

石狩湾新港周辺の三次元流動特性

山下俊彦* ・木下大也** ・星 秀樹*** ・鳴海日出人****
橋本 剛***** ・福本 正***** ・多田彰秀*****

1. はじめに

従来, 海岸工学では海岸付近の流れとして碎波帯内に発生する海浜流が主に研究されてきた。しかし, 最近現地観測等により碎波帯外にも強い流れが存在していることが指摘されている。例えば, 佐藤 (1995) は, 北陸沿岸の水深 15 m 地点で海岸線に沿う 1 m/s にも達する強い流れが存在し, この流れが風応力とコリオリ力によって維持されていることを報告している。また, 安田ら (1995) はこのような碎波帯外の強い流れには, 風応力の他に沖合砕波による運動量輸送が重要であることを指摘している。さらに, 山下ら (1997) は水深 20 m 程度の石狩湾沿岸では主に風応力に起因する数日程度の長周期流速変動が卓越し, その時空間特性を明らかにしている。このような流れは碎波帯外の深い水深帯でも大きな流速を持つため, 沖合の漂砂現象や生物の浮遊幼生の移流・拡散等に重要な役割を果たしていると考えられる。特に, 大規模港湾周辺の防波堤に沿う冲向きの流れと背後に形成される循環流は, 大規模な海浜変形や浮遊幼生の集積等の重要な要因になっている。山下ら (1996) は苫小牧東港周辺に形成される循環流の平面特性を明らかにしている。しかし, このような流動の現地観測例はまだ少なく, 発生要因としても風応力, 沖合砕波, 密度差, 陸棚波など種々考えられているため, 流動に関する物理機構は十分把握されていないのが現状である。

そこで本研究では, 石狩湾新港周辺の三次元流動特性と新港沖の長期の流動特性を現地観測データにより明らかにする。また, 石狩湾沿岸での流動の数値解析を行い現地データを比較検討する。

2. 現地観測データ

石狩湾新港周辺の流速観測地点を図-1(a)に示す。現地観測は, 1997 年 7 月 23 日~24 日に, ADCP (1200 kHz

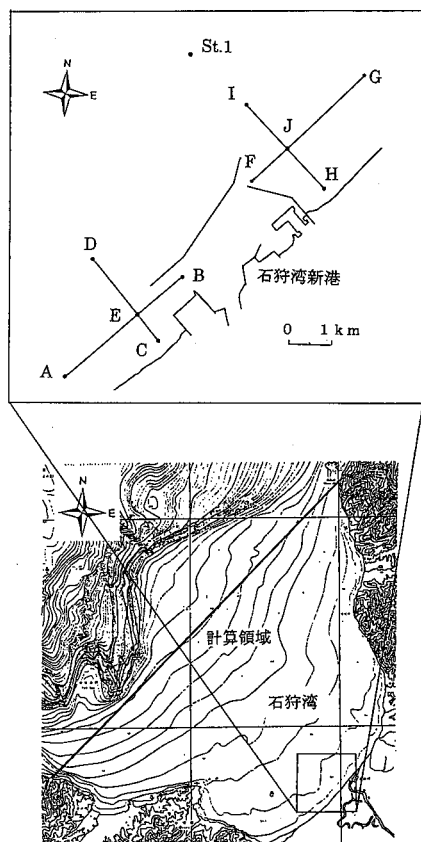


図-1 流速観測地点及び計算領域

と 600 kHz) を取り付けた 2 台の船で A~J 点を結ぶ 4 測線上を合計 17 回走航し, 水深 0.5 m あるいは 1.0 m ごとに約 40 秒間隔で流速を測定した。なお, AB, FG 間は約 3.5 km で汀線方向に平行で各々水深約 9 m と 10 m, CD, HI 間は約 2.5 km で汀線に直角方向で水深は 3 m~20 m の範囲に設定した。また, A~J 地点で STD を用いて水温, 塩分の鉛直分布を 8 回計測した。また, 長期データとしては, 1990 年~1995 年の 6 年間の St.1 (離岸距離 5 km, 水深 23 m) での海底上 1 m の 1 時間毎の 20 分平均流速 (北海道開発局小樽港湾建設事務所観測資料) を用いた。また, 風速については図-1 に示す石狩湾新港で測定されたデータ (小樽港湾建設事務所資料) を

* 正会員 北海道大学助教授 大学院工学研究科 環境資源工学専攻

** 正会員 住友金属工業(株)

*** 学生会員 北海道大学大学院 工学研究科

**** 正会員 日本データサービス(株)調査設計部

***** 正会員 西松建設(株)技術研究所

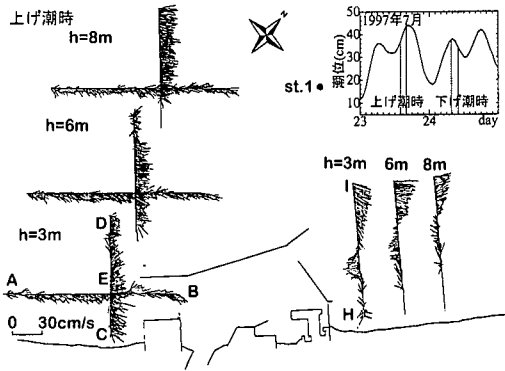


図-2 上げ潮時の港周辺の流動

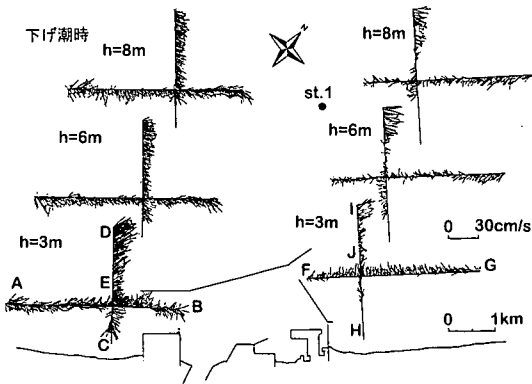


図-3 下げ潮時の港周辺の流動

3.4 で後述する。

3.2 港周辺の流動の鉛直分布特性

図-2, 図-3を見ると, 表層3mの流れは港周辺で潮汐の影響を受けやすいことがわかる。すなわち, 上げ潮時には湾内に向かう流れが, 港の西側では北東流を強め, 港の東側では循環流の南西流を強めている。下げ潮時には港から出ていく流れにより, 港の西側では北東流が北向きの流れになり, 東側ではJ地点付近の港に向かう流れを弱めI地点付近の北流を強めている。底層付近では潮汐の影響は少なく, 港西側では北東流が, 港東側では循環流が比較的同じような状態で生じている。また, 陸風による影響は, 表層3m(特に下げ潮時のFG測線)では離岸方向の流れ, 底層付近ではその補償流として向岸方向の流れとして現れている。

図-4は, 図-2と同じ上げ潮時の港東側のHI測線の流速測定結果である。循環流は表層から底層へ向かって流速が弱まり規模も小さくなっていることがわかる。また, 図-2を参照すると, 底層に向かうほど循環流の中心が沖側にずれていることもわかる。また, 測点Iは水深が約20mであるにもかかわらず, 底面付近で20cm/sを越える強い流れが発生していることがわかる。

図-5に, 一例として図-3の下げ潮時での港東側の地点での水温, 塩分, 密度の鉛直分布を示す。図中の()内の数字は測定時刻である。水温, 塩分, 密度は全地点で鉛直方向にも平面的にもほぼ一定であり, 密度流の効果は少ないと考えられる。

3.3 長期の流速変動特性

図-6に, 一例としてSt.1(底層)での夏(7月)と冬

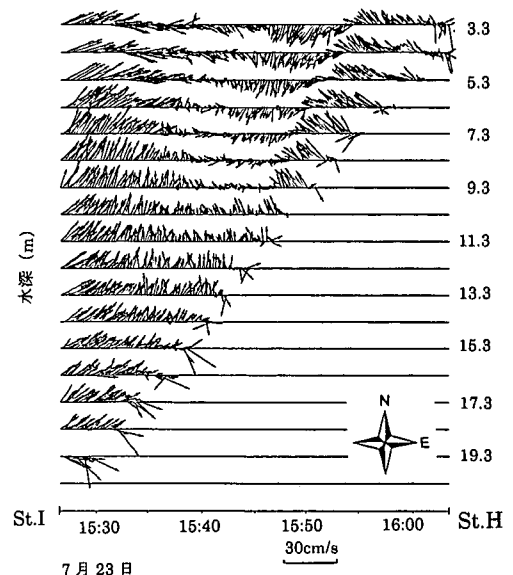


図-4 流動の鉛直分布 (HI 測線)

用いた。

3. 流速変動特性

3.1 港周辺の流動の平面分布特性

図-2と図-3に, 一例として各々代表的な上げ潮時(23日)と下げ潮時(24日)の流速測定結果を示す。図中には水深 $h=3\text{m}$ の結果を走航観測位置に, 水深6mと8mの結果は測定位置とは関係なく流れの特性がわかりやすい様に示している。図-2中に観測時間帯の潮位を示す。なお, 観測期間中は約5m/s程度の南東の風(陸風)が連風し, St.1での波高は30cm程度であった。これらの図を含む2日間の走航観測結果より, 港の西側では海岸線に平行な北東流が卓越していることがわかった。これはSt.1での固定観測の7月1ヶ月間の平均流とほぼ同じ方向である。港の東側では時計まわりの循環流が生じていることが確認できる。この循環流は前述の北東流が港湾構造物におつかりその後流域に発生したものと考えられる。循環流の大きさは, 離岸方向には防波堤先端までの離岸距離程度, 沿岸方向には離岸距離の2倍程度である。以上の流れは, 波高が小さいので海浜流とは本質的に異なる流れと考えられ, 北東流については

(1月)の1995年の代表的な流速と風速のデータを示す。夏,冬共に,流速及び風速には低気圧の通過に伴う3~7日程度の長周期変動が見られ,このような変動が卓越していることがわかる。夏7月の底層での流れはコリオリ力を介して風と同方向で少し右向きに流れており,表層

と底層での流向の逆転現象はほとんど見られない。一方,冬1月の底層での流れはコリオリ力が加わりながら風と逆方向に流れるケースが多いことがわかる。日本海側では夏に比べて冬は季節風が強いいため,岸境界の影響で底層に補償流が発生し,表層と底層の流向の逆転現象を起こしたと考えられる。冬には水深23mの位置でも約40cm/sを越える強い流れが発生することがわかる。また,春(3月,4月)と秋(9月,10月)では,風が弱いときの底層での流向は風と同方向となり,風が強いときの流向は風と逆方向となることがわかった。このように,春と秋は夏と冬の両方の傾向が混在しており,複雑な流動をしていることがわかった。さらに,1ヶ月間の平均風速と平均流速を求めてみると,夏の5月~8月は風が沖方向に吹く南東風で,底面の流れが走航観測時と同様汀線と平行な北東流となり,この傾向は4ヶ月間全てにおいて見られた。一方,冬の11月~2月は風が岸方向に吹く北西風で,底層流れが汀線と平行な南西流となり,この傾向も4ヶ月間全てにおいてみられた。

図-7(a)~(d)に図-6と同時期の風速,流速のスペクトルを計算した結果を示す。これらの図より,風速は低気圧の通過に伴う3~7日程度の周期を持つ変動が卓越していることがわかる。流速も風速変動に対応して,同様の長周期変動が卓越していることがわかる。風が強い冬の流速のスペクトルを見ると,この長周期変動は潮汐流よりも約10倍大きいことがわかる。また,風速は汀線

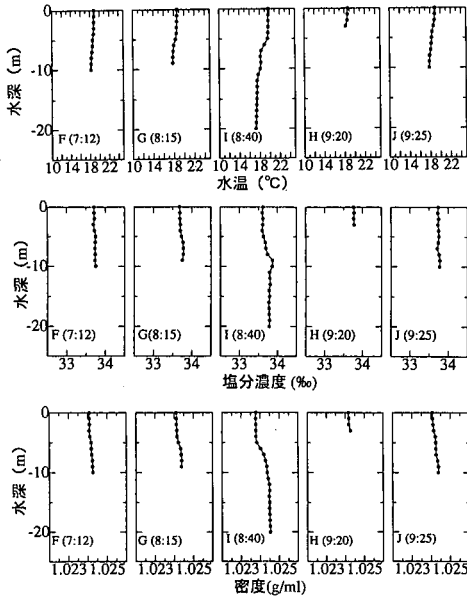


図-5 水温, 塩分, 密度

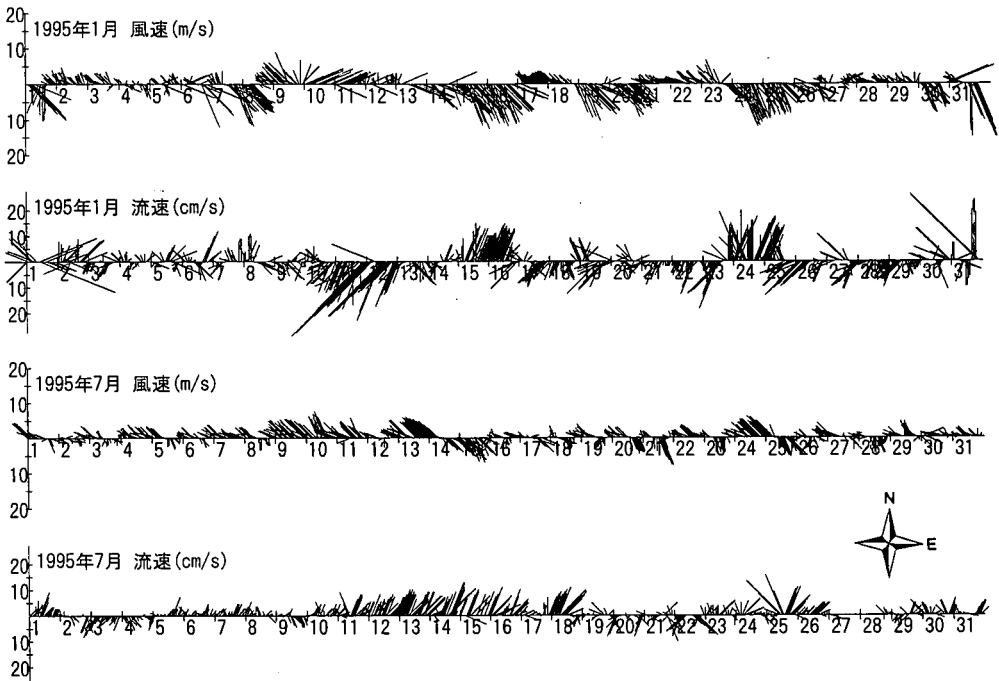


図-6 1995年1月, 7月の風速, 流速

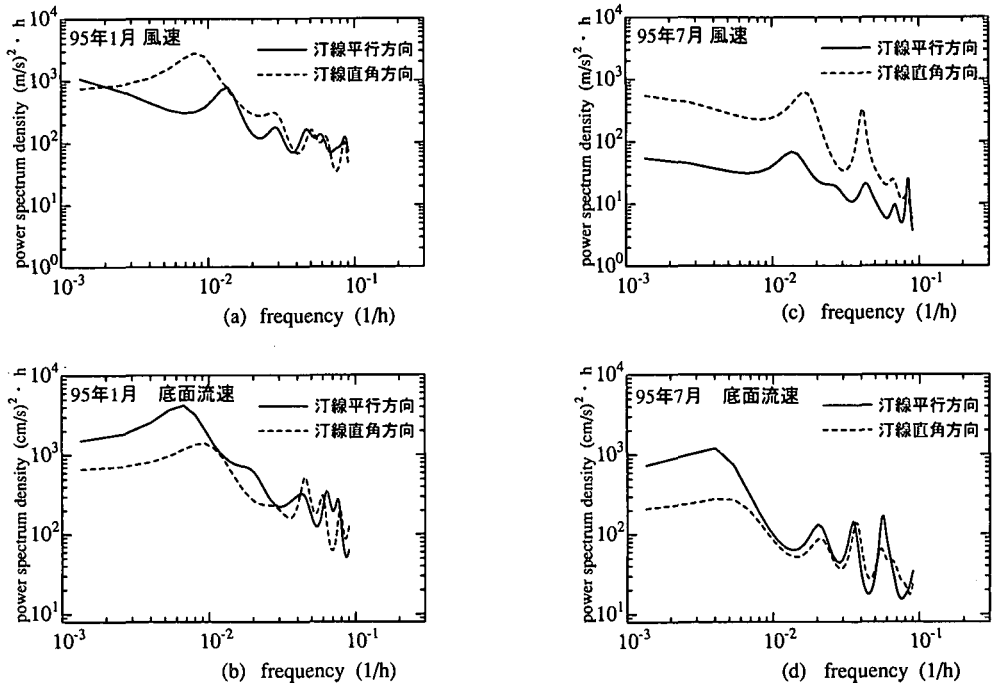


図-7 風速と流速のスペクトル

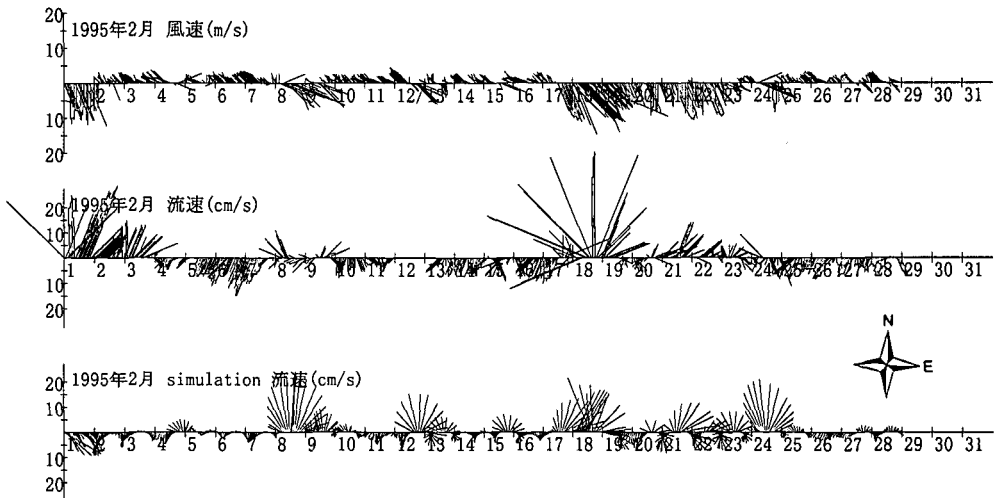


図-8 流動の数値解析結果

直角方向成分が卓越し、流速の長周期変動は汀線平行方向成分が卓越することがわかる。

4. 流動の数値解析

風による吹送流が卓越すると考えられる冬期を対象として石狩湾沿岸の流動の数値解析を試みる。石狩湾沿岸の冬季の海水密度はほぼ一定なので、次の基礎方程式を用いて解析した。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + (U \cdot \nabla)U + w \frac{\partial U}{\partial z} + f k \times U = -\frac{1}{\rho_0} \nabla p + \nu_h \Delta U + \nu_v \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot U + \frac{\partial w}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

ここに、 U ：水平2次元流速ベクトル、 w ：鉛直流速、 ∇ ：水平微分演算子、 f ：コリオリパラメータ、 k ：鉛直単

位ベクトル, ρ_0 : 密度, p : 圧力, v_h, v_v : 水平, 鉛直渦動粘性係数, Δ : 水平 2 次元ラプラシアン, g : 重力加速度である。格子分割は, 図-1 に示す計算領域を水平方向には 1.5 km 間隔で, 鉛直方向には 10 層に分けた。計算の時間間隔 Δt は C.F.L 基準から 30 秒とした。外力としては, 風は時々刻々のものを用い, 計算領域内で一様とした。

図-8 に, 一例として 1995 年 2 月の計算結果と風速, 流速の現地データを示す。1 日～3 日を除けば, 全体として流速観測データとシミュレーション結果の傾向はほぼ一致していることがわかる。8 日, 18 日, 21 日の強い北西の海風に対して, 観測データとシミュレーション結果は底面では補償流として北向きの流れとなっている。6～7 日, 10～11 日, 13～17 日, 25～28 日の南東の陸風が吹いた場合にも同様に補償流により観測データとシミュレーション結果は南向きの流れとなっている。1 日～3 日では観測流速とシミュレーション結果は方向が逆になっている。この原因ははっきりしないが, ここに示していない 1 月 30 日と 31 日の流れは北向きの強い流れとなっており, シミュレーションと観測データで時間差が発生している。

5. おわりに

石狩湾新港周辺での 2 台の ADCP を用いた走航観測

により, 港周辺の三次元流動特性, 特に港背後の循環流のスケールと三次元構造及び港前面の流れの三次元構造を定量的に把握した。石狩湾新港沖離岸 5 km の底面での流速及び石狩湾新港での風速の長期データを基に, 流速及び風速には年間を通じて卓越した 3～7 日程度の長周期変動が存在し, その特性を明らかにした。さらに, 石狩湾沿岸での冬期の流動のシミュレーションを行い, 強風下で岸境界の影響で底面付近に発生する補償流の特性をほぼ再現できることがわかった。

最後に, 本研究を進めるにあたり, 北海道立中央水産試験所桑原久実科長より有益な助言を頂いた。ここに記し謝意を表します。

参 考 文 献

- 佐藤慎司 (1995): 日本海沿岸で観測された流れの特性, 土木学会論文集, No. 521, II-32, pp. 113-122.
- 安田孝志・森 信人・加藤 茂・佐藤慎司 (1995): 石川海岸沖合の流況特性と碎波の影響について, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 431-435.
- 山下俊彦・金戸俊道・木下大也・関口信一郎・國田 淳・瀧美洋一 (1996): 苫小牧沿岸における長周期流速変動特性, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp. 201-205.
- 山下俊彦・木下大也・多田彰秀・福本 正・橋本 剛・北原繁志・谷野賢二 (1997): 石狩湾沿岸の流動特性, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 371-375.