

UAV 汎用機での撮影画像を利用した 橋梁上部工の出来型計測

幸丸 竜也¹・浦本 康仁²

¹福井河川国道事務所 嶺北国道維持出張所 (〒910-1211福井県吉田郡永平寺町法寺岡6-11)

²道路部 道路工事課 (〒540-8586大阪市中央区大手前1丁目5-44) .

本発表は、UAV（ドローン）で、上空から撮影した静止画像により構造物を3次元でモデル化するSfM（Structure from Motion）技術を用いて構造物の位置・形状を計測するもので、橋梁上部工の各施工段階において、出来高確認等の品質管理に適用し、従来の計測方法である高所作業削減等の安全性の観点から、将来の省人化、省力化施工に寄与する技術として、「西脇北バイパス津万高架橋（P35-P41）PC上部工事」で実施した内容について紹介します。

キーワード i-Construction、新技術、新工法

1. はじめに

国土交通省では、建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場を目指す事を目的として、i-Constructionの導入を促進している。

しかし、2021年5月現在ICT活用されているのは、土工・舗装工・河川浚渫・河床等掘削・作業土工（床掘）・付帯構造物設置工・法面工・地盤改良工・舗装工（修繕工）・砂防工・構造物工（試行）【橋台工：橋台躯体工、RC橋脚工：橋脚躯体工】のみである。

そこで本稿では、「業務の効率化を目指した新技術の検証」として、UAV汎用機での撮影画像を利用した橋梁上部工の出来形計測を実施し、従来の人力による測量との計測精度及び作業効率（計測に係る時間等）について比較検証した結果を紹介する。

2. 工事概要

計測を実施した工事の概要（図1）、計測箇所の平面図（図2）、断面図（図3）については、以下のとおりである。

一般国道175号西脇北バイパスは、東播丹波連絡道路の一部として、兵庫県西脇市下戸田と同市黒田庄町大伏との間を結ぶ延長5.2kmのバイパス事業であり、西脇市域と東播地域及び丹波地域へのアクセス性の向上、西脇市域における一般国道175号の交通混雑の緩和、交通安

全の確保等を目的に1997年度に事業化、現在整備が行われている。

工 事 名	西脇北バイパス津万高架橋（P35-P41）PC上部工事
施 工 業 者	株式会社ピーエス三菱
工 事 場 所	兵庫県西脇市
工 期	2019.11.8～2121.3.10
構 造 形 式	（上り線）PC6径間連続中空床版橋 （下り線）PC5径間連続中空床版橋
橋 長	（上り線）167m（下り線）139m
支 間 長	26.5m～28.0m
幅 員	（上り線）8.0～14.9m、（下り線）8.3m～16.5m
桁 高	1.3m
架 設 工 法	固定式支保工
構造物の高さ	地上より6.0m～7.5m

図1 工事概要

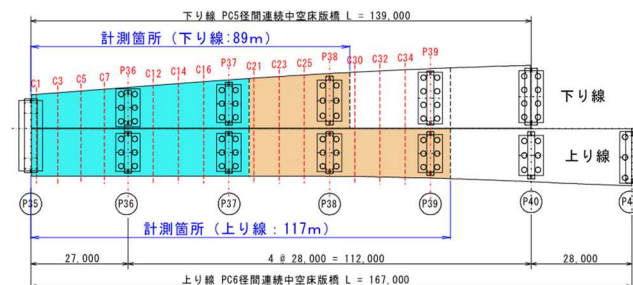


図2 計測箇所平面図¹⁾

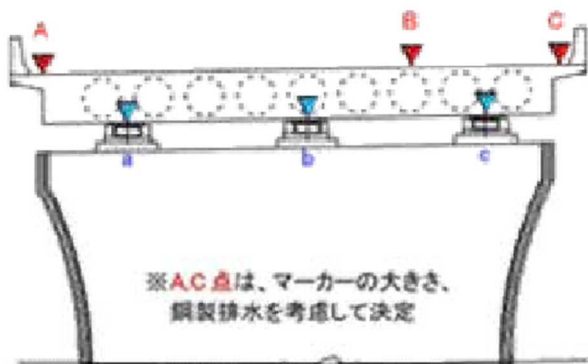


図3 計測箇所断面図¹⁾

3. 計測方法

(1) 計測概要

a) 計測対象

上り線：P35～P39（約117m）

下り線：P35～P38（約89m）

b) 計測項目

支承工施工時

支承設置時の据付高さ（a, b, c）

支承中心間隔（a-b, a-c, b-c）

主桁工施工時

主桁天端の高さ

下り線13断面・上り線17断面にて、各断面毎3箇所（A, B, Cライン）

幅員：各断面毎「A-C」間距離

桁長：Bラインにおける支点間の距離

c) 検証方法

計測精度については、「UAVにより計測した座標（x, y, z）及び座標間の距離」と「通常の巻尺（スケール）及びレベルを用いた測量値」の比較による検証。

作業効率については、「UAVによる計測時の作業量（現場作業時間及び解析処理時間）」と「通常の計測における作業量」を比較し、省力化に向けた課題や改善案等を検討。

(2) 撮影計画

a) UAV（ドローン）仕様

重量 1,375g

対角寸法 350mm

ホバリング精度範囲

垂直：±0.1 m（ビジョンポジショニングあり）

±0.5 m（GPSポジショニングあり）

水平：±0.3 m（ビジョンポジショニングあり）

±1.5 m（GPSポジショニングあり）

b) デジタルカメラ仕様

有効画素数：2,000万画素

画像サイズ：5,472×3,648

c) 撮影条件

同一箇所において飛行高度、撮影時のオーバーラップ率の異なる3つの条件（条件①～③）により撮影し、計測精度や再現性の比較検証を行った。（表1）

	飛行高度	オーバーラップ率
条件①	約29m	90%程度
条件②	約29m	50%～90%程度
条件③	約36m	10%～90%程度

表1 撮影条件一覧表¹⁾

d) 検証点の設置：計測ポイント

計測点には、マーカー（200mm×200mm×1mm）を設置した。

e) 基準点の設置（8箇所）

準備工として、計測箇所の周辺に基準点を設置し、事前測量を行った。（図4）



図4 基準点設置位置¹⁾

4. 計測結果（計測精度の検証）

(1) 支承部の出来形計測結果

支承部の解析時に作成したオルソ画像（図5）及び計測結果（表2）は以下のとおりである。



図5 オルソ画像：支承計測時¹⁾

支承擔付高さ(下り線)の差分

位置	条件①	条件②	条件③	
P35	a	-3.1	0.1	-6.7
	c	2.8	1.7	-2.3
P36	a	-3.0	-5.2	-1.1
	c	-0.6	0.2	-5.2
P37	a	1.1	-5.4	-4.7
	b	0.7	-1.4	-6.4
	c	2.7	1.3	-4.2
P38	a	-4.2	-4.2	-8.7
	b	2.2	0.9	-4.0
	c	-0.4	-1.7	-4.5

支承中心間隔(下り線)の差分

位置	条件①	条件②	条件③	
P35	a-c	-1.4	0.0	4.5
P36	a-c	-0.9	-1.4	-4.1
P37	a-c	1.2	-0.5	0.2
	b-c	2.7	2.8	1.1
P38	a-c	3.2	3.0	2.7
	b-c	-2.2	-1.7	-1.0

(mm)

表2 支承の出来形計測結果¹⁾

※数値は、UAV測量値から通常の測量値を引いたもの。

(2) 主桁の出来形計測結果

主桁の解析時に作成したオルソ画像(図6)及び計測結果(表3)は以下のとおりである。



図6 オルソ画像：主桁計測時¹⁾

主桁高さ(下り線)の差分

位置	条件①	条件②	条件③	
C1	A	-4.7	-2.2	3.2
	B	-2.1	0.4	3.6
	C	-2.8	-3.5	-1.9
C5	A	-3.2	-4.2	-0.2
	B	-0.4	1.3	5.9
	C	-4.3	-5.8	0.6
P36	A	-3.1	-3.2	-1.9
	B	0.4	-0.4	2.3
C14	A	-3.2	-4.6	-1.4
	B	-0.9	-0.8	1.1
	C	-0.9	-5.3	-2.3
P37	A	2.0	-1.7	2.5
	B	3.0	-0.3	-1.1
	C	1.1	0.8	-2.8
C23	A	-4.8	-6.2	-7.0
	B	0.3	-2.8	-0.2
	C	-0.8	-7.0	-5.3
P38	A	-0.2	-1.9	-5.0
	B	-0.7	0.9	-1.6
	C	3.3	-3.0	-5.8

橋長・幅員(下り線)の差分

位置	条件①	条件②	条件③	
幅員 A-C	C1	-0.6	-2.0	0.6
	C5	-0.7	-0.9	-1.2
	P36	0.2	-1.9	-2.6
	C14	2.5	0.6	0.1
	P37	3.5	-1.8	-0.2
	C23	0.8	-1.9	2.8
橋長 Bライン	P38	2.7	1.8	0.0
	C1-P36	0.2	-0.8	-2.7
	P36-P37	-5.7	-3.9	-4.7
	P37-P38	-6.7	-9.6	-6.0

(mm)

表3 主桁の出来形計測結果¹⁾

※数値は、UAV測量値から通常の測量値を引いたもの。

(1) 計測精度に関して

条件①～③で計測した場合は、差分が±10mm以内、さらに条件①の結果からオーバーラップ率90%程度を確保すると差分±5mm以内の精度が確保できた。

(2) 対象物(支承、主桁)の違いに関して

支承、主桁での大きな違いは見られない。対象物による計測精度への影響は小さいと考えられる。

ただし、主桁の橋長のように計測する対象物の延長が長い(座標間距離が大きい)場合には差異が大きくなった。

(3) 計測項目(座標高、座標間寸法)の違いに関して

座標間寸法(支承中心間隔・幅員)と比較して、座標高(支承擔付高さ・主桁の高さ)の計測時は差分が大きくなった。

(4) 撮影枚数の違いに関して

撮影枚数が多いほど差分が小さくなった。

6. 作業効率(計測に係る時間等)の比較・検証

(1) 作業員に関して

通常の測量は、最低2名で実施する必要があるが、UAVでの計測は「撮影(UAVの飛行)」以外1名での作業が可能であり、省人化が図れた。

(2) 作業時間に関して

UAVでの計測に関しては、「飛行計画の策定や工事範囲の法律の確認等の事前検討」及び「解析+出力」に多くの時間を要するが、「事前検討(1回程度/1工事)」を除いた作業時間は撮影条件②③で通常の測量と同程度以下となった。

撮影時間に関しては、撮影枚数が増加すると僅かに作業時間が増加するが、通常の測量と比較すると大きな省人化が図れていた。

解析時間に関しては、撮影枚数や検証点数が多いほど「解析+出力」に多くの時間が必要となっており、最も良い精度が得られる条件①はすべての条件で人力測量より多くの作業時間が掛かる結果となった。

「通常の計測」(レベル、スケール等によるもの)と「UAVによる計測」における作業員・作業時間について比較検証した結果を表4に示す。

5. 計測結果総括

		通常の計測			UAVによる計測								
		測量 2名 (分)	結果整理 1名 (分)	累計時間 (分)	撮影条件	撮影枚数 (枚)	検証点数 (箇所)	事前検討 1名 (分)	準備工 1名 (分)	撮影 2名 (分)	解析+出力 1名 (分)	累計時間 (分)	累計時間 (事前検討除く) (分)
支 承	下り線 P35~P38	120	40	280	条件①	434	10	180	80	17	381	675	495
					条件②	241				14	231	519	339
					条件③	172				10	187	467	287
	上り線 P35~P39	150	50	350	条件①	455	15	180	100	16	382	694	514
					条件②	243				13	223	529	349
					条件③	176				11	166	468	288
主 桁	下り線 P35~P38	120	60	300	条件①	443	39	/	60	25	360	470	470
					条件②	252				17	185	279	279
					条件③	171				11	162	244	244
	上り線 P35~P39	160	80	400	条件①	442	51	/	80	18	401	517	517
					条件②	250				13	246	352	352
					条件③	172				7	210	304	304
		・座標高さは「レベル測量」 ・座標間距離は「スチールテープ及びスケール」 ・測量には各橋脚間の移動時間含む			・「事前検討」：飛行計画の策定作業（自動撮影する際の飛行高度、範囲、経路の検討）、法律の確認作業（1回程度/1工事） ・「準備工」：飛行ルートのインプットや検証点設置（橋脚間の移動含む） ・「撮影」：ドローンを使用した空中撮影時間（バッテリーの充電時間を除く） ・「解析」：3次元モデルの作成（1回）、基準点・検証点の抽出作業（1回）								

表4 作業人員・作業時間比較表¹⁾

様や要件を確定させるため、実証試験事例を収集・分析することが必要であると考えられる。

7. 今後の課題等

(1) 施工精度について

今回の実証試験では、一定の撮影条件を確保することで±5mm以内の精度を確保することができた。今後は橋脚が河川内に位置する場合や、張出架設工法で施工される橋脚高さが高く、支間長の長い構造の橋梁などにおいても、同様の結果を確保できるかどうか検証を行う事が必要である。

(2) 省力化について

a) 準備工の短縮

今回の実証試験では、全支承と各セクションラインのPH及び壁高欄の内側近傍に検証点を設置して計測したため、「飛行ルートのインプットや検証点設置等の準備工」に時間が掛かった。従って、主要な箇所のみマーカーを設置して、その他の箇所はノーマーカーとすることにより、準備工に掛かる時間を短縮できると考えられる。

b) 解析時間の短縮

今回の実証試験の解析は、現場でも解析可能であるノートPCを用いて実施したが、スペックが高いデスクトップPCを用いる事により、解析時間を短縮できると考えられる。

8. まとめ

7章までの検討を総括すると、UAV汎用機での撮影画像を利用した橋梁上部工の出来型計測は従来の人力による測量値との誤差±5mm以内の結果が得られたほか、作業時間の効率化も確認でき、出来形計測の将来的な省人化・省力化につながる結果が得られた。ただし、構造物（橋梁上部工）基準の整備・統一化が必要であると考えられる。したがって、基準の整備に必要な仕

謝辞：本稿を執筆するにあたり、西脇北バイパス津万高架橋 (P35-P41) PC上部工事に携わった設株式会社ピーエス三菱各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

1) UAV汎用機での撮影画像を利用した出来形計測実証試験 報告書 (株式会社ピーエス三菱)