RC アーチ橋の維持管理を目的とした UAV によるデータ取得と模型作成

八千代エンジニヤリング株式会社　○高山　美雪
八千代エンジニヤリング株式会社　石丸　健次
八千代エンジニヤリング株式会社　水津　紀陽
八千代エンジニヤリング株式会社　伊藤　均

1. はじめに

近年、日本国内では老朽化橋梁数の増加に伴い、通行規制橋梁の増加、維持管理・更新費用の増加が想定されるが、一方で維持管理に携わる人員は減少傾向にある。したがって、費用、時間の不足が橋梁維持管理を行う上での課題とされ、特に日本国内の大多数の橋梁を管理している市町村においては、維持管理費用縮減や作業効率化が求められている[1)]。表-1 に令和元年の報告による市町村での橋梁定期点検結果と修繕実施状況の集計結果を示す。道路橋定期点検要領[2)]に基づき区分された健全度に関して、健全度 III、IV と判定された橋梁に対して修繕が計画されるのが基本であるが、修繕着手率は低く、平成 26 年度以降の集計においては、健全度 III、IV と判定された橋梁では 71%、健全度 II と判定された橋梁では 96%が未修繕である。つまり、橋梁定期点検と修繕は対応して実施されることが望ましいものの、修繕のための費用や時間が不足していると考えられる。

このうち、費用不足に関しては川西らが市町村の橋梁関連事業費と試算した橋梁点検費用の比較分析を行っている[4)]。川西らの分析結果によると、近接目視により橋梁点検を行った場合、38 県の市区町村において、年間橋梁点検費用試算値が、年間橋梁関連事業費の 50%以上となり、また、16 県の市区町村においては年間橋梁点検費用試算値が年間橋梁関連事業費を上回る結果が得られたとの報告がなされている。つまり、橋梁関連事業費のうち、橋梁定期点検費用の負荷が大きく、結果、橋梁修繕や橋梁整備の費用が確保出来ないといった問題を生じていると考えられる。

橋梁定期点検費用は橋梁規模や橋梁形式、点検方法等によって異なるが、本報告では通常アクセスの困難な鉄筋コンクリートアーチ橋（以下、RC アーチ橋）を対象に、橋梁定期点検費用を含む、橋梁維持管理に資する費用、時間の縮減を目的とし、UAV による現況橋梁の点群データ取得と、取得データの活用、および模型作成の試行結果について報告する。

２．維持管理の効率化

2.1 橋梁の維持管理

橋梁の維持管理では、構造物や部材に生じた損傷を把握し、損傷や性能低下の原因となる劣化機構を推定したうえで、その劣化機構に基づいた維

表－1　市町村における橋梁定期点検結果と修繕実施状況（橋梁数）[3)]

年度	点検結果					健全度　III・IV			健全度　II		
	I	II	III	IV	計	対象橋梁	修繕着手済 R元報告	比率	対象橋梁	修繕着手済 R元報告	比率
H26	11,481	15,840	5,029	101	32,451	5,130	2,483	0.48	15,840	1,033	0.07
H27	35,271	47,701	9,420	130	92,522	9,550	3,651	0.38	47,701	2,087	0.04
H28	57,138	64,507	11,911	140	133,696	12,051	3,732	0.31	64,507	2,414	0.04
H29	60,480	64,210	9,596	141	134,427	9,737	1,714	0.18	64,210	1,631	0.03
H30	37,246	34,924	5,732	191	78,093	5,923	744	0.13	34,924	1,018	0.03
R元	30,526	38,052	6,360	79	75,017						
計	232,142	265,234	48,048	782	546,206	42,391	12,324	0.29	227,182	8,183	0.04

持管理を行うことが原則であり、その具体的な手順は、維持管理基本方針の立案→橋梁定期点検の実施→劣化機構の推定→構造物の性能評価・維持管理方法検討→対策実施であり、このうち、橋梁定期点検の実施、劣化機構の推定、構造物の性能評価・維持管理方法検討の流れは「診断」として位置づけられている[5)]。

診断では、生じている損傷の情報、その進展に関わる情報が基礎情報として必要となり、それは橋梁定期点検により取得される。損傷は時間の経過とともに進展することから、定期的に橋梁定期点検は実施されるが、前述した通り、この費用確保が市町村の問題となっており、基礎情報収集の効率化による費用削減は急務であると考える。また、橋梁定期点検において、損傷情報（寸法や状況）は寸法情報を持たない写真、テキスト情報、損傷図で整理されることから、橋梁定期点検実施者の把握した情報が 100%、対策検討実施者や次の橋梁定期点検実施者に伝わっていないと考えられ、基礎情報収集の効率化は、この情報伝達非効率を改善することにも有効であると考える。

2.2 維持管理の効率化策

維持管理の効率化としては、予防保全等、効率化を考慮した維持管理計画の策定や、橋梁定期点検作業の効率化、構造物の性能評価の効率化のほか、対策実施段階（工事）での効率化として工事自体を効率的に実施する、再劣化を防止することで工事頻度を減らすなど、多岐にわたる項目が考えられるが、本報告では、前述した基礎情報収集の効率化に着目する。

通常、橋梁定期点検は近接目視により行い、その結果は損傷図や損傷写真、部材ごとの健全度として記録される。それらは関連して整理されるものの、次の課題があると考える。

- それぞれの損傷に関する損傷図、損傷写真、健全度は関連した情報として整理されるものの、独立して存在するため、各損傷の状況を直感的に把握することは難しい
- 損傷情報（寸法や状況）は寸法情報を持たない写真、テキスト情報、損傷図で整理されるが、損傷図は損傷を正確に表現したものでは無いことから、定量評価に活用することは難しい
- 損傷進展把握は過去の写真と現状との目視による比較により実施されるため、進展の評価は点検者により差を生じる可能性がある
- 架橋条件によっては交通規制を伴う橋梁点検車や高所作業車が必要となることもあり、近接目視作業自体に日数を要することに加え、橋梁定期点検の記録として損傷図作成、損傷写真、健全度の整理を行う日数も要し、結果、橋梁定期点検には多くの費用が必要となっている

以上の課題を解決するため、現地作業の軽減、結果整理作業の軽減、結果の直感的把握、損傷情報の定量的かつ進展把握の実現（たとえば、3 次元データによる変形、将来的なひび割れ進展把握等）が可能な方法として、損傷情報を含む橋梁全体の 3 次元デジタルデータ取得を行うことを考えた。

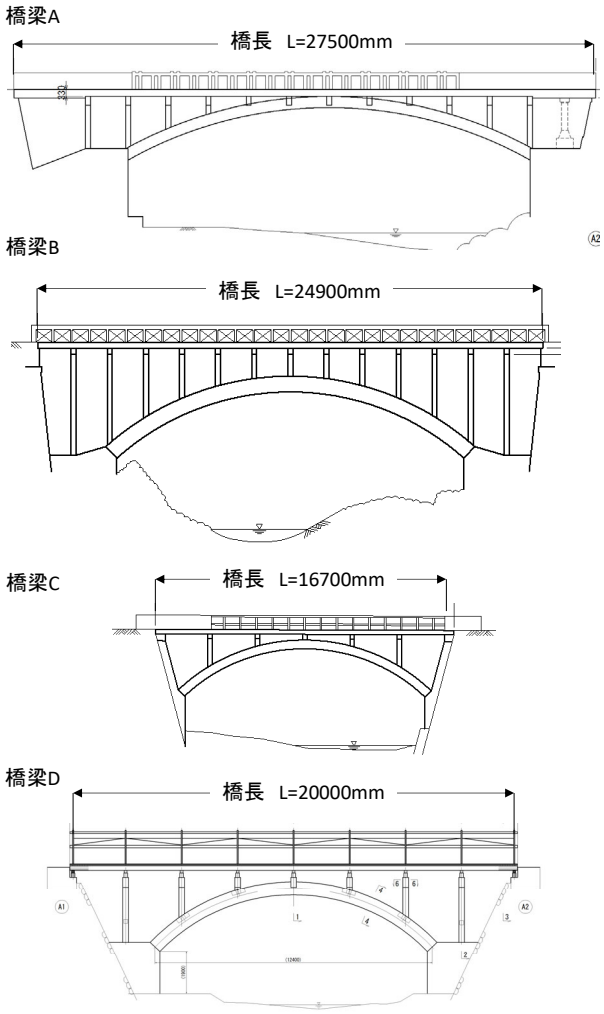
3．UAV によるデータ取得

3.1 対象橋梁

本報告で対象とする橋梁は表-2 に基本諸元を、図-1 に側面図を示す橋梁 A～D で、いずれの橋梁も通常アクセスの困難な橋梁である。都市内高架橋などのアクセスの容易な橋梁、形状の比較的単純な橋梁は、前述した課題のうち、特に費用面では負荷が小さいと考えられることから、本報告では通常アクセスの困難な橋梁を選定した。

表－2　対象橋梁基本諸元とデータ取得手法

橋梁名	A	B	C	E
構造形式	RCアーチ	RCアーチ	RCアーチ	RCアーチ
橋長	27.5m	24.9m	16.7m	20.0m
幅員	3.4m	4.1m	4.0m	4.0m
路下条件	河川	河川	河川	河川
点検方法	ロープアクセス	ロープアクセス	ロープアクセス	ロープアクセス
適用したデジタルデータ取得手法	手法a，b	手法a	手法a，b	手法a
特徴	3次元的なアーチリブ形状を有する			



図－1　対象橋梁側面図

3.2 データ取得方法

今回、損傷情報を含む橋梁全体の 3 次元デジタルデータ取得として、以下の 2 手法を試行した。

手法 a：地上型レーザースキャナ

手順 1：地上型レーザースキャナにより点群データ取得

手順 2：点群処理

手法 b：UAV 撮影＋SfM 処理

手順 1：UAV 写真撮影

手順 2：撮影画像を SfM 処理し、点群データを作成

手順 3：作成した点群データをメッシュ(面データ)化処理

手順 4：メッシュデータへ写真データを元にしたテクスチャを貼り付け

※SfM：Structure from Motion

表-2 に今回使用した機材を、また、図-2 に計測状況写真を示す。

3.3 データ取得結果

図-3、図-4 に計測により得られた 3D モデル（点群データ）、図-5、図-6 に 3D モデル（SfM によるメッシュデータ）を示す。

4．取得データの活用

4.1 形状寸法把握

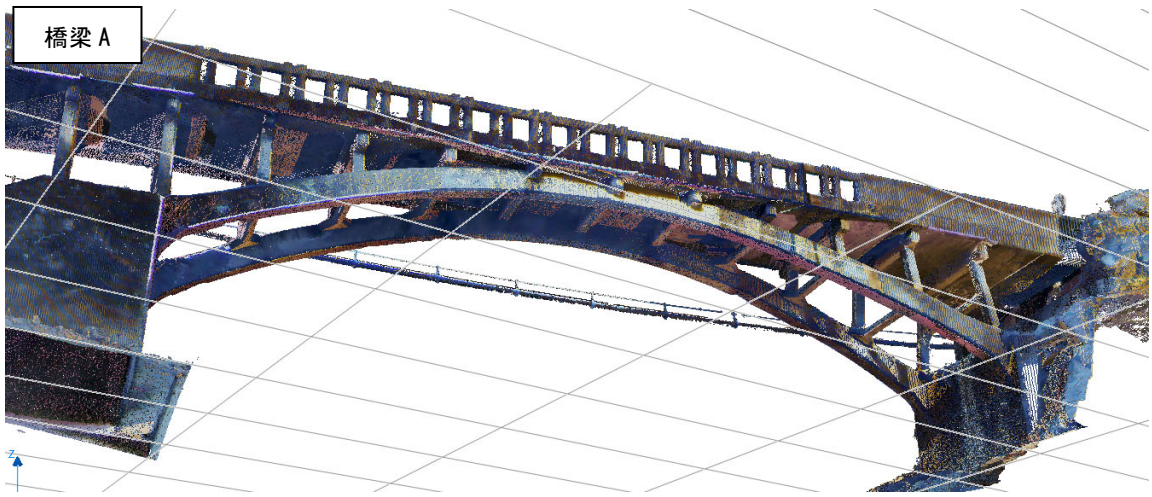
点群データは着色した点の集合体であり、それぞれの点間距離を計測することができることから、点群データをもとにアーチ部材寸法計測を行った。対象橋梁は過年度に通常の方法で寸法計測

表－2　使用機材・ソフトウェア

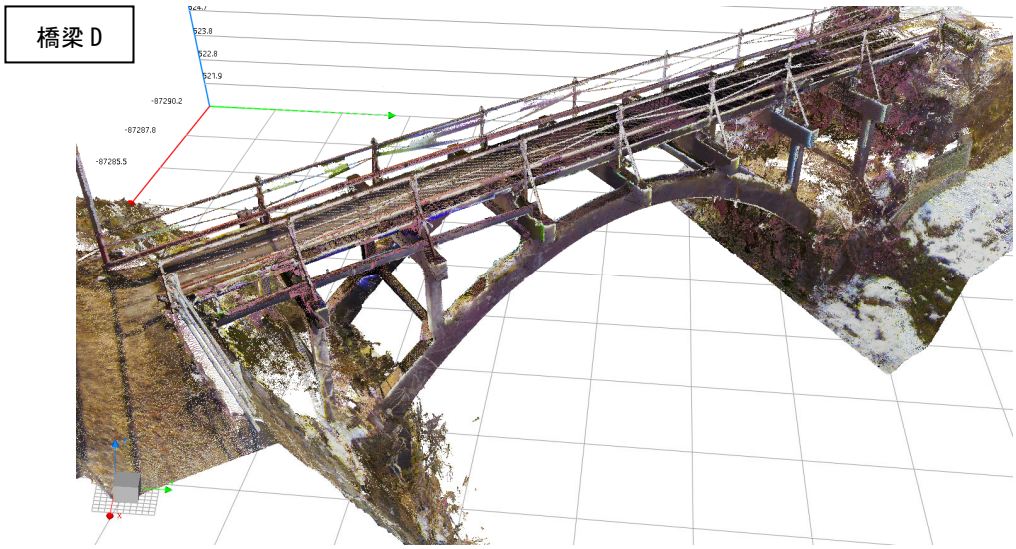
手法			種別	品名・仕様等			
手法a		3次元測量	レーザースキャナ	GLS2000			
			解析処理ソフト	MAGNET Collage			
		データ処理	点群処理ソフト	TREND-POINT			
				LandForms TP			
手法b	橋梁A	3次元測量	UAV	Skydio J2	サイズ	223×273	
					重量	775g	
					耐風速	10m/s	
					最大飛行時間	23min	
		データ処理	SfM処理ソフト	ContextCapture for 3D Reality Modeling			
	橋梁C	3次元測量	UAV	MAVIC2 PRO	サイズ	322×242	
					重量	907g	
					耐風速	8m/s	
					最大飛行時間	25min	
		データ処理	SfM処理ソフト	pix4dmapper			

が行われているため、代表して橋梁 C における点群データをもとにした形状寸法計測、通常の方法での形状寸法計測の比較結果を図-7 に示す。部材寸法については概ね大差無く、通常の方法では計測の難しいと考えられるアーチ部で誤差が見られたことから、橋梁全体の 3 次元デジタルデータを活用した形状寸法把握は有効であると考える。

図－2　計測状況



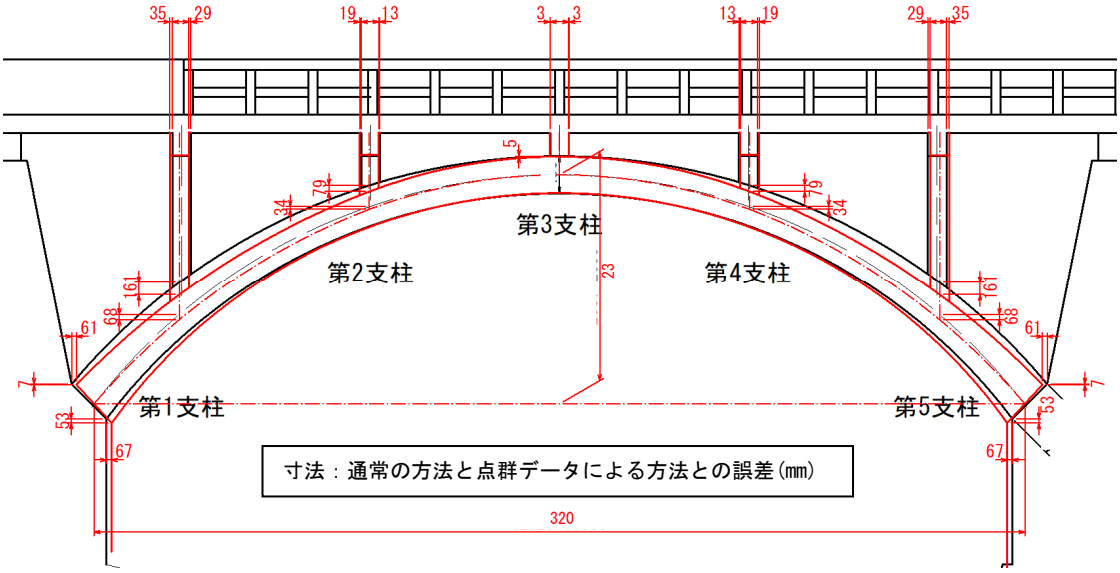
図－3　橋梁 A・B の 3D モデル（点群データ）



図－4　橋梁 C・D の 3D モデル（点群データ）

図－5　橋梁 A の 3D モデル（SfM によるメッシュデータ）

図－6　橋梁 C の 3D モデル（SfM によるメッシュデータ）



図－7　橋梁 C における形状寸法計測結果比較

4.2 損傷評価

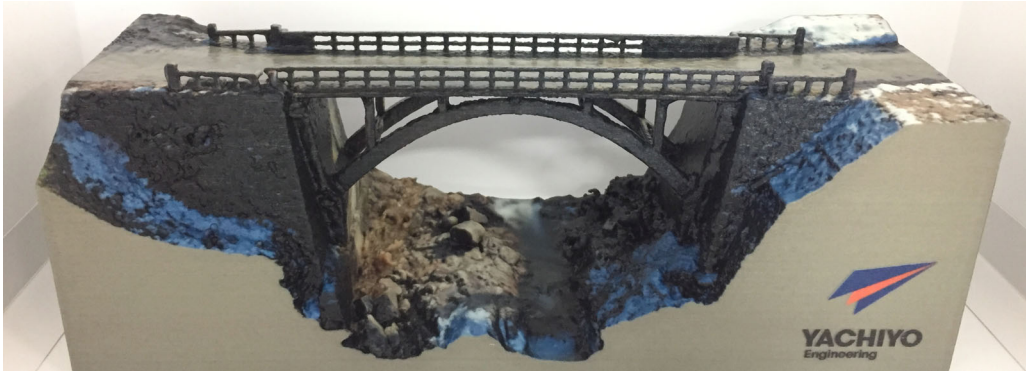
今回使用した UAV のうち、橋梁 A で使用した UAV は上方カメラなど、複数のカメラを搭載しており、非 GPS 下において搭載センサーにより自動的に障害物を避けての自立飛行が可能な機体であることから、1m の空間への進入が可能で部材近接も可能である。また、自動で障害物を避けるため操作技術、経験を要求しない。今回、当該 UAV により部材近接しての写真撮影も実施したことから、橋梁定期点検時の近接撮影写真と、UAV 機による撮影写真、メッシュデータの比較を行った。結果を図-8 に示す。橋梁点検時の近接撮影写真と差の無い情報を得ることができており、損傷評価に有効活用可能であると考える。

4.3 簡易模型作成

橋梁形状の直感的把握、模型の再現精度等、模型の有効性確認を目的とし、手法 b により取得した橋梁 C のデータにより、試行として簡易模型の作成を行った。使用機材は ProJet 4500 CJP で、フルカラー樹脂による 3D プリンティングにより模型作成を行った。

作成模型の外観を図-9 に示す。今回の試行では使用機材において造形可能なサイズのなかで、橋梁全体を造形の対象としたため、損傷等の細部の表現はできていないが、高欄については細部まで再現できることを確認した。損傷情報を含む橋梁全体の 3 次元デジタルデータの可視化については、PC 上での表現のほか、VR、MR、AR などが考え

図－8　損傷表現の比較



図－8　簡易模型外観

られるが、今回試行した模型において再現性が確認できたことから、今後活用していきたい。

4.4 取得データの特性

点群データは着色した点の集合体であることから、それぞれの点間距離を計測するなど、一般的な 3DCAD ソフト等によりデータとしての利用が見込まれる。しかしながら、点の集合体であるため、拡大すると点と点の隙間が開き、写真のように細部まで見ることはできない。

一方、テクスチャデータ（メッシュデータ）は 3D モデル自体を表示する目的等で使用されるデータであり、写真を元にテクスチャを作り、点群データの点と点の間にそのテクスチャを貼り付けたものである。一般的にいわれる CG に近いものであり、元写真データの細部（ひび割れなどの損傷や、コンクリートの質感など）は失われることがある。

3D プリンティングによる模型作成はデジタルデータでの表現とは異なる印象、経験を与える機会での活用が見込まれる。

6．おわりに

本報告では、維持管理の効率化が見込まれる技術として UAV 活用を考え、損傷情報を含む橋梁全体の 3 次元デジタルデータ取得について、計測から 3D モデル作成、簡易模型作成について報告した。今回得られた結論を以下に示す。

- UAV 活用により、架橋条件、部材の煩雑さによらず、橋梁全体の 3 次元デジタルデータ取得が可能である
- 損傷情報を含む橋梁全体の 3 次元デジタルデータ取得により、形状寸法、損傷を把握できる
- 損傷情報（寸法や状況）は寸法情報を持つ情報として取得でき、近接目視結果と差の無い情報を得ることができる
- 3D プリンティングによる模型も橋梁全体の 3 次元デジタルデータの可視化の一手法として有効である

現在実施している試行に関して、現時点ではデータを取得し、モデル作成が完了したところであるが、今回取得したデータを活用した橋梁維持管理計画について今後検討する予定である。そのためには計測に関して以下の課題を有していると考えることから、これら課題の解決も併せて検討を行っていく予定である

- 今回は初回のデータ取得であったため、得られたデータに基づく損傷の進展について評価を行うことができなかった
- データ自体の再現性について確認できていない

なお、今回の試行では、橋梁維持管理に資する事項の実施のみでなく、事業 PR として、UAV 撮影状況、UAV 撮影から模型作成までの一連の流れについて動画作成も行った。今回の取り組みの PR も併せて行っていきたい。

参考文献

1）国土交通省 道路局：道路構造物のメンテナンスの現状，2013.05
2）国土交通省 道路局：道路橋定期点検要領，2014.06
3）国土交通省道路局：道路メンテナンス年報，2020.08
4）川西寛，丸山收，三木千壽：市町村の橋梁点検業務の費用分析と対策について,構造工学論文集 Vol.62A，2016.03
5) 土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編]，土木学会，2018.10