

橋脚ケーソン設置支援のための超音波ドップラー 流速計による流況観測

多田彰秀*・福本 正*・西田秀紀*・高村浩彰*

1. はじめに

流れが速い海峡や水道での橋脚ケーソン設置工事は、従来から起重機船や鋼殻ケーソンに作用する潮流荷重が最小となる小潮時の潮止りに行われてきた。このため、小潮時の潮止りを精度良く予測することは、施工計画上並びに工程管理上の観点から重要である。一般的には、工事開始前に対象海域の海面付近で潮流に関する15昼夜連続観測を実施し、得られたデータの調和解析より潮止りの時刻を予測している。

長崎県西彼杵半島の寺島水道に架設される大島大橋の橋脚3Pおよび4Pの建設に際しても上述の方法が採用され、海面下2mで潮流観測が実施された。さらに、図-1に示すように寺島水道が複雑な海底地形を有していることから、海底面上5mでの潮流観測も同時に試みた。その結果、寺島水道の潮流は3次元的な構造を有する可能性が極めて高く、それがケーソン設置時の安全性や設置精度に支障を来すものと懸念された。このため、超音波ドップラー流速計（以後 ADCP と呼ぶ）を導入して流況に関する詳細な観測を実施することとなった。

本研究では、まず、試行的になされた海底面上5mでの潮流観測から確認できた寺島水道における流動特性について述べる。次いで、ADCPを用いた流況に関する詳細な現地観測から、潮止り前後における流れの反転現象などについて考察する。最後に、ADCPの観測結果に基づく小潮時の潮止り時刻に関する予測方法を提案し、それを大島大橋3Pおよび4Pケーソン設置工事に適用した結果について報告する。

2. 海底面近傍での潮流観測

(1) 潮流観測の概要

海底面近傍の潮流に関する観測は、図-1に示すような寺島水道東側の工事海域北端に位置する観測点 St. A（図-1中の●、水深約25m）で行った。観測に際しては、水圧計付きメモリー電磁流速計（アレック電子社製 ACM-16M3）を海底面上約5mの位置に係留し、潮位、流向・流速並びに水温の時間的変化を自動計測した。観

測期間は、1995年7月5日10:50から7月26日15:30までの約21日間である。

また、観測点 St. A の西側に位置する観測点 St. B（図-1中の◆、水深約18m）においては、アーンデラー流速計（RCM-7）を用いて、海面下2mでの潮流観測が1995年7月6日10:30～7月21日10:20に渡って実施された。

(2) 観測結果の考察

図-2は、観測点 St. A および St. B で計測された流速の絶対値 (V_a) の発生頻度を示したものである。60 cm/s を境にして両者の定量的な傾向が異なっている。すなわち、 $V_a \geq 60$ cm/s の範囲では、海面下2mでの流速の発生頻度が海底面上5mでのそれよりも大きい値となっている。一方、 $V_a < 60$ cm/s の領域では、前者の方が後者の頻度より小さい。これは、流速の大きな流れが海底面近傍よりも海面付近で出現しやすいものと解釈される。

図-3(a) および (b) は、海底面上5mで計測された流速の北方分速 (N-S 成分) および東方分速 (E-W 成分) のパワースペクトルを示したものである。両図からは、24時間および12時間に対応する周期帯において顕著なスペクトルのピークが認められ、特に半日潮 (M_2 潮) が卓越していることが確認される。さらに、両者のエネルギーレベルを比較してみると、北方分速の方が東方分速

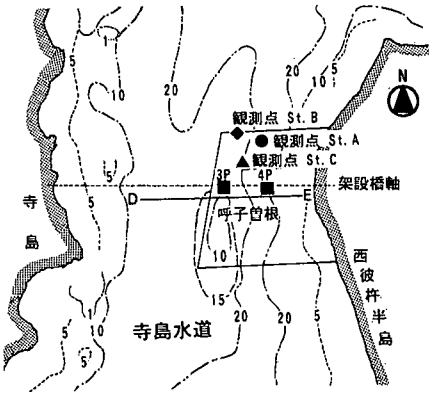


図-1 潮流観測の対象海域

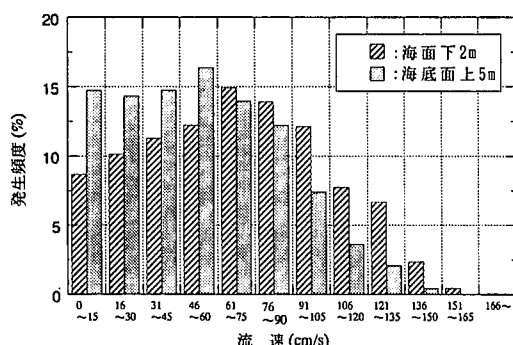


図-2 流速階級別発生頻度

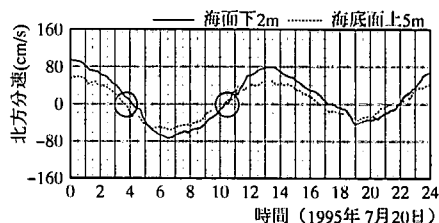
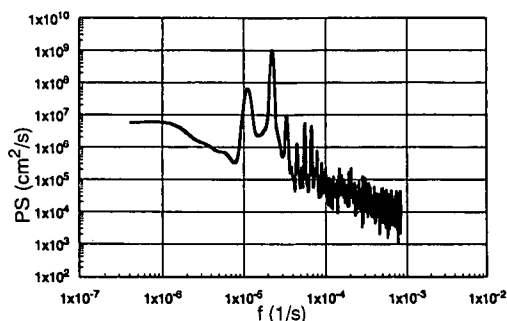
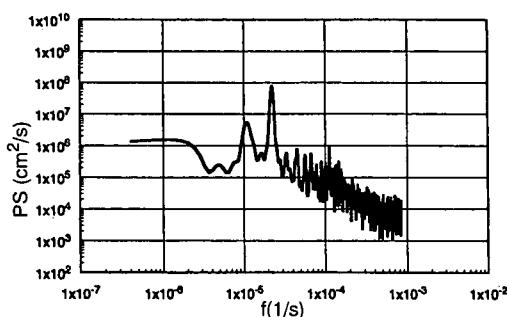


図-4 海底下2m および海底面上5mの北方分速 (N-S成分)



(a) 北方分速 (N-S成分)



(b) 東方分速 (E-W成分)

図-3 潮流流速のパワースペクトル (海底面上5m)

より1オーダー高い値を示している。同様のことは、海底下2mで計測された流速のパワースペクトルにおいても得られている。以上のことから、寺島水道の潮流は海面から海底面までほぼ南北方向の往復流が卓越しているものと断言できる。

図-4は、観測期間中の小潮時(7月20日)に、海底下2m(実線)および海底面上5m(破線)で観測された北方分速(N-S成分)の時間変化を示したものである。図中に示す○印の箇所からは、海面近傍での潮止りと海底面近傍の潮止りとに約30分程度の時間差が存在していることが読み取れる。このことは、寺島水道に流

れの3次元構造が存在することを示唆している。これによって、ケーソンに作用する潮流荷重が鉛直方向に均等でなくなるものと考えられ、安全性や設置精度などの低下をもたらすものと懸念される。このようなことから、ADCPを導入して寺島水道の流況観測を行い、詳細な検討を加えることとなった。

3. ADCPを用いた流況観測

近年、沿岸域の流れを可視化する目的で、ADCPを用いた現地観測が盛んに行われている(藤原ら, 1989; 杉山ら, 1995)。これは、ADCPが走航しながら鉛直方向の流速分布を多層同時に計測することができるという特徴を有しているためである。ここでは、寺島水道における流れの3次元的な特性を解明するためにADCPを導入して流況観測を実施した。

(1) 観測日時および観測対象海域

ADCP(RD Instruments社製、600kHzトランスデューサー、ブロードバンド)を用いた流況観測を3Pケーソン設置時(1995年10月31日)とほぼ同じ月齢の小潮時(1995年10月4日9:00~15:30)に実施した。なお、この時は架設橋軸より北側に位置する観測点St. C(図-1中の▲、水深21m)に作業船を係留して定点観測を行った。

(2) 観測方法

水中コネクタが接続したADCPを観測用作業船(2t~3tクラスの漁船)の舷側に取り付け、観測時には下降、移動時には気中へ上昇させることのできる可動式架台を導入した。観測に際しては、水深3m~4mを第1層とするとともに、平均化時間を5.1秒、層厚を1mとして計22層で流速を同時計測した。なお、観測位置の確認にはGPSを用いている。

(3) 観測結果の考察

図-5は、観測点St. Cで計測された潮流速の北方成分(N-S成分)の鉛直分布に関する時間的変化を示したものである。図より、時間の経過とともに流速(N-S成分)が南流から北流へと反転する過渡現象を理解することができる。特に、潮止り前後では水深15m~18m近傍の流

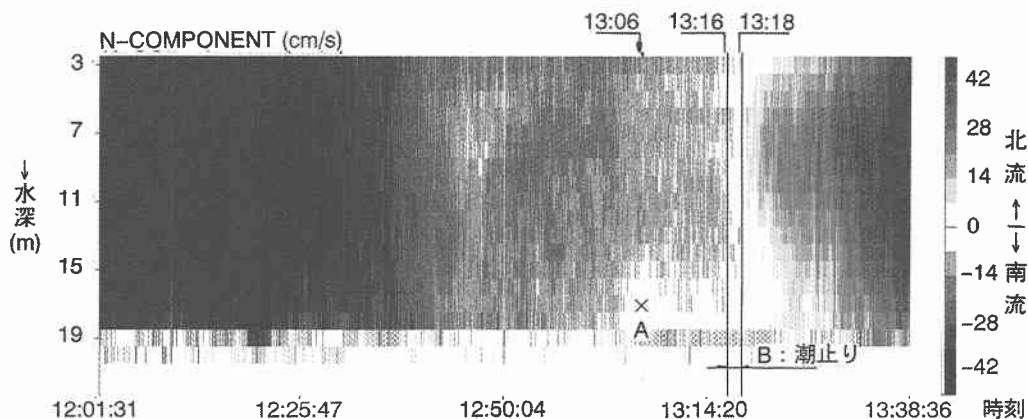


図-5 流速分布 (N-S 成分) の時間的変化 (10月4日)

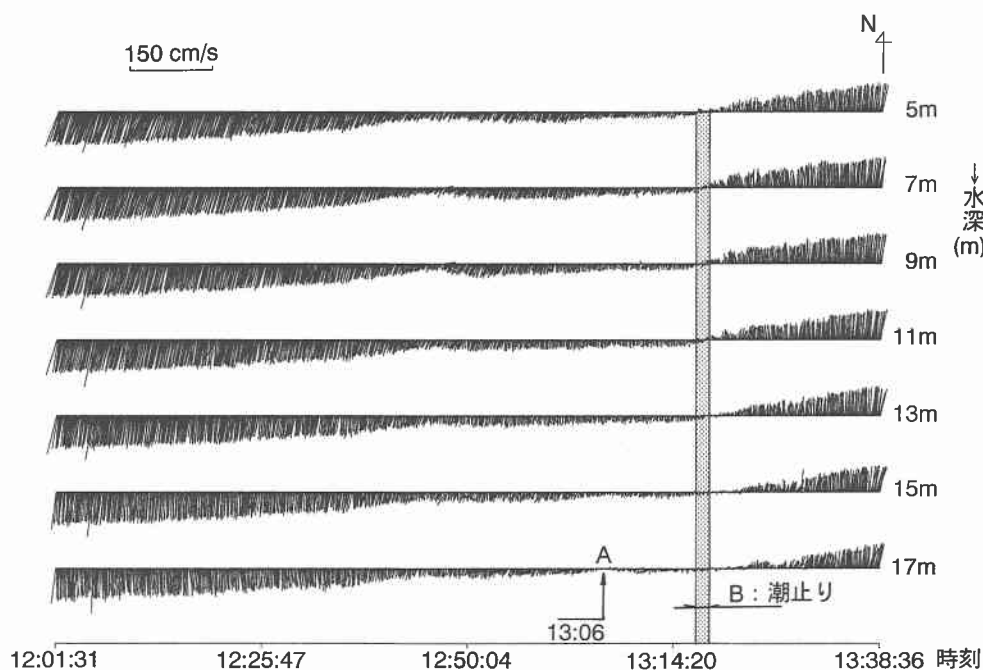


図-6 流速ベクトルの時間的変化 (10月4日)

れが先行して微弱となり、その後、水深 10 m 以浅の流れがほぼ停止状態となっている。次いで、海面から海底面まで一様な微速状態(図-5 中の白い部分、13:16~13:18)が短時間(2分30秒程度)現れた後、水深 7.0m~11.0 m の中層部から北流に転じている。全層が北流に転じた後は、減速時(南流→潮止り)よりも短時間で 50 cm/s 近い流速に達していることも分かる。

さらに、図-6 は各水深で観測された流速ベクトルの時間的変化を示したものである。ADCP の観測結果に基づいて特定された潮止り(13:16~13:18、図-6 中の網

掛け部分) 前後では、流速ベクトルが回転していることが確認される。しかしながら、流速が小さいためにケーソン設置時には殆ど問題にならないものと判断される。

4. 橋脚ケーソン設置支援ツールとしての ADCP の利用

(1) ADCP の観測結果を用いた潮止りの予測方法
寺島水道東側の工事海域で流れが南流から北流に転じる場合には、①水深 15~18 m 近傍から流れが先行して微弱となること、②その後、水深 10 m 以浅の流れがほぼ

停止状態となること、③次いで、海面から海底面まで一様な微速状態が短時間出現することなどが小潮時(10月4日)を対象とした ADCP を用いた観測結果より明らかとなった。

これらの知見をもとに、小潮時の潮止りの時刻を予測する方法について検討した。まず、①の現象に対応する箇所を図-5 および図-6 の中から読み取った。すなわち、水深 17 m に着目し、そこでの流速の絶対値が 7 cm/s 以下となる箇所は両図中の A 点に対応し、その出現時刻は 13:06 であった。次いで、③の現象に対応する箇所は、両図の B (：潮止り、特に図-6 の網掛け部分) であり、その出現時刻は 13:16~13:18 となっている。このような一連の現象 (①→②→③) が小潮時には必ず出現するものと仮定すれば、A 点が登場して B (：潮止り) が確認されるまでの経過時間 (T_* = 10~12 分) は、ほぼ一定と考えられる。したがって、海底面上 5 m における調和解析に基づく予測値に T_* を加えた値を「ADCP の観測結果に基づく潮止りの予測値」とすることが可能である。

(2) 大島大橋 3P および 4P ケーソン施工への適用

上述したような考え方に従い、3P および 4P ケーソン設置時の潮止りの時刻を予測した。予測値を示す表-1 には、検証の目的からケーソン設置当日 (3P: 10月31日, 4P: 11月16日) に ADCP によって実測された潮止りの出現時刻 (潮止りの実測値) および調和解析に基づ

く予測値も併記されている。寺島水道のように流れが 3 次元的な構造を有する海域では、ADCP の観測結果に基づく予測値の方が当日の潮止りの時刻 (潮止りの実測値) に極めて近いことが表-1 より明らかである。

また、潜水・張石・均しの作業限界条件としては、最大潮流速 (平均値) が 50 cm/s と定められている (安達・遠藤, 1991)。図-5 において、海面から海底面まで潮流が 50 cm/s 以下となるのは 12:20~12:25 以降である。一方、海面下 2 m での調和解析に基づく予測値では 11:20 以降となっており、予測値と実測値との間には約 60 分程度の遅れが存在していることが分かった。このような時間差を考慮し、3P および 4P ケーソン設置当日の潜水作業開始時刻をそれぞれ 9:40 および 9:00 と計画した。当日の潜水作業は、図-7 および図-8 に示される時間帯 (両図中の①) に行われた。なお、両図中に示される①~④の作業内容は表-2 に示すとおりである。ケーソン設置当日は、起重機船の北側海域で ADCP による潮

表-1 小潮時の潮止りに関する予測値と実測値との比較

観測日	調和解析による予測値		ADCP の観測結果に基づく潮止りの予測値	ADCP の観測結果に基づく潮止りの実測値
	海底面上 5 m	海面下 2 m		
10月4日	12:18	12:26		13:16~13:18
10月31日	9:37	9:41	9:47~9:49	10:36~10:39
11月16日	10:33	10:16	10:43~10:44	10:39~10:41

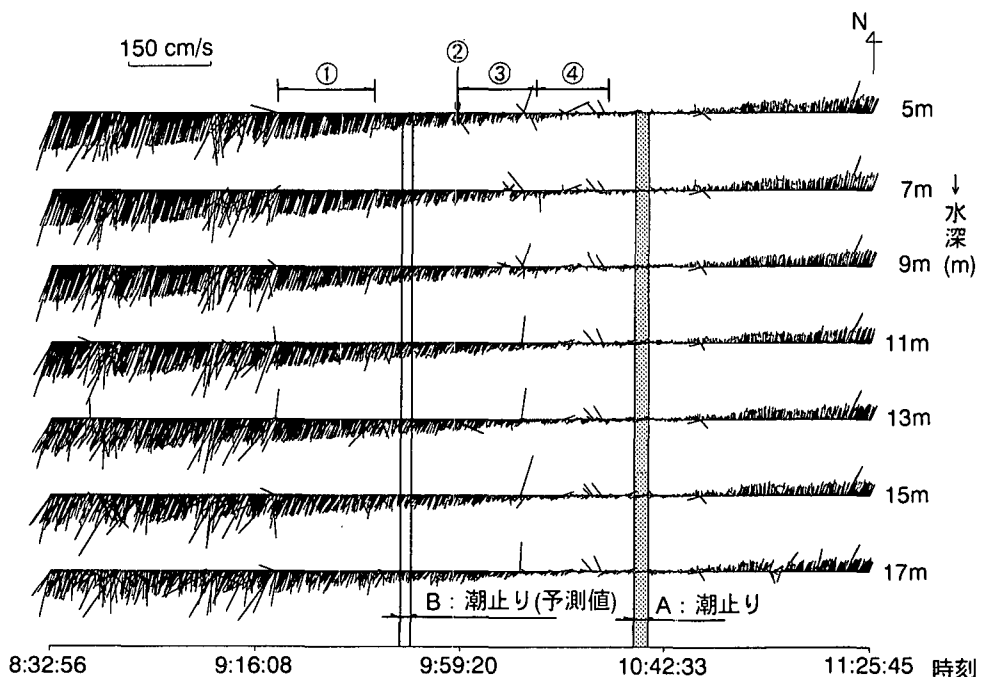


図-7 3P ケーソン設置時の流速ベクトルの時間的変化 (10月31日)

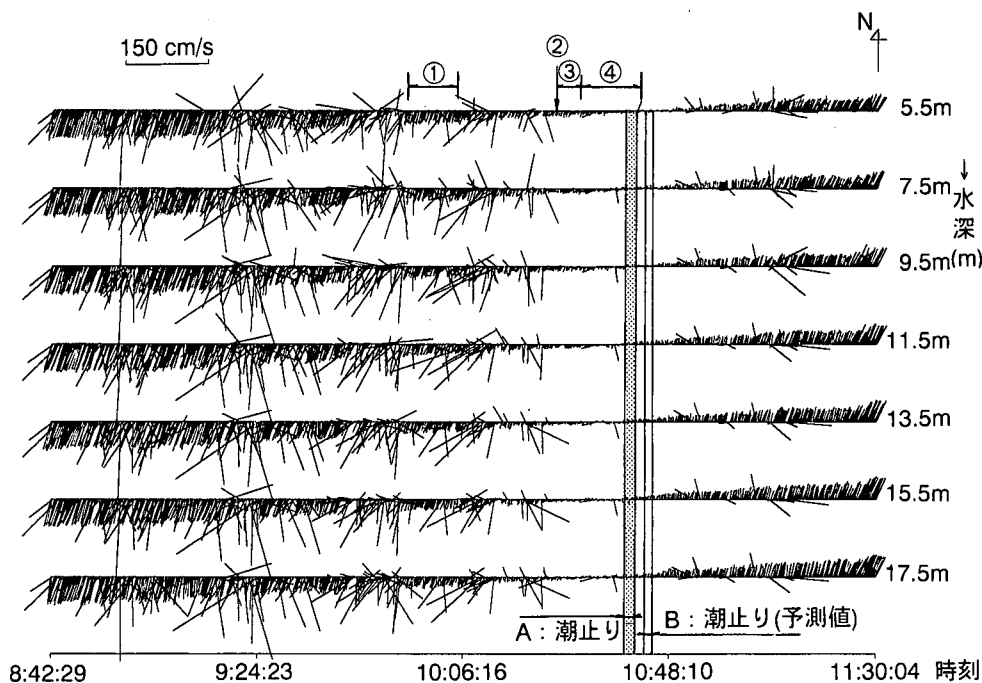


図-8 4P ケーソン設置時の流速ベクトルの時間的変化 (11月16日)

表-2 3P および 4P ケーソン設置当日の作業内容

作業項目	時間	3P (10月31日)	4P (11月16日)
①ダイバーにて状況確認		9:20~9:41	9:55~10:05
②ケーソン着底		9:58	10:25
③荷重解放 (100%→50%)		9:58~10:15	10:25~10:30
④荷重解放 (50%→0%)		10:15~10:30	10:30~10:40

流観測を実施し、リアルタイムに流況変化を捉え、潜水作業にとって有用な技術情報を提供した。そのようなリアルタイムの情報をもとにケーソンの実施工が遂行されたため、当日の潜水作業開始は計画した時間より前後する結果になったものと考えられる。

5. おわりに

ADCP を用いた観測から、寺島水道の潮流が3次元的な流況特性を呈していることが明らかとなった。また、複雑な海底地形を有する海峡部や水道の流況特性を把握するためには、従来から行われてきた海面付近での潮流観測に加えて、少なくとも海底面近傍での潮流観測をも実施する必要があることも分かった。さらに、本研究

で提案した ADCP の観測に基づく潮止り時刻の予測方法は、橋脚ケーソン設置の支援ツールとして有用であることも確認できた。

最後に、今回の潮流観測を快く承諾して頂き、終始ご協力頂いた長崎県大瀬戸土木事務所並びに西松建設・西海建設特定建設工事 JV の関係各位に対し感謝申し上げます。また、観測は「裕西丸」西尾国作船長の多大な援助によって遂行できた。さらに、ADCP 用可動架台の製作および現場取付では(有)山口商事の小野昭二氏に、ADCP の観測データ整理・作図では(株)エス・イー・エー並びに海面下2mでの潮流観測では(株)シャトー海洋調査の皆様からのご協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 安達逸雄・遠藤聖五郎 (1991): 最新港湾工事施工技術, 山海堂, 63 p.
- 杉山陽一・藤原建紀・中辻啓二・福井真吾 (1995): ADCP による伊勢湾の流動構造調査, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 1096-1100.
- 藤原建紀・高杉由夫・肥後竹彦 (1989): 超音波ドップラーによる沿岸域の流れの可視化, 海洋調査技術 1 (1), pp. 57-65.