

射流場における落差工の縦断・平面線形に関する実験的研究

国土交通省中部地方整備局 多治見砂防国道事務所 草野慎一， 檜野 誠（現 木曾川上流河川事務所）

日本工営(株) 池島 剛， 西 陽太郎， 流川遥平， 松田 悟， ○渡部春樹， 伊藤隆郭

玉野総合コンサルタント(株) 中山貴士

政策研究大学院大学 水山高久

1. はじめに

流路工の計画勾配や落差工の水理学的な意味等が示され<sup>1)</sup>， 落差工直下の減勢には， 射流場の減勢となるため， 相当大きい水褥池が必要となる。 扇頂部周辺の落差工の配置においては， 地形条件等の制約から低落差の多段型の落差工が設置されていることが多い。 水山ら<sup>2)</sup>によれば， 多段型の落差工では， 上流からの流入速度に対して下流端の流出速度が大きくなり， 落差工部の縮流により， 水位の横断方向の分布に変化が生じ， 両岸部でのせり上がりによる水位上昇が生じ， 落差が大きくなると， 最大水深が等流水深の数倍になり， 越水の可能性があることが示されている。 本検討では， 射流場の多段型の落差工を有する流路工を想定し， 平面線形や縦断形状が流況や水位に与える影響について実験的に考察を行った。 また， 落差工直下部に生じる空間を利用した平面的な縮流の防止と落差を解消するような階段工を考案し， その効果について水理模型実験により検討した。

2. 実験条件

- (1) 模型縮尺：模型縮尺は1/100に設定した。
- (2) 流路工の平面線形：弯曲部と直線部が混在する3パターンの平面線形を対象とした。 弯曲部の曲率半径が最も小さいパターンを平面線形1とし， 曲率半径を変更したパターンをそれぞれ平面線形2， 平面線形3とした（図-1）。
- (3) 流路工の縦断形状：対象とした流路工は台形断面を有した多段型落差工であり， 河床勾配  $i_b$  は上流から  $1/10.0(=5.7^\circ)$ ，  $1/8.5(=6.7^\circ)$ ，  $1/7.6(=7.5^\circ)$  で， 上流から下流に向けて河床勾配が大きくなる（図-2）。

- (4) 実験ケース：表-1は本実験の水理条件を示しており， 流路工内の流れは強い射流である。 流量は  $58\text{m}^3/\text{s}$ ，  $100\text{m}^3/\text{s}$ ，  $200\text{m}^3/\text{s}$  の3流量を設定した。 図-1の線形1において， 測線275m付近における越水発生流量は  $100\text{m}^3/\text{s}$  程度である。 実験ケースは表-2に示し， Run8は水位に対する流路工の落差部に設置した流況改善のための階段工の効果を確認するケースである。

3. 弯曲部の流況や水面形に対する平面線形の影響

Run1とRun3を対象とし， 流況に対する弯曲部の影響を把握した。 流路工の下流側で， かつ， 弯曲部の曲率半径  $r$  の違いが明瞭な断面周辺の流況を示すことが適当であるため， 図-3に測線250m～300m付近の流況を示す。 Run1 ( $r=91\text{m}$ ) では， 弯曲部外岸へ越水が生じているが， Run2とRun3 ( $r=325\text{m}$ ) では曲率半径が大きくなるため， 弯曲部外岸への越水が軽減されている。 また， 図-4は  $58\text{m}^3/\text{s}$  及び  $100\text{m}^3/\text{s}$  における平面線形1と平面線形2の水路中心で計測した水位と水深の縦断分布である。 Run2 ( $58\text{m}^3/\text{s}$ ) とRun3 ( $100\text{m}^3/\text{s}$ ) に対してRun5とRun6の水深の縦断的なバラつきが緩和されており， 曲率半径を大きくし， 直線化すると流況が改善される。 なお， 流量が増加すると， 縦断的な水深のバラつきが増加し， 水路下流に向かって， その影響が大きくなる。

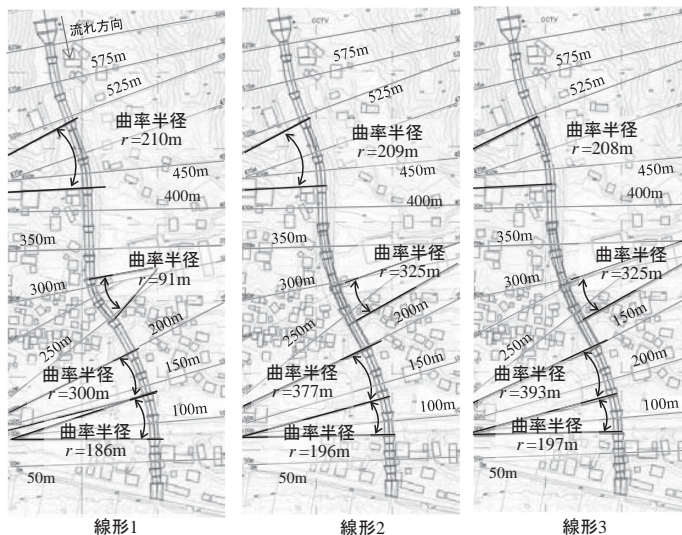


図-1 流路工の平面線形

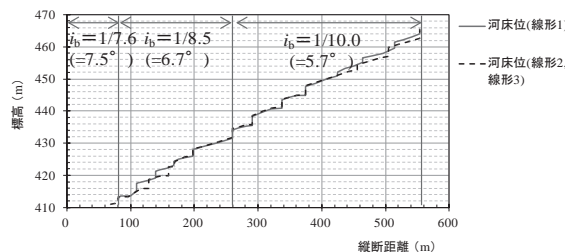


図-2 流路工の縦断形状

表-1 水理条件の整理

$\theta$ (deg.)	$n$	$b$ (m)	$B$ (m)	$R$	$A$ (m <sup>2</sup> )	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$h_0$ (m)	$v$ (m/s)	$F_r$
5.73	0.040	8.00	8.99	0.820	8.37	58	0.986	6.93	2.23
5.73	0.040	8.00	9.38	1.08	12.0	100	1.38	8.33	2.26
5.73	0.040	8.00	10.1	1.51	19.2	200	2.12	10.4	2.28
5.73	0.040	8.00	10.5	1.76	24.3	280	2.61	11.5	2.28

ここに， $\theta$ : 勾配， $n$ : 粗度係数[m-s系]， $b$ : 流路工底面幅， $B$ : 水面幅， $R$ : 径深， $A$ : 通水断面積， $Q$ : 流量， $h_0$ : 等流水深， $v$ : 断面平均流速， $F_r$ : フルード数

表-2 実験ケース

Run No.	平面線形	流量(m <sup>3</sup> /s)
Run1	線形1	100
Run2	線形2	58
Run3	線形2	100
Run4	線形2	200
Run5	線形3	58
Run6	線形3	100
Run7	線形3	200
Run8(階段工)	線形3	100

#### 4. 流況及び水面形に対する縦断形状の影響

図-4に示すRun3とRun6の水面形と水深の縦断分布をみると、流路の平面線形の直線化により弯曲部の流況が改善されたが、図-2の河床縦断分布に示すように下流側に進むに従って、河床勾配が大きくなるため、流速が増加してしまう。図-5は、Run3とRun6の断面平均流速の縦断分布である。流量と水深から流速を求めた。

表-1に示す等流流速と比べて、Run3では最大流速が1.75倍、Run6では1.99倍になっている。また、図-6上図(Run6)に示すように、側岸部から衝撃波が生じ、流路工の縮流部がトリガーとなって水位が乱れる。

#### 5. 落差工の水位に及ぼす階段工の影響

衝撃波により落差工の縮流部の水位が乱れ、その影響が下流に伝播する。流路工の落差部には流下断面を阻害しない空間が生じるので、落差部に縮流を解消する護岸工と落差を緩和する機能をもつ階段工を設置し、その水位に対する影響を確認した。図-6には階段工を設置した場合と未設置の場合の流況を示している。階段工を設置したRun8では衝撃波の影響が平滑化されている。図-7は水位と水深の縦断分布を示しているが、階段工を設置すると水深のバラつきが小さくなる。また、図-8は水位の横断分布を示しており、階段工を設置した場合は横断的に水位が平滑化され、水山ら<sup>2)</sup>の指摘する両側岸での水位上昇が緩和される結果となっている。その他、衝撃波の集中により水路流心部の水位上昇が生じるパターンも見られたが、今回の階段工により、横断方向の水位の平滑化がされた。

対象流量に応じて、多段型の落差工のクリアランスが変化するが、対象流量に対して、落差部のクリアランスが確保される場合、通水断面を阻害しないように落差部に階段工を設けることで流路工内の水位や流況を改善することが可能である。

#### 4. おわりに

射流場における多段型落差工を有する流路工に対する平面形状や縦断形状が流況や水位に与える影響を確認した。流路工内の落差部に縮流を防止し、落差を解消する階段工を設置することで、衝撃波の影響を緩和することが可能である。射流で流下する流路工は、曲率半径を大きく設定した直線的な平面線形とし、落差部に階段工を設置すると落差工の最下流端で流速が増加するため、その対策が必要であるが、水位や流況が平滑化される。

今後、扇状地の市街化した領域において、多段型の落差工の配置を行う際に、落差工群の対策や最下流端の流水処理など設計等への新たな基礎資料の提供を行っていく予定である。

参考文献: 1) 芦田和男ら: 新砂防, 97, 1975., 2) 水山高久ら: 新砂防, Vol. 42, No. 2, 1989.

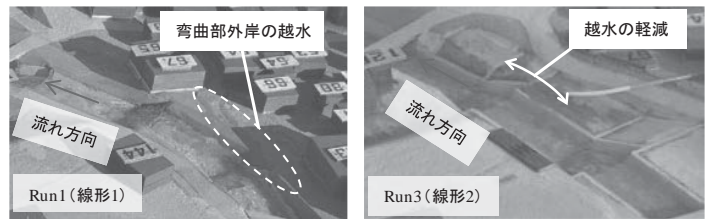


図-3 弯曲部の流況比較 (Run1 と Run3 の比較)

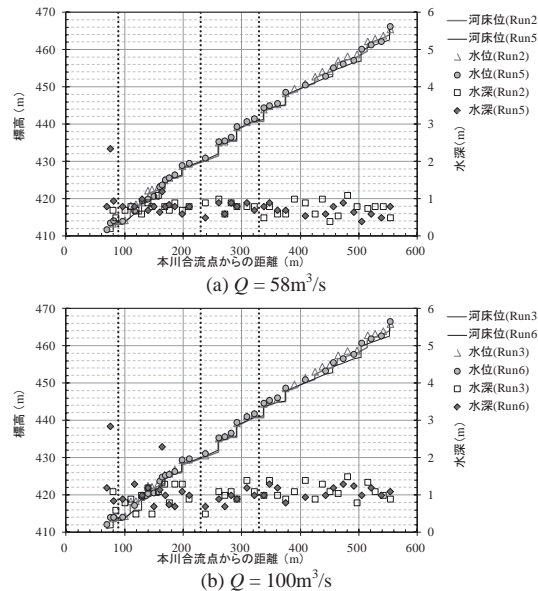


図-4 水面形と水深の縦断分布  
(上) Run2 と Run5. 下) Run3 と Run6 の比較

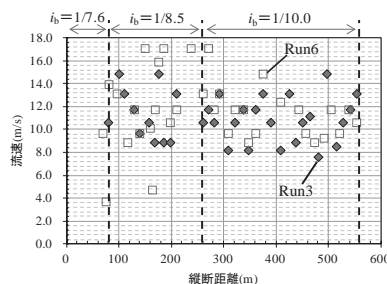


図-5 流速の縦断分布  
(Run3 と Run6,  $Q = 100\text{m}^3/\text{s}$ )

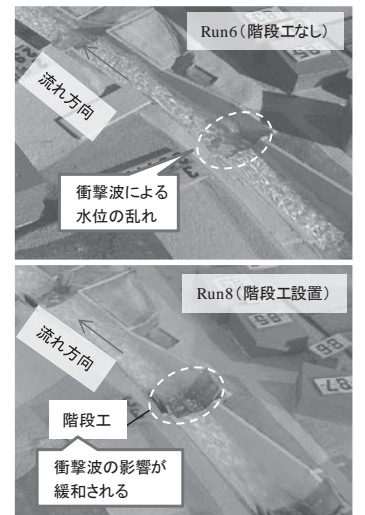


図-6 弯曲部の流況比較  
(Run6 と Run8 の比較, 流量  $100\text{m}^3/\text{s}$ )

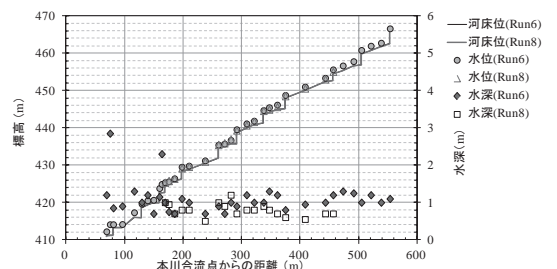


図-7 水位と水深の縦断分布  
(階段工の効果,  $Q = 100\text{m}^3/\text{s}$ )

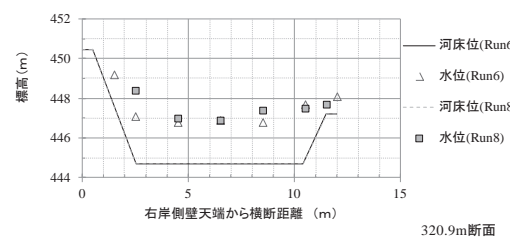


図-8 水位の横断分布  
(階段工の効果,  $Q = 100\text{m}^3/\text{s}$ )