

複断面河道における粗度係数の逆算と再現計算

中央大学大学院
中央大学大学院
中央大学大学院
中央大学理工学部

学生員
学生員
正会員
フェロー会員

○山下千智
Quimpo Maritess
本永 良樹
山田 正

1. はじめに

河川計画における計画高水流量、計画高水位を求める際には、洪水時における河道の抵抗特性を知る必要がある。方法としては洪水痕跡と流量の実測値から一次元計算により粗度係数を逆算することが主流である。特に我が国の河道は低水路・高水敷を有する複断面形状を示すことが多く、この場合には低水路・高水敷間の流速差により低水路・高水敷境界部付近に大規模な水平渦が発生し、流れに抵抗として働くことが知られている。一次元計算の場合、この水平渦の存在についての考慮はなされない。著者らはこれまでに Smagorinsky model を用いた二次元不定流解析により同一流れ場にあっても、水平渦を再現できる場合とできない場合とで水位が大きく異なることを確かめている。このため水平渦の存在に対する考慮の有無が河川流況再現計算の結果に与える影響について検討し、得られる河道の抵抗特性に現れる差について研究する必要がある。本研究では室内実験において複断面流れの水深と流速を測定することにより合成粗度係数を逆算した。また、その室内実験における一次元と二次元の再現計算の結果を実験値と比較し水平渦による流れの抵抗を調べた。

2. 実験と再現計算

2-1. 実験概要

実験水路の諸元は表-1に示すような勾配可変式直線水路である。高水敷河床の粗度には人工芝を貼付することにより鋼材の低水路よりも大きな粗度を与えている。水理実験の方法として流下方向に0.5m間隔で水深の測定を行い、水深がほぼ一定の区間を等流と近似しその断面で横断方向に10cm間隔、鉛直方向にも密な間隔で流速の測定を行い逆算した。測定対象は、水深が12.6cm、13.9cm、15.7cmとなるように上流端流量を一定で与えた3ケース(表-2)である。なお、水路床勾配は1/1000と設定した。

2-2. 実験値から粗度係数の逆算方法に関して

本研究では実測の流速を面積法により流量に換算して逆算した粗度係数を実測値とする。一次元計算としては実験値で得られた水深、低水路と高水敷の粗度係数から断面分割法を用い合成粗度係数を逆算した。二次元計算では、高水敷と低水路間の運動量の輸送を表現する境界混合係数を考慮した方法から逆算した。

表-1 水路の諸元

水路延長	15m
全水路幅	1.8m
低水路幅	0.9m
高水敷高	10.7cm
Nmc	0.01
Nfp	0.02

表-2 case 詳細

	水深(cm)	流量(m3/s)
case1	12.6	0.083
case2	13.9	0.098
case3	15.6	0.116

断面分割法で用いた式

$$N_c = \frac{A_{mc} + 2A_{fp}}{Q} \cdot R_c^{\frac{2}{3}} \cdot I_b^{\frac{1}{2}}$$
$$R_c = \left\{ \frac{A_{mc} (A_{mc} / S_{mc})^{\frac{2}{3}} + 2A_{fp} (A_{fp} / S_{fp})^{\frac{2}{3}}}{A_{mc} + 2A_{fp}} \right\}^{\frac{3}{2}}$$
$$Q = 2 \frac{A_{fp}}{n_{fp}} \left(\frac{A_{fp}}{S_{fp}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot I_b^{\frac{1}{2}} + \frac{A_{mc}}{n_{mc}} \left(\frac{A_{mc}}{S_{mc}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot I_b^{\frac{1}{2}}$$

境界混合係数を考慮した方法で使用した式

つりあい式

$$\frac{\rho g n_{mc}^2 u_{mc}^2}{R_{mc}^{\frac{1}{3}}} \left(\frac{b}{2} + h \right) + \tau (H - h) = \rho g H \frac{b}{2} I_b$$
$$\frac{\rho g n_{fp}^2 u_{fp}^2}{R_{fp}^{\frac{1}{3}}} \left(\frac{B-b}{2} + H - h \right) + \tau (H - h) = \rho g (H - h) \frac{(B-b)}{2} I_b$$

見かけのせん断力 $\tau = \rho f (u_{mc} - u_{fp})^2$

Q:流量(m3/s)
Nc:合成粗度係数
n:粗度係数
ρ:密度
g:重力加速度
u:断面平均流速

R:径深
b:水路勾配
B:全幅
b:低水路幅
τ:見かけのせん断力
添字/plは高水敷を, mcは低水路を表す。

A:断面積
S:潤辺
H:低水路からの水深
h:低水路深さ
f:境界混合係数

キーワード 複断面開水路, 水平渦, 合成粗度係数

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学大学院 TEL:03-3817-1805 E-mail: k-y@civil.chuo-u.ac.jp

2-3. 再現計算について

河道長は下流端境界条件の影響を受けにくいよう 30mとし、断面形状、低水路と高水路の粗度係数は実験水路と同条件に設定した。一次元の再現計算にはサン・ヴナン式を使用した。計算条件は時間差分間隔 $\Delta t = 0.1$ (s), 空間差分間隔 $\Delta x = \Delta y = 0.3$ (m)とし初期条件, 上流端境界条件には3ケースの実験で得られた水深と流速の実測値から流量を与え, 下流端境界条件には水位を一定で与えた。定常状態に落ち着いたときの水深から断面分割法を用い流量を逆算し, 合成粗度係数を逆算した。二次元の再現計算には連続式と二次元不定流の基礎式を使用した。計算条件は時間差分間隔 $\Delta t = 0.002$ (s), 空間差分間隔 $\Delta x = \Delta y = 0.02$ (m)とし初期条件, 上流端境界条件には流量フラックスを与え, 下流端境界条件には水位を一定で与えた。いずれも実験から得られた値である。二次元解析では水深が変動するので各断面における平均値から粗度係数を逆算した。また, 二次元解析により水平渦を再現し, その挙動と逆算した粗度係数とを比較, 考察を行った。

3. 結果の比較・考察

本実験では, 3 ケースともに水平渦の発生を確認することができた。得られた結果を図-1, 図-2 に示す。図-1 は断面分割法と境界混合係数を考慮した方法から逆算した合成粗度係数と実測値を比較したものである。二つの逆算方法では差があり, 合成粗度係数が実測値に近い値をとっているのは二次元を考慮した境界混合係数を用いた方法である。また, 最も実測値に近い値をとったのは境界混合係数 (f) が 0.015 のときであった。

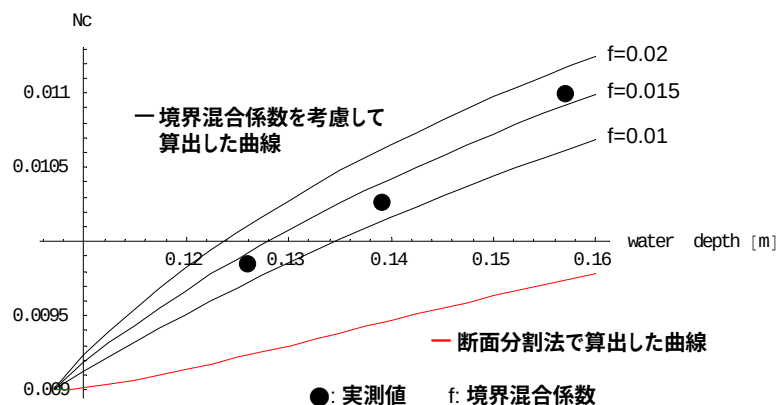


図-1 水深と合成粗度係数からみた逆算結果

図-2 は一次元の再現計算と二次元の再現計算の結果を水深の縦断平均値から実測値と比較したものである。この図でも実測値をよく再現したのは二次元を考慮した再現計算であり, 一次元の再現計算で得られた水深の平均値は実測値, 及び二次元の再現計算で得られた水深の平均値より約 10% 小さい値をとっていることが分かる。

4. まとめ

本論文は実験スケールにおける水平渦の抵抗を定量的に評価したものである。本研究により得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 複断面河道において, 断面分割法を用いて合成粗度係数の逆算を行うと実際の合成粗度係数より小さい値となることがわかった。
- 2) 実測の合成粗度係数をよく再現したのは境界混合係数を用いた方法であり, 本実験における実測値とよく整合する境界混合係数の値は約 0.015 であった。
- 3) 数値計算において, 実測値をよく再現したのも二次元を考慮した再現計算であり, 一次元の再現計算では水深の実測値の約 10% 小さい値をとった。

参考文献

- 1) 福岡捷二・藤田光一：複断面河道の抵抗予測と河道計画への応用, 土木学会論文集, No.411/II-30, p63-72
- 2) 本永良樹・山田正：複断面河道における大規模水平渦が流れの抵抗に与える影響, 第 34 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, II-87, 2007.

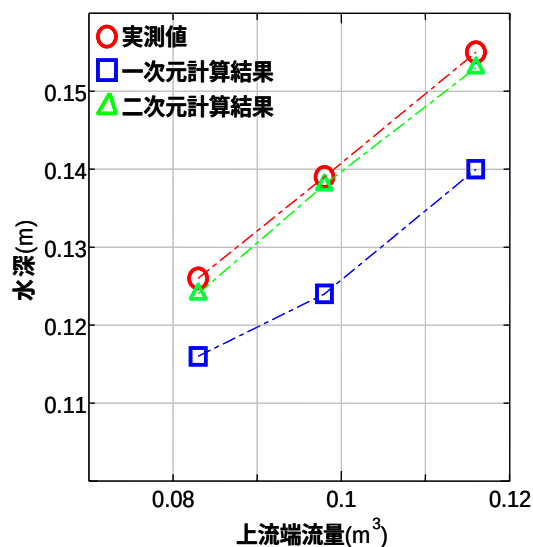


図-2 再現計算と実測値の比較