きわめて小縮尺の河川模型における水理学的精度に関する基礎的研究

豊橋技術科学大学 学生会員 小松 広和

同 正会員 小出水規行同 正会員 中村 俊六

1. 研究の背景

わが国では、1997年(平成9年)の河川法改正に伴って「住民参加の川づくり」の時代に入りつつある。こう した場において、必ずしも図面の読みとりが容易でない一般の人と対象河道のイメージを共有するためには、立 体模型が適している。さらに、その立体模型に実際に水を流して「改修」の結果を確認できれば理想的である。 だが、水理学的にも信頼できる模型となると大規模なものにならざるを得ない。そこで、ある程度の精度低下や 問題点を許容すれば、実用的なサイズの模型を用いることも可能ではないか、と考えた。

本研究ではこうした観点から、対象河道を乙川(愛知県・一級河川矢作川の左支川、流域面積約260km²、本川 流路延長約34km)の下流約9km区間とし、水平縮尺(1/X_r)=1/1000、鉛直縮尺(1/Z_r)=1/200という、 水理学的な見地からは「常識はずれ」ともいうべき小縮尺の模型を作成した。そして、水理学的な問題点につい て実験的に検討した。

2. 相似則その他に基づく予察

本研究で使用する模型は、水平方向と鉛直方向で縮尺の異なる、いわゆる「ひずみ模型」である。「ひずみ模型 のフルードの相似則」によると、水平流速Vの縮率は V_r (=模型上での流速/現地流速)= $1/Z_r^{12}=1/14$ 、流量Qの 縮率は $Q_r=1/(X_r \cdot Z_r^{3/2}) = 1/(2.8 \times 10^6)$ となる。マニングの粗度係数nについては、縮率は断面の形によって 異なる。いまの場合、淵のようなV字状断面では $n_r=1/0.7$ 程度、平瀬のような広く浅い断面では $n_r=1/1$ 程度 になる。すなわち、実際の河川と同程度の粗度係数(約 0.03)が模型で必要となることを意味する(本研究の模 型は発泡ウレタン製で、粗度係数は 0.01 程度)。

また、模型上では水深が浅くなり、流速も小さくなるのでレイノルズ数がきわめて小さくなる。ちなみに、流 速については現地で1m/s、模型で数 cm/s、水深については現地で1m、模型で 0.5cm 程度を想定すると、レ イノルズ数は、現地で 1,000,000 (乱流)、模型で 350 程度(層流)となる。すなわち粘性の効き方が現地と模型 では全く異なる。流速分布に関しては、少なくとも鉛直方向における流速分布の形が全く異なるものになること が考えられる。

3. 現地調査

模型による現地流況の再現性を検証するのに用いるデータとして、高水時(1997年6月20日の小洪水、現地流量270m³/s、模型流量95cc/s)に関しては愛知県による水面形(痕跡水位)の調査結果を利用した。平水時については筆者らが直接現地にて(1999年10月10日)、流量、水位および流速分布を観測した。調査地点は対象区間下流域に位置する河川改修済み(平瀬)区間、中流域に位置する支川との合流点2地点、堰上流の湛水区間、上流域の平瀬区間の計5地点である。当日の現地流量は4~5m³/s(模型に換算すると2cc/s弱)であった。

キーワード: 小縮尺河川模型 ひずみ模型のフルード相似則 水理模型実験 愛知県乙川
連絡先:〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1 - 1 豊橋技術科学大学 建設工学系
Tel 0532-44-6860 E-mail komatsu@jughead.tutrp.tut.ac.jp

4. 実験結果および考察

(1) 水面形

模型での水位測定は、上述の検証用データ採取地点に鋼尺を立て、レベルおよび水深を読むことにより行なった。結果の中から高水時における現地水位と模型水位との相関関係および縦断面図を図-1に示す。

図を見ると、下流側の水位 16~18m付近の 5 地点(No.1~No.5) は全体的に模型水位のほうが低い。これは当該地点から約 3km 下流にある頭首工が模型にはなく、下流端の水位条件が設定されていなかったことによる誤差と考えられる。一方、中流域にある大平堰をはさんで下流側(No.6~No.8)の水面形は合致したものの、堰上流側(No.9~No.13)では模型水位のほうが高い。これは堰上流の湛水区間において表面張力が影響したものと考えられる。さらには、模型水深では 0.5mm 未満の値を読みとれなかったという測定誤差による影響(現地換算すると 10cm にも達する) も一つの要因と考えられる。

(2) 流速分布

デジタルビデオによる粒子追跡(画像処理)によって、模型における流速分布の測定を行なった。結果の中から堰上流の湛水区間と上流域の平瀬区間について、現地の流速分布と重ねたものを図-2と図-3にそれぞれ示す。

まず、堰上流の湛水区間(図-2)では、左岸側を除いて模型流速の分布形はよく再現されている。模型における左岸側は、流速が小さいのみならず、弱い逆流(すなわち渦)がみられた。これは現地と比べ、水深が非常に 浅いために、粘性が影響したものと思われる。逆流については本地点以外にも随所で確認された。

上流域の平瀬区間(図-3)は、水面幅全体にわたって模型の流速が 0.3~0.4m/s 大きい。層流と乱流で鉛直方向の流速分布が異なることは予察で述べたが、いまの場合、模型の流速は表面流速である。模型では流速の鉛直方向分布形は三角形分布となり、このために表面流速が大きくなったものと思われる。

5. まとめ

以上の結果から、知り得た主要な問題点を以下のように要約できる。

- 1) せき上げ区間においては水位が現地より高くなる。これは堰頂での表面張力の影響によるものと考えられる。
- 2)粘性の影響から現地に存在しない渦(逆流)が生じる場合があり、また、浅い箇所では表面流速は現地より も大きくなる。

<図上の数値はすべて現地換算値である>

