

## 2 スマートで持続可能な社会資本の管理への貢献

### (1) 評価指標

表-1.1.2.1 「スマートで持続可能な社会資本の管理への貢献」の評価指標および目標値

| 主な評価軸                       | 評価指標   | 目標値       | 令和5年度   |
|-----------------------------|--|-----------|---------|
| 成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合しているか   | 土木研究所に設置された評価委員会により、妥当性の観点、社会的観点、生産性の観点、研究開発成果の最大化の観点（他機関との連携、成果の普及・行政への技術的支援、国際貢献）について、総合的な評価を行う。 | B 以上      | A       |
| 成果・取組が社会的価値の創出に貢献するものであるか   |  |           | A       |
| 成果・取組が生産性向上・変革に貢献するものであるか   |  |           | A       |
| 研究成果の最大化のための具体的な取組みがなされているか |  |           | S       |
|                             | <他機関との連携><br>○共同研究件数   | 40 件以上    | 31 件    |
|                             | <成果普及・行政への技術的支援><br>○講演会・説明会等の聴講者数（WEB 参加者含む）  | 4,300 人以上 | 7,856 人 |
|                             | ○技術基準類への成果反映数  | 9 件以上     | 8 件     |
|                             | <国際貢献><br>○国際的委員会等への参画者数   | 9 人以上     | 5 人     |

(2) モニタリング指標

表-1.1.2.2 「スマートで持続可能な社会資本の管理への貢献」のモニタリング指標

| 主な評価軸                       | モニタリング指標                        | 令和5年度   |
|-----------------------------|---------------------------------|---------|
| 研究成果の最大化のための具体的な取組みがなされているか | 招へい研究員の全数                       | 10 人    |
|                             | 交流研究員受入数                        | 26 人    |
|                             | 競争的資金等の獲得件数                     | 19 件    |
|                             | 現場調査実績                          | 236 件   |
|                             | 技術資料の策定・改定数                     | 2 件     |
|                             | 論文・雑誌等の発表数                      | 298 件   |
|                             | 施設見学者数等                         | 2,215 人 |
|                             | 技術支援実績                          | 988 件   |
|                             | 災害支援実績                          | 13 件    |
|                             | 委員会・研修講師派遣数                     | 726 件   |
|                             | 国際会議での講演数                       | 4 件     |
|                             | 国際協力機構や政策研究大学院大学と連携した修士・博士の修了者数 | 0 人     |
|                             | 国際協力機構等と連携した研修受講者数              | 155 人   |

(3) 外部評価委員会で評価された主要な成果・取組

表-1.1.2.3 「スマートで持続可能な社会資本の管理への貢献」の主要な成果・取組

| 評価軸                              | 令和5年度の主要な成果・取組   |
|----------------------------------|--|
| <p>成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合しているか</p> | <p><b>研究開発プログラム(5) 気候変動下における継続的な流域及び河道の監視・管理技術の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>川辺川流水型ダムにおける水理検討の研究成果が環境影響評価準備レポートへ反映され、事業の理解を補助・推進する役割を果たすとともに、従来の環境影響評価には無い、設計段階から具体的な環境影響評価とその低減を取り込む放流設備設計を行ったことで、今後のダム事業の進め方における新たなフェーズを提示するなど国の施策の推進に貢献。</li> </ul> <p><b>研究開発プログラム(6) 社会インフラの長寿命・信頼性向上を目指した更新・新設に関する研究開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>橋梁の設計実務を想定し、水平力を受ける橋梁上部構造の立体挙動を考慮した数値解析用の立体骨組モデルを提示。立体挙動により生じる対傾構等の部材応答を概ね推定できることを確認し、損傷制御により長寿命化をはかる橋梁設計手法の創出に貢献。</li> </ul> <p><b>研究開発プログラム(7) 構造物の予防保全型メンテナンスに資する技術の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>令和5年7月洪水で落橋した熊本県山都町金内橋について、県からの技術支援要請を受けて、現地調査で外観上変状は見られないものの洗掘や吸い出しによる影響が生じている可能性がある橋台周辺も含めて地盤の状態を確認し、これらの影響を考慮した上で基礎の安定性を確保することなど、研究で蓄積された知見に基づく技術的助言を行い、早期の応急復旧（約5か月）に貢献。（令和5年度国土交通大臣表彰受賞）</li> <li>能登半島地震によるトンネル被災に際し、捜索にあっている自衛隊からの専門家派遣要請に応じ、国交省が土木研究所職員を推挙。自衛隊と大谷トンネルを調査し、本研究開発プログラムで実施中の診断技術の研究等で培われてきた専門的知見等を踏まえ、二次災害の危険性等に関わる所見を報告することで、早期復旧に貢献。</li> </ul> <p><b>研究開発プログラム(8) 積雪寒冷環境下のインフラの効率的な維持管理技術の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>道路舗装のひび割れに対して10種類の止水材料を用いて試験施工を行い、施工時間、交通解放可能時間の計測、施工性のアンケート調査を実施。追跡調査を開始し、積雪寒冷環境下における止水材の要求性能等の提案に貢献。</li> </ul> <p><b>研究開発プログラム(9) 施工・管理分野の生産性向上に関する研究開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート工の品質管理・検査に関して、国土交通省技術調査課が設置した「コンクリート生産性向上検討協議会」にて近年の提案技術を活用する際の課題等を整理した資料を作成し、品質管理・検査の省力化への貢献に期待。</li> </ul> |
| <p>成果・取組が社会的価値の創出に貢献するものであるか</p> | <p><b>研究開発プログラム(5) 気候変動下における継続的な流域及び河道の監視・管理技術の開発</b></p> <p>流水型ダムの放流設備設計において、従来の放流量制御など水理機能のみでなく、新たに砂礫・生物の通過に関する環境面での機能を加えて設計条件として整理し、水理模型実験による構造検討を実施。その結果、砂礫・生物の通過を妨げる河床部放流設備前の副ダムを無くした減勢施設と河道と同様に平水時に水路底面が砂礫に覆われる放流水路形状を提案。環境への影響を極限まで最小化する新たな流水型ダムの創出に貢献。</p>   |

| 評価軸                              | 令和5年度の主要な成果・取組  |
|----------------------------------|---|
|                                  | <p><b>研究開発プログラム(6) 社会インフラの長寿命・信頼性向上を目指した更新・新設に関する研究開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・下水道施設の耐硫酸性を有する防食被覆材の劣化事例に対し、防食被覆材の浸漬試験により有機酸がイオンの形態で存在する割合が大きいほど防食被覆への浸入が抑制されることを確認。分子量の小さい有機酸による防食被覆材の劣化が発生する個所の特定が可能となり、下水道施設の維持管理における新たな防食技術開発への貢献に期待。</li> </ul> <p><b>研究開発プログラム(7) 構造物の予防保全型メンテナンスに資する技術の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・中部地方整備局が取り組んでいる、テーマ設定型 NETIS「施工性の良好なコンクリート含浸材技術(中性化対策)」の追跡調査の方法や分析に関わる技術支援を実施。表面含浸技術の選定や補修後の将来予測等に参考にできる技術比較表が示され、適切な適用の推進に貢献。</li> </ul> <p><b>研究開発プログラム(8) 積雪寒冷環境下のインフラの効率的な維持管理技術の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・橋梁の床版上面土砂化の詳細な発生過程を実験的に再現することに国内で初めて成功。コンクリートの材料劣化と輪荷重走行の複合作用による土砂化発生過程の一部を解明し、床版の性能予測・診断技術の開発において先駆的な成果を創出。</li> <li>・道路の舗装体においてジオシンセティックス排水材と不織布排水材を組み合わせることで使用することにより、より効率的な排水が可能となる新知見を得た。ポットホール抑制につながる凍上対策や融解期の支持力低下抑制技術への貢献に期待。</li> </ul> <p><b>研究開発プログラム(9) 施工・管理分野の生産性向上に関する研究開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・油圧ショベルによる掘削作業時のセンサデータと地盤性状データに相関があり、施工中のデータから掘削土質判定が可能であることを明らかにした。掘削データから土質分類が可能になるなど新たな施工手法や管理手法の創出に貢献。</li> </ul> |
| <p>成果・取組が生産性向上・変革に貢献するものであるか</p> | <p><b>研究開発プログラム(5) 気候変動下における継続的な流域及び河道の監視・管理技術の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・河川における経時的な流路変遷をブラウザ上に示し侵食の危険性等を可視化するシステムを開発。堤防被災に至り得る侵食箇所を効率的に予測する技術の向上に貢献。</li> </ul> <p><b>研究開発プログラム(6) 社会インフラの長寿命・信頼性向上を目指した更新・新設に関する研究開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・過緊張状態となった斜面アンカーの飛出し防御装置「斜面からの飛出し物の防護構造」を開発。特徴として摩擦シリンダーで飛出しエネルギーを吸収でき、装置の軽量化により急峻な斜面での人力運搬が可能となったこと、現場作業の後施工アンカーの削孔も小型コンクリートドリルでの作業が可能であることから、危険なアンカーへの対策における施工性向上に貢献。</li> </ul> <p><b>研究開発プログラム(7) 構造物の予防保全型メンテナンスに資する技術の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・橋梁診断 AI システムについて、システム入力時の参考資料閲覧機能の拡張を含むシステム改良や鋼アーチ診断セットの新規作成を行い、共同研究報告書として公表。この診断 AI システムの構築により、道路管理者が行う予防保全段階の診断支援につながり、橋梁の長寿命化に資するとともに生産性向上に貢献。</li> </ul> <p><b>研究開発プログラム(8) 積雪寒冷環境下のインフラの効率的な維持管理技術の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・積雪寒冷環境下の道路舗装において融雪期に多発しているポットホールについて画像解析処理により検出位置を表示可能なシステムを作成。ポットホールなどの舗</li> </ul>  |

| 評価軸                                | 令和5年度の主要な成果・取組  |
|------------------------------------|---|
|                                    | <p>装欠損部の発生状況を定量的に把握する手法として活用でき、ポットホール点検や補修の効率化およびポットホール発生箇所を予測する技術の向上に貢献。</p> <p><b>研究開発プログラム(9) 施工・管理分野の生産性向上に関する研究開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小規模クラスの排水機場ポンプ設備においてポンプ駆動装置を電動化に構造転換した場合、維持管理面で電動機が優位である知見を得た。従来のディーゼル機関と比較し、故障率の抑制と点検項目の大幅な低減が図られることから設備の信頼性向上、維持管理人員の省人化、省力化への貢献に期待。</li> </ul>  |
| <p>研究成果の最大化のための具体的な取組みがなされているか</p> | <p><b>研究開発プログラム(5) 気候変動下における継続的な流域及び河道の監視・管理技術の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・河川環境の定量的な評価手法と目標設定の提案を行い、国土交通省や有識者と連携し、委員会等の検討資料として提示した。河川水辺におけるネイチャーポジティブを実現する河川整備への貢献に期待。</li> </ul> <p><b>研究開発プログラム(6) 社会インフラの長寿命・信頼性向上を目指した更新・新設に関する研究開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・能登半島地震の道路・盛土被災に関し、社会資本整備審議会・道路技術小委員会において報告した土木研究所の専門調査結果が国土交通省の見解として採用されるなど、国の技術基準の検証に貢献。</li> <li>・能登半島地震による道路斜面等の被災に際し、高精度地形データを活用し、被災箇所の地形・地質から復旧ルートに関するリスクを迅速かつ正確に判断するなど、これまで土木研究所で蓄積された成果・知見を最大限発揮し、能登半島地震道路復旧技術検討委員会において議論を主導し、国道249号の復旧に貢献。</li> <li>・斜面アンカーの飛出し防御装置の開発に際し、三重大学が得意とするアイデアと理論構築、土木研究所が得意とする実物大実験による検証技術や現場適用のノウハウを組み合わせることにより、「斜面からの飛出し物の防護構造」について特許を取得。</li> </ul> <p><b>研究開発プログラム(7) 構造物の予防保全型メンテナンスに資する技術の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・能登半島地震のトンネル被災に関し、社会資本整備審議会・道路技術小委員会において報告した土木研究所の専門調査結果が国土交通省の見解として採用されるなど、国の技術基準の検証に貢献。</li> <li>・能登半島地震によるトンネルの被災に際し、能登半島地震道路復旧技術検討委員会に委員として参画し、過去の地震において土木研究所に蓄積された知見に基づいた二次災害の危険性等に関わる所見の報告など、被災したトンネル等の応急・本復旧に貢献。</li> <li>・実在のPC橋に対して、日本初となる上部構造が破壊するまでの静的載荷試験を行い、荷重の再分配を確認するとともに、拡張骨組みモデルによる簡易解析手法の構築に貢献。(令和5年度土木学会論文賞受賞)。</li> </ul> <p><b>研究開発プログラム(8) 積雪寒冷環境下のインフラの効率的な維持管理技術の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリート構造物の凍害複合劣化予防保全に効果のある表面含浸材の含浸深さの計測方法が、北海道開発局道路設計要領に掲載されたことで、現場での効率的な施工管理が可能となり、施工品質の確保を通じて耐久性向上に貢献。当該要領はHPに公開され、他機関でも適用可能。</li> </ul> <p><b>研究開発プログラム(9) 施工・管理分野の生産性向上に関する研究開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・自律施工の研究開発に関する取組を、自律施工の研究開発が盛んなフィンランドの大学・研究機関・民間企業等に紹介。これにより協調領域・自律施工技術基盤 OPERA の欧州への普及に期待。</li> </ul> |

(4) 内部評価および外部評価委員会での評価結果

表-1.1.2.4 「スマートで持続可能な社会資本の管理への貢献」の  
内部評価および外部評価委員会での評価結果

| 評価軸                         | 研究開発プログラム | 内部評価 | 外部評価委員会分科会 | 外部評価委員会 |
|-----------------------------|-----------|------|------------|---------|
| 成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合しているか   | (5)       | A    | A          | A       |
|                             | (6)       | A    | A          |         |
|                             | (7)       | S    | S          |         |
|                             | (8)       | B    | B          |         |
|                             | (9)       | A    | A          |         |
| 成果・取組が社会的価値の創出に貢献するものであるか   | (5)       | A    | A          | A       |
|                             | (6)       | A    | A          |         |
|                             | (7)       | A    | A          |         |
|                             | (8)       | A    | A          |         |
|                             | (9)       | A    | A          |         |
| 成果・取組が生産性向上・変革に貢献するものであるか   | (5)       | B    | B          | A       |
|                             | (6)       | A    | B          |         |
|                             | (7)       | A    | A          |         |
|                             | (8)       | A    | A          |         |
|                             | (9)       | A    | A          |         |
| 研究成果の最大化のための具体的な取組みがなされているか | (5)       | A    | A          | S       |
|                             | (6)       | S    | S          |         |
|                             | (7)       | S    | S          |         |
|                             | (8)       | A    | A          |         |
|                             | (9)       | A    | A          |         |

## 研究開発プログラムの実施

### 5. 気候変動下における継続的な流域及び河道の監視・管理技術の開発

#### ■ 目的

河川管理は洪水被害の軽減や水利用の確保、河川環境の保全等を通じ、我が国の経済成長や豊かな国土形成に貢献する。気候変動への適応、河川・流域環境の劣化への対応、河川構造物の劣化による機能低下・喪失への対応が求められる。本研究開発プログラムでは、進歩の著しい観測・監視・数値計算技術を流域・河道の監視に積極導入し、外力増大に対応できる治水・減災への転換、河川環境保全等と調和した河道管理、洪水応答知見を反映した構造物群・河道のマネジメントサイクル（図-1）改善技術を開発し実装することを目的とする。また、河川を、河川管理施設・許可工作物を含めた構造物群と自然公物である河道からなるストックインフラと捉え（図-1）、予防保全・長寿命化、事後保全と減災の工夫、流砂連続性確保、メンテナンス合理化・効率化の観点からマネジメントサイクルに関わる諸々の技術を再構築し、新ニーズに対応する施設マネジメント技術に進化させる（図-2）ことを目的とする。

#### ■ 貢献

研究成果は、河川砂防技術基準等の技術基準類へ反映されることや、河川の監視・評価の高度化、河道および河川構造物群からなる河川のマネジメントに活用されることにより、自然環境と調和した河道および河川構造物の予防保全・減災に貢献する（図-2）。

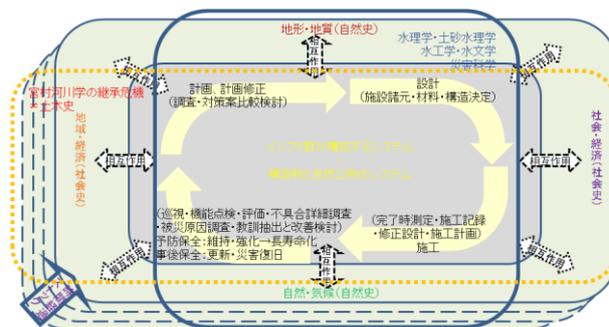


図-1 河川のマネジメントサイクル

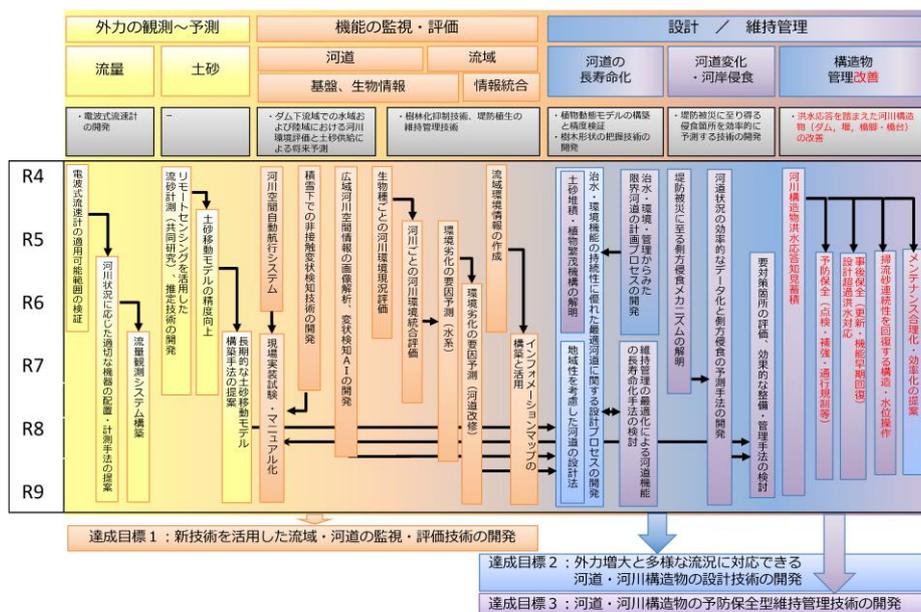


図-2 研究開発プログラムの概要

## ■ 達成目標および令和5年度に得られた成果・取組の概要

### ① 新技術を活用した流域・河道等の監視・評価技術の開発

北海道では冬期に多くの河川が結氷する。解氷期に流下した河水が河道閉塞を引き起こすアイスジャム現象は、急激な水位上昇や氾濫、流下河水による巻き込まれ事故の原因となるため、河川管理の課題となっている。CCTV等の画像データを活用し、アイスジャム被害を未然に防ぐために、アイスジャムの発生を検知可能なモデルを開発した。

本モデルでは、カメラ画像から3つの物理的指標（河水被覆率・物体の動き・水位変化）を抽出し、深層学習（AI）を用いてそれぞれを解析することで、アイスジャムを早期

段階で自動的に検知することを可能とした（図-3）。令和5年度冬期から国土交通省北海道開発局（以下、開発局）が管理するCCTVを対象に本モデルの試験運用を実施している。

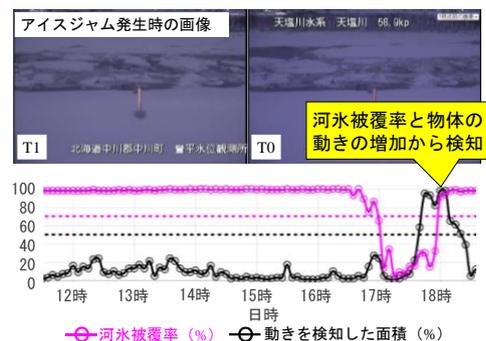


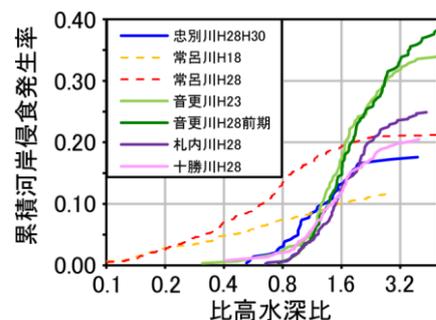
図-3 検知モデルの試験運用状況

### ② 外力増大と多様な流況に対応できる河道・河川構造物の設計技術の開発

### ③ 河道・河川構造物の予防保全型維持管理技術開発

流路の固定化により横断面内の比高差が増大すること（河道の二極化）によってHWL以下の出水時でも河岸が侵食され、堤防侵食に至る事例も見られる。こうした二極化による河岸侵食危険度の評価が管理上重要であり、比高差の増大に伴う河岸侵食の危険度の評価技術が求められている。水理実験及び実河川のデータ整理を通じて、比高差と河岸侵食との関係を解明した（図-4）。比高差による偏流の度合いを表す指標として比高水深比等の指標を提案し、これによって危険度を評価する手法を開発局と共同で構築した。本評価技術を開発局と連名で技術資料として取りまとめ、成果を普及した。

アスペクト比（水路幅/水深）に着目し、アスペクト比を変化させた場合に水路を通過する土砂の横断分布を確認する水理実験を実施した。その結果、アスペクト比の低下（＝水深の増加）に伴い、横断方向に均一的な土砂の分布から水路壁際に偏った分布に変化することが確認された（図-5）。これは、水深を増加（＝流量の増加）させた場合、流量増加に伴って増大した土砂が壁際付近に集中して流れることで、壁際付近の水路において土砂衝突による負荷が急増することを意味する。この現象は低アスペクト比で運用されている土砂バイパストンネルの設計・管理では考慮されておらず、水路面に対する当面の負荷低減を図りたい場合、流入量抑制が一つの方策となる。土砂バイパストンネルの長期間の運用停止の回避・継続的運用の実現に寄与する知見として、複数の管理者に対して本知見を共有した。また排砂路や恒久利用が考えられている仮排水路トンネルの運用・維持管理でも活用可能なものである。



比高水深比 = 砂州波高 / 河岸満杯水深  
累積侵食発生率 = 累積実績侵食箇所数 / 総箇所数

図-4 比高差と河岸侵食の関係

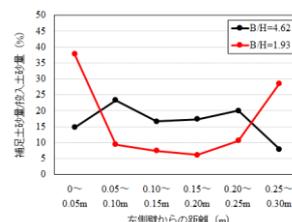


図-5 横断方向の通過土砂分布

## 6. 社会インフラの長寿命・信頼性向上を目指した更新・新設に関する研究開発

### ■ 目的

土木構造物は社会を支える重要な社会インフラであり、社会からの要請に応じて整備を続けていく必要がある。厳しい財政状況の下、社会インフラの更新・新設を着実にを行うためには、これまでの整備や維持管理等を通じて蓄積された知見を活かし、より長寿命な社会インフラを目指すことが必要である。一方、更新・新設時点では地質・地盤の状況を完全には把握できないというリスク（不確実性）の観点から、ライフサイクルを通じて社会インフラの信頼性を向上させる対応も考慮することが必要である。本研究開発プログラムでは、より長寿命な構造物への転換、道路ネットワーク全体のライフサイクルを通じたインフラの信頼性向上を図るための技術的課題を解決することを目的とする。

### ■ 貢献

第4期中長期目標期間までに解明した社会インフラの破損・損傷メカニズムを設計等に反映するとともに、従来想定していた通りの破損・損傷メカニズムに対しても破損・損傷の実態から材料や施工等の弱点を明確にし、新たな材料・施工技術を開発することで、より長寿命な社会インフラへの更新・新設の実現に貢献する。また、地質・地盤に関する不確実性を考慮して、計画から管理までを見通した信頼性の高い社会インフラへの更新・新設の実現に貢献する。

### ■ 達成目標および令和5年度に得られた成果・取組の概要

#### ① 新たに解明した破損・損傷メカニズムに対応した構造物の更新・新設技術の開発

第4期中長期目標期間までに解明した破損・損傷メカニズムに対応した構造物の更新・新設技術の開発に向けて、破損・損傷に関する調査試験等を行い、補強土壁の挙動の限界点の分析や、早期劣化した舗装の劣化機構に応じた長寿命化技術の検証、下水道の防水材料や更生材の長期耐久性に関する評価方法の適用性の検証等を行った。

例えば舗装分野においては、実道における損傷現象を再現した室内試験及び理論解析を実施し、舗装内部への浸水が構造的損傷に与える影響および要因を明確にした。この知見を基に舗装走行実験場において、長寿命化技術検証工区を構築し、実物大促進劣化試験を開始した（図-1上）。また、舗装内部への浸水を抑制する止水技術の共同研究を開始し、一般国道において試験施工を実施した（図-1下）。初期調査からは材料性状と止水性の関連が見られた。今後も耐久性等の評価を継続し、止水材料の評価方法や規格等を提案する。

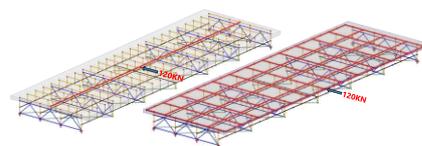


図-1 走行実験場での試験（上）と一般国道での試験施工（下）

② 破損・損傷の実態を考慮した、より長寿命な構造物への更新・新設を実現する新材料・新工法の開発

鋼橋、コンクリート構造物、土工構造物について、破損・損傷の実態を考慮した、より長寿命な構造物への更新・新設を実現する新材料・新工法の開発に向けて、それぞれ局部応力の評価方法および影響因子の検討、コンクリートの初期欠陥と劣化の関係性の分析、凍上や融雪等の影響分析と対策法の検討を行った。

橋梁では、設計実務を想定して、地震等による水平荷重に対する3次元的な全体挙動を考慮できる立体骨組モデルを提案し、応答評価の妥当性を検証した。図-2に示す通り、主桁や横桁、横構、対傾構を梁部材としてモデル化するとともに、床版は複数の手法によりモデル化を行い、実物大の試験橋梁の実験結果との比較を行った。床版一本梁モデルおよび格子梁モデルのいずれでも対傾構(図-3)や横構等の2次部材の軸力を約20%の誤差の範囲で算出できており、合理的に上部構造の損傷制御を行える可能性を確認した。今後は、活荷重の載荷位置を考慮できる床版格子梁モデルを対象として、鉛直荷重等の異なる作用を与え、応答評価の妥当性検証を継続していくことを予定している。



(a) 一本梁モデル (b) 格子梁モデル

図-2 検討対象の立体骨組モデル

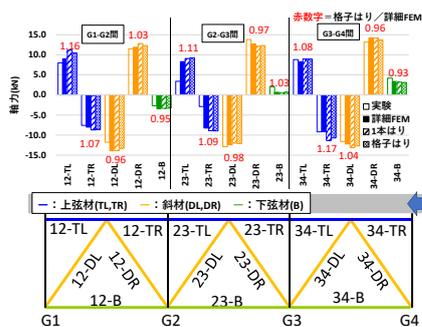


図-3 端対傾構の軸力の比較

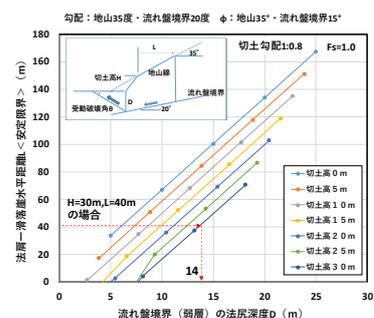


図-4 地山条件に応じたチャート図の例(安定確保可能な流れ盤条件)

③ 地質・地盤リスクに適切に対応し、計画から管理までを見通したインフラの信頼性を向上させる技術の開発

地質・地盤リスクに適切に対応し、計画から管理までを見通したインフラの信頼性を向上させる技術の開発に向けて、地形・地質とリスク要因の関係性や不確実性の要因に関する多角的な分析を行った。

地質・地盤の不確実性の評価手法の提案に向けた検討として、河川河口域の低地を対象にボーリング資料を分析し、見逃しがちなリスクとして、海岸平野付近の支川の軟弱地盤に層厚が厚い場合があることを見出した。

切土構造物では、切土時の流れ盤構造による地すべり性崩壊に関する安定解析を行い、調査初期段階での切土によるリスク(崩壊位置・規模)と流れ盤を想定した調査深度や位置の目安となるチャート図を整理した(図-4)。

アンカー工では、地質・地盤リスクの影響に関する現地調査や実験結果から得られた知見により、第三者被害防止の観点からアンカー工の破断による飛出し対策として、従来に比べて安価にもかかわらず、現場での施工性が向上したアンカー飛出し防護装置を開発した(図-5)。さらに、国土交通省大臣官房技術調査課と連携して全国の事業の実態調査を行い、地質・地盤リスクマネジメントにおける事業者の判断の参考資料となる好事例集を取りまとめた。



図-5 アンカー飛出し防御装置

## 7. 構造物の予防保全型メンテナンスに資する技術の開発

### ■ 目的

インフラの老朽化が進む中、今後、維持管理・更新コストを可能な限り抑制し、インフラ機能を持続的に確保していくためには、インフラの長寿命化を図る予防保全型メンテナンスを推進していくことが重要である。「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策（令和2年12月閣議決定）」、「第5次社会資本整備重点計画（令和3年5月閣議決定）」では、予防保全型メンテナンスへの本格転換を推進するとされている。一方、将来的に生産年齢人口の減少が予測されている中で、すでに地方自治体においては、維持管理業務に携わる技術者の質・量の不足という問題が生じている。

本研究開発プログラムでは、インフラの変状を的確かつ合理的に捉える点検技術、状態評価と措置方針を示す診断技術及び支援システム、効果的な措置技術を開発するとともに、民間等が提案する新技術の評価技術を開発することを目的としている。

### ■ 貢献

メンテナンスサイクルの各段階における主要な技術的課題を解決して、エキスパートシステムに成果を集約する。また、民間等が提案する新技術の評価技術開発に取り組む。以上により、点検・診断・措置技術の信頼性向上および「メンテナンスのDX」による業務の省力化を図ることで、予防保全型インフラメンテナンスの実現に貢献する。

### ■ 達成目標および令和5年度に得られた成果・取組の概要

#### ① 適切な診断を可能とするために、変状を的確かつ合理的に捉える点検技術の開発

UAV等で取得した画像を活用した点検の省力化手法の開発を目的に、小型UAVで鋼橋の塗膜割れを再現した試験体を撮影し、取得画像から塗膜割れ検知に必要な条件を把握した(図-1)。土砂化の原因となるRC床版上面の滞水範囲を非破壊で検知する滞水推定AIを実橋で試行し、「車載式電磁波レーダを用いた床版上面の滞水検知に関する手引き(案)」を作成した。実橋の主桁下面に付着した塩化物イオンの濃度分布を非破壊検査機器で可視化し(図-2)、塩化物イオン浸透量の多い箇所をスクリーニングできる可能性があることを確認した。橋梁洗掘の状況を把握するために実橋にて各種点検支援技術の実用性を検証し、魚群探知機は様々な条件で容易に状況把握が可能であり、河床形状を計測できることがわかった。人による点検では機能の把握が困難な支承部について、機能の評価方法として、車両走行時の1支承線上の応答変位から腐食や可動部の固定化に伴う機能低下を把握できることを実験的に確認した。



図-1 小型 UAV による塗膜割れの撮影状況

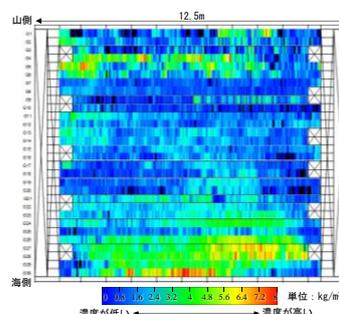


図-2 主桁下面の塩化物イオン濃度の可視化

### ② 損傷メカニズムに応じた状態評価と措置方針を示す診断技術及び支援システムの開発

橋梁診断支援 AI システムについて、直轄点検調書を活用したシステムの検証を実施し、診断ロジックの妥当性を確認するとともに、システム入力時の参考資料の閲覧機能を追加するなどシステムの改良を実施した。RC 床版の土砂化の劣化メカニズムや要因を解明するために、土砂化の発生が疑われる橋梁を定期点検調書から抽出し（図-3）、交通条件や環境条件等の影響を分析した。

供用中のトンネルの外力性変状発生区間における施工時データの傾向を分析した。外力性変状が施工中の変位や地形・地質状況等と相関があることを明らかにし、施工段階から維持管理段階へと引き継ぐべきデータの項目を提案した。

診断の際に考慮すべき情報として、樋門の構造の種類と特徴、コンクリート品質の変遷を年代ごとに整理した。また各構造の基数を調査し（図-4）、生じやすい損傷等を整理した。

### ③ 構造物の設置環境、施工上の制約などに対応した効果的な措置技術の開発

橋梁関連では、桁端部に高耐久性鋼材および異種金属腐食防止のための絶縁材を用いた条件で FEM 解析を行い、材料や接合部の違いによる上部構造全体挙動への影響を把握した。RC 床版の土砂化については、その周辺部のひび割れの特徴を整理し、これらの特徴を踏まえて、脆弱化層におけるコンクリートの物性を回復させる補修材料の選定を行った。

トンネルの変状対策工の不具合事例を対象に点検結果を収集・整理分析した（図-5）。変状対策工の診断の精度向上に向け、変状の進行性に着目して、不具合の種類や要因等を明らかにした。

樋門等河川構造物において破堤の要因となり得るコンクリート部材の損傷と生じやすい構造・年代について整理し、現状のひび割れ補修方法・材料について適用性を検討した。

コンクリートの表面の軽微なひび割れに対する塗布系材料による予防保全効果を検証した結果、塩化物イオンの浸透を抑制することでスケーリング劣化を抑えられること、無機系材料よりも有機系材料のほうが劣化因子の侵入抑制効果が高いことを確認した（図-6）。

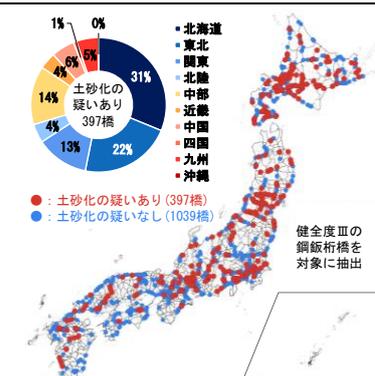


図-3 RC 床版の土砂化が疑われる橋梁の分布

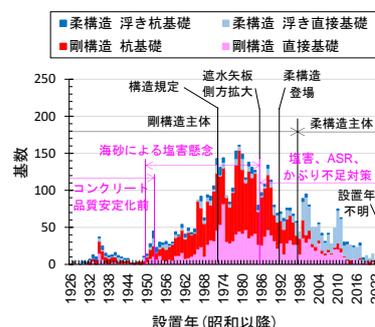


図-4 樋門構造、コンクリート種類の年代別分類と構造別基数

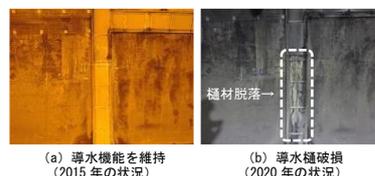


図-5 トンネル覆工の漏水対策工不具合事例

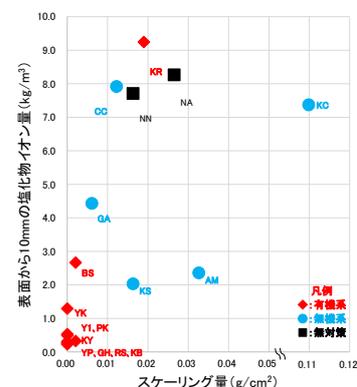


図-6 凍結融解試験後の塩化物イオン量とスケーリング量の関係

## 8. 積雪寒冷環境下のインフラの効率的な維持管理技術の開発

### ■ 目的

積雪寒冷地のインフラ維持管理においては、低温、積雪、凍上、凍結融解、融雪水、塩分等の過酷な環境に起因する他地域とは異なる技術的課題を有している。積雪寒冷地特有の劣化・損傷に対応し、管理者が各種インフラを効率的かつ計画的に維持管理するためには、調査時点での劣化状況の適切な把握に加え、劣化がどのように進行するかを予測を踏まえた上での診断、および積雪寒冷環境下においても高耐久で効果の高い補修等の措置の実施が必要である。

本研究開発プログラムでは、積雪寒冷地における管理者ニーズの高い橋梁 RC 床版と舗装の劣化損傷対策を主な対象とし、劣化状況の適切な把握手法、劣化進行予測に基づく診断技術および高耐久な補修等の措置技術の開発を行うことを目的とする。

### ■ 貢献

劣化状況の効率的な調査・把握手法の開発による点検調査の効率化・省力化、点検後の劣化の進行等に関する精度の高い予測・診断技術の開発による対策工法選定や対策時期判断の最適化および耐久性があり効果の高い措置技術（予防・事後）の開発による積雪寒冷環境下のインフラの長期的な有効活用に貢献する。

### ■ 達成目標および令和5年度に得られた成果・取組の概要

#### ① 積雪寒冷環境下のインフラの劣化状況の効率的調査・把握手法の開発

積雪寒冷地域の橋梁 RC 床版に関して、実験および解析の両面から、コンクリートの凍害等による内部損傷（層状ひび割れ）が生じた場合の耐荷性能を評価した。床版厚さ方向の損傷分布および鉄筋の種類（異形鉄筋または丸鋼鉄筋）を実験・解析パラメータに設定することで、床版の建設時期に応じた耐力低下の特徴を把握することを目的にした。

実験の結果、内部損傷の発生は部材耐力の低下をもたらすこと、昭和40年代前半までに建設された丸鋼鉄筋が使用された床版では、それ以降に建設された異形鉄筋が使用されている床版と比較して、深さ方向への損傷進行に伴う耐力低下が顕著になることを明らかにした（写真-1、図-1）。また、非線形有限要素解析による載荷実験の再現解析の結果、内部損傷の分布と鉄筋種類を考慮してコンクリートおよび鉄筋をモデル化することで、耐力や損傷破壊形態を精度良く再現できることを示した（図-1、図-2）。



写真-1 損傷部材の実験状況

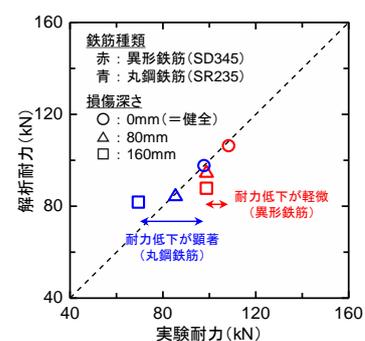


図-1 耐力低下の評価結果

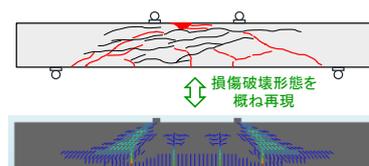


図-2 損傷破壊形態の比較例  
（上：実験、下：解析）

② 積雪寒冷環境下のインフラの劣化に対する精度の高い予測・診断技術の開発

RC 床版の土砂化発生進行を予測する技術について実験により検討した。その結果、コンクリートの材料劣化と輪荷重走行の複合作用下での土砂化発生過程の再現に成功し、また、土砂化発生予測にS-N曲線の概念を適用できることを確認した(図-3)。

粒状路盤層が経年細粒化することによる凍上性や支持力への影響評価として、細粒化を再現した粒状路盤材による室内試験を実施した。その結果、細粒分の増加によって粒状路盤材の保水性が高まることを確認し、図-4に示すように粒状路盤層の保水性が高まることで粒状路盤層の支持力が低下することを把握した。

舗装が比較的薄い箇所に発生する構造的な舗装損傷を、電磁波レーダにより点検する技術について検討を行った。電磁波は誘電率の異なる物体の境界で反射や散乱をするため、その反射の信号を解析することにより、舗装体内部の損傷箇所をとらえられると考えられている。同一箇所の舗装で、約10年間隔で測定を実施したところ、図-5に示すようなはく離や滞水が疑われる損傷の発生による内部画像の経時変化や、図-6に示すように健全部とボトムアップ型疲労ひび割れが疑われる損傷のある箇所

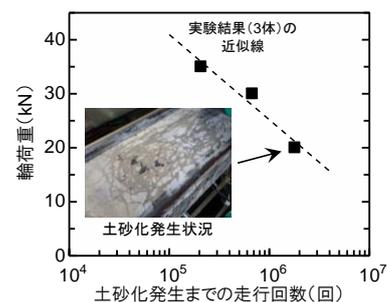


図-3 土砂化実験の結果

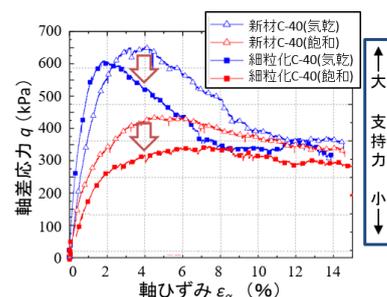


図-4 支持力試験の結果

③ 積雪寒冷環境下のインフラの劣化に対する高耐久で効果的な措置技術(予防・事後)の開発

路床・路盤の排水材技術に関する試験施工を行った結果を図-7に示す。大きな表面積をもつ繊維が織り込まれ高い導水性を持つジオシンセティックス排水材と、大きな排水断面を有する不織布排水材を組み合わせることにより、ジオシンセティックス排水材単独で用いるよりも効率的に排水ができる結果を得た。

ポットホール抑制の事前対策の検討として、写真-2に示すようにポットホール抑制を目的とした舗装施工継目部およびひび割れ箇所の止水対策に関する試験施工を実施した。10種類の止水材料に対し、施工時間、交通解放時間、初期の止水性能の評価等を実施した。

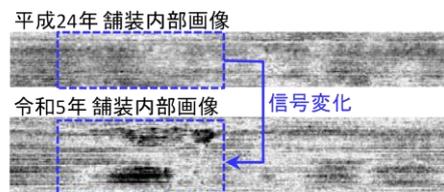


図-5 電磁波レーダ画像の経年変化

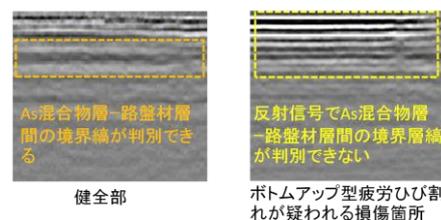


図-6 舗装体の損傷による内部画像の差異

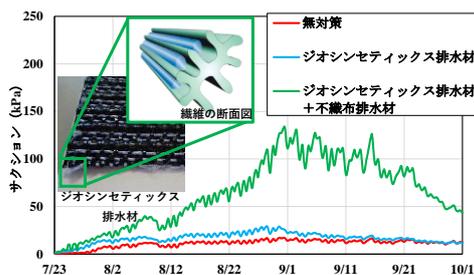


図-7 排水材の排水能力



写真-2 止水対策施工箇所の止水状況(供用2ヶ月)

## 9. 施工・管理分野の生産性向上に関する研究開発

### ■ 目的

我が国が迎えている少子高齢化に伴う建設労働者の高齢化や人手不足の深刻化等の社会情勢の変化に対応するため、最新のデジタル技術を活用することで、インフラの施工・管理分野での生産性向上を徹底的に進める必要がある。本研究開発プログラムでは、最先端デジタル技術を用いた省人化・工程改革のための技術の開発を行うことを目的とする。

### ■ 貢献

自律施工技術、コンクリート工技術、土木機械設備技術における最先端デジタル技術を活用した省人化手法の提案および路盤工や他工種、コンクリート工における最先端デジタル技術を活用した工程改革手法の提案により、インフラの施工・管理分野における革新的な生産性向上に貢献する。

### ■ 達成目標および令和5年度に得られた成果・取組の概要

#### ① 最先端デジタル技術を用いた省人化のための技術の開発

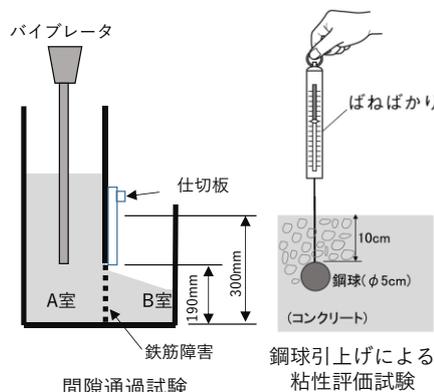
令和4年度に構築した共通制御信号原案に内包するセキュリティリスクの顕在化を目的として脅威分析を実施した。その結果 371 件のセキュリティリスク（表-1）及びその対策要件を導出し、通信機器がセキュリティ上保持すべき要件を明らかにした。また自律施工基盤 OPERA を活用した機械土工の生産性向上に関する共同研究を推進し、多数の本年度成果を（論文・学会発表で 11 編）公表した。これにより参入障壁が高いと言われる「自動施工分野」における研究者の育成と活躍促進に貢献した。

表-1 導出したセキュリティリスク抜粋

| 情報資産          | タイトル                                       | 説明  | 攻撃パターン              |
|---------------|--|---|---------------------|
| 共通制御信号用ゲートウェイ | 【アプリケーション】共通制御信号用ゲートウェイのソフト的な解析による情報漏えい    | 外部制御装置と共通制御信号用ゲートウェイ間の通信において、悪意の第三者が公開されているファームウェアやアプリを解析して、操作/設定指令を漏えいさせる。     | 公開されたファームウェアやアプリの解析 |
| 共通制御信号用ゲートウェイ | 【アプリケーション】共通制御信号用ゲートウェイのアクセス制限不備による暗号鍵の漏えい | 外部制御装置と共通制御信号用ゲートウェイ間の通信において、悪意の第三者が、共通制御信号用ゲートウェイの設計/実装ミスにより暗号鍵の格納域に不正にアクセスする。 | セキュリティ領域への不正アクセス    |

省人化に資する高流動性コンクリートを適用するための評価技術の検討において、高流動性コンクリートについて複数種類の特性を適切に分類、評価するための試験方法の精度等を検討した（図-1）。

土木機械設備の点検整備・故障対応作業の最適化と支援手法の検討において、設備年点検時の動画撮影とそれを用いた作業分析を行い、「作業の見える化」「省力化・遠隔化できる作業仕分け」（図-2）、作業最適化に向けての課題抽出を行った。



※従来の間隙通過試験よりも簡易に特性を評価する試験として粘性評価試験を検討

図-1 高流動性コンクリートの特性を評価する試験例

土木機械設備の点検を容易とする設備構造面の簡略化において、排水機場ポンプ設備における維持管理の生産性向上に向け、実用化に有利な小規模設備を対象に、有望な電動化技術を調査した。これらの組合せ統合技術による電動化設備構想を検討し、現行の内燃機関による同設備との維持管理面の総合評価を行った結果、点検項目数や故障率など電動機の優位性を示すことができた。

② 最先端デジタル技術を用いた工程改革のための技術の開発

路盤工、他工種関連では、路盤工品質管理手法の高度化(加速度応答システム・衝撃加速度測定装置の活用)、および他工種における ICT を活用した新技術に関する下記のような研究を行っている。

加速度応答システムに関して、計測深さを確認するため室内において複数の路盤材料を3層敷均して締固め試験を実施し、各路盤材料および下層条件に対する加速度応答システムの挙動等のデータの収集・整理を行った。その結果、システムの影響深さが大きいと、個別層でのデータ収集が困難となる課題が判明した。

衝撃加速度試験装置に関しては、路盤材に対する試験施工により、密度と加速度の間に一定の相関があることを確認した。また装置測定データデジタル化の具体的手法についてシステムの系統概要図(図-3)を作成し、デジタル化仕様案を策定した。

他工種における ICT を活用した新技術に関しては、マシンコントロール(MC)に対応した最新型の油圧ショベル(写真-1)が有するセンサにて掘削作業時データを収集する実験を行い、そのデータを基に掘削地盤の土質(硬さ、含水比、内部摩擦角、粘着力)を推定できる可能性を示した。

現場適応の優先度が高いコンクリートの品質変動を連続的に評価する技術として、狭隘な空間へのコンクリートの充填状況を確認するための技術の適用性(図-4)や画像解析を用いたスランプの測定技術の現場への適用性について検討した。また、これらの技術を活用し、省力化につなげるための品質管理・検査体系の課題を抽出した。



図-2 省力化等に向けた作業仕分け

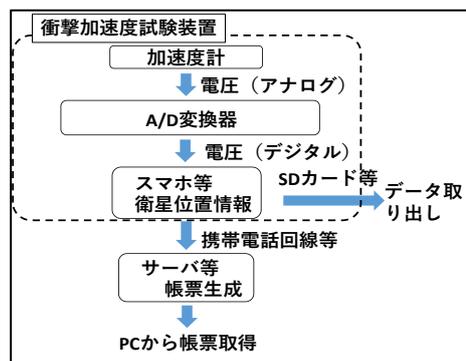


図-3 デジタル化システム系統概要図



写真-1 MC対応油圧ショベルによる掘削実験

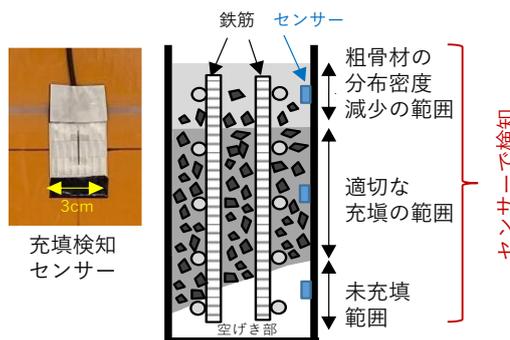


図-4 コンクリートの充填状況を確認できる技術の例

将来を見据えた基礎的・挑戦的な調査・研究の実施

5. 気候変動下における継続的な流域および河道の監視・管理技術の開発

堤防草刈機の運転自動化支援技術に関する研究

寒地機械技術チーム

研究の必要性

労働者の高齢化や労働者不足が顕在化する中、北海道開発局は、情報通信技術を活用した堤防除草の生産性向上の取り組み「SMART-Grass」において、大型遠隔操縦式草刈機の運転自動化を進めている。作業中に草刈機が人や障害物と接触する懸念があるため、安全性向上に向けた運転支援技術が求められている。



自動運転試験中の草刈機および周囲監視装置

令和5年度に得られた成果・取組の概要

運転自動化支援技術として、除草機械の周囲を遠隔で監視するとともに、AI 画像認識を利用して監視映像から障害物等を検出する装置を開発した。現場実証試験により、様々な物体を検出でき、監視者へ注意喚起の画面表示ができることを確認した。この装置は、障害物等の検出が有効に機能すると評価され、試行運用機への搭載が決まったため、今後、実運用に向けてのフォローアップをしていく予定である。



SMART-Grass 開発体制における土木研究所の技術開発部分

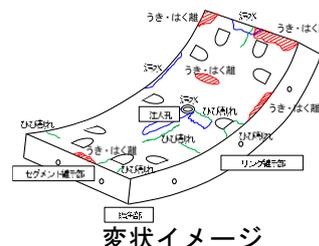
6. 社会インフラの長寿命・信頼性向上を目指した更新・新設に関する研究開発

CIM を活用したシールドトンネルの点検・診断手法に関する研究

トンネルチーム

研究の必要性

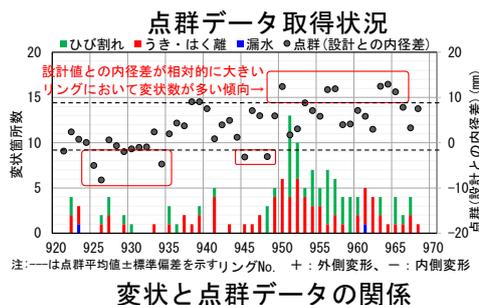
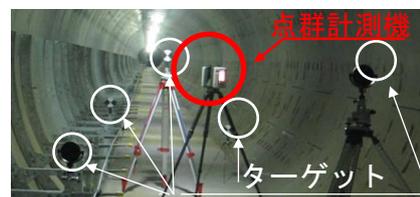
シールドトンネルでは、頻度は高くないものの、継手周辺のうき・はく離等の変状が顕在化する場合がある。これらの変状に対して、人による打音検査のみで把握することは多大な時間と労力がかかるため、点群データを活用するなどにより、効率的な維持管理につながる技術手法の開発が求められている。



変状イメージ

令和5年度に得られた成果・取組の概要

近接目視・打音により変状実態を把握するとともに、内空寸法を点群データにより計測した。その結果、設計寸法との差が相対的に大きい箇所において変状が多い傾向が明らかとなった。これを踏まえ、施工時データに加えて、点群データを確認することにより、変状発生リスクが大きい箇所を抽出し、打音検査の必要箇所を絞り込むことにより点検の省力化が期待できる。



変状と点群データの関係

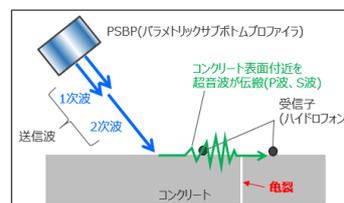
## 7. 構造物の予防保全型メンテナンスに資する技術の開発

### コンクリートダム水中部の非接触劣化調査技術に関する研究

寒地機械技術チーム

#### 研究の必要性

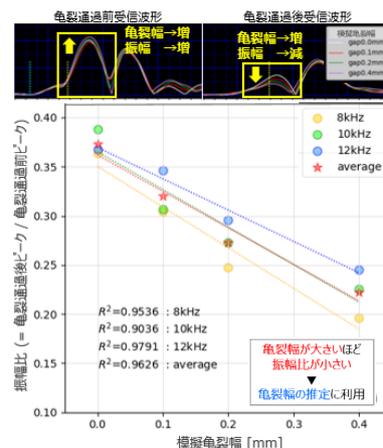
コンクリート構造物水中部の点検は潜水士の目視観察により行われるが、危険かつ定量評価が難しい。安全性・信頼性を確保するため、水中部の劣化状況（亀裂）を非破壊かつ客観的に調査する技術が求められている。



コンクリート水中部亀裂調査技術概要

#### 令和5年度に得られた成果・取組の概要

水中部コンクリートの亀裂幅を超音波で計測する技術を検討した。模擬試験において、2つのコンクリート供試体の間に間隙を設け模擬亀裂とし、PSBP（表層音波探査装置）から超音波を照射し、コンクリート表面付近を伝搬した超音波を受信子で受信した。その結果、模擬亀裂幅と模擬亀裂前後における波形ピークの振幅比の間に相関があり、コンクリート亀裂幅が推定できることを明らかにした。この送受信装置をROV（遠隔操作無人潜水機）に搭載し、構造物壁面に沿って鉛直移動させることで水中部でコンクリートの亀裂を調査する手法の構想をとりまとめた。



模擬亀裂幅と波形ピークの振幅比

## 8. 積雪寒冷環境下のインフラの効率的な維持管理技術の開発

### 積雪寒冷地の補強済床版の健全性の診断に向けた点検・調査手法に関する研究

寒地構造チーム

#### 研究の必要性

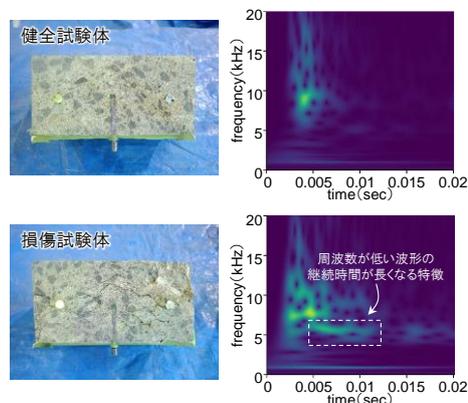
積雪寒冷地に供用されている鋼板接着補強済のRC床版では、補強材を固定するアンカー周辺のコンクリートに凍害等の劣化が進行しているが、補強材内側で発生するため目視による状態把握が難しい。そのため、効率的かつ簡便な調査手法の開発が求められている。



積雪寒冷地特有の補強済床版の損傷形態

#### 令和5年度に得られた成果・取組の概要

損傷を調査する手法として打音法に着目し、室内での打音試験によりアンカー周辺のコンクリートの状態と収録した打音波形の時間周波数特性との関係性を調査した。その結果、時間周波数特性の違いによりコンクリートの損傷状態を捉えられることを確認し、損傷調査手法としての有効性を示した。



打音波形の時間周波数解析結果の例  
(左:試験体の損傷状態、右:解析結果)

9. 施工・管理分野の生産性向上に関する研究

施工現場のリアルタイムデジタルツイン構築手法の検討

先端技術チーム

研究の必要性

施工現場をコンピュータ上に再現する建設工事用シミュレータを活用することで、自動施工技術の開発および現場導入が容易になる。しかしながら、シミュレータの構成要素となる建設機械モデルや土砂モデルについて、モデル同定手法および時刻・環境変化に伴うモデル更新手法は確立されておらず、これらの開発が求められている。

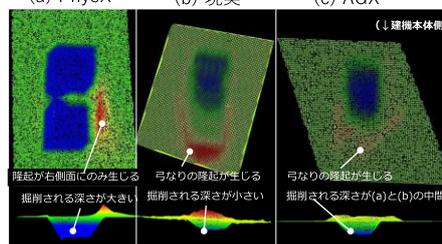
令和5年度に得られた成果・取組の概要

実機形状の3次元点群データからシミュレータの建設機械モデルを構築する一連の手法を開発した。さらに、油圧ショベルによる掘削時の地形変形について、異なる物理エンジン(PhysX および AGX Dynamics)を用いたシミュレータと実機との掘削実験結果を比較し、土砂モデルの違いにより再現される地形に大きな差異が生じることを確認した。この差異は現実とシミュレータとの乖離であり、今後、この差異を車載センサ等を用いて連続的に修正する手法について検討を進める。

| 建設機械モデルの作成手順   | 油圧ショベル<br>zx120 (日立建機) | クローラタンポトラック<br>ic120 (加藤製作所) |
|--|------------------------|------------------------------|
| [1] 保有している実機を<br>3D LiDARを用いて点群計測                      |                        |                              |
| [2] 点群データから3Dメッシュ<br>データを作成<br>+リンクパラメータを抽出            |                        |                              |
| [3] URDFのファイル<br>を作成                                   |                        |                              |
| [4] URDFをUnityへインポート<br>+各オブジェクトへ<br>コンポーネントを<br>追加・設定 |                        |                              |

建設機械モデル構築手法の開発

(a) PhysX (b) 現実 (c) AGX



油圧ショベルによる掘削形状のシミュレータ結果と実計測の比較検証