

冬期暴浪時の石狩湾新港周辺での流動・漂砂特性

本間大輔* ・窪内 篤** ・先川光弘***
山下俊彦**** ・安井塔基***** ・宮武 誠*****

石狩湾新港周辺の現地観測により、流動と漂砂の時空間変動特性を把握し、漂砂の非平衡性を明らかにした。漂砂の流動外力としては、海浜流、吹送流、長周期波が重要である。波高変化時の海浜流、波高分布の時間変化を数値解析により妥当な精度で再現できた。また、長周期波の発生特性を現地観測と数値解析で明らかにした。長周期波は高波高時に大きくなるセットダウン波で、港内への浮遊砂輸送の重要な要因である。

1. ま え が き

砂浜域における港湾・漁港では、航路埋没や港内細粒化の問題を抱えている港は少なくない。この現象には掃流砂の他に砕波帯内で巻き上がった浮遊砂が港内等に堆積する現象が重要である。この場合、ある地点の浮遊土砂量はその地点の水理量から決めることができない非平衡漂砂となる。これらの解決には高波浪時だけでなく、流動と漂砂の時空間変動特性を把握する必要がある。また、流動外力として海浜流、吹送流、長周期波等が複雑に関係している。そこで、詳細な現地観測を実施し、流動と漂砂の時空間変動特性および漂砂外力としての流動特性を把握し、海浜流、長周期波については数値解析により比較検証した。

2. 現 地 調 査

石狩湾新港周辺に 2002 年 12 月 18 日～2003 年 2 月 3 日の期間、水深 6～23.5 m の広域の 8 地点(図-1)で現地観測を実施した。設置機器は多層流速計(ADCP)、波高計(W・H)、流速計(ACM-8M)、砂面計、濁度計である。また、設置した機器の詳細な設置水深および仕様を表-1 に示す。なお、表中に示す機器設置の数値はセンサー部の海底面上からの距離を表している。

表-1 設置機器の詳細

調査地点	設置水深 (m)	多層流速 (ADCP)	波高計 (W・H)	流速計 (ACM-8M)	砂面計	濁度計
St. 7	23.5	1.0 m	—	—	海底面	—
St. 8	6	—	—	2.0 m	—	—
St. 9	12	1.0 m	1.0 m	—	海底面	0.5 m, 3.0 m, 7.0 m
St. 10	11	—	1.0 m	6.0 m	海底面	0.5 m, 3.0 m
St. 11	10	1.0 m	1.0 m	—	海底面	0.5 m, 3.0 m, 6.0 m
St. 12	6	—	1.0 m	3.5 m	海底面	0.5 m, 3.0 m
St. 13	9	—	—	3.0 m	—	—
St. 14	15	—	1.0 m	—	—	—
測定間隔	20 分	20 分	60 分	20 分	60 分	—
測定時間	3 分	20 分	3 分	—	3 分	—
サンプリング間隔	2 秒	0.5 秒	1 秒	5 発信	1 秒	—

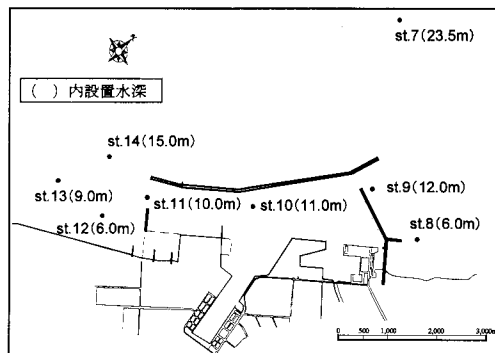


図-1 調査箇所図

3. 暴浪時の現地流動特性

図-2 に観測期間中最大の波高が発生した 1 月 4 日～7 日の風、波、平均流の実測値を示す。なお、平均流は 2 時間平均の値である。(a) 風、(b) 波を見ると 1 月 5 日～6 日にかけて強い北西の季節風により、最大で有義波高 5.5 m の波が発生している。(c) は水深 24 m の st. 7 の中層の流速である。北西の強風が発生する時期に北西の流れが発生し、水深が深いことを考えると主に吹送流と考えられ、風向きとは逆の吹送流の補償流が発生している。(d) は水深 8 m の st. 8 での中層の流速である。防波堤に沿う西向きの強い流れが発生しており、この地点は水深が浅く、港湾構造物の影響を受けた海浜流が卓越していると推察できる。(e) は水深 6 m の st. 9 での中層の流速である。1 月 5 日の 21 時頃から欠測となっているが、これは 6 日前後の高波浪により計測機器が埋没したことが原因であった。(f), (g), (h) は水深 10 m の st. 11 の上層、中層、下層の流速である。高波浪時の 1 月 6 日午前を見ると、上層、中層は港外に出る流れで、下層は逆の流れであり、鉛直方向に分布を持っていることがわかる。(i)～(l) は、st. 11～st. 14 の中層もしくは下層の流速である。高波浪時の 1 月 6 日 6 時を見ると、反時計回りの環流が発生していることがわかる。また、(c), (d), (f) 等の流速の時系列を見ると、潮流と考えられる 12 時間と 24 時間周期の流れの変動は小さく、潮流によ

* (独法)北海道開発土木研究所 港湾研究室
** 正会員 (独法)北海道開発土木研究所 港湾研究室
*** 正会員 北海道開発局 港湾建設課 港湾技術係
**** 正会員 工博 北海道大学助教授 大学院工学研究科
***** (株)間組
***** 正会員 工博 日本データサービス(株)

る影響はほとんどないと推測される。

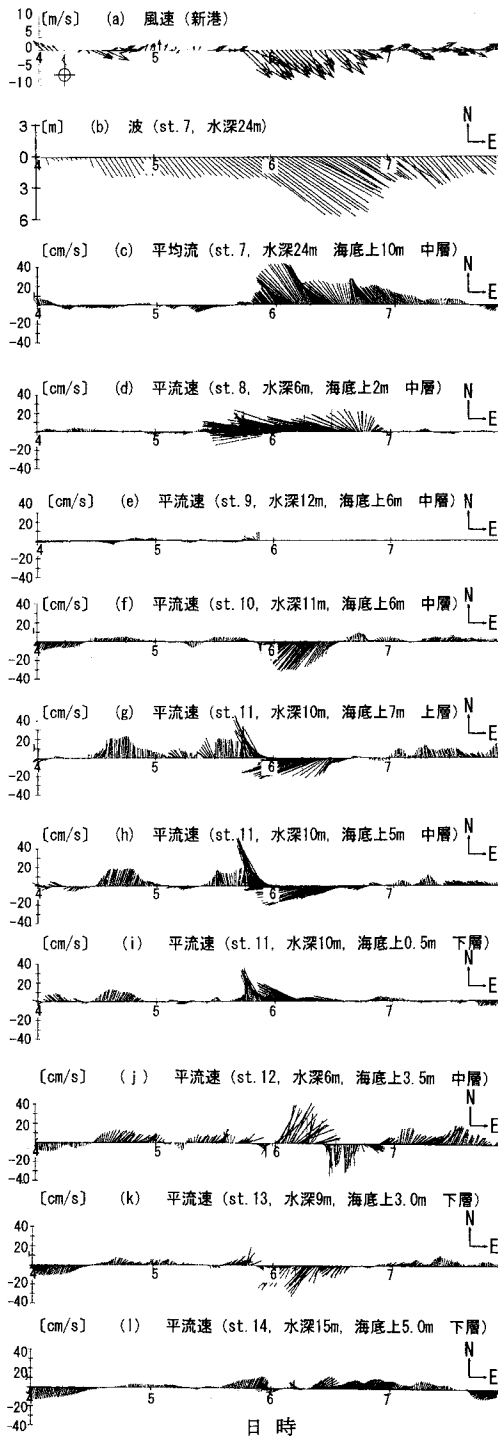


図-2 観測期間中の風、波、平均流

4. 流動の時空間変動特性

図-3 に一例として高波浪時 1 月 5 日 18 時, 1 月 6 日 6 時, 1 月 7 日 0 時における中層の平均流の空間分布を示す. 1 月 5 日 18 時では風、波共に少し港に対して左(西から東)よりの入射方向であり, 港西口 (st. 11) から港内に流入し, 港内 (st. 10) でも同方向である. 1 月 6 日 6 時では風、波とも少し右(北から南)よりの方向となり, 港西口から流出し, 港内と同方向で 5 日 18 時の時と流れは逆方向である. また, 1 月 7 日の 0 時では, 再び風、波高共に少し港に対して左よりの入射方向になり, 港西口から流入し, 港内でも同方向の流れに変化している. なお, これらの現象が発生しているときの, 港西側

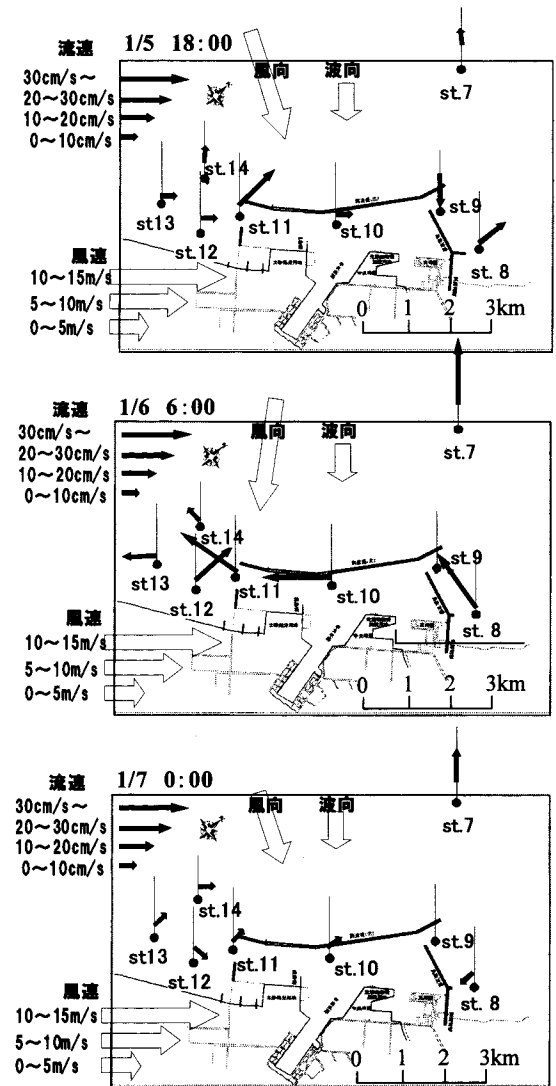


図-3 流動の空間分布

海域での流動 (st. 11~st. 14) は、港西口から流入する場合にはほぼ同じ方向であり、港西口から流出する場合には、反時計回りの環流となっている。以上のように高波高時の石狩湾新港周辺では、風と波の入射方向の変化により流動が顕著に変化するため、漂砂現象を的確に捉えるためにはこれらの現象を考慮する必要がある。

5. 漂砂特性

図-4 に st. 7, st. 10, st. 11, st. 12 の砂面変動を示す。また、そのときの st. 7 の波高と st. 7, st. 10 の濁度を図-5(a) に、st. 12 の波高と st. 11, st. 12 の濁度を図-5(b) に示す。図-4 に示すとおり、1月6日の高波高時に、比較的水深の深い st. 7 において 15 cm 程度の砂面変動があり、その他の地点についても 5 cm~10 cm の変動があった。また、観測期間中では、すべての地点で 20 cm~30 cm の堆積が確認された。

図-5(a), (b) を併せて見ると、1月6日の高波高時に港外および港内の濁度が大きくなっており、砂面計による変動も、各観測地点で堆積が進行している状況が確認される。また、st. 10 と st. 11 では、1月6日~7日においては、堆積から浸食の傾向が強く出ており、港内では地形変動の起きやすい細粒分が卓越していると推定され、高波高期間中の流れの変化に敏感に反応する地形特性がみられた。また、この期間中に st. 7, st. 10 における濁度は、st. 7 の波高のピークから遅れて濁度のピークが発生しており、別の場所で巻き上がった浮遊砂が輸送されていると考えられる。st. 12 の濁度は st. 12 が砕波点になった1月5日22時および6日19時頃に高くなっている。

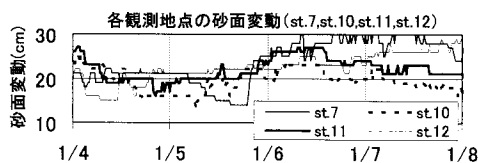


図-4 st. 7, 10, 11, 12 の砂面変動

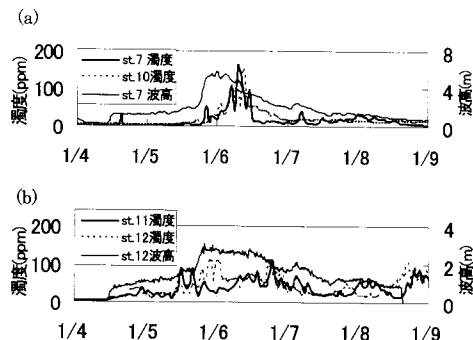


図-5 st. 7, 10, 11, 12 の濁度と波高の関係

st. 11 の濁度は、砕波帯内で発生した浮遊砂が平均流 (後述する海浜流および長周期波) で輸送されてくる5日15時 (st. 11 で港内に向かう流れ) で高く、6日0時頃の高波高時には港外流のため低くなっている。以上のように高波高時の石狩湾新港周辺の、漂砂の非平衡性を明らかにした。

6. 流動外力について

流動外力としては、一般に海浜流、吹送流、長周期波、潮流がそれぞれ複雑に影響しながら発生している。石狩湾新港周辺の漂砂現象に重要となる流動は、前述の様に潮流を除き海浜流、吹送流、長周期波と考えられる。ここでは、海浜流と長周期波について、現地観測結果と数値解析により検討する。

(1) 海浜流特性

海浜流の数値解析を行う際に、現地で得られた連続観測値の波高分布を外力として与えた。波浪変形は渡辺・丸山 (1984) の非線形非定常緩勾配方程式を用いて解析した。なお、外力となる入射波の沖波波高および周期は、st. 7 の現地連続観測値を2時間毎に分割し、2時間平均の波浪条件として与えた。海浜流の計算は、各波高について収束計算を行った。

図-6 は、st. 9, st. 11 での現地における波高分布と数値解析の時系列を比較したものである。計算結果は、現地の波高分布を良く再現している。なお、ここに示していない他の地点においてもほぼ一致する結果であった。

図-7 は、1月5日18時における2次元平面海浜流モデルによる計算結果を示したものである。現地観測で得られた流速ベクトルの空間分布 (図-3 最上図参照) と比較すると、観測値位置の岸側の領域では局所的な環流が形成される流れが発生していることがわかる。海浜流成分が大きいと考えられる st. 8, st. 11, st. 12, st. 13 では、観測値と計算値の流速・流向ともに比較的良好に一致している。また、その他の地点では本解析結果では正しく評価できないところがあるが、海浜流とは別の吹送流等の流速成分が影響しているものと考えられる。

図-8 は一例として st. 8, st. 11 の計算値の流速ベクトル

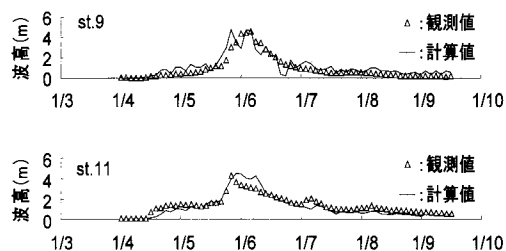


図-6 実測値と計算値の時系列波高分布

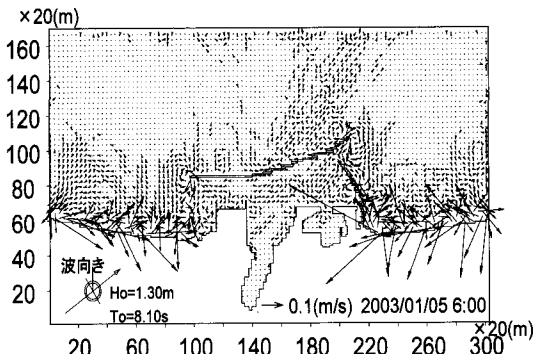


図-7 海浜流のベクトル分布 (計算値)

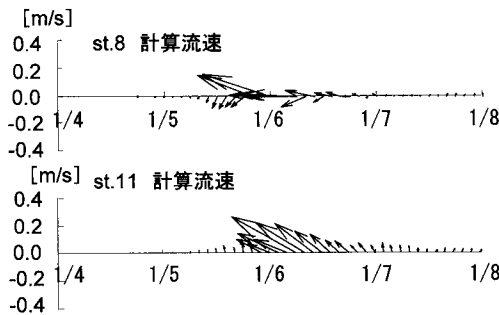


図-8 st. 8, st. 11 における時系列の海浜流 (計算値)

ルの時系列を比較したものである。st. 8 の中層の観測値 (図-2(d) 参照) は計算値とほぼ一致し、海浜流の卓越が認められた。また、st. 11 の計算値は、下層については観測値 (図-2(i) 参照) とほぼ一致するが、中層では異なるため下層では海浜流が、中上層では吹送流が流れの支配要因であると推察される。

(2) 長周期波特性

図-9 に st. 7 の有義波高と長周期波の関係を示す。長周期波高は有義波高の 2 乗に比例し、セットダウン波が発生している。長周期波の卓越周期はスペクトル解析から 90 秒で、有義波高が 5.5 m のとき波高 0.65 m の長周期波が発生していた。なお、長周期波の定義としては、周期が 30 s~600 s までとした。

図-10 は、st. 10 での有義流速と長周期波による振幅流速の経時変化を示したものである。図より、観測値の港内平均流は 50 cm/s 程度で、長周期波流速振幅は 40 cm/s に達している。図-9 からわかる様に、日本海側では長周期波は大量の浮遊砂が発生する高波浪時に高いことがわかる。これは、三船ら (2001) も報告しているように、高波浪時の港外の高濃度の浮遊砂が、長周期波による港内に向かう流れにより港内に流入・沈降するため港内の堆積現象には重要であることがわかる。

図-11 は、st. 7 における長周期波高に対する各測点の長周期波高の割合の観測値結果である。全体的には、港内の st. 10, st. 11 の長周期波の st. 7 の長周期波に対する比は小さく、st. 10 で 1.0, st. 11 で 0.6 程度である。一方、港外の st. 9, st. 12, st. 14 は 2 倍程度の増幅率になっている。水深の浅い st. 12 では、波高の小さい波に対して碎波点近傍になるため、長周期波の増幅率が大きくなっている。

図-12 は、波高 0.65 m の長周期波を作用させたときのブシネスク方程式 (平山・平石, 2001) での実測値と計算値を示したものである。長周期波高は st. 9, st. 12, st. 14 で増幅し、st. 10, st. 11 で減少する観測値を良く

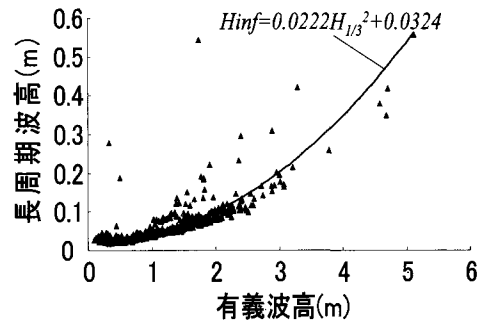


図-9 st. 7 の有義波高と長周期波の関係

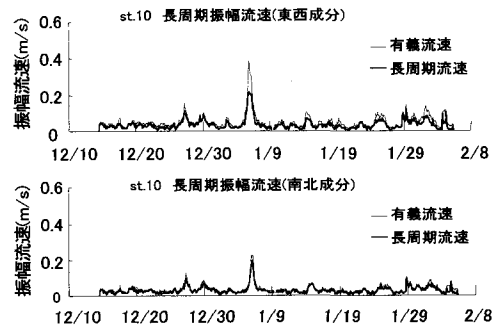


図-10 st. 10 の長周期波による振幅流速の経時変化

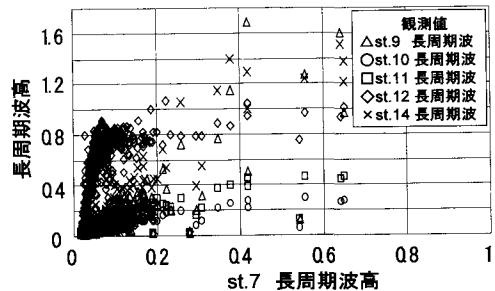


図-11 長周期波の増幅特性

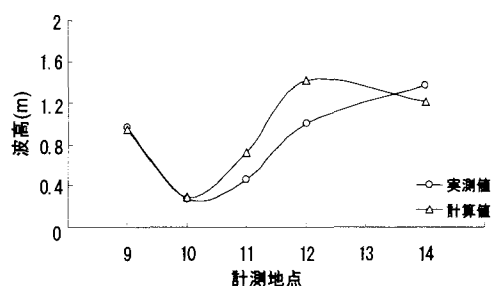


図-12 長周期波高の実測値と計算値の比較

再現している。

7. ま と め

本研究で得られた結論を以下に要約する。

- ① 石狩湾新港周辺の現地観測により、流動と漂砂の時空間変動特性を把握し、漂砂の非平衡性を確認した。
- ② 漂砂の主な流動外力としては、砕波帯内では海浜流が、海域全体で吹送流が、港内では長周期波が重要である。
- ③ 現地観測値から海浜流および波浪変形の非定常性を確認し、波浪変形計算、海浜流モデルにおいて、沖波波浪の時間的変動を考慮した結果、現地の波浪変形や海浜流を妥当な精度で再現することができた。

- ④ 長周期波解析を行った結果、港内への静穏性に及ぼす影響は大きいことを確認した。また、ブシネスク方程式による非線形分散長波モデルを用いて計算した結果、長周期波は、港外では増幅し港内で減少する現地観測を良く再現した。また、長周期波は高波高時に大きくなるセットダウン波で、港内へ浮遊砂を輸送する要因になっていると考えられる。

今後は、本研究をさらに進め、石狩湾全体の土砂収支を評価できるシミュレーションプログラムを作成する予定である。

謝辞：本研究を進める上で、北海道開発局小樽港湾事務所から現地データの提供をうけた。ここに記して謝意とする。

参 考 文 献

- 平山克也・平石哲也 (2001): ブシネスクモデルにおける透水層を用いた任意反射境界処理法の開発, 港湾技術研究所報告, 第40巻, No. 1, pp. 3-30.
- 三船修司・川口 勉・松本英明・渡辺博美・荒井直人・山下俊彦 (2001): 北海道日本海沿岸の長周期波特性と漁港内の漂砂現象に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 546-550.
- 渡辺 晃・丸山康樹 (1984): 屈折・回折・砕波減衰を含む波浪場の数値解析法, 海岸工学論文集, 第31巻, pp. 103-107.