

内灘海岸における砂浜形状と離岸流の発生状況の把握

水圏防災研究室 佐藤 夏生
指導教員 犬飼 直之

1. はじめに

近年、沿岸域は、土地利用の高度化に伴い、海洋性レクリエーションの場としての需要が増大し、貴重な空間となっている。中でも海水浴は身近なレジャーとして多くの人々によって楽しまれてきている。そのため、人々がマリレジャーを楽しむ機会が増えており、中でも海水浴は身近なレジャーとして多くの人々によって楽しまれてきている。しかし海水浴中の水難事故も多く、死亡事故などの重大事故も毎年、後を絶たない。石川県も例外ではなく、近年、離岸流の疑いがある海浜事故が増えている。海浜事故には様々な要因があるが、その中の1つに離岸流がある。離岸流とは沖向きの強い流れのことであり、地形や波浪条件が主な原因であると考えられる。

2. 内灘海岸の概要

図-1に、内灘海岸の概要を示す。石川県中央部西側に位置する南北延長約9.6km、幅1kmもの広大な内灘砂丘の南側、金沢港の北側に位置し、南西方向には、金沢港防砂堤が位置している。夏季には、多くの海水浴客が訪れる。また内灘海岸は、複数の離岸流が発生する海岸としても有名である。



図-1 内灘海岸の概要 (Google Earth)

3. 既往研究

内灘海岸における既往研究では、金沢港海浜流影響検討委員会¹⁾ (2014-2016)において離岸流の発生状況把握をするために、UAVを用いた離岸流可視化調査、ADCPによる流況・地形の移動観測、波浪観測、Xバンドレーダーによる波浪観測等を行った。また、由比ら³⁾ (2014)は、内灘海岸金沢の地形特徴をカस्प地形が発達しやすく海底勾配は、緩勾配であることを示した。さらに、児島ら⁴⁾ (2016)は、Xバンドレーダーによる波浪の連続観測によって離岸流及びリップチャンネルの発生場所を連続的に特定可能であることを示した。犬飼ら⁵⁾ (2016)は、内灘海岸の波浪特性を把握し、ADCPの平面2次元の移動観測により、複数の離岸流の発生場所および状況を把握可能であることを示した。

これらのことより、内灘海岸で発生する離岸流の発生場所等について把握が進んできたが、内灘海岸で発生する離岸流の流速を定量的に把握する試みは行われていない。



図-2 水上バイクによるADCP移動観測

4. 研究目的

離岸流事故が数多く発生している石川県内灘海岸を対象として、内灘海岸の離岸流関連の発生関連の事故を防止することを含め、離岸流の発生要因を把握するため、ナウファス（全国港湾海洋波浪情報網）による金沢港沖波浪データと北陸地方整備局金沢港湾・空港整備事務所が行った ADCP の観測データを用いて、離岸流成分の流速の抽出を行い、離岸流流速の推算式との比較を行った。さらに波浪条件から沿岸砂州やトラフなどの地形状況を把握した。内灘海岸で発生する離岸流の流速の推算や波浪状態から離岸流の長さを把握し、離岸流の発生場所及び離岸流流速を波浪状況から推測できるようにすることを目的とした。

5. 離岸流成分の抽出

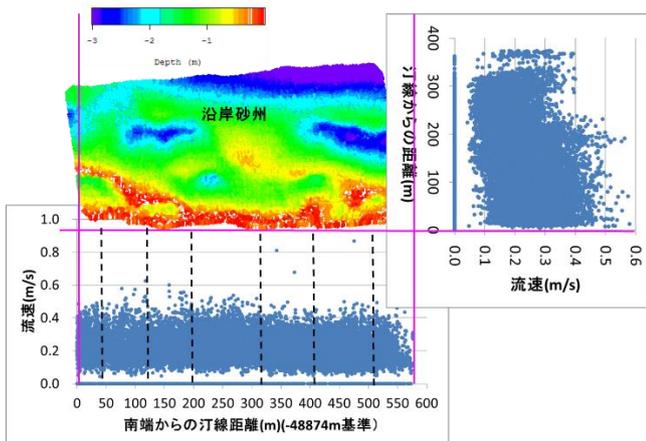


図-3 流速分布の沖合・沿岸方向の関係

図-3に、平成26年9月2日に ADCP により観測された水深図と得られた流速を沖合方向と沿岸方向の分布に分けた場合のグラフを合わせた図を示す。沿岸方向の流速をみると、全域で似たような値を示している。また、沖合方向の流速分布をみると、沖へ向かうほど流速が小さくなる傾向がみられた。また、水深図を確認すると沖で水深が浅くなる沿岸砂州がある箇所では、流速が大きくなる傾向がみられる。

6. 離岸流流速の推算

推算には、西ら⁶⁾(2014)による離岸流の流速の推算を以下の式を用いた。

$$U(x) = \frac{1}{2} p \left(\frac{W_l}{W_{rip}} \right) \left(\frac{W_l}{x} \right) \cdot 1.17 \sqrt{g H_{rms,b}} \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (1)$$

ここで、

$U(x)$:離岸流流速, W_l :沿岸流の幅, W_{rip} :離岸流の幅, x :汀線からの離岸距離, H_{rms} :有義波高, α_b :入射角度である。

図-4に離岸流の流速の推算式により算出された推算値の流速と ADCP の観測が行われた平成26年9月2日の流速の実測値の平均の変化を示す。

また推算値の離岸流の流速を算出するときに用いた波浪条件は、ADCP の観測が行われた平成26年9月2日である(表-1)。比較すると推算値と実測値はほぼ一致し、実測値は平均して約0.25m/sとなり安定した結果になった。

図-5は、ADCP 調査日の有義波高と有義波高が1mの場合を比較した図である。汀線近くで0.9m/s程度になり、汀線に近づくほど流速が急激に増大した。

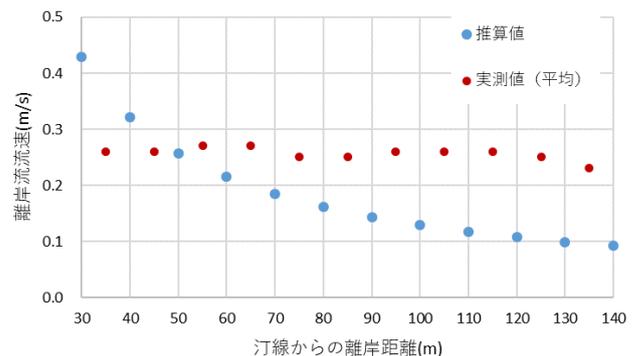


図-4 汀線からの離岸距離と離岸流流速の関係 (調査日有義波高の推算値と実測値の平均比較)

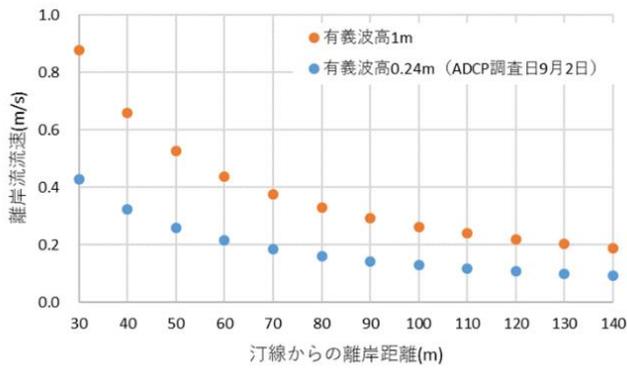


図-5 汀線からの離岸距離と離岸流流速の関係
(有義波高 1m 時と調査日の有義波高の推算値を比較)

表-1 9月2日の波浪条件

波高(m)	周期(s)	波向
0.24	4.3	NNW

7. 碎波による地形特性の把握

図-3の ADCP により観測された流速分布と水深図より、沿岸砂州がある場所で流速が増大している傾向があった。そこで内灘海岸の沿岸砂州やトラフの地形状況を把握した。図-6は、No.2とNo.5の岸沖方向の水深変化の図である。No.2は沿岸砂州やトラフが顕著に発達していること、No.5は離岸流の観測場所であるため採用している。どちらも沿岸砂州とトラフが生成されていることを確認した。

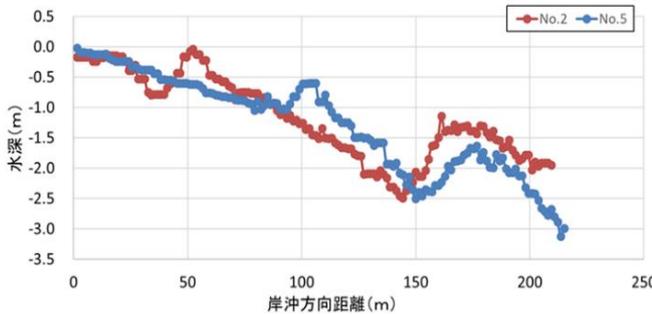


図-6 岸沖方向の水深変化

図-7は、空中写真及び衛星画像から碎波してい

る箇所の汀線からの距離とその時間の碎波波高を断面図と重ねたものである。沿岸砂州発達地形では碎波場所が沖へ広がり、碎波帯幅が伸び、離岸流の規模が増大する可能性があることを示した。

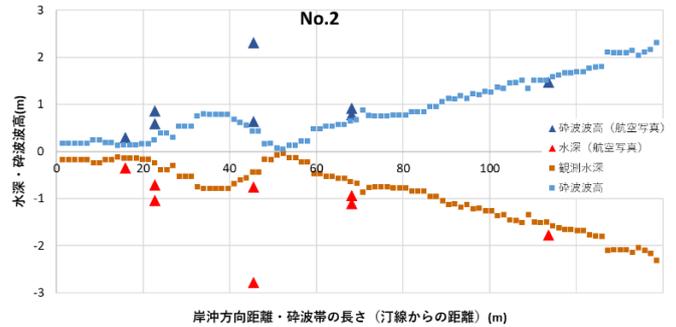


図-7 碎波波高と水深の関係

沿岸砂州やトラフの場所を特定するため砂州から⁷⁾(1985)の式を用いて推算した。

$$l_t/L_0 = (10/\tan\beta)(H_b/gT^2)^{4/3} \quad (2)$$

$$l_c/H_b = 0.18(l_t/H_b)^{3/2} \quad (3)$$

$$h_t = 1.69h_c \quad (4)$$

$$h_t = H_b \quad (5)$$

ここで、

l_t : 碎波点からトラフまでの距離, l_c : 碎波点から沿岸砂州までの距離, h_t : トラフの水深, h_c : 沿岸砂州の水深, β : 海底勾配, H_b : 碎波波高である。

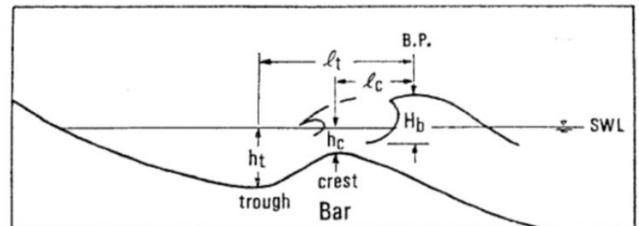


図-8 定義図

図-9は、No.5の地点の砕波点からトラフまでの距離の計算値と実測値を比較したものである。同程度の距離の値を得られた箇所が10mの値であり、バームの水深は0.61mであった。その水深を確認すると、沿岸砂州の位置であることを確認した。

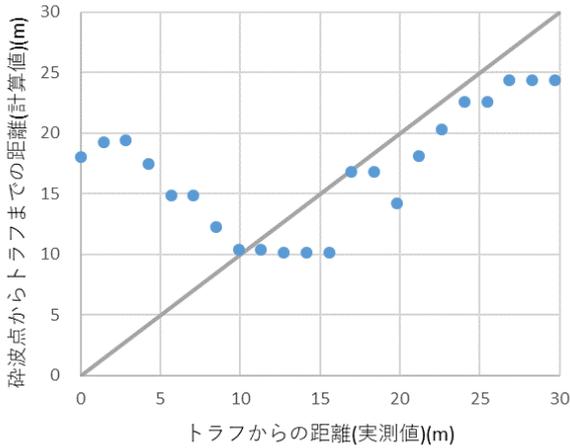


図-9 砕波点からトラフまでの距離の計算値と実測値の比較

8. まとめ

ADCPにより観測された水深データより、沿岸砂州とトラフの存在を確認した。

ADCPデータから離岸流発生場所を含めた海岸全域の流速成分を抽出した。沿岸砂州が存在する場所で流速が増大し、ADCPの観測が行われた平成26年9月2日の波高0.24m程度でも海岸付近の平均流速は0.2m/s程度以上であった。これにより、内灘海岸の地形から流速が速くなる箇所を特定し、流速と地形の関係を把握した。

ADCP観測日の波浪条件より、内灘海岸の離岸流の流速の岸沖方向の変化を推算した。実測値とほぼ同様な流速になり、推算式から内灘海岸の流速を推算可能であることを示した。また推算式より、波高1m程度になると流速が0.9m/s程度になることを示した。また、岸に近づくほど、波高が高いほど、流速が急激に増大することが確認できた。

空中写真と衛星写真から砕波した箇所の水深と観測水深から沿岸砂州周辺で砕波していることが確認できた。波浪条件から沿岸砂州とトラフの位置を推算した結果、波高が約0.5mの時に沿岸砂州より、海岸から約70mの場所まで砕波帯が増大した。また波浪条件や海底勾配より、砕波点からトラフまでの距離が推算可能であることを示した。内灘海岸では波浪条件によって離岸流の長さが急に増大する可能性があることを示した。

参考文献・出典

- 1) 金沢港湾・空港整備事務所：「金沢港海浜流影響検討委員会報告書」
- 2) ナウファスホームページ
(<http://www.pari.go.jp/introduction/facilities/nufas/nufas.htm>)
- 3) 由比政年ら(2014)：「石川県内灘海岸における汀線変動とリズムック地形の形状特性に関する基礎研究」土木学科論文集 B3 (海洋開発) Vol.70 No.2 I_672-I_677
- 4) 兒島正典ら(2016)：「内灘海岸における離岸流の連続観測」土木学会論文集 B3 (海洋開発) Vol. 72 No. 2 I_307-I_311
- 5) 犬飼直之ら(2016)：「ADCP 移動観測による内灘海岸における離岸流の計測」土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol. 72 No. 2 I_85-I_90
- 6) 西隆一郎(2004)：「離岸流予報のための数値計算法」
- 7) 砂村継夫(1985)：「沿岸砂州の形成位置と規模」