

## 仮設足場を用いない光学的計測法による橋梁点検に関する研究

伊勢田幹太\*・出水享\*・松田浩\*・古賀掲維\*\*・山口浩平\*・市川辰旺\*\*\*

## Study on bridge inspection by optical measurement method without using temporary scaffolding

by

Mikihiro ISEDA\*, Akira DEMIZU\*, Hiroshi MATUDA\*, Aoi KOGA\*\*,  
Kouhei YAMAGUCHI\*, Tatsuaki ICHIKAWA\*\*\*

The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism introduced a new standardS "i-Construction" from the year 2016 on the premise of computerization in all processes from surveying and design to construction and management, in order to improve the productivity of construction sites. In this research, focusing on the performance of the 3D laser scanner, we will consider how to use 3D data more effectively, such as establishing a new inspection method for bridge inspection, establishing an efficient dimension measurement method, etc. The purpose is to verify.

**Key words** : laser scanner, 3D, SfM, bridge inspection

## 1. はじめに

国土交通省はインフラ長寿命化計画を策定し、「インフラの維持管理・更新を着実に推進するための中長期的な取組の方向性」を取りまとめた。その背景には、高度経済成長期に集中的に整備された社会インフラが一斉に老朽化する現状がある。特に、全国の約70万の橋梁の4割が10年後に建設後50年以上となる見込みである。橋梁は交通の要であり、劣化や損傷による事故の被害は甚大となる。そのため、これらを効率的に維持管理するための適切な長寿命化修繕計画の策定が急務である。橋梁の定期点検の課題として、技術者によって損傷評価にバラつきがある、点検技術者の減少、損傷の見落とし等が挙げられる。また、点検に用いられる高所作業車や仮設足場はコストが高く、墜落事故の危険性があるといった問題もある。このような課題に求められている維持管理手法は、効率的で信頼性が高く低コストの手法、さらには、特殊な技量に頼らない点検および診断法である。以上のことから、本研究では光学的計測法により3D形状データ及び

外観劣化情報を取得すること、また3Dデータの活用の1つとしてFEM解析を用いることで仮設足場を設置しない点検方法を確立することを目的とする。

Table 1 レーザースキャナの性能

測定範囲	0.6m~330m
測定速度	最大 976,000 点/秒
範囲誤差	最大±2mm
内蔵カメラ	最大解像度 70Mpixel

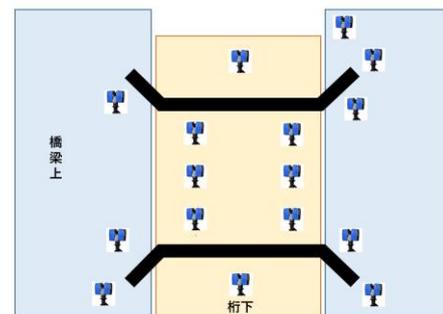


Fig. 1 レーザースキャナの計測配置

令和2年6月24日受理

\* 長崎大学大学院工学研究科 (Nagasaki University, Graduate School of Engineering Master's Degree)

\*\* 長崎大学 ICT 基盤センター (Center for Information and Communication Technology)

\*\*\* 長崎大学工学部 (Nagasaki University, Faculty of Engineering)

2. 橋梁の外観調査

2.1 概要

長崎県内に架かる1径間単純RC桁形式の橋梁(以下:橋梁 A)を対象として、近接目視、3D計測(レーザー扫描仪,SfM)を行った。架設年次1960年、橋長8.9m、総幅員7.5mである。

SfMとは、写真測量の技術で異なる方向から撮影した複数枚の写真から、撮影位置と3次元構造を復元する方法である。

はしごを用いたひび割れ等の損傷の近接目視により、損傷図の作成を行った。損傷図をFig. 3, Fig. 4に示す。

レーザー扫描仪は FARO®Laser Scanner Focus 3DX 330 (Table 1)を用いて行う。計測方法は「計測地点に三脚を立て本体を固定する、本体の電源を入れる、画面上で分解能、品質、計測範囲の設定を行う、スキャンを開始する」といった手順で行うため、複雑な操作はなく簡単に計測が行える。この計測は、主にFEMモデル製作のための3Dデータを得ることを目的とする。橋面上8箇所、桁下8箇所の計16箇所からの計測を行った。計測の配置をFig. 1に示す。計測を行う際の3Dレーザー扫描仪の設定は、品質4倍、分解能1/4とし、1箇所あたりの計測時間は約10分である。

SfMによる3D計測は、主に橋梁の外観劣化情報の取得を目的とする。使用したカメラはSONY-α7IIで、レンズはFE 24-70mm F2.8 GMを用いた(Photo 1)。SfMに用いた計測写真の枚数は約500枚、画像サイズは7953×5304(約4200万)画素である。また、SfMの計測は、手持ち撮影とポールを用いた撮影の2通りの撮影を行い、それぞれの計測結果の比較を行う。

2.2 結果

それぞれの計測時間は、レーザー扫描仪:約4時間、SfM:約1.5時間を要した。3Dモデル製作時間は、レーザー扫描仪:約5時間、SfM:約11.5時間を要した。SfMにおけるモデル製作作業はほとんどが自動であるが、レーザー扫描仪によって得られた点群の処理は、ある程度自動で行えるが、自動で行えなかった位置合わせ、ノイズ除去等は手動で行わなければならない。ノイズとは、計測の際に人物や動くもの、浮遊物など意図しないものが映り込んでしまったものである。位置合わせとは、3D扫描仪で複数カ所から計測した点群データの相対的な位置関係を決定する作業である。

得られたモデルをFig. 4, Fig. 5に示す。損傷評価は、「橋梁定期点検要領」に則り、26損傷の評価を行



Photo 1 使用したカメラ

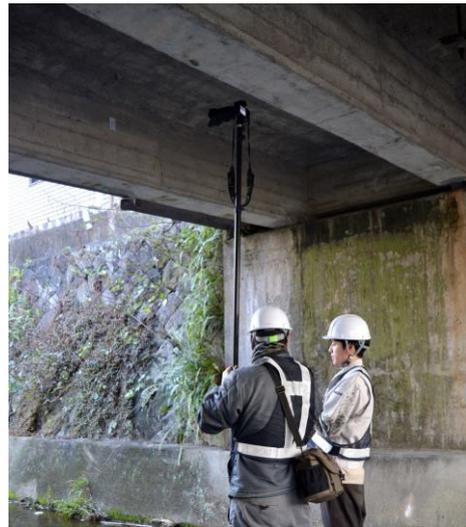


Photo 2 ポールを用いた撮影

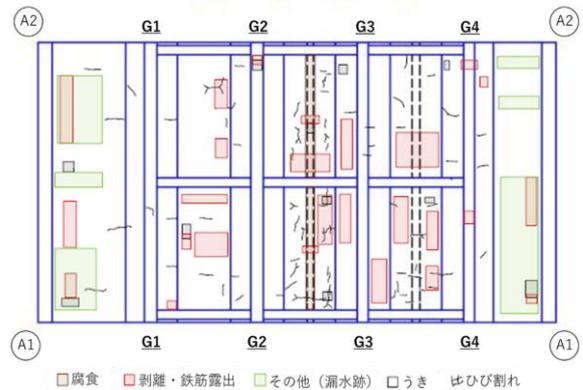


Fig. 2 桁下の損傷図

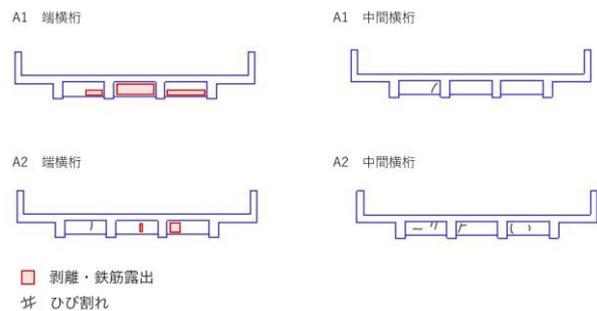


Fig. 3 横桁の損傷図

い、それぞれを損傷の程度を a~e の 5 段階に分け、近接目視と SfM との比較を行う。近接目視によって確認された損傷は、26 損傷の内、①腐食、②うき、⑥ひび割れ、⑦剥離・鉄筋露出、⑩床版ひび割れ、⑮舗装の異常、⑰その他、⑳変形・欠損の 8 種類であった。また、全ての損傷で比較・評価を行い表にまとめた。評価の一例を Fig. 6, Table 2 にそれぞれ示す。今回の近接目視では、損傷程度 b(ひび割れ幅 0.2mm 未満)まで確認でき、手持ち撮影による SfM では確認できない部分もあった。その要因としては、手持ち撮影による手振れの影響や撮影距離による解像度の低下、斜めからの撮影などの影響が考えられる。以上の問題は、ポールを用いて正対して撮影することで改善することができ、手振れや解像度の低下を防ぐことができる。(Photo 2)ポールを使用した SfM のモデルでは、0.1mm 以下のひび割れ幅も確認できるようになり、手持ち撮影では死角となっていた部分もモデル化することが可能となった。(Fig. 7)

また、画素数の違いによる精度の比較を行うため、約 2500 画素、約 1000 万画素のカメラの場合の SfM モデルの外観劣化情報の取得を検証した。得られた評価の一部を Table 3 に示す。結果としては、剥離・鉄筋露出やその他(漏水跡)のような大きな損傷は約 1000 万画素でも確認できたが、ひび割れ等は確認できないため、それぞれの画素数のカメラに合わせた計測距離が必要であると考えられる。



Fig. 4 レーザースキャナによるモデル

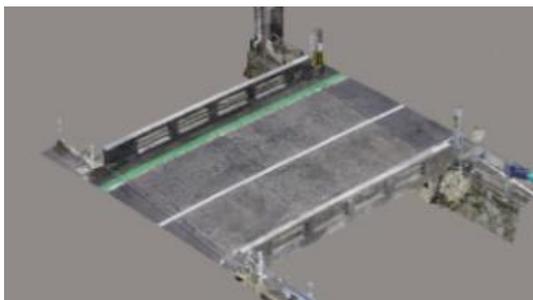


Fig. 5 SfM によるモデル



Fig. 6 近接目視・SfM 比較(一例)



Fig. 7 撮影条件改善前(左)と改善後(右)の 3D

Table 2 視認性の比較まとめ(一例)

	損傷位置	損傷区分	近接目視	SfM
①腐食	G1,G2 水道管	c	○	○
⑥ひび割れ	G1・A1側	b	○	○
	G1・A2側	b	○	△
⑦剥離・鉄筋露出	G4・A1側	c	○	○
	G1,G2・A2側	c	○	○
	G4・A2側	e	○	○
⑩床版ひび割れ	G1,G2・A2側	b	○	△
	G2,G3・A1側	c	○	△
⑫うき	G2・A2側	e	○	×
⑮舗装の異常	舗装 A1側	e	○	○
⑰その他	G1・A1側	e	○	○
⑳変形・欠損	高欄 上流側	c	○	○

Table 3 画素数による比較

	損傷位置	損傷区分	4200 万画素	2500 万画素	1000 万画素
①腐食	G1,G2 水道管	c	○	○	○
⑥ひび割れ	G1,下流・A1側	b	×	×	×
	G1,下流・A2側	b	×	×	×
	G1・A1側	b	○	×	×
	G1・A2側	b	△	×	×
	G2・A1側	b	△	×	×
	G2・A2側	b	△	×	×
	G3・A2側	b	△	×	×
	G4・A1側	c	○	△	×
	G4・A2側	b	○	○	△
	端横桁・A1側	d	○	○	○
	中間横桁・A1側	c	○	○	△
	中間横桁・A2側	c	△	×	×
	端横桁・A2側	d	○	○	○

### 3. FEM 解析

#### 3.1 概要

3Dデータの活用の一つとして、3D計測データによるFEMモデルの作成手法や解析についての検討を行う。

点群のトレースによるFEMモデル作成手法(以下:作成手法A)では、点群データの橋梁断面のトレースを行い、断面を押し出すことにより、ソリッドモデルを作成する。その後、Parasolid形式で出力し、自動メッシュ機能で分割し、FEMモデルの作成を行う。

点群のメッシュ化を利用したFEMモデル作成手法(以下:作成手法B)では、点群データからサーフェスの作成を行う。サーフェスの作成後、Parasolid形式で出力し、自動メッシュ機能で分割し、FEMモデルの作成を行う。それぞれのFEMモデル作成手順をFig. 8に示す。

これらのモデルは、単一材料であると仮定しする。材料特性は、単位体積重量:2,400kg/m<sup>3</sup>、静弾性係数:31,000N/mm<sup>2</sup>、ポアソン比:0.2と設定した。また境界条件は、一端をピン支点(X,Y,Z固定)、他端をローラー支点(Zのみ固定)とした。

#### 3.2 結果

これらモデルをMarc/Mentatで読み込み、固有振動解析を行うことが可能である。作成手法Aのモデルの挙動をFig. 9、作成手法Bのモデルの挙動をFig. 10に示す。解析結果の比較対象として、レーザードップラー速度計(LDV)による固有振動数の実測を行った。それぞれの結果をTable 3に示す。結果としては、解析結果がLDVに比べて大きくなった。差が生じている要因としては、対象の橋梁が架設後80年を経過しているため、劣化により固有振動数の実測値が低くなっていることが考えられる。

#### 4. まとめ

外観劣化情報の取得においては、SfMに有用性があることが確認できた。またSfMは正対して撮るなどの工夫により、より精度が向上する。FEMによる3Dデータの活用においては、3D計測データを作成手法A・Bの2通りにてFEMモデルを作成し、解析を行うことが可能である。今後は、近接目視点検の代用となるように、SfMの撮影手法の更なる改善を行い、外観劣化情報の取得においての精度を向上させ、橋梁のデータを蓄積、比較することで経年的な変化を確認することを目的とする。FEMにおいては、荷重を作用させることにより、実際の許容応力度などを算出して、橋梁の安全に資する基礎データを蓄積していきたい。

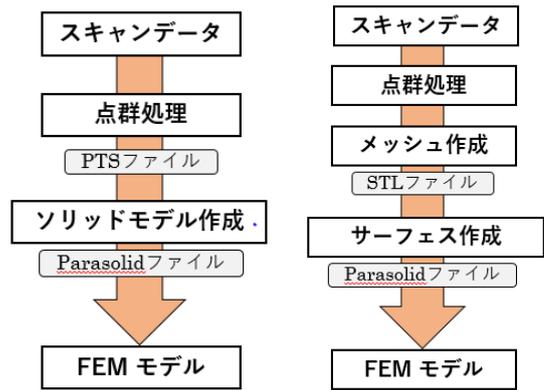


Fig. 8 FEMモデル作成手順  
(左:作成手法A, 右:作成手法B)

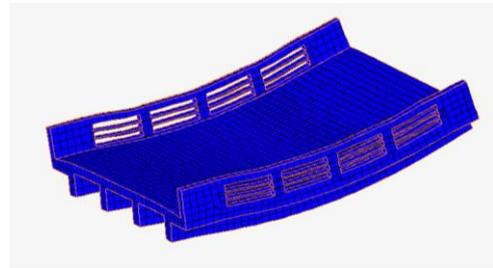


Fig. 9 作成手法Aの挙動

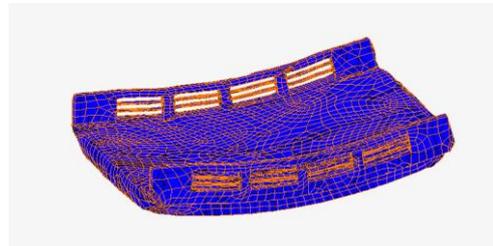


Fig. 10 作成手法Bの挙動

Table 3 解析結果と実測値の比較

固有振動数 (2次) (Hz)	
作成手法A	23.3
作成手法B	24.0
LDV	18.6

#### 参考文献

- 1) 松田浩, 河村太紀, 西行健, 木本啓介, 西川貴文: 3D計測とFEM解析と実振動計測に基づく橋梁振動特性同定, 鋼構造年次論文報告集, 第24巻, pp.445-448, 2016.
- 2) 橋梁定期点検要領
- 3) 国土交通省インフラ長寿命化計画(行動計画)概要