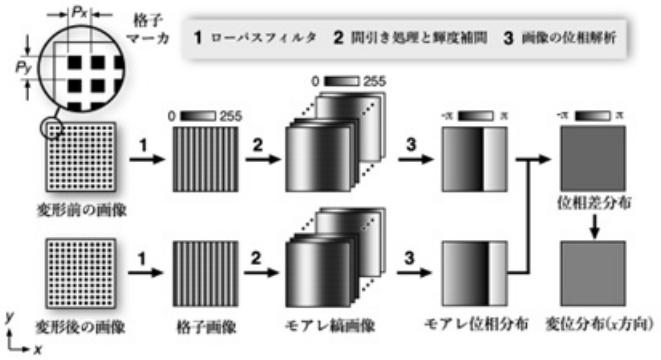
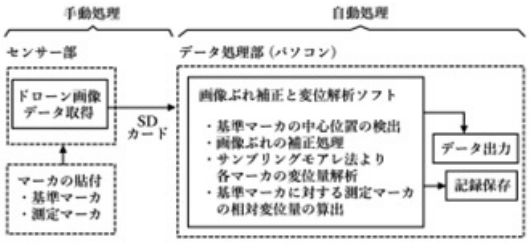
1. 基本事項

技術番号	BR030049−V0225				
技術名	ドローン空撮による橋梁のたわみ計測				
技術バージョン	−			作成：	2025年3月
開発者	株式会社 CORE技術研究所 国立研究開発法人産業技術総合研究所 京都大学 成長戦略本部 インフラ先端技術産学共同研究部門				
連絡先等	TEL：	03-5825-9166	E-mail：	ogura.nori@coreit.co.jp	東京支店　技術部 小椋　紀彦
現有台数・基地	3台		基地	東京都台東区浅草橋3丁目8番5号 VORT浅草橋8F	
技術概要	ドローン空撮による橋梁のたわみ計測とは、無人航空機(以下「ドローン」という)に搭載したデジタルカメラ(以下「カメラ」という)を用いて橋梁を撮影し、検査車両の通過等に伴う橋梁のたわみを計測する技術である。 本技術は、測定対象となる橋梁の測定したい箇所（一般的には橋の中央）に繰り返し模様がある測定マーカと、ドローンの画像ぶれを補正するために、たわみがほぼゼロの箇所（一般的には橋脚や橋台）に2つ以上の基準マーカを事前に設置する。これらのマーカをドローンカメラで撮影して、画像のぶれ補正を行い、橋梁のたわみ値を算出する点検方法である。計測タイミングとしては、状態把握や補修後の確認時などに利用できる。				
技術区分	橋種	鋼橋 コンクリート橋			
	対象部位	上部構造（主桁,横桁,床版） 下部構造（橋脚,橋台） 支承部（支承本体）			
	損傷の種類	鋼			
		コンクリート			
		その他			
		共通	㉒異常なたわみ		
	検出原理	画像（静止画/動画）			
	検出項目	たわみ			

2. 基本諸元

計測機器の構成			・基本ベース機器：　ドローン ・画像撮影機材：　ドローンに搭載するカメラ（動画、静止画）、SDカードに保存 ・格子マーカ：　一定周期の繰り返し模様がある格子マーカ（基準マーカ2枚以上、測定マーカ1枚以上）
移動装置	機体名称		・AUTEL EVO II Pro（Autel Robotics）
	移動原理		【飛行型】 ・自重を揚力で支えることで、平面方向、鉛直方向いずれの移動にも物理的制約が存在しないもの。
	運動制御機構	通信	【無線通信】 ・操縦系周波数：　2.4GHz帯
		測位	・GNSS測位（全地球航法衛星システム）
		自律機能	・自律機能有、制御機構への入力はGPS-GNSS
		衝突回避機能(飛行型のみ)	・プロペラガード（水平）
	外形寸法・重量		・外形寸法（長さ354mm×幅424mm×高さ110mm） ・最大重量（1.2kg）
	搭載可能容量 (分離構造の場合)		—
	動力		・バッテリーなどの仮設電源が必要 ・動力源：電気式 ・電源供給容量：バッテリー ・定格容量：11.55V、7100mAh
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)		・最大40分（外気温：20℃の場合）
計測装置	設置方法		・カメラ：　ドローンカメラを利用する。 ・格子ターゲット：　粘着テープなどによる貼り付けもしくはマグネットで固定する。
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)		・ドローン：長さ354mm×幅424mm×高さ110mm、1.2kg ・格子マーカ：　格子サイズは50mmピッチ、マーカサイズは300mm×300mm（橋のスパン長さが30mの場合を想定）
	センシングデバイス		・1インチCMOSセンサ、20MPピクセル、6K動画撮影
	計測原理		・橋の中央部に1つの測定用格子マーカと、橋脚に2つ以上の基準格子マーカを設置し、これらのマーカが同時に被写体として写っている動画データをドローンカメラで記録する。記録した画像データから高精度な画像ぶれ補正を行い、橋梁のたわみ計測を解析する。 ・計測に用いる格子マーカのピッチ間隔の情報は既知であるため、キャリブレーションは不要である。 具体的には、 ①一定間隔の繰り返し模様が描かれた格子マーカ（複数個）の変形前と変形後の画像をドローンカメラで撮影する。 ②画像上での2つ以上の基準マーカの中心座標を算出し、変形前後で各基準マーカの中心座標が同じ値になるように画像ぶれを補正する。 ③画像ぶれ補正後の画像に対して、下図のとおり、ローパスフィルタなどの画像処理により2次元の格子模様をx方向またはy方向の1次元の格子模様に分離する。 ④それぞれの方向の1次元の格子模様に対して、間引き処理と輝度補間を行い、同時に複数枚の位相がシフトされたモアレ縞画像を得る。 ⑤得られたこれらのモアレ縞画像の位相解析を行う。この画像処理を変形前と変形後の格子画像にそれぞれ行い、モアレ縞の位相差分布から物体の変位分布を求める。 ⑥最後に基準マーカABに対する測定マーカCの相対変位量を算出して、橋のたわみ値とする。 
	計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)		・格子マーカ設置のために計測部位に近接する必要がある。鉄橋の場合はマグネット、コンクリート橋の場合は粘着テープなどを使い、格子マーカを設置する。長期に渡って計測を行う場合は耐久性のある塗装を施したマーカを使用する。
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因		・画角や撮影距離に応じて、適切な測定結果が得られるよう、格子ピッチのサイズや格子全体の大きさを適切にする必要がある。 ・実験で使用する格子マーカは防塵性・防水性と耐熱性のある素材が望ましい。
			①橋脚および橋の中央部に設置した格子マーカをドローンより画像撮影を行う。現地計測に要する時間は、計測準備に30分、計測に5分、データ確認に10分、機器の撤去に10分程度を要する。 　ドローンの飛行場所や計測時の位置関係を「6. 図面」において詳述する。 ②検出した2つ以上の基準マーカの位置ずれからドローンの画像ぶれ補正を行う。 ③サンプリングモアレ法を用いて、基準マーカと測定マーカの変位量を算出し、基準マーカの変位量に対する測定マーカの変位量を求める。 ④橋のたわみ量を定期的にモニタリングし、計測されたたわみ量から橋梁の健全性を把握する。

	計測プロセス	【処理フロー図】 
	アウトプット	・計測されるたわみ値（変位）の時刻歴データはcsvファイルとして保存される。
	計測頻度	・動画撮影のフレームレート：　24～30fps
	耐久性	・IP60程度
	動力	・バッテリー（7100mAh）、充電時間は90分
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	・最大で40分（外気温：20℃）
データ収集・通信装置	設置方法	・移動装置と一体的な構造（ドローンカメラ）
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	・解析用ノートパソコン　市販品　B4サイズ程度
	データ収集・記録機能	・記録メディア（SDカード）に保存
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	–
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	–
	動力	・AC100V（ACアダプタにてDC12V）
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	–

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無　※	有	
	性能値	-	・構造物（橋梁）から離れた場所（10メートル以上）からの画像撮影を実施するため、構造物に接近する必要がない。
	標準試験値	標準試験方法　地上・自然風（2019） 実施年　2023年 ・変化量：0cm 標準試験方法　室内・人工風（2023） 実施年　2023年 ・水平方向　3Dモーションキャプチャでは、測定不可 ・鉛直方向　3Dモーションキャプチャでは、測定不可	・風速：6.6m/s（自然風） ・室内では本ドローンの飛行制御が出来ないため、室内での人工風による安定試験を中止した。
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無　※	無	
	性能値	【飛行型】 最小所要空間寸法： 縦、横、高さ（1000、1000、ー）（mm）	目視確認できる範囲
	標準試験値	・未検証	ー
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無　※	有	
	性能値	【飛行型】 最大距離：300m	目視確認できる範囲
	標準試験値	標準試験方法　飛行体（ドローン）（2022） 実施年2023年 ・50m	・風速：6.6m/s
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無　※	無	
	性能値	・垂直：±0.02mm、水平：±0.02mm	・たわみ計測時はホバリングで撮影
	標準試験値	・未検証	ー

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目			性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
計測装置	4-1 計測速度（撮影速度）		性能確認シートの有無　※	-	
			性能値	—	—
			標準試験値	—	—
	4-2 計測精度		性能確認シートの有無　※	有	
			性能値	・相対差：1%（0.5mm）	・移動ステージによる移動量（計測値）との相対差 y方向の変位の相対差：　0.5 mm未満 (1%) （※ ドローンと格子マーカの距離は7m程度の室内実験、および30mの室外実験で検証）格子ピッチの1/100 （例 50mmピッチ使用時は0.5mm） ※ 天候および計測距離などの条件による
			標準試験値	標準試験方法　活荷重たわみ（2022） 実施年2023年 ・相対差：7.7%（0.170mm）	・サンプル数5 ・平均たわみ量（真値）：2.219mm
	4-3 位置精度（移動しながら計測する場合）		性能確認シートの有無　※	無	
			性能値	・垂直：±0.02mm、水平：±0.02mm	・たわみ計測時はホバリングで撮影
			標準試験値	・未検証	—
	4-4 色識別性能		性能確認シートの有無　※	有	
			性能値	未検証	—
			標準試験値	標準試験方法　（2019） 実施年　2023年 ・フルカラーチャート識別可能	・照度：10.8〜66.9kLux
	計測レンジ (計測範囲)		性能確認シートの有無　※	無	
			性能値	・10mmピッチから200mmピッチ	・格子マーカの大きさによる（最大1m程度） ・標準格子（50mmピッチ、A3サイズ）
	感度	校正方法	—		—
		検出性能	性能確認シートの有無　※	無	
			性能値	・検出率：100%	—
		検出感度	性能確認シートの有無　※	無	
			性能値	・格子ピッチの1/100〜1/1000	・激しい陽炎がないこと
	S/N比		性能確認シートの有無　※	無	
			性能値	・格子ピッチの1/100	—
	分解能		性能確認シートの有無　※	無	
			性能値	・格子マーカのピッチの1/1000（=0.1%）	・格子ピッチが正確に印刷されている

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項（その1）

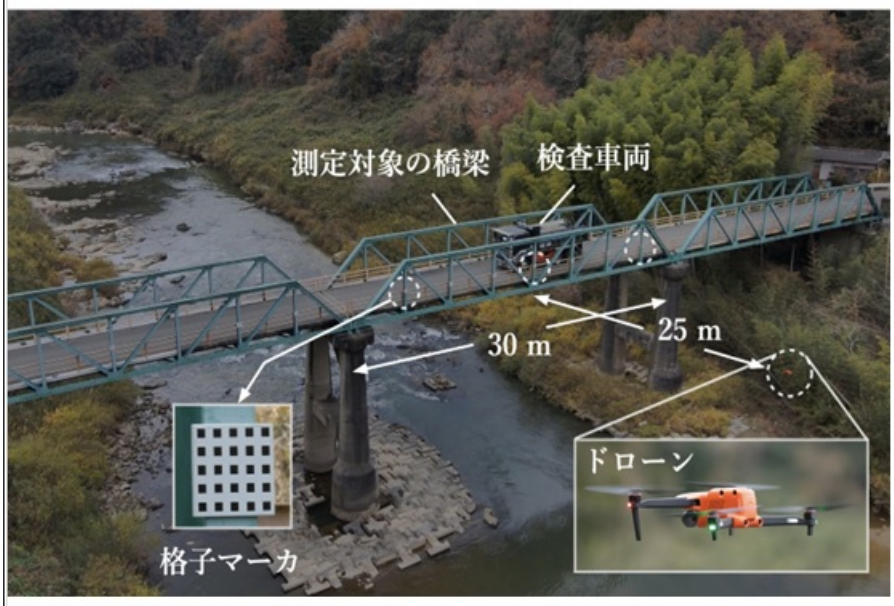
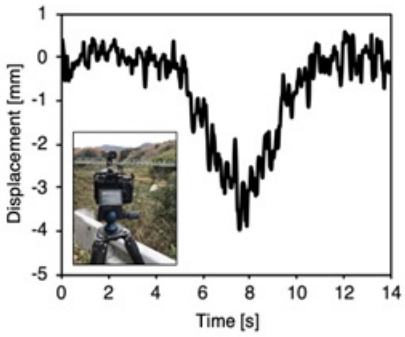
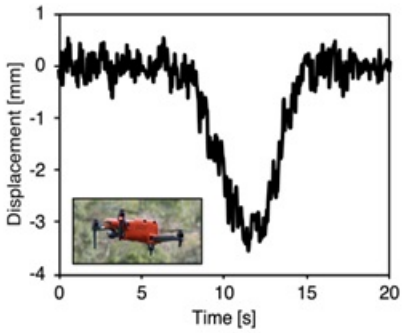
項目		適用可否／適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	ー	ー
	桁下条件	・格子マーカを撮影できること。障害物はないことを条件とする	ー
	周辺条件	・ドローンの飛行範囲内に電波塔や電線がある場合は不可 ・陽炎や霧が激しい現場環境の場合は、測定結果のばらつきが大きくなる場合がある	ー
	安全面への配慮	・飛行中は操縦者および補助者による監視し、計測中は注意喚起の看板の設置	ー
	無線等使用における混線等対策	・事前に無線の混線状況を確認すること	ー
	道路規制条件	・格子マーカの貼り付け・撤去作業時に車道の規制が必要な場合がある。	ー
	その他	・大雨、霧と陽炎がある場合は計測誤差が大きくなる可能性がある ・高所を計測する場合には、格子マーカを設置するために足場あるいは高所作業車が必要である。	ー

5. 留意事項（その2）

項目		適用可否／適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・運用条件	調査技術者の技量	・JUIDA無人航空機操縦技能、無人航空機安全運航管理者	−
	必要構成人員数	・現場責任者1人、操作1人、補助員1人 合計3名	・現場責任者は道路橋点検士の資格保有者
	作業ヤード・操作場所	・一般的な無人航空機の飛行環境に準する ・飛行体を目視確認可能な位置	−
	計測費用	【橋梁条件】 橋種　［3径間溶接単純桁トラス橋］ 橋長　87.6 m　（1径間約30m） 全幅員　5.0 m 部位・部材［　垂直材　］ 検出項目　［　変位　］ 設置箇所数　［　9　］ 計測頻度　［　6回　］ 計測期間　［　1日　］ ＜費用＞　合計　300,000円（業務委託の場合）	・1径間ごとに実施
	保険の有無、保障範囲、費用	・対人・対物保証保険有	−
	自動制御の有無	・自律制御有	−
	利用形態：リース等の入手性	・業務委託	−
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	・サポート制なし	−
	センシングデバイスの点検	−	−
	その他	・悪天候（台風・暴雨など）や第三者影響範囲（民家など）は適用不可	−

6. 図面

・ドローン空撮による橋梁のたわみ計測の実験中の様子（2021年12月実施時）



・スパン長さが30mのトラス橋を対象に20トンの検査車両が通過時に、従来の遠方方向から三脚に固定されたカメラからサンプリングモアレ法を利用して得られたたわみ値（左図）と、ドローン空撮から画像ぶれ補正して得られたたわみ値（右図）である。