

道路橋の震後点検における SfM-MVS 解析の活用に関する基礎的研究

(国研) 土木研究所 正会員 〇大住 道生, 林 祐葵, 小林 巧

1. はじめに

近年 SfM-MVS 解析で作成した 3 次元モデルは、道路橋の維持管理において点検結果を書き込むベースとして利用されている事例が多く見られる。一方で、3 次元モデルは、任意の位置での投影図作成及び形状寸法、角度計測が可能という特性を有しており、部材・部品に応じて検知すべき変状の指標を適切に設定することで、損傷を推定することが可能である。本研究では、地震により被災した道路橋の支承を対象に SfM-MVS 解析により 3 次元モデルを作成し、解析データを基に損傷検知、点検の代替としての利用可能性について検討を行った。

2. 調査対象橋梁の諸元及び支承部の被災状況

本研究では、2022 年 3 月の福島県沖を震源とした地震により被災した道路橋（以下、S 橋とする）の支承部を対象とした。S 橋は、1993 年に架設された橋長 $L=291.1\text{m}$ の鋼 5 径間連続下路式平行弦トラス橋である。A1 橋台、P1 橋脚、P3 橋脚、A2 橋台がピン・ローラー支承（可動）、P2 橋脚、P4 橋脚がピン支承（固定）である。



写真-1 調査対象とした支承の被災状況

写真-1 に P2 橋脚 G2 桁上の支承の被災状況を示す。ピンが破断し一部脱落していると伴に、橋軸直角方向に上沓・下沓間のずれが 12mm 生じていることが確認された。必ずしもピンが破断し脱落が生じるわけではないことを踏まえると、ピンが脱落していなくても損傷が検知できる指標の提案が求められる。

3. 3 次元点群モデルの構築

3. 1 撮影計画

SfM-MVS 解析は、ドローンに搭載したカメラにより撮影した写真を用いることが一般的であるが、本研究では SfM-MVS 解析の適用可能性を模索するため、手持ちカメラにより撮影した写真を用いた。

表-1 撮影機材諸元

機 種 名 称	SONY α7RIV
セ ン サ ー	フルサイズ
センサー画素数 (横 × 縦)	9504×6336 pixel
レンズ焦点距離 (35mm 換算)	24mm

表-1 に撮影に使用した機材の諸元を記す。写真の撮影には、「SONY α7RIV」を使用した。

撮影当日は橋座周辺に吊足場が設置されていたため、吊足場を利用した撮影計画を立案した。支承全体が写る画角から連写モードにより支承の周辺を移動しながら撮影を実施した。カメラの設定は Auto モード、焦点距離は 24mm とした。

3. 2 3 次元点群モデルの構築及び形状計測の精度検証

SfM-MVS 解析にはオープンソースソフトウェアの「COLMAP」を使用した。解析には 30～40MB の容量の JPEG データを 105 枚使用している。

3 次元点群モデルを活用し調査対象の形状を立体的に認識することで、部材・部品に変状が生じているか否か判断し易くなる。さらに、点検者が損傷を検知するためには、定量的な評価が求められる。そこで、設計値との比較により計測精度を検証した。なお、解析したモデルは実際の大きさとスケールが異なっていたため、各箇所的设计値と点群計測値との比率の平均値を基にスケールを変換した。各計測箇所の設計値と点群計測値の比率は 1.92～1.97 であり、バラつきは大きくないことから、各部品の相対的位置関係は実物と概ね整合がとれていると判断した。

表-2 に設計値と点群モデル推定値の結果一覧表を示す。設計値との最大誤差は 12mm であった。これら計測精度は、撮影距離や間隔（ラップ率）、カメラの内部パラメーター、撮影時の被写体の明るさ、解析ソフト

キーワード 震後点検, SfM-MVS 解析, 3 次元点群モデル, ピン支承

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研) 土木研究所構造物メンテナンス研究センター TEL 029-879-6773

表-2 設計値および実測値と点群モデル推定値の結果一覧表

計測箇所	設計値[mm]		実測値[mm]		点群計測値[mm]		点群計測値/設計値		点群推定値[mm]	
上沓（橋軸方向）	L	550	R	550	L	550	R	545	L	545
		設計値との差		0		-5				0
上沓（橋軸直角方向）	起	700	終	700	起	698	終	700	起	694
		設計値との差		-2		0				-6
下沓（橋軸方向）	L	950	R	950	L	959	R	957	L	956
		設計値との差		9		7				6
下沓（橋軸直角方向）	起	1150	終	1150	起	1145	終	1152	起	1138
		設計値との差		-5		2				-12
支承高（上沓端部～下沓端部）	起 L	600	起 R	600	起 L	609	起 R	602	起 L	606
		設計値との差		9		2				6
	終 L	600	終 R	600	終 L	612	終 R	600	終 L	605
		設計値との差		12		0				5
ピンキャップ直径	L	310	R	310	L	脱落	R	320	L	-
		設計値との差		10						-1
※起：起点側，終：終点側 ※起点から終点に向けて右側をR，左側をLとする。								平均比率	1.94	
								変動係数	0.008	

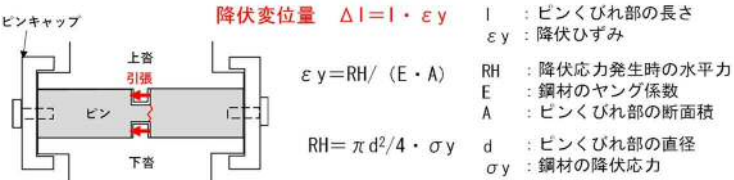


図-1 ピンの引張破断メカニズム及び降伏変位量の計算 2)

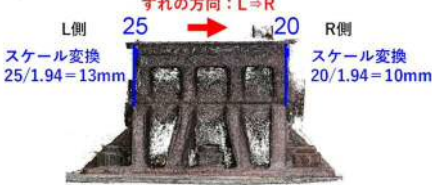


図-2 3次元点群モデルによる上沓-下沓間のずれ検知

ウェア，解析に使用した画像枚数等の計測・解析条件により異なると考えられる．各条件を変えたことによる精度の違いについては，今後の検討課題としたい．

4. 3次元点群モデルの特徴を踏まえた変状検知指標の提案

3次元点群モデルからは，調査時の目視状況と同等の形状が3次元的に認識でき，また，ソフトを介して任意の位置での投影図の作成及び寸法計測が可能である．この特性を生かし，ピンの破断を対象として変状検知を行う方法について検討した．

ピンの破断は，橋軸直角方向に水平力が作用することでピンに引張力が作用し破断することが考えられる（図-1）．鋼材は降伏すると耐力が低下し残留変形が生じることから，ピンのくびれ部が上沓・下沓突起に衝突し引張降伏応力が発生した際の降伏変形量を算出した³⁾．ここで，ピン本体の外形，材質については不明であったため，本検討では「道路橋支承標準設計（昭和54年1月）³⁾」から，調査対象支承の上沓，下沓の形状，支承高を参考に類似規格の形状，材質が採用されていると仮定する．算出結果より，ピンに発生する降伏変形量は0.09mmと目視でも検知が難しい非常に軽微な変状であることが把握できた．ピンが損傷し水平耐荷力が低下した場合，上沓-下沓間に橋軸直角方向のずれが生じることが想定される．形状や材質に依るところもあるが，軽微でも上沓-下沓間のずれが検知できれば，ピンに降伏以上の損傷が生じていることが示唆される．

3次元点群モデルからは，橋軸直角方向に上沓-下沓間のずれがL側で13mm，R側で10mm生じていることが検知できた（図-2）．実測値ではこのずれ量は12mmであったため，目視と同等の精度で変状が検知できていると言える．上沓-下沓間のずれという変状から，ピンが破断していることが推定できた．

5. まとめ

部材・部品の相対的な位置関係が把握できる3次元モデルの活用は，部材・部品の変状を検知するにあたり有効である可能性が示された．今後，新技術活用による震後調査の効率化を図るためには，損傷の有無を推定できる変状の指標を，機器の特性に合わせて設定し，合理的な診断につなげていくことが重要である．

謝辞

福島県より，調査対象橋梁一般図等の情報提供及び現地調査にご協力頂きました．記して謝意を示します．

参考文献

1) 林祐葵，小林巧，大住道生：道路橋の震後調査の効率化・高度化に向けた3次元レーザスキャナの試行検討，インフラメンテナンス実践研究論文集 Vol.2, pp.169-178, 2023. 2) 阿部雅人，柳野和也，藤野陽三，橋本哲子：1995年兵庫県南部地震における3径間連続高架橋の被害分析，土木学会論文集 No.668, pp.83～101, 2001. 3) 日本道路協会橋梁委員会支承標準設計分科会：道路橋支承標準設計（ころがり支承編・ピン支承編），1979.