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

Field observations and Numerical Simulations on Currents around River Mouth

小野信幸¹·伊東啓勝²·坂井降行³·西降一郎⁴·間瀬 肇⁵

Nobuyuki ONO, Yoshimasa ITO, Takayuki SAKAI, Ryuichiro NISHI and Hajime MASE

The area around river mouth is one of the black spots for marine accidents because of the complexity of wave, current, and topography. This study intends to collect useful information about the flow field around river mouth for prevention of marine accidents. Field observations and numerical simulations on waves and currents have been conducted on the two selected sites of the mouth of Yura River, Kyoto and Sagami River, Kanagawa. From the 30-day observation at each site, data of waves and currents at flooding were obtained. Also, from the numerical simulations including wave-current interaction, some characteristics on the river mouth, such as the increase of wave height due to existence of current and the flow pattern around river mouth, have been clarified.

1. はじめに

河口域周辺海域は、重要な水路やマリンレジャーの場 として利用される場合が多いが、地形や流況が非常に複 雑であるため, 小型船舶の転覆事故, 遊泳者や水上バイ ク等愛好者の行方不明・死亡事故が多発する海域となっ ている. このような海難事故は、河口域特有の流況の特 性が十分に把握されておらず、利用者に情報が発信され ていないために生じているものと考えられる.

日本水路協会は、日本財団助成事業として、海域で生 じる複雑な流れ (離岸流, リーフカレント, ダウンカレ ント等) に関する調査・研究(日本水路協会, 2006, 2008) を通じ、発生メカニズムの解明や利用者への危険 情報の発信等を行ってきた. 本研究もまた, 海難事故の 防止に役立てることを目的とし、日本財団の助成を受け て,河口域を対象とした流況特性の検討をおこなった成 果をとりまとめたものである(日本水路協会, 2009). 河口のモデル海域として京都府由良川と神奈川県相模川 河口域を対象に, 流況観測と波・流れの数値シミュレー ションを実施した.

2. モデル海域の選定

本調査では、河口域及びその周辺で海水浴等のマリン レジャーや小型船舶の利用があり、過去に海難事故が発 生している箇所として,由良川(京都府)と相模川(神 奈川県)をモデル海域として抽出した. 両河口域ともに, 一級河川の河口に位置し、表-1に示すように、過去に海

調査・解析部 正会員 博(工) (株) エコー

表-1 河口域における海難事故の事例 (平成15~19年)

| 日15.8.5 京都府由良川河口 遊泳者瀬死 宮津市自良津水浴場から舞戦 14.5.11.18 京都府由良川河口 サーファー2名が呼に流され行了 14.6.6.19 静岡市大谷川河口 サーファー2名が呼に流され行了 14.7.6.27 神奈川県引地川河口 サーファー1名が行方不明.30日 新潟県船内川河口 サーファー1名が行方不明.30日 新潟県船内川河口 カボ海道小樽市星置川 液泳中の中学生2名が流されたアンボース・大上オートンにより放助された 世奈川県引地川河口 | 「霧死 不明」 適体で発見。 不明となり。約3時 まれたが発亡。1.名は行近にい たが1.名は死亡 たが1.名は死亡 、巡視艇により救 不明となり。5日に 波にもまれ、海に きれた、巡視船潜 こさらわれ、流され |
|--|--|
| H15.9.7 泉都府田良川河口 泳いで渡ろうとした遊泳者 名名 | 「霧死 不明」 適体で発見。 不明となり。約3時 まれたが発亡。1.名は行近にい たが1.名は死亡 たが1.名は死亡 、巡視艇により救 不明となり。5日に 波にもまれ、海に きれた、巡視船潜 こさらわれ、流され |
| H15.1.1.8 京都府由良川河口 | 万不明 明明 遺体で発見。 不明となり、約3時 されたが死亡。 1.名は付近にいたが、1.名は死亡、 、巡視艇により救 不明となり、5日に 波にもまれ、海に された、巡視船潜 こさらわれ流され |
| H17.6.27 神奈川県引地川河口 サーファー1名が行方不明.30日 H17.7.18 新潟県胎内川河口 前潟県中条町の中3男子が行方 前潟県中条町の中3男子が行方 河口 海泳中の中学生2名が流された、大上オートバに19歳助された。 神奈川県引地川河口 横奈川県引地川河口 横木で発見 カモリを渡られて行方 遺体で発見 カモリを渡られて行方 遺体で発見 カモリを渡られて行方 遺体で発見 カモリを渡られて行方 遺体で発見 カモリを渡られて行方 遺をが受け、関係で発見 カモリを渡られて行う カモリを渡られて行う 海路県新地町地蔵川 河口 内型・砂を取り上が中合いに流された。 本土が海底で発見構収。 小学生2名が河口付近で高波にカーラー 小学生2名が河口付近で高波にカーラー 小学生2名が河口付近で高波にカーラー 大・カーファーに対助されたが14円9.9.17 神奈川県花水川河口 中学生が溺れたが数助. 東の概要(小型・対金・対金・大・ボートが成を受けて) 東の概要(小型・対金・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・ | 遺体で発見。 不明となり、勃動等 まれたが死亡。 .1名は付近にいたか、1名は死亡 、巡視艇により教 不明となり、5日に 波にもまれ、海に された、巡視船潜 こさらわれ流され |
| H17.6.27 神奈川県引地川河口 サーファー1名が行方不明.30日 H17.7.18 新潟県胎内川河口 前潟県中条町の中3男子が行方 前潟県中条町の中3男子が行方 河口 海泳中の中学生2名が流された、大上オートバに19歳助された。 神奈川県引地川河口 横奈川県引地川河口 横木で発見 カモリを渡られて行方 遺体で発見 カモリを渡られて行方 遺体で発見 カモリを渡られて行方 遺体で発見 カモリを渡られて行方 遺体で発見 カモリを渡られて行方 遺をが受け、関係で発見 カモリを渡られて行う カモリを渡られて行う 海路県新地町地蔵川 河口 内型・砂を取り上が中合いに流された。 本土が海底で発見構収。 小学生2名が河口付近で高波にカーラー 小学生2名が河口付近で高波にカーラー 小学生2名が河口付近で高波にカーラー 大・カーファーに対助されたが14円9.9.17 神奈川県花水川河口 中学生が溺れたが数助. 東の概要(小型・対金・対金・大・ボートが成を受けて) 東の概要(小型・対金・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・大・ | 遺体で発見。 不明となり、勃動等 まれたが死亡。 .1名は付近にいたか、1名は死亡 、巡視艇により教 不明となり、5日に 波にもまれ、海に された、巡視船潜 こさらわれ流され |
| H17.7.18 新潟県胎内川河口 新潟県中条町の中3男子が行方 開後に岸から50mの海底で発見 渡泳中の中学生2名が流された水上オートバイにより救助され 女性サーファーが中合に流され 放きれた。 対きれた。 対きれた。 対きれた。 対きれた。 対きれた。 対しまれた。 対しまれた。 | 不明となり、約3時されたが死亡。 : 1名は付近にいたが、1名は死亡 : 2、2、2、2、3、3、4名は死亡 : 2、2、2、3、4名は死亡 : 2、2、4名は死亡 : 2、4名は死亡 : 2、4名は死亡 : 3、4名は死亡 : 3、4名は死亡 : 4名は死亡 : 4名は死亡 : 4名は死亡 : 5、4名は死亡 : 5、4名は |
| H17.8.17 河口 超泳中の中学生2名が違された た水上オートバイにより敷助され が高度で発見 が同人が川を渡ろうとしたところ 流され死亡 が高度で発見掲収 が学生2名が同づけ近で高波 たが異なで発見掲収 ・パーターに表が表す 神奈川県花水川河口 ・パーターに表がされたが1名 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ | .1名は付近にいたが、1名は死亡、巡視艇により救不明となり、5日に 波にもまれ、海にされた、巡視船潜 こざらわれ流され |
| H18.2.24 神奈川県引地川河口 | 、巡視艇により救不明となり、5日に 波にもまれ、海に された、巡視船潜 こさらわれ流され |
| 田18.8.4 神奈川県引地川河口 連年生2名が流されて行方 遺体で発見 カリ人が川を渡ろうとしたところ 流され死亡 田19.8.10 福島県新地町地蔵川 カミりを採り男性が沖合いに流され死亡 村19.9.16 神奈川県花水川河口 中奈生名が河口付近で高波 小学生2名が河口付近で高波 小学生2名が河口付近で高波 小学生24が河口付近で高波 小学生24が河口付近で高波 小学生24が河口付近で高波 小学生24が河口付近で高波 小学生24が河口が近います。 本の概要(小型和 | 波にもまれ,海に された.巡視船潜 |
| H18.9.3 福島県請戸川河口 約9人が川を渡ろうとしたところ 流され死亡。 福島県新地町地蔵川 河口 神奈川県花水川河口 神奈川県花水川河口 中学生2名が河口付近で高波した・サーファーに救助されたが、 119.9.17 神奈川県花水川河口 中学生が溺れたが、 救助・ 東なの概要(小型和 | された.巡視船潜 |
| H19.8.10 福島県新地町地蔵川 あざりを採り男性が沖合いに流: 水土が海底で発見揚収. 水土が海底で発見揚収. 小学生2名が河口付近で高波 た・サーフーに救助されたが14 中学生が溺れたが救助. 発生年月日 発生場所 事故の概要(小型線 ブレジャーボートが渡を受けて 教命胴衣を着用していたため、 著名基準。 国資本配名 かんき は 楽まが策 | こさらわれ流され |
| H19.9.16 神奈川県花水川河口 小学生2名が河口付近で高波 た・サーファーに栽助されたが1名 神奈川県花水川河口 中学生が溺れたが1表助. 発生年月日 発生場所 事故の概要(小型制 プレジャーボートが波を受けて 教命胴衣を着用していたため、 ぎ着き無事。 | |
| H19.9.17 神奈川県花水川河口 中学生が溺れたが、救助. 発生年月日 発生場所 事故の概要(小型輸 プレジャーボートが波を受けて 教命胴衣を着用していたため、 著名無事。 第2番番事。 関連を配見わると思け、資本がよりなと思け、資本がよりなと思い。 | |
| H15.5.4 太田川河口付近 数命胴衣を着用していたため、 ぎ着急無事。 | |
| H15.5.4 太田川河口付近 数命胴衣を着用していたため、 ぎ着急無事。 | 54AA) |
| 国泊な約尺かた呼け 海水が進 | 伝覆.乗員2名は |
| H16.4.2 広島県今津川河口 (3.6m) | 入し航行不能 |
| H17.4.28 宮城県鳴瀬川河口 漁船が転覆.4名中3名は巡視が,1名が行方不明. | 艇に救助された |
| H17.5.2 神奈川県相模川河口 プレジャーボート転覆.乗船者44 及び水難救済会所属船により割 | |
| H17.5.18 静岡県菊川河口 菊川河口から400m沖で1名乗 転覆した.乗組員は付近航行中 | り組みの漁船が の漁船が救助 |
| H17.7.10 神奈川県相模川河口 河口において三角波に持ち上いて転覆.(7.1m) | |
| H17.9.3 徳島県吉野川河口 風浪を受け大傾斜した際,同乗 亡(8.9m) | 者が落水して死 |
| H17.9.3 山形県月光川河口 3名乗組の遊漁船転覆.乗組員 用しており,自力で陸岸にたどりが | 音いた. |
| H17.11.8 高知県四万十川河口 表海域を航行中,大波を受けて 乗者が転落し死亡.(6.5m) | |
| H17.11.12 宮城県阿武隈川河口 小型船舶が転覆.1名が県防災 たが,もう1名は行方不明. | ヘリに救助され |
| H17.11.28 北海道厚田川河口 漁船(4トン,1名乗組)が転覆.乗 | |
| H18.1.24 宮城県名取川河口 測量作業中の小型船が転覆し3名 された.漁船とヘリコプターにより全 | |
| H18.3.5 静岡県由比川河口 河口沖約200mで2名乗りのブ 転覆.乗員は巡視艇に救助され | レジャーボートが |
| H18.3.20 鹿児島県万之瀬川 渡浪を受け,船首部が高く持ち、 下降,同乗者が投げ出され負傷 | 上げられ,急速に |
| H18.3.24 神奈川県相模川河口 シラス漁船(4名乗組み,8.5トン)が | |
| H18.3.25 神奈川県相模川河口 瀬口付近でプレジャーボート転 歳) 死亡. | |
| H18.8.14 千葉県一宮川河口 特有の大きな巻波を受け転覆(| |
| 日18.9.23 宮城県鳴瀬川河口 け岩礁に乗り上げ転覆し乗組 投げ出された。 | 尾から追波を受 |
| H18.10.13 宮城県鳴瀬川河口 小型漁船が転覆.消防署員にお | (助された. |
| H10.7.28 三重県伊勢市勢田川 遊漁船(長さ5.7m)の船長が | |
| 田19.7.28 河口 最中に溺死. 日19.8.13 愛知県矢作川河口 75歳の男性が溺死 | |
| 自根門近田市布川 滋漁約が河口前面海域で追渡な | 受けて齢が効か |
| H19.9.8 四次示於田中中川 庭無朋が何日前国母菜で起伏を | 覆.船長負傷. |

² 正会員 (株) エコー 修(工) 調査・解析部

³ 正会員 調査・解析部 (株) エコー 博(工)

鹿児島大学准教授 水産学部水産学科 4 正会員 5 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所

難事故が発生していた箇所である.

由良川河口の周辺海岸は主に海水浴場として利用されており、相模川河口は河口の約1km北側に平塚漁港があるため、小型船舶の通航が多い場所である。また、日本海側の由良川は潮位差が0.4mと小さく、太平洋側の相模川は潮位差が1.5mと大きいといった違いがある。

3. 流況観測の調査方法

モデル海域を対象に波浪・流況の現地観測をおこなった。図-1に由良川河口域、図-2に相模川河口域の海底地形と観測機器の設置位置を示す。観測は、由良川では2008年6月、相模川では同年8月のそれぞれ1ヶ月間実施

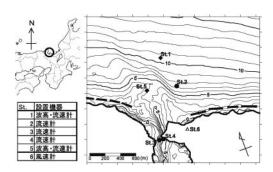


図-1 由良川河口域の海底地形と調査機器設置位置

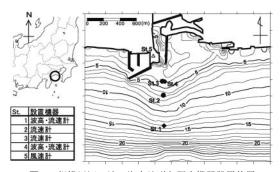


図-2 相模川河口域の海底地形と調査機器設置位置

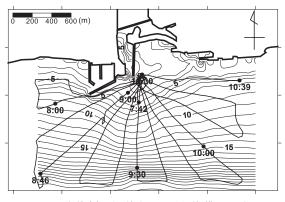


図-3 曳航式観測の航跡図の一例(相模川河口)

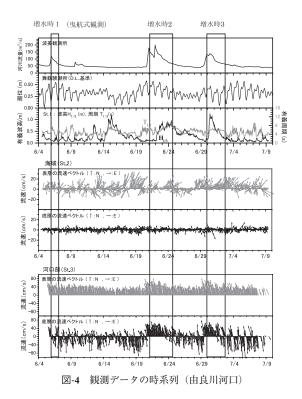
した.上記の観測期間中には,流れの平面分布を把握するため,船体下部に取り付けた航走式ドップラー流速計による曳航式観測を実施した.曳航式観測は,図-3に示すように,河口より沿岸方向に2km,岸沖方向に1kmの範囲を扇状に航行し,河口周辺で密なデータを取得するとともに流れの空間的な広がりを捉えるようにした.なお,図-3の航跡図における航行時間は約3時間である.

4. 流況観測結果

(1) 由良川

図-4に、由良川河口域の流況観測データの時系列を示す。上から、観測期間中の河川流量、潮位、St.1で観測された有義波高と周期、海域に位置するSt.2と河口部に位置するSt.3の表層・底層流速である。観測期間中、由良川の平水時流量は50m³/sであり、100m³/sを超える増水が3回生じた。このうち1回目の増水のピークを過ぎた6月6日に曳航式観測を実施した。

流速ベクトルの時系列より、海域(St.2)の表層流速は、潮汐・風・河川流等の影響を受けた複雑な変化を示し、底層では潮汐による変動はあるものの流速は微小であった。また、河口部(St.3)の表層では常に一方向の沖に向かう流れ(平水時20~40cm/s、増水時最大80cm/s程度)が生じ、底層では平水時には潮汐による変動はあるものの南向き(河川に向かう方向)の流れが卓越し、増水時1を除く増水時は底層でも北向の流れが生じて



いる.

また,6月6日の曳航式観測結果(流量=100m³/s程度) では,上記観測結果と同様に流速1.0m/s程度の強い流れが 河口部の狭隘部で集中して生じたことが確認されている.

(2) 相模川

図-5に、相模川河口域の流況観測データの時系列を示す。表示データの種類は、図-4と同じであるが、St.3のデータは後半欠測であるため、St.4で測定された底層流速データを加えて表示した。観測期間中、相模川の平水時流量は30m³/sであり、200m³/sを超える増水が3回生じた。このうち2回目の増水後の8月28日に曳航式観測を実施した。また、3回目の増水時のピーク流量は900m³/sである。このときは導流堤東の河口砂州上を乗り越える流れが生じていた。

相模川河口域は、潮位差が大きい海域であるため、流速ベクトルの時系列には、東西方向の潮流成分が含まれている。海域 (St.2) の表層流速には、増水時に南向きの流速成分が強く現れており、河川流の影響が及んでいることが確認される。また、河川流量が900m³/sの増水時に表層で1.5m/sの沖向き流れが生じているのに対し、底層では顕著な流れが現れていない。これは増水時に、河

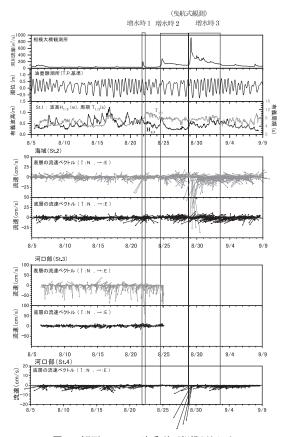


図-5 観測データの時系列(相模川河口)

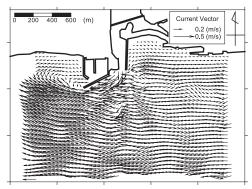


図-6 曳航式観測結果(相模川河口)

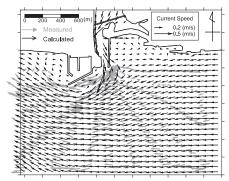


図-7 曳航式観測データと流れ場の再現計算結果の比較

川から出る淡水が上層を流れることを示すと考えられる. 河口部 (St.3) では、表層で潮流と南向き (沖向き) の流れが重なっており、底層でも同様の傾向であるが、 流速値は表層に比べ小さい.

図-6は、曳航式観測(干潮時前後)における表層流速の測定データをスプライン補間処理した流速ベクトル分布である。また、図-7はスプライン補間前の流速ベクトル(観測値)と後述するシミュレーションモデルにより流れ場の再現計算結果を比較したものである。観測時の流量は100m³/s 程度であり、河口から出た流れが沖側の西向きの潮流と重なって流れている様子が確認され、シミュレーションでも同様の特徴がよく再現されている。

以上のように、河口域において生じる流れについて、 潮流の影響や出水時の河口では上層と下層の流れの強度 がかなり異なるなどの特徴が捉えられた.

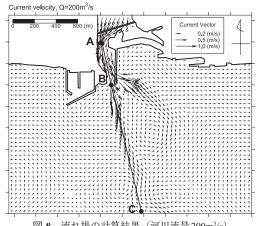
5. 数値シミュレーションによる検討

河口付近の波・流れについて、数値シミュレーションにより検討した。表-1に示した河口域における海難事故の事例より、小型船舶に関しては波を受けて転覆する事故が多く、遊泳者に関しては沖に流される事故が多く発生している。以下では、小型船舶の通航が多い相模川を対象に流れがある場合の波の変形を、遊泳者の事故事例がある由良川を対象に河川流がある場合の海浜流パター

ンを数値シミュレーションにより検討する.

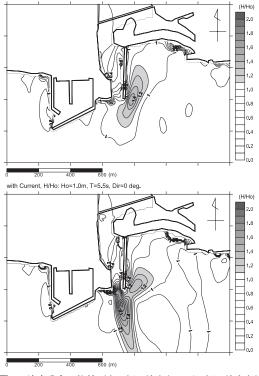
(1) 計算方法

本研究では、波浪変形モデルと流れ場計算モデルの2 つの数値モデルを用いた. 河口付近は、波と流れが互い に影響を及ぼしあうため、波浪変形モデルには、流れに よる波の変形(波の進行方向に逆流する流れがあるとき の波高の増大及び順流時の波高の低減) を考慮できる波 作用量平衡方程式による計算モデル(間瀬ら、1999)を 用いた. また, 砕波モデルとして, 流れがある場合につ



流れ場の計算結果 (河川流量200m³/s)

without Current, H/Ho: Ho=1,0m, T=5,5s, Dir=0 dea.



波高分布の比較(上:河口流なし,下:河口流あり)

いて合田の砕波限界式を拡張した堺ら(1989)のモデル を用いた. 計算では, 河川流を考慮した流れ場の計算を 水深積分型の流れ場計算モデルにより計算し、計算結果 を波浪変形モデルの入力条件として波浪変形を計算す る. また、海浜流を含む計算では、両モデルの計算結果 を相互に受け渡しつつ数回繰り返して計算し、波と流れ の相互作用を考慮した.

(2) 河口流の有無による波浪変形

相模川河口域を対象に,河口流を考慮する場合としな い場合の波浪変形計算をおこなった. 図-8は,河川流量 200m³/sを与えた場合の流れ場の計算結果である.これは、 観測データの増水時2のピーク流量に相当する条件であ る (図-5参照). 図-8では、図-6及び図-7に見られるよう な東西方向の潮流は考慮せず河川流のみを与えている が、図-7のように潮流を考慮する(左右境界で水位差を 与えることにより潮流場を評価して河川流と重ね合わせ る)場合,計算結果は曳航式の流況観測結果を良好に再 現する. また、図-8中、河口部で流れが二手に分かれる

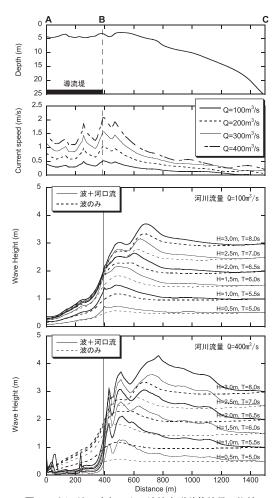


図-10 河口流の有無による波浪変形計算結果の比較

のは, 導流堤の先端付近が一部開口しており, 計算格子でも同様に開口部を設けているためである.

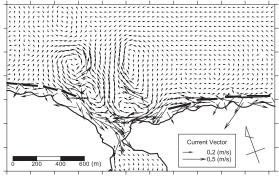
図-9は、流れを考慮しない場合と図-8の流れ場を考慮する場合の波浪変形計算結果を比較したものである. 入射波条件は、有義波高1m、有義周期5.5秒で波向はS方向である. 図-9下段より、流れの分布に応じ、河口部で波高が増大している様子が確認される.

図-10は、河川流量を100~400m³/s、入射波高を0.5~3.0mの範囲で変えた場合の計算をおこない、図-8中のA-C線上のデータをプロットして比較したものである。図-10の上段より、A-C線上の水深、流速、河川流量100m³/sと400m³/sに対する各入射波条件に対する波高である。図より、入射波高や河川流量の違いにより、波高増大量や増大範囲が変化する様子が確認される。例えば、流量400m³/sの場合には、沖での波高が1mであっても、河口付近で1m近く増大する。このような局所的な波高増大は、流れの存在により生じるため、図-7のように潮流と重なった複雑な流れの場合には、波高の増大領域も流れの分布に従って変化するものと考えられる。

(3) 河口流の有無による海浜流パターンの比較

由良川河口域を対象に、河口流の有無による海浜流の 計算をおこなった。図-11は、波高1.2m、周期6.0sの波 がNE方向より来襲する場合の海浜流を、河川流量がゼ





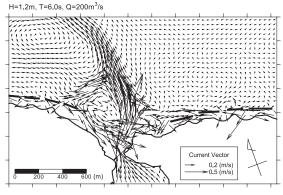


図-11 河口流の有無による海浜流パターンの比較

口の場合と200m³/sの場合について計算したものである.この条件は、図-4に示した観測時において増水時3の波高と流量のピーク時の条件に相当する.図より、流量ゼロの場合、河口部で両側から河道中央に向かって河口砂州の成長を促すような海浜流が生じる.流れを考慮した場合の流況は、上の海浜流に加えて、河口の狭隘部で強い流れが生じ、それが沖へと伸びている.このように河口砂州が形成され河口が狭隘となっている箇所は、流れが強く、かつ流況が複雑であるため遊泳者事故につながる可能性が高いと考えられる.

6. おわりに

本研究では、河口域での遊泳者事故のある由良川河口 と船舶の転覆事故のある相模川河口を対象に、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をお こなった。

現地観測により、平水時及び増水時の河口周辺の流況 データが取得され、流れの強度や向きについて、平水時 と増水時の違い、上層と下層の違い等の流れの特徴を整 理した。また、船舶事故につながると考えられる河口流 の影響による波高の増大や、遊泳者事故につながると考 えられる河口域での流況について数値シミュレーション により特徴を整理した。しかしながら、現段階では海難 事故と河口付近の流れとの因果関係を明らかにするには 至っておらず、また、モデルについても観測データに見 られた3次元的な流れは考慮されていない。今後は3次 元的な流れの影響を取り入れたモデルを開発するととも に、海難事故との河口流の関連性についてより深く検討 していきたいと考えている。

また、日本水路協会は、本研究により得られた知見をもとに、遊泳者及び小型船舶(漁船やプレジャーボート)を対象に河口流に対する注意を喚起するリーフレットを作成して関係各所へ配布しており、こうした利用者への啓蒙活動もまた海難事故防止にむけて非常に重要である。

参考文献

- 堺 茂樹・小林信久・小池 勲 (1989) : 逆流が存在する斜面上での砕波限界 合田の砕波限界式の拡張 , 海岸工学論文集,第36巻, pp. 56-59.
- 日本水路協会(2006) :離岸流等の観測手法及び特性把握に 関する研究 その3,日本財団助成事業調査研究資料, No. 133.
- 日本水路協会(2008) : リーフカレント等の観測手法及び発生機構の解明に関する研究 その2,日本財団助成事業調査研究資料,No.140.
- 日本水路協会 (2009) :流況が複雑な海域における海洋情報 の収集に関する研究,日本財団助成事業調査研究資料, No. 143.
- 間瀬 肇・高山知司・国富将嗣・三島豊秋 (1999) :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,第628号, II-48, pp. 177-187.