

釧路港周辺海域の流動特性

FLOW CHARACTERISTIC AROUND KUSHIRO PORT

山下俊彦¹・村川佳宏²・阿部島直哉³・川口勉⁴

Toshihiko YAMASHITA, Yoshihiro MURAKAWA, Naoya ABESHIMA, Tsutomu KAWAGUTI

¹ 正会員 工博 北海道大学教授 大学院工学研究科 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

² 学生会員 北海道大学修士2年 大学院工学研究科 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

³ 正会員 株式会社クマシロシステム設計 技術解析部 (〒060-0807 北海道札幌市北区北7条西2丁目 8 北ビル 4F)

⁴ 日本データサービス株式会社 設計解析室 (〒065-0016 北海道札幌市東区北16条東19丁目)

The flow property around the port entrance of west side of the Kushiro port was clarified by the flow observation and the numerical analysis of tidal current and nearshore current. During calm periods, an anti-clockwise circulation is formed around the port entrance. The flow toward the port entrance is superior in the west side of port. During storm periods, an anti-clockwise circulation is formed by both the nearshore current and the tidal current around the port entrance, these currents flow in the port entrance offing side, and out from the shore side. The flow toward the port entrance by these currents is superior on the west side of the port. During both calm and storm periods, flow characteristics that occurred sedimentation of channel and anchorage were clarified.

Key Words : Tidal current, nearshore current, port sedimentation

1. はじめに

近年, 釧路港西港区では航路・泊地の埋没が問題となっている. 図-1 は平成 15 年 12 月～平成 17 年 1 月の釧路港西港区の堆積状況を表した図であり, 西側の港口, 航路付近の堆積が多く, 0.8m 以上に達している. この港の特徴は, 港外では主に細砂などの粗い粒径の土砂が堆積しているのに対し, 航路, 泊地では粘土やシルトなどの細かい粒径の土砂が堆積しており, 通常開放性の港湾では見られない航路, 泊地部での細粒土砂の堆積が発生している. 平澤ほか¹⁾ (2005) は航路泊地部の細粒土砂の堆積は, 周辺河川から供給された懸濁物の凝集が寄与していること, 平澤ほか²⁾ (2006) はその凝集効果への工場排水の影響を室内実験により定量的に明らかにしている. また両研究では現地観測により流動・濁度特性の検討と地形変化モデルの構築を行っている. しかし, 港口周辺の流動特性については十分検討がなされていない. そこで本研究では航路, 泊地埋没のメカニズムを解明するために重要となる港口周辺の流動特性に着目し, まず, 現地観測により港周辺, 特に港口の流動特性を明らかにする. 次に, 潮汐と海浜流の数値シミュレーションを実施し, 実測値と比較検討する. 通常開放性海岸に建設された港湾の港内埋没では高波浪時が重要になるが, 釧路港ではシルト成分の堆積が発生するため, 高波浪時だけでなく静穏時の流動特性も調べた. さらにシル

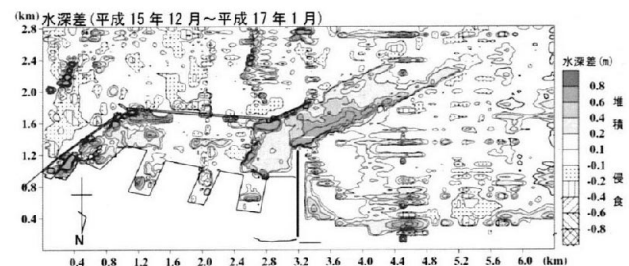


図-1 釧路港西港区の堆積状況

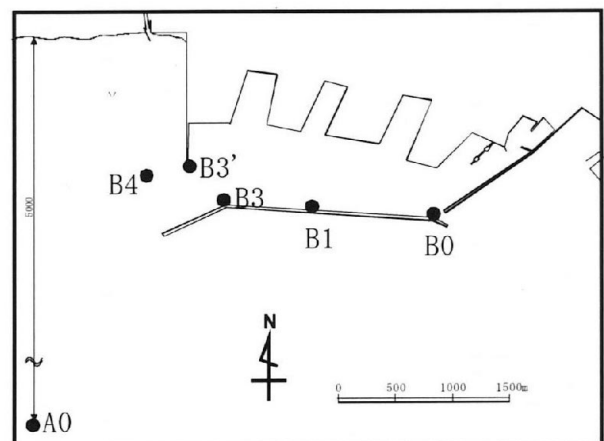


図-2 現地観測地点

ト成分は底面近傍だけでなく、全水深で多量の移動が発生するため、水深方向の流動特性も調べた。

2. 現地観測と流況解析

(1) 現地観測概要

現地観測は平成 16 年 9 月 4 日から 10 月 17 日までの 44 日間実施した。観測地点を図-2 に示す。A0, B0, B1, B4 では ACM-8M により中層と下層の 2 層の流況観測を実施した。A0 地点では WAVE HUNTER により、波高・流速観測を行った。B3、B3' で H-ADCP を防波堤に固定して、B3～B3' 区間約 470m を水平方向 5m 毎に防波堤から航路中心方向に約 110m 区間の中層（水深 7.2m）の流速観測を行った。流速変動は測定結果の一時間平均値として求めた。また西港口の 3 次元流動特性を把握するため、B3～B3' 区間で 9 月 17 日の静穏時上げ潮時、下げ潮時各 1 回、ADCP を用いた航行観測を行った。なお、B0 地点では測定ノイズが大きかったこと、B1 地点では測定流速が 2～3cm/s と小さかったため、以下の考察では、航路埋没等に重要な港口付近の流動に着目した。

(2) 流況解析概要

流況解析の対象は、潮流と波により発生する海浜流とした。潮流計算は、主要 4 分潮の各成分及び恒流を浅海長波の方程式を有限要素法で解く手法により求め、観測値を調和分解した結果との比較により再現性を確認した上で、当該海域の位相差を考慮して再合成する方法とした。一方、海浜流計算は、あらかじめ緩勾配方程式を有限要素法で解く手法により波高分布計算を実施し、ラジエーション・ストレス分布により算定する方法とした。ここで、荒天時における観測波高の最大値が概ね 5.0m であり、また波向はほぼ一定して S 方向であることから、波向は S で波高は 1.0m 毎にステップ上に変化するものと仮定し、各波高で準定常状態の海浜流を求めた。なお、潮流・海浜流ともに 1 層レベルで計算を行い、平面的な流速ベクトル分布を求めた他、観測地点に対応する節点での流向・流速の時系列を算出した。

3. 静穏時流動特性

(1) 固定点観測

静穏時の一例として H16 年 9 月 16 日～18 日の中層の現地観測結果を図-3 に示す。この期間の波高は 0.4～0.6m である。各地点の流動は潮位変化に連動してほぼ同様の日周変化している。港口付近に着目して見ると、構造物 B3 から 26.4m 地点では平均的に ESE の港内流入方向であり、86.4m 地点では周期的に港外への流出、港内への流入が見られ、流速も最大で 15cm/s 程に大きくなっている。B3' から 26.4m、86.4m 地点は共に SW の流向で港外流出方向である。

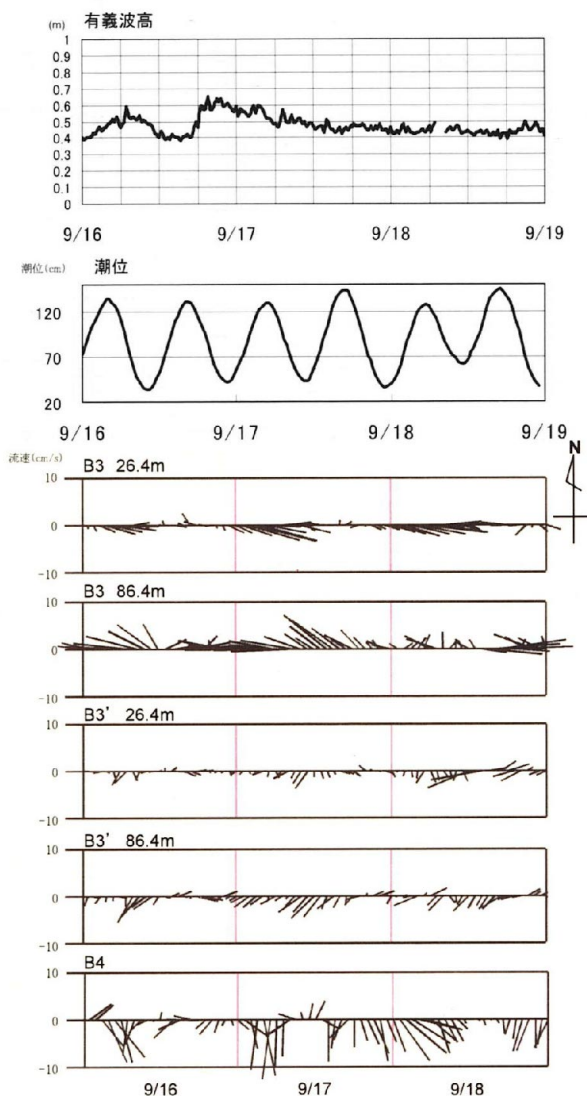


図-3 静穏時観測結果

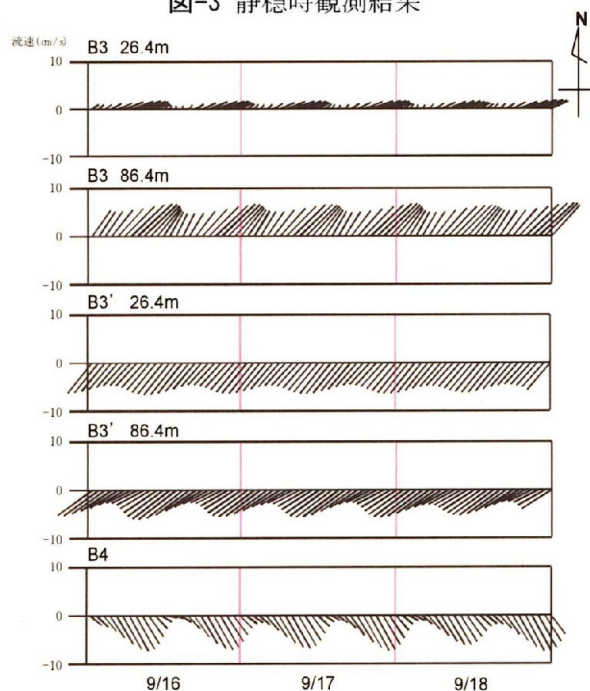


図-4 静穏時潮流計算結果

B3, B3' 側共に構造物から距離が離れるにつれて流速は大きくなっている。B4 地点は平均的に S 方向への流れが強い。このように潮汐に伴う流速変動も構造物近傍では往復流とならず、ある方向に卓越した流れになっている。

同期間の潮流計算結果を図-4 に示す。港口付近については、B3' 側では平均的流れは港外流出方向となり実測と一致している。B3 側では平均的流れは港内流入方向であり、B3 から 26.4m 位置では少し実測の方が南寄りではあるが港内流入方向は一致している。しかし B3 から 86.4m では実測で流入、流出と流向が変化しており計算結果と一致していない。この理由の一つとして港口付近で発生・移動する剥離渦等の影響が考えられるが詳細は不明である。また計算で得られる 12 時間の周期的変動は実測値とはあまり一致していない。次に B4 地点では、9 月 17 日 12 時以降は実測と計算は 12 時間の周期的な流れとその流速の大きさを含めて比較的よく一致している。一方、9 月 17 日 12 時以前は、実測では N 方向よりの流れが発生する等計算との違いが少しある。

(2) 航行観測

ADCP を用いた西口断面流況の航行観測は、H16 年 9 月 17 日の下げ潮時 (7:59~8:05 で往路、8:08~8:13 で復路) と上げ潮時 (13:12~13:28 で往路、13:29~13:34 で復路) に、水深方向に 1m 毎 (-2m~-14m) の 13 層を観測した。一例として下げ潮、上げ潮時の復路について、航行経路と観測時の潮位を図-5 に、観測結果の一例を図-6 に示す。下げ潮時の実測値を見ると、水深方向の流速の変化は少なく、B3 側では NE の港内流入方向、B3' 側で SSW の港内

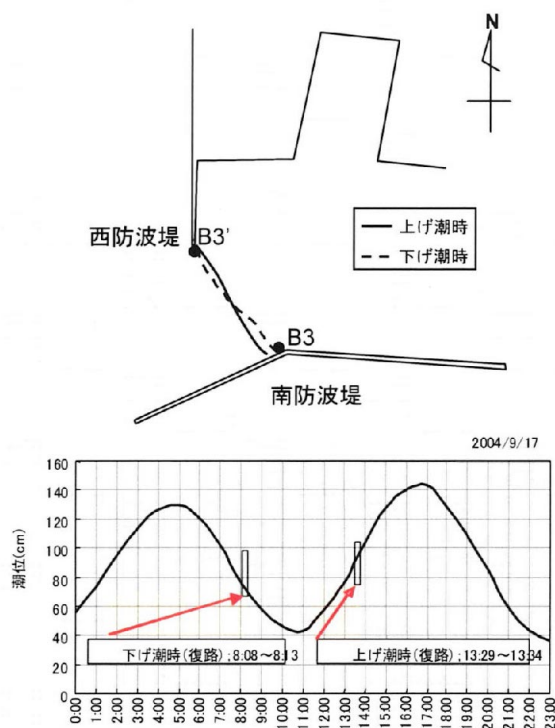


図-5 航行経路と観測時潮位

流出方向であることがわかる。上げ潮時については B3-B3' 間で-9m より上層では大略的に見ると B3 側で港内流入方向、B3' 側で港外流出方向であ

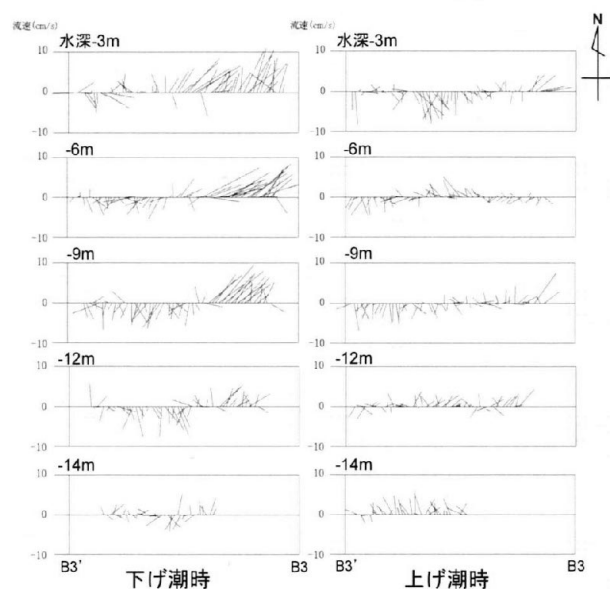


図-6 航行観測結果

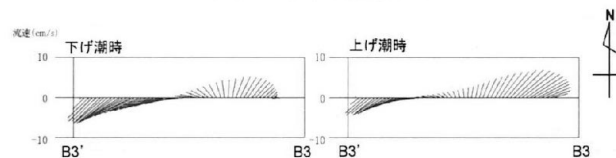


図-7 航行経路での測定計算結果

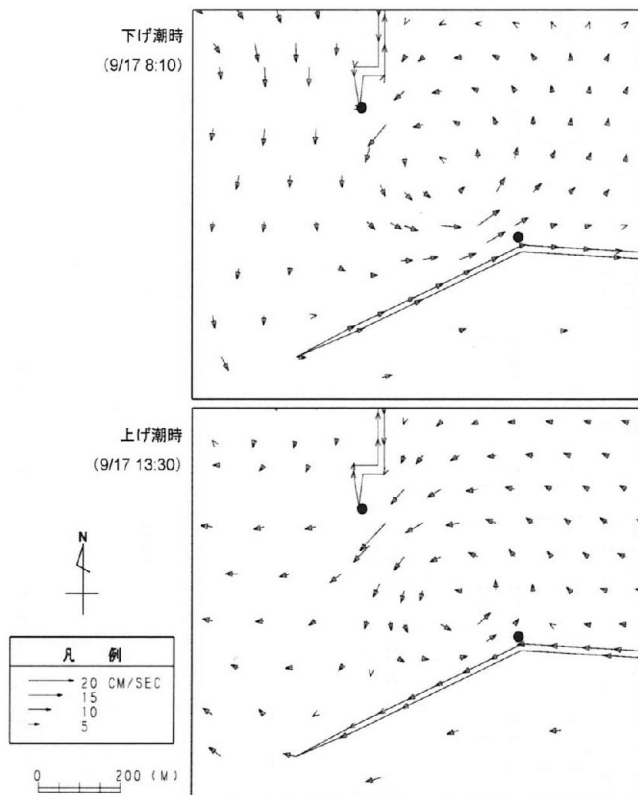


図-8 潮流計算結果

り、-12m より下層では全域で港内流入方向である。B3-B3' の中央付近では表層で S 方向の港外流出方向、下層で N 方向の港内流入方向と水深方向に異なることがわかる。

図-7 に航行観測に対応する潮流計算結果、図-8 に航行観測時の潮流の平面分布の計算結果を示す。下げ潮時の計算結果には、航路中央部を境にして流入・流出が変化し、流速・流向とも実測とよく一致している。上げ潮時も SW 方向の港外流出方向となる範囲が広いが下げ潮時とほぼ同様の流れが計算されている。これは実測値の水深-9m 以浅の上層とは比較的良く一致しているが、下層は流向が異なるため一致していない。図-8 の平面図を見ると、港口付近には、下げ潮時、上げ潮時とも同規模の反時計回りの渦流が計算されていることがわかる。もう少し詳しく見ると、下げ潮時よりも上げ潮時の渦の中心が B3 の方に寄っていて、B3' 側の港外流出流速が大きくなっている。

4. 荒天時流動特性

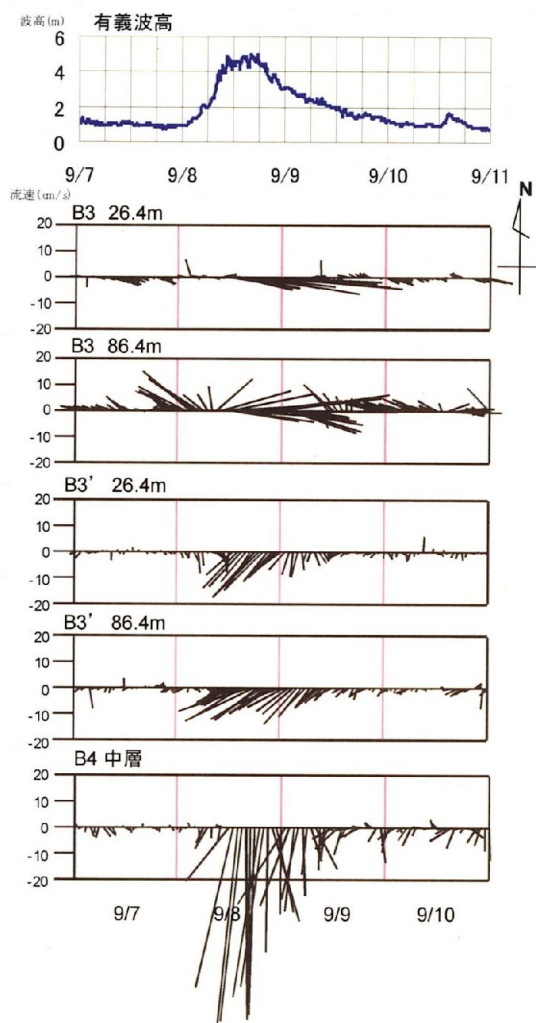


図-9 荒天時観測結果

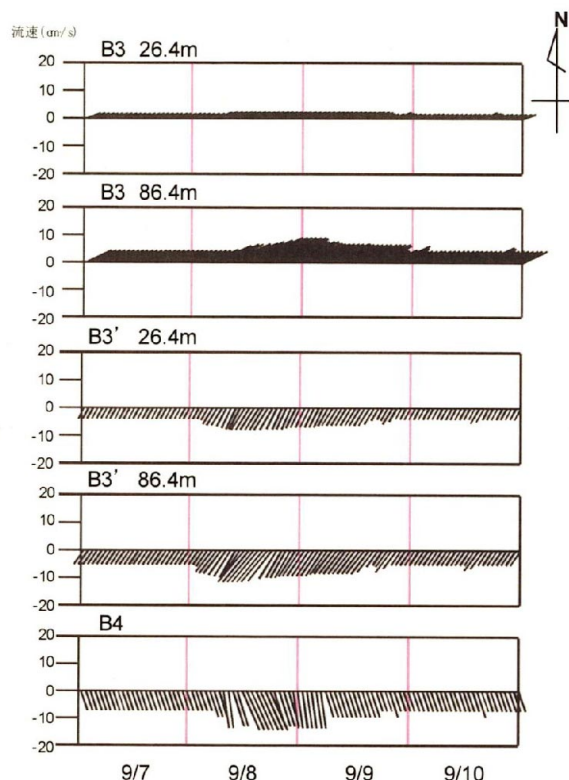


図-10 荒天時（海浜流）計算結果

荒天時の観測結果の一例として H16 年 9 月 6 日～12 日の中層の観測結果を図-9 に示す。まず波高 4m 以上の高波浪時(8 日 12 時～18 時)について述べる。台風 18 号の到来していたこの時期は、B4 地点では南方向の流れが卓越しており、波高のピークに合わせて流速もピークとなり最大 70cm/s の流れが発生している。西港口 B3～B3' 区間では、B3 側の構造物から航路側へ 26.4m の地点では港内流入方向の ESE で最大 30cm/s 程度、86.4m 地点では港内流入方向の E で、最大 60cm/s 程度の流れが発生している。一方、B3' から 26.4m 地点では港外流出方向の SW で 25cm/s 程度、86.4m 地点では流出方向 SW で 25cm/s 程度である。以上より高波浪時に港外の浅海域で巻き上がった土砂は B4 地点の流れが示す様に防波堤に沿って航路方向に輸送され、航路に堆積すると共に、B3 方向から港内に流入し、港内で沈降し土砂濃度が下がった港内水が B3' 方向から流出している事がわかる。次に波高の増大期と減衰期について述べる。減少期(8 日 18 時～9 日 8 時)の流向は波高最大期の方と、ほぼ同じで波高の減少につれて流速も小さくなっている。一方、増大期(8 日 6 時～12 時)は、それ以前の流れの影響等により流向、流速共に大きく変化している。

図-10 に波高を 1m 毎変化させて求めた海浜流の計算結果を示す。流向については B3 側で NE の港内流入方向、B3' 側で SW の港外流出方向、B4 で SSE の港口方向で波高の大小にかかわらずほぼ一定であることがわかる。流速は波高増大につれて大きくなり

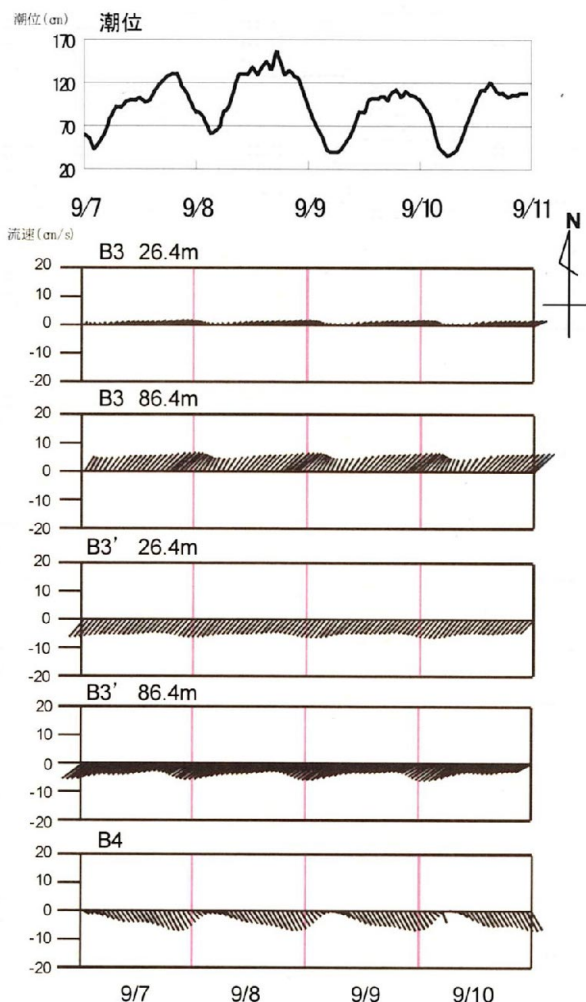


図-11 荒天時（潮流）計算結果

B4 等で最大 15cm/s に達している。B3-B3' 間では中央部の方が流速が大きくなっている。

図-11 に潮流の計算結果を示す。各地点で潮位変動につれて流速が約一日の周期で変動している。流向については潮位変化によらずほぼ一定で、前述の海浜流の方向とほぼ一致している。流速の最大は B4 等で 10cm/s で程度である。

図-12 に計算で得られた海浜流と潮流を合成した結果を示す。荒天時（8 日 6 時～9 日 8 時）を図-9 の実測値と比較すると、流向は B3 の 86.4m 地点を除いて比較的良く一致している。流速については、特に波高 4m 以上の最大波高期間で、B4 地点で実測値の方が計算値より 2 倍程度大きくなっているが、それ以外の地点では大きな差はない。この実測値が大きくなった理由の一つとして吹送流の影響が考えられる。次に、荒天時以外の期間を比較する。B3' から 26.4m, 86.4m, B4 地点では流向や一日周期の変動は実測値と計算値でほぼ一致している。しかし流速については計算値の方が約 2 倍程度大きくなっている。これは図-10、図-11 を参照すると波高が小さいところの海浜流が大きめに計算されているためと推定される。B3' から 26.4m, 86.4m 地点については、港口

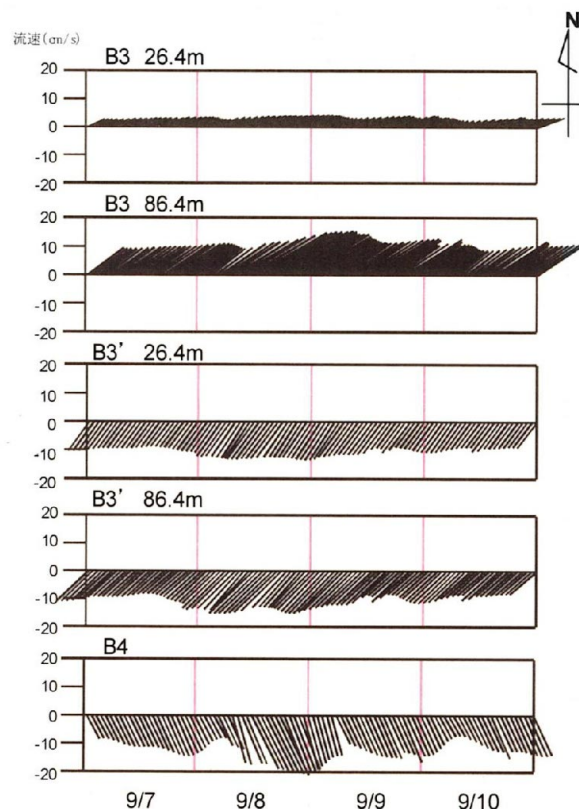


図-12 荒天時（海浜流+潮流）計算結果

付近での渦等の影響で実測の方が速度ベクトルの変動が大きく、計算値との一致度は低い。

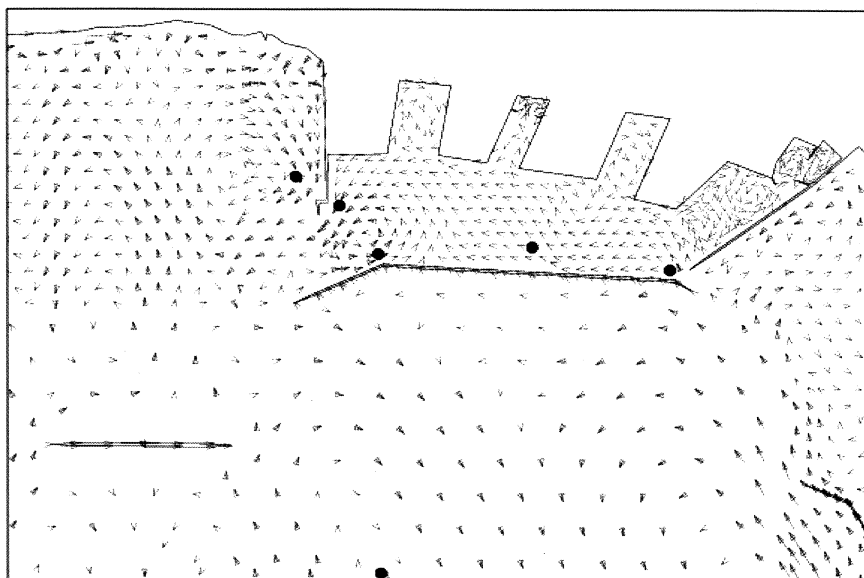
図-13 に波高 2m と 4m の場合の海浜流の計算結果の平面分布を示す。図中●印は観測地点である。全体の流れのパターンは、波高 2m と 4m でほぼ同じである。港口付近には反時計回りの渦、B4 付近には港口方向に向かう流れが発生しており、これは図-7、図-8 の潮流のパターンと同じである。高波浪時には港西側の浅海域で発生した浮遊砂が西港向きの沿岸流により運ばれ、B4 地点で見られる様に防波堤に沿って港口方向に移動させられ、港口では B3 側から流入し、B3' 側から流出することがわかる。

5. おわりに

釧路港西港区港口周辺の静穏時と荒天時の流動観測結果と潮流及び準定常状態の海浜流の解析結果と比較検討することにより、以下の点が明らかとなった。

- ① 静穏時では、流れは主に潮流により駆動され、港口周辺には反時計回りの渦が形成され、B3 側は流入方向、B3' 側は流出方向である。西港西側 B4 地点では港口方向の流れが卓越する。
- ② 静穏時港口観測では、上層と下層で流向が異なる場合があることがわかった。

波高2m時



波高4m時

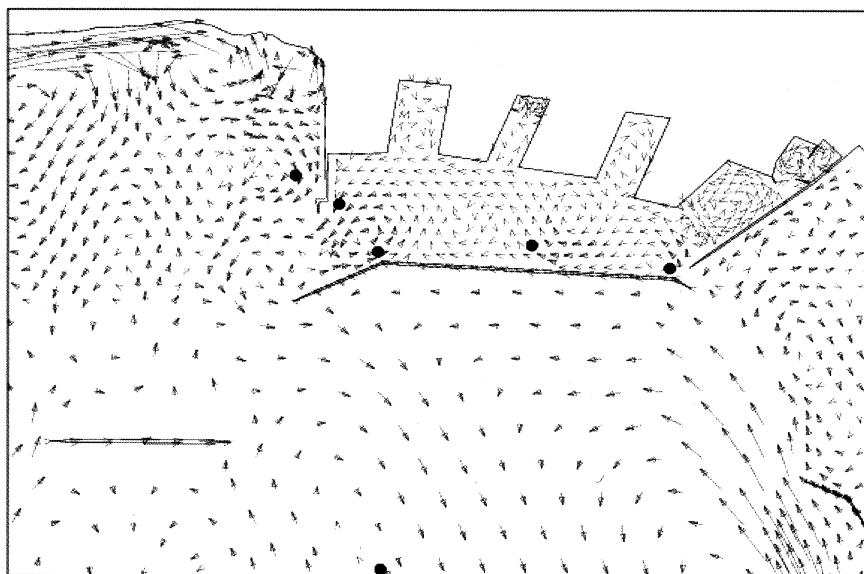
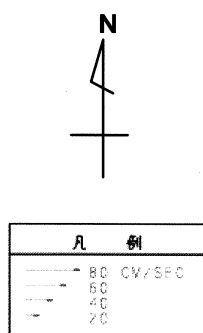


図-13 荒天時海浜流の平面分布

- ③ 荒天時の海浜流は，潮流と同様港口周辺の反時計回りの渦，B4 地点での港口方向の流れが卓越する．
- ④ 静穏時には潮流，荒天時には海浜流+潮流によりほぼ同じ流動パターンとなり，浅海域で発生した高濃度浮遊砂が西防波堤沿いに港口方向に輸送され，航路で一部堆積し，残りの高濃度の浮遊砂が B3 方向から港内に流入し，沈降堆積し，低濃度となった浮遊砂が B3' 方向から流出していることが推定された．
- ⑤ 実測値と計算値の差異が，海浜流の流速の大きさや港口付近の流動パターンに見られた．今後，海浜流解析の改良や，吹送流，港口付近の剥離流の考慮が必要と考えられる．

謝辞：最後に，本研究を進めるにあたり，北海道開発局釧路港湾事務所より，貴重な現地データを提供していただいた．ここに感謝の意を表する次第である．

参考文献

- 1) 平澤充成，金田充，松本浩史，川口勉，佐藤寿彦，山下俊彦：釧路港周辺における細粒底質移動現象に関する現地調査，海洋工学論文集，第 52 巻，pp. 461-465，2005
- 2) 平澤充成，金田充，菅原吉浩，川口勉，阿部島直哉，山下俊彦：釧路港周辺における細粒底質移動特性について，海洋工学論文集，第 53 巻，pp. 461-465，2006