

尻別川の河口維持に関する研究

A STUDY ON RIVER MOUTH MAINTENANCE OF THE SHIRIBETSU RIVER

清水康行¹・田中仁²・山下俊彦³・早川博⁴・古路一哉⁵
Yasuyuki SHIMIZU, Hitoshi TANAKA, Toshihiko YAMASHITA
Hiroshi HAYAKAWA and Kazuya FURUMICHI

^{1,3}正会員 工博 北海道大学助教授 大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市中央区北13条西8丁目)

²正会員 工博 東北大学教授 大学院工学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区青葉06)

⁴正会員 工博 北見工業大学助教授 土木開発工学科 (〒090-8507 北見市公園町165番地)

⁵正会員 小樽開発建設部工務課長補佐 国土交通省北海道開発局
(〒047-8555 北海道小樽市潮見台1丁目15番5号)

The Shiribetsu is the first-class river which is located in the southwest part of Hokkaido, has its source on the Mt. Fure-dake, flows along the foot of the Mt. Youtei, and fills the Sea of Japan. At the river mouth, because of the northwestern waves during the winter and littoral drift, some problems have been arisen due to the instability of the river mouth and development of sandbar. Namely, inland water problem, transportation problem of fishing boat in-and-out through the river mouth and damage of ascension fishes, are becoming serious.

In the river-mouth region of the Shiribetsu, since various phenomena, such as water and sediment runoff, salt water ascension, development of sandbar, and littoral current are co-existing, the mechanism of the formation and stability of the mouth is complicated. Based on these situations, a research group on the Shiribetsu was formed in 2000, and studies and field survey are performed. This paper summarizes the investigation and research result of this research group.

Key Words : *Water and sediment runoff, Sand bar, Instability of the river mouth, Sand budget*

1. はじめに

尻別川は北海道南西部に位置し、その源を支笏湖と分水界をなすフレ岳に発し、羊蹄山麓を流れ日本海に注ぐ一級河川である。河口部では、冬季に北西の季節風による波浪と沿岸漂砂により、河口砂州の発達が見られ、1) 砂州による水位のせき上げと、内水被害 2) 河幅と開口位置の不安定による漁船出入の支障 3) 遡河性魚類の遡上への影響などの問題が発生している。一方、河口右岸の海岸は浸食傾向にあり、これらの状況から、平成8年度に河口部右岸側の海岸部に離岸堤及び平成11年度には河口部右岸側に約90mの導流堤が施工された。しかしながら、上記の諸問題は解決されたわけではなく、工事施工後には河口砂州の特性も微妙に変化している。

尻別川の河口域においては、河川からの水・土砂の流

出、塩水遡上、砂州、海域の波浪、沿岸流、漂砂など様々な現象が共存しており、その変動メカニズムは複雑である。さらに、現在の尻別川の河口付近の河道が将来ともに安定なのか、浚渫の影響はどの程度あるのか、洪水流を安全に流し得るのか、流出する土砂や物質が海岸侵食や生態系にどのような影響を及ぼすのかなど、検討課題も多い。

これらの状況を踏まえ、平成12年度から大学の研究者と行政担当者らによる「尻別川河川懇談会」が結成され、河川域、河口沿岸域、海域の現地調査や検討が行われている。

本研究はこの「尻別川河川懇談会」の調査・研究成果をまとめたものである。

2. 尻別川の土砂流出特性の検討

(1) 一次元河床変動計算

尻別川の河口からどの程度の土砂の流出があるのか、その年間あたりの量や粒径別の成分などの情報を得るために1次元の河床変動計算を行った。モデルは清水¹⁾による石狩川の河床変動計算法を尻別川の実測の断面形状、流量、河床材料の粒度分布、河口水位などを用いて適用したものであり、河床および河床材料の変動計算を行ったものである。

計算区間は尻別川の河口から上流24kmの区間、基礎式としては、1次元不等流、粒径別掃流砂・浮遊砂量式、粒径別濃度連続式、粒径別流砂連続式および全流砂の連続式などを用いている。境界条件は上流端で流砂の動的平衡状態（その場の掃流力から計算される流砂量を与える）、下流端水位は河口水位の実測値、下流端では自由に河床変動するものとした。また本研究で用いたモデルは横からの流入も考慮できるものであるが、尻別川の対象としている区間が24kmと比較的短いため支川からの流入は考慮せず、流量は全断面において一定として計算した。

図-1に示す1974年～1995年の22年間の名駒観測所における実績日流量を用いて河床変動の再現計算を行った。初期条件は図-2に示す1973年の平均河床縦断形状を滑らかに結んだ以下の近似式を用いた。

$$\eta = 0.29 \exp(0.16Kp) - 1.5 \quad (1)$$

ただし、 η は平均河床高の標高(m)、 Kp は河口から上流に向かった距離(km)である。

(2)再現計算

再現計算は計算中で浚渫の効果を考慮したものとした。具体的には浚渫の行われた時期、区間毎に、浚渫土量に相当する河床高を人為的に下げる操作を行った。実際には河床の浚渫と低水路幅の拡幅の2通り行われているが、浚渫土砂量全体の中で低水路幅の拡幅によるものの量はさほど多くはないので、今回の計算では全て河床を下げるものとして扱った。

図-3に計算結果を示す。これによれば、全体的に非常に良く再現されているのが分かる。ちなみに浚渫を考慮しない計算も行った結果はKP15より下流は堆積の傾向が見られ、1995年の実測値とは大きく異なる結果となった。これは尻別川ではこの期間、約200万 m^3 の浚渫が行われているためであり、この浚渫土砂量分を河床変動計算の過程で年別に適切に考慮することにより実測値に近い計算結果が得られた。

(3)尻別川からの生産土砂量

図-4は河床変動計算の中で算出された河口からの流出土砂量である。これによれば出水年の1981年が最も多く年間約24万 m^3 の土砂流出があったと推定される。1978年以降は浚渫が行われており、これ以降の流出土砂量は

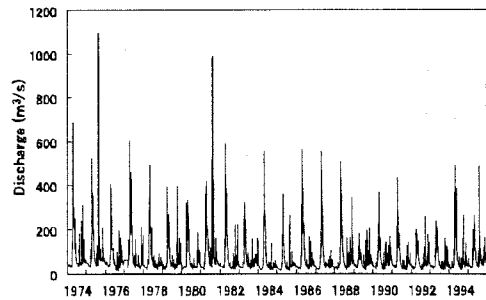


図-1 尻別川の日流量(名駒地点)

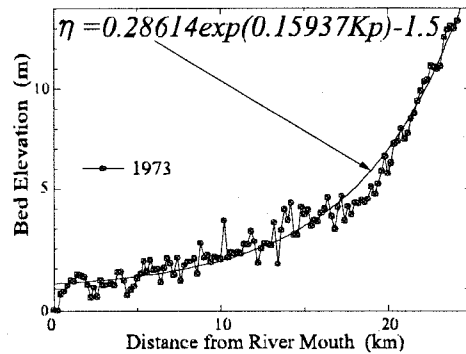


図-2 尻別川平均河縦断図(1973年実測値および計算に用いた初期河床高)

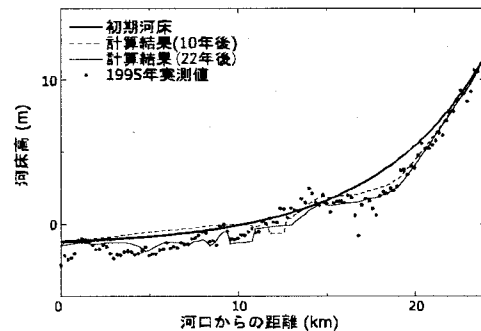


図-3 尻別川河床変動計算結果縦断図(初期河床、10年後、22年後、および1995年実測値)

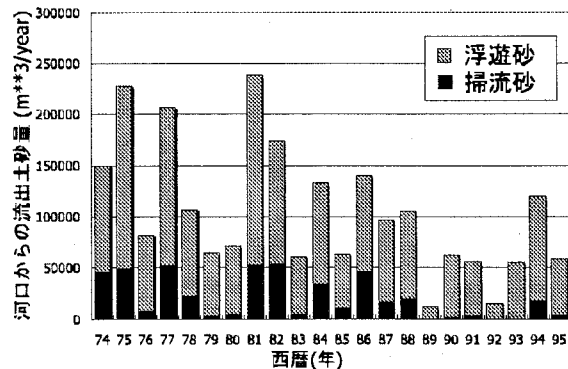


図-4 計算結果による尻別川河口からの流出土砂量(掃流砂および浮遊砂)

減少傾向にあり平均で10万 m^3 弱である。流出土砂の大部分は浮遊砂でありその粒径は95%以上が0.2mm以下の細粒成分であった。

3. 尻別川河口沿岸域における土砂収支の検討

(1) 粒径別流出土砂量

22年平均の浚渫あるなしで各々 10.5万m^3 と 12.0万m^3 であるがその粒径別割合を図-5に示す。浚渫を考慮した場合には、後述の浅海海底砂を構成する 0.15mm 以上の土砂の割合は約30%で年間約 3.1万m^3 の流出土砂である。浚渫を考慮する場合には粗い粒径成分の流出量の減少が大きく、22年平均で 0.15mm 以下は約92%、 0.15mm 以上は約75%に減少すると推定される。

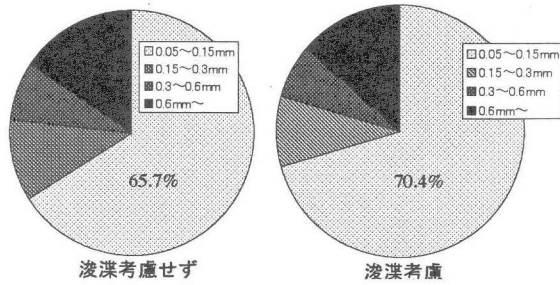


図-5 流出土砂の粒径別割合

(2) 海域底質・地形と漂砂

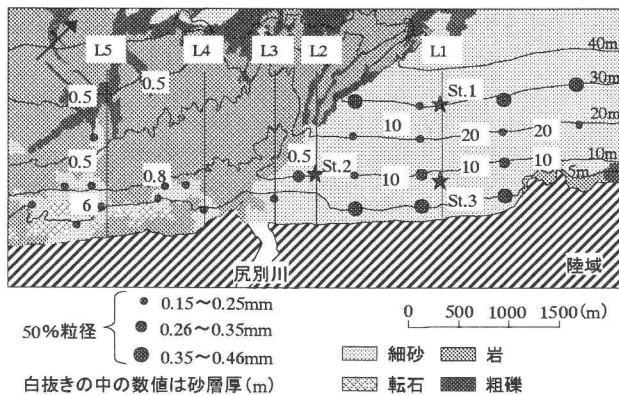


図-6 海域底質・地形・砂層厚

図-6に海域底質・地形・砂層厚の2000年8月の測定結果を示す。尻別川河口域は、海に向かって右側は砂浜域、左側は砂底質が点在する海底地形が複雑な岩礁域である。底質の中央粒径 d_{50} は●の大きさと図中に示す。砂浜域の水深5m程度の浅海域と水深30m付近は、 $d_{50}=0.45\text{mm}$ 程度の粗砂で、その他の地点では $d_{50}=0.2\text{mm}$ 程度である。岩礁域に点在する砂は、砂浜域から浮遊状態で運ばれたためか、砂浜域の細かい底質と同じ $d_{50}=0.2\text{mm}$ 程度である。これらの海底の底質粒径は、図-5の河川流出土砂の粗粒成分である 0.15mm 以上の粒径と対応していると考えられる。

図-7に図-6に示す測線L1~L4の海底断面地形と砂層厚を示す。図-6中にも代表地点での砂層厚を示す。岩礁

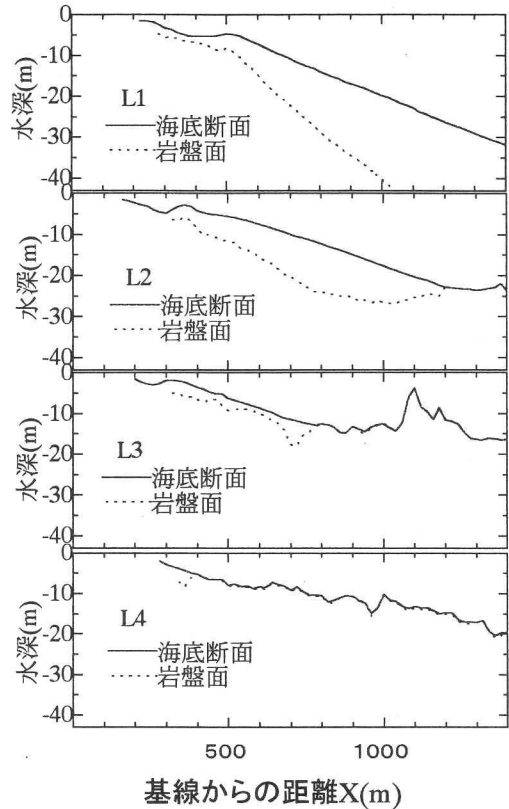


図-7 海底断面地形と砂層厚

域のL4を見ると、岩礁の凹部に数mの砂が堆積した場所や、砂層厚1m以下で薄く岩礁上に砂が存在している場所があることがわかる。河口近くのL2, L3は、河口沖に水深の浅い岩礁域があり、その間に砂が測線L1側へ行くほど厚く堆積していることがわかる。砂浜域の中央のL1は、基線からの距離 $X=500\text{m}$ 以上で岩盤上の勾配が約 $1/15$ と急で、海底面は、 $X=500\text{m}$ (水深約5m)以上で、海底勾配は約 $1/30$ の急勾配で、その勾配が水深70mまで続き、沖へ行くほど砂層厚は厚くなっている。 $X<500\text{m}$ では、岩盤上に厚さ1~4mの砂が堆積している状態で、海底面は岩盤面の影響を受けており、冬期高波浪時には岩盤面が露出する場所もあるのではないかと考えられる。

図-8にSt.1での漂砂の観測結果の例を示す。2001年2月2日には強い冬期季節風により観測期間中最大の有義波高 $H_{1/3}=5\text{m}$ の暴浪が発生している。水深30mのSt.1では、主に吹送流により、水面下5m以下はほぼ一様で最大 40cm/s の流れが発生している。濁度は最大で底層上0.5mで 23mg/l 、3mで 16mg/l 、15mで 5mg/l である。この時、地形は水深30mにもかかわらず、最大約10cm侵食されていることがわかった。この海域は底質粒径が $0.2\sim 0.4\text{mm}$ と粗いため、ここで示したカオリン換算の濁度は小さいが、水深30mでも水深10mの $2/3$ 程度の濁度を示しており、水深30m程度までは強い砂移動が発生していることがわかる。また観測期間中のSt.1での最大流速は 50cm/s で

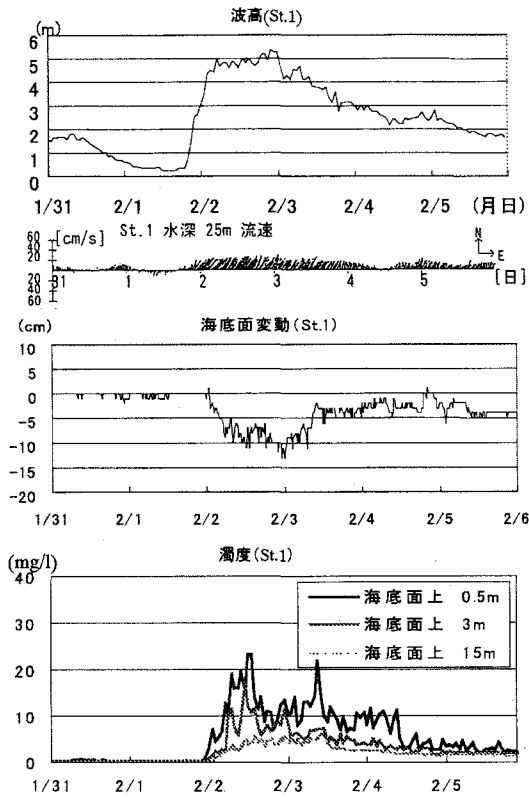


図-8 流動と漂砂の観測結果

あった。

以上から尻別川から出た土砂の内、海浜砂を構成する粗粒成分は、一度河口付近に堆積した後、波・流れにより砂浜域や岩礁域に再移動・堆積し、砂浜域の約1/30の急勾配斜面でかなりの土砂がより深い所へ移動していることが推定される。水深30m付近で粒径が粗くなっているが、前述の強い流れの影響と考えられる。

(3)土砂収支

航空写真による長期の汀線変化と過去の深淺図による海底断面地形変化から、沿岸域に堆積する土砂量を求め、河川流出土砂量との比較を試みた。しかし、この海域は前述のように岩礁域があること、砂浜域の浅海域には岩盤がせまっていること等、地形が複雑なため定量的な評

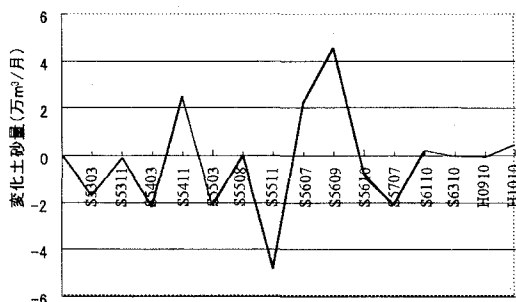


図-9 尻別川河口前面の変化土砂量

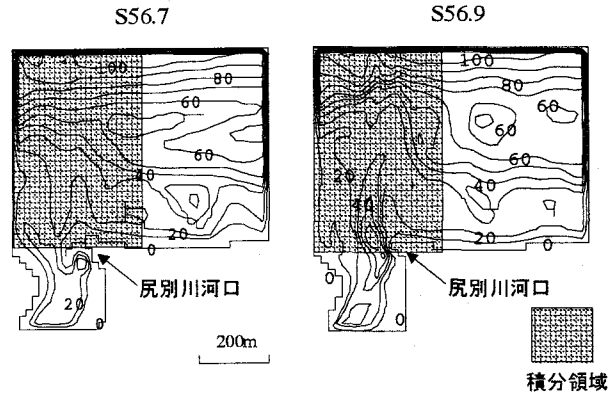


図-10 洪水前後の海底地形

価は困難であった。そこで、既往の深淺測量結果より、河川流出土砂が堆積すると推定される河口前面の500m×750mの範囲(図-10参照)の土砂量の変化(前の深淺データとの差)を図-9に示す。測量時期が一定ではないので、1月当りの変化量を示している。昭和56年8月には2500m³/sの大洪水があり、その前後の7月と9月に深淺測量が行われており、9.1万m³の土砂がこの洪水で流出したと推定できる。

図-10に昭和56年7月と9月の深淺測量結果を示す。網掛けの部分が図-9の積分領域である。河口では深掘れが発生し、その前面にテラス状に流出土砂が堆積していることがわかる。その堆積域は、ほぼ網掛けの積分領域内であることがわかる。

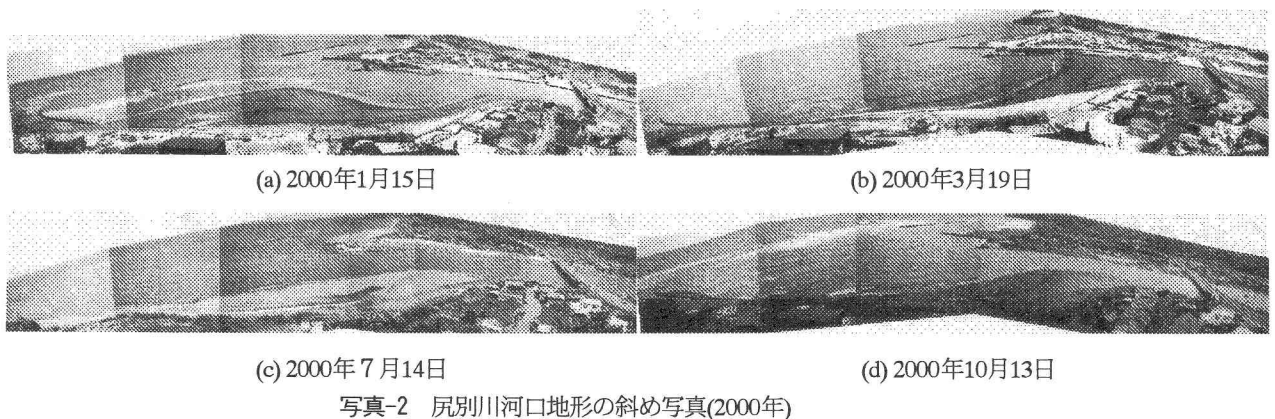
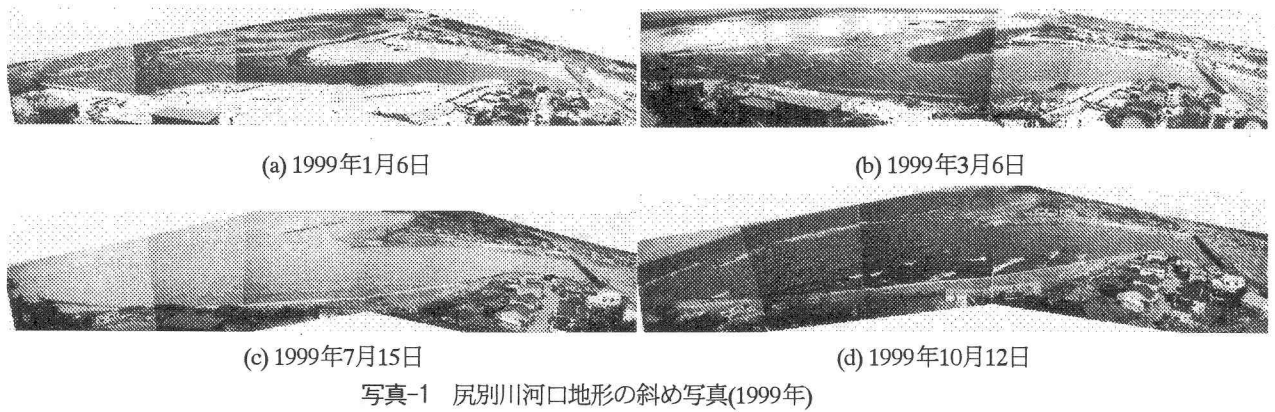
この洪水の土砂収支を考えてみる。前述の流出土砂量の計算より、この一洪水あたりの流出土砂量のうち、海浜砂を構成している $d_{50}=0.15\text{mm}$ 以上の成分は約10万m³と推定され、深淺測量から得られた値9.1万m³とほぼ一致することがわかった。

4. 尻別川河口地形・水理特性に対する導流堤の効果に関する検討

(1) 導流堤建設による河口地形の変化

写真-1および写真-2は、それぞれ1999年および2000年の河口砂州地形の変動を斜め写真により示したものである。なお、1999年10月に導流堤工事が竣工している。

写真-1(a)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。写真-1(b)においても依然大規模な砂州が見られる。その後、春季には融雪出水により河川流量が増加し、これに伴い砂州のフラッシュが生じる。夏季には一般に波浪が小さいため、フラッシュ後の砂州の発達は見られず、開口部が大きく維持されている(写真-1(c))。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ようになる。導流堤建設前は、これに伴い左岸砂州が成長した(田中・李¹⁾)。し



かし、写真-1(d)の時期に導流堤工事が竣工したため、10月にもかかわらず河口砂州の発達は見られない。

2000年の写真-2(a)では左岸に堆積地形が認められる。その後、写真-2(b)に見られるようにこの土砂が河口内に押し込まれ、開口部が右岸寄りに位置するようになった。この点がこれ以前の地形と著しく異なる特徴である。その後の出水により開口部が幾分拡幅する様子が写真-2(c)に見られる。写真-2(d)では写真-2(c)に比べ、最狭幅が幾分減少しているが、基本的な河口地形に変化は無い。

なお、写真-2を見ると、導流堤の背後には砂の堆積が認められ、構造物によりこれより北側の漂砂系から河口部が切り離され、安定した河口地形がもたらされたと判断される。

以上のように、導流堤建設後の河口地形は比較的安定したものになっており、建設前にダイナミックな砂州地形変動が見られたのと比べ、きわめて対照的である。このように、尻別川河口導流堤の建設は河口開口部の維持・安定化に対し効果を発揮したと判断される。

(2) 河口部での水位変動特性

図-11は、河口内水位上昇量 $\Delta\eta$ 、波高 H_0 、流量 Q の月平均値である。導流堤建設前後をはさむように、1998年から2000年までのデータを示した。まず、この3つのうち、波高、流量についてはこの3年で大きな違いは見られない。4月、5月には融雪出水による流量の増加が見られる

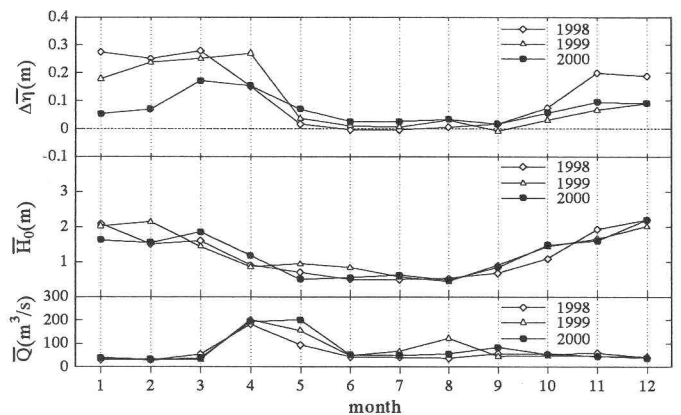


図-11 月平均の上昇量・波高・流量

が、これに対する平均水位の変化はほとんど見られない。むしろ、1月から3月と10月から12月の高波浪が河口水位上昇量と明瞭な相関を持っていることが分かる。このことから、同図の平均水位の上昇はwave set-upによるものと判断される。ここで注目すべき点は、導流堤が竣工した1999年10月以降、水位上昇量が低減した点である。特に1月から3月の期間を見ると、2000年における平均水位の低減が著しい。

導流堤建設前後について、水位変動に関するより詳細な差を調べるために、1999年1月と2000年1月の河口部での水位上昇量、波高と流量の変動特性を図-12、図-13に示した。図中で、水位 η の添え字RMおよびTはそれぞれ河口内水位および潮位を表し、 $\Delta\eta$ は河口内水位から潮

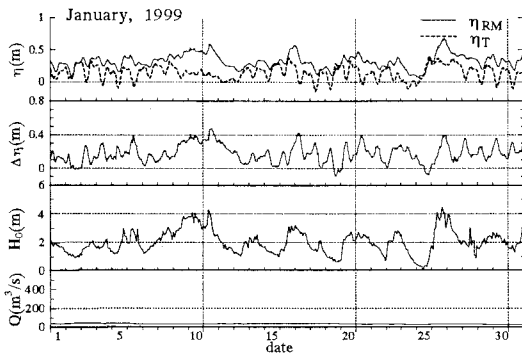


図-12 河口内水位・潮位・水位上昇量・波高・流量の変化
(導流堤建設前, 1999年1月)

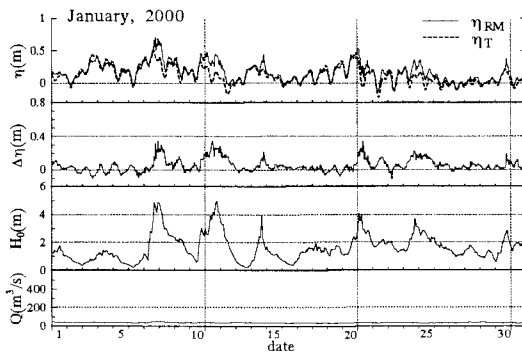


図-13 河口内水位・潮位・水位上昇量・波高・流量の変化
(導流堤建設後, 2000年1月)

位を差し引いたものである。まず、いずれについても流量の変動は見られず、水位上昇の変動は波高の変化と強い相関を有していることが分かる。また、図-12、図-13を比べると、後者の水位上昇量がより小さな値で推移していることが認められる。

図-12と図-13に示された導流堤建設後のwave set-up特性の変化は、導流堤建設によりもたらされた河口部地形変化を反映していると考えられる。

(3) 地形変化がwave set-up高さにもたらした効果

図-12、図-13と同様な解析を、wave set-upによる水位上昇と判断された他の期間に対しても行い、高波浪イベント毎に無次元化したwave set-up高さ $\Delta\eta/H_0$ を求めた。結果を図-14に示す。このうち、1991年から1998年の変動に関してすでに報告しており、この期間において $\Delta\eta/H_0$ は河口砂州長さとの正の相関を有している(田中・李²⁾)。この既報論文においては砂州長さとの河口水深が逆相関を有し、 $\Delta\eta/H_0$ の増加は河口水深の減少によるものと推測した。

図-14において、導流堤が竣工した1999年10月以降は、明らかに $\Delta\eta/H_0$ がこれ以前より小さな値を示す。これは、導流堤の建設により、より深い水深が維持されるようになったためと推測される。

なお、河口部におけるwave set-up高さの河口水深依

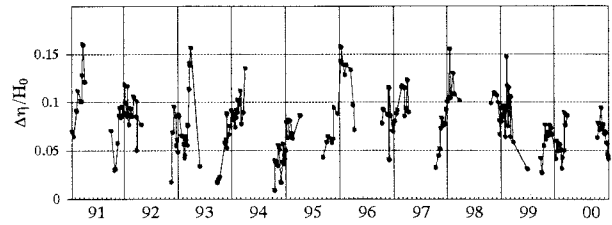


図-14 $\Delta\eta/H_0$ の変化

存性に関しては、現地資料にもとづくHanslow et al.³⁾、水理実験にもとづく李⁴⁾によっても検討されており、いずれも河口水深増加によりwave set-up高さが減少することを報告している。

5. まとめ

下流域における河床変動計算を行い、河口からの流出土砂量の推定を行った。この際、実績の浚渫量を考慮するものとし、浚渫が長期的に河床の縦断形や流出土砂量に与える影響を検討した。

砂浜域の海底勾配は水深70mまで約1/30で、水深30mでも砂移動は活発で、河川流出土砂は水深のより深い方へ移動していると推定された。土砂収支については、岩礁域があるため長期的検討は困難であったが、一洪水当たりの流出土砂量の推定値と河口域の堆積土砂量はほぼ一致することがわかった。

河口導流堤の建設により、河口開口位置が右岸に安定した。また、河口内のwave set-up高さは導流堤建設後に低減した。これは、河口水深の増加によると考えられる。以上から、同河口での導流堤建設は①河口維持、②wave set-upによる水位上昇量低減の二点において効果的であった。

参考文献

- 1) 清水康行: 沖積河川の縦断形と河床材料分布形の形成について, 土木学会論文集, No.521/II-32, pp.69-78, 1995.
- 2) 田中 仁・李 炫錫: 尻別川河口における砂州と水位の変動特性, 水工学論文集, 第46巻, pp.965-970, 2002
- 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) 李 炫錫・田中 仁・山路弘人: 河口部のwave set-up高さに関する実験的研究, 土木学会東北支部技術研究発表会概要集, pp.254-255, 2002.

(2002. 4. 15 受付)