

河口放水路内における砂州発達機構の解明

Nguyen Trong Tu*・田中 仁**・山路弘人***

我が国の河川の中には河口部において洪水疎通能力が不十分な河川も散見され、抜本的な河口処置が求められているものがある。対策として、河口放水路の計画がなされている河川がある。放水路には平常時流量が存在しないことから、閉塞するケースが見られる。そこで、放水路内に形成される河口砂州の発生メカニズム、ならびの砂州の規模を定量的に評価することを目的として本研究を実施した。まず、現地資料を収集し、河口放水路内の閉塞の実態を調査した。また、造波水路を用いた放水路内堆砂実験を行い、与えられた底質・波浪条件下で形成される河口砂州の規模、水面上にまで砂州が発達する条件などに関する検討を行った。

1. はじめに

近年、我が国の各地で河川整備計画の策定が進められている。この中で、河口部において洪水疎通能力が不十分な河川も散見され、抜本的な河口処置が求められているものがある。対策の一つとして、計画洪水を流下させる流量に見合った断面まで拡幅することが考えられるが、この場合、①環境へのインパクトが大きいこと、②平常時に過大な河口断面の維持が困難、等の理由から、これに代わり河口放水路の計画がなされている河川がある。放水路には平常時流量が存在しないことから、条件によってはこれが閉塞するケースが見られる（岩谷，2004）。このような場合には、洪水時に予期しないせき上げが生じることが懸念され、治水上、大きな問題点となる。このため、放水路内に形成される河口砂州の発生メカニズム、ならびの砂州の規模を定量的に評価することが求められる。

このような背景から、まず、現地資料を収集し、河口放水路内の閉塞の実態を調査した。対象河川としては、青森県・高瀬川放水路とした。また、造波水路を用いた放水路内堆砂実験を行い、与えられた底質・波浪条件下で形成される河口砂州の規模に関する検討を行った。さらに、既往の実験結果も併せて、河口砂州地形が水面下に没しているケースとそれが水面上まで発生するケースとを判別するための無次元パラメータに関する検討を行った。

2. 高瀬川河口放水路内における砂州発達の事例

(1) 高瀬川放水路の概要、

高瀬川はその源を青森県上北郡七戸町の八幡岳に発し、東流の後に七戸町付近で作田川等の支川を合わせ、太平

洋に注ぐ一級河川である。その流域面積は867 km²、幹川流路延長は64 km である。河口近くには小川原湖が存在し、その直下流において高瀬川放水路を分派している。河口周辺における地形概要を図-1 に示す。小河原湖は海跡湖であり、その水質環境は高瀬川を通じた海水遡上と密接に関連している。このため、これまでに湖内の塩分環境に関する調査がなされている（藤原ら，1999）。また、本川の河口部は閉塞気味であることから、本川を対象とした河口閉塞調査も実施されてきた（成田ら，2002；小山ら，2005）。

図-1 には河口放水路の位置も示した。同放水路の掘削の経緯に関しては岩谷（2004）に詳しい。本研究においては、同放水路内における土砂堆積現象に関する検討を行う。

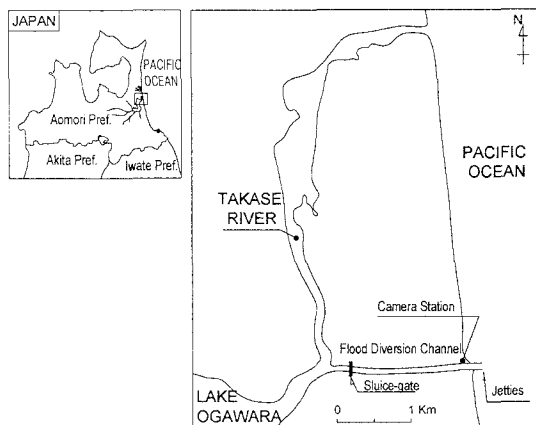


図-1 高瀬川河口の概要

(2) 河口砂州地形の観測方法

近年、現地設置型のビデオシステムにより、短い時間スケールでの海浜地形の調査を実施した事例が内外で報告されている（Alport ら，2001；鈴木ら，2002）。一方、著者らは画像データ記録装置を用いて、中小河川河口地形の測定結果を報告している（渡辺ら，2005）。ここで

* 学生会員 MEng. 東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻
** フェロー 王博 東北大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻
*** 正会員 東北大学大学院助手 工学研究科土木工学専攻

は、同様な画像記録装置（コーナースステム社製、KADEC21-EYE-HQ）を高瀬川放水路河口に設置し、河口地形の変化を撮影した。カメラの設置地点を図-1に示した。撮影装置は河口導流堤上に設置し、地上からレンズまでの高さは4mとした。図-2には撮影装置の設置状況を示した。

(3) 高瀬川放水路に見られる河口砂州の発達

図-3 は上記画像自動記録装置により記録された河口

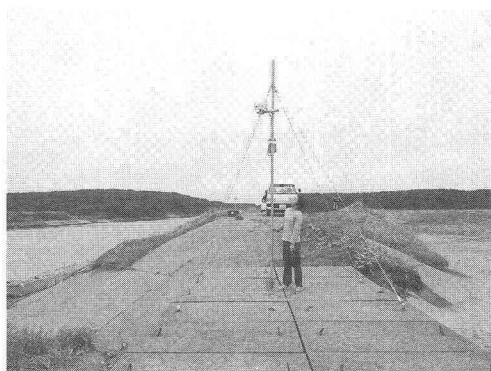
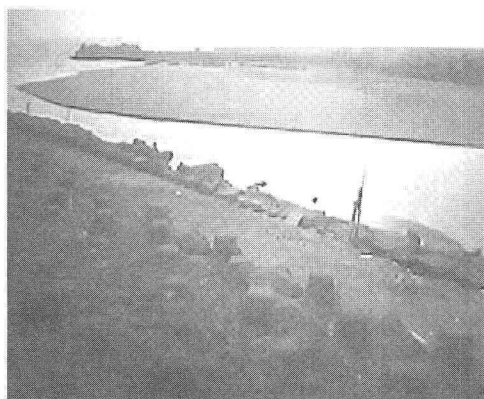


図-2 カメラの設置状況



(a) 2004年12月19日



(b) 2004年9月13日

図-3 放水路における堆積地形

地形を表している。上段(a)では放水路内に砂州が形成されていないが、下段(b)では水面上に大規模な砂州地形が現れている。

図-4 は設置した装置ではなく、現地において手動カメラで撮影された河道内の堆積状況を示す。時にはこのような大規模な堆積が見られ、治水安全度確保のために人工的な掘削により流路を確保している。図-4(a)は放水路中程の位置から海側を撮影したものであり、図-4(b)は同じ場所から上流側を見た写真である。

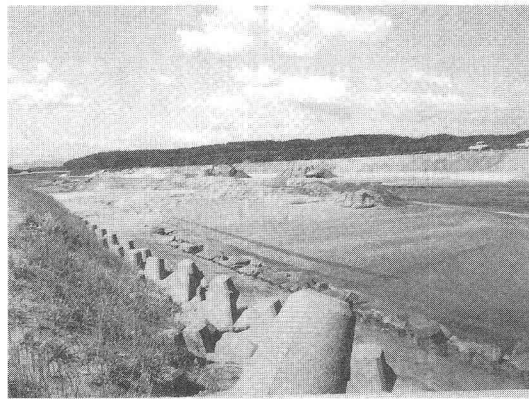
このような砂州の発生は出水時における速やかな排水を阻害するものであり、治水上好ましくない。ただし、図-3に示したように、このような堆積地形は常時存在するということではなく、河口条件、波浪条件、底質条件に支配されていると考えられる。そこで、次節では条件をコントロールして理想的な条件で実施された水理実験の結果を示す。

3. 室内実験方法

上記の様に高瀬川放水路内に見られる堆積過程を再現



(a)



(b)

図-4 放水路内の堆積 (1996年9月28日)

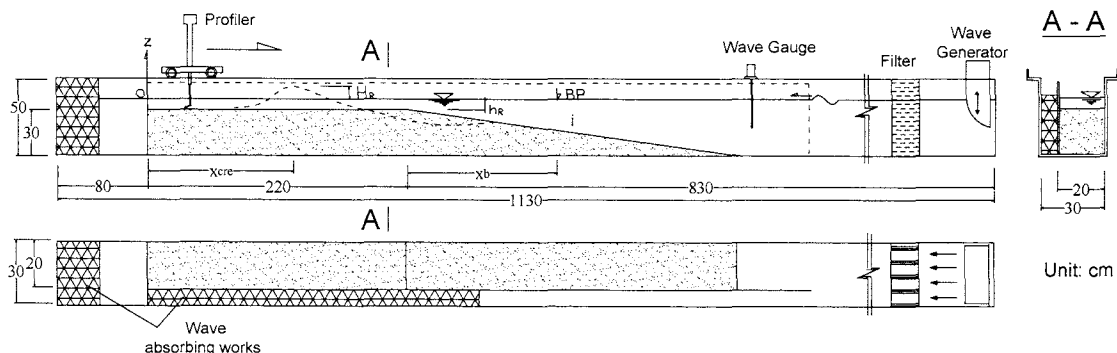


図-5 実験装置

表-1 実験条件

Case No.	h_R (cm)	H_0 (cm)	T (s)	i
101	0.5	5.76	1.44	1/10
102	1.0	6.04	1.44	1/10
103	1.5	5.58	1.44	1/10
104	2.0	5.40	1.44	1/10
105	3.0	5.55	1.44	1/10
106	4.0	4.84	1.45	1/10
107	5.0	4.85	1.44	1/10
201	0.5	4.76	1.46	1/15
202	1.0	4.79	1.46	1/15
203	1.5	4.83	1.46	1/15
204	2.0	4.86	1.46	1/15
205	3.0	4.92	1.46	1/15
206	4.0	4.97	1.46	1/15

するために、二次元造波水路を用いて移動床室内実験を実施した。本研究において使用した実験水路の概要を図-5に示す。同実験水路は著者らの以前の研究で使用された装置と同じものである(和田・田中, 1997, 和田ら, 1998)。また、宇多ら(1992)も同様な実験装置によりサンゴ洲の発生・消失に関する水理実験を行っている。

実験においては、特に河口水深を種々変化させることにより、図-3(a), (b), 図-4(a), (b)の様に砂州が現れる場合、それが現れない現象の再現を行った。実験は合計13ケース行われた。実験条件を表-1に示す。ここで、 h_R : 河口水深、 H_0 : 沖波波高、 T : 周期、 i : 初期海浜勾配である。底質粒径 d は0.26 mmであり、ほぼ一様粒径の砂を使用している。実験開始時には河口水深を一定に設定し、海浜部についても一様勾配に整形した後、表-1に示した規則波浪を作用させた。その後、砂面計により、適宜砂面形状の変化を計測した。なお、常時は流量の存在しない放水路を想定しているために、実験においても河川の自己流量は考慮していない。

4. 実験結果

(1) 砂州地形の発達過程

図-6は実験で得られた砂州発達過程の一例を示している。図中、破線は砂面の初期形状を表している。時間の経過とともに河口部に砂が堆積し、砂州が発達していく様子が認められる。波の作用直後に砂州は水面上まで発達し、 $t = 7hr$ ではほぼ平衡高さまで達し、その後の砂州高さにはほとんど変化は見られない。図-7は対応する実験条件での碎波点の位置 x_b と砂州最頂部座標 x_{cre} を図示した。それぞれの定義は図-5に示している。同図から、 $t = 7hr$ において岸沖方向の砂州位置・碎波位置もほぼ平衡に達したことが確認される。

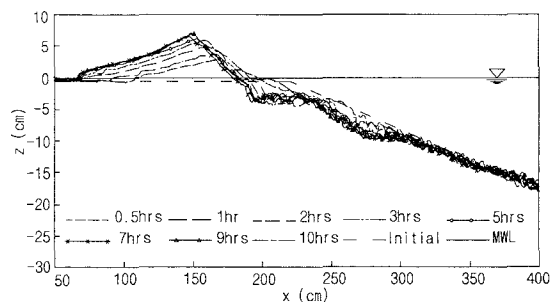


図-6 河口砂州の発達過程 (Case 101)

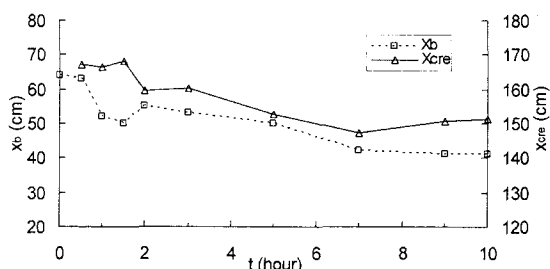


図-7 碎波点位置と砂州最頂部の変化 (Case 101)

(2) 砂州形成に対する河口水深の影響

図-8 は河口水深を変化させた時の最終地形を示したものである。同図は初期勾配1/10の結果を示しており、異なる波浪条件での、それぞれの平衡地形を表している。図中で z 軸は水表面に原点を取り、上向きを正としている。水面より上まで砂州が発達する場合と、そうで無い場合が認められ、図-1 の現地の状況に類似した地形を再現することが出来ている。図-9 は初期勾配1/15のケースの結果を示しており、図-8 と同様な地形変動が見られることが分かる。

図-8、図-9 において、河口水面上まで発達するケースでは、その最頂部高さ H_R が波浪によらず一定高さであることが分かる。そこで、十分発達したケース (Fully developed) の砂州高さ $H_{R(F)}$ に関する検討を行う。Tanaka ら (2005) は波浪遡上高さを参考に定式化を行い、次式を得ている。

$$\frac{H_{R(F)}}{H_0} = 0.48 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{13/20} \left(\frac{d}{H_0} \right)^{-1/4} \phi \quad (1)$$

ここで、 L_0 : 沖波波長、 ϕ : 底質粒度に応じた浸透性を表すパラメータであり、次式により定義される。

$$\phi = \exp(-0.44 D_*^{0.55}) \quad (2)$$

ここで、

$$D_* = \left[\frac{g(\rho_s - \rho)}{\nu^2} \right]^{1/3} d \quad (3)$$

であり、 g : 重力加速度、 ν : 流体の動粘性係数、 ρ_s : 底

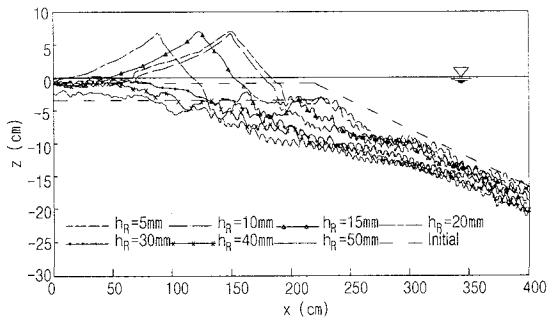


図-8 最終砂州形状 ($i=1/10$)

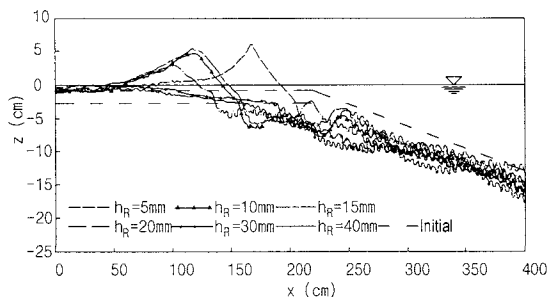


図-9 最終砂州形状 ($i=1/15$)

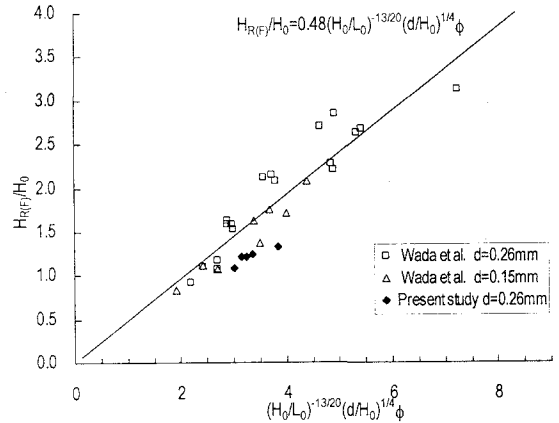


図-10 十分に発達した砂州高さの定式化

質密度、 ρ : 流体密度である。図-10 は本研究の実験結果を和田ら (1997) の室内実験データとともに示したものである。これによれば、本研究のデータは和田ら (1977) のものとほぼ同様な関係を示しており、式 (1) の関係が成立していることが分かる。

(3) 砂州発達条件

以上の様に、室内水理実験においても現地と同様な河口砂州の発達が観察された。そこで、次に、河口砂州が水面上まで十分に発達するための条件に関して検討を行う。

図-11 は砂州の発達限界を示す図である。縦軸の $H_{R(F)}$ は式 (1) による砂州高さ算定値を表す。また、横軸の h_i は底質の移動限界水深であり、佐藤・田中 (1962) による全面移動限界式を使用する。ここで、 h_R/h_i が大きいほど、移動限界水深以浅の移動土砂量が少量であり、また、砂を堆積させる河口水深も深いため、砂州は水面まで発達しない (Submersed)。 h_R/h_i が小さいときには、逆に、十分な底質が浅い河口を埋めることが出来、砂州が水面上まで発達する (Emersed)。以上のように、無次元数 h_R/h_i は河口堆砂の物理過程を考慮したものになっている。

図-11 によれば、横軸の値が小さい時には砂州高さが $H_{R(F)}$ にまで発達していることが確認される。一方、横軸の値が大きくなるにつれて砂州が未発達であり、砂州は水没した状態となっている。なお、同図には宇多ら (1992) による実験データも示しており、本研究と同様な傾向を示していることを確認した。同図より、河口砂州が水面上まで十分に発達する条件として、 $h_R/h_i = 0.15$ を得る。今後、放水路の維持のために浚渫すべき水深の目安として、同式を使用することが出来る。

一方、Uda ら (2002) は同様な関係を示す図として、代表長さとして沖波波高を用いた図を提案している。そこで、

その関係に基づいてプロットした結果が図-12である。この場合も、本研究のデータは宇多ら(1992)のそれと近い傾向を示している。

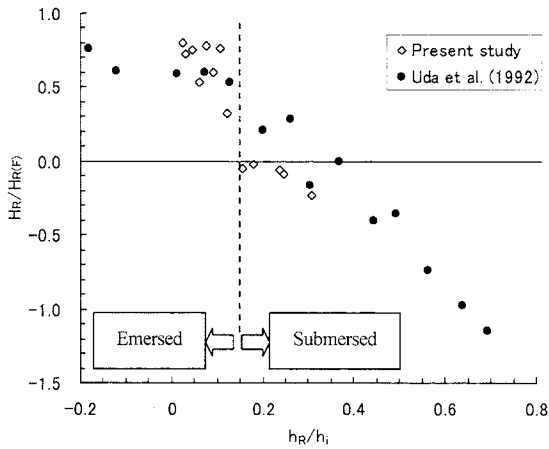


図-11 河口砂州の発達限界

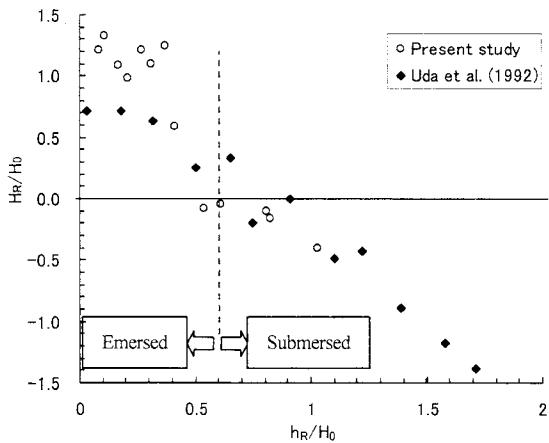


図-12 河口砂州の発達限界

5. 結 論

放水路部における河口砂州の発達に関する検討を行い、下記の結論を得た。

- (1) 一級河川・高瀬川の河口写真の解析により、その発生状況を確認した。
- (2) 室内実験により、現地とはほぼ同様な現象を確認した。

- (3) 河口部において砂州が十分に発達するための条件を室内実験より定めた。

謝辞：本研究を行うに際し、国土交通省東北地方整備局高瀬川工事事務所より貴重な現地資料を提供頂いた。現地調査にあたっては(株)アイ・エヌ・エーの協力を得た。また、本研究に対して日本学術振興会科学研究費(基盤研究(B)，代表：東北大学大学院・真野 明教授，No.17360230)の補助を得た。ここに記して心より謝意を表する。

参 考 文 献

- 岩屋隆夫(2004)：日本の放水路，496p.，東京大学出版会。
- 宇多高明・小菅 晋・伊藤弘之・山崎順一(1992)：サンゴ洲の形成・消滅機構に関する研究，海岸工学論文集，第39巻，pp. 376-380。
- 小山幸男・金枝富勝・畠山仁志・高木利光・藤井裕之(2005)：高瀬川河口閉塞機構の解明と維持管理方法の提案，海岸工学論文集，第52巻，(印刷中)。
- 鈴木高二朗・高橋重雄・山縣延文・堀田 治・栗山善昭・Stefan Aarninkhof・Gerban Ruessink Irv Elshoff(2002)：ARGUSビデオ解析による宮崎住吉海岸の長期地形観測，海岸工学論文集，第49巻，pp. 571-575。
- 佐藤昭二・田中則男(1962)：水平床における波による砂移動について，第9回海岸工学講演会論文集，pp. 95-100。
- 成田 舞・石川忠晴・高橋 淳(2002)：青森県高瀬川の河口部変動特性について，海岸工学論文集，第49巻，pp. 526-530。
- 藤原広和・柁沢正樹・石川忠晴・西田修三・沢本正樹・西塚淳一(1999)：小川原湖の塩分鉛直分布と河口水位変動に関する現地観測，海岸工学論文集，第46巻，pp. 416-420。
- 渡辺一也・田中 仁・中山大輔(2005)：中小河川の河口地形変動とそのモニタリングに関する検討，河川技術論文集，第11巻，pp. 351-356。
- 和田尚大・田中 仁(1997)：河口砂州の現地調査と平衡高さ算定式の提案，海岸工学論文集，第44巻，pp. 596-600。
- 和田尚大・田中 仁・山路弘人(1998)：河口砂州形状の算定式に関する研究，海岸工学論文集，第45巻，pp. 596-600。
- Alport, M., J. Basson, G. Mocke, J. Naicker, and C. Saltau(2001)：Discrimination and analysis of video imaged shorelines and nearshore processes. Proc. of Coastal Dynamic Conf., pp. 989-997。
- Tanaka, H., T.T. Nguyen and N. Wada(2005)：Laboratory study of sand bar development at a river entrance, Proc. of XXXI IAHR Congress. (in press)
- Uda, T., S. Seino, M. Serizawa, T. San-nami and K. Furuike(2002)：Rapid formation of sand body at shoreward edge of offshore dredging hole and resulting large change in sand spit, Proc. of 28th International Conference on Coastal Engineering, pp. 3461-3473。