

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

DEVELOPMENT OF MONITORING SYSTEMS FOR MORPHOLOGY CHANGE AT SMALL- AND MIDDLE-SCALE RIVER MOUTHS

渡辺 一也¹・田中 仁²・中山大輔³

Kazuya WATANABE, Hitoshi TANAKA and Daisuke NAKAYAMA

¹学生員 修(工) 東北大学大学院 工学研究科博士後期課程 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

²フェロー 工博 東北大学大学院教授 工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

³学生員 東北大学大学院 工学研究科博士前期課程 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

It is known that morphology change occurs more rapidly at a mouth of small rivers as compared with large rivers. This is mainly due to distinct difference of river discharge between small and large rivers, although corresponding wave forces are more or less similar between them. For river mouth management, accordingly, more frequent monitoring is highly required at small river mouths. However, such monitoring system that enables frequent acquisition of morphological information has not been established.

In the present study, two monitoring methods are proposed for topography change at a small river mouth. One is to monitor morphology change directly by use of an automated digital camera installed at a river entrance, whereas the water depth, that can not be obtained by the first method, is estimated from measured water level variation in a river mouth. These monitoring methods are applied to the Nanakita River mouth located in Miyagi Prefecture, and their accuracy is discussed.

Key words : river mouth, monitoring of topographical change, small- and middle-scale river,
Nanakita River mouth

1. はじめに

洪水時において河口砂州などの地形的な要因が、洪水をスムーズに流す際の障害となって被害が拡大することがある。このため、河口部の地形変動について十分な理解が必要となる。しかし、一級河川においては比較的定期的に河口部の地形測量が行われるのに対し、中小河川においては、一級河川に比べると殆んどデータがないというのが現状である。2004年の新潟県集中豪雨災害の際に氾濫した五十嵐川・刈谷田川等の被害を受け、中小河川の管理が大きな注目されている。河口管理に関しても、中小河川の特徴を考慮した、一級河川のそれとは異なる方向性を検討する必要がある。

中小河川における河口地形の大きな特徴の一つは、大河川に比べてその変化速度が大きいことにある^{1), 2), 3)}。そのため、一級河川のそれと同程度の頻度で河口地形情報を取得しても、河口現象を捉えることが困難

である可能性がきわめて高い。したがって、一級河川と二級河川に対して一律のモニタリング手法ではなく、その特性・地形変化の時間スケールに合った計測手法が必要とされる。このような事実にもかかわらず、現実的にはむしろ、中小河川において現地資料が不足しているという現実がある。

河口地形を知る手法としては、代表的なものとして従来から用いられている地形測量・深淺測量が挙げられる。また、より広い地域を対象として空中写真を用いた地形解析も行われている⁴⁾。これらの手法は非常に詳細に地形情報を得ることが可能であるという利点があるものの、中小河川に求められている高頻度での地形観測には、主にコストの面で適していない。

そこで本研究では、中小河川であり、これまでに各種地形データが豊富に蓄積されている仙台市・七北田川河口部を対象として、自動画像データ記録装置を設置し河口部を定点撮影することで河口地形の変化を観測した。なお、手動カメラによる同様な河口地形観測

は一級河川・高瀬川において成田ら⁵⁾により実施されている。本研究においては自動化された撮影装置により長期のモニタリングを行った点に大きな相違がある。ただし、この手法では河口に関し平面的な地形情報は得られるものの、河口水深など水面下の情報を得ることは出来ない。そこで、水深情報に関しては水位データから河口水深を推定する手法を適用した。同手法はすでに著者ら⁶⁾により提案され、これまで一級河川・名取川⁶⁾、同・岩木川⁷⁾などに適用されてきた。以上の二つの手法により、河口地形に関して、河口幅に関する地形情報、水深情報の二つを得ることが出来る。

2. 対象領域

本研究における対象河川である七北田川は、宮城県泉ヶ岳にその源を発し、仙台市北部を流れる二級河川であり、その幹川延長は45km、流域面積は229km²である。また、河口部左岸に広がる蒲生干潟は、渡り鳥の飛来中継地として有名な干潟であり、数多くの野鳥を見ることができ、生物保全の場としても非常に貴重な環境を有している。その様な理由から河口が閉塞することによって、この蒲生干潟への入退潮に変化が生じることにより、干潟に生息する生物への影響が懸念される。さらに、七北田川では非常に短いスケールでの地形変化が報告されている¹⁾。そのため、この場所における河口地形のモニタリングは、防災面のみならず、環境保全の面でも重要である。

3. デジタルカメラによる河口地形の自動モニタリング

(1) 撮影手法

図-1中に示される七北田川左岸のSt.1(河口から約250m、高さ4m)にデジタルカメラを設置し、観測インターバル一時間で固定点観測を行った。カメラの向きはSt.1から海側へ向いており、河口幅に注目した撮影が行われている。このデジタルカメラから得られる画像から河口幅の変遷を求め、さらに、同時刻における空中写真、汀線測量の結果との比較を行うことにより、このカメラにより撮影された画像から得られる河口幅の精度について検討を行った。

なお、本手法の適用を考えた際には、河口砂州が右岸・左岸の両方向から発達し、両者が交差する場合には、河口幅を特定することができないので、この点を考慮する必要がある。

(2) データ解析手法

St.1に設置されている固定カメラからは、写真-1に示されるような画像が得られる。ここで、画像の解析にあたっては写真-1に示すように、画面の左端を

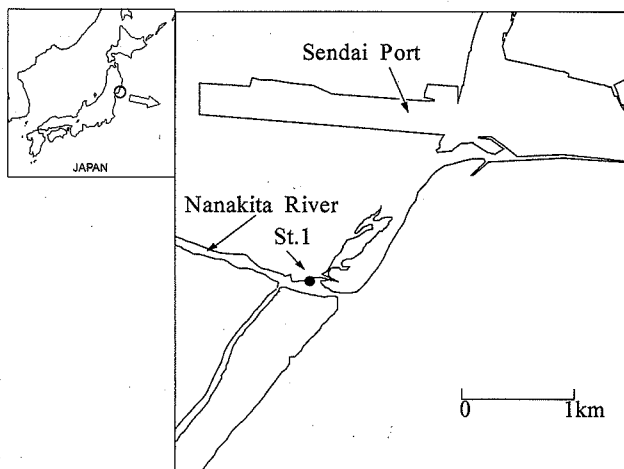


図-1 研究対象領域

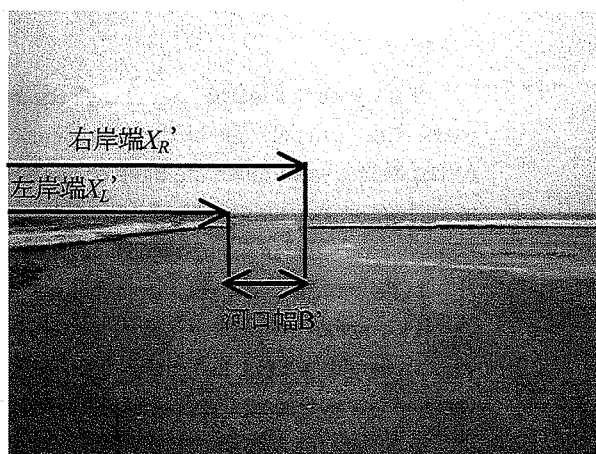


写真-1 斜め写真の例

基準として左岸および右岸の先端を座標 X_L' 、 X_R' と定義している。このときの右岸端と左岸端との幅を B' とし、この B' を河口幅の指標とした。

次に、先ほど定義した画面上での座標における距離から、実スケールでの距離に直すことを考える。ここで、二つの目標物を写真上に設け、その間の距離を10mとする。このときに撮影された画像を使用し、画面上での距離を求めることにより、実際の距離との比率を計算することによって、河口幅、左岸・右岸端の位置を算出することとした。

また、写真を撮影した時刻毎に潮位は異なっているために、これを修正する必要がある。ここでは基準として、TP.0mの時の河口幅を求める。そのための補正計算には、斜面勾配 I の値が必要となるが、この値は5回の地形測量の結果より得た。その結果、斜面の勾配 I は TP.0m 以上では 0.057、TP.0m 以下では 0.164 となった。そこで、河口幅補正量 ΔX を式 (1) により求めた。

$$\Delta X = -\Delta H / I \quad (1)$$

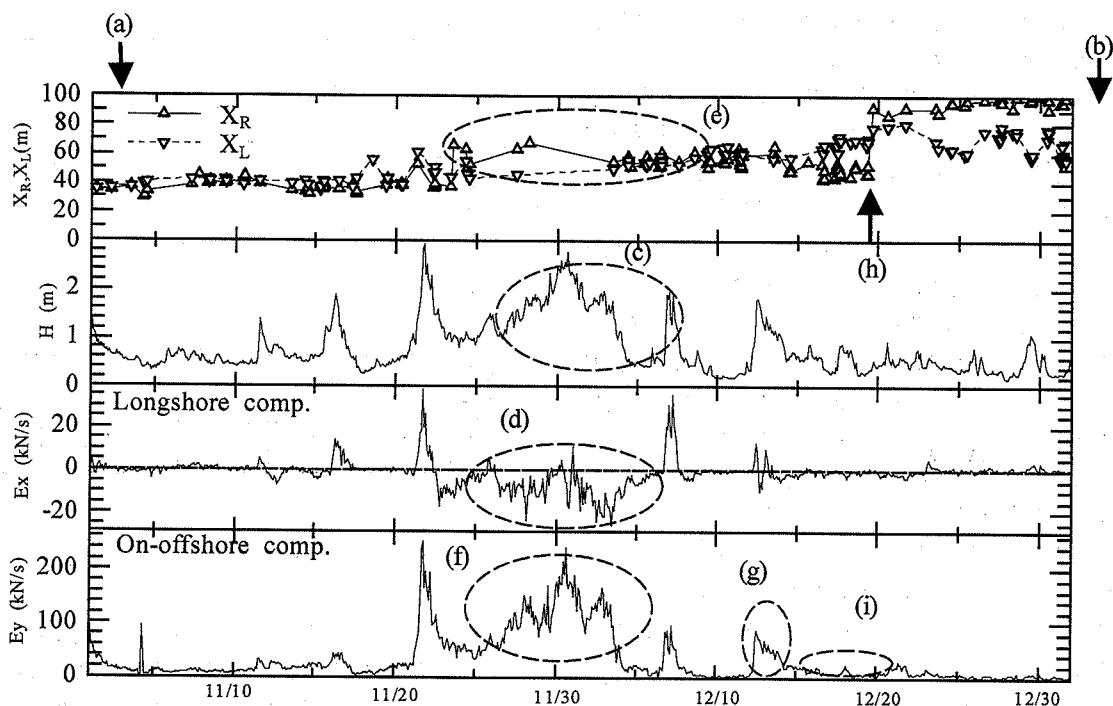


図-3 河口変化と波の外力との関係

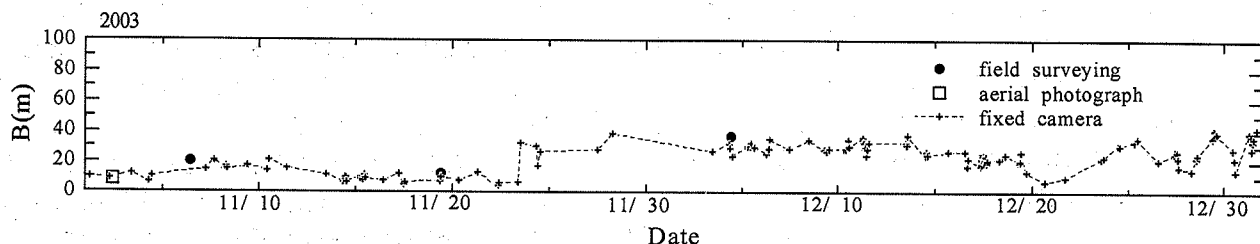


図-2 空中写真・汀線測量と固定カメラによる河口幅の比較



(a) 2003 年 11 月 2 日

(b) 2004 年 1 月 5 日

写真-2 河口部空中写真

ここで、 ΔH は水位 (TP0m) である。これにより補正された実際の河口幅 B 、左岸右岸位置 X_L 、 X_R を求めた。

(3) 固定カメラから得られる河口幅と実測値との比較

次に、上記の手法を用いて計算された河口幅の変遷と実際に地形測量から得られた結果、および空中写真より得られた河口幅との比較を行った。地形測量による実測値と空中写真から読み取った河口幅と本手法を

用いて計算した河口幅の比較を図-2に示す。比較には2003年11月はじめから12月終わりまでのデータを用いた。図-2に示されるように、地形測量および空中写真より得られた河口幅と本手法により求めた河口幅の計算値とは非常に良い一致を示していることが確認できた。これにより、本研究で使用した固定点観測によって得られた画像から、河口地形の情報を取り出すことが可能であることが示され、従来の観測間隔よりも短いインターバルでその情報を得ることができることが明らかとなった。そこで、この結果を受け、続いて、デジタルカメラより得られた河口幅と外力との影響について検討を行うこととした。

(4) 固定カメラから得られる河口幅の変遷

河口地形に大きな変化が見られた2003年11月、および12月の地形変動と河口部に作用する外力との関係について考察する。図-3に、11、12月の河口幅 B 、右岸左岸位置 X_L 、 X_R 、さらに、波浪データから求めた有義波高 H 、波の沿岸方向と岸沖方向のエネルギーフラックス E_x 、 E_y を示す。ここでは、沿岸方向エネルギーフラックスで正値は海岸線に対して南から入射し

ていることを表し、逆に負値は北から入射していることを表すこととしている。

図-3に(a), (b)で示される期間では、空中写真が撮影されている。この時撮影された空中写真を写真-2に示す。写真-2は(a)2003年11月2日と(b)2004年1月5日に撮影された空中写真から、河口部を抜き出したものである。このように右岸砂州が切れて、中州が形成されるという現象が起きたことが確認されている。

また、(c)に示される期間においては、11月末に太平洋を通過した台風21号の影響を受けて高波浪が来襲している。この期間では、(d)に示されるように北からのエネルギーが卓越しており、左岸が発達し、右岸が縮小していることが(e)よりわかる。また、(f)に示されるように岸沖方向のエネルギーも著しく大きなものとなり、右岸が河口内に大きく押し込まれている。この時点においては、中州の形成は確認できなかったが、(g)の期間では岸沖方向のエネルギーを確認することができる。

そして19日に右岸が切れ、(h)では中州が形成されたことが固定写真から確認された。また、その前には、弱いものの岸沖方向の影響を受けていることが(i)より確認された。このことによって、右岸が河口内に押し込まれ右岸の汀線の角度が変化したために、岸沖方向のエネルギーが右岸を伸ばす力として作用したと考えられる。その際に右岸付け根の砂が先端部へと運ばれたため、右岸が切れ中州になったと考えられる。

このように、固定点カメラを用いた観測により、河口部の変化と外力による変動を短期間の時間スケールで捉えることが可能であることが示された。

4. 水位変動を用いた河口水深の推定

前節では、河口部に設置された固定カメラから得られる画像を用いて、河口幅を知ることができることが示された。これにより、河口幅に関する地形変動を捉えることが可能となった。そこで次に、鉛直方向の地形を知る方法について検討した。先に検討した手法と併せて鉛直方向の地形変化を知ることができれば、河口地形の把握に関して大変有効であると考えられる。

鉛直方向の地形把握に関しては、河口水深を知る方法として、著者らによって、一級河川名取川河口部を対象として河口水位データから河口水深を推定する手法について検討が行われている⁶⁾。しかしながら、七北田川河口は名取川河口部と比べて小さく、河川流量や波浪の影響を大きく受けることが知られている。この点を考慮して、水位データを利用して河口水深の推定を行った。

(1) データセット

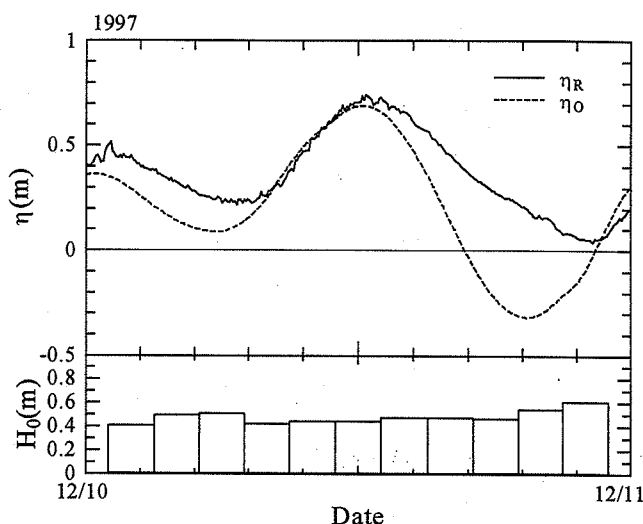


図-4 使用水位データの一例

今回の水面下における河口水深の推定には、1997年11月5日、27日、12月10日に取得された3ケースのデータを用いた。前節とデータ取得日が異なっているが、これは流量・断面などの検討に使用するデータが同時に取得されていなかったためである。

この期間において取得されたデータは、七北田川河口水位データ、仙台新港における潮位データおよび波浪データ、さらに河口部での横断面データである。また、上流部の市名坂では水位の観測が行われ、これを基に、H-Q式により流量データへの換算が行われており、この値を河川流量のデータとして用いている。

上述のデータを、水位データの観測インターバルである5分にそろえて推定計算を行った。なお、これは、後述する式(2)、(3)を用いて河口水位を計算する際にデータのインターバルが計算結果を左右するためである。そのため、インターバル5分という短い時間間隔でのデータに揃えて推定に使用することとした。

ここで、使用したデータの一例を図-4に示す。図-4の上段には使用した水位データ η_R と潮位 η_0 を、さらに下段に波高データを示す。なお河川流量は、日平均流量($=10.3\text{m}^3/\text{s}$)を計算に使用している。

(2) 河口水深の推定方法

本研究で用いた河口水位データを用いて、鉛直方向の河口地形情報である、水面下の河口水深を推定する方法について具体的に以下に示す。

基礎式はKeulegan⁸⁾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る。この時、基礎式は、式(2)の運動の式、式(3)の連続の式で示される。また、七北田川は中小河川であり、河川流量の影響を受けるため、式(3)においてそれを考慮している。

$$\eta_0 - \eta_R = (K_{en} + K_{ex} + \frac{2gn^2L}{R^{4/3}}) \frac{|U|U}{2g} \quad (2)$$

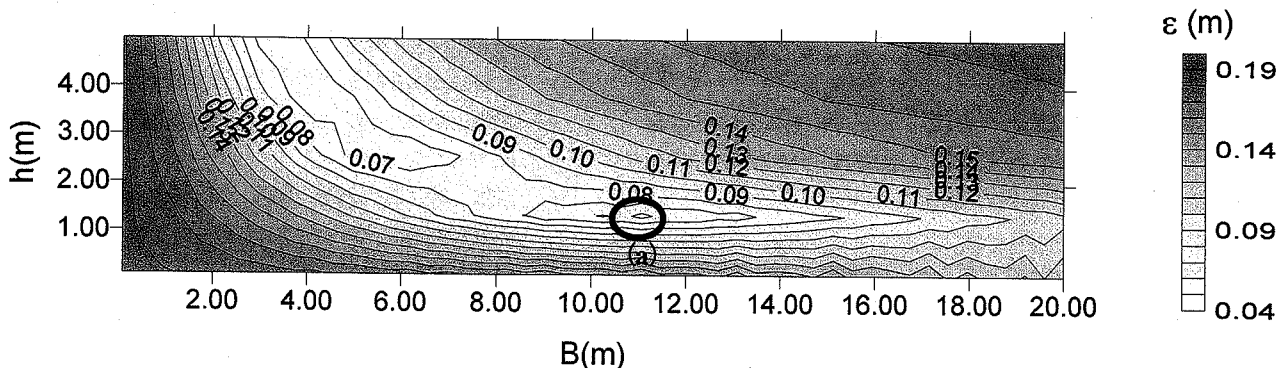


図-5 計算値と実測値の誤差と水深の決定

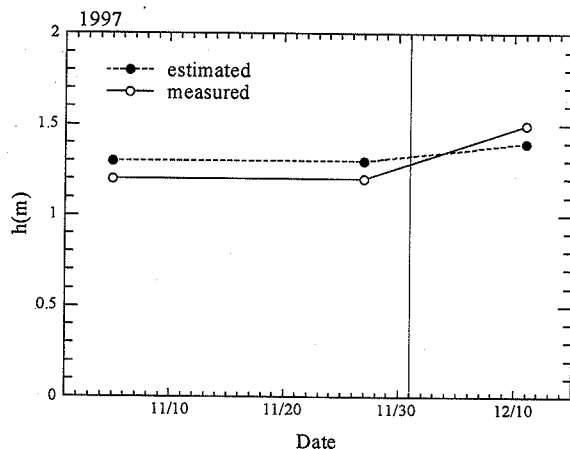


図-6 推定値と実測値の比較

$$U = \frac{A_R}{A_C} \frac{d\eta_R}{dt} - \frac{Q_R}{A_C} \quad (3)$$

ここで、各パラメーターと値はそれぞれ実測値により得られた値を使用している。 K_m ($=0.3$): 入り口損失係数, K_x ($=1.0$): 出口損失係数, n ($=0.035$): Manning の粗度係数, L ($=61\text{m}$): 河口部狭水路路長,

R : 径深, U : 河口部流速, A_R ($=797551\text{m}^2$): 感潮面積, A_C : 河口面積, B : 水路幅, Q_R : 河川流量である。

さらに、七北田川は河口部で wave set-up の影響を非常に強く受けるために、その影響を考慮する必要がある。そこで、式 (4) に示されている七北田川での wave set-up 量⁹⁾を潮位データに対して加えることによりその影響を考慮することにした。

$$\Delta\bar{\eta} = 0.0515H_0^2 - 0.0375H_0 + 0.1039 \quad (4)$$

ここで、 $\Delta\bar{\eta}$: wave set-up 高さ(m), H_0 : 沖波波高(m)である。式 (4) は、 $\Delta\bar{\eta}$ と H_0 の関係を表した経験式である。また、このとき推定する河口断面形状は二次曲線の形状であると仮定して、水面下の河口水深の推定を行っている。

実際の推定計算の際には、上記の式中で水深 h と河口幅 B 以外の値は括弧内で示される値を既知量として与えている。ここで、未知数である h を $0.1\text{m} \sim 5.0\text{m}$, B を $0.1 \sim 50\text{m}$ まで 0.1m 刻みで変化させ、式 (2), (3)

を Runge-Kutter で解き、各組み合わせでの η_R を計算する。ここで、河口内水位は現地で実際に計測されているものが存在する。ここでは、実測値と計算された η_R を区別するために添え字 (meas) (cal), を用いる。そして、つぎに下記に示される式 (5) を用いることによって実測値と計算値の誤差を計算する。

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^N |\eta_{R(cal)} - \eta_{R(meas)}|}{N} \quad (5)$$

ここで、 N : データ数, ε : 誤差である。誤差を最小とする B と h の組み合わせが推定値である。

(3) 河口水深推定結果

河口水深の推定を行った結果を図-5 に示す。このとき、図中に (a) の黒丸で表される部分が、最小の誤差を表している点である。この点が今回推定された河口水深と、河口幅となる。これと同様の推定を上記の手法を用いて、実測値のある3ケースについて行った。実測値と推定値との比較を図-6 に示す。図-6を見ると 10cm 程度の微小な誤差はあるものの、実測値と計算値は良好な一致を示している。

このように、水位データを用いた河口水深推定法によって、鉛直方向の河口地形情報を取り出すことが可能であることが示された。

5. おわりに

今回、固定カメラを用いた河口地形把握手法と水位データを使用した河口水深推定手法の二種類の河口地形把握手法について検討を行った。以下に本研究で得られた結果についてまとめる。

- (1) デジタカメラを用いた画像解析による結果と空中写真、汀線測量から得られた実測値との比較を行った結果、固定点観測によって得られた斜め写真により求められた河口幅の変遷は、実測値のものとほぼ同じ傾向を示した。このことから、デジ

タルカメラを使用した固定点観測により河口幅に関する地形変動を捉えることが可能であることが示された。

- (2) 河口部水位データを使用して、河口水深の推定を行った結果、推定された水深は、実測値のものと比べて近いものとなった。

謝辞：宮城県仙台地方ダム総合事務所、国土交通省塩釜港湾空港工事事務所から貴重な現地データを提供頂いた。また、本研究で使用した現地データの取得に当たり、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。ここに記して深く感謝の意を表する。また、本研究に対して日本学術振興会科学研究費（基盤研究（B）、代表：東北大学大学院・真野 明教授、No.17360230）の補助を得た。ここに記して心より謝意を表する。

参考文献

- 1) 田中 仁：河口部の土砂移動，水工学に関する夏期研修会講義集，第37巻，A-8-1-A8-17，2001.
- 2) 山崎雅洋，長林久夫，木村喜代治，堺 茂樹，平山健一：東北地方における中小河川の河口変動特性，水工学論文集，第42巻，pp.1135-1140，1988.
- 3) 市川慎一，宇田高明，三波俊郎，古池 鋼，木戸浩彦，星上幸良：外洋に面した海岸における河口処理と河口地形の応答一九十九里浜南部に流入する南白亀川および一宮川河口の例一，海岸工学論文集，第48巻，pp.621-625，2001.
- 4) 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.
- 5) 成田 舞，石川忠晴，高橋 淳：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.526-530，2002.
- 6) 渡辺一也，田中 仁：潮位変動に対する河口水位応答から推定される河口水深の精度，河川技術論文集，第9巻，pp.269-274，2003.
- 7) Watanabe, K. and Tanaka, H.: Estimation of water depth at a river mouth using water level variations -application to Lake Jusan-, *Proceedings of 14th APD-IAHR Congress*, pp.1141-1146, 2004.
- 8) Keulegan, GH.: *Tidal Flow in Entrances*, U.S. Army Corps of Engineers, Committee on Tidal Hydraulics, Tech. Bull. No.14., 102 p, 1967.
- 9) 田中 仁，長林久夫，山内健二：河口感潮域における wave set-up 高さに関する研究，海岸工学論文集，第45巻，pp.436-440，1998.

(2005. 4. 7 受付)