

東京都土木技術研究所

正会員 ○ 国分 邦紀

東京都南多摩新都市開発本部

金子 義明

1. はじめに

中小河川の落差工（段落ち）は概して規模が小さく、高々1.0m～2.0mの落差が多いが、河川改修により、旧河道のショートカットや新川開削などが行われると、現河床維持のために多くの落差工が新設され、旧川とは全く異なる水理条件となって、エネルギー減勢効果や局所洗堀が問題になることがしばしばある。開水路の段落ち流と減勢については、従来多くの実験、研究がなされているが、比較的急勾配水路でかつ水路幅が小さく壁面抵抗が無視できないような中小河川への適用には、十分な水理的検討が必要と思う。本報は図-1,2のような段落ち形状を持つ複断面河川の流れを水理模型実験によって明らかにし、現況段落ちの減勢効果を、落差工下流部の断面振幅によって造られた減勢池の場合と比較したものである。

2. 実験方法

実験は現況実験と改良実験を行い、現況実験は図-1,2に示す原型形状を1/20に縮尺したコンクリートモルタル表面仕上げの模型で、粗度係数を3種類、流量を各10種類変えて、水面形（縦断、横断）、流速分布、流況などを測定した。また、改良実験は段落ち下流部を図-8の様に改良し、流量を2種類変えて同様に行った。本実験の相似則による縮尺は、表-1のようなものである。

項目	原型値	縮尺	模型値
河川全幅	27.5m	1:20	1.375m
低水路幅	7.3m	1:20	0.365m
実験区間	500.0m	1:20	25.0m
段落ち高	1.0m	1:20	5.0cm
計画高水流量	194.7m ³ /s	1:1789	108.8L/s
粗度係数 n_b	0.028	1:1.648	0.017
" n_p	0.035	1:1.648	0.021
" n_s	0.020	1:1.648	0.012
河床勾配	1/250	1:1	1/250

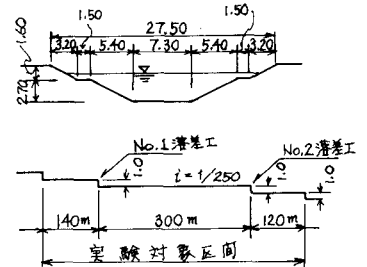


図-1 水路横断、縦断面図

3. 現況実験

実験対象区間の水面形測定結果および不等流計算結果より、段落ち点上流が常流低下背水、段落ち点下流が射流（ $Fr \approx 1.2 \sim 1.6$ の弱い波状跳水、 $h = 26m \sim 40m$ ）を呈していることが判明し、段落ち点が支配断面となると想定された。なお、現地河川の流況結果と実験を比較して考えると、 n_b ケース（ $n_p = 0.028$ ）の時が一番良く現地河川の流れを表現すると思われた。また、段落ち直上の流れは、段落ち点水深 h_1 と限界水深 h_c の比、 $h_1/h_c \approx 0.833$ （データ数 $n = 20$ 、 $\sigma_{n-1} = 0.0298$ ）で、流量や粗度係数にほとんど左右されずほぼ一定であった。岩崎らが行った長方形緩勾配水路での $h_1/h_c \approx 0.724$ （ $\sigma_{n-1} = 0.0042$ ）であったから、本実験の様な水路の段落ち流は曲率が小さく、壁面抵抗と水路勾配が影響しているようである。

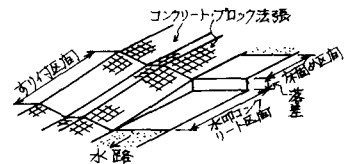


図-2 落差工形状

1). 段落ち点下流の流速分布 段落ち点下流の流れは、その形状の複雑さに支配されるようであった。すなわち、落差が低水路底幅のみの落差であり、側壁はすり付区間を以て下流河道に取付けてある。このため段落ち流は、水路中央を走る主流と側壁に沿って走る流れが衝突し複雑な乱流を呈していた。いま、水路中央部の流れが支配的であるとみて二次元的に流速の減衰を考察すると、図-3の様に噴流と似た流速分布になり、水路中央最大流速 U_{max} の減衰は、流下距離 x に逆比例して $U_{max} \sim 1/\sqrt{x}$ でかつ、 $m \sim 1/n$ になると思われる（ n は粗度係数）。No.2落差下流10mを距離 x の原点にとったとき、 U_{max} の実験式

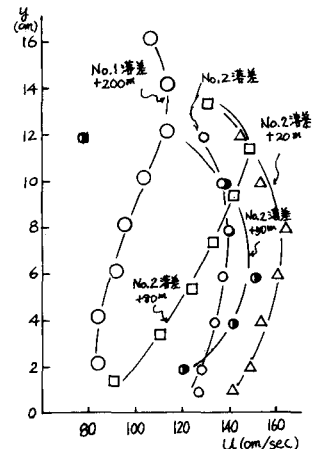


図-3 落差工下流部流速分布

が次のようになった。 $U_{max}/U_s = (\alpha/\beta) \frac{1-92.31\alpha n}{362\alpha n}$ (1)

ただし、 U_s : $\alpha = \beta$ での軸上最大流速 (cm/sec)、 U_{max} : α が任意距離での軸上最大流速 (cm/sec)、 n : 粗度係数

2). 段落ちによるエネルギー損失 段落ちによる損失水頭は、図-4の断面I、II間でベルヌーイの式を適用し、段落ち直下流の形状抵抗と摩擦損失を含めた損失水頭 h_d を求めた。 h_d は、

$$h_d = (Z_{b1} + d + h_1 + \frac{V_1^2}{2g}) - (Z_{b2} + h_2 + \frac{V_2^2}{2g}) = \zeta_d \cdot \frac{V_1^2}{2g} \quad (2)$$

(ここに、 ζ_d : 段落ちによる損失係数) で表わされる。

いま、断面IIを段落ち点下流20mにとり、

エネルギー損失の度合を下流断面IIの水理量

をもとに整理すると、図-5、6の様に h_d は h_2

および n をパラメーターとした断面IIの流れ

に支配されるようである。また図-7の様に

エネルギー損失係数 ζ_d と Fr_2 の関係は逆比例し、

n によって大きく支配され、 $Fr_2 > 1.5$ になると

損失の度合が小さくほとんど一定である。

なお、 h_d の実験値は、流量、粗度係数の大小にあまり

影響されず、約 $0.7\text{m} < h_d < 1.2\text{m}$ の範囲にあり、平均して段落ち高

$d = 1.0\text{m}$ 分の損失に相当するものであった。

4. 改良実験

現況落差による減勢は、跳水の様な急激な水頭損失にならず、減勢

にはかなりの流下距離(常流でほぼ常流になるのは落差工下流約100m

~200m)を要するため、河床低下の危険がある。改良実験は、図-8

の様に落差工下流部を断面幅幅し減勢池を造った場合にどれだけ減

勢効果があるか実験した。流量は大小2流量で、 n は原型値で n

$= 0.030$ である。段落ち直下の急流により、流れの主流は減勢池内で

良く分散され、逆流渦が生じ減勢効果があった。このときの形状損失

を、段落ち点を断面I、減勢池終端(段落ち点下流25m)を断面II

として整理すると、形状損失水頭は現況落差の場合より大きく、

断面IIでは $Fr_2 \approx 0.3 \sim 0.4$ 程度の常流が得られ、損失係

数 ζ_d は現況段落ちのそれよりはるかに大きくなった(表-2)。

5. おわりに この種の比較的急勾配である中小河川の段落ち

流は、一般に段落ち下流の形状と壁面抵抗が減勢効果に大きく

影響するものと考えられ、落差を高くすることが困難な場合、

断面急流がある程度の効果を与える。なお、断面急流による

減勢には限度があり、落差工下流部の局所洗掘や河床低下など

は別に考慮する必要があり、今後の課題である。

<参考文献>

1) 岩崎敏夫: 段落ち流の水理現象に関する実験的考察、土木学会誌、Vol 38-6、1953

2) 日野幹雄: 流体力学、朝倉書店 3) 石野、中山: 水フッポン型落差工の減勢に関する研究、農業試験場技報、B-23号、1969

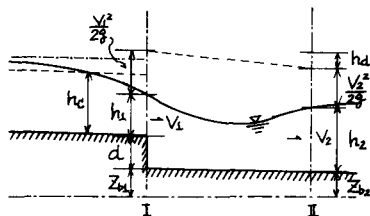


図-4 段落ち付近の流れ

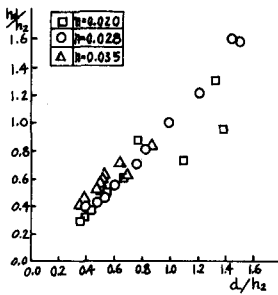


図-5

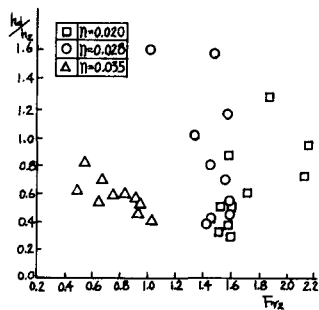


図-6

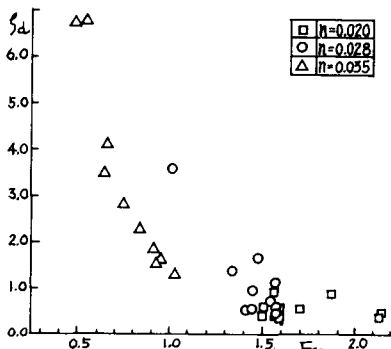


図-7 ζ_d と Fr_2 の関係

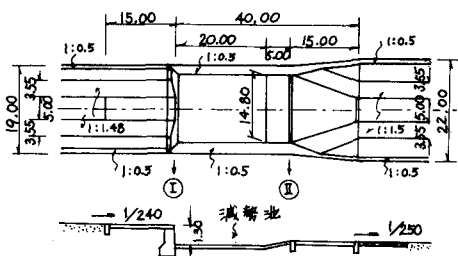


図-8 減勢池の構造

Q (m^3/sec)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	d (cm)	Fr_2	h_d (cm)	ζ_d	A_2/A_1
135.8	2.57	3.66	1.30	0.40	1.46	5.69	2.58
50.0	1.36	2.19	1.30	0.32	1.57	14.64	3.63

表-2 改良実験結果