

京都大学防災研究所 正員 久下俊夫
 京都大学防災研究所 正員 今本博健
 京都大学大学院 学生員 吉野清文

一般に、単断面流れにおける表面抵抗の評価方法としては、抵抗係数、経験係数あるいは相当砂粒粗度の3種のものがよく用いられているが、複断面流れの表面抵抗は断面形状によって大きく支配されるため、単断面流れについての評価方法がたねに有効に用いられるとは限らない。このため、本報告では、一定流水断面面積のもとで流しうる流量、あるいは一定流量に対する流水断面面積の大きさによって水路の表面抵抗を評価するという水理学的有効断面の見地から、複断面水路の抵抗特性について若干の検討を行なう。

1. 複断面形状の水理学的有効性

複断面流れでは高水敷上の流れと低水路内の流れとの境界面近傍における挙動が支配的であり、境界面近傍の効果を考慮した種々の流量算定法が提案されているが、いずれもかなり複雑で実用には供しにくいという欠点があるため、ここではもっとも単純な単断面法および断面分割法に基づき、複断面形状の水理学的有効性について検討を加える。通常の単断面法および断面分割法に若干の補正を施すと、両者による計算流量 Q'_S および Q'_t はつぎのように表わされる。

$$\frac{nQ'_S}{2I^{1/2}B^{5/3}} = Q'_{S*}(H_*, b_*) = Q_{S*}(H_*, b_*) + \Delta Q_{S*}(H_*, b_*) \quad (1)$$

$$\frac{nQ'_t}{2I^{1/2}B^{5/3}} = Q'_{t*}(H_*, b_*) = Q_{t*}(H_*, b_*) + \Delta Q_{t*}(H_*, b_*) \quad (2)$$

ここに、

$$Q_{S*}(H_*, b_*) = \frac{nQ_S}{2I^{1/2}B^{5/3}} = \left(\frac{H_* - b_*}{1 + H_*} \right)^{2/3} (H_* - b_*) \quad (3)$$

$$\Delta Q_{S*}(H_*, b_*) = \left\{ \left(\frac{H_* - h_*}{1 - H_* + h_*} \right)^{2/3} (H_* - h_*) - \left(\frac{H_* - h_*}{1 + H_*} \right)^{2/3} (H_* - h_*) \right\} b_* \quad (4)$$

$$Q_{t*}(H_*, b_*) = \frac{nQ_t}{2I^{1/2}B^{5/3}} = \left\{ \frac{b_* (H_* - h_*)}{b_* + H_* - h_*} \right\}^{2/3} b_* (H_* - h_*) + \left\{ \frac{(1 - b_*) H_*}{h_* + 1 - b_*} \right\}^{2/3} (1 - b_*) H_* \quad (5)$$

$$\Delta Q_{t*}(H_*, b_*) = \left\{ \left(\frac{H_*}{1 + H_*} \right)^{2/3} - \left(\frac{H_*}{h_* + 1} \right)^{2/3} \right\} H_* (1 - b_*) \quad (6)$$

であって、 n はマンニングの粗度係数、 I は路床勾配を表わす。また、 b_* 、 h_* および H_* はそれぞれ高水敷幅、高水敷高さおよび水深を水路半幅 ($B = 20\text{cm}$) で無次元化したものである。

(1) および (2) を用いて一定流量に対する流水断面面積 A と高水敷幅 b との関係を示すと、図-1 および図-2 のようになる。ただし、 A_0 は $b=0$ すなわち単断面水路の場合の流水断面面積を表わす。図より知れるように、(1)の単断面法によると b_* の値に関係なく $A/A_0 \geq 1$ であり、 $b_*=0.4$ 付近で A/A_0 は極大となることが知れ、また b_* と A/A_0 の関係は流量の大きさにはほとんど関係しない。一方、(2)の断面分割法は流量が比較的小さく高水敷上の水深が小さい場合、 $b_*=0.25 \sim 0.3$ で $A/A_0 < 1$ の極小値をとるとともに、 $b_*=0.8 \sim 0.9$ で $A/A_0 > 1$ の極大値をとることが知れるが、流量が増加するに伴って極小値の存在が不明瞭となり、ある流量以上になるとすべての b_* に対して $A/A_0 \geq 1$ となる。

2. 実験的検討

実験水路として幅40cm、深さ20cm、長さ13mの合成樹脂製単断面直線水路が用いられたが、種々の大きさの合成樹脂板を水路両側壁にそって対称に敷設することにより、任意の複断面形状が形成されるようになっている。本実験では、高水敷高さを $h=20\text{cm}$ の一定に保ち、路床勾配は $I=1/400$ および $I=1/100$ の2種の場合を対象とし、流量を一定として、高水敷幅 b_* を1cmごとに变化させた場合の水深計測より複断面流れの水理学的有効性についての検討が行なわれている。

本実験により得られた b_* と A/A_0 の関係を(1)および(2)と比較すると図-1 および図-2 のようになり、

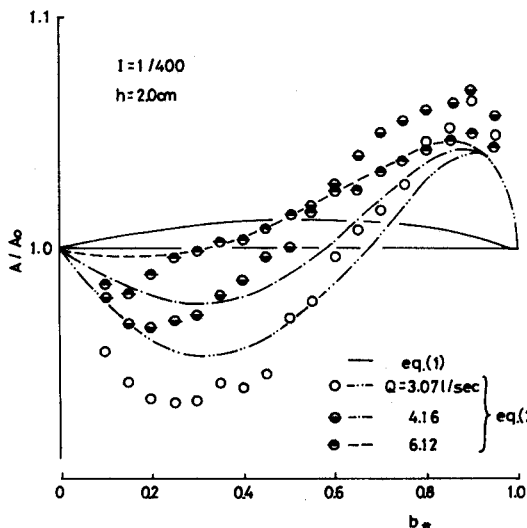


図-1

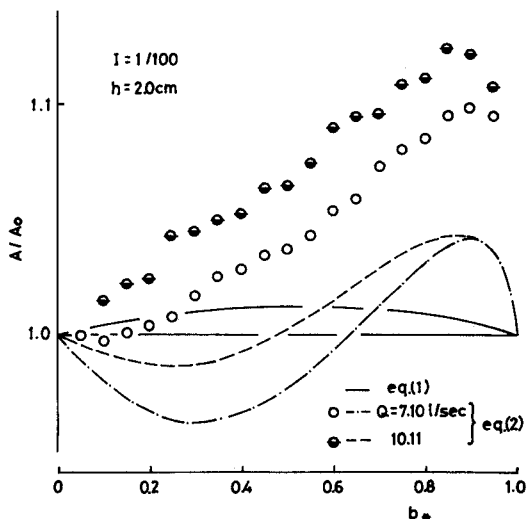


図-2

$I=1/400$ の場合を示した図-1 では実測値と(2)とは比較的良好に一致しており、とくに $Q=6.12$ l/sec の場合には A/A_0 が極小となる部分を除いて高い近似性が認められる。しかしながら、図-2 に示された $I=1/100$ の場合についてみると流量が比較的小さな場合についても(2)と実測値とはかなり異なる傾向を示し、(2)の適用性は路床勾配によって制約されることが知れる。

一方、 A/A_0 の極大あるいは極小値とそれらの発生する b_* に対する(2)の適用性を明確にするため、 $I=1/400$ の場合を例にとり、極大あるいは極小値ならびにそのときの b_* の値と流量 Q_* との関係を示すと図-3 のようである。

まず、図-3 (a) にみられるように、(2)によると極大値 $(A/A_0)_{\max}$ は Q の増加に伴ってやや増加するのに対し、実測値はある Q_* でピークを持ち、両者はかなり傾向の異なることが知れる。図-3 (b) に示された A/A_0 が極大となる場合の b_* の値 $(b_*)_{\max}$ と Q_* との関係についてみると、 Q_* の増加に伴って(2)による計算値が直線的に減少するのに対し、実測値の方は $b_*=0.9$ のほぼ一定の値を保っており、 $(A/A_0)_{\max}$ および $(b_*)_{\max}$ についての(2)の適用性は不良であることが知れる。

一方、極小値 $(A/A_0)_{\min}$ および極小となる b_* の値 $(b_*)_{\min}$ について(2)による計算値および実測値と Q_* との関係を示すと図-3 (c) および (d) のようになる。これらに示されるように、(2)による $(A/A_0)_{\min}$ は Q_* の増加に伴って単調に増加し、 $(b_*)_{\min}$ は単調に減少するが、実測値は(2)によるものより全般的に小さくなっているものの定性的には類似した傾向を示し、極小値に対する(2)の有効性がうかがえる。

以上のように、複断面流れにおいては単断面流れより抵抗が小さくなることが存在し、その特性は(2)で示した断面分割法でかなりよく説明されるが、路床勾配および流量によっては定性的にも妥当性を欠く場合があり、さらに詳細な検討が必要である。

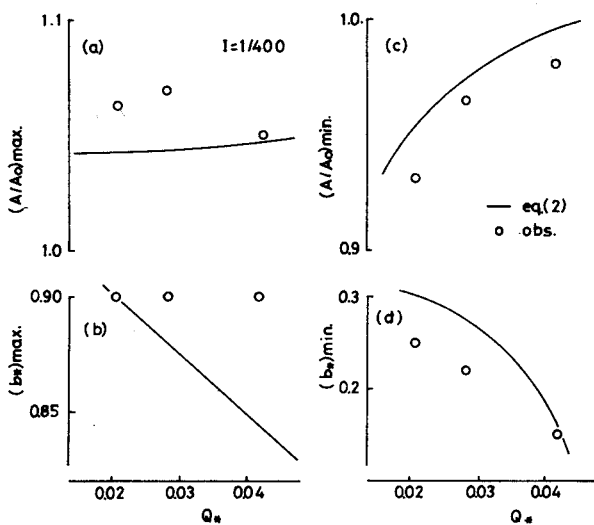


図-3