

# 河口砂州の現地調査と平衡高さ算定式の提案

和田 尚大\*・田 中 仁\*\*

## 1. はじめに

河口部の地形は海域と河川の双方から波浪、潮流や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し、時には閉塞傾向を呈することもある。このため、導流堤・暗渠など河口処理工法が用いられてきたが、近年、砂州の存在を前提とした河道計画の可能性が検討されている(宇多ら, 1994)。これは、導流堤などの人工構造物を作らず、河口砂州の塩水・波浪遡上阻止効果を積極的に利用し、洪水時には砂州がすみやかにフラッシュされることを期待するものであり、沿岸漂砂の連続性を遮断しない点でも望ましい。

この際、河口砂州の高さは計画高水位の出発水位を与えるものであり、河道計画に重要な情報となる。また、砂州高さに応じて洪水時のせき上げ高さが大きく変化することが二次元移動床数値計算により示されている(桑原ら, 1996b)。このような事情にもかかわらず、現在までのところ、与えられた波浪・底質条件下で形成される砂州高さに関して、定性的な実験的検討はあるものの、定量的な評価には到っていない。唯一、山本(1978)は次元解析に基づく算定図を提案しているが、ばらつきが大きく、精度が十分ではなかった。

そこで本研究では、宮城県・名取川を対象として、砂州断面形状の継続的な調査を実施し、砂州高さ変化の動態を調べるとともに、Okazaki・Sunamura(1994)による浸透性の砂浜海浜におけるバーム高さの定式化手法を準用した河口砂州高さの推定式を提案し、実測値・実験値との比較を行った。

## 2. 名取川の概況

名取川は水源を山形県境の神室岳に発し、広瀬川などの中小河川と合流しつつ、宮城県のほぼ中央部を横断して名取市関上で太平洋へと注ぐ一級河川である。流域面積 939 km<sup>2</sup>、幹川流路長 55 km の規模がある。河口地形の概要を図-1 に示した。

河口部は両岸に導流堤を備えており、ほぼ安定した河

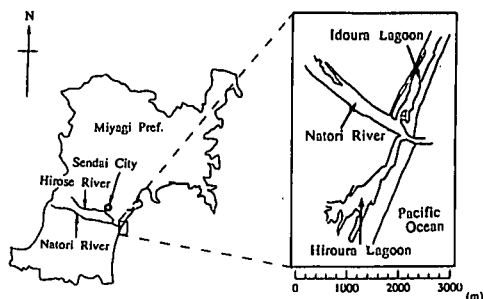


図-1 名取川の概要

道を保持しているが、左岸には大規模な砂州が存在しており、洪水時の流出能力にこの砂州の与える影響がかねてより問題となっている。このため、数値計算による過去の砂州フラッシュ現象の再現(桑原ら, 1995, 1996a)や計画洪水を対象とした予測計算(桑原ら, 1996b)などが行われている。

ここ数年来、名取川河口においては8月から9月にかけて、砂州フラッシュが確認されており、現地観測期間中の1996年9月にもフラッシュが観測された。そこで本研究ではこのイベントをはさんで、その前後で砂州が示す挙動について考察を試みた。

## 3. 現地調査

現地実測は1996年8月から現在まで継続して実施され、河口砂州を対象に光波測距儀を用いて汀線測量、砂州断面測量を行っている。汀線の概要と断面の測線位置(No.1~No.3)を図-2に示す。砂州フラッシュは1996年9月3日の洪水時に生じた。流下能力を越えた河川水が図中の導流堤に沿うように、砂州を海へと押し流す形で発生した。この洪水時に砂州上の測線杭が流失した。このため、洪水前後で測線の位置を完全に一致させることが出来なかったが、以下では適当な補間を行うことにより、同一の測線に沿うデータを作成して図示した。洪水前後で測量を行っている範囲はほぼ一致しているので、この様にして得られたデータの精度は十分に高いものと考えて良い。

\* 学生会員 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

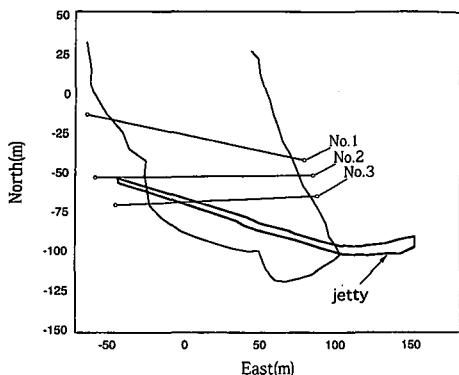


図-2 測量対象領域

#### 4. 砂州高さの定式化

河口砂州の形状は波浪条件、底質条件により変化するが、ここでは砂州の平衡高さが波の遡上高さと密接に関係しているものと考え、近似的に両者が等しいとして、砂州高さの無次元表示式を導く。

Okazaki・Sunamura (1994) は浸透性の砂浜海岸における波の遡上高さ  $R$  が以下のような式で表せることを見出した。

$$R = 0.0877(gT^2)^{5/8} H_b^{1/8} D^{1/4} \phi \quad (1)$$

ここで、 $H_b$ : 砕波波高、 $g$ : 重力加速度、 $T$ : 周期、 $D$ : 底質粒径、 $\phi$ : 海浜の浸透性の増加に伴う遡上高さの減少を表す係数である。ここで、減少係数  $\phi$  は無次元粒径  $D_*$  を用いて次の様に与えられる。

$$\phi = \exp(-0.004 D_*^{0.55}) \quad (2)$$

$$D_* = [g(\rho_s/\rho - 1)\nu^2]^{1/3} D = \sqrt[3]{sgD^3/\nu^2} \quad (3)$$

ここで、 $\rho_s$ : 底質の比重、 $\rho$ : 水の比重、 $s$ : 底質の水中比重、 $\nu$ : 動粘性係数である。Okazaki・Sunamura (1994) はバームの高さ  $B_h$  が  $R$  と密接に関係しているとし、式 (1) 右辺の係数を 0.117 とすれば collapsing 型バームの高さを評価できるとした。ここでは、バームの高さに類似した砂州高さ  $H_R$  にこの式を適用する。 $H_R \equiv B_h$  として、さらに

$$L_0 = gT^2/2\pi \quad (4)$$

と Komar・Gaughan (1972) による次式、

$$H_b/H_0 = 0.563(H_0/L_0)^{-1/5} \quad (5)$$

を代入して変形を行う。この際、山本 (1978) により提案された平衡砂州高さの図に含まれる無次元数が、 $H_0/L_0$  と  $\sqrt{gH_0}/w_0$  ( $H_0$ ,  $L_0$ : 沖波の波高及び波長、 $w_0$ : 底質の沈降速度) であることを念頭に置き、 $B_h$  に対する式を変形すれば次式を得る。

$$H_R/H_0 = 0.303(H_0/L_0)^{-13/20} (\sqrt{gH_0}/w_0)^{-1/2} F(D_*) \quad (6)$$

ここで、沈降速度の算定に Rubey の式を用いることとすれば、上式中の  $F(D_*)$  は次式で与えられる。

$$F(D_*) = (f(D_*))^{-1/2} \phi(D_*) \quad (7)$$

$$w_0 = \sqrt{sgD} f(D_*) = \sqrt{sgD} (\sqrt{2/3 + 36/D_*} - \sqrt{36/D_*}) \quad (8)$$

である。

上式により、形成される砂州の高さを波浪データと底質の粒径データから推定することができる。

#### 5. 結果と考察

##### 5.1 現地調査結果

図-3 に実測により得られた河口地形の等高線図を示す。洪水前後の図-3(a)、図-3(b)を比べれば、フラッシュの効果が明らかである。洪水後、図-3(c)の様に砂州の回復が見られ、平面的には洪水前よりも大規模な砂州に成長している。

図-4 に、実測による砂州高さ  $H_R$  と、時事刻々の波浪条件を用いて式 (6) から計算される砂州高さの変化を示す。ここで、外力データのうち、波浪データは運輸省第二港湾塩釜工事事務所が仙台新港沖で 2 時間毎に観測しているものを用い、式 (6) による算定結果にその時点での潮位を加算して図示した。また、底質粒径は観測期間を通して一定であったと仮定し、10 月 23 日に採取した砂のふるい分け試験から得られた中央値  $d_{50} = 0.3$

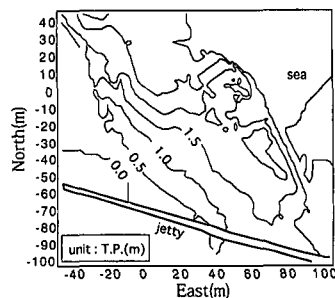


図-3(a) 河口地形の等高線図 (8月8日)

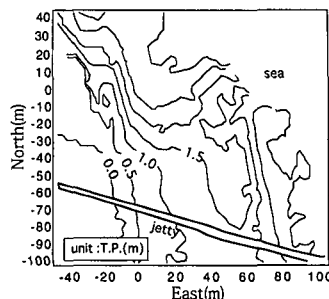


図-3(b) 河口地形の等高線図 (9月5日)

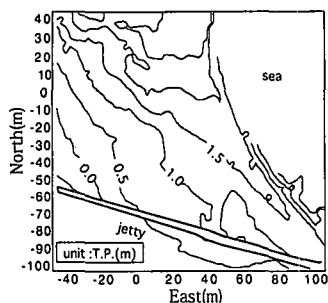


図-3(c) 河口地形の等高線図 (9月26日)

mmを用いた。

9月3日には出水により砂州がフラッシュされたため、砂州高さに一時的な低減がある。その後の高波浪により砂州の回復が見られ、10月23日ころに高さに関してはほぼ平衡状態に到っている。砂州高さがフラッシュ前のそれにほぼ等しいためである。なお、9月中旬(図中のA)には高波浪が来襲しているものの、砂州は平衡状態には到っていないことがみてとれる。この時点では

後述のように砂州が回復途上にあり平衡状態には到っていないものと考えられる。10月23日から11月中旬の高波浪(図中のB)により最終的な平衡状態がもたらされたものと言えよう。また、この時、式(6)による計算値はこの平衡砂州高さと良い一致を示している。

図-5(a), (b)にはそれぞれ測線2, 3における砂州フラッシュ前後の砂州の成長過程を示す。川側の斜面部分は比較的早い時期に平衡にいたり、その後は海側の部分に顕著な成長が見られる。図-3でAの高波浪が現れたにもかかわらず、砂州が平衡高さまで到らなかったのは、この波浪が図にみられる川側部の発達に寄与したためである。

次に測線2における砂州の高さ、砂州ピークの位置  $x_h$  および砂州断面の面積  $A$  の変化を図-6に示す。ここで、砂州頂部の位置は図-4に示した座標値で示した。

10月23日に砂州高さとピークの位置はほぼ平衡に到るが、砂州断面積はその後もフラッシュ前の状態まで漸増し続ける。この過程ではフラッシュで沖に流出した砂が、波浪の効果により、再び押し戻されて堆積し続けて

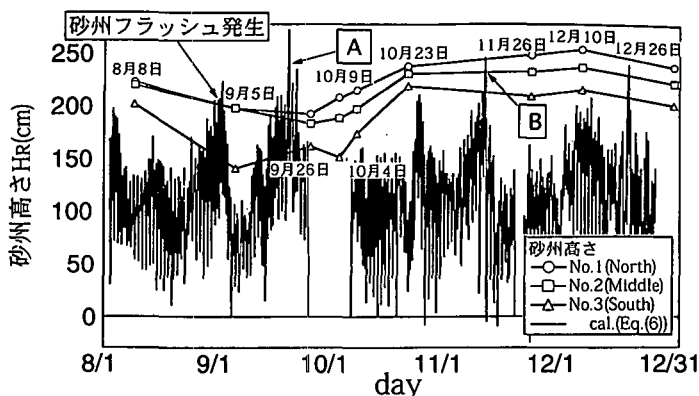


図-4 砂州高さの変化

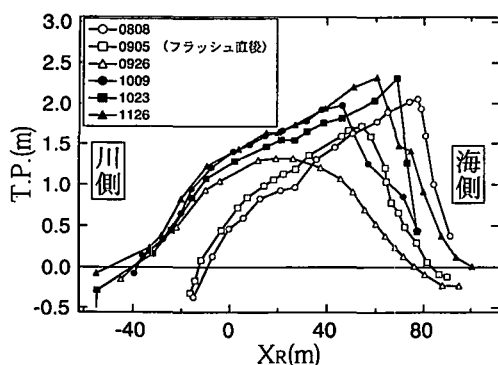


図-5(a) 砂州断面形状の変化 (測線2)

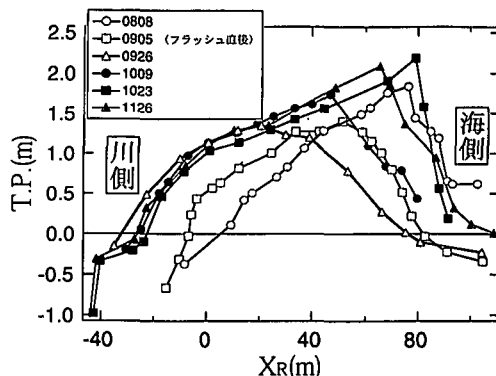


図-5(b) 砂州断面形状の変化 (測線3)

いると考えられる。

## 5.2 平衡砂州高さ

(6) 式より、沖波波高  $H_0$  により無次元化された砂州高さ  $H_R/H_0$  は、沖波波形勾配  $H_0/L_0$ 、無次元沈降速度  $\sqrt{gH_0}/w_0$  及び無次元粒径  $D_*$  に支配されていることがわかる。

一方、すでに述べたように、山本 (1978) は次元解析により、平衡砂州高さが波形勾配  $H_0/L_0$  と、 $\sqrt{gH_0}/w_0$  により表示されるとし、図-7 の描点を得た。図中には、今回得られた名取川における平衡砂州高さの実測値と式 (6) も示した。ただし、名取川での実測値をプロットする際に、図-4 の B の波浪により砂州が平衡状態に到ったものと考え、この時の波浪条件から無次元数を求めた。また、式 (6) による計算値としては名取川での実測値に対応させ  $D=0.3 \text{ mm}$  に対するものを示した。

山本の実験値に比べ、今回得られた現地データの  $\sqrt{gH_0}/w_0$  はかなり大きい値を有することが分かる。式 (6) と今回の実測値は良好な一致を示している。また、(6) 式により、山本 (1978) による白抜きの実験データが示す  $H_R/H_0 \sim H_0/L_0$  の関係が右下がりであることと、無次元数  $\sqrt{gH_0}/w_0$  の値が大きいほど  $H_R/H_0$  が小さい値をとるという定性的な傾向を説明することが出来る。ただし、山本 (1978) の用いた実験データの  $D_*$  の値が不明であるため、定量的な比較は行えない。なお、山本の表示法では無次元粒径の効果があらわに含まれておらず、この点がデータのばらつきの一つの原因と考えられる。

次に、無次元粒径  $D_*$  が明らかな実験データとの比較を行う。ここでは、宇多ら (1992) のデータを用いることとする。宇多らは河床面からの高さ  $Z_0$  を堆積地形の高さとして図示したが、ここでは、静水面上の高さ  $H_R = Z_0 - h$  に変換して示す。結果を図-8 に示す。ここで、 $h$  : 河口部水深である。宇多らは河口部水深を各種変化させ図中の実験データを得ており、 $h/H_0 < 0.3$  程度の範囲においては、砂州高さがほぼ一定に保たれており、計算結果と実測値も良好である。これに対して河口部水深が大きい場合には、移動限界水深から河床面までの間の移動可能な土砂量が少なく、一方、砂で満たされていない空間が広いため、砂州頂部が水没した状態 ( $H_R/H_0 < 0$ ) のケースすら見られる。当然、ここで提案した式はこの様な領域には適用できない。

## 6. 結 論

本研究では、現地調査に基づき、洪水によるフラッシュ後から平衡状態まで河口砂州が回復する過程を明らかにした。また、波浪条件と底質条件から、河口に発達する砂州の形状を推測する手法を提案し、今回の調査並びに

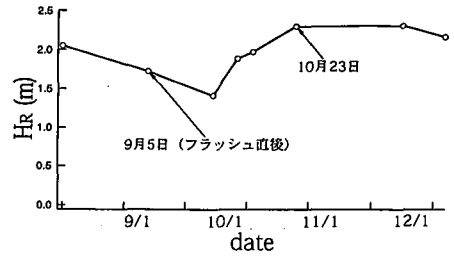


図-6(a) 砂州高さの変化

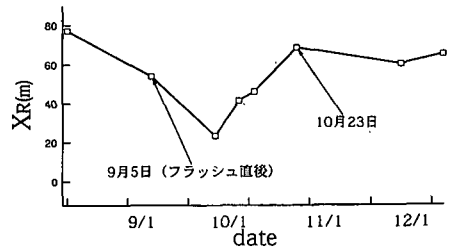


図-6(b) ピークの位置の変化

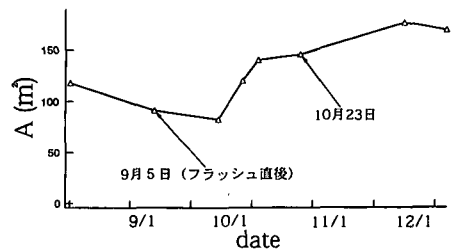


図-6(c) 砂州断面積の変化

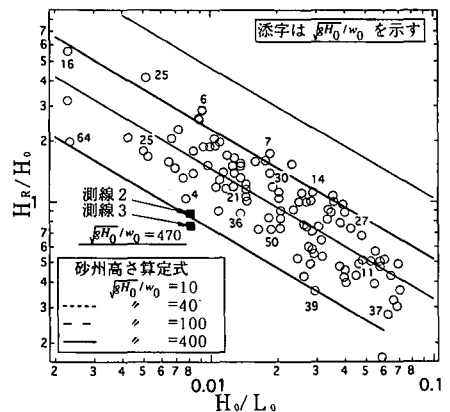


図-7 山本 (1978) の平衡砂州高さ図との比較

山本の図との比較を行い、その精度を検討した。本研究の算定式は、山本 (1978) が提唱した図の特性を説明することが出来るとともに、簡単な関数で表現されている

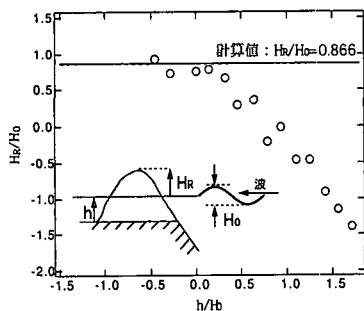


図-8 宇多ら (1992) の実験値との比較

ために、実用上も使いやすい。この式を用いることにより平衡河口砂州高さを算定でき、計画洪水の出発水位を客観的に与える際、一助となる。

**謝辞：**本研究を行うにあたり、貴重な現地観測データを提供して頂いた建設省東北地方建設局仙台工事事務所ならびに運輸省塩釜港工事事務所に感謝致します。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

- 宇多高明・小菅 晋・伊藤弘之・山崎順一 (1992): サング洲の形成・消失機構に関する研究, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 376-380.
- 宇多高明・高橋 晃・水庭嘉幸・高木利光 (1994): 人工リーフを用いた河口処理工の検討, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 506-510.
- 桑原直樹・田中 仁・佐藤勝弘・首藤伸夫 (1995): 洪水時における河口地形変化の数値計算—格子間隔, 掃流砂, 浮遊砂, 二次流の効果について—, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 596-600.
- 桑原直樹・田中 仁・佐藤勝弘・首藤伸夫 (1996a): 洪水による河口堆積土砂侵食過程の数値シミュレーション, 水工学論文集, 第 40 巻, pp. 953-958.
- 桑原直樹・田中 仁・佐藤勝弘・首藤伸夫 (1996b): 洪水時の河口砂州崩壊現象に対する砂州高さ・潮位変動の影響に関する研究, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 631-635.
- 山本晃一 (1978): 河口処理論 (I) —主に河口砂州をもつ河川の場合—, 土木研究所資料, 第 1394 号, 223 p.
- Komar, P. D. and M. K. Gaughan (1972): Airy wave theory and breaker wave height prediction, Proc. 13th Int. Conf. Coastal Engng., pp. 405-418.
- Okazaki, S. and T. Sunamura (1994): Quantitative predictions for the position and height of berms, Geographical Review of Japan Vol. 67 (Ser. B), No. 2, pp. 101-116.