特集≫≫ 防災，災害対応・復旧・復興，国土強靭化

河川管理における UAV の活用方策に関する現地実証試験

清 水 隆 博・利根川 明 弘

河川の巡視・点検では人が踏査して確認することが基本であるが，危険で近づけない場所や視界阻害によって見えない場所の取扱い，人の目では判断しにくいような事象の取扱いが課題となっており，近年，汎用性の高まっている UAV の活用が有望視されている。筆者らは，国土交通省北陸地方整備局北陸技術事務所発注業務として，北陸地方整備局管内の河川において，UAV の活用方策を検討するため UAV による点検の実証試験を行い，その結果，UAV による写真撮影等により一定規模の変状の把握は十分可能であり，従来の巡視・点検をサポートする上で十分に活用できることを示した。また，河川管理施設だけでなく，砂防施設に対しても UAV 活用の有用性を検証し，今後の検討に向けた課題を抽出した。

キーワード：UAV，河川管理，点検巡視，写真測量，レーザ計測，砂防施設点検

1. はじめに

これまでの河川管理では，定期縦横断測量成果による河道の変化状況確認や，目視による変状確認が基本であり，人が容易に近づくことができない箇所では水上巡視等により現地の状況確認を行っている。

しかしながら，200 m ピッチの横断測線間で護岸の損傷や側方侵食が見られ，目視では河道全体を精度よく安全に監視することが難しく，面的な調査が求められている。

一方で，維持管理コストの増大が予想される中，点検を担う技術者の高齢化が進んでおり，今以上の費用や人手をかけて，これらの課題を解決していくことは難しい。よって，これからの河川管理においては，従来の経験的・アナログ的手法から，ロボット技術の発展が著しい計測技術を取り込み，合理化・省力化・高度化に向けた転換が求められている。

ロボット技術の一例として，近年，UAV（Unmanned Aerial Vehicle）については，機体が比較的安価で入手しやすく，また，操作も容易であることから急速に普及している。

本稿では，この UAV を取り上げ，河川管理において UAV を活用していくための方策を現地実証試験を通して検討するものである。なお，UAV は無人航空機全般を指すが，ここでは，特に小型無人機を指して，この名称を用いる。

2. UAV の性能及び河川管理への適用性の検証

UAV を河川管理に活用するにあたり，UAV の性能及び，点検対象への適用性について検証した。

(1) 使用機材

河川管理に UAV を活用していくためには，使用する機材として，一般的に汎用性のある機体・搭載機器が望まれる。本稿においては，これに加え，撮影効率の高い高性能カメラを搭載できるカメラ分離型の UAV についても併せて検証を実施した。使用した機体およびカメラの仕様について**表―1** に示す。また，写真撮影だけでは河道の変状が判断しにくいことが想定されるため，UAV によるレーザ計測，サーモカメラによる変状把握を実施し，その有効性を検証することとした。

(2) 堤防，護岸等の点検

(a) クラックの把握に関する実証試験

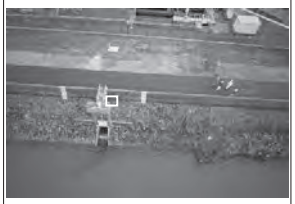
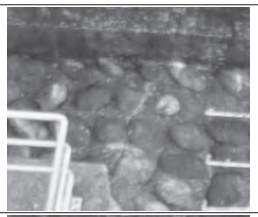
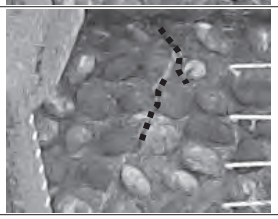
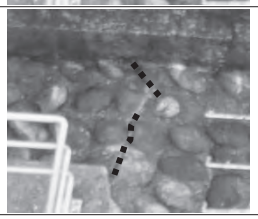
堤防や護岸の変状については，数 mm 単位の亀裂から数十 cm 単位の破損まで様々な変状の把握が要求される。ここでは，現地スケールで 5 mm 程度のクラックに対し，撮影離隔を変えて，検証を行った。

表―2 に検証結果として，各機材でクラックが検出可能となった離隔での結果を示す。汎用機については離隔 10 m 程度，分離型の機体については離隔 30 m 程度でクラックを確認できた。

表―1　使用機材

		機材 1	機材 2	機材 3
		DJI Phantom	ルーチェサーチ Spider-CS6	ルーチェサーチ Spider-eX
機体	機体重量	1.3 kg	7.5 kg	24.5 kg
	外形寸法	0.35 m×0.35 m	1 m×1 m	1.1 m×1.1 m
	耐風速	10 m/s 以下	15 m/s 以下	15 m/s 以下
	飛行時間	約 23 分	約 25 分	約 15 分
カメラ	機材	一体型	ソニー α 7R	―
	画素数	1,240 万画素	3,640 万画素	―
	センサーサイズ	1/2.3	フルサイズ	―
レーザ	有効測定レート	―	―	50 万発 / 秒
	視野角	―	―	330°
	レーザクラス	―	―	アイセーフクラス 1
外観				

表―2　クラックに対する現地試験結果

	離隔 10 m（Phantom）	離隔 30 m（Spider）
撮影写真　遠景		
撮影写真　拡大		
同上クラック位置明示		

クラックのように撮影した写真から判読する変状については，多少日照条件の影響を受けるものの，殆どは撮影するカメラの性能によるところが大きいため，**表―3** に示すように，カメラの性能に合わせて，目標とする変状規模を満たす精度となる離隔により撮影を行うことで，変状の把握が可能である。より遠方で撮影を行うことにより，より広範囲の撮影が可能となるため，撮影の効率化が可能である。

（b）不陸の形状認識に関する実証試験

不陸などの変状は，撮影した写真など見た目からの

表―3　要求精度に合わせた離隔の設定

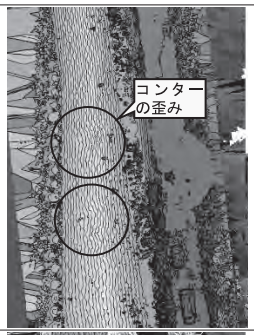
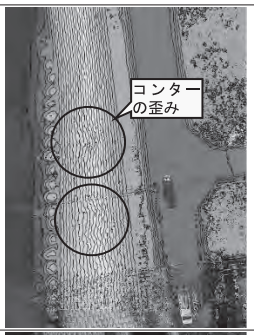
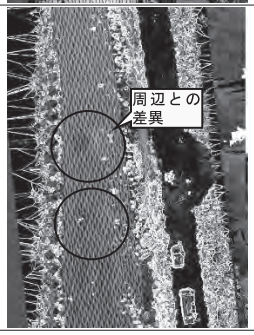
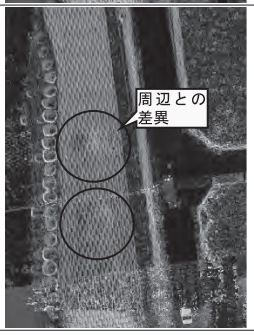
機材	精度	離隔	撮影範囲
Phantom（カメラ解像度 1,240 万画素）	5 mm	10 m	15 m×11 m
	1 cm	25 m	37 m×27 m
	2 cm	55 m	81 m×60 m
	5 cm	135 m	199 m×148 m
	5.5 cm	150 m（最大高度）	221 m×165 m
Spider ソニー α 7R（カメラ解像度 3,640 万画素）	5 mm	30 m	38 m×25 m
	1 cm	55 m	70 m×47 m
	2 cm	115 m	147 m×98 m
	2.6 cm	150 m（最大高度）	192 m×128 m

みでは判断し難い。本稿では，前述の Spider により撮影した写真を用いて画像解析の方法の 1 つである SfM 解析[1) 2)] と，レーザ計測による直接測深により地形データを取得し，不陸の変状の把握を実施し，検証を行った。

表―4 の通り，取得した地形データから段彩図とコンター線を作成することで，不陸箇所ではコンターが歪み，周辺と変化があることが見て取れる。また，傾斜図では，不陸箇所では周辺より若干の変化がみられ，変異が生じていることが確認できる。レーザ計測では，これらがより鮮明に確認できた。

植生等がある場合には，写真測量では植生の表面のデータを取得してしまうため，地盤の状況が不鮮明になってしまう。しかし，レーザ計測では，高密度の照射により植生とともに地盤の形状も詳細に取得できるため，鮮明な結果が得られた。

表―4　不陸の変状把握結果（写真とレーザ計測）

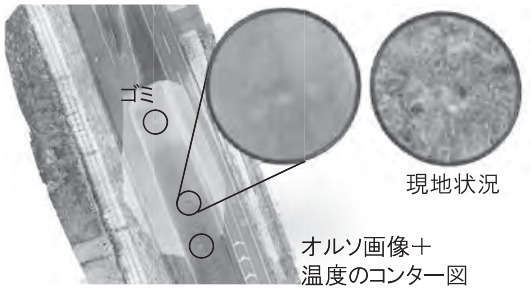
	写真撮影，SfM	レーザ計測
段彩図		
傾斜図		

以上より，不陸のような見た目からのみでは判断し難い変位を持った変状については，解析処理により視覚的に整理することが，その変状の把握によって有効である。また，植生がある場合には，レーザ計測による直接的な計測を行うことでより詳細な状況把握が可能である。

（c）サーモカメラによる変状把握に関する実証試験

堤防のモグラ穴等の空洞部について，UAV にサーモカメラを搭載し，周囲の温度分布を可視化することで変状把握を試みた。

図―１に示す通り，周囲との温度変化として，堤防に生じたモグラ穴が確認できた。しかし，ゴミなど異物でも温度変化が生じており，また，気象・日照条件や植生状況により周辺との温度差が生じづらくなる場合もあることから，最終的には目視による確認が必要であり，サーモカメラによる調査は，一次スクリーニング的な利用が考えられる。



図―１　サーモカメラによる調査結果

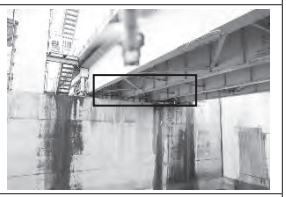
（3）大規模構造物の点検への活用に関する実証試験

水門や堰など河道内の大規模な構造物については，これまで船や点検車により実施していた点検を代替することが要求される。構造物に対しては，特に管理橋の下部や，ゲート部分の変状を確認するに際し，構造物や水面に近接することになる。また，施設が大規模になれば，遠方からの操作が必要になり，施設の陰など目視外にもなりやすくなるため，UAV の安定性など安全面での配慮が最も重要になる。

本検証においては，現地の気象条件や構造物周辺の風の変化の影響を鑑み，前述の機体のうち，耐風速性能が高い Spider を用いた。

表―５に示す通り，UAV により取得した写真では，画像処理や露出補正等が必要になるものの，点検者等を用いた点検と同様な状況把握が可能であることが確認できた。UAV による調査は，流れがあるゲートの確認など，非出水期等にゲート操作をして確認しているようなものに対しては，より有効であると考えられる。

表―５　大規模構造物に対する現地試験結果

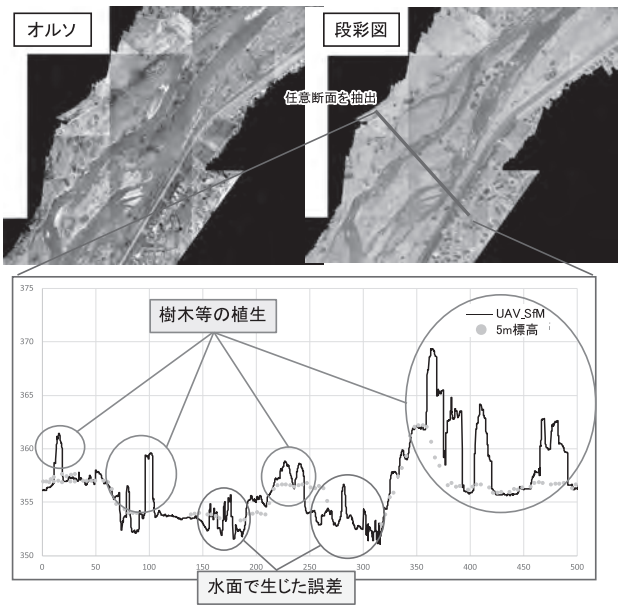
	上流ゲートあり	上流ゲートなし
撮影写真遠景		
撮影写真拡大	※明度補正後	※撮影時に露出補正必要
結果	状況把握は可能であるが，画像処理が必要。	状況把握は可能であるが，撮影の工夫が必要。

（4）河道地形等の面的把握に関する実証試験

河道内の砂州の変化などの土砂動態の把握や，樹林化の状態把握，河岸部の変状など，河道の動態把握については，UAV により簡易に安価で調査ができることが望まれている。そこで，先に示した UAV 撮影写真を使用した SfM 解析により取得した地形データを用い，河道の動態把握についての検証を行った。

図―２に示す通り，オルソ画像や三次元データ（点群データ）を作成することで，樹木や砂州の位置，範囲や水衝部の確認，樹種の把握，任意の断面で横断図を作成することで樹木の高さや横断的な分布を確認することが可能となる。

但し，写真測量では，樹木や植生の影響により，地盤面を正確に捉えることができず，また，水面下の地形が把握できないことが課題となる。



図―２　河道地形等に対する現地試験結果

3. UAV による河川点検の試行

実際に，UAV を用いて点検作業を実施し，既往の点検方法（水上巡視・徒歩点検）による結果と比較することで，その有用性を検証した。検証結果の詳細については，参考文献 3）を参照されたい。

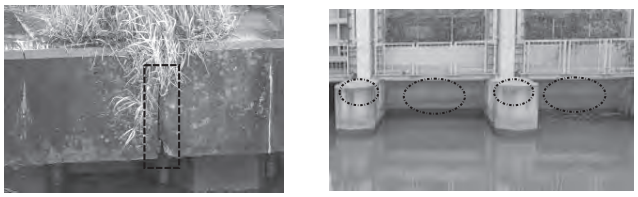
(1) 現地実証試験

(a) 低水護岸の変状把握

低水護岸は，水上巡視では詳細な確認ができず，徒歩の目視では見づらい箇所であるため，既往の点検においては変状が確認されていなかったが，UAV により，細かい変状含め詳細な確認が可能となり，UAV の優位性を確認することができた（**図**―3）。

(b) 樋門の変状把握

UAV による点検により，ゲート操作台や門柱など高い位置にある変状や，水面に面した門柱や胸壁など，人の目が届かず，今まで確認できなかった箇所の変状を確認することができた（**図**―3）。

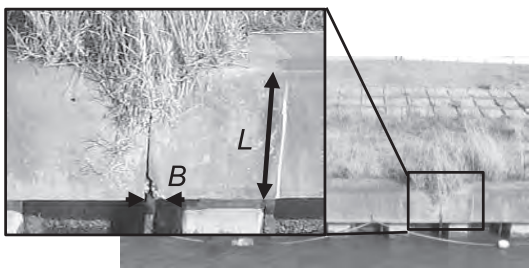


図―3　UAV 点検結果（左：低水護岸，右：樋門）

(c) 変状規模の把握

図―4 の通り，予め護岸ブロック等幅や高さが分かるものを縮尺の目安 L として確認する。これより，縮尺の目安と対象について，画像上の延長（b，l）を計測し，変状規模 B を算出することが可能である。

この他，予め測量テープ等を貼付する方法や画像解析により計測する方法なども考えられ，これらを現地状況により使い分けることで，変状規模の把握が可能となる。



$B = L(57\text{cm}) / l(2.42\text{cm}) \times b(0.41\text{cm})$
$= 9.7\text{cm}$

図―4　変状規模の把握方法

(2) 点検結果のとりまとめ

表―6 に UAV による点検と水上巡視との比較総括表を示す。UAV による点検は，作業コスト面に課題はあるものの，成果は同等以上のものが得られることから，今後の活用が望まれるものである。

表―6　UAV 点検と水上巡視の比較総括表

項目	水上巡視	UAV による点検
管理施設の変状確認	○人が行けない箇所における巡視が可能 △遠方からの確認が標準となるため大きな変状のみ確認可能 ×高速流や喫水深不足の箇所では巡視不可	○施設に近接した撮影も可能であるため，クラック等の確認も可能 ◎船が航行できない高速流や喫水深不足などの箇所においても適用可能
河道内の変状（土砂堆積，樹木繁茂等）	○確認可能	○確認可能 ◎データの積み重ねにより経年変化が把握可能
違法行為等の確認	○確認可能	○確認可能
成果の活用	―	◎連続した画像が残るため，屋内で改めて詳細の確認が可能 ◎画像解析等により変状のスケール把握が可能 ◎自動航行により経年的に同じ撮影が簡易 ◎カメラ性能により，より高解像度で効率的な撮影が可能
1 日の作業量	○ UAV と比較して作業量は多い	△作業量は徒歩の巡視と同程度以上である
作業コスト	○ UAV と比較して安価である	△水上巡視の倍程度となる
総括	UAV による点検は，作業コスト（量，費用）の面で水上巡視より劣るが，成果は同等以上のものが得られ，優位，有用なものであり，今後の活用が望まれる。	

4. 砂防施設点検への適用

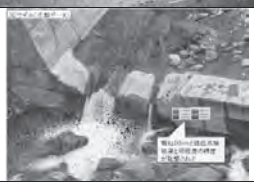
河川点検の試行結果を踏まえ，砂防施設における点検への適用性について検証を行った。

砂防施設の点検では，施設までのアプローチに際して多大な労力を要し，危険が伴うことも多い。よって，前述の Spider による砂防堰堤周辺の写真撮影を行い，既往点検成果との比較，検証を行った。

表―7 に示す通り，堰堤本床の摩耗状況や土砂の堆積状況，周辺の崩壊状況など外観の変状などについて，既往の点検結果と同等の結果が得られた。

今回の検証地点は，開けた場所であり，施設まで近づくことも可能な場所であった。しかしながら，砂防施設は山間地にあるため，GPS の受信状況が不安定

表―7　UAV と既往点検結果の比較

	UAV による点検結果	既往（目視）点検結果
本床の状況		
堆砂域の状況		
周辺崩壊地		
摩耗部の計測		

になりやすく，谷部など風の影響も受けやすい箇所が多い。また，施設に近づくことができず，遠方からや目視外での飛行に対する需要も多いため，今後さらなる現地での検証を行い，UAV を適用可能な条件や適用方法について検討を行う必要がある。

5. 現地適用にあたっての考察

(1) 点検要領への適用性

現在の河川等の点検要領においては，目視点検が基本であるため，UAV による点検は，人が近づけない箇所や危険な箇所に用いるなど，目視を補完する位置づけになると考えられる。今後，点検要領の改訂により，UAV 等新技術による点検が活用されるようになれば，点検の高度化，発展につながるものと考えられる。

(2) マニュアル等の整備

UAV を河川管理に活用していくために，その具体な方法を示したマニュアルの作成や，UAV の墜落等の事故を避けるため，UAV や点検の知識を持った操縦者の育成など，技術的な部分以外の要素の拡充も必要である。前述の現地実証試験を踏まえ，北陸技術事務所では手引きの作成が進められている[3)]。

(3) コスト，歩掛りの整理

UAV による調査については，現状歩掛りがなく，実際に現地に適用する際における費用が明確にはなっていないため，現在は，受注者による提案の範疇で現地に適用されている状況にある。今後，UAV による歩掛りを作成することで，より現地への適用がしやすい状況になると考えられる。

6. おわりに

本稿において，UAV による変状把握の可能性の検証や実際に点検作業を行うことで，河川管理への UAV 活用の有用性を示した。また，砂防分野においても，現地での検証を経て，施設点検への有用性を確認することができた。

UAV については，機体や搭載機器，周辺技術を含め，日進月歩で技術開発が進んでいる状況であるため，今後更に技術的に可能となることが増えると考えられる。また，それを踏まえ，今後より具体な対象などにおける検証など，実例を増やしていくことで，UAV による点検の課題やそれを解決するための技術開発が進んでいくものと考えられる。

本稿がその発展の一助となることを祈念する。

謝　辞

北陸技術事務所及び北陸地整管内事務所の方々には，試験フィールドや各種データの提供を始め，合同調査やアンケート調査等において多大なご協力を頂きました。また，現地試験にあたり，ルーチェサーチ㈱の方々には多大にご尽力頂きました。ここに記して謝意を表します。

JCMA

《参 考 文 献》

1) 渡辺豊・河原能久：UAV を利用した空中写真の河川地形計測への適用性，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.72，No.4，2016
2) 掛波優作・神野有生・赤松良久ほか：UAV-SfM 手法を用いた高解像度かつ簡便な河道測量技術の検証，河川技術論文集，第 22 巻，2016
3) 国土交通省北陸地方整備局北陸技術事務所：UAV を用いた堤防等巡視・点検時活用の手引き（案）

［筆者紹介］

清水　隆博（しみず　たかひろ）
日本工営㈱　河川部　課長補佐

利根川　明弘（とねがわ　あきひろ）
日本工営㈱　河川部　技師補