

河口内水位データを用いた河口断面形状の推定法に関する研究

伊藤 健人*・田中 仁**

1. はじめに

一級河川においては河口地形測量が定期的に行なわれることが多いのに対して、中小河川では系統的には実施されず基本となるデータが乏しいのが実状である。こうしたなかであって、寺中ら(1990)は福島県、塚ら(1991)は岩手県の中小河川を対象として、中小河川の河口変動特性の検討を行っている。また、著者らは仙台市を流れる中河川・七北田川を対象に現地調査を行ない、河口地形、水位、流速等のデータを蓄積してきた(田中ら, 1990; 田中, 1991)。しかし、このような中小河川の河口に関する調査報告例はむしろ例外的である。

著者らによる仙台市・七北田川での調査から、河口内の水位変動には河口地形、特に河口断面形状の特性が大きく反映されている事がすでにわかっている。すなわち、河口断面積が十分に保たれているときには河口内水位と外海水位はほぼ同様な変動を示すのに対して、冬期などの河口断面積が十分に維持されていない場合は、河口内の水位変動には外海水位に比べて顕著な位相差と振幅低減が見られる。このような河口内水位波形の変形は河口狭水路の通水性が損なわれるために生じるものである。

本研究ではこの特性を利用して、河口横断測量に比べて観測が容易かつ安価に行える河口内実測水位データから、河口断面形状を逆に推定することを試みる。

2. 河口内水位の観測例

図-1には今回の研究対象とした七北田川河口の地形を示した。同河川は流域面積229.1 km²、幹線流路延長45 kmの二級河川であり、その計画高水流量は1,650 m³/sである。

図-2は1988年11月における七北田川河口内水位(測点は河口より500 m上流)と仙台港(河口より北に2 km)での実測潮位変化を示したものである。1日から4日にかけては両水位がほぼ一致しているが、その後顕著な差異が見られるようになる。特に干潮時の水位変化に大きな差が見られる。20日以降は河口内水位がT.P. 0 m

より下がる日が見られない。その後、12月1日には河口閉塞が生じたことが確認されている(田中, 1991)。

以下では、このような河口内水位に見られる変化特性を利用した河口断面形状の推定法について述べていくことにする。

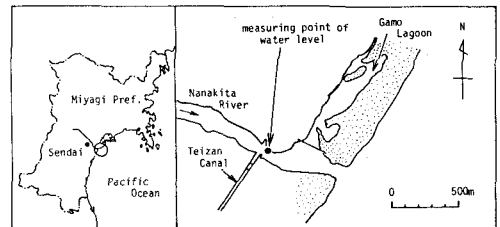


図-1 七北田川河口部

3. 河口断面推定法

(1) 河口断面の検討

河口断面を推定していくにあたって、まず断面形状をどのような単純な形状で表現できるかを検討する。

河口断面積 A 、河口幅 B 、最大水深 H_c を用いて、2つの無次元量 $A^*=A/H_c^2$ 、 $B^*=B/H_c$ を作り、この両者間の関係を見ると、断面形状が矩形では傾き1、二次曲線では傾き2/3、三角形では傾き1/2の直線となる。過去に行った横断測量の結果を図-2に示す。図中、○印は流路が直線である場合、△印は蛇行流路あるいは導流堤に沿った流路である場合である。過去4年間の横断測量の結果では、明かにこの2通りの流路形状によって河口断面形状に著しい違いが生じていることが分かっている。図-3から、直線流路の場合河口断面形状は二次曲線で、蛇行流路の場合には三角形形状でモデル化できることが分かる。

(2) 河口断面の推定法

(1)の結果に基づき、河口断面を推定していくにあたって、断面を図-4の様にモデル化して推定を行っていく。すなわち、T.P. 0.0 m以下の最大水深を H_c 、河口幅を B 、水位変動量を η とする。ただし、三角形断面では実測結果をもとに図中の左岸側角度 α を10度と固定した。

* 正会員 鹿島建設(株) 東北支店土木部

** 正会員 工博 東北大学助教授 工学部土木工学科

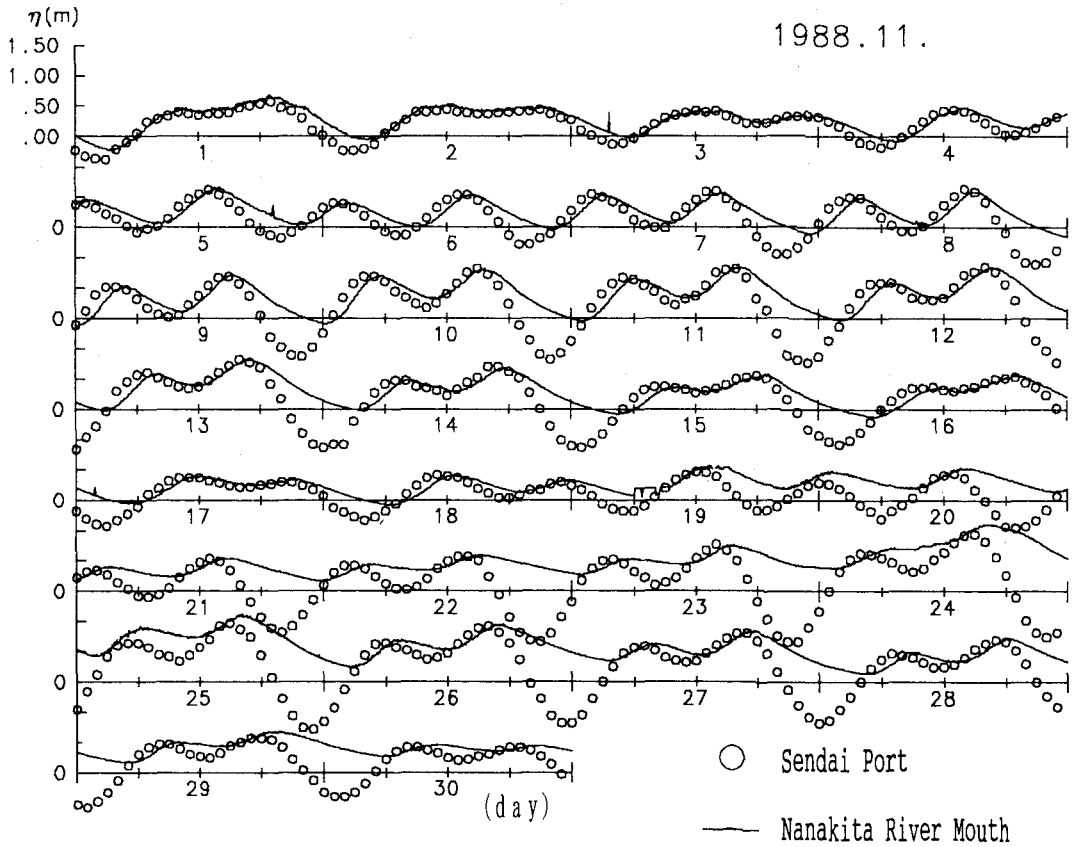


図-2 1988年11月の河口内水位と潮位の変動

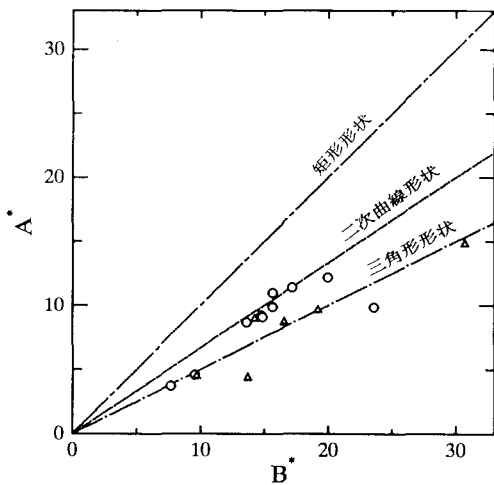


図-3 河口最狭断面の形状

まず、河口断面形状を二次曲線あるいは三角形断面と仮定すると、この時、断面形状を表す式中には2つの未知数 (H_c, B) がある。断面の面積 A_c 、径深 R_c はこの2

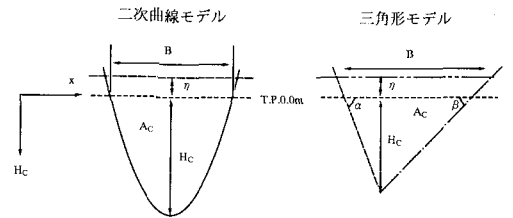


図-4 最狭断面形状の仮定

つによって解析的に表現される。

さて、河口内水位変動を良く近似できる (H_c, B) を探さなくてはならない。そのためには、河口内水位を計算する基礎式として、tidal inlet の解析に良く使われる一次元の式 (1) を用いる (例えば、Bruun, 1978)。

$$\frac{d^2 \eta_B}{dt^2} + \left[\left(\frac{K_{en} + K_{ex}}{2Lc} + \frac{g\eta^2}{R^{4/3}} \right) \frac{A_B}{A_c} \frac{d\eta_B}{dt} - \frac{Q_R}{A_B} \right] - \frac{B}{A_c} \frac{d\eta_B}{dt} \left[\left(\frac{d\eta_B}{dt} - \frac{Q_R}{A_B} \right) + \frac{gA_c}{LcA_B} (\eta_B - \eta_0) \right] = 0 \quad (1)$$

ここで、 η_B : 河口内水位、 η_0 : 外海水位、 t : 時間、 K_{en} ,

K_{ex} : 入り口, 出口の損失係数, L_c : 水路長, g : 重力加速度, n : マニングの粗度係数, R : 径深, A_B : 感潮面積, A_c : 河口最狭面積, Q_R : 河川流量, B : 河口幅である。

水路長 L_c に関しては, 過去の実測汀線データをもとに各測量実施日の水路長を計算してその平均値を算出し $L_c=91\text{ m}$ という結果を得た。しかし, 式(1)中での水路長は幅一様な理想的な inlet-bay system での水路長であり実測データから得られた水路長ではその値を過大評価していることになる。そこで, この差をなくすために等価の水路長を考えた (Bruun, 1978)。まず, 横断測量を実施した日のデータをもとに水路をいくつかのブロックに分割する。実際の水路と等しい全損失水頭が生じるような等価の水路長は次の式(2)で求める。

$$L_c = R_c^{4/3} A_c^2 \sum_{i=1}^n \frac{\Delta x_i}{R_i^{4/3} A_i^2} \dots\dots\dots (2)$$

計算の結果, 等価の水路長 L_c は 61 m であった。今後の断面推定にあたっての水路長としてこの値を用いる。

推定にあたっては, まず断面形を表す式中の河口幅と河口水深を任意に仮定し, この両値と断面形状との仮定から式(1)中に必要な A_c, R_c を求め, この式(1)を数値的に解くことにより, 河口内水位変動を計算する。水位の変動に伴い A_c, R_c は変化するので, 水位が低い時には摩擦項が大きくなる。この点が線形解 (例えば, Bruun, 1978; 近藤, 1972) と異なる。

水位の計算値と実測値との誤差が最小になるように未知数 H_c, B の最適値を決定していく。未知数の最適化には共役勾配法 (Powell, 1964) を用い, 適当な初期値から出発して数回の繰り返し計算で自動的に最適解を求める手法を開発した。

なお, 河口部における wave set-up を考慮に入れるために, 波高の 10% を実測潮位に加算して海側水位とした。

本手法は海側潮位と河川内水位との差を利用して, その差を生ぜしめる最狭断面特性を推定するものである。よって, これらの差が著しいほど精度良い推定が行えるものと考えられる。

(3) 断面推定位置

河口最狭断面は, 平面的に見て常に一定な位置に発生するとは限らない。川と海とを結ぶ狭水路内で, 海よりに発生することもあるし, 上流側に生ずる事もあろう。計算に際して, 最狭断面位置の直接の影響は, 水位 η に表れて来る。狭水路内で河川から海へと場所的にも変化するため, 図-4 の T.P.0 m ラインに加算する時々刻々の水位 η として, どこの水位を用いるかが問題となる。本計算では, 推定断面位置を水路の海側, 中央, 河川側の3通りに仮定した。すなわち, 推定断面における水位

として, ①外海水位を用いる, ②河川水位と海側水位の平均値を用いる, ③河口内水位を用いる, の3種である。

断面の推定は過去4年間 1988年から1991年までに得られた全16ケースについて行った。

3. 推定結果

本論文では推定断面位置を水路河川側とした場合の計算結果を示していくことにする。全てを通じて断面推定誤差の総和が最小であったのがこのケースであったからである。

図-5に水位の計算結果と実測結果の一例を示す。また, この時に推定された断面形状をも図-5に示す。推定結果が実測横断面と極めて良い一致を示していることが分かる。

図-6は計算による最狭断面積と実測断面積との比を示した。断面積の計算結果と実測結果との比は1.0に近いことが判るであろう。なお, 図中には, 河口内水位の計算値と実測値の誤差の日平均 (Error), 外力データとしては河川流量 (Q), 波浪データ河口内水位の1日の最小値 (η_{0min}), また外海水位と河口内水位の最大値 ($\text{Max}(\eta_o - \eta_B)$) をも記してある。

図-7には推定河口幅と実測河口幅との比較, 図-8には実測最大水深と推定最大水深との比較も表した。

一般的に見ると, 夏期において予想断面と実測横断面との一致が悪いのに対して, 冬期においては断面のより良い一致が見られる。これは, 夏期には断面積が大きく, 外洋・河口内で水位の差が小さいのに対して, 冬期は断面積が小さくそのために河口内水位と外海水位の変動の

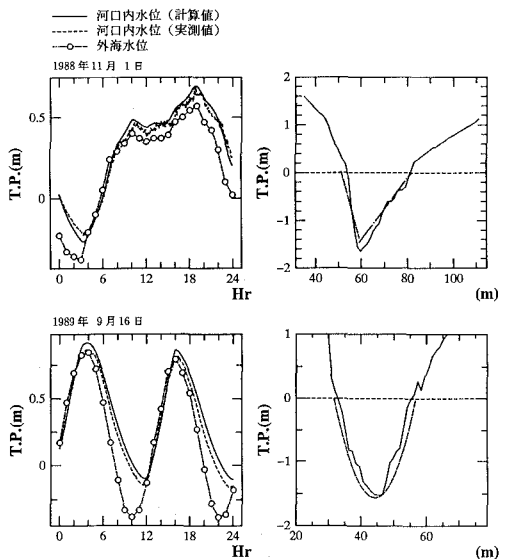


図-5 水位と最狭断面の計算結果と実測結果

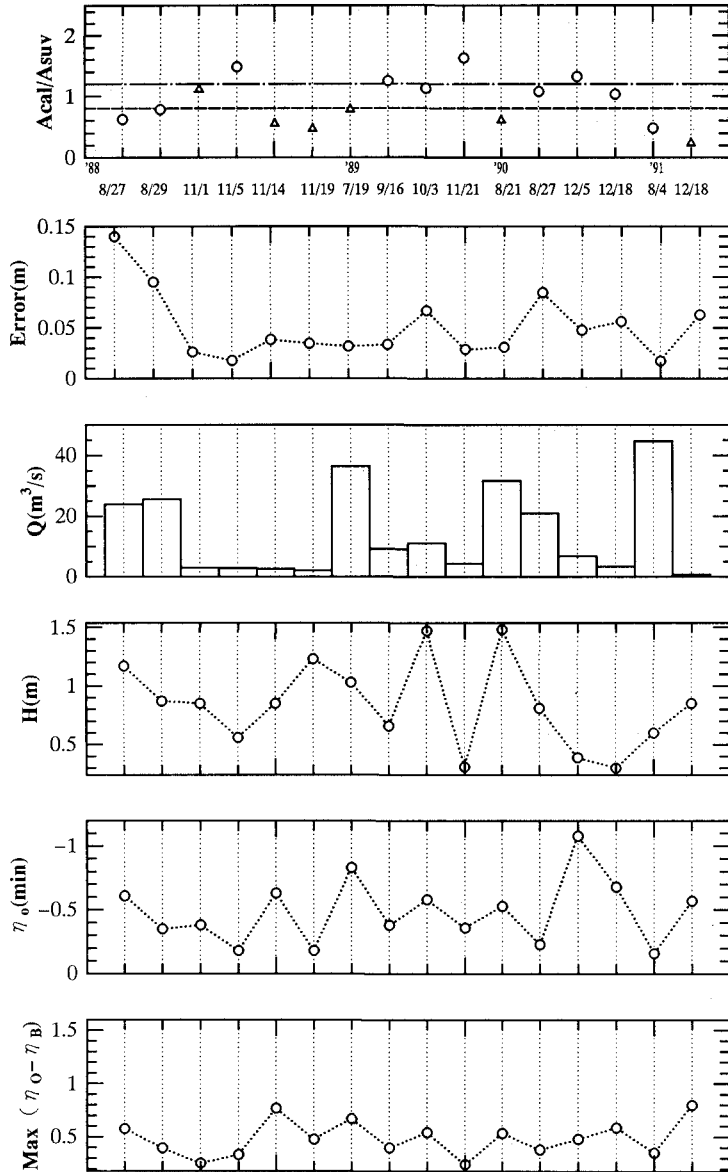


図-6 計算と実測による最狭断面積の比と諸水理量

間には顕著な位相差を生じ、断面形状の特性が河口内水位変動に大きく反映されたためと思われる。河川においては冬期における河口部の閉塞が重要な問題点の一つであり、その点からみれば冬期における断面形の推定が工学上きわめて重要である。

4. ま と め

河口内水位に位相差・振幅低減が現れることを利用して、最狭断面の推定を行う手法を開発した。河川内水位と外海潮位の間に差の大きく出る冬季で推定精度が良か

った。データの少ない中小河川では、こうした手法が有効であろう。ただし、七北田川以外の中小河川でも適用可能かどうかは、今後の検討課題である。

最後に、本研究に対して有益な助言頂いた東北大学首藤伸夫教授、また貴重な資料を提供して頂いた建設省仙台工事事務所、運輸省塩釜工事事務所、宮城県仙台土木事務所、ならびに現地調査に協力して頂いた東北大学河川研究室、津波研究室の諸兄に謝意を表す。また、本論文を公表するにあたり小川基金の補助を受けたことを付記する。

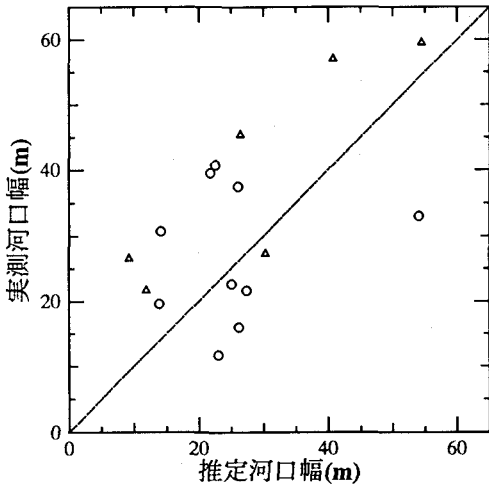


図-7 実測河口幅と推定河口幅との比較

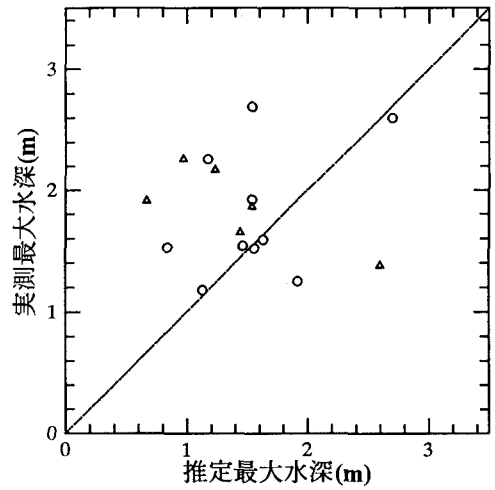


図-8 実測最大水深と推定最大水深との比較

参 考 文 献

近藤俊郎 (1972): 感潮狭口流速, 内水域潮位および最大流速水深の一解法, 土木学会論文報告集, 第 206 号, pp. 49-57.
 堺 茂樹・石川清広・笹本 誠・平山健一 (1991): 岩手県中小河川の河口変動特性, 水工学論文集, 第 35 巻, pp. 217-224.
 田中 仁・伊藤俊夫・首藤伸夫 (1990): 七北田川における河口地形変化と水理特性, 海岸工学論文集, 第 37 巻, pp. 334-338.
 田中 仁 (1991): 七北田川の河口閉塞と河口砂州フラッシュ,

水工学論文集, 第 35 巻, pp. 275-280.
 寺中啓一朗・安田禎輔・長林久夫・濱田好洋・松村憲佳 (1990): 福島県河川の河口特性について, 海岸工学論文集, 第 37 巻, pp. 349-353.
 Bruun, P. (1978): Stability of Tidal Inlets, Elsevier Scientific Publishing Company, pp. 83-108.
 Powell, M. J. D. (1964): An efficient method for finding of minimum of a function of several variables without calculating derivatives, Computer Journal, Vol. 7, pp. 155-162.