

UAV による河川地形情報と多段式落差工におけるエネルギー減勢効果

(独) 国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○吉武智哉
同上 学生会員 川路恭広 ・正会員 和田 清

1. はじめに

落差工の機能は、治水面「河床安定を図る」、環境面「魚類等の生息場の確保」、景観面「周囲の景観に馴染むこと」などが求められている。多段式落差工は、自然石ブロックを連結した落差工であり、コンクリート製の落差工に比べて人工的な景観とならず、施工が比較的容易という特徴がある。本研究では、落差工がもつ治水面での機能に焦点を当てて、出水時における流水エネルギーを減勢させることで河床安定を図る多段式落差工の水理学的な評価を数値モデルにより明らかにするとともに、UAV を用いた広域的な河川地形情報に加えて水深情報をどのように補正するかについての検討を行った。

2. 研究の方法

(1) 対象河川

岐阜県各務原市川島を流れる木曽川北派川下流部は、岐阜県が設定した実験河川である。木曽川合流部とカルバートの間に、多段式落差工が2基（上流側：2ユニット1.5割勾配，下流側：3ユニット5割勾配）設置され、落差1.2mを解消するための1段当たり落差は0.6mである。なお、設計流量 Q は $110\text{m}^3/\text{s}$ である。

(2) 使用するソフトウェア

エネルギー損失の解析では、河川測量データをもとに1次元，水平2次元，3次元数値解析を行う。その解析に用いる基本ソフト（iRIC-Nays2D）は、非定常平面2次元流れと河床変動計算の解析用ソルバである。非定常流計算で高い精度を発揮し、移動床計算も可能なため河床変動においても砂州の時間的な変化などを再現することができる。また、Nays Cubeは動水圧を考慮した厳密な3次元流基礎式を河川に適用することにより、実河川で問題となる事象はほぼそのすべてを考慮することができる。高度な乱流モデル（非線形 $k-\epsilon$ モデル）を搭載し、Nays2Dでは再現することのできない第2種2次流も再現できる。これらのソルバを用いて跳水によるエネルギーの損失計算に必要な水深，河床高，流速などの水理データを得る。

さらに、UAVによる航空撮影の河川地形情報ソフトはPhoto Scan Proであり、隣接した2方向からの写真を選択合成し、ポイントクラウドという位置と高さの情報をもつ点の集合体にする。このポイントクラウドの点を繋ぎ合わせて3Dモデル，鳥瞰図などが作成される。

(3) 地形測量とモニタリング機器

流れの3次元解析には詳細な河川地形測量データを用いる。トータルステーションやタルレベルによる縦断方向，横断方向の河川測量データを解析し，流速，水深，河床変動等の観点から多面的に評価する。また，洪水時の状況をモニタするために，メモリ式水位計（5分間隔），インターバルカメラ（撮影間隔1分）を設置した。使用したUAVはT600型，1200万画素のCMOSセンサを搭載している。UAVによる航空撮影では，河床に鋼製白色プレート（ $30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 5\text{mm}$ ）を30枚設置し，その場所の座標値と水深をトータルステーションなどにより計測し，その実測水深と画像処理により得られた水深の推定値の関係から換算式を求める。また，UAVをホバリングし浮標ボールを流下させて撮影することにより，表面流速や流跡線などの算定を試みた。使用したソフトはImage-JやEasy Accessなどにより，各画像の輝度値を画素ごとに比較し，順次明るい方の値と置き換えることにより，トレーサの多重合成によって流跡線画像から表面流速が算定される。

3. 結果および考察

図-1は，UAVによって撮影された航空写真画像をPhoto Scan Proにより解析した結果を示したものである。同図から，河川地形の植生や土砂堆積状況などが詳細に表示されていること，カルバートの内部や落差工の高低差などが明瞭に表現されている。現在，複数のBMの値から，全体の3次元座標値を算定している。図

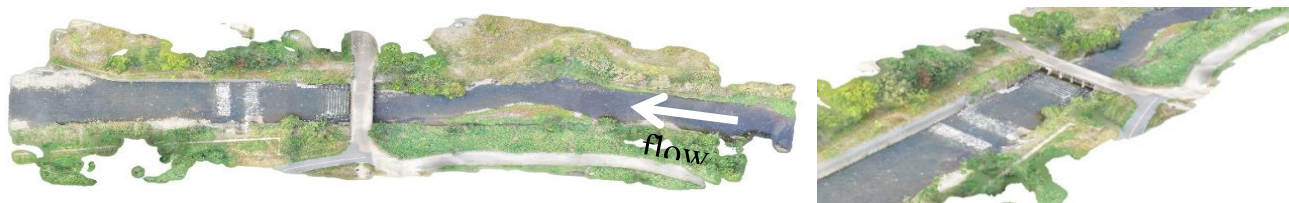


図-1 PhotoScanPro による河川の3次元表示



図-2 出水時モニタリング

-2は、インターバルカメラによる洪水時の落差工周辺の状況を示したものである。図-3は2015年10月1～2日にかけて計測された水位データであり、①洪水前、②洪水ピーク、③減水期、④木曽川からの堰上げの影響を受けた湛水状況が併記されている。同図から、水位上昇1m程度であるが洪水ピーク周辺では多段式落差工による跳水現象、その後の潜り跳水などを確認することができる。

一方、落差工周辺を単純地形化した予備解析では、河道71mを12区間に分けて勾配を変化させ、実河川に近い河道を再現してモデル化した。粗度係数の設定はマンニング式を採用し、現地調査のデータと河川砂防技術基準を参考に範囲ごとに設定した。北派川の河道部の粗度係数 n は0.03、落差工部は0.05と仮定した。また、出水時の最大流量は上流部に位置するボックスカルバートの橋梁通水断面から決定し $110\text{m}^3/\text{s}$ とした。図-4は、最大流量時の1次元解析における水面形とエネルギー線の関係を示したものである。同図には、水面低下が著しい位置▼印を併記している。同図から、落差工では水面が大きく変動し、射流から常流への遷移過程が表示されるとともに、大きなエネルギー損失を発生させていることがわかる。さらに、落差工の直上で水面は大きく低下し、その後、水深が大きくなるため、ここで跳水が発生していると考えられる。また、インターバルカメラ画像とも対応関係が一致し、落差工付近で強制跳水を発生させて、大きなエネルギー損失を生じさせる減勢効果が確認された。

4. おわりに

本研究では、UAVによる画像解析により、河川地形の植生や土砂堆積状況などやカルバート内部や落差工の高低差などが明瞭に表現されていること、小規模の洪水時における水位や流況画像データなどから、落差工付近で大きなエネルギー減勢効果が確認された。さらに、1次元解析により、多段式落差工付近では水面が大きく変動し、射流から常流への遷移過程が表示されるとともに、大きなエネルギー損失を生じさせている。

今後、画像処理により得られた水深の換算式や表面流速の推定を行うとともに、平面2次元解析および詳細な3次元解析により、落差工周辺の流れ場を再現する予定である。

【謝辞】 本研究の遂行に関して岐阜県河川課の多大な支援を受けた。末尾ながら、謝意を表する次第である。

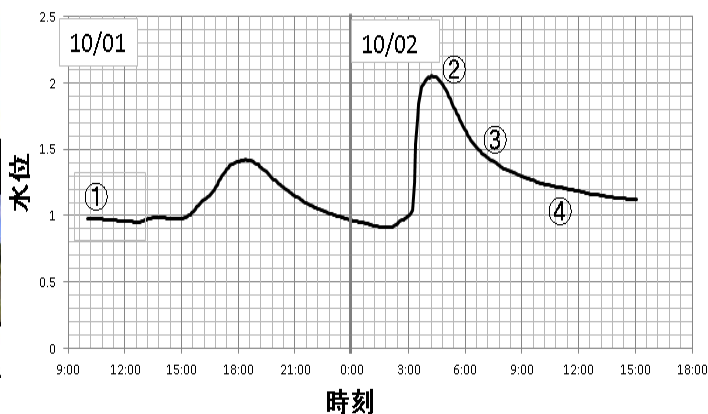


図-3 出水時の水位曲線

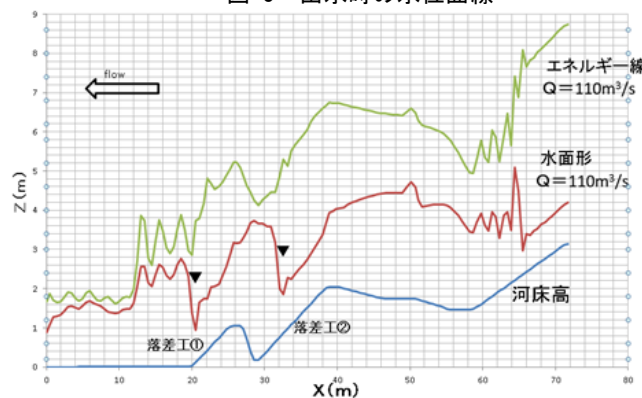


図-4 水面形とエネルギー線