非定常流解析を利用した開水路流量算定

Flow Cmpute in Open Channel by means of Unsteady Flow Analysis

川野 了，〇吉田 武郎，久保 成隆，大里 耕司

Ryo KAWANO,〇Takeo YOSHIDA,Naritaka KUBO,Koji OSATO

1．序 論

水田や畑からの水の需要に対し、用水路を通して適切な量の水を供給するためには、水路の粗度係数を正しく認識しておく必要がある。開水路の粗度係数を測定するためには各種の水理量を観測し、マニングの公式($S_e=(n^2/R^{4/3})(Q/A)^2$)に基づいて逆算する必要がある。しかしながら、このような作業は長期的な水理量の観測と多くの労働力、多額の費用を必要とするばかりか、人為的な影響を受けやすく極めて非効率である。そこで本研究では、開水路において比較的容易に入手できる、水路内の時系列的な水深変化のみを利用して粗度係数を同定する解析方法を提案する。

2．研究方法

本研究は Preissmann 型陰差分法を用いた 1 次元非定常流解析を基としている。まず始めに模型水路の 3 点において時系列的な水深の実測データを入手する。ここで得られた実測データの中、最も上流側のデータを非定常流解析の上流水深境界、最も下流側のデータを下流水深境界とする。また両境界に挟まれた地点を観測点と呼ぶ(図 1)。

非定常流解析では粗度係数によって水路内の水面形は大きく異なってくる。観測点の時系列的な水深変化も同様に粗度係数に左右される。本研究ではこの粗度係数の違いによる水深変化を利用して、粗度係数の同定を行う。具体的には粗度係数を変数として非定常流解析を行い、観測点における実測値と解析値との差ΔH を求める。与えられた粗度係数が模型水路の粗度係数に近ければ(n=0.010)、ΔH の値はゼロに近くなるはずである。一方、それが遠ければ(n=0.020)、ΔH の値もゼロから遠くなるはずである(図 2)。この性質を利用して模型水路の粗度係数を同定し、下流端の流量測定によって本解析方法を裏付ける。

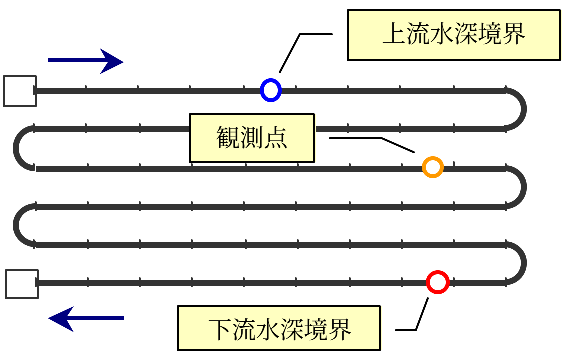

図 1　模型水路の概略図

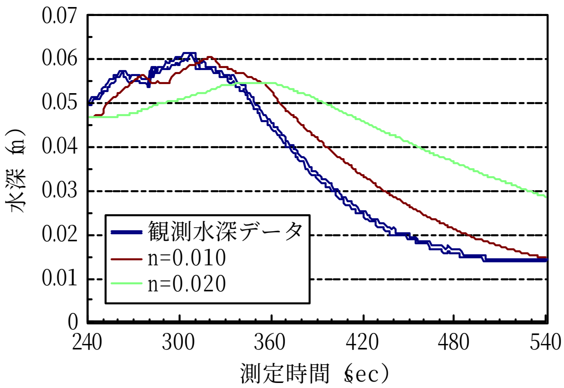

図 2　観測点の水深変化

東京農工大学大学院農学研究科　Graduate School of Agriculture,Tokyo Univ.of Agr and Tech.

Preissmann 型陰差分法，模型水路，黄金分割法

3．粗度係数の同定解析

観測点における実測値と解析値との差ΔＨを最小とする粗度係数 n の値が模型水路の粗度係数である。したがってΔＨ(n)を目的関数に持つ非定常流解析によって粗度係数を同定する。ここで目的関数ΔＨ(n)は(※)式として定義する。

$$\Delta H(n) = \sum_{k=1}^{m} \left| \ h - h_{sim}(n) \ \right| \qquad (※)$$

ｍ：時間ステップ数，ｈ：実測値，h_{sim}：解析値

この目的関数ΔＨ(n)は非線形関数であり、0.0065≦n≦0.010 の範囲で下に凸の単峰性となる(図 3)。このような性質を持つ目的関数ΔＨ(n)を最小とする n の値を求めるため、ここで 1 次元探索手法の一つである黄金分割法を用いる。黄金分割法は最小点の存在する区間を一定の比率 0.615 で減少させ、収束条件を満たすまでこれを繰返して解を求める方法である。また、区間を減少するに当たり、片側の変数のみを計算に使用すればよいので解析回数が少なくて済む利点を持つ。

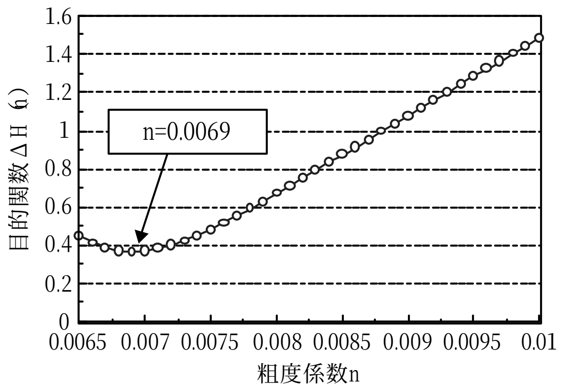

図 3　目的関数ΔＨ(n)

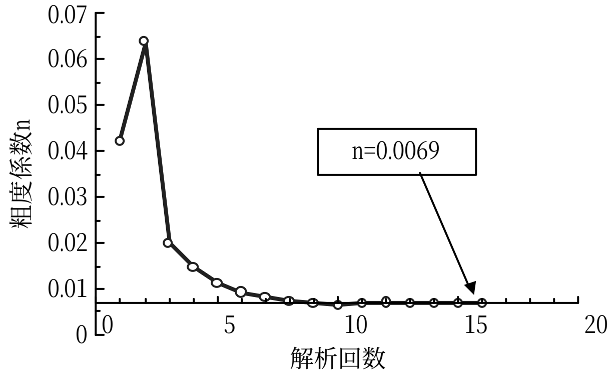

図 4　粗度係数の同定結果

図 4 は初期区間[0.006,0.010]、収束条件を区間の幅ε＜0.0001 とした場合の黄金分割法による粗度係数の同定結果であり、解析回数 16 回で粗度係数 n=0.0069 に収束していることが見て取れる。

4．流量測定

模型水路の粗度係数は n=0.0069 であると同定された。ここでこの値が妥当であることを裏付けるため、下流水深境界地点の解析による流量と模型水路の低水槽に流れ込む流量を比較する(図 5)。

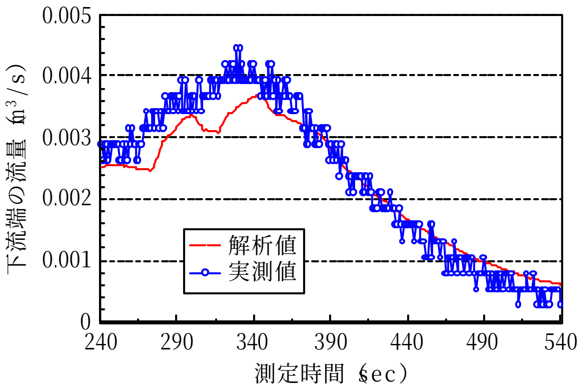

図 5　流量測定の結果

5．結　論

流量測定の結果、下流境界における解析の流量と実測の流量がほぼ等しいものとなり、本解析方法によって開水路の粗度係数を容易に同定できる可能性が大きいと示唆された。今後は多くの実験データを用いて解析を行い、本解析方法の精度向上を図る必要がある。