

# ADCP を用いた銭函海岸の地形および流況把握

水圏防災工学研究室 南原 充

指導教員 犬飼 直之

## 1 はじめに

2017年8月27日に北海道小樽市に位置する銭函海岸(図-1)において、高校生3人が沖に流される事故が発生した。事故が起きた海岸は汀線付近でカスパ地形が形成されており、複数の離岸堤で構成されているという地形的特長を有している。

事故発生時、高波高ではあったが急激な海象の悪化は見られず、風況も風速・風向共に穏やかであった。しかし、事故証言において「水深が急激に深くなった」との証言が確認されている。

そこで、本研究では、事故が発生した銭函海岸に対して ADCP 流速計を用いた観測を行い、そこから得られたデータを元に数値計算を行うことで流況把握を行い、事故発生時の状況の把握を行う事で、水難事故の未然防止へ寄与することを本研究の目的とする。

## 2 現地調査概要

現地調査は事故発生から約1年後の2018年8月24日に行った。事故が発生されたと見られる地点付近で海面着色剤による流れの可視化と ADCP 流速計を用いた観測で銭函海岸の流況把握と水深調査を行い、得られた結果を本研究における数値計算のデータに用いた。

調査日の NOWPHAS 石狩新港<sup>1)</sup>で有義波高は0.25mで周期は4.0s、波向は北北西であり、調査時の海面着色剤の流出方向は海岸を背にして左方向の西南西であり、流速は約15cm/s程度だった。穏やかな海象であった。気象観測においても風向は東であり風速は最大でも約4.7m/sであり、気象観測を行った時間の間は約2.0m/sを推移したことから、調査日の気象は穏やかであった。

本調査では ADCP (acoustic Doppler current profiler) による多層方向流速計を用いた移動観測を行った。この機材は主に河川や海洋等の水域で使用されている。観測手法としては水中に音波を発信し、水中の散乱体(プランクトンや塵などの浮遊懸濁物)に反射して戻ってくる音の周波数変化を計測することで、それが流速に比例する事で層ごとの流速を算出することが出来る。小宮ら(2016)<sup>2)</sup>は ADCP を用いて内灘海岸の地形を把握すると共に、複数発生する離岸流を把握可能であることを示した

特徴としては下の事が挙げられる。

- ① 水中の各層の流向・流速を測定
- ② 流向・流速の3次元成分を測定
- ③ 水深も同時に測定
- ④ GPS で観測位置情報を付加
- ⑤ ピンポイントでの観測も可能である。

計測範囲は約500m×300mとした。そして、観測結果は航跡により線で表示されることから、観測されてない数値においては、観測された数値データを基に線形補完を行うことで代入した。

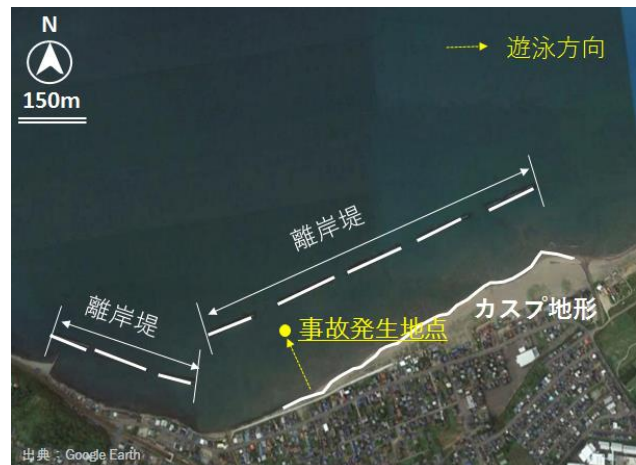


図-1 銭函海岸周辺の地形

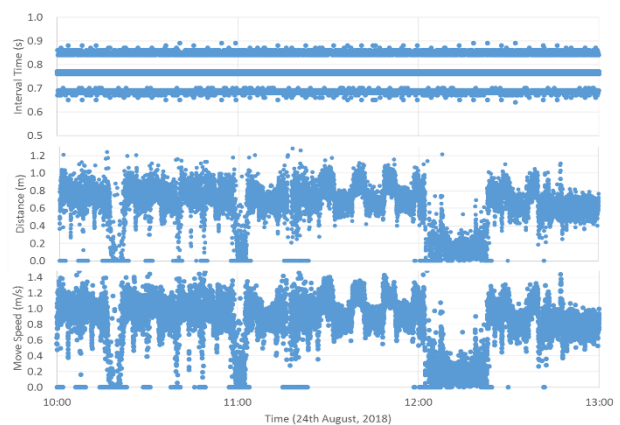


図-2 水上バイクによる ADCP データの取得状況

(図-2) ADCP は 0.7~0.9 秒程度の間隔で超音波を発信し水深や流速等を測定した。観測時の ADCP 観測において水中において超音波を発信する際に取得データの誤差をなるべく減らすため、基本的に 0.8±0.1 秒前後の等間隔で発信を行う。それに伴い発信毎の移動距離においても 0.8±0.2m, 移動速度においても 1.0±0.2m/s 程の数値で一定を保っている。観測結果より、事故証言の深くなったと言われる推定地点と観測結果から、遊泳開始地点から沖向き方向の同位置において、急勾配に陥る場所を確認する事ができた。そして離岸堤開口部の付近の水深は約 5.4m であった。今回の ADCP 流速計から観測されたデータを基に 370m×390m の格子からなる地形データ (図-3) を作成した。地形データ作成に当たり、事故日は調査日より潮位が 10cm 浅いことから、観測データより 10cm 浅く補正を行った。このデータを銭函海岸における数値計算の地形条件とする。

### 3 数値計算

事故日の波浪条件と ADCP 観測から得られた地形データを基に数値計算を行う事で銭函海岸の流況把握から事故原因の特定を行った。

#### 3.1 離岸流間隔の推算

銭函海岸の地形的特徴から 3) 事故現場において、沖向き離岸堤開口部の方向に離岸流が発生すると考えられる。それに伴い、離岸流の発生間隔を以下の離岸流発生間隔推算式(1), (2)から離岸流の挙動の把握を行った。ここで  $T$  は周期,  $H_b$  は砕波波高,  $\beta$  は海底勾配,  $Y_r$  は離岸流発生間隔,  $Y_r'$  は離岸流発生間隔の平均である。

$$Y_r = 1.08T^{1.41}H_b^{0.54}(\tan\beta)^{-0.64} \quad (1)$$

$$Y_r' = \{Y_r(No.n) + Y_r(No.n + 1)\}/2 \quad (2)$$

離岸流発生間隔の観測値は離岸堤長さである 165m とした。表-1 の結果より推算式より事故日における推算値は約 128m となった。推算結果より、観測値が推算値より大きいことから、離岸流はカスピの両側で発生し、先端部で合流せずに独立した挙動を示すと考えられる。

#### 3.2 海底勾配

今回の事故証言から、事故原因が水深変化に起因すると考えられる。それに伴い、推定事故地点の岸沖・沿岸方向の測深図から海底勾配を算出し、同事事故証言が確認された新潟県網代浜海水浴場との比較より、銭函海岸の危険度の算定を行った。表-2 に危険区域である岸沖方向での勾配差結果を示す。網代

浜海水浴場での事故発生地点を基準とした岸沖・沿岸方向の測深図から岸沖方向では 1/33→1/20 に勾配が変化し 0.02 の勾配差, 沿岸方向では 0→1/40 に勾配が変化し 0.025 の勾配差が算出された。銭函海岸の事故発生地点を基準とした岸沖・沿岸方向の測深図から岸沖方向では 1/81→1/25 に勾配が変化し 0.02 の勾配差, 沿岸方向では 1/240→1/31 に勾配が変化し 0.028 の勾配差が算出された。この結果より、銭函海岸は網代浜海水浴場と比較して、勾配及び勾配差の数値が大きいことから、銭函海岸の海底勾配はかなり急勾配であり遊泳時の足場は不安定である事が推察される。

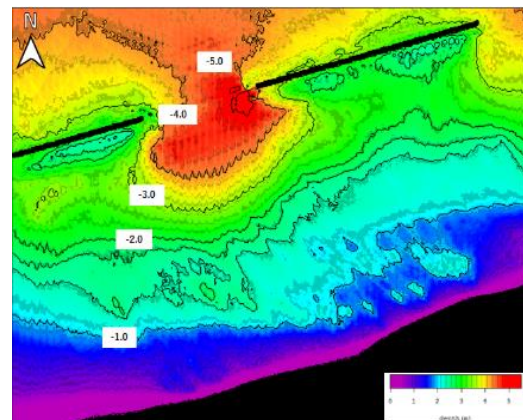


図-3 銭函海岸 地形作成データ

表-1 離岸流発生間隔推算値

地点	H:有義波高(m)	T:周期(s)	H <sub>b</sub> :砕波波高(m)	β:海底勾配	Tanβ	Y <sub>r</sub> :離岸流発生間隔(m)	Y <sub>r</sub> ' :離岸流発生間隔平均値(m)
地点①	1.08	5.2	1.14	0.018	0.018	155.35	127.63
地点②	1.08	5.2	1.11	0.035	0.035	99.92	

表-2 網代浜海岸と銭函海岸との海底勾配差

	岸沖方向(cm)			
	岸沖方向海底勾配	岸沖方向距離(m)	水深変化(m)	勾配差
新潟県網代浜 120cm基準	1/33→1/20	10	0.5	0.02
銭函海岸① 168cm基準	1/81→1/25	70.5	2.22	0.028

### 3.3 水面形挙動

現地調査で得た銭函海岸の地形データとNOWPHAS石狩新港の波浪データを元に非線形波浪変形モデル「NOWT-PARI Ver4.6β」を用いた数値実験を行った。計算モデルの基礎方程式は水深の場所の関数と修正ブシネスク方程式にエネルギー減衰項、底面摩擦項及び、底面摩擦項を加えたモデル<sup>4)</sup>である。

事故時の波浪状況である有義波高 1.08m, 周期 5.2s 波向 NW を計算条件として数値計算を行った。図-3 に水位図を示す。離岸堤の開口部に入射した波が回折波を形成し海岸内に侵入している。そして右の離岸堤背後では回折波が重なる事で細かな波形が形成される様子も確認できた。図-4 に事故発生地点の水位変動図を示す。Y 軸の最小値を遊泳者の顎下高である約 150cm とする。その結果、事故推定地点での水位変動値は±0.25m であり、顎下高を加算すると±1.25~1.75m であり、高校生の平均身長である 1.7m であることから事故発生地点では頭を超える波浪が短い間隔で襲来したと推察される。

## 4 まとめ

結果を基に、銭函海岸で発生した事故原因を記す。図-5 に模式図を示す。

- ① 事故発生時は約 1.0m の波浪が襲来
- ② 離岸堤内部に侵入した波が回折波を形成し、事故発生場所で重なった回折波による細かな水位変動
- ③ 事故発生地点での急勾配における不安定な足場
- ④ 銭函海岸の地形的特徴及び波浪条件による離岸流が別々の冲向きに向かう挙動

以上より、銭函海岸で発生した水難事故の原因としては、波浪条件及び地形的特徴によって複数の要因が重なりあったことが考えられる。

## 参考文献

- 1) (独法) 港湾空港技術研究所：NOWPHAS (全国港湾海洋波浪情報網)，国土交通省，<http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>
- 2) 犬飼 直之，櫻井 龍亮，山本 浩：”新潟市五十嵐浜における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 B2 (海岸工学)，73 巻，2 号，I\_1465 頁 ~ I\_1470 頁，2017。
- 3) 犬飼 直之，櫻井 龍亮，山本 浩：”新潟市五十嵐浜における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 B2 (海岸工学)，73 巻，2 号，I\_1465 頁 ~ I\_1470 頁，2017。

- 4) 平山克也：非線形不規則波を用いた数値計算の港湾設計への活用に関する研究，港湾空港技術研究所資料，No.1036,P.162. 2002

表-3 北海道高校 3 年生の平均身長値

高校 3 年生平均身長 (cm)	170.5cm
全頭高 (cm)	23.9cm
顎下高 (cm)	146.6cm

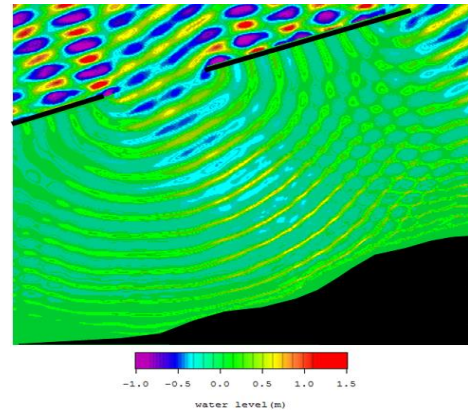


図-3 銭函海岸における水位図

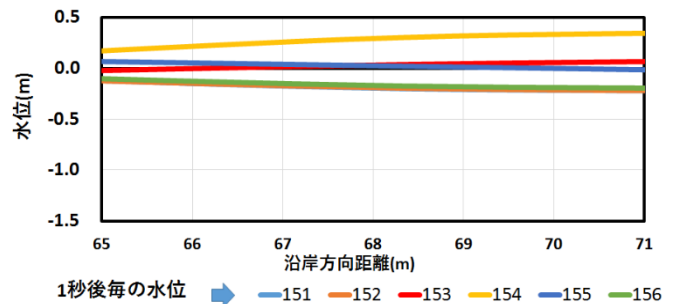


図-4 事故発生地点の水位変動図 (6 秒間)

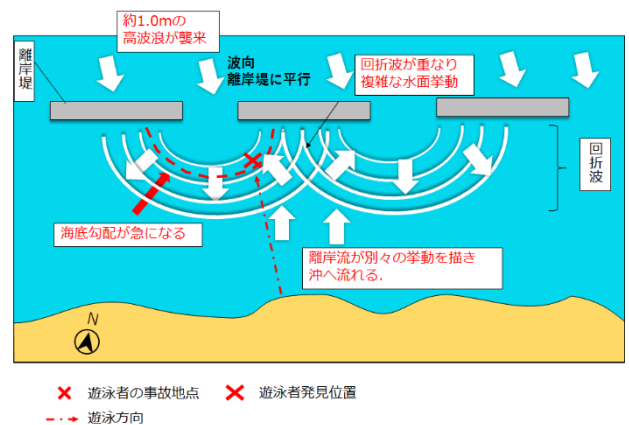


図-5 事故発生模式図