

# 港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE  
OF  
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1198

June 2009

振子型流速計の開発

鈴木 崇之

独立行政法人 港湾空港技術研究所  
Independent Administrative Institution,  
Port and Airport Research Institute, Japan

## 目 次

要 旨 .....	3
1. はじめに .....	4
2. 波崎海洋研究施設の概略 .....	4
3. 振子型流速計の概要 .....	5
3.1 測定原理および計測システム .....	5
3.2 流速値の算出方法 .....	6
(1) 流速 .....	6
(2) 流向と波向き .....	7
4. 現地観測 .....	7
4.1 現地観測の概要 .....	7
4.2 観測装置のキャリブレーション .....	8
(1) ロードセル .....	8
(2) 小型水圧計 .....	8
(3) 電磁流速計 .....	8
4.3 観測条件およびデータ収録条件 .....	9
5. 実験結果および考察 .....	9
5.1 地形断面変化 .....	9
5.2 海象および計測データの状況 .....	10
5.3 電磁流速計との比較 .....	12
(1) 沿岸流速 .....	13
(2) 岸沖流速 .....	15
6. おわりに .....	15
謝辞 .....	15
参考文献 .....	16
記号表 .....	16
付録 A 波崎海岸の潮位 .....	18
付録 B 電磁流速計と本観測システムによる沿岸、岸沖流速の時系列変化 .....	18
付録 C 検証期間中の観測時系列データ .....	19
付録 D 写真集 .....	20

# Development of Pendulum-type Current Meter

Takayuki SUZUKI\*

## Synopsis

A new type current meter using a pendulum supported in wires was developed in HORS (Hazaki Oceanographical Research Station, a 427-m-long pier in Ibaraki prefecture). One of the characteristics of the current meter was the capability for implementation using the pier. A spherical float was connected to a thin steep pipe and a float was kept about 0.6 m below the sea surface. Moreover, three wires (diameter was 4 mm) were attached to the pipe and tensions of the wires were observed using load cells. The longshore and cross-shore current velocities were estimated analyzing the tension data. The observation was done during 28 days without any data lack. Comparing with the velocity data observed with an electric magnitude current meter, the longshore current velocity was well estimated even in the surf zone. However, the accuracy of the cross-shore velocity was lower than that of the longshore velocity due to wave breaking.

**Key Words:** longshore velocity, current meter, surf zone, float, continuous observation

---

\* Researcher, Coastal Sediments and Processes Research Group, Coastal and Estuarine Environment Research Division, Marine Environment and Engineering Department  
Nagase 3-1-1, Yokosuka, Kanagawa 239-0826, Japan  
Phone : +81-46-844-5045 Fax : +81-46-841-9812 e-mail : suzuki-t@pari.go.jp

# 振子型流速計の開発

鈴木 崇之\*

## 要 旨

茨城県波崎海岸に位置する波崎海洋研究施設において、直径20 cmの受感球（フロート）を用いた常時観測可能な流速計の開発を行った。受感球は直径22 mmの円柱鋼材に固定した上で栈橋上から下ろし水面下約0.6 mの水中に留ませ、砕波などによって受感球が空中に飛び出ないようにした。栈橋上においては、この円柱鋼材の端部を自由ヒンジとしている。この円柱鋼材に3本のワイヤーを括り付け、それぞれを引張型ロードセルに接続し、支柱の傾きにより発生する3方向の引張力の関係を解析することにより流速値を計算する。本観測システムの適用性の検証は、ほぼ同地点に設置した電磁流速計の出力値を用いて行った。観測は計28日間実施され、期間中、電磁流速計は地形変化に伴い砂中に埋没し欠測が出たけれども、本観測システムは欠測することなく常時観測された。沿岸流速は、本観測システムにより高波浪、低波浪に関わらず高い精度で評価できることが分かった。一方、岸沖流速については、本観測システムを波の影響を強く受ける砕波帯内に設置したこともあり、精度が低く評価することはできないことがわかった。

キーワード：沿岸流速，流速計，砕波帯内，受感球（フロート），連続観測

---

\* 海洋・水工部 沿岸環境研究領域 沿岸土砂管理研究チーム 研究官  
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所  
電話：046-844-5045 Fax：046-841-9812 e-mail：suzuki-t@pari.go.jp

## 1. はじめに

沿岸域において沿岸流速を継続的に観測することは、漂砂の移動方向やそれによる地形変化の影響を把握するためにも重要な指標となる。茨城県波崎海岸に位置する本研究所所有の波崎海洋研究施設では、休日を除く1日1回行われている定常観測において沿岸流の観測が行われている。波高については超音波式波高計により栈橋上から0.5秒間隔でデータが取得されているけれども、沿岸流速については、このような連続観測は行われていない。これらのデータは砂の移動に寄与するものであり、連続データの取得が可能となれば沿岸漂砂の移動方向が推定でき、さらに、地形データ、波高データなどと共に解析を行うことでさらなる成果が得られると考えられる。

現在までに多くの計測器メーカーにより高性能な流速計が開発されているけれども、これらの機種と本研究により開発を行う振子型流速計との大きな違いは、計測器の本体部を海中に入れることなく砕波帯内においても計測できる点にある。今回提案している計測システムは、計測器本体を地上に出していることから地形変化の影響を受けずに観測することが可能である。また、メンテナンスは支柱および支柱に接続させているワイヤーの交換が主となるため比較的容易である。

流速や波向観測に向けての開発は、電磁式(例えば、永田, 1959; 永田ら, 1963), 抗力式(例えば, Fukuda, 1965), 歪み式(例えば, 高橋ら, 1970), プロペラ式(例えば, 柴山・須藤, 1970; 余越, 1976), 超音波式(例えば, 土屋・山口, 1971; 副島ら, 1976)などが行われている。しかし, 1990年代以降, 砕波帯内の観測においては砕波による乱れや3次元的流体構造の解明などを目的として, より分解能の高い超音波式流速計が多く用いられている(例えば, 森ら, 2001; 鈴木ら, 2002; Scottら, 2005)。さらに, 近年のビデオカメラやパーソナルコンピュータの性能向上により計測範囲の広い画像を用いての流況や汀線変動の解析も行われている(例えば, Plant and Holman, 1997; 鈴木, 2007)。しかし, 画像を用いた観測を除き, 計測器を用いた観測ではそれらを海底面や観測アレイなどに固定し直接海水中に設置しなければならない。そのため, 特に砂質海岸の砕波帯内など地形変化量が大きい領域での長期観測は事実上不可能であり, 変化に対応できる計測器は見当たらない。そのため, 波崎海洋研究施設においてもメンテナンスの容易さなども加味され, 1日1回のフロートおよび目印ブイによる沿岸流観測が採用されている。

現在, 波崎海洋研究施設では定常観測として地形測量,

沿岸流観測および波浪状況の目視観測を行っている。この観測項目の1つである沿岸流観測を地形変化の大きい砂浜海岸であっても長期的かつ連続的に計測できる装置(振子型流速計)の開発を本研究の目的とする。なお, 振子型流速計の原理から岸沖方向の流速についても観測可能であり, 解析を実施した。2章では現地観測を実施した波崎海洋研究施設の概略を示し, 3章では振子型流速計の測定原理と構造および流速値の算出方法を示す。4章では現地観測の概要および観測条件, 5章では実験結果を示すと共に電磁流速計との比較を行い振子型流速計の適用性や精度について述べる。6章において本研究の結論を示す。

## 2. 波崎海洋研究施設の概略

本観測は, 茨城県の波崎海岸に位置する, 長さ427 mの観測栈橋を有する波崎海洋研究施設(Hasaki Oceanographical Research Station, 以下HORS, 図-1, 写真-1)にて行った。HORSでは, 休日を除く1日1回観測栈橋に沿っての地形断面測量および約50 m間隔でフロート(浮き)を用いた沿岸流速, および目視による波高・周期・波向き・砕波帯幅の観測を行っている。本研究での座標軸は, これまで波崎海洋研究施設で得られたデータを用いた解析(例えば, 鈴木・栗山, 2006)と同様に, 岸向きを正とした岸沖方向軸(x)をとり, 沿岸方向(y)については銚子向きを正とした。また, 高さの基準(D.L.)は波崎港工事基準面(T.P. -0.687 m)であり, 観測地点における朔望平均干潮面, 平均海面, 朔望平均満潮面はそれぞれ-0.196 m, 0.651 m, 1.252 mである。

地形断面測量では, 陸上部はスタッフとオートレベルを用いて測量し, 海域部は栈橋上から質量約3 kgのレッドを海底面まで降ろして測量を行っている。観測を行っ

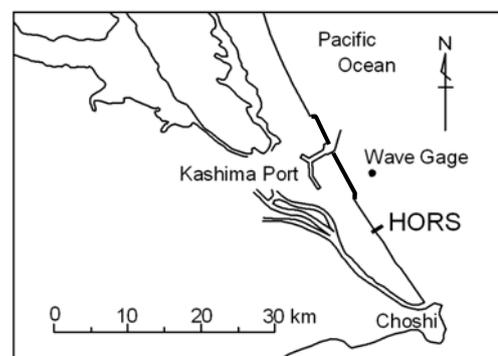


図-1 波崎海洋研究施設(HORS)とその位置

ている観測栈橋の幅 3.3 m の調査作業用プラットフォームは、橋脚により支持されている。そのため、この橋脚による地形形状への影響が考えられるけれども、栗山 (2001) により栈橋直下も含めて HORS 周辺の地形は沿岸方向にほぼ一様であることが示されていることから、本解析においても観測した地形断面データをそのまま用いることとした。

沿岸流速の観測では、波や風のプロートへの影響を小さくするために、直径約 20 cm のフロートの比重を海水よりもやや大きくし、それを 1 m のロープで目印ブイに取り付けたものを用いて海面より約 1 m 下方の沿岸流速を測定している。定常観測では、栈橋直下へフロートを投入し、目印ブイに取り付けた長さ 30 m のロープが張るまでの時間を測定すると共に、フロートが流れた方向の角度を分度器で測定している。各測定地点において 3 回計測を行い、その平均値を沿岸流速値としている。式 (1) は栗山ら (1992) によって得られた、フロートによる沿岸流速の観測値を真の沿岸流速値 ( $v$ ) に変換する式である。

$$v = 0.81 v_f \quad (1)$$

ここで、 $v_f$  はフロートにより観測された流速値である。

この方法による沿岸流速値の精度については、Kuriyama ら (2008) により電磁流速計による観測結果との比較が行われており、両者の相関係数は 0.97、標準偏差は 0.086 m/s であり、また、標準誤差 ( $\sigma/\sqrt{N}$  :  $\sigma$  は標準偏差、 $N$  はデータ数であり 5473 個) は 0.0012 m/s であることが示されている。以上より、フロートによる沿岸流速の観測は簡単な方法であるけれども、精度良く沿岸流速を測定できることが確認されている。

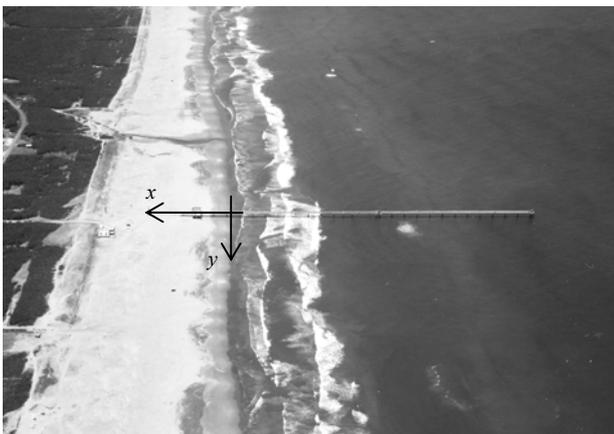


写真-1 HORS観測栈橋に周辺の航空写真（本解析で用いた座標軸を併せて示す）

### 3. 振子型流速計の概要

#### 3.1 測定原理および計測システム

振子型流速計 (Pendulum-type Current meter) の設置概略図を図-2, 3 に示す。受感球には直径 20 cm のフロートを使用し、直径 2.2 cm の円柱鋼材に固定した上で、水面下約 0.6 m の水中に留まらせることとした。感受球は上下から円柱鋼材にボルトで固定させると共に、球内を

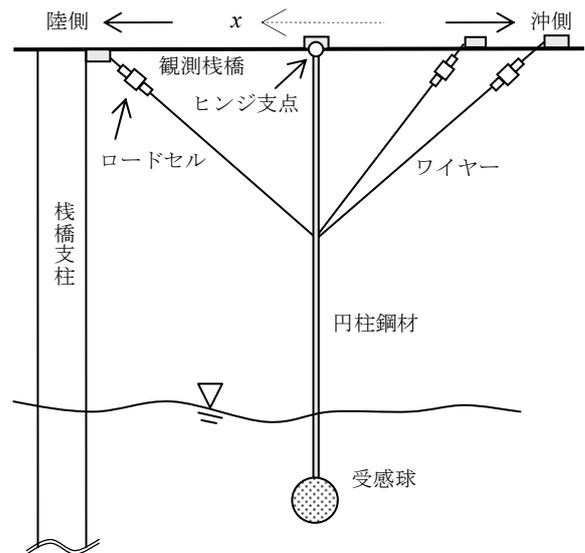


図-2 振子型流速計設置概略図 (側面図)

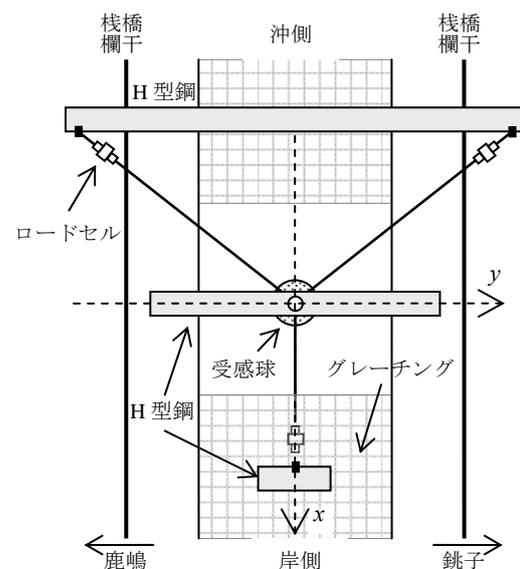


図-3 振子型流速計設置概略図 (平面図)

海水で充填させた。栈橋上、円柱鋼材端部のヒンジ支点には球形の金具を用い、流れにより先端の感受球が前後左右どの方向にも変動可能となるようにした。この円柱鋼材の中央付近に3本のワイヤーを固定し、観測栈橋上のロードセルに接続させることで各ワイヤーの張力を測定する。ワイヤーは直径4mmのステンレス製を使用した。また、感受球直上部に小型水圧計を設置し、感受球が位置する水深についても同時に計測することとした。

球体のみ流体力（沿岸流および波力）が作用すると仮定すると、球体に加わる抗力により円柱鋼材は流れの下手方向に傾き、ロードセルによりワイヤーにかかる張力が計測される。この3方向の力の関係を用いることにより流速値を算出する。

このように球体を水中に留まらせることで、地形変化の影響を受けることなく、また、砕波や風の影響を極力受けない形でデータの取得が可能となる。

### 3.2 流速値の算出方法

ロードセルによって計測された張力はワイヤーの軸方向の力であることから、ワイヤーの傾きとワイヤー間の角度を考慮して岸沖方向、沿岸方向に加わる力へと分解する必要がある。図-4、5に感受球に加わる抗力およびワイヤーに加わる張力およびその角度を表した模式図を示す。ここで、 $t_1, t_2, t_3$ は各ロードセルで計測された張力、 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ はワイヤーの傾き、 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ はそれぞれのワイヤー間の角度、 $L_1, L_2$ は支点からワイヤーの接続地点および感受球中心までの距離、 $D$ は感受球に加わる抗力である。現地観測時のそれぞれの値を表-1に示す。

表-1 ワイヤーの設置角度および設置位置までの距離

	角度 [°]		角度 [°]		長さ [m]
$\alpha_1$	60.0	$\beta_1$	26.5	$L_1$	3.30
$\alpha_2$	60.0	$\beta_2$	26.5	$L_2$	7.39
$\alpha_3$	60.0	$\beta_3$	180.0		

#### (1) 流速

流速は、感受球が流れにより受ける力（抗力）とその力により発生する各ロードセルに働く張力の釣り合いから算出される。水中に固定された感受球に作用する岸沖方向成分、沿岸方向成分の力（それぞれ  $D_x, D_y$  とする）は流速の岸沖方向成分（ $u$ ）、沿岸方向成分（ $v$ ）を用いて以下のように表すことができる。

$$D_x = C_d (\pi r^2) \frac{\rho u^2}{2} \quad (2)$$

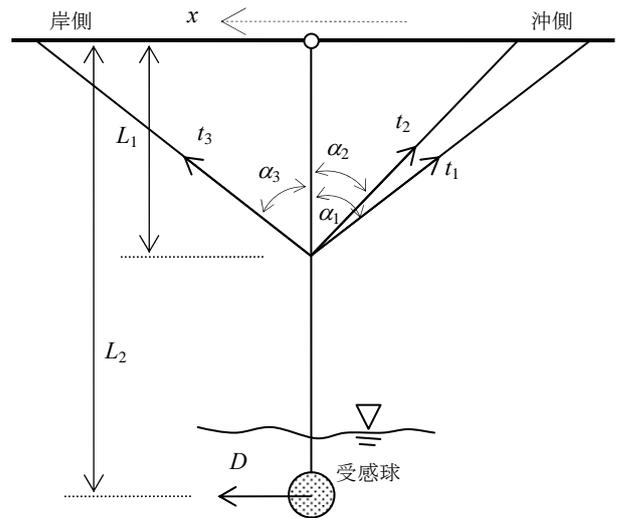


図-4 感受球に加わる抗力およびワイヤーに加わる張力およびその角度の関係（側面図）

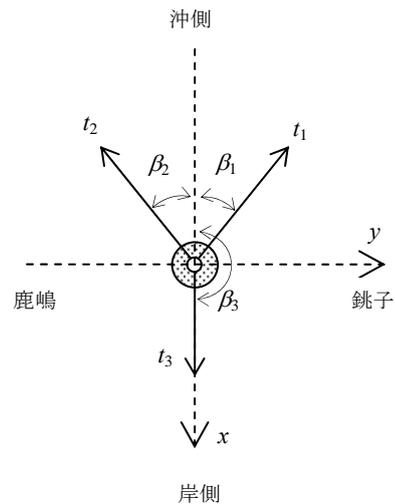


図-5 感受球に加わる抗力およびワイヤーに加わる張力およびその角度の関係（平面図）

$$D_y = C_d (\pi r^2) \frac{\rho v^2}{2} \quad (3)$$

ここで、 $C_d$ は抗力係数、 $r$ は感受球の半径、 $\rho$ は海水の単位体積重量である。球体に加わる力としては慣性抵抗、表面抵抗等も存在するけれども、ここでは考慮しないこととした。抗力係数は流体中の円柱が受ける標準値として1.0として計算を行った。

一方、ワイヤーに加わる張力の水平岸沖方向成分（ $T_x$ ）および沿岸方向成分（ $T_y$ ）は、各ワイヤーに加わる張力

およびワイヤーの角度を用いて（図-4, 5 参照）以下のよう表される。

$$T_x = -t_1 \sin \alpha_1 \cos \beta_1 - t_2 \sin \alpha_2 \cos \beta_2 + t_3 \sin \alpha_3 \cos \beta_3 \quad (4)$$

$$T_y = t_1 \sin \alpha_1 \sin \beta_1 - t_2 \sin \alpha_2 \sin \beta_2 \quad (5)$$

この張力の両成分を用いて、栈橋上に位置する円柱鋼材の支点における曲げモーメントから流速値を求める。受感球に加わる力の岸沖方向成分 ( $D_x$ ) および沿岸方向成分 ( $D_y$ ) は、支点からワイヤーの接続点および受感球までの距離（それぞれ、 $L_1$ ,  $L_2$ ）を用いて以下のように表される。

$$D_x = T_x \frac{L_1}{L_2} \quad (6)$$

$$D_y = T_y \frac{L_1}{L_2} \quad (7)$$

以上より、式 (2) ~ (5) を式 (6), (7) に代入して得られる釣り合い式から、各方向成分の流速値は張力を用いて以下のように表される。

岸沖方向成分 ( $x$ , 岸向きの流れを正) :

$$u_{Float} = \pm \sqrt{\frac{2|D_x|}{C_d(\pi r^2)\rho}} = \pm \sqrt{\frac{2|T_x L_1/L_2|}{C_d(\pi r^2)\rho}} \quad (8)$$

沿岸方向成分 ( $y$ , 北から南への流れを正) :

$$v_{Float} = \pm \sqrt{\frac{2|D_y|}{C_d(\pi r^2)\rho}} = \pm \sqrt{\frac{2|T_y L_1/L_2|}{C_d(\pi r^2)\rho}} \quad (9)$$

ここで、 $u_{Float}$ ,  $v_{Float}$  はそれぞれ本観測システムにより算出された岸沖方向流速、沿岸方向流速である。それぞれの方向については、岸沖方向の場合は  $t_1$ ,  $t_2$  の合力と  $t_3$  の大小、沿岸流速については、 $t_1$  と  $t_2$  の大小により判断することとした。

本研究では沿岸流速の検討に主眼を置いているけれども、岸沖流速についても検討を行うこととする。

## (2) 流向と波向き

流向および波向きの算出には、流速値の岸沖方向成分と沿岸方向成分が必要となる。しかし、岸沖方向成分は十分な精度が得られないと考えられることから検討は行わず、ここでは算出方法のみを示す。

流向は、3.2(1) に示した岸沖流速および沿岸流速を用いて下記の式より算出することができる。

$$A_D = 180.0 \times \frac{\text{atan}(v_{Float}/u_{Float})}{\pi} \quad (10)$$

ここで、 $A_D$  は流向である。ただし、式 (10) により求められた角度は、 $x$  軸（観測栈橋軸方向）に対してのものであることから、比較を行う際は、HORS にて行われて

いる定常観測時の沿岸流観測と同様に、沖に向かう流れ ( $x$  軸負の向き) を 0 度、陸に垂直に向う流れ（栈橋軸方向からの入射,  $x$  軸正の向き) を 180 度とし、南（銚子向き）周りに角度が増すように変換する必要がある。

波向きについては、本観測システムおよび電磁流速計にて計測された流速の岸沖方向成分、沿岸方向成分をそれぞれ横軸、縦軸とした座標にプロットすることで、図面上に楕円軌道が表れ、この長軸の傾きを算出することで波向きを把握することができる。

流速値から描かれる楕円軌道は、正確には水粒子の運動軌跡ではなく周辺水塊の運動軌跡となる。したがって、水粒子の運動軌跡とは、長辺と短辺の比率が異なることが予想されるけれども、波向きとなる長軸の方向については本観測システム、電磁流速計共に水粒子と同方向を示すと考えられる。

長軸の傾きは、プロットされた図面から算出される線形回帰直線の傾きとし、比較を行う際はその傾きを HORS にて行われている定常観測時の目視による波向き観測と同様に、波が来襲する方向に変換する必要がある。

## 4. 現地観測

### 4.1 現地観測の概要

現地観測は図-1, 2 に示したような観測システムを  $X = 78$  m（汀線位置から約 80 m, 水深約 2 m）の地点に設置

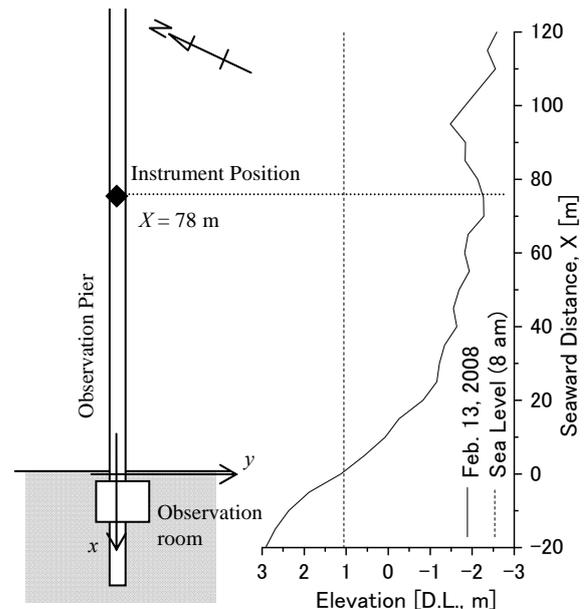


図-6 本観測システム設置位置および設置時の地形断面



写真-2 観測栈橋に設置された振子型流速計

し実施した。図-6に振子型流速システム設置位置および設置時の海底断面図、写真-2に設置後の様子を示す。

本観測システムにより算出された値の検証は、 $X = 80$  m 地点に設置された電磁流速計の出力値を用いることとした。電磁流速計は本観測地点 ( $X = 78$  m) よりも 2 m 沖側に設置してあるため、位相がややずれてしまうけれども、砕波帯幅から考えると無視できる差であること、また、解析では時間平均値を用いることから位相のずれは考慮せずに両者の比較を行うこととした。また、この地点には小型水圧計も設置していたことから、波高については小型水圧計から算出した値を用いることとする。

#### 4.2 観測装置のキャリブレーション

現地観測を実施する前に、本観測において使用する計測機器のキャリブレーションを実施した。以下より、観測装置ごとにその方法および結果を示す。

##### (1) ロードセル

張力を計測するロードセル (LUX-A-1KN-P, (株)共和電業) の検定では、ロードセルを梁に固定させ徐々に重りを増やし、その出力値を計測した。実験時の様子を付録Dに示す。重りは 1 kg, 3 kg, 5 kg, 8 kg, 10 kg, 15 kg, 20 kg の順に行った。その検定結果を図-7に示す。

検定を行った3台のロードセルはほぼ同一の直線上にあり、それぞれの校正直線は以下のように示された。

$$t_1 \text{ [N]} = 131.92 V - 0.660, \quad R = 0.9999, \quad (11)$$

$$t_2 \text{ [N]} = 132.03 V - 0.079, \quad R = 0.9999, \quad (12)$$

$$t_3 \text{ [N]} = 131.94 V - 0.190, \quad R = 0.9999, \quad (13)$$

ここで、 $t_1, t_2, t_3$  は張力であり、 $V$  は出力電圧値である。

解析ではこれらの校正直線により変換された値を用いた。

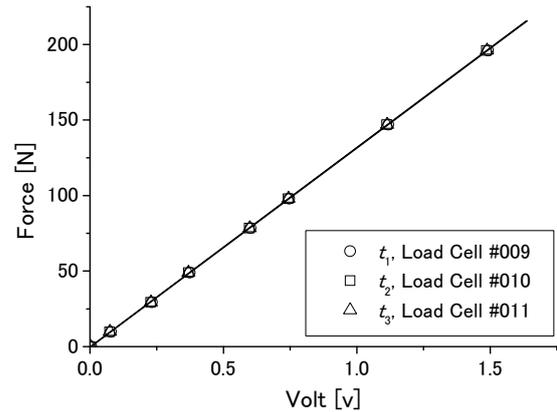


図-7 ロードセルのキャリブレーション結果

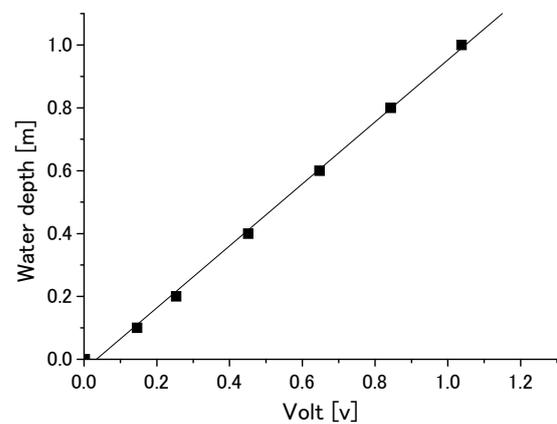


図-8 小型水圧計のキャリブレーション結果

##### (2) 小型水圧計

小型水圧計 (BPR-A-50KPS, (株)共和電業) の検定では、水圧計を水で満たした円柱状の容器に徐々に沈めていき、そのときの出力値を計測した。実験時の様子を付録Dに示す。計測は、水深を 0.0 m, 0.10 m, 0.20 m, 0.40 m, 0.60 m, 0.80 m, 1.00 m として行った。その検定結果を図-8に示す。

以上の結果より、小型水圧計の校正直線は以下のように示された。

$$h \text{ [m]} = 0.9840 V - 0.0324, \quad R = 0.9990, \quad (14)$$

ここで、 $h$  は水深である。

##### (3) 電磁流速計

今回作成した振子型流速計との比較に使用する電磁流速計 (ACM-200A, JFE アレック電子(株)) は、既に検定直線が以下のように示されている。したがって、本研究

においてもこれらの校正直線を使用することとする。

$$u \text{ [m/s]} = 1.0 V, \quad (15)$$

$$v \text{ [m/s]} = 1.0 V, \quad (16)$$

ここで  $u$ ,  $v$  はそれぞれ岸沖方向流速（岸向きを正）、沿岸方向流速（銚子向きを正）である。

### 4.3 観測条件およびデータ収録条件

観測は、2008年2月13日午前7時53分から3月11日午後12時38分まで（計28日間）実施した。観測データはセンサー毎の同期を取り、サンプリング周波数2 Hzでデータ収録装置（LX-110, ティアック(株)）に記録した。表-2に観測チャンネル一覧を示す。

表-2 観測チャンネル一覧

Channel	Material	Note
1	Wave gage	$X = 387 \text{ m}$ (栈橋先端), USW
2	Pressure	$X = 80 \text{ m}$ , #012
3	Pressure	受感球上部に設置
4	Load cell	沖・銚子側, #9
5	Load cell	沖・鹿島側, #10
6	Load cell	岸側, #11
7	EMC ( $u$ )	$X = 80 \text{ m}$ , #EMC-99
8	EMC ( $v$ )	$X = 80 \text{ m}$ , #EMC-99

## 5. 実験結果および考察

### 5.1 地形断面変化

観測期間中（28日間）の地形断面の重ね合わせを図-9に示す。 $X = -30 \text{ m}$ あたりに見られるバームは侵食されることがなく地形形状が保たれている。しかし、その沖側である $X = 0 \sim 200 \text{ m}$ あたりにかけては2 m程度変化していることがわかる。

次に、平均地形断面と標準偏差を図-10に示す。平均潮位（D.L., 0.65 m）が位置する岸沖方向位置は $X = 7.2 \text{ m}$ であり、この辺りの斜面勾配は約1:12となっている。観測期間中、 $X = 50 \sim 180 \text{ m}$ にかけてはほぼ平らな地形形状になっており、標準偏差も高くなっていることがわかる。本観測システムは $X = 78 \text{ m}$ 地点に設置されており、その地点における地形変化の標準偏差は0.52 mであった。

次に、観測アレイを設置した地点（ $X = 78 \text{ m}$ ）に最も近い地形断面測量地点である $X = 80 \text{ m}$ における地盤高変化を図-11に示す。ただし、測量を行っていない休日のデータについては、前後のデータを用いて線形補間した。

また、図は観測開始日（2月13日）を0と定義して示している。観測開始後、3日目から砂の堆積が進み、その

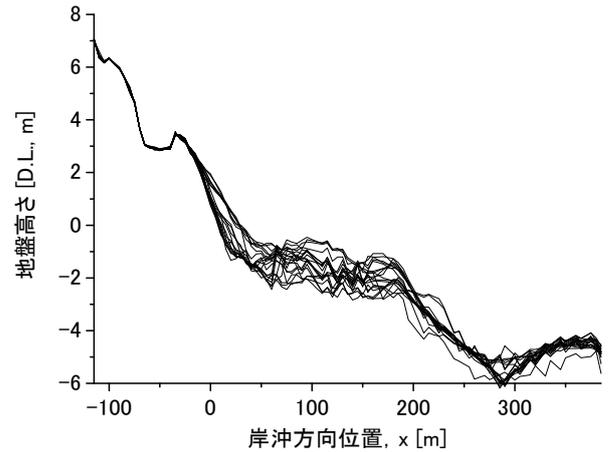


図-9 観測期間中の地形断面の重ね合わせ

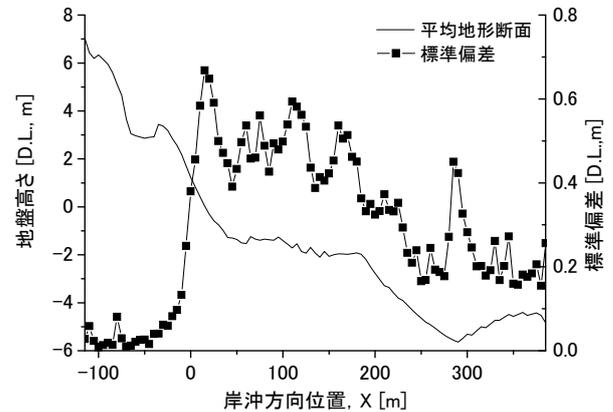


図-10 観測期間中の平均地形断面および標準偏差

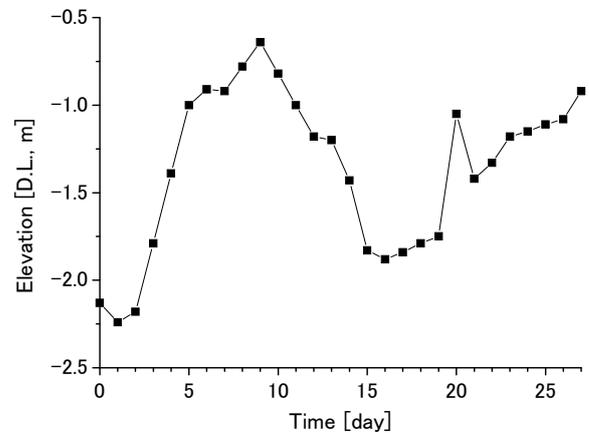


図-11 観測期間中の $X = 80 \text{ m}$ 地点における地形変化

後の7日間で約1.5 m地盤高が上がったことがわかる。その後、地盤は侵食され続け、1 m以上地盤は低下した。このように、地盤高さが1 m以上上下に変動したことにより、 $X=80$  mに設置された電磁流速計は幾度か埋没し、データが取得出来なかった期間がある。これについては後述する。

## 5.2 海象および計測データの状況

観測棧橋先端 ( $X=378$  m, 水深約 6 m) に設置された超音波式波高計 (USW) にて観測され、正時を挟む 20 分間のデータを用いて算出した、有義波高および有義波周期の変動を示すと共に、 $X=80$  m 地点に設置した電磁流速計にて計測された、岸沖流速、沿岸流速、および本観測システムより計測されたワイヤー張力 (沖・銚子側,  $t_1$ ; 沖・鹿島側,  $t_2$ ; 岸側,  $t_3$ ) の正時を挟む 20 分間のデータを用いた平均値を図-12 に示す。ここで、横軸は時間であるが、観測を開始した日 (2月13日) の午前0時を 0 と定義しており、単位は日である。

有義波高は 0.37 m から 2.99 m まで変化し、有義波周期は 6.20 s から 17.14 s まで変化していた。それぞれの平均値は 1.26 m, 11.02 s であった。観測開始日は波高 2 m 程度の高波浪であったけれども、その後は 1.2 m 程度の波が続いていたことがわかる。観測開始後 11 日目 (2月24日) において、2.5 m を超える高波浪が観測されている。これは鹿島沖を通過した低気圧に伴う高波浪である。また、その後も数回 2 m を超えるような高波浪が来襲していたことがわかる。

一方、周期を見てみると、高波浪が続いた 11 日目から 3 日間程度は約 14 秒と周期が長くなっている。これは低気圧に伴ううねりが来襲したためと考えられる。また、観測期間中はおおむね北から南に向かう流れ ( $v > 0.0$ ) が支配的であったけれども、13 日目から 14 日目にかけては逆に南から北に向かう流れ ( $v < 0.0$ ) が支配的になっていることがわかる。

電磁流速計によって計測された、岸沖、沿岸流速については、4 日目の終りから 12 日目までや 20 日目など、

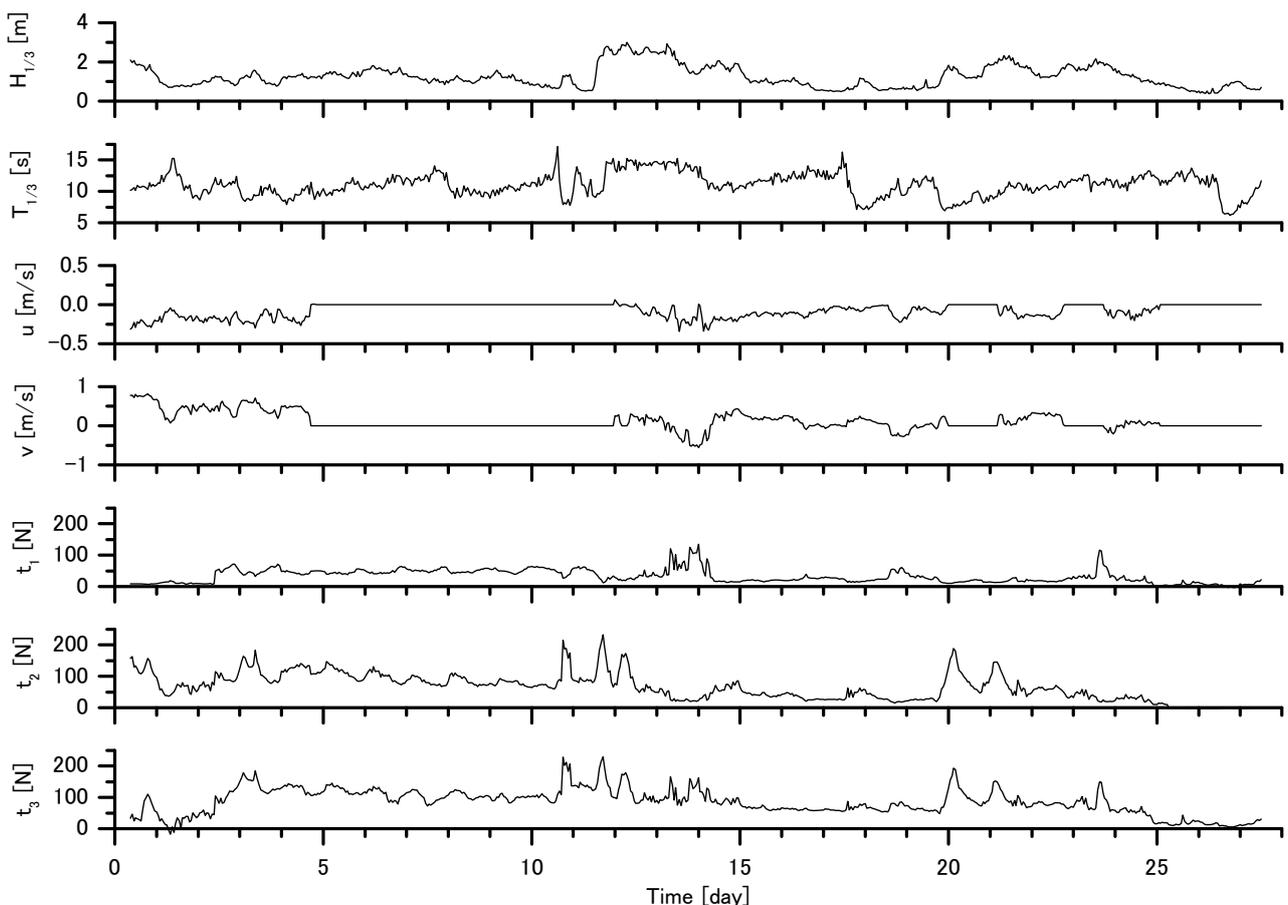


図-12 観測期間中、棧橋先端にて計測された有義波高 ( $H_{1/3}$ )、有義波周期 ( $T_{1/3}$ )、観測アレイ設置地点にて計測された岸沖流速 ( $u$ )、沿岸流速 ( $v$ ) および張力 (沖・銚子側,  $t_1$ ; 沖・鹿島側,  $t_2$ ; 岸側,  $t_3$ )

ゼロ値が続いている箇所が見られる。これは5.1にて示したように、電磁流速計を設置した地点において急激な地形変化が発生し、計測器そのものが砂の中に埋没したことによる欠測である。

本観測システムの出力値である、3方向の張力については、地形変化の影響を受けないことから欠測なく計測されていることがわかる。ただし、2日目半ば辺りまで沖・銚子側の出力値 ( $t_1$ ) がほぼゼロとなっているけれど

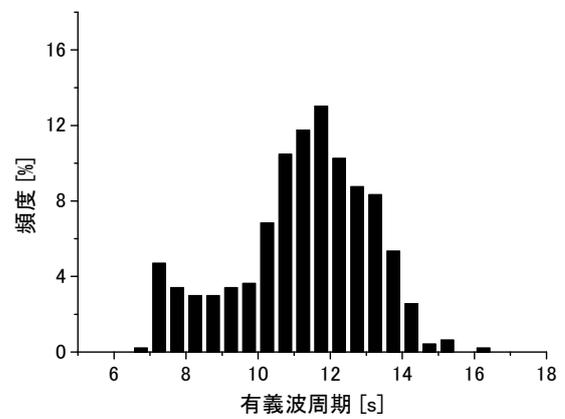
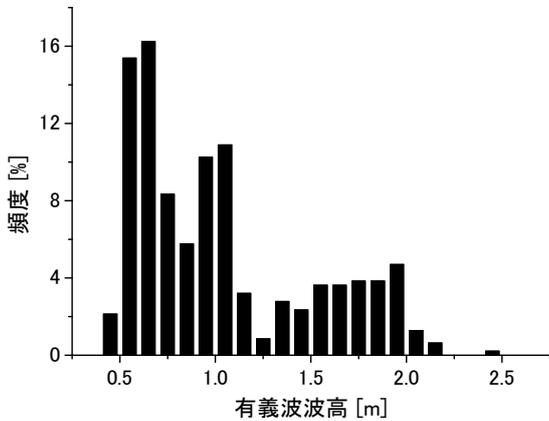


図-13 栈橋先端にて計測された有義波波高の頻度分布

図-14 栈橋先端にて計測された有義波周期の頻度分布

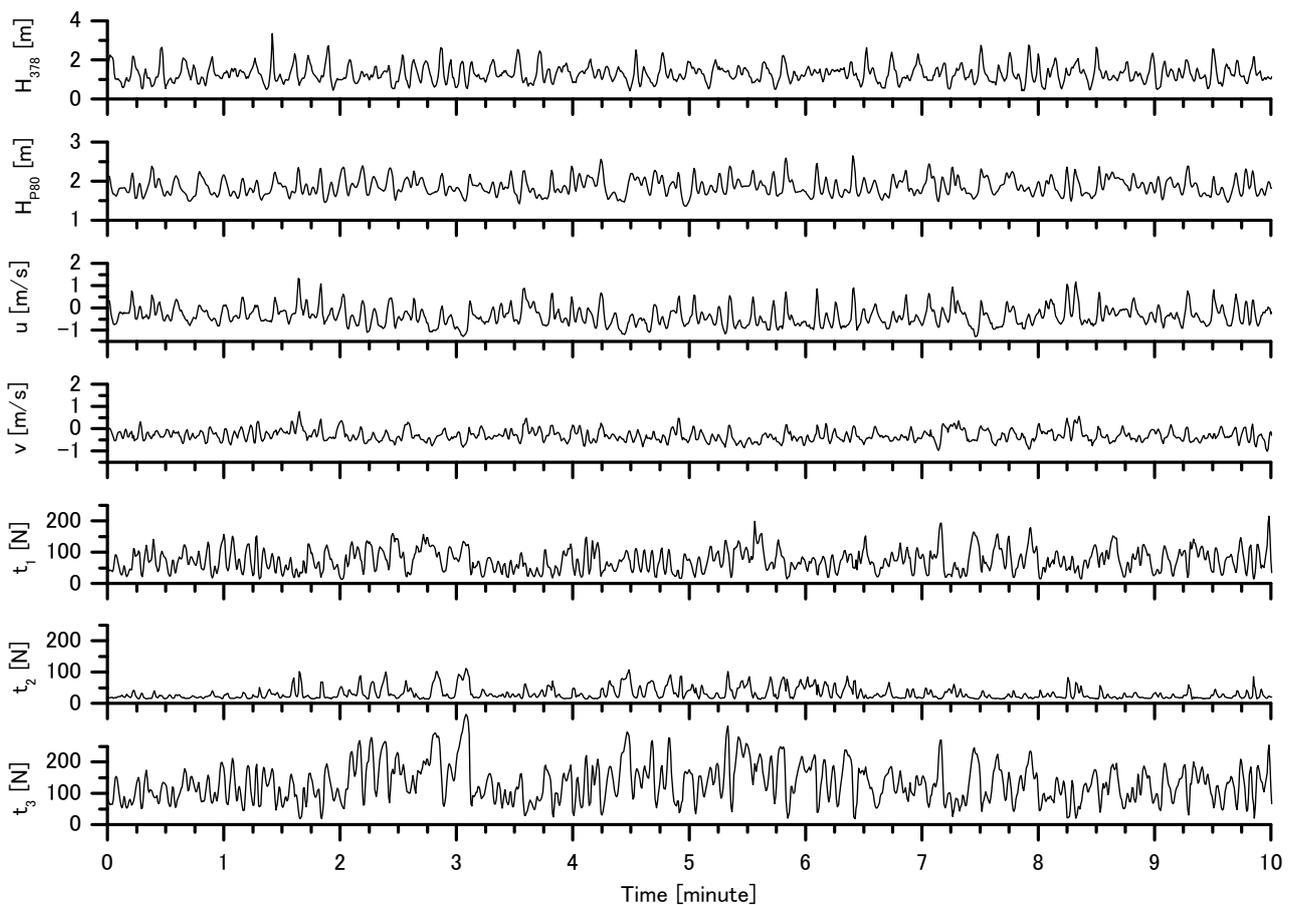


図-15 栈橋先端にて計測された波高 ( $H_{378}$ )、観測アレイ設置地点にて計測された波高 ( $H_{P80}$ )、岸沖流速 ( $u$ )、沿岸流速 ( $v$ ) および張力 ( $t_1$ =沖・銚子側,  $t_2$ =沖・鹿島側,  $t_3$ =岸側) の生データ (2月27日6時から6時10分まで)

も、これは設置時において沖・鹿島側のワイヤーの張りが不足していたことにより、沖・銚子側に張力がかからなかったためである。この時点で沖・鹿島側のワイヤーの張りを増したことにより、その後は沖・銚子側においても張力が出力されていることがわかる。また、25日以降になると3方向成分とも出力値が小さくなっているけれども、これは沖・鹿島側のワイヤーとロードセルを接続させていたバックルが外れたためである。

観測期間中、観測アレイを設置した地点における地形変化により、電磁流速計が断続的に砂中に埋没してしまったことから、検証は欠測なく最も長く計測された2月26日10時10分から3月3日22時30分まで(計156時間20分)のデータ(図-12では13日目から19日目まで)を用いて実施することとした。検証期間中、棧橋先端にて計測された有義波高および有義波周期の頻度分布をそれぞれ図-13、図-14に示す。有義波高、周期は20分間のデータを用いて算出した。有義波高は0.46 mから2.46 mまで変動し、その平均値は1.03 m、標準偏差は0.47 mであった。また、有義波周期は6.91 sから16.27 sまで変動し、その平均値は11.25 s、標準偏差は1.85sであった。

まず始めに、解析期間のうち、2月27日(14日目)6時0分から6時10分まで(10分間)の棧橋先端にて計測された波高( $H_{378}$ )と観測アレイ設置地点にて計測された波高( $H_{P80}$ )、岸沖流速( $u$ )、沿岸流速( $v$ )および張力(沖・銚子側,  $t_1$ ; 沖・鹿島側,  $t_2$ ; 岸側,  $t_3$ )の生データを図-15に示す。岸沖流速( $u$ )については観測アレイでの波高( $H_{P80}$ )と共に変動していることがわかる。また、岸側に設置したロードセルの出力値が( $t_3$ )、銚子側( $t_1$ )、鹿嶋側( $t_2$ )の張力に比べ、全体的に大きいことから、岸沖方向の流れは沖向きの流れが支配的であったことがわかる。

次に、棧橋先端にて計測された波高および観測アレイ設置地点にて計測された波高のパワースペクトルをそれぞれ図-16、図-17に示す。スペクトル解析にはFFT法(Fast Fourier Transform)を用い、フィルターには三角フィルターを用いた。棧橋先端にて計測された波高については、周期13秒あたりに高いピークが発生していることが分かる。一方、砕波帯内である観測アレイ設置地点にて計測された波高については、周期が12秒程度の波以外にも20秒、40秒あたりにおいてもピークが見られる。これらは浜からの反射波、うねり等によるものが影響したと考えられる。

### 5.3 電磁流速計との比較

前項において示したように、本解析では2月26日(13

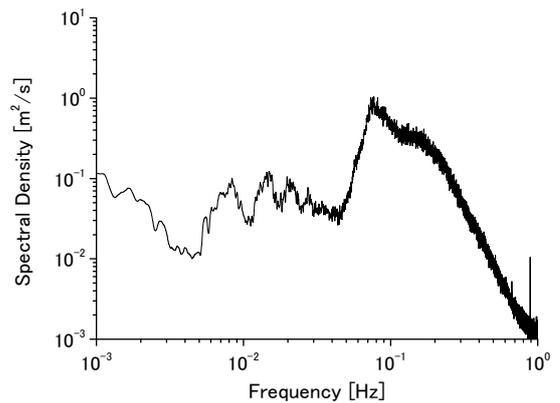


図-16 棧橋先端にて計測された波高のパワースペクトル

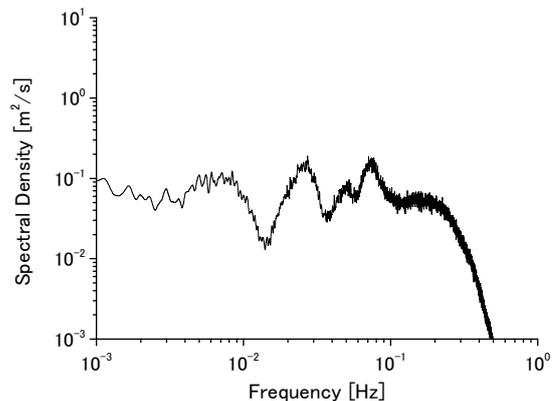


図-17 観測アレイ設置地点にて計測された波高のパワースペクトル

日目)10時10分から3月3日(19日目)22時30分まで(計156時間20分)のデータを用いて検証を行う。本観測システムによって計測された張力を用いて算出した流速値の精度を検証するため電磁流速計により計測された沿岸流速および岸沖流速と比較検討することとした。

始めに、受感球上部に設置した圧力計から算出した水面位置の20分間平均値の変動と $X = 80$  m地点における地盤変動を本観測システムを受感球および電磁流速計の設置地盤高と共に図-18に示す。13日目より15日目にかけて約0.7 m地盤が下がっていることがわかる。その後、19日目から20日目にかけて堆積が進み、電磁流速計が再び埋没することになる。水面位置は、潮位の変動とほぼ一致する。

受感球および電磁流速計は、観測システムの形状の間

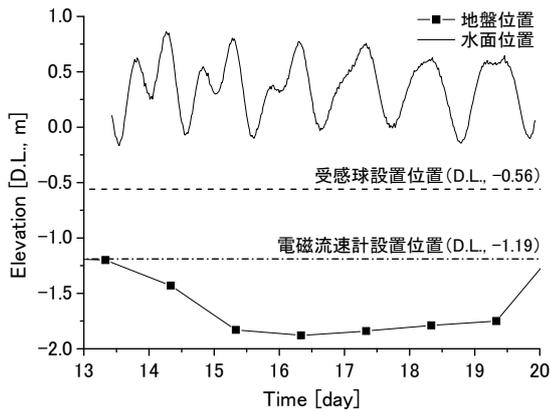


図-18 地盤位置および水面変動の時系列変化

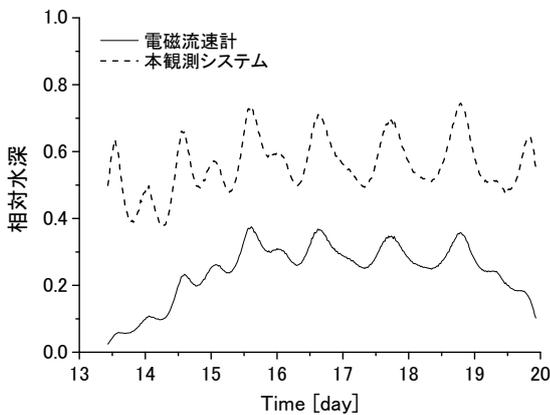


図-19 電磁流速計および本観測システム設置地点での相対水深の時間変化

題から同一水深への設置ができず、それぞれD.L., -0.56 m, -1.19 mの地点に設置し計測を行った。図-19に受感球の中心および電磁流速計から海底地盤までの距離を水深で除した相対水深を示す。地形断面は1日1回の測量であることから、欠測日について線形補間をして地盤高を求めた。

図より、電磁流速計は低層に位置しており(平均0.24)、受感球は中層に位置していることがわかる(平均0.56)。岸沖方向流れの鉛直分布は、水面近傍では波による岸向きの質量輸送が卓越し、それより下方では沖向きの戻り流れが卓越する傾向にある。受感球は潮位と波浪状況によっては水面近傍に位置していることもあることから、受感球に直接作用する波の影響に加え、岸沖流速の鉛直分布の影響(例えば、岡安ら, 1987; Garcez Fariaら, 2000)も出ると考えられることから岸沖流速については精度が

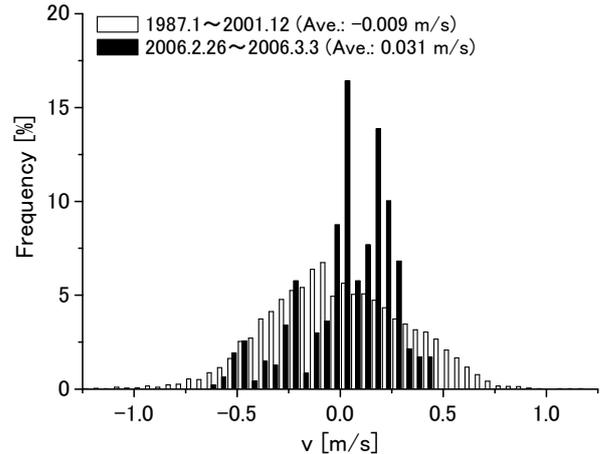


図-20 沿岸流速の頻度分布

落ちる可能性が高い。

### (1) 沿岸流速

本研究では波による水粒子速度を計測することを目的としていないことから、検証は電磁流速計および本観測システムによる計測値の20分毎の平均値(1時間に3データ)を用いて行った。沿岸流速は1986年のHORSの建設以後、休日を除く1日1回の定常観測により計測されていることから、今回の検証期間の沿岸流速がどの程度の強さであったのかをまず検証する。

図-20に、定常観測により計測された1987年1月から2001年12月まで(15年間)のデータ、および本実験の検証データである電磁流速計の20分間の平均値(1時間に3データ)を用いて算出したそれぞれの頻度分布を示す。定常観測のデータ数は5479個であり、休日のデータについては前後のデータを用いて線形補間した値を用いている。一方、本観測システムのデータ数は469個である。

図より、検証に用いた期間は、15年間の頻度分布に比べて南向きの流れ( $v > 0.0$ )が支配的になっていることがわかる。鈴木・栗山(2008)により15年間のデータを用いて算出された沿岸流速の季節変動は、春先の2月、3月は低気圧の影響により南向きの流れが支配的であることが報告されている。観測期間中も複数の低気圧が来襲していることから、この南向きの流れは季節変動にも見られたように低気圧の影響によるものと言える。検証期間中の南向きと北向きの流れの割合は約2:1であった。

本観測システムによる沿岸流速の精度を検証するため、検証に用いた期間の電磁流速計による沿岸流速と、ロードセルから出力された張力を用いて式(9)から算出された沿岸流速の関係を図-21に示す。図中には、現在行われ

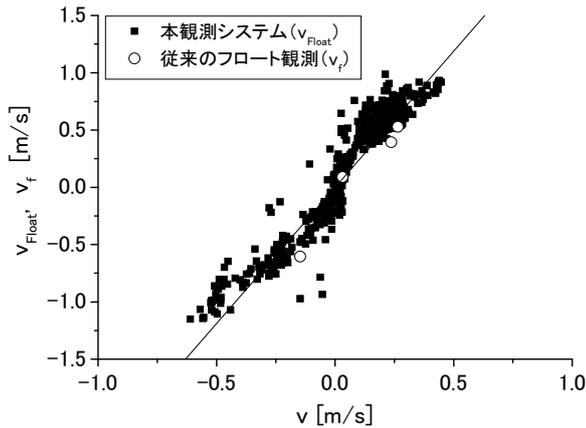


図-21 電磁流速計と本観測システムによる沿岸流速および従来のフロート観測による沿岸流速との関係（20分間平均流速値）

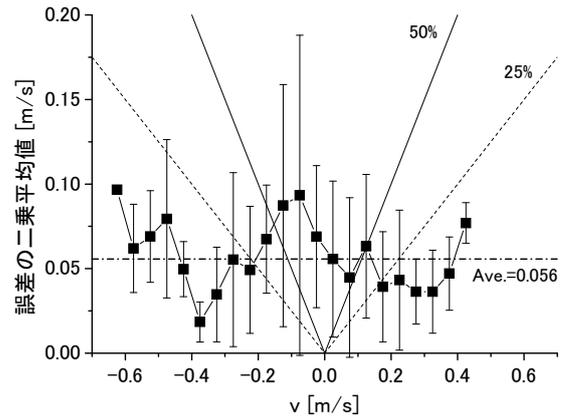


図-23 電磁流速計と本観測システムによる沿岸流速の誤差の二乗平均値と標準偏差. 直線と破線はそれぞれ誤差50%, 25%の値.

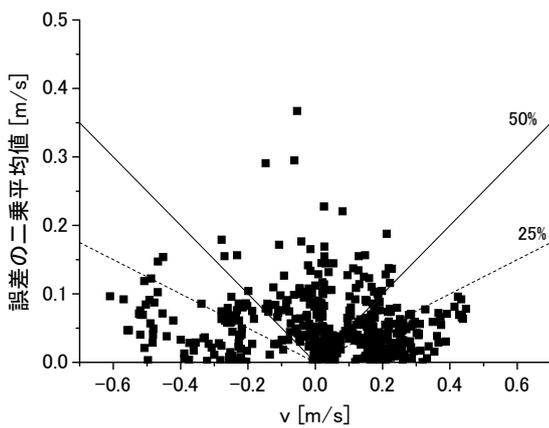


図-22 電磁流速計と本観測システムによる沿岸流速の誤差の二乗平均値. 直線と破線はそれぞれ誤差50%, 25%の値.

ているフロート観測による沿岸流速値もあわせて記載している ( $v_f$ , 白丸).

両者の間には高い相関関係が見られ ( $R = 0.95$ ), 原点を通る関係式として以下が導き出された.

$$v = 0.379 v_{Float}, \quad (17)$$

ここで,  $v$ は電磁流速計の値,  $v_{Float}$ は本観測システムにより得られた値である.

図-22に両者の沿岸流速値の差を用いて算出した, 誤差の二乗平均値を示す. 図中の直線と破線は, それぞれ誤差50%, 25%を示したものである. 沿岸流速が弱い場合において誤差大きくなる傾向が見られるけれども, これは波などの影響が相対的に強く表れたためと考えられる.

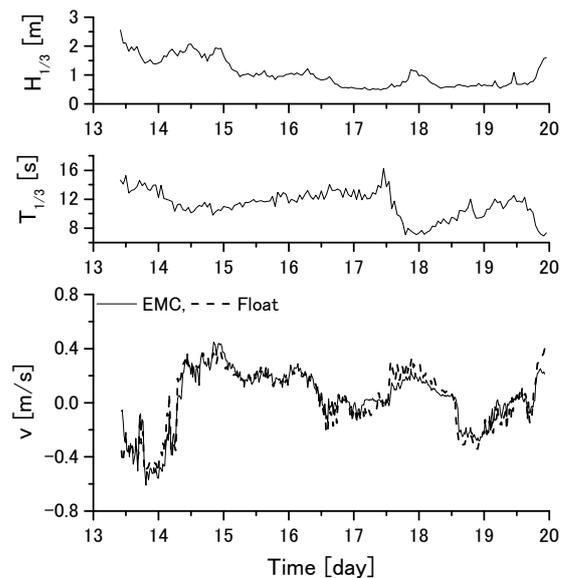


図-24 電磁流速計と本観測システムによる沿岸流速の関係

図-23に0.05 m/s毎に算出した誤差の二乗平均値とその標準偏差を示す. 標準偏差は0 m/s辺りで高い値を示しているが, 二乗平均値は流速値に関わらず概ね一定であることがわかる. また, 0.2 m/s以上の流速値ではその誤差は25%以下となることがわかった.

式(17)により求められた本観測システムによる沿岸流と電磁流速計により求められた流速計の結果を, 栈橋先端にて観測された有義波高と有義波周期と共に図-24に示す. 13日目から14日目の午前中にかけて, および18

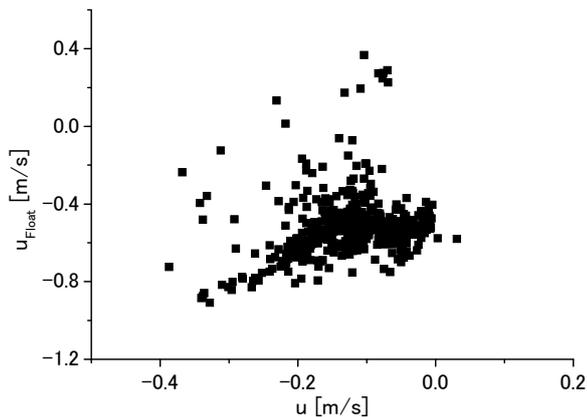


図-25 電磁流速計と本観測システムによる岸沖流速の関係 (20分間平均流速値)

日目の午後において北向き ( $v < 0.0$ ) の流れが計測されている。図からも分かるように、高波浪時(特に13日目)、静穏時に関わらず、本システムにおいて北向き、南向きの沿岸流の変動が精度良く求められていることがわかる。

以上より、本観測システムにより北向き南向きに関わらず、また、波による影響が加わる砕波帯内であっても精度良く沿岸流速を評価できることがわかった。

## (2) 岸沖流速

電磁流速計によって計測された岸沖流速と、ロードセルから出力された張力を用いて式(8)から算出された岸沖流速の関係を図-25に示す。

沿岸流速に比べ、ばらつきが大きくなっている ( $u = 0.427 u_{float} - 0.469$ ,  $R = 0.19$ )。本観測システムおよび電磁流速計によって観測されたもの共に負の値、つまり、沖向きの流れが支配的であることがわかる。本解析では20分間の平均値を用いているけれども、これは波峰通過後の引き波の影響が表れたものと考えられる。さらに、本観測システムの方が電磁流速計の値よりも全般的に大きな値が出ているけれども、これは受感球および円柱鋼材が流れだけでなく波の影響も受けたためと考えられる。さらに、受感球は電磁流速計に比べてより高い位置に設置されていることから(図-18参照)、中層における戻り流れが影響していることも考えられる。

## 6. おわりに

茨城県波崎海岸に位置する波崎海洋研究施設において、受感球(フロート)を用いた常時観測可能な流速計の開

発を行った。受感球は直径22 mmの円柱鋼材に固定した上で、栈橋上から砕波帯内の水面下約0.6mの水中に留まらせるようにした。円柱鋼材の上端部はヒンジ支点となっており、この円柱鋼材の中央付近に直径4 mmのワイヤー3本括り付け、引張型ロードセルに接続することで円柱鋼材の傾きにより発生する3方向の張力を計測する。この張力の関係を解析することにより流速値を計算し、電磁流速計との比較を行った。以下に主要な結論を示す。

(1) 現地観測は28日間実施され、この間に来襲した高波浪により観測システムを設置した周辺の地形は約1.5 m変動した。しかしながら、本観測システムは欠測することなく常時観測された。

(2) 3方向の張力から算出した沿岸流速と電磁流速計の出力値の20分平均値を用いて比較したところ、精度良く計測 ( $R = 0.95$ ) できることがわかった。

(3) 一方、岸沖流速については、本観測システムによる評価が出来ないことがわかった。これは、岸沖流速は沿岸流速に比べ波の影響を強く受けること、また、電磁流速と本観測システムの受感球の底面からの距離が異なっていたことから岸沖流速の鉛直分布の影響が考えられる。

今回の観測は砕波帯内での実施となったけれども、砕波の影響が少ない栈橋先端部においてはより精度良く計測できると予想される。また、岸沖流速についても静穏時であれば計測が可能になると考えられる。今後は潮位の変動に受感球が追従できるよう、つまり、水面から一定の距離において観測ができるように改良を加えることができれば、より正確なデータの取得が可能となり信頼性がさらに向上すると考えられる。

連続的に沿岸域の流況を把握することは、漂砂のみではなく水中を漂うプランクトン等の移動の解析にも有用である。また、近年精度の向上が著しい流速場の数値シミュレーションの検証データとしても利用できる。波崎観測栈橋においては現在に至るまで沿岸流の連続観測は行われていないことから、本観測システムの波崎観測栈橋への導入に向けた検討を行っていきたいと考えている。

(2009年3月6日受付)

## 謝辞

本実験を行うにあたり、(株)プライア・コンサルタントの坂本光観測補助員には観測システム形状の検討や計測方法の検討などの議論において有益な意見を頂いた。また、計器のキャリブレーションには当所沿岸土砂管理研究チーム石野芳夫研究員、坂本光研究補助員の協力を頂

いた。さらに、柳嶋慎一主任研究官、鶴崎賢一研究官、石野芳夫研究員ならびに坂本光観測補助員には観測装置の設置や撤去、さらには実験期間中においてフロートによる沿岸流速の観測においても協力を頂いた。加えて、栗山善昭チームリーダーを始めとするチームメンバーには、研究解析を進めるにあたっての議論の中で有益な意見を頂いた。本研究は、独立行政法人港湾空港技術研究所内競争的資金である平成19年度特定萌芽的研究(研究責任者、鈴木崇之)により行われたものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 岡安章夫・柴山知也・堀川清司 (1987) : 砕波帯内定常流速場の鉛直分布に関する研究, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 31-35.
- 栗山善昭・加藤一正・尾崎 靖 (1992) : 沿岸流速分布の類型化と支配要因の検討, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 196-200.
- 栗山善昭 (2001) : 沿岸砂州の長期変動特性と底質移動特性, 土木学会論文集, No. 677, pp. 115-128.
- 柴山煒彦・須藤茂 (1970) : 水平全方向流速計の試作について (第1報), 港湾技術研究所報告, Vol.9, No.1, pp. 125-149.
- 鈴木高二郎 (2007) : 宮崎住吉海岸におけるビデオ画像を用いた砂浜と沿岸流の長期連続観測, 港湾空港技術研究所報告, 第46巻, 第3号, pp. 21-41.
- 鈴木崇之・岡安章夫・Daniel T. Cox・片山裕之・森信人・敦賀仁, 現地砕波における底質巻き上げの間欠性と流体運動との関係 (2002) : 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 441-445.
- 鈴木崇之・栗山善昭 (2006) : 波崎海岸における汀線位置の長期変動特性, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 621-625.
- 鈴木崇之・栗山善昭 (2008) : 汀線位置の長周期変動特性および汀線位置変動の変化量に及ぼす沖波エネルギーフラックスと沿岸流速の影響, 港湾空港技術研究所報告, 第47巻, 第3号, pp. 3-30.
- 高橋智晴・鈴木禧実・佐々木弘 (1970) : 定置式波向計(抵抗歪線型)の開発, 港湾技術研究所報告, Vol.9, No.1, pp. 151-177.
- 土屋義人・山口正隆 (1971) : 超音波流速計による波の水粒子速度に関する実験的研究, 第18回海岸工学講演会論文集, pp. 97-104.
- 永田 豊 (1959) : 電磁流速計の海浜への応用, 第6回海岸工学講演会講演集, pp. 45-48.
- 永田 豊・彦坂繁雄・松本信保 (1963) : 電磁流速計による波向観測—福井県三国港における観測結果より—, 第10回海岸工学講演会講演集, pp. 37-41.
- 副島 毅・高橋智晴・棚橋輝彦・土子良治 (1976) : 波向観測法等の一例について, 第23回海岸工学講演会論文集, pp. 340-344.
- 森 信人・松野健児・岡安章夫・片山裕之・池野正明 (2001) : 大型造波水路における砕波帯内3次元局所渦の計測, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 86-90.
- 余越正一郎 (1976) : 回転式流速計による乱流の一測定法, 土木学会年次学術講演会講演概要集 第2部, 31巻, p. 415.
- Fukuda, M. (1965): The spherical current meter, The Journal of the Oceanographical Society of Japan, Vol. 21, No. 3, pp. 109-111.
- Garcez Faria, A.F., Thornton, E.B., Lippmann, T.C. and Stanton, T.P. (2000): Undertow over a barred beach, J. Geophysical Res., Vol. 105, No. C7, pp. 16999-17010.
- Kuriyama, Y., Ito, Y. and Yanagishima, S. (2008): Cross-shore variation of long-term average longshore current velocity in the nearshore zone, Continental Shelf Res., Vol. 28, pp. 491-502.
- Plant, N.G. and Holman, R.A. (1997) : Intertidal beach profile estimation using video images, Marine Geology, Vol. 140, 1-2, pp. 1-24.
- Scott, C.P., Cox, D.T., Muddux, T.B. and Long, J.W. (2005) : Large-scale laboratory observations of turbulence on a fixed barred beach, Meas. Sci. Technol., 16, pp. 1903-1912.

## 記号表

$A_D$	: 流向
$C_d$	: 抗力係数
$D$	: 抗力
$D_x$	: 岸沖流速により受感球に加わる力
$D_y$	: 沿岸流速により受感球に加わる力
$H_{378}$	: 栈橋先端にて計測された波高
$H_{P80}$	: $X = 80$ m地点において計測された波高
$H_{1/3}$	: 栈橋先端にて計測された有義波高
$h$	: 水深
$L_1, L_2$	: ワイヤー接続地点と受感球の距離
$N$	: データ数
$R$	: 相関係数
$r$	: 受感球の半径
$T_{1/3}$	: 栈橋先端にて計測された有義波周期

$T_x$	: 合成張力の水平岸沖方向成分		
$T_y$	: 合成張力の水平沿岸方向成分	$V$	: 出力電圧値
$t_1, t_2, t_3$	: 張力	$x$	: 岸沖方向 (岸向きを正)
$u$	: 岸沖方向流速	$X$	: 観測栈橋軸上の岸沖方向位置 (沖向きを正)
$u_{Float}$	: 本観測システムを用いて算出した岸沖方向流速	$y$	: 沿岸方向 (銚子向きを正)
$v$	: 沿岸方向流速	$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	: ワイヤーの傾き
$v_f$	: 従来のフロート観測により算出された沿岸流速	$\beta_1, \beta_2, \beta_3$	: ワイヤー間の角度
$v_{Float}$	: 本観測システムを用いて算出した沿岸方向流速	$\rho$	: 海水の単位体積重量
		$\sigma$	: 標準偏差

付録 A 波崎海岸の潮位

HORS が位置する波崎海岸における、観測期間中(2008年2月13日から3月11日まで)の潮位を図-A.1 示す。ただし、横軸は時間であるが、観測を開始した日(2月13日)の午前0時を0と定義している。

波崎海岸における潮位は、鹿島港の潮位を用いて以下の式により補正される。

$$\text{波崎海岸の潮位[D.L., m]} = \text{鹿島港の潮位[D.L., m]} - 0.223$$

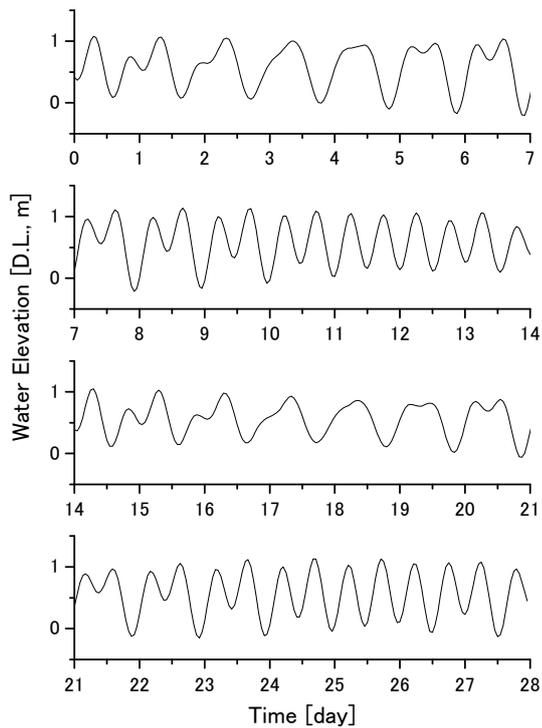


図-A.1 波崎海岸における観測期間中の潮位変動(2008年2月13日(0日目)から3月11日(28日目)まで、鹿島港潮位表(2008, 関東地方整備局 鹿島港湾・空港整備事務所)を上記の式を用いて補正した)

付録 B 電磁流速計と本観測システムによる沿岸、岸沖流速の時系列変化

検証を行った期間(2月26日10時10分から3月3日22時30分まで)の栈橋先端での有義波高、受感球の上端の水深、電磁流速計および本観測システムにより算出された沿岸、岸沖流速(それぞれ、式17, 18を用いて求められた値)の時系列変化を図-B.1に示す。ただし、それぞれのデータは10分間平均により算出した。

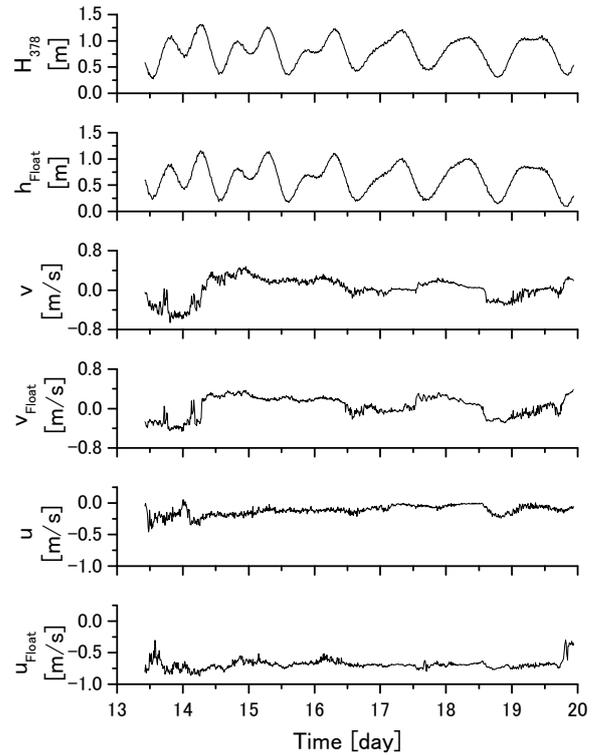


図-B.1 電磁流速計(EMC)と本観測システム(Float)により計測された沿岸、岸沖流速の時系列変化

付録 C 検証期間中の観測時系列データ

検証を行った2月26日(計測開始日から13日目)10時10分から3月3日22時30分(19日目)までの栈橋先端にて計測された有義波高 ( $H_{1/3}$ ), 有義波周期 ( $T_{1/3}$ ), 観測アレイ設置地点にて計測された岸沖流速 ( $u$ ), 沿岸流速 ( $v$ ) および張力(沖・銚子側,  $t_1$ ; 沖・鹿島側,  $t_2$ ; 岸側,  $t_3$ )。ただし, 有義波高, 有義波周期は20分間のデータを用いて算出したものであり, 他のデータは20分の平均値である(1時間に3データ)。

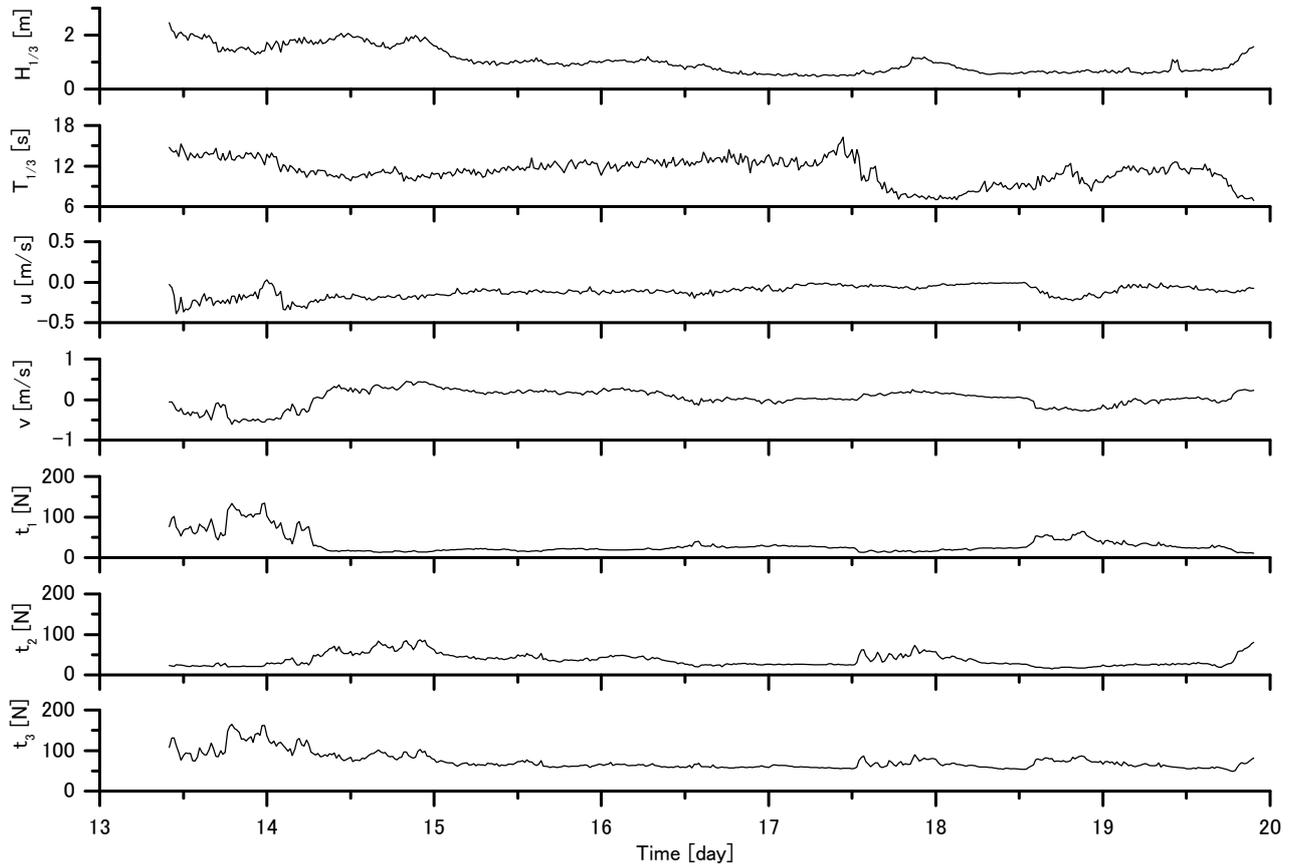


図-C.1 栈橋先端にて計測された有義波高 ( $H_{1/3}$ ), 有義波周期 ( $T_{1/3}$ ), 観測アレイ設置地点にて計測された岸沖流速 ( $u$ ), 沿岸流速 ( $v$ ) および張力(沖・銚子側,  $t_1$ ; 沖・鹿島側,  $t_2$ ; 岸側,  $t_3$ )

付録D 写真集

使用実験器機および現地観測時に撮影した写真を示す。

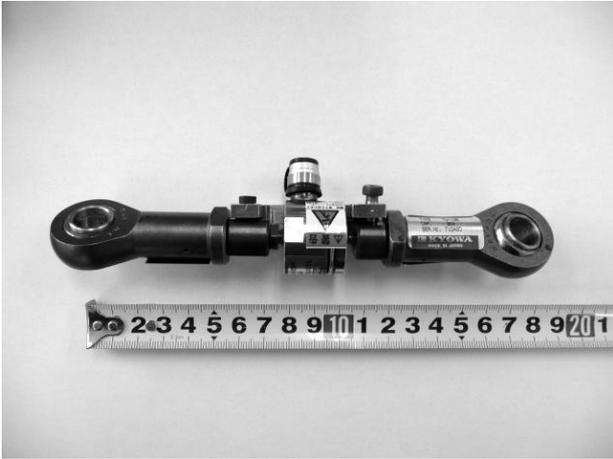


写真-D.1 ロードセル (共和電業社製)



写真-D.2 ロードセルのキャリブレーション



写真-D.3 小型水圧計 (共和電業社製)



写真-D.4 小型水圧計のキャリブレーション

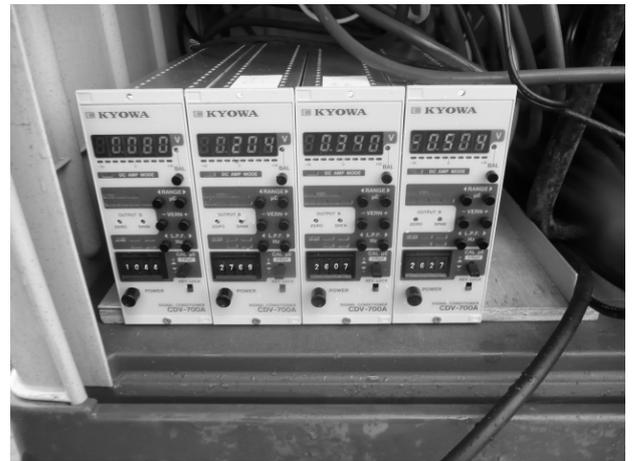


写真-D.5 シグナルコンディショナ (共和電業社製)

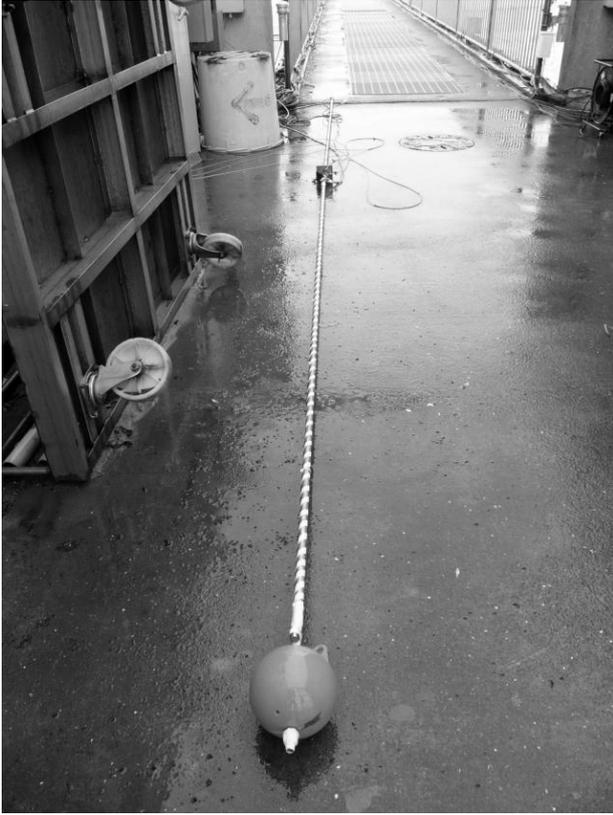


写真-D.6 振子型流速計の支柱および受感球(フロート)



写真-D.8 受感球 (上部に水圧計を取り付けている)



写真-D.9 支柱中央部のジョイント



写真-D.7 支柱の上端部



写真-D.10 振子型流速計の設置の様子

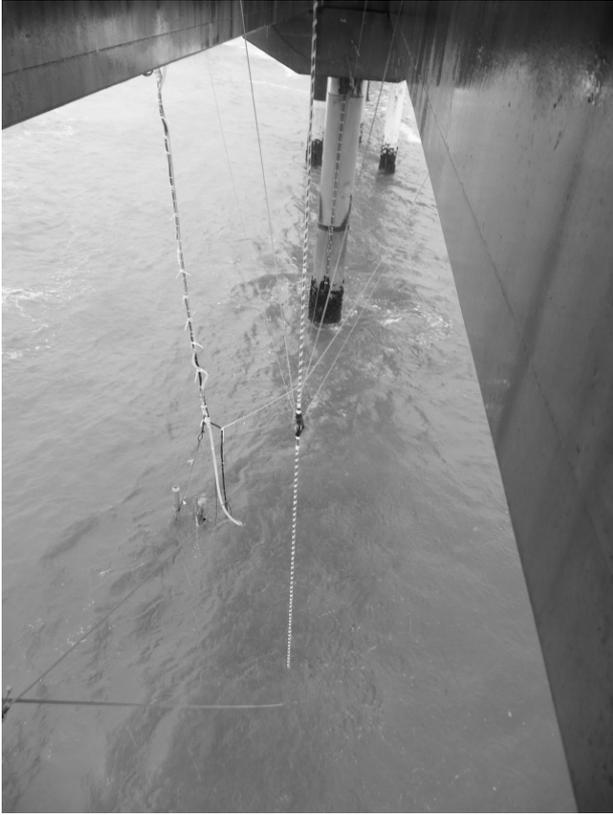


写真-D.11 設置中の振子型流速計(支柱の左側に見えるケーブルは  $X = 80$  m 地点に設置された電磁流速計などのもの)



写真-D.12 沖・銚子側に設置されたロードセル(写真右側が岸)

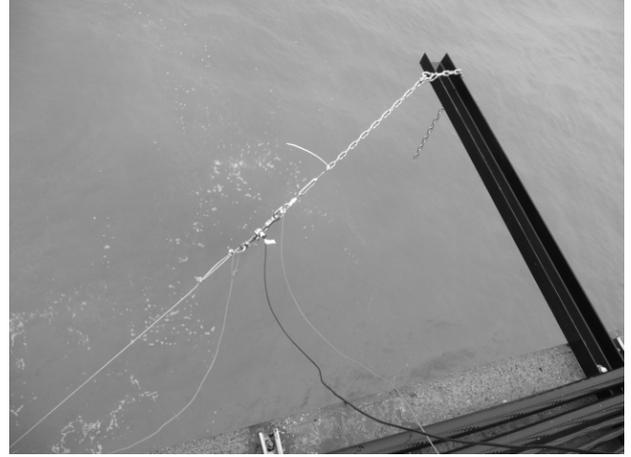


写真-D.13 沖・鹿島側に設置されたロードセル(左側が岸)

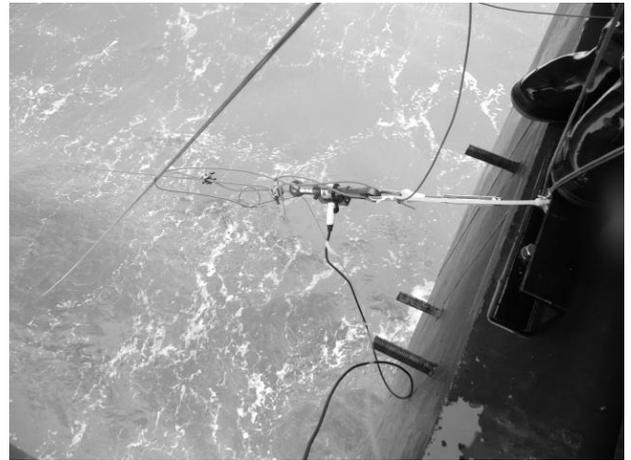


写真-D.14 岸側に設置されたロードセル



写真-D.15 収録器収集ボックス内の様子



写真-D.16 観測システム設置後の栈橋上の様子



写真-D.18 栈橋と振子型流速計（中央円内）



写真-D.17 振子型流速計の全景

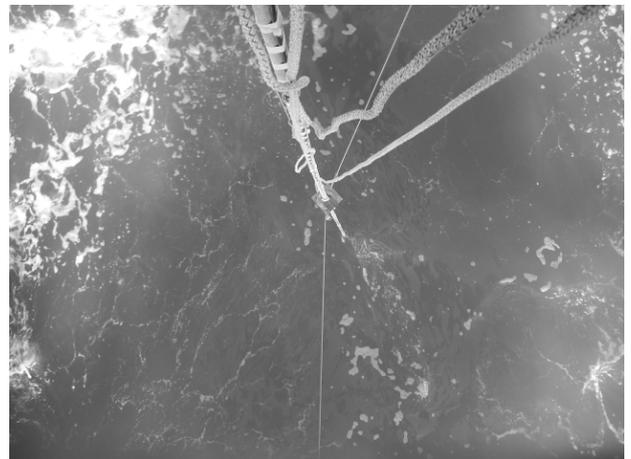


写真-D.19 流れが遅い時の様子（下側が岸）



写真-D.20 砕波直後の流れが早い時の様子（下側が岸、支柱が右下方向に振られている）



写真-D. 21 棧橋先端 (X = 378 m) に設置された超音波式波高計



写真-D. 22 観測終了後の受感球の様子(表面には藻が付着していた)

港湾空港技術研究所資料 No.1198

2009・6

編集兼発行人 独立行政法人 港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人 港湾空港技術研究所

横須賀市長瀬 3 丁目 1 番 1 号  
TEL.046(844)5040 URL.<http://www.pari.go.jp/>

印刷所 横浜ハイテクプリンティング株式会社

Copyright© (2009) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。