

河口水位データに内包された河口地形情報の抽出手法とその評価

Estimation Method of Water Depth at the River Mouth and Limit of Application

渡辺一也¹・田中 仁²

Kazuya WATANABE and Hitoshi TANAKA

Morphology of sand spit at a river mouth is affected by combined forces, such as tidal current, sea waves and river discharge, etc. Topographical change at a river mouth can be remarkable dependent on time-variation of these forces. However, in order to obtain frequent topography data at a river mouth, it is necessary to consume a great amount of time and cost. Thus, if it is possible to estimate river mouth topography information from water level variation data, it will be practically effective for river mouth management. However, river mouth characteristic is different in each river. Therefore, it is necessary to clarify the river mouth characteristics. In this study, water depth estimation method is applied to field data at a river mouth. Moreover, the application limit of this method was discussed

1. はじめに

河口部においては、河口断面が狭搾するなどといった地形的な要因により、想像以上の河口水位上昇を生じ、危険性が増大することがある。そのため、河口部における地形情報は重要であるが、年に一回程度の地形測量では、河口の地形変動の時間スケールに比較して十分でない場合が多い(真野ら, 1993)。

短時間スケールでの河口地形の観測として一例を挙げると、著者の一人は、一ヶ月あるいは二ヶ月という非常に短期間のインターバルで撮影された空中写真を利用して、二級河川・七北田川における河口地形の短期変動を検討している(Srivihok・田中, 2004)。しかし、このような詳細な河口地形情報が蓄積されている河川はむしろまれであり、通常は、多くて一年に一度程度の頻度で地形測量を行っていることが多い。

そこで、地形測量よりも短い一時間というスケールで行われている水位測定(旧建設省東北地方建設局, 1989)に注目し、このデータを活用することによって河口部の地形情報の一つである河口水深の推定を試みた(渡辺ら, 2005a)。

また、河口部は各河川において潮位と河口内水位の差に特性が見られる(例えば、清水ら, 1985; 成田ら, 2002; 川村・田中, 2004)ことから、本手法の適用範囲について検討するために全国 10 河口を対象として検討を行った。さらに、本研究では手法の適用範囲についても検討を行い、各河口における水位特性について考察した。

2. 研究対象領域

本研究における対象領域を図-1 に示す。図-1 に示される 10 河口中 8 河口において、本研究で提案した水位情報を利用する河口水深推定手法が有効であるのかを検討・評価した。本検討では、一級河川は名取川河口、岩木川河口である十三湖水戸口、北上川河口、鳴瀬川河口、江の川河口について検討をし、二級河川においては七北田川河口、鮫川河口を対象とし、さらに、河川ではないものの狭水路により外海へと接続されているため入退潮の影響を強く受ける(高崎・田中, 2004)南三陸の長面浦において推定手法の精度の検証を行った。

また、上記の 8 河口部に加えて河口近くの水位データが無いものの、それ以外のデータが揃っている一級河川の米代川、仁淀川を加えた合計 10 河口において本手法の適用限界についての評価を行った。

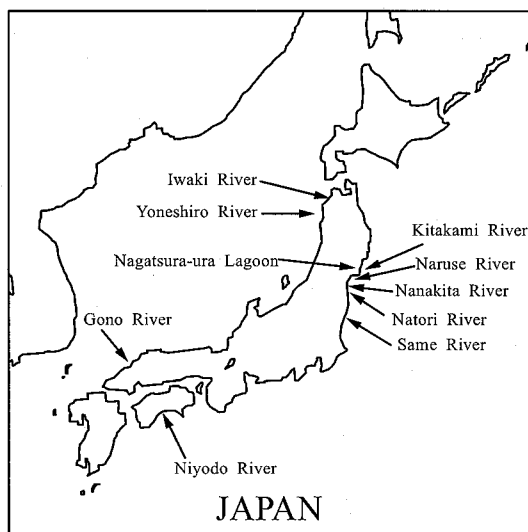


図-1 研究対象河口

1 正会員 博(工) (独法)港湾空港技術研究所 津波防災研究センター 特別研究員

2 フェロー 工博 東北大学大学院教授 工学研究科 土木工学専攻

表-1 各河口における計算パラメーターと検証データ

河川名	$L_c(m)$	$B(m)$	$a_0(m)$	$A_R(m^2)$	n	$h(m)$	N	河口水位観測点	潮位観測点
	水路長	河口幅	潮位振幅	感潮面積	マンニングの粗度係数	河口水深	データ数		
名取川	522	86	0.735	1,730,000	0.035	3.1	720	オリジナル	オリジナル
七北田川	61	22	0.735	797,551	0.035	1.1	720	オリジナル	仙台港
岩木川	310	186	0.220	18,060,000	0.035	3.4	2,880	十三湖	深浦
北上川	300	160	0.545	7,710,000	0.022	6.0	2,880	月浜	白浜
鳴瀬川	200	75	0.550	10,870,000	0.028	4.0	3,600	野蒜	鮎川
江の川	200	182	0.350	1,810,924	0.035	3.4	3,600	川平	浜田
鮫川	250	42	0.700	540,000	0.035	1.2	648	オリジナル	小名浜港
長面浦	1,200	106	0.545	1,400,000	0.035	0.7	8,640	オリジナル	オリジナル
仁淀川	167	60	0.949	1,070,000	0.033	1.5	—	—	—
米代川	200	200	0.237	3,560,000	0.030	2.7	—	—	—

3. 河口地形情報の抽出手法

本研究における河口水位データを使用して河口水深を推定する方法について、以下に示す (Watanabe ら, 2006). ここで、基礎式は Keulegan (1967) によって示された tidal inlet の流れを表現する水理モデルであり、式 (1), (2) によって表される.

$$\eta_o - \eta_R = \left(K_{en} + K_{ex} + \frac{2gn^2L}{R^{4/3}} \right) \frac{|U|U}{2g} \dots\dots\dots (1)$$

$$U = \frac{A_R}{A_c} \frac{d\eta_R}{dt} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 η_o : 沖側潮位、 η_R : 河口内水位、 K_{en} : 入り口損失係数、 K_{ex} : 出口損失係数、 n : マニングの粗度係数、 L : 河口部狭水路路長、 R : 径深、 U : 河口部流速、 A_R : 感潮面積、 A_c : 河口面積 ($=B \times h$)、 h : 河口水深、 B : 水路幅、 N : データ数である。ここで、河口の断面形状は矩形、または二次曲線形状であると仮定した。

式 (1), (2) 中の h , η_R 以外のパラメーターを既知量として与え、さらに、実測された η_o を用いて η_R を Runge-Kutta 法により計算する。このとき、水深を様々に変化させることにより、計算値 (*cal*) と実測値 (*meas*) との誤差を最小とするような河口水深を探し、これが最終的な推定値となる。計算値と実測値との誤差は式 (3) で計算される。

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^N |\eta_{R(cal)} - \eta_o(meas)|}{N} \dots\dots\dots (3)$$

4. 河口水深推定結果

次に、実際の河口において観測されたパラメーターを用いて本手法の可否についての検討を行った。実際に計算に使用したパラメーター並びに検証に使用した河口水深の値を表-1 に示す。使用した値は各河口において実測されたものである。データ数がばらついているのは平

均水深を求めるのに使用した地形測量の期間が異なるためである。

ここでは、例として3ケース (推定が可能であったもの (鮫川)、可能であったが精度が悪いもの (北上川)、不可能であったもの (鳴瀬川)) の河口水深推定結果を示した。その際に、使用した水位データを図-2 から図-4 に示す。図中に、実線で示されているものが潮位を表し、点線が河口水位を示している。このデータと

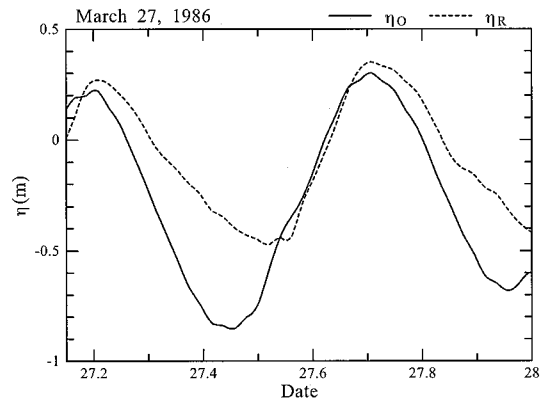


図-2 鮫川河口における水位データ

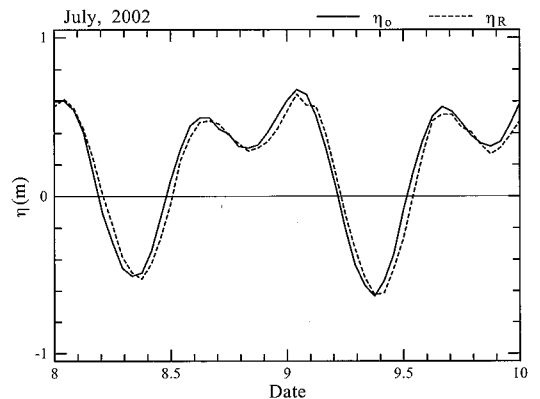


図-3 北上川河口における水位データ

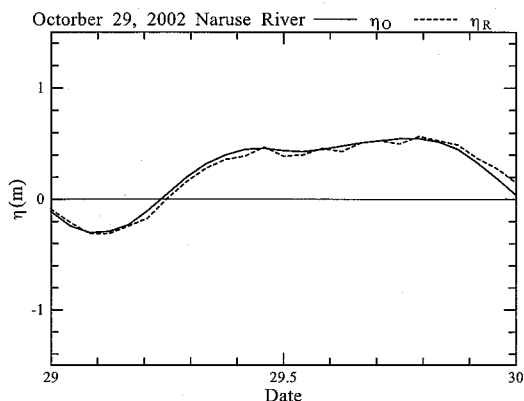


図-4 鳴瀬川河口における水位データ

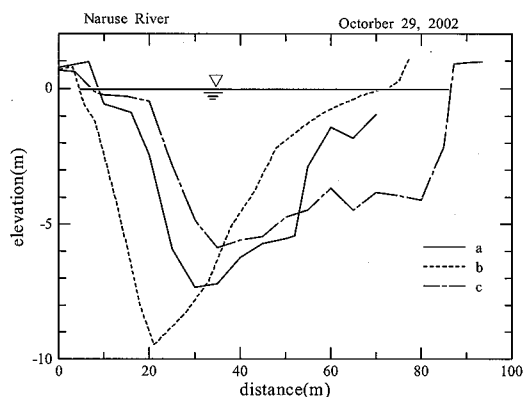


図-7 鳴瀬川河口における断面データ

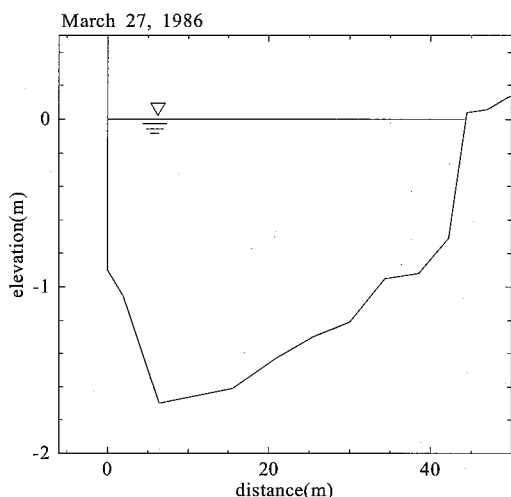


図-5 鯨川河口における断面データ

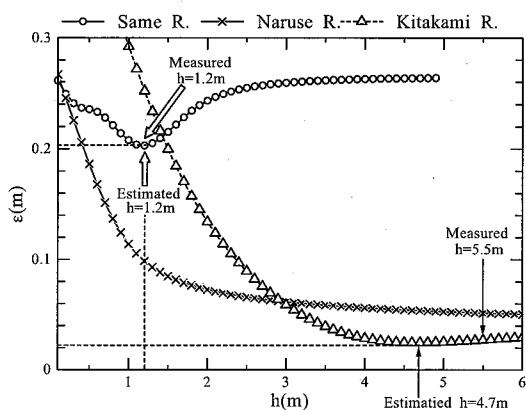


図-8 河口水深の推定

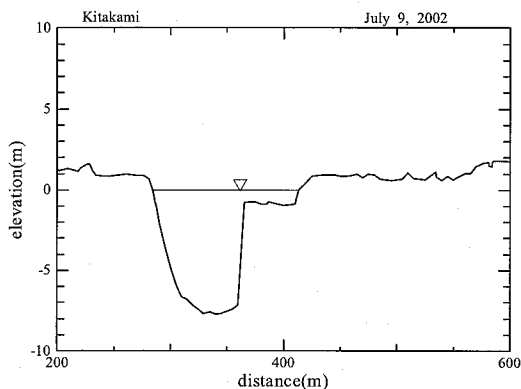


図-6 北上川河口における断面データ

表-1 の値を使用して、河口水深を推定した。

この推定値の検証として、地形測量から得られた断面データから平均水深を求めたものを使用した。各河口に

における断面を図-5 から図-7 に示す。なお、図-7 においては、a, b, c の3箇所の断面データが示されているが、これは本研究において対象にした河口水深が狭水路区間を対象としているため、狭水路区間にあたる3つの断面データから河口水深を求めた。このように精緻な測定が行われている場合は稀である。

さらに、図-8 には水位データから実際に河口水深を推定した結果と図-5 から図-7 より平均水深を求めたものを併せて示した。

図中に示される記号により推定の可否を表わしている。本研究においては、推定の可否を狭水路における実測値と比較することにより判断している。ここで水深の推定値は、式(3)の誤差 ε の最小となる点である。この推定値と実際に河口部の地形測量より得られた水深を比較することにより可否を判断した。

推定が可能であった○で示される鯨川は、実測値と推定値が良好な値を示している。また、×で示される鳴瀬川においては、誤差が収束していないために推定が不可能であった。△で示される北上川では、誤差が収束し、

推定値が得られたものの、その誤差が大きくなった。

ここでは、代表として3つのケースの検討結果を示したが、本手法による推定が可能であった河川は他に5河川あり、今回示した鮫川のように実測値と推定が良好な一致を示した。名取川 (Watanabe and Tanaka, 2005)、七北田川 (渡辺ら, 2005b)、十三湖 (渡辺・田中, 2004) については、既報を参照されたい。

5. 推定手法の適用限界に関する検討

次に本手法の適用限界について検討を行った。ここでは、適用範囲を判断する際に、河口水位情報と河口地形情報を内包する無次元数であるという特徴を持つパラメーター K を使用することにより、その評価を行うこととした。パラメーター K は以下のような式 (4) のように定義される (Dean and Dalrymple, 2002)。

$$K = \frac{A_c}{\sigma a_0 A_R} \frac{\sqrt{2ga_0}}{\sqrt{K_{en} + K_{ex} + \frac{2gn^2L}{R^{4/3}}}} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 σ : 角振動数、 a_0 : 潮位振幅である。図-9に位相差、振幅比とパラメーター K の関係を示した。

図-9の上段に実線と点線で示されているものがパラメーター K に対して、位相・振幅比がどのような反応を示すのかを計算したものである。図中の実線は、パラメーター K に対する河口内水位と潮位との振幅比を表わし、点線はパラメーター K に対する河口水位と潮位の位相差を表わしている。図-9の下段には、今回の検討を行った実河川の値を用いて計算した K と河口水位データからの河口地形の推定の可否を示した。今回の検討で実際に推定計算を実施した河口は計8河川であるが、5河川において推定が可能であり、1河川で推定はできるものの誤差が大きく、残り2河川では推定が不可能であった。

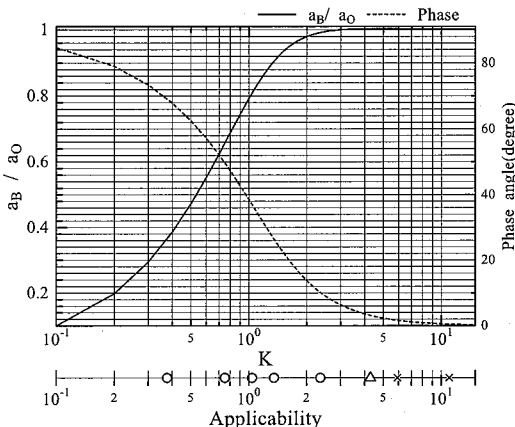


図-9 K と振幅比・位相差の関係と適用範囲

6. 河口水深推定手法の適用限界

既往の研究において、河口地形の情報が水位データに内包されていることが明らかとなっている (渡辺ら, 2006) ことから、水位データ自身を指標とすることによって、河口での特性を検討することとした。具体的には、水位データ自身を指標とする、下記の式 (5) を用いて検討を行った。

$$\gamma = \frac{1}{a_0 T} \int_0^T |\eta_0 - \eta_R| dt \dots\dots\dots (5)$$

また、この指標 γ とパラメーター K の関係を図-10に示す。図-10の実線は、指標 γ とパラメーター K の関係を示しており、パラメーター K の増加に伴い指標 γ が減少し、河口内水位と潮位との水位差が減衰していくことを確認することができる。これは、パラメーター K が増大するに伴って、潮位変動に対する河口内水位変動への底面摩擦による影響が小さくなっていることを意味している。すなわち、狭水路での摩擦の影響が小さくなることによって、潮位に対して河口内水位が鋭敏に応答するようになることを表現していると理解できる。ここで、推定の可否について全体の傾向を見ると、推定手法が適用可能であった河川においては、指標 γ の値が十分に大きいことが見て取れる。また、河川別に見ると (△) で示される北上川では非常に理論と一致した値を示している。北上川河口での指標 γ が理論値と近い値を示した理由としては、他の河川が潮位データをデータの存在する一番近い観測所からのものを使用しているとはいえ、観測所まで距離があるのに対して、北上川の潮位データは狭水路の出口付近に設置された観測所のデータを用いているために、理論に近い値となったと考えられる。

また、推定が困難であった鳴瀬川と江の川に注目すると指標 γ の値は、北上川、名取川とそう変わらない水位差を有しているのに対して、理論から求まる値によると

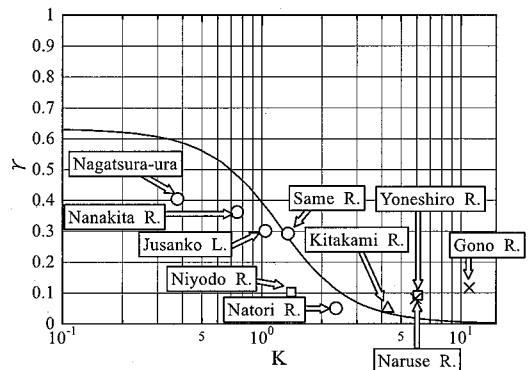


図-10 K と水位差を用いた指標 γ の関係

河口内外の水位差はほぼ無いという結果であった。水位差が実際に観測されたにも関わらず推定ができなかったことの理由としては、測定ノイズの問題が考えられる。特に、水位差の小さな河川においてはこの影響は大きなものとなる。そこで、推定できなかった河川においてはここに見られるような水位差ではなく、実際には、ある程度のノイズが生じたために指標 γ の値が大きいのに関わらず推定ができなかったものと考えられる。名取川も水位差はあまり見られないが先程挙げた潮位観測所が狭水路出口直ぐであること、データ観測間隔が2分と非常に詳細であることから、推定が可能であったと考えられる。

7. 結 論

本研究では、河口水位データからの河口地形の推定手法と推定が可能である適用限界についての検討を行った。以下に、得られた結論を示す。

- (1) 河口水位データの基本的な情報である潮位振幅の比と位相差の二つを用いて検討を行った。これとパラメーター K を使用して検討すると振幅比は早い段階でほぼ1になり、差が見にくくなるのに対して、位相差を用いると振幅比の時に比較して K が大きくなってもしその差がまだ見られることが明らかとなった。
- (2) 8河川を対象に実際の河川において水位データから地形情報の推定を試みたところ、5河川での適用が可能であった。しかし、2河川では推定ができなかった。この結果から $K=5$ の北上川と鳴瀬川の両河川において推定の可否の差が見られるものの、実施した河川数が少なかったため、更なる検討を行った。
- (3) 河口内水位と潮位との両者の水位差を基準とした指標 γ を用いて評価を行った。この指標 γ とパラメーター K の関係を理論的に求めたものによると位相差の時と同じく、 K がある程度の大きさになっても差を認めることが出来た。
- (4) 推定が不可能であった河川では理論値ではそれほど水位差が出ていないにも関わらずに、指標 γ が大きくなった。これは、実際に水位差があることによるものではなく、測定されたデータに対しノイズが存在したために、理論値とは離れた結果になってしまったものと考えられる。
- (5) 観測所が狭水路出口付近である河川と潮位観測所が多少離れている場合ではデータの持っている情報の精度に大きな差があることが明らかとなった。

以上の検討から、本手法を用いる際には河口内水位と潮位データの両者の位相差が大きく、さらに観測されたデータにノイズによる影響が小さい場合に対して有効であるといえる。また、本研究における成果は今後の河川

管理において有意義であると考えられる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所、塩釜港湾空港工事事務所、青森河川国道事務所、北上川下流河川事務所、四国地方整備局高知河川国道事務所、中国地方整備局河川部、宮城県仙台地方ダム総合事務所より貴重なデータを頂いた。また、名取川の水位データ取得に当たり、東北大学大学院工学研究科山路弘人助手の多大な協力を得た。ここに記し深く謝意を表する。

参 考 文 献

- 川村育男・田中 仁(2004)：中導流堤のある河口における砂州地形変化特性，河川技術論文集，No. 10，pp. 357-362。
- 建設省東北地方建設局・河口調査手法研究ワーキンググループ(1989)：河口調査手法マニュアル(案)，298p。
- 清水琢三・横山博史・近藤浩石・錦木 宏・松原良夫(1985)：仕切堤建設に伴う鮫川河口周辺の地形変化，海岸工学論文集，第32巻，pp. 395-399。
- 高崎みつる・田中 仁(2004)：南三陸陸面浦における溶存酸素濃度の変動に関する現地調査，水工学論文集，第48巻，pp. 1411-1416。
- 成田 舞・石川忠晴・高橋 淳(2002)：青森県高瀬川の河口部変動特性について，海岸工学論文集，第49巻，pp. 526-530。
- Patchanok Srivihok・田中 仁：高頻度空中写真による七北田川河口砂州動態の検討，海岸工学論文集，第51巻，pp. 531-535，2004。
- 真野 明・沢本正樹・長尾昌明・富樫健一(1993)：阿武隈川河口砂州の変形特性，海岸工学論文集，第40巻，pp. 486-490。
- 渡辺一也・田中 仁(2004)：岩木川水戸口における河口水深の推定，河口研究，第10巻，pp. 3-13-4。
- 渡辺一也・朝山順一・田中 仁・山路弘人(2005a)：水位データにより推定される名取川河口水深の季節変動について，海岸工学論文集，第52巻，pp. 336-340。
- 渡辺一也・田中 仁・中山大輔(2005b)：中小河川の河口地形変動とそのモニタリングに関する検討，河川技術論文集，No. 11，pp. 351-356。
- Dean, R.G. and R.A. Dalrymple.(2002) :Coastal Processes with Engineering Applications, Cambridge University Press, pp. 413-451
- Keulegan, G.H.(1967) :Tidal Flow in Entrances, U.S. Army Corps of Engineers, Committee on Tidal Hydraulics, Tech. Bull. No. 14., 102p.
- Watanabe, K. and H. Tanaka, H. (2005) :Investigation on seasonal variation of water depth at a river mouth in response to river discharge and wave action, Proceedings of 3rd Asian and Pacific Coastal Engineering Conference. (CD-ROM)
- Watanabe, K., H. Tanaka, H. Yamaji, and J. Asayama.(2006) :Estimation of Seasonal Water Depth Variation at the Natori River Mouth Using Water Level Data, Proceedings of 15th APD-IAHR Congress, pp. 979-985.