

海浜流と吹送流の影響を受ける海岸の流況把握に関する研究

水圏防災研究室 品田 啓太
指導教員 犬飼 直之
細山田 得三

1 はじめに

北海道の石狩海岸は**図-1**に示ように石狩湾奥部に位置する全長約27kmの砂浜海岸であり、海岸中央付近に石狩新港、海岸の北東端付近に石狩川河口が位置する。この海岸では水難事故が度々発生し、近年では2016年8月に石狩浜海岸で、2017年8月には銭函海岸で男性4名による水難事故が発生した。既往事故発生状況について朝日新聞の新聞記事データベースや北海道新聞などの記事などを検索した。その結果12件の事故が確認された。そのうち流されたことによって発生した事故は7件であった。石狩海岸などの砂浜海岸では通常海浜流が卓越するが、この海域での離岸流の発生状況を明確に確認した事例はない。またこの海域では季節風による強い流れの発生が既往研究で把握されている。例えば山下ら1)は、冬季北西風により湾内で時計回りの強い流れが発生することを明らかにした。しかし、これらは水深10m以上の海域の流況であり、海岸付近の流況の検討はされていない。よって本研究では、石狩海岸の事故発生状況を把握すると共に、海岸付近の流れの特徴を把握する事で水難事故防止に資することを目的とした。

2 石狩海岸での事故発生状況

2.1 事故発生海岸の様子

事故発生が多かった石狩浜海岸と銭函海岸について**図-2**と**図-3**に示す。どちらも砂浜地形のカस्प海岸であることがわかる。

カस्प地形は波浪により形成され、既往研究から離岸提近くも含め離岸流が発生しやすい地形として知られている。2) 3)



図-1 石狩浜海岸



図-2 石狩浜海岸



図-3 銭函海岸

2.2 事故発生時の気象・海象把握

事故発生時の気象および海象を把握した。

図-1で示す既往事故より、流されたことにより発生した事故について発生前後で気象と海象の変動を**表-1**にまとめた。気象は気象庁 AMeDAS石狩の地上データ4)を、海象は

Nowphas石狩新港のデータ5)を利用した。また、表中、事故発生数時間前から発生時にかけて風向・風速や波高・周期・波向が変動した場合には文字の色を変更して示した。結果海象の変動は7件中2件であったが、気象の変動は7件中6件確認され、風向の変動については5件確認された。このうち、2016年8月11日の天気図を図-4に、AMeDAS石狩での風速および風向の時間変動を図-5および図-6に示す。図-4より、当日は現場上空を高気圧が東進していた。記事内容より事故は14時前後に発生したと考えられるが、図-5および図-6より、12時前後で風向がSEからNへ変化すると共に風速も増大している。すべての事例で90度以上風向が変動し沖から陸への風向となっていた。

このことから水難事故の原因として波浪により生成される海浜流の他に、風向の変化による吹送流の流況変化の影響も強いと考えられる。

表-1 事故発生前後での気象・海象変動

日付	時刻	地域	気象・海象
1999.8.15	11:20	石狩市弁天町	気象: F (3-4m/s) (安定) 海象: 欠測(0.26m) 周期: 3.9s (留萌)
2010.8.10	13:10	小樽市銭函2丁目	気象: S (風速2.5-3m/s) 海象: 静穏(0.13m) 周期: 3.7s (留萌)
2012.8.14	15:15	石狩市親船町	気象: S (4m/s) → S (3m/s) 海象: S (0.40m) → S (0.93m) 周期: 3.7s
2015.7.12	16時ころ	石狩市弁天町	気象: F (3.3 m/s) → S (4m/s) 海象: S (0.6m) → S (0.9m) 周期: 5.1s
2016.8.8	15時過ぎ	小樽市銭函	気象: F (6.0m/s) → S (2.9m/s) 海象: S (0.31m) 周期: 3.0s
2016.8.11	13:55	石狩市弁天町	気象: F (1.5m/s) → S (3.4m/s) 海象: 静穏(0.25m) 周期: 2.6s
2017.8.27	11:00	小樽市銭函	気象: S (1.5m/s) → S (2.6m/s) 海象: S (1.03m) 周期: 5.2s



図-4 天気図 (2016年8月11日6時)

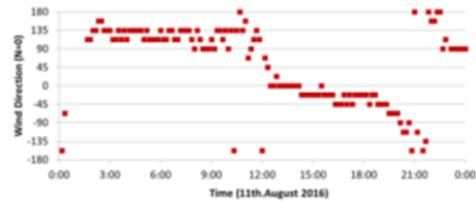


図-5 風向時間変化 (AMeDAS 石狩, 2016年8月11日)

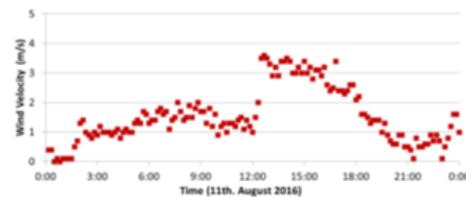


図-6 風速時間変化 (AMeDAS 石狩, 2016年8月11日)

3 石狩浜海岸での現地調査について

現地の海の状況把握のため2017年7月日に図1の石狩浜海岸で現地調査を行った。調査時には犬飼らの手法6)で流れを海面着色剤で可視化し、UAVで空撮した。また、調査時に現場に気象計を設置した。

図-7および図-8に調査日の現地およびAMeDAS石狩の風速および風向の時間変化を示す。図-7より、調査中の風向は、現地およびAMeDASともにほぼNであった。風速については徐々に増大したが、現地データとAMeDASでは2倍程度の差が生じている。これより、2016年8月11日には現地の風速は2 m/s程度から8 m/s程度まで増大したと考えられる。

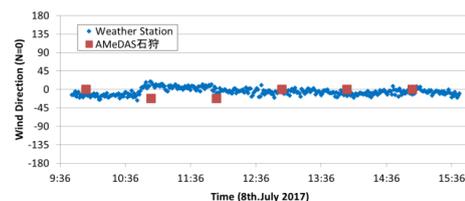


図-7 風向時間変化 (2017年7月8日)

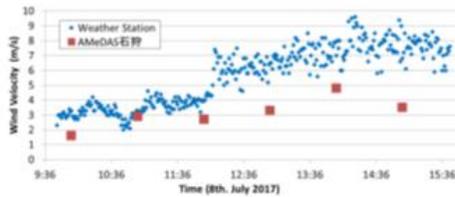


図-8 風速時間変化 (2017年7月8日)

図-9 に、調査時の海岸付近の流況を示す。図より、事故発生推定場所付近の地点①と②の2か所で離岸流が発生し、その周辺では離岸流方向への沿岸流が発生していた。このうち、図-10 に地点①での可視化した離岸流の流況を示す。約 17 cm/s の離岸流が発生した。海象については 7km 西の石狩新港で有義波高 0.43m, 周期 5.1s であった。これは他の離岸流発生状況と同様であり、海浜流による流れと考えられ、調査日には吹送流の影響はなかったのではないかと考えられる。調査からこの海岸では離岸流が気候安定時にも発生する海岸であることを確認した。



図-9 離岸流発生場所(2017年7月8日, 石狩浜)

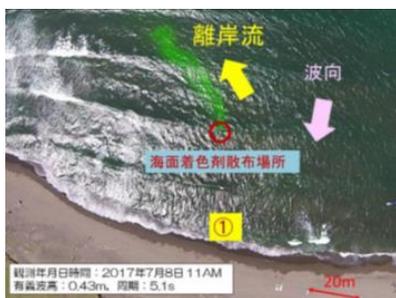


図-10 離岸流発生状況(図-9①の地点, 散布後5分)

4 石狩湾での吹送流の流動把握

4.1 使用データについて

吹送流は海上風や地形の影響で変動するため、石狩湾で低気圧や高気圧の通過による風向変動で流況がどのように変動するか把握を行った。過去の論文での現地観測データを使用し1)7), 石狩海岸で風向変動による流況の変化が発生しているかを気象変動のグラフと海象変動のグラフから確認した。観測地点について図-11 に示す。

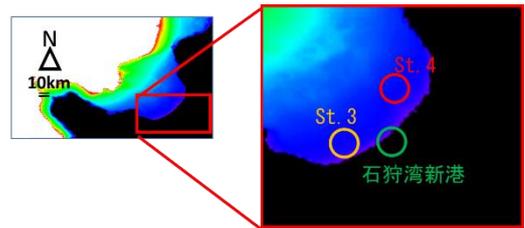


図-11 観測地点

4.2 風向変動と流向変動

結果 14 の事例が確認された。

これらを風向変動時に低気圧や高気圧が石狩の南北どちらを通過したか天気図から分類を行った。結果を表-2 に示す。

表-2 風向変動と流行変動まとめ

日時	風向	天気図による分類	流向
1996/10/4/12:00	↖ → ↘	低気圧が北側通過	↑ ↘ ↓
1996/10/7/9:00	↖ ↑ ↘	低気圧が北側通過	↗ → ↘
1996/10/10/7:00	↗ → ↘	低気圧が北側通過	↑ ↗ ↓
1998/1/25/10:00	↖ → ↘	低気圧が北側通過	↖ → ↘
1998/2/10/9:00	↖ ↗ ↘	低気圧が北側通過	↗ ↘ ↓
1998/2/13/0:00	↖ ↗ ↘	低気圧が北側通過	↗ ↘ ↓
1996/10/5/6:00	↖ ← ↓	低気圧が南側通過	↖ ↗ ↓
1998/1/21/14:00	↖ ↓ ↘	低気圧が南側通過	↓ ↘ ↖
1998/1/24/0:00	↗ ↑ ↖	低気圧が南側通過	↘ ← ↖
1996/10/5/14:00	↘ ↙ ↖	高気圧が北側通過	↓ ↙ ↖
1998/2/7/0:00	↘ ↓ ↖	高気圧が北側通過	↓ ← ↖
1996/10/7/18:00	↘ ↗ ↖	高気圧が南側通過	↘ ↙ ↑
1998/2/11/17:00	↘ ↗ ↖	高気圧が南側通過	↓ ↙ ↖
1998/2/13/21:00	↘ → ↖	高気圧が南側通過	↘ ↓ ↖

低気圧と高気圧がどちらも北側を通過した際風向は時計回りに変動した。また南側を通過した際風向は反時計周りに変動した。流向については風向変動に関わらず時計回りに変動した。

4.3 表層流速の推算

観測データの水深 3m 流速について吹送流の鉛直構造の式(1)から表層流速の推算を行った。8)

$$u = v(1+z/h)(1+3z/h) \dots (1)$$

(u :水深, z での流速, v :表層流速, z :流速を測定した水深, h :水深)

換算後に各事例で風向変動後に流速が最大となったものとそれまでの時間の関係を調べた結果図-12と図-13を得た。

風向が変動完了後から流速が最大になるまでの時間は大まかに0~4時間と8~14時間の2つに分けることができる。原因として事故発生前後に移動していた低気圧や高気圧が単体・複数で移動していたか、気圧軽度の大小などが考えられる。

気圧傾度が大きく低気圧などが単体で移動している場合は流速が最大になる時間が短く、気圧傾度が小さく低気圧などが複数で移動している場合は最大値になるまでの時間が長い傾向があった。このことから周辺の気圧の差や風速が最大値までの時間に関係していると考えられる。

また風向変動開始時からの時間については低気圧などの移動時間も関係していると考えられる。低気圧などが移動することで風向が変動するため低気圧の移動速度により風向変動までの時間が変化するためである。

風向が急速に変動後すべての事例で流向が時計周りに変動しており、流速についても数時間で増大が始まっている。このことから風向が変動してから流況が変動していることを観測データから確認した。

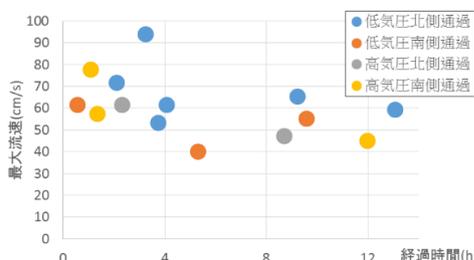


図-12 風向変動完了時から最大流速までの時間と最大流速

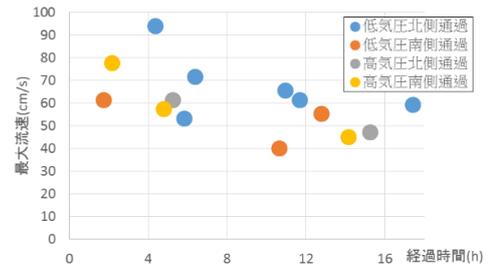


図-13 風向変動開始時から最大流速までの時間と最大流速

5 吹送流についての数値実験

5.1 石狩海岸での吹送流数値実験

石狩湾で急激な風向変動による流況変化の把握を数値計算により行った。使用したモデルは犬飼らの手法を参考に、静圧近似した運動方程式および連続式を陽的に差分した数値モデルを用いた。

5.2 使用したデータ

地形情報は日本海洋データセンターより500 mメッシュ水深データ9)を使用し、水深は表層から1m, 5m, 10m, それ以深の4層に区切り使用した。入力する風向・風速は2016年8月11日に発生した事故と同じ風向・風速にする。事故発生時の風速はAMeDASで観測されたデータの2倍であると考えられるため開始時に風向SE, 風速2 m/sの海上風を6時間入力して安定させた後に、1時間で風向N, 風速8 m/sへ変化させ、その後6時間同じ風向・風速を入力した。

5.3 結果

石狩湾の海岸付近の流速についての時間変動図(図-14)が得られた。計算開始後6時間の風向変動時から流速が変動しはじめ、約2時間かけて流速が増大する。

また図-15, 図-16に風向SE時の海域の表層1mの流速分布および流速ベクトル図を示す。また図-17, 図-18に風向N時の海域の表層1mの流速分布および流速ベクトル図を示す。現地観測データを測定した地点St. 4では風向変動後2時間で流速が0.6m/sにな

ることが確認された。これより数値計算は定性的に正しいと考えられる。

流速分布図を見ると石狩浜付近で流速が特に大きくなっていることを確認した。このことから風向が変化した時には、石狩浜付近で流速が増大する可能性があると考えられる。

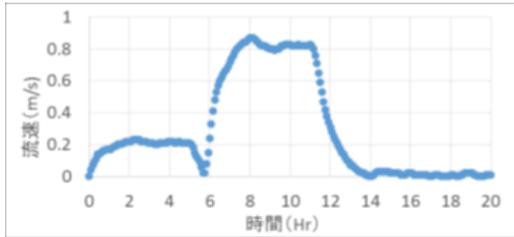


図-14 石狩浜付近の表層 1m の流速の時間変化

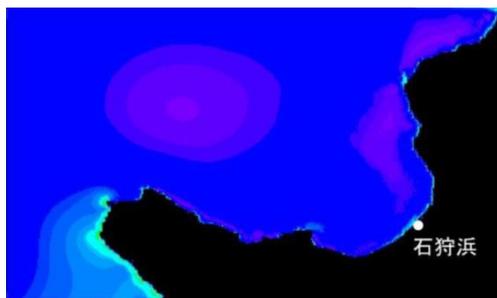


図-15 風向 SE 時の流速分布 (計算開始 4 時間後)

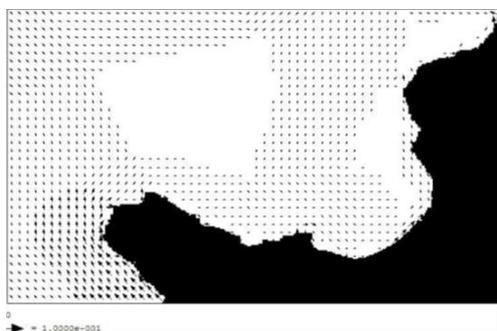


図-16 風向 SE 時の流速ベクトル (図-12 と同様)

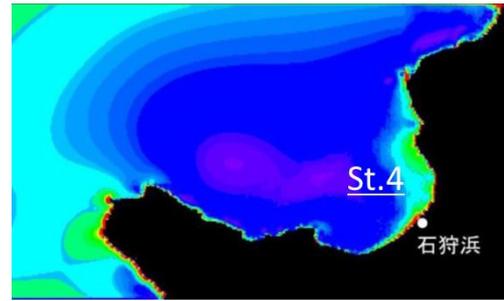


図-17 風向 N 時の流速分布 (計算開始 8 時間後)

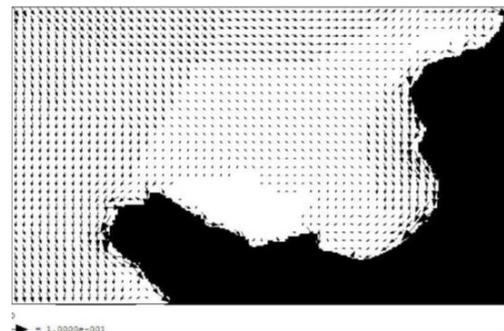


図-18 風向 N 時の流速分布 (図-14 と同様)

6 結論

石狩浜および銭函海岸付近で事故が多発していることを確認した。これらの事故のうち、風向が大きく変化した際の事故が複数あることから、海浜流だけでなく吹送流による流況の変化の可能性がある。

石狩浜海岸で海岸付近の流況把握調査を実施した結果気候の安定時でも離岸流が発生することを確認した。

石狩湾全域を対象に吹送流の数値計算を実施し、風向が SE から N へ変化した場合には、特に石狩湾の表層で流況が大きく変動し、石狩浜海岸付近では変化後 2 時間程度で SW 方向の強い流れが発生する可能性を示した。

過去の風速と流速のデータから風向変動時に流向が変動し、数時間で表層流速が約0.6m/s～1.1m/sになる事例が確認された。

石狩海岸では気候安定時にも離岸流が発生し、風向変化時には吹送流の流況が大きく変化する海岸であることが確認された。

7 今後の課題

吹送流の流速の推算値は沿岸であることなど地形を考慮しないものであるため、今後はそうした条件を考慮し、より正確な推算値を算出したい。

また風向変化の事例が冬季のものが多いため、夏季の風向・風速のデータを現地調査などから入手したい。

最終的には天気図から風向の変化を予測し、そこから吹送流の流況変化を予測できるように実際の風向変化などのデータを収集していきたい。

参考文献

- 1) 山下俊彦，他：石狩湾沿岸の冬季の三次元流動特性，海岸工学論文集，Vol. 46，pp. 426-430，1999.
- 2) 犬飼直之，江尻義史，大竹剛史，山本浩，細山田得三：新潟東港周辺における突堤で囲まれたカスプ地形海岸での離岸流の生成機構について，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 71，No. 2，I_1687-I_1692，2015. 犬飼直之，江尻義史，大竹剛史，山本浩，
- 3) 犬飼直之，櫻井龍亮，山本浩：複数の離岸堤付近で発生する離岸流の流況把握，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol. 73，No. 2，p. I_186-I_191，2017.
- 4) 気象庁：AMeDAS，
<http://www.jma.go.jp/jp/amedas/>.
- 5) (独法) 港湾空港技術研究所：NOWPHAS (全国港湾海洋波浪情報網) (オンライン)，国土交通省，
<http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>. 2011.
- 6)) 犬飼直之，早川典生，福嶋祐介，Peter SHENG：直線状海岸付近の吹送流による水位変動についての研究，海岸工学論文集，第 48 巻，pp. 391-395，2001. 11.
- 7) 山下俊彦，他：石狩湾沿岸の流動特性，海岸工学論文集，Vol. 44，pp. 371-375，1997.
- 8) 宇野木早苗 著，初版第 2 刷発行 (1995)，沿岸の海洋物理学，東海大学出版会
- 9) 500m メッシュ水深データ：
http://jdoss1.jodc.go.jp/cgi-bin/1997/depth500_file.jp，日本海洋データセンター.