

備讃瀬戸航路における ADCP を用いた広域移動潮流観測と サンドウェーブの挙動

Mobile Measurement of Tidal Current over Wide Area by ADCP and
Behavior of Sand Wave in Bisanseto Fairway

中田正人¹・伊福 誠²・原楨利幸¹・高野誠紀³

Masato NAKATA, Makoto IFUKU, Toshiyuki HARAMAKI, Seiki TAKANO

In the present paper, the mobile measurement of tidal current was conducted by using the developed system with ADCP and D-GPS over the wide area in Bisanseto fairway. On the basis of the measurement, the sediment transport mechanism and the dynamics of sand wave formation is understood, and then, the fundamental information is obtained for the maintenance of the fairway. In the flood and ebb tides, the amplitude of tidal current in the upper layer is similar to it in the lower layer, but the current direction is slightly different near the deeper part.

1. はじめに

備讃瀬戸航路は、島嶼に囲まれた海域で周辺海底地形は、海峡部の塩釜、島嶼部周辺の砂嘴、馬の背状の起伏を有する極めて複雑な地形の場所に位置し、毎年航路埋没が生じており、近年では 2001 年から 2006 年にかけて、国土交通省 (2006) によりイノサキノツガイ地区で維持浚渫工事が行われた (図-1)。本研究では、ADCP と D-GPS を用い走航しながら広範囲での 3 次元多層潮流観測により、前報 (2002) 以降、備讃瀬戸航路で拡大した深浅測量結果および定点での潮流観測結果に基づいた地形変化に関する解析結果について、広範囲の潮流流況から土砂移動とサンドウェーブの形成・移動状況を把握し、航路の維持管理に関する基礎的資料を得ようとしたものである。



図-1 備讃瀬戸航路の深浅測量範囲

2. 潮汐観測

観測海域内で東部境界付近の与島および西部境界付近の牛島の港内 2 地点 (図-1) において、測定精度 1 cm の水圧式潮位計 (オサシ・テクノス社製 PC-001) を与島検潮所内部の観測井戸内および牛島里浦港の船着場の裏側部のタラップに設置し、潮流観測に合せ 2006 年 12 月 11 ~ 27 日の大潮期を挟む 15 昼夜の潮位同期観測を 1 分サンプリングで行った。与島と牛島における実測潮位および牛島と与島の潮位差 (U-Y) を図-2 に示す。与島と牛島の潮位差は中潮期の満潮および干潮時直後で最も大きく、牛島の潮位は満潮直後に最大で 15 cm 高くなり、干潮直後に最大で 8 cm 低くなっている。なお、与島と牛島の潮位の位相差は 0.5 分~ 6 分程度である。

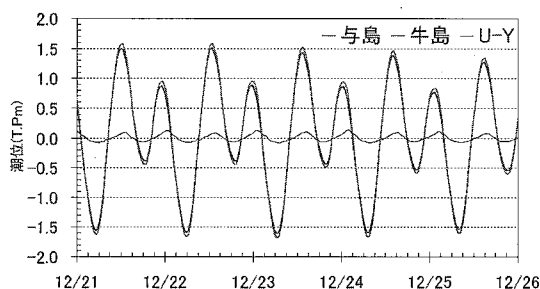


図-2 実測潮位および牛島と与島の潮位差

3. 移動潮流観測結果

(1) 観測方法

ADCP 多層流速計と D-GPS を観測船に設置し、図-3 に示す測線上を 2 m/s で移動しながら計測点の位置座標と 1 層厚 2 m で多層の 3 次元流向・流速を 10 秒間隔

1 正会員 (株)エイトコンサルタント プロジェクト部
2 正会員 工博 愛媛大学大学院教授 理工学研究科
3 国土交通省四国地方整備局 高松港湾・空港整備事務所 所長

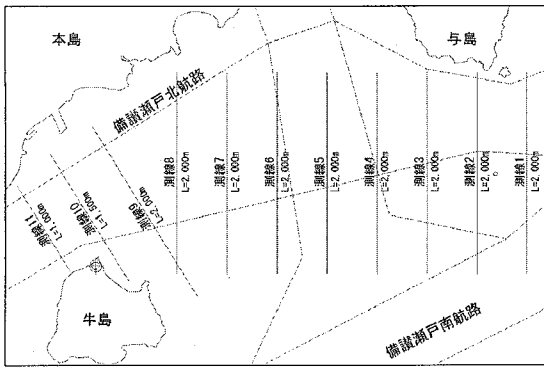


図-3 測線図

で計測した。

観測海域の最大水深（海峡部）が 100 m 程度であることから、全域の多層流速を得られるように 500 kHz の ADCP (SonTek/YSI 社製) を使用した。

(2) 観測期間

2006 年 12 月 18～21 日の大潮期に観測した。1 測線長 2 km を 2 m/s で移動した場合の所要時間は 1,000 s となり、観測時間から終了まで約 17 分の時間差が生じるが、既存の備讃瀬戸北航路での定点潮流観測結果から、大潮期において干潮満潮時間から約 2 時間で流速がピークとなり、潮流のピーク前後 1 時間における流速減少は 15 % 程度であることから、1 測線当たりの走航時間による東西流・南北流の流速・流向の変動は軽微である。

したがって、全域において可能な限り流速の速い状態を観測できるようにするため、干潮・満潮時間の 1 時間後から計測を開始し、約 2 時間で測線上を移動して観測した。ただし、前半の上げ潮時の観測については、干潮時刻が日の出前であったため、作業上やむを得ず最大潮流時間よりやや遅れての観測となっている。

(3) 観測結果

a) 上げ潮時

図-4 に上げ潮時の底層潮流平面分布を示す。底層と表層では、 $x=4,500$ m, $y=2,500 \sim 3,000$ m の塩釜底部で海底地形の影響により流向に多少の相違が見られるもののほぼ同様の流況を示している。

観測海域東端の与島・坂出間へは SW から WSW の流向で流入し、与島・三ツ子島間の海峡部では、最深部で収斂が顕著である。塩釜からは、斜面沿いに流出し三ツ子砂嘴背後への回り込みがみられ、塩釜からの駆け上がり部は、斜面部に比べ流速が速くなっている。三ツ子島・砂嘴による遮蔽の影響を受け西側に 2 km の範囲で流速が弱く、遮蔽領域は塩釜からの流入により南に蛇行している。

三ツ子島南側の流れは、一部遮蔽領域に沿って本島・

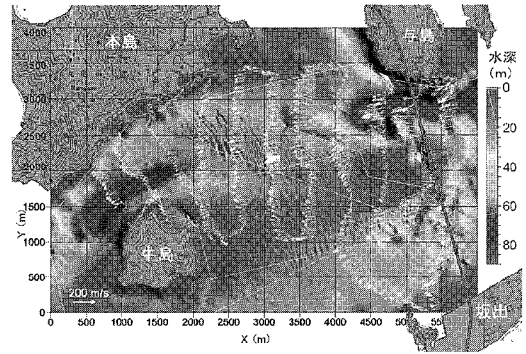


図-4 潮流平面分布（底層）

牛島の海峡部に向かう流れとなっている。牛島北東側では、島を大きく迂回し塩釜方向に流れており（防波堤の影響）、牛島北側は、迂回した流れにより循環流を形成している。

断面流速分布は、測線毎に成分流速の測線直角方向流、測線方向流、鉛直方向流について整理した。図-3 に示す通り、測線直角方向流は測線 1～8 までは東方向を正、測線 9～11 までは 31.8° 北側に傾けた方向を正とした。測線方向流は測線 1～8 までは北方向を正、測線 9～11 までは 31.8° 西側に傾けた方向を正とした。鉛直方向流は上方向を正とした。断面流速分布の横軸および測線毎の潮流平面分布の縦軸は、測線の南端を始点とした測線の距離を示す。

測線 2 (図-5～7) では、西向きの潮流は $L=1,200 \sim 1,600$ m の三ツ子島北側斜面上で収斂し、流速が大きくなっている。 $L=1,800 \sim 2,000$ m の海峡部の与島近傍では西向きの潮流に対し東向きの逆流が生じ、三ツ子島背後は西向きの流れが弱く、南側に東向きの逆流が生じている。鉛直方向流は北航路では上向きの流速が、南航路では下向きの流速がそれぞれ卓越している。

測線 5 (図-8～10) では、北航路上で西向きの潮流

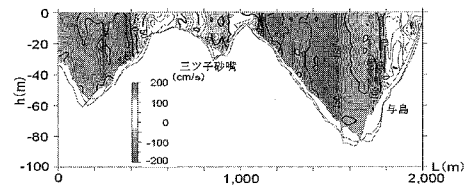


図-5 測線 2 (測線直角方向流)

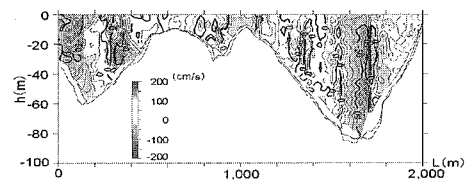


図-6 測線 2 (測線方向流)

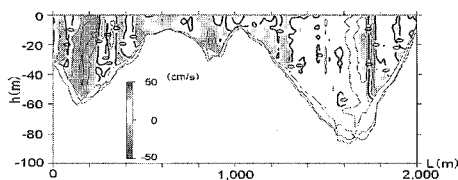


図-7 測線2 (鉛直方向流)

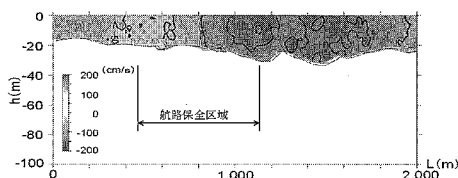


図-8 測線5 (測線直角方向流)

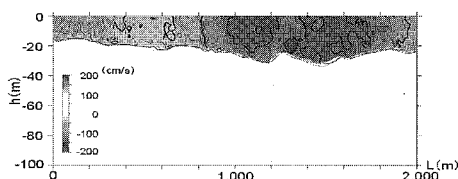


図-9 測線5 (測線方向流)

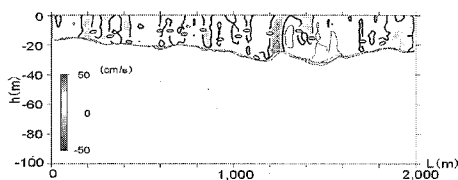


図-10 測線5 (鉛直方向流)

の流速が大きく、深度方向の流速分布が小さく、 $L=1,400$ m の谷線から南北に分流し、流向は北側で WNW 方向、南側で WSW 方向となっている。北航路の南側 ($L=0 \sim 600$ m) では、流向は WNW 方向となっている。 $L=1,400$ m の海峡部付近では海峡のかけ上がり地形に沿った上向きの流速となっている。

b) 下げ潮時

図-11 に上げ潮時の底層潮流平面分布を示す。表層底層ともに、海底地形の影響により流向に多少の相違が見られるもののほぼ同様の流況を示している。

観測海域の西端から NE 方向流で流入し、本島・牛島間の海峡部は、塩釜の谷地形沿いの流向を示している。塩釜部は最深部の流速が最も速く、海峡部を過ぎると谷沿いに牛島背後への回り込みが見られる。 $x=3,000$ m 以降東に向け徐々に流速が減衰し、 $x=3,200$ m, $y=1,500$ m 付近において牛島で南北に分流していた流れが合流している。

断面流速分布をみると、測線 5 (図-12 ~ 14) では、

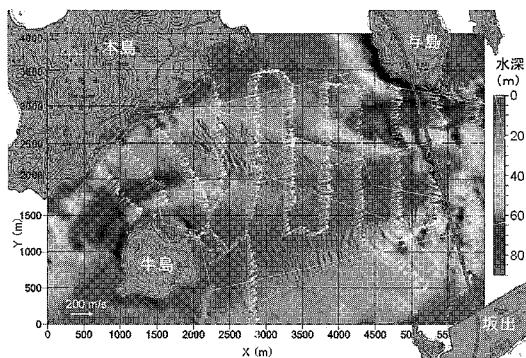


図-11 潮流平面分布 (底層)

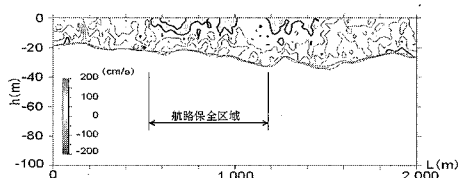


図-12 測線5 (測線直角方向流)

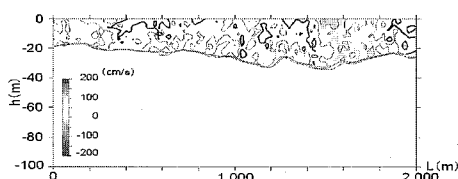


図-13 測線5 (測線方向流)

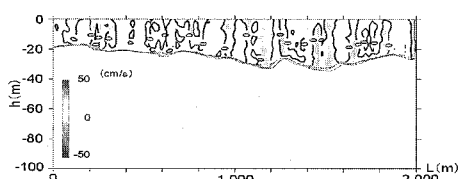


図-14 測線5 (鉛直方向流)

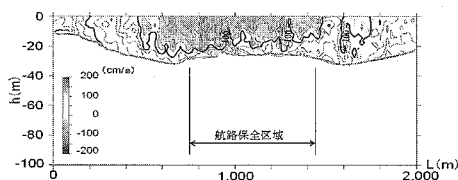


図-15 測線7 (測線直角方向流)

流向は $L=1,400$ m の北側では ESE 方向、南側では E 方向となり、塩釜に向け収斂している。

測線 7 (図-15 ~ 17) では、航路保全区域の浅い部分で流速が大きく、 $L=700$ m 付近の谷を境に、流向は北側で ENE 方向、南側で E 方向に分流している。

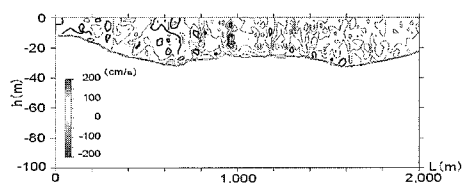


図-16 測線 7 (測線方向流)

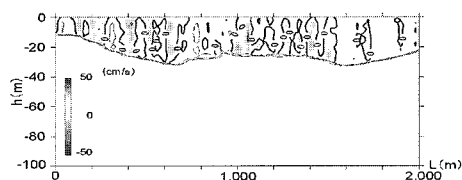


図-17 測線 7 (鉛直方向流)

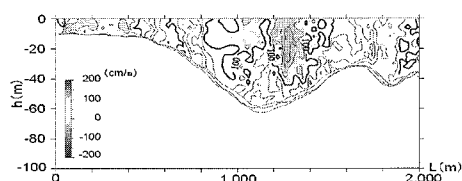


図-18 測線 9 (測線直角方向流)

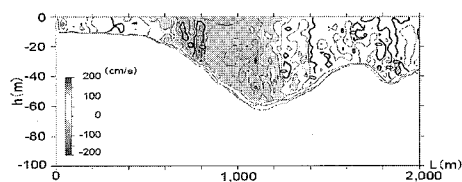


図-19 測線 9 (測線方向流)

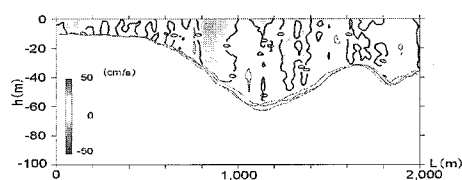


図-20 測線 9 (鉛直方向流)

測線 9 (図-18～20) では海峡中心部で流れの収斂が強く、 $L=0 \sim 400$ m の範囲では牛島の遮蔽により逆流が生じている。

c) 面的潮流差分

この観測により得られた東西 500 m 間隔の測線 1～8 までの矩形領域において離散した底層流速データを補間し、測線間を密にした格子データを作成して潮流残差の

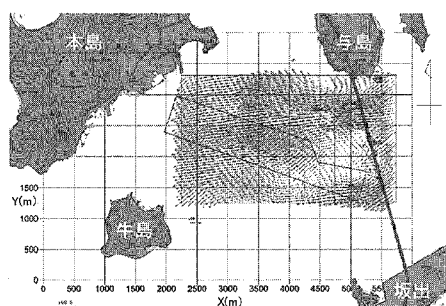


図-21 メッシュ流速分布 (上げ潮時)

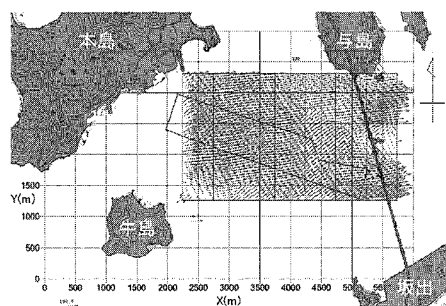


図-22 メッシュ流速分布 (下げ潮時)

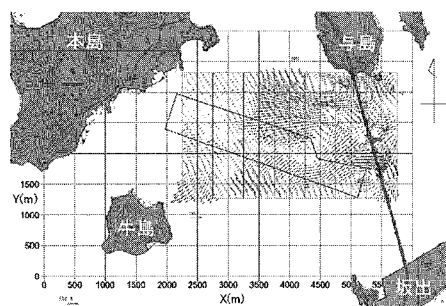


図-23 メッシュ流速分布 (差分)

平面分布図を作成した。図-21 に上げ潮時、図-22 に下げ潮時、図-23 に差分の格子流速分布を示す。

潮流差分からは、与島南側の塩釜部に西向きに残差流、三ツ子砂嘴の東向き、牛島背後の東向き残差流が顕著に見られる。潮流観測では、観測時期による日潮不等の違いや時間帯による流速の変化等があることから単純に差分による土砂移動方向への適応はできないが、三ツ子砂嘴の東向き、牛島背後の東向き残差流は、それぞれ島による遮蔽の影響を受けて残差が生じ堆積している。与島南側の塩釜部においては、西向き流れは海峡部を通過し水深の浅い領域に流れていくことから定常的に上げ潮時の流速が速くなり、塩釜駆け上がり部の周辺に堆積し稜線を形成しているものと思われる。

4. 土砂循環

伊福ら(2002)および中田ら(2005)以降、備讃瀬戸航路で拡大した深浅測量結果および定点での潮流観測結果に基づいた地形変化に関する解析結果により、当該領域では三ツ子島背後の収れん域を中心とした土砂循環が確認されている。図-24に土砂循環経路および領域を示す。

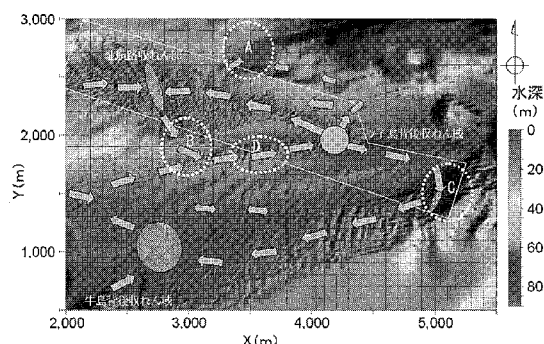


図-24 土砂循環経路図

(1) 領域 A

塩釜の谷頂部では、相対的に上げ潮時の西向き流れが強く現状のように稜線上に土砂が堆積しているものと考えられる。また、過去の深浅データから地形変化は軽微であることから現状で地形的に安定していることを考慮すると、移動してきた土砂は西方の北航路へと移動していると思われる。さらに、上げ潮時における与島・三ツ子島間の塩釜からの湧出流速が比較的速いことから塩釜からの土砂の出入りが比較的多いものと予測される。

(2) 領域 B

本島・牛島間の海峡部からつながる谷に沿って潮流が収斂していることから、上げ潮時の西向き流れに比べ東向き流れが相対的に強くなっている。北航路収斂部のサンドウェーブは、東西から移動してくる土砂で比高が増大する(伊福ら, 2002; 中田ら, 2005)。なお、領域 B に落ち込んだ土砂は東に移動していると思われる。

(3) 領域 C

三ツ子砂嘴の西側および南側は、上げ潮時の三ツ子島および三ツ子砂嘴による遮蔽域であり、三ツ子砂嘴の稜線から南側では東向きの流れが卓越することで土砂が東に移動し南航路へ落下していると思われる。また、領域 C 以西の南航路においては相対的に西向き流れの方が強く、領域 C から南航路へ落下した土砂がサンドウェーブを伴い西へ移動していると思われる。

(4) 領域 D

上げ潮時には三ツ子島および三ツ子砂嘴による遮蔽域

となっているため流速が弱められる。一方、下げ潮時には、本島・牛島間の海峡部から牛島背後に回り込んだ谷沿いの流れと牛島南側から回り込んで北上した流れが合流し、相対的に下げ潮時の東向き流れが強い領域となっている。このことから、領域 B から供給された土砂が東の三ツ子砂嘴へ移動しているものと思われる。

三ツ子砂嘴背後収斂域では、三ツ子砂嘴からの土砂流入ではなく保全区域外からの東向き土砂移動により三ツ子砂嘴西側のすその部分(南北連絡航路部)へ土砂が収斂し、サンドウェーブの波長は 100 ~ 200 m, 比高は 4 m 程度になる(中田ら, 2005)。また、土砂の一部は三ツ子砂嘴から南北に分岐し、北に分岐した土砂は塩釜部に向かい領域 A に堆積している。一方、南に分岐した土砂は、三ツ子砂嘴南斜面の裾部を東に向かい領域 C で南航路に落ち込んでいる。土砂が北航路に落ち込み、その後サンドウェーブを伴い西へ移動している。

5. 結 論

- (1) 潮汐の振幅は、西側に位置する牛島の方が与島に比べ大きく、潮位差は大潮期に最大で 13 cm 程度であり、位相差は、0.5 ~ 6 min である。
- (2) 海峡部の塩釜からの流れは、V 字谷地形により収斂されることなく、斜面方向に拡散することが明らかとなった。
- (3) 上げ潮時の三ツ子島および砂嘴の背後における後流域の歪は、塩釜からの流れに起因していると考えられる。
- (4) 潮流残差から、三ツ子砂嘴への土砂移動、サンドウェーブの収斂および移動方向が裏付けられた。
- (5) 海峡部の塩釜、島嶼部周辺の砂嘴、馬の背状の起伏を有する複雑な地形が流れに及ぼす影響を解明することができた。

謝辞：本研究は、科学研究費(基盤研究(B)No. 17360230, 代表者：真野 明)の補助を受けて行ったことを記し、謝意を表します。

参 考 文 献

- 伊福 誠・小林泰之・坂田健治・西本光宏・中田正人(2002)：深浅測量結果に基づく備讃瀬戸航路の地形変化，海岸工学論文集，第 49 巻，pp. 556-560。
- 中田正人・伊福 誠・三野真治(2005)：備讃瀬戸航路における深浅測量と潮流観測に基づいたサンドウェーブの解析，海岸工学論文集，第 52 巻，pp. 606-610。