

鳴瀬川河口における砂州の河道内侵入機構

STUDY ON MECHANISM OF SAND BAR INTRUSION AT THE NARUSE RIVER MOUTH

川村 育男¹・田中 仁²
Ikuko KAWAMURA and Hitoshi TANAKA

¹正会員 工修 株式会社建設技術研究所 (〒980-0014 仙台市青葉区本町 2-15-1)

²フェロー会員 工博 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06)

The Naruse River mouth showed stable topography for a long time. However, sand bar on the left-hand side of the river mouth has been declining in recent years. The behavior of the morphology of the river mouth after the flushing of the sand bar has never been observed. In this paper, characteristic morphological change at the Naruse River mouth is shown with the use of aerial photographs and morphological maps. In order to figure out the changes in wave place effected by the morphological change around the river mouth, numerical simulation of parabolic equation is applied. It is concluded that wave height around the river mouth become higher by the effect of morphological change caused by the construction of the headland. Furthermore, the mechanism of the sand bar intrusion into the river is explained by wave overtopping over the left-hand side sand bar at the river mouth.

Key Words : Naruse River, sand bar decline, sand bar intrusion, wave overtopping

1. はじめに

河口部の地形は、波浪、潮汐流、河川流等の様々な外力を受けるため非常に複雑な変化を示す。適度に発達した河口砂州は塩水や波浪の進入を防ぐなど、治水、利水、環境面で重要な役割を担っている。しかし、極度に発達した砂州は河口閉塞をもたらす、出水時の流下能力低下や河口港への航路障害をもたらす。河口の安定を図るため、これまで導流堤が多く河川で用いられてきた。

本稿で対象とする一級河川・鳴瀬川河口には二本の導流堤があり、昭和30年頃から近年に至るまで、長期にわたり安定した河口砂州形状を維持してきたが、近年河口部左岸側の砂州の後退が確認されていた。この砂州は平成14年7月の出水によりフラッシュされたが、その後元の安定した砂州地形に回復することなく、河道内に侵入するといった、これまで見られなかった挙動を示している。この様に砂州が河道内に侵入することにより、河口港への航路障害等の問題が生じたばかりでなく、砂州による河積阻害が洪水時の河道水位上昇へ与える影響も懸念されている。導流堤のある河口において砂州が後退し、河道内に侵入する現象は他河川でも確認されており(川村ら¹⁾)、このような一連の砂州の挙動機構を明らかにすることは、適切な河口維持管理のために重要である。

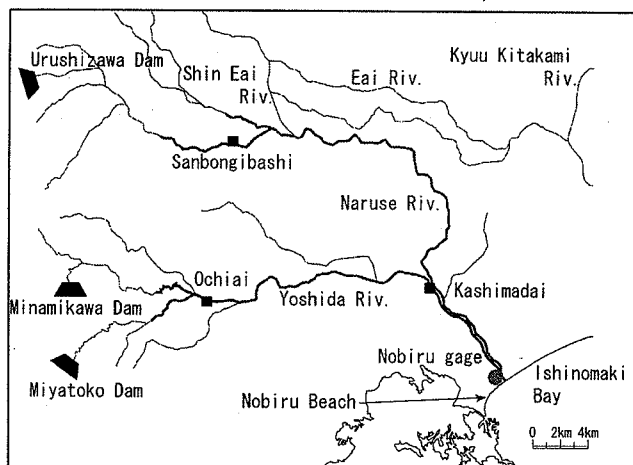
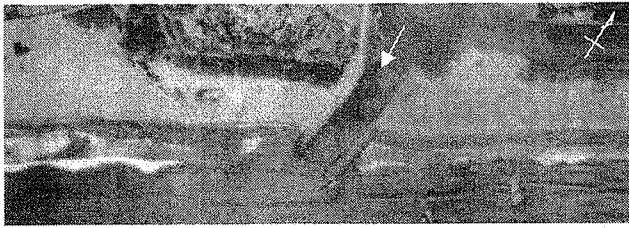


図-1 鳴瀬川河口位置図

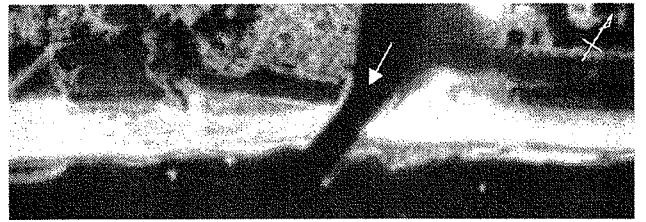
そこで本研究では、鳴瀬川河口における砂州地形変化の実態を明らかにするとともに、汀線の後退や砂州の河道内への侵入現象の要因について検討を行った。

2. 鳴瀬川の概要

図-1に鳴瀬川河口の位置図を示す。鳴瀬川は宮城・山形県境の船形山を源とし、鹿島台町より吉田川と併流の



(a)



(b)

写真-1 鳴瀬川河口空中写真 (a)1956年, (b)1989年



写真-2 鳴瀬川河口 (2002年7月11日)

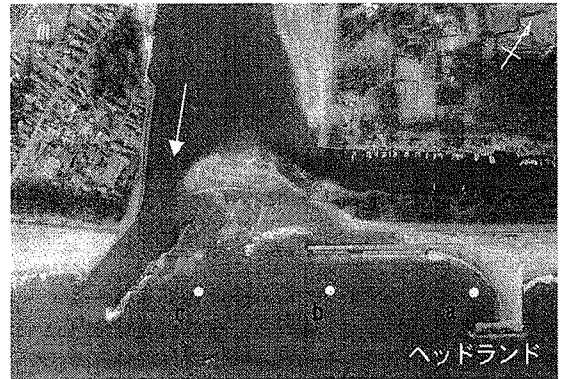


写真-3 鳴瀬川河口 (2002年12月18日)

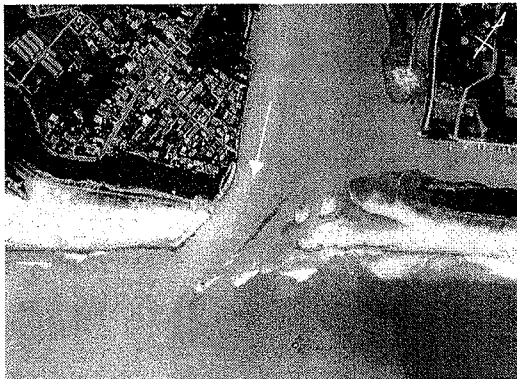


写真-4 鳴瀬川河口 (1986年8月6日)

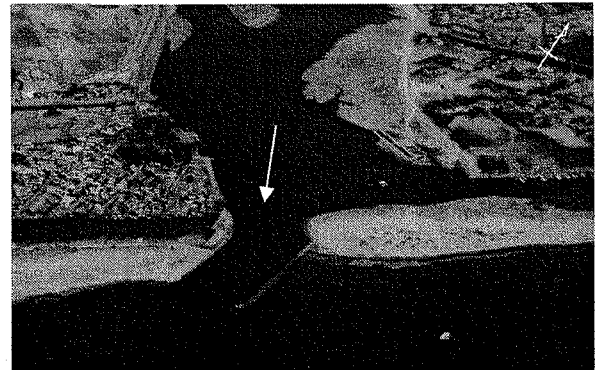


写真-5 鳴瀬川河口 (1986年12月27日)

のち、河口付近で合流し石巻湾に注ぐ幹川流路延長89km、流域面積1,133km²の一級河川である。河口には、明治初期の大規模港湾計画「野蒜築港」以来の歴史的建造物である導流堤がある。

近年におけるイベントを河川流域と沿岸域に分けて整理すると、河川流域では鳴瀬川中流堰が2002年に完成しており、桑折江堰の建設が1998年から行われている。また、支川吉田川において宮床ダムが1998年に竣工している。一方、沿岸域では鳴瀬川河口から石巻港に至る大曲海岸の侵食対策として1990年から2000年にかけてヘッドランドが8基設置されている(佐藤ら²⁾)。

3. 河口砂州地形変化

(1) 長期的な河口砂州の形状特性

写真-1(a), (b)はそれぞれ1956年, 1989年に撮影された河口地形である。これらの写真から、鳴瀬川河口部は二本の導流堤により維持され、昭和30年代から近年に至

るまで安定した河口形状を維持してきたことが分かる。

(3) 出水後の河口砂州地形

写真-2は、2002年7月11日の台風6号に伴う出水時におけるほぼピーク時の状況である。導流堤左岸側の河口砂州はフラッシュされている。左岸導流堤の東側(写真右方向)に見られる鍵状の構造物がヘッドランドであり、1990年から1998年に暫定形状(ヘッド部なし)が施工され(佐藤ら²⁾)、その後2000年までにヘッド部が施工された。写真-3は2002年12月18日のものである。7月にフラッシュされた砂州が導流堤につながる形に回復することなく河道内に入り込んでいる様子が分かる。現状では導流堤に繋がっているが河道内に侵入したままである。

写真-4は近年の最も大きな洪水の一つである1986年8月の出水時のものである。写真-2と同様に左岸側の砂州がフラッシュされている。写真-5は1986年12月のものである。同年8月にフラッシュされた左岸砂州は元の状態に回復している。この様に、2002年7月出水後の砂州の挙動はこれまで見られなかった現象である。

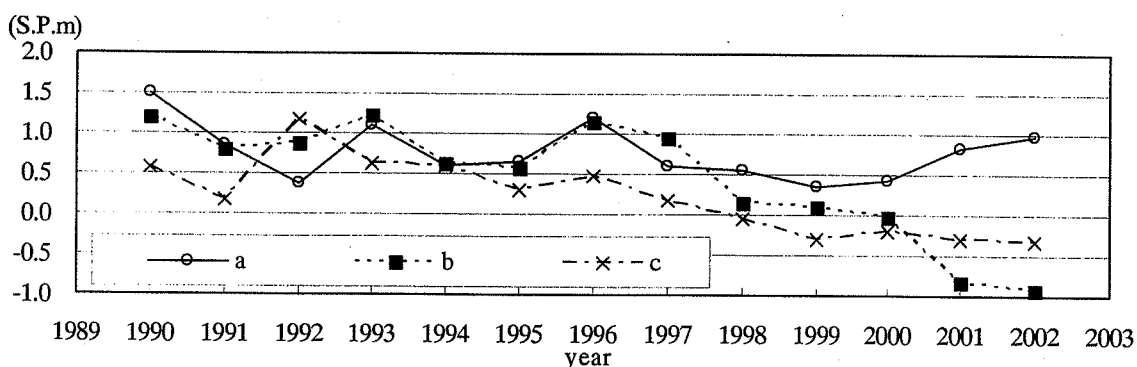


図-2 地盤高の経年変化

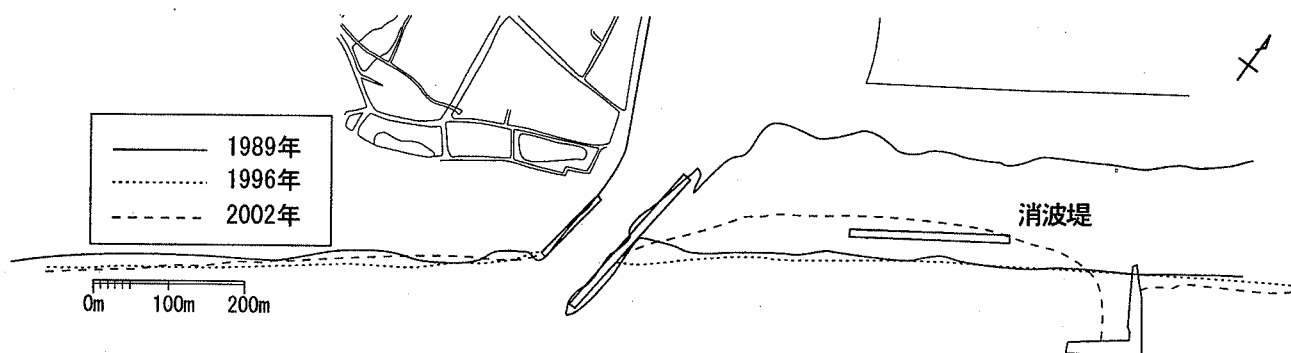


図-3 鳴瀬川河口部汀線

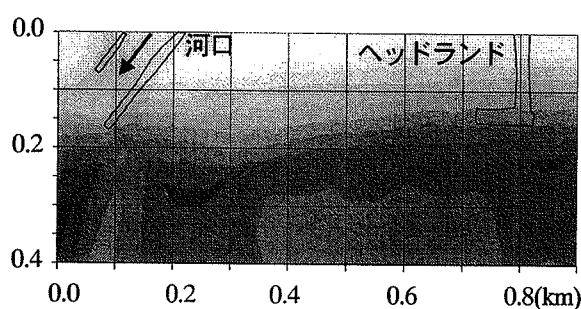


図-4 鳴瀬川河口部周辺の波高 (1996年)

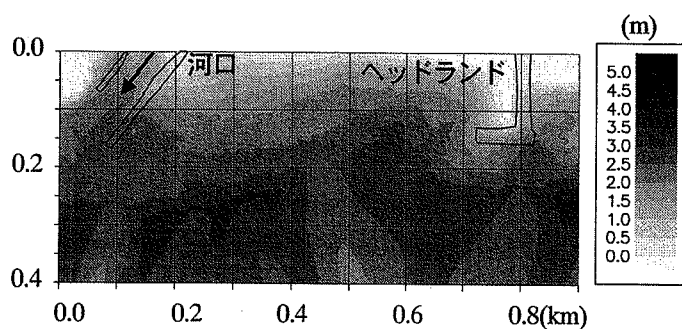


図-5 鳴瀬川河口部周辺の波高 (2002年)

4. 河口地形の変化と波浪場への影響

(1) 近年の地形変化の概要

鳴瀬川河口部周辺域の深浅測量が宮城県石巻港湾事務所により1990年から2002年まで行われている。図-2に写真-3に示した3地点 (a, b, c) における地盤高の経年変化図を示す。ここで、地盤高の基準高はS.P. 0.0 m = T.P. 0.0 m - 0.0873 m (T.P.は東京湾中等潮位) である。a地点においては地盤高に大きな変化は見られないが、b地点及びc地点においては、1997年以降、地盤高が低下傾向 (侵食) にある。石巻湾における沿岸漂砂の卓越方向は南西向き (写真-3左向き) であることから (望月ら³⁾), ヘッドランドにより沿岸漂砂の供給が制限されたことが侵食の主な要因であると考えられる。また、写真-3においてヘッドランドのヘッド部により形成された波の遮蔽域において堆積が生じていることから、

波の遮蔽域形成に伴い漂砂の逆流現象が生じていると考えられ、この逆流現象もb, c地点における侵食の要因になっていると考えられる。

図-3に、1990年、1996年及び2002年における汀線を示す。地盤高の変化と同様に1996年までは汀線位置はほとんど変化していないが、2002年には左岸側の砂州がやせ細り、汀線が後退している様子が確認できる。

(2) 地形変化が波浪場を与える影響

上述したようにヘッドランドから導流堤の間における地盤高は1996年以降低下 (侵食) 傾向にある。地盤高が低下する前後の地形変化が波浪場を与える影響を見るため、1996年と2002年の地形における波高を数値シミュレーションにより算定した。シミュレーションモデルは、逆行波成分が無視するような条件に対して用いられる (1)式に示す放物型方程式 (Radder⁴⁾) を支配方程式としたものである。

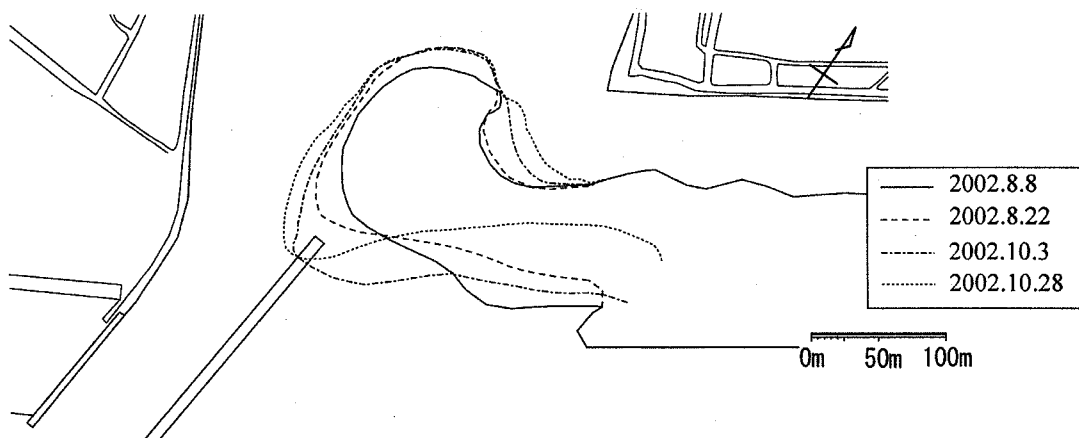


図-6 汀線図

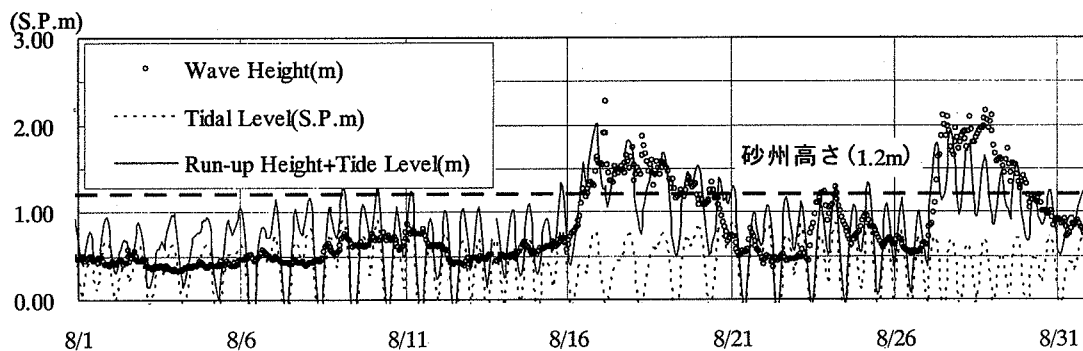


図-7 打ち上げ高さ (2002年8月)

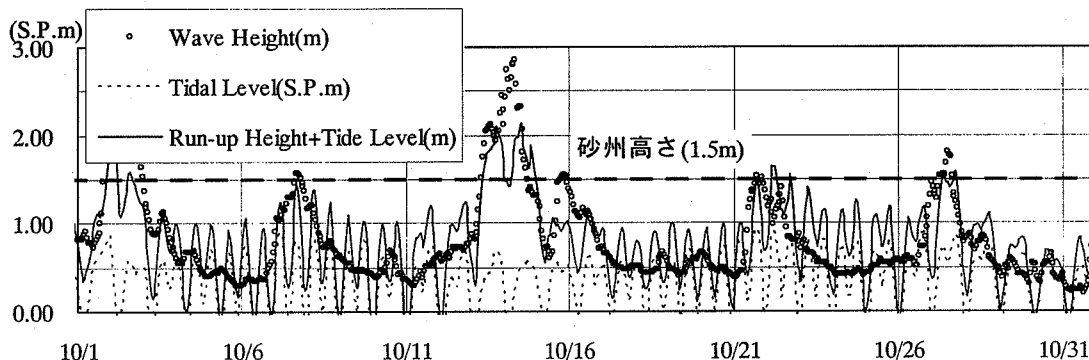


図-8 打ち上げ高さ (2002年10月)

ここで、 $\phi(x,y)$ は単一進行波を対象とした振幅分布関数で(2)式で表される。また、 c 及び c_g はそれぞれ波速および群速度を表し、 k は分散関係式より決まる波数、 i は虚数単位、 a は ϕ の振幅、 χ は位相関数である。ここで、計算条件は2002年7月出水後で最も波高が高くなった7月24日における潮位と有義波とした。有義波高は2.69mであり有義波周期は14.1s、有義波向は 147° である。

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \left\{ ik - \frac{1}{2kcc_g} \frac{\partial}{\partial x} (kcc_g) \right\} \phi + \frac{i}{2kcc_g} \frac{\partial}{\partial y} \left(cc_g \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \quad (1)$$

$$\phi = ae^{ix} \quad (2)$$

図-4、図-5は、それぞれ1996年、2002年測量地形における河口部周辺の波高を示している。1996年に比べ、2002年では河口部前面の地盤高が低下（浸食）している

ため砂州前面の波高が高くなっている。

5. 砂州の河道侵入時における土砂移動量の算定

(1) 2002年出水後の土砂移動量の実測量

2002年7月の出水後約1ヶ月毎に河口部の汀線測量と横断測量が行われている。河道内に土砂堆積が見られ砂州の河道内侵入が生じている2002年8月8日から8月22日と同年10月3日から10月28日における汀線図を図-6に示す。8月8日から22日にかけては概ね20mの砂州の河道内侵入が見られる。それぞれの期間における河道内の土砂堆積量を横断測量結果から算出したところ8月8日から22日では概ね8,200 m^3 であり、10月3日から28日では概ね3,300 m^3 であった。

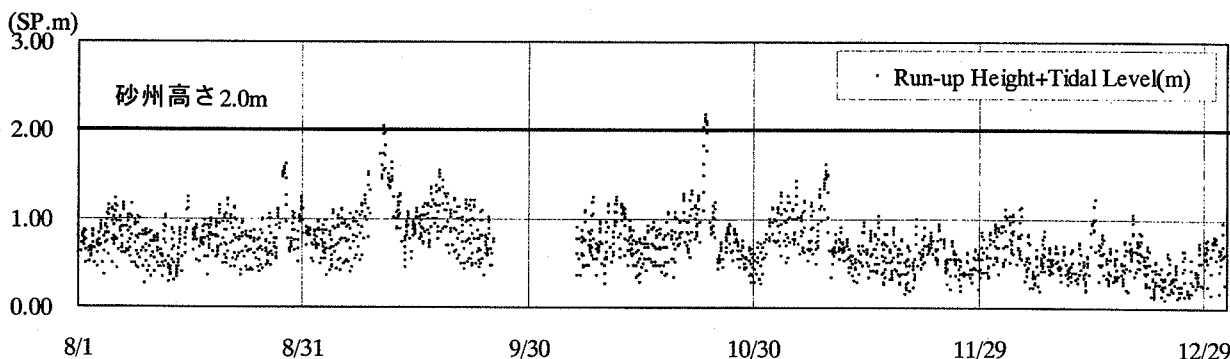


図-9 打ち上げ高さ (1986年)

(2) 2002年出水後の土砂堆積量と波浪条件との関係

上述したように出水後、8月8日から8月22日にかけてと10月3日から28日にかけての期間に砂州の河道内侵入が確認された。この間には砂州がフラッシュされるほどの大きな出水は無く、河道内に堆積した砂州の中央粒径が約0.3mmであり汀線付近の粒径とほぼ一致していることから、砂州の変動量は概ね波浪によるものと考えられる。Ogawa・Shuto⁹⁾によれば、波の打ち上げ高 Ru は以下のように表される。

$$\frac{Ru}{H_0} = 0.46s^{-0.12} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-0.2} \left[3.04s^{1.07} - \frac{2.94\pi\xi^2 A^2}{F^2} s^{-0.09} m^2 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-0.75} \right] + \pi A \xi^2 m^2 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-1} \quad (3)$$

ここで、 H_0 ：沖波波高、 L_0 ：沖波波長、 s ：斜面勾配、 m ：前浜勾配、 β 、 ξ 、 A 、 F ：諸係数である。斜面勾配は平成3年から平成13年までの深浅測量の結果から $s=1/20$ 、 $m=1/10$ として打ち上げ高さを算出し、潮位の変動を考慮して、砂州前面における打ち上げ高さを算出した。

図-7、図-8にそれぞれ2002年8月および10月における1/3有義波データから算出した打ち上げ高さを示す。8月16日から20日にかけて、砂州高（約S.P.+1.2m）を越える波が継続している。また、10月13日から14日にかけて、この間の砂州高（約S.P.+1.5m）を越える波浪が生じている。

土砂移動量を定量的に把握するために、波の打ち上げ高から越波量とこれに伴う土砂移動量の算出を行った。越波量は富永⁹⁾による次式を用いる。

$$Q = \alpha(R - H_c)^n \quad (4)$$

ここで、 $Q(\text{cm}^3/\text{cm})$ ：1波あたりの越波量、 $R(\text{cm})$ ：打ち上げ高さ、 $H_c(\text{cm})$ ：砂州高さである。

表-1 越波量、堆積土砂量及び土砂濃度

期間	越波量累計値 $Q_{\text{total}}(\text{m}^3)$	堆積土砂量 推定値(m^3)	堆積土砂量 実測値(m^3)
8月	240,000	9,600	8,200
10月	104,000	4,160	3,300

ここで、 α と n は、 $\alpha=0.5$ 、 $n=2.0$ とした。現地に適用する際は潮位変動も考慮する必要があるので、上式を(5)式のようにした。

$$Q = \alpha(R + \text{Tide} - H_c)^n \quad (5)$$

ここで、 $\text{Tide}(\text{cm})$ ：潮位である。打ち上げ高さは式(3)を用いた。

以上の手法を用い2002年8月8日から22日と10月3日から28日における累計の越波量 Q_{total} を算出した。この越波量に土砂濃度 C_s を乗じることにより堆積土砂量が算出される。

Kobayashi et al.⁷⁾は砂丘上の越波実験を行い、 $C_s=0.023 \sim 0.056$ を得ている。また、田中⁸⁾はラグーンにおける堆積土砂量から $C_s=0.038 \sim 0.116$ を得ている。ここでは、これらの値を参考に $C_s=0.04$ を用いて土砂量を算出した。結果を表-1に示す。本手法により算出した堆積土砂量は概ね実測値を捉えている。このことから、砂州の河道内侵入は越波によるものであると考えることが出来る。

(3) 1986年出水後の波の打ち上げ高さ

上述したように砂州のフラッシュは、1986年8月出水時にも確認されている。このときの波浪条件から波の遡上高を算出した結果を図-9に示す。砂州地盤高は1996年から低下する傾向が見られたが、それ以前には砂州高はS.P.+2.0m～2.5m程度あったため、砂州がフラッシュしてから元の安定形状への回復が確認された12月までの間には大規模な越波は生じていないことが分かる。このことから、1986年のフラッシュ時には、越波による砂州の河道内への押し込みが生じなかったため砂州が元の安定形状に回復しやすかったものと考えられる。

このように、河口砂州高さは河口地形の安定性を議論する上できわめて重要な因子となっている。我が国の河口には大規模な砂州が形成されることが多く、そのため導流堤による河口維持の事例が多く見られる。しかし近年、河口砂州が縮退し、河口内に押し込まれている事例が散見される（川村ら¹⁾）。ここで得た知見は、他河川での河口処理対策を検討する際に非常に有用であると考ええる。

6. 結論

本研究では、鳴瀬川河口域における近年の地形変化が波浪場に与える影響を把握するとともに、砂州の河道内侵入要因について検討を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- ・ 鳴瀬川河口は、これまで長期にわたり安定した河口形状を維持してきたが、1996年以降ヘッドランドから河口間の汀線が後退し始め、一様に地盤高が低下する傾向が確認された。
- ・ 2002年7月の出水でフラッシュされた左岸砂州が河道内に侵入する現象が確認された。この現象は近年見られなかったものである。
- ・ ヘッドランド設置前後の地形における河口砂州前面の波高を比較した結果、設置後の地形における波高が高くなることが確認された。
- ・ 2002年7月出水後の砂州の河道内への侵入量（河道内土砂堆積量）の実測値は、波浪データから算出した越波量を基に推定した土砂堆積量と概ね一致したことから、砂州の河道内侵入は越波によるものと考えられる。
- ・ 近年における最も大きな洪水である1986年8月洪水後では河道内への越波が生じなかったため、砂州の河道内侵入は生じず、元の安定形状に回復したと考えられる。

- ・ ここで示した手法から、波浪条件、砂州形状を基に輸送土砂量を算定することができ、治水、利水、そして環境上問題となる砂州の河道内侵入対策を検討する際に有用な知見を得ることができる。

謝辞：本研究を行うに際し、貴重な資料を提供頂いた国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所、並びに宮城県石巻港湾事務所より各種資料を提供頂いた。ここに記して厚く謝意を表する。

参考文献

- 1) 川村育男, 田中仁：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, 第10巻, pp.357-362, 2004.
- 2) 佐藤慎司, 山本幸次, 和田一範, 伊澤武仁, 大谷靖朗, 橋本新：大曲海岸におけるヘッドランド周辺の漂砂観測と海浜変形予測, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.556-560, 1998.
- 3) 望月倫也・宇多高明・大類光男・大谷靖郎：仙台湾北部沿岸の海浜変形の実態, 海岸工学論文集, 第37巻, pp.364-368, 1990.
- 4) Radder, A. C., : On the parabolic equation method for water-wave propagation, J. Fluid Mech., Vol. 72, pp. 373-384.
- 5) Ogawa, Y. and N. Shuto : Run-up of periodic waves on beaches of non-uniform slope, Proc. 19th Int. Conf. on Coast. Engng., pp. 328-344, 1984.
- 6) 富永正照, 佐久間襄：海岸堤防に関する研究(11), 土木研究所報告 143-3, 36p, 1972.
- 7) Kobayashi, N., Y. Tega and M. W. Hancock : Wave reflection and overwash of dunes, Journal of Waterway, Port and Ocean Engineering, Vol. 122, No. 3, pp. 150-153, 1996.
- 8) 田中仁, 山内健二：バリアー・アイランド上の越波によるラグーンでの土砂堆積, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.646-650, 1997.

(2005. 4. 7 受付)