

河口感潮域における wave set-up 高さに関する研究

田 中 仁*・長 林 久 夫**・山 内 健 二***

1. はじめに

河道計画の立案に際しては、まず河口部の出発水位を決定する必要がある。通常は、潮汐および高潮について統計的な処理を施し、ある生起確率の水位を定めることが多いが、この際、波による wave set-up は考慮されない。海浜における wave set-up 高さは沖波波高の 2 割程度に達することが知られており、波高 4 m であれば 80 cm にも到る。このように、その大きさは潮汐・高潮による水位変動に比肩するものであるが、河口における set-up 高さについてはほとんど調査がなされていない。近年、洪水時河口地形変化の平面二次元計算がいくつか行われている（例えば、山内・田中, 1997）。この種の計算における下流端境界条件の精度良い設定のためにも、河口部での set-up 高さの評価が望まれる。

山本 (1978) は実験的な検討により、河口部での水位上昇量を推定するための図を得ているが、現地との定量的な比較はなされていない。著者の一人の研究によれば、二級河川・七北田川において沖波波高の 15% から 20% の set-up 高さが観測されている（高橋・田中, 1995, 田中, 1995）が、Hanslow ら (1992, 1996) の研究によれば、波に起因した水位上昇量は顕著でない。この様に、河川により set-up 高さの現れ方に相違が見られる。

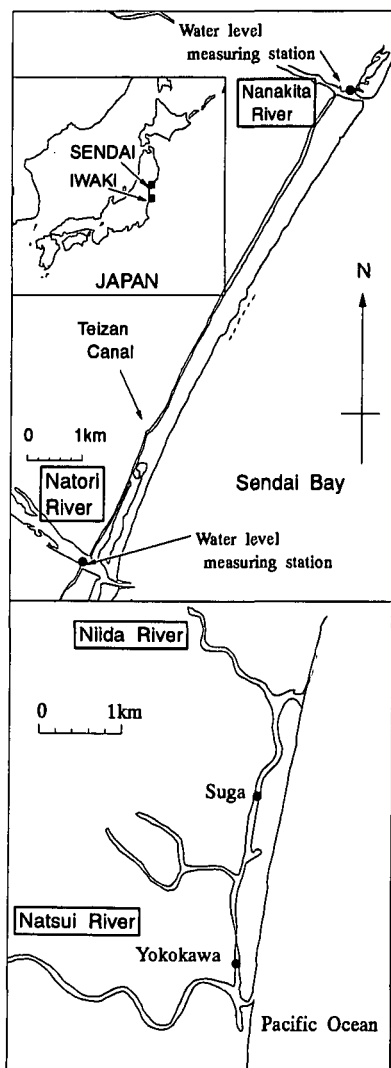
そこで、本研究では、複数の河川を対象にしてより総合的な検討を行うために、河川規模の異なる 3 つの河川の河口水位観測データおよび潮汐データとの比較から河口での wave set-up 高さを定量的に評価し、波浪諸元との関連を考察した。

2. 研究対象と観測データ

ここでは、河川規模・河口維持状態の異なる三つの河川を対象とした。それぞれの河口の概要を図一1に示す。また、図中には、以降「河口水位」と呼ぶ水位の観測点の位置も図示した。

まず、宮城県・名取川は宮城・山形両県の境に源を発

し、名取市関上で太平洋に注ぐ一級河川であり、幹川流路延長 55 km, 流域面積 984 km²である。河口部には二本導流堤があり、比較的安定した開口部が維持されている。図中の水位観測点（関上）において建設省により 1 時間毎の水位が得られている。



図一1 観測位置

* 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

** 正会員 工修 日本大学助教授 工学部土木工学科

*** 正会員 工修 大林組 大阪支店 土木部

一方、七北田川は幹川流路延長 45 km、流域面積 229 km²の二級河川である。河口左岸にのみ導流堤があるが、その先端は汀線位置にある。したがって、河口部の固定には役立つものの、沿岸漂砂捕捉の効果はない。図示した測点において、自記式水位計により 5 分毎のデータを取得した。

福島県・夏井川も同じく二級河川であるが、流路延長 67 km、流域面積 749 km²と、七北田川に比べ 3 倍以上の流域面積を有する。河口維持のための構造物は無い。福島県により、二つの水位観測点（横川、須賀）において 3 時間毎に河口内水位データが取得されている。

このように、これら三つの河川で河川規模、河口構造物の有無に大きな差違がある。これに応じて維持されている河口水深が異なり、これにより碎波の有無に差異が生じ、ひいては wave set-up 量に相違をもたらすものと考えられる。

以上の河口内水位データの他に、それぞれの観測点の近接地での潮位・波浪データを入手し、水位上昇量と波の諸元との関係を考察した。すなわち、名取川、七北田

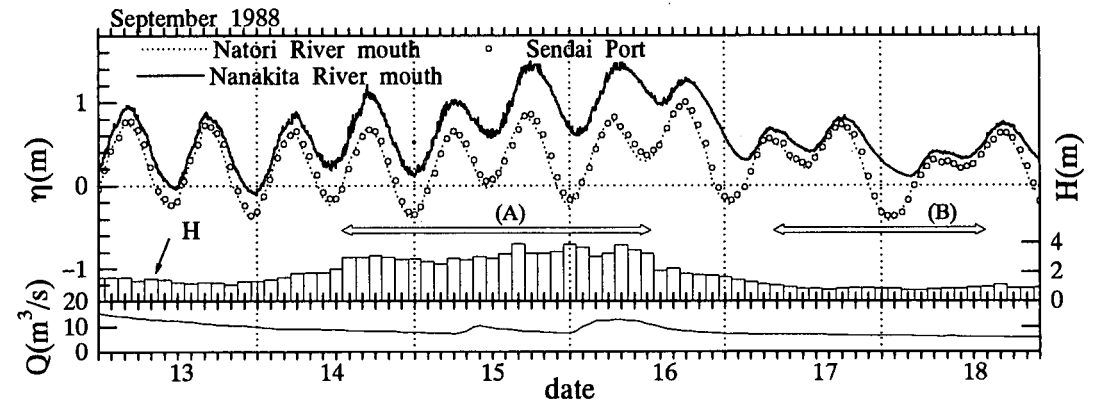
川については仙台港における潮位データと同港沖での波浪データを用い、夏井川については小名浜港での潮位データと同港沖での波浪データを解析した。この様に、潮位データとして推算値ではなく実測値を用いているので、河口内水位と潮位との差を求めたとき、高潮の効果はすでに除去されていると言える。なお、以下で示す水位データはすべて T. P. で示した。

3. 河口感潮域で観測された wave set-up 高さ

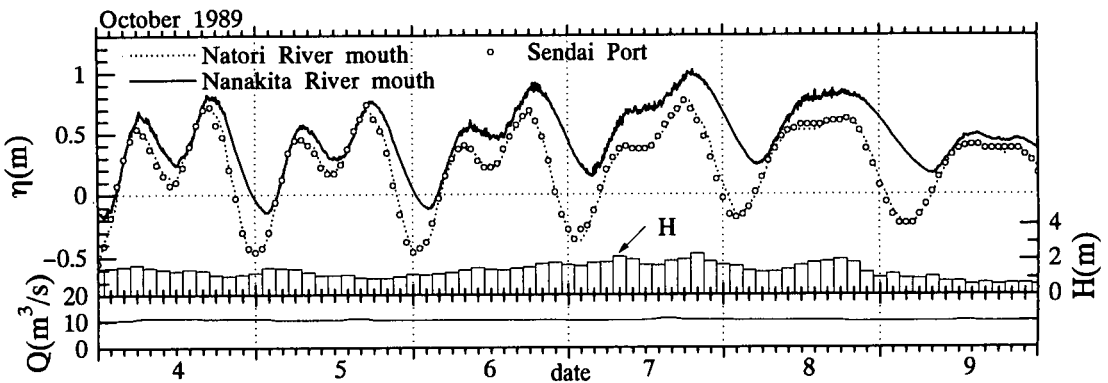
3.1 名取川、七北田川での観測結果

名取川、七北田川の河口水位と仙台港での潮位変動を図-2 に示す。波による河口内水位上昇が特に顕著なものを選んで示した。二つの河口の距離はわずか 9 km であり、波浪条件はほぼ同一と見なせる。図中には併せて七北田川河川流量（岩切地点）と仙台港での波高の変化も示した。

まず、(a) は七北田川においてもっとも大きな水位上昇が見られたケースである。名取川河口水位は潮位と見分けがつかないほど一致している。これに対して、七北



(a) 1988 年 9 月



(b) 1989 年 10 月

図-2 名取川・七北田川での観測結果

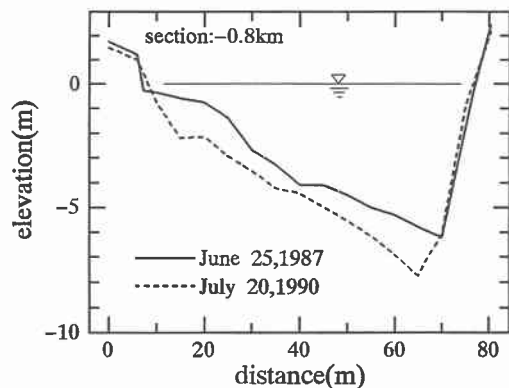


図-3 名取川の横断測量結果 (1987年, 1990年)

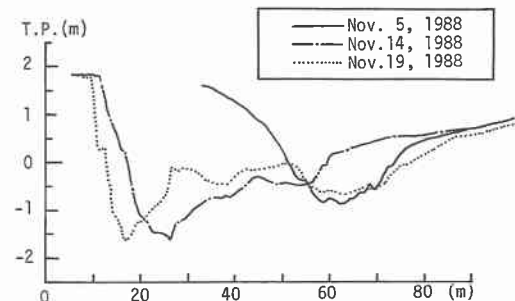


図-4 七北田川の横断測量結果(1988年11月) (田中, 1995)



写真-1 名取川の河口航空写真 (1988年9月9日)

田川河口水位は、波高が4 m程度にまで増加する(A)の期間に、潮位より60 cmから70 cm程度高くなる。その後、波高が低下する(B)の期間には潮位との差が減少する。この期間に河川流量には顕著な変化は見られない。これより、河口水位上昇は洪水によるものではなく、wave set-upによるものと判断される。図-2(b)の観測期間においてもほぼ同様な変化が見られる。すなわち、七北田川河口水位と潮位との差は波高の変化と明瞭な相関を持っており、一方、この間河川流量には変化が見られない。

名取川と七北田川の河口横断測量データのうち、図-2(a), (b)の観測期間にもっとも近いものを図-3, 図-4に示した。名取川河口は二本導流堤により6 m程度の水深が維持されている。このため、河口前面で碎波が生じにくい。これに対して、七北田川では図-4に見られるように最狭部での平均水深が1.0 mから1.5 m程度であり、高波浪時には河口前面で碎波が生じるであろうこ

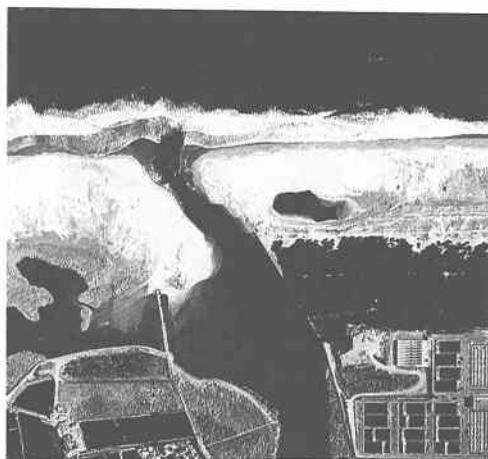


写真-2 七北田川の河口航空写真 (1988年11月1日)

とが予想される。実際、写真-1, 写真-2で見られるように、河口部において碎波の有無に差が認められる。このように、二つの河川で wave set-up の差が見られるのは、それぞれで維持されている河口水深の相違によると結論出来る。

なお、七北田川においては、波浪がさほど高くなくても、干潮時に河口水位が潮位まで下がらないことが多い。たとえば、図-2(a)の18日2時頃、図-2(b)の9日3時ころにこの現象が顕著である。これは、干潮時には摩擦の効果が卓越し、海側へ水が抜けにくくなるためである。簡単な一次元モデルを用いた数値計算により、このような水位変動を再現することが出来る (Tanaka and Ito, 1996)。

3.2 夏井川での観測結果

図-5に夏井川での結果を示す。河口水位データについては、T.P.との関係が明らかでなかったため、波浪・河川流量ともに微小な時期に河口内水位と潮位とが等しいものと仮定して、T.P.値へ換算した。

横川、須賀の両水位データとも、波高の増大する(A)

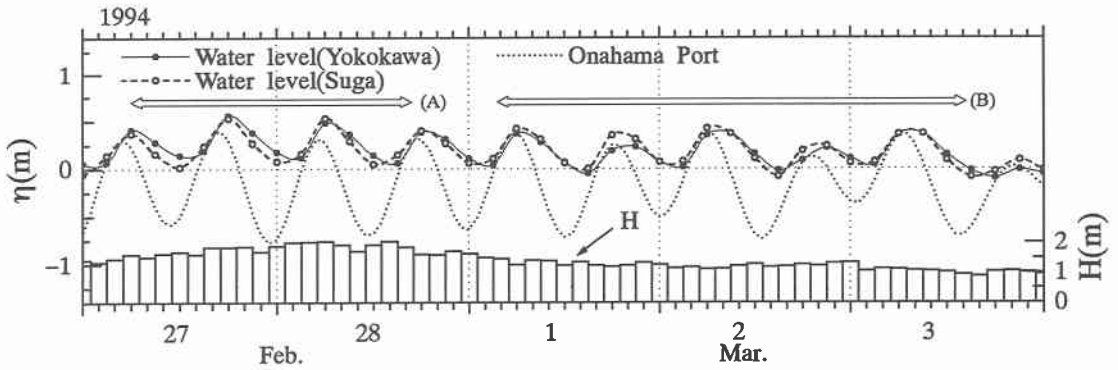


図-5 夏井川での観測結果 (1994年2月)



写真-3 夏井川の航空写真 (1996年5月14日)

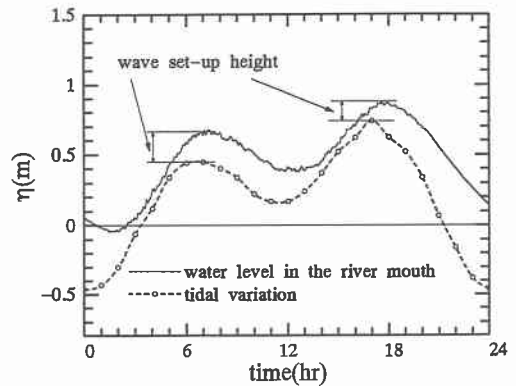


図-6 wave set-up の定義図

の期間に潮位との差が見られ、その後、(B)では波高の減少と共に、河口内水位は潮位とほぼ同じ高さで変動する様になり、図-2に示した七北田川の河口水位と類似した変化を示している。図-1に示したように、夏井川と仁井田川の河口は水路によりつながれており、このため一方が開口している時にもう一方は閉塞していることが多い(長林・木村, 1996)。図-5に示した観測日の開口状態は確認されていないが、その前後の資料から判断して、夏井川が開口していたものと思われる。

夏井川河口部の水深を示す直接的な資料は得られなかったが、ほぼ1m弱から2m程度の水深と推測された。また、写真-3に示す航空写真において河口部の碎波が観察されることから、図-5の水位上昇は波浪により生じたものと言えよう。

筆者らの知る限り、図-2、図-5の様な河口部での wave set-up の観測報告は、これまで例がない。これは、現在までの多くの現地調査は河口部水深が比較的大きく維持されている一級河川を対象としたものが多く、河口前面で碎波が生じ易い中小河川での観測が稀少であったことによると考えられる。

3.3 河口での set-up 高さの定式化

以下では、波による set-up 高さと波の諸元との関係について考察を行う。

すでに、3.1節で述べたように、干潮時の河口内水位は波の影響よりもむしろ最狭部での水深の影響を受けている。そこで、図-6に示すように、河口内水位が極大値を示すとき、その時刻の潮位との差をもって wave set-up 高さとして定義し、この値が約10cm以上となり、かつ明らかに洪水の影響を受けていない資料を収集した。

このようにして得られた wave set-up 高さと波高との関係を図-7に示す。波高と明瞭な相関が見られ、図中の経験式を得る。

$$\bar{\eta} = 0.0515 H_0^2 - 0.0375 H_0 + 0.104 \quad \dots\dots\dots (1)$$

また、合田にならない、図-8の様に無次元表示を行った。一樣勾配海浜に対する合田の理論値に比べ、低めの値を示す。これは、河口部が有限深さを有しているためであり、海浜の汀線位置での水位上昇量を与える合田の理論より低いのは当然の結果といえる。

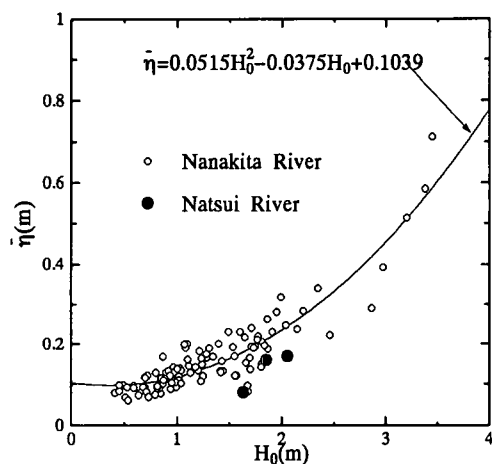


図-7 沖波波高と set-up 高さとの関係

現在まで、この様な河口部での wave set-up 高さについてはほとんど認識されていなかった。今後、主に中小河川の河道計画に際し、この様な知見を考慮していく必要がある。また、河口地形変化を対象とした数値計算(例えば、山内・田中, 1997)等にもこれらの結果を反映させていく必要がある。

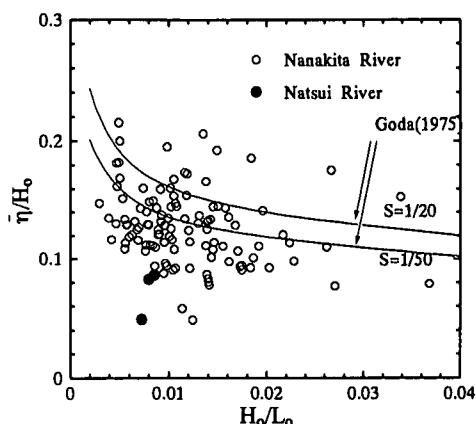
4. おわりに

本研究で得られた主要な結論は以下のとおりである。

(1) 対象とした三つの河川のうち、河口が浅い二つの二級河川において、波による水位上昇が観察された。一方、大きな水深の維持されている名取川においてはこの現象が見られなかった。これは、河口水深の大小に伴う碎波の有無を反映したものである。

(2) set-up 高さ と 波高 と の 関 係 を 表 す 式 と し て (1) を 得 た。また、一様勾配海浜における set-up 高さ に 比 べ る と、幾分低い値を示すことが確認された。ただし、これらの結果は七北田川や夏井川における平均的な水深のもとで成立する関係であり、今後、異なる河口水深を有する他の河川での関係式や、名取川のように水位上昇が見られない河川と区分するための基準に関する検討を行う必要がある。

謝辞：本研究を行うに際し、貴重な資料を提供頂いた

図-8 $\bar{\eta}/H_0$ と H_0/L_0 との関係

建設省東北地建仙台工事事務所、運輸省第二港湾建設局塩釜港工事事務所、宮城県仙台土木事務所、福島県いわき工事事務所、気象庁小名浜測候所に深謝致します。また、本研究に対して文部省科学研究費の補助を受けたことを付記する。

参 考 文 献

- 合田良実 (1975): 浅海域における波浪の碎波変形, 港研報告, 第14巻, 第3号, pp. 59-106.
- 高橋 敦・田中 仁 (1995): 七北田川河口部における wave set-up, 第50回土木学会年次学術講演会, 第2部(B), pp. 844-845.
- 田中 仁 (1995): 七北田川において観測された中小河川特有の河口現象, 土木学会論文集, 第509号/II-30, pp. 169-181.
- 長林久夫・木村喜代治 (1996): 東北南部・関東北部の沿岸域における河口特性, 東北地域災害研究, 第32巻, pp. 95-101.
- 山内健二・田中 仁 (1997): 河口水位に及ぼす河口砂州の効果, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 441-445.
- 山本晃一 (1978): 河口処理論 [I] —主に河口砂州を持つ河川の場合—, 土木研究所資料, 第1394号, 223 pp.
- Hanslow, D. J. and Nielsen, P. (1992): Wave setup on beaches and in river entrances, Proc. 23rd Int. Conf. Coastal Eng., pp. 240-252.
- Hanslow, D. J., Nielsen, P. and Hibbert, K. (1996): Wave setup at river entrance, Proc. 25th Int. Conf. Coastal Eng., pp. 2244-2257.
- Tanaka, H. and Ito, T. (1996): An estimation method of gorge section at a small river mouth, Coastal Eng. in Japan, Vol. 39, No. 1, pp. 27-38.