

東海道新幹線土木構造物の維持管理における UAV 撮影画像と SfM 3D モデルの評価

東海旅客鉄道株式会社 名古屋新幹線構造物検査センター 正会員 ○宮澤 一平 砂原 啓人
中越 正幸
新幹線鉄道事業本部 施設部工事課 杉山 優太

1. 背景と目的

東海道新幹線土木構造物の維持管理において、検査や調査などに UAV を積極的に活用している。これまでデジタルカメラによるひび割れの視認性や UAV 撮影画像と UAV-SfM で作成した 3D モデルのひび割れ視認性評価等¹⁾については種々の検討が報告されているが、構造物調査項目ごとに UAV 撮影画像の視認性を評価した事例や各種構造物ごとに UAV-SfM で作成した 3D モデルの測距寸法精度評価した事例は少ない。これらの知見は UAV で効率的に撮影するための情報となる。そこで本稿では、検査等の効率化を目的に、構造物の調査項目ごとに UAV 撮影画像の視認性評価及び UAV-SfM で作成した 3D モデルの測距寸法精度と実用性について評価したので報告する。

2. 検証内容

対象は東海道新幹線の構造種別において大きな割合を占めるコンクリート構造物と土構造物とし、平成 19 年度版 鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）のコンクリート構造物・土構造物（以下、維持管理標準）に示される調査項目を参考に、UAV 撮影画像に対する変状視認性評価を行った。また異なる 10 ケースの撮影条件で撮影した UAV 画像を使用して SfM で 3D モデルの作成を行い、その 3D モデルの測距寸法精度の比較および実用性の評価を行った。なお検証は RTK-GNSS 非搭載の汎用 UAV を使用した。

3. 検証結果

3.1 UAV 撮影画像による変状視認性評価

変状視認性評価の結果をコンクリート構造物は表-1 に、土構造物は表-2 に示す。表-1 の部位と変状種別は、維持管理標準の調査項目と健全度判定を参考に、目標精度は変状種別ごとの判定の例を参考に定めた。表-2 の部位と変状種別は、維持管理標準の健全度判定を参考に定めた。

表-1 に示す通り、約 1600 万画素、等倍撮影、撮影対
キーワード 鉄道構造物, UAV, 検査, SfM (Structure from motion), 3D モデル

連絡先 〒453-0013 愛知県名古屋市中村区亀島二丁目 3 番 2 号 東海旅客鉄道(株)名古屋新幹線構造物検査センター

象と UAV との離隔約 3m の撮影条件において、幅 0.1mm 程度のひび割れが視認可能であった。また剥落や鉄筋露出、表-2 に示す張コンクリート等の防護設備のひび割れや土砂流出等の平面的に発生する変状についても視認が可能であった。一方で、浮きや沓のばたつき、排水パイプ内部状況の視認は困難であった。また沓周り等の狭隘箇所は UAV 進入が困難なことや、照度不足であることから変状の視認は困難であった。

以上より、一部の変状種別については、目標とする視認性を確保できることから、河川上等の近接が困難なコンクリート構造物や検査範囲の広い土構造物の検査に UAV 撮影画像を活用すれば検査等の効率化につながる。

表-1 変状視認性評価（コンクリート構造物）

部位	変状種別	目標精度	結果	評価
桁 橋脚 高架橋	ひび割れ (側面・下面)	幅0.1mm程度	等倍で対象からの離隔約3mの撮影により視認 (1600万画素)	○
		幅0.2mm～	等倍で離隔約2mの撮影、または、離隔が大きい 場合ズーム撮影により視認が可能	○
	ひび割れ (主桁間)	幅0.1mm程度	機体幅が桁間幅以下のUAV使用、または、約1m の近接撮影により視認が可能と推定	△
	剥落	300mm×300mm	離隔約30m程度でも、ズームでの撮影により視 認が可能	○
	浮き	数cm ² ～	打音での判断のため、変状発見は不可	×
	鉄筋露出	300mm、錆汁の有無	離隔約30m程度でも、ズームでの撮影により視 認が可能	○
沓	割れ	割れ、き裂の有無	狭隘箇所のためUAV飛行が難しい	△
	ばたつき	数mmの動的挙動	画像・動画での動的挙動検知は困難	×
	アンカー近傍	アンカー折損、抜け	狭隘箇所のためUAV飛行が難しい	△
	沓の移動	D/4	視認可能と推定	○
付帯設備	桁間の排水装置	破損の有無	視認可能（障害物センサー反応距離縮小）	○

凡例 ○：UAVの活用が可能、△：UAVの性能による、×：UAVの活用は不可

表-2 変状視認性評価（土構造物）

部位	変状種別	結果	評価	
			盛土	切取
防護設備	陥没	視認可能	○	△
	浮き	打音での判断のため、変状発見は不可	×	×
	き裂	離隔約15m程度でも、2倍ズームでの撮影に より1.5mmのき裂を視認（2000万画素）	○	△
	土砂流出	視認可能	○	○
排水設備	破損	視認可能	○	△
	通水不良	排水溝等は視認可能 パイプ等内部の確認は不可	△	△

凡例 表-1と同様

3.2 UAV-SfM で作成した 3D モデルの評価

PC 桁等の異なる撮影対象 10 ケースで撮影した画像

から SfM ソフトウェアの Pix4D matic, Pix4D mapper を使用し 3D モデルの作成を行った。撮影ケースのイメージを図-1 に、作成した 3D モデルの一例を図-2 に、撮影条件と品質情報を表-3 に示す。これらに基づく 3D モデルの測距寸法精度と実用性の評価結果を以下に示す。

- 1) 撮影ケース①より、約 20m の UAV 移動撮影により作成した 3D モデル上での測距精度はしゅん功図と比較して約±10～20mm であった。一方で、撮影ケース②の約 3m の UAV 移動撮影では画像の緯度経度情報が不足した可能性があり、3D モデル上での測距が不可能であった。
- 2) 撮影ケース③④⑤より、低ズーム倍率の俯瞰的画像を用いた方が高ズーム倍率の局所的画像を用いた場合に比べて特徴点を捉えやすく、3D モデルの測距精度は高くなると考えられる。
- 3) 撮影ケース⑥⑦より、3D モデル測距精度とオーバーラップ率は関連が小さく、目標 GSD に応じて撮影枚数を低減できる可能性がある。また撮影ケース⑥のように対象から離隔約 5m を確保した撮影においても 3D モデル上で幅 0.6mm 程度の張コンクリートひび割れの視認が可能であった（図-2）。
- 4) 撮影ケース⑧⑨では 3D モデルの作成ができなかった。これは、構造物で上空が覆われた箇所では緯度経度情報が不正確であることや照度不足が要因と考えられる。

以上を踏まえ、撮影ケース①⑥⑦⑩に示す撮影条件で 3D モデルを作成すれば、ひび割れ幅にもよるが 3D モデル上でひび割れを視認でき、かつ測距精度が向上するため、ひび割れ進展の確認等に活用できる。

4. まとめ

UAV 撮影画像の活用可能性について以下に示す。

- 1) 維持管理標準で示される一部の調査項目について、

UAV 撮影画像で変状の視認が可能であり、検査に UAV 撮影画像を十分に活用できる。

- 2) RTK-GNSS 非搭載の汎用 UAV において、撮影方法によっては測距精度が約±5mm 程度の 3D モデルの作成が可能で、変状が視認できれば 3D モデルによるひび割れ進展の確認等に活用できる。

参考文献

- 1) 本多ら：UAV と SfM を活用したひび割れ幅測定に及ぼす写真ラップ率の影響，令和 4 年度土木学会年次学術講演概要集，Vol.77，p204

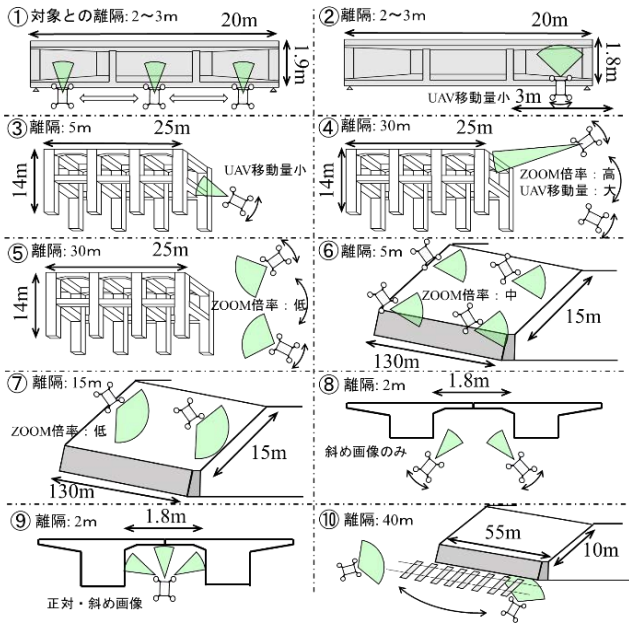


図-1 撮影ケースのイメージ



図-2 盛土の UAV-SfM 3D モデル（ケース⑥）

表-3 撮影ケースの撮影条件と品質情報

撮影条件								品質情報				
撮影 ケース	撮影画素数	撮影枚数		ズーム倍率	UAV移動	オーバー ラップ率	対象 構造物	作成ソフト	平均GSD※	特徴点数	カメラ 校正率	3Dモデル測距寸法精度 (しゅん功図との比較)
		正対	斜め									
①	約2000万	103	-	1～2倍	有	約84%	PC桁側面	Mapper	0.08cm	約33000	100%	約±10mm～20mm
②	約2000万	35	67	1～2倍	無	約74%	PC桁側面	Mapper	0.1cm	約27000	約92%	×（測距不可）
③	約2000万	-	305	4～10倍	無	約83%	ラーメン高架	Matic	0.1cm	約300	約17%	×（モデル作成不可）
④	約1200万	351	343	7倍～20倍	有	約82%	ラーメン高架	Matic	0.2cm	約11800	約79%	約±50mm～100mm
⑤	約1600万	97	-	3倍	有	約85%	ラーメン高架	Matic	0.5cm	約12500	100%	約±15mm～50mm
⑥	約2000万	143	49	1倍	有	約80%	盛土	Matic	0.2cm	約8000	100%	約±5mm
⑦	約2000万	18	18	2倍	有	約50%	盛土	Matic	0.6cm	約5500	100%	約±5mm
⑧	約1200万	-	133	1倍	有	約60%	桁間	Matic	0.3cm	約2600	約26%	×（モデル作成不可）
⑨	約1200万	56	26	1倍	有	約45%	桁間	Mapper	0.57cm	約860	約47%	×（モデル作成不可）
⑩	約1200万	53	87	7倍	有	約67%	切取	Matic	0.4cm	約17500	約99%	約±20mm～30mm

※GSD: 地上解像度。隣接ピクセルの中心間の地表面上で測定された距離で、GSDが小さいほど3Dモデルの詳細が見えやすくなる。