

# 道路橋の震後点検の効率化・高度化に向けたデジタル技術の利活用に関する検討

小林 巧・大住道生

## 1. はじめに

地震発生後に速やかに緊急輸送路等の交通開放を行うためには、震度が大きい地域にある大量の道路橋の全てを対象に、地震発生後の限られた時間で、道路橋の被害を迅速かつ的確に把握し、橋の構造安全性及び走行性について診断し、損傷の程度に応じた措置の必要性を速やかに判断する必要がある。実際に2016年の熊本地震では熊本県内、大分県内の震度6弱以上を観測した地域において、約15,700橋の道路橋が存在していた<sup>1)</sup>。

いつ発生するかわからない地震に対して、事前に所要の人員や機材等を確保することが困難な場合も多く、早期に道路機能の回復を目指す方を考えておく必要がある。そのため、デジタル技術を活用することにより、点検をさらに効率化・高度化し、震後復旧のDX実現に向けた研究を実施している。本報では主にデジタルカメラ（以下「カメラ」という。）やUAV等の画像撮影技術を題材に、地震後のフェーズに応じて異なる、デジタル技術に求められる要件に関して考察を行う。

## 2. 震後点検のフェーズの移行に伴って変化するデジタル技術に求められる要件

現行の地震後の異常時点検（以下「震後点検」という。）は、一般的に「地震発生後、速やかに道路構造物の被害の概要を把握するとともに、重大な二次被害につながる可能性のある被害を発見するために行う」緊急調査と、「全体的な被害状況を把握するとともに、応急復旧の実施および復旧方針の決定のために行う」応急調査、本復旧のための調査で構成されることが多い<sup>2)</sup>。緊急調査は車上からの目視や、徒歩移動による目視が行われ、応急調査や本復旧のための調査は近接目視が行われることが多い（図-1）。

このように、震後点検には様々な調査が存在し

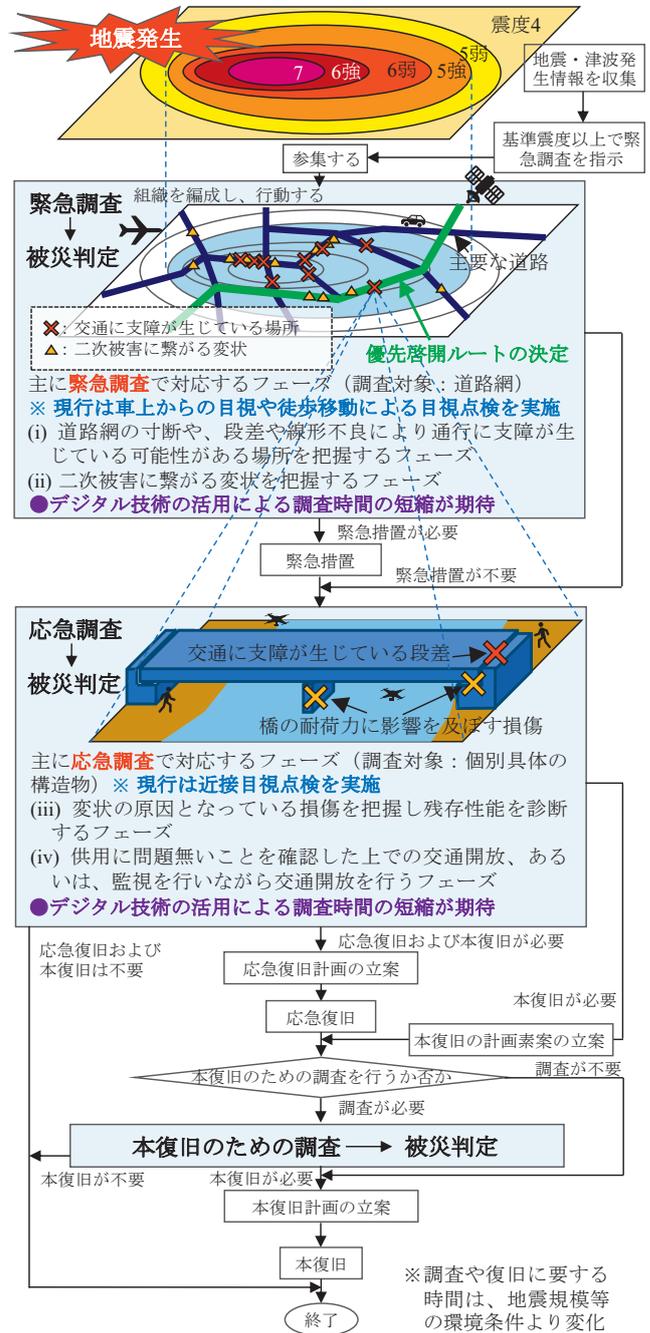


図-1 震後復旧の基本的な流れとデジタル技術の活用

（出典：日本道路協会 道路震災対策便覧(震災復旧編) 令和4年度改訂版 令和5年3月、p.2, p.7, 文献2）よりフローを引用し、追記）

ており、それら調査の全てに、デジタル技術の活用による効率化や高度化の余地があると同時に、それぞれの調査に各種デジタル技術の向き不向きが存在する。例えば、低精度であっても、道路網

の広い範囲のおおよその状態を把握できる衛星等の技術、道路橋の特定の部材の状態を高精度に把握できる点検支援技術等がそれに該当する。

例えば緊急調査では(i)落橋により道路網が寸断されている場所や、落橋に至っていないくとも段差や線形不良により通行に支障が生じている可能性がある道路橋を把握するフェーズ、(ii)支承部の損傷等の二次被害に繋がる変状が生じていることを把握するフェーズが存在する。その後の応急調査では、(iii)変状の原因となっている損傷を把握し、残存性能を診断するフェーズ、(iv)監視を行いながら交通開放を行うフェーズ等が存在する。

デジタル技術を用いて震後点検を効率化・高度化するためには、各フェーズのニーズに沿ったデジタル技術の開発が必須である。震後点検ではデジタル技術に対して、全てのフェーズにおいて迅速な調査であることが要求され、調査対象に応じた所要の損傷検知精度が要求され、さらに、発災後の状況（道路網の寸断、天候、夜間等の点検の時間帯、人員配置、使用できる機材等の条件）に対応できる適用範囲の明確化が要求される。

### 3. 画像撮影技術における検討

#### 3.1 道路橋の震後点検（特に応急調査）への

##### 画像撮影技術の活用に向けた検討

本報では震後点検の内、図-1の応急調査で対応するフェーズを主な対象とし、その中で、特に道路橋の点検を行うために、デジタル技術に求められる要件について検討した内容<sup>3)</sup>を紹介する。

検討対象のデジタル技術は画像撮影技術であり、表-1の3種類のカメラと、2種類のUAVに搭載されたカメラを対象に、損傷検知精度の観点から技術の適用範囲について検討を実施した。ここで、画像撮影技術によるひび割れ等の一部変状の検出については、AI等を活用した方法が多く実施されているが、地震による損傷は、その損傷の種類や、損傷を受ける部材が多様であり、また、学習データとなり得る地震による損傷の画像等の蓄積も十分ではないことから、本研究では、画像から人の目で損傷を識別できるか否かを論点とする。

本研究では、先ず、主に文献<sup>2),4)</sup>で扱われているあらゆる地震時損傷を、2次元画像上で人が識別するための幾何学的特徴として単純化し、集約し、4種類に分類することを試みた。

表-1 検証に用いた機材の仕様

呼称名	センササイズ	35mm換算の焦点距離	画素数
カメラA	フルサイズ	24mm	9,504×6,336
カメラB	1型	24mm	5,472×3,648
カメラC	非公開	28mm	4,032×3,024
UAVa	1/2.3型	20mm	4,056×3,040
UAVb	1型	24mm	5,472×3,648

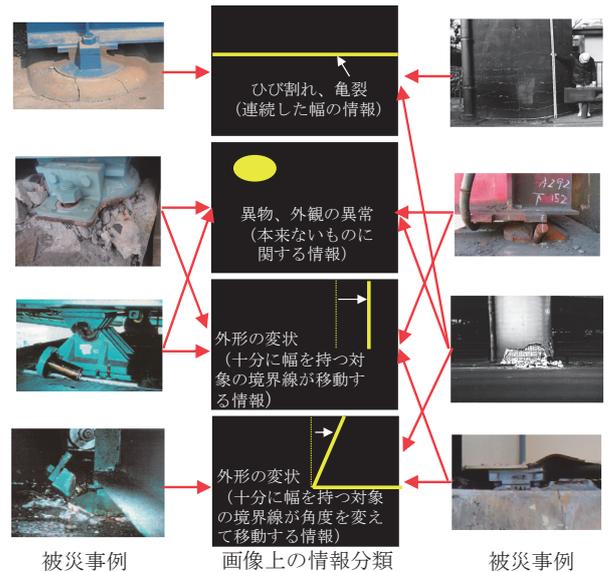


図-2 被災事例と画像上の情報分類例

図-2に被災事例と画像上の情報分類例を示す。画像上のあらゆる地震時損傷は、部材を認識した上で、最低でもここに上げる4つの幾何学的特徴の組合せを把握することで、人は画像から地震時損傷の有無を認識できることが可能であると考えられる。4つの幾何学的特徴は、1) 連続した幅の情報、2) 十分に幅を持つ対象の境界線が角度を変えて移動する情報、3) 十分に幅を持つ対象の境界線が平行に移動する情報、4) 本来ないものに関する情報である。例えば、ひび割れ等は画像上では連続した幅の情報である。RC橋脚基部の損傷は、ひび割れとしての連続した幅の情報に加え、橋脚の傾きは角度を変えて移動する情報である。橋脚の損傷程度によっては、本来ない異物の情報として、コンクリート片や、鉄筋がはらみ出した様子がある。支承部の部品の変形、ピン等の抜け出し等も幾何学的特徴として分類できる。

あらゆる地震時損傷を幾何学的特徴に変換することで、画素分解能や輝度コントラスト等といった、2次元画像としてのパラメータと、幾何学的特徴の視認性の議論に変換できると考えた。ただ

し、鋼部材の亀裂等の一部の損傷については、亀裂長さや亀裂幅、亀裂内と表面の輝度コントラストが低い、亀裂内の影の影響の程度等により見え方が異なるものも存在する。今回検討した連続した幅等の情報は、損傷を一面的な特徴で捉えただけであることにも注意する必要がある。

この分類に基づいて作成した撮影対象が図-3であり、4つの幾何学的特徴に関する情報を模擬している。このパネルの詳細は文献<sup>3)</sup>に記載しており、図-3の右上と左上のパネルは文献<sup>5)</sup>を参考に作成した。また、「本来ないものに関する情報」を検討するために、図-3の右下のパネルに支承部のアンカーボルトのナットとして多く使用される規格(M24、M30、M42)の寸法(円)を記載した。ナットは支承部の中で比較的小さい部品であり、多くの支承に同じ大きさの規格品が使用される。ナットがナットとして視認できれば支承を構成する他の部品、M24より大きい部材や異物等が視認できると考えた。

この撮影対象から距離を変え画像撮影を行い、被写体からの撮影距離と把握できる見込みのある変状の関係を調査した。撮影条件は実際の現場での使用を想定しAutoとした。撮影距離は0.76~20mの12段階<sup>3)</sup>とし、UAVが接近できない場合は撮影を行わなかった。分析は、距離を変えて撮影した画像をディスプレイ画面上で拡大しどこまで幾何学模様が見えれば視認可能かを整理した。

### 3.2 撮影距離と把握できる幾何学的特徴の関係

図-4~6に撮影距離と把握できる見込みのある変状の関係を示す。凡例の数字はRGB値であり、「50」はRGB値が(50,50,50)である。図-4~6は点検指標と撮影距離の性能曲線を示しており、例えば対象から10mの撮影距離ではAutoモードで、安全側の目安値(カメラC)として2mm以上の亀裂幅、10°以上の変形角、10mm以上の変形量が把握できる見込みがある。また、M24のナットについては、撮影距離20m以内で確認できなくなることが無かった。

### 3.3 損傷種類別の識別に必要な撮影距離の目安

表-2に損傷種類別の識別に必要な撮影距離の目安の検討例(支承部)を示す。診断に必要な損傷検知の要求値の詳細は文献<sup>3)</sup>に記載しており、既往の調査研究から目安となる値を引用している。

ただし、セットボルトの破断やゆるみ、狭隘部

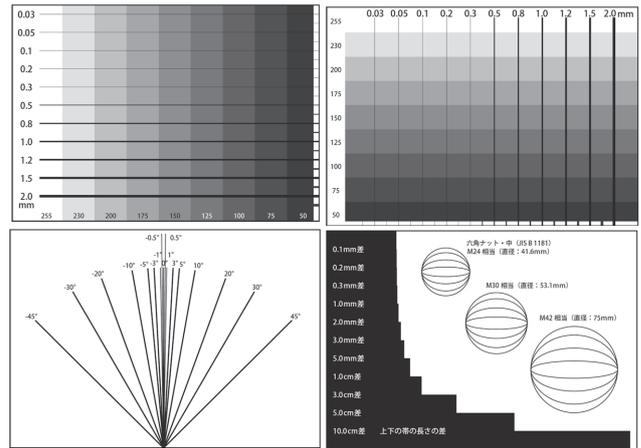


図-3 作成した撮影対象

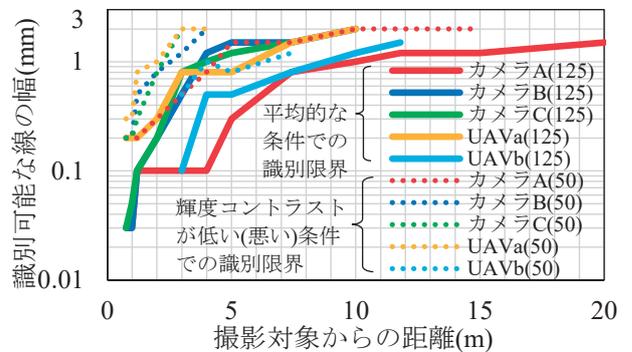


図-4 撮影距離と識別可能な線の幅の関係

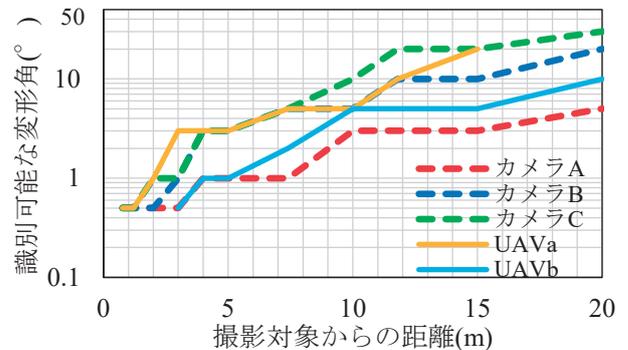


図-5 撮影距離と識別可能な変形角の関係

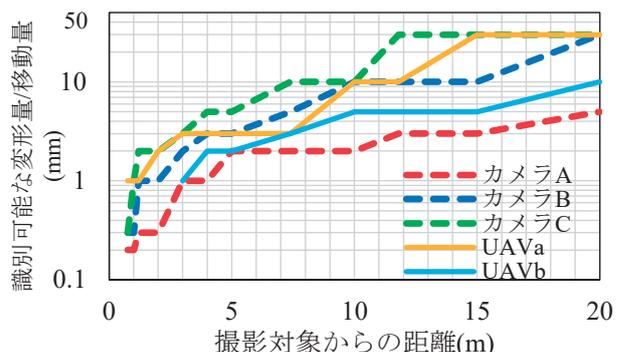


図-6 撮影距離と識別可能な変形量及び移動量の関係

表-2 損傷種類別の識別に必要な撮影距離の目安の検討例（支承部）  
 （文献<sup>3)</sup>より一部編集し、引用した。診断に必要な損傷検知限界の要求値の詳細は文献<sup>3)</sup>による。）

着目する部材等	地震後に点検で収集したい損傷の情報	診断に必要な損傷検知限界の要求値（補足説明）	左記の要求値の検知に必要な、機器に求められる撮影距離(m) (今回対象とした機材の安全側の目安値)	今回検討した機材で3mから視認できる見込みがある範囲（安全側の最低保証値を記載）	今回検討した機材で10mから視認できる見込みがある範囲（安全側の最低保証値を記載）	
支承部	鋼部材の地震動が原因の亀裂	明確にされていない（亀裂幅や亀裂長さに依らず亀裂が検知された時点で損傷）	損傷程度によっては検知困難	亀裂幅0.8mm以上	亀裂幅2mm以上	
	鋼部材（サイドブロック）の変形角	0.17°（計算による降伏時の概算値）	損傷程度によっては検知困難	変形角3°以上	変形角10°以上	
	鋼部材（上沓ストッパー）の変形量	破断変位（支承寸法等により変化）	30 mm	20	変位量3mm以上	変位量10mm以上
	ピンやセットボルトの抜け出し	降伏変位（支承寸法等により変化）	4 mm	3	変位量3mm以上	変位量10mm以上
		破断変位（支承寸法等により変化）	8 mm	6	変位量3mm以上	変位量10mm以上
	ゴム支承本体の異常な水平方向の変形	約37°（計算による概算値）		20	変形角3°以上	変形角10°以上
		67 mm（計算による概算値）		20	変形量3mm以上	変形量10mm以上
	桁の支承からの脱落	数cm（支承高さによる）		10	移動量3mm以上	移動量10mm以上
橋座のひび割れ	明確にされていない（ひび割れ幅に依らずひび割れが検知された時点で損傷）		損傷程度によっては検知困難	ひび割れ幅0.8mm以上	ひび割れ幅2mm以上	

- ※ 要求値の検知に必要な撮影距離や、ある距離から視認できる見込みがある範囲は、図-4～6に基づいている。
- ※ 薄い灰色：3m、あるいは、10mからは要求値を検知できないが、要求値より大きな損傷をスクリーニング的に収集することができるもの。
- ※ パネル上に描かれた幾何学模様に対して検討を実施した結果であり、実際の損傷でも同様の傾向となるかを今後検討する予定である。機体の性能も今後向上することが想定されるため、それに伴い、図-4～6の性能曲線は変化する。

の損傷等、近接目視や画像撮影等の点検手法のみでは見つけることができない損傷も存在する。

表-2より、現在の画像撮影技術の水準では、亀裂や計算上の降伏相当変位等、支承部のあらゆる地震時損傷をUAVの画像撮影のみで把握することは困難であるため、スクリーニング的に大きな損傷を把握する目的のフェーズにおける運用が現実的であると推測された。ただし、カメラの性能等は今後向上することが期待されるため、それに伴い、図-4～6の性能曲線は変化する。その場合でも診断に必要な損傷検知限界の要求値の目安は、基本的には変わらないため、今回例示した方法等で、デジタル技術の損傷検知精度を確認することで、技術の適用範囲の一部が明確となる。

今後は、「道路橋の震後点検の効率化・高度化に向けた新技術の利活用に関する共同研究（令和5年度～6年度）」で、今回取り上げたUAV以外のデジタル技術に対しても、その震後点検への適用可能性を引き続き検討する予定である。

#### 4. まとめ

本報では、道路橋の震後点検でデジタル技術を活用するための要件について言及した上で、要件の一つである点検対象に応じた所要の損傷検知精度についての検討例も紹介した。早期に道路機能

の回復を目指すため、引き続き様々な技術活用のための評価技術について研究を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：道路構造物の被災状況のとりまとめ、第5回道路技術小委員会、資料2、2016年6月24日。
- 2) 日本道路協会：道路橋震災対策便覧（震災復旧編）、令和4年度改定版、2023。
- 3) 小林巧、吉谷薫、大住道生：UAV撮影画像から橋梁の地震時損傷を認知するための要件に関する基礎的検討、第26回橋梁等の耐震設計シンポジウム講演論文集、2023。
- 4) 東北地方整備局 道路部、国土技術政策総合研究所 道路構造物管理研究室：道路橋の震災時緊急点検・応急調査の手引き（案）、Ver. 1.0、平成24年2月、2012。
- 5) 大本啓介、松田浩：デジタル画像の画素分解能とコンクリートの視認可能なひびわれ幅に関する検証、土木工学・材料工学論文集、第35号、2019。

小林 巧



土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 研究員  
KOBAYASHI Takumi

大住道生



土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 上席研究員、博士(工学)  
Dr. OHSUMI Michio