

開水路弯曲部における二次流について

立命館大学 理工学部 正会員 小沢功一

1. まえがき 河道弯曲部においては二次流が発達するために、河床の土砂が横断方向に輸送され外岸側が洗掘されて深堀れが生じ河川災害につながることもあるとされている。

横断方向についての二次流が鉛直方向にどのように分布しているのかはこれまでいろいろ検討されてきている。すなわち水路幅や曲率半径は水深に比較してかなり大きいと仮定して、Rozovskii は横断方向の運動方程式を鉛直方向に積分して二次流の式を壁面が平滑な場合と粗の場合とについて導いている。また村本は渦度保存則を基にしてこれを誘導している。さらに池田は二次流についての流れ関数を利用してその鉛直分布について検討している。

これらの式において壁面の粗さが異なるとどのようなものか等について比較し、鉛直分布についての簡略式が使えるのかどうかについても実験値に基づいて検討した。

2. 二次流の鉛直分布 曲率半径や水路幅が水深より充分大きいと仮定し、側壁の影響を受けない水路中央部における横断方向の二次流について考える。

円筒座標を用いて示されたト方向の運動方程式を積分して得られる二次流の式は滑面、粗面の場合についてそれぞれつぎのようである。

$$U_r = \frac{U_m}{\kappa^2} \frac{h}{r} \left[F_1(\eta) - \frac{\sqrt{g}}{\kappa C} F_2(\eta) \right] \text{----- (1)}$$

$$U_r = \frac{U_m}{\kappa^2} \frac{h}{r} \left[F_1(\eta) - \frac{\sqrt{g}}{\kappa C} F_4(\eta) \right] \text{----- (2)}$$

ここに U_r は二次流速度、 U_m は主流速度の鉛直平均、 κ は Karman 定数、 r は曲率半径、 h は水深、 C は Chezy 係数、 g は重力加速度、 η は無次元鉛直座標である。

式(1)、(2)の括弧内を $\kappa = 0.4$ の場合について示すと図-1、2 のようである。

また渦度保存則を基にして得られた式は次のようである。²⁾

$$U_r = \frac{Q}{\kappa^2 r_c^2 \ln(r_2/r_1)} \left[\eta - 2\eta \ln \eta + \ln \eta \right] \text{----- (3)}$$

ここに Q は流量、 r_c は水路中心の曲率半径、 r_1 、 r_2 はそれぞれ内、外岸の曲率半径、 $\ln$ は自然対数である。

さらに二次流の流れ関数から求められた式は次の如し。³⁾

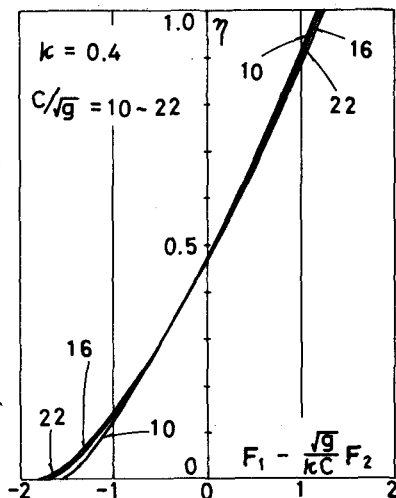


図-1 式(1)の鉛直分布

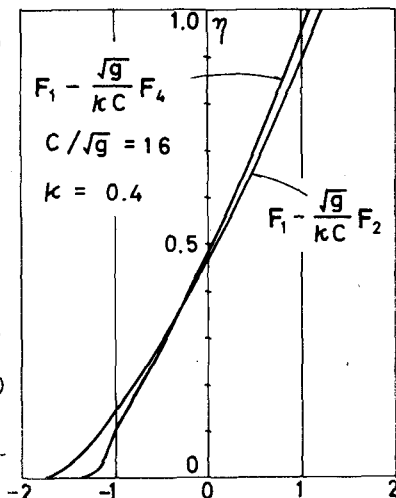


図-2 式(1)と式(2)

Koichi OZAWA

$$v_r = f^2 \frac{v_m}{\kappa} \frac{h}{r} \left[F_A(\eta) - \frac{\sqrt{g}}{\kappa C} F_B(\eta) \right] \text{-----(4)}$$

ここに f は主流速度の横断方向への分布形である。

式(3), (4)における括弧内に相当するものは図-3, すべてを纏めると図-4のようである。

3. 実験的検討

180度弯曲部の水路で実験をした。流量は4.5 l/s, 水深は平均で4 cm, 流速は22 cm/s, フルード数は $Fr = 0.35$, レーノルズ数は $Re = 9 \times 10^3$ であった。

測定位置は二次流が完全に発達したと考えられる, 弯曲角が $\theta = 2\pi/3$, $5\pi/6$ の2断面におけるそれぞれ水路中心である。鉛直方向に7, 8点につきピトー管で測定した。それぞれの位置で最大流速の値と方向とを測定し, 流速の値に方向角の正弦を掛けて二次流の値とした。

これを $v_r/v_m (1/\kappa^2)(h/r)$ の形にしてプロットすると図-5のようになった。

理論値としては式(1)を用いた。実験値はかなり散らばっているが, ほぼ計算式による曲線の近くに分布していることが見える。

計算式の代りに簡略式として $2\eta-1$ とした場合も図に示されているが, 大略実験値と傾向は一致していると見られる。

4. あとがき 滑面の二次流を示す式(1)において, 無次元Chezy係数を $C/\sqrt{g} = 10 \sim 22$ と変化させても鉛直分布はあまり変わらないということが図-1からわかる。また滑面・粗面の場合の式(1), (2)を比較した図-2から, これら両者の表わす鉛直分布もあまり変わらないと見ることができる。

図-4は(1)~(4)式による鉛直分布を示しているが, 式(4)における底面付近を除いてほぼ同様な傾向を表わしていると見られる。

これらの式のうちの一つ式(1)と実験値と比較した場合, 図-5に示されているようにその傾向は一致していると思われる。その式(1)の代りに $2\eta-1$ としてもその直線と実験値との関係はほとんど変わらないと見ることができる。

したがって無次元化した二次流の鉛直分布は $2\eta-1$ と表わすことも可能である。

参考文献 1) Rozovskii, I. L., : Flow of Water in Bends of Channels

2) 村本嘉雄: 開水路弯曲流の内部機構 3) 池田: 二次流

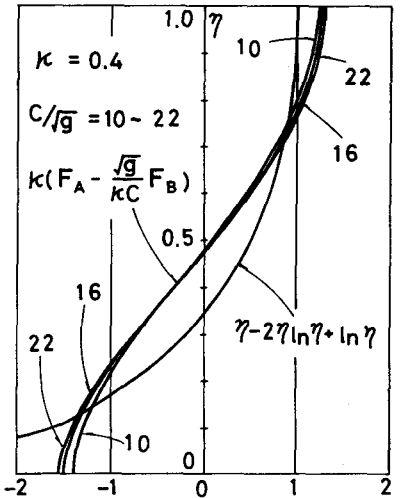


図-3 式(3)と式(4)

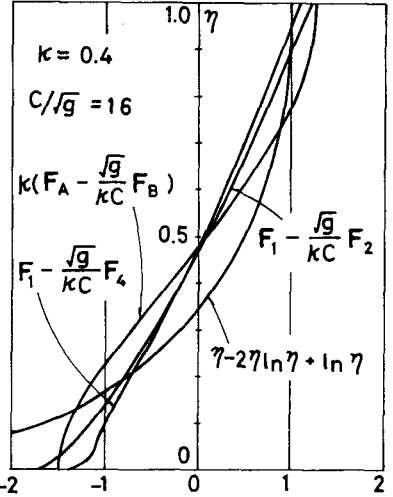


図-4 式(1)~式(4)

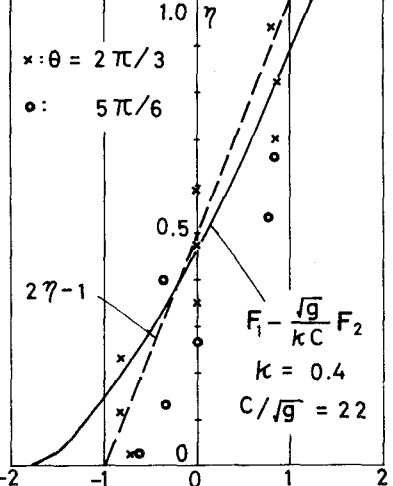


図-5 簡略式と実験値