1) 対策工の概要

対策工は，図-1 に示すように，樹木を残したまま0.5m 格子のネットまたはワイヤーで地表面を覆い，2m の千鳥配置でネット，ワイヤーの交点を支圧板（φ0.3m または 0.3m×0.3m（角部 R 加工））で抑え，D22 の鉄筋を地山に挿入するものである。また，レベル2 の地震時における設計法を採用しており，想定地震時の対策斜面の変形の度合いにより安定性を評価，適用性を判断する方法としている⁷⁾。

(2) 模型実験装置の概要

模型教材は，静的な斜面傾斜模型実験装置と動的な加振式傾斜土層模型実験装置の2つである。土材料は，スウェーデンで開発された特殊な砂で98%が純粋な砂で出来ており，特許技術（2%）によって乾燥せず，締固まり，土塊を維持できる Kinetic Sand⁸⁾を用いている。ボルト・支圧板はトタン釘（長さ45mm），ネットは防鳥ネット（25mm 目合）を用いている。傾斜台には，斜面基盤をイメージして，コルクマット（厚さ10mm）を設置し，ボルト（トタン釘）

の先端がコルクマットに刺さることで固定できる構造としている。図-2は、静的な斜面傾斜模型実験装置³⁾で、実験土層に、土のみ、土に支圧板・ボルトで補強したもの、土に支圧板・ボルト、ネットで補強した土層を傾斜板の上に設置して、傾斜板をゆっくり傾けることで、対策工の違いによる土塊の移動状況を確認し、視覚的に対策工の効果を確認することができる。傾斜は0度から60度まで変えられ、傾斜を微調整できるようにボールネジ式としている。また、土層が移動した際に、移動する土量やそのスピードを観察できるように落下区間を設けている。

実験終了後の片付けの時間を短縮するために、土塊が落下すると箱内にとどまるよう架台固定箱を作成し、その前面に取り外し出来る板を設置している。実験終了後は、この板を取り外し、架台固定箱に貯まった土材料を取り出すことで片付けを短時間で行える。さらに、毎回、同様な条件で実験ができるよう実験土層作成用の箱(210mm×390mm×40mm×3個)を制作し、箱内に土材料を敷き詰めることで、毎回同量の土で実験ができるよう工夫した。対策工の設置は、箱内に土材料を敷き詰めたのち、突起を付けた実験土層作成用の箱の蓋を用意し、その蓋を土材料に押し当てることで対策工の設置位置をマーキングし、すばやく決められた位置にボルト(トタン釘)が設置できるようにした。このような工夫を行うことで、実験の熟練者でなくとも素早い実験準備が可能となっている。

本対策工が地震時に変形を許容する設計としていることから、静的な傾斜実験ではなく、振動させた実験を行うことを目指して、模型実験装置の製作を行った。

図-3は、動的な加振式傾斜土層模型実験装置^{4),5),6)}である。この装置は、静的な斜面傾斜模型実験装置の構造を傾斜土層部と中間可動部(回転テーブ

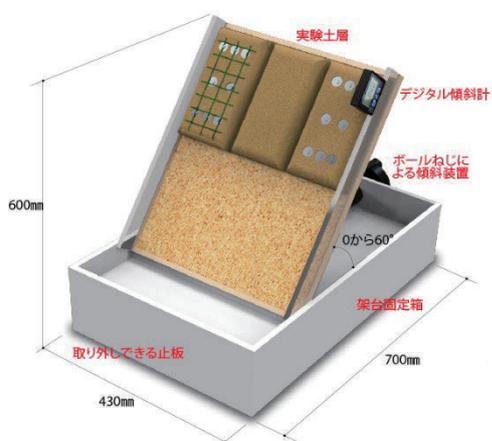


図-2 静的な斜面傾斜模型実験装置の概要³⁾

ル)と加振回転ハンドルを手動で回転させる加振部の3つを組み合わせることで、傾斜、加振実験が可能な装置である。傾斜角は0から45度まで変えられる。傾斜土層部下の加振部は、幅250mm、長さ400mm、高さ100mmである。スライドする振動台と円盤をクランクで接続する往復スライダクランク機構とした。傾斜土層部の重量を考慮しつつ、振動台が加振方向にスムーズに移動できるように2本のシャフトにベアリングを付けた。また、φ90mmの加振回転円盤には、回転半径を変えられるように半径15mm、25mm、35mmの位置にクランク固定用穴を設置し、同じ回転で周期を変えるよう工夫した。さらに振動を斜面方向または斜面直交方向から加えられるよう中間可動部(回転テーブル)を設け、傾斜土層を載せる台を90度回転、固定させる構造とした。この中間可動部は、幅300mm、長さ500mm、高さ70mmである。また、振動実験を行うことから、装置をステンレスとすることで耐久性を高めた。

条件を変えながら複数回実施した結果、傾斜角35度で、土のみ、土に支圧板・ボルト、ネットで補強した土層を同時に実験ができ、土層の変形状況の変化を比較、観察ができることを確認した。

動的な加振式傾斜土層模型実験装置を活用していく中で、手動であるがため回転のスピードが、一定ではなく、どの程度の回転数であるか説明できない課題があった。併せて、数多く実験を行うと実験者の手首の疲労も蓄積するため、複数人の実験者が必要となってくる。このことから、自動で回転数が制御できるように加振回転ハンドル部分を電動モーターに置き換えて電動化することとした(図-4参照)。

電動モーターの規格は、傾斜土層部を振動させるために必要なトルクと速度が十分制御できる電動モーター(オリエンタルモーター社製:SCM560GVH-JA)、ギアヘッド(オリエンタルモーター社製:5GVH9B)を採用した。この電動モーターで、回転数を1分間に30から130回まで制御でき、回転数の設定は、コントロールボックスのデジタル画面を確認しながら行えるようにした。加振のオン、オフは、ハンドルスイッチでおこない、スイッチを押している間動作するようにした。また、実験中の安全対策として、アクリルカバーで試験装置周りを囲うように配慮した(図-4参照)。なお、電動モーターを駆動させるために100Vの電源が必要である。

以上、静的、動的な加振式傾斜土層模型実験装置は、それぞれ梱包箱に収めて、運搬できるようにしている。梱包重量は、およそ15~20kgであり、2人で容易に運搬が可能である。

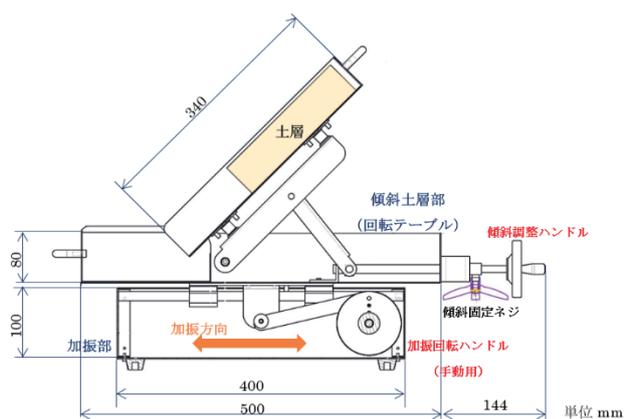


図-3 動的な斜面傾斜模型実験装置の概要⁴⁾

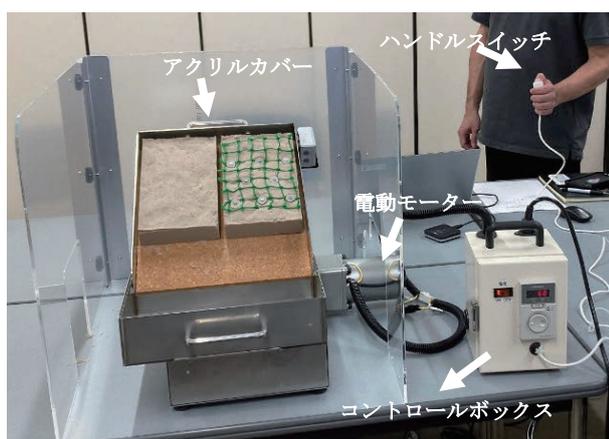


図-4 動的な斜面傾斜模型実験装置の概要⁵⁾

3. 模型実験装置を活用した活動

著者らは、1997年から毎年2週間にわたり、兵庫県が開催している六甲山の災害展⁹⁾に2016年から参加して、模型実験装置を活用した土砂災害対策の啓蒙活動を行っている(図-5参照)。説明の概要は次のとおりである。①豪雨、地震で起こる表層崩壊を説明、②山の断面図(ボーリングなどの調査結果と地盤区分図)を示し、表層崩壊する土層について説明、③表層崩壊の発生を予防するための対策工について、実物大のボルト、支圧板、ネットの説明、対策工の施工方法を説明、④実物と模型を対比させながら模型実験装置を説明、⑤斜面傾斜実験、振動実験を行い、対策工の効果の説明として、土塊のすべり変位の明らかな違いや支圧板、ネットが土試料にめり込み、変形を抑制していることなどを説明し、参加者とコミュニケーションを図りながら進めている。2020年、2021年は、コロナ禍の開催となったため、対面での説明の機会がなかったが、実験動画を制作し、動画による説明を行った。2022年は久しぶりの対面での開催となり、これまでの説明方法に倣



図-5 静的な斜面傾斜模型実験装置を活用した説明状況



図-6 動的な斜面傾斜模型実験装置を活用した説明状況

った活動を行った(図-6参照)。

六甲山の災害展における説明対象者は、人と防災未来センター内の見学を行う団体や親子連れの見学者などであり、時間的な余裕がある方とそうでない方など様々である。そこで、あまり見学時間のない見学者には、非常に短い時間で①から③の説明を行い、すぐに実験を開始し、④、⑤の説明を行う方法とした。一方、比較的時間に余裕のある見学者には、①から③と並行して、実際に土試料に触れてもらいながら、土層の設置、対策工の設置、模型土層の傾斜や振動まで行ってもらい、都度④、⑤の説明を行う方法とした。見学時間に余裕のない方には、ポイントをうまく説明して、実験の状況から対策工の有無の違いを見てもらうことに観点を置いて実施した。一方、時間に余裕のある方には、実験の準備から行ってもらえることから、ゆっくりと説明ができるので、参加者に楽しんでもらいながら実験を行った。

六甲山の災害展以外での活動として、兵庫県立長田高校で開催した出前授業の一貫で、六甲山に施工されている対策工の効果の説明を行った。ここでは、兵庫県六甲治山事務所が行っている事業全体の説明の一部として、斜面崩壊とそれを防ぐ対策工の効果

について、説明を行った。対象者が、高校生であることから、斜面崩壊がどの程度の傾斜で発生し易いか、対策工の崩壊防止効果はどのように発揮されるかなど学生に質問、回答してもらう形で進め、実際に実験を見て、詳細に状況を確認しながら説明を行った。

4. これまでの活動を通しての知見

六甲山の災害展において、見学者から「ネットとボルトでこんなに違うので驚きました」、「登山道でよく見る工法で、対策の目的が理解できました」などのコメントを聞くことができ、本模型実験装置を活用する大きな目的である対策工の効果が視覚的に理解してもらえた点に満足している。一方、説明時に斜面補強、支圧板、変形など専門用語を多く使ってしまった、一般の参加者、子供に分かりにくい説明となっていた。今後は、一般の参加者、子供にも分かり易い言葉で説明する必要があると改めて感じた。そのため、事前に台本を作成しておく必要があり、その台本も参加者の見学時間に合わせたものを準備しておくとともにさらに良いと感じた。また、スムーズな説明ができるように、表層崩壊の実態や対策工の実物と模型との対比ができるような資料についても模型実験装置近くに準備、配置しておくことも重要であると感じた。次回の六甲山の災害展では、これらの改善を行い、試行しながらさらに改善していきたい。

謝辞：模型実験による活動の場を与えていただきました兵庫県関係各位に、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) ロープネット・ロックボルト併用工法研究会 web, <http://www.rr-kouhou.com/index.html>, (2023.10.29 参照).
- 2) 鏡原聖史,植田誠司,久米啓介,佐柳武,種平一成,寺岡克己,西原玲二,幸徹,荒木繁幸,沖村孝：斜面表層崩壊対策工の効果を視覚的に理解する簡易な模型実験教材の検討,平成 28 年度砂防学会研究発表会,P2-117,2016.
- 3) 鏡原聖史,浦元啓,植田誠司,久米啓介,佐柳武,種平一成,寺岡克己,西原玲二,幸徹,荒木繁幸,沖村

孝：斜面表層崩壊対策工の効果を視覚的に理解する簡易な模型実験教材の活用,平成 29 年度砂防学会研究発表会,Pb-28,2017.

- 4) 鏡原聖史,西原玲二,寺岡克己,川上博行,佐柳武,菊地薫,杉井良平,田中秀幸,福井康弘,沖村孝：地震による斜面表層崩壊対策工の効果を視覚的に理解する簡易な模型実験教材の検討,2020 年度砂防学会研究発表会,R9-004,2020.
- 5) 鏡原聖史,西原玲二,寺岡克己,川上博行,佐柳武,杉井良平,田中秀幸,小林勇希,植田誠司,沖村孝：地震による斜面表層崩壊対策工の効果を視覚的に理解する簡易な模型実験教材の活用事例,2021 年度砂防学会研究発表会,P2-042,2021.
- 6) 鏡原聖史,西原玲二,寺岡克己,川上博行,佐柳武,杉井良平,田中秀幸,小林勇希,岡崎敬佑,沖村孝：地震による斜面表層崩壊対策工の効果を視覚的に理解する簡易な模型実験教材の電動化,令和 5 年度砂防学会研究発表会,P-38,2023.
- 7) 鏡原聖史,西原玲二,寺岡克己,川上博行,佐柳武,杉井良平,田中秀幸,小林勇希,岡崎敬佑,沖村孝：地震による斜面表層崩壊対策工の効果を視覚的に理解する簡易な模型実験教材の電動化,令和 5 年度砂防学会研究発表会,P-38,2023.
- 8) 兵庫県：ロープネット・ロックボルト併用工法設計・施工指針(案),
https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk15/documents/01rr_shishin_r0304.pdf,(2023.10.29 参照).
- 9) Kinetic sand web,<https://www.kineticsand.com/>, (2023.10.29 参照).
- 10) 兵庫県 web,
https://web.pref.hyogo.lg.jp/kok10/af20_000000026.html,(2023.10.29 参照).

(2022. 11. 30 受付)

[著者代表連絡先]

鏡原 聖史 (大日本ダイヤコンサルタント(株))
電話：078-251-5741
E-mail: kagamihara_satoshi@dcne.co.jp

空石積擁壁の表面波探査による危険度評価及び補強工法

有限会社太田ジオリサーチ 賛助会員 美馬 健二
有限会社太田ジオリサーチ 賛助会員 川浪 聖志

キーワード：石積擁壁，表面波探査，危険度判定，補強工法

1. はじめに

宅地に設置されている空石積擁壁の老朽化を伴う崩壊が散見される。空石積擁壁の点検・補修工事といったメンテナンスの実施が望まれるが、メンテナンスの効果を最大限発揮させるためには下記3点を明確にしておくことが重要である。

- ①空石積擁壁の崩壊メカニズムの解明
- ②空石積擁壁の点検方法
- ③空石積擁壁の補修・補強工法

空石積擁壁は、古くから用いられてきた構造物であるが、石材背後に胴込め・裏込めコンクリートがなく、1961年宅地造成等規制法施行、1968年都市計画法施行等に伴い、技術基準を満たさない不適合構造物である。近年では、空石積擁壁を建設することはほぼなくなったものの、筆者らが知る限りでは、既に設置された空石積擁壁の建て替えや補強などの施設更新は進んでおらず、今後、空石積擁壁を適切に維持管理するための点検手法・対策方法を開発していく必要があると考える。

本論では、空石積擁壁の崩壊メカニズムを示し、崩壊メカニズムの観点から非破壊調査法（表面波探査）を活用した点検方法、実際に適用した補強工法を紹介する。

2. 空石積擁壁の崩壊メカニズム

空石積擁壁の崩壊メカニズムは様々であるが、筆者らは、空石積擁壁の崩壊事例の多くは、空石積擁壁背後の空洞化が原因であると考えている。

図-1は、空石積擁壁が降雨で崩壊した事例である。崩壊した空石積擁壁を観察すると、主たる崩土は石材であり、土はほぼ無い。つまり、この擁壁は、土圧で崩壊したのではなく、背後の土砂が流出し、積み上げていた石材が崩落したと推定できる。落ち残っている擁壁背後を見ると、図-2のようにメジャーが1m程度挿入できるほど空洞化が生じていた。

崩壊メカニズムを図-3にまとめた。空石積擁壁は石材間に隙間があり、強い降雨があれば、隙間から裏込め土が流出しやすい。長い年月をかけて、裏込め土は徐々に流出し、やがては、石材の背後は空洞化する。この空洞化により、積み上げた石材の自立が困難となり、崩壊に至ったと考えられる。



図-1 空石積擁壁の崩壊事例



図-2 空石積擁壁背後の空洞化

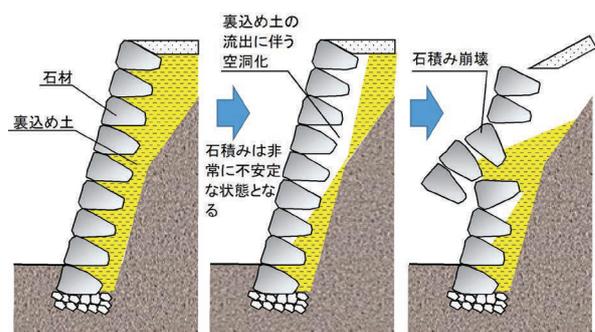


図-3 空石積擁壁の推定崩壊メカニズム

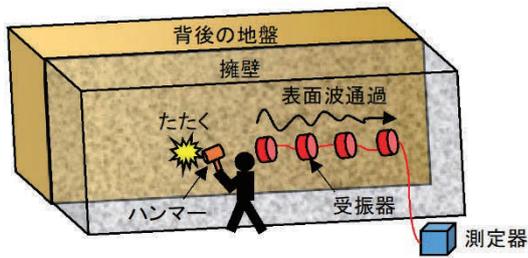


図-4 擁壁の表面波探査模式図



図-5 擁壁の表面波探査状況

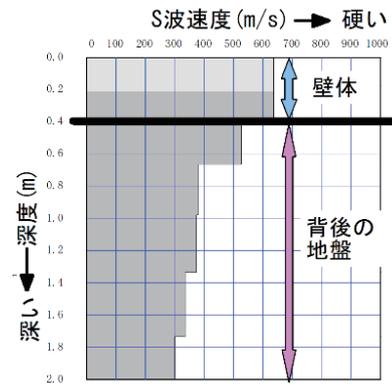


図-6 表面波探査で得られるS波速度構造図

表-1 表面波探査による擁壁の危険度判定基準¹⁾

S波速度(m/s)		危険度区分
壁体	背後の地盤	
1000以上	かつ100以上	小
500~1000	かつ100以上	中
500未満	又は100未満	大

3. 表面波探査を用いた空石積擁壁の点検

空石積擁壁の点検は、従来は外観の目視により実施されてきたが、目視できない擁壁内部の劣化や地山の緩みを確認できないことが課題となっていた。擁壁内部を評価する方法として、2013年国土技術政策総合研究所により擁壁の表面波探査法¹⁾が考案された。この表面波探査法は、これまで評価できなかった壁体内部と背後地盤の剛性(S波速度)を測定することができる新技術である。表面波探査の模式図を図-4、表面波探査状況を図-5に示す。表面波探査を行うと、図-6のような縦軸を深度、横軸をS波速度としたS波速度構造図を作成することができる。浅部が壁体であり、深部が背後の地盤である。これらのS波速度を読み取り、表-1の指標で危険度評価を行う。

実際に擁壁の表面波探査を行った事例を図-7に示す。対象の空石積擁壁は、高さ0.5~4.5m、総延長約200mの玉石積擁壁と間知石積擁壁である。探査間隔をおよそ10㎡に1箇所として擁壁を41分割し、分割した擁壁の中央で表面波探査を実施し、得られた壁体のS波速度を図-8のグラフにまとめた。この結果によると、危険度「大」と評価される擁壁は、全体の44%であり、危険度「大」の擁壁は、ほぼ全部玉石積擁壁であった。石材の積み方等によって、壁体のS波速度は大きく異なることが分かった。

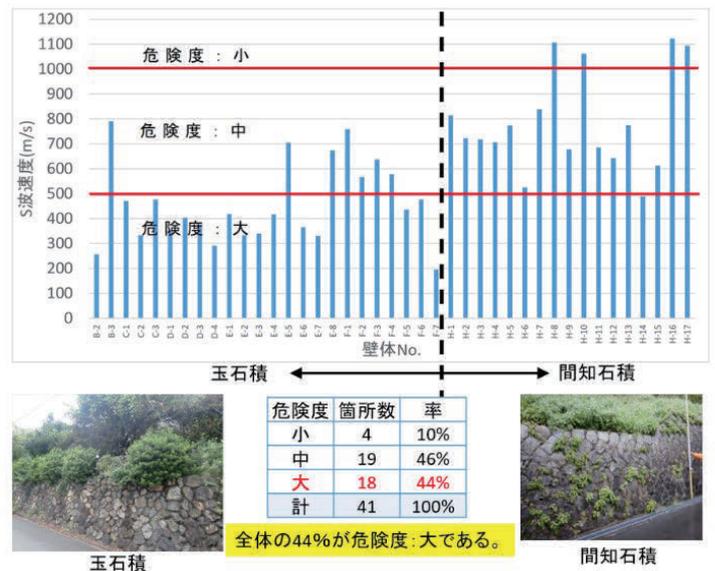


図-7 空石積擁壁の表面波探査を行った事例及び結果

4. 空石積擁壁の補強工法

(1) 石積接着補強工法

空石積擁壁は、前述のように石材の背後が空洞化し、不安定化することがある。このような擁壁を修繕する工法として、擁壁背後の空洞をモルタル等の充填剤で埋める石積接着補強工法(図-8)が開発された。この工法は、図-9のように、擁壁と家屋が近接していても、作業員が通行できれば施工できるため、狭い敷地での適用性が高い。

石積接着補強工法の補強効果を確認するため、石

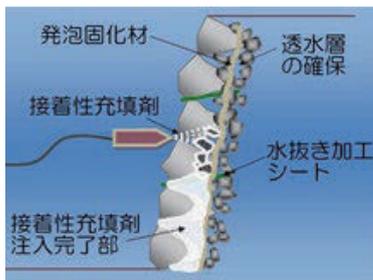


図-8 石積接着補強工法の模式図



図-9 擁壁と家屋が近接する現場で石積接着補強工法を施工した状況

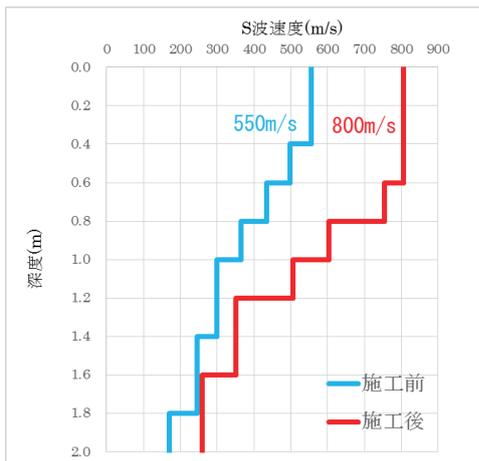


図-10 石積接着補強工法施工前後で実施した表面波探査結果

積接着補強工法の施工前後で表面波探査を実施し、S波速度 (V_s) を比較した²⁾。その結果、図-10のように施工前 $V_s \approx 550\text{m/s}$ であった箇所が、施工後は $V_s \approx 800\text{m/s}$ にまで上昇し、S波速度が約1.5倍上昇したことを確認することができた。補強効果は、深度0.8m程度まで得られているものと読み取れる。なお、表面波探査は急激なS波速度の変化を表現することを得意としていないため、深度0.8~1.6mの範囲のS波速度は正確ではない可能性がある。

このように石積接着補強工法による対策前後で表面波探査を行うことにより、当該対策による補強効果を定量的に評価することができる。一方、石積接着補強工法によって擁壁は補強されているものの、 $V_s \geq 1000\text{m/s}$ の危険度「小」にまでは改善しなかつ

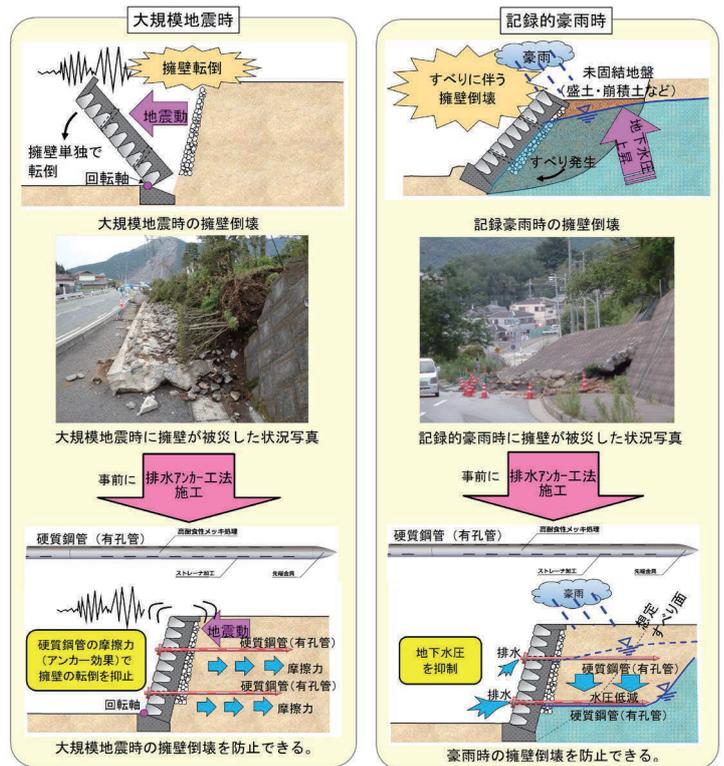


図-11 排水アンカー工法の効果

ため、危険度については「中」のままである場合があることは本工法の提案時には留意すべきである。

(2) 排水アンカー工法

空石積擁壁の補強を検討する相談者の中には、大規模地震等による擁壁倒壊を心配されるケースがある。相談者が懸念するとおり、たとえ基準に適合した練石積擁壁であっても、レベル2地震動が作用したり、記録的豪雨が発生すれば、倒壊する可能性がある。筆者らは、このようなケースの場合、図-11に示す排水アンカー工法が効果的であると考える。

大規模地震時には、擁壁が転倒しようとする力が作用するが、排水アンカー工法を実施すれば、打設した硬質鋼管と土との摩擦により擁壁の転倒を抑止することができる。

また、硬質鋼管はストレーナーを設けているため、記録的豪雨時には、地下水を排除し、地下水圧を抑制することができる。

5. まとめ

筆者らは、崩壊した空石積擁壁の現場を観察し、擁壁の崩壊原因の多くは、擁壁背後の空洞化であると推定した。目視できない空石積擁壁背後の空洞化に留意した点検を行うことにより、空石積擁壁の老朽化を適切に判断することができ、補修・補強の必

要性を評価することが可能となる。空石積擁壁の危険度を簡便に評価する方法として、迅速かつ非破壊で調査できる表面波探査を示した。

空石積擁壁の補強工法として、石積接着補強工法と排水アンカー工法を挙げた。石積接着補強工法は、石材背後の空洞を埋めることができ、不安定化していた空石積擁壁を安定化させることができる。また、石積接着補強工法の補強効果は、表面波探査で測定した S 波速度で確認することができる。さらに、擁壁の耐震補強や豪雨対策には、排水アンカー工法が効果的である。

本論が宅地擁壁のメンテナンス推進の寄与になれば幸いである。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所：多世代利用型超長期住宅及び宅地の形成・管理技術の開発，国総研プロジェクト研究報告第 42 号，pp.V-8. 2013.
- 2) 美馬健二，川浪聖志ほか：石積接着補強工法による擁壁の補強効果を定量的に評価するための表面波探査手法，第 54 回地盤工学研究発表会論文集，pp.157-158, 2019.

(2023. 11. 30 受付)

[著者代表連絡先]

美馬 健二 (有限会社太田ジオリサーチ)

電話:078-907-3120

E-mail:mima@ohta-geo.co.jp

盛土造成地の固有周期に着目した健全性評価手法の確立に向けた基礎的研究

大阪工業大学 正会員 藤本 哲生
 元大阪工業大学 非会員 小原 晃
 元大阪工業大学 非会員 中田 龍紀

キーワード：盛土造成地，常時微動，固有周期

1. はじめに

わが国では，高度経済成長期以降，都市近郊の丘陵地や山間部において主に住宅を建設するための造成地が数多く施工されている．これらの宅地造成地のうち，道路等の公共用地以外は用地毎の所有者（個人または法人）の資産となるため，費用等の問題から施工後の点検や健全性評価がほとんど行われておらず，大規模地震の際には特に盛土部において崩壊等の被害が多発している（例えば1）．したがって，盛土造成地の健全性評価を簡易的な手法により行うことが求められている．ここで，土木構造物のうち，土と比較して剛性の高い建設材料（例えば，コンクリートや鋼）を用いるアーチ式コンクリートダムや鉄筋コンクリート製の橋脚，さらに，コンクリート擁壁において，非破壊の調査方法である常時微動測定を実施し，対象構造物の剛性（せん断波速度や弾性係数など）と関連のある固有周期や固有振動数をもとに施工後の健全性や地震による損傷を把握する試みがなされている^{2)~4)}．

そこで，本研究では，盛土造成地において常時微動を測定し，得られる固有周期の経年変化をもとに健全性評価を行う手法を確立するための基礎的研究として，大阪府北部の盛土造成地を対象として固有周期の季節変動，さらに，固有周期と盛土層厚との関係を検討した結果を述べる．

2. 常時微動測定の概要

(1) 調査対象地

本研究では，大阪府北部に広がる北摂山地の南縁部に造成されたS地区において常時微動測定を実施した．図-1および表-1に，常時微動測定の位置図および各測点の盛土層厚の一覧を示す．なお，図-1には造成地内の盛土域および切土域に関する情報も併

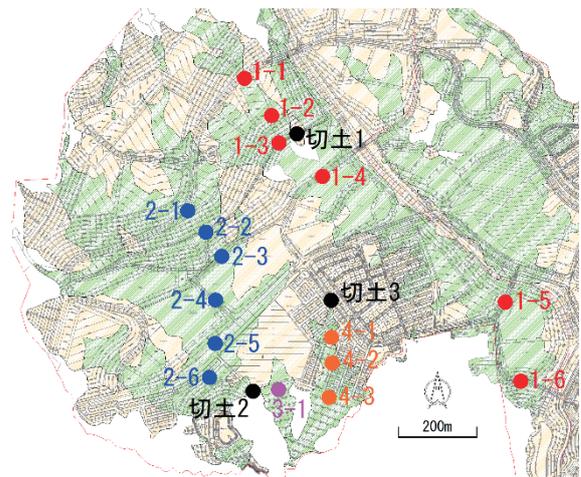


図-1 常時微動測定位置図（緑色：盛土域，黄色：切土域）

表-1 各測点の盛土層厚

測点No.	地表面標高	基盤標高	盛土層厚	備考
	EL (m)	EL (m)	H_f (m)	
1-1	218	212	6	
1-2	220	188	32	
1-3	191	186	5	測点内最小厚
1-4	176	148	28	
1-5	133	106	27	
1-6	118	94	24	
2-1	227	212	15	
2-2	205	162	43	測点内最大厚
2-3	175	156	19	
2-4	166	134	32	
2-5	155	128	27	
2-6	154	122	32	
3-1	151	130	21	
4-1	157	150	7	
4-2	154	134	20	
4-3	151	126	25	
切土1	188	188	-	比較用
切土2	150	150	-	比較用
切土3	162	162	-	比較用

記している．対象としたS地区の基盤岩には主に丹波層群の砂岩やチャートが分布しており，それを被覆する軟弱層については，造成工事の際に除去あるいは地盤改良が行われている．また，その上部に造

成した盛土は、主に岩砕材料と砂礫材料を用い、締固め度 $D_c=85\%$ の品質管理を行いながら構築されたものである。本研究では、S 地区の谷埋め盛土部のうち、旧地形の谷筋の概ね中央部にあたる現況地盤の地表面において 16 測点、比較として切土部の現況地盤の地表面において 3 測点の計 19 測点を対象として常時微動測定を実施した。なお、谷埋め盛土部の測点における盛土層厚 H_f は、最大で 43 m (測点 2-2)、最小で 5 m (測点 1-3) である。

(2) 測定方法

本研究では、前述した 19 測点において、2022 年 5 月から 2023 年 3 月にかけて 1 ヶ月に 1 回の頻度で常時微動測定を実施した。なお、使用した測定機器はシステムアンドデータリサーチ社製の NewPIC+(速度計) であり、その固有周波数は 4.5 Hz、減衰定数は 1.21 である。写真-1 に、測定状況の例を示す。本研究では、気泡管を用いて各測点の地表面に水平となるように測定機器を設置したうえで、3 成分(水平 2 成分、鉛直 1 成分)の常時微動を測定した。その際、水平成分については、方位磁石を用いて X 成分が東西方向(正值: 東方向)、Y 成分が南北方向(正值: 北方向)となるように測定機器を設置した。また、測定時間については、現場において簡易的な手法により盛土造成地の健全性評価を行うことを最終的な目的としていることから、1 測点 1 回あたり 5 分間の測定を実施し、100 Hz (0.01 s 毎) のサンプリングにより 30,000 データを収録装置(ノートパソコン)に記録した。

(3) 測定結果の整理方法

本研究では、前述した方法により測定した 1 測点 1 回あたり 5 分間の測定データをもとに、比較的ノイズの少ない約 20 秒の区間(データ数: $2^{11}=2,048$ データ)を 5 区間抽出し、3 成分それぞれのデータ、さらに、水平 2 成分を合成したデータ(水平合成成分: H 成分)を対象としてフーリエ振幅スペクトルを算出した。その際、バンド幅 0.2 Hz の Parzen ウィンドウで平滑化を行った。その後、図-2 に示すように H 成分のフーリエ振幅スペクトルを鉛直成分(V 成分)のフーリエ振幅スペクトルで除して H/V スペクトル比を作成し、その平均値(図中の赤線)の最大値(ピーク)を示す周波数を各測点の卓越周波数 f 、その逆数を固有周期 T として評価した⁵⁾。なお、測定時刻が同一ではないため参考ではあるものの、同一測定日の盛土部(例えば、測点 1-2)と比較用に測定した切



写真-1 常時微動測定状況の例(測点 1-1)

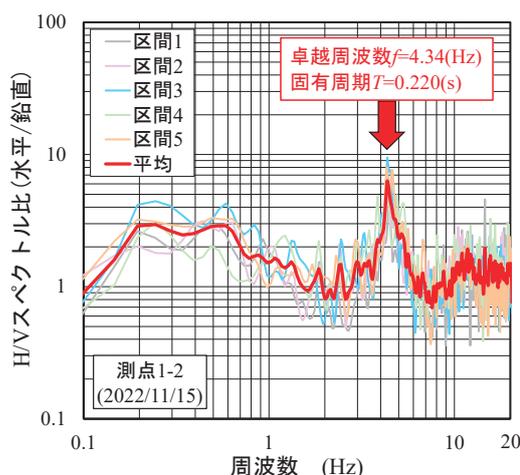


図-2 盛土部の H/V スペクトル比の例(測点 1-2)

土部(例えば、測点切土 1)の H 成分のフーリエスペクトル比を作成し、そのピークを示す周波数を確認したところ、前述した 1 測点(単点)の H/V スペクトル比のピークを示す卓越周波数 f と概ね一致することを確認している。

3. 測定結果および考察

S 地区の谷埋め盛土部において実施した常時微動測定の結果をもとに、盛土造成地の固有周期の季節変動、さらに、固有周期と盛土層厚との関係について考察する。

(1) 固有周期の季節変動

図-3 に、各測点における固有周期の期間内最大値、最小値および平均値 T_{ave} を示す。同一の測点における期間内の固有周期の差異 ΔT に着目すると、 ΔT の最大は $\Delta T_{max}=0.148$ s (測点 1-4)、最小は $\Delta T_{min}=0.032$ s (測点 4-3)、平均は $\Delta T_{ave}=0.079$ s となっている。これら同一測点における期間内の固有周期の差異につ

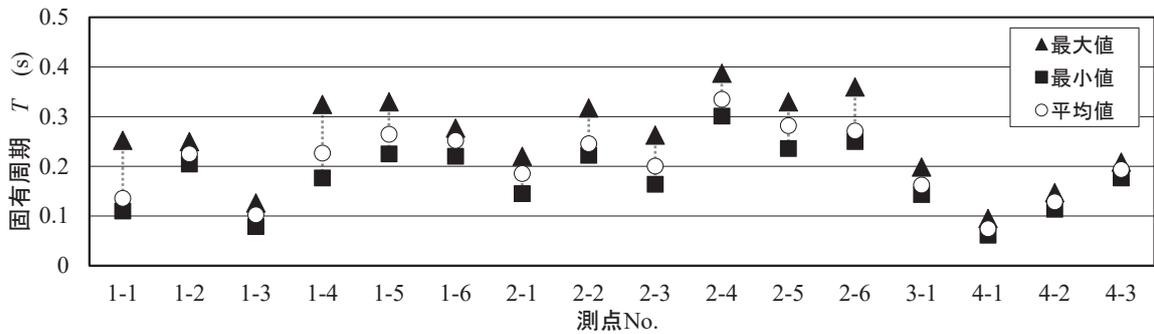


図-3 各測点の固有周期の期間内最大値，最小値および平均値

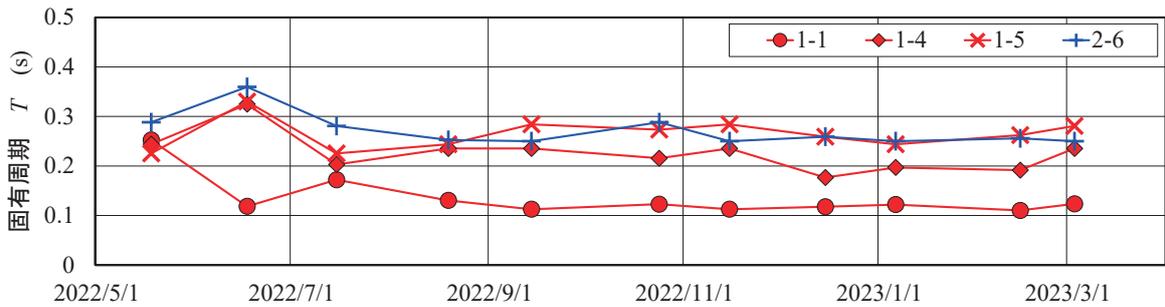


図-4 代表的な測点の固有周期の季節変動

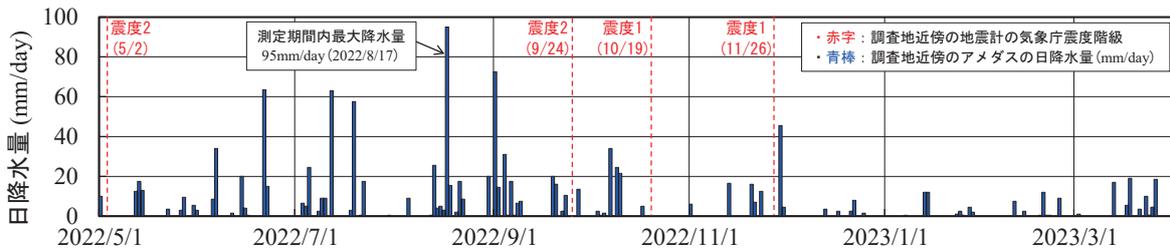


図-5 調査地近傍の地震履歴および日降雨量^{6), 7)}

いては、測定誤差が含まれていると考えられるが、それ以外の要因として地震による盛土造成地のせん断剛性の低下、さらに、降雨により盛土造成地内に形成される地下水位の変化(飽和領域、不飽和領域の変化)も影響している可能性がある。これらの点について、図-4に ΔT が大きな4つの測点の固有周期の季節変動を代表例として示す。また、図-5に調査地近傍の地震計の地震履歴⁶⁾およびアメダスの日降雨量⁷⁾を示す。まず、地震による盛土造成地のせん断剛性の低下の影響については、本研究の常時微動の測定期間内には震度1あるいは2の小規模地震が4回発生したのみであり、有意なせん断剛性の低下は発生しないと考えられることから、その影響については不明である。次に、降雨により盛土造成地内に形成される地下水位の変化の影響については、一般的に降雨の多い夏季の方が降雨の少ない冬季と比較して盛土内に形成される地下水位が高くなると考えられるが、代表例として示した4つの測点については、いずれも固有周期の季節変動には一定の傾向はみられず、また、降水量との相関もみられない。な

お、盛土構造物であるロックフィルダムロック材では、飽和領域よりも不飽和領域のせん断波速度が大きくなる⁸⁾ことが知られていることから、今後、常時微動測定と併せて盛土造成地内に形成される地下水位を測定することにより、盛土造成地の固有周

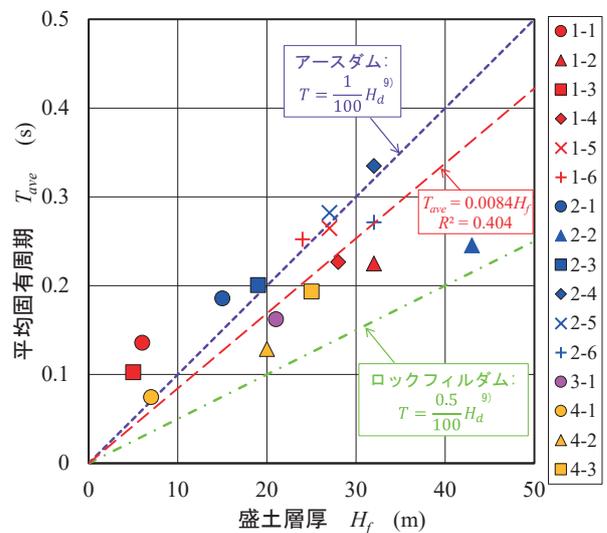


図-6 平均固有周期と盛土層厚との関係

期に及ぼす地下水位の影響を検証したい。

(2) 固有周期と盛土層厚との関係

図-6に、各測点の期間内の固有周期を平均した平均固有周期 T_{ave} と盛土層厚 H_f との関係を示す。同図には、盛土構造物であるアースダムおよびロックフィルダムの固有周期 T と堤高 H_d の関係⁹⁾も併記している。各測点の T_{ave} は、ばらつきはあるものの H_f の増加とともに長くなる傾向がみられ、既往研究¹⁰⁾の傾向と一致している。ここで、本研究で得られた各測点の T_{ave} は 0.075 s から 0.335 s であり、盛土構造物のなかでは比較的せん断剛性の高いアースダムやロックフィルダムの固有周期と同程度の値となっている。この点について、アースダムやロックフィルダムは、基礎地盤から突出した形状であるのに対し、本研究対象の谷埋め盛土部については、側方を地山(基盤岩)に拘束された状態であることから、地山の拘束効果の影響により固有周期が全体的に短くなったのではないかと推察される。したがって、今後は各測点の常時微動測定結果を旧地形の谷筋の向きやそれに直交する向きに補正したうえで、それぞれの振動特性を把握するとともに、谷埋め盛土部の固有周期に及ぼす地山の拘束効果の影響を検証したい。

4. おわりに

本研究は、盛土造成地において常時微動を測定し、得られる固有周期の経年変化をもとに健全性評価を行う手法を確立するための基礎的研究として、大阪府北部の盛土造成地を対象として固有周期の季節変動、さらに、固有周期と盛土層厚との関係を検討したものである。得られた知見として、本研究の範囲内では盛土造成地の固有周期の季節変動には一定の傾向はみられず、降水量との相関もみられないこと、また、盛土造成地の期間内の平均固有周期は、ばらつきはあるものの盛土層厚の増加とともに長くなることを明らかにした。

今後は、本研究で設定した測点の固有周期の経年変化を把握するとともに、盛土造成地の固有周期に及ぼす地下水位の影響や地山の拘束効果の影響を検証したい。

謝辞：本研究は、公益財団法人土科学センター財団の2022年度研究助成をもとに実施したものである。また、常時微動測定にあたり、エイト日本技術開発の野谷正明氏、福島康宏氏、白倉和也氏には多大な

るご助力を頂いた。ここに記して関係各位に謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) 土木学会地震工学委員会：土木学会東日本大震災被害調査団 緊急地震被害調査報告書, pp.6-1-6-46, 2011.
- 2) 上島照幸, 塩尻弘雄, 金澤健司: 常時微動・地震動の長期継続観測によるアーチダムの構造健全性モニタリング技術の適用-ダムの振動特性変動の検出:常時微動と地震時変動-, 日本地震工学論文集, Vol.15, No.7, pp.284-294, 2015.
- 3) 永田聖二, 金澤健司, 梶原浩一, 矢花修一: 常時微動モニタリングに基づく実大 RC 橋脚試験体の地震損傷評価, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.49-59, 2010.
- 4) 一井康二, 河野真弓: 擁壁や盛土の健全度診断への地盤震動計測-適用性と課題-, 物理探査, Vol.68, No.2, pp.101-117, 2015.
- 5) 中村豊, 上野真: 地表面での常時微動測定による表層地盤の振動特性の推定, 第41回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.833-834, 1986.
- 6) 気象庁: 震度データベース検索, <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html> (2023.11.1 閲覧)
- 7) 気象庁: 過去の気象データ検索, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2023.11.1 閲覧)
- 8) 沢田義博, 高橋忠, 桜井彰雄, 矢島浩: ロックフィルダムの物性値分布特性および堤体の動的特性-弾性波動に基づく考察, 電力中央研究所報告, No.377008, pp.67-68, 1977.
- 9) 岡本舜三: 耐震工学, オーム社, pp.108-110, 1971.
- 10) 遠藤信之, 大島昭彦, 鍋島康之, 河井克之, 福塚健次郎, 豊福恒平, 永井久徳, 南部啓太, 立石亮: 大規模造成地における常時微動特性, 第54回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.1999-2000, 2019.

(2023. 11. 30 受付)

[著者代表連絡先]

藤本 哲生

(大阪工業大学工学部都市デザイン工学科)

電話: 06-6954-4141

E-mail: tetsuo.fujimoto@oit.ac.jp

『スロープセイバー』の新しい挑戦と技術開発

日特建設株式会社 賛助会員 池野 綾

キーワード: LiDAR 計測, スロープセイバーの検証, 法面保護工の機械化施工技術

1. はじめに

我が国の法面保護工の施工対象範囲には凹凸が激しいことや直高が高いといった厳しい施工条件の現場が存在する。そのことから、トンネル吹付工と比較すると法面保護工の機械化施工は進んでいない。

トンネル吹付工と法面保護工の最大吐出量に3倍程の差があるのは吹付方法によるところが大きい。(表-1)人力での吹付作業は現状の吐出量が限界であり、これ以上の吐出量にした場合、身体的に大きな負荷がかかってしまう。

トンネル吹付工は機械化が進み生産性が向上してきているのに対し、法面保護工は機械化が進んでいないことに加え、高齢化社会が進むにつれて熟練技能者が少なくなり生産性の低下傾向にある。¹⁾

労働力不足の解消、後継者の担い手不足、新3Kの実現といった社会的課題を解決し、持続可能な事業と社会を実現したいという思いから、吹付作業を機械化したスロープセイバーは開発された。

2. スロープセイバーの施工システム

スロープセイバーは0.8m³の汎用バックホウのバケット部に吹付アタッチメントを取り付けて行う機械化施工である。(図-1)基本的に生モルタルを生コン車で運搬し、大容量のコンクリートポンプを用いて、吹付アタッチメントから大容量の吹付を行う。

表-1 トンネル吹付工と法面保護工の比較

	トンネル吹付工	法面保護工
吹付方法	吹付ロボット	人力
材料供給	コンクリートポンプ	湿式吹付機
材料	コンクリート (C=320 kg)	モルタル (C=420 kg)
最大吐出量	5~10 m ³ /hr	1~3 m ³ /hr

LiDAR と呼ばれる計測機器で吹付厚と吹付面積はリアルタイムに計測され、オペレータだけでなく、現場監督のタブレットにて施工完了面積や材料使用量といったデータが確認可能である。また、タブレットからコンクリートポンプや吹付アタッチメントのステータスの確認、変更が可能となっている。¹⁾

3. 工法概要

人力吹付と同様の施工範囲を1種類の吹付ロボットで施工することは困難であることから、スロープセイバーは大幅な生産性向上が期待できる大規模法面にターゲットを絞っている。そのため、スロープセイバーの施工範囲はC-17型で法面勾配45~90°、直高17m(法面2段分)となっている。吹付アタッチメントは2種類存在し、施工条件により吹付アタッチメントを使い分けて施工を行う。2段式マストを装着した高所用のC-17型、低所用のC-08型が存在する。(図-2)2段式マストの重量は2.1t、吹付ヘッドの重量は0.6tとなっている。施工の汎用性を高めるため、ベースマシンとなるバックホウはリース機での使用が可能である。¹⁾

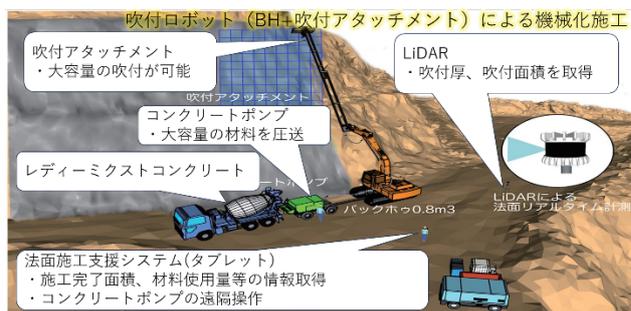


図-1 スロープセイバーの施工イメージ

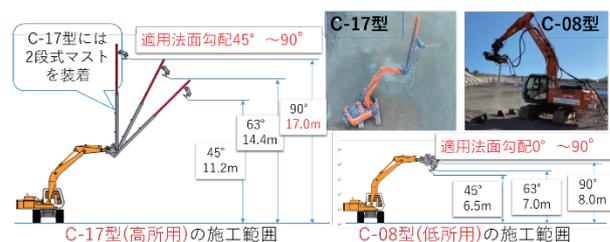


図-2 吹付アタッチメントの適用範囲



図-3 ノズルスライド機構

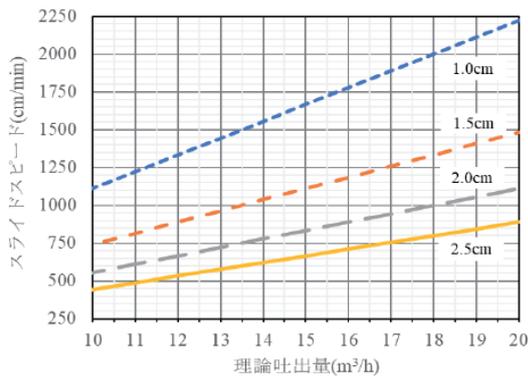


図-4 スライドスピードと吐出量による吹付厚の目安

スロープセイバーによる吹付は、ノズルスライド機構と呼ばれる装置を使用して行われる。(図-3)ノズルスライド機構は吹付用のノズルを回転させながら、左右にノズルをスライドして吹付を行う。ノズルスライド機構のスライドスピードを調整することで、様々な吹付厚に対応し平滑に吹付を行うことが可能である。標準吹付幅は1列2.5m~3.0mで1~2列吹き付ける毎にベースマシンを移動させる。

ノズルスライド機構の速度と吐出量により3~10cmの吹付厚を施工することが実現可能である。現場ごとにスライド1回あたりの吹付厚を決定し、吹付厚の目安を確認するキャリブレーションを実施する必要がある。(図-4)スライドスピードの上限値は7,200cm/minとなっている。また、吹付厚のバラツキを抑えるため、複数回のスライドで設計吹付厚まで吹付けることが望ましい。¹⁾

スロープセイバーには台車を牽引することによって配管長やホース長の制限を受けずに施工可能な牽引式と、通常の吹付プラントと同様にプラントを所定の場所に定置することから配管長及びホース長に制限を受ける定置式の2つの施工方式が存在する。(図-5)通常は牽引式を選択して施工を行う。

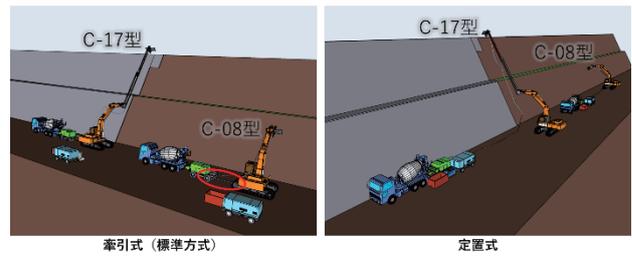


図-5 牽引式と定置式のイメージ図

表-2 スロープセイバーで使用するモルタルの標準配合

W/C	セメント (C)	細骨材	高性能AE減水剤	急硬剤
45~55%	480kg	1,440kg	C×0.5%	C×3%

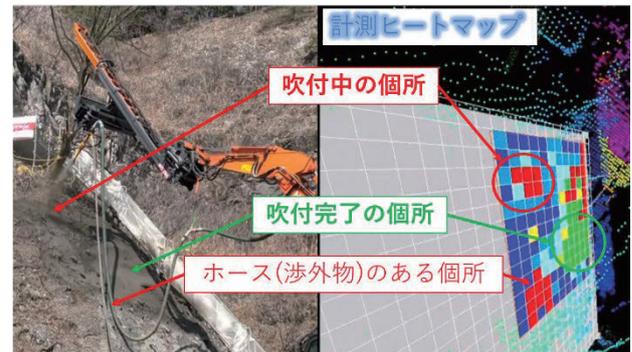


図-6 吹付状況と計測ヒートマップ状況

4. 標準使用材料

スロープセイバーによる大容量施工において、配管閉塞時の経済的リスクが非常に大きいことからポンパビリティを可能な限り高める必要がある。そのため、生モルタルの標準配合はセメント1:細骨材3の富配合となっている。(表-2)従来の人力吹付で行う場合の標準配合は、セメント1:細骨材4である。セメントは普通ポルトランドセメントを使用する。

5. LiDARによる計測方法

LiDARとはレーザー光を照射して、その反射光の情報をもとに対象物までの距離や対象物の形などを計測する技術である。LiDARにより取得した吹付厚や吹付面積を基に、施工完了面積や材料使用量といった施工管理ステータスをリアルタイムで取得することが可能である。

LiDARを用いた吹付厚のリアルタイム計測の結果は、計測ヒートマップにより算出される。(図-6)緑色は設計吹付厚まで達した箇所で、設計吹付厚に達するまで青色→水色→黄色→緑色へと変化していく。赤色は吹付中の箇所もしくはホース等の障害物があり、値の変化量が大きいことから計測不能な箇

所である。

LiDAR の基本スペック及び写真と計測イメージを図-7 及び図-8 に示す。計測ヒートマップは測距点(点群)の平均値をメッシュ毎の吹付厚として表示しており、メッシュ内に含まれる測距点の数が多ければ精度が高くなる。測距する距離が遠くなる、または計測角度が浅くなるにつれて、測距点の間隔は広がるので精度は低下する。メッシュの大きさは0.5~1.0mの範囲で設定可能である。LiDAR における吹付厚は、同一メッシュ内の測距点の吹付前後の座標を平均化して算出している。法面の凹凸に対しては、吹付前の計測データにその凹凸を加味した初期値とすることで算出し、吹付厚に反映させている。なお、LiDAR は三脚などを用いて静止設置することが必要となる。そのため、盛替え作業時には計測箇所にもーカーを設置し、トータルステーションなどを用いてマーカーや LiDAR の座標を計測しておく必要がある。

6. LiDAR とスロープセイバーの検証

(1) 長距離での計測精度確認事例

本事例は吹付厚を計測したものではなく、長距離での計測精度を確認したものである。本システムはLiDAR を設置して計測を開始すると、計測不可能なメッシュや計測値のばらつきを吹付前に確認することが可能である。図-9 は計測開始直後の画面を示したものである。

施工箇所 A は赤く表示されている部分が多く、計測不能箇所が多いことがわかる。その原因は、LiDAR の点群一つ一つの測距点は距離が遠くなる程ずれてしまう傾向があるためである。さらに計測箇所 A は凹凸が激しかったことで、一つの測距点の計測変化

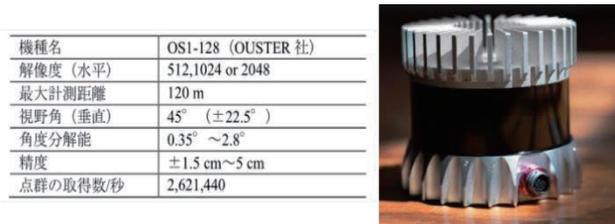


図-7 LiDAR の基本スペック及び写真

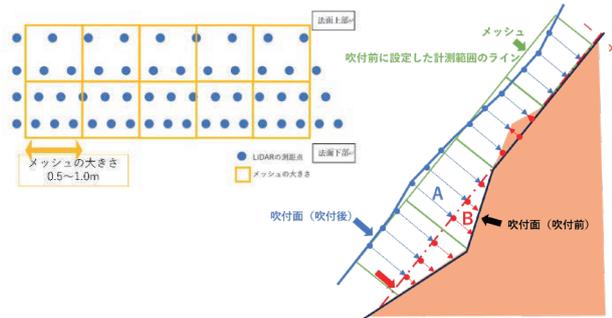


図-8 LiDAR による計測イメージ

量が大きくなってしまったと考えられる。一方、計測箇所 B は同程度の距離にも関わらず、LiDAR 設置位置の近傍と同様に赤く表示されたセルが大幅に少なくなっている。これは計測箇所 B の凹凸が少ないことによるものと考えられる。

この結果より、凹凸の激しい法面でなければ数十mの測定でも可能だと考えられるが、LiDAR の設置条件や性能によって大きく結果が異なる可能性もあるので今後も検討していく必要がある。²⁾

(2) 凹凸のある法面での計測事例

本事例は仮設モルタル吹付工に本システムを試験的に適用したものである。当現場は落石の恐れが高く、ロープ作業が危険であったことからノズルマンが高所作業車に乗って吹付を行った。法面上をロープ移動できないことからスパーサーや検測ピンの設置を行わず吹付を行う必要があった。また、凹凸が激しい法面であることから、吹付ロスの増大と吹付厚を規格値内で管理できるかが懸念事項であった。図-10 に計測箇所の写真、図-11 に計測条件を示す。

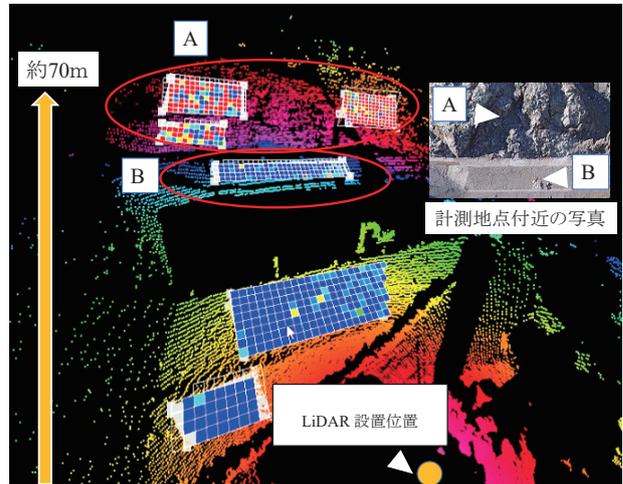


図-9 LiDAR 計測開始直後の画面



図-10 計測箇所の写真(吹付前と吹付後)

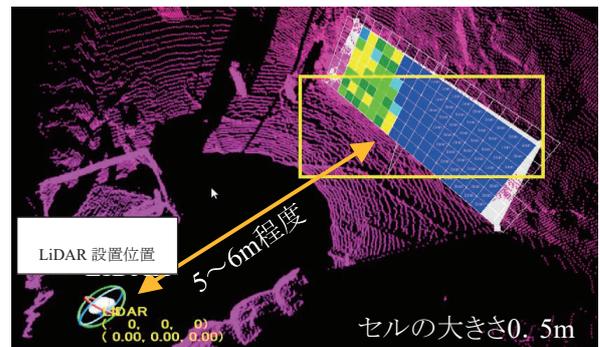


図-11 計測条件(LiDAR と法面間の距離 セルの大きさ)

吹付は施工管理社員がタブレット PC に表示された計測画面を確認しながら、ノズルマンに指示を与える形で実施した。図-12 は吹付後の計測結果を示したものである。また、従来通り検測孔を設けて計測した実測値もメッシュ内に表示された吹付厚と比較し問題なかった。

設計吹付厚 50mm に対して、平均吹付厚は 69mm であり厚さから算出する吹付ロス率は 1.38 であった。国土交通省の仮設モルタル吹付工の標準歩掛りで示されている吹付ロス 1.27 を若干上回る値となった。これは、凹凸が激しい法面だったことと、人力吹付であることから一旦目視確認後に LiDAR で計測するという手順を行う必要があったためだと考えられる。

この結果より、規格値を満足する結果となり、吹付ロスの大幅な増加も防ぐことができたと考えられることから、本システムの有効性を確認できた。²⁾

(3) 従来技術(人力吹付)との吹付厚分布の比較事例

本事例は従来技術とスロープセイバーの吹付結果を比較したものである。従来技術はスパーサーによって吹付厚を管理、スロープセイバーは LiDAR によって吹付厚を管理した。計測は同一法面で分けし、両者とも LiDAR を用いることで吹付厚の計測結果を比較した。材料供給方法は両者とも湿式吹付機による現場練りモルタルである。両者の吹付厚分布を図-13 に示す。

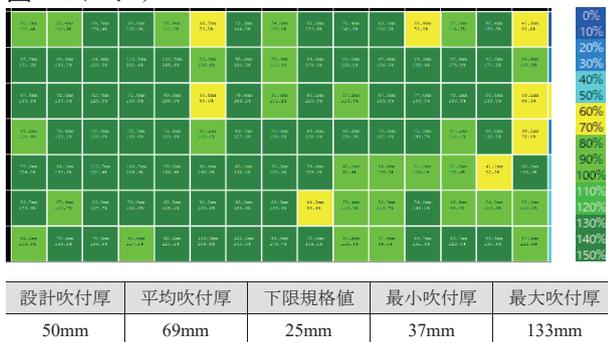
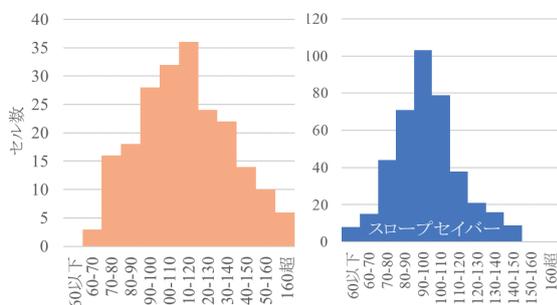


図-12 吹付後の計測結果



	従来技術	スロープセイバー
計測対象面積	52.25m ²	99.75m ²
計測セル数	209	399
平均値	113.4mm	97.6mm
標準偏差	24.18	21.03

図-13 従来技術とスロープセイバーの吹付厚分布の比較

両者とも大きなばらつきは無く、平均吹付厚に関してはスロープセイバーが設計吹付厚に近い値となった。従来技術は、ノズルマンが平滑に仕上げようとする意識が働くことに起因して吹付ロスが多くなってしまったと考えられる。スロープセイバーはノズルスライド機構により、従来技術より単位時間当たりの吹付厚を薄くできることに加え、吹付中に LiDAR で吹付厚を確認できたことで、比較的設計吹付厚に近い値となったと考えられる。また、スロープセイバーの吹付オペレーターはオペレート未経験者であったことから、熟練作業者に頼らなくても本システムを使用することで、適切な吹付厚管理が可能であることがわかった。²⁾

7. 植生工への適用範囲拡大

ロータリー式吹付機(アリバやニードガン)の大容量吐出とノズルスライド機構により、スロープセイバーで植生基材吹付等の植生工が可能となった。最大吐出量は人力吹付の3~5倍で1時間に10m³の吹付が可能となっていることから工期短縮を図ることができる。また、ネッコチップ工法のポンプ圧送方式やカエルドグリーン工法といった表土や木材チップといった現地発生材を用いる環境に配慮した緑化工法とも組み合わせが可能となっている。

8. おわりに

少子高齢化や担い手不足で職人や技術者の減少が問題となっている現代において、今後も吹付の自動化や吹付厚管理の機械化といった技術の発展が必要となってくる。

スロープセイバーの開発は今後の法面業界において、持続可能な事業と社会を実現していくことの大きな一歩になるものだと考えており、この先も技術開発の継続と新しいことへ挑戦し続けることが大切だと考えている。

参考文献

- 1) 石垣幸整, 中西貴大: 法面吹付ロボットの開発と LiDAR によるリアルタイム吹付厚計測—モルタル吹付工の生産性向上に向けた取り組み—, 第 21 回建設ロボットシンポジウム, pp. 1-8, 2023.
- 2) 石垣幸整: モルタル吹付工における LiDAR を用いたリアルタイム吹付厚計測技術とその事例紹介, 基礎工, Vol. 51, No. 8, pp. 86-89, 2023.

(2023. 11. 30 受付)

[著者代表連絡先]

池野 綾 (日特建設株式会社 大阪支店)
 電話: 06-6232-2109
 E-mail: ryuu.ikeno@nittoc.co.jp

航空レーザデータを用いた盛土被災等への対応事例

アジア航測株式会社 賛助会員 藤田 安秀
 アジア航測株式会社 賛助会員 落合 達也
 アジア航測株式会社 賛助会員 高山 陶子
 アジア航測株式会社 賛助会員 塚本 峻一

キーワード：盛土規制法，道路盛土，赤色立体地図

1. はじめに

航空レーザ測量等で取得した三次元点群データ・詳細地形データ（DEM）は、微地形判読、斜面災害リスク箇所抽出、災害復旧時の対策工検討の基礎データ等に活用され、斜面工学の分野でも広く利用されるようになった。特に微地形判読を行う際は、地形の凹凸が明瞭な赤色立体地図等の微地形表現図が有効である。詳細地形データ・赤色立体地図は、地すべり地形や斜面崩壊跡の確認以外でも、地形改変に伴う盛土造成地の抽出や盛土法面上のガリー、段差を伴う変状、雨水排水経路等の解析等にも用いることができる。近年、大雨や地震等による盛土災害が全国で注目されている中、本編では、盛土のり面における航空レーザデータの利活用場面を紹介するとともに、令和5年に施行された盛土規制法における航空レーザデータの活用動向を紹介する。

なお、ここで紹介する赤色立体地図は、地形の凹凸を可視化した微地形表現図のひとつである。アジア航測が開発した技術であるが、国土地理院のHPでも公開され、広く活用されている地図である。

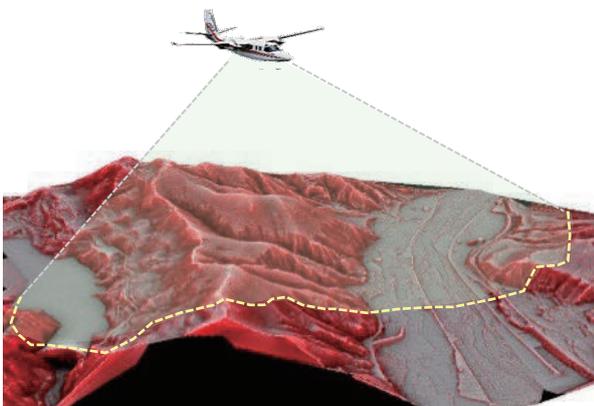


図-1 航空レーザ測量による地形データ取得イメージ。

（赤色立体地図の鳥観図による編集）

2. 三次元点群データの利活用

航空レーザ計測はこの20年間で精度、品質が大きく向上し、土砂災害や社会インフラマネジメントを行う場面で多く利用されるようになった。令和3年には、国土交通省より「三次元点群データを活用した道路斜面災害リスク箇所抽出要領（案）」が公表され、道路防災点検での利活用が積極的に行われるようになった。

三次元点群データは、 1m^2 当たり4点以上の精度で取得することが望ましく、植生の繁茂状況による取得データの精度やフィルタリング技術により、判読可能な地形要素や変状等の把握に違いが生じることに留意する必要がある。

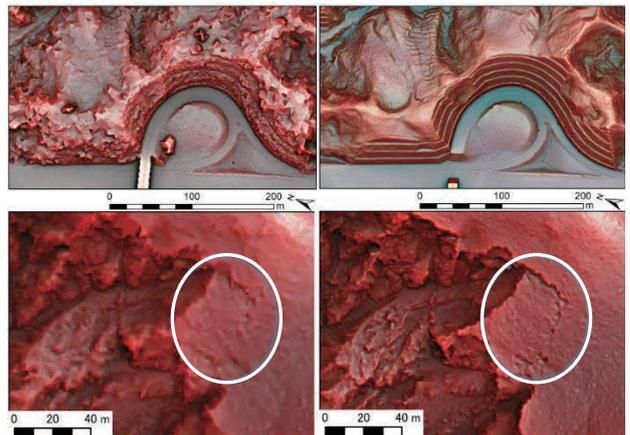


図-2 点群データの密度の差による微地形表現図の例。

航空レーザ：1点/ m^2 （左図），4点/ m^2 （右図）

（上段：植生等の除去（フィルタリング）が不十分なデータ（左）と高精度なデータ（右）。

下段：解像度の違いによる微地形表現図の例

右図では明瞭に段差地形を確認できるが、左図では段差地形として把握することが困難）

（国土交通省、三次元点群データを活用した道路斜面災害リスク箇所抽出要領（案）より抜粋，一部加筆）

3. 道路盛土における活用事例

航空レーザ計測データを基に作成した赤色立体地図では、人工改変地の範囲は、容易に識別することが可能である。当然、道路においても切土法面、盛土法面の状況は明瞭にわかる。盛土法面は、変状等が発生していなければ図-3のように、整然とした法面形状を示す。

一方、特に山間部を通る道路では、急勾配で流水のある谷を埋める形で盛土する 경우가多く、そのような箇所では大雨や地震によって、盛土の崩壊やパイピングによる侵食、排水路沿いの洗掘等の変状が発生することがある（図-4 参照）。盛土点検を行う際に、道路下方の盛土全体を点検していればこのような変状は把握できるが、延長が長い道路や、植生が多い法面では困難な場合も多い。このように、航空レーザ計測データがあれば、盛土下部域で発生している変状や崩壊兆候を確認でき、図-5のように道路自体が流出する前に対応することも可能になる。

なお、詳細な地形データの取得にあたっては、高密度の点群データから格子間隔 0.5~0.25m 程度のDEMを用いることが望ましい。

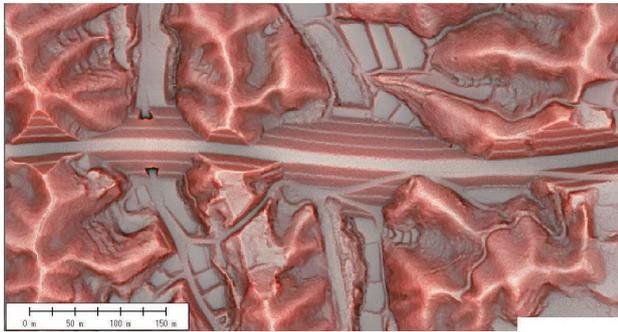


図-3 丘陵地帯の道路盛土箇所の赤色立体地図の例。

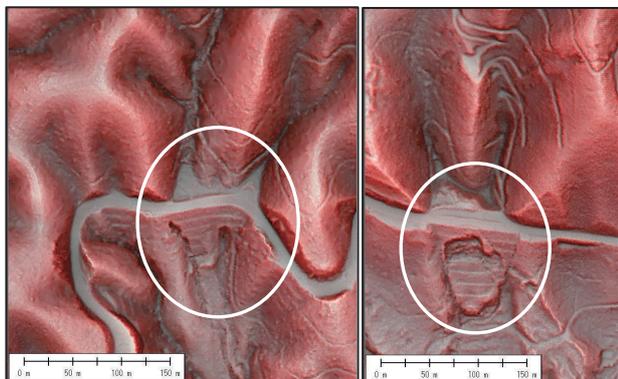


図-4 山間部の道路盛土箇所の変状発生例。

（左図：道路下の谷埋盛土で湧水により法面が崩壊・侵食が発生した事例、右図：道路下の盛土法面が大きくすべり崩壊した事例）

4. その他の盛土の不具合の確認例

2021年7月の熱海の土石流災害以降、盛土の安定性把握が話題となっている。盛土内部の土質性状を航空レーザ計測データで把握することはできないが、自然斜面と同じように地形の変状は確認することができる。大きな変状がなければ盛土法面は整形された状態を保っている。

(1) 熱海での災害箇所の例

一方、熱海の災害前の盛土（静岡県公開データ²⁾）の地形を確認すると、図-6のように、法面脚部や側部から湧水して崩壊・侵食されている状況を確認できる。

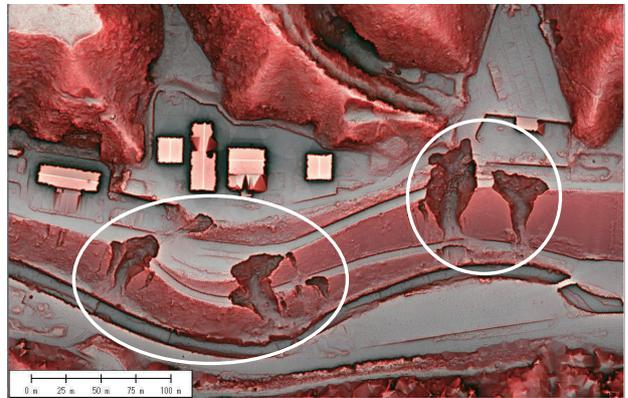


図-5 盛土箇所の侵食・崩壊による道路決壊例。

（アジア航測と朝日航洋による共同計測データ利用）

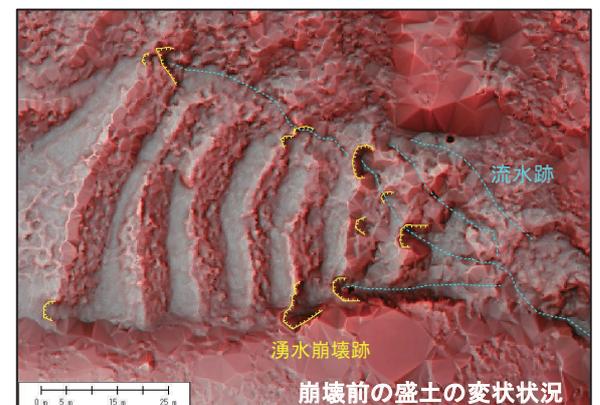
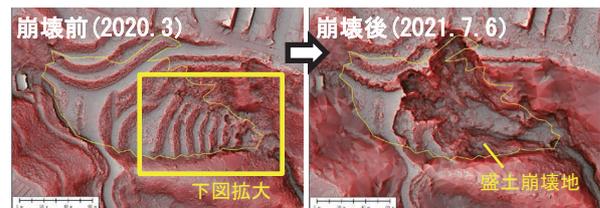


図-6 熱海土石流発生源の地形変化と崩壊前の盛土変状。
（崩壊前：静岡県公開データ²⁾、崩壊後：アジア航測計測³⁾）

(2) 天竜での災害箇所为例

2022年9月22日の台風15号に伴う大雨でも、静岡県浜松市天竜区内で腹付け盛土の崩壊により、下方の住宅に被害が生じた。その箇所も地形データ⁴⁾を確認すると、図-7のように、盛土脚部で湧水によると考えられる小崩壊跡が確認できる。

このように、航空レーザ測量等による詳細地形データがあれば、排水不良・排水設備の不備や安定性に懸念のある盛土は判読から抽出可能と考えられる。

5. 旧空中写真や旧版地形図等からの地形解析

赤色立体地図等の微地形表現図は、航空レーザデータから作成し、利用されるケースが主流であったが、過去の地形データを生成して表現することで、視覚的に造成前後の地形改変を明らかにすることや差分解析による盛土の厚さを把握することに利用できる。図-8は宅地造成前後の地形を赤色立体地図により表現したものであるが、造成前の地形は、旧空中写真から空中三角測量解析を行うことにより作成した地形である。新旧の写真でもわかるように丘陵地の旧谷部で耕作地として利用されていた場所が、宅地造成による切盛りにより、ひな壇の宅地に改変されたことがわかる。

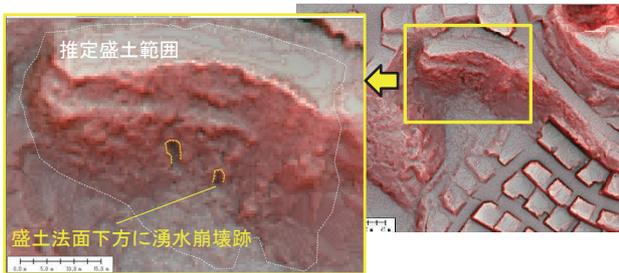


図-7 浜松市天竜区の宅地背後の盛土崩壊前の地形変状 (静岡県公開データ⁴⁾から赤色立体地図を作成)

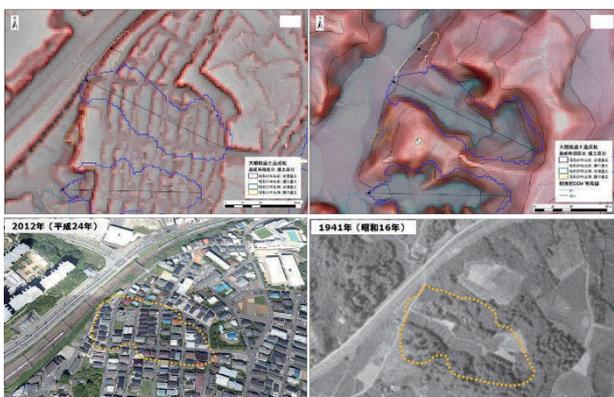


図-8 宅地造成による地形改変の赤色立体地図 (左下：平成24年空中写真，右下：昭和16年空中写真)

6. 宅地造成等に関わる活用事例

(1) 大規模盛土造成地の抽出

平成18年の宅地造成等規制法の改正を契機に全国的に整備された大規模盛土造成地マップについても盛土箇所の抽出にDEMデータを用いた差分解析は多く用いられた。丘陵地を有する都市地域では図-9のように、宅地造成の変遷を把握するのに有効に活用された。

(2) 盛土規制法に関わる既存盛土抽出における活用

令和5年に施行された宅地造成及び特定盛土等規制法(通称、盛土規制法)において、現在、全国で盛土規制区域の設定が進められている。さらに、これまで宅地造成による滑動崩落に注目していた盛土災害を、熱海の災害を契機に山間部までを含めた「スキマのない規制」を行い、盛土による災害について監視を強化している。ここきて、全国的にもDEMデータが普及して利用される場面が多くなったこと、詳細な地形を時代毎に整備することにより、その後の地形改変の様子や違法な土砂や廃棄物の投棄を監視する目的にも利用されるようになってきた。詳細地形データ・赤色立体地図は、自然地形と人工改変された地形を明瞭に判読できることから、改変地域の抽出、土砂災害要因の把握に有効に利用され、今後もその活用範囲は広がっていくものと考えられる。

7. おわりに

GISの普及や国や自治体による三次元計測、点群データの取得、利活用の促進が進み、机上調査における情報が格段に増えてきた。これまで専門技術者による現地踏査や現地測量の精度に頼っていたものが、効率良く、高精度で、さらに多くがオープンデータとして利用できるようになってきた。

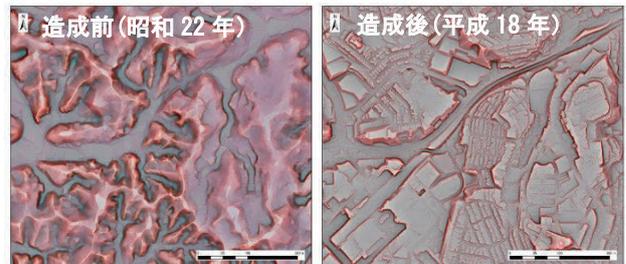


図-9 宅地造成による地形改変の赤色立体地図 (左：空中写真から作成した昭和22年の地形図，右：航空レーザから作成した平成18年の地形図)

今後の利活用場面は、防災から都市計画、建設 DX、新たな社会インフラマネジメントの場面で更に必要になる。点群データが高密度化することにより、ハイスペックの PC や高度な解析技術も求められるが、高い品質での社会インフラの維持管理とより効率的なデータ構築が求められると考える。

謝辞：赤色立体地図はアジア航測の千葉達郎により発明され、それまで空中写真による地形判読は専門の技術者に頼っていたが、誰もが立体的に地形を把握できるようになった。発明から 20 年が過ぎ、現在の防災活動や一般市民への地形への啓蒙活動に広く利用されている。赤色立体地図の父としての火山技術者、千葉達郎フェローに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 千葉達朗, 鈴木雄介: 赤色立体地図ー新しい地形表現手法ー, 応用測量論文集, VoL.15, pp.81-89, 2004.
- 2) 入手先: G 空間情報センター「VIRTUAL SHIZUOKA

静岡県 富士山南東部・伊豆東部 点群データ」
<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/shizu>
(2020.3.27 参照)

- 3) アジア航測(株): 「熱海市土石流災害被害状況 (2021 年 7 月)」
https://www.ajiko.co.jp/news_detail/1199
(2021.7.6 参照)
- 4) 入手先: G 空間情報センター「VIRTUAL SHIZUOKA 静岡県 中・西部 点群データ」
<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/virtual-shizuoka-mw> (2022.2.25 参照)
- 5) 藤田安秀, 高山陶子, 花井健太: 大規模な宅地盛土造成地の地形改変の把握と検証, 第 51 回地盤工学研究発表会論文集, DS-13, 2016.
(2023. 11. 30 受付)

[著者代表連絡先]

藤田 安秀 (アジア航測(株) 西日本インフラ技術部)
電話: 06-4801-2259
E-mail: ysh.fujita@ajiko.co.jp

DEM データ及び GIS を用いた 0 次谷の抽出手法

東電設計株式会社	賛助会員	遠藤 秀祐
東電設計株式会社	賛助会員	鳴海 正寿
東電設計株式会社	賛助会員	北爪 貴史
東電設計株式会社	賛助会員	関 悠花里
東電設計株式会社	賛助会員	佐藤 恭兵

キーワード：GIS, 0 次谷, 数値解析, 土砂流動

1. はじめに

筆者らは、より軽量かつ広域を評価可能な土砂流動シミュレーションツールを開発している¹⁾。より高精度な計算を行う際の解析領域の絞り込みや、防災対策の優先順位付けのため予測解析を多数回実施し、溪流や任意地点毎の確率論的なリスク評価や危険度評価の実施を目指している。

土砂の崩壊範囲や層厚といった土砂流動シミュレーションの初期条件を広範囲に想定することは非常に難しい。これまで本ツールを用いた予測シミュレーションを行う際は、初期条件が不明であるため、解析範囲全体に崩壊可能土砂を配置することが多かった。しかしこの方法では、崩壊可能土砂量を過剰に設定してしまうという問題があった。

そこで筆者らは、合理的な初期条件の設定を目的として、0 次谷の崩壊を起源とする土石流のシミュレーションを対象に、地理情報システム (Geographic Information System, 以下、GIS という) を用いて広範囲から 0 次谷を抽出する手法 (以下、本手法という) を考案した。本手法を用いて、土砂流動シミュレーションの初期条件を設定することを本検討の目的とする。

なお、本稿は 2023 年度日本地すべり学会第 62 回研究発表会にて発表した内容²⁾に対し、以下の課題の対応策を加え再構成したものである。

- 課題①：地質による崩壊可能土砂量の違いの考慮
- 課題②：流下経路上の堆積土砂の考慮

2. 0 次谷抽出手法の概要

(1) 用いたデータ及び GIS ソフトウェア

本手法は国土地理院の数値標高モデル (Digital Elevation Model, 以下 DEM という) と GIS を用いた 0 次谷の抽出手法である。本検討では、オープンソースの GIS ソフトウェアである QGIS (Ver. 3.16.10) を用いた。

(2) 谷筋の抽出

まずは水文解析を実施する。水文解析における具体的な処理は坂井らの文献³⁾を参照されたい。水文解析を実施することで、ある任意のセルの「水が流れ込むセル数の累積値」、すなわち上流の何セルから水を集めてくるかが計算できる。谷や凹地などの集水面積が大きい地点のセルほど上流の多数のセルから水が流れ込むことになるため、「水が流れ込むセル数の累積値」は大きくなる。

続いて谷筋線の抽出を行う。水文解析によって求めた「水が流れ込むセル数の累積値」に対し、ある閾値 (以下、限界セル数という) を上回るセルを繋ぎ合わせることで谷筋線を抽出することができる。この限界セル数は、本検討の目的が 0 次谷の抽出であることから、解析対象地の谷筋を可能な限り源頭部まで表現できる値を試行錯誤的に求める必要がある。

(3) 谷筋横断線の作成

谷筋線に対し、一定間隔で直交する方向の横断線を作成する。この横断線は、解析対象地の等高線で表現される谷幅よりも長いものである必要がある。この横断線と等高線の交点を谷の両岸でとることで、谷幅を求めることができる。

(4) 横断線位置における 0 次谷の判定

0 次谷の判定は参考文献⁴⁾より、図-1 に示す定義に従い実施する。作成した横断線位置において、谷筋線と等高線の交点から横断線までの距離をとることで奥行き b を、横断線と等高線の交点間の距離をとることで谷幅 a を求め、 a と b の比をとることで 0 次谷の判定を行う。

(5) 0 次谷抽出手法における谷次数に関する仮定

Horton-Strahler の方法⁴⁾による谷次数では、例えば 1 次谷と 1 次谷が合流すると 2 次谷となる (図-2)。これを 0 次谷に準用し、0 次谷と 0 次谷が合流した場合、1 次谷として判定すると仮定した。すなわち、谷筋線が一つでも合流した谷筋線は、0 次谷の判定を行っていない。

3. 0次谷抽出手法の適用性確認

(1) 検討対象地

本手法の適用性を確認するため、国土地理院 5mDEM を用いた検証を行った。検討対象地は、2014年8月豪雨で多数の溪流から土石流が発生し、甚大な被害を生じた広島県広島市安佐南区の阿武山周辺とした。

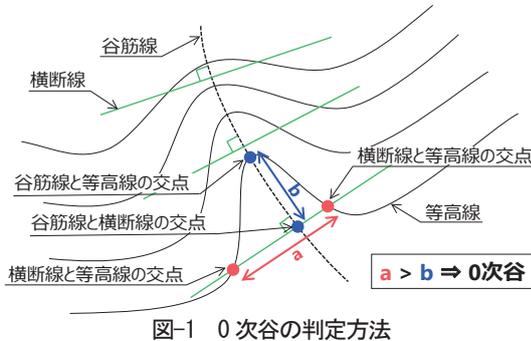


図-1 0次谷の判定方法

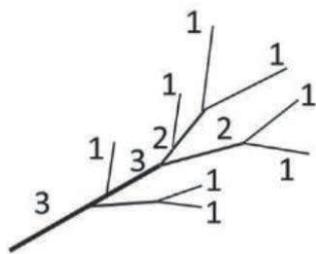


図-2 谷の次数区分⁴⁾



図-3 谷筋の抽出例 (限界セル数:150)^{5)に加筆}



図-4 谷筋の抽出例 (限界セル数:70)^{5)に加筆}

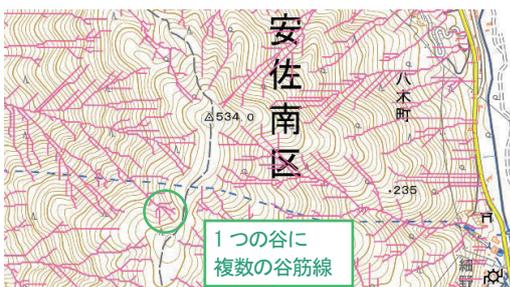


図-5 谷筋の抽出例 (限界セル数:20)^{5)に加筆}

(2) 谷筋の抽出

検討対象地の DEM を用いて谷筋線を作成した。作成した谷筋線を図-3～図-5に例示する。「2. (2) 谷筋の抽出」で述べたように、水文解析を実施した上で限界セル数を設定し、谷筋線を作成した。この限界セル数が 150 である図-3では、谷筋線の源頭部の再現性が低いことが分かる。一方、限界セル数が 20 である図-5は、谷筋線の源頭部の再現性は高いものの、一つの谷に複数の谷筋線が作成されてしまっている。本検討では、限界セル数の大小によるこれらの影響を鑑み、両者のバランスが最も良い限界セル数として 70 (図-4) を採用した。

(3) 谷筋横断線の作成

作成した谷筋線に沿って横断線を作成した。本検討では、検討対象地に分布する等高線で表現される谷の幅を概ね上回る長さとして、横断線長を 30m に設定した。この横断線を 2m 以内のピッチで谷筋線に発生させた。作成した横断線の概要を図-6に示す。

(4) 横断線位置における0次谷の判定

「2. (5) 0次谷抽出手法における谷次数に関する仮定」で述べた仮定に従い、0次谷の判定を行った。本検討では、図-6に示すように、ある谷筋線上で0次谷と判定された横断線位置の中で、最も標高が低い地点より上流は全て0次谷であると判定した。0次谷の判定結果として、2014年8月豪雨で阿武山周辺に発生した土石流の流下経路と本手法で作成した0次谷を重ね合わせたものを図-7に示す。図-7より、流下経路の最上流部のほとんどに、本手法で0次谷と判定した領域が存在していることが分かる。したがって、本手法で判定した0次谷を用いれば、各溪流の0次谷部分に土砂流動シミュレーションツールの初期条件である崩壊可能土砂を設定できる。0次谷の崩壊を起源とする土石流に対し、より現実的な予測シミュレーションを実施できる可能性がある。

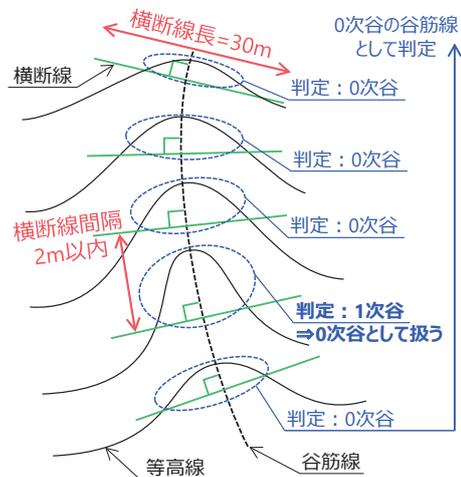


図-6 横断線の概要と0次谷の判定ルール

4. 土砂流動シミュレーションの初期条件の設定

(1) 土砂流動シミュレーションの初期条件の設定方針

作成した0次谷データを用いて、土砂流動シミュレーションの初期条件である崩壊可能土砂の分布範囲を設定した。0次谷と判定された領域に、ある一定量の崩壊可能土砂を設定することを基本とするが、これに冒頭で述べた課題①及び②の対応策を加味して崩壊可能土砂を設定した。

(2) 0次谷における地質毎の初期条件の設定

検討対象地とした阿武山は、阿武山の南西を通る北西-南東方向の斑状流紋岩脈の南西側と北東側で大きく地質が異なることが報告されている⁹⁾。図-8に阿武山の地質図を示す。検討対象地のように地質が大きく異なる領域同士では、崩壊可能土砂の流れやすさや、崩壊幅及び崩壊深等が異なる想定される。本手法では、地質で区分した領域毎に0次谷の崩壊幅及び崩壊深を設定可能とした。すなわち、土砂流動シミュレーションの初期条件である崩壊可能土砂量を領域毎に変化させられることを表している。本検討で0次谷に配置した崩壊可能土砂量は、図-8に示す赤の領域と、青及び緑の領域の2つの領域で設定した。2つの領域の境界をまたぐように存在する0次谷は、源頭部が属する領域に従って崩壊幅及び崩壊深を設定した。抽出した0次谷を属する領域に従って2つに分けた結果を図-9に示す。また、南西側の領域の崩壊幅を20m、北東側の領域の崩壊幅を10mと設定した例を図-10に示す。

(3) 1次以上の次数をもつ谷の初期条件の設定

「3. (2) 谷筋の抽出」において、0次谷以外のすべての谷筋線を抽出している。本検討の対象は0次谷の崩壊を起源とする土石流としているが、発生した土石流は流下経路に堆積する土砂を巻き込みながら流下すると考えられる。そこで本検討で配置した崩壊可能土砂は、抽出した0次谷以外の谷筋線、すなわち1次以上の次数をもつすべての谷筋線にも設定することとした。「4. (2) 0次谷における地質毎の初期条件の設定」に示した0次谷を含め、本検討で設定したすべての崩壊可能土砂の分布を図-11に示す。

5. 今後の課題

DEMとGISを用いた0次谷の抽出手法を考案し、定性的ではあるがその適用性を示すことができた。また、0次谷の崩壊を起源とする土石流の予測シミュレーションのための合理的な崩壊可能土砂の設定方法として、検討対象地の地質や流下経路上の堆積土砂も考慮した例を示すことができた。今後は、0次谷判定手法の精度検証のため、地形判読結果との整合性を確認する必要がある。また、抽出した0次谷を用いて土砂流動シミュレーションの初期条件を設定し、2014年8月豪雨災害の再現解析を実施する必要がある。

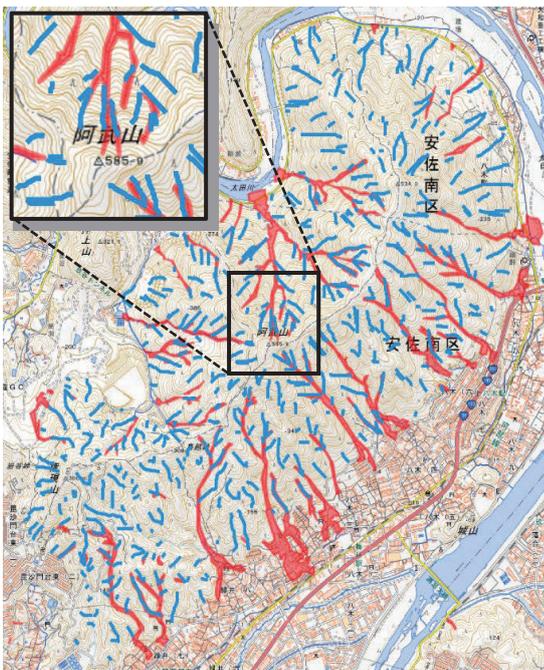


図-7 土石流の流下経路^{5)に加筆} (赤：実際の流下経路、青：本手法で0次谷と判定された谷筋線)

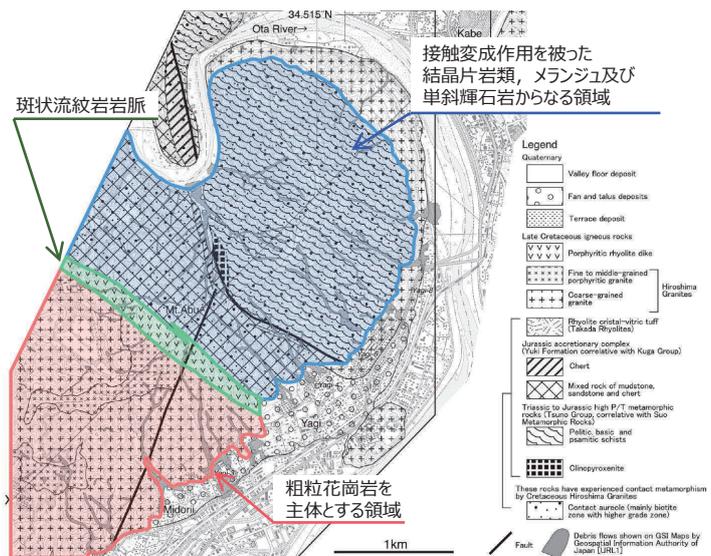


図-8 地質による領域の区分^{6)に加筆}

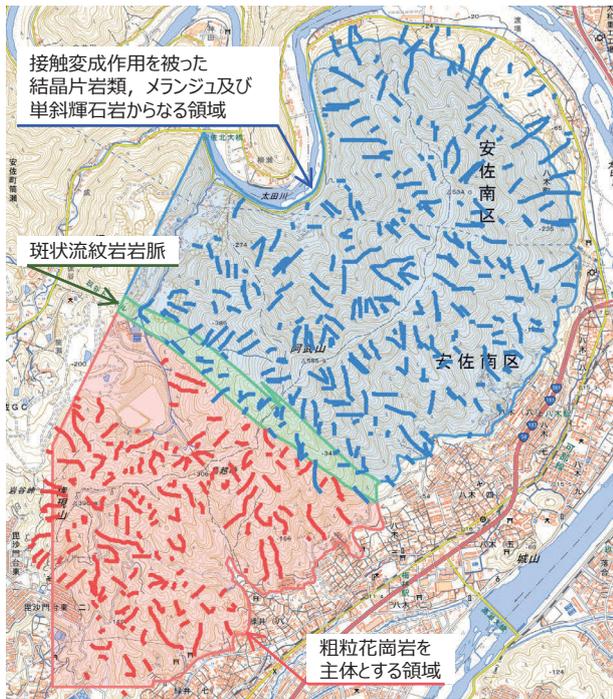


図-9 0次谷の地質による区分⁵⁾(加筆)
 (赤線：赤の領域に属する0次谷,
 青線：青及び緑の領域に属する0次谷)

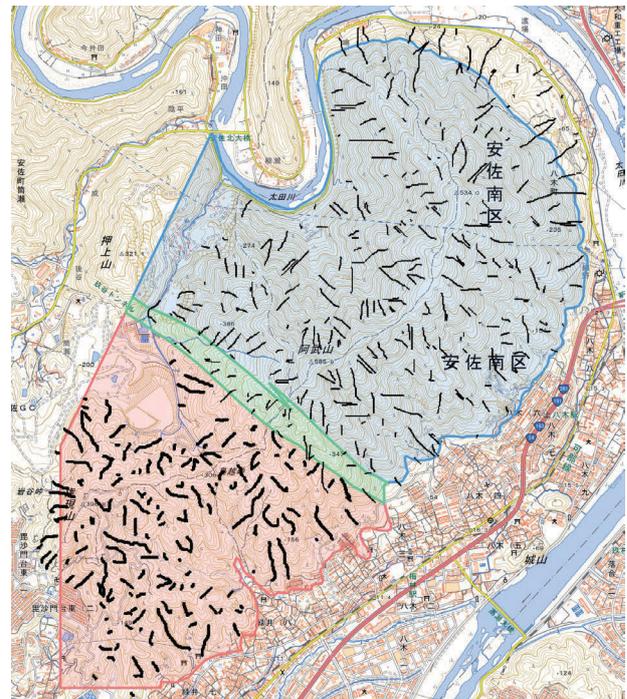


図-10 崩壊幅の設定例⁵⁾(加筆)
 (赤の領域に属する0次谷：崩壊幅20m,
 青及び緑の領域に属する0次谷：崩壊幅10m)

参考文献

- 1) 北爪貴史, 阿部峻大, 遠藤秀祐, 関悠花里, 佐藤恭兵, 鳴海正寿, 西村聡, 後藤聡: 広域を対象とした豪雨時土砂流動シミュレーションに関する基礎的研究, 地盤工学会第63回地盤工学シンポジウム論文集, 1-2.2, 2022.
- 2) 遠藤秀祐, 鳴海正寿, 北爪貴史, 関悠花里, 佐藤恭兵: GISを用いた0次谷抽出手法について, 2023年度日本地すべり学会第62回研究発表会, pp. 141-142, 2023.
- 3) 坂井佑介, 敦賀屋次郎, 龍見栄臣, 大野亮一: DEMを利用した溪流の面的形状の把握, 砂防学会誌, Vol. 66, No. 2, pp. 64-68, 2013.
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局: 河川砂防技術基準調査編, 2014.
- 5) 国土地理院: 地理院地図, <https://maps.gsi.go.jp/>, (2023. 7. 12 参照).
- 6) 斎藤眞, 川畑大作, 佐藤大介, 土志田正二, 新井場公德: 2014年8月20日広島豪雨による土石流発生地域の地質, 地質学雑誌, Vol. 121, No. 9, pp. 339-346, 2015.

(2023. 11. 30 受付)

[著者代表連絡先]

遠藤 秀祐 (東電設計(株) 社会基盤ユニット 土木本部 技術開発部)
 電話: 090-3716-6274
 E-mail: shusuke-endo@tepsco.co.jp

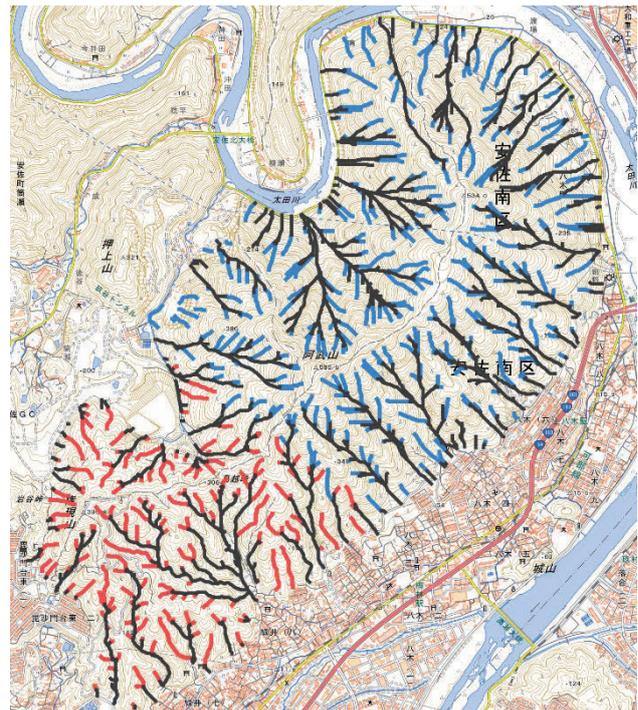


図-11 崩壊可能土砂の分布⁵⁾(加筆)
 (赤線：赤の領域に属する0次谷, 青線：青及び緑の領域に属する0次谷, 黒線：1次以上の次数をもつ谷)

GISを用いた0次谷抽出に基づく土砂流動の再現解析

東電設計株式会社 賛助会員 関 悠花里
 東電設計株式会社 賛助会員 遠藤 秀祐
 東電設計株式会社 賛助会員 北爪 貴史
 東電設計株式会社 賛助会員 鳴海 正寿
 東電設計株式会社 賛助会員 佐藤 恭兵

キーワード：数値解析，土砂流動，0次谷

1. はじめに

筆者らは、豪雨時に広域で同時多発する土砂流動の評価を実施するため、複数溪流を対象とできるような軽量で高速演算が可能な数値シミュレーションツールを開発している¹⁾。

広範囲を対象とした解析を実施するにあたり、課題の一つとなるのが流動する土砂の初期配置設定である。広域にわたり溪流ごとに個別に土砂配置範囲を設定することは困難であることから、流動可能性のある土砂の存在が想定される位置を適切に判別する手段の検討が求められていた。

土石流の発生源となるような崩壊に関しては、0次谷で発生しやすいことが知られている²⁾。そこで本検討では、開発中のGISを用いた広域0次谷抽出手法³⁾⁴⁾を使用して土砂の初期配置設定を行い、2014年8月豪雨における広島県広島市安佐南区の土石流災害の再現解析を実施し、適用性を確認する。

なお本稿は、2023年度日本地すべり学会第62回研究発表会にて発表した内容⁵⁾を3章に記し、4章以降に以下の課題について対応した追加検討を加え再構成したものである。

- 課題①：地質による崩壊可能土砂量の違いの考慮
- 課題②：流下経路上の堆積土砂の考慮

2. 土砂流動シミュレーションツールの概要

本論で用いる土砂流動シミュレーションツールは、セルラオートマトン (Cellular Automaton : CA) 法とマルチエージェント (Multi Agent : MA) 法を組み合わせたものとし、解析領域を規則的に分割した空間格子 (セル) 間を土砂と水の2種のエージェント (要素) が移動することにより土砂流動を表現している。

エージェントの移動量は、流動最小勾配 θ_f の設定によって規定する。注目セルと隣接セル間の勾配 θ_i が θ_f を上回る場合、 $\theta_i = \theta_f$ となるようにエージェントが移動する (図-1)。ここで、各エージェントの θ_f は当該セルに存在する水エージェントと土砂エージェントの体積比 V_r に応じて変化するように設定することが可能であり (図-2)、含水量に応じた土砂の流れやすさの変化を簡易的に表現できる。本ツールの詳細については文献1)に記す。

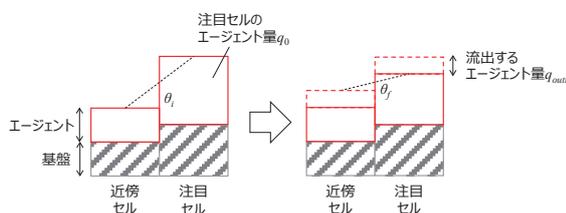


図-1 注目セルから流出するエージェント量の概念¹⁾

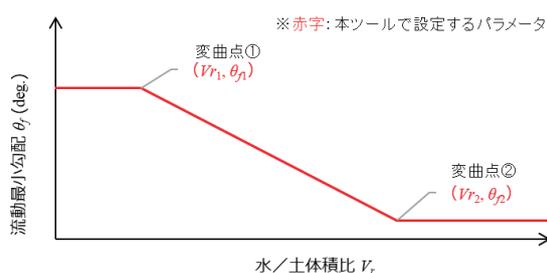


図-2 エージェントの流動特性 (トリリニア関係)¹⁾

3. 2014年8月豪雨における土石流災害の再現解析

本章では、文献5)において既発表の内容を再度記載する。本ツールの適用性を確認するため、実際の災害事例に対する再現解析を行った。検討対象地点は、2014年8月豪雨で多数の溪流から土石流が発生し、甚大な被害を生じた広島県広島市安佐南区の阿

武山とした。

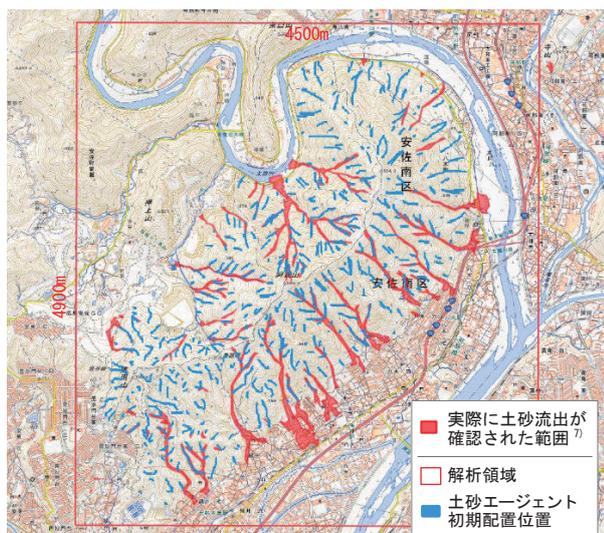


図-3 解析対象地域の被災状況⁷⁾および解析領域範囲と土砂エージェント初期配置位置(既発表⁵⁾)

表-1 土砂流動にかかわる設定パラメーター一覧⁵⁾

流動特性（トリリニア関係）を規定する各定数

土砂エージェント				水エージェント			
θ_{f1}	θ_{f2}	V_{r1}	V_{r2}	θ_{f1}	θ_{f2}	V_{r1}	V_{r2}
60°	15°	0.2	0.4	同 左			

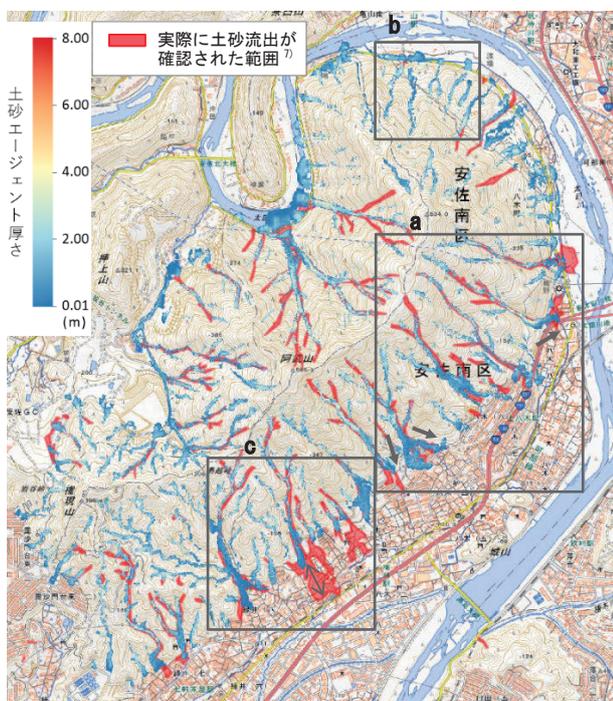


図-4 解析結果（土砂流動がほぼ停止したステップにおける土砂堆積層厚分布）と実際の被災状況⁷⁾の比較⁵⁾

(1) 阿武山周辺の被災状況の概要

2014年8月19日深夜から20日早朝にかけて広島市周辺地域で局所的集中豪雨が発生し、午前3時半前後に多数の土石流災害をもたらした⁶⁾。阿武山周辺の土砂流出分布を図-3に示す。

(2) 検討モデルと検討条件

解析領域は、阿武山周辺の図-3に示す領域とした。基盤モデル(エージェント設置前の地形モデル)は、国土地理院が提供する5mメッシュのDEM5Aデータ(測量年度:H21およびH30)を使用した。

土砂エージェントの初期配置設定には0次谷抽出手法³⁾を用い、解析領域内で0次谷線として抽出された線を中心とし、幅20mの範囲に厚さ2mで配置することとした(図-3)。

水エージェントは安佐南区高瀬雨量計における19日午後6時から午前3時半までの累積9時間半雨量約200mm⁶⁾に基づき、解析領域の全セルに200mmを初期配置した。

(3) 解析結果

再現解析結果について、シミュレーションにより得られた土砂堆積層厚分布と実災害における流出土砂分布との比較を図-4に示す。解析結果は次の通りである。

- 複数の溪流から土砂が流出し、平地部に堆積する様子がおおよそ示されている。特に、市街地における土砂の流下方向についてはある程度の再現ができた(図-4a)。
- 実際には土砂流出が発生しなかった0次谷でも解析上は土砂流出が発生し、土砂流出発生箇所が過大に評価される傾向にある(図-4b)。
- 一部の溪流において、土砂流出量の傾向の不一致が認められる(図-4c)。

(4) 課題

- 梅沢ら⁸⁾によると、本地域における0次谷のうち崩壊が発生したものは約半数であるが、本検討の解析においては土砂を配置した0次谷の多くから土砂が流出している。このことが土砂流出発生箇所の過大評価(図-4b)につながったと考えられる。
- 崩壊の源頭部として0次谷を抽出し土砂エージェントを初期配置したが、実際には源頭部より下流の流下経路上においても侵食が発生したことが報告されており⁶⁾、流出土砂量の不一致(図-4c)の一因と考えられる。今後、1次以上の谷に存在す

る土砂の考慮方法についても検討していく必要がある。

- 抽出した0次谷線の全てに一律『幅20mの範囲に厚さ2m』という条件で土砂エージェントを初期配置したが、本検討の対象とした阿武山の地質は一樣ではなく⁹⁾、崩壊可能土砂の分布形態等についても地質分布に応じた変動があると考えられる。このような要因も、流出土砂量の不一致(図-4c)の一因となった可能性がある。

4. 土砂エージェント初期配置の見直しによる検討

前章で述べた課題の解決のため、土砂エージェントの初期配置を見直した検討を実施した。



図-5 地質に基づく領域区分および土砂エージェント初期配置(土砂エージェント初期配置見直し検討)

(1) 検討条件

解析領域、基盤モデル、土砂流動にかかわるパラメータ設定、水エージェントの配置条件は、3章に記した通りとした。

土砂エージェントの初期配置設定については、以下のような考え方にに基づき設定した。なお、0次谷抽出手法および土砂エージェント配置の詳細については文献4)に記した。

- 阿武山の地質は、南西を通る北西-南東方向の斑状流紋岩岩脈の南西側と北東側で大きく地質が異なることが報告されている⁹⁾。したがって、本稿では文献9)に記された地質区分を基に、本地域を南西側(広島花崗岩類分布地域)と北東側(接触変成帯および斑状流紋岩岩脈)の2領域に大別し扱うこととした。領域の区分を図-5に示す。

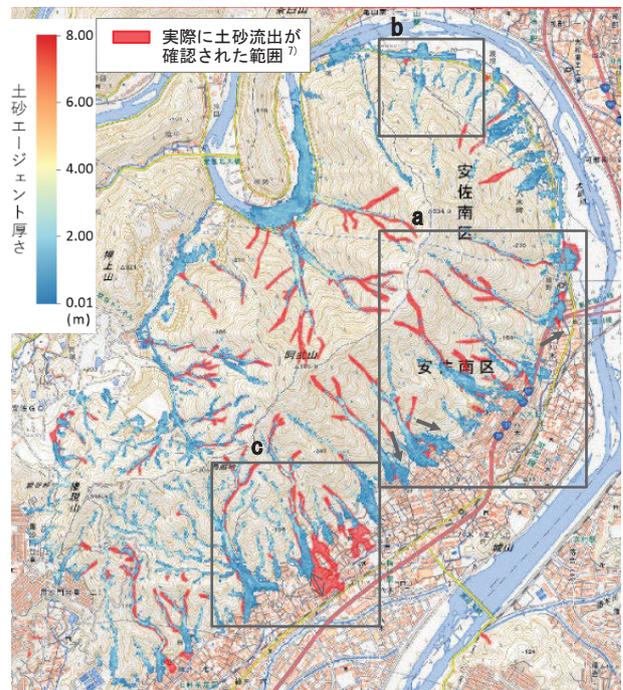


図-6 解析結果(土砂流動がほぼ停止したステップにおける土砂堆積層厚分布)と実際の被災状況⁷⁾の比較

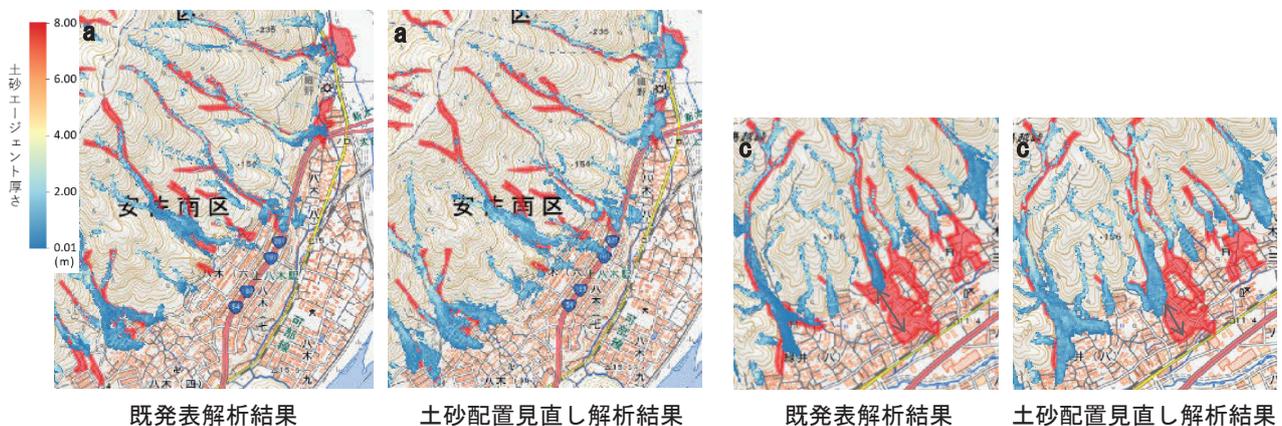


図-7 既発表⁵⁾解析との解析結果比較

各領域内の0次谷線として抽出された線を中心とし、南西側は幅 20m、北東側は幅 10m の範囲に厚さ 2m で土砂エージェントを配置した。

- ・崩壊源頭部より発生した土石流が、流下経路上の河床を侵食し巻き込んだ土砂を想定し、一次以上の谷筋線に土砂エージェントを配置する。なお、実際の河床の侵食幅・侵食深さは溪流によってさまざまである⁹⁾が、本稿では一律に幅 10m、厚さ 2m として土砂エージェントを配置した。

以上の考え方にに基づき、再設定した土砂エージェントの初期配置を図-5 に示す。

(2) 解析結果

再現解析結果について、シミュレーションにより得られた土砂堆積層厚分布と実災害における流出土砂分布との比較を図-6 に、既発表の解析結果との比較を図-7 に示す。解析結果は次の通りである。

- ・既発表の解析結果と同様、複数の溪流から土砂が流出し、平地部に堆積する様子がおおよそ示されている。特に、市街地における土砂の流下方向についてはある程度の再現ができた (図-7a)。
- ・実際には土砂流出が発生しなかった 0 次谷でも解析上は土砂流出が発生し、土砂流出発生箇所が過大に評価される傾向にあることは、今回の見直し検討においても改善はみられない。(図-6b)。
- ・既発表の解析結果において土砂流出量の傾向の不一致が認められていた溪流について、今回の見直し検討により改善が見られた (図-7c)。ただし、依然として土砂流出量の傾向をよく再現できているとは言えない結果である。

5. まとめおよび今後の課題

- ・開発中の土砂流動シミュレーションツールおよび 0 次谷抽出手法を用いて、2014 年 8 月豪雨における土石流災害の再現解析を実施した。
- ・既発表の再現解析に対し、課題となっていた
 - ①地質による崩壊可能土砂量の違いの考慮
 - ②流下経路上の堆積土砂の考慮の対応を加えた見直し検討を行い、再現性の向上が得られた。
- ・課題点として、一次以上の谷筋線に配置する土砂エージェント幅を一律としていることや、地質によらず土砂の流動を規定するパラメータを一定値としていることなどが考えられる。

参考文献

- 1) 北爪貴史, 阿部峻大, 遠藤秀祐, 関悠花里, 佐藤恭兵, 鳴海正寿, 西村聡, 後藤聡: 広域を対象とした豪雨時土砂流動シミュレーションに関する基礎的研究, 第 63 回地盤工学シンポジウム, 63, 1-2.2, 2022.
- 2) 塚本良則, 平松伸二, 篠原斉一郎: 侵蝕谷の発達様式に関する研究 (III) 0 次谷と山崩れとの関係, 新砂防, Vol.26, No.2, pp.14-20, 1973.
- 3) 遠藤秀祐, 鳴海正寿, 北爪貴史, 関悠花里, 佐藤恭兵: GIS を用いた 0 次谷抽出手法について, 2023 年度日本地すべり学会第 62 回研究発表会講演集, pp141-142, 2023.
- 4) 遠藤秀祐, 鳴海正寿, 北爪貴史, 関悠花里, 佐藤恭兵: DEM データ及び GIS を用いた 0 次谷の抽出手法, 第 2 回応用斜面工学シンポジウム論文概要集 (投稿中) .
- 5) 関悠花里, 遠藤秀祐, 北爪貴史, 鳴海正寿, 佐藤恭兵: GIS による 0 次谷抽出手法を用いた土砂流動シミュレーション, 2023 年度日本地すべり学会第 62 回研究発表会講演集, pp143-144, 2023.
- 6) 土田孝, 森脇武夫, 熊本直樹, 一井康二, 加納誠二, 中井真司: 2014 年広島豪雨災害において土石流が発生した溪流の状況と被害に関する調査, 地盤工学ジャーナル, Vol. 11, No.1, pp. 33-52, 2016.
- 7) 国土地理院: 地理院地図, <https://maps.gsi.go.jp/>, (2023. 7.12 参照).
- 8) 梅沢広幸, 澤田梨沙, 溜池綾, 石川芳治: 平成 26 年 8 月豪雨による広島県で発生した土砂災害をふまえた土石流発生源の予測方法と対策の提案, 平成 28 年度砂防学会研究発表会概要集, pp. B-14-15, 2016.
- 9) 斎藤眞, 川畑大作, 佐藤大介, 土志田正二, 新井場公德: 2014 年 8 月 20 日広島豪雨による土石流発生地域の地質, 地質学雑誌, Vol. 121, No. 9, pp. 339-346, 2015.

(2023. 11. 30 受付)

[著者代表連絡先]

関 悠花里 (東電設計(株) 社会基盤ユニット
土木本部 技術開発部)
電話: 090-3716-6484
E-mail: yukari-seki@tepsco.co.jp

地盤振動計測による豪雨および土砂流動検知の試み

東電設計株式会社 賛助会員 北爪 貴史
 東電設計株式会社 賛助会員 栗田 哲史
 防災科学技術研究所 酒井 直樹

キーワード：土石流検知，降雨強度，地盤振動

1. はじめに

国内各所に設置された地震計によって構築された地震観測網が，地震防災や耐震対策の進展に寄与している．早期警報発令により住民の被害防止・軽減を目的に構築された緊急地震速報のシステムは，列車の運行制御など社会インフラの安全性向上にも活用されている．これと同様の考え方で，土石流などの土砂移動が起源となって生じる地盤振動を捉えることは，土砂災害リスクの軽減に繋がるものと考えられる．特に，人的被害が大きくなる傾向にある谷の出口や扇状地に造られた住宅地のの上流部で生じる土石流，あるいは既に街中を流下している土石流に対して地盤振動を検知することにより，ハザードの状況把握や警報発信の契機として活かせるものと考えられる．避難行動への利用の観点からは，避難所等へ移動するのに十分な時間的余裕を確保できない場合もあり得る．しかし，緊急地震速報が受信から極短時間に身の安全を確保する対応行動に期待しているのと同様，垂直避難等の時間だけでも確保できれば人的被害の低減に資することができるものと期待したい．

このような背景にあって，栗田ら^{1),2)}は地盤振動計測によって地震，豪雨，土石流などの各ハザードを検知する方法を検討している．本稿は，文献1),2)の内容を要約して記すものである．

2. マルチハザード検知システムの概要

近年 MEMS（Micro Electro Mechanical System）と呼ばれるデバイスの性能向上と低価格化により，気象や地震など自然現象を計測するセンサの高密度配置が可能となりつつある．このような MEMS デバイスを用いた多点・高密度センシングは，計測・取得したデータを送信する無線通信・転送技術やビッグ

データ処理技術などと組み合わせることにより自然災害対応の向上が期待できる．地震計（加速度計）をはじめとして，気象（風，雨）災害に対しては風速計や雨量計，斜面災害に対しては土壌水分計や変位計・傾斜計など，土砂流動に対してはワイヤセンサなど，それぞれハザードごとに異なる計測機器やシステムが用いられている．今後，様々なセンサの MEMS 化が図られると推察されるが，1種類のセンサで異なるハザードが検知できれば防災対策として効率的であろうと考え，振動計測だけで異なるハザードを検知する方法を検討している（図-1）．

3. 土砂流動による地盤振動の特徴

図-2 に示す防災科学技術研究所に設置されている斜面（斜面高さ約 4.3m，斜面長さ約 12.6m，斜面

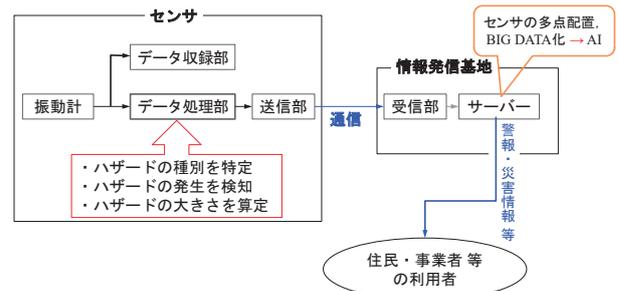


図-1 地盤振動によるマルチハザード検知システム

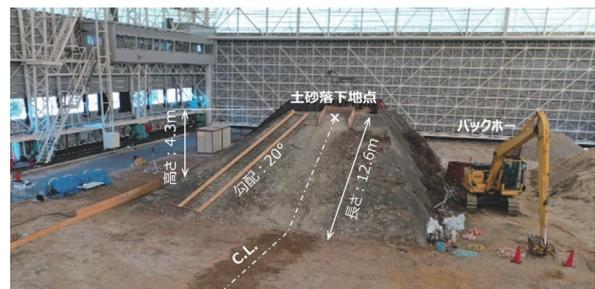


図-2 実験に用いた斜面（防災科学技術研究所）

傾斜角約 20°)を用いて、気乾条件下での玉石落下・転動実験および降雨条件下での土砂流動実験を行い、地盤振動データを分析し様々な知見を得ている。

(1) 気乾条件下の玉石落下・転動実験と振動計測¹⁾

計測器配置平面図を図-3に示す。玉石の転動経路上の計測器は30cm深さに埋設、それ以外の計測器は地表設置である。計測記録(加速度時刻歴及びフーリエスペクトル)の詳細は文献1)を参照されたい。

玉石転動による地盤振動の特徴として、転動している近傍(sensor4)で計測したデータには高周波パルスが含まれ、遠方(sensor2)計測のデータは距離減衰によって高周波パルスが減少し、比較的low周波数の地盤振動となる。計測位置近傍で生じる転動に対してはパルス信号を用いた検知手法が有効であり(図-4)、計測位置から離れた場所で生じる転動にはパルスが減衰した状態のスペクトル形状が単峰の凸形状であることから Gauss 関数によるモデル化が可能である(図-5)。図-6に一例として示すように地震に伴う地盤振動もパルスを伴うが、50Hzのハイパス

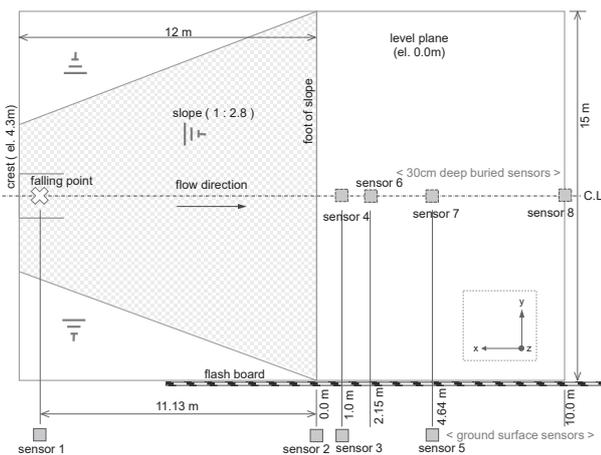


図-3 計測器配置平面図(気乾条件下の実験)

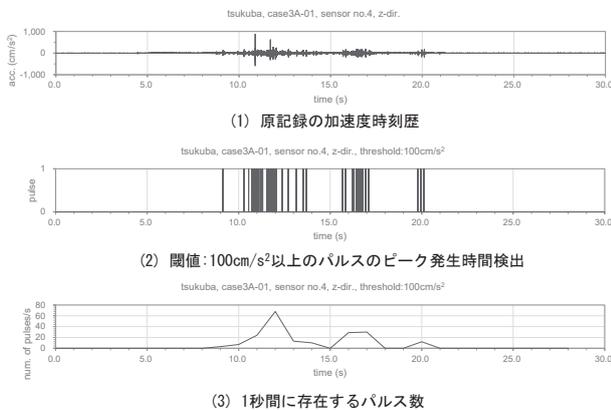


図-4 玉石転動による地盤振動とそのパルス密度(玉石が転動している近傍の計測点)

フィルタ処理を施すと玉石転動の振動記録はフィルタ処理の影響をほぼ受けないが(図-7(1)),周波数成分が50Hz以下である地震動はフィルタ処理によりパルス密度を検出しない(図-7(2)).こうした手法により地震動の誤検知を回避できる。

(2) 降雨条件下の土砂流動実験と地盤振動計測²⁾

防災科研の大型降雨実験施設において、目標降雨強度15,75,135,300mm/hの4ケースの人工降雨を発生させ、各降雨ケースにおいて常時微動計測及び土石流を生じさせた地盤振動計測を実施した。計測器

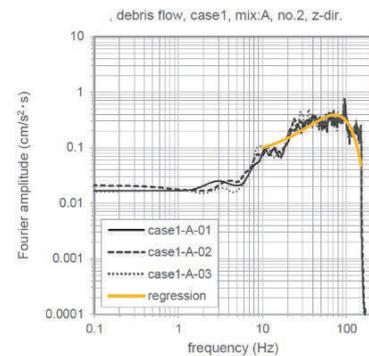


図-5 玉石転動による地盤振動のフーリエスペクトルの Gauss 関数による回帰(転動地点から遠方の計測点)

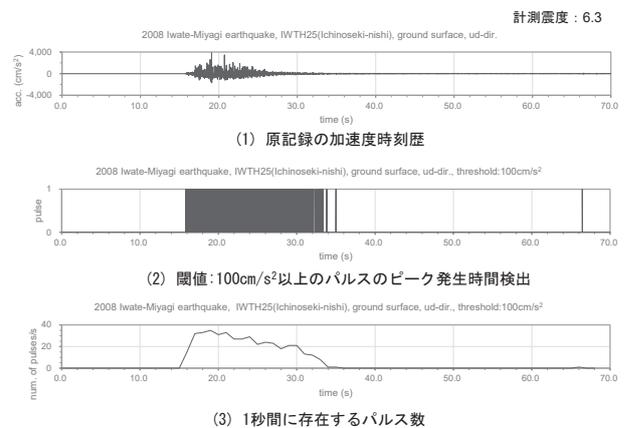


図-6 岩手・宮城内陸地震 Iwth25(一関西)のパルス密度

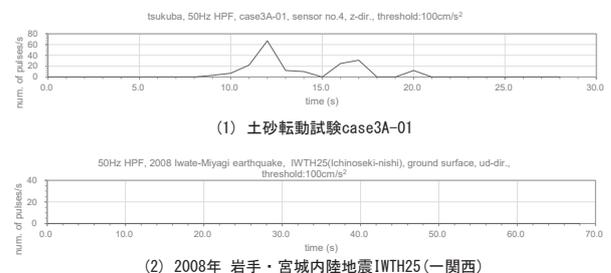


図-7 50Hz ハイパスフィルタ処理した記録による(1)玉石転動振動と(2)地震動とのパルス密度の比較(閾値:100cm/s²,鉛直成分)

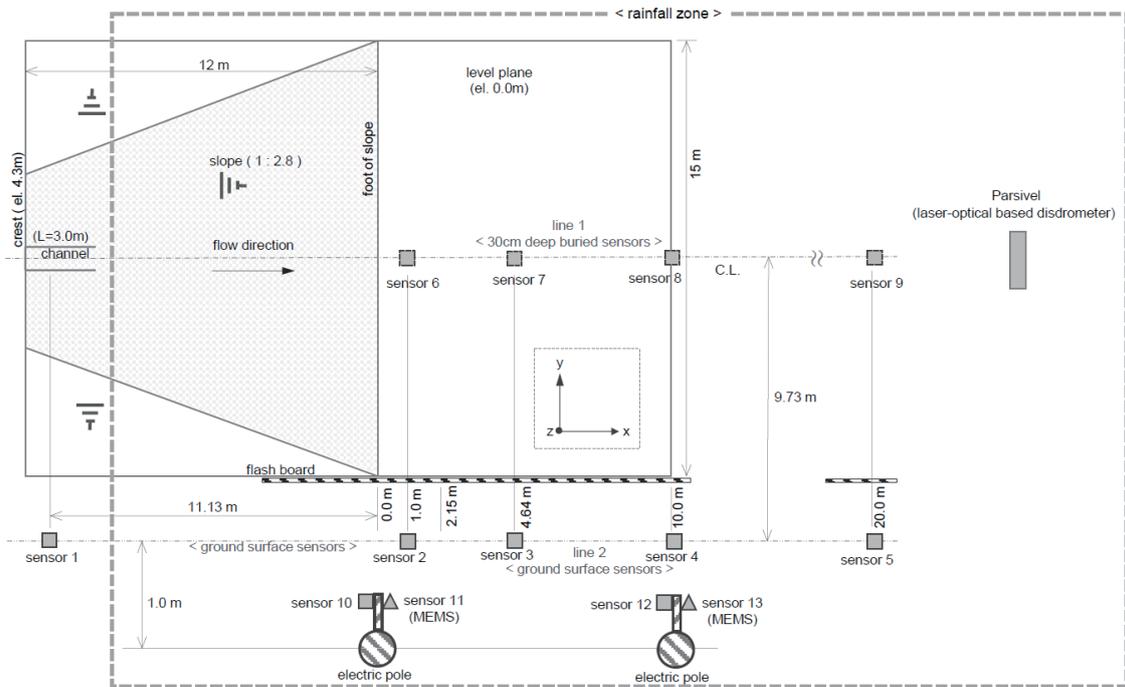


図-8 計測器配置平面図 (降雨条件下の実験)

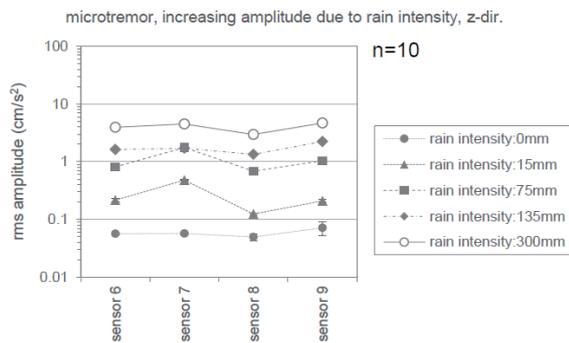


図-9 降雨強度と rms 加速度振幅 (z 成分) の関係

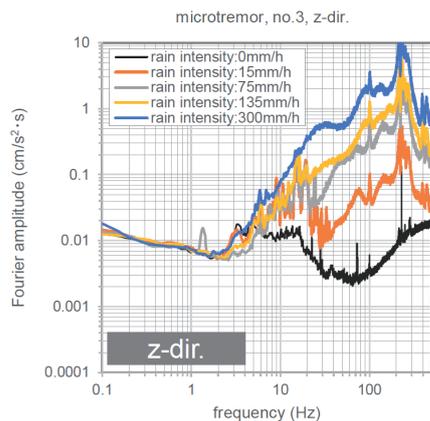


図-10 降雨時の地盤振動 (常時微動) のアンサンブル平均 (n=10) のフーリエスペクトル (z 成分)

配置を図-8 に示す。計測記録 (加速度時刻歴及びフーリエスペクトル) の詳細は文献 2) を参照されたい。

a) 降雨条件下の常時微動記録の特徴

地中 30cm 深さに埋設した加速度計 4 か所で計測

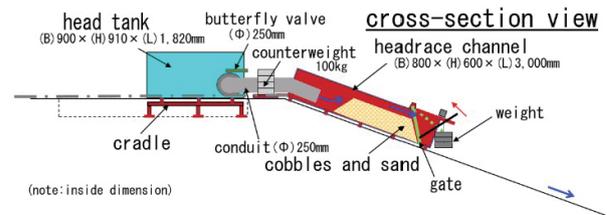


図-11 土石流発生装置の模式図

した常時微動記録の rms 加速度振幅 (z 成分) を図-9 に示す。降雨強度が増大すると rms 加速度振幅が大きくなり、両者の間に正の相関があることが分かる。降雨強度別に常時微動記録のアンサンブル平均フーリエスペクトルを図-10 に示す。無降雨時の卓越周波数が 2~20Hz 付近にあるのに対して、降雨時は 200Hz 付近に卓越周波数が認められ、さらに、降雨強度が増大すると振幅も大きくなることが分かる。

b) 降雨条件下の土砂流動による地盤振動の特徴

土砂流動実験に際し、図-8 に示した斜面の上部に図-11 に示す土石流発生装置を設置した。図-12 に示すように、装置の導水路内には、粒径 50~200mm の玉石、300mm 径の大玉石 3 個、砂 (まさ土) を所定量配合して投入しておき、貯水槽から導水路に注水し混合させ、注水開始から数秒後に導水路から溢水する直前にゲートを開くことで混合試料を流下させた。混合試料の流動によって生じる地盤振動は、図-8 に示した計 13 加速度計で計測した。

地盤設置の加速度計はサーボ型である。電柱上にはサーボ型と MEMS 加速度計を併設した。MEMS 計測結果については本稿では省略し、文献 2) に譲る。



図-12 土石流発生装置と土砂の装填状況

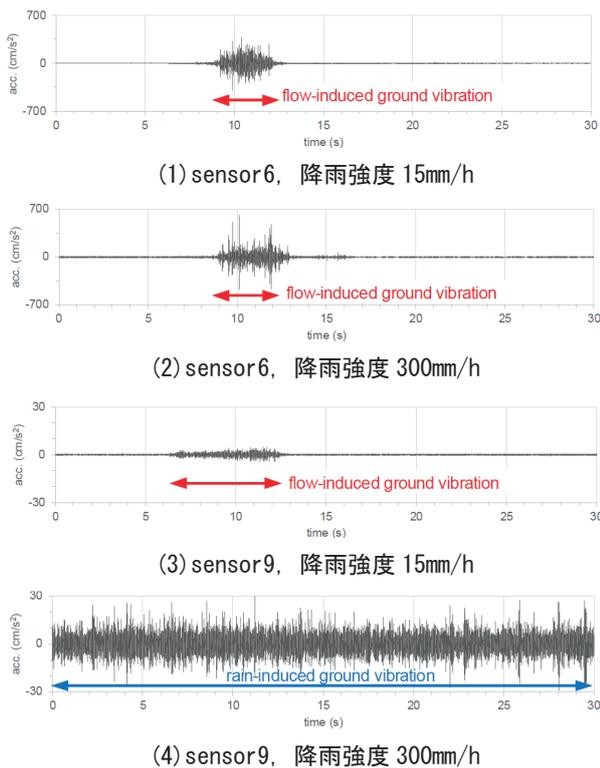


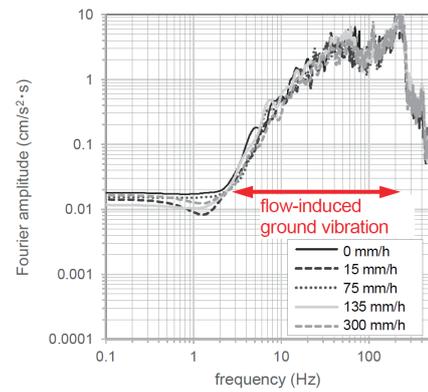
図-13 降雨強度別の土石流による地盤振動の比較

図-13(1)(2)から、法尻近傍の計測点 sensor6 では、土石流起源の振動は高周波パルスが卓越し、豪雨時でも土石流検知が可能であり、同図(4)から、遠方計測点 sensor9 では、土石流起源の振動の高周波パルスが減衰し、豪雨振動に埋没することが分かる。

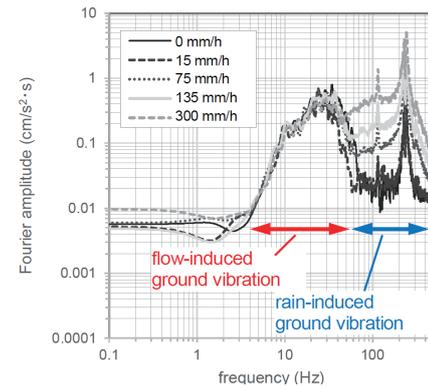
図-14(1)から、近傍計測点 sensor6 の場合、土石流起源のスペクトル特性と降雨起源のスペクトル特性が重なること、同図(2)から、遠方計測点 sensor9 の場合、土砂流動起源のスペクトル特性と降雨起源のスペクトル特性が分離可能であることが分かる。

4. まとめ

- ・地盤振動計測により、降雨強度が推定可能である。



(1) sensor6 (法尻から1m)



(2) sensor9 (法尻から20m)

図-14 降雨強度別のフーリエスペクトルの比較

- ・土石流発生地点近傍では、励起される地盤振動の振幅が大きく豪雨下でも時刻歴で検知可能である。
- ・遠方地点では、土石流起因と降雨起因の振動の周波数特性が異なり、周波数領域で検知可能である。
- ・今後、現地計測を行い、適用性向上の検討が必要である。

参考文献

- 1) 栗田哲史, 北爪貴史, 酒井直樹, 山野辺慎一: 土砂流動実験による地盤振動特性に関する基礎的検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.18, No.1, pp.43-58, 2023.
- 2) 栗田哲史, 北爪貴史, 酒井直樹, 山野辺慎一: 降雨条件下の土砂流動による地盤振動特性の実験的検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.18, No.4, pp.407-420, 2023.

(2023. 11. 30 受付)

[著者代表連絡先]

北爪 貴史 (東電設計(株)土木本部 技術開発部)
 電話: 070-8830-0566
 E-mail: dkita@tepsco.co.jp

橋台背面アプローチ部における鋼製帯状補強土壁工法の適用に関する研究

ヒロセ補強土株式会社	正会員	松永 崇史
ヒロセ補強土株式会社	賛助会員	志村 直紀
ヒロセ補強土株式会社	賛助会員	岡崎 貴斎
JFE 商事テールワン株式会社	非会員	新田 武彦
JFE 商事テールワン株式会社	非会員	友重 勇気

キーワード：補強土工法，橋台背面アプローチ部，遠心力模型実験

1. はじめに

鋼製帯状補強土壁（以下、帯鋼補強土壁と称す）とは、盛土材と鋼製の帯状補強材との間に働く摩擦力で、壁面に作用する土圧に抵抗する機構を有し、高い垂直の壁面を有する擁壁である。帯鋼補強土壁は、道路分野への適用が多く、橋台背面アプローチ部において多く採用されてきた（図-1）。しかし、道路橋示方書¹⁾に示されたように、異種構造物が連続する箇所では、設計に相互影響を考慮する必要があるものの、特に適用頻度の高い橋台への作用は明らかになっていない。そこで本研究では、図-1のような配置となる橋台と帯鋼補強土壁の模型を作成し、動的遠心力模型実験装置を用いて、帯鋼補強土壁が橋台に及ぼす作用と、地震後の変状について実験的に検証した。

2. 動的遠心力模型実験方法

実大模型で耐震性を検証するのは困難であるため、動的遠心力模型実験を採用した。動的遠心力模型実



図-1 橋台背面アプローチ部への適用事例

験とは、 $1/n$ に縮尺した模型に、重力の n 倍の遠心加速度を作用させることで、重力場の実大模型と同等の応力をもとに、耐震性を検証できる実験である。過去の動的遠心力模型実験^{2), 3), 4)}を参考に、図-2に示すような、橋台、上部構造、高さが 10m の帯鋼補強土壁を縮尺 1/50 倍で構築した。帯鋼補強土壁の盛土材は、江戸崎砂を最適含水比 w_{opt} に調整し、目標締固め度 D_c を 90% とした。この盛土材のなかに補強材を規則的に配置した。補強材の引張剛性は相似則に従い、リン青銅板 ($t=0.15\text{mm}$) を採用した。計測器は、加速度計、土圧計、ひずみゲージ、変位計を配置した。得られた計測値については実物大に換算して示す。作成した模型を動的遠心力模型装置にて橋軸方向および橋軸直角方向に加振を行った。加振する地震動は、兵庫県南部地震の L2 地震動を採用し、表-1 で示すケースごとに与えた。

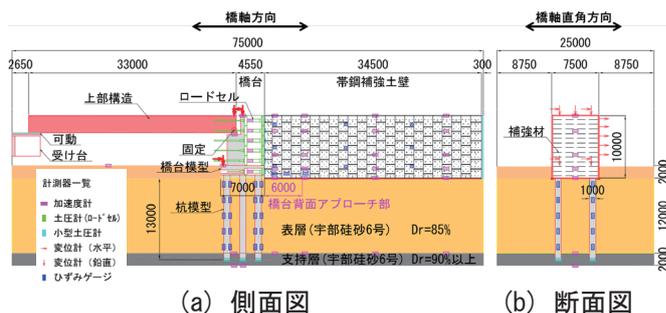


図-2 模型の構造と計測器の配置（単位:mm）

表-1 実験ケース

実験ケース	加振方向	背面構造物
Case-1	橋軸方向	盛土
Case-2		帯鋼補強土壁
Case-3	橋軸直角方向	盛土
Case-4		帯鋼補強土壁

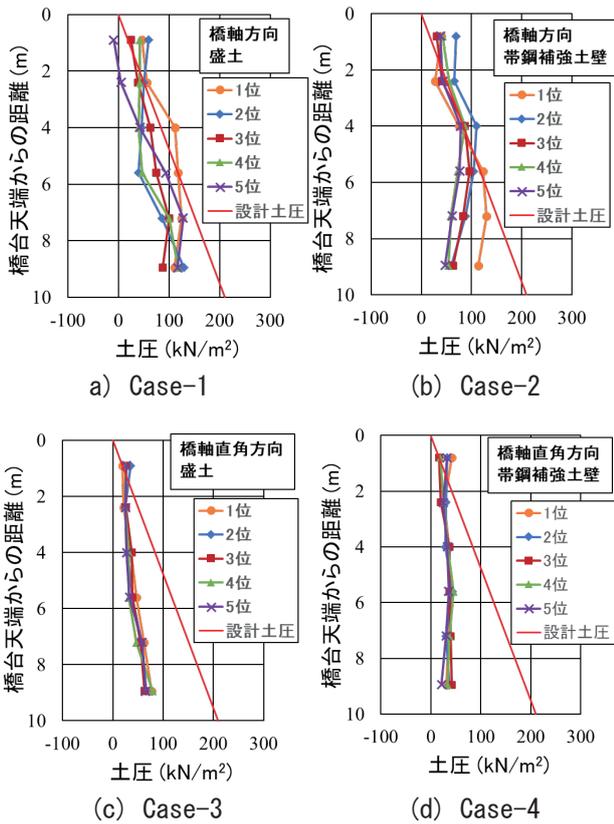


図-3 橋台に作用する土圧合力上位 5 番の土圧分布形状 (L2 地震動)

3. 実験結果

(1) 橋台に作用する土圧

L2 地震動を入力した際に計測された橋台背面の土圧分布形状と、道路橋示方書に記載の式⁵⁾から算出される設計土圧を図-3に示す。土圧分布については、地震時土圧のばらつきを考慮し、土圧合力の最大値から上位 5 番の値を採用した。Case-1, 2 ともに、設計土圧に対して同様の土圧分布を示すが、盛土構造の Case-1 は各順位の分布にばらつきが見てとれる。一方、Case-2 では、順位による土圧分布の傾向のばらつきは小さい。Case-3, 4 では、いずれも設計土圧以下かつ橋台天端からの距離によらず概ね一定の土圧分布形状を示した。

(2) 地震後の変状

図-4 に各ケースの加振後の背面構造物の残留沈下量を示す。どのケースにおいても橋台付近にて 0.1m 程度の沈下量が発生している。しかし、帯鋼補強土壁の方が盛土よりも沈下量が若干小さいことが確認できた。また、0.1m 程度の沈下については、橋台背面アプローチ部といわれる 6m 区間内のみが発生していることが確認できた。

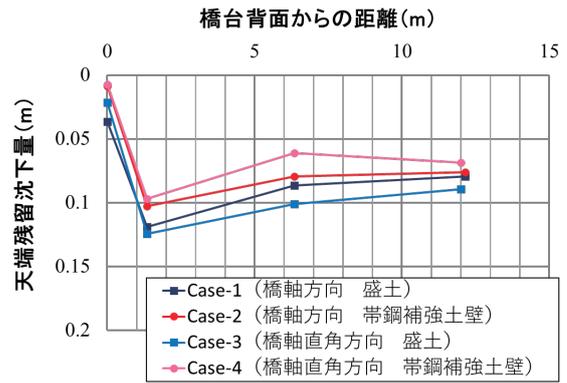


図-4 加振後の背面構造物の残留沈下量

4. まとめ

橋台へ作用する土圧は、橋台背面アプローチ部が盛土でも帯鋼補強土壁でも設計土圧と同様の土圧分布を示した。盛土と帯鋼補強土壁では、帯鋼補強土壁の方が残留沈下を僅かにおさえることが出来た。これは、補強材による盛土材への拘束効果が L2 地震時においても発揮されているからと考えられる。したがって、橋台背面に帯鋼補強土壁を設計する際には、盛土と同様の土圧を考慮し、沈下による段差は、従来の踏掛版設置による対応で問題ないと考えられる。

参考文献

- (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ 下部構造編, p.157, 2017.
- 岡崎貴斎, 宮原史, 七澤利明：動的遠心模型実験による構造の異なる橋台背面アプローチ部の地震時挙動の評価, 土木技術資料, 令和 4 年 4 号, pp.40-43, 2022.
- 佐藤登, 大谷義則, 酒井茂賀, 木村隆志, 西形達明：帯鋼補強土壁における動的遠心載荷実験, 第 51 回地盤工学研究発表会, pp.1545-1546, 2016.
- 山口恭平, 西田秀明, 上原勇氣：橋台背面アプローチ部の地震時挙動の評価に関する研究, 第 35 回日本道路会議, 論文番号-4034, 2023.
- (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ 耐震設計編, pp.98-99, 2017.

(2021. 11. 30 受付)

[著者代表連絡先]

松永 崇史 (ヒロセ補強土株式会社)

電話：070-8688-3118

E-mail：t-matsunaga@hirose-net.co.jp

傾斜台実験によるパネル式大型ブロック積擁壁における地震時作用力の検討

ヒロセ補強土株式会社 賛助会員 VUONG THANH TUYEN
 ヒロセ補強土株式会社 賛助会員 佐藤 登
 ヒロセ補強土株式会社 賛助会員 岡崎 貴斎
 ヒロセ補強土株式会社 賛助会員 志村 直紀

キーワード：パネル式大型ブロック積擁壁，地震時の挙動，逆台形形状

1. はじめに

パネル式大型ブロック積み擁壁は、控え長および、前面と背面の勾配を自由に設定することができるパネル式の大型ブロックである（図-1）。通常、前面は傾斜しており、もたれ式擁壁としての設計手法を採しているが、近年では用地制約等の条件から、前面が急勾配で、背面側が緩勾配となる逆台形形状となるケースがある。逆台形形状においては、構造上トップヘビーとなるため、もたれ式擁壁に対して、地震時の地盤反力および背面土圧が過小評価されている可能性があり、地震時安定性の慎重な検討が必要と考えられる。そこで本研究では、逆台形形状のパネル式大型ブロック積み擁壁の地震時挙動の把握と、安定性の評価を目的として、傾斜台模型実験²⁾を行った。

震度 $k_h=0.16$ 条件を満足する断面形状で、コンクリートにて 1/10 サイズで製作した。各実験ケース模型の仕様を図-2 に表す。Case1 は前面および、背面が3分勾配で模型壁高 $H=0.5\text{m}$ ，Case2 は前面が垂直、背面5分勾配で $H=0.5\text{m}$ ，Case3 は前面が垂直、背面5分勾配で $H=1.0\text{m}$ とした。

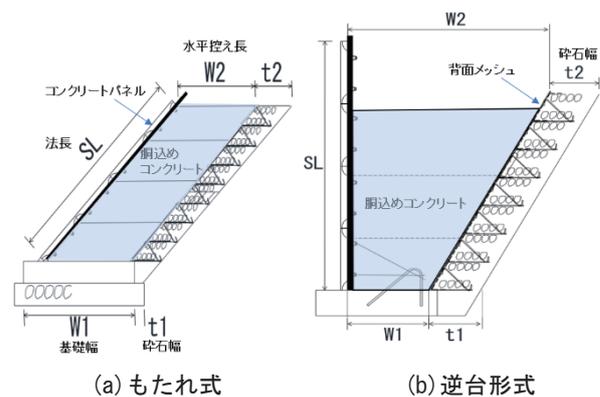


図-1 パネル式大型ブロック積み擁壁の概要図

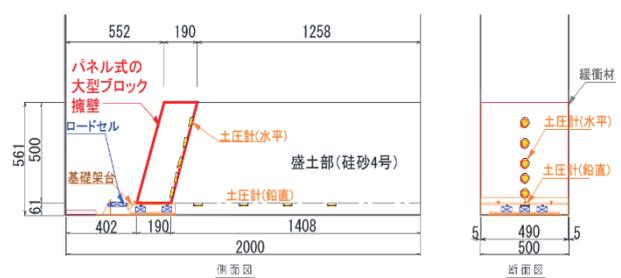
2. 実験概要

(1) 実験方法・実験条件

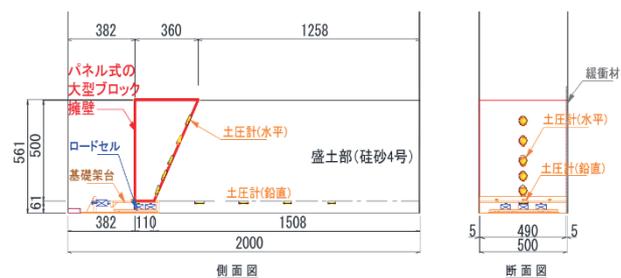
本実験方法は壁高および基礎地盤の条件を変化させて挙動を確認する。検討にあたり、パネル式大型ブロック積み擁壁を模したもたれ形状壁高 5m，逆台形形状壁高 5m および 10m の 1/10 模型を作成し、土槽（内寸： $W0.5\text{m} \times L2.0\text{m} \times H1.0\text{m}$ ）の傾斜により応力や変形に与える影響について検証した。傾斜台実験では土槽片端をジャッキで傾斜させることにより、水平面に対して傾斜角度 (θ°) の変化による設計水平震度 $k_h=\tan\theta$ とした時の自重による静的地震力を擬似的に再現できる。基礎地盤は、I種地盤相当として、非沈下でかつ、滑動を許容する条件とした。

(2) 実験の模型・計測内容および载荷ステップ

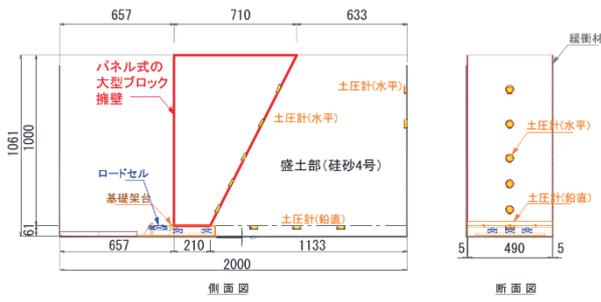
パネル式大型ブロック積み擁壁の模型は、設計水平



(a) Case1



(b) Case2



(c) Case3

図-2 各実験ケース模型の仕様

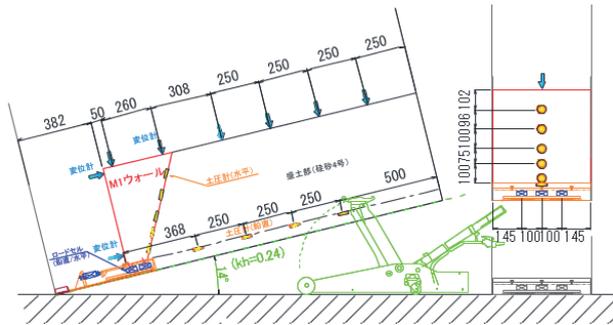


図-3 実験模型の計測位置

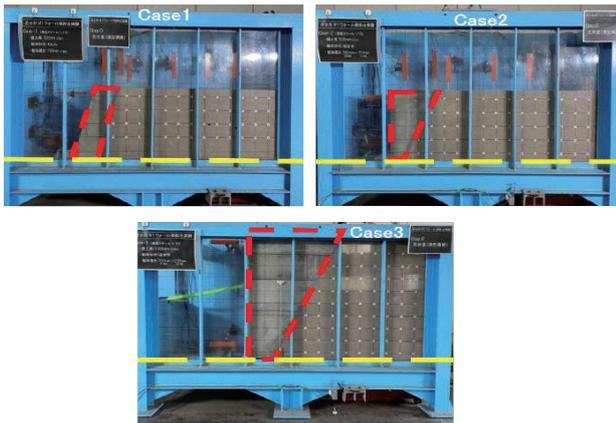


写真-1 各実験ケースの構築後の状態



写真-2 模型傾斜状態 (Case2 $k_h=0.24$)



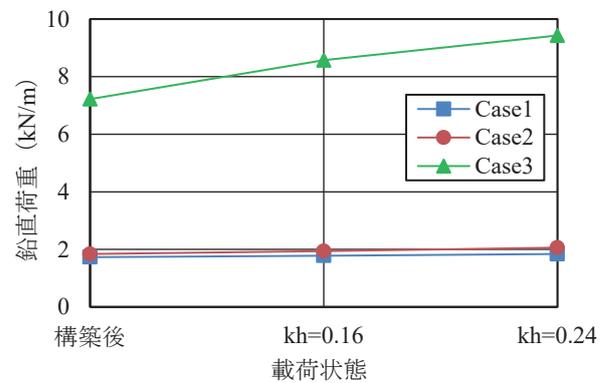
写真-3 基礎架台

写真-1 のような構築時の状態を常時として計測後、土槽を水平震度換算で $0.04/\text{min}$ となるように傾斜させ (図-3, 写真-3), $k_h = 0.12, 0.16, 0.20, 0.24$ で 3 分保持した. 各ステップにおいて, 基礎底面の鉛直・水平荷重, 背面土圧, 変位を計測した.

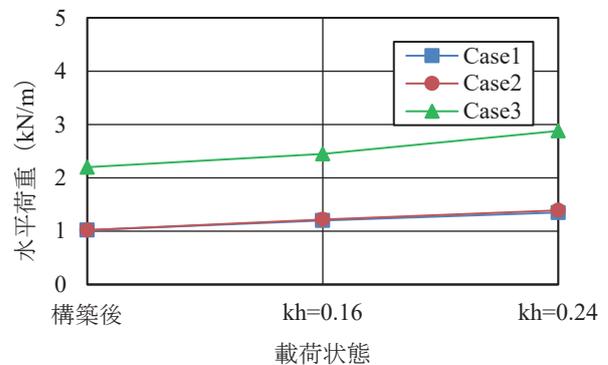
裏込めの盛土材は日光珪砂 4 号 (自然乾燥状態) を使用し, 1 層 10cm にて相対密度 $D_r=85\%$ で構築した. また, 写真-3 に示すように擁壁基礎は基礎部に作用する鉛直荷重および水平荷重が計測できる構造とし, 水平荷重は底面の摩擦力を除去できるようローラーを介する構造とした.

3. 実験結果

図-4 に, 模型基礎底面における鉛直荷重および水平荷重を示す. 壁高 0.5m もたれ形状の Case1, 壁高 0.5m 逆台形式の Case2 では基礎部に作用する鉛直, 水平荷重共にほぼ同等であり, 静的地震力が作用する影響が少ない. 一方, 壁高 1.0m 逆台形形状の Case3 では Case1, Case2 と比較して鉛直荷重および水平荷重が 2~5 倍大きく, 増加傾向にある. これは壁高の増加に伴う擁壁重量の増加及び土圧の増加の影響であると考えられる.



(a) 鉛直荷重 - 載荷状態の関係



(b) 水平荷重 - 載荷状態の関係

図-4 鉛直荷重および水平荷重の結果

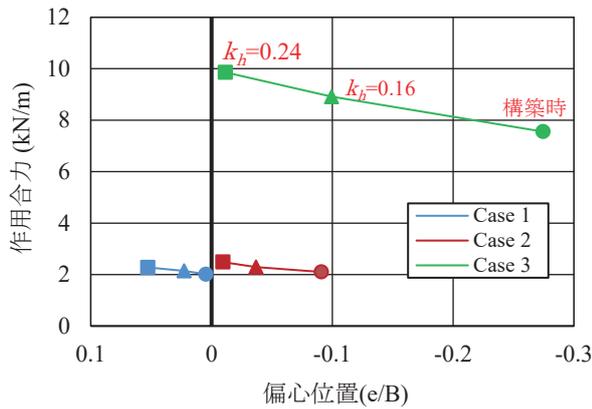


図-5 作用合力および偏心位置の関係(実験値)

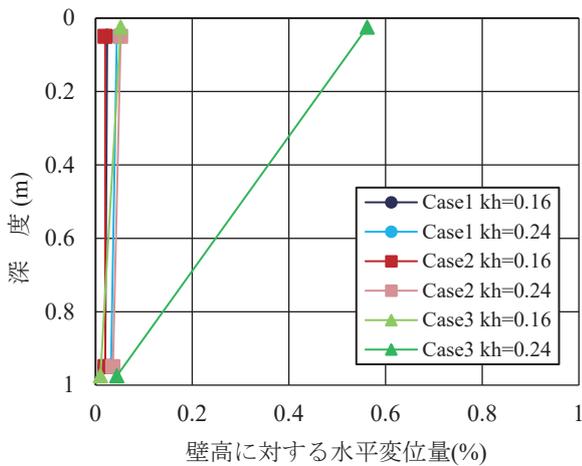


図-6 実験模型の変位量の結果

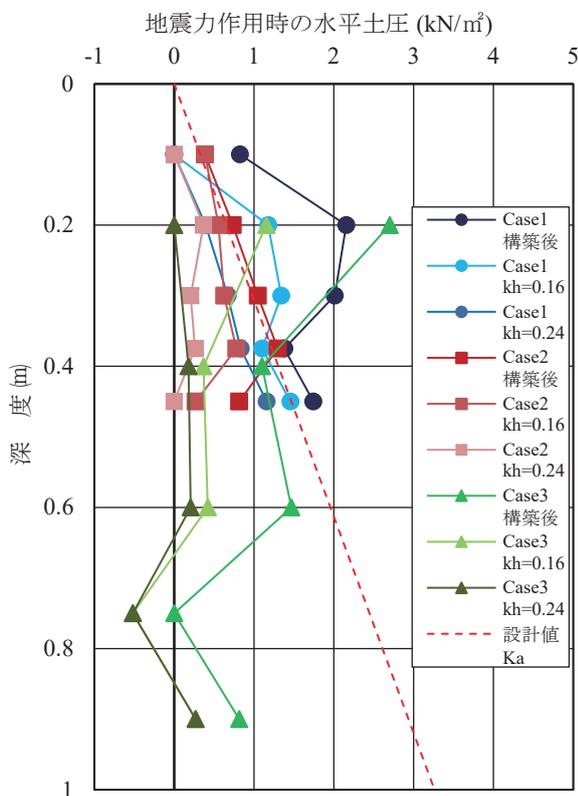


図-7 擁壁背面の水平土圧分布性状図

次に、図-5 に载荷に伴う偏心位置の変化について示す。偏心距離は壁高に関わらず前方へと移動した。Case1, Case2 は共に静的地震力による偏心距離の移動距離は小さく、Case3 では静的地震力による偏心距離への影響が顕著に現れた。これより、Case3 の形状は、より地震力の影響を受けやすいと考える。また、図-6 に壁面変位について示す。壁面の変位は3 ケースとも前傾モードとなった。壁高に対する水平変位量は Case1, 2 については静的地震力による壁面変位への影響が少ない。一方、Case3 については前傾の変位が見られた。これは、Case3 の形状がトップヘビーであり、前面へ偏心していることから、壁面変位に影響を与えたものと考えられる。

図-7 に擁壁背面の土圧分布性状を表す。図中の設計値は $\sigma_h = K_a \cdot \gamma \cdot z$ により算出した ($K_a = 0.217, \gamma = 15 \text{ kN/m}^3$)。擁壁ブロックに作用する背面土圧は、各ケースとも静的地震力の载荷に伴って減少傾向にある。これは静的地震力が作用すると、擁壁が前方に変位するものにより土圧の拘束が抜けてしまったことが考えられる。そして、土圧分布性状にはケース間で差異が見られる。Case1 の土圧分布は最下端部を除くと深度方向に中部付近が大きく減少し、Case2 では深度に関係なく、ほぼ同程度の土圧が減少した。Case3 は浅部付近の土圧が大きく減少し、深部付近の土圧は、減少量が小さかった。

4. 考察

(1) 逆台形形状の地震時挙動

本実験では、地震時の作用状態を静的に再現する傾斜模型実験を行った。 $k_h = 0.24$ まで载荷を行ったところ、全てのケースで前傾モードで挙動したことから、地震時の挙動は、本実験条件下では断面形状に依らず、壁高の低い逆台形式においてはもたれ式に近い傾向であると考えられる。

(2) 逆台形形状の安定性

逆台形形状における地震時の作用合力の分布傾向はもたれ形状に比較して同等といえるが、基礎底盤の作用合力の偏心位置は、もたれに比較して前方への移動が大きくなる傾向があり、注意が必要である。一方で擁壁背面に作用する土圧は、傾斜に伴って減少傾向にはあるが、実験条件による影響と考えられ、分布形状の観点からすれば、断面形状による影響は小さいと言える。また、壁高の違いにより安定性が異なることが示され、土圧分布性状には高さで差異も見られるが、 $H = 0.5\text{m}$ もたれ式と同様に地震時の影

響が小さい。したがって、所定の高さの範囲内であれば、逆台形形状の安定性はもたれ形状に対して同程度であると判断できる。ただし、壁高が高くなると、地盤反力、偏心距離が異なる傾向を示すことから、逆台形式で高壁の設計には注意が必要である。

5. おわりに

本研究では、傾斜台実験により逆台形形状のパネル式大型ブロック積擁壁の挙動を把握したが、傾斜台実験は静的な検証方法であるため、設計照査で用いる作用力の評価は不十分であると考ええる。今後は動的实验や数値解析を用いてさらなる検討を行う予定である。また、現場の実態を踏まえて軟弱地盤や地盤補強工との併用等の条件を含めて検討していく。

参考文献

- 1) 道路土工—擁壁工指針(平成24年度版), p.342, (公社)日本道路協会, 2012年7月.
- 2) 大型ブロック積み擁壁の設計・施工・維持管理の高度化に関する共同研究報告書, p.45, 国立研究開発法人土木研究所, 2021年3月.
(2023.11.30 受付)

[著者代表連絡先]

VUONG THANH TUYEN

(ヒロセ補強土株式会社 技術推進部 技術課)

電話: 03-5634-4583

E-mail: tuyen-vuong@hirose-net.co.jp

GNSS/GPS を用いたクラウド型自動計測システムによる斜面監視

国際航業株式会社 賛助会員 馬場 俊行
 国際航業株式会社 賛助会員 佐藤 渉

キーワード：GNSS/GPS, 変位観測, クラウドサービス

1. GNSS/GPS 計測による斜面監視

GNSS/GPS 測位の繰り返しによる地表面変位観測手法は、地表面の三次元座標を mm 単位で高精度に取得できることから 1980 年代末より適用が始まり、地すべり等の斜面監視手法として普及している。斜面観測における GNSS/GPS 計測手法の利点としては、①斜面変位の有無・量・方向の把握ができる、②TS 測量のような測点間の視通が不要、③微小変位から大変位まで対応し、伸縮計や孔内傾斜計にあるような測定限界がなく長寿命である、④雨・雪・風・季節変化の影響が少なく悪天候時でも計測が可能である、等が挙げられる。

2. GNSS/GPS 計測原理

GNSS (Global Navigation Satellite System : 全地球航法衛星システム、いわゆる GPS) は、人工衛星を利用して測位を行うシステムで、既に一般に広く普及している技術である。

GNSS による測位精度は、スマートフォン等で一般的に利用される「単独測位」では 10~30m 程度である。一方、2 台以上の受信機を使用し基準点との相対位置を測定する「RTK 方式」はリアルタイムに 2~3cm の高い精度で位置測定が実現できる。同様に、測量等でも使用される「static 方式」はさらに高精度な 5~10mm 程度の測定が実現可能である。

一般的に、地盤の変位計測には mm 単位の計測精度が求められ、「static 方式」では時系列統計処理（トレンドモデル）および、大気遅延量差による温度補正を行うことによって、概ね 1~2mm 程度の変位検出が可能となっている。「static 方式」は精度が高いが解を得るために 1 時間以上の連続観測を行い専用のソフトウェアで基線解析を行う必要がある。「RTK 方式」は精度がやや劣るが最短 1 秒ピッチで座標がすぐに得られるため、監視対象に応じていずれかの



図-1 GNSS 機器の斜面設置イメージ

解析手法が用いられる。

3. クラウド型自動計測システム

前述の方式による GNSS 計測で斜面等を計測し、インターネットを介して 24 時間連続的に観測情報をリアルタイムで配信するサービス (shamen-net) が提供されている。この GNSS 自動計測システムは、土木計測用に開発された小型・軽量・安価な GNSS 計測機器 (図-1) や各種 IoT センサ、インターネットを活用した監視センターで構成される。図-2 にシステムの概念図とその特徴を示す。



図-2 クラウド型自動計測システム shamen-net の特長

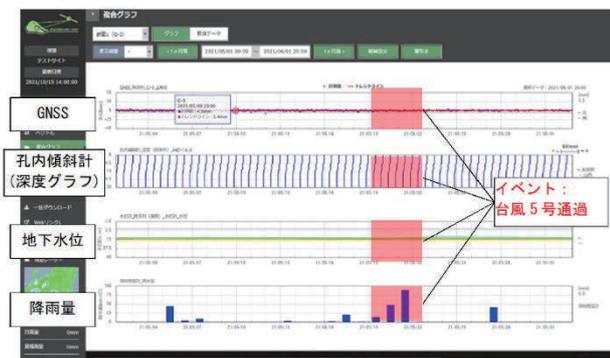


図-3 GNSS+IoT センサ計測結果の時系列表示

このサービスは、通信回線を介してGNSS計測データだけでなく様々なIoTセンサの計測データを自動的にクラウド上に収集・統合し、24時間遠隔監視のもと、計測結果を直観的に表示・分析できるクラウド型の自動計測システムである。このシステムでは、データ配信にインターネットを利用して、標準的なブラウザ (Chrome・Edge 等) で計測データを閲覧できるため (図-3)、従来必要であった専用システムや閲覧用のビューワー等が不要なこと、汎用PCやスマートフォン等でいつでもどこでもデータを確認できるなど、メリットが多い。

GNSS・IoT センサともに様々なメーカーの数多くの種類のセンサに対応しているため、センサごとに別々のシステムを確認することは不要である。

また、監視センターでは、専門技術者が24時間常駐して有人監視を行っており、変位や異常が発生した場合には利用者へ連絡・通報するシステムを採用している。そのため、利用者は人員確保が難しい夜間や休日の手間・コストを軽減させることができる。

4. クラウド型自動計測システムの利用事例

本システムの導入事例¹⁾としてダム貯水池斜面の自動観測システムを紹介する。このダム貯水池周辺には、斜面変動が懸念される地すべりと湖岸道路斜面が点在している。従来、地すべりは当該ダム専用のパイプ歪計等による自動観測システムで、湖岸道路斜面はWEBを用いたGNSS自動観測システムで個々に管理・運用を行ってきた。

本ダムでは、老朽化したパイプ歪計や水位計および地すべり自動観測システムの更新に伴い新設したパイプ歪計や水位計を、GNSS自動観測システムに統合した。各観測機器は無線伝送装置によってFOMA端末にデータを送信し、そのデータを監視センターへ転送している。転送したデータは監視セン



図-4 ダム貯水池周辺斜面の変位計測例

ター内のDBサーバに格納し、WEBを用いてデータを確認できる。

本システムの導入により、ユーザーはシステム監視・管理の負担軽減が可能となり、地すべり変位挙動と湖岸道路斜面の変位挙動を容易に比較評価できるようになった。

5. インフラの変位モニタリングのDX化

国土交通省は、インフラ分野において、データとデジタル技術を活用して建設生産プロセスの高度化、効率化、国民サービスの向上等の改革につながる優れた実績をベストプラクティスとして横展開するため、「インフラDX大賞」を創設した。当社の「GNSS・IoTセンサ・衛星SARの統合によるインフラ点検の省力化・効率化の取組み」が、i-Construction推進コンソーシアム会員の取組部門において、インフラDX大賞「国土交通大臣賞」を受賞した。

この技術は、切土・盛土のり面などの監視や、災害現場 (地すべり、深層崩壊)、大規模盛土や産廃処分場などの変動監視、広域地盤沈下計測など、様々なインフラの変位モニタリングにも適用可能である。

今後は、航空レーザ計測や定点カメラ画像を用いた変位データも統合してDX技術を活用した「時空間的に連続したモニタリング」を追求し、インフラ点検の省力化・効率化に貢献したいと考えている。

参考文献

- 1) 丹野正浩, 佐藤渉, 飯島功一郎, 新谷ちか子, 馬場俊行, 安部謙悟: 統合型地すべり自動観測システムの開発, 第18回「斜面防災対策技術フォーラム'15」 in 高松, pp13-16, 2015.

(2023. 11. 30 受付)

【著者代表連絡先】

馬場 俊行 (国際航業株式会社)

電話: 042-307-7210

E-mail: toshiyuki_baba@kk-grp.jp

細径鋼管挿入による擁壁背面土の補強効果に関する振動台実験

報国エンジニアリング株式会社 非会員 小川 正宏
 報国エンジニアリング株式会社 非会員 執行 晃
 ミサワホーム株式会社 非会員 川崎 淳志
 株式会社 設計室ソイル 非会員 高田 徹
 山口大学 非会員 中田 幸男
 山口大学 非会員 兵動 正幸

キーワード：宅地擁壁，耐震補強，振動台実験

1. はじめに

既存擁壁および擁壁背面を補強する工法として、抑止杭工法、地山補強土工法やグラウンドアンカー工法が挙げられる¹⁾。しかし、グラウンドアンカー工法などは擁壁前面からの施工となり、戸建住宅の宅地擁壁の補強に適用できない場合が多い。擁壁前面にスペースがない場合に施工可能な工法として、擁壁背面から放射状に削孔した穴にセメントミルクと鉄筋を挿入する工法²⁾もある。しかし、地盤面上で頭部のキャッピングが必要であり、狭隘な宅地においては土地利用の制約となる。

そこで筆者らは、地震時に擁壁と住宅の安全性を確保するため、擁壁背面に $\phi 48.6\text{mm}$ の細径鋼管を所定の間隔で打設することにより擁壁の背面地盤を補強する工法の開発に取り組んできた。図-1(a)(b)に示すような実際の戸建て住宅を想定した 1/10 モデルの土槽を作製し、鉛直荷重に対して 0.2 倍の水平荷重を同時に与える静的載荷試験を行い、擁壁の変位測定および 2D 画像解析による擁壁背面地盤の挙動を観察した結果と、土槽実験をモデル化した FEM 解析の結果について報告した²⁾。上記実験結果から、

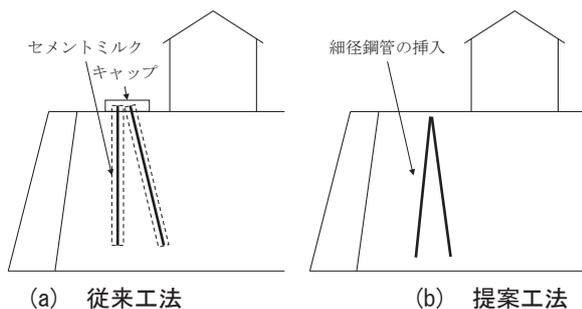


図-1 擁壁背面補強における従来工法と提案工法の比較

図-1(b)に示す細径鋼管を Λ 型に組み合わせて配置する方法（以降 Λ 型補強と称する）が、最も擁壁の変位が少なく、画像解析から背面地盤の動きが最も小さいことがわかった。また、実験では擁壁背面地盤の補強材の配置によって、擁壁が崩壊する直前においてすべり線が補強材で止まることが分かった。

本稿では、地震時を想定した振動台実験により、補強材の擁壁崩壊の抑止効果および住宅を錘の沈下量を確認した結果を報告する。

2. 振動台実験の概要

(1) 実験概要および実験目的

図-2 に実験に用いた土槽の外観を示す。これらは、ブロック積み擁壁で造成された地盤上の住宅を模擬したものである。本実験における寸法は、実物の約 1/20 を想定したものであるが、今後、実大実験を行うことも視野に入れ、基礎的資料を得ることを目的とし寸法を設定した。実験土槽の寸法は、幅 750mm×深さ 500mm×幅 200mm である。盛土地盤材には気乾

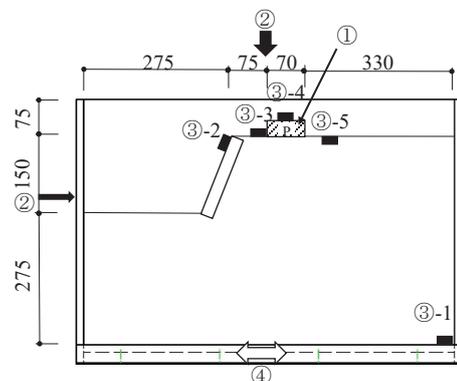


図-2 模型土槽の概要（奥行 200mm）

状態の豊浦砂を用い、空中落下法により下部は相対密度 $D_r=50\%$ (最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.652g/cm^3$)、上部は $D_r=30\%$ (最小乾燥密度 $\rho_{dmin}=1.369g/cm^3$) の二層の地盤を作成した。なお、事前の模型地盤における載荷実験では、載荷板幅の 1/10 沈下量における短期支持力は、擁壁がない平地の場合は $20.4kN/m^2$ 、擁壁から 75mm 離れた位置に載荷板を設置した場合は $6.9kN/m^2$ であった。ここで、このような低い相対密度の地盤とした理由は、地盤の破壊とそれに対する補強効果を確認することを主眼としたためである。また、緩い地盤での工法の適用性を検討することも採用した理由の一つである。

20mm×20mm×195mm のアルミニウムバーを、擁壁基礎を模したプラスチック上に 8 本積み重ね、空石積擁壁を模した擁壁を作成した。補強材は模型の縮尺に合わせ 1/20 縮尺とし、アルミパイプ ($\phi 2.1mm$, $t 0.3mm$, 比重 $2.7g/cm^3$, 長さ 30cm, 引張強さ $185N/mm^2$) を用いた。補強材周囲には薄く接着剤を塗布して砂を付着させ、粗面の状態とし地盤となじませた。土槽側面のアクリル板と地盤との摩擦を低減するため、アクリル板にシリコンを塗布した。

住宅を模した荷重として、図-2①に示す幅 70mm の錘により、事前に実施した載荷実験での長期許容支持力相当以上の $4.6kN/m^2$ の荷重を載荷した。擁壁変位量の測定は、図-2②に示すレーザー変位計にて、擁壁の下から 1 段目付近に照点を当て測定した。また、上部から錘付近の地盤と錘にレーザーを照射し、錘および錘-擁壁間地盤の沈下量を直線状に測定した。加速度計は、図-2③に示す③-1 振動台本体、③-2 擁壁の 1 番上のブロック、③-3 補強材と錘付近の地盤、③-4 錘、③-5 平地側地盤の計 5 箇所に取り付けている。ここで、③-1 を入力加速度とみなし、③-2~5 を応答加速度として測定した。振動は図-2④に示す振動台により正弦波を与えた。振動回数 20 回、周波数 3Hz の正弦波を、擁壁の倒壊が発生するまで、振幅 20mm から 10mm ごとに増やす方法にて加振した。

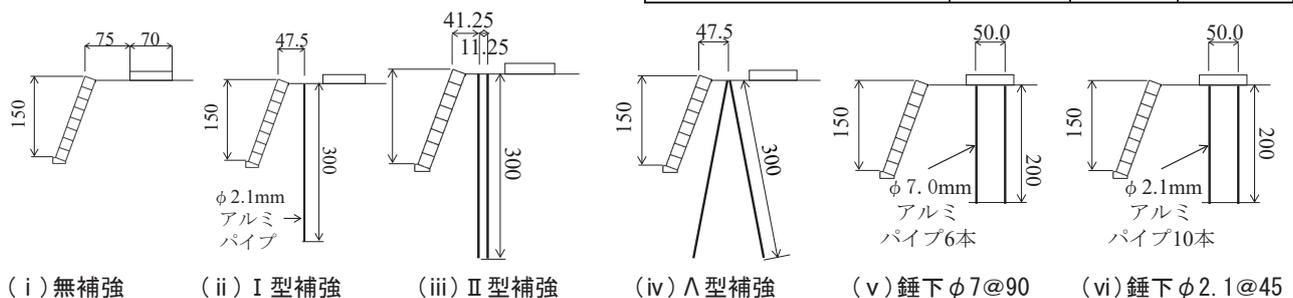


図-3 補強材の配置パターン

(2) 実験仕様

補強材の配置パターンを図-3 に示す。ここで、(i) 無補強、(ii) $\phi 2.1mm$ のアルミパイプを 1 列に打設した I 型補強、(iii) 千鳥に配置した II 型補強、(iv) Λ 型に組合せて打設・固定した 4 仕様で実験を行った。補強材の間隔は、土の中抜けを起こさない抑え杭の設計仕様である 8D 以内とした。なお、図-3(i)~(iv) に示す実験 4 仕様については発表済みである⁴⁾。また、現実問題として住宅基礎直下に小口径鋼管や細径鋼管を打設することが行われるため、比較として錘下に (v) $\phi 7mm$ のアルミパイプを 6 本配置した場合と、(vi) $\phi 2.1mm$ のアルミパイプを 10 本配置した場合も実験を行った。また、静的載荷実験で最も効果があった Λ 型との比較として、(iv)② Λ 型を短くした場合、(iv)③ 頭部接続がない場合、(iv)④ 補強材に砂を付着させない場合、(iv)⑤ 平地側パイプのみ、(iv)⑥ 擁壁側パイプのみの場合についても実験を行った。さらに、(vii) 擁壁背面に建物のないことを想定した錘がない場合も実験した。表-1 に実験パターンの一覧表を示す。

3. 実験結果

(1) 補強材の条件による補強効果比較

実験結果の一例として、各補強材の条件において、

表-1 実験パターン一覧表

補強材の条件	補強材寸法		
	D(mm)	t(mm)	L(mm)
(i) 無補強	—	—	—
(ii) I 型補強	2.1	0.3	300
(iii) II 型補強	2.1	0.3	300
(iv)① Λ 型補強	2.1	0.3	300
(iv)② Λ 型短	〃	〃	200
(iv)③ Λ 型接続なし	〃	〃	300
(iv)④ Λ 型摩擦なし	〃	〃	300
(iv)⑤ Λ 型平地側のみ	〃	〃	300
(iv)⑥ Λ 型擁壁側のみ	〃	〃	300
(v) 錘下 $\phi 7@90$	7	0.5	200
(vi) 錘下 $\phi 2.1@45$	2.1	0.3	200
(vii) 錘なし	—	—	—

振幅 20mm (α_{max} 約 90Gal 相当) で加振した場合の載荷板中央部付近の沈下量および擁壁の変位量を図-4(i)(iv)に示す。(i)無補強では、加振とともに擁壁の変位および載荷板の沈下が進行し、擁壁は約 20mm の変位、載荷板は約 20mm 沈下する結果となった。(iv) Λ 型補強の場合も加振に従い変位の進行が見られるが、無補強の場合と比較するとごくわずかである。

振幅と加振後の錘沈下量の関係を図-5に、振幅と擁壁変位量を図-6にそれぞれ示す。図-5および図-6は(a)補強材の配置パターンによる比較と、(b) Λ 型の条件による比較を示している。(i)無補強の場合は振幅 30mm(α_{max} 約 140Gal)の段階で擁壁が倒壊した

が、補強材を配置することによる擁壁の変位量および錘の沈下量低減効果が確認できる。特に(iv) Λ 型補強は他と比較すると顕著に錘沈下量および擁壁変位量が小さく、錘なしとほぼ同等である。地震により擁壁が倒壊することを防ぎ、それに伴う住宅の沈下量低減にも効果を発揮すると考えられる。また、擁壁に近接して住宅を建築する際の対策として、住宅を模した錘下に小口径または細径鋼管を打設する安息角対応(v)(vi)についても、図-5に示す通り住宅の沈下に対して効果があることがわかった。無補強と比較すると擁壁への影響も小さくなるが、図-6に示すように(v)(vi)は Λ 型補強よりも擁壁の変位が大きい結果となった。

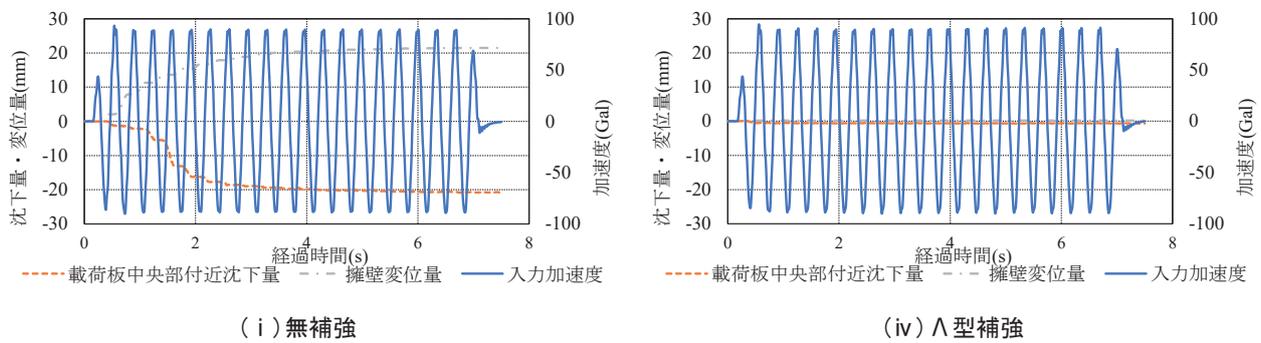


図-4 振幅 20mm 時の載荷板沈下量と擁壁変位量

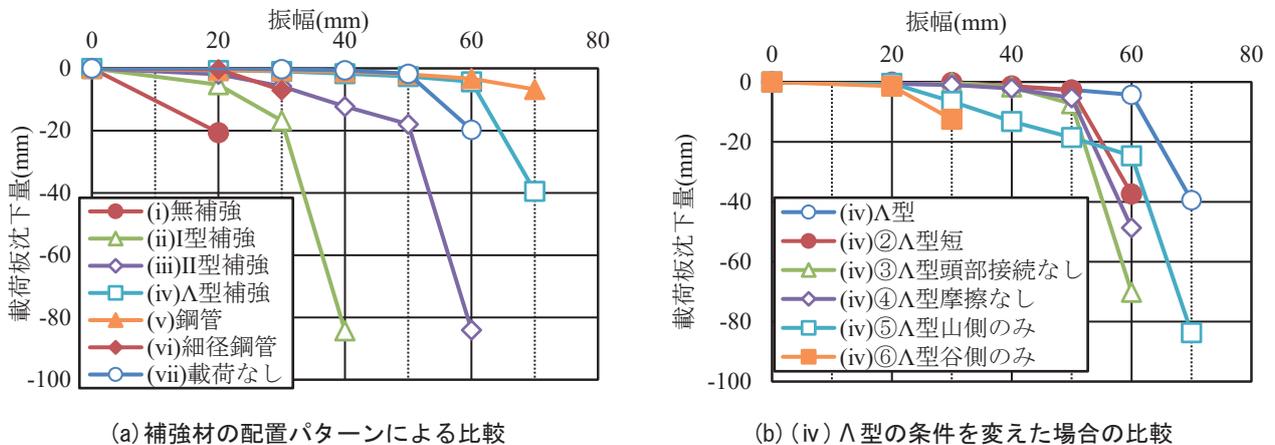


図-5 振幅と錘沈下量

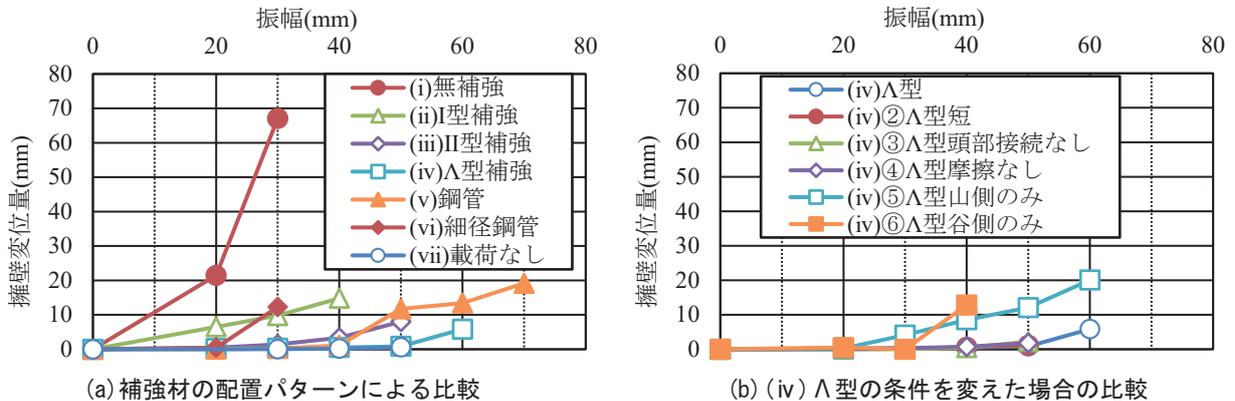


図-6 振幅と擁壁変位量

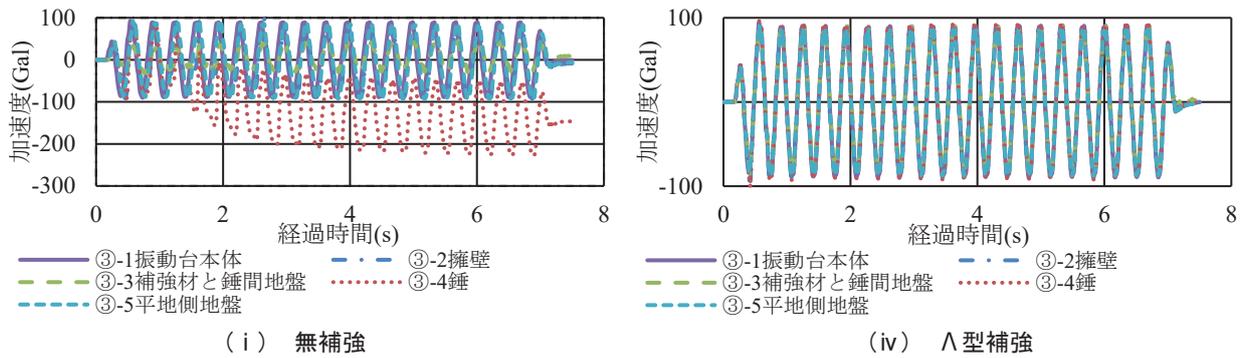


図-7 振幅 20mm 時の加速度測定結果

Λ 型補強で補強材の条件を変えた比較では、振幅 40mm(α_{max} 約 190Gal)までは錘板沈下量と擁壁変位量のいずれも小さかった。振幅 50mm(α_{max} 約 230Gal)を超えるとΛ型補強②～⑥の擁壁変位量が大きくなっていき、60mm(α_{max} 約 270Gal)の段階で擁壁は倒壊した。しかし、振幅 40mm(α_{max} 約 190Gal)まではわずかな変位しか生じなかったことから、ある程度の振動までに対しては補強効果が発揮されるといえる。

(2) 無補強とΛ型補強の応答加速度の比較

加速度測定結果の一例として、振幅 20mm 時の(i)無補強と(iv)Λ 型補強の測定結果を図-7 に示す。(i)無補強は加振が進むに従い振動台本体で測定している入力加速度と、各部に取り付けた加速度計の測定値、すなわち応答加速度との差が大きくなる。特に錘は入力加速度 0.10G に対し応答加速度が 0.25G になっており、錘に傾斜が生じていると考えられる。一方、(iv)Λ 型補強の場合は入力加速度と応答加速度がほぼ一致しており、補強材による効果により、振動台と地盤、擁壁および錘が一体となって振動している。

4. 結論

本実験により得られた主な結果を以下に示す。

- (1) (i)無補強の場合は、振幅 30mm(α_{max} 約 140Gal)の段階で擁壁が倒壊し、錘が大きく沈下する結果となった。一方、補強材を配置した場合は振幅 30mm では擁壁は倒壊せず、補強材による擁壁の変位を抑制する補強効果が確認できた。
- (2) (iv)Λ 型補強では擁壁の変位を抑制する補強効果が顕著であり、振幅 60mm(α_{max} 約 270Gal)でも擁壁の変位量および錘の沈下量が小さくなっている。また、Λ 型補強では、補強効果が小さくなると考えられる条件に変えると、ある程度の振幅(加速度)までは錘沈下量および擁壁変位量が小さくなることが確認できた。

- (3) 応答加速度の測定結果から、(i)無補強は早い段階で振動台本体の加速度と各部の応答加速度との差が大きく、擁壁および錘の傾斜が生じていた。擁壁および錘の傾斜が生じていたのに対し、(iv)Λ 型補強の場合は、補強材による効果により、振動台と地盤、擁壁および錘が一体となって振動しており、地震時の擁壁の変位や擁壁背面地盤にある住宅の沈下を軽減する効果が期待できる。

謝辞：本報告は、建築研究開発コンソーシアムの研究会「宅地耐震化技術(既存擁壁背面地盤の補強工法)の開発に向けた研究」における 2019～2022 年度の成果です。研究会メンバーの方々に多大なご協力を頂きました。ここに感謝致します。

参考文献

- 1) 国土交通省、熊本県、熊本市：被災宅地災害復旧マニュアル～熊本地震対応～【参考資料編】、pp.46-48, 2017
- 2) 大谷義則、妻鹿誠、浜塚政治：マイクロパイルの施工事例、基礎工、Vol.26, No.7, pp.56-61, 1998
- 3) 川崎淳志、執行晃、黒柳信之、小川正宏ら：既存擁壁背面地盤の補強工法の開発に向けた補強効果の検証実験(その 1～4)、2021 年度日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.607-614, 2021
- 4) 小川正宏、黒柳信之、中田幸男、兵動正幸：細径鋼管挿入による擁壁背面土の補強効果に関する振動台実験、第 63 回地盤工学シンポジウム、セッション 4-3.3, 2022

(2023. 11. 30 受付)

[著者代表連絡先]

小川 正宏
 (報国エンジニアリング株式会社 技術部)
 電話: 080-2480-7482
 E-mail: m-ogawa@hokoku-eng.com

子供の防災意識萌芽と向上に向けた防災授業における「どぼく模型」の効果と課題

株式会社藤井基礎設計事務所 正会員 岩佐 直人
 株式会社藤井基礎設計事務所 正会員 藤井 俊逸
 株式会社藤井基礎設計事務所 杉原 正樹

キーワード：土砂災害，防災学習，防災どぼく模型

1. はじめに

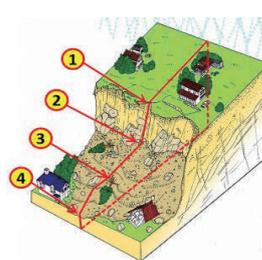
近年，異常気象に起因する「これまでに経験したことがない豪雨」による土砂災害が全国で多発し，多くの被害が発生している．平成13年4月に土砂災害防止法が施行されてからは，住民の警戒・避難によって，「命を守る」ことを主体にした防災事業（ソフト対策）の強化が図られてきた．その結果，土砂災害警戒区域や特別警戒区域の設定，ハザードマップ作成とその積極的な公開がなされて，居住地域の自然災害に対する危険度が把握できるようになった．さらに防災気象情報・避難警戒情報等が，発令されるようになり，警戒・避難行動を促す制度が整備されつつある．しかし，「私は大丈夫」「周囲の人たちは動いていない」などのバイアス作用により，住民が主体的判断に基づいて，警戒・避難行動をとるとい状態には，残念ながら至っていない．

このバイアス作用を小さくして，「自助」を高めるためには，地域防災活動を通じて，地域住民の土砂災害に関する知識を高めるとともに，居住（就労）地域の災害履歴，地形・地質等の地学的知識を把握しておくことが重要である．併せて，将来その地域の担い手となる子どもたちへ，防災意識を芽生えさせ，向上させていくことも必要である．「釜石の出来事」と言われる東日本大震災時の子供たちの避難行動は，地域防災における子供たちの防災意識の重要性を示唆していると考えるが，防災意識萌芽と向上に関する学習ツールや，授業内容は試行錯誤の状態である．

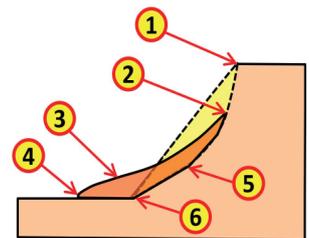
筆者らは，これまで「防災どぼく模型」を用いた防災学習に取り組んできている^{1),2),3)}が，本報告では，2022年に子供たちを対象に実施した防災学習を通して，防災どぼく模型を用いた学習の効果と課題について報告する．

表-1 防災どぼく模型種類⁴⁾

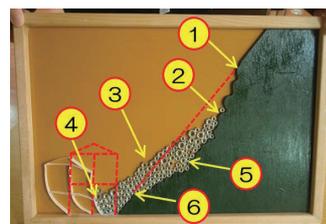
実験における 主要な材料	実験で確認できる内容	
	大分類	中分類
ナット	がけ崩れ現象	発生角度、安全な部屋
	法枠工の効果	崩壊土砂の厚さ
	地山補強土の効果	間隔、補強材径
	グラウンドアンカー工の効果	受圧板、段数
	トンネル刃先崩壊	
	トンネル補強	NATM
	擁壁の安定性	重力式、もたれ式
	抑止杭の効果	
パスタ	主働土圧と受働土圧	
	支持力	直接基礎、杭基礎
	土のうの効果	被覆材引張り強度
豆腐	地すべりにおける地下水分布	
積み木	トップリング	
ペットボトル 砂	空洞化	飽和と不飽和
	液状化	
水	降雨による土砂崩壊	
	排水工の効果	



(a)がけ崩れイメージ

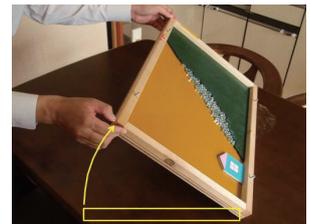


(b)がけ崩れイメージ断面



(c)がけ崩れ模型

(図中番号は(b)番号に相当)



(d)底板を傾斜させて

がけ崩れ発生

図-1 「がけ崩れ」に関する防災どぼく模型

2. 防災どぼく模型について

防災どぼく模型とは、100円ショップ等で購入できる安価な材料や、トイレットペーパーやパスタ等身近にある材料を用いて、主に災害現象や対策構造物の効果を、直感的・視覚的・触覚的に理解する模型であり、現時点で表-1に示す種類がある。

図-1に、防災どぼく模型の例として「がけ崩れ」に関する内容を示す。図-1(a)は、がけ崩れの全体イメージを示しており、その中央線における断面が図-1(b)である。図-1(c)は、この移動土塊部分を径の異なるナットでモデル化しており、図中番号は、(b)に記載している番号の位置に相当する。この底板全体を傾けることにより、ナットが崩落して、がけ崩れを表現することができる(図-1(d))。

3. 防災どぼく模型を用いた防災学習概要

対象の小学校は、島根県雲南市内にある、木次小学校6年生25人と斐伊小学校5年生31人で、理科学習において、前者は「地形・地質」、後者は「水の流れ」に関する学習が終了した11月に実施した。

雲南市は、島根県東部にある人口34,488人(2023年)で、地質は、花崗岩(まさ土)であって、市のほぼ中央を、斐伊川が雲南市北部にある宍道湖に流れており、その支流の赤川、久野川、三刀屋川の合流地点に、平野部が広がっている。なおこれらの河川は、天井川である。このような地質・地形的特徴から、昔から落石及びびがけ崩れが発生しやすい上に、洪水が何度も発生し、多くの被害が生じている。ちなみに木次小学校は久野川に近接しており、斐伊小学校の背後は急峻な斜面である。

以下に、今回の授業手順を示す。なお授業時間は60分であった。

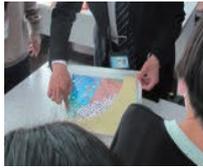
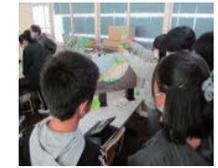
①事前準備

児童の防災に関する意識を把握するために、アンケート調査を実施した。

②授業の実施

土砂災害の概要(近年の気象変化、がけ崩れ概要、主な対策工)の説明を行った後、5班に分かれて、「防災どぼく模型」を用いた実験を実施(表-2)した。実験後、各班で実験結果をまとめた後、班の代表が実験結果を発表した。

表-2 班別の実施した模型実験

	1班	2班	3班	4班	5班
対象とする土砂災害	がけ崩れ				
実験ポイント	崩壊角度と安全な部屋 	のり棒工の効果 	グラウンドアンカー工効果 	降雨時の斜面崩壊メカニズム 	土のうの強度 
実験方法	土をナットで例えて、ナットを設置した板を傾け、崩壊した角度及びびがけの下の家で安全な部屋を調べる	崩壊深さの浅い条件及び深い条件で、のり棒の効果を調べる	斜面に設置するグラウンドアンカーの数量を変え、グラウンドアンカー工の効果調べる	模型斜面の中に水を注入して、崩壊した時の水の位置を測る	土をストローに、土のうをトイレットペーパーで例えて、ストローの束の上に、おもりを乗せて崩壊する重さを調べる



(a) 降雨による斜面崩壊実験と発表状況 (6年生)



(b) がけ崩れ実験と発表状況 (5年生)

図-2 防災授業の状況

ちなみに班代表発表時に、その班の実験内容を授業アシスタントが発表者の横で実演している(図-2).

③授業後

児童及び担任教師に、防災授業に関するアンケート調査実施した。

4. 防災授業の結果と考察

図-3 に、児童に授業前に実施したアンケート結果の一部を示す。普段行っている防災活動については、6年生は「ある」という回答が92%、5年生は44%であった。また、2022.9.19に島根県に再上陸した台風14号に対する防災行動についての質問(5択)に対する回答では、6年生は安全な部屋に避難したという回答が47%あり、情報を集めたが避難しなかったという回答が30%であった。一方5年生は何もしなかったという回答が71%で、情報を集めたが避難しなかったという回答が25%であった。これより理科学習の効果もあって、6年生は、防災意識が比較的高く、5年生は、まだ防災意識は低いという傾向が窺える。

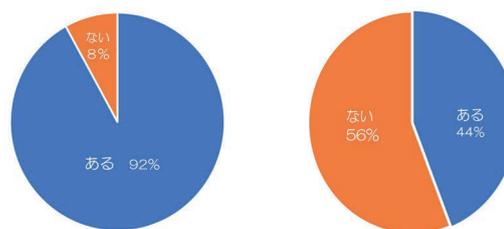
図-4 は、防災どぼく模型を用いた防災授業に関するアンケート結果である。いずれの学年も「役に立った」という回答がほとんどであった。なお6年生の「無回答」はコロナでWeb参加になった児童の回答である。

表-3 に、実験に対する感想の中で、多用された表現の上位3つを示す。6年生は、「他のグループや友達の実験が気になった」の表現が最も多く、自分達で実施した実験だけでなく、他グループが行った実験への興味も高かったことがわかる。次に多い「家族に話す・生活に活かす等」「何かものに例えて」という表現から、実験で得られた経験を活かそうという意識が芽生えたこと、身近な材料を用いて土砂災害に関係する事象を表現できることを理解してくれたと考える。

5年生は、「楽しかった、びっくりした、すごかった等」「興味があった」「わかりやすかった」など、実験に対する直接的な表現が多く、通常授業より楽しい授業時間を過ごしたという評価であったと考えられ、土砂災害を理解するには、少し難しい内容だった可能性がある。一方、「人や滑り台に例えてわかりやすかった」の評価が2件あったが、これは実験後の班別発表会において、がけ崩れ現象を、人や滑り台に例えて追加説明したことが、実験現象の理解度を高める作用として働いたと考えられる。

以上より、防災どぼく模型による授業は、学年に

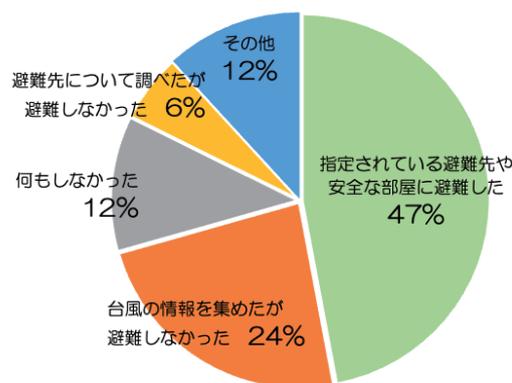
問い：防災について普段行っていることはありますか？(2択)



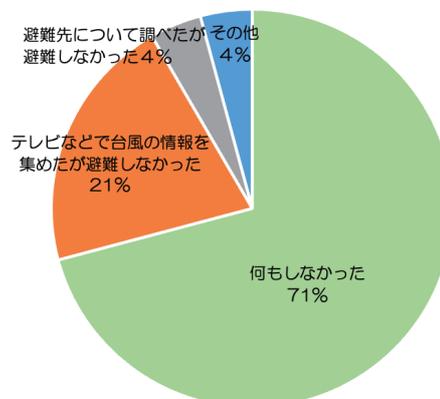
(a) 6年生

(b) 5年生

問い：台風14号が通過した9/19は、防災について何が行っていましたか？



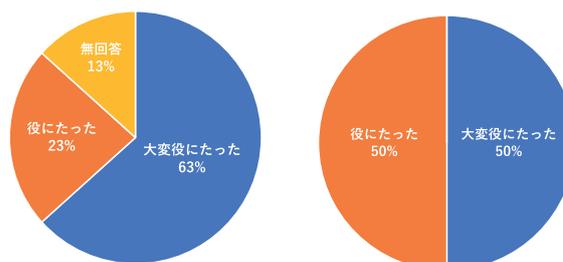
(a) 6年生



(b) 5年生

図-3 授業前のアンケート結果(児童対象)

問い：今日の防災授業はどうでしたか？(4択)



(a) 6年生

(b) 5年生

図-4 授業後のアンケート結果(児童対象)

よる理解度の差はあるものの、子供たちの感覚に直接伝達できることから、防災意識萌芽や向上の面で、有効であったと評価している。

表-4に、担任教師の評価を示すが、いずれも「大変役に立った」という回答であった。特に6年生の担任教師からは、専門的立場の方からの防災授業を行う意義は高いこと、国語・理科で防災授業を行なっているので、その確認という意味でよかったことなどが述べてあり、教育者視点からの本授業の位置付けを把握できた。また、今後継続するにあたって児童が考える時間を考慮した授業時間や、防災授業のためのツールの必要性等について指摘があったことは、防災授業の継続性や、その他地域への展開を考える上で重要な点であると考えられる。

5. まとめと今後の課題

今回60分という授業時間ではあったが、防災どぼく模型を用いた防災授業を行い、下記成果を得た。

- (1)身近な材料を用いた「防災どぼく模型」を用いることで、がけ崩れの発生理由や主な対策工の効果を、視覚・聴覚・触覚を通して、理解度を高めることができた。
- (2)防災どぼく模型を用いた防災授業は、子供たちに、防災意識を芽生えさせ、向上させる働きがあることを確認した。
- (3)防災どぼく模型は、学校における防災授業で活用できる授業ツールであることを確認した。

今後の課題としては、学習時間の確保、地域防災活動の視点からの授業内容（ツール含む）の検討、防災授業を実行する人材育成などが挙げられ、教育関係者と連携して対応していく予定である。

謝辞：防災授業実施にあたって、雲南市立木次小学校及び斐伊小学校の皆様にご協力をいただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岩佐直人, 藤井俊逸, 杉原正樹, 永海飛鳥, 松本一郎, 堀田賢也：防災どぼく模型を用いた小学生を対象とした防災授業, 令和5年度砂防学会研究発表会概要集, pp159-160, 2023.
- 2) (株) 藤井基礎設計事務所地域戦略研究所 HP, <http://orchid.fujii-kiso.co.jp/section/kikaku/index.htm> (2023.11.20 参照).
- 3) 岩佐直人, 藤井俊逸, 杉原正樹, 藤原昌之, 石田侑生, 岩佐由紀夫：積極的住民参加を促すための地

表-3 防災どぼく模型実験に対する児童の評価
(自由記述)

6年生		5年生	
実験に対する表現	回答数	実験に対する表現	回答数
他のグループの実験が気になった、友達の実験に興味があった	7	楽しかった、面白かった、びっくりした、ゲームみたいに感じた、すごかった、ふしぎだった	9
家族に話す、生活で生かす、災害に備える、周囲を調べる	6	興味があった	2
何かものに例えることで、わかりやすかった	5	人や滑り台に例えて、わかりやすかった	2

表-4 防災授業に対する担任教師の評価 (自由記述)

	6年生	5年生
防災授業に対する評価	大変役に立った 防災視点は、児童の中には、さほどしっかりとあるものではないが、専門的立場からの授業は、とても意義深い。	大変役に立った
防災授業内容へのコメント	事前準備がしっかりとしていたので、土砂災害のしくみや、対策などをしっかりと学べた。 また、児童は国語や理科で防災学習を行ってきており、今回の実験で、自分たちで調べてきたことが、さらに理解できた。	子供たちによっては、難しいと感じる子がいたかもしれない。しかし実際に実験をすることは、子供たちの興味関心につながるので、とても意義があった。
継続した防災授業に必要なもの	防災授業の時間の確保：2コマ分の授業時間(90分) 防災学習を行うためのツール 疑問を考えたり、やってみたいと思える仕掛け	特に問題なく行えた。

域防災活動の視点、令和5年度土木学会第78回年次学術講演会概要集, VI-606, 2023.

4) 防災模型じっけん楽会,
<https://bosaimokeijikken.wordpress.com> (2023.6.30 参照).

(2023.11.30 受付)

[著者代表連絡先]

岩佐 直人 (株式会社藤井基礎設計事務所)
電話: 0852-23-6721
E-mail: iwasa@fujii-kiso.co.jp

加速器質量分析法による放射性炭素年代測定で使用される主な試料タイプの紹介

株式会社パレオ・ラボ 賛助会員 加藤 和浩

キーワード：加速器質量分析計，放射性炭素年代，試料タイプ

1. はじめに

加速器質量分析計(AMS)による放射性炭素(^{14}C)年代測定は考古、地質、地形、環境、海洋などの各分野で利用されており、植物片、泥炭、炭化物、花粉、土壌、貝殻、サンゴ、骨、歯、角、織物、革、溶存無機炭素などが測定対象になり得る。

この発表では、野外調査で採取され AMS- ^{14}C 年代測定対象になりやすい植物片、炭化物、土壌、貝殻の具体的な前処理（試料を AMS で測定可能にするまでの作業工程）を紹介し、野外での試料採取作業時の一助になることを期待している。

2. 加速器質量分析法放射性炭素年代測定

^{14}C 年代測定を行う方法として、液体シンチレーション計数法(LSC)と加速器質量分析法(AMS)がある。AMSの方が新しく、LSCに比べ劇的に試料量と測定時間を低減でき、 ^{14}C のマシンバックグラウンドが低く測定に有利であることから、AMSによる ^{14}C 年代測定が現在の主流である。

^{14}C 年代測定の原理を、植物を例に簡単に説明する。活動を停止した植物に含まれる ^{14}C は、外界からの ^{14}C の補給が停止するので、植物体内に蓄積されていた ^{14}C は時間経過に伴い ^{14}N に放射壊変し、活動停止からの時間に応じて ^{14}C は減少していく。AMSで植物体に残留している ^{14}C 濃度($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$)を測定し、これと ^{14}C の半減期から対象試料の ^{14}C 年代が求められる。次に伐採された木材を例に考えてみる。年輪は樹皮直下で形成され、形成時の大気の ^{14}C 濃度を保存しているため、伐採が現在行われたのであれば、樹皮直下の年輪は現在の大気の ^{14}C 濃度を保存している。一方、中心部の年輪は、当初は年輪形成時の大気の ^{14}C 濃度を保存しているが、年数経過に伴う放射壊変でそれは減少していく。従って、中心部付近の年輪は樹皮直下の年輪の ^{14}C 濃度より低くなるので、中心部の年輪の ^{14}C 年代は樹皮

直下の年輪より古くなる。

3. 測定までの流れ

固形試料を AMS で ^{14}C 年代測定を行う場合、はじめに物理的・化学的洗浄で試料に付着する汚れを除去する。その後、大気起源の現代炭素が排除された環境下での燃焼などにより、試料中の炭素を二酸化炭素(CO_2)で回収し、これを炭素に還元する。国内の AMS- ^{14}C コミュニティではこれをグラファイトと呼び、このグラファイトを用いて AMS で ^{14}C 年代測定を行う。一般的に 1 mg のグラファイトで高精度な ^{14}C 年代測定が可能である。

4. CO_2 化する前に行う洗浄作業

(1) 植物片・炭化物の場合

地層から採取された植物片や炭化物は、試料に付着している碎屑性粒子などを超音波洗浄などで取り除く。その後、酸-アルカリ-酸処理(AAAあるいはABA処理とも呼ばれる)を行う。この作業の目的は、汚染物質由来の炭素の除去にある。はじめに酸溶液(塩酸)に試料を浸して、試料が地層中に保存されていた期間に生じている可能性がある炭酸カルシウム(CaCO_3)の付着を取り除く。続いてアルカリ溶液(水酸化ナトリウム)に浸して地層内で保存されている間に二次的に付着した有機物などの汚染物質除去を行う。最後に再び酸溶液に浸して試料を中和して処理が終了する。試料が汚れている場合はアルカリ溶液が透明から褐色に変化するので、溶液の色が透明に近づくまでアルカリ溶液を入れ替えて汚れを取り除く。試料サイズが小さいとアルカリ処理で試料が溶けて無くなる場合もあるので、この点を考慮して試料採取の際はある程度の試料サイズの確保が求められる。

植物片や炭化物で得られる ^{14}C 年代値は、以降で述べている土壌と貝殻の ^{14}C 年代値より受け入れら

れやすいので、¹⁴C 年代測定で利用頻度が高い試料タイプである。

(2) 土壌の場合

土壌試料に含まれる枝や根などの異物をはじめに除去する。その後、土壌試料から有機物画分を抽出しこれを使用する場合がある。抽出される画分はフルボ酸とフミン酸とフミンである。各画分の特徴は、フルボ酸は酸とアルカリに可溶、フミン酸はアルカリに溶解酸で沈殿、フミンは酸とアルカリに不溶¹⁾であり、この性質を利用して土壌試料から抽出される。有機物画分の抽出を行わず、異物除去後の土壌試料に酸処理を施した土壌そのものを使用する場合もあり、これは一般にバルク試料と呼ばれている。

土壌の試料の場合、先に挙げた4タイプが測定対象になり得るが、この中でどのタイプが最も¹⁴C年代測定に適しているのかという事を画一的に決めることができない点が土壌の¹⁴C年代測定の難しいところである。その理由は、有機物画分であれば例えば地面に染み込む雨水と一緒に上位層から下位層への移動や、バルク試料であれば現代炭素の汚染源となる現生の根の除去の取りこぼしなどが挙げられ、加藤ほか²⁾で簡易ではあるがこれらについてまとめられている。土壌試料取扱の実際の動向を見てみると、世界最大手の¹⁴C年代測定会社である Beta Analytic (米国) の場合は、土壌試料のほとんどがバルク試料の取り扱いであると案内されているが、同時に意味のある試料タイプ選択の検討の必要性も述べている³⁾。

(3) 貝殻の場合

貝殻は CaCO₃ で構成されているので¹⁴C年代測定の対象となり得る。採取された貝殻は地層中などで保存されていた間に CaCO₃ の再結晶が起きる場合があるので、貝殻を酸溶液に浸してこれを除去する。状態に応じて溶解量が多くなるので、溶解で失われることも考慮した試料量の確保が必要となる。貝殻の場合、グラファイト化に必要な CO₂ の発生は酸(リン酸溶液)による CaCO₃ の分解で行う。文献によれば貝殻の年代については、以下に記す海洋貯留効果と硬水効果に留意すべきと述べられている⁴⁾。海水産の貝殻は海洋貯留効果の影響を受け¹⁴C年代値が古めに出る傾向がある。すなわち、大気と陸上植物の炭素の混合は急速に行われるが、海水と大気炭素の混合には時間がかかり、例えば深層水の¹⁴C年代は数千年のオーダーであることが知られており、

この影響を受け海水産の貝殻の¹⁴C年代値が古めに出る。続いて硬水効果であるが、陸に非常に古い石灰岩がある場合、この影響を受けて貝殻の年代が不一致になる場合がある。極端な例で考えてみると、白亜紀の石灰岩に含まれていた¹⁴Cは時間経過に伴い放射壊変で全て消滅しているため、この石灰岩起源の炭酸を含む水にも¹⁴Cは含まれない。この¹⁴Cを含まない水の影響を受けた貝殻は、仮に現生の貝殻であっても古い¹⁴C年代値を示すことになる。硬水効果は局地的環境の影響を受けるので定量的な評価は困難であり、淡水産や陸産の貝殻を¹⁴C年代測定で扱う際には注意が必要である。

5. まとめ

AMS-¹⁴C年代測定の対象になりやすい試料タイプとして、植物片、炭化物、土壌、貝殻を抽出し、それぞれの試料タイプの前処理の実際と特徴を挙げた。今回取り上げた試料タイプで、¹⁴C年代測定に最も適した試料は、植物片と炭化物と判断される。また試料タイプの特徴を十分考慮すれば土壌と貝殻(海水産)の利用も有効と判断される。

自然災害発生タイミングに一致する何か特定の植物片や炭化物が、自然災害を保存している露頭から採取できれば、AMS-¹⁴Cは災害発生時期の推定に非常に有効なツールになると判断される。

参考文献

- 1) 木越邦彦：同位体年代測定，新実験化学講座 10 宇宙地球化学，pp. 337-345，1976.
- 2) 加藤和浩，門叶冬樹，森谷 透，武山美麗：放射性炭素年代測定のための土壌試料に含まれる現代炭素の簡便で効果的な除去方法の紹介，第四紀研究，第 61 巻，第 2 号，pp. 73-83，2022.
- 3) Beta Analytic, Radiocarbon dating of sediment or soil, <https://www.radiocarbon.com/ams-dating-sediments.htm> (2023.11.17 参照) .
- 4) シェリダン・ボウマン (北川浩之訳)：年代測定，學藝書林，120p., 1990.

(2023. 11. 30 受付)

[著者代表連絡先]

加藤和浩(株式会社パレオ・ラボ年代測定研究部)
電話: 0277-96-2088
E-mail: info@paleolabo.jp

変動斜面における切土時の安定性評価とその対策

株式会社荒谷建設コンサルタント 正会員 土肥 倅輔
株式会社荒谷建設コンサルタント 正会員 野津 幸二

キーワード：地質リスク，斜面安定性の評価，機構解析

1. はじめに

本検討は、島根県中央部で計画される国道切土法面に対して、地形・地質条件及び崩壊リスクを踏まえた法面補強対策を実施したものである。

現地は遷急線沿いで複数の表層クリープや滑落崖が発達し、山頂部では線状凹地が認められる(図-1, 写真-1~4)。さらに、露頭の開口状況等から岩盤クリープによる変状リスクも懸念される状況である。

延長約 650m の対象路線は大部分が崩壊リスクを回避した計画となるが、起点側の進入線形に伴い局所的に全5段の長大切土区間が生じる(図-2)。

このような与条件に対して、調査ボーリング及びパイプ歪計観測により潜在変動を確認し、切土時に生じる緩み層を特定するため、速度検層やボアホールスキュナなどを提案し詳細設計に反映させた。

本稿ではこれらの安定性評価、対策工法選定に至る一連の検討内容を紹介するものである。

2. 地質特性を踏まえた検討方針

当該地付近は古第三系の安山岩類、溶岩及び火砕岩(Va3)と三郡変成岩地帯(Sm)が複雑に分布し、これらの岩相境界付近では貫入や熱水変質による局所的な脆弱部の存在が懸念された(図-3)。この地質の問題に加え、前述する岩盤クリープ、現地で認められる節理、開口に富んだ露岩、連続性のある滑落崖等(写真-1~4)から、無対策で長大切土を施工することは困難と判断した。



写真-1 連続性のある滑落崖 写真-2 表層クリープ状況



写真-3 遷急線付近の転石 写真-4 樹木で停止する転石



図-1 計画路線周辺の線状構造等 (基図は文献 1), 2) から引用・加工した)

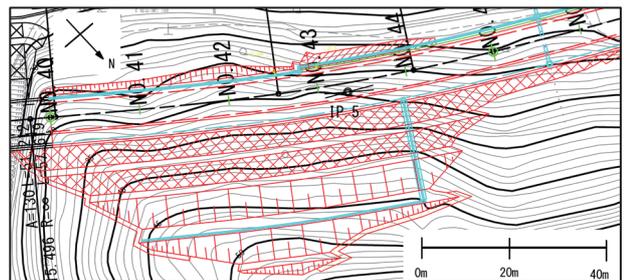


図-2 計画平面図

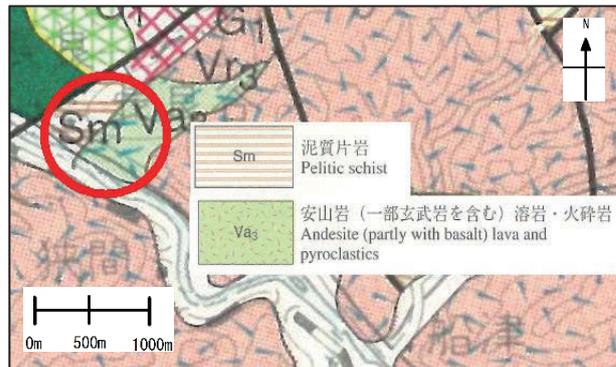


図-3 計画ルート周辺の地質状況³⁾

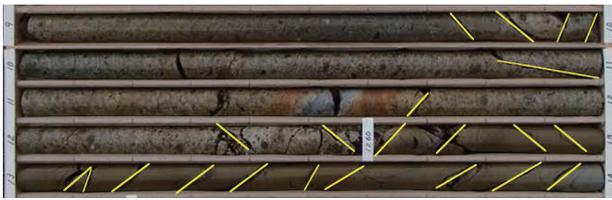


写真-5 BP-20(既存)のボーリングコア亀裂状況

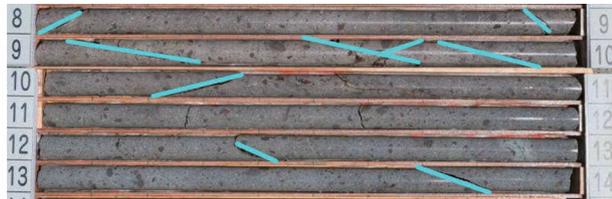


写真-6 調査孔のボーリングコア状況 (BP.No.1)

3. 斜面の安定性を評価するための詳細調査

斜面には無数の転石、開口と節理に富んだ安山岩の露頭を認める。既存のボーリングコアでも中硬岩～硬岩領域で低～高角度亀裂が発達し(写真-5)、地表、地中ともに同様な地下構造と推察される。これらの斜面状況は路線全体に認められ、切土工事により容易に岩盤の緩みや崩壊が生じるものと評価できる。

切土時の安定性を確認するためには、潜在的な地中変動の有無に加え、弱層の連続性、応力解放による緩みと走向傾斜の関連を把握することが重要と考えた。これら詳細調査として、速度検層(P波)やボアホールスキャナの実施を提案した(詳細調査は平行する別業務で実施)。

4. 各調査結果に対する分析・評価

(1) 調査結果の概要

a) 地層分布

地質調査の結果、安山岩火砕岩を主体とし上位の崖錐層及び強風化安山岩下位の中硬岩で構成される(図-4)。

安山岩は写真-6中の水色で示す高角度の亀裂が卓越していることが特徴であり、局所的に著しく酸化していることから、岩盤内を通過するような地下水流動も想定される。

新規実施された2孔の調査ボーリング(BP.No.1, 2)では共に0.2~0.4mの破碎粘土層をGL-6.0m~14.0m付近に介在し、概ね12°程度の弱層が連続性をもった流れ盤構造を形成しているものと判断した(図-4)。

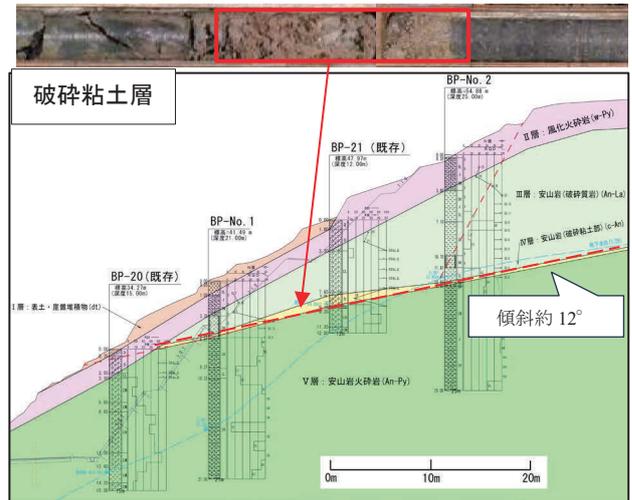


図-4 地層断面図

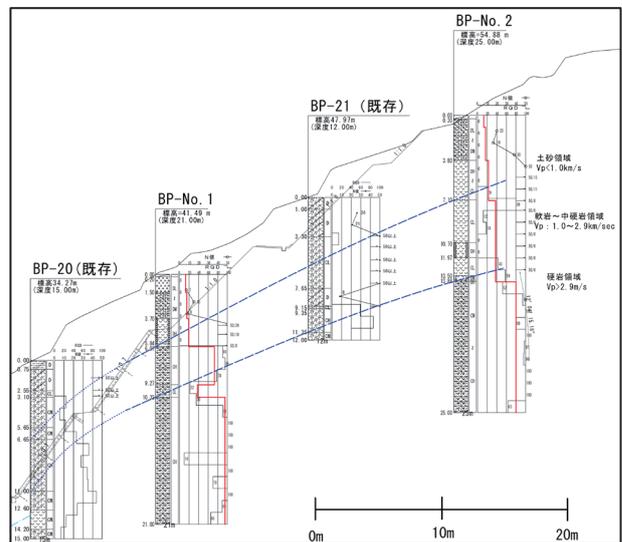


図-5 速度検層結果図

b) 速度境界を踏まえた評価

弾性波速度は鉛直方向に土砂、軟岩、中硬岩及び硬岩の層序でそれぞれ明瞭な速度境界を確認した(図-5)。特に亀裂が卓越する区間は中硬岩クラスであっても土砂並みの低速度層として評価し、切土時における緩み(崩壊リスク)として区分できる。

既存調査孔では速度検層未実施のため、今回実施したコアの亀裂状況やN値を基に弾性波速度を推測する。

c) 亀裂ピークの分析

ボアホールスキャナによるピーク亀裂を写真-7及び図-6に示す。多少のバラツキは認めるが、大きく4つのエリアをゾーニングし、ピークエリアとして評価した。切土面に対し低角度と高角度の流れ盤

構造が主体となり、破碎粘土層の角度と調和的なピークも認める。中硬岩及び硬岩部では鉛直に近い節理構造も分布するため、長期的には硬質岩盤であってもバックリング（座屈）するリスクがあると判断する（図-7, 8）。

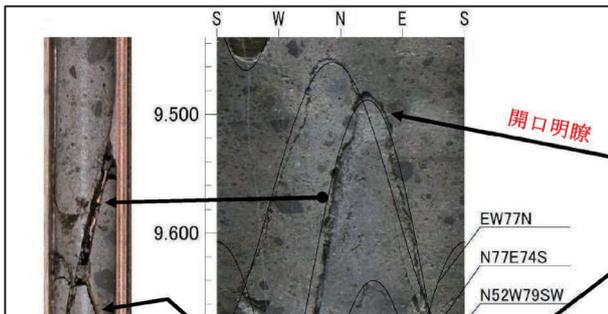


写真-7 孔内の亀裂状況 (BP.No.1)

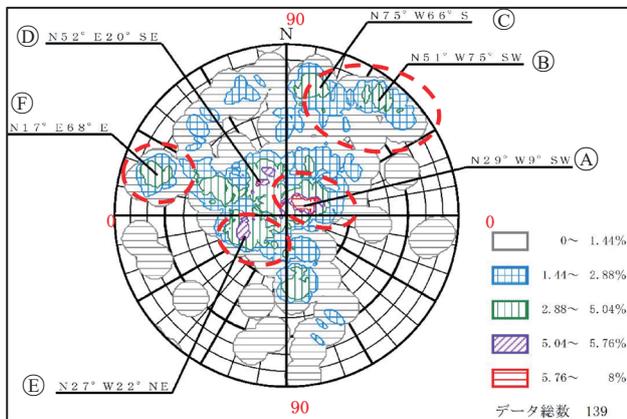


図-6 シュミットネット解析図（下半球投影）

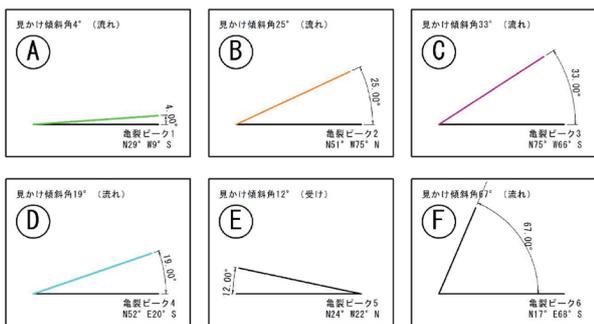


図-7 見かけの傾斜角模式図（法面の走向傾斜はN39° E）

分類	解説	模式図	代表地質	備考
	②流れ盤や断層・破碎帯等の地質構造を有する岩体が大規模に滑落する。岩盤崩壊の一つのタイプである。		流れ盤構造を有する岩（互層、結晶片岩、粘板岩等）、中生代の堆積岩。花こう岩、石英はん岩等火成岩でも発生する。	

図-8 亀裂状況から想定される崩壊模式図⁴⁾

(2) 緩み層の推定

緩み層は詳細調査の結果から表層すべりと深層すべりの2つをそれぞれ推定する（図-9）。

切土勾配は標準勾配（土砂 1:1.0, 軟岩 1:0.7）よりも緩くした場合に抵抗土塊をさらに消失するため、安全率が低下するリスクを伴う。切土計画は標準勾配を採用し、不足する抑止力を対策工で補う方針とした。

5. 斜面安定解析

切土後の安定性について、ピーク亀裂は標準勾配に対して不安定領域にプロットされるものが大半を占めるため、対策工は必須と判断する（図-10）。

初期安全率は BP.No.1, 2 に設置したパイプひずみ計は潜在変動が認められないため、風化岩及び崩積土すべりのうち運動停止中に該当するものを適用した（表-1）。

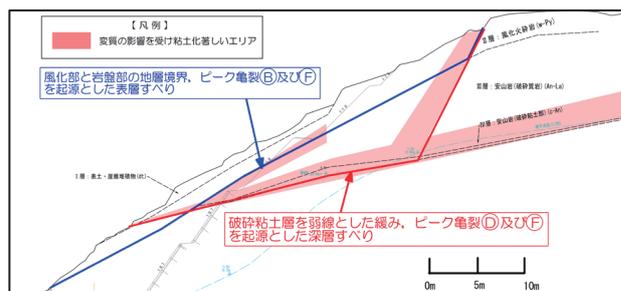


図-9 緩み層のモデル断面図

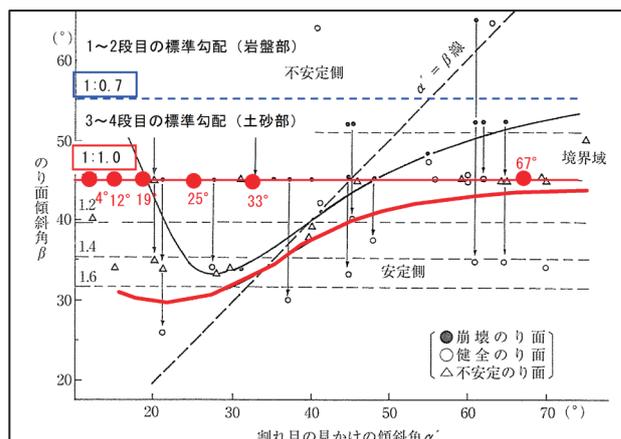


図-10 流れ盤斜面における割れ目の傾斜角と限界勾配（基図は文献5）から引用・加工した）

表-1 安全率⁶⁾

分類	岩盤すべり	風化岩すべり	崩積土すべり	粘質土すべり
運動停止中	1.10	1.05~1.10	1.03~1.05	1.00~1.03
滑動中	0.99	0.95~0.99	0.93~0.95	0.90~0.93

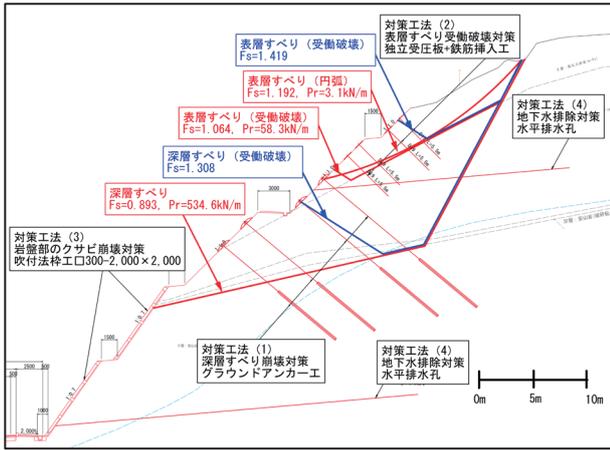


図-11 標準断面図

6. 対策工選定

斜面安定解析の結果を踏まえ、各対策工の選定理由、配置計画等をまとめる（図-11）。

【安定解析結果】

- 表層すべり 初期安全率 $F_s=1.03$
切土後 $F_s=1.048$, 不足抑止力 $Pr=77.1\text{kN/m}$
- 深層すべり 初期安全率 $F_s=1.05$
切土後 $F_s=0.893$, 不足抑止力 $Pr=534.6\text{kN/m}$

(1) グラウンドアンカー工

深層すべりは抑止力も大きいので、グラウンドアンカー工による抑止が有効と判断した。本工法を適用するにあたり、深層すべりの受働破壊防止を視野に入れた配置計画を考慮する。

(2) 鉄筋挿入工

表層すべりはグラウンドアンカー工により抑止されるが、これより上位で生じる受働破壊に加え、基礎地盤定数では単独の円弧すべりが発生するため、鉄筋挿入工により法面の安定化を図る。

(3) 吹付法枠工

緩み層下方の切土面は概ね中硬～硬岩クラスの領域であり標準勾配も 1:0.7 となる。しかし、現道付近の既存調査孔 (BP-20) では亀裂が発達していたため、クサビ状の中抜けが生ずる。これを抑制する法面保護工として吹付法枠工を選定した。

(4) 水平排水孔

地形改変に伴う突発湧水や豪雨時には切土面の緩

みを助長するほか、上位の風化岩では浸食や強度低下による小規模崩壊が発生すると推測される。このリスクを低減するため、道路土工に示される水平排水孔を補助工として配置した。破碎粘土層や亀裂間の細粒分は目詰まりを起し、恒久対策として機能低下が想定されるため、安全率には見込まない対応とした。

7. おわりに

本業務は非常にタイトな工程であったため、地質調査業務と並行して斜面の安定性を評価し、最適な対策工を計画する必要があった。著者は業務の主導的立場として、切土時の変状や崩壊が顕在化した際の影響を地質リスクとして捉え、発注者と共通認識を持つことにより本設計を完了することができたと考えている。

今後の斜面安定解析及び対策工検討においても、地質の不確実性は物理検層や孔内試験等の詳細調査を追加することで、地質リスクを踏まえた評価が可能になると考える。今後、これらの技術的課題を見出す力と知見を深めるため、自己研鑽を積み重ねる所存である。

参考文献

- 1) 国土地理院：電子地形図,
<https://maps.gsi.go.jp/#16/34.978612/132.318950/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>, (2023.10.20 参照)。
- 2) 国土地理院：空中写真 1971 年 (CG7111Y),
<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>, (2023.10.20 参照)。
- 3) 新編島根県地質図編集委員会：新編島根県地質図 (20 万分の 1), 1997.
- 4) 社団法人日本道路協会：道路土工指針 切土工・斜面安定工指針, p.22, 2009.
- 5) 上野将司：切土のり面の設計・施工のポイント, p.56, 2004.
- 6) 財団法人高速道路調査会：地すべり地形の安定度評価に関する研究報告, p.15, 1985.
(2023. 11. 30 受付)

【著者代表連絡先】

土肥 倅輔 (株式会社荒谷建設コンサルタント
島根支社 技術部地盤調査課 主任)
電話: 0852-21-0401 (代表)
E-mail: kousuke.doi@aratani.co.jp

直轄国道地すべり災害における建設DXを活用した 効率的・効果的な災害復旧対応事例

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 賛助会員 糸原 浩

キーワード：地すべり災害、LP 差分解析、BIM/CIM モデル

1. はじめに

令和3年8月18日に国道9号の島根県出雲市多伎町地内において大規模な地すべりが発生した。この災害により国道9号は、約9km区間が2か月程度の全面通行止めとなり、並走するJR山陰本線も3駅間（江南駅～田儀駅）で運転が見合わせられた。また、国道に埋設されていた送水管が破損し899世帯で断水が発生するなど、地域の生活や経済活動に大きな影響を与えた。災害応急復旧は国道を管理する国土交通省中国地方整備局松江国道事務所および地元建設会社や建設コンサルタントの災害対策協力業者39社が一丸となって対応し、令和3年10月18日には応急復旧が完了し片側交互通行により交通開放となった。また、通勤通学や鉄道物流として早期運転が求められたJR山陰本線も運転を再開し、発災から2か月の短期間で応急復旧を終えることができた。本報告はLPデータをはじめとする建設DXを災害対応に活用することで現地状況把握からJR法面対策の応急復旧設計・施工、本復旧の地すべり解析、地すべり対策検討委員会に至るまでを迅速かつ効果的に実施した事例として紹介する。尚、本論文は「地盤工学会誌2023年8月号」で発表したものと同様の内容である。

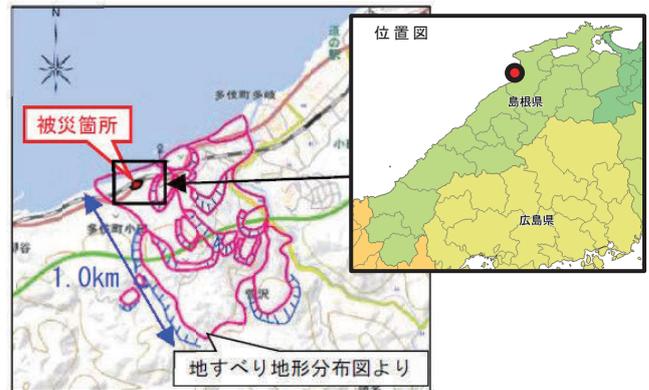


図-1 被災箇所周辺の地すべり地形分布状況（位置図）



写真-1 地すべり災害の全景

2. 被災状況

地すべりは国道9号の道路切土法肩付近から本線を横断し、下方に位置するJR法面までの範囲であり、頭部滑落崖や国道本線舗装へのひび割れや隆起などの変状が生じていた。また、一晩のうちに海側に向けて約20cm移動するなど、当時の地すべり活動は極めて活発な状況であった。現地状況を写真-1, 2に示す。

一方、当該地は大規模な地すべり地形（長さ1km、幅0.5km）の末端付近に位置していたが、背後の鞍部、末端部の海岸沿いを含め滑動の有無について現地確認を行ったところ、目視では変状はみられなかった。被災箇所周辺の地すべり地形分布状況を図-1に示す。



写真-2 構造物の移動状況

3. 被災直後の建設DX活用

(1) LPを活用した地すべり変動状況の把握

被災直後から活発な地すべり活動により現地に立ち入れない状況が続く中、UAVによる写真測量やUAV搭載型レーザーキャナを使った測量で毎日の変動が監視された。また、UAVで取得したLPデータにより差分解析(図-2)を行い、地すべりブロックやその背後、周辺地形の変動の有無等を把握した。

(2) LP差分解析

LPデータを用いた差分解析は、LPや写真測量から作成された点群データを用いて地表面の地形をデジタル(ラスター)表現した数値標高モデル(DEM: Digital Elevation Model)を作成し、災害発生前と発生後の同一pixel同士の差分をとることで、その地点における標高差から地形の変動を把握するものである。以下に使用した災害前後のLPデータを示す。

- ・ 2019/2~2020/3: 航空レーザー測量²⁾
- ・ 2021/8/30: 発災から12日後のUAV-LP

差分解析の結果を図-3、4に示す。滑動している地すべりの頭部滑落崖、路面、頭部排土された箇所は発災前よりも標高値が小さくなった(寒色)。一方、地すべり末端部の押し出しや擁壁が前面に移動した箇所などでは発災前よりも標高値が大きくなった(暖色)。これにより、地すべり移動土塊範囲や背後の鞍部、近接する宅地周辺に変動がないことが明瞭となり、見える化した資料は関係者間の円滑な情報共有に役立った。

また、国道山側に設置された既設擁壁にも変状が発生していたため、国道の暫定供用に向け、擁壁の安定性評価が課題の一つであった。擁壁前面の傾斜量についてもLPデータを活用し各スパンの傾斜量を求めることで、地すべり移動との相関関係や対策の必要性を検討する基礎資料となった。擁壁の変状状況と擁壁の傾斜量図を図-5に示す。

(3) LPを活用したJR法面の応急復旧

JR法面の応急復旧設計は、前述の差分解析同様にLPデータを活用した。JR法面対策検討においては、調査ボーリングと並行スケジュールとなる中、確実な崩土撤去、安定した切土法面の構築、安全な掘削作業のための土足場確保が課題であった。そこで災害前後のLPデータから地形の差分を求めることで、元地形(災害前)を推定し、さらに元地形の法尻位置から土工作業幅(2.0m)を確保した切土法面設計を迅速に行った。図-6に対策断面図を示す。

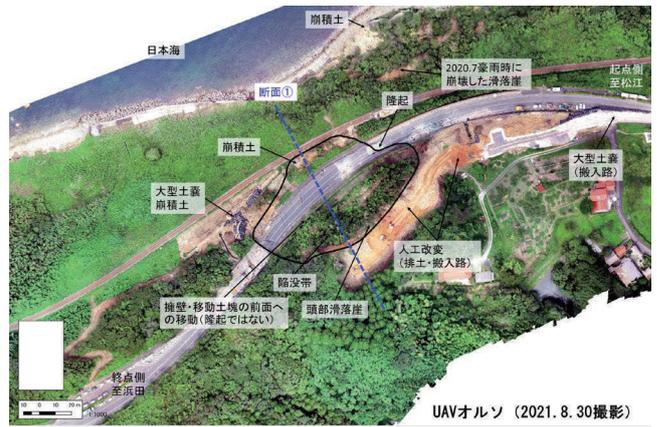


図-2 UAV オルソ画像

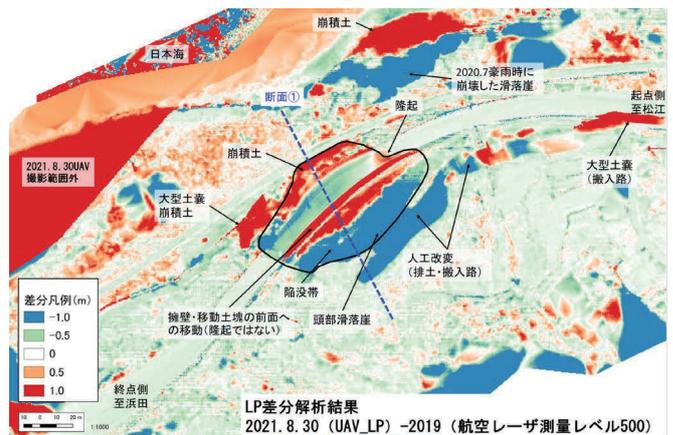


図-3 LP差分解析結果(平面図)

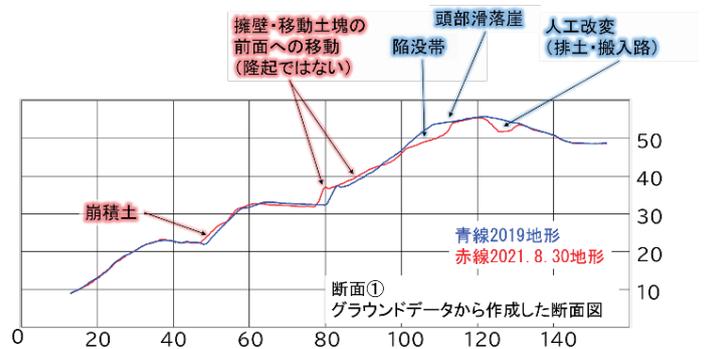


図-4 災害前後の断面図比較

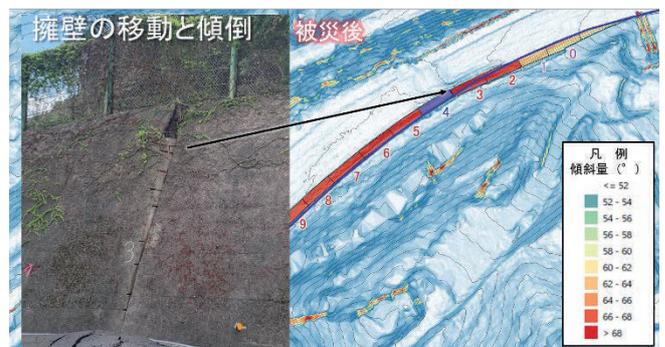


図-5 擁壁の傾斜量図

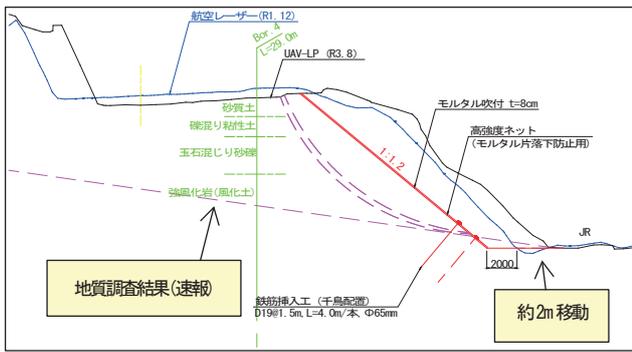


図-6 JR法面対策断面図

また、速やかに法面対策工事に移行するため、建設会社より「掘削工事はICT土工で実施したい」との要望があった。まだ平面測量図が準備できていない状況下の施工であったため、オルソ画像に平面計画を反映し、切り出し位置の座標を読み取ることでICT施工が実現した。ICT施工を行うことで作業補助等が不要となり、作業員の安全確保に繋がったほか、人員削減や工期短縮が実現できた。図-7に平面計画を、写真-3にICT施工の状況を示す。

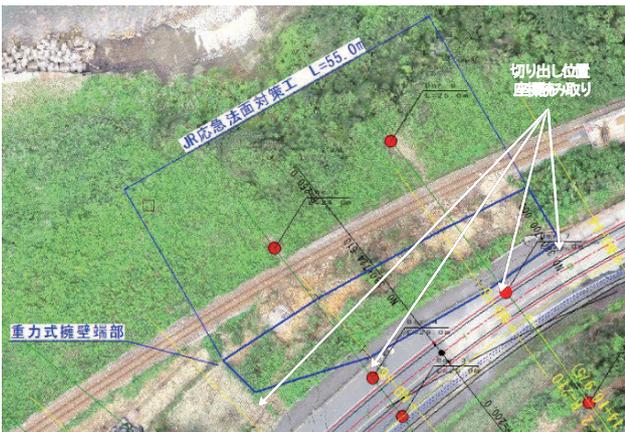


図-7 JR法面対策平面計画(オルソ)

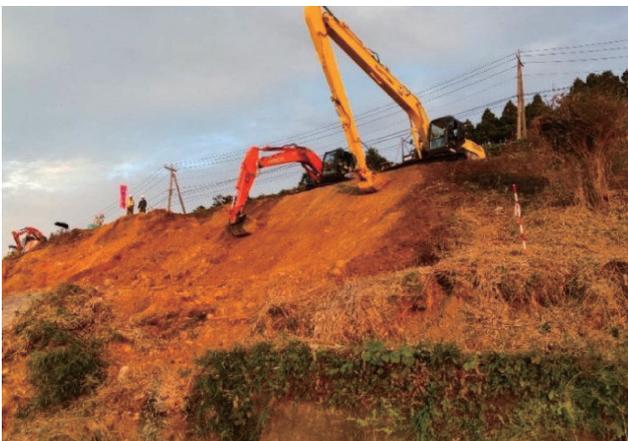


写真-3 ICT施工によるJR法面対策工事の様子

4. 本復旧に向けた建設DXの活用

(1) オンラインによる地すべり対策検討委員会

地すべり対策検討委員会は道路防災ドクターの学識経験者や国立研究開発法人土木研究所、国土交通省国土技術政策総合研究所、中国運輸局、JR西日本のメンバーによって全4回開催された。

従来は対面形式で行われていたが、対面形式は紙の資料を用いるため、現地状況の把握、理解に時間や労力を要していた。本災害がコロナ禍であったことも追い風となり、現地視察以外はオンライン形式で検討会が行われ、事前相談を何度も対応して頂けたうえ、現地の復旧状況や地すべり観測状況、同時進行していた地質調査・解析状況などを点群データや写真データ、BIM/CIMモデルを活用することで、委員会を聴講したコンサルタント、建設会社を含めた関係者間で情報共有でき、速やかな理解、方針決定に効果を発揮した。

(2) BIM/CIMを活用した機構解析の見直し

暫定供用までの災害対応は、応急復旧に向けた地すべり観測、解析、工事と本復旧に向けたボーリング調査、解析が並行作業で行われた。応急復旧段階では一部未解明の地すべり機構を課題として残した対策となったため、本復旧に向け応急復旧時点の機構解析を見直すことから始めた。地層構成やすべり面形状は図-8に示すBIM/CIM(地質)モデルを作成し、点群の地形データを合成することで応急復旧対策の効果検証、道路復旧方針や追加地すべり対策の必要性などの議論に活用した。安定解析の結果、本復旧は頭部排土を追加し、グラウンドアンカーと地下水排除(集水井、集水ボーリングおよび横ボーリング)による地すべり対策を決定した。図-9に対策断面図を示す。

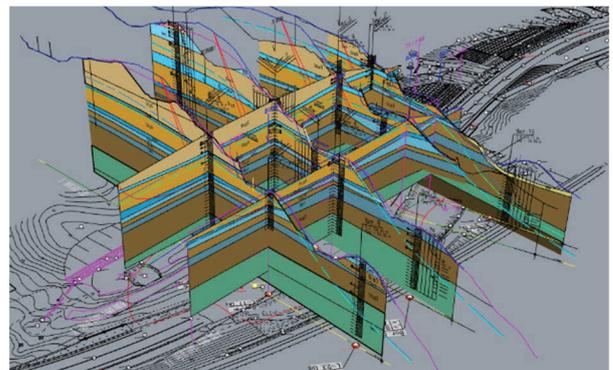


図-8 委員会で使用したBIM/CIM(地質)モデル

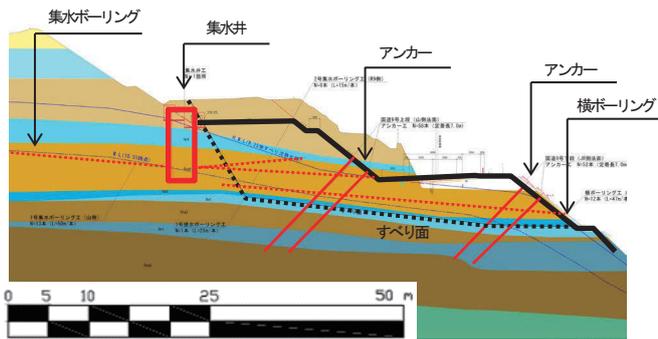


図-9 対策断面図

5. おわりに

従来の災害対応は時間のない中で多くの関係者が対応に追われ、情報が錯綜し、非効率な対応が多くなる傾向にあったが、建設DXを災害対応の随所で活用することで、関係者間のコミュニケーション機会の増加、確実な情報の共有化等により効率的な対応が可能になった。また、三次元データを活用することで設計・施工段階に生じるタイムラグを縮小でき、さらに精度のある成果を提供できるため、工事の手戻りも少なく目標のスケジュール内で工事を完成することができた。

今後も気候変動の変化によって豪雨や地震に起因した災

害が各地で発生することが予想され、災害復旧対応の局面で、本災害のように建設DXの利活用がさらに標準化していくものと考えている。既に工事ではICT施工やi-constructionが広く普及しているが、災害復旧に対応するためには、測量・調査・設計においても真に現場で活用できる建設DXの普及が今後益々求められていくことになる。よって、引き続き現場で求められる建設DXの新たな利活用を模索し、災害時の早期復旧に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人防災科学技術研究所：地すべり地形分布図, 2006, https://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied_tech_note/landslidemap/pdf-26.html (2021.8.26 参照)
- 2) 国土交通省中国地方整備局中国技術事務所：中国管内西部地区航空レーザ測量業務成果, 2020. (2023. 11. 30 受付)

[著者代表連絡先]

糸原 浩 (基礎地盤コンサルタンツ(株)中国支社 島根事務所設計部)
 電話: 0853-24-7160
 E-mail: itohara.hiroshi@kiso.co.jp

落石対策技術に魅せられて一半世紀の技術者人生一

株式会社 第一コンサルタンツ

代表取締役社長 右城 猛

1. まえがき

私は、1950年に高知県の本山町で生まれました。高知市から北へ45km離れた山間部です。そこで中学校を卒業するまで過ごしました。

高知工業高等学校土木科を卒業後、ダム工事現場で施工管理の仕事を半年ほどした後、徳島の建設コンサルタント会社に就職しました。ここで15年間働き、35歳のときに第一コンサルタンツへ転職しました。

技術士の資格を持っていたため、取締役技術部長という役職で迎えていただきました。

47歳のときに、『剛性擁壁の合理的な土圧評価法と落石の運動機構に関する研究』と題する論文に対し、愛媛大学より博士(工学)の学位を授与されました。

57歳のときに社長に就任し、現在17年目です。これまでの人生を振り返って見ますと、35歳までの15年間は技術一筋、それから57歳までの22年間は技術8割で経営2割、そして社長に就任した2007年からは技術2割で経営8割という日々を過ごしています。

私は橋梁の設計がしくて建設コンサルタント会社に就職したのですが、仕事をしていくうちに私が惹かれていったのは、擁壁の設計法と落石対策に関する問題解決でした。

今日は「応用斜面工学シンポジウム」でありますので、私が落石対策に関して気がついた問題点とその解決への取り組みについて紹介させていただきます。皆さんの今後の参考になれば幸いです。

2. 洞門に作用する荷重の考え方に疑問

1978年、28歳の時に柳谷第二洞門の設計を担当することになりました。高知県と愛媛県を結んでいる一般国道33号の県境付近に造られたRC構造のロックシェッドです。



写真-1 柳谷第二洞門

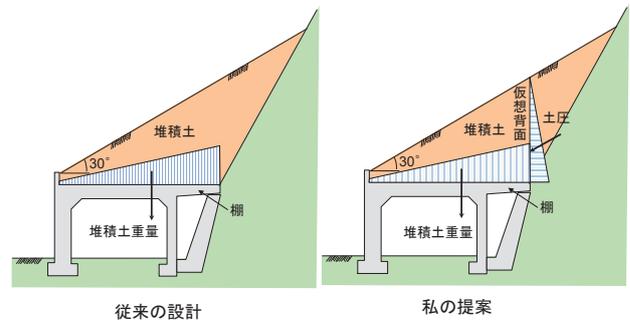


図-1 洞門に作用する荷重

洞門に接続して高知側に造られた落石防護棚工の設計も担当しました。私が技術マニュアルに疑問を持つようになったのは、柳谷第二洞門の設計からです。

洞門が計画されていた地点では、斜面崩壊の危険性がありました。このため、洞門上に30度の角度で土砂が堆積することを考慮して設計することになりました。土砂が斜めに堆積すると、土圧が発生するはずですが、落石対策便覧や従来の設計計算では、堆積土荷重として土砂の重量しか考慮されていませんでした。「洞門の頂版には、自重以外に土圧も作用するはずですが」と、いくら説明しても発注者には理解してもらえませんでした。

当時、私は技術士の資格も洞門設計の実績もない若造です。落石対策便覧が間違っていると主張する私の意見を信じていけないのは、当然のことだっただけだと思います。

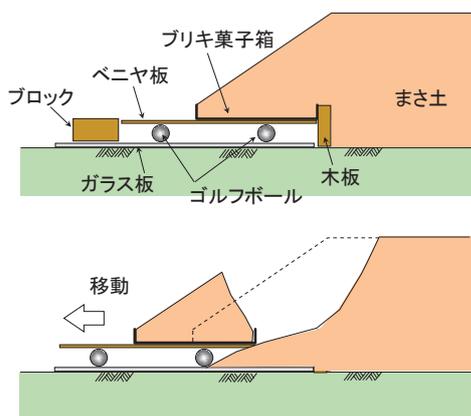


図-2 人生で最初の模型実験

そこで思いついたのは、模型実験によって私の考えに間違いがないことを証明することでした。当時勤務していた会社の横に空き地がありました。そこで部下たちと実験をしました。

実験に用いた材料は、ゴルフボール以外は空き地に捨てられていたガラクタです。ガラス板の上にゴルフボールを並べ、その上にブリキの菓子箱を載せ、洞門に見立てた台車を作り、真砂土を盛った後、前方のブロックを除けると、台車は前方へ走り出しました。水平力が台車に作用したためです。

この後、発注者も私たちと同じ実験をされ、私の主張が正しいことを確認してくれました。

3. 落石運動の数値シミュレーションの研究

柳谷第二洞門の高知側は斜面の地盤が安定していました。落石のみを対象にすれば良かったため、ポケット式落石防護柵工で設計することになりました。

落石の最大跳躍量は2mというのが定説になっていましたが、斜面途中に突起があれば希に5mまで飛ぶことがあるという実験データがありました。このため、5mまでならポケット部で受け止められる構造としました。

落石がポケット部のサンドクッションに当たってバウンドしても道路に飛び出さないようにするため、ポケットの先端には高さ2mの防護柵を設置していました。ところが、完成から半年後に落石が防護柵を跳び越えて路面へ落下しました。落石の跳躍量は6.5mでした。

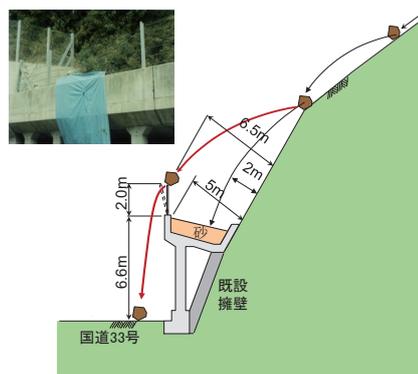


図-3 ポケット式落石防護柵工

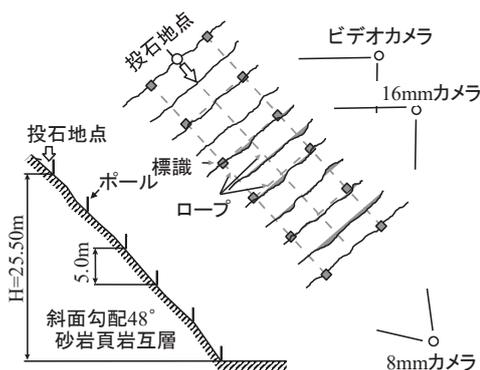


図-4 鳴門市の採石場での落石実験

この事故があってから落石の運動に関する研究の必要性を感じていました。そのようなとき、鳴門市郊外に落石実験に適した場所を見つけました。採石場内の切土斜面です。休日であれば使わせてもらえることになったので、会社の同僚や部下、それに測量会社に協力してもらって、落石実験をしました。

採石場内で切り出された岩塊をペンキで白く着色し、体重計に載せて重さを量ってから斜面の上まで運び、そこから転がして落石の運動を観察しました。ビデオカメラは高価なため一般の家庭には普及していませんでしたが、部下の一人が持っていたので、それで撮影してもらいました。

実験結果は「落石の飛跳高の推定」と題する論文にし、この年の7月に金沢大学で開催された「落石の衝撃力およびロックシェッドの設計に関するシンポジウム」で発表しました。

シンポジウムを主催されたのは、金沢大学の吉田博教授でした。私より12歳上の45歳でしたが、落石の衝撃力に関する研究論文をたくさん発表される一方

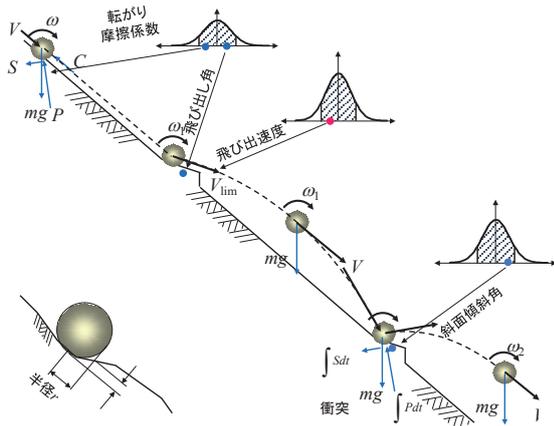


図-5 落石運動のシミュレーション

で、構造力学の教科書や有限要素法などの専門書を数多く出版されており、私にとって憧れの存在でした。

吉田先生にお目に掛かったのはこのときが最初でしたが、40年間経った今でもお付き合いさせていただいています。吉田先生との出会いは、私の人生にとって非常に大きかったように思います。

鳴門の実験のビデオを見ながら考えているうちに、反発係数などの運動パラメータを確率密度関数として与え、落石が斜面と衝突するごとに乱数を発生させてパラメータを変化させて計算すれば、落石の速度や跳躍量をうまく計算できることに気がつきました。

ヒントになったのは、正月休みに故郷に帰ったときに、航空自衛隊に勤務していた幼なじみから、酒を飲みながら聞いた話でした。航空自衛隊では、日本の領空に敵機が侵入してくることを想定し、敵機を撃墜するシミュレーションをコンピュータで行っている。それには、モンテカルロ法という乱数を発生させる手法を用いている、という話でした。

1986年にも2回目のシンポジウムが金沢大学で開催されたので、「実験データを用いた落石の運動軌跡のシミュレーション」と題する論文を発表しました。

落石の運動の予測にモンテカルロ法を用いてシミュレーション解析をしたのは日本では私が初めてでしたが、同じ時期にオーストリアでは私と同じ落石シミュレーション解析が行われていたということを知りました。

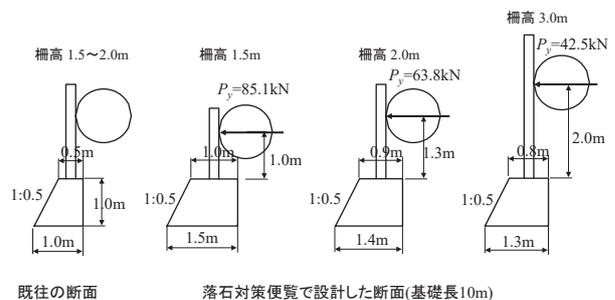


図-6 落石防護柵基礎



写真-2 コロラドの落石防護擁壁

4. 落石防護柵基礎の合理的な設計法に関する研究

1992年に建設省から頼まれて、落石防護柵基礎の設計をしました。

これまでは経験的に基礎の断面が決められていたのですが、それでは会計検査で説明ができないという理由で、計算をして断面を決める必要があったのです。

落石対策便覧に基づいて計算すると、従来の基礎よりも2倍程度大きな断面が必要になりました(図-6)。従来の断面で転倒した事例はなかったので、過大設計だと思ったのですが、そのときには過大設計であることを理論的に証明するだけの技術力はありませんでした。

1998年に吉田博先生が「アメリカ落石防護施設研究交流ツアー」を企画されたので、私も参加させていただきました。ツアーの目的は、コロラド州とワシントン州の交通局を訪問し、日本の落石対策技術を紹介すると共に、アメリカの落石対策事情を調査するものでした。

写真-2は、コロラド州のジュランゴからボルダーに行く途中で見かけたものです。コンクリート製の落石防護壁が大きな岩塊を受け止めていました。擁壁が滑動して落石の運動エネルギーを吸収したのだと思いました。

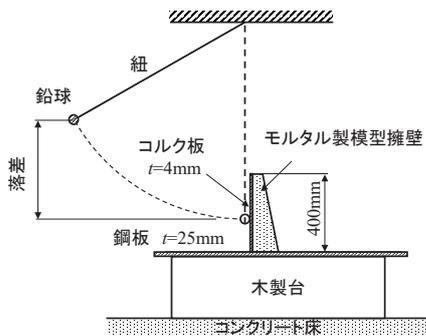


図-7 落石防護擁壁の模型実験

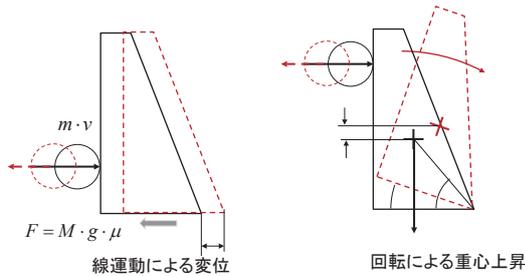


図-8 落石防護擁壁の剛体的挙動

アメリカの視察旅行の後、落石防護擁壁の安定性を動力学によって説明できる方法を研究したいと思っていたとき、四国建設弘済会が研究助成金を募集していることを知り応募したところ、幸いにも採択されました。

モルタルで擁壁模型を作り、これに鉛玉を衝突させて擁壁の応答を観察しました。擁壁の応答は、物理で習う剛体力学の運動で説明でき、私の提案式を用いれば従来の方法で設計したよりもコストを2分の1から3分の1に縮減できることがわかりました。

私の理論は、非常に単純なものです。落石がある運動エネルギーで擁壁に衝突すると、擁壁が滑動または回転する運動エネルギー、落石の跳ね返る運動エネルギー、衝突時の消散エネルギーに変化するという考え方です。滑動する場合には、その運動エネルギーが底面の摩擦による仕事に、回転する場合にはその運動エネルギーが擁壁の重心を持ち上げる仕事に変わると仮定して、移動量あるいは回転角を求めるものです。

この研究成果を、2001年1月に四国建設技術官民懇談会が主催する新技術発表会で発表したところ、国土交通省四国地方整備局の目にとまり、四国技術事務所の委託業務として第一コンサルタンツで実物実験をすることになりました。

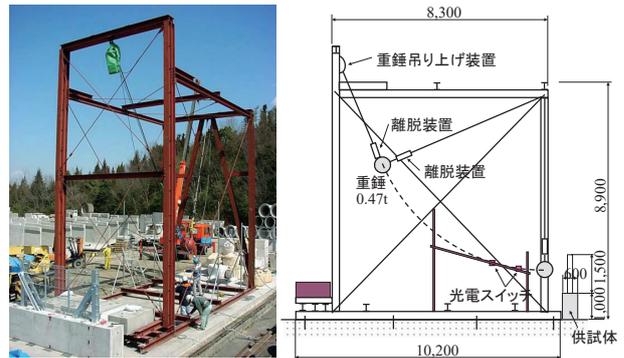


写真-3 落石防護柵基礎の実物実験

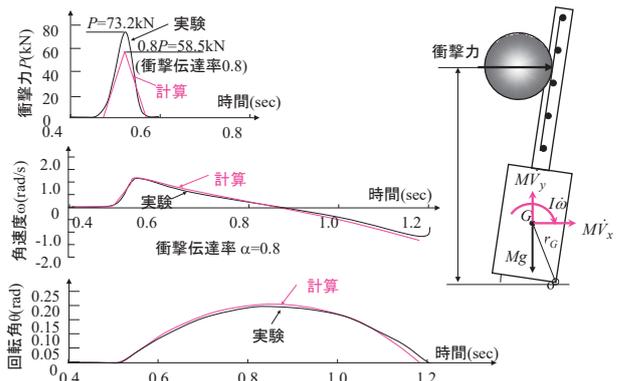


図-9 落石防護柵基礎の応答

その背景として、1997年に国土交通省が「公共工事コスト縮減に関する行動指針」を発表しており、コスト縮減のアイデアを広く求めていることがあったからだと思われます。

幅0.6m、高さ1mで奥行きが4.5m、7.5m、10.5mの3種類の基礎をコンクリートで製作し、その基礎の上に高さ1.5m、延長3mの防護柵を設置し、防護柵に質量0.47tの重錘を衝突させる実験をしました。衝突速度は6～10m/sです。

実験では、重錘および基礎に取り付けた加速度計で1/5000秒毎に加速度を測定し、それから衝撃力、基礎の角速度、回転角を求めました。その結果を黒線で示してあります。

衝撃力を三角形パルスにモデル化し、その衝撃力を作用させて角速度と回転角を計算した結果を赤線で示しています。

重錘が防護柵に衝突すると、防護柵支柱付け根の基礎コンクリートの一部が破損します。このため、基礎に伝達する重錘衝撃力を80%として計算すれば、実験値とよく合うことがわかりました。



写真-4 愛媛県土居町の自然斜面での落石実験

設計の実務では、落石の大きさや衝突速度を考慮せず、防護柵の中間支柱の降伏荷重を静的に作用させて安定性を照査する方法を採用しています。この方法だと基礎の大きさは中間支柱の降伏強度のみで決まり、合理的とは言えません。剛体運動力学の理論を用いれば、実験結果ともよく一致する応答を求められることが分かりました。

5. 落石の運動機構の解明に関する研究

落石防護柵基礎の実験から、落石対策便覧式で推定している落石の速度は、実際よりも過大になっていることが考えられました。こうしたことから、四国技術事務所では、落石の運動を正確に把握するとともに、落石の速度や跳躍量を合理的に予測する手法の確立を目的として落石実験を実施することになり、その実験も第一コンサルタントが担当することになりました。

業務の実施には技術委員会を設置することになっていたため、委員長には愛媛大学の矢田部龍一教授、委員には1983年に発行された落石対策便覧の責任者である古賀泰之氏、2000年に改訂されたときの責任者である松尾修になっていただきました。

落石実験は、過去に建設省や日本道路公団、国鉄が実施していましたが、8mmカメラや16mmカメラで撮影したもので、精度上問題あると思っていました。

そこで、コンクリートで球体と立方体の落石供試体を作り、その中に加速度センサーやデータロガーを埋

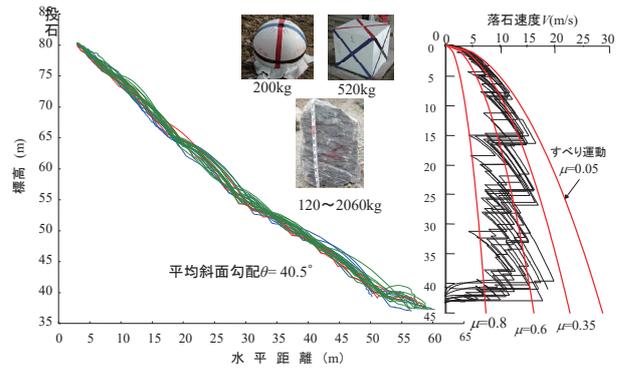


図-10 落石の運動軌跡と速度

め込んで、それを斜面から落下させました。供試体の製作費だけで700万円かかりました。松尾修氏より「国土交通省として、こんなに費用がかかる実験は二度とできないだろう」と言われました。

実験を行ったのは高さ41m、傾斜角40度の自然斜面です。実験では、コンクリートの供試体20個、岩塊20個の合計40個を落下させ、高速ビデオカメラ(200コマ/秒)とデジタルビデオカメラ(30コマ/秒)で撮影しました。

図-10左は落石の軌跡を重ねて描いたものです。落石対策便覧では、落石の運動をすり運動と見なしていますが、飛行と衝突を繰り返す跳躍運動であることが分かります。

図-10右は落石の速度変化です。飛行中は速度が加速され放物運動をしますが、斜面に衝突すると減速します。赤線は落石対策便覧式による計算値です。

斜面勾配が急なほど、入射角の関係で衝突時のエネルギー損失が小さいため速度減衰が小さいこと、飛行時間が長くなり速度が大きくなることが分かります。逆に勾配が緩く入射角が小さいほど、斜面に垂直に近い角度で衝突するため運動エネルギーが多く失われます。斜面下端の勾配が緩いところで落石が停止するのはこのためです。

落石対策便覧では、等価摩擦係数 μ を0.05~0.35の範囲で速度を計算することになっています。斜面勾配が 40° 以上あり、斜面高が20m程度以下であれば良いのかも知れませんが、それ以外の斜面では速度を過大に評価することになると思われます。

跳躍量が2mという落石対策便覧の考えに疑問を持ったので、既往の論文を調べ落石の跳躍量と斜面傾斜

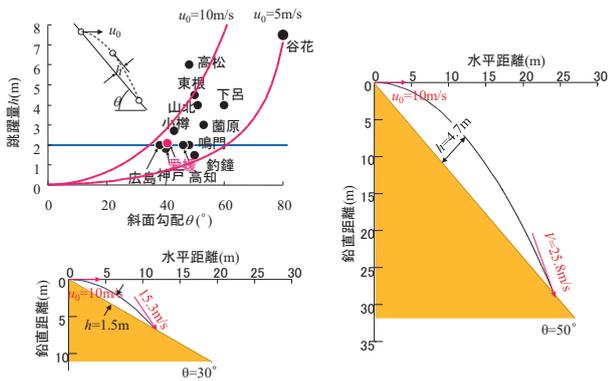


図-11 跳躍量と斜面傾斜角の関係

角との関係を整理してみました。すると、図-11 のようになりました。落石跳躍量は、斜面勾配が急なほど大きくなる傾向が見られます。

図-11 に描いている赤線は、落石が斜面から水平に初速度 5m/s と初速度 10m/s で飛び出した場合の跳躍量を計算で求めたものです。2本の曲線は実験データを包含しています。このことから、落石が斜面に衝突した後に飛び出す速度は、5～10m/s の範囲にあることがわかります。

落石が 10m/s で水平方向に飛び出したときの軌跡を勾配 30 度と 50 度の斜面について示しています。30 度の斜面の最大跳躍量は 1.5m、着地速度は 15.3m/s です。50 度の斜面の最大跳躍量は 4.7m、着地速度は 25.8m/s です。当たり前ですが、勾配が緩いと落石はすぐ着地します。このため、跳躍量も着地速度も大きくなりません。急であればなかなか着地しないので、跳躍量も着地速度も大きくなります。

跳躍量を斜面勾配とは無関係に一律 2m とするのは明らかに不合理だと言えます。

次に防護柵の必要高さについて考えて見ます。落石対策便覧では、地表面と平行に上方へ 2m 離れた跳躍量のラインが防護柵に当たる点 a までの柵高を最低柵高とし、それに余裕高を加えたものを必要高さとしています。

落石対策便覧の問題点は、落石の大きさを考えていないことです。落石の大きさを考えれば、防護柵に衝突するのは、a 点ではなくもっと上の b 点になります。点 b までの柵高を最低柵高とし、それに余裕高を見込んで柵高を決めるべきというのが私の主張です。

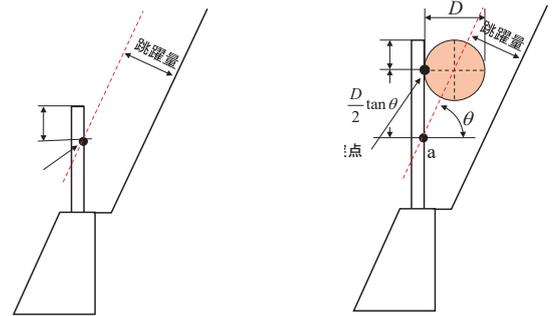


図-12 落石防護柵の柵高の考え方

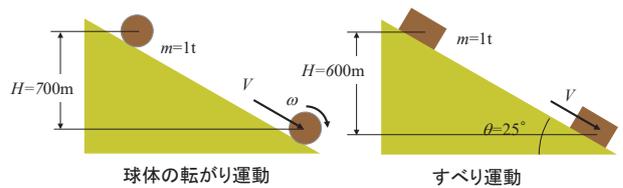


図-13 富士山五合目事故現場の落石速度とエネルギー

落石は順回転しながら防護柵に衝突します。すると落石が防護柵を駆け上がります。余裕高を設けているのは、落石の駆け上がりを考慮しているためです。

6. 富士山五合目の落石事故

2009 年 7 月 13 日に、富士山新五合目駐車場で落石が駐車中のキャンピングカーを直撃し、男性が死亡する事故がありました。

翌日のテレビのニュースで、重さ 1t の落石が上方 600m の地点から斜面を転がりながら落下して道路脇の防護柵を突き破り、キャンピングカーの屋根から車体を貫通して路面に落下し、歩道部まで転がって停止したと報道されていました。

この落石事故に対して二人の学識経験者がコメントしていました。

防衛大学の Y 教授は、落石の速度 V は時速 360 キロくらいと言っていました。球体が 700m 転がるときの速度は次のように計算でき、時速は 357 キロになります。

$$V = 0.845\sqrt{2gH} = 0.845 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 700} = 99\text{m/s} = 357\text{km/h}$$

テレビ局から 700m 落下したという情報が伝えられた可能性があります。

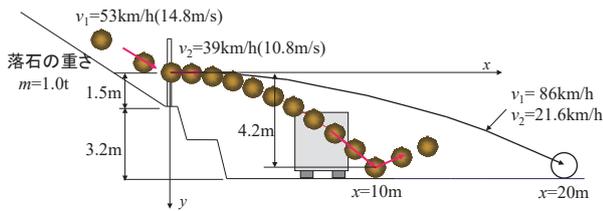


図-14 防護柵を突破した落石の運動軌跡

金沢大学の M 教授は、落石のエネルギー E が 1,000kJ を超えていた言われていました。M 教授は落石の専門家ですので、落石対策便覧式で次のように推定されたのだと考えられます。

$$E = mgH \left(1 - \frac{\mu}{\tan \theta} \right) = 1.0 \times 9.8 \times 600 \times \left(1 - \frac{0.35}{\tan 25} \right) = 1,466 \text{kJ}$$

落石事故があった翌日の午後に、日本テレビから私に電話が掛かってきました。「落石事故を実験で検証して欲しい」ということでした。実験するには、防護柵に衝突したときの速度、防護柵の種類が分からないとできません。

現地の取材班に頼んで、防護柵の高さ、擁壁の高さ、防護柵の穴の位置、落石が路面に衝突した位置を測定してもらいました。

防護柵は、高さ 3m のストーンガードなので、可能吸収エネルギー E は 53kJ と推定されます。また、測定してもらった結果から落石が防護柵を突破するときの初速度 v_2 は 10.8m/s、防護柵に衝突した速度 v_1 は 14.8m/s、落石の運動エネルギー E は 110kJ となりました。

$$v_2 = x \sqrt{\frac{g}{2y}} = 10 \times \sqrt{\frac{9.8}{2 \times 4.2}} = 10.8 \text{m/s}$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2E_L}{m} + v_2^2} = \sqrt{\frac{2 \times 52}{1.0} + 10.8^2} = 14.8 \text{m/s} = 53 \text{km/h}$$

$$E = \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} \times 1.0 \times 14.8^2 = 110 \text{kJ}$$

もしも学識経験者の先生たちがコメントしたような速度やエネルギーであれば、落石はキャンピングカーの上を飛び越えて遠くまで転がっていたはずです。

落石事故の後、応用地質株式会社が現地で落石の衝突痕を調査しています。

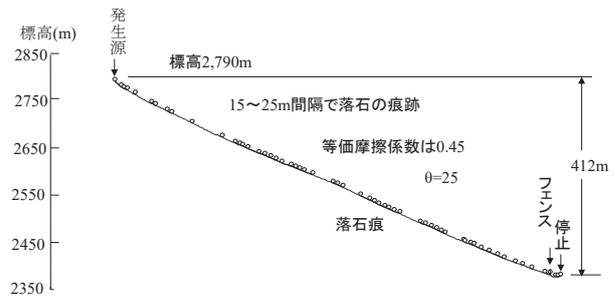


図-15 落下経路に残された落石の痕跡

落石の発生源は駐車場の 412m 上方でした。斜面には 15m から 25m 間隔で落石の衝突痕が残されています。斜面下端における痕跡間の水平距離 x は 20m でした。これから落石の速度 v を推定すると 14.5m/s になります。

$$v = \sqrt{\frac{x \cdot g}{2 \tan \theta}} = \sqrt{\frac{20 \times 9.8}{2 \times \tan 25}} = 14.5 \text{m/s}$$

防護柵を突破した軌跡から推定した速度は 14.8m/s でしたので、ほぼ一致しています。

落石の運動は跳躍運動ですが、すべり運動と見なし等価摩擦係数 μ を逆算で求めると 0.45 になります。落石対策便覧が上限値としている 0.35 よりさらに大きな値になりました。

$$\mu = \tan \theta - \frac{x}{4H} = \tan 25 - \frac{20}{4 \times 412} = 0.45$$

7. ストンガードの可能吸収エネルギー

重さ 120t の転石が傾斜角 45 度の斜面を 16.8m 滑落し、柵高 2m のストーンガードに阻止されていました。

防護柵の延長は 57m ありました。落石は左端から 33m の位置に衝突しており、33m の範囲の中間支柱はすべて右側に傾斜していました。また、左側の端末支柱は座屈変形していました。

防護柵の変形状況から、防護柵が吸収したエネルギーは 200kJ と推定されました。

ストーンガードの可能吸収エネルギーを落石対策便覧式で推定すると 57kJ です。なぜ、落石対策便覧より 3.5 倍も大きいエネルギーを吸収することができたのでしょうか。



写真-5 巨石を阻止したストンガード

表-1 ストンガードの吸収エネルギーの推定

	落石対策便覧	変形から推定	備考
金網の変形	25	25	落石対策便覧に準拠
基礎の回転	0	44	差筋の抵抗力も考慮
ワイヤロープ	9	25	7本57mの弾性変形。便覧は2本。
支柱の変形	23	46	変形から算定。便覧は2本。
その他	0	60	コンクリートの破損等
合計	57kJ	200kJ	

原因は落石の衝突速度だと思われます。衝突速度が遅かったため、落石荷重を広い範囲で受け止めることができたと考えられます。

吸収エネルギーを200kJ、落石の質量を120tとして衝突速度を求めると1.83m/sになります。時速に直すと6.5キロ、人がジョギングするときの速さです。

落石対策便覧では、落石防護柵の性能を実験で検証するときの条件として、衝突速度は25m/s以上としています。性能が衝突速度に依存するため、ヨーロッパの基準に準拠しているのです。

落石防護柵の吸収エネルギーを200kJと推定した根拠を表-1に示しています。金網については分からないので、落石対策便覧の25kJを採用しました。基礎が回転して擁壁と連結していた差筋が抜け上がっていました。その付着力によるエネルギーが44kJです。ワイヤロープは、便覧では2本分しか変形しないとしていますが、実際には7本が伸びていました。7本のロープの伸びによるエネルギーが25kJです。支柱の変形による吸収エネルギーが46kJ、コンクリートの破損等によって消耗されたエネルギーを60kJと仮定しました。合計200kJです。

120tの転石の運動エネルギーEを落石対策便覧式で推定すると9,100kJとなります。とんでもなく大きな値になります。

$$E = mgH \left(1 - \frac{\mu}{\tan \theta} \right)$$

$$= 120 \times 9.8 \times 11.9 \times \left(1 - \frac{0.35}{\tan 45} \right) = 9,100 \text{kJ}$$

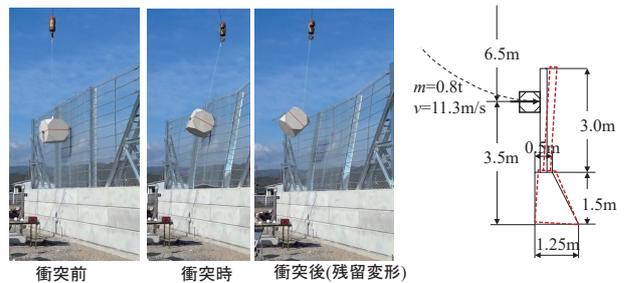


写真-6 ストンガードの重錘衝突実験

写真-6はストンガードの性能を検証するために行った重錘衝突実験です。ストンガードの可能吸収エネルギーを落石対策便覧で計算すると51kJになります。実験では51kJとなるように、0.8tの重錘を速度11.3m/sで衝突させています。

重錘の衝突によって中間支柱が座屈変形し、金網も塑性変形しています。変形状況から、ストンガードの可能吸収エネルギーは50kJ程度であり、落石対策便覧で推定される値は妥当だと判断されます。

ただし、重錘の衝突速度が10m/s程度の場合であって、落石対策便覧が性能確認の条件としている25m/sの速度で衝突させると、阻止できるかどうかは分かりません。誰もこの速度で確認していないと思います。

落石対策便覧では、基礎の設計においては、中間支柱2本分の降伏荷重を落石荷重として静的に作用させて安定計算をすることになっています。

実験に用いた基礎は、落石対策便覧に基づいて設計しており、落石荷重43kNを作用させたときの転倒に対する安全率は1.6ありました。ところが、重錘衝突によって基礎はつま先を中心に回転変位し、かかどが浮き上がりました。ストンガードには、設計より3倍以上大きい135kNの衝撃力が作用していました。

落石事件事例や重錘衝突実験から分かったことは、落石防護柵の性能はエネルギーだけで評価することはできないこと、基礎の安定性も含め動力的な手法で評価する必要があると感じました。

8. ポケット式ロックネット「ロングスパン工法」の開発

2006年11月にロックネットの工事をしている田中工業の社長から、「新しい落石防護ネットを考案し特許を取得した。販売促進するには理論的な裏付けがいる。協力してもらいたい」という相談がありました。



写真-7 ロングスパン工法の性能検証実験

田中社長の特許は、現場作業を効率化するために考案されたものでした。この特許で喜ぶのは施工する会社だけであり、発注者やコンサルタントに興味を持ってもらうには、エネルギー吸収性能を高め、コストパフォーマンスに優れた製品を開発しなければ駄目だと思いました。

当時、吉田博先生は、高エネルギー吸収型落石防護柵を開発しており、それには緩衝金具を取り付けてありました。田中社長と一緒に富山県小矢部市の吉田先生を訪ねてほしい、先生が特許を持っておられる緩衝金具の使用許可をいただくことができました。

従来型のポケット式ロックネットの支柱間隔は3mですが、落石が支柱を直撃するリスクを減らすと共にエネルギー吸収性能を高めるため支柱間隔を30mのロングスパンとし、横ロープの端部には緩衝金具を取り付けることにしました。緩衝金具を付けることで、横ロープ端部の金具あるいはアンカーボルトが衝撃力で破断するのを防ぐことができるのです。

性能を検証するため実験を10回繰り返して行いました。この内の3回は公開実験としました。改善を繰り返し、400kJの落石エネルギーを吸収ができるロングスパン工法を開発しました。

この研究には、高知県の「頑張る企業総合支援事業」、四国建設弘済会の「技術開発支援制度」の助成金を使わせていただきました。

開発したロングスパン工法に対し、2010年に田中社長と私が前原誠司国土交通大臣から国土技術開発賞を授与される光栄に浴しました。

9. 落石対策工に関する専門書の出版

ロングスパン工法を開発するため、落石対策便覧の設計法を調べていると、理論的な問題がたくさんあることに気がつきました。とても私一人の手には負えないと思い愛媛大学の矢田部龍一教授に相談し、地盤工学会四国支部の中に「落石対策研究会」を立ち上げていただきました。委員長には矢田部教授になっていただき、委員には吉田博先生をはじめ産官学から15名の技術者に参加していただきました。

研究会にはロングスパン工法の実験を見学してもらい、貴重な助言をいただきました。また、落石対策便覧の問題点や合理的な設計法についても議論をしました。10回開催した委員会の成果は「落石対策Q&A」として地盤工学会四国支部から出版しました。

2009年12月には出版を記念して、「落石対策に関するシンポジウム」を開催しました。

2011年6月に地盤工学会が、落石対策研究会に対して事業企画賞を授与してくれました。落石の機構の解明と対策工の開発、落石対策Q&Aの出版を高く評価してくれたのだと思います。

そのことがあったためと思われませんが、地盤工学会から私に落石技術講習会の開催を企画して欲しいという依頼がありました。落石の研究でお世話になっている吉田博先生や松尾修氏らに講師に加わっていただき講習会を計画して参加者を募集したところ、定員の3.4倍の238名もの申込みがありました。

予定していた会場を地盤工学会の大会議室から中央大学駿河台記念館に急遽変更して開催しました。地盤工学会の講習会としては過去最高の参加者ということでした。しかも参加者の半数以上は非会員でした。この講習会で地盤工学会には280万円の収入がありました。講習会の1カ月後に八戸市で開催された地盤工学会の総会の後の懇親会で、末岡徹会長より講習会の成功に対して御礼の言葉をいただき、とても光栄に思ったことでした。

その年の9月、地盤工学会で落石対策に関する技術図書を発刊することが決まり、私が編集委員長をすることになりました。地盤工学会の本部で3回、高知で1回、金沢で1回、計5回の編集委員会を開催し、



写真-8 落石対策研究会の活動



写真-9 地盤工学会の講習会と出版物

2014年12月に『落石対策工の設計法と計算例』を発行することができました。最新の調査・研究から得られた知見に基づき、落石事故事例、落石調査、落石運動の予測、危険度判定、落石防護工の選定・設計について、施工事例や計算例、Q&Aを交えて分かりやすく解説した設計・施工に携わる実務者のための本です。

地盤工学会が出版した本で500冊売れた本は少ないことから初版は500冊を予定されていたようですが、1,000冊に変更していただきました。私の経験から完売できる自信がありました。予想通り発行から1年半で完売し、1000冊増刷することになりました。

10. あとがき

1つの分野で一人前になるには、10年の経験を積まないといけない、といわれます。私の場合もコンサルタントの仕事始めて10年経った30歳頃から『道路橋示方書』、『擁壁工指針』、『落石対策便覧』といった技術マニュアルに疑問を感じるようになりました。

一旦疑問に感じると、解決するまで考えないと気が済まない性分なので、土曜・日曜・祝日に関係なく出社して、調べごとをしたり原稿を書いたりしてきました。73歳になった今も変わりません。この生活スタイルが私にとって最も充実しているのです。

振り返って見ますと不思議なことに、私の周りにはいつも仕事一筋の先輩がいました。20代のときは野

口秀美氏から、寝ても覚めても常に考えていないと優れた仕事はできないことを、身を以て教わりました。

33歳の時から40年間ずっとお世話になっている吉田博先生の、「今年の正月も、元旦に半日休んだだけで仕事をしていた」という言葉には、自分の努力の足らなさを反省させられてきました。

日本食研の創業者の大沢一彦氏からは、「朝は朝星、夜は夜星、昼は梅干しを食べて一所懸命働く。毎日夕方に書類をもって帰って、寝るまで家で仕事しています。土日もお正月も関係なく続けていると、仕事を好きになるんです。その気持ちが成功の秘訣です」と教わりました。

疑問が解決すると、論文として発表したり書籍として出版したりしてきました。これまでに執筆した論文数は、査読なしも含めると265編、著書は共著も含めると25冊になりました。

あるとき、知人から「学識経験者によって審議されているマニュアルをよく批判できますね。天に唾するようなものじゃないですか」と言われたことがありました。

土木研究所には私を煙たがっている方も多く感じていました。そうしたときに、松尾修氏は、「マニュアルはバイブルでないですから、問題点があればどんどん指摘してください。いろいろな意見を聞いて改善をしていかなければいけないと考えています」といわれ嬉しかったことを今でも鮮明に覚えています。

半世紀を振り返ると、人との出会いに恵まれ、仕事に恵まれ、本当に幸せな人生でした。

一つの疑問を解決すると、新たな疑問が出てきます。扉を開くとその奥にまた扉が現れるのです。真実に到達することは永遠にできないことは分かっていますが、少しでも近づきたいと思っています。そして最後に、「土工問題と落石問題については、どうかここまで分かった。後は君たちに託す」と言ってこの世を去ることができれば本望だと思っています。

2024年1月19日(金)15:15～16:15

第2回応用斜面工学シンポジウム特別講演

宇部市常盤工業会館にて

協 賛

株式会社アクア・コントロール

アジア航測株式会社

株式会社荒谷建設コンサルタント

宇部興産コンサルタント株式会社

株式会社エイト日本技術開発

基礎地盤コンサルタンツ株式会社

極東興和株式会社

株式会社ケイズラブ

ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社

大日本ダイヤコンサルタント株式会社

株式会社東建ジオテック

東電設計株式会社

ドボクリエイト株式会社

日特建設株式会社

ヒロセ補強土株式会社

株式会社山口建設コンサルタント

(五十音順)

排水効率は従来管の約7倍の画期的地下水排水管

ミズトール MTパイプ



ミズトールの特徴

- ①孔壁に湧出する地下水を強制的に補足
- ②補足した地下水は逃がさず完全に排水
- ③目詰まりが起きにくい構造
- ④完全工場加工製品で施工が簡単

土木研究所地すべりチームと民間企業8社が実施した共同研究^{※2}の実験値を元にまとめ直したものは以下の通りになります。



排水効率 : 集水率 × 通水率

集水率 : 集水管内に流入する割合

通水率 : 集水管を流下する割合

※1 本評価はあくまで一定条件下による室内試験の結果であり、現場での性能が本評価と一致するとは限りません。

※2 共同研究報告書453号「地すべり地における地下水排除ボーリング工の排水性能調査」表3.1.1.1既存保孔管の一覧他別紙のとおりより転載

※3 排水効率は、従来型VP管を1.0とした場合の値になります。

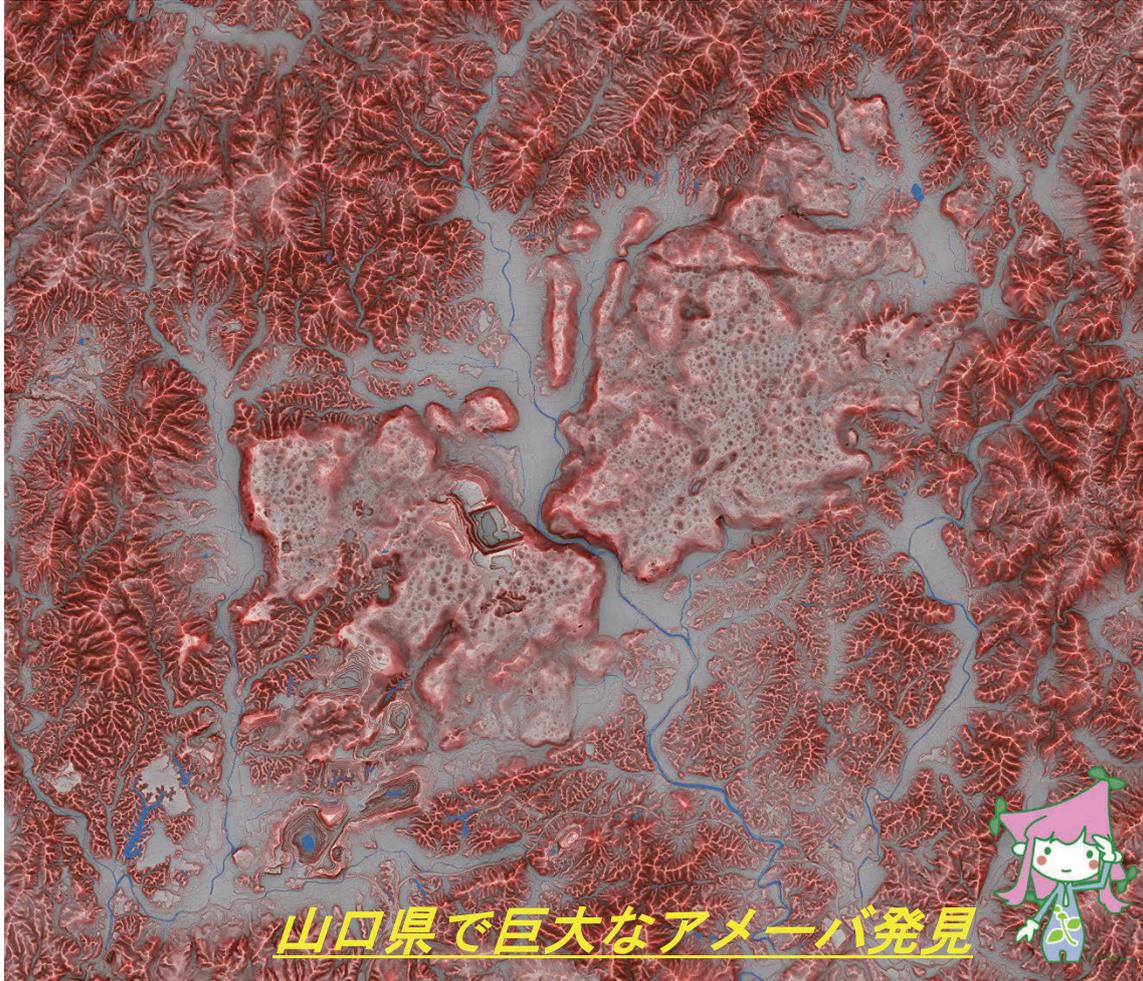
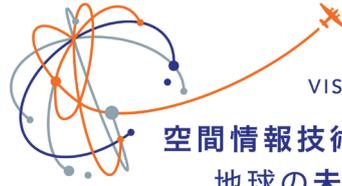
ミズトールの構造



施工実績は60万m以上で、業界シェアNO.1

(株) アクア・コントロール
代表取締役 北村 晴夫
(会員番号 1)

(株) 東建ジオテック
会長 越智 勝行
(会員番号 3)



山口県で巨大なアメーバ発見

この雄大なアメーバの正体は、『秋吉台』、日本最大級のカルスト台地です。およそ3億5千万年前に南方の海でサンゴ礁として誕生し、それから長い年月を経て現在のような石灰石の台地を形成しました。この地下では、降った雨が割れ目や隙間に浸入し、岩を溶かして空洞ができました。その空洞はどんどん大きくなり、日本屈指の鍾乳洞となりました。(山口県美祢市 国定公園秋吉台、新山口駅から約40分)

地球のロマンを感じに、明日、お出かけしてみたいはいかがですか(^_^♪

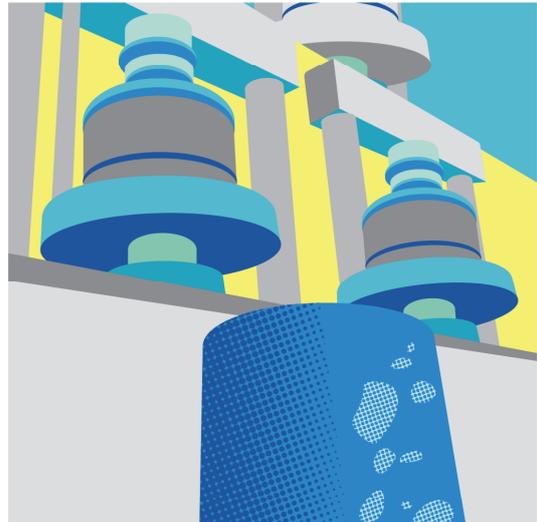
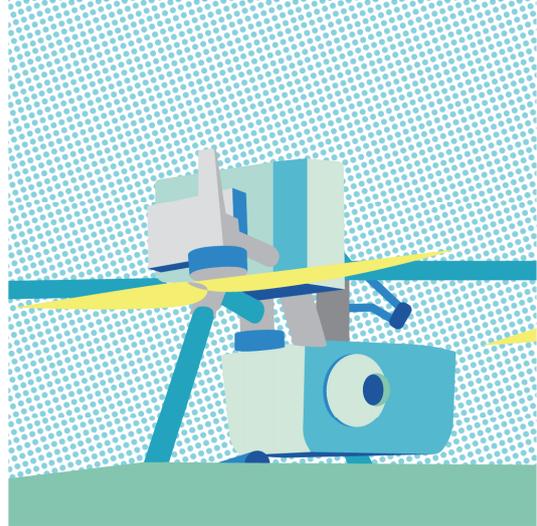
「赤色立体地図」は、アジア航測開発によるこれまでにない全く新しい地形表現技法です。線も記号も光影も使わず、実際にそこにある地形を、1枚の地図で立体的に見える微地形表現図です。回転しても、拡大・縮小しても立体感は失われず、等高線や衛星写真などとの重ね合わせも得意。驚くほどに地形がわかる21世紀のマップスタンダードです。赤色立体地図専門サイト「RRIM.JP」もご覧ください。 <http://www.rrim.jp>



アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO.,LTD.

人間と自然を考える

地球の未来を真剣に考え、人々が安全にいきいきと暮らせる地域づくりを目指します



測量・調査・設計を通して社会インフラ整備に貢献する総合建設コンサルタント

 **株式会社 荒谷建設コンサルタント**

代表取締役 社長執行役員 荒谷 悦嗣

〒730-0833 広島市中区江波本町 4-22

Tel.(082)292-5481 Fax.(082)294-3575

<https://www.aratani.co.jp/>



総合建設コンサルタント 宇部興産コンサルタント株式会社

Company information / 会社情報

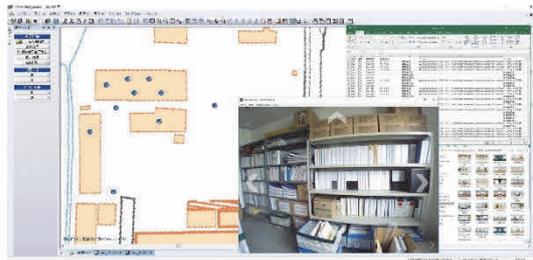
設立	1984年9月
資本金	5,000万円
年間売上高	1,381百万円(2023年3月期)
従業員数	71名(2023年10月1日現在)
本社	山口県宇部市大字東須恵 3897-2
事業所	広島支店 / 防府 萩 山陽小野田 山口 柳井 美祢 長門 岩国 下関 営業所



Technical information / 技術情報

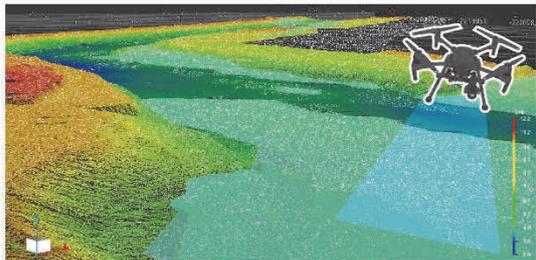
GIS (地理情報システム) 🌐

様々なシーンで活用できるオリジナル GIS の構築に取り組んでいます。インフラ施設の管理や防災管理、日本一長い私道である興産道路の維持管理など幅広く利用しています。



ドローン / 3次元モデル設計 ✂️

建設現場の生産性向上や業務効率化など i-Construction (建設情報化) への対応として、調査・測量・設計・施工・検査に、ドローンから取得した 3D データを活用しています。



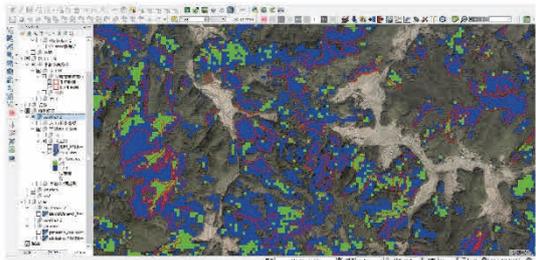
高密度電気探査 ⚡️

地表に設置した電極から地中に電流を流し、電位差を測定する事で地中の地質状況を可視化しています。地表に電極を打ち計測するため、火薬の使用や掘削作業は必要ありません。



衛星リモートセンシング 🛰️

衛星データから様々な情報の抽出や解析をしています。衛星データと地上データを活用した森林資源情報システムを構築し、林業事業者へのコンサルティングを実施しています。



Business / 業務内容

調査部	物理探査機による地下空洞調査 / 地すべり対策調査 解析 / ドローンによる調査 / グラウト注入による古洞対策 (特許出願中)
設計部	道路 橋梁 上下水 港湾 海岸 河川 農業土木設計 / 維持管理補修設計 / 維持点検
測量部	GIS / 3D 計測 / 解析 / 公共測量 / 災害測量

Recruit / 採用情報

【採用についてのお知らせ】
弊社ホームページにて掲載
<http://www.ube-ic.co.jp>

宇部興産コンサルタント 🔍

【お問い合わせ】担当：総務部
☎0836-44-1171 ✉uic_sohmu@ube-ic.co.jp





価値ある環境を未来に

A VALUABLE ENVIRONMENT FOR THE FUTURE



本店 / 〒700-8617 岡山市北区津島京町3丁目1番21号
TEL(086)252-8917 FAX(086)252-7509
本社 / 〒164-8601 東京都中野区本町5丁目33番11号
TEL(03)5341-5111 FAX(03)5385-8500
<https://www.ejec.ej-hds.co.jp/>





地球の未来を 切り拓く



創業70年。人々の生活を支える国土、海洋、そして宇宙 —
地質学・地盤工学をベースに科学のフロンティアへ

■国土強靱化・災害対応

地盤調査を主軸とした各種防災対策、災害対応

■インフラ空間情報事業

道路・河川・斜面・港湾・上下水道等を対象とした
現地調査、室内試験、動態観測や物理探査等による
データの収集・分析・評価

■インフラ整備事業

国土保全、エネルギー開発のコンサルティング

など

私たちは地質コンサルタントのパイオニアとして液状化対策、サンプリング技術
など様々な角度から国内や東南アジア各国の大地を支え続けてきました。

確かな技術で築いてきた実績と信頼、誇りを胸に、洋上風力発電や地熱発電な
どの新エネルギー開発、サステナブルな社会の実現へ向けた都市計画策定、宇
宙開発への参画など、新たな領域へ探求心を持って挑み続けます。

まずは100年、そしてその先の100年へ。ともに新時代を切り拓きましょう。

<基本情報>

・創業:1953年・社員数:659人(R5年9月)・資本金:1億円・売上高:156億円(R4年9月期)

<建設コンサルタント登録部門>

河川、砂防及び海岸・海洋、港湾及び空港、道路、下水道、農業土木、水産土木、森林土木、地質、
土質及び基礎、都市計画及び地方計画、鋼構造及びコンクリート、トンネル、建設環境



ロックフレーム工法



現場での生コンクリートが不要

CO₂排出量削減

特長

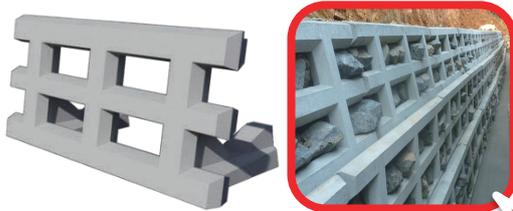
高い排水性

工期短縮

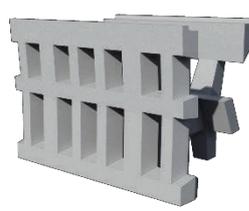
フレキシブルな構造

S型 グリパック

NETIS 番号 (CG-200005-A)



ガンロック



適用条件

- ★設計は「もたれ式擁壁」に準じて行う
- ★擁壁勾配は1:0.4～1:0.5とする
- ★陸上部の擁壁への適用を基本とする

[開発元]

キッコウジャパン株式会社

〒759-2152

山口県美弥市西厚保町原 1675-2

TEL 0837-58-0151 FAX0837-58-0181

URL <http://www.kikkouen.com/>

擁壁高さ
4m程度

擁壁高さ
8m程度

[事務局]



極東興和株式会社

〒732-0052 広島県広島市東区光町 2-6-31

TEL 082-261-1204 FAX082-261-1269

URL <https://www.kkn.co.jp/>

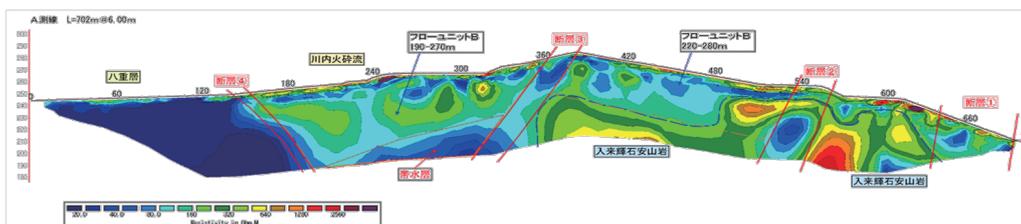


K's Lab

Geotechnic Consultant

環境・地質工学コンサルタント
株式会社 ケイズラブ

〒753-0212 山口市下小鯖3533番地4
TEL 083-927-7004 FAX 083-941-0020



Activity

環境/地盤工学研究所

- 新工法開発 (Development of new construction method)
- 緑化 (Revegitation) 環境回復 (Environmental restration)
- バイオエタノール (Bioethanol)
- 森林バイオマス (Forest biomass)
- 地すべり (Landslide) 風化 (Weathering)

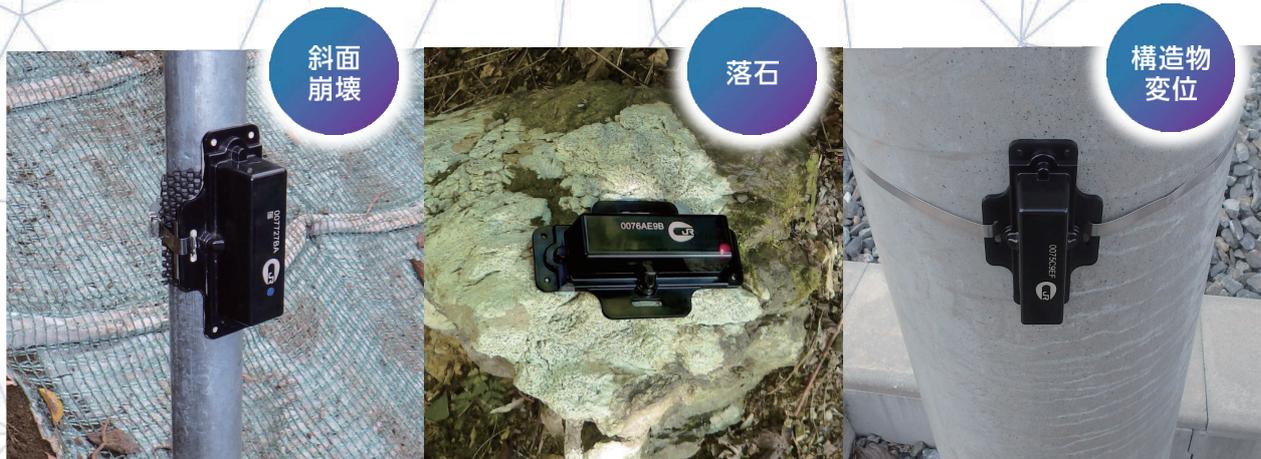
建設コンサルタント

- 調査 (Investigation work) ボーリング (Boring)
- ボアホールスキャナー (Borehole scanner)
- 高密度電気探査 (Ground CT scanning using electrical resistivity)
- 解析 (Analysis) 変形解析 (Ground deformation analysis)
- 浸透流解析 (Seepage flow analysis) 氾濫解析 (Inundation analysis)
- 設計 (Design) 斜面安定対策 (Slope stability measures)
- 補強土・グラウンドアンカー (Soil reinforcement and Ground anchor)
- ため池 (Soil dam and Reservoir)

NETIS
KK-210072-A

Sigfoxによる 異常把握IoTサービス

[傾き&衝撃遠隔監視システムSLIMS-ST]



手軽に遠隔状態を把握し傾きと衝撃を検知

Sigfoxによる広域的で多数のセンサーを管理

設置個所を選ばず複数年にわたりノーメンテナンス

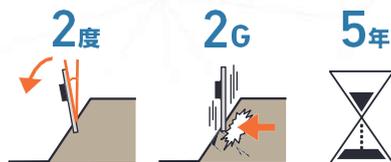
設置

スイッチをONにして 設置すれば準備完了



特徴

傾斜を検知 | 2度以上の傾斜を検知
衝撃を検知 | 2G以上の衝撃を検知
長期間稼働 | 5年程度の稼働が可能



お問い合わせ先

 ジェイアール西日本コンサルタンツ 株式会社
ITシステムデザイン部 〒532-0011 大阪市淀川区西中島5-4-20 中央ビル
TEL: 06-6303-6981

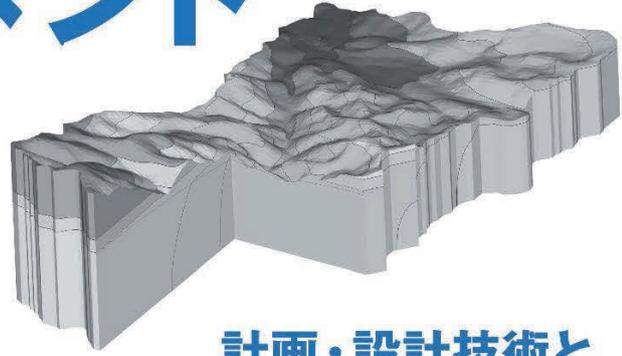
異常把握IoTサービスサイトへアクセス
<https://jrnc-it.com/slims/>



大日本ダイヤ コンサルタント はじまる。

60年にわたって培ってきた、
地質・地盤に関する技術力で、
愚直なまでに真摯に取り組む。

ダイヤスピリット

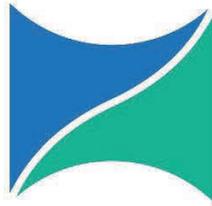


計画・設計技術と 調査解析・評価 技術との融合

安心・安全なまちづくりを目指し
高度な調査と解析技術により
地質・地盤リスクを適切に評価し
インフラ整備の計画・設計に反映します。

コア事業を強化しつつ、
新たなチャレンジを促進します。
脱炭素社会の実現に向けた
計画から事業運営、
DXを含む技術開発などを推進し、
サステナブルな社会へ繋げます。

コア事業プラス チャレンジ



橋と いえば 大日本

いつの時代も
色褪せぬ
デザイン力。



国土強靱化や脱炭素社会、コンパクト・プラス・
ネットワークの持続可能な都市づくりなど
さまざまな社会ニーズに応え、豊かな暮らしを支えます。

安全・安心、 快適な 社会の創造

信頼のもと、社会に なくてはならない 企業グループに

防災・減災の 社会課題を 解決する

激甚化する災害への備え、
社会資本の老朽化対策などの社会課題に対し、
防災・減災技術とまちづくり技術などを融合し、
課題解決を図ります。



大日本ダイヤコンサルタント株式会社
Dia Nippon Engineering Consultants Co., Ltd.

大日本コンサルタント株式会社と株式会社ダイヤコンサルタントは、2023年7月1日に合併しました。



経験豊富なスタッフが最先端の技術であらゆる土砂災害に対応します。



TOKEN

営業種目

設計・調査・測量

総合建設コンサルタント

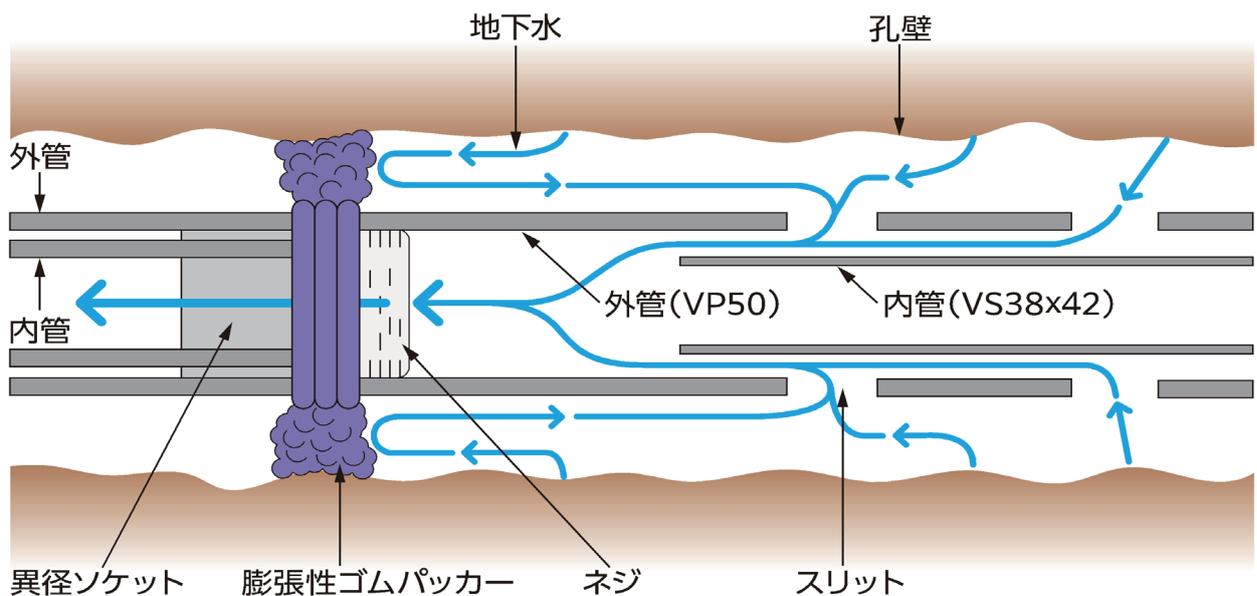
株式会社 東建ジオテック 山口支店

〒753-0215 山口市大内矢田北六丁目2番39号

TEL.083-927-5507 FAX.083-927-5509

<http://www.tokengeotec.co.jp>

水抜きボーリング用二重式排水管



MTパイプ 排水効率は従来型の**約7倍**

地すべりや災害復旧に威力を発揮!!



MTパイプの特長

- ①地下水を強力に捕捉
- ②捕捉した地下水は逃がさない
- ③目詰りが起きにくい
- ④施工が容易

リスクを知り未来に備える

明日を可視化するカギ あります!

Analysis Area

Simulation Examples

Simple, fast sediment runoff simulation tool

Rotation of sliding surface

ellipsoid ball

Time history of simulated seismic waves

empirical method

Attenuation relation

Seismic Verification

Cellular Automaton:

$$S_f = \sum_{i=1}^n R_i \cdot A_i \cdot \sum_{i=1}^n S_i \cdot A_i$$

resistance

sliding power

rate

share

search

surface area

power plant

intake pipe

SEA

ground

seismic motion

crack

PC steel

crack opening

Crack opening

Fragility curves reaching 50 cm thick or thicker sediment

theoretical method

log S_A(T) = log S_A(T) + log α(T)

assumed slip surface

Triangular panel division image

リスクを知りたい！ 被害を抑えたい！
東電設計はインフラを支える皆さまを
サポートします

ホームページ
はこちらから



東電設計株式会社
社会基盤ユニット 土木本部

「言葉だけで説明することが難しい...」

現場でそう感じたことはありませんか？

その「難しい」を

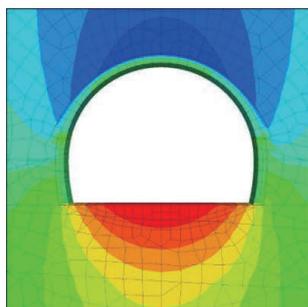


ドボクリエイト
DOBOCREATE

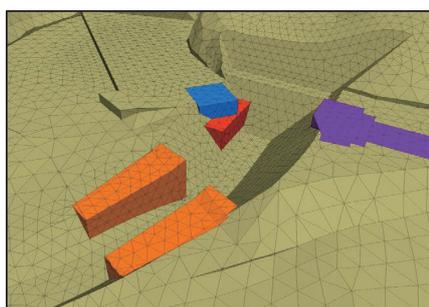
が見える化で解決します！



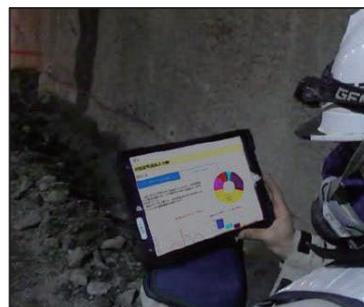
数値解析やAIなどのデータ分析技術を活用し、経験や技術に基づいて判断していた経験工学を、データとして「見える化」をおこないます。



二次元数値解析



三次元数値解析



AIによる分析

技術の裏付けが取れる

設計や施工に関して技術的な安全性が確認できるため、発注者の信頼感や施工時の安全性を得られます

安全・安心な施工が可能に

数値的な根拠がベースとなり、発注者により分かりやすい説明が可能になります

- 博士号や技術士など様々な資格を持つ社員
- 山口大学との共同研究
- 大手ゼネコン、コンサルタントとの様々な案件

ドボクリエイトが多くのご依頼をいただく理由

○三次元での解析が可能

三次元で表現することで、これまで分からなかった多くの情報を把握することができます。

○どのような依頼にも柔軟に対応

ご依頼に応じて様々な出力結果を丁寧な対応でご提供致します。

○山口大学を中心とした幅広い人脈

大学発ベンチャー企業ならではのつながりがあります。

どんなことでも構いません。まずはお気軽にお問い合わせください。



・ [Webサイト](https://dobocreate.jp/)

ドボクリエイト株式会社

住所 : 〒755-0097 山口県宇部市常盤台2-16-1 (山口大学工学部内)

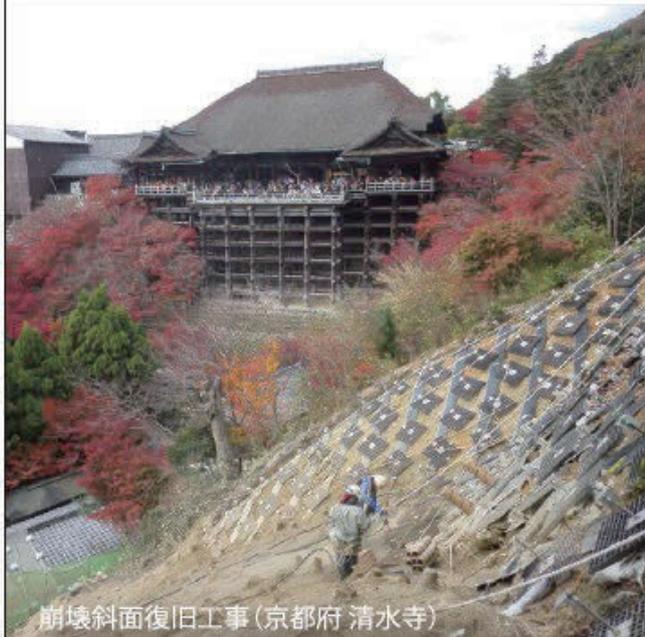
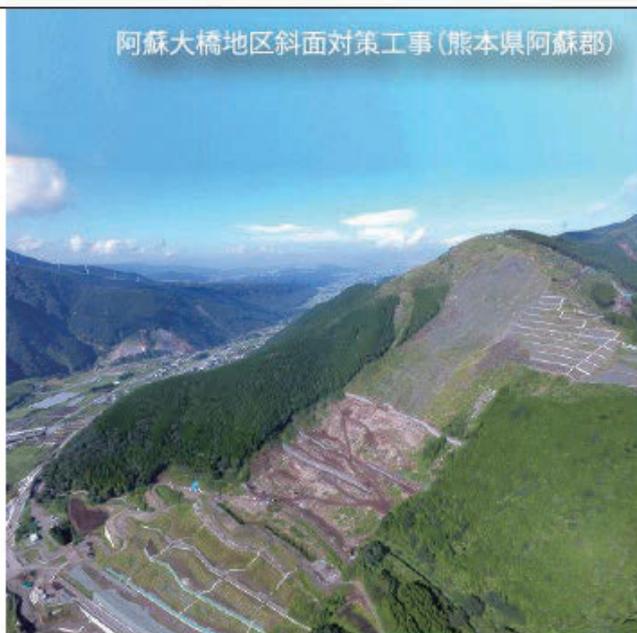
web : <https://dobocreate.jp/>

email : info@dobocreate.jp

見えないところにこそ、 私たちのプライドがある

水を湛える雄大なダム直下には、
その水を漏らさないために
もう一つのダムが地下に造られています。
その技術こそが、
私たちが仕事に取り組むときのプライドの原点であり、
今、提供する全ての技術サービスの源流になっています。

阿蘇大橋地区斜面对策工事(熊本県阿蘇郡)



崩壊斜面復旧工事(京都府 清水寺)

本店：東京都中央区東日本橋 3-10-6
Daiwa 東日本橋ビル
電話：03-5645-5050
支店：札幌支店、東北支店、東京支店、
北陸支店、名古屋支店、大阪支店、
広島支店、九州支店
直轄部：直轄グラウト部
事業部：海外事業部



日特建設株式会社
代表取締役社長 和田 康夫

NITTOC

日特建設株式会社

東京都中央区東日本橋三丁目10番6号

TEL:03-5645-5050

<https://www.nittoc.co.jp/>



補強土(テールアルメ)壁工法



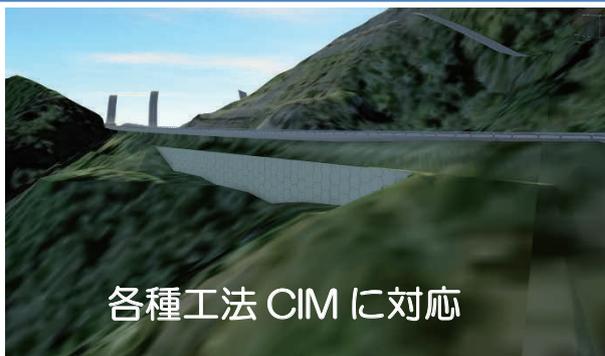
地山補強土工法
EPルートパイル工法



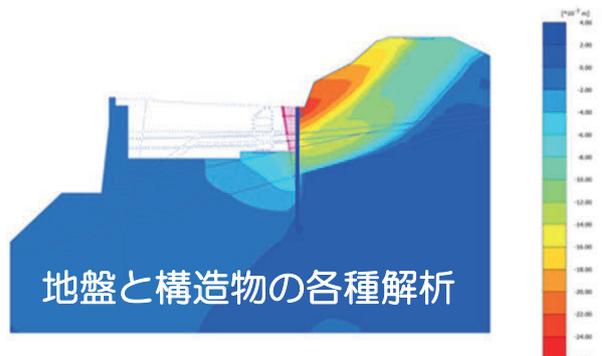
軽量盛土
EPS工法



パネル組立式大型ブロック
M1ウォール工法



各種工法 CIM に対応



地盤と構造物の各種解析

補強土壁工法・地山補強土工法・軽量盛土工法・大型ブロック・アーチカルバート等の設計提案および、地山補強土工事の請負

hirote 補強土株式会社

〒 135-0016 東京都江東区東陽 4 丁目 1 番 13 号 東陽セントラルビル

Tel. 03-5634-4508

E-mail: hr-kikaku@hirose-net.co.jp

HP: <https://www.hirosehokiyodo.com/>



土木技術で地域に貢献する

生態系の保護・保全を考え、
建設事業と自然環境との
調和を目指す。



自然



防災

ダム、砂防ダム、のり面工等の
防災施設により自然災害から
生命と財産を守る。



私たちの
くらし

交通インフラのメンテナンスや整備によって、
地域を結び、利便性を高める。

交通

新たな公共施設や、利水を目的とした
ダム、農業ため池によって安全な暮らし
や産業を豊かにする。

生活



測量部門

- 基準点測量(基準点測量・水準測量)
- 地形測量(平板測量)
- 応用測量(路線測量・河川測量・用地測量)
- 工事測量(出来形測量・位置出し測量)
- 補償コンサルタント

設計部門

- 構造物設計
- 防災施設設計
- 道路設計
- 下水道設計
- 河川設計
- 農業土木設計
- 森林土木設計
- 解析・検討
- 設計照査
- インフラ点検

土質・地質部門

- 調査ボーリング
- さく井工事
- 地盤調査
- 戸建住宅支持力
- 地表踏査・地すべり調査
- 室内土質試験
- 施工管理
- 物理探査

一般調査部門

- 土壌・地下水汚染調査
- 生物調査・生態系調査
- 流量観測
- コンクリート構造物診断
- 非破壊検査及び調査
- 無人航空機による空撮
- GISを利用した調査
- 水質調査
- 水文調査
- 騒音・振動調査
- 交通量調査



YKC 株式会社 山口建設コンサルタント

- 測量業 第(14)-2048
- 建設コンサルタント 第02第6920号
- 地盤調査業 第(30)第926号
- 補償コンサルタント 補02第4452号
- 建設業(さく井、とび・土工) 般-2 第21655号
- 土壤汚染指定調査機関 環2003-6-2014
- 一級建築士事務所 第3059号

- 本社 〒753-0054 山口市富田原町4番36号 TEL: 083-934-3000
- 長門営業所 〒759-4102 長門市西深川2970番地の1 TEL: 0837-27-0145
- 萩営業所 〒758-0011 萩市大字橋本2920番地2 No.2-107号 TEL: 0838-21-7575
- 防府営業所 〒747-0033 防府市上天神町2番1号-602号 2階 TEL: 0835-28-8329
- 柳井営業所 〒742-0023 柳井市南浜1丁目3番20号 TEL: 0820-24-0060
- 岩国営業所 〒740-0018 岩国市麻里布町3丁目16番9号-803号 TEL: 0827-30-9001

第2回応用斜面工学シンポジウム論文集

2024年1月19日 発行

編集・発行者 特定非営利活動法人応用斜面工学研究会
〒753-0212 山口県山口市下小鯖 3533 番地 4 株式会社ケイズラブ 内
電話：080-6349-7403 E-mail: office@oyoslope.jp

印刷社 株式会社アプト

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。記事内容についての問い合わせは、各論文に記載の著者代表連絡先に直接連絡してください。
