

神戸大学工学部建設学科 学生員 ○長浜 弘典
神戸大学大学院自然科学研究科 学生員 小澤 純
神戸大学都市安全研究センター 正会員 藤田 一郎

1.はじめに

近年，都市河川においては親水性を確保するために河川側岸に階段工やスロープなどが設置される場合がある．特に川幅の狭い都市河川では河川側岸に凹部を設けた形状の階段工が見られる．しかしながら比較的勾配の急な河道に設置された階段工の特性については，まだ十分な検討が行われていない．そこで本研究ではこのような凹部流れを抵抗という観点から着目し，階段工のアスペクト比などの変化に対する１次元的な抵抗特性に関して検討を行った．また PIV により流れ場の状況などを求め，抵抗要因についても検討を行った．

表 1 実験条件

CASE	I	Q (l/s)	Fr0	ho(cm)	Ho(cm)	h0/H0
I5Q10h1	1/500	10	0.64	8.5	8.5	1
I5Q10h2			0.75	7.7	8.5	0.9
I5Q10h3			0.73	7.3	8.5	0.85
I5Q05h1		5	0.71	5.0	5.0	1
I5Q05h2			0.83	4.5	5.0	0.9
I3Q10h1	1/300	10	0.85	7.1	7.1	1
I3Q05h1			5	0.96	4.1	4.1

2.実験概要

図 1 に階段工付近の概略図を示す．本実験では全長 7.5m、幅 30cm の可変勾配型循環式直線水路を使用し、水路の横断方向中央点の水深を下流端から 50 c m 間隔で計測した．表 1 に実験条件を示す．表中の I は勾配、Q は流量、Fr0 は x=0 断面でのフルード数、b は階段工幅である．H0 は幅 20 c m の直線水路とした場合の等流水深の実験値であり、h0 は x=0 断面における階段工がない場合の水深である．本実験ではアスペクト比 (As=L/b) を 3、5、10、15 の 4 通りに設定し実験を行った．

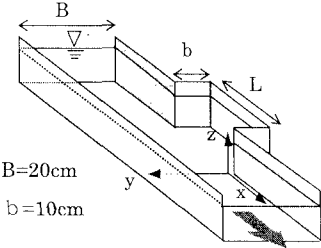


図 1 階段工付近の概略図

3.実験結果および考察

アスペクト比によって若干異なるが水面形の概略は図 2 のようなる．このように階段工上流域でも水深増加が確認され、本研究ではこの水深増加量について着目し，抵抗について検討を行うこととする．そこで抵抗について検討する際，以下の 4 つのパラメータを用いた．すなわち 1) Δh 、2) $\Delta h/h_u$ 、3) f_s 、4) f_e である．

ここで

$$\Delta h = \hat{h}_u - h_u \tag{1}$$

$$\Delta h = f_s \frac{v_u^2}{2g} \tag{2}$$

$$\left(\hat{h}_u + z_u + \frac{\hat{v}_u^2}{2g} \right) - \left(h_u + z_u + \frac{v_u^2}{2g} \right) = f_e \frac{v_u^2}{2g} \tag{3}$$

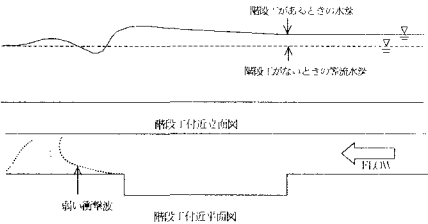


図 2 水面形の概略図

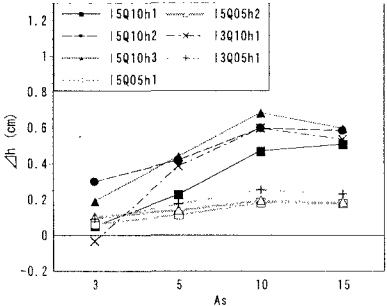


図 3 Δh vs As

h_u : 階段工がないときの上流側代表点での水深の平均値
 $\hat{h}_u$: 階段工を設けたときの上流側代表点での水深の平均値
 h_d : 階段工がないときの下流側代表点での水深
 v_u : 階段工がないときの上流側代表点での水深の平均値による流速
 $\hat{v}_u$: 階段工を設けたときの上流側代表点での水深の平均値による流速
 v_d : 階段工がないときの下流側代表点での水深による流速
 z_u : 下流端を基準としたときのの上流側代表点での水路床高の平均値
 z_d : 下流端を基準としたときのの下流側代表点での水路床高

である。上流側代表点は $x=-2.0\text{m}$ 、 -2.5m 、下流側代表点は $x=1.0\text{m}$ の点とした。

図 3～6 に Δh 、 $\Delta h/h_u$ 、 f_s 、 f_e それぞれの特性を示す。このようにどのパラメータを用いても $As=10$ までは大きくなるがそこからは一定となることが確認された。しかし一定ケースごとのデータはある程度は整理できたが、ケース間のばらつきは大きく、これらの値を普遍的なパラメータとして利用することは難しい。そこで新たなパラメータ f_t を用いる。

ここで

$$\left(h_u + z_u + \frac{v_u^2}{2g} \right) - \left(h_d + z_d + \frac{v_d^2}{2g} \right) = f' \frac{1}{R} \frac{v_u^2}{2g} \quad (4)$$

$$\left(\hat{h}_u + z_u + \frac{\hat{v}_u^2}{2g} \right) - \left(h_d + z_d + \frac{v_d^2}{2g} \right) = \left(f' \frac{1}{R} + f_e \right) \frac{v_u^2}{2g} \quad (5)$$

$$= f_t \frac{v_u^2}{2g}$$

である。

近似的に f_t は階段工があるときの階段工全エネルギー損失係数と考えられる。図 7 に f_t の特性を示す。このように $As=10, 15$ でのケースについても 0.5 付近にまとまり階段工の抵抗を検討するうえで有効なパラメータと考えられる。

図 8 に PIV によって得られた $x=0$ 断面での表面流、内部流 ($z=1\text{cm}$ 、 $z=3\text{cm}$) の平均流速を示す。このように左岸の流速が主流に対して減速しており、主流の有効断面の減少が確認できた。これは流れの抵抗要因の一つと考えられる。この他にも剥離渦や階段工下流端付近でみられた主流に対して斜めに交差する弱い衝撃波が抵抗要因になっていると思われる。

4. おわりに

本研究は階段工のアスペクト比や勾配、流量などが流れの抵抗に及ぼす影響について考察したものである。今後さらに PIV 解析を行い、抵抗と流れ場の内部構造との関係を明確にしていく予定である。

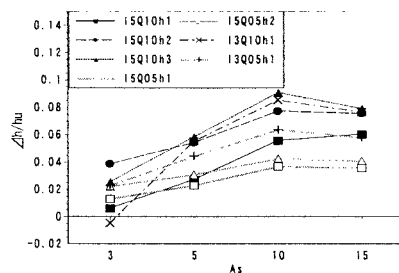


図 4 $\Delta h/h_u$ vs As

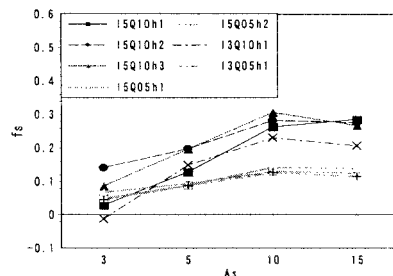


図 5 f_s vs As

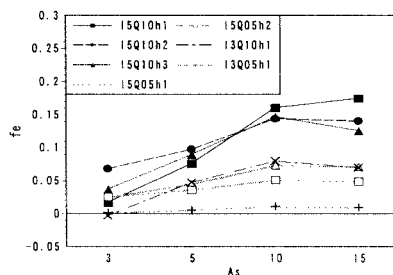


図 6 f_e vs As

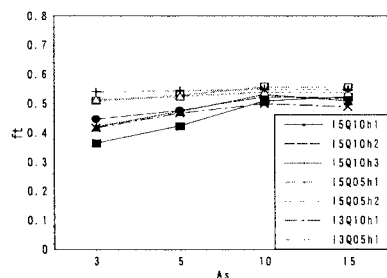


図 7 f_t vs As

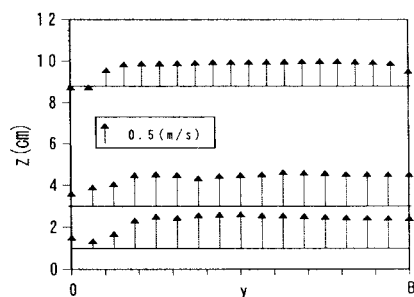


図 8 $x=0$ 断面での平均流速