

# 砂浜海岸で発生する離岸流の流況把握に関する研究

水工学研究室 山下 晃史  
指導教員 犬飼 直之 (細山田 得三)

## 1. 研究目的と背景

毎年多くの海浜事故が発生しており、離岸流に起因した海浜事故事例も多く報告されている。カस्प地形における離岸流の発生間隔については既往研究の犬飼ら<sup>[1]</sup>によって柴崎ら<sup>[2]</sup>の手法を用いた推算式を用いることで推算可能であることは分かっている。しかしながら離岸流の流速については、既往研究の離岸流調査により離岸流の流速の観測は行われているが、一般に認知された推算式が存在していない。本研究では、砂浜海岸における離岸流の発生状況を把握し、波高と離岸流流速の関係を明らかにし、波浪・地形条件から定量的に離岸流流速を把握する手法を考案することで水難事故防止の知見に資することを目的とした。

## 2. 研究手法

本研究では、海岸付近から沖向きに流出する局所的な流れを離岸流と定義して観測・解析を行った。

現地調査を実施し、実際の離岸流の挙動を観測した。現地調査により得られた離岸流の流速や発生規模と離岸流の流速、発生規模についての式により算定された推算値との比較を行い、正確な離岸流発生状況の把握手法の検討を行った。

## 3. 現地調査の概要

現地調査は平成 27 年 12 月 9 日に新潟県北蒲原郡聖籠町網代浜海水浴場で行った(図 - 1)。調査時に現地海岸の離岸流場に海面着色剤を散布して離岸流の可視化を行い、海面着色剤が離岸流によって拡散す様子を UAV マルチコプターで空から空撮した映像から離岸流の挙動を把握した。また、調査時の海象把

握には、現地海岸から最も近い国土交通省港湾局の波浪観測所で観測されたナウファス波浪データ<sup>[3]</sup>を使用した。

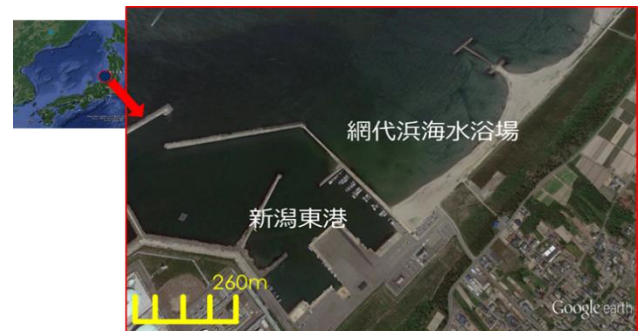


図-1 調査海岸(網代浜海岸)

離岸流調査にて観測された離岸流の発生状況の一例を図-2 に示す。このケースでは汀線付近から水深 80cm 程度までは流速が遅く 0.1m/s 程度の流速であったが、それよりも深い場所では離岸流の流速は 0.24m/s 程度となった。また砕波帯の外側付近で向きを変え並岸流となったが、その時の流速は 0.47m/s 程度であった。その後向きを変え向岸流となり、流速は 0.22m/s 程度であった。

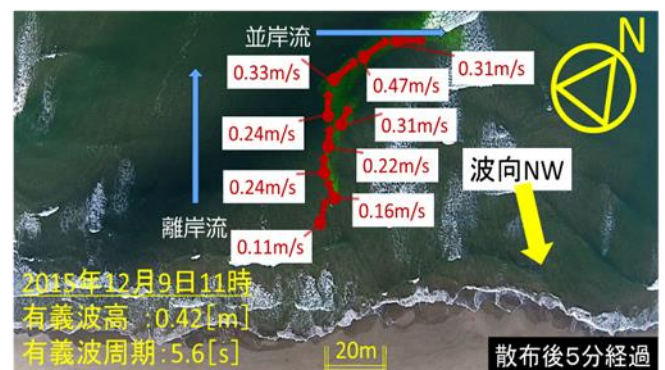


図-2 離岸流・向岸流速の観測値

また本研究で実施した離岸流調査では、汀線から 18m, 30m, 40m, 50m 地点において流速計を使用し、離岸流流速の測定を行った。流速計による測定値と UAV 映像から算定した離岸流の流速との比較を行い、UAV 観測による離岸流の流況把握の妥当性について検討を行った。各地点における離岸流の平均流速は、18m 地点で 0.38m/s, 30m 地点で 0.28m/s, 40m 地点で 0.23m/s, 50m 地点で 0.27m/s であった。

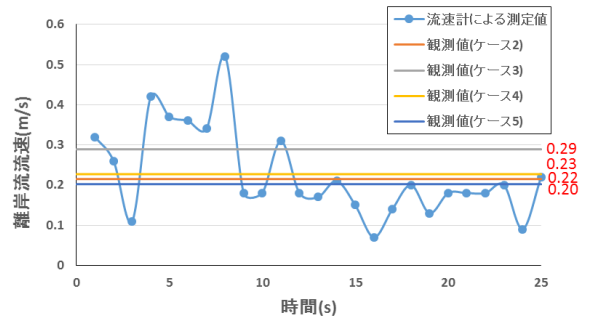


図-6 汀線から 50m 地点における流速計測定値と UAV 観測値の比較

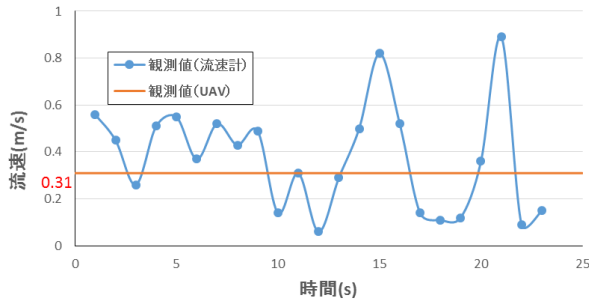


図-3 汀線から 18m 地点における流速計測定値と UAV 観測値の比較

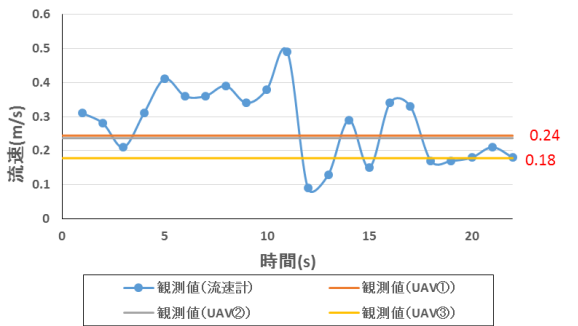


図-4 汀線から 30m 地点における流速計測定値と UAV 観測値の比較

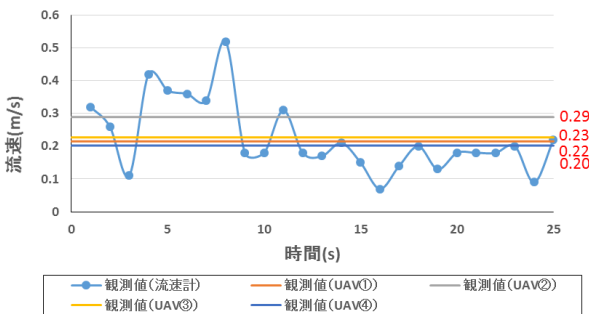


図-5 汀線から 40m 地点における流速計測定値と UAV 観測値の比較

各地点において流速計による測定値と UAV 映像から算定した離岸流の流速との比較を行ったところ、ほぼ等しい値となったことから UAV 観測により離岸流の流速を把握の可能であることを確認した。

#### 4. 推算式による離岸流の発生状況の推算

##### 4.1 離岸流流速の推算式による推算

離岸流流速の推算には、西の手法<sup>2)</sup>を参考にして、汀線からの離岸距離  $x$  における離岸流の流速を推算する式(1)を用いた。また本研究では、既往研究の犬飼ら<sup>[1]</sup>による数値シミュレーションにより、海岸構造物が存在する海岸では海岸構造物が存在しない海岸に比べ離岸流流速が約 2/3 になるという結果を踏まえ、海岸構造物による影響を補正する値として離岸流流速の推算式に補正係数=2/3を追加した。

$$U_{(x)} = \alpha \times p \times V_l \times A_l / A_{rip} \quad (1)$$

ここに、 $\alpha$  は海岸構造物による影響を補正する値(本研究では 2/3 を使用)、 $p$  は分配率(1.0 ~ 0)、 $A_l$  は沿岸流の断面積( $m^2$ )、 $A_{rip}$  は離岸流の断面積( $m^2$ )、 $V_l$  は沿岸流の流速 ( $m/s$ ) である。また、沿岸流流速  $V_l$  の推算には、現地適合性が高い Komar and Inman<sup>3)</sup>の式(2)を用いた。

$$V_l = 1.0 \sqrt{gH_b} \sin \alpha \cos \alpha \quad (2)$$

ここに、 $g$  は重力加速度( $9.8\text{m/s}^2$ ),  $H_b$ は有義波高(m),  $\alpha$  は沖からの波の入射角( $^\circ$ )である. 式(2)より算定された沿岸流流速  $V_1$  を表-3 にまとめる.

表-1 Komar and Inman の式より算定した沿岸流流速

	沿岸流流速(m/s)
ケース 1	0.35
ケース 2	0.35
ケース 3	0.35
ケース 4	0.40
ケース 5	0.40

沿岸流, 離岸流の幅は, UAV により上空から撮影した映像から求めた. 算定した沿岸流, 離岸流の幅を表-2 にまとめる.

表-2 算定した沿岸流幅及び離岸流幅

	沿岸流の幅(m)	離岸流の幅(m)
ケース 1	18	9
ケース 2	18	9.5
ケース 3	16	9
ケース 4	18	8.7
ケース 5	16	9

断面積の算定に必要な網代浜海岸の水深は, 平成 27 年 7 月 21 日に新潟県が測量をした地形図のデータを調査時の網代浜に隣接する新潟東港の潮位変化で補正し(図-7), 水深変化図を作成し算定した(図-8).

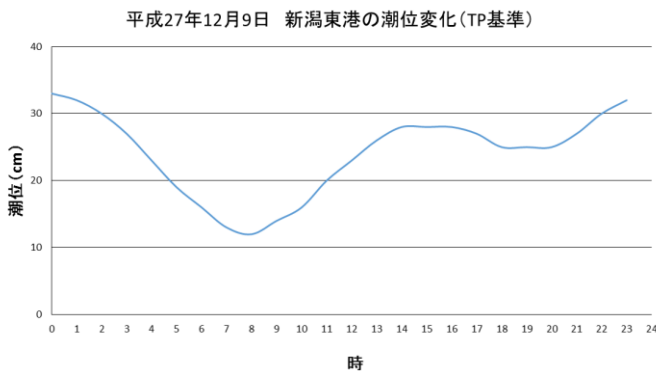


図-7 新潟東港の潮位変化 (TP 基準)

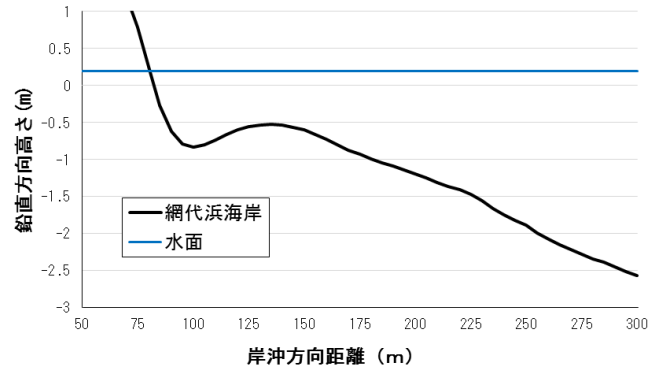


図-8 潮位補正後の水深変化図

分配率  $p$  は西の手法の概念より, 式(3)によって算定した. 算定した分配率  $p$  を表-2 にまとめる.

$$p = \frac{Q_{rip}}{Q_{in}} \quad (3)$$

表-2 算定した分配率

	分配率 $p$
ケース 1	0.75
ケース 2	0.79
ケース 3	0.85
ケース 4	0.73
ケース 5	0.85

以上, 求めたパラメーターを使用し, 離岸流流速の推算式(2)より離岸流流速を推算した. 図-9 に, 式(1)による離岸流流速の推算値と観測値の比較を示す.

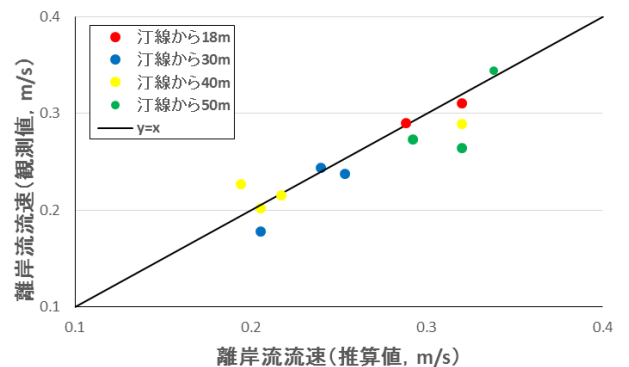


図-9 離岸流流速の推算値と観測値の比較

西の概念を用いた離岸流流速の推算式により観測値とほぼ等しい値を推算できた。この結果から、一様勾配における離岸流の流速は、波高、波の入射角及び海底地形に依存するといえる。また、汀線からの離岸距離による平均誤差率の変化(図-10)を見ると汀線からの離岸距離が大きくなるにつれて誤差率も大きくなっている。これは今回使用した離岸流流速の推算式は離岸流流量が一定であると仮定し、推算しているためであると考えられる。推算式に離岸流流量の減衰項を導入することでより精度よく離岸流速を推算可能ではないかと考えられる。この点については今後の課題としたい。

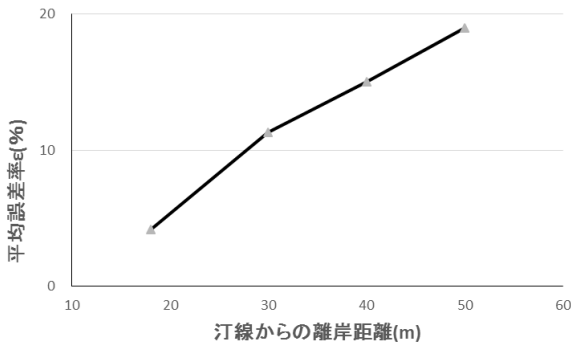


図-10 離岸距離による平均誤差率の変化

#### 4.2 離岸流発生間隔の推算式による推算

離岸流調査時に3ケースの循環流を観測できた。調査時には約110m間隔で離岸流が発生していた。循環流を観測することができたので、既往の離岸流の発生間隔の推算式による推算を行った。離岸流発生間隔の推算値の推算には、次に示す佐々木らの手法による推算式(4)を用いて比較をおこなった。

$$Y_r = 1.08T^{1.41}H_b^{0.54}(\tan\beta)^{-0.64} \quad (4)$$

ここに、現地観測で得られた周期  $T(s)$ 、碎波波高  $H_b(m)$ 、海底勾配  $\tan\beta$  である。

表-3 離岸流発生間隔の観測値と推算値

	離岸流発生間隔 観測値 $Y_r$ (m)	離岸流発生間隔 推算値 $Y_r(m)$
ケース 1	114	105
ケース 2	108	99
ケース 3	112	102

式(4)から求めた推算値は観測値とほぼ同様の数値となった。このことから離岸流の発生間隔は波浪諸元及び海底勾配に依存し、それらを把握することで推算が可能であるといえる。

#### 5. 波高の変化による離岸流の挙動把握

本研究では波高の変化による離岸流の挙動の把握に、新潟県内の5つの海岸と石川県の内灘海岸で観測された合計14ケースの離岸流の観測データを使用した。多くの海岸で離岸流の流速は沖に行くほど遅くなる傾向がみられ、カस्प地形の突部付近で最大離岸流流速が観測された。各ケースで観測された最大離岸流流速と波高の関係を図-11に示す。図-11より、波高が大きくなると離岸流流速が大きくなる傾向にあるといえる。

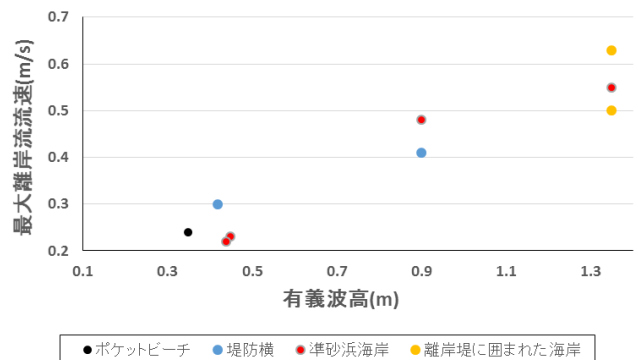


図-11 波高と最大離岸流流速の関係

また、(1)式に必要な値と波高の因果関係を複数の観測データを使用し、検討した。

各海岸の離岸流観測データと地形データを用いて、西の手法の概念に基づき分配率を算定し、調査時に観測された有義波高との関係を見ると一定の関係性が見られた（図-12）。図より近似式を作成し、それを分配率の推算式とした（式(5)）。

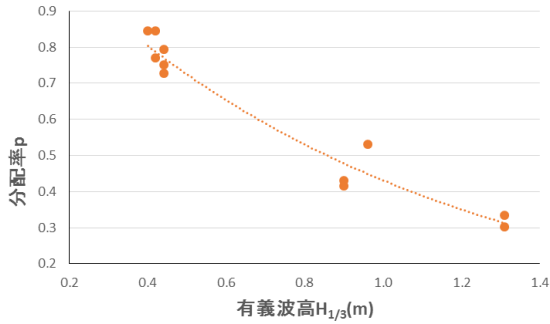


図-12 分配率と有義波高の関係

分配率の推算式

$$p = 1.20e^{-1.03H} \quad (5)$$

ここに、p は分配率(1.0~0)、H は波高(m)である。

また、各海岸の離岸流観測データを用いて、沿岸流幅を算定し、調査時に観測された有義波高との関係を見ると波高が大きくなると沿岸流幅も大きくなる傾向がみられた。（図-13）。図より近似式を作成し、それを分配率の推算式とした（式(6)）。

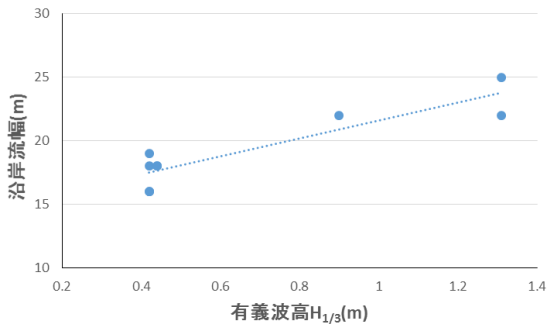


図-13 沿岸流幅と有義波高の関係

沿岸流幅の推算式

$$W_l = 7.0H + 14.6 \quad (6)$$

ここに、w<sub>l</sub> は沿岸流幅(m)、H は波高(m)である。

次に離岸流の幅であるが、今回使用した UAV 映像からは波高が変化しても大きな差はみられなかったため、今回は観測値の平均値を推算に使用した。本研究で使用した観測データより算定した離岸流幅を表-4 に示す。

表-4 各海岸で観測された離岸流幅

場所	有義波高 H <sub>1/3</sub> (m)	離岸流幅 W <sub>rip</sub> (m)
網代浜	0.96	8
藤塚浜	0.52	10
内灘海岸	0.90	10~12
網代浜	0.42	8~9
五十嵐浜	1.31	10

波高から各値を算定し、離岸流流速の推算をおこなった。別日での観測データが存在する網代浜の地形条件で離岸流流速の推算を行い、観測値と推算値とで比較をおこなった（図-14）。

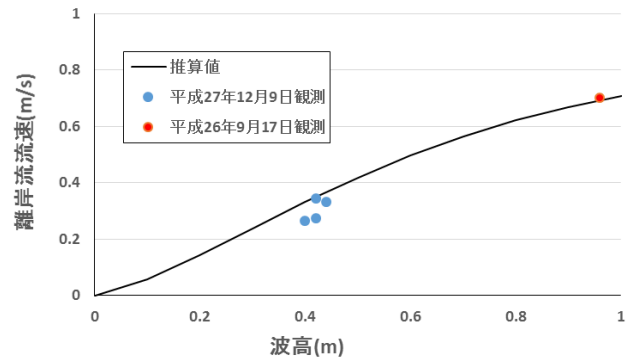


図-14 汀線から 40m 地点における離岸流流速

図-14 は汀線から 40m 地点の離岸流流速の比較で、おおむね近い値を推算できたことから、本研究で用いた離岸流流速の推算式を用いれば地形データが既知の海岸において、波浪条件から離岸流流速を推算が可能ではないかと考えられる。

## 6. まとめ

本研究により、現地観測時に今後おこなう必要のある調査項目を明確にすることができた。本研究で使用した離岸流流速の推算式に流量の減衰項を追加することで、海底勾配を把握している海岸では波浪条件がわかれば、発生する離岸流の流速をより精度よく推算でき、水難事故防止に役立てることが可能であると考えられる。

## 参考文献

- [1] 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かस्प地形海岸での離岸流の生成機構について, 土木学会, 土木学会論文集 B2, Vol.71, No.2.
- [2] 柴崎誠, 宇多高明, 芹沢真澄(2006): 離岸流の発生間隔の予測式, 海洋開発論文集, vol.22.
- [3] リアルタイムナウファス:国土交通省港湾局, [nowphas.mlit.go.jp/info.html](http://nowphas.mlit.go.jp/info.html)
- [4] 西隆一郎:離岸流講演会資料, 海上保安庁.
- [5] 堀川清司, 佐々木民雄, 堀田新太郎, 桜本弘(1974):海浜流に関する研究(第 2 報)ー海浜流の現地観測ー, 海岸工学講演会論文集, vol.21, pp.347-351.
- [6] 合田良実(1977):港湾構造物の耐波設計 - 波浪工学への序説, 鹿島出版.
- [7] 堀川清司:[新編]海岸工学, 東京大学出版会.
- [8] 細山田得三, 村川はるみ, 犬飼直之(2011): 離岸流と海岸変形の相互作用に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), vol.67, I\_556-560.
- [9] 佐々木幹夫, 尾崎晃(1979):自由噴流型と純循環流型の離岸流, 土木学会論文報告集, 第 288 号.
- [10] 水口優(1976):固有値問題としての離岸流の間隔について, 土木学会論文報告集, 第 248 号.
- [11] 日野幹雄(1975):応答性を考慮した海浜流系と海浜地形の発生発達に関する理論, 土木学会論文報告集, 第 237 号.
- [12] 土屋義人, 安田孝志, 徳田邦博(1979): 離岸流の理論(1)ー直角入射の場合ー, 海洋工学講演会論文集, vol.26, pp.495-499.
- [13] 土屋義人, 安田孝志, 片山章仁(1980): 離岸流の理論(2)ー斜め入射の場合ー, 海洋工学講演会論文集, vol.27, pp.158-162.
- [14] 土屋義人, 安田孝志(1983): 離岸流の理論(3), 海洋工学講演会論文集, vol.30, pp.465-469.