

尻別川河口における砂州と水位の変動特性

SEASONAL VARIATION OF SAND SPIT AND ITS EFFECT ON FLUCTUATION CHARACTERISTICS OF WATER LEVEL AT THE MOUTH OF SHIRIBETSU RIVER

田中 仁¹・李 炫錫²
Hitoshi TANAKA and Hyun-seok LEE

- 1 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 (〒980-8579 仙台市青葉区青葉 06)
2 学生会員 工修 東北大学大学院博士後期課程 工学研究科土木工学専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区青葉 06)

Distinct water level rise above tidal level has already been reported at several river mouths during the period of high waves. At Shiribetsu River mouth located in Hokkaido, Japan, a lot of cases of wave set-up are observed every year during the period from October to March, and it is found that the magnitude of water level rise increased with the development of sand spit at the river mouth. In order to find a relationship between wave set-up height and sand spit length at the river entrance, oblique photographs at the Shiribetsu River mouth, taken from a small mountain almost every week for these twenty years, are effectively utilized in this study.

Key Words : Shiribetsu River, river mouth, sediment movement, sand spit, wave set-up

1. はじめに

河口水位は河道計画における出発水位となるものであり、実務上きわめて重要な特性量である。河口水位は、河川流量、潮位、波浪などの影響を受け、さらにこれらの外力により変動する河口地形との相互作用のもとに複雑に変動している。これらの支配的な外力のうち、波浪が河口水位に与える影響についてはこれまでほとんど検討がなされていなかった。近年になって、波浪によって河口で引き起こされる wave set-up に関する研究が内外で散見される^{1), 2), 3), 4), 5)}。これらの研究により、河口部の wave set-up 高さは河口地形の影響を大きく受けていることが明らかにされている。ただし、両者の関係に関する定量的検討はほとんどなされていない。この原因の一つとしては、河口水位計測のインターバルと河口地形計測のそれとの間に大きな差があることが指摘される。すなわち、河口水位は通常1時間程度の間隔で計測されるが、一方、河口地形の計測は年に数回程度であることが多い。このため、顕著な wave set-up のイベントが検知されても、それに対応する河口地形が不明であり、両者の関係を検討することが困難であった。

本研究の対象である尻別川においては、河口近隣の小高い山からほぼ1~2週間毎の斜め写真が得られており、上述の水位と地形の観測頻度の齟齬がない。このため、河口水位の変動特性に対する河口地形の影響を検討するに十分な資料が蓄積されている。

ここでは、まず、尻別川特有の河口砂州の周年変動を明らかにするとともに、これが河口水位に与える影響について定量的検討を行った。

2. 研究対象

尻別川は北海道西部で日本海に注ぐ一級河川であり、流域面積 1,640km²、幹川流路延長 126km、河口での計画高水流量 3,200m³/s である。図-1 に河口地形の概要を示した。著者らはこれまでに、宮城県・

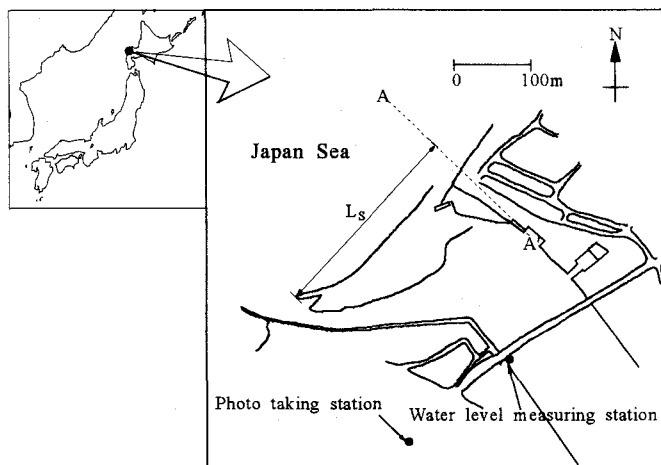
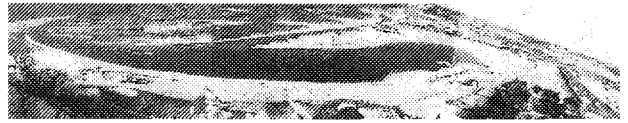


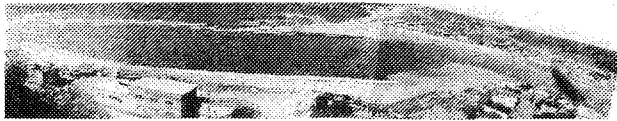
図-1 尻別川河口地形の概要



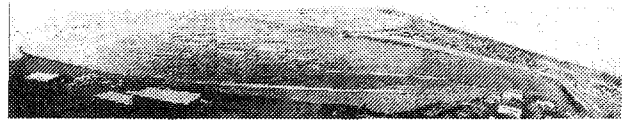
(a) 1996 年 1 月 11 日



(b) 1996 年 2 月 13 日



(c) 1996 年 4 月 12 日



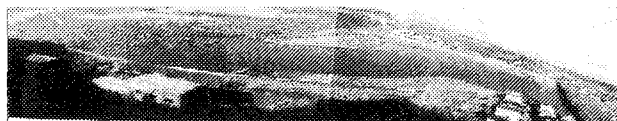
(d) 1996 年 5 月 15 日



(e) 1996 年 7 月 16 日



(f) 1996 年 8 月 20 日



(g) 1996 年 11 月 8 日



(h) 1996 年 12 月 10 日

写真-1 尻別川河口地形の斜め写真

七北田川, 同・名取川, 福島県・夏井川など太平洋に注ぐ河川の河口水位変動特性に関する検討を行った^{2), 5)}が, これらと今回の研究対象である尻別川との大きな相違点は潮汐の大小である。また, 河口地形を支配する外力のうち, 河川流量は融雪期に支配的で, 一方, 波浪は冬季に集中している。このように, 二つ支配的な外力の卓越時期が比較的明瞭に分離されている。

尻別川河口においては, 近傍の小高い山頂からほぼ 1 ~ 2 週間毎の斜め写真撮影がこの 21 年間にわたり継続的に行われており, 長期的な地形変動データが蓄積されていることも特徴である。これにより, 詳細な地形情報が得られ, 河口水位変動に対する河口地形の影響を検討することが可能である。河口部の斜め写真は, 図-1 に示すように河口左岸の高さ 26m の小高い山頂から撮影されている。別途, 河口地形の平面測量の資料が存在しており, これより, 斜め写真上の座標と平面図の座標との対応づけることが可能である。

なお, 図のように, 河口左岸には導流堤が設置されている。また, 1999 年には右岸導流堤もすでに完成しているが, 本研究で対象とするのは右岸導流堤建設前の河口現象であり, 具体的には 1991 年 1 月から 1998 年 12 月までの 8 年間の資料を解析対象とし

た。

河口内水位は, 図-1 に示すように河口から 300m の地点で 1 時間毎に観測データが得られている。潮位および波浪については, 瀬棚港で観測されている値を使用した。

3. 結果と考察

(1) 河口砂州の季節変動

写真-1 は河口砂州変動の消長の一例を示したものである。

写真-1(a)および(b)は冬季に河口砂州が十分に発達した状態である。右岸砂州が伸張し, 左岸導流堤沿いにわずかな開口部が維持されている。春季には融雪出水により流量が増加し, これに伴い砂州の先端部から徐々にフラッシュが生じる。写真-1(c)および(d)はこの過程に対応している。夏季には一般に波浪が小さいため, 砂州の回復は見られず, 開口部が大きく維持されたままである(写真-1(e)および(f))。その後, 秋季から冬季にかけて, 河川流量に比べて波浪が卓越する。これに伴い, 左岸砂州の伸張が再び顕著となる(写真-1(g)および(h))。

なお, 他の年についても 1996 年と同様な季節毎の消長を繰り返していることが確認された。

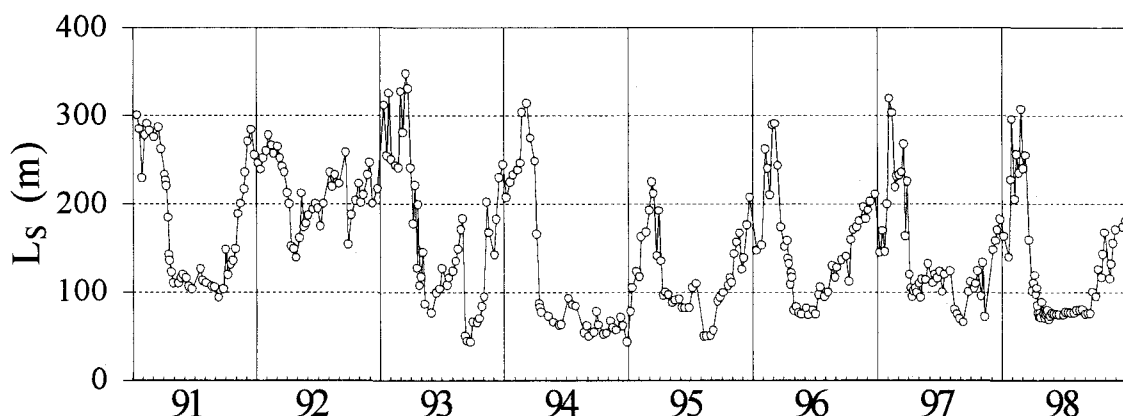


図-2 河口砂州長さの変動

このような斜め写真より砂州長さ L_s の変化を読み取ってプロットした結果を図-2に示す。ここで、砂州長さを定義するための基準線 A-A'を図-2に示す様に右岸沿いに設け、ここから砂州先端までの距離を砂州長さとした。写真-1に示した1996年以外についても、1年のなかで写真-1と同様な消長を周期的に繰り返しており、太平洋側に位置する他の河川の河口砂州(たとえば、Sawamoto and Shuto⁶⁾、真野ら⁷⁾、稲村・田中⁸⁾)と大きく異なる変動特性を示している。このような地形変動の強い周期性は、後述する外力の周期性を反映したものである。

(2) 河口部の水位変動特性

まず、一年の中での平均的な外力特性(沖波波高 H_0 、流量 Q)と、これに呼応する河口内水位の変動特性を検討した。1996年の計算結果を図-3に示す。ここで、 $\Delta\eta$ は(河口内水位)-(潮位)を表し、バーは月平均値を表す。流量の平均値は4月、5月を除いてほぼ一定値の $50\text{m}^3/\text{s}$ 程度である。4、5月の増加は融雪出水による。一方、波浪は夏季に極端に減少し、秋から冬にかけて大きな値をとる。このような外力の変動パターンはこの年に限らず、例年同様な外力特性が繰り返される。図-3に示す砂州変動の周期性はこのような外力の周期性によるものである。

図-3の上段に示された潮位に対する河口水位の上昇量 $\Delta\eta$ の月平均値を見ると、融雪期の流量増加とはほとんど対応していないことが分かる。むしろ、水位上昇量の変化は、中段の波高の変化と顕著に連動して変化していることが明らかである。そこで、以下ではより詳細な水位変動特性の検討を行うために1時間毎のデータの解析を行った。

まず、図-4(a)は春の出水時の水位変動と各種外力の変動を示す。図中で、水位 η の添え字 RM およ

び S は、それぞれ河口内水位および潮位を表す。2日から3日にかけてピーク流量 $500\text{m}^3/\text{s}$ 程度の洪水が発生し、これに伴い河口水位の上昇が見られる。ただし、出水後の5日以降は、流量がほぼ安定している。この時期、 η_{RM} 、 η_S はほぼ一致しており、 $\Delta\eta$ はほぼゼロに近い。

一方、図-4(b)は1996年の冬季に観測された水位、外力特性を示している。河川流量はほぼ一定値を示し、変動が見られない。これに対し、沖波波高は、図-4(a)と異なり大きな変動を示しており、4mを越える日も数日見られる。また、河口水位はほぼ常時潮位よりも高い点も図-4(a)と大きく異なる特徴である。ここで注目すべき点は、 $\Delta\eta$ の変動が波高の変動と明らかに連動していることである。特に、12月6日、11日～13日、14日～15日、17日～21日、23日～24日、25日～27日、28日、30日などに見られる波高のピークの発現や波高の増減に対応して、 $\Delta\eta$ にきわめて類似した変動パターンが現れていることが明瞭である。一方、すでに示したように河川流量には変動が全く見られないことから、図-4(b)に見られる河口水位上昇は洪水起源のものではなく、波によって生み出されたもの、すなわち wave set-up である結論できる。

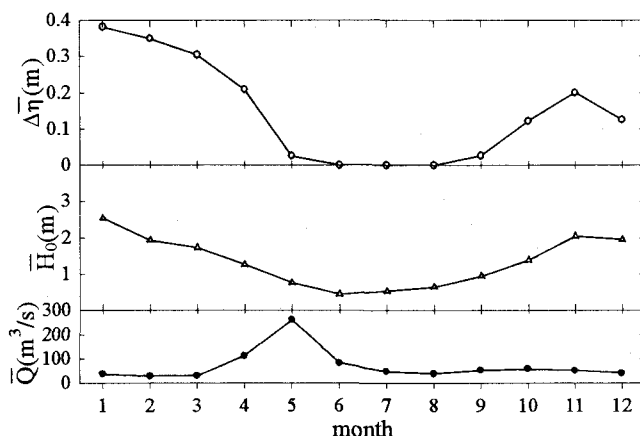
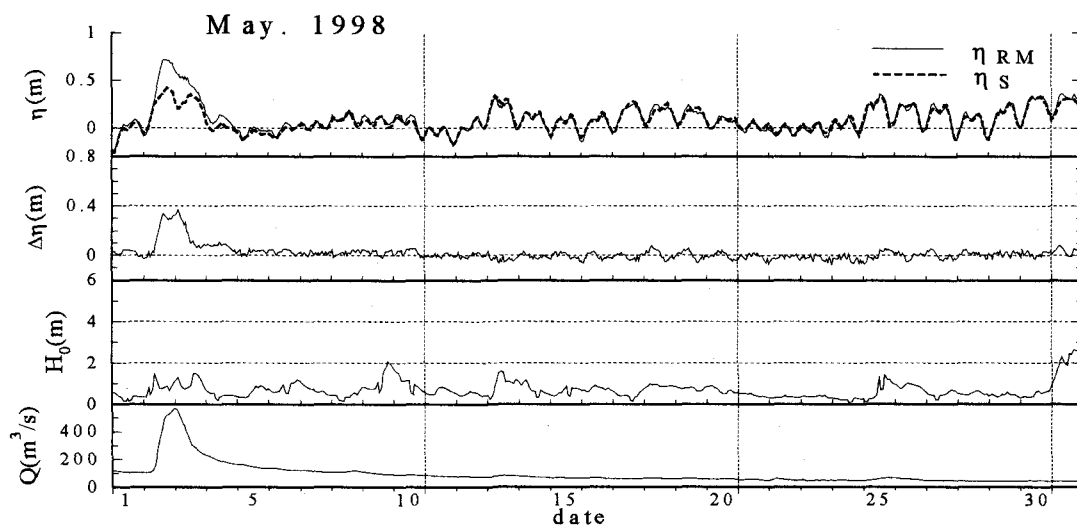
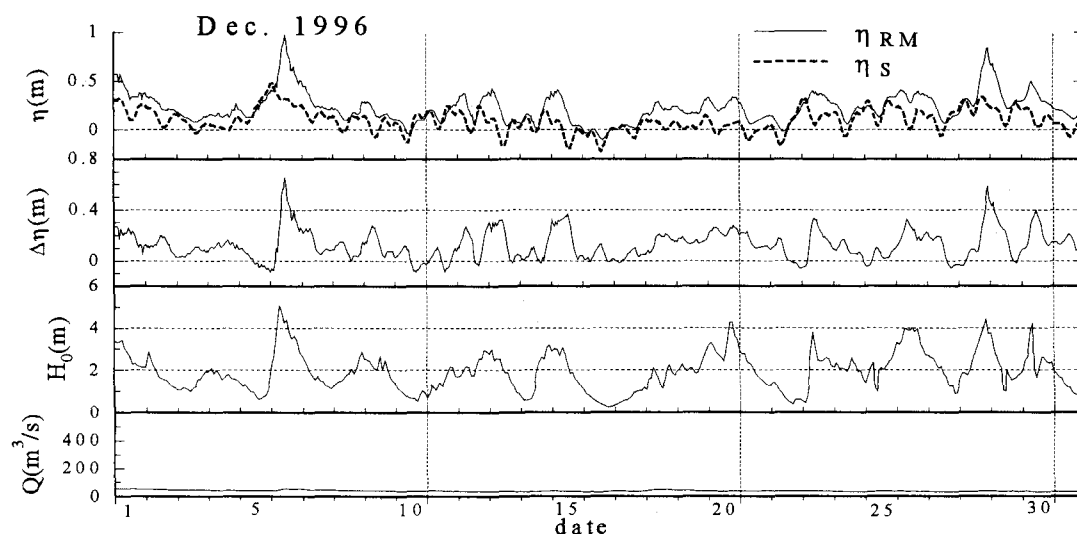


図-3 河口水位・波高・流量の月平均値 (1996年)



(a) 1998年5月



(b) 1996年12月

図-4 河口水位、波高、流量の変化

(3) 河口砂州長さと wave set-up 高さとの関連

一般に、海浜における wave set-up 高さは沖波波高に比例しており、水位上昇量を波高で除した無次元量はほぼ0.1から0.2程度の値を持つことが知られている^{9), 10)}。そこで、尻別川において wave set-up が顕著に認められる期間を抽出し、波高に対する比を求めた。その結果を図-5下段に示した。これによれば、無次元 wave set-up 高さはほぼ0.0から0.16の値を有し、先述の海浜における値にくらべて幾分小さい値を示すが、上限値は Tanaka et al.⁵⁾、田中¹¹⁾らにより報告されている河口での観測地に近い結果となっている。

図-5上段には図-2に示した河口砂州長さの変化を再掲した。ここで注目すべき点は、無次元 wave set-up 高さの変動は、砂州長さの変動とほぼ連動している点である。このことは以下のように説明する

ことが出来る。

Haslow et al.³⁾ や Tanaka et al.⁵⁾ の研究によれば、河口内の wave set-up 高さ $\Delta\eta_{RM}$ は河口水深の影響を受けている。このうち、Haslow et al.³⁾ は次式を提案している。

$$\Delta\eta_{RM} = \frac{\Delta\eta_{SB}}{1 + \frac{a h_{RM}}{H_0}} \quad (1)$$

ここで、 $\Delta\eta_{SB}$ ：一様勾配海浜における wave set-up 高さ、 a ：無次元定数、 h_{RM} ：河口水深である。簡単のために、Guza and Thornton¹⁰⁾ にならい、

$$\Delta\eta_{SB} = b H_0 \quad (2)$$

(b ：定数)と仮定し、これを式(1)に代入すれば次式を得る。

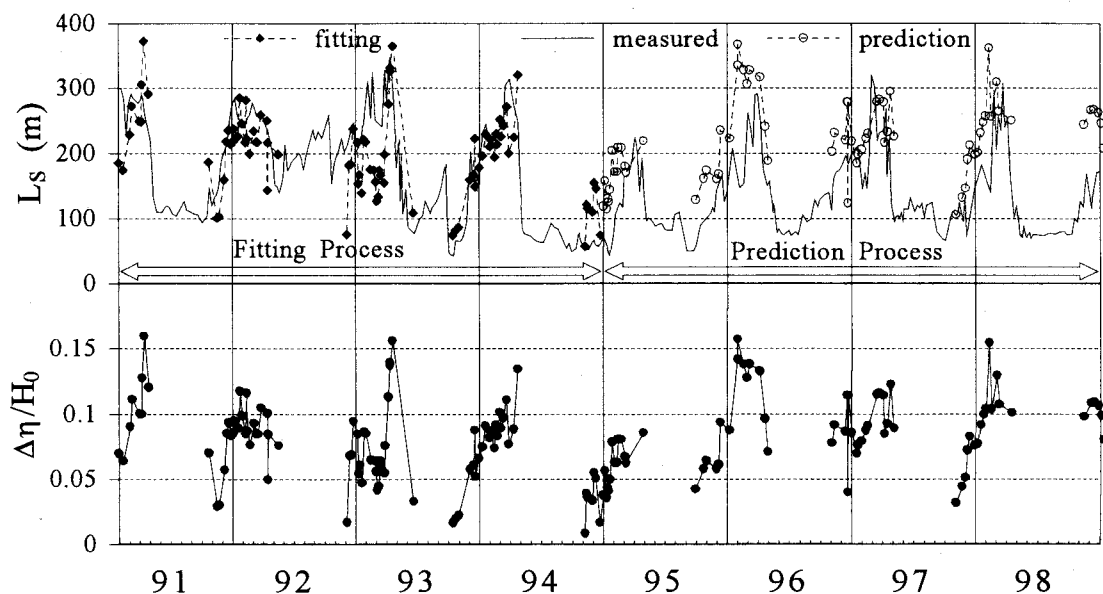


図-5 河口砂州長さと無次元 wave set-up 高さ

$$\frac{\Delta\eta_{RM}}{H_0} = \frac{b}{1 + \frac{ah_{RM}}{H_0}} \quad (3)$$

式(3)より、河口水深が増加するにつれて河口内の wave set-up 高さが減少することとなる。一方、図-2において砂州長さの減少過程は洪水によってもたせるものであるから、砂州長さの減少は河口水深の増加を伴うものと考えられる。逆に、砂州の伸長時には、河口への砂の持ち込みにより同時に河口水深の減少を伴うものと考えられよう。したがって、砂州長さと河口水深との間には負の相関があると推測される。以上の考察と式(3)から、無次元 wave set-up 高さが砂州長さに連動して変動することが説明された。

以下では、 $\Delta\eta/H_0$ を砂州長さ L_s と定量的に結びつけ、河口水位変動特性から砂州長さの予測を試みる。ここでは、トータル8年分のデータのうち、前半の4年分を fitting のために用い、得られた回帰式を用いて後半4年分の prediction を行う。まず、前半の4年分のデータについて $\Delta\eta/H_0$ と L_s との関係を調べた結果が図-6である。これより、両者の間にはきわめて良好な線型関係が存在する。これより、回帰式として次式を得る。

$$L_s = 2.08 \times 10^3 \frac{\Delta\eta}{H_0} + 41 \text{ (m)} \quad (4)$$

図-5上段前半の黒丸印は式(4)の回帰結果を表す。一方、図-5上段後半白丸は、式(4)右辺に実測された $\Delta\eta/H_0$ を代入して推定された砂州長さである。幾分ばらつきはあるものの、砂州長さの変動に関して良好な推定値を与えている。

すでに著者の一人は、実測された河口内水位から河口最狭部における断面形状を推定法する手法を提

案している¹²⁾。同手法は、河口内水位の変動を海域での潮位変動に対する応答と捉え、両者の差には河口部の断面特性を反映したエネルギー損失が現れる事実を利用する、一種の逆問題的手法である。ただし、日本海側の河川のように潮汐変動が微弱な地域ではこの手法を用いることは出来ない。むしろ、ここに示された河口地形に対する wave set-up の発現特性を利用することにより、地形情報が豊富でない河川においてこれを補完することが可能であると考えられる。

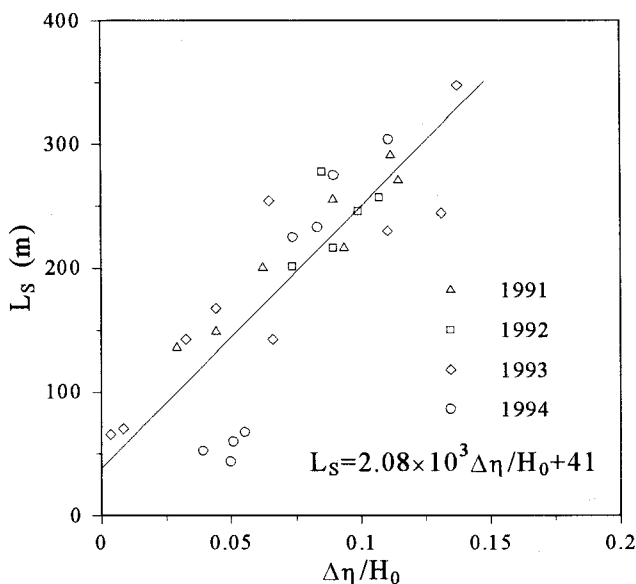


図-6 河口砂州長さと無次元 wave set-up 高さとの相関

4. おわりに

本研究では尻別川河口における砂州と水位の変動特性について詳細な検討を行った。主要な結論は次の通りである。

- (1) 尻別川における河口砂州は1年を周期として毎年同様な消長を繰り返しており、これは外力の周期性を反映したものである。
- (2) 河口砂州が発達した時期における河口内水位変動は、波高の変動と連動していることが明らかになった。河口内水位の上昇は波高の増加と高い相関を有し、この河口水位上昇は波によって生み出されたもの、すなわち **wave set-up** であると結論できる。
- (3) 無次元 **wave set-up** 高さと砂州長さの間に存在する線型関係から回帰式を得た。これより、無次元 **wave set-up** 高さから砂州長さを推定することが出来た。

謝辞：本研究は土木学会水理委員会・河川懇談会による共同研究として実施された。貴重な現地資料を提供頂いた国土交通省北海道開発局小樽開発建設部ならびに関係各位の皆様に謝意を表します。

参考文献

- 1) Hanslow, D.J and Nielsen, P.: Wave setup on beaches and in river entrances, *Proceedings of 23rd International conference on Coastal Engineering*, pp.240-252, 1992.
- 2) Tanaka, H. and Shuto, N.: Field investigation at a mouth of small river, *Proceedings of 23rd International Conference on Coastal Engineering*, pp.2486-2499, 1992.
- 3) Hanslow, D.J., Nielsen, P. and Hibbert, K.: Wave setup at river entrance, *Proceedings of 25th International Conference on Coastal Engineering*, pp.2244-2257, 1996.
- 4) Santoso, E., Hanslow, D.J., Nielsen, P. and Hibbert, K.: Wave setup and other tidal anomalies in coastal rivers, *Proceedings of 26th International Conference on Coastal Engineering*, pp.720-731, 1998.
- 5) Tanaka, H., Nagabayashi, H. and Yamauchi, K.: Observation of wave set-up height in a river mouth, *Proceedings of 27th International Conference on Coastal Engineering*, pp.3458-3471, 2000.
- 6) Sawamoto, M. and Shuto, N.: Topography change due to flood and recovery process at the Abukuma River mouth, *Coastal Engineering in Japan*, Vol.30, No.2, pp.99-117, 1988.
- 7) 真野 明・沢本正樹・長尾昌朋・富樫健一: 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, 1993.
- 8) 稲村武彦・田中 仁: 七北田川河口の完全閉塞条件に関する研究, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp.601-605, 1998.
- 9) Goda, Y.: Irregular wave deformation in the surf zone, *Coastal Engineering in Japan*, Vol.18, pp.13-25, 1975.
- 10) Guza, R.T. and Thornton, E.B.: Wave set-up on a natural beach, *Journal of Geophysical Research*, Vol.86, No.C5, pp.4133-4137, 1981.
- 11) 田中 仁: 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, pp169-181, 1995.
- 12) Tanaka, H. and Ito, T.: An estimation method of gorge section at a small river mouth, *Coastal Engineering in Japan*, Vol.39, No.1, pp.27-38, 1996.

(2001. 10. 1受付)