

SIPインフラ連携委員会報告

社会インフラの維持管理・更新・ マネジメントに関わる 新技術の開発と活用拡大を考える

— 取組みと提言 —



SIPインフラ連携委員会報告

社会インフラの維持管理・更新・ マネジメントに関わる 新技術の開発と活用拡大を考える － 取組みと提言 －



SIP Infrastructure Coordination Committee Report
on

New Technology R & D on Infrastructure Maintenance,
Renovation and Management and
The Promotion for Societal Implementation

- Efforts and Proposals -

Organization for Promotion of Civil Engineering Technology

Japan Society of Civil Engineers

序

2014年から内閣府総合科学技術・イノベーション会議の主導で始まった、SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術（以後 SIP インフラと略す）は、当初 60 チームが参加し、大変活発な研究開発活動を行ってきた。内閣府のプロジェクトということで普段はインフラとはあまり関係が深くない企業・国立研究所・大学が参加してくれたことは大変うれしいことであった。また出身分野も土木系は半分にとどまり電気、通信、情報、ロボティクス、センサー、材料科学、さらに社会システム、経済、など他分野の方に多く参加いただいた。

SIP では社会実装を重視しており、開発された技術の全国展開が大きく要望された。SIP インフラで言えば国土交通省や高速道路会社などの機関以外にインフラの 7 割を抱える地方自治体が大きなターゲットとなる。そこへの展開ということで 2016 年度には地域実装支援チームを公募・採択し、現在は地域の大学等を中心とした 12 チームが活動を行っている。開発された技術の改善や普及・広報をこの地域実装チームを通じて極めて効率よく行えた。

今回の SIP インフラはわが国のインフラの維持管理に関する技術開発の歴史の中で、投入された 150 億円を超える金額もさることながら、省庁・産官学などのさまざまな形での連携の中で行われたという意味で、画期的なプロジェクトであったと私は思っている。5 年のプロジェクトもあつという間に時間が経過し、現在それがほぼ終了しつつある。せっかくさまざまな分野の方とのインフラ技術の交流の場ができたわけで、その成果を継続的に世話し、見守る場所が必要となると考えた。国立研究所も当然その候補になりうるが、地方自治体までも含めた展開となると、幅広く地域にも会員を持ち、支部を持つ土木学会が適当と判断した。そのために 2017 年度から、SIP インフラ連携委員会（田崎 忠行 委員長）を設置し、その受け皿として新技術の活用拡大に関わる活動を重ねてきた。2019 年には土木学会もインフラメンテナンス委員会（久田 真 委員長）の活動がスタートすると聞いている。また、SIP インフラ連携委員会も後継委員会の立ち上げが予定されており、これまでの活動が継承されることになっている。両委員会の協調のもとに、わが国のインフラメンテナンスの技術のみならずマネジメントも含めた健全な発展に寄与してくれると期待している。

最後に、本委員会委員長を受けていただいた田崎忠行氏、学会として本委員会を受けていただいた塚田幸広専務理事、事務方を一手に引き受けていただいた信田佳延 JST 技術主幹に感謝いたします。また、委員会の発足に関し、国土交通省ほか関係機関との様々な調整に際しては和田祐二 JST フェローに大変、お世話になりました。委員、幹事の方々にも大変お世話になりました。この場を借りて心よりお礼を申し上げます。

内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)
「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」
プログラムディレクター 藤野 陽三

土木学会 SIP インフラ連携委員会 委員構成

- アドバイザー : 藤野 陽三 (横浜国立大学、SIP インフラ PD)
魚本 健人 (東京大学名誉教授)
阪田 憲次 (岡山大学名誉教授)
- 委員長 : 田崎 忠行 ((一社) 日本建設機械施工協会、SIP インフラ サブ PD)
- 幹事 : ○ 阿部 雅人 ((国研) 科学技術振興機構)
岩城 一郎 (日本大学)
岩波 光保 (東京工業大学)
岡田 有策 (慶應義塾大学、SIP インフラ サブ PD)
新田 恭士 ((国研) 土木研究所)
○ 信田 佳延 ((国研) 科学技術振興機構)
若原 敏裕 (清水建設 (株)、SIP インフラ サブ PD)
○ 和田 祐二 ((国研) 科学技術振興機構) (○印 ; 代表幹事)
- 委員 : 小澤 一雅 (東京大学)
黒田 保 (鳥取大学)
建山 和由 (立命館大学)
手塚 寛之 (国土交通省)
土橋 浩 (首都高速道路 (株))
中村 光 (名古屋大学)
長井 宏平 (東京大学)
野澤伸一郎 (東日本旅客鉄道 (株))
濱田 秀則 (九州大学)
福森 浩史 (清水建設 (株))
前川 宏一 (東京大学)
松田 浩 (長崎大学)
水口 和之 (東日本高速道路 (株))
宮武 晃司 (内閣府)
矢吹 信喜 (大阪大学)
横田 弘 (北海道大学)
六郷 恵哲 (岐阜大学)
- オブザーバー : 渡邊 基史 (内閣府)
千田 篤史 ((国研) 科学技術振興機構)
生井 達朗 ((国研) 新エネルギー・産業技術総合開発機構)

(注) PD : プログラムディレクター

委員会報告検討部会 委員構成

- 主 査 : 田崎 忠行 (SIP インフラ連携委員会 委員長、
(一社) 日本建設機械施工協会、SIP インフラ サブ PD)
- 副 主 査 : 岩波 光保 (東京工業大学)
和田 祐二 ((国研) 科学技術振興機構、SIP インフラ幹事)
- 委 員 : 岡田 有策 (慶應義塾大学、SIP インフラサブ PD)
黒田 保 (鳥取大学)
下里 哲弘 (琉球大学)
手塚 寛之 (国土交通省)
信田 佳延 ((国研) 科学技術振興機構、SIP インフラ幹事)
松田 浩 (長崎大学)
横田 弘 (北海道大学)
六郷 恵哲 (岐阜大学)
若原 敏裕 (清水建設 (株)、SIP インフラサブ PD)

(注) PD : プログラムディレクター

目次

序

1. はじめに.....	1
1.1 SIP インフラ – 基本的な構想と出口戦略	1
1.2 SIP インフラ連携委員会の活動概要	3
1.3 本報告書の趣旨と構成	5
2. SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術の成果.....	6
2.1 活動の概要	6
2.2 開発技術の概要	9
3. 国土交通省等における新技術活用の取組み.....	17
3.1 技術開発の流れと国土交通省の取組み概要	17
3.2 新技術活用システムについて	17
3.3 公共事業における新技術の導入促進について	18
3.4 革新的社会資本整備研究開発推進事業について	20
3.5 技術研究組合の活用について	21
3.6 官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM) について	21
4. 地域における新技術実装支援の取組み.....	22
4.1 新技術の地域実装	22
4.2 地域で求められる技術	26
4.3 新技術実装等による地域支援の取組み例	32
4.4 地域における連携と人材育成	38
4.5 新技術地域実装に望まれる取組み	44
5. シーズとニーズのマッチング.....	46
5.1 発注者の新技術導入に関する現状分析	46
5.2 技術のシーズとニーズ	49
5.3 シーズに基づく新技術の導入事例にみるシーズとニーズのマッチング	51
5.4 新技術の利用拡大に向けて	54
6. 責任とリスク管理.....	56
6.1 トラブル・事故の防止に対する基本的考え方	56
6.2 新技術導入におけるリスクマネジメント	61
6.3 サービス価値、企業価値を高める安全管理活動へ – 成長戦略の根幹としてのリスクマネジメント –	64
7. シーズ側からみた新技術開発.....	65
7.1 多様な技術分野が参加した SIP	65
7.2 大量生産から多品種少量生産の時代へ	65
7.3 製造業に見る新技術開発	66
7.4 建設事業における新技術開発	67
7.5 供給者サイドにたった新技術開発の必要性	68
7.6 供給者サイドにたった技術開発の効果	69
7.7 供給者サイドの技術開発に必要なこと	70
7.8 拠点整備の必要性	72
8. むすび.....	73

1. はじめに

戦略的イノベーション創造プログラム^{1), 2)} (Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program, SIP) は、総合科学技術・イノベーション会議が司令塔機能を発揮し、科学技術イノベーションを実現するものとして創設された。基礎研究から実用化・事業化までを見据え、府省・分野横断型プログラムとして推進されてきているもので、最大の目的は、社会課題解決に向け、開発された科学技術を実用化・事業化し、社会での技術実装を行うことにある。

「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」(以下、「SIP インフラ」という) は、SIP 創設にともなって開始された 11 課題の一つであり、最先端のセンサー・モニタリング技術、ロボット技術、通信技術、材料技術を活用し、システム化されたマネジメントシステムを構築することで、社会インフラの安全性を確保するとともに、維持管理・メンテナンスに関わる負担を低減することを目標にしている。

SIP インフラは平成 30 年度が最終年度であり、これまでに多くの新しい技術が実用に供せられる水準まで開発が終了し、また、既に実装されている技術がある³⁾。一方で、技術の利用者のニーズ、維持管理・メンテナンスに関わる各種技術基準類との整合、地域に応じた自然条件・使用条件、技術を使用する技術者の経験・技量など、新技術の活用にあたって考慮しなければならない課題も存在する。

このような課題に対応するため、土木学会内に「SIP インフラ連携委員会」が設けられ、技術開発成果の普及のための報告会・セミナー等の開催のみならず、新技術の社会への展開に向けた課題の抽出と対応の検討など、SIP インフラの成果の社会への還元を最大化するための活動が行われてきた。

本報告書は、上記経緯に基づき、SIP インフラ連携委員会の報告として、社会インフラの維持管理・更新・マネジメントに関わる新技術の開発の重要性と活用拡大に関わる取組みと提言をとりまとめたものである。

1.1 SIP インフラ — 基本的な構想と出口戦略^{1), 2)}

社会インフラの高齢化に伴う老朽化が進む我が国では、2012 年の笹子トンネル事故のような重大な事故リスクの顕在化や、維持修繕費の増大が社会問題化している。厳しい財政状況が続き、熟練技術者の減少が進む中、予防保全による事故の防止とインフラのライフサイクルコストの最小化を実現するためには、新技術を活用したインフラマネジメントシステムの確立が必須である。さらに、センサー・モニタリング技術、構造材料技術に加え、IoT、AI、ビッグデータ解析に代表される最新の通信・情報処理技術は、余寿命予測技術、インフラに関わるビッグデータに対する AI 技術の応用などをベースに、予防保全の精度を格段に高めることを可能にし、国内におけるメンテナンス技術のイノベーションや新たなビジネスチャンスの創出のみならず、アジア諸国をはじめとした海外へのビジネス展開の可能性にもつながるものである。

SIP インフラにおける研究開発では、維持管理に関わる現場ニーズと技術開発のシーズ側からの確に掘り起こし、現場で使い続けたいくなる



世界に先駆けた「超スマート社会」の実現 (Society 5.0)

図 1.1.1 Society5.0 とインフラ維持管理・マネジメント

技術へと昇華させ、メンテナンスサイクルの正確性、効率性を高める成果が得られている。

さらに、SIP インフラでは、インフラ維持管理における問題点を地域特性とつなげる形で地域大学を中心としたチームがまとめ、地域特性を考慮したアセットマネジメントシステムを構築してきた。加えて、新たな技術認証の仕組みの実践、指針作成、インフラデータベースの構築支援（地域特性を踏まえた上での全国展開）、全国における新技術講習・紹介、国際協力機構（JICA）との提携を礎とした海外展開を行い、SIP インフラで開発された技術を社会実装させるだけでなく、地域社会に定着させるための支援も行われてきている。

インフラ維持管理は、状況、対象、技術等が多岐にわたるため、アセットマネジメントの段階においては、個別の開発技術を最適に組み合わせ、運用することが重要と考えられる。一方、IoT等の進展は著しく、モニタリングやロボット、走行車両によるセンシング等の多岐にわたる技術をネットワーク化して包含するプラットフォームの構築が急速に現実味を帯びてきており、インフラ維持管理を抜本的に革新する大きな力となる可能性が現実のものとなってきている。SIP インフラでは、個別の新たな開発技術の連携を推進し、アセットマネジメントとIoTプラットフォームとの両輪によって技術の統合を進めるスキームへの発展を目指した活動を図ってきている。

出口戦略の拠点としては、中心となる大学、地域拠点大学、国立研究所、農林水産省、国土交通省および自治体等との連携を積極的に行い、これまでにないインフラ関連研究のフレームワークを構築した。ビジネス展開パターンとしては、「個別テーマ独自の技術展開」、「地域の大学を通じた自治体へのビジネス展開」、「国の研究機関を通じた国の行政機関へ向けたビジネス展開」、「持続的な業界支援組織体制の確立」、「技術輸出、国際展開」等が想定される。中でも、「地域の特性にあわせたオーダーメイド型技術実装支援」に重点を置き、拠点機関による技術支援体制、自治体における各種技術の定着および持続支援等の検討を行ってきており、今後も、地域活性化に資する

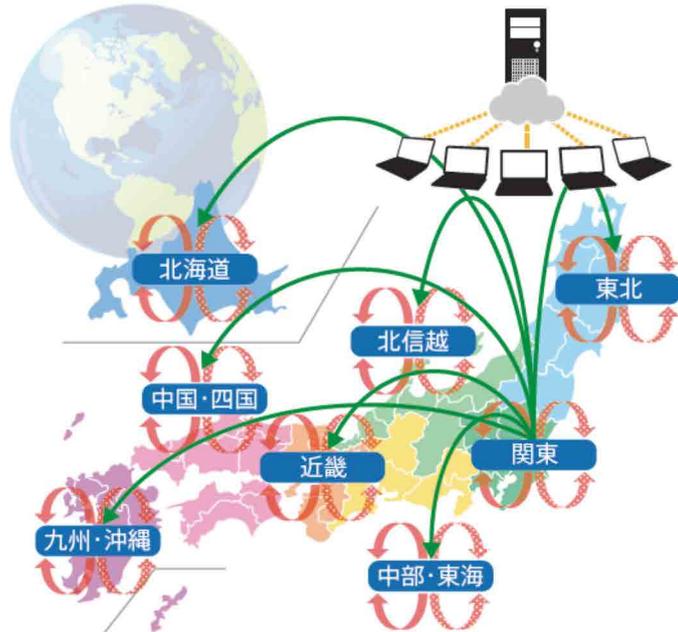
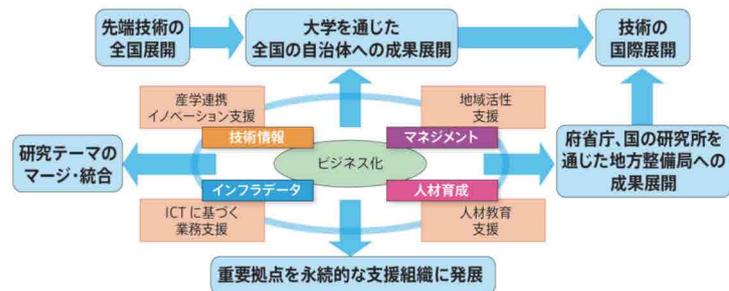
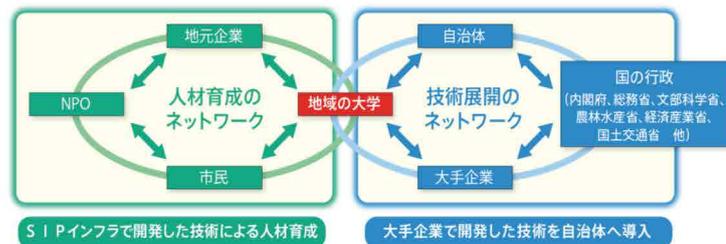


図 1.1.2 地域特性を踏まえた技術の全国展開



SIP インフラ維持管理・更新・マネジメントにおける出口戦略の基本



地域におけるインフラ維持管理・更新マネジメントの展開

図 1.1.3 出口戦略とマネジメントの展開

ビジネスモデルをビジネス環境の整備と併せて具体化していくことが重要と考えている。

1.2 SIP インフラ連携委員会の活動概要

研究開発成果の社会実装、普及に向けた広範な活動を行っていくため、SIP インフラの研究開発活動が軌道に乗り、成果の見通しを得る段階となった平成 28 年 7 月に、土木学会内に「SIP インフラ連携委員会」の設置が承認された。これは、土木学会は研究者だけでなく、インフラ施設管理者他、様々なインフラ関係者が会員として参加しており、この活動を行うのに最も相応しい場と考えられたことによる。

また、巻頭に委員会構成を示したが、インフラの維持管理・更新・マネジメントには多岐にわたる技術やインフラ施設が関係することに鑑み、構造工学、鋼構造・コンクリート、建設ロボット、土木情報学、建設マネジメント等、関係する土木学会調査研究委員会、インフラ事業・管理機関など、広範囲のメンバーで委員会活動を行ってきた。

これまでの活動概要は以下に示すとおりである。

(1) 委員会の活動目的

- ・ SIP 活動成果の周知・普及と実装促進
- ・ SIP 終了後もにらんだ関連技術・体制の将来検討

(2) 主たる活動実績

① SIP 開発技術の普及・拡大

情報・通信、ロボット、センサー等の広範な SIP 技術に関わる報告会、新技術・アセットマネジメント技術の地域実装・国際展開に関する報告会等を開催するとともに、SIP インフラの活動実績について報告書を取りまとめた。主要な実績は以下のとおりである。

- ・ SIP インフラ技術報告会（SIP インフラと共催）
 - 第 10 回 SIP インフラ社会実装促進会議・土木学会 SIP インフラ技術報告会（2018 年 7 月）
 - 第 11 回 SIP インフラ社会実装促進会議（最終報告会）「5 年間に渡る SIP インフラの活動から見えてきたインフラ維持管理・更新・マネジメントの未来 — 子供たちの未来を支える社会インフラのために —」（2019 年 1 月）
- ・ 土木学会全国大会 研究討論会：
 - 2018 年度；「維持管理・更新・マネジメントに関わる新技術の開発と活用拡大を考える」
 - 2017 年度；「Society5.0（超スマート社会）におけるインフラの新たな維持管理・更新・マネジメント — SIP インフラにおける AI を用いた技術革新とその可能性 —」
- ・ SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術セミナー「インフラの点検・診断・メンテナンスの今後を考える」（SIP インフラと共催，2018 年 12 月）
- ・ 土木学会誌特集号刊行「分野横断インフラ維持管理技術の開発とその社会実装 — 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP） —」⁴⁾（2017 年 10 月）
- ・ SIP インフラ地域実装活動報告書（新技術の地域実装促進小委員会，2019 年 3 月予定）
- ・ インフラ維持管理における AI 技術適用のための調査研究報告書（AI 適用検討部会，2019 年 3 月予定）

② 技術基準・技術標準の作成

SIP 新技術の指針化・ガイドライン化及び JSCE 示方書・技術基準などへ成果を反映するための検討を行った。特に、ロボット技術の橋梁点検への利用についての検討は、2018 年度に委員会内部に設置した新技術の地域実装促進小委員会にて、橋梁点検における新技術適用ガイドライン（案）作成に向けた活動として引き継ぐ予定とし

ている。

③ 国際展開連携

国際展開に関連し、土木学会誌 SIP インフラ特集記事の英文化支援を行い、土木学会コンクリート委員会国際関連小委員会発行のメール配信 Newsletter⁵⁾への英文記事を提供した(2018年1月・4月)。

また、東南アジア諸国を主対象とした技術支援、人材交流等に関する事業を支援することを目的に、JICAとの連携体制を構築した。この連携活動は、2018年に設置した展開検討小委員会の活動として継続することとしている。

④ インフラ維持管理に関わる他の委員会活動支援・連携

インフラメンテナンス委員会設置に向け、社会インフラメンテナンス委員会体制検討WGに参画するとともに、インフラメンテナンス委員会の正式な設置に伴い、幹事・委員として参加し、活動中である。

⑤ 外部機関・組織との連携支援

前述した SIP インフラとの共催による各種の報告会・セミナー開催にあたっては、国交省が主導するインフラメンテナンス国民会議と共催とするなど、同会議との連携を図った。また、JICAとの連携については上記③に記載のとおりである。

⑥ SIP 終了後もにらんだ関連技術の実装に向けた将来検討

上記①で記した 2018 年度土木学会全国大会研究討論会における議論を踏まえ、SIP インフラ成果を含むインフラ維持管理に関わる新技術の適用拡大、マネジメントの高度化に向けた検討を行い、SIP インフラ連携委員会報告書として、本報告書「社会インフラの維持管理・更新・マネジメントに関わる新技術の開発と活用拡大を考えるー 取組みと提言ー」を刊行することとした。

⑦ その他

土木技術者の継続教育に資するため、報告会・セミナー等の開催にあたっては土木学会 CPD プログラムの認証取得に留意した。2019年2月現在における CPD 認証プログラムは上記①における報告会を中心に5件であり、単位合計 26.5、受講証明書発行枚数 555 枚となり、総計で約 3200 (単位・人) の教育機会に供した。この数値は3時間の技術情報提供機会を 1000 人を超える技術者に供したことに相当する。

(3) 部会・小委員会の設置：

本委員会は当初、SIP インフラの活動期間終了までとすることで活動を開始したが、活動内容の重要性、継続の必要性に鑑み、委員会体制の整備・強化を図ることとし、2018年度に以下に示す2つの部会、2つの小委員会を設置した。

① 委員会報告書検討部会；

全国大会(北大)での研究討論会開催結果を踏まえた委員会報告書「社会インフラの維持管理・更新・マネジメントに関わる新技術の開発と活用拡大を考えるー 取組みと提言ー」の作成と刊行

② AI 適用検討部会；

SIP インフラにおける「インフラ構造物の維持管理に対する AI 技術適用のための調査研究」結果を基本に、調査研究成果の活用を図るための報告書作成と刊行

その成果の刊行により、学会からの刊行物により成果の活用を目指す。

③ 新技術の地域実装促進小委員会；

SIP インフラ地域実装活動報告者作成、「橋梁点検における新技術適用指針」作成に向けた検討及び2019年4月以降の体制・活動内容検討

④ 国際展開検討小委員会；

JICA 事業支援のための JSCE—JICA 覚書（案）作成及び 2019 年 4 月以降の体制・活動内容検討

なお、活動期間については、部会は 2018 年度までの活動、小委員会は 2019 年度以降も活動継続を現時点での基本的な方針としている。

これらの活動により、2019 年 3 月でのプログラム終了以降も、「SIP インフラ」で生まれた“インフラ維持管理に関する新たな様々な動き”が次世代につながることを期待している。

1.3 本報告書の趣旨と構成

本報告書は SIP インフラにおける研究技術開発成果の適用に関する取組み及びそれらの取組みを通じて得られた知見に基づき、SIP インフラ成果のみならず今後の社会インフラの維持管理・更新・マネジメントに関わる新技術の適用促進への参考に供するべく、多面的な観点からの方策をとりまとめたものである。主たる内容・構成は以下に示すとおりである。

- ・ SIP インフラの活動概要；
 - 研究開発事例，社会実装促進への取組みなど
- ・ 国土交通省における新技術活用の取組み；
 - 技術認証，現場検証，インフラメンテナンス国民会議活動など
- ・ 地方における社会実装の取組み；
 - 地方固有の条件に対応する技術開発事例，橋梁点検等への実装事例，人材育成など
- ・ ニーズとシーズのマッチング
 - 技術シーズ・ニーズとマッチング機会，技術の信頼性，新技術導入への制度改革など
- ・ 責任とリスク管理；
 - 新技術導入におけるトラブル・事故防止・リスクマネジメントとその高度化
- ・ シーズを元にした新技術活用；
 - 新技術開発の必要性・重要性と効果，技術開発において発注者・開発者が必要な事項，拠点整備の必要性など
- ・ 上記を踏まえた新技術適用促進への方策・提言など

参考文献

- 1) 内閣府：戦略的イノベーション創造プログラム（SIP インフラ）概要
<https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>
- 2) 科学技術振興機構（JST）：SIP インフラ <http://www.jst.go.jp/sip/k07.html>
- 3) SIP インフラ：技術総覧，<http://www.jst.go.jp/sip/k07.html>
- 4) 土木学会：「分野横断インフラ維持管理技術の開発とその社会実装 —戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）—」，土木学会誌，2017 年 10 月
- 5) 土木学会コンクリート委員会：Newsletter
<http://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter52/index.html>，2018 年 1 月及び 2018 年 4 月

（執筆者：信田 佳延）

2. SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術の成果

2.1 活動の概要

(1) 研究開発マネジメント

SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術（以下、SIP インフラ）では、表 2.1.1 に示す研究開発項目に対し、公募により 175 テーマから 60 テーマ¹⁾²⁾³⁾を選定した。

表 2.1.1 設定テーマ分類とテーマ数の推移

テーマ分類	公募	採択	早期終了 テーマ	ステージ ゲート通過	最終年度
(1) 点検・モニタリング・診断技術	46	11	5	4	3
国土交通省 直執行	68	23	10	10	9
(2) ロボット技術	26	10		9	9
国土交通省 直執行	6	3		2	2
(3) 構造材料・劣化機構・補修・補強技術	11	4		2	2
(4) 情報・通信技術	11	5		4	4
(5) アセットマネジメント技術	7	4		4	4
	175	60	15	35	33

図 2.1.1 は SIP インフラを開始する段階で想定した開発技術の 3 つの階層（技術の展開レベル）を示したものである。

- フィールドⅠ：地方自治体のインハウスエンジニアが地域の社会インフラを維持管理していく上で使用する技術を想定しており、インフラ維持管理を医療に例えるならば、近隣の医院やクリニックなどで用いられる技術に相当する。
- フィールドⅡ：地方整備局、あるいは、高速道路会社や鉄道事業者など、専門エンジニアが行う維持管理業務をサポートする技術を想定しており、重要インフラの状態監視などに適用できる技術も準備している。医療に例えるなら、地域の拠点病院などで運用される技術に相当する。

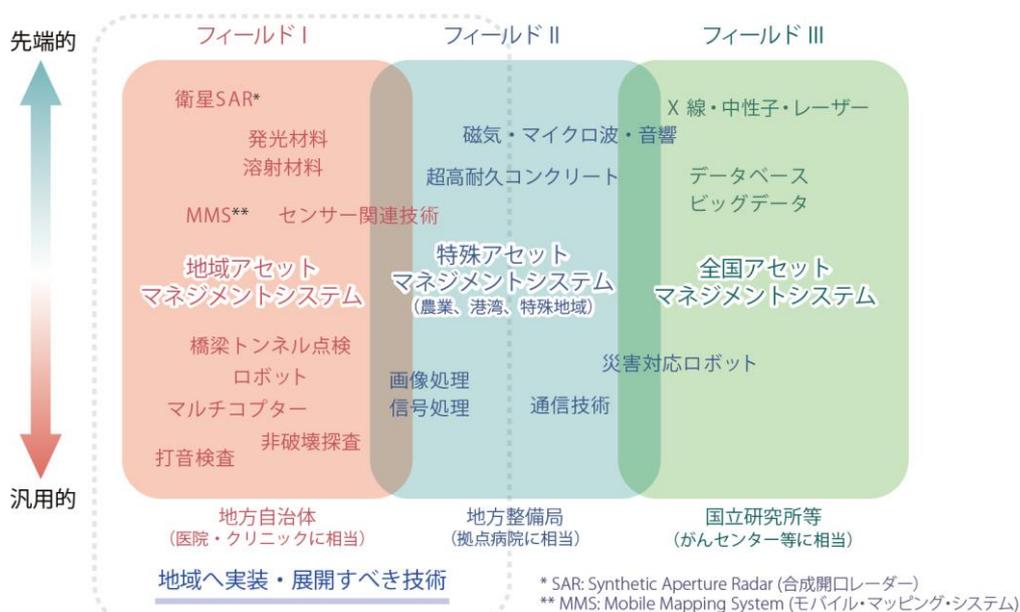


図 2.1.1 開発技術の適用範囲（汎用的-先端的、地方自治体-地方整備局-国立研究所の 2 軸による表現）

- フィールドⅢ：国立研究所や大学などが保有すべき技術を想定しており，特殊インフラ点検，大規模改修のための技術開発，災害時の対応，さらには，全国のインフラ維持管理データの集積し分析する目的から，ビッグデータ技術を駆使したデータベースなど，国家レベルで開発・運用・維持していくべき技術が配置されている．医療に例えるなら，がんセンターなどに代表される国立研究所などで運用される高度な技術に相当する．

なお，SIP インフラで採択した技術には，最近開発されたシーズに基づく先端的技术と，従来技術に人工知能 (AI) などの情報技術を加味し汎用技術を進化させた技術とに分類できる．先端的なものと汎用的なものを区別できるよう，図 2.1.1 の縦軸には，それらの要素も加えている．

SIP インフラのスタートから 2 年経過した 2016 年度下期に，研究期間 3 年の早期終了テーマを除く 45 テーマに対しステージゲート審査を実施した．ステージゲート審査は，「開発技術の評価」と「出口戦略の評価」の 2 つ軸で実施し，計画通りの開発が見込めないテーマ，研究開発スタート後に見つかった課題の解決が難しいテーマ，根本的な出口戦略の見通しが立たず，プログラム終了までに社会実装が難しいと判断されたテーマなど 10 テーマを中止した (図 2.1.2 参照)．

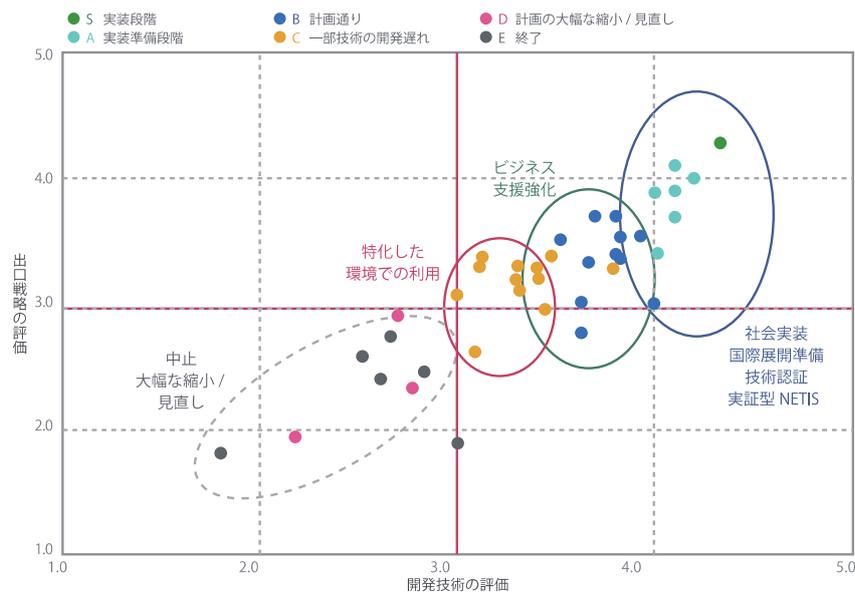


図 2.1.2 開発技術の評価および出口戦略の評価 (ステージゲート審査結果，国土交通省直執行の一部を除く)

その後も，開発技術の進捗度，出口戦略，社会実装に向けた取り組みなど，サイトビジット，ヒアリング，実証試験を通じ，5 年間で「使える技術」から「使いたくなる技術」として発展できる可能性の高い技術の絞り込みを行った．その結果，最終年度まで継続したテーマ数は 33 であり，20%程度のテーマを中断したことになる．このような開発技術の評価と出口戦略の内容審査・実現性評価にさらされることにより，開発継続が必要と判断されたテーマの技術は洗練されていった³⁾．

また，2016 年度下期より，早期終了テーマも含め，ステージゲート審査を通過した開発技術の地域実装を目的に，北海道から沖縄まで，全国 11 の地域の大学を中心とした地域実装支援チーム，さらには，地域実装の戦略を考え開発技術のビジネスモデル構築をサポートするビジネス支援チームを採択した．これらのチームの活動は本報告「4. 地域における新技術実装支援の取組み」，あるいは，参考文献 5) に詳しい．

(2) 開発技術の出口戦略

SIP インフラでは、インフラの資産マネジメントをベースに開発技術の出口戦略を考えている。資産マネジメントの基本は、図 2.1.3 に示すように、マネジメントサイクルとメンテナンスサイクルの両輪が互いに連携して廻る形を取る。

表 2.1.1 に示した開発技術の内、(1)点検・モニタリング・診断技術、(2)ロボット技術、(3)構造材料・劣化機構・補修・

補強技術の3つは、メンテナンスサイクルを効率化し高度化するための技術である。また、インフラデータベースや余寿命予測技術に代表される(4)情報・通信技術や(5)資産マネジメント技術は、メンテナンスサイクルとマネジメントサイクルを繋ぎ、マネジメントサイクルを効果的に廻すための意思決定支援ツールと言える。各々の開発技術項目に対する基本的な出口戦略を表 2.1.2 にまとめる。

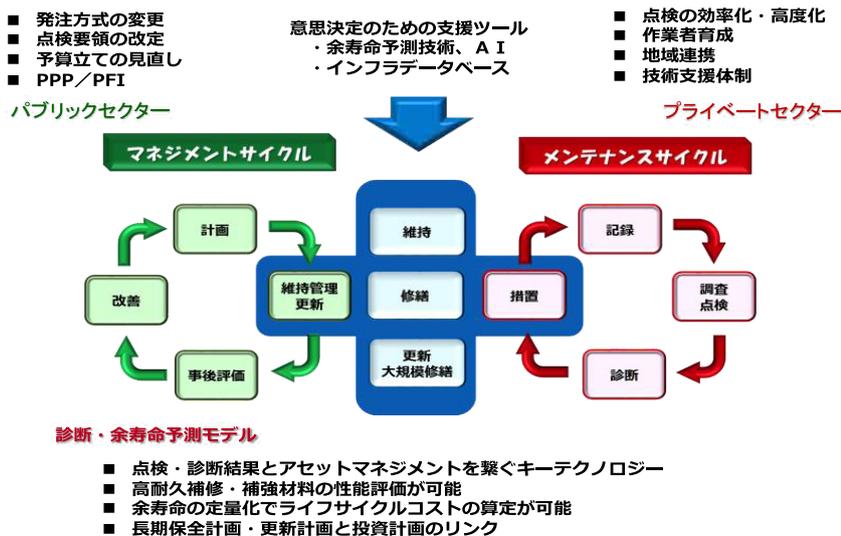


図 2.1.3 インフラの資産マネジメントサイクル

表 2.1.2 開発技術に対する基本的な出口戦略

(1) 点検・モニタリング・診断技術	技術認証 (テーマ設定型 NETIS ^{*)} への登録)
(2) ロボット技術	技術認証 (テーマ設定型 NETIS ^{*)} への登録) ロボット技術活用による橋梁点検指針 (案)
(3) 構造材料・劣化機構・補修・補強技術	地域実装支援チームによる社会実装など 指針作成 (土木学会)
(4) 情報・通信技術	地域実装支援チームによる社会実装など 3次元地図情報をベースとしたデータプラットフォーム
(5) 資産マネジメント技術	地域実装支援チームによる社会実装など

^{*)}新技術情報提供システム (New Technology Information System : NETIS)

表 2.1.2 において、テーマ設定型 NETIS については、国土交通省が提案している新技術を活用するための新しい取り組みであり、本報告「3. 国土交通省等における新技術活用の取組み」、あるいは、参考文献 4) に詳しい。また、ロボット技術に関しては、橋梁の立地条件や構造的な制約条件から近接目視が難しい橋梁に対して、ロボット技術を活用する試みが行われており、地域実装支援チームの内、岐阜大学チームと鳥取大学チームが、それぞれ各務原大橋と江島大橋に対して実施したロボット技術による点検事例あるいは実証試験をベースに、今後、ロボット技術による橋梁点検を普及させるための指針 (案) が作成されている。これらの活動に加え、地域実装支援チームによる開発技術の社会実装活動に関しては、前述したように本報告「4. 地域における新技術実装支援の取組み」、あるいは、参考文献 5) に詳しく述べられている。

2.2 開発技術の概要

各々の開発技術について活動の概要を以下の(1)～(5)に記述する。全ての開発技術を詳細に紹介することは紙面の制約から難しい。ここでは、SIP インフラで開発した(1)～(5)の技術の概要と、今後のインフラ維持管理の実務に対し、どのような変化を与えるかについて紹介するとともに、技術の普及・展開に不可欠な現状の課題に触れる。なお、個々の開発技術に関する詳細情報は、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）のホームページ¹⁾、あるいは、参考文献2)3)を参照していただきたい。

(1) 点検・モニタリング・診断技術の概要⁶⁾

点検・モニタリング・診断に関わる技術は、点検技術者による近接目視を代替・支援しうる技術として点検支援ツール、スクリーニング、常設モニタリング、詳細点検技術の4つに分類される。

① 点検支援ツール

技術者の点検・診断を支援するツールの対象は、現場に持ち込むことが容易であり、かつ、点検データを位置情報と共に記録可能であり、現場での高精度なスケッチマシンとして機能する技術とする。光学系の技術としては、高感度カメラによる画像から最新の画像処理技術や、AI を駆使しコンクリート表面のひび割れを高い精度で抽出する技術がある。高感度磁気センサー（ハンディで小型化された超伝導量子干渉素子 SQUID や磁気抵抗素子 MR）を用い鋼材の腐食や亀裂を探索する技術では、構造物の表面だけでなく内部や裏面までも検査できる。打音検査に用いるハンマーに音響センサーを付加し打撃音による損傷判定を深層学習機能で支援する AI ハンマーなどもこれに分類される。

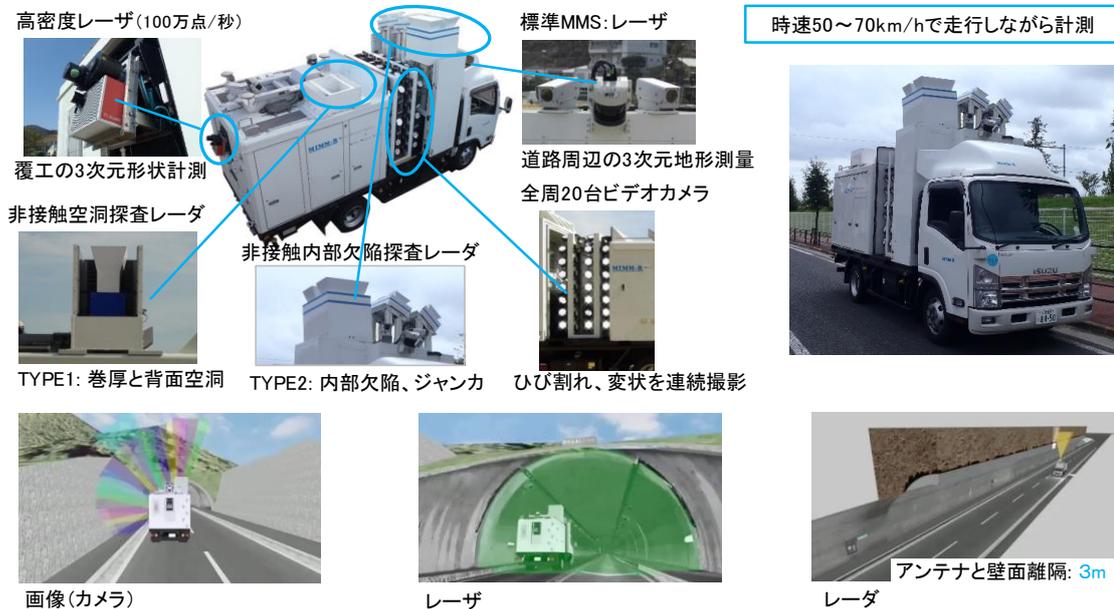


図 2.2.1 高速走行型トンネル点検と統合型診断システム (MIMM-R)

② スクリーニング

橋梁やトンネルなどの点検は検査対象範囲が広く分布するため、近接目視を確実に実施し漏れなく損傷箇所を特定するには、点検技術者に大きな負荷を強いることとなる。そのため、所定の精度で確実に劣化・損傷を発見し位置情報と共に自動的に可視化・マッピング可能な技術が望まれている。専用車両や航空機あるいは人工衛星に搭載した最新のセンサー（高感度カメラ、レーザー、3次元レーダー、合成開口レーダーなど）を用い先端的な信号処

理技術を駆使し高速で移動しながら、劣化や損傷を検知する技術が開発されている。たとえば、図 2.2.1 に示すようなトンネルを対象に時速 50～70km で走行しながらトンネル覆工コンクリートの表面性状、ひび割れ、浮き、剥離などを車載型センサー（高感度カメラ・レーザー・レーダー）により検出する技術、高速道路の RC 床版上部の損傷（土砂化・ひび割れ）を時速 80km で走行しながら特定する技術（3次元 RC 床版探査レーダー）、ALB（航空レーザー測深機）計測により河床地形の 3次元データを計測し橋脚の洗掘状況を高精度で把握する技術、人工衛星に搭載した合成開口レーダー（SAR）の配信画像から、護岸、ダム、河川堤防、橋梁などの鉛直変位の経年変化を計測する技術、などが挙げられる。

③ 常設モニタリング

常設モニタリングは対象とするインフラにネットワーク化された多数のセンサーを設置し、重要度の高いインフラや規模の大きい構造物（長大橋や長大トンネル）、災害時の危険が予見されているような斜面などの状態監視に用いられる。

④ 詳細点検技術

点検やスクリーニングで特定された損傷に対して、供用の安全性が問われる場合、あるいは、大規模な補強や更新の必要性を判断する場合などには、どうしても正確な診断が必要なのであり、そのために詳細なデータが必要となる。このような目的から、高出力 X 線源を用いた高精度透過撮影装置による PC 橋梁内部の鋼線の破断状況の可視化、あるいは、小型中性子源を用いたコンクリート内部の水分・空隙・土砂化などの状況を詳細に可視化する技術が開発されており、いずれも、専用車両に搭載され現場・原位置での実用を目指した開発がなされている。

①～④に記述した技術のカテゴリーは、いずれも、これまでにない先端技術を用いたもので、従来と比べてはるかに高精度で効率化された点検を実施できる。点検支援ツールにより点検精度を向上させ人による点検結果のばらつきを少なくできる。スクリーニングにより点検（近接目視）の範囲を狭め、点検の実務を効率化できる可能性がある。常設モニタリングはセンサーデータに対する適当な閾値を設定することで構造物の状態監視や損傷の早期検知を可能とする。また、詳細点検はこれまで容易に知ることができなかった構造物内部の劣化要因や損傷を特定できる可能性を秘めている。

先端技術でスクリーニングされモニタリングされた点検情報（劣化・損傷）は地理上の位置情報と共にインフラの 3D モデル上にマッピングされ、インフラ情報データベースに登録され蓄積されていく。これらのデータは過去の点検記録として現状の点検記録と比較検討され、劣化や損傷の進行状況を確認することができる。また、損傷マップはデータ同手法などにより構造解析モデルに取り込まれ、詳細な余寿命解析と連携することにより、構造物の性能劣化曲線を定量化し、ひいては、インフラの資産価値やライフサイクルコストの算定根拠を与え、効果的なインフラのアセットマネジメントを実現する。

しかしながら、先端技術による点検では、現行の点検要領・技術基準等で必ずしも必要とされていないデータが得られることが多々あるため、それらの要領・基準での位置づけを検討することも技術の普及・展開と併せて進める必要がある。

(2) ロボット技術の概要⁷⁾

SIP インフラでは、点検技術者が近づくことが困難なインフラの点検や維持管理、ならびに、災害現場の調査・応急復旧を効果的に行うためのロボット技術が開発されている。

① 飛行ロボットによる点検技術

橋梁やトンネルの点検は、人手によって行われており、足場の設置や点検車の利用などが必要となるため、時間とコストがかかる業務となっている。また、人ではアクセスが困難な箇所が存在や、危険が伴う場合もあることな

ども課題となっている。これらの点検を、ロボット技術によって実施するためには、橋梁点検要領やトンネル点検要領に基づき、近接目視ならびに打音検査の代替または支援ができる技術の実現が求められる。SIPインフラでは、飛行ロボットによる維持管理の実現に関する研究開発が、複数の研究機関において並行して進められた。

橋梁の点検を行う飛行ロボットは、点検対象の近傍を安全に飛行する必要があるため、ハードウェア構成や飛行制御、点検動作に、様々な工夫が必要となる。これを解決する案として、球殻ドローンを用いた橋梁の打音検査ならびに近接目視を代替する飛行ロボットシステムの研究開発が行われた（図2.2.2）。この飛行ロボットは、内側のマルチロータ機をカーボンで製作した軽量の球殻で覆い、これをジンバル（回転台）で支える構造を持つ。飛行中は、この球殻が対象物体に接触することで、内側のマルチロータ機本体は、点検対象に接触せず点検を行うことが可能となるばかりか、飛行ロボットに登載された高感度カメラは点検対象と一定の距離を保つことで、取得された画像は一定の解像度を保持することが可能となる。この他にもマルチロータ機に取り付けた打検機を点検対象の壁面に押し当てて打音検査を行う橋梁点検用打音検査飛行ロボットや、車輪を壁面に押しつけて移動する近接目視・打音検査等を用いた飛行ロボット、さらには、二輪型マルチコプタを用いた橋梁点検支援ロボットシステムなどの研究開発が行われてきた。



図 2.2.2 球殻フレーム付き点検ドローン



図 2.2.3 トンネル全断面点検システム

② ガイド上移動式ロボットによる維持管理技術

飛行ロボットによる橋梁やトンネルの点検は、点検車などの大がかりな装置が必要なくなるという利点があるが、強風時には点検作業が不可能な場合が生じる。そこで、通行止めなどの交通規制を伴わずに橋梁やトンネルの点検を可能とする、ガイド上移動式ロボットの研究開発が進められてきた。橋梁点検については、橋梁の下面に4本の吊下げワイヤを設置して点検ロボットを吊下げ、ワイヤの送出し長さを制御することで、床板の近接目視ならびに打音点検を可能とする橋梁点検ロボットシステムの研究開発が行われた。また、フレキシブルガイドフレームにより、トンネル内のジェットファンや看板などの突起物を回避しつつ、近接目視ならびに打音検査を実施可能なトンネル全断面点検・診断システムの研究開発（図2.2.3）も行われている。

③ 災害対応ロボット遠隔操作技術

豪雨による土砂災害時には、土石の除去や運搬を行う遠隔操作型の建設機械の活用が期待される。水中で作業を行うことが可能なバックホーは存在するが、この水中バックホーと連携して土砂の運搬を行う半水中運搬機械は現存しない。そこで、水深1.8mまで走行可能であり、積載重量が10tの遠隔操作型半水中重運搬クローラ車両が開発された。

①～③に記述したインフラ維持管理や災害対応を行うロボット技術の研究開発と並行し、ロボット技術を導入しやすいインフラの構造（環境構造化）に関する研究も進められている。また、インフラ維持管理及び災害対応での活用が期待されるロボット技術を対象に、事業化に向けた技術開発と、事業化後の利活用推進を目的とした「社会インフラ用ロボット情報一元化システム」の構築にも取り組んでいる。これらの取り組みにより、ロボット技術の

現場への導入が迅速に進むことが期待できる。

(3) 構造材料・劣化機構・補修・補強技術の概要⁸⁾

SIP インフラでは、インフラ長寿命化（補修・補強）やライフサイクルコスト抑制に貢献する新材料開発や構造材料の劣化機構の解明等に関する研究を行ってきた。

① インフラ構造物劣化機構の解明

我が国の RC 構造物の劣化原因として最も多いのが塩害である。その機構を詳細に解明するために、構造物の設置環境とコンクリート内部の環境を把握するための腐食環境センサーや内部環境センシング技術を開発している。また、 Fe_3O_4 、 $\alpha\text{-FeOOH}$ 、 $\gamma\text{-FeOOH}$ などの腐食生成物が、様々な環境でどの様にできるかを明らかにする必要がある。そのため生成物の形態や力学特性のナノスケール解析を行うほか、腐食加速因子として酸素に着目し、高圧酸素チャンバーによりコンクリート中への酸素供給を増進して鉄筋腐食を加速する試験法を開発した。

② 構造物劣化損傷の検出技術

地域住民などの非専門家による維持管理のための技術や省力化に資する技術も重要である。そのため、非専門家でもコンクリート表面の腐食ひび割れを遠方から容易に発見するための歪み可視化シートを開発した。これは構造色という現象を利用したもので、構造物の表面に貼り付けることでひび割れを色の変化として可視化できる特徴を有している。また、電磁波を利用してコンクリート表面から内部の鉄筋腐食の程度を判別する非破壊検査技術も開発を行った。

③ 構造材料・補修・補強技術の開発

RC 構造物の長寿命化を可能にする材料として耐食鉄筋を開発した。これは Cr と Si の添加により錆層を緻密化するとともに塩化物イオンの透過をブロックする効果を持たせたもので、宮古島における暴露試験でも非常に優れた耐食性を確認することができた。また、補修材料としては、付着生物模倣型高分子系表面含浸材や、塩化物固定能・ひび割れ抵抗性を有するセメント系補修材料を開発している。さらには、今後の導入が増加するであろう RC 床版の更新技術として、塩化物イオン浸透抵抗性や耐凍害性等に優れ、ASR に対する抵抗性も高い高耐久 BFS (高炉スラグ細骨材) コンクリートを用いたプレキャスト PC 床版などの開発を行い、社会実装を目的に、メカニズムの解明、製造方法の確立と品質管理体制の構築、供給体制の確立、標準化のための指針作成までのプロセスを実施した。

④ インフラ構造材料研究拠点の構築

物質・材料研究機構 (NIMS) を中核とする研究開発チームは、分野・異業種連携型の研究拠点として NIMS に「インフラ構造材料クラスター」を構築した。約 40 機関が参画しており、実証実験等の協力を得てサマースクールなどの人材育成活動も行っている。SIP インフラにおける開発期間終了後もインフラ長寿命材料シーズの創出とインフラ構造材料に関する高度な基礎研究を行う拠点としての活動が期待されている。

②③に示した新素材や材料開発は、理論研究・室内試験・原位置での実証試験、ビジネス化のための大量生産工程の開発など、シーズとなる基礎研究の段階から社会実装までの道のりが長く、SIP インフラの 5 年という開発期間は、社会実装という目的を達成するには厳しいものがあつたことは否めない。特に大学や国立研究機関が実証試験までの研究開発を達成できたとしても、市場において既存技術との競合に打ち勝つための生産工程と技術の普及方法 (ビジネス化) を確立させるためには民間企業の協力が不可欠である。たとえば、歪み可視化シートや、Cr と Si の添加により錆層を緻密化する耐食鉄筋、付着生物模倣型高分子系表面含浸材、あるいは、塩化物固定能・ひび割れ抵抗性を有するセメント系補修材料等は、社会実装直前の段階までは達しており、「あと一步」という感がある。このような観点からも、今後のインフラ構造材料研究拠点におけるビジネス化に向けたさらなる取り組み

に期待するところである。一方で、高耐久 BFS(高炉スラグ細骨材)コンクリートを用いたプレキャスト部材の開発は、社会実装のための一連のプロセスを終了し、土木学会のコンクリート工学委員会で認められた指針作成(案)を刊行できるまでに至ったことは特筆できる。

(4) 情報・通信技術の概要⁹⁾

情報・通信技術では、インフラの点検データやセンシングデータを効率的に収集するネットワークシステムといった IoT (Internet of Things) のコンポーネントと、収集した各種データを蓄積し、解析するためのデータベースシステムや可視化システムといった情報システムが対象となっており、これらの情報・通信技術 (ICT) が、いかにインフラ維持管理・更新・マネジメントに貢献できるかが問われている。IoT のプラットフォームと上でセンシングデータをインテリジェントに分析する人工知能を活用したソフトウェアを実装することで、インフラ維持管理システムの革新に寄与できる技術が芽生えつつある。

① インフラセンシングデータの統合的データ管理

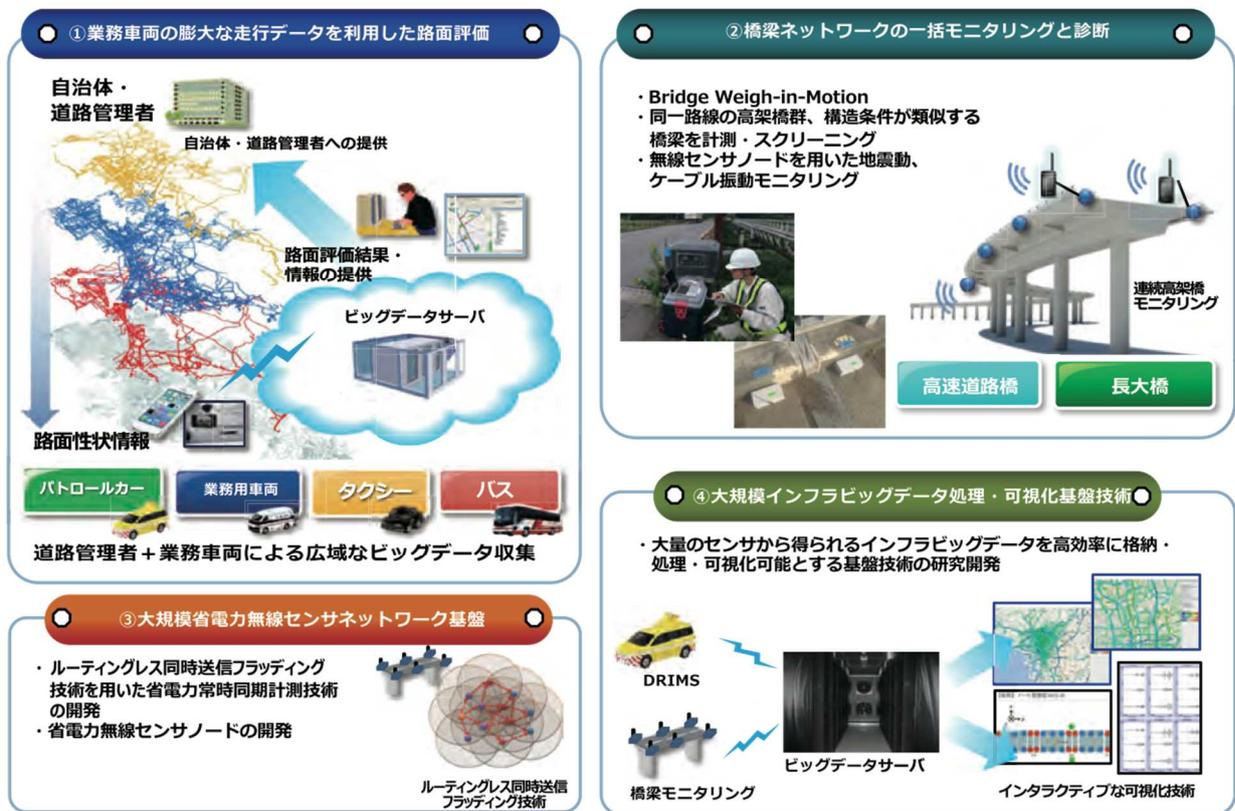


図 2.2.4 インフラセンシングデータの統合的データマネジメント基盤

インフラの劣化や異常の検知には、構造物に各種のセンサーを設置し長期にわたってデータを収集することが必要になる。増大する時系列データを蓄積しデータ分析を行うためのデータ管理基盤(図 2.2.4)が必要となる。インフラセンシングデータの統合的データマネジメント基盤の開発では、業務用車両に設置したスマートフォンの振動データとカメラからの動画像を集積し、路面管理指標のビッグデータ分析を行うことで、路面舗装の維持管理を安価に実施できるシステム基盤の開発を行っている。また、地下に設置した漏水検知センサー・無線通信システム・車載データ収集システム等を用い、上水道の漏水データを効果的にクラウドサーバーに集積し、統計的機械学習による漏水判定を行う水道管路網に対する維持管理のためのシステム構築も行われた。

橋梁に対しても、ひずみ計、変位計、加速度計に加え、道路の交通状態を監視するカメラの動画データ等を遠隔モニタリングし、多様なセンサーを扱うため高精度の時刻同期が可能な原子時計を用いた自律型マルチセンシング用モジュールの開発を行い、探索的可視化分析ソフトウェア環境を使って複数のセンサーデータを組み合わせ、多面的に分析可能なセンサーデータの通信および蓄積を行うためのデータ管理基盤の開発を実施した。このデータ管理基盤では、「蓄積・可視化・分析システム」のためのソフトウェアをパーツとして用意しており、さまざまな劣化指標を検討するために使用可能であり、その際、インフラ分野の専門家や点検技術者と協力して分析が可能なソフトウェアを追加するなど、システムの柔軟な構成変更が可能であることを特徴としている。集積されたセンサーデータの信号処理では統計的機械学習分野で開発されてきた異常値検出の手法を応用し、さらには、動画データからの車両抽出では最新の人工知能技法（AI）が活用されている。

② 構造物の3次元モデルを活用した点検情報管理システム

点検時の画像や損傷情報を橋梁の設計情報と共に3次元モデルに関連づけ管理する試みも行われた。橋梁3次元モデル上に位置情報を自動添付し点検データ（先端技術を駆使した点検データや飛行ロボットによる撮影画像）を可視化する情報システム開発を行った。設計図面などの情報が失われているような既存橋梁に対処するため、実際の橋梁のレーザー計測等から3次元CADモデルを自動生成する技術も開発されている。

また、長期供用期間にわたる点検情報の長期安定保存のため、橋梁プロダクトモデルの国際標準案を拡張し、現在の点検調査と互換性を持った橋梁維持管理情報データモデルを設計し、それらのデータをCADモデルと共にWebブラウザ上で閲覧できるシステムも試作されている（図2.2.5）。

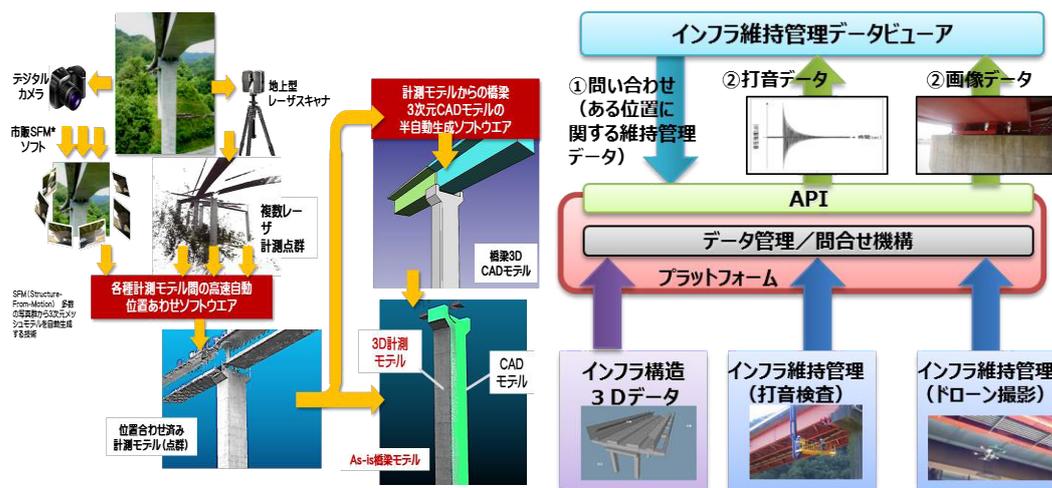


図 2.2.5 構造物の3次元モデルを活用した点検情報管理システム

③ インフラ維持管理を含む共通データプラットフォームに向けて

インフラ維持管理のみならず SIP の他の研究領域では様々なデータが集積されている。SIP インフラでは、Society5.0 を支えるデータプラットフォームの一部として、3次元地図情報をベースにインフラ維持管理に必要なデータを関連づけるデータプラットフォーム（3D Map-Based Platform for Infrastructure Management: 3DMPF-i）を提案し、センサー情報のみならず、地図や3次元空間情報を含めたデータの共有基盤のプロトタイプ設計を行った。ここでは、クラウド、分散処理、並列処理など、いわゆるビッグデータ処理の技術を活用し、効率化と低コスト化を目指している。

①～③の情報・通信技術において、路面舗装や水道管路網の漏水に対する維持管理システム等は、システム運用の実証試験の段階から地方自治体などで試験的に運用され、それぞれの自治体でのカスタマイズを施された形で運

用段階にあり、今後のさらなる発展が期待できる。また、橋梁に対しては、対象点検技術者の近接目視データに絞り簡略化された形でカスタマイズされたデータベースを、東北地域の地域実装支援チームである東北大学のサポートにより、山形県や宮城県の「橋梁メンテナンス統合データベース」として、既に運用が始まっている。

(5) アセットマネジメント技術

SIP インフラでは、道路、港湾、農業水利施設を主たる対象として、アセットマネジメントシステムの開発と社会実装の実現に取り組んでいる。SIP で開発された検査技術、新材料、情報技術、ロボットが速やかに普及し、その結果として、メンテナンスの大幅な合理化が実現できるシステムを開発・実装することを目的としている。インフラのアセットマネジメントにおける課題は、(1)～(4)でその概要を紹介してきたように、機械・電気電子・通信情報分野で開発された先端技術とアセットマネジメントの現場とを繋ぐことであり、インフラ資産の維持管理を担う事業主体を対象とするマネジメント技術の開発である。

① データ同化による SIP インフラ開発技術の活用

既往のインフラ分野の領域外で開発された優れた先端技術と社会インフラ維持管理の現場を繋ぐ目的から、情報基盤に基づくデータ同化法を用い、フィジカル空間上にある状態をレーダー、超音波、X線、中性子線、打音音波、自然光（目視情報や画像）に由来するデジタル情報としてサイバー空間に集積し、インフラの将来の状態を予測するための数値解析技術（インフラ構造解析・材料設計ソフト）へ繋げるルート開発を実施してきた。このルートが強化されれば、検査機器やモニタリング技術、新素材などのインフラ市場への社会実装が加速されると期待されている。

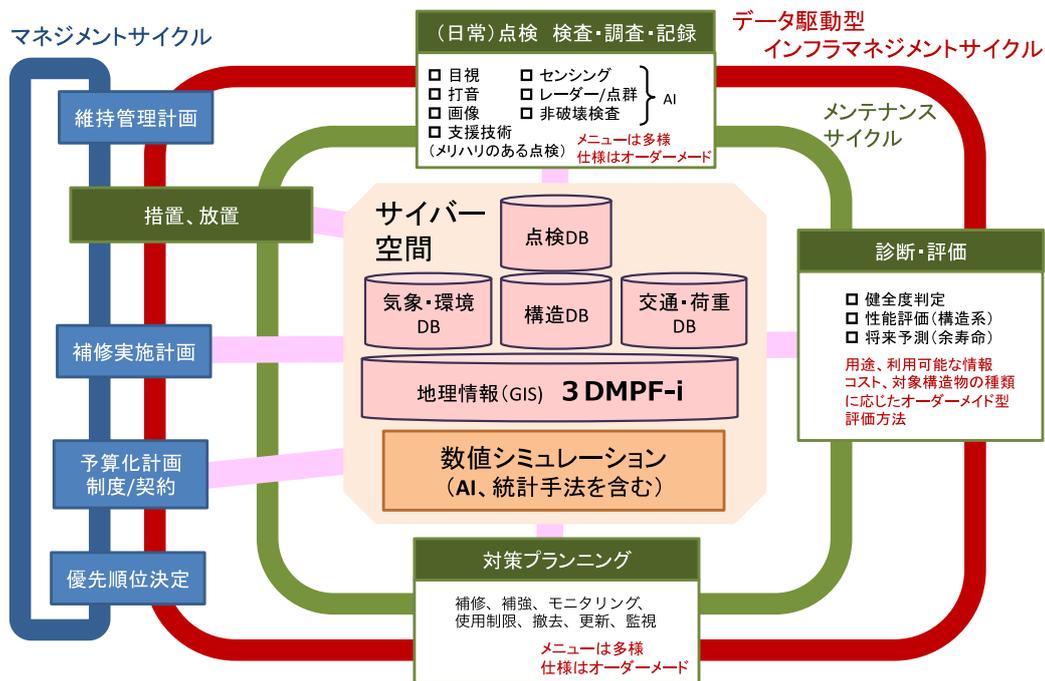


図 2.2.6 データ駆動型インフラマネジメントサイクル

② アセットマネジメントのための意思決定支援ツール

インフラ事業主体では、効果的なインフラ資産の運用と保全を目的に、長期保全・更新計画と投資計画を関連づけた実行可能な事業計画は不可欠であり、そのためには、管理対象となるインフラ群のライフサイクルコストを算定する必要がある。そのためには、個々のインフラの余寿命やリスクの評価が重要な課題となる。SIP インフラで

は、データ同化手法によりサイバー空間上の RC 床版のマルチスケール解析モデルからその余寿命を予測する手法が開発されている¹⁰⁾。RC 床版下面のひび割れ目視情報、あるいは、デジタル画像から得られたひび割れの位置と方向と幅の情報から、数値モデルを駆使して現状の損傷状態（内部のひび割れ、方向、幅、塑性変形、水分状態）を推定し、将来の交通荷重と環境作用から余寿命を推定するものである。また、この手法を簡便化する目的から、様々なひび割れパターンに対する数値解析結果と実際の RC 床版のひび割れ画像を教師データとした機械学習による AI システムも構築されており、RC 床版下面の画像データから簡便な余寿命予測が可能となっている。一方、RC 床版に対する膨大な点検データをデジタル化し、医療統計学における手法を応用することで、各種のハザード（交通量・降水量・降雪量・凍結防止剤の散布量等）に対するリスク評価を行う手法も開発されている。

これら、新しく開発されたアセットマネジメント技術は、図 2.1.2 で示したアセットマネジメントサイクルを、将来的に、サイバー空間に集積されたデータとその分析結果・評価結果に基づく新たなデータ駆動型のアセットマネジメントサイクル（図 2.2.6）の実現の可能性を示す重要な位置づけを持っている。

参考文献

- 1) 科学技術振興機構（JST）：SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術 <http://www.jst.go.jp/sip/k07.html>
- 2) インフラ維持管理・更新・マネジメント技術プロジェクト紹介 - 開発技術の概要 -：内閣府，2017.3.
- 3) SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術 インフラ技術総覧：内閣府，2019.1.
- 4) 吉岡大藏：国土交通省におけるインフラ維持管理に関する技術開発，土木学会誌，pp.14～15，2017.10.
- 5) SIP インフラ新技術地域実装支援活動報告書 - 地域のインフラ維持管理の今後に向けて -：土木学会，2019.1.
- 6) 若原敏裕，水谷司：インフラ維持管理の将来像 - 点検・モニタリング・診断技術のイノベーション -：土木学会誌，pp.16～17，2017.10.
- 7) 浅間一，永谷圭司：インフラ維持管理のためのロボット技術，土木学会誌，pp.22～23，2017.10.
- 8) 土谷浩一，宮川豊章，山本貴士：インフラ維持管理，長寿命化のための材料技術の開発，土木学会誌，pp.18～19，2017.10.
- 9) 安達淳，金井理：インフラ維持管理における ICT の利活用，土木学会誌，pp.20～21，2017.10.
- 10) 前川宏一，田中泰司：データ同化による余寿命予測とインフラマネジメントサイクルの展開，土木学会誌，pp.24～25，2017.10.

（執筆者：若原 敏裕）

3. 国土交通省等における新技術活用の取組み

3.1 技術開発の流れと国土交通省の取組み概要

技術開発の流れについては、はじめに「要素技術（シーズ）開発」があり、次に「製品コンセプトの明確化・仕様化」、そして「プロトタイプ製作」、「実証・市販化」を経て、「実装・普及・標準化」と段階を踏み進んでいくものであり、各段階で個別の課題があると考えている。例えば、「要素技術（シーズ）開発」から「製品コンセプトの明確化・仕様化」につなげるためには、そもそも「開発の方向性が見えず」、また、「どのように、どの分野にて活用できるかわからない」といった課題がある。また、「プロトタイプ製作」に当たっては、「開発資金が不足することや、さらに「実証・市販化」につなげるためには、「ニーズとのミスマッチを実現現場での実証を経て、確認・補正したい」といった課題がある。最後に、「実装・普及・標準化」段階では、「コスト競争」がある。

国土交通省では、新技術の開発・活用を促す取組として、段階に応じて「ニーズ・シーズマッチング」、「建設技術研究開発助成制度」、「総合評価方式の活用」、「新技術活用システム（NETIS 登録）」、「NETIS テーマ設定型実証」、「革新的社会資本整備研究開発推進事業」、「表彰制度」などがあり、最終的には「標準化」がある。

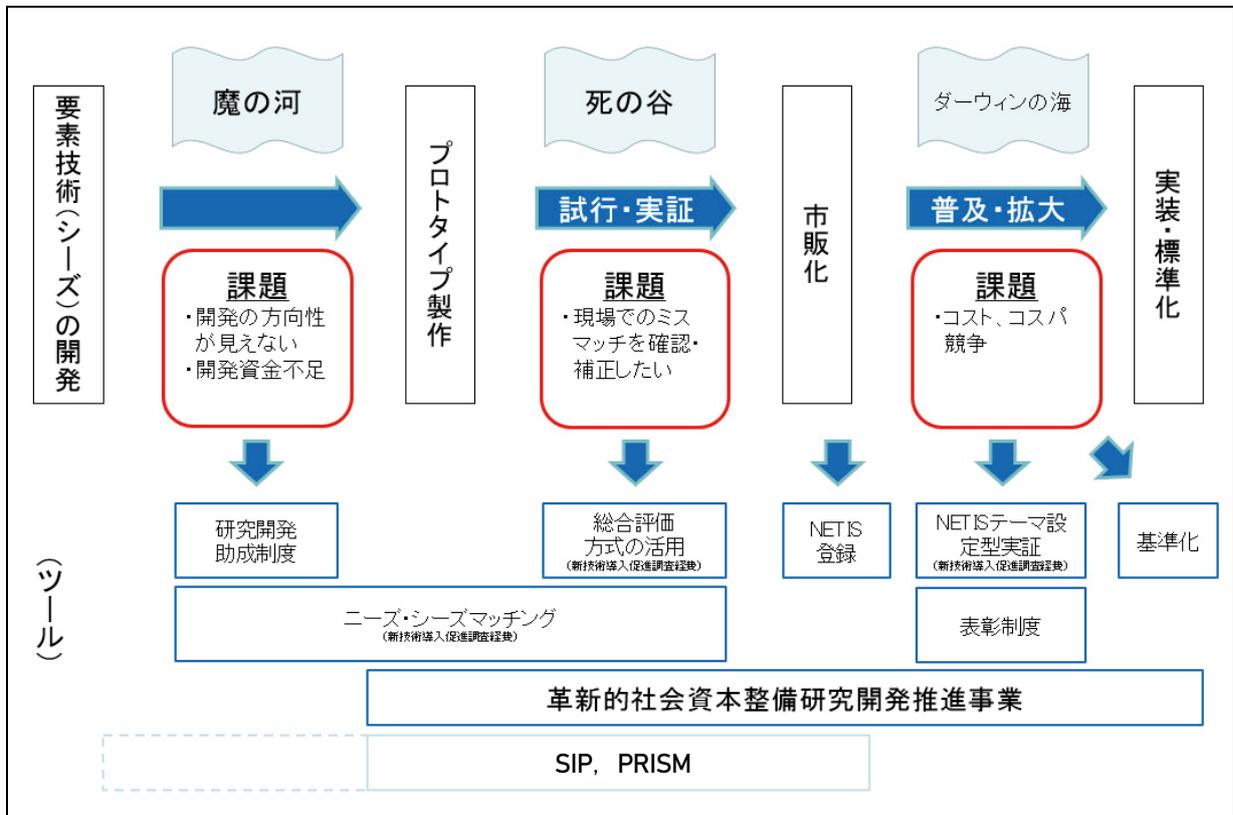


図 3.1.1 技術開発の流れ

3.2 新技術活用システムについて

新技術活用システムとは、民間事業者等により開発された有用な新技術を公共工事等において積極的に活用・評価し、技術開発を促進していくためのシステムである。平成 13 年度から運用を開始し、民間事業者により開発された技術は、その開発者らの申請により、「申請情報」として新技術情報提供システム（NETIS）に登録され、インターネットで公開されている。なお、新技術活用システムにおける「新技術」とは、実用化している公共工事等に関する技術であり、従来技術に比べ活用の効果が同程度以上の技術をいう。

NETISに登録された技術が直轄工事等で活用されるとその活用効果を調査するとともに、5件以上の活用調査結果に基づき、国土交通省が設置した有識者会議等により事後評価を行い、「評価情報」を与える。有用な新技術と評価されると、様々な支援策により、受発注者は積極的な活用に努めることとなる。

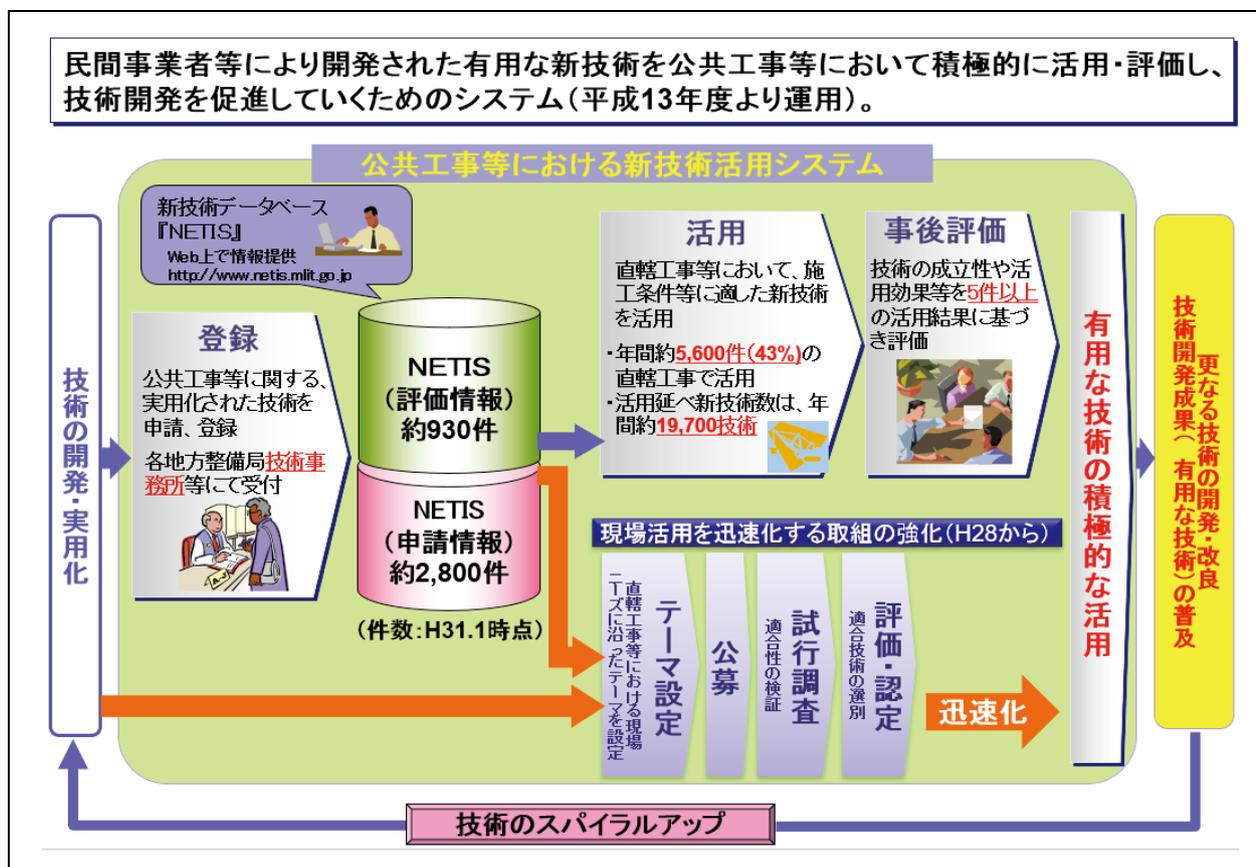


図 3.2.1 公共工事等における新技術活用システム

3.3 公共事業における新技術の導入促進について

平成30年度予算から「新技術導入促進調査経費」を新たに計上し、新技術の一層の活用促進を図っている。これまで、新技術の導入・活用にあっては、初期の導入コストが足かせとなって普及促進が進まない課題があった。この施策により、公共事業の工事や点検・診断、あるいは調査・設計における新技術導入のハードルを下げる効果があると考えている。

具体的な取組としては、①3次元モデルの普及と人技術の導入(BIM/CIM)、②新技術の現場実証(ニーズ・シーズのマッチングによる技術試行、総合評価における技術提案、NETISテーマ設定型実証)、③インフラ点検ロボットの実証などにより、様々な新技術の実証を進めることとしている。ここで挙げた取り組みのうち②新技術の現場実証について説明する。

ニーズ・シーズのマッチングは、平成29年1月30日に設立したi-Construction推進コンソーシアム技術開発・導入WGの活動の一つであり、新技術の現場のニーズと開発者等の技術シーズのマッチングによる新技術の現場導入を目的としている。具体的な流れを図3.3.1に示すが、2017年度と2018年度にニーズ・シーズマッチング会議を開催し2017年度は5件のマッチングが成立し、2018年度は11件と拡大している。

一例として、排水機場のベースとなる床板の変状計測技術を示す。従来の水準測量に対して小型の三次元データスキャナで床板の変状を見る技術であり、実現場での検証の結果、計測精度は従来技術に比べ同等以上であり、効率性については、従来技術では25日かかるところ本技術では14日となり、人件費込みのコストについても150万

円から 90 万円となり、「現場での導入可能性が高い」との評価が得られ、実装段階に進んでいくこととなった。

今後予定している 3 回目以降のマッチングについては、整備局単位で、より現場に近い地元のベンチャー企業等による技術を拾い上げていける制度を目指し取り組んで行くこととしている。

2017年
4月25日：ニーズ説明会
→行政及び現場ニーズを発表
5月29日：シーズ説明会
→ニーズに対する技術シーズを発表

2017年
10月25日：新技術のニーズ・シーズマッチング決定会議
→5件の技術のマッチングを決定・発表。

＜マッチングが成立した技術＞

(ニーズ)	(シーズ)	
① コンクリート施工後の表面全体の品質を評価する技術がほしい (北海道開発局)	AEセンサを用いた打音現場検査装置とクラウドサーバーによる検査データ解析、ならびに検査データベース管理 (原子燃料工業(株))	<p>＜富山委員による講評＞</p> <p>＜マッチング決定会議会場風景＞</p>
② 排水機場・水門の構造物モニタリング技術がほしい (関東技術事務所)	高精度の地上レーザースキャナを利用した土木構造物の変化把握 ((株)八州)	
③ 工事現場の可視化と遠隔地での確認ができる技術がほしい (東北地整、和歌山県)	遠隔ビジュアルコラボレーションによる遠隔現場支援ソリューション (バイオニアVC(株))	
④ 工事現場での作業員、重機の動きをモニタリングしたい (清水建設(株))	スマートフォン・IoTデバイスを活用した作業員の安全管理と生産性向上 ((株)日立ソリューションズ)	
⑤ 工事施工データ等の建設関係基盤情報を有効活用したい (国土技術政策総合研究所)	AIを用いて構造物の設計の合理化や積算の効率化等を支援する技術 (ユニコシステム(株))	

※ 今回、決定した技術は、シーズ提案者の他、他社の技術を確認の上、選定された者も含まれる。

図 3.3.1 第 1 回新技術のニーズ・シーズマッチング決定会議 (2017 年 10 月 25 日)

技術名	高精度3次元レーザースキャナを用いた床板変状計測技術	
開発者	株式会社 八州	
技術概要	排水機場において地上型3次元レーザースキャナで点群データを取得し、床板変状マップや任意の縦横断面図を作成。高さの変状を標準偏差±5mm以内で面的に把握し、異常箇所を抽出。	
試行状況	<p>3次元レーザースキャナ</p>	<p>床板変状マップ</p>
	従来技術(水準測量)	新技術
精度	・高さ: ±10mm(3級水準測量) 3級水準儀を用いた3名による測量	・高さ: ±1.8mm 3次元レーザースキャナを用いた2名による測量 ・床板を計測した結果、従来と同等以上で変状を面的に確認。
効率性	測量～縦横断面図作成: 25日	測量～縦横断面図作成: 14日
コスト	人件費及び機械経費等 約150万円	人件費及び機械経費等 約90万円
評価	従来の技術と同等以上で床板等の変状をモニタリングすることが可能であり、作業期間も短縮することができた。 今後、既存構造物等の点検・維持管理での必要性に応じて利用できる環境を整備する。	

図 3.3.2 排水機場・水門の構造物モニタリング技術

次に、総合評価における取組みであるが、発注者が指定するテーマについて、実用段階に達していない技術または研究開発段階にある技術の検証に関する提案を求め、提案技術の有効性、具体性等について評価することとしており、新技術の実証費用は予定価格の中に組み込むこととしている。具体のテーマについては、対象構造物毎に決めており、トンネルの場合であれば切羽の地山判定手法であり、AI を用いた画像解析を活用する技術などを想定している。また、PC 橋架設時の PC 鋼線の緊張や伸びの管理については、従前人手ですべてを管理していたところ、画像解析技術を活用することで、なるべく人手をかけずに管理できる新技術の提案を求めている。

NETIS テーマ設定型実証とは、直轄工事等における現場ニーズ・行政ニーズ等をもとに、評価指標、要求水準、試験法等を明確化したうえで、統一した技術募集テーマを設定し公募するものである。公募した技術の特徴を明確化した比較表を作成し、これを発注者の設計要領等に反映させることで、設計や工事発注段階で、発注者が新技術を指定することが可能となり、新技術の活用促進が図られる取組みである。平成 30 年度は、本取組みを拡大するべく、NETIS テーマ設定型実証を行う第三者機関等を公募した結果、計 11 団体が選定され、うち 6 団体において、「自動識別が可能なカメラ撮影・解析技術（夏冬タイヤ判別等）」など 11 のテーマを検討している。

3.4 革新的社会資本整備研究開発推進事業について

国土強靱化や戦略的な維持管理、生産性向上等に資するインフラに関する革新的技術を公共事業等において活用するため、産学連携、産産連携などによる実用化に向けた研究開発を支援する「革新的社会資本整備研究開発推進事業」を創設し、平成 30 年度 2 次補正予算にて政府出資金として 50 億円を計上している。

本事業では、国土交通省所管の国立研究開発法人 3 法人が民間から研究課題を公募し、委託契約を行う。研究予算は 5 億円以内、研究期間を 5 年以内とし、研究成果は、技術基準や設計仕様等へ反映することで、公共事業等での活用を図ることとしている。

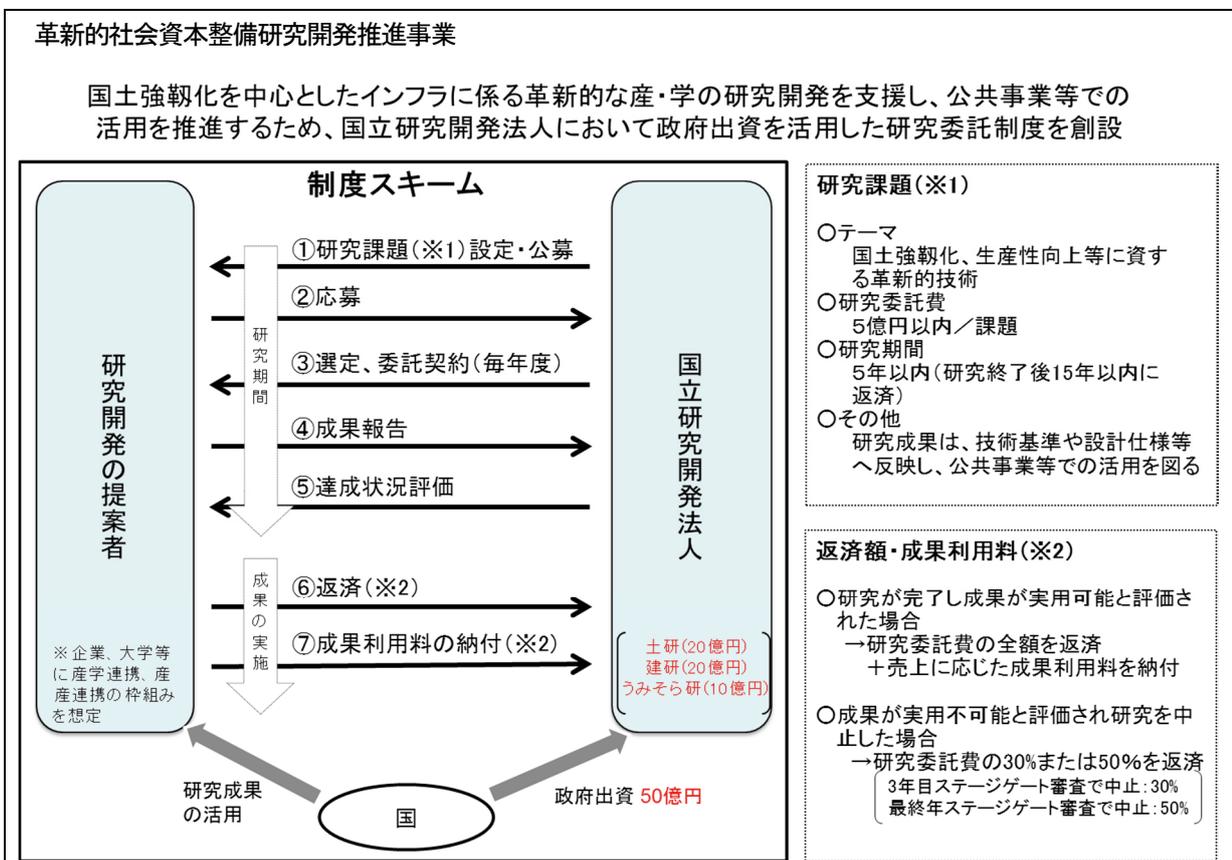


図 3.4.1 革新的社会資本整備研究開発促進事業

3.5 技術研究組合の活用について

「統合イノベーション戦略（平成30年6月15日閣議決定）」において、科学技術イノベーションの創出に向けた官民の研究開発を強力に推進するため、オープンイノベーションの取組みの推進が必要であることが示されている。国土交通省においても官民の研究開発の推進およびオープンイノベーションの取組みを更に推進していくため、技術研究組合の活用を図ることとしている。

技術研究組合とは、産業活動において利用される技術に関して、組合員が自らのために共同研究を行う相互扶助組織（非営利公益法人）であり、大企業、中小ベンチャー企業、大学・公的研究機関等により幅広く活用される。組合員による任意申請に基づき、所管大臣の認可により創設される法人であること、この任意申請の手続きに加え、国交省等の研究機関のニーズに基づき、公募により技術研究組合を設置する手続きをとることとしている。

3.6 官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）について

内閣府総合科学技術・イノベーション会議が政府全体の科学技術イノベーション政策の司令塔機能を発揮して、府省の枠や旧来の分野を超えたマネジメントにより、科学技術イノベーションを実現していくため、「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」や「官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）」を創設している。特にPRISMについて、民間の研究開発投資誘発効果の高い領域（ターゲット領域）として、平成30年度より「革新的建設・インフラ維持管理技術／革新的防災・減災技術」が選定されたところであり、国土交通省においても本予算を活用し、新技術の導入を加速している。

とりわけ、建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクトの取り組みにおいては、重機の動きや作業員の動きなどの現場データを、全てリアルタイムで取得し、蓄積されたデータを人工知能（AI）により解析し、施工の労働生産性向上や品質管理の高度化等を図る技術を公募したところ、33件の技術が選定され、実現場にて試行している。結果は、後日とりまとめられ、i-Construction推進コンソーシアム等で報告される予定である。国土交通省においては、以上のような取り組みをベースに新技術の一層の活用・促進を拡大していくこととしている。

参考文献

- 1) 国土交通省予算 HP
 <平成31年度予算> (<http://www.mlit.go.jp/common/001267708.pdf>)
 <平成30年度補正予算> (<http://www.mlit.go.jp/common/001266326.pdf>)
- 2) 新技術情報提供システム（NETIS）HP (<http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/NewIndex.asp>)
- 3) NETIS 維持管理支援サイト HP (<http://www.m-netis.mlit.go.jp/>)
- 4) i-Construction HP (<http://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html>)
- 5) 技術研究組合（経済産業省 HP） (http://www.meti.go.jp/policy/tech_promotion/kenkyuu/01.html)
- 6) 官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）（内閣府 HP） (<https://www8.cao.go.jp/cstp/prism/index.html>)

（執筆者：手塚 寛之）

4. 地域における新技術実装支援の取組み

4.1 新技術の地域実装

(1) 地域実装支援の活動と報告書

SIP インフラの中に、2016年8月末、SIP インフラ地域実装支援チームが採択された。2019年3月までの2年半にわたり、地域の大学等合計12チーム（北海道大学、道立総研機構、東北大学、東京大学、慶應義塾大学、金沢大学、岐阜大学、関西大学、鳥取大学、愛媛大学、長崎大学、琉球大学）では、SIP インフラ等で開発された新技術を地域の自治体等で使っていただく（実装する）ため、シーズの普及支援、ニーズの解決支援、地域連携、技術者のネットワーク整備、技術者育成、等の様々な活動を行った。

こうした活動の内容を、「SIP インフラ新技術地域実装活動報告書」（以下、地域実装活動報告書）として地域実装支援チームが取り纏め、土木学会「SIP インフラ連携委員会」の「新技術の地域実装促進小委員会」から2019年1月に出版した。ホームページでもこの報告書のPDF版を公開した（<http://sipinfra.net/>）。地域実装活動報告書では、表4.1.1に示すように、37件の報告記事を、「導入」「技術」「地域」「展開」の4区分に分けて掲載し、それぞれの記事に番号（A-1等）を付けた。

この4章では、各節の執筆担当者の意見を加えながら、地域実装活動報告書の内容を紹介する。地域実装活動報告書の記事を抜粋あるいは引用する場合には、記事番号（A-1等）を付けた。

表 4.1.1 SIP インフラ新技術地域実装活動報告書の内容

区分	番号	主なテーマ
まえがき	-	活動全体
導入	A-1～9	インフラ維持管理の将来像／オープンイノベーション／障害と対策／新技術導入シナリオ／ニーズとシーズの構造／一般市民の意識／制度・政策的視点での普及方策
技術	B-1～10	SIP 新技術／橋梁点検・腐食測定・斜面観測・路面点検・堤防点検の事例
地域	C-1～9	維持管理におけるニーズ／データベースの活用／合理的な体制／橋梁点検の先進事例
展開	D-1～9	広域連携／維持管理技術者育成／国際展開の事例
あとがき	-	責任の分散軽減／立場別取組み例

(2) インフラメンテナンスの将来像（A-1, 2より抜粋編集）

一般に、魅力的な将来像が示され、その将来像への移動が可能と思える場合には、人はそれへ向かって進みたくなる。インフラメンテナンスの技術的な将来像についてはSIP インフラ サブプログラムディレクターの若原らの記事（A-1）から、取組みの将来像については愛媛大学チームの全の記事（A-2）から、それぞれいくつかを抜粋して下記に示す。

① 技術的な将来像

- ・点検支援ツールによるスクリーニングにより、点検（近接目視）の範囲を狭め、点検を効率化できる。
- ・詳細点検技術は、これまで容易に知ることができなかった構造体内部の劣化要因や損傷を特定できる。
- ・先端技術でスクリーニングされモニタリングされた点検情報（劣化・損傷）は、地理上の位置情報と共にインフラの3Dモデル上にマッピングされ、インフラ情報データベースに登録され蓄積され、これらのデータは過去の点検記録として現状の点検記録と比較検討され、劣化や損傷の進行状況を確認できる。
- ・損傷マップはデータ同化手法等により構造解析モデルに取り込まれ、詳細な余寿命解析と連携することにより、構造物の性能劣化曲線を定量化し、インフラの資産価値やライフサイクルコストの算定根拠を

与え、効果的なインフラのアセットマネジメントを実現する。

② 取組みの将来像

- ・インフラの現在の状態や将来の予測結果、予算に関する情報を公開して、国民や住民の理解を得る。
- ・コンパクトシティ化等のモデルチェンジの一環として、インフラメンテナンスを考える。
- ・路線の重要度や、長大橋、中橋梁、小橋梁等の等級に応じて、管理水準と点検要領を構築する。
- ・維持管理技術者の国家認定資格制度の整備を進め、社会での認知度を高める。
- ・地域の大学が主導する地域実装チームの活動を継続する。

(3) インフラメンテナンス分野にオープンイノベーション (A-3 より抜粋編集)

SIP インフラ幹事の阿部 (A-3) は、クローズドイノベーション (企画から実装・商品化まで一貫して同一組織で進める) とオープンイノベーション (技術やニーズを組織や分野の壁を越えてやり取りしながら進める) を紹介し (図 4.1.1), インフラメンテナンス分野には、オープンイノベーションが有望なことを指摘し、次のように述べている。

オープンイノベーションを成立させるためには、ニーズとシーズを「マッチング」させる仲介的な機能が必要となる。マッチングには、ニーズ側ならびにシーズ側の双方の知見や課題を理解し、信頼を得て、共に新しい技術を創り上げていく能力が求められる。インフラメンテナンス国民会議や SIP インフラ地域実装支援チームは、その有する知見や中立的立場から、マッチングの重要なプラットフォームとなっている。ニーズ側・シーズ側の双方と密に連携しながら、適切な現場実証を計画・実施し、その結果を評価する役割を果たしている。特に、大学を核とした SIP 地域実装チームは、高い技術的な知見を背景として、実証結果を指針化にまでつなげる等、普及を促進し地域実装を強力に支援している。

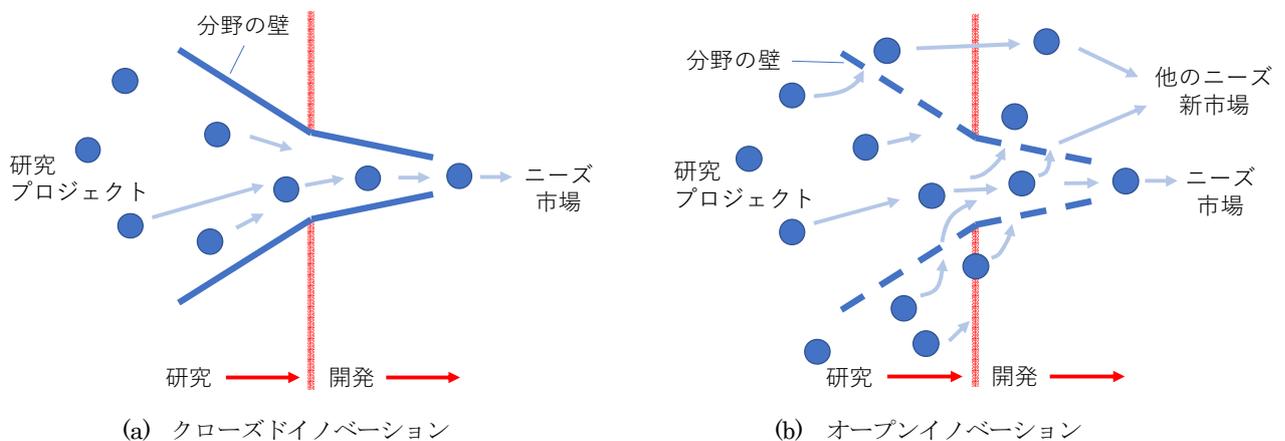


図 4.1.1 クローズドイノベーション(従来の自己完結型の研究開発・実装)からオープンイノベーションへ

(4) 地方自治体における新技術導入シナリオ (A-5 より抜粋編集)

慶應義塾大学チームの井上 (A-5) は、各地の地域実装支援活動取材し、新技術を地方自治体が導入する際の課題を整理するとともに、新技術導入に向けた考え方をシナリオとして提示している。地方自治体におけるインフラ維持管理に新技術を導入するには、人員・財政不足に加えて次の 3 つの課題があると述べている。

- ①点検業務は橋梁定期点検要領等に基づいて行われており、地方自治体が技術的な観点から業務の効率化・高度化を考える必要性が必ずしも高くない。既存技術に替えて新技術を採用することへの責任を考慮すると積極的になれない。

②点検業務は民間へ委託することが多く、技術（機器）導入を判断・選択する立場にない。

③地域企業の技術力向上や受注機会が過度に損なわれないことへの配慮も必要となるため、地域の企業が利用できない技術は、必ずしも地方自治体にとって望ましいものとはならない。

これらの課題を踏まえつつ、地方自治体が新技術活用を積極的に図る際に取り得る6つの考え方をシナリオとして示している（表4.1.2）。

表 4.1.2 地方自治体による新技術活用のシナリオ

基本パターン	特徴
トップダウン型	首長の政策決定や、自治体と大学が組織間連携のなかでインフラ維持管理を注力分野として進める。
県建設技術センター主導型	建設技術センターを核に、県下市町村へ新技術導入による発注や技術提供等を行う。
地元管理・人材育成型	地域住民・企業等の参画・人材育成を得て地域でメンテナンスする。包括的民間委託、等。
産業振興型	地域の産業振興、技術力向上、大学の技術移転等の観点から、企業支援策を活用し、地域企業への技術導入や設備投資を促進する。
外部委員会型	有識者等による検討委員会を設置し、新たな技術や対応手法についてお墨付きを与える。
広域連携型	特定の技術や事業を目的とした協議会等を地域で設置して運営。情報共有の場として活用も。

(5) シーズとニーズの構造（A-6, 7より抜粋編集）

慶應義塾大学チームの大林（A-6）は、シーズとニーズの構造モデルを提案している。シーズ（S）を組み合わせることでニーズ（N）を満たす構造は階層的になっており、より大きな構造は、例えば図4.1.2のように表される。この図でN/Sと表記しているのは、同じものが図の左側から見るとニーズであり、右側から見るとシーズであることを表している。シーズとニーズは相対的な概念であり、同じものの両側面にあたる。シーズとニーズを同じものの両面と考えることで、単純な基本構造を連結させて複雑な構造を表現できる。事業構造モデルを用いてイノベーションを表現すると、いくつかの基本構造を新しく作ることで、または作り替えることがイノベーションと言える。新しいシーズを作ることも、新しいニーズを開拓することも、シーズもニーズも既存だがその組合せが新しい場合も、いずれもイノベーションである。

ニーズを解決するためのシーズとしては、新技術に限らず実績のある既存技術や、狭義の技術に限らず、情報・人・組織・ルール等、何でもよく、様々なものを新しく組み合わせて、従来の組合せ（取組み）では解決が困難であったニーズを解決できればよいと解釈できる。後述のように、岐阜大学チームが取り組んだ各務原大橋の定期点検へロボット技術を適用する活動（C-6）では、定期点検費用を大幅に削減したいとの各務原市のニーズに対して、ロボット点検技術を組み合わせるだけでなく、様々な立場の委員で構成される委員会を立ち上げて指針案を作成した。さらに、近接目視点検の前にロボット技術による事前調査を実施することを提案する等、様々なものを組み合わせてニーズを解決した。なお、こうした新しい組合せは人によって行われるものであり、新しい組合せの発想力や実現力、知識や情報の仲介力も大切である。

さらに大林（A-7）は、シーズとニーズの構造分析から、新技術の社会実装を促すマネジメントに関して次のように提言している。

- ・SIPのような研究開発プロジェクトでは、シーズ

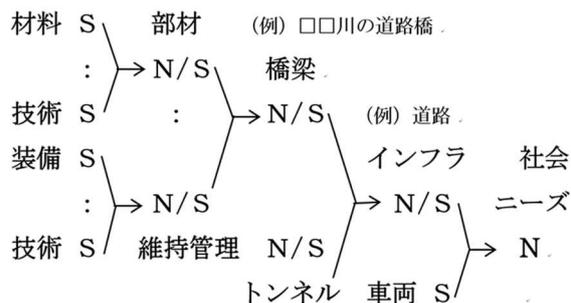


図 4.1.2 事業構造モデルの一例

4.2 地域で求められる技術

(1) 地域が使いやすい技術 (B-1 より抜粋編集)

① 「地域が使いやすい技術」の判断要素

SIP インフラで開発された技術（以下、SIP 技術という）が地域でより多く実装されるためには、当該技術がどのような場面で使え、どのような効果があるのか、ユーザである地方自治体や事業者が容易に把握できる情報提供が必要である。そのために、地域で導入しやすい、あるいは利用導入する技術の一つとして選択肢となるものを「地域が使いやすい技術」と定義し、地方自治体および民間事業者へのヒアリング等のもとに利用導入する際の判断要素を設定した。具体的には、表 4.2.1 に示すように「対象範囲・工程」、「利用導入時の制約事項」、「導入効果」および「コスト縮減効果」の 4 項目である。表中の「導入効果」は、従来技術・手法と比較し、安全性、簡易性、効率性、品質・精度の向上とした。ここで「安全性」とは当該技術の導入により作業員の身の危険が伴う作業が不要・軽減されることである。「簡易性」とは作業員の経験度合いにかかわらず作業や機器操作等を容易にできるかである。「効率性」とは従来よりも工数が短縮されるかである。「品質・精度」とは検出できる箇所の精度が高まる、あるいは点検作業員による診断のばらつきを平準化できるか等である。また、「コスト縮減効果」は当該技術の導入に係る初期コスト、技術導入後の継続的な利用コストが従来と比較して縮減できるかである。

② 橋梁への使いやすい技術の社会実装事例

SIP 技術が社会実装されるには、「利用導入時の判断要素」とともに、フィールド実証等により実際に目に触れ・知る機会が必要である。橋梁関連では多数の SIP 技術について、地域実装支援チームのもと、技術説明会やフィールド実証が行われた（図 4.2.1）。

現時点でこれらの SIP 技術が近接目視や打音検査の代替にはならないが、ロボットや UAV の活用により、見えにくい場所の損傷箇所の把握や、近接目視の事前調査（またはスクリーニング）としての活用が期待される。

例えば、橋梁点検ロボットカメラは、桁高の高い箱桁内部、橋側歩道橋を有するような隣接間隔が狭い橋梁や橋梁点検車が入れない PC 吊床版橋等、人が容易に確認できない箇所に適用可能な技術である。点検作業員の効率性、簡易性ととも機器可搬性や汎用性に優れる。また、橋梁点検車の利用を省略でき、コスト縮減が見込まれる。

表 4.2.1 利用導入の判断要素

項	目
【対象範囲・工程】	
○適用可能な構造物・部材	
○適用可能な点検補修の工程	
【利用導入時の制約事項】	
○インフラの規模・構造等、適用条件が限定	
○天候等、機材を利用できる条件が限定	
○機材数が少ない、手配や運搬コストや手間を要する	
○機材等の操作に技術ノウハウ（資格・免許）が必要	
○機材等の利用に許可申請等手続きが必要	
○定期点検要領に規定がなく、利用可否が判断つきにくい	
【導入効果】	
○安全性、簡易性、効率性、品質・精度	
【コスト縮減効果】	
○導入時、継続利用時	

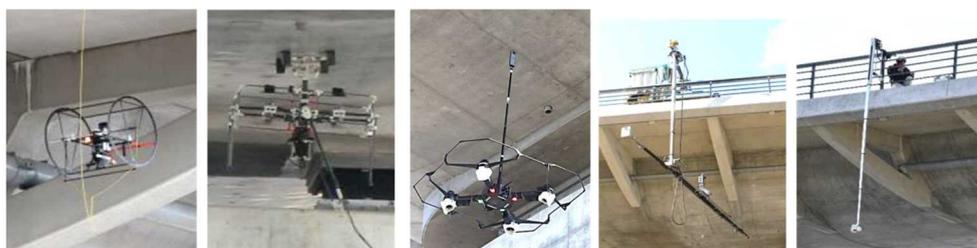


図 4.2.1 SIP インフラで開発された UAV・ロボット
（資料：インフラ維持管理・更新・マネジメント成果事例集（JST/岐阜大学））

UAV は、飛行操作方法、対象適用可能範囲や撮影した画像の処理方法等が開発された機器によって異なるほか、打音が可能な機器もある等、点検対象とする箇所によって、利用導入する技術を選択したり、組み合わせが必要となる。

③使いやすい技術とするために

SIP 技術が実用化され、さらに定期点検要領やガイドライン等で新技術の利用に係る制約（利用可否）が示されれば、使いやすい技術の判断要素がさらに明確になる。また、新技術をより使いやすい技術とするためには、実証フィールドの提供やユーザーニーズの把握、技術開発サイドが評価を得る場として、地方自治体や大学の果たす役割が大きく、地域実装支援チームやインフラメンテナンス国民会議地域フォーラム等のネットワークが重要である。

(2) 地域が利用したい技術（B-3 と C-9 より抜粋編集）

① 新技術の概要（ひび割れ解析技術+UAV撮影技術）

琉球大学は、地域実装支援チームの一つとして、沖縄県の橋梁を維持管理している地方自治体、地元建設コンサルタント等に SIP 開発技術を紹介するため 3 回にわたって技術講習会を行い、その中で SIP の認知度や橋梁の点検・維持管理技術に対するニーズの把握を目的としてアンケートを行った。全回答の中で、UAV やひび割れ画像解析技術に関する項目は回答数の約半数を占めており、琉球大学 SIP が行った実証実験で採用した技術であるドローンを含む UAV の活用や、画像からひび割れを検出する新技術（開発者：大成建設、以下、ひび割れ検出技術）に関する関心が高い。この理由として、採用したひび割れ検出技術は、コストについては従来の方法よりも低く抑えることが可能であり、また、コア技術であるひび割れ解析技術は、熟練した技術者でなくても、ある程度事前にトレーニングを行えば、解析が可能であるからである。

沖縄県内のニーズを鑑み、ひび割れ検出技術を沖縄県に実装定着させるために、この技術はデジタル画像を用いたひび割れ解析技術と位置付け、撮影技術は UAV、3D レーザースキャン、建設現場 3D モデリング（BIM/CIM）等 ICT 技術を積極的に活用している地元建設コンサルタントと連携することにした。

沖縄県での新技術の実証実験は、構造物の管理者等の提案で合計 4 橋（3 離島架橋、1 河川橋）において行われた。その背景には、最初の実証実験において、計画から評価まで、管理者が参加し、新技術の有用性を理解していたことや、地元で行った SIP 技術講習会における新技術の広報（周知）がある。

② 地域実装に至った成功要因と課題

今回の実証実験において、撮影を担当した地元建設コンサルタントは、このひび割れ検出技術の使用について、大成建設と秘密保持契約を結び、自社で撮影からひび割れ解析までを行えるようになった。その結果、内陸の高架橋（PCT 桁+PC 箱桁橋）において、橋梁点検車、吊り足場、ロープアクセス工法等による近接目視点検が困難



図 4.2.2 地域実装の成功要因

な橋梁のひび割れ点検に対して新技術が採用された。つまり、SIP 技術が地元建設コンサルタントの技術として定着し、地域実装されたことになる。

地域実装に至った成功要因を以下のように考察し、成功要因については図 4.2.2 のように整理した。

- ・成功要因 1：SIP 技術講習会による新技術の周知およびニーズ調査（学による運営・調査）
- ・成功要因 2：沖縄県の地理的特性，自然環境および塩害環境等から，沖縄県の離島架橋の点検に必要な新技術に対するニーズと，新技術のシーズとのマッチングの成立（学による調整）
- ・成功要因 3：ひび割れ検出技術の「デジタル画像解析によるひび割れ検出技術」と地元コンサルタントの「UAV による高解像度デジタル画像撮影技術」という 2 つのシーズのマッチングの成立（学による調整）
- ・成功要因 4：地元の産官学連携による実証実験の実施（新技術に対する管理者の理解および新技術の地元建設コンサルタントへの定着）

今回の成功要因は，シーズの周知やニーズの調査，それらを繋げる（マッチング）ための工夫等，SIP 地域実装支援チームとしての学の役割も重要であった。また，地元の産学連携を基盤に実証実験を実施することで，新技術に対する管理者の理解や新技術が地元技術として定着する助けに繋がると考えられる。

(3) SIP 開発技術の紹介（B-6 と B-7 より抜粋編集）

非破壊で鋼板の腐食量を計測する技術として，SIP「インフラ劣化評価と保全計画のための高感度磁気非破壊検査」（研究開発責任者 岡山大学 塚田啓二教授）の高感度磁気非破壊計測技術が開発されている。この技術が地際下の標識柱・照明柱基部の腐食の点検と水中の鋼製パイルベント橋脚の残存板厚の計測に活用され，従来の技術では困難な箇所計測に成果を上げることができた。以下にその概要を紹介する。

① 高感度磁気非破壊検査による照明柱基部の腐食の検出

2016 年 2 月 14 日に大阪府の一般国道 479 号吹田高架橋の照明柱が倒壊した。原因は，コンクリートに埋め込まれた照明柱基部が，長時間湿潤状態に曝され，マクロセル腐食により柱の板厚が減少して倒壊に至ったと考えられる。照明柱や標識柱は，アスファルトやコンクリートに埋め込まれているケースが多々あり，アスファルトやコンクリートの地際下の柱基部が腐食しやすい状態であるため，地際下の柱基部の腐食を評価できる点検技術が求められている。塚田らによって地際下の腐食を評価するためにプローブを斜め下方向に 30°の角度を設けて 2 つ設置したプローブが開発され，それを用いた評価が行われた。既に撤去された孔を有する照明柱基部に対して，斜め下方向へ傾けたプローブで事前調査を行ったところ，腐食部の 40mm 程度上側から，腐食による板厚減少が計測できることが示された。ただし，腐食部の計測値は，点ではなくある程度の面に対する評価となる。

地際用に開発されたプローブで実際の照明柱基部の腐食の調査を行った。場所は，大阪府吹田市和泉町 1 丁目の吹田市役所前の歩道部のアスファルトに埋め込まれた照明柱である。地際近傍に若干の腐食が見られているため，判定区分 II となっている。測定状況を図 4.2.3 に示す。垂直磁気プローブを用いて地際上を計測した結果，10~20%程度の板厚減少であることが定量的に示された。さらに地際下用傾斜磁気プローブの計測結果から，地際下では 20~30%程度の腐食と判定された。高感度磁気非破壊検査は 1 点あたり数秒で計測でき，今回のように鋼部材がコンクリート等に埋め込まれた部分の腐食のスクリーニングに利用できることが示された。



図 4.2.3 照明柱の高感度磁気非破壊検査の状況

② 四万十川・岩間沈下橋の点検・診断・維持管理

岩間沈下橋は高知県四万十市の，四万十川上流に架かる沈下橋の 1 つである。沈下橋とは，増水時に水面下に沈んでしまうように設計された橋梁であり，欄干を設けず水の抵抗を受けにくくしているのが特徴である。岩間沈下橋は 1963 年に建設された橋長 120m，幅員 3m の 10 径間単純 PC 床版橋であり，橋脚は鋼製パ

イルベント構造である。

2017年11月11日に、橋梁中央部付近の鋼製の橋脚が座屈して中央付近のスパンが陥没した。座屈が生じた原因として、鋼材が腐食により薄くなっているか孔が空いていることが考えられた。孔は目視により確認できるが、板厚は目視により評価できず、計測を行う必要がある。一般的に用いられる超音波板厚計測器では計測面が平滑である必要があり、また、岩間沈下橋の橋脚は腐食が進行しているため、ケレンを行う必要がある。しかし、水中部のケレンは難易度が高く、またケレンで除去された腐食生成物は河川環境に悪影響を与える。さらに、反対面の錆も除去しないと原理上計測結果に悪影響を与えるが、鋼管の内側の錆をケレンする方法はない。上記の背景のもと、ケレンをせずとも残存板厚を評価できる計測手法を四万十市は求めていた。極低周波渦電流検査装置は磁気を用いるため、ケレンをせずとも、そして非接触、水中でも板厚を計測することができるという特長がある。また、一点あたりの計測時間は10秒程度のため、網羅的な計測も可能である等、まさに自治体が求めている技術と合致していた。



図 4.2.4 極低周波渦電流検査装置による計測

2018年6月1日に岩間沈下橋において実際に計測を行った。その時の様子を図4.2.4に示す。板厚計測によれば、流速が速いほど、そして下流側の面ほど腐食による板厚減少が進行していることがわかった。10径間の橋梁であるが、座屈したP7、P8橋脚以外にも、P4～P6についても最小板厚はほぼ0mmとなっており、非常に危険な状態にあることがわかった。一方でP1、P2については板厚が減肉しているとはいえ、ほぼ半分以上残存していた。そこで、P1、P2以外の橋脚について、無収縮モルタルを注入するといった補修工法が採用された。この決定には、本取組みによる板厚計測が大きく寄与しており、SIP技術が地方自治体の悩みを解決した一例と言える。なお、四万十市の担当者、および計測を担当した株式会社第一コンサルタンツの担当者の声は以下のとおりである。

四万十市：ケレンをせずに水中でも高速で板厚計測ができるため、維持管理方針の策定に大きく役立った。
第一コンサルタンツ：本技術により板厚変化を把握することができ、設計に必要な重要データを取得できた。

(4) 大学とのコラボレーション (B-8より抜粋編集)

斜面防災において、屋外環境下における定常的な遠隔地の広域観測の必要性が高まっており、計測センサおよび無線モジュールを組み合わせた端末を多数設置することで、多点計測の実現が期待される。そのためには消費電力の抑制や太陽光等による自立電源や安定した無線通信を必要とする。ここでは、SIP技術「多点傾斜変位と土壌水分の常時監視による斜面崩壊早期警報システムの研究開発(中央開発株)」と、別途長崎大学のグループが開発を進める地下水水位や土壌水分率に着目したモニタリングシステムを併設した観測事例を紹介する。

中央開発株(研究代表者：王林氏)が提案するSIP技術は、斜面崩壊前の予兆現象を効率よくかつ的確に把握するための安価な傾斜センサを活用した多点計測システムであり、設置が簡単な傾斜センサによ

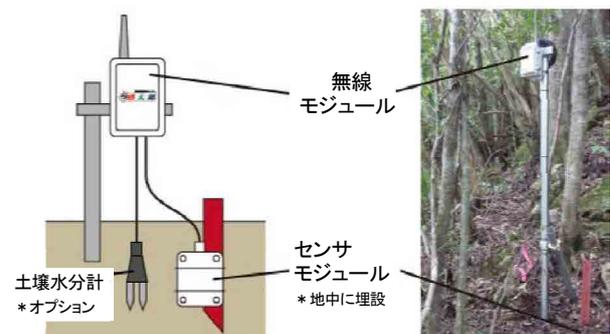


図 4.2.5 システムの設置イメージ

る多点計測の低コスト化と、多点計測により得られる斜面の面的な変状分布から安定かつ高精度の斜面崩壊早期警報システムの構築を実現することを目標としたものである。図 4.2.5 に示すように斜面表層に設置するセンサモジュールに「二軸傾斜計 (X・Y)」と、地上に設置する無線モジュールに「転倒即時検知機能(三軸傾斜計)」を内蔵している。前者は 2 軸方向の傾斜角度を常時計測するモジュールであるのに対し、後者は突発的で大きな傾斜変化時にのみ即時検知し作動するモジュールである。そのため、警報装置と接続することで、早期警戒および避難の実現が可能である。2017 年 6 月に後述する対象斜面へのシステム構築 (図 4.2.6) とモニタリングを実施しており、2018 年 12 月現在まで約 1 年 6 か月の間、特段の支障なく安定運用に至っている。



図 4.2.6 センサ敷設位置と傾斜計の方向

また、長崎大学では、約 2 年前から安定型廃棄物処分場跡地の斜面を対象として、地下水位ならびに表層の土壌水分率の変化に着目したモニタリングを行っている。対象斜面は、地表面付近に土砂主体の産業廃棄物、その下に崖錐堆積物、基盤岩で構成され、約 3 年前に大雨を原因とする変状が生じた。そのため、土砂の切り返しによる緩勾配化と覆土による遮土工を施しているが、現状においても新たな変状が懸念されている。当グループで開発したモニタリングシステムは、図 4.2.7 に示すようにエンドデバイス、ルータ、コーディネータの三つで構成されている。エンドデバイスには土壌水分計、水圧計、転倒マス型雨量計を接続し、斜面表層の土壌水分率の変化、観測孔内の地下水位の変化、現地での降雨量を計測している。これらの出力値を、ルータを経由する無線ネットワークを介しコーディネータに通信する。収集したデータはコーディネータに蓄積され、LTE 回線を通してブラウザ上で通信状況の確認やデータのダウンロードが可能である。

SIP 技術によるモニタリングについては、2018 年以降、概ね 30~50mm 程度の降雨時に微小ながら斜面表層の変状を確認している。一方、長崎大学発の技術によるモニタリングにおいては、総降雨量が比較的多かった 2017 年 9~10 月の観測データ収集および分析を行った。降雨時には、晴天時 23~24%である土壌水分率が約 5%前後上昇することを確認した。また、時間別降雨量が 10mm/h を超えると 3m 以上の地下水位の上昇が生じ、降雨強度が小さい場合でも長時間降雨が続くと同程度の地下水位の上昇を確認した。

今後、斜面の安定性評価のための地盤のモデル化を行う上で、素因となる地盤の物理量はもとより、誘因となる水位変化の当該斜面の傾向を観測データから明らかにし、こ



図 4.2.7 長崎大学の開発システムの構成

表 4.2.2 要望の整理

対象	要 望
計画	・2019年度に橋梁長寿命化修繕計画を改定するに際して、参考となるモデルを提供して欲しい。
体制	・役所内の土木に関連する課内でジョブローテーションせず、橋梁の維持管理に特化できる専門官を雇いたい。 あるいは、他の市町と連携して相談できるセンターを設立して欲しい。
点検	・道路の種別（長さ、重要性、用途、形式、第三者影響度等を複合的に鑑みて）によって、近接目視点検の水準を変化させたい。例えば、交通量が多くかつ長くて古い橋では現行の近接目視点検にし、一方で交通量は極めて少なくかつ2mの新しい橋では簡易点検に変えたい。 ・足場を必要とする橋梁、河川水位が高い橋梁、あるいはロープアクセスする橋梁に対しては、高機能カメラ、ドローンやラジコンボート等を用いて、簡易点検したい。もしくは、それらの機器を用いたスクリーニングの上で、部分的に重点的な近接目視点検を実施したい。また、安価で簡易な足場を開発して欲しい。 ・用水に架かる狭いボックスカルバートを、容易に点検するロボットを開発して欲しい。
措置	・新しい点検方法・補修方法を採用した場合、会計検査の際における対応のアドバイスを受けて欲しい。 ・予防保全を目指して計画された中で事後保全を実施する場合、財政の厳しい市町へ予算的支援を頂きたい。

れをフィードバックした数値シミュレーションを行うことによって、個々の斜面の安定性評価の高度化につながることを期待される。また、SIP技術の変状量の閾値決定にも有用となるものと考えている。

(5) 地域のニーズ (C-1より抜粋編集)

市町の道路橋における維持管理に関するニーズを整理すべく、北陸4県（新潟[上越地方に限る]、富山、石川、福井）の約20市町を対象に、ヒアリング調査を実施した。すなわち、これまでの橋梁長寿命化修繕計画による点検状況等も踏まえて、道路橋の維持管理の運用面で困っていることを聞き取った。ヒアリング調査の結果、抱える課題、実情および要望は、市町に拘わらず重複する項目が多数あった。これらのうち、要望の整理を表4.2.2に示す。

市町が抱える課題、実情および要望について集約した結果を表4.2.3に示す。なお、ここでの予防保全とは、劣化が目視で確認できる前に、進行を予防することを意味する。

今回の調査において、現時点で予防保全を遂行できている市町は無かったが、一部の市町では事後保全を済ませた後に予防保全へ移行したいとの明確なビジョンを有していた。また、表4.2.3の⑥については、隣接する市町において早期劣化により困っている実情を説明したところ、予防保全の必要性が理解された。

表 4.2.3 市町の課題等に関する集約結果

原因	No.	課 題
支援体制	①	道路メンテナンス会議で、技術的な知見を得にくい。
	②	道路橋データベース(DB)への登録料は高価だが、維持管理合理化に資するフィードバックは少ない。
計画	③	橋梁長寿命化修繕計画の改定時に参考となるモデルが無い。
	④	数十年間毎の事後保全の繰返しを試算することになり、数百年間毎の更新費も考量したシナリオを含む経済性を比較できない。
	⑤	予防保全への移行を希望するが、現時点では計画できない。
	⑥	約30年間に亘り無対策で供用している現時点でも、全ての橋梁が健全なので、予防保全の必要性を見い出せない。
点検	⑦	重要性や形式等を鑑みて、点検プロセスを変化させられない。
	⑧	コンサルタントによって、健全度の判定結果にばらつきがある。
補修	⑨	全橋梁に対する近接目視のための点検費用を確保しなければならないため、補修費用を捻出しづらい。
	⑩	適切な補修方法とその効果が分からない。

(4.2節 執筆者：松田 浩)

4.3 新技術実装等による地域支援の取組み例

(1) 橋梁メンテナンス統合データベースシステムの構築と自治体への導入支援（C-3 より抜粋編集）

東北大学チーム（インフラ・マネジメント研究センター（以下、東北大学 IMC））の久田ら（C-3）は、SIP インフラ地域実装支援活動として、橋梁メンテナンス統合データベースシステムを構築し、自治体への導入支援の活動を行っている。

東北大学 IMC は、SIP インフラで採択された「高度なインフラ・マネジメントを実現する多種多様なデータの処理・蓄積・解析・応用技術の開発（代表者：上田功，東日本高速道路株）」の成果を活用し、これを山形県県土整備部、公益財団法人山形県建設技術センターとの産学官共同で、山形県仕様にカスタマイズした（C-3）。そこに山形県と同県市町村が管理する橋梁の維持管理データを導入し、データベース（以下、DB）システムを構築、導入、運用している（図 4.3.1）。これにより、山形県と県内全 35 市町村の道路橋の点検・診断・補修履歴を一元管理するメンテナンスサイクルの情報 DB を構築している。

山形県県土整備部からは、県が保有していた様式等の大幅な変更もなく、高性能で使いやすい DB を短期間で経済的に開発できたとのコメントが寄せられている（図 4.3.1）。東北地方だけでなく、福井県等、全国の自治体への展開が進められている。

(2) 自治体の実情に応じたアセットマネジメントシステムの構築（C-4 より抜粋編集）

東京大学チーム（SIP プログラム「道路インフラマネジメントサイクルの展開と国内外への実装を目指した統括的研究」サブプロ 3）の小澤ら（C-4）は、維持管理の問題は自治体の特性によって異なり一般解は存在しないとの考えに基づき、維持管理に悩む自治体が抱える問題の根源を分析し、その解決策を提案し、維持管理を実施するための体制構築（アセットマネジメントシステム構築と呼ぶ）を支援する取組みを行っている。

このプロジェクトでは、モデル事業を実施する地方自治体を公募し選定すると同時に、モデル事業の支援者（民間事業者）も公募し、下記のようなモデル事業を推進している。図 4.3.2 に、事業の実施体制を示す。

橋梁点検データを一元管理！時短！経済的な点検に！ 点検診断の高度化・効率化、補修計画・予算管理の適正化を実現

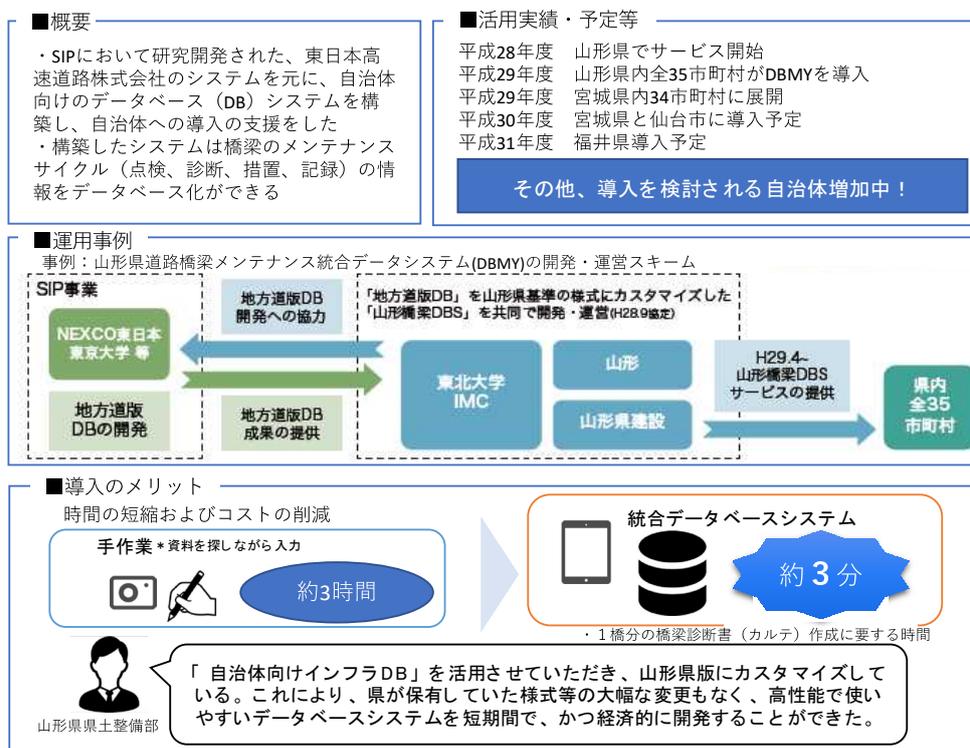


図 4.3.1 橋梁メンテナンス統合データベースシステム

新技術実装の検証という面では、SIP インフラにおいて開発された GIS ソフトを「地域ぐるみの水道管理支援体制」に組み込んでいる。①タブレット端末を用いた誰にでも直感的にわかりやすい入力インターフェースと、②入力のしやすさに特化した戦略ゆえにデータベース化した後は他のシステムでも管理できるよう他フォーマットへのデータ変換が容易にできる点の2点が、この技術を選定した決め手であった。

「サービス提供者」＝「サービス利用者」である地域自律管理型水道においては、供給側と利用者側の双方で安全性の担保を分担することが可能である。北海道の自律管理型水道には、塩素を入れていない代わりに、利用者は当然のこととして口に入る水は何らかの形で加熱処理をしているというケースが見られる。この発想の延長線上には、例えば、先の加熱処理の代わりに家庭用の膜処理浄水器を入れて各家庭が飲用水の安全性を自分で担保することも考えられると述べている。

例えば、重機操作や農薬等の化学薬品の扱いに慣れているとか、農家としての経営感覚をもっているといった地域人材のポテンシャル能力を適切に見極めた上で、新技術導入戦略が必要なことを指摘している。

(4) 自治体が管理する橋梁の点検へのロボット技術の取入れ

① 岐阜大学チームによる各務原大橋の定期点検 (C-7 より抜粋編集)

岐阜大学チームの六郷、羽田野ら (C-7) は、各務原市が管理する各務原大橋 (木曾川に架かる PC10 径間連続フィンバック橋、橋長 594m、平成 25 年竣工、図 4.3.4) で、ドローンを含むロボット技術を取り入れた定期点検を平成 30 年度に行った。各務原大橋は、自歩道幅員が 3m と広く、歩車道境界にフィンバック部材もあるため、使用実績の多い大型橋梁点検車では橋梁下面の点検作業を行なえない (図 4.3.5)。

表 4.3.1 に、橋梁の定期点検にロボット技術を取り入れる場合の課題を、基準類、ロボット技術、コストに分けて示すとともに、それぞれの課題に対する岐阜大学 SIP の取組みの要点を示す。

岐阜大学 SIP では、「新しい橋梁点検技術の適用性評価委員会」(2017 年 7 月～2018 年 3 月) を組織し、各務原大橋のような比較的新しい大型のコンクリート橋を主な対象として、「ロボット技術を取り入れた橋梁点検指針 (案) -地方自治体向け-」を作成し、2018 年 4 月に公開した。各務原大橋の定期点検において、この指針 (案) に従い、まずロボット技術を用いて「事前調査」を行い、次にその結果をもとに、超大型橋梁点検車等を用いて「近接目視点検」を橋梁全体に全て実施した。各務原大橋は広い自歩道部を有するため、その点検にはわが国に 1 台しかない超大型橋梁点検車を 10 日間ほど利用する必要があるが、ロボット技術による事前調査を活用すれば、超大型橋梁点検車の利用は 4 日間で済み、片側交通規制による交通渋滞を減らすことができる。橋梁点検技術者からは、「ロボット技術による事前調査を踏まえ、最終的にはすべて近接目視点検を行うというプロセスは、対象橋梁を 2 回診ることになり、見落としの排除に繋がるので、魅力を感じる」とのコメントが寄せられている。また、事前調査から近接目視点検の間に、変状の原因や対策についてあらかじめ検討する時間的な余裕があることも、メリットとして挙げられる。



図 4.3.4 各務原大橋

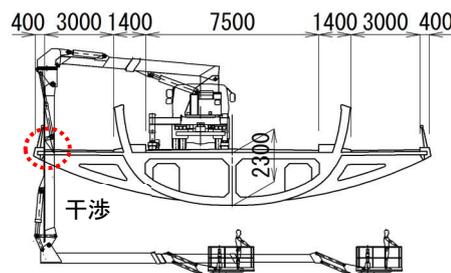


図 4.3.5 橋梁点検車による橋梁

表 4.3.1 橋梁の定期点検にロボット点検技術を取り入れる場合の課題と岐阜大学 SIP の取組み

	課題	岐阜大学 SIP の取組みの要点
基準類	<ul style="list-style-type: none"> ・ロボット技術取入れの拠り所となる基準類が無い ・点検方法は道路橋定期点検要領に整合 	<ul style="list-style-type: none"> ・ロボット技術を取り入れた橋梁点検指針（案）— 地方自治体向け— を作成 ・点検要領に基づく近接目視点検の前に、ロボット技術で事前調査を行うことを提案
ロボット技術	<ul style="list-style-type: none"> ・ロボット技術への要求内容が不明確 ・技術評価が十分に行われていない ・全部位の点検を行える単独のロボット技術がない 	<ul style="list-style-type: none"> ・部材の健全性区分が道路橋定期点検要領で規定するII以上となりうるかを判断可能な性能を要求 ・各務原大橋におけるフィールド試験でロボット技術の性能を評価 ・複数のロボット技術を組み合わせて用いることを提案
コスト	<ul style="list-style-type: none"> ・点検コスト削減の可能性がわかり難い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ロボット技術による事前調査を、将来的にはスクリーニング調査に変えることを提案

② 鳥取大学チームによる江島大橋の点検（C-8 より抜粋編集）

鳥取大学 SIP 実装チームの黒田ら（C-8）は、橋梁点検の効率化と高度化を図るため、鳥取県境港市と島根県松江市を結んで中海に架かる江島大橋（図 4.3.6）を対象モデルとして、橋梁点検へのロボット技術の活用に向けた大規模な実証試験を実施した。江島大橋は、全長 1446m、海面からの高さは最高 44.7m、橋梁の勾配は最大 6.1%、箱桁の高さは最高 15m、主橋梁部は中央径間 250m の 5 径間連続 PC 有ヒンジラーメン箱桁橋であり、2004 年に竣工した、江島大橋は立地条件および構造的制約条件から近接目視が困難であり、供用を開始してから 14 年間遠望目視による点検が行われてきた。

この実証試験には、橋梁管理者である境港管理組合、鳥取県と島根県の各自治体、両県の建設コンサルタントの技術者が参画した。点検の計画、経費の算出、実証試験の実施、点検結果の整理、報告書の作成は、将来地元の橋梁の点検にロボット技術を活用することを想定して、ロボット技術開発者と地元建設コンサルタントが協働して行った。また、「橋梁点検への新技術の適用性評価委員会」および「江島大橋での点検方法検討委員会」を設置して、ロボット技術開発者と地元建設コンサルタントが作成した点検計画（安全対策を含む）、ロボット技術が取得するデータの精度確認方法等について審議したうえで実証試験を実施した。

実証試験の結果を整理する段階で、点検データ取得（実施と精度）に対するロボット技術のメリットが多く認められたが、ロボットが撮影した膨大な量の画像からひび割れ等の損傷を見分け、損傷図を作成するには多大な労力と長時間を要することがわかった。そこで、画像を展開画像に合成し、図 4.3.7 に示すように、それを大型ディスプレイで等倍に表示し、そこに映し出されたひび割れからひび割れ幅や長さの計測を行い、損傷図を作成した。このように部材に近接して目視する状況を再現し、作業の効率化を図った。将来、AI 技術の進歩によりひび割れの抽出とひび割れ幅や長さの計測が自動化されると、作業効率がさらに改善される。



図 4.3.6 江島大橋



図 4.3.7 大型タッチパネルによるバーチャル近接目視点検

後述のように、「橋梁点検への新技術の適用性評価委員会」および「江島大橋での点検方法検討委員会」では、実証試験の結果を踏まえて、橋梁の定期点検業務にロボット技術を安全かつ適切に活用するための「ロボット技術を活用した橋梁点検指針（案）」を作成している。

(5) ロボット技術を活用した橋梁点検指針（案）

一般に、自治体の構造物管理者が、例えば構造物の定期点検等で、従来用いていた方法に代えて新技術を組み入れた方法を用いる場合には、発注業務、会計検査、組織内の合意形成や自主検査、議会や住民からの質問等に説明できるように、根拠資料が必要になる。有力な根拠資料としては、対象とする新しい技術への要求性能、評価方法、使用方法等を記載した指針類が挙げられる。指針類は、通常、中立的な立場にある学協会等が作成することが多いが、自治体や地域の大学等が中心となって作成することもできる。

岐阜大学チームならびに鳥取大学チームでは、それぞれロボット点検技術を活用して各務原大橋と江島大橋の点検を行い、そのための橋梁点検指針（案）を次のように作成した。なお、各務原大橋と江島大橋は長大PC橋であるが、鋼橋の定期点検へのロボット技術の活用についての検討も行われている（C-7）。

① 岐阜大学チームによる「ロボット技術を取り入れた橋梁点検指針（案）－地方自治体向け－」（2018.4）

岐阜大学チームによる指針（案）は、すべて近接目視点検を行うことが義務付けられた現行の道路橋定期点検要領に整合させて、2018年度にロボット技術を取り入れた定期点検を各務原大橋において行うことを目的に作成されたものである。前述のように、ロボット技術を用いて「事前調査」を行い、次にその結果をもとに、超大型橋梁点検車等を用いて「近接目視点検」を橋梁全体に全て実施するという特徴がある。将来的には、この「事前調査」を「スクリーニング調査」に変え、必要などころだけについて「近接目視点検」を行うことができるようになれば、コスト削減に繋がる。

この指針（案）では、ロボット技術で取得される情報に、各部材の健全性区分が道路橋定期点検要領で規定するⅡ以上となりうるか否かを判断可能な性能を求めている。岐阜大学 SIP では、点検技術者が橋梁の各部材の健全性を判断するために求める情報と、ロボット技術が提示すべきデータを整理したうえで、取得情報の要求性能を表 4.3.2 のように規定している。

表 4.3.2 ロボット技術による取得情報の要求性能

		要 求 内 容	検 証 方 法
検出機能	有 無	損傷の種類を認識できる。	左記の項目について確認できる写真や損傷図が提供されること。 提供された写真や損傷図が、近接目視により作成された損傷図と比較して、損傷の位置、範囲、方向が概ね一致していること。
	位 置	損傷箇所と他の部材との位置関係をスケッチできる程度に検出できる。	
	範 囲	損傷の範囲について、「局所的」あるいは「広範囲」を判断できるような全体像を検出できる。	
	方向 (パターン)	損傷の方向性（水平、鉛直、斜め、鋼材方向、直交方向）あるいはパターン（網目状）を検出できる。	
	原 因	漏水や遊離石灰等、水の影響が懸念される損傷について、水の侵入経路や発生源を検出できる。	
計測性能	大きさ	【ひび割れ幅】 0.2mm 以上のひび割れ幅を 0.0～+0.1mm 以内*の誤差で計測できる。	近接目視により作成された損傷図に記載された損傷、あるいは人工的に作成した精度検証指標の計測結果が、概ね左記に示す許容誤差の範囲内であること。
		【ひび割れ長さ、剥離、鉄筋露出、漏水等】 5cm 以内の誤差で計測できる。 (長さ L = ○○○cm, 面積 A = ○○cm × ○○cm)	
	量	桁遊間や支承の変位を、10mm 以内の誤差で計測できる。	

*幅 0.3mm のひび割れ幅の検知漏れがないように、以下のような性能とする。

0.2mm のひび割れ幅に対して、測定結果を安全側に 0.3mm (0.2mm + 誤差 0.1mm) と出力することは許容する。0.3mm のひび割れ幅に対して、測定結果が危険側に 0.2mm (0.3mm - 誤差 0.1mm) とすることは許容しない。

4.4 地域における連携と人材育成

(1) 産官学連携の成功事例「東北インフラ・マネジメントプラットフォーム」(D-1 より抜粋編集)

東北インフラ・マネジメントプラットフォームは、大学等の研究機関や企業、省庁、自治体が横断的に情報交換を行い、各々の持てる力を社会のために徹底的に活かすことを目的に構築したものであり、インフラ維持管理に関する知識・技術を実用化・事業化等の社会実装へと醸成する「社会実装のための苗床」である。本プラットフォームは、研究開発グループである東北大学と同学大学院工学研究科インフラ・マネジメント研究センターが中心となって運営体制を整備した。特に、プラットフォームの構成メンバーは、東北大学とインフラ維持管理に関する連携協定を締結してきた関係各機関をはじめ、国土交通省東北地方整備局が運営してきた「東北6県+仙台市橋梁保全官学連絡会議」ならびに本プロジェクトの構成メンバーである各県の拠点大学（八戸工業大学、岩手大学、秋田大学、日本大学）をコアメンバーとしている（図4.4.1）。

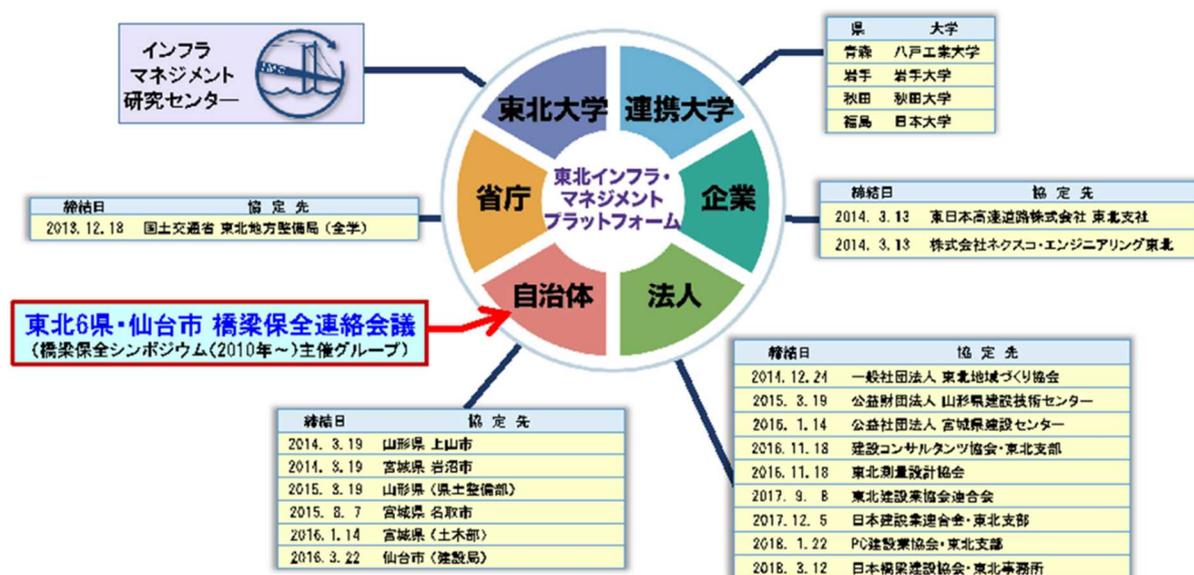


図4.4.1 東北インフラ・マネジメントプラットフォームの連携体制

参画機関である仙台市建設局は、『東北インフラ・マネジメントプラットフォーム』の活動として点検の効率化やコスト縮減に資すると期待される「球殻ドローン」を活用した橋梁点検の実証実験（図4.4.2）に参画している。実験フィールドの提供や意見交換等を通して、行政ニーズを研究に反映し、より実用的なツールの活用に繋げている。また、インフラの維持管理に携わっている自治体職員向けの勉強会に参加し、各自治体が抱えている課題の共有のほか、新技術や工法等の情報交換を行った。



図4.4.2 球殻ドローンの実証実験

このように本プラットフォームは、行政だけで解決できない難しいインフラの課題に、産学官の総力戦で対応するための作戦会議の場として有効であり、また、施設管理者や技術者の次世代の担い手の育成にも繋がっていくことが期待できるものである。

(2) 地方自治体職員の技術力向上意欲と効果的な人材育成法 (D-3 より抜粋編集)

北陸地方では、新技術の展示会の開催頻度が少なく、東京ビッグサイト等へ出向く自治体職員の時間や旅費は不足している。そのため、新情報等を入手しにくい背景にあることから北陸地方の市町職員を対象にした技術展示会を地元で開催した。展示テーマを表 4.4.1 に示す。点検に関するテーマが 11 件、補修に関するテーマが 5 件であった。展示テーマに関するアンケート結果より、「直ぐにでも使ってみたい」、「試しに使ってみたい」、「もう少し話を聞いてみたい」と前向きな回答が多かった。構造物の点検に関するテーマ (A, B, C, D, F 等) においても、「直ぐに使ってみたい」や「試しに使ってみたい」との回答が多くみられた。特に、特殊な機器や能力の高い技術者のみで使用できる高度な点検技術ではなく、簡易な点検技術が望まれていたのが今後の新技術の開発と導入に参考になる。一方で構造物の劣化モニタリングや補修に関するテーマについては、「直ぐに使ってみたい」との回答が比較的少なかった。この理由として、現状の地方自治体においては、補修の必要な部位を発見しても事後保全（補修）費用を捻出しづらく、補修業務に直面する機会が少ないことが考えられる。また、技術展示会は有意義であったとの回答が約 8 割を占め、開催頻度は 1 回 / 年程度が良いとの回答が多かった。

北陸地方における学会等による技術的な講習会の開催頻度も少ない背景を踏まえて、北陸地方の市町職員を対象にしたセミナー・報告会 (図 4.4.3) を 21 回、現場見学会 (図 4.4.4) を 5 回、地元で開催した。加えて、コンクリート診断士会との共催もあり、所属する地元のコンサルタントの技術者も参加し、地域全体での技術力の向上も推進している。

以上の開催した人材育成の場の来場者に対し、維持管理に関する勉強方法と勉強会の機会のアンケート結果によると、市町のみならず県の技術職員においても、道路橋の維持管理に関する勉強の必要性は感じており、多様な手段で取り組んではいるが不足であることを確認できた。したがって、この種のセミナーや現場見学会の開催は望まれており、今後も継続した実施が望まれる。

表 4.4.1 展示したインフラ維持管理の新技術

記号	テーマ	分類
A	走行型高速 3D トンネル点検システム	点検
B	AI による打検システム	点検
C	橋梁点検ロボットカメラ	点検
D	橋梁・トンネル点検用打音検査飛行ロボット	点検
E	飛行型インフラ点検ロボットシステム	点検
F	タブレット端末を用いた橋梁点検システム	点検
G	表面含浸材による予防保全	補修
H	特殊ウレタン樹脂による表面被覆工法	補修
I	再劣化を防止する補修工法	補修
J	構造物の劣化調査技術	点検
K	コンクリート・鋼構造物の総合的補修技術	補修
L	塩害モニタリング技術の紹介	点検
M	橋梁の維持管理技術	補修
N	ドローンやラジコンボードを利用した遠隔撮	点検
O	商用無線回線を使ったモニタリングシステム	点検
P	ASR 簡易診断および凍害抵抗性診断技術	点検
Q	コンクリート落下対策と最新のアンカー技術	その他
R	AI 技術を活用した健全性判定支援システム	その他



図 4.4.3 セミナーの様子



図 4.4.4 フォーラムの様子

(3) インフラ維持管理の総合学習教材のインフラミュージアム (D-7 より抜粋編集)

岐阜大学工学部附属インフラマネジメント技術研究センターと岐阜大学 SIP は、土木構造物のしくみや構造を学ぶ「インフラミュージアム」を整備した。このインフラミュージアムは、トンネルモデル、PC 橋モデル、鋼桁モデルならびに盛土モデルで構成されており、インフラ維持管理の総合学習教材である(図 4.4.5)。

岐阜大学では 2008 年度から社会基盤メンテナンスエキスパート(ME)養成プログラムを開講し、地方で活躍できる維持管理技術者の育成を目的に、これまでに 400 名以上の技術者を輩出してきた。2017 年度からは、大学院修士課程にインフラマネジメントリーダー育成プログラムを設置し、社会人と一般学生の混在型教育を実施しており、このインフラミュージアムは大学の教育カリキュラムと連動し、社会人の学び直しの場としても提供している。維持管理技術者は、構造物のしくみや構造設計施工の技術を知っておく必要があることから、各モデルにおいて、しくみや構造が理解できるモデルを構築している。当該施設は橋梁だけではなく、トンネルや盛土等の構造物群によって構成されている点にも特徴があり、地方公共団体に所属する技術者は、様々な構造物を理解している必要があるという ME の教育理念に基づくものである。



図 4.4.5 インフラミュージアム全景



図 4.4.6 PC 橋モデル外観



図 4.4.7 鋼桁モデルの外観図



4.4.8 盛土モデル外観

トンネルモデルは矢板工法と NATM 工法を施工順序も含めて視覚的に把握できるようになっている。PC 橋モデルは標準的な PC-T 桁橋 (4 主桁) であり、プレテンション方式とポストテンション方式の両方の PC 構造が学習できるように定着体やケーブルが配置されている(図 4.4.6)。また、支承、伸縮装置、壁高欄やガードレール、排水枘やスラブドレン等の付属物も設置し、橋面での維持管理上の留意点等も学ぶことができる。鋼桁モデルは腐食や疲労の 2 大損傷の発生が圧倒的に多い鈹桁の桁端部を再現し(図 4.4.7)、鋼橋における維持管理上の重要ポイントが学習できる工夫がなされており、また鋼橋製作時に内在する溶接欠陥の非破壊調査・点検の演習もできる。盛土モデル(図 4.4.8)は、一般的に用いられる各種擁壁である、ジオグリッド補強土、ブロック積擁壁、重力式擁壁、軽量盛土工、L 型擁壁を整備している。

この岐阜大学インフラミュージアムでは、現在整備されている「構造物のしくみや構造がわかる各種モデル」のほかに、「技術の変遷をかたちにする活動」として、引き続き施設の充実を行っていく。

(4) 九州・山口地域基盤の KABSE ネットワークと連携した新技術評価体制 (D-2 より抜粋編集)

九州・山口地域には、その地域に在籍する研究者・技術者による分科会、講習会等を通じて、連携して研究開発に取り組める(一社)九州橋梁・構造工学研究会(KABSE)のネットワークが完備されている。九州・山口地域 SIP チームは、この KABSE と連携した新技術評価として「インフラ維持管理・更新・マネジメントに関する新技術の社会実装支援に関する研究分科会」(以降、KABSE-SIP)を設置して活動している。分科会のメンバーは各県の SIP メンバーのほかに維持管理に精通した自治体職員、点検コンサルタントや補修補強メーカー等の技術者である(図 4.4.9)。KABSE-SIP は、地方自治体管理橋梁の維持管理・更新・マネジメントにおいて、新技術実装上の課題と解決法を検討するとともに、その仕組みも検討している。また、地方自治体管理の橋梁点検の現場課題について、コンサルタントの技術者との意見交換を通して、点検の不可視箇所、目視点検での限界、コスト面等の各種課題に対するシーズの評価とニーズの分析を実施している。

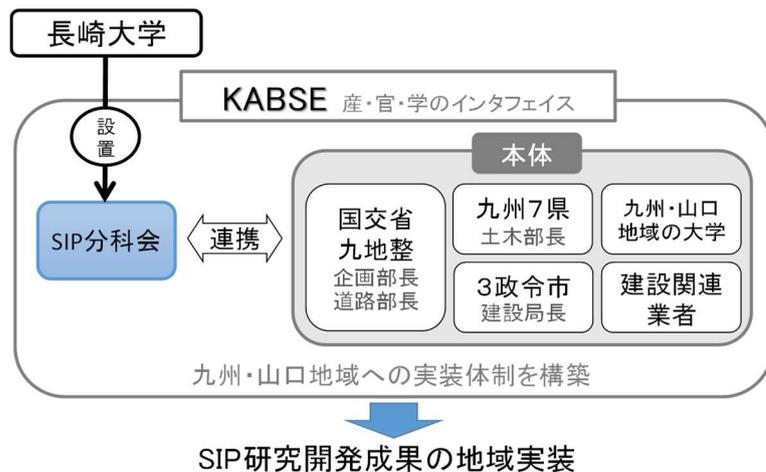


図 4.4.9 KABSE における SIP 分科会の組織編制

(5) 新技術導入技術者「スーパー道守構想」(D-4 より抜粋編集)

2008 年度に開始された長崎大学の「道守」養成講座は、学習ユニット積み上げ方式で、「道守補」、「特定道守」および「道守」の3つで構成される(図 4.4.10)。この養成講座は、長崎県や建設業界と連携を図りながら県内振興局ごとの維持管理する橋梁や道路斜面の数を勘案した養成人数を設定しており、県内地域バランスを反映した養成者数となっている。また、2014 年度に道守認定者が国土交通省資格に登録されたことを受け、道守認定者の活用として、新技術導入・普及の担い手として要望された。これは道守認定者が大学発・SIP 等の最先端の点検・診断・補修技術を用いて、維持管理の業務や工事に当たり、品質確保やコスト縮減、地域の建設業の競争力向上、雇用の確保等に繋げることである。以上の背景より、長崎大学は道守認定者を対象に“スーパー道守”を養成し、新技術活用の仕組みを考案した。このスーパー道守養成の対象者と想定される特定道守と道守認定者 93 人に対するスーパー道守構想に関するアンケートの結果、「評価できる」が 47%であり、このスーパー道守コースが開設されたら、「受講を希望する」が 36%であった。

今後、地域実装支援の継続的な取組みとして、SIP 開発技術の現場活用と合わせて、スーパー道守構想を具体化することが次のステップである。

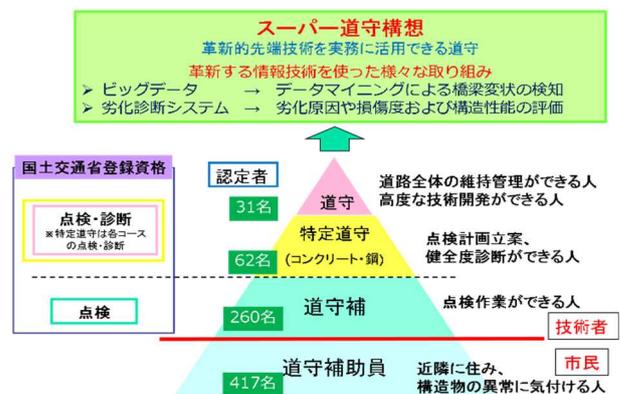


図 4.4.10 道守養成講座とスーパー道守

(6) 塩害と強風疲労に強くなる Bridge Inspector 資格 (D-5 より抜粋編集)

琉球大学 SIP では、橋梁定期点検の精度保証と橋梁点検技術者のスキル向上を目的として「ブリッジインスペクター」資格制度を立ち上げている(図 4.4.11)。この資格研修は、橋梁点検に必要な知識や技術を修得するとともに、沖縄特有の塩害や強風疲労を理解し、橋梁点検を確実に実施できる技術者を育成している。座学研修においては、国土交通省の橋梁定期点検要領に基づく損傷と対策区分の判定、および結果記録方法を学ぶ。また、沖縄特有のコンクリート橋と鋼橋等の損傷事例や最新の維持管理技術も学ぶ。実技研修において、撤去された実塩害桁を用いて、打音検査、損傷図のスケッチ等のリアルなスキルを学ぶ。また、試験合格者には「Bridge Inspector」の称号を与える。講師は琉球大学社会基盤デザインコースの教員、国・県・民間等の専門技術者である。主な研修の対象者は、実際に橋梁点検を行っている実務技術者である。2016年の受講者44名へのアンケート結果では、点検計画書や損傷図の作成、点検調書の作成等の実務上の継続的なスキルアップを望む意見が多かった。また、実際の点検で SIP 開発技術の利用を望む意見や点検による個人的誤差を減らすことが可能な技術を求める意見も多かった。以上のように、点検技術者のスキル向上への意欲は高く、この技術資格での人材育成の場の意義は大きい。また、離島架橋の多い沖縄地域の橋梁の点検効率化となる新技術への関心は高く、ドローンやロボット技術等の開発と実務への導入が期待されている。今後もブリッジインスペクター資格制度は継続する。なお、今後は2018年11月に新設した「琉球大学工学部附属地域創生研究センター・エンジニアリングソリューション部門」を拠点に実施していく。



図 4.4.11 ブリッジインスペクター研修(左:座学,右:実技)

(7) リアルな臨床事例での確な技術力を身に付ける橋梁保全マスター (D-6 より抜粋編集)

沖縄は高温多湿で年間を通じて強風環境下にあるため、海塩粒子の飛来による塩害環境の厳しい地域である。今後、加齢し増加する劣化橋梁に対する的確な維持管理を行うためには、構造物の残存性能への“診断力”と適切な補修・補強を選定する“処置力”を有した実践臨床型の技術者育成が鍵となる。インフラの損傷特性を知り、その損傷歴・処置歴をよく知り・記憶しているのは管理者(=親&かかりつけ医者)である。そのような思想で発足したのが、インフラの管理機関内に組織化した「橋梁保全マスター」である(図 4.4.12)。しかし、損傷した橋梁の維持管理を適切かつ確実にを行うためには、劣化メカニズム、点検技術の原理、計測・解析結果の評価能力、実践診断・処置の経験力を有した技術者が求められるが、その技術は一朝一夕には身につかない。よって、スタートアップは琉球大学のエンジニアリングドクターと7名のマスターが一体となり、実橋で損傷を診断し、措置法

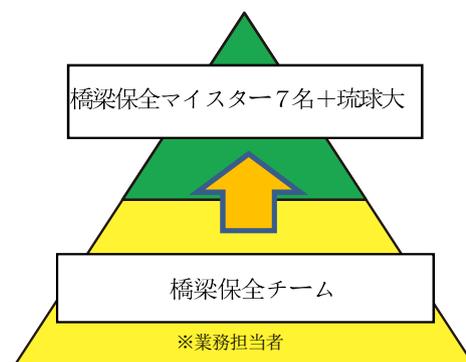


図 4.4.12 橋梁保全マスター

をディスカッションし、そのリアルな臨床事例を通して的確な技術力を身に付けることを行っている。これまでの主な臨床事例は、再々劣化した RC 橋の診断、再劣化した PC 橋の診断と監視モニタリング、モノレール鋼製橋脚の疲労診断と措置、高力ボルトの腐食診断と措置である。

(8) SIP インフラと国際連携した JICA「道路アセットマネジメントプラットフォーム」(D-9 より抜粋編集)

2020 年代後半には、開発途上国でも日本同様に供用後 50 年を経過するインフラが増え、我が国が開発途上国において支援してきた道路インフラも高齢化を迎える。

新規建設事業が優先される開発途上国でも 2018 年 4 月にミャンマーで発生した吊り橋崩落事故等によって、維持管理の重要性が認識されつつある。将来必要となる維持管理・更新費用が各国の国家財政に多大な負担とならないよう、開発途上国においても道路アセットマネジメントの定着に向けた取組みが必要である。このような背景で JICA では 2017 年 10 月に道路アセットマネジメントプラットフォームを立上げた。この中で長期研修(留学生事業)を活用した人材育成として、日本国内の大学院を活用し、開発途上国の道路アセットマネジメントを担う人材育成を目指している。2017 年 10 月に SIP インフラと JICA の間で道路アセットマネジメントの取組みに関する協力覚書が締結され、SIP の 19 テーマの研究者と技術協力での開発技術の活用可能性や JICA 研修員の受入等について意見交換を行った(表 4.4.2)。SIP 地域実装支援の 12 チームの大学関係者とは、長期研修(留学生)を含む研修事業や技術協力事業への協力体制を構築した。海外実装の可能性のある技術は、JICA 事業の中で試行的に導入、その効果を実証している。これまでに DRIMS/i-DRIMS(車両応答を基に路面管理指標(IRI)を推定するシステム)や橋梁点検ロボットカメラを JICA 事業で導入し、これら機器を活用した維持管理の技術指導を実施した。その他の技術については、技術紹介セミナーを開催し、開発技術の周知・活用を促している。

研修事業では、長期研修員の受入をラオス、カンボジアの 2 か国で実施し、学位取得後、道路アセットマネジメントの定着に向けた活躍が期待できる中核人材の育成を目指している。2019 年 4 月入学に向けて 4 か国(フィリピン、モンゴル、バングラデシュ、エジプト)の候補者を選定し、北海道大学、東京大学、金沢大学、金沢工業大学、岐阜大学、長崎大学、琉球大学の関係者を現地に派遣し、候補者との面談や研究内容の確認・コンサルテーション等、受入希望大学とのマッチング作業を進めている。短期研修では、「道路インフラマネジメントサイクルの展開と国内外への実装を目指した統括的研究」の国際アセットサブプログラムチームと連携し、実際の点検データを使った分析演習や点検データを基にした健全度推移予測等の研修を行った。技術協力事業では、協力内容を策定する調査(詳細計画策定調査)に SIP 地域実装支援チーム関係者も参加し、2018 年度に 2 か国(ブータン、ザンビア)で実施された。

表 4.4.2 国際展開の SIP テーマ

研究テーマ	研究機関
舗装と盛土構造の点検・診断自動化技術の開発	岐阜大学
インフラモニタリングのための振動可視化レーダーの開発	アルウェットテクノロジー
高速走行型非接触レーダーによるトンネル覆工の内部欠陥点検技術と統合型診断システムの開発	パシフィックコンサルタンツ
空港管理車両を活用した簡易舗装路面点検システムの研究開発	東京大学
橋梁点検ロボットカメラ等機器を用いたモニタリングシステムの創生	三井住友建設
省電力化を図ったワイヤレスセンサによる橋梁の継続的遠隔モニタリングシステムの現場実証	オムロンソーシアルソリューションズ
傾斜センサー付き打込み式水位計による表層崩壊の予測・検知方法の実証実験	応用地質
多点傾斜変位と土壌水分の常時監視による斜面崩壊早期警報システムの研究開発	中央開発
モニタリング技術の活用による維持管理業務の高度化・効率化	モニタリングシステム技術研究組合
インフラ構造材料研究拠点の構築による構造劣化機構の解明と効率的維持管理技術の開発	物質・材料研究機構
インフラ予防保全のための大規模センサ情報統合に基づく路面・橋梁スクリーニング技術の研究開発と社会実装	JIPテクノサイエンス
自在適応桁で支えられる橋梁点検ロボットシステムの研究開発	ハイボット
二輪型マルチコプタを用いたジオタグ付近接画像を取得可能な橋梁点検支援ロボットシステムの研究開発	富士通
道路インフラマネジメントサイクルの展開と国内外への実装を目指した統括的研究	東京大学
コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントシステムの開発	金沢大学
使いたくなる SIP 維持管理技術の ME ネットワークによる実装	岐阜大学
重大事故リスクに着目した地方自治体支援システムの開発	愛媛大学
インフラ維持管理に向けた革新的先端技術の社会実装の研究開発	長崎大学

(4.4 節 執筆者：下里 哲弘)

4.5 新技術地域実装に望まれる取組み (A-4 と「あとがき」より抜粋編集)

(1) 地域の大学による地域実装支援

一般に、自治体のインフラ構造物の管理者と民間技術開発者とは直接的なコミュニケーションがとりにくい。そのため、新しい技術のシーズ情報は自治体の管理者に伝わりにくく、管理者側のニーズも技術開発者へ伝わりにくい。しかし、地域の大学が開催する説明会や公開フィールド試験等では、自治体の管理者、企業の技術者、技術の開発者の中で活発な意見交換、情報交換を行うことができた (C-1 等)。さらに地域の大学が中心となることにより、新技術を使う際に必要な要求性能を示したり、性能評価を行ったり、不足する指針類を作成したりすることもできた (C-6, 8)。こうした地域実装支援チームの活動から、地域の大学が産官学の要となって新技術の実装支援を行うことの有用性と可能性が見えてきた。このことは、SIP インフラの地域実装支援活動の成果の一つである。

地域の大学の土木工学分野に新技術の地域実装支援活動を定着させるには、この活動が「土木学会の中の活動となり」、「活動成果が査読付きの論文として発表され」、「博士や修士の学位が出され」、「科学研究費等の研究資金が獲得される」というサイクルがうまく回ることが重要である。

(2) 責任の分散と軽減で実装推進

発注者と技術の開発者を対象としたヒアリング調査で得られた新技術実装への障害の例を、立場別に表 4.5.1 (A-4) に示す。技術開発者側の障害としては、要求性能や精度を含め発注者側のニーズが曖昧なことや、発注方法や導入条件が分かりにくいことが挙げられた。一方、発注者側の障害としては、変化への抵抗感、会計検査等への説明の面倒さ、責任の所在が不明確なことへの不安等の心理的な負担が多く挙げられた。

図 4.5.1 に示した管理者裁量の拡大、

組織のトップの積極性、技術の評価と認定といった対策は、発注者側の心理的な負担 (特に責任) を分散・軽減するものであると考えると理解しやすく、さらに種々の対策が浮かんでくる。

(3) 課題と対策と今後望まれる取組み

新技術実装を進める際の課題と対策の例を表 4.5.2 に示す。前述のように、新しい技術のシーズ情報を利用者である自治体の管理者や地域の維持管理技術者に伝えるとともに、利用者のニーズを技術開発者へ伝えるための説明会や公開フィールド試験が多くの地域実装支援チームにより行われ、技術の開発者と使用者の双方から喜ばれた。各務原大橋の定期点検へのロボット技術の適用に関する活動 (C-6) では、前述のように、指針案を作成して基準類の不足を補い、利用するロボット技術を分かりやすくするために要求性能を示し、フィールド試験でロボット技術を評価し、ロボット技術を最適

表 4.5.1 新技術実装への障害の例

	主な支障	主な原因
発注者	担当者により意識差がある	<ul style="list-style-type: none"> 組織としてのミッションが不明確 中央と現場で温度差がある 変化への抵抗感がある
	導入のための労力が大きい	<ul style="list-style-type: none"> 公平性の担保が必要 外部説明 (会計検査) の根拠必要 (面倒) 内部説明 (組織内合意) の根拠必要 (面倒)
	トラブル発生時のリスクが大	<ul style="list-style-type: none"> 責任の所在が不明確 (不安) 確実、継続的なサポートを得られるか不安
開発者	開発の投資判断が難しい	<ul style="list-style-type: none"> 開発による先行者利益の確保が難しい 短期間での投資回収が難しい 市場の把握が難しい (規模、継続性)
	要求仕様が不明確	<ul style="list-style-type: none"> ニーズ (要求性能、精度) があいまい 発注者にとっての適切なコストが不明 必要とされるサポート内容、期間が不明
	行政の事情がよくわからない	<ul style="list-style-type: none"> 機関や地域ごとに異なる事情 発注方法、導入条件等がわかりにくい 業界関係者への配慮が求められる

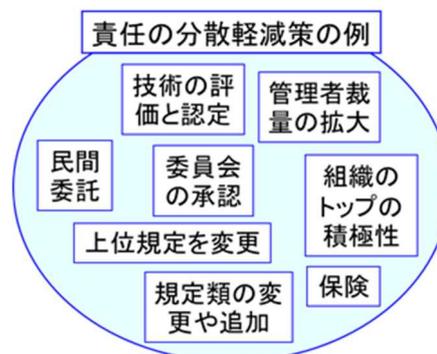


図 4.5.1 心理的負担 (特に責任) の分散・軽減

表 4.5.2 新技術実装を進める際の課題と対策

課題	対策の例	
ニーズとシーズの未遭遇	・説明会や公開実証試験の開催	
基準類不適合	・基準類の改善や整備	各務原大橋 で実施
技術の分かり難さ	・要求性能明確化, 性能評価実施, 活用方法提示	
コスト	・コスト予測, 低減方法示唆	
公平性確保	・中立的機関の関与	
トラブル	・小規模な試用から, 十分な事前対策, 類似のトラブル情報把握, 実績重視, 保険	
心理的要因	・心理的負担の分散と軽減, 変化を楽しめるポジティブな人材の育成	

に組み合わせた活用方法を提案した。ロボット技術による事前調査（調査後、近接目視点検をすべて行う）をスクリーニング調査（調査後、必要なところだけ近接目視点検を行う）に変え、AIを活用することで、点検コストを削減できることを指摘した。一般に、新しい技術や取組みを適用した場合、これまでの経験からは予見しにくいトラブルが発生しがちである。こうしたトラブルを回避したり被害を軽くするためには、ゆっくりと小規模な試用から始めたり、類似の事例からトラブル情報を把握したりといった十分な対策が望まれる。また、よりよく変わることや変えることを楽しめるポジティブな人材を増やすための教育も大切である。

表 4.5.3 に、新技術実装のための取組み例を立場別に示す。自治体の構造物管理者は、予算不足、人手不足、技術不足を解決したいが、必ずしも新技術による解決でなくてもよいことをもっとアピールするとよい。新しい技術、特に従来用いられていない高度化技術の場合には、基準類、要求性能、評価方法、積算方法、発注方法等の整備が必要である。こうしたことを進めることができる立場にある国交省の担当者の役割は重要である。新技術の開発者は、例えば、使われている従来技術に新技術を上乗せする、会計検査のない鉄道や電力分野の企業で実績を積み、技術の利用者と一緒になって技術開発を行うといったように、実装を明確に意識して開発を進めることが大切である。前述のように、中立な立場にある大学等の研究者が、地域実装支援を行いやすいように、学会運営、論文審査、研究費配分等での一層の改善が望まれる。プロポーザル業務のように、受注者が新技術を積極的に活用することで受注増に繋がるような仕組みの充実が望まれる。

今後、表 4.5.3 に列挙した取組みを実行するとともに、こうした取組み例をさらに充実させることが強く望まれる。インフラメンテナンス分野の魅力アップや新技術の地域実装に、単一の特効薬はない。立場ごとに目標や考え方が異なることを理解したうえで、インフラメンテナンス分野全体がよりよく変わることを目指して、それぞれの立場で工夫を続けることが大切である。

表 4.5.3 新技術実装のための立場別の取組み例

立場	取組みの例
自治体の管理者	・予算不足、人手不足、技術不足の課題を解決するための経費削減や省力化に繋がる技術が欲しいことをアピール ・課題を解決できれば、必ずしも新技術でなくてもよいこともアピール
国交省	・基準類、要求性能、評価方法、積算方法、発注方法等の整備を進める<最重要>
新技術開発者	・実装活動を明確に意識した開発計画を立案 －例えば、従来技術に新技術を上乗せする、技術の利用者と一緒に技術開発を行う、等
大学等実装支援者	・実装支援を研究活動分野にする －学会運営、論文審査、研究費配分で工夫
受注者	・プロポーザル業務等で新技術の積極的活用

(4.5 節 執筆者：六郷 恵哲)

5. シーズとニーズのマッチング

5.1 発注者の新技術導入に関する現状分析

維持管理に関する技術に限らず、発注者が新技術に関して抱いている意識を共有しておくことは重要である。国土交通省の主催する社会資本メンテナンス小委員会において発注者となる地方自治体（都道府県、政令市、その他市区町村の総数 1,788 自治体を対象）への社会資本の維持管理・更新に関するアンケート調査が実施された。その回答の第一次集計結果が、2018年3月28日開催の第20回（第3期第2回）委員会において報告され、メンテナンスサイクルの確実な実施に対する観点からの分析が行われている。ここでは、集計結果の一部を掲載し、地方自治体の新技術に関する意識についての現状を報告する。なお、調査の全質問事項およびその回答については、会議の参考資料として公表されている¹⁾。

まず、「維持管理の効率化に向けて新技術の導入や活用等を行っているかどうか」という質問に対して、**図 5.1.1**に示すように、全体の約94%の地方自治体の担当部署で「新技術の導入は行っていない」と回答されている。この傾向は、公営住宅担当部署において幾分大きな割合であるものの、各社会資本を担当する部署間で大きな相違は見られない。このように、何らかの理由で発注者としての地方自治体担当部署においては、新技術の導入にはこれまであまり積極的ではないことがうかがえる。

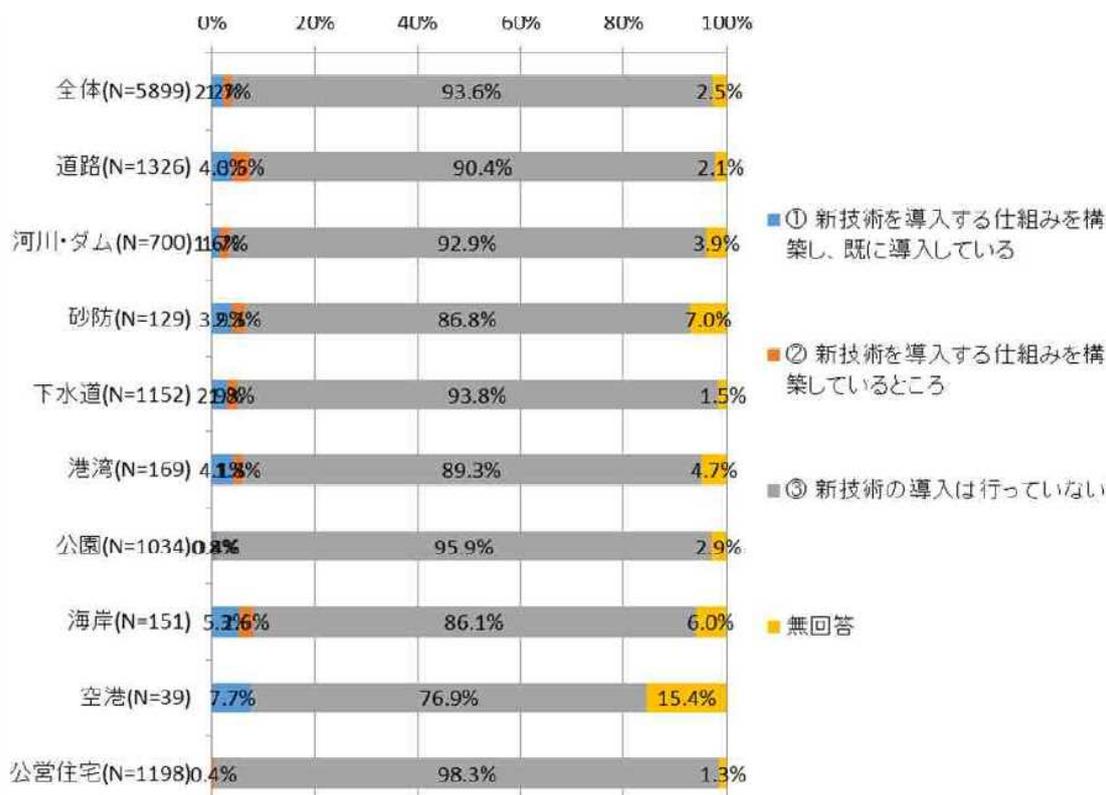


図 5.1.1 地方自治体における維持管理の効率化に向けた新技術の導入や活用等の現状

次に上述の回答の中で、①「新技術を導入する仕組みを構築し、既に導入している」、あるいは、②「新技術を導入する仕組みを構築しているところ」と回答した部署に対し、「どのような取組みを具体的に行っているのか」との質問を行った際の回答が**図 5.1.2**のように整理されている。すべての部署で「新技術に関する国あるいは他機関での導入事例を収集している」とする割合が最大となっており、まずは新技術の情報を可

能な限り探し、収集し、分析して、発注者の視点から得た技術の特徴、長所や短所を把握しようとしている。情報収集の形態をさらに発展させ、研修制度の設置や活用、情報収集機関の設置、専門家等との情報交換、海外調査団の派遣等を実施している部署もあり、これらは過去の実績にとらわれずに、新技術の情報収集・分析を積極的に行っていこうとする意志を示すものであると考えられる。したがって、技術の開発者あるいは専門家・有識者は、新技術の情報を細かく発信していくことが一つの新技術導入促進方策になり得ることがわかる。これについては後述する。また、技術提案型入札方式の導入をあげている部署も少なからずあり、従来型の入札制度では新技術の導入に十分対応できないことも示唆されている。

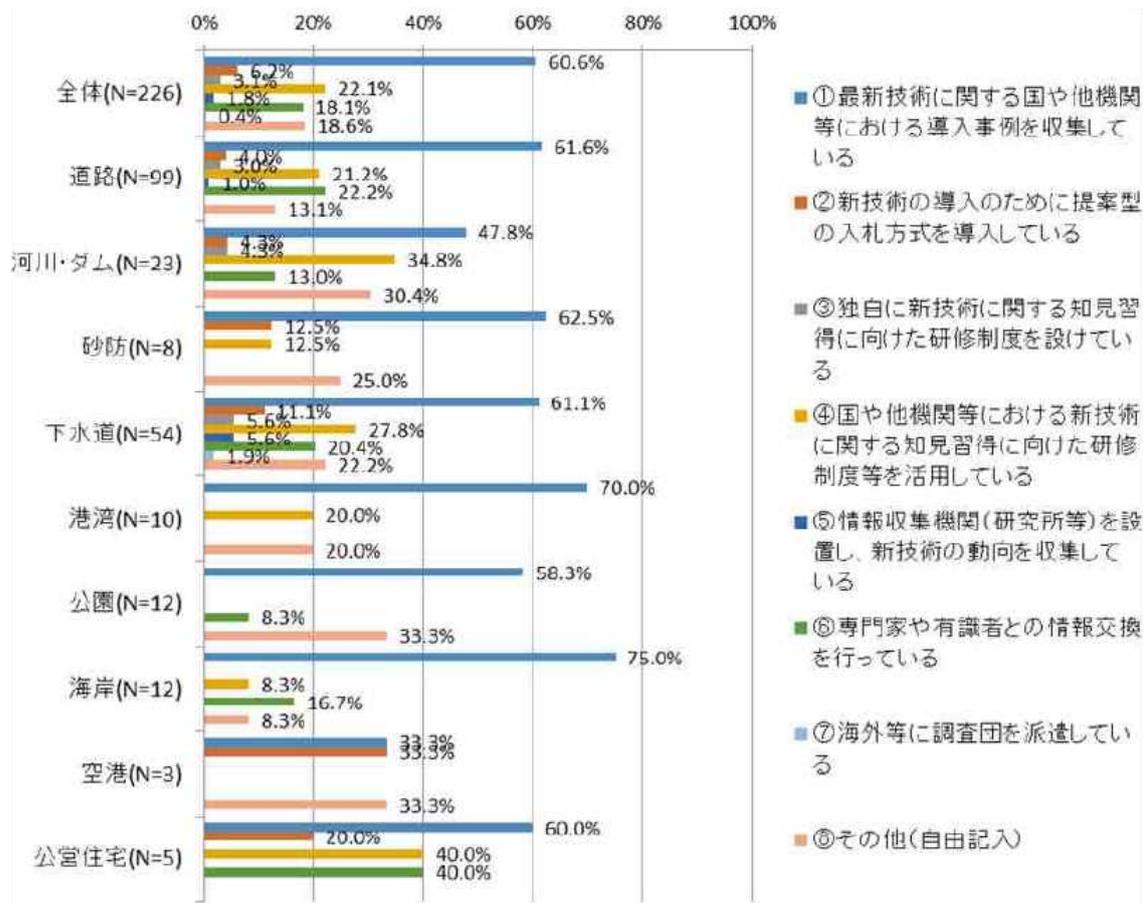


図 5.1.2 地方自治体における新技術導入のための取組みの現状

図 5.1.1 で③「新技術の導入は行っていない」とする理由については、図 5.1.3 のように回答されている。ほぼすべての部署において「新技術を導入するためにコストが必要となる」ことが最も大きな割合であげられている。特に新技術の場合は、その技術の開発にコストが必要であり、そのコストがオンされた場合には初期に導入コストが高くなるのは明らかである。したがって、新技術導入に直接関わる初期コストのみだけでなく、将来のコストや間接コストの節約効果等も含めた総合的なコスト分析が必要になると思われるが、そのための情報が十分ではない。そのことが、1割以下ではあるが、「中長期的な費用の縮減が期待できない」とする回答にも表れている。また、「新技術の導入可能性を判断するための情報が不足している」ことが4割程度の部署からあげられている。たとえ情報が提供されていたとしても、「技術そのものを評価できる知識と経験をもった技術者がいない」ということも指摘されている。さらに、新技術に関する「実績や指針類が

ない」とする回答も2~3割程度の部署からあげられている。指針類については、技術の評価の際に必要なものではあるが、開発者から一方的に提示されるスペックではなく、中立的な立場である学協会等の第三者専門機関が制定する性能評価のための指針類の整備が望まれていると言える。

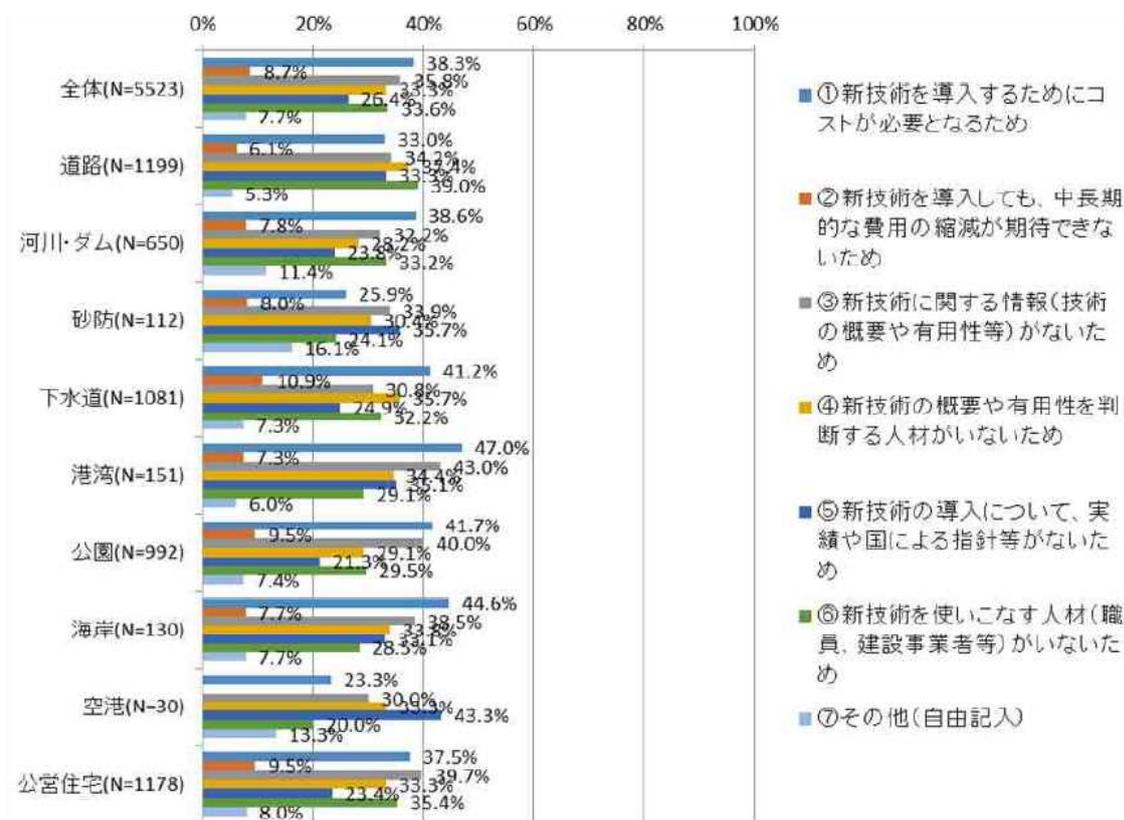


図 5.1.3 地方自治体において新技術導入を行わない主な理由

最後に、新技術の導入のために期待する取組みについての回答を図 5.1.4 に示す。上述した新技術に関わる担当部署の現状・意識や新技術導入に前向きでない理由から浮かび上がってきたことが、この期待する取組みに反映されている。おおむね半数以上の部署において、「新技術導入に向けた技術的支援や助言」が求められる。単に情報収集のみならず、知りたいことや疑問に対して丁寧な説明を受け、適切な助言が得られるような機会が必要であると言える。このことは、シーズとニーズのマッチングの場の提供およびその機会の増大の必要性につながるものである。

「国等による基準・指針類の制定」も5割程度の部署で期待されている。発注者としては、新技術の採用に至る経緯の透明性や説明責任が求められる。また事後の会計検査等に対しての負担軽減の点からも、公的な技術評価基準・指針が必要であるとしている。「国による技術開発の推進・普及」および「産学官連携による技術開発の促進・普及」は、技術そのものの信頼性確保につながるものであると考えられ、民間企業による技術開発の促進よりもさらに大きな期待が多く部署が示されている。民間企業による技術が信頼性に劣るわけではないが、発注者としての官の関わり、および中立的な立場からの学の関わりにより信頼性がより向上するとの期待が示されていると思われる。また、技術そのものの情報に加えて、新技術導入に対するソフト的な対応、つまり、新技術を活用しやすくなるような施策や技術認定制度、予算制度等の充実も求められている。これらは、新技術の導入を容易にするような制度の構築につながるものである。

上記を総括して、これらについて5.4において述べる。

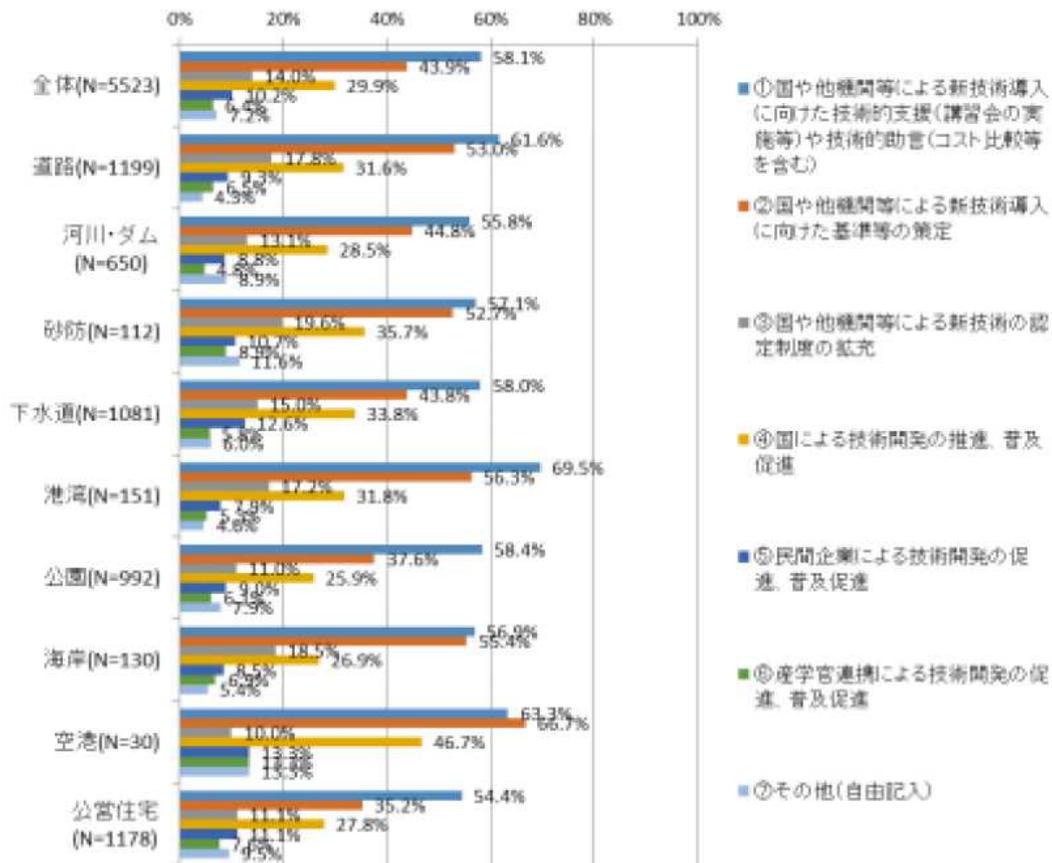


図 5.1.4 地方自治体における新技術導入のために期待する取組み

5.2 技術のシーズとニーズ

これまで進められてきた土木のプロジェクトにおいて多くの新しい技術が生まれ、それを導入することで幾多のプロジェクト実施上の困難を乗り越えてきた。新技術とはどういうふうにして生まれるのかを考えてみると、

- ・土木プロジェクトのニーズに基づいて開発される技術
- ・シーズに基づいて開発された技術の土木プロジェクトへの適用

の2つの形態に大別できる。高度経済成長期のように巨大プロジェクトが次々と実行された時代には、このプロジェクトを実現するための技術が必要であった。具体的にどのような困難さや問題があり、それを解決するにはどのような方策があり得るかということに産官学で協働して取組み、ニーズを満たす技術が開発されてきた。このようなニーズベースで開発される技術は非常に多かったのではないかと思う。一方、当然ながら多様な現場に汎用的に適用できるシーズベースの技術もいくらかは開発されたと思われるが、土木プロジェクトの形態から考えると、シーズベースで生み出された技術の細部はプロジェクトの形態に応じて微調整される必要がある。

このように、いずれの形態の新技術であっても、その導入に際してはシーズとニーズを必ずマッチングさせなければならない状況になる。そのためには、技術開発者は、活用可能な新技術についての詳細な情報(導入実績、技術導入によってもたらされる利点と欠点、ライフサイクルコスト等)を細やかに発信していくことが必要であり、そのような場をより多く提供することが求められる。その際、5.1において示したように、

人材不足や経験不足等で発注者が情報そのものの内容を十分に判断できない可能性もあるので、発注者のレベルに応じた対応が求められる。特に、維持管理に関する技術は、実際の構造物の状況や劣化の状態が千差万別であり、個別の状況に合わせて技術の調整をしていく必要があるため、汎用的な技術のみで支障なく導入できるかという点、必ずしもそういうわけにはいかない。

また、ニーズに基づく技術開発では、プロジェクトの現場でどのような技術を欲しているのかというのを発注者の担当者がどのように発信するのか、またそれを技術開発者がどのようにキャッチするのかということが重要となる。シーズに基づく技術開発であったとしても、現場から発信されたニーズに応じてどのような性能が必要なのか、どのような要求があるのかという技術適用の前提条件をきちんと整理をすることが重要となる。

これらについて、5.3において筆者が関係した新技術の導入事例を紹介する。

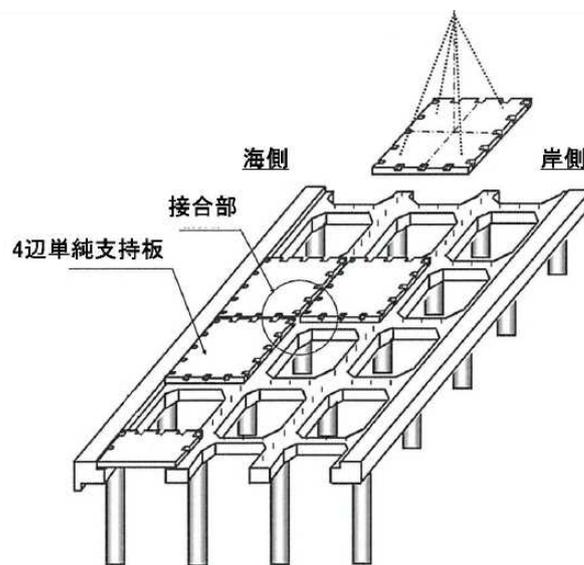


図 5.3.1 リプレイサブル橋の概要

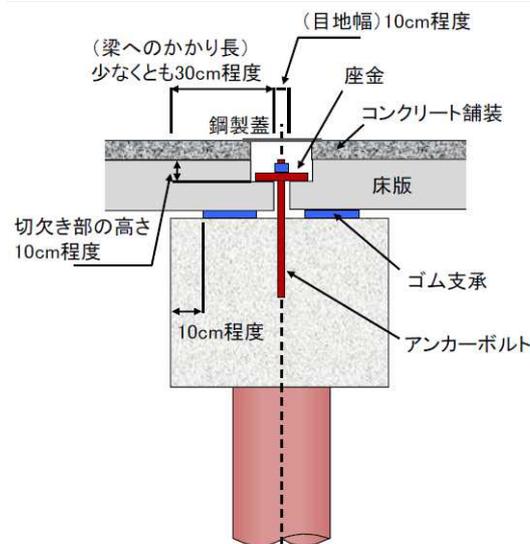


図 5.3.2 リプレイサブル橋の床版接合部の構造イメージ

5.3 シーズに基づく新技術の導入事例にみるシーズとニーズのマッチング

(1) リプレイサブル栈橋上部工

栈橋上部工は一般的に鉄筋コンクリートあるいはプレストレストコンクリートを用いて建設されることが多いが、海水飛沫や波の作用を受けるなど、厳しい環境に曝されるため、早期に塩害による性能低下が生じることが多い。また、干満の影響を受け、満潮時近くなると上部工下面に点検員が入れる十分なクリアランスを確保することができない時間帯があることも多く、目視点検にも困難を極める状況にある。このことが栈橋の早期性能低下につながり、ライフサイクルコストを大幅に増大させる原因となっている。これに対して、十分な耐久設計を行うとともに、維持管理においては、UAV等のロボットを活用する点検技術の開発が多方面で行われている。

これとは別の観点からの新技術として、栈橋上部工（床版）の一部を、プレキャスト部材を用いて取外しできるような構造にしておけば、点検の際に取り外した床版を陸上にて診断することが可能となり、また、劣化が進んだ際の補修においても、同様に取外して陸上で施工ができるので、品質確保や経済性の確保にも有用であることが期待される²⁾。

構造体の部材を取替えがきくものときかないものに分けて建設する考え方は、建築物のスケルトン・インフィル構造のコンセプトに見られるが、土木構造物で本格的に採用された事例は知り得る限り見当たらない。特に、プレキャスト床版同士の接合部をどのように設計・施工すれば、通常の栈橋と同様に性能が確保できるかがこの技術の適用の際の鍵となる。そのため、種々の接合構造に対して模型実験、実大実験、数値解析等により、設計法と施工法が検討された³⁾。また、実際に栈橋上で取り外して再設置ができるかどうかといった施工に関する検討や、用いる施工方法によって点検コストや補修コストが大きく変化するため、これらの観点からのライフサイクルコストの試算についても、独立行政法人と民間業界団体との共同研究による検討が行われた。その結果、ケーススタディに基づいてコスト的に有利となる条件を抽出し、接合部に着目した設計施工法、リプレイサブル構造が有利となる条件を明らかにし、これらが技術資料として2008年3月に取りまとめられた。

しかし、技術的にはあるレベルまでは完成したものの、実際の栈橋建設のプロジェクトにおいてこれまで採用されることはなかった。ここまでの検討は、いわゆる汎用的なアイデアに基づいたシーズベースの技術であるが、やはり個別の案件に適用するには、まだ検討をすべきことが残されているようであった。技術資料の取りまとめから約8年経過し、国土交通省北陸地方整備局において、リプレイサブル栈橋上部工設置の実証実験を伏木富山港新湊地区の-12m栈橋で実施することとなった。実証実験の実施は今回が初めてである。2019年にプレキャスト床版2枚分をリプレイサブル構造として実栈橋上部工に設置し、上載荷重を作用させて床版に発生する応力度や床版間のずれ等を計測するとともに、施工に関する歩掛かり調査が行われる予定である。実証実験で満足すべき結果が得られれば、技術としてはほぼ完成の域に達し、実績もできることから、より実用化される状況になると考えられる。この事例では、構想から実証実験の実施まで15年を超える非常に長い期間がかかったが、実証実験によってさらに技術の進歩が図られ、より多くの実構造物に適用される可能性が高まるものと期待している。このように、実証実験がシーズとニーズのマッチングの場となっている。

(2) コンクリート補修材料

コンクリート構造物の劣化の顕在化に対応して補修材料・工法の開発が進められている。コンクリートの劣化の代表例は塩害や凍害等に起因する内部鉄筋の腐食とこれに伴うひび割れ、かぶりコンクリートの剥離・剥落、断面欠損であり、予防保全の観点からもこれらが軽微な段階で適切な対応をとることが求められ

ている。

図 5.3.3 に示す事例⁴⁾は、降雨や融雪水などの水掛かりによる凍害を主たる原因として断面欠損、ひび割れ、エフロッセンスの析出などが認められた橋脚張出部に対して補修を行ったものの、わずか2年余りが経過した時点で再劣化によるひび割れが生じたものである。補修は、劣化部（深さ 30mm）をはつりとった後に繊維入りポリマーセメントモルタルにて左官工法により断面修復を行うことで行っている。再劣化の状況は、ひび割れ3本が確認できたほか、微細なひび割れも多数見られ、補修前のひび割れに沿って、白く帯状にエフロッセンスが表面近くに集まっていることが見て取れる。再劣化の原因を単純に特定することは難しいものの、補修部への水の浸透および、繊維入りポリマーセメントモルタルを用いたことによる透水量の増加に伴って再び凍害が顕著になった結果であると考えられている。

補修に用いた材料は繊維入りポリマーセメントという比較的新しい技術であるが、メーカーのカタログに記載される材料性能は、一般的に実験室の一定気温下で、水掛かりなども考慮されず、最も良い施工環境の下で行われた試験成績が公表されることが多い。そのため、多様な状況にある実際の現場ではこのような性能が十分に発揮されなかったことがある。したがって、材料選定に際しては、カタログ値や試験成績のみを鵜呑みにするのではなく、施工環境の確保や劣化原因に抵抗性の高い材料や施工方法を考慮する必要がある。

一般的な使用環境を想定して開発された新しい補修材料の品質がこの現場の条件ではうまく発揮されなかったことが想定外の事象をもたらしたことになる。つまり、シーズベースの技術を実際の現場の条件に合わせて的確に適用性を判断し、その品質の評価を行うことが重要であり、場合によっては、そのような微調整の仕組みを整えることが重要である。



図 5.3.3 橋脚張出部の補修後の再劣化の事例

(3) 超高強度繊維補強コンクリート (UFC)

2010年10月に供用を開始した東京国際空港(羽田空港)のD滑走路は、延長約2000mの埋立構造と約1000mの栈橋構造にまたがって建設されている(図5.3.4)。この栈橋構造の上部工のうち、滑走路および誘導路直下はプレキャスト床版が用いられているが、着陸帯と呼ばれる区画(滑走路と誘導路の外側の外周部)を中心に、約7000枚の超高強度繊維補強コンクリート(UFC)床版が採用されている。UFC床版は、長さ7.8m、幅3.6m、厚さ250mm(床版部は75mm)のプレキャスト製品である(図5.3.5)。

この上部工では、着陸帯とは言え航空機が逸走して滑走路や誘導路を外れた際にはその荷重に十分耐える必要があるとともに、地震時慣性力低減のための軽量化、100年間にも及ぶ長期設計供用期間に耐える耐久性、所定の工期を満たすための施工性が重要となった。中でも、非常に重要な空港の土木施設であるた

め十分な耐久性を確保する必要があった。そのため、これらの要求性能を満たし、特に塩分浸透抵抗性に優れた UFC を床版の材料に用いることとなった。



図 5.3.4 東京国際空港⁵⁾



図 5.3.5 製造された UFC プレキャスト床版

UFC の技術自体は欧州を中心に開発されたもので、日本では酒田みらい橋（橋長約 50m の人道橋、2002 年 10 月竣工）において初めて橋梁構造物に採用されている。しかし、まだ大規模に使用された実績がなかったため、大量に施工しても必要な性能がばらつきなく発揮できるかどうか、現場で品質管理が十分に行えるかどうかの懸念があった。そこで、発注者と受注者が協力して、種々の構造実験および施工実験を実施し、主に繊維の配向性に起因するばらつきが生じたとしても性能が確実に確保できることを確認した⁶⁾。また、設計・施工法に関する基準類が存在しなかったことから、第三者機関である土木学会に超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針⁷⁾の策定を委託し、土木学会において設置された委員会においてその内容が検討された。最終的にこの設計・施工指針が発刊されたことを受け、正式にこの技術の採用が決まった。

東京国際空港という現場の条件で、所要の性能が確保できることを発注者と受注者がニーズとシーズを出し合っただけでなく、技術開発してきたことと、公的機関からの設計施工指針の制定が、新技術の導入に不可欠なプロセスであったと言える。

5.4 新技術の利用拡大に向けて

(1) マッチングの機会の増大

土木のプロジェクトにおいて導入可能な新技術が多く開発されているものの、発注者のニーズとマッチさせることがその技術の導入のためには必要である。そのため、シーズとニーズのマッチングは、新技術の活用には不可欠なプロセスとなる。

まずは、マッチングの機会の増大をどのように図るかが重要となる。シーズとなるべき技術の情報あるいは技術のニーズについての情報を把握するには、従来は土木学会全国大会のような学会での発表の場がその役割を果たしてきたように思う。しかし、最近では、学会は主に研究発表の場となっている。研究の成果が直接に現場に適用できる技術につながるものであれば問題は少ないが、研究レベルの技術をシーズとして技術開発を進めていくとすれば、それが導入できるようなレベルの技術となるまでには、さらに多くのエネルギーと時間が必要になる。技術開発者としては、技術適用の前提条件を適確に把握することが必要となるが、それも学会発表の場では難しいので、マッチングの場として常に適当であるわけではない。

その問題を解決するために、本報告書でも紹介されているように、SIP 研究プロジェクトにおける地域実装活動において、多くの情報交換の場がセミナー形式等で提供されてきた。SIP 研究プロジェクト終了後にそれらの活動を継承するように2016年11月に設立されたインフラメンテナンス国民会議の地域フォーラム等がマッチングの場として期待できる。また、国土交通省では、ニーズ説明会、シーズ説明会、新技術のニーズ・シーズマッチング決定会議も行われている。いずれにせよ、産学官民が有する技術や知恵を総動員するためのプラットフォームがその役割を確実に果たせるように運営されなければならない。こういう機会を通して、技術の情報を収集し、ニーズを把握し、双方向の意見交換を行い、技術そのものの信頼性の向上にフィードバックさせることにつなげていく必要がある。

(2) 新技術の信頼性の確保

事例でも紹介したとおり、技術開発の段階、すなわち実験室ではうまくいったものの、実際の現場ではうまくいかないという事例は非常に多くあると思われる。これに対しては、技術そのもののチューニングにおいても、上述のマッチングの場は役立つことになる。また、信頼性の確保の一つの手段として、十分な実績があるか、導入の前例があるかということが、まだまだ実際の技術採用の場において重要な要素を占めている。そのため、民間企業の技術者だけ開発をすすめていくのではなく、技術開発の段階で、発注者や第三者の専門家との意見交換や参画も得て、技術の改良等を進めることも必要な場合もある。発注者には、技術開発者に技術を試行するような場を提供するような施策も、信頼性の確保のためには必要であろう。

基準・指針類の制定も技術の信頼性の確保のためには必要となる場合が多い。基準・指針は、第三者も含めて検証された技術の信頼性確保のプロセスを示す役割もある。技術の信頼性に関する透明性や説明責任の確保の観点からも有用な情報となる。

(3) 新技術の導入を容易にするような制度の構築

これまでに述べたように、新技術を導入するためには、それに見合う制度を作ることが不可欠である。一般に用いられている入札の基準、品質管理の基準、検査のための基準、積算の基準などは、旧来型の技術を元に構築された法律の体系、検査の体系、基準の体系に基づいており、新技術の導入の際に悪影響を与える

可能性もある。新しい技術にそぐわないシステムは、技術の展開に応じて徐々に変えていく必要がある。また、それに伴って、新技術導入に際して適切な評価が行えるような体制の構築も必要であり、それに伴って、技術者そのものも向上していかなければいけない。

発注者側でも、モデル事業、パイロット事業、実証実験、契約後 VE 等の制度の導入も図られてきており、これらの積極的な活用も望まれる。そこでは、受注者からの提案によって新技術の試行が行われることとなり、その成果によって技術そのものが改良される等の効果もある。また、このような事業を通して、発注者と受注者の意思疎通、情報交換が深まり、ニーズを満足するのによりふさわしい技術となり得る。

参考文献

- 1) 国土交通省社会資本整備審議会・交通政策審議会技術分科会技術部会社会資本メンテナンス戦略小委員会, http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s201_menntenansu01.html
- 2) 岩波光保, 横田弘, 寺内潔: リプレイサブル栈橋上部工の開発に関する研究, コンクリート工学, Vol.46, No.2, pp.33~40, 2008.2
- 3) 岩波光保, 加藤絵万, 横田弘: リプレイサブル栈橋上部工の構造性能評価手法に関する研究, 港湾空港技術研究所報告, Vol.48, No.1, pp.3~64, 2009.3
- 4) 日本コンクリート工学会北海道支部: 積雪寒冷地におけるコンクリート補修工法の設計施工に関する研究委員会報告書, 2016.5
- 5) 野口孝俊ほか: 羽田空港 D 滑走路の設計, 土木学会論文集 C, Vol.68, No.1, pp.150~162, 2012
- 6) 国土交通省関東地方整備局東京空港整備事務所: D 滑走路技術記録, 2010.12
- 7) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案), コンクリートライブラリー, 113, 2004.9

(執筆者: 横田 弘)

6. 責任とリスク管理

6.1 トラブル・事故の防止に対する基本的考え方

6.1.1 安全とは何か

インフラ維持管理に関わらず、公共サービスを担う事業者は、労働者だけでなく、第三者、さらにはその地域の安全・安心を確立させた上で、事業サービスを行わなくてはならない。ISO/IEC ガイド 51 において、安全およびリスクは、表 6.1.1 のように定義されている。そして図 6.1.1 に示される流れに沿って、リスクアセスメントからその対処を行うことが提唱されている¹⁾。ここで注目すべきは、「許容不可能なリスク」という表現である。この許容の主体は、事業者ではなく、利用者さらには地域となる。危害の解釈も、この許容という概念によって変動する。したがって、公共サービスの実施においては、社会からみて許容されるリスク以下に抑制させるようにサービス全般をマネジメントしなくてはならない。

表 6.1.1 安全、リスク、危害、及び許容可能なリスクの定義¹⁾

安全 (safety)	許容不可能なリスクがないこと
リスク (risk)	危害の発生確率及びその危害の度合いの組み合わせ
危害 (harm)	人への危害もしくは健康障害、又は財産及び環境への損害
許容可能なリスク (tolerable risk)	現在の社会の価値観に基づいて、与えられた条件下で、受け入れられるリスクのレベル

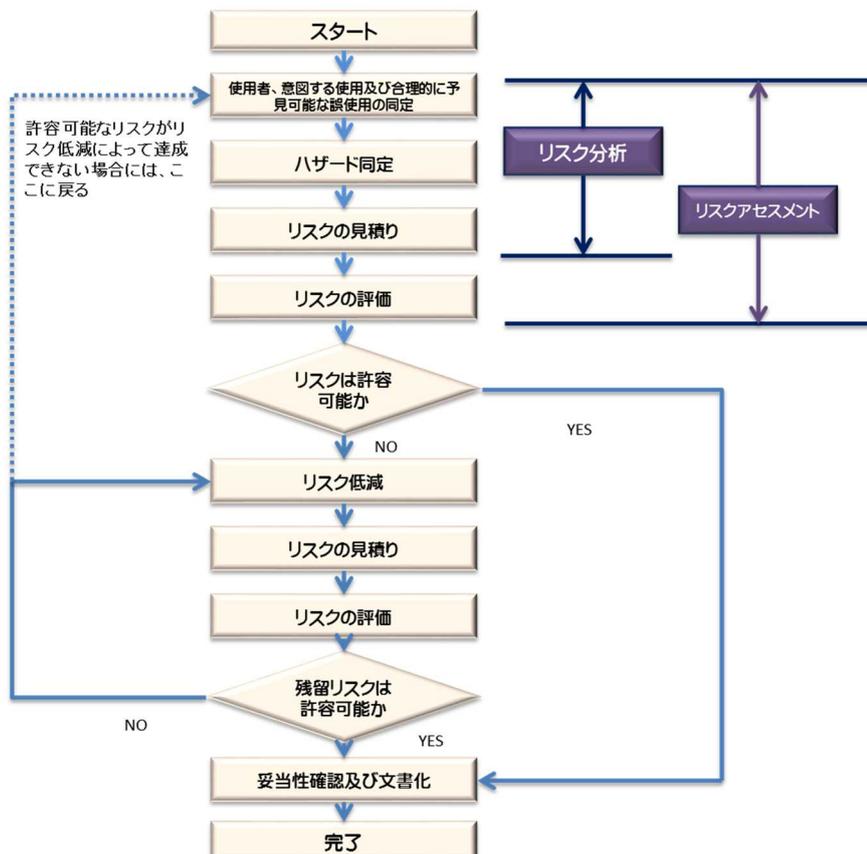


図 6.1.1 ISO/IEC ガイド 51 2014
リスクアセスメント及びリスク低減の反復プロセス¹⁾

ここでいう許容とは、その時代・地域の人々が有する価値観によって決まる。不安や不信が強い事業に対しては許容されるリスクは小さくなり、より厳しいリスクマネジメントが必要になる。特に新技術導入の場合は、過去の事例が少ないということから不安感が大きくなりやすいので、ちょっとした事象の発生や広報によって、許容されるリスクが小さくなってしまふ恐れが大きい。

したがって、次のような点を十分に考慮し、地域さらには社会からの安心を高めるような、リスクマネジメントを実践することが必要である。

- 1) 関連技術に関する安全対策の導入 (他業者の知見の積極的導入)
- 2) 緊急対応の整備 (トラブル発生時に、想定外とは言わない・思わない雰囲気)
- 3) 基本動作の徹底 (確認は最後の砦ととらえ、その前で防ぐ意識を高める)
- 4) インシデント情報の水平展開 (社内だけでなく、事業者横断的に)
- 5) ヒヤリハット事象に関する情報の活用 (ヒューマンファクターズの適用)
- 6) 安全文化の構築につながる教育の実践 (単なる安全教育にとどめない、幅広い教養教育)
- 7) 「企業の経営戦略の礎としての安全管理活動」という理解の浸透
- 8) 企業価値を高めるためのリスクマネジメントという理念

6.1.2 ヒューマンエラーへの対応

多くのトラブルは人が関わっているため、ヒューマンエラーに関する検討は重要となる。ヒューマンエラーを防止するためには、人間が全く関わらない状況・環境を提供する方法、つまり完全自動化の対策を講じるしかない。しかしこのような対策をすべてに施すことは現実的ではない。過去のトラブルの発生状況、被害状況を考慮し、必要に応じてフェールセーフ（何かあっても安全側に機械が動作する）の仕組みを組み入れるなどの策が実施されるのが妥当である。

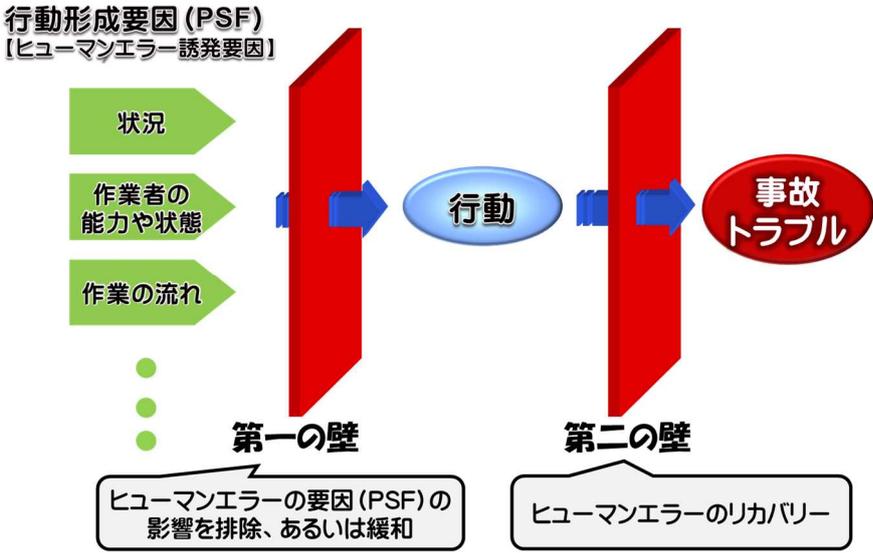


図 6.1.2 ヒューマンエラーが原因となるトラブルを防止するための諸策を講じるための基本的な考え方³⁾

一方、プロという人間がいることによる効果はますます重要になってきている。エラー防止・低減することを目的とするのではなく、作業者が現場で求められる成果を的確に出すことを目的とした、ヒューマンエラー対応、リスク管理が適切であることは多い。ヒューマンエラー自体への対策を考えるにあたっては、ヒューマンエラーがトラブルの原因であるという関係性を拡張させることが必要である。ヒューマンエラーは

人間の行動であり、その人間行動は、種々の要因によって影響を受け、変化している。言い換えれば、この要因を改善することで、人間の行動をよりよい方向に変化させることができる。すなわち「要因を抽出し改善できれば、その作業でエラーが発生する可能性は減る」である。この要因のことを、行動形成要因（Performance Shaping Factors : PSF この後は略して要因と表記）と言う。ヒューマンエラーが原因となるトラブルを防止するための諸策を講じるための基本的な考え方を図 6.1.2 に示す³⁾。図 6.1.2 では、ヒューマンエラーを挟む形で、2つの壁が描かれている。この2つの壁を整備することが、ヒューマンエラーによるトラブルを防ぐことにつながる。

(1) 第一の壁

第一の壁は、ヒューマンエラー自体の発生可能性を抑制させるための対策である。たとえば、作業時間の見直し、マニュアルの修正、作業体制の変更、指示内容の見直し、工具・治具の変更、整理整頓や周知な準備などである。要因群の典型例を図 6.1.3 に示す。【Gestalt は心理学の一つであり、人間が持つ作業や動作のイメージ作成に関する要因群を指す。Affordance も心理学用語であり、動作のしやすさ、作業のしやすさに関わる要因群を指す。Preview は人間工学で使われ、先読みを含め、作業をするにあたっての関連情報全般に関わる要因群を指す。Workload も人間工学でよく使われ、疲労に関する要因群を指すが、肉体的負担だけでなく、精神的負担も含む。現実的には、精神的負担に関わる要因の方が主体となる。】

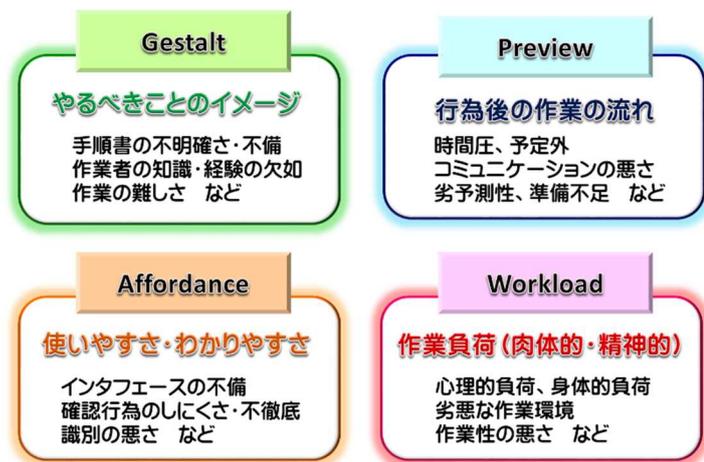


図 6.1.3 ヒューマンエラーに関わる要因 (PSF) の代表的な項目群

Workload も人間工学でよく使われ、疲労に関する要因群を指すが、肉体的負担だけでなく、精神的負担も含む。現実的には、精神的負担に関わる要因の方が主体となる。】

要因はヒューマンエラーやトラブルの発生の前から存在しているものも多くあるので、将来のヒューマンエラーの種（原因予備軍）というとらえ方もできる。したがって要因を分析・評価し、その要因を改善することがすでに発生したヒューマンエラーの防止（再発防止）はもちろん、将来に起こりえるヒューマンエラーの防止（未然防止）へとつながる。一つのヒューマンエラーには多くの要因が多様な形で影響しており、次のように類別できる。

(1) 直接要因：ヒューマンエラーを発生させる直接の要因となったもの。一般的に、ヒューマンエラーの要因と言われる場合は、この直接要因を指していることが多い。注意不足、うっかり、ぼんやりなどといったものが、直接要因の代表例であるが、これらは、作業者の意識向上（がんばります的な）策しかでてこず、対策が不十分になりやすい。

(2) 間接要因：直接要因の発生を促した要因。直接要因が生じた時期よりも以前に生じている場合が多い。ヒューマンエラーの発生場所とは異なる場所・部署に存在することもある。スキル不足、経験不足、マニュアルの不備、整備不良といったものが、代表例である。ただ、改善すべき問題点の大枠を示しているだけのことが多く、問題点の詳細が示されていないために、対策が抽象的になりやすい。したがって、次に示す背景要因にまで深めて分析することが望ましい。

(3) 潜在・背景要因：直接・間接要因を生じさせた根本要因。直接要因、間接要因それぞれを生み出した背景であり、改善すべき要因と言える。潜在要因は、作業や環境の重要な改善点を示唆しており、具体的

かつ詳細な内容を示している。この例を、表 6.1.2～表 6.1.5 に示す。

表 6.1.2 要因 (PSF) 参照リスト【Gestalt】

分類	略称	リファレンス(例文)
Gestalt やるべき イメージ	g1 知識・経験不足	①作業に対する知識が不足または偏っている
		② “ “ 技能・スキル・経験が不足または偏っている
		③教育内容・教育方法・体制等に不備・不足があった
	g2 不定形性	④マニュアルにない個人の判断に依存した不定形な作業・方法
		⑤参照すべきマニュアル(作業標準・図面他)を間違った
		⑥不定形作業での指示が間違った
		⑦ “ “ 指示がなかった、指示のタイミングが悪かった
	g3 資料不足・不備	⑧参照すべき標準・マニュアル・図面などがなかった
		⑨既存の資料に書かれていない、あるいは記載が不明瞭であった
		⑩新規の資料(指示書・手順書他)に不備(漏れ、誤り、不明瞭)があった
	g4 同種反復	⑪同じような作業が繰り返していた
	g5 規範の弛緩・過信	⑫マニュアルに完全に従っていない、見ていない、便宜的に変更している
		⑬従来からの経験や慣習への過信・盲信、経験者への依存
	g6 熟練や腕の冴え	⑭熟練の「読み・判断」や操作の慣れ等を必要とし、作業自体が難しい
⑮操作や判断が複雑		
g7 思い込み	⑯めったに行われな作業、稀にしか起こらない事情への対応であった	
	⑰思い込みによる不十分または誤った評価、確認の省略	

表 6.1.3 要因 (PSF) 参照リスト【Affordance】

分類	略称	リファレンス(例文)
Affordance 判りやすさ 使いやすさ	a1 MMI不備	①工具・治具を間違った
		② “ “ の整備(点検・修理)不良であった
		③ “ “ がなかった(ないまま作業した)
		④同時に多くの監視や操作を必要とする
		⑤操作に対するフィードバックが遅い(ない)
		⑥目印(位置、方向など)がなく、反対でも取り付け可能な構造
	a2 劣識別性	⑦識別しにくい(見分けにくい、聞き分けにくい、紛らわしい)
	a3 確認不十分	⑧影響を目視で、確認がしづらい(確認できない)
		⑨手加減で確認しながらの操作
	a4 劣訴求性	⑩行うべきことが外見から感じられにくい、判りにくい
⑪ “ “ マニュアル等から読み取れない、文書が難解		
a5 孤立作業	⑫自動化範囲の把握や自動化機能と手動機能の切り分けが区別しにくい	
		⑬作業が孤立しやすい(周りや前後と比較できない、判らないままの操作)

表 6.1.4 要因 (PSF) 参照リスト【Preview】

分類	略称	リファレンス(例文)
Preview 変化の把握	p1 時間圧	①時間に追われる、終了時間の厳守が必要、計画工程が切迫している
		②素早い照合・判断・操作が必要、手順の優先順の素早い決定
	p2 予定外作業	③予定外・突発・割り込み、または変更が多い、作業の中断がある
	p3 劣予測性	④見通しが悪い、時間遅れが大きい、進捗確認がしにくい(出来ない)
		⑤潜在する危険を危険予知しがたい(出来ない)
	p4 伝達不適切	⑥異常や変更に対する警報や連絡が遅い
		⑦責任者・指揮者がいなかった(適切な指示・連絡・指導が出来ない体制となった)
p5 他系統との連携	⑧作業グループ内でのコミュニケーション(情報共有、報連相)が十分なされていなかった	
	⑨関連する他系統との作業の連携がよくない(直直・直協・協協・元請下請など)	
	⑩組織・役割分担の明確化・調整の不備、作業者間での解釈が異なる	
p6 準備不足	⑪準備不足・安全養生不十分・体制不十分のまま作業に入る	
	⑫事前評価、部品確認などの事前準備が不足していた	
p7 一般的予知不足	⑬関係者間での工程・役割分担など、事前の確認・調整が不足していた	
		⑭作業結果に対し楽観的で慎重さに欠く、これ位は大丈夫と思う

表 6.1.5 要因 (PSF) 参照リスト【Workload】

分類	略称	リファレンス(例文)
Workload 心身への 負荷	w1 心理的負荷	①緊張する・失敗への恐れ・集中が必要など、精神的な負担が大きい ②いつもと違う作業空間であった
	w1&2 心理的・身体的負荷	③作業時間が長くなる、単調作業の繰り返し ④いつもより少ない人数で作業を行った ⑤当日作業の終了間際の付随作業、残業での追い込み作業
	w2 身体的負荷	⑥無理な姿勢・長時間同じ姿勢で作業した ⑦肉体的疲労が蓄積していた
	w3 劣作業性	⑧指示が聞こえなかった ⑨他の作業者と作業空間・作業時間が重なった ⑩作業中の移動距離が大きい(操作盤や道具置場等が遠く、行ったり来たり)
	w4 悪環境・危険作業場	⑪不快な環境であった、狭い(窮屈)、暑い・寒い ⑫照明(ない・暗い・眩しい)や騒音(聞こえない)などの環境が悪い
	w5 対象機器の形状	⑬高所・高電圧・高放射能などの危険な作業場であった ⑭対象機器の形状・大きさ・重量・状態などが扱いにくい(強い力などがある)

ヒューマンエラーの発生可能性を縮小させるためには要因の抽出が鍵になるが、次にあげる点を考慮することが重要である。

(1) 網羅性：明らかに原因と判断できる要因だけでなく、エラーに影響した可能性が少しでもある要因までも含めて幅広く抽出すること。分析時には、トラブル発生時にのみ出現した要因だけを選んでしまいがちである。これは、トラブル発生ということ、リスクが顕在化しているため、その顕在化に貢献している要因を高く評価してしまうからである。しかし、実際改善すべきは、通常作業にも存在している要因による潜在リスクである。すなわち、図 6.1.4 に示す「対象作業において常に存在している要因」にも問題はないかと考え、潜在リスクの軽減に努めることが重要である。

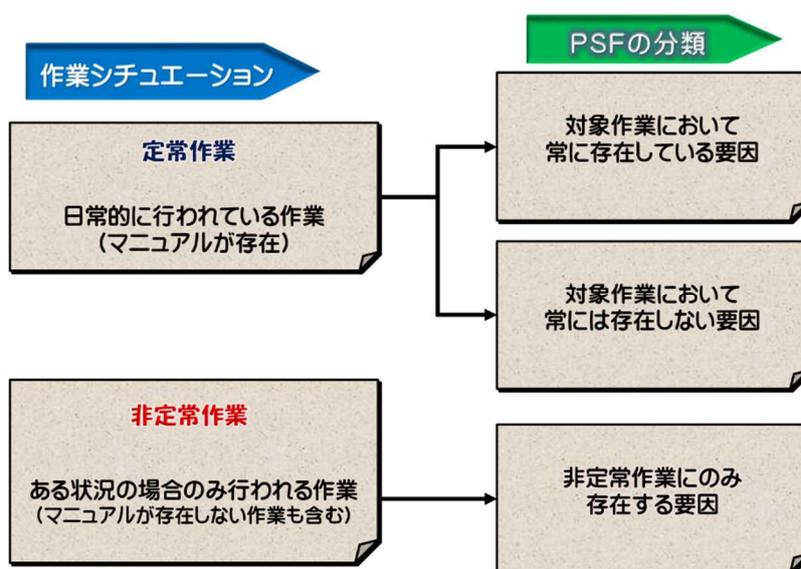


図 6.1.4 要因の定常性による分類

(2) 先入観の除去：対策を先にイメージしないこと（対策をイメージすることで、その対策を導くための要因分析となってしまう、別の視点が見つからなくなりやすい）

(3) 多様な視点：一人ではなく、複数の人、特に知識や経験が異なる人たちで要因分析を実践すること

(4) 多次元：トラブル発生時点、発生場所を超えて、トラブルに関連する経緯・場所に関する要因も検討すること

(5) 問題追求型：問題点の抽出を最優先とし、その対策の実現可能性は抽出の際には重要視しないこと（対策の実現可能性は、要因抽出を終了させた時点で行うことが望ましい。同様にリスクアセスメント的発想も要因抽出後に行う方がよい。）

ヒューマンエラー自体の対策は、エラーをしにくく、トラブルにつながりにくく、作業改善を行っていくことである。安全対策だからと現場に負担を強いるような対策が実施されることがあるが、対象作業以外に

悪影響をあたえ、他の作業におけるエラーの発生可能性をあげてしまうこともある。そのような場合、対策を施した作業ではエラーは出なくなるが、他の作業でエラーが頻発するといった事態になりやすい。第一の壁に関しては、現場中心という考えのもと、現場の第一線の作業者の仕事の状態を第一に置いた対策を企画立案することが重要である。

(2) 第二の壁

第二の壁は、ヒューマンエラーがトラブルに至らないようにする対策のことである。この代表例は、自動化・ロボット化、保安装置、さらにチェック・確認体制の整備・強化（ダブルチェック、チェックリストを含む確認作業など）である。すなわち、作業者が間違った操作をしても、その結果が事故、災害にならないようにする仕組みである。ただしほとんどの場合、第二の壁は過去の事例から作ることはできず、再発防止の枠を超えることが難しい。したがって、第二の壁だけでは不十分であることを理解しておくことが肝要である。現場レベルで、作業視点で改善を行い、適切な第一の壁を作った状況でこそ、第二の壁はより有効に機能する。たとえば、第二の壁の典型例であるチェックリストは、エラーリカバリーの観点で言えば有効な方策である。しかし、作業時間に余裕がなく、整理整頓されていない作業環境下では、チェック行為自体が形骸化したり、チェック行為を間引いたりすることにつながる。作業時間の適切な設計、日常的に整理整頓を行う習慣、話しやすい職場、準備を大切にす文化、など当たり前と言われることを、まずはきちりできるように改善することが、第二の壁の効果をあげ、結果的に事故・トラブル防止につながる。そのことを管理者だけでなく、現場全体に浸透させることが重要である。

6.2 新技術導入におけるリスクマネジメント

新技術導入においても2つの壁を的確に設け、対処することが適切なリスクマネジメントにつながる。しかし、新技術は、実装試験を繰り返し行っても、現場での実績が乏しいため、どうしてもトラブル情報が不足しがちになる。そのため、過去のトラブル情報から構築される第二の壁は薄くなりやすい、すなわち、新技術は既存技術に比してリスクは大きくなりやすい。その増大するリスクに対処するためには、次の3つの戦略が有効である。

① 第一の壁の強化

表面的には、第一の壁は“エラーを起こしにくい環境設計”と言える。しかし、第一の壁の実質は、“エラーを起こしにくい、作業員（人）及び作業班（チーム）”である。自発的に整理整頓する人、気になったことをすぐに声かけする人、（規定されていなくても）ダブルチェックを買って出る人、など、いわゆる“気づき力”が高い人、“気づきをうまく補完し合えるチーム”こそ、第一の壁の基礎と言える。このような人材を迅速に育成するとともに、作業チームの意識改革を行うことが肝要である。特に、重要なのは、“大丈夫と思わず、不安感を常にもつ”という習慣を身につけることである。そして、みんなで助け合うというフォロワーシップをチーム内で構築させることである。そのためには、チーム内で、「ありがとう」という感謝の言葉を積極的に使うこと、特に声かけされたときに感謝を示すことが重要になる。

② 企業を超えた情報の共有

新技術導入時点では、トラブル情報を開示することが普及の足かせに見えてしまうため、開発者の心理として、トラブルの評価が甘くなりやすい。つまり、想定されるリスクが軽視されやすくなる。そのことは、トラブル情報の集積の不活性化につながり、情報共有にも悪影響を及ぼす。そのことが結果として、多くの現場で類似のトラブルが発生しやすくなる。トラブルを起こさないようにするためには、現場の適正な安全

管理を実施だけで満足することなく、同様技術の負の情報のデータベースの構築、データ収集の積極的運用、情報共有の支援などを業界団体で行うようにし、開発者・運用者だけに任せたりリスク管理体制にならないことが重要である。これまで多くの場合、重大インシデントが起こってから、安全監査を行う体制を国レベルで作成し、行政が指導してきた。しかしながら、この事後対応方式では、これからの現代社会では評価されず、社会からの安心・信頼は得られない。新技術のトラブル対応について水平展開できる仕組みを全国レベルで構築し、安全性を向上させるための情報展開・対策の共有化を迅速に行うことが、新技術導入に対する周辺住民の不安感の軽減につなげていく一助となる。

③ ヒヤリハット事象に関する情報の運用拡大

ヒヤリハット事象に関する情報は、労働安全の分野だけでなく、多くの分野で利用され、様々なリスク管理のヒントを与えてくれている。すなわち、作業員・第三者の安全だけでなく、作業の効率・有効性、さらには従業員の満足にも影響する情報を、ヒヤリハット事象から収集することが、多様なリスクの軽減に貢献する。ただし、ヒヤリハット事象のどんな情報を収集することが現場にとって重要かといったことを検討しないままに収集活動を開始させると、リスク管理に貢献できないだけでなく、安全活動に対する現場の疲弊感を著しく招くことにもなりかねない。ヒヤリハット事象から得られた情報への対応を、現場での注意喚起・確認励行といった対応に委ねるのではなく、多様な視点からの現場改善につなげていくことが望ましい。労力をかけて情報を収集した結果、現場への負担が増すばかりであると感じてしまうと、事象の収集活動は停滞してしまう。ヒヤリハット事象の収集は、現場の仕事の質を高め、現場のやる気を向上させることを目的とし、収集から分析、対策立案までを行うことが肝要である。

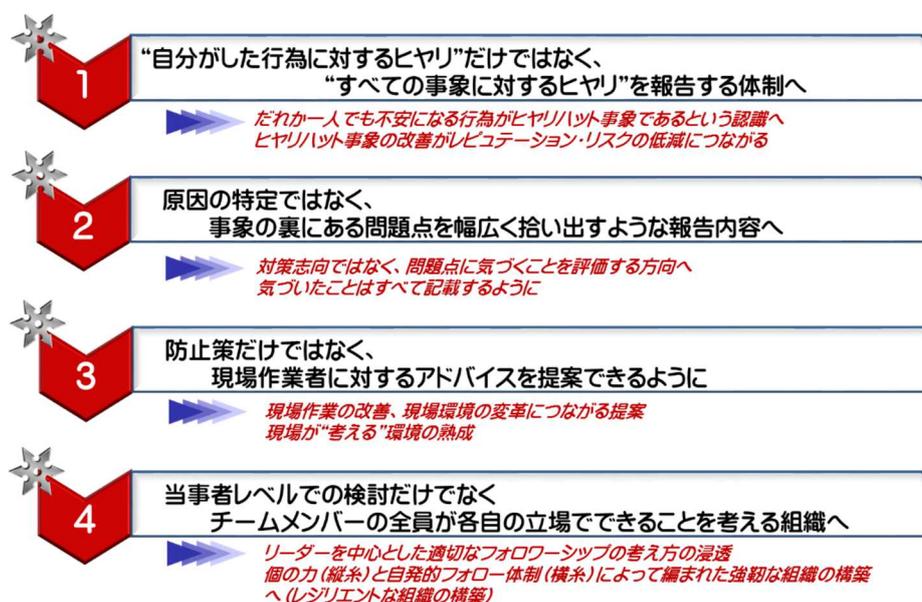


図 6.2.1 ヒヤリハット事象をもとにした安全管理活動における留意点

エラーを減らすことだけを目的とした対策立案をしつづけると、本来の業務に悪影響を及ぼすことにもなる。本来業務の質を見据え、適切な対策立案、運用を図ることが重要である。たとえば、マニュアルの記載にあいまいな部分がある場合には、マニュアルの記載内容を変更する、図を入れわかりやすくする、アイコンなどで注意点を明確にするといったことが基本的な対策になる。また、作業に特有の技量がいるといった場合は、専用治具の導入やユーザビリティの高い機器への変更といったことが対策となる。

一方、要因の状態を直接的に改善できない場合もある。たとえば、「野外での作業でありマニュアルをみるできない」といった場合、野外で行うことの影響が少なくなるように、マニュアルを電子化し、透過

型のヘッドマウントディスプレイを用いて、作業者が見ることができるようにするなどの対策が有効となる。さらに、指示内容を音声機器だけに頼らず、音声入力を通じて、モバイル端末に表示するといった対策を導入することも対策例となる。

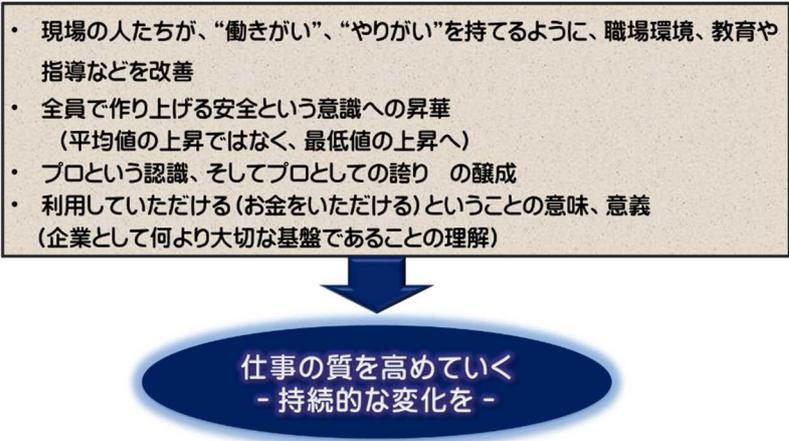


図 6.2.2 現場中心の安全管理活動へ

作業者のヒューマンエラーの発生が、トラブルにつながらないようにする一番の方法は、チェック・確認である。しかしながら、単なるチェックリストを用いた確認作業では項目が膨大になるだけで、逆に確認作業におけるヒューマンエラーの発生を増大させる。この問題を改善するためには、主作業とチェック・確認作業とを分別することなく、作業者が行う作業全体を俯瞰し、その作業全体を円滑に進めるように、作業全体の観点から要因を分析することが有効である。確認作業だけを重要視しすぎると、どこかにひずみが生じ、思わぬところでトラブルが連発したりする。作業ではなく、作業者の仕事の流れの中で要因を検討し、個々の作業者が必要以上の負担を被ることがないように管理していくことが大切である。そして、図 6.2.2 に示すように、作業者の意識を前向きにさせた上で、いい仕事をするのが、エラー防止活動の目的、安全管理活動の目標となることを浸透させていくことが望ましい。

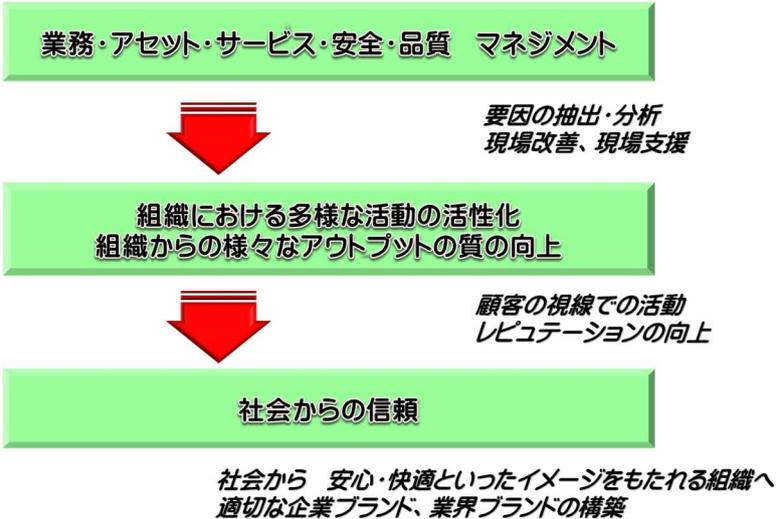


図 6.2.3 公共サービスにおけるリスクマネジメントの理想的な戦略方針

トラブル防止対策を要因毎に準備する必要はない。要因を各個撃破する対策でも、いくつかの要因を一網打尽にする対策であろうとかまわない。重要なのは、対策に関わる経費・時間・人手などである。したがって、対策の立案、運用に際しては、プロジェクト・マネジメントと連動させることが重要である。特に、新

技術導入においては、実施責任者が明確な戦略を持ち、現場が提案する対策を的確に判断し、評価する体制にしなくてはならない。そうでなければ、新技術自体がリスク要因として挙げられてしまい、新技術の運用停止が最善策となってしまう恐れが高くなる。新技術導入促進にあたっては、新技術導入の価値を的確に評価し、さらにその価値をさらに向上させるためのリスクマネジメントを実践するような、図 6.2.3 の流れのようにプロジェクト・マネジメントを実践することが必要である。

6.3 サービス価値、企業価値を高める安全管理活動へー成長戦略の根幹としてのリスクマネジメントー

安全活動を事故防止活動としてとらえると内向きの活動になってしまう。しかし内向きの活動では、社会からの安心・信頼を得ることは難しい。事業者自らの活動を様々な形で社会に公開し、社会からの信頼を高めるようにすることが重要である。その信頼が、企業のレピュテーションの基礎となり、企業活動の支えとなっていく。これからの少子高齢化社会において、利用者や地域の信頼を得、ともに未来を歩んでいきたいと社会から認められるレピュテーションを得る安全活動を目指すことが、次世代社会における安全活動の鍵となるだろう。

安全対策・エラー対策の目的は、業務・仕事の質を上げていくことである。さらに、利用者だけではなく、地域の人たちからの評価を得ることも重要である。安全活動は、安全な状態の持続を中間目標とし、最終的には地域の安全安心に貢献することを目指すことが望ましい。

事業者は自分たちが目指す企業価値を持っている。企業価値に合致した安全活動を明確にし、その目標に向かって改善していくことが理想的である。価値を高めるためのリスクアセスメント・リスクマネジメントであると教育することは、現場の様々な理解を深め、より実のある活動・対策へと繋がる。そうして安全性も著しく上がっていく。その結果、安心・快適といったことを含む地域の様々な価値の向上も期待できる。

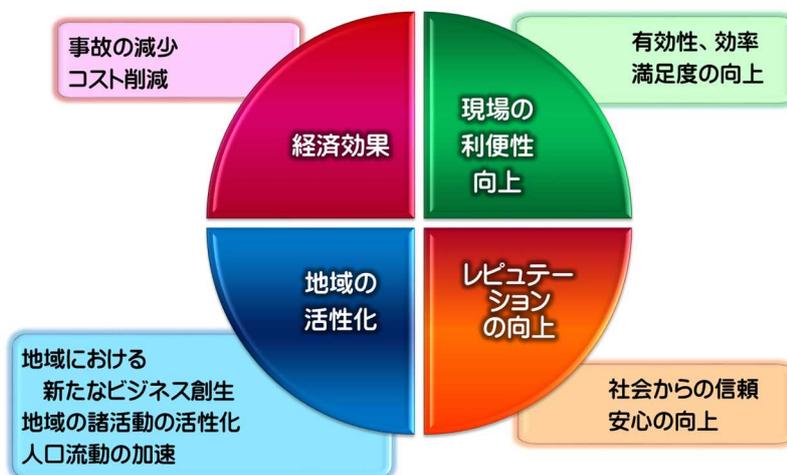


図 6.3.1 サービス価値と連動したリスクマネジメントの進展

参考文献

- 1) ISO/IEC Guide 51, 1999, 2014 (JIS Z 8051 安全側面—規格への導入指針, 2004, 2015)
- 2) 向殿政男, 安全の理念と安全目標, 学術の動向, 2016, 21 (3), p.3_8-3_13
- 3) 岡田有策, ヒューマンファクターズ概論, 慶応大学出版, 2005

(執筆著者: 岡田 有策)

7. シーズ側からみた新技術開発

7.1 多様な技術分野が参加した SIP

図 7.1.1 をご覧いただきたい。これは SIP インフラメンテナンス参加研究者の専門分野である。土木工学が半数を占めるのは当然として、情報通信、電気電子、機械メカトロ、社会システム、応用物理等多岐にわたる分野の専門家が参加していることがわかる。またグラフからは読み取れないが個々の研究チームが複数の専門分野の専門家で構成されている例もあり、従来とかく土木工学が内向き指向であるという指摘とは異なる様相である。そしてまさしくこの多様性こそ、SIP が従来とは次元の異なるいくつかの成果を出すことが出来た一つの要因であると考えられる。

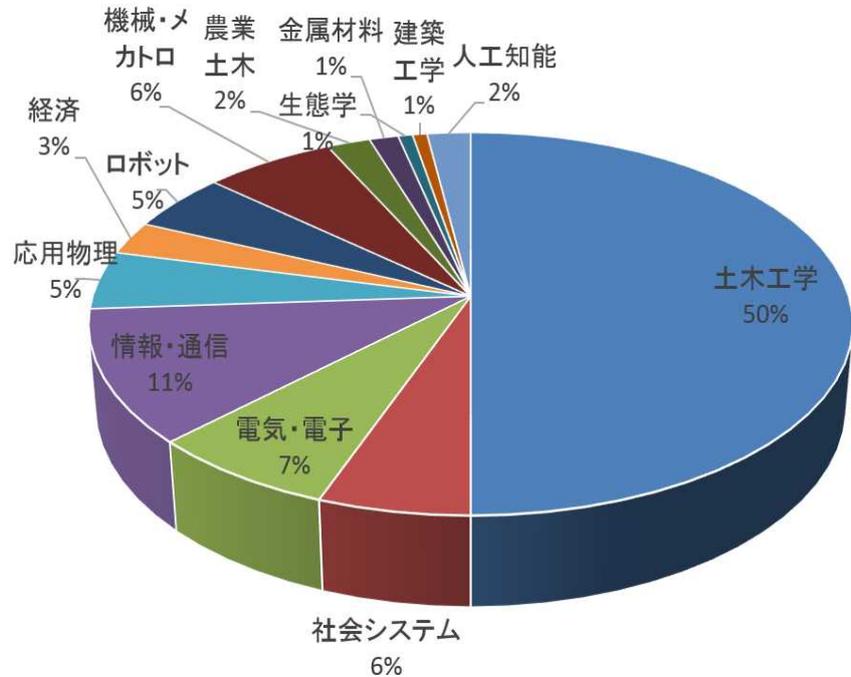


図 7.1.1 SIP インフラメンテナンス参加者の専門分野

一方課題も明らかになってきた。多分野の技術者が中心となった研究チームでは、建設関係のビジネスモデルの経験がないケースがほとんどで、社会

実装に向けての展開がうまくいかないものも散見された。建設分野、特に公共土木分野では、多くの場合最終ユーザーは一般国民、調達者は国や地方自治体等の公共機関である。通常の民間取引では、需要者と供給者が合意すれば取引は成立する。新技術を売り込む場合でも、需要者がその性能や費用、場合によってはリスクを納得して購入を決定すればそれで十分である。しかし公共の場合には、公正性、公平性、透明性がより一層求められる。いくら供給者がその製品やサービスの優位性を主張しても、公共調達の担当者が上記三条件を納得し、しかも社会に説明できなければならない。この言われてみれば当然のことが意外に理解されていないことが見受けられた。出口戦略の不在である。

理論的、あるいは実験室内では優れた技術でも、実用にはまだ遠いと判断されるものもあった。公共土木施設は長期間の供用に耐える必要があり、不特定多数に利用されるものである。すなわち管理に民間施設とは異なる視点の高度な配慮が必要な施設であるが、このことに対する対応が不十分なものも見受けられた。

研究チームの構成員のなかに、インフラ管理に何らかの形で関与している機関が参画しているところは、比較的うまく対応していたように感じられた。いずれにしても、これほど大規模に他分野の技術がインフラメンテナンスに参加したことは過去に例のないことであり、ある程度やむを得ないことであったが、今後への教訓を残した。この問題についてはあらためて 7.8 で論じたい。

7.2 大量生産から多品種少量生産の時代へ

世を挙げて生産性革命である。これからの少子化を見据えて、限られた人的資源を有効に活用して経済を維持発

展させていくためには、生産性向上は不可欠である。振り返ってみれば、戦後の我が国はたゆまず生産性向上に取り組んできた。

製造業の分野では、物資不足を解消し、増大する国民の需要に応えるべく大量生産方式が導入された。すなわちベルトコンベヤー方式、規格生産方式、部品や商品の流通の合理化等である。日本人の誠実さ、緻密さ、勤勉さのおかげで、我が国の工業製品は質量ともに世界の上位にランクされるまでに発展した。近年は途上国の低労働賃金や、製品のコモディティ化によって誰でも同じようなものが作れるようになった結果、他国との厳しい競争にさらされている。生き残るためには、新製品、あるいはより付加価値の高い製品を開発して、競争に打ち勝っていかなければならない。しかし競争相手はすぐ後に追いついてくるので、開発競争に終わりはない。消費者のニーズにきめ細かく応えていくためには、従来のような規格大量生産ではなく、多品種少量生産の時代に入ってきたといえる。時代の要請に効率よく応えるために、清水伸二上智大学名誉教授はIoTやAIを駆使して多様な注文に応えるためには工作機械の見える化、知能化、省エネ化、柔軟化が必要で、この究極の姿を「個の量産」と表現されている（日本経済新聞2018年10月29日）。

土木分野をみても同様な歴史をたどることが出来る。戦後の荒廃から立ち上がり、絶対的に不足している社会資本整備を達成するために、大量生産を指向してきた。すなわち機械化、規格化・標準化、プレキャスト化等である。これらのおかげで、今日整備は未だ十分といえないまでも一定の水準には到達することができた。これからは整備の重点が維持管理に移っていくとともに、新設も大量生産時代のような画一的な設計、施工ではなく、個々の現場条件を熟慮した丁寧な物作りが必要になってくる。維持修繕については、まさしく個々の案件ごとに自然条件、荷重条件、過去の補修履歴等が異なることから、それらを考慮した入念な技術的検討が必要である。従来、とかく事業消化に目がいきがちであった技術者が、じっくりと納得がいく仕事が出来ようになってきたともいえる。

7.3 製造業に見る新技術開発

発明王エジソンの発明品の代表例として白熱電球がある。厳密には電球の発明はエジソンではなく、改良を重ねて実用化を成し遂げた、ということのようであるが、それはともかくエジソンの伝記によれば、幼いエジソン少年が毎朝両親からランプのカバーを掃除するように命じられ、ススで真っ黒になりながら苦勞した経験があり、なんとかこんな苦勞なしに夜間室内を照らす器具は出来ないものだろうか、というのが電球発明の動機ということになっている。まさに必要は発明の母であった。

我々の生活に不可欠になったスマートフォンの場合はどうだろうか。従来型の携帯電話、いわゆるガラケーの利用者が、ボタン操作ではなく画面にふれたりスクロールしたりして情報をやりとりしたいというニーズがもともとあったわけではない。天才スチーブ・ジョブズがひらめいて、電話とネット通信機器が一体となった、しかもボタンのない機器を思いついたのである。これが利用者の潜在的ニーズに合致して、爆発的な流行商品となった。

このように新製品はニーズ主導の場合とシーズ主導の場合があるが、前者であればそれに対応した供給者、後者であれば新製品の購入者があって初めて製品として日の目を見るのであって、この関係は一般的な商品の需要と供給の関係と類似している。

近年生活必需品の多くが一般家庭におおむね行きわたってきて、新製品にはシーズサイドから生まれたものが多いように思われる。我々の日常生活で必要に迫られた新製品というより、ものづくりの側から打ち出される目新しい製品に消費者の購買意欲が触発されるという商品である。製造業の立場から見ると、消費者ニーズの把握は無論重要であるが、それにもまして消費者をあっと言わせる新商品の開発が重要になってきている。

7.4 建設事業における新技術開発

建設事業、とくに公共土木事業では7.2で論じたように絶対的に不足する社会資本整備を大量にこなす必要があったため、効率性が重視されてきた。施工技術については、公共工事の標準的な請負契約書において「施工方法は原則として受注者がその責任において定める」旨規定されており¹⁾、民間企業は施工合理化に資する施工に関する新技術開発を積極的に進めてきた。

一方工事目的物に関わる新技術は、そもそも工事目的物は発注者が設計図書によって提示するものであるため、新技術の採用も発注者が決定権を持っている。図7.4.1は一般的な工事の流れを示しているが、工事目的物に関する新技術は設計図書に記載されない限り実用化されない。たとえば民間企業が既往の製品より耐久性に優れた材料を開発したとして、そのライフサイクルコストや管理に要する労力が既存材料より優れていることを自ら証明したとしても、多くの発注者は当該材料が基準にオーソライズされていないという理由で採用を躊躇する。発注者は効率的な執行を要請されていたために、技術開発の成果を、土木学会をはじめとする公的機関が基準化、あるいは既存基準の改定という形でオーソライズして実用化を図ってきた。この方式では個々の発注者は基準どおりに作業を進めればよいために、効率性という意味では優れていた。基準は全国統一であるため、基準どおりに適用している限り、個々の現場でその技術の正当性を証明する必要はなく、負担軽減の効果もあった。

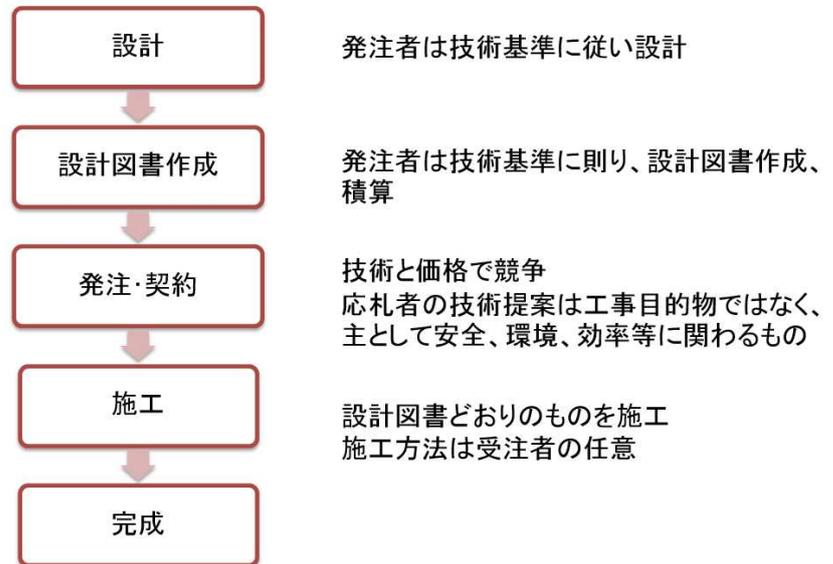


図 7.4.1 現行の一般的な契約の流れ

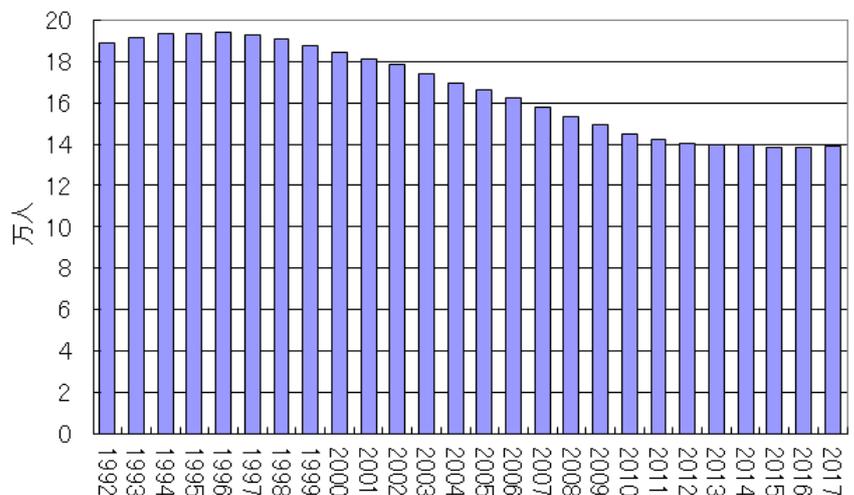


図 7.4.2 自治体土木関係職員数の推移

しかし新技術が基準として採用されるためにかなりのエネルギーと時間を要することから、機動性に欠ける嫌いがある。図7.4.2は都道府県、政令市、市町村の土木関係職員数の推移であるが、近年下げ止まりは見られるもののピーク時に比べ3割弱減少している²⁾。そうした環境のなかで職員は工事の発注、監督、検査や公物管理業務に加えて、入札契約制度や情報公開、地域住民への対応等の業務が増大しており、新技術採用の検討にまで時間が割けないのがおおかたの担当者の実情ではないかと考えられる。仮に新技術採用の意欲があったとしても、さらに新技術が基準化されていても、前例と異なる技術を採用するにはそれなりの組織的バックアップが必要である。このような努力をしている自治体は多数あり、「4. 地域における新技術実装支援の取組み」で紹介されているような意欲

的な自治体が増えてきていることは喜ばしいことであるが、総体としては上述のような傾向は否定できない。

7.5 供給者サイドにたった新技術開発の必要性

前節で述べたように、多くの発注者は仮に新技術の採用に意欲があっても、実際に新技術を担当工事に採用するだけの時間的、人的余裕がなく、従来どおりの技術に甘んじていることが多い。言い換えると新技術実装は発注者の実務処理キャパシティに依存しているということが出来る。意欲的な担当者、新技術実装に熱心な組織が多く存在しているのは事実であるが、それらの多くは個人あるいは組織に依存しており、担当者が異動すると徐々に熱が冷めてしまうこともあり得る。新技術実装を永續させるためには、個人や組織に依存することなく制度として定着させることが必要である。7.1 で示したように、SIP には土木工学以外の広範な技術分野の専門家が参画し、今までになかったような領域で新技術の開発、実装に取り組んできた。図 7.5.1 は NETIS 登録技術のうち有用な新技術（推奨、準推奨、設計比較対象、少実績優良、活用促進）として平成 29 年 5 月 15 日現在で公表された 188 件について、筆者が技術分野別に分類したものである³⁾。公表された資料からは技術分野が必ずしも明確に特定分野に分類できず、あるいは複数の分野にまたがるものもあるが、その場合は開発者の技術分野をもとに分類した。図から明らかなように、登録技術は圧倒的に土木工学分野である。しかも図では明示されていないが、ほとんどは施工技術に関するものである。数少ない工事目的物に関するものも比較的小規模なプレキャスト製品などが多い。この傾向は、前節で述べたように現行制度のもとでは施工に関する技術は工事受注者の責任において採用できるのに対し、工事目的物は発注者からの発意に基づかなければならない、という制約に追うところが大きい。SIP で示されたように、せっかく広範な分野で新技術の成果や萌芽があるにもかかわらず、そのうちの施工に関する部分しか制度的には十分に活用されていないのが実態である。このギャップを解消するためには、供給サイドにたった新技術開発を制度化することではな

いだろうか。すなわち技術開発者、あるいは新技術を採用しようとする応札者が発意して具体的な工事について新技術を含む技術提案をし、発注者との協議を経て採用することを制度化するものである。

当然のことながら、新技術開発は開発それ自体が目的な

のではなく、実装化されその結果生み出される工事目的物や施工方法に関わる品質、生産性、安全性、環境性能等が向上することが最終目的である。採用される見込みのない分野に民間企業が開発投資するはずはない。SIP という財源があったから、広範な分野の新技術が応募されたわけであるが、そのインセンティブがなくなれば自ずとその機運はしぼんでしまう。そうならないためには、民間が開発した新技術がよいものであれば採用する、というメッセージが必要である。そのための制度の試案を図 7.5.2 に示す。現行制度との大きな違いは、性能規定による発注である。技術基準は近年 ISO や EN（欧州規格）等の国際的な流れもあって港湾、道路橋、農業農村整備事業等で性能規定化がかなり進んできているが⁴⁾、業務、工事の契約を見てみると大部分が仕様規定である。工事目的物の寸法、材

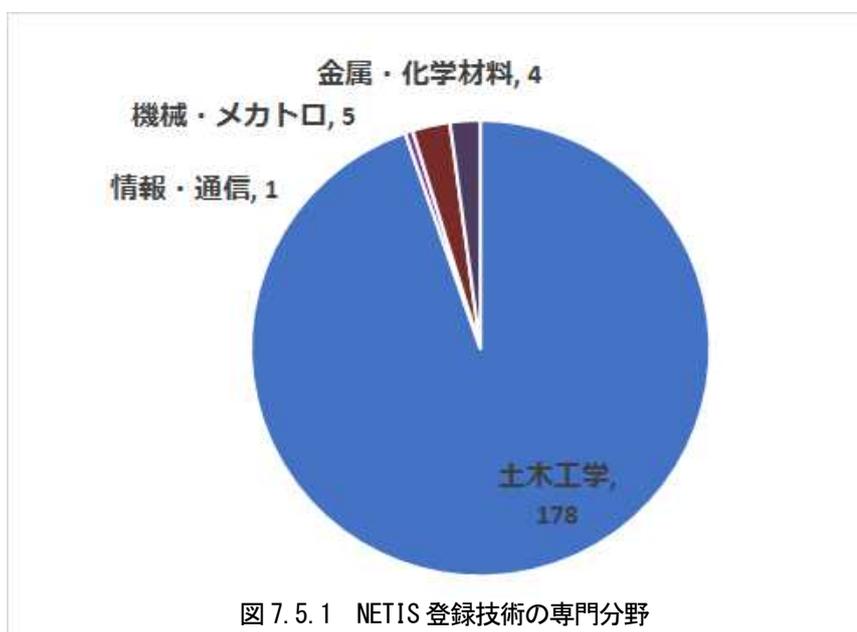


図 7.5.1 NETIS 登録技術の専門分野

料、品質等を発注者が設計図書のなかで示し、受注者はそのとおりに完成させるという契約である。何度も繰り返しているように、受注者の任意にゆだねられているのは施工方法である。これに対して性能規定では発注者は工事目的物の性能、すなわち工事目的物の強度、耐久性、環境性能等を示し、具体的な構造物の材料、詳細な寸法等は原則として受注者が決定する。従来なかなか難しかった工事目的物に対する新技術採用の提案も可能である。応札者あるいは応札者に新技術を提案しようとする企業が新材料、新構造等の新技術を応札の技術提案に組み込

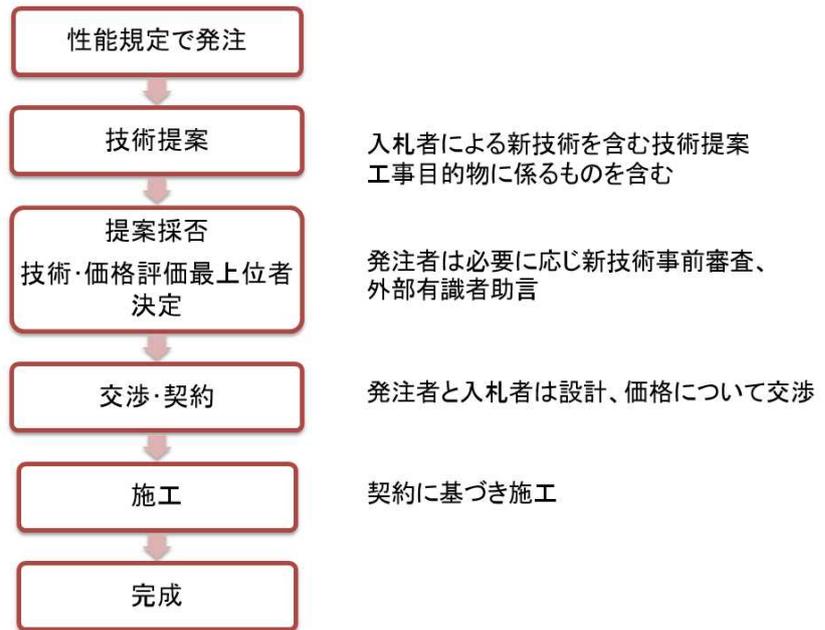


図 7.5.2 新技術に着目した事業執行の流れ（試案）

もうとしても、これまででは工事目的物の仕様を発注者が決定していたため、当該技術を仕様書に書き込んでもらう必要があり、そのためには場合によっては関係学協会の委員会審議を経るなど、膨大な作業と時間を要した。結果として、工事目的物に関わる骨太の新技術が生まれにくい傾向にあったといえる。性能規定による発注はこの点を突破しようとするものである。

ここで性能規定は発注者が個々の案件ごとに決定するのであるが、基本的な考え方が発注者ごとに、あるいは個々の案件ごとに異なっては不都合であるので、統一されていることが必要である。基本的な考え方とは、工事目的物の構造安定性、耐久性、施工性、環境性能、維持管理の容易性等の要件と、その検証方法である。

個別案件の性能規定が公示されると、応札者は公示内容に沿って技術的検討を行い、構造物の材料、寸法や施工方法等を提案する。発注者から仕様の提示はないので、工事目的物に関わる新技術を提案することも可能である。発注者は(通常複数の)提案を性能規定との整合性の観点から検証する。とくに提案に新技術が含まれている場合には、その技術的性能、実用性、施工性、耐久性、安全性等について、通常の技術以上に入念に検証する。検証に資するために、応札者は当該技術の性能について、必要に応じて室内、屋外試験、数値解析等により説明することもある。また第三者機関の審査、たとえば技術審査証明制度による証明を取得するのも有力な手段である。発注者は検証に当たって、必要に応じて組織内の合議機関や第三者機関による検討を行う。このように見ても、ここで記述した方法は工事目的物に関わる提案まで対象にしていることから、従来の設計施工分離よりはデザインビルドや ECI を含む技術提案・交渉方式が望ましいといえる。技術提案・交渉方式は「公共工事の品質の確保の促進に関する法律」の平成 26 年 6 月改正で仕様の確定が困難な工事を念頭に導入されたものであるが、新技術実装化促進の観点からより広い対象での採用も検討されてよいのではなかろうか。

7.6 供給者サイドにたった技術開発の効果

ここで提案した制度はどのような効果を期待しているであろうか。まず従来よりも広範な新技術を含む技術提案が期待できる。記述したように施工方法だけではなく、工事目的物にかかる提案が可能である。これと関連して、より広範な技術分野、すなわち SIP で実現したような土木工学以外の分野の知見が一層活用されるようになるであ

ろう。また他分野の技術者が交流、融合することにより、今までとかく固定的観念にとらわれていた技術課題を、新しい視点から分析、解決手段の検討が生まれる可能性がある。近年企業における人材のダイバーシティが活発に議論されている。単に人手不足を補うための女性や高齢者参加ではなく、より創造的なアイデアを生むためにもダイバーシティが有効だというのである。土木の分野でもその必要性は指摘されてきたが、実務の実態は逆にかなり保守的で、自分たちの周辺領域の技術を中心に扱ってきた。これからは、より大きな飛躍をするためにも広く他分野の技術からも参画してもらえそうな仕組みにしていく必要があると考える。

この制度は建設事業、あるいは建設業界にどのような変化をもたらすであろうか。まず、より技術競争が促進されることがあげられる。現在多くの発注者が採用している総合評価落札方式は、技術+価格で競争しており、技術競争は実現しているといえる。しかし技術提案の範囲が工事的物まで含まれることはまれで主として施工方法に限定されており、提案技術が出尽くしている面もあって、「技術点ではなかなか差がつかず、結果的に価格競争になっている」という声も聞く。これに対してこの制度では技術提案の範囲が広がり、技術分野も土木工学に限らず他分野の技術もより多く参画することが期待され、一層「良い提案が受注につながる」ことになり、技術者のやりがい、ひいては優秀な人材へのアピール力にもつながるのではないかと。関連して、技術者が「基準にいかにか忠実であるか」から、「当該現場にもっともふさわしい技術は何か」を追求するという、技術者の指向性の変化を期待したい。換言すれば待ちの姿勢から、攻めの姿勢への転換である。そのためには現場条件を精査する必要があり、調査段階から現場固有の課題の発見と解決策の検討を通じて要求性能を絞り込んでいく作業に注力しなければならない。今まで以上にインハウス技術者と建設コンサルタントが切磋琢磨しつつ協調して取り組む必要がある。施工者であるゼネコンも設計段階から関与することによって、自社保有の技術や他企業との連携で得意としている技術の採用を積極的に提案していくことになる。調査段階と同様に現場条件との親和性がポイントとなるので、この視点の検討や提案書作成が重要になる。

海外展開にとってもこの制度は有効である。近年の海外プロジェクト、とくに非ODA案件は計画から設計、施工、管理まで一貫した案件となる場合が多い。これらに取り組むには、ファンド、リスク分担、その国固有の法制度や慣習等技術面以外の困難な点があるが、加えて従来のような設計施工分離にしか習熟していない技術者には取り組むハードルが高い。ここで示したようなプロジェクトに国内で習熟しておくことは、国内外で広く活躍する技術者の育成に貢献すると考えられる。

筆者はあらゆる案件にこの方式を採用することを主張しているのではない。大部分の案件は従来どおり仕様規定に基づいて進めればよいと考える。ただ全体のたとえば数%位についてこの方式を採用することによって、建設関係企業だけではなく、建設以外の分野の企業に対して、企業から積極的に新技術に関する提案をするというビジネスモデルがあることを示すことが重要であると考え。

官民連携（PPP）を活用して、民間の施設管理ノウハウを積極的に取り入れている上下水道事業では、欧州や我が国の一部自治体で性能発注が採用され、民間の創意工夫を生かした事業の効率化、コスト低減の実績をあげている⁵⁾。

道路橋定期点検要領改訂版において、定期点検業務に新技術を採用したいと考えた受注者が、受注者側から新技術活用を協議し発注者が確認・承諾するというプロセスを打ち出したのは、シーズサイドからの新技術活用の一例といえる動きである⁶⁾。

7.7 供給者サイドの技術開発に必要なこと

7.7.1 発注者に必要なこと

供給者サイドの技術開発を進めるに当たって性能規定方式を採用する発注者に必要な事項を列挙する。

➤ 要求性能の提示

従来の仕様規定に変えて、要求性能を提示する必要がある。これは個別案件の自然条件、社会条件を吟味して、工事目的物が保有すべき強度、耐久性、維持管理性能、環境性能、施工条件等から構成される。従来発注者が担っていた仕様の検討を手放すことになることから、性能規定化は発注者のインハウス技術の空洞化を招く、という懸念も耳にするが、実は逆で工事目的物の保有すべき性能を与えられた環境条件を検討してしっかり提示することこそ深い技術的検討と洞察を要する作業であって、インハウス技術を高度化することがあっても空洞化という危惧は当たらない。

既述したように基本的考え方が案件ごとに不統一だとそもそもの性能の妥当性が問われるとともに、混乱も生じさせかねない。したがって全国的に共通して、保有すべき性能要件とその検証方法、法令や他の技術基準との整合性等の基本事項をあらかじめ整備しておく必要がある。

➤ 提案技術の評価

公示された工事に対する応募技術の評価する必要がある。従来から発注者は技術評価を実施しているが、性能規定に対する応募では、工事目的物に関わるものや新技術を採用した提案を含む幅広い技術分野に関わる技術提案が多数想定されることから、従来よりも困難な業務になる可能性がある。あらかじめ評価基準を公表して、公平、公正を期すとともに、必要に応じて組織内合議機関や学識経験者が参加する第三者委員会の活用も考えられる。

➤ 新技術の事後評価

提案技術のうち、とくに新技術については実績が少なかったり長期耐久性の実績が十分でない場合もあり、要求した性能要件が満たされているかどうか、長期的観点も含めて事後評価し、必要に応じて結果の公表や基準化への反映に努めるべきである。

7.7.2 応札者、技術開発者に必要なこと

性能規定発注に応札しようとするゼネコンやコンサルタント、さらに外部から応札者に対して新技術を提供しようとするものに必要な事項を列挙する。

➤ 幅広い分野の新技術開発、発掘

従来のような土木工学中心の新技術だけではなく、より広範囲の新技術を自ら開発したり他分野の新技術を発掘する努力が求められる。このためには日頃からアンテナを高く掲げて情報収集するとともに、異分野交流に積極的に参加するよう個人的な努力と企業としての支援が必要である。

➤ 要求性能への適合性検討

発注者から提示された要求性能に対して、新技術を含む技術提案が適合していて、しかも最適な提案であるかの検討が必要である。とくに新技術については適合性を技術的根拠を明示して証明することが求められ、必要に応じて数値解析や室内実験、屋外試験等を実施する。第三者の認証を取得することも有効な方法で、たとえば技術審査証明などの活用も選択肢の一つである。

➤ リスクに対する措置

工事においてはリスクは一定程度不可避なものであるが、とくに新技術を採用するに当たってはそのリスクをどのように措置するかは重要な課題である。まずはリスクを最小限にするように技術自体の水準を高めることは当然であるが、これに加えて万一不測の事態が発生した場合にも、影響を最小にするフェイルセーフの措置や、応急措置の事前準備もあらかじめ準備しておく。さらにどうしても残ったリスクは保険での対応も考えておかなければならない。現在の建設工事に対する保険制度は、対象として本章で議論し

ているようなリスクには対応が不十分であり、さらなる検討が必要である。

7.8 拠点整備の必要性

SIP プロジェクトに図 7.1.1 に示したような多分野の技術が参加したことは、大変勇気づけられることであった。インフラメンテナンスに土木工学以外の分野から熱い視線が注がれていることを示すものであり、とかく内向きであると評される土木工学分野を外部から変革していくきっかけになる可能性を示した。SIP 実施期間中を通じて、SIP を運営する立場の人や個々の開発プロジェクトを実施してきた人の多くが持った感想が、「公共事業は難しい」ということであったと感ずる。その内容をもう少し子細に見ると、公共事業の多くを執行するのが官公庁で、一般の企業には取っつきにくいということはさておくとして、事業の性格から公平性、透明性、説明責任をクリアすることが大変であるという声が多い。説明責任を果たすために必要な手続きがマニュアル化されているわけではなく、ケースバイケースで対応しなければならないため、そこで途方に暮れる場合も多々見受けられる。官公庁側から見ると、たとえば技術的な優位性は認められるとしても、これを外部に対する説明責任に耐えうるような技術資料のとりまとめるのは提案企業の責任であって、官公庁側には相談窓口はあるものの企業の立場に立って助言まで踏み込むことは難しい。

このような課題を解決するために、シーズサイドにたった技術開発のアドバイス拠点が必要ではないか。拠点の想定される機能は以下のようなものである。

➤ 技術的アドバイス

SIP における経験から、公共工事になじみのない技術開発者にとって、公共調達者に新技術についての理解を得ることは大きな困難を伴う。このため公共工事への実装に必要な性能確認、既存基準との整合性、関係法令との整合性、公共調達制度に関わる事項等についての技術的アドバイスを行う。

➤ 理論解析、実証実験等へのアドバイス

技術開発者は新技術の性能実証のため、自ら必要に応じて理論解析や実証実験を実施することがあるが、公共調達者の理解を得るためには実証結果が公共調達のプロセスにおいて関係者に納得されるものとなっている必要があり、これに必要なアドバイスを行う。

➤ 新技術の基準化、マニュアル作成へのアドバイス

新技術が社会実装され、多くの案件で活用されるためには、場合によっては開発者以外の主体が利用することが想定されるため、既存の技術基準への組み込み、新基準の策定、取り扱い方法や現場条件に応じた留意事項をまとめたマニュアルを作成する必要がある場合がある。この際公共調達制度や既存基準との整合性等についてアドバイスを行う。

参考文献

- 1) 国土交通省 公共工事標準請負契約約款 第1条第3項
- 2) 総務省 平成29年地方公共団体定員管理調査 他
- 3) http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Download/20170518_3.pdf
- 4) ISO 対応特別委員会：土木技術と国際標準・認証制度－我が国土木分野の国際標準化戦略はどうあるべきか？－土木学会 2008.6
- 5) 京才俊生：官民連携による経営効率化，上下水道事業での事例を踏まえて 道路 2018.12
- 6) 国土交通省 第10回道路技術小委員会 資料1-4

(執筆者：田崎 忠行)

8. むすび

本報告書では、SIP インフラにおける研究技術開発成果の実務への適用に関する取組み事例とそれらの取組みを通じて得られた知見、ならびに、社会インフラの維持管理・更新・マネジメント分野におけるこれまでの新技術活用事例などを紹介し、今後のこの分野における技術開発のあり方、ならびに成果の活用方策について、多面的な観点から取りまとめた。ここでは、むすびとして、継続的な技術開発の必要性と社会実装の促進に向けた方向性に関して私見を述べる。

社会インフラ分野では、これまでの数多くの新技術が開発され、設計、施工および維持管理の現場に導入されてきた。これまでは、どちらかというところニーズベースでの技術開発に依存してきた感があるが、これは、わが国では、高度成長期以降、多くのビッグプロジェクトが計画、実現されていく中で、現場で直面した困難を解決するための手段として新技術開発が行われてきたためである。このような技術開発を推進してきたことで、わが国は世界でもトップレベルの土木技術を有する国となった。ただし、このような技術開発が可能であったのは、その背景にビッグプロジェクトがあったからで、そこには技術開発の必要性だけでなく、財源や人材も豊富に存在していた。

しかし、今後は、社会インフラを取り巻く技術的課題や制度的課題がますます複雑化し、多様なニーズが求められるようになってくる。この課題の解決には、言うまでもなく、さらなる技術開発が不可欠であり、土木分野に限らず他分野も含めて様々なシーズや過去の知見を駆使した取組みが不可欠である。しかし、現在のわが国では、技術開発を推進するための財源や人材が必ずしも十分ではない。世界の先進国と比較しても、わが国の土木分野における研究開発への投資は官民ともに低調であり、優秀な人材が研究開発分野に輩出されているとは言えない。基礎研究の重要性が叫ばれて久しいが、今こそ、将来への投資として、研究開発に対する予算措置の充実と体制確保を図るべきである。予算や体制が整った研究開発環境に優秀な若手人材が集まり、そこに異分野からの刺激が加わり、さらに先達から受け継いだ土木技術者のマネジメント能力が加われば、必ずや画期的な新技術が創出されるに違いない。わが国には、それだけのポテンシャルがあるはずである。

次に、せっかく開発された画期的な新技術も社会で活用されなければ意味をなさない。研究開発の段階から、ニーズとシーズのマッチングが図られ、研究開発体制の中でも様々な観点からの検討がされていけば、本来であればすぐにでも社会実装できる技術になっているはずである。しかし、土木事業は公共主体で進められることが多いため、新技術を実務で活用するためには、公正性、公平性、透明性が強く求められる。すなわち、事業主体内だけでなく、納税者であり利用者でもある市民らに対する説明責任が問われ、多様なステークホルダー間での合意形成が不可欠である。

新技術の導入には初期コストがより多く必要なこともある。また、実績がなければ、導入効果や長期耐久性を必ずしも客観性をもって証明することができない。こういったリスクを受容するためには、従来の枠組みで物事を進めては話が進まない。今までにない視点や切り口が必要である。本報告書でも触れられているように、デザインビルドや ECI などの技術提案・交渉方式による調達で新技術を導入したり、実績を積み重ねるために民間案件での導入を図ったりしてもよい。さらに、リスクも大きいが高自由度の高い海外案件で先行して導入を進めてもよいかもしれない。いずれにせよ、当該技術の効果が大きく表れるところから適用を進めるのがよい。

新技術導入のメリットを議論するには、まずは、既存技術に対する置替えによる効果の増大を評価するのがよいが、本来的には、その新技術の導入を前提としたら何が起きるのかを想像して、本来あるべき導入効果に目を向けるべきである。また、これからの土木技術者には、例えば 2100 年のわが国の社会情勢を見据えて、バックキャストで今必要な技術を追求するといった視点も必要である。そして、これを多様なステークホルダーに丁寧に、かつ正確に説明できる能力も求められる。そのためにも、土木技術者には広範な知識と素養が必要である。土木分野の

過去の偉人たちはこういった知識や素養を持っていたはずである。だからこそ、彼らは多くの偉業を成し遂げたし、多くの人から尊敬された。今後、土木技術者が以前のように尊敬される時代にすべく、土木技術者は、深い専門性ととも、長期的なビジョンと広い見識を持つべきである。

(執筆者：岩波 光保)

SIP インフラ連携委員会報告
社会インフラの維持管理・更新・マネジメントに関わる
新技術の開発と活用拡大を考える ― 取組みと提言 ―
平成31年3月20日 第1版発行

●編集・制作 ― 内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)
「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」

●編集・発行 ― 公益社団法人土木学会
技術推進機構
SIP インフラ連携委員会
〒160-0004 東京都新宿区四谷1丁目 (外濠公園内)
TEL 03-3355-3502 FAX 03-5379-2769

・本報告の内容を他の出版物へ転載する場合には、必ず土木学会の許可を得てください。

ISBN978-4-8106-1008-6

本取組みは、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)
「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」によって実施されました。

ISBN978-4-8106-1008-6

