

開水路流れの抵抗特性と断面形状

京都大学防災研究所 正員 今本博 健
中国電力 正員 田中 笑 晃

1.はじめに：本報告は、長方形断面および複断面開水路流れを対象とし、代表長として径深を用いた場合の表面抵抗特性について、実験的に検討したものである。

2.表面抵抗の評価：抵抗係数 C_f および粗度係数 n は、それぞれ、次のように定義される。

$$C_f = 2U_f^2/U_m^2 \quad \text{----- (1)}$$

$$U_m = (1/n) R^{2/3} I^{1/2} \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 $U_f = \sqrt{gRI}$ ：摩擦速度、 U_m ：平均速度、 R ：径深、 I ：路床勾配である。

円管流では、 $C_f \sim (U_m R/\nu)^{-1/4}$ ---- (3) と表わされる (Blasius の法則) が、開水路流れでも広幅の場合には (3) 式が適用され、 C_f は $U_m R/\nu$ の $-1/4$ 乗に比例して変化する。(1) および (3) 式を (2) 式に用いると、 $n/(\nu g^{1/3})^{1/4} \sim [(U_m R/\nu) I^2]^{-1/8}$ ---- (4) となり、 n も $U_m R/\nu$ および I によって変化するが、その程度には小さく、実用上はほぼ一定とみなせる。

3.径深の水理学的意義：種々の断面形状の代表長として一般に径深 R がよく用いられるが、長方形断面および複断面の R は、それぞれ、次のように表わされる。

$$\text{長方形断面： } R/B = (H/B) / [1 + (H/B)] \quad \text{---- (5)}$$

$$\text{複断面： } R/B = \left\{ \frac{(H/B)[1 - (b/B)] / [1 - (b/B) + (H/B)]}{[(H/B) - (b/B)(h/B)] / [1 + (H/B)]} \right\} \quad \text{---- (6)}$$

ここに、 H ：水深、 B ：水路半幅、 b ：高水数幅、 h ：高水数高を表す。

図-1は R/B と H/B との関係を示したものであって、長方形断面では、 H が小さいときの R は H に一致するが、 H が大きくなると B に一致するようになり、また複断面水路では、 H が h を越えたところで一旦小さくなるなど複雑に変化し、径深の水理学的意義は水深によって変化することが知れる。

4：表面抵抗の特性：幅 $2B=40\text{cm}$ 、長さ 13m の滑面直線水路を用いて実験を行なった。なお、路床勾配 $I=1/100$ に保ち、複断面流れについての実験では、水路内に種々の数幅 b の高水数(数高 $h=2.05\text{cm}$)が設定されている。

図-2は長方形断面水路における流量 Q と流積 A との関係を示したものであって、 $A \sim Q^{7/12}$ の関係が認められる。この関係は(3)式における R を H に置換えたものに一致し、長方形断面の代表長としては、本実験範囲では、 H が R

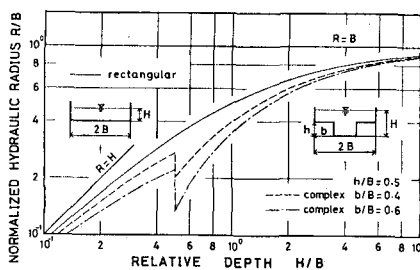


図-1 径深と水深との関係

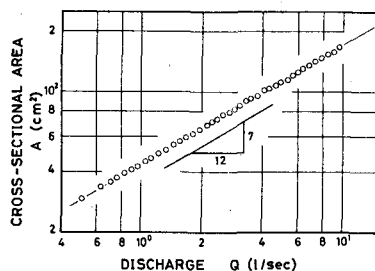


図-2 長方形断面水路における流量・流積曲線

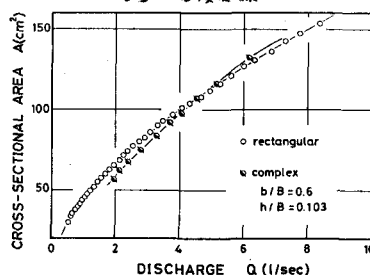


図-3 複断面水路における流量・流積曲線

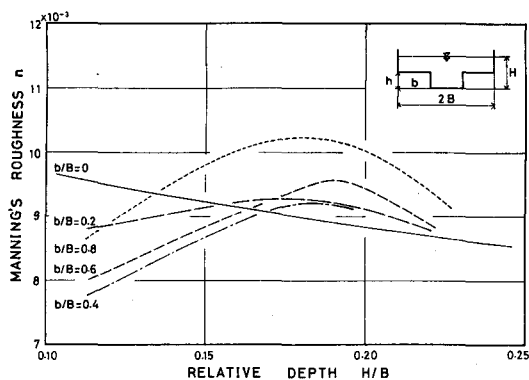


図-4 粗度係数と相対水深との関係

より優位であることが知れる。

図-3は複断面におけるQ-A曲線を示したものであって、Qが小さいときAは長方形断面のものに比し小さいが、Qが大きくなると複断面のAがより大きくなり、さらにQが大きくなると両者間の差は小さくなるようである。このような特性は、低水路内流速の水位上昇による増加および高水敷上流れによる減少という2種の効果の卓越性が水位によって異なるためと考えられる。

図-4は種々の相対数幅b/Bにおける相対水深H/Bと粗度係数nとの関係を内挿法より求めた結果を示したものであって、断面形状の異なる流れを比較するため、代表長としてRが採用されている。図より知れるように、長方形断面でのnはH/Bの増加とともに一様に減少するが、ただし、Rの水理学的意義がH/Bによって異なるため、減少の度合いは例式で示されるものより著しい。複断面では、H/Bが小さいときnはH/Bとともに増加し、H/Bが大きくなると逆に減少し、長方形断面のものに漸近している。図-5は種々のH/hにおけるb/Bとnとの関係を示したものであって、b/B=0および1付近における2個の極大値と、b/B=0.5付近における1個の極小値の存在が認められるとともに、極値の大きさおよび発生場所はH/hによって変化することが知れる。

5. おわりに：本報告は、代表長として径深を用いた場合の粗度係数と断面形状との関係について実験的に検討したものであって、次の事項が知れる。(1)長方形断面の場合、径深は水深とともに増加するものの、増加度は水深のものに比し緩やかであり、水深増加に伴う粗度係数の減少を著しくしている。(2)複断面の場合、数幅が極端に小さい場合および大きい場合を除き、高水敷上に流れが及ぶと水位が上昇し、低水路内流速の増加効果が卓越するため、同一水路幅の長方形断面に比し流槽および粗度係数は小さくなる。高水敷上の水深が大きくなると、高水敷上の流れによる低水路内流速の減少効果が卓越するようになり、長方形断面の場合より大きな流槽が必要となるとともに、粗度係数も増加する傾向が認められる。すなわち、中・小洪水より推定された粗度係数は大洪水に対しては過小となる危険性があり、表面抵抗の評価に際しては、水面変動、2次流等の効果を考慮した詳細な検討が必要である。最後に、本報告の実験データの一部として久下俊夫氏(理消防庁)および野清文氏(理達設省)によるものを使用させて頂いた。ここに記して厚く謝意を表する。

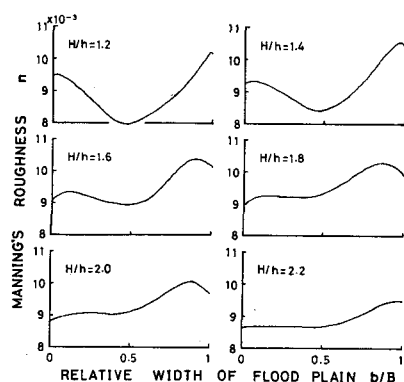


図-5 粗度係数と相対高水数幅との関係