静岡県相良海岸における静穏時の 離岸流発生特性

GENERATION OF RIP CURRENT UNDER CALM SEA CONDITION AT SAGARA
COAST, SHIZUOKA, JAPAN

石川仁憲¹・岡辺拓巳²・堀口敬洋³・青木伸一⁴

Toshinori ISHIKAWA, Takumi OKABE, Takahiro HORIGUCHI and Shin-ichi AOKI

¹正会員 工修 (財) 土木研究センターなぎさ総合研究室 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4)

²修(工) 豊橋技術科学大学研究員 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

³正会員 (株) クレアリア海岸部 (〒112-8668 東京都北区豊島8-4-1)

⁴正会員 工博 豊橋技術科学大学教授 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

The purpose of this study was to investigate rip current generation under calm sea condition, i.e. good condition for sea bathing. A two-week continuous measurement of near-shore currents was carried out at two stations near the breakwater of a fishery harbor at Sagara coast, Shizuoka. Characteristics of the rip current such as time variation, spectral features and vertical structure were discussed based on the data. Generation mechanism of the rip current was also discussed associated with wave properties and wind conditions. Sudden velocity increase up to 0.2m/s was observed for 1 - 2 hours under very calm condition, which does not show very clear relationship with wave and wind conditions.

Key Words : Rip current, Field measurement, Calm sea condition, Water safety, Sagara Coast

1. はじめに

海浜における溺水事故は後を絶たない。小峯ら¹⁾によれば、ライフセーバーが活動する 200 箇所の海水浴場では毎年約 2,000 件のレスキューが行われ、救出段階で意識が無い重溺者のうち蘇生し社会復帰した人の割合は 49%であり、迅速な救助よりも事故を起こさないための予防策が重要である。一方、海水浴場では、波高が高い場合は海岸管理者、ライフセーバーの判断により、遊泳注意、遊泳禁止の措置

がとられるため、溺水事故は相対的に起こりにくく、むしろ静穏時における離岸流による事故が多い¹⁾。この主因である離岸流について、これまでに観測や数値モデル等で現象解明が試みられているものの、利用者の多い静穏時に着目した例は少ない。そこで本研究は、溺水事故防止の観点から静穏時の離岸流発生メカニズムを明らかにすることを目的に、静岡県相良海岸を対象に、現地観測に加え、ライフセーバーやサーファーの知見をふまえ、同海岸における静穏時離岸流の発生特性を分析した。

図-1 対象海岸の概要と観測地点

表-1 波高・流速の観測概要

観測項目	計測機器	観測期間	観測仕様	海底～センサー	水深	備考
波高	アイオーテック製 HJ-401（水圧式波高計）	2010年9月7日 12:00:00 ～ 2010年9月23日 08:00:00	2Hz 連続観測	0.43m	平均水深 3.3m	観測水圧を 水位として処理
2次元 水平流速	JFE アドバンテック製 Infinity-EM（電磁流速計）		2Hz 5分毎に 64データ	0.7m		-
流速 鉛直分布	Nortek 製 Aquadopp 2MHz （超音波流速プロファイラ）		5分毎に 1分間の 平均値	0.7m （1層目）		層厚 0.5m×8層

2. 現地調査の概要

青木ら²⁾は相良海岸において離岸流観測を行い、比較的静穏時でも相良港防波堤に沿って速い離岸流が発生することを明らかにした。しかし観測期間が3時間と短く、その発生特性を分析するまでには至っていない。本研究では観測期間を2週間、2地点で行うことでより多くのデータを取得した。

(1) 観測地点および方法

図-1に示す対象海岸の中で、離岸流事故が多い相良港防波堤南側において、2010年9月の約2週間、波と流れを観測した。観測項目と機器、設定等の詳細を表-1に、計測機器の位置を図-2に示す。計測機器は離岸流の空間的な分布を計測するため、沿岸方向に10mの距離をあけた2つの計測点（P1およびP2）を設けた。波高計で計測された水圧データは、水深が浅いことから水圧伝達関数を用いず、そのまま水位として処理を行った。

(2) 観測期間中の気象条件

観測期間中、影響のあった2つの台風について、気象庁によるベストトラック³⁾を図-3に示す。山陰沖から関東沖へ通過した台風1009号は対象地域の近くを通過している。また先島諸島を西に進んだ強い台風1011号は、遠いながらも太平洋沿岸にうねり性の波をもたらした。

3. 現地調査の結果

(1) 波と流れの特性

図-4はP1において取得した水位、有義波高 $H_{1/3}$ 、有義波周期 $T_{1/3}$ および底層での1時間移動平均流速の経時変化を示す。観測期間中には2つの台風が発生したが、台風1009号発生時の波高は $H_{1/3}=0.4\text{m}$ 以下と小さく、台風1011号の場合は、 $T_{1/3}=14\text{s}$ 程度のうねり性の波であるが、波高は大きくても $H_{1/3}=0.6\text{m}$ 程度と比較的小さかった。また静穏時の波浪は $H_{1/3}=0.3\text{m}$ 、 $T_{1/3}=8\text{s}$ 前後、期間中の平均水深は3.3mであった。一方、図-1に示すように相良港防波堤の法線は東西方

(b) 海岸から見た計測機器の設置位置

図-2 観測機器の配置

図-3 観測期間中における台風の経路³⁾

図-4 水位，有義波高，有義波周期および底層の1時間移動平均流速の経時変化(P1)

図-5 水位変動のパワースペクトル

図-7 P2における流速（絶対値）の平均値の鉛直分布

図-6 平均流速の位相面プロット

向に延びており，防波堤と離岸堤の開口部が東南東方向に開いていることから，Northwardの流速がマイナス，Eastwardがプラスの場合に冲向き方向の流れが発生していることになる．図-4より台風発生時には比較的速い流れが発生しているが，波高が小さく，周期が短い台風1009発生時（9月8日）の方が速い流れが長時間継続して発生していることが分かる．また，静穏であった9月12日，16日前後においても，

同程度の流速が観測されている．このことから対象海岸においては，波高，周期の大きさに関係なく，比較的静穏な条件であっても速い流れが発生していることが分かった．

図-5は台風発生時におけるP1の20分間の水位変動のパワースペクトルを示す．比較的長周期の波が来襲した台風1011号の場合は，周期14s ($f=0.07\text{Hz}$)にピークが見られ，長周期の変動成分もエネルギーも大きい．なおスペクトル形状がフラットになっているのは，計測位置が砕波帯内にあるためであると考えられる⁴⁾．

図-6は2つの観測地点における底層での平均流速の位相面プロットを示す．P1は30秒，P2は1分間の平均値である．2地点は同程度の流速であり，防波堤に近い観測点P1では図中のトレンド（実線）が示すように，防波堤に沿った岸沖（東南東）方向が主な流軸であり，対象海岸で行われた既往の観測結果²⁾とも一致する．

図-7はP2における流速の絶対値を平均した値について，2方向成分の鉛直分布を示したものである．これより，海底から2.7m上の表層流速は，底層の値

図-8 底層における沖向き流速の最大値および平均値の経時変化(P1)

図-9 P2における東方流速の鉛直分布の経時変化

のおよそ1.3倍程度になっており，全層において東西成分が南北成分より強いことがわかる．

(2) 離岸流の発生特性

図-8は，P1における5分毎の観測データのうち離岸流に相当する沖向き（東～南東方向）の流向データを抽出し，最大値と平均値の経時変化を示したものである．図-4に示した底層での1時間移動平均流速の経時変化に対応して，台風1009号，台風1011号発生時および9月16日前後の静穏時に速い離岸流が発生していることが分かる．これらの期間の最大流速は0.5～0.6m/s，平均流速は0.2～0.3m/sであった．0.2m/s程度の離岸流に逆らって泳ぐことは困難との研究報告²⁾もあり，観測期間中は事故の起きやすい条件が高頻度に発生していたと考えられる．一方，波高，周期の大きさに関係なく，速い離岸流が発生することが当海岸の特徴である．

図-9は，比較的静穏時に速い離岸流が長時間観測された台風1009号発生時を含む5日間のP2における東向きの流速の鉛直分布の経時変化を示す．正の値（東向き）がおおよその離岸方向を指している．図中Aで示す期間では東向きの流れが比較的大きく，12時間程度と長く続いている．同様にBおよびCで示す時間帯は急な流速の増大が見られ，0.2m/s程度の流れが1～2時間継続した後に減少するなど，様々な時間スケールでの流況の変化が見られた．また，流向については，水深方向にほぼ一様である．

図-10 2つの観測点での底層流速の比較

図-11 有義波高と合成流速の絶対値との関係

図-12 満潮・干潮前後30分間の流速の位相面プロット

図-13 観測期間中の風配図

図-10は2つの観測点における1時間移動平均した底層流速の関係について、東西と南北成分に分けて示したものである。両者とも相関係数は $R=0.68$ で、ほぼ同様な回帰直線となった。傾きは0.6であり、堤防に沿ったP1での流速の方が大きい。2点での計測仕様が若干異なることも一因であると考えられる。また、両地点の流速の時間変動について、相互相関解析による位相は0sであった。これより、2つの観測点では同じ流向の流れが同期的に変動していることが分かる。図-6の結果もふまえ、対象海岸では、防波堤に沿って幅10m以上の離岸流が発生していることが分かった。

図-11はP1における東西および南北成分を合成して求めた30秒間の底層平均流速の絶対値と、有義波高の関係を示したものである。これより、両者の相関は $R=0.30$ と低く、波浪と流速の増大は必ずしも対応しないことがわかった。

一方、対象海岸で活動するサーファーやライフセーバーからは満潮時に離岸流の増大が指摘されている²⁾。図-4に示すように、例えば台風1011号発生時など満潮時において流速の発達を確認できる。しかし、図-12に示すP2での満潮・干潮前後30分間の流速分布より、全観測期間における満潮と干潮時

図-14 P2での表層の残差流および御前崎での風速・風向の経時変化

図-15 風速と東西残差流速の関係

図-16 東西残差流速の頻度分布における風向の割合

の流速には明確な違いは見られなかった。

4. 海岸利用者の意見と静穏時における離岸流の発生要因の分析

現地調査結果より、対象海岸では波高が小さく比較的静穏な条件であっても、防波堤に沿って幅10m以上の速い離岸流が発生することが分かった。調査

結果を基に、対象海岸で活動するサーファーやライフセーバーと意見交換を行った結果、静穏時に離岸流が観測されたことに対して、「防波堤付近では強い西風発生時に沖へ流される遊泳客が多い。」という経験的な意見がでた。そこで風と離岸流の関係を調べた。図-13は相良海岸の南10kmに位置する御前崎特別地域気象観測所で観測された調査期間中の10分平均値による風配図を示す。西、西南西からの5m以上の風が多くを占めている。

図-14は、比較的静穏時に速い離岸流が観測された期間におけるP2の表層流速を25時間移動平均した残差流成分と、10分間平均風速および風向の経時変化を示す。西よりの風が強まると、東向きの残差流速が大きくなり、風速の増大と離岸流の発生が対応していることが分かる。

図-15はP2における表層の残差流速（東西成分）と風速の関係を示したものである。西寄りの風（西北西～西南西）が吹いた場合の流速は赤色で示す。図より、残差流の東西成分は観測期間を通して東向き（正）であることが分かる。風速と流速の関係は明確ではないが、風速8m/s以上では残差流が大きく、また、西寄りの風が吹いた場合に残差流が大きいことが分かる。

図-16はP2における表層の東西残差流速の頻度分布について、西寄り（西北西～西南西）とそれ以外の風向の割合を示したものである。東向きの流速が速くなるに従って、西寄りの風の発生頻度が多くなる傾向にあり、西風の表層東向き流れへの寄与が高いことが分かる。

5. 考察

観測データを分析した結果、相良海岸では、波高が小さく比較的静穏な条件であっても、防波堤に沿って幅10m以上の速い離岸流が突発的に発生することが分かった。これは対象海岸において防波堤近くで離岸流事故が多いことを裏付ける結果である。また静穏時の離岸流の発生要因として、卓越する西寄りの風による影響が大きいことが分かった。相良海岸は東向きに面した卓越風向の風下側に開けた海岸で、さらに相良港防波堤の法線が東西方向に延びる条件のため、卓越する西寄りの風により、防波堤隣接部において定常的に離岸流が発生しやすいと考えられる。この場合、遊泳者は離岸流だけでなく、身体の水上新部分が風の影響を受け、特にフロート（浮き輪）利用者はより沖向きに流されやすい。このようなことから対象海岸では安全な海浜利用に風況が強く関係するといえる。このように静穏時の離岸流の発生には、波浪条件以外に、風と地形的な条件が強く関係すると考えられる。なお、観測結果から

離岸流と潮汐に明確な関係はみられなかった。

6. おわりに

本研究では約2週間の現地観測とサーファーやライフセーバーの知見をふまえ、同海岸における静穏時の離岸流の発生特性を検討した。この結果、比較的静穏な状況でも防波堤に沿った離岸流の発生が確認され、その要因として西寄りの風による影響が大きいと考えられた。一般にライフセーバーは気圧配置をみればどの時間帯にどの方向から風が強く吹くかを推測できるので、例えば予め危険な時間帯を想定したパトロール体制を設定することができる。このように本研究で得られた知見は、静穏時における水難事故防止に活用できると考えられる。一方で、潮汐による水深増加に伴って離岸流を強く体感したとの報告²⁾や、他の海岸では干潮時に流速の増大を観測した例⁵⁾もあることから、海岸利用の安全性向上のためには、潮位変動と離岸流の増幅関係を明らかにすることが今後の課題である。

謝辞：本調査は土木学会海岸工学委員会・沿岸域研究連携推進小委員会の活動の一環として行ったものである。現地調査では、相良サーフライフセービングクラブの副代表名取芳和氏をはじめライフセーバーの方々、地元サーファーの方々と、海岸の安全利用などについて意見交換を行った。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 小峯 力, 石川仁憲, 風間隆宏, 堀口敬洋: 海浜における水難事故の発生要因と予防策, 海洋開発論文集, 第25巻, pp. 1335-1340, 2009.
- 2) 青木伸一, 上野成三, 西 隆一郎, 小峯 力, 石川仁憲, 堀口敬洋: 海岸の安全利用からみた静穏時離岸流の現地調査—研究者, 実務者と海岸利用者との連携の試み—, 海洋開発論文集, 第24巻, pp. 255-260, 2008.
- 3) 気 象 庁 RSMC Tokyo - Typhoon Center , http://www.jma.go.jp/jma/en/NMHS/indexe_nmhs.html
- 4) 鈴木康正, 河合弘泰, 望月徳雄: 砕波帯におけるスペクトル尖鋭度と波群特性の関係に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 171-175, 1994.
- 5) 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—, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 151-155, 2004.