

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



SAFEE Report 2021.3 Vol.1
R&D 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



2011年の東北地方太平洋沖地震から10年が経過しました。その間に我が国では九州北部豪雨(2012、2017、2020)、熊本地震(2016)、大阪北部地震(2018)、西日本豪雨(2018)、北海道胆振東部地震(2018)、東日本台風(2019)など、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、推し進める研究推進センターとして2019年5月1日に発足しました。地域と歩む防災研究センター/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。

この度、地域と歩む防災研究センター/SAFERが行ってきた研究・開発活動の全般をご紹介する「SAFER R&D Report Vol.1」を発刊いたします。ご高覧頂ければ幸いです(カラー版はSAFER webページ <https://kitsafer.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いきます。今後もご関係者の皆様からの変わらぬご指導とご助言を賜りますよう、お願い申し上げます。

2021年3月

【表紙の写真】

2018年北海道北部・東部での発生した豪雨災害において、河川災害調査を行うためのUAVを準備している状況です。SAFERでは、UAVなどのICT・IoTを積極的に利用した災害調査技術の研究を進めています。撮影者:宮森保紀 突発災害調査研究部門長

目次

地域協働防災研究部門

◆ 厳冬期災害時における電気自動車(EV)の活用可能性実験 高橋 清	2
◆ 垂直避難を考慮した避難所の収容状況評価 高橋 清	4
◆ 災害の際にTwitterを用いて被災者の救助を支援するシステムの開発と実装 プラシスキー ミハウ・及川 佑人・榎井 文人	6
◆ 災害復旧用特殊機械の研究開発に関する土砂吸引実験 川口 貴之・森田 慎一・川尻 峻三	8

インフラ耐災技術研究部門

◆ 寒中におけるグラウトの施工性向上に資する耐寒材料の開発 井上 真澄・崔 希燮	10
◆ 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 宮森 保紀・三上 修一	12
◆ 中詰め材が異なる2層のジオセルからなるのり面保護工の開発 川口 貴之・中村 大・川尻 峻三	14
◆ ジオセルによる生活道路を対象とした地震時段差抑制対策の開発 川口 貴之・須志田 健・川尻 峻三	16
◆ 動態観測と熱伝導解析による道路の損傷軽減と管路の浅層埋設への挑戦 中村 大・川口 貴之	18
◆ IoTを活用したアンカー補強土壁の新たな品質管理方法の開発 川口 貴之・川尻 峻三・中村 大	20
◆ 積雪寒冷地における植生工の補強効果の解明とその限界の明示化に関する研究 中村 大・川口 貴之	22
◆ 洪水時の橋脚傾斜メカニズムの解明とモニタリングシステムの開発・実装 川尻 峻三・渡邊 康玄・早川 博	24

突発災害調査研究部門

◆ 79GHz帯ミリ波レーダーを用いた水上物体の移動検知に関する実験 吉澤 真吾	26
◆ 9年ぶりに大雪となった岩見沢での積雪断面観測(2021年3月) 白川 龍生	28
◆ 積雪期に通信過疎地の橋梁を遠隔診断できる計測システムの研究開発 宮森 保紀・三上 修一	30
◆ 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 齊藤 剛彦・宮森 保紀	32
◆ 5Gとドローンによるインフラの迅速点検技術実証実験 宮森 保紀	34

厳冬期災害時における電気自動車(EV)の活用可能性実験



部門長・教授
高橋 清

Highlights

- 豪雪等における立往生時のEVの有用性の検証を行う実験を実施しました。
- 10時間立ち往生した場合でも、一定程度の走行距離が確保可能であること等、
厳冬期災害時においてEVの特性を明らかとしました。

近年、豪雪地域の高速道路や一般道において、降雪の影響で車両の立ち往生による死亡事故や災害が相次いで発生しています。豪雪・暴風雪等による車両の立ち往生で車内に閉じ込められた場合、一般に普及したガソリン車では、排ガスによる一酸化炭素中毒の危険性等からエンジンを停止せざるを得ず、車内温度の低下に伴い低体温症等のリスクが懸念されています。一方、近年防災面でも注目を集めている電気自動車(以下、「EV」とする)は動力が電気であるため、一酸化炭素中毒等の危険性がなく、暖をとることが可能です。しかし、厳冬期災害時においてEVが、その特性を生かすことが十分に可能であるかについては明らかにされていません。

そこで本研究部門では、豪雪等の悪天候時において車内に閉じ込められた状況を想定し、時間経過に伴う車内の温度変化や電力消費量等の計測を行うことにより、豪雪等の悪天候時におけるEVの有用性の検証を行う実験を実施しました。

実験は、令和3年1月8日(金)19:00 写真1:実験の様子
～1月9日(土)6:00の約10時間、北見工業大学構内学生専用駐車場で行いました。実験に使用したEV車両は日産リーフ3台を用意し、車内外温度、EV充電残量を一定間隔で計測しました。また、充電残量および各温度と経過時間との関係性に加え、エアコン設定温度、車外状況、電力使用状況等による充電残量への影響についての検証を行いました。実験車両の内一台



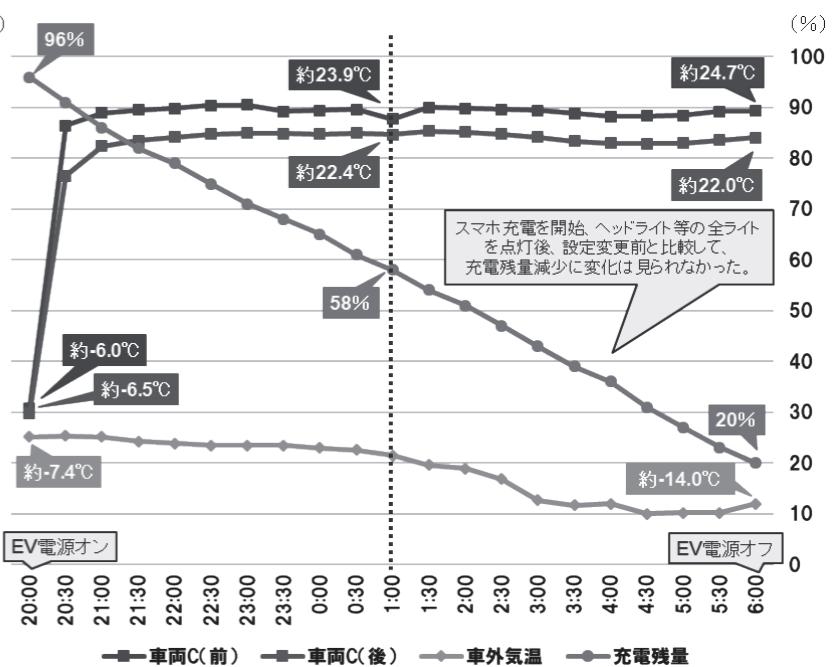
は、立往生時を再現し影響を把握するため、車両のほぼ全面を雪で埋め、エアコンの温度設定やスマートの充電、ヘッドライト等の全ライトを点灯する条件としました。

実験の結果、車外温度-11.2°C(実験実施中の平均値)の状況下において、実験車両(EV:日産リーフ2017年式、40kWh)の車載ヒーターを最小温度設定(18°Cオート)で実験車内温度を前列16°C以上、後列14°C以上に保つことができました。また、車載ヒーター温度設定(25°Cオート)で実験中の車内温度を前列23°C以上、後列21°C以上に保てるにも判明し、ヒーターの設定温度を上昇させても、後部座席は前列と比較し、2°C程度気温が低い結果となりました。今回、豪雪災害発生時に長時間の立ち往生で車両が雪で埋まった場合を想定した車両では、当初、バッテリー等が冷却され、EV電力消費量が増加するのではないかと想定していましたが、検証の結果、車両温度が一定に保たれ、EV電力消費量が減少する結果となりました。また、同車両において、実験終了時のディスプレイには、走行可能距離が46kmと表示されていたことより、10時間立ち往生した場合でも、立ち往生後で北見～網走間片道程度の走行距離が確保可能であるという結果になりました(北見-網走間片道:約42.6km)。さらに、長時間の立ち往生時において、災害情報取得のためにスマートの充電しながらの使用や車内で快適かつ安全に過ごすため、ライト類を常時点灯させることを想定し検証を行いましたが、いずれも電力消費に大きな影響はないという結果となりました。

近年、研究・開発が進み、バッテリー性能も向上しています。今後は、大容量のバッテリーを搭載したEV車両による検証が必要です。また、厳冬期における立ち往生時には、EV電力消費は、外気温およびエアコン設定温度の影響を大きく受けていると推察されますので、これまでとは異なる外気温、エアコン設定温度による検証等の継続的なデータ蓄積が必要であると考えています。

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、パシフィックコンサルタンツ(株)のメンバーにより実施されました。協議会のメンバー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。

図1:車外気温の変化とバッテリー残存量



垂直避難を考慮した 避難所の収容状況評価

部門長・教授
高橋 清

Highlights

- 避難シミュレーションを行い、避難者数と避難車台数を推計しました。
- 各避難所の収容人数と避難者数から収容状況を評価しました。

近年、我が国では令和2年7月豪雨など大規模な災害が多発しています。また、令和2年の新型コロナウイルス感染症（以下コロナ）感染拡大を受け、避難所においても三密を避けることが求められており、避難所での1人当たりの面積を4m²とする必要とされています。しかし、多くの自治体では1.65m²/人を基本としているため、収容人数が減少し避難所が不足する可能性があり、内閣府では垂直避難やホテル、知人宅への避難といった分散避難を行うよう呼びかけています。そこで本研究では、北見市北見自治区における水害発生時の避難を対象に、自宅で垂直避難を行った場合の避難者数と避難車台数を推計し、避難所の収容状況を評価しました。

北見市では3m²/人として避難所の収容人数を算出しているため、コロナ対策を行うことで収容人数は従来の3/4に減少します。そこで、収容人数をコロナ前、コロナ対策時とした場合で比較し、コロナ対策による収容状況の変化を明らかにしました。また、内閣府では自宅が浸水想定域内にある場合、原則自宅外への避難が必要であるとしています。しかし、例外として浸水深よりも高いところに住んでいる場合は、自宅に留まり安全を確保する垂直避難が可能であるとしています。そこで本研究では、垂直避難を行う条件を1階で避難可能な避難条件1（図1）、2階での避難を考慮した避難条件2（図2）の2つ設定し、避難条件による避難所の収容状況の違いを明らかにしました。避難所の収容人数を超える人が避難すると推計された場合は、早く到着した人から収容し、満員になった後に到着する人は、順次避難時間

図1: 避難条件1

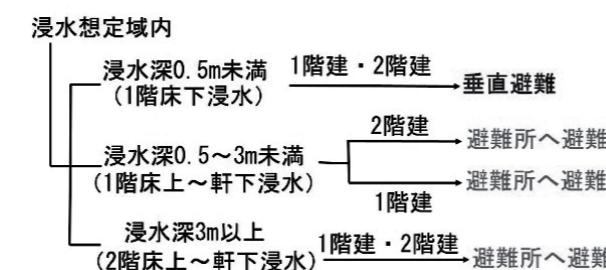


図2: 避難条件2



が短い避難所へ避難を行うと仮定しています。また、避難時間が徒歩で30分未満の場合は徒歩で避難を行い、徒歩で30分以上かかる場合は自動車による避難を行うとし、以上の条件で避難シミュレーションを実行することで、各避難所への避難者数を推計しました。さらに、各避難所の収容人数に対する避難者数を収容率とし、収容率を表1のように点数化することで、収容状況を評価しています。収容得点は点数が高いほど避難所が空いていることを表し、0点で満員であることを表しています。避難条件1でのコロナ前（図3）とコロナ対策時（図4）の結果を比較すると、コロナ対策を行うことによって多くの避難所の収容得点が0点になると推計され、満員になる避難所が増加する結果となりました。また、コロナ対策時の避難条件1での収容得点と避難条件2での収容得点の差（図5）をみると、収容得点が低くなる避難所はなく、多くの避難所で+5点になると推計されたことから、垂直避難を行うことは避難所の混雑解消に有効であるという結果になりました。しかし、各避難所の駐車場の容量と避難車台数を推計すると、垂直避難を行った場合でも、駐車場が満車のため約1,000台の自動車が駐車できないという結果になりました。一方、駐車できない自動車が存在する避難所の近隣に避難所、駐車場ともに容量に空きがある避難所が存在すると推計されたことから、避難所の利用に偏りが生じていると考えられます。このような利用の偏りを解消するためには、近隣の避難所間で連携を取りながら、避難者に対する避難支援として避難所、駐車場の空き状況などの情報提供が必要になると考えられます。

表1: 収容得点

収容率	収容得点
0~20%未満	5点
20~40%未満	4点
40~60%未満	3点
60~80%未満	2点
80~100%未満	1点
100%	0点

図3: コロナ前、条件1の収容得点

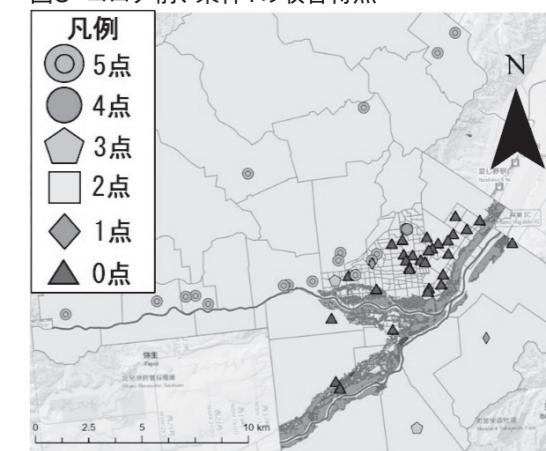


図4: コロナ対策時、条件1の収容得点

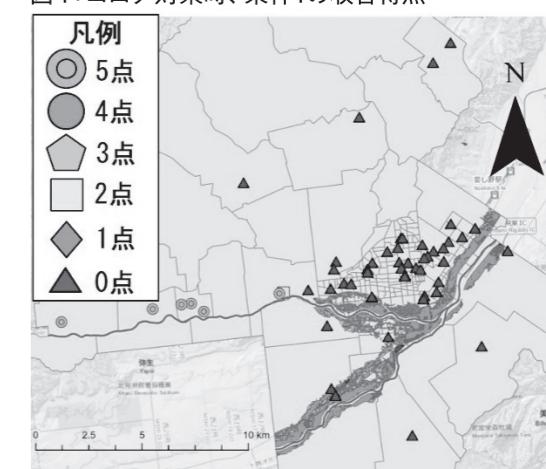
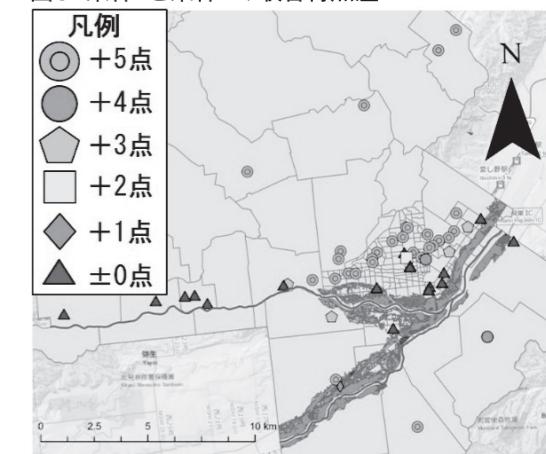


図5: 条件1と条件2の収容得点差



災害の際にTwitterを用いて被災者の救助を支援するシステムの開発と実装



Highlights

- SNS (Twitter) 上の情報を正確性に基づいて3種類に分類しました。
- ノイズの排除により、災害時の救助活動に有用な情報の抽出が可能になりました。
- エラー分析により分類性能を向上させ、使いやすいシステムとして実装しました。

災害時の救助活動においては、被災者の居場所に関する有用な情報を素早く入手する必要があります。そのような情報は情報共有の即時性を特徴とするTwitterというSNSからリアルタイムに収集することが可能ですが、正確なフィルタリングをしない限り無関係のツイート（ノイズ）も大量に収集してしまうという問題があります。

そこでツイートの有用性を見分けるために、そのツイートが表す情報を3種類に分類しました。ユーザーが直接見た、聞いた、経験したといった事実を表す直接情報を1次情報(primary information)と呼びます。誰から聞いた、ニュースなどで読んだ間接情報を2次情報(secondary information)と呼びます。また、それら2種類に当てはまらない情報で、かつ認知バイアスを起こす可能性がある、主観的意見や感情表現、意思表示などを1.5次情報 (sesquinary information) と呼びます。それぞれの情報カテゴリとそれらを構成するサブカテゴリを表1に表します。

ツイート内の3種類の情報を正確に見分けるのには、ニューラルネットワーク (NN) という人工知能の技術を使いました。具体的には、NNを応用したBERTという手法を使いました。BERTは大規模言語データを学習し、文内の単語間のつながりや文脈を正確に判断することができます。また、BERTのエラーを精密に分析してデータの誤りを発見・修正することで、更に性能向上できました。図1は1次情報に誤分類したツイートの頻度情報ですが、感情表現（怖い、凄い、やばいなど丸で囲まれたもの）が含まれていることが分かります。

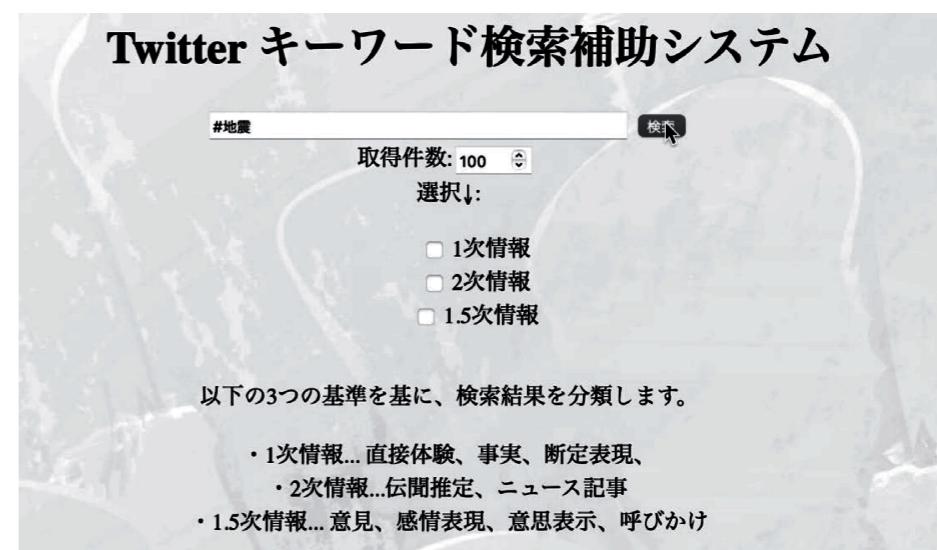
表1: 情報のカテゴリとサブカテゴリ

サブカテゴリ	情報カテゴリ		
	1次	1.5次	2次
直接体験	○		
事実	○		
断定表現	○		
意見		○	
感情表現		○	
意思表示		○	
呼びかけ		○	
その他		○	
伝聞推定			○
ニュース記事			○

これまでの研究では、災害時の救助活動における被災者の居場所の抽出では、GPS情報や住所、地名などを含むツイートの抽出に重点が置かれてきました。しかし、ノイズが含まれるため収集した情報の有用性に問題がありました。さらに、住所などが明記されていなければ、一部

の情報が見過ごされるという問題点もありました。我々の研究では、まず、1.5次情報と2次情報を1次情報から自動的に切り離すことで、約80%の精度でノイズを除去することに成功しました。これにより、1次情報のみを含むツイートを正確に抽出できるようになります。GPS情報や住所を特定するキーワードが含まれていなくても、より早く救助隊に提供することができ、専門家による被災者の居場所の推測もしやすくなります。さらに、災害時における被災者との直接連絡をより迅速に行うことができます。実装したシステムインターフェースを図2に示します。情報を正確性によって区別し、必要な時に必要な情報を素早く提供するような取り組みは情報トリアージと呼ばれ、今回の研究は情報トリアージへの応用が期待できます。

図2: 情報種類で区別しツイートを提供するシステムのインターフェース



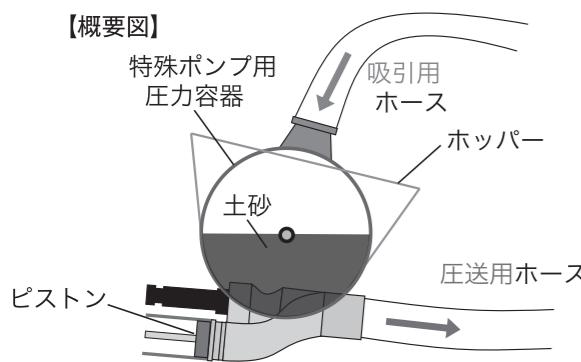
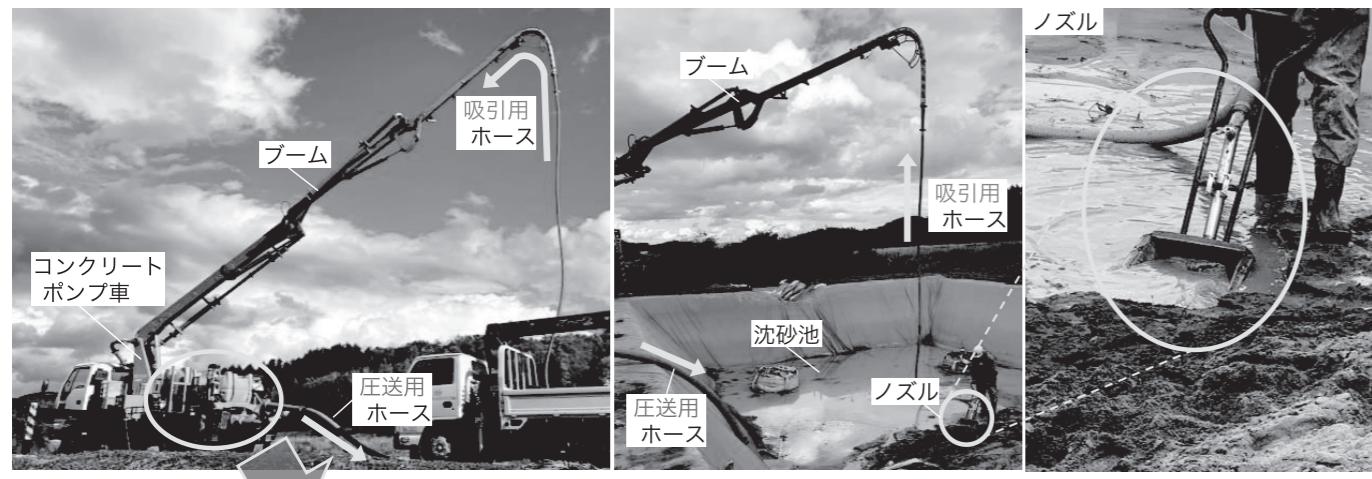
災害復旧用特殊機械の研究開発に関する土砂吸引実験

Highlights

- オホーツク地域創生研究パーク内で特殊機械の土砂吸引実験を行いました。
- コンクリートポンプを活用した特殊機械の吸引能力の高さを確認しました。
- 屋外・室内試験から加水システムとノズル開発の重要性を確認しました。

近年多発している豪雨によって引き起こされる住宅に流れ込んだ土砂の撤去作業を機械化・省力化することを目的として、むかわ町、北見工業大学 地域と歩む防災研究センター、苫小牧工業高等専門学校地域共同研究センター、特殊コンクリートポンプに関する特許技術を有する株式会社とませい、合同会社M Dinoは災害復旧用特殊機械の研究開発に関する五者連携協定を締結し、製品化に向けた研究を始めています。この足がかりとして、オホーツク地域創生研究パーク内で特殊コンクリートポン

図1: 特殊コンクリートポンプを用いた土砂吸引作業の様子



【特殊コンクリートポンプ車の仕組み】

- ① ピストンで土砂を押し出す(圧送)
- ② 圧力容器内の土砂を押し出した体積分、真空状態となる
- ③ 大気圧との差によって、圧力容器内への吸引作用が生まれる
- ④ ①の作業(以後、繰り返し)

部門長・教授
川口 貴之教授
森田 慎一センター長・准教授
川尻 峻三

による土砂吸引性能の確認を行い(図1)、所定の含水比(=含まれる水の質量÷含まれる土の乾燥質量×100)に調整した3種類の土を全て吸引するまでの時間を計測する土砂吸引実験を行いました(写真1、表1)。使用した土は令和2年7月豪雨において球磨川が氾濫した際に住宅内に流れ込んだ土を参考にして、粘土(笠岡粘土)、シルト(DLクレー)、砂(珪砂6号)を用いました。また、実験室では同様に調整した土を用いて、コーンの貫入量や密度・飽和度(土粒子間の隙間に占める水の割合)を確認するための室内土質実験も行いました。

屋外での土砂吸引実験から、粒度分布が異なる土の種類によって吸引時間に違いが出ますが、いずれの土も含水比を上げることで吸引時間短縮されることが分かりました。また、ノズルを装着することで吸引時間が大きく短縮されることも分かりました。さらに、室内土質試験結果も踏まえると、細粒分の多い土では飽和に近づくと吸引時間が格段に短くなることが分かり(図2)、最適なノズルの開発と、効率的に加水を行うシステムの開発がとても重要であることが明らかとなりました。

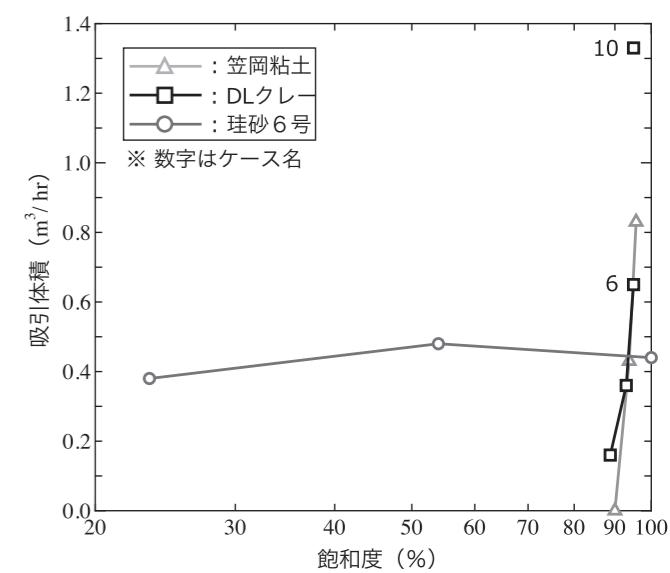
写真1: 土砂吸引実験の様子



表1: 土砂吸引実験結果のまとめ

	地盤材料	含水比(%)	吸引に要した時間(分)	ノズル有無
ケース1	笠岡粘土	50	吸引不可能	—
ケース2	笠岡粘土	60	3.53	—
ケース3	笠岡粘土	70	2.00	—
ケース4	DLクレー	40	7.65	—
ケース5	DLクレー	50	3.82	—
ケース6	DLクレー	60	2.32	—
ケース7	珪砂6号	10	3.17	—
ケース8	珪砂6号	20	2.33	—
ケース9	珪砂6号	30	2.27	—
ケース10	DLクレー	60	1.13	あり

図2: 吸引体積と飽和度の関係



寒中におけるグラウトの施工性向上に資する耐寒材料の開発



教授 井上 真澄 準教授 崔 希燮

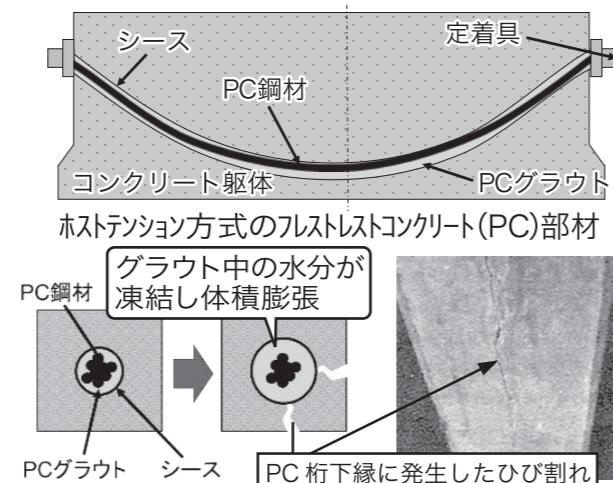
Highlights

- 亜硝酸リチウムを用いて-20℃でも強度発現するグラウトを開発しました。
- 実大施工実験より開発したグラウトの良好な充填性と強度発現を確認しました。
- 厳冬期に市販グラウトを注入すると、ひび割れが発生することを確認しました。

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。その一例としてポストテンション方式のプレストレストコンクリート(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コンクリート躯体にひび割れを誘発する恐れがあります(図1)。やむを得ず寒中でのグラウト注入作業を行う場合には、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、グラウトの使用量(材料費)に対して給熱機の燃料消費量が膨大となり養生費が過大となることから、寒冷地では冬期のグラウト施工を避けざるを得ないケースが多くなっています。その他、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。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、亜硝酸リチウムを添加して耐寒性を付与し、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。

まず亜硝酸リチウムを添加したセメント系グラウトの氷点環境下における強度発現性を明らかにするため、市販品(水結合材比38%)をベースに亜硝酸リチウムの添加率を広範に変化させた場合の圧縮強度について基礎的検討を行いました(図2)。亜硝酸リチウムの添加率が低い場合にはいずれの養生ケースにおいても強度発現が小さく、材齢28日以降に+20℃で追加養生しても強度増進が小さい

図1: グラウトの凍結による損傷事例

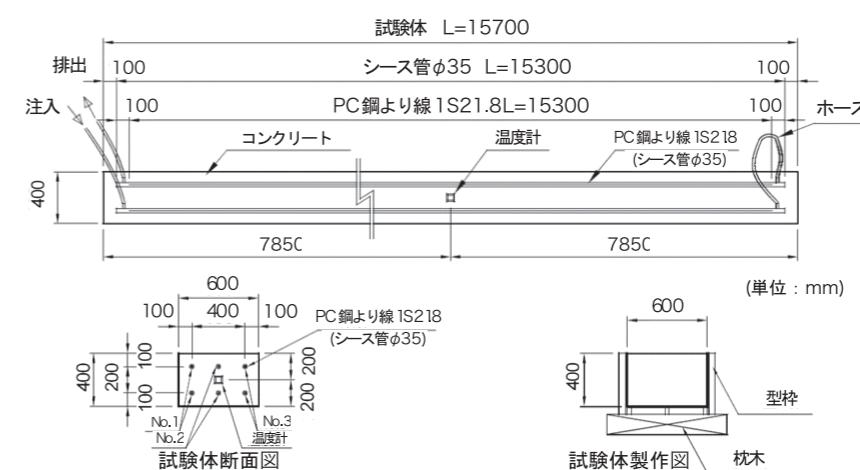
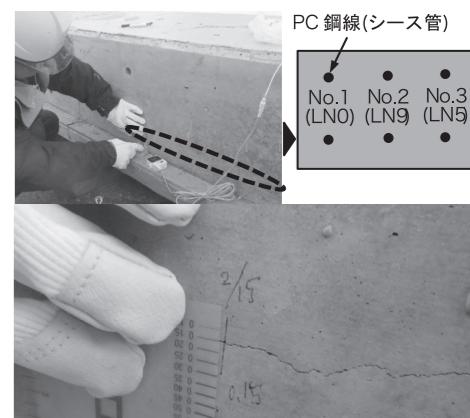


ことから、凝結硬化段階でグラウト中の水分が凍結して初期凍害を受けていると考えられます。一方、亜硝酸リチウムの添加率を増やすことで-20℃の氷点下においても強度増進し、PCグラウトの強度規定値(σ_{28} で30N/mm²以上)を満足することを確認しました。これは、亜硝酸リチウムによる凍結点降低作用とともに、亜硝酸イオンによるセメントの水和促進効果によるものと考えられます。このように温度条件毎に亜硝酸リチウムの添加率を適正に設定することで、グラウトの凍結を防止し氷点下においても良好な強度発現が得られることを確認しました。

以上の基礎的検討を踏まえ実施工に向けた一検討として、北見工大オホーツク地域創生研究パーク内にて実物大コンクリート試験体を作製し、厳冬期(2月中旬)に亜硝酸リチウム添加グラウトを注入した場合の充填性と、注入直後のシース内での温度低下がグラウトの品質に与える影響を確認するため注入前後に供試体を採取し圧縮強度を比較検討しました(図3)。その結果、亜硝酸リチウムを添加したグラウトの充填性は良好であり、試験体注入前後の圧縮強度に差異はなく、グラウト強度の規定値を満足することを確認しました。一方、亜硝酸リチウムを添加していない市販のグラウトでは、注入前後の強度差が大きく、グラウト注入翌日にはグラウトの凍結膨張に起因すると考えられるシースに沿ったひび割れの発生が確認されました(図4)。

なお、本研究は日本高压コンクリート・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: 実物大コンクリート試験体

図4: ひび割れ発生状況
(亜硝酸リチウム無添加: LNO)

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

Highlights

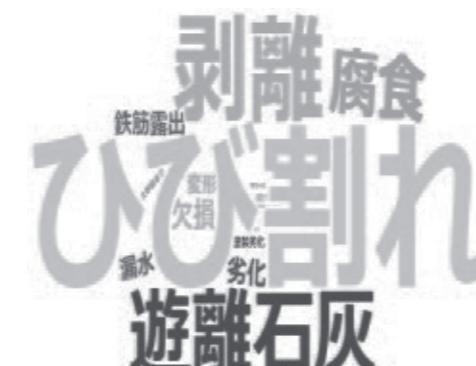
- 老朽化が進む市町村管理の小規模橋梁のデータベース化を進めています。
- 橋梁点検における従来の分類を精査し、実情に応じた細分類を追加しました。
- 従来データ化されなかった点検結果のメモ欄を可視化しました。

老朽化が進行する橋梁については、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度行な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、損傷写真台帳のメモ欄の可視化と地域の実情に応じた構造形式の細分類を検討しました。

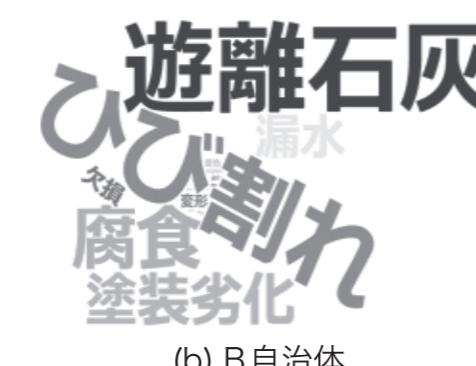
橋梁点検データ内の損傷写真台帳には、損傷写真を解釈するためのメモ欄がありますが、データとして活用されていません。そこで、メモ欄のデータを活用するため、2つの自治体のある年度の橋梁点検報告書について、メモ欄のテキストマイニングを行い、Word Cloudを用いて図1のように可視化しました。両自治体の共通点としては、鋼部材の「腐食」やコンクリート部材の「ひび割れ」「遊離石灰」が目立ちます。一方、A自治体ではコンクリート部材の「剥離」が多いが、B自治体では鋼部材の「塗装劣化」が多いといった違いも見受けられます。このような可視化手法はデータを直感的に理解することができるため、住民の皆さんへインフラの状態を伝えるコミュニケーションツールとなることも期待できます。今後は、2巡目に入った点検結果との比較などを進める予定です。

部門長・准教授
宮森 保紀名誉教授
三上 修一

図1:点検結果の可視化



(a) A 自治体



(b) B 自治体

橋梁点検では、技術者が手の届く程度の距離まで接近して損傷状態を記録するとともに、その橋梁の架設年次や構造形式などの諸元も記録します。このとき構造形式が適切かつ統一的に分類されれば、自治体を超えて損傷傾向の比較や補修方法の情報共有が可能になります。しかし、小橋梁の構造形式では、桁の形状や大きさ、桁長などの詳細な分類や、特殊な構造の分類は詳細に行われていません。そこで本研究では、オホーツク地域の橋梁を対象に現地踏査や資料調査を行い、PC橋の上部構造形式と床版形式についての細分類を行い、整備中のデータベースを更新しました。

細分類結果では、PC橋については標準設計の制定や改訂、改正年に基づいて分類しました。また、図2の溝形桁では、横縫め部分が露出している形式としていない形式があることが確認されました。床版については、国土交通省の橋梁定期点検要領に記載されたもの以外に、新たに「波型スレート板(図3)」と「柵板」を追加しました。「波型スレート板」は工場や体育館などの屋根材や壁材として、「コンクリート柵板」は簡易な土留め壁などに一般に使われます。これらの材料は通常は橋梁で使われることはありませんが、寸法や機械的性能が標準化されており、床版の底板として用いられた例が複数確認されました。

以上のように本研究では、市町村管理の橋梁の合理的な維持管理のために構造形式の詳細な分類を試み、その結果をデータベースに追加しました。今後は、詳細な構造形式単位で損傷記録を蓄積し、損傷傾向や損傷度合いを把握するとともに、他橋梁との比較や補修方法の情報共有により適切な補修強ができるようなデータベースの整備を進めます。また、オホーツク管内の各自治体や建設コンサルタント各社との連携もさらに進めます。

図2:PC溝形桁の細分類



(a) 横縫め露出型



(b) 横縫め内部型

図3 波型スレート板



中詰め材が異なる2層のジオセルからなるのり面保護工の開発



部門長・教授
川口 貴之
准教授
中村 大
センター長・准教授
川尻 峻三

Highlights

- 表流水や浸透水による侵食抑制、雨水・融雪水の浸透抑制、施工の省力化、緑化による景観性向上が期待できるのり面保護工を開発しました。
- 開発したのり面保護工がオホーツク地域で社会実装されました。

北海道のような積雪寒冷環境では、凍結融解作用を受けた斜面の極表層が春先の融雪水や夏季の大霖によって崩壊するが多く、この種の崩壊に対する応急復旧や対策工には冬季の凍上や春季の融解沈下に追従できることや、融解時に高含水状態になった表層の侵食を防ぎ、適度な重量によって余剰水分を脱水・排水できるといった性能が要求されます。また、北海道でも気候変動に伴って短時間強雨の発生回数は今後も増加すると想われていることを考えますと、のり面背後の浸透水量は可能な限り抑制できることが望ましいと考えられます。さらに、寒冷地への適用を考えると、中詰め材の凍上性は低い必要がありますが、砂質土では融雪水や降雨による侵食・流出が懸念されるとともに、北海道の道路のり面では生態系や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。他にも、建設業界においても高齢化や人材不足は深刻化しており、今後は施工の省力化や効率化が今以上に強く求められることは必然です。

以上の背景から、これまでの性能は保持しながらも、浸透抑制と緑化機能を充実させることを目的として、中詰め材が異なる2層のジオセルから構成されるのり面保護工を新たに考案しました(図1)。背後の浸透水や凍結融解後の余剰水分を排出し、それによる侵食を抑制する目的で、のり面上には1層目のジオセルを設置し、碎石(C-40)を充填しています。そして、1層目の上には2層目の中詰め材が1層目に吸い出されないように不織布を敷設し、その上に2層目のジオセルを設置して緑化基盤にな

図1:開発したのり面保護工の概略図

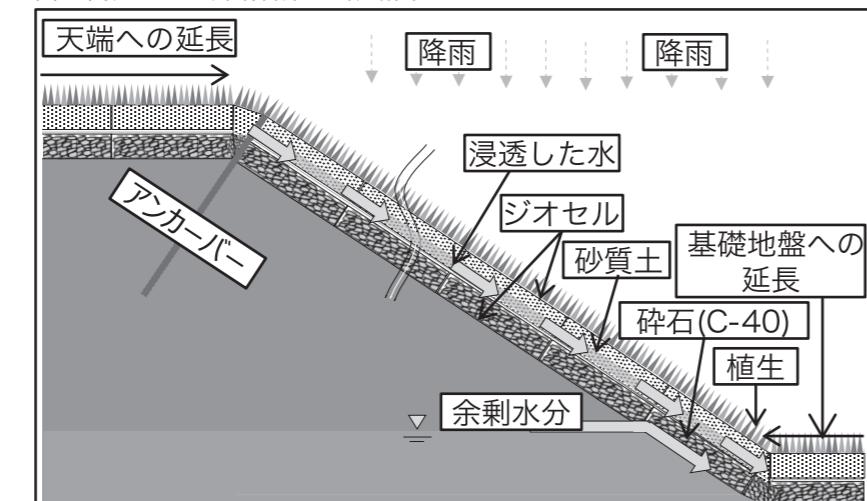


写真1: 実物大実験の様子

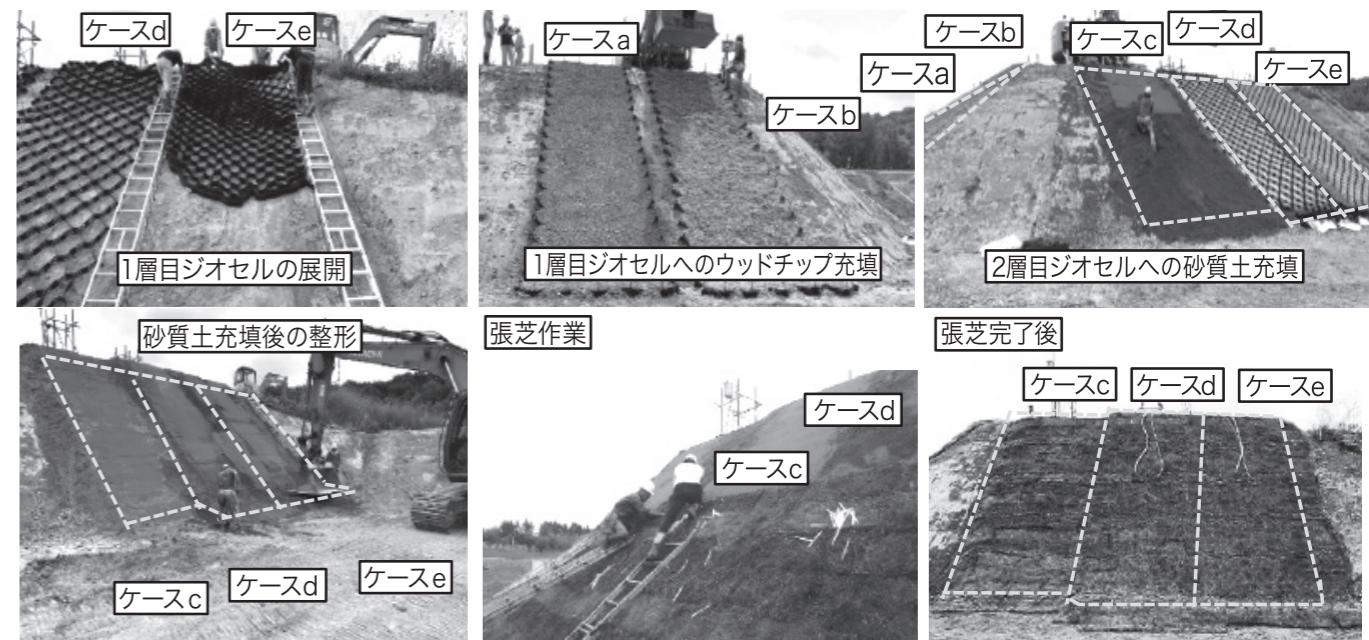


写真2: 散水試験の様子

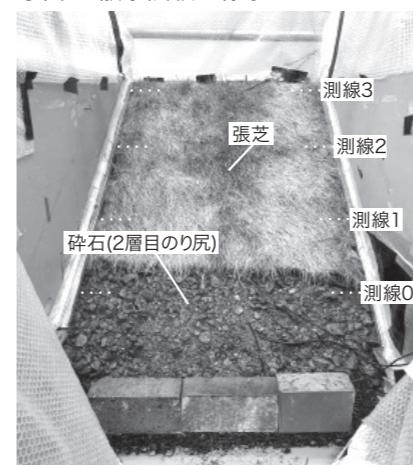


写真3: 社会実装されたのり面保護工



るよう砂質土を充填しています。さらに、2層目の上は植生シートや張芝によって緑化します。なお、この工法では、降雨や融雪によって砂質土層(2層目)に浸透した水は、粒径と保水性の違いによって碎石層(1層目)への浸透が抑制され、砂質土層内を流下しようとする浸透抑制機能が期待できます。

オホーツク地域創生研究パーク内で実物大実験を行い、期待される機能についての検証を行いました(写真1)。また、室内では模型土槽に対する散水試験によって浸透抑制効果に関する定量的な検証を行いました(写真2)。その結果、アンカーバーの削減によって省力化が可能であることや、のり面勾配によらず緑化も良好であること、条件によっては最大で降雨浸透を1割程度にまで抑制できることを確認しました。そして、本保護工はオホーツク地域にある農地周辺ののり面崩壊対策として社会実装されました(写真3)。本研究の一部は、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の下で行われました。関係各位に感謝の意を表します。

ジオセルによる生活道路を対象とした地震時段差抑制対策の開発

Highlights

- オホーツク地域創生研究パーク内で段差抑制工の実物大実験を行いました。
- 開発した対策工で緊急車両が通行できる程度の段差抑制効果を確認しました。
- 融解期の路面クラックやわだち掘れの抑制にも有効であることを確認しました。

平成30年9月の北海道胆振東部地震では、大規模斜面崩壊や液状化現象を主たる要因とした地盤沈下や土砂流出など、多くの地盤災害が発生しました。この中には、札幌市内の生活道路で発生した、盛土部分が圧縮・流動し、切土部分との境界にある舗装路に生じた段差による交通障害もありました。

このような段差対策としては、構造物境界で用いられる踏掛版や、ジオシンセティックスを用いた効果的な段差抑制対策工が既に提案されていますが、対象とする生活道路への適用を考えると、設置費用が比較的安価で施工性が良いことや、水道やガスといった埋設管工事の際に撤去や再構築が容易であることも要求されます。そこで、展開すると厚みのあるハニカム構造のジオシンセティックス立体補強材であるジオセルに着目し、これに碎石(C-40)を充填して全体を不織布で巻いたものを切盛境界部の路盤下に設置する段差抑制対策工を新たに開発しました(図1)。この対策工で使用したジオセルであれば掘削時に切断しても、同等な引張強度を維持して再接続することも可能です。また、厚みの分だけ摩擦を発揮する表面積が大きくなることや、対策工自体の自重が増すことによって、地震による急激な段差変位が生じても、盛土側への引張力に対してある程度の引抜き抵抗を発揮することが期待できます。さらに、中詰め材がジオセルと不織布によって拘束されることによって、曲げに対して抵抗するとともに、本来の柔軟性によって変形がなだらかになり、最低限緊急車両が通過できる程度の路面形状を保持することも期待できると

図1:開発した段差抑制工の概要図

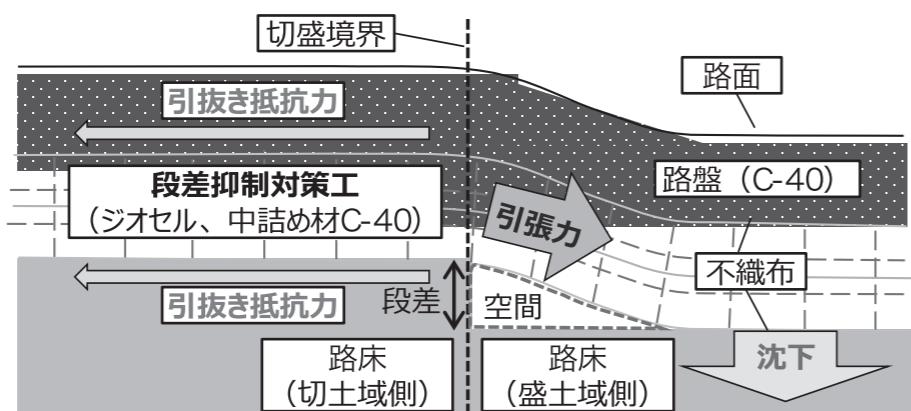
部門長・教授
川口 貴之客員教授
須志田 健センター長・准教授
川尻 峻三

図2: 実物大実験に関する概要図

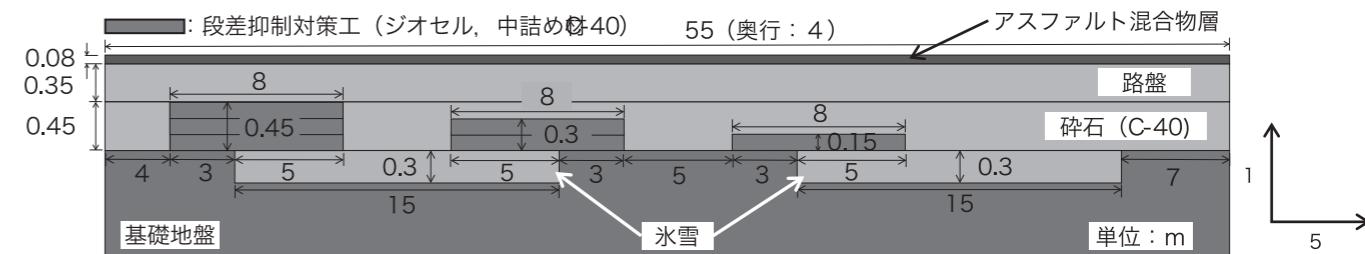


図3: 走行試験前後における段差周辺の路面形状の比較

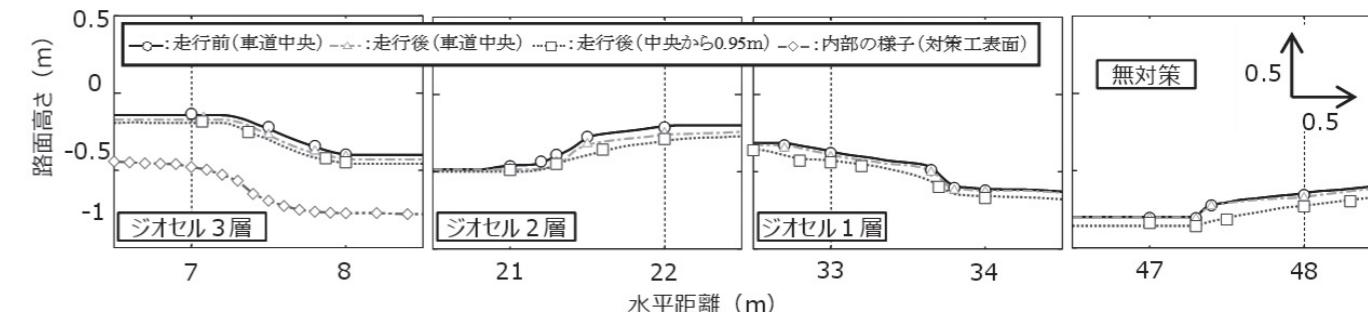
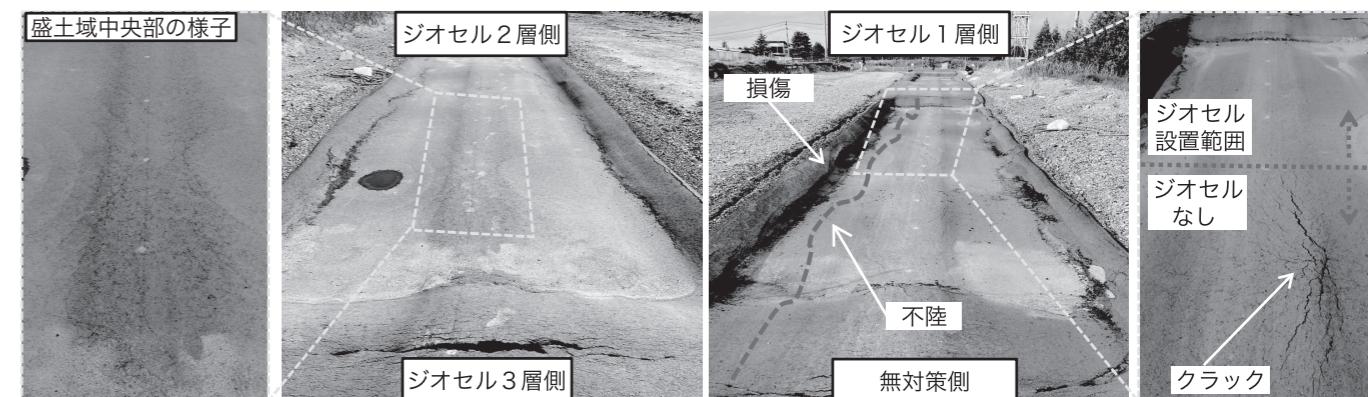


写真1: 走行試験後の段差周辺の様子



考えました。

事前に室内模型試験によって、ジオセルの層数を増やすほど、対策効果が高まる事を確認した後、段差が生じる部分に層数が異なる対策工を設置した実物大実験を行いました。段差を生じさせる部分は予め掘削し、厳冬期に雪と氷で埋めて平坦にした後に舗装路を構築することで、融解期に段差が発生する仕組みとしました(図2)。夏季に段差の変化が収束したことを確認した上で、総重量を200kNに調整したダンプトラックによって100往復の走行を行いました。走行試験前後の路面形状から、無対策や層数が少ない場合には舗装の損傷範囲も大きく、わだち掘れが顕著であったのに対し、3層のジオセルを用いた場合には、路面形状もなだらかで、緊急車両の通過も可能であることを確認しました(図3、写真1)。さらに、段差近傍に限らず、対策工の設置範囲外ではクラックや不陸が顕著となっており、本対策工は融解期に重車両が走行することで生じる路面のクラックやわだち掘れなどの損傷抑制に対しても有効であることが分かりました(写真1)。

動態観測と熱伝導解析による道路の損傷軽減と管路の浅層埋設への挑戦



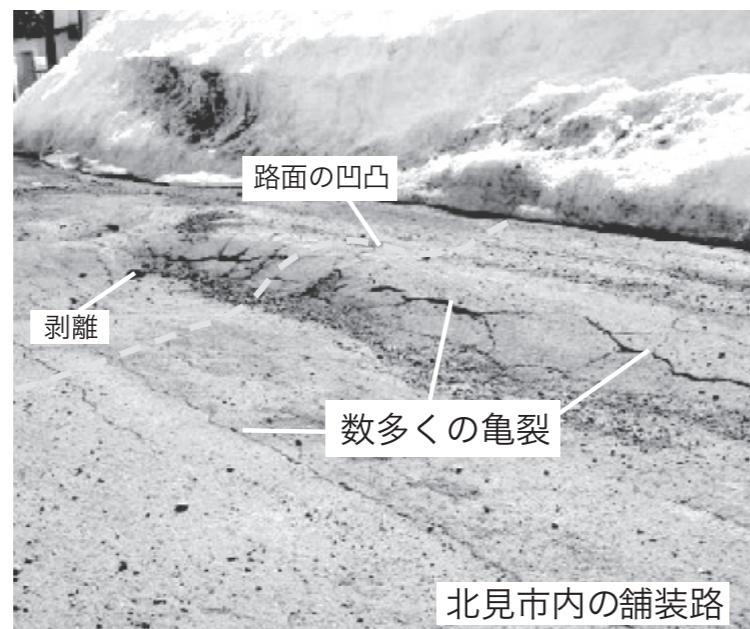
准教授
中村 大
部門長・教授
川口 貴之

Highlights

- 路面温度と気温の関係式を導出し、簡単な二次元熱伝導解析モデルを構築して、北見市内では精度良く最大凍結深さを推定できることを確認しました。
- 北見市の管路の埋設深さを現行より0.3m程度浅くすることを実現しました。

寒冷地の舗装路では、冬季の凍結と春季の融解によって、路面の亀裂や凹凸、わだち掘れ、表層剥離による陥没などの損傷が発生します（写真1）。この主要因には、道路の土台となる路床が凍結して膨張（凍上）することや、凍結融解によって脆弱化すること等が挙げられ、この対策として、古くから凍結深さまでを良質な地盤材料で置き換える置換工法が広く採用されています。しかし、厳寒地域では施工性やコストの面から置換率を下げており、日本では理論的な最大凍結深さの70%しか置換していません。

写真1:凍結融解で損傷した舗装路



北見市内の舗装路

一方で、市街地の舗装路下には水道管やガス管といった管路が埋設されています。老朽化した埋設管の更新は世界的に問題となっており、特に日本では高度経済成長期に集中的に整備されたために深刻です。また、寒冷地では管路内の凍結や周辺地盤の凍結膨張による損傷を防ぐ目的で深い位置に埋設しているため、更新コストが大きくなり、更新作業が大幅に遅れています。この管路の埋設深さは理論最大凍結深さ等を参考にして経験的に決定されたもので、実際よりもかなり大きい場合が多いです。更新コストの縮減を考えると、管路の浅層埋設についても検討していく必要があります。以上の問題の解決には、その地域の気候やそれに伴う路面状況に応じて、設計に必要な確率年数に応じた最大凍結深さを精度良く求めるシステムを確立することが重要です。

図1: 研究の概要

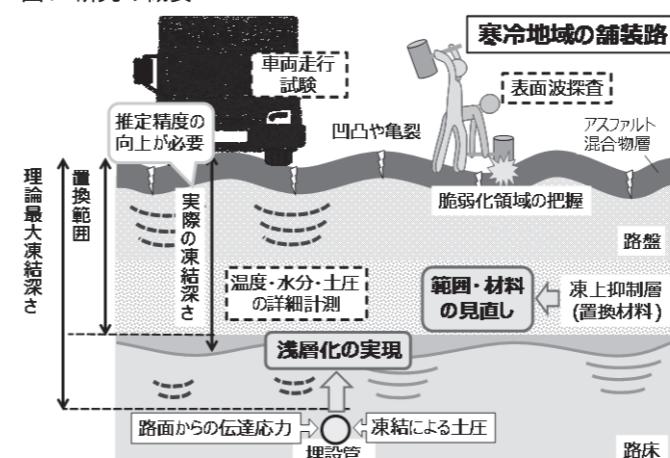
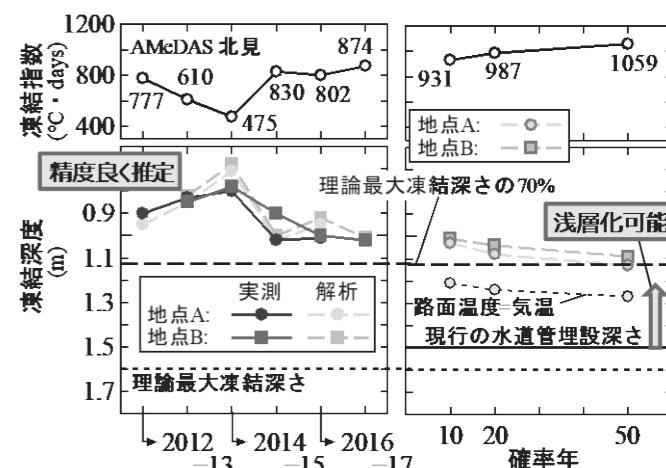


図2: 左・実測と解析による凍結深さの比較、右・N年確率における凍結深さの計算

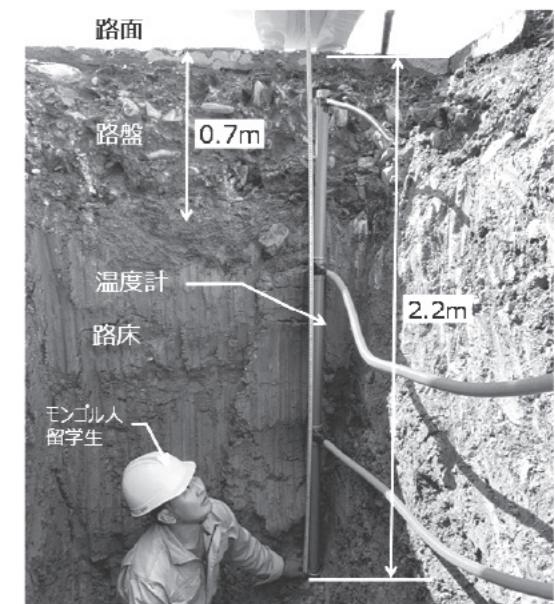


このような背景から、北見市上下水道局や北海道ガス（株）の協力を得て、北見市内の複数地点にある舗装路下に多くの温度センサーを埋設し、最大凍結深さや道路横断方向における凍結深さの違い等を計測しています。また、土圧計や水分センサーも埋設して詳細な動態観測を続けるとともに、普通自動車やホイールローダーといった車両を通過させた際の伝達応力の計測も行っています。さらに、表面波探査と呼ばれる物理探査技術に注目し、寒冷地における調査・解析手法についても研究を続けています（図1）。

以上の研究で取得した北見市内の舗装路下の膨大な温度データを用いて、熱伝導解析で最大凍結深さを推定するのに不可欠な、路面温度と気温の関係式を導き出しました。また、簡単な二次元熱伝導解析モデルで最大凍結深さを推定できるシステムを構築し、北見市内で精度良く推定できることを確認しました（図2）。そして、最終的に北見市の管路の埋設深さを現行より0.3m程度浅くすることを実現しました。

現在はこの研究成果を、海外の極寒地域へ技術移転することを目指しています。そのためには、構築したシステムが気候や地盤特性が異なる国外の寒冷地において、どこまで汎用性があるか検証する必要があります。そこで2019年度から、モンゴル国・ウランバートル市の市道で温度測定をスタートさせました（写真2）。さらに、令和3年度からは、JICA（国際協力機構）、北見市と協力して、モンゴル国で様々な検証実験を展開していくことが決定しています。

写真1: モンゴル国での実験の様子



IoTを活用した アンカー補強土壁の新たな 品質管理方法の開発

Highlights

- 標準で補強材に設置されているターンバックル回転時のトルクから、
補強材抵抗力に直結する指標を高頻度で確認できるシステムを開発しました。
- IoTトルクレンチを用いることで遠隔地でもリアルタイムで把握可能にしました。

部門長・教授
川口 貴之センター長・准教授
川尻 峻三准教授
中村 大

補強土壁は、垂直もしくは垂直に近い壁面工と補強材から構成され、壁面工に作用する土圧と、盛土内に敷設した補強材の引抜き抵抗力との釣合いによって安定を保つ土留め構造物です（図1）。従来のコンクリート擁壁に比べて経済性、施工性、耐震性に優れている等の理由から、広く普及していますが、それと伴って変状する事例も報告されるようになってきました。この要因には、地震動や地下水・地表水の浸透・浸食といった外力の作用以外に、不適切な盛土材料の使用や締固め不足もあります。補強土壁工の品質管理基準は一般に500m³に1回の割合で測定する現場密度に基づいていますが、特に分割パネルタイプの補強土壁では局所的な不適切材料の混入でも変状しやすいことを考えると、この程度の頻度での測定であっても、急な盛土材料や土質の変化が見過ごされる可能性が高いと考えています。本来、盛土材料や土質が変化した場合には、設計自体を見直す必要がありますが、どの程度の変化で見直すのかを判断するのは極めて難しいのが現状です。

このような背景から、この種の変状を防ぎ、品質の高い補強土壁を確実に構築していくためには、高い頻度で盛土材の適否が確認できるような簡易な品質管理システムの構築が重要と考えました。また、これに用いる指標は補強土壁を支える補強材抵抗力にできるだけ直結したものである方が良く、品質管理のために計測した結果は、施工者だけでなく、発注者や採用した補強土壁の専門家であるメーカー等がリアルタイムで共有できるシステムであることも望ましいとの考えに至りました。そこで、アンカー補強土壁の補強材に標

図1: アンカー補強土壁の概略図

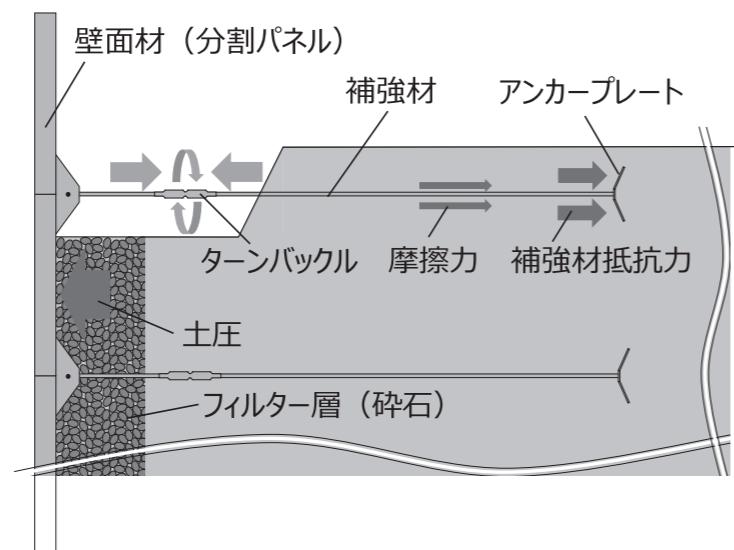


図2: 開発した品質管理システムの概略図

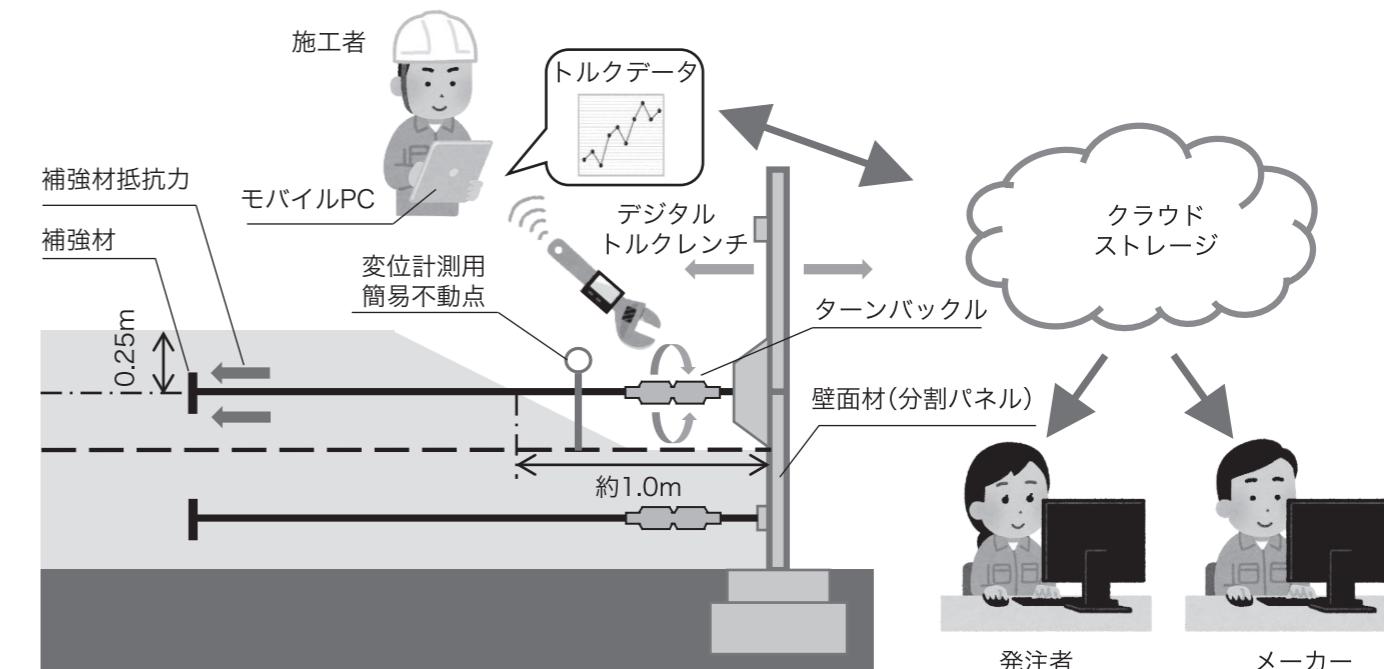
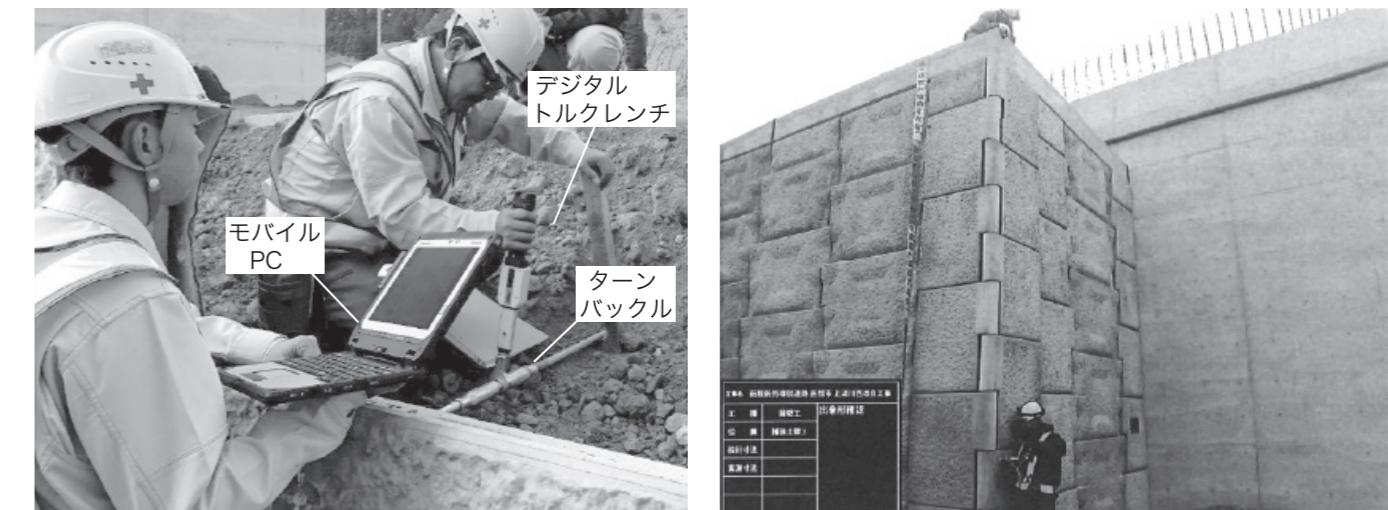


写真1: 施工中のトルク計測と竣工後の様子



準装備されており、本来は壁面調整用であるターンバックルに着目し、これをIoTトルクレンチを使って回転させたときのトルクをクラウドストレージで保存することで、管理者や補強土壁の専門家であるメーカーがリアルタイムで確認できるシステムを考案しました（図2）。

室内模型試験によって、トルク値と補強材抵抗力に相関があることを確認した後、実際に構築しているアンカー補強土壁でシステムの検証を行いました。補強材に装着した荷重計で得られた補強材抵抗力とトルク値との関係から管理基準値を決め、全ての計測点で所定のトルク値が発揮され、完成した補強土壁の鉛直度も高いことを確認しました（写真1）。本研究は国土交通省「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」の下で実施されたものです。関係各位に感謝の意を表します。

積雪寒冷地における植生工の補強効果の解明とその限界の明示化に関する研究



准教授
中村 大
部門長・教授
川口 貴之

Highlights

- 土中に発達した根系量が多くなるほど、土のせん断応力が大きくなることを明らかにしました。また、これに与える凍結融解の影響が小さいことも確認できました。
- X線CTスキャンで土中に発達した植物根系を、観察することに成功しました。

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といった災害が多発しています。北海道においてもこのような災害は増加傾向で、平成28年8月北海道豪雨災害では、国道の土砂崩れや堤防の決壊、橋梁の損壊などが発生して、甚大な被害がもたらされました（写真1）。近年の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浸食や崩壊、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、北海道開発局では自然環境に配慮して、植生工を優先的に採用することを推奨しています。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、主に期待される補強効果としては、表層崩壊の抑制効果、雨水による侵食防止効果等が挙げられます。また、寒冷地で頻発する凍上現象による崩落の抑制も期待できると考えられています。ただし、現在の植生工は豪雨を想定した設計・施工となっていません。これは、植生工の補強効果を定量的に評価する手法そのものが確立されておらず、植物根系による補強効果が斜面の安定性にどの程度寄与しているのか明らかにされていないことが大きく影響しています。



写真1: 平成28年8月北海道豪雨災害における道路、堤防の被災状況

そこで本研究では、植生工に期待される補強効果を明らかにし、特に草本植物を用いた植生工の適用範囲とその限界について明示化することを目指しています。植生工の補強効果を明らかにしてその限界を示すことができれば、想定する雨量が決まった時に、その場所の重要性等を考慮して植生工の採用を回避し、構造物によるのり面保護工を選択するといった判断を行うことが可能になります。

植生工に期待される補強効果のうち、表層崩壊の抑制効果については、土被り厚の小さいのり面表層の地盤内応力を模擬した低鉛直応力の定圧一面せん断試験で明らかにすることに取り組んでいます。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（写真2）。せん断試験の結果、植生供試体では生育期間が長く、根系量が多くなるほど、最大せん断応力が大きくなることが明らかになりました（図1）。また、本研究では実験結果の解釈にX線CTスキャンを活用しています。図2は土中に発達した根系のX線CTスキャン画像で、根系を黒色、それ以外を無色透明で表示しています。図から、生育期間が長い方が、せん断面周辺にある根系の量が明らかに多いことが確認できます。なお、懸念された凍結融解履歴の影響については、耐寒性があるとされているケンタッキーブルーグラスでは、凍結融解履歴が根系の補強効果に与える影響は大きくないことが明らかになりました。

現在は、植生工に期待される補強効果のうち、雨水による侵食防止効果を明らかにするため、これを定量的に評価する手法を開発することに取り組んでいます。

写真2: 植生供試体



図1: 最大せん断応力 τ_{max} と根系乾燥質量の関係

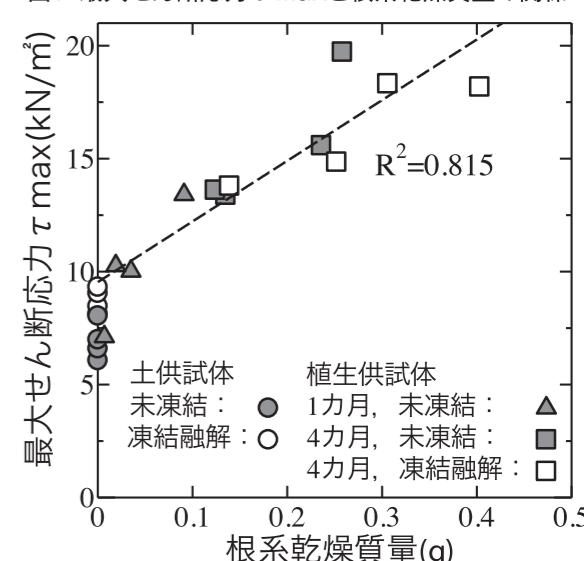
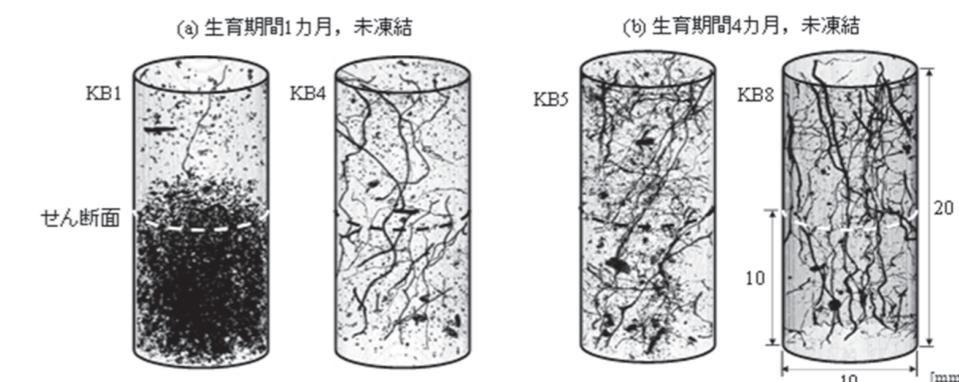


図2: 土中に発達した根系のX線CTスキャン画像



洪水時の橋脚傾斜メカニズムの解明とモニタリングシステムの開発・実装

Highlights

- 大型開水路実験を行い、洪水時の橋脚傾斜メカニズムを明らかにしました。
- 橋脚の不安定化を道路利用者と道路管理者へ発信するシステムを開発しました。
- 開発したシステムを実際の橋に取り付けてシステムの運用を開始しました。

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(図1)。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。このことから、洪水によって流失の危険性がある橋脚では危険性を早期に察知して道路利用者や道路管理者に危険性を迅速に発信し、利用の抑止や通行止めをする必要があります。そこで本研究では、①北見工大オホーツク地域創生研究パーク内に人工河川を構築し、大規模な洪水実験によって橋脚の傾斜メカニズムを把握し、②メカニズムを反映した橋脚傾斜のモニタリングと情報発信システムの開発・実装を行いました。

図1:洪水による橋脚の被災事例



洪水時の橋脚傾斜メカニズムを検討するため、北見工大オホーツク地域創生研究パーク内に人工河川を構築し、実物の5分の1の橋脚模型を設置して人工河川へ洪水に相当する水を流しました(図2)。橋脚模型には、傾斜を感知すると赤色に点灯して道路利用者の通行を抑止するためのLEDセンサー、LPWA(低消費電力で長距離の通信が可能な無線通信技術)によって道路管理者へ橋脚傾斜のデータを伝送するシステム、橋脚を支える地盤の圧力を計測する機器などを設置しました。この実験の結果、橋脚の傾斜が始まったタイミングでは、橋脚を支える地盤は洪水流によって消失しているので、橋脚を支える地盤の力もゼロとなっていることが判明しました。(図3)また、このような傾斜が発生した場合には、道路利用者の通行を抑止するためのLEDが赤く点灯し、さらにこの傾斜のデータ

センター長・准教授
川尻 峻三アドバイザー・教授
渡邊 康玄教授
早川 博

はクラウドを介して道路管理者へ迅速に伝送されました(図4)。

以上のような基礎的な実験から、橋脚傾斜時には橋脚を支える地盤の力が失われており、極めて危険な状態であることがわかりました。このような状態のデータを道路管理者へ迅速に伝達するだけでなく、道路利用者の通行を迅速に抑止するために橋脚の傾斜を察知してLEDを赤点灯するシステムの有効性が確認できました。本研究ではこのシステムを実際の橋に取り付けて、実運用しています。実運用のシステムでは、LEDをより視認し易い位置に取り付け、ソーラーパネルなどを併設することで商用電源が確保できない場所でも計測が可能です。また、本システムの運用にあたり、日常的に橋を利用する住民へ事前の説明を行うだけでなく、橋の両端に注意喚起の看板を設置しました(図5)。

なお、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であり、オホーツク地域創生研究パークの実験では北海道開発局北見河川事務所・北見道路事務所、(株)エーティック、大阪大学の協力と、北海道河川財団からの研究助成によって実施されました。記して深甚なる謝意を表します。

図2:人工河川による大規模実験の概要

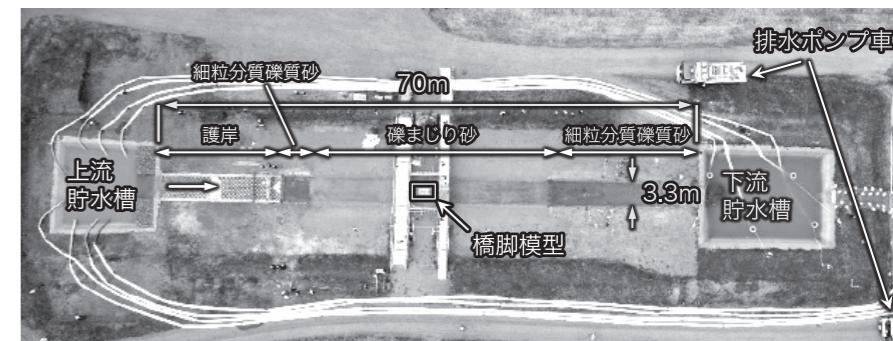


図3:地盤反力変化と模型橋脚の傾斜過程

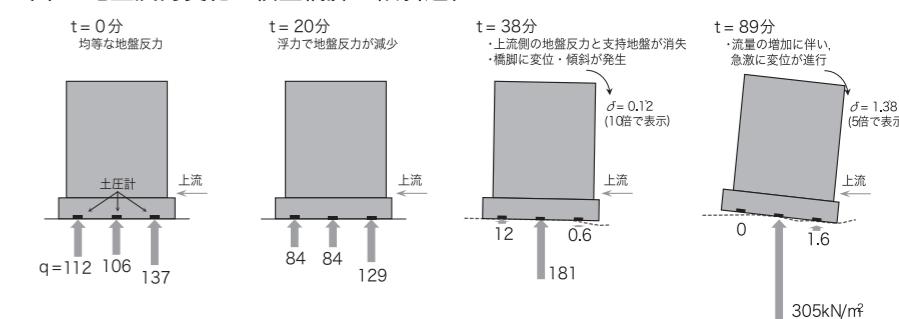


図4:LECの点灯状況

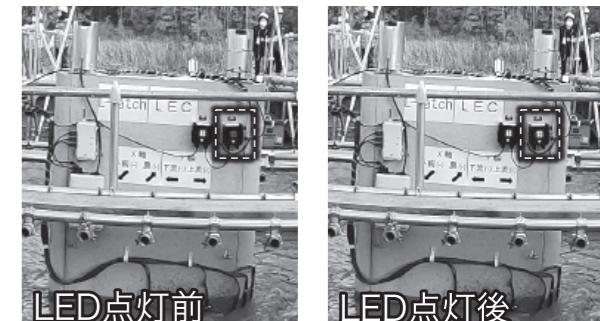


図5:実橋に設置したシステム



79GHz帯ミリ波レーダを用いた 水上物体の移動検知に関する実験



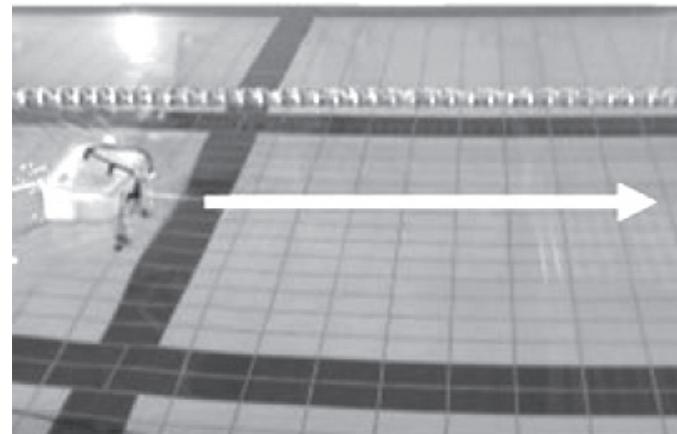
准教授
吉澤 真吾

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。
- ミリ波レーダで水上にある物体が移動する状況を検知する実験を行いました。

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、79GHz帯ミリ波レーダ装置を用いた水上物体の移動検知に関する予備実験を行いました。令和3年度には本学で整備された「積雪寒冷環境を再現可能な総合防災実験システム」(図1)を利用して、夜間、風雪、大雨などの視界不良を再現した条件下での実験を行う予定です。

図2: 北見市民温水プールでの実験



本実験で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。評価キットで取得したデータを解析して水上物体が移動する状況を検知する実験を行いました。

図1: 総合防災実験システム実験棟



図2は北見市民温水プールで実施した実験の様子です。ミリ波レーダをプールの縁に設置し、水上でコンテナを左から右に動かしたときにどのように検知されるかを観測しました。図3はコンテナの移動を検知したときの状況を時間推移でグラフ化したものです。グラフでは10秒から28秒の間にレーダが検知していることがわかります。コンテナがミリ波レーダ装置を横切る状況を観測することができました。

図4は野付牛公園の池でボートの移動検知を行う実験を行った様子です。ミリ波レーダを池の縁に設置し、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5はボートの移動経路を取得した結果です。時間が経過するにつれて図中のプロットの色が黒から赤に変化しています。ボートが左端から移動し、レーダの前を3回横切る状況を捉えることができました。

本実験からミリ波レーダ装置で水上を移動する物体を良好に検知できることがわかりました。今後は、総合防災実験システムを利用した視界不良条件下のレーダ観測実験を行うとともに、レーダ観測装置で取得したデータを無線ネットワーク経由でサーバに蓄積し、リアルタイムで解析するシステムを構築することを目標として更なる研究を進めていく予定です。

図3: コンテナ移動検知の時間推移

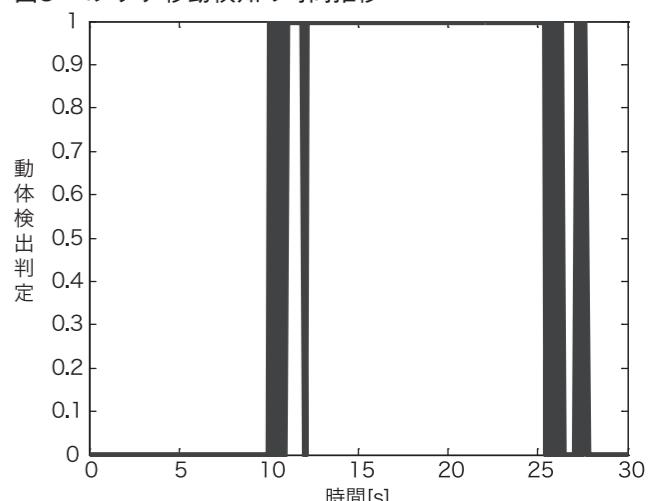
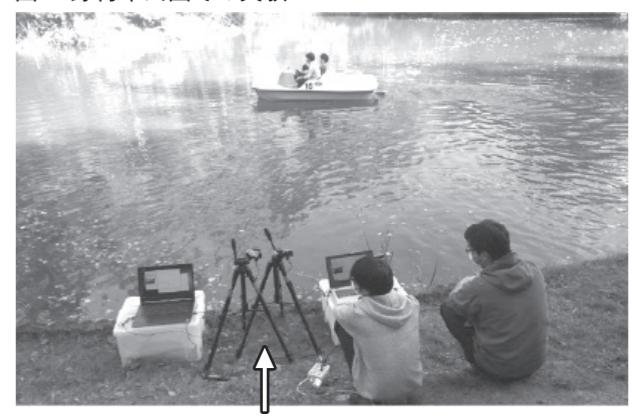
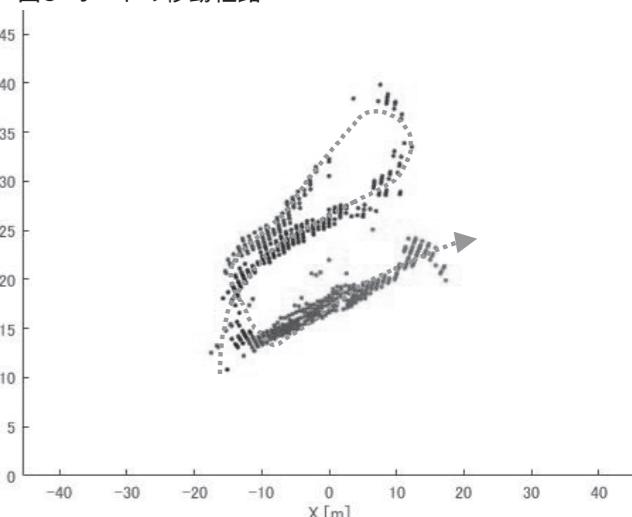


図4: 野付牛公園での実験



ミリ波レーダ

図5: ボートの移動経路



9年ぶりに大雪となった 岩見沢での積雪断面観測 (2021年3月)



准教授・気象予報士
白川 龍生

Highlights

- 9年ぶりに大雪となった岩見沢で積雪断面観測を実施しました。
- 毎年続けてきた融雪出水直前期の積雪層構造・積雪水量と比較したところ、
いずれも9年前(過去最も雪が多かった年)に並ぶ水準で、雪害への警戒が必要です。

北海道岩見沢市は、今シーズン(2020/2021シーズン)、9年ぶりの記録的大雪に見舞われました。この影響により、道路交通網の麻痺や鉄道の運休、雪による建物の倒壊など、地域経済や市民生活には大きな支障が生じました。筆者(白川龍生)は9年前の2012年3月上旬(北海道の平地で融雪流出が起きる直前期)、岩見沢で積雪断面観測を実施し、積雪深:194cm、積雪水量:(積雪を融かして水にしたときの水深)744mmの測定結果を得るとともに、積雪層構造の観測を行いました。また、複数の雪氷研究者とともに各地の調査結果を集約し、気象と雪害との関連について解析を行い、報告書にまとめました(公益社団法人 日本雪氷学会北海道支部雪氷災害調査チーム、2012)。今回も9年前と同水準の降積雪となっていることから、筆者は9年前と同じ方法で積雪断面観測を実施しましたので報告します。

図1は、2021年3月5日に撮影した岩見沢の積雪断面です。積雪断面は、雪面から地面に向かって積雪を鉛直に切り出して作成します。ここでは、層位と雪質・粒径を記録し、必要に応じ他の物性値についても測定します。これに加えて、防災上は積雪水量の測定が重要です。積雪は堆積直後から圧密によって沈降し続けるため、その冬に降り積もった雪を量的に把握するには、積雪深だけではなく積雪の水当量、すなわち積雪水量の値を見る必要があります。これは気象庁の観測網ではフォローされていない情報で、現地測定によりデータを取得します。

図1:2021年3月5日 岩見沢の積雪断面
(積雪深:181cm、積雪水量:702mm)



図2:岩見沢における2012年以降の積雪断面観測結果(融雪出水直前期)

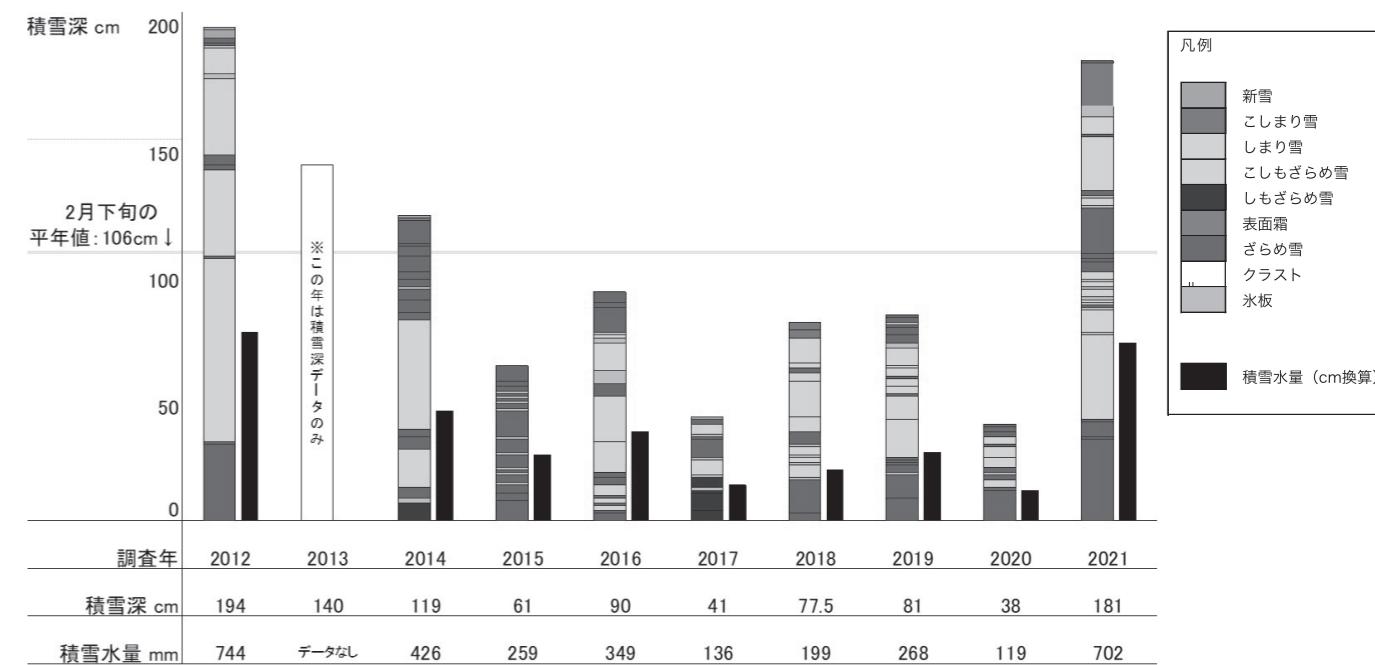


図2は、今回の観測結果を含む、2012年以降の積雪断面観測結果をまとめたものです。今回の観測では、積雪深:181cm、積雪水量:702mmでした。岩見沢では積雪の表面融解は始まっていますが、融雪出水の起きる前であり、積雪水量は最も大きい時期といえます。図2より、9年前と今回の調査結果は、2月下旬の平年値(106cm)と比べ突出していることがわかります。いずれも、積雪層構造はざらめ雪としまり雪を主体とする、密度の高い、硬く重い雪です。また積雪水量は700mmを超えており、雪の少ないシーズンと比べると2~6倍の水が積雪の形で留まっています。このことにより、空間の閉塞や圧密沈降による雪害が発生する可能性があります(図3;大雪の岩見沢市内)。さらに融雪期には普段よりも融雪水が多くなることから、融雪災害にも十分な注意が必要です。今回は9年前と同様の雪害が各地で既に発生していることから、筆者らは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。



本研究は、JSPS 科研費19K04647の助成を受け実施しました。

積雪期に通信過疎地の橋梁を遠隔診断できる計測システムの研究開発

部門長・准教授
宮森 保紀名誉教授
三上 修一

Highlights

- 雪寒地域の通信過疎地でも災害直後から効果的に健全性を診断するための、高精度の橋梁診断システムを開発しました。
- 高精度傾斜計は -30° で $\pm 0.05^{\circ}$ の傾斜を測定可能、通信システムは冬季の降雪中でも10kmの遠隔通信が可能でした。

災害発生時にその状況を適切に把握し、迅速な対応を行うため、長距離無線通信を活用した技術開発が求められています。本研究では、北海道のような雪寒地域の通信過疎地でも災害直後から効果的に橋梁の健全性を診断するための、高精度の橋梁診断システムを開発しました。

本計測システムは、橋梁の橋脚や橋台の変位に伴う傾斜角をMEMSセンサーで高精度に計測すると共に、データをLoRa通信でゲートウェイに送信する機能を有します。計測システムの通信基板は図1のようにLoRa通信モジュール、MEMSセンサーとの通信デバイス、リチウム電池等の電源部、計測と通信及び電源を制御するマイクロコンピュータで構成しています。

まず、高精度傾斜計について、北見工業大学社会連携推進センターの -30°C の低温室で、LoRa通信および傾斜角計測精度の実験を行いました。図2のように傾斜ステージの傾斜を変えながらMEMSセンサーで傾斜角を計測しました。計測データは計測端末内のマイクロコンピュータで演算しLoRa通信経由でゲートウェイに送信しました。計測端末は -30°C でも正常に動作し、傾斜角度についても $\pm 0.05^{\circ}$ の精度を満たすことを確認しました。

図1: 計測端末

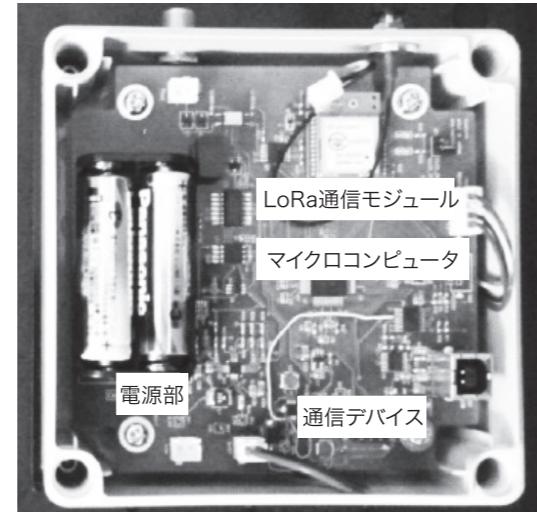
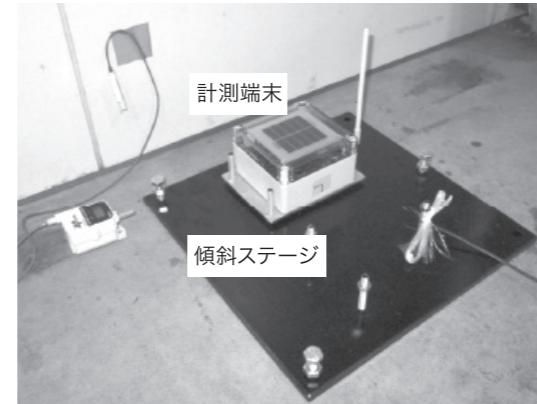


図2: 低温実験状況



通信システムの遠距離通信実験は、札幌市内および近郊で無雪期と積雪期に実施しました。無雪期の実験では最大14.5kmの通信に成功しました。市街地の見通しが利かない場所でも電波の回り込み特性により通信が成功する一方、見通しがあっても発電施設などが経路近くにあり通信が失敗する場合もありました。積雪期の実験は、天候雪、気温 -1°C 、2点間の距離9.7kmの条件で行い、降雪のため目視上の見通しはありませんでしたが、通信コマンドの送受信と傾斜の計測に成功しました。さらに、通信過疎地での通信実験を、国道273号三国峠近くのLTE・3G通信の圏外で行いました。天候は晴れ時々雪、気温 -10°C 、2点間の距離1.1kmで、図3のような森林や起伏した地形で目視上の見通しはありませんでしたが、電波の広がりであるフレネルゾーンを考慮してアンテナを設置することで通信コマンドの送受信と傾斜の計測に成功しました。

開発した計測システムが、洗掘被害を受ける橋梁のモニタリングと健全度診断に適用可能であることを検証するため、橋梁のFEMモデルに対して非線形静的解析を行いました。橋台の下面は節点バネ要素で支持地盤を表現し、洗掘はこの地盤バネを段階的に削除して表現しました。その結果、洗掘割合の増大に伴い傾斜は大きくなり、事前に実施した再現実験と同様の傾向を確認しました。図4のように洗掘割合が大きくなると橋台が傾斜しひび割れが連続する結果となりました。これらの結果から、解析モデル上で構造安定性を維持できる閾値を確認し、試作機の測定精度で検出可能なことも確認できました。

今後は、実橋梁での動作検証を経て計測・通信装置の完成を目指します。また、安全性判定の指標となる洗掘時の傾斜角についても、複数の解析ケースを設定し、使用性と構造安全性の両面から合理的に管理値が設定できるように検討を進めます。

本研究は、北海道科学技術総合振興センター（ノーステック財団）の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）により、日本仮設株式会社、構研エンジニアリングと共に実施しました。関係各位のご支援、ご協力に感謝いたします。

図3: 通信過疎地の通信実験状況

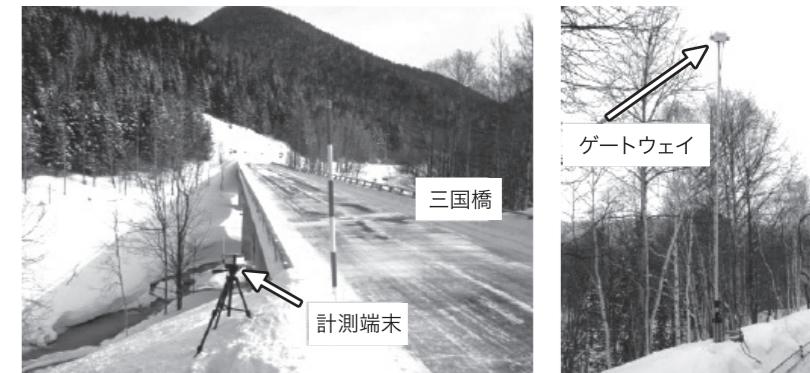
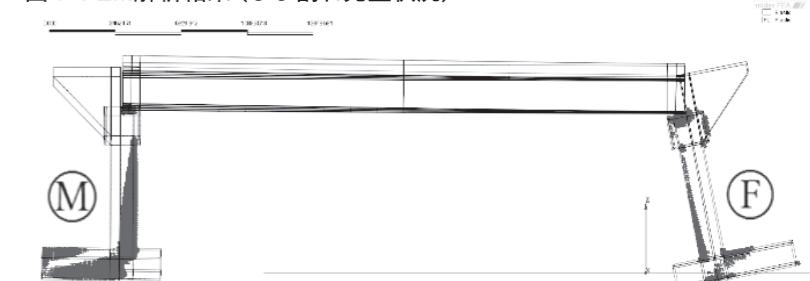


図4: FEM解析結果（ひび割れ発生状況）



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

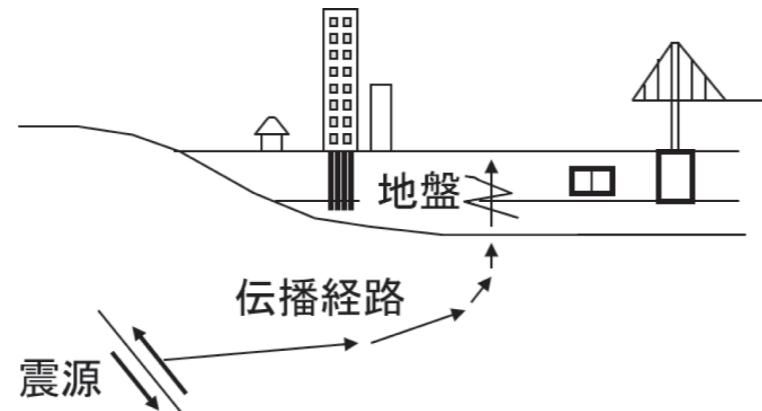
- 地震の揺れに影響する表層地盤の特性の違いを常時微動観測により調査します。
- 季節ごとに地震計の近くで常時微動観測を行うことで、冬季に地盤が凍結したときの地震による揺れへの影響を、地震の記録と常時微動の記録から検討します。

2018年北海道胆振東部地震では、北海道で初めて震度7を観測しました。地表面の地震の揺れはマグニチュードなどの震源特性、震源からの距離や深い地盤の影響による伝播経路特性、地盤の中でもより浅い、表層地盤の特性によって影響を受けるとされています（図1）。このうち、表層地盤は場所によって大きく異なるため、場所による揺れの違いや構造物に与える影響を検討するために、表層地盤の特性を知ることは大事なことであるといえます。

表層地盤の特性を知る方法としてはボーリング調査や表面波探査、常時微動観測などがあります。このうち、常時微動観測は地面に揺れを測定するセンサーを置いて、周りに揺れを与えずに静止した状態で観測を行います。そして、得られた記録から観測地点の揺れやすさを評価します。この方法では大掛かりな設備が不要で、地盤の掘削等を行わないことから、簡単に観測できるメリットがあります。観測したデータとボーリング調査の資料等を併せて活用し、この地域の揺れやすさを検討します。

特に、北海道では冬季に地表から一定の深さまで地盤が凍結します。例えば北見市の標準的な凍結深度は100cmとされていますので、地盤が凍結していることが、冬季に地震が発生したときの揺れ方に影響を与える可能性があります。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）。このときの被害調査として、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。このような調査を災害発生時ではなく、常時に行う

図1: 地震の揺れに影響する特性



ことで、地面の揺れ方、さらには構造物の揺れ方の違いを検討し、防災に役立てることを目指します。

ここで、現在は地震計が各地に設置されており、ボーリングデータや地震記録が公開されているものが多くあります（図2）。比較的規模の小さい地震による記録には表層地盤の影響が多く含まれている可能性があります。そこで、季節ごとに地震計の近くで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。

さらに、凍結深度は外気温だけでなく、地質や地下水位、標高などによっても異なるとされていることから、場所による揺れへの影響の違いが夏季よりも大きい可能性があります。そのため、この結果から、地震計のない場所でも常時微動観測によって、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。

以上のように、寒冷地特有の地盤の凍結という現象による、地震の揺れに与える影響、さらには構造物に与える影響について研究することで、地域の防災力向上につながることを目指します。

また、災害発生時には被害調査の一環として常時微動観測を行います。災害発生時の地震記録を収集し、常時微動観測記録と併せて揺れの特徴を分析します。そして、構造物への影響を検討することで構造物の被害要因を考察します。

以上の研究のため、令和2年度は微動を観測するセンサーとして、サーボ型速度計を、また観測点での電源確保のため、ポータブル電源を整備しました。令和3年度にはデータ収録のためのロガーを既存の設備から代用する予定です。これにより、持ち運び可能な常時微動観測システムを構築し、北見市内や周辺地域で観測を行います。

図2: 冬季の地震観測点の例（防災科学技術研究所）



5Gとドローンによるインフラの迅速点検技術実証実験



部門長・准教授
宮森 保紀

Highlights

- インフラ点検用ドローンで実験場のコンクリート壁を高密度に撮影しました。
- 撮影した大量の画像を5Gで研究室の画像処理用コンピュータに伝送しました。
- 迅速に3次元高密度点群モデルを構築して変形や傾きを定量的に把握できました。

災害発生時に構造物の変状を速やかに把握する技術を検証するため、北見工業大学オホーツク地域創生研究パークに建設された高さ6m、長さ34mのコンクリート壁(図1)を、インフラ点検用ドローン(図2)で撮影しました。撮影画像を5G回線で研究室に伝送し、SfMソフトウェアで3次元点群モデルを構築しました。これによって、モデルに欠損が生じない撮影方法、構造物の変状の測定精度などを検証しました。

コンクリート壁には座標設定用のマーカーを計40枚設置し、精度を比較するため測量機械で座標を取得しました。ドローンは川田テクノロジーズ社のマルコで、撮影用にソニー製のデジタルカメラα6000を搭載しています。ドローンは壁からの距離2mに自動制御され、毎秒30cmで上下方向に移動しながら、毎秒2枚ずつ写真を撮影します。3次元モデルを欠損なく構築するため、写真どうしが60%~90%重なるように撮影するとともに、正面・右斜め・左斜め3方向から撮影しました。写真は合計で12,464枚(75.13GB)になりました。撮影した画像はNTTドコモ社の5G通信環境で、国立情報学研究所の研究データ管理基盤であるGaKuNin RDMを介して、研究室の画像処理用コンピュータに

図1:コンクリート壁

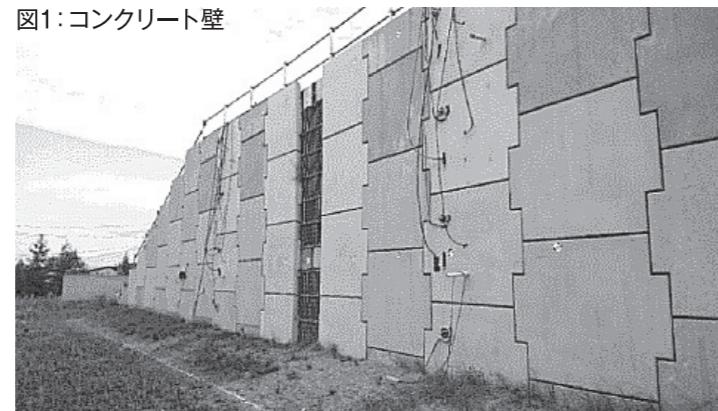


図2:インフラ点検用ドローン



伝送しました。3次元点群モデルの構築にはAgisoft社のPhotoScan Proを使用しました。

図3は完成したコンクリート壁の3次元点群モデルです。モデルは細かな点の集合からなっており、任意の点を選択するとその点の座標が表示されます。壁中央の凹凸部は図4のように再現され、部分的なコンクリート枠(スキン)のはらみ出しも図5のように把握できます。マーカーの座標から壁の変形を求めるところ、測量結果と3次元点群モデル上で計測した結果は壁の全長にわたっておおむね一致しました。

今後は、より複雑な構造物の3次元形状を精度よく撮影する方法を検討します。また、本実験では精度検証のため多数のマーカーを設置しましたが、より少ないマーカーやマーカー以外で正確な座標値を得る方法も検討します。

本研究は、科学研究費基盤(C)課題番号18K04317の助成を受けました。撮影とモデルの精度検証は川田テクノロジーズ(株)、大日本コンサルタント(株)と共同で行いました。5G通信環境は(株)NTTドコモ北海道支社に提供いただきました。コンクリート壁の使用は北見工業大学地盤工学分野に協力いただきました。関係各位に感謝いたします。

図3:3次元点群モデル

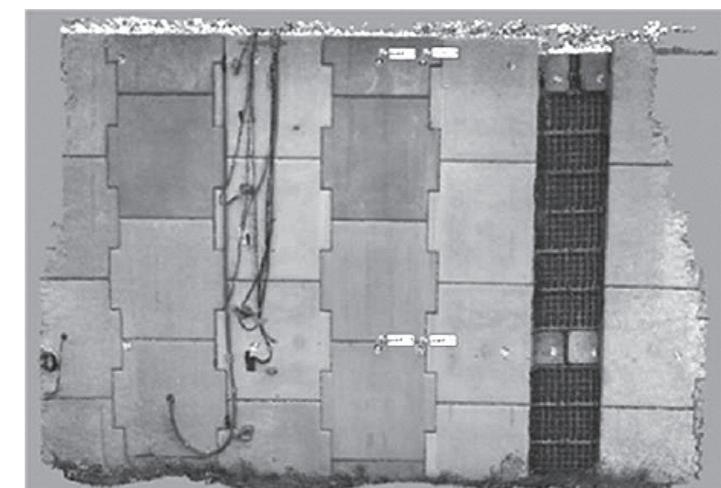


図4:凹凸部分(左:点群モデル、右:写真)



図5:コンクリートスキンのはらみ出し

