

天竜川下流の河川巡視・堤防点検に対する UAVを用いた取り組み

西條 裕道

浜松河川国道事務所 河川管理課（〒430-0811 浜松市中区名塚町266）

近年、河川巡視の効率化、災害時の迅速な情報収集等、現場巡視の安全確保、情報の他分野への活用が求められている。

一方で、無人航空機（UAV）はその機体の入手のしやすさや操縦の容易さから、利用技術が急速に進歩しており、航空写真撮影や各種計測等、様々な分野において活用の可能性が見込まれている。

本報告は、浜松河川国道事務所において、河川巡視・点検の改善を目的として従来の河川巡視（目的別巡視）および堤防点検・空撮に対して、UAVの活用可能な内容について検討した結果を紹介するものである。

キーワード：無人航空機、河川巡視、堤防点検、航空写真、実証実験、活用手引き

1. はじめに

従来の河川巡視及び点検は、長年の経験を持ち且つ現場の土地勘に優れた河川巡視員や点検者により経常的に実施されていた。そこに無人航空機(Unmanned Aerial Vehicle)の活用が一般化された。UAVは技術の進歩が著しく、機体の入手や操縦が容易であり、目的物を視認する事において「迅速な対応」、「広い範囲でのデータ収集」、「接近不可箇所への進入」など効率の良い巡視業務活用と化している。

よって双方の利害得失を踏まえ、河川巡視および堤防点検に対してUAVと河川巡視員のマッチングも含めたUAVを用いた代替の可能性を検討した。本稿ではその活用内容について検討した結果を報告する。

2. 河川維持管理業務の現状把握とUAVの活用検討

(1) 河川巡視（目的別巡視）

天竜川下流における目的別巡視（16メニュー）に対する維持管理業務上の課題および、難易性等（確実性、安全性、効率性、困難性、アクセス面、緊急性、コスト）、改善の有無（UAVの可能性）について分析・整理した。

また、従来から実施している要求事項を整理した上で、UAVにより撮影した写真を用いて実証実験で検証すべき内容、想定される活用の評価について検討を行った。

なお、評価については、従来手法の要求事項に対して、UAVのみで代替可能か（UAV）、従来通り人による判断が必要か（人のみ）、部分的にUAVによる代替が可能であるが人による判断等が必要で、人とのマッチングが必要か（UAV+人）、に着目した評価項目とした。

本稿では、河川巡視で一般的に確認等を実施している、⑦親水施設と利用状況の定期確認、⑫夜間巡視、⑬不法係留船・栈橋の確認を例として表-1、2に示す。

※○番号は巡視メニュー番号（全16番）を示す。

表-1 現状の課題と改善の可能性

巡視メニュー	現状の課題	難易性等							改善の有無
		確	安	効	困	ア	緊	コ	
⑦	草木等により状況の確認が困難となり、変状把握に大きく関わる	○	○	○	○	○	○		有
⑫	全川が対象であり、投棄等が減らない	○			○				有
⑬	常に移動等する対象物に対し、船の数等を調べる必要がある	○		○	○		○		有

※ 確：確実性、安：安全性、効：効率性、困：困難性
ア：アクセス面、緊：緊急性、コ：コスト

表-2 想定される活用内容と検証すべき内容

巡視 メニュー	要求事項	検証すべき内容	評価想定		
			U	人	合
⑦	雑草・樹木の 繁茂状況、 階段護岸の除 草状況、 ぬめり等の施 設状況、利用 状況の確認	・雑草、樹木繁茂、除草状況が確認可能か ・スピーカー等、注意喚起は可能か ・従来の巡視と同様な位置の写真撮影が可能か ・撮影時間が短縮可能か ・安全性等の問題の有無		○	○
⑫	抑止効果の確認	・投棄者や投棄物を確認可能か ・夜間にUAV機を目視で確認可能か ・飛行音は聞こえるか ・安全性等の問題の有無	○		
⑬	構造形式、数 量、工作物の 様子の確認	・構造形式、数量、工作物の様子は確認可能か ・従来の巡視と同様な位置の写真撮影が可能か ・撮影時間が短縮可能か ・安全性等の問題の有無	○		

※評価想定 U：UAVのみ、人：人のみ、合：UAV+人

(2) 堤防点検

天竜川下流管内における堤防は土堤構造が大半を占めており、護岸構造以外にも下記の表の様な種類の主な変状の規模や影響を把握するため、目視により確認している。

また、変状原因の推定のため、長年の経験による周辺の状況、変状に直接起因する変状の確認等についても実施している。

堤防点検における現状と維持管理上の課題について、表-3に示す。

表-3 堤防点検の現状と維持管理上の課題

現状		課題
主な変状	直接起因する変状	
天端舗装の亀裂	・法面の不陸、法崩れ、沈下、寺勾配 ・堤脚保護工の変形	・堤防天端の多くが兼用道路であり危険を伴う ・寺勾配が多いため効率が悪い
モグラ等小動物の穴	・法面の陥没 ・堤体の沈み込み、軟弱化	・堤体の沈み込みの判断には、踏み込み等が必要となる
護岸肩の開き	・法面の亀裂等の状況 ・根固め工 ・護岸の空洞化	・護岸背面の空洞化の判断には打音等が必要となる

また、堤防点検においても要求事項を整理した上で、実証実験で検証すべき内容、想定される活用の評価について整理し、表-4に示す。

表-4 堤防点検に対する要求事項と検証すべき内容

構造	要求事項	検証すべき内容	評価想定		
			U	人	合
護岸	損傷状況の 確認（範囲・規模） 深さ方向の 範囲、空洞 状況	・評価要領による精度の写真撮影が可能か ・写真内に入れたスケールで外挿可能か ・変状状況、根固め工等其他の変状は確認が可能か ・撮影時間が短縮可能か ・安全性等の問題の有無		○	○
土堤	損傷状況の 確認（範囲・規模） 深さ方向の 範囲、堤体の 沈み込み	・評価要領による精度の写真撮影が可能か ・写真内に入れたスケールで外挿可能か ・変状状況、関連する他の変状は確認が可能か ・撮影時間が短縮可能か ・安全性等の問題の有無		○	○

※評価想定 U：UAVのみ、人：人のみ、合：UAV+人

3. 実証実験およびUAVの活用効果

前章までに整理した河川巡視および堤防点検に対するUAVを用いて検証すべき内容について、実証実験により効果を検証した。

活用の効果は、実験結果をとりまとめ、従来手法との比較検討を行うことで検証し、比較にあたっては、前章にて整理した検証すべき内容の検証結果に加え、評価項目（確実性、安全性、効率性、困難性、アクセス面、緊急性、コスト面）を設定することで検証した。

また、上記の評価を基に、3段階の評価（UAV：UAVのみで代替可能、人のみ：従来通り人による判断が必要、UAV+人：部分的にUAVにより代替可能であるが全てではない）にて総合評価を行った。

なお、実証実験に用いたUAVは、中部地方整備局管内で既に導入されており、汎用性の高い「DJI Phantom4 Pro」を使用した。



図-1 DJI Phantom4 Pro

さらに本稿では、使用するUAVを変更し、夜間巡視に対する赤外線カメラ・UAV搭載の外付けライト、注意喚起等に活用可能なUAV搭載のスピーカー、水中部の確認のためのUAV搭載のグリーンレーザの検証結果についても報告する。

(1) 河川巡視（目的別巡視）に対する活用効果検証

a) 実証実験箇所・項目の選定

目的別巡視に対する実証実験箇所および項目（工作物、行為等）については、従来の継続監視箇所を対象に各巡視16メニューから1箇所以上選定した。

さらに、各巡視メニュー内においても対象とする項目別（工作物、行為等）で実施した。

また、各メニューで把握する内容について、数量等が必要な数値把握と状況の把握が必要な状況把握に分類して整理した。

実施した巡視メニュー毎の検証対象項目および把握内容を表-5に示す。

表-5 巡視メニュー毎の検証対象項目・把握内容

巡視メニュー	項目（対象物等）	把握内容
①流水・土地・工作物等の占有状況確認	標識、土地、仮設足場、流水	数値
②保全区域内行為の状況確認	アユ釣り、砂利採取	状況
③堤防法面状況の重点地区巡視	踏み荒らし、深掘れ、法面損傷等	状況
④水門・陸閘等の定期状況確認	堤外水路の閉塞	状況
⑤護岸・水制・根固等の定期状況確認	根固めブロック崩壊、護岸目地開き	数値
⑥許可工作物の定期点検	橋梁、排水施設、樋門・樋管	状況
⑦親水施設と利用状況の定期確認	雑草繁茂、護岸状況、利用看板状況、河川利用状況	状況
⑧多自然型施設の定期状況確認	護岸雑草繁茂	状況
⑨距離標、境界杭等の状況確認	境界杭	数値
⑩ホームレスの状況確認	ホームレス	状況
⑪ゴミの投棄確認	家庭ごみ	状況
⑫夜間巡視	家庭ごみ、投棄者	状況
⑬不法係留船・桟橋の確認	係留船、桟橋	数値
⑭河道及び河道内樹木の定期状況確認	河道内樹木、河道	状況
⑮植物・昆虫等の自然環境状況確認	樹木、昆虫	状況
⑯河川の水位や魚・渡り鳥等の自然環境の状況確認	水位、貴重種、カメ、渡り鳥	状況

b) 実験結果・効果検証

目的別巡視16メニューに対して実施した実証実験結果について、実験を実施した区間に同時に検証可能な項目がある場合には比較検証の対象として整理した。

検証時には、周辺の地形・環境条件に注意を払いながら実施したが、安全性やUAVの安定確保のため、UAVを用いて確認できなかった内容もあった。

各メニューの総合評価およびUAVを使用して確認できなかった内容・課題について表-6に示し、比較検証結果の例を示す。

表-6 メニュー毎の総合評価及び検証できなかった内容・課題

巡視メニュー	総合評価	UAVを使用して確認・検証できなかった内容および課題
①	UAV+人	堤防樹木影響
②	UAV+人	堤内道路等の安全確保
③	UAV+人	草等の視認性、堤防内部の質的狀態
④	UAVのみ※	小口径施設、保全区域施設
⑤	UAV+人	深さ確認
⑥	UAVのみ	—
⑦	UAV+人	施設のぬめり等の安全性確認
⑧	UAVのみ	撮影目的
⑨	UAV+人	ぐらつき等の不安定性確認
⑩	UAV+人	所在確認
⑪	UAV+人	投棄者特定
⑫	UAVのみ	プライバシー
⑬	UAVのみ	—
⑭	UAVのみ	飛行高度・コスト
⑮	UAV+人	昆虫等の確認不可
⑯	UAV+人	渡り鳥等の確認不可

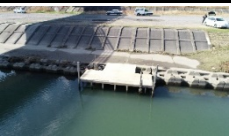
※：堤内側の陸閘や管径に小さい構造物を除く

① 流水・土地・工作物の占有状況確認

		従来の巡視確認	UAVによる確認	
状 況			※堤防内樹木及び堤内側側の車両通行道路により看板の撮影が困難	×
				△
				△
確認事項		・構造形式、数量、状況が確認可能 ・看板表面の撮影が一部不可		×
評 価	現実性	状況が確認可能	一部確認困難	×
	安全性	安全性が確保可能	周辺状況による	×
	効率性	現場毎で効率が悪い	他も同時に確認可能	○
	困難性	確実に確認可能	周辺状況による	×
	アクセス性	人目に付きやすい	確認しやすい	△
	緊急性	視認状況により影響	視認状況により影響	△
	コスト	15,500円 /12箇所	10,900円 /12箇所	○
	時間	155分 /12箇所	103分 /12箇所	○
	生産性	技術的視点不要	技術的視点不要	○
	その他	特になし	特になし	△
総合評価		UAVにより効率化可能であるが、一部周辺状況により確認困難となり、人による確認が必要		

※従来手法より優れる（○）、同程度（△）劣る（×）

⑬ 不法係留船・桟橋の確認

	従来の巡視確認	UAVによる確認	
状況			△
			△
			△
確認事項	・構造形式、数量、寸法、状況が確認可能 ・上空からの全体の状況も確認可能		○
評価	確実性	状況が確認可能	△
	安全性	安全性が確保可能	△
	効率性	現場毎で確認が必要	△
	困難性	確実に確認可能	△
	アクセス性	人目に付きやすい	△
	緊急性	出水時に影響あり	△
	コスト	2,000円 /1箇所	○
	時間	20分 /1箇所	○
	生産性	技術的視点不要	△
	その他	特になし	△
総合評価	UAVにより係留船・桟橋の確認ができ、代替可能である。		

※従来手法より優れる (○), 同程度 (△) 劣る (×)

(2) 堤防点検に対する活用効果検証

a) 実証実験箇所・変状種類の選定

堤防点検に対する実証実験箇所については、当年に実施した点検結果より延長約200mの区間に変状の種類が多く確認されている区間を4区間選定した。4区間で確認した変状の種類について、表-7に示す。

表-7 堤防点検の検証変状種類

区間	確認変状種類
①	【土堤】天端舗装の亀裂、法崩れ、陥没、はらみ出し、堤脚水路閉塞
②	【土堤】天端舗装の亀裂、法崩れ、寺勾配、モグラ等小動物の穴 【護岸】護岸ブロックの開き
③	【土堤】法崩れ、植生・表土の異常、堤脚水路の閉塞 【護岸】護岸への樹木の侵入、根固めブロックの流出・散乱、河岸洗堀
④	【土堤】不陸、植生・表土の異常、堤脚水路の閉塞、堤脚保護工の変形 【護岸】漏水、護岸への樹木の侵入、護岸背面の空洞化、護岸の破損・損傷（クラック・欠損）、目地開き

b) 実験結果・効果検証

堤防点検に対して実施した実証実験結果について、実験を実施した区間（L=200m以上）の堤防点検結果の確認に加え、現場での新規変状の確認も検証した。

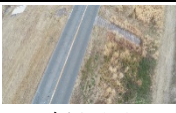
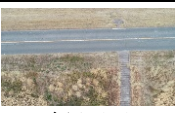
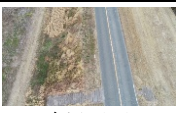
現場での画面による変状確認について、土堤の変状は、各変状ともに健全箇所との明確な変化点がないため、大半が確認できなかった。一方、護岸の変状は、変化点が明確な場合において確認することができた。

また、各変状種類に対してUAVを用いて現場以外で評価要領の精度水準を確保するために効果的な高度・角度を検証した結果も整理した。

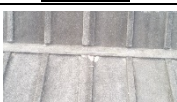
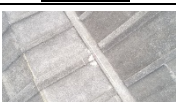
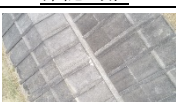
表-8 変状種類ごとの現場での確認結果・確認のための条件

	変状の種類	現場での確認の可否	PCでの映像確認の効果的な高度・角度等
土堤	天端の亀裂	状況把握可能	高度：～20m 堤防斜め写真
	陥没	確認不可	高度：～10m 堤防斜め写真
	不陸	確認不可	高度：～10m 堤防斜め写真
	法崩れ	確認不可	高度：～30m
	堤脚水路の閉塞	確認可能	高度：～30m
	はらみ出し	確認不可	高度：～10m 堤防斜め写真
	寺勾配	確認不可	高度：～10m 堤防斜め写真
	モグラ等小動物の穴	確認不可	高度：～10m
	植生・表土の異常	確認不可	高度：～10m
	クラック	確認不可	高度：～3m(計測) ～10m(視認)
護岸	欠損	確認可能	高度：～10m
	ブロックの開き	確認可能	高度：～10m
	目地開き	確認不可	高度：～10m
	樹木の侵入・拡大	確認不可	高度：～20m
	漏水	確認可能	高度：～30m
	空洞化	確認不可	— (確認不可)
	根固めブロックの流出・散乱	確認可能	— (基本的に確認可能)
	河岸洗堀	確認可能	— (基本的に確認可能)

土堤（陥没）

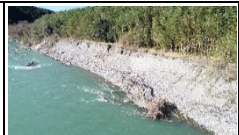
高度	堤防：斜め 角度：斜め	堤防：直角 角度：斜め	堤防：斜め 角度：斜め
10m	 確認可能	 確認不可	 確認可能
20m	 確認不可	 確認不可	 確認不可
30m	 確認不可	 確認不可	 確認不可

護岸（欠損）

高度	堤防：斜め 角度：斜め	堤防：直角 角度：斜め	堤防：斜め 角度：斜め
3m	 確認可能	 確認可能	 確認可能
5m	 確認可能	 確認可能	 確認可能
10m	 確認可能	 確認可能	 確認可能

※スケール等を入れることによる数値は把握可能

堤防点検の確認

		従来の点検確認	UAVによる確認	
状況		 河岸洗堀		△
		 植生の異常	 確認不可	×
		 閉塞		△
		 法崩れ	 確認不可	×
確認事項		・現場での変状確認ができなかった ・評価要領の要求精度が確認できなかった ・現場により近視には限界がある		×
評価	確実性	変状が確認可能	全て確認できない	×
	安全性	河岸部は近づけない	高圧電線等状況による	△
	効率性	現場毎で確認が必要	同一箇所から確認可能	○
	困難性	河岸部は困難	樹木等周辺状況による	△
	アクセス性	河岸部はアクセスが悪い	アクセス性は確保できる	○
	緊急性	出水時に影響あり	出水時に影響あり	△
	コスト	54,100円 /500m	13,500円 /500m	○
	時間	358分 /500m	127分 /500m	○
	生産性	技術的視点必要	技術的視点必要	△
	その他	特になし	上空から全体の大きな変化を把握可能	○
総合評価		河岸部の変状状況やUAVを用いた点検の一次スクリーニング（大規模な変状の発生の有無）には活用可能であるが、土堤に対する堤防点検の活用は困難となる。		

※従来手法より優れる（○）、同程度（△）劣る（×）

(3) その他UAV搭載機材による活用効果検証

a) UAV搭載の赤外線カメラの効果

UAVに搭載した赤外線カメラにより夜間巡視時における不法投棄者等への活用を検証した結果、不法投棄者の動きを明確に確認することができた。

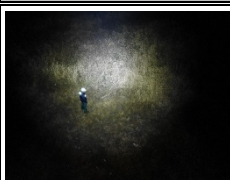
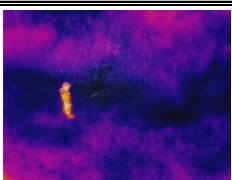
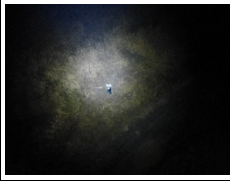
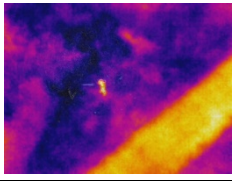
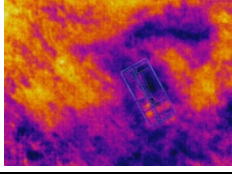
また、カメラの切り替えおよびライトの搭載により黒い服装の投棄者であっても状態を確認することができた。

ただし、抑止効果を常に発揮させるために看板による抑止効果を別途考えることが望ましい。なお、使用したUAVは、「DJI MAVIC2 ENTERPRISE」である。



図-2 DJI MAVIC2 ENTERPRISE

表-9 赤外線カメラの検証結果

確認内容 (撮影高度)	通常のカメラ (ライト使用)	赤外線カメラ
不法投棄者 (10m)		
不法投棄者 (20m)		
ゴミ (10m)		

b) UAV搭載のスピーカーの効果

河道内の各施設の利用者がいる中で、河川巡視においてUAVに搭載したスピーカーにより出水前の注意喚起等に活用が可能となり、実験の結果、対象者から離れ30mの場合、高度30mからの注意喚起が可能となる。

今回は見通しの良い場所で検証したため、今後は現場の活用を意識して、環境条件（風、近接道路の騒音、樹木による遮断等）の違いを検証することが望ましい。

本機能を使用することで、河川利用者の有無の一報情報の収集と利用者への注意喚起が同時に実施可能となり、効率化に繋がるものと考えられる。

また、高度100mであっても視聴は可能となる。なお、使用したUAVは、「DJI MAVIC2 ENTERPRISE」である。



表-10 UAV搭載スピーカーの検証結果

高度 離れ	10m	20m	30m	50m	100m
10m	○	○	○	○	△
20m	○	○	○	○	△
30m	○	○	○	△	×
40m	○	○	○	△	×
50m	○	○	○	△	×

○：注意喚起等可能 △：注意して聞けば内容が聞きとれる
×：音は聞こえるが内容が聞きとれない

c) UAV搭載のグリーンレーザの効果

天竜川下流においてUAVによるグリーンレーザを用いた水面下の河床の確認を行った結果、濁度1～2ntu、透視度70～80cmの際に水面下1.0m程度の河床の確認に成功した。しかし、天竜川の水衝・洗堀部においては、水中の根固め工の散乱を把握するために、さらに深い水面下の確認が求められる。

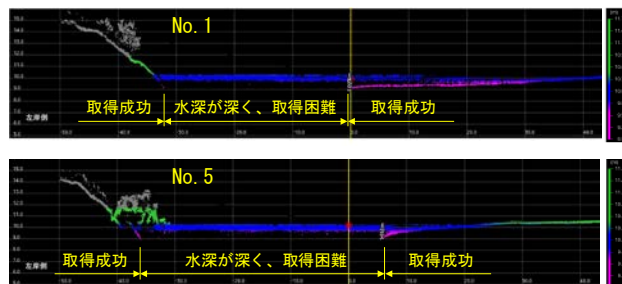
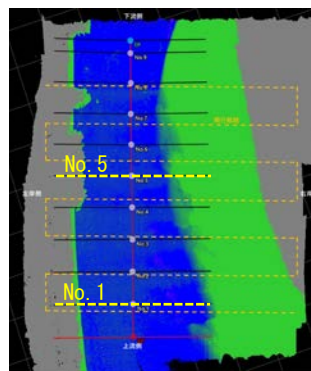
今回の検証で実施した箇所については、流れの強い河道内や水衝部を対象に実施したものであり、今後の技術の更なる進捗により活躍が期待される。

なお、使用したUAVおよびグリーンレーザは、「DJI MATRICE 600 PRO」および「TDOT GREEN」である。



表-11 UAV搭載のグリーンレーザ検証結果

内容	結果	
確認水深	1.0m程度	0.8m程度
濁度	1.07ntu	1.90ntu
透視度	83.0cm	71.8cm



4. 天竜川に特化した利用手引き（案）の作成

前章までに実施した実証実験、従来手法との比較を踏まえ、実際に河川に維持管理業務で、UAVを活用することを前提として、手引きの概要、UAVの基礎知識、撮影を行うための事前準備、UAVを利用するための操作方法及び注意点、適用範囲を選定するための課題、記録・画像処理手法、安全管理等を取りまとめた利用の手引き（案）を作成した。

手引きの構成としては、UAVの基礎知識から安全管理までの内容を骨子として作成している。

また、利用の手引き（案）内のPhantom 4 Proに対して分かりやすく操作が開始できるマニュアルを作成した。



5. おわりに

本検討で実施した実験の結果は、全ての巡視メニュー等の検証を実施したものではない。そのため、さらに多くの事例に対して検証を行うことが重要となり、今後も検討を継続する。

また、UAV搭載のスピーカーによる抑止効果や注意喚起の検証結果を踏まえ、今後天竜川下流部水難事故防止協議会で各機関での地道な注意喚起への活用や合同パトロール等、関係機関の連携・連絡により活躍の場を設ける等、今後の河川維持管理に繋げることを考える。

謝辞：本取り組みの検討、実験等にあたりご協力を頂いた皆様並びに、論文作成に助言をいただいた皆様に厚く御礼申し上げます、感謝する次第です。

参考文献

- 1) 国土交通省 東北地方整備局 東北技術事務所: UAV による河川調査・管理への活用の手引き（案） 2016,3
- 2) 国際航業株式会社, 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構, 公立大学法人 秋田県立大学: 農業水利施設及び海岸保全施設のストックマネジメントのための無人航空機（UAV）の活用の手引き(案) 2017,3