

水難事故予防を目的とした離岸流の研究

西隆一郎* ・村田尚紀** ・二ツ町悟***
木村信介**** ・村井弥亮***** ・古賀幸夫*****

海域利用時の水難事故は毎年数百件以上生じており、水難事故を効果的に減らすための対策を海洋学および海岸工学の研究レベルでも提案すべきである。よって、宮崎県の青島海岸、そして、鹿児島県の押切海岸と柏原海岸で水難事故の原因となりやすい離岸流の現地調査を行った。特に、離岸流予測上重要な海底地形測深はマルチビームおよびレベルを用いて行ったが、水深 2～3 m 以浅領域の詳細な測量は困難であった。また、測深結果から、志布志湾内に約 450 m 規模の弧状沿岸砂州が発達していることが明らかとなった。さらに、現地調査に加えて、公衆教育の一環として市民を対象とした水難事故予防の啓発教育セミナーを行い、その後アンケート調査も行った。そして、離岸流の公衆教育に関して必要な問題を検討することにした。

1. ま え が き

海岸法の下で海岸利用は重要なキーワードであり、海岸管理者が親水活動の促進を図るには、海域利用者の安全も同時に保障する必要がある。一方、海域利用時の水難事故は毎年数百件以上生じており、水難事故を決定的に減らすための対策を海洋学や海岸工学の研究者も提案すべきである。水難事故に対する離岸流の重要性を最初に指摘したのは Shepard (1936, 1950) とも言われるが、最近では、Short (1994), Engle (2003), Thieki (2004), Smith (2004) などが水難事故予防の観点から研究を行っている。また、国内でも同様の観点到立つ離岸流の研究が、例えば、高橋ら (1999), 出口 (2003, 2004), 柴崎ら (2003, 2004), 西ら (2003, 2004) により行われているが、構造物に起因した離岸流 (図-1 リップチャンネル参照) の発生機構などを含めて未解明の問題が多

い。加えて、離岸流による水難事故予防のための公衆教育まで踏み込んだ研究は少ない。

一般論では、水難事故に遭遇するのは個人のレクリエーション活動時であるので、自己責任で親水活動を行うべきとの意見もある。一方、各地の水難事故ニュースを見れば、自己責任を要求できない幼児や児童の水難事故も多く、学童児童、保護者、教育関係者、その他の一般市民を対象にした体系的な公衆教育システムを開発する必要がある。そこで、本研究では宮崎市青島海岸、鹿児島県志布志町押切海岸、東串良町柏原海岸で実施した離岸流の現地観測と、市民を対象とした水難事故予防の啓発教育セミナーに関するアンケート調査結果について述べる。

2. 現 地 観 測

現地観測は、計測器を 2 週間から 6 週間ほど海底面に設置して波浪と流れの計測を常時行う長期観測と、フロートや染料などを用いて 1 日程度で終わる短期観測の 2 種類を行った。長期観測に関しては、志布志押切海岸で 8 月 1 日から 9 月上旬まで、志布志柏原海岸で 8 月 1 日から 9 月上旬まで、そして、宮崎市青島海岸では 8 月 2 日から約 2 週間を目途に計測を行うことにした。

長期観測で使用した海象計は、WAVE HUNTER94 WH-101, WaveHunter99Σ WH-203, 超音波ドップラ一流速計 ADCP (Aquadopp Profiler) である。また、短期観測時の流れ観測には Handy GPS (HGPS) フロートと染料を用いた。加えて、2003 年度の観測で赤外線カメラを用いて離岸流探査が行える可能性が指摘されたので、熱赤外線カメラを用いた観測も行った。短期観測は、上記海岸以外にも鹿児島県吹上海岸、大島郡瀬戸内町海岸、宮崎県恋ヶ浦海岸、新湊海岸、小樽市ドリームビーチなどでも実施した。

(1) 宮崎市青島海岸

宮崎市青島海岸での波・流れの現地観測は、図-2 に示



図-1 離岸流を引き起こす離岸堤間リップチャンネル

* 正会員 鹿児島大学工学部海洋土木工学科助教授 博(工)
** 志布志町役場建設課 技師
*** 第十管区海上保安本部海洋情報部部長
**** 海上保安庁海洋情報部
***** (財)日本水路協会 調査研究部長
***** 国際航業(株)国土マネジメント技術本部

す青島海岸の北部海岸（測深図左側）において、平成16年8月2日から8月16日の期間に行った。測深作業は、測量艇が進入できる水深までマルチビーム測深を行った。通常の深浅時図に比べれば詳細で高精度のものになっている。ただし、汀線近傍の水深0～2 m程度の極浅海域では測量艇が測深作業を行えないために、今後、極浅海域での測量技術に改良が必要である。

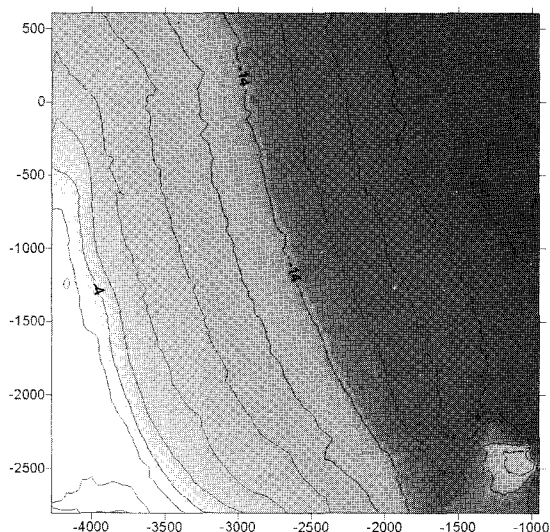


図-2 青島海岸の深浅図（右下が青島，単位；m）

深浅図より、離岸距離座標-4000 m，沿岸距離座標-1600 m～-600 m 辺りの領域で、弧状沿岸砂州を含む三次元性変動を含む海底地形が浅海域にあることが推定される。これらの沿岸砂州からより浅い領域の深浅測量が可能であれば、正確にリップチャンネルの形成位置を

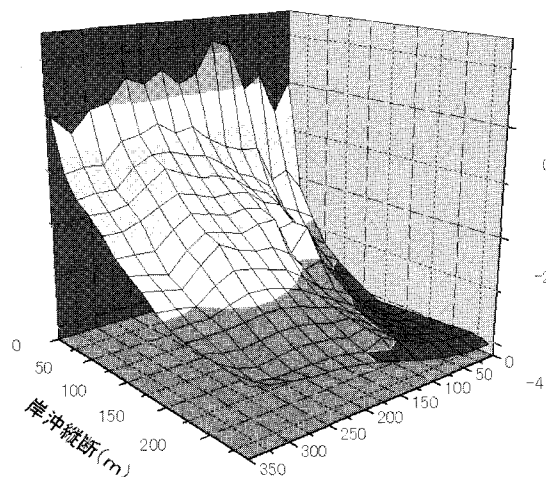


図-3 深浅図北座標-1200 m 付近の汀線近傍海岸地形（単位（m））

特定できるはずである。また、本深浅図では破線の矢印で示す領域で地形性の離岸流が発生する可能性が高い。よって2004年度はこの領域を対象に流況観測を行った。

なお、深浅図に示された離岸流発生域としての可能性が高い箇所の極浅海域（水深2～3 m以下）の、測量船による測深作業は当日の波浪条件により困難であった。そこで、より強い離岸流域と若干弱いと思われる離岸流域をカバーするように約50 m 間隔で8 測線を設置し、干潮時に沿岸方向約350 m 区間で水準測量を行った。また、波高計設置箇所の上にも岸沖の測線を設定し、水準測量を行った。その結果を、図-3 と4 に立体図および縦断形状図として示す。立体図および深浅図ともに左側（北側；測線1）と右側（南側）が中央部に比べて海底面が低く、リップチャンネルと思われる地形になっている。さらに、縦断図からも、左側（北側）の方が、規模の大きいリップチャンネルになっている事がわかる。

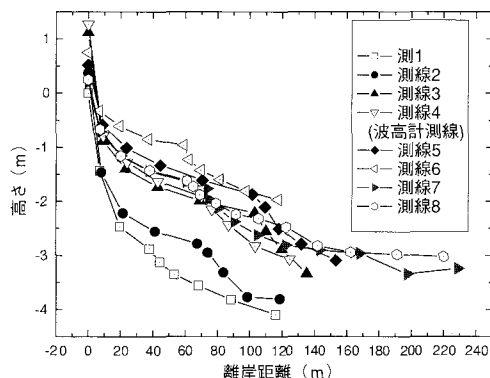


図-4 図-3 に示す海岸地形の縦断図

離岸流発生箇所と離岸流規模の特定のために、ハンディ GPS を組み込んだフロート（HGPS フロート）、染料（ウラン）、デジタルビデオカメラ、赤外線カメラなどを用いて流況調査を行った。離岸流の目視観測は従来の調査結果を参考に、主に干潮時に調査できるように鹿児島市からの移動スケジュールを組み、5月から10月まで繰り返し行った。ただし、離岸流が目視ではっきり認識できる場合と、認識できない場合がともにあった。

HGPSで計測した汀線位置と離岸流規模の計測代表例を図-5に示す。本結果では、緯距・経距が約（-900 m, -1,100 m）当たりから東北東に約200 m フロートが漂流しており、ここに離岸流がある。ただし、現地踏査だけによる離岸流発生箇所の特定に関しては、干潮時汀線およびH.W.L.ともに屈曲が顕著でなく地形だけで発生箇所を特定することは困難であったが、目視により波の形状や海表面の様子を観察することで、この付近に離岸流があると推定し、その後、当該海域でHGPSフロートの投入を繰り返した。なお、本記録は沖に移動した

HGPS フロートをいったん巻き戻し、再度流れに投入したもので2回分の離岸流データを含んでいる。図中、離岸流(i), (ii)の流速記録を見れば、ともに、平均流速(ラグランジアン流速)が0.5 m/s以上の時間が長く、一般の人が泳ぐには十分危険な場所だという事が再確認できた。離岸流(i)は平均流速が0.78 m/s, 最大流速が2.09 m/sで、離岸流(ii)は平均流速が0.67 m/s, 最大流速が2.45 m/sであった。このことから、本調査地域が遊泳禁止であるべきこと、および、上級者によるサ

ーフィンなどの利用や、離岸流内での救出訓練には適していることが分かる。

本調査地では2002年から3年間現地観測を行っている。観測体験から離岸流発生域が比較的一定の箇所に発生しやすい印象があったので、2002年度、2003年度、2004年度に観測された代表的な離岸流の軌跡を重ね合わせてみた。その結果、当海岸では規模の大きい離岸流および、小さい離岸流もほぼ発生箇所が特定の箇所に集中していることが分かった。

(2) 志布志湾内押切海岸と柏原海岸での離岸流調査

前述した青島海岸は、自然海岸における地形性の離岸流が発生しやすい海岸である。一方、わが国の海岸には海岸保全構造物が多数設置されており、人工構造物に起因した離岸流も多数発生している。そこで、海岸保全構造物の設置された人工海岸で発生する離岸流を調べるために、突堤構造物のある鹿児島県志布志湾内の押切海岸および柏原海岸において WaveHunter および ADCP を用いた長期観測と、フロートや染料を用いた短期観測を行うことにした。また、押切海岸側では、第十管区海上保安本部所属のいそしおおよび搭載艇により、志布志港南側の安楽川から菱田川沖合の海域のマルチビーム測深を行い、地形性の強い離岸流を誘引しやすい3次元地形を調べた。

観測箇所は、それぞれ一文字突堤とT字型突堤の左側海域の突堤付根付近で、台風による埋没・流出も考慮して干潮時汀線よりやや深い水深に計測器を設置した。なお、計測器設置後すぐに染料を投入して、計測器上を染料が沖合に流出することを確認してある。測深結果を図-8に示す。図中5m水深以浅に三次元性の強いリップチャンネル地形が形成されていることがわかる。図中、リップチャンネルの間隔は約450 mである。

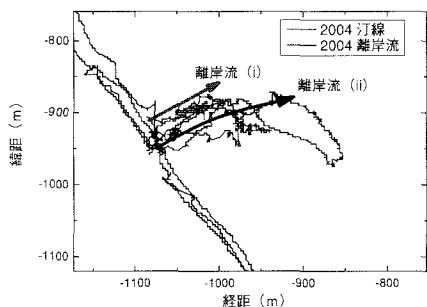


図-5 HGPS フローとによる流況観測例

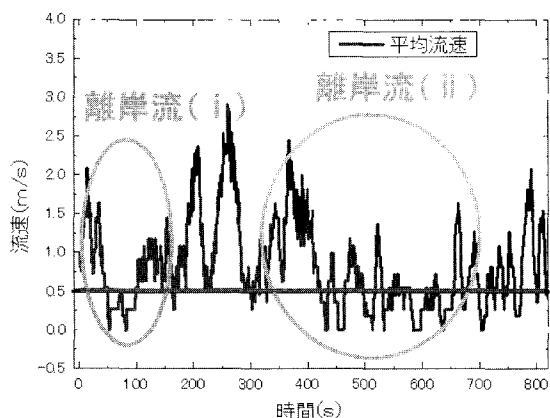


図-6 フロートの移動流速 (ラグランジアン流速)

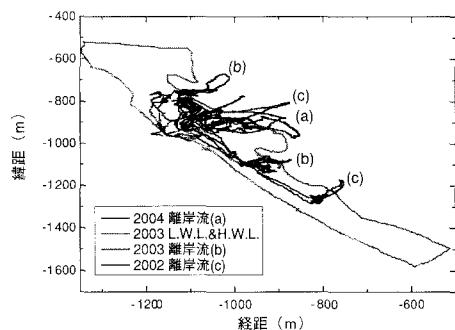


図-7 青島海岸における2002年, 2003年, 2004年の離岸流発生箇所と汀線形状 (観測時)

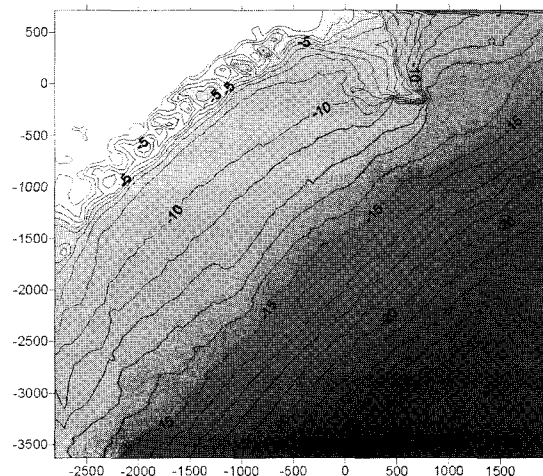


図-8 押切海岸のマルチビーム測深図 (単位: m)

図中に示される三次元地形（リップチャンネル）の持続性についても検討するために、1981年から2001年11月までの深浅図および台風時の入射波浪条件について調べた。その結果、安楽川～菱田川区間では、図中に示されるような弧状トラフは、台風時の入射波浪が7mを超えるような暴浪時に形成・成長し、弧状砂州が沿岸方向へ経年的に移動する様子は見られなかった。また、台風時の有義波高が6m以下の状況が経年的に継続すると、リップチャンネル部のくぼみが埋め戻されていた。

なお、2004年度は観測地域が、図-9に示すような有義波高と周期を持つ大型台風の影響を強く受けた。その結果、押切海岸、柏原海岸ともに設置したWaveHunter 2台、ADCP 1台を現状では回収できていない。また、短期観測中も雷雨を伴うことがたびたびあり、ビデオカメラやカメラなどの機材が雨や飛砂により若干のダメージを受ける結果となった。赤外線カメラを用いた画像撮影は、柏原海岸では突堤に沿う離岸流が染料では確認されるが、雨が降り温度差が出にくいいため明瞭な温度差分布を示す画像を得ることは出来ず、今後、データを積み上げる必要がある。

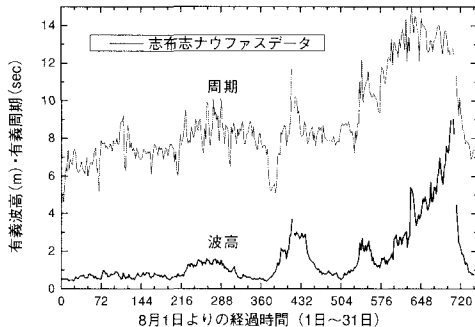


図-9 2004年8月の有義波高と周期の観測記録
(データは志布志港湾事務所提供)

3. 離岸流アンケートと公衆教育

沿岸域での親水活動のリスクを低減するには、海浜事故の主要因である離岸流を含む海浜流系に関するセミナーや現地実験などの公衆教育が重要である。また、同時に水難事故に遭遇した事例データの収集も必要である。そこで、一般の高校生や市民、救難関係者、および離岸流に関し熟知していると思われる海岸の技術者や研究者を対象に宮崎県立都城泉丘高等学校、第九管区海上保安本部（新潟市）、鹿児島県立大島高等学校を含む7回の離岸流セミナーを行い、その後、離岸流および水難事故に関するアンケート調査（表-1参照）を行った。

全聴講者数に比べると、アンケート回収枚数は約120人分と少なめであるが、これは、高校での出前講義など

での回収率がやや芳しくなかったためである。以下に、質問項目のうち3と6について結果を図-10に示す。120人の回答者のうち約9割はセミナーが面白かったと答えていることから、離岸流セミナー用に作成した現在のプレゼンテーション資料が、一般的には満足いく程度のものになっていることを示している。ただし、聴講者の関心を高めるには地元情報を組み込む必要がある。また、溺れる体験が幼児・小学生で8割を超えていることから、子供用の非常に分かりやすく面白い資料を別途作成し、かつ興味をひきつけるための現地実験などの必要がある。また、幼児・小学生の安全な海域利用に関しては、特に保護者や教育関係者への積極的な啓発教育が必要と言える。なお、研究成果の一部である簡易離岸流探査法のパンフレットが、第八管区海洋情報部により、近畿地方を中心に約12,000の小中高等学校に配布され、啓発教育に使用された。

表-1 アンケート調査用紙

第九管区海上保安本部離岸流セミナーアンケート

1. 年に何回ぐらい海に行かれますか。また、海で主に何をしますか。
2. 海に行かれる方はよくどこに行かれますか。海岸の名前を教えてください。
3. 海で流されそうになったことがありますか。あるいは、溺れそうになったことがありますか。
あれば、いつ、どこで、何をしていたときにかご記入下さい
4. 本日のセミナーを聴いて、海で泳ぐときに注意すべきことは何か、覚えていればポイントをお書き下さい。
5. 海のことで特に聴いてみたいテーマがありますか。あれば、記入してください。
6. 本日のセミナーは、面白く聴いていただきましたでしょうか。それとも、つまらないものだったでしょうか。セミナーの感想を、手短かにご記入下さい。
7. 離岸流の探査で何かアドバイスがありましたら、よろしくお願いします。

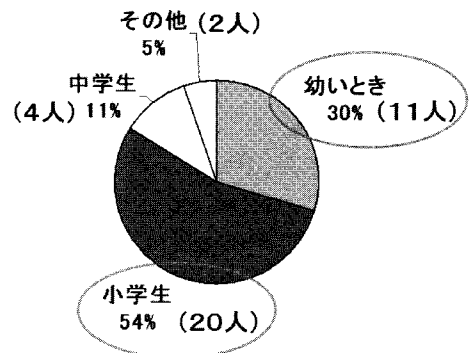


図-10 溺れた経験を持つ場合、いつ溺れたかに関する質問への回答結果

4. 結 論

2004年度の現地観測時における主な調査結果を、以下に示す。

- (1) 青島海岸の観測海域で離岸流の平均流速が0.7 m/s程度で、最大流速が2.45 m/sであった。また、平均流速が0.5 m/s以上の継続時間が長く、一般の人が泳ぐには危険である。
- (2) 押切海岸では、地形成の強い離岸流を発生しやすい弧状沿岸砂州地形が、マルチビーム測深において明瞭に捉えられた。また、弧状砂州の平均間隔は約450 mであった。
- (3) 啓発教育セミナーアンケートの回答者のうち約9割は、セミナーが面白かったと答えていることから、現状のプレゼンテーション資料は満足いく程度のものになっている。また、溺れる体験が幼児・小学生で8割を超えており、海域利用は自己責任でという言葉が必ずしも適切でないことが分かった。

青島海岸の調査地域には、遊泳禁止区域および遊泳危険区域の看板が掲示されているが、離岸流の短期観測時に著者のうち一人の目前で男女二人連れが浮き輪一個を持参して入水し沖に流された。加えて、観測箇所の隣接海岸で観測期間中に水難事故が発生し大学生一名の命が失われた。現地踏査の結果では、明白な離岸流発生箇所であるにも関わらず入水し事故に遭遇しているようであり啓発教育の重要性が強く認識されることとなった。

謝辞：本研究を実施するにあたり、ご配慮いただいた宮崎県土木部中部港湾事務所、宮崎空港・港湾整備事務所、鹿児島県鹿屋土木事務所、大隈土木事務所、志布志港工事事務所、および地元漁協関係者の方々に紙面を借りて深甚の謝意を表させていただきます。また、現地観測にご同行いただいた第十管区海上保安本部海洋情報部および測量船いそしおの関係諸氏、ならびに鹿児島大学工学部海洋土木工学環境システム工学講座の院生および4年生諸君に、紙面を借りて謝意を表させていただきます。加えて、新潟海岸でのヘリコプターを用いた海岸視察の機会を提供していただいた第九管区海上保安本部新潟航空基地の方々、および同海洋情報部の方々に厚くお礼を申し上げます。また、本研究は(財)日本水路協会の「離岸流等の観測手法及び特性把握に関する研究」で得

られた成果の一部についてまとめたものであり、大阪大学出口教授をはじめとする調査検討委員会の各委員および事務局諸氏には、有益なアドバイスをいただき、ここに謝意を表させていただきます。最後に、本研究は、日本水路協会が日本財団からの事業助成金を受けたものであることを記しておきます。

参 考 文 献

- 柴崎 誠・宇多高明・芹沢真澄・熊田貴之・小林昭男(2003)離岸流発生を助長するリップチャンネルの形態について、海岸工学論文集、第50巻、pp. 146-150。
- 柴崎 誠・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・熊田貴之(2004)：離岸流の発生と窪みの形成・維持機構のモデル化、海岸工学論文集、第50巻、pp. 146-150。
- 高橋重雄・常数浩二・鈴木高二郎・西田仁志・土棚 毅・小林雅彦・小沢保臣(1999)：離岸流に伴う海水浴中の事故発生に関する一考察、海洋開発論文集、第15巻、pp. 743-748。
- 出口一郎・荒木進歩・竹田怜史・松見吉晴・古河泰(2003)：鳥取県浦富海岸で観測された離岸流の特性、海岸工学論文集、第50巻、pp. 151-155。
- 出口一郎・荒木進歩・竹田怜史・吉井 匠・大利桂子・竹原幸生(2004)：浦富海岸で観測された地形性離岸流の特性とその予測について、海岸工学論文集、第51巻、pp. 136-140。
- 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、海岸工学講演会論文集 第50巻、pp. 156-160。
- 西 隆一郎・山口 博・岩淵 洋・木村信介・村井弥亮・徳永企世志・古賀幸夫：宮崎県青島海岸での離岸流観測－水難事故予防のために－、海岸工学講演会論文集 第51巻、pp. 151-155, 2004。
- Engle, J.A. (2003) : Formulation of a rip current forecasting technique through statistical analysis of rip current-related rescues. Thesis of Mater of Science, University of Florida, 72p.
- Shepard, F.P. (1936): Undertow, rip tides or rip currents, Science, LXXXXIV : 181-182.
- Shepard, F.P. and D.L. Inman (1950): Nearshore circulation, Proc. of First Coastal Engineering Conference, pp. 50-59.
- Short, A.D. and C.L. Hogan (1994): Rip currents and beach hazards: their impact on public safety and implications for coastal management. Journal of Coastal Research, Special Issue No. 12. Coastal Hazards, pp. 197-209.
- Smith, J.F. (2004): Coastal geography of rip currents Pacific Ocean beaches and public safety San Francisco area, California. UCB/HEL-2004-2, 310p.
- Thieke, R.J., J. Engle, J. MacMahan, M. Sshrader and E. Gutierrez (2004): Observed wave conditions during rip current "OUT-BREAKS" in Florida, Book of abstracts 29th ICCE, paper No. 244.