

360度カメラ画像を活用したインフラ構造物の 点検情報管理システムの構築

山根 達郎¹・陳 瑜²・久保 栞³・浅野 和香奈⁴・
片山 直道⁵・岩城 一郎⁶・全 邦釘⁷

¹徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 (〒745-8585 山口県周南市学園台)
E-mail: yamane@tokuyama.ac.jp

²東京大学 大学院工学系研究科総合研究機構 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)
E-mail: chen@i-con.t.u-tokyo.ac.jp

³香川大学 四国危機管理教育・研究・地域連携推進機構 (〒760-8521 香川県高松市幸町 1-1)
E-mail: kubo.shiori.a6@kagawa-u.ac.jp

⁴株式会社 アイ・エス・エス (〒983-0803 宮城県仙台市宮城野区小田原 2 丁目 2-20)
E-mail: w_asano@issinc.co.jp

⁵株式会社 第一コンサルタンツ 設計部 (〒781-5105 高知県高知市介良甲 828 番地 1)
E-mail: n-katayama@daiichi-c.co.jp

⁶日本大学 工学部土木工学科 (〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中川原 1 番地)
E-mail: iwaki.ichiro@nihon-u.ac.jp

⁷東京大学 大学院工学系研究科総合研究機構 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)
E-mail: chun@g.ecc.u-tokyo.ac.jp (Corresponding Author)

維持管理の効率化のために 360° カメラを用いた構造物の全天球画像の撮影が注目されているが、一般的なビューアは画像を表示する機能のみに限定されるため任意の画像を探し出し閲覧するのに手間がかかるうえ、構造物の名称や撮影日時、損傷の位置や種別の記録・確認といった維持管理ならではのニーズには対応していない。本研究では、Structure from Motion を活用して複数の全天球画像の撮影姿勢を紐付けることで、市販の 360° カメラによって撮影した画像を用いて撮影位置や損傷情報をスムーズに確認できる点検情報管理システムの構築を行った。また、複数の橋梁を対象として、構築したシステムの適用を行った。本システムはクラウドとローカル環境の双方で利用でき、管理者の事情に沿った活用が可能である。

Key Words: spherical image, structure from motion, maintenance, infrastructure, shooting conditions

1. はじめに

高度経済成長期に多くの構造物が急速に整備された我が国では、インフラ構造物の老朽化が深刻な課題となっている。一方、我が国では少子高齢化の進行による生産年齢人口の減少に伴い、維持管理の効率化の実現と生産性の向上も急務となっている。

そこで近年では維持管理の効率化を実現するために、インフラ構造物の損傷状態の取得方法に様々な新技術が活用されつつあり、無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) の活用¹⁾³⁾や、Light Detection and Ranging (LiDAR) による点群データの取得⁴⁾⁵⁾、360° カメラによる全天球画像の撮影⁶⁾⁹⁾などが試行されている。

特に、360° カメラは市販品を比較的安価で入手できるため導入が容易であり、撮影位置から全方位の情報を一度に記録できることから、前回点検との差分を検証しやすくなるとともに、撮影対象以外の周辺情報を記録できるため、現場状況の確認の二度手間を抑制できるといった利点が挙げられている¹⁰⁾。

なお、全天球画像は一般的に全方向の画像を1枚の平面に展開した Equirectangular 画像 (正距円筒画像) や、6枚の正方形画像に各方向を投影した Cubemap 画像として記録される。そのため、360° カメラの撮影内容は専用のビューアを用いて確認することが一般的である。

しかし、インフラ構造物の点検に全天球画像を活用する場合、一つの構造物に対して複数枚の画像を撮影する



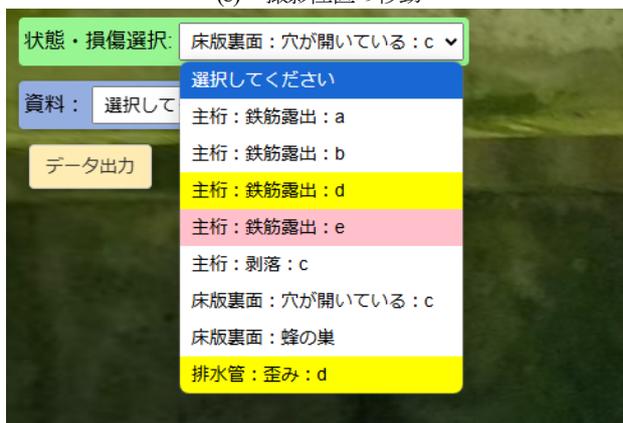
(a) 全天球画像ビューアとしての基本機能



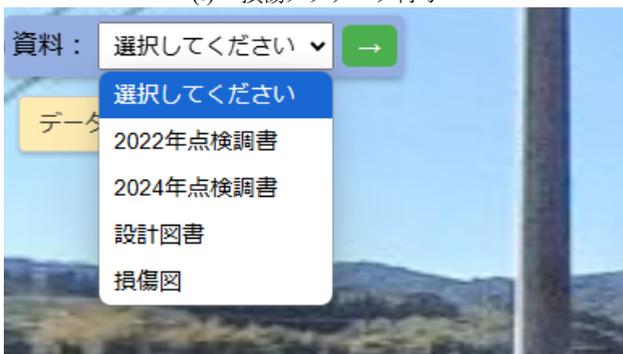
(b) 撮影位置の移動



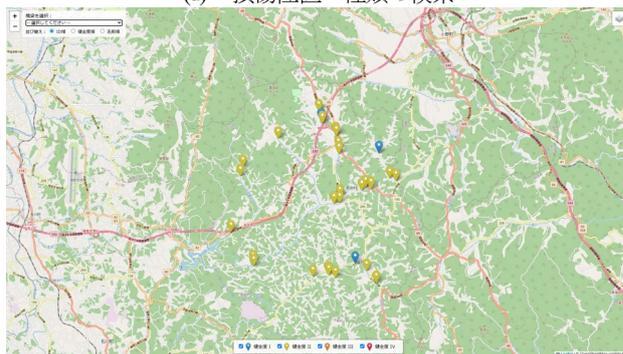
※損傷情報はサンプルとして入力した架空の情報である。
(c) 損傷メタデータ付与



※損傷情報はサンプルとして入力した架空の情報である。
(d) 損傷位置・種類の検索



(e) 資料リンク機能



(f) 地図上での検索機能

図-1 システムの主要機能

ことが考えられるが、一般的なオープンソースのビューアは画像を単純に1枚ずつ表示する機能のみが搭載されていることが多いため、任意の撮影位置からの画像を検索する場合は手間がかかる。なお、様々な位置から撮影された全天球画像をシームレスに確認することのできるビューアもいくつか存在するが、LiDARにより取得した3次元データと紐付けることを前提に3Dスキャナ専用の付属ソフトとして展開されていることが多く^{11),12)}、維持管理のための予算に制約のある地方自治体では気軽に導入しづらい。

また、点検情報の記録の観点からは、単に画像を表示するだけでなく、構造物の名称や撮影日時、損傷の位置や種別といったメタデータの記録や、どの損傷がどの位置にあるかを瞬時に確認したいといった維持管理ならではのニーズも考えられる。

そこで本研究では、複数の画像から各カメラの姿勢を同定する手法であるStructure from Motion (SfM) を活用して全天球画像同士の撮影姿勢を紐付けることで、市販の360°カメラによって撮影した全天球画像を用いて撮影位置や損傷情報をシームレスに確認できる点検情報管理システムの構築を行った。また、複数の橋梁を対象として、構築したシステムの適用を行った。

2. 点検情報管理システム

(1) 主要機能

本研究で構築した点検情報管理システムの主要機能を図-1に示す。本システムは、図-1(a)に示すように一般的な全天球画像ビューアと同様に、市販の360°カメラに

よって撮影された全天球画像を表示することができる。本画面では、画像上をドラッグすることで、任意の方向の撮影内容が画面上に表示される。また、システム画面の左上には、現在画面上に表示されている画像の全体マップ内での撮影位置や、撮影方向が同時に表示されるようになっている。

このほか、本システムで表示されている画像上には、**図-2** に示すような、他のカメラの撮影座標を表すアイコンも表示されている。このアイコンをクリックすることで、そのカメラ位置から撮影された画像に移動することができる。例えば、**図-1(b)**は、**図-1(a)**の画面内のアイコンをクリックして表示される画像である。なお、移動先のカメラの3次元的位置関係を直感的に把握できるように、本アイコンは現在表示している画像の撮影位置からの距離に応じて不透明度と大きさが自動設定されるようになっているほか、**図-1(a), (b)**に示すように、カメラ座標と床版の位置関係によっても色分けするようになっている。

また、システム画面の左上に表示されているマップ内のカメラ座標をクリックすることでカメラ位置の移動が可能になっている。なお、カメラ位置の移動の際には、移動前に画面に表示されている視点方向に基づいて移動先の視点方向がシステム内で計算されるため、表示する画像を切り替えても視点方向が初期化されずにシームレスに移動できる。本機能により、画像枚数が多くなった場合でも任意の撮影位置からの画像を素早く表示することが可能となっている。

さらに、**図-1(c)**に示すように、損傷などの領域を指定した上で、損傷の属性を表すアノテーションデータを付与することもできる。ここでは、対象領域を多角形として設定し、設定した領域には損傷種別や判定ランクなどの情報を追加することができる。加えて、損傷部の拡大画像や、360° 画像では撮影が難しい角度からの写真についても任意でアップロードできるようになっている。また、ここで設定した損傷情報のメタデータは、**図-1(d)**に示すように、損傷情報の一覧リストにも反映される。そして、このリスト内の損傷を選択することでも、その損傷を撮影した画像に移動することができる。

また、**図-1(e)**に示す「資料」ボタンからは、必要に応じて設定した過去の点検結果や、設計図面などにもアクセスできるようになっている。この機能は管理者や建設コンサルタントの技術者からのリクエストにより付与された機能であり、実際に各種資料へのアクセスは、構造健全性の評価や点検結果の比較、補修計画の立案という観点で利用価値が高いものである。

このほか、本システムによって付与された損傷情報は、**図-3** に示すように、Excel ファイルとして一括エクスポートが可能な仕様となっている。現段階では、付与可能



(a) 床版より高い位置 (b) 床版より低い位置
図-2 カメラ座標アイコン

	A	B	C	D	E	F	G
1	Member	Label	Damage Degree	Info	Image		
2	主桁	剥落	c	大規模な剥落。			
3	主桁	鉄筋露出	c				
4	主桁	鉄筋露出	b				
5	主桁	鉄筋露出	e				
6	床版表面	穴が開いている	c				
7	主桁	鉄筋露出	a	小さな鉄筋露出。透過観察。			
8	主桁	鉄筋露出	d	主桁下面に複数箇所の鉄筋露出が確認できる。			
9	床版表面	鉄の黒		スプ/パチ確認			
10	床版表面	鉄の黒		鉄の黒に注意。			
11	排水管	歪み	d				
12							

図-3 エクスポートされた損傷情報 Excel

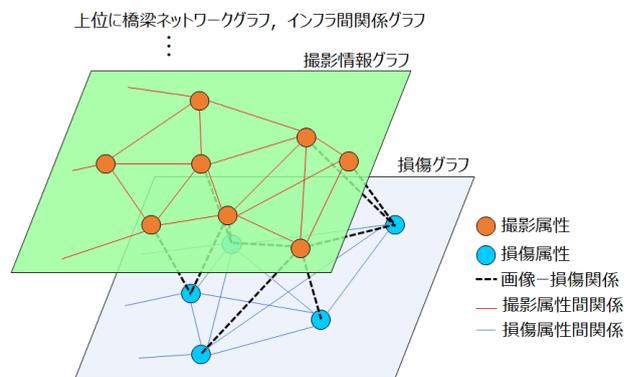


図-4 構造物の情報を集約したグラフデータ

なアノテーション情報である「部材種別」「損傷種別」「損傷ランク」「詳細情報」「画像」がエクスポートされるように実装した。なお、本機能は試験実装中であり、現状では**図-3**のように単純な表形式で出力するような機能としているが、管理者別に点検要領にフィットした形で出力するような機能とすることも容易であり、現状では管理者や建設コンサルタントの担当者などと議論を進めているところである。

ここまで実現されている機能や得られる情報を、ソフトウェアの機能として述べたが、これはシステムのバックエンドで**図-4**のようなグラフ形式のデータとして解釈することで実現している。例えばある画像の撮影位置・方向は、別の画像の撮影位置・方向や、そこに写る損傷位置と相互関係になっている。そして、それぞれの損傷に対して、各種情報がリンクされている。また、これらを包含する構造物の情報に、各種資料がリンクされる形となって、「資料」ボタンの機能が実現されている。また同一構造物を複数回撮影して復元した際には、それを区別できるようなグラフモデルにもなっている。

上述のように点検情報を記録した構造物が複数にわた

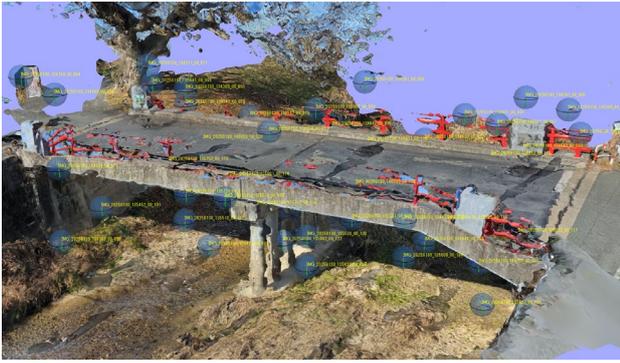


図-5 全地球画像のカメラ姿勢計算結果の例

```

<camera id="0" sensor_id="0" component_id="0"
label="IMG_20250130_134153_00_064">
  <transform>
    0.99243187884301709 -0.027179231987756274 -0.11975080460971463
    -2.5140696964407772 -0.020826220218870775 -0.99832438790648603
    0.053987823280214842 1.7689938182277376 -0.12101749628674947
    -0.051085280264439425 -0.99133498865559599 -5.5595317396782127
    0.001
  </transform>
  <rotation_covariance>
    0.074244662744550979 -0.0020740348489895889 -0.02231314229229265
    -0.0020740348489895885 0.054950804150512532 0.0036889538088542484
    -0.022313142292292646 0.0036889538088542492 0.15809282675061256
  </rotation_covariance>
  <location_covariance>
    1.5186272964408112 0.073266699634185875 -0.056872874095763568
    0.073266699634185875 1.7455243196132308 0.057873413019488382
    -0.056872874095763568 0.057873413019488382 1.4290973725195977
  </location_covariance>
  <reference_x="130.563416666667" y="32.959055555555601"
z="24.699999999999999" enabled="true"/>
</camera>

```

図-6 計算された外部パラメータ行列の例

る場合や、同一の構造物を複数回点検したケースを明快に扱えるようにするため、本システムでは図-1(f)に示すような地理情報システム (Geographic Information System, GIS) 機能についてもコーディング・実装した。本画面では、地図上に表示されている構造物の座標を表すピンを選択することで、その構造物の画像を表示したビューア画面を起動できるようになっている。なお、各構造物のピンを選択すると構造物の名称と撮影年月日が表示されるようになっており、表示したい年月日を選択することで該当する撮影日のデータを表示できる。また、本画面ではI-IVまでの健全度に応じてピンが色分けされており、指定する健全度の構造物のみを地図上に表示できる。そして、地図上での選択だけでなく、本画面上で橋梁の一覧リストを展開し、橋梁名を直接選択することもでき、現段階では、本リストは構造物 ID、健全度、名前の3種類の順でソート可能となっている。

このように、本研究ではインフラ構造物の維持管理に特化した全地球画像ビューアを実装することで、点検情報を一元管理することができるシステムを構築した。なお、本論文では数理的な内容を記載しているが、利用者が使用する際にはこれらを感じさせないようにシステム

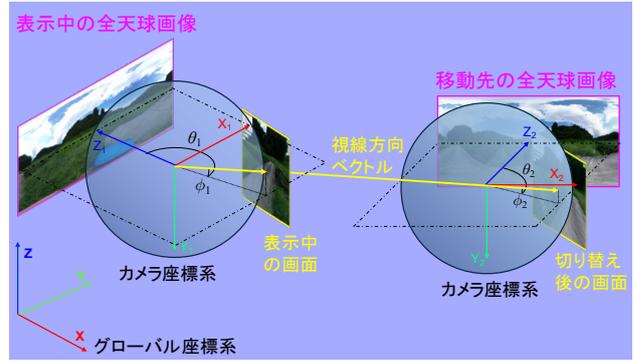


図-7 画面切り替え時の視線方向の保持

の裏側でのみ各種計算が実行されるため、使いやすいシステムとなっているということを強調しておく。

(2) 位置情報の紐付け

本システムでは、撮影を行った複数のカメラ同士の位置関係を導出し、図-4のような関連性を持つデータとして表現することが不可欠である。そこで、複数の画像から、カメラの姿勢を表す外部パラメータ行列を同定する手法である Structure from Motion (SfM) を用いて位置情報の紐付けを行うこととした。図-5は Equirectangular 画像を用いて SfM を行った結果であり、全地球画像の撮影座標が同定できていることがわかる。なお、一般的に SfM を用いて各カメラの姿勢を計算する場合、計算された外部パラメータから Multi-View Stereo (MVS) や Neural Radiance Fields (NeRF) などの後処理を行うことで、対象構造物の3次元データを取得することを目的とすることが多い^{13),14)}。この場合、精度良く3次元データを取得するためには大量の画像を撮影する必要があるうえ、後処理の計算時間も長時間になる。なお、図-5に示した画像は、同定されたカメラ位置を分かりやすく表すために SfM 結果から MVS 処理まで行った結果であるが、実際には本システムは SfM によるカメラ姿勢の同定のみで十分である。すなわち、3次元データの高精度な再構築までは必要としないことから、比較的少ない枚数の画像で十分であるうえ、後処理の計算も行わないため、必要な情報は非常に短時間で取得できる。

また、計算された各カメラの外部パラメータ行列は図-6に示すような XML 形式でエクスポートされる。図に示すように、Equirectangular 画像の外部パラメータ行列も通常の単眼カメラによる外部パラメータ行列と同様に定義されている。ここでは、Equirectangular 画像の中央が正面方向ベクトル、上辺が上方向ベクトルとして定義される。本システムでは、この XML ファイルを読み込んでカメラ同士の位置関係の紐付けを行うこととしている。

さらに、ビューア内でカメラ位置を切り替える際には、図-7に示すように切り替え時に表示されている画面中央の画素を通る視線方向ベクトルを基に、外部パラメー

タ行列から得られる正面方向のベクトル Z_1 との角度を基に、移動先のカメラの正面方向のベクトル Z_2 からの回転角を算出することで、視線方向を常に保持しシームレスな画面切り替えが行われるように実装した。

なお、本システムでは損傷領域の指定やメタデータの付与を、現時点では画面上のマニュアル操作によって行うこととしている。現行の機能でも十分に活用できると考えているが、さらなる負担軽減のためには、著者らが開発している損傷検出モデル¹⁹⁻¹⁹⁾などの活用による自動化も考えられる。

(3) 動作環境

本システムのアーキテクチャは、クラウドとローカル環境の双方で同様の機能を提供できるよう設計されており、導入組織の要件に応じて柔軟な運用形態を選択することが可能である。

クラウドを活用する場合、ユーザーは場所やデバイスを問わずにシステムを利用できる。これは、リモートワーク環境や複数拠点での業務運用に適しており、運用管理の負担を軽減しながら効率的な業務遂行を可能とすることを意図している。

一方、点検データの機密性や、組織のセキュリティポリシーにより、クラウドでの運用が制限される場合を想定し、ネットワークに接続されていないローカル環境で運用することも可能としている。

本システムのクラウド実装においては、Amazon Web Services (AWS) の Elastic Compute Cloud (EC2) を採用した。具体的には、コスト効率と運用性を考慮し、t2.micro インスタンス (1 vCPU, 1GB RAM) を選定した。本システムは全天球画像の表示と点検データの管理に特化した軽量な設計を採用しており、比較的小規模なコンピューティングリソースでも安定した性能を実現している。

サーバ環境の構築においては、Node.js ランタイムを基盤とし、Express.js フレームワークによる Web アプリケーションサーバを実装した²⁰⁾。全天球画像の表示やアノテーション情報の管理など、システムの主要機能は非同期処理を前提として設計されており、限られたリソース下でも効率的な処理を実現している。さらに、システムの永続的な稼働を確保するため、Node.js プロセスマネージャである PM2²¹⁾を導入した。これにより、予期せぬシステム障害時の自動再起動機能やログ管理機能を実装し、システムの安定運用を実現している。

橋梁点検データの効率的な管理においては、分散ストレージアーキテクチャを採用している。システムのアプリケーションコードおよび関連リソースは AWS Simple Storage Service (S3) に配置している一方、容量の大きい橋梁点検用の全天球画像データについては、コスト効率とデータセキュリティの観点から、管理者が指定する各々

表-1 対象橋梁および計算時間

	橋長 (m)	橋梁種別	撮影枚数 (枚)	SfM 計算時間 (秒)
A 橋	6.1	RC 桁橋	25	34
B 橋	35.7	鋼桁橋	65	89
C 橋	16.9	RC 桁橋	43	56

のストレージサーバに分散して保管する設計を採用している。この設計により、画像データへのアクセスはアプリケーション内の URL リンクを介して実装され、ユーザーはデータの物理的な配置を意識することなく、シームレスにデータの閲覧が可能となっている。さらに、この分散型アーキテクチャにより、点検データの効率的な管理を実現しつつ、管理者の要件に応じた柔軟なデータ配置が可能となっている。

セキュリティ面では、AWS Security Groups によるネットワークアクセス制御を実装している。外部からのアクセスについては、HTTPS プロトコル (ポート 443) および SSH 接続 (ポート 22) のみを許可している。システムは内部的に 8000 番ポートで動作しているが、AWS Application Load Balancer (ALB) を介して外部からの 443 ポートへのアクセスを内部の 8000 ポートへ安全にルーティングする構成を採用している。その他のポートは全て閉鎖することで、不正アクセスのリスクを最小限に抑えている。さらに、AWS Certificate Manager (ACM) を活用し、通信の暗号化を実現している。

また、本システムの設計においては、マイクロサービスアーキテクチャの考え方を取り入れ、画像表示機能、アノテーション管理機能などのコンポーネント間の疎結合性を確保している。これにより、将来的な機能拡張、特に開発中の物体検出モデルとの連携や、保守性の向上を実現している。

3. 実橋梁への適用

構築したシステムを用いて、実橋梁の点検情報記録データを作成した。本研究では、表-1 および図-8 に示す 3 橋を対象として実施した。A 橋および B 橋は、RICOH THETA Z1 (6720 px × 3360 px) を用いて撮影を行い、C 橋は Insta360 X4 (5888 px × 2944 px) を用いて撮影を行った。その後、取得した全天球画像に対して SfM 処理を行い、カメラ姿勢を計算した。なお、計算に用いたコンピュータの CPU は 13th Gen Intel® Core™ i7-13700H 2.40GHz であり、GPU は NVIDIA GeForce RTX 4060 Laptop GPU である。表-1 に示すように、カメラ位置のみの計算であることから、システムに必要な計算が非常に短時間で完了していることが分かる。



(a) A橋



(b) B橋



(c) C橋

図-8 対象橋梁の外観

図-9は、A橋の画像を基に本システムによって作成した点検データである。なお、本橋の撮影時には梯子を用意できなかったことや、桁下に蜂の巣が確認されたことから、桁下からの撮影を行うことが困難であったため、すべて橋上から撮影を行っており、桁下については一般的な一脚の先端に取り付けたカメラを差し込むようにして撮影を行った。このような条件下であったが、図-9(a)、(b)に示すように、桁の鉄筋露出や床版の貫通孔、蜂の巣といった主要な変状をシステム上で確認できている。

図-10は、B橋の画像を基に作成した点検データである。本橋は桁下高が高く、A橋と比べて長スパンであったことから、高所撮影用のロングロッド（約10m）の先端に取り付けたカメラで桁下の撮影を行った。これにより、図-10(a)、(b)に示すように、支承付近や桁間などの近接写真を記録し、システム上で確認できるようになって



※損傷情報はサンプルとして入力した架空の情報である。

(a) 鉄筋露出



※損傷情報はサンプルとして入力した架空の情報である。

(b) 床版の貫通孔・蜂の巣

図-9 A橋の点検データ



(a) 支承付近



(b) 桁間

図-10 B橋の点検データ

いる。

図-11は、C橋の画像を基に作成した点検データである。本橋は一般的な一脚を使用し、桁上および桁下の両側から撮影を行った。なお、このC橋の画像は本橋梁を管理する若手職員が事前指導なしに（網羅的に撮影する



※損傷情報はサンプルとして入力した架空の情報である。

(a) 橋上



※損傷情報はサンプルとして入力した架空の情報である。

(b) 橋下

図-11 C橋の点検データ

ようにという程度の指示) 撮影したものであるが、問題なく SfM ができ、データ構築ができる程度の頑健性がある。このように、モデル閲覧だけではなく、モデル構築についても容易に利用者が数理的な内容を意識せず行うことができるシステムとなっている。

4. おわりに

本研究では、市販の 360° カメラによって撮影された全天球画像を用いて、インフラ構造物の点検情報管理に特化したシステムの構築を行った。構築したシステムでは、全天球画像同士の撮影位置を紐付けることで、表示する撮影位置をシームレスに移動することができるほか、構造物の損傷領域とその情報をシステム内で記録することができるようにした。本システムを活用することで、構造物の点検情報管理の効率化が期待される。

また、現在、損傷情報のアノテーション付与の自動化のために、全天球画像から損傷領域とその種別を判定するための物体検出モデルの開発も併せて進めている。さらに、例えば Image captioning モデルなどを活用した文章自動生成²³⁾²⁴⁾や、SfM 生成点群の解析による部材判別²⁵⁾、グラフと 3 次元情報を活用した FEM モデル構築²⁶⁾など、今後様々な機能との連携を視野に入れた開発についても進めている。

謝辞：本稿は、JSPS 科研費 JP21H01417, JP23K22831, JP23H00198 の助成を受けた研究で行われた結果を含みます。また、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) 第 3 期「スマートインフラマネジメントシステムの構築」JPJ012187 (研究推進法人: 土木研究所) で実施されている研究も含みます。これらに謝意を表します。

参考文献

- 1) Ellenberg, A., Branco, L., Krick, A., Bartoli, I., and Kotsos, A.: Use of Unmanned Aerial Vehicle for Quantitative Infrastructure Evaluation, *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 21, Issue 3, 04014054, 2015.
- 2) Jordan, S., Moore, J., Hovet, S., Box, J., Perry, J., Kirsche, K., Lewis, D. and Tse, Z. T. H.: State-of-the-art technologies for UAV inspections, *IET Radar, Sonar & Navigation*, Vol.12, Issue.2, pp.151–164, 2018.
- 3) Chun, P. J., Dang, J., Hamasaki, S., Yajima, R., Kameda, T., Wada, H., Yamane, T., Izumi, S. and Nagatani, K.: Utilization of Unmanned Aerial Vehicle, Artificial Intelligence, and Remote Measurement Technology for Bridge Inspections, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.32, Issue.6, pp.1244–1258, 2020.
- 4) 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.
- 5) 郭榮珠, 西村徹: 既設道路橋の 3 次元モデル作成に効果的な点群データ計測方法に関する研究, 第 5 回 i-Construction の推進に関するシンポジウム講演概要集, pp.25–28, 2023.
- 6) 川俣英之, 山部哲, 川崎巧: 市販カメラによる集水井工内部の撮影事例, 日本地すべり学会誌, Vol.54, No.6, pp.283–288, 2017.
- 7) 小椋紀彦, 小西雄治, 福地良彦, 塩谷智基: 360 度カメラ撮影による点群化と橋梁の定期点検支援技術開発, 第 34 回日本情報地質学会講演会講演要旨集, pp.19–20, 2023.
- 8) 関拓矢, 白石航希, 猪子敬之介: 橋梁点検プラットフォームへの水管橋実装の試み, 令和 5 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, pp.496–497, 2023.
- 9) 岡本哲典, 横山洋範, 鈴木達朗, 藤木三智成: 360 度カメラ映像と 3D 道路施設情報を活用した道路管理システムの開発, 第 6 回 i-Construction の推進に関するシンポジウム講演概要集, pp.133–136, 2024.
- 10) 木下義昭: 橋梁定期点検の義務化をチャンスと捉えた定期点検実務のスパイラルアップとコスト縮減, インフラメンテナンス実践研究論文集, Vol.4, No.1, pp.58–68, 2025.
- 11) Matterport: <https://matterport.com/> (accessed 2025.2.24)
- 12) Leica BLK360: <https://shop.leica-geosystems.com/jp/ja-JP/leica-blk/blk360/overview> (accessed 2025.2.24)
- 13) 木本啓介, 松田浩: 中小橋梁の点検における SfM の活用方法の比較・検証, 実験力学, Vol.17, No.4, pp.290–297, 2017.
- 14) 阿部真己, 持田史佳, 渡邊凌: デジタルツイン点検実現に向けた Neural Radiance Field 活用の試み, AI・

- データサイエンス論文集, Vol.5, No.3, pp.286–294, 2024.
- 15) Kubo, S., Nakayama, N., Matsuda, S., and Chun, P.J.: Corrosion Damage Detection in Headrace Tunnel Using YOLOv7 with Continuous Wall Images, *Applied Sciences*, Vol.13, Issue 16, 9388, 2023.
 - 16) Zhou, K., Lei, D., Chun, P. J., She, Z., He, J., Du, W., and Hong, M.: Evaluation of BFRP strengthening and repairing effects on concrete beams using DIC and YOLO-v5 object detection algorithm, *Construction and Building Materials*, 411, 134594, 2024.
 - 17) Yamane, T., Chun, P. J., and Honda, R.: Detecting and localising damage based on image recognition and structure from motion, and reflecting it in a 3D bridge model, *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol.20, Issue 4, pp.594–606, 2024.
 - 18) Hattori, K., Oki, K., Sugita, A., Sugiyama, T., and Chun, P. J.: Deep learning-based corrosion inspection of long-span bridges with BIM integration. *Heliyon*, Vol.10, Issue 15, e35308, 2024.
 - 19) Chun, P. J., and Kikuta, T.: Self-training with Bayesian neural networks and spatial priors for unsupervised domain adaptation in crack segmentation. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 39, Issue 17, pp. 2642-2661, 2024.
 - 20) Mardan, A. and Chakkaev, A: Express.js Guide: The Comprehensive Book on Express. JS, *CreateSpace Independent Publishing Platform*, 2014.
 - 21) Strong, J.: PM2: Process Management for Node.js Applications, PM2 Documentation, <https://pm2.keymetrics.io/docs/usage/quick-start/> (accessed 2025.2.24)
 - 22) Chun, P. J., Yamane, T., and Maemura, Y. : A deep learning-based image captioning method to automatically generate comprehensive explanations of bridge damage, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol.37, Issue 11, pp.1387–1401, 2022.
 - 23) Kunlamai, T., Yamane, T., Suganuma, M., Chun, P. J., and Okatani, T.: Improving visual question answering for bridge inspection by pre-training with external data of image–text pairs, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol.39, Issue 3, pp.345–361, 2024.
 - 24) Chun, P. J., Chu, H., Shitara, K., Yamane, T., and Maemura, Y.: Implementation of explanatory texts output for bridge damage in a bridge inspection web system, *Advances in Engineering Software*, Vol.195, 103706, 2024.
 - 25) Lin, C., Abe, S., Zheng, S., Li, X., and Chun, P. J.: A structure-oriented loss function for automated semantic segmentation of bridge point clouds, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol.40, Issue 6, pp.801–816, 2025.
 - 26) 稲富翔伍, 全邦釘 : 点群の画像化とディープラーニングを用いた橋梁点群のセグメンテーション, *AI・データサイエンス論文集*, Vol.2, No. J2, pp.418–427, 2021.
 - 27) Abe, S., Chen, Y., Kawanowa, S., and Chun, P. J.: Proposal of a deep learning-based automatic segmentation method for raster diagrams of existing bridges, *Intelligence, Informatics and Infrastructure*, 2025. (Accepted).

Development of an Inspection Information Management System for Infrastructures using Spherical Images

Tatsuro YAMANE, Yu CHEN, Shiori KUBO, Wakana ASANO,
Naomichi KATAYAMA, Ichiro IWAKI, and Pang-jo CHUN

The use of 360° cameras for capturing spherical images of infrastructures has gained attention to enhance maintenance efficiency. However, common viewers are generally limited to displaying images, making it cumbersome to search for and view specific ones. Additionally, they do not accommodate essential maintenance needs, such as recording and verifying structure names, capture dates, damage locations, and damage types. This study developed an inspection information management system that enables seamless verification of capture locations and damage information by linking the camera poses of multiple spherical images using Structure from Motion. This system utilizes images taken with commercially available 360° cameras and was applied to multiple bridges to evaluate its effectiveness. It is designed for both cloud-based and local environments, allowing administrators to adapt its use to their operational requirements.