第26回橋梁等の耐震設計シンポジウム
講演論文集（2023年7月）

SfM/MVS技術のモデル生成品質が震後点検時の道路橋支承部の診断結果に及ぼす影響

吉谷　薫[1]・小林　巧[2]・浅子　卓也[3]・大住　道生[4]

[1]非会員　国立研究開発法人土木研究所　構造物メンテナンス研究センター
（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）
[2]正会員　修(工)　国立研究開発法人土木研究所　構造物メンテナンス研究センター
（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）
[3]正会員　国立研究開発法人土木研究所　構造物メンテナンス研究センター
（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）
[4]正会員　博(工)　国立研究開発法人土木研究所　構造物メンテナンス研究センター
（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

1. はじめに

定期点検において，点検の高度化・効率化に向けた新技術の導入が推進されている[1)]．定期点検では，「定期点検を行う者は，健全性の診断の根拠となる道路橋の現在の状態を，近接目視により把握するか，または，自らの近接目視によるときと同等の健全性の診断を行うことができる情報が得られると判断した方法により把握しなければならない」[2)]とした上で，それが保障されれば，新たな点検支援技術を活用することが認められている．しかし，近接目視と同等とみなせるための，点検支援技術に求められる要件は明確にされておらず，現場条件に応じて管理者が個別に判断している．

この課題は定期点検だけではなく，地震発生後の道路橋の点検（以下，震後点検）で点検支援技術を活用する際にも顕在化する．特に震後点検には様々なフェーズが存在する．通行に支障が生じている可能性のある道路橋を把握するフェーズ，二次被害に繋がる変状を把握するフェーズ，変状の原因となる損傷から残存性能を診断するフェーズ等，それぞれ目的が異なるため，各フェーズに応じたニーズに沿った点検支援技術の要件を整理する必要がある．

このような背景から本研究では，点検支援技術を震後点検に取り入れるための要件の整理に向けた検討の一環として，SfM/MVS技術を用いた支承部の模擬点検を実施し，生成されたモデルの品質が，支承部の診断結果に及ぼす影響について考察を行った．

2. 実験概要

(1) 検討の方針

本研究では，SfM/MVS 技術を用いた支承部の模擬点検を実施し，生成されたモデルの品質が，支承部の診断結果に及ぼす影響について考察を行う．そのため，近接目視による点検結果と，SfM/MVS 技術を活用した点検結果を比較し，検知できる変状にどのような違いが生じるか検証する．

点検対象には，2022 年に福島県沖を震源とした地震により被災したピンローラー支承（**写真-1**，以降，支承 A と記載）を使用した．実際の点検に近い環境条件とするために，支承の点検及び撮影は屋外で行った．また，**写真-1** に示すように，上部工の下フランジを模した木板を設け，日射の遮蔽による影を模擬した．

(2) 変状の模擬

生成した 3 次元点群モデルにより検知可能な変状の種類や損傷程度を把握するために，支承 A には，被災時の実変状に加えてナットのゆるみ等の変状を模擬した．

表-1 及び**図-1** に支承 A を構成する設定した変状一覧及び部品名称を示す．部品⑦～⑨，⑪には変状を設定していない．「①セットボルト」の位置 a に



写真-1　支承 A の設置状況

は 0mm のゆるみ，位置 d には 2mm のゆるみを設定した．0mm のゆるみは，目視だけでは検知が困難な変状であり，打音や触診で確認する必要のある変状である．位置 b，c は，ボルト及びボルト孔の劣化により，変状の設定が困難であったため，ボルトの喪失として設定した．「②上沓」は下沓に対して 5mm 右側（bc 断面側）にずれを設けた．「⑥ローラー」は，被災時の損傷状況を再現しており，正面のローラーカバーを取付ボルト 1 か所のみで固定し，背面のローラーカバーは完全に外れている状態とした．また，「⑩アンカーボルト」は，模型の設置を行う上での都合から取り付けておらず，診断時には対象外とした．

3 次元点群モデルでは，生成されたモデルから部品寸法や部品同士の位置関係の定量的な計測が可能である．この利点についても検討を行うために，「③ピン」の遊間の設定値には，物理的な意味を持たせた．ピンが破断に至る損傷パターンは，上下沓の橋軸直角方向のずれによるくびれ部の引張破断が考えられる [3]．くびれ部が破断に至る際の破断のび量 Δl は元のくびれ部の中心軸方向の長さと，鋼材の伸び（%）から仮定できる．くびれ部の破断前の中心軸方向の長さは，かみ合わせ部の中心軸方向の長さの実測値（59mm）から 60mm と想定した．また，「③ピン」に使用されている鋼材は， SS41（SS400）と仮定し，文献 4) より伸びは 22%とした．これにより，支承 A のピンが破断しているとみなせるくびれ部の破断時の伸び量を約 13mm と想定し，下沓に対する上沓のずれを右側（bc 断面側）に 5mm，上沓右側からキャップまでの遊間を 8mm に設定した．

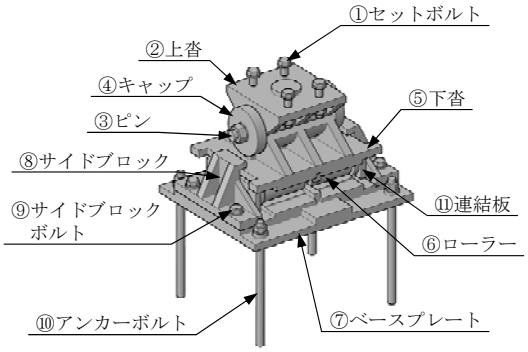
(3) 撮影条件の設定

SfM/MVS 技術は，取得した画像から対象物の形状を推定し，3 次元点群モデルとして復元する技術である [5]．構築された 3 次元点群モデルを活用することにより，任意の位置での寸法・角度計測や，部

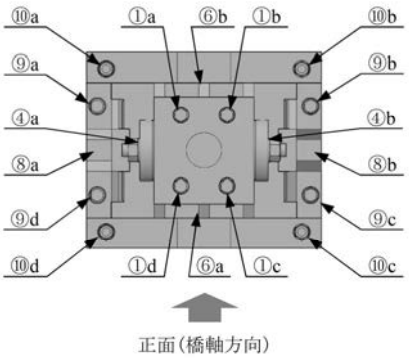
表-1　支承 A に設定した変状の一覧

部品名	設定した変状	位置			
		a	b	c	d
①セットボルト	ゆるみ・喪失	0mm のゆるみ	喪失	喪失	2mm のゆるみ
②上沓	下沓とのずれ	**図-1** 右方向（bc 断面方向）に 5mm のずれ			
③ピン	突出	—	13mm		
④キャップ	ピンに付随して突出				
⑤下沓	設定変状無し	上下沓のずれは上沓の項目に記載			
⑥ローラー	カバーの脱落	脱落	脱落		
⑩アンカーボルト	喪失(診断対象外)	喪失	喪失	喪失	喪失

※　ここでの「喪失」は部品の喪失を意味する．



(a)　部品名称



(b)　部品位置のラベリング

図-1　支承 A の部品名称

表-2　撮影ケース

撮影ケース	撮影に使用した機材	撮影距離
CASE1	カメラ 1（SONY α7RIV）	1m
CASE2		3m
CASE3		5m
CASE4	カメラ 2（SONY DSC RX100MIII）	1m
CASE5		3m
CASE6		5m
CASE7	カメラ 3（iPad Pro 11inch, 第 3 世代）	1m
CASE8		3m
CASE9		5m

表-3　撮影機材の諸元

	カメラ1	カメラ2	カメラ3
機種名称	SONY α7RIV	SONY DSC RX100MIII	iPad Pro 11inch (第3世代)
外観			
センサー	フルサイズ	1型	広角：非公表
センサーサイズ (横×縦)	35.7mm×23.8mm アスペクト比3：2	13.2mm×8.8mm アスペクト比3：2	非公表 アスペクト比4：3
センサー画素数 (横×縦)	9504×6336 pixel 6100万画素 (フルサイズ撮影時)	5472×3648 pixel 2010万画素	4032×3024 pixel 1200万画素
焦点距離 (35mm換算)	24mm	24mm	28mm

品同士の位置関係の定量的な把握が可能である．しかし，SfM/MVS 技術により生成される点群モデルの品質は，使用した画像群から得られる情報量により変動する．本研究では，複数の撮影条件から得られた画像群を用いて点群モデルの生成を行い，それぞれの撮影条件に応じたモデルの品質で検知可能な変状について整理を行う．SfM/MVS 技術のモデル品質に影響する要素としては，一般的に撮影位置，撮影角度，画像の解像度等が挙げられる．本実験では，撮影機材及び撮影距離をパラメータとし，**表-2** に示す 9 ケースの条件にて撮影を実施した．本研究の目的は，モデルの品質が診断結果に及ぼす影響を考察することであるため，この中から，最もモデルの品質が良い条件と，最もモデルの品質が悪い条件のデータを用いて考察を行う方針とした．

表-3 に撮影機材の諸元を示す．撮影は，支承の全周を連続撮影することとし，カメラの角度を水平及び上下に傾けた 3 パターンの全周撮影を各ケースで実施した．また，より広い範囲を画角に収めるために，各撮影機材において最も小さい焦点距離に設定し撮影を行った．また，撮影時の天候は曇りであり，照度は 400,000 Lux 以上を計測した．

モデル生成に使用する画像は，各ケースで撮影した連続画像から，画像同士のラップ率ができるだけ均一となるように，1 周あたり 50 枚を目安として抽出し，1 ケースあたり 150 枚の画像を用いた．

なお，SfM/MVS 技術のモデル品質を向上させる撮影条件として，ISO 感度やシャッタースピード等の適切な設定 [6]や，撮影後に画像のコントラストを補正する方法 [7]も報告されているが，本研究の目的は，モデルの品質が診断結果に及ぼす影響を考察することであり，また，震後点検であるので，迅速性を考慮した実用的な撮影条件とするために，カメラの基本設定は各撮影機材の Auto 機能を用いることとし，撮影後の画像補正は実施しない方針とした．

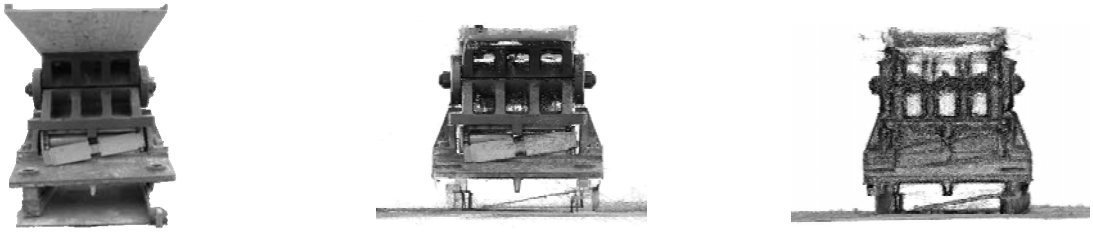
(4) 生成されたモデルの品質について

2 章(3) の条件で，モデルの品質が良かった撮影ケースは CASE1（カメラ 1，距離：1m）であり，最もモデルの品質が良くなかった撮影ケースは CASE9（カメラ 3，距離：5m）であった．

他のケースにおいては，カメラ性能が高いほど，また撮影距離が近いほど高品質なモデルが生成される結果であった．ただし，撮影機材の性能に関わらず，撮影距離が5mのケースでは，いずれも擦過痕等の部品表面の変状が表現されなかった．なお，撮影距離の増加に応じてモデルの点密度は低くなるが，縦横比の変化などのモデルの歪みは生じなかった．CASE4（カメラ2，距離：1m）やCASE5（カメラ2，距離：3m）では，「①セットボルト」を設置していない位置b，cにおいて，ボルトが設置されていると誤認識してしまう点群が生成されていた．これは，上沓にあるボルト孔の影が点群によって再現されているものと推測される．モデルの品質によっては，本来喪失している部品をあるものとして誤検知し，危険側の点検結果となる可能性が示唆された．

3. 近接目視及びSfM/MVSを用いた点検の結果の比較

図-2に撮影画像と代表ケースの3D点群モデル，**表-4**に近接目視及びSfM/MVSを用いた点検の結果の比較を示す．本研究の目的はモデルの品質が診断結果



(a) 撮影画像　(b) CASE1　(c) CASE9

図-2 撮影画像と代表ケースの 3D 点群モデル

表-4 近接目視及び SfM/MVS を用いた点検の結果の比較

部品名	部品位置	設定変状	近接目視点検結果	CASE1 （カメラ1，距離：1m）	CASE9 （カメラ3，距離：5m）
①セットボルト	a	ゆるみ：0mm	変状非検知 （ゆるみ確認のための打音検査は未実施）	変状非検知	点群未生成
	b	喪失	喪失	喪失	点群未生成
	c	喪失	喪失	喪失	点群未生成
	d	ゆるみ：2mm	数mm程度のゆるみ	変状非検知	点群未生成
②上沓	a側	上下沓の橋軸直角方向のずれ：+5mm (下沓に対する上沓のずれ量，b側が+方向)	上下沓の橋軸直角方向のずれ	上下沓の橋軸直角方向のずれ：+5.08mm （下沓に対する上沓のずれ量，b側が+方向）	変状非検知
	b側	上下沓の橋軸直角方向のずれ：+5mm (下沓に対する上沓のずれ量，b側が+方向)	上下沓の橋軸直角方向のずれ	上下沓の橋軸直角方向のずれ：+3.73mm （下沓に対する上沓のずれ量，b側が+方向）	変状非検知
③ピン	a側	設定変状無し	上沓と下沓の隙間からピンの破断を確認	下沓からの突出：15.25mm	変状非検知
	b側	下沓からの突出：+13mm		下沓からの突出：12.54mm	変状非検知
④キャップ	a	ピンに付随して突出	擦過痕有り	擦過痕有り	変状非検知
	b	設定変状無し	擦過痕，衝突痕，数mm程度の突出	擦過痕，衝突痕有り	変状非検知
⑤下沓	a側	設定変状無し	嵌合部に擦過痕，衝突痕	嵌合部に擦過痕，衝突痕	変状非検知
	b側	設定変状無し	嵌合部に擦過痕，衝突痕	嵌合部に擦過痕，衝突痕	変状非検知
⑥ローラー	正面	カバー脱落	ローラーの残存を確認 ガイド部の上・側面に欠け有り カバーの取付ボルトが4本中1本のみ残存（カバーが取付ボルト1か所のみで繋がっている）	ローラーの残存を確認 ガイド部の上・側面に欠け有り カバーの取付ボルトが4本中1本のみ残存（カバーが取付ボルト1か所のみで繋がっている）	ローラーの残存を確認 ローラーカバーの脱落
	背面	カバー脱落	ローラーの残存を確認 ガイド部の上・側面に欠け有り カバーの取付ボルトが4本とも損傷している（カバーが完全に外れている）	ローラーの残存を確認 ガイド部の上・側面に欠け有り カバーの取付ボルトが4本とも損傷している（カバーが完全に外れている）	ローラーの残存を確認 ローラーカバーの脱落
⑦ベースプレート(底板)		設定変状無し	外れたローラーカバーによる擦過痕有り	外れたローラーカバーによる擦過痕有り	変状非検知
⑧サイドブロック	a	設定変状無し	下沓との衝突痕有り	下沓との衝突痕有り	変状非検知
	b	設定変状無し	下沓との衝突痕有り キャップの衝突痕有り 水平方向に回転変位有り	下沓との衝突痕有り キャップの衝突痕有り 水平方向に回転変位有り(0.2°)	変状非検知
⑨サイドブロックボルト	a	設定変状無し	発錆有り	発錆有り	変状非検知
	b	設定変状無し	発錆有り	発錆有り	変状非検知
⑩アンカーボルト	a～d	喪失（診断対象外）	喪失（診断対象外）	喪失（診断対象外）	喪失（診断対象外）
⑪連結板	a	設定変状無し	変状非検知	変状非検知	変状非検知
	b	設定変状無し	変形，擦過痕有り	擦過痕有り	変状非検知

に及ぼす影響を考察することであるため，今回設定した撮影条件の中（**表-2**）で，最も精度の良いモデルとなったCASE1と，最も精度が悪いモデルとなったCASE9と，人による近接目視点検結果を比較した．

人による近接目視点検は，文献8)に整理されているピンローラー支承の損傷調査例を参考に実施し，設定した変状に加え，被災時の擦過痕等を確認することができた．ただし，「①セットボルト」の位置aについては，打音検査等を実施していないため，ゆるみの有無までは確認していない．「③ピン」の変状は，上下沓の橋軸直角方向のずれ及び上下沓の隙間から確認できるピンの状況より破断していることが確認できた．「⑥ローラー」に変状は検知されなかったが，ローラーカバーの外れ，ローラーのガイド部の変状及び，「⑪連結板」の変形・擦過痕を確認することができた．また，「⑧サイドブロック」の位置bには水平方向の回転がわずかに確認された．

品質が良い CASE1（カメラ 1，距離：1m）のモデルを用いた点検結果は，近接目視と概ね同等の変状を検知することができた．ただし，「①セットボルト」のゆるみは検知できなかった．a に設定した 0mm のゆるみについては，対象物の外観を再現する点群モデルの性質上，検知することができない．d に設定した 2mm のゆるみは，点密度が低く検知できなかった．これは，上沓及び下フランジの影響により，セットボルトが画角に入る画像枚数が少なかったことと，部品の影により形状が明瞭に写っていなかったことが原因として想定される．モデル化前の画像では暗部の奥行きまで視認できていたとしても，SfM/MVS 技術の解析の際に，その範囲の特徴点が得られにくいためであると考えられる．

また，定量的な変状量の検知結果として，「③ピン」の突出は設定した移動量に対して誤差 1mm 以下の精度で検知することができた．「⑧サイドブロック」の水平方向の回転についても，0.2°という検知結果を算出することができた．このような定量的な変状量は，近接目視のみでは取得することができない情報であるため，点検の高度化に資する 3 次元モデルの特性として挙げられる．

一方，品質が良くない CASE9（カメラ 3，距離：5m）のモデルでは，モデルの点密度が全体的に低く，擦過痕等の部品表面の変状は検知できなかった．特に，下フランジや上下沓のリブにより影となっている範囲については，面的な点群は殆ど生成されず，「①セットボルト」については全く認識できなかったため，あるはずのセットボルトが検知できていない可能性を考慮し，点検結果は「喪失」ではなく「点群未生成」としている．また，このモデルでは，各部品の境界を示す点群のばらつきが，分散している箇所で 20mm 程度となり，上下沓のずれや「③ピン」の突出など，複数の部品の境界が密接している箇所では部品同士の境界を判別することができず，変状非検知という結果となった．「⑥ローラー」については，ころがりが所定の位置にあることと，ローラーカバーの外れを確認することができた．比較的寸法が大きい部品については，その部品が残存しているかどうかがわかり，また，明らかに異常な位置に移動している場合は，点密度が低いモデルであっても検知できる．ただし，「①セットボルト」のように部品寸法が小さい場合は，モデル品質の低下により部品そのものが点群として再現されなくなる場合もあるため，個別の判断が必要である．なお，CASE9（カメラ 3，距離：1m）のモデルでは，存在が判別できる部品のサイズは「⑨サイドブロックボルト（M55）」程度が限界であった．

4. モデルの品質が支承部の診断結果に及ぼす影響

(1) 支承部に求められる機能の診断について

点検で収集した情報を基に，支承部の機能の診断を行うためには，支承部を構成する部品の組合せと，支承機能の関係を理解する必要がある．それを以下で補足する．

支承部には，地震動による慣性力を受けた場合でも，荷重伝達機能及び変位追随機能，鉛直方向の高さを保持する機能等を有することが要求されている．地震後に支承部がこれら機能を確保した状態に留まっていれば，支承部の状態が橋の耐荷力や走行性等に影響を及ぼさないと診断できる．

支承部に求められる機能を方向別に分類すると，a)鉛直荷重伝達機能（下向き），b)鉛直方向の高さを保持する機能，c)鉛直荷重伝達機能（上向き），d)水平荷重伝達機能（橋軸直角方向），e)水平変位追随機能，f)回転変位追随機能に分類される．

図-3～図-7 に，ピンローラー支承における各機能の部品単位の伝達経路を示す．例えば，**図-3** に示す鉛直荷重の伝達経路は，上部構造から作用する荷重を②上沓↔③ピン↔⑤下沓↔⑥ローラー↔⑦ベースプレート（底板）の順で下部構造に伝達する．鉛直方向の高さを保持する機能についても，同様の経路でその機能が保たれている．また，**図-6** に示

す水平変位追随機能では，①セットボルト↔②上沓↔③ピン↔⑤下沓↔⑥ローラーの順で伝達が為され，「①セットボルト」による上部構造と支承部の固定及び「⑥ローラー」のころがりにて，上部構造と下部構造の相対変位に追随する．

これらの経路内のいずれかの部品に，各機能に影響する損傷が生じた場合は，支承として荷重を支持する機能や変位に追随する機能が失われていると判断できる．逆に，この経路内の全ての部品に損傷が見られない場合は，これらの機能が残存していることとなる．このような思考プロセスに基づき下記の診断を実施するため，変状検知の有無が，診断結果に大きく影響を及ぼす．

(2) 近接目視点検による診断結果

近接目視点検によって検知された変状のうち，各機能に影響を与える可能性があるような損傷としては，「①セットボルト」のゆるみ・喪失，「③ピン」の破断，「④キャップ」の突出等が挙げられる．それぞれの損傷を各荷重伝達経路，変位追随経路に照らし合わせて診断を実施した．a)鉛直荷重伝達機能（下向き）については，荷重伝達経路の「③ピン」が破断しているが，大きな抜け出しが生じていないことから，機能が低下している状態と診断した．b) 鉛直方向の高さを保持する機能についても同様に，「③ピン」が破断しているが，大きな抜け出しが生じておらず，かつ桁の脱落も見られないことから，機能が低下している状態と診断した．ただし，「③ピン」が破断しているため，これが抜け出した場合，機能を喪失する．c)鉛直荷重伝達機能（上向き）は，「①セットボルト」のゆるみ・喪失及び「④キャップ」の突出から，機能が喪失していると診断した．d)水平荷重伝達機能（橋軸直角方向）は，「③ピン」が破断していることから機能が喪失していると診断した．e)水平変位追随機能は，「①セットボルト」のゆるみ，喪失から機能が低下している状態と診断した．f)回転変位追随機能は，「③ピン」が破断しているが，大きな抜け出しが生じていないことから，機能が低下している状態と診断した．ただし，「③ピン」が破断しているため，これが抜け出した場合，機能を喪失する．

また，各機能に直接的に影響を与える損傷ではないが，ローラーカバーが外れていることにより「⑥ローラー」の移動方向を拘束する機能が喪失している状況であると判断できるため，a)，b)，e)の機能が低下している一因として診断している．同様の理由で，「④キャップ」の突出により「②上沓」，

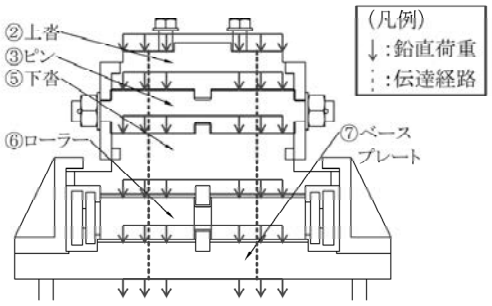


図-3　鉛直荷重伝達機能（下向き）

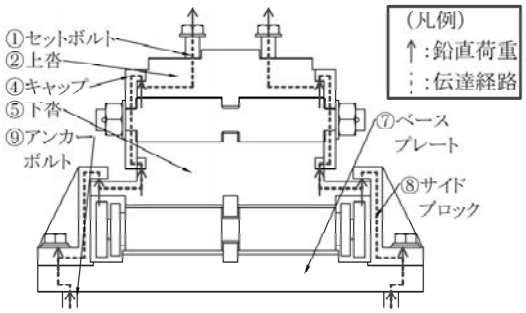


図-4　鉛直荷重伝達機能（上向き）

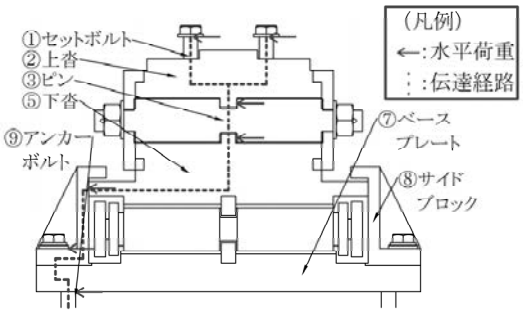


図-5　水平荷重伝達機能（橋軸直角方向）

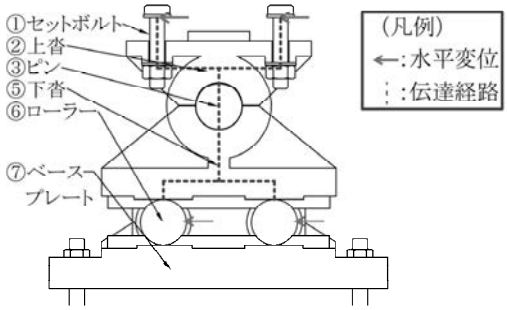


図-6　水平変位追随機能

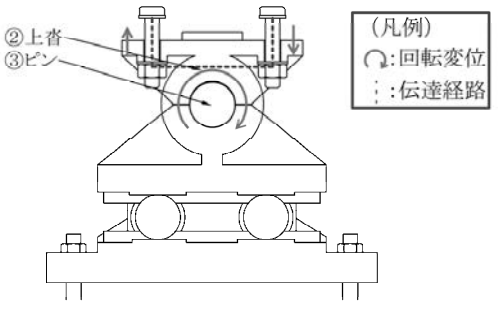


図-7　回転変位追随機能

「③ピン」及び「⑤下沓」の嵌合を保持する機能が喪失しており，「②上沓」が「③ピン」を乗り越えて脱落する可能性が生じているため，e)水平変位追随機能が低下している一因として診断している．

(3) 3D 点群モデルを用いた点検による診断結果

モデルの品質の良い CASE1（カメラ 1，距離：1m）のモデルからは，セットボルトのゆるみを除き，近接目視点検結果と概ね同様の点検結果が得られた．このことから，a)～f)の各機能については，近接目視点検による診断結果と同一の診断結果となった．

モデルの品質が良くない CASE9（カメラ 3，距離：5m）では，近接目視や CASE1（カメラ 1，距離：1m）のモデルを用いた点検結果とは大きく異なる結果が得られた．a)鉛直荷重伝達機能（下向き）及び f)回転変位追随機能については，機能の低下または喪失に影響を与える変状が各部品から検知されなかったことから，機能は残存していると診断した．b) 鉛直方向の高さを保持する機能については，ローラーカバーが外れている状況が検知できたため，「⑥ローラー」の移動方向を拘束する機能が喪失している状況である判断し，機能が低下している状態と診断した．一方で，c)～e)の機能については，その機能を担う「①セットボルト」がモデルとして再現されていない状況が懸念されたため，いずれも診断不可という結果となった．

また，「③ピン」の突出量の検知結果を**表-5** に示す．各撮影ケースのうち，突出を検知できたのは CASE1（カメラ 1，距離：1m）及び CASE4（カメラ 2，距離：1m）の 2 ケースのみであり，CASE1 では誤差 0.5mm，CASE4 では誤差 2mm 程度であった．実際に支承のピンが破断した場合，ピンの突出量は破断時の伸び量より大きい値となると想定されるため，上記 2 ケースの計測誤差であれば，ピンが破断している可能性を十分に示すことができていると考える．また，他のケースでは，点密度不足や点のばらつきにより，上下沓やキャップの境界が検出できなかった．キャップと上沓の隙間のような，部品が近接している箇所の計測は点群モデルの品質が十分に高い場合にのみ有効であり，その計測誤差はモデル品質に比例する．一方で，モデル品質が一定程度低下した場合は，部品の境界が曖昧になり，定量的な計測が不可能となった．

(4) モデルの品質と診断結果の信頼性に関する考察

表-6 に近接目視，CASE1（カメラ 1，距離：1m）及び CASE9（カメラ 3，距離：5m）における診断結果のまとめを示す．近接目視点検及び CASE1 は，概ね同様の変状を根拠とした診断結果となった．本ケースはモデル品質が全体的に高く，変状の検知も十分容易であったため，殆どの項目で近接目視と同等の情報を得られたといえる．一方で，「①セットボルト」については，点密度の低下によりゆるみが検知できず，良好な撮影条件においても，局所的な品質の低下が発生することが明らかとなった．このような品質の低下は，特徴点の少ない箇所や，撮影枚数の少なさ等，撮影時の情報の不足が原因である可能性がある．従って，情報を取得しにくいと想定される部品に対しては，重点的に撮影を実施することや，十分な明るさを確保して特徴点を取得しやすい画像とすることで，モデル品質の低下が改善する可能性がある．

表-5 モデル上のピンの突出量の計測結果

撮影ケース	使用機材	計測された検知量			誤差 (mm)
		上沓と下沓のずれ	上沓とキャップの遊間	ピンの突出量	
CASE1	カメラ 1	3.7	8.8	12.5	-0.5
CASE4	カメラ 2	4.3	6.8	11.2	-1.9

CASE9 のような点密度が低いモデルを用いた診断結果では，比較的大きな部品が明らかな異常を示していることがない限り，機能の低下や喪失に影響する変状が検知されず診断が危険側の結果となる傾向にある．また，「①セットボルト」のような存在自体が再現されていない部品があったため，診断を実施するうえで必要な情報が取得できず，診断不可となる状況も発生した．

5. まとめ

本研究では，点検支援技術を震後点検に取り入れるための要件の整理に向けた検討の一環として，SfM/MVS 技術を用いた支承部の模擬点検を実施し，生成されたモデルの品質が，支承部の診断結果に及ぼす影響について考察した．結果，CASE1 程度の撮影機材，条件であれば，殆どの部品に対し，近接目視点検と同程度の診断を実施できるモデル品質であった．しかし，他の部品の影に位置するような情報が得にくい部品については，全体的なモデルの品質に関わらず，局所的なモデル品質の低下が発生す

表-6 診断結果一覧

支承部に残存する機能		近接目視点検	CASE1	CASE9
a) 鉛直荷重伝達機能（下向き）	診断結果	△	△	○
	診断理由	③ピンの破断 （大きな抜け出しは無し） ⑥ローラーのカバーの外れ	③ピンの破断 （大きな抜け出しは無し） ⑥ローラーのカバーの外れ	各部品の機能が喪失していない
b) 鉛直方向の高さを保持する機能	診断結果	△	△	△
	診断理由	③ピンの破断 （大きな抜け出しは無し） ⑥ローラーのカバーの外れ 桁の脱落は無し	③ピンの破断 （大きな抜け出しは無し） ⑥ローラーのカバーの外れ 桁の脱落は無し	⑥ローラーのカバーの外れ 桁の脱落は無し
c) 鉛直荷重伝達機能（上向き）	診断結果	×	×	—
	診断理由	①セットボルトのゆるみ・喪失 ④キャップの突出	①セットボルトのゆるみ・喪失 ④キャップの突出	①セットボルトの変状が不明 （点群が生成されていない）
d) 水平荷重伝達機能（橋軸直角方向）	診断結果	×	×	—
	診断理由	③ピンの破断	③ピンの破断	①セットボルトの変状が不明 （点群が生成されていない）
e) 水平変位追随機能	診断結果	△	△	—
	診断理由	①セットボルトのゆるみ・喪失 （4本中3本） ④キャップの突出 ⑥ローラーのカバーの外れ	①セットボルトのゆるみ・喪失 （4本中2本） ④キャップの突出 ⑥ローラーのカバーの外れ	①セットボルトの変状が不明 （点群が生成されていない）
f) 回転変位追随機能	診断結果	△	△	○
	診断理由	③ピンの破断 （大きな抜け出しは無し）	③ピンの破断 （大きな抜け出しは無し）	各部品の機能が喪失していない

（凡例）○：機能残存，△：機能低下，×：機能喪失，—：診断不可

ることが分かった．このように局所的に品質が低下した部品や，外観からは判断できない変状を有する部品が，診断結果に影響を及ぼすような状況である場合は，品質が高いモデルを使用したとしても近接目視と異なる診断結果となる．また，ピンの破断など，外観からの診断が困難な場合がある損傷について，部品同士の位置関係の変状を定量的に取得することで損傷状況を判断できる可能性があることを示せた．

一方で，CASE9 のように撮影条件が悪い場合は，生成されるモデルの点密度の低下により，部品そのものが全く認識できず診断を実施できない場合や，部品の境界が曖昧となり，部品同士の位置関係などの変状を検知できない状況が確認された．また，モデル品質によっては存在しない部品を誤認識してしまい，危険側に誤った診断を下す可能性があることも示唆された．

謝辞：本実験を実施するにあたり，桑折町より被災した支承を譲与頂きました．記して謝意を示します．

参考文献

1) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ，https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/zenbun.html（最終閲覧日：2023年6月19日）
2) 国土交通省道路局：道路橋定期点検要領，2019.
3) 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
4) 日本規格協会：JISハンドブック，鉄鋼Ⅱ（棒・形・板・帯/鋼管/線・二次製品），pp.26，2010.
5) 布施孝志：解説：Structure from Motion (SfM)　第二回SfMと多視点ステレオ，写真測量とリモートセンシング，55巻4号，pp．259-262，2016.
6) 保泉亜子，味岡収，福間 智：画像を用いたひび割れ調査における撮影条件と再現性に関する検証，土木学会全国大会第75回年次学術講演会，2020.
7) 阿久津啓，金井理，伊達宏昭，新名恭仁，本間亮平：画像のコントラスト強調と対象形状仮説に基づく深度の適応的選択による低テクスチャ表面のSfM-MVS 再構成モデル品質の向上，精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，2020.
8) 日本道路協会：震災対策便覧，震災復旧編，令和4年度改訂版，2023.