

## 第3編

### 研究活動



# 1. 土木研究所の研究活動

## 1.1 中期目標と中期計画に基づく重点的研究開発の実施

平成13年4月に独立行政法人に移行し、主務大臣から中期目標が示され、これを達成するための中期計画を作成し、中期計画に基づき業務を推進する仕組みとなった。巻末参考資料13(382頁)に、中期目標、中期計画を添付している。

平成13年度～平成17年度までの第1期中期目標期間における研究開発については、①土木技術の高度化及び社会資本の整備・管理のために必要となる研究開発を計画的に推進すること、②社会資本の整備管理に係る社会的要請の高い課題への早急な対応を図るための研究開発を重点的かつ集中的に実施することとし、重点的研究開発として、ア)安全の確保、イ)良好な環境の保全と復元、ウ)社会資本整備の効率化、を位置づけ研究費の概ね40%を充当することを目途とすること等が中期目標に示された。

この中期目標を達成するための第1期中期計画では、表-1.1に示す14の重点プロジェクト研究を実施し、所要の研究成果をあげた。重点プロジェクトに充当した研究費は約37%であった。このほかの基礎的・先導的な研究等については、一般研究及び萌芽的研究として実施した。

表-1.1 第1期中期計画における重点プロジェクト研究

ア)安全の確保に係る研究開発	1. 土木構造物の経済的な耐震補強技術に関する研究
	2. のり面・斜面の崩壊・流動災害軽減技術の高度化に関する研究
	3. 水環境における水質リスク評価に関する研究
	4. 地盤環境の保全技術に関する研究
イ)良好な環境の保全・復元に係る研究開発	5. 流域における総合的な水循環モデルに関する研究
	6. 河川・湖沼における自然環境の復元技術に関する研究
	7. ダム湖及びダム下流河川の水質・土砂制御技術に関する研究
	8. 閉鎖性水域の底泥対策技術に関する研究
	9. 都市空間におけるヒートアイランド軽減技術の評価手法に関する研究
ウ)社会資本整備の効率化に係る研究開発	10. 構造物の耐久性向上と性能評価方法に関する研究
	11. 社会資本ストックの健全度評価・補修技術に関する研究
	12. 新材料・未利用材料・リサイクル材を用いた社会資本整備に関する研究
	13. 環境に配慮したダムの効率的な建設・再開発技術に関する研究
	14. 超長大道路構造物の建設コスト縮減技術に関する研究

平成18年度～平成22年度までの第2期中期目標期間における研究開発については、①社会的要請の高い課題への重点的・集中的な対応を図るための研究開発を重点的かつ集中的に実施することとし、重点的研究開発課題として、ア)安全・安心な社会の実現、イ)生き生きとした暮らしの出来る社会の実現、ウ)国際競争力を支える活力ある社会の実現、エ)環境と調和した社会の実現、オ)積雪寒

冷に対応した社会資本整備、カ) 北海道の農水産業の基盤整備、を位置づけ研究費の概ね60%を充当することを目標とすることが中期目標に示された。あわせて、②土木技術の高度化及び社会資本の整備並びに北海道の開発の推進に必要な研究開発を計画的に推進にすることも示された。

この中期目標を達成するための第2期中期計画では、表-1.2に示す17の重点プロジェクト研究を実施し、所要の成果を挙げた。重点プロジェクト研究のほか、将来重点プロジェクトに移行することが期待される研究もしくは中期目標の達成に係わる重要な研究を戦略研究として位置づけ、重点プロジェクト研究及び戦略研究へ約7割を充当した。このほかの基礎的・先導的な研究等については、一般研究及び萌芽的研究として実施した。

表-1.2 第2期中期計画における重点プロジェクト研究

ア) 安全・安心な社会の実現	①総合的なリスクマネジメント技術による、世界の洪水災害の防止・軽減に関する研究
	②治水安全度向上のための河川堤防の質的強化技術の開発
	③大地震に備えるための道路・河川施設の耐震技術
	④豪雨・地震による土砂災害に対する危険度予測と被害軽減技術の開発
	⑤寒冷地臨海部の高度利用に関する研究
	⑥大規模岩盤斜面崩壊等に対応する道路防災水準向上に関する研究
	⑦冬期道路の安全性・効率性向上に関する研究
イ) 生き生きとした暮らしの出来る社会の実現	⑧生活における環境リスクを軽減するための技術
ウ) 国際競争力を支える活力ある社会の実現	⑨効率的な道路基盤整備のための設計法の高度化に関する研究
	⑩道路構造物の維持管理技術の高度化に関する研究
	⑪土木施設の寒地耐久性に関する研究
エ) 環境と調和した社会の実現	⑫循環型社会形成のためのリサイクル建設技術の開発
	⑬水生生態系の保全・再生技術の開発
	⑭自然環境を保全するダム技術の開発
	⑮寒地河川をフィールドとする環境と共存する流域、河道設計技術の開発
オ) 積雪寒冷に適応した社会資本整備	⑤寒冷地臨海部の高度利用に関する研究 (再掲)
	⑥大規模岩盤斜面崩壊等に対応する道路防災水準向上に関する研究 (再掲)
	⑦冬期道路の安全性・効率性向上に関する研究 (再掲)
	⑪土木施設の寒地耐久性に関する研究 (再掲)
	⑮寒地河川をフィールドとする環境と共存する流域、河道設計技術の開発 (再掲)
カ) 北海道の農水産業の基盤整備	⑯共同型バイオガスプラントを核とした地域バイオマスの循環利用システムの開発
	⑰積雪寒冷地における農業水利施設の送配水機能の改善と構造機能の保全に関する研究

## 1.2 研究評価体制の構築と充実

研究評価に関しては、外部評価の導入、評価結果の公開、研究資金等の研究開発資源の配分への適切な反映等により、研究開発評価の一層効果的な実施を図ることを目的に、「国の研究開発全般に共通する評価の実施方法の在り方についての大綱的指針」（平成9年8月7日）が内閣総理大臣決定された。

土木研究所では、大綱的指針策定に先行し平成8年度に土木研究所評価検討委員会を設け検討を進め、全ての研究課題について所内委員会での評価を継続、重点研究プロジェクトについては外部の専門家及び有識者で構成される土木研究所評価委員会による評価を受けることとした。平成10年7月29日に第1回土木研究所評価委員会（委員長：虫明功臣東京大学教授）を開催し、平成10年度開始の重点研究プロジェクト3課題の事前評価を行った。

平成13年4月1日に研究評価要領を策定し、土木研究所研究評価所内委員会（内部評価委員会）、土木研究所研究評価委員会（外部評価委員会）を設置した。外部評価委員会には5つの分科会を設置し、専門分野毎に評価を行うことでその充実を図っている。さらに、事前評価、中間評価及び事後評価の実施、評価結果の公表についても要領で定めた。

平成18年度には、北海道開発土木研究所との統合に伴い評価要領を改正し、内部評価委員会（つくばと寒地に設置し一部委員は兼務）、外部評価委員会（つくばと寒地で一本化）及び分科会（5分科会を8分科会に変更）を再編成した。

平成22年度には、第3期中期目標期間のプロジェクト研究の事前評価が始まることから、評価要領を大幅改訂した。成果の普及等を主体とした「追跡評価」の新設、内部評価委員会の一体化、さらに外部評価委員会の8つの分科会を4つに再編成した。

表-1.3 委員会・分科会の開催実績（回数、対象課題数）

	外部 評価 委員会	外部評価分科会		内部評価委員会				
		開催回数	評価課題数	開催回数	評価課題数			
					事前	中間	事後	計
平成13年度	2	8	99	2	145	37	-	182
平成14年度	1	6	-	3	68	18	68	154
平成15年度	1	4	45	3	42	63	58	163
平成16年度	1	5	54	3	61	65	31	157
平成17年度	2	4	32	5	232	21	39	292
平成18年度	1	6	148	4	51	7	118	176
平成19年度	1	8	8	5	86	62	27	175
平成20年度	1	8	104	4	133	124	23	280
平成21年度	1	8	32	4	127	16	64	207
平成22年度	2	12	112	3	308	18	48	374
平成23年度	1	8	83	3	60	23	150	233

### 1.3 独立行政法人評価委員会による評価

独立行政法人通則法により、独立行政法人は各事業年度及び中期目標の期間における業務の実績について、評価委員会の評価を受けなければならないこととなっている。土木研究所は、国土交通省独立行政法人評価委員会土木研究所分科会により評価を受けており、毎年度及び中期目標期間毎に業務実績報告書を作成し、評価委員会に提出している。業務実績報告書や評価結果は、公表されている。評価方法等については、変更がなされてきており、単純な比較はできないもののこれまでの評価結果を表-1.4に示す。

表-1.4 土木研究所の業務実績評価（総合評価）

	評価	備考		評価	備考
平成13年度	順調	「順調」、「概ね順調」、「要努力」のいずれかにより評価	第1期	S	SS、S、A、B、Cによる評価
平成14年度	順調				
平成15年度	順調				
平成16年度	順調	「極めて順調」、「順調」、「概ね順調」、「要努力」のいずれかにより評価	第2期	A	
平成17年度	極めて順調				
平成18年度	順調				
平成19年度	極めて順調				
平成20年度	極めて順調	SS、S、A、B、Cによる評価			
平成21年度	S				
平成22年度	A				
平成23年度	A				

## 2. 各論

### 2.1 つくば中央研究所

つくば中央研究所は平成 18 年に旧土木研究所と旧北海道開発土木研究所との統合の際に編成された。旧土木研究所のうち、水災害・マネジメント国際センター及び、構造物メンテナンス研究センターに関する分野以外の研究を担当し、研究グループに属していなかった新潟試験所を土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センターに改組、また、河川生態チームに属していた自然共生研究センターについても、水環境研究グループ自然共生研究センターと改組した。

つくば中央研究所には、技術推進本部、材料資源研究グループ、地質・地盤研究グループ、水環境研究グループ、水工研究グループ、土砂管理研究グループ、道路技術研究グループで構成され、土木に係る建設技術に関する調査、試験、研究及び開発並びに指導等を行っている。これらを通じて、土木技術の向上を図ることを目的とし、良質な社会資本の効率的な整備推進に貢献し、国土交通政策に係るその任務を的確に遂行している。

技術推進本部では、研究開発のみならず、成果の普及にも努めており、つくば中央研究所の成果のみならず、土木研究所全般にわたって、その業務を担っている。



図－ 2.1.1 つくば中央研究所

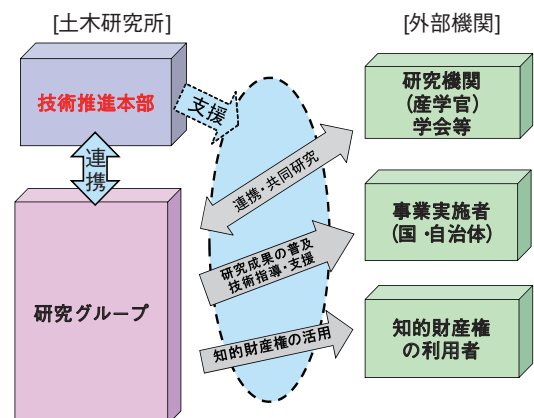
## 2.1.1 技術推進本部

平成13年4月の独立行政法人化に伴い、総務部、企画部に続く第三の研究支援部門として技術推進本部が誕生した。

土木研究所の研究開発成果は、独法化以前より様々な技術基準類や現場への技術指導に広く反映されてきたが、独立行政法人土木研究所法の中で研究所の目的として「成果の普及」が明確に規定されるとともに、科学技術基本計画等の上位の計画を受け国土交通大臣及び農林水産大臣が研究所に指示する中期目標においても、「優れた成果の創出により社会への還元を果たすこと」が常に課されてきた。技術推進本部では、各研究チーム等が生み出した成果を「使われる技術」として育て、普及させることまで責任を負うことを使命として活動してきている。具体的には、①知的財産権の適切な管理・活用のための環境整備、②研究所開発技術の採用に結びつく普及活動、すなわち、以下に紹介する各種の普及メニューの展開を2つの柱としてミッションを遂行している。

発足当初の技術推進本部は、理事が兼任する本部長の下に特命事項担当班が置かれ、総括研究官を中心に実務を行う体制でスタートした。加えて、研究所の各専門分野を横断的につなぐ先端技術、施工技術、構造物マネジメント技術の3つの研究チームが置かれ、それぞれ共通的な課題や国際的な活動に取り組んできた。平成13年度当初に新たな共同研究のための規程や知的財産を適切に管理するための規程類を総務部、企画部等と連携して整備し、14年度からは研究所の開発技術を広く情報発信する「新技術ショーケース」を毎年度開催し、「パテントプール」方式による特許実施権の効率的な管理や工法等の改善・普及を促進する組織として「コンソーシアム」を導入する等、順次、新しい取り組みを進めるとともに、ホームページ等を利用した技術情報の提供も積極的に展開した。国土交通省が進める「公共工事等における新技術活用システム」においては、評価情報を中心とするシステムへの抜本改正に係る制度設計をはじめ、実際の運用においても技術の評価等に貢献している。18年度に北海道開発土木研究所と統合した際には、研究所を横断する組織として再整備され、連携して成果普及等の業務を進めることとなった。活動面では、国土交通省職員の技術力向上を目的とした「専門技術者研究会」を発足させるとともに、19年度にはより効果的な普及を図るため「現場見学会」を積極的に実施した。20年度には寒地技術推進室が新設され、つくば中央研究所－寒地土木研究所間で連携して業務を進めており、20年度から21年度にかけて「知的財産ポリシー」を策定するとともに、さらに22年度にかけて「知的財産権の棚卸し」を実施した。また、20年度には重点的に普及を図る技術や普及戦略を決めるための「普及戦略ヒアリング」を毎年度実施するものとして体系化し、21年度にはテーマや対象者を絞って集中的に情報提供を行う場として「新技術セミナー」も開始した。さらに、21年度にはISO等について所内で横断的に情報交換するための「国際標準・規格研究会」を発足させた。なお、組織変更により、21年度には構造物マネジメント技術チームが、23年度には施工技術チームが分離している。23年度には知的財産権のさらなる活用促進を図るため、新たに「知的財産権活用促進事業」の制度を創設するとともに、「新技術ショーケース」についても国土交通省をはじめ関係機関とさらに連携を強化して開催した。

今後も引き続き、研究所の研究開発成果が活用され、その効果が社会により多く還元されるよう積極的に取り組んで行くこととしている。





### 2.1.1.1 先端技術チーム

#### (1) 概要

昭和 24 年度に土木研究所技術員養成所（昭和 28 年沼津支所に改名）が設置され、その中の性能試験研究室において建設機械の技術員養成とともに、各種機械の性能試験、機械土工の試験研究が始まった。そして、昭和 35 年、土木研究所千葉支所の発足と同時に機械研究室が設置され、本格的な建設機械・設備に関わる研究活動が始まった。

その後、この機械研究室を母体として、平成 13 年 4 月の独立行政法人土木研究所発足に伴い、従来の「建設機械」に加え、「土木に関する高度な技術」に関する調査、試験、研究並びに土木技術の開発及び指導を行うことを目的として、先端技術チームが設置された。

機械研究室時代、昭和 20 年代から 30 年代にかけては、国土の復興を支える建設機械の性能試験と改良を行い、標準的な各種建設機械の試験方法などを確立するとともに、日本工業規格への反映を通じて我が国の建設機械の技術的基盤の形成に大きく貢献した。さらに、建設機械の作業性能や操作性・居住性に関わる諸研究の実施など、建設機械の実用に際して重要となる技術を確立した。

昭和 40 年代以降、高度成長期の多様なニーズに応えるべく橋梁・トンネル・基礎等の工事で新たに開発された工法に必要な多様な機械の開発や建設機械が発生する騒音・振動などの低減技術・環境影響評価手法の開発を進めてきた。さらに、建設機械が大きく関係する建設工事の安全性向上に関する研究調査にも取り組んできた。

また、河川・道路管理を行うための管理用機械設備（ゲート設備・排水ポンプ・トンネル用ジェットファン等）についても設計の標準化や故障解析などに関する研究を行い、設備の健全な機能発揮や新技術の導入に資する成果を打ち出してきた。

平成時代を迎え、AI やニューロファジーを活用した建設機械の自動化に関する研究、コンクリートプレハブ部材を活用した施工の合理化に関する研究、IC カード・ICTCALs 等を活用した高度情報化に関する研究等への取り組みを加え、建設事業におけるメカトロニクスの研究をリードしてきた。

先端技術チーム設置以降、建設機械の自動化をさらに進めた自律制御型バックホウの開発、建設現場における情報交換標準の策定（ISO15143s の制定）、維持管理用機械設備の信頼性向上やライフサイクルを適切にマネジメントするための研究、建設機械の環境影響を評価するための実稼働状態における排気ガス分析に関する研究など、社会的ニーズに合致した建設機械・機械設備に関する研究を展開している。

東日本大震災及びそれに伴う事故においては、無人化施工に関する高度な知見、情報化施工に関わる知見や堰・水門等の管理用機械設備に関わる知見を活かし、政府における各種の対策会議や委



写真 - 2.1.1.1 遠隔操作実験状況

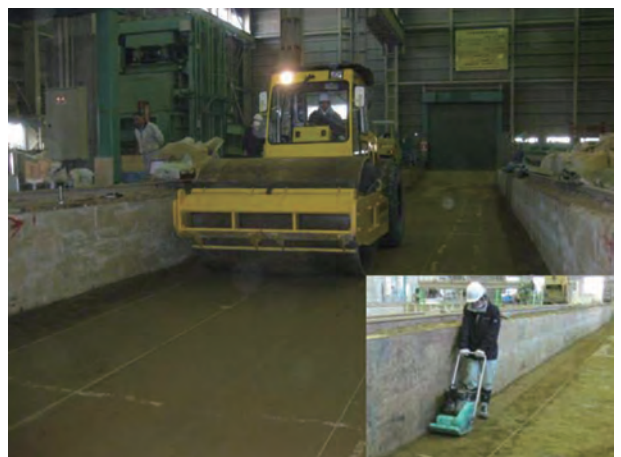


写真 - 2.1.1.2 盛土締固め試験状況

員会へ参画し、建設以外の防災・災害対策分野においても大きな役割を果たした。

先端技術チームでは、今後も建設分野の災害対策・環境対策・維持管理技術などについて、ICTなどの新しい先端的技術の適用についての研究を進めるとともに、建設分野で形成された有益な先端的技術のほか産業分野への適用についても主導的役割を果たしていくことを考えている。

## (2) 災害対策・維持管理へのロボット等の先端的技術の導入に関する研究

東日本大震災をはじめとする甚大な災害が頻発していることを踏まえ、災害発生時、特に大規模土砂災害において迅速かつ安全な復旧活動を進めるうえで対策工を実施するために、無人化施工やロボット技術を活用することは重要である。

平成22年度より実施している「大規模土砂災害等に対する迅速かつ安全な機械施工に関する研究」では、災害対策用建設機械に対する具体的なニーズや使用方法を明確化したうえで、既存建設機械、あるいはロボット等の先端的技術を導入した建設機械技術（遠隔制御を含む）の適用性検討を行うとともに、それらの操作を適切に行うためのマンマシンインタフェースについて分析し、現場での迅速な対応に役立てるとともに、災害対策用建設機械およびその制御システムの改善に向けた研究を進めている。

また、橋梁を定期的に点検するうえで課題となっている不可視部（狭あい部、複雑な構造）について、適切かつ機能的に橋梁点検・評価を行うために、橋梁構造の複雑な部位に対応できるアプローチツールとこれと連動して点検位置を自動的に座標管理することで前回点検との差異を明確に把握できる等の機能など評価診断のための研究開発を進めている。も行っている。

## (3) 土工等における ICT を活用した品質管理技術の研究

土工における土質材料の締固めは堤防・道路盛土などの重要構造物の品質を支配する重要な施工である。また、構造物周辺近傍の狭隘部などの施工時においては、締固め不足により段差が生じやすい等の課題がある。このため、平成21年度より、「盛土施工の効率化と品質管理の向上技術に関する研究」として、現在利用されている大型、小型の締固め機械を対象として、品質の均一性確保のための施工手法、施工機械の選定手法、機械特性の把握、品質管理手法を明確に関する研究を進めている。

近年導入が進んでいる締固め用機械の加速度応答といった ICT を利用した品質管理システムについてもこの研究の中で検証し、その適用性や適用範囲などについて明確化を進めている。また、ここで得られる締固めに関する基礎的な知見は盛土締固めに関する情報化施工の検討にも反映される。

## (4) 建設工事の環境・安全対策に関する研究

### 1) 建設工事に係る環境影響予測に関する研究

環境保全に対する意識の高まりから、平成9年に環境影響評価法が制定され、事業の計画段階において、工事の実施による大気環境（大気質・騒音・振動）への影響を予測評価することが必要となった。土木研究所においては、地方整備局等の協力のもと、平成10年度より工事現場において予測に必要なデータ収集を行うとともに、建設工事騒音・振動・大気質の予測に関する研究として予測式の検討を行った。これらの結果は、「道路



写真-2.1.1.3 車載型排気ガス測定装置

環境影響評価の技術手法」としてとりまとめられ、今日、環境影響評価の標準的なマニュアルとして広く利用されている。また、それ以降も、予測精度向上のため、現場調査を随時実施し、予測パラメータを更新するとともに、騒音の現場測定にマイクロホンアレイを適用する検討、高所に騒音源がある場合の予測式の検討などを行っている。

## 2) 排出ガスの適正な評価に関する研究

建設機械からの排出ガスを低減するため、国土交通省においては平成3年から排出ガス対策型機械の指定制度を創設した。その後、平成18年からは、法律による建設機械の排出ガス規制（オフロード法）が実施され、今日に至っている。土木研究所においては、実際実施に現場で使用されている建設機械からの排出ガス量の把握や、使用時間の経過や使用負荷に違いによる排出ガス性能の劣化の把握を目的に、平成18年から検討を開始し、現在は、車載型の排出ガス計測装置を油圧ショベルに搭載し、排出ガス計測を実施している。日本国内においては、このような計測方法による調査は事例がなく、本研究の成果は今後の排出ガス低減施策規制に大きく寄与するものと期待されている。

## 3) 地球温暖化防止に関する研究

地球温暖化防止のため、建設機械からのCO<sub>2</sub>排出についても低減する必要がある。建設機械メーカーでは、燃費の良さをユーザにPRするため、積極的に技術開発を行っており、最近ではハイブリッドタイプの油圧ショベル等も市場に出ている。また、ユーザの中にはバイオディーゼル燃料を使用することによりCO<sub>2</sub>排出量を減らそうとする動きも出てきている。しかし、バイオディーゼル燃料の使用においては問題点も指摘されており、普及の妨げとなっている。土木研究所においては、平成24年からそうした問題点を明確にするとともに、その解決方法を検討する研究に着手したところであり、今後バイオディーゼル燃料の使用が拡大することを目指している。

## 4) 建設作業における安全管理向上に関する研究

建設分野においては、多様な自然環境の中で作業を行わなくてはならないことから、安全管理については特に留意しなくてはならない。

そこで、建設作業において発生している人身・損傷等を抑制するための対策として、事故発生要因の抽出・分類において、近年提案されている新たな分析手法を導入する研究を平成22年度より実施している。ここでは各手法の適用性を評価し、最適な分析手法を抽出し、その適用結果に基づき、事故に関連する要因の相関性の整理とそれに対する事故防止対策を提案することを目指している。

## (5) 維持管理用機械設備に関する研究

河川・ダム水門や排水ポンプ等の維持管理用機械設備は、安全、快適な社会生活のために必要不可欠な社会基盤施設であり、必要時にその性能を発揮することが求められている。

しかしこれらの機械設備は、老朽化の進行による故障頻度上昇の懸念がある反面、整備予算は年々削減されている現状にあり、この相反する状

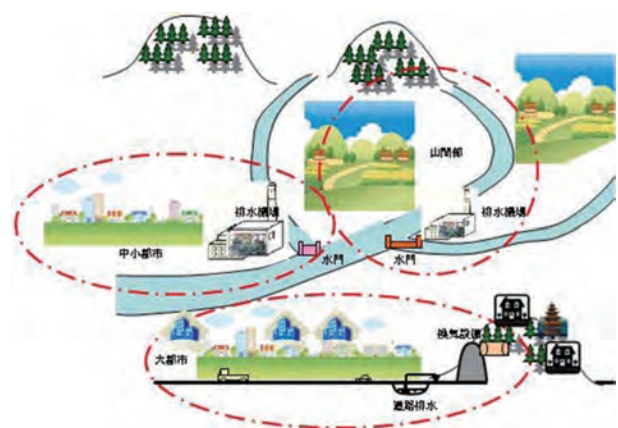


図- 2.1.1.1 関連施設のイメージ

況下でいかに効率的で的確な設備維持管理を行うかが課題となっている。

この問題に対処し、安全、安心な国民生活に資するため、当チームでは、FTA、FMEAなどの信頼性評価手法の土木機械設備への導入や各種設備の維持管理手法について継続的に研究を実施してきており、成果は、ダム堰施設技術基準などの各種基準、マニュアル等に反映されてきた。

現在は、以下の研究を実施している。

### 1) 土木機械設備のストックマネジメントに関する研究

限られた予算で機械設備の効率的、効果的な維持管理を行っていくために、FTA、FMEAによる土木機械設備個々の信頼性評価を実施するとともに、関連する複数の施設についても社会的な影響度と設備のコンディションを総合評価し、エリア全体で効果的に更新や整備を検討していく必要がある。

本研究では、施設の目的、種類、設置環境などの個別要件に適合したマネジメント手法を確立し、その上で複数施設を対象とした維持管理計画策定手法の構築と、更新・整備時における設計の最適化手法を提案するものである。

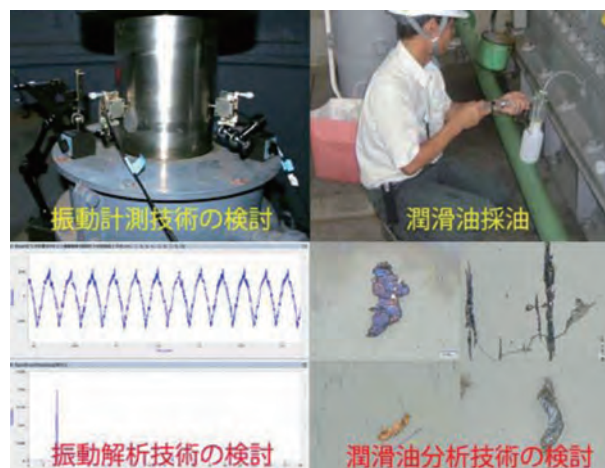


写真 - 2.1.1.5 状態監視技術

### 2) 非常用施設の状態監視技術に関する研究

河川ポンプ設備に代表される非常用施設の分解整備時期は、現在は定期的に整備する「時間計画保全」により実施されている。これは、確実な整備が行える反面、設備状態の良否によらずに整備を行うため、経済的で不利な場合がある。

一般の生産設備等では、設備状態を監視することにより劣化兆候を確認・診断し、それにより整備時期を判断する「状態監視保全」を導入し、ライフサイクルコストの削減に取り組まれている。

一方、生産設備のような常用されている機械設備については連続使用するために一定の劣化傾向などが認められることから、状態監視保全が活用されてきたが、河川ポンプ設備やゲート設備のような「非」常用の機械設備についてはこのような傾向が出にくいとされており、これまでは時間計画保全に依存せざるを得なかった。しかし、近年、状態監視技術も振動解析、潤滑油分析など様々な新たな方法が提案されてきていることから、これらの技術の「非」常用機械への適応性を評価することによって、状態監視保全技術を積極的に導入することが、「維持管理コストの削減」といった社会的なニーズに応えるために重要な局面になっている。

本研究は、振動解析、潤滑油分析など、河川ポンプ設備の維持管理に適した状態監視保全（劣化予測）技術を確立し、不測の重大故障を回避し、無駄のない予防保全の実現を図るものである。

## 2.1.2 材料資源研究グループ

材料資源研究グループは、新材料チーム、リサイクルチーム、基礎材料チームの3チームで構成されている。

建設省土木研究所時代の所属部・研究室名は、それぞれ、地質化学部・化学研究室、下水道部・汚泥研究室、地質化学部・コンクリート研究室である。平成5年に、地質化学部の廃止と環境部の設置に伴い、化学研究室とコンクリート研究室は、機械、施工、土質研究室とともに材料施工部を構成した。

独法化に際しては、コンクリート研究室が構造物マネジメント技術チームとして技術推進本部に所属するとともに、化学研究室から名称を変えた新材料チーム、および、汚泥研究室に三次処理研究室の一部を加えたりサイクルチーム、加えて地盤系の2チームが材料地盤研究グループを構成した。平成20年には、材料地盤研究グループに構造物マネジメント技術チームから名称を変えた基礎材料チームが加わり、平成23年には、材料地盤研究グループから地盤系2チームが抜けることによって、材料等を研究対象とする3チームによる材料資源研究グループが成立した。各チームの建設省土木研究所からの名称および所属部・グループの変遷をたどると、表-2.1.2.1のようになる。

表-2.1.2.1 研究チームの名称および所属の変遷

年 代	建設省 土木研究所	国交省 土木研究所	独立行政法人 土木研究所		
	1992年度 (平成4年度)	2000年度 (平成12年度)	2001年度 (平成13年度)	2008年度 (平成20年度)	2011年度 (平成23年度)
研究室・ チーム名称 (所属部・グループ(G))	化学研究室 (地質化学部)	化学研究室 (材料施工部)	新材料チーム (材料地盤研究G)	同左 (同左)	同左 (材料資源研究G)
	汚泥研究室、 [三次処理研究室の一部] (下水道部)	汚泥研究室、 [三次処理研究室の一部] (下水道部)	リサイクルチーム (材料地盤研究G)	同左 (同左)	同左 (材料資源研究G)
	コンクリート 研究室 (地質化学部)	コンクリート 研究室 (材料施工部)	構造物マネジメント 技術チーム (技術推進本部)	基礎材料チーム (材料地盤研究G)	同左 (材料資源研究G)

このように組織的に幾多の変遷を経てきたのは、研究チームの研究対象や研究手法が、河川や道路といった行政分野内にとどまるものではなく、広くこれらを横断するものであったことによる。言い換えれば、幅広く基盤技術を扱う特徴を持っていたために、少々の組織改編にも柔軟に対応できたのである。

この20年間の主要な研究内容と成果については、各チームの稿に詳しいが、各年代の要求や必要性に応じて、あるいはそれらに先んじて研究を行い、技術基準類として現場や行政への成果還元を行ってきた。

現在の研究対象を大きく示すと、新材料チームは「土木材料の高度化」、リサイクルチームは「有機性廃棄物や下水のリサイクル」、基礎材料チームは「コンクリート・鋼材料等汎用土木材料」となる。これらの研究対象について、建設段階における品質の確保、耐久性の向上、エネルギーを含めた資源の有効活用、環境負荷の低減等を目的に、研究を実施している。具体的には、「建設段階における品質の確保」に関しては、舗装用アスファルトの改良やコンクリートの品質検査法開発、「耐久性の向上」に関しては、塗装材料やコンクリートの耐久性評価方法や施工法の開発、「エネルギーを含めた資源の有効活用」に関しては、地域バイオマスやリサイクル材の利用方法の開発、「環境負荷の低減」に関しては、材料使用に関わるライフサイクルアセスメント手法の構築や水リサイクルにおける安全性評価法の開発、などを行っている。

今後も、土木分野における基盤技術を扱うグループとして、ニーズを先取りしつつ、現場や行政に成果を着実に反映させることを目的に、研究を実施していく所存である。

### 2.1.2.1 新材料チーム

#### (1) 概要

新材料チームは土木分野では十分に活用されていない新しい材料の有効利用、および現行の土木材料や評価方法などの改良により、長寿命化、維持管理の縮減、新しい機能獲得を図ることによる土木構造物の直面している様々な問題改善のための研究を行っている。平成13年の独法化以前は化学研究室として存在していたが、独法化により新材料チームとして研究課題を継承した。対象とする材料や研究分野の範囲は広範囲にわたるが、主たるものとしては、鋼材防食、コンクリート系材料の耐久性向上技術、舗装材料、繊維強化プラスチック（FRP）などの高分子系材料などがあげられる。また、材料の高機能化や材料の環境関連の研究課題も実施している。

#### (2) 防食技術

鋼橋や鋼製水門等を始めとする鋼構造物の防食技術については、より優れた防食性能を有する塗装系の開発・評価方法・適用（設計）手法などに関する研究を進めてきた。その主要な研究活動は第2編において既に記述したが、駿河湾沖の海洋技術総合研究施設、平成初期に設置されたつくばおよび沖縄屋外暴露場、平成11年に設置された朝霧環境材料観測施設（屋外暴露場、写真-2.1.2.1）などにおける、長期にわたる屋外暴露試験による防食性能評価が重要な役割を果たした。これらの研究を経て、現在ではより合理的な材料設計を可能とするための、鋼橋塗装に求められる要求性能とその性能評価手法の研究を実施している。現時点で優れた防食効果を発揮できる重防食塗装系が選定されているが、将来はさらに優れた塗装系の開発が見込まれることから、優れた材料の評価方法を明確にし、より自由な新技術の導入を促進させることにより、設計の効率化を図ろうとするものである。

また、塗替え塗装は現場塗装とならざると得ない。塗替え塗装においては、旧塗膜を安全・容易に剥離することが可能な塗装剥離剤「インバイロワン」を開発し、旧塗膜に有害物質が含まれている場合を中心に、普及に努めているところである。また、現場塗装時の外部環境（飛来塩分や低温など）が鋼構造物塗装の耐久性に与える影響を明らかにする研究についても取り組んでいる。本研究では現場塗装の施工管理方法の改良・見直しに資する技術資料を得ることを目的としている。

#### (3) コンクリート系材料の耐久性向上

コンクリート系材料の厳しい腐食環境における防食技術を向上させるために、新しい材料・技術の導入によるコンクリート防食技術の開発に取り組んだ。エポキシ塗装鉄筋、プラスチックシース、エポキシ被覆PC鋼線、電気防食、ステンレス鉄筋、FRPケーブルなど、様々な新規技術の検討が行われた。特に電気防食については民間5社との共同研究により研究開発が行われ、新設構造物への適用が効果的であることを明らかにするとともに、適用のための設計方法のとりまとめが併せて行われた。また、FRPケーブルについては、耐食性に優れた新しいPC緊張材としての適用技術開発を実施するとともに、特に長期耐久性について駿河湾沖の海洋技術総合研究施設における屋外暴露試験による研究が進められた。

劣化したコンクリートの補修技術の一つとして、主として表面被覆材料に関する研究を行った。表面



写真-2.1.2.1 朝霧環境材料観測施設（暴露場）

被覆材料の長期的な補修効果を評価するために、多くの補修材料を用いた供試体を製作し、全国の様々な環境における屋外暴露試験に供した。これらの多くは10数年経過後に回収して性状を評価し、その成果を補修効果評価方法としてとりまとめた。さらにこの研究を経て、現在では、コンクリート表面保護工の施工環境と耐久性に関する研究を実施し、良好な補修効果を得るための施工条件の解明及びその管理方法の開発を目指している。



写真-2.1.2.2 ASR抑制対策確認のための長期暴露試験

建設省総合技術開発プロジェクト（総プロ、昭和58～60年度）「コンクリートの耐久性向上技術の開発」では、全国100か所から集められた骨材を用いて製作されたコンクリート供試体を土木研究所構内で長期暴露試験に供した。20数年経過後（写真-2.1.2.2）にこれらの性状調査を実施することにより、ASRのより合理的な抑制方法に関する検討を実施している。

下水処理施設を構築するコンクリート構造物では防食が重要であるが、施工上の制約が多い場合もあることから、施工性の良い、耐食性に優れた新しい材料の適用による、長寿命化や補修時のコスト縮減が期待された。これらを目的として、民間12社との共同研究（平成14～16年度）による研究開発を実施した。

#### (4) 舗装材料

排水性舗装を始めとする舗装材料への要求性能の多様化により、舗装用バインダにも改質アスファルトを始めとして様々な種類のものが開発されてきた。これらの材料の改良に応じて、材料評価方法にも改良が加えられてきたが、従来のストレートアスファルト用の試験方法をベースとしたものであったため、改質アスファルトの物性を必ずしもうまく評価出来ていなかった。1987年から1990年代前半にかけて米国のSHRP計画が実施され、その中でこれらが評価可能な新しい様々な評価方法が開発された。1990年代前半には、土木研究所においてもこれらの新しい評価手法の導入が行われるとともに、これらの日本の舗装材料への適用方法について検討を行った。

その後、これらの新しい評価方法を基礎とした、舗装用バインダの評価方法の改良が進められた。SHRP試験方法は試験装置が高価な場合が多いことから、実際の舗装の現場においては普及しにくいことなどから、SHRP試験方法と相関性のある舗装用バインダの簡易な評価方法の開発に関する研究を行った。その結果、いくつかの簡易な新しい評価方法（写真-2.1.2.3）の提案に至った。

これらの経緯を受けて、現在ではさらに新しいタイプの舗装材料として、低炭素型の舗装材料の研究開発および評価方法の研究を実施している。舗装からの二酸化炭素排出量削減のためには、バインダ等の加熱温度の低下が効果があると考えられることから、中温化舗装材料、発泡アスファルト、常温合材などの開発や評価方法の検討を行っている。

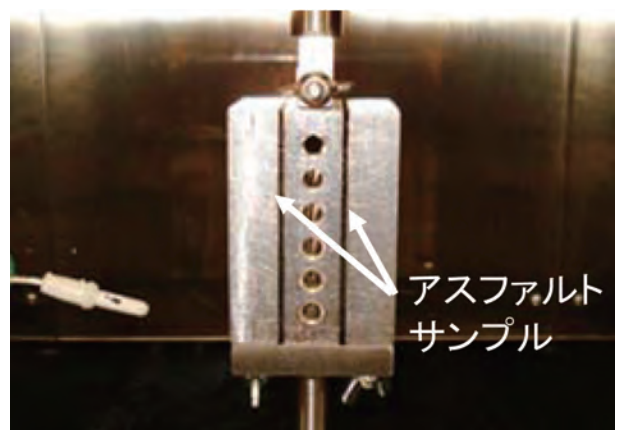


写真-2.1.2.3 舗装用バインダの簡易な試験法の例（万能試験機によるせん断試験）

舗装材料に関するもう一つの大きな課題は、アスファルト舗装発生材の再利用であった。アスファルト舗装発生材の再利用は平成初頭にはまだ50%程度であったが、さらなる資源の有効利用の必要性から、再利用時の設計方法に関する研究を行い、その成果は「舗装再生便覧」(平成16年版)に反映された。さらにはより優れた設計方法への改良に関する研究を継続し、成果は「舗装再生便覧」の改訂(平成22年版)に反映された。これらの研究の結果は、現在の再資源化率99%の維持に寄与している。

また、アスファルト舗装の新たな劣化評価方法として、X線CTを活用した評価方法の研究を行っている。これまでは分からなかった、アスファルト内部の劣化に伴う骨材移動・亀裂進展や組成分布などの情報が得られることから、アスファルト舗装の劣化研究や品質評価法などへの活用を目的としている。

### (5) 繊維強化プラスチック (FRP)

コンクリート防食技術の一環としてFRPケーブルに関する研究が行われたが、この研究はFRPの持つ、耐食性や軽量・高強度などの卓越した特性を認識させるものとなり、この材料の土木における他の用途での活用に関する研究のきっかけとなった。このような経緯から連続繊維シートによるコンクリート桁補強についての検討を行い、この材料の適用効果を調べるとともに、この材料の長期耐久性に関する研究を引き続き行った。この研究はカナダ・シェルブルック大学との日加科学技術協力協定に基づく共同研究として、日本およびカナダの両国での屋外暴露試験により実施した。本研究はその後、より近年開発された新しい種類の材料を追加しながら、現在も継続して実施中である。



写真- 2.1.2.4 実大 FRP 応急橋の載荷試験

FRPの補強用途は阪神淡路大震災後の国内構造物の耐震補強で飛躍的に普及するに至ったが、主たる構造材料用途としての可能性の検討も行った。FRP歩道橋、FRPを利用した応急橋(写真-2.1.2.4)、FRP水門などへの適用方法や、これらへの適用時の長期耐久性評価ならびに耐久性確保方法等に関する研究を実施している。

### (6) 材料の高機能化

様々な機能を持つ新しい材料を活かして、これまでにない機能を土木構造物に付加し、より高度な社会資本実現に資する研究への取り組みも進めた。

材料の表面の親水性を制御する技術や光触媒材料を活用することによる防汚材料(汚れにくく、汚れが付いた場合でも汚れを落としやすい材料)に関する研究を実施した。道路などでは構造物の汚れが問題となることがあり、特にトンネルなどでは定期的な洗浄が必要となる場合がある。このため、このような材料の研究開発を民間材料メーカーと共同で研究するとともに、防汚性能を評価する試験方法の考案・開発に取り組んだ。

光触媒材料は汚れだけでなく、窒素酸化物などの大気中の有害物質を吸着・分解する機能を有するものがある。この機能を活かした塗料や舗装材料の性能向上に関する研究、大気浄化性能の評価手法の研究、土木材料としての適用手法や適用効果などの研究にも取り組んだ。

これらの研究を経て、土木構造物の劣化・状態検知のためのセンサー・モニタリング用材料に関する研究を実施している。pHや水分状態、塩化物イオン量など、コンクリート中の化学的状態を測定する光ファイバと化学指示薬を組み合わせたセンサについては基本的なシステムを特許出願するとと



もに、その効果の実証研究として二酸化炭素ガスを使用したコンクリート中性化試験装置を用いた研究に取り組んだ。また、ひずみ可視化シートを構造物表面に貼り付けて、構造物に発生しているひずみの状況を3次元的に可視化するセンサ技術および発光色素を利用した光センサー被覆材料による構造物の亀裂検知手法としての適用技術についても研究を実施している。これらはいずれも、膨大な社会資本ストックの維持管理の効率化を目的としている。

### (7) 材料の環境関連

土木事業から発生するエネルギーや二酸化炭素の実態把握やその削減対策検討のために、総プロ「省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発」(平成3～7年度)が実施され、省エネルギー型土木工法の開発が行われたが、その中で土木事業におけるエネルギー使用量や二酸化炭素排出量などの原単位の算出に取り組んだ。それぞれについて総プロ終了後も後続の課題で発展的研究を進めた。省エネルギー型土木資材としては、一般焼却灰を原料に用いたセメントが有望な技術の一つと

考えられ、その土木事業での有効・安全な利用方法・適用用途に関する研究を実施した。その成果は平成15年に「エコセメントコンクリート利用技術マニュアル」として、法人著作書籍として出版するに至った(写真-2.1.25左)。また、土木事業における二酸化炭素排出量原単位の算出手法に関する研究も継続して進め、その後の舗装事業・材料の低炭素化における検討に活かされた。

他産業から排出される副産物の土木資材としての有効利用は、資源や廃棄物処分場の節約などの観点から望まれるが、これを安心して利用するため、これらのリサイクル材料の技術情報や利用手法の整理、利用上の留意点の検討、ライフサイクルアセスメントによる環境低減効果の検証方法などの検討に取り組んだ。これらの成果は「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」として出版された(写真-2.1.25右)。

改正大気汚染防止法が平成16年に公布され、揮発性有機化合物(VOC)の排出量を平成12年度を基準として平成22年度までに30%削減することが目標として掲げられた。VOCは光化学オキシダントや浮遊粒子状物質の原因物質のひとつである。土木事業においてもこの達成に寄与するために、構造物塗装からのVOC排出量削減ための研究開発を行った。大気中塗装ではVOCを含まない水性塗料、河川構造物などでは無溶剤形塗料の効果的な採用が、防食性能や耐久性を低下させることなくVOC排出量削減に効果があることを明らかにし、いくつかの新規塗装系を提案した。

建設工事で土壌中のダイオキシン類汚染に遭遇する場合が発生し、その適切な対応策が必要となった。このための技術として、土壌中のダイオキシン類汚染の有無を迅速に判定する簡易分析法の確立を目標として研究に取り組み、迅速分析法を提案した。

また、地盤改良などに使用する建設資材に含まれている環境ホルモン関連物質の実態、pH等による溶出特性、土壌による環境ホルモン関連物質の吸着・脱離特性などに関する研究に取り組んだ。

### (8) 今後の展望

建設材料の改良や新しい材料の導入は、維持管理の効率化や環境問題への対応などの、土木分野の直面しているいくつかの課題の解決や、これまでにない新しい機能を有する土木構造物の実現などに、さらに寄与できると考えられる。材料の改良・開発は常に進められていることから、今後も新しい材料に対応するとともに、建設材料に関する課題解決に貢献して社会資本の効率化・高度化に資する成果を得たい。



写真-2.1.25 エコセメントコンクリート利用技術マニュアルと他産業リサイクル材料利用マニュアル

### 2.1.2.2 リサイクルチーム

#### (1) 概要

##### 1) チーム概要

リサイクルチームは、地域環境の保全と循環型社会の創造に寄与するため、生活や社会活動から発生する排水や有機質の廃棄物などを再生、資源化、利用する技術開発を行うとともに、地域や社会における健全なリサイクルシステムのあり方について研究している。

本チームは、旧建設省（国土交通省）土木研究所下水道部汚泥研究室及び三次処理研究室の一部を母体として、平成13年の独立行政法人土木研究所の発足と同時に発足したチームである。前身の両研究室の時代から現在に至るまでの間、主として下水汚泥や下水処理水再利用等を基本とした様々な研究・調査の歴史を有している。

旧汚泥研究室は昭和53年に設置され、様々な下水処理・汚泥処理システムの研究開発等を行ってきた。主な研究課題として、①汚泥処理プロセスの改善、②汚泥の有効利用、③下水汚泥に係るリスク管理、④地球環境の保全等に関する研究等がある。

また、旧三次処理研究室は昭和48年に設置され、様々な高度処理技術の研究開発等を行ってきた。リサイクルチームに関係する主な研究課題として、①病原微生物への対応、②下水処理水再利用に関する研究等がある。なお、旧三次処理研究室は、リサイクルチームのほか、国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室にも引き継がれている。

##### 2) チーム設置の背景

旧建設省土木研究所においてこれらの研究室が発足した当時は、我が国の下水道の整備状況はまだ極めて低く（昭和50年度末の下水道処理人口普及率…23%）、都市の市街地を中心に下水道の普及促進を図ることが最大の課題であった。その後、下水道整備は順調に進み（昭和60年度末の下水道処理人口普及率…36%、平成7年度末…54%、平成22年度末…75%）、それにともない下水汚泥の発生量も急速に増加することとなり、下水汚泥の処理・処分に関する技術の重要性、有効利用や環境保全の観点の重要性などが増大してきた。（図-2.1.2.1 下水道普及率の推移、図-2.1.2.2 下水汚泥マテリアル利用の推移）

また、公共用水域に放流される下水処理水の水量の増大にともない下水処理水が水域に与える影響も増加し、水系を介した大規模な集団感染など様々な問題が発生していった。このような状況下で、下水処理水の病原微生物に関する安全性を確保することが重要な課題となっていった。

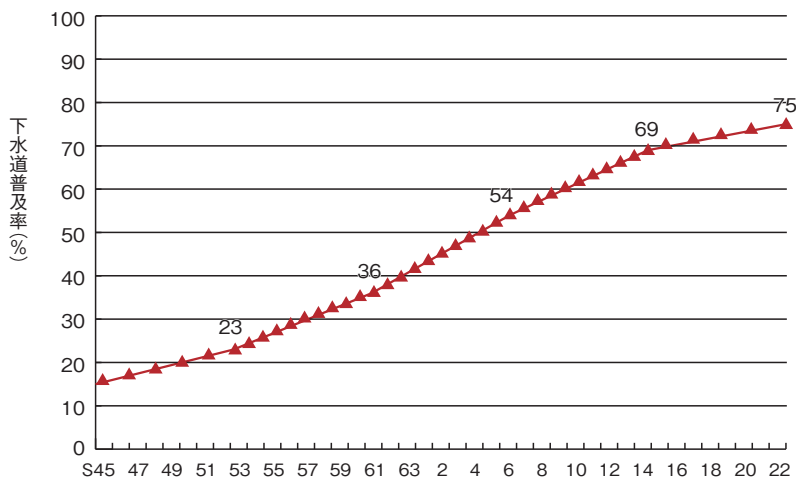


図-2.1.2.1 下水道普及率の推移

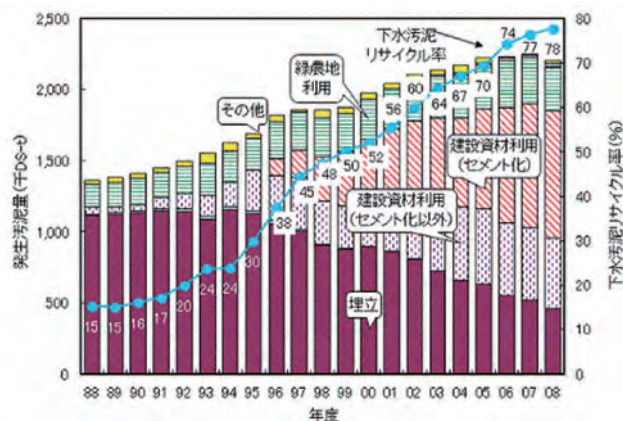


図-2.1.2.2 下水汚泥マテリアル利用の推移

さらに、健全な水循環系構築等の観点から都市における下水処理水の再利用の重要性が増加し、省エネルギーや地球温暖化防止等の観点から下水道システムが与える環境負荷を低減することも重要となっていた。このように、下水道を取り巻く様々な今日的な課題が顕在化していくこととなった。

## (2) 研究の概要

このような時代背景の中、前身となる両研究室及びリサイクルチームにおけるこれまでの研究について概観すると、概ね次のとおりである。

### 1) 旧汚泥研究室における研究

まず、旧汚泥研究室における研究について述べると、汚泥処理プロセスの改善については、汚泥性状の変化に対応した汚泥処理に関する研究を行ってきており、高濃度汚泥への対応や粉碎厨芥の可溶化、メタン発酵などに関する調査研究を行ってきた。

汚泥の有効利用については、下水汚泥の緑農地利用に関する調査研究を行ってきた。地域の土壌や農作物の特性に合った汚泥製品についての研究により、有機質資材との混合コンポストや牛糞との融合コンポストなど種々のコンポストの開発を行ってきた。また、下水汚泥焼却プロセスにおいて排ガス中の重金属等有害物質の制御に関する調査研究や、PRTR 対象重金属類の下水処理システム内での挙動と汚泥有効利用時のリスク評価に関する研究も行ってきた。これらの成果は、国土交通省下水道部による「下水道における化学物質排出量の把握と化学物質管理計画の策定等に関するガイドライン(案)」(平成 17 年)に反映された。

下水汚泥に係るリスク管理については、病原微生物の下水処理プロセスにおける制御に関する研究を行っていた。それまで、下水汚泥処理における病原微生物に係るリスク管理についてあまり関心が払われてこなかったが、クリプトスポリジウムの集団感染による集団下痢症発生を契機に、下水処理プロセスでの病原微生物の挙動解明と合わせて下水汚泥中の消長についても研究されるようになっていった。病原微生物が嫌気性消化やコンポスト化などの汚泥処理の過程で十分削減され安全な形で緑農地利用されるよう確実に不活性化する手法、汚泥中のクリプトスポリジウムの定量方法等についての研究を行ってきた。これらの成果は、(社)日本下水道協会の「下水道におけるクリプトスポリジウム検討委員会最終報告」(平成 12 年)に反映された。

地球環境の保全については、温室効果ガス排出抑制の技術等に関する研究を行ってきた。地球温暖化対策は当時も既に喫緊の課題であったが、当研究室では、汚泥焼却のプロセスにおける亜酸化窒素( $N_2O$ )生成影響因子の検討とその削減を図る運転方法、他のガスも含めた総合的削減効果の評価等を行ってきた。また、下水道システムの LCA 評価に関する調査研究も行ってきた。地球温暖化対策、省エネルギー等の観点から、下水道施設の建設から維持管理まで全ての段階における温室効果ガス発生量等の予測、評価を行ってきた。

### 2) 旧三次処理研究室における研究

次に、旧三次処理研究室における研究について述べると、病原微生物への対応については、下水道システムにおける病原微生物への対策手法の検討、水系における病原微生物の挙動に関する検討、消毒副生成物の検討等を行ってきた。

処理水再利用については、都市における重要な水源としての下水処理水の安全性等の評価、費用対効果の事業性の検討等を行ってきた。

### 3) リサイクルチームにおける研究

この後、平成13年4月に独立行政法人土木研究所の設置により両研究室の一部を引き継いだリサイクルチームが発足し、現在に至っている。現在のリサイクルチームの主な研究分野は、①地域バイオマスの利用、②水系水質リスクの管理の2つであり、その概要は次のとおりである。(図-2.1.2.3 リサイクルチームの主な研究分野)

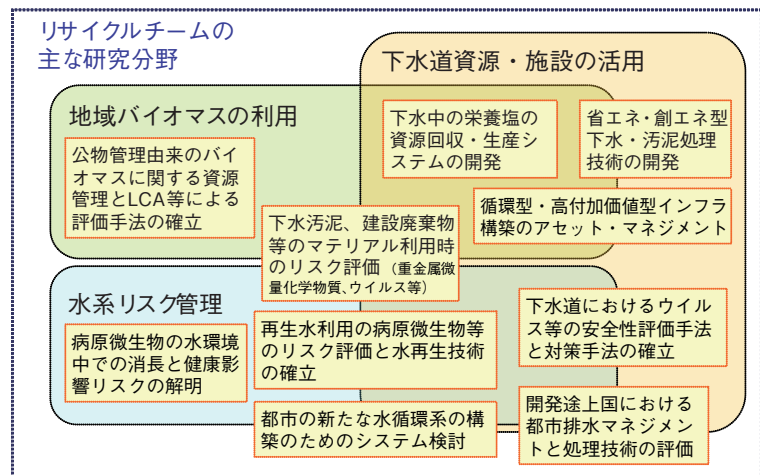


図- 2.1.2.3 リサイクルチームの主な研究分野

#### ①地域バイオマスの利用

・ 下水や下水汚泥など下水道システム

が有する資源・エネルギーと下水道施設を活用するための実用技術を開発し、省エネルギー、創エネルギー、低炭素循環型、低コストのインフラ構築に資する。

・ 下水処理施設を利用し、下水汚泥と地域で発生する食品残渣や剪定樹木等のバイオマスを組み合わせ、地域で最適な資源回収・生産・利用を行う技術に関する研究を推進し、未利用資源の効率的な活用システムの構築を図る。(写真-2.1.2.6 下水汚泥と食品残渣などの混合によるメタン発酵実験)

・ 河川、道路、公園などで発生する草本系バイオマスの利用方策の最適化、およびその有効利用技術の開発を推進し、公物管理の効率化・低コスト化に資する。

#### ②水系水質リスクの管理

- ・ 顕在化するウイルス等の感染症などの水系水質リスクの軽減に向けて、病原微生物による健康リスクの評価、及び下水道における対策手法の確立に向けた研究を進展させる。併せて、大規模災害等の非常時における水系水質リスク軽減のための下水処理工程の応急復旧策及び本復旧策についても検討する。なお、本検討成果は、東日本大震災で被災した宮城県下水処理場の水質向上策に貢献した。
- ・ 地球温暖化に伴う気候変動により、今後不安定となることが予想される水需給への対応として、下水や下水処理水をより高度に利用するための再生水利用に関する研究を実施する。
- ・ 下水や下水汚泥のマテリアル利用における安全性の評価(病原微生物、重金属、微量有害物質等)に関する研究についても継続的に進める。

また、当チームは土木研究所内の関係の深い他チームとも連携しており、地域バイオマス利用の分野については、資源保全チーム等とも連携して研究を推進している。水系水質リスク管理の分野については、水質チームと連携しながら研究を推進し、病原微生物の対策技術の確立とともに、再生水利用の安全性確保のための検討を行っている。

さらに、関係の大学・研究機関等とも連携を図りつつ、国土交通省、環境省、科学技術振興機構(JST)、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)等の競争的資金も獲得して研究を進めることとし、あわせて、共同研究、受託研究等により他の試験研究機関や、地方公共団体との連携を強め

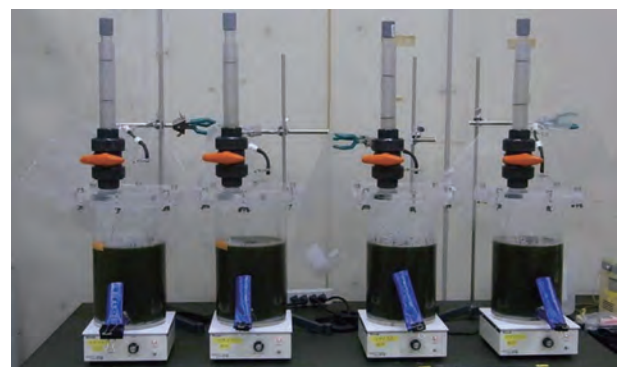


写真- 2.1.2.6 下水汚泥と食品残渣などの混合によるメタン発酵実験

ることとしている。

これまでの共同研究において、バイオガス天然ガス化装置や消化ガスエンジンなど数多くの優れた成果を上げてきたが、最も優れた研究の代表例として「下水汚泥過給式流動燃焼システム」が挙げられる。平成16年より約6年にわたり、土木研究所、産業技術総合研究所、月島機械、三機工業の4者により共同研究を行い、大幅な

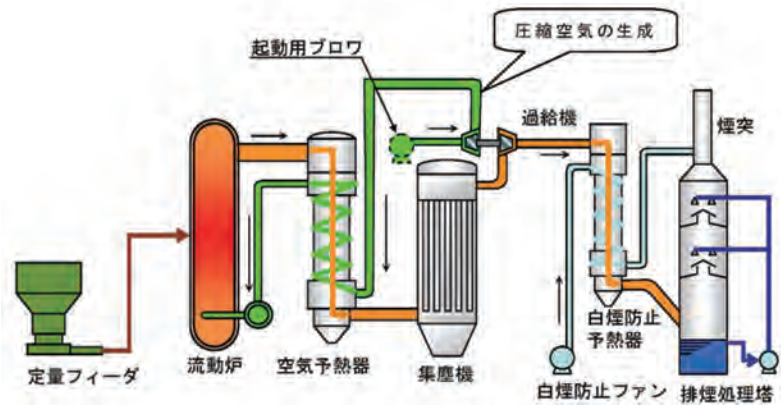


図-2.1.2.4 下水汚泥過給式流動燃焼システム

省エネルギー化と温室効果ガス排出削減を目的とした次世代型の下水汚泥焼却炉である下水汚泥過給式流動燃焼システムを開発した。本システムは、燃焼時の排ガスにより過給機を駆動してその圧縮空気を燃焼空気として活用することにより電力消費を約40%削減でき、また、加圧燃焼により従来型に比べ $N_2O$ 排出量を約半分に削減できるなど数多くの利点を有するものである。今後、省エネルギー及び温室効果ガス排出削減に極めて有効な技術として、広く普及拡大することが期待されている。(図-2.1.2.4 下水汚泥過給式流動燃焼システム)

### (3) 今後の展望

現在の研究方針として、第3期中期計画(H23～27)に基づき、下水道に係る資源・エネルギーの活用、水環境における病原微生物の実態把握と影響の評価及び対策手法の検討等に取り組むこととしている。

今後、下水道分野におけるリサイクル技術の開発をより一層進め、低炭素・循環型社会の構築に向けて、水やバイオマス資源のリサイクルのための技術開発や各種調査研究を推進する。

バイオマス関連研究としては、地球温暖化対策に資する下水資源の持つエネルギーの利用に関する技術の開発、下水・汚泥処理システム全体の低炭素化のための調査研究を推進する。また、下水道施設を活用した藻類培養プロセスに関する研究、効率的な資源回収やバイオマス・エネルギー生産プロセスの開発、地域に存在する刈草、剪定木材やその他の有機性廃棄物等のバイオマスを対象とした資源管理システム構築のための研究等を行うこととしている。

水系水質リスク関連研究としては、再生水利用の促進や水環境中のリスク低減に向けた病原微生物の対策技術等に関する研究を行う。さらに開発途上国における下水・排水処理の普及等に向けた技術適用に関する調査研究を行うこととしている。

### 2.1.2.3 基礎材料チーム

#### (1) 概要

基礎材料チームは、コンクリートや鉄筋などの土木構造物構築には欠かせない基本的な建設材料に関する研究を行っている。平成12年の独法化以前はコンクリート研究室として存在していたが、独法化により構造物マネジメント技術チームとして、さらに平成20年度からは基礎材料チームとして、研究課題を継承している。

コンクリートが土木用建設材料として使用されるようになってから100年を超える。土木研究所では、黎明期においてはコンクリートの基本的な性質の把握、設計方法や施工方法の基本的な技術の確立、舗装やダムといった個別のコンクリート構造物の技術開発に携わってきた。最近の20年間の研究テーマは、時代の移り変わりを反映し、より多様化したニーズに応えつつ、耐久性が良好で信頼できるコンクリート構造物の構築に向けたものを設定している。最近の研究のテーマを大きく4つに分類すると次の通りである。

- ◎コンクリートの品質管理・検査に関する技術開発
- ◎コンクリート構造物の設計手法に関する技術開発
- ◎コンクリート構造物の維持管理に関する技術開発
- ◎リサイクル・低炭素化・自然環境保護など環境側面に関する技術開発

以下、それぞれについて研究概要を振り返ってみる。

#### (2) コンクリートの品質管理・検査に関する技術開発

コンクリート構造物の品質確保にあたっては、適切な材料を用い確実な設計・施工を行うことが重要であることは言うまでもない。しかし、ともすれば施工されたコンクリートの品質が適切ではなく、

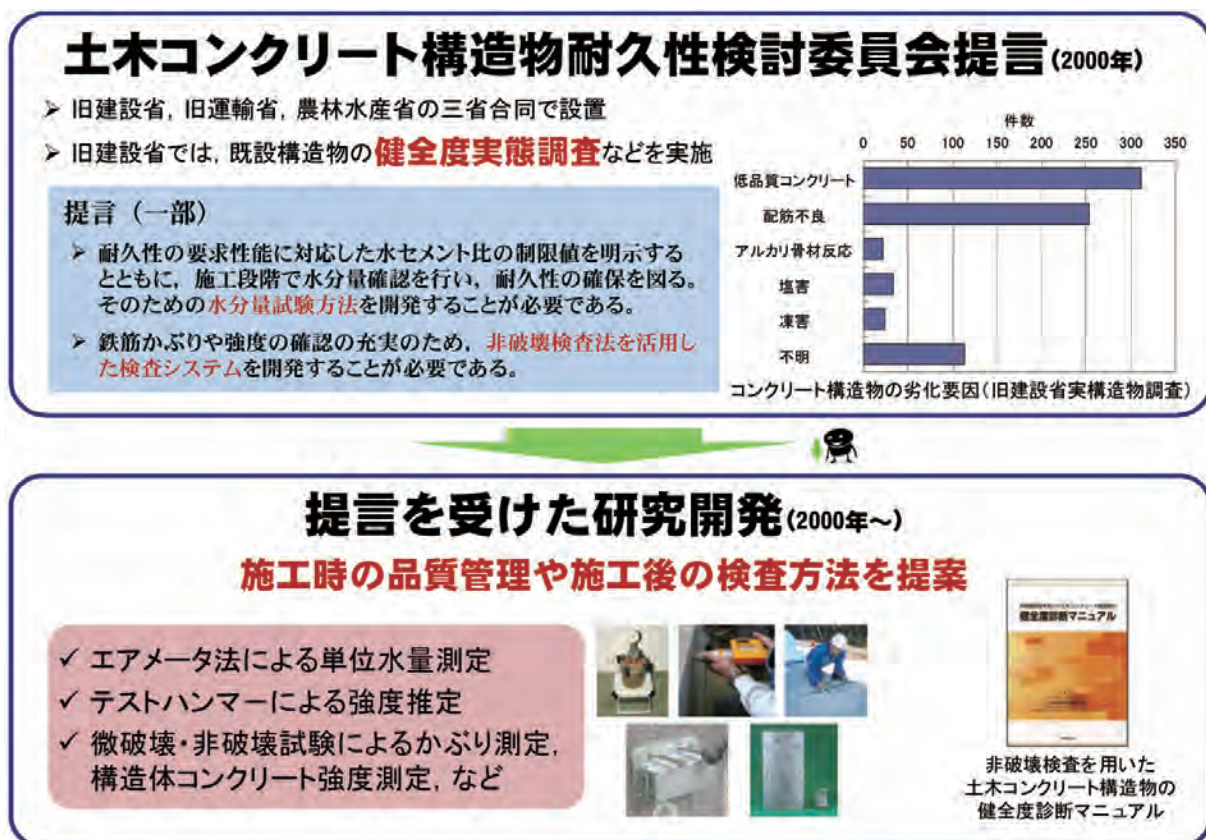


図- 2.1.2.5 コンクリート耐久性検討委員会提言とこれに基づく研究開発

信頼性を損ねる事例が認められることも事実であった。例えば、平成11年（1999年）に新幹線トンネルのコンクリート剥落事故が発生し、これを契機として土木構造物のコンクリートに対する社会からの信頼性が揺らぐこととなった。コンクリートに対する信頼性回復に向けて、当時の建設省・運輸省・農水省の三省合同で土木コンクリート構造物耐久性検討委員会が設置された。この委員会において既設コンクリート構造物の健全度について実態調査を行うとともに、土木コンクリート構造物の品質確保に向けて提言が示された。その提言の骨子と実態調査結果を図-2.1.2.5に示す。このように、打ち込み前の時点でコンクリートに用いられている水分量を確認し耐久性に劣るとされる過大な水量のコンクリートが用いられることがないようにすること、また硬化後のコンクリートについては、施工された実構造物に対して非破壊検査法を活用した検査システムを開発しその品質確認を行うことが提言として示された。

この提言を受けて、基礎材料チームでは、空気量測定に用いるエアメータを用いた簡易な単位水量測定試験方法の開発、テストハンマーを用いた硬化コンクリートの強度推定方法、さらには微破壊・非破壊試験によるかぶり検査、構造体コンクリートのより正確な強度推定手法の開発を行ってきた。

これらの研究成果は、「土木コンクリート構造物の品質確保について」（国官技第61号、平成13年3月29日）、「微破壊・非破壊試験によるコンクリートの強度測定を用いた品質管理について」（国官技第344号、平成21年3月31日）等を通じて実務に適用されるとともに、品質検査方法として各地方整備局で制定されている土木工事共通仕様書にも反映され現在にいたっている。

### (3) コンクリート構造物の設計手法に関する技術開発

コンクリート構造物の設計面から見た技術の進展を鳥瞰すると次の通りである。

コンクリート構造物では、従来の鉄筋コンクリート（RC）構造だけではなく、プレストレスを導入したプレストレストコンクリート（PC）構造が発展し、特に道路橋の分野においてPC構造が広く用いられるようになってきた。PC構造においては、コンクリー



写真-2.1.2.7 高強度コンクリート PC 梁供試体の載荷試験状況

ートの圧縮強度を高めることにより導入するプレストレス力を大きく設定でき、構造物の断面縮小や自重の低減など、さらなる建設の効率化が可能となる。またコンクリートを高強度化するためには、いわゆる水セメント比を低下させることとなり、耐久性の向上にも寄与することとなる。これまでは製造不可能であった低水セメント比の高強度コンクリートも高性能 AE 減水剤など化学混和剤の発達に伴い製造可能となり、高強度コンクリートの現実性がこの20年ほどで一気に高まった。このような背景から、高強度コンクリートを用いたプレストレストコンクリート構造物の設計方法に関する研究に着手した。写真-2.1.2.7は、高強度コンクリートを用いた梁部材において懸念されるせん断破壊に関する載荷試験状況を示したものである。これらの載荷試験を通じて、高強度コンクリートを用いたプレストレストコンクリートの終局強度評価方法を明らかにし、最終的には実務的に用いる設計方法の提案を行った。その結果は、1996年の道路橋示方書 III（コンクリート橋編）改訂に反映され、従来まではコンクリートの設計基準強度の上限が $500\text{kgf/cm}^2$ であったところを、現場打ちコンクリート部材では $600\text{kgf/cm}^2$ 、プレキャスト製プレテンション部材では $800\text{kgf/cm}^2$ にまで拡大されることとなった。その結果、道路用のコンクリート橋の分野でも高強度コンクリートが次第に普及し、支間長の長大化や部材断面の縮小に寄与している。

一方、RC 構造物の設計手法は許容応力度法から終局強度設計法に移行し、また耐震設計においては地震時保有水平耐力法が導入された。阪神淡路大震災では、高架橋を支える鉄筋コンクリート橋脚柱にせん断破壊を生じたものが認められ、耐震性能の向上のためには、RC 柱のせん断破壊防止の徹底が重要との認識が定着した。しかし、RC 構造物のせん断耐力については、地震荷重のように振幅が大きくかつ正負交番して繰り返し作用する状況を想定した算定方法が確立していなかった。正負交番荷重が作用する場合はせん断破壊が発生しやすいと考えられてきたが、せん断破壊メカニズムを的確に捉えたうえでの評価を下せる状況にはなかった。このような背景から、正負交番荷重が作用する状況でのせん断耐力評価手法の検討を行った。写真-2.1.2.8は正負交番荷重を作用させたRC柱供試体の曲げ降伏後のせん断破壊状況を示したものである。これらの載荷試験を通じて、正負交番荷重が作用する場合には、荷重載荷繰り返し回数の増加に伴い、コンクリートの負担するせん断力が低下することを定量的に把握した。この成果は、1996年に改訂された道路橋示方書V（耐震設計編）に、寸法効果の考慮とともに、地震時のせん断耐力式として採用されている。

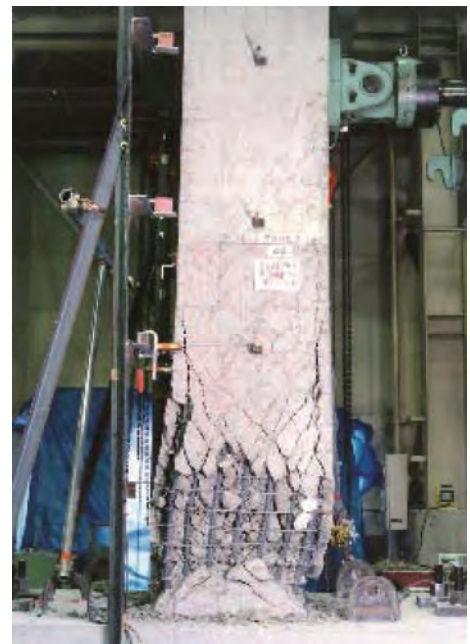


写真-2.1.2.8 曲げ降伏後せん断破壊を生じたRC柱の破壊状況

一方、1990年代ごろからコンクリート構造物の設計においても耐久性重視の思想が一般的となり“耐久性設計”という新たな言葉も広く普及し始めた。コンクリート構造物では、特に飛来塩分の影響を受ける地域では塩害を防止する目的からかぶりの厚さの設定が重要となる。

#### (4) コンクリート構造物の維持管理に関する技術開発

社会資本としてのコンクリート構造物のストックの増大とともに、これらの合理的な維持管理手法の重要性が高まっている。とりわけ、塩害のように劣化を放置した場合、劣化損傷が深刻化し、延命化として実施する補修補強対策のコストが上昇するような場合には、的確な対応が必要となる。

コンクリート工学の分野でも健全度診断（あるいは劣化診断）技術が一層重要性を帯びてきたのも、ここ20年間の大きな特徴である。土木学会コンクリート委員会では、昭和6年に鉄筋コンクリート標準示方書が制定されたのを皮切りに、設計編・施工編として示方書が随時改訂されてきた。そして、2001年には、土木学会コンクリート標準示方書に新たに維持管理編が新設された。

このような状況の中、コンクリート研究室さらには構造物マネジメント技術チームの時代を通じて、既設コンクリート構造物の健全度や損傷評価、特に非破壊検査なども交えた評価技術の開発を行ってきた。

例えば図-2.1.2.6に示すように塩害の損傷を受けた撤去橋の原位置載荷試験などを実施し、損傷の評価について研究を行った。また、いわゆる「予防保全」を実現するためのツールとして、自然電位法

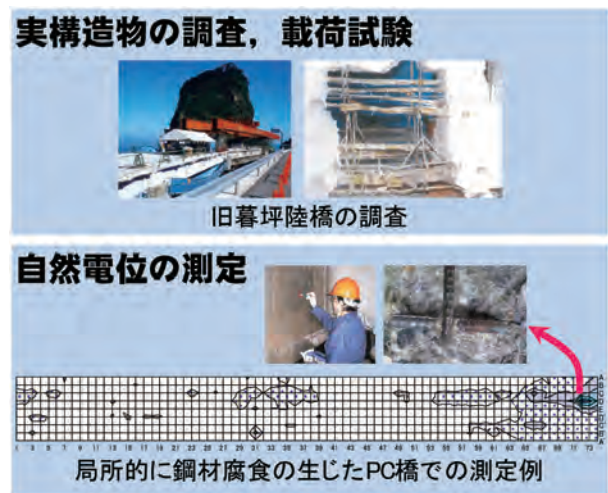


図-2.1.2.6 コンクリート構造物の維持管理に関する研究イメージ



などの非破壊試験を活用した健全度診断手法の提案も行った。これらの成果は法人著作として書籍化され、維持管理に関わる技術者の参考書として用いられると共に、2008年に道路局から出された塩害橋梁維持管理マニュアル（案）やアルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン（案）のベースとなった。また近年には、補修補強に関する研究を行い、その成果はプレストレストコンクリート構造物の補修の手引き（案）[断面修復工法]として技術指針をとりまとめている。

### (5) リサイクル・低炭素化・自然環境保護など環境側面に関する技術開発

近年、環境意識の高まりとともに、コンクリート分野においても環境側面に配慮した取り組みが求められつつある。具体的には、再生骨材などの有効活用手法の開発、温室効果ガスの削減に寄与するための技術開発、ダム建設においては自然環境保全に資する骨材資源の有効活用手法の開発に着手してきた。

再生骨材は、不要となったコンクリート解体材から製造されるものである。製造行程で骨材に付着したモルタル部分を十分除去すれば、品質の良い再生粗骨材が得られるが、一方で再生骨材の製造コストが上昇すると共に、製造に併せて発生する微粒分が多くなり、廃棄処分量が増える問題点がある。従って、再生骨材を有効に活用するには、再生骨材の品質に応じた用途の設定とともに、再生骨材の品質を適切に評価する技術も求められる。図-2.1.27に示したとおり、再生骨材の気象作用に対する抵抗性を評価するための試験方法を開発した。この試験方法は、近日中に再生骨材 M に関する JIS 規格の改定案に盛り込まれる予定となっている。

### (6) 今後の展望

コンクリート材料は無くしてはならないものであり、今後も土木用の建設材料として主要な役割を果たすものと考えられる。身近でかつ広く普及した材料であるからこそ、社会のニーズや状況に応じた改良が求められる。今後もコンクリート構造物の長寿命化は求められるであろうが、特に延命策としての補修対策に求められる役割は大きくなるであろう。補修対策として用いられる工法や材料は、非常に多岐にわたるものであるが、残念ながらその耐久性について十分に明らかになっていない現状にある。また、補修材料に要求される性能および検証方法についても検討の余地が残されている。

また、工学全般に共通することであるが、広く社会一般に対する説明責任を求められる場面が多くなってきたと痛感する。上記の耐久性に関わる問題にもいえるが、まだまだ十分な説明ができない状態が続いていることも多い。例えば、コンクリート構造物に発生するひび割れについても、これを完全に防止するためにはおそらく相当のコストが必要となろう。一方で、ひび割れについて耐久性の上から有害であるかどうかを明確に判断するための技術的な根拠は、残念ながら十分とはいえず、コンクリート構造物の利用者に対して明確な説明ができるまでには到っていない。社会から頼りにされる建設材料であるためには、一層の耐久性の向上とともに、ユーザーに対する明確な説明を可能とする技術的知見の蓄積も求められよう。



図-2.1.27 再生骨材の利用技術の開発に関する研究イメージ

### 2.1.3 地質・地盤研究グループ

地質・地盤研究グループは、地質・土質の分野を扱う新たなグループとして平成23年4月に発足した。これらのチームは、図-2.1.3.1のように旧建設省土木研究所の地質研究室、施工研究室、土質研究室、動土質研究室、振動研究室が統合・改編されたもので、地質チームは地質研究室の研究内容や業務を承継しており、土質・振動チームは、土質、動土質（うち一部は施工技術チーム）および振動の各研究室が統合され、施工技術チームは施工研究室に動土質研究室の一部が統合されている。

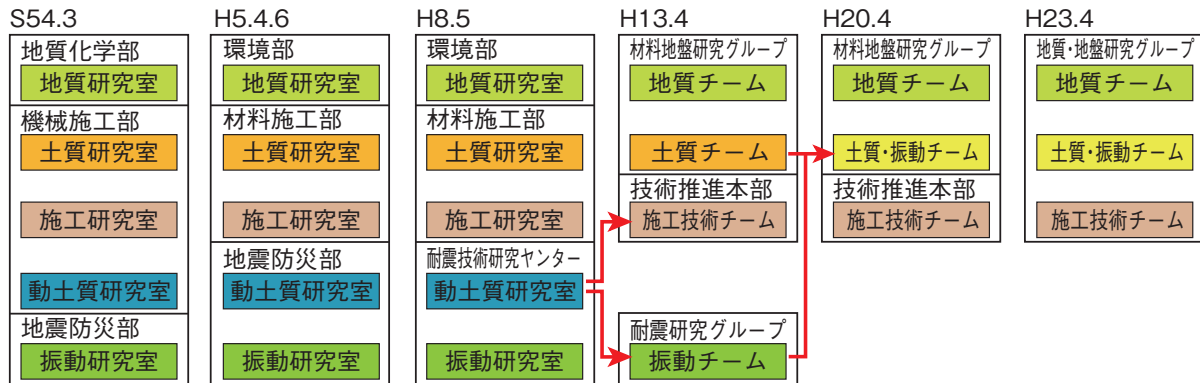


図-2.1.3.1 地質・地盤研究グループ各チームの変遷

地質・地盤研究グループの特徴は、土木構造物の基礎や自然斜面・切土法面、土構造物や土質材料・岩石材料・建設発生土のほか、地盤環境に関するものなど広い分野を対象として、河川・道路に共通する研究課題や業務に取り組んでいることである。さらに、これらの分野における調査・設計、施工から管理までの各段階にかかわっていることから、河川・道路・ダムなど多方面での災害対応や技術指導を行っているほか、河川砂防技術基準や道路土工関係の各指針をはじめとする数多くの技術基準・マニュアル類の策定・改定作業や学会活動にかかわっている。

地質・地盤研究グループの各チームは、次のような分野を担当している。

地質チームは、地震や豪雨による地盤災害、ダム等の土木構造物の基礎岩盤、骨材や石材、自然由来の重金属による地下水や地層の汚染、地形・地質・地下水に関する環境影響評価、地盤情報の標準化や利用等、地質や地下水に関する災害の防除・環境保全・コスト削減を実現するための調査・研究を行っている。

土質・振動チームでは、河川堤防、道路盛土、のり面等の土工構造物を対象として、豪雨・大規模地震への安全性を確保するための調査・設計・施工・維持管理に必要な技術に関する調査・研究を行っている。

施工技術チームでは、擁壁・軟弱地盤対策等の土工構造物を中心とした社会資本の設計・施工・維持管理におけるコスト縮減を目指した技術開発、土工構造物の品質確認・性能規定化に関する研究を行っている。

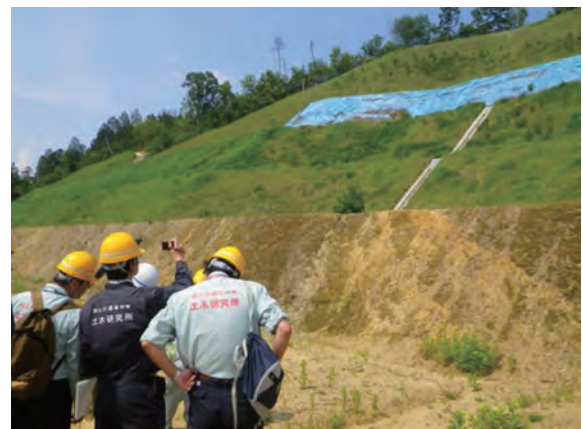


写真-2.1.3.1 斜面崩壊に対する技術指導



写真-2.1.3.2 平成23年台風12号による道路災害に対する技術指導

### 2.1.3.1 地質チーム

#### (1) 概要

地質チームでは土木地質学に関する基礎研究から標準化までを総合的に実施しており、研究分野は図-2.1.3.2に示すように多岐にわたる。日本の地質は諸外国に比べても複雑・不均質であり、土木事業や国土管理においては複雑性への対応が不可欠である。地質チームでは「土木地質調査の精度は国土管理の精度」をモットーに以下の研究活動を行っている。

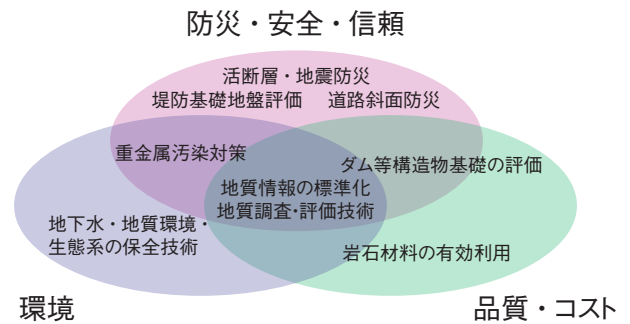


図-2.1.3.2 地質チームの研究分野

#### (2) 土木地質調査および地盤情報の標準化

土木構造物を安全かつ経済的に築造するうえで地質調査やその成果である地盤情報は重要である。しかし以前は、最も基本的な調査手法であるボーリング調査でさえも標準がなかった。そこで地質チームの前身である地質研究室では、「ボーリング柱状図作成要領(案)」を提案し、現在はこの改良版が標準となっている。以降も地質調査資料整理要領(案)の提案等を経て、2008年には、土木研究所等の提案により、土木地質図(工学地質図)の標準仕様がJISとして制定された。国土交通省では、これを含め「地質・土質調査成果電子納品要領」をまとめている。

また近年は、阪神淡路大震災等を受けて、地盤情報は高品質の国土基本情報としても価値が拡大している。特に地震動の推定等においてボーリングデータの有効性が着目され利用が活発化した。そこで国土交通省では、「地盤情報の集積および利活用に関する検討会」を組織し、平成19年3月に提言をまとめた。地質チームでは提言を受けて国土交通省、港湾空港技術研究所とともに一般向けの地盤情報提供サイト「KuniJiban(国土地盤情報検索サイト)」(図-2.1.3.3)を立ち上げ、防災科学技術研究所や産業技術総合研究所との連携による統合化地下構造データベース(Geostation)も開設された。地質チームではさらに、データの多様化、液状化への対応など地盤情報の利用技術に関する研究等にも取り組んでいる。

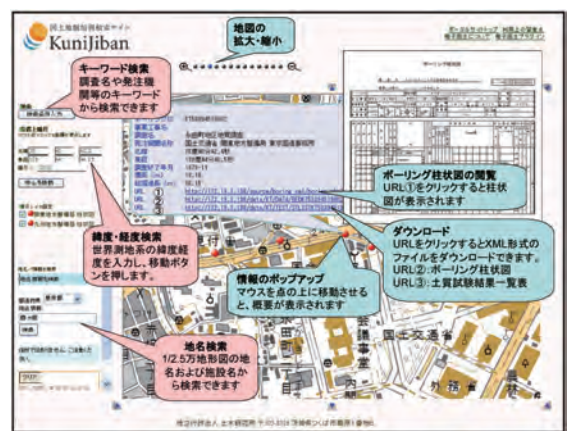


図-2.1.3.3 KuniJiban(国土地盤情報検索サイト)

#### (3) 地質災害の防災に関する研究

地質チームでは、地震時の斜面災害や液状化、豪雨や融雪時の斜面崩壊、洪水時の堤防基礎の破壊など、地質災害の防災について地形地質誌点から研究を実施している。

##### 1) 道路斜面防災に関する研究

地質チームで行っている道路斜面防災に関する研究は、地質調査技術とリスク評価・管理技術に分けられる。まず地質調査技術としては、岩盤斜面の調査技術(エアトレーサー試験法等)や表層崩壊のための調査技術(土層強度検査棒等)の開発を行っている。リスク評価・管理技術としては、ハザードマップ(図-2.1.3.4)や道路管理のための道路防災マップ作成技術の構築等を行い、成果は道路防災

点検要領等に反映させている。特に近年は、厳しい予算の中での膨大な危険個所の点検管理、のり面の老朽化への対応が緊急の課題である。そこでリスクマネジメントとアセットマネジメントの考え方を導入した効率的な防災管理技術の構築をめざし、災害事例、点検記録、のり面構造物の劣化事例等の総合分析による道路防災点検手法の抜本的な改良や対策緊急度判定手法の構築を検討している。また、平成20年岩手・宮城内陸地震では、国道342号の祭時（まつるべ）大橋が基礎岩盤の初生すべりによって落橋するなど、複数の橋梁で地盤変状による被害が生じた。そこで地質チームではCAESARと分担し、地震時に変状を生じる地盤条件と道路橋の安全性に及ぼす影響を明らかにし、このような地盤を的確に調査・抽出して耐震安全性を高めるための研究を行っている。

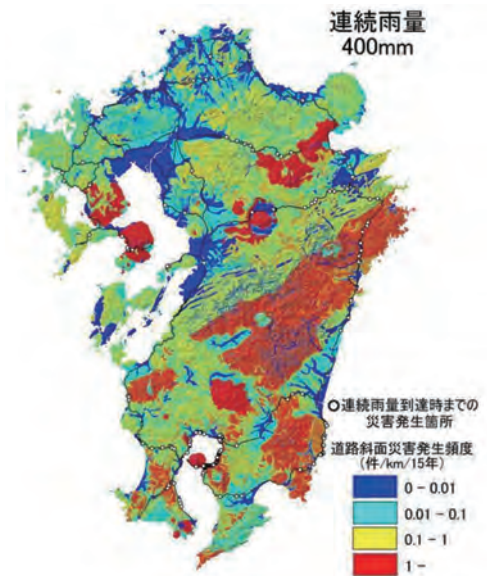


図-2.1.3.4 災害発生頻度予測図

## 2) 河川堤防基礎地盤の透水特性調査手法に関する研究

河川堤防のほとんどは脆弱な沖積層を基礎地盤とするため、洪水時等の安全性は堤体だけでなく基礎地盤の性質にも強く依存する。このため堤防の安全性評価においては、堤防の立地する微地形や基礎地盤の土質を考慮しているが、基礎地盤と堤防被災との関係については不明な点が多い。そこで地質チームでは平成19年度より、堤防基礎地盤の浸透安全性に関する調査・評価方法の研究を開始した。主な成果として、全国の直轄河川堤防の微地形と被災との関係から、従来指摘されていた旧河道や落掘のほか自然堤防も浸透に対する要注意な地形であること等を明らかにし（図-2.1.3.5）、河川堤防基礎のための地形分類手法の提案を行ったほか、地盤の新しい原位置パイピング試験方法の開発等を行った。今後はこれらに加え、堆積学的な知見等も加え、河川堤防基礎地盤の地質調査方法の高度化を図る。

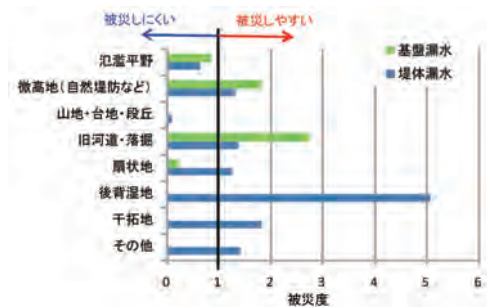


図-2.1.3.5 全国の直轄河川堤防における地形と漏水被災との関係被災度が1を超える地形が被災しやすい。

## (4) 地質環境や地下水環境の保全に関する研究

自然の岩石等にはわずかながら重金属等の有害物質が含まれることがあるが、建設発生土における取り扱いやその調査・評価・対策技術は確立していなかった。そこで土木研究所では平成14年度より研究を開始し、新しい溶出試験方法の開発（写真-2.1.3.3）等を経て、平成18年度に共同研究報告書「建設工事における自然由来の重金属汚染対応マニュアル（暫定版）」をとりまとめた。一方、平成15年に施行された土壤汚染対策法では、自然由来の重金属等については対象外とされ、建設発



写真-2.1.3.3 土研式雨水曝露試験装置

生土に含まれる重金属等の取り扱いについて公的な指針がなく実務的に混乱が生じた。このため土木研究所のメンバーを中心に国土交通省主催の委員会が組織され、平成22年3月に「建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル（暫定版）」を公表した。これは土木分野における自然由来の重金属対応に関する日本で初めての公的マニュアルとして全国で用いられている。しかし重金属等の溶出や酸性水の発生の評価方法は依然として確立したとは言い難い状況であり、長期的な安全性を評価するための促進試験方法の開発等を引き続き実施している。また、対策工法については吸着層工法や不溶化工法等、民間による技術開発が進展しているものの、長期的な安定性の評価法や設計手法が未確立であることから、これら工法の設計に必要な基礎的な実験的検討や、工法の評価方法の確立に向けた研究等を土質・振動チームや防災地質チームとともに行っている。

### (5) 岩石材料の評価技術に関する研究

岩石材料は、土木分野の様々な場面で利用されている。その品質は土木構造物の品質を左右するため適切な評価が必要である。特にコンクリート骨材の場合、コンクリートの品質を低下させる有害鉱物が含まれていることがあり、その影響を評価することは重要である。そのため、地質チームでは、有害鉱物がコンクリートに与える影響とその評価についての研究を行ってきており、これまでアルカリシリカ反応、スメクタイト、黒雲母、濁沸石（写真-2.1.34）、黄鉄鉱等について研究を実施し、評価方法や対策方法を提案してきた。現在、アルカリシリカ反応抑制対策実施後のコンクリートでアルカリシリカ反応と見られる劣化の例が報告されていることを受け、基礎材料チーム及び新材料チームと共同でアルカリシリカ反応抑制対策の改善に関する研究を実施している。



写真-2.1.34 濁沸石によって劣化・破壊した曝露供試体

### (6) 土木構造物基礎地盤の評価技術に関する研究

土木構造物は安定な基礎地盤に設置することが基本であり、基礎地盤の評価は重要である。地質チームでは基礎地盤の評価技術として、たとえば全国のダムで標準的に用いられている土研式岩盤分類法等を開発してきた。さらに近年は、地質的に良好なサイトの減少やコスト縮減の要請等に伴い、技術的に難しい不良地盤に対して高い精度での地質評価が求められるようになってきている。このため、高精度な地形地質調査手法や高度な解析手法の活用による評価技術の開発に取り組んでいる。

#### 1) 活断層の評価に関する研究

活断層は、土木構造物の立地において強震動（ゆれ）、および地盤の変位（ずれ）の2点において重要である。このうち地盤変位については設計での対応が困難であることから、ダムでは活断層の直上に構造物を立地させないことで対応している。地質チームでは古くから活断層の特性やその調査法に関する研究を開始し、研究成果は関連指針類に反映



写真-2.1.35 平成23年4月11日の福島県浜通りの地震に伴い生じた地表地震断層

したほか、地形判読方法については共同研究報告書「活断層地形要素判読マニュアル」(平成18年3月)等にとりまとめ、全国のダム建設事業において活用されている。しかし平成20年岩手・宮城内陸地震や平成23年4月11日に発生した福島県浜通りの地震に伴い発生した地表地震断層(写真-2.1.3.5)は、既存の文献では活断層が推定されていなかった区間でも生じたことから、活断層の判読や評価手法の検証等を目的として平成24年度より新たに研究を立ち上げ、航空レーザー測量を用いた地震断層周辺の地形的特徴についての分析を実施している。

## 2) 不良岩盤(ゆるみ岩盤、弱層等)の評価に関する研究

ほとんどの土木構造物の基礎岩盤にはある程度の「ゆるみ」や「弱層」といった工学的に不良な性質が認められる。しかしその程度は場所により様々で、基礎としての安定性評価方法も確立していない。そこで地質チームでは、これらの不良岩盤の調査技術や強度・安定度評価技術について研究を行っている。

たとえば、ゆるみ岩盤はどこまで掘削除去するかで構造物の安全性、建設コスト、周辺環境への影響等が大きく異なるため、ダム等の大規模・重要構造物では重要である。しかしゆるみは亀裂や弱層に支配された複雑・多様な不安定化を示すため、地すべりなどと異なりすべり面が確定しにくく、岩盤の解析モデルや入力物性を設定する方法が確立していない。そこで地質チームでは、ゆるみを支配する弱層の強度評価手法を開発するとともに、ゆるみ進行パターンを分類して(図-2.1.3.6)そのパターンに応じたゆるみの進行プロセスを適切に表現できる解析モデルを構築することで、実際の不安定化現象に近い形で定量的な安定性評価を可能とする手法の開発をめざしている。

これらの不良岩盤は、基礎の安定や斜面安定のみならず、ダムの場合は止水においても問題となる。

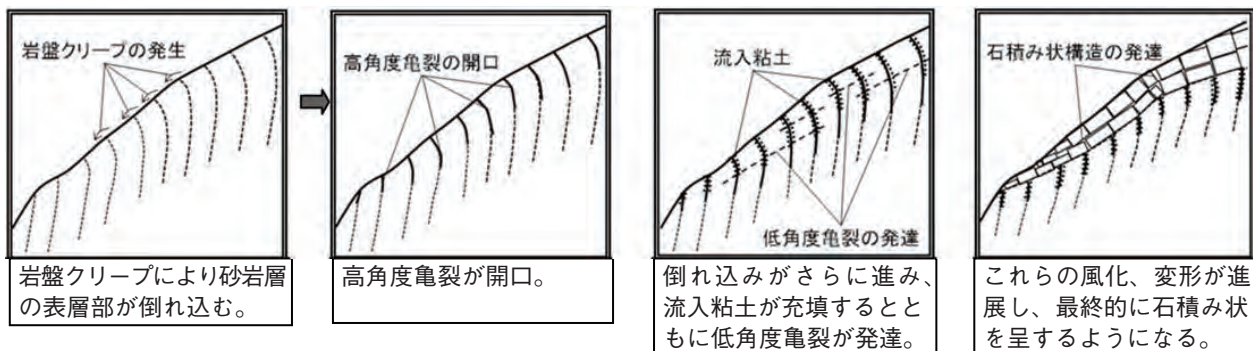


図- 2.1.3.6 ゆるみ進行プロセスの例(岩盤クリープ)

またトンネルの場合は切羽崩壊や突発湧水など施工上も問題となる。このようなことから、トンネルにおける地質リスクに関する研究やダムにおける止水性調査技術等についても研究を実施している。

## (7) 今後の展望

土木事業や国土管理の安全で合理的な実施は、複雑・多様な地質に対して、精密な地質調査、適切な地質評価をどれだけ出来るかにかかっている。東日本大震災では多くの場所で津波や液状化が発生したが、近年、過去の地震による津波堆積物や液状化跡が地層に残されていることが地質学者により次第に明らかにされてきていた。大津波を科学的に予測できたのは地質学だけだったといえる。学術的な地質調査と土木地質調査では目的は異なるが、土木地質調査の精度が発達していれば、各地で多く実施される土木地質調査の際に津波堆積物や液状化跡の地層を識別でき、被害を未然に防ぐことも可能であったのではないだろうか。そのような反省のもとで、土木事業や国土管理におけるあらゆる地質リスクを発見・回避し安全な国土を構築できるように、今後の土木地質調査の精緻化と高度化を図っていく。

### 2.1.3.2 土質・振動チーム

#### (1) 概要

土質・振動チームは、降雨や浸透水の土工構造物への影響や地盤環境を主として研究している土質チームと、土工構造物や地盤への地震動の影響を主として研究している振動チームが平成20年4月に統合してできたチームである。土質・振動チームでは、土工構造物の地震（液状化を含む）・降雨への対応として、盛土、切土のり面等の道路土工構造物や河川堤防の安全性に関する点検・診断技術、補強技術などの防災対策技術の研究を、また地盤環境への対応として、建設工事における地盤汚染への対応技術や建設発生土の有効利用などの研究を行っている。これらの研究は、社会資本の整備・維持を実施するうえで必要とされる安全・安心の確保および環境への配慮を研究理念として、以下のように取り組んで来ているところである。

#### (2) 建設発生土への対応

平成3年10月に「再生資源の利用促進に関する法律」及び建設省令が制定され、公共工事において建設発生土をリサイクルしていくための、国としての本格的な取り組みが始まり、建設省総合技術開発プロジェクト「建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発」（平成4～8年度）が立ち上がった。この中で、建設発生土を有効利用するための良質土の適用用途や適用のための方法、泥土や高含水比粘性土などの低品質土を有効利用するための改良工法（気泡混合土工

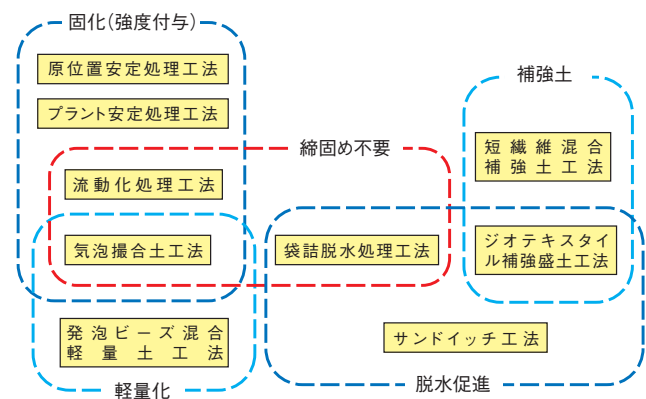


図-2.1.3.7 建設発生土の利用促進のための改良工法と付加機能

法、発泡ビーズ混合軽量土工法、短繊維混合補強土工法、流動化処理土工法など）の検討および技術開発を行い、その成果として、「建設発生土利用技術マニュアル（初版）」をとりまとめた。また、土質区分基準や利用用途別の品質基準を示した「発生土利用基準（案）について」（建設省技調発第173号、平成6年7月）が、建設省より関係機関に通知されている。その後、国土交通省により「建設発生土等の有効利用に関する行動計画」（平成15年10月）が策定され、「建設発生土利用技術マニュアル」についても、循環型社会形成推進基本法の制定、建設汚泥リサイクルの条件整備、土壤汚染対策法の施行、新工法の普及なども踏まえた改訂を行い、平成16年9月に土木研究所法人著作物として発刊された。

建設発生土に関連して、近年問題となってきている地盤汚染対策については、以下に示す「(4) 地盤汚染・地盤環境への対応」の中で継続して研究を進めている。また、個々の改良工法も現場で活用されているとともに、短繊維混合補強土工法については堤防の侵食対策としても現在の研究に生かされている。一方で、改良工法については現場で供用されてから20年近く経過してきているものもあり、今後の維持管理や補修といった課題に対する取り組みも必要と考えている。

#### (3) 降雨に対する道路のり面・斜面災害への対応

道路のり面・斜面災害に対しては、昭和43年の飛騨川バス転落事故を契機として、数年毎に道路防災総点検が実施され、これに基づいて緊急性が高いと考えられる箇所から対策が実施されてきた。さらに、同事故などの司法判断を踏まえ、危険な路線区間に対しては、道路利用者の安全確保の観点から事前通行規制区間を設定し、異常気象時には通行規制を実施するなどの運用が図られた。また、道路防災総点検では、平成8年度より安定度調査（要因及び対策工の評点をもとに「対策が必要と判

断される」「特に新たな対応を必要としない」を総合評価)に加えて、新たに防災カルテの導入が図られた。一方、これらを実施してきた中で、膨大な数の要対策箇所およびカルテ対応箇所への対応や事前通行規制の空振りなどの課題も出てきた。そこで建設省道路技術五カ年計画の重点テーマの一つとして「岩盤・斜面崩壊のリスクマネジメント技術の開発」(平成10～14年度)が立ち上がり、以降土木研究所においても道路斜面防災対策を①ハザード評価技術(抽出)、②影響軽減技術(管理)、③予知技術(監視)、④リスクマネジメント技術(説明責任)の4つの側面から捉えて技術開発に取り組んできている。また、土木研究所の重点プロジェクト研究「のり面・斜面の崩壊・軽減技術の高度化に関する研究」(平成14～17年度)、「豪雨・地震による土砂災害に対する危険度予測と被害軽減技術の開発」(平成18～22年度)においても継続的に研究を進めて来ている。これらの一環として「防災カルテ対応のり面斜面の道路管理手法に関する調査」(平成10～13年度)、「先端的な道路斜面崩壊監視・安定度評価技術の開発」(平成14～17年度)により、サウンディングによる調査および降雨浸透・斜面安定解析を用いたハザード・安定度評価手法や光ファイバセンサを用いた斜面表層崩壊モニタリング技術の開発を行い、日常の挙動による危険箇所の抽出方法や降雨時の崩壊予測手法を取りまとめた「光ファイバセンサを用いた斜面崩壊モニタリングシステムの導入・運用マニュアル」を作成した。また、「岩盤・斜面崩壊に対する合理的なリスク評価手法の開発」(平成10～13年度)、「道路防災マップを用いた道路斜面の評価技術の開発」(平成14～17年度)、「道路斜面災害等による通行止め時間の縮減手法に関する調査」(平成18～20年度)により、のり面・斜面のハザードやリスクの定量化手法を取りまとめた「道路斜面災害のリスク分析・マネジメント支援マニュアル(案)」を作成するとともに、防災点検結果と災害統計を基にした災害潜在性と通行止め時間による簡易リスク評価手法や事前通行規制基準雨量の評価・見直しに関する検討を進めてきた。

今後の道路防災マネジメントの方向性としては、防災対策と併行して既存の対策工の維持・更新を進めていくことが必要であり、これまでの研究成果を発展させ、「道路のり面・斜面对策におけるアセットマネジメント手法に関する研究」(平成22～)に取り組んでいるところである。

#### (4) 河川堤防の浸透災害への対応

昭和49年の多摩川決壊、昭和51年の長良川堤防破堤を契機として、河川堤防の安全性検討に関する取り組みが本格的に行われるようになった。昭和51年には堤防総点検が行われ、以降、平成8年に堤防の概略点検、平成14年に詳細点検、さらに平成14年より質的整備のための調査・対策工の検討が進められ、出水時に堤防あるいは堤防周辺からの漏水や浸透破壊等の被害が考えられる箇所等を抽出し、適宜堤防の強化・整備事業が実施されているところである。問題と考えられる箇所は、

点検による適切な抽出と対応が必要であるが、樋門・樋管等の構造物周りでの通水や空洞化あるいは段差の発生などの構造物の影響、さらに堤防自体が段階的に構築されるとともに延長方向でも断面が異なるといった複雑な構造を有することなどから、調査・評価・対策をどれだけ適切に実施できるかが長年の課題となっている。

この課題に対応するため、「漏水対策工法に関する調査」(昭和59～平成2年度)、「高規格堤防における沈下・漏水対策に関する調査」(平成3～5年度)、「既存堤防の安全度評価手法に関する研究」(平成6～9年度)、「堤防強化対策の選定手法に関する調査」(平成10～17年度)、「樋門・樋管構造

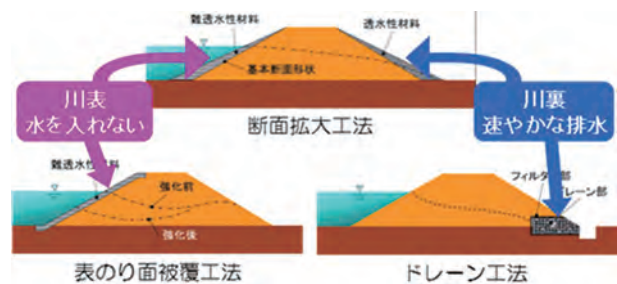


図-2.1.3.8 堤防の浸透対策の概念および対策例



物の健全度診断と空洞対策の評価に関する研究」(平成14～17年度)などに取り組んで来た。また、土木研究所の重点プロジェクト研究「治水安全度向上のための河川堤防の質的強化技術の開発」(平成18～22年度)として、「堤防の耐侵食機能向上対策技術の開発」(平成18～22年度)、「河川堤防の弱点箇所の評価技術に関する研究」(平成21～22年度)を実施し、河川堤防の調査技術、安定度評価技術、対策技術に関する研究に取り組んで来ている。これらの成果は、「河川・砂防技術基準」や「河川土工マニュアル」等の技術基準類、堤防の質的整備事業における「河川堤防技術指針」(平成14年7月)や「河川堤防の構造検討の手引き」(平成14年7月)等に反映されている。

現在もこれらの成果を発展させて地震と浸透の両面からの対策・評価技術のさらなる高度化を目指し、「堤防システムの浸透安全性・耐震性評価技術に関する研究」(平成23～)、「河川堤防の浸透・地震複合対策技術の開発」(平成23～)に取り組んでいるところである。

### (5) 地盤汚染・地盤環境への対応

公共工事における建設発生土の問題のなかで、有害物質による土壤汚染、産業廃棄物等の不法投棄、自然に由来する有害重金属を含有する地盤などと遭遇するケースが頻発していた。こうした状況に応えるため、土木研究所では建設省官民連帯共同研究「地盤環境保全型建設技術の開発」(平成9～11年度)、建設省総合技術開発プロジェクト「建設分野におけるダイオキシン類汚染土壌対策技術の開発」(平成12～

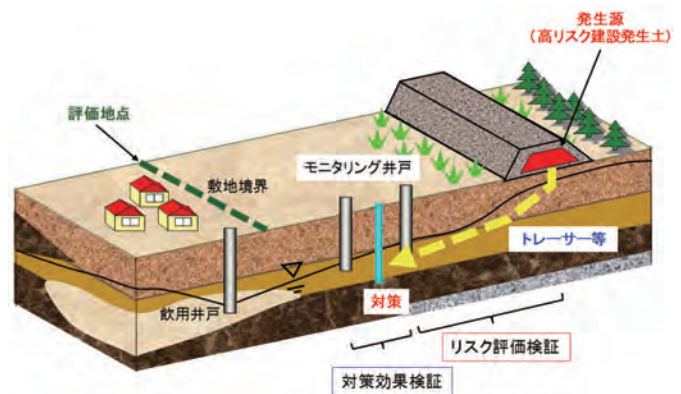


図-2.1.3.9 汚染土のモニタリングの概念図

14年度)を行うとともに、土木研究所の重点プロジェクト研究「地盤環境の保全技術に関する研究」(平成13年～17年)、「生活における環境リスクを軽減するための技術」(平成18～22年度)の一環として「建設事業における地盤汚染の挙動予測・影響評価・制御技術の開発」(平成14～17年度)、「建設資材の環境安全性に関する研究」(平成14～17年度)、「土壌・地下水汚染の管理制御技術に関する研究」(平成18～22)において、建設工事で地盤汚染に遭遇した場合の調査、影響検討手法、対策技術、モニタリングの考え方などの研究に取り組んできた。これらの成果を「建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル(暫定版)」、「建設工事で遭遇するダイオキシン類汚染土壌対策マニュアル(暫定版)」にとりまとめ、さらに平成22年4月の土壤汚染対策法の改正を受け、「建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル」の改訂版を発刊した。

建設発生土の有効利用および環境負荷低減を図っていくためには、高精度な地盤汚染のリスク評価・ハザード評価技術や要対策土への対策の設計・施工・維持管理技術が求められ、これらの研究成果を発展させ「環境安全性に配慮した建設発生土の有効利用技術に関する研究」(平成23～)において取り組んでいるところである。

### (6) 道路土工構造物の耐震性向上への対応

1993年釧路沖地震、2004年新潟県中越地震、2009年能登半島沖地震、2010年駿河湾を震源とする地震等の過去の大規模地震では山岳道路盛土に多大な被害が生じ、長期間にわたり道路交通機能が失われており、道路土工構造物においても耐震性の向上が急務となっている。このような状況の下、1993年釧路沖地震における盛土被害を契機として研究を開始し、2004年新潟県中越地震における盛土被害を踏まえた重点プロジェクト「大地震に備えるための道路・河川施設の耐震技術」(平成18～22年度)を経て、山岳部道路盛土の被災メカニズムの解明と、耐震診断手法、対策工法の提案に向

けて取り組んできた。これらの研究では、盛土の崩壊には盛土内の水位や締固め程度が大きく影響していることを明らかにするとともに、崩壊防止のための排水工の設計等を提案し、これらの成果は道路土工指針等に改定や盛土の点検要領等に反映された。現在、これらの研究成果を発展させ、特に土工構造物の耐震性に大きく影響する事前降雨等の影響を定量的に評価し、道路土工構造物の合理的で経済的な耐震設計・耐震補強法の提案を目的として「降雨の影響を考慮した道路土工構造物の耐震設計・耐震補強技術に関する研究」(平成23～)において取り組んでいるところである。

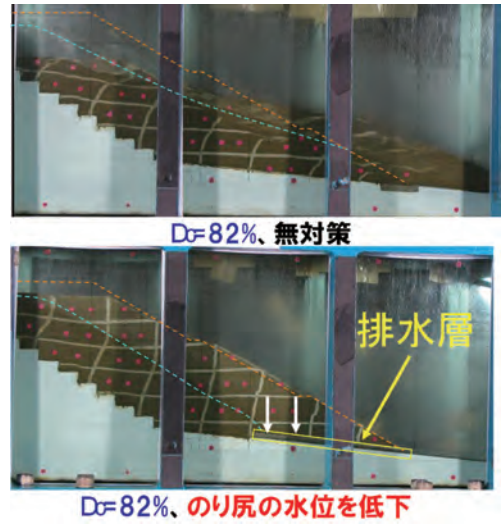


図-2.1.3.10 盛土内水位低下による盛土耐震性向上

### (7) 管路施設の耐震性向上への対応

過去の大規模地震時においては下水道管路施設等の液状化被害が多発しており、これらの耐震性の向上が課題であった。こうした中、1993年釧路沖地震における下水道管路施設の液状化被害を契機に、これらのメカニズムの解明、対策工法の開発を目的とした研究を開始している。これらの研究は、重点プロジェクト「土木構造物の経済的な耐震補強技術に関する研究」(平成13年～平成17年)を経て、管路施設の液状化被害の主要因は埋め戻し土の液状化であり、これらの被害の発生条件を明らかにするとともに、被害防止のための埋戻し部の対策方法の提案を行った。これらの成果は、2003年十勝沖地震、2004年新潟県中越地震等の近年の下水道管路施設被害の復旧仕様に反映されるとともに、2008年の下水道耐震対策指針の改定に反映されている。

### (8) 河川堤防の耐震性向上への対応

旧来より河川堤防は大規模地震のたびに液状化被害を経験してきたが、土構造物であるが故の修復の容易さから、耐震設計は行われてこなかった。しかし、1995年兵庫県南部地震による淀川の堤防の甚大な液状化被害等を契機として、河川堤防の耐震対策が全国で緊急実施されることとなった。当時の土木研究所では、民間企業17社と「液状化対策工法に関する共同研究」(平成4～8年度)を実施していたところであり、当時の研究成果に基づいて急遽とりまとめた「河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)」は、全国の河川堤防の耐震対策で活用されることとなった。

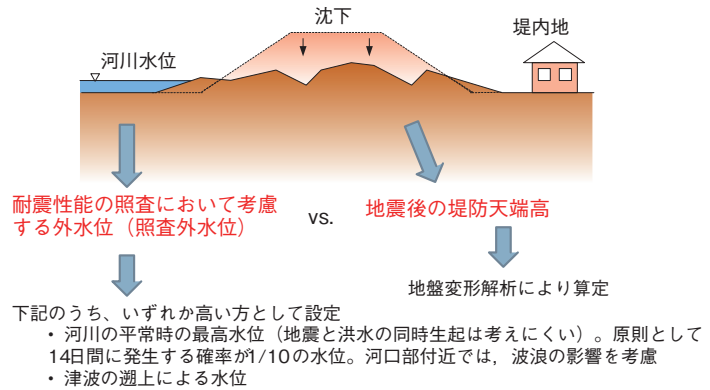


図-2.1.3.11 レベル2地震動に対する河川堤防の耐震性能照査の概念図

その後、「堤防の耐震対策合理化に関する調査」(平成12～17年度)、「強震時の変形性能を考慮した河川構造物の耐震補強技術に関する調査」(平成18～21年度)を経て、レベル2地震動に対応した合理的な耐震性能照査・対策技術の開発に向けた研究を進め、その成果は、河川構造物の耐震性能照査指針(案)・同解説(平成19年)、レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル(案)・同解説(平成22年)等に反映されている。

現在もこれらの成果を発展させて地震と浸透の両面からの評価・対策技術のさらなる高度化を目指し、「堤防システムの浸透安全性・耐震性評価技術に関する研究」(平成23～)、「河川堤防の浸透・地震複合対策技術の開発」(平成23～)に取り組んでいるところである。

### 2.1.3.3 施工技術チーム

#### (1) 概要

施工技術チームでは、土工構造物の設計目標の達成や高品質化、工期やコスト縮減などの施工の効率化、環境保全、労働安全などを確保する観点から、施工法、施工管理法、維持管理法等について研究活動を実施してきた。最近20年間のうち、建設省土木研究所時代（平成4～12年度）には、建設省総合技術開発プロジェクトなどに参画し、建設事業の変化に対応した施工技術のあり方などに関する政策的な研究も数多く実施した。独立行政法人に移行後（平成13年度～）はこのような政策的研究の多くを国土技術政策総合研究所に委ね、公共事業が直面する課題を解決するための設計・施工方法などの具体的手段の技術開発に研究の比重を移している。軟弱地盤対策と擁壁工については20年間を通じて継続的に研究活動を実施してきた。以下に、主な研究成果と今後の課題について紹介する。

#### (2) 施工技術に関する政策的研究について

建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における新施工技術の開発」（平成2～6年度）においては、将来の建設労働力の減少を見据えて、公共投資基本計画等に定められた目標を達成するために必要な施工の新技術の検討を行った。そのなかで、盛土の締固めにおいて、施工計画から管理までを一貫して運営管理する施工情報支援システム、無人化による自動化土工技術の可能性について、また、建設労働災害防止の観点から、足場支保工の資材や組み立て解体技術の検討を行った。さらに、施工機械の性能の向上、近年の情報化技術の進展を踏まえ、平成21年度から重点プロジェクト研究「盛土施工の効率化と品質管理向上技術に関する研究」において、盛土等の要求性能を確保するための施工技術の研究を進めている。

建設省総合技術開発プロジェクト「総合情報システム活用による建設事業の高度化技術の研究開発」（平成8～10年度）においては、CADやGIS、データベース等の導入が進んできたことをふまえ、公共事業の設計から維持管理までの全体工程にわたり、図面情報を正確かつ効率的に利用するための標準を提案した。また、公共土木事業で扱う文書の利用状況を踏まえて、受発注者間で受け渡す文書情報を体系化し、その交換・共有の効果を実験的に検証した。この分野の研究は現在、国土技術政策総合研究所に引き継がれている。

建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業の品質管理体系に関する技術開発」（平成9～12年度）においては、土工構造物における性能設計の導入を見据えて、要求性能の明確化とそれに対応した品質の検証方法や検査方法の検討を行った。この研究成果は、後年の平成20～24年度に全面改訂された道路土工各指針における性能設計の考え方の基礎となった。

#### (3) 既設構造物の液状化対策について

平成7年の兵庫県南部地震後、道路橋の耐震設計基準が改訂され、既設構造物においても耐震性の向上が求められている。既設構造物の耐震補強、液状化対策を行う場合、都市部においては近接構造物がある、橋梁基礎においては桁下制約があるなど厳しい施工条件下での施工となる。施工技術チームでは基礎チームと共同で平成11～13年度に民間との共同研究を実施し、マイクロパイル工法などの耐震補強技術、液状化対策技術を開発した。マイクロパイル工法は小口径（ $\phi$  300mm以下）の場所打ち杭・埋め込み杭の総称であり、

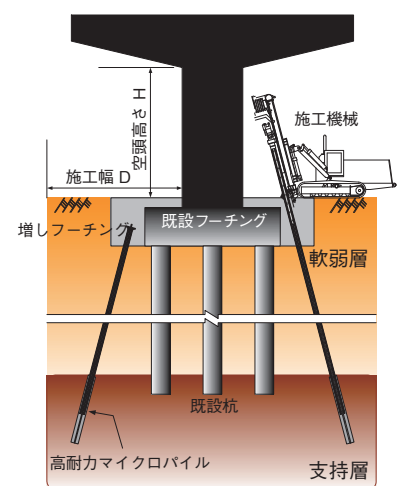


図 - 2.1.3.12 高耐力マイクロパイル工法

短尺の鋼管をねじ式継手を用いて順次継ぎ足しながら施工を行うため、施工空間の厳しい現場条件の下でも 3.5m 程度の空頭があれば施工可能であること、施工機械が小さく移動も容易なことから狭小な施工条件や一車線程度の幅員があれば施工可能であること、施工時の騒音・振動が少ないこと、傾斜角 15 度程度までの斜杭施工が可能であること、加圧グラウト・地盤改良併用・翼の効果などにより小口径杭にも関わらず大きな支持力を確保することが可能であること、新設フーチングの拡幅を小さくすることが可能であることなどの特徴を有している。(図-2.1.3.12 参照)

#### (4) トンネル工事における粉塵発生対策について

ずい道建設工事に伴って発生する粉じん起因するじん肺症等の粉じん障害が社会問題になった。平成 12 年 12 月厚生労働省により「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」が策定され、初めて切羽より 50m 後方地点で  $3\text{mg}/\text{m}^3$  という目標値が示された。このため、発生抑制、希釈除去、吸入防止等の要素技術の開発と粉じん対策技術の適切な評価方法について、平成 14～16 年度の 3 年間にわたり、民間 17 社および先端建設技術センターと共同研究開発を行った。共同研究では、土木研究所の建設環境実験施設の模擬トンネルにおいて、吹付け作業時に発生する粉じんの低減技術として、コンクリート配合や製造方法による技術 (5 種類)、吹付け機械による技術 (2 種類)、集じん技術 (2 種類) の計 9 種類の効果を確認した。(写真-2.1.3.6、写真-2.1.3.7 参照)。また、低減技術の普及を図るため、「トンネル工事における吹付け作業時の発生粉じん対策技術の手引き (案)」をまとめた。



写真-2.1.3.6 液体急結材による方法



写真-2.1.3.7 遠心力タイプの吹付け機械による方法

#### (5) 建設リサイクルについて

建設副産物のなかで建設汚泥の再資源化率が低迷しており、そのリサイクルは重要な課題であった。土木研究所では平成 4～8 年度に建設省総合技術開発プロジェクト「建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発」に取り組み、その成果を平成 11 年 10 月に「建設汚泥リサイクル指針」としてとりまとめて刊行した。しかしながら、依然として建設汚泥リサイクル率は低迷している状況であったため、平成 14～17 年度には指針改訂のための研究に取り組み、①建設汚泥リサイクルの実態調査、②新しい技術集・リサイクル事例集の作成、③原則化ルールを踏まえたコスト調査等を行なった。行政の動きも、国土交通省から平成 18 年 6 月に「建設汚泥の再生利用に関するガイドライン」「建設汚泥の再生利用に関する実施要領」「公共工事におけるリサイクル原則化ルール」が策定し通知され、これと連動して、環境省からも平成 18 年 7 月に「建設汚泥の再生利用指定制度の運用における考え方」が通知された。以上の研究成果、制度、リサイクル技術を取りまとめて、平成 20 年 9 月に「建設汚泥再生利用マニュアル」とし、土木研究所法人著作物として発刊した。

一方、建設発生木材のリサイクル率も建設汚泥同様に低迷している現状にあった。また、従来少な

からず行われていた建設発生木材の焼却処分についても、ダイオキシン類の発生の懸念があり、マテリアルリサイクルを中心としたリサイクル推進が重要な課題となっていた。そのため、当チームでは平成12～16年度にわたり、リサイクルの処理実態を把握し、リサイクル材の流通促進のための方策の検討、木材チップの品質基準・用途別分類の見直し等の研究を行った。これらの成果をまとめて、平成17年11月に「土木工事現場における建設発生木材リサイクルの手引き（案）」を土木研究所法人著作物として出版した。

#### (6) グラウンドアンカーの維持管理について

グラウンドアンカーは、我が国に導入されて以来50年近く経過している。施工実績は1990年代に入り急激に増加しており、1996年から10年間の仮設を除く永久アンカーの施工件数は約24,000件、施工延長は約15,000kmに上っている。なかでも、施工技術や防食技術が開発途上であった導入初期に施工されたアンカーにおいては、アンカーが機能を失ったのり面に変状が生じたり、アンカーの部材が腐食等によって破断して頭部が飛び出すなどの問題も見られるようになってきた（写真-2.1.3.8 参照）。しかしながら、アンカーに対する健全性診断の手法、補修・補強技術（写真-2.1.3.9 に事例）は未だ体系的に整理されておらず、平成14年度からアンカーの健全性診断と補修技術に関する研究をスタートし、平成17年度に（社）日本アンカー協会と共同研究を立ち上げ、その成果をもとに、平成20年7月に既設アンカーの維持管理手法を示す「グラウンドアンカーの維持管理マニュアル」を発刊した。

#### (7) 軟弱地盤対策について

軟弱地盤上の高盛土の地盤改良として、深層混合処理工法が盛んに用いられ、浮式や低改良化による経済的な地盤改良工法が提案されている。しかしながら、家屋などの近接地域では、側方流動や引き込み沈下に伴う周辺地盤への影響が起きることが懸念される。このような場合に、通常は盛土法尻部を全面的に改良する深層混合処理工法が採用されるのが一般的であるが、改良率が60～80%と高くなり、高コストであることが問題とされていた。当チームでは、継続的に軟弱地盤の側方変位対策の研究に取り組んできたが、そ



写真-2.1.3.8 アンカー頭部の飛び出し事例



写真-2.1.3.9 背面保護管付き支圧板を利用した補修補強した事例

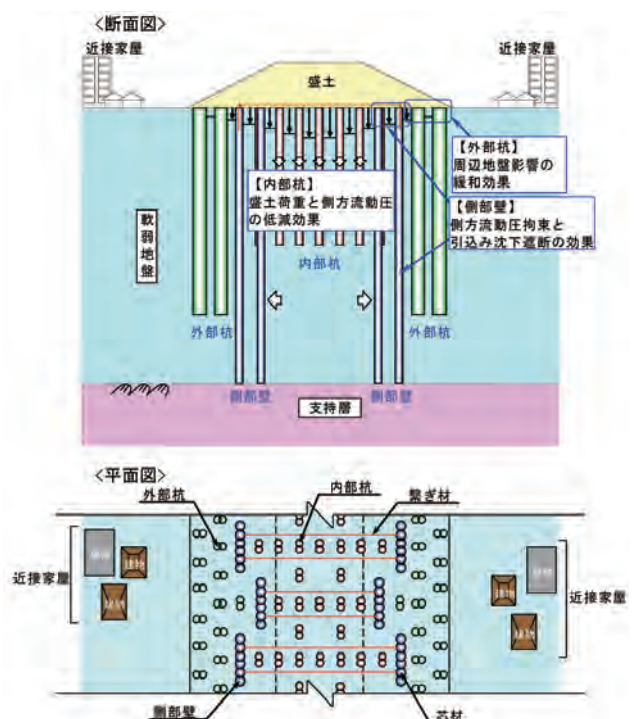


図-2.1.3.13 コラムリンク工法の概要

の集大成として、平成18年に民間13社と「側方流動対策としての地盤改良技術に関する共同研究」を立ち上げ、「コラムリンク工法」の開発を行った。コラムリンク工法は、浮式低改良率で側方流動による周辺地盤の変位抑制を図る地盤改良工法であり、「側部壁（芯材入り繋ぎ材付）」「内部杭」「外部杭」から構成される。中型遠心模型実験・数値解析によってこれら構成要素の効果と配置の決定法を検討した。平成21年度からは、熊本河川国道事務所管内の一般国道57号熊本宇土道路において、試験施工を行い、周辺地盤の影響抑制対策として有効な工法であることを確認した。

### (8) 擁壁工について

擁壁工について当チームでは、最近20年間にわたり継続的に研究課題を実施し、平成11年と平成24年の道路土工－擁壁工指針の改訂に大きく貢献している。この間の研究の背景としてまず、擁壁の大型化が挙げられる。平成5年前後の時期には、山岳道路など斜面上に設置する高さの高い擁壁の設計法が研究課題を実施した。当時まだ適用初期であった重力式擁壁とブロック積み擁壁の混合擁壁に関して、実物大実験を行い、重力式擁壁部に作用する荷重の検証を行った。また、補強土壁が山岳部の斜面上に適用される事例が増大し、重力式の基礎フーチングを下部に使用することが多くなった。そのため、基礎フーチング部に作用する力の大きさを、実物大のジオテキスタイル実験盛土などで検証するなどにより、設計法の検討を行った。

その一方、補強土壁のように比較的規模の大きな擁壁が多数構築されるにしたがって、湧水の侵入しやすい条件や軟弱な基礎地盤で適用され、品質の悪い盛土材の使用、排水対策の不備などにより修復性に問題が生じるような変状も一部で見られるようになってきた。こうしたことから、平成24年度に改訂した道路土工－擁壁工指針及び軟弱地盤対策工指針では、補強土壁の適用にあたっての留意事項に関する記述を強化されており、土木研究所においても、プロジェクト研究「擁壁等の土工構造物の管理水準を考慮した維持管理手法の開発に関する研究」（平成23年度～）を実施し、現場における補強土壁の健全性の評価や変状した補強土壁の具体的な修復方法等の検討に取り組んでいる。

### (9) 今後の展望

施工技術チームの研究活動にあたって、今後必要とされる問題意識として、以下が重要と考えられる。

- ①性能設計の導入にともない、新形式の土工構造物に求められる施工法、性能評価法、維持管理法の明確化を図ってゆく必要がある。現場で適用されている新形式の土工構造物のなかは、老朽化や大災害の洗礼を受けていないものも多い。変状の進行過程、補修及び補強法、災害復旧工事の事例を効率的に集約するためにも、現場を背景とした臨床研究を行う必要がある。
- ②維持管理の重要性が増す中、維持修繕・災害復旧・更新に関わる工事は新設工事に比べ厳しい制約条件のなかでの施工することが求められることが多く、完成後の土工構造物の安定性ととも、施工期間中の安定性、作業の安全性や効率性などにも視点をおく必要がある。

## 2.1.4 水環境研究グループ

水環境研究グループは河川生態チーム、水質チーム、自然共生研究センターの3つのチームから構成される。この中で、河川生態チームと自然共生研究センターは旧建設省土木研究所の河川部都市河川研究室を母体としている。平成5年、土木研究所に環境部が設置され、都市河川研究室は環境部河川環境研究室に改編された。この間、多自然型川づくりモデル事業、河川水辺の国勢調査の開始、魚ののぼりやすい川づくりモデル事業等河川環境に関わる重要施策がはじまり、河川環境に関する事業が急激に増加し（図-2.1.4.1）、このため、これらの施策を支える技術的課題の解決が急がれた時代であった。

また、平成9年には河川法の改正に伴い、本法に「河川環境の整備と保全」が目的として加わり、河川環境の施策を支える研究の進捗がより急務となった時期となり、平成10年に世界最大の実験河川を有し、河川・湖沼の自然環境の保全・再生に関する研究を行うための施設として、自然共生研究センターが河川環境研究室の分室として岐阜県羽島郡川島町（現、岐阜県各務原市）に開所している。

平成13年、旧国土交通省土木研究所環境部河川環境研究室は国土政策技術総合研究所環境部河川環境研究室と独立行政法人土木研究所水環境研究グループ河川生態チームに分かれ、政策立案に関する部門は国総研で担当し、要素技術に関する部門は土研で担当することになった。その後、平成17年には、自然共生研究センターが河川生態チームから独立し、現在に至っている。

一方、水質チームは、旧建設省土木研究所の下水道部水質研究室を母体としている。平成5年当時、下水道部は下水道研究室、三次処理研究室、汚泥研究室、水質研究室の4研究室体制であった。この体制のまま平成13年に至り、旧国土交通省土木研究所下水道部水質研究室は、独立行政法人土木研究所水循環研究グループ（当時）水質チームとなり、現在に至っている。その間、増大する微量物質の研究に対応するため、平成9年に水質水文共同実験棟の並びに微量物質分析棟が、また平成11年に湖北総合実験施設内に水系水質リスクマネジメント実験施設がそれぞれ完成した（写真-2.1.4.1）。

このように水環境研究グループを構成するチームの母体は同じではないが、河川・湖沼における生物の生息空間の保全・再生、汚濁物質の挙動、水質評価・水質改善といった水環境に関わる諸課題を、行政のみならず、大学や高専、民間の研究機関やコンサルタントなどと幅広く連携しながら行っている。今後も豊かな水辺環境の実現に向けて様々な貢献をしていきたい。

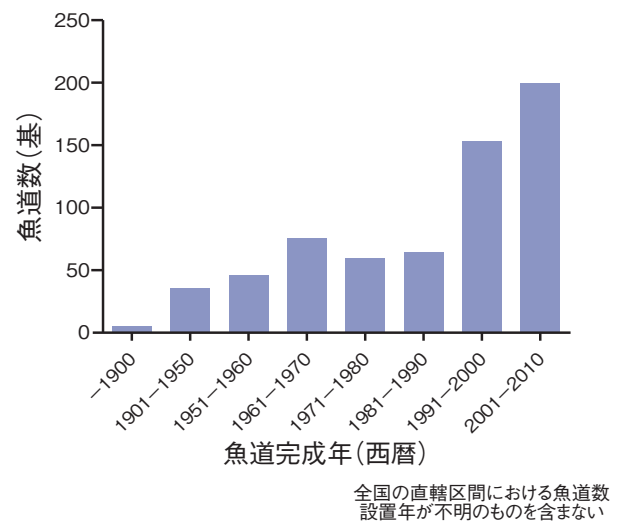


図- 2.1.4.1 魚道設置数の推移



写真- 2.1.4.1 微量物質分析棟

### 2.1.4.1 河川生態チーム

#### (1) 概要

河川生態チームは、河川および河川の生態系に関する調査、試験、研究並びに土木技術の開発及び指導に関する業務を所掌している。以下に当チームが取り組んできている研究課題を紹介する。

#### (2) 河川環境の保全と修復

近年、日本の多くの河川で樹林化が進行している。河道内樹林は、河積阻害や出水時の流木の原因となっている他、出水攪乱に適応した河川固有の生物種の減少につながるなど、治水安全上の問題だけでなく生態系保全上の問題となっている。このため、河道内樹林の適切な管理方法が求められている。このような背景から、「河川生態と河川流況からみた樹林管理に関する研究（平成22～25年度）」を実施している。

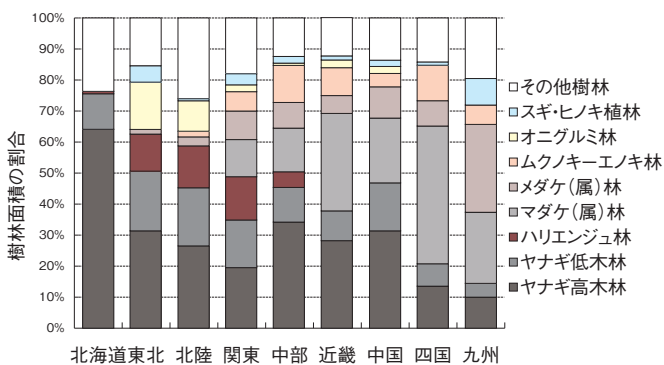


図-2.1.4.2 河道内樹林面積の構成割合



写真-2.1.4.2 環状剥皮処理

河道内樹林面積の経年変化と樹林管理の実態を調査した結果、全国一級河川の直轄管理区域ではヤナギ類、ハリエンジュ、タケ・ササ類が問題となっていることが明らかとなった（図-2.1.4.2）。現在、上記の樹種を対象に、従来の伐採方法に環状剥皮（写真-2.1.4.2）などの萌芽再生抑制処理を組み合わせ、伐採後の萌芽再生抑制効果の検証を行っている。

一方、魚類に対しては、近年積極的な魚道の整備等を通じ魚類の移動環境を確保する努力がなされているものの、河川に生息する多種多様な魚類に対し、移動環境が十分確保されているかを客観的に示すことが困難な実情がある。「魚道機能に関する実験的研究（平成20～23年度）」では、では、魚類の遊泳行動に基づいた魚道および周辺設備の評価・設計に資するため、階段式魚道および粗石付き魚道の実物大モデルを製作し、高速ビデオカメラを用いて魚類の遡上行動を解析した。また、観察窓を有する現地の魚道において、実験と同様の手法を実際の魚道内部における遡上行動の観察に適用した。本研究の結果、魚道内の微細な流れ場が特に小型の魚や底生魚の遡上環境に大きく関与していることを明らかにするとともに、その改善策を提案した。また、魚類の移動経路が確保されていれば、魚道内の土砂堆積が許容できる場合もあることを示した。これらの結果をもとに、現在は

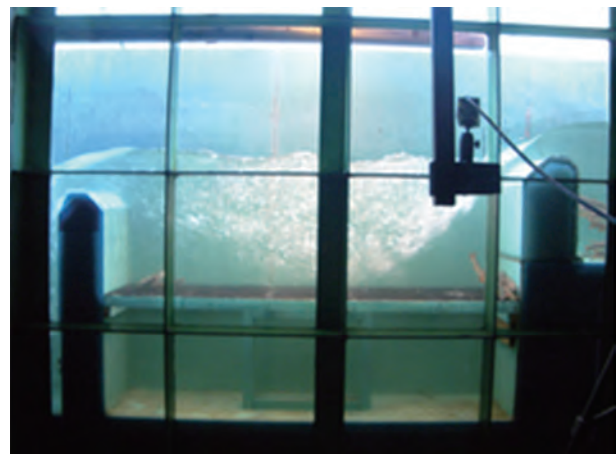


写真-2.1.4.3 実物大魚道実験の様子



「土砂動態および魚類の移動特性を踏まえた、魚道設計技術に関する研究（平成24～28年度）」を実施している。本研究では、遡上魚にとって魚道の入り口となる魚道の下流側の流況や、出口となる魚道上流側および魚道内への土砂堆積に焦点を当て、河道特性・魚類の遊泳特性双方から、効果的な魚道について検討を行っている。

### (3) 河川における物質動態に関する研究

河川生態系は、河川内生産物だけでなく陸域からも物質、栄養塩、生物が流入しており、瀬淵構造といった河川地形や流域の土地利用と密接な関係を持ちながら極めて複雑な系を形成している。この複雑な河川生態系の構造と機能を理解するためには、河川生態系を構成する各要素の機能と要素間のつながりについて物質動態の観点から紐解き、評価する必要がある。

「河川を流下する栄養塩類と河川生態系の関係解明に関する研究（平成18～22年度）」では、河川生態系を支える栄養塩類と流下有機物の由来と質の変化を明らかにすることを目的とした検討を行った。水生生物の主要な餌資源の一つである河川水中の粒状有機物は、主に陸上植物由来物質で構成されていたが、中流から下流にかけては陸上植物由来物質で主に構成されているにもかかわらず、粒状有機物の質が変化していることを明らかにした。これは、集水域からの窒素負荷量、流量、淵の面積の増加といった河川物理環境の変化が微生物の関与を促進させ、その質を変化させている可能性を見出した。粒状有機物の質の流程変化は、これらを餌資源としている底生動物の餌資源利用にも波及しており、従来、餌資源としては使われにくいとされてきた陸上植物由来物質（腐植物質）が、流域からの栄養塩負荷量の増大とともに利用されやすくなっていることを安定同位体比解析から明らかにした（図-2.1.4.3）。

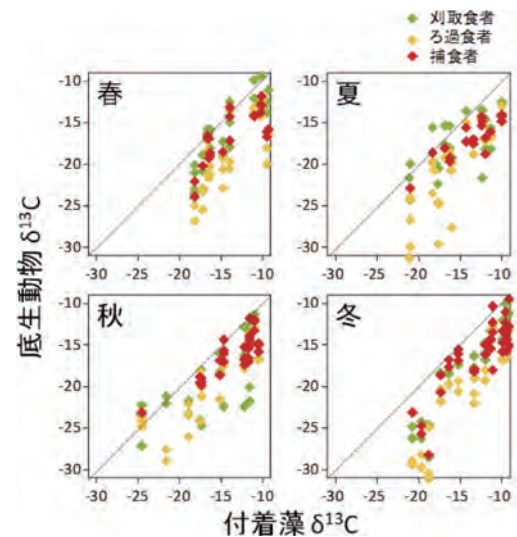


図-2.1.4.3 底生動物と付着藻類の $\delta^{13}\text{C}$ の関係

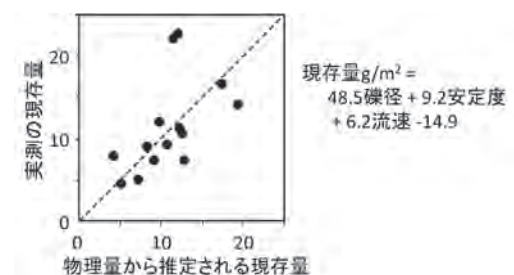


図-2.1.4.4 底生動物と生息場の物理環境との関係

物質動態に寄与する水生昆虫の定量評価を行うため、「水生生物の生息環境の調査手法と生態的機能の解明に関する研究（平成18～22年度）」では、水生昆虫の生息量や種構成などと瀬・淵といった河川地形や生息場を形成する要因との関連性について検討を行った。その結果、河床の安定性が高いほど、また空隙量が多いほど底生動物量が多いことを支持する結果を流程スケールで示し（図-2.1.4.4）、こうした特定の物理環境データを集めることで各地点の潜在的な底生動物の生息量を推定することも可能と考えられる。

現在「ダムによる水質・流況変化が水生生物の生息に与える影響に関する研究（平成23～27年度）」において、上記結果を踏まえダムによる河川生態系への影響を物質動態の観点から解明することに取り組んでいる。

#### (4) 湖沼環境の修復

我が国の多くの湖沼は、流域の開発に伴う水質悪化や治水、利水目的の水位管理、湖岸堤築造等の人為的インパクトを受けてきた。このような湖沼では、沿岸植生帯が衰退した場所も見られ、特に植物体の全ての部分が水中に存在する沈水植物は、減少の度合いが著しい。しかし近年、沈水植物が湖沼の生態系や水質改善に重要であることが明らかになってきており、各地で沈水植物復元の取り組みが行われている。



写真- 2.1.4.4 沈水植物移植実験施設(麻生地区)

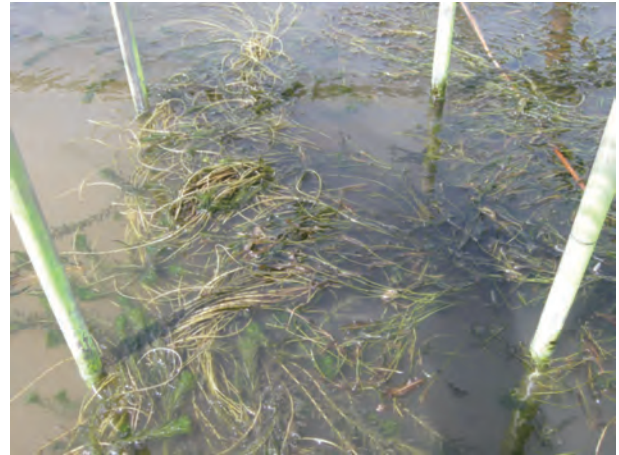


写真- 2.1.4.5 移植実験施設内で繁茂する沈水植物

土木研究所ではこれまでに、沈水植物再生のための研究として「湖沼湿地環境の修復技術に関する研究(平成18～22年度)」を実施し、霞ヶ浦(西浦)において、発芽可能性の高い埋土種子が多く存在する場所の推定方法の開発や、シミュレーション解析を用いた沈水植物群落の修復候補地の抽出などを行った。平成22年度には、実湖沼における沈水植物群落再生の可能性を検証するために、霞ヶ浦(西浦)において、沈水植物の移植生育実験を実施した。この実験からは、現在の霞ヶ浦の水質、波浪などの諸条件下においても、消波構造物によって創出された比較的静穏な水域においては、移植した沈水植物が定着し、その後群落化することが明らかになった。

これらの研究成果を用いて、平成23年度からは、「湖沼における沈水植物再生技術の開発に関する研究(平成23～26年度)」を立ち上げ、霞ヶ浦に移植した沈水植物群落の経年的な生育状況をモニタリングすると共に、食害のある自然条件下での生育状況を把握するための実験や、消波構造物の背後水域の底質状況を調査するなど、霞ヶ浦における沈水植物生育適地を実際に抽出する手法の開発を行っている。

今後は、消波構造物背後水域に焦点を当て、底質土砂の堆積状況等を詳細に把握し、沈水植物群落再生に向けての取り組みを進めて行く予定である。

#### (5) 生物調査法に関する研究

大規模事業等の実施にあたっては、事業が生態系に与える影響を調査・予測・評価し、保全措置を行う環境影響評価を行うことが必要である。そのための環境調査においては、河川生態系の上位種である野生動物(猛禽類、陸上哺乳類、魚類等)

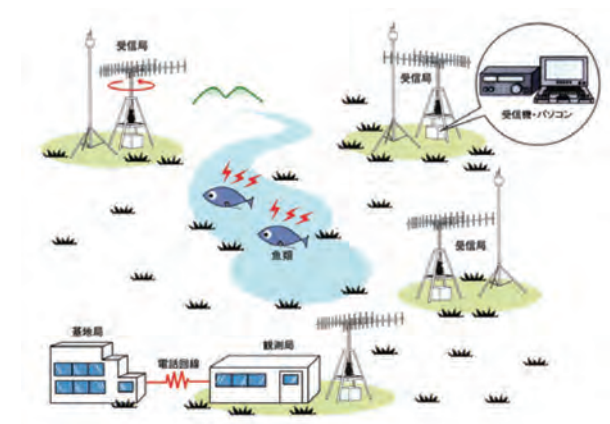


図- 2.1.4.5 野生動物自動行動追跡システムの概要

の行動調査が活発に行われている。しかし、野生動物行動追跡調査は人力に頼る部分が多く、野生動物行動追跡の省力化が求められていた。これらの課題を解決するため、河川生態チームでは、野生動物自動行動追跡システム（Advanced Telemetry System; ATS）を開発した。

ATSは、野生動物に電波発信機を装着し、魚類・陸上哺乳類の行動を自動的に追跡できるシステムである。ATSは、電波発信機、複数の電波受信局と制御局で構成される。各受信局は指向性アンテナを回転させ、電波計測を行い、電波到来角を算出する。各受信局は、計測した電波到来角を制御局に送信し、三角測量の原理で野生動物の行動を5分に1回、誤差20m程度で特定する。河川生態チームは、「特許第4798531号 受信局、それを用いた信号送受信方式」を始めとした3件の特許を取得し、平成20年度ダム工学会技術開発賞を受賞している。

ATSは、信濃川水系千曲川、信濃川水系信濃川、石狩川水系石狩川、五ヶ瀬川水系北川での研究に適用され、中型哺乳類、魚類の定量的な行動特性の観測を実現した。ATSは、その有用性から普及を望む声が多く寄せられ、平成20年度～平成22年度に「野生動物自動行動追跡システムの実用性向上に関する共同研究」を民間2社と実施し、ATSの導入コストの削減や信頼性向上等の技術的改良を行い、技術普及に向けた活動を継続している。

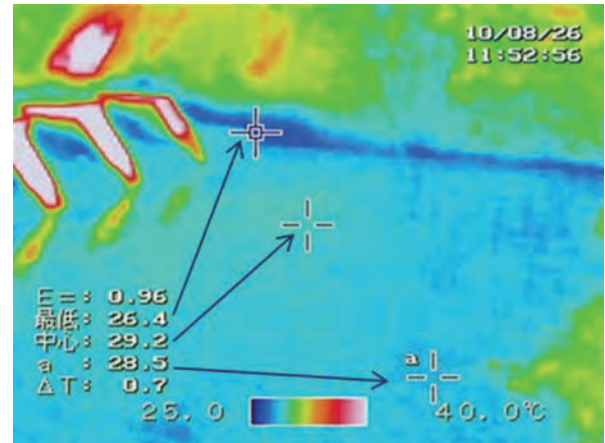


図-2.1.4.6 堰堤の構造と夏季水温分布に関する調査結果の一例

さらに、「在来魚種保全のための水系の環境整備手法の開発（平成18～22年度）」では、現在の水系の中に分布する在来魚集団を維持するために必要な環境を効果的に保全・修復するための考え方や手法の提案を行うことを目的に、遺伝情報の活用を試みた。本研究では、①ニッコウイワナの交雑検出におけるマイクロサテライト手法と AFLP 手法の比較および②保全策を必要とする淡水カジカ集団における物理環境および集団の遺伝子構造の調査を行った。このうち、後者では、遺伝情報と物理環境調査の組み合わせにより、対象地域に分布する在来カジカにとって、堰堤による移動阻害だけでなく、水温上昇が、分布域や繁殖環境の制限要因となっていることが推察された（図-2.1.4.6）。また、冷水性淡水魚などの保全方法のひとつとして、堰堤の構造や地下水の利用等により影響が低減できることが示され、効果的な保全対策を提案することができた。

この結果を受け、遺伝情報を河川環境調査に応用する際の効果的な活用方法について示すことを目的に、現在は「河川事業への遺伝情報の活用による効率的・効果的な河川環境調査技術と改善技術に関する研究（平成23～27年度予定）」を実施しており、平成24年度からは民間との共同研究により、実河川を対象としたケーススタディを実施している。

### 2.1.4.2 水質チーム

#### (1) 概要

水質チームは、河川や湖沼などにおける水質や都市活動に伴って水環境に排出される汚濁物質を対象として、分析方法の開発、汚濁物質の存在状況や挙動の解明、生態系への影響評価、対策手法の検討などの調査・研究を実施している。

過去20年間の調査・研究課題を、大まかに分類すると図-2.1.4.7のとおりである。平成5年度から数年間は、処理水質やバイオセンサーに係る課題を実施していた。その後、新しく生じてきた社会的課題に対応するため、微量化学物質・生態系に係る課題を徐々に増加させてきたが、同時に、富栄養化対策や流域管理の課題も着実に実施してきている。また、近年では地球環境に係る課題にも取り組んでいる。

以下に、水質チームが実施してきた主要な研究内容や行政への貢献について概要を記すとともに、今後の研究方針を述べる。

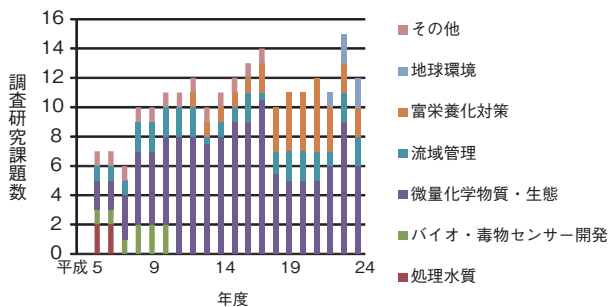


図-2.1.4.7 水質チームにおける調査・研究課題数の推移

#### (2) 湖沼における水質問題

湖沼等の閉鎖性水域の水質改善のため、多くの努力がなされているが、なかなか水質が改善していないのが現状である。これは生活系以外の汚濁負荷が大きいことも原因の一つであると考えられ、湖沼の栄養塩類や有機物がどこからもたらされたかを、流域や湖沼でのフィールド調査を中心とした研究を実施している。

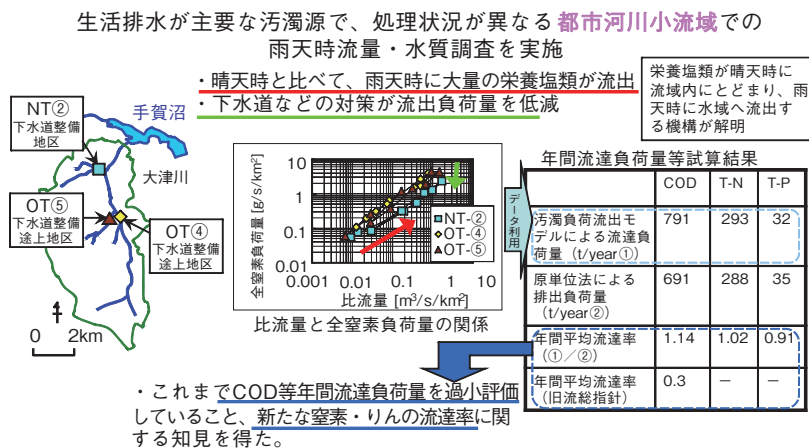


図-2.1.4.8 栄養塩類の流出に係る成果

平成23年度より実施している流域スケールで見た物質動態特性の把握に関する研究は、過去に実施されてきた流域規模での水・物質循環管理支援モデルに関する研究を経て、栄養塩類の雨天時も含めた流出機構の解明を目的として実施している。過去に実施してきた研究においては、生活排水が主要な汚濁源である都市河川小流域での雨天時流量・水質調査を実施し、これまでCOD等の年間流達負荷量を過小評価していること、並びに、新たな窒素・りんの流達率に関する知見を得た(図-2.1.4.8)。これらの知見は、「流域別下水道整備総合計画調査指針と解説」に反映された。今後は、生活排水が主要な汚濁源でない小流域での雨天時流量・水質調査を実施し、COD・窒素・りん等の年間流達負荷量や流達率に関する知見の充実を図る予定である。

平成23年度より実施している土地利用や環境の変化が閉鎖性水域の水質・底質におよぼす影響に関する研究は、周辺流域の土地利用・閉鎖性水域内の水質や藻類の発生状況等の環境変化が、水質・底質に与える影響について明らかにすることを目的としている。閉鎖性水域の水質改善が進まない原因の一つとして底泥からの溶出が考えられる。既往の研究により、特定の閉鎖性水域における溶出機構を明らかにしたが、他の閉鎖性水域における底泥からの溶出への適用に至るだけの知見が得られて

いない。底泥直上水の栄養塩濃度や微量金属濃度が底泥からの溶出へ与える影響を解明し、他の閉鎖性水域への適用が可能となるような知見を集積する。また、流域の土地利用形態や湖沼に発生する藻類種の変化といった環境の変化が水質・底質に与える影響についても検討し、将来における閉鎖性水域の水質を予測するための手法を提案する予定である。

### (3) 下水処理水中の微量化学物質の存在実態

近年、社会生活の中で身近に使用されている医薬品類やPRTR対象物質を対象とした環境汚染実態に関する調査が進められ、河川、湖沼等の水環境に対する主要な排出源が下水道であることが明らかになりつつある。これら化学物質の一部については、既往調査により下水処理場での除去特性について明らかになっているが、多くの物質の水環境での存在実態は未だに解明されていない。

下水道を経由する化学物質の環境インパクトを考えると調査未実施の多く化学物質についての実態解明は急務であり、早期に下水道での実態を把握するとともに、処理水中に残存する物質については新たな除去手法の開発等、リスクを低減するための制御技術の開発を行う必要がある。

平成23年度より実施している下水処理プロセスにおける化学物質の制御技術に関する研究では、水生生物への影響が指摘されているクラリスロマイシン等の抗生物質を含む10種の医薬品類と、PRTRで人の健康や生態系に悪影響を及ぼすおそれがある物質として化管法第一種指定化学物質として指定されているノニルフェノールとその関連物質を研究対象としている。本研究では、研究対象物質について下水試料に適した分析方法の開発を

おこなうことから取り組み、下水処理場での実態、下水処理プロセスにおける挙動把握を行った後、下水処理後の処理水中に残存する物質については、さらに除去するプロセスの検討を行うこととしている。

また、本研究で対象としている微量化学物質問題は、過去に内分泌攪乱化学物質（いわゆる環境ホルモン）についても取り組んできた。その当時、環境庁が提示した内分泌攪乱化学物質として疑われる物質の中から下水道で注目すべき物質の選定を行った後、下水試料を対象とした分析法の開発、下水処理場における実態・挙動調査を実施した。なかでも人が排泄するエストロゲンの実態を明らかにするとともに、処理水中に残存するエストロゲンの除去技術についても取り組んできた。図-2.1.4.9と図-2.1.4.10に実験装置と実験結果を示した。下水処理過程の後段に微生物担体処理槽（好気条件下の流動型生物膜法）を設けることで、エストロゲン類の除去効率が高まることが確認された。また、これらの研究のなかで開発して下水試料を対象としたエストロゲン類の分析法は下水試験方法に反映されている。

下水中には多くの微量化学物質が存在することは容易に予想されるが、社会的に関心の高い物質を優先し積極的に取り組んで行く予定である。

### (4) 医薬品類の存在実態と生態系影響

近年、人が服用した医薬品類が排水系を通して水環境中に排出され、生態系に影響を与えているのではないかと懸念されている。これまで、さまざまな河川や下水処理場で医薬品類の存在実態を調査する

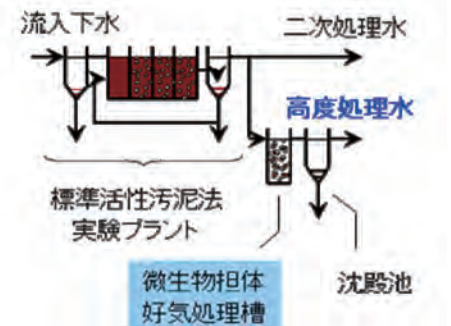


図-2.1.4.9 実験装置

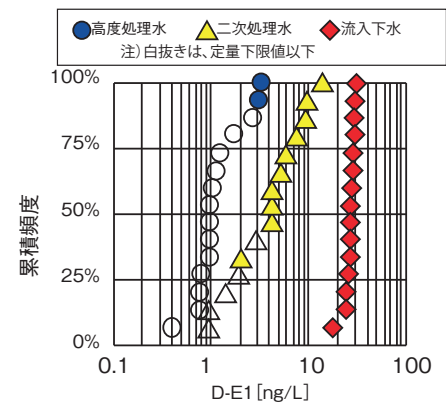


図-2.1.4.10 流入水、処理水のエストロゲン濃度分布

とともに、生物に対する医薬品類の毒性を調査してきた。その結果、殺菌剤や抗生物質の一部には毒性がみられるものもあり、環境中での実測濃度を踏まえると、さらに詳細な検討を行う必要があることがわかってきた。

平成23年度より実施している水環境中における未規制化学物質の挙動と生態影響の解明に関する研究では、医薬品類をはじめとして水質規制の対象となっていない化学物質を対象として、河川流域レベルでの存在実態を調査している。今後、流域レベルでの未規制化学物質の存在実態の調査と併せて、対象とする化学物質の物性・光分解・生分解・土壌吸着等の情報を収集し、河川中の未規制化学物質の動態を把握する予定である。また、国内外の報告と併せて未規制化学物質の毒性情報を整理し、河川中の未規制化学物質の実態・挙動情報をもとに環境リスク初期評価を試みる予定である。

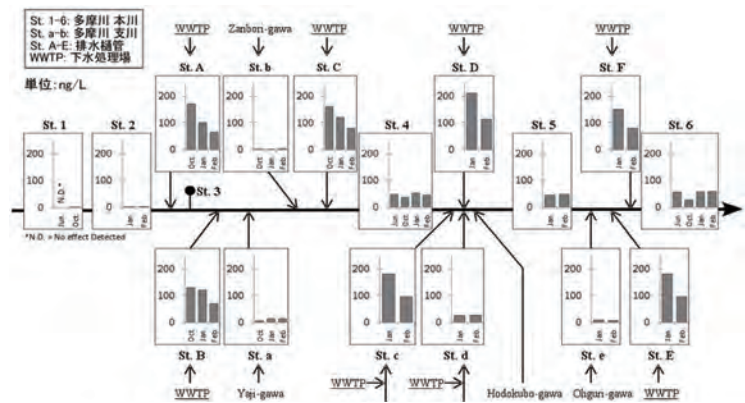


図- 2.1.4.11 多摩川中流域でのトリクロサンの濃度

### (5) 水生生物を用いたバイオアッセイによる水質評価

下水処理水や河川水の安全性評価する方法にバイオアッセイがある。バイオアッセイは、評価対象とする下水処理水や河川水で水生生物を飼育し、その生物が死亡しないか、行動が鈍らないか、成長または繁殖ができるかなど、生物の反応を指標として評価する。しかしこの方法は、生物に影響がでるまでに時間がかかることや検出感度が低いことが問題となっている。水質チームでは、生物の遺伝子反応は、外部環境の変化に対し速やかにおこることに着目し、遺伝子解析技術を利用して水生生物の影響を短期間かつ高感度で評価できる方法の開発を目指して研究している。



写真- 2.1.4.6 遺伝子解析に使用しているメダカ(上)と遺伝子解析装置(下)

### (6) 下水処理水修景利用における藻類増殖の抑制手法

下水再生水の活用が広く行われるようになり、利用が進められているところであるが、再利用の事例の一つとして修景利用がある。これは、街中にうるおいのある空間を創造することを目的として、せせらぎ水路や池に通水するものだが、栄養塩類が比較的高濃度に含まれているために、夏場等の周辺環境条件によっては藻類が大増殖し、景観や維持管理上の問題になることがある。藻類増殖の主要因と考えられる窒素やリンを削減する手法もあるが、処理費用の面からも広く適用されるには至っていない。そこで、水質チームでは、簡易で比較的安価な



写真- 2.1.4.7 糸状藻類の増殖(上)と処理に用いる担体(下)

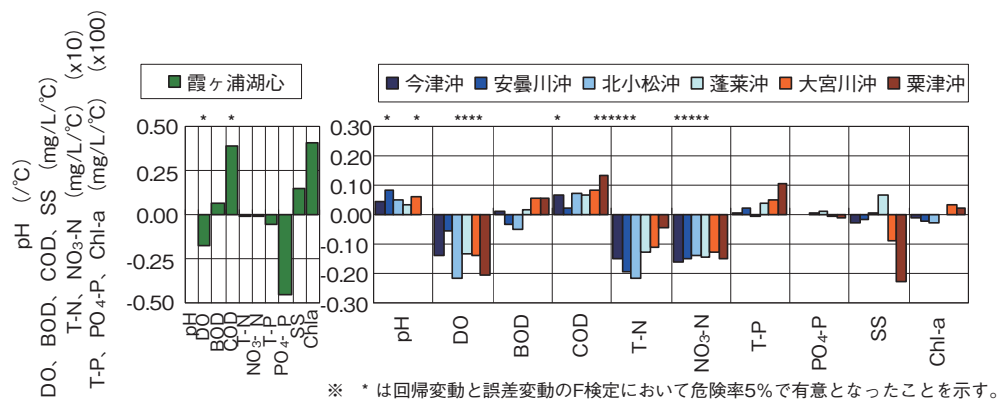


図 - 2.1.4.12 霞ヶ浦湖心と琵琶湖表層 6 地点の主な水質項目の水温 1℃あたりの変化値  
(約 30 年間のデータを解析)

処理として、主に再生水中の溶解性 Mn を酸化して除去する固定化担体を用いた処理法の開発を行い、実施への適用を検討している。これは、微量金属濃度を低下させることによって藻類増殖能を低下させることを目指した手法である。この技術の開発により、修景利用施設の維持管理費用が低減され、下水処理水の修景利用が進むことで、うるおいのある街づくりへの貢献が期待される。

#### (7) 地球環境の変化が河川・湖沼の水質に与える影響

近年、大気中の温室効果ガス濃度の上昇によって、気温の上昇に起因する気候変動が問題化している。気温の上昇は、物理・生態環境の変化を通じて河川や湖沼の水質に悪影響を及ぼすことが懸念されている。水質チームでは、地球環境の変化が河川や湖沼の水質にどのような影響を与えるのかを実験および水質データベースを基に調査している。さらに、温室効果ガスの一つである亜酸化窒素の河川や湖での発生状況は明らかになっていないことから、河川や湖水中の亜酸化窒素濃度の調査も進めている。

#### (8) 河川の水質管理への貢献

水質チームは、国土交通省水質連絡会における主要メンバーとして、「河川水質試験方法」や「水質事故対策技術」などの編集・改訂において重要な役割を担ってきた。

近年、河川水質・河川環境に対する住民や利水者の多様化するニーズとともに、国土交通省における水質調査・試験も職員自ら実施する体制から委託へと大きく変化してきた。「河川水質試験方法(案)1997年版」が、試験方法の標準化、ノウハウ集という実際に試験を実施する人を対象としてきたのに対し、2008年版は、水質調査・管理を担当する職員を対象に、従来の試験方法の部分を削除し、水質調査・管理を行う上で必要な水質に関する情報の提供を目的として改訂された。

平成9年の河川法改正により、河川管理者が水質事故原因者に対して処理または費用の負担を求めることが可能となったことなどから、3カ年をかけて水質事故技術の最新の知見や調査・研究の成果を収集・とりまとめ、改訂版「水質事故対策技術(2001年版)」が発行された。また、平成18年から3カ年をかけて、最新の水質技術の知見などの収集に取り組み、成果を取りまとめ、さらにはインターネットの技術をも取り込んだ、「水質事故対策技術(2009年版)」に改訂された。

### 2.1.4.3 自然共生研究センター

#### (1) 概要

自然共生研究センターでは、世界最大規模の実験河川等を活用しながら河川・湖沼における自然環境の保全と復元に関する研究を実施している。実験河川は3本あり、長さは約800m、幅は約3mである（写真-2.1.4.8）。実験河川が有する幾つの特徴を以下に示す。



写真- 2.1.4.8 実験河川および実験池

- ①実験河川は木曾川と繋がっており、自然水域に生息する魚類等が実験河川に移入・生息する。
- ②実験河川の地形・植物の繁茂状態は実験目的に応じて変更することができる。実験河川の流量は上流端に設置してある転倒ゲートを用いて、実験目的に応じて設定することができる（写真- 2.1.4.9、2.1.4.10）
- ③実験河川の最上流に土砂貯留区間があり、ここに土砂を置くことにより下流に土砂供給が可能である。
- ④フィールドには実験に関する展示物が多く存在し、実験河川で実施した数多くの実験結果を知ることができる。



写真- 2.1.4.9 植物繁茂を制御した実験

自然共生研究センターではセンター設置後のH11～12年度において、①、②の特徴の確認や充実を図ることを目的として実験河川ポテン



写真- 2.1.4.10 人工洪水実施時の状況

シャル調査を実施し、本格運用に入れるように準備を行った。また、平成13年度からは土木研究所の独法化に伴い第1期中期計画の中で比較的基礎的な実験を行った。さらに、平成18年度からはじまった第2期中期計画では、前五箇年で基礎研究が終了した課題については適用への適用を意識した研究へとシフトした。この流れは平成23年度から始まった第3期中期計画でも変わっていない。

今まで実施してきた代表的な研究成果を上述した4つの特徴との関連から整理してみよう。

#### (2) 生物生息空間の保全・復元技術に関する研究

実験河川は実験河川の形状、植物の繁茂状態を変化させることができる。この特徴を活かすと魚類等をはじめとした水生生物の生息空間の良し悪しを定量的に評価することが可能となる。河川を横断方向に見ると、生息空間は大きく水域、水際域、氾濫原域のいずれかに分布するものとして整理できる。当初の実験では、各域において基礎的な現象解明を中心とした実験を行った。水域においては瀬・淵の生息空間としての役割を魚類の生息密度との関連から明らかにした。また、瀬における流量の変化とそれに伴う水深・流速の変化が魚類の生息密度に及ぼす影響等を実験として行った。水際部においては、水際部に繁茂する植物の生息空間としての役割を操作実験によって明らかにし、水中に没している部分と陸上部から繁茂する部分の生態的な役割が異なること、そして、この役割が流速・照度といった2つの物理環境要因を介して発揮されることを明らかにした（図-2.1.4.13）。また、このような植物の役割を人工構造物で代替することの可能性についても検討を行い、実際に植物の繁茂が困



難な水際部での環境修復方法に関する検討も行った。氾濫原については、氾濫原環境の代表的水域であるワンド・たまりについて、本川とワンド・たまりにおける魚類相の季節的変化の差異を明らかにし、ワンド・たまりの生態的役割を明確にする等の検討を行った。平成18年度からは、平成2年度に始まった「多自然型川づくり」が抱える課題の解決を図るため、「多自然川づくりの基本指針」が通知されたことに鑑み、自然共生研究センターでも「多自然川づくりにおける河岸処理技術に関する研究」を重点プロジェクト研究として実施し、河岸・水際部の計画・設計のアプローチ、護岸が露出する場合必要となる護岸の環境機能について検討を行った。本成果は土木研究所資料「多自然川づくりにおける河岸・水際部の捉え方」としてまとめられた他、平成22年に改訂された「中小河川に関する河道計画の技術基準」に反映された(図-2.1.4.14)。

また、平成22年10月に発刊となった「多自然川づくりポイントブックⅢ」には、自然共生研究センターで実施した研究の数々が紹介され、中小河川における河岸・水際部の計画・設計技術の向上に対して多大な貢献を行った(図-2.1.4.15)。また、現場に研究成果を適用した幾つかの事例も多く存在する。例えば、岩手県を流下する北上川支川砂鉄川では、直線化した河道における環境劣化を低減するため、自然研究センターで得られた知見を導入して、水際部の環境修復を行った。具体的には、魚類の生息には水際部に形成される流速  $10\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$  以下の低流速域が重要との調査結果に基づき、水際部に木杭群を配置し流速の低減を図ることを計画した(図-2.1.4.16)。木杭群の設計に当たっては、二次元平面流計算を行い、木杭の径・密度を計算し、これを元に具体的な配置を検討している。事後調査の結果から、本工法導入後の魚類群集は自然区(河畔林が繁茂する良好な河岸)とほぼ変化がなく、本工法が自然河岸と同程度の生息空間を提供することが明らかになっている。

このように、河岸・水際部については基礎研究から実践的な研究が進み、成果も広く活用されることになったが、今後解決すべき課題も幾つか残っている。その一つが環境配慮型の護岸工法の評価技術である。「中小河川に関する河道計画の技術基準」において護岸に求められる環境上の機能については項目として整理されたが、これらの項目を定量的に評価する技術は提示されていない。このため、メーカー等が開発した護岸ブロックの性能をすることを目的として、護岸の環境機能の定量的評価技術を開発することが必要になるだろう。

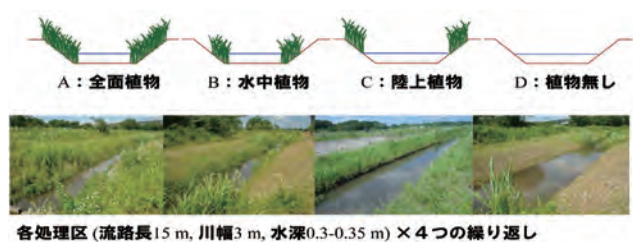


図-2.1.4.13 植物の刈り取り状況を変化させた実験

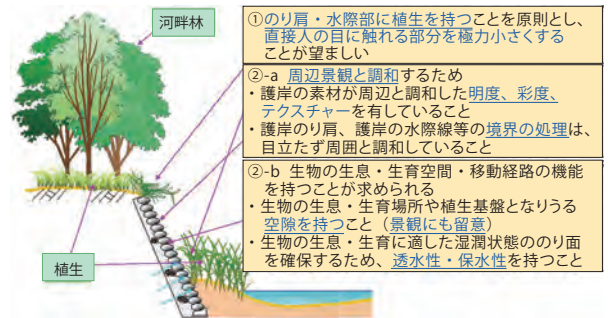


図-2.1.4.14 「中小河川に関する河道計画の技術基準」における護岸露出時に求められる機能



図-2.1.4.15 技術基準の解説本となるポイントブックⅢ



図-2.1.4.16 砂鉄川における水際部修復工法の導入

(3) 生物の生息に適した流量設定技術に関する研究

流量の変化は付着藻類、底生動物、魚類等様々な分類群へ影響を及ぼす。自然共生研究センターでは流量およびその変動が有する生態的機能の解明を目的として開所以来様々な研究を行ってきた。この中で付着藻類については、ダム下流等流量が平滑化した河川において「現存量が増大する」、「種組成が変化し糸状の藻類が優占する」等の現象が発生し、生態系への影響のみならず河川景観や河川の親水利用に対して悪い影響を及ぼすことが知られていた。このため、日本における幾つかのハイダムでは下流への放流量を人工的に増大させ、河床をフラッシュする「フラッシュ放流」を実施し、環境改善を図る試みを行ってきた。

しかし、人工的に流量制御が可能であっても、流量やその継続時間を数段階に分けて実験を実施することは不可能であり、明確な結果を得ることが難しかった。「変動を加味した河川の正常流量設定に関する基礎研究」(平成13～18)では、流量制御可能な施設特性を活かして流量を人工的に増加させるだけでなく、増加した継続時間を段階的に変化させる等の制御を行い、流量の変化が付着藻類に及ぼす影響を評価した。流量および継続時間の増加により付着藻類の現存量は異なり、流量が大きいほど、継続時間が長いほど剥離量が大きいことが示されている(図-2.1.4.17)。しかし、一旦剥離した付着藻類は2～3週間で回復することから、フラッシュ放流を主体とした対応には持続性といった観点からその効果に限界がある。一方、付着藻類の現存量はアユ等付着藻類を摂食する生物の存在によっても減少し、この効果はフラッシュ放流と比較して長期間持続する可能性が高い。これを受け、「河床の生態的健全性を維持するための流量設定手法に関する研究」(H18～22)では、アユやオイカワ等の摂食生物の影響を評価し、この影響を加味した河床の維持に関する研究を行ってきた(写真-2.1.4.11)。現在、これらの研究は(4)で説明する土砂動態を加味した河床の健全性の維持・向上に関する研究へと進化しつつある。

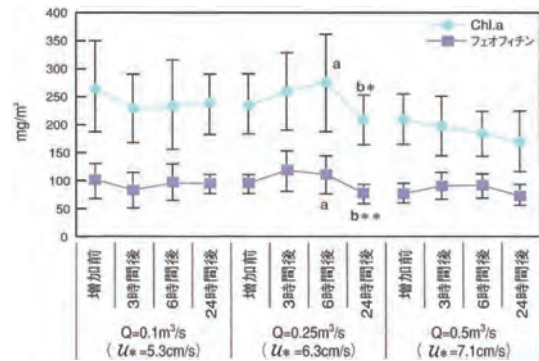


図-2.1.4.17 流量を増加させた場合の付着藻類の剥離状況

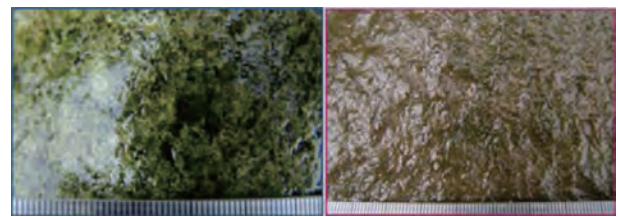


写真-2.1.4.11 アユが摂食した石(左)と摂食の無い石(右)の表面の差異

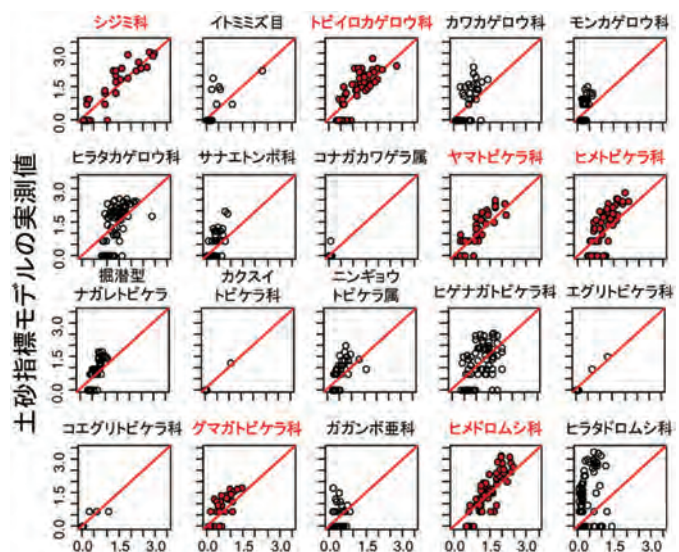


図-2.1.4.18 一般化混合線形モデルを用いた指標種の抽出



写真-2.1.4.12 土砂還元の指標種となるヤマトビケラ

#### (4) 適切な土砂供給技術に関する研究

土砂は流量変動と同様に河川生態系に対する攪乱要因となり、付着藻類、底生動物、魚類等の生物に影響を及ぼす。近年日本における幾つかのダムにおいて、貯水池に堆積した土砂をダム下流に運搬し、これを洪水時に下流へ流下させる還元事業を実施していることに鑑み、自然共生研究センターでは、土砂還元によるダム下流域の生態系修復に関する研究（H18～H22）を実施し、その効果の評価を試みた。本研究では、砂を主体とした土砂を供給した場合に生じる河川生態系への影響を評価することを目的とし、ダム下流域での調査および実験河川における土砂供給実験を実施し、ダム下流域における底生動物の群集の変化とその要因の解明そして供給砂に応答する指標種を抽出した（図-2.1.4.18、写真-2.1.4.12）。また、これらの結果に基づき土砂還元の効果を底生動物の生息状況の変化から明らかにする技術を開発した。その後、ダムに流入する土砂を下流へとバイパスさせ、水系における総合土砂管理計画およびその実施に対する必要性が高まるにつれて、自然共生研究センターにおける研究も土砂還元を意識したものから、より幅の広い粒径を含む土砂供給を対象として、その生物学的な応答を評価する方向に変化してきている。

#### (5) 効果的な情報発信技術に関する研究

自然共生研究センターは年間1～2千人程度の来訪者があるため、センターで実施している研究成果だけでなく河川環境に関連する様々な情報をわかりやすく発信する必要がある。このため、センターでは、開所当時からセンター内の展示物のデザインに配慮し、初心者から専門家まで幅広い対象者が満足できるような工夫を行ってきた。また、この活動は研究の一環としても行われ、製作したサインの評価を次回の制作にフィードバックし、より分かり易い展示物の製作を心がけてきた。さらに、これら一連の研究を通じて、河川環境情報を伝達する上で理解を妨げる要因についての分析も行ってきた（図-2.1.4.19）。近年も、iPodを用いて動画情報として河川環境情報を伝達する仕組みの構築等も行い、より効果的な情報発信手法の確立に向けた様々な取り組みを実施してきている（写真-2.1.4.13）。

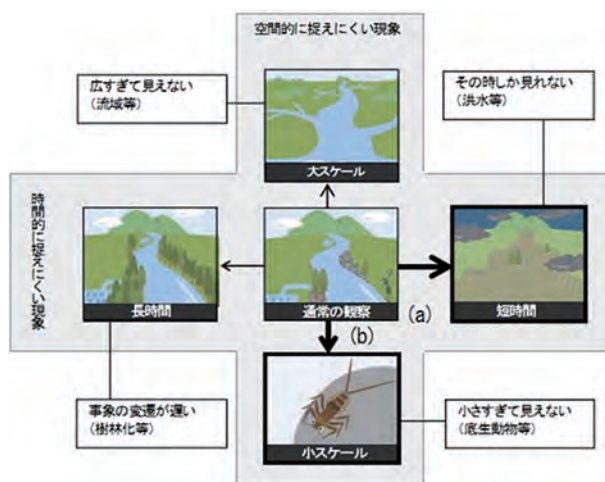


図-2.1.4.19 河川環境の理解を妨げる幾つかの要因分析結果



写真-2.1.4.13 iPodを用いた情報発信

### 2.1.5 水工研究グループ

水工研究グループの母体は、旧建設省土木研究所のダム部にある。「ダム」部であり、ダムに関する調査・研究を中心とした活動が今に引き継がれている。引き継がれているが、平成以降、いくつかの組織変更を経て現在に至っている。当然のことながら調査・研究内容も組織変更の影響を受ける。本年は土木研究所の90周年であるが、ダム部の55周年にもあたる。平成に入ってからの変遷を少し概観したい。

平成に入った旧建設省土木研究所ダム部には4研究室が存在した。ダムの構造や基礎を担当するダム構造研究室、フィルダム研究室、放流設備等の水理構造物の水理を担当するダム水工研究室、ダムによる利水・低水管理や洪水管理、貯水池管理を担当する水資源開発研究室である。当時は建設省所管のダム建設が盛んに行われ、かつ今後とも多くのダム建設が必要と認識されていた時代であった。

平成5年、ダム水工研究室と水資源開発研究室が合併して水工水資源研究室となり、ダム部は3研究室の体制となった。水工水資源研究室の所掌はダム水工、水資源開発を加えたもので、ダム部全体の所掌範囲に変化はなかったが、人員等徐々に減少するようになった。水工研究グループは、平成13年の土木研究所の改編により組織され、現在に至っている。

平成13年、旧国土交通省土木研究所は国土政策技術総合研究所と独立行政法人土木研究所に分かれ、ダムの基準類や利水・低水管理、洪水管理に関する部門は国総研で担当することとなった。水工研究グループは、ダム構造物チームとダム水理チームで構成され、それぞれダム構造・基礎に関する調査・研究、水理構造物及び貯水池内の水理、水質に関する調査・研究を行うこととされた。

その後、平成17年には、河川の模型実験に関わる水理の一部をダム水理チームにて担当することとなり、名称も河川・ダム水理チームと変更された。さらに、平成23年には両チームの名称がそれぞれ水工構造物チーム、水理チームに変更になり現在に至っている。

図-2.1.5.1は国土交通省直轄および水機構ダムの設置数の経年変化を示したものである。平成元年（1988年）には盛んにダム建設がなされていたと述べたが、その後も現在に至るまで毎年平均して数ダムの完成をみてきており、現在120近いダムが設置されている。国土交通省所管ダムには、これに県の補助ダムが加わる。補助ダムを加えると、現在530程度のダムが完成し供用されている。ダム部はそのほとんどのダムの建設に関わってきた。つまり、多くの調査・研究をダム建設のために費やしてきた。

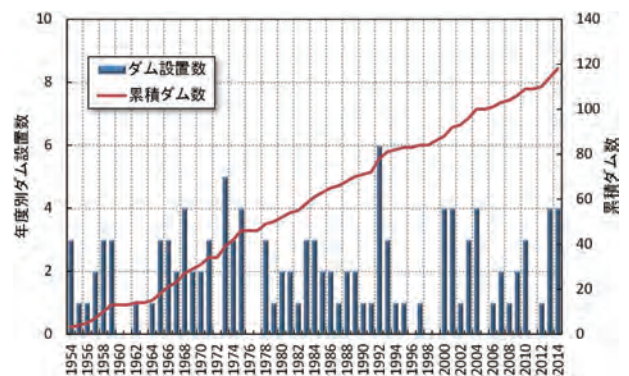


図-2.1.5.1 直轄および水機構ダムの設置数の変遷

現在、事業実施中の国土交通省所管のダムは、検証中のものを含め100強ある。新たなダム事業はないとしても十分大きな数である。今後ともダム建設事業の技術支援を果たしていく必要がある。一方では、約5倍を超える管理ダムがある。水工研究グループの軸足も既設ダムの安全管理や堆砂を含む貯水池管理など管理の技術的な問題に移行しつつある。また、嵩上げや放流設備の増設など、既設ダムをより有効に活用する技術も重要なテーマである。ダム部55周年である。蓄積された技術をさらに高め、より良い国土づくりに貢献できたらと願っている。

### 2.1.5.1 水工構造物チーム

#### (1) 概要

ダムは、河川流域の治水・利水上、極めて社会的重要度の高い公共土木施設である。水工構造物チームでは、主として構造物からダムの設計・施工・維持管理に必要な各種技術の調査研究や開発を行っている。その成果は、安全で経済的なダム建設に生かされている。なお、近年の社会・経済情勢を反映し、新規ダムの建設に際しては安全性はもとより、従来以上に厳しい経済性や環境配慮が求められるようになってきており、このような要請に対応するための新形式ダムの開発や既設ダムを有効活用するための技術の研究・開発に積極的に取り組んでいる。また、社会的関心が高まっている土木構造物の大規模地震に対する安全性や効率的な維持管理による長寿命化に関する技術の研究・開発にも重点的に取り組んでいる。以下、これまでに当チームが取り組んできている主要な研究課題について紹介する。

#### (2) 安全・経済的で環境にも配慮したダム建設技術の研究・開発

ダム建設に必要となる堤体や基礎地盤の設計・施工技術とその体系は、土木研究所創設当初から長年にわたり積み重ねてきたダム建設技術の根幹をなすものである。これら技術の研究・開発は、安全の確保を前提とし、経済性の追求を指向するとともに、環境への負荷抑制にも配慮しつつ進めている。特にダム事業に対する経済面、環境面での要請は厳しさが増す中、流域の治水・利水需要とこれら要請への対応を両立するための新たな技術開発にも取り組んでいる。その一つが材料・設計・施工の一層の合理化を指向する新形式ダムである台形 CSG (Cemented Sand and Gravel) ダムに関する技術の開発である。その端緒は 1990 年代前半、旧フィルダム研究室において現地で得られる低品質材料を堤体材料として有効利用する観点から塑性材料としての設計論について研究を開始したことに始まる。その後、長島ダム（中部地方整備局）上流仮締切で CSG が初めて採用され、仮締切を中心とした CSG 構造物の施工実績の蓄積が進んだ。これを踏まえ、旧ダム構造研究室と旧フィルダム研究室のメンバーが主体の CSG ダム研究会により、「CSG を用いたダムの解析と設計方法の提案」（平成 12 年）が発表され、材料のばらつきを許容しつつ弾性設計を基本とする現在の台形 CSG ダム設計体系の基本的枠組みが示された。この枠組みを踏まえて初めてダム本体が設計された億首ダム（沖縄総合事務局）が台形 CSG ダムとして現行構造基準（河川管理施設等構造令）の特例として初の認定（大臣特認）を受けた。以降計 6 ダムが認定され、うち同ダムと当別ダム（北海道）（写真-2.1.5.1 参照）が既に建設されている。



写真-2.1.5.1 当別ダム

また、ダム基礎地盤の止水処理として重要なグラウチングについては、過去の一律な止水処理から、各ダムに必要な止水処理を実施するという性能設計的な考え方に立脚するとともに、ダムサイト周辺の環境負荷の低減あるいはグラウチングの合理化・コスト縮減を目的として、「ダム基礎グラウチングの合理的設計施工法に関する研究（平成 13～17 年度）」を実施した。本研究により、最終次数孔によるグラウチングの合理的な効果判定法などの研究成果が得られ、それらの成果は平成 15 年 7 月の「グラウチング技術指針」改訂に反映された。また、近年、洪水時のみ貯水を行う流水型ダムの計

画が増加していることから、「流水型ダムのカーテングラウチングの合理化に関する研究（平成22～25年度）」を実施している。

さらに、建設工事における生産性向上や品質確保等の観点から期待される情報化施工（ICT）をダム分野においても促進するため、ダム事業者と連携して「ICT施工を導入したロックフィルダムの施工管理方法の合理化に関する研究（平成23～25年度）」に取り組むなど、近年のダム建設技術を巡る動向をふまえた研究も実施している。

現在、新規ダム建設は減少傾向にあるが、必要とされる事業の着実かつ一層効率的な実施のために求められる多様な技術的課題の解決や新技術の開発に今後とも積極的に取り組んでいく予定である。

### (3) 既設ダムの有効利用に関する技術の研究・開発

ダム建設適地の減少のみならず、自然環境への負荷軽減や公共投資の抑制などから近年新規ダムの建設が難しくなる一方、気候変動との関連が示唆される計画規模を上回る出水の増加など新たな対策を求められる事例も生じている。このような中、既設ダムを有効利用しつつ、貯水池運用の見直しと併せ、堤体嵩上げや放流設備の増設などの施設改造による洪水調節能力の増強などにより、大幅にダム機能を増強させることができるダム再開発に期待が寄せられている。

土工構造物チームでは、このような堤体嵩上げや放流管の増設を伴う再開発ダムの構造設計法の確立を目指した研究に積極的に取り組んできた。「コンクリートダムの再開発技術に関する調査（平成13年度～16年度）」では、堤体嵩上げによる荷重増分を考慮しての嵩上げ断面の合理的設計方法や堤体削孔に伴う応力状態の変化等を考慮した放流管増設時の設計方法などを提案した（図-2.1.5.2参照）。これらは既に実際の再開発ダムの設計に適用されてきており、さらに大規模な嵩上げ、堤体削孔が必要になる場合に、重要で効果が発揮される技術開発と考えている。

また、「フィルダムの嵩上げ技術に関する調査（平成13年度～17年度）」では、安全で経済的な嵩上げ型式の選定・設計方法や嵩上げダムの安定性を評価するための挙動監視方法の提案を行ってきた（図-2.1.5.3参照）。

さらに、上述の研究を通して培った数値解析技術は、「再開発重力式コンクリートダムの耐震性能照査に関する研究（平成23年度～H27年度予定）」として実施中の大規模地震時の動的挙動までも考慮した再開発ダムの耐震性能照査法の研究にも繋がっている。

既設ダムの改造技術は将来ますますその需要が高まると考えられ、引続き実施工事例を踏まえた一層の設計合理化へのフィードバックやより大規模で多様な改造ニーズへの対応に取り組む必要があると考えている。

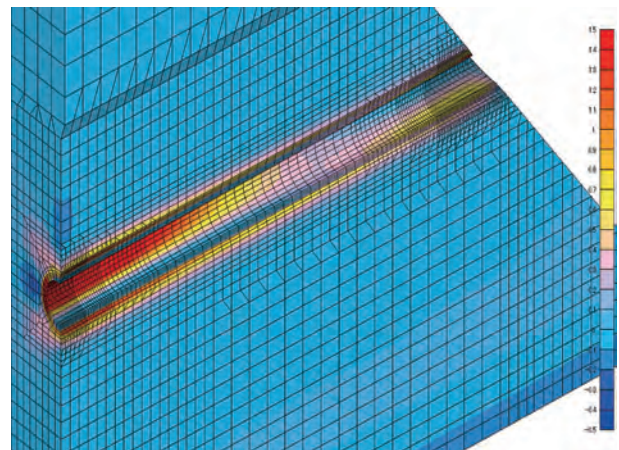


図-2.1.5.2 放流管増設ブロックの応力解析例

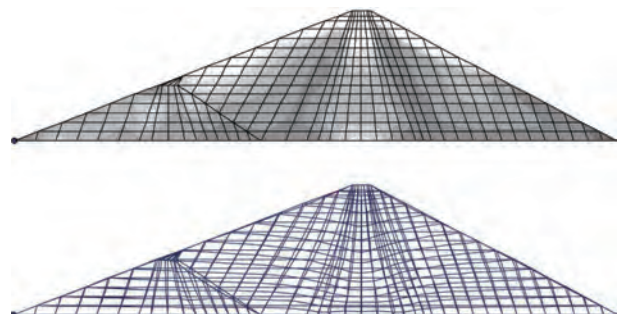


図-2.1.5.3 既設ロックフィルダム嵩上げ時のせん断安全率（上）と変形（下）の解析例

#### (4) ダムの耐震性能評価技術に関する技術の研究・開発

わが国とその周辺では、兵庫県南部地震（平成7年）、新潟県中越地震（同16年）、東北地方太平洋沖地震（同23年）など、近年大規模地震の発生が相次いでいる。このような中、将来発生が懸念される大規模地震に備えるため、兵庫県南部地震を契機に各種耐震基準の見直しが進められてきた。この動向も踏まえ、社会的影響が極めて大きな大規模構造物であるダムについて、大規模地震時の動的挙動や損傷形態までも考慮してその耐震性能を合理的に評価する技術の研究・開発を進めてきている。



写真-2.1.5.2 三次元大型振動台を用いた大型試験体によるクラック進展試験



写真-2.1.5.3 フィルダムの大型遠心力载荷試験

「クラック進展を考慮した重力式コンクリートダムの解析手法に関する調査（平成15～17年度）」や「ロックフィルダムの耐震設計の合理化に関する調査（平成12～14年度）」では、地震時挙動を再現する大規模な振動実験（写真-2.1.5.2、写真-2.1.5.3）や数値解析により、現行基準で設計された国内のダムではこれまで大きな被災例がないダムの損傷形態の解明などに取り組んできた。これらの研究成果は、既に「大規模地震に対するダムの耐震性能照査指針（案）」（平成17年、国土交通省）に反映されている。また、その後も「コンクリートダム地震時終局耐力評価に関する研究」（平成18～22年度）や「フィルダムの設計・耐震性能照査の合理化・高度化に関する研究（平成23～27年度）」など、耐震性能照査技術の一層の向上や合理化のための研究に積極的に取り組んでいる。

なお、平成23年東北地方太平洋沖地震（M9.0）では、国土交通省の所管するダムでは重大な被害を生じなかった。しかし、現行設計法が普及する以前の古い利水用アースダムが決壊した。この地震では、各地で極めて継続時間の長い地震動が観測されている。引き続き、このような長時間の繰り返し作用の影響の解明及び当該影響を考慮したフィルダムの耐震性能照査法の高度化など、ダムの耐震性を一層合理的に評価する技術の確立に向けて取り組んでいく予定である。

#### (5) ダムの維持管理・長寿命化技術の研究・開発

ダムは各種土木構造物の中でも極めて長期にわたりその機能を発揮し続けることが期待される構造物である。高度経済成長期に建設された各種社会資本施設の劣化が社会的問題となりつつある中、特にマスコンクリートや土石材料が主体の大規模構造物であるダムの堤体は、安全性の面からは比較的長期的劣化の影響を受けにくい構造物と考えられてきた。このため、ダム堤体に関しては、安全管理のための巡視・計測は行われていても、ゲートなどの機械設備や貯水池堆砂対策のように、経年的な劣化や機能低下を想定した長寿命化の観点からの健全性の診断・評価や対策に関する技術の蓄積は必ずしも十分でない。このため、長期間にわたりダム堤体の安全性や機能を確実に維持していくために

必要なダム安全性・健全性の診断・評価や必要に応じた補修等の対策を合理的に行うための維持管理・長寿命化技術の研究・開発に取り組んでいる。

「ダム挙動の安定性評価手法の検討（平成11～15年度）」や「ダムの健全性評価に関する研究（平成16～19年度）」では、供用開始後長期間経過し、挙動が安定したコンクリートダムにおける長期



写真-2.1.5.4 赤外線カメラを用いたアーチダムの劣化調査



写真-2.1.5.5 石淵ダムに設置したGPSセンサー

的な堤体表面の劣化診断技術（写真-2.1.5.4参照）、わが国では施工事例が少ないCFRD（コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダム）の遮水壁など長期的な安全管理の実績が十分でないコンクリート構造物の漏水検知技術、GPSを利用して地震時などの沈下量が即座に把握できるフィルダム堤体の変位計測技術（写真-2.1.5.5参照）などに関する研究・開発を行った。なお、平成23年の東北地方太平洋沖地震では、平成20年の地震を契機にGPS変位計測システムを導入していた石淵ダムにおいて、ダム堤体の変状をリアルタイムに計測することができた。

また、「千年ダム構想実現のためのダム本体の管理・点検に関する研究（平成19～20年度）」やこれに続いて現在実施中の「ダムの長寿命化のためのダム本体維持管理技術に関する研究（平成21～25年度予定）」において、供用開始後長期間経過したダムにおける劣化・損傷機構の分析や、それらが長期的にダムの安定性に及ぼす影響の評価手法、また挙動の安定した長期供用ダムでも継続的に維持すべき安全管理のための計測施設（箇所）の判断方法など、ダム堤体の長寿命化を実現するための合理的な診断・評価技術について研究を進めているところである。

これらの成果は、予防保全を基本とした補修などの対策の優先度評価の考え方や、当該評価に必要な長期供用ダムでの合理的な安全管理の考え方として、今後とりまとめていく予定である。

変化する経済社会情勢や自然条件・外力に対応し、将来にわたって確実に流域の治水・利水需要に応えていく上で、既設ダムを含めたダムの果たす役割は極めて大きい。水工構造物チームでは、上記のような特に優先度が高い技術的課題を中心に、引き続き一層のダムの安全と建設・管理の効率化、合理化を目指し、多様な技術的課題の解決に向け取り組みを続けるとともに、各方面への情報発信やダム事業者等関係機関への技術協力を通じ、得られた知見の普及に努めていく所存である。



### 2.1.5.2 水理チーム

#### (1) 概要

水理チームは、河川、ダム及び貯水池に係る水理及び水工に関する調査、試験、研究並びに土木技術の開発及び指導に関する業務を所掌している。以下に当チームが取り組んできている研究課題を紹介する。

#### (2) ダムの放流設備の設計手法に関する研究

土木研究所の前身である内務省土木試験所が昭和15年に日本で最初のダム水理模型実験（水豊ダム：旧満州）を実施して以来、建設省、国土交通省の直轄ダムの洪水吐きを中心に、100を越えるダムの放流設備の水理模型実験を実施し、時代の要請にあった放流設備を開発し、その設計技術をリードしてきた。

近年は、財政事情の逼迫や水需要の伸びの鈍化、自然環境保全に対する関心の高まり等の社会的背景により、既設ダムの再開発や治水専用の流水型ダムに対応した放流設備の開発が求められるようになってきている。

ダムの再開発に伴う放流設備の増設に関しては、「ダム機能強化のための放流設備設計手法に関する調査（平成12～15年度）」により、高速流が流下する湾曲エビ継ぎ管路の圧力特性を解明し、既設コンクリートダムに増設する洪水調節用放流管の設計手法としてとりまとめ、五十里ダムや鶴田ダムの増設放流管の設計に反映されている。

常時は貯留せず洪水時のみ貯留する治水専用の流水型ダムは、放流設備が河床部付近に設置されることから、土砂や生物の移動の連続性を確保する機能が期待されている。「治水専用ダムの洪水調節用放流設備の設計手法に関する調査（平成16～18年度）」においては、部分管路型の洪水調節放流設備を対象に、懸念されていた流木による放流設備の閉塞について水理模型実験により検討した。その結果、放流設備呑口上流に流木が集積した後に貯水位が低下し、再び水位上昇して管路流となった際に閉塞が生じやすいことを明らかにした。流木による閉塞対策として、流木を放流設備呑口のピアよりも下流に進入させないための固定式スクリーンを考案し、水理模型実験により効果を検証し、スクリーン形状及び強度についての設計手法を提案した。その成果は、国土交通省所管の流水型ダム第一号となった益田川ダム（写真-2.1.5.6）に採用され、研究成果を取りまとめた論文「流水型ダム流木対策スクリーンの水理設計」は、平成21年度ダム工学会論文賞を受賞している。



写真-2.1.5.6 益田川ダム(上流面)

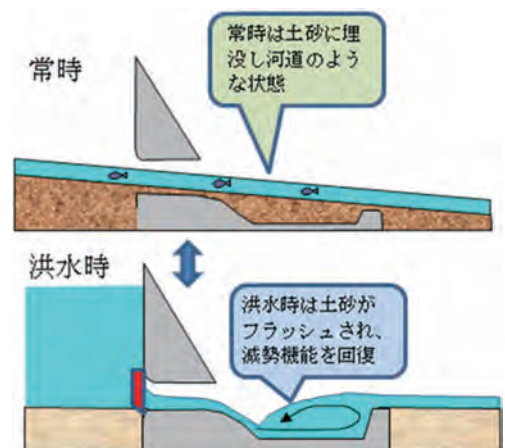


図-2.1.5.4 流水型ダムに求められる放流設備のイメージ



写真-2.1.5.7 志津見ダム（国土交通省 雲河川事務所提供）

現在は、「流水型ダムにおける河川の連続性確保に関する研究（平成23～27年度予定）」により、土砂や生物の連続性の確保をめざして、常時は減勢工を含めて土砂が敷き詰められた河道のような状態となるような従来にない形式のダムの放流設備の開発を行っている。（図-2.1.5.4 参照）

近年の個別ダムの水理設計の代表的な事例としては、志津見ダムの非常用洪水吐きがあげられる。天端橋梁の省略による施工性の向上とコスト縮減を図るため、道路として利用可能な自由越流頂形状を開発した。「自由越流堤 特許第3702345号」として特許を取得している。（写真-2.1.5.7 参照）

### (3) 貯水池及び貯水池下流河川の土砂管理に関する研究

昭和30年頃の旧土木研究所ダム部ダム水理研究室時代に貯水池の堆砂に関する研究に着手し、それ以降、堆砂量の予測手法や排砂設備の設計手法を開発してきた。その成果は、美和ダムの土砂バイパス施設や宇奈月ダムの排砂設備に反映されている。

貯水池堆砂量の予測は、ダム計画における貯水池容量配分にあたっての堆砂容量の設定のみならず、管理ダムの堆砂対策の要否や堆砂対策効果の検討にあたっても重要な課題となっている。「貯水池堆砂の予測手法に関する調査（平成11～14年度）」においては、管理ダムにおける年間堆砂量データの蓄積が進んできたことを受け、毎年の堆砂量を水文統計ユーティリティ（(財)国土技術センター）を用いて統計処理し、年堆砂量期待値を求める手法を提案した。この手法は「平成17年度版多目的ダムの建設（(財)ダム技術センター）」に掲載され、堆砂量の予測手法として広く採用されている。

また、貯水池の堆砂を再現する数値シミュレーションモデルとして、混合粒径を対象とし、貯水池に特有の浮遊砂の非平衡性や一旦堆積した土砂の巻き上げ等を考慮した1次元河床変動プログラムを開発した。このプログラムは、「1次元貯水池河床変動計算プログラム P第8500号-1」としてソフトウェア登録され、有償で貸し出しており、多くのダムの堆砂予測計算に活用されている。

近年は、堆砂によって貯水容量が減少するという観点のみならず、ダム下流河川の環境保全・回復の観点から、適切な量の土砂をダムから供給することが求められるようになってきている。「貯水池及び貯水池下流河川の流れと土砂移動モデルに関する研究（平成18～22年度）」においては、貯水池内で沈降及び侵食・再浮上する微細粒子土砂の侵食特性を水理実験によって把握し、侵食速度の推定式のパラメータを求めるための試験方法を提案した。また、ダム下流河川に堆砂を運搬して置土し、出水時に流出させて土砂供給を行う事例が増えてきているが、置土の流出状況を詳細に予測した上での置

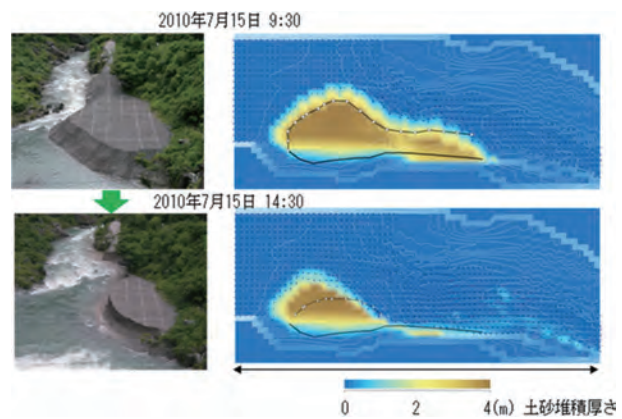


図-2.1.5.5 下久保ダム置土流出再現計算

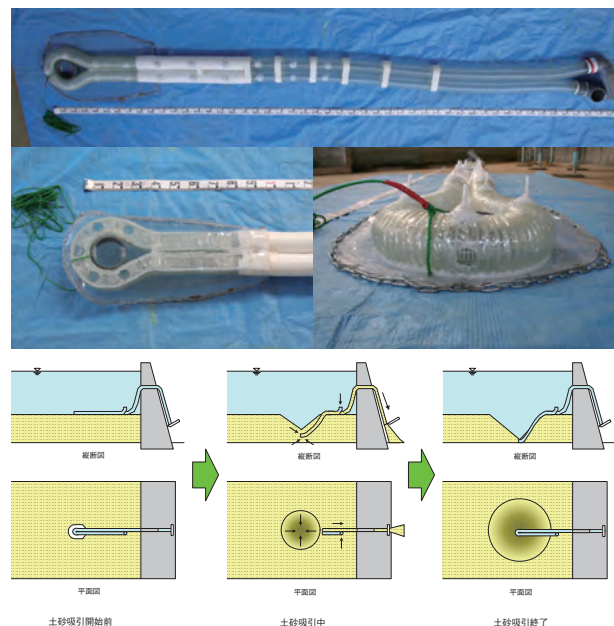


図-2.1.5.6 潜行吸引式排砂管

土計画の検討は十分になされていない。そこで、混合粒径、浮遊砂の非平衡性、微細粒土砂の侵食に加えて、砂主体の土砂の側岸侵食による斜面崩壊の現象を比較的簡易な手法で再現する側岸侵食のモデルを組み込んだ平面2次元河床変動モデルを開発した。実際の置土の流出現象の再現を可能としており、効果的な置土計画策定への活用が期待される。(図-2.1.5.5 参照)

既に実用化されている土砂バイパスや排砂設備は、コストの問題や貯水池運用の制約があり、適用できるダムが限られている。貯水位を低下させることなく運用可能で、より多くのダムで適用可能な、低コストの排砂技術が求められている。

「貯水池下流供給土砂の高精度制御に関する研究(平成18～22年度)」においては、ダムによるせき上げエネルギーを活用し、貯水位を低下させることなく、無動力で経済的に堆砂を吸引してダム下流に放流する技術の開発を目指して研究を行った。その結果、穴のあいたフレキシブル管を堆砂の表面に設置し、その後堆砂に潜りながら土砂を吸引する潜行吸引式排砂管(図-2.1.5.6 参照)を開発し、模型規模での吸引排砂能力を確認した。現在は「環境に配慮したダムからの土砂供給施設の開発及び運用に関する研究(平成23～27年度予定)」に着手しており、潜行吸引式排砂管の実用化に向けて、実証実験を含む研究開発を進めていく予定である。

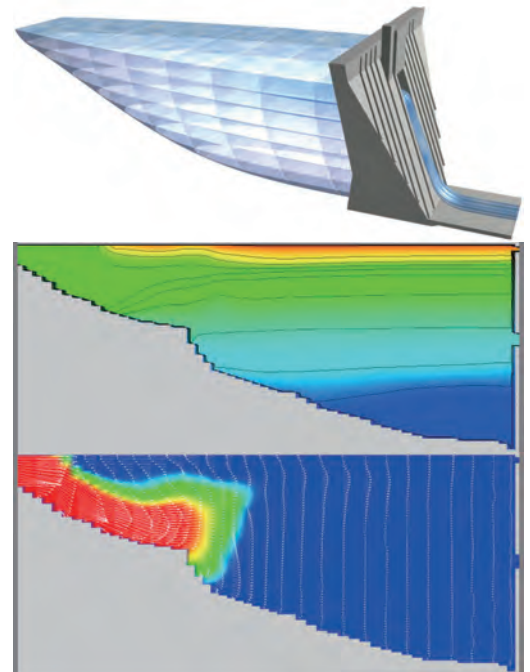


図-2.1.5.7 鉛直二次元貯水池流動モデルの計算例

#### (4) 貯水池水質に関する研究

ダムからの冷温水放流や濁水放流問題に対しては、従来から選択取水設備による表層取水を中心とした対策がとられてきたが、環境問題への関心の高まりに対応するため、水温については、ダム建設前の水温に見合った放流水温の制御が、濁水については、流入濁水の制御による清水の積極的な保存・利用が求められている。

「貯水池放流水の水温・濁度制御に関する調査(平成13～15年度)」では、濁質を含む貯水池の流動現象を再現するため、乱流モデル(標準型  $k-\epsilon$  モデル)を組み込んだ鉛直二次元モデル(図-2.1.5.7 参照)を開発し、流入濁水を制御する流動制御カーテン等の対策の効果のより詳細な検討が可能となった。

また、環境に配慮して、高分子系などの人工的な凝集材ではなく、火山灰土性土壤中に広く存在する粘土鉱物アロフェンを天然凝集材として活用し、貯水池に滞留する濁質を沈殿させる技術開発を行ってきている。現在は「天然凝集材による環境負荷低減型濁水処理システムに関する研究(平成22～24年度予定)」を実施しており、今後民間との共同研究によりシステムの実用化に向けての研究を進める予定である。



写真-2.1.5.8 「シート工法」による耐侵食性向上効果例

### (5) 堤防等の河川構造物の設計手法に関する研究

近年、集中豪雨の発生頻度の増大等による河川堤防の決壊に伴う被害の増大が懸念され、堤防の質的強化に向けた検討の必要性が高くなっている。「河川堤防の耐侵食機能向上技術の開発（平成18～22年度）」では、洪水流が河川堤防を越水した場合の堤防の耐侵食性を向上させる技術の開発を目的として、実物大の堤防模型を用いた水理実験により、主に「シート工法」（堤防裏のりをシートで覆って表面に覆土を施す対策）について検討した。「シート工法」により、越水時の耐侵食能力は対策なしに対して数倍程度向上することが確かめられた（写真-2.1.5.8参照）。また、堤防の裏のり表面部だけ締固度を高くするだけでも、耐侵食機能が大きく向上することもわかった。これらの研究成果を整理し、堤防を越水するような大洪水時の侵食に耐える河川堤防の構造の設計・施工に関する標準的な手法について取りまとめ、現状堤防の越水に耐える機能を向上させる対策の定性的な照査を可能とした。

平成23年3月11日の東日本大震災における津波災害を受け、今後の河川管理において、洪水や高潮だけでなく河川を遡上する津波についても計画的防御の対象とすることとなった。そこで「河川津波に対する河川堤防等の被災軽減に関する研究（平成24～27年度予定）」に着手し、津波を遡上する津波による河川堤防河川堤防近傍の被災機構の解明と被害軽減対策技術の検討を行うこととなった。

### (6) 今後の展望

財政事情の逼迫により、限られた予算で社会資本の整備及び維持管理を行う必要があり、あらゆる局面で効率化・コスト縮減が求められている。また、河川・ダム事業による環境への影響についての関心は高く、環境保全や回復に配慮した事業の展開が望まれている。さらに先般の東日本大震災を受け、安全・安心に対する意識は高まっており、このような社会情勢を的確に捉えつつ、引き続き調査・研究・技術指導に取り組んでいきたい。

## 2.1.6 土砂管理研究グループ

土砂管理研究グループは、火山・土石流チーム、地すべりチーム、雪崩・地すべり研究センターの3つのチーム・センターから構成される。このうち、火山・土石流チームと地すべりチームは、それぞれ旧建設省土木研究所砂防部砂防研究室と地すべり研究室を母体としている。雪崩・地すべり研究センターは、独立行政法人土木研究所発足に伴い旧土木研究所新潟試験所が承継され、その後平成17年4月に土砂管理研究グループ 雪崩・地すべり研究センターとして改組されたものである。

日本列島は、豪雨や地震、火山噴火が頻発する条件下にあり、これらを誘因とした土石流や地すべり、がけ崩れ、深層崩壊などによる土砂災害が起こりやすい環境にある。平成以降の主要な災害を見ても、平成3年雲仙普賢岳火山噴火災害、平成5年鹿児島豪雨災害、平成7年兵庫県南部地震、平成11年広島豪雨災害、平成12年有珠山噴火災害、平成16年の全国各地で相次いだ台風による豪雨災害ならびに中越地震、平成20年岩手・宮城内陸地震など、多数の犠牲者を出すとともに社会的にも大きな影響を及ぼした災害が立て続けに起こっている。最近でも霧島山新燃岳の噴火活動の活発化、東北地方太平洋沖地震に伴う多数の斜面崩壊や地すべりの発生、紀伊山地を襲った豪雨による深層崩壊の発生と大規模な天然ダムの形成のほか、豪雪に伴う雪崩災害や融雪地すべりなども頻発している状況にある。このような社会的背景から、さまざまな災害現象に対応するための事業の創設や法律の施行と改正、土砂災害警戒避難のための監視・観測や情報提供のため体制整備など、土砂災害による被害を防止・軽減するための各種の施策に取り組みされてきた。また実際の災害発生に際しては、天然ダム、火山噴火等の大規模土砂災害に対する緊急対応や、地震に伴い同時多発的に発生した土砂災害に対する緊急点検など、二次災害防止のための対応が行われてきた。旧土木研究所の時代を含めて、砂防関係の研究チーム等はこうした施策・対応に関わる技術開発のための研究を進めるとともに、施策の円滑な実施に必要となる各種の指針、ガイドライン等の策定ならびに災害時の現地における技術指導、支援を担ってきた。

気候変動の影響なども相まって、深層崩壊や天然ダム、火山噴火や大規模地震に伴う土砂災害、大規模地すべりの発生など、今後とも繰り返し激甚な災害が起こることが考えられ、災害の防止・軽減のための事前の対策とともに発生後の危機管理は、より高度なものが社会的にも求められている。土砂管理研究グループでは、こうした社会の要請に応えるべく、災害防止のための技術的基礎となる研究を進めるとともに、技術の普及・啓発等を通じて、災害防止に携わる関係者の技術力の向上に貢献していきたいと考える。

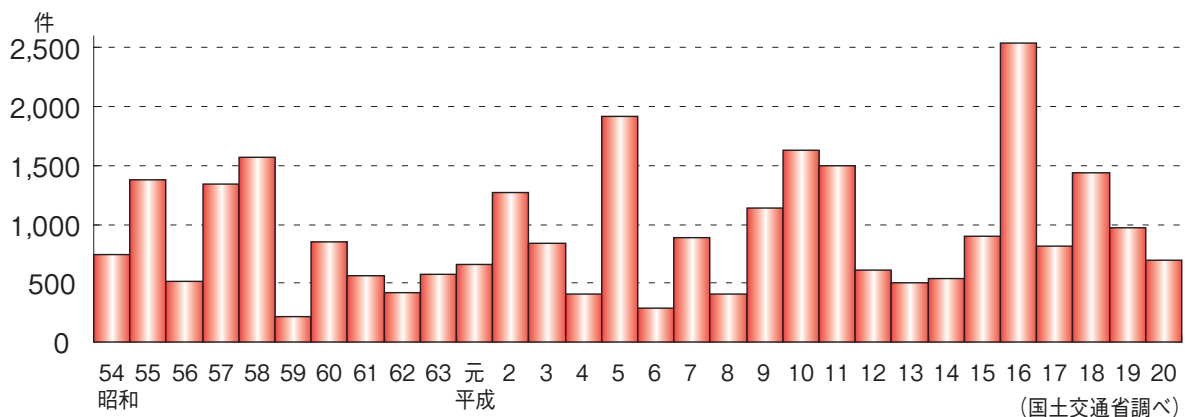


図- 2.6.1.1 過去30年の土砂災害の発生件数

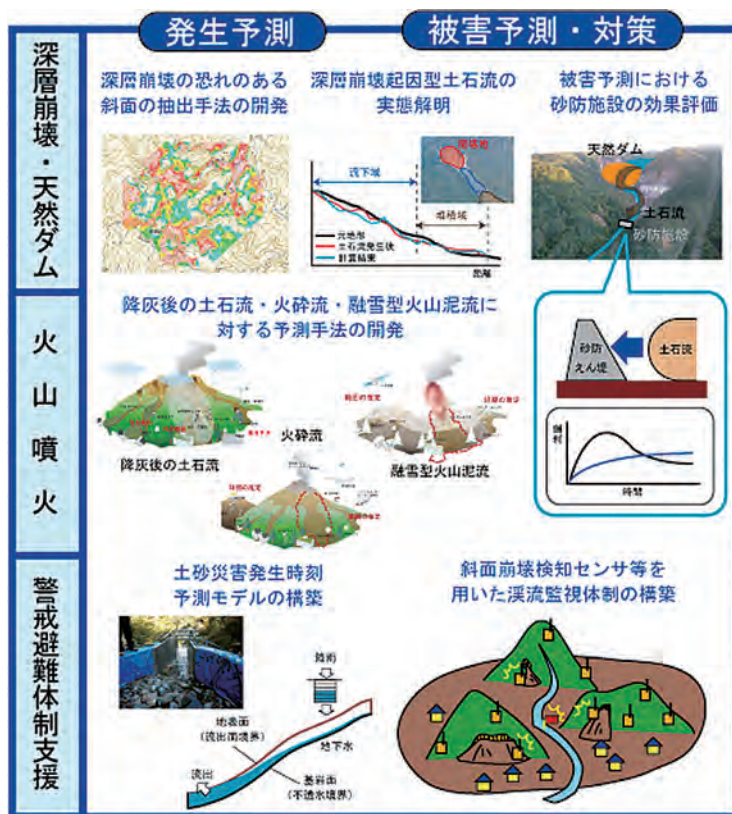
### 2.1.6.1 火山・土石流チーム

#### (1) 概要

我が国では、豪雨・地震に起因した天然ダムや火山噴火の影響を受けた土石流等によって、繰り返し甚大な被害が生じており、また火山活動、地震活動の活発化や、地球温暖化等の環境変動に伴う、土砂災害の激甚化も懸念されている。このような地域の社会経済活動に甚大な影響を与える土砂災害に対して、事前のハード対策やソフト対策、災害直後の緊急対応や対策などを的確に実施することは、被害を軽減する上できわめて重要である。火山・土石流チームでは、このような現象に対する効果的な対策が行えるよう、災害の発生箇所、規模、被害範囲の予測手法を開発するとともに、センサーを活用した発災時の緊急的な調査・監視手法の研究を行っている。また合わせて、その結果を砂防の現場や砂防関係者等に普及・指導を行うため活動に広く取り組んでいる。

研究内容は、天然ダム等異常土砂災害対策技術の開発、土石流被害範囲推定手法の開発、砂防施設設計手法の検討、火山噴火に伴う土砂災害対策手法の検討、土砂災害監視システム構築技術の開発などであり、具体的な研究課題として、つぎの4課題に取り組んでいる。

- (1) 大規模土石流・深層崩壊・天然ダム等異常土砂災害の被害推定・対策に関する研究（プロジェクト研究）
- (2) 火山噴火に起因した土砂災害に対する緊急減災対策に関する研究（プロジェクト研究）
- (3) リアルタイム計測情報を活用した土砂災害危険度情報の作成技術の開発（プロジェクト研究）
- (4) 土石流危険渓流が集中する山地流域における土石流による被害範囲の推定手法の開発（重点研究）



図－2.1.6.2 火山・土石流チーム研究概要

(2) 大規模土石流・深層崩壊・天然ダム等異常土砂災害の被害推定・対策に関する研究

2005年台風14号による災害や2008年岩手・宮城内陸地震による災害、2009年台湾小林村など、近年国内外で甚大な被害が生じている深層崩壊等の大規模土砂災害について、そのハード対策の実施や緊急時の危機管理体制を構築するためのガイドラインを作成することを目的に実施している。

深層崩壊に関する技術開発は、過去実施されてきた「深層崩壊に起因する天然ダム等異常土砂災害対策に関する研究（H20-H23）」等によって進められてきた。深層崩壊発生の危険度を第四紀隆起量や地質区分などから4区分に分類する評価手法を提案し、これをもとに国土交通省砂防部監修のもと深層崩壊推定頻度マップが公表された。また、溪流単位における深層崩壊発生の危険度評価を目的とした「深層崩壊の発生の恐れのある溪流抽出マニュアル（案）」を作成（図-2.1.6.3）し、深層崩壊発生の危険性が特に高い地域を中心に全国的に調査が進められている。

今後は、2011年の台風12号に伴う深層崩壊や天然ダムの決壊による土石流等の発生状況に関する調査（写真-2.1.6.1）を行うとともに、異常土砂災害に対する危機管理ガイドラインの作成に向け、深層崩壊危険箇所や発生規模の予測手法、深層崩壊による被害のおそれのある範囲の調査・設定手法を作成するとともに、構造物の効果評価・被害低減効果評価手法の開発を進めていく予定である。

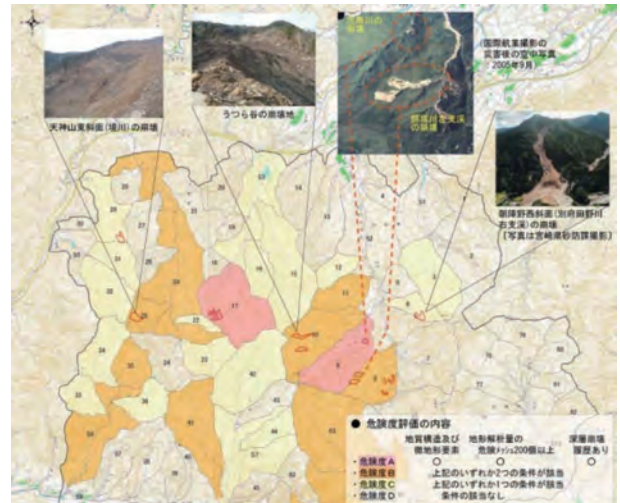


図-2.1.6.3 マニュアルの適用例



写真-2.1.6.1 台風12号で発生した深層崩壊

(3) 火山噴火に起因した土砂災害に対する緊急減災対策に関する研究

降灰後の降雨に伴う土石流、融雪火山泥流、そして、溶岩ドーム崩落型火砕流等火山噴火に起因した土砂災害に対する緊急的な減災のためのソフト、ハード対策に資する緊急調査マニュアルの作成を目的として実施している。この研究の背景として、活発な火山活動が継続している桜島、霧島の噴火災害への懸念とともに、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震のために、日本中の火山の活動が活発化しており、過去、日本で発生した歴史的な大噴火災害への懸念が強まっていることがある。火山噴火に起因する土砂災害を減災するための手法の開発が早期に求められている。

降灰後の土石流に関する技術開発は、過去

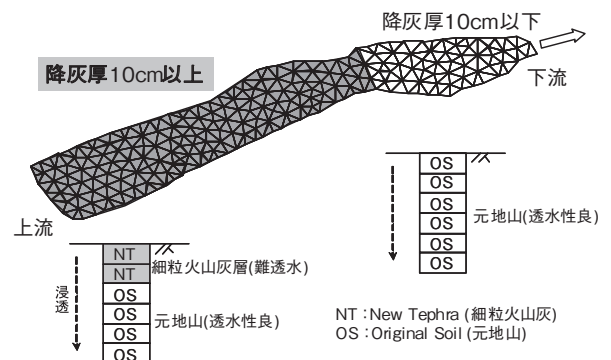


図-2.1.6.4 土石流ハイドログラフ推定手法

に実施されてきた「火山活動の推移に伴う泥流発生危険度評価と規模の予測手法に関する研究(H13-H17)」、「火山灰の浸透能低下と堆積厚が土砂流出に与える影響に関する研究(H18-H20)」によって開発されてきた土石流ハイドログラフ推定技術(図-2.1.6.4)、降灰堆積厚及び範囲の推定技術(写真-2.1.6.2)に立脚して進めている。また、融雪火山泥流、溶岩ドーム崩落型火砕流に関する技術開発は、建設省土木研究所時代に実施された研究課題を踏まえ、最新の知見を取り入れつつ進めている。今後は、溶岩流、山体崩壊等、その他の火山噴火に起因した土砂災害についても順次研究対象として、近づく大噴火災害に備えた緊急減災技術の開発を進めて行く予定である。



写真-2.1.6.2 自動降灰・降雨量計

#### (4) リアルタイム計測情報を活用した土砂災害危険度情報の作成技術の開発

豪雨による土砂災害に対する適切な警戒避難体制を構築するために必要な、危険度情報の提供技術を構築することを目的としている。この研究の背景として、平成20年3月より全国で都道府県の砂防部局と気象台が連携して発表されている「土砂災害警戒情報」が、必ずしも避難勧告に結びついていない事例が確認されていることなどが挙げられる。

避難勧告の発令においては、避難勧告の対象範囲の設定と避難勧告発令のタイミングの設定が課題と考えられているが、土砂災害警戒情報は①実績を基に発表基準が決定されているため実績の乏しい地域・現象に対して精度が低い可能性が高い②地形・地質等の違いによる影響が十分に加味されていない③降雨のみを指標としているため、切迫性が伝わりにくい④市町村単位の情報であるため、避難の対象地域が絞り込めない等の課題を有する。

この課題を解決するために、本研究では「土砂災害の発生を事前に予測する技術」と「実際の土砂災害の発生を検知する技術」の二本柱となっている。前者については、「高精度空間情報を用いた崩壊・土石流発生危険度評価手法に関する研究(H17-H19)」「土石流・斜面崩壊発生予測における斜面変動に関する研究(H18-H21)」「きめ細かな土砂災害危険度情報の作成技術の開発(H22)」において開発した表層崩壊の発生場を予測する技術を開発した(図-2.1.6.5)。後者については、「振動式土石流センサーのトリガー設定手法に関する研究(H15-H16)」「土砂災害の警戒避難支援のための斜面崩壊検知センサーの開発共同研究(H19-H20)」「振動検知式土石流センサーを活用した土石流監視手法に関する共同研究(H21-H22)」において、斜面崩壊検知センサー(写真-2.1.6.3)、振動センサーなどの

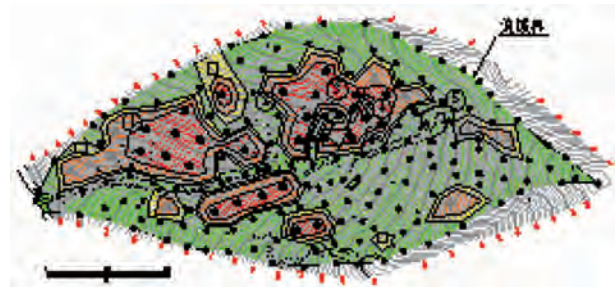


図-2.1.6.5 表層崩壊発生危険評価手法(H-SLIDER)の検討結果



写真-2.1.6.3 斜面崩壊検知センサー



機器を用いて、土砂災害の発生情報を合理的に取得する技術を開発した。今後はこれらの情報を組み合わせて、避難勧告の発令や具体的な避難行動につなげていくための危険度情報作成技術の開発を進めていく予定である。

#### (5) 土石流危険渓流が集中する山地流域における土砂流による被害範囲の推定手法の開発

平成 21 年 7 月に発生した山口県防府市の土砂災害（写真－2.1.6.4）のように、土石流危険渓流として指定された複数の流域から土砂濃度が比較的小さな土砂流が流下し、それらが合流した本川下流の比較的緩勾配地域における被害範囲を推定する手法の開発を目的として始まった。

研究の背景として、このような災害に対して国土交通省により開催された土砂災害対策懇親会（提言：平成 20 年 3 月）や「渓流における局地的豪雨に対する警戒避難対策 WG（提言：平成 21 年 3 月）の提言の中で、現象のメカニズムの解明や土砂流の警戒避難対策の重要性について言及されたことが挙げられる。本研究に先立ち平成 15 年から平成 17 年にかけて、複雑な地形を呈する河川における土石流の氾濫範囲を推定することを目的として、「階段地形上の土石流氾濫範囲の推定手法に関する研究」が実施され、土石流の氾濫堆積が懸念される谷出口や渓流沿いの階段状の土地における、土石流氾濫・堆積形態について実験的に検討が行われてきた。これまで継続的に実施されてきた知見を活用しつつ、局所的豪雨で発生する土砂流に対する避難が的確に行われるよう、研究を進めていく予定である。



写真－2.1.6.4 平成 21 年 7 月に山口県防府市で発生した土砂流。複数流域から流下した土砂流が合流して下流で氾濫している

## 2.1.6.2 地すべりチーム

### (1) 概要

我が国には、地すべり危険区域数は、21,381箇所（うち国土交通省所管 11,288箇所）（地すべり担当3省庁による調査結果（平成14年までの調査））に上り、平成19年から平成23年までの過去5年間の年平均発生件数は141件となっている。

地すべりチームでは、これまでの多くの現地指導の実績を踏まえ、計画・調査から維持管理の分野まで、地すべり現場で適用出来る技術の研究・開発を行っている。ここでは、平成24年7月現在、地すべりチームで実施している研究を中心に紹介する。



図-2.1.6.4 地すべりチームの研究概要

### (2) 「流動化する地すべりの発生箇所・到達範囲の予測に関する研究」

本研究は、①地球温暖化等により、近年より一層多発・多様化する土砂災害の防止のため、警戒避難を的確に実施する体制の整備が急務であること、②流動化する地すべりの発生や判別方法は不明な点が多く、流動化する地すべりの発生箇所と到達範囲予測手法は実用化されていないこと、③流動化する地すべりの発生箇所と地すべり土塊の到達範囲の予測手法の開発が必要とされていることから、その予測方法を提案することを目的に実施している。研究内容は、①融雪、豪雨、地震などの誘因別に、流動化した地すべりの発生箇所の地形、地すべり土塊の土質、地すべり土塊への水の供給状況などを調査し、流動化する地すべりの発生要因を明らかにすること、②流動化する地すべりのメカニズムを分析し、流動化する地すべりの発生箇所の予測手法及び地すべり土塊の到達範囲の予測手法の開発並びに警戒避難等の減災対策を検討することを考えている。

### (3) 初生地すべりの変動計測システムと危険度評価技術の開発

2004年の秋田県雄和町、2006年の奈良県大塔村（国道169号）等の初生地すべりによる災害では、道路の被災や河道の埋塞等、社会的に大きな影響を与えた。初生地すべりは、観測が余り行われておらず、その動態等不明な点が多いのが現状であるが、山地の多い我が国においては、今後もこのような初生地すべりによる被害が懸念される。このため、初生地すべりの抽出技術と地形活性度による危険度評価技術の開発、初生地すべりの変動計測システムの開発、初生地すべりの範囲・規模の予測手法を提案することを目的に研究を実施している。本研究は、過去に実施された「初生地すべりの計測評価に関する研究（2005年度～2007年度）」、「特殊環境下での使用に耐えうる地すべり観測装置の開発（2007年度～2009年度）」を経て、現在の研究に至っている。研究内容は、①LPデータと現地斜面状況の対比やDEMの処理方法の検討により、初生地すべりの危険性を有する斜面の抽出方法を開発すること、さらには地形の変形状況から地すべりの活性度合いを評価する地形活性度を用いた初生地すべり危険度の評価方法について検討すること、②初生地すべりの可能のある斜面の微小な変動の計測手法を開発するとともに、計測結果等から初生地すべりの範囲・規模を予測する手法について検討することを考えている。

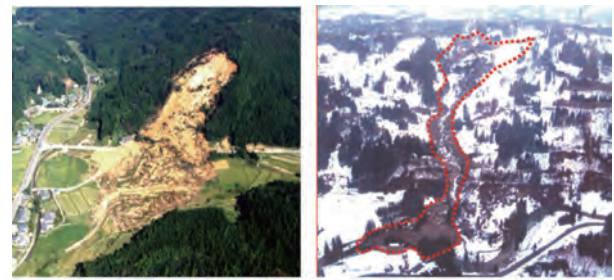
### (4) 「崩落に至る地すべり土塊の変形プロセスの解明及び崩落範囲推定手法の開発」

崩落に至る危険性のある地すべりの徴候が表れた際には、その崩落時期を予測すること、および崩落範囲を的確に把握することが、現場においては最も重要である。また、土砂災害防止法の改正によ

る緊急調査に際しては、地すべりにより危害が生ずる時期を的確に予測する技術が強く求められている。崩落時期の予測の精度を高めるためには、地すべり土塊の変形機構を加味した新たな崩落時期予測手法の構築が必要と考えている。本研究は、「すべり面推定手法の活用による地すべり発生後の移動形態推定手法に関する研究（2009年度～2010年度）」を経て、地すべり土塊の変形プロセスの解明、変形プロセスを把握するための計測システムの開発、地すべり移動土塊の崩落範囲を推定する手法の開発を目的に実施している。研究内容は、①計測対象とする地すべり土塊中の破碎状況等を把握した上で、地盤伸縮計や孔内傾斜計測定、GPSや航空LP、地上SARにより、地すべり土塊の変形プロセスを明らかにすること、また、その計測システムを開発すること、②①で開発した計測システムでの計測結果を基に、地すべり土塊として滑動が想定される範囲を的確かつ迅速に推定する手法の検討を考えている。

#### (5) 「地すべり斜面の地下水位観測手法の標準化に関する研究」

地すべりの安定解析に用いる間隙水圧は間隙水圧計等によって直接計測することが望ましいが、地下水位で代用されることが多い。地すべり斜面では、複数の帯水層や逸水層が存在するケースも多く、現在、多くの箇所で実施されている全孔ストレナによる地下水位観測は、すべり面の水圧変動と連動する地下水を捉えられていない事例は少なくない。過年度にはフィルダム研究室と地すべり研究室が主体となり共同研究によりMGL（単孔多段式地下水圧測定システム）を開発し実用化しているが、シール材料の入手が困難な他、コストや作業性といった課題が残されている。このような背景から、これまでの地下水位観測孔設置手法の問題点を明らかにした上で、地すべり解析、地下水排除工の設計や効果評価に有効な地下水位観測手法の提案、地すべり調査用地下水位観測マニュアル（仮称）の作成を目的に研究を実施している。研究内容は、①地下水位観測実態と観測上の問題点の把握・分析、②削孔時の孔壁観察、試錘日報解析、地下水検層、音響トモグラフィ等の比較による、すべり面に影響する地下水の的確かつ効率的な把握手法の提案、③帯水層に応じて削孔深度とストレナ位置を変えた観測孔設置・計測による地すべり滑動との関係分析、パッカー



豪雨による流動化地すべり  
(鹿児島県・毘沙門)

融雪による流動化地すべり  
(新潟県・陣ヶ峰)

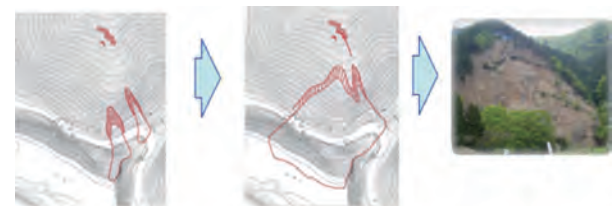
写真 - 2.1.6.5 流動化地すべりの事例



社会的に大きな影響を及ぼす初生地すべりの例

初生地すべりの変動計測システムの開発と範囲・予測手法の提案

図 - 2.1.6.5 初生地すべりの研究概要



今後目指すべき崩落時期予測：地すべり土塊の変形機構を加味した新たな予測手法  
(仮説) 歪の蓄積→亀裂の発生→末端の膨れ出し→末端の崩壊→安全率低下→崩落

図 - 2.1.6.6 変形プロセス事例

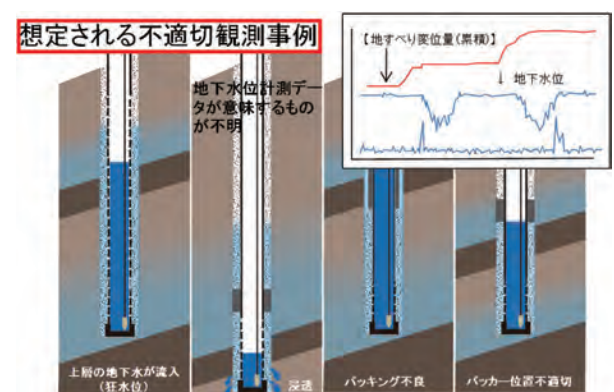


図 - 2.1.6.7 想定される不適切な観測事例

を変えての孔内試験により、適切な地下水位観測孔設置手法の提案、④斜面安定解析による計測地下水位と地すべり滑動との関係分析による計測地下水位の妥当性の評価を考えている。

### (6) すべり面の三次元構造を考慮した地すべりの安定性評価に関する研究

本研究は、「すべり面の3次元構造の把握と地すべり土塊特性に関する研究（平成22年～23年）」を経て、地すべり土塊の側面抵抗を考慮したすべり面強度定数の設定手法の開発を行い、地すべり土塊の側面抵抗を考慮した三次元解析による地すべりの安定性評価手法の提案を目的に実施している。研究内容は、①深礎工や高品質なボーリングの調査による、すべり面の各部分のすべり面の構造や土質強度の調査、②すべり面の構造等の調査結果に基づく、土塊側面のすべり面の認定手法の検討、③すべり面各部分の構造・強度の調査結果からすべり面強度が異なる各部分を区分し、部分ごとにすべり面強度定数を設定するための、土質試験や解析的手法等の適用性の検討、④地下水位等の上下に伴って間欠的に活動している地すべりを対象とし、上記のパラメータ設定手法を用いて二次元・三次元解析手法間の比較を行うこと（三次元解析手法の特性・適合性の調査）を考えている。

### (7) 「地すべり対策工の耐震性能評価に関する研究」

以前は、新潟地震や兵庫県南部地震をはじめいくつかの大地震において、地震の揺れが大きい地域においても、地すべりが大きく活動したという報告はなされていなかった。このことから地震時に地すべりは活動しないと考えられてきた。また、地すべり対策工の検討では地震力を考慮せず地下水の影響のみを考えており、通常的安全率で地震時の安定を保てるものと考えられてきた。しかし、近年、新潟県中越地震や東北地方太平洋沖地震などの大規模地震が発生し、震源や断層が近い場合などに活動した地すべりも一部見られており、従来の検討により対策された地すべりも大きく移動する可能性が指摘されている。そのため、従来想定していた加速度等を上回る地震などに対して、地すべり対策工の耐震性能について説明することが求められている。しかしながら、現在、地すべり対策工では大規模な地震動に対する耐震性を評価する手法は確立されていない。このような背景から、大規模地震発生における地すべり対策の耐震性評価技術の開発を目的に研究を実施している。

研究内容としては、①大規模地震を想定した地震動と地すべり対策の挙動を検討し、対策工の評価手法を検討すること、②地震動を受けた地すべり挙動の実態調査と機構を検討すること、③地すべり

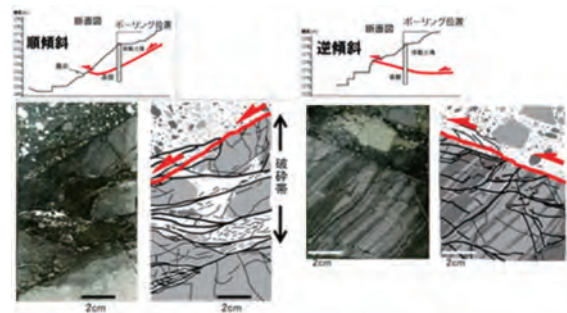


図-2.1.6.8 すべり面位置の違いによるすべり面構造の違い（樹脂固定試料）

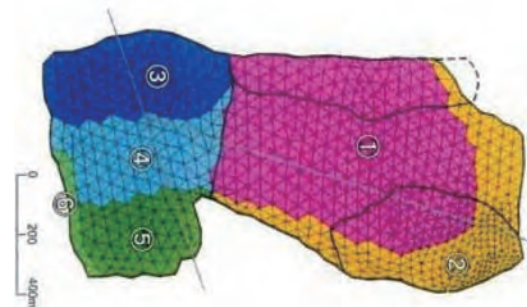


図-2.1.6.9 すべり面区分毎に土質強度を設定した例



図-2.1.6.10 地すべり対策の地震による変形

と地すべり対策の地震時のモデルを検討すること、④シミュレーションによる地震時の地すべり対策の挙動を再現し、計算手法の適用性を検討すること、⑤大規模地震動に対する地すべり対策工の耐震性の評価手法を検討することを考えている。

#### (8) 今後の展望

平成 23 年度に終了した研究としては、崩落検知センサの開発を実施した「道路斜面の崩落に対する応急緊急対策技術の開発（2009 年～2011 年度）」、アンカー緊張力モニタリングシステムを活用した斜面評価を検討した「アンカー緊張力モニタリングシステムを活用した斜面評価マニュアルの開発（2009 年度～2011 年度）」、地下水排水ボーリングの実態や地すべり対策のアセットマネジメント等を検討した「地すべり対策のライフサイクルコストの評価及びアセットマネジメントの研究（2008 年度～2011 年度）」などがある。

今後、これらの研究成果は、技術指導を通じて普及させ、必要に応じて改良するとともに、「地すべり防止技術及び同解説（国土交通省砂防部、土木研究所）」の改訂に反映させ、地すべり災害の軽減に役立てたいと考えている。

### 2.1.6.3 雪崩・地すべり研究センター

#### (1) 概要

雪崩・地すべり研究センターは、新潟県妙高市に位置し、雪崩と地すべりに関する現地観測及び研究を行っている。

昭和35年に「新潟地すべり試験所」として開設され、昭和37年道路雪害部門の開始により「新潟試験所」と改称し、また昭和63年より集落雪崩対策に向けた試験調査を開始した。さらに平成17年、雪崩及び地すべりにかかわる研究業務に特化して、土砂管理研究グループ「雪崩・地すべり研究センター」に組織改編を行い、現在に至っている。雪崩や地すべり現場に近い場所に立地し、調査研究から工事実施の支援まで自治体と密接に連携した取り組みを続けている。以下に、近年の研究内容や取り組みについて紹介する。



写真-2.1.6.12 雪崩・地すべり研究センター全景

#### (2) 地震時における再滑動地すべり地の危険度評価に関する研究

本研究は、過去に実施されてきた地震に伴う地すべり土塊の強度変化特性に関する研究を経て、地震(M7.0前後)による逆断層周辺における地すべり発生危険度評価手法の提案を目的として実施した。

この研究に対する社会的背景として、近年、中越地震など激甚な地震による地すべり災害が多発しており、斜面災害の軽減を目的とした地震による地すべり発生危険度評価手法の開発が強く求められていることがある。

図-2.1.6.12には震源断層と地すべりの位置関係を、図-2.1.6.13には逆断層地震による地すべり危険度評価範囲を示した。図-2.1.6.13中の数値は、中越地震による地すべり箇所(割合)を示す。中越地震の場合、発生した地すべりはA'+B'の範囲に全体の93.4%が含まれた。このことから、地震(M7.0前後)による逆断層周辺の地すべり多発範囲は、震源断層上盤側の震源断層上端からの距離15kmと震源断層両端を走向方向に各々15km延長した範囲(図-2.1.6.13)として提案した。

さらに、地震により地すべりが再滑動する可能性を求める計算式を提案した。なお、この手法を岩手・宮城内陸地震における既存地すべり地形での地すべり発生予測に適用した結果、正解率は76%であった。

図-2.1.6.14には、この手法を用いて作成した新潟県上越地区における再滑動型地すべりの危険箇

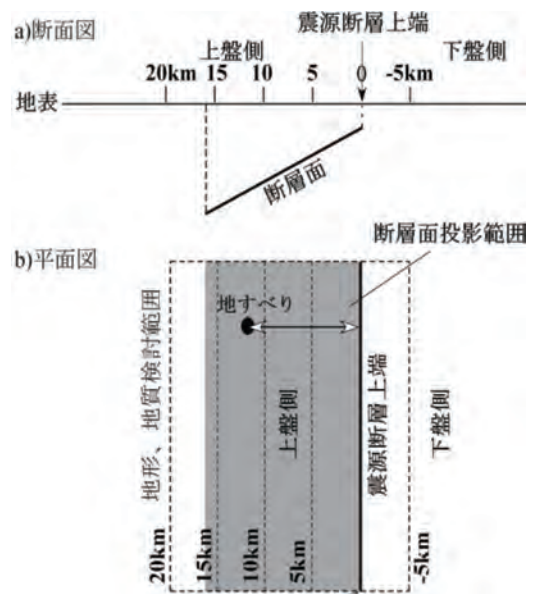


図-2.1.6.12 震源断層と地すべりの位置関係

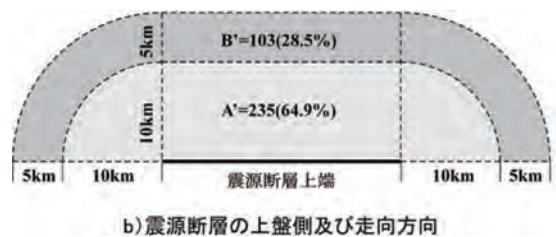


図-2.1.6.13 地すべり危険度評価範囲

所マップの試案を示した。大部分の地すべり地形、特に小規模な地すべり地形については危険度低であることが示された。また、規模の大きな地すべり地形については数が少ないが、危険度中及び高であることが示された。これは、規模が大きな地すべり地形内では部分的にでも地すべりを起こす可能性が高くなるためと考えられる。(詳細は土研資料第4204号参照)。

### (3) 地すべり地の地下水調査法の改良・開発

本研究は、地すべり防止工事のコスト縮減のため、開発した加熱式地下水検層の実用化を目的として現地試験を継続している。

加熱式地下水検層は地すべり斜面における地下水流動層の深度を調査する方法であり、現在用いられている食塩による地下水検層に比べて省力化した調査法である。調査ではボーリング孔内の孔内水位面にセンサを下降させながら、地下水温、地下水を加熱するヒータ温、加熱された地下水温を計測し、それらのデータを整理して地下水流動層を調査する。

図-2.1.6.15は加熱式地下水検層の地すべり地での実施状況を、図-2.1.6.16は調査結果をそれぞれ示したものである。調査結果からは、調査ボーリング孔内における地下水流動層の深度と概略的な流量を求めることができることが判る。

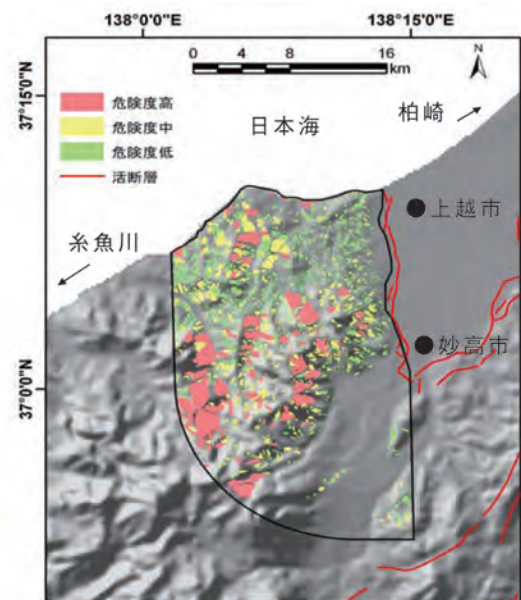


図-2.1.6.14 危険箇所マップ作成結果



図-2.1.6.15 加熱式地下水検層実施状況

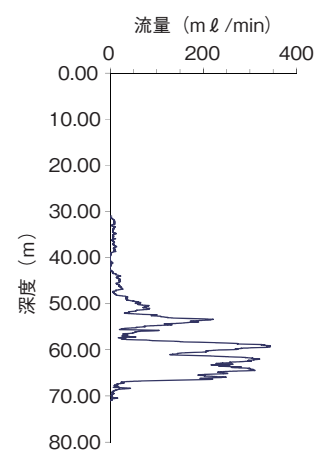


図-2.1.6.16 加熱式地下水検層の結果

### (4) 豪雪時における雪崩斜面の点検と応急対策に関する研究

記録的な豪雪となった平成18年豪雪では、集落・道路等への雪崩災害が頻発したほか、雪崩の危険による長期間の住民の避難、アクセス道路の寸断による集落の孤立等多発し、社会的に大きな問題となった。しかし、雪崩災害を防止するための対策施設の整備には時間を要し、発生時期の予測や危険区域の設定手法の精度も必ずしも高くない現状にある。

そのため、雪崩災害を未然に防ぐには、パトロール等によって事前に雪崩危険箇所での発生兆候を察知し、対策を講じることが望ましい。しかし、具体的な点検手法は確立しておらず、近年続いた

少雪傾向もあり、担当者が現場での対応に苦慮することが数多く見られた。

そこで、現状の点検状況について行政機関、雪崩パトロールや雪崩対策等経験豊富な建設会社、コンサルタントへのアンケート、聞き取り調査を行い、その結果にもとづき、先進的な取り組みや課題について資料収集し、既往の文献等と併せて、効率的に巡視を行う手法を雪氷チーム（寒地土木研究所）と協同してとりまとめた。この内容は土木研究所資料4167号「豪雪時における雪崩斜面の点検と応急対策事例」として発刊し、関係機関等に広く配布している。

構成は、①雪崩基礎編、②集落における豪雪時の雪崩危険箇所の点検、③道路における雪崩の特徴と着眼点、④応急対策事例とし、集落、道路いずれの雪崩対策にも供するようなものとした。

#### (5) 雪崩対策施設の合理的設計手法に関する研究

走路や堆積区に雪崩防護施設として設置される減勢工や防護工の高さは、雪崩の初期層厚が流下距離によって一律に増加するものとして高さを決定している。つまり一次元地形で行われており、たとえば谷幅の広がりによる層厚の変化などは考慮されていない。このため施設規模を過大に設定してしまう可能性もある。そこで本研究では、雪崩防護柵の合理的な設計手法を検討するために数値シミュレーション手法の検討を行った。

土砂分野で用いられている連続体モデルをベースにシミュレーションを構築し、全層雪崩を対象に解析の結果、対象とした雪崩事例においては概ね雪崩の状況を再現できた。現在、その適用範囲や精度向上に向けた取り組みを進めている。

#### (6) 雪氷チームとの連携

(独)北海道開発土木研究所との統合(2006年)を契機として、雪崩・地すべり研究センターでは、雪氷チーム（寒地土木研究所）との連携を強化している。雪氷チームは道路雪氷対策として北海道を主な対象として研究を行っており、対象や雪質が違うものの、雪崩対策を研究とする点で共通する部分がある。



図- 2.1.6.17 平成18年豪雪  
(秋田県乳頭温泉での雪崩災害)

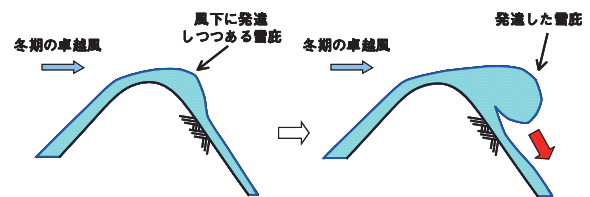


図- 2.1.6.18 写真・解説図の例  
(雪庇の発達状況)



図- 2.1.6.19 掲載した雪崩処理の事例  
(蒸気圧破碎薬剤を用いた雪庇処理事例)



平成 23 年度までに共同して研究テーマの立案、雪崩対策セミナーの開催（計 6 回）、研究集会等への展示ブースの出展、土木研究所資料、論文等の執筆、現地調査、低温施設実験を行ったほか、年数回の定期的な会合をもって情報交換をしている。

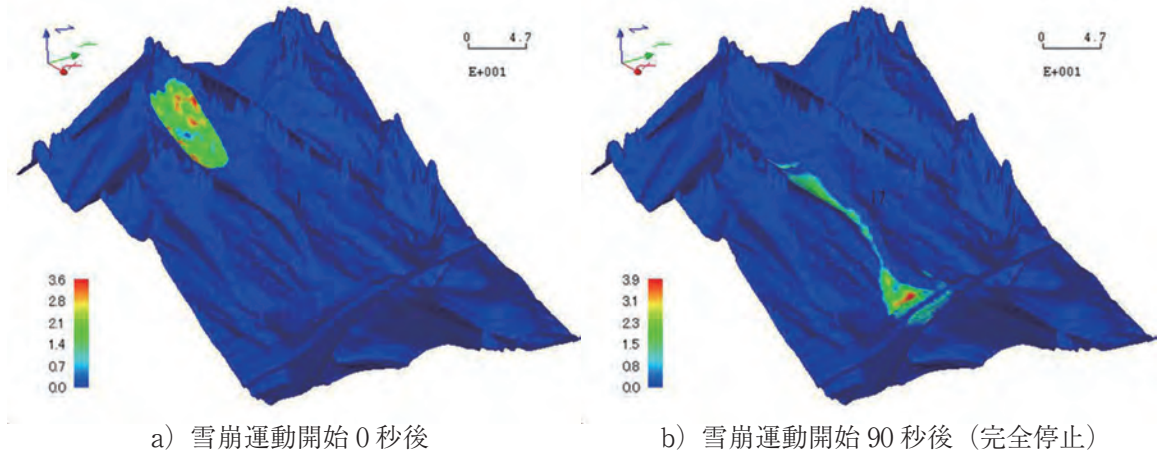


図 - 2.1.6.20 全層雪崩の解析事例



図 - 2.1.6.21 雪崩災害防止セミナー（2008 年 11 月・青森）



図 - 2.1.6.22 ゆきみらい見本市（2012 年 2 月・金沢）



図 - 2.1.6.23 積雪断面調査（2012 年 2 月・十日町）

### 2.1.7 道路技術研究グループ

道路技術研究グループは、特命事項担当上席、舗装チームおよびトンネルチームから構成される。舗装チームとトンネルチームは、平成13年3月までは国土交通省土木研究所道路部（道路研究室、高度道路交通システム研究室、交通安全研究室、舗装研究室、トンネル研究室の5つの研究室により構成）に属していた。その後、平成13年4月の組織改革により、国土交通省土木研究所が国土技術政策総合研究所と独立行政法人土木研究所とに分離されたのに伴い、基礎道路技術研究グループとして発足し、さらに、平成18年4月にグループの名称を道路技術研究グループに改称している。

研究グループの主な業務は、行政・現場で発生している問題解決のための研究・技術開発、技術基準類の作成、地方整備局・地方自治体などの現場で発生している問題の技術指導、その他研修講師、学会活動、世界道路協会（PIARC）など国際機関の活動への参画となっている。過去20年の間に実施してきた主な研究は、以下の通りである。

特命事項担当上席は、道路の維持管理に関する研究を実施しているが、幹線道路における橋梁、トンネル、舗装等構造物の計画的維持は、他チームにより別途、研究が進められているため、これ以外の領域を研究対象としている。

舗装チームが実施してきた研究は、平成13年に舗装に関する技術基準類が性能規定化されたことを受け、この前後で多少性格が異なる。性能規定化以前は既設舗装の追跡調査を通じた舗装の構造設計法の見直し等、「設計」が構造設計を意味することが多かった。一方、性能規定化後「路面設計」として舗装の表層材を工夫することでさまざまな付加的機能を提供するという考え方が急速に広まり、新材料の開発・評価法に関する研究が重要視されることとなった。研究テーマは大別すると、設計・施工関連、維持管理関連、環境技術関連に分類されるが、図-2.1.7.1に示すようにわが国の舗装率は高度経済成長期以降着実に向上しており、研究テーマも新設工事から維持修繕工事に徐々にシフトしてきている。

トンネルチームが実施してきた研究は、道路トンネル本体工の調査・設計・施工・維持管理関連、道路トンネルの附属施設（換気施設、照明施設、非常用施設）の設計・運用関連に大別され、さらにトンネル本体工に関わる研究は、工法によりNATM、トンネルボーリングマシン、シールドトンネルに分類される。これまでは、トンネルの新設工事に関わるテーマが多かったが、わが国の道路トンネルは図-2.1.7.2に示すように高度経済成長期以降に大幅に増加しており、今後、これらトンネルの老朽化が進んでくることから、ここ10年間は山岳トンネルの維持管理に関連したテーマも増えてきている。また、平成16年の新潟県中越地震において道路トンネルにも大きな被害が発生したことを受けて、最近では山岳トンネルの耐震対策に関する研究にも取り組んでいる。

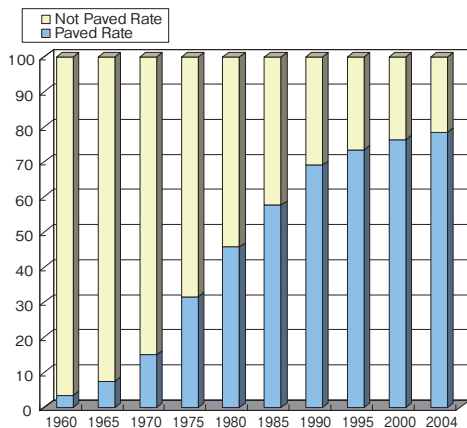


図-2.1.7.1 わが国の舗装率の推移

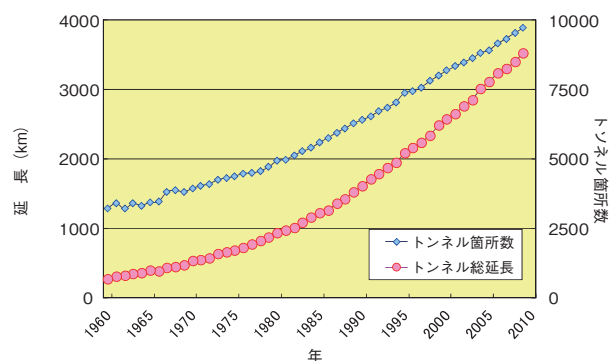


図-2.1.7.2 わが国の道路トンネルの推移

### 2.1.7.1 舗装チーム

#### (1) 概要

舗装チームでは、既設舗装の長寿命化など、効率的な社会資本整備の支援のための研究の他、新たなニーズへの対応として低炭素社会の実現に対応した低炭素舗装技術の開発などにも取り組んでいる。研究成果を（社）日本道路協会が刊行する技術図書類に反映させるなど成果の普及にも取り組んできており、わが国の舗装技術の基礎を築くのに貢献してきている。

最近の舗装チームの研究テーマを大別すると、

- ◎舗装の維持管理に関する研究
- ◎舗装の設計・性能評価に関する研究
- ◎環境保全など新たなニーズへの対応

となり、以下、それぞれについて研究概要を紹介する。

#### (2) 舗装の維持管理に関する研究

わが国の舗装率は高度経済成長期以降着実に向上しており、今後、わが国における舗装に関する調査研究は、その対象を新設工事から維持修繕工事にシフトしていくこととなる。「既設舗装の長寿命化手法に関する研究」では、対象とする道路を幹線道路と生活道路に分類し、それぞれの道路においてライフサイクルコストを最小化するための手法について検討を進めている。図-2.1.7.3に長寿命化の考え方を示す。幹線道路においては修繕時に構造強化を行う、生活道路においては予防的な維持作業を行う、といった、それぞれの道路の性質に応じた長寿命化手法を提案することでより効率的・合理的な舗装の維持管理を行うことを目指している。本研究課題の成果としては、過去に行った「舗装構造の理論設計の高度化に関する研究」の成果として提案した理論設計法を舗装工事の実務に反映すべく、修繕時に既設舗装の構造的健全度を評価した上で、適切な修繕後の構造を設計する”修繕時における構造設計”も提案する予定である。

図-2.1.7.4に舗装の維持管理フローを示す。「舗装マネジメントシステムの実用性向上に関する研究」では、従来、幹線道路を主な対象として進められてきた舗装マネジメントシステムを地方自治体の生活道路などでも活用可能なよう、改善を行うことにより、マネジメントシステムの実用性を向上させることを目的に実施している。具体的には、図-2.1.7.4に示すフローのうち、“モニタリング”、“データベース”および“健全度の将来予測”において、事前の調査に掛けられる予算や人員に応じた考え方を示し、国道のような主要幹線道路から生活道路まで同じ考え方に基づくマネジメントシステムにより管理運用できるよう具体的な手法の提案を行う予定である。過去には「舗装の管理目標設定手法に関する研究」も実施しており、図-2.1.7.4のうち、“健全度の評価”に資する道路の性格（走行速度や交通量など）に応じた管理目標の設定手法について提案

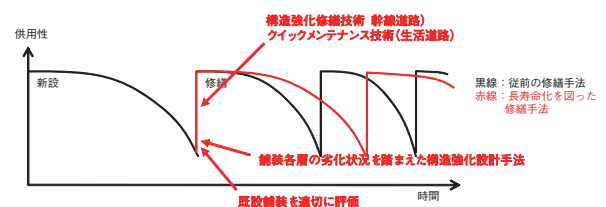


図-2.1.7.3 舗装の長寿命化の考え方

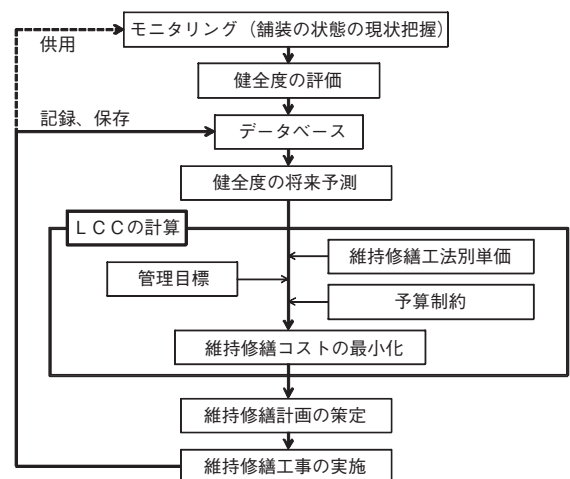


図-2.1.7.4 舗装の維持管理フロー

を行っている。また、「効率的な舗装の維持修繕手法に関する研究」では”維持修繕計画の策定”および“維持修繕工事の実施”に資する提案を行っており、これら一連の研究により、舗装マネジメントシステムの実用性が向上し、現場での適用事例が増えることが期待される。

### (3) 舗装の設計・性能評価に関する研究

平成13年に舗装に関する技術基準類が性能規定化され、舗装工事も原則、性能規定により発注されることとなった。性能規定化の目的は、新技術の導入を容易にすることで、コスト削減を実現するとともに民間企業等における技術開発を促進することである。舗装チームでは現場における性能規定発注を支援するため、想定されるさまざまな舗装性能について、その評価法を提案してきた。「道路ユーザーの視点に立った舗装性能評価法に関する研究」では、これまで提案してきた騒音低減性能や塑性変形抵抗性などの舗装性能指標に加え、新たな性能指標とその評価方法を提案することを目的としている。過去の「舗装路面の性能評価法の高度化に関する研究」では、図-2.1.7.5に示す衝撃式たわみ測定車を用いた”疲労破壊輪数”の評価方法や図-2.1.7.6に示す路面騒音測定車を用いた”騒音値”の評価方法などを提案し、その成果は(社)日本道路協会の「舗装性能評価法」および「舗装性能評価法別冊」に反映され、全国の性能規定発注に活用されている。

### (4) 環境保全など新たなニーズへの対応

凍結抑制舗装は図-2.1.7.7に示すとおり、交通荷重を用いて路面に生じた氷膜を破碎したり、塩化物により氷点を下げ、表膜が発生しにくくすることにより、路面の凍結を抑制する技術である。過去の実道での適用では、施工後1～2年程度は路面が露出するなどの明確な効果が確認されているが、その効果の持続性の向上と性能評価法が当該技術の普及に向けた課題となっている。「凍結抑制舗装の性能向上に関する研究」は、既存の凍結抑制舗装の機能の持続性向上の他、適用個所の吟味、すなわち最低路面温度や交通量などに応じた適切な凍結抑制舗装の適用を図ることで実用性の高い凍結抑



図-2.1.7.5 衝撃式たわみ測定車



図-2.1.7.6 路面騒音測定車

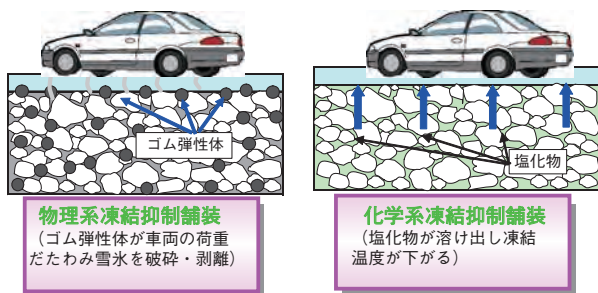


図-2.1.7.7 凍結抑制舗装

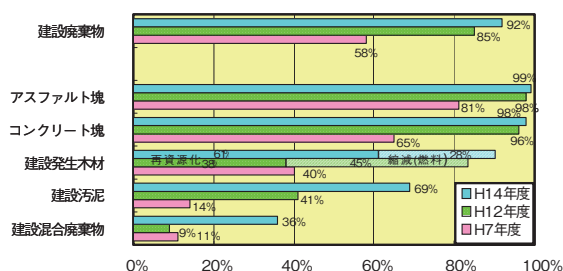


図-2.1.7.8 建設発生材のリサイクル率

制技術を普及させることを目的に実施している。

建設発生材のうち、アスファルトコンクリート塊およびセメントコンクリート塊は他の発生材と比較して早くからリサイクルが進められてきており、そのリサイクル率も100%に近い(図-2.1.7.8)。一方鉄鋼スラグや一般廃棄物溶融スラグなど他産業で発生する副産物を舗装材料として利用したいというニーズも増大してきている。また、国内において新規の採石場の開発が困難であることから、良質な骨材が不足している地域が存在する(図-2.1.7.9)。こうした背景より、「舗装用骨材の物理・化学性状に関する研究」では、利用実績の少ない他産業副産物の利用や、従来の規格では使用できない低品位骨材について、舗装材料としての要求性能を明確にすることにより、これらの材料の積極的活用を図ることを目指している。図-2.1.7.10に今後、舗装への利用が求められる他産業副産物の例を示す。鉄鋼スラグについてはすでにJISが制定されており、現在、次回のJIS改訂に向けた検討を鉄鋼スラグ協会との共同研究を通じて行っている。

舗装工事に関わるCO<sub>2</sub>排出量を抑制する取り組みとしては、材料を食物由来のバインダーに換えるなど原単位の小さい低炭素なものに変更する、混合物の製造時の加熱温度を下げることでアスファルトプラントにおいて発生するCO<sub>2</sub>を抑制する、材料の運搬を極力抑えることで運搬時に発生するCO<sub>2</sub>を抑制する、リサイクル材を活用することで新規材料の氏揚力を抑制する、といった取り組みが個別に行われている。「低炭素社会を実現する舗装技術の開発および評価手法に関する研究」ではこうした取り組みを促進すべく、共同研究などを通じ、既存技術の性能向上を図るとともに、開発された技術の低炭素性能について、その評価手法を提案することを目的に検討を進めている。図-2.1.7.11に比較例を示す。リサイクル材を使用することでCO<sub>2</sub>の排出量は20%程度削減され、路上表層再生工法(図-2.1.7.12)を適用することで材料の運搬量を減らせば、さらに数%削減できることが分かる。本研究課題については民間企業との共同研究を行っており、中温化技術をリサイクル材ならびに排水性舗装にも適用できるかどうかを検証しており、妥当と判断されれば、現在グリーン購入法において適用範囲が“新規材料”に限定されている中温化技術のさらなる普及

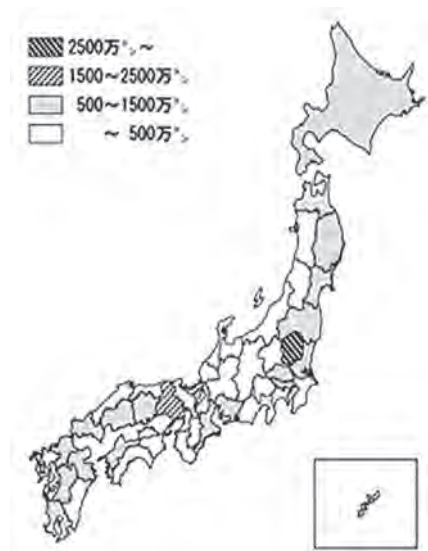


図-2.1.7.9 砕石の生産量分布



図-2.1.7.10 舗装への利用が求められる他産業副産物の例

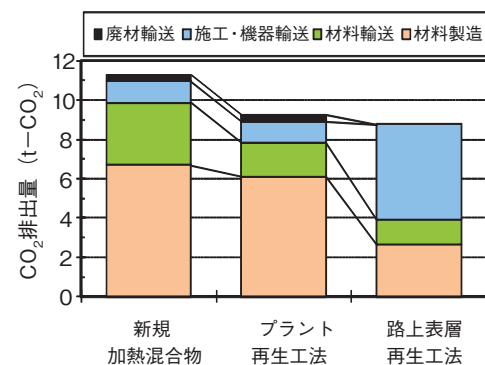


図-2.1.7.11 CO<sub>2</sub>排出量の比較例



図-2.1.7.12 路上表層再生工法

に貢献するものと期待される。

石油資源は有限であり、その供給は以前よりも不安定になりつつある。最近ではアスファルトが供給できないことが原因で舗装工事が不落になったケースもあり、アスファルトを含む石油資源の枯渇はより深刻な問題となってきた。「未利用アスファルト資源の舗装への適用に関する研究」では、インドネシアで産出される天然アスファルトや、従来燃料用として利用されてきた舗装用材料としての規格を満足しないアスファルトなどについて、その適用範囲を限定するなどして舗装用材料としての適用性を検証している。

図-2.1.7.13に示すように、舗装が構築されている土台である路床・路体が破壊すると、舗装はその変形に耐えられず破壊する。したがって耐震舗装のような技術は存在しないが、その被害の程度が舗装の種類により多少異なることが東日本大震災での被害状況を整理する中で判明しつつある。例えば路盤をセメント等で安定処理すると路盤が一体となって挙動するため被災直後の普及时に路面の平坦性を確保しやすいことが分かっている。一方で、本格的な復興工事の際に舗装構造全体を見直す場合、このような強固な路盤は撤去が困難であり、震災直後の被害の軽減や復旧と本格的な補修を考慮した舗装構造の提案が必要である「震災被害軽減に資する舗装技術に関する研究」では、東日本大震災等で被害を受けた舗装について、その被害の程度と舗装構成等を整理することにより、被災直後から本格的復興までを考慮した震災被害を軽減できるように検討を進めている。

### (5) 今後の展望

舗装チームでは、舗装走行実験場（図-2.1.7.14）における促進載荷試験など、世界での有数の施設を有し、わが国の舗装技術の発展に貢献してきている。最近では、JICAを通じてアフリカから舗装技術に関するアドバイスを求められたり、国総研を通じてアジアの各国から研究協力を申し入れられるなど、その活動範囲が海外へと広がりつつある。国土交通省国土技術政策総合研究所が実施しているベトナム・インドネシアとの研究協力において、インドネシアとは前述の天然アスファルトの実用化、ベトナムとはハノイ市内の橋面舗装の補修方法ならびに排水性舗装の技術移転について協力を行っている。国内においても、つくば市はもとより土木研究所が協力協定を結んでいる熊本市など地方自治体との連携を深め、自治体における舗装管理の支援などにも取り組み始めている。また、研究の効率化を図るため、寒地土研や道路協会、土木学会等との連携を進めるとともに民間企業との共同研究も積極的に行っていく。



図-2.1.7.13 土工部の変形による亀裂



図-2.1.7.14 舗装走行実験場（上）と促進載荷用の荷重車（下）



図-2.1.7.15 ベトナム・インドネシアとの研究協力

### 2.1.7.2 トンネルチーム

#### (1) 概要

トンネルチームは昭和36年（1961年）に土木研究所千葉支所の組織として発足し、その後の省庁再編等の流れを経て現在に至っている。発足当時は鋼アーチ支保工の採用、道路トンネルとしての換気施設の本格採用、高速道路の建設の増大に対応すべく技術の飛躍的な進展が遂げられた時代である。その後は昭和50年代にNATMの設計手法の確立に関する研究、昭和60年代はシールドトンネルの研究が開始され、種々の研究成果を各種基準の内容に反映した。また、平成の時代には、これらで培った技術をさらなるコストの縮減や高品質となるべく内容を目指した研究として実施し、内容を進化させてきている。近年では山岳トンネルおよびシールドトンネルの内容に加え、特に、トンネルの維持管理や、時代の要請に見合った換気施設の規模、また、欧州等で見られた大規模トンネル内火災を踏まえた研究にも着手している。各手法の確立にあたっては、実験や数値解析などを行うことに加え、各地方整備局等や関係機関と密に連携し、現地計測や技術指導等を通じて現場に密着した研究を進めるとともに、アジア諸国を含めた国々とも研究連携を行い、これまでに得られた我が国のトンネル技術に関する成果の普及や技術的な支援を行っている。以下に実施している研究内容に関して述べる。

#### (2) トンネルの建設技術に関する研究

##### 1) 山岳トンネルに関する研究

日本では昭和30年代から各種の設備を備えた本格的な道路トンネルが建設されるようになり、昭和38年ごろから従来の木製支保工を基本とした工法に加え、鋼アーチ支保工を使用した工法が本格的に採用されるようになった。このため、鋼アーチ支保工の力学的特性を把握する必要が生じ、トンネル構造物の実物載荷実験装置による模型実験を開始した。その後、昭和50年代になると、吹付けコンクリートやロックボルトを主たる支保部材としたNATMが急速に普及し、現在では山岳トンネルの標準的な工法となっている。NATMでは支保工とは別に打設される覆工が最終的な力学的安定性を担保する部材であり、その耐荷力等の特性を把握することが必要となったため、平成10年から写真-2.1.7.1に示すような実大規模の覆工載荷実験を開始した。また、トンネルボーリングマシン（TBM）を用いた施工における合理的な支保構造の設計法の確立に関して共同研究を実施して成果をとりまとめた。このように山岳トンネルに関して種々の実験や数値解析、また現地計測結果を活用しながら、より合理的なトンネルの構築に資する検討を行い、得られた研究成果は「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説」（平成15年）や「道路トンネル観察・計測指針（平成21年改訂版）」（いずれも（社）日本道路協会）の内容に反映され、全国の道路トンネルの設計や施工に貢献している。



写真-2.1.7.1 覆工載荷実験の写真

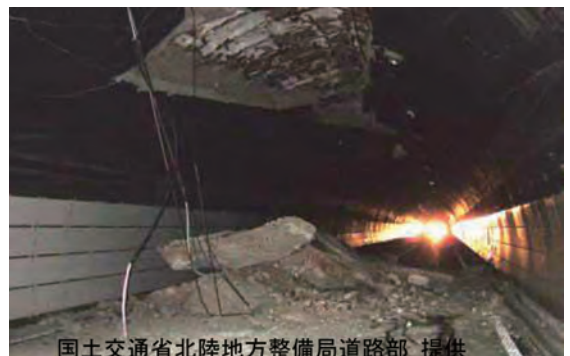


写真-2.1.7.2 新潟県中越地震における山岳トンネルの被災事例

また、これまで山岳工法によるトンネル掘削は、良好な地山では全断面を一括で掘削し、地山が悪い場合は断面を分割して掘削する工法が一般的とされてきた。近年、補助工法に関する技術開発が進みつつあることを受け、大きな変形が生じるような不良地山にお

いても、切羽面を安定させる補助工法を採用し、ほぼ全断面での掘削を行いながら、早期に断面を閉合し、力学的に有利な構造を構築する工法が採用されつつある。本工法により、切羽やトンネル構造の安定性が確保され、施工時の安全性が確保されるとともに、掘削速度を向上させる効果が期待される。その一方で、本工法を採用するのが望ましい地山条件や、採用した場合のトンネルの挙動に関しては不明確な点が数多く残されていることから、当チームでも数値解析や模型実験を行いながら、より合理的な設計・施工法の確立に向けた検討を進めている。

また、主として岩盤に掘削される山岳トンネルは、地震によりトンネル構造に大きな損傷を受けるのは断層・破砕帯や不安定な斜面内といった極端に地山の悪い条件下に限られており、そのような区間では覆工の補強等の対策を行っているが、基本的には地震に強い構造物と言われている。ところが平成16年に発生した新潟県中越地震では、上記の条件に該当しない一般部においても、写真-2.1.7.2に挙げられるように比較的規模の大きな覆工の崩落をともなう被害を受けたトンネルが見られた。このような被害を最小限に抑制するために、合理的な耐震対策を確立することが必要となっており、当チームでは三次元振動台による動的実験や静的な載荷実験、数値解析等を実施しながら検討を進めている。さらに、山岳トンネルは一般に排水構造であるが、近年、周辺環境への影響に配慮し、一部区間を防水型（非排水構造）トンネルとして、掘削により低下した地下水位の回復を図る事例が増加してきている。しかし、防水型トンネルを採用する場合の防水構造や覆工構造の考え方については統一されたものがなく、設計・施工の両面で体系化された手法を確立することが社会的要請となっていることから、これまでの施工事例の分析や数値解析、模型実験等により検討を行っている。

## 2) シールドトンネルに関する研究

シールド工法が、わが国の都市トンネルの施工法として最初に導入されたのは昭和30年代であり、以来、省力化や安全確保などの面から切羽の安定性の向上が期待できる泥水式シールド、土圧式シールドなどの密閉型シールドの技術の開発が行われ、現在ではわが国の都市トンネル建設の主要な工法として位置づけられている。また、昭和60年頃からは、輻輳する都市部において地下空間の有効利用の観点等から、トンネル用途に応じた効率的な断面形状のニーズ等に対応し、一部区間の断面を拡大する拡大シールドや、複円形シールド、楕円形などの円形以外の断面形状のシールド技術が開発された。また、シールド外径14mを超える大断面の東京湾横断道路トンネルなどの施工実績も出始めるとともに、地中接合技術、セグメント組立技術およびそれに伴う各種のセグメント継手構造、長距離掘進技術などの種々の技術が開発されてきた。

近年では、コスト縮減、工期短縮のための高速施工やさらなる長距離掘進に対応するため、二次覆工省略、セグメントの薄肉化、セグメントの幅広化の傾向にあるとともに、これまで別々に実施していたシールド掘進とセグメント組立てを同時に行う同時施工技術などが開発されているほか、道路トンネルを対象とした大規模な分岐・合流技術、立坑を必要としない地上発進技術の開発など、多様化するシールド技術に対応するための技術開発が急速に進んできている。

当チームでのシールド工法に関する研究は、昭和53年より東京湾横断道路トンネルへの適用を念頭に、切羽の安定性、浮き上がり安定性、双接トンネルの離隔について実験や解析等により研究を進めてきた。また、シールド工法が都市部等で採用されることが多いことから周辺環境への影響の観点から、シールド掘進時の地盤変状予測技術の研究を実施してきた。

一方で、最近では都市部の輻輳する地下利用状況等から今後、大深度下における大断面シールドトンネルの需要増加が考えられることから、大深度・大断面シールドを対象として、主としてセグメント構造の合理的な設計法の研究を行っている。具体的には、シールドトンネルへの作用荷重の解明と設計



土圧の設定方法や、これまでセグメント設計時に考慮されていなかったジャッキ推力やテールシールや裏込め注入圧などのセグメントが一時的に受ける施工時荷重による影響を考慮したセグメントの設計法について研究を実施している。このほか、小断面によるリングシールド工法により段階的に施工した場合のトンネルへの作用荷重の把握、多様化する断面形状に対する作用土圧の研究などを実施している。

### (3) 道路トンネルの付属施設に関する研究

#### 1) トンネル換気

道路トンネルの換気に関する研究は、昭和33年に開通した関門国道トンネルの建設を契機に開始された。当初は、一酸化炭素を換気対象として研究をしていたが、その後、換気対象物質として、トンネル内の物の見え方に影響を与える煤煙が重要であることが判明し、実際のトンネルにおいて煤煙の状況、見え方試験などの実態調査などを行った。また、一酸化炭素、煤煙に対する許容濃度の設定、自動車からの有害成分発生量の把握、所要換気量の計算方法について提案した。また、トンネルの両坑口間の気圧差や、自動車がトンネル内を走行することによって発生する交通換気力の影響についての研究を行い、自然換気、交通換気の基本的な考え方や経験的な自然換気の限界についても示すとともに、換気施設設計を行う際の各種形状ダクトの損失係数等について模型実験等により把握した。

また、道路トンネル本数の増加とともに、関越トンネル（約11km）を代表として3000mを超える延長の長いトンネルの建設とともに、様々な換気方式が考案されてきた。その中の一つとして電気集じん機を用いた換気方式は我が国独自の技術として海外から注目されており、その適用性や運用方法についての研究を行ってきた。

一方で、経済発展とともに環境汚染が社会問題となり、自動車排出ガス規制が昭和40年代後半から実施されはじめ、これまでに段階的に強化されてきている。これに伴い、自動車の性能向上等により自動車から排出される有害成分発生量も減少するなど、トンネル換気を取り巻く情勢が変化した。これらの変化に対しては、合理的な換気施設の設計が実施できるように、供用中の道路トンネル内で継続的な実態調査の実施や、自動車の台上試験による試験等を行い、適宜、自動車から排出される有害成分発生量を見直している。

上記の見直し結果は「道路トンネル技術基準（換気編）・同解説」（平成20年改訂版）に反映され、全国の道路トンネルの換気施設の大幅なコスト縮減に貢献している。

#### 2) トンネル照明

道路トンネルの照明に関する研究は、換気の問題とともに着手された。トンネル内は自動車から排出される煤煙等によって視界が悪化するため、物の見え方はトンネルの換気状態によって異なり、トンネルを走行する運転者が前方の障害物を安全な距離から視認できるための必要な明るさも変わってくる。このような観点から、当チームでは実物大トンネルを用いた煤煙中における物の見え方についての実験等を行い、煤煙中の物の見え方と照明条件の関係について明らかにした。

また、道路トンネルの供用本数や総延長の増加に伴い、照明施設の維持管理費が増大傾向にあることから、道路交通の安全性の確保、経済性の面から、さらなる照明施設の合理化が望まれてきた。そこで、実大トンネル実験施設を用いて平成5年から省エネルギー型の合理的な照明方式としてカウンタービーム照明方式の研究を行い、従来の照明方式に比べて物の見え方の向上、コスト縮減効果について明らかにするとともに、実トンネルへの導入を図った。

上記の研究成果は、「道路照明施設設置基準・同解説」（(社)日本道路協会、平成19年10月）に反映されている。

### 3) トンネル非常用施設

道路トンネルの非常用施設に関する研究は、過去に発生したトンネル火災への対応を主眼に開始されてきており、自動車火災と発煙、火災対策技術、そして対面長大トンネルの非常用施設の運用に関して研究が進められ、非常用施設の計画や設計、運用方法の合理化に関して検討が行われてきた。これらの成果は「道路トンネル非常用施設設置基準・同解説」((社)日本道路協会、平成13年10月)に反映され、非常用施設の設計等に活用されている。

その後、主として欧州において1999～2001年にかけて大規模なトンネル火災事故が発生したことを契機に、欧州内の規格の高い道路に存在するトンネルに対して非常用施設の設置に関する基準の見直しが行われた。その中では特に既設トンネルに対して、基準を満たされない場合の施設の設置等に関する代替手段の検討が行われるものとされており、特にリスクアセスメントを活用する試みがなされている。そこで、非常用施設の設置されている道路トンネルの安全度を定量的に比較できる手法を検討するものとして、安全度評価を行うための手法の確立に関する研究を行っている。

### (4) トンネルの維持管理に関する研究

トンネルの維持管理に関する研究は、トンネルの突発性崩壊等に見られるトンネルの変状の発生により、点検や調査の重要性が示唆されたことに端を発し、「道路トンネル維持管理便覧」((社)日本道路協会、平成5年11月)の初版が出版された。当チームでは過去にトンネルの変状・漏水に関する調査を行い、その成果を上述の便覧等に反映したとともに、その後は、既設トンネルの断面拡大を含む合理的な改築法、共同研究の実施による補修・補強工法に関する開発を行った。平成15年には土木研究所資料として「道路トンネル変状対策工マニュアル(案)」を作成し、現在各現場において採用されている。



写真-2.1.7.3 変状が発生したトンネルにおける計測の状況

近年では、今後公共投資財源が制約されると考えられることから、供用中の道路トンネルの維持管理を効率的に実施するための研究を進めている。既設の道路トンネルは点検や調査によって得られる情報が多いものの、対策の必要性や対策の実施時期の判断は過去の経験や実績に基づいた定性的な評価により行われていることが多い。このような現状を踏まえ、点検や調査を通じて得られるトンネルのひび割れの状況等から工学的な根拠に基づき、覆工コンクリートのうき・はく落に関する状態と、トンネル構造の安定に関する状態の両者を踏まえた判定を行って健全性を評価することが重要であると考えている。そこで、対策の必要性や実施時期を定量的に判定する方法の確立に関して、写真-2.1.7.3に挙げられる実際に変状が発生したトンネルにおける計測や変状に関するデータの分析等を通じて研究を進めている。また、トンネルの条件や管理者に要求される水準を考慮しつつ、それに見合った点検や診断に関する手法の確立や安全状態を評価するための技術の確立を目指した研究を行っている。

## 2.2 寒地土木研究所

北海道は国内でも特に厳しい冬期の気象条件下にあり、また世界の積雪寒冷地における典型的な土質の一つである泥炭が国内で最も広く分布している。寒地土木研究所は、このような北海道に拠点を置く我が国唯一の寒地土木技術の試験研究機関として、寒地土木技術に関する先駆的な研究や技術開発を行うとともに、広く国内外の積雪寒冷地に研究成果を普及させることにより、技術の向上と良質な社会資本の効率的な整備及び北海道開発の推進に寄与している。

寒地土木研究所は、昭和12年8月に内務省北海道庁土木部試験室として発足し、昭和26年7月には北海道開発局の発足によりその附属機関となり、北海道開発局土木試験所と名称を改め、戦後の北海道開発行政を支える河川・道路・港湾・農業・水産に関わる寒冷地土木技術の研究開発を一貫して



写真-2.2.1 寒地土木研究所

行ってきた。昭和63年4月には、我が国の寒地土木技術の拠点として、さらに創造的研究活動に積極的に取り組む体制を整え、北海道開発局開発土木研究所として再編された。

平成13年4月に独立行政法人北海道開発土木研究所となり、主務大臣から定められた中期目標と、その目標を達成するための中期計画を策定し、研究の充実化を図ってきた。

平成18年に旧土木研究所と旧北海道開発土木研究所との統合が行われ、現在の寒地土木研究所として編成された。平成20年には、北海道開発局で実施していた技術開発関連業務が寒地土木研究所に移管されることとなり、北海道開発に係る土木技術について、基礎的研究に加え技術開発、指導・普及を一体的に実施する体制が整備された。

寒地土木研究所では、平成24年8月25日に75周年を迎えることとなる。

本節では、平成9年に発行した「開発土木研究所60年史」以降の、最近の概ね20年間における寒地土木研究所の研究のあゆみについてとりまとめている。

## 2.2.1 技術開発調整監

技術開発調整監及びそのスタッフは、北海道開発に係る土木技術について、基礎的研究に加えて技術開発、指導・普及を一体的に実施する体制を整え、北海道開発の推進に必要な技術的課題の解決をより一層効果的・効率的に実施することを目的として、国土交通省北海道開発局から土木研究所へ技術開発に関連する業務と人員が移管されたことに伴い、平成20年度に発足した組織である。

当初、技術開発調整監のもとに、寒地技術推進室、道央、道南、道北、道東の4支所及び寒地機械技術チームが設置されたが、その後、道央支所については、業務運営の効率化等の観点から平成24年度より寒地技術推進室に集約化された。

また、寒地機械技術チームは、大正8年に設置された旧北海道庁石狩川治水事務所江別機械工場がその源で、ここから北海道開発のための建設機械の技術開発が開始された。その役割は、昭和26年に北海道開発局建設機械工作所、平成13年に北海道開発局事業振興部防災・技術センターを経て、現在に至っている。

寒地技術推進室は、北海道内外における研究成果の普及や知的財産のマネジメント、支所は、道央地域を除く北海道内各地域での技術普及活動や研究チームと連携した地域での研究活動を行っており、技術者交流フォーラムを開催するなど地域における技術的課題の解決に向けた産学官の技術者の交流・連携を図っている。また、平成22年度からは、北海道内の自治体と締結した技術支援に関する協定や「土木技術のホームドクター宣言」に基づき、平時及び災害時の技術相談や技術指導、各種技術講習会の開催及び講師派遣、自治体が主催する技術検討委員会への参画等、技術支援活動を強化している。

寒地機械技術チームは、積雪寒冷地域における各事業分野の機械技術や情報通信技術を活用した研究開発に取り組んでおり、伝統的な研究課題である除雪機械や災害対策用機械の機能向上に関する研究のほか、土木施設や機械設備の維持・補修・更新等のストックマネジメントに資する点検技術や調査手法の効率化・高度化の研究、建設施工の環境負荷低減技術や省人化施工技術の研究を進めている。



写真-2.2.1.1 技術者交流フォーラム in 岩見沢 (H22)

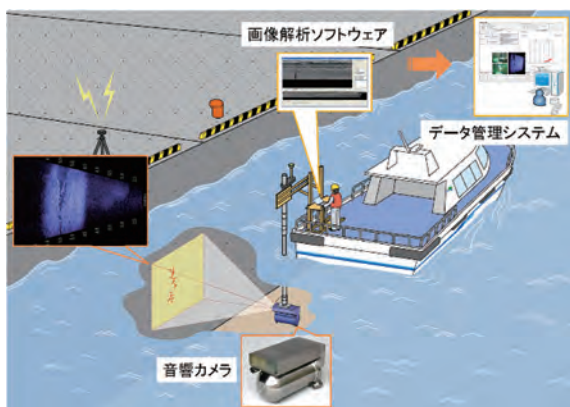


図-2.2.1.1 音響カメラを用いた水中構造物の劣化測定



図-2.2.1.2 ICTを活用した除雪作業の効率化

### 2.2.1.1 寒地機械技術チーム

#### (1) 概要

平成20年4月に新設された寒地機械技術チームは、積雪寒冷地における建設施工、施設管理、除雪、災害対策等について、多様化する社会ニーズに対応するため、機械技術や情報通信技術（ICT）を駆使した研究開発や技術支援を行っている。

また、土木施設や機械設備のストックマネジメントの検討のため、点検技術や調査手法の効率化、高度化を図り、ライフサイクルコスト（LCC）を低減し、施設の品質を確保する研究を行っている。

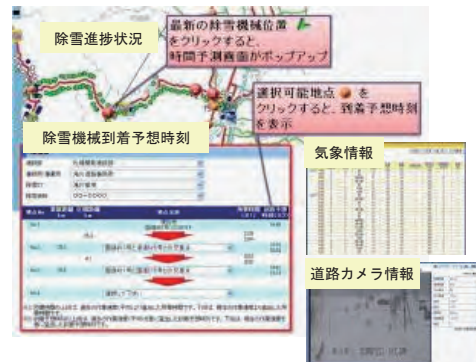


図-2.2.1.3 除雪作業状況の確認システム

#### (2) 雪氷処理の迅速化に関する技術開発

積雪寒冷地における円滑な冬期道路交通の確保において除雪機械は重要な役割を果たしているが、豪雪時には機械が不足し、除雪作業が遅延する事例も発生している。また、冬期路面管理に必要な不可欠な凍結防止剤や防滑材の散布は、適正な散布箇所・散布量の管理に努める必要がある。

本研究では、効率的・効果的な除雪作業の実施に資するため、除雪機械のマネジメントや弾力的な運用が可能な各種支援技術の検討を行った。

研究の成果として、豪雪時における隣接工区への応援判断に関する情報（除雪進捗情報、到着予想時刻等）を提供するシステム（図-2.2.1.3）及び凍結防止剤散布車の散布設定情報と位置情報を自動で収集して地図上での詳細な散布情報が確認可能なシステム（図-2.2.1.4）を開発し、インターネットを介して国道の道路管理者及び除雪工事受注者に提供した。



図-2.2.1.4 散布情報収集・管理システム

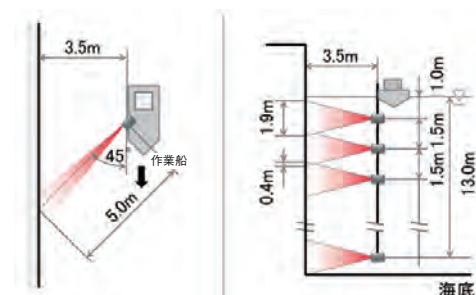


図-2.2.1.5 音響カメラによる撮影方法

#### (3) 結氷する港湾に対応する水中構造物点検技術に関する技術開発

寒冷地の港湾及び漁港施設における水中構造物の健全度診断は、海水の濁りや低い水温等の悪条件の中、潜水士による目視観察に頼っている現状であり、潜水士を必要とせず監督員が目視確認可能なシステムが求められている。



図-2.2.1.6 水中部のモザイク図と陸上部の一体画像

本研究では、濁水中での撮影を可能とする超音波式の「音響カメラ」を用いた港湾構造物水中部劣化診断システムを開発した。本システムでは船から専用の架装装置にて撮影を行うことで潜水士を必要とせず、さらに、水中から出ている岸壁も撮影し、水中部と陸上部の一体化したモザイク図の作成を行う（図-2.2.1.5、図-2.2.1.6）。

研究の成果として、潜水士と同程度の約3cmの分解能を確保したモザイク図ができ、架装装置を使用することにより水深10mでの位置精度を10～20cmとできた。さらに計測データを蓄積し経年劣化の進行も確認できるものとした。

#### (4) ICT を活用した効率的、効果的な除雪マネジメント技術に関する研究

除雪を効率的に実施するには、気象状況に応じた最適な除雪出動判断・運用を行う必要があるが、これらは過去の経験等に基づき実施されており、出動判断のタイミングや除雪機械の運用実態は定量的に把握されていない。

本研究では、人為的な判断のみによらない除雪出動判断や、豪雪等における迅速かつ効果的な除雪作業が可能な除雪運用に資するため、「雪氷処理の迅速化に関する技術開発」の研究成果を踏まえて、気象情報・除雪機械稼働情報の分析（図-2.2.1.7）とICTを活用した情報共有による、除雪出動判断支援・除雪運用支援技術を開発する。

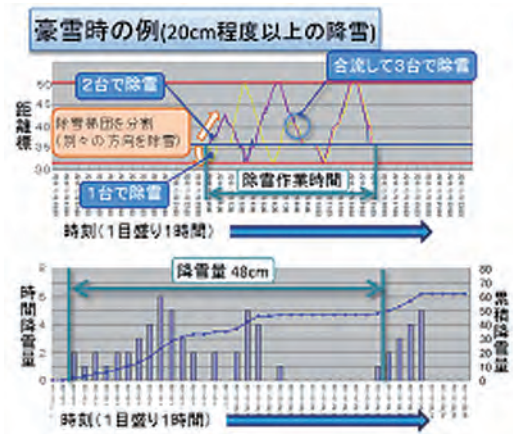


図- 2.2.1.7 除雪機械稼働状況と降雪量の分析

#### (5) 積雪期における安心・安全な歩道の路面管理技術に関する研究

積雪寒冷地の冬期歩道は積雪と融雪の繰り返しにより雪氷路面が形成され、歩行者により踏み固められて滑りやすい路面になり、歩行者の転倒事故が多発する一因となる。その対策として、歩道における除雪及びすべり止め材の散布が行われるが、すべり止め材の過剰な散布は春先の堆積土処理量増大の要因にもなる。

本研究では、道路利用者が安全に歩ける快適な冬期歩行空間を確保するため、機械処理による圧雪・氷板路面処理技術を開発する（写真-2.2.1.2）。



写真- 2.2.1.2 歩道の雪氷路面処理試験

#### (6) 雪堆積場の雪冷熱利用技術に関する研究

再生可能エネルギーである雪冷熱の利用は、集雪にかかるコストが課題なため、大規模な雪冷熱需要施設での利用は、技術的、社会的に体



写真- 2.2.1.3 実験用雪山の造成  
(断熱材にバーク材を使用)

系化されていない。一方、札幌市などの都市部では、道路を除雪して路肩に溜めた雪の運搬先となる雪堆積場の確保が年々困難となり、運搬距離が遠距離化しているため、運搬排雪コストが増大している。

本研究では、雪堆積場の雪をその周辺にある雪冷熱需要施設が雪冷熱エネルギーとして有効活用することで、雪堆積場までの運搬距離を改善し、運搬排雪コストを削減するため、雪堆積場の雪冷熱利用に係る計画、雪山の設計及び管理技術を開発する（写真-2.2.1.3）。

#### (7) 今後の展望

寒地機械技術チームは、今後とも積雪寒冷地域における機械技術や建設施工、施設の維持管理に係る研究開発に取り組み、道路、河川、港湾、農業等各土木事業における技術開発に寄与し、社会的貢献を果たしていく。

## 2.2.2 寒地基礎技術研究グループ

積雪寒冷地においては厳しい環境条件にさらされるため、土木施設の建設や管理などに際しては、低温や凍結融解などに強い構造や工法を考えなければならず、温暖な地域とは異なる技術開発が必要である。また、北海道には泥炭と呼ばれる極めて特異な性質の土が低平地に広く分布し、道路や河川堤防の建設にあたってはそれぞれの場所に適応する軟弱地盤対策を講じなければならない。さらに、道路の安全を守るため、沿岸や山岳地帯の道路における地質・環境条件等に応じた斜面崩壊対策技術が求められている。

寒地基礎技術研究グループでは、これらの課題に対処するため、寒地構造チーム、寒地地盤チーム及び防災地質チームにおいて、寒冷な自然環境下における土木構造物の機能を健全な状態に保持するための技術開発や斜面災害の減災などのための技術開発に関する研究を行っている。

寒地基礎技術研究グループの前身は、(独)北海道開発土木研究所構造部に当たる。当時は、構造研究室、土質基礎研究室及び材料研究室の3研究室体制であったが、平成18年4月に(独)土木研究所と統合し、(独)土木研究所寒地土木研究所寒地基礎技術研究グループとなり、各研究室は、寒地構造チーム、寒地地盤チーム及び耐寒材料チームに名称変更となった。同時に、農業開発部地質研究室が、防災地質チームとして当グループに編成替えとなった。さらに、平成24年4月には、耐寒材料チームが寒地保全技術研究グループに編成替えとなり、寒地構造チーム、寒地地盤チーム及び防災地質チームの3チーム体制となっている。



写真-2.2.2.1 凍害等によるRC床版の劣化・損傷



写真-2.2.2.2 泥炭性軟弱地盤上の道路の不同沈下



写真-2.2.2.3 凍害等によるRC床版の劣化・損傷

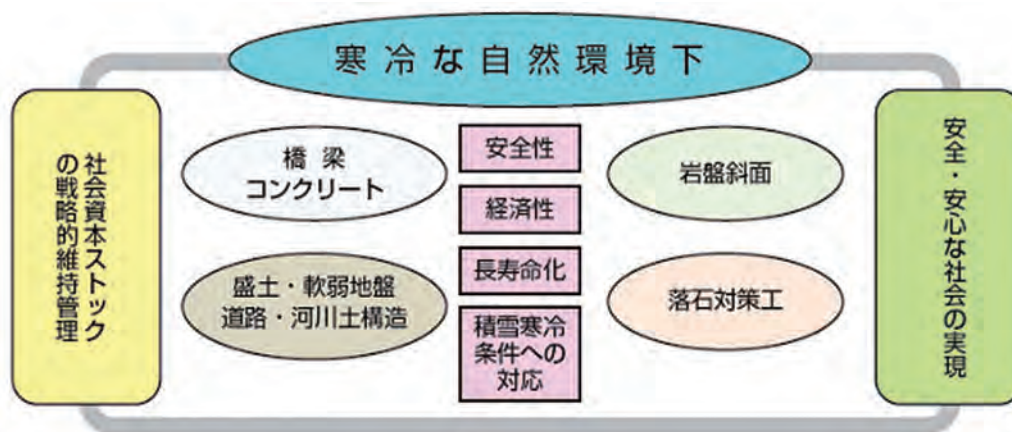


図-2.2.2.1 寒地基礎技術研究グループの研究内容



### 2.2.2.1 寒地構造チーム

#### (1) 概要

寒地構造チームは、北海道開発局開発土木研究所の構造研究室であったが、平成13年4月の独立行政法人化を経て、平成18年4月に現在の名称となり今日に至っている。

寒地構造チームは、落石や寒さ、地震など、厳しい自然環境から構造物を守るため、橋や落石覆道などの合理的な設計法や耐久性向上、ライフサイクルコスト低減などについて研究を行っている。

#### (2) 落石防護構造物の耐衝撃性能に関する研究

平成元年の一般国道305号（越前町玉川）での岩盤崩落事故や平成3年の一般国道158号の猿なぎ洞門での事故等を契機として、現在に至るまで、落石覆道や落石防護擁壁等の落石防護構造物の耐衝撃問題に関する研究を進めている。

研究の初期段階において、衝撃的な現象を忠実に計測するためセンサーの一つとして、衝撃実験用のロードセルを開発した。これにより、構造物に作用する衝撃外力の適切な評価が可能となり、落石覆道等に設置される緩衝材の緩衝性能や落石覆道を構成する部材の耐衝撃応答性状などに関する各種実証実験（写真-2.2.2.4, 2.2.2.5）を実施することができるようになった。

落石覆道に関しては、死荷重の増大等の問題点が指摘されていた従来の敷砂緩衝材に代わり、衝撃荷重の分散・緩衝性能に優れ、より大きな落石荷重に対応できる緩衝材として、敷砂、RC版及びEPS材という異種材料から構成される三層緩衝構造を開発した（図-2.2.2.2）。また、頂版部に高耐荷性と優れた靱性を有する鋼・コンクリート合成構造を採用したサンドイッチ落石覆道を開発した（写真-2.2.2.6）。さらに、落石防護構造物は許容応力度法で設計されているが、他の構造物と同様に性能照査型設計への移行に向けた研究を実施してきた。

現在は、既設落石防護構造物の劣化損傷の実態を踏まえた、合理的な補修補強技術の開発に向けた研究を実施している。

落石防護擁壁に関しては、支持層が深く、擁壁設置位置と斜面法尻が近接している箇所において、法尻掘削及び仮設工を最小限にする工法として、杭付落石防護擁壁を開発した（写真-2.2.2.7）。

近年、高エネルギー吸収型といわれる各種の落石防護工（落石防護柵・網等）が開発され、統一的な性能照査指標がないままに、現場適用事例が増えている。現在はこれらの落石防護工に着目し、求められる機能やその性能照査技術の開発に向けた研究を実施している。



写真-2.2.2.4 緩衝構造に関する屋外大型実験状況



写真-2.2.2.5 1/2 覆道模型を用いた衝撃実験状況

### (3) 地震防災・橋梁の耐震性能に関する研究

平成5年の釧路沖地震や北海道南西沖地震等の教訓より、地震観測の合理化に向けた検討を開始し、防災系ネットワークシステムである地震情報伝達システム(WISE)を開発するとともに、地震データを活用した被害予測手法等に関する研究を実施してきた。本システムは道内各地に設置された強震計のオンライン一元管理と、地震発生時には地震動レベルの指標や地震被害危険度を情報配信する機能(図-2.2.2.3)を有し、北海道開発局で運用されている。

上記道内地震及び平成8年の兵庫県南部地震による道路橋被害の経験等を踏まえた技術基準類の見直しに対し、橋梁構造物の耐震性向上に係る研究を進めている。

平成元年頃より、従来の鋼製支承に代わり積層ゴム支承を用いた免震設計の適用が開始されたが、寒冷地においては低温下におけるゴム系支承の特性変化が懸念された。このことから、低温時の各特性値の性能検証を行ってきており、現在は低温下におけるゴム系支承を用いた場合の最適設計(解析)手法に関する研究を行っている。一方、温度変化に伴う復元力特性の変化がない免震支承として、幾何学特性及び摺動摩擦力を利用した鋼製リンク支承を開発した(図-2.2.2.4)。

工費縮減や施工省力化、工期短縮を図るための工法として、高さ30m程度以下の低・中橋脚に適用可能な、コンクリートとの付着に優れた外面リブ付鋼管を軸方向鉄筋とともに橋脚断面内に配置する鋼管コンクリート合成構造橋脚を開発するとともに、本橋脚構造と鋼鈹桁との剛結構造を提案した(図-2.2.2.5, 2.2.2.6)。

既設RC橋脚の耐震補強法(主として段落部を有する壁式橋脚)として、アラミド繊維シートの巻き立て工法の開発を行った。また、雪寒地における施工条件に対応した、より合理的な靱性補強手法として、アラミド繊維をより線状に加工したアラミド繊維ロープを樹脂含浸せずに橋脚躯体に巻き付ける工法を開発した(写真-2.2.2.8, 2.2.2.9)。

現在は、既設橋梁の劣化状況等の条件も踏まえた耐震性能・破壊特性の評価手法や管理水準に応じた適切な耐震補強法について研究を行っている。

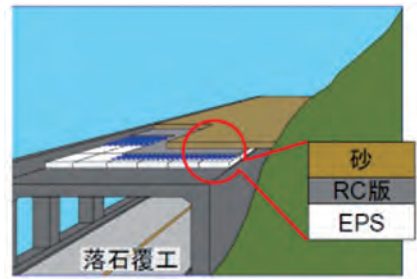


図-2.2.2.2 三層緩衝構造の概念図



写真-2.2.2.6 サンドイッチ落石覆道



写真-2.2.2.7 杭付落石防護擁壁



図-2.2.2.3 WISEによる被害予測分布表示例

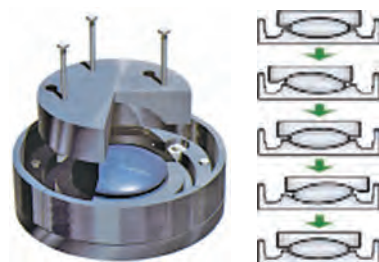


図-2.2.2.4 鋼製リンク支承

#### (4) 橋梁床版構造及び補修補強に関する研究

物流の効率化・車両大型化に対応するため、平成5年に道路構造令と車両制限令が改正され、道路橋の設計活荷重が改訂された。これらに対応すべく、既設橋梁床版の耐荷力評価手法として現地載荷試験を活用する方法や各種補強工法に関する研究を実施してきた。

また、現場施工省力化や品質向上、工期短縮、建設コスト縮減等の要請に対し、鋼材加工技術の高度化及びコンクリートの高性能化に着目し、ハーフプレハブ化した鋼コンクリート合成サンドイッチ床版を開発した(図-2.2.27)。

近年、雪寒地においては、道路橋の既設RC床版の劣化損傷が顕在化しており、補修補強技術の確立が急務になっている。このことから、輪荷重走行試験機(平成16年導入、写真-2.2.2.11)を用いた各種実験を実施し、雪寒地特有の凍害等による劣化損傷を受けた既設RC床版の疲労寿命予測式の提案や各種補修補強工法等の開発を行ってきた(写真-2.2.2.12)。

また、床版上面から浸透する水が床版の劣化を著しく加速させることが明らかとなっており、床版防水の重要性が再認識されている。このことから、現在、凍害用ランダム走行試験機(平成21年導入、写真-2.2.2.13)等を用いた試験を実施し、雪寒地の床版防水(システム)として必要とされる機能や性能評価技術の提案に向けた研究を実施している。

供用中の橋梁構造物の劣化、老朽化の進展により、今後の維持管理費の急増は明白であり、これまで以上に効率的な維持管理が必要となる。このことから、橋梁維持補修事業計画の立案に資することを目的として、橋梁定期点検結果を基にした健全度評価・劣化予測手法、補修補強工法に応じた機能回復度を考慮した補修補強シナリオを提案するとともに、これらの機能を備えた橋梁維持管理システム(CBMS)を構築した(図-2.2.2.8)。

#### (5) その他道路構造物に関する研究

##### 1) 複合構造横断函渠の開発

高規格幹線道路で、交差道路の横断函渠が道路縦断計画のコントロールポイントになる高盛土区間等

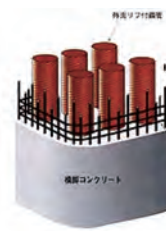


図-2.2.2.5 鋼管橋脚

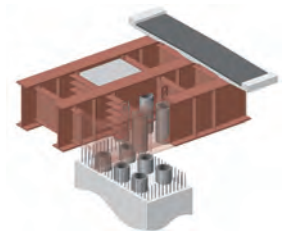


図-2.2.2.6 剛結構造



写真-2.2.2.8 アラミド繊維シート補強



写真-2.2.2.9 アラミド繊維ロープ補強

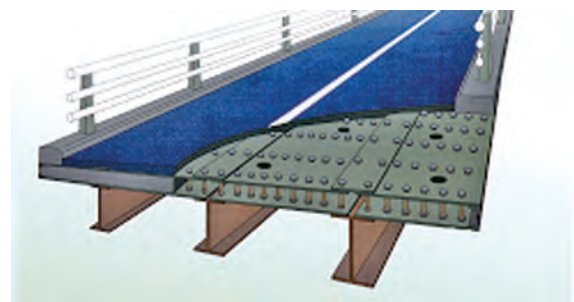


図-2.2.2.7 サンドイッチ床版



写真-2.2.2.10 RC床版の損傷状況



写真-2.2.2.11 輪荷重走行試験機

において、特にコスト削減効果が期待できる工法として、頂版部に鋼・コンクリート合成構造を用いた土被りの無い複合構造横断函渠を開発した(写真-2.2.2.14)。本工法により従来構造に比較して盛土高を1m程度低く抑えることが可能となり、盛土量や用地面積の減少によるコスト削減効果や盛土高さの減少による景観性向上等が期待できる。

### 2) 新型越波防止柵の開発

海岸沿いの道路区間では、強風や季節風による越波が道路に達し、波浪や飛石による通行止めが発生する事例があり、道路沿いに設置する対策施設として、従来、波形状鉄板(有孔鋼板)からなる越波防止柵が設置されてきた。しかしながら、周囲の視界を遮ることによる問題点等も指摘されていたことから、折板形状にした透明なポリカーボネートを採用した新型越波防止柵を開発した(写真-2.2.2.15)。本工法は採光性に優れており景観にも配慮でき、かつコスト削減も可能である。

### 3) 雪寒地仕様伸縮装置の開発

雪寒環境下における既設橋梁の調査結果より、鋼製伸縮装置の劣化・損傷原因を推定するとともに、それらに対して長期耐久性を確保するための改良(耐衝撃性、止水性、防食機能の向上)を施した鋼製伸縮装置を開発した(図-2.2.2.9)。

### 4) トンネル維持管理に関する研究

トンネル覆工の適切な維持管理に資するため、点検結果の数量化及び劣化度評価、劣化予測手法、断熱材施工区間の合理的な設定手法等を提案した。現在は漏水防止工設置(不可視)箇所の劣化度推定技術の確立に向けた研究を実施している。



写真-2.2.2.12 炭素繊維を用いた床版下面補強例



写真-2.2.2.13 凍害用ランダム走行試験機

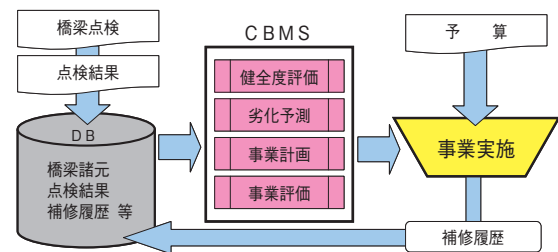


図-2.2.2.8 CBMSのイメージ



写真-2.2.2.14 複合構造横断函渠



写真-2.2.2.15 新型越波防止柵

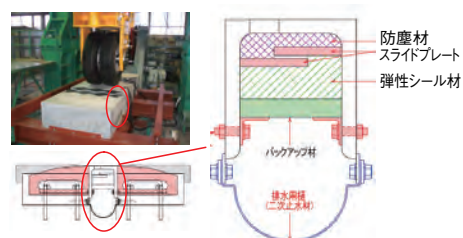


図-2.2.2.9 雪寒地仕様伸縮装置

## 2.2.2.2 寒地地盤チーム

### (1) 概要

寒地地盤チームは、北海道開発局開発土木研究所の土質基礎研究室であったが、平成13年4月の独立行政法人化を経て、平成18年4月に現在の名称となり今日に至っている。

寒地地盤チームでは、安全・安心な暮らしを守る社会基盤を効率的に整備するため、寒冷地に広く分布する泥炭性軟弱地盤やその他の特殊な地盤に建設される土木施設の安全性、経済性、耐久性を高める技術、冬期に施工する土工の品質を向上させる技術について研究を実施している。

以下に、当研究チームの大きな3つの研究分野である「泥炭性軟弱地盤」、「盛土施工」、「構造物基礎」について、研究の動向を示す。



図-2.2.2.10 泥炭地盤の分布

### (2) 泥炭性軟弱地盤に関する研究

寒地土木研究所の重要な研究課題のひとつに、泥炭地盤に関する研究が挙げられる。北海道や東北地方に広く分布する泥炭地盤(図-2.2.2.10)は、高有機質で特異な工学的性質を有する極めて軟弱な特殊土地盤である。泥炭地盤上に盛土などを築造すると、供用後の長く続く沈下、すべり破壊、周辺地盤の共下がりや隆起、側方流動などの問題が生じる。

ここでは、泥炭地盤に関する最近の研究成果のうち、主なものについて紹介する。

#### 1) 泥炭地盤上の盛土の耐震性評価と耐震補強技術に関する研究

地震時に泥炭地盤上の盛土が比較的被害を受けやすいこと(写真-2.2.2.16)は、古くから知られていたが、その被災メカニズム、耐震性の評価手法や合理的な耐震補強技術については、明らかにされていなかった。

そこで、被害事例の調査、遠心模型実験、数値シミュレーションなどを実施して、これらの課題の解決を図った。その結果、泥炭地盤上の盛土で特徴的に見られた被災変状モードを再現することができ、沈下によって泥炭にめり込んだ盛土の底部の液状化が、被災の主たる要因であることが明らかになった。また、ふとん籠による補強が有効ことがわかった。さらに、盛土底部の液状化による盛土の沈下量を簡易的に予測する方法を確立するに至った。



写真-2.2.2.16 泥炭地盤における河川堤防の地震被害事例

#### 2) グラベルセメントコンパクションパイル(GCCP)工法の開発

泥炭地盤の地盤改良技術に関する研究の一環として、(株)不動テトラと共同研究を実施し、新しい地盤改良技術であるグラベルセメントコンパクションパイル(GCCP)工法を開発した。本工法は、サンドコンパクションパイル工法の施工機械を使用し、碎石にセメントミルクを添加した混合材料を用いることで、高強度で品質の安定した固化パイルを造成するものである。従来技術である深層混合

処理工法と比較して、コストの縮減や工期の短縮が可能となった（図-2.2.2.12）。

### 3) 「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」の改訂

泥炭地盤に関する一連の研究成果を広く普及させるため、泥炭地盤上に道路などを建設・維持管理する際に必要な調査・設計・施工の標準的な考え方をとりまとめた技術指針として、「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」を発刊している。本マニュアルは、昭和56年に刊行された「泥炭性軟弱地盤対策工指針（案）」の改訂版であり、平成14年に発刊された後、平成23年に改訂を行っている。なお、平成23年版は、寒地地盤チームのホームページからダウンロードが可能であり、1年間で2000件を超えるダウンロードがあった。

現在、泥炭性軟弱地盤における戦略的維持管理手法に関する研究などを実施しており、特殊な地盤環境であっても、より安全で安心な社会基盤が効率的・効果的に整備できるよう研究活動を継続しているところである。

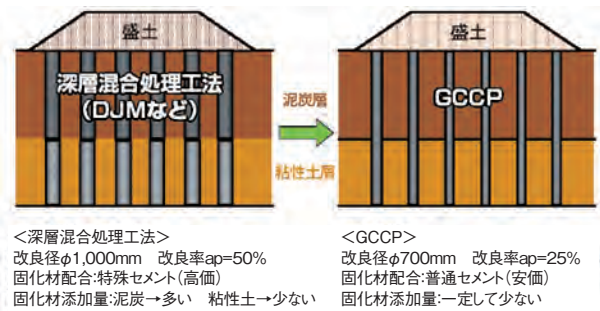


図-2.2.2.12 GCCP工法の特長

### (3) 積雪寒冷地における土工に関する研究

積雪寒冷下での盛土施工、凍上によるのり面への影響、寒冷環境下でののり面緑化、発生土の有効利用など積雪寒冷地における土工の問題点に関する研究を行っている。

ここでは、主な研究について紹介する。

#### 1) 冬期土工の品質確保に関する研究

積雪寒冷地においては、冬期に施工した盛土が融雪期に崩壊する事例が発生しており（写真-2.2.2.17）、その原因と対策を検討し、低温環境下で施工される盛土の品質及び耐久性の向上が求められていた。

過去に実施されてきた地盤の凍上及び地盤材料の凍結に関する研究、盛土施工の効率化と品質管理向上技術に関する研究をふまえ、苫小牧施工試験フィールドにおいて冬期土工を実施し、盛土内に凍結土が残留するメカニズムを把握した。



写真-2.2.2.17 春先の盛土の崩壊

#### 2) 凍上や凍結融解の影響を受ける切土のり面に関する研究

近年、凍上に起因するのり面の崩壊及び構造物の機能低下が問題視されており、この解明及びその対策の開発と維持管理コストの削減の必要が生じている。そこで、凍上に起因する地盤の変状を予測した効率的・効果的な対策技術及び既設のり面の凍上を考慮した点検手法や崩壊危険度評価手法の提案を目的に、現場計測を中心に研究を実施している。調査の結果、切土のり面の小段の凍上メカニズムを把握し（図-2.2.2.13）、凍上による変状を抑制する排水施設を提案した。

#### 3) 発生土の有効利用に関する研究

建設工事により発生するすき取り物や泥炭は、盛土材として利用できないため廃棄処分されてきた。これらを再資源化することは、コスト縮減及び環境負荷低減の観点から重要である。

そこで、従来、廃棄処分されていたすき取り物や泥炭を、盛土の緑化材料として利用する方法を検討

したところ、過酷な施工条件となる積雪寒冷地においても十分生育することが確認された。これにより、コストの縮減及び環境負荷低減が図られる。すき取り物によるのり面緑化工法は、「国土交通省北海道開発局道路設計要領」に反映され、平成20年度には、北海道開発局の標準工法となった。すき取り物の適用条件を図-2.2.2.14に示す。

#### 4) 微生物機能を活用した地盤改良技術に関する研究

微生物の代謝を活用した固化促進技術を対象に、様々な土質・環境条件への微生物機能による地盤改良技術の実用化に向けた検討を行った。特に、地盤沈下が発生する可能性がある泥炭について実施工を考慮した微生物機能による地盤改良技術の提案を目的としている。これまでの調査の結果、泥炭が微生物の働きによって固化する可能性を見出した。

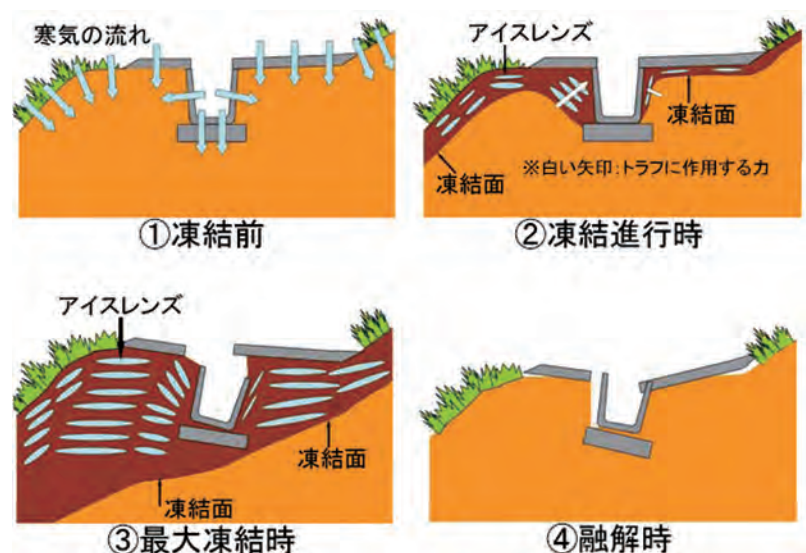


図-2.2.2.13 凍上によるU型トラフの変状メカニズム

- ・すべての植物で施工可能
- ・凍結したすき取り物を施工しなければいつでも施工可能
- ・施工のり面こう配は1:1.5以上
- ・施工厚さは、のり面部で10cm以上、平面部で5cm以上

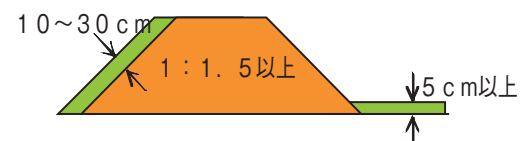


図-2.2.2.14 すき取り物によるのり面緑化工法の条件

#### (4) 構造物基礎に関する研究

構造物基礎については、北海道の特殊土地盤である泥炭性軟弱地盤及び火山灰の支持力機構を対象とした研究開発を実施している。

##### 1) 複合地盤杭基礎の設計施工法に関する研究

泥炭性軟弱地盤は脆弱であり、そこに施工する橋梁下部工・基礎工は大規模化が余儀なくされ、極端な場合には構造物基礎の設計法が成立しないケースもある。また、基礎の地震時変形も比較的大きく耐震性の確保が大きな課題である。そのため、泥炭性軟弱地盤において構造物基礎の建設コスト縮減及び耐震性能を考慮した新技術の活用が求められていた。

このような状況に対処するため、泥炭性軟弱地盤に施工する杭の頭部周辺に主に固結工法による地盤改良を併設し、基礎の縮小化と同時に耐震性の向上を図る複合地盤杭基礎を研究開発した。泥炭性軟弱地盤において従来工法で杭基礎を設計した場合に、杭許容水平変位量を確保させるため非常に多くの杭本数となるが、複合地盤杭基礎を用いることで杭本数を大幅に減じることができ建設コスト縮減が可能となる(図-2.2.2.15)。また、所要の杭基礎の耐震性も確保される。

一連の現場載荷試験及び遠心力模型実験・大規模模型実験、非線形有限要素法などの数値解析による検証から、複合地盤杭基礎に関する設計法及び耐震照査手法を確立させた。これらの検証に基づく設計ルール及び施工カルテを中心として施工管理法を整備し、「北海道における複合地盤杭基礎の設計施工法に関する技術検討委員会」による検討を経て、実務者のための「北海道における複合地盤杭基礎の設計施工法に関するガイドライン(平成22年4月)」を発刊し、普及に努めているところである。

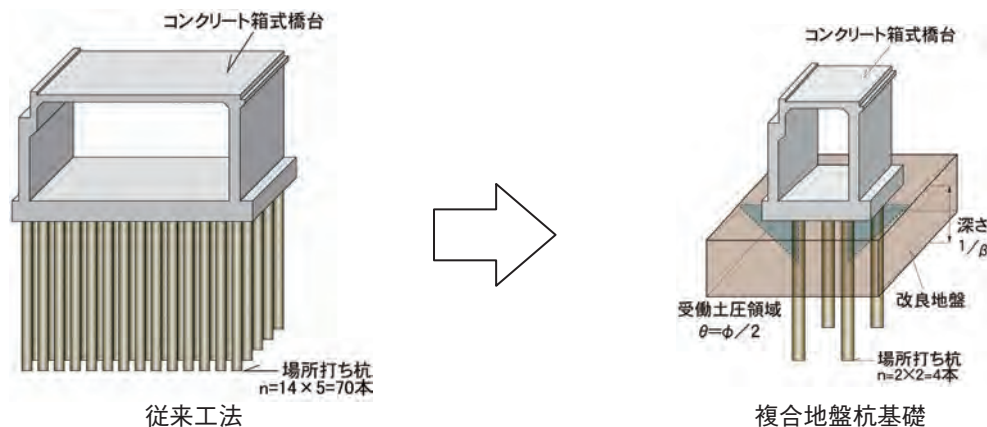


図 - 2.2.2.15 従来工法と複合地盤杭基礎の比較

## 2) 火山灰質地盤における杭基礎の支持力評価

北海道の火山灰質地盤における杭基礎の支持力は、火山灰質土が砂に近い密度及びせん断抵抗を有することから、一般に砂質地盤に準拠して設計されていた。しかし、火山灰質土は物性によっては破碎性の性質を呈するなど、その種類により砂質土と細部の力学特性が異なることが明らかとなってきた。

そこで、火山灰質地盤における杭基礎の鉛直支持機構の検証を目的に、北海道内の火山灰質地盤に施工された道路橋基礎杭において鉛直載荷試験を実施し検討を行った。その結果、杭種別（場所打ち杭、打込み鋼管杭）及び火山灰質土の種類別（降下火砕堆積物、火砕流堆積物）に周面摩擦力度を提案し、「国土交通省北海道開発局道路設計要領」に反映された。

## (5) アウトリーチ活動

### 1) マニュアル類の WEB 公開及びセミナー開催

寒地地盤チームでは、それまでに得られた研究成果を整理し、土木構造物を建設・維持管理する際に必要な調査・設計・施工の標準的な考え方をとりまとめ、マニュアルを発刊・WEB 公開を実施している。

また、「北海道における複合地盤杭基礎の設計施工法に関するガイドライン」及び「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」については、マニュアルの要点を解説するセミナーを開催し、多くの参加者を得た。

### 2) 土と基礎に関する若手勉強会

寒地地盤チームでは、北海道開発局の若手技術者を対象とした「土と基礎に関する若手勉強会」を定期的で開催している。『軟弱地盤対策』、『杭基礎』、『不良土』などのテーマを定め、参加者が経験した調査・設計・工事・維持業務の中で、問題となった点や工夫、解決したこと、解決に至らなかったことなどの具体的事例に関するディスカッションを行い、活発な議論を通じて、参加者の技術力向上に資するとともに、現場ニーズの把握、研究成果の普及の機会となっている。

## (6) 今後の研究方針

厳しい財政事情、大規模自然災害発生による安全安心な暮らしの強い要請、社会資本ストックの老朽化、地球環境問題への関心の高まり等を踏まえ、「安全安心」、「ストックの機能維持」、「環境」をキーワードに研究を進めていく。

研究の実施・計画・立案に当たっては、行政ニーズを把握するとともに、地方整備局への研究成果の普及に努める。また、研究成果の社会への貢献として、学協会等への積極的な発表、土研ショーケース等への出展、研究成果の基準類への反映・普及を行う。



### 2.2.2.3 防災地質チーム

#### (1) 概要

防災地質チームは、北海道開発局開発土木研究所の地質研究室であったが、平成13年4月の独立行政法人化を経て、平成18年4月に現在の名称となり今日に至っている。

防災地質チームは、斜面災害等を回避・軽減するための研究、自然由来の重金属類の評価・対策に関する研究、トンネル地質評価に関する研究、積雪寒冷下での土木事業における地質課題の解決のための研究、地質資源の有効利用のための研究に取り組んでいる。これまでの研究成果と今後の研究内容について以下に述べる。

#### (2) 岩盤斜面災害に関する研究

北海道では豊浜トンネル崩落事故（平成8年、死者20名、写真-2.2.2.18）、第2白糸トンネル崩落事故（平成9年）以降も、北陽土砂崩落（平成13年、死者2名）、えりも斜面崩壊（平成16年、死者1名、写真-2.2.2.19）等、国道斜面を中心とした岩盤斜面災害が依然、続いており、道路斜面の適切な評価・対策が緊急の課題となっている。

防災地質チームは斜面災害等を回避・軽減するための研究をチームの最重要研究課題に位置づけ、これまでに国道沿いの危険斜面の抽出フローを作成して国土交通省北海道開発局の道路防災点検に貢献した。また、遠心力模型実験を基にオーバーハングのある岩盤斜面の斜面安定度を評価する方法を開発（図-2.2.2.16）し、その結果をもとに背面亀裂の深さ、オーバーハングの奥行き、岩体の引張り強さ等を指標とした極限平衡解析による岩盤斜面の安定度評価法（簡便な2次元評価法と精度の高い3次元評価法）を構築した（3次元評価法は研究所ホームページに公開中）。さらに、デジタルカメラを利用した簡便な道路斜面点検方法を開発した。同方法は背景差分法（図-2.2.2.17）や変動量計測法によりそれぞれ斜面変状箇所を抽出し、変動量を評価する方法である（「写真計測技術を活用した斜面点検マニュアル（案）」として公表）。



写真- 2.2.2.18 豊浜トンネル崩落事故



写真- 2.2.2.19 えりも斜面崩壊

#### (3) 自然由来の有害物質の評価に関する研究

近年、土木現場においてヒ素や鉛等の自然由来重金属類が環境基準値を超える場合が増加し、その合理的な評価・対策のあり方が課題となっている。防災地質チームでは、これら自然由来重金属類の長期的な危険性を評価する技術や経済的な対策技術に関する研究を進めてきた。これまでに自然由来重金属類の長期リスクを考慮した重金属溶出量評価フロー（図-2.2.2.18）を考案するとともに、国土交通省の「建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル（暫定版）」（平成22年3月）の作成

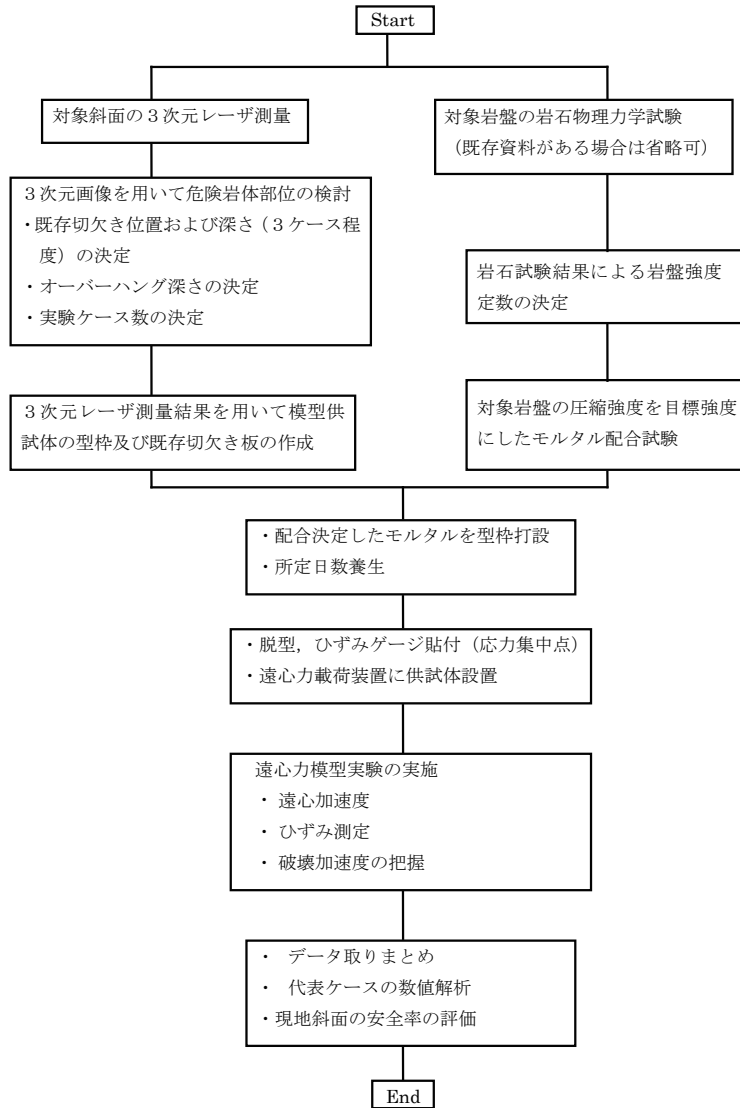


図- 2.2.2.16 遠心力模型実験による岩盤斜面の安定度評価フロー



図- 2.2.2.17 背景差分法による変状箇所の抽出

に寄与した。

現在、自然由来重金属類含有岩石の長期的なハザード評価技術の提案、建設発生土の高精度なリスク評価技術の提案、要対策土への対策の設計・施工・維持管理技術の提案に向け研究を実施している。また、自生植物を利用した積雪寒冷地の酸性法面対策工に関する研究についても実施している。

(4) トンネル地質評価に関する研究

トンネルの長大化に伴い、トンネル地質深部の評価精度の向上が建設コストを縮減する上での課題となっている。また、完成したトンネルにおいて路盤の変形やコンクリート落下等の変状が顕在化する事例も増え、社会的課題となっている。

防災地質チームでは、トンネルの調査～施工を通じた合理的な地質調査法を確立するための研究を進め、特にヘリコプターによる電磁探査法や磁気探査法等、広域物理探査手法について研究を進め(図-2.2.2.19)、各手法の適用性を明らかにした。さらに、北海道開発局のトンネルデータベースの構築に寄与した。現在、これらの成果を踏まえ、「時間遅れを伴うトンネル変状の評価法に関する研究」を実施し、完成後のトンネルの変状機構の解明やその予防のための研究を行っている。

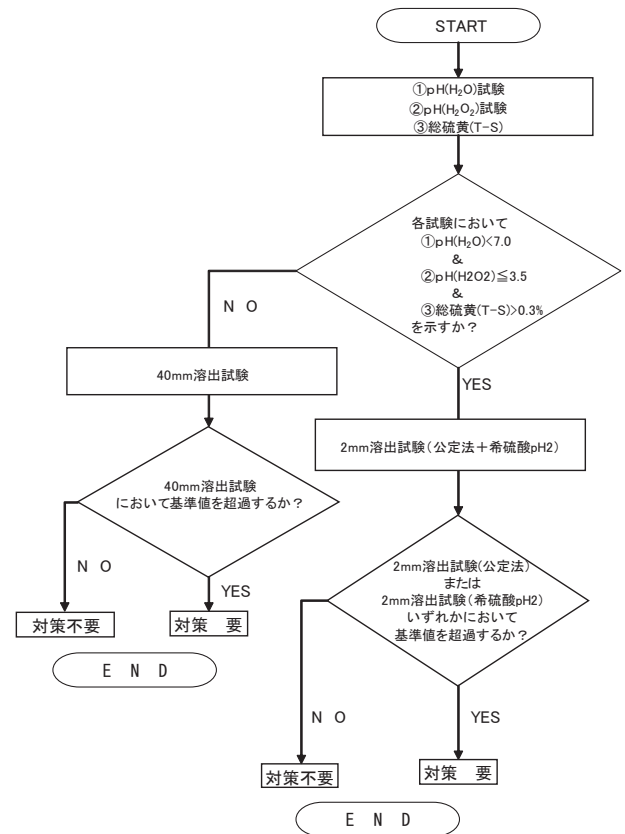


図- 2.2.2.18 長期リスクを考慮した重金属溶出量評価フロー (素案)

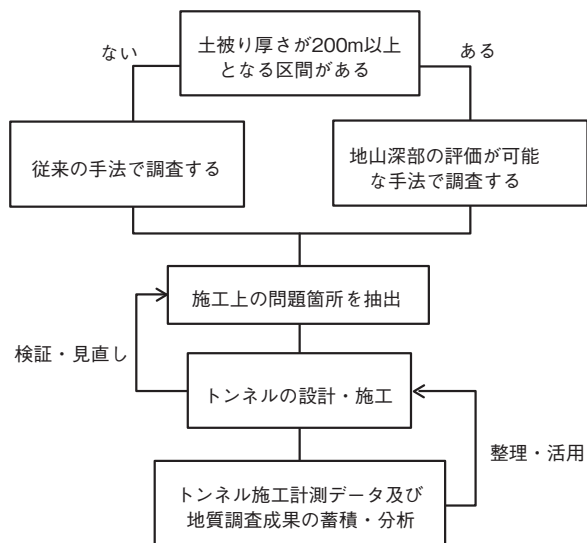


図- 2.2.2.19 トンネル事業における広域物理探査手法の適用性の検討

(5) 積雪寒冷下での土木事業における地質課題の解決のための研究

積雪寒冷地で道路建設を行う場合、岩盤路床が凍上や凍結融解により劣化しないかどうかを経済的に評価することが重要となるが、従来は精度の良い判定法が確立していなかった。防災地質チームでは岩盤路床の合理的評価手法に関する研究に取り組み、評価フローとして取りまとめた（図-2.2.2.20、平成22年度に道路設計要領に採用）。また、維持・管理を考慮した地下水環境の評価手法に関する研究により、土木工事における地下水の水質問題等についても検討を進めている。

(6) 地質資源の有効利用のための研究

これまで、農業用地下水開発の研究を進め、北海道各地の地下水賦存状況について明らかにした。また、農業用ダム堆砂土の有効利用の研究を行い、一般に厄介物とされている堆砂土を、農地の客土材としての適用性を明らかにした。現在は、新たな地域資源として注目されている地質景観（ジオパークや地質遺産等）に関する研究を行っている。

(7) 今後の展望

防災地質チームは、これまで進めてきた斜面災害、自然由来重金属類、トンネル等の研究課題を一層推進するとともに、地質景観や地下水環境に関する課題等、地質に関する新たな社会的ニーズについても研究を展開していく予定である。研究を進めるにあたっては、「安全・安心」、「環境」、「地質資源」および「コスト縮減」をキーワードに、チームとして対応すべき課題について緊急性や重要性を考慮しつつ研究を行う。

得られた研究成果は学協会等で積極的に発表するとともに、講習会の開催やマニュアル作成等を行い社会への普及を進めていく。また、研究で得られた知見をもとに災害時の緊急対応、技術相談への対応、各種委員会・検討会へ積極的に参画し、社会への還元に努める。このほか、国内外の研究機関との連携・交流を深め、新しい技術や知見の導入・展開に努めていく予定である。

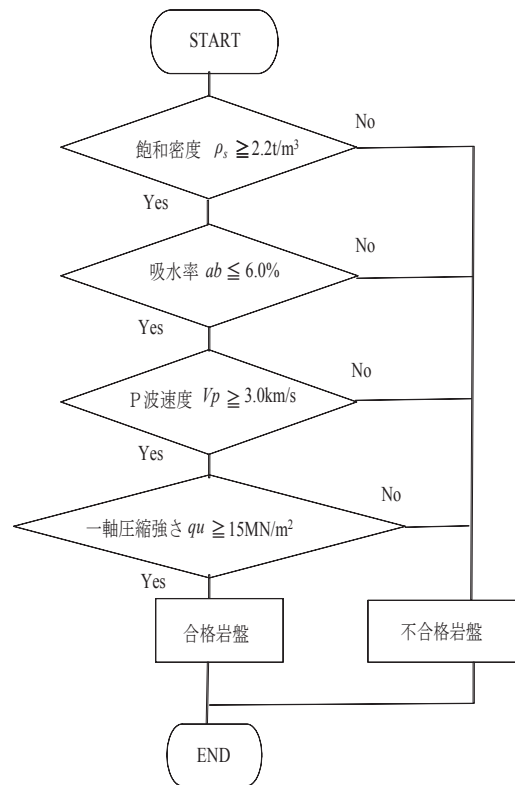


図-2.2.2.20 岩盤路床の評価フロー

### 2.2.3 寒地保全技術研究グループ

積雪寒冷地における土木施設の維持管理及び補修などの保全技術分野における研究体制の強化を図るため、寒地保全技術研究グループを平成24年度に新たに設置した。寒地基礎技術研究グループに所属していた耐寒材料チームと寒地道路研究グループに所属していた寒地道路保全チームを当研究グループに再編し、寒地における土木材料、舗装、道路の維持管理に関する研究・技術開発に取り組んでいる。

高度経済成長期に建設された膨大な土木施設の老朽化が進み、維持・修繕や更新に要する費用が増大していくことが予想される。限られた予算の中で土木施設の機能をより長く適切に維持していくためには、長寿命化、予防保全や効果的な修繕などに長期的視点から計画的に取り組むことによってライフサイクルコストの低減を図ることが必要である。

積雪寒冷地の土木施設は、低温、凍結・融解、積雪・融雪などの気象条件、タイヤチェーンなどの交通条件、除雪、凍結防止剤散布などの維持作業の影響を受けている。このため、凍害単独や塩害等との複合劣化によるコンクリート構造物のスケーリングやひびわれ、舗装の凍上、低温ひびわれ、摩耗、ポットホール及び骨材飛散などによる機能低下が生じている。

当研究グループでは、このような厳しい環境条件下においてコンクリート構造物や舗装等の耐久性を向上させるための材料、設計、施工、品質管理などの建設技術及び積雪寒冷地特有な条件に対応した診断、補修、補強などの保全技術に関する研究・開発を行っている。

また、社会インフラのグリーン化を目指して、寒地における低炭素型舗装技術や土木材料のリサイクル技術の開発に取り組んでいる。



写真-2.2.3.1  
スケーリング



写真-2.2.3.2  
ひびわれ



写真-2.2.3.3  
低温ひびわれ



写真-2.2.3.4  
ポットホール

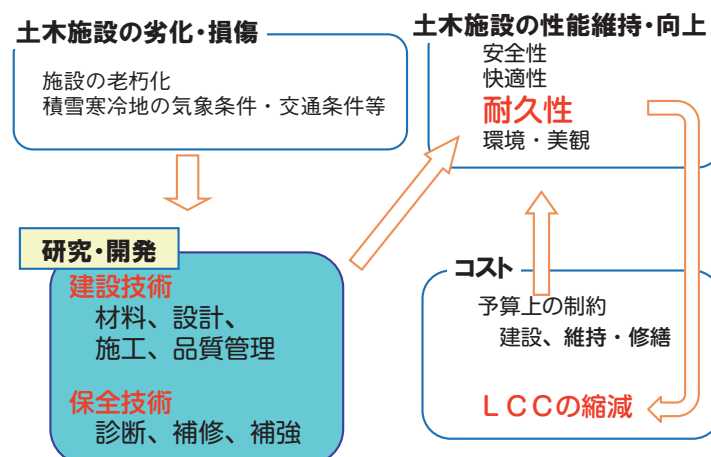


図-2.2.3.1 寒地保全技術研究グループの研究方針

### 2.2.3.1 耐寒材料チーム

#### (1) 概要

耐寒材料チームは、北海道開発局開発土木研究所の材料研究室であったが、平成13年4月の独立行政法人化を経て、平成18年4月に現在の名称となり今日に至っている。耐寒材料チームは、厳しい自然環境に適応したコンクリート構造物をつくるため、凍害や塩害との複合劣化に関する診断技術や対策などを中心にコンクリートに関する幅広い研究開発を行っている。また、鋼橋塗装に関する研究等も行っている。

本稿においては、現在の第Ⅲ期中期目標期間（平成23年～平成27年）の研究に加え、最近15年間の主な研究などを紹介する。

#### (2) 補修補強に関する研究

プロジェクト研究「社会資本ストックをより永く使うための維持・管理技術の開発と体系化に関する研究」に関する個別課題として「コンクリート構造物の長寿命化に向けた補修対策技術の確立」の研究を、つくばの基礎材料チーム及び新材料チームと一体となって進めている。本研究は、各種コンクリート補修工法（断面修復工法、表面保護工法、ひび割れ修復工法）に関する研究である。耐寒材料チームでは、ひび割れ修復工法（ひび割れ注入材や充てん材）を主に担当している。第Ⅱ期中期（平成18年～平成22年）後半の「積雪寒冷地における充填・注入によるコンクリートのひびわれ修復対策に関する研究」を引き継ぎ、施工環境（積雪寒冷など）に応じた適切な補修方法、補修対策技術の標準的な考え方（補修のメカニズム、補修における要求性能、性能評価方法など）を体系化することを目指している。この研究は、高度経済成長期に加速的に整備されたコンクリート構造物の高齢化が近年問題になってきていることから、適切な補修等によってコンクリート構造物の長寿命化を図り、安心して利用するための戦略的な維持管理に資することを目標にしている。

また、プロジェクト研究「寒冷な自然環境下における構造物の機能維持のための技術開発」に関する個別課題の「凍害・塩害の複合劣化を受けた壁高欄の衝撃耐荷力向上対策に関する研究」では、第Ⅱ期中期で行われていた「コンクリートの凍害、塩害との複合劣化挙動及び評価に関する研究」における、凍害等の劣化を受けた鉄筋コンクリート梁部材の静的力学的性能の解明（写真-2.2.3.5）に引き続き、動的性能の解明の一環として研究を実施している。積雪寒冷地の壁高欄等では、凍結防止剤混り融雪水や沿岸地域の飛来塩分の影響を受け、凍害・塩害による複合劣化を受けているが、その衝撃耐荷力については明らかになっておらず、補修補強の必要性を判断する手法の確立や補修対策の提案が急務となっていた。このため、壁高欄の機能を適切に維持し、車両逸脱や第三者被害を防止することを目的として、凍害・塩害の複合劣化を受けた壁高欄の衝撃耐荷力実験等による力学性能の検証や、壁高欄の劣化状況等の現地調査結果を活用し、壁高欄の補修・補強の必要性を判断する点検・診断技術や劣化程度に応じた適切な補修・補強対策等を提案することを目標に研究を進めている。また、同様な知見や技術力を生かし「疲労と凍害の複合劣化を受けたRC梁の耐荷力評価に関する研究」では、基礎的な研究を行っている。

上記以外で土木施設の寒地耐久性を向上させる補修補強の研究としては、表面含浸材によるスケーリング抑制



写真-2.2.3.5 凍害劣化RC梁の載荷試験

対策など表面保護工に関する研究（写真-2.2.3.6）、50 $\mu$ mの中空微小球により耐凍害性を確保し、さらに剥落抑制の化学短繊維を混入した吹付けコンクリートと連続繊維を組合せた補強工法の開発（写真-2.2.3.7）、樋門などの河川コンクリート構造物の劣化や鋼構造物塗装に関する研究など様々な技術開発や研究を行ってきた。なお、表面含浸材は「土木学会 コンクリート技術シリーズ」や「北海道開発局 道路設計要領」に、短繊維混入吹付けコンクリートやさらに連続繊維と組合せた技術は「土木学会 コンクリート技術シリーズ」や「吹付けコンクリート指針（案）[のり面編]や[補修・補強編]」に反映され、現場でも施工されている。

### (3) 品質管理・耐久性に関する研究

プロジェクト研究「社会資本の機能を増進し、耐久性を向上させる技術の開発」に関する個別課題として実施している「性能規定に対応したコンクリート構造物の施工品質管理・検査に関する研究」は、つくばの基礎材料チームと一体となって研究を進めている。研究背景として、最近のコンクリート構造物への要求性能の多様化に伴って、施工に起因したコンクリートの品質の不具合が見受けられていることがあげられる。また、現状の施工・品質管理や検査は、材料や各施工段階での試験、出来形検査、目視による検査、強度試験等が主であり、出来上がりコンクリートそのものの耐久性等の各種性能を定量的に評価する品質検査技術や判定規準は確立されていない。このため、コンクリート構造物の長寿命化を目指し、配合や施工条件を変えた室内試験、暴露試験及び現場施工試験等を実施して、性能規定に対応した施工管理（施工性、養生などの施工方法等）、竣工時における出来上がりコンクリートの耐久性等の品質を適切に検査できる竣工検査技術を提案することを目標にしている。なお、これらの品質検査では、各種非破壊試験の利活用を検討している。このうち、超音波による品質評価技術の検討では、第Ⅰ期中期（平成13年～平成17年）の「社会基盤を充実し持続するための建設・維持管理に関する研究」に関する個別研究課題の「コンクリートの品質評価法に関する研究」で得られた硬化コンクリートの水セメント比の分布を超音波速度のトモグラフィーを活用して推定する技術「超音波によるコンクリートの品質評価方法」（平成19年特許取得技術）や第Ⅱ期中期における「コンクリートの凍害、塩害との複合劣化挙動及び評価に関する研究」の成果、「超音波を用いた非破壊試験で凍害程度を把握するコンクリート構造物の診断手法」（写真2.2.3.8）なども活用しながら研究を進めている。また、個別課題「凍害の各種劣化形態が複合したコンクリート構造物の性能評価法の開発」は、主に塩分浸透性に及ぼす影響に着目して、研究を進めている。関連する既往の研究としては、第Ⅰ期研究五箇年計画の「苛酷環境下におけるコンクリートの劣化挙動に関する研究」及び第Ⅱ期中期「コンクリートの凍害、塩害との複合劣化挙動及び評価に関する研究」がある。



写真-2.2.3.6 スケーリング抑制対策



写真-2.2.3.7 補修・補強技術の施工例



写真-2.2.3.8 超音波による凍害劣化診断

このうち、スケーリング被害を受けている北海道内の6港8防波堤の上部天端部(28箇所)の現場計測データを解析し、スケーリングの進行予測モデルの構築、塩化物イオンの浸透性に及ぼすスケーリングの影響の評価を取り纏めた論文「10数年および約40年経過した北海道の港湾コンクリート構造物のスケーリング進行性評価」は、寒冷地におけるコンクリート構造物の耐久性照査体系の高度化に貢献すると評価され、平成20年度土木学会賞吉田賞(論文部門)を受賞している。

なお、これら第Ⅱ期中期の成果は「凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書(案)」に取り纏めており、寒地土木研究所HPの技術資料からダウンロードが出来る。主な成果概要としては、水分の供給条件を考慮した凍害劣化予測手法、水セメント比と凍結融解履歴から既存構造物のスケーリングの進行性を簡易に予測できる手法、水セメント比と透水係数の組み合わせによって塩化物環境下のスケーリングに対する耐久性を照査できる式の提案などである。しかし、未だ、ひび割れやスケーリングそれぞれ単一の劣化形態に対する診断・劣化予測手法、耐久設計法の開発に留まっており、実際の現象として生じている凍害と塩害の複合劣化症状として現れるスケーリングとひび割れが同時に進行する様な状況(写真-2.2.3.9)を評価するには至っていない。以上のことから、今、第Ⅲ期中期においては、スケーリングとひび割れの劣化形態が複合化した場合におけるコンクリートの塩化物イオン浸透性の定量的評価など、各種品質に及ぼす影響に関して、室内試験(写真-2.2.3.10)や現地調査を行い、実際の構造物の劣化進行現象により近い状態で、性能を評価できる方法を開発することを目標に研究を進めている。

上記以外の研究として、産業副産物であるフライアッシュやスラグ、シリカを人工ポゾランの混和材料として利用することにより、耐久性を向上させる技術を開発し、工場製品として現場で利用されてきている。また、低発熱セメントと高炉スラグ微粉末を組合せた高耐久性・低発熱コンクリートの技術(開発土木研究所第二次研究五箇年 平成6年~平成10年)は、高炉スラグによるRCD工法として札内川ダム(平成11年)に利用されている。なお、これらに関連して、現在は天然ポゾランである火山灰を混入したコンクリートの耐久性等の品質に関する研究を行っている。

#### (4) その他研究

その他の主な研究としては、従前から実施している資源の循環活用による環境負荷の低減を目指した再生粗骨材の有効利用に加え、東日本大震災で発生したコンクリート殻の活用を図る研究を、現在、進めている。また、既往の研究としては、ポーラスコンクリートの水辺のコンクリートや排水性舗装への利用や耐候性鋼材利用に関する研究なども行ってきた。なお、これら研究の成果の一例としては、再生粗骨材に関しては、日本コンクリート工学協会(現 日本コンクリート工学会)の「委員会成果」や「マニュアル」へ反映されている。



写真-2.2.3.9 ひび割れとスケーリング



写真-2.2.3.10 ASTM C 672によるスケーリング試験



## (5) 施設

さて、前述の耐久性を評価するうえで非常に重要な凍結融解試験は、古くは冷蔵庫を用いて試験を行っていた。当研究所では昭和 29 年に ASTM 制定試験方法に適合する全自動式コンクリート凍結融解試験機を用いた試験へと移行した。

現在では、凍害関連の設備として、JIS A1148（米国規格 ASTM C 666 同等 +5 ~ -18℃）に対応し、□10cm × 40cm サイズの試験体で凍結融解によるコンクリート材料の内部劣化を評価する試験装置 2 連、小型試験体に対して気中の凍結・融解または気中凍結・散水融解の試験を行うコンクリート凍害試験装置（+30 ~ -30℃）1 台、モルタル等の小型試験体の気中凍結融解を行うプログラム低温恒温装置（+30 ~ -30℃）1 台、□15cm × 7.5cm サイズの試験体で真水・塩水を用いて一面凍結融解によりスケーリングを評価できる RILEM（欧州規格）CDF & CIF 試験装置（+20 ~ -20℃）1 台、同様に塩水を表面に湛水させ凍結融解によりスケーリングを評価する ASTM C 672（塩水湛水 + 23 ~ -18℃）試験等が可能な低温環境の部屋（+ 40 ~ -40℃）を 2 室（5 × 4m、5 × 3m）、更に□2m 程度の鉄筋コンクリート版や梁を気中凍結・水中融解できる大型凍結融解試験装置（+ 20 ~ -40℃）3 連など、多様な各種凍結融解試験装置（室）を有しており、フル稼働で試験を行っている。

また、凍害関連などの施設としては、積雪寒冷環境下に長期暴露されたコンクリートの耐久性を評価するため、各種コンクリートの自然環境下での凍害抵抗性の比較や室内における急速劣化促進試験と実構造物の凍害等の関連づけを目的として、昭和 46 年に国道 36 号沿い苫小牧市美沢の美々凍害実験場を設置した。立地している箇所の環境条件から、美々では凍害単独劣化に主眼を置いたコンクリート暴露試験を行ってきた。例えば、初代十勝大橋（横道英雄博士設計 昭和 16 年～平成 8 年）のコンクリート橋桁を保存し、平成 9 年から西暦 2146 年まで物理化学試験や圧縮強度を定期的実施して長期耐久性の研究（写真-2.2.3.11）を行っている。建設当時、良好な施工管理を行っており、70 年経過した平成 23 年の圧縮強度試験等では、強度が緩やかに上がっており、粒径の粗い当時のセメントが雨水等の影響で時間をかけ反応が進んでいる可能性が高いことから、反応生成物の分析を行っていく必要があること、中性化は表面に限られているなど耐久性が高いコンクリートであることがわかってきている。さらに、それより先の昭和 41 年には留萌市沖見町の国道 231 号沿い海岸に留萌暴露実験場を設置した。当初、塩害や中性化等に主眼を置いた試験を行っていたが、その後、国道の拡幅に伴って平成 8 年に 231 号増毛町元阿分へ移設した。現在は、凍害と塩害の複合劣化に着目した暴露試験等（写真-2.2.3.12）のために使用されている。

以上のように耐寒材料チームは、古くから凍害等の積雪寒冷地における課題解決のため、ノウハウや専門的知識を蓄積して、現場に密着した研究を進めてきた。今後もこれらの知見やノウハウを活用して、全国の積雪寒冷地において広く活用される研究や技術開発を行っていく計画である。



写真- 2.2.3.11 美々凍害実験場  
(旧十勝大橋の桁)



写真- 2.2.3.12 留萌暴露実験場

### 2.2.3.2 寒地道路保全チーム

#### (1) 概要

寒地道路保全チームは、北海道開発局開発土木研究所の維持管理研究室であったが、平成13年4月の独立行政法人化を経て、平成18年4月に現在の名称となり今日に至っている。

地域の生活を支える重要な社会基盤である道路では、冬期の路面凍結、積雪寒冷地特有の舗装の損傷が発生することから、当チームではこれらの対策に関する研究に取り組んできている。

当チームで取り組んでいる研究課題の中から代表的な研究課題である積雪寒冷地の道路設計に関する研究、積雪寒冷地の道路の維持管理技術に関する研究、冬期道路のすべり対策に関する研究、環境に配慮した舗装技術に関する研究について紹介する。

#### (2) 積雪寒冷地の道路設計に関する研究

積雪寒冷地の舗装は、厳冬期に路床などで氷晶が成長することで路面が隆起して舗装を破壊する凍上（写真-2.2.3.13）やアスファルト層が低温時に収縮することにより発生する低温クラック、春先に凍結していた路床などが融解することによる支持力の低下、積雪期のタイヤチェーンの使用や除雪作業による舗装の摩耗など、様々な形態の損傷が発生する。こうした積雪寒冷地特有の道路舗装の課題を解決するため、それぞれの劣化・損傷のメカニズムの解明と対策の研究を行った。

これまで、凍上対策として、苫小牧市美々の試験道路での試験などを行い、凍上抑制層の材料や厚さなどの設計法や路床材料の判定法などの対策を開発してきた。近年は、さらに発展させ理論最大凍結深に基づく凍上抑制層の基準など積雪寒冷地の条件を考慮し設計期間を20年とした舗装設計基準を策定し、長寿命化によるライフサイクルコストの低減を図った。また、歩道部の凍上に対しても実道での実態調査を踏まえて、歩道の凍上抑制層の増厚工法などの対策を提案した。

低温クラック対策としては、全道の国道・道道での発生実態調査などにより、材料やアスファルト層厚などの設計法などを開発してきたが、近年では、応力開放法を応用して低温クラック発生時の舗装体内部の温度応力を計測する技術の開発も行っている。

舗装の摩耗対策として、耐摩耗用の混合物である細粒度ギャップアスコンが寒冷地で使用されるようになったが、スパイクタイヤの使用規制に加えて、近年では重車両が増加してきたことから流動わだちの対策が重視されるようになった。耐流動性の高い密粒度混合物や改質アスファルト混合物の材料特性や使用した場合のLCC分析などを行い、適用基準を策定した（図-2.2.3.2）。

これらの成果は北海道開発局の道路設計要領などに反映され、積雪寒冷地の道路の設計に広く普及している。

さらに全国の空港舗装で問題となっていたブリスタリング対策として、実態調査や独自に開発したブリスタリング試験などの室内試験、新千歳空港など実際の空港における試験施工を行い、混合物の品質や舗装厚などの設



写真- 2.2.3.13 凍上クラック

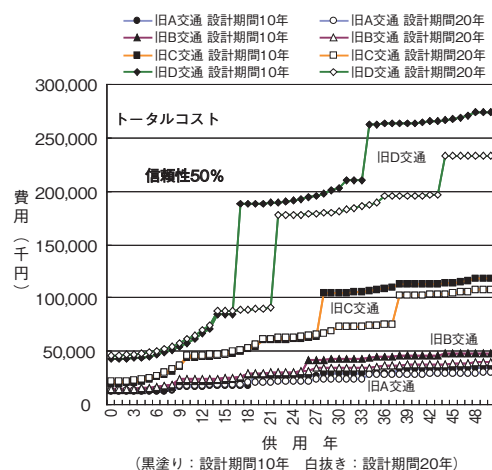


図- 2.2.3.2 舗装の長寿命化によるLCCの低減

計法を開発した。この成果は、空港舗装の維持管理要領に記載され全国の空港で活用されている。

こうした研究の蓄積を踏まえ、現在は重点的研究開発課題「社会資本ストックの戦略的な維持管理に関する研究」のプロジェクト研究「寒冷な自然環境下における機能維持のための技術開発」の下「融雪水が道路構造に与える影響及び対策に関する研究」として融解期に多く発生するポットホール（写真-2.2.3.14）などの舗装の破損や支持力低下への対策工法の開発を行っている。また、美々試験道路等の実道に構築した多様な構成の道路舗装の長期的な機能低下の実態調査から積雪寒冷地に最適化した理論的設計手法などの研究を行っている。その他、高規格道路に用いる耐久性の高い舗装材料に関する研究やコンクリート舗装の設計法、空港舗装の劣化対策など積雪寒冷地に適した耐久性の高い舗装の設計技術や材料開発の研究を行っている。



写真-2.2.3.14 疲労クラック箇所が発生した融雪期のポットホール

### (3) 積雪寒冷地の道路の維持管理技術に関する研究

近年、社会資本の整備に関する予算の効率的な執行が強く求められている。道路舗装においても建設から更新までのLCCを最小化するため、計画的な点検・評価・補修を行うための舗装のマネジメント技術や予防保全手法などの道路を長く使うための効果的な補修技術に関する研究を行っている。

これまで、効果的な補修技術として、寒冷地特有の損傷に対応した補修技術の研究を行っている。低温クラックの補修法として、ガラス繊維系シートなど各種クラックシートを用いた補修方法、補修効果の検証を行い（写真-2.2.3.15）、わだち割れなどのクラックの補修のためのシール材注入工法の適用法を提案した。

舗装のマネジメント技術としては、北海道全域の実道における路面性状に関する機能低下の進行状況を長期的に調査し、得られたデータの分析により、路面性状の将来予測式の開発や、各種の補修工法を考慮したLCC分析に基づく修繕計画の立案を支援するためのシステムの開発を行っている（図-2.2.3.3）。また従来の指標では評価が難しい排水性舗装に対応した点検評価手法を提案した。



写真-2.2.3.15 補修工法の耐久性試験

また、舗装の状態を診断する技術として、FWD（重錘落下式たわみ測定装置）を用いた舗装構造の診断技術（図-2.2.3.4）などについても研究を行ってきた。

こうした研究の蓄積を踏まえ、現在は、重点課題「積雪寒冷地における道路舗装の予防保全に関する研究」として、道路舗装の長寿命化を図るための道路損傷や機能低下を早期に診断する手法や積雪寒冷地に適した予防保全的な補修技術の開発を行っている。診断手法としてはFWDを用いた散逸仕事量に基づく舗装診断技術や地中レーダによる舗装内部の空洞や水分や塩分

 A screenshot of a software interface for pavement management. It displays a table with columns for road ID, stationing, lane width, traffic volume, and various FWD measurements. The table is color-coded to indicate different pavement conditions and repair priorities. Annotations highlight specific features like '補修工法の選定 (自動選定)' and '補修箇所の優先順位付け'.
 

自	互Ym	至	延長	面積	H18 H17	H19優先順位	H18 補修	H20優先順位	H20 補修	H21優先順位	H21 補修
4	200	54	300	100	890.0	4.0	78	57	52		
4	300	54	400	100	880.0	4.5	85	73	67		
4	400	54	500	100	880.0	2.5	18+シロ	328			
4	500	54	600	100	890.0	1.1	7+シロ	318			
4	600	54	700	100	890.0	3.0	18+シロ	318			
4	700	54	800	100	890.0	2.2	18+シロ	24			
4	800	54	900	100	890.0	2.7	18+シロ	318			
4	900	55	0	100	890.0	4.2	22+シロ	328			
5	0	55	100	100	890.0	4.5	30	26			
5	100	55	200	100	890.0	3.7	シロ	33			
5	200	55	300	100	890.0	1.9	10+シロ	37			
5	300	54	400	100	890.0	2.8	18+シロ	39			
5	400	54	500	100	890.0	4.2	33	340			
5	500	54	600	100	890.0	2.0	17+シロ	20			
5	521	54	600	100	890.0	2.0	12+シロ	15			
5	582	55	600	10	144.0	2.1	14+シロ	17			
5	600	55	700	100	890.0	2.7	36	17			
5	700	55	800	100	1129.0	7.1	653	655			

図-2.2.3.3 舗装マネジメントシステム出力例

を検知する技術の開発などを行っている。また、予防保全的補修技術として各種シール工法や表面被覆工法の積雪寒冷地への適用技術の研究を進めている。その他、簡易に舗装の点検や評価を行うための手法の開発も行っている。

(4) 冬期道路のすべり対策に関する研究

積雪寒冷地における冬期の道路は、積雪や路面の凍結により走行環境が著しく悪化する。冬期の適切な道路サービス水準を維持するため除雪や凍結防止剤の散布など冬期特有の道路維持管理が行われているが、道路維持管理のコスト増が行政の大きな課題となっている。

これまで冬期道路のすべり対策として、路面を凍結しにくくしたり、氷を割れやすくする凍結抑制舗装やグルーピングなどに関する研究を行ってきた。道路の横断方向に溝を設置する横グルーピング工法(写真-2.2.3.16)や、路肩や中央分離帯からの融雪水が路面に流れ込んで再凍結するのを防止するため路肩に縦断方向に設置する路肩グルーピング工法について、その耐久性や効果、維持管理性などを評価し、設計法を提案した。

また、ブラックアイスバーンなどの非常に滑りやすい路面の対策として舗装表面の大きな肌理により滑りにくくする、開粒度舗装などの研究を行った(図-2.2.3.5)。この研究で、排水性舗装の肌理とSMA(砕石マスタックアスファルト)の耐久性を兼ね備えた新しい表層用混合物「機能性SMA」を民間との共同で開発した(図-2.2.3.6)。この技術は、全国で多数施工されている。

歩道や横断歩道部の路面すべりによる転倒事故も問題となったことから、歩行者自身が滑りやすい路面に砂を散布出来るように砂を貯蔵したり、路面状態を検知して砂の散布を促す機能を持った防滑材貯蔵・使用システムを開発した。

その他、冬期は橋梁の上弦材からの落雪による事故の対策として、橋梁の上弦材に取り付けて落雪事故を防止する格子フェンスを開発した。

こうした研究の蓄積を踏まえ、現在は研究開発課題「社会資本ストックの戦略的な維持管理に関する研究」のプロジェクト研究「寒冷地における冬期道路のパフォーマンス向上技術に関する研究」の下「効果的な冬期路面管理のための複合的路面処理技術に関する研究」として舗装種類に応じた凍結防止剤等の散布技術の開発を行うとともに、「積雪期における安心・安全な歩道の路面管理技術に関する研究」

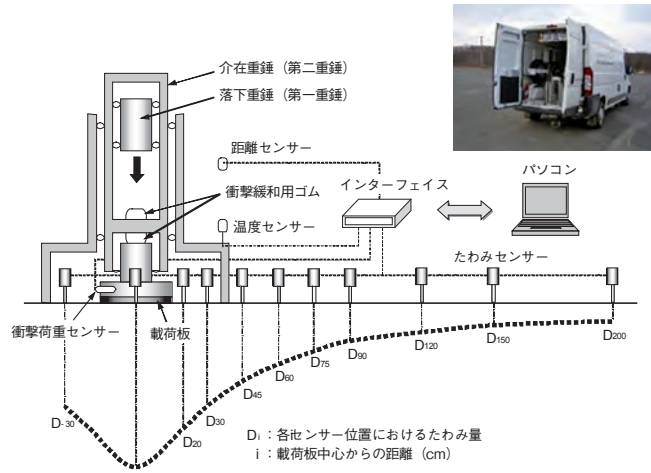


図-2.2.3.4 FWDによる舗装診断

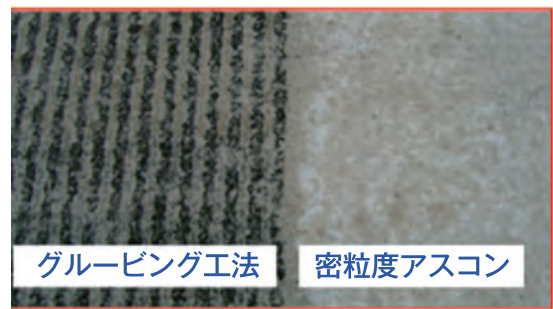


写真-2.2.3.16 グルーピング工法の効果

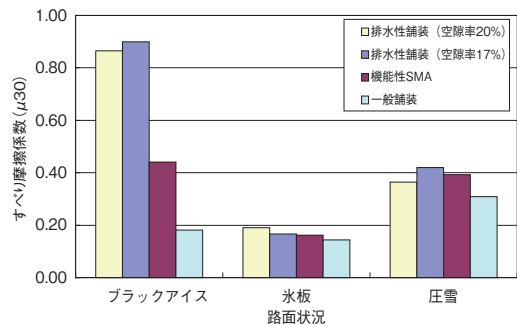


図-2.2.3.5 各種舗装のすべり対策効果

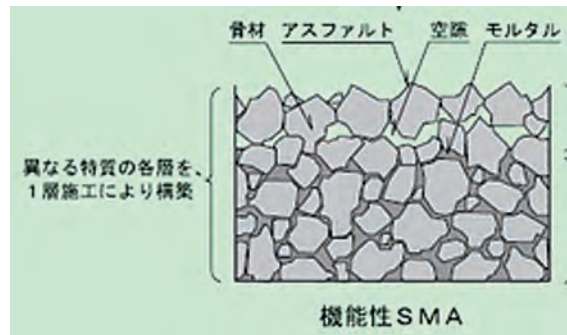


図-2.2.3.6 機能性SMAの構造

として冬期の歩行者に適切な歩道路面を提供するための路面管理技術の研究を行っている。

その他、重点研究「冬期道路の走行性評価技術に関する研究」において冬期の路面の状態を定量的に計測・評価するための技術や、トンネル舗装のすべり対策に関する研究を行っている。

### (5) 環境に配慮した舗装技術に関する研究

社会資本整備においても低炭素型社会の実現やリサイクルの推進など環境配慮への取り組みが進められている。舗装分野でも、他産業リサイクル材料の活用、舗装材料のリサイクル技術や低炭素技術など環境に配慮した舗装技術の開発が求められている。

これまで、他産業資材の舗装への活用として、溶融スラグやホタテの貝殻等の処分に苦慮していた材料について、舗装材料としての性状や強度について室内試験や実道での試験施工により舗装材料として活用するため技術開発を行ってきた。また、アスファルト舗装のリサイクルを推進するため、積雪寒冷地で用いられている柔らかいアスファルト材料が劣化とリサイクルを繰り返した場合の低温脆性など品質への長期的な影響などについて試験を実施し（写真-2.2.3.17）、針入度による品質管理基準などを提案した。

道路騒音対策として用いられる排水性舗装について、除雪やタイヤチェーンによる骨材飛散の抵抗性を高めた高耐久バインダや機能性SMAの技術を活用した耐久性の高い低騒音舗装の提案を行った。

また、通常の混合物よりも低い温度で施工可能な中温化舗装技術を活用した寒冷期施工時の舗装の品質を確保するための対策を提案した（図-2.2.3.7）。

こうした研究の蓄積を踏まえ、現在は研究開発課題「社会インフラのグリーン化のためのイノベーションに関する研究」のプロジェクト研究「リサイクル資材等による低炭素・低環境負荷型の建設材料・建設技術の開発」の下「低炭素社会を実現する舗装技術の開発および評価技術に関する研究」として中温化舗装などの低炭素技術を積雪寒冷地へ適用するための技術やアスファルト舗装のリサイクル時の長期的な品質への影響などに関する研究などを行っている。

これらの研究で得られた成果は国の技術基準に反映されている他、道路協会発行の「舗装再生便覧」、土木学会発行の舗装工学ライブラリー「積雪寒冷地の舗装」などの一般技術者向け技術書に反映されるなど、広く公表されている。

また、「機能性SMA」は、すべり対策や耐久性向上を目的に全国で多数採用されているなど、成果の普及も着実に進みつつある。

今後も積雪寒冷地の社会資本の機能向上、維持管理の効率化のため技術開発に取り組んでいきたい。

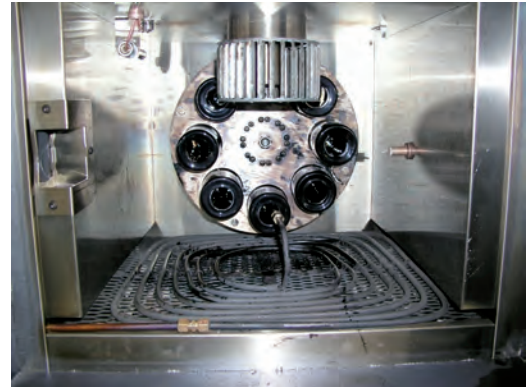
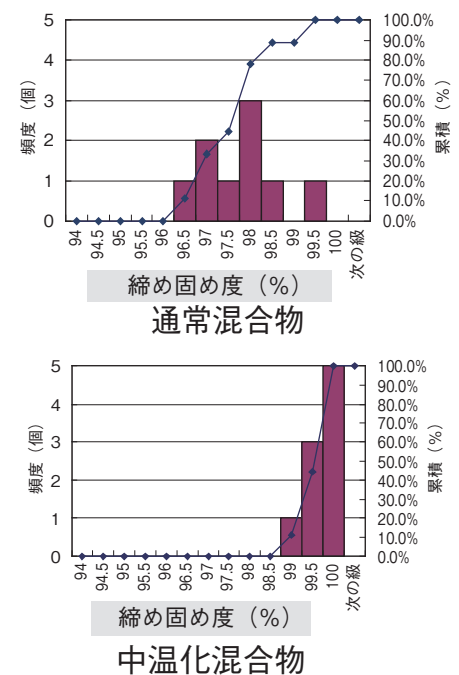


写真-2.2.3.17 RTFOT（回転式薄膜加熱試験）装置を用いた再生アスファルトの促進劣化試験



施工条件：外気温3℃、舗装厚 t=4cm

図-2.2.3.7 中温化舗装による寒冷期の施工性改善効果

## 2.2.4 寒地水圏研究グループ

### (1) 研究の背景

積雪寒冷地域である北海道においては、年間の降水量の約半分を降雪が占めているため、春先の融雪時における流出機構が、河川環境の形成に大きな影響を及ぼしている。また、沿岸・海岸域は、豊かな水産資源に恵まれている一方で、冬期には寒冷な気候や流氷の来襲といった過酷な自然条件に曝されている。

このような条件のもとで、河川の流域や沿岸・海岸域において、地域住民の暮らしの安全・安心、人々の活力ある活動の場の確保と、豊かな自然環境の保全とを両立させる上で必要になる技術の開発や、それらの相互作用にかかる調査を行うことが求められている。

### (2) 研究の概要と方向性

寒地水圏研究グループにおいては、河川だけでなく海岸域等における維持管理、自然との共生等の研究を通じて、「住民の安全・安心」「自然豊かな環境」「安定した生産性」の確保を目指している。研究を進めるにあたっては、4つの分野からなるグループの特徴を活かし、広域的な研究成果をあげるべく、川の上流域から海岸域までの幅広いフィールドにおいて、連携して様々な研究を行っている。

### (3) グループの構成及び経緯

寒地水圏研究グループの前身は、(独)北海道開発土木研究所環境水工部であり、河川、港湾、環境、水産土木の4研究室で構成されていた。平成18年の土木研究所との統合を機に、グループ名を寒地水圏研究グループ、チーム名を、寒地河川チーム、寒冷沿岸域チーム、水環境保全チーム、水産土木チームと変更し、引き続き流域における様々な研究を行い、研究成果を行政の最前線における事業推進に貢献させることを目標に研究を進めている。



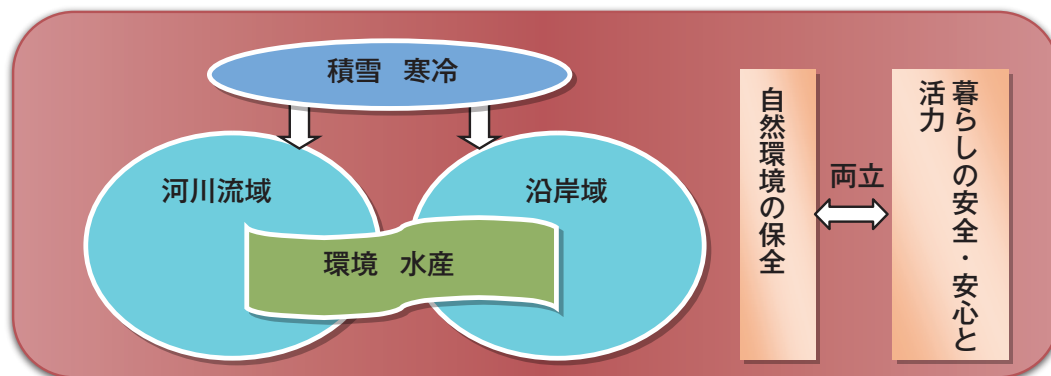
写真－ 2.2.4.1 河川の結氷状況



写真－ 2.2.4.2 港湾内の結氷状況



写真－ 2.2.4.3 流域からの濁質の流出



図－ 2.2.4.1 寒地水圏研究グループ研究イメージ図

## 2.2.4.1 寒地河川チーム

### (1) 概要

寒地河川チームは、北海道開発局開発土木研究所の河川研究室であったが、平成13年4月の独立行政法人化を経て、平成18年4月に現在の名称となり今日に至っている。

寒地河川チームでは、洪水災害、土砂災害、津波災害などの自然災害から生命と財産を守り、水を中心とした豊かな生活を創造するため、寒冷地の河川に関する自然現象の解明と、防災技術を進めるための調査・研究を行っている。現在は、社会的要請の高い課題への重点的・集中的な対応として、以下に挙げる研究を実施しており、その概要を簡潔に紹介する。

### (2) 積雪寒冷地河川の河岸浸食に関する研究

河岸浸食に関する研究は、平成初期から実施してきた蛇行河道の変化特性に関する研究を経て、現在は、蛇行発達を考慮した河岸浸食メカニズムの解明と多自然河岸保護工等の河岸保護工に関する研究を実施している。この研究に関する社会的背景として、近年、蛇行流路の発達に起因した河川堤防の浸食被害が頻発しており、防災上、当該現象の解明は喫緊の課題とされている。また、被災箇所などに敷設される多自然河岸保護工の浸食抑制効果を効率的に発揮させるためには、護岸構造物が有する耐浸食強度などの機能評価も欠かせない。現在、先に述べた既往研究で得られた知見を生かし、河岸浸食機構の解明と、河岸保護工の評価技術等の開発を目指している。

### (3) 河床抵抗に関する研究

洪水時の河床形態の変遷は水位に大きく影響を与えることから、防災上重要な情報となる。この現象の解明のために、過去から現地観測・調査を行ってきており、特に昭和56年石狩川洪水時の河床波観測を始めとした河床形態観測・調査は、その後の河床形態研究の発展に大きく貢献した。また、これらの観測・調査を通じて、洪水期間中の河床形態を音響測深機やRCボート等を用いて観測する手法を確立してきた。現在、気候変動による集中豪雨の発生頻度上昇が懸念されていることから、集中降雨の洪水ピーク時の砂河床波（砂堆など）による抵抗の影響を解明するための研究を実施しており、河床波の面的観測手法や治水安全度評価法の開発を行い、洪水対策技術への反映を目指している。

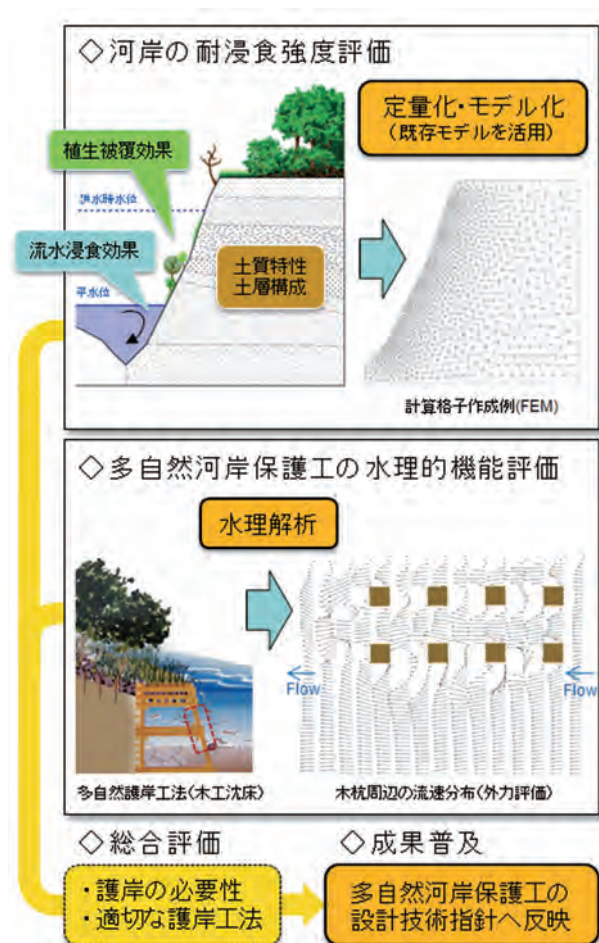


図-2.2.4.2 多自然河岸保護工の評価手法

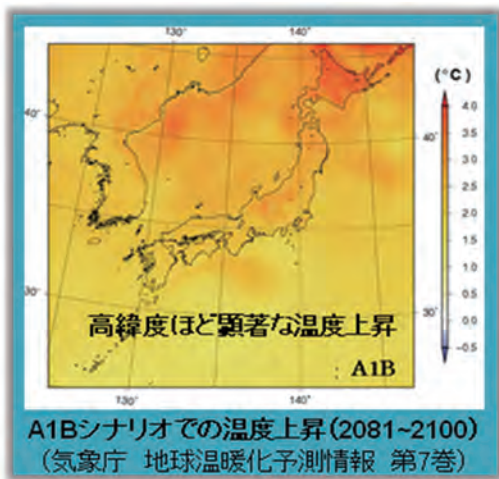


図- 2.2.4.3 温度上昇予想 (気象庁)

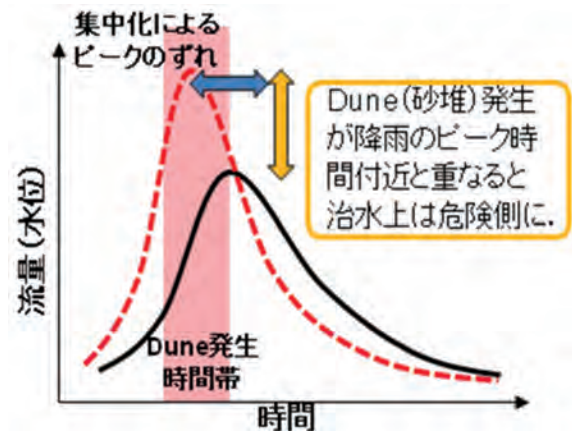


図- 2.2.4.4 洪水の集中と河床波

(4) 河川の結氷災害に関する研究

結氷河川に関する研究は、河川結氷時の流量を精度よく観測することを目的に、平成初期から河川結氷時の流況調査を実施している。これらの調査により、北海道全域の河川結氷状況を把握し、河川結氷時の鉛直流速分布の解明を通じて流量観測手法に関する新しい知見を得ている。また、河川結氷時では水位と流量の関係が成り立たず、連続流量を推定することが困難である問題に対して、河川結氷時の流量推定手法を開発しており、社会のニーズを踏まえた研究成果を上げている。現在、既往研究で得られた河川結氷時の水理特性を踏まえて、河川結氷時の現象の解明及びアイスジャムによる洪水被害や取水障害等に関する対策技術の開発を目指している。



写真- 2.2.4.4 橋脚周辺のアイスジャム

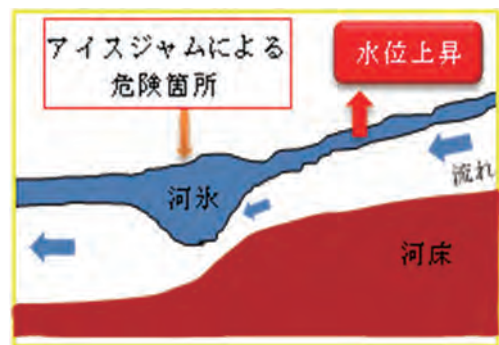


図- 2.2.4.5 アイスジャム概念図

(5) 積雪寒冷地河川の水理的環境に関する研究

河川生態系と水理的環境に関する研究は、過年度に実施した旧蛇行河道の復元に関する研究で定性的な評価手法を確立し、現在は生物量と物理量との相関から、河川環境を定量的に評価することを目指している。本研究の社会的背景として、近年、植生の樹林化や流路の固定化に代表される河川環境の急激な変化が、河道内の流況を単調化し、水生生物の生息環境の悪化を招くものと懸念されている。現在、既往研究で得られた知見を生かし、河川環境の時空間的变化を定量的に評価するための生態系評価モデルの構築と、豊かな生態系を維持するための河道設計技術の開発を進めている。



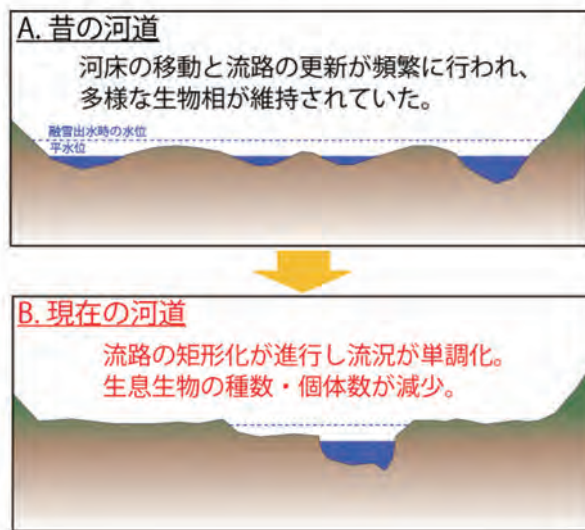


図 - 2.2.4.6 河道の変化

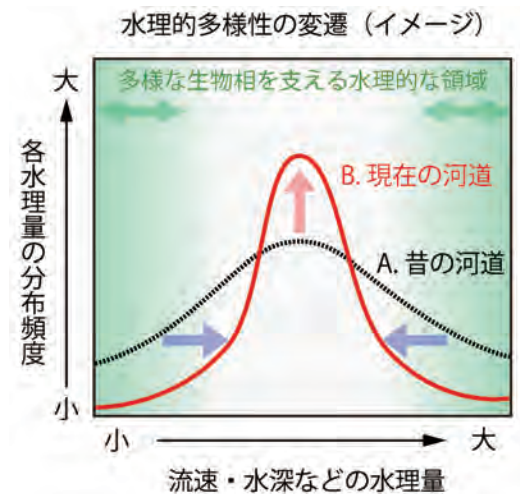


図 - 2.2.4.7 水理的多様性の変遷イメージ

### (6) 積雪寒冷地河川の土丹河床浸食に関する研究

近年、砂礫等の堆積層が流出し、土丹と呼ばれる低固結の軟岩層が露出する河川が増加している。土丹は流水や流砂の浸食に対し弱く、局所的な河床低下による河川構造物の安定性の低下が懸念されている。しかし、土丹河床の浸食メカニズムは未解明な部分が多く、定量的な浸食深の予測は困難な状況である。そこで、土丹の浸食メカニズムの解明と浸食深予測手法の開発を目指して研究を進めている。

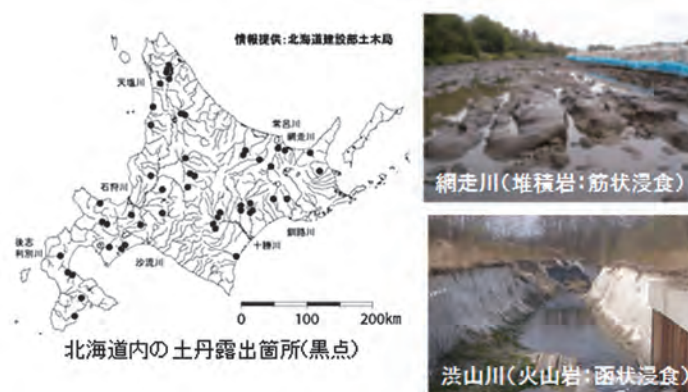


図 - 2.2.4.8 北海道内の土丹露出箇所



写真 - 2.2.4.5 土丹の侵食状況 (久著呂川)

### (7) 破堤被害の軽減に関する研究

越水等による破堤に関して、北海道開発局と寒地土木研究所では、近年頻発している集中豪雨等による超過洪水時の被害を最小限にする減災技術の開発を目的に、共同研究として平成20年度より十勝川千代田実験水路において越水破堤実験を実施している。これらの実験により、平成23年度までに、破堤拡幅の基礎的なメカニズムに関する知見を得たところである。現在は、既往研究で得られた破堤拡幅現象等の知見を踏まえて、堤防の破堤現象進行及び破堤開口部からの氾濫流量を効果的に抑制する技術の開発を目指している。



写真- 2.2.4.6 越水破堤災害（丸山川）

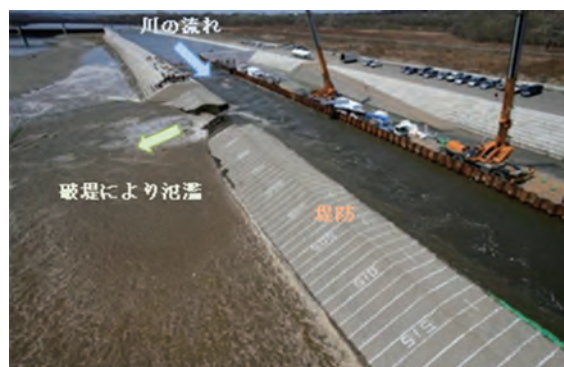


写真- 2.2.4.7 千代田実験水路での破堤実験

寒地河川チームでは、上記の研究の他に、基盤的な研究開発の計画的な推進として、流路の固定化に関する研究、積雪寒冷地河川の物質輸送に関する研究、積雪寒冷地河川の津波遡上に関する研究を実施している。

今後は、地球規模気候変動をはじめとする風水災害の頻発、大規模災害に対する危機管理の必要性、環境問題への配慮等を踏まえ、「風水災害の軽減」、「大規模災害に対する危機管理」、「良好な環境の保全」に係る課題の解決に貢献できる技術的テーマを中心に研究を行っていく。また、行政等の現場における課題解決に即した研究を行っていくとともに、研究成果は北海道のみならず、広く国内外での活用を図ることを目指している。

## 2.2.4.2 水環境保全チーム

### (1) 概要

水環境保全チームは、北海道開発局開発土木研究所の環境研究室であったが、平成13年4月の独立行政法人化を経て、平成18年4月に現在の名称となり今日に至っている。

これまで、食料基地としての農業や、自然環境を資源とする観光業などの経済社会が共存する北海道を研究フィールドとして、自然共生型社会の形成基盤の一つである水環境の保全・改善に関する研究を行ってきた。

現在行っている主な研究は、寒冷地汽水域の水環境、冷水性魚類の生息環境を切り口とした河川環境、寒冷地における河畔林の形成と維持管理、堤防法面植生管理、濁質インパクトが環境に与える影響、レーザープロファイラによる積雪相当水量の推定などがある。

### (2) 寒冷地汽水域における底質及び生物生息環境改善に関する研究

汽水域は、独特かつ多様な生物生息環境が形成されているとともに、ヤマトシジミをはじめとした内水面漁業など、生活の場としても重要な位置を占めている。

汽水域の水環境は、河川流量、潮汐による海水浸入、風などの外力のほか、流入土砂や汚濁負荷、底質等、様々な因子の影響を受けている。さらに、積雪寒冷地である北海道では、融雪出水や冬季結氷等、独特の水文・気象条件による影響もあり、汽水環境はより複雑である。

汽水域の中には、汚濁負荷流入や河道掘削による浅場の減少等により水環境が悪化している箇所も見られる。本研究では、汽水環境の保全・復元に配慮した河道計画・維持管理を効果的かつ効率的に行うために必要となるモニタリング、評価・管理手法の構築を目指す。

研究手法としては、超音波多層式流速計（ADCP）を用いて、時系列で流速鉛直分布を計測するとともに、ADCP取得データから濁度を算出して、濁質モニタリングを「点」から「時空間」に拡張して行う。流れと濁度の時空間分布を同時計測可能になるため、省コストかつ効果的な汽水域濁質モニタリング技術に資することが期待できる。

当チームの水質の研究は、汚濁の拡散や富栄養化の基礎的な研究を経て、前中期計画（平成18～22年度）の閉鎖性水域、今中期計画（平成23～27年度）の汽水域と、より複雑な水環境の研究に至っている。研究成果は、行政ニーズの高い河道掘削計画や施設管理計画など、幅広く生かして行く予定である。

### (3) 冷水性魚類に対する河道の連続性及び産卵床環境に関する研究

サケ科魚類のように河川と海とを往復する生物にとって、頭首工や樋門などの河川構造物により「回遊・産卵」などが妨げられることは、その種の衰弱・絶滅を招くことにつながる。また、「河道の連続性」が確保されたとしても、「産卵床」がなければ持続的な生息はできない。

このため、冷水性魚類にとって最適な「河道の連続性」や「産卵床」を確保するための「流路の物

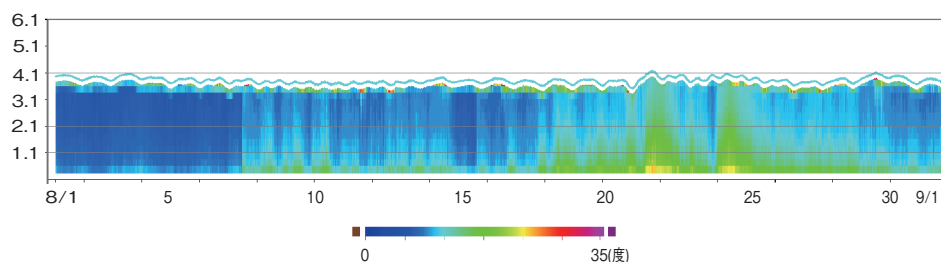


図-2.2.4.9 算出事例：ADCP取得データから算定した濁度鉛直分布の時系列変化  
(国土交通省2009年8月、石狩川石狩大橋地点ADCP観測データを利用)

理的条件」について研究を行っている。

研究手法としては、サケ科魚類の良好な産卵環境（河川地形、河床材料等）を解明し、産卵環境を河川の自律作用によって形成させる河道整備手法を提案する。

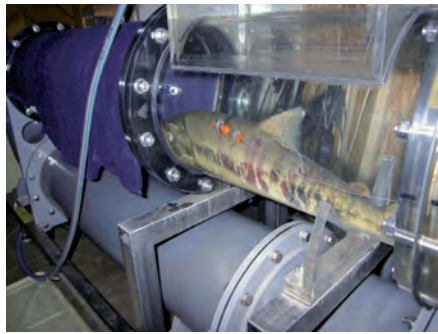


写真- 2.2.4.8 循環回流水路  
(シロザケ遊泳実験)



写真- 2.2.4.9 発信機装着  
シロザケの産卵行動

また、筋電位等が確認できる電波発信機を装着して、「循環回流水路」や「河道・魚道」で遊泳実験等を行い、室内実験と現地実験の結果を比較することにより、「サケ科魚類の生理・行動に着目した河道や魚道の連続性」の評価手法について提案する。

流域の生態系に関する研究は、過去に実施された魚、昆虫、鳥、植物などの総合的な生態環境の研究を経て、本研究のような生物の生理・行動指標を用いる実践的な環境評価により、人間活動と流域の水環境の相互関係のあり方の研究につなげていく。

#### (4) 寒冷地における河畔林の形成と維持管理に関する研究

寒冷地においては、融雪出水が、毎年定期的（タネの飛散時期）に河道内の擾乱を引き起こし、これが河道内植生を規定する大きな要因となっている。寒冷地河川では、ヤナギの単純林や外来種が優位であり、多様な樹種に依存せざるを得ない生物に対して、少なからず影響を与えている。

また、河畔林は、河川環境（景観を含む）を形成する主要な要素であるが、流下阻害となる可能性もあり、環境と治水のバランスも考慮する必要がある。本研究においては、忠別川、豊平川等における河道及び河道周辺内に侵入した樹木植生の実態調査及び分析を行い、融雪出水による擾乱の影響を把握する。

これにより、河畔林景観を考慮した選択的な伐採や、洪水時の樹木の流水抵抗に影響を与える樹幹密度等を考慮した伐採のあり方について検討を行う。

河畔林の過去の研究は、河川生態系により育まれている種を保全するため、生態学的混播・混植法など、在来樹種の維持・再生に重点を置いてきた。

しかし、近年の維持管理費削減や超過洪水対応の必要性から、伐採計画や効果的な萌芽抑制、再生防止の手法についても検討し、寒冷地に適応した持続可能でコストのかからない、環境と治水のバランスの取れた河畔林管理の技術開発に資する予定である。

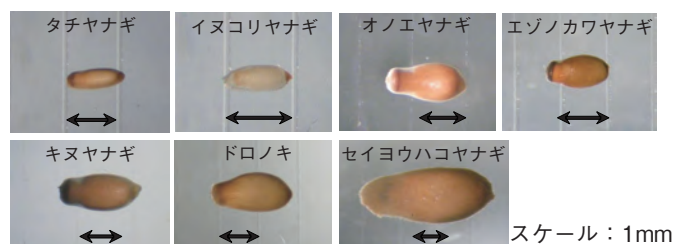
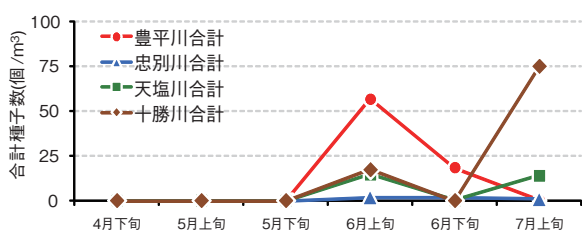


図- 2.2.4.10 採取した種子数の変化 (単位通過流量 (1m³) あたり)

### (5) 寒冷地域に適応した堤防法面植生に関する研究

河川堤防の法面植生は、寒冷気候に強い品種として、ケンタッキーブルーグラスやレッドフェスクなどが導入されているが、全て外来種であり、成長も速いため、本来は年2回以上の除草が必要である。

近年、コスト縮減により、堤防除草は都市区間を除いて年1回刈りとされているが、害虫による農地や住宅地への影響、草丈の高いことによる法面異常の発見の遅れなどが問題となっている。

最適な植生管理には、寒冷地域に適応した在来草種の選定、洪水時の雨水・流水に対する耐侵食性、広大な植生面積に対応した種子の安定供給などが重要である。

本研究では、北海道内の堤防法面緑化工事を活用した試験施工を行い、生育状況や管理手法について調査・検討し、併せて洪水時の耐侵食性について、現地実験などによる検証を行う。また、河川敷地内の土取り場や高水敷などを利用し、種子の安定供給評価のための栽培試験も行う。

在来種を用いた堤防法面植生の研究は、近年の堤防除草コスト縮減の強い行政ニーズから始まり、最終的には、環境に配慮した寒冷地域の河川堤防法面植生管理の手引きとして取りまとめる予定である。



写真- 2.2.4.10 主力種（ヨシ苗植生）  
+ 混播種（種子吹付）



写真- 2.2.4.11 主力種（ヨシ苗植栽）  
+ 混播種（植生シート）

### (6) 積雪寒冷地流域からの濁質流出の影響評価・管理手法に関する研究

近年、ゲリラ豪雨等のインパクトの強い雨に伴い多量の濁質が流出し、漁獲量の減少や高濃度濁質の長期化による水道取水の停止が発生している。また、これとは逆に、浮遊土砂流出量が少ないことによる海岸侵食や干潟の消失も起きている。

このため、天然放射性同位体を用いた粒径毎の浮遊土砂流出の推定により、濁質の環境影響評価・管理手法を開発する。

本研究は、平成15年8月の豪雨等による崩壊地の増大以降、濁質が出やすくなったと思われる鵜川に対して、山地から河口・沿岸域までの浮遊土砂動態を解明することにより対策を検討する「鵜川プロジェクト」が発端となっている。本研究は、「鵜川プロジェクト」の内、浮遊土砂の生産・運搬・

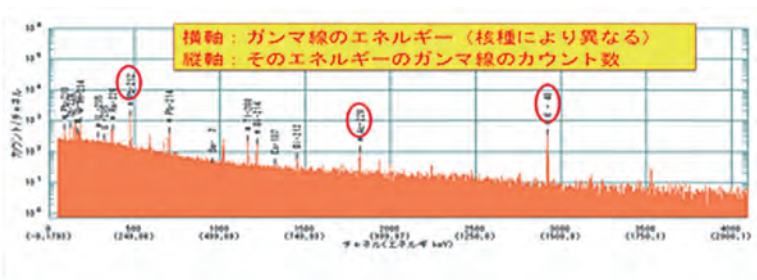


写真- 2.2.4.12 ガンマ線スペクトロメーター

河口域の堆積部分を担当している。

本研究成果を用いることにより、近年、問題となっている鵠川河口の干潟消失対策や、濁質による水産資源への影響解明に、つながることが期待されている。

(7) 積雪相当水量の推定に関する研究

積雪寒冷地では、年間降水量の約4割を占める降雪に利水の大部分を依存しているが、近年、融雪出水で常時満水位まで水位上昇しないダムが増えており、将来の「融雪流量の減少」や「融雪出水の早期化」による「渇水リスク」をマネジメントするための積雪・融雪の長期トレンド解析が求められている。

このため、190万都市札幌市を有する豊平川流域をケーススタディーとし、レーザープロファイラ・積雪重量計を併用した積雪・融雪調査解析を行い、①リモートセンシング技術等を活用した効率的・効果的な積雪・融雪調査手法の開発、②積雪・融雪の長期トレンド解析手法の開発【長期予測】、③寒冷地ダムの流水管理のための融雪流量推定手法の開発【短期予測】を行う。

積雪・融雪に関する研究は、過去に熱収支法による融雪出水予測の研究を行い、現在、融雪出水予測精度に影響を与えているメッシュ積雪深の精度向上のため、デジタル地形モデルとGISを用いたメッシュ積雪深推定の研究を行っている。この分野の研究は、レーザープロファイラによる高精度DEMの整備に伴い、非常に速いスピードで進んでいる。



写真-2.2.4.13 鵠川・沙流川河口域  
ALOS (2006年8月26日撮影)、JAXA提供

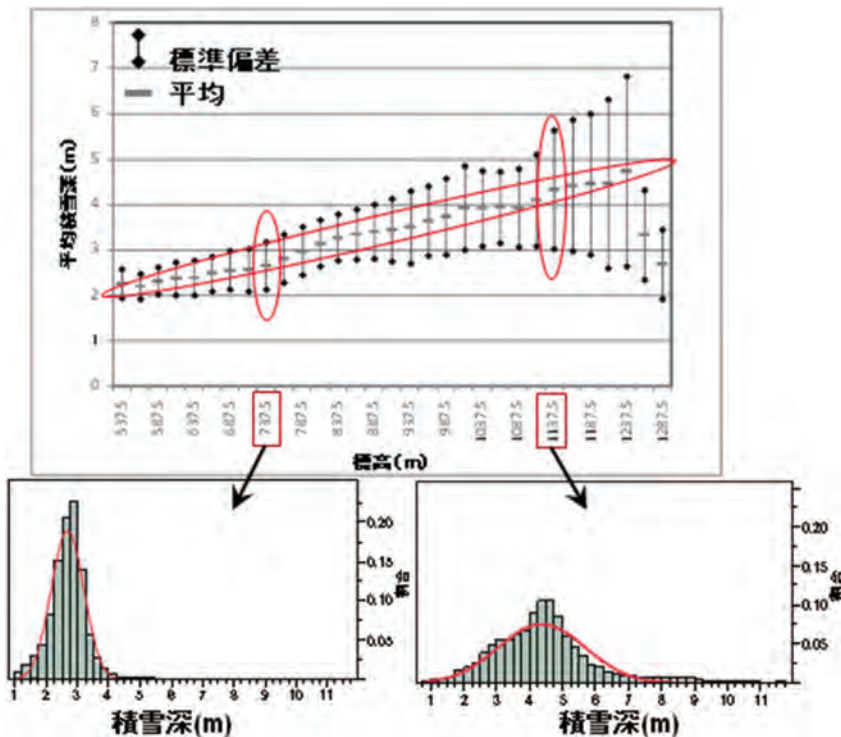


図-2.2.4.12 航空レーザー測量より求めた標高と積雪深の関係と積雪深のばらつき

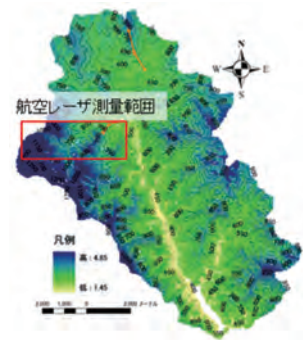


図-2.2.4.11 定山溪ダムにおける推定積雪深

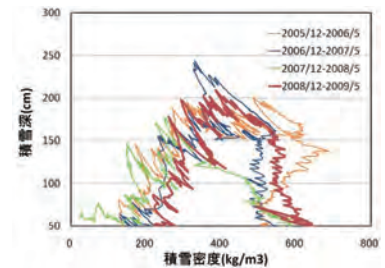


図-2.2.4.13 積雪深と積雪密度の関係

### 2.2.4.3 寒冷沿岸域チーム

#### (1) 概要

寒冷沿岸域チームは、北海道開発局開発土木研究所の港湾研究室であったが、平成13年4月の独立行政法人化を経て、平成18年4月に現在の名称となり今日に至っている。

積雪寒冷地である北海道の沿岸は、冬季に流水が来襲したり港内が凍結するなど、他の地域とは異なった特性をもっている。また、近年、高波による沿岸施設被害や、大地震とそれに伴う津波による被害が発生しており、今後もこのような自然災害が懸念される。当チームでは、寒冷な気候、流水、津波、高波といった脅威に対して沿岸域の安全性を高め、また、海域の自然環境にも配慮しながら寒冷地の港や海岸を持続的、効率的に整備、利用するための研究を行っている。以下に、最近の主要研究について紹介する。

#### (2) 津波による流水群の陸上来襲に備えた沿岸防災に関する研究

北海道周辺において切迫性が高いと指摘されている地震・津波には、結氷・流水域で発生するものも含まれている。大量の海水をともなった津波は、通常の津波よりもさらに被害を拡大させる可能性がある。本研究は、流水が来襲する海域で発生する津波によって起こりえる被害を想定し、これにより生じる国民の生命及び財産の損害を最小限に抑えることを目指している。具体的には、津波の遡上に加えて海水の運動を同時に再現できる数値モデルを開発し、本モデルを使用して流水による建築物の被害も考慮可能な津波ハザードマップ作成支援ツールを提案する。加えて、ハード対策として、二次災害をもたらす可能性のある石油タンク、津波避難施設等の臨海部に存在する重要構造物の衝撃耐水設計に資する海水衝突外力・構造物応答評価手法の開発を行う（図-2.2.4.14）。

流水は北海道特有の自然現象であり、第Ⅰ期中期計画期間から特殊なソナーによる現地観測を行って、沿岸域に来襲する流水の特性を明らかにしてきた。本研究は第Ⅱ期中期計画中の「海水の出現特性と構造物等への作用に関する研究」と「流水来襲地域の沿岸防災に関する基礎的研究」の一部を発展させて実施しているものである。

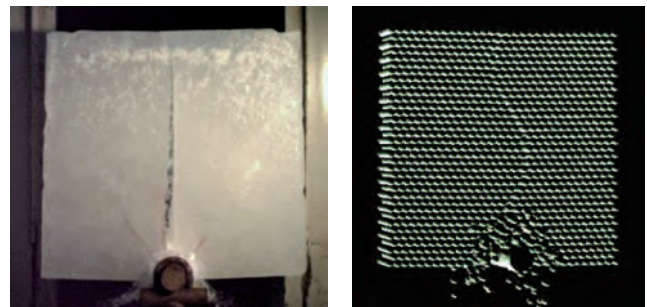


図-2.2.4.14 流水の衝突力の室内実験（左）と3次元数値モデル開発（右）

#### (3) 海水作用や低温環境に起因する構造物劣化・損傷機構の解明と対策に関する研究

海水による衝突や摩擦によって沿岸構造物の損耗や損傷が発生する（写真-2.2.4.14）。本研究では、海水の作用や低温環境にさらされる沿岸構造物の劣化機構を解明して合理的劣化対策を提案し、ひいては積雪寒冷地の沿岸構造物の長寿命化を図ることを目的としている。構造物の劣化機構の要因は様々考えられるが、これまでの室内摩耗劣化試験によれば、水による金属材料の凝着摩耗の寄与がかなり小さい事、炭素鋼の場合にはその損耗要因はおもに腐食であることが分かってきた。また、海水に砂が混入している場合、砂が研磨剤として働くアブレシブ摩耗による損耗も重要な要因であることが分かってきた。

過去には、海水によるコンクリートの摩耗に関する研究が精力的に行われ、実用的な摩耗推定方法が提案されている。一方、金属材料については、腐食が同時に進行する複合的な損耗ということもあり、その評価が大変難しく、種々の損耗



写真-2.2.4.14 鋼矢板式導流堤の著しい材料損耗の事例

要因の定量的把握が未だなされていないのが現状であり、本研究によりこれらを解明し適切な劣化対策を提案することを目指している。また、本研究は「海水の出現特性と構造物等への作用に関する研究」の一部を発展させて実施しているものである。

#### (4) 氷海の家象予測と沿岸構造物の安全性評価に関する研究

温暖化などの影響により、オホーツク沿岸の流水が減少する可能性が指摘されており、海面上昇や気候の激化に加え、氷海域沿岸では流水減少に起因する波浪増大への備えが求められている。このため本研究では、第3世代波浪推算モデルをベースに、流水状況の影響を考慮できる波浪予測手法を開発し、沿岸域の将来の家象変化のシナリオを提案する。そして、海岸施設や防波堤などの安全性を評価し、沿岸施設の今後の維持管理施策に貢献することを目的としている。

当チームでは過去に、流水の存在が波浪の減衰に及ぼす影響を水理模型実験に基づいて検討し、また、波浪の周波数スペクトルに及ぼす影響を現地波浪観測等から検討してきた。一方、実務では、流水時の波浪推算は、流水に覆われた海域を陸地とみなして行われることが多かったが、本研究により推算精度の向上が図られることが期待される(図-2.2.4.15)。本研究は「流水来襲地域の沿岸防災に関する基礎的研究」の一部を発展させて実施しているものである。

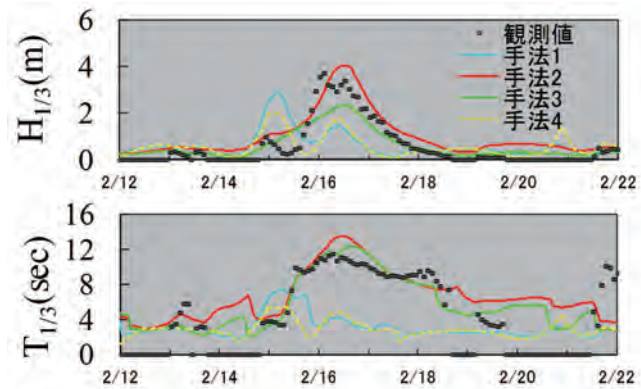


図-2.2.4.15 海水期の波浪推算結果の一例 (手法2が提案手法)

#### (5) 積雪寒冷地の河口域海岸の形成機構解明と保全に関する研究

海岸侵食や港湾漁港内の堆砂・埋没、さらに干潟の消失など沿岸漂砂に起因する問題は沿岸地域の安全で豊かな生活環境と産業活動を脅かすのみならず、沿岸域の生態系や海岸環境の変化に影響を及ぼす。本研究で対象としている鶴川河口付近では海岸が後退した結果、周辺地域で越波による浸水被害が発生するようになり、また、渡り鳥の重要な中継地・餌場となっている干潟の面積も大きく減少している。本研究では、流域から海域の土砂動態を詳細に把握したうえで(写真-2.2.4.15)河口域海岸の地形形成機構を解明し、最終的に河口域海岸の安定的な保全手法を提案することを目標とする。

海岸保全に関する取り組みは、第I～II期中期計画期間に、日本海側の石狩湾を対象として、波浪・流況、浮遊砂等の現地観測を実施し、広域土砂移動モデルと狭域3次元土砂移動モデルを開発し、広域海岸の管理手法を検討した。本研究では漂砂現象が更に複雑な河口域というフィールドを対象に、海岸保全技術の向上を目指す。



写真-2.2.4.15 鶴川河口海岸の変化の状況

#### (6) 砕波乱流による漂砂輸送を考慮した高精度漂砂モデルの開発

港湾・漁港内の航路埋没や海岸侵食など漂砂に起因する問題を解決するため、現地調査による漂砂現



象の把握や漂砂の長期的・短期的遷移を予測する漂砂モデルの開発が行われている。しかし、既往の漂砂モデルでは碎波の乱れなど現地での漂砂現象を支配している基本的な要素が十分適切に評価されていないのが現状である。本研究では、高速度カメラやUVP（超音波流速計）を用いた精緻な水理模型実験を行い、碎波の乱れを含む現地の重要な物理現象を考慮した高精度漂砂輸送モデルの構築を目指している。

### (7) 小港湾における老朽化した防波堤の改良方策に関する研究

既存ストックの維持管理更新費用の増大が大きな社会問題となっているが、港湾・漁港の老朽化した防波堤においても維持管理コストの縮減が重要な問題となっている。本研究は、堤体拡幅や既設堤体を撤去するような高い工費を必要とするコンクリート単塊式防波堤の改良に対して、防波堤に作用する波力を低減し、コスト縮減に資する改良方策を水理模型実験により検討し、提案することを目指している。

### (8) 前中期計画期間以前に終了した主な研究

#### 1) 流水制御施設の設計法に関する研究 (H18～H22)

流水は氷海域に建設される海洋構造物やパイプライン、ケーブル等を破損したり、海岸侵食を引き起こす場合がある。また、漁業が盛んな北海道オホーツク海では、流水による漁業機会の減少、船舶の損傷、岩礁域への流水の侵入によるウニ・昆布等への被害などが発生している。特にサロマ湖や能取湖においては内面養殖施設の損壊被害がしばしば発生し、サロマ湖口には流水の侵入を防ぐための浮体式流水制御施設（アイスブーム）が整備された。同様の施設を能取湖口にも整備することとなったが、湖口の形状がサロマ湖と大きく異なるため、新たな設計法の開発が必要となった。本研究では、解析的手法及び数値シミュレーション（図-2.2.4.16）による氷荷重算定のプロセスを開発した。成果は能取湖のアイスブームの設計に適用され（写真-2.2.4.16）、また本手法により複雑な地形条件や構造物がある場合でも氷荷重の算定が可能となった。

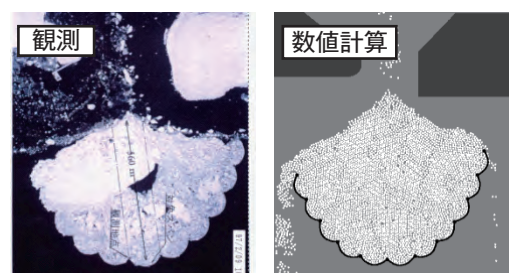


図-2.2.4.16 個別要素法による氷群挙動のシミュレーション開発



写真-2.2.4.16 能取湖の湖口に整備されたアイスブーム

#### 2) 臨海施設の越波対策に関する研究 (H18～H22)

台風や大型低気圧に伴う高波浪時の越波により、港湾・漁港内のみならず、沿岸部の幹線道路においても通行止めなどの問題が発生し、その対策が強く求められているが、護岸からの越波により背後の構造物や車両にどのような被害が発生するかについての知見は少ない。本研究では、現地観測及び水理模型実験により、高波による越波飛沫が臨海道路交通に与える影響を検討し、実用的な越波対策として越波防止フェンスの設計法を提案した。本成果は、越波による通行障害が発生している道路の越波対策に適用されている（写真-2.2.4.17）。

第I期中期計画期間においては、港湾等における種々の型式の護岸に対する越波特性や波返し工による越波低減効果について水理模型実験や現地調査により検討しており、本研究はこれに続くテーマとして実施されたものである。



写真-2.2.4.17 現地に整備された越波防止フェンス

### 3) 港湾漁港における冬季就労環境改善に関する研究 (H13～H22)

北海道の港湾等においては、降雪・強風低温環境における苛酷な荷役作業、漁労作業等の作業効率の低下など、積雪寒冷な気候に起因する課題を負っている。その対策として防風雪施設が整備されつつあるが、その効果を定量的に表す方法は確立されていない。本研究では、防風雪施設の効果として、労働者の作業環境としての快適性の向上並びに作業効率の向上効果を定量的に評価する手法を提案することを目的に、室内及び屋外において多様な条件下で被験者実験を多数実施した（写真-2.2.4.18）。その結果、寒冷条件下の作業環境の評価及び作業効率は、簡便な温冷指標である風冷指数 WCI を指標として表すことが可能なことが示された。これらの成果は、港内防風雪施設設計評価マニュアル（案）としてまとめられた。



写真-2.2.4.18 低温実験室における被験者実験状況

### 4) 港内結氷対策に関する研究 (～H17)

北海道の北部から東部にかけての港湾・漁港では、冬季に港内水面が凍る「港内結氷」が生じ、船舶の運航や漁船の出漁に支障をきたし、時には船体が損傷するなどの被害が発生する。港内結氷による港の利用障害を低減する方法としては、熱供給方式、新港形方式、新泊地の整備、氷・氷晶を排除する方式などが考えられるが、その整備効果を定量的に評価する方法論がなかった。当チームでは、港内結氷のメカニズムを明らかにするため、氷晶の発生機構、熱収支などの現地観測を実施する一方で、実用的な結氷シミュレーション手法を開発した（図-2.2.4.17）。これは、実際の気象条件を考慮し、雪・氷・水の3つの層を考え、各層の熱収支から雪や氷の厚さを計算し、また、流れや風による氷盤移動も同時に考慮して、平面的な結氷状況を再現する。成果は、結氷対策が切望されていた漁港において活用され、結氷しにくい新泊地が整備された。

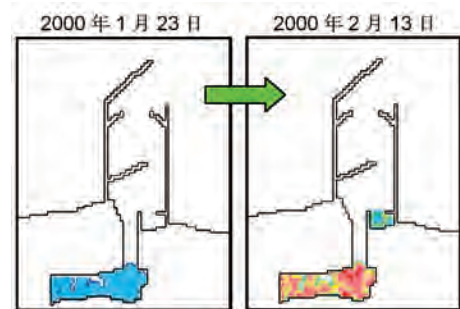


図-2.2.4.17 シミュレーションによる港内結氷状況再現計算の例

### 5) 高天端背後盛土工法に関する研究 (H9～H17)

防波堤に代表される港湾・漁港構造物には、利用面や防災といった本来求められる機能に加えて、沿岸海域の多用な生態系を保全し、海洋の豊かな自然環境と調和する機能も併せて求められている。防波堤背後に設置する高天端盛土工法（図-2.2.4.18）は、海藻類の育成に適した環境を創出し、魚介類の産卵場、稚魚の生育の場、盛土自体の擬似岩礁機能により岩礁性水生生物の生息の場を提供し、多用な生態系を生むことが期待できる。また、浚渫土砂の有効利用等によるコスト低減に加え、想定を超える外力に対しても粘り強い防波堤となる。本研究では釧路港エコポートモデル事業に認定された島防波堤を対象に、数値計算及び水理模型実験を行い、防波堤の越波水の打ち込みによって生ずる流れ特性を明らかにし、背後マウンド部の耐波設計法を提案した。成果は、本事業の構造設計に適用された。

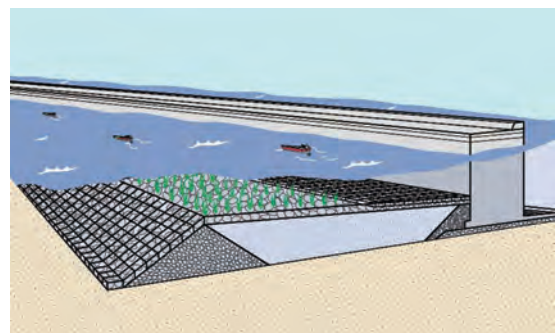


図-2.2.4.18 高天端背後盛土工法のイメージ



技術に関する研究を行った。

研究の成果として、動揺式の海藻着生基質（人工動揺基質、写真-2.2.4.19）を開発し、耐久性試験及びコンブ着生量観測により有用性を確認した（特許取得）。また、海藻繁茂を促進するための発酵魚かすによる栄養塩添加効果を把握した。さらに、ハタハタ産卵礁として機能する人工海藻を開発し（特許取得）、ハタハタの産卵効果を確認した。

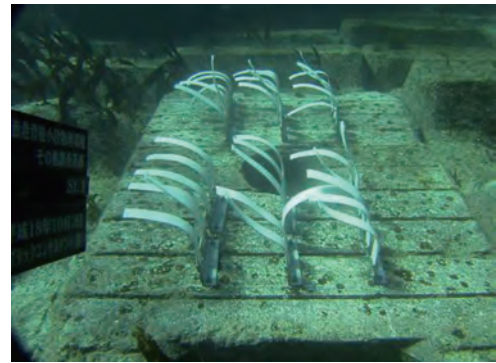


写真-2.2.4.19 人工動揺基質

#### (4) 沿岸海域の環境形成機構に関する研究

(平成13年度～平成17年度)

沿岸域の生態系や環境影響を把握するには、陸域などの影響を理解する必要があるため、河川水の影響を考慮した流動・生態系モデルの構築及び陸域からの汚濁負荷対策（浄化手法）を検討した。

研究の成果として、石狩湾における陸域負荷の拡散特性を把握し、水産生物の生息環境との関わりを把握した（図-2.2.4.21）。また、この現地データとモデルの検証により流動・生態系モデルの精度の向上を図った。さらに、浄化手法としてホタテ貝殻礁を提案し、汚濁負荷量と生物蛸集量及びC、N除去量の計測から浄化効果を算定した。

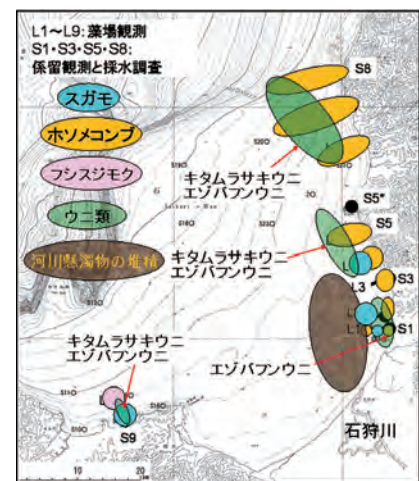


図-2.2.4.21 生物生息分布

#### (5) 寒冷地港内水域の水産生物生息場機能向上と水環境保全技術の開発 (平成18年度～平成22年度)

北海道では、荒天や結氷、養殖適地が少ない等により安定的な漁業活動が困難なことから、港内の静穏性を利用した水産生物の一時的な保管のための港内整備がこれまでに多く行われてきた。しかし、港内水面への汚濁負荷や残餌・糞の堆積等により水質や底質等の環境悪化が生じている。そこで、総合的かつ効率的な港湾・漁港水域の整備のため、水域環境を一体的な物質循環系として捉え、多種の水産資源がその食物連鎖を通して好適に生息でき、併せて水質や底質を改善・維持できる環境システムを構築し、立地環境に適合した多面的な機能を有する良好な港内水域空間の整備手法が必要である。そこで寒冷地沿岸水域の持続的水産利用のために、港内水域を対象として港内汚濁負荷をはじめとする物質循環（図-2.2.4.22）を明らかにするとともに、水産生物が有する環境浄化機能を利用した環境改善効果を検証し、この手法を提案した。

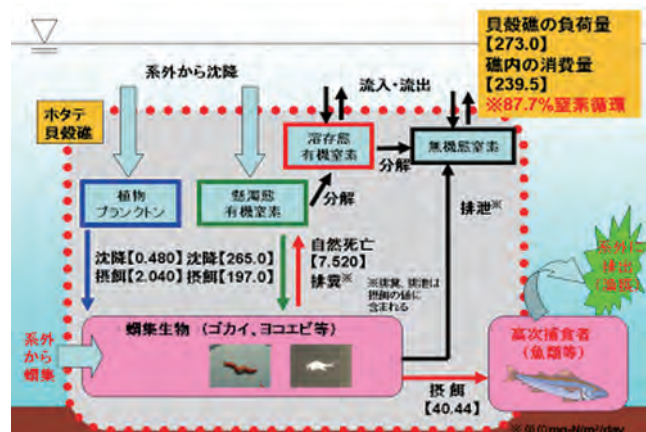


図-2.2.4.22 港内物質循環図

本研究の主要な成果は以下のとおりである。

## 1) 港内水面への汚染負荷の定量的評価・物質循環システムの解明

港内の水質底質浄化対策であるホタテ貝殻礁（写真-2.2.4.20）の現地実証試験を行い、生物の蛸集状況の把握や蛸集生物の摂餌行動による浄化能力を定量的に評価した。定量化に際しては、港内の汚濁負荷物質や各種蛸集生物の安定同位体比分析により、港内の食物連鎖網の解明を行い、ホタテ貝殻礁をとりまく港内水域の窒素・炭素循環を数値モデル化した。これを現地に適用し、港内の物質循環を解明した。



写真-2.2.4.20 ホタテ貝殻礁

## 2) 沿岸構造物の多面的機能の評価

沿岸構造物は、本来有する防波・防砂機能の他に、環境・生態系の保全に資する浄化機能、藻場造成機能、産卵礁・幼稚仔の保護育成機能等の多面的な機能を有している。これらの機能をさらに向上させるため、当チームで開発した人工動揺基質や産卵場機能を持つヤリイカ産卵礁ブロック、ハタハタ産卵用人工海藻（写真-2.2.4.21）等の現地実証試験を行い、その機能の評価を行った。

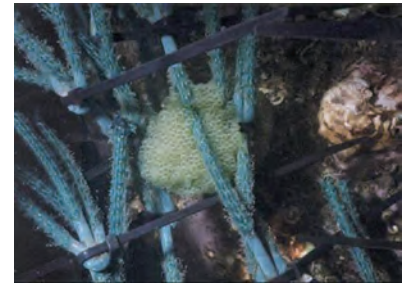


写真-2.2.4.21 ハタハタ産卵用人工海藻

## 3) 立地環境条件に適した港湾・漁港の総合的な水域環境整備方策の提案

寒冷地における港湾漁港水域を環境諸条件ごとに分類し、それぞれの立地環境に応じた整備手法の検討を行った。その中で、磯焼け地帯に設置された構造物の藻場回復手法として、方塊ブロックによる嵩上げを提案した。同提案に基づく実証実験を磯焼けが顕著な日本海側の寿都漁港において実施し、効果の検証を行った。

## (6) 積雪寒冷沿岸域の水産生物の生息環境保全に関する研究

北海道沿岸域の良好な自然環境の保全・再生が推進されており、陸域と一体となった沿岸域の環境保全が求められている。特に、栄養塩が豊富な河口付近では、北海道を代表する水産有用種である二枚貝類の成育が良い反面、出水後の浮泥の堆積等により大量斃死といった深刻な問題が生じることがある。

本研究は、陸域からの浮泥や栄養塩の流出が沿岸域の水産生物の生息環境に与える影響に関する調査を河川等の他チームと連携して実施し、水産生物の生育環境を考慮した陸域や河川流域、沿岸域の適正管理について検討するものである。

研究の内容は、①鵠川河口域において出水時の栄養塩と浮遊砂が水産生物の生育環境に及ぼす影響の把握、②数値計算による予測モデル（図-2.2.4.23）により水産生物への陸水の影響を定量的に再現・予測・評価し、適正管理手法を提案、③他地域への応用の検討などである。

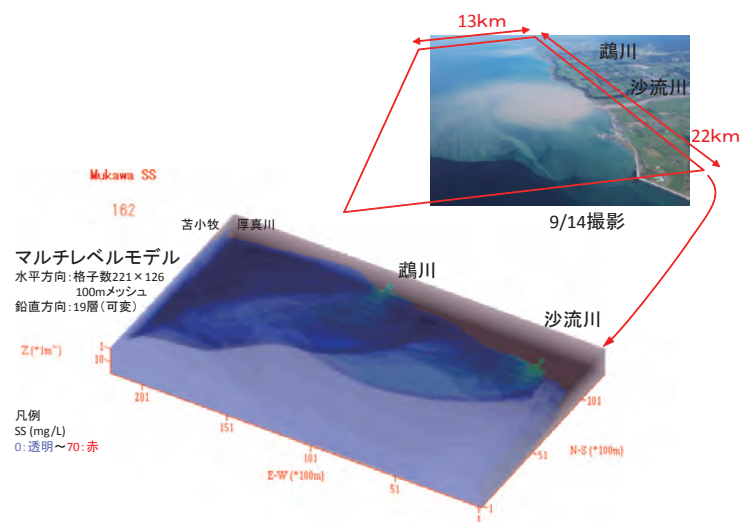


図-2.2.4.23 数値計算の一例（浮遊物質濃度）

(7) 北方海域の物理環境改変による生物生産性の向上に関する研究

排他的経済水域における水産資源の生産力を向上させ、水産物の安定供給の確保を図ることを目的に平成19年より直轄漁場整備事業（フロンティア漁場整備事業）が開始された。この事業は、最初に鳥取・島根県沖においてアカガレイ・ズワイガニを対象に保護育成礁の設置が行われ、次に長崎県五島西方沖においてマアジ・マサバ・マイワシを対象に事業が開始されている。今後、北海道周辺における実施の可能性についても検討されている。

北海道の主要な水産有用種の1つにスケトウダラがあるが、その漁獲量は著しく減少しており、平成9年にTAC対象種に指定され、漁獲が数量的に管理されている。北海道日本海北部沖はその優良な漁場として知られており、この魚種を対象とした直轄漁場整備事業の候補地として有望視されている（図-2.2.4.24）。

本研究は、北方海域の生物生産性の向上を図るための漁場整備に必要な技術開発を行うものであり、当海域における基礎生産構造を解明し、適切な工法等の効果的な事業推進に向けた技術提案を行い、効果の評価手法を開発することとしている。

研究の内容は、対象魚の資源状況に加えて、漁場周辺の物理環境、生物生息状況と餌料環境、基礎生産の周年の傾向等を把握するために、春のブルーミング、夏の密度成層、秋の表層冷却、冬の完全混合といった各季節の代表的な現象を対象として現地観測を行い検討するものである。



図-2.2.4.24 スケトウダラの回遊ルート

(8) 自然環境調和機能を有する寒冷地沿岸施設の維持・管理手法に関する研究

近年、地球温暖化に伴う寒冷気象環境の変化に対応した施設の適切な維持管理と沿岸生産環境の持続的な技術開発が求められている。静穏域の確保等を目的として整備された港湾・漁港施設等の沿岸構造物は、その擬似岩盤効果により藻場が創出される自然環境調和機能を有している。しかしながら、海水温の上昇といった大規模な環境変化等によって、当初期待された自然環境調和機能が低下する事態が増加している。特に、北海道日本海側での藻場の消失（磯焼け）が深刻で、同地域の自然環境調和型構造物における藻場機能の低下が懸念され、早急な対策が求められている。

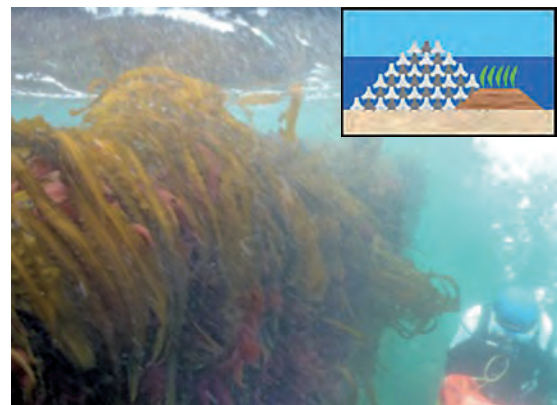


写真-2.2.4.22 藻場回復の実証試験

本研究は、積雪寒冷地における沿岸構造物の自然環境調和機能の低下の原因及びその対策について検討し、機能回復のための維持・管理手法に関する技術開発を行うものである（写真-2.2.4.22）。

北海道内の港湾・漁港整備の現場では、水質、藻場、産卵場等に関する課題が多く、地元市町村や漁業者からも期待されている。これらの課題解決に全力を挙げ、今後も豊かな沿岸環境づくりに貢献していきたい。

## 2.2.5 寒地道路研究グループ

### (1) 研究内容

積雪寒冷地の冬期道路においては、積雪や雪氷路面による交通障害、交通事故、吹雪時の視程障害や吹きだまりによる通行止め、雪崩などの雪氷災害が頻繁に発生しており、昨今気象変化により雪氷災害も激甚化の傾向がある。これらの発生メカニズムには不明なところが多く、それらの解明と対策技術の開発は重要な課題であり、それら研究開発の必要性は依然として高い。

そのため、これまでスパイクタイヤ使用規制後に課題となった冬期路面管理に関する研究、郊外部の対面2車線道路で多発する正面衝突事故対策、北海道の一般国道の通行止め原因の4割を占める吹雪時の視程障害や吹きだまり対策に関する研究、冬期道路情報の提供に関する研究などを行ってきた。

平成23年度から始まった5カ年の土木研究所第3期中期計画においても、重点的に取り組む研究として「寒冷地における冬期道路のパフォーマンス向上技術に関する研究」と「雪氷災害の減災技術に関する研究」の2つのプロジェクト研究を他の研究グループに所属する研究チームと共同で実施することとしている。

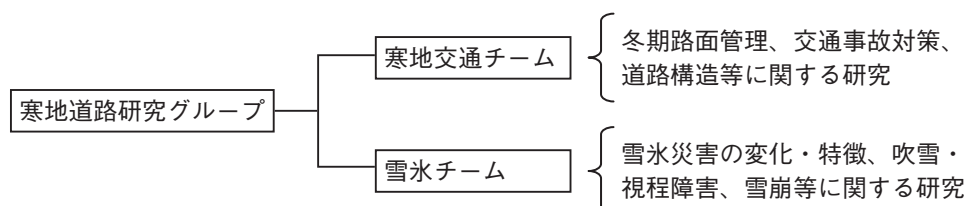
「寒冷地における冬期道路のパフォーマンス向上技術に関する研究」では、凍結防止剤散布を中心とした冬期路面管理の適正化を目指した冬期路面管理水準判断に関する研究、舗装種別毎の冬期路面管理技術の開発、ICT技術を活用した除雪車運用の効率化に関する研究、歩道における冬期路面管理技術に関する研究、郊外部での車線逸脱による重大事故を防ぐ対策技術の開発に取り組んでいる。

また、「雪氷災害の減災技術に関する研究」では、気候変化に伴う雪氷災害の変化・特徴の解明に関する研究、吹雪・視程障害の予測や危険度評価等に関する研究、冬期の降雨等に伴う湿雪雪崩の危険度評価技術に関する研究に取り組んでおり、今後とも、積雪寒冷地の冬期道路が抱える課題の解決に向けた研究に積極的に取り組んでいく予定である。

### (2) 沿革

寒地道路研究グループは、当研究所の平成13年4月の独立行政法人化以前、北海道開発局開発土木研究所道路部と称し、交通研究室、防災雪氷研究室及び維持管理研究室の3研究室で構成されていた。独法化後、(独)北海道開発土木研究所道路部と称し、同じく交通研究室、防災雪氷研究室及び維持管理研究室で構成されていた。平成18年4月に(独)土木研究所と統合された後は、(独)土木研究所寒地土木研究所寒地道路研究グループと称し、それまでの3研究室がそれぞれ寒地交通チーム、雪氷チーム及び寒地道路保全チームと名称を変更し引き続き所属した。平成24年4月に寒地土木研究所の組織再編により寒地保全技術研究グループが新たに設置された際、寒地道路保全チームが寒地保全技術研究グループの所属となったため、現在寒地道路研究グループは寒地交通チームと雪氷チームの2つのチームで構成されている。

### (3) 寒地道路研究グループのチーム構成と研究課題



## 2.2.5.1 寒地交通チーム

### (1) 概要

寒地交通チームは、北海道開発局開発土木研究所の交通研究室であったが、平成13年4月の独立行政法人化を経て、平成18年4月に現在の名称となり今日に至っている。

積雪寒冷地特有の気象条件や地方部の道路構造に起因する道路交通の課題として、冬期の道路交通機能の低下、片側1車線道路で多発する正面衝突事故などが挙げられるが、寒地交通チームでは、これらの課題解決に資するため、従来から主な研究フィールドである北海道での冬期道路管理、交通安全対策、適切な道路構造などの研究開発に取り組んできた。それらの研究成果や技術の蓄積の下、現在は、冬期路面管理水準の判断支援技術などの冬期道路管理に関する研究、郊外部における車線逸脱防止対策技術の開発などの交通事故対策に関する研究、積雪寒冷地における新たな交差構造の導入に向けた道路構造に関する研究などを行っている。

以下、当チームの研究内容の変遷（独法化以後）について簡単に紹介する。



写真- 2.2.5.1 冬期における交通事故

### (2) 10年前の研究内容（H13～H17（独）北海道開発土木研究所第1期中期計画）

北海道の開発の推進に資する土木技術の向上を目指して、第1期中期計画に掲げられた『北国の発展に貢献する新技術に関する研究』、『社会基盤を充実し持続するための建設・維持管理に関する研究』、『人々の安全を守るための防災に関する研究』などの研究目標を達成するために、寒地交通チーム（当時の交通研究室）は、以下のテーマの研究に取り組んだ。

#### 1) 北国の発展に貢献する新技術に関する研究

冬期気象による積雪、路面凍結などの発生が、北海道の開発・発展の大きな阻害要因の一つであることから、その対策として寒地土木技術の研究開発の推進が求められた。そのため、以下の研究を実施した。

##### ①安全・快適な冬期道路交通確保に関する研究

効果的・効率的な冬期道路管理を目指し、除雪・凍結防止剤散布、路面の粗面化等の冬期路面管理に関する研究を行った。

#### 2) 社会基盤を充実し持続するための建設・維持管理に関する研究

社会基盤整備における投資の効率化が求められ、品質の高い社会資本整備を低コストで実現することが課題であった。このため、ライフサイクルコストの低減など長期的な視点に立った社会基盤施設の整備・維持管理手法を開発する必要がある。そのため、具体的には、以下の研究を実施した。



写真- 2.2.5.2 安全性・走行性・環境などに配慮した道路構造（イメージ）



### ①積雪寒冷地における高水準な道路構造に関する研究

費用便益を踏まえながら、長期的視点に立ち、北海道の地域特性に応じた高規格幹線道路などの望ましい道路構造に関する研究を行った（写真-2.2.5.2）。

### ②北海道における効果的・効率的な道路整備の評価に関する研究

広域分散型社会である北海道における効果的・効率的な道路整備を推進するために、積雪寒冷な気候条件、長い都市間距離、活火山等の自然災害要因など北海道の地域特性を踏まえた道路事業の評価に資する研究を行った。

### 3) 人々の安全を守るための防災に関する研究

北海道では、都道府県別の交通事故死者数が長年ワースト1位を占め、事故対策の研究開発が大きな課題であった。このため、事故の発生原因を解明するとともに、冬期の事故防止技術など総合的な交通事故対策技術を開発する必要があるがあった。そのため、以下の研究を実施した。

#### ①近未来社会における人間社会に優しい道路技術に関する研究

道路におけるユニバーサル・デザイン、IT技術を利用した交通事故分析システム、環境影響最小化手法など人間社会に優しい道路技術に関する研究を行った。

#### ②重大事故特性と道路構造に関する研究

車両相互事故や車両単独事故による死亡事故の多い北海道における事故対策として、道路構造や道路付帯施設による交通安全対策に関する研究を行った。




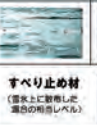

路面状態	氷凍・氷凍 (つるつる路面)	圧雪	シャーベット	凍固	乾燥
					
摩擦係数 (ASM-725)	~ 0.40	0.35 ~ 0.55	0.40 ~ 0.60	0.50 ~ 0.80	0.75 ~
摩擦係数 (PST)	~ 0.25	0.20 ~ 0.35	0.30 ~ 0.45	0.35 ~ 0.65	0.50 ~
凸凹度合い	30 mm 以上	30 mm 以下	20 mm 以下	10 mm 以下	
歩行可能幅員	1.5 m 以上	1.5 m 以上			
判定レベル	1 (悪)	2 (悪)	3 (十分)	4 (善)	5 (最)

図-2.2.5.1 冬期歩道の路面管理レベル

### (3) 5年前の研究内容 (H18 ~ H22 (独) 土木研究所寒地土木研究所第2期中期計画)

時代の社会的要請に的確に応えるために、「安全・安心な社会の実現」、「積雪寒冷に適応した社会資本整備」などの目標に対する研究を重点的かつ集中的に実施することとされた。このため、寒地交通チームは、「冬期路面管理の適正化に資する技術の開発」、「科学的交通事故分析と積雪寒冷な地域特性に合致した交通事故対策の開発」などの研究に貢献すべく、プロジェクト研究7『冬期道路の安全性・効率性向上に関する研究』のうち、冬期道路管理の効率性・的確性向上技術の開発、冬期交通事故に有効な対策技術の開発などの研究を行った。

#### 1) 冬期道路の安全性・効率性向上に関する研究

スパイクタイヤの使用規制以降「つるつる路面」（写真-2.2.5.3）と呼ばれる滑りやすい路面が多発し、渋滞、事故が増加していた。このような積雪寒冷地では、社会経済活動における自動車交通への依存度が高い地方部が多く、路面凍結対策などが重要な課題となっていた。本研究では、冬期の安全・快適な道路交通を確保するための効率的・効果的な道路管理に資する技術開発が求められていたため、主に以下の研究に取り組んだ。



写真-2.2.5.3 つるつる路面の状況

①冬期道路管理に関する研究

路面凍結の発生を熱収支法等により予測する路面凍結予測手法、冬期路面状態の定量的な評価手法を開発した。さらに、路面凍結予測情報、すべり抵抗モニタリング結果を発信する情報提供システム（写真-2.2.5.4）を開発した。

②寒地交通事故対策に関する研究

交通事故の要因分析から交通安全対策立案までの体系的に行う新交通事故分析システムを開発した。また、ランブルストリップス（写真-2.2.5.5）の整備ガイドライン（案）、除雪車安全施工ガイドなどの作成等を行った。

③凍結防止剤散布量の低減に関する研究

沿道の環境影響調査及び薬剤散布試験を行い、薬剤選定や散布手法検討の基礎資料を整備した。また、ブラシ式除雪試験装置などを用いた滑り摩擦係数の改善効果について取りまとめた。

これらの研究により開発された技術により冬期道路の管理コスト削減に貢献するとともに、地域特性に合致した事故対策の開発により交通事故死者数の削減に寄与することができた。

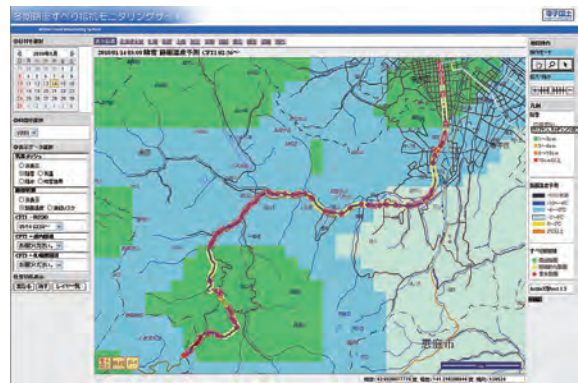


写真-2.2.5.4 冬期路面すべり抵抗モニタリングシステム



写真-2.2.5.5 ランブルストリップス

(4) 現在の研究内容（H23～H27（独）土木研究所寒地土木研究所第3期中期計画）

社会資本整備を取り巻く社会情勢が変化の中で、豊かで質の高い国民生活を支え、地域の活力を引き出すためには、道路交通が担う機能を効果的・効率的に維持・向上させる戦略的な維持管理技術の導入が重要となっている。特に寒冷地域では、冬期道路の機能維持・向上に向けて、社会資本の戦略的な維持管理技術が求められている。

このような課題を解決するため、現在、プロジェクト研究16『寒冷地域における冬期道路のパフォーマンス向上技術に関する研究』を進めている。このうち、寒地交通チームでは、冬期路面水準の評価・判断支援対策技術の開発、冬期交通事故対策技術の開発などに取り組んでいる。以下に主な研究について紹介する。

1) 冬期路面管理水準の判断支援技術に関する研究

冬期道路交通の安全性・円滑性向上のためには、路面に関する客観的・定量的なデータの収集・分析が必要である。そのため、路面のすべり抵抗値を連続的に測定できる試験車を用いた冬期路面状態の診断技術や、凍結防止剤散布等の路面管理の効果を評



写真-2.2.5.6 連続路面すべり抵抗値の測定

価する技術など、道路管理者の判断支援に資する技術開発に取り組んでいる。平成23年度冬期には、札幌市内の国道などに加えて、全線開通後の道東自動車道や大雪後の岩見沢市内の国道の冬期路面すべり計測を実施している（写真-2.2.5.6）。

## 2) 郊外部における車線逸脱防止対策技術に関する研究

北海道などの郊外部では、中央分離帯のない2車線道路が一般的であり、正面衝突事故が多発している。これまでに当チームが開発したランブルストリップス（中央線の舗装面の切削溝）は、正面衝突事故死者数の削減に大きな効果を挙げているが、急勾配区間では十分な抑止効果が得られていなかった。そのため、正面衝突事故のさらなる対策として、緩衝型ワイヤーロープ式防護柵の研究開発を行っている。平成23年度に実施した衝突試験（写真-2.2.5.7）では、高速道路用防護柵の基準値を満足する結果を得たことから、現在、建設中の高速道路への導入に向けて詳細検討を実施中である。



写真-2.2.5.7 緩衝型ワイヤーロープ式防護柵の衝突実験

## 3) 積雪寒冷地における新たな交差構造に関する研究

全国の交通事故の約6割が交差点で発生しており、北海道でも無信号交差点における出会い頭事故を含め交差点事故が死者数の約1/3を占めるなど、その安全対策が求められている。そのため、現在、諸外国で事故抑制に効果を挙げているラウンドアバウト（無信号で環道交通優先の円形交差点）（写真-2.2.5.8）を、我が国にも導入することが検討されている。しかしながら、諸外国でも多雪地での導入例は少なく、関連する諸課題について検証・対応するために必要な研究を現在実施している。なお、東日本大震災では、停電により信号交差点が長期間、機能不全となった経験から、ラウンドアバウトは「災害に強い交差構造」としても、早期導入が期待されている。



写真-2.2.5.8 模擬ラウンドアバウトでの走行試験

## (5) 今後の展望

以上のとおり、寒地交通チーム（旧 交通研究室）は、従来から「北海道の開発に資する土木技術の向上」の目標の下、冬期道路の交通確保や交通事故防止などの観点から様々な研究に取り組み所要の成果を挙げてきた。現在は、これまでの研究成果や技術の蓄積を生かしながら、我が国の積雪寒冷地全般に適用可能な冬期道路管理技術や、郊外部での交通事故防止に広く役立つ車線逸脱防止対策技術などの開発を進めている。

今後とも社会の変化や行政ニーズを踏まえながら、社会資本整備・維持管理の資する研究開発に取り組み、社会に貢献できるよう努めていく所存である。

## 2.2.5.2 雪氷チーム

### (1) 概要

雪氷チームは、北海道開発局開発土木研究所の防災雪氷研究室であったが、平成13年4月の独立行政法人化を経て、平成18年4月に現在の名称となり今日に至っている。

雪氷チームでは、吹雪や雪崩など道路雪氷災害の軽減のため、様々な研究に取り組んできている。ここでは、現在行っている研究をこれまでの経緯・背景とともに紹介し、今後の研究の方向性について記したい。

### (2) 吹雪対策に関する研究

吹雪対策に関する研究は、当チームの前身である北海道開発局土木試験所応用理化学研究室時代より、北海道開発局開発土木研究所防災雪氷研究室などを経て現在まで40年以上の蓄積がある。この間、行政や道路利用者のニーズ及び冬期の気象環境は、次第に変化しつつある。昭和30～40年は、昭和31年の雪寒法の制定を機に冬期除雪が全道に拡大した時期で、冬期に車両が通行できることへのニーズが最も高かった。そのため、当時の吹雪対策は吹きだまり対策が主であった。その後、高速道路が延伸されるにつれて、冬期にも高速で走行できることに対する要望が高くなった。そのような中、平成4年3月に道央自動車道千歳において猛吹雪の中で186台の多重衝突事故が発生し、吹雪による視程障害対策がクローズアップされた。その一方で、平成16年1月の北見地方を中心とする暴風雪など、急速に発達した低気圧によってもたらされる暴風雪により車両の立ち往生がしばしば発生するなど、吹雪災害は複雑化している。

#### 1) 吹雪視程障害予測技術の開発

平成20年2月及び4月に、南空知、釧路・根室地方が暴風雪に襲われ、多くの車両が立ち往生し社会生活に影響を与えた。このような異常な暴風雪に対しては、ハード対策だけでは対応が難しいため、吹雪視程障害状況を予測し情報提供するなどのソフト的な対策も併せて実施することが必要である。吹雪時の視程は気象条件と関係が深い。過去には、理論モデルと野外での飛雪流量調査(写真-2.2.5.9)を元に、一般的な気象データ(降雪、風速、気温)から吹雪時の視程を推定する手法が開発され、平成14年度に(社)日本雪氷学会より平田賞が授与されている。ところで、この手法では、入力する気象データとして予測値を用いることで、視程の予測も可能である。しかし、吹雪の発生については雪面の状態にも依存するため、同じ気象条件であっても吹雪が発生しない場合がある。そこで、現在は、視程障害予測の精度向上を図るため、野外観測データを解析して、雪面の状態を考慮した吹雪の発生条件について研究を行っている。

一方、吹雪情報を提供する媒体としては、北海道の道路情報のポータルサイト『北の道ナビ』を活用している。『北の道ナビ』は、多様化する道路情報に関するニーズに応えるため、雪氷チームの前身である防災雪氷研究室時代(平成11年)に開設したものであり、平成12年度からは民間約10社と『移動中の高度情報通信社会流通情報の利用技術に関する研究』の共同研究を実施して充実が図られた。このような防災雪氷研究室で行っていたドライブ観光などの道路情報提供に関する研究は、平成18年の北海道開発土木研究所と土木研究所との統合時に新設された地域景観ユニットが担うこととなり、雪氷チームは冬期の道路情報提供の部分を分担している。

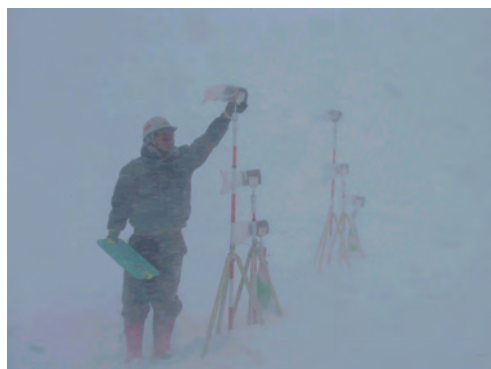


写真-2.2.5.9 飛雪流量調査の様子

## 2) 吹雪危険度評価に関する研究

効率的に吹雪対策施設の整備を行うためには、路線の中で防災上のネックとなっている箇所、つまり吹雪危険度の高い箇所の特定が必要である。そこで、路線を通した連続的な吹雪の危険度評価技術に関する研究を行っている。この研究では、視程障害移動観測車（写真-2.2.5.10）の活用などにより、路線が持つ潜在的な吹雪視程障害の危険度を連続的かつ定量的に評価する手法を検討している。

視程障害移動観測車は、走行速度、GPS位置に加え、走行しながら気温、風向風速、視程、ハンドルの操舵角、ブレーキやアクセルの踏量が計測可能な試験車両である。平成4年3月の道央自動車道千歳での多重衝突事故を契機として開始された『降雪・吹雪時の多重衝突事故防止対策に関する研究』のために、平成7年に開発したものである。現在では、北海道内外の多くの調査コンサルタント会社でも同様な車両を所有して、吹雪調査に用いられている。

吹雪の危険度評価については、過去の経験を元に、平成15年に改訂した『道路吹雪対策マニュアル』に危険度評価シートを掲載し、現在の平成23年改訂版においてもそのまま採用している。しかし、路線ではなく、対象地点の危険度を評価する手法であり、評点の重み付けも経験的に定めていた。そこで、本研究にて、連続的な路線の吹雪危険度評価を提示することで、吹雪対策の優先度の合理的な判断を可能とするものである。

## 3) 気象変動の影響による雪氷環境の変化に関する研究

近年、気象変化が激しくなり、雪氷災害が激甚化している。雪対策の長期的計画や防雪対策施設の設計に資するため、気象変動による雪氷環境の変化傾向を反映した雪氷気候値（吹雪量、視程障害発生頻度など）の分布図の作成に取り組んでいる。平成10年頃に、北海道を対象にして吹きだまり分布図や視程障害頻度分布図の作成を行った。これらの分布図は、吹雪対策の計画や対策施設の設計に用いられているほか、ドライバーへの啓発資料（図-2.2.5.2）にも活用されている。ところがデータが古いため、近年の気象変化を反映した分布図の作成が必要とされている。また、将来の雪氷環境の予測は、長期的な防雪対策計画を検討する際に参考になるものである。

## 4) 防雪柵に関する研究

防雪柵には、大きく分けて吹きだめ柵、吹き止め柵、吹き払い柵の3種類がある。

吹き払い柵は路側に設置され、用地確保の必要が無いため多く採用されている。吹き払い柵は、下部間隙が埋まると防雪機能が低下するため、下部間隙の確保が必須である。しかし、下部間隙の閉塞と防



写真- 2.2.5.10 視程障害移動観測車

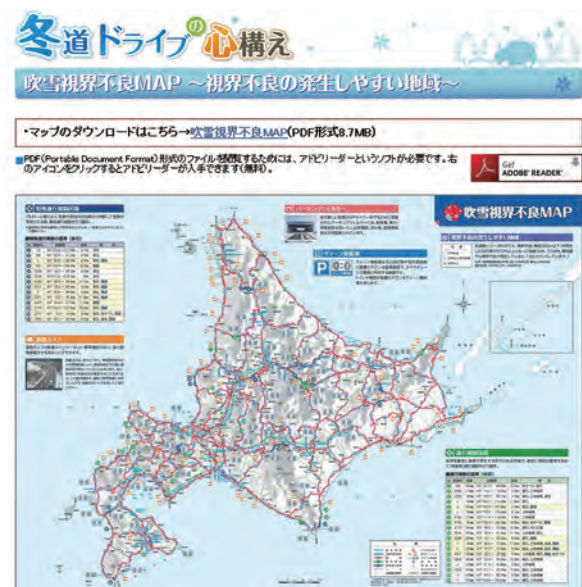


図- 2.2.5.2 冬道ドライブの心構え

(国土交通省北海道開発局ホームページ、[http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z\\_doro/attitude/map.html](http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_doro/attitude/map.html))。視程障害頻度分布図が背景に用いられている。

雪機能との関係には不明な点が多い。そこで、吹き払い柵の防雪機能を定量的に解明するため、下部の閉塞と防雪機能との関係を明らかにし、防雪機能を維持するための適切な除雪のタイミングなどについて検討を行っている。

過去に防雪柵の研究としては、高盛土道路に対応する防雪柵の開発を行ったほか（写真-2.2.5.11）、野外観測によって、吹きだめ柵や吹き止め柵の防雪機能の解明と設計方法を検討してきた。これらの成果については、『道路吹雪対策マニュアル（平成23年改訂版）』に整理され、後述する防雪林や視線誘導施設とともに実際の吹雪対策に活用されている。なお、吹雪対策技術のマニュアル化に対して、平成16年度に（社）日本雪氷学会より技術賞が授与されている。



写真-2.2.5.11 高盛土対応型の高機能防雪柵

## 5) 防雪林に関する研究

防雪林は、昭和53年に国道12号岩見沢市岡山で整備が行われたのを始めに、国道や高速道路など、現在も多く箇所が整備が進められている。しかし、防雪林の生育が良好でない箇所が存在するなどの問題が生じている。また、防雪林が混み合うと下枝の枯れ上がりが生じ、防雪機能を損ねるといった問題も発生しており、適切な間伐が必要とされているものの、防雪機能にも配慮した密度管理については明らかにされていない。これらの課題に対処するため、適切な防雪林の造成基盤の規格を示すとともに、適切な間伐時期、立木密度などの管理方法を明らかにするための研究を行っている。過去には、防雪林に関して、天塩町雄信内防雪林において視程障害移動観測車を用いて調査を行い、視程の改善効果を明らかにした。さらに、林帯幅が10m未満の狭帯防雪林が視程障害緩和に効果があること示すとともに吹きだまり対策への適用の限界を示すなど防雪機能に関する研究を行ってきた。

## 6) 吹雪時の視線誘導施設に関する研究

吹雪対策としての視線誘導に関する研究も行ってきた。アイカメラを用いたドライバーの注視状況や、石狩吹雪実験場での比較試験を実施し、視線誘導施設の効果を明らかにした。また、吹雪時の利用を想定した視線誘導施設に関するマニュアルである、『吹雪時を考慮した視線誘導施設マニュアル（案）』を平成19年に策定した。現在、このマニュアルは、『道路吹雪対策マニュアル（平成23年改訂版）』に合本されて公開されており、視線誘導施設の整備に活用されている。

## (3) 雪崩対策に関する研究

### 1) 雪崩災害の危険度評価に関する研究

近年、我が国において、冬期の気温上昇が報告されており、冬期の降水量も増加している。冬期の降雨は、積雪に降雨が浸透することによる湿雪雪崩、あるいは大量の水を含んだ雪が長距離流下するスラッシュ雪崩などによる災害の多発につながる恐れがある。これらの湿雪雪崩の発生条件については不明な点が多いことから、新潟県妙高市にある土木研究所雪崩地すべり研究センターと共同で、冬期の温暖化に伴う降雨等による湿雪雪崩の発生危険度の評価手法を検討している。過去には、北海道の国道における雪崩事例解析を行い、雪崩発生時の気象条件を整理した。また、平成22年には、道路付近の雪崩現象把握のための着眼点を記載した『雪崩現象の基礎に関する技術資料（案）』をとりまとめて、実際の冬期道路管理の参考資料として活用されている。

## 2) 雪崩対策施設の設計に関する研究

北海道では平成10年頃から、多量降雪時に斜面の新積雪が雪崩予防柵の支持面の梁材の間をすり抜ける雪崩が発生し、問題となっていた。その対策としてエキスパンドメタルなどのネット類を施工する方法について現地試験を行い、適切な仕様と設置方法を検討した。その成果は、平成22年に『北海道の地域特性を考慮した雪崩対策の技術資料（案）』としてまとめられ、ホームページ上で公開している。

また、雪崩予防柵（吊り柵）に関して、現在はスイス示方書に基づく設計が行われている。ところが、この基準に従うと、雪崩予防柵の斜面方向の列間斜距離が、設計積雪深に比例するため、積雪の少ない地域の方が雪崩予防柵の数が多くなり対策のコストが大きくなるという矛盾が生じていた。そこで、列間斜距離を変えて雪崩予防柵を設置し雪圧等の計測を行い、列間斜距離を拡張する可能性を示した。

また、北海道と本州では雪崩予防柵の設計方法に相違点がある。例えば、柵の設計に用いるグライド係数は、本州では柵の倒壊を機に、平成5年にスイス示方書の約1.5倍に割増しされた。一方、北海道では、雪氷チームの前身である防災雪氷研究室が現地計測（昭和63年～平成6年）により安全性を検証し、現在でもスイス示方書の値を用いている。しかし、近年の冬期温暖化により雪質や柵にかかる雪圧にも変化が考えられる。そこで、本研究では、現地試験などにより設計値等の再調査を行い、北海道における冬期温暖化による雪質変化に対応した雪崩予防柵の設計雪圧を提案するものである。

## (4) 着氷雪対策に関する研究

冬期間において道路案内標識に着雪や冠雪が発生し成長する事例が見られる。落雪により通行車両等に被害を及ぼす危険性があるほか、事前の落雪処理にも高所作業車が必要となるなど、作業手間やコストがかかっている。道路案内標識の背面全面にカバーを付けるなどの既往の着雪対策があるが規模が大きくなり高価である。そこで、後付け可能な簡易な対策工の開発に取り組んでいる。

また、道路施設からの落氷雪がどのような時に発生し、どの程度の危険性を有するかを評価する手法がないため、雪落とし作業は安全を考慮し頻繁に行われている。そこで、道路施設の形状や勾配等の基本構造と着氷雪時の気象条件等との関係の調査を行い、さらに落氷雪による衝撃力の調査を行うことにより、構造物の着氷雪量と落氷雪による被害発生の危険度評価手法の検討を行っている。

## (5) 今後の展望

冒頭でも述べたが、近年、冬期の気象状況が大きく変わってきている。急速に発達した低気圧による暴風雪や集中的な豪雪がしばしば発生している。平成17、22、23年度には、雪害で130名以上の死者が出ている。その一方で、道路事業の予算は年々厳しくなっている。雪氷チームでは、このような背景のもと、持続可能な冬期道路サービスの提供を支援するために、研究を進めていく考えである。

## 2.2.6 寒地農業基盤研究グループ

### (1) 研究の背景

北海道農業は、厳しい農業環境の下、新しい営農技術の導入や積極的な農地開発や農業水利施設などの整備により、大きく発展し、現在では地域の条件に適合した農業を展開し、我が国の食料供給基地として重要な位置を占めている。

北海道農業がこれからも、持続的に発展するためには、より一層の品質確保や低コスト生産とともに、地域の特色ある戦略作物の導入などの取り組みが必要であり、そのために、生産性の高い農地の保全や効率的な作業体系の確立のための生産基盤整備が重要である。農業の後継者不足、気候温暖化や自然環境の保全にも対応しながら、生産基盤整備に係わる課題に対しての研究・技術開発が求められている。



写真－2.2.6.1 大規模な水田地帯



写真－2.2.6.2 大規模畑地帯における灌漑

### (2) 研究の概要と方向性

土壌改善、農地保全や水利施設の凍害対策などの研究・技術開発を行い、厳しい農業環境の下での農業生産を支えるための生産基盤の整備に大きな役割を果たしてきた。

近年は、農地や用排水施設の機能を維持・向上させる事業や、生産性向上のための圃場の大区画化や基盤整備と併せて自然環境保全を図る事業が重点的に行われており、事業主体と連携して、泥炭地などの機能回復を図るための農地整備技術、用水路における凍害劣化の診断技術や補修工法、畑地における土壌水分の予測技術、家畜糞尿などのバイオマス資源の有効利用、環境保全に関する研究や地域資源を活用した土壌改善技術などの研究・技術開発を行ってきた。

第2期中期期間における重点プロジェクト研究として、酪農村地域での実証プラントによる「共同型バイオガスプラントを核とした地域バイオマスの循環利用システムの開発」を行い、プラントの安定的な運用手法、発酵技術、消化液の効果などに多くの知見が得られ、全国の自治体等からも注目された。また、重点プロジェクト研究「積雪寒冷地における農業水利施設の送配水機能の改善と構造機能の保全に関する研究」では、積雪寒冷地特有のメカニズムによる凍上凍結現象が明らかになり、今後の用水施設における診断技術や補修技術の開発に大きく貢献するものであった。

今後も、事業実施主体等と連携をとりながら生産基盤整備の課題に対応し、農地の生産性向上のための土壌物理性の改善や地下灌漑を伴う用排水管理技術、安定的な生産を確保するための用排水施設の維持管理技術や気候変動下における用排水管理手法、地域資源を有効活用し環境を保全するための技術、土壌流亡等から農地を保全するための技術及び、水利施設の減災技術などの技術開発や研究を進める方針である。



### 2.2.6.1 資源保全チーム

#### (1) 概要

資源保全チームは、北海道開発局開発土木研究所の土壤保全研究室であったが、平成13年4月の独立行政法人化を経て、平成18年4月に現在の名称となり今日に至っている。

創設から昭和50年代までの主要な取組には、土壤浸食のメカニズムの解明や対策工の提案、農用地の造成における肥沃な表土の持ち去りを抑制する工法の開発等がある。

昭和60年代以降は、土壤の水はけや水持ちに關与する土壤水分孔隙量のデータ集積、各孔隙量の全道分布図の作成、農地に客土材として投入された場合に強酸性化し、作物に甚大な被害を与える酸性硫酸塩土壤の分布図の作成、暗渠排水機能の長期維持に關する研究、酸性硫酸塩土壤の露出した切土法面の緑化工法に關する研究、農業用ダム堆砂土の客土利用に關する研究、泥炭農地の保全に關する研究、大規模傾斜草地からの環境負荷物質流出抑制技術に關する研究、積雪寒冷地での大規模集中型バイオガスプラントシステムに關する研究、肥培灌溉による生産環境改善効果の解明等を行ってきた。

#### (2) 暗渠排水機能の長期維持に關する研究

昭和50年代以前に施工された暗渠は、暗渠管を敷設するために深さ90cm程度の溝を掘り、暗渠管の敷設後、溝掘り時の掘削土をそのまま埋め戻すものが殆どであった。これらの従来型暗渠は比較的早期から機能不良となるものが多かった。そこで、機能不良要因を調査した結果、掘削土埋め戻し部上部が営農機械による圧縮を受けるとともに、同下部は還元状態の発達による土壤団粒の破壊が生じ、埋め戻し上部、下部ともに水みちが消滅し、排水不良を起こしていることを明らかにした。その対策として、掘削土の代わりに透水性に富み、圧縮や湛水条件下で破壊され難い疎水材を掘削溝に投入する疎水材型暗渠の施工を提案し、ホタテ貝殻を疎水材に用いる暗渠（写真-2.2.6.3）を開発した。本成果は北海道農業試験会議の指導参考事項と評価され、全道の農業改良普及センターに情報提供されている。現在は、ホタテ貝殻、埋木チップ及び火山礫を疎水材とした暗渠の長期的機能の調査を行っている。



写真-2.2.6.3 ホタテ貝殻暗渠

#### (3) 酸性硫酸塩土壤の露出した切土法面における緑化工法

海成堆積岩や変朽安山岩を切土処理した場合、酸性硫酸塩土壤が露出する場合がある。一般に、酸性硫酸塩土壤は露出当初のpHは中性の場合が多いが、空気に触れると硫黄酸化細菌が繁殖して、酸性硫酸塩土壤に含まれる硫化鉄(FeS)や黄鉄鉱(FeS<sub>2</sub>)が酸化され、硫酸に変化し、強酸性となるため、酸性硫酸塩土壤に慣行的な緑化工法を行うと植生の枯死を招くこととなる。その対策として、中和工法(図-2.2.6.1)を開発した。同工法では、供試土中の硫化鉄や黄鉄鉱を過酸化水素水で完全に酸化させ、全て硫酸にした供試土を作成し、この供試土で石灰中和量を求めるため、酸性硫酸塩土

壤層も十分な石灰により中和されるため、植生は厚層基材種子吹付層だけでなく、より深層の酸性硫酸塩土壌層にも根を伸ばして水分吸収を行い、正常に生育する。本成果は北海道農業試験会議の指導参考事項と評価され、全道の農業改良普及センターに情報提供されている。



図- 2.2.6.1 中和工法断面模式図

#### (4) 農業用ダム堆砂土の客土利用に関する研究

農業用ダムに堆砂土が堆積するとダム容量の減少を招き、貯水効率が低下する。一方、水田農家では肥沃な土の客土ニーズがある。そこで、北海道各地の農業用ダムの堆砂土と地山土を採取し、両者の土壤理化学性を比較し、客土としての適性を評価した。堆砂土は、客土材として用いられることの多い地山土に比べ、肥沃で、農耕地土壌としての適性がより高く、地山土よりは堆砂土の方が客土材として優れていると評価できた。中～細粒質の堆砂土は肥沃度が高く、客土材としての適性が優れていた。粗粒質の堆砂土はこれらよりやや肥沃度が低かった。堆砂土は、土性が細粒質ないし粗粒質の極端なものが多く、作土の土性を勘案して、客土量等を決定することが重要と判断された。また、堆砂土では窒素が不足する場合や微量元素の含有量が適正でない場合もあるので、被客土農耕地作土の化学性分析を基に客土量や肥料投入量の決定を行う必要がある。本成果は北海道農業試験会議成績会議において指導参考事項と評価され、全道の農業改良普及センターに情報提供されている。

#### (5) 泥炭農地の保全に関する研究

北海道では泥炭土が広く分布する。泥炭土の一部は農地化され、大規模な排水や客土等が実施されたが、排水に伴い地盤沈下が生じ、営農に支障をきたす地域もある。泥炭農地での地盤沈下は排水に伴う脱水収縮や圧縮だけでなく、泥炭自体の分解によるものである。このため、泥炭農地での地盤沈下を抑制するには、乾燥収縮、圧縮への対策だけでなく、泥炭自体の分解も抑制することが必要となる。そこで、これらを抑制するため、圃場に附帯する明渠を堰上げし、圃場の地下水位を上昇させる試験区を設け、地下水位、地盤標高、有機物の分解及び温室効果ガスの発生量を調査した。調査の結果、附帯明渠の堰上げを行った試験区は、堰上げを行っていない試験区に比べて、地盤沈下や有機物の分解が遅れることを明らかにした。また、堰上げ区の牧草収量と非堰上げ区の牧草収量は同程度であることを明らかにした。温室効果ガスの発生も堰上げ区で、非堰上げ区より抑制された。

今後は、泥炭の沈下に圧密、乾燥収縮、圧縮、泥炭分解が及ぼす影響をボーリングサンプリングや深さ別の沈下量の測定等により、深さ別の泥炭挙動を明らかにし、泥炭の長期沈下の原因の解明と対策の提案につなげていく予定である。

#### (6) 大規模傾斜草地からの環境負荷物質流出抑制技術に関する研究

土壌が堅密化した傾斜草地では、降雨時に表面流出が発生し水質負荷が生じる恐れがある。そのた

め、酪農地帯における河川等に対する水質負荷を抑制するためには、草地表面から排水路へ流出する負荷物質を低減させる必要がある。糞尿スラリー散布に伴う圃場面からの肥料成分流出を抑制する対策として、散布した糞尿スラリーを速やかに土壌に浸入させることが考えられるため、浸入能が小さい傾斜草地において、糞尿スラリーを表面散布する試験区と切り込みを入れた後に糞尿スラリーを表面散布する試験区を設け、人工的に散水する現地試験を実施した。その結果、草地表面に切り込みを入れることで、降雨を速やかに土中に浸入させ、排水路への水質負荷物質の直接流入を抑制できることを明らかにした。

### (7) 積雪寒冷地での大規模集中型バイオガスプラントに関する研究

大規模集中型バイオガスプラントは、ドイツやデンマーク等で普及しているが、北海道はこれらの国より冬期の気温が低いため、特別研究「積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト研究」を立ち上げ、北海道のような積雪寒冷地においても、大規模集中型バイオガスプラントの運用が可能かどうか検証し、技術的にも経済的にも可能であることを実証した。資源保全チームは、水利基盤チーム、北海道農業研究センター、北海道立根釧農業試験場、北海道立北見農業試験場の協力を受け、別海町に建設された大規模集中型バイオガスプラント（写真-2.2.6.4）のエネルギー収支からみた自立的運転条件及び乳牛糞尿を主原料とするバイオガスプラント消化液の特性と草地・畑地への施用法を提示し、北海道農業試験会議成績会議において普及推進事項と評価を受けた。また、大規模集中型バイオガスプラントにおけるメタンガスの効率的な産出方法を確立し、同会議において、指導参考事項として評価を受けた。さらに、経営評価として、経済性のシミュレーションによって、成牛換算 1,000 頭規模の共同型バイオガスプラントでは、受け入れ糞尿を全てスラリーとし、固形糞尿の受け入れを停止することにより、収支均衡が図られることを明らかにし、同会議において、行政参考事項の評価を受けた。これらの成果は同会議により全道の農業改良普及センターに情報発信された。

また、乳牛糞尿を主原料とし、これ以外の地域バイオマス（廃乳製品、乳業工場汚泥、合併浄化槽汚泥、水産加工残滓等）を副原料として効率的に共発酵する技術を開発し、バイオガスとともに生成するメタン発酵消化液の性状と液肥としての肥効、圃場施用法を明らかにした。

現在では、生糞尿、曝気スラリー（生糞尿の好気発酵希釈液）、メタン発酵消化液及び堆肥の有機物組成の特徴を明らかにし、圃場施用による土壌生産性改善効果を比較検証し、これらの液肥による効果的な土壌生産性改善技術の開発を目標として研究を行っている。



写真 - 2.2.6.4 別海町の大規模集中型バイオガスプラント

### (8) 肥培灌漑による生産環境改善効果の解明

道東、道北を中心にした大規模酪農地帯では、灌漑水と乳牛糞尿を混合し、曝気処理を行って腐熟させた曝気スラリーを草地等に散布する肥培灌漑事業（写真-2.2.6.5）が実施されてきたが、事業終了後長期経過後に現れるであろう、土壌の生産性改善効果が、事業の性質上、モニタリングされていなかった。そこで、長期供用後の土壌生産性改善効果を曝気スラリー散布年数の異なる圃場で調査した。その結果、曝気スラリー散布後5～6年で散布効果が現れ、土壌の保肥力、保水性、排水性が增大することを明らかにした。また、20年以上の長期間にわたり、高水準の牧草収量を維持することを明らかにした。現在、他のバイオマスとの有機物組成の違いや圃場散布による土壌生産性改善効果の比較検証を行う研究へと発展している。



写真- 2.2.6.5 地下埋設型の曝気槽

## 2.2.6.2 水利基盤チーム

### (1) 概要

水利基盤チームは、北海道開発局開発土木研究所の農業土木研究室であったが、平成13年4月の独立行政法人化を経て、平成18年4月に現在の名称となり今日に至っている。

昭和34年6月に特殊土壌開発研究室として創設されてから昭和50年代までの主要な取り組みには、農業用フィルダムの築堤材料に関する調査・試験、コンクリート製用水路や農道の凍上対策に関する研究などがある。用水路側壁背面土の置換工法や農道の構造設計方法は、北海道開発局の「積雪寒冷地における用水路の設計技術基準（案）」（昭和54年）などに反映され、建設技術の向上に大きく寄与した。昭和60年代以降には、フィルダムへの軟質岩の利用、農業用ダムの管理、コンクリート製開水路の維持管理、管水路の建設・維持管理、農業用水の需要特性と送配水管理、畑作地帯の排水施設の維持管理、酪農地帯における家畜ふん尿の循環利用と水質保全などに研究を展開してきた。

### (2) 農業用ダムの管理に関する研究

農業用ダムの建設数の減少に伴い、研究ニーズも建設に関わるものから管理に関する内容に移ってきた。

農業用のダムや調整池では、アスファルトやゴムシートを遮水壁として利用しているものがある。厳しい気象環境下でもそれらの材料が所要の耐久性を有していることの検証が求められる。当チームでは、北海道開発局農業水産部と連携して、供用開始後約10年を経過したAダムのアスファルト表面遮水壁から採取した試料を試験し、材料性状の変化が小さく、遮水壁として十分な耐久性を期待できることを示した。また、ゴムシートについても、貯水池水面の氷盤との接触による損傷が生じないこと、継ぎ目の接着力は冬期で維持されることなどを明らかにした。

農業用ダムを長期にわたり効率的に管理するためには、貯水池内の堆積土の有効利用が必要である。そのため、資源保全チーム及び防災地質チームとともに道央・道南の貯水池において土砂の堆積量や物理的・化学的性質を調査し、それらが農地の客土として利用可能であることを提案した。この成果「北海道の農業用ダムにおける堆砂土の特徴」は、北海道農業試験会議において指導参考事項に認定され、農業関係者に発信された。

農業用ダムの管理に関するその他の研究としては、成分分離AR法を適用した融雪期のフィルダム漏水量管理技術の開発などがある。

現在は農業用ダムを扱う研究は実施していないが、北海道開発局からの依頼に対応して技術的な指導・助言を行っている。

### (3) コンクリート製開水路の凍害劣化の診断技術や補修技術に関する研究

北海道内の基幹的水路（排水路も含む）の総延長は、約12千kmに及んでいる。これらのうち、すでに耐用年数を超えているものが約2千km、20年以内に耐用年数を迎えるものが約4千kmある。このような背景から、平成10年代前半から、水利施設の維持管理分野の研究を行っている。

コンクリート製開水路の補修工法の研究は、平成11年度に着手し現在も継続している。初期には、室内実験で、ポリウレタンや発泡廃ガラス等を表面被覆材として用いた場合の凍結融解抵抗性の検証を進めた。また、平成18年度には、上川地域北部のフリーム水路において、民間企業との共同研究によって樹脂系・セメント系・パネル系の3種の補修工法の試験施工を行い、現在に至るまで供用状況のモニタリングを継続している。また、平成17年度からは各種の表面補修材の耐久性手法の開発に着手し、平成23年度には凍結融解に対する耐久性評価の試験方法を提案した。

積雪寒冷地におけるコンクリート製開水路（写真-2.2.6.6）の維持管理では、凍害劣化の状況を適切に診断することが重要である。開水路はコンクリートの部材厚が薄いことから、凍害劣化の深さの違いによって、劣化部の対策が補修で十分なのか、あるいは改築が必要なのかを左右する。それゆ

え、凍害劣化深さを精度良く診断する技術が必要とされている。このような背景から、平成18年度から現場における凍害劣化状況の調査に着手し、さらに平成23年度からは超音波法（表面走査法）などを活用した、側壁内部の凍害劣化診断技術の研究を実施中である。



写真-2.2.6.6 コンクリート開水路が曝される環境（夏期・冬期）

#### (4) 管水路の建設・維持管理に関する研究

北海道内における管水路の建設は、畑地灌漑施設の整備として昭和40年代に始まり、その後畑地灌漑施設の建設進捗や水田灌漑施設の管水路化などによって進んできた。管水路の建設技術の課題のうち北海道特有のものとしては、火山灰土や泥炭の埋め戻し材としての利用方法や泥炭性軟弱地盤における管体の沈下・浮上対策があった。火山灰土の利用については、平成8年度から5カ年をかけて、砂質火山灰土の液状化抵抗性の向上のための碎石混合法や固化材改良法を開発した。平成10年度には火山灰土及び泥炭を埋め戻し材として用いる場合の反力定数を提案した。泥炭性軟弱地盤における管水路の建設技術については、平成4年度ころから空知地域の水田地帯において、ジオグリッドを用いた管体の施工の現地実証を行った（図-2.2.6.2）。

また、管水路の維持管理に関する研究では、軟弱地盤において矢板施工で建設した管水路の長期的な沈下観測とその解析手法の提案などを行った。

現在、管水路に適用できるストックマネジメント技術が必要とされており、管布設地盤と管体監視による安定性調査技術の開発と管水路機能診断技術のシステム化を目指した研究に取り組んでいる。また、平成24年度には、東日本大震災の発生を受け、大地震や集中豪雨といった緊急時の水利施設管理方法に関する研究を開始した。

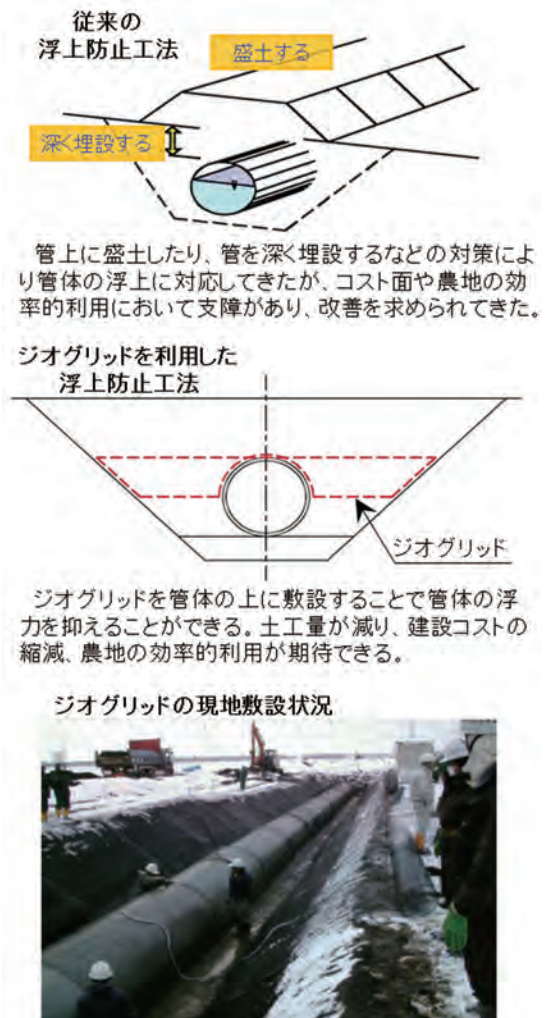


図-2.2.6.2 泥炭地におけるジオグリッドを用いた管の施工

#### (5) 畑地における水分消費量の定量的評価と予測に関する研究

畑地において土壌水分を適切に管理するためには、蒸発散量や下方からの補給水量を把握することが必要である。また、畑地灌漑用水の効率的利用のためには、土壌水分の数日先までの予測情報が有用である。そのため、平成8年度から、十勝地域の畑地において蒸発散量や土壌水分の観測を開始した。その結果、バレイショ、キャベツ、大豆など多様な作物の水分消費量を把握した。また、この観測で蓄積した微気象データと天気予報情報を結びつけて、1週間先までの土壌水分の予報を農家に発信するシステムを開発し、農家にFAX送信を行って情報の有効性を実証した。

現在は、畑地灌漑分野の研究課題はないが、十勝地域での早春の土壌管理のための用水需要など、従来の灌漑期間に含まれない新たな水需要に関する情報収集を行っている。

### (6) 農業用水の水需要特性と送配水管理に関する研究

近年、水田灌漑施設への管水路の導入事例が増えてきている。管水路から水田に取水する場合、管水路の流量は農家の給水栓操作の影響を受けて大きく変動する。幹線用水路が開水路形式のまま、支線以下の用水路が管水路化されるような複合水路系のシステムでは、管水路での流量変動が幹線用水路の安定した送水管理を阻害する要因になりやすい。そのため、平成6年度から管水路での流量変動を定量的に把握し、平成9年度以降に複合水路系での送配水シミュレーション技術を提案した。さらに、平成21年度には水需要の日内変動への対応性に着目して、送配水機能の診断手法を提案した。

畑地灌漑施設については、平成8年度からはオウトウなどの樹園地帯において、また平成15年度からは干ばつを受けやすい土壌条件にあるタマネギ産地において、それぞれ水利用実態を明らかにした。両者とも、干天が継続すると用水計画に近い用水量が利用されるため、安定した用水供給のためにはファームポンドの水位監視が有効であることを提案した。前者の樹園地帯における研究では、電話によってファームポンド水位を把握できるような音声合成を利用した監視システムを開発した。

農業用水の管理に関する現在の研究内容には、気候変動下での農業用水管理技術の開発や、地下灌漑の可能な大区画水田における水管理技術と用水計画手法の開発がある。前者は融雪時期の早期化などへの対応を、後者は1戸あたりの経営規模の拡大に対応できる水田圃場条件の変化への対応を想定した研究である。

### (7) 軽しょう火山灰地帯における畑地からの土砂流出抑制技術に関する研究

北海道の大規模畑作地帯では、侵食を受けやすい軽しょうな火山灰が分布する地域がある。これらの地域では、畑地における排水機能維持のため、排水路への土砂流入抑制策が求められていた。このような背景から、網走地域において平成9年度から国営農地防災事業が実施された。当チームでは、この事業で必要となる土砂流入抑制工法の研究や現地観測による評価を行った(写真-2.2.6.7)。

現在は、従来困難とされていた掃流砂の観測技術の検証と、畑作地帯の流域からの土砂流出予測技術の開発、土砂流出抑制技術の提案などに取り組んでいる。



写真-2.2.6.7 畑地の土砂流出状況と沈砂池での堆積土砂量調査

### (8) 肥培灌漑における工学的技術に関する研究

乳牛ふん尿を草地に還元利用するための肥培灌漑の分野では、貯留・搬送に関わる工学的事項の研究に取り組んできた。貯留施設に関しては、コスト低減を図るため、ゴムシートを利用したスラリー貯留施設であるラグーンの基盤を固化処理により建設する技術を開発した。また、乳牛ふん尿スラリーの管路搬送時の損失水頭の早見図を提案した。スラリーの損失水頭は、濃度や液温の影響を受けるため、計算による推定は煩雑であるが、早見図を用いると簡便に推定できる。

水利基盤チームでは、現在は肥培灌漑に関する研究は行っていない。

### (9) 乳牛ふん尿を利用したバイオガスシステムに関する研究

資源保全チームと共同し、行政機関や北海道内の研究機関の協力のもと、平成12年度～16年度に特別研究「積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト」を実施した。これは、酪農専業地帯及び畑作・酪農地帯で発生する乳牛ふん尿を嫌気性発酵させ、草地や畑地への循環利用を実現するための実証研究である。水利基盤チームでは、湧別資源循環試験施設の管理とエネルギー収支や機械システムに関する研究を担当した。

バイオガスプラントのエネルギー収支については、嫌気性発酵で産出されるバイオガスから得られる熱・電力を用いれば、北海道東部のような寒冷地域でも、プラントのエネルギー自給が可能であることを明らかにした。さらに、エネルギー収支の分析をもとに、バイオガスプラントの各種運転条件に対するエネルギー収支のシミュレーションプログラムを開発した。また、機械システムに関する研究では、湧別資源循環試験施設で生じた各種のトラブルに対して、想定される因果関係をトラブルカルテとして整理した。

「積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト」を通じて得られた「共同利用型バイオガスプラントのエネルギー収支からみた自立的運転条件」などの成果は、北海道農業試験会議において普及推進事項等に位置づけられ生産現場に普及された。また、得られた成果を反映させて、システム検討を行う技術者の参考になるよう、「積雪寒冷地における乳牛ふん尿を対象とした共同利用型バイオガスシステム導入の参考資料」(平成18年、北海道開発土木研究所)としてとりまとめた。

### (10) 酪農地帯における水質保全に関する研究

北海道の大規模酪農地帯では、近年の農家1戸当たり飼養頭数の増大にともない、家畜ふん尿の適切な処理・利用の実現が、地域の水質保全上の課題となっている。北海道開発局では、平成11年度から、道東の大規模酪農地帯において、国営環境保全型かんがい排水事業を推進している。この事業では、肥培かんがい施設のほかに、排水路の水質保全のための排水調整池や遊水池といった水質浄化池、土砂かん止林などの整備が行われている。これらの対策施設の効果評価と設計手法の提案を行うため、平成10年度から林帯の有する水質浄化機能等の現地調査を開始した(図-2.2.6.3, 4)。その後、事業による施設整備の進捗に伴う流域の水質変化の把握などに研究を展開した。

なお、平成18年度からの5カ年は、流域負荷抑制ユニットの研究課題の一部として実施した。

一連の研究では、林帯や水質浄化池の平水時・降雨流出時の負荷流出抑制効果などが定量的に評価できた。また、重点的な調査対象とした7.2km<sup>2</sup>小流域で、各種施設の整備前から9年間の水質調査を継続し、夏期降雨時の負荷流出削減効果が、全窒素で38%、全リンで45%、SSで36%と推定されることを明らかにした。

この分野では、現在、水質浄化池や林帯の機能の長期的評価と設計・維持管理方法の改善の提案を目指した研究を実施している。

### (11) 今後の展望

平成20年度以降に研究を開始した分野としては、排水路落差工や頭首工の魚道における魚類の移動状況の検証や、北海道内の農業水利施設における小水力発電の発電原価試算などに取り組んでいる。また、冷涼な北海道の大規模畑作の生産基盤として不可欠な明渠排水路について、機能診断技術の開発にも取り組んでいる。

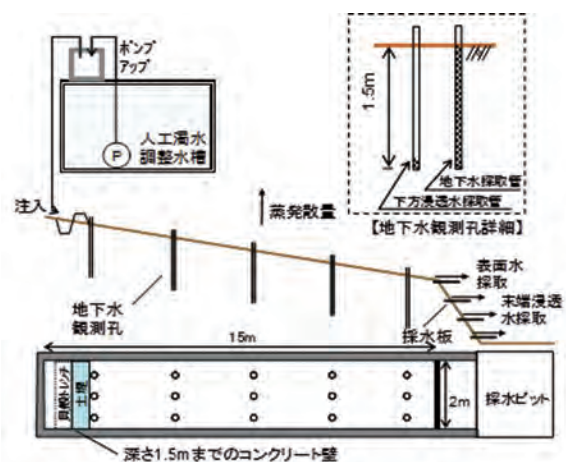


図-2.2.6.3 土砂かん止林を模擬した水質浄化機能実験用ライシメータ

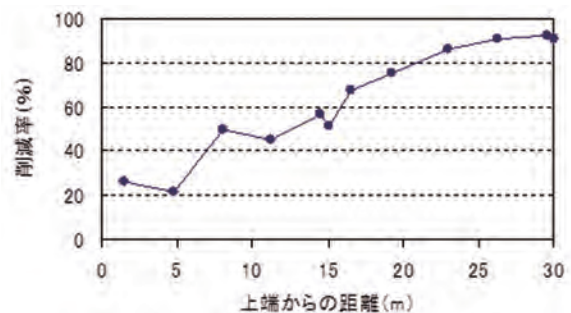


図-2.2.6.4 ライシメータ上端からの距離とT-N負荷削減率(結果の1事例)



## 2.2.7 研究ユニット

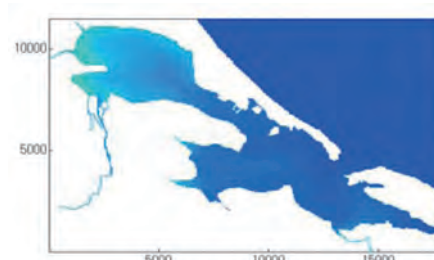
社会・行政ニーズに対応した研究への重点的かつ横断的対応を図るため、平成18年度より寒地土木研究に研究ユニットを設置している。研究グループ・研究チームの枠にとらわれず、特定のテーマに関する研究開発を効果的・効率的に行っている。これまでに、水素地域利用ユニット、流域負荷抑制ユニット、地域景観ユニット、防災気象ユニットが設置された。水素地域利用ユニットと流域負荷抑制ユニットについては、当初の研究目的を達成したため、平成19年度、平成22年度にそれぞれ廃止されている。

### 2.2.7.1 流域負荷抑制ユニット

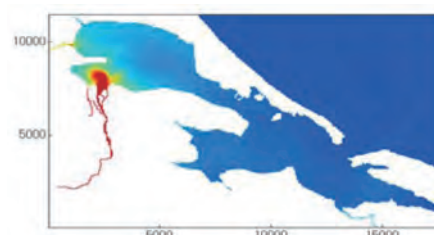
近年、大規模な酪農地帯である根釧地域では水質汚濁が顕在化しており、良好な河川・沿岸環境の保持・再生と農業の持続的な発展の両立が重要な課題となっている。そのため、この地域では国営環境保全型かんがい排水事業などによる水質保全の取り組みが進められている。しかし、水質保全のための各種施設の設計方法や効果について解明すべき点が残されていた。このような背景から、寒地土木研究所では重点プロジェクト研究個別課題として「大規模農地から河川への環境負荷流出抑制技術の開発」(平成18～22年度)を設定した。この課題を効率的に推進するために、資源保全、水利基盤、水環境保全、水産土木の4チームから専門分野の兼務者を出し、流域負荷抑制ユニットを創設した。また、現地調査は寒地技術推進室と合同で進めた。

この研究では、北海道東部の風連湖流域を調査フィールドとして、酪農に起因する水質負荷物質の流出抑制に向けた圃場管理技術や、水質保全対策技術の設計手法を提案した。また、水質保全対策が河川や下流湖沼の水質環境に与える影響の評価を行い、①調査フィールド内で重点的な水質調査を行った小流域では、これまでの事業の進行により平水時・降雨出水時ともに排水路のT-N、T-P濃度が低下したこと(図-2.2.7.1)、②汚濁負荷を低減する対策が風連湖流域全体で実施されたならば、現況では出水時に水質が悪化しやすい風蓮湖の河川流入付近で、対策の顕著な効果が期待できること(図-2.2.7.2)、を示した。これらの成果は、国の技術者や地域住民に発信した。

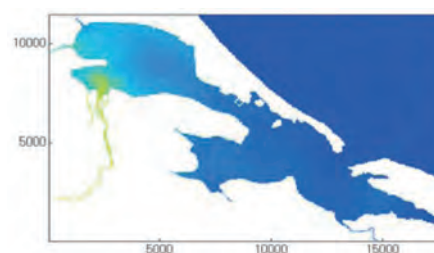
流域負荷抑制ユニットの活動は、平成22年度で完了した。酪農地帯の遊水池・排水調整池や土砂緩



① 平水時現況再現  
(計算開始24時間後、  
2007年9月19日11:00)



② 出水時(最大流量時)・対策なし  
(計算開始84時間後、  
2007年9月10日23:00)



③ 出水時(最大流量時)・対策ありを想定  
(計算開始84時間後、  
2007年9月10日23:00)



図-2.2.7.2 風蓮湖の水質解析結果  
(COD平面分布図)

止林の長期的な浄化機能の研究は、水利基盤チームが継続して実施している。また水環境保全、水産土木チームは、新たな調査フィールドを設定し、水質に関する新規課題に取り組んでいる。

### 2.2.7.2 地域景観ユニット

景観法の施行やシーニックバイウェイ北海道の本格展開、政府の観光立国推進行動計画の取り組みなど、「景観」「観光」「情報」等に関する研究ニーズの高まりから、平成18年4月に雪氷チーム上席研究員をユニットリーダーとして、雪氷チーム、耐寒材料チームの研究員により、地域景観ユニットが設置され、平成20年には特別研究監がユニットリーダーとなった。平成21年には総括研究監をユニットリーダーとして、総括研究監付研究員を主体に、耐寒材料チーム、水環境保全チーム、雪氷チームの研究員による構成となった。平成23年からは寒地地盤チームの研究員が新たに加わるなど、機動的、横断的な体制で研究を進めている。

地域景観ユニットでは、観光振興の面からも道路景観の向上が重要であることを踏まえ、美しい沿道景観や快適なツーリング環境の創出に関する研究などに取り組んだ。この研究では、道路景観の評価手法や道路機能を確保しつつ魅力ある北海道の景観を引き出す景観向上策などを検討し、「北海道の道路デザインブック（案）」などを取りまとめ、行政の現場で活用されている。また、ドライブ観光を支援する情報提供に関する研究については、経路検索と連動した沿道情報の提供や道の駅等における情報提供のあり方などについて検討した。

平成20年度からは、北海道開発局から技術開発関連業務の移管を受け、道路緑化に関する研究にも取り組み、景観や環境、維持管理コストの縮減にも寄与する道路緑化の課題を整理し、技術資料にまとめた。

平成23年度からは、景観機能を含めた多面的評価による道路空間要素の最適配置技術に関する研究や空間認識を利用した歩行空間の設計技術に関する研究など、観光振興や地域振興に貢献する道路空間や歩行空間の創出に資する技術開発に取り組んでいる。今後は景観や環境に軸足を置きつつ、インフラの観光利活用など新たな価値を生み出す公共空間の整備・管理手法を提案していきたい。

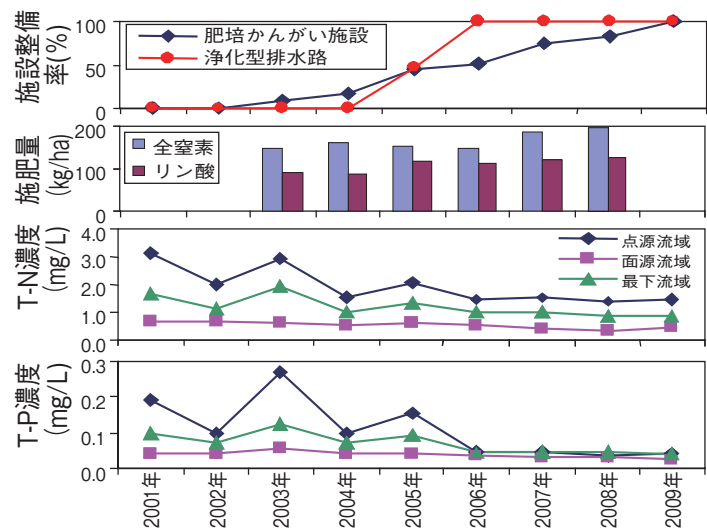


図-2.2.7.1 水質対策の進捗と平水時の平均水質濃度の経年変化  
 (「最下流域」は小流域全体を指し、「点源流域」と「面源流域」は小流域のうちで牛舎等の点源がある区域とない区域を指す。)



図-2.2.7.3 北海道の道路デザインブック（案）



図-2.2.7.4 北海道の道路緑化に関する技術資料（案）

### 2.2.7.3 水素地域利用ユニット

酪農村地域には多量の家畜糞尿が排出されるとともに、酪農・水産加工品製造業からの産業廃棄物や生活系からの残渣など再生利用可能な有機性資源が多量に賦存する。

これらを嫌気発酵することにより、生成された消化液を液肥として農地に還元し、同時に発生するバイオガスをエネルギーとして利用することが可能である。

別海資源循環施設（バイオガスプラント）に併設したエネルギー地域自立型実証研究施設において、平成15年度から17年度に特別研究「地球温暖化対策に資するエネルギー地域自立型実証研究」を実施し、バイオガスから水素とベンゼン等の芳香族化合物を生成し、この水素を有機ハイドライドとして貯蔵し、さらに有機ハイドライドから水素を再生して燃料電池発電を行う一連のプロセス技術に関する研究を行った。

また、平成18年度から19年度に重点プロジェクト研究の個別課題として「バイオマス起源生成物の地域有効利用技術開発」を実施し、主にバイオガス由来のベンゼンの応用性改善を目的としたベンゼン水素化実験や水素エネルギーの地域利用のための技術的課題の研究を行った。

これら研究成果はバイオマス・バイオガス及び水素・燃料電池関連の社会インフラ整備などにおいて有用な知見となるものである。

### 2.2.7.4 防災気象ユニット

気候変動に伴う融雪流量の減少や猛吹雪による交通の渋滞など、従来見られなかった激甚な災害が発生している。これに対応するため、平成23年、特別研究監、水環境保全チーム、雪氷チーム、水利基盤チームの研究員で構成される防災気象ユニットが設けられた。防災気象ユニットでは、積雪寒冷地における気候変動の影響に関し、積雪・融雪状況に適応したダムの流水管理、雪氷環境の変化予測や吹雪量等の分布予測、用水需要予測や水資源量情報を考慮した農業用水管理をテーマに、チーム間で連携・調整し効率的・効果的に研究を進めている。

平成23年度の活動としては、行政機関、研究・教育機関、企業を対象に気候変動セミナーを開催した。セミナーでは、気候変動の研究者から研究の現状や気候変動の影響、全球気候モデルや全球モデルの計算格子を細密化するダウンスケーリング手法等について講演をいただいた。24年度は、ダウンスケール等により地域の気候予測を可能とするツールを導入する予定である。

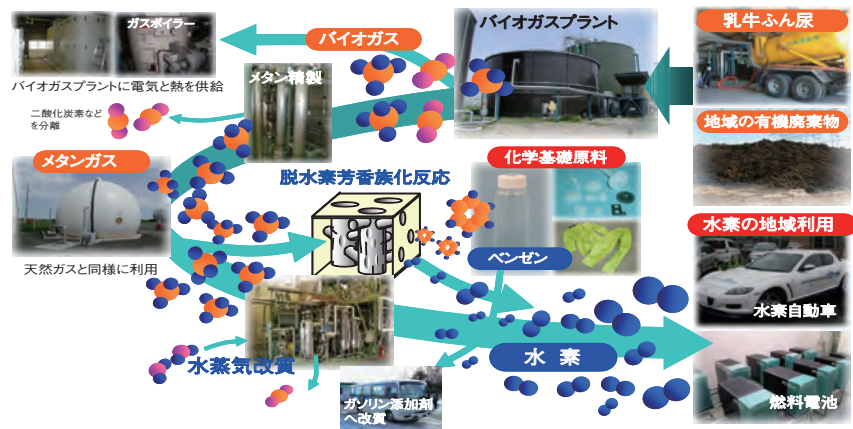


図-2.2.7.5 バイオガスからのエネルギー利用方法

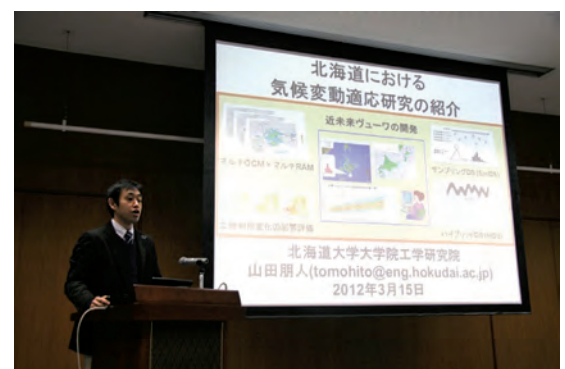


写真-2.2.7.1 気候変動セミナーで講演する北海道大学大学院工学研究院 山田朋人准教授

## 2.3 水災害・リスクマネジメント国際センター

洪水、渇水、土砂災害、津波・高潮災害及び水質汚染など水に関連するさまざまな災害は、国際社会の力を結集して取り組むべき共通の課題であるとの認識がさまざまな国際会議の場で示されている。

国連では2005年（平成17年）から2015年（平成27年）までを、水問題の解決に向けた行動の10年と位置づけ、関連機関連携のもと、さまざまなプログラムを総合的に実施することとしている。

こうした背景のもと、土木研究所では、我が国がこれまで水災害の克服に向けて蓄積してきた知識や経験をベースに、世界的な視野で水関連災害の防止・軽減のための課題解決に貢献することを目的として水災害・リスクマネジメント国際センター設立の準備活動が進められた。

### (1) ICHARM の設立経緯

「水災害・リスクマネジメント国際センター（International Centre for Water Hazard and Risk Management：ICHARM（アイチャーム）」を、ユネスコの後援のもとで独立行政法人土木研究所の組織として設立する旨の日本政府の提案は、2005年（平成17年）10月の第33回ユネスコ総会において加盟191カ国の支持決議を得て承認された。

これを受けて、2006年（平成18年）3月3日に日本政府の閣議決定、同日日本政府とユネスコ間の協定書及び土木研究所とユネスコ間の契約書に調印がなされた後、3月6日に設立された。

### (2) ICHARM の使命

ICHARMは、世界の水関連災害（洪水、渇水、土砂災害、津波・高潮災害、水質汚染等）を防止、軽減するため、各地域の実態をふまえた的確な戦略を提供し、その実践を支援する、世界拠点（センター・オブ・エクセレンス）となることを目指す。

### (3) 活動概要

ICHARMは「世界の水関連災害を防止・軽減するために、各地域の実態をふまえた的確な戦略を提供し、その実践を支援する世界的な拠点となること」を目標に掲げ、研究、研修および情報ネットワーク活動を、それぞれ有機的に連携させながら一体的に推進している（写真-2.3.1）。

### (4) 基本方針

- ・ 現地の水防災ニーズを的確に把握し、ニーズに基づいた貢献に努める。
- ・ 総合的リスクマネジメント（回避、縮小、転嫁、受容を含む）の観点から、技術面のみならず、社会、経済、制度、文化等の側面を含む分野横断的な戦略を立てる。
- ・ 政策実効性のある情報を発信し、社会の水災害認識を高める。
- ・ 研究開発と能力開発を一体として推進し、科学を地域に根付かせる。
- ・ 国内外の関連機関とパートナーを組んで、資源や専門を補完し合い、協働の効果をあげる。
- ・ 世界の水防災戦略のセンター・オブ・エクセレンス、推進役としての役割を果たす。



写真-2.3.1 竹内センター長による講義  
（防災政策プログラム）

## 2.3.1 水災害研究グループ

### 2.3.1.1 統合洪水解析システム (IFAS) の開発

#### (1) IFAS の主な機能

ICHARM では、国際洪水ネットワーク (IFNet) から提供されている Global Flood Alert System (GFAS) の流出計算バージョン (GFAS-streamflow バージョン) として、開発途上国を対象に効率的・効果的に洪水予測が可能となるよう、「Integrated Flood Analysis System (IFAS)」という洪水流出解析システムの開発を行った (図-2.3.1)。

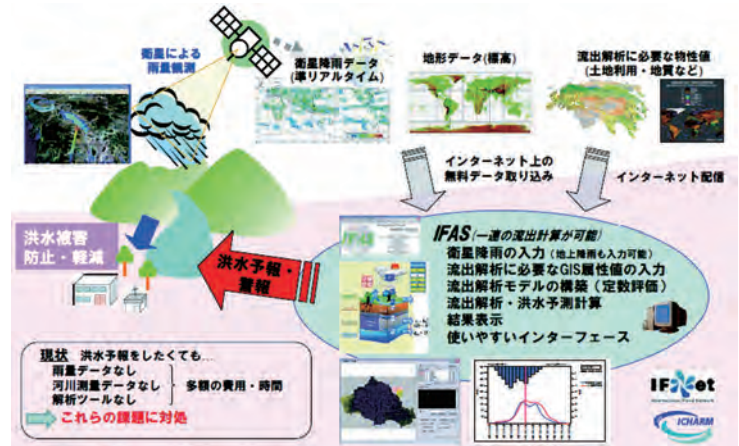


図-2.3.1 IFAS の概要

IFAS は、入力データとして地上観

測雨量に加えて人工衛星によって観測された雨量データを取り込む機能や、GIS データに基づく河道網の作成機能や流出解析エンジンに必要なパラメータの設定機能、計算結果表示機能を有している。

IFAS は、開発途上国等での洪水予警報システムの構築に役立つ基本ツールとなるものと考えており、システムの効果的な利用ができるよう行政機関や関係機関との共同研究を行うとともに使用方法の研修を行っている。

IFAS の主な機能は以下のとおりである。

#### 1) 入力データとしての衛星観測雨量取り込み機能

今日では、アメリカ航空宇宙局 (NASA)、米国海洋大気圏局 (NOAA)、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 等の機関から、人工衛星によって観測された概ね全世界をカバーするリアルタイムもしくは準リアルタイムの雨量情報が提供されている。

この衛星観測雨量情報は、インターネットに接続可能なコンピュータがあれば入手することができ、地上観測雨量に代わり入力データとして利用することが可能である。

#### 2) 分布型流出解析モデルを使ったマルチエンジンの装備

IFAS では、流出解析エンジンとして分布型モデルを使用している。

分布型モデルのパラメータの多くは、土地利用や地質など、一般的に利用可能な流域の物理特性と関連している。

また、これまでに実施した検討の結果から目安となるパラメータ値も準備しており、水文情報が乏しい流域においても流出計算を行うことができる。

2012 年 (平成 24 年) 4 月時点において、土研分布モデル Ver.1 (低水・高水両用に開発) および同 Ver.2 (高水用に Ver.1 を簡略化したもの) の 2 つの流出解析エンジンを装備しており、ユーザーの選択により計算が可能である。

#### 3) モデル作成機能の装備

IFAS では、標高、土地利用、地質などの GIS データを利用してモデルの作成を行うとともにパラ

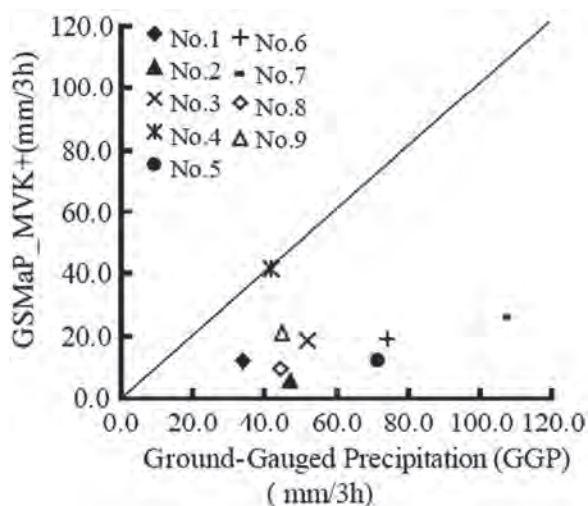


図-2.3.2 地上降雨量－衛星測量雨量  
GSMaP\_MVK+ の関係

## (2) 衛星観測雨量データの補正手法の開発

IFASの入力データは、人工衛星から観測された全球の雨量データであり、NASA、NOAA、JAXA等の機関から、準リアルタイムで配信されている。

しかし、これらの衛星観測雨量データは、地上観測雨量と比較して、同等な場合もあるが、ほとんどの場合が過小評価傾向にある（図-2.3.2）。

この状態では洪水予測に利用することは困難であるため、多くの精度検証を実施した。その結果、風速が大きい時は衛星観測雨量データの誤差が大きく、反対に風速が小さい時は誤差が小さいことを発見した。

その知見をもとにして、「雨域の移動量大きい場合は補正を大きく、移動量小さい場合は補正を小さく or しなない」という考え方の「準リアルタイム衛星観測雨量データ補正手法」を開発した。

この手法により、精度向上が確認されたので、この補正手法をIFASに組み込んだ。

今後は、海外の河川流域における検証を通じ、この手法の適用性を確認していくとともに、世界中で適用可能な補正手法の確立を目指す予定である。

IFASと、この衛星観測雨量データ補正手法により、精度の確保された洪水予測技術が確立され、開発途上国での洪水管理に貢献することが期待される。

## (3) 流出解析エンジン

IFASでは、流出解析エンジンとして、土木研究所で開発された2つの分布定数型流出解析モデル（土研分布モデル Ver.1 および Ver.2）、ならびに、山梨大学を中心に開発されたBTOPモデル（ブロック分割型TOPモデル）を実装している。

これらの3つのモデルを適宜使い分けることによって、幅広い気候・水文条件下にある中小河川から大陸域の大河川に至る幅広いスケールの河川において、台風などの短期的洪水から数ヶ月にわたる季節的洪水まで、様々な洪水事象に対応することが可能になるものと期待される。

ここでは、土研分布型モデルについてご紹介する。

土研分布型モデルの特長として、以下の点が挙げられる。

- (1) 流域を細かいメッシュに区切り、それぞれで流出量の計算を行う。
- (2) 各メッシュには鉛直方向に表層と地下水の2つのタンクがあり、タンクに貯まった水は、鉛直方向及び流下方向（隣接するセル）へ流れる。

メータを設定する機能を有している。この機能により、水文情報や物理的な情報が乏しい流域においてもモデル作成を行うことができる。

## 4) 計算結果の可視化機能の装備

計算結果については、図表だけでなく地図上に表示することも可能であり、ユーザーが計算結果を目で見て洪水の危険性を把握できる。

## 5) 無料配布

IFASの実行形式プログラムは、インターネットから無料でダウンロードが出来る。

また、河道追跡は Kinematic Wave モデルを採用し、遅れ時間を考慮した計算を行うことができる。(3) モデルに関する定数は、土壌・地質・土地利用等のメッシュ情報を利用することにより、パラメータを一次推定できる。(IFAS は、標高・土地利用等のデータを取り込む機能が実装され、自動的に河道網作成やパラメータ設定を行うことができる)

土研モデルはそれぞれのメッシュで流出量を算定する分布型流出解析モデルであるため、IFAS では任意の地点で計算結果の表示が可能である。1.2 で紹介した衛星観測雨量の補正手法をはじめ、IFAS には GIS 解析用の内部実装ツールや、視覚的にわかりやすいインターフェースを備えているため、簡便に流出解析モデルを作成することが可能である。

今後は、海外への積極的な普及を図り、現地状況やユーザーのニーズに即したシステムとするとともに、パラメータ調整や計算結果の検証など、機能の更なる強化を目指していく予定である。

#### (4) YHyM/BTOP モデル

YHyM/BTOP モデル (The Yamanashi University Hydrological Model (YHyM) and Blockwise TOPMODEL (BTOP)) は、TOPMODEL を拡張することによって、大流域にも適用できるグリッドベースの分布型水文モデルとして開発されている (図-2.3.3)。

現在、BTOP モデルは IFAS にも統合され、後述するように洪水解析において“マルチモデル アンサンブルアプローチ”を実現するために開発が続けられている。

TOPMODEL は Beven らによって開発され、これまで小流域を中心に斜面流域から数百 km<sup>2</sup> の流域において数多く適用されている。

モデルパラメータ調整の容易さなど数多くの特徴があるが、大流域に適用するためには何らかの拡張が必要である。

したがって、BTOP モデルは、この TOPMODEL におけるモデルの式系を基本的に保ちながら、いくつかの変数とモデルパラメータを再定義することによって、大規模流域にも適用できるように拡張している。

BTOP モデルは降水、蒸発、河道追跡をはじめとする水文過程モジュールのコアモデルとしても利用されており、これまで世界中の大小様々な規模の流域に対して、適用実績がある。特に湿潤地域で、傾斜地形を多く含む流域において妥当なシミュレーションの結果が得られている (例えば日本や東南アジアのような流域)。

また、近年の地表面プロセスモデルの改良によって、例えば黄河流域をはじめとする乾燥/半乾燥域における流域での適用性の大幅な向上がなされた。

多くのモデルパラメータは全球規模で利用可能なデータセットを利用することによって、物理的な特徴を参照しながら決定できるため、BTOP モデルも観測データの少ない地域における適用・研究に用いることも可能である。

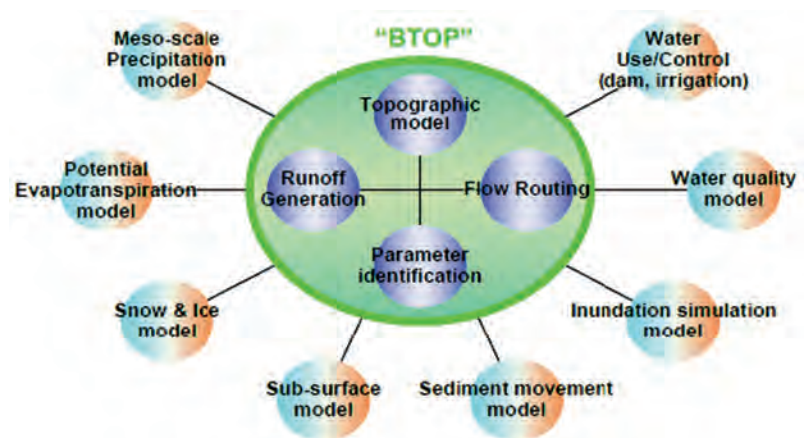


図-2.3.3 水文過程モジュールと BTOP モデル

### 1) IFAS-BTOP

このように、BTOP モデルは IFAS によって洪水予警報への応用が可能である。これを実現しているのが IFAS-BTOP プラットフォームである。

特徴としては、IFAS と同様、衛星降雨量をはじめとする全世界をカバーする様々なデータセットを利用し、規模や場所を問わずどんな流域にも適用できる点、衛星降雨量を流域特性に合わせて（補正など）利用できる点、気象モデル出力等を用いることで予測シミュレーションが可能である点、Google Earth 等の無料の可視化ツールを利用する視覚的解析が可能である点、などが挙げられる。

### 2) Recent Application of BTOP

現在開発中の IFAS プラットフォームをベースとした“Global Flood Alert System - Streamflow (GFASStreamflow)”を実現するためのモデルとしても、BTOP モデルは利用されている。

また、文部科学省 21 世紀気候変動予測革新プログラム課題の「気候変動に伴う全球および特定脆弱地域への洪水リスク影響と減災対策の評価」において、全球任意流域の影響評価を実現するためのシステムとしても利用されている。

BTOP モデルによって、気象研究所による超高解像度大気大循環モデルの出力値（20km 水平解像度相当）から、極端な洪水流量や洪水の危険度の将来変化が評価される。

さらには、将来の栄養塩の発生・動態に関する研究や土砂生産・動態に関する研究にも応用されている。なお、BTOP モデルは ICHARM と MOU を結んでいる山梨大学においては、ヴァーチャルアカデミーとして、教育および能力開発を目的として、e ラーニングやワークショップ等のツールとしても利用されている。

## (5) GIS データを用いたモデル作成機能とパラメータ設定機能

ICHARM で公開している IFAS は、これまで紹介したように、入力データとして人工衛星によって観測された雨量情報を用い、土研分布型モデルと BTOP モデルの 2 種類の流出解析エンジンを備えている。ここでは、GIS データを用いたモデル作成機能とパラメータ設定機能を紹介する。

IFAS の大きな特長として、GIS 解析モジュールをシステム内部に実装している点が挙げられる。それにより、一般に無償で公開されインターネット等を通じて利用可能なグローバル GIS データに基づきモデルを作成しパラメータを設定する作業を IFAS システム単体のみで可能としている。

表-2.3.1 IFAS で利用可能なデータ

Type	Product	Provider
Elevation	Global Map(Elevation data)	ISCGM
	GTOPO30	USGS
	Hydro1k	USGS
Land use	GLCC	USGS
	Global Map(Land cover)	ISCGM
	Global Map(Land use)	ISCGM
Geology	Geology	CGWM
Soil type	Soil Texture	UNEP
	Soil Water Holding Capacity	UNEP
	Soil Depth	GES

### 1) 河道網作成機能

IFAS では、GTOPO30 や地球地図といった全世界の数値標高データを用いて、対象となるエリアの緯度・経度および流末をユーザーが入力することにより、対象地域の標高データを任意のサイズのメッシュに分割し、各メッシュの標高に応じて自動的に流域界および河道網の作成を行うことが可能である（表-2.3.1）。



この過程において、周囲よりも標高が低く流下先のなくなったメッシュ（窪地）が発生した場合には、自動的に高度修正を行い、全てのメッシュについて流下方向を決定し、河道網を作成する。

平地など標高差が小さく思い通りに流域界や河道網が定まらない場合は、手動で各メッシュ単位に流域内外の修正や高度の修正を行うことができるほか、作成した流域界シェープファイル（ESRI フォーマット形式）を取り込むことも可能となっている。

## 2) パラメータ推定機能

IFAS では、土地利用や地質、土壌区分といった GIS データをインターネットからダウンロードし、流出解析に必要なパラメータの一次推定を行う機能を有している。これは、取り込んだ地球地図等の土地利用土地被覆の凡例区分に応じて自動的に各メッシュを区分し、あらかじめそれぞれの区分に対して事前に試算した結果に基づき設定した目安となるパラメータの値を用いて流出計算を行うものである。

ユーザーはこの値を利用することにより、複雑なパラメータ設定の手間が省け簡単に流出計算を行うことが可能であるが、正確な計算結果を得るためには、実際に観測流量が得られる地点においてパラメータのキャリブレーションを行うことが望ましい。

このような機能を利用し、IFAS では、高価な GIS 解析ソフトを別途準備する必要がなく、簡便に流出解析モデルを作成することが可能となっている。

今後は、より多くの流域において計算結果の精度の確認を行うとともに、地質や気候などの自然条件に応じた目安のパラメータ値の設定などより精度の高い予測が可能となるよう引き続き検討を進めていく予定である。

## (6) 計算結果を表示する機能

ここでは流出計算を行った後、様々な計算結果を表示する機能について紹介する。

### 1) IFAS での計算結果表示機能

IFAS 内の“Result Viewer”では、標高や土地利用といった流域基本情報のほかに、流出計算を行った結果を表示することができる。

代表的なのが、任意のグリッド位置（複数地点選択可）における雨量－流量時系列変化図（ハイドログラフ）である。計算により求めた流量と、流量観測地点での実測流量とを重ね合わせる機能も備えている。

選択したグリッド位置の表層タンクや地下水タンクの水位および流出量が表示される。また、それらを時系列でアニメーション表示を行うことが可能であり、パラメータ調整をする際の参考になる。

前述の雨量や流量やタンク状況は、時系列データとして出力でき、Excel などの表計算ソフトにて簡単な解析が可能である。

河道グリッドにおける河道水位とユーザーが事前に作成した横断図を重ねて表示させることができる。水位－流量曲線式の係数を設定し、流量に応じた水位を河道横断図に出力する。

### 2) 汎用地図ソフトウェアへの計算結果出力機能

雨量分布や流量などの計算結果を KML 形式のファイルとして出力し Google Earth 上でアニメーション表示することができる（図－2.3.4）。また、複数の KML ファイルを重ね合わせて表示することで、雨量や流量の変化をより視覚的に表現できる。

以上のようにIFASは、無料で入手できる衛星観測雨量を入力データとして採用できるため、IFASを利用することにより、水文情報の乏しい地域においても、インターネットに接続しているPCさえあれば洪水予測計算が可能となる。

しかしながら、IFASにはまだまだ改良すべき点が多くある。例えば、衛星観測雨量の補正方法の精度向上がある。地域や気象条件、地形条件により、補正手法が大きく異なるため、各国での地上観測雨量データを収集して、詳細に検討する必要がある。

ICHARMでは国内外でIFAS研修等の普及活動を実施しており、その際、現地の技術者の方々に実際に使用してもらい、計算結果や要望を聞き取り、ソフトウェアの改良に役立てている。また、実際に現地に導入を行い、実務上のニーズを踏まえた機能の追加、拡充を図っていく予定である。そのためにも皆様にIFASを使っていただきご意見・ご要望をいただきたいと考えている。

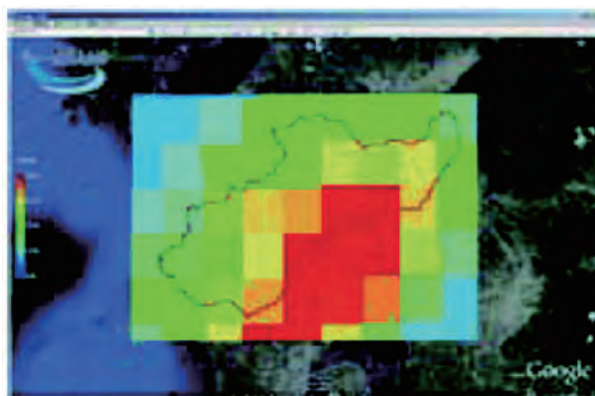


図-2.3.4 Google Earth 上での降雨分布

### 2.3.1.2 予警報システムを搭載した新IFASの開発

上述のように、IFASをベースとして、開発途上国でのケーススタディを踏まえ、脆弱な電力供給及びインターネット網の環境下においても、適切にデータを入力し、予警報を発出できる機能を持った新しいIFAS (IFAS-BTOP) を開発した。

この新しいIFASの完成により、洪水予警報を行う技術や体制がない国、地域においても洪水予警報の発出を可能とする画期的なシステムとなっている。

### 2.3.1.3 衛星降雨データ補正手法の改良

衛星雨量データは、水文情報の乏しい途上国における洪水予測システムへの導入が期待されている。

しかし、雨量が少ない場合は、比較的精度が確保できているが、豪雨時ほど地上雨量より過小評価をすることから、洪水予測への導入が遅れている。

そこでICHARMでは、衛星雨量GSMaPの補正手法を開発し、その精度向上効果を確認した。

しかし、補正が適切に機能しない場合も見られたので、その原因を研究した結果、マイクロ波放射計による観測（衛星雨量の降雨分布推定の基本情報）が高頻度であれば衛星雨量は降雨分布を良好に再現でき、本補正手法も適切に機能することが分かった。

マイクロ波放射計による観測が長期間されていない場合、衛星雨量の降雨分布が実際の降雨分布と異なり、補正手法も適切に機能しない。

そこで、衛星観測降雨量の補正手法について、地上雨量データを用いて補正を行うよう改良した。地上雨量データが密にあれば、ダイナミックウィンドウ法などの手法が有効であるが、開発途上国では地上雨量データの入手は極めて困難である。

この特性を活かし、雨量データが小さい場合と雨量データが大きい場合で補正式を作成した。これにより、流出計算時の洪水波形の再現性が向上した。

2013年（平成25年）に実施予定である全球洪水観測計画（GPM）はマイクロ波放射計による観測を高頻度（3時間毎）にするものであり、本研究成果はこのGPMミッションの重要性を示すものと言える。

### 2.3.1.4 発展途上国における持続的な津波対策に関する研究

2004年（平成16年）12月に起きたインド洋大津波による甚大な被害は、津波に関する知識、津波の危険性の認識、早期警報システムといった津波防災にとって基本的かつ重要な要素の欠如が主たる原因だということが知られている。

この事実に基づき、ICHARMは、発展途上国を念頭に置いた持続可能な津波対策の開発研究を進めている。

津波は、発生頻度は低いものの、一度発生すれば非常に深刻な被害をもたらす可能性があることから、津波被害軽減という観点から「持続可能な対策」という言葉が重要度を増してきた。一般に、津波の発生頻度は100年に1度あるいはそれ以上だと考えられているが、外力としての規模の大きさと発生時期の予測が不可能なことから、災害を引き起こす可能性は非常に高いと言える。

過去に起きた津波のうち約90%は地殻変動による地震が原因であるが、既存の知見ではその地震を予知することはできない。したがって、津波の可能性は、地震発生後に初めて明らかになり伝達可能になることから、警報も含め避難するのに使える時間は大変短く、およそ5～30分と考えられる。

そのため、十分な防災対策を講じている地域のみが大災害を回避できるということになる。

つまり、意識、対策、構造物を含む持続可能な対策が、地域における津波災害を軽減するための前提条件といえる。

ICHARMでは、特定都市の津波や高潮による被害リスクを分析、評価している。そのリスク分析に基づき、開発途上国を対象として、対処戦略の提案、津波防災に関する教材開発、津波ハザードマッピングのためのガイドラインを提示している。

#### (1) 津波被害軽減を目的とした津波ハザードマップ（THM）の導入

津波被害軽減に関して考慮すべき重要な点は5つある。まず第1に、過去の災害に関する人々の記憶が薄れ、将来起こりえる津波に備える意識が薄れる前に対策を講じる努力をすること。第2に、津波という加害外力に関する正確な知識を持つこと。第3に、迅速な避難を最優先にすること。第4に、人命とともに財産の保護に努めること。そして最後に、防災対策準備に市民参加を促し、津波に対する人々の意識を高めることが挙げられる。

津波ハザードマップはこれらを推進する上で非常に効果的なツールだと考えられている。図-2.3.5は、それぞれの重要項目に関して、津波ハザードマップがどういう役割を果たし、目的達成に寄与することができるかを示している。

そのため、ICHARMでは開発途上国向け「途上国における津波ハザードマップ作成ガイドライン」を作成した。

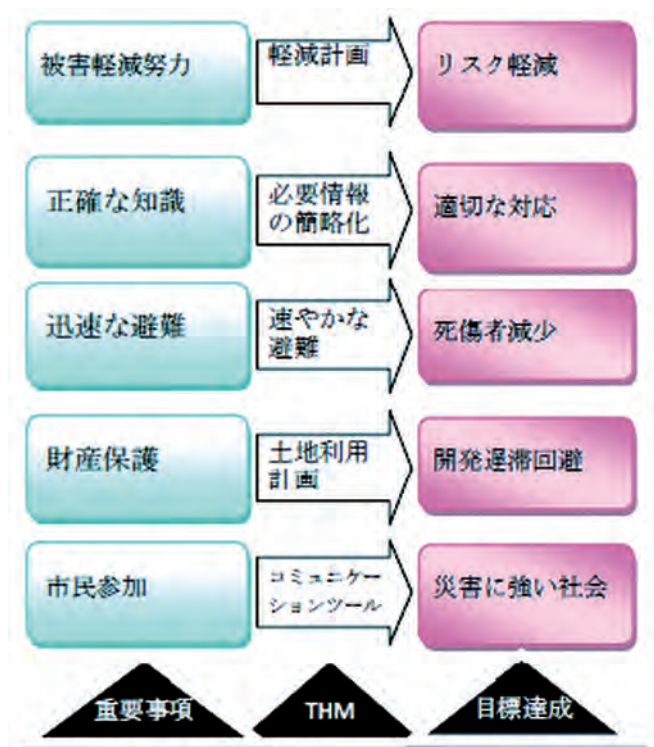


図-2.3.5 津波ハザードマップの役割

(2) 津波被害軽減のための海岸林利用

開発途上国では構造物対策の完全実施が困難なため、対策のひとつとして、海岸林を利用する対策が調査、提案されている。

図-2.3.6は、津波・海岸林間の相互作用と海岸林が津波に及ぼすと考えられる影響を示している。津波では、その波高が海岸林に作用する主たる外力となる。海岸林の抵抗力は、個々の木の抵抗力および林全体の抵抗力によって決まる。

海岸林による津波流入量低減率は、津波流入方向への植生密度や幅（奥ゆき）に影響され、植生密度は、樹木数、幹の直径、垂直構造（根の張り方、幹、林冠）、樹木の平面的な配列といった要素に影響を受ける。

海岸林に津波被害軽減効果があるとはいえ、高さ5m以上の津波が押し寄せたとき、海岸林は被害軽減効果を発揮しないことが、津波後の被害調査で明らかになっていることは忘れてはならない。さらに、津波高が5m未満の場合でも、海岸林の被害軽減効果は100%とはいえないことも注意すべき点である。

したがって、被害を確実に軽減するには、地域の状況により海岸林とその他の手段を併用することが非常に重要である。

地方自治体や地域社会、または民間組織が津波被害軽減の手段のひとつとして海岸林を実践できるように、ICHARMでは、津波被害軽減を目的とした海岸林を推進するための「海岸植生を用いた津波対策ガイドライン」を作成した。

作成した「海岸植生を用いた津波対策ガイドライン」を、さらに現地の状況に即した内容に改良するために、インドネシア・ジャワ島南部の11箇所において海岸植生の現地調査を行い、異なる樹種の樹高・樹径・抵抗能力などを計測した。

また、インドネシア・バンダアチェにおいて現地行政官などからなるワークショップを開催し、現地の意見を取り入れながら「海岸植生を用いた津波対策ガイドライン」の改良を行った。

ICHARMは今後も、さまざまな海岸植生がもつ特徴と津波の相互作用に関する調査を続けていく予定である。

2.3.1.5 革新プログラム「気候変動に伴う全球および特定脆弱地域への洪水リスク影響と減災対策の評価」

ICHARMでは、2007年度（平成19年度）から2011年度（平成23年度）の5年間にわたり、文部科学省21世紀気候変動予測革新プログラムに参画し、文部科学省の競争的資金により、気象研究所及び京都大学防災研究所と共同で「気候変動に伴う全球および特定脆弱地域への洪水リスク影響と減災対策の評価」の研究を実施し、成果を2011年（平成23年）3月にとりまとめた。

本研究は、気象研究所の気候変動予測モデル（MRI-AGCM）の20kmという世界最高レベルの空間分解能を最大限生かして、全球で高解像度の洪水解析を行えるシステムを開発し、現在気候（1980～2004年）から近未来（2015～2039年）及び21世紀末（2075～2099年）にかけて地球温暖化の

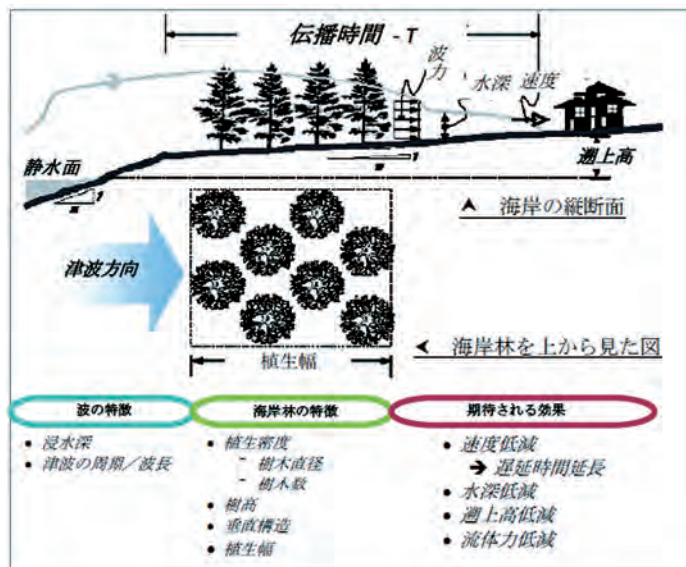


図-2.3.6 津波と海岸林の相互作用に関する要素と海岸林が津波に及ぼすであろう影響浮子測法

進行に伴う洪水リスクの変化を全球で評価するとともに、洪水災害が相次ぐアジアモンスーン地域の具体的な河川流域(メコンデルタ域、ネパール・西ラプティ川等)において温暖化への適応策検討に役立つ詳細な影響評価を行う技術を開発することを目標として実施した(図-2.7.3)。

なお、本研究では、以下の中、小課題群(研究方法の組み合わせ)より構成した。

中課題1:世界の洪水リスク変化予測と対策シナリオに関する研究

- 1-1) 世界洪水リスク地図基盤情報の作成
- 1-2) 極端に強い降水を含む全球陸面降水量分布の変化予測
- 1-3) 世界洪水流量解析モデルの開発
- 1-4) 世界洪水リスク評価モデルの開発
- 1-5) 世界洪水リスクの変化予測と対策シナリオの検討

中課題2:特定脆弱地域の洪水リスク変化予測と対策シナリオに関する研究

- 2-1) 特定脆弱地域における洪水リスク評価モデルの開発
- 2-2) 特定脆弱地域における洪水リスクの変化予測と対策シナリオ検討及び能力開発

また、上記2小課題について、i) ネパール・西ラプティ川、ii) メコン川、及びiii) タイ・チャオプラヤ川を対象として実施した。

本研究の5年間の研究成果を以下の通り要約する。

## (1) 世界の洪水リスク変化予測と対策シナリオに関する研究

### 1) 世界洪水リスク地図基盤情報の作成

世界の主要河川を対象とした「全球洪水流量解析・リスク評価モデル」の構築に必要な全球陸域の擬河道網および流域情報を整備した。

そこでは、高解像度を必要とする特定脆弱地域研究、中～低解像度情報を用いる全球規模研究の両者に対応するために、スケールフリー(異なった解像度でも使える)河道網と流域分割情報の構築を最大集水河道追跡法により整備した。

北緯60°以北を河口とする北方の流域についてHydro1K(USGS、解像度1km)を用いて整備し、HydroSHEDS(WWF、USGS、解像度90m)を用いた流域と統合することで全球展開を完了した。さらに、解像度の違いによる流域諸情報の精度を全球規模で定量評価するために、動的計画法(Dynamic Programming)を用いた新たな評価手法を開発し、今回作成したスケールフリー河道網とHydroSHEDSを比較したところ、今回開発した河道網の方が河道位置ならびに河川特徴(流域面積)を良く保存していることを確認した(図-2.3.8)。

### 2) 極端に強い降水を含む全球降水量分布の変化予測

全球スケールでの洪水流量解析・リスクの将来予測を行うためには、雨季・乾季を含めた降水量の

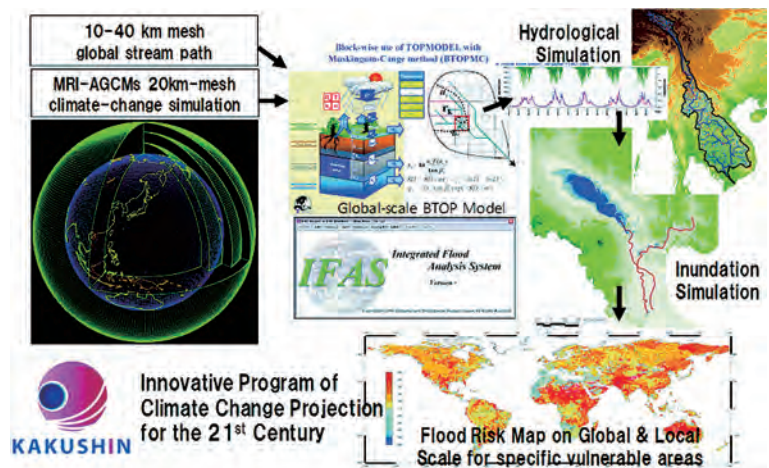


図-2.7.3 革新プログラムの概要

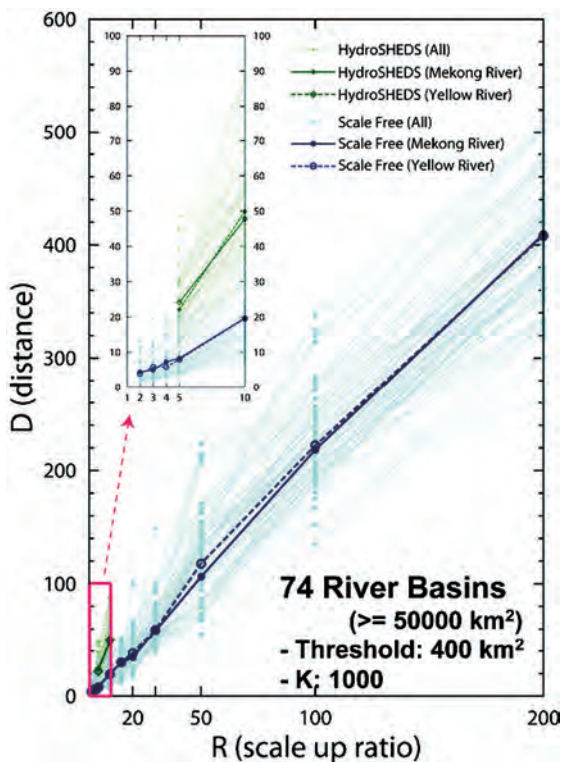


図-2.3.8 解像度 (R:90m からの倍率) と非類似度 (D) の関係

季節変化の予測はもちろん、数十年に1回の大洪水を引き起こすような極端に強い降水の変化の予測も必要である。アジアの地上降水量日観測データをメッシュ化した APHRODITE (Asian Precipitation - Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of the Water Resources) 等を観測値とみなして MRI-AGCM の出力値を分析したところ、強い降水について過小評価傾向が多く季節変化にも差異がある等の問題があるため、日降水量のバイアス補正が必要であることがわかった。そこで、強い降水量と季節変化特性を分けてバイアス補正を行う方法を新たに開発した。この方法を MRI-AGCM3.1S および 3.2S の両モデルによる現在気候再現計算結果に適用した結果、全体として 3.1S では年降水量で過小評価傾向、3.2S では過大評価傾向にあったものが、補正によりバイアスを縮小できることを確認した。そこで、将来においても同じコンタイルにおけるバイアス補正率は変わ

らないと仮定した上で、近未来気候および 21 世紀末気候の全球予測計算結果に適用を図り、年平均降水量、上位 0.5% 平均日降水量の全球予測結果を作成した。これらの成果は、以下の全球流量解析・リスク評価、ならびに、特定脆弱地域におけるリスク評価と対策分析に有効に活用された。なお、3.1S と 3.2S のバイアス補正後の予測結果の比較から、その両モデルの差異よりも将来の気候変動シグナルの方が十分大きいことも確認できた。さらに年降水量について、MRI-AGCM3.2H の異なる海水面温度条件に基づく 4 種の将来変化予測結果を加え、計 6 種のモデルの予測計算結果を用いたアンサンブル平均とそのモデル間の将来変化予測の増減の一致度を調べ、全体としてモデル間で比較的似た傾向を有していることがわかった。しかし、年降水量の増減傾向と、その年々変動の幅の増減傾向については、互いに異なる傾向が見られたことから、その違いが、河川流況の変化特性に、地域によって様々に異なる影響を与える可能性が示唆された。

### 3) 世界洪水流量解析システムの開発

気候変動にともなう将来の洪水流量変化の評価を行うため、分布型水文モデル BTOP Model と全球スケールフリー河道網を統合することで全球極端流量解析システムを構築した。解析対象は、2、617 流域 (5,000km<sup>2</sup> 以上) であり、世界の主要な流域での流出解析が可能になった。本システムに MRI-AGCM3.1S および 3.2S の現在・近未来・21 世紀末の各気候実験での 25 年分の降水量評価結果を入力することで、各気候実験下での 25 年分の日流量時系列を作成し、それをもとに極端流量 (50 年確率年最大日洪水流量) の推定を行った。その結果、近未来では世界平均で 14% (標準偏差 32%)、21 世紀末では 32% (40%) と極端流量の大きな増加が推定された。特にオーストラリア、アフリカなど乾燥帯での変化が激しいが、21 世紀末ではアジア、北アメリカ等の変化も大きい。なお前項研究で開発し、ここで適用したバイアス補正は、インド東北部やアフリカ北部等の一部を除き、世界の各大陸で極端流量推定値をほぼ 30% 程度以上抑制する方向に働いており、極端流量予測にお

けるバイアス補正の果たす大きな役割を確認した。

#### 4) 世界洪水リスク評価モデルの開発

洪水災害のリスク (Risk) は、洪水氾濫そのものの物理的規模 (Hazard)、危険に曝される人口や資産 (Exposure)、および、Hazard により被害を受ける人間社会の社会的・経済的脆弱性 (Vulnerability = 人間社会の対処能力が高まれば減少) の積で概念的に表現される。ここで、Hazard としては、25 年間の気候実験により定量的に評価した 50 年確率の洪水流量を考え、グローバルに入手可能な DEM による河床標高と氾濫原との比高 (河道網を遡上する方向の比高) をベースに、河道網のある地点での水位に対応した洪水氾濫域 (ポテンシャル浸水域) を想定する洪水ハザード評価モデルを開発した。さらに、そこで得られる Hazard に Exposure としての人口や資産を重ね合わせることにより、50 年確率規模の洪水により被害を受ける可能性のある人口・資産を全球規模で算出する洪水リスク評価モデルを開発した。なお、ここでは Vulnerability の大小によるリスクの変化は考慮せず、最大規模のポテンシャルリスクを考慮することとした。

#### 5) 世界洪水リスクの変化予測と対策シナリオの検討

上記の世界洪水リスク評価モデルに対して、MRI-AGCM3.1S および 3.2S による降水量予測値 (バイアス補正済) を与えた全球極値流量解析システムから得られる 50 年確率年最大日洪水流量を入力することで、当該洪水流量に対応した水位を評価し、全球規模でポテンシャル浸水位、および、ポテンシャルリスクの評価を行った。その結果、浸水域や浸水深の増加率が大きめに出た MRI-AGCM3.2S による結果として、アジア域では、浸水域は近未来気候で 1.6%、21 世紀末で 4.2% 増加となり、被害推定人口も、現在気候での評価値約 5 億 7600 万人に対し、近未来気候で約 5 億 9000 万人 (2.4% 増加)、21 世紀末で 6 億 1100 万人 (約 6.1% 増加) と予測された。一方、アジア域の中で都市域のみ抽出して同様の評価を行ったところ、浸水域の増加率は 21 世紀末で 5.2%、被害推定人口の増加率は 6.3% と、全域での増加率とあまり変わらない結果となった。都市郊外の氾濫原の氾濫リスクの高さを示唆するとともに、モデル精度及びグローバルに入手可能な土地利用データにおける分解能や分類の問題等も含まれると考えられる。

### (2) 特定脆弱地域の洪水リスク変化予測と対策シナリオに関する研究

特定の脆弱地域 (メコン川、ネパール国西ラプティ川、タイ国チャオプラヤ川) においても、全球規模と同じく近未来気候および 21 世紀末気候での洪水ハザードを評価し、地球温暖化による洪水被害の変化の評価と対策分析を行い、グローバルな気候予測情報が、個別のローカルな現場における洪水リスク変化予測と対策検討に活用するための事例研究を実施した。

#### 1) メコン川における事例研究

メコン川下流 (デルタ) 域は、アジアモンスーン地域における典型的なメガデルタであり、かつ、稲作を中心とした穀倉地帯でもある。カンボジア国コンポンチャム県を対象に、気候変化に伴う洪水変化の影響について、降水利用型稲作に対する被害の変化予測を行った。メコンデルタ域における稲作パターンは、田植え日を決定する年初からの累積降水量 500mm を田植え日とし、田植え日より 90 日後に刈り取る、と仮定することで近似できることが知られる。

MRI-AGCM3.1S および 3.2S による予測雨量 (バイアス補正済み) と BTOP モデルにより、累積降水量 500mm 到達日および季節的洪水ピーク流量の規模・生起タイミングを調べたところ、累積降水

量 500mm 到達日とともに洪水ピーク生起・立ち上がりが早くなる傾向があるとともに、それらのばらつきも大きくなる傾向があり、稲作をめぐる環境が不安定化する結果が得られた。この成果に、メコン川水位に基づく浸水深・浸水期間の評価を加えることで年平均被害額およびその年々変動（標準偏差）の評価を行ったところ、一部例外を除き、将来に向けて被害額と年ごとの変動の両者が増大する傾向があることがわかった（図-2.3.9）。この被害拡大傾向に対する対策シナリオとしては、灌漑水田の拡充や稲作の多期作化等が有効と考えられる。

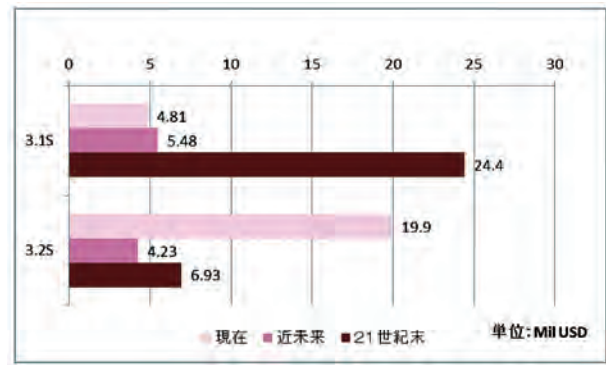


図-2.3.9 稲作への平均被害額の想定結果

## 2) ネパール国・西ラプティ川における事例研究

西ラプティ川はインドを流下するガンジス川の支川であるが、ネパール国内においては、アジアモンスーン地域における典型的な山地河川である。当該河川が平野域（テライ）に流入する扇状地状の洪水氾濫常襲域を研究対象域とし、そこでの洪水リスク（家屋および稲作の被害）の変化予測を行った。すなわち近年の水文観測資料によりモデル定数評価を行った土木研究所 ICHARM 開発の IFAS に対して、MRI-AGCM3.1S および 3.2S による予測降水量（バイアス補正済み）を与えることで対象地域上流端における流量時系列を作成し、50 年確率洪水日流量を推定した。その結果は、3.1S と 3.2S で比較的大きな差を生じたが、近未来に大きく増加し、21 世紀末に向けては増加率が大きく鈍化する（3.1S では微減に転ずる）傾向は類似していた。このシナリオに基づき洪水氾濫シミュレーションを行い、洪水氾濫域・浸水深・浸水継続期間の再現・予測を実施した。一方で、ネパール開発研究機構（NDRI）と協力した現地での社会経済調査に基づき、洪水による家屋タイプ別の家屋・家庭被害曲線、及び、浸水深・浸水継続期間別の稲作への被害曲線を作成し、さきの氾濫計算結果と重ね合わせることで家屋および稲作被害の定量的評価を行った。その結果、現在から 21 世紀末にむけて全体で被害額が約 1.25 倍程度となることや、浸水ハザードとそれに連動した想定される被害発生分布の特性を明らかにすることができた。

## 3) タイ国・チャオプラヤ川における事例研究

2011 年（平成 23 年）雨季末期における大洪水により、世界経済活動にも大きな影響力を有していることが明らかとなったタイ国チャオプラヤ川を研究対象域に加えて、洪水・渇水の変化予測を行った。ここでは、MRI-AGCM3.1S および 3.2S の予測降水量（バイアス補正済み）を Nedbor-Afstromnings モデルに適用することで、年平均流量の年々変動の分析を行った。その結果、チャオプラヤ川上中流の主要なダム上流域平均で、19～30% 程度年平均流量やその年々変動（偏差）が大きくなり、季節的洪水も増大する恐れがあることがわかった。ダム貯水池の運用改善や新規建設など、総合的な流域管理が今後必要になるものと想定される。

### 2.3.1.6 洪水中の河川流量自動計測システム

現在の現場の河川管理事務所の業務体制を前提とすると、浮子測法（図-2.3.10）に替わる省コスト・省人型であると同時に精度を高いレベルで安定させることのできる新たな流量観測手法を今後確立していくことが必要である。



流量を算出するためには、流水断面内の「流速分布」と「断面積（河床形状）」を計測する必要がある。その意味で、超音波ドップラー流向流速計（ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler）を橋上からロープで係留しながら操作（曳航）するボート（橋上操作艇）に搭載することで、流水断面内の3次元流速分布のみならず河床形状も含めて網羅的に把握する手法（橋上操作艇 ADCP 計測法もしくは曳航型 ADCP 計測法）は、流水中の流速分布を最も少ない仮定で網羅的かつ精度良く把握できる手法として、最も有力な選択肢である。

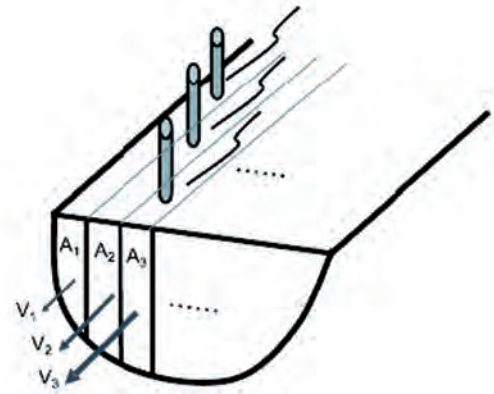


図-2.3.10 浮子測法

少なくとも5人を要する浮子測法と異なり、3人での観測が可能であり、省コスト・省人型の手法とも言える。近年のADCPを利用した洪水流量観測はほとんどこの手法に依拠しており、浮子測法ほどの汎用性の確保は難しくとも、幅広い流況条件の範囲において浮子測法を置き換えることができる実用性を有しつつ、同時に現場で計測可能な最も精度の高い流量（基準流量）を観測できる手法として、大いに期待されている。

しかしながら、橋上操作艇 ADCP 計測法といえども人力での観測作業であることには変わりなく、洪水立ち上がり部や洪水ピークの欠測や中規模洪水の観測データの不足といった課題の克服は容易ではない。

また、急流河川等での河川表面が大きく波立つような極めて荒れた流況条件ではこの方法でもADCPを適用することは難しいと想定される。

このことから、河川水系における重要観測所や上流部の観測所では、何らかの固定設置型のセンサを活用することで、無人で安全・確実かつ迅速に連続的な流速・流量の変化を自動計測する手法を確保することも同時に必要である。

そのような条件を満たす固定設置型のセンサとしては、洪水時でも流水にセンサを接触させることなく、安全・確実に高速流の計測ができる非接触型流速計（電波流速計等）の活用が最も有力な選択肢である。

したがって、現地に設置する固定式の非接触型流速計による流量計測法により、無人での自動連続観測を可能としつつ、非接触型流速計で計測される表面流速を全断面の平均流速・流量に変換するために必要となる流速補正係数を適切に校正するために、非固定式の橋上操作艇 ADCP による「基準流量」観測を定期的および非定期的に組み合わせて実施することが、省コスト・省人型であると同時に精度を高いレベルで安定させることのできる流量観測を最も早く確実に実現できる方策と考えられる。

なお、橋上操作艇 ADCP 計測法といえども、上述のように厳しい流況条件下で適用できない状況が想定される。この場合の基準流量計測法としては、橋から投下した浮子をビデオ観測により追尾して流下速度を求める PTV-トレーサ法の利用が考えられる。

また、流量観測精度を高めるためには、流速分布情報だけでなく、河床断面情報も重要であることから、流速分布について無人・自動・連続で得るための手法として非接触型流速計を応用したように、河床地形についても、無人・自動・連続で評価する手法が必要と考えられる。これについても、今後研究開発に取り組む予定である。

## 2.4 構造物メンテナンス研究センター（CAESAR）

土木研究所では、道路橋をはじめとする既存構造物の適切な維持管理への社会的ニーズの高まりを踏まえ、我が国の中核的な研究拠点として、構造物のメンテナンス技術に関する知見を集積し、研究の充実、体系化を図るため、組織を再編して、「構造物メンテナンス研究センター」（以下、CAESAR（シーザー）という、Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research の略）を平成20年度に設立した。本文では、CAESARの設立の背景、組織・体制等の概要と、これまでの取り組みを紹介する。

### 2.4.1 CAESAR 設立の背景と組織・体制

#### 2.4.1.1 設立の背景

我が国では、高度経済成長期（昭和30年～48年）に道路整備が急ピッチに進められた。このため、建設後50年以上を経過した橋梁が、現在飛躍的に増加している。また、我が国の道路橋の多くは、世界的に見ても非常に厳しいレベルの自動車交通や自然環境にさらされている。厳しい財政事情の下で、その健全性を適切に評価し、予防保全の考え方を取り入れながら戦略的に維持管理するための、調査・点検、診断・評価、補修・補強技術の確立を急ぐ必要がある。

我が国の道路橋は、1930年代（昭和10年前後）のニューディール政策の時代から整備が本格化した米国と比較して、全体に30年程度若い。既に床版の疲労、鋼部材の疲労、コンクリート部材の塩害・アルカリ骨材反応による損傷といった橋の耐荷性能に重大な影響を与える損傷事例も多数報告されている。例えば、平成18年には、鋼桁橋（国道25号山添橋）の主桁と横桁間の溶接部から疲労に起因する1mを超えるき裂が発生する事例が報告されている。また、平成19年には、鋼トラス橋（写真-2.4.1.1に示す国道23号木曾川大橋、国道7号本荘大橋）の引張斜材が腐食等により破断に至り、その補修のために一時的に通行規制を余儀なくされ、社会的に大きな影響を及ぼした。さらに、同じ平成19年には、米国ミネソタ州ミネアポリス



写真-2.4.1.1 木曾川大橋のトラス橋の斜材破断

I-35W 橋において、毎年の詳細点検や実橋計測、構造解析による状態評価を行っていたにもかかわらず崩壊事故が発生している。このような状況を踏まえ、平成20年に、国土交通省が設置した有識者会議は、技術開発の推進、技術拠点の整備を含む「道路橋の予防保全に向けた提言」を公表した。

一方、平成7年の兵庫県南部地震や平成23年の東北地方太平洋沖地震により社会基盤施設も甚大な被害を受けた。平成16年新潟県中越地震、平成19年能登半島地震・中越沖地震、平成20年の岩手・宮城内陸地震等を含めて、大規模な地震が頻発しており、首都直下地震、東海地震、東南海地震、南海地震等の大規模地震発生への切迫性が指摘されている。社会経済活動の高度化に対応して、構造物の防災・減災技術の高度化も一層求められている。

このような社会的ニーズの高まりを踏まえ、土木研究所では、平成20年4月1日付けで、既存の研究組織を発展的に改組し、橋梁の設計施工技術、維持管理技術、さらには災害復旧技術をはじめとする、道路橋の安全管理のための総合研究組織としてCAESARを設置した。

### 2.4.1.2 組織・体制

CAESARは、図-2.4.1.1に示すように土木研究所を構成する4つの研究組織の1つに位置付けられるもので、CAESAR設立以前の旧組織である技術推進本部構造物マネジメント技術チームの一部、耐震研究グループ耐震チーム、構造物研究グループの基礎チーム及び橋梁チームを母体としている。

既設道路橋の補修・補強を行う際、上部構造だけでなく、耐震補強を含めて、橋全体としての安全性の確保が重要であること、一方では、耐震補強がその後の維持管理に与える影響を十分に検討して

おく必要があること等、道路橋の維持管理上の様々な課題が複合化、複雑化している。橋梁構造研究グループでは、橋梁分野の幅広い領域をカバーでき、研究ニーズに対して機動的に対応できるよう、複合力に富む組織・体制とするため、研究チーム制を採用せず、7名の上席研究員（5名専任、2名併任）のもとに、研究テーマに応じて必要な担当者を選定することとしている。

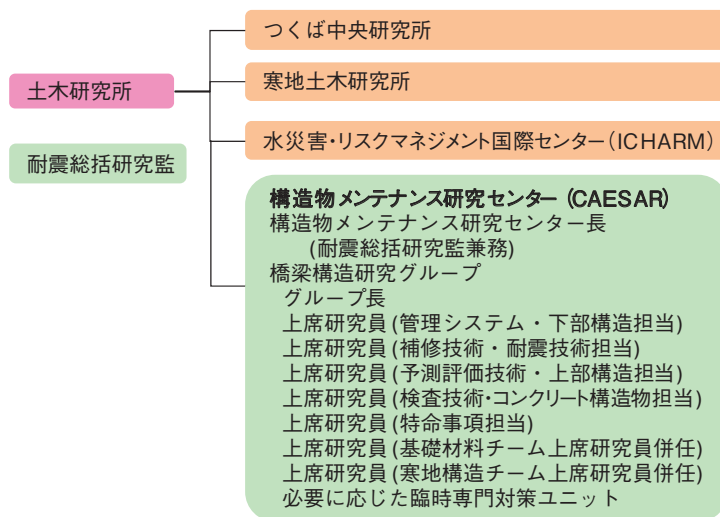


図- 2.4.1.1 土木研究所における CAESAR の位置付けと体制 (平成 24 年度現在)

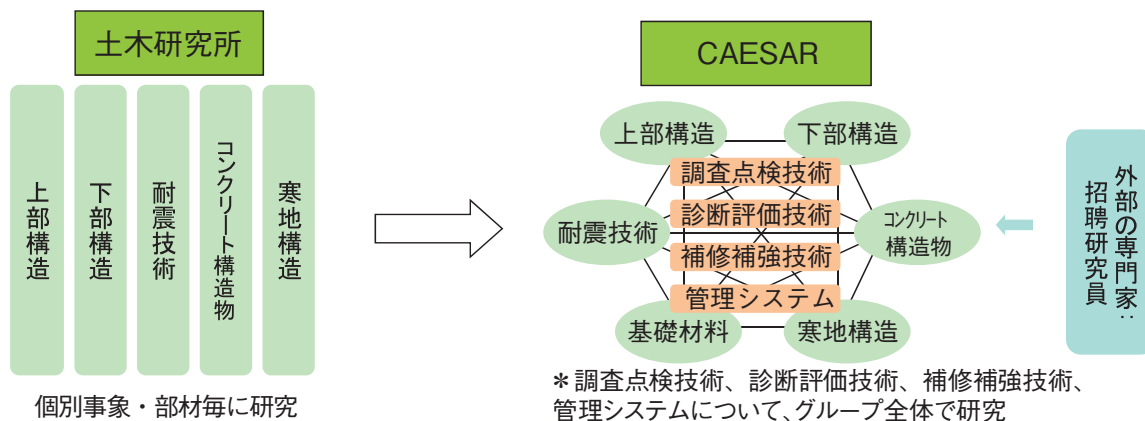


図- 2.4.1.2 土木研究所における橋梁に関する従来の組織と CAESAR の違い

橋梁構造研究グループは、図-2.4.1.2に示すように、上部構造、下部構造、耐震技術、コンクリート構造物、基礎材料、寒地構造技術の専門家がそれぞれの分野で研究・技術開発を進めるだけでなく、橋梁の上部から下部構造までを全体系として捉え、調査点検、診断評価、補修補強、及びそれを統合する総合的な維持管理技術や、新設橋梁の設計施工技術、災害復旧技術について研究・技術開発を行う総合力に富む組織としている。

また、道路管理者から緊急かつ集中的に高度

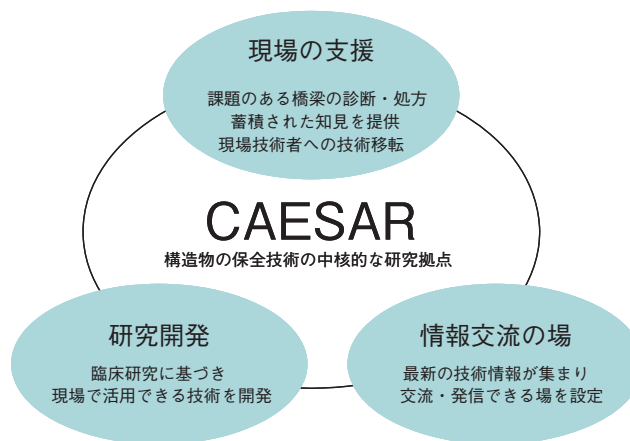


図- 2.4.1.3 CAESAR の担う役割

構造物メンテナンス研究センター

な技術協力が求められる課題については、専従の専門対策ユニットを臨時で編制するなど、柔軟性を有する組織としている。

### 2.4.1.3 CAESARの担う役割と活動

CAESARは、保全技術の中核的な研究拠点としての役割を果たすべく、活動の方向性として、図-2.4.1.3に示すように、現場の支援、研究開発、及び情報交流の場の提供を掲げている。

### 2.4.2 現場の支援

#### (1) 既設橋梁の診断・処方

個々の橋梁が抱えている損傷・変状等の技術的課題に対しては、現場とより密接に連携をしつつ、橋梁の状態評価・診断等の技術支援を行うとともに、評価後・対策後についてもフォローアップを継続し、適宜対策効果の検証を行っている(図-2.4.2.1)。

CAESARでは、国土交通省国土技術政策総合研究所と協力して、道路管理者からの技術相談に対応しており、平成20年度から平成23年度までに、200件以上の技術相談に対応している。技術相談の内容については、維持管理に関する相談の割合が年々高まっており、道路管理者の施設管理に対する意識の高まりとともに、従来以上に道路橋の劣化・不具合が顕在化して

きている(図-2.4.2.2～3、写真-2.4.2.1)。

また、技術支援を通じて得られた現場の症例・診断や後述する臨床研究を通して得られた知見の蓄積に努めている。これらの知見については、他の橋梁にも役立つように橋梁保全担当者の会議の場などにおいて直接報告するとともに、インターネットや技術雑誌を通じて、より広範囲の技術者に向けて早期に情報発信している。また、技術の体系化・標準化を図り、マニュアル等の形で現場に提供している(写真-2.4.2.2)。



写真-2.4.2.1 劣化した道路橋の現地調査

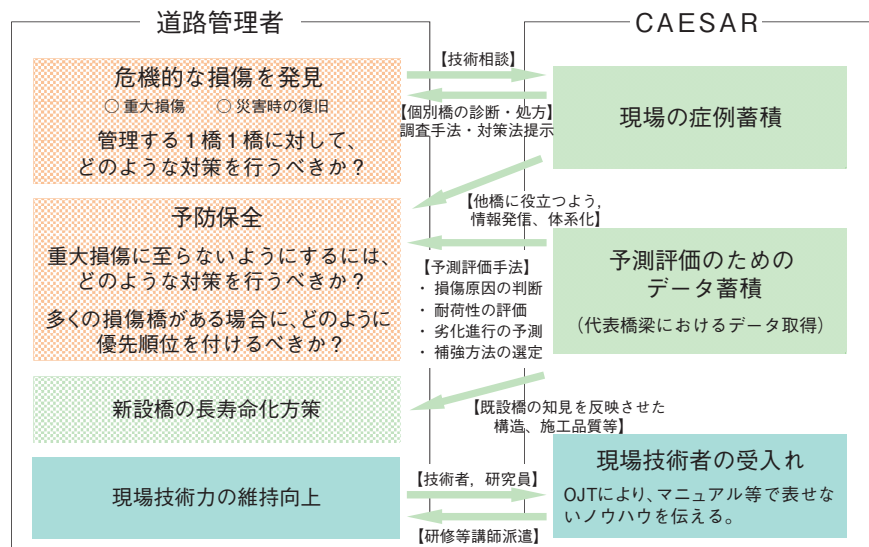


図-2.4.2.1 現場の技術支援と CAESAR の活動



写真-2.4.2.2 現場に学ぶメンテナンス(雑誌「土木技術資料」にシリーズで掲載している。)

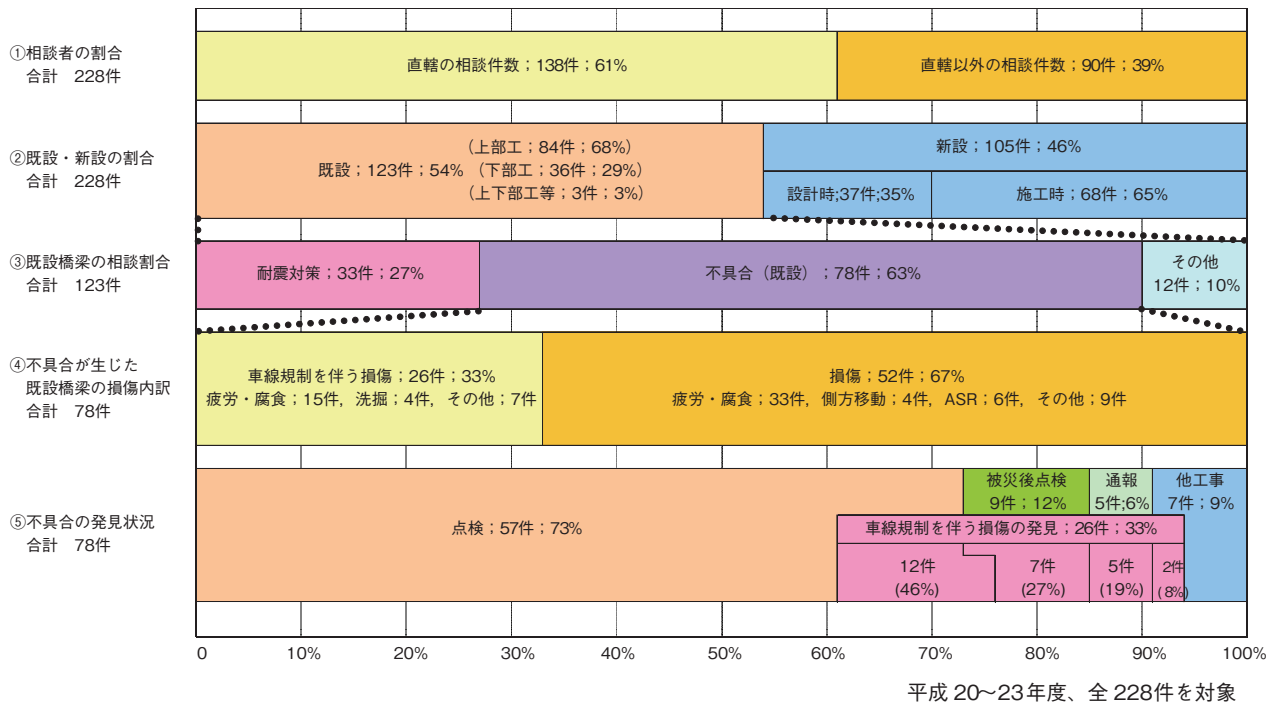


図 - 2.4.2.2 道路管理者からの技術相談の内訳

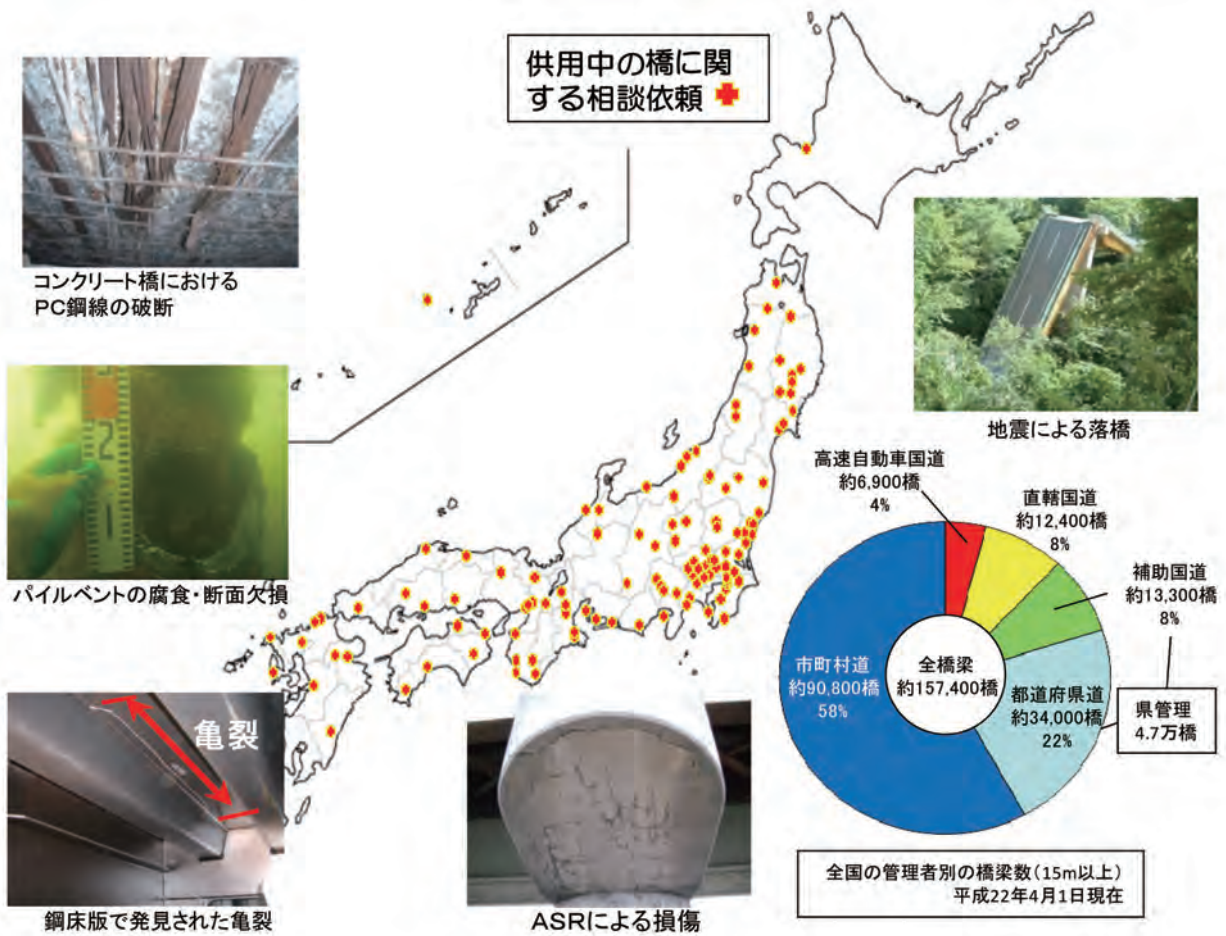


図 - 2.4.2.3 技術相談のあった道路橋の位置と道路橋現況 (右下)

## (2) 災害時の技術支援

国土交通省の緊急災害対策派遣隊（TEC-FORCE）の一員として、地震等により被災した橋梁の調査と復旧を支援することは、CAESARの重要な役割の一つである。例えば、平成20年6月に起きた岩手・宮城内陸地震の際には、余震の中、橋梁の被災調査を実施した。落橋した祭時（まつるべ）大橋については、原因の究明や対策法の選定に関する調査委員会にも参画し、安全な橋の再構築のために協力を行った（写真-2.4.2.3）。また、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に際しては、地震の直後より国土技術政策総合研究所と共同で技術者を現地に派遣しており（写真-2.4.2.4）、国及び自治体管理を含めて約200橋の調査を行った。この間の調査体制はCAESARだけで約240人日に及んでおり、調査活動を通じ、橋梁管理者に対して、被災橋梁に対する応急復旧・本復旧対策について継続的に技術的支援を行っている。



写真-2.4.2.3 岩手・宮城内陸地震における道路橋の被災調査



写真-2.4.2.4 東北地方太平洋沖地震での被災地での技術支援

## (3) 現場技術者への技術移転

構造物の管理においては、それを支える現場技術力の維持・向上が不可欠であり、人材の育成に継続的に取り組む必要がある。例えば、道路管理者のインハウスエンジニアへの技術研修、民間研修機関の技術研修、及び広く一般の技術者を対象とした各種の技術講習会に、講師を派遣して、道路橋の設計・施工・維持管理について講義を行っている（写真-2.4.2.5）。

また、地域の技術者育成の取組を行っている学術機関などと協力協定を締結し、それら機関による研修プログラムに講師を派遣している。平成20年に岐阜大学・長崎大学と、平成21年に香川高



写真-2.4.2.5 撤去部材展示施設における部材調査実習（国土交通大学の研修の一部として実施。撤去された劣化部材により症例を学ぶとともに、非破壊検査の実技演習を行う。）

## コラム 1 東日本大震災により被災した橋梁の復旧に関する技術支援

### －約 40 橋の復旧方法や損傷の監視方法について助言－

CAESAR では、国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室とともに、主として橋にかかる技術支援のため、国土交通省をはじめとする道路管理者の依頼を受け、現地調査や打合せ等による技術相談に対応している。

平成 23 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震の直後には、橋梁の被災調査等を行うとともに、供用の可否や応急復旧についての技術的助言を行った。平成 23 年度に入ってから、東北地方整備局が主催する東日本大震災による被災橋梁補修検討会に委員として参画し、被災した橋の本復旧や今後の維持管理上の留意点等について助言したほか、地方自治体等からの依頼により本復旧に向けた技術相談に対応する等、引き続き東日本大震災により被災した橋等に関する技術支援を行っている。平成 23 年 9 月までの半年間で、震災関係だけで 40 橋近くの橋に対する技術相談等に対応した。

この中で、下部構造が被災し、これに対して応急復旧を施した橋に対して、大規模な余震による損傷の監視や迅速な被害状況の把握を目的として、近年 CAESAR で開発した「橋梁地震被災度判定システム」が適用された。本システムは、地震の揺れに伴う周期の変化を感知し、その変化によって橋脚の変状を把握するシステムであり、大規模な余震の発生が懸念される中で応急復旧を施した橋の管理の一助となっている。

また、技術相談において、今後の震災対策や耐震設計に関する技術開発の必要性がある事項が認められた場合には、被災メカニズムの推定・分析や対策の検討など、積極的に研究課題として取り入れている。その成果は平成 24 年 3 月に改定された道路橋示方書・同解説において、例えば、地震時の橋台背面の変状への対応についてはⅣ下部構造編の「8.9 橋台背面アプローチ部」の規定として、また、ゴム支承の破断への対応についてはⅤ耐震設計編の「5.5 地震の影響を支配的に受ける部材の基本」の規定として反映された。引き続き今後の地震被害の低減に向けて取り組んでいる。



地震で被災した橋の復旧に関する技術相談への対応（現地調査）



橋梁地震被災度判定システムの適用状況

等専門学校とそれぞれ協定を締結した（写真-2.4.2.6）。平成 23 年には、それを発展させて、独立行政法人国立高等専門学校機構と連携、協力の推進に関する協定を締結した（写真-2.4.2.7）。

さらに、地方公共団体を含む道路管理者、大学、民間会社からの技術者や研究者を受け入れ、ともに問題解決に当たることにより、構造物の管理を支える人材の育成に継続的に取り組んでいる。この取組では、個人の技術力向上のみならず、派遣元に帰ってからの組織内部での啓蒙も期待される。また、現場の技術相談や臨床研究等を通じて、マニュアル等では表現しきれない課題への対処のノウハウを、現場技術者に提供している。



写真- 2.4.2.6 香川高等専門学校で開催される実践的橋梁維持管理講座における講義の様子



写真- 2.4.2.7 (独)国立高等専門学校機構と連携・協力に関する協定を締結

### 2.4.3 研究開発

既設橋の現有の性能は、設計時の構造のみならず、実際の施工状況や初期の施工品質、その後の長年にわたる橋梁の置かれている環境、交通荷重や飛来塩分等の腐食環境によって大きく異なってくる。橋梁毎に異なる複合的な現象を模型で再現することは困難であり、CAESARでは、実際の現場の損傷事例を対象にし、臨床学的研究アプローチを重視して問題の解決に取り組んでいる（図-2.4.3.1）。国土交通省や地方自治体の協力により得られた撤去予定橋梁の情報から、研究目的に合致したものを抽出し、それらを利用した臨床研究を実施している。道路管理者と一体となって非破壊調査、挙動計測等の詳細な調査や構造解析を行うなどして、損傷の状況把握、劣化損傷メカニズムの解明、補修補強の対策効果の検証に取り組んでいる。

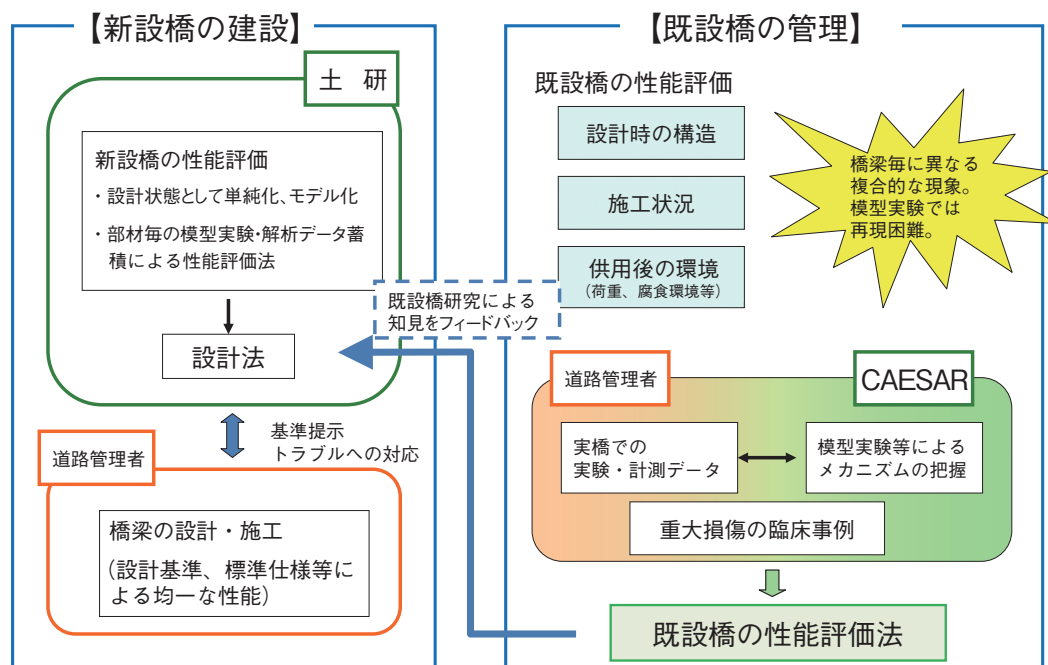


図- 2.4.3.1 臨床研究に基づく研究・技術開発



### 2.4.3.1 橋梁の維持管理技術の高度化

社会資本ストックのメンテナンスへの投資を効率的・効果的に行い、戦略的な維持管理を実現するためには、現時点で保有する残存耐荷力や将来の劣化進行度を予測した上で、適切なタイミングで部分的あるいは全体的な補修・補強、さらには更新の判断を行う技術が必要である。このため、橋梁の状態を効率的かつ合理的に把握するための検査技術、部材の損傷が橋全体系の健全性に及ぼす影響を的確に評価する技術、補修補強技術が要求性能を満たすかどうかを検証する技術、情報の蓄積・活用による維持管理の合理化・高度化、などについて研究開発を行っている（写真-2.4.3.1）。



(a) 腐食劣化した鋼トラス橋の荷重試験  
(腐食劣化により断面欠損が生じた鋼橋の活荷重に対する挙動を調査した。)



(b) 塩害を受けたPC桁の荷重試験  
(供用中に桁端部付近で著しい塩害が見られた支間20mのPC桁のせん断耐力を調査した。)

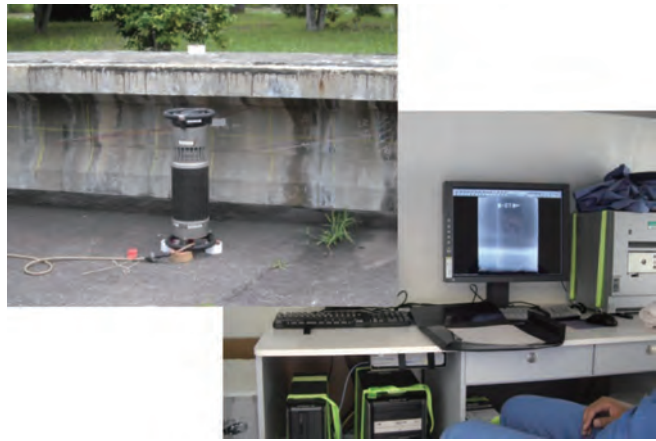
(c) 海洋部の橋脚コンクリートの経年調査  
(管理者と連携し、コア抜き調査を継続的に実施する。)

#### 写真-2.4.3.1 道路橋の維持管理技術に関する臨床研究事例

供用中の構造物において耐荷力評価のための損傷情報を得るため、しばしば非破壊検査技術の活用が必要となる。しかし、新しい検査技術を活用するには、その適用性を確認する必要がある。その際には、実際の構造物で調査するのが望ましいが、民間企業等においてはその機会に制約がある。CAESARでは、撤去部材の解剖調査の際に、非破壊検査技術の開発者に対して適用性確認の場を提供している（写真-2.4.3.2～3）。



(a) 撤去前の実橋での非破壊調査  
(道路橋の撤去に際して、非破壊検査機器開発者が、それぞれの機器で床版の劣化状況を調査した。)



(b) 撤去 PC 桁のグラウト充填状況の X 線による調査

写真 - 2.4.3.2 非破壊検査技術の適用性確認試験



写真 - 2.4.3.3 撤去部材展示施設

### 2.4.3.2 大地震に対する総合対策技術の開発

兵庫県南部地震において社会基盤施設が甚大な被害を受け、以降、橋の耐震技術に関する研究が大規模に進められ、我が国の橋の耐震性も向上した。しかし、新潟県中越地震、岩手・宮城内陸地震をはじめとする内陸直下を震源とする大規模な地震や、マグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震により、まだ多くの検討課題があることも明らかになってきている。また、首都直下地震、東南海地震等の大地震発生の切迫性が指摘されているなか、このような大規模な地震に対しても安全安心な社会を実現するためには、限られた財政の中



写真 - 2.4.3.4 地震による損傷を受けた橋脚の緊急機能回復技術の開発 (シートやバンドを活用)

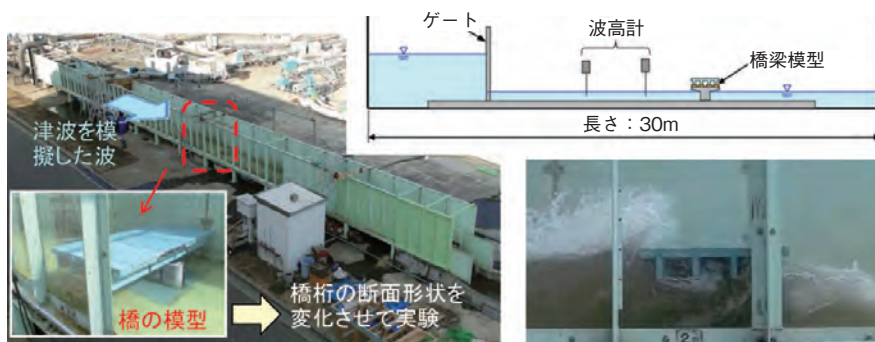


写真 - 2.4.3.5 水路実験による4主桁の桁橋が段波状の津波により受ける影響の研究

## コラム 2 道路橋示方書を平成 24 年に改定

### －CAESAR の研究成果が多数反映－

道路橋の設計や施工を行うための技術基準である「橋、高架の道路等の技術基準」が改定され、「道路橋示方書・同解説」が平成 24 年 3 月に発刊された。この改定では平成 23 年 3 月の東日本大震災を踏まえた対応や、橋を長く使うために必要な維持管理に関する内容の充実等が図られているが、CAESAR で研究された成果や現場からの技術相談とその対応で得られた知見が多く反映されている。

鉄筋コンクリート部材では、平成 7 年の兵庫県南部地震以降、耐震性能の向上が図られた。この一方で、多くの鉄筋が用いられるようになり施工性の観点から課題があった。そこで、従来よりも降伏点の高い鉄筋 (SD390、SD490) を一般的に活用できるように、CAESAR では橋脚や杭の載荷実験等を行い、この成果が SD390、SD490 の使用に関する規定として新たに導入された。これにより従来と同等の耐震性能を確保しつつ、鉄筋量を少なくして施工性を向上させることにつながる事が期待される。

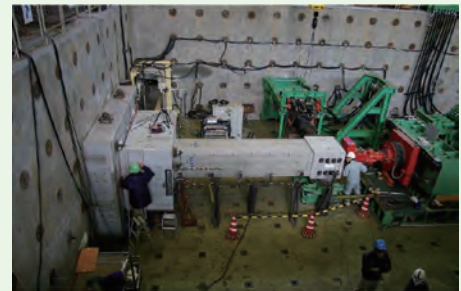
また、鋼橋に関しては、これまでに既設橋の鋼床版において、閉断面縦リブ (Uリブ) とデッキプレートの溶接部からデッキプレートを貫通する疲労亀裂による損傷事例が報告されており、耐久性の観点から課題があった。このような亀裂が進展すると舗装の損傷や路面陥没等を引き起こし、車両走行への悪影響や事故による人的被害のおそれがある。そこで、CAESAR では共同研究として実物大の鋼床版試験体を用いた疲労試験等を行い、デッキプレートの板厚を増加させることにより疲労耐久性の向上を図れることが確認されたことを踏まえ、鋼床版デッキプレートの最小板厚に関する規定が見直された。

このほかにも、中空断面を有する鉄筋コンクリート橋脚の規定の見直しや、PC 合成桁橋における床版と桁の接合面設計に関する見直し、上部構造と橋台を一体化した橋台部ジョイントレス構造、構造特性に応じてより合理的に落橋を防止できるような落橋防止システムの規定の見直しなどについても、CAESAR で得られた研究成果を踏まえて規定に反映された。

今後、この基準により道路橋を設計・施工することで、より安全で、かつ長く使うことができる社会資本の整備に役立つことが期待される。



改定された道路橋示方書



鉄筋コンクリート橋脚模型の載荷実験



鋼床版試験体を用いた疲労試験

で効率的に耐震対策を行っていくための技術が必要である。そこで、構造物の地震時挙動及び地震時における構造物の抵抗特性・ねばり強さをより精緻に評価する技術、これを適切に補強するための技術、損傷が生じた場合に迅速に機能を回復するための技術を大きな柱として研究を行っている (写真 -2.4.3.4 ~ 5)。

### 2.4.3.3 求める性能の提示、評価と基準化

道路橋の設計基準である道路橋示方書は、平成6年に車両制限令の改定に伴う設計自動車荷重と関連規定を改定、平成8年に兵庫県南部地震の経験を踏まえた耐震設計関連規定の改定、平成14年に維持管理の時代に対応するべく設計年数100年を目安とした耐久性設計の導入など、時代の変化とともに変遷してきている。直近では、平成24年の道路橋示方書改定で、維持管理に対する配慮や耐震設計の充実などが図られたところである。

新設の橋梁については、より効率的・合理的に建設を行うことが求められており、そのための様々な新しい技術を導入する方向にある。新しい技術を導入するには、所要の性能や品質が確保されていることを検証する技術を伴っていることが必要である。道路橋の技術基準では、仕様を規定するのではなく、求める性能とその検証方法を提示し、設計・施工の精度向上に向けた現場の技術的な努力が報われるような新しい体系の実現を目指している。また、これまでの震災経験や、2.4.3.2で述べた震災調査を踏まえた研究活動の成果も技術基準類の改訂に反映している。

臨床研究を通して得られた経験、知見は、既設橋だけでなく新たに建設する橋の設計施工にフィードバックすることが重要である。CAESARでは、維持管理しやすく、長持ちする橋の実現に向けて、技術相談や調査研究から得られた技術情報を提供するとともに、構造安全性、耐久性、施工品質の確保、維持管理の確実性及び容易さに配慮した設計・施工に関する技術基準類の策定支援、維持管理の改善技術の提案、維持管理技術の標準化支援を行っている。

### 2.4.4 情報交流の場

#### (1) 講演会・講習会

維持管理に関して取り組むべき課題は多岐にわたっている。技術支援にあたっては、構造物の点検、評価・診断、補修補強技術及びそれらを統合する管理システムまでの幅広い領域をカバーするとともに、個別要素技術を追究する部分と維持管理全体を包括的に捉える部分のバランスをとりながら適切に診断を行うための技術力の向上を図っていく必要がある。このため、臨床研究を通して得られる知見とともに、現場の抱えている課題・ニーズ、産学における基礎的・先端的研究の知見や実用化に向けた新技術・新工法の情報など、維持管理に関わる産学官の技術者間の多種多様な情報を集積し、流通させることが重要と考えている。CAESARが我が国における保全技術の中核的な研究拠点の役割を担っていくためにも、技術者間の交流を図るとともに、最新の技術情報が集積し、流通する場を整えていく必要がある。

このような考え方にに基づき、CAESAR設立以来、年に1回講演会を開催している。平成23年度には、「第4回CAESAR講演会－直面する危機への対応－」を開催した(写真-2.4.4.1、表-2.4.4.1)。本講演会では、道路橋の維



写真-2.4.4.1 第4回CAESAR講演会の様子

表-2.4.4.1 第4回CAESAR講演会のプログラム

開会挨拶	魚本 健人 (土木研究所理事)
基調講演	インフラの維持・更新の意義 ～人のためにこそコンクリートを～ 藤井 聡氏 (京都大学教授)
北陸地方の損傷橋梁の現状と対応	平賀 和文氏 (北陸地方整備局道路保全企画官)
メンテナンスに関する技術的な課題と取り組み	桑原 徹郎 (CAESAR 橋梁構造研究グループ長)
東日本大震災への対応と課題	赤川 正一氏 (東北地方整備局道路情報管理官)
東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況と今後の課題	秋山 充良氏 (早稲田大学教授)
震災経験を踏まえた今後の研究の取り組み	星隈 順一 (CAESAR 上席研究員)
閉会挨拶	大石龍太郎 (土木研究所理事 CAESAR センター長)

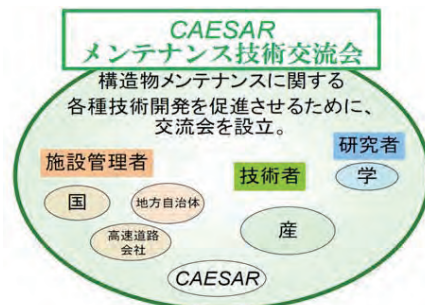


図-2.4.4.1 メンテナンス技術交流会

持管理と、東日本大震災への対応について、幅広い視点で話題提供するプログラムとした。

また、同日に「CAESAR メンテナンス技術交流会」の設立を行った（図-2.4.4.1）。これは、これまで取り組んできた構造物メンテナンスに関する各種技術開発がさらに促進されることを目指して、国、地方自治体、高速道路会社といった施設管理者と、産業界、学会の技術者・研究者が一堂に会する場として、CAESARにより設立を提案したものである。その後、交流会を通じて各種活動を行っている（写真-2.4.4.2～3）。



写真-2.4.4.2 臨床実験の交流会への公開(交流会活動の一環として、塩害腐食して撤去されたPC桁の載荷試験を公開し、さらには非破壊検査技術の検証にその場を提供した。)



写真-2.4.4.3 既設PC橋のひび割れに関する現地調査(CAESARの現地調査と合わせて、非破壊検査技術や計測技術を有する交流会会員も、それぞれの技術について検証を行った。)

## (2) 国際交流、国際貢献

CAESARは、我が国の技術を海外にも発信するとともに、海外の研究機関や道路管理者と共有する技術課題に関しては情報交換や研究連携を行う我が国のポータルサイトとしての活動を行っている。例えば、日米政府間会議である「天然資源の開発利用に関する日米会議(UJNR)」における、耐風・耐震構造専門部会(開催は45回に及ぶ、日本側部会長:土木研究所理事長、事務局長:耐震総括研究監)の作業部会G:交通システム(作業部会長:CAESAR橋梁構造研究グループ長)では、毎年日米交互に橋梁ワークショップを主催し、橋梁に関する幅広い課題について、米国運輸省連邦道路庁(FHWA)や各州交通局など政府機関と情報交換を行い、連携を図っている(写真-2.4.4.4)。また、ドイツ、フランス、イタリア、スウェーデン、韓国など海外の政府系研究機関や大学とも情報交換、技術交流を行っている。

海外で地震等の災害が発生した際には、適宜現地調査を行うとともに、復旧支援を行っている。平成22年のチリ地震の際、日本の土木学会の要請によりCAESARの専門家1名を現地に派遣し、橋梁の被災調査を行った(写真-2.4.4.5)。現地の道路管理者に対し、日本の耐震設計基準の紹介などを行った。その後のチリの耐震設計基準改訂時には、日本で適用されている規定が採用された。



写真-2.4.4.4 日米橋梁ワークショップ



写真-2.4.4.5 チリ地震後の現地調査

### 2.4.5 現在取り組んでいる研究課題

表-2.4.5.1にCAESARの現在の研究課題（平成23、24年度実施課題）を一覧で示す。ここでは、最近の研究事例として、プロジェクト研究及び重点研究を中心に研究課題の概要を紹介する。

表-2.4.5.1 CAESARの研究課題

区分	課題名	研究期間 平成、年度	カテゴリー
プロジェクト研究	性能目標に応じた橋の地震時限界状態の設定法に関する研究	23 ~ 26	E, P
	地盤変状の影響を受ける道路橋の耐震安全対策技術に関する研究	23 ~ 27	E
	落橋等の重大事故を防止するための調査・診断技術に関する研究	23 ~ 27	M
	道路橋桁端部における腐食対策に関する研究	23 ~ 27	M
	橋梁のリスク評価手法に関する研究	23 ~ 27	M
	性能規定化に対応した新形式道路構造の評価技術に関する研究	23 ~ 27	P
	津波の影響を受ける橋の挙動との抵抗特性に関する研究	24 ~ 27	E
重点研究	改良地盤と一体となった複合基礎の耐震性に関する研究	20 ~ 23	E, P
	構造物基礎の新耐震設計体系の開発（新基礎耐震プロジェクト）	20 ~ 23	E, P
	制震機構を用いた橋梁の耐震設計法に関する試験調査	20 ~ 23	E, P
	道路橋における目視困難な重要構造部位を対象とした点検技術に関する研究	20 ~ 23	M
	ボックスカルバートの耐震設計に関する研究	22 ~ 23	E, P
	深礎基礎等の部分係数設計法に関する研究	20 ~ 24	P
	補修・補強効果の長期持続性・耐久性に関する研究	21 ~ 24	M
	既設RC床版の更新技術に関する研究	22 ~ 24	M
	非破壊検査技術の道路橋への適用性に関する調査	22 ~ 25	M, P
	構造合理化に対応した鋼橋の設計法に関する研究	21 ~ 25	P
基礎研究	既設鋼道路橋における疲労損傷の調査・診断・対策技術に関する研究	21 ~ 25	M
	塩害橋の予防保全に向けた診断手法の高度化に関する研究	21 ~ 25	M, P
	鋼床版構造の耐久性向上に関する研究	24 ~ 27	P
	道路橋の支承部・落橋防止システムの性能評価技術に関する試験調査	20 ~ 23	E, P
	火災を受けた橋梁の健全性評価に関する試験調査	21 ~ 23	M
	高力ボルト接着接合継手を用いた補強技術に関する研究	21 ~ 23	M
	長支間コンクリート道路橋の設計合理化に関する研究	21 ~ 24	P
	橋梁のRC部材接合部の合理的な耐震性能評価法に関する研究	22 ~ 24	P
	既設木杭基礎の耐震性能検証法に関する調査	22 ~ 24	M
	ひび割れ損傷の生じたコンクリート部材の性能に関する研究	23 ~ 25	M
研究	フーチングにおける損傷度評価および補強方法に関する研究	23 ~ 27	M, E
	道路橋基礎の地震時挙動推定方法に関する研究	24 ~ 27	E

注) 平成23～24年度の実施課題を掲載した。カテゴリーは2.4.3節の分類による。M：橋梁の維持管理技術の高度化、E：大地震に対する総合対策技術の開発、P：求める性能の提示、評価と基準化

#### (1) 性能目標に応じた橋の地震時限界状態の設定法に関する研究（写真-2.4.5.1）

道路橋の耐震設計では、当該橋において求められる耐震性能が確保できるよう、地震後における橋のあるべき状態を見据えながら設計を行うことが重要である。また、既設橋に対する耐震補強においても、新設橋の設計にはない様々な制約条件が加

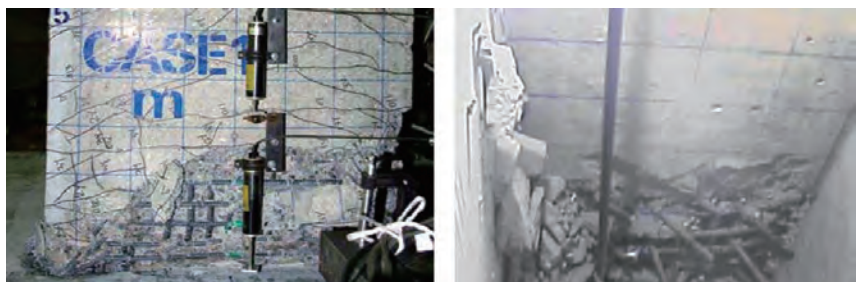


写真-2.4.5.1 中空断面RC橋脚の損傷状況  
(左：外面の損傷、右：内面の損傷)

わる中で、耐震補強において目標とする耐震性能が確保できるよう、補強が必要となる部位を適切に選定した上で、当該部位の損傷が限界状態を超えないように設計することが重要である。このような背景から、本研究では、性能目標に応じた橋の地震時限界状態を評価できるようにすることを目的として実施している。これまでに、地震時に損傷を許容している橋脚を対象として、中空断面 RC 橋脚や丸鋼を用いて構築された RC 橋脚の地震時限界状態について実験的な検討を進め、その評価手法等について提案等を行っている。また、成果の一部は、平成 24 年道路橋示方書にも反映されている。

### (2) 地盤変状の影響を受ける道路橋の耐震安全対策技術に関する研究 (写真－ 2.4.5.2)

山地丘陵部の傾斜地や軟弱地盤等に立地する道路橋では、地震による大きな地盤変状で被災する事例がみられる。このように下部構造自体が大きく移動する事象に対して、地震時に道路橋に影響を及ぼすような変状を起こしやすい地盤条件の判定手法や大きな地盤変状が構造物の安全性に及ぼす影響を明らかにすることで、構造物の耐震安全性を高めるための方策を提示することを目的とした研究を平成 23 年度から始めている。

初年度は、平成 23 年東北地方太平洋沖地震で地盤変状に起因して被災した橋を対象に、地盤変状に伴う外力や抵抗特性に関する検討を行った。今後、平成 20 年岩手・宮城内陸地震などで見られた山地丘陵部に立地した橋の被災分析、構造諸元と地盤条件の関係の分析等を踏まえて耐震安全性を高めるための方策を提案していく予定である。



写真－ 2.4.5.2 祭時（まつるべ）大橋 (R342) の落橋 (平成 20 年岩手・宮城内陸地震)

### (3) 落橋等の重大事故を防止するための調査・診断技術に関する研究 (写真－ 2.4.5.3 ～ 4)

高度経済成長期に建設された膨大な道路橋ストックの高齢化が急速に進む中で、近年、トラス橋斜材の腐食欠損に伴う破断や PC 橋の PC 鋼材の腐食・破断等が発生している。これらの重要部材の劣化損傷は、橋全体系の安全性に重大な影響を及ぼす可能性があり、構造物の状態を適切に調査・診断するための技術が求められている。劣化損傷の生じた鋼トラス橋や PC 橋を主な対象として、撤去部材を活用しながら、橋全体系・部材レベルの耐荷性能評価の方法の提案を目標として研究を進めている。平成 23 年度には、著しい腐食損傷により撤去されたトラス橋上弦材格点部を対象に載荷試験と FEM 解析を行うとともに、塩害により撤去された PC 桁を対象に、載荷試験により残存耐荷力の把握や非破壊検査手法の適用性について検討を進めているところである。



写真－ 2.4.5.3 撤去トラス部材の載荷試験の状況 (格点部を治具に固定し、二軸載荷)



写真－ 2.4.5.4 撤去 PC 桁の載荷試験の状況

(4) 道路橋桁端部における腐食対策に関する研究

(図-2.4.5.1)

道路橋に見られる主要な劣化現象として、鋼部材、コンクリート部材ともに腐食(塩害)が挙げられる。鋼部材の腐食は、鋼道路橋の主な架替え理由の1つに挙げられており、長期にわたって維持管理していくためには、定期的な塗替えに加えて、腐食原因除去などの腐食環境の改善と、腐食により断面欠損が生じた部位への適切な補修、補強が重要である。特に、橋桁端部は、狭隘なため、湿気がこもりやすい上に、場合により塩分を含む水が伸縮装置から漏水すること等により、腐食しやすい部位である。このため、鋼桁端のウェブ等に孔が開く事例も見られる。一方、コンクリート橋でも、凍結防止剤の散布に起因した塩害事例の報告が徐々に増加しつつある。特に、PC桁では、桁端部にPC鋼材の定着部が集中していて、高い圧縮応力を含む、複雑な応力状態である。調査

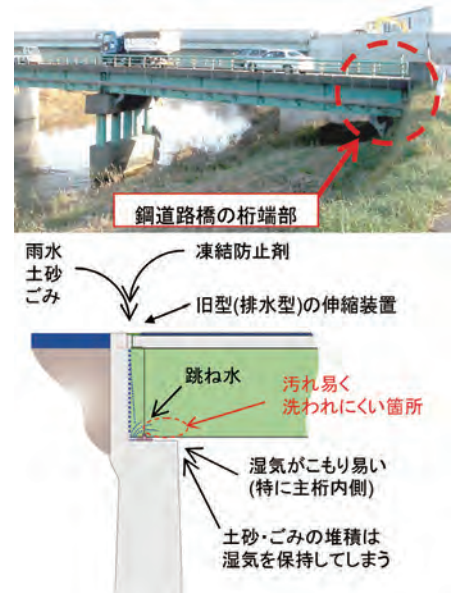


図-2.4.5.1 道路橋の桁端部(上)と、桁端部の腐食環境(下)

のコア採取や補修のはつりを行うためには、安全に配慮した調査、補修方法の検討が必要である。本研究では、a) 桁端部の腐食環境を迅速に改善するための腐食環境改善方法、b) 安全に配慮したPC橋桁端部の調査、補修方法、c) 施工性に優れた鋼橋桁端部の補修方法について検討を行っている。

(5) 橋梁のリスク評価手法に関する研究 (図-2.4.5.2)

管理橋梁の高齢化が進む中、事故の発生による社会的リスクは今後益々高まっていくものと推測され、厳しい財政制約の中で効率的な管理を行うための手段としてリスク評価手法の確立が求められている。本研究では、こうした状況を踏まえ、道路橋を構成する部材の損傷リスクを相対的・定量的に評価する手法とリスク発生による人命や社会への影響を定量的に評価する手法を検討し、橋梁管理体系に組み入れるリスク評価手法について提案することを目的として

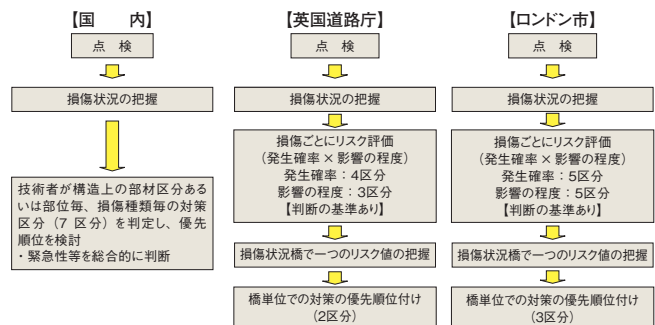


図-2.4.5.2 英国道路庁・ロンドン市の道路橋リスク評価フロー

いる。初年度は、先進事例である国外(英国)の道路橋リスク評価に関する事例及び国内での道路橋以外のリスク評価事例の収集・とりまとめを行い、我が国での道路橋リスク評価の参考となる知見をとりまとめた。例えば、国外事例である英国道路庁、ロンドン市では、損傷部材毎に発生確率、影響の程度を区分けし、リスク評価を行い、橋梁で一つのリスク値を算出し、橋単位での対策の優先順位付けを行っているなどの知見が得られた。

(6) 性能規定化に対応した新形式道路構造の評価技術に関する研究 (写真-2.4.5.5)

道路構造物に関する技術基準の性能規定化に伴い、コスト縮減等の観点から新しい形式の道路構造物の提案が増えてきているが、要求性能に基づき設計・照査する手法が確立されていないため、既往の道路構造物と同等の性能を有することを検証できる評価技術が必要となっている。このような背景から連続カルバート等の橋梁構造と土工構造の境界的な構造や、橋梁構造等と土工構造の境界部等に人工材料を用



いた構造体を有する構造などを対象として性能検証法の提案を目指した研究を行っている。これまで、ヒンジを有するアーチカルバート構造、および橋台背面に発泡スチロール (EPS) を用いた構造に関する検討を実施しており、今後、橋台背面に気泡軽量混合土を用いた構造などについても検討を進める予定である。

#### (7) 津波の影響を受ける橋の挙動と抵抗特性に関する研究

##### (写真－ 2.4.5.6 ～ 7)

東日本大震災における橋梁の被害の特徴の一つとして、津波によって橋桁が流出する被害があったことが挙げられる。そこで、CAESAR では、津波による橋梁の被害状況を詳細に調査・分析を行うとともに、津波の影響を受ける時の橋梁の挙動解明とそのメカニズムに応じた対策についての具体的な研究を緊急的に平成 23 年度から開始した。

被害調査の結果からは、流出した橋梁がある一方で、津波を受けても流出しなかった橋梁も多く見られた。津波の影響を受けた時の橋梁の挙動は複雑であり、津波自身の特性の他、橋桁の構造形式、橋桁と橋脚を接合している支承部の構造特性等によっても、影響度合いが変わってくるのが考えられる。平成 23 年度には、約 1/20 相当の橋梁縮小模型に対する水路実験や、約 1/2 相当の大型模型を用いた支承部に着目した載荷実験を実施したところである。これらの実験結果と津波による実際の被災事例とを分析しながら、津波に対する橋梁の挙動メカニズムを解明していく。

なお、本研究については、平成 24 年度からプロジェクト研究の個別課題として位置づけを明確にし、本格的に研究を進めているところである。

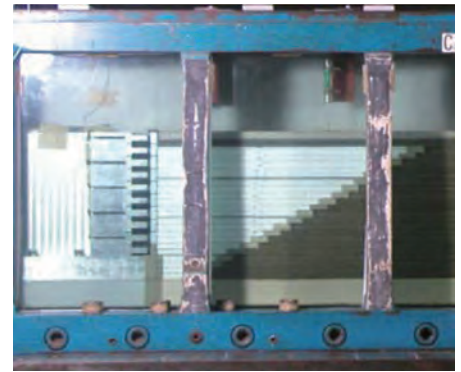


写真 - 2.4.5.5 橋台背面に発泡スチロールを用いた構造の遠心実験の状況



写真 - 2.4.5.6 津波の作用と橋の挙動に関する水路実験



写真 - 2.4.5.7 津波の影響に対する支承部の抵抗特性に関する実験

#### (8) 改良地盤と一体となった複合基礎の耐震性に関する研究

##### (図－ 2.4.5.3、写真－ 2.4.5.8)

近年、基礎の荷重を固化改良地盤に分担させ、基礎の設計の合理化を図ろうという技術提案がされるようになってきている。しかし、支持機構や破壊形態といった基本特性が不明確であり、道路橋基礎に求められる耐震性能が検証されていない。そこで、固化改良地盤に支持される道路橋の直接基礎および杭基礎を対象とした多数の載荷実験を行い、支持機構、反力特性、破壊形態を明らかにするとともに、固化改良地盤に支持される基礎の大地震時

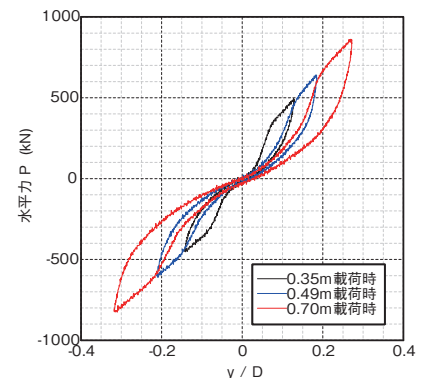


図 - 2.4.5.3 接円式改良地盤に支持される単杭の水平抵抗特性

における限界状態を提案した。また、固化改良地盤に支持される杭基礎の水平載荷実験を対象とした解析を行い、支持機構を適切に反映させることで反力特性を再現できることを明らかにした。これらの結果に基づき、改良地盤に道路橋基礎を支持させる場合の検証方法を取りまとめ、平成24年の道路橋示方書改定に成果が反映された。

(9) 構造物基礎の新耐震設計体系の開発(新基礎耐震プロジェクト) (図-2.4.5.4)

従来の道路橋基礎の設計では、地震時の荷重として地盤変位の影響は考慮せず、基礎よりも上にある構造物の慣性力のみを考慮した静的照査法が採用されているが、橋全体構造と地盤の影響を一体として地震時の挙動を評価することにより、合理的な基礎の設計とすることができると考えられる。そこで、本研究では、動的解析に基づく基礎-地盤系を含めた橋全体の設計体系を構築するための検討を行った。本研究により、基礎-地盤系を含めた橋全体に対する動的解析のためのモデル化手法を示すとともに、モデル化のばらつきが動的解析結果に及ぼす影響についても提示し、モデル化にあたって特に注意が必要な地盤特性の評価について示した。また、本研究で検討してきた解析手法を用いて、東日本大震災で変状が生じた基礎、地震の影響を強く受けたにも関わらず被災しなかった基礎の解析を行い、解析手法としての妥当性について検証しているところである。

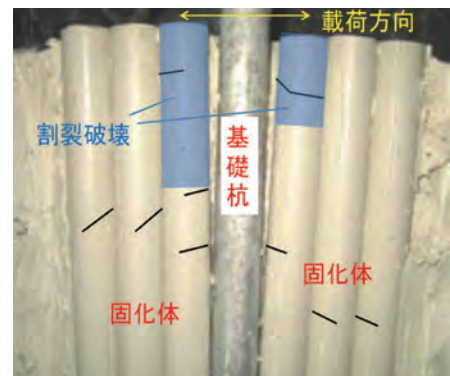


写真-2.4.5.8 接円式改良地盤の損傷状況の例

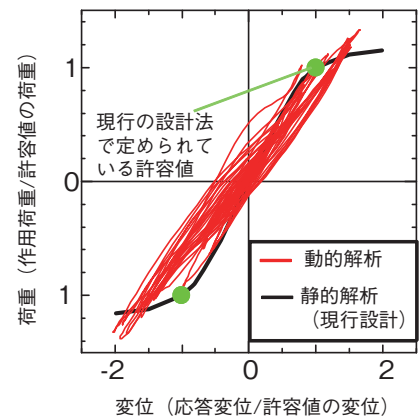


図-2.4.5.4 静的解析と動的解析の比較

(10) 制震機構を用いた橋梁の耐震設計法に関する試験調査 (写真-2.4.5.9)

制震デバイスには様々な力学特性を有する各種の形式が開発されてきており、特に既設橋の耐震補強において適用される例が増えてきているが、制震デバイスの性能評価法や制震デバイスを装着した橋全体の耐震性能の評価については、統一的な考え方が示されていないのが現状である。このため、制震デバイスの性能評価法、橋の耐震設計におけるモデル化手法、制震デバイス本体や取付部の設計法等、このようなデバイスを含めた橋梁全体の耐震設計法の整備が急務となっている。これまでに、制震デバイスを用いた橋における橋脚等の耐震主部材に許容できる塑性化の程度や制震デバイスを橋台に設置する場合における橋台の地震時



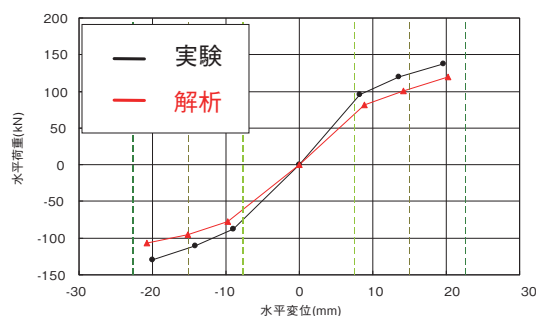
写真-2.4.5.9 東日本大震災における制震デバイス取付部の被災

限界状態の設定法について検討し、制震デバイスによる効果を最大限に引き出すという観点に基づき、各部材の地震時限界状態の設定法を提案した。また、東日本大震災における制震デバイスの取付部の被災状況の調査結果に基づき、制震デバイスの取付部の設計の考え方も示した。これらを踏まえ、制震デバイスを用いた橋に対する耐震設計の基本的な考え方を提示した。

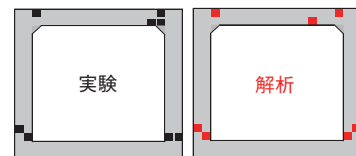
## (11) ボックスカルバートの耐震設計に関する研究

## (図- 2.4.5.5)

盛土部や橋台背面部での横断道路として、ボックスカルバートは数多く活用されているが、過去の震災においてボックスカルバートの構造本体に大きな損傷が生じた経験はないことから、その耐震性能の評価については具体的な手法は確立されていない。一方、近年、ボックスカルバートの断面形状の大型化や、構造が複雑化したものが出現してきており、具体的な耐震性能の評価手法の確立が求められている。本研究では、地震により生じる変形によりボックスカルバートが破壊に至るまでの損傷進展のメカニズムを模型載荷実験により把握するとともに、地震時の動的挙動を遠心力実験により調べ、耐震性能の評価手法の確立を行っている。これまでに、ボックスカルバートに対する繰返し載荷実験により地震時に生じる状態を明らかにするとともに、数値解析による実験結果の再現解析を実施し、ボックスカルバートの地震時挙動を精度良く再現できる解析モデルの提案を行った。



水平耐力は解析精度80%以上を確保



塑性化位置は層間変形角 $2/300$ まで再現が可能

図- 2.4.5.5 ボックスカルバートの繰返し載荷の実験結果と再現解析結果

## (12) 深礎基礎等の部分係数設計法に関する研究

次期道路橋示方書の改定では、より一層の性能規定化を実現するため、信頼性を考慮した部分係数を用いた照査式の導入が予定されている。これをふまえ、基礎についても使用実績の大半を占める直接基礎や杭基礎を対象とした検討を行ってきたが、近年採用割合が増加している深礎基礎を始めとした柱状体基礎などについても、部分係数設計法の導入に向けた検討と基準の整備が必要である。これまでに、地盤ばねや支持力などの各種不確定性に関する統計量を検討したうえで、現行基準により設計された柱状体基礎（ケーソン基礎、地中連続壁基礎、鋼管矢板基礎）の部材照査に係る信頼性指標の評価と部分係数の提案を行った。引き続き部分係数設定方法の精査等を行うとともに、各種柱状体基礎設計法の統一的な視点での整理を行い、柱状体基礎の部分係数設計法の提案を行っていく予定である。

## (13) 補修・補強効果の長期持続性・耐久性に関する研究 (図- 2.4.5.6)

近年、老朽化した橋梁に対して補修・補強対策が実施されてきているが、適切な補修・補強工法の選定の観点より、補修・補強効果の長期持続性の評価研究を行うことが求められている。また、平成7年兵庫県南部地震以降、道路橋の耐震補強についても施策的に進められており、その補強効果の長期持続性の検証も重要となっている。本研究は、道路橋に対する補修・補強事例や耐震補強事例のフォローアップ調査結果に基づき、補修・補強効果の長期持続性および対策方法の整理を行うものである。これまでに、平成23年東北地方太平洋沖地震において強い地震動の影響を受けたと考えられる耐震補強済み橋梁を対象として、被害状況を整理・分析するとともに、未補強の橋との被害比較から耐震補強効果について明らかにした。

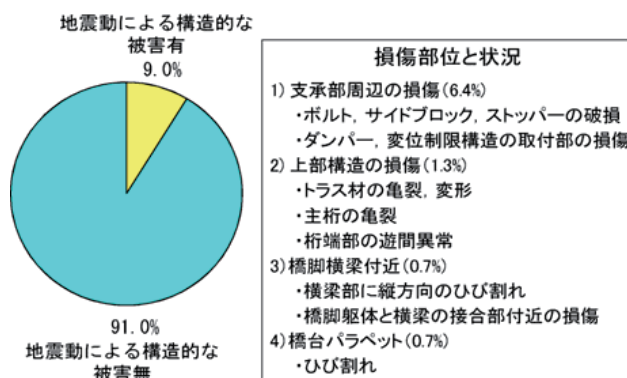


図- 2.4.5.6 耐震補強が実施された橋の被害分析結果

被害状況を整理・分析するとともに、未補強の橋との被害比較から耐震補強効果について明らかにした。

(14) 既設 RC 床版の更新技術に関する研究 (図- 2.4.5.7)

古い年代の道路橋の鉄筋コンクリート (RC) 床版は、輪荷重の走行繰返しによって、疲労損傷が生じ、抜け落ちに至ることがある。本研究では、RC 床版の更新における、従来から用いられている部分打換え工法の効果的な適用方法を提案する。その際、コンクリートの打継目が設けられることから、厳しい輪荷重走行の下での打継目の疲労耐久性を明確にする必要がある。これまでに、打継目を有する RC 床版供試体 3 体を用いて、輪荷重走行試験を実施しており、打継目の挙動や疲労耐久性への影響について検討を進めている。

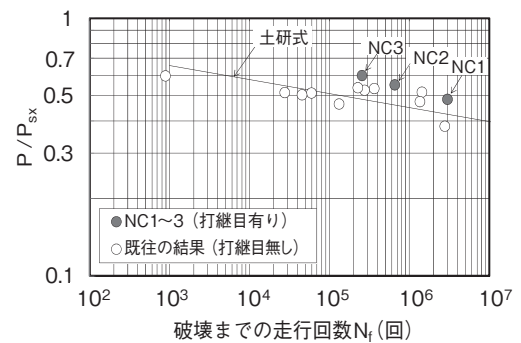


図- 2.4.5.7 RC 床版の輪荷重走行試験 (上) と、打継目が抜け落ちまでの疲労寿命に及ぼす影響 (下)

(15) 非破壊検査技術の道路橋への適用性に関する調査 (写真- 2.4.5.10)

道路橋の点検は目視主体で行われているが、目視だけでは診断に必要な情報が得られない場合や、必ずしも効率的・合理的でない場合があり、ニーズを踏まえた信頼性の高い非破壊検査技術が求められている。本研究では、主に鋼部材の腐食減肉に伴う残存耐力の低下事例を対象に、減肉量の非破壊調査法の検討を行っている。具体的には、a) 錆層上からの減肉量や b) コンクリート埋込部の不可視部の減肉量の計測を検討対象としている。これまでに埋込部の減肉量調査に関して、模擬欠損試験片、腐食試験片での数値シミュレーション解析、基礎試験による適用性評価を行い、SH 板波の性質を利用した、減肉部の厚さを定量的に評価できる探傷方法を提案している。今後、実用化に向けた探傷装置の開発、実験的検証を行っていく予定である。

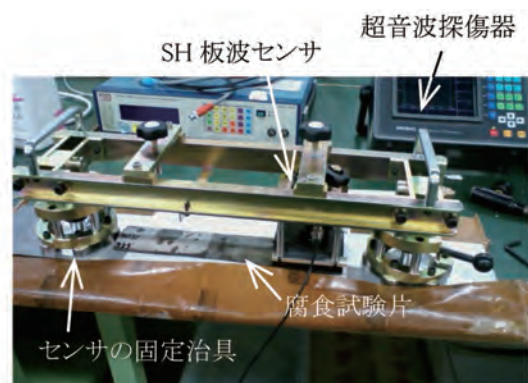


写真- 2.4.5.10 鋼材の腐食減肉量の計測への超音波探傷法の適用性検証

(16) 構造合理化に対応した鋼橋の設計法に関する研究 (写真- 2.4.5.11 ~ 12)

鋼橋の構造合理化を目的として、道路橋示方書における鋼部材の各種強度照査規定の充実や部分係数設計法の導入に向けた検討を行っている。これまでに、鋼アーチ、トラス橋の圧縮部材として使用頻度の高い溶接箱断面部材の座屈強度に関して、実構造断面諸元の整理、強度の支配因子である残留応力データの収集、弾塑性 FEM、既往の実験データの比較分析等を行い、設計に用いる基準耐力曲線を提案している。また、高力ボルト摩擦接合継手に関して、厚板・多列とした場合のすべり耐力試験及び FEM 解析を行い、



写真- 2.4.5.11 鋼桁への多列ボルトの適用例



図- 2.4.5.12 12 列の高力ボルト継手のすべり耐力試験

多列化がすべり耐力に与える影響を明らかにしている。これらの成果は、平成 24 年に改定された道路橋示方書に反映されたところである。

#### (17) 既設鋼道路橋における疲労損傷の調査・診断・対策技術に関する研究 (図- 2.4.5.8)

近年、既設鋼道路橋において重大な疲労損傷事例が顕在化しつつある。鋼道路橋の疲労損傷については、交通条件、構造条件、溶接品質等により、損傷の発生傾向、原因及び対策方法が異なる場合が多く、これらの疲労損傷に対する調査・診断・対策技術の体系化を図るための研究を進めている。これまでに、主に鋼床版を対象に損傷実態の整理分析を行うとともに、鋼床版デッキプレートと閉断面リブの溶接部におけるビード貫通き裂に着目し、SFRC 舗装を施工した状況で、400mm 前後のき裂を残存させた場合の耐久性について、実験・解析による検討を行っている。

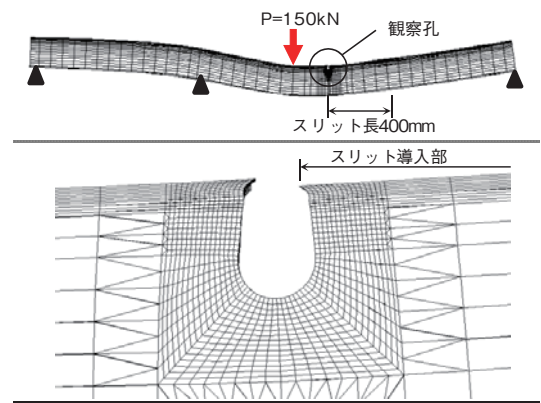


図- 2.4.5.8 FEM 解析による挙動解明 (き裂先端に施工した観察孔の応力解析)

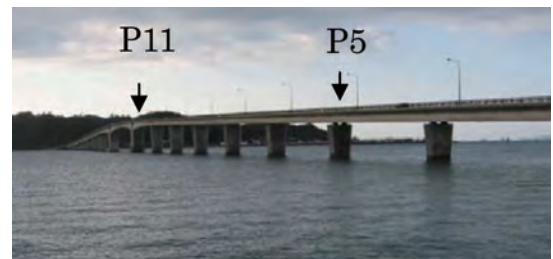


写真- 2.4.5.13 調査対象橋脚

#### (18) 塩害橋の予防保全に向けた診断手法の高度化に関する研究 (写真- 2.4.5.13、図- 2.4.5.9)

塩害橋梁の予防保全に向けた的確な診断を行うためには、現在の損傷状況の把握に加えて、将来の劣化の予測が重要である。本研究課題では、塩害環境の厳しい場所に建設されている橋梁に着目した調査を通じて、このような劣化予測の高度化に向けた取組を行っている。これまでに、厳しい塩害環境下にある海中橋脚の塩害劣化予測式の提案に向けて、沖縄において環境 (橋梁位置や、水深) の異なるいくつかの橋脚で塩分調査を実施した。得られたデータを分析し、劣化予測に必要なパラメータ (表面塩化物イオン濃度、拡散係数) について整理した。

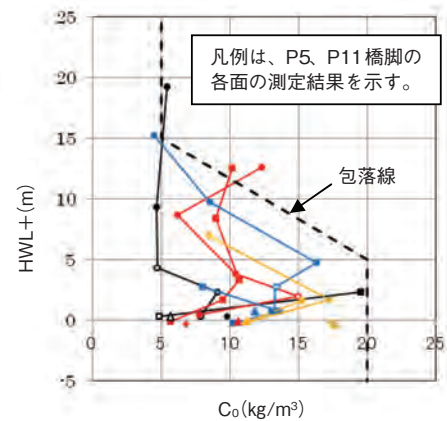


図- 2.4.5.9 海面からの高さ と 表面塩化物イオン濃度  $C_o$  の関係

## 2.4.6 今後の展望

持続可能社会の実現に向け、道路橋をはじめとした土木構造物の維持管理技術、地震等災害対策技術、設計施工技術の高度化は、構造物の長寿命化と安全確保に不可欠な喫緊の課題である。CAESAR では、各種の技術開発により積極的に取り組むとともに、実構造物を管理する現場の技術支援や技術者の育成支援に努め、産・学・官連携や国際交流をさらに推進することにより、安全で活力ある社会の実現に貢献して参りたい。

