

内灘海岸における離岸流の現地観測および数値解析に関する研究

金沢大学大学院 学生会員 ○井田純平 金沢大学 学生会員 浮田将暉
金沢大学 正会員 斎藤武久

1. はじめに

離岸流に関しては多くの研究が行われているものの、現象が複雑でありその発生予測手法は確立しているとはいえない。水難事故の発生では離岸流に起因すると考えられるものの割合が極めて高く、金沢港の北東端に隣接して海岸延長がこの北東端を基点として北東方向に約9kmに及ぶ内灘海岸の内灘海水浴場でも例外ではない。平成23年から25年までの3年間で24件にも上り、内6件が死亡事故となっている¹⁾。

離岸流に関する従来の研究では、i)理論モデルの構築や数値計算によるものとii)現地観測とデータ分析を中心とするものに大別され、日野ら²⁾、吉井ら³⁾、出口ら⁴⁾、西ら⁵⁾によって研究が行われた。以上の研究では、地形条件として汀線に関する記述が多いが、海底地形の形状と関連付けて離岸流の発生を研究している例は少ない。一方杉村ら⁶⁾は、マルチコプターを用いた離岸流の発生位置や個数、規模等を推定する調査手法を提示している。

本研究では、杉村ら⁶⁾の現地観測データを用いて海象条件の変化に伴うリップチャンネルの変化およびチャンネルに沿った離岸流の発生を確認するとともに数値解析を試みる離岸流の発生を現地観測と数値解析の両面から考究する

2. 現地観測結果

現地観測結果の一例として、図-2および図-3に2015年9月1日および16日の等深線図を示す。9月11日に波高1.7mを越える波浪が来襲していたが、水深が1mを上回る範囲では明確な海底地形の変化は確認できない。さらに、UAVで観察された離岸流の状況を図中の写真で示めすが、リップチャンネルの位置に沿って離岸流は発生していることが分かる。

3. 数値解析手法

本研究ではエネルギー平衡方程式を用いた波浪の位相平均モデルと長波近似に基づく海浜流モデルを用いる。計算のフローはエネルギー平衡方程式より得られるラディエーションストレスを海浜流モデルに受け渡すものである。なお、エネルギー平衡方程式には回折

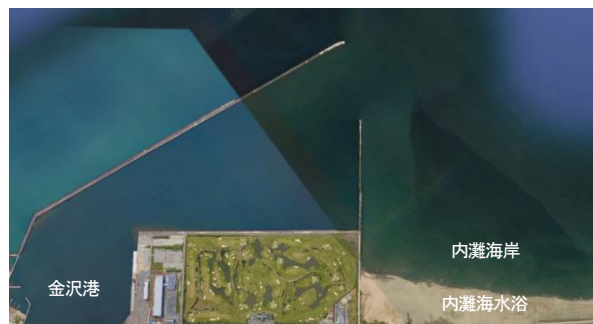


図-1 内灘海岸の概要

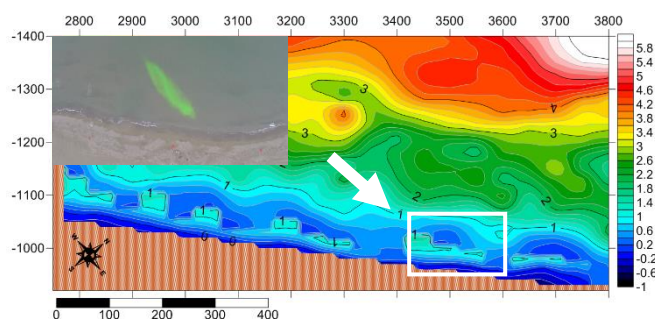


図-2 9月1日の海底地形図と UAV 画像

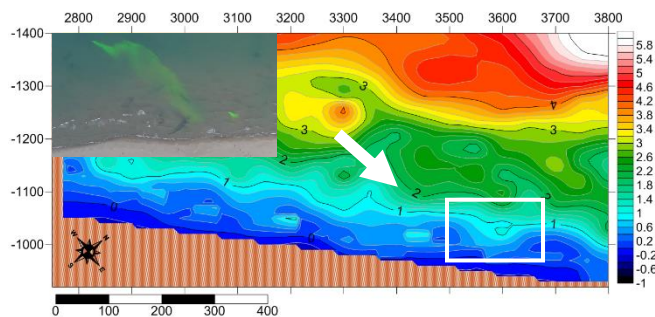


図-3 9月16日の海底地形図と UAV 画像

$$\frac{\partial}{\partial x}(SV_x) + \frac{\partial}{\partial y}(SV_y) + \frac{\partial}{\partial \theta}(SV_\theta) = \dots \quad (1)$$

$$\frac{\kappa}{2\sigma} \left\{ (CC_g \cos^2 \theta S_y)_y - \frac{1}{2} CC_g \cos^2 \theta S_{yy} \right\} - \varepsilon_b S$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Q_x}{\partial t} + \frac{\partial(UQ_x)}{\partial x} + \frac{\partial(VQ_x)}{\partial x} &= -g(h+\eta) \frac{\partial \eta}{\partial x} + \\ \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial Q_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial Q_y}{\partial y} \right) + fQ_y - \frac{\tau_{bx}}{\rho_w} + \frac{\tau_{wx}}{\rho_w} \frac{\tau_{Sx}}{\rho_w} \\ \frac{\partial Q_y}{\partial t} + \frac{\partial(UQ_y)}{\partial x} + \frac{\partial(VQ_y)}{\partial x} &= -g(h+\eta) \frac{\partial \eta}{\partial y} + \\ \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial Q_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial Q_y}{\partial y} \right) + fQ_x - \frac{\tau_{by}}{\rho_w} + \frac{\tau_{wy}}{\rho_w} \frac{\tau_{Sy}}{\rho_w} \end{aligned} \right\} \dots \quad (2)$$

項を考慮した式(1)の間瀬ら⁷⁾のモデルを用い、海浜流

モデルには小野ら⁸⁾が用いた式(2)を採用する。ここに、 $s(f, \theta)$ は方向スペクトル、 C は波速、 C_g は群速度、 V_x , V_y , V_θ は、それぞれ x , y , θ 方向のエネルギー移流速度である。また、 η は水位、 U は x 方向の断面平均流速、 V は y 方向の断面平均流速、 h は水深、 Q_x , Q_y は単位幅あたりの流量、 D_x , D_y は水平方向の渦動粘性係数、 f はコリオリパラメータ、 ρ_w は海水密度、 τ_{bx} , τ_{by} は、 x 方向、 y 方向の底面せん断応力、 τ_{wx} , τ_{wy} は、 x 方向、 y 方向の水表面のせん断応力、 τ_{sx} , τ_{sy} は、 x 方向、 y 方向の波によるせん断応力である。なお、連続式は

$$\frac{\partial(h+\eta)}{\partial t} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = 0 \quad \dots (3)$$

である。計算領域は金沢港を含む図-4 の範囲とし、計算条件を表-1 の条件とした。

4. 解析結果および考察

図-2 および図-3 の現地計測結果に対応した海象および海底地形条件を用いて上述の数値解析モデルで計算を行った結果を図-5 および図-6 に示す。どちらの計算結果においてもリップチャンネルに沿って離岸流が発生していることが確認できる。

5. おわりに

本研究は、現地観測データを用いて内灘海岸における離岸流の発生状況を整理するとともに、数値計算を行い発生している離岸流の再現を試みた。現在、他のケースにおいても再現計算を進めている。詳細な解析結果は当日に発表する。

5. 謝辞

本研究でのデータは、国土交通省 北陸地方整備局金沢港湾・空港整備事務所より提供を受けた。また、数値解析モデルには NeCST-2D (株式会社エコー) を利用させていただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 第九管区海上保安部：離岸流による海浜事故の防止について
- 2) 日野幹雄・林直樹 (1973)：リップ・カレントの発生理論，第19回海岸工学講演会論文集，pp93-96。
- 3) 吉井匠・出口一郎・藪崎洋隆・有田守(2006)：地形性離岸流の発生条件について，海岸工学論文集，第53巻，pp96-100。
- 4) 出口一郎・荒木進歩・竹田怜史・吉井匠・藪崎洋隆(2005)：カスプ地形で発生する離岸流の特性について，海岸工学論文集，第52巻，pp116-120。
- 5) 西隆一郎・萩尾和央・山口博・岩根信也・杉尾毅(2003)：水難事故予防のための離岸流調査に関する基礎的研究，海岸工学論文集，第50巻，pp150-160。
- 6) 杉村佳寿・高橋伸一・田邊貢一郎・黒木敬司・斎藤武久・西

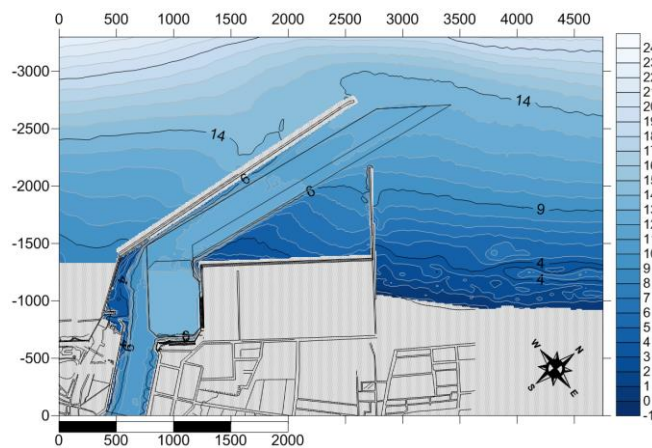


図-4 計算領域

表-1 計算条件

	2015年9月1日	2015年9月11日	2015年9月16日	2015年10月6日
海底地形	2015年9月1日	2015年9月16日		2015年10月6日
潮位条件	D.L.±0.0m			
計算範囲	3,310m×4,760m			
計算格子	10m×10m			
H _{1/3}	0.18m,	1.76m	0.24m	0.45m
T _{1/3}	5.1s	7.9s	4.1s	4.4s
S _{max}	25			
波向	N	NNW	NW	NNW

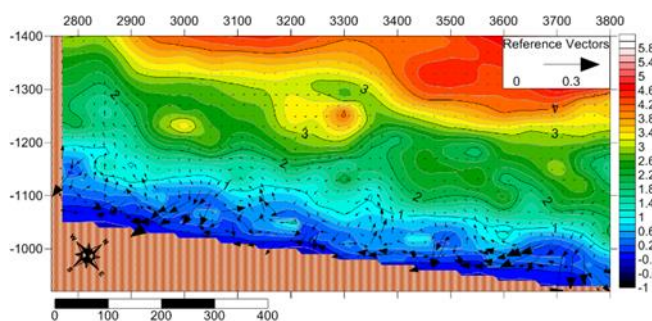


図-5 9月1日 $H_{1/3}=0.18m$, $T_{1/3}=5.1s$ 波向 N の場合の海底地形と海浜流の分布図

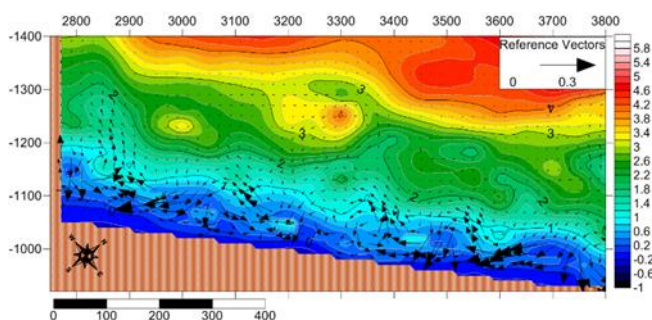


図-6 9月16日 $H_{1/3}=0.24m$, $T_{1/3}=4.1s$ 波向 NW の場合の海底地形と海浜流の分布図

による離岸流調査，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.71, No. 2, I_1693-I1698, 2015

- 7) 間瀬肇・高山知司・国富将嗣・三島豊秋；波の回折を考慮した多方向不規則波の変形計算モデルに関する研究，土木学会論文集 No.628/II-48, 177-187, 1999。
- 8) 小野信幸・伊東啓勝・坂井隆行・西隆一郎・間瀬 肇；河口域の流況特性に関する現地観測と数値シミュレーション，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 65, No. 1, pp. 386-390, 2009