第１章　研究開発の成果の最大化

土木研究所は、第 5 期中長期目標において、国土交通大臣および農林水産大臣から、将来も見据えつつ社会的要請の高い課題に重点的・集中的に対応する研究開発に取り組むことが指示されている。

また研究開発にあたっては、研究開発課題と研究開発以外の手段（技術の指導や成果の普及等）を必要に応じてまとめた研究開発プログラムを構成して、これを効果的かつ効率的に進めることが求められている。

そこで土木研究所では、表-1 に示す 15 の研究開発プログラムを構成した。また、これらの研究開発プログラムを効果的かつ効率的に推進することにより、研究開発成果の最大化を図ることとした。

表-1　第 5 期中長期計画の 15 の研究開発プログラム

3 つの目標	研究開発プログラム
1. 自然災害からいのちと暮らしを守る国土づくりへの貢献	(1) 水災害の激甚化に対する流域治水の推進技術の開発
	(2) 顕在化した土砂災害へのリスク低減技術の開発
	(3) 極端化する雪氷災害に対応する防災・減災技術の開発
	(4) 大規模地震に対するインフラ施設の機能確保技術の開発
2. スマートで持続可能な社会資本の管理への貢献	(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
	(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
	(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
	(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
	(9) 施工・管理分野の生産性向上に関する研究開発
3. 活力ある魅力的な地域・生活への貢献	(10) 気候変動下における持続可能な水資源・水環境管理技術の開発
	(11) 地域社会を支える冬期道路交通サービスの提供に関する研究開発
	(12) 社会構造の変化に対応した資源・資材活用・環境負荷低減技術の開発
	(13) 快適で質の高い生活を実現する公共空間のリデザインに関する研究開発
	(14) 農業の成長産業化や強靭化に資する積雪寒冷地の農業生産基盤の整備・保全管理技術の開発
	(15) 水産資源の生産力向上に資する寒冷海域の水産基盤の整備・保全に関する研究開発

第１節　研究開発

土木研究所の評価は、中長期目標策定時に設定された評価軸（※1）を基本とし、評価・評定の基準として取り扱う指標（評価指標）と、正確な事実を把握するために必要な指標（モニタリング指標）により行われる（※2）。中長期目標に示されている本節の評価軸・評価指標、および評価指標に対する目標値およびモニタリング指標は以下のとおりである。

（※1）「独立行政法人の目標の策定に関する指針」（総務省　平成 26 年 9 月策定）
（※2）「独立行政法人の評価に関する指針」（総務省　平成 26 年 9 月策定）

１　自然災害からいのちと暮らしを守る国土づくりへの貢献

（１）　評価指標

表-1.1.1.1　「自然災害からいのちと暮らしを守る国土づくりへの貢献」の評価指標および目標値

<table>
<tr><th>主な評価軸</th><th colspan="2">評価指標</th><th>目標値</th><th>令和 5 年度</th></tr>
<tr><td>成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合しているか</td><td colspan="2" rowspan="4">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。</td><td rowspan="4">B 以上</td><td>A</td></tr>
<tr><td>成果・取組が社会的価値の創出に貢献するものであるか</td><td>A</td></tr>
<tr><td>成果・取組が生産性向上・変革に貢献するものであるか</td><td>A</td></tr>
<tr><td rowspan="4">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</td><td>S</td></tr>
<tr><td></td><td>＜他機関との連携＞
〇共同研究件数</td><td>28 件以上</td><td>7 件</td></tr>
<tr><td></td><td>＜成果普及・行政への技術的支援＞
〇講演会・説明会等の聴講者数（WEB 参加者含む）

〇技術基準類への成果反映数</td><td>4,300 人以上

5 件以上</td><td>7,856 人

5 件</td></tr>
<tr><td></td><td>＜国際貢献＞
〇国際的委員会等への参画者数</td><td>3 人以上</td><td>6 人</td></tr>
</table>

（２）　モニタリング指標

表-1.1.1.2　「自然災害からいのちと暮らしを守る国土づくりへの貢献」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	1 人
	交流研究員受入数	17 人
	競争的資金等の獲得件数	28 件
	現場調査実績	163 件
	技術資料の策定・改定数	4 件
	論文・雑誌等の発表数	300 件
	施設見学者数等	2,215 人
	技術支援実績	376 件
	災害支援実績	44 件
	委員会・研修講師派遣数	391 件
	国際会議での講演数	21 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	14 人
	国際協力機構等と連携した研修受講者数	56 人

（３）　外部評価委員会で評価された主要な成果・取組

表-1.1.1.3 「自然災害からいのちと暮らしを守る国土づくりへの貢献」の主要な成果・取組

評価軸	令和５年度の主要な成果・取組
成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合しているか	**研究開発プログラム(1) 水災害の激甚化に対する流域治水の推進技術の開発** ・土砂水理モデルによる掃流力の変化や河床変動の予測を通じて、被災可能性の予見や適切な掘削方法の提案が可能になることを示す等、国土強靭化に資する流域治水への貢献に期待。 **研究開発プログラム(2) 顕在化した土砂災害へのリスク低減技術の開発** ・火山噴火に伴う土石流を対象に広域降灰に対応した土石流氾濫範囲の推定技術の再現性・妥当性を検証。「活火山対策特別措置法」（令和５年改正）で新たに盛り込まれた「避難のために必要な情報の住民等への迅速かつ的確な伝達」に資する技術として、国が推進する火山噴火緊急減災対策への貢献に期待。 **研究開発プログラム(3) 極端化する雪氷災害に対応する防災・減災技術の開発** ・暴風雪時の道路上の視程分布の予測情報などを活用した除雪・通行止め等の判断支援システムのモックアップ版を試作。道路管理者等へのヒアリングを通じ、システムの有用性が高いことを確認。国の方針である暴風雪時の「躊躇ない通行止め」の判断への貢献に期待。 ・飛雪・吹きだまり分布について、民間企業４社との共同研究で開発した小型複合センサーにより高時空間分解能で測定可能であることを確認。将来的に吹雪時の道路管理での活用が期待され、国の施策である冬期災害に対する防災力の強化に貢献。 **研究開発プログラム(4) 大規模地震に対するインフラ施設の機能確保技術の開発** ・谷埋め高盛土の「ふとんかご」を用いたのり尻補強対策について、細粒分含有率の高い（約 44%）盛土材料による遠心模型実験を行い、自重変形解析による再現可能性とモデル解析上の課題を明らかにした。この知見は能登半島地震の盛土変状調査においても活用され、国の施策方針である発災後早期の道路機能回復に貢献。 ・地盤の原位置液状化試験法について現場実験により試験装置の改良効果（起震力増強、計測精度向上）を検証し、適用範囲の拡大、さらには能登半島地震を含めた震災復旧にも貢献の見通し。 ・能登半島地震による道路・橋梁・盛土被害について、国の要請による被災調査や自主調査を地震直後から継続的に実施。設計・構造、盛土の耐震性能に関する専門的知見を活用した耐荷性能の見立て、震後の措置、被災度評価等の技術的助言・情報提供により震後の早期復旧に貢献。
成果・取組が社会的価値の創出に貢献するものであるか	**研究開発プログラム(1) 水災害の激甚化に対する流域治水の推進技術の開発** ・近年大規模な水災害を引き起こす線状降水帯を対象に、気象モデルのデータ同化手法（WRF-LETKF）の改良および衛星マイクロ波放射計データ同化により降水量の再現性が改善。ここから得られる２日程度先までの降雨予測を用いることで、より的確な避難行動やダム操作の最適化が可能となり、将来的に洪水被害軽減への貢献に期待。 **研究開発プログラム(2) 顕在化した土砂災害へのリスク低減技術の開発** ・二次元レーザースキャナによる従来よりも正確な土石流の観測手法を確立し土木研究所資料として取りまとめたことにより、土石流氾濫解析技術の高度化に貢献。 **研究開発プログラム(3) 極端化する雪氷災害に対応する防災・減災技術の開発** ・海氷の堤防への衝突に関し、実験と数値解析により氷の衝突角度 30°程度で衝突力

評価軸	令和５年度の主要な成果・取組
	の軽減効果が相当程度期待できることを確認、津波避難施設や石油タンク等の重要構造物への衝突力の緩和方策等を提案。多くの人的被害が想定される厳冬期の津波・高潮・波浪災害の被害軽減に寄与することで、将来的な安全・安心な社会の実現への貢献に期待。 ・海氷を伴う津波を模した大型水槽実験により、海氷による防波堤本体の損傷や基礎の洗掘等、新たなリスクの存在を確認。この成果を踏まえた新たな対策の検討により、将来的に厳冬期の津波災害に対する防災・減災施策への貢献に期待。 研究開発プログラム(4) 大規模地震に対するインフラ施設の機能確保技術の開発 ・河川堤防の耐震対策について、液状化した地盤が傾斜側に流動するような地盤条件下で遠心実験を行い、堤体直下の浮き型固化改良工により堤防の沈下及び損傷が大幅に軽減されることを解明。低コストな耐震対策技術の創出に見通し。
成果・取組が生産性向上・変革に貢献するものであるか	**研究開発プログラム(1) 水災害の激甚化に対する流域治水の推進技術の開発** ・犀川上流「七倉ダム」流域を対象とした無効放流低減や事前放流といったダム操作最適化を目的に、水循環モデル（WEB-DHM-S）による流入量予測を実施し、大規模出水時にピークまでの積算流入量予測において目標精度（24 時間前で誤差 20%以内）を達成。ダム操作における流入量予測の活用により、ダム操作の最適化への貢献に期待。 **研究開発プログラム(2) 顕在化した土砂災害へのリスク低減技術の開発** ・落石対策施設の設計基準類への早期実装が求められている汎用的な数値解析技術について、従来型落石防護柵に関する 3 次元弾塑性衝撃応答解析モデルを構築。この解析モデルを用いた数値解析により、将来的な性能評価技術や設計合理化への貢献に期待。 **研究開発プログラム(3) 極端化する雪氷災害に対応する 防災・減災技術の開発** ・暴風雪・大雪の災害履歴のデジタルアーカイブを構築し、これらの履歴情報を活用するためのインターフェースを試作。将来的に効率的・効果的な道路管理への貢献に期待。 研究開発プログラム(4) 大規模地震に対するインフラ施設の機能確保技術の開発 ・UAV 等による道路橋点検支援技術について、事前に変状検出能力の評価を行っていたことにより点検結果の品質が保証され、能登半島地震等、震後の効率的かつ安全な道路橋点検が可能となり、早期復旧への貢献に期待。 ・能登半島地震被害調査において、ハンディスキャナ、地上 LP 等による 3D 計測と画像解析といった点検支援技術を積極的に試用。これら点検支援技術の併用による施設点検の生産性向上への貢献に期待。 ・改良した地盤の原位置液状化試験法を河川堤防の地盤調査に活用、河川堤防の液状化対策工の設計合理化に貢献。
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	**研究開発プログラム(1) 水災害の激甚化に対する流域治水の推進技術の開発** ・オホーツク海での波浪解析により波パワー増大の主要因が海氷減少にあることを世界で初めて証明。国際誌（IF4 以上）を通じた国内外への普及（工学・地球・環境・生態系分野で DL 数 Top100）により、気候変動適応策への将来的な貢献が期待。 ・ICHARM では平成 19 年以降、計 199 名の博士・修士課程修了者を輩出し、多くが開発途上国の政府職員として活躍する等、国際的な人材育成やネットワーク形成に貢献（第 6 回 JAPAN コンストラクション国際賞（国土交通大臣表彰）受賞）。 ・ユネスコ・世界気象機関等との連携による国際洪水イニシアチブ（IFI）のアジア各国におけるプラットフォーム活動支援を通じて、ICHARM 提唱の理念「知の統合の実

評価軸	令和５年度の主要な成果・取組
	現」、「ファシリテータの育成」、「End-to-End のアプローチ」に基づく取組を実践・推進。グローバル実務者への広報活動の展開により国内外の洪水専門家・行政官との「国際情報ネットワーク」の強化に貢献。 **研究開発プログラム(2) 顕在化した土砂災害へのリスク低減技術の開発** ・能登半島地震に対する災害派遣で河道閉塞の決壊危険性の監視、地すべり災害対応の BIM/CIM モデルを活用した遠隔地（石川県・北陸地整・本省）をつないだリモート支援等、これまでの研究成果・知見を活用して二次災害対策に貢献。 ・令和５年７月大雨により発生した福岡県の土石流に対し、土研 TEC-FORCE として現地調査及び技術的支援により被災地の早期復旧に貢献（国土交通大臣表彰）。 ・衛星による火山噴火後の降灰範囲推定手法、写真測量（UAV-SfM）による発生・堆積流木量調査手法、地すべり災害対応の BIM/CIM モデル、高精度空間情報を用いた雪崩の三次元計測手法等、既存の研究成果が国の「河川砂防技術基準調査編」に反映。これにより火山噴火や土石流、地すべり、雪崩等に伴う土砂災害の防止等に貢献。 **研究開発プログラム(3) 極端化する雪氷災害に対応する 防災・減災技術の開発** ・海氷の外力評価に関するこれまでの研究成果について、国の港湾施設の設計基準「港湾の施設の技術上の基準・同解説（施設編）（令和 5 年改訂）」に初めて明記された海氷がもたらす外力や損傷等に関する事項に反映。これにより海氷による外力を考慮した施設設計、安全性評価が可能となり、流氷海域における津波・高潮・波浪防災に貢献。 ・吹雪予測情報の web サイト（北の道ナビ「吹雪の視界情報」）での提供、SNS での発信、吹雪・雪崩災害に関する取材対応などの普及啓発活動により、吹雪・雪崩災害への理解を高めることで吹雪・雪崩災害の被害軽減に貢献。 研究開発プログラム(4) 大規模地震に対するインフラ施設の機能確保技術の開発 ・能登半島地震の道路・トンネル・橋梁・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研の専門調査結果が国交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。 ・北陸地整の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。土木研究所で蓄積してきた専門的知見・経験に基づいた技術的助言により被災した橋梁や能越自動車道の盛土の復旧等に貢献。 ・能登半島地震による谷埋め高盛土の被災について、学会等への情報提供、中間とりまとめの公表、マスメディアへの取材対応と段階を踏んだ適時的確な情報提供により、被災要因や被災を抑制する対策等の正しい理解を広く一般に広報。 ・道路橋の耐震設計に関する論文「崩壊シナリオデザイン設計法の実現に向けた耐力階層化鉄筋を用いた RC 橋脚の載荷実験」が令和５年度土木学会論文奨励賞を受賞。想定以上の地震動を受けた場合に致命的な被害を免れるためのシナリオデザイン設計法への貢献と成果の普及が期待。

（４）内部評価および外部評価委員会での評価結果

表-1.1.1.4 「自然災害からいのちと暮らしを守る国土づくりへの貢献」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	（１）	B	A	A
	（２）	A	A	
	（３）	A	A	
	（４）	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	（１）	A	A	A
	（２）	B	B	
	（３）	A	A	
	（４）	B	B	
成果・取組が生産性向上・変革に貢献するものであるか	（１）	A	A	A
	（２）	B	B	
	（３）	B	B	
	（４）	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	（１）	S	S	S
	（２）	A	A	
	（３）	A	A	
	（４）	S	S	

研究開発プログラムの実施

１．水災害の激甚化に対する流域治水の推進技術の開発

■　目的

地球温暖化の顕在化により、各地でこれまで経験したことのないような豪雨による水災害が増加しており、IPCC では、将来に向けて水災害のさらなる激甚化を示唆している。このため、国土交通省では、河川整備だけでなくあらゆる関係者が協働して流域全体で行う「流域治水」を打ち出しているところである。この流域治水の推進のためには、洪水等外力規模を見極め、流域の各主体が協働して、氾濫をできるだけ防ぐ、被害対象を減少させる、被害の軽減や早期復旧・復興を総合的かつ多層的に取り組むことが必要であるとともに、流域の関係者全員による水防災への参画・協働を促す技術・情報・仕組みの構築が課題である。本研究開発プログラムでは、この課題を解決するための技術開発を行うことを目的とする。

■　貢献

将来の水災害外力の適切な想定、氾濫をできるだけ防ぐ対策、被害対象を減少させる対策、被害が発生した場合でも致命的とならず速やかに復旧・復興する対策に資する技術開発を行うことで、気象現象が極端化し、経験のない水災害の発生が予見される将来において、持続的な社会・経済活動の実現に貢献する。

■　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　将来の洪水等水災害外力の想定技術の開発・高度化

中小流域や地形の複雑な個所での将来の降雨量変化を、的確に推定・評価できる手法開発のため、高解像度の力学的ダウンスケーリング方法による降雨推定結果の感度分析に着手した。利根川水系を対象に、令和元年東日本台風に伴う豪雨を再現計算した結果、山岳域を含む上流域ではモデル解像度依存性が大きいことがわかった（図-1）。今後さらに、小流域等での適切な解像度設定手法について検討を進める。

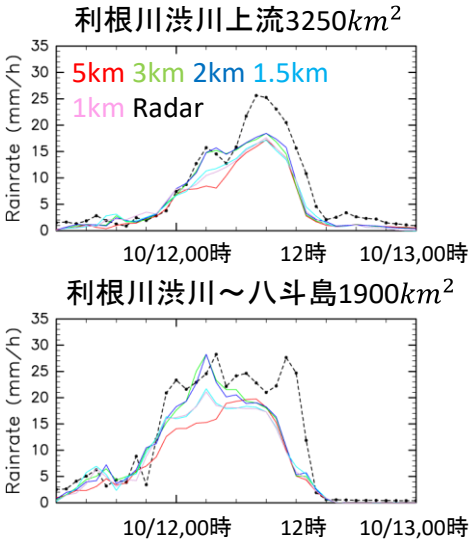
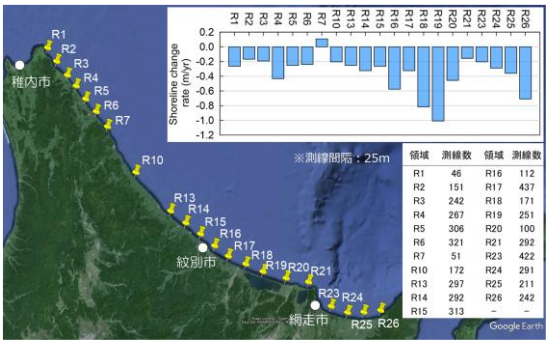


図-1　力学的ダウンスケーリング解像度依存性。（折れ線の色は解像度の違いを示しており、黒は観測値である。）

北海道沿岸の将来的な高波・高潮変化に伴う海岸侵食リスクを評価するため、衛星画像（Landsat5～9）を用いて、オホーツク海沿岸における汀線変化の長期トレンド（昭和 59 年～令



領域	測線数	領域	測線数
R1	46	R16	112
R2	151	R17	437
R3	242	R18	171
R4	267	R19	251
R5	306	R20	100
R6	321	R21	292
R7	51	R23	422
R10	172	R24	291
R13	297	R25	211
R14	292	R26	242
R15	313		

図-2　オホーツク海沿岸における汀線変化の長期トレンド（昭和 59 年～令和 4 年）（構造物・岩礁帯およびその付近を除く砂浜上の測線を解析対象とした）

和４年）を解析し、ほぼすべての領域で統計的に有意（95%）な負のトレンド（汀線後退傾向）となることを明らかとした（図-2）。

② 流域治水による取り組みを的確に評価・実現する手法の構築

短期アンサンブル（39 時間先）、長期アンサンブル（3 ヶ月先）のダム流入量予測に基づき、使用するアンサンブルや平均する日数の組合せを複数検討した。流入量予測を使って最適化された操作をした場合（オレンジ）が実測（グレー）と比較し平均的に高い貯水位運用となり洪水調節と増電の両面で確度の高いダム操作手法に方向性を示した（図-3）。

また、アンサンブルカルマンフィルターの局所化半径の改良と、衛星マイクロ波観測による雲水量の同化を行い、令和２年の九州の線状降水帯事例の再現性を向上させることができた。

③ 適切な洪水氾濫リスク評価手法の開発

流域からの土砂・流木の流出を面的に評価できる降雨-土砂・流木流出(RSR)モデルを複数の河川流域に適用し、その妥当性を検証した。安平川流域を対象とした検討の結果、浮遊砂の濃度と粒度分布の時間変化を精度良く評価できることが分かった（図-4）。

④ 水災害に対する社会の強靭化を図る技術開 発

河川堤防の越水に対する強化工法の一つである、鋼矢板二重壁の設計体系の確立に向けて、水理模型実験（図-5）および地盤変形解析を行った。また、越水破堤拡幅に伴う氾濫被害規模を見立てる技術の確立に向けて、土質の違いが破堤拡幅に及ぼす影響を模型実験により確認し、侵食形態や破堤拡幅速度に違いがあることが分かった（図-6）。さらに、河川堤防の浸透安全性を確率により評価することを念頭に、ボーリング調査や出水による被害・無被害情報に応じ、堤防・基礎地盤の不確実性を更新する方法を検討した。

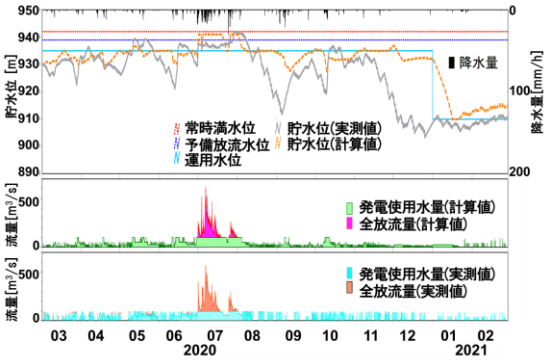


図-3　年間を通したダム操作ミュレーション事例（水位、使用水量、放流量）

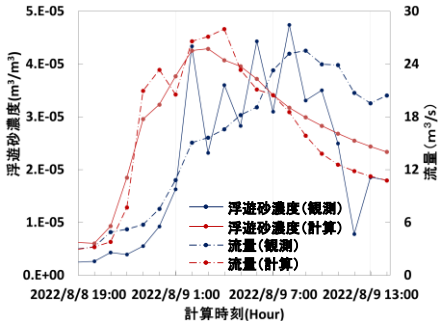


図-4　流量、浮遊砂濃度について、観測と解析結果の比較（安平川）

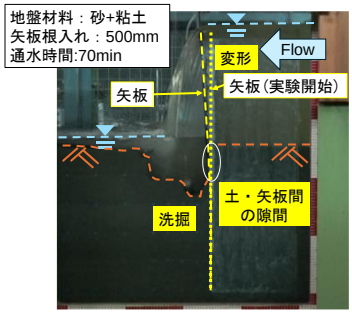


図-5　堤防強化工法の水理模型実験の状況

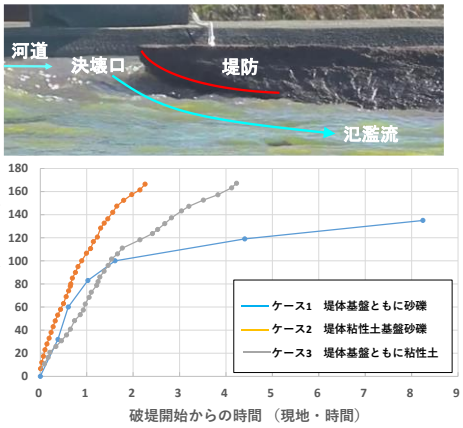


図-6　堤防決壊の縮尺模型実験の状況（上）及び実験ケースごとの破堤口拡幅の進行速度（下）

２．顕在化した土砂災害へのリスク低減技術の開発

■　目的

激甚化・頻発化する豪雨、降雪、また切迫する火山噴火や大規模地震等の自然現象に伴い、これまで対策の進んでいない崩壊性地すべりや雪崩、これまで点検が困難であった自然斜面からの落石、大規模降灰後の土石流などの顕在化した土砂移動現象による土砂災害の深刻化が懸念されている。本研究開発プログラムでは、これらの土砂移動現象について、その危険箇所を抽出し、影響範囲を評価する技術開発することを目的とする。

■　貢献

技術開発においては、UAV、AI、BIM/CIM、ICT 等のデジタル技術等を活用して空間情報を作成し、数値解析等を行うことにより、緊急対策や事前対策の迅速・的確な実施に貢献する。開発した技術は、これまでハザードエリアの設定や事前対策、緊急対策が技術的に困難であった箇所の土砂災害対策の実施に貢献する。

■　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　顕在化した土砂災害の危険箇所抽出手法の開発

令和４年度に土木研究所が開発した土石流の流出・氾濫計算プログラム（DFSS）について、日本全国の火山地域で使用でき、自動かつ高速で計算が可能なシステム開発を見据え、新しく地形処理ライブラリを採用し DFSS 計算の地形データの前処理を半自動化するプログラムを試作した。また、大規模噴火時に広域降灰が起きることで、多数の渓流で数値計算が必要となる場合を想定し、保全対象に基づく渓流の数値計算優先順位の設定手法を検討した。

崩壊性地すべりについて、広域レベルでの危険性の把握に向けて、堆積岩、テフラ、火山岩からなる流れ盤構造を呈する斜面で発生するタイプごとに、文献調査により発生実績が確認された地点とその地質の分布域を表示したマップの作成を試みた（図-1）。また、収集した崩壊性地すべりの特徴を整理し、諸元等を記載したカルテを事例集としてとりまとめた。

新潟県柵口地区の雪崩発生前後において、3 次元モデルを用いて地形を分析した結果、令和 4～5 年冬季に発生した全層雪崩 1 事例では、発生区の上端を判断する要素として元地形の勾配変化点が重要であることを把握した（図-2）。また、令和 5 年～6 年冬季において、7 回の雪崩の観測データを取得した。

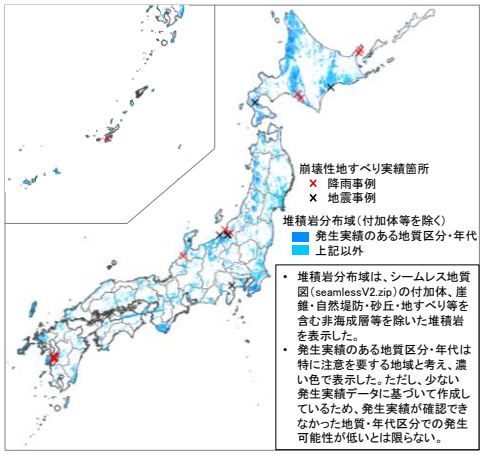


図-1　崩壊性地すべり（堆積岩タイプ）の広域実績マップ

落石が発生する危険がある道路斜面において、UAV 撮影を行い、背景差分法により 1 年前に撮影した画像と併せて解析し、黒い背景差分画像上で白く浮かび上がった変化箇所として、岩盤のはく離崩壊や落石等を抽出した（図-3）。各斜面で抽出さ

れた最小の変状を整理した結果、抽出可能であった変状は、解析対象が写真の場合は、一辺 3 画素以上、解析対象がオルソ画像の場合は、その分解能に依らず、オルソ画像作成の基となった写真で一辺 3 画素以上であった。このことから、背景差分法により斜面を点検する際は、撮影距離等を調整し、抽出したい変状を一辺 3 画素以上となる分解能で UAV 撮影する必要があることが分かった。今後、このように取得した背景差分画像から変状箇所を効率的に自動抽出する方法を検討する。

② 緊急対応を迅速化するハザードエリア設定技術の開発

土石流の流出計算について、入力データとして国土交通省の X/C バンド MP レーダー（XRAIN）リアルタイム雨量情報を利用できるように、当該データを変換するプログラムを試作した（図-4）。また、新たに採用した地形処理ライブラリにより、汎用的な地形データフォーマットを利用可能にするとともに、外部依存性を減らしてシステムの頑健性を高めた。

崩壊性地すべりにおいて、移動土塊が長距離移動するメカニズムの解明に向けて、すべり面や移動土塊底面から採取した土塊の標本を用いて、X 線 CT 画像等による 3 次元的な礫の配列や粒径分布、堆積構造などの分析を行った。

雪崩について、既存モデルの雪崩への適用性評価のため、令和 4 年度に取得したデータを用いた数値シミュレーションにより到達範囲の再現計算を行い、パラメータ等を分析した。

③ 高エネルギーの落石等に対応した事前対策工の評価技術の構築

落石対策工の種類や落石規模等に応じた設計の実態を把握するため、国土交通省北海道開発局の業務成果図書等の収集・分析と、主要メーカーや設計者との意見交換会を実施し、数値解析の活用状況や課題等を整理した。また、令和 4 年度に提案した 3 次元弾塑性衝撃応答解析の数値解析モデルについて、柵高さ等が異なる複数の仕様の実規模防護柵の実験時挙動の再現性を検証し、提案モデルの汎用性を確認した（図-5）。

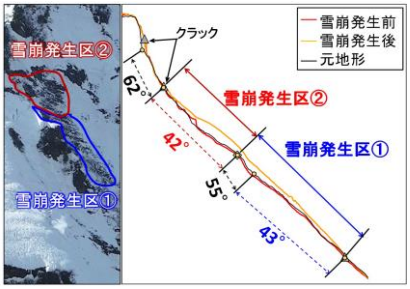


図-2　UAV 計測を用いた雪崩発生区の判読と境界部の地形特性の分析

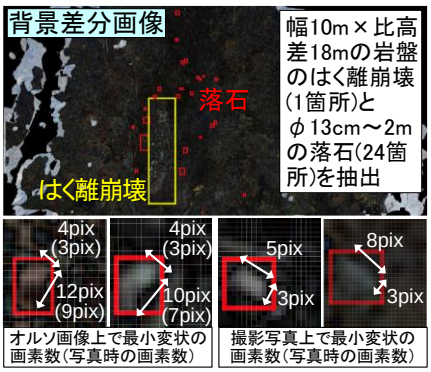


図-3　落石発生の危険がある道路斜面における背景差分画像例と変状抽出時の画素数例

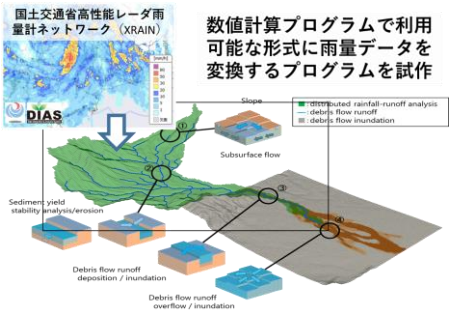
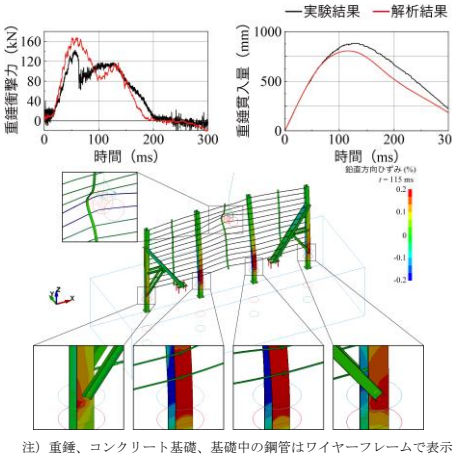


図-4　X-RAIN データ変換プログラムの試作



注）重錘、コンクリート基礎、基礎中の鋼管はワイヤーフレームで表示

図-5　実規模防護柵の重錘衝突時挙動の数値解析による再現性を検証

３．極端化する雪氷災害に対応する防災・減災技術の開発

■　目的

近年、暴風雪や積雪期の大雨など、冬期気象の極端化により、車両の立ち往生や長期に亘る通行止め、多重衝突事故が発生し、国民生活や社会経済活動に甚大な被害をもたらしている。さらに千島海溝沿いの巨大地震が懸念される中、氷海域を含む積雪寒冷地で発生する津波は、雪氷を伴う津波作用や低温環境により、通常の津波よりもさらに被害を拡大し、甚大な損害を与える可能性がある。

そこで本研究開発プログラムでは、極端化する雪氷災害の被害軽減に資する技術の開発を行うことを目的とする。

■　貢献

極端な冬期気象イベント（暴風雪、積雪期の大雨等）時における、雪氷災害発生危険度を予測する技術の開発などにより、冬期道路管理の判断を支援する。また数値計算による防雪柵の性能評価手法の標準化による、効果的な防雪柵の整備推進、および防雪林の複合的施設配置など、新たな防雪林の構造の提示により、防雪機能の確保・向上に貢献する。さらに海氷を伴う津波が沿岸構造物に及ぼす外力や、海氷の広域的な挙動の解明により、沿岸構造物の設計や配置計画、国や地方自治体の防災・減災対策等に貢献する。

■　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　極端気象時の冬期道路管理判断支援技術の開発

道路の沿道環境、風向などが視程に及ぼす影響を考慮した視程予測手法を考案し、暴風雪時における道路管理（道路通行止め等）の判断を支援する吹雪視程予測システムの開発を目指している。一般国道275 号札幌市～当別町をモデル路線とし、当該路線の道路管理者へのヒアリングを実施し、道路通行止めの開始・解除までのリードタイム等を把握のうえ、暴風雪時の道路管理に求められる情報を抽出した。ヒアリング結果に基づき、モデル路線での試験提供を目指し、暴風雪時の判断支援システムに必要となる情報項目や表示方法など検討し、モックアップ（図-1）を作成した。

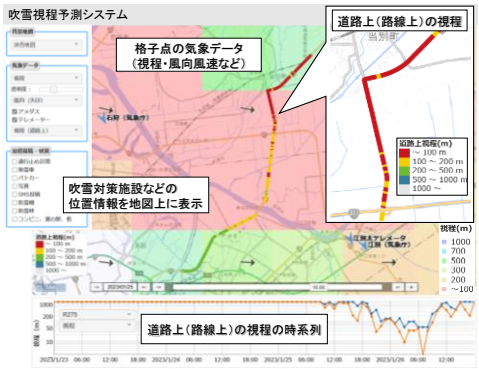


図-1　暴風雪時の判断支援システムにおける視程情報提供画面（モックアップ）

厳冬期の大雨等による雪崩災害に対する道路管理の判断支援手法の開発を目指し、雨水や融雪水の積雪内移動過程と地盤浸透過程を解明するため、過去の雪崩発生箇所における現地調査および数値地形図の解析により、渓流上流部での土砂の

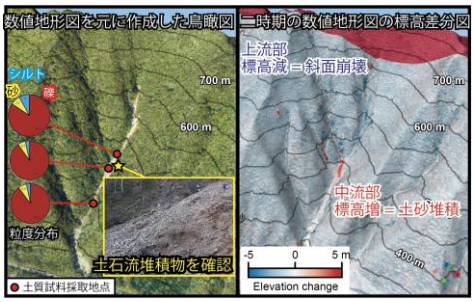


図-2　数値地形図から作成した既往雪崩被災地の鳥瞰図および標高差分図

移動に伴う堆積分布を把握した（図-2）。また、積雪内の水分移動や底面流出の計算手法を比較検証し、斜面積雪の安定性評価に活用可能な手法を把握した。

過去の暴風雪・大雪災害のデジタルアーカイブを構築し、冬期道路管理へ活用するため、デジタルアーカイブのフォーマットおよび閲覧システムのモックアップを作成のうえ、道路管理者へのヒアリングを実施した。また、気象の現況および予測値から過去の暴風雪・大雪の類似事例を抽出する技術を検討した（図-3）。

② 暴風雪を考慮した吹雪対策施設の性能評価と防雪機能確保技術の開発

防雪柵に関して、ベンチマークデータ策定の基礎データ取得のため、UAV を用いて防雪柵周辺の積雪分布を広域に計測し、吹きだまり発生状況を把握した（図-4、5）。また、風洞実験で風況を確認し、吹きだまり発生状況との因果関係を調査した。

防雪林における現在の課題と今後の対応策を整理のうえ、防雪林に求められる要求性能の設定、および新たな樹種構成や複合的施設配置による防雪林の機能確保・向上技術を検討するための現地観測および解析を実施した（図-6）。また、様々な樹種構成の防雪林について、景観面の価値を把握するため、ヒアリングおよび印象評価実験を実施した。

③ 積雪寒冷地沿岸部における津波防災・減災技術の構築

津波漂流物となる海氷の衝突実験と数値計算を実施し、衝突対策案の一つとして平板傾斜による衝突力軽減機構等を明らかにした。沿岸部・陸域に遡上している海氷の形態等の現地調査の実施、ならびに場所差を考慮した基本特性の統計解析を行った。断面水路実験に加え、特に防波堤先端部で発生する渦による海氷の 3 次元的挙動等を調べるため、大型平面水槽を用いた海氷をともなう津波の模型実験に着手した（図-7）。さらに、多重ロジスティクス解析や AI によるアイスジャム形成予測法について検討した。

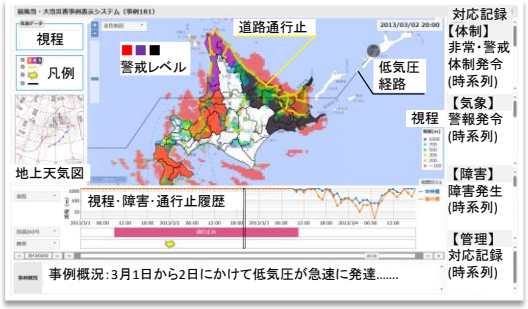


図-3　過去の暴風雪・大雪災害のデジタルアーカイブの構成

図-4　柵周辺の積雪状況（3 次元点群データ）

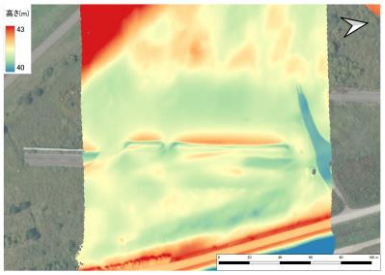


図-5　柵周辺の積雪深分布のヒートマップ

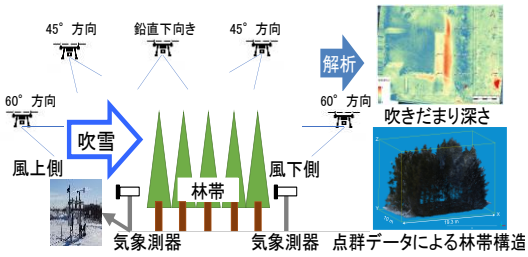


図-6　LiDAR UAV や気象測器を活用した林帯観測（左）と解析結果例（右）

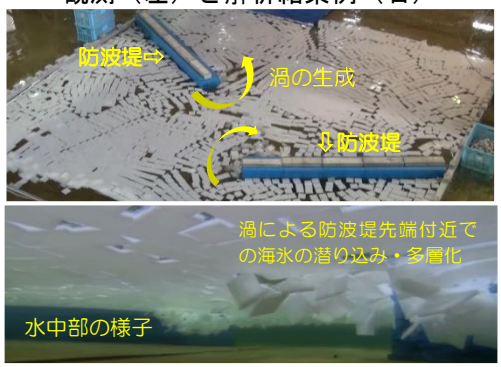


図-7　大型平面水槽を用いた海氷をともなう津波（孤立波）の模型実験

４．大規模地震に対するインフラ施設の機能確保技術の開発

■　目的

地震による被害は激甚化かつ多様化しつつあり、これまでに経験したことのないような形態での被災も懸念されている。本研究開発プログラムでは、橋や土工構造物等の道路を構成している構造物や河川堤防等のインフラ施設に対して、その機能に及ぼす地震の影響を最小化することに加え、仮に被害を受けても早期の機能回復を可能とする対策技術の開発等を目的とする。

■　貢献

本研究開発プログラムにおける技術開発成果の技術基準類への提案、国内外で発生する災害への技術支援等を通じて、来る大規模地震に対する被害の軽減、最小化に貢献する。

■ 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 橋梁の機能確保のための耐震技術の開発

増し杭補強した場合の杭と地盤の相互作用による水平方向の地盤抵抗の低減効果（群杭効率）の定量的評価を目的とし、杭径と杭種が異なる 2 本組杭を対象に、杭中心間隔が新設時の標準的な間隔である杭径の 2.5 倍を下回る場合を想定した数値解析を実施した。その結果、得られた群杭効率は、同径同種の杭の組合せを前提とした算定式や既往研究の提案式により得られる値より大きく、より合理的な増し杭補強設計が可能となる見込みが得られた（図-1）。

橋台に対する地震時の設計荷重の推定方法を検討するため、橋台・周辺地盤一体モデルに対する動的解析を実施し、動的解析により位相差を考慮した場合、地震時の作用荷重が低減される結果を得た。（図-2）。

免震支承を有する橋梁を対象とした超過外力に対する耐震対策として、施工性等を考慮し、耐力階層化鉄筋の本数を低減し、断面中央部に配置するなどの最適化を目的とした橋梁模型による水平交番載荷を実施した。配置した耐力階層化鉄筋は、必要な最大耐力上昇に寄与したが、解析との乖離が生じていたこ

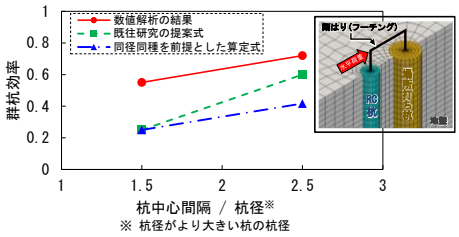


図-1　各種の群杭効率の比較

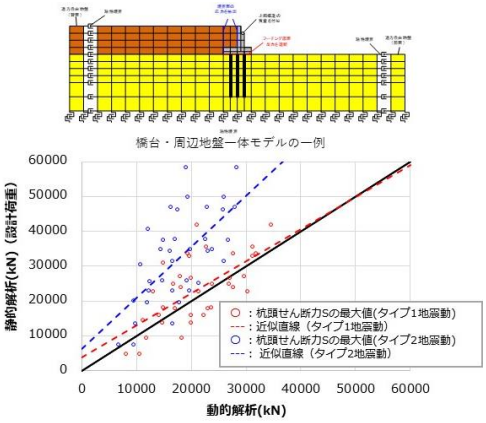


図-2　地震時に橋台に作用する力のうち杭頭せん断力の例

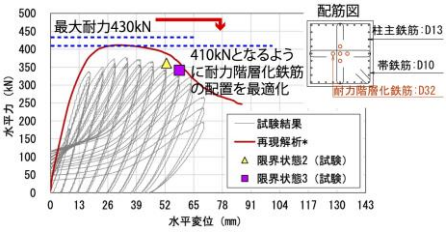


図-3　荷重変位（橋脚天端）関係

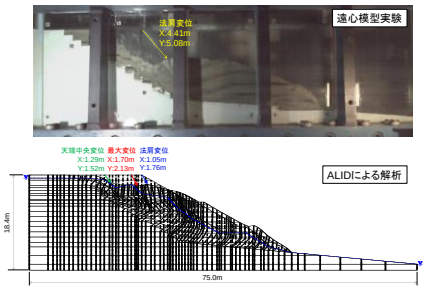


図-4　細粒分を含む谷埋め高盛土の自重変形解析

とから荷重分担に関する知見を得るための小型模型による実験計画を立案した。（図-3）

② 土工構造物の機能確保のための耐震技術の開発

細粒分を含む谷埋め高盛土の動的遠心模型実験を模擬した自重変形解析を行ったが、解析変形量が実験の 1/2 程度と小さい結果となり、盛土材料の物性のモデル化に改善が必要であることを確認した（図-4）。

泥炭の動的特性を定量的に把握するため泥炭の層厚、盛土の有無、地震動レベルを変えた動的遠心力模型実験を行った。その結果、基盤の入力加速度が 100gal 以下では泥炭の卓越周波数は f =1～3Hz だが、300gal 以上のそれは地震動による泥炭の剛性低下に伴い、f =0.6～0.7Hz の長周期側に推移することを確認した（図-5）。

盛土内部の地下水分布の調査精度を向上させる、設置深度が浅くても接地抵抗の低いくさび型電極を開発した。一般的な電極に対し設置深度が半分でも 2.5 倍程度の性能向上が見込まれることがわかった（図-6）。

地震時の河川堤防の液状化に対する新たな低コスト対策技術「堤体直下の浮き型固化改良工」に関して、基礎地盤形状の影響を調べるための遠心模型実験を行った。液状化した地盤が傾斜側に流動した結果、無対策堤防の沈下および変状は甚大であった一方、対策工により被害を軽減できることを確認した（図-7）。さらに、河川堤防縦断方向の効率的な弱点箇所抽出手法として常時微動データの活用手法を検討し、被災しやすいと知られている工学的基盤の不整形位置を検出できることを確認した。

③ 耐震性能評価のための精度の高い液状化予測技術の開発

地盤の液状化特性を精度よく把握するための原位置試験法について、改良した試験装置による起振力増強および計測精度向上の効果を現場実験により検証した（図-8）。また、液状化判定法検証のため、令和 6 年能登半島地震による液状化発生箇所の現地調査を行った。

さらに、砂質土推定式では適切に評価できない火山灰質粗粒土の液状化強度比 R_L は、熊本の試料であっても北海道の試料同様にせん断波速度 V_S と正の相関があり、異なる地域でも V_S から適切に評価・推定できることが示唆された（図-9）。

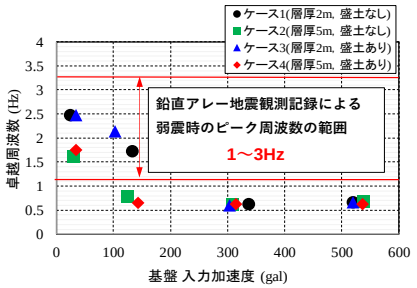


図-5　泥炭地盤基盤の入力加速度と卓越周波数の関係

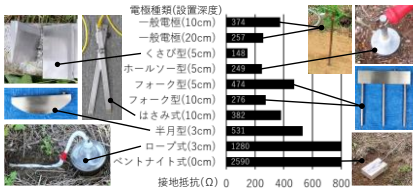


図-6　電極の種類および設置深度と接地抵抗の関係

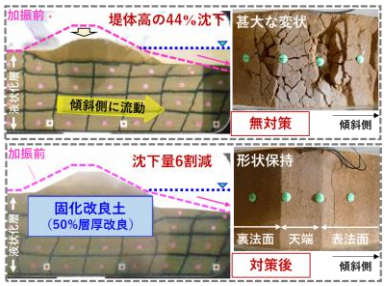


図-7　低コスト液状化対策技術に関する遠心模型実験（左：側面図、右：上面図）

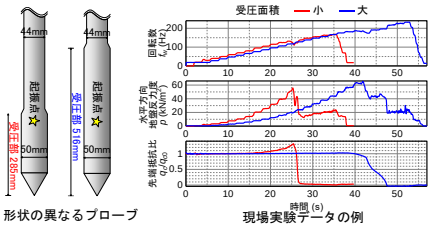


図-8　原位置液状化試験法に用いる試験装置の改良効果の検証

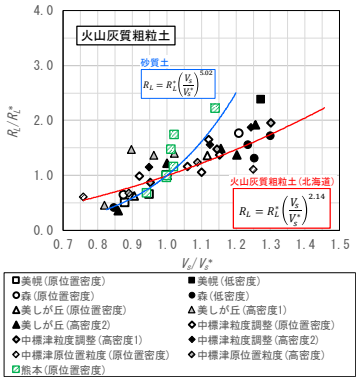


図-9　火山灰質土の V_S-R_L 関係

将来を見据えた基礎的・挑戦的な調査・研究の実施

１．水災害の激甚化に対する流域治水の推進技術の開発

気候変動に段階的に対応できる防波堤の改良工法に関する研究

寒冷沿岸域チーム

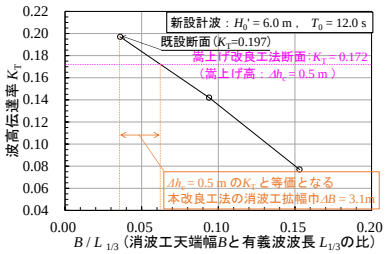
研究の必要性

気候変動により波浪増大が予測されており、港湾や漁港の防波堤等の強靭化が求められている。防波堤の主流な構造である消波ブロック被覆堤の従来改良工法は嵩上げであるが、既設消波工の一部撤去を伴う。そこで、気候変動の不確実性により波浪増大が予測以上となった場合にも、既設消波工撤去が生じない消波工拡幅のみによる改良工法の一般化を目指している。

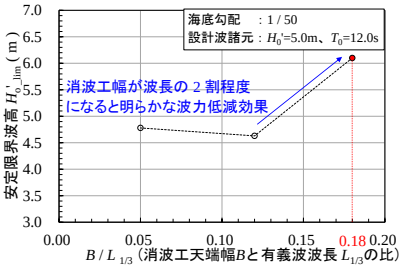
令和５年度に得られた成果・取組の概要

本改良工法による防波堤の機能向上について、水理模型実験にて検証している。従来の嵩上げ改良と比較して、ほぼ同等の波高低減効果を有することが分かった（嵩上げ高 0.5 m の場合、消波工拡幅巾が 3.1 m で波高伝達率 K_T が等価）。また、消波工天端幅 B を有義波波長 $L_{1/3}$ の 2 割程度とすると、2 割の波高増大（4.8m → 6.1m）でも、堤体が安定する可能性があることが分かり、有用性が示された。

実験状況（ $B / L_{1/3} = 0.18$ ）



$B / L_{1/3}$ と波高伝達率 K_T の関係



$B / L_{1/3}$ と堤体が安定する限界の波高 $H_0'_{lim}$ の関係

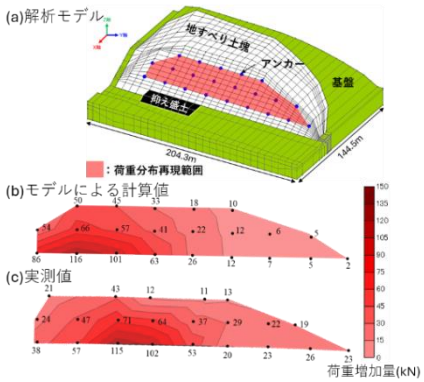
２．顕在化した土砂災害へのリスク低減技術の開発

グラウンドアンカーの荷重分布を考慮した
3 次元 FEM による地すべり安定性評価に関する研究

地すべりチーム

研究の必要性

地すべりの再活動等によりグラウンドアンカーの荷重が増加した場合、増し打ち等の追加対策が行われるが、地すべりの一部に荷重増加が偏る事例もあり、荷重増加量分布の違いによって必要となる対策範囲が異なることも考えられる。そのため、面的なアンカー荷重増加量分布の予測手法が求められる。



地すべり斜面の 3 次元モデルによるアンカー荷重増加量の再現結果

令和５年度に得られた成果・取組の概要

面的なアンカー荷重増加量分布に影響する要因を明らかにするため、地すべり土塊の形状や物性が異なる地盤モデルを用いて 3 次元弾塑性 FEM 解析を行った結果、横断方向のアンカー荷重増加量分布が中央に偏るケースとして、地すべり土塊の中央部が側部に比べて厚みがある場合や、側部すべり面の強度や面積が大きい場合であることが分かった。これらの要因を考慮して実際に荷重増加が見られた地すべり斜面をモデル化し、実測の荷重値と 3 次元弾塑性 FEM 解析により得られた荷重値の比較を行った結果、面的な荷重増加量分布を概ね再現することができ、予測につながる成果が得られた。

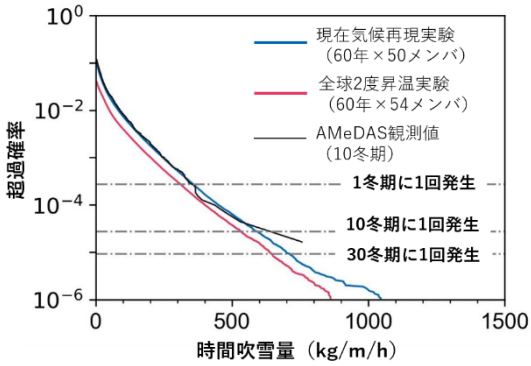
３．極端化する雪氷災害に対応する 防災・減災技術の開発

アンサンブル気候予測データベースを用いた吹雪障害指標の将来予測の可能性に関する研究

雪氷チーム

研究の必要性

気候変動に伴う雪氷災害の激甚化・頻発化が顕在化しつつある中、経験工学に加えて将来予測値も活用した防雪計画への転換を検討する必要が出てくると考えられる。本研究では、アンサンブル気候予測データベース（d4PDF）を用いて極端事象を含む吹雪障害の指標について、適切なバイアス補正手法およびその発生や強度の将来変化を確率論的に予測する手法を提案することを目的とする。



アメダス網走における計算結果（例）

令和５年度に得られた成果・取組の概要

北海道内の気象庁アメダス観測地点 4 地点において、吹雪障害の指標である吹雪量算出のための、d4PDF に施すバイアス補正手法を提案した。さらに、d4PDF の現在気候再現実験と全球 2 度昇温実験における吹雪量の超過確率を算出した。この結果より、極端事象を含む吹雪障害発生傾向について、定量的な将来評価が可能となることが明らかにされた。

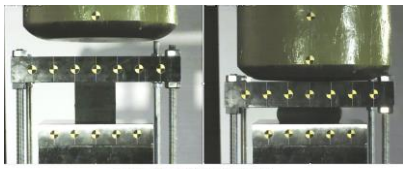
４．大規模地震に対するインフラ施設の機能確保技術の開発

ゴム緩衝体を有する段差防止構造の耐荷性と耐衝撃に関する研究

寒地構造チーム

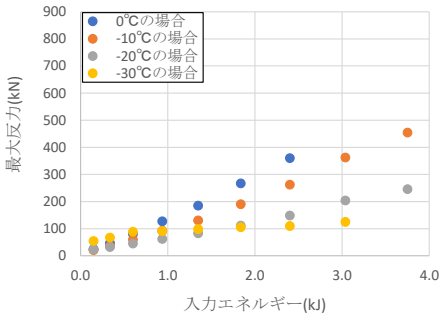
研究の必要性

地震後の橋梁の早期機能復旧を図るために衝撃力の作用が想定される段差防止構造に緩衝体を設置している。しかし、作用する衝撃力や緩衝体に要求される性能上の規定が不明確である。そこで、確実なフェールセーフ機能として段差防止構造の機能を発揮させるために必要な緩衝体の性能について明確にする必要がある。



緩衝ゴム(寸法 50x50x50)

衝突載荷状況（衝突速度 1.5m/s）



最大反力と入力エネルギーの関係
（緩衝材厚さ 50mm、硬度 55 度）

令和５年度に得られた成果・取組の概要

緩衝ゴム 240 体に衝突力を作用させ、緩衝材性能に関する寸法効果とゴム温度の影響について検討を行った。その結果、試験体温度に関わらず、厚い緩衝材の方が最大反力は小さい傾向を示し、右図のように緩衝ゴムの温度が低下するにつれて、最大反力が小さくなる傾向を示した。さらに同一緩衝ゴムにおける吸収エネルギーは、温度による影響が小さいことが分かった。ただし、低温実験では、緩衝ゴムが破壊しているため、RC 部材での衝突実験を行い、衝突体による影響を確認する。