無人飛行体(UAV)を用いた護岸の健全度評価に関する一考察

パシフィックコンサルタンツ(株)　正会員　○太田　智
パシフィックコンサルタンツ(株)　正会員　原田　大輔
パシフィックコンサルタンツ(株)　非会員　片浦　正雄
パシフィックコンサルタンツ(株)　非会員　田村友紀夫
国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所　非会員　坂本　和雄

１．はじめに

太田川の高潮区間は，広島市中心部に位置し，太田川放水路と市内派川(天満川・旧太田川・元安川)を合わせた護岸延長は約 80km である．高潮区間に設置の護岸は，老朽化や日々の干満により変状箇所が多くあり，管理延長も長い．そのため，変状箇所の調査に莫大な費用・時間を要しており，効率的・簡易的な調査手法の適用が急務となっている．本稿では，効率的な手法の一つとして，UAV を用いた多視点 3D 画像解析技術を用いた手法を試行し，従来の外観調査による健全度評価結果と比較を行い，今後の運用に向けた適用性と課題を考察した．

２．太田川高潮区間の護岸の現状と課題

(1) 護岸の状況

太田川高潮区間(直轄管理区間)の護岸整備は 1970 年代より進められており，直轄管理以前に整備された設置時期が不明な護岸も含め，管理区間の護岸延長は約 80km である．護岸工種は，主に平張りコンクリート護岸，ブロック積み護岸及び練石積み護岸が主に整備されている．太田川は，日々の干満による潮位差が月平均 2m 程度あり，護岸法面は急激な水位変動による大きな外力を受けている．そのため，老朽化による目地の欠落箇所等から背面土砂の吸出しを受けやすく，護岸背面の空洞化や緩み等の変状が発生し，変状が進行し，護岸天端のひび割れや陥没が発生している．

(2) 従来手法による調査

従来手法は，調査員による外観目視調査を実施しており，感潮区間のため潮待ち等による現地作業時間の制約があるため，外業作業のみで護岸 1km あたり 1 週間程度を要する．評価・とりまとめ作業を加味すると，全区間の調査が完了するまで約 5 年が見込まれる．また，護岸構造物に調査員が近づくことが難しい場所も存在する．その上，複数の調査員が目視作業を行うため，調査員の技量・解釈に委ねられる部分が多く，統一的な把握・判断が困難である．

３．UAV を用いた調査

(1) 調査の背景

近年，GPS などにより安定した飛行の可能な UAV が普及し，これまでは困難であった視点から対象物を把握することが可能となった．そのため，デジタル一眼レフカメラを搭載した UAV を用いて上空より護岸を撮影し，多視点画像 3D 構築技術を応用することで，画像取得～3D モデル化が容易となり，調査の大幅な省力化が期待できる．

(2) 使用機材

試行時に使用した UAV は，図 1 に示すように上下左右回転の 3 軸が自由に動かせるジンバルを装備し，そこに一眼レフカメラを搭載した．また，撮影範囲を地上でモニターにより確認できるようにした．なお，撮影は，対象から約 14m の位置を平行移動し，2～3mm/pix 解像度，各画像が 60%以上ラップさせ撮影を基本に実施した．

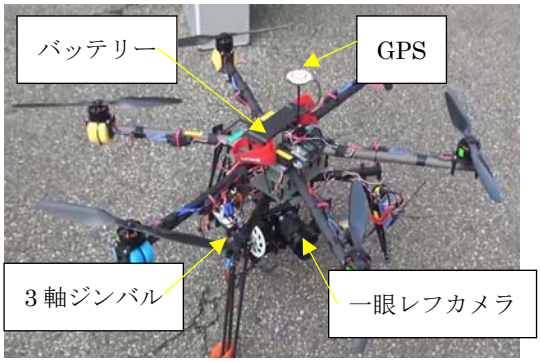

図1　調査に使用したUAV

キーワード　UAV，健全度評価，多視点画像
連絡先　〒730-0051　広島市中区大手町２丁目１番１号　パシフィックコンサルタンツ中国支社　ＴＥＬ082-504-1039

(3) 調査の流れ

調査の流れは，図 2 に示すように計測計画を立案し，写真解析の 3D モデルに座標を与えるため，対象範囲に評定点(GCP)を数点配置し，測量を行う．その後，対象範囲を UAV に搭載したカメラで連続的に撮影し，撮影画像を多視点画像解析により 3 次元モデル化し，現地状況における損傷の判読や評価を行う．

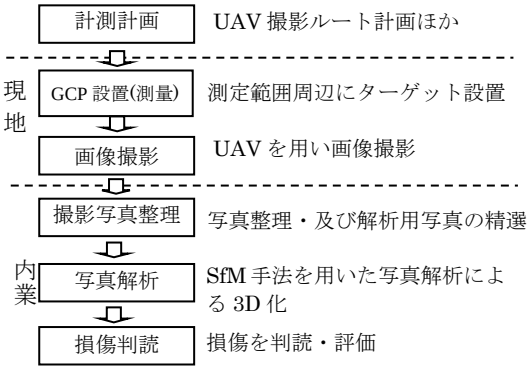

図2　作業の流れ

(4) 現地作業

UAV で撮影した画像により再現する 3D モデルに縮尺を与え，位置座標で管理するため，対空標識(ターゲット)を配置・測量し，写真解析時に座標値を GCP として入力した．直轄河川においては，200m 毎に距離標が設置されているため，これらを基準にターゲット測量を行うことで同一箇所を経年的な調査が可能となる．また，現地での UAV に搭載したカメラによる撮影は 1 枚/秒の撮影とし，1 箇所(約 100～200m)あたり，800 枚程度の画像を取得した．

(5) 解析作業

約 800 枚の撮影画像から解析に適した 450 枚程度の画像を精選し，多視点画像解析を行った結果，対象構造物の表面形状をリアルな高密度データが生成された．生成された 3D モデルを用いて損傷を抽出した結果，2 次元では分からない段差や孕みなどの変状も確認することが可能であった．

4．従来調査との比較

UAVによる調査と従来の調査方法による結果を比較したところ，従来の調査結果に記載されていた損傷(クラック幅や寸法等)は確認可能であった．また，直線的に記載されていたひび割れや浮きの状況は，画像解析により詳細な形状を把握できた．

今回の実施数量を基に従来の外観観察調査と UAV による多視点画像解析の作業時間や経済性を比較検討したものを表 1 に示す．UAV による調査では，外観観察調査に比べ，現場作業時間が大幅に短縮できるため，全区間の調査完了までの期間が約 3 年で行える見込みとなった．

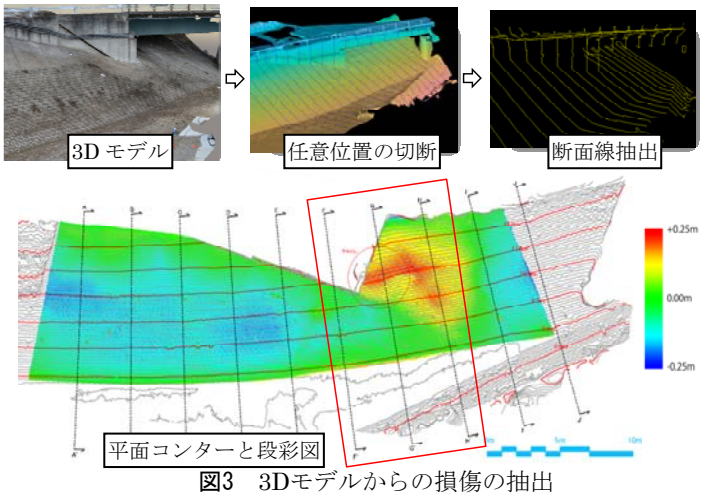

図3　3Dモデルからの損傷の抽出

表1　外観調査(従来手法)とUAVによる調査の比較

調査方法		外観観察調査（従来手法）	UAVによる多視点画像解析	備考
①現場作業所要時間	1kmあたり（1日あたり）	5日間（200m/日）	1日間（手動操作時;1000m/日）	作業可能時間を昼間の干潮前後3時間と想定
	感潮区間全域（年間作業可能日ベース）	10.9ヶ月（約2年7ヶ月）	2.2ヶ月（約6ヶ月）	延長65km 年間128日間と想定。（水位が100cm未満となる干潮前後3時間）
②解析・評価とりまとめ作業所要時間	1kmあたり	12日間	12.5日間	1人で実施した場合
	感潮区間全域	約2年2ヶ月	約2年3ヶ月	
③総合計所要時間（①+②）（年間作業可能日ベース）		**約3年1ヶ月（約4年9ヶ月）**	**約2年5ヶ月（約2年9ヶ月）**	
⑤経済性		現 場 作業;55万円 解析・評価;30万円 合　　計;85万円	現 場 作業；30万円 解析・評価；84万円 合　　計；114万円	1kmあたり

5．今後の運用に向けた適用性と課題

今回，UAV 調査にて，護岸の損傷図作成や評価を行い有用性があることを確認した．今回の試行結果を踏まえ，UAV による護岸の健全度調査を行う上での適用性と課題を整理した．

【適用性】

- 感潮区間等作業時間に制約がある場合や河口域等人が近づけない範囲の調査で有用性が高い．
- 室内で変状箇所の評価・解析を行うため，同一技術者による統一的な評価が可能となる．
- 一度に広範囲のデータ取得が可能で，継続的なデータ取得が行え，同一場所の経年変化(過去データとの比較やﾌｨｰﾄﾞﾊﾞｯｸ)が容易にできる．

【課題】

- 撮影時に制約条件(気象条件，電波状況，プライバシー，法制度等)に留意する必要がある．
- UAV 操縦者の熟練度が必要であり，特に鉄道や道路，橋梁等の近傍での飛行は注意が必要となる．