

河川管理における新技術の活用に関する一考察

A STUDY ON UTILIZATION OF NEW TECHNOLOGY IN RIVER MANAGEMENT

野間口 芳希¹・秋田 麗子²・炭田 英俊²・山崎 崇徳³

Yoshiki NOMAGUCHI, Reiko AKITA, Hidetoshi SUMITA and Takanori YAMAZAKI

¹正会員 日本工営株式会社 水工インフラマネジメント部 (〒102-8539 東京都千代田区九段北1丁目14番6号)

²正会員 日本工営株式会社 河川部 (〒102-8539 東京都千代田区九段北1丁目14番6号)

³正会員 株式会社パスコ 中央事業部 (〒153-0042 東京都目黒区青葉台3丁目10番地1号)

In recent years, new measurement technologies such as Airborne Laser Bathymetry (ALB) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) have been spreading rapidly. The application of those technologies to river management is expected. However, it's difficult to evaluate the necessary information required for river management quantitatively, because this evaluation depends on individual experiences, which makes it difficult to apply those technologies and hinders the incorporation of them in the field.

We quantitatively organized the criteria for the information required for river management in an emergency and the criteria for the measurement technologies. As a result, we could show the applicability of the new technology in river management.

Key Words : river management, Unmanned Aerial Vehicle(UAV), Photogrammetry, Airborne Laser Bathymetry(ALB), new technology

1. はじめに

これまでの河川管理では、定期横断測量や空中写真による河道の変化状況の確認や目視、船上巡視による現地の変状確認が基本となっている。

しかしながら、200mピッチの横断測線間での護岸の損傷や側方侵食が見られること、目視点検では河道全体を定量的に監視することが困難となっており、面的な変状を定量的に捉えることが求められている。

一方で、維持管理の予算増大は厳しく、点検を担う技術者の高齢化等の社会的背景もあいまって、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、無人化・ロボット技術等の発展著しい新技術を取り込み、合理化・省力化に加えて、高度化も目指すべき大きな転換期にある。

新技術については、近年、航空レーザ深淺測量（以下、ALBという）やUAV写真測量に代表されるように技術発展や普及が著しく、これからの河川管理における活用が期待されている。特に、平常時に比べて、素早く、漏れなく、安全に、定量的に状態監視が求められる緊急時には、より新技術の活用が期

2.緊急時の要求性能	3.新技術の計測性能
a) 変状の性状 (i) 色彩+地形変化 (ii) 色彩変化 (iii) 地形変化 (iv) その他:踏査による感触	(1)計測可能な情報種別 ・画像+地形情報 ・画像情報 ・地形情報
b) 変状の位置 ・陸域(堤防周辺, 植生域) ・水域	(2)計測可能箇所 ・陸域(堤防周辺, 植生域) ・水域
c) 変状の規模・スケール ・平面スケール ・鉛直スケール	(3)計測分解能・精度 ・空間分解能 ・計測精度

4.マッチング（現地状況・コスト）

※本稿では省略

図-1 マッチングにおける評価項目

待できる。一方で、河川管理に求められる必要情報は経験によるところが大きく定量化しづらく、何の新技術で従来の何が補えるかがイメージできず、なかなか現場での取り込みが進んでいない。

そこで、緊急時の河川管理（特に状態監視）で求められる必要情報と新技術の計測性能の体系化・定量化を試み、その上で現地状況や詳細なコスト比較を踏まえ両者をマッチングすることで、適用可能な新技術を合理的に導くこととした（図-1）。さらに新技術の計測性能については、MMS, UAV 写真測

量, UAVレーザ測量, ALBの現地実証試験を実施し, その妥当性を担保した. 本稿では, このうち, 現地実証試験を除く机上検討について報告するものである.

なお, 緊急時に対象となる発災は「地震」も含まれるが, 本稿では「出水」による被災を対象とした.

2. 緊急時の要求性能の整理

(1) 緊急時に求められる必要情報

河川管理に求められる状態監視項目を既存要領¹⁾から整理し(図-3の55項目の変状), 緊急時においてはこのうち出水後点検で把握すべき変状に位置づけられるとし, 「モグラ等小動物の穴(空洞化)」など被災との関連性が低く, 平常時点検(出水期前, 台風期)のみ対象となる変状(図-3のグレーアウト表示の11項目)を除く44項目の変状を対象とした.

(2) 要求性能の分類・整理

従来の変状把握は, 経験的で定性的な基準をもとに点検者の総合的な判断により行われているが, 新技術を用いて変状を把握しようとした際に, 定量的な判断基準を設定する必要がある, この過程を経ないと, 新技術とのマッチングができない. なお, 変状の性状の区分や変状規模のしきい値については, 河川毎にその特性が異なる可能性があるため, この限りではない.

要求性能は, 対象の変状を新技術で捉えるために必要となるものであり, 変状の性状に応じて, 画像情報や地形情報など必要となる情報が異なる. また, 変状が存在する位置(樹木下や水中など)や変状規模によって, 新技術の適用可否が変わるため, 要求性能を①変状の性状に関する分類: どのような情報から捉えやすい変状か, ②変状の位置に関する分類: 変状がある位置が樹木下や水中など視野が確保できない状況にあるか, ③変状の規模に関する分類: 変状を把握するために必要な規模・スケールはどの程度かの3つに分類整理した. 結果を表-1, 図-3に示す.

a) 変状の性状に関する分類 (①)

詳細調査で対象とする変状について, それぞれがどの情報(色彩変化/地形変化/その他: 踏査による感触など)によって捉えられるかを整理した上で, 4つ((i) 画像情報・地形情報により把握可能, (ii)

画像情報により把握可能, (iii) 地形情報により把握可能, (iv) 踏査による把握が基本)に分類し, 以降の検討は新技術により把握可能な①~③の3つに分類される30項目の変状を対象とした.

図-2に分類整理した代表的な変状を示す. 法面の陥没や法崩れ等, 色彩変化及び地形変化を伴う変状であれば把握しやすいが, 法面の亀裂, 目地の開き等の色彩変化により把握しやすい変状は, 画像情報でのみ把握しやすく, 地形情報では把握が困難である. また, 色彩変化を伴わず変曲点を捉えにくいような自然地形や堤防における地形変化(はらみだし, 寺勾配等)は, 画像情報のみでは把握が困難となり, 地形情報が必要となる. 一方で, 泥濘化(有機化)等の変状は, 人の踏査に基づく総合的な判断が必要となるため, 新技術で把握しにくい.

b) 変状の位置に関する分類 (②)

目視や画像情報から把握しやすい変状であっても, 変状の位置によっては視野・画角が取れずに把握しづらいといった実態があるため, 視野が確保できない状況にあり得る変状を整理した. なお, 堤防植生については, 平常時点検で除草が実施されていることを前提とした.

視野を遮る条件として, 変状が樹木下/水中にある場合や手前に樹木が繁茂することによって対象物が見通せない状況を想定した.

樹木が覆うことによって視野が確保されないものとしては河道内が該当し, 水中に没することによるものは, 低水路内の対象物における変状(低水護岸・根固工の変状, 深掘れ等)が該当する. これより, 目視点検で把握しやすい変状においても樹木下や水中にあることで把握しにくくなることがわかる.

c) 変状の規模に関する分類 (③)

変状を把握可能な新技術を整理するにあたって, おおまかであっても, その変状の規模やスケールを定量的に整理する必要がある. 変状の規模については, 既存要領²⁾で変状規模や経過監視から変状の状態をa~dに区分し, 評価を行うこととされているが, その判断は定性的なもの, 経験によるところが大きい. そこで, 変状の状態a~d区分それぞれについて, 既存マニュアル³⁾や河川維持管理技術者複数名に対する点検実績のヒアリング結果から判断基準の目安となるしきい値を設定した(表-1).

表-1 緊急時に求められる必要情報と要求性能(変状の性状, 位置, 規模)の一覧

(i) 色彩変化及び形状変化を伴う変状 (画像・計測で把握可)				(iii) 形状変化を伴う変状 (計測で把握可)			
2 陥没(法面)	4 法崩れ	6 浸食・ガリ(法面)	14 樹木の侵入	3 はらみ出し	5 寺勾配	48 土砂堆積	54 河口閉塞
その他: 洗堀・侵食(護岸), 根固工の変状, 水制工の変状, 流木・ゴミ等による河種阻害など				その他: 抜け上がり, 沈下(天端), 河床低下, 川幅縮小など			
(ii) 色彩変化を伴う変状 (画像で把握可)				(iv) ④近接情報に基づく判断が必要な変状 (踏査による把握が基本)			
1 亀裂(法面)	7 裸地化・植生異常	16 目地の開き	17 亀裂(護岸)	11 泥濘(有機)化	29 湿潤状態(排水不良)	34 湿性植物	37 漏水・噴砂(堤脚水路)
その他: クラック, 接合部の開き, 継ぎ手の開きなど				その他: 吸い出し, 流動化, ドレーン工の目詰まり, 湧水の排水, 遮水シート露出など			

図-2 変状の性状に関する分類(代表的な変状)

表-1 緊急時に求められる必要条件と要求性能（変状の性状，位置，規模）の一覧

状態監視項目			変状の性状			視界障害 (水中、 樹木)	現象の概算スケール (cm)※						
			色彩・形 状の変化	色彩 変化	形状 変化		平面スケール【L:長さ または B:幅】			鉛直スケール【H:深さ】			
構造物	箇所	項目					b	c	d	b	c	d	
土堤	法面 堤防 護岸 小段	(1)亀裂		●			1	-	20	10	-	30	
		(2)陥没	●				1	-	20	10	-	30	
		(3)はらみ出し				●	50	-	500	10	-	40	
		(4)法崩れ	●				50	-	500	10	-	60	
		(5)寺勾配				●	50	-	500	10	-	40	
		(6)浸食(ガリ)	●				50	200	500	10	20	30	
		(7)裸地化・植生異常			●		50	200	500	10	30	60	
		(11)泥濘(有機)化					-	-	-	-	-	-	
		(13)モグラ等小動物の穴(陥没)	●				5	10	30	10	30	200	
		(19)根固工の変状	●			○●	50	100	300	50	100	500	
		(20)水制工の変状	●			○●	50	100	300	50	100	500	
		(21)遮水シートの露出					-	-	-	-	-	-	
		(22)遮水シートの破断					-	-	-	-	-	-	
		(23)護岸の洗掘、浸食	●			○●	5	4	20	5	15	40	
		(24)護岸端部の洗掘、浸食	●			○●	50	100	300	10	35	35	
	天端	(25)亀裂		●			1	-	20	2	-	5	
		(26)陥没・不陸				●	30	-	500	10	-	30	
		(27)沈下				●	100	-	500	10	-	60	
		(28)浸食(肩部)	●				30	100	500	10	20	30	
	裏法 尻部	(29)湿潤状態(排水不良)					-	-	-	-	-	-	
		(30)流動化					-	-	-	-	-	-	
		(31)湿潤状態(しぼり水)					-	-	-	-	-	-	
		(32)漏水・噴砂					-	-	-	-	-	-	
		(33)堤脚保護工の変形	●				4	8	30	4	8	20	
		(35)ドレーン工の目詰まり					-	-	-	-	-	-	
	堤脚 水路	(36)濁水の排水					-	-	-	-	-	-	
		(37)漏水・噴砂					-	-	-	-	-	-	
		(38)堤脚水路の閉塞	●				10	20	30	10	20	30	
周辺の堤防	構造物上部 の天端及び 法面	(39)抜け上がり			●	50	100	200	10	20	30		
		(40)亀裂		●			1	2	20	2	3	5	
		(41)漏水・噴砂					-	-	-	-	-	-	
		(42)陥没	●				1	2	20	10	20	30	
	構造物同士 の接合部	(43)接合部の開き		●			2	7	15	2	7	15	
		(44)吸い出し					-	-	-	-	-	-	
	函渠	(45)撓み・折れ曲がり					-	-	-	-	-	-	
		(46)クラック		●			1	2	20	10	20	60	
		(47)継ぎ手の開き		●			2	7	15	2	7	15	
	河道	河道	(48)土砂堆積			●	○●	2,000	5,000	50,000	10	50	300
			(49)川幅縮小			●	○●	50	100	1,000	50	100	500
			(51)流木・ゴミ等による河積阻害	●			○●	100	1,000	3,000	100	200	500
			(52)河床低下、深掘れ、洗掘			●	○●	50	100	3,000	50	100	300
			(53)河岸侵食			●	○●	50	100	3,000	50	100	500
			(54)河口閉塞			●		50	100	3,000	50	100	500
			(55)堤体内部・基礎地盤					-	-	-	-	-	-
その他													

※評価区分²⁾ a: 異常なし b: 要監視段階 c: 予防保全段階 d: 措置段階

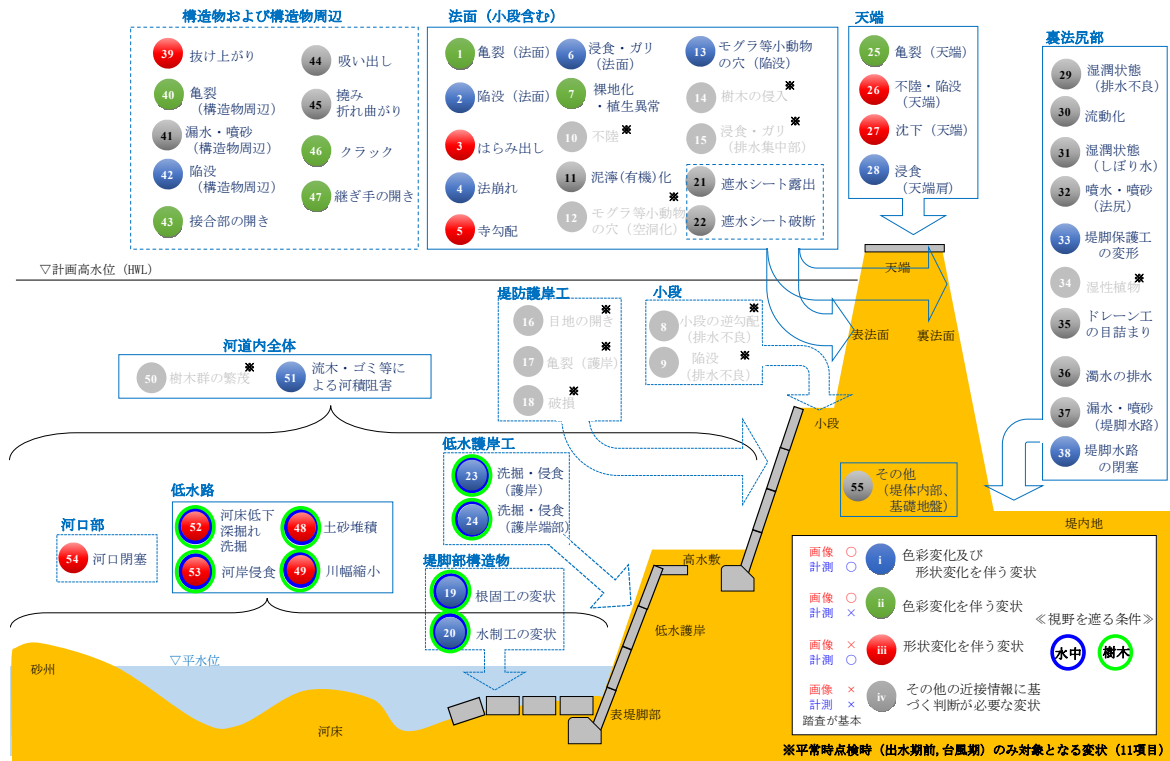


図-3 変状位置に関する模式図

3. 新技術の計測性能の整理

先に示した通り,従来の200mピッチの横断測量や目視点検等では把握できない河道全体の面的な変状に対して,新技術を用いて定量的に把握する必要性が生じている.本稿では,面的かつ定量的に変状を把握可能なものとして表-2に示す新技術を対象とした.

(1) 計測可能な情報種別に関する整理

各新技術で取得可能な情報を整理した(図-4中段).すべての技術で3次元データを取得でき,MMSやUAV,航空機については計測と同時にカメラ撮影も可能となるため,画像情報も取得可能である.

(2) 計測可能箇所に関する整理

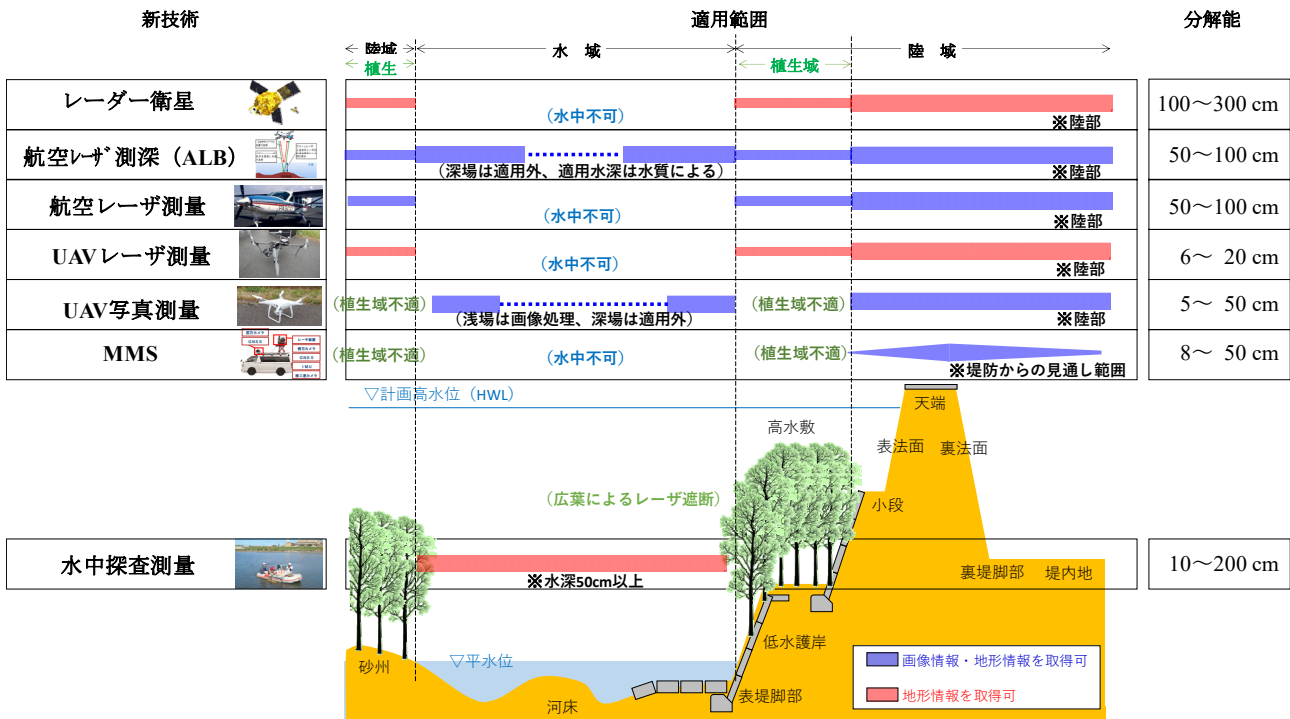
各新技術により変状計測が可能な箇所について,陸域(堤防周辺,植生域)と水域に区分して整理した.図-4(中段)に示す通り,すべてを網羅的に把握可能な技術はなく,特に植生域,水域における変状の計測が可能な技術が限定される.

(3) 計測分解能に関する整理

各新技術について,計測分解能を整理した(図-4右段).なお,整理にあたっては,公開資料の他,実際に各計測を行っている企業等にヒアリングを行い情報の拡充を図った.また,MMS,UAV写真測量,UAVレーザ測量,ALBの現地実証試験を実施し,妥当性を確保している.UAV写真測量の水中部の画像解析についての具体的な方法は,参考文献⁴⁾を参照されたい.

表-2 新技術の基本性能

分類	新技術	基本性能
水域	水中探査測量(C3D)	小型船にサイドスキャンソナーを装着し,河床地形を面的に把握できるシステムである.高分解能の地形データを面的に取得することができる.
陸域	MMS	GNSS/IMUによる車両の位置・姿勢データとレーザ装置により,周辺地物を移動して取得する.また,デジタルカメラの連続撮影により,3次元データの取得範囲の画像を取得する.
水域 陸域	UAV写真測量	UAV(Unmanned Aerial Vehicle:無人航空機)に搭載したカメラで重複した空中写真を撮影する.また撮影画像から3次元モデルを構築することが可能で,画像解析により浅水域の水部地形が把握可能である.
陸域	UAVレーザ測量	GNSS/IMUによるUAVの位置・姿勢データとレーザ装置により,3次元点群データを取得することができる.高密度なレーザを照射することで,樹木下のデータも取得できる.
陸域	航空レーザ測量	GNSS/IMUによる航空機の位置・姿勢データとレーザ装置により3次元点群データを取得し,デジタルカメラによるオルソ画像を取得できる.固定翼及び回転翼があり,対象地域の地形,用途に応じて使い分ける.
水域 陸域	航空レーザ深浅測量(ALB)	ALB(Airborne Laser Bathymetry)は,陸部と水部を同時に計測(陸部:近赤外レーザ,水部:緑色レーザ)し,3次元点群データとデジタルカメラによるオルソ画像を取得することができる.
陸域	合成開口レーダ(SAR)衛星	太陽光を光源として撮影するという通常の撮影原理とは異なり,自ら電波を照射し,その反射情報から地表面を観測するため,天候の影響を受けにくく,悪天候時や夜間においても地表面の情報の取得できる.



4. 要求性能と新技術のマッチング

(1) 新技術の適用性

以上までに整理した新技術により把握可能な変状30項目と各新技術をマトリクス形式で整理し、適用可否を評価した。適用可否の評価は、必要情報の各変状に対して、図-1に示す3項目で新技術に対する適用可否を評価し、全評価項目で適用可能となる場合、適用可（○：適用可能）であるとした。

整理の結果（表-3）、最も多くの変状に対して適用性の高い新技術は、UAV写真測量となった。理由として、得られる情報が多く計測可能位置が広いこと、適用可能な変状が多いこと、航空機に比べ計測精度や分解能が小さく、比較的小規模の変状にも適用可能であることによる。

一方で、MMSやUAVレーザ、航空レーザ測量、ALBでは、現地状況（植生下や水深、川幅等）の条件付き適用が多くなっており、複数の現地ケースに分けて評価する必要があることがわかった。

(2) 現地状況・コストを考慮した新技術の適用性

前節では、緊急時における新技術の適用性を対象

の変状ごとに示すことができた。しかし実務での新技術の活用にあたっては、適用性に加えて、現地状況やコストを含めて検討する必要があるため、ここでは、複数の現地シーンを仮定し、それぞれの場合に推奨される新技術を示した。なお、コストについては、現地条件や計測条件によって大きく異なるものの、計測対象ケース（川幅：200m、河川延長：1km～50km）ごとの大まかな計測コストを整理した。結果を図-5に示す。

現地状況として樹木がない場合、河道全体（堤防、構造物周辺、河道内）においてUAV写真測量が適用性・コストともに最適な調査手法となった。理由として、他の新技術に比べてコストが安価であること、水域部の浅場に適用性があることが挙げられる。

一方で、UAV写真測量では適用性が低い樹木がある場合、対象となる変状が陸域か水域かで最適な調査手法が異なる結果となった。

対象となる変状が陸域にある場合、樹木下を透過可能なUAVレーザもしくは航空レーザ、ALBの適用性があるが、計測コストにより河川延長が10km未満の場合、UAVレーザ、10km以上の場合、航空レーザが優位となった。

表-3 計測技術の基本性能（30項目の変状）

状態監視項目			新技術による状態監視（○：適用可能,△：条件付き※,×：不適）								
構造物	箇所	項目	水中探査測量	MMS	UAV写真測量	UAVレーザー測量	航空レーザー測量	航空レーザー測深（ALB）	合成開口レーダー（SAR）衛星		
「堤防等河川管理施設及び河道の点検要領」（H28・3国土交通省）	土堤	法面 堤防護岸 小段	(1)亀裂	×	△(条件：5)	○	×	△(条件：7)	△(条件：7)	×	
			(2)陥没	×	○	○	○	△(条件：7)	△(条件：7)	△(条件：7,8)	
			(3)はらみ出し	×	○	○	○	○	○	△(条件：8)	
			(4)法崩れ	×	○	○	○	○	○	△(条件：8)	
			(5)寺勾配	×	○	○	○	○	○	△(条件：8)	
			(6)浸食（ガリ）	×	○	○	○	○	○	△(条件：8)	
			(7)裸地化・植生異常	×	○	○	×	○	○	×	
			(13)モグラ等小動物の穴（陥没）	×	○	○	○	△(条件：7)	△(条件：7)	△(条件：7,8)	
			(19)根固工の変状	△(条件：1)	△(条件：4,6)	△(条件：3,4)	△(条件：2)	△(条件：2)	△(条件：3)	△(条件：2,8)	
			(20)水制工の変状	△(条件：1)	△(条件：4,6)	△(条件：3,4)	△(条件：2)	△(条件：2)	△(条件：3)	△(条件：2,8)	
			(23)護岸の洗掘、浸食	△(条件：1)	△(条件：4,6)	△(条件：3,4)	△(条件：2)	△(条件：2,7)	△(条件：3,7)	△(条件：2,8)	
			(24)護岸端部の洗掘、浸食	△(条件：1)	△(条件：4,6)	△(条件：3,4)	△(条件：2)	△(条件：2)	△(条件：3)	△(条件：2,8)	
	天端	(25)亀裂	×	△(条件：5)	○	×	△(条件：7)	△(条件：7)	×		
		(26)陥没・不陸	×	○	○	○	○	○	△(条件：8)		
		(27)沈下	×	○	○	○	○	○	△(条件：8)		
		(28)浸食（肩部）	×	○	○	○	○	○	△(条件：8)		
	裏法尻部	(33)堤脚保護工の変形	×	○	○	○	△(条件：7)	△(条件：7)	△(条件：7,8)		
	堤脚水路	(38)堤脚水路の閉塞	×	○	○	○	△(条件：7)	△(条件：7)	△(条件：7,8)		
	構造物周辺の堤防	構造物上部の天端及び法面	(39)抜け上がり	×	○	○	○	○	○	△(条件：8)	
			(40)亀裂	×	△(条件：5)	○	×	△(条件：7)	△(条件：7)	×	
			(42)陥没	×	○	○	○	△(条件：7)	△(条件：7)	△(条件：7,8)	
		構造物同士の間合部	(43)接合部の開き	×	△(条件：5)	○	×	△(条件：7)	△(条件：7)	×	
			面渠	(46)クラック	×	△(条件：5)	○	×	△(条件：7)	△(条件：7)	×
				(47)継ぎ手の開き	×	△(条件：5)	○	×	△(条件：7)	△(条件：7)	×
河道	河道	(48)土砂堆積	△(条件：1)	△(条件：2,4,6)	△(条件：3,4)	△(条件：2)	△(条件：2)	△(条件：3)	△(条件：2,8)		
		(49)川幅縮小	△(条件：1)	△(条件：2,4,6)	△(条件：3,4)	△(条件：2)	△(条件：2)	△(条件：3)	△(条件：2,8)		
		(51)流木・ゴミ等による河積阻害	×	△(条件：4,6)	○	○	○	○	△(条件：8)		
		(52)河床低下、深掘れ、洗掘	△(条件：1)	△(条件：2,4,6)	△(条件：3,4)	△(条件：2)	△(条件：2)	△(条件：3)	△(条件：2,8)		
		(53)河岸侵食	△(条件：1)	△(条件：2,4,6)	△(条件：3,4)	△(条件：2)	△(条件：2)	△(条件：3)	△(条件：2,8)		
その他	(54)河口閉塞	×	△(条件：4,6)	○	○	○	○	△(条件：8)			

※条件1：水中に限る 条件2：陸部に限る 条件3：水深によっては把握可 条件4：樹木・植生下は把握不可
条件5：カメラ距離による 条件6：川幅による 条件7：変状規模による 条件8：変位のみで判断

◎：適用性・コストともに最も優位となる手法
 ○：適用性・コストともに優位となる手法、調査範囲によってはスケールメリットが生じる手法
 △：現地状況や計測条件が揃えば活用可能な手法
 ▲：適用性はあるが、コストで他の優位な手法に劣る
 ×：適用性が低い

現地状況ケース	水中探査 測量	MMS	UAV写真 測量	UAVレーザ 測量	航空レーザ 測量		航空レーザ 測深 (ALB)		合成開口 レーダ (SAR)衛星
					固定翼	回転翼	固定翼	回転翼	
①堤防の変状	×	○	◎	▲	▲	▲	▲	▲	×
②構造物の変状	×	○	◎	×	▲	▲	▲	▲	×
③河道内の変状 (陸部+樹木なし)	×	△	◎	▲	▲	▲	▲	▲	△
④河道内の変状 (水中浅場+樹木 なし)	▲	×	◎	×	×	×	▲	▲	×
⑤河道内の変状 (陸部+樹木あり)	×	×	×	◎	○	▲	▲	▲	△
⑥河道内の変状 (水中浅場+樹木 あり)	○	×	×	×	×	×	○	△	×

計測コスト					固定翼	回転翼	固定翼	回転翼	
スケール①：川幅200m×延長1km(0.2km ²)	160万	60万	50万	270万	340万	620万	510万	730万	100万
スケール②：川幅200m×延長5km(1km ²)	430万	80万	90万	310万	370万	660万	560万	780万	100万
スケール③：川幅200m×延長10km(2km ²)	750万	250万	140万	500万	400万	690万	620万	830万	100万
スケール④：川幅200m×延長20km(4km ²)	1420万	460万	260万	1000万	440万	730万	790万	970万	100万
スケール⑤：川幅200m×延長50km(10km ²)	3250万	980万	620万	2300万	680万	930万	1310万	2000万	100万

図-5 現地状況・コストを考慮した新技術の適用性

対象となる変状が水域の場合、水中探査もしくはALBの適用性があるが、計測コストにより河川延長が10km未満の場合、水中探査、10km以上の場合、ALBの固定翼が優位となった。

5. おわりに

新技術については、技術開発が目覚ましく、これまでもUAVによる構造物点検、写真測量（たとえば参考文献^{5) 6)}）やALBによる地形測量（たとえば参考文献^{7) 8)}）など、個別事例による適用結果や検証に関する論文等はあるものの、「新技術で何がどの程度どれくらいのコストで出来るのか」という全体をとりまとめたものはなかった。そのような中で、本稿において、河川管理に必要な情報の要求性能と新技術の計測性能を同列に定量的に整理することで、緊急時の河川状態監視における新技術の適用性を根拠をもって示すことができた。新技術については、計測機器や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、今後さらに適用性が拡幅すると考えられる。今後、本稿における成果が効率的な河川管理につながることを祈念する。

また、本稿で省略した現地実証試験の結果については改めて紹介する予定である。

謝辞：東北技術事務所の方々には、現地観測の許可、データ提供等の面で多大なご協力をいただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：堤防等河川管理施設及び河道の点検要領，http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/tenkenhyouka/index.html, 2016.
- 2) 国土交通省：堤防等河川管理施設の点検結果評価要領，http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/tenkenhyouka/index.html, 2017.
- 3) 財団法人国土技術研究センター：樋門補強マニュアル（案），2001.
- 4) 神野有生，赤松良久ほか：UAV と SfM-MVS を用いた河道水面下測量技術における水面屈折補正の高度化，河川技術論文集，第 23 巻，2017.
- 5) 辻野和彦，阿部孝弘ほか：UAV を用いた橋梁点検に関する基礎的検討，土木学会中部支部研究発表会，2015.
- 6) 市川健，那須野新ほか：UAV 測量による簡易な河川地形把握手法を活用した河道管理の検討，土木学会年次講演会，第 72 回，2017.
- 7) 岡部貴之，坂下裕明ほか：ALB の河川縦横断面測量への適用性の研究，河川技術論文集，第 20 巻，2014.
- 8) 山本一浩，中村圭吾ほか：グリーンレーザ（ALB）を用いた河川測量の試み，河川技術論文集，第 23 巻，2017.

(2018. 4. 3受付)