

急潮流が生じる航路の流況観測の試み 万関瀬戸の事例報告

山本 潤*・明田定満**・時吉 学***

Current observation in a channel under strong tidal current condition A case study of Manzeki-Seto-Channel

Jun YAMAMOTO*, Sadamitsu AKEDA** and Manabu TOKIYOSHI***

Abstract: In order to calculate the tidal current correctly for evaluating the water quality of a bay, it is necessary to compare a calculation result with an observed value at the point at which the maximum tidal current velocity generates. The area for calculation is Asou bay in Tsushima Island. It is a closed bay that is being used for aquaculture. The bay has a narrow channel called Manzeki-Seto at the east side. Through the channel, the seawater is flowing violently, sometimes from an open boundary of the east side, and sometimes from the bay. It is an important channel to exchange the seawater of the closed bay.

Manzeki-Seto-Channel is one of "the waterways to be developed". The waterway is used frequently by large-sized vessels and fishing boats etc. Therefore, it was rather difficult to observe in the waterway. There is no archived observational data relevant to compare with our computed data. We performed tide level and current observation in Manzeki-Seto-Channel. The observation result of a current was verified by numerical computation.

As a result, it turned out that flow velocities are about 2.0m/s (from west to east), 1.0m/s (from east to west) in the time of the spring tide and 1.5m/s (from west to east), 0.5m/s (from east to west) in the time of the neap tide.

Keywords: *tidal current, channel, waterway to be developed and preserved, tidal observation*

1. 緒 言

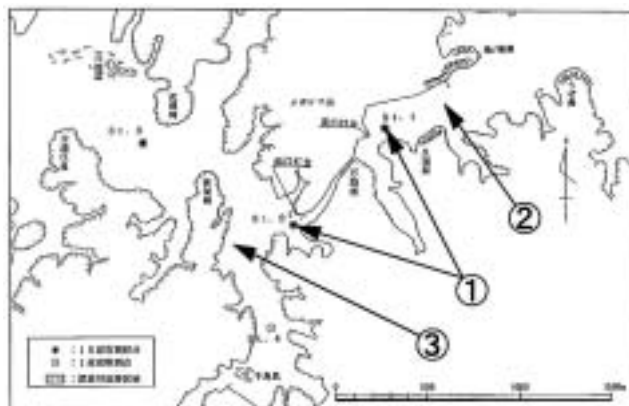
閉鎖性水域の流動・水質変動の数値計算を行う上で、計算対象領域内の最大流速が発生する点において実際に流速を観測し、計算結果と比較し検証する事が計算の精度向上のために必要である。本研究において流況観測の対象とした万関瀬戸は対馬の中央にある浅茅湾と日本海に接する東側の三浦湾を結ぶ幅約40m程度の狭隘な水路であり、浅茅湾と三浦湾との潮位差により大量の海水が通過する地点のため、養殖の盛んな浅茅湾の海水交換・水質変動に及ぼす影響は極めて大きいと考えられる。また、流れの計算結果を検証する上で、ほぼ直線の単調な地形かつ流速の最大値が得られる場所として

最適の観測点である。

ところが、万関瀬戸は博多、門司方面と対馬西部地域を結ぶ重要な航路であり、全区間が開発保全航路に指定されているため、航路最狭部での流速計による観測はこれまで許可が下りず、行われていなかった。過去の調査事例は、いずれも航路から大きく外れた場所に流速計を設置しているため、浅茅湾における流動の数値解析結果の検証の目的には使用不適切なものであった。そこで、著者らは万関瀬戸の航路中心付近において、航路の見張り・連絡・回避等に関し万全の体制を整え、船舶の航行時に支障を与えないよう航路脇へ回避する条件で観測の許可を取得し、大潮時と小潮時の日中における万関瀬戸航路内の流速の連続観測を試みた。同時に、万関



図1 浅茅湾と万関瀬戸（対馬）

図2 従来の観測地点³⁾

瀬戸航路の狭さく部から十分離れた東西両側の地点において潮位を観測し、数値計算により両者の関係について検討を行った。本報では、これら一連の作業内容、観測データ、及び数値計算による検証結果を報告するものである。

2. 対象地域の概要

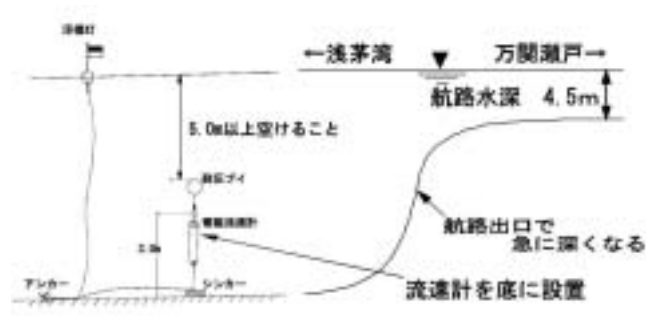
図1に浅茅湾の概略図を示す。浅茅湾は内湾・入江に富み、地理的な自然環境を生かした好漁場として、古くから真珠・真珠母貝を中心にヒオウギガイ養殖やブリ・タイ等の魚類養殖が広く営まれている。しかし、近年は真珠及び真珠母貝の大量へい死等、浅茅湾の漁場環境の悪化が問題化している。このため、浅茅湾の漁場環境の改善・回復を目的として、真珠品質・漁業実態・流況・水底質・餌料環境等の様々な検討が行われている¹⁾。

万関瀬戸は、浅茅湾内の竹敷港に基地を置いていた旧海軍が対馬東海岸に派遣する艦艇の水路として明治32年に延長約500m、幅員約25m、水深約-3.0mに開削した人工の瀬戸である。以来、東側の三浦湾と西側の浅茅湾との航路として地元振興に多大な役割を果たし、また韓国南西岸と北九州方面を結ぶミニ国際航路としても重要な役割を果たしてきた。昭和49年7月には航路の重要性に鑑み開発保全航路に指定され、昭和45年度から直轄事業として航路整備に着手し、昭和50年3月に幅員40m、水深-4.5m、700D/Wt級の貨物船が航行可能な航路として保全が行われている²⁾。

写真1 万関瀬戸航路周辺²⁾

3. 従来の観測結果

過去の調査事例として、「万関瀬戸航路潮流調査報告書：平成4年3月³⁾」（運輸省第四港湾建設局長崎港工事事務所）、「美津島漁港修築工事（環境調査）報告書：平成14年2月⁴⁾」（長崎県対馬支庁）、「浅茅湾養殖漁場環境調査報告書：平成14年3月¹⁾」（長崎県水産部）等があり、その主な観測点は図2のとおりである。については航路延長上に観測点が存在するものの、図3に示すとおり、万関瀬戸の前後の窪地状の地点に流速計を設置し、についてはいずれも航路から大きく外れた場所に流速計を設置している。このため、それらのデータは本来予想される1.0~2.0m/sの流速より1オーダー低い値であるか、漂流棹による極めて断片的な瞬間値であったことから、浅茅湾の流動に関する数値解析結果の検証に用いるには適用が困難であった。

図3 従来の観測方法イメージ³⁾

4. 調査方法

(1) 観測作業に係る手続き

万関瀬戸は全区間が開発保全航路に指定されているため、以下の1)~3)の協議及び作業完了報告が必要となった。

1) 厳原海上保安部協議

万関瀬戸での海上作業を行うにあたっての事前協議の中で、海上保安部より 調査方法、安全対策、工程表、使用船舶の登録証明書、調査場所、その他必要添付書類等の要求事項があり、これに対して明確な安全対策の確認が



図4 計画平面図



図6 占用計画区域

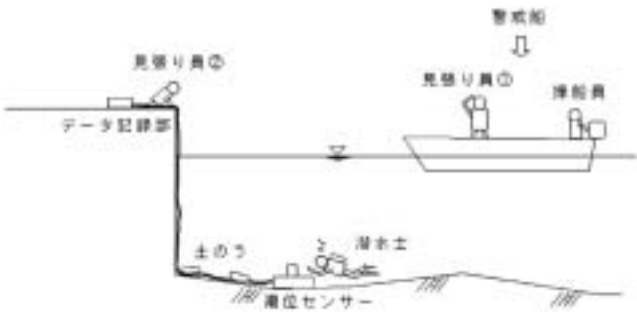


図5 潮位計設置作業状況の模式図

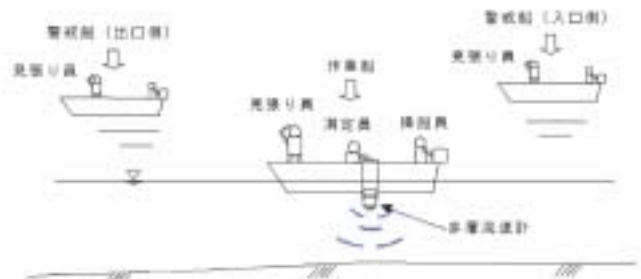


図7 流速観測作業状況の模式図

出来れば許可するとの回答があった。これを受けて要求通りの作業届けを作成し、平成15年1月17日に提出した。その中で、調査方法については、以下のとおり記載し、図4～7に見られる資料を添付した。

- ・潮位の連続観測を行うために、図4の計画平面図に示す箇所に潮位計を設置する。
- ・潮位計設置作業中は図5に示すとおり、陸上に見張り員を配置すると共に警戒船を配置する。
- ・流速観測では、作業船（1隻：5 t以下）に超音波式多層流速計（以下、ADCPと称す）を積載し、占用計画区域（図6 占用計画位置平面図参照）をゆっくりと航行しながら水中の流速を測定する。
- ・流速観測時には、船上に見張り員を配置すると共に、瀬戸の出入り口にも警戒船を配置する。船舶が接近した場合には、航行船舶に注意を促すとともに、観測船は測定を中断して船舶を回避する。
- ・流速の観測状況の模式図を図7のとおり示す。
安全対策として、以下の事項を明記した。
- ・漁協及び関連する海事関係者には作業の情報を事前に周知し、作業期間中の事故防止に努める。
- ・作業時には、ライフジャケット及びヘルメットを着用する。
- ・悪天候が発生した場合、もしくは作業中危険を判断した場

- 合は直ちに作業を中止する。
 - ・作業機材、その他廃棄物の流出防止には万全を期す。
 - ・潮流の流れの速いところであり、特に満潮・干潮時から30分遅れで流速が最大となることを十分に留意して作業にあたる。
 - ・現場作業には警戒船を配置して、航行船舶に注意を促すと共に、作業の安全を確保する。
- さらに、その他必要添付書類として、以下を提出した。
- ・海図（ $S = 1 / 30,000$ ）
 - ・調査位置平面図（ $S = 1 / 5,000$ ）
 - ・契約書（写し）
 - ・緊急時の連絡網
 - ・作業工程表
 - ・作業船・警戒船関係書類

2) 国土交通省九州地方整備局協議

万関瀬戸を管理している長崎港湾空港工事事務所と協議を行った。その結果、次の～からなる水域占用許可申請書を作成し、平成15年1月9日に提出した。

占用しようとする水域の範囲及び面積

水域の占用開始及び完了の予定月日

水域を占用しようとする目的

観測に使用する機材、船舶（観測船、警戒船等）

添付書類

（調査手法と安全対策、調査位置図、占用計画位置平面図、厳原海上保安部への作業届の写し）

その他（工作物等の設置・使用なし）

3) 長崎県対馬支庁協議及び個人所有敷地承諾

潮位観測においては潮位計設置場所の確保が必要である。万関瀬戸西側は三浦湾漁港内岸壁、万関瀬戸東側は個人所有の敷地内であったため、前者については対馬支庁建設管理課と協議の結果、漁港施設占用・工作物新築等許可申請書を許可申請書作成要領に従い作成し、平成15年1月14日に提出した。後者については、所有者へ相談し、平成14年12月24日に観測期間中の設置許可を頂いた。

4) 作業完了報告

完了報告として、厳原海上保安部に作業完了届、国土交通省長崎港湾空港工事事務所に水域占用廃止届を提出し、対馬支庁管理課には（完了届け等の提出不要のため）口頭にて作業完了報告を行った。その他、関係機関及び個人土地所有者に対し説明を行い、現地観測に係る一連の事務手続きを完了した。

(2) 観測方法

著者らは2003年1月27日の小潮時と2月3日の大潮時に先に示した海上保安部や長崎港湾空港工事事務所に提出した資料のとりの観測を行った。図6の占用計画位置にある航路直線部の中心付近において観測船を一時的に定位させ、図7に示すように、船上よりADCP（株式会社SEA）を水中に向けて流速を観測した。万関瀬戸航路の東西には、それぞれ見張り・警戒船を配置し、航路を他の船舶が通過する時には無線連絡を受けて一時的に観測を中断し、通過を妨げないように航路脇へ回避した。また、航路側壁から別のADCP（株式会社アレック電子）を航路に突き出すように設置し、航路中央部と同時に側方部の流速の観測を併せて行った。観測の状況、測器の位置を写真2、3に示した。航路中央部の観測では写真4に示すとおり、警戒船が航路入口付近に待機し、他船舶の航行時には航路中央での観測を一時中断し、航路脇に避難した。また、警戒にあたるスタッフに一定の休憩時間が必要であるため、これらの時間帯は欠測となった。航路側壁の観測では、避難することなしに継続して観測できるものの、壁面の影響により流速を過小に見積もるとともに、写真5に見られるとおり、特に大型船舶航行後は、連行に伴う特異な流れが生じている。これらは流速データの解釈に悪影響を及ぼすため、図9に明記した。観測は8:00より17:00まで、10分間隔、サンプリング8回×0.2秒の平均を1データとし、層厚50cm×



写真2 流速観測状況



写真3 観測船と航路側方観測の位置



写真4 観測船と警戒船



写真5 他船舶航行時の状況

10層、ボトムトラップありの設定で行った。

検潮は、図4に示す万関瀬戸航路の東西両側の静穏な地点において行った。検潮器の設置に先立ち、検潮器を設置した際に周囲に迷惑がcaからない場所で、水深が確保され波の穏やかな場所を選定し、岸壁の使用許可等所定の手続きを行った。図5に示すとおり、選定した場所で水圧式の検潮器のセンサーを海中に固定し、陸上に検潮小屋を設置しその中に検潮器の記録器をおいた。また、検潮器のチェックを行うため、センサーの横に副標(量水標)を設置した。高さの既知点は、万関の瀬戸中央部にある国土交通省管理の中央BM(H=2.49m)とし、東西の新設した水準点(BM1, BM2)及び副標1, 2の高さを求めた。検潮器の縮率及び副標との基準差を求めめるため、大潮時に満潮から干潮まで又は干潮から満潮まで副標及び検潮器で同時に潮位の観測を行う同時検潮を実施した。また、数日間隔で時間の延速を調べると共に副標との潮高比較を行い検潮器の管理を行った。

東西検潮器の記録から、2003年1月22日~2003年2月21日の1時間間隔の潮位を読み取り月表の生データを取得した。また、潮流観測を行った2003年1月27日及び2003年2月3日については、10分間隔の潮位を読み取り日表の生データを取得した。同時検潮で求めた検潮器と副標のデータを使い、最小自乗法による縮率計算を行い検潮器が持っている縮率及び検潮器と副標の基準差の算出を行った。取得した生データに縮率計算で求めた係数をかけて潮位補正を行った。水準測量で求めた副標の値から高さの補正を行い、潮位データを同じ基準面上の値に直し成果データとした。

5. 観測結果

(1) 潮位観測結果の概要

潮位観測結果を図8に示す。万関瀬戸周辺の干満差は大潮時で約2m、小潮時で約1mであり、潮汐表⁵⁾及び潮汐調和定数表⁶⁾を用いて算出した潮汐推算値と比較し、位相、振幅いずれも観測値と概ね一致する。しかし、表1の潮汐表にある東西両地点の平均水面の差(30~40cm)は、観測から判明

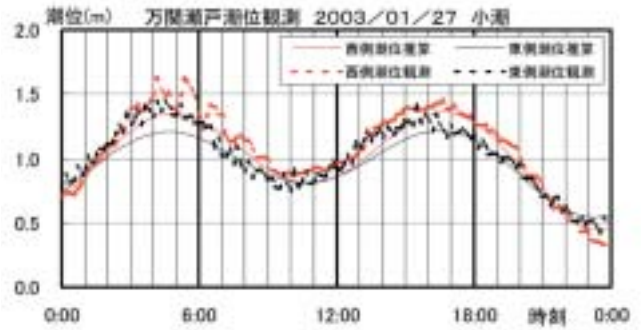


図8(a) 潮位観測結果(小潮時)

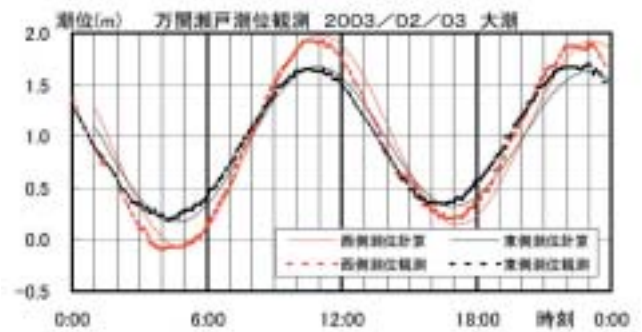


図8(b) 潮位観測結果(大潮時)

表1 各地点の平均水面(潮汐表)

位置 (九州北岸 対馬)	地名点 (標準港: 厳原)	平面水面(m) M. S. L. (Z0)
三浦湾(東側)	茂土浦	0.84
三浦湾(東側)	鴨居瀬	0.84
万関瀬戸	東口	0.81
万関瀬戸	中央部	0.95
万関瀬戸	西口	1.15
浅茅湾(西側)	昼ヶ浦	1.19
浅茅湾(西側)	竹敷	1.18

した両地点の平均水面の差(10cm程度)と比較し過大となっている。この違いについては、潮汐表が年間を通じた平均水面を示しているが、観測では冬期のみであること、また、平均水面の基準となるD.L.自体が両地点で異なる等の理由が考えられる。両地点の平均水面の差を観測値に合わせて補正した結果が図8であり、この推算潮位を潮流計算における境界条件として用いた。

(2) 潮流観測結果の概要

潮流観測結果を図9に示す。図中の(a),(b)は小潮時、(c),(d)は大潮時の観測結果である。(b),(d)は写真1, 2の左側に見られるように、航路の側壁から1m程度ADCP(多層流速計)を航路に突き出して観測を行ったものである。他船舶の航行等による中断はないが側壁の影響を受けて流速が過小に評価されているため、航路中央で観測した

(a), (c) を検証するための参考用としての扱いとなる。本報では、主に (a), (c) で考察を進めるが、4 . (2) 観測方法で言及したとおり、大型の船舶が航行した後に生じる進行及びその反動と思われる特異な流れについては、該当するデータを棄却する等、考慮しておく必要がある。

観測結果から見られる潮流の主な傾向としては、北東 - 南西方向に伸びた万関瀬戸航路において、大潮時、小潮時ともに両方向へ周期的に流向を変えてはいるが、南西から北東方向への流れが卓越している。なお、東方流速、北方流速のいずれも航路主軸から概ね45度の角度を有しているため、航路

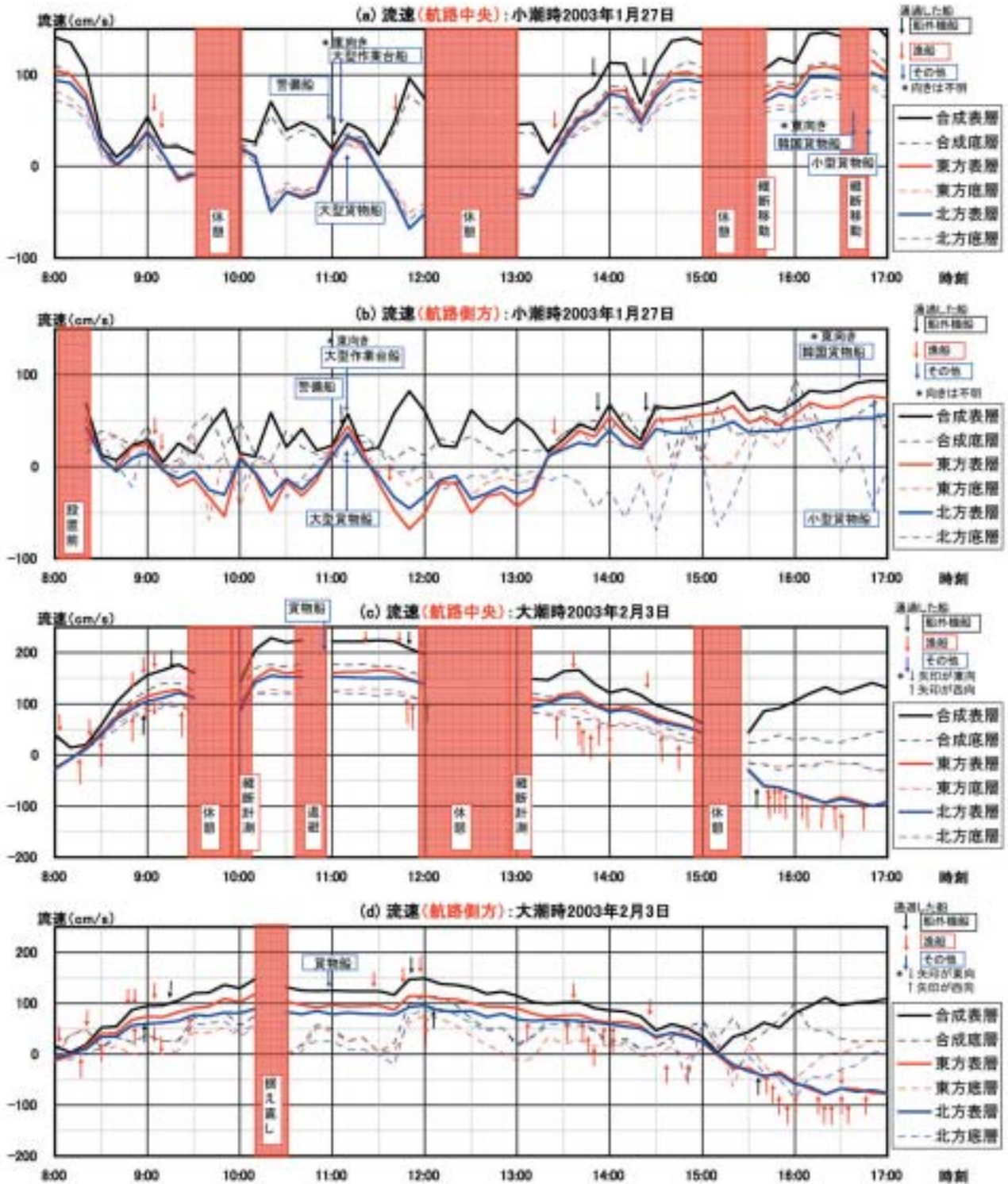


図9 流速観測結果

の海水交換量を検討する際には合成流速を参照することが望ましい。また、表層と底層とで流速差が見られるため、全層の平均値はその間の値となる。航路中央部表層での流速の最大値は大潮時で約2.0m/s、小潮時で約1.5m/sであった。航路側壁より計測した流速は同様に約1.2m/s、約0.7m/sと、壁面の影響により航路中央部の概ね4割減の値であった。

6. 数値計算による検証

(1) 計算方法

潮流の計算はマルチレベルモデルにより行った。メッシュの切り方として、浅茅湾から三浦湾までの東西方向8kmを50m×50mとしたものと、万関瀬戸周辺のみを10m×10mとしたものの2種類とし、鉛直方向は層厚を1m、2m、4m、10mをケースに応じて組み合わせた可変メッシュとした。境界条件は、万関瀬戸から東端、西端の開境界に水位のみを強制入力する方法をとった。当初、潮汐表に記載されている平均水面の値をそのまま用いていたが、万関瀬戸の西側から東側へ向かう流れが過大に算出されてしまうため、5.(1)で言及したとおり、潮位・流速観測結果を検証した結果を踏まえ平均水面を修正して用いた。初期条件は、流速全成分ゼロとし、潮位は両方の開境界のうち高い方の水位で計算領域全体を統一し、緩始動をかけながら徐々に本来の境界条件に近づ

けた。本報告では水質を検討していないため、水温・塩分は一定とし、表層熱収支を考慮せず、渦動粘性係数4/3乗則に則ってメッシュサイズ変更時以外は一定値とした。

(2) 計算結果

計算結果では、万関瀬戸を挟んで東西両側の開境界から万関瀬戸直前までは、それぞれ全域でほぼ同等の水位を示し、万関瀬戸狭く部において、両方の水位差が急激に縮まっている様子が見られた。この地点では、東西両側の水位差によって強い流れが生じている状況が示された。計算結果を観測値と比較すると、計算で得られた流速の最大値が層厚の影響で鉛直方向に平滑化されている分だけ観測値より若干低めに出ているが、位相も含め概ね良好な一致を示している。境界条件としての潮位を観測結果を踏まえ適切に修正することによって、本観測及び再現計算が矛盾無く行われたと言える。

7. 結 論

万関瀬戸航路内において、ADCPを積んだ船舶を定位させることにより、大潮時と小潮時の流速をそれぞれ連続的に観測することが出来た。大型船舶が頻りに航行する地点においてこのような観測は初の試みであり、この結果は隣接する浅茅湾等の海水交換、水質変動を検討する上で貴重な資料となる。また、同時に行った再現計算結果と観測値を比較することにより、当地域の流動計算を行う際に与える境界条件の適否が判断できた。

謝 辞

本調査を進めるにあたり、万関瀬戸における一連の観測では復建調査設計株式会社長崎支社測量調査課村孝課長、同地質調査課山根健二係長、石黒明伸氏らの協力を得た。同観測の諸手続きを行うにあたって、長崎県水産振興課、水産基盤計画課の指導を得るとともに、海上保安庁厳原海上保安部、国土交通省九州地方整備局長崎港湾空港工事事務所、長崎県対馬支庁、美津島町漁業協同組合、金子漁業株式会社らの理解を得た。本報の作図には水産工学研究所開発システム研究室非常勤職員の宮内晴子氏の協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 長崎県水産部：平成13年度浅茅湾養殖漁場環境調査報告書、348p、2002。
- 2) 国土交通省九州地方整備局長崎港湾・空港工事事務所：万関瀬戸航路の概要、<http://www.pa.qsr.mlit.go.jp/nagasaki/couwan/manzeki.html>
- 3) 運輸省第四港湾建設局長崎港湾工事事務所：万関瀬戸航路潮流調査報告書、65p、1992。
- 4) 長崎県対馬支庁：美津島漁港修築工事（環境調査）報告書、277p、2002。
- 5) 海上保安庁：潮汐表 平成11年、第1巻日本及び付近、p227、p400、1999。
- 6) 海上保安庁：日本沿岸潮汐調和定数表 平成4年2月刊行、267p、1992。

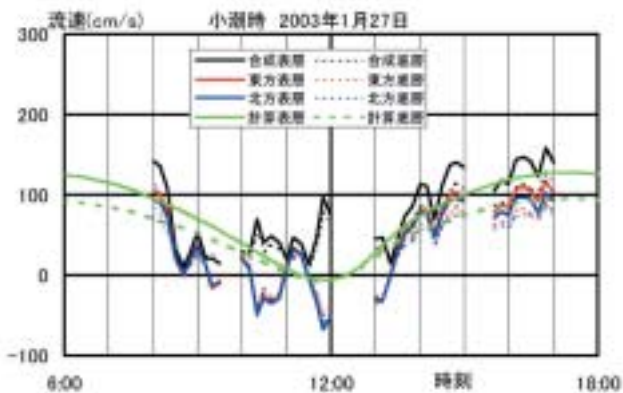


図10(a) 流速の計算結果（小潮時）

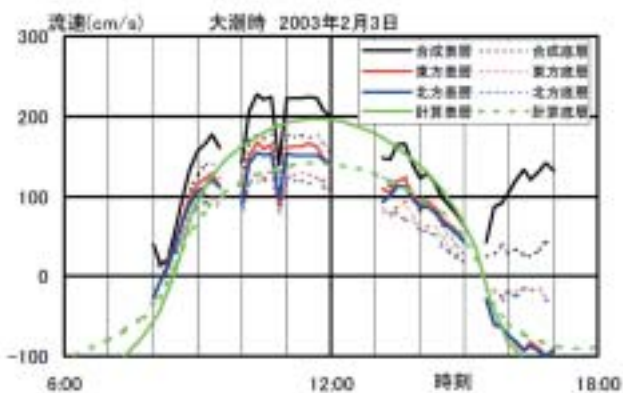


図10(b) 流速の計算結果（大潮時）