

橋梁の長期マネジメントに係る官民連携事業の提案

- インフラの維持管理・修繕等に係る官民連携事業の導入検討
- 官民連携グリーンチャレンジモデル

①提案によって解決する自治体の課題のイメージ

自治体の課題に係る認識

- 人的資源不足…技術者不足、知見継承困難、受注企業が個々に新技術活用（導入、継続活用、結果の反映）に対応する人的負担
- 財源不足…補修・補強や更新の予算確保困難、今後増大化する維持管理コスト負担
- 的確な補修・補強判断…現況把握が困難で「わからないまま管理せざるを得ない橋梁」の想定外の劣化進展、設計変更や手戻り
- 最適な補修・補強計画…複数の情報を融合した計画策定が困難、変更や手戻りなどによる予算・全体計画との乖離

想定する自治体のイメージ

人口50万以下程度、面積約1000km²程度、多数の管理橋梁（数百～1000橋程度以上）程度の規模を有する自治体を想定

②提案の概要

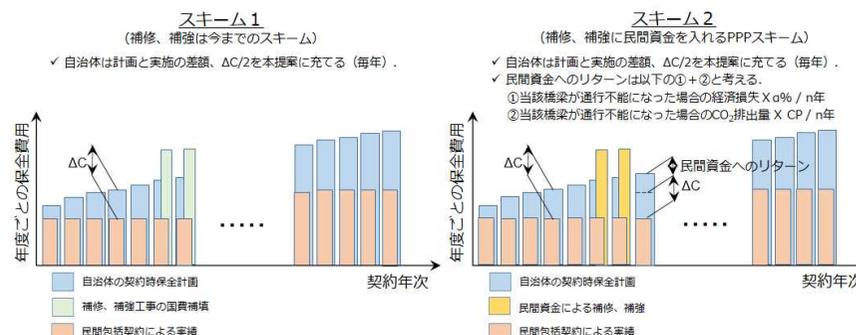
「技術活用による措置判断」「複合的な要素を考慮した全体計画の策定支援」を通じた、橋梁の長期マネジメントに係る官民連携事業の提案

「人的資源不足」への支援

- 自治体技術者の負担軽減の提案
措置判断や全体計画策定の一部代行や支援により、橋梁マネジメント業務に係る自治体技術者の負担軽減を図ります。
- 情報共有、技術活用の支援
官民や業務間の情報共有の推進により地域全体での品質確保や技術活用を促進し、円滑で持続可能な維持管理サイクルを実現します。

「財源不足」への支援

- 最適化によるコスト削減（スキーム1）
補修・補強と全体計画の最適化により今後の維持管理費の増大を軽減し、予算の平準化を図ります。当初計画からの毎年の削減分を折半し本提案への支払いとします（分配方法は今後の調査事項）。
- 民間資金活用（PPP）の提案（スキーム2）
「補修・補強による経済効果」「CO₂削減量の対価」を投資家へ還元するESG投資活用など、民間資金活用による持続可能な予算計画を提案します（経済活動への効果、CO₂排出量のシミュレーションは開発中）。



橋梁の長期マネジメントに係る官民連携事業の提案

- インフラの維持管理・修繕等に係る官民連携事業の導入検討
- 官民連携グリーンチャレンジモデル

②提案の概要

「適格な補修・補強判断」への支援

➤ モニタリング技術の活用

定期的な監視や判断情報を要する橋梁（管理橋梁の5%程度を想定）について、適格な措置判断のためのモニタリングを実施します。床版損傷検知システム（交通モニタリング情報によるRC床版余寿命予測技術（開発中））により、長期計画策定を支援します。

➤ 導入・運営負担の少ない技術活用の提案

画像点検が適用可能な橋梁に対し一括して点検ドローン（開発中）による画像取得を行うなど、導入・運営負担の少ない技術活用の提案により、適格な判断を支援します。画像点検は点検コスト低減や工期短縮のほか、画像を用いた劣化モニタリング、業務間の認識共有などその後の業務工程効率化にも有効です。

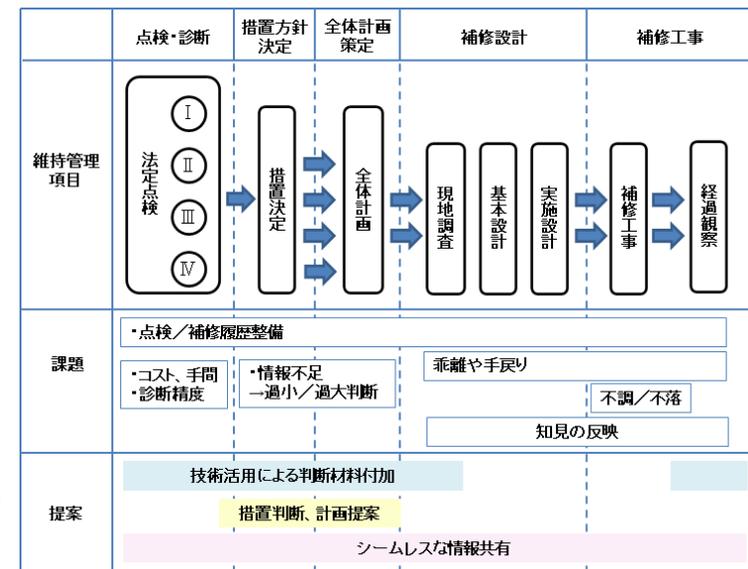
「最適な補修・補強計画」への支援

➤ 複合的な計画策定の提案

個々の橋梁における「適格な補修・補強判断」、民間資金活用に加え、最小コストで最大の地域経済効果を得られるよう、人口増減等の社会環境変化の予測を考慮した更新や閉鎖、拡幅、新設など複合的な計画を提案します。

今後の調査事項

- モニタリングを適用する橋梁の条件設定
- スタートアップ期間の設定（契約後数年間。現状把握、モデル作成等の初期投資期間）
- コスト削減分の本提案への分配方法（スキーム1）



③スキーム（技術）の導入により得られる効果

- 持続可能なマネジメント・メンテナンスサイクルの実現
- 品質確保による安全性・レジリエンスの確保
- 全体最適化、民間資金活用によるトータルコスト削減、予算平準化
- 複合要素を加味した計画による実行性強化、予算平準化

その他

- 国際規格ISO 55001（アセットマネジメントシステム）の認証を取得
- モニタリング技術は国交省「点検支援技術性能カタログ」に登録
「FBG光ファイバひずみセンサを用いた橋梁モニタリングシステム」
（支承部の機能障害、ほか）（BR030001-V0222）
（プレストレス喪失の可能性検知）（BR030011-V0222）

会社名：三井住友建設株式会社
担当部署：技術開発本部

担当者：湯浅 香織
連絡先(電話番号)：050-3137-1989(直通)

メールアドレス：k-yuasa@smcon.co.jp

参考資料

【参考資料】

1. 橋梁リアルタイムモニタリングシステム

- ✓ 高耐久・低価格なモニタリングシステムの実現(非公表)
- ✓ Hoang Trong Khuyen(三井住友建設株式会社), 水谷司(東京大学)他,
『Vibration- based anomaly detection method for structural health monitoring of in-service structures under ambient vibration』, IABMAS 2020, 2020
- ✓ Hoang Trong Khuyen(三井住友建設株式会社), 水谷司(東京大学)他,
『Enabling Digital Transformation in Bridge Structure Damage Level Assessment Based on Decline in Natural Frequency Using Ambient Vibration Records』,
fib symposium 2023, 2023

2. 画像点検ドローンの活用(非公表)

3. 民間資金の活用

- ✓ 鎌谷崇史(国土交通省), 藤井聡(京都大学大学院工学研究科教授)他,
『防災インフラ投資における成果連動型民間委託契約(FPS)に関する研究』,
Policy and Practice Studies, Volume 7, Number 1, 2021
- ✓ 一般社団法人レジリエンスジャパン推進協議会,
『防災投資への民間資金活用のための防災SIBの社会実装についての提言書』,2022

1. 橋梁リアルタイムモニタリングシステム

Vibration- based anomaly detection method for structural health monitoring of in-service structures under ambient vibration

(環境振動下にある供用中の構造物ヘルスマニタリングのための振動による異常検知手法)

Vibration- based anomaly detection method for structural health monitoring of in-service structures under ambient vibration

Hoang Trong Khuyen

Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd, Tokyo, Japan

Mizutani Tsukasa

The University of Tokyo, Tokyo, Japan

Uchibori Hiroyuki

Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd, Tokyo, Japan

Nagamoto Naoki

Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd, Tokyo, Japan

ABSTRACT: This paper presents a vibration-based monitoring system that is able to identify hazard events like earthquakes or typhoons, and to detect anomalies in the structures after these events using ambient vibrations (i.e. vibrations induced by random excitation such as traffic, wind or white noise). The statistic distributions of modal parameters such as natural frequencies, mode shapes are indicators for anomaly. Change of distribution model of modal properties indicates that the structure may be damaged or anomaly. An original algorithm was developed to identify modal parameters effectively and detect anomaly in sub real-time. Long term monitoring data sets in two in-service bridges confirmed that a very small change in frequencies due to asphalt work during construction can be detected by proposed system. The results show that the variation of natural frequencies due to seasonal change can be filtered in order to detect very small changes in modal characteristics. The proposed system could be applicable for nearly real-time monitoring of structures such as bridges and buildings.

概要：本論文では、地震や台風などの危険な事象を特定することができ、また環境振動（交通量、風、ホワイトノイズなどのランダムな加振によって誘発される振動）を利用して災害後の構造物の異常を検知することができる、振動を利用したモニタリングシステムについて述べる。固有振動数、モードシェイプなどのモーダルパラメータの統計分布は、異常の指標となる。モード特性の分布モデルが変化することは、構造物の損傷や異常の可能性を示す。そこで、モーダル特性を効率的に同定し、サブリアルタイムで異常を検出する独自のアルゴリズムを開発した。2つの供用中の橋の長期モニタリングデータセットにより、建設中のアスファルト工事による非常に小さな周波数の変化を提案システムで検出できることが確認された。また、季節変動による固有振動数の変化をフィルタリングすることで、非常に小さなモード特性の変化を検出できることが示された。提案システムは、橋梁やビルなどの構造物のほぼリアルタイムでのモニタリングに適用できる可能性がある。

Hoang Trong Khuyen（三井住友建設株式会社），水谷司（東京大学）他，

『Vibration- based anomaly detection method for structural health monitoring of in-service structures under ambient vibration』，2020

1. 橋梁リアルタイムモニタリングシステム

※2023年6月公開予定 (fib symposium 2023)

Enabling Digital Transformation in Bridge Structure Damage Level Assessment Based on Decline in Natural Frequency Using Ambient Vibration Records

(振動記録を用いた固有振動数の低下に基づく橋梁構造物の損傷度評価におけるデジタルトランスフォーメーションの実現に向けて)

**Enabling Digital Transformation in Bridge Structure
 Damage Level Assessment Based on Decline in Natural
 Frequency Using Ambient Vibration Records**
Khuyen Trong Hoang^{1*}, Tsukasa Mizutani², Manabu Kawashima¹ and Hiroyuki Uchi-
bori¹¹Sumitomo Mitsui Construction Co., LTD., Tokyo, Japan
h-khuyen@smcon.co.jp²The University of Tokyo, Tokyo, Japan

Abstract. Bridge structure condition assessments are critical for decision-making for bridge operation and maintenance. A structure's natural frequencies are dependent on its global stiffness and weight. Hence, the decline in natural frequency may globally indicate structural damage conditions. However, the criteria for establishing a natural frequency threshold to judge the structure damage condition are still in question to engineers. This article proposed a method to find reference thresholds of frequency decline for bridge structure's damage conditions evaluation using nonlinear incremental modal pushover analysis. These natural frequency thresholds achieved from the proposed method can be used in the system to automatically judge damage and produce reports after every detected seismic event or at predetermined periods. The accuracy of the proposed method was verified by Eigenvalue analysis and nonlinear dynamic response analysis. In addition, this paper presented an integrated digital transformation system for bridge damage assessment. The system includes a wireless accelerometer, cloud integration, and edge computing to allow users to set up various damage assessment thresholds for warning and reporting when it detects damage or anomalies in structures.

概要：橋梁構造物の状態評価は、橋梁の運用や維持管理に関する意思決定において重要である。構造物の固有振動数は、構造物の全体的な剛性と重量に依存する。したがって、固有振動数の低下は、構造物の損傷状態をグローバルに示す可能性がある。しかし、構造物の損傷状態を判断するための固有振動数の閾値を設定する基準は、技術者にとってまだ疑問が残るところである。本稿では、非線形インクリメンタルモーダルプッシュオーバー解析を用いて、橋梁構造物の損傷状態を判定するための周波数低下基準値を求める方法を提案した。提案手法により得られた周波数低下基準閾値は、地震発生毎または所定の周期で自動的に損傷判定を行い、レポートを作成するシステムで使用することができる。提案手法の精度は、固有値解析と非線形動的応答解析によって検証された。さらに、本論文では、橋梁の損傷判定のための統合デジタル変換システムを紹介した。このシステムは、ワイヤレス加速度計、クラウド統合、エッジコンピューティングを含み、構造物の損傷や異常を検出した際に警告や報告を行うための様々な損傷評価閾値をユーザーが設定することができる。

Hoang Trong Khuyen (三井住友建設株式会社), 水谷司 (東京大学) 他,

『Enabling Digital Transformation in Bridge Structure Damage Level Assessment Based on Decline in Natural Frequency Using Ambient Vibration Records』, 2023

3. 民間資金の活用

防災インフラ投資における成果連動型民間委託契約(PFS)に関する研究(論文)

防災インフラ投資における成果連動型民間委託契約（PFS）に関する研究

鎌谷 崇史（国土交通省, kamatani-t25u@mlit.go.jp）

川端 祐一郎（京都大学 大学院工学研究科, kawabata.yuichiro.8x@kyoto-u.ac.jp）

春日 昭夫（三井住友建設株式会社, akasuga@smcon.co.jp）

藤井 聡（京都大学 大学院工学研究科, fujii@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp）

A study on PFS (Pay For Success) investment in development of infrastructure for disaster prevention

Takeshi Kamatani (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism)

Yuichiro Kawabata (Graduate School of Engineering, Kyoto University)

Akio Kasuga (Sumitomo Mitsui Construction Company)

Satoshi Fujii (Graduate School of Engineering, Kyoto University)

要約

日本の国土は様々な自然災害リスクを有し、継続的な防災投資が必要とされているが、財源不足等の理由から防災インフラの整備は十分には進んでいない。公共施設等の建設、維持管理、運営等を民間の資金を活用して行うPFIと呼ばれる手法もあるが、防災分野での適用実績は乏しい。その理由は、空港施設や公営賃貸住宅と異なり、防災インフラ整備が生み出す価値を金銭的な収益として民間事業に還元する経路を設けにくいからであろう。そこで本研究では、既往の取り組みを参考に、「ソーシャル・インパクト・ボンド」等の形で日本でも社会福祉分野において導入事例が存在する「PFS」（成果連動型民間委託契約）の仕組みを導入することで、防災インフラがもたらす「減災効果」の一部を、その整備を担う民間事業者に還元できる仕組みを提案した。そのうえで防災インフラ投資にPFSの仕組みを導入することのメリットと、導入に向けた課題について考察した。

3. 民間資金の活用

「防災投資への民間資金活用のための防災SIBの社会実装についての提言書」（2022年4月26日 内閣総理大臣へ提出）

概要

防災・強靱化におけるPFI等による民間資金活用は、
政府における重要課題である。

しかし、多くの防災設備投資は、
必ずしも一般的なキャッシュフローを生まないため、
民間資金活用は遅々として進んでいない。

しかし、（近年様々な公共セクターで活用されはじめた成果運動型民間委託契約
方式PFSのうち）SIB（ソーシャル・インパクト・ボンド）を活用した成果運動型PFIを
防災投資に導入すれば、民間資金による防災投資加速が可能となる。

ついては本提言では、これを**防災SIB**と呼称し、
その効果的な社会実装に向けた諸課題の検討とそれに基づく
事例促進、制度化を政府に提言する。

1

1. はじめに

防災・強靱化におけるPFI等による民間資金活用は、政府における国土強靱化行政における重要課題の一つであり、国土強靱化基本計画においても、「**①限られた資金を最大限に活用するため、PPP/PFIによる民間資金の積極的な活用を図る**」（2.国土強靱化を推進する上での基本的な方針（3）効果的な施策の推進）「**PPP/PFIを活用したインフラ整備や老朽化対策等を進める**」（4.特に配慮すべき事項）ということが、明記されている。

しかし、堤防や防潮堤整備、公物の耐震強化等の多くの防災設備投資は、必ずしも一般的なキャッシュフローを生まないため、一般的なPFIのスキームを適用することが容易ではなく、その結果、防災・強靱化分野での民間資金活用は遅々として進んでいないのが実情である。

しかし、近年様々な公共セクターで活用されはじめた（成果運動型民間委託契約方式（PFS）のうちの）民間資金による**SIB（ソーシャル・インパクト・ボンド）**を活用した、**成果運動型PFI**のスキーム（以下、**防災SIB**と呼称）を導入することで、公的な防災・強靱化投資への大規模な**民間資金の流入加速が可能となる**。

ここに、**防災SIB（SIBを活用した成果運動型PFI）**とは、

- 1) 政府（国または地方公共団体）が、民間事業者に、“資金調達”を含めた堤防整備等の事業を委託する一方、
- 2) その事業による（台風来襲時の洪水被害軽減・防止等の）“**成果**”（ソーシャル・インパクト）がでた場合、その“**成果**”に見合う資金（報酬）を、委託者である政府（国または地方公共団体）が支払う。

というスキームである。これは**民間資金を活用する**という点でPFIスキームの一種であると同時に、投資に対する報酬を“**成果**”に連動させる形で政府が支払う、というスキームであることから、“**成果運動型PFI**”と呼称する。

3

SIBを含むPFSはこれまで、**内閣府「内閣府成果運動型事業推進室」**が設置され、その適用が検討され始めており、その中で、「医療・健康」「介護」「再犯防止」の3分野が重点分野に設定されている。海外では「就労」「ホームレス支援」の分野に活用されている事例が多い。

しかし、この「SIBを活用した成果運動型PFI」は、海外も含めて「防災」に活用されてきてはいなかった。しかし、「適切な防災投資」が進めば、（豪雨・地震・津波などの）ハザード発生時に、数百億、数千億、場合によっては、数兆円や数百兆円といった極めて大きな「ソーシャルインパクト」（**成果**）を発生させるものであり、SIB（あるいは成果運動型PFI）スキームの応用が極めて相応しい投資である。

ついては本提言では防災・強靱化投資への民間資金活用におけるイノベーションとしてSIBを活用した**成果運動型PFI**、すなわち「**防災SIB**」による防災投資の抜本的な加速を目指し、**防災SIB**の社会実装に向けた、導入事例の促進と、そのための制度化を政府に提言するものである。

4