

高性能無人ヘリロボット (UAV) とひび割れ計測システム (KUMONOS) 適用による点検調査の効率化



川村 広樹
設計計画本部 水環境部 流域保全グループ 課長代理
(技術士 建設部門—河川、砂防及び海岸・海洋)
kawamura@shinnihon-cst.co.jp



阿曾 克司
専務取締役 設計計画本部 本部長
(技術士 建設部門・総合技術監理部門)
aso@shinnihon-cst.co.jp



一願 稔
設計計画本部 社会基盤部 道路保全グループ 部長
(技術士 建設部門・総合技術監理部門、コンクリート診断士)
ichigan@shinnihon-cst.co.jp



横瀬 彰三
地理空間情報本部 空間計測部 点検調査グループ
プロジェクトマネージャー
(技術士 建設部門—鋼構造及びコンクリート、コンクリート診断士)
yokose@shinnihon-cst.co.jp



升方 祐輔
設計計画本部 水環境部 流域保全グループ 課長
(RCCM 河川、砂防及び海岸・海洋部門)
masukata@shinnihon-cst.co.jp

1 はじめに

(1) 我が国における基幹的水利施設の状況

我が国の基幹的水利施設の相当数は戦後から高度成長期に掛けて急速に整備されてきたことを背景に老朽化が進行し、標準的な耐用年数を経過している施設は全体の約2割に及んでいる。

このうち、1,955箇所ある頭首工は、既に耐用年数(頭首工の場合は50年¹⁾)を超過した施設が約3割、20年後においては約7割が耐用年数を超過することとなり、突発事故等のリスク増加や修繕の負担が懸念される状況にある(図-1参照)²⁾。

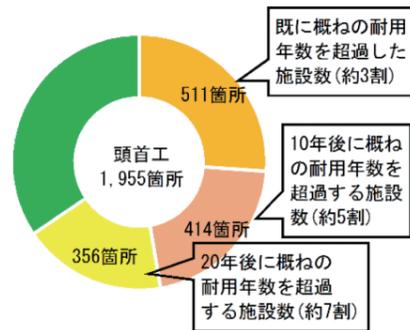


図-1 標準耐用年数を超過した施設数

こうした現状を鑑み、農林水産省では施設機能を効率的に保全していくため、平成19年3月に「農業水利施設の機能保全の手引き」を策定し、施設の長寿命化とライフサイクルコスト(LCC)の低減を図る「ストック

マネジメント」の取組を本格化させてきたところである。平成27年5月にはリスク管理の概念や耐震対策の位置付けの明確化、施設監視の考え方等を加えた改定が行われており、平成28年度には約7割の基幹水利施設の機能診断を終えることを目標に掲げ着実に取り組んでいる。

(2) 大野頭首工の概要

豊川水系宇連川において昭和36年に築造された堤長66.2m、堤高26.0mの大野頭首工は、愛知県東南部や渥美半島、静岡県湖西市への農業・工業・水道用水の供給を目的とした豊川用水の取水施設であり、主要部位は建設後54年経過している。図-2に大野頭首工位置図を示す。



図-2 大野頭首工位置図

当該流域は地形が急峻で複雑なうへ局地的降雨が多く流出量の変化が激しいため、放流・利水操作の

頻度が高く老朽化が懸念されていることから機能保全計画の策定が急務な施設であった(写真-1参照)。



写真-1 大野頭首工(右岸下流から望む)

次に、大野頭首工の維持更新履歴を図-3、調査対象施設図を図-4に示す。

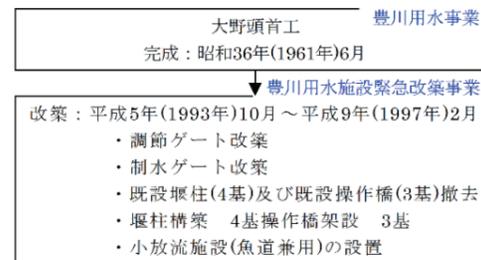


図-3 維持更新履歴

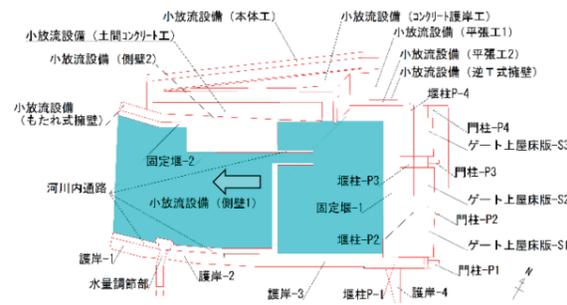


図-4 調査対象図

本稿は、大規模施設特有の課題への対応として実施した高性能無人ヘリロボット(UAV)とひび割れ計測システム(KUMONOS)を適用した機能診断調査の効率化について考察するものである。

2 大野頭首工(大規模施設)に対する調査の課題

機能診断の基本となるひび割れ調査は、調査員が手の届くところまで接近して目視を行い、ひび割れがあればその幅を直接測定し、うきが疑われる場合は点検ハンマーによる打音検査を行うことが原則である。しかしながら、川幅約60m、護岸直高約14mの大規模且つ操作頻度が高い当該施設では、徒歩、ボート、梯子、高所作業車等を利用した近接目視以外は、健全度評価の精度低下が懸念される遠方目視、あるいは足場等の仮設材を使用した近接目視が必要となり、調査期間の長期化によるコスト増や安全リスクの増大が

懸念されることが課題であった。加えて、上流域の降雨に起因した頻繁なゲート操作により調査可能な期間が限定されるため、調査時間の短縮を如何に図るかも課題であった。

そのため、堰柱・門柱の上部や護岸等、近接が容易でない施設に対し、施設の重要度や損傷状態などを考慮した近接目視に代わる機能診断調査方法が必要と判断し、新技術の適用を提案した。

3 UAVとKUMONOSを併用した機能診断調査

(1) 新技術適用による機能診断調査の提案

現地踏査の結果、近接目視可能箇所は全調査面積(A≒6,030m²)の約6割に留まり、残りの約4割を占める堰柱・門柱の上部や護岸等(基部より2m以上の範囲)が近接目視困難箇所であることを確認した。近接目視困難箇所については、弊社保有の高性能無人ヘリロボット(UAV)とひび割れ計測システム(KUMONOS)の組合せにより対処することを提案した。UAVとは、高性能無人ヘリロボットにデジタルカメラとGPS機能を搭載し、構造物の近接撮影を行い画像処理するものであり、近年では被災箇所の空撮や写真測量等、その適用性に広がりを見せる新技術である。課題としては、広範囲の近接撮影が容易な反面、ほぼ同じ形状の壁面を撮影する際に写真位置の判断が煩雑になることや、強風等の天候に左右されやすくオペレーター技術に依存する等、制約条件が多いことが挙げられる。写真-2に撮影状況を示す。また、表-1は弊社が保有する3種類のUAVの性能を示したものであり、地理的条件や用途に応じて機種を選定している。当該箇所においては安定性を重要視し、「SPIDER 8アーム」を採用した。

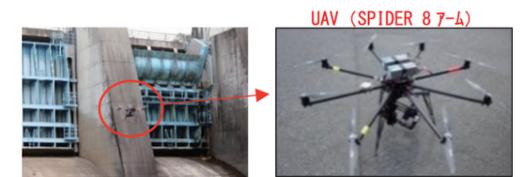


写真-2 UAV撮影状況

表-1 UAV性能表

項目	仕様		
	SPIDER 87-A	SPIDER 67-A	Phantom 2
機体重量(g)	5,800	3,800	3,800
外形寸法(mm)	1200×1200×570	1100×1100×400	510×510×190
耐風	15m/s以下	15m/s以下	5m/s以下
飛行時間(min)	10~20	10~30	25
搭載重量(g)	6,000	4,000	1,350
撮影範囲(m)	約1,000	約1,000	約700
到達高度(m)	300	300	300
UAV			

KUMONOSはノンプリズムトータルステーションにひび割れ計測ゲージを内蔵した機器であり、約200m先の局所的なひび割れ幅と位置を計測し、CAD化することが出来るひび割れ計測システムである。KUMONOSは人為操作を要するため、当該箇所のように広範囲における調査の場合はひび割れを探す労力や一箇所毎の測定に時間を要する点が課題である。写真-3に作業状況、表-2に性能を示す。



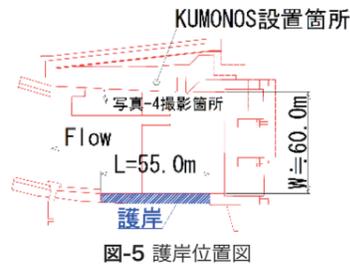
写真-3 KUMONOS作業状況

表-2 KUMONOS性能表

望遠鏡	倍率:40倍 視野:1度
測角精度	5秒(5秒表示)
測距精度(ノンプリズム)	±3+2ppm×D(200m以下) ±5+2ppm×D(200m以上)
レーザー出力(ノンプリズム測距時)	赤色レーザーイオード、クラス3R
データ記録容量(内部メモリ)	9900点、512MBコンパクトフラッシュ出力対応
寸法	183(W)×171(D)×345(H)mm
重量	5.8kg

(2) 新技術適用に対する課題への対応

各々の新技術が有する技術的課題に対し、以下の手順による調査方法を提案し、課題解決を図った。図-5に今回対象とした護岸位置と写真-4の撮影箇所並びにKUMONOS設置箇所の関係を示す。



a) STEP-1: 構造物の位置出し

当該施設の中でも護岸のように長大で構造に変化が乏しい施設は、局所的な写真データと位置を特定することが困難である。そのため、GPS機能による座標管理のほか空撮位置と変状位置を正確に把握できるように図-6に示すようにテープによる位置出し作業を行った。

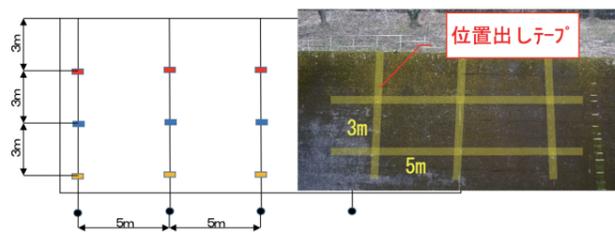


図-6 構造物位置出し要領図

b) STEP-2: UAVによるひび割れ箇所の抽出

位置出し後、UAVによる空撮を行い、変状兆候と

される0.2mm程度のひび割れ幅が確認された2箇所を抽出(スクリーニング)した。写真-4に護岸工におけるスクリーニング結果を示す。



写真-4 スクリーニング結果

空撮時はUAV保有のGPS機能を活用し、護岸から5mの離隔を保持することで撮影精度のばらつきを抑えた。近接目視は1m以内への接近が望ましいが、当該施設は規模が大きく護岸に沿った風の乱れ(乱流)によるUAVの不安定化が懸念されたため、安全管理上の観点から離隔距離を5mとした。

c) STEP-3: KUMONOSによるひび割れ計測

KUMONOSを用いスクリーニング箇所のひび割れ幅と位置を計測した。図-7に計測結果、表-3に測定データを示す。

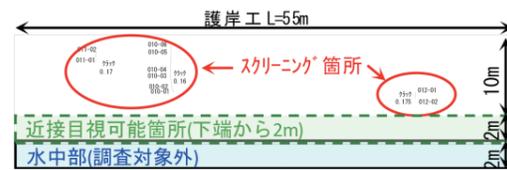


図-7 計測結果図

表-3 KUMONOS測定データ

視準点名	水平角観測角	鉛直角観測角	距離(m)	備考	クラック幅(mm)
010-01	33.082	87.581	40.622	クラック	0.16
010-02	32.555	87.125	40.817	クラック	0.16
010-03	32.496	85.303	41.316	クラック	0.16
010-04	32.515	84.335	41.564	クラック	0.16
010-05	33.095	81.591	42.366	クラック	0.16
010-06	33.123	80.553	42.742	クラック	0.16
011-01	21.330	83.453	43.839	クラック	0.17
011-02	21.554	82.156	44.263	クラック	0.17
012-01	70.192	88.195	45.410	クラック	0.18
012-02	70.266	89.121	45.225	クラック	0.18

(3) 遠方目視調査との比較検証

(2)で示した機能診断調査方法に対して、遠方目視調査を同時並行で実施し、差異を比較検証した。比較の結果、当該施設は苔が生えていることもあり、遠方目視ではひび割れ長さの過少評価や見落としがあることが検証できた。図-8に遠方目視結果を示す(図中左○箇所はひび割れ長さがやや短く評価され、右○箇所はひび割れを見落している)。

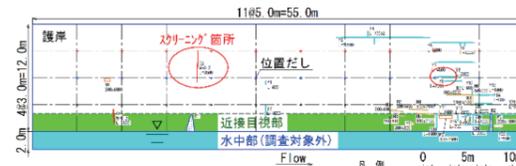


図-8 遠方目視結果

以上より、遠方目視では視認し難いひび割れの諸元を定量的に確認することができ、近接目視同等の成果を迅速且つ安全に把握することができた。

4 今後の課題と考察

本業務で得られた課題を整理し、大規模施設における機能診断調査を精度良く安全且つ効率的に実施するための考察を以下にまとめる。

(1) UAVとKUMONOSの適用性

UAVの空撮は現地条件より対象施設から5mの離隔としたが、変状兆候とされる0.2mm以上のひび割れを写真から判別するには十分な精度であるといえる。また、位置出しにより変状位置を的確に把握し、ひび割れ箇所のスクリーニングを迅速に行えることが確認できた。しかしながら、UAV単独ではひび割れ幅や長さの定量的評価は困難なため、スクリーニング後のKUMONOSによる補完が必要となった。今回は、ひび割れが比較的少なかったため、高精度且つ効率的に調査を行うことが出来たが、劣化が著しい施設に対しては、スクリーニングも難しくひび割れ計測に長時間要することも想定されるため、施設に接近しても安定性を保つようなUAVの改良や、広範囲を瞬時に計測できるようなKUMONOSの高度化等、更なる技術開発が今後の課題であるといえる。

(2) 近接目視困難箇所への対応

機能診断調査は近接目視が基本であるが、大野頭首工のような大規模施設においては表-4左に示す調査方法の適用性が認められた。

表-4 調査方法選定マトリックス(大野頭首工の例)

近接手段 又は 代替手段	大規模施設への適用 ^{※1}					対象施設 ^{※2}					
	近接目視	調査範囲	精度	容易性	迅速性	安全性	門上 柱 屋 床 版	固定 堰 柱	護岸 ・ 擁 壁	小 放 流 設 備	水 量 調 節 部
徒歩	◎	△	◎	◎	△	◎	★	★	★	★	★
ボート	◎	◎	◎	◎	△	◎	★	★	★	★	★
ハンゴ	◎	△	◎	◎	△	◎					★
高所作業車	◎	△	◎	◎	△	◎	★				
望遠カメラ	△	△	◎	◎	◎	◎		★	★	★	
マルチコプター	△	△	◎	◎	◎	◎		★	★	★	
クライミング	◎	△	◎	◎	△	◎	★				
KUMONOS	◎	◎	◎	◎	◎	◎				★	
足場工の設置	◎	◎	◎	◎	△	◎					

※1: ◎優, ○良, △可 ※2: ★今回実施した調査

表-4右の★印は今回実施した対象施設毎の近接手段又は代替手段である。調査の結果、ボートを使用した方法は、流れがない状況においても揺れが生じ、チョーキングや記録に支障があるという課題が得られた。また、梯子に関しては、精度良く点検できる反面、横移動

が非常に煩雑になり、広範囲を調査するには長時間要するため、非効率であった。以上の課題や特徴を踏まえると、現地踏査時に対象施設毎の調査方法を検討し、施設全体を通して最も合理的で精度向上が図れる方法の組合せを適宜選定することが重要であることが確認できた。

5 おわりに

近接目視困難箇所が多い大規模施設に対し、本調査手法は、遠方目視よりも高精度且つ安全性に優位であり、また、足場による近接目視を想定した計画に対し、約30日の調査期間短縮と仮設費を含む調査コストの縮減を達成することができた。

本業務は、機能診断調査と機能保全計画の策定を行ったものであり、効率的且つ円滑に遂行することに重点を置く必要があった。そのため、初回打合せ時に調査・計画方針や打合せ時期等の意思疎通を図り、安全且つ丁寧に取り組むことに心掛け、無事完了することができた。新技術の導入提案等の創意工夫が評価され、豊川用水総合事業部長より、平成27年度優良業務表彰並びに平成27年度優秀技術者表彰を受賞することができ、一定の成果を得ることができた。

インフラの調査・診断は、目視や計測、打音検査を基本とする中、非破壊検査技術や効率化を目的としたICTの活用も進んできており、インフラ利用者への影響の軽減、工期短縮、コスト削減等に寄与している。

一方、老朽化施設の更なる増大、少子高齢化に伴う職員数・熟練技術者の減少、厳しい財政状況等、社会経済情勢の変化を鑑みると、今後より一層、新技術の開発・導入を推進していくことが重要であると考えられる。

今後は、多くの問題が顕在化していく中、ストックマネジメントの重要性は更に高まることを踏まえ、LCCの削減を達成するために日々研鑽し、社会貢献に努める所存である。

謝辞: 本業務の遂行にあたり、独立行政法人水資源機構豊川用水総合事業部(管理課、大野管理所)のご指導・ご支援を賜り、職員の皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 農業水利施設ストックマネジメントマニュアル[共通編]
- 2) 農業基盤情報基礎調査 H24.3末時