

中小河川河口部における水位変動特性

押山 俊一*・李 炫錫**・田中 仁***

1. はじめに

河川河口部の役割の 1 つとして、洪水流を安全に海に排出する機能が挙げられる。そのような機能を保つために、河口部の水位変動を把握する必要がある。

河口部の水位は、潮汐・河川流量・波浪等の複雑な相互作用により変動するが、中小河川の河口変動は多種多様であり、また田中ら (1998) などによると、波による set-up の影響も存在している。しかし、河道計画の立案の際にこのことが考慮されていないのが現状である。さらにそれは河川によっても異なるので、その機構を解明する必要がある。さらに、顕著な set-up はタイダルブリズムの増加をもたらす。これは河口感潮域の塩分環境に大きなインパクトとなり、生物環境への影響も無視できない。

そこで、河川規模・河口維持状態の異なるいくつかの河川を対象とし、同じ日時における類似した外力条件下での水位変動を比較検討した。また、wave set-up の影響を受けたときの河口内水位の予測計算を行った。予測手法としては過去に海岸工学の分野においてもいくつか応用事例のある (例えば、間瀬ら, 1994; 太田ら, 1998; Piao ら, 1999) ニューラルネットワークを用いた。

2. 対象河川と観測データ

2.1 対象河川の概況

対象河川は宮城県七北田川・名取川、福島県夏井川である (図-1)。また、大河川である阿武隈川も他との比較対象とした。阿武隈川は名取川の南 15 km に位置し、共に 1 級河川である。七北田川と夏井川は 2 級河川である。名取川河口部には 2 本の導流堤がある。七北田川には左岸のみ汀線位置までの導流堤が存在する。他の二河川に河口構造物は無い (表-1)。

2.2 観測データ

七北田川では河口から 500 m 離れた位置で 5 分毎に水位データを取得している。名取川と阿武隈川では国土

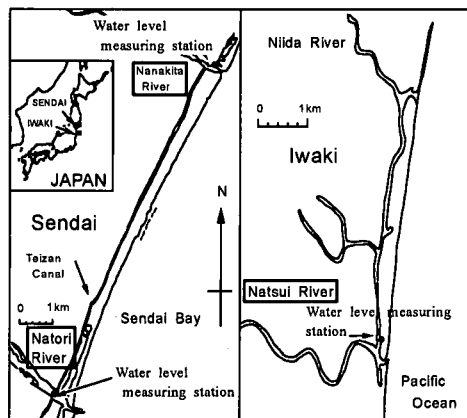


図-1 対象河川

表-1 対象河川の概況

	幹川流路 延長 (km)	流域面積 (km ²)	河口構造物の有無
七北田川	45	229	左岸のみ汀線までの 導流堤
名取川	55	939	二本の導流堤
阿武隈川	239	5390	なし
夏井川	67	749	なし

交通省により 1 時間毎の水位が得られている。これらの 3 河川については、仙台港における潮位データと同港沖での波浪データを用いて、水位上昇と波との関係を図示し、さらにそれぞれの河川の流量データもあわせて示した。

夏井川においても 5 分毎に水位データが取得されており、小名浜港における潮位データと同港沖での波浪データを用いた。

ここでは、波による wave set-up を考察するために数あるデータの中から、比較的流量の変化がなく、かつ高い波高が観測されているデータを選んだ。

3. 観測結果と水位上昇量の定量的評価

3.1 各河川毎の相違

得られたデータを図-2 に示す。

まず七北田川・名取川・阿武隈川の水位変動を比較す

* 学生会員 東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻

** 学生会員 工修 東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻

*** 正会員 工博 東北大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻

る。波高の高い図中 A の期間に着目すると、七北田川と阿武隈川の水位は潮位よりも 20 cm～40 cm 高い。それに対して名取川ではほとんど水位上昇を示していない。

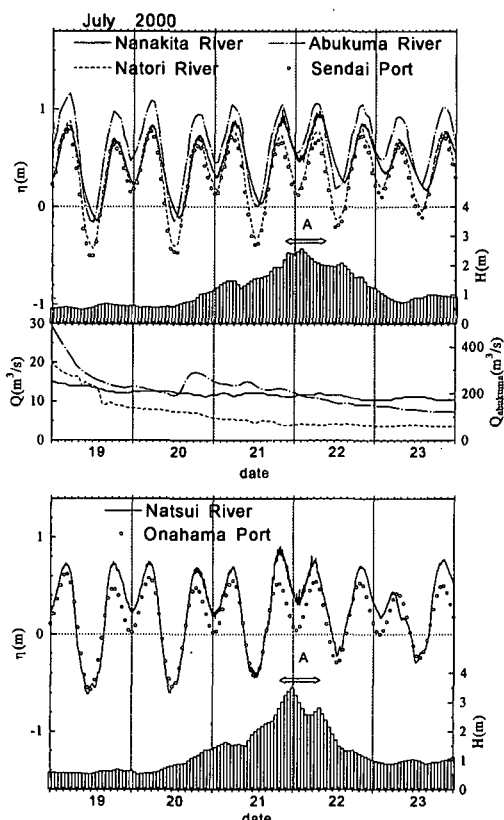


図-2 各河川の観測データ (2000年7月19～23日)

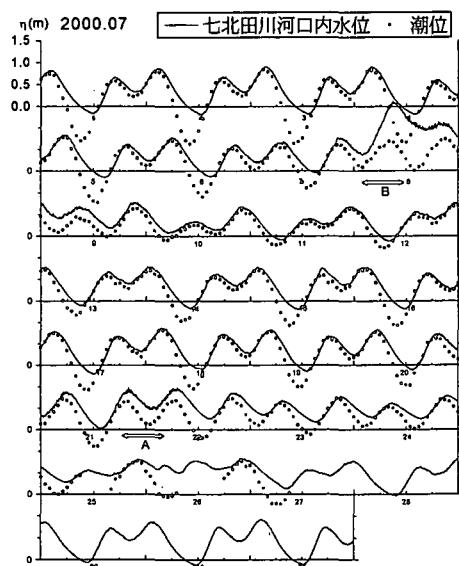


図-3 七北田川での水位・潮位変動 (2000年7月)

全体的に見て、名取川はほぼ潮位と同じような変動を示し、阿武隈川は常に潮位よりも高い位置で変動している。

名取川では2本の導流堤により安定した河口水深と河口砂州が維持されている。そのため河口前面における砕波が生じにくく、ほぼ潮位と同じ変動を示すと考えられる。阿武隈川では河口最狭部で砂州が発達し、河口前面にも土砂が堆積しており、そこで砕波を生じるものの、波高の増減に対応した水位変動は見られない。これは、その河川規模からして絶対的な流量が大きいため、常に高い位置で変動すると思われる。七北田川に関しては、左岸の導流堤は河口部の固定には役立つものの、漂砂抑制作用はなく、河口水深も浅いので、Aの期間で顕著な wave set-up を示している。

また夏井川においても、七北田川と同じように波による set-up が観測された。しかし、七北田川では低低潮時に河口水位が潮位まで下らないのに対し、夏井川は潮位とほぼ同じレベルにまで下がっている。この原因を説明するために、両河川の2000年7月全体のデータを図-3, 4に示した。図-2のA期間に先行する図中Bの期間において台風による出水と高波浪が両河川で観測された。このイベントの前では両河川とも同じような水位変動を示しているが、イベント後には両河川の低低潮時の水位変動に差異が見られる。これは、この出水により夏井川では河口最狭部にある程度水深がついたためと推測される。

3.2 wave set-up の定量的評価

七北田川・夏井川のような中小河川において、3.1においても確認できたように、沖波波高の影響により水位が

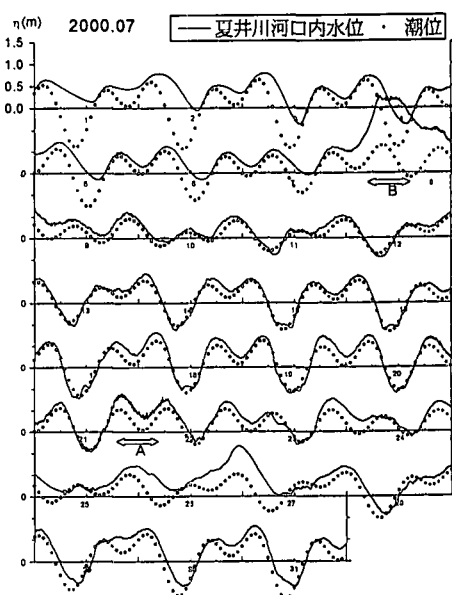


図-4 夏井川での水位・潮位変動 (2000年7月)

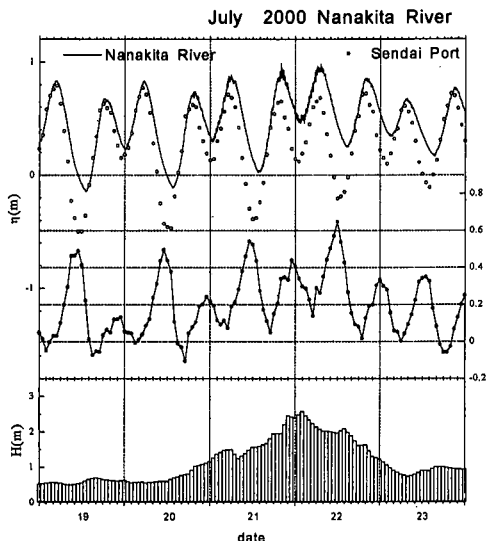


図-5 七北田川における水位-潮位差

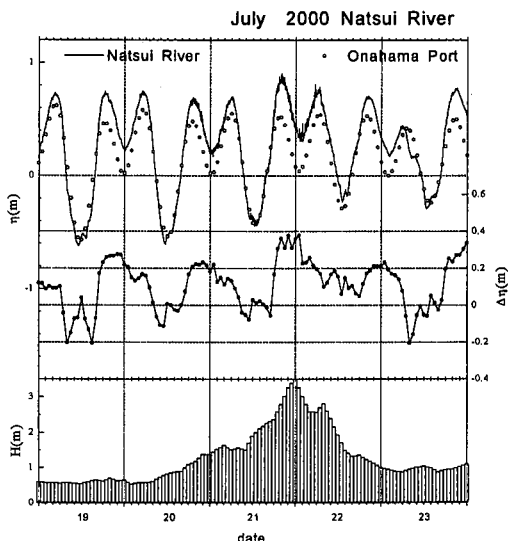


図-6 夏井川における水位-潮位差

上昇することは田中ら (1998) の研究により既に分かっている。そこでは河口での wave set-up の定式化がおこなわれているが、今回観測されたデータにおいても波高と wave set-up との関係の定量化を試みる。

ここでは、波による水位変動を調べるために、数あるデータの中から、比較的流量の変化がなく、かつ高い波高が観測されているデータとして7月19日～23日(図-2)のものを選んだ。そして河口内水位と潮位の差をとって $\Delta\eta$ とし、式(1)のように定義した。

$$\Delta\eta = \eta_{RM} - \eta_{TIDE} \dots\dots\dots (1)$$

ここで η_{RM} は河口内水位、 η_{TIDE} は潮位である。七北田川、夏井川における $\Delta\eta$ の変化をそれぞれ図-5と図-6に示した。夏井川では満潮時に $\Delta\eta$ が大きくなり、その近辺でそれが一定となる部分が観測された。ここでは純粋に波による水位上昇が現れているといえる。

しかし、七北田川では $\Delta\eta$ は干潮時に大きくなる。これは干潮時に波よりも摩擦の効果が卓越し、潮位が下がっても水が海に抜けにくくなることによる。よってこの部分は wave set-up が現れているとはいえない。そこで河口内水位が極大値を示すときの $\Delta\eta$ を wave set-up と定義した。

波高と wave set-up との相関関係を図-7に示す。今回の相関に線形近似を施したところ、直線の傾きは七北田川では0.133、夏井川では0.107となった。七北田川のほうが夏井川より傾きが大きいのは、この時の水深が七北田川のほうが浅いことから当然の結果といえる。

4. 河口水位変動の予測

河口部の水位は、潮汐・河川流量・波浪等の支配外力

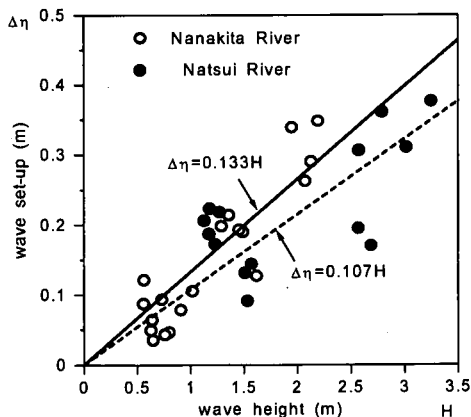
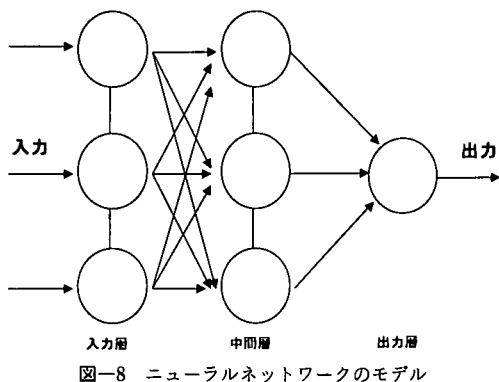


図-7 波高と wave set-up との相関関係

の作用により変動する。従って、河口水位・地形予測の二次元計算ではそれらの外力が上流端・下流端の境界条件となる。そのような計算は、例えば山内・田中 (1998) らによって行われたが、複雑な数値モデルの構築が必要である。そこでニューラルネットワークを用いて、複雑な計算を経ずに精度良い河口水位予測ができないかと考え、ここでは観測データから水位上昇量を予測することを試みた。

4.1 ニューラルネットワークの河口現象への適用

本研究では、七北田川・夏井川の両河川について水位変動予測を試みた。予測手法には非線形な連続関数を近似できる階層型ニューラルネットワークを採用した。このネットワークモデルは図-8に示すように、入力層・中間層・出力層の3層から成り、入力層には潮位・波高・河川流量の3つの要素を、出力層は水位を対応させ、こ



これらの関係を学習させた。ただし、今回は夏井川の流量データが入手できなかったため、夏井川は入力層を2つとした。中間層の個数は、いくつかのパターンを試みた結果、4個としたとき誤差が最小となり、これを適用した。

対象期間は図-2に示される観測に先行するデータも加えた7日間で、前半の5日間を学習させて後半の2日間を予測することを試みた。

ニューラルネットワークではニューロンの出力は0～1の範囲であるため、用いるデータを基準化する必要がある(市川, 1993)。本研究では予測精度を向上させるために、学習期間での水位・潮位データの値の範囲が0.1～0.9の範囲になるように基準化した。すなわち水位・潮位 η は式(2)を用いて入力した。また、波高 H は式(3)、流量 Q は式(4)を使って基準化を行った。

$$\eta^* = \frac{2}{5} \left\{ \frac{2\eta(\eta_{\max} + \eta_{\min})}{\eta_{\max} - \eta_{\min}} \right\} + \frac{1}{2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$H^* = \frac{H}{H_{\max}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$Q^* = \frac{\log Q}{\log(Q_{\max})} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式(2)において添字 max は学習期間での最大値, min は学習期間での最小値, 式(3)において最大波高は年間最大波高, 式(4)においては年間最大流量を用いた。

また、流量データに常用対数を用いて基準化したのは、阿部ら(2000)に倣い、年平均流量と年最大流量の差が大きいことから、学習データの分布に偏りが生じてしまうのを防ぐためである。

4.2 予測結果

七北田川の予測計算結果を図-9に、夏井川を図-10に示した。七北田川の予測に関して、予測期間の最初の山(A)に注目すると、うまくピークが一致している。これは set-up の精度のよい予測ができたことを示している。全体的に見ても、七北田川では水位変動をとらえることができていたが、波形に位相差が生じている。これは、外力条件としてこの時の地形の影響を考慮していないためである。一般に河口地形が浅く狭い時の水位波形は潮位よりも時間的な位相のずれを生じてしまう。

夏井川では位相のずれはなく、水位波形の時間変化を正しく捉えることができたが、水位上昇のピークにずれを生じている。この原因として、外力条件としての地形変化の影響を考慮していないことや、入力層で流量をインプットしていないことが挙げられる。

5. おわりに

本研究では、各河川における水位変動の比較により、河川規模・河口構造物の有無が河口最狭部の水深に差違を与え、それが河口内水位変動に強く影響を与えるということが分かった。また、河口部水深の比較的浅い中小河川では、波による set-up が生じやすく、波高が高いほ

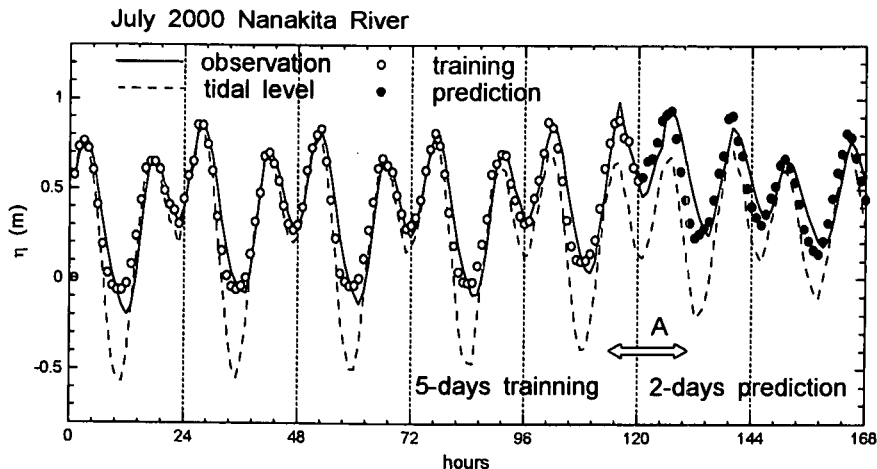


図-9 七北川における予測結果

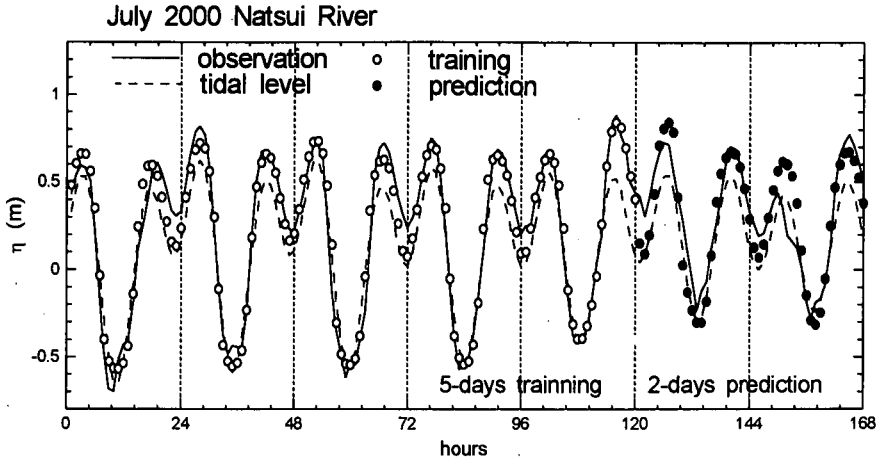


図-10 夏井川における予測結果

ど水位上昇に影響を与えることを確認した。今後河口出
発水位を考える際にそれぞれの特性を考慮する必要がある。

ニューラルネットワークによる予測計算では、地形の
変化を反映した精度の低下はあるものの、set-up が現れ
ている箇所での学習とその予測を行うことができた。こ
のような非線形の波形を予測できるようになれば、外力
条件を変化させた時の応答特性を簡単に調べることがで
きる。

謝辞：夏井川河口水位データは日本大学・長林久夫教
授より提供されたものである。また、国土交通省東北地
方整備局仙台工事事務所、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、気象庁小名浜
測候所から貴重な現地データを提供して頂いた。ここに
記して深く感謝する。

参 考 文 献

- 阿部清明・菊地英明・古川公平・塩月善晴 (2000): ニューラル
ネットワークによる流出解析手法 (日流量) に関する研究,
土木学会論文集, No. 656/II-52, pp. 1-13.
- 市川 紘 (1993): 階層型ニューラルネットワーク, 非線形問題
への応用, 共立出版, 184 p.
- 太田隆夫・木村 晃 (1998): ニューラルネットワークを用いた
有義波高の予測について, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp.
226-230.
- 田中 仁・長林久夫・山内健二 (1998): 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.
- 間瀬 肇・坂本雅信・酒井哲郎・後藤仁志 (1994): ニューラル
ネットワークを用いた捨石防波堤の安定性評価, 海岸工学論
文集, 第 41 巻, pp. 761-765.
- 山内健二・田中 仁 (1998): 中小河川特有の河口現象を考慮し
た地形変化予測モデル, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp.
451-455.
- Piao, C. and Lee, T. L. (1999): Back-propagation neural net-
work in tidal-level forecasting, Journal of Waterway, Port,
Coastal and Ocean Engineering, Vol. 125, pp. 195-202.