インレット周辺の流況特性把握調査

Characteristics of Currents around Tidal Inlet

伊東啓勝¹・小野信幸²・熊坂文雄³・西隆一郎⁴・青木伸一⁵・間瀬 肇⁶

Yoshimasa ITO, Nobuyuki ONO, Fumio KUMASAKA, Ryuichiro NISHI
Shinichi AOKI and Hajime MASE

The area around tidal inlet is potentially dangerous for marine activities because of strong tidal currents and waves together with the complexity of topography. This study intends to collect useful information about the flow field around tidal inlet for prevention of marine accidents. Field observations of waves and currents have been conducted on two sites of Imakirekuchi Inlet at Lake Hamana in Shizuoka Prefecture and Daiichikoguchi Inlet at Saroma Lake in Hokkaido. The continuous 30 days observation of currents at both sites were successfully conducted. By analyzing the observation data, characteristics of temporal- and spatial-variation of currents in and around the inlet have been examined to clarify the relation among tide, current, and topography.

1. はじめに

海跡湖の湖口（インレット）周辺は、外海の潮汐による入退潮が非常に強い流れを引き起こすことに加え、波と流れ、海底地形の影響を受けて複雑な流況場となる。また、インレット周辺は、湖口付近で切り立つ波による小型船舶の転覆や釣り人が転落し強い流れに流される等、海難事故が多発する海域である。

日本水路協会（2006, 2008, 2009）は、海域で生じる複雑な流れに関する調査・研究を行い、離岸流やリーフカレント、河口流の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、複雑な流況場となるインレット周辺での波浪・流況の現地観測を実施し、インレット特有の流況に関する時間的・空間的特性について把握した上で、海難事故防止に役立つ情報を得ることを目的とする。

2. 調査地点と観測方法

調査地点は、国内の代表的なインレットである浜名湖今切口（静岡県）とサロマ湖第一湖口（北海道）とした。

図-1に調査地点での海難事故の事例を示す。浜名湖今切口とサロマ湖第一湖口は、ともに潮位変動の大きい外海（太平洋とオホーツク海）に面し、湖口付近で入退潮に伴う強い流れが発生するため、国内のインレットの中でも特に海難事故が発生しやすい海域である。今切口で

は、過去10年間に小型船舶転覆事故は5件（2名死亡、1名行方不明）発生し、第一湖口では、平成14年のプレジャーボート転覆事故で7名が死亡している。

図-2に浜名湖今切口、図-3にサロマ湖第一湖口の海底地形と観測位置を示す。流況観測は、浜名湖では2009年7月、サロマ湖では同年8月のそれぞれ1ヶ月間、インレットの湖口の流路方向に海象計及び流速計を設置して波浪・流況（多層）の定点観測をおこなった。また、定点観測で捉えられない流れの空間的特徴を把握するため、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

【浜名湖今切口の海難事故】

- ・小型船舶(0.6トン)が横波を受け転覆。(H12.8.6)
- ・小型船舶(6.39m)が転覆し、1名が行方不明、1名が負傷。(H12.9.10)
- ・小型船舶(5.03m)が横波を受け、転覆。(H14.6.23)
- ・小型船舶(2.5m)が転覆し、2名が死亡。(H14.12.3)
- ・遊泳中の男性1名が沖に流れ行方不明(H16.8.12)
- ・高校生6名が遊泳中、1名が行方不明、後日遺体で発見。(H17.6.6)
- ・今切口突堤のテトラポッドから釣り人が落ちたもの(H18.9.14)
- ・プレジャーボートが転覆し沖合にながれたもの(H19.5.4)
- ・釣り人が転落し、渡舟が迎えに行くも不明(H19.11.17)

【サロマ湖第一湖口の海難事故】

- ・プレジャーボート転覆、7名が死亡(H14.9.14)
- ・漁船転覆事故、乗組員が転落(H13.10.25)

図-1 浜名湖今切口とサロマ湖第一湖口及び主な海難事故

1 正会員	修(工)	(株)エコー	調査・解析部
2 正会員	博(工)	(株)エコー	調査・解析部
3		(財)日本水路協会	調査研究部
4 正会員	博(工)	鹿児島大学	教授 水産学部水産学科
5 正会員	工博	豊橋技術科学大学	教授 建築・都市システム学系
6 正会員	工博	京都大学	教授 防災研究所

図-2 浜名湖今切口の海底地形と定点観測位置

図-3 サロマ湖第一湖口の海底地形と定点観測位置

航式流況観測を上げ潮（入潮）と下げ潮（退潮）の最強時に実施した。

3. 流況観測結果

以下に、各調査地点について、地形の特徴を整理し、流況の定点観測結果及び曳航式観測結果を述べる。

(1) 浜名湖今切口

a) 利用状況・地形条件

浜名湖今切口（図-2）は、遠州灘に面する開口幅約200m、狭隘部の平均水深約7mの湖口であり、湖口両岸と湖内中央に導流堤が整備されている。湖内側には、舞阪漁港や海釣り公園、海水浴場があり、漁船・プレジャーボート等の小型船舶が非常に多く通航する場所であるとともにマリンレジャーの場となっている。

海域側の海底地形は、湖口西側の離岸堤前面付近に浅瀬地形が形成され、開口部から南西へ伸びた導流堤の先端付近まで、水深4～8mの水路となっている。一方、湖内側は、湖奥へ繋がる水深3～5mの水路を除けば、水深が浅い場所がほとんどである。

b) 定点観測結果

今切口の湖口中央の観測点St.3での表層と底層の流速（北方・東方分速）の時系列を図-4(a)に示す。St.3での流速は流路方向である南北方向の成分が卓越し、表層と底層の流速は、表層が若干大きいものの同程度の流速値を示し、鉛直方向にはほぼ様な流れとなっている。

図-4(b)にSt.4（湖内）、St.3（湖口）、及びSt.1（海域）の表層の流速ベクトルの時系列を示す。湖口のSt.3では、南北方向の非常に強い往復流となっており、上げ潮時と下げ潮時の最大でともに1.5m/s～2.0m/sに達する。

湖内のSt.4では、湖内中央の導流堤と護岸地形に従う東西方向の往復流となっており、上げ潮最大時と下げ潮最大時流速はともに1.0m/s程度である。

海域のSt.1は、下げ潮時には導流堤に沿う方向の流れとなっており、その最大流速は1.0m/s～1.5m/sに達する。上げ潮時は、下げ潮時より最大流速が小さく、また大潮時には西寄り、小潮時には東寄りの流向となっている。上げ潮時の流向の変化については、導流堤や浅瀬地形の影響と考えられるが、詳細な理由は現状では不明である。

c) 曳航式流況観測結果

曳航式流況観測は、海側の岸沖方向1km、沿岸方向2km及び湖内側東西の水路の範囲に対し、湖口から放射状に測線を配置して観測した。観測は2009年7月4日午後に上げ潮時、7月12日午後に下げ潮時の観測を実施し

図-4 定点流況観測データの時系列（今切口）

た。観測結果を図-5に示す。

図-5 (a) より、上げ潮時は海域側の湖口近傍で湖口に向かう強い流れがあり、湖口中央では湖内へ向かう非常に強い流れがある。また、海側の導流堤より東側海域では湖口に向かう流れはない。湖内側では、湖内中央の導流堤により流れは東西に分断され、導流堤に沿って湖奥へと向かう流れとなる。

図-5 (b) より、下げ潮時は、湖内側で東西から湖口に向かう強い流れがあり、湖口中央で強い流れが合流する。海域側では、湖口から流出する強い流れは、浅瀬地形を避けるような水路に沿う流れとなっており、その強い流れは導流堤先端から500m程度沖まで分布している。

(2) サロマ湖第一湖口

a) 利用状況・地形条件

サロマ湖第一湖口（図-3）は、オホーツク海に面する開口幅約300m、狭隘部の平均水深約10mの湖口である。海域側の東西両岸の導流堤と湖内側のサロマ湖漁港は現在整備中である。湖口は、サロマ湖内に位置する登栄床漁港や佐呂間漁港等の漁船が頻繁に通航する海域である。

海底地形の特徴としては、湖口の導流堤先端より約500m沖側には大規模な浅瀬が形成されていること、湖口中央の狭隘部は水深が10m以上であり、周辺より顕著に深くなっていることが挙げられる。

b) 定点観測結果

湖口中央に位置するSt.3での表層と底層の流速（北方・東方分速）の時系列を図-6 (a) に示す。流速は流路方向である南北方向の成分が卓越すること、表層と底層の流速より、今切口と同様、鉛直方向にほぼ一様な流れとなっていることが確認される。

St.2（海側）とSt.3（湖口）、St.4（湖内側）の表層流速のベクトル図を図-6 (b) に示す。St.3では、下げ潮時には流速1.5～2m/sの強い流れが発生しており、上げ潮時には流速0.5～1.0m/sであり、上げ潮時と下げ潮時で流速の大きさが異なっている。また、St.2とSt.3は下げ潮時に強く上げ潮時に弱い流れとなっているがSt.4の流速ベクトルは、上げ潮時に強く下げ潮時に弱い流れとなっており、このように、湖口の最も狭隘な部分の海側と湖内側で流速の変動特性が異なっている。

c) 曳航式流況観測結果

第一湖口での曳航式観測は、大潮時の2日間（2009年

図-6 定点流況観測データの時系列（第一湖口）

図-5 曳航式流況調査結果（今切口；a：上げ潮時，b：下げ潮時）

8月19日と20日)の上げ潮時と下げ潮時に実施した。湖口の中央から海域側及び湖内側のそれぞれ沿岸方向2kmと岸沖方向1kmの範囲に対し、放射状に測線を配置し計測した。観測結果を図-7に示す。

上げ潮時は、湖口海側の東西の導流堤で挟まれた海域で海域から湖口に向かう強い流れが合流し、湖口中央で湖内に向かう非常に強い流れとなる。湖内側では、湖口から流入する強い流れが、湖口の流路中央から東側にかけて放射状に広く分布し、強い流れの影響域は湖内沖(湖口から1.5km以上沖)にまで及ぶ。湖内の湖口西側は、整備中のサロマ湖漁港により遮蔽されるため、強い流れはほとんど無い。

下げ潮時は、湖内側の湖口近傍で強い流れが湖口に向かって合流し、湖口中央で外海へ向かう非常に強い流れとなる。海域側は、湖口中央付近から導流堤先端まで非常に強い流れが分布し、湖口から1.5km程度沖合まで強い流れが分布し、海域側では沖合の浅瀬地形により流れが分断されている。このように、インレット周辺での流れは地形の影響により空間的に大きく変化している。

4. 湖口流速・潮位の時間特性

湖口付近で発生する強い流れは、波と流れの干渉による波高の増大を誘起するなど、小型船舶の操船を困難にする要因の一つである。以下では、今切口と第一湖口において観測された湖口における強い流れが、潮位との関係でいつ発生するのかを確認するために、潮位と流速の変動特性について検討した。

(1) 今切口の流速と潮位

舞阪検潮所の潮位とSt.3の北方分速の断面平均流速の時系列を図-8に示す。舞阪の潮位変動は、常に1日2回潮であり、St.3での流速が最強となる時間は、ほぼ規則的に干潮・満潮時の1~2時間程度前であった。この点については、Syamsidikら(2009)の研究でも同様な結果が得られている。

図-9にSt.1における波浪と潮位(舞阪)の時系列を示す。St.1の波高には潮位と対応した増減が見られる。波高増幅の時刻は、干潮時の約2時間前であり、今切口での流速が下げ潮最強時となる時間と一致している。つまり、波が流れを遡る場合の波高増大(例えば、小野ら、2009)が生じており、潮位変動と対応して周期的に波高の増減が生じる点がインレットの特徴といえる。

図-8 今切口の潮位と流速(St.3)の時系列

図-7 曳航式流況調査結果(第一湖口; a: 上げ潮時, b: 下げ潮時)

(2) 第一湖口の流速と潮位

サロマ湖周辺海域及びサロマ湖奥の潮位特性を調べるため、網走と常呂、富士の推算潮位の変動を図-10に示す。これらの潮位変動は、小潮から大潮にかけての1日1回潮の期間と、大潮から小潮にかけての1日2回潮の期間が繰り返されるオホーツク海特有の変動特性を示している。また、外海に面する網走と常呂の潮位変動の位相差はほとんどないが、サロマ湖奥の富士と外海の潮位には約2時間の位相差がある。

図-11に外海の潮位（網走）と第一湖口の流速の変化の関係を示す。図中には、サロマ湖奥（富士）と外海（常呂）の潮位差を併せて表示している。図より、サロマ湖の場合、外海の潮位と湖口流速の相関は低いが、湖奥と外海の潮位差と湖口流速の相関は高く、潮位差が大きい時間帯に流速は大きくなり、潮位差が小さい時間帯に小さくなっている。

このように、湖口における強い流れが発生する時間と潮位の関係は、浜名湖では潮位に対し規則的であるが、サロマ湖では外海と湖奥の潮位差に対応するという特性の違いがある。これは湖の規模や潮汐特性の場所の違いが影響すると考えられる。

図-9 今切口 St.1 の潮位と波高の時系列

図-10 サロマ湖周辺海域の潮位（網走と常呂、富士）

図-11 サロマ湖奥と外海の潮位差と第一湖口流速

5. まとめ

インレット周辺は、流速が速いため機材の流失の恐れが大きく、長期間の流況観測が困難な場所であるが、本研究では、浜名湖とサロマ湖の2海域で1カ月間の連続観測をおこない、インレット特有の時間的・空間的な流況特性を整理した。インレット周辺で発生する強い流れは、海難事故が発生しやすい状況をつくるため、その発生箇所や発生時間帯に関する情報は危険回避のための重要な基礎情報となると考えられる。本研究により得られた知見は以下の通りである。

- (1) 上げ潮時は湖口中央より海側に、下げ潮時は湖内側に、それぞれ強い流れの合流地点が形成される。
- (2) 強い流れの影響域は、湖口から1.5km程度離れた地点まで及ぶ。流れは浅瀬地形や導流堤のような構造物の影響により流向が複雑に変化する。
- (3) 湖口付近の海域は、浅瀬の影響や下げ潮時の強い流れの影響を受けて波高が増大する。
- (4) 湖口流速の時間変動特性に影響を与える要素として外海の潮位変化と湖奥の潮位変化がある。今切口では、舞阪検潮所における干潮・満潮時の1～2時間程度前に最大流速となる。一方、第一湖口では、外海の潮位のみから流速を推定することは困難であり、湖奥と外海の潮位差と流速の関係性が強い。

参考文献

- 小野信幸・伊東啓勝・坂井隆行・西隆一郎・間瀬 肇 (2009)：河口域の流況特性に関する現地観測とシミュレーション，海岸工学論文集，第56巻，pp.386-390。
- 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収集に関する研究，日本財団助成事業調査研究資料，No.143。
- 日本水路協会 (2010)：流況が複雑な海域における海難事故防止のための調査研究，日本財団助成事業調査研究資料，No.146。
- Syamsidik・青木伸一・加藤茂・岡部拓巳 (2009)：タイダルインレット近傍の強潮流による底質浮遊に関する研究，海岸工学論文集，第56巻，pp.461-465。