

CIMモデルを用いた 3D 損傷図作成支援システムの開発と評価

関 和彦¹・窪田 諭²

¹学生会員 関西大学大学院 理工学研究科/アイセイ株式会社 技術開発部 (〒564-8680 大阪府吹田市
山手町3丁目3番35号/〒116-0013 東京都荒川区西日暮里2丁目40番3号)
E-mail: k078673@kansai-u.ac.jp/seki-k@eyesay.co.jp (Corresponding Author)

²正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)
E-mail: skubota@kansai-u.ac.jp

適切な予算配分を行い橋梁の長寿命化修善計画を策定するために、その状態を把握する基盤となる点検データの品質向上は重要な課題であり、CIMモデルの活用が期待されている。判定結果は損傷の発生箇所を2次元図面に記載されているため、複雑に部材が入り組んだ部位は図面に表現されていない。また、これらの図面には寸法がないものもあり、確認作業に通常よりも時間が多くかかってしまうという問題も生じている。本研究では、これらの課題を解決するため3D損傷図作成支援システムを開発した。そして、そのシステムを橋梁定期点検の実務に導入するための課題や問題点を実証実験を行い整理し、CIMモデルを用いた橋梁定期点検の課題について言及する。

Key Words : bridge inspection, CIM, three-dimensional model damage figure, structure from motion

1. はじめに

(1) 橋梁維持管理の現状と課題

トンネルや橋梁などの重大事故を契機に、社会資本の維持管理・更新の重要性が再認識され、2014年3月に5年に1度の近接目視による定期点検が法制度化された。2014年から2018年にかけて平成26年版橋梁定期点検要領を基に、法制度化後の点検が行われた。しかし、定期点検後に第三者の安全に影響を与える変状の発生や見落としを確認したこと、写真撮影や非破壊検査などの点検支援技術が発展したことを受けて、定期点検の質を確保しつつ、実施内容の合理化を目指し、2019年に橋梁定期点検要領が改定された¹⁾。そこでは、損傷や構造特性に応じた定期点検の着目箇所を特定し、点検対象を絞り込むことにより点検を合理化して、特徴的な損傷についてより適切に健全性の診断ができるように技術的な留意事項や付録・参考資料に参考情報を充実させた。また、近接目視を補完、代替、充実する新技術利用のガイドラインや性能カタログ²⁾が作成された。

国土交通省は、インフラ分野におけるデータとデジタル技術を活用し、国民のニーズに対応して、社会資本や公共サービスを変革することを目的として「国土交通省インフラ分野のDX推進本部」を2020年7月29日に設置し

た³⁾。さらに、2025年までに建設現場の生産性2割向上を目指すため、すべての建設生産プロセスにおいてICTや3次元データなどを活用する「i-Construction」を推進している。

これらのことから、橋梁の点検に関する情報を3次元データ上で共有することにより、業務の効率化や緊急時に迅速な対応ができると考える。また、橋梁の維持管理に3次元データを用いることにより、損傷の位置やその連続性、橋梁全体の損傷を簡単に把握でき、原因究明や診断に役立つと考えられる⁴⁾。

(2) 課題解決のための3次元データの活用

橋梁定期点検の2巡目以降の点検では、前回実施された損傷図面や損傷写真などの点検調書を事前に確認する。現地にて、それらの損傷に補修や補強などの対策が実施されているか、または進行が進んでいるのか、進んでいる場合は、どの程度の進行程度なのかを確認することを実施している。ただし、損傷図面を手がかりに損傷を探しても、すぐにその損傷が発見されないことがある。これは、2次元の平面図や断面図に損傷の発生している箇所を簡略的に図示しているためである。図-1に2次元の損傷図面と実構造物の写真を示す。右写真の緑枠および青枠箇所は2次元図面上に平面図と側面図にわかれて表

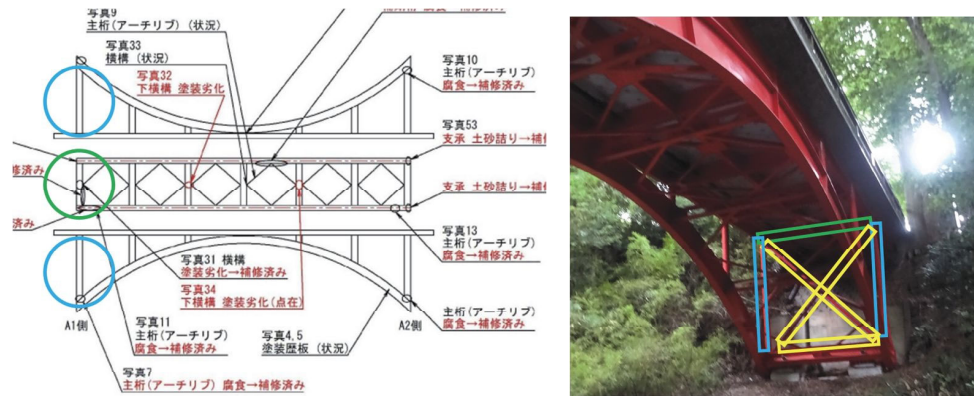


図-1 2次元の損傷図面(左)と実構造物(右)の対比

現されているが、黄色枠の部材は2次元図面上に表現されていない。

これらを踏まえて、著者らは、3次元データを活用した3D損傷図作成支援システム¹⁰の開発を進めてきた。維持管理でのCIMモデル活用に言及している既往研究としては、山岡⁹らが維持管理での活用を考慮したCIMモデルの要件をまとめている。この研究では、設計段階で作成されたCIMモデルを維持管理の段階で活用するためにデータに変換して比較検証した。しかし、維持管理現場でCIMモデルを用いた実証実験が行われていないことが課題である。また、二宮⁷らは3次元点群データを用いた3D点検手法を提案した。3D点検手法にて期待できる効果として、近接目視の作業時間短縮、近接目視による損傷記録の充実化、継続的な損傷管理の高度化を整理した。また、清水¹¹、稲富¹²らが既設橋梁に対して維持管理段階で新たにCIMモデルを作成する仕組みを構築した。さらに清水らは、3次元モデルデータと撮影写真の対応点を指示することで関連づけて実施する手法を提案した。しかし、3次元モデルと撮影写真の対応点を指示する「撮影写真の3D空間配置」の作業と写真をなぞることで描画される「検査・工事図形の入力」作業が手作業であるために、内業の大部分を占める作業となっていることが課題としてあげられている。著者らは地上据え置き型レーザスキャナで取得した3次元点群データやアクションカメラなどで撮影した動画データから切り出した静止画を使って、画像から形状を復元するSfM (Structure from Motion) 処理によって生成された3次元点群データおよび3次元パラメトリックモデル¹³⁻¹⁶を用いる方法を使って効率良くCIMモデルデータを作成する仕組みを構築した。この仕組みを利用することで地方公共団体が管理している多くの小規模な橋梁を効率良くCIMモデルデータを作成できると考える。ただし、これらの既往研究では、CIMモデルデータを用いた点検現場での支援につ

いて、実際の現場でシステムを用いた損傷位置の確認などの有効性などについて検証は行われていない。

そこで本研究では、建設生産プロセスの維持管理段階における橋梁定期点検の現場支援に着目する。定期点検の実務者の評価を受けてシステムを設計し、プロトタイプを構築する。ここでは、3D 損傷図作成支援システムを維持管理事業関係者によって複数回評価して、橋梁点検現場支援の観点でシステムの改良を行い、CIM モデルを用いる橋梁定期点検現場での実務者により、実橋による実証実験結果をふまえて課題や問題点を整理する。

2. 3D 損傷図作成支援システムの設計と開発

(1) 設計方針

3D 損傷図作成支援システムは、橋梁定期点検を実施する実務者が、従来の業務フローを大きく変更することなく本来の点検作業に集中できるシステムとなること、また、システムを利用して点検データの品質向上が達成されることを設計方針とした。

(2) 3D損傷図作成支援システムの設計

橋梁の諸元情報などのデータ項目は、既に自治体で管理している台帳システムがあることを考慮して、最小限の情報を管理する設計とした。点検情報についても同様に、すでに自治体で構築されている Bridge Management System などの既存システムとの連携を想定して、損傷箇所を表す損傷箇所 ID をキーとしたテーブルを用意した。このことにより既存システムや国で進められているデータプラットフォームとの連携がスムーズにできるようにした。

はじめにプロトタイプを構築し、システム利用者である施設管理者、点検事業者、補修工事事業者などの構造

物の維持管理事業関係者が正確・確実に情報共有できるための管理について評価を受けて、必要な機能要件を整

理する。次に、実務者による評価を実施して、実装した機能の有効性を確認しながら開発を進める。

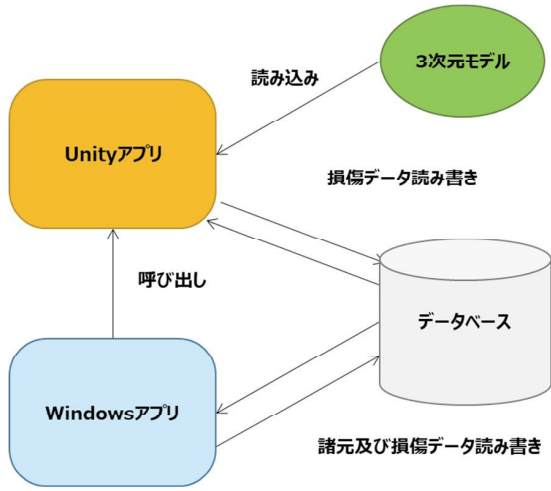


図-2 システム構成図

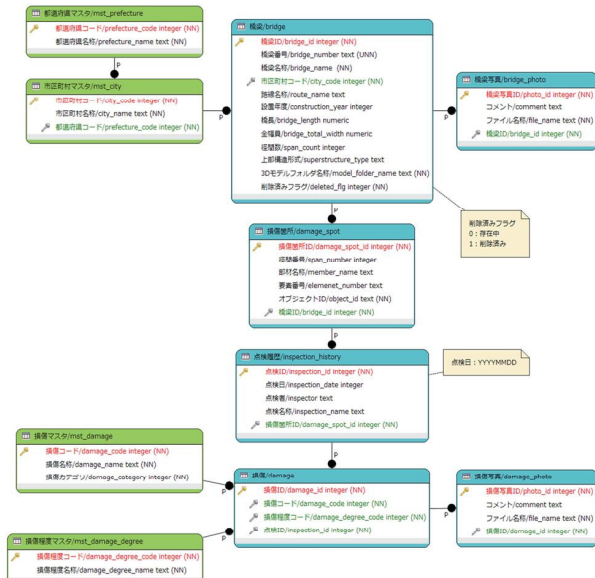


図-3 データ構造図



図-4 3D損傷図作成支援システム (Unityアプリ)

a) システム構成

構築したプロトタイプシステムの構成図を図-2に示す。本システムは、2つのアプリ (Windows アプリ, UnityTM アプリ) で構成し、それぞれのアプリが共有のデータベースを読み書きをする。Windows アプリは橋梁の諸元情報、損傷情報および損傷箇所 ID をデータベースに保存する。取り扱う項目をデータ構造図 (図-3) に示す。Unity アプリでは 3 次元モデルデータを画面に表示する。このモデルデータ上に損傷データを表示し損傷の状況を確認、修正する機能を持たせている。3D 損傷図作成支援システムの Unity アプリ画面を図-4に示す。

b) 機能概要

構築したプロトタイプは、次の機能を有する。

- 橋梁の新規登録 (Windows アプリ)
- 橋梁の検索 (Windows アプリ)
- 橋梁の諸元データの閲覧・編集 (Windows アプリ)
- 3次元モデルのインポート (Unity アプリ)
- 3次元モデルの表示・操作 (Unity アプリ)
- 損傷データの新規登録・閲覧・編集 (Unity アプリ)
- 損傷データのフィルタ機能 (Unity アプリ)
- 損傷データのフォーカス機能 (Unity アプリ)

c) システム運用フロー

開発したシステムの運用フローとシステム範囲を図-5に示す。システムでは、点検情報を保管する基盤として 3次元モデルを用いる。使用する 3次元モデルは FBX 形式のファイルをインポートする。はじめに作成された FBX 形式のデータを Unity アプリでインポートする。次に、Windows アプリで橋梁データの新規登録を行い、Unity アプリでインポートしたデータを指定して、諸元情報と 3次元モデルが紐付けられる。その後は、システムから 3次元モデルデータを起動して、損傷データを登録し確認する流れとなる。

(3) 開発

利用した開発環境は、3次元モデルを扱うことが可能なユニティ・テクノロジー社が提供するゲーム開発統合環境であるUnityを利用する。システムの重要な要件は、点検現場におけるシステム操作性と作業性となる。スマートフォンやウェアラブルデバイスなどの様々なデバイスでシステムが稼働できるようにするため、マルチプラットフォームに対応していることを考慮して選定した。またゲーム開発統合環境を利用することにより、利用者の操作性向上と将来的には娯楽性を持たせる機能などの発展が可能になると考えている。

a) 橋梁の新規登録機能

Windows アプリを起動し、橋梁情報の登録・編集画面

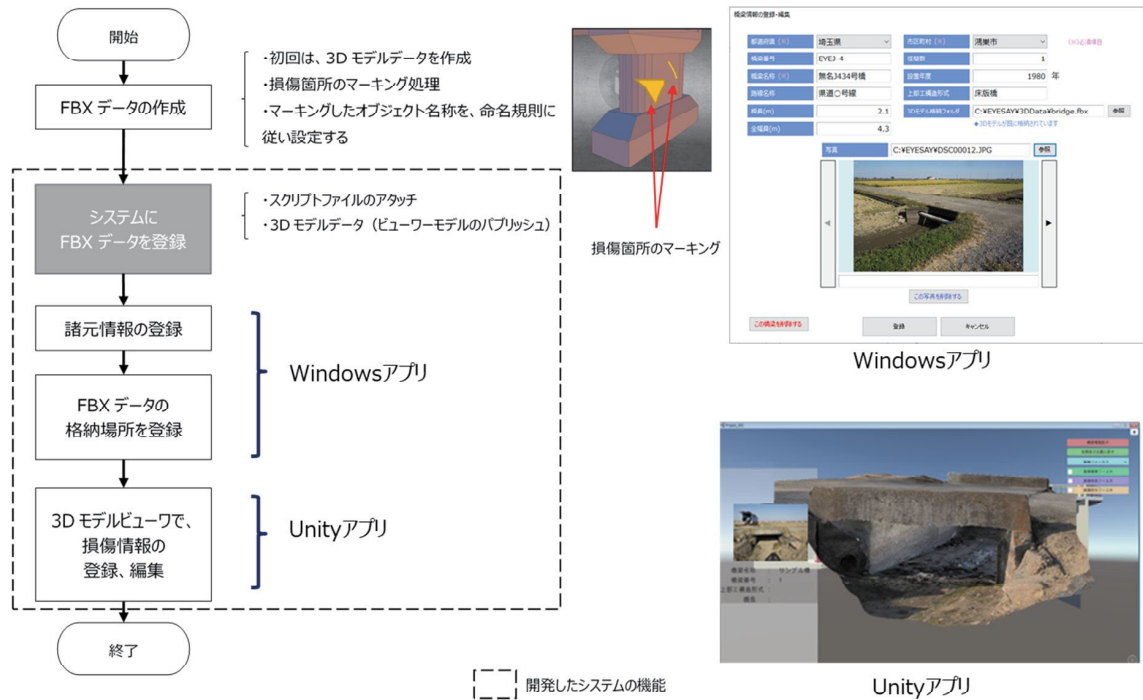


図-5 システムの運用フローとシステム範囲



図-6 橋梁情報の登録・編集画面 (Windowsアプリ)

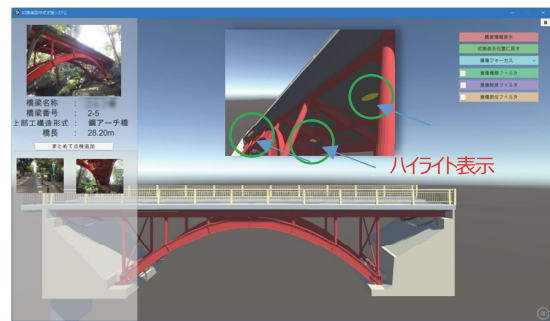


図-8 起動時の画面 (Unityアプリ)

(図-6) で必要な管理自治体や橋梁名称などの諸元項目と写真情報および Unity アプリにインポートした 3 次元モデルデータファイルがデータベースに登録される機能である。

b) 橋梁の検索機能

橋長や橋梁名称など検索条件を設定してデータベースから検索する機能である。図-7に橋梁検索・一覧画面を示す。

c) 橋梁の諸元データの閲覧・編集機能

新規登録画面で入力した情報の閲覧および編集機能である。

d) 3次元モデルのインポート機能

FBX 形式で作成した 3 次元モデルデータファイルを Unity アプリでインポートする機能である。インポートは Unity の開発環境で実行する必要がある。

e) 3次元モデルの表示・操作機能

Unity アプリでインポートした 3 次元モデルデータを表



図-7 橋梁検索・一覧画面 (Windowsアプリ)

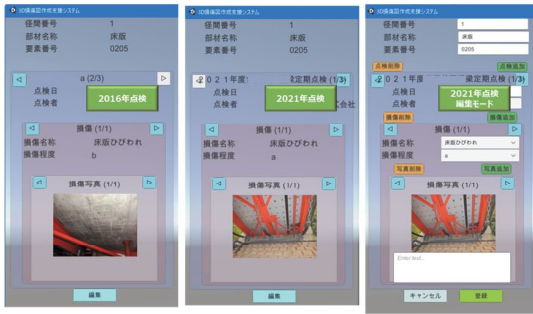


図-9 損傷の登録, 閲覧, 編集パネル (Unityアプリ)

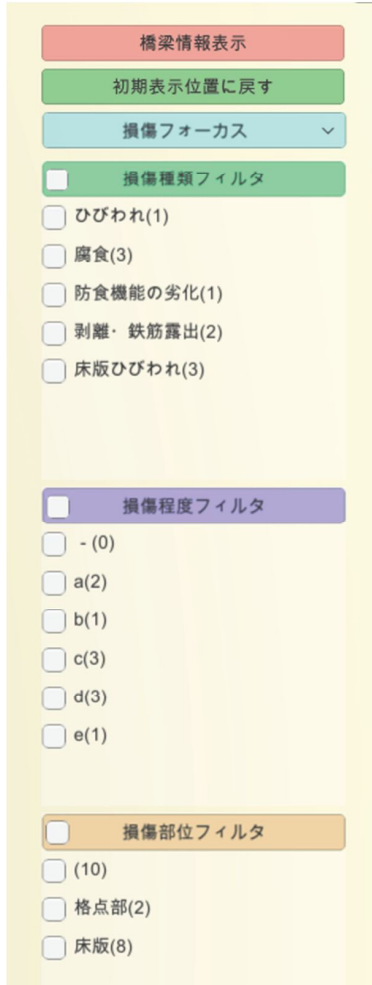


図-10 損傷のフィルタ機能パネル (Unityアプリ)

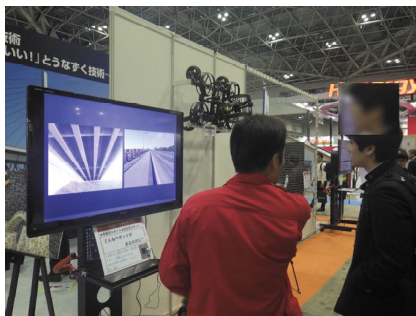


図-11 展示会でのヒアリング状況

示し, 拡大縮小, 回転して閲覧する機能である. 新規登録時に設定した諸元情報や写真が起動時に表示される. 命名規則に従って登録した損傷箇所のマーキング箇所がハイライト表示される仕様である. 起動時の画面と損傷箇所のハイライト表示画面を図-8に示す.

f) 損傷データの新規登録・閲覧・編集機能

3次元モデルデータ上の損傷箇所をクリックすると損傷情報の登録・閲覧・編集パネルが画面左側に表示され, 損傷情報を登録, 閲覧, 編集することができる. 点検結果は点検履歴データとして業務単位で履歴管理されている. そのため, 同一箇所に登録されている損傷情報をボタンで簡単に切り替えることができ, 損傷の進行状況が簡単に比較することができる. 損傷の登録, 閲覧, 編集パネルを図-9に示す.

g) 損傷データへのフォーカス機能

登録されている損傷情報をリストから選択することで, 選択した損傷にフォーカスされる機能である. この機能で損傷発生箇所が, 橋梁のどこにあるかを即座に確認することが可能になる.

h) 損傷データのフィルタ機能

多くの損傷がある場合に, 損傷箇所のマーキング箇所が多くなり, 損傷の確認作業が困難な状況になるため, それらを損傷種類, 損傷程度や損傷部位ごとに表示と非表示を切りかえるフィルタ機能を実装した. それぞれのパネル (図-10) から表示したい項目を選択することで切りかえることができ, 損傷の確認作業が効率化される.

(4) 展示会におけるシステム評価

提案システムを2018年12月6日から8日に開催された展示会でデモンストレーションを実施し来場者約200名へのアンケート調査を実施した (図-11). 得られた関係者ごとの主な要求機能を表-1に示す. 施設管理者の視点では, 橋梁ごとの詳細も大事ではあるが, 管理している橋梁全体に関する情報, 例えば修善計画を策定するための支援機能などが要望としてあげられた. また, すでに保有しているシステムとの連携可否などの質問が

表-1 事業関係者ごとの要求機能

区分	要求機能
施設管理者	<ul style="list-style-type: none"> 管理橋梁全体の適切な修繕計画策定のための支援機能 既に保有している道路管理システム(台帳システム)との相互運用性
点検事業者	<ul style="list-style-type: none"> 点検調書等の出力機能 損傷発生箇所の自動登録 点検現場での作業性 簡易な操作性
補修設計・工事事業者	<ul style="list-style-type: none"> 最適な補修工法, 工事計画支援 工事数量等の自動算出

複数あげられた。次に点検事業者の視点では、現在の点検業務で作成している成果物である点検調書が、提案システムで出力についての質問が多くあげられた。本システムでは、現在定められている点検調書の出力機能が未実装である。この点については、本システムに実装することも検討しているが、本システムで作成した伝達しやすさが半減してしまうため、提案手法で点検を実施したときの成果物のあり方について整理していくことのほうが重要であると考えている。また、点検現場での作業性および操作性に関する要求として、損傷写真との3次元モデルとの連携方法などの効率化の要望が多くあげられた。補修工事事業者の視点では、補修工事箇所の把握・理解についてわかりやすく、現地にいかずとも工事計画の支援が容易にできるようになるという意見があげられた。また、補修設計を実施する建設コンサルタントの方からは、補修工法の選定や数量などが精度よくわかるとよいという意見があげられた。

3. システムの改良

(1) 既存システムの改良

表-1のうち、点検支援の研究目的より、点検現場の作業性と操作性を向上することを目指してシステムを改良する。2章で開発した既存システムでは、橋梁の3次元モデルに損傷を可視化した。損傷箇所をエリアで表示しているため、損傷の種類によっては、その場所を的確に把握することが難しい課題があった。一方、従来点検では点検現場に持って行く紙に印刷した点検調書に現場でのメモを欄外などに記入することがあり、その情報は点検の実実施計画を立案する際に大変重要な事項であるということが展示会であげられた。そこで、橋梁の3次元モデルに損傷をピンポイントで表示する機能と現場で損傷情報ではない情報を自由にメモとして残すことができるメモ登録機能の2つの機能を追加する改良を施す。現場で利用できるノートPCやタブレット端末に3次元モデルを表示し、ピンによる損傷登録・管理機能によって解決する。また、メモ登録機能によって、現場での実用性を高めることを目指す。

(2) 機能開発

a) ピンによる損傷登録・管理機能

点検現場支援という観点で、損傷発生箇所を点検技術者にわかりやすく表示する必要がある。そのため、損傷箇所をピンで表示させ、そのピンを点滅表示させる機能を実装した。ピンは過去の点検結果と今回の点検結果を色で区別できる仕様とした。

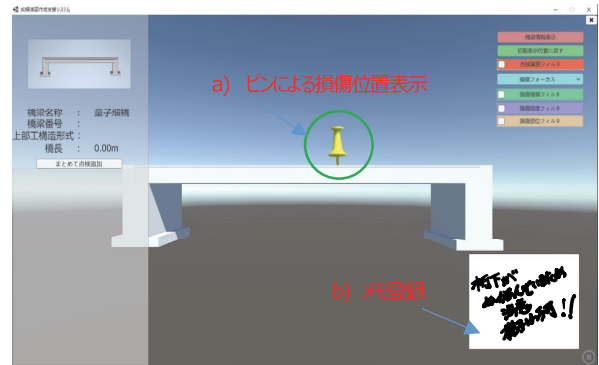


図-12 改良後 (Unityアプリ)



図-13 評価会実施風景

b) メモ登録機能

橋梁点検現場で損傷情報ではない任意のメモを登録する機能を実装する。これは、損傷の発生状況や現場で撮影した損傷写真などの点検結果に加えて、点検技術者が気付いた事項、つまり気付きを自由に手書きメモとして記録できるようにするメモ登録機能である。画面右下にメモ登録パネルを配置した。図-12に改良した機能を示す。

(3) 改良したシステムの評価

提案システムの有用性を評価するために、事業関係者が参加する評価会を2021年12月23日に実施した(図-13)。参加者は、元地方公共団体職員1名、道路点検の専門家1名、道路舗装の専門家3名、建設コンサルタント2名の計7名である。評価会では、システムの説明プレゼンテーションおよび操作デモンストレーションを実施し、プロジェクトによって映した画面を見てもらった。評価会でいただいた意見を以下に示す。

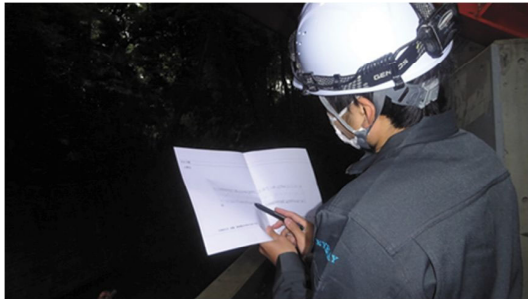
- 現場で作成するポンチ絵では点検結果や気付きがわかりづらいことがある。3次元モデルを併用することにより、解決される可能性がある。
- 発注者は点検業務と補修設計業務を異なる別業務として発注しているが、点検業務と補修設計業務をあわせて発注できると、地方公共団体の業務改革に合わせてシステムの可能性が広がる。点検調書を現場に持っていくことが難しいことがある。また、点検時に現場で過年度の損傷を探し、対象

表-2 実証実験での検証 PC スペック

メーカー	デルテクノロジーズ
型番	XPS 13 9310 2-in-1
OS	Windows 11 Pro
CPU	11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-1165G7 @ 2.80GHz
GPU	インテル Iris Plus グラフィックス
メモリ	32GB
SSD	1TB
ディスプレイ	13.4 インチ (タッチディスプレイ)



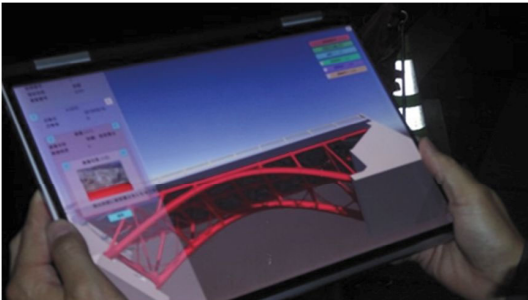
実験対象橋梁桁下状況



紙資料による従来点検状況



開発したシステムによる点検状況



PC表示画面

図-14 現場実験場所と作業状況

箇所を探すことに時間を要することがある。これらの課題をシステムによって解決できると良い。

- システムは、上下部工が同じ3次元モデルで表現されているが、点検することを考えると、上下部工が分かれている方が良い。
- 維持管理で3次元モデルが必要かどうか検討する必要がある。3次元モデルを構築する労力が大きいため、効果を示せるシステムもしくは機能がほしい。
- 橋梁を対象とするだけでなく、道路も同様に管理できるシステムが望ましい。

4. 実橋における点検実務者による現場実験

(1) 実験概要

東京都内にある橋梁を対象に 3D 損傷図作成支援システムの実証実験を 2022 年 6 月 14 日に行った。実証実験では、橋梁の点検業務を専門とする実務者 3 名と著者 1 名で実施した。実験対象の構造形式は鋼アーチ桁橋で 1 径間の道路橋である。橋長 28.2m, 幅員 4.8m である。使用した 3 次元モデルの詳細度は、目的別詳細度設定の考え方に則り決定した。橋梁全体は構造形式が分かる詳細度 200, 桁端部、アーチリブや支承部等の箇所は外形形状を正確に表現する詳細度 300 を基本とした。

評価実施者は、著者の他に橋梁の点検実務者で 5 年以上の経験を有している中級者と経験 2 年未満の初級者 2 名の合計 4 名で実施した。利用したデバイスは、カメラのついた Windows PC でタッチパネルディスプレイを備えたノート PC (Dell 社製 XPS13 9310 2-in-1) を利用した。スペックを表-2 に示す。

検証の目的は、点検実務者に実際に現場で提案システムを操作してもらうことで操作方法の問題点を抽出して改善点を見つけることとした。また、提案システムの目的として損傷発生箇所の把握がスムーズになるかどうかを検証することとした。

(2) 実施内容

現在の点検方法と同様に、前回点検結果の調書から損傷図および損傷写真集を印刷し、損傷の位置、状況を確認する。この作業時間の計測および状況を著者が観察し、印刷した損傷図に記載されている損傷の実構造物における位置と、その損傷の進行状況について質問をする形で実施した。その作業後に提案システムを用いて同様の作業を実施した。最後に被験者 3 名にあらためてヒアリングを実施した。実証実験の作業状況を図-14 に示す。

(3) システム評価結果

現場支援の観点で、点検実務者による実証実験を行っ

た結果として、得られた課題と問題点について以下に示す。

- 2次元の損傷図面に表現されていない対傾構の場所は、初級者のうち1名は2次元の損傷図では把握できなかった。ただし、中級者は把握するまでの時間は、従来手法と提案手法のいずれもあまり変わらない。
- 提案システムは、点検対象橋梁の構造物のみをモデル化して、表示しているため橋梁の起点、終点方向がわかりにくいという意見があがった。
- システムの操作にとまどう場面があつたが、操作方法を少しの時間体験すれば覚えることができた。ただし、システム入力時間は、紙に記載するよりも3倍以上要した。
- 橋梁の桁下のように暗い作業現場状況では、紙資料よりもシステムで確認するほうが視認性が高い。
- システムでは、点検結果が履歴管理されているため損傷の進行状況を把握することが容易であった。
- メモ登録機能は、点検の実施計画を検討する踏査時に、点検調書には記載しない点検現場における注意事項や留意事項などをメモする際に有効である。
- 点検および調査では、点検ハンマーやチョークなど他の装備品が多くあるため閲覧のみという仕様では利用価値は低い。3次元モデルデータ上に撮影した写真と損傷位置情報が自動的に関連づけられれば、有効な手段となる。
- CIMモデルで登録した点検結果のデータが、納品物として受け入れられなければ、3次元モデルデータから、従来の2次元の損傷図に変換する作業が発生してしまう。そのような状況では利用することは難しい。CIMモデルを用いたデータ管理が一般化されれば、有用性は高い。

(4) 考察

a) 現場支援の観点

現場実験結果より、損傷発生箇所的位置確認作業について、橋梁点検の現場経験が少ない初級者には、一定の効率化を図れることを確認できた。提案システムにより、2次元損傷図面に表現されていない部位の位置把握までにかかる時間を短縮することを期待していたが、橋梁の点検実務者で5年以上の経験を有している中級者は紙とシステムのいずれも同程度の時間で部位を把握していた。橋梁定期点検現場の経験が少ない初級者が複雑な構造物を点検するときには、本提案システムを利用すれば、時間をかけずに過年度調書にある損傷位置を確認できることが確認された。一方、管理者などの他の事業関係者への情報伝達という点では、ディスプレイ上で損傷の発生

位置を3次元モデルを動作させながら確認ができる本提案システムのほうが、2次元図面より正確に伝達できるという意見があり、有用性が示唆された。

現場実験では、従来の図面を3次元化することの有効性を確認するために、部材が複雑に組み合わさって製作されているアーチ形式の橋梁を選定した。今回のような死角となるような箇所が多い橋梁形式では、損傷位置を先行システム¹⁰⁾の領域で表現するよりも、改良したピンで表示することがわかりやすいことを確認した。また、メモ機能登録機能は、点検計画を立案するための情報を同じシステム上に残せるため、情報を一元管理する観点からも有効であることを確認した。先行システム¹⁰⁾を改良することにより、点検者の操作性向上に加え、現場の気づきを蓄積して継続してシステムを使用する仕組みに展開できると考える。

b) システムの観点

実験では、橋梁定期点検のとくに桁下面の点検において、桁下から見上げる姿勢で作業する際に、システム画面上に3次元モデルデータのみが表示されると、方向の確認が困難であることがわかり、システムの課題が示された。この解決策として、橋梁の3次元モデルに構造物以外の周辺地形などを付加することにより、相対的に位置を把握することができるようになることを考える。ただし、周辺地形や他の構造物をモデル化するためには、多大な時間と労力を要する。そこで、国土交通省で活用が進められているデジタルツイン技術や、国土交通データプラットフォーム¹⁸⁾やProject PLATEU¹⁹⁾などのデータ共有プラットフォームなどと連携することで、そのコストも抑える形で課題を解決できると考えている。様々なデータプラットフォームとの連携を検討していきたい。

5. おわりに

本研究では、橋梁の維持管理に係わるデータの蓄積および情報共有、伝達のために、維持管理技術者が点検による損傷の位置と内容を的確に把握することを目的として、橋梁の3次元モデルを基盤とする点検データの管理システムを提案し開発した。システムの開発にあたっては、既存の3D損傷図作成支援システムを基に、新たな機能を付加した。

提案システムの有用性と将来性を評価するために、実務者が参加する評価会を実施した。そこでは、提案システムによって、現状の点検調書の持ち運びや現場で過年度の損傷を探す作業での非効率を改善できる可能性が示唆された。さらに、実際の橋梁定期点検現場で実務者を対象にしたシステムの実験を実施し、現場支援に関する観点で課題と問題点を整理した。

今後は、データプラットフォームとの連携機能を実装し、事業者間の情報伝達について検証を進める。現場支援の観点では、ウェアラブルデバイスの利用およびAR表示機能などを実装し、現場作業性の向上と安全性を高めることを目指す。適切な予算配分を行い橋梁長寿命化改善計画を策定するために、その状態を把握する基盤となる点検データの品質向上は重要な課題である。そこで期待されているCIMモデルの活用を効果的に実施していくためには、少ない技術者で大量の構造物を効率良く実施するための点検現場支援を進めることは必要不可欠である。

謝辞: 本研究の一部は、一般財団法人ニューメディア開発協会が受託した公益財団法人JKAの競輪の補助を受けて実施した補助事業「小規模橋梁の安全確認のための効率的点検技術の調査研究補助事業」と2022年度関西大学大学院理工学研究科高度化推進研究費によって行った。

REFERENCES

- 1) 国土交通省道路局：平成26年6月道路橋定期点検要領，<<https://www.mlit.go.jp/common/001044574.pdf>>，(入手2022.8.31) [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: Road bridge periodic inspection procedure, <<https://www.mlit.go.jp/common/001044574.pdf>> (accessed 2022-8-31)]
- 2) 国土交通省道路局国道・技術課：平成31年3月橋梁定期点検要領，<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo3_1_6.pdf>，(入手2022.8.31)。[Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: Bridge periodic inspection procedure, <https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo3_1_6.pdf> (accessed 2022-8-31)]
- 3) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ(案)，<<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/>>，(入手2022.8.31)。[Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: Inspection support technology Performance catalog (draft), <<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/>> (accessed 2022-8-31)]
- 4) 国土交通省：国土交通省インフラ分野のDX推進本部，<https://www.mlit.go.jp/tec/content/200729_01.pdf>，(入手2022.8.31) [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: DX Promotion Headquarters in the infrastructure field, <<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf>> (accessed 2022-8-31)]
- 5) 山岡大亮，青山憲明，谷口寿俊，藤田玲，重高浩一：維持管理での利用を想定した橋梁の3次元データモデル標準の策定，土木学会論文集F3(土木情報学)，Vol.71, No.2, pp.I_204-I_211, 2015. Yamaoka, D., Aoyama, N., Taniguchi, H., Fujita, R., and Shigetaka, K.: Development of the Three-Dimensional Data Model Standard of the Bridge which Assumed the Use by Maintenance., *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. F3(Civil Engineering Informatics)*, Vol.71, No.2, pp.I_204-I_211, 2015.]
- 6) 山岡大亮，青山憲明，川野浩平，重高浩一，関谷浩孝：維持管理での活用を目的とした橋梁のCIMモデル作成コストの検証，土木学会論文集F3(土木情報学)，Vol.72, No.2, pp.I_21-I_28, 2016. [Yamaoka, D., Aoyama, N., Kawano, K., Shigetaka, K., and Sekiya, H.: Verification of How to Create the CIM model of the Bridge which Assumed the Use by the Maintenance., *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. F3(Civil Engineering Informatics)*, Vol.72, No.2, pp.I_21-I_28, 2016.]
- 7) 二宮建，榎本真美，下川光治，服部達也，新田恭士：橋梁3次元データを活用する橋梁点検手法の提案とプロトタイプを用いた効果検証の報告，土木学会論文集F4(建設マネジメント)，Vol.76, No.2, pp.I_32-I_46, 2020. [Ninomiya, T., Enomoto, M., Shimokawa, M., Hattori, T., and Nitta, Y.: Report on proposal of bridge inspection method utilizing 3D data and effectiveness verification using prtypesystem., *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. F4(Construction and Management)*, Vol.76, No.2, pp.I_32-I_46, 2020.]
- 8) 国土交通省国土技術政策総合研究所：3次元モデルを利用した橋梁の維持管理，<http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bunya/cals/pdf/guidebook_bridge_cim.pdf>，(入手2022.8.31) [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism National Institute for Land and Infrastructure Management: Bridge maintenance using a 3D model, <http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bunya/cals/pdf/guidebook_bridge_cim.pdf> (accessed 2022-8-31)]
- 9) 国土交通省：老朽化対策の取り組み，<<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf>>，(入手2022.8.31) [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: Measures to prevent aging, <<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf>> (accessed 2022-8-31)]
- 10) 関和彦，岩佐宏一，窪田諭，塚田義典，安室喜弘，今井龍一：小規模橋梁の安全確認のための効率的点検技術の研究開発，土木学会論文集F3(土木情報学)，Vol.75, No.2, pp.II_8-II_16, 2019. [Seki, K., Iwasa, K., Kubota, S., Tsukada, Y., Yasumuro, Y., and Imai, R.: Research and Development of Efficient Inspection Technology for Safety Verification of Small-Scale Bridges., *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. F3(Civil Engineering Informatics)*, Vol.75, No.2, pp. II_8- II_16, 2019.]
- 11) 清水智弘，吉川眞，瀧浪秀元，御崎哲一，高橋康将，中山忠雅，内田修，近藤健一：3Dモデルを用いた橋梁維持管理システムの開発，土木学会論文集F3(土木情報学)，Vol.69, No.2, pp.I_45-I_53, 2013. [Shimizu, T., Yoshikawa, S., Takinami, N., Misaki, N., Takahashi, Y., Nakayama, T., Uchida, O., and Kondo, K.: Development of Bridge Management System using Three-Dimensional Model., *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. F3(Civil Engineering Informatics)*, Vol.69, No.2, pp.I_45-I_53, 2013.]
- 12) 稲富翔伍，全邦釘：3次元モデル生成のための構造物表面取得に関する基礎的検討，AI・データサイエンス論文集，Vol.2, No.2, 2021. [Inadomi, S and Chun, Pang-jo: Basic Study on Surface Acquisition of Bridge Structures for 3D Model Generation., *Journal of Japan Society of Civil Engineers, (Intelligence, Informatics and Infrastructure)*, Vol.2, No.2, 2021.]
- 13) 国土交通省国土技術政策総合研究所：データ交換を

- 目的としたパラメトリックモデルの考え方(素案), <<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001335572.pdf>>, (入手 2022.8.31) [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism National Institute for Land and Infrastructure Management: Concept of parametric model for data exchange (draft), <<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001335572.pdf>> (accessed 2022-8-31)]
- 14) 平澤江梨, 青山憲明, 寺口敏生, 芦原興利, 関谷浩孝: パラメトリックモデルによる 3D モデル作成方法, 土木技術資料, Vol. 61, No. 3, pp. 56-57, 2019. [Hirasawa, E., Aoyama, N., Teraguchi, T., Ashiwaru, K., and Sekiya, H.: How to create a 3D model using a parametric model., *Civil engineering data*, Vol.61, No.3, pp.56-57, 2019.]
- 15) 井上明日香, 関和彦, 窪田諭: 橋梁の点群データとパラメトリックモデルによる維持管理のための 3次元モデルの構築, 第 83 回情報処理学会全国大会, No.1ZE-3, pp.4-597-4-598, 2021. [Inoue, A., Seki, K., and Kubota, S.: Construction of 3D model for maintenance by point cloud data of bridge and parametric model., *Proceedings of the 83th National Convention of IPSJ*, No.1ZE-3, pp.4-597-4-598, 2021.]
- 16) 窪田諭, 塚田義典, 梅原喜政, 田中成典: 点群データをを用いた橋梁パラメトリックモデルの生成に関する研究, 情報処理学会論文誌, Vol.62, No.5, pp.1234-1245, 2021. [Kubota, S., Tsukada, Y., Umehara, Y., and Tanaka, S.: Research for Generating Parametric Model of Bridge Using Point Cloud Data., *IPSJ Journal*, Vol.62, No.5, pp.1234-1245, 2021.]
- 17) 2019 Unity Technologies:Unity-Game Engine, <<https://unity.com/ja>>, (入手 2022.8.31)[2019 Unity Technologies:Unity-Game Engine, <<https://unity.com/ja>> (accessed 2022-8-31)]
- 18) 国土交通データプラットフォーム: 一般社団法人 社会基盤情報流通推進協議会, <<https://www.mlit-data.jp/platform/>>, (入手2022.8.31) [National Land Transport Data Platform: Council for the Promotion of Information Sharing on Social Infrastructure, <<https://www.mlit.go.jp/plateau/about/>> (accessed 2022-8-31)]
- 19) Project PLATEU<<https://www.mlit.go.jp/plateau/about/>>, (入手 2022.8.31)) [Project PLATEU, <<https://www.mlit.go.jp/plateau/about/>> (accessed 2022-8-31)]

(Received June 30, 2022)
(Accepted August 31, 2022)

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A 3D DAMAGE FIGURE SUPPORT SYSTEM USING CIM MODELS

Kazuhiko SEKI and Satoshi KUBOTA

In order to allocate appropriate budgets and formulate plans to extend the service life of bridges, it is important to improve the quality of inspection data, which is the basis for understanding the condition of bridges, and the use of CIM models is expected. Since the judgment results are based on 2D drawings that show the locations of damage, the drawings do not show the complicated parts of the building. In addition, some of these drawings do not have dimensions, which causes a problem that the checking process takes more time than usual. In this study, a 3D damage drawing support system was developed to solve these problems. The issues and problems in introducing the system to the practice of periodic bridge inspections are summarized through demonstration experiments, and the issues of periodic bridge inspections using CIM models are discussed.