

多段式落差工におけるエネルギー減勢効果と安定性に関する研究

(独) 国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○大坪幹弘
同上 正会員 和田 清

1. はじめに

河川管理における治水・利水・環境保全の観点からは、流量変動に伴う河床変動や流れの多様性を把握し、その流況を河川構造物により安定的に制御することが必要となる。一方、従来の河川改修では河床安定対策として帯工や落差工が設置されているものの、岐阜県は急流河川が多く、その後の河床低下により河川構造物が不安定化し河岸の安全性、魚類遡上などに支障を来すことなどが課題となっている。これらの課題を検討する実験河川（新境川：岐阜県各務原市）において、多段式落差工（自然石連結落差工）などが設置され、構造物の安定性やエネルギー減勢効果などの機能について継続的なモニタリングが行われている。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景観に優れ、施工性が比較的容易という特徴がある。また、石組み落差工などに比べて、熟練の職人が必要であること、巨石が景観に合わない河川があること、石材の確保に費用が掛かることなどの課題も補完する工法である。

本研究では、水位計の設置やインターバルカメラによるモニタリングを行い、それをもとに数値解析による落差工のエネルギー減衰効果を評価し、設置条件（設置間隔と天端高）や流量条件を変化させて、洪水時における水理特性と減勢効果を把握する。

2. 研究の方法

(1) 数値解析

流れ解析では、河川測量データをもとに水平2次元数値解析を行う。その解析に用いる基本ソフト（iRIC-Nays2DH）は、河川における流れ場、河床変動、河岸侵食の計算を行うために開発された一般曲線座標で境界適合座標を用いた非定常平面2次元流れと河床変動計算の解析用ソルバーである。今回の解析において、乱流場の計算方法には経験的0次方程式、水深積分型非線形 k-ε モデルを用いて、マニングの粗度係数 n は地形や構造物に応じて 0.015～0.028 の間で変化させた。また、上流部のボックスカルバートが支配断面となり、1次元解析により得られた最大流下流量 110 m³/s を設計流量とし、計算流量は 10～160 m³/s に設定した。

(2) 地形測量とモニタリング機器

図-1 は、2014年8月19日の設計流量を超える出水時の流況を示したものである。本河川は同規模の出水が幾度か記録されており、周辺地形にも大きな影響を与えている。そこでトータルステーションや3Dレーザースキャナー（GLS-2000）で詳細な地形データを把握する。また、洪水時の状況をモニタするために、メモリ式水位計（S&DLmini、5分間隔）、インターバルカメラ（TLC-200）（撮影間隔1分）を設置した。

3. 結果および考察

(1) 流量を変化させた数値解析

計算流量 10～160 m³/s の解析結果は水面形やフルード数において、流量 10～30, 40～120, 130～160 m³/s の3グループに分類できる類似性が見られた。そこで流量が 10～30 m³/s の場合と、常流や射流の変曲点である遷移限界流量の下限值 40 m³/s および上限値 130 m³/s について比較考察を行う。図-2 は、遷移限界流量において、河道の中心軸上の水位の空間分布を示したものである。同図から、カルバートの上流側では通過流量が制限されるために水位が上昇していることなどがわかる。図-3 は、フルード数の流下方向の空間分布を示したものである。同図から、カルバートを通過した流れは、1/10 勾配の魚道ブロック部では限界流から射流 ($Fr > 1$) に遷移し流下している。10 m³/s では、第1および第2落差工の前面において、フルード数が変化し、射流から限界流、常流に遷移し跳水が発生している。遷移限界流量 ($Q=40, 130$ m³/s) では、第1落差工周辺で常流に遷移せず射流状態のまま流下し、流量 $Q=40$ m³/s では、第2落差工において常流へ遷移し



図-1 洪水時 (2014. 8. 19)

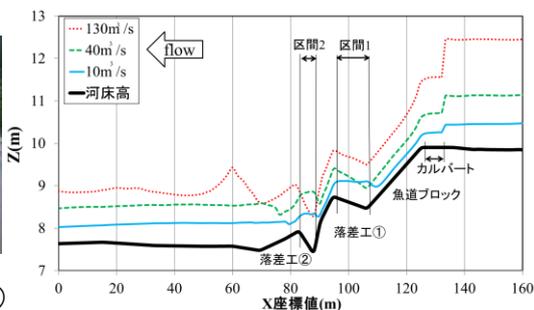


図-2 水位分布

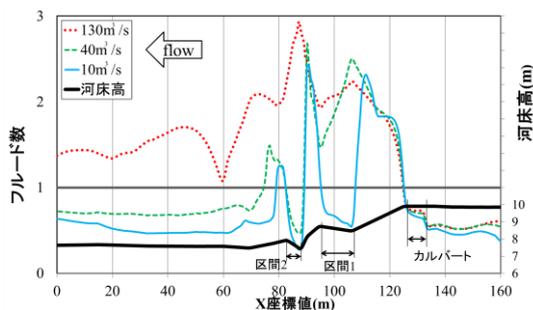


図-3 フルード数分布

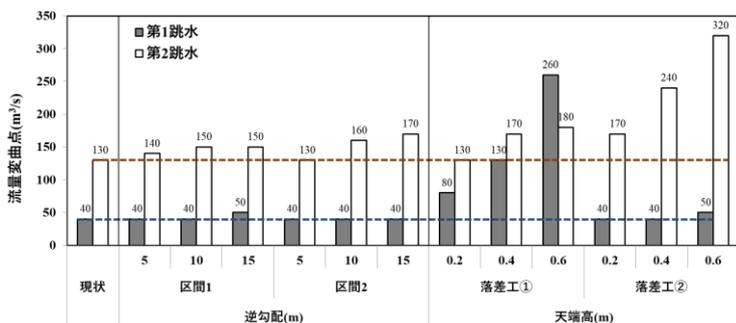


図-4 設置条件の違いによる比較

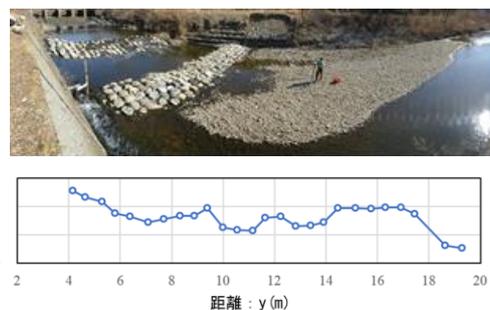


図-5 天端の変形量

ている。また、流量 $Q=130\text{m}^3/\text{s}$ では下流部全域にわたって射流状態で流下することとなっている。これらのことより落差工周辺には、跳水によるエネルギー減勢が起きているのではないかと考えられる。

(2) 設置条件を変化させた数値解析

設置条件は、落差工の前面区間長を 5~15m 延長し、天端高を 0.2~0.6m 上昇させる条件で、第 1、第 2 落差工それぞれ変化させ解析を行った。これらの落差工の設置条件について、遷移限界流量の変化に着目して整理した結果が図-4 である。同図より、落差工の区間を延長した場合は遷移限界流量に大きな変化が見られない。一方、落差工の天端高を嵩上げした場合は、遷移限界流量が引き上げられており、より強制跳水によるエネルギー減勢効果が期待できるといえる。

(3) 落差工周辺の地形変化

設計流量を上回る洪水の履歴を受けて、繰り返し外力と多段式落差工の本体工および兩岸の護岸工の安定性について検討するために、2017年2月14日地形測量調査を行った。測量には 3D レーザースキャナーを使用し、水面下についてはトータルステーション、電磁流速計等を用いた。図-5 は調査時のパノラマ写真と第二落差工の天端の変形量を併記したものである。同図から、第 2 落差工の下流左岸側において堆砂がみられること、左岸側の表法面 (1 割勾配) では土砂の剥離、崩壊が生じていること、第 2 落差工の右岸側では、深掘れ部が生じ偏った流水となり流れが集中していることなどがうかがえる。

4. おわりに

以上、多段式落差工を対象にして、数値モデルにより平水時から洪水時における水理特性および設置間隔や天端高を変化させた効果を定量的に評価した。本研究で得られた成果は以下のようなものである。

- 1) $10\sim 160\text{m}^3/\text{s}$ で流量を変化させ数値解析を行った結果、設計流量以上の流量で落差工付近での遷移領域の発生を確認し、エネルギー減勢効果が発揮されていることが定量的に把握された。
- 2) 落差工の設置条件を変化させた数値解析を行った結果、落差工の天端高を嵩上げした場合は、遷移限界流量が引き上げられ、より強制跳水によるエネルギー減勢効果が期待できる。

【謝辞】 本研究の遂行に際して、岐阜大学藤田裕一郎名誉教授、岐阜県河川課の多大なご協力を受けた。末尾ながら、謝意を表す次第である。

【参考文献】 和田 清・藤田裕一郎・大坪幹弘：河川における多段式落差工のエネルギー減勢効果とその評価，土木学会河川技術論文集，Vol.23，pp.139-144，2017。