

## 河口砂州の挙動が河口部の水位・河床変動に及ぼす影響

Study on the relationship between stage and bed variation at river mouth bar

北見工業大学大学院  
北見工業大学工学部学生員 ○井上 司(Tsukasa Inoue)  
正 員 早川 博(Hiroshi Hayakawa)

## 1. はじめに

川と海の境界に位置する河口域は、陸水と海水が混合するために物理的・化学的環境の変動が激しく、地形変化はきわめて複雑で、種々の河口砂州が形成されている。一般に河口部では洪水時において河川の流速と水深が増加し、河床に働く掃流量が大きくなって河床の堆積土砂がフラッシュされる。洪水時の水位上昇が緩やかで、河口が開いている場合は、河口砂州を回り込む河川流によって砂州の側岸が浸食され、砂州は徐々にフラッシュされる。一方、河口が砂州によって完全閉塞、あるいは部分的に開口している河口は、洪水時の水位上昇が速い場合には河川水位が砂州を乗り越え、越流状態となって砂州全体を一挙にフラッシュさせる。この時の水位は、流量の増加に伴う河口砂州部分の河積拡大に追従できないために急激に上昇し、洪水流量ピークを迎える前に河口部水位のピークが現れることになる。河川計画上、計画流量規模では河口砂州の影響をほとんど考慮していないが、洪水出水時に更に満潮と高潮が重なると、河口部の水理条件によっては計画流量規模でも河口砂州が容易にフラッシュされずに急激な水位上昇を引き起こし、河口部周辺の河道氾濫へと至る危険性が高まる。

本研究は、洪水時の河口砂州の挙動を把握するため、河川流量と潮位変動との関係を調べ、計画流量規模の洪水時の安全性について検討することを目的としている。そこで、本論文では著者らが以前調査した渚滑川河口部を対象に検討した結果を報告する。

## 2. 渚滑川河口部の概要

渚滑川はその水源を北見山地の天塩岳（標高1,588m）に発し、北流して紋別市渚滑町においてオホーツク海に注ぐ、流域面積1,240km<sup>2</sup>、流路延長84kmを有する一級河川である<sup>2)</sup>。河床勾配は上流部が1/100程度、中流部が1/350～1/450程度、下流部が1/850程度と全川を通じて比較的急勾配の河川である。図-1は1998年8月当時の河口部の状況であり、右岸に河口砂州が形成されている。なお、河口部はほぼ1/1,000の河床勾配である。

年間降水量は約800(mm)と全国で最も降水量が少ない地域である。年間を通じた流況は4月から5月にかけての融雪期は年間を通じ最も流量が豊富であるが、降雪期を含む12月から翌年3月中旬頃まで流量が少なく変動は小さい。冬期間、河川は全区間に渡って結氷しているが、河口部は全面結氷することはない。既往の洪水は9月から10月の台風期に大規模出水が生じ、2006年は10月に $Q=1,460\text{m}^3/\text{s}$ （上渚滑地点、既往2番目）を

図-1 渚滑川河口部(写真1998年8月<sup>1)</sup>)

記録している。なお、既往最大流量は1998年9月の $Q=1,500\text{m}^3/\text{s}$ である。過去40年間平均の豊水、平水、低水および渇水流量はそれぞれ、30.9、15.2、8.0および $4.6(\text{m}^3/\text{s})$ である。また、融雪期最大年平均流量は約 $300(\text{m}^3/\text{s})$ であり、河川流量による河口砂州のフラッシュは、台風期の大規模出水だけでなく、定常的な融雪出水も検討する必要がある。

一方、海域の波浪特性は河口部から紋別寄り1km地点から沖合1.9kmに位置する紋別南(ナウファス、 $h=52.6\text{m}$ )の波浪観測データ<sup>3)</sup>によると、波浪特性の経年変化はほとんど変化なく、年間を通して汀線(WNW-ESE方向)にほぼ直角なNE方向の入射波が卓越し、特に秋季から冬季にかけては波高も高いことがわかる。したがって、河口砂州は波浪の作用により融雪期前までに砂州が発達し、融雪出水で砂州の一部がフラッシュされた後、波浪状況に応じて砂州はまた発達し、台風期に大規模出水がなければ翌年まで砂州は維持されることになる。

## 3. 河口砂州の現地調査

前回の現地調査は1996年から2002年まで実施している<sup>4)</sup>。調査範囲は図-1に示す河口から約400m区間において右岸沿い20m間隔の横断測線SP0～SP400(●印)を設定したが、観測上の制約から低水路に対して直交していない横断測線(図中実線)もあり、今回の観測ではできるだけ直交する横断測線になるよう左岸測点(▲印)を設定し直した(図中点線)。なお、前回までの調査結果と比較のため、前回同様の横断測線も調査している。

河口部の横断測量による河床地形調査と河口砂州の細部測量は2010年8月25日～27日に実施し、横断測量は各測線にワイヤーを張り5m間隔で水深を測定し、水位は測定開始と終了時の2回測定した。河床高は平均測定水位から水深を差し引いて求めた。一方、河口砂州の

細部測量は光波測距儀を用いて、5m 間隔に測線を設け、横断測量した。

次に、河口砂州周辺の流況調査は 2010 年 10 月 15 日～16 日に実施し、ADCP (TRDI 社、ワークホース ADCP, 1200Hz, ボトムトラッキング (BT) 機能付) を船型フロートに積込み、ゴムボートの舷側から曳航する移動観測を実施した。また、ADCP の位置情報は DGPS を利用して同時に取得している。流速測定は河口部の砂州周辺から SP200 の区間を、GPS でボートの位置をモニタリングしながらできるだけ流路に直交する横断方向に走行させて計測し、左右岸往復しながら 1 回の測定に約 1 時間を要した。

その後、河口砂州の変化に応じて、2011 年 3 月 26 日に河口砂州の細部測量を、6 月 14 日と 10 月 14 日には ADCP (TRDI 社、Stream Pro, 2400Hz, BT 機能付) による流況調査を実施した。この流況調査では ADCP に

よる航跡測深データから河床高を求め、ArcGIS を利用してこの河床データを内挿補間して河床標高グリッドを作成し、SP 横断測線の横断データを抽出している。

#### 4. 河口砂州の季節変化

図-2 は 2010 年 8 月から 2011 年 10 月までの河口部の河床変動を示している。また、この期間中の流況は図-3 に 2010 年と 2011 年の渚滑橋 (KP2.0) 水位観測地点の水位変化を示す。2010 年は 5 月 4 日が融雪出水のピーク (概算で  $Q=300\text{m}^3/\text{s}$  程度) であり、その後は 6 月と 7 月に  $Q=200(\text{m}^3/\text{s})$  規模の出水を経験している。8 月の調査後は大きな出水はない。2011 年は 2010 年と同程度の融雪出水が 4 月 17 日にあり、その後同程度の出水が 7 月 15 日に生じ、9 月 2 日には概算で  $Q=600(\text{m}^3/\text{s})$  規模の出水が生起している。この流況を考慮して河口部河床の季節変化をみていく。

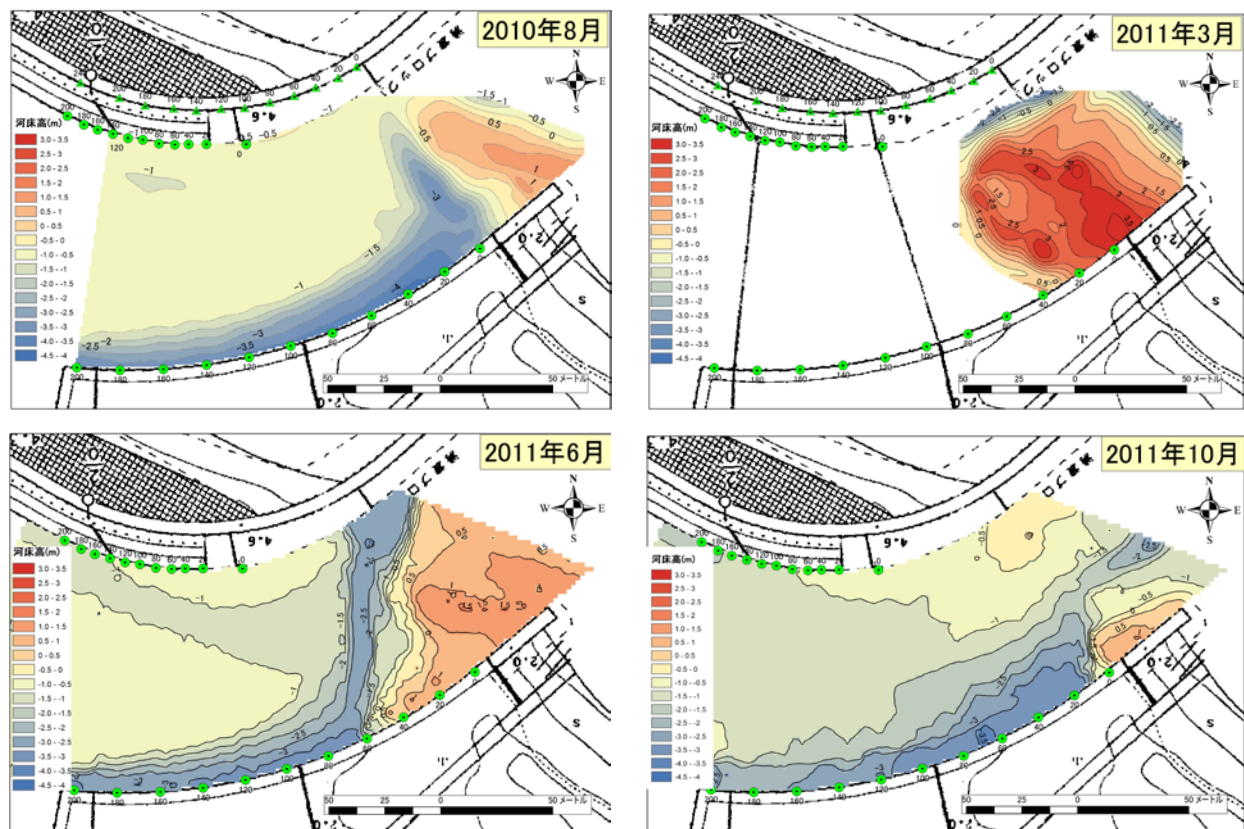


図-2 河口部河床の平面形状

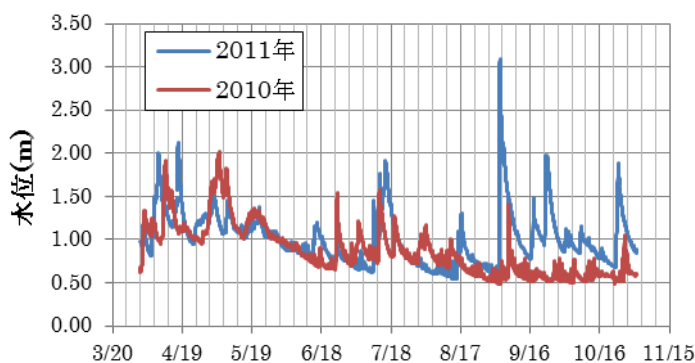


図-3 渚滑橋 (KP2.0) の水位変動

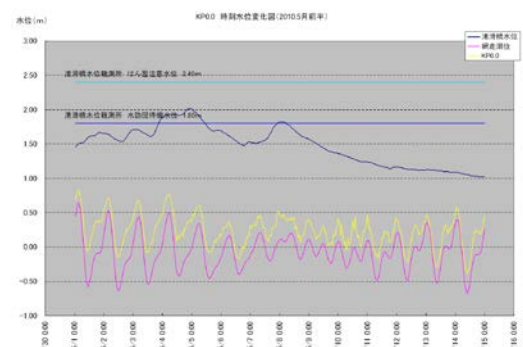


図-4 KP0.0 (右岸) 地点の水位変動 (2010 年 5 月)



3月23日(左岸導流堤から)



4月9日



4月16日



4月19日



4月23日



5月6日

写真-1 河口砂州の経時変化(2011年融雪出水期)

融雪出水前の河口砂州は2011年3月のように波浪の影響でSP0付近に河床高+3(m)を超える砂州が形成されるが、図-4に示すKP0.0(右岸)に網走開発建設部が設置した水位計の2010年5月の水位変動から、融雪出水時の水位は最大でも+0.8(m)以下であった。融雪出水前の河口砂州は砂州上面の河床高が+3(m)程度に達しているため、融雪出水は砂州を越流するのではなく、張出した砂州の先端部を洗掘しながら徐々に砂州をフラッシュしていく。写真-1は2011年融雪出水期間中の河口砂州の経時変化である。砂州先端が次第に削り取られ、4月19日の融雪出水のピーク後は砂州の根元を残してほとんど流失している。その後5月6日には海側汀線付近に砂州が張出しているのが確認できる。これ以降の砂州変形は河川流によるものだけでなく、波浪によって土砂が河道に押し戻され、2011年6月の砂州は汀線付近よりやや川側に位置している。

2010年8月の砂州は6月、7月の $Q=200(\text{m}^3/\text{s})$ 規模の出水で、砂州上を僅かに越流したことがKP0.0の水位データから確認できたので、2010年8月の砂州は越流

によって海側に押し出されたと考えられる。一方、2011年10月の砂州は2011年9月の $Q=600(\text{m}^3/\text{s})$ 規模の出水によって砂州がフラッシュされ、右岸の付け根部分に砂州がわずかに残った状態である。更なる大規模の出水が生じると、この右岸部分も完全にフラッシュされ、1998年出水では右岸部の河床は-4(m)まで洗掘された<sup>4)</sup>。

## 5. 河口砂州の経年変化

前回の調査では、1998年9月出水(上渚滑地点 $Q=1,500\text{m}^3/\text{s}$ 、既往最大)、2000年9月出水( $Q=1,180\text{m}^3/\text{s}$ )、2001年9月出水( $Q=970\text{m}^3/\text{s}$ )の出水前後で横断測量を実施した<sup>4)</sup>。そこで、前回設定した横断測線の河床形状と今回の調査結果を比較する。

図-5は1998年、2000年の出水前の河床形状と今回調査した河床形状とを比較した図である。1998年の砂州は図-1に示すようにSP0からSP80の右岸側に砂州が形成されており、SP100より上流は河道中央が盛り上がった凸の河床形状をしている。河川流は河口砂州の上流側前面を回り込むようにして左岸の前面に収束して流れて

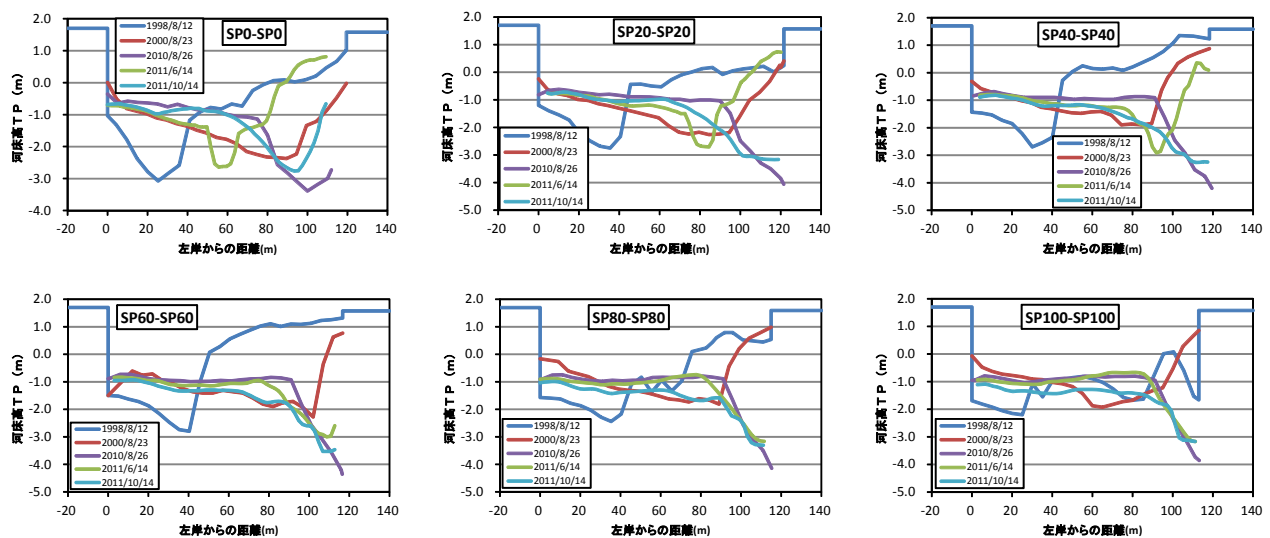
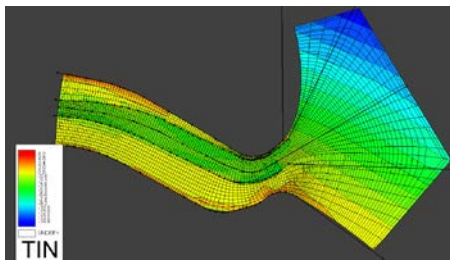
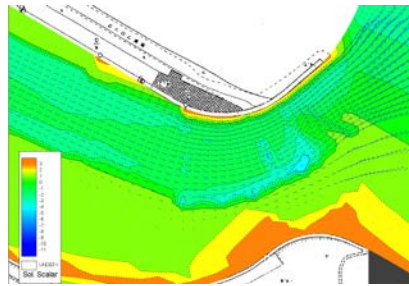


図-5 横断河床形状の経年変化(洪水前との比較)

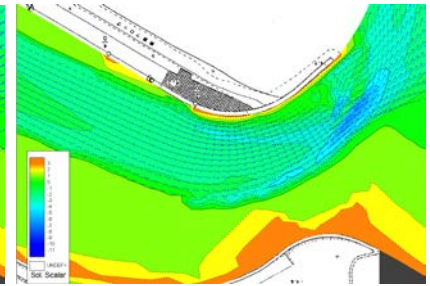




Morpho2D の計算格子



T=0(hr)



T=5(hr)

図-6 河床変動計算結果 (Q=500m³/s)

いた<sup>4)</sup>。2000年の砂州はSP0からSP100にかけて張出長さの短い砂州が右岸に張り付いたような形状で、河道中央が低い凹の河床形状をしている。そのため、河川流は河道中央を流れていた。2010年8月の砂州は汀線付近に形成されていたため、砂州上流側前面まで右岸沿いが深掘れであり、左岸側から中央部は平坦な河床形状である。2011年6月はSP0からSP40までの区間に砂州が入り込んで形成されているため、河道中央部が砂州上流側前面に形成された水路により低下しているが、それより上流区間は2010年8月とほぼ同じ形状である。2011年10月の河床形状はSP0からSP40までの区間が2010年8月に類似した河床形状であったが、それより上流区間は9月の出水で約50cm程度河床が低下している。

次に、図は省略しているが、1998年、2000年と2001年の出水後の河床形状は3洪水とも河道外岸の右岸側が大きく洗掘する横断形状になっており、砂州がフラッシュされるとほぼ同じ形状になっている。今回の河床形状と比較すると、2011年6月は砂州が川側に入り込んでいるので、他と異なった河床形状をしているが、SP0より海側に砂州が押し出された場合は、右岸が洗掘する横断形状は同じである。2010年8月は全体的に河床高が既往の洪水後の断面より1m程度高く、9月の出水を経験した2011年8月はそれより50cm程度低下している。

## 6. 河床変動シミュレーションによる検討

本研究は渚滑川河口砂州が洪水時にどのような水理条件でフラッシュされるのか、また、洪水時に河口砂州が本当に流れの障害になって水位上昇を引き起こしているのか、等について明らかにすることである。つまり、河川流による河口砂州変形を考えているため、波浪による河口砂州の形成過程は無視する。なお、海域の影響は下流端の境界条件として潮位変動を与えて解析した。そこで、解析モデルはiRIC<sup>5)</sup>の2次元河床変動解析モデルMorpho2D<sup>6)</sup>を適用した。

計算範囲は図-6に示す沖合1(km)からKP1.0までとし、初期河床として2010年8月の河床高を与えた。また、河床材料の粒径は砂州近傍で採取した砂の篩分け試験から、平均粒径 $d_m=3(\text{mm})$ とした。下流端の境界条件は潮位とし、KP0.0との水位の相関解析から網走港の実測潮位に0.1mを加えた値を下流端の潮位とした。低水路の粗度係数は、2010年10月15日～16日の現地観測時の流量 $Q=9(\text{m}^3/\text{s})$ を与え、観測水位に合うよう低水路のマニングの粗度係数を逆算した結果、 $n=0.03$ となった。

今回は紙面の都合上、低水路満杯流量に相当する流量 $Q=500(\text{m}^3/\text{s})$ の定常流による解析結果を図-6に示す。通水

直後は河口部のSP0付近で低水路を溢れ高水敷に乗り上げる流れがみられるが、河口砂州を越流しながら砂州をフラッシュし、その結果、河床が洗掘されて高水敷への乗り上げが解消されている。2時間後には砂州張出部がフラッシュされ、3時間後には砂州のあった河床も洗掘されている。5時間後には右岸の河床洗掘が進み、左岸内岸から導流堤にかけての堆積も進んでいる。この5時間後の河床形状は、図-2に示した2011年10月の出水後の河床形状に近いものとなっている。

## 7. おわりに

本研究は河口砂州の挙動を明らかにするため、渚滑川河口部地形の季節変動を調査すると共に、前回調査結果との経年変化を調べた。前回調査では既往最大流量を経験したが、今回は中規模出水を経験した前後の河床変化を捉えることができた。河口部右岸の河床洗掘は、前回に比べると中規模出水ではそれほど洗掘されていないが、数値シミュレーション結果では前回と同程度の-4(m)まで洗掘されており、この違いが出水後の波浪によって川側に押し戻されたものなのか、更なる検討が必要である。

謝辞：

本研究を進めるにあたり北海道開発局網走開発建設部治水課には河道データや水文データを提供して頂いた。また、本研究は(財)河川環境管理財団の平成22年度研究助成を受けている。記して感謝の意を表する。

## 参考文献

- 海上保安庁空中写真閲覧サービス、([http://www4.kaiho.mlit.go.jp/Aphoto/Air\\_code/INDEX/](http://www4.kaiho.mlit.go.jp/Aphoto/Air_code/INDEX/) , 2011/12/01)。
- 国土交通省北海道開発局：渚滑川水系河川整備計画(国管理区間)，2010 ([http://www.ab.hkd.mlit.go.jp/kasen/keikaku\\_shokotsu/index.htm](http://www.ab.hkd.mlit.go.jp/kasen/keikaku_shokotsu/index.htm), 2011/12/01)。
- (独)港湾空港技術研究所：全国港湾海洋観測年報(NOWPHAS2009)，港湾空港技術研究所資料，No.1226，2011。
- 澤本正樹・真野明・田中仁編：日本の河口，第2章渚滑川，古今書院，pp.4～11，2010。
- iRIC ユーザマニュアル，[http://i-ric.org/\(2011/12/01\)](http://i-ric.org/(2011/12/01))。
- 竹林・江頭・岡部・寺岡：給水・給砂の非定常性と植生の繁茂を考慮した砂州及び流路の形成水理条件，土木学会水工学論文集，第50巻，pp.973-978，2006。