

SfM/MVS 技術を用いた中小スパン橋梁の VR 点検・診断法の開発と社会実装

長崎大学 学生会員 小長光 悠生

長崎大学 正会員 出水 亨, 松田 浩, 山口 浩平

佐賀大学 正会員 伊藤 幸広

宮崎大学 正会員 森田 千尋

1. はじめに

日本国内には、72 万橋の道路橋があり、2022 年時点で 34% の橋梁が建設後 50 年を経過しているが、10 年後には全体の 59% の橋梁が建設後 50 年を経過する¹⁾。社会基盤の高齢化によりに伴い、対策を必要とする橋梁の比率は増加し、大きな事故につながるおそれのある重大な損傷発生が懸念される。

現在の橋梁点検は知識と技能を要するものが 5 年に 1 度の目視点検を基本としている。しかし、技術者不足や予算の削減によって高度経済成長期に建設された橋梁の維持管理が追い付かないことが予想されている。そのために橋梁点検の効率化や低コスト化への関心が高まっている。

本研究ではデジタルカメラで撮影した画像から SfM/MVS 技術により解析した 3D モデル上での VR 点検技術の開発に取り組んでいる。本研究では社会実装に向けたマニュアル化・標準化を目的として、撮影・解析条件や VR 点検の方法を検証した。それに基づき中小スパン橋梁であるコンクリート橋・鋼橋に適用し、精度検証を行った。

2. 撮影・解析条件の検証

検証項目としては、視認性と寸法精度とした。視認性においてはひび割れ幅 0.1mm 以上とし、寸法精度において、ひび割れ長さは 10mm 以内、部材寸法は 5mm 以内を目標とした。

ひび割れの視認性に影響のある要因として撮影距離、撮影速度があり、0.1mm 幅のひび割れの視認性について検証した。撮影に使用したカメラは GoPro 11 を用いて照度は 700lux とした。撮影距離については 150cm, 100cm, 50cm のパターンで検証した。その結果、撮影距離 50cm の時にひび割れをはっきり視認できた。撮影速度については 60cm/s, 40cm/s, 20cm/s の 3 パターンで検証をした。写真 1 は各速度におけるひび割れの視認性について示したものである。結果として速度 20cm/s の時にひび割れを視認できた。

作成した 3D モデル化における寸法精度に影響のある要因として画像のラップ率、3D モデルの寸法入力(基準長さ・基準軸の選定)がある。目標を満たす条件を各々の要因で検証した。

ラップ率については 90%、60%、30% の 3 パターンでモデル化して精度を比較した。図 1 で示す計測箇所を図 2 のグラフにまとめた。結果としてラップ率 60% 以上で目標を満たすことが分かり、30% ではモデル化ができなかった。

基準軸の長さについては 1 つの方向に 50cm, 100cm, 200cm の 3 パターンで寸法精度の比較を行った。図 3 は縦軸に誤差をとり、横軸に計測箇所をとった。この図より基準の長さを 200cm にした時の誤差が小さいことから軸を長く設定する

ほど精度が高いことが分かった。軸の選定については 3 方向ではなく 1 方向のみでよいことが確認できた。

3. VR 点検方法

VR 点検方法として寸法については計測回数、ひび割れ長さについては計測間隔・回数について検証した。

3D モデル上での寸法計測(高さ、幅、長さ)は対象部位の端点の 2 点を選ぶことで計測を行う。計測回数を決定するため各々の寸法箇所を 10 回計測してその 10 個の計測値と実測値を比較し、計測値のとり得る範囲を検証した。結果として 10 回すべて精度目標を満たしていたため、寸法については計測回数を 3 回に決定しその平均を計測値とする。

ひび割れ長さの計測間隔については平面上の長さ 275mm のひび割れについて計測点の個数を変えてそれぞれ 10 回計測を行いその平均値と実測値の誤差を比較した。図 4 は縦軸にその誤差、横軸に計測点の個数をとった。この図より計測点を 30 個以上計測点同士の間隔を 10mm 程度で点をとれば精度よく計測を行えることが分かった。

ひび割れ長さの計測回数については平面上の長さ 275mm のひび割れについて計測間隔を 10mm で 10 回計測を行い実測値との誤差をそれぞれ求めた。結果として 10 回中 10 回が目標誤差を達成していることが分かり、計測回数を 3 回としその平均を計測値とした。

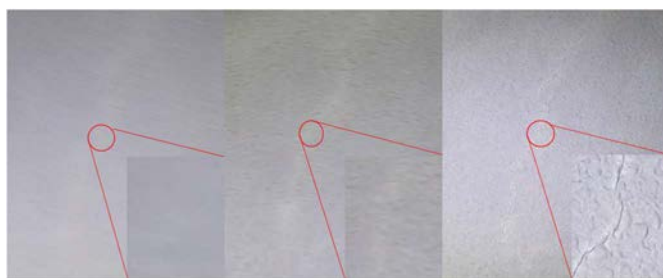


写真 1 左から速度 60cm/s, 40cm/s, 20cm/s のひび割れの視認性

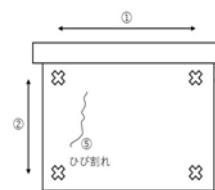


図 1 計測箇所

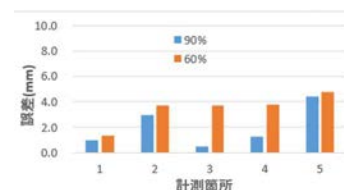


図 2 ラップ率の違いによる誤差

4. マニュアル（案）の適応

精度目標を満たすように決定した様々な条件をもとに対象とする RC 桁橋、床版橋、鋼橋の VR 点検マニュアル(案)を作成した。VR 点検マニュアル(案)を用い、RC 桁橋の解析結果において、撮影経験者と撮影未経験者の結果を比較した。

撮影した RC 桁橋を写真 2 に示し、使用した撮影装置は写真 3 に示す。また、寸法比較箇所は図 5 で示しており、これは中央断面図である。

経験者の結果として実測値とモデル上の値との誤差(表 1)をみると、寸法①～④については最大で 2mm の誤差、最大誤差率は、0.8%であった。またひび割れ①～③について、最大誤差は 3mm、最大誤差率は 1.6%となり目標を達成できた。

未経験者の結果として実測値とモデル上の値との誤差(表 2)をみると、寸法①～④については最大で 7mm の誤差、最大誤差率は 2.3%であった。また、ひび割れ①～③について、最大誤差は 10mm、最大誤差率は 4.5%となりすべての箇所 で目標を満たすことはできなかった。

経験者と未経験者の結果を比較し、図 6 に示す。また、作成したモデルを図 7 に示す。未経験者の寸法精度については、経験者と同等の精度でモデル化を行えている部分とモデル化がうまくいっていないところがあった。ひび割れ長さについては経験者より誤差が大きくなったが、どれも目標誤差を満たす結果となった。

5. おわりに

目標を満たす撮影・解析条件として視認性に影響のある撮影距離は 50cm、撮影速度は 20cm/s とした。精度に影響のあるラップ率は 60%、3D モデルの寸法入力について軸の長さは長く設定し軸の選定は 1 方向のみとした。VR 点検方法として規格寸法は 3 回計測、ひび割れ長さについては計測点同士の間隔を 10mm、計測回数は 3 回とした。これらをもとに橋の VR 点検マニュアル(案)の作成し実際に適応した。作成したマニュアル(案)もとに未経験者が撮影した結果、目標を満たすモデル化ができていない部分もあったが、目標を満たすモデルの作成はできなかった。今後はマニュアル(案)のブラッシュアップを行い、床版橋・鋼橋の精度目標を満たすとともに VR 点検の社会実装を目指す。

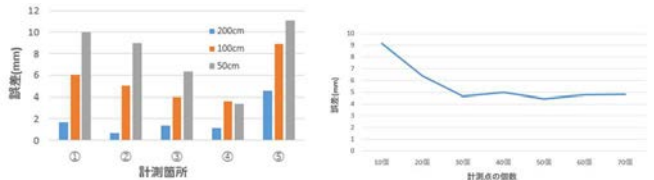


図 3 基準長さの違いによる誤差 図 4 計測点の個数による誤差

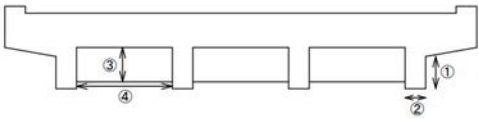


図 5 寸法計測箇所

表 1 経験者の RC 桁橋の寸法精度(mm)				
	実測値	SfM	誤差	誤差率
寸法①	500	498	2	0.1%
寸法②	290	288	2	0.8%
寸法③	440	438	2	0.5%
寸法④	1440	1438	2	0.3%
ひび割れ①	227	229	1	0.6%
ひび割れ②	270	267	3	1.1%
ひび割れ③	192	189	3	1.6%

表 2 未経験者の RC 桁橋の寸法精度(mm)				
	実測値	SfM	誤差	誤差率
寸法①	500	498	2	0.3%
寸法②	290	297	7	2.3%
寸法③	440	438	2	0.4%
寸法④	1440	1432	6	0.4%
ひび割れ①	227	237	10	4.5%
ひび割れ②	270	263	7	2.6%
ひび割れ③	192	187	5	2.4%

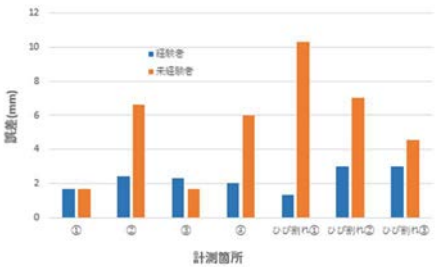


図 6 寸法比較誤差

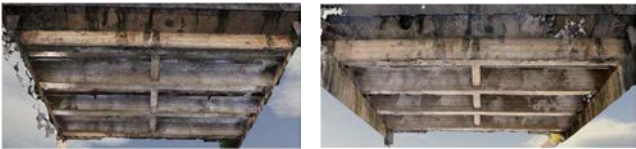


図 7 3D モデル(左は経験者、右は未経験者)



写真 2 RC 桁橋



写真 3 撮影装置

参考文献

1) 国土交通省 道路の老朽化対策
(<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf>)