

機能的な橋梁点検・評価手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）
研究期間：平 22～平 26
担当チーム：先端技術チーム
研究担当者：藤野 健一、茂木 正晴、
西山 章彦

【要旨】

橋梁の支承部等のように構造的に狭隘で目視困難な箇所(point)の点検は、効果的に橋梁を維持管理する上で大きな課題となっている。この課題を解決することを目的として、不可視部へ近づくことができるアプローチツールと点検によって得られた情報を効果的・効率的に整理するための点検記録システムの研究開発に取り組んだ。本報告は、橋梁点検に関する現場のニーズ調査と、さらにそれを踏まえて研究開発に取り組んだアプローチツール及び点検記録システムの基本仕様について述べるものである。

キーワード：橋梁、点検、不可視部、点検記録、アプローチツール

1. 研究背景

我が国では、道路橋が 70 万橋を超え、10 年後には竣工から 50 年経過する橋梁（2m 以上）が全体の 4 割以上を占めるなど、橋梁の老朽化が着実に進んでいる。

多くの橋梁は、定期的な点検補修などの維持管理を行うことにより、竣工から 50 年以上経過した現在も利用されているが、構造物の点検が不十分な場合には老朽化による損傷・崩落を引き起こす危険性がある。

近年、社会インフラ老朽化に対応するため、平成 26 年度から橋梁について総点検が義務付けられ、5 年に一度の点検が求められている。特に、橋梁の支承部のような、構造的に狭隘で目視確認の困難な箇所（以下、「不可視部」という。）の効果的な点検は、重要かつ現場で求められるニーズとなっている。

そこで本研究は、点検に関する現場での実態の把握と現状の点検時の課題を整理し、課題解決のための点検ツールおよび点検記録システムの開発を進めた。

なお、本研究は土木研究所、マルティス株式会社、株式会社ビジュアツールの 3 者による共同研究で実施されたものである。

2. 目的

橋梁の支承部のような不可視部の点検は、橋梁の効果的な維持管理の観点から重要な位置付けだと考えられる。本研究は、効率的・効果的な橋梁の維持

管理を目的に、図-1 のフローに示すように、不可視部に近接することができるアプローチツールと点検個所の情報収集、整理をするための点検記録システムの研究開発に取り組んだ。また、本研究ではアプローチツール本体の実用化に向けた具体的な取り組みを進めた。

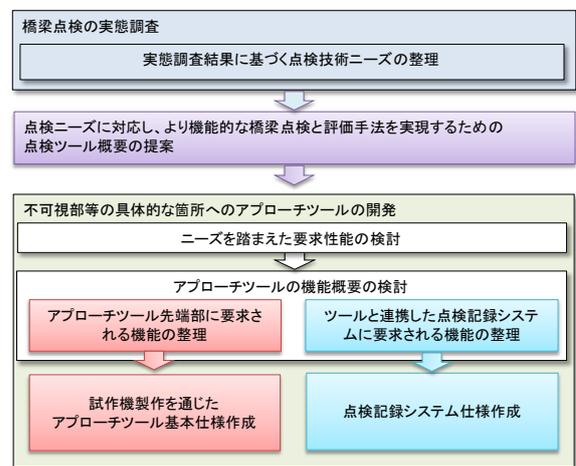


図-1 研究フロー

3. 橋梁の実態

3.1 実態調査の実施

現在、管理されている橋梁は、点検要領に基づき実施されている。しかし、橋梁の構造上不可視部となっている箇所に関する実態が把握されていないまま、維持管理を進められている状況にある。

そこで、橋梁点検実態について、平成 22 年に国土交通省地方整備局に対して調査を実施した。

調査は、国土交通省管理の道路橋における重点箇所及び支障箇所の実態を、8地方整備局、北海道開発局沖縄総合事務局に対して実施した。以下、調査結果を述べる。

3.1.1 橋梁点検における主要目視点検箇所（桁橋）

橋梁点検は、原則目視によるものである。そのため、外観を中心とした状態（ひび等）と端部、床板、支承部の損傷、劣化状況について点検している。（図-2,3 写真-1,2）

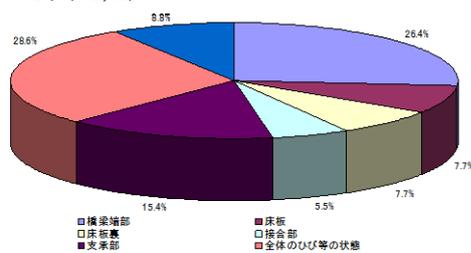


図-2 点検における重要箇所（PC 桁橋）

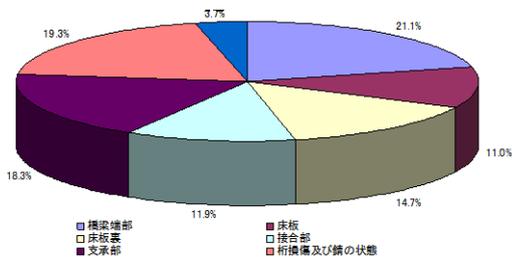


図-3 点検における重要箇所（鋼桁橋）



写真-1 橋梁端部・床板裏



写真-2 支承部

3.1.2 各種橋梁における点検支障箇所（桁橋）

図-4,5に示すように、点検時に支障となる箇所の多くは橋梁端部（写真-2）となっており耐震補強された落橋防止柵（写真-3）によるものと考えられる。これは構造変更に伴い、点検不可視部となったことが考えられる。

その他に、構造上不可視部と考えられる支承部や専用物が併設されているような床板裏（写真-1）なども挙げられている。

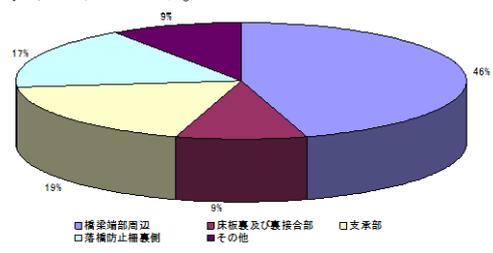


図-4 点検支障箇所（PC 桁橋）

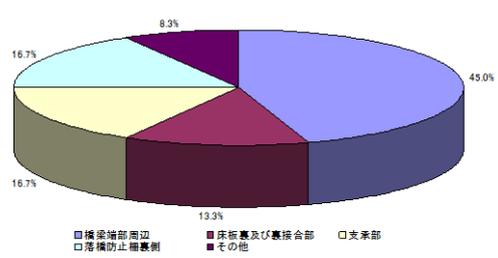


図-5 点検支障箇所（鋼桁橋）



写真-3 落橋防止柵

3.1.3 点検支障箇所への対応

点検支障部への具体的な対応として、図-6に示すように約4割がCCDを利用した間接目視による点検を実施していることがわかった。また、溶接部などの接合部に関しては、非破壊検査により点検を実施しており、その他、打音や反射鏡を利用した点検を不可視部の状況・箇所に応じて採用している実態が見られた。

なお、支障箇所に対して約2割程度が点検困難であることがわかった。

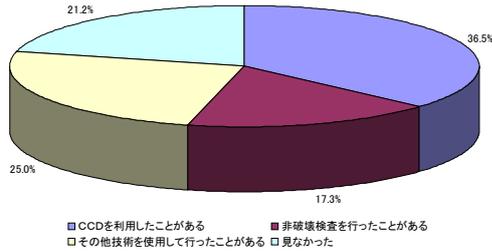


図-6 支障箇所へのアプローチ方法

3.1.4 点検ツールの使用実績

また、点検時に利用する装置等の実態は図-7 のとおりとなった。リフト車(高所作業車)、橋梁点検車、足場設置が使用されており、橋梁細部へのアプローチに努めていることがわかる。

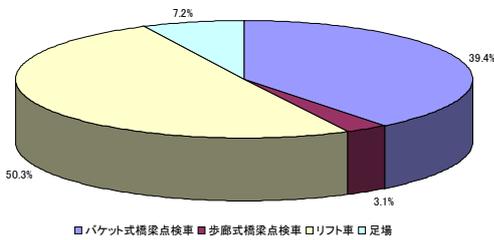


図-7 点検ツールの使用実績

3.2 実態調査結果に基づく点検技術ニーズ

橋梁点検は、三大損傷や外的な損傷、変形などの異常発見や状態監視を標準的な点検方法として検査者の目視により行われている。点検は、リフト車、橋梁点検車などで近接し、ノギス、ハンマー、水糸、ポールなどによって点検が実施され、必要に応じて聴覚(たたき試験)や非破壊検査を橋梁の形式・構造、規模等により対応していることがわかった。

点検ニーズとしては、実態調査から重要と思われる端部、支承部等の多くが構造上、不可視部であることから、効率的・効果的な点検ツールが望まれていることがわかった。

点検ツールを含む今後の橋梁維持管理のニーズを表1にまとめた。

本研究では点検技術に維持管理ニーズを踏まえ、図-7に示すように、従来技術では困難であった不可視部を自在にアプローチできるツール並びに点検箇所における位置情報の正確な把握・記録が可能となる点検記録システムの開発を進めることとした。

4. アプローチツール及び点検記録システム

実態調査により得られた成果を基に要求性能を整理し、狭隘部や不可視部へのアプローチ機能、点検記録システムについてニーズを踏まえた機能概要を作成した。

表-1 橋梁点検ニーズ調査

キーワード	主な維持管理ニーズ
点検車	○コンパクトで多用途な橋梁点検車が必要 ○足場を必要としない点検歩廊が確保できる点検車 ○既存の橋梁点検車の故障頻度低減
点検ツール	○映像での確認及び記録保存が必要 ○点検時に詳細設計情報が入手(記録)できるようなツール
点検車・ツール	○トラス橋や峽部などに対応した点検車・点検ツールの開発
点検・保守ツール	○点検と清掃を同時に実施できるような点検手法の提示とツールの開発
点検手法・ツール	○点検精度の向上 ○不可視部分への点検手法と対応したツールの開発 ○簡易的な点検(巡回時等)における手法と必要ツールの整理(開発含む)
点検手法	○経過年数・設置条件(環境)を加味した点検サイクルの見直し ○点検時間の短縮・点検作業の容易性→ツール等にも関連 ○近接目視が難しい箇所への対応方法
診断方法	○劣化の予想手法 ○劣化の判定基準
点検・診断手法	○診断に差異がでないように視覚的・定量的な点検手法と判断基準 ○診断の参考となるカルテの整理(診断項目の検討)
診断手法データベース	○診断に差異がでないように視覚的・定量的な点検手法と判断基準に連携したデータベース ○診断の参考となるカルテのデータベース化
保守ツール	○橋梁の延命ポイント(支承部など)の整理と維持管理ツール(清掃装置など)の開発
データベース	○維持管理に必要な項目の整理 ○維持作業のルーティン化(重要箇所の清掃、簡易的な補修項目の提示)
補修概念	○診断から保守までの時間を短縮 ○点検時若しくは日常的な巡回等に対応できる簡易的な補修
技術者育成	○診断技術力の評価を定量的に位置付けるための診断士資格制度の設置
構造・設計	○維持管理を考慮した設計

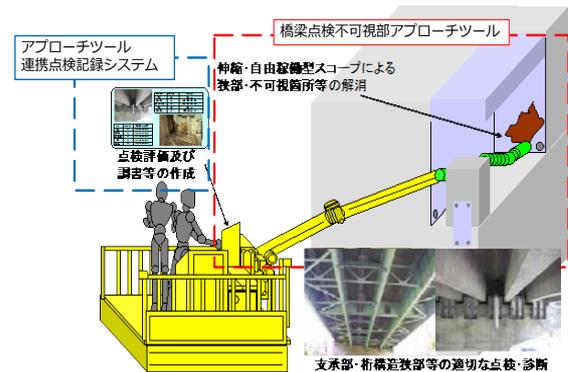


図-8 橋梁点検不可視部アプローチツール概要

4.1 ニーズを踏まえた要求性能

橋梁点検におけるニーズ調査結果を踏まえ、本技術に要求される性能(1),(2)を設定した。

(1) 狭隘不可視部へのアプローチ機能

目視不可能な狭隘部内でのアプローチが可能で、前回点検時のアプローチ経路を記憶し、2回目以降は自動制御を可能なものとし、点検効率を向上可能なものとする。

(2) 位置情報を付加した点検記録システム

アプローチ機能と連携した、映像等の記録情報について、正確な位置情報が取得記録できること。また、調書等作成時における記録情報の整理が効率的に処理可能となり、経年劣化による損傷の管理が的確にできること。

4.2 不可視部に対応する点検システムの機能概要

本技術はアプローチツールと、アプローチ機能に連携した点検記録システムの2つの技術に分けられる。各技術について要求性能を満たす機能を検討した結果を以下に示す。

4.2.1 アプローチツールの機能概要

アプローチツールは、現在の点検に利用されている高所作業車や橋梁点検車等に搭載もしくは単独で点検箇所となる狭隘部に使用する。アプローチツールの形状は、現場で想定される狭隘部 20cm~30cm へのアプローチとし、1ユニットの一边が約 10cm の立方体形状とする。アプローチツールの動作を図-9 のように設定した。

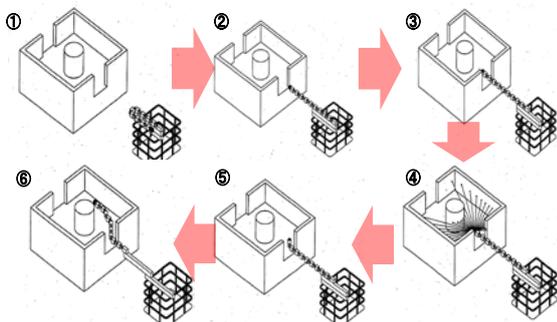


図-9 アプローチツール動作イメージ

- (1) 折りたたんだ状態で、点検箇所付近まで接近する (図-9①)。
- (2) 折りたたんだ状態のアプローチツールを伸ばす (図-9②)。
- (3) 狭隘部入口へ侵入する (図-9③)。
- (4) 周囲状況をレーザースキャナーにより把握する (図-9④)。
- (5) レーザースキャナーで都度周囲を確認しながら狭隘部内部の点検対象箇所へ近づく (図-9⑤、⑥)。

また、アプローチツール先端のユニット動作は図-10 のように先頭部のユニットの軌跡を追従して次のユニットが通過する機構とした。この機構を用いることで、クランクやコの字といった複雑な形状の構造物に対して、内輪差が生じて途中で橋梁部材に干渉することなくアプローチできる。

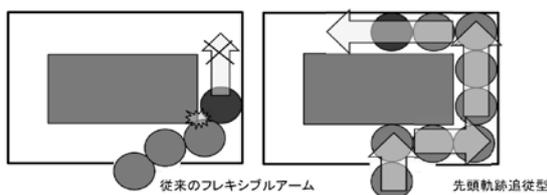


図-10 先頭ユニット軌跡追従動作

4.2.2 点検記録システムの機能概要

アプローチツール先頭ユニットに搭載するカメラから撮影した映像等と位置情報の取り込みを行う。これらの点検結果について現場での基本情報の入力等、点検結果の確認をタブレット端末操作で行う。

(1) 必要機能

実態調査結果に基づき、必要機能を抽出した。

- ① 点検箇所の正確な位置情報の把握及び記録
- ② 点検記録された情報の効率的な整理

(2) 基本仕様

点検記録システムに要求される基本仕様を以下①~②のとおりまとめた。

- ① 既存の点検ツール等と連携して位置情報を付加した点検記録システム

アプローチ機能と連携して、点検箇所について映像と正確な位置情報をスマートデバイスにより記録する。

- ② 経年劣化による損傷の管理が的確に確認可能

図-11 に示すように、スマートデバイスで入力した点検結果をデータベース上で保存・管理を行い、過去の点検状況、補修履歴などとの比較や、必要な時に必要な情報が確認が可能なシステムとする。

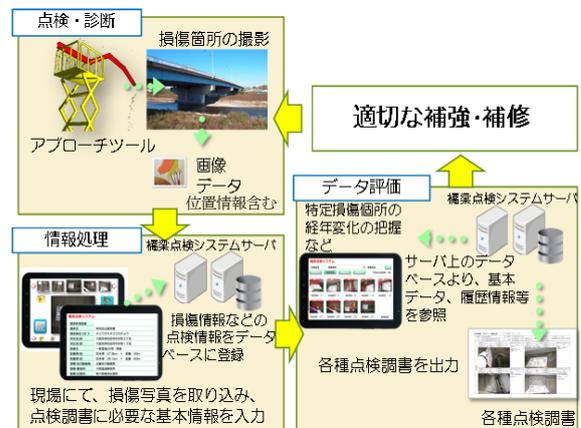


図-11 点検記録システム概要

5. 基本仕様

5.1 アプローチツールの基本仕様

機能概要に基づき、試作機の設計製作を行い必要となる基本仕様をまとめた。

5.1.1 設計方針

前述の要求性能・機能の実現に必要な設計条件を設定した。実用機製作への道筋をつけることを最優先とするため、特に不可視部アプローチツールに不可欠な機能と強度の確保に焦点を絞って設計条件を設定する。

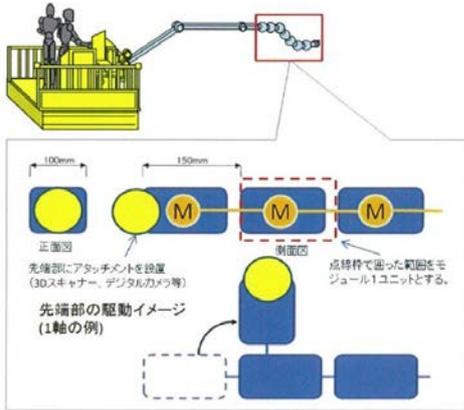


図-12 アプローチツールユニット設計

5.1.2 アプローチツールユニットの設計条件

【設計条件1】各ユニットはできる限り同一仕様とする。〔設定理由〕：拡張性を持たせることで取扱いを容易にする。同一仕様のユニット追加でツール延長が可能となるため、現場条件の変化に対応できる。

【設計条件2】各ユニットサイズは狭歪部へ入り込めるサイズとして、関節ピッチ 150mm 断面 100x100mm を目標とする。〔設定理由〕：取り付ける検査機器のサイズに対応。

【設計条件3】各関節は1軸、ないしは2軸構造とし±90°の範囲で駆動するものとする。なお、駆動速度は 4.5°/秒を目標とする。〔設定理由〕：進入空間の形状への適応性と検査速度の確保。

【設計条件4】各ユニットの駆動トルクは、ユニットを連結させた時の最大重量+先端部（約 200g、デジタルカメラユニット想定）を持ち上げることができるものとする。〔設定理由〕：最低限必要な駆動力の確保。

【設計条件5】ユニットの材質、重量等はモーターの駆動トルクやユニットの強度を考慮して選定する。なお、一つのユニットは 200g 程度を目標として可能な限り軽量なものを選定する。〔設定理由〕：強度の決定要因である重量の制限。

【設計条件6】電力線、信号線は、先端部カメラの制御線 4 本（USB 同等規格想定）、ユニットの制御線 2 本、電力線 2 本程度とする。〔設定理由〕：実用機を想定した条件の考慮。

【設計条件7】各駆動軸には角度位置の保持が可能なエンコーダを取り付ける。角度分解は 1,024/360°以上とする。〔設定理由〕：姿勢制御の操作性や、検査精度の確保。

【設計条件8】稼働時の先端部の位置誤差は±10cm を目標とする。〔設定理由〕：点検精度の確保。

5.1.3 基本仕様

モータートルク、重量、減速比等の比較検討を行い、モーター及びギアを選定したうえで、各ユニットサイズ設計を行った。部品として使用可能な既製品等がある場合には、それらの利用を前提とした設計条件とすることにより、部品の新規製作に要する時間を省いた。また、ユニットの材質選定にあたっては CAD を用いて歪みシミュレーション及び強度確認を主体とした必要実験を行い、基本仕様を整理した。

なお、具体的に仕様をまとめるうえで、試作機の製作を行った。アプローチツールの基本仕様としては、構造そのものの強度を保持し、重量の増加を抑えるため、メインとなる材質をカーボンへ変更した。さらに断面寸法と軸間距離を短くするため、小型サーボモーターの採用と動作の安定性を図るため、ウォームギアを内蔵した駆動ユニットを製作した。

基本仕様としては 5.1.2 の設計条件を満たす機能となっており、具体的には、図 13～15 に示す試作機を製作した。

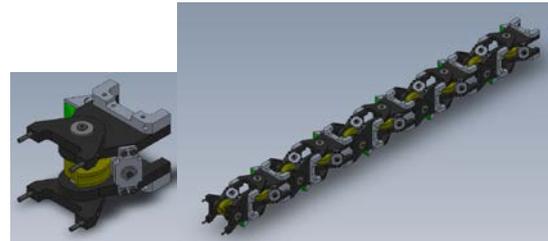


図-13 ユニット 3D モデル

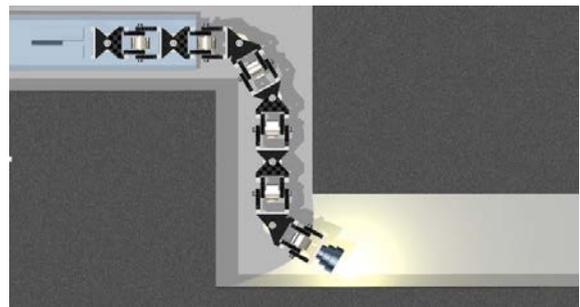


図-14 CG シミュレーションによる動作検証



図-15 試作機製作

A STUDY ON THE FUNCTIONAL BRIDGE INSPECTION METHODS

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2010-2014

Research Team : Construction Technology Research

Department (Advanced Technology

Research Team)

Author : FUJINO Kenichi

MOTEKI Masaharu

NISHIYAMA Akihiko

Abstract : As of the bearing portion of the bridge, inspection of narrow places is a major challenge in bridge inspection. For the purpose of correspondence of this issue, we worked in research and development of a flexible arm device can approach to the invisible part. In addition, we worked in the research and development of inspection record system for organizing the information obtained by inspection. First, the investigation of problems on the inspection was done, and examination of the performance for the systems was done. Next, prototypes were made, and directionality of the future practical use was considered.

Key words : bridges, inspection, invisible part, check record, approach tool