

# 留萌川河口部改修に伴う河道計画の検討について

留萌開発建設部 治水課 ○今村 雄一  
矢野 誠一  
天野 広之

留萌川河口部は、河道断面の不足により流下能力が著しく不足している。そのため、現在河口部の河道掘削を進めており、それに伴う既設導流堤の改築、河道線形の見直しによる直線化を行っているが、その実施にあたっては、将来の河床変動や河口砂州の形状などについての予測、継続的な調査、モニタリングが重要な課題となっている。

本研究では、河口部改修における検討内容及び課題、検証に向けての調査や取り組み、工事の概要、河口部地形の変化等を把握するためのモニタリング計画について報告する。

キーワード：河口部改修、河道管理

## 1. はじめに

### (1) 検討の背景

留萌川では、昭和 63 年 8 月に既往最大の洪水が発生し、留萌市街地の 1/3 が水に浸かる大きな被害を受けた。この洪水を契機に、激甚災害対策特別緊急事業による市街地区間の掘削・護岸等の整備(昭和 63 年～平成 4 年)が行われ、その後も、留萌ダム(平成 22 年 3 月完成)、大和田遊水地(平成 22 年 3 月完成)の整備により順次治水安全度の向上を図ってきた。

しかし、河口部は河道断面不足により流下能力が著しく不足した状態のまま未改修となっており、留萌川水系河川整備計画<sup>1)</sup>に基づき、河道掘削、既設導流堤の改築、河道法線の直線化を進めているところである。河口部の改修においては、将来的な河床の変動や河口砂州の形状などが課題となるため、その予測や事業実施後における河床変動等の把握のため、継続的な調査や、モニタリングが重要となっている。

### (2) 河口部の現状

現在の留萌川河口は、留萌港築港事業の一環として、市内中心部を蛇行して流れていた旧河道を現在の位置へ切替えた(大正 6 年～12 年)ものである。

左岸には、港湾施設である導流堤(大正 8 年～昭和 5 年に建設)が設置されており、老朽化が進んでいる(図-1, 2, 3)。

また、留萌港の西防波堤などの整備が進んだことにより、昭和 60 年代頃より波浪の進入経路が固定化され、徐々に河口部に砂州が発達し、汀線は現状でほぼ固定化(図-4)している。

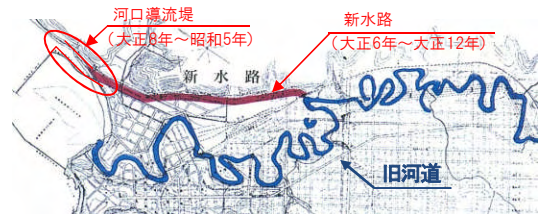


図-1 河口部の変遷



図-2 河口部空中写真



図-3 既設導流堤・護岸の状況

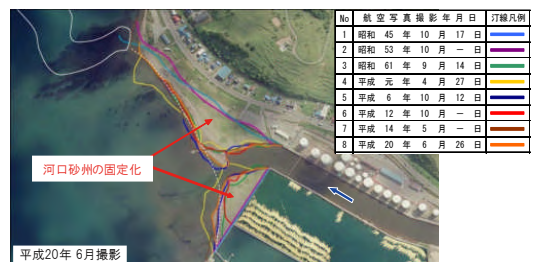


図-4 現況の河口砂州状況(垂直写真)

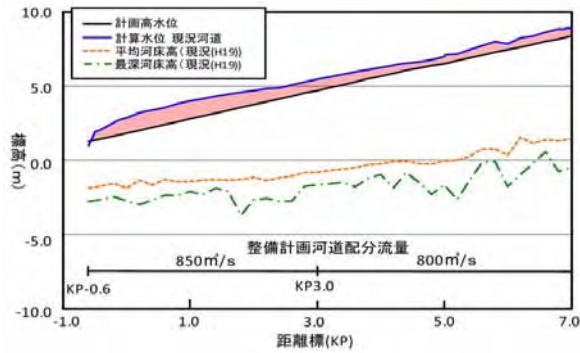


図-5 現況河道水位縦断面図



図-6 工事概要図

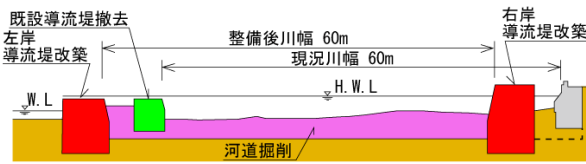


図-7 標準断面図

留萌川水系河川整備計画においては、河道断面不足(図-5)により流下能力確保のため、河道の掘削、掘削に伴い根入不足となる既設導流堤の改築と合わせて、河道線形の見直しによる直線化を行うこととしており、工事概要については、図-6,7に示すとおりである。

## 2. 地形特性等による影響分析

河口部の河道計画検討に当たり、河口前面マウンド、及び左岸導流堤からの越流の影響を考慮し、その影響分析を行った。

### (1) 河口部に形成されたマウンドの影響の分析

河口部には、既往検討で水位起算点としていた KP-0.6 の前面にマウンドが形成されており、過去の出水においてもフラッシュされておらず固定されている。このマウンドの影響を考慮に入れるため、起算点を沖合へ約400m延伸し、KP-1.0 を起算点として準二次元不等流計算を行うこととした。

Yuichi Imamura, Seiichi Yano, Hiroyuki Amano

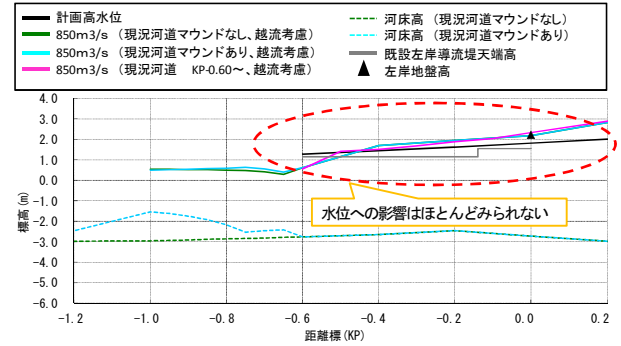


図-8 マウンドの影響(現況河道)

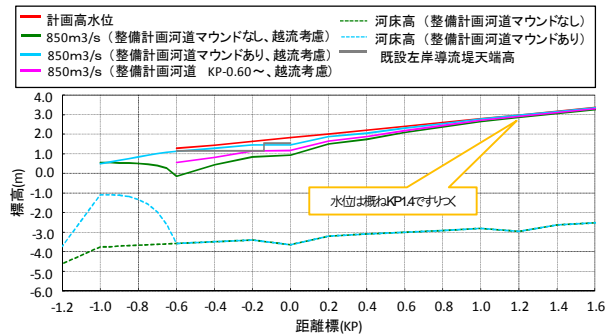


図-9 マウンドの影響(整備計画河道)

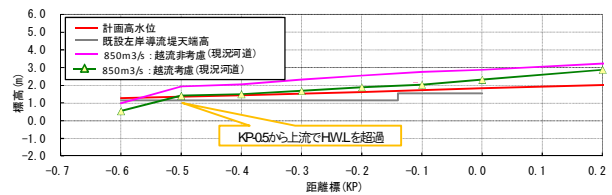


図-10 越流の影響(現況河道)

現況河道では、マウンドあり・なしともに河積の不足により KP-0.6 で限界水深となり、水位への影響はほとんどみられない結果となった(図-8)。

整備計画河道では、既往検討と比較すると、マウンドによる水位の影響は約 KP1.4 付近までとなった(図-9)。

### (2) 左岸導流堤からの横越流の影響の分析

港湾施設である左岸導流堤は、移設後も天端高が現況同様に H.W.L. 以下となるため、大規模な出水時には横越流が生じ、流量低減が生じることとなる。そこで、越流公式<sup>2)</sup>により越流量を算出して流量低減量を求め、水位計算に反映した(図-10)。

越流を考慮した場合、越流非考慮に比べ水位は低下したが、KP-0.5から上流で H.W.L. を超過する結果が得られた。

整備計画河道では、整備計画目標流量は H.W.L. 以下で流下されることを確認した。

### 3. 河口改修に伴う河床変動への影響予測

河口改修による流下断面増に伴う河道の応答を把握するため、長期的な河床変動予測を実施した。

#### (1) 簡便法<sup>3)</sup>による河道変化傾向の把握

まず最初に、簡便法により現況河道と整備計画河道の摩擦速度、無次元掃流力の比較を行った(図-11, 12)。現況河道に対する整備計画河道の摩擦速度の変化は、河口部を除き15%の範囲に収まっている。河口部は、掘削による河積の増加に伴い整備後は径深(水深)が増加し、流速が減少するため、摩擦速度、無次元掃流力とも低下することから、堆積傾向となることが予測される。

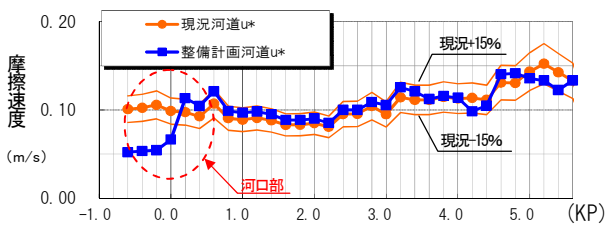


図-11 摩擦速度縦断面図

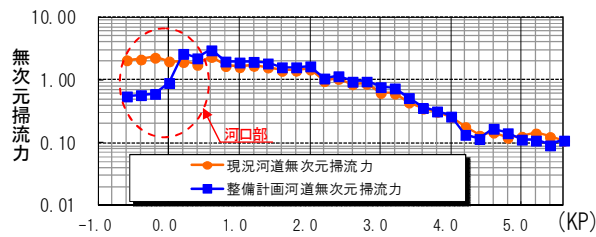


図-12 無次元掃流力縦断面図

表-1 一次元河床変動計算条件

項目	内容
計算区間	KP-2.0~KP24.8(直轄区間はKP-0.6~KP25.2)断面ピッチは200m 経年的に河床が安定しているKP24.8を計算上流端とする
計算流量	平成7年1月1日から平成19年12月31日までの実績時間流量
起算水位	留前港における毎時潮位
基礎式	掃流砂量: 芦田・道上の式 浮遊砂量: 板倉・岸の式
上流端条件	モデル上流端(KP24.8)で動的平衡状態とする

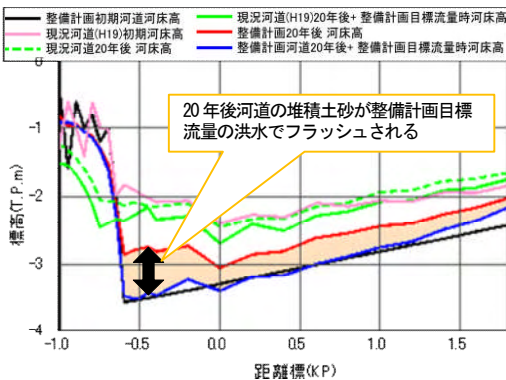


図-13 一次元河床変動計算結果

#### (2) 一次元河床変動計算による河床変動予測

簡便法の分析結果を踏まえて、河口部の長期的な河床変動の把握のため、表-1に示す条件にて一次元河床変動計算による検討を行った(図-13)。

整備計画河道では、河口部の掘削箇所において、20年間で0.5m~0.8m程度堆積するが、整備計画目標流量規模の出水で概ねフラッシュされる結果が得られた。

### 4. 平面形状の比較分析

河口部改修の河道法線については、既往検討及び港湾管理者との協議により定められたものだが、今回、改修着手に先立ち、平面二次元河床変動計算による、河道の安定性等の再検証、施工性やコストの観点からの再検証を行い、その妥当性を確認した。

#### (1) 平面二次元河床変動計算による河道の安定性の検証

河道の直線化の効果を確認するため、平面二次元河床変動モデルを用いて、現況河道法線案と直線河道法線案の流況比較を行った(表-2)。

計画規模洪水における、水位上昇と土砂堆積傾向を比較した結果、直線河道法線案では、摩擦速度、無次元掃流力及び流速がそれぞれ、現況河道法線案に比べて全体的に高くなることと、河口~KP-0.4にかけての低減が少なくほぼ一定となることから、水位低下効果が高く、土砂堆積が軽減されることが確認できた(図-14, 15, 16)。

表-2 平面二次元河床変動計算条件

項目	内容	
計算領域	範囲: 海城(KP-1.4)~ノシゴベ川合流点(KP4.0) 解析メッシュは境界適合型直交曲線とし、サイズは横断方向に最小約2~3m、縦断方向に最小約5m	
流れの計算	計算法	平面2次元不定流計算
	抵抗則	Manningの抵抗則
河床変動計算	流砂量式	芦田・道上の式
	浮遊砂量式	板倉・岸の式
境界条件	上流端流量	大和田基準点計画ハイドロを河口での目標流量(850m <sup>3</sup> /s)となるように割増
	上流端流砂量	モデル上流端(KP4.0)で動的平衡状態とする
	下流端条件(潮位)	期望平均満潮位+密度差(TP+0.44)を下流端に与える

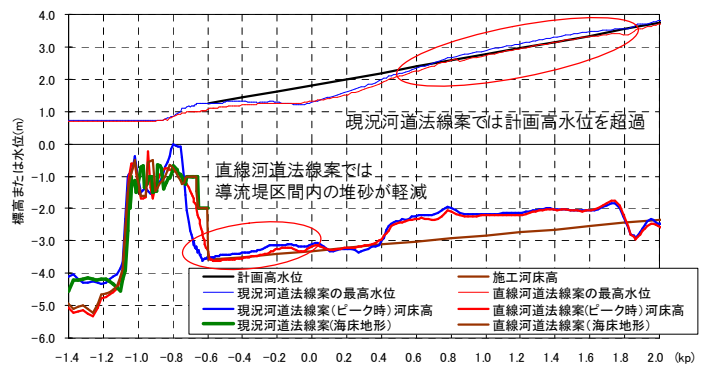


図-14 平面二次元河床変動計算結果(河道中心付近)

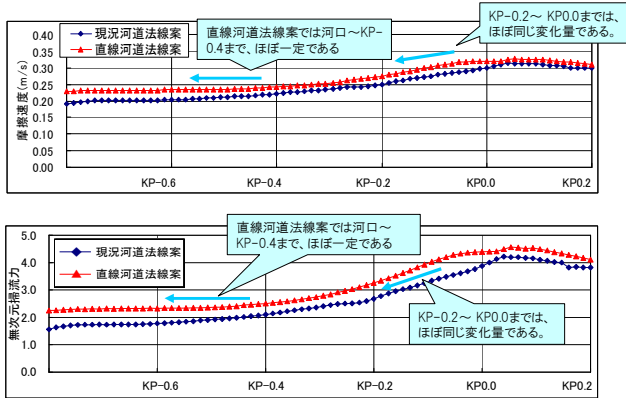


図-15 摩擦速度、無次元掃流力の縦断分布

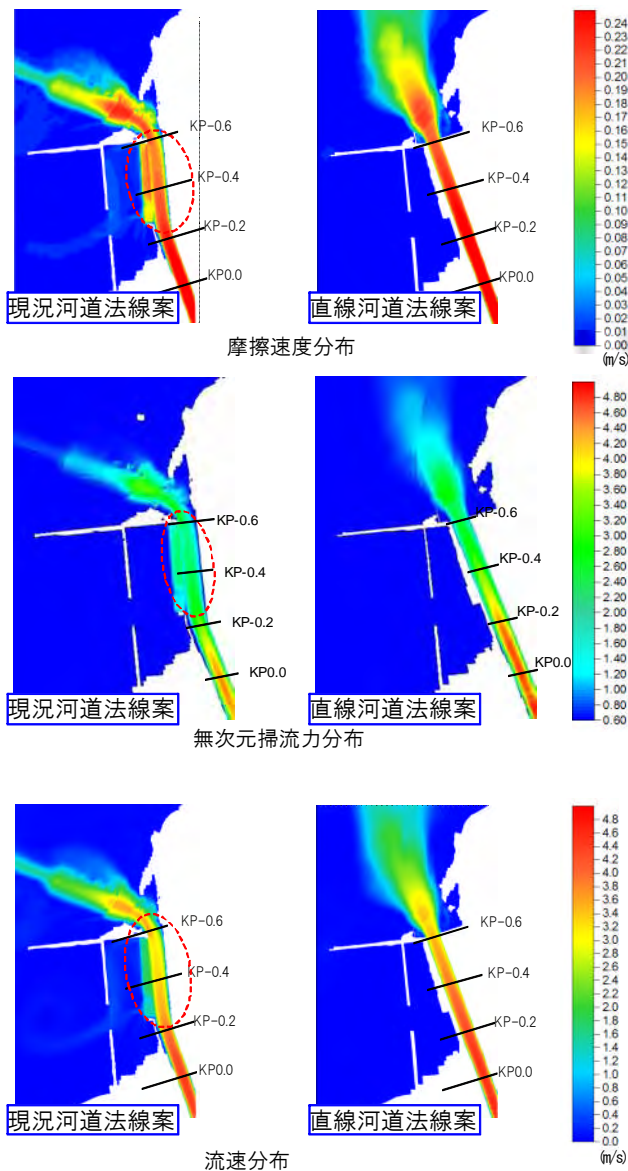


図-16 摩擦速度、無次元掃流力、流速解析結果

(2) 施工性と整備コストの比較

現況河道法線案と直線河道法線案について、施工性、整備コストの観点から比較を行った。

Yuichi Imamura, Seiichi Yano, Hiroyuki Amano

現況河道を活かした改修を行う場合、既設導流堤の撤去に際し仮設導流堤が必要となる。一方、直線河道法線案では、この仮設が不要なこと、掘削土を旧河道の埋め立てに活用できることから、コスト面、施工面で有利である。

5. 河口付替えによる影響の把握とモニタリング

河口位置が変わることによる影響の把握、及び上記解析結果を検証するためのモニタリング方法について検討を行った。

(1) 河口部改修による応答

波浪による影響の把握のため、非定常緩勾配方程式<sup>4)</sup>を用いた波浪計算を実施し、地形変化量の予測を行ったが、高波浪時においても、波浪はマウンド沖側で碎波するため河道内の波高は0.1m、流速は0.1m/s程度と小さく、河道法線形状による地形変化傾向の違いは見られない結果(図-17)となった。

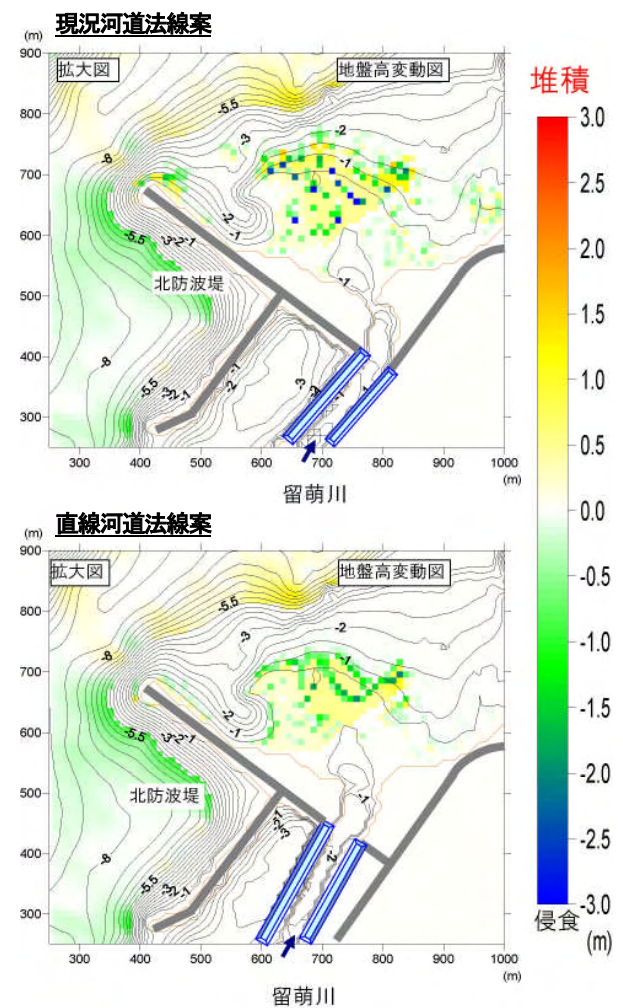
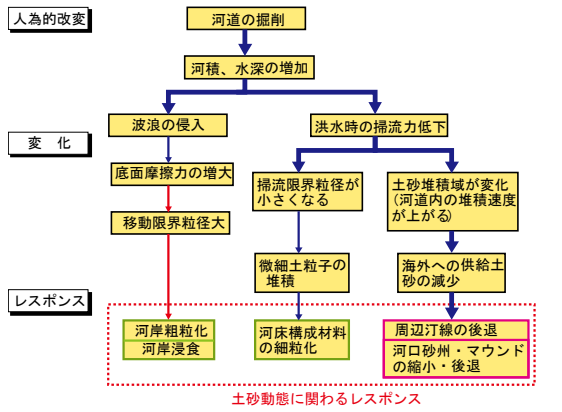


図-17 地盤高変動図



レスポンス

河岸・河床・干涸に関するもの  
河口地形・汀線に関するもの

線の色は調査手法の技術的難易度を示したものである  
一般化されたツールで詳細可能  
推定の域を出ない

図-18 インパクト・レスポンス

(2) インパクト・レスポンス<sup>5)</sup>の検討

河道の直線化による、海域を含めた河口部周辺の地形変化の傾向把握と、地形変化が与える影響を予測するため、インパクト・レスポンスの整理(図-18)を行った。

今後、予測されるレスポンスに着目したモニタリングを継続して検討を行っていく。

(3) 出水時の動態把握

河口部の出水による河床変動の実態を把握するため、また、工事後の検証のための基礎資料とするため、マルチビーム測深機(図-19)を用いた地形測量を実施した。



図-19 マルチビーム測深機の概要

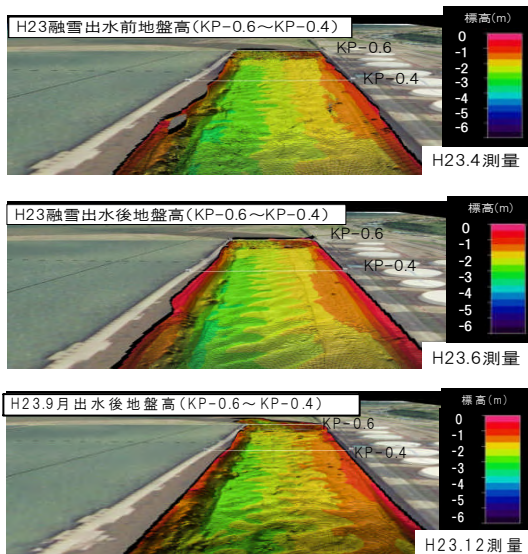


図-20 鳥瞰図

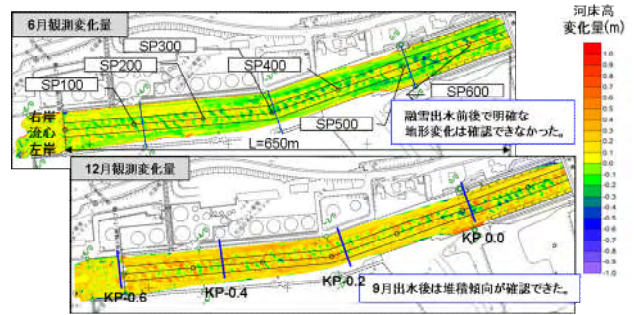


図-21 出水前後の地形比較

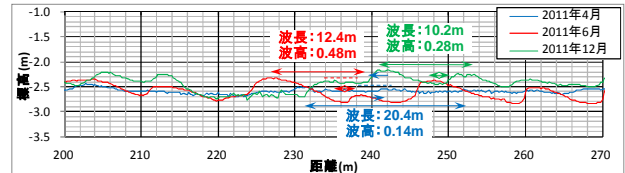


図-22 H23 融雪、9月出水前後の河床波形状

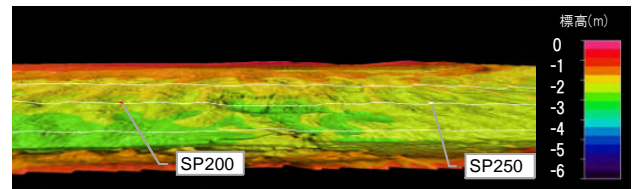


図-23 H23.9月出水後(12月測量)の河床形状

a) マルチビーム測深機を用いた河床形状調査

平面的な河床形状の観測は、従来シングルビーム測深機が主流であったが、近年は、より広範囲における面的な観測が可能で高精度のデータが得られるマルチビーム測深機が利用されていることから、堆砂状況の詳細把握を目的とし、マルチビームによる調査を、H23年融雪出水前後(河口部で140m<sup>3</sup>/s程度)、及びH23年9月出水後(河口部で190m<sup>3</sup>/s程度)の計3回実施した。(図-20)

融雪出水規模では明確な地形変化は確認できなかったが、9月出水前後では、堆積傾向が確認され、河床波の存在も確認できた(図-21, 22, 23)。

小規模河床形態は表-3に示すとおり、H/λが0.016~0.024、λ/Hは4.1~5.7となっており、Lower Regimeの砂堆に分類される<sup>6),7)</sup>ことを確認した。

今後も、出水前後で観測を行いデータを蓄積し、河床波にも着目しつつ動態把握を行っていく予定である。

表-3 砂澁と砂堆の形状特性(平均値)

留萌川河口の砂澁と砂堆の形状特性						
観測時期	縦断測線	波長λ(m)	波高H(m)	水深h(m)	H/λ	λ/h
2011年4月	左岸	11.3	0.21	2.73	0.019	4.139
	流心	12.4	0.22	2.84	0.018	4.697
	右岸	12.4	0.22	2.36	0.018	5.254
2011年6月	左岸	12.4	0.20	2.75	0.016	4.509
	流心	12.0	0.24	2.62	0.020	4.580
2011年12月	右岸	11.1	0.19	2.42	0.017	4.587
	左岸	11.3	0.21	2.32	0.019	4.871
	流心	10.7	0.26	2.26	0.024	4.735
	右岸	11.3	0.26	1.98	0.023	5.707

## b) モニタリング調査項目の検討

河道直線化後の河口周辺の地形や河床材料の変化の把握などのため、事業実施後もモニタリング調査<sup>8)</sup>を行うこととし、表-4に示す調査項目(案)の抽出を行った。今後は、これらについて継続的に調査を実施していく予定である。

表-4 モニタリング調査項目(案)

項目	目的	観測内容
河口部地形調査	河口部の河道形状の変化を把握する	<ul style="list-style-type: none"> <li>マルチビーム測量による地形測量</li> <li>観測地点: KP-1.4~留萌橋</li> </ul>
河口部流れの調査	大規模出水時における河口部の流れ特性や河床変化特性を把握する	<ul style="list-style-type: none"> <li>出水時に河口部の空中写真、ビデオ撮影により、流況を把握</li> </ul>
	河口部のフラッシュ現象を把握する	<ul style="list-style-type: none"> <li>河口部に水位計、砂面計、濁度計、波高計を設置し、洪水時の河床の変化や濁り、流れを連続的に計測</li> </ul>
水位観測	河口部の大規模出水中の水面勾配を連続的に観測することにより、河口部流れの状態を把握する	<ul style="list-style-type: none"> <li>自記観測により水面勾配を連続的に観測</li> <li>観測地点: KP-0.6~KP2.8の区間で5測点観測</li> </ul>
流砂量(浮遊砂)調査	河道部の浮遊砂量を観測して、浮遊砂量と掃流力及び流量との関係を把握して、土砂堆積・沈降の実態を明らかにする	<ul style="list-style-type: none"> <li>比重、粒度分布を計測</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>水深、水面勾配、流速分布、流量、横断面形状を計測(高水流量観測で実施)</li> <li>高濃度濁度計による連続観測(流量観測地点で実施)</li> </ul>
河床材料調査	現状の砂州部及び河道部の河床材料を調査することにより、砂州の構成材料・現河道の河床材料の変化を把握する	<ul style="list-style-type: none"> <li>比重、粒度分布を計測</li> <li>観測地点: 河口砂州地点、及びKP-0.6~KP25.0</li> </ul>

## 6. おわりに

本検討では、河口部改修に伴う河道計画の再検証を行った。

各種水理計算においては河口部の地形特性等を考慮に入れて解析の精度の向上を図るとともに、長期的な河道の安定性、直線化の効果の再検証を行い、妥当性を確認した。

また、河口付替えによる影響把握のためのモニタリング方策の検討を行い、維持管理に向けての取り組みの整理を行った。

今後は、本検討の結果を踏まえ、河口付替え後の動態や検討結果の検証のためのモニタリングを行っていく予定である。

**謝辞:** 河口部の検討にあたり、留萌川のリバーカウンセラーである、北海道大学大学院 工学研究院 泉典洋教授からご指導をいただきました。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- 国土交通省北海道開発局：留萌川水系河川整備計画，2006
- 栗城 稔，末次忠司，小林裕明，田中義人：横越流特性を考慮した破堤氾濫流量公式の検討，土木技術資料第38巻第11号，pp. 56-61，1996
- 財団法人国土技術研究センター：河道計画検討の手引き第7章，pp. 153-155，2002
- 本間仁／堀川清司：海岸環境工学，pp. 274-278，1985
- 汽水域の河川環境の捉え方に関する検討会：汽水域の河川環境の捉え方に関する手引書第4章，2004
- 水理委員会研究小委員会：移動床流れにおける河床形状と粗度，土木学会論文報告集第210号，pp. 73-86，土木学会，1977
- 水理委員会研究小委員会：洪水流の三次元流況と流路形態に関する研究，土木学会論文集第345号，pp. 41-52，土木学会，1984
- 国土交通省北海道開発局河川計画課／独立行政法人土木研究所寒地木研究所：大規模出水時調査要領(案)，2010