

GPSブイアレーによる波浪情報観測システム

ARRAYED GPS-BUOY WAVE INFORMATION OBSERVATION SYSTEM

柳潤子¹・河口信義²・石田廣史³・出口一郎⁴

Yun-Ja YOO, Nobuyoshi KOUGUCHI, Hiroshi ISHIDA and Ichiro DEGUCHI

¹非会員 修士 (海事工学) 韓国海洋大学校 (1, Dongsam-dong, Youngdo-gu, Busan, 606-791, South Korea)

²非会員 博士 (工学) 神戸大学 海事科学部 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

³非会員 理博 神戸大学 海事科学部 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

⁴正会員 工博 大阪大学大学院 工学研究科 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

In this paper, the wave observation system by arrayed buoys whose three dimensional movements are measured precisely by the kinematic GPS is proposed. Firstly, the general concept and system configuration of this observation system are described. The proposed wave observation system measures the three-dimensional movements of each observational buoy relative to the fixed reference station by the kinematic GPS. Because the distance between the reference station and each buoy is about several kilometers at most, the measurement error of the kinematic GPS can be estimated less than a few centimeters. The data of each observational buoy are sent to the reference station by radio telemetry system, and then the data are used to estimate effective information about wave such as period, wavelength, height and direction. Finally, it is shown that this proposed system is able to estimate the propagation directions of waves of the same period propagated from various directions by high resolution and analyzing ability.

Key Words : Radio telemetry system, Long-period Gravity Wave, Arrayed buoy, kinematic GPS, Wave direction

1. はじめに

長周期重力波 (周期数十秒～数十分) によって沿岸域で引き起こされる諸問題に対しては, すでに幾つかの研究が行われてはいるが, その成因や特性については必ずしも正確に解明されたわけではない. 長周期重力波は水位の上下動変位が小さく波長が長いので, 従来の観測技術では精度良い波向き計測が困難である¹⁾. 著者らはアレー配置したブイの上下変動と位置変位をKGPSを用いて計測した. さらに, その計測結果にMUSIC法を適用することで, 上記の長周期波の波向きを好条件であれば1度以内の精度にて推定可能であることをシミュレーションにより示し, 後に, 設置するブイの個数を増すことで, 反射波さらに周波数・位相が同期している反射波の波向きも分離識別出来ることも示した^{2), 3)}. さらに, シミュレーション結果の妥当性を実験的に検証するため, ブイに設置したハンディPC内メモリーにGPS受信データを記録し, 計測後オフライン処理を行う実験を行うことで, 上記目的である波向きを高精度に推定出来ることを示した^{4), 5)}.

しかしながら, 本提案システムではブイを設置・計測し, ブイ回収後でなければデータを解析することしかできず, 天候などの条件によってはブイ設置が制約されたり, 波情報を計測できる時間が非常に制限される. また, 長周期重力波の波向きを計測するためには, その長周期波の存在を正確に推測する必要がある, これを正確に推測することは困難である. そこで, 本システムを用いた今後の長周期波の観測を容易にするため, ブイと陸上リファレンス局間のGPS信号を無線により伝送することで, 実時間に近いGPS信号の処理および波向き推定が行えるシステム構築が必要となる.

本論文では, システムの構成およびその性能を示し, さらにそのシステムを用いて無線データ伝送により, 実時間で3次元ブイ変位量を高精度で計測が出来ることを実証するための実験方法及び解析結果を示す. そこで, 本システムを用いて実験海域にブイを設置することで, 今までに比べ, 長周期重力波の波向きの推定が容易となることが考えられ, 長周期重力波の成因および特性解明するための実時間計測システムとして利用できる.

2. システム構成と性能

上記のGPSブイレー波浪情報観測システムによる波向き推定を実時間処理に近付けるために、各ブイで計測されたKGPSデータを無線により伝送し、陸上におけるリファレンス局において各ブイからのデータを受信することで、波向きを実時間で推定するシステムを構築した。そこで、本システムの構成および概要、性能などについて述べる。

(1) システム構成

本論文で提案するシステム構成を図-1に示す。陸上にリファレンス局、海上にアレー状にブイを配置し、各ブイはGPS受信機で衛星からのGPS信号を受信し、必要なデータを無線にて陸上リファレンス局に送信する。陸上リファレンス局は陸上の固定GPSからのデータと各ブイからのデータを処理することで、各ブイの3次元位置変位量をmm精度で得る。さらに、波の情報（周波数、波高さ、波長）などを推定し、求める波長の波向きを実時間で推定する。

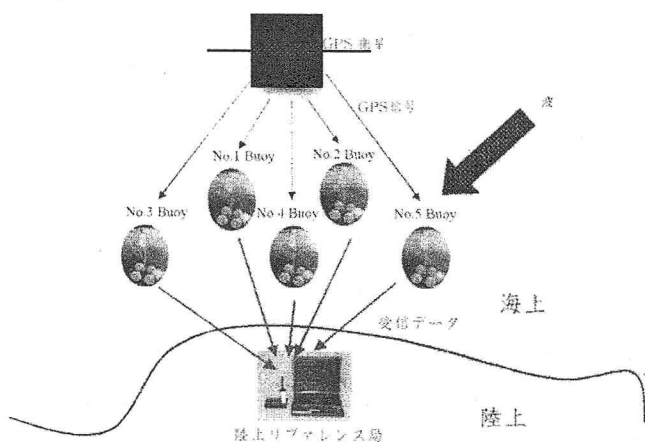


図-1 提案システムの構成

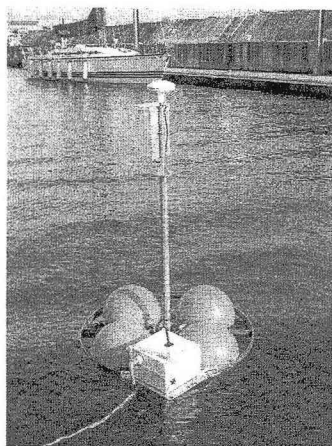


写真-1 ブイシステム

また、写真-1にブイシステム、写真-2 (a)に陸上リファレンス局におけるデータ受信および解析装置、写真-

2 (b)に陸上固定GPS装置を示す。

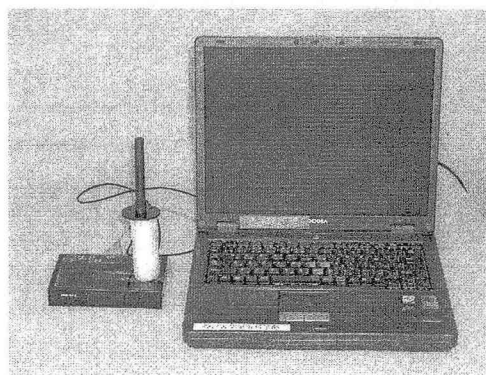


写真-2 (a) 陸上リファレンス局におけるデータ受信装置

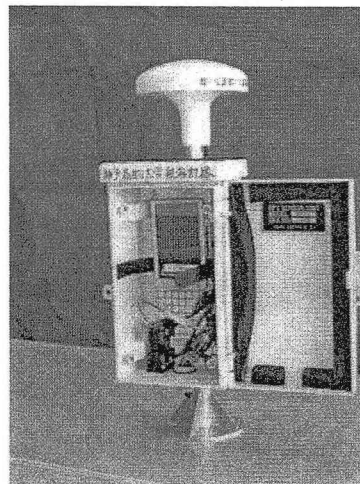


写真-2 (b) 陸上固定局GPS装置

(2) 性能

本システムの性能をGPSブイ計測とデータ伝送別に各部の性能を表-1, 2に示す。

表-1 GPSブイ計測

計測最小単位	1.6 m/m
計測精度	1 cm (標準偏差) (ただし、ブイ-陸上局間の距離に依存。)
サンプリング周期	0.2 s
波向き推定精度	1.6 度以下 (半値幅) (シミュレーションによる)

表-2 データ伝送

データ伝送距離	1.5 km (無指向性アンテナ)
(見通し距離)	5 km (指向性アンテナ)
チャンネル数	10 ch
データ変調速度	51.9 Kbps (無線区間)

3. 実験方法

平成16年4月6日，神戸大学海事科学部第2号館屋上にリファレンス局を設置し，リファレンス局から約200m離れた本学部係留池内に2個のGPSブイを係留した．設置状況の平面図ならびに状況を図-2，写真-3に示す．

実験時間は約30分間で，その間係留池内に係留したGPSブイにおいて観測したGPSデータが無線装置を用いて，屋上のリファレンス局に伝送する．リファレンス局は，屋上に固定したGPS受信機から得られるGPSデータと各ブイから送られたGPSデータを比較することで，kinematic演算を行う．特に，本システムでは，必要な観測期間の搬送波位相データを使って不確定な整数値を決定し，それを使って観測全期間の測位計算をOn The Fly (OTH) 手法⁶⁾により実現する．

OTFとは，衛星から送信される搬送波の不確定な整数値（バイアス）を受信局が移動しながら，観測したGPSデータを用いて決定するための技術を言う．具体的には，観測された概略位置に対する複数の整数バイアスを計算により算出し，様々な推定手法によりそれらの整数バイアス値の中で最確値を選択する手法である．

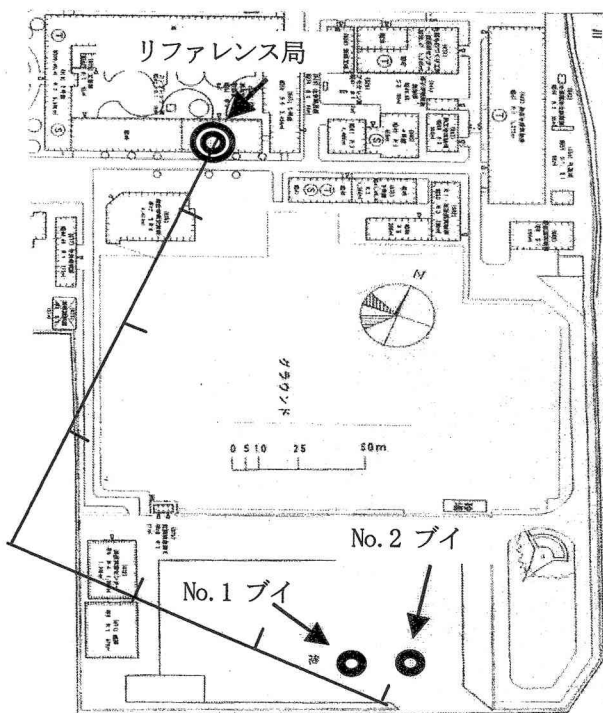


図-2 実験装置設置状況の平面図

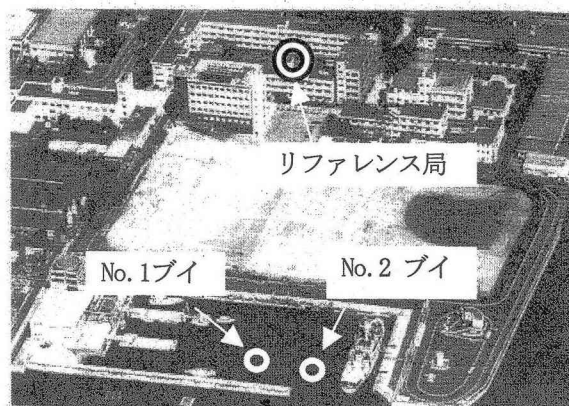


写真-3 実験装置設置状況

4. 計測結果と解析

(1) GPS計測結果

本実験により得られた各GPSブイの平面変位を図-3 (a)，(b)に示す．

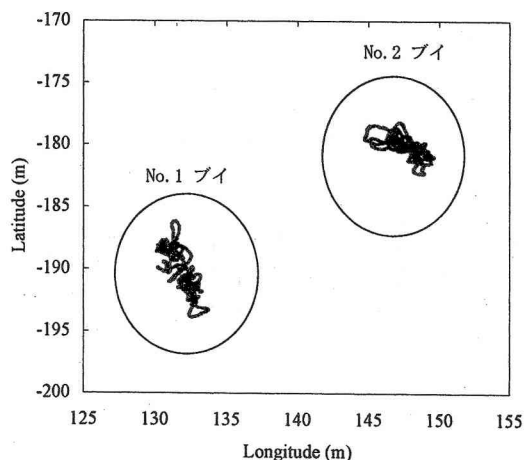


図3-(a) ブイの平面変位

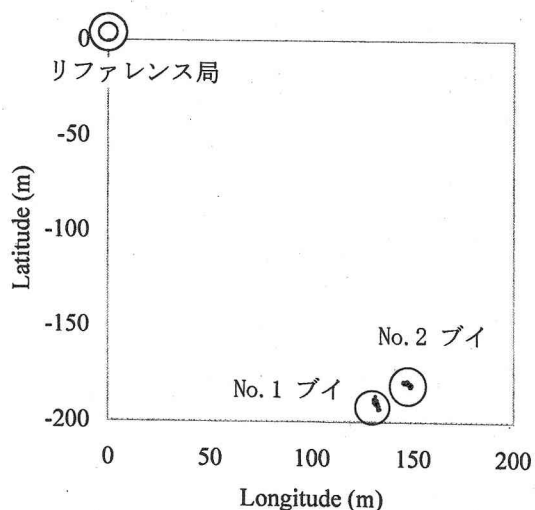


図-3 (b) ブイの平面変位 (詳細)

図-3 (a), (b)および図-6 よりブイの3次元変位が、切れ間なく無線装置によりデータ伝送されていたことがわかる。また、本実験では無線伝送に関する環境は、通常本システムが用いられる海上におけるデータ伝送に比べて、周囲に様々な陸上構造物が存在しマルチパスによる影響を受け易い環境であるにもかかわらず、実験中の30分間において無線による伝送データ欠損は無く、100%のデータ伝送率を確保できた。

さらに、図-4に係留池内にある検潮儀で計測された潮汐変動(20分(1200秒)で5cm水位上昇)は除去した各ブイの上下動変位を示す。同図のNo.1およびNo.2ブイに見られる相関性を有するゆっくりとした変動は、検潮儀の計測結果より、埋立地周辺海域の港内振動と考えられる。

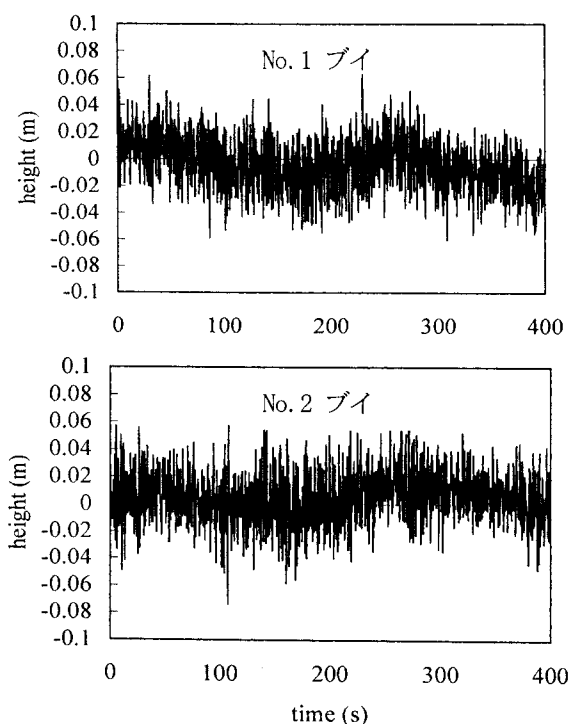


図-4 ブイの上下動変位

(2) 解析結果

解析は以下の手順で行う。

- 1) ブイ上下動変位データをFFTにより上下変動の周波数成分を求め、必要とされる周波数を決定する。
- 2) 水深とブイ上下動変位の周波数より、波の波長を推定する。
- 3) ブイの平均的な水平位置を算出し、これとブイ上下動変位をMUSIC法^{2), 3), 4), 5), 7)}に適用し、必要な周波数の波向きを推定する。

本実験結果の600秒間のブイ上下変動をFFTによって周波数成分を求めた結果を図-5に示す。図中に矢印で示

す0.16(Hz)付近に一つの卓越した周波数成分が見られる。そこで、本検証実験による周波数を0.16(Hz)とし、これを次の解析に用いる。次に係留池の水深が約4mであることから、単調調波として波長を約34.1mと推測する。

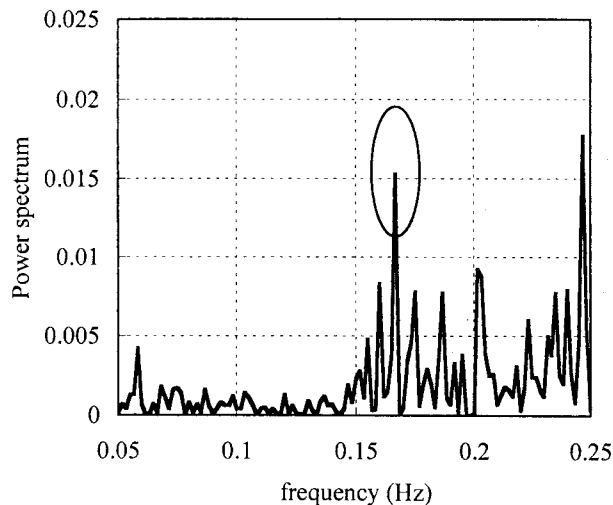


図-5 ブイ上下動変位のスペクトル

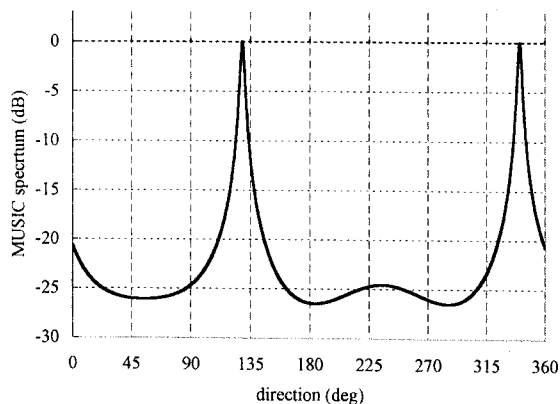


図-6 波向き推定結果

最後に、MUSIC法による波向き推定結果を図-6に示す。本実験では、係留池内に設置したブイであることから、図-6のMUSICスペクトルは130度と341度の2つのピークがある。

本実験のブイ配置は2個でリニア配置である。リニア配置はブイ配置形状が線対称であることから、到来する一つの波しか無い場合でもその方向と配置されたブイを結ぶ線に対して線対称の方向に対称なスペクトルピークを生じる欠点がある。本実験で設置されたブイ配置に基づいて、到来波と対称なスペクトルの方位を図-7に示す。このように、130度から到来波がある場合には本来の130度と対称な方位である341度にスペクトルピークがあらわれる。このような対称スペクトルピーク

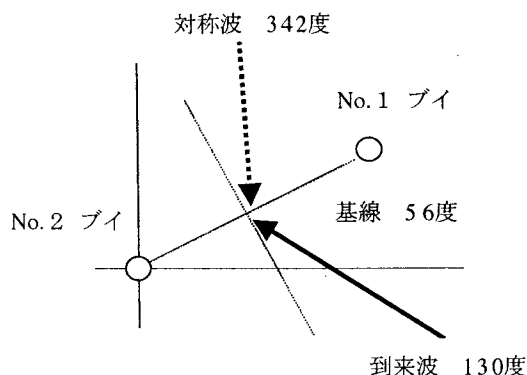


図-7 ブイ配置による到来波と対称波の関係

の対策としては、ブイをもう一つトライアングラー配置に増設することが最も有効な手段であると考えられる。そこで、波向きはブイ位置から130度の係留池の開口部方向であると推測される。

本実験においてはブイの設置場所および設置ブイの個数の点から十分な精度で波向き推定が出来ていないと考えられるが、長周期重力波の影響がある広い海面に本システムを設置することで正確な波向きを推定することが可能である。本システムはチャンネル数が10であることから、同一海域において最大10ブイまで設置が可能である。

また本解析に用いたプログラムは、利用者が解析対象波の周波数を決定するという点では半自動であるが、FFTならびにMUSICスペクトル計算のために要する時間は計算機の計算速度に依存するが、一般的な特殊な数値演算プロセッサを用いないパーソナルコンピュータ程度で数秒であった。

5. まとめ

本論文では、長周期波の観測を容易にするために、ブイと陸上リファレンス局間のGPS信号を無線によりデータ伝送し、実時間に近いGPS信号の処理および波向き推定が行えるシステムの構成およびその性能を示し、さらにそれに関する実証実験の方法、結果および解析について述べ、以下のことが得られた。

- 1) 実験中の30分間において無線による伝送データ欠損は無く、100%のデータ伝送率を確保できた。
- 2) 必要な観測期間の搬送波位相データを使って整数バイアスを決定し、それを使って観測全期間の測位計算をOn The Fly (OTH) 手法⁶⁾により実現する。
- 3) 係留池に設置した2個のブイから得られたデータで、

波の到来方向の推定を行い、係留池の開口部の方向である妥当な方向が得られた。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、多大なご協力とご援助を頂いた大島商船高等専門学校の藤井英信教授、GPSにおけるデータ収集に関して多くのご助言を頂いた古野電気株式会社研究部の井潤健二氏に心よりお礼申し上げます。

なお、本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金（課題番号15360466）の補助を受けて行いました。

参考文献

- 1) 関本恒浩, 大塚夏彦, 森屋陽一: 海域構造物における長周期波の反映 - 特別セッション “長周期波” のまとめ -, 海洋開発論文集, 第19巻, pp.133-136, 2003年.
- 2) Fujii, H., Kouguchi, N., Ishida, H. and Deguchi, I. : GPS Wave Observation System with Arrayed Buoys, Proceedings of the 15th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, ION GPS 2002, Oregon, U.S.A., pp. 2733-2740, 2002.
- 3) 藤井英信, 河口信義, 石田廣史, 出口一郎: アレーブイによるGPS波浪観測システムの提案と波の到来方向推定精度, 海洋開発論文集, 第19巻, pp.857-862, 2003.
- 4) Fujii, H., Kouguchi, N., Ishida, H. and Deguchi, I. : Development and Experimental results of GPS Wave Direction Finding System, Proceedings of the 16th International Technical Meeting GPS 2003, Institute of Navigation, Oregon Convention Center, Portland, Oregon.
- 5) 藤井英信, 河口信義, 石田廣史, 出口一郎: GPSブイアレー波浪観測システムを用いた大阪湾内うねり伝搬方向の計測, 土木学会海岸工学論文集, 第50号, pp.1416-1420, 2003.
- 6) Hofmann-W, B., Lichtenegger, H. and Collins, J.: GPS Theory and Practice, Springer-Verlag Wien New York, pp. 226-249, 1997.
- 7) 菊間信良: アレーアンテナによる適応信号処理, 科学技術出版, pp.174-178, pp.194-198, 1998.