

地域と歩む防災研究センター



Research Center for Strategic Assistance in the Prevention of Floods, Earthquakes and Regional Hazards



SAFE E Report

2022.3 Vol.2

地域と歩む防災研究センター

ご挨拶

北見工業大学
地域と歩む防災研究センター/SAFER
センター長 川尻 峻三



近年の我が国では、観測史上最大の自然災害が毎年のように発生しています。そのような中で「地域と歩む防災研究センター / SAFER (セイファー)」は北見工業大学の防災研究を統括し、推し進める研究組織として2019年5月1日に発足し、約3年が経ちました。SAFERでは、地域における防災研究に対するニーズ・課題を丁寧に汲み取り、解決・打開のための研究・開発に日々取り組んでおります。近年では、現下のコロナ禍を念頭とした防災技術の研究・開発にも取り組んでおります。

今年度もSAFER所属メンバーのご尽力により、SAFERでの教育・研究活動を確実に推し進めることができ、「SAFER R&D Report Vol.2」を発刊する運びとなりましたので、ご高覧頂ければ幸いです(カラー版はSAFER webページ <https://kit-safer.com/publication/>に掲載予定です)。

今後も地域と歩む防災研究センター/SAFERでは、地球規模での気候変動に柔軟に対応できる防災技術の研究・開発と人材育成・輩出について、地域への社会貢献・技術の実装を念頭に取り組んで参ります。今年度のSAFER R&D Reportを通じ、SAFERの活動にご理解を賜りますとともに、ご関係者の皆様からの忌憚のないご意見を頂けますよう、よろしくお願ひ申し上げます。

2022年3月

【表紙の写真】

2018年北海道胆振東部地震で札幌市清田区において発生した大規模な宅地地盤災害からの早期復旧・復興を目指し、札幌市建設局と共同で緊急地盤調査を行っている様子です。SAFERでは地域の自治体・行政機関と協力し、最新の調査機器を用いた災害復旧に資する調査や調査技術の研究・開発を進めています。撮影者:川尻峻三

目次

地域協働防災研究部門

◆厳寒期の災害時におけるEVを活用した避難所への給電に関する検証	2
高橋 清	
◆北海道防災総合訓練(厳冬期)における避難所環境計測 [北斗市]	4
林田 和宏・松村 昌典・森田 慎一・高井 和紀	
◆留学生と日本人学生が一緒に「防災」を学ぶ	6
久保 比呂美	

インフラ耐災技術研究部門

◆Al-Mg溶射技術を活用したコンクリート用被覆鉄筋の耐腐食性能に関する検討	8
井上 真澄・崔 希燮	
◆河川流量の変化が橋脚の地盤工学的な不安定化に与える影響	10
川尻 峻三	
◆寒中における橋梁工事の効率化に資する耐寒グラウト材の開発	12
井上 真澄・崔 希燮	
◆寒中における補修施工の効率性向上に資する耐寒補修材料の開発	14
崔 希燮・井上 真澄	
◆高速道路盛土の法面安定性に及ぼす地震動および津波の影響	16
川尻 峻三・川口 貴之・中村 大	
◆災害時のTwitterを通じた状況認識のための分類ベース感情分析	18
及川 佑人・プラシニスキ ミハウ・舛井 文人	
◆自治体間連携による地域特性を考慮した老朽化橋梁の戦略的維持管理システムの構築(2)	20
宮森 保紀・三上 修一	
◆実大実験によるジオセルの路盤補強効果に関する検討	22
川口 貴之・中村 大	
◆植生工の雨滴に対する侵食防止効果を評価するための試験方法の開発	24
中村 大・川尻 峻三・川口 貴之	
◆水位上昇時の浸水過程に関する水理実験	26
白井 秀和・早川 博	
◆水理実験によるアイスジャム現象の解明	28
吉川 泰弘	
◆貯水位変動を考慮したため池の安定解析	30
川口 貴之・川尻 峻三	
◆北海道東部における河川堤防の降雨浸透挙動の解明に関する現地観測	32
川尻 峻三・渡邊 泰玄	

突発災害調査研究部門

◆LPWA通信を用いた積雪寒冷地向け橋梁リモートモニタリングシステムの通信実験	34
宮森 保紀	
◆寒冷地における地盤の凍結による地震動特性への影響の検討	36
齊藤 剛彦・宮森 保紀	
◆記録的大雪となった札幌圏での積雪調査(2022年2月)	38
白川 龍生	
◆災害・老朽化調査時の現場中継システム	40
宮森 保紀・齊藤 剛彦	
◆ミリ波レーダ水路・河川監視システムの構築に関する研究開発	42
吉澤 真吾	

厳冬期の災害時におけるEVを活用した避難所への給電に関する検証



部門長・教授
高橋 清

Highlights

- 厳冬期にEVから避難所へ給電した際の電力消費量の把握を行いました。
- EV給電をともなう避難所では、長期避難のために、機材の使用ルール等を予め決めておくことが重要です。

災害時、停電発生に伴う避難所等での電力供給は、重要な課題です。特に積雪寒冷地における避難所では、暖房施設をはじめとして情報収集機材の充電など、電力供給が深刻な問題となっています。そこで、近年、災害時における電気自動車(EV)の活用として、外部電源としての利用が注目されています。EVは排気ガスがゼロで、一般の自家発電施設より安全であるとともに、その静穏性からも避難所近傍に設置することが可能です。さらに自動車という特性から、遠方より移動し、給電するといった機動性にも優れています。一方、厳冬期、氷点下においてはバッテリーの性能が落ちることも想定され、避難所や家庭での停電時の利用を推進するには多くの課題が存在します。

そこで本研究部門では、災害時において避難所が停電した状況を想定し、停電時にEVから避難所へ給電した際の電力消費量の把握、課題の抽出を行い、停電時の給電におけるEVの有用性について検証を行いました。

実験は、令和4年1月21日(金)～1月22日(土)、本学構内の研究者交流施設(ゲストハウス白樺)にて実施しました。今回の実験には日産リーフ(バッテリー容量62kWh)1台を使用し、EVのバッテリーから避難所として想定した研究者交流施設へ24時間連続で電力を供給しました。避難所で使用した機材は、石油暖房器具、情報収集機材としてのTVや通信用Wi-Fi、また、スマホ・PCの充電等、避難所運営に必要な機材とし、電力消費量や充電量のデータを取得しました。特に今回の実験では、厳冬期において避難者に温かい飲み



写真1: 実験の様子

物等を提供するための電気ポットや電子レンジを随時使用するなど、避難所における生活の質を確保することも考慮しました。

実験開始時のEVバッテリー容量は、走行後に給電を開始したことを想定し、55kWh(89%)でスタートしました。その後、常時通電として、石油ファンヒーター2台、TV2台、家庭用冷蔵庫1台、防災灯2台、通信用Wi-Fi2台を利用しました。また、食事(朝昼夕の3食)時間には、電磁調理器や電子レンジ、炊飯器等を使用し、温かい飲み物を提供するための電気ポットは、約2時間おきに使用しました。夜間は、スマートフォンを充電し、情報収集や発信のためのノートPCは、交代で充電しました。その結果、24時間後には、バッテリー容量が51%となり、約23.6kWh(38%)の容量減となりました。

検証で得られた、「電力消費量」、「電力供給量」を考慮すると、今回の条件では、約3kWh/日(5%)の節電により、72時間避難所への給電が可能と考えられます。この72時間という重要は時間を避難所で滞在するための節電としては、電気ケトルや電磁調理器等の高出力の電化製品の使用を控える必要があります。ただし、今回の実験と同様に、車両移動等により充電が100%でない場合は、1日あたり33%の全ての電力を使用できないため、更なる節電が必要です。そのためには、避難所における機材の使用ルールを予め決めておくことが重要です。今回の実験より得られた「避難所で使用する電子資機材の種類、個数」等の情報をもとに、「EVによる避難所への給電」をモデル化することで、避難生活の在り方について更なる検討が必要であると考えられます。

本実験は、オホーツクEV推進協議会が実施主体となり、当センター、網走開発建設部、(株)ドーコンのメンバーにより実施されました。協議会である北見日産自動車(株)からは実験車両の提供を頂くなど、多くの方のご協力を頂きました。ここに記して感謝いたします。

◎バッテリー残量、電力使用量、各コンセントの電力使用量

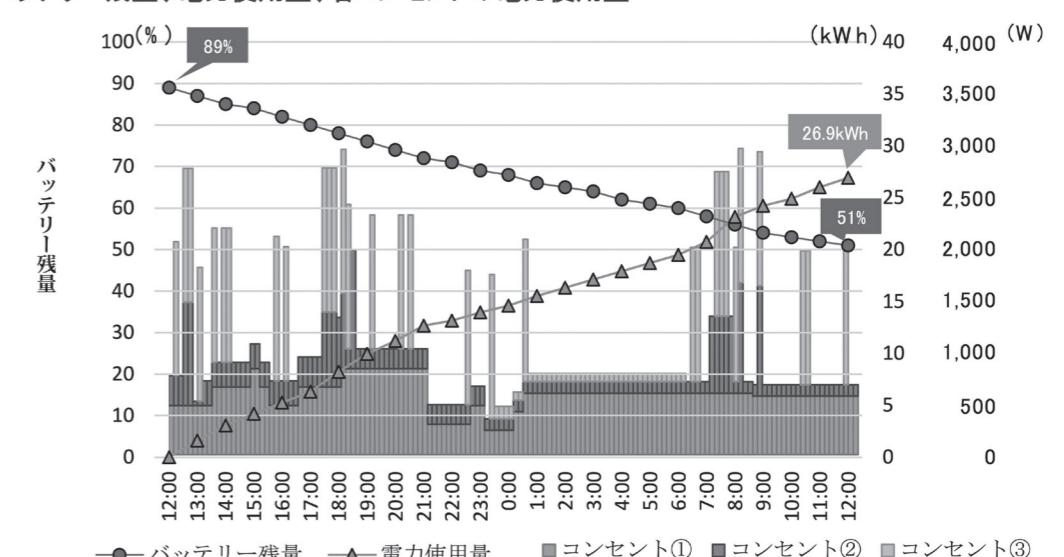


図1: バッテリー残量・電力消費量

北海道防災総合訓練(厳冬期)における避難所環境計測(北斗市)

教授
林田 和宏准教授
松村 昌典教授
森田 慎一准教授
高井 和紀

Highlights

- 厳冬期の大規模災害を想定した避難所運営訓練において、避難所の室内空気環境計測を実施しました。
- 暖房器具の使用による室内空気環境の変化を明らかにしました。

平成30年に起きた北海道胆振東部地震において、北海道全域で長時間にわたる停電（ブラックアウト）が発生したのは記憶に新しいところです。北海道胆振東部地震は9月上旬の暖かい時期に発生しましたが、もしこれが厳冬期であったなら、寒さから身を守るために、多くの人が各地域に開設される避難所に避難することが想定されます。したがって、厳冬期の停電を想定した避難所運営訓練を行うことは大切なことです。

北海道の厳冬期は日最高気温が氷点下を下回る真冬日も珍しくありません。このような厳しい条件下において、限られた機材でいかに避難所を運営するかについて検討するため、道内市町村の防災関係者らが参加する「北海道防災訓練（厳冬期）」が北海道庁の主催で毎年実施されています。令和3年度は12/18（土）～12/19（日）の日程で北斗市総合体育館を避難所として実施され、地域協働防災研究部門では避難所の室内空気環境計測を担当しました。

環境計測は避難所開設の14:00から翌朝7:00まで行い、30分または1時間おきに計測を実施しました。計測項目は温度、湿度、CO、CO₂、浮遊粉塵および騒音の6項目です。計測は体育室内の5地点と格技室内の3地点で行いました（図1）。

図2は当日の外気温の変化です。計測実施中はプラスの気温になることはなく、平年並みの冬の気温でした。

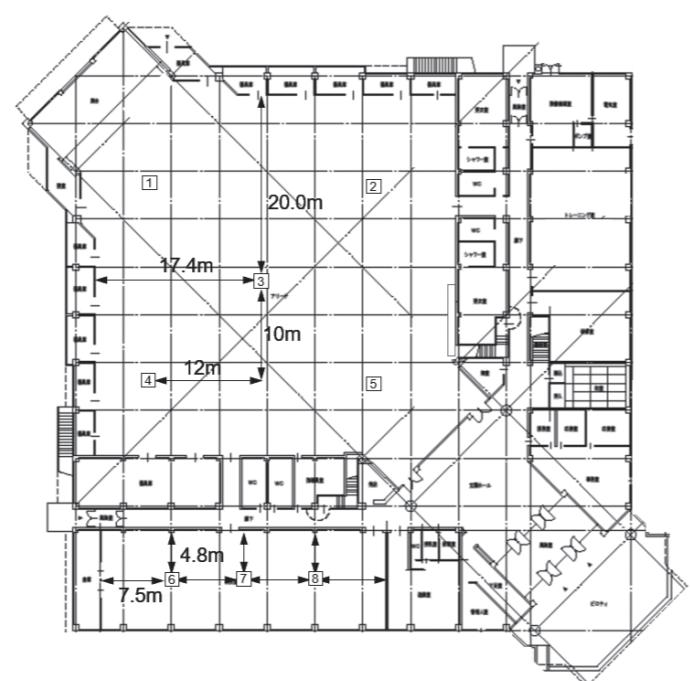


図1：北斗市総合体育館の平面図と計測点

体育室の温度、COおよびCO₂濃度の時間変化を図3に示します。体育室には5台のポータブル石油ストーブが設置されており、14:20頃に稼働を始めました。18:00より2台のダクトヒータが稼働を始め、ダクトヒータは21:00に一旦停止します。その後、23:00にダクトヒータが1台再稼働し、朝7:00前にはストーブとダクトヒータが停止しています。

体育室の室温は夜間でも14～16°C程度であり、寒さ対策をした服装であれば問題のない温度が保たれていました。図3より、温度の時間変化は、ストーブとダクトヒータの稼働状況に概ね対応していることが分かります。

CO濃度は訓練開始から22:00にかけて上昇し、22:00以降は緩やかに減少しています。CO濃度の変化はストーブの稼働台数と火力に対応していると考えられます。CO₂濃度は6:00まで一貫して上昇傾向であり、18:00以降は2,000ppmを超える高い濃度でした。

この環境計測で得られたデータは、厳冬期の避難所における室内空気環境の改善方策の検討に活用されます。

最後に、本研究は北海道総務部危機対策局危機対策課および本学地盤防災技術研究室学生の協力を受けて実施しました。記して謝意を表します。

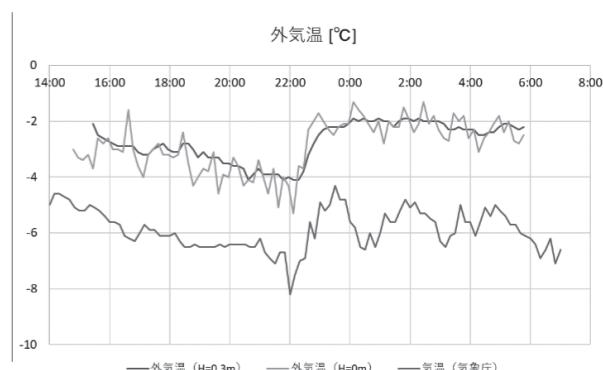
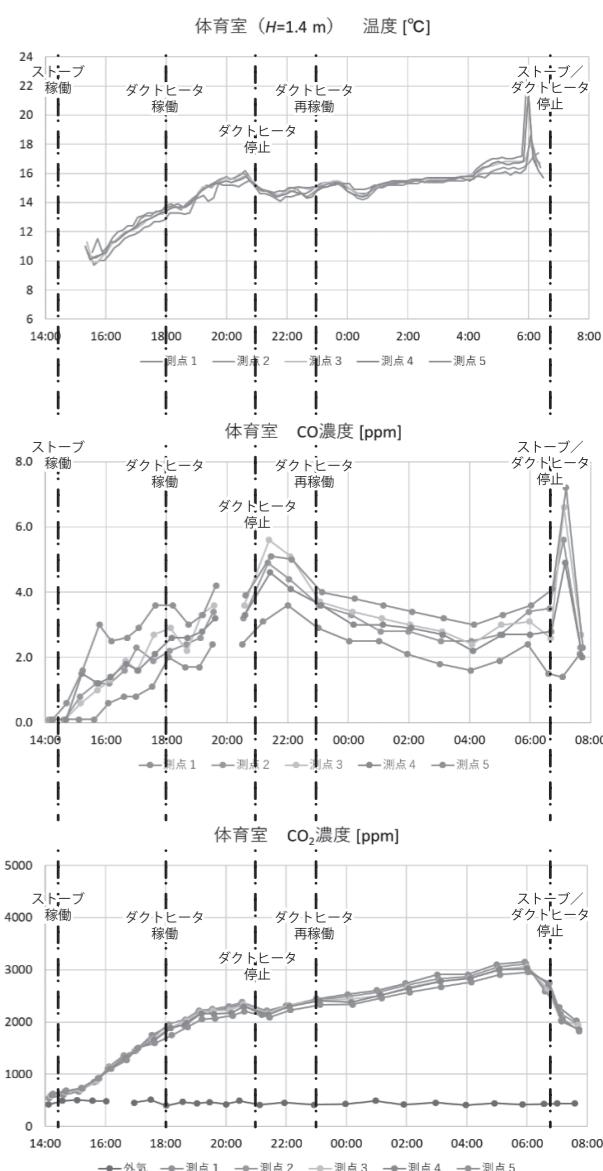


図2：外気温の時間変化

図3：温度、COおよびCO₂濃度時間変化

留学生と日本人学生が一緒に 「防災」を学ぶ



講師
久保 比呂美

Highlights

- 留学生が日本人と一緒に防災について学び、研修や防災実習を共同で行いました。
- 「防災」をテーマに国際交流を行うことで、新たな課題が発見できました。

コロナの影響で国際交流イベント等を対面開催できない時期が続きました。留学生と会う機会も少なく、「日本語は大丈夫だろうか?」「助け合える日本人の知り合いはいるだろうか?」と心配でした。国際交流センターの教員として、北海道胆振東部地震が起きて以来、留学生と共に“防災”や“災害時訓練”に取り組んでいく必要があると思いながらも数年が過ぎていきました。今年度にSAFER構成員に助けてもらいながら始動できたことを報告いたします。

◆防災の基礎を学ぶ◆

防災について基本から学ぶために、日本赤十字北海道看護大学の根本昌宏教授にオンラインの概論講座を依頼しました。本学の留学生、防災工学専攻の日本人学生、教職員に加え、室蘭工業大学と北海道大学から学生と教員が参加しました。反響とリクエストにより、続編講義を開催しました。本学の授業「異文化理解」では録画動画を教材として防災から考える多文化共生を取り上げました。

◆防災時のやさしい日本語ワークショップ◆

北海道大学の式部絢子先生(言語教育、地域日本語教育、多文化共生)を講師に、北見市の防災パンフレット「防災いつでもノート」暴風雪の心得ページを題材として開催しました。留学生と日本人学生で構成された各グループで、災害情報の伝え方等を考えました。ハイゼックスを使った調理体験と防災リュックの中身紹介は、ハラル食の留学生が参加していたことで留意すべき事項を学び合うことができました。



防災パンフレットを検証する
日本人学生と留学生



北海道大学式部先生による日本語ワークショップ



講師
久保 比呂美

◆DoHugワークショップ◆

北海道大学の田中岳先生(工学部)と式部絢子先生のオンラインワークショップを行いました。北見工業大学会場では、留学生と日本人がグループになって北海道避難所ゲームに挑戦しました。様々な言語が飛び交いながらゲームが進みました。避難所の暖房ストーブ設置場所を考えるミッションでは、南国出身の留学生が苦戦し、他にも避難所の喫煙ルールをどうするか?、上靴と外靴の区分をどうするか?、同じ国の外国人を一か所にまとめるか分散させるか?等、時間内に解決できない複雑なミッションが数多くありました。

◆防災タイムライン研修◆

北海道開発局網走開建の村田陽子氏を講師に、自分が住んでいる場所と、両親が住んでいる場所の「マイ・タイムライン」を作りました。時間軸、危険レベル、行動のために情報を得る方法などを、国や地域の特徴を意見交換しながら考えました。



北海道開発局網走開建の村田氏によるタイムライン研修



非常食調理を体験する留学生

「豚肉エキスの入っている非常食があるので、自分で準備しておくべきだと思いました」という留学生もいました。日本人は全員がハイゼックスで白飯を調理していました。食文化の多様性は、災害時において興味深い事柄だと思いました。

◆今後の活動計画◆

防災の視点から国際交流を展開すると、今までの国際交流では見えてこなかった文化の違いや問題が浮かび上がりました。留学生と日本人が災害時にも互いに対応できるよう、余力ある日常の中で文化を理解し合い、防災知識や実践力を身に付け、ネットワークを構築し、国際交流の幅を広げていきたいと思います。



段ボールベッドに入りきらない留学生

AI-Mg溶射技術を活用した コンクリート用被覆鉄筋の 耐腐食性能に関する検討



教授 井上 真澄 準教授 崔 希燮

Highlights

- Al-Mg溶射皮膜とEP塗装によるDual-Coating被覆鉄筋を開発しました。
- 開発した被覆鉄筋は高濃度の塩分環境下においても腐食しませんでした。
- 皮膜損傷を与えた場合、Al-Mgの犠牲防食作用が機能することを確認しました。

海水飛沫を常時受けるような海洋環境下や、凍結防止剤が繰り返し散布される極めて厳しい腐食環境下に曝されるコンクリート構造物においては、信頼性ある防食方法としてエポキシ樹脂鉄筋(EP鉄筋)が多くの構造物に適用されています。しかし、海外では沿岸部のEP鉄筋を用いた鉄筋コンクリート橋脚群がEP鉄筋の腐食に起因して早期劣化を生じた事例が報告されています。これは、EP鉄筋の運搬時や施工時の塗膜損傷やコンクリート中において塗膜剥離が生じていたこと、また厳しい塩分環境と高温多湿な環境条件が主な原因とされています。

一方、長期防食性に優れるアルミニウム・マグネシウム合金溶射(Al-Mg溶射)を用いた新しい防食技術が開発され、その優れた防食性能を生かして沿岸部の鋼橋や鋼桁端部の伸縮装置、支承などへの普及が図られています(図1)。我々は、これまでAl-Mgの優れた防食性能を活用したコンクリート用防錆鉄筋の開発に取り組んできました。Al-Mg溶射により被覆した鉄筋を用いる場合、コンクリートのアルカリ環境下から溶射合金の主成分であるAlの浸食を避けるために封孔処理による溶射皮膜の保護が必要となります。そこでAl-Mg溶射皮膜に被覆する封孔剤の仕様がコンクリート中の付着性や耐食性に及ぼす影響を検討した結果、Al-Mg溶射鉄筋に耐アルカリ性を有するEP系封孔剤を施すことによりコンクリートにおいて良好な耐食性と付着性が得られることを明らかにしています(表1)。封孔処理の主目的は耐アルカリ性の付与ですが、優れた環境遮断性を有するEPを封孔剤に用いることで、Al-Mg溶射皮膜にEPを塗り重ねたDual-Coating構造になっている大きな特徴です。溶射皮膜自体も環境遮断

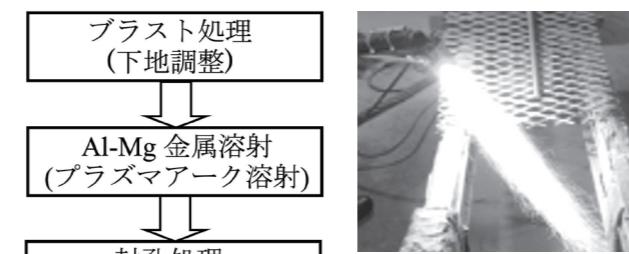


図1: AI-Mg溶射の施工工程

要因	仕様
溶射金属	アルミニウム(95%)-マグネシウム(5%)合金
溶射皮膜厚	180±40μm
溶射方法	プラズマアーク溶射
封孔処理	エポキシ樹脂系封孔剤(塗布量 160g/m ²)

表1: AI-Mg溶射の仕様

作用とともに、Mgは皮膜に傷が生じた際に水分や酸素が供給されるとその化合物が傷を塞ぐ自己修復効果を発揮するため高い防食性能を期待できます。

そこで本研究では、Al-Mg溶射の特長の一つである犠牲防食効果に着目し、損傷を与えたAl-Mg溶射鉄筋(図2)を高濃度塩分含有コンクリート(Cl⁻=12kg/m³)中に埋め込んだ試験体を作製して促進腐食試験を行い、その耐腐食性能についてEP鉄筋と比較検討を行いました(図3)。

促進20サイクル終了後に試験体から取り出した鉄筋の腐食状況を確認すると、普通鉄筋Nでは全域に渡って腐食が観察されました。これに対して損傷を与えていないAl-Mg溶射鉄筋およびEP鉄筋では、鉄素地の腐食は確認されませんでした。一方で損傷を与えた場合、EP鉄筋では損傷を与えて鉄素地を露出させた部分で腐食が確認されました(図4)。

模擬損傷部を拡大観察すると、EP鉄筋では鉄素地を露出させた全域に腐食が観察されるとともに、部分的には損傷部周辺にもEP塗装部の膨れや鉄素地の腐食が観察されました。これに対してAl-Mg溶射鉄筋では、鉄素地を露出させた部分には腐食は全く確認されませんでした(図5)。溶射皮膜に含有するMgは、皮膜に傷が生じたとき水分や酸素が供給されると、犠牲防食作用によりMgの化合物が傷を塞ぐ自己修復効果を発揮するため、高濃度の塩分を含むコンクリート中においても鉄素地に腐食を生じなかったと推察されます。

なお、本研究はNEXCO西日本イノベーションズ・北見工大の共同研究により実施されました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

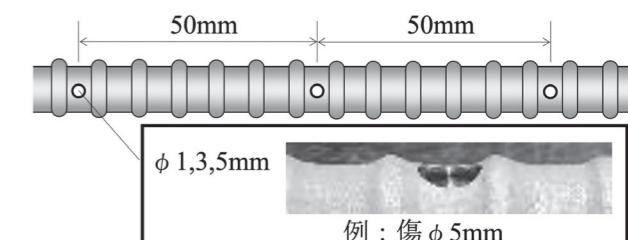


図2: 鉄筋の皮膜損傷状況

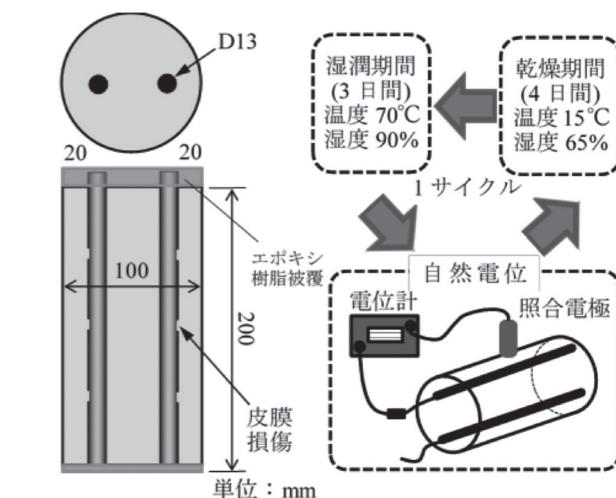


図3: 促進腐食試験概要

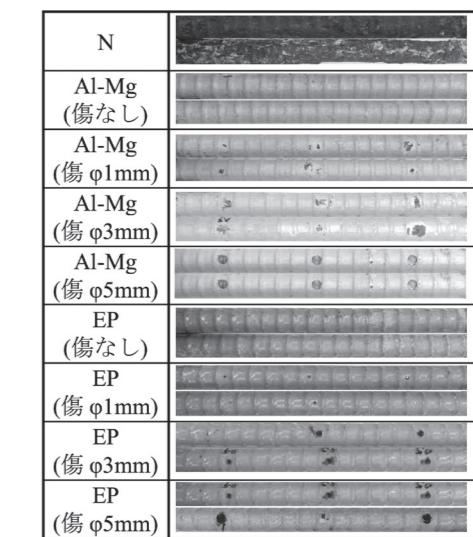


図4: 鉄筋の腐食状況

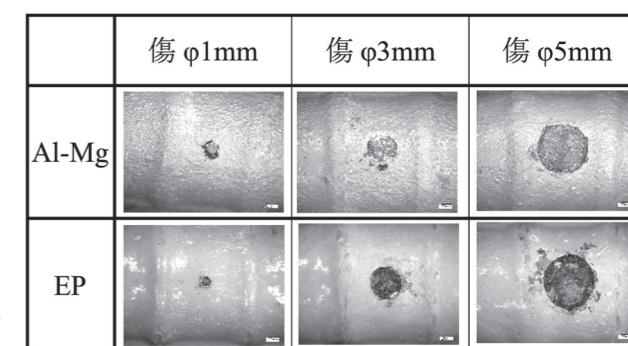


図5: 損傷部の腐食状況(AI-Mg鉄筋)

河川流量の変化が橋脚の地盤工学的な不安定化に与える影響



センター長・准教授
川尻 峻三

Highlights

- 複数の洪水を受ける橋脚の傾斜メカニズム解明を実験的に試みました。
- 体系的な実験から橋脚の根入れ深さが複数洪水時の橋脚傾斜に影響しました。
- 根入れが小さい場合には初期の大規模出水で不安定化が大きく進行しました。

気候変動に伴う記録的な豪雨によって、近年では洪水の規模・頻度が増しています。そのような中で橋げたを支える橋脚の周りの地盤が消失し、それが続くと橋脚が傾斜して橋が利用できなくなる事例が多発しています。最悪の場合、橋脚が流失して支えを失った橋げたは車の通過によって倒壊する

恐れがあります。本研究では、実際に橋梁被災が発生した際の河川水位の変化を参考に、実験中に流量パターンを変えた屋内開水路実験を行い、橋脚支持地盤の洗堀および地盤反力変化に着目した地盤工学的な橋脚の不安定化メカニズムの解明を試みました。

図1は本研究で使用した屋内水路の全景を示している。水路は延長14m、幅1.6mであり、この水路の上流・下流端に貯水槽を設けています。この貯水槽には実験前に水を貯め、下流貯水槽に設置した排水ポンプによって水を水路内に循環させました。模型橋脚は水路の中央部に設置しています。図2は実験に使用した模型橋脚と計測機器の様子を示しています。模型橋脚は軽量モルタル製であり、重量は約0.04kN、模型縮尺は1/30です。また、橋脚の基礎形式は直接基礎としました。模型橋脚側面部および上流部には実験中の水位や洗堀深を確認するための目盛線が印字されており、フーチング底面には実験中における地盤反力の変化を観察するために小型土圧計を埋め込みました。上述の試験装置を用いて橋脚の根入れ深さや流量を複数変化させた実験を行いました。

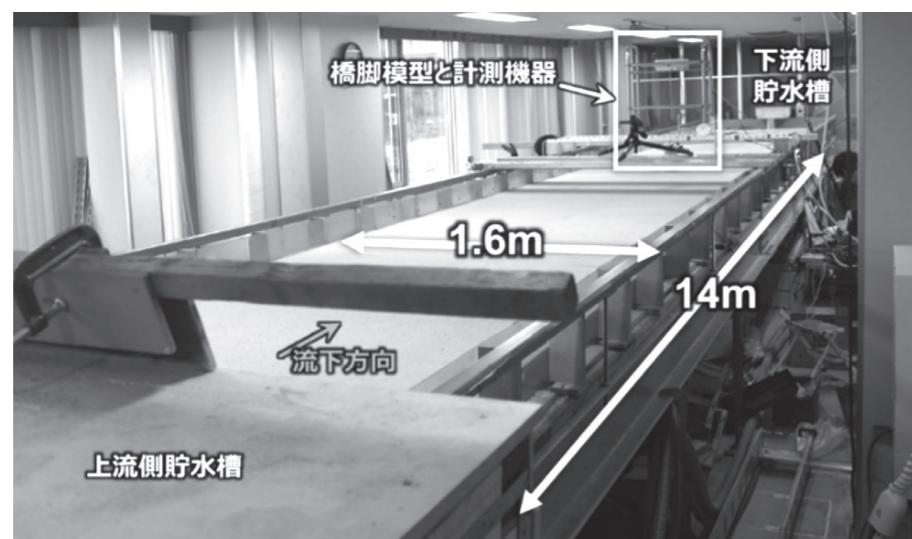


図1:洪水による橋脚の被災事例

図3は代表的な実験結果として、実験中に流量を変化させた際の地盤反力、橋脚変位の時間変化を示しています。経過時間t=5~7分において上流部と下流部のqが減少し、中央部のqが増加しており、それに伴ってdyが増加しています。t=8~10分で上流部と下流部のqがさらに減少するタイミングではdxが増加しています。すなわち、橋脚がわずかな変位を確認した段階では、qが中央部に集中し不安定な状態となっています。また、t=5~10分の間では、橋脚基礎底面の河床に敷いた上流部の色砂が流出していることを確認しています。橋脚の根入れが異なる複数の実験から、相対的に根入れ深さが小さい場合には、最初の最大流量で橋脚基礎底面の河床で洗掘が進行し、橋脚の変位が発生することを確認できました。一方で、2回目の河川水位上昇時にはq、dx、dyには目立った変化は確認できませんでした(図3)。これは最初の大規模な出水によって不安定化が進行したことで、それよりも規模が小さい外力条件では橋脚周辺での洗掘などの不安定化要因が助長されなかつたためと予想されます。

本研究は北見市・ダイヤコンサルタント・北見工大の共同研究による取り組みとして実施しました。記して深甚なる謝意を表します。

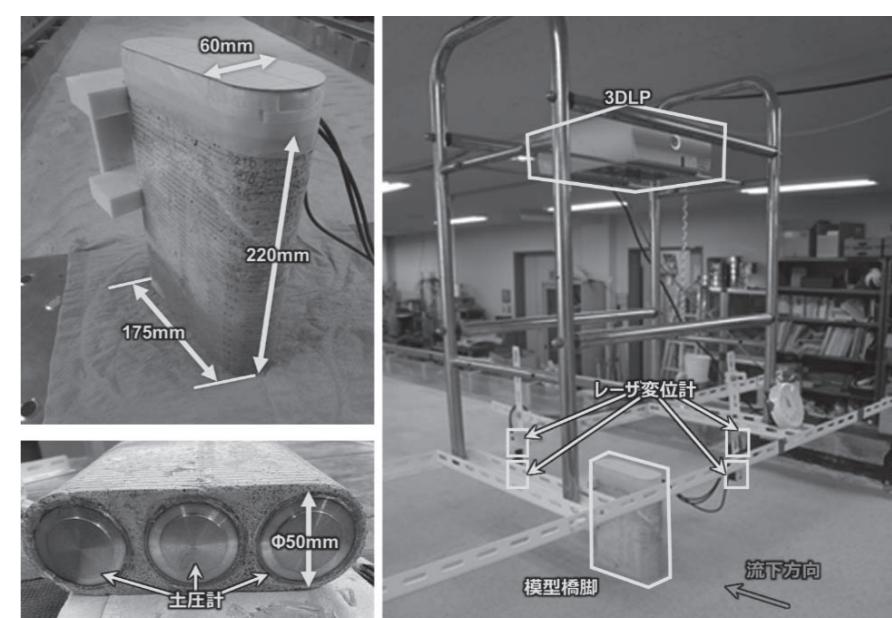


図2:模型橋脚とその設置状況

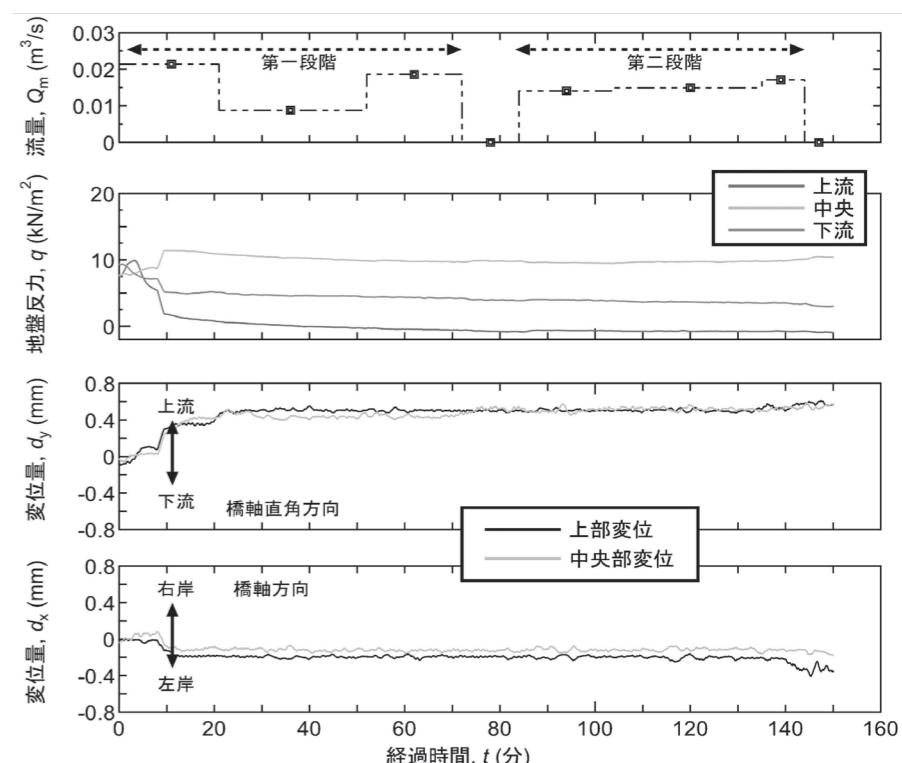


図3:実験中の流量、地盤反力、橋脚変位の時間変化

寒中における橋梁工事の効率化に資する耐寒グラウト材の開発



教授 井上 真澄 準教授 崔 希燮

Highlights

- 亜硝酸リチウムを用いた耐寒グラウト材の流動性と氷点環境下における強度発現性を明らかにしました。
- 開発したグラウト材はPCグラウト施工指針に定める品質基準を満足しました。

寒中のグラウト工事では、低温がもたらすグラウトの初期凍害や強度発現の遅れが問題となるためグラウト施工を避けざるを得ないケースが多いのが現状です。例えば、ポストテンション方式のPC構造物では、シース内に注入したグラウト中の水分が凍結膨張を引き起こし周辺躯体にひび割れを誘発する恐れがあります(図1)。寒中でグラウト施工を行う場合には、グラウトの凍結を防ぐために構造物全体や大部分を覆う大がかりな養生囲いを設けて給熱養生する必要がありますが、養生費が過大となります。また、橋梁の沓座基礎のグラウト工においても施工前にその土台となる橋台全体を予め給熱して暖めておく必要があり、寒中におけるグラウト工の困難さ故に春先まで工期を延期せざるを得ず、通年施工の大きな障害となっています(図2)。そこで本研究では、寒中におけるグラウト工の通年化に資する新たな方策として、“亜硝酸リチウム(LN)”の耐寒性に着目し、氷点下において特別な養生をせずとも凍結しない高機能なグラウトの開発に取り組みました。

まずLNを添加したセメントペーストを対象としてLN添加率を変化させた場合の流動性や練混ぜ直後から-10°Cの氷点環境下で養生した場合の圧縮強度に関する検討を行いました。LN添加率の増大によるフロー値の変化は小さく、良好な流動性が得られること(図3)、練混ぜ直後からの温度履歴よりLN添加率を高めることでペーストの凍結が抑制されて氷点環境下においても強度が増進することが

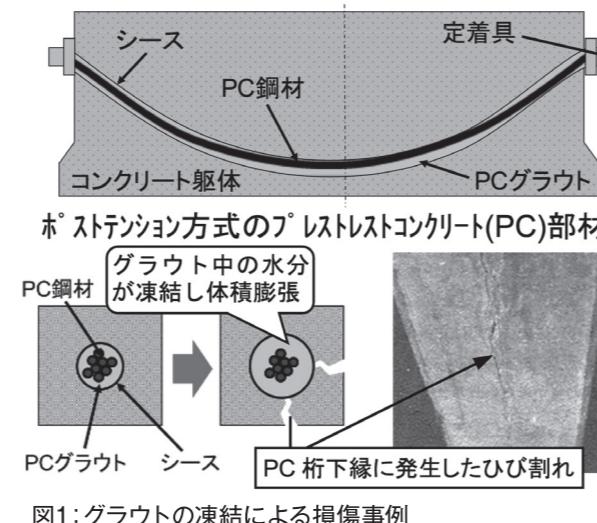


図1: グラウトの凍結による損傷事例

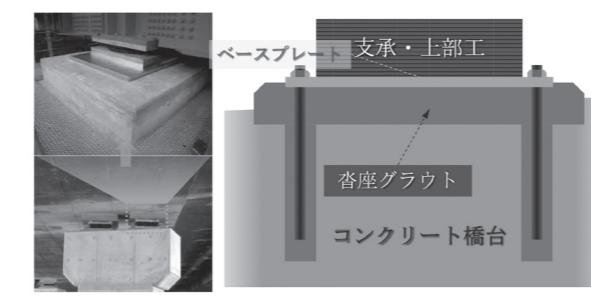


図2: 淀座基礎のグラウト工

確認されました(図4、図5)。また、LN無添加やLN添加率が低い場合には、フレッシュ状態下で凍結作用を受けてペースト中の水分が凍結を引き起こし、 $\phi 10\mu\text{m}$ 以上の粗大な空隙を形成していることも確認しました。氷点環境下でセメントの水和反応が遅延すると同時に、水の凍結により硬化体中に形成された不要な空隙が強度の著しい低下を招いたと考えられます(図6)。

次にLNを汎用されている2種類のグラウト材に添加した場合の品質を明らかにするため、PCグラウトの設計施工指針に準じて厳冬期(2月)の屋外環境下で各種の品質管理試験を行いました(図7、図8)。その結果、LNの添加の有無にかかわらず、いずれの品質管理試験結果も判定基準を満足しました。また、グラウト練混ぜ直後に試料を採取して $\phi 50\times 100\text{mm}$ のぶりき製軽量型枠に打込み、そのまま屋外環境下で封緘養生した結果、材齢28日における強度の判定基準(材齢7日以降28日までに 30N/mm^2 以上)を満足することを確認しました(表1)。

表1: PCグラウト品質管理試験結果

試験項目	試験方法	判定基準	高粘性型(H)			超低粘性型(L)		
			H-LN0	H-LN5	H-LN9	L-LN0	L-LN5	L-LN9
レオロジー(JP漏斗)	JSCE-F 531	14~23秒 3.5~6秒	22.8秒 —	15.7秒 —	15.2秒 —	— 3.6秒	— 4.9秒	— 4.7秒
材料分離抵抗性	JSCE-F 534	ブリーディングは認められない	ブリーディングは認められない	ブリーディングは認められない	ブリーディングは認められない	ブリーディングは認められない	ブリーディングは認められない	ブリーディングは認められない
ブリーディング率	JSCE-F 535	0.3%以下	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
体積変化率		-0.5~0.5%	0.0%	-0.3%	-0.3%	-0.5%	-0.3%	-0.3%
圧縮強度	JSCE-G 531	30N/mm^2 以上	20.5	48.5	41.6	26.3	65.8	55.3

なお、本研究は日本高圧コンクリート・日産化学・北見工大の共同研究により実施されました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

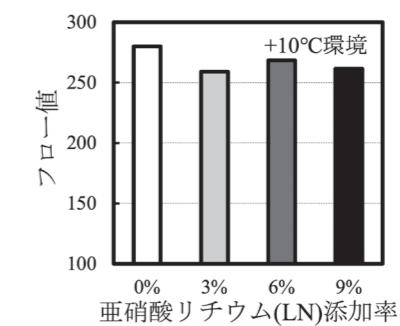


図3: フロー値

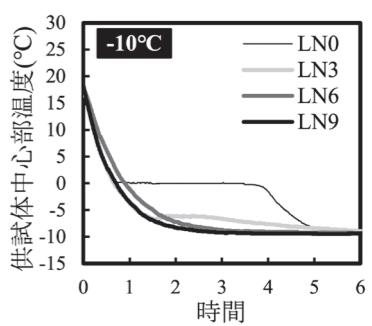


図4: 温度履歴

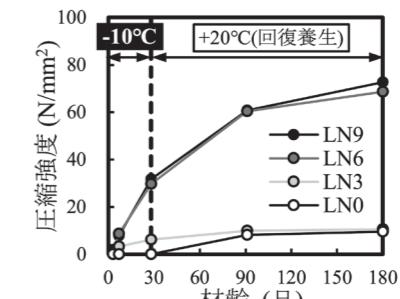


図5: 圧縮強度

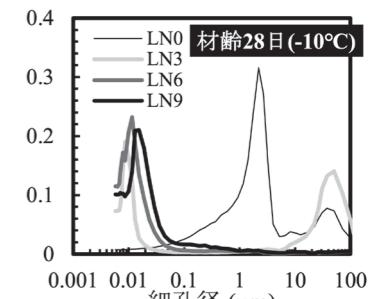


図6: 細孔径分布



図7: JP漏斗試験



図8: ブリーディング率および体積変化率試験

寒中における補修施工の効率性向上に資する耐寒補修材料の開発

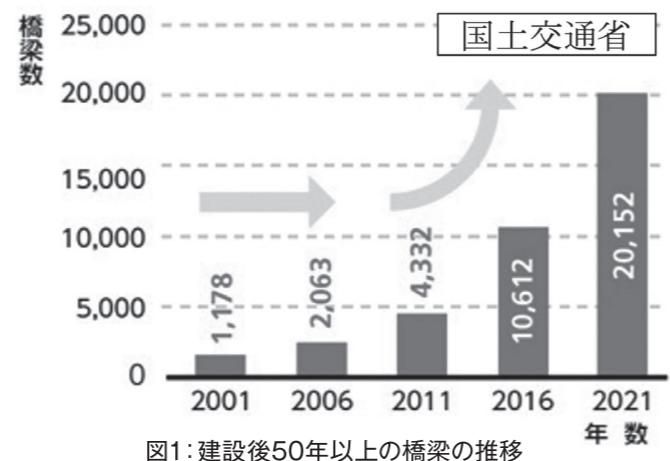


准教授 崔 希燮 教授 井上 真澄

Highlights

- 寒中におけるセメント系の補修材料に亜硝酸塩系の耐寒促進剤を添加することで耐寒性を有する補修材料の開発可能性を確認しました。
- 亜硝酸リチウムを用いて氷点下でも初期強度向上と変形制御を両立可能な補修材を開発しました。

北海道は冬季施工の水準が低く、国土交通省の統計によると我が国の橋梁などコンクリート構造物は劣化が進行しており補修施工が増えること(図1)から、冬期でも施工が行える補修材の開発が求められます。現在補修材にはポリマーセメントモルタルが用いられることが多いですが、冬期に施工した場合には初期凍害により期待した初期強度発現が発揮されない可能性があります。一方、亜硝酸塩系耐寒促進剤を添加すると、接水直後から水和反応を促進させ多量の水和物を生成し初期強度発現が得られますが、その添加量の増加は水和反応による水和物の増大とともに収縮変形が増大する恐れがあります。従って、低温環境下で耐寒促進剤を添加した補修材で補修施工を行う場合、良好な初期強度発現とともに収縮挙動を制御する必要があります。



そこで本研究では、冬期でも初期凍害を受けず、効率的な補修施工が行える新たな補修材の開発のため、亜硝酸塩系耐寒促進剤を添加したセメント系補修材が打込み直後から低温環境下に曝された際の強度発現性と変形挙動特性を水和熱の経時変化と空隙構造の観点から明らかにするため多角的な検討に取り組みました。検討条件としては、一般に断面修復工で使用する材料や配合を用い、耐寒促進剤には亜硝酸・硝酸カルシウム(CN)と亜硝酸リチウム(LN)の2種類を用いました。耐寒促進剤の添加量は現行の施工指針類を参考にし、標準添加(CN:1%、LN:0.8%)と多量添加(CN:5%、LN:4.2%)を選定し、氷点下(-5°C)での強度発現性と変形挙動特性の比較・評価を行いました。

まず氷点環境下における耐寒促進剤の種類や添加量の違いがセメント系複合材料の強度発現性

に及ぼす影響を明らかにするため、各ケースの温度履歴と圧縮強度の関係について検討を行いました(図2、図3)。その結果、耐寒促進剤を添加したすべてのケースで耐寒促進剤の添加量が多いほど凍結点降下の効果とともに接水直後からセメントや膨張材の水和反応が促進され、水和物の生成量が増加したことによる強度発現が得られたと考えられます。特に、LN4.2では凍結点降下の効果が極大化され、水和促進による全材齢において強度増進に繋がったと考えられます。しかし、耐寒促進剤無添加のNとCN1は、打込み後数時間から0°C付近で温度が停滞しており、材料中の水分の凍結による水和が遅延されたことで全材齢において強度発現が得られなかったと推測されます。

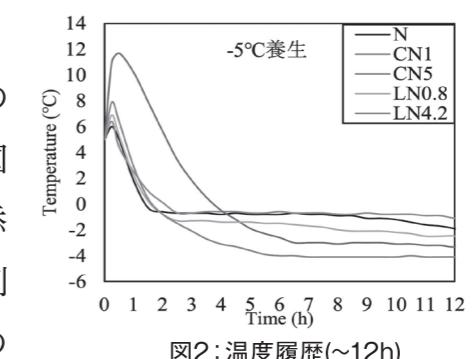


図2: 温度履歴(~12h)

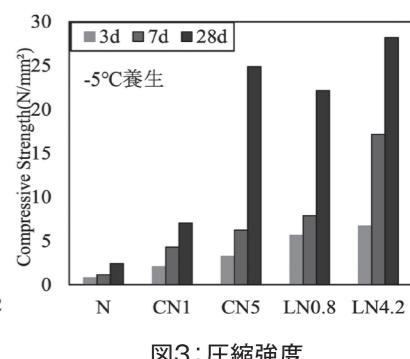


図3: 圧縮強度

次に、氷点環境下における耐寒促進剤の種類や添加量の違いがセメント系複合材料の変形挙動特性に及ぼす影響を明らかにするため、各ケースの変形挙動と空隙構造の関係について検討を行いました(図4、図5)。その結果、まずNとCN1は5~30μmに空隙帯が確認され、初期材齢から水分の凍結により体積が増えることで空隙が形成されたと推測されます。また、CN5は接水直後から亜硝酸イオンとセメント成分の反応促進により初期から水和物が多量に生成し0.05μm以下の空隙が増加したことで収縮が増加したと考えられます。一方、LNシリーズ(LN0.8、LN4.2)は接水直後から亜硝酸イオンとセメント成分の反応促進による初期に約500μmまで収縮する傾向を示しましたが、その後から凍結点降下の影響により、セメントと膨張材の円滑な水和促進ができたことで材齢28日時点まで膨張したと考えられます。

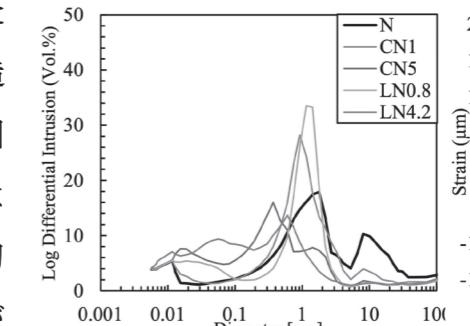


図4: 空隙構造(3日)

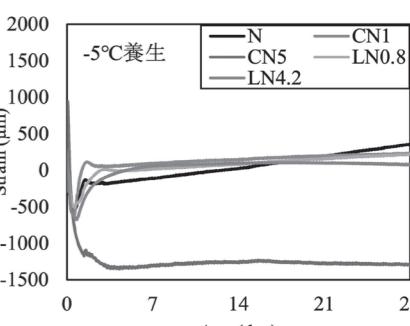


図5: 変形挙動

以上の氷点下(-5°C)における亜硝酸塩の種類や添加量の違いによる強度発現性と変形挙動特性の比較・評価より、耐寒促進剤の種類に関わらず添加量を増加すると凍結点降下の影響が大きくなり、特に亜硝酸リチウム(LN)の方が亜硝酸・硝酸カルシウム(CN)よりも相対的にNO²⁻とNO³⁻の残存量が多いため水和促進と変形挙動の制御に効果的であることが確認できました。本研究の範囲においては強度発現性と変形挙動に優位性がある亜硝酸リチウム(LN)が寒中補修施工の補修材として適切であると考えられます。

高速道路盛土の法面安定性に及ぼす地震動および津波の影響



センター長・准教授
川尻 峻三



部門長・教授
川口 貴之



准教授
中村 大

Highlights

- 記録的な降雨・地震・津波・河川増水を再現可能な実験装置を開発しました。
- 加振履歴のある高速道路盛土に対して津波が到達した際には、津波の第一波による盛土法面の変状・崩壊は今回の実験の範囲では確認できませんでした。

近年全国各地で地震が頻繁に発生しており、それに伴う津波被害の発生と拡大が懸念されています。2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では高速道路が津波の緊急避難所として利用されました。一方で、地震動を受けた高速道路盛土の法面、法肩に亀裂が発生することが報告されています。このような状態にある高速道路盛土に対して津波が作用した時に緊急避難所としての機能を維持できることや、長期時間越流時の盛土の損傷メカニズムについては十分な検討がされていません。本研究では、複合外力を再現可能な実験装置を開発し、縮尺比1/20高速道路模型盛土に対して地震動を与えた後に津波を作成することで、盛土の耐津波抵抗性について検討しました。

図1に本研究で開発した実験装置の概略図を示します。この実験装置は最大10m/s²の加振が可能な振動台と5mの水路を連結できるため、加振実験と開水路実験を1つの実験装置で行うことが可能です。水路上流には段波装置があり、貯水槽に貯める水の量と稼働堰の上昇速度により津波の流速を調整可能です。振動台に設置されている実験土槽の上部には最大時間雨量100mmの降雨が再現できる散水装置の取り付けが可能です。また、土槽および水槽の側面は強化ガラスとなっており、地盤構造物模型や波の変形状況が観察できるので、高速度CCDカメラを用いた画像解析より局所的な変位の計測可能です（図2）。図3は図1の装置の土槽内に作製した模型盛土の概略図を示しています。

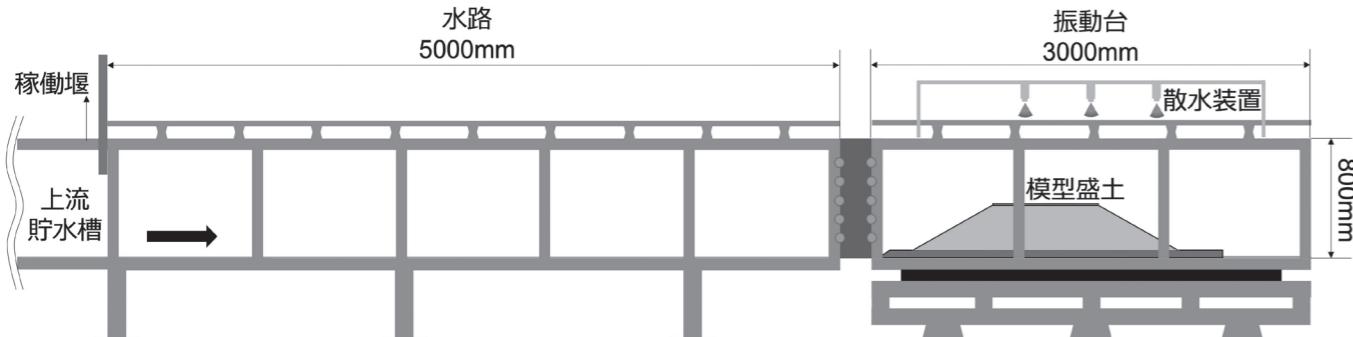


図1：開発した複合外力再現実験装置の概要

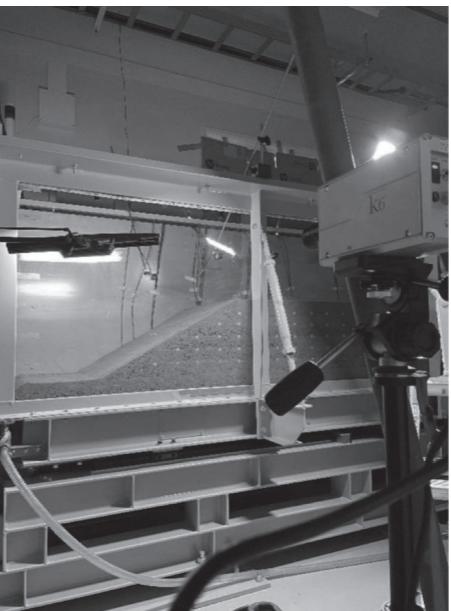


図2：実験の実施状況

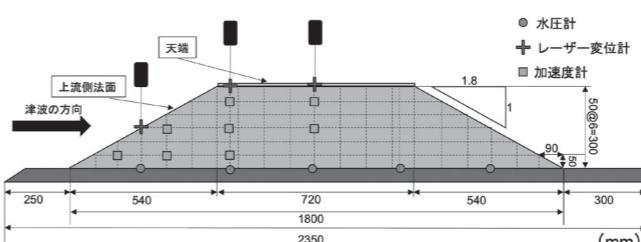


図3：模型盛土の概要

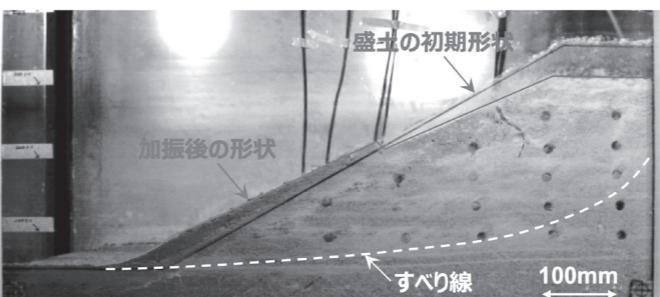


図4：地震後の盛土法面の状況

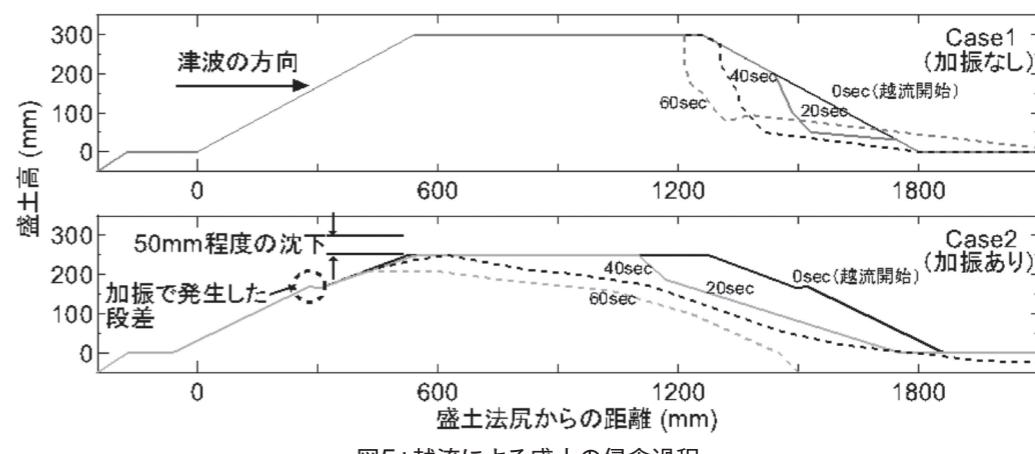


図5：越流による盛土の侵食過程

模型盛土は実物大における暫定2車線の高速道路を想定しており、これは津波浸水の可能性がある苫小牧市の道央自動車道と暫定2車線の後志自動車道を参考に設定しました。

図4は加振終了後の盛土法面の状況を示しています。5m/s²(=500gal)の加振時から盛土法面のクラック、天端の沈下が発生しました。このような初期損傷を受けた盛土へ津波を与えた際には、加振により発生したクラックからの水の侵入が予想されます。図5は津波第一波到達後の越流実験における盛土の浸食過程を示しています。加振履歴のある盛土では、加振履歴がない盛土よりも早い時間で浸食に至ることが判明しました。なお、津波の第一波による盛土法面の変状・崩壊は今回の実験の範囲では確認できませんでした。つまり、盛土が越流しない地域においては、地震初期の避難場所として高速道路盛土は一定の有効性があるということがわかりました。

本研究は令和3年度公益信託 NEXCO関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金およびJSPS科研費20H00266の助成を受けて実施しました。記して深甚なる謝意を表します。

災害時のTwitterを通じた 状況認識のための 分類ベース感情分析



研究補佐・修士課程1年
及川 佑人 準教授
准教授
教授
教授
Patainski Mihau
Tomoaki Kubo

Highlights

- 文書分類の技術により、ツイート内容を考慮した感情分析を実現しました。
- Twitterに対する感情分析で集団的な動搖を把握できることを確認しました。
- そのために着目すべき感情が災害の初期と後期で異なることが分かりました。

災害発生時のTwitterに着目する研究が数多く行われています。災害時においてはツイート投稿数が爆発的に増加するため、現地に居る複数の人物からリアルタイムな情報が得られます。そのため緊急の支援や意思決定が求められる状況下においては、テレビやラジオといったメディア、質問紙やインタビューといった回顧的な自己報告に基づく調査に代わる新たな情報源として、Twitterは注目に値します。極めて多くの人を対象とした調査が可能であることから、ツイートに含まれる感情を通じて集団的な動搖や災害の状況を把握することが期待できます。しかしこれまで行われてきた研究では、ツイートの投稿内容に対する考慮が十分ではありませんでした。収集されるツイートの全てが被災者による投稿とは限らないため、第三者的な立場から投稿されたツイートが混在した状態で状況認識を行わざるを得ませんでした。

そこで本研究ではより正確な状況認識を可能するために、機械学習による文書分類の技術を活用した分類ベース感情分析(Classification-based Sentiment Analysis: CSA)を提案し、その有効性を確認しました。提案手法ではまず、分析データを文書分類の技術により自動で分割します。次に、分割されたそれぞれのデータに対して感情分析を行います。これにより、人によるチェックを必要とせずに投稿内容の考慮を実現しました。この時、ツイートを自動で分類するための分類基準は「災害について直接体験した事実が記載されているか」とし、これを満たすツイートを集めて機械学習のアルゴリズムによって分類させました。

上記の提案手法を、2021年8月に発生した線状降水帯に関するツイートに対して適用し、その有効性を確認しました。感情分析にはML-Askを使用し、10種類の感情(喜・好・安・哀・嫌・怒・怖・恥・昂・驚)について自動で算出しました。

図1-3は、提案手法により得られた感情の変化割合を示しています。図1の昂、驚において頻出した具体的な感情語を確認したところ、昂では「不安定」が全体の39%、驚では「びっくり」が全体の60%

を占めていました。「不安定」が天気の形容に用いられ、「びっくり」が緊急アラートに対する反応に用いられていたことから、これらの感情が災害初期のネガティブな状況を表現していることが分かります。そして、このような傾向は「事実」のカテゴリに分類されたツイートにのみ見られました。

図2は、災害後期のポジティブな状況を表現していた感情を示しています。喜、安において頻出した感情語を確認したところ、喜では「晴れる」が全体の22%、安では「落ち着く」が全体の27%を占めています。「晴れる」「落ち着く」は、特に「事実」のカテゴリにおいて、天気の形容に用いられる傾向が顕著に見られました。人々の感情は災害の状況に連動して変化すると考えられるため、これらのツイートは人々の集団的な動搖や感情を表していると言えます。

図3は、「事実」と「その他」で割合や推移に大きな違いが見られなかった感情を表しています。嫌と怖の感情が、投稿者の属性や投稿内容に関わらず共通して現れる傾向が確認されたことになります。一方、その用法は両カテゴリで異なっていました。嫌の感情を表すツイートにおいて頻出した「大変」は、災害状況を形容する内容のツイートが「事実」においてより多く見られました。また、怖の感情を表すツイートにおいて頻出した「心配」は、身の回りを心配する内容のツイートが「事実」においてより多く見られました。

今回は、「災害について直接体験した事実が記載されているか」を分類の基準としました。提案手法は、異なる分類基準を用いても適用できる可能性があります。また、災害時において本手法を実用化するにあたっては、ツイートの収集から分類、可視化までを一貫して行うシステムが必要となります。このシステムによりツイートを継続的に収集、およびその中に含まれる感情をトラッキングすることで、災害時における新たな情報インフラとしての役割を期待できます。

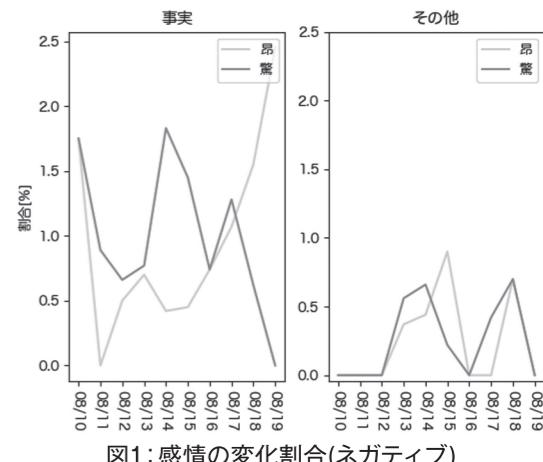


図1: 感情の変化割合(ネガティブ)

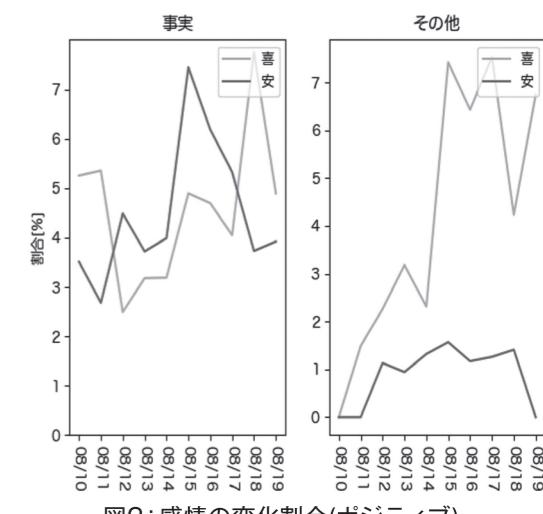


図2: 感情の変化割合(ポジティブ)

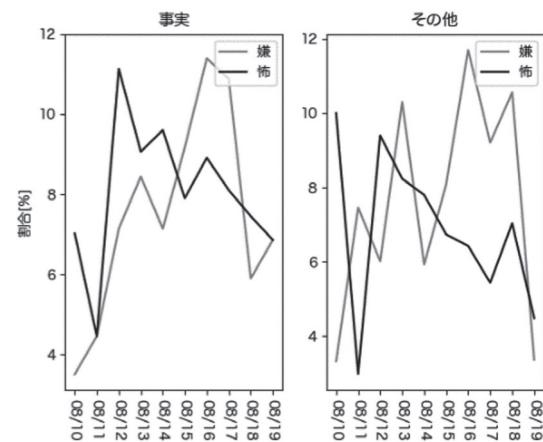


図3: 感情の変化割合(共通)

自治体間連携による地域特性を考慮した老朽化橋梁の戦略的維持管理システムの構築（2）



部門長・准教授
宮森 保紀

名譽教授
三上 修一

Highlights

- 老朽化が進む市町村管理の小規模橋梁のデータベース化を進めています。
 - 小規模橋梁に多数ある、プレテン中空床版橋の細分類を行いました。
 - 機械学習を用いてより容易に細分類が可能か検討しました。

老朽化が進行する橋梁に対して、合理的かつ効率的な維持管理体制の確立が喫緊の課題となっています。維持管理の基本となる橋梁点検は、2014年から5年に1度行うことが義務化され、点検データは今後さらに増加し蓄積されていく見込みです。本研究では、オホーツク地域に存在する橋梁点検データを対象に、高度で横断的な活用を目的としています。今年度は自治体管理の橋梁で多数ある、プレテン中空床版橋に着目して、規格ごとの細分類を行い、損傷の傾向を比較しました。

図1のようなプレテン中空床版形式は、初期には、各社が独自の断面形状のメーカー荷物枠を設計・製作していましたが、その後、建設省やJIS規格の標準設計が制定されて普及しました。本研究では、過去の設計・製造便覧や各社のカタログ資料から年代が特定できた計42型式について、製造年、支間長、桁高、底版幅、橋格の5つのデータから15,076通りの組み合わせを考え、表1のI～IVの4つの規格に細分類を行いました。対象橋梁はオホーツク管内の3自治体が管理する122橋で、自治体が管

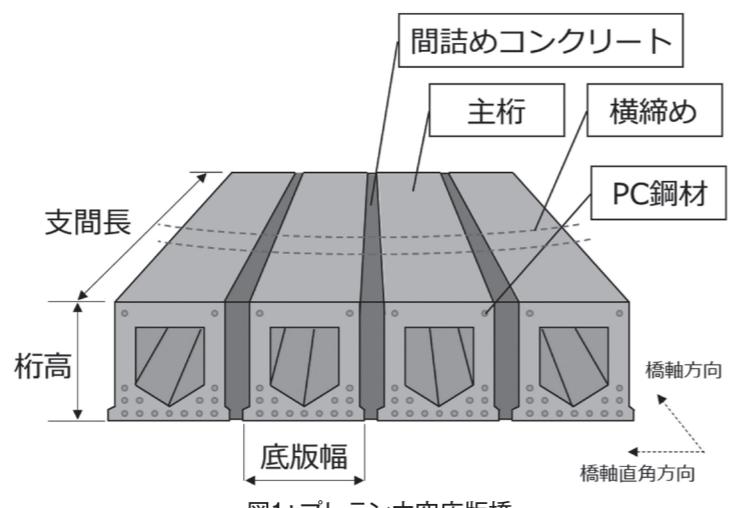


図1. ノレテン中空床版橋

表1: プレテン中空床版橋の細分類とニューラルネットワークによる分類結果

規格		製造年代	型式数	パターン数	分類結果	ニューラルネットワーク		
						学習データ	出力	正解率
I	メーカー木口一桁	1960頃～1996	36	13,354	21	80,124	18	76.2%
II	建設省標準設計	1975～1991	2	432	3	80,352	3	100%
III	JIS A 5313 ¹⁹⁹¹	1991～1995	1	170	9	80,070	13	88.9%
IV	JIS A 5313 ¹⁹⁹⁵ , JIS A 5373	1995～現在	3	1,120	52	80,640	51	98.1%
計			42	15,076	85	321,186	85	91.8%

理する点検報告書に記載されている橋梁諸元を、型式カタログと比較してしながら分類しました。

122橋のうち85橋は細分類ができました。Iが21橋、IIが3橋あることから橋齢50~30年ではメーカーholo一桁が多く使用されています。またIVが52橋あり、橋齢25年以下の橋梁が多い傾向にあります。37橋が分類できなかった要因は、桁高、下フランジ幅が点検報告書に記載されていないことや、複数の規格に該当したため

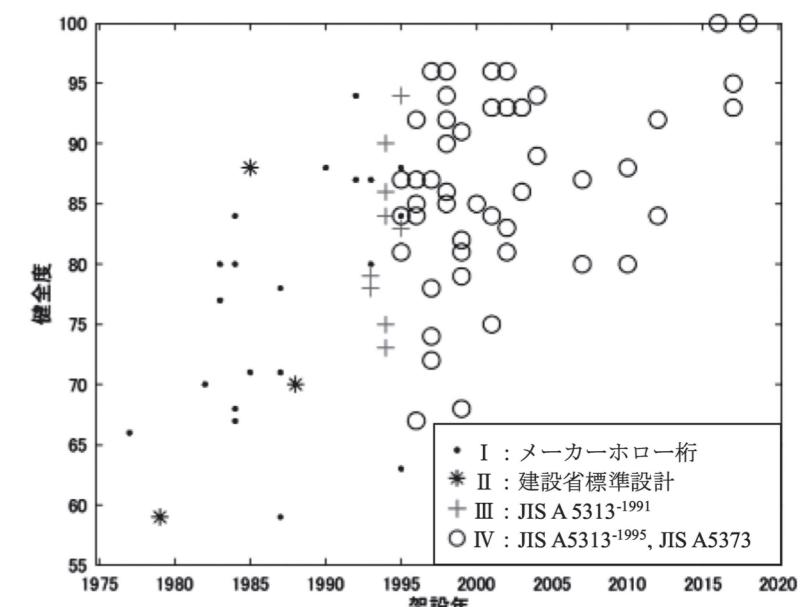


図2：規格ごとの架設年と健全度

今後、プレテン中空床版以外の他の形式も同時に分類する場合、分類方法が複雑になるためニューラルネットワークによる自動化を検討しました。上述の15,076通りの型式情報を学習データとし、学習モデルを構築し自動で分類させました。その結果、表1のように85橋のうち78橋が正しく分類され、全体の精度は91.8%でした。

細分類した85橋梁の88径間で損傷傾向を分析しました。本研究で使用する損傷データは、橋梁点検報告書内に記載されている点検結果を使用しました。図2は4つの規格の架設年と健全度の関係です。Iは全体的に健全度が低くなっていますが、橋齢50~30年であるため経年による老朽化が進行していると考えられます。II、IIIは橋梁数が少なく、損傷傾向の分析は現段階ではできませんでした。IVは橋齢25年以下の橋梁であるため健全度は高い傾向ですが、他の規格より健全度が低い橋梁もあり、その要因を今後詳細に調査することで、維持管理の注意点が見いだされる可能性があります。具体的な損傷の傾向は、Iでは漏水・遊離石灰が多く、IIは、床版のひび割れが全ての橋梁で確認されました。III、IVは、ともに剥離が発生しやすい傾向にありました。

今後は、PC鋼材、横締めなどの情報を追加し、分析対象とする橋梁数を増やし、損傷傾向を細かく比較することで、効率的な維持管理に役立てる予定です。

本研究の実施に際して、資料を提供いただいたPCメーカーの皆様と関係自治体の皆様に感謝いたします。

実大実験によるジオセルの路盤補強効果に関する検討

部門長・教授
川口 貴之准教授
中村 大

Highlights

- ジオセルの路盤補強効果によってわだち掘れが抑制されることを確認しました。
- 不織布と併用することで、わだち掘れの抑制効果に及ぼす中詰め材の影響が小さくなる可能性が明らかになりました。

ジオセルとは、展開すると立体ハニカム構造となるジオシンセティックス補強材です。路盤補強として活用した場合には、中詰め材の拘束によって板状構造体となることによって、支持力向上、沈下抑制、応力分散などの効果が発揮されると考えられています。しかしながら、この路盤補強効果にはジオセルの高さや大きさや、中詰め材の土質、底面に敷設する補強材の有無など、多くの因子が影響するため、詳細な補強メカニズムについては不明な点が多く残っています。

そこで本研究では、ジオセルを災害時の復旧工事用道路や軟弱地盤上に構築する農道や林道などに適用することを想定し、特に併用する不織布の効果や中詰め材の違いによる影響に着目した実大道路における走行試験を実施しました。

写真1は施工や走行試験の様子です。また、表1は11.8tダンプトラックによる走行試験を行った全5ケースにおける補強方法の違いをまとめたものです。各ケースは幅4m、延長12mとし、予め0.6mだけ掘り下げた部分に高さ0.45mの粘性土を敷均して転圧し（以下、路床部）、その上に条件の異なる高さ0.15mの路盤を構築しました。なお、ジオセルの中詰め材には碎石C-40と砂質土の2種類を使用しま



写真1：施工や走行試験の様子

した。また、路床部の転圧後と走行試験後には、路床部に対するポータブルコーン貫入試験を行いました。さらに、路盤部を構築してから12日間養生し、0.6tハンドガイドローラーによる2回転圧を行った上で、12往復の走行試験を実施しました。なお、試験前後には各ケースのわだち掘れを比較するため、UAV-SfM測量を行いました。

図1はポータブルコーン貫入試験より得られた路床部のコーン指数を比較したものです。試験後のコーン指数については、ケースAを除いて養生前よりも大きく上昇していることが分かります。これは養生期間や路盤の構築によるものと考えており、ケースAの上昇量が小さいのは傾斜によってケースA側に集水していたためと考えています。

図2はUAV-SfM測量から得られた各ケース中央における走行試験前後の表面形状を比較したものです。図中には、わだち掘れ量と定義した車輪間の路面で最も高い部分と車輪直下に相当する路面で最も低い部分との差も示しています。ジオセルと不織布のあるケースCでは、無対策であるケースEにおけるわだち掘れ量の概ね1/2程度となっていることが分かります。また、ケースBとDを比較すると、ケースBの方が幾分小さいことから、わだち掘れの抑制にはジオセルの方が寄与していると考えられます。

さらに、ケースAのわだち掘れ量は、コーン指数が他のケースよりも小さかったにもかかわらず、ケースBと同程度であることが分かります。このことから、わだち掘れの抑制効果に及ぼす中詰め材の影響は比較的小ないと解釈できます。これについては底面に不織布があることが大きいに影響していると考えていますが、中詰め材に現地発生土を使用することができれば、大幅なコスト削減につながるため、今後も詳細に検討ていきたいと考えています。

表1：走行試験条件に関するまとめ

	ケースA	ケースB	ケースC	ケースD	ケースE
ジオセル	有	有	有	無	無
路盤材	砂質土	C-40	C-40	C-40	C-40
不織布	有	無	有	有	無

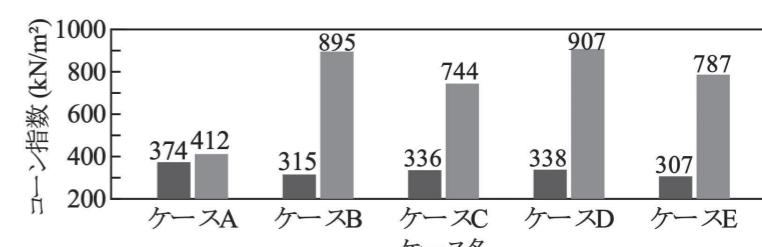


図2：路床部におけるコーン指数の比較

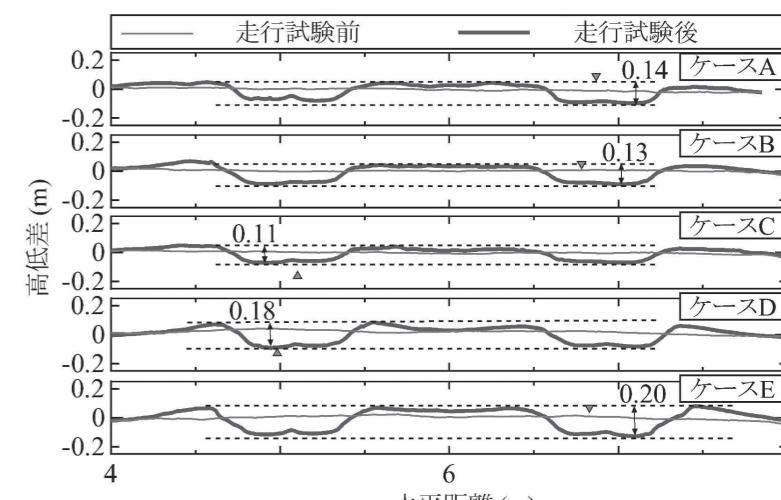


図3：走行試験前後の表面形状の比較

植生工の雨滴に対する 侵食防止効果を評価 するための試験方法の開発

Highlights

- 土の侵食抵抗は草本植物の根系や茎葉によって増大し、侵食深が大幅に小さくなることが明らかとなりました。また、開発した試験方法が、植生工の侵食防止効果を評価する方法として、有効であることが確認できました。



准教授 中村 大
センター長・准教授 川尻 峻三
部門長・教授 川口 貴之

近年、我が国ではゲリラ豪雨や台風に伴う集中豪雨で、のり面崩壊や堤防の決壊などの災害が多発しています。地球温暖化に伴う急激な気候変動を鑑みると、北海道ののり面や河川堤防といった土構造物も、本州同様に豪雨による侵食や崩壊、決壊の危険性が年々高まっており、北海道の土構造物の豪雨に対する耐力を向上させていくことは喫緊の課題であると言えます。

豪雨による土構造物の崩壊を予防する手段としてはのり面保護工が有効で、北海道では自然環境に配慮して、植生工が優先的に採用されています。植生工はのり面に植物を繁茂させ、根系を侵入させることで表層地盤を補強する工法で、雨水による侵食を防止する効果が期待できます。しかし、植生工の侵食防止効果を定量的に評価する手法が確立されていないこともあり、植生工でどの程度の降雨や流水に耐えることができるのかといった基本的な疑問も多く存在します。

そこで本研究では、植生工に期待される補強効果のうち、雨水による侵食の防止効果を定量的に評価できる試験方法を開発することに取り組みました。供試体には土試料に播種して植物を生育し、根系を発達させた植生供試体を用いています。ここでは、茎葉部をカットしたものと(写真1(a) 根系含有土供試体)と茎葉部を残したもの(写真1(b) 茎葉部有土供試体)で実験を行いました。

図1は本研究で用いた侵食抵抗試験装置です。供試体は上下を逆にして上端面が下方に向くように供試体ホルダーに設置し、水は下方の噴射ノズルから供試体上端面に対して直角に噴射しています。試験後にはX線CTスキャンを行い、供試体内の侵食状況を非破壊で

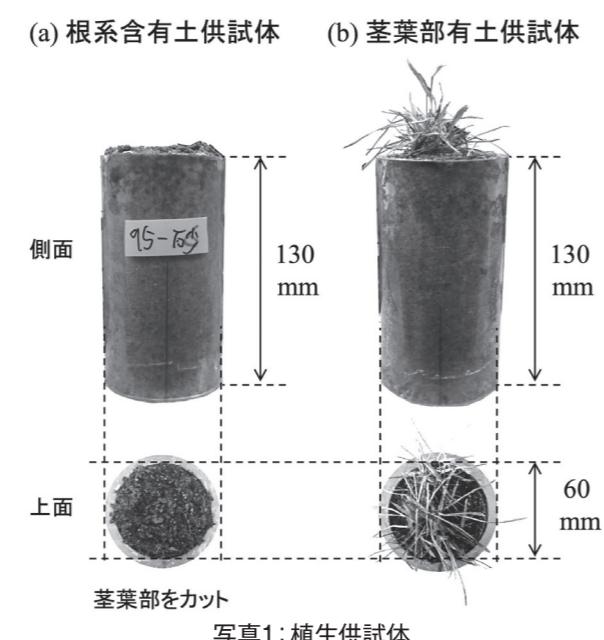


写真1: 植生供試体

観察し、得られた画像から侵食深や侵食速度を求めました。

図2は侵食抵抗試験前後のX線CTスキャン画像です。この画像では土を灰色、侵食できた空洞を黒色で表しています。まず、根系がない供試体(図2(a) 土供試体)に着目すると、侵食は水流の方向に直線的に進行しており、最終的に貫通していることがわかります。次に、根系を含む供試体(図2(b) 根系含有土供試体)に着目すると、侵食が供試体中央付近で止まり、貫通していません。さらに、茎葉がある供試体(図2(c) 茎葉部有土供試体)では、侵食が供試体上部で止まっており、根系含有土供試体よりも侵食深が浅いことがわかります。

図3は最大侵食速度と根系乾燥質量の関係を表したもので、図中には土供試体(○)と根系含有土供試体(□)の試験結果から求めた近似線も示しています。侵食速度は根系量が多くなるに従って減少しており、根系が発達した供試体ほど侵食抵抗が大きくなっていることがわかります。また、茎葉部有土供試体は近似線よりも下方に外れてプロットされていて、侵食深が小さいことから、茎葉は大きな侵食防止効果を有していることがわかりました。

以上の研究成果については、本学大学院生が第52回日本緑化工学会大会で論文発表を行い、優秀発表賞を受賞しました。

五郎部生成、中村大、川尻峻三、川口貴之、中陳実咲希、宗岡寿美：植生工の雨滴に対する侵食防止効果の新たな評価手法の検討、日本緑化工学会誌、Vol.47、pp.57-62、2021。

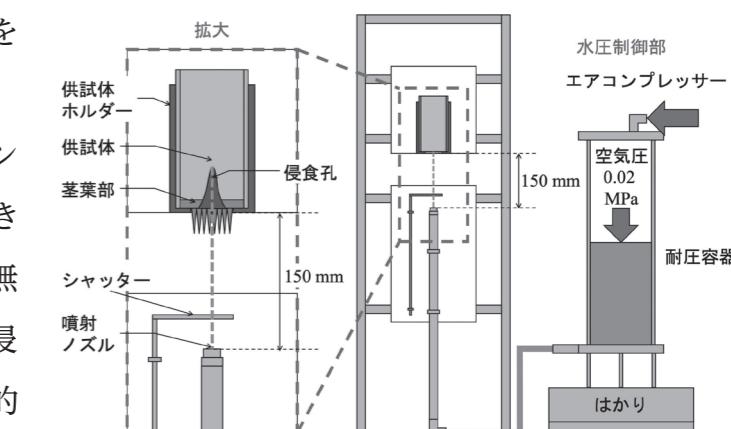
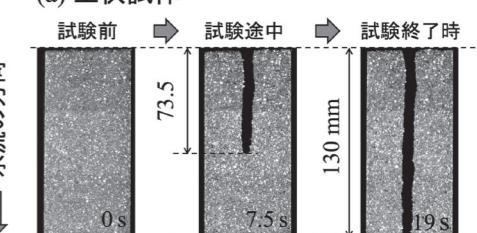
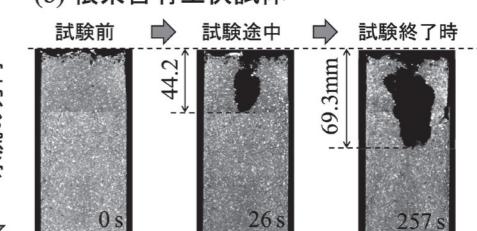


図1: 侵食抵抗試験装置

(a) 土供試体



(b) 根系含有土供試体



(c) 茎葉部有土供試体

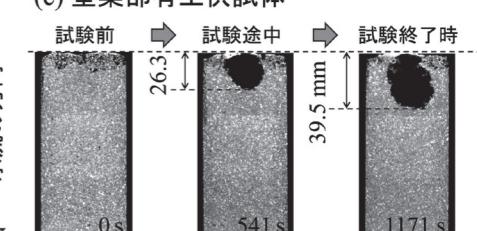


図2: 侵食抵抗試験前後のX線CTスキャン画像

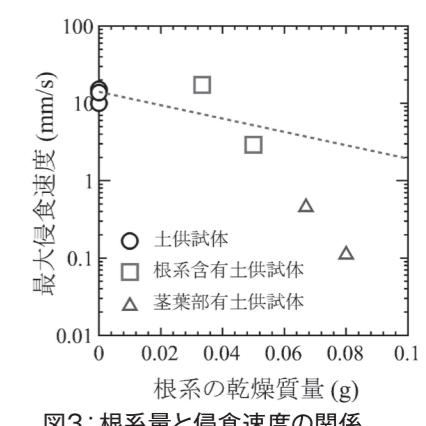


図3: 根系量と侵食速度の関係

水位上昇時の浸水過程に関する水理実験



准教授 白井 秀和 教授 早川 博

Highlights

■ 様々な水位が上昇速度を想定した浸水実験を行いました。その浸水実験結果から、水位の上昇速度と浸水距離との関係について整理することで、その基本的な浸水特性を明らかにしました。

2011年3月の東北地方太平洋沖地震では、津波により仙台平野などの内陸にまで浸水し大きな被害をもたらしました。また、近年では、記録的豪雨に伴う浸水被害も各地で報告されています。このような浸水被害は、浸水が開始する地点における水位の上昇速度によって、その規模が変わると考えられます（図1）。このことから、水位上昇速度と浸水距離（浸水範囲）との関係を明らかにすることは、規模に応じた適切な対策や避難行動の指針の策定などを行う上で重要となります。そこで、本研究では、様々な水位上昇速度を想定した浸水実験を行い、浸水過程の基本的な特性の把握を試みました。

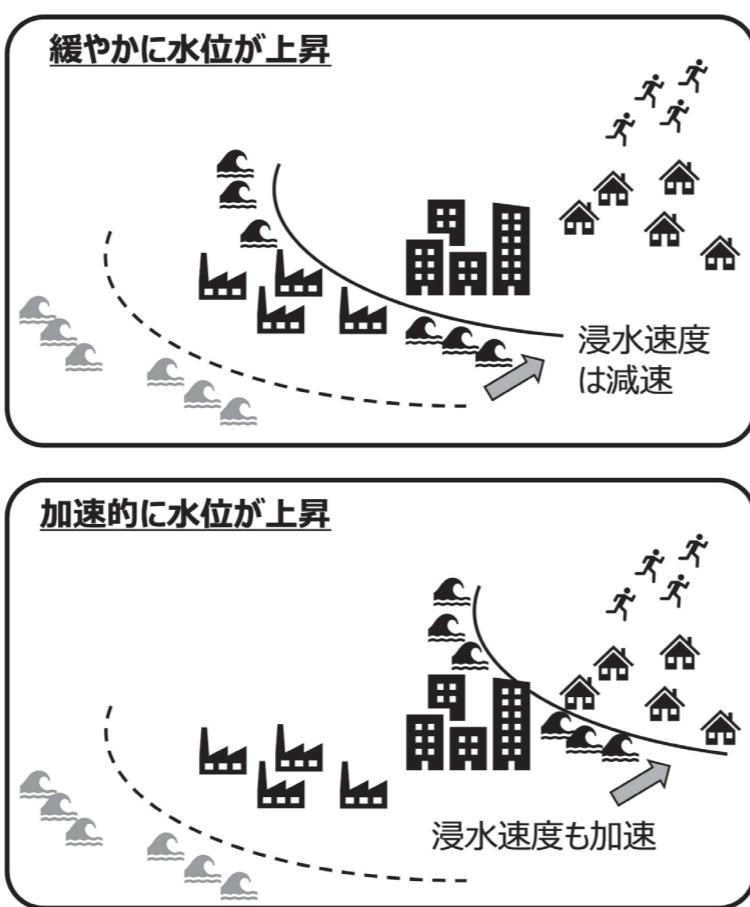


図1:水位上昇速度による浸水過程の違い

浸水実験には、北見工業大学の総合防災実験システムを利用しました。本システムには、段波装置を設置した水平な開水路があり、この水路の段波装置のゲートの上流側に水を貯め、ゲートを上げることで浸水を再現しました（図2、3）。このとき、様々な水位上昇速度での浸水を想定するために、ゲートの上昇速度を変えた20ケースの浸水実験を行いました。これらの20ケースは大きく分けると、浸水開始地点における水位が、緩やかに上昇するケースと加速的に上昇するケースになります。この実験の結果、既往の研究で理論的に導出されている

2つの浸水過程（圧力-摩擦過程と慣性-圧力過程）が再現されることが確認されました。このとき、水位が緩やかに上昇する場合は、圧力-摩擦過程で浸水が進行し、水位が加速的に上昇する場合は、慣性-圧力過程で浸水することがわかりました（図4、5）。水位が時間tに関して、 $h = \alpha t^a$ で上昇すると仮定すると、この過程の境は理論的に $a=1.2$ の時と考えられるのですが、実験での20ケースのパターンでもその境で浸水過程が変わることが実証されました。

以上のように、本研究で行われた浸水実験から、水位の上昇速度によって、異なる二つの浸水過程が表れることがわかりました。また、これは、既往の研究で導出された理論特性を実証したことになります。ここで実証された特性から、水位上昇速度を調べれば、津波や洪水氾濫に伴う浸水過程において、浸水が加速的に進んだのか、それとも減速していくのかを簡易かつ迅速に把握することができることになり、災害後の状況把握や今後の浸水対策への知見になることが期待されます。

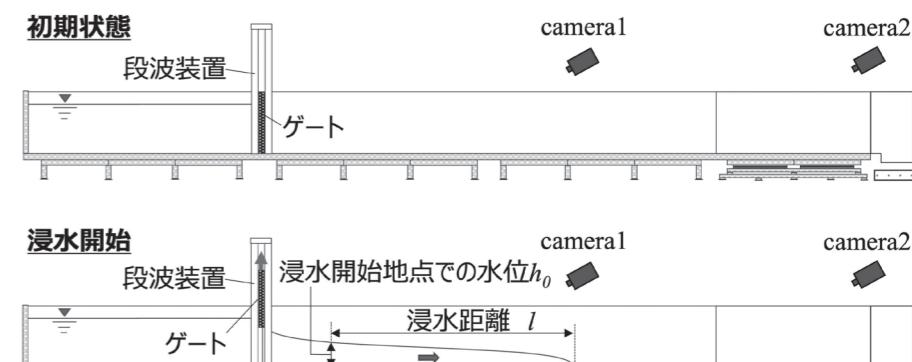


図2:浸水実験の概要（上：初期状態、下：浸水開始時）



図3:浸水実験の様子

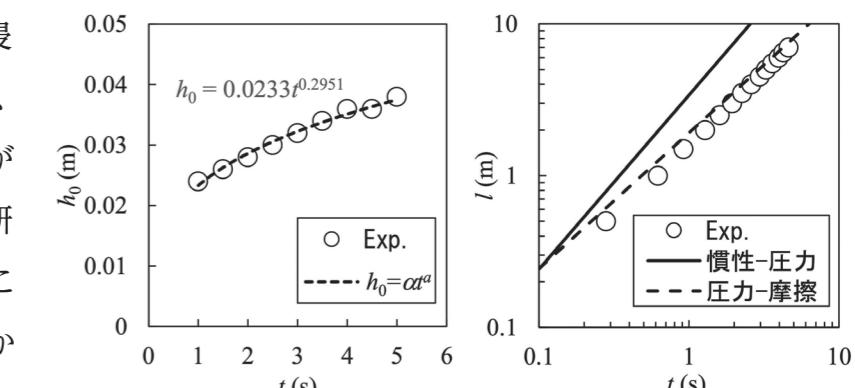


図4:緩やかに水位が上昇する場合（左：水位、右：浸水距離の時系列）

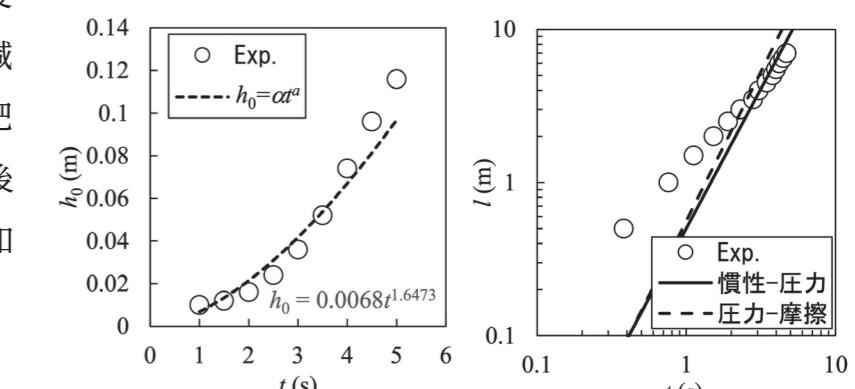


図5:加速的に水位が上昇する場合（左：水位、右：浸水距離の時系列）

水理実験による アイスジャム現象の解明



准教授
吉川 泰弘

Highlights

- 総合防災実験システムにおける水理実験を開始しました。
- 漸縮部・堰・橋脚部におけるアイスジャム現象に関する知見を得ました。
- アイスジャム現象を河水の滞留と河水の集積に区分することが出来ました。

2018年3月8日から9日にかけて、温帯低気圧が発達しながら北海道を通過し、道内全域に大雨と気温の上昇をもたらしアイスジャムが発生しました。アイスジャムとは、河川の氷が河道内に堆積する現象です。このアイスジャムにより、道内各地で急激な水位上昇を引き起こし、被害が発生しました。北海道の美瑛町から旭川市に流れる辺別川では、河川内工事を行っていた会社員が流下してきた河水に埋もれてしまう事故が発生しました。辺別川では上流から河道内砂州、堰、橋脚部があり、500m以内にアイスジャム発生危険箇所が存在しています（図1）。

本研究は、アイスジャム現象の解明のために、辺別川の危険箇所の漸縮部、堰、橋脚部を想定した水路を作製し、漸縮部、堰では実氷・ポリプロピレンを用いたアイスジャム実験を実施しました。橋脚部では、より実河川の現象に近い氷板と晶氷が混在する条件のアイスジャム実験を実施しました。一例として、水理実験概要を図2に、アイスジャム発生状況を写真1に示します。

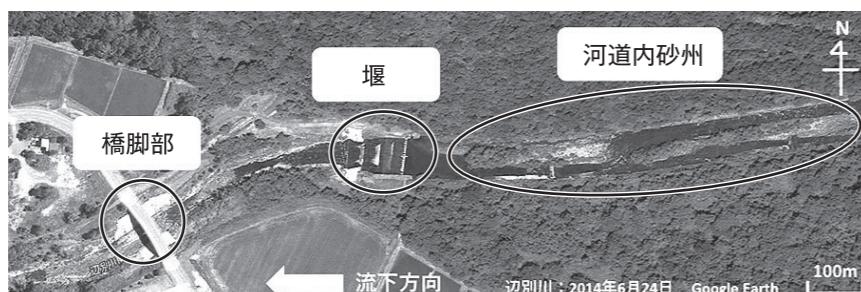


図1：アイスジャム発生周辺（辺別川）

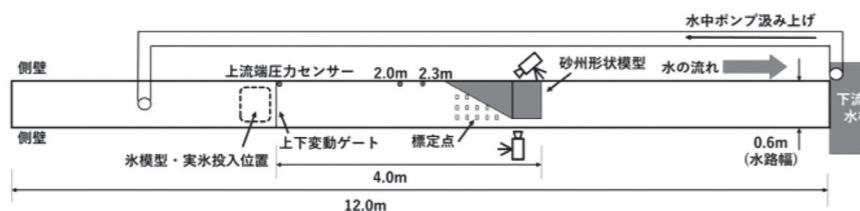


図2：漸縮部を有する水理実験概要

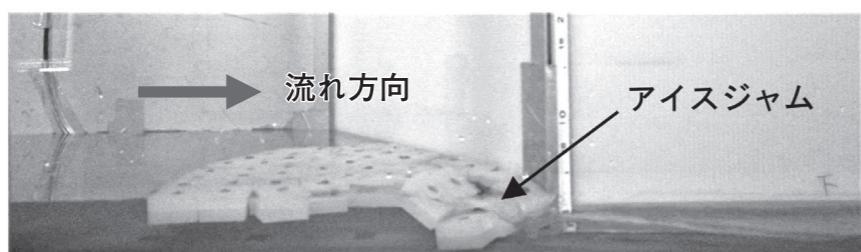


写真1：アイスジャム発生状況（漸縮部を有する水理実験）

本実験により得られた各箇所での成果は以下となります。

● 漸縮部における実氷・ポリプロピレンを用いたアイスジャム実験では、最大水深比と実氷の平均長辺との関係が示唆されました（図3）。なお、最大水深比とは、初期水深に対する最大水深の比です。アイスジャム発生箇所でさらに最大水深比が大きくなる条件と

して、氷塊の空隙率が小さくなる（通水面積が小さくなる）条件が挙げられました。このような条件は、流速が速い条件であり、実氷同士が集積する状態が考えられます。

● 堤における実氷を用いたアイスジャム実験では、実氷枚数が多いほど、水深比は上昇し、実氷の到達速度が速くなり、氷塊の氷厚が厚くなる結果が得られました。投入する氷体積が同一の場合、水深比の上昇量は同一になりますが、アイスジャムの発生と非発生については、実氷の形状の影響が大きいことが分かりました。また、氷厚が限界水深よりも大きい条件では、アイスジャムが発生しました。

● 橋脚部における氷板と晶氷が混在するアイスジャム実験では、晶氷を含む場合は流下する氷板の下に晶氷が堆積して氷同士が固着し大きな塊として流下し、形状抵抗が大きくなることが推察されました。橋脚に堆積する際に、氷板のみの実験では上流方向へ弧を描くようにアーチ状に氷塊が形成し、氷板と晶氷が混在する実験では横断面方向と並行して直線的に氷塊が形成しました。

本実験結果から、アイスジャム現象を以下の2つに区分することが出来ました。

1. 河冰の滞留の条件（滞留では氷が停止します）

- ① 漸縮部実験：氷のサイズ（長辺・短辺） > 水路幅
- ② 堤実験：氷の厚さ > 限界水深
- ③ 橋脚部実験：氷サイズと橋脚間の幅との関係

2. 河冰の集積の条件（集積では水深が上昇します）

- ① 漸縮部実験：氷サイズが大きい氷が多く、流速が速い。
- ② 堤実験：水量が多い。水量と流速が同じ場合では集積も同程度
- ③ 橋脚部実験：氷板と晶氷が混在する条件では空隙が小さくなり集積

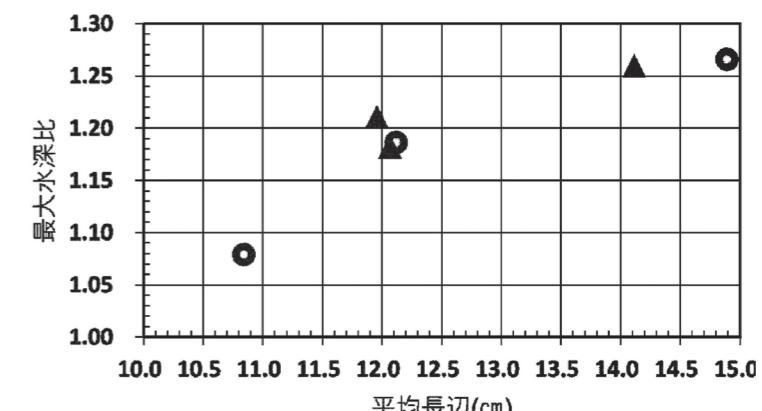


図3：氷の平均長辺と最大水深比（漸縮部を有する水理実験）

貯水位変動を考慮したため池の安定解析



部門長・教授
川口 貴之

センター長・准教授
川尻 峻三

Highlights

- 貯水位変動を踏まえた非定常浸透流解析した堤体の安定解析を行いました。
- 非定常浸透流解析した堤体の安全率は定常解析した場合と大きく異なり、実際の貯水位変動を踏まえた非定常浸透流解析の有用性が明らかになりました。

東日本大震災や平成30年7月豪雨の際、ため池の決壊によって甚大な被害が生じました。これを契機として、北海道でも「防災重点農業用ため池」が指定され、耐震性調査や耐豪雨性調査などが順次進められています。この耐震性調査では、円形すべり面スライス法（フェレニウス法）によって非洪水時の貯留最高水位（以下、常時満水位）や、その水位を緊急放流計画水位まで急降下（以下、水位急降下）させた際の地震時における安定解析が実施されています。しかし、貯留水位の変動に伴う堤体内水位の変化は明らかでない場合が多いため、常時満水位時における堤体内水位はキャサグランデ法によって高く設定される場合が多く、算出される安全率が必ずしも実際の地震時安全性を表していない可能性があります。

そこで本研究では、道内にある防災重点ため池に該当する農業用ダム（堤高17.5m、貯水量60万m³）を対象として、常時満水位での定常浸透流解析と、実測の堤体内水位を再現した非定常浸透流解析を行った堤体に対して安定解析を実施し、安全率の違いを比較しました。

図1は常時満水位で実施した定常浸透流解析後に安定解析し、上流側において最小安全率と判断したすべり面を示したものです。また、表1は定常浸透流解析をした堤体に関する上流と下流における常時と地震時の安全率をまとめたものです。常時・地震時ともに上流側の満水位から緊急放流計画水位まで急降下（以下、水位急降下時）した際の

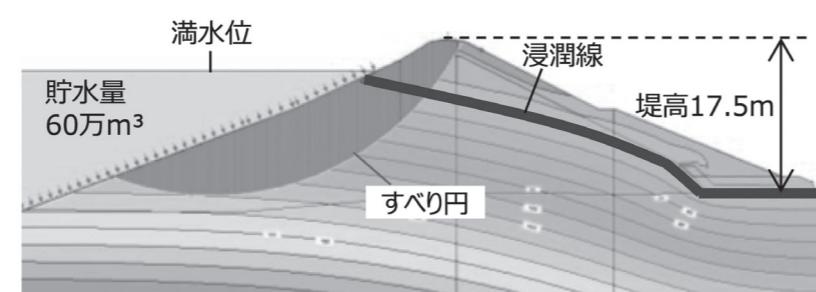


図1: 安定解析結果（定常浸透流解析）

表1: 安全率のまとめ（定常浸透流解析）

定常解析	常時(Kh=0.00)		地震時(Kh=0.15)	
	上流	下流	上流	下流
常時満水時	1.88	1.49	1.02	1.02
水位急降下(0.075)	0.72	1.50	0.56	1.22

安全率は1を下回っています。

図2は本ため池で観測された19年間の貯水位の内、代表的な1年間の水位を示したもので、毎年春に貯水し、秋に低下（放流）させることを繰り返していました。そこで、この貯水位履歴を数十年分与え、堤体内水位が観測されている期間中の実測と解析結果が同様となるように、上流側の張りブロックや堤体の透水係数を変化させて非定常浸透流解析を実施し、それぞれの透水係数を決定しました。

図3は上記の非定常浸透流解析後に安定解析し、上流側において最小安全率と判断したすべり面を示したものです。表2は非定常浸透流解析した堤体に関する上流と下流における常時と地震時の安全率をまとめたものです。いずれの安全率も表1に示した値よりも大きいことが分かります。また、安全率が1を下回るのは水位低下直後の地震時のみであり、常時は1を超えていました。図2から分かるように、実際のため池では秋に水位急低下に相当するような貯水位変動があるにも関わらず、実際には崩壊・変状していない事実を考慮すると、先述した定常浸透流解析結果よりも実際の安全性を良く表現していると考えられます。

非定常浸透流解析を実施しても地震時には1を下回っており、下流側の常時満水時も現行の設計基準である1.2を下回っていますので、最終的には改修が必要になると予想されます。しかし、実際の貯水位変動を踏まえた非定常浸透流解析を行うことで安全率は大きく変化しているため、改修範囲や改修規模が変化する可能性があります。以上のことから、耐震性調査や改修に関する優先順位決定の際には、このような実際の貯水位変動を考慮した非定常浸透流解析を実施することは有用と考えられます。

なお、本研究は北海道農政部農村振興局農村整備課の多大なる協力の下で実施したものでした。ここに記して深甚なる謝意を表します。

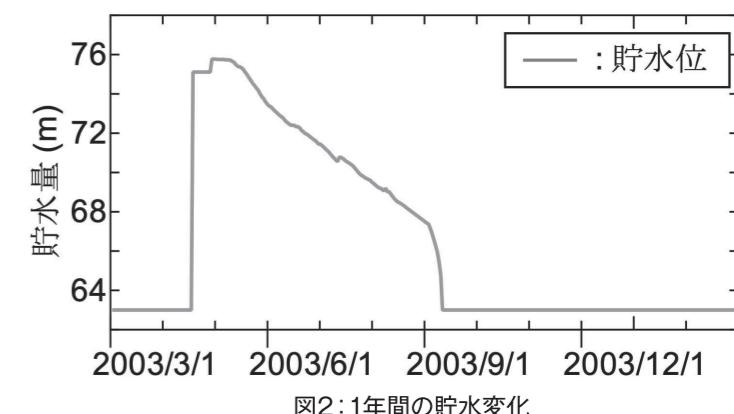


図2: 1年間の貯水変化

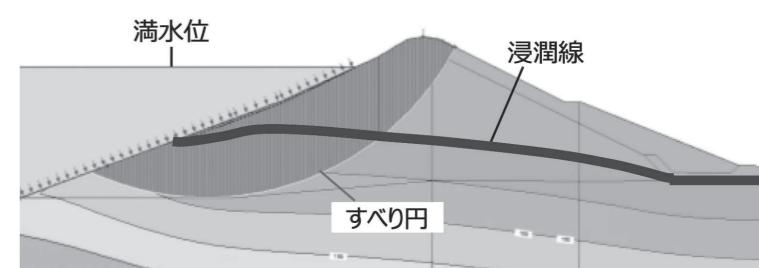


図3: 安定解析結果（非定常浸透流解析）

表2: 安全率のまとめ（非定常浸透流解析）

非定常解析	常時(Kh=0.00)		地震時(Kh=0.15)	
	上流	下流	上流	下流
常時満水時	3.32	1.73	1.87	1.18
水位急降下(0.075)	1.17	1.73	0.93	1.41

北海道東部における河川堤防の降雨浸透挙動の解明に関する現地観測



センター長・准教授
川尻 峻三

アドバイザー・教授
渡邊 康玄

Highlights

- 北海道東部の3流域の河川堤防において降雨時の浸透挙動を解明するための現地観測を行いました。
- 降雨浸透は降雨波形に加えて、堤体土質の影響を受けることがわかりました。

降雨に対する土砂災害の免疫が小さい北海道では、今後の気候変動による降雨量の増加は現状の堤防にとって河川水位の上昇に匹敵する外力となる可能性があります。しかし、降雨波形が堤体内水位の上昇過程や浸潤線の移動速度に及ぼす影響など、基本的なことすら不明な点が多いのが現状です。そこで本研究では堤防への降雨浸透機構を明らかにし、気候変動の影響を考慮した堤防の設計や耐力評価時における降雨量設定の考え方の提案を目指しております。その基礎的な検討して、令和3年度は本研究の根幹となる現地堤防での観測をスタートさせ、降雨時における堤体の浸透挙動について考察を進めましたので、観測データから得た知見の一部を本文で報告します。

図1は本研究において観測を行った常呂川、札内川、釧路川の位置を示しています。本研究での観測地点は最大で約140km離れており、水系は完全に独立しています。1977年~2021年における年間降雨量の平均値は札内川では1201mmとなり、最も降雨が少ない北見と比較すると450mm程度、年間での降雨量に違いがあります。図2は現地観測した堤体断面および観測機器の設置図を示しています。常呂川と札内川は実河川の実堤防ですが、釧路川では工事履歴や境界条件が明瞭な試験堤防を対象にしました。堤体の土質は図中に示したように各観測地点で異なっています。図3は各観測地点において同程度の累積雨量Rを観測した際の降雨履歴と、その際の所定のRにおける堤体表層での体積含水率θの推移を比較しています。常呂川と札内川については降雨前、R=10mm、30mm、50mmの結果を、釧路川については降雨前、R=10mm、30mm、40mmの結果を示しています。



図1: 観測地点の位置

す。なお、代表的な結果として常呂川と札内川では川裏の法面中腹の観測結果、釧路川では川表の法面中腹の結果を示しています。常呂川と札内川では、最終的なRはR=60mm程度で同程度であるが、降雨波形が異なっています。常呂川ではRの増加に従い、深度-1.0mのθが増加する傾向にあり、降雨浸透に伴う浸潤線の降下挙動が確認できます。その一方で、札内川では時間雨量rが大きく、短時間の集中した降雨波形を呈していますが、堤体土質が礫質土で構成されているため透水係数が高いため、Rの増加に対する地表面に近い箇所でのθの応答が良いです。しかし、深度-1.0mでのθの増加は緩慢であり、常呂川ほど浸潤線の降下による水分量増加が顕著ではありません。これは礫質土で構成されているために透水性が高く、1次元的な浸透よりも法面法尻方向へ浸潤領域が拡大しているためと考えられます。釧路川では、θが大きく上昇している範囲は深度-0.2mの限定的な領域です。堤体表層がシルト質土で被覆されており、透水係数が低いために降雨の一部は浸透せずに法面表層を流れていると予想されます。この結果は堤体の土質に応じて透水性が異なるため、降雨浸透が起こりやすい降雨波形が存在していることを意味しております。最後に、本研究は令和3年度国土交通省水管理・国土保全局河川砂防技術研究開発の助成を受けて、北海道開発局網走開発建設部、帯広開発建設部、釧路開発建設部および(株)ドーコンとの共同研究として実施しました。記して深甚なる謝意を表します。

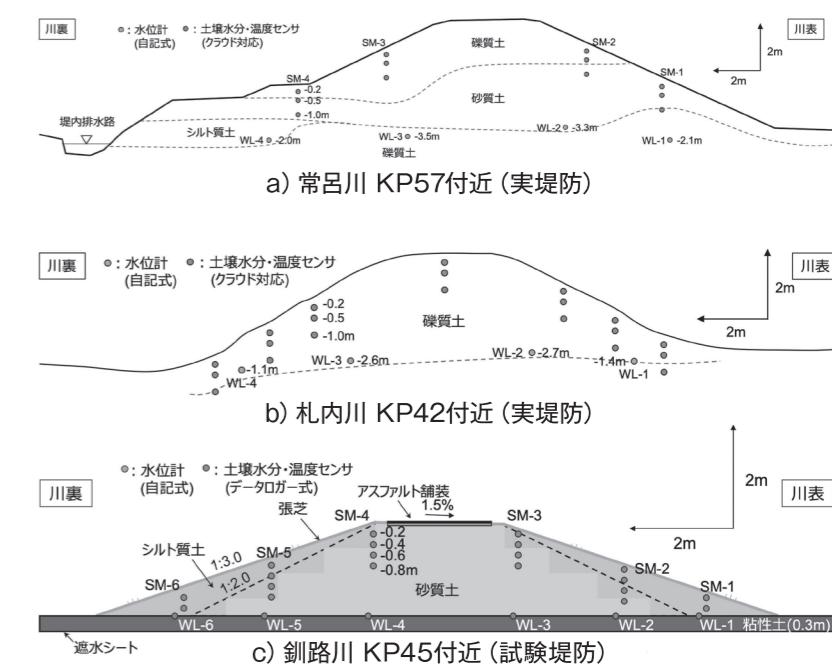


図2: 堤体断面及び計測機器の配置図

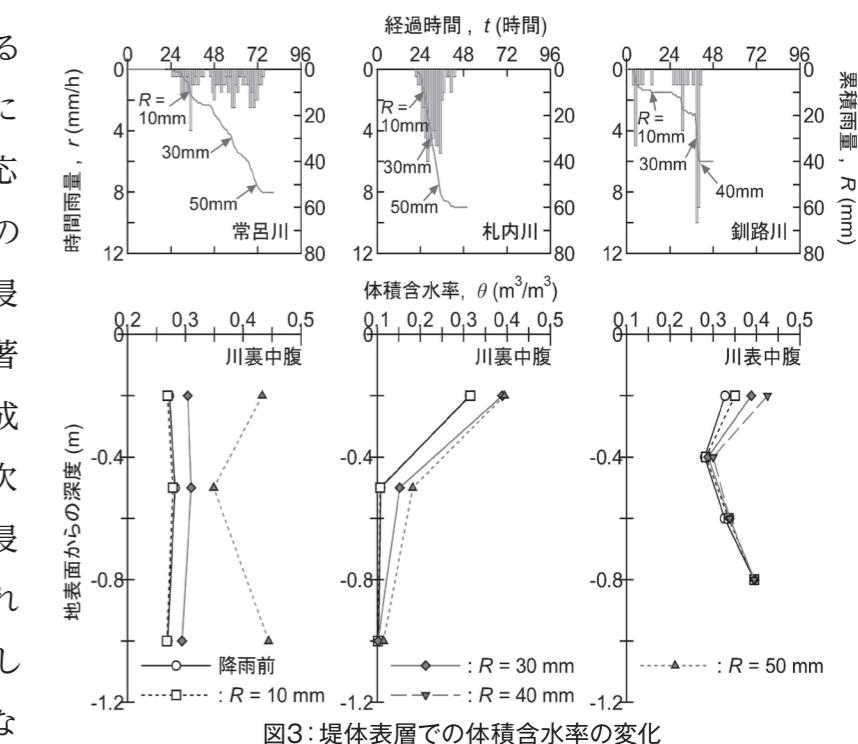


図3: 堤体表層での体積含水率の変化

LPWA通信を用いた積雪寒冷地向け 橋梁リモートモニタリングシステムの通信実験



准教授
宮森 保紀

Highlights

- LPWA通信を用いたモニタリングシステムの通信実験を市内75橋で行いました。
- フレネルゾーンを考慮することで最長14kmの通信ができました。
- アンテナを適切に配置することで冬期間も問題なく通信できました。

老朽化するインフラの状況を適切に把握する構造健全度モニタリング(SHM)が注目されています。私たちはこれまでにMEMS型高精度傾斜計の観測データをLPWA通信で伝送するモニタリングシステムを開発してきました。LPWAは携帯電話などと比べて、データ量は限られますが、長距離通信を低消費電力でできます。LPWAの特性を生かしたモニタリングシステムを構築するためには、測定対象の環境やアンテナの設置条件について検討する必要があります。本研究では、LPWA通信規格のLoRaを用い、大学に設けた基地局から半径15km圏内の橋梁75橋を対象として、通信距離、地形、天候・積雪の違いから送受信状況の比較を行いました。

このモニタリングシステムは図1のような小型のセンサユニットを測定対象に設置して、LPWA通信でデータを小型基地局に送信します。基地局からさらに携帯電話回線でサーバにアップロードし、ブラウザから状況を確認できます。内蔵電池や太陽光電池により数年間の長期計測が可能です。本実験では、センサユニットを持ち運びながら、各橋梁で見通しの良い橋面上と、支点の近く(橋座)など見通しの悪いところで

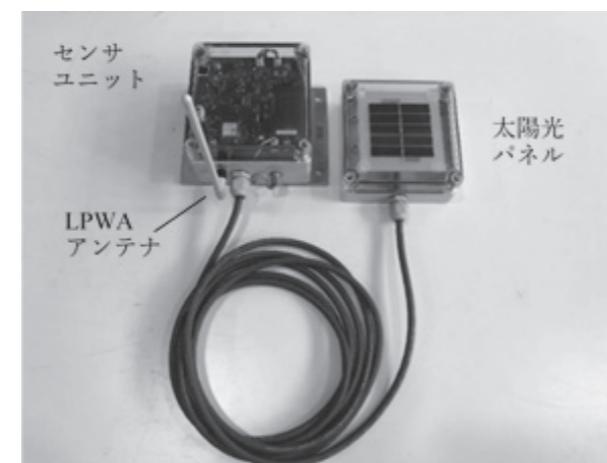


図1:センサユニットと太陽光パネル

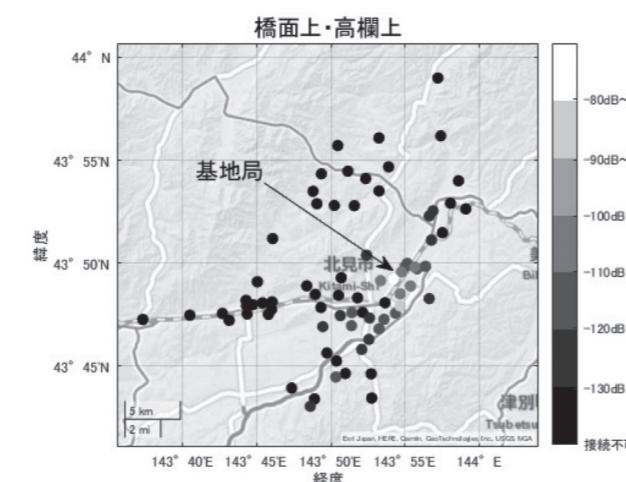


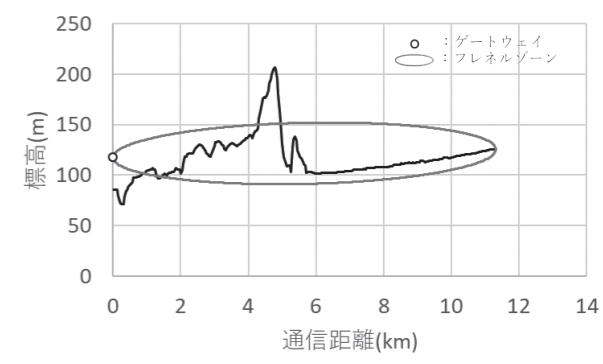
図2:測定橋梁と電波強度(橋面・高欄上)

数分間ずつ測定を行い、電波状況などを記録しました。

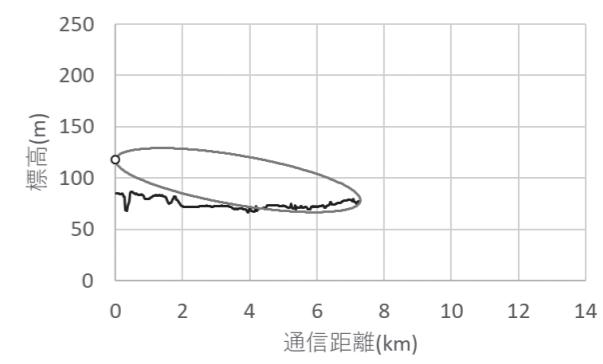
図2は実験結果を地図上に表示したものです。基地局の近くの橋梁や、地形が開けた南東方向では通信できています。一方、北西の丘陵を超えた地域では通信できません。通信可能な橋梁でも距離が遠くなるほど電波強度は下がりますが、橋面上にセンサーを設置した場合は、通信規格の上限15kmに近い14kmでも通信ができました。通信可否を具体的に検討するため、図3に通信経路とフレネルゾーンと呼ばれる楕円形を図示しました。(a)の例では、橋梁の周辺は平坦で開けていますが、途中に丘陵があり通信が阻害されることが分かります。一方、(b)では経路全体に障害物がないことがわかります。

さらに、特定の橋梁での通信状況の変動を確認する連続通信実験も行いました。図5はその結果の一例ですが、低い温度では通信強度がやや上昇することが確認できました。このような実験結果から通信経路の検討とアンテナの設置を適切に検討すれば、インフラのセンサネットワークを効果的に構築することができ、長期間安定して計測可能になることを確認しました。

本研究の一部は、北海道科学技術総合振興センター(ノーステック財団)イノベーション創出研究支援事業スタートアップ研究補助金の助成を受けて実施いたしました。ここに記して感謝申し上げます。



(a) 通信失敗の例



(b) 通信成功の例

図3:通信経路の標高とフレネルゾーン

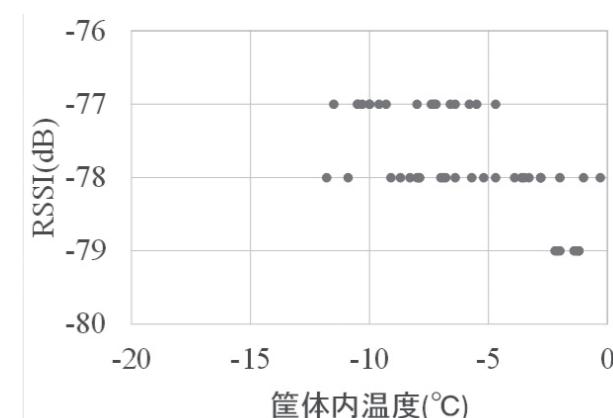


図4:筐体温度と電波強度

寒冷地における地盤の凍結による地震動特性への影響の検討

准教授
齊藤 剛彦部門長・准教授
宮森 保紀

Highlights

- 地震の揺れに影響する表層地盤の特性の違いを検討するため、常時微動観測による調査を実施しています。
- 冬季とそれ以外の季節で観測を行い、積雪寒冷地特有の影響を検討しています。

2021年12月21日に内閣府から日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震による被害想定が発表されました。この中では、冬季において地震が発生したときの、積雪寒冷地特有の被害様相を示していることが特徴的です。

過去に北海道では、1993年1月に釧路沖で地震が発生しています（1993年釧路沖地震）。北海道では冬季に地盤が凍結するため、このときの被害調査では、釧路市で常時微動観測を地震直後の冬季と、その後の夏季に実施して、比較した例があります。

そこで本研究では、地震の揺れに影響する表層地盤の特性を知る方法である常時微動観測を、冬季とそれ以外の季節で実施して、その地点の季節による揺れ方の違いを明らかにすることを目指します。

常時微動観測は図1、図2に示すように、データ集録機に接続したサーボ型速度計で上下、南北、東西成分を1か所で計測します。周りに揺れを与えずに静止した状態で、1秒間に100個の速度データを3分間観測したものから、20.48秒を5区間抽出し、H/Vスペクトル比を求めます。その後、各区間のH/Vスペクトル比を平均し、さらに水平2方向を平均して1つのH/Vスペクトル比を求めます。地盤の特



図1：観測機器

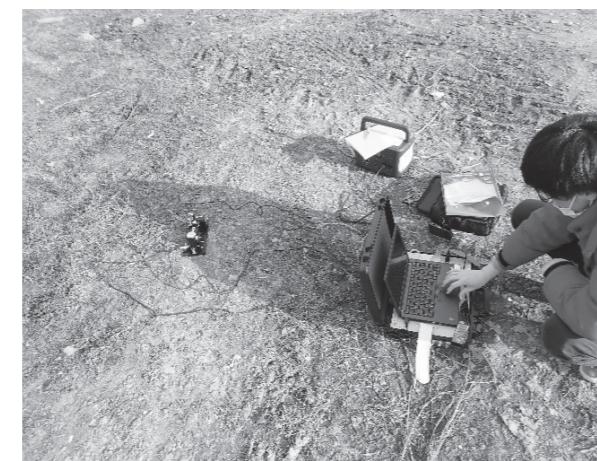


図2：観測状況

性を示す指標のひとつである卓越振動数はH/Vスペクトル比のピーク振動数で与えられます。今回は北見工業大学のグラウンドで2021年11月と2022年1月に観測しました。

表1に得られた卓越振動数を示します。今回の11月と1月の観測では卓越振動数には違いはありませんでした。1月の観測した日は北見のアメダスで最低気温が-15°C、観測した時間帯は-9.5°Cであったものの、グラウンドには積雪があり、除雪をした直後に観測しているため、地盤の凍結深さが浅かった可能性があります。図3に11月と1月の観測によるH/Vスペクトル比を示します。上述の通り卓越振動数に違いはありませんが、H/Vスペクトル比の高さや形状が異なっています。

今回の観測では冬季とそれ以外で大きな違いは見られませんでしたが、今後も継続して観測することにより、季節による揺れ方の違いを明らかにすることを目指します。また、地震計が設置されている場所でも常時微動観測を行い、地震による揺れと常時微動を比較して、冬季に地盤が凍結したときの地震による揺れへの影響を検討します。

表1：北見工大グラウンドの卓越振動数

	卓越振動数 (Hz)		卓越振動数 (Hz)
2021/11/8	3.37	2022/1/25	3.96
2021/11/8	3.86	2022/1/25	3.37
2021/11/8	3.91	2022/1/25	3.71
平均	3.71	平均	3.68

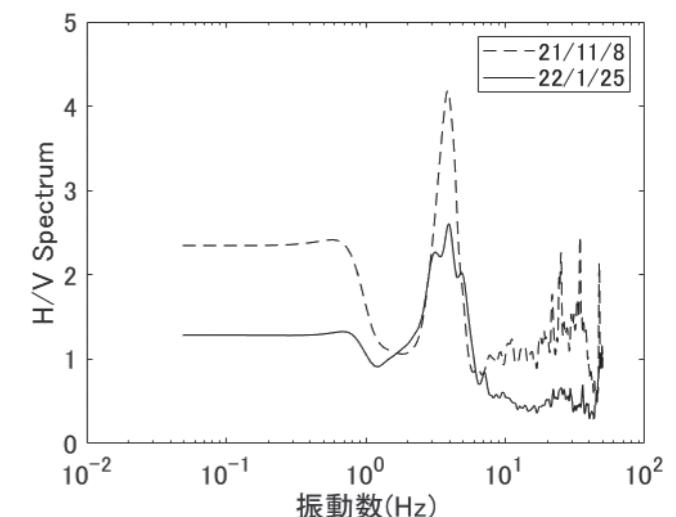


図3：北見工大グラウンドのH/Vスペクトル比

記録的大雪となった札幌圏での積雪調査(2022年2月)



准教授・気象予報士
白川 龍生

Highlights

- 記録的大雪となった札幌圏で積雪断面観測を実施しました。
- 札幌圏では平年に比べ積雪の多い状態が長く続いており、屋根雪災害や融雪災害に十分な警戒が必要です。

2021/22年冬期の札幌は、12月17日以降、日最深積雪が平年値を上回る水準で推移し記録的大雪となっています。日降雪量20cmを超えた日が6日あり(2022年3月4日現在)、特に2月5日から6日にかけては、24時間降雪量60cmを記録、2月6日の日最深積雪は133cmに達しました。札幌の積雪深が1mを超えるのは8年ぶりのことです。この大雪の影響で、札幌市内は長期にわたり交通や市民生活に大きな支障が生じています。今回の札幌の大雪について、日本雪氷学会北海道支部は「雪氷災害調査チーム(2022札幌大雪)」(代表:北海道教育大学札幌校 尾関俊浩教授)を組織し、札幌圏で積雪を中心とした各種調査を実施しています。筆者(白川)も調査チームのメンバーとして、2月12日に札幌市豊平区の月寒公園、同23日に札幌市手稲区の北海道科学大学・小樽市の旧北手宮小学校、同24日に岩見沢市あさぎり公園・江別市の野幌総合運動公園での積雪断面観測を実施しました。ここでは主に月寒公園での調査について記します。

図は積雪断面観測結果で、図aは積雪各層の層位と雪質判定結果を示しています。図bは積雪断面の写真です。雪の層は、積もった時の結晶形の違い、風の強弱、気温などの影響で、粒径や密度が異なる。さらに堆積した後の温度、温度勾配、上載荷重、融雪水や降雨の流入などの影響を受け、積雪は常に変化しています。積雪にピットを設け断面を切り出すと、図bのような縞模様が確認できます。調査当日、月寒公園の積雪深は108cmでした。下層にざらめ雪、中層にしまり雪が確認されました(図a)。これらの層は12月から1月にかけて積もった雪で、密度・硬度ともに高い値を示しました。2月5~6日の降雪で新たに加わった層は図a、bに矢印で示す部分と推定されます。この層の雪質は、時間経過に伴い新雪が圧密・焼結過程で変化した、こしまり雪と判定しました。

また、神室型スノーサンプラーを用いて、積雪水量を計測しました(図aの右下)。積雪水量とは、積雪を融かして水にしたときの水深です。積雪深は圧密や新たに積もる雪の影響で値が変動するのに対し、積雪水量は融雪出水直前期まで値が積算されるため、冬期の積雪特性を把握する上で重要な値

です。当日計測した積雪水量は315mmでした。これは単位面積(1m²)に315kg載荷していることに相当します。この値を得るために現地測定が必要であり、最深積雪のような平年値は公表されていませんが、2月上旬の値としては高いと考えられます。このような状況では、屋根雪などに十分な警戒が必要です。積雪水量の値が高いときは、普段よりも融雪水が多くなることから、3月以降の融雪災害にも十分な注意が必要です。筆者は大学ウェブサイトに速報を出すとともに、SNSを通じ、地域の皆さんに情報提供と注意を呼びかけているところです。

その他、札幌圏4箇所で実施した融雪出水直前期の調査結果は以下の通りです。

2月23日	北海道科学大学(札幌市手稲区)	: 積雪深100cm、積雪水量315mm
2月23日	旧北手宮小学校(小樽市)	: 積雪深162cm、積雪水量513mm
2月24日	あさぎり公園(岩見沢市)	: 積雪深139cm、積雪水量445mm
2月24日	道立野幌総合運動公園(江別市)	: 積雪深150.5cm、積雪水量435mm

本研究は、JSPS科研費19K04647の助成を受け実施しました。

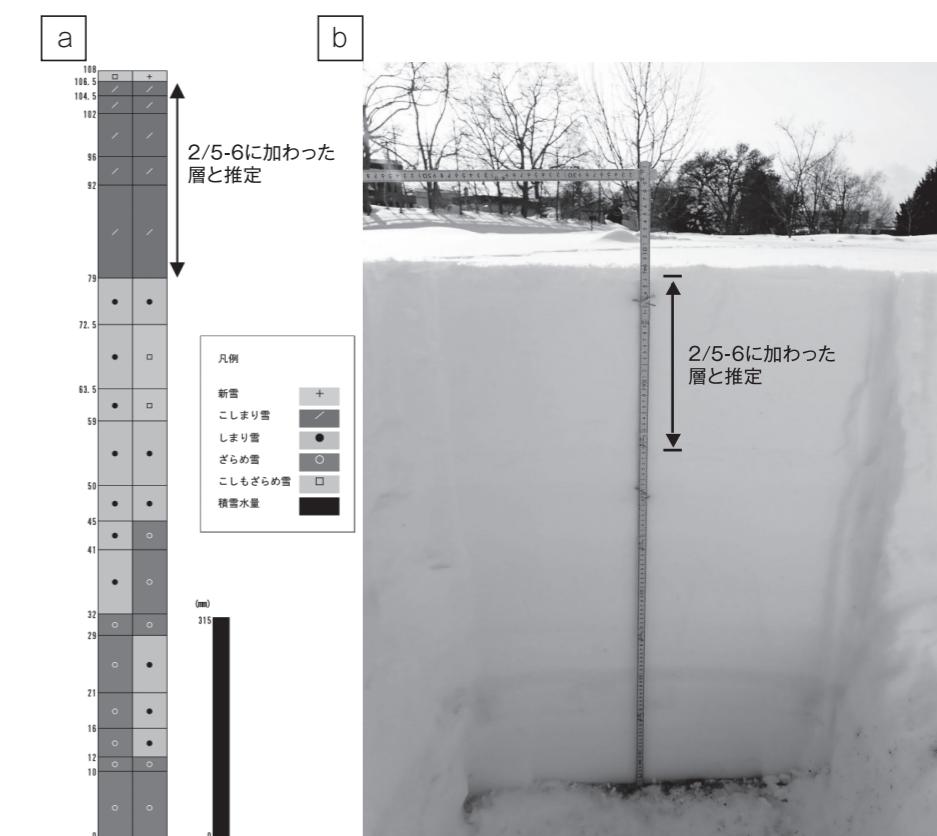


図: 2022年2月12日、月寒公園での積雪断面観測。(a) 積雪層位図、(b)積雪断面。
積雪深: 108cm、積雪水量315mm。

災害、老朽化調査時の 現場中継システム

Highlights

- テレビ会議システムを応用した現場中継システムを開発しました。
- 遠隔地の関係者と状況を共有して情報交換したりアドバイスを受けられます。
- テレビ会議システムの録画機能を用いて状況の記録も簡単にできます。

コロナ禍でテレビ会議システムが急速に普及し、遠隔地とのコミュニケーションは電話による音声だけでなく、インターネット回線を使ってカメラの映像やコンピュータの画面を共有することができるようになりました。大学でも授業や会議、学会活動で日常的に使われています。また、デジタル化の進展に伴い、音声・映像機器も多様な製品が開発されています。例えばカメラは、身体に装着しハンズフリーでレジャーやスポーツの様子を撮影できるアクションカメラがあります。また、ヘッドフォンでは耳をふさがず、こめかみの近くに装着して音を伝える骨伝導型ヘッドフォンが、屋外の活動で使用されるようになりました。

これらを組み合わせて、災害調査や老朽化インフラの点検時に、現場の状況を遠隔で送信し、関係者と情報共有することができる図1のような現場中継システムを開発しました。

このシステムは、図2のようにWindowsのタブレット端末にインストールしたテレビ会議システム（Webex Meetings）を中心に行っています。カメラはアクションカメラ（GoPro Hero9）をUSB接続、

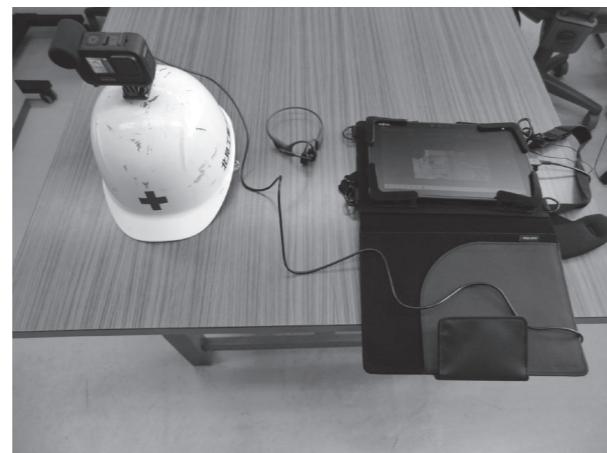
部門長・准教授
宮森 保紀准教授
齊藤 剛彦

図1：現場中継システム

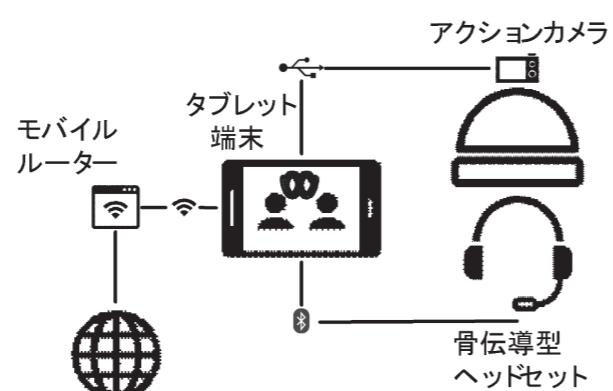


図2：システム構成



(a) ヘルメット型



(b) 胸当て



(c) 照明併用型

図3：装着例



図4：使用状況



図5：テレビ会議システム録画映像

音声は骨伝導ヘッドフォン（AfterShokz OpenComm）をBluetoothで接続し、屋外でも周辺の音とテレビ会議の音声を同時に聞き取れるようにしています。インターネットへはモバイルルーターで4G回線を介して接続しています。

図3はシステムの装着例です。カメラはヘルメットで頭上に固定するほか、胸当てで体の前面に装着することもできます。また、大型カメラバックにLED照明を取り付けて背負うことで背後から照明を当てる事も可能です。

このシステムを用いて図4のように現場の点検や調査の状況を撮影・録画しながら送信することができます。また、図5のように計測装置のメインテナンスでは、遠隔でサーバの状況を監視しながら、現場の作業者へのアドバイスを送ることが、より簡単かつ安全にできるようになりました。従来の専用システムと比べて比較的安価にシステムを構築でき、今後多くの場面で活用することが期待されます。

ミリ波レーダ水路・河川監視システムの構築に関する研究開発

准教授
吉澤 真吾

Highlights

- 津波や大雨に伴う水路・河川氾濫時の水面変動や流木・氷塊流出をミリ波レーダで監視する防災インフラの構築を目指しています。
- 複数のミリ波レーダを用いて物体が移動した軌跡を生成する装置を開発しました。

ミリ波レーダは、周波数30~300GHz帯の電波を用いてセンシングを行うセンサ装置のことです。最近は自動車の衝突防止システムにも利用されています。ミリ波レーダはカメラやレーザセンサに比べ、雪や霧、雨といった悪天候下でも安定した検知性能を有することが特徴です。本研究では、津波や大雨に伴う水路・河川氾濫時の水面変動や流木・氷塊流出をミリ波レーダで監視する防災インフラを構築することを目指して、ミリ波レーダ装置による水上物体の検知および監視に関する研究開発を行っています。

ミリ波レーダは丸文株式会社製ミリ波レーダモジュール評価キットTITANを用いました。評価キットはミリ波レーダで検出した対象物の方位角、仰角、移動速度を取得し、そのデータをソフトウェア上で可視化することができます。令和2年度はミリ波レーダ1台を用いて実験を行いましたが、令和3年度は複数のレーダを用いることで物体の検出範囲を拡げて、かつ物体の移動軌跡を生成する装置を開発しました。図1は野付牛公園の池でボートを移動させたときの試験配置図と試験風景です。3台のレーダを5m間隔で池の縁に設置し、ボートが移動したときにレーダでどのように検知されるかを観測しました。

図2は3台のミリ波レーダで検出した結果と移動軌跡の生成結果を示しています。グラフ上は3台のレーダで検出した位置をプロットしています。その検出データを統合して、移動平均フィルタ処理を行う

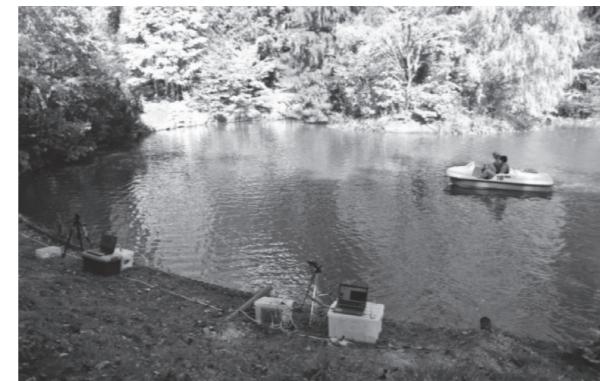


図1: 野付牛公園でのミリ波レーダ試験

ことで1本の線となる移動軌跡を生成します(グラフ下)。1台のレーダのみを用いた場合はボートが移動した経路は一部しか把握できませんでしたが、複数台用いることでボードが岸に沿って旋回移動している様子を捉えることができました。

図3は本学で整備された防災実験棟での試験風景とレーダでの検出結果です。水上に浮かべたコンテナを往復運動させて観測を行いました。グラフの横軸は経過時間を示し、縦軸は検出した物体の相対位置を示しています。時間経過とともにコンテナが左右に往復移動している様子を捉えることができました。

レーダで観測したデータはMQTT(Message Queueing Telemetry Transport)と呼ばれるインターネット通信規格を用いることで効率的に収集することを可能とします。MQTTクライアントとサーバ間でデータ配信と収集を行うソフトウェアプログラムを開発しました。今回の試験ではレーダは比較的近い位置にありますが、無線ネットワークを利用すればレーダ間の設置間隔に制限は無くなり、広範囲でのレーダ観測が可能となります。

今後は視界不良条件下のレーダ観測実験を行うとともに、レーダで取得したデータをリアルタイムで解析する装置の開発を進めていく予定です。

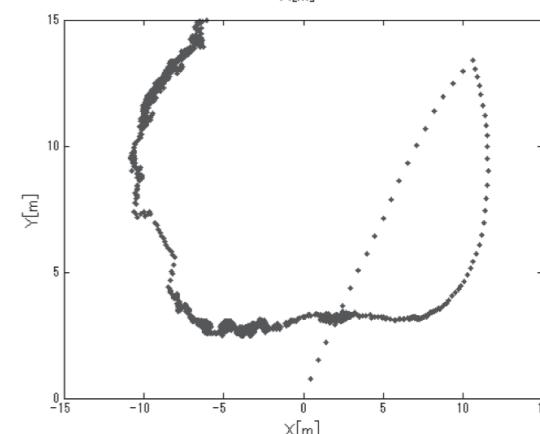
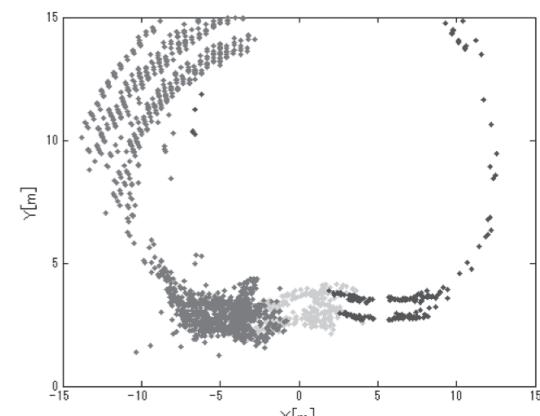


図2:複数台レーダによる検出結果

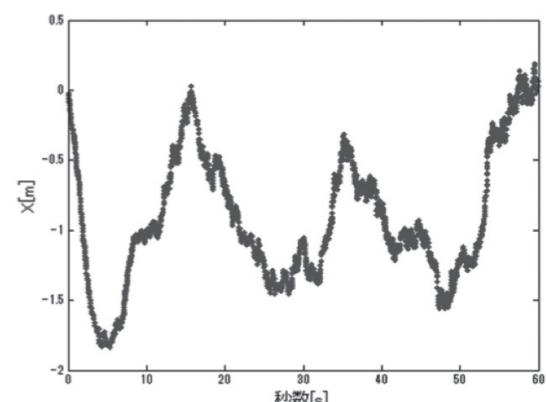
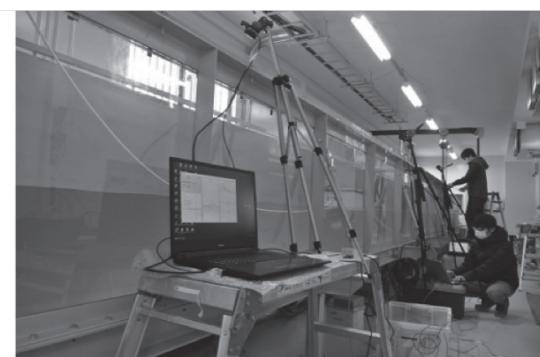


図3: 防災実験棟での試験