

平成 19 年度

水産基盤整備調査委託事業

- 沖合波浪に関する観測施設設置検討調査 -

報 告 書

平成 2 0 年 3 月

水産庁 漁港漁場整備部
社団法人 水産土木建設技術センター

目 次

． 調査の概要	
1． 調査課題名-----	1
2． 実施機関及び担当者-----	1
3． 調査実施年度-----	1
4． 調査の目的-----	1
5． 調査の流れと調査内容-----	1
． 調査結果	
1． 波浪観測・予測システムの現状と課題	
1-1 国土交通省：ナウファスシステム-----	3
1-2 国土交通省：GPS 波浪観測システム-----	6
1-3 簡易型 GPS 波浪観測システム-----	7
1-4 気象庁：波浪予測システム-----	8
1-5 沿岸技術研究センター：COMEINS システム-----	8
1-6 特定地点を対象とする波浪予測システム（有料）-----	10
2． 施工管理の現状・要望及び波浪観測データの利用	
2-1 施工管理の現状と要望-----	13
2-2 波浪観測データの利用-----	15
3． 沖合域における波浪観測システム（案）	
3-1 システム構成-----	18
3-2 取得データ-----	19
3-3 データ通信・保存・アクセス方式-----	19
3-4 簡易型 GPS 波浪観測と国土交通省 GPS 波浪観測・ナウファスの比較-----	19
3-5 GPS 波浪計の係留系と設計-----	22
3-6 国土交通省のシステムとの連携について-----	24
4． システムに係る概算費用-----	25
5． まとめ-----	30
資料・参考文献	
1． 簡易型 GPS 波浪計の設置実績と津波の早期検知システムの費用-----	33
2． 中・遠距離フェリーにおける運航管理-----	36
3． アンケート・ヒアリング結果-----	38
4． ナウファス設置地点-----	40
5． 土佐黒潮牧場ブイ構成図-----	43
6． 参考文献 1：GPS 波浪計を活用した沖合波浪観測網の構築について-----	44
7． 参考文献 2：単独測位方式による GPS 波浪観測システムの実証実験-----	47

．調査の概要

- 1．調査課題名 沖合波浪に関する観測施設設置検討調査
- 2．実施機関及び担当者 社団法人 水産土木建設技術センター 調査研究部 渡邊浩二
調査研究部 藤田孝康
研究開発部 中川良文
- 3．調査実施年度 平成19年度

4．調査の目的

平成19年度より水産基盤整備事業においては漁場の直轄整備事業が創設され、現在日本海西部海域における増殖場造成事業が進められている。

本検討調査は、増殖場造成事業の施工管理における沖合波浪観測システムの開発・導入検討に資するため、施工管理の現状及び沖合波浪観測システム導入のメリット・課題を整理するとともに、システム構成の提案とシステムの開発・運用等に要する費用等についてとりまとめたものである。

5．調査の流れと調査内容

調査の流れを図1に示す。また、調査内容を次頁に示す。

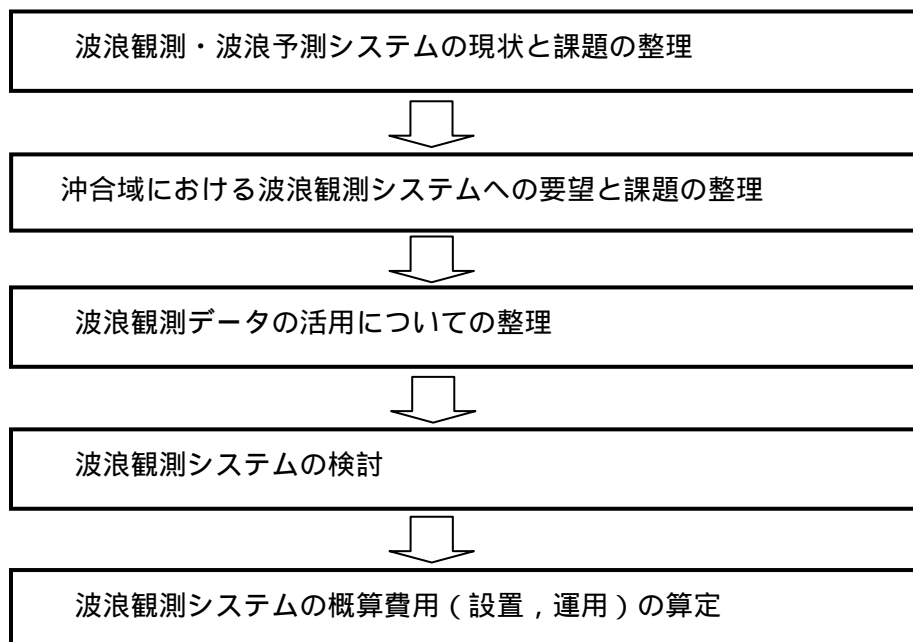


図1 調査の流れ

波浪観測・波浪予測システムの現状と課題の整理

現在運用されている沖合域における波浪観測システムについては国土交通省東北地方整備局及び四国地方整備局のGPS波浪観測システム，沿岸域における波浪観測システムについては国土交通省の「NOWPHAS」システムが挙げられる。

また，波浪予測に関しては，沿岸技術研究センターにおける「COMEINS」や気象庁による沿岸波浪予測システムが運用されている。

ここでは，これらの既往の観測システムの現状と課題についてとりまとめる。

とりまとめは既往の文献・資料，およびヒアリング等によることとし，以下の事項についてとりまとめる。

- ・システム構成（ソフト&ハード）
- ・運用・保守・利用形態
- ・コスト（設計・ソフト開発・設置・運用・保守）
- ・課題（設置・運用・利用・保守）等

沖合域における波浪観測システムへの要望と課題の整理

アンケート・ヒアリング調査等により，施工管理の現状，沖合域における波浪観測システムに対する要望や課題（設置・運用・保守）についての整理を行う。

調査対象者はズワイガニ増殖場造成事業を実施している鳥取県，島根県，兵庫県の漁港漁場担当部署及びこれまでに増殖場造成事業等に携わった施工業者とした。

波浪観測データの活用についての整理

， の調査結果等を基に，波浪観測システムの利用目的を整理するとともに，利用目的別にその利用方法，必要とされる観測データ（データの種類，取得頻度，精度等），データ処理方法，課題等を取りまとめる。

波浪観測システムの検討

上記の調査結果を踏まえて，沖合域における波浪観測システムの提案を行う。

波浪観測システムの概算費用（設置，運用，転用）の算定

上記検討結果を踏まえ，利用目的毎に下記項目別に概算費用を算定する。

- ・詳細設計費用
- ・波浪計製作費用
- ・波浪計設置費用
- ・システム（ソフト）開発費用
- ・データ転送システム費用（機器関係）
- ・運用費用
- ・保守費用

．調査結果

1．波浪観測・波浪予測システムの現状と課題

現状において運用されている気象・海象情報提供システムについて、その概要をとりまとめるとともに、沖合における魚礁設置工事における利用方法と課題をまとめた。

現状の波浪観測情報提供及び波浪予測情報提供システムとして以下を対象とし、波浪観測システムについては各システムの構成、データの項目、データ取得頻度、精度、データ通信方式、費用（初期、運用）、課題等について、波浪予測システムについては予報情報の概要について整理した。

波浪観測情報提供システム

- ・国土交通省：ナウファスシステム
- ・国土交通省：GPS 波浪観測システム
- ・簡易型 GPS 波浪観測システム

波浪予測情報提供システム

- ・気象庁：波浪予測システム
- ・沿岸技術研究センター：COMEINS システム
- 特定地点における波浪予測システム（有料サイト）

1-1 国土交通省：ナウファスシステム

ナウファスによる沿岸波浪観測の目的は、港湾工事の施工管理、設計波条件の算定や防災に役立てることである。

波浪観測からデータ収集までのシステム全体の概念図及び海象計の設置位置図（2005年9月現在で59観測地点）を図2に示す。

ナウファスでは、沿岸（5km以内、水深50m以浅）の海底に設置された海象計で表面波形、各層の水粒子速度、水圧等を計測している。観測されたデータは、海底ケーブルにより観測所へ伝送された後、アナログ専用回線で監視局へ伝送され、インターネットVPNを通じて観測センター（港湾空港技術研究所）へ伝送される。伝送されたデータから、波高、周期、波向、方向スペクトル、周期帯別波高・波向、長周期波、潮位等が演算される。

データの取得間隔は0.5秒で、1分間分のデータがまとめて24時間連続して観測センターへ伝送される。表面波形の観測精度は1cm、流速の観測精度は1cm/sである。

ナウファスのホームページでは、海況（有義波、周期帯波浪、潮位、毎分沖平均水面）の実況情報として本日から6日前までの情報が閲覧できる。図3に有義波と平均水面の出力例を示す。

ナウファスシステムの課題としては、設置に際し水深（50m）・離岸距離（5km）に制約があること、碎波による気泡の混入で観測データの解析ができない場合があること等が挙げられる。

ナウファス波浪計の設置、運用に関わる費用も含めて、その仕様を表4にまとめた。

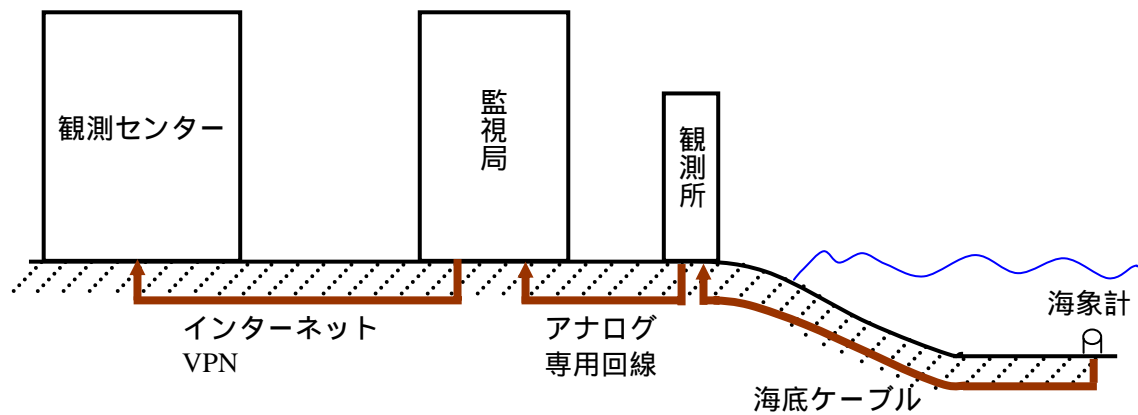


図 2-1 ナウファスシステム構成概念図

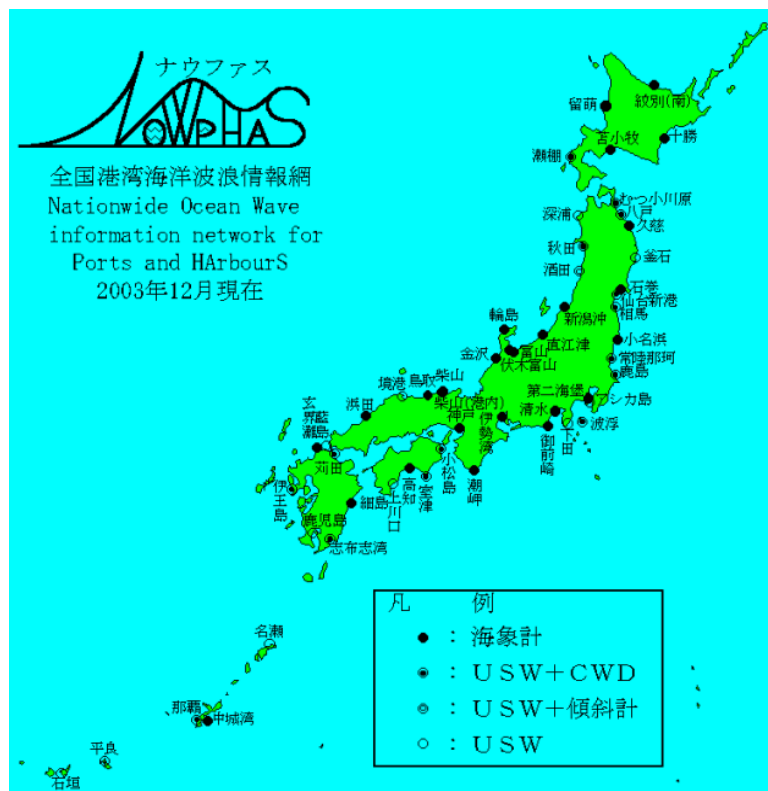


図 2-2 ナウファスシステム計器設置点

USW : 超音波式波高計

CWD : 超音波式流速計型波向計

海象計：超音波ドップラ式波浪計



図3 ナウファスホームページで閲覧できる実況グラフ（上；有義波，下；平均水面）

1-2 国土交通省：GPS 波浪観測システム

GPS 波浪計による沖合波浪観測の目的は、ナウファスと同様に港湾工事の施工管理や防災に役立てることである。波浪形を沖合に設置することで、屈折や浅水変形、遮蔽のない沖波を観測することができる。この他に、沖合で早期に津波を検知し、速やかな避難に役立てるといった目的により国土交通省東北地方整備局及び四国地方整備局により設置と観測データの配信準備が進められている。

波浪観測からデータ収集までのシステム全体の概念図を図4に示す。このシステムでは、ブイの水平・鉛直座標によって波浪の解析を行っている。その際、陸上基準局による補正を行って観測精度を高める方式（RTK-GPS）を取っている。また、波浪の他に、風向・風速、気温、気圧、水温等も観測できる。

観測されたデータは、無線で陸上局に伝送後、TCP/IP ソケット接続によるデジタル専用回線で、リアルタイムで監視局、観測センターへ伝送される。伝送されたデータから、波高、周期、波向等が演算される。

データの取得間隔は1秒、取得されるデータは24時間連続で観測センターへ伝送される。

波高観測の精度は水平 1cm+1ppm、鉛直 2cm+1ppm（1ppm は陸上局から GPS 波浪計までの水平距離の 1/100 万、例；水平距離 10km の場合 $1,000,000\text{cm} \times 1/1,000,000 = 1\text{cm}$ ）である。

課題としては、陸上局による誤差補正が必要なため、波浪計を陸から 20km 程度以内に設置する必要があること、GPS センサー自体が高価であること等が挙げられる。

GPS 波浪計の設置、運用に関わる費用も含めて、その仕様を表4にまとめた。

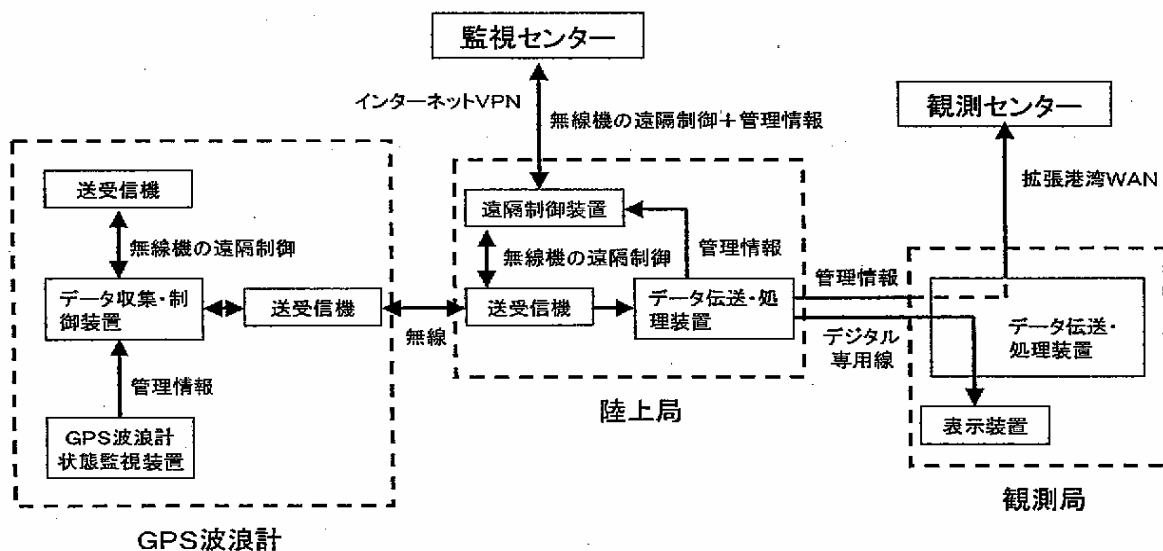


図4 国土交通省 GPS 波浪計 システム構成概念図

1-3 簡易型 GPS 波浪観測システム

簡易型 GPS 波浪計は GPS 単独測位により波浪情報をリアルタイムで計測することを目的としているが、利用目的によりいくつかの種類のカイが選択できる。

波浪観測からデータ収集までのシステム全体の概念図を図 5 に、設置実績を資料編：表 1 に示す。簡易型 GPS 波浪観測システムは国土交通省の GPS 波浪観測システムと同じくカイの水平・鉛直座標によって波浪の解析を行う。但し、国土交通省の GPS 波浪観測システムのように、補正のための陸上施設が必要でないため、設置水深、距離に制約を受けない。波高、周期、波向の他に、オプションとして風向・風速、流向・流速の計測も可能である。

データの取得間隔は 0.4 秒で毎時 20 分間のデータを収集している。波形データ自体は送信されず、波高、周期等の演算結果のみが 1 時間に 1 回送信される。波浪の演算結果のテキストデータは、パケット通信、衛星通信を介して取得され、指定されたアドレスにメール配信される。観測結果をデータセンターに蓄積し、ユーザーがデータサーバー（ホームページ）にアクセスし、データを閲覧・取得する方式も可能である。

なお、波高観測の精度は約 10cm、波向観測の精度は 5° である。

課題としては、波形データを GPS 波浪計の中に蓄積することはできるが、容量の関係で送信することができないことが挙げられる。このため、波形データを使った解析を行う場合は、観測カイ内にデータを蓄積し、定期的にバッチ処理によりデータの吸い上げを行う必要がある。

GPS 波浪計の設置、運用に関わる費用も含めて、その仕様を表 4 にまとめた。

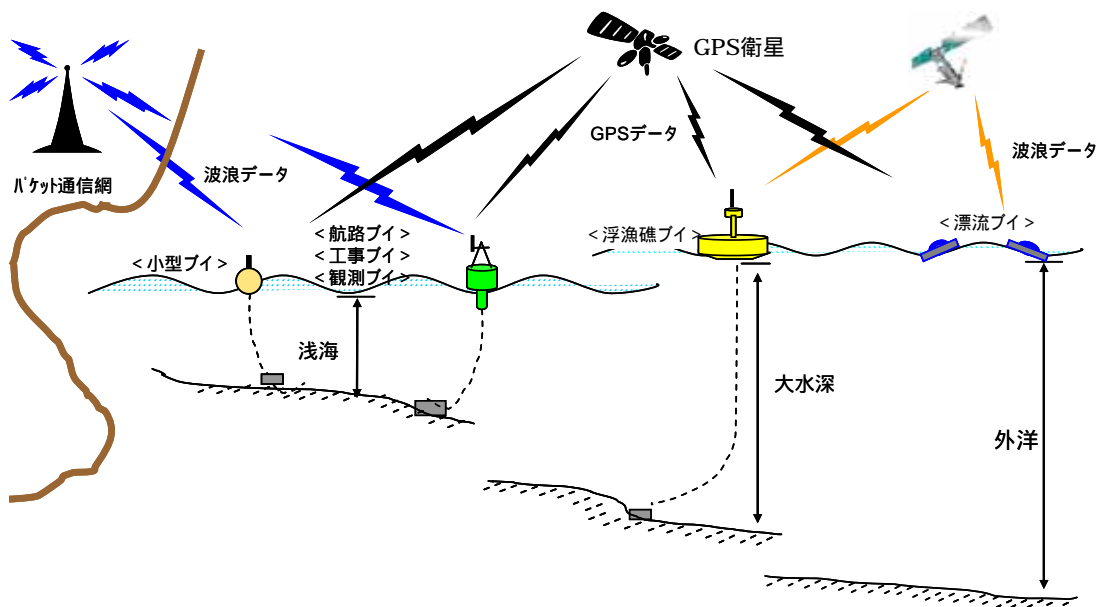


図 5 簡易型 GPS 波浪計 システム構成概念図

1-4 気象庁：波浪予測システム

気象庁では、気象予測計算の結果（海上風分布）を用いて、波浪状況とともに波浪予測情報を提供している。気象庁が波浪予測情報を提供している目的は、海運関係者、漁業者、海洋工事関係者等、海洋関連業務従事者の安全確保である。

気象庁は、全球から日本近海までの波浪予測情報を提供しているが、日本近海に関しては、9時と21時のデータを初期値として、1日2回、6時間毎72時間先までの波浪状況を予測している。気象庁による波浪予想図の例を図6に示す。

波浪の予想(沿岸):8月18日午前9時(8月17日午後4時頃発表)

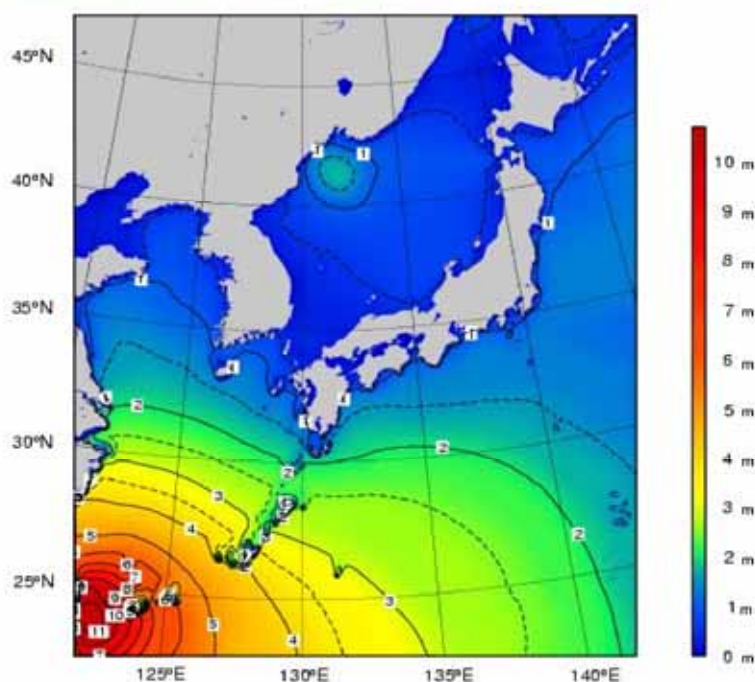


図6 気象庁による沿岸波浪予測

1-5 沿岸技術研究センター：COMEINS システム

財団法人沿岸技術研究センターでは、沿岸域、海上での作業や施設管理の効率化・安全性の向上を目的とし、気象・海象に関する実況・予測情報を提供している（有料）。COMEINS が提供している主な情報は以下の通りである。

- ・ 共通情報：ナウファスと気象庁観測の波浪実況，潮位実況，流速実況，ナウファス地点波浪予測，波浪・海上風予測，潮位情報等
 - ・ 一般情報：台風，地震，津波情報，濃霧等の海上警報，注意報・警報，短時間降水予測，天気図，天気予報，気象衛星画像，アメダス情報，気象レーダー情報等
- COMEINS で提供されている波浪予測の例を図7に示す。

地点名: 浜田 ポイント: 波高計 2007年07月02日 10時発表 予測初期値2007年07月01日 21時
表示期間: 2007年07月01日 - 2007年07月05日

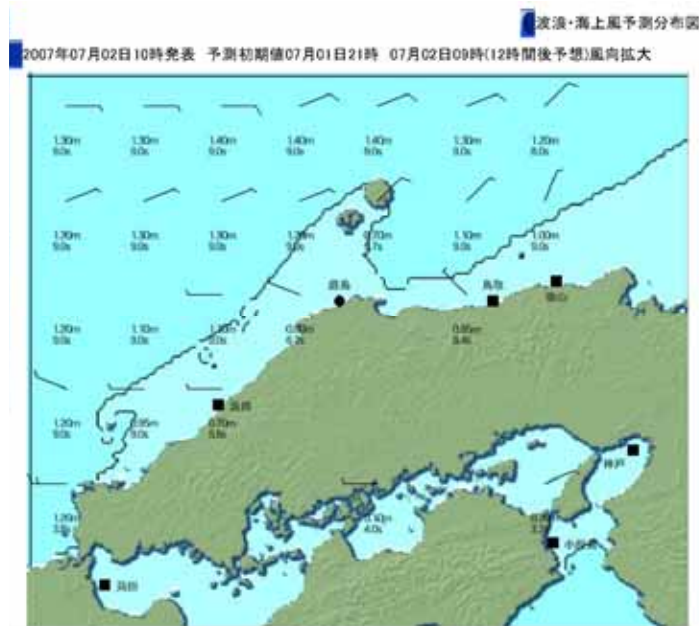
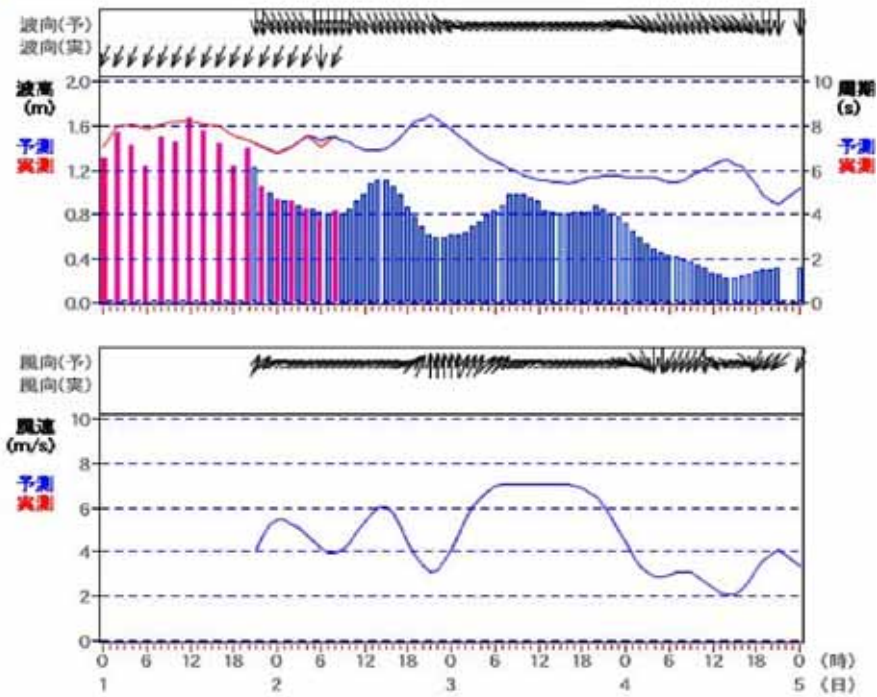


図7 COMEINS で公開されている波浪予測の例
(上; ナウファス地点波浪予測, 下; 波浪・海上風予測)

1-6 特定地点を対象とする波浪予測システム（有料）

特定地点を対象とする波浪予測システム（有料）のまとめを表 1 に、予測情報の例を図 8 ~ 11 に示す。有料情報の提供団体としては以下を対象とした。

財団法人沿岸技術研究センター，財団法人日本気象協会，株式会社ハレックス，
国際気象海洋株式会社

表 1 特定地点を対象とする波浪予測情報のまとめ

団体	様式	短期予測		週間予測		資料内容
		提供頻度	予測日数	提供頻度	予測日数	
沿岸センター	インターネット	提供頻度	2回/日	提供頻度	1回/日	波浪と風の分布図， 時系列図
		予測日数	3日先まで	予測日数	7日先まで	
		初期費	1万円	初期費	200万円以下	
		運用費	6.67万円/月	運用費	10万円/月	
気象協会	ファックス	提供頻度	1回または2回/日	提供頻度	1回/日	波浪と風の時系列図 表，気象・海象概況
		予測日数	2日先まで	予測日数	6日先まで	
		初期費	なし	初期費	なし	
		運用費	5万円/月+通信料(1回/日) 6万円/月+通信料(2回/日)	運用費	6万円/月+通信料	
ハレックス	ファックス (利用者がアクセス)	提供頻度	2回/日	提供頻度	なし	波浪と風の分布図， 時系列図
		予測日数	2日先まで	予測日数	なし	
		初期費	なし	初期費	なし	
		運用費	2万円/月	運用費	なし	
国際気象海洋	サーバーにアクセス	提供頻度	2回/日	提供頻度	なし	波浪と風の時系列図
		予測日数	3日先まで	予測日数	なし	
		初期費	15万円	初期費	なし	
		運用費	5万円/月(1地点増える毎に0.3万円追加)	運用費	なし	

いずれの団体も、任意の沖合地点における時系列情報が提供可能である。

むつ小川原の気象海象情報

2007年 10月 3日 16時 発表

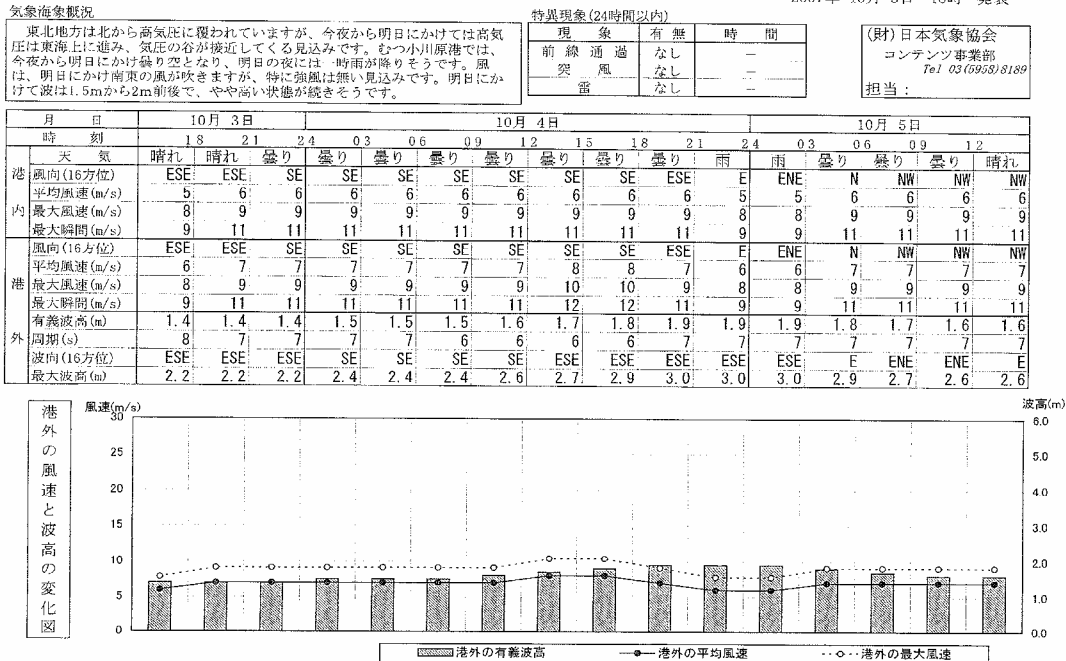


図 8 波浪予測情報の例（2日予測，(財)日本気象協会提供）

御前崎港の週間気象海象予測
(平成19年3月5日～19年3月11日)

【気象概況】

日本海には低気圧が東進しており明日には北海道に達するでしょう。南寄りの西寄りの風が強くなりますので注意して下さい。波も風浪とうねりで時化るでしょう。その後は移動性高気圧に覆われますが10日は再び北に低気圧が進み11日には冬型に移行して北西風が強まるでしょう。

【海象概況】

明日にかけて海上の波は高まるでしょう。突風にも注意して下さい。また、11日は北寄りの風が強まる見込みです。

平成 19年 3月 5日(月) 14時00分発表

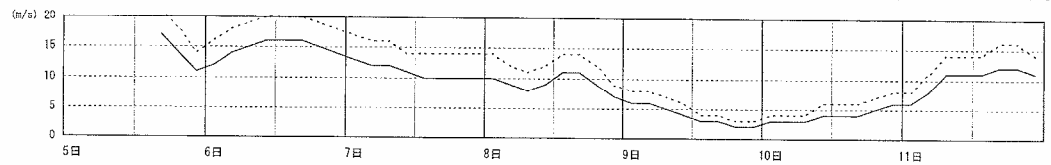
(財)日本気象協会 コンテンツ事業部
(Japan Weather Association)
Tel 03(5952)2189 Fax 03(3930)8614

担当者



【風情報：平均風速、風向と最大風速】

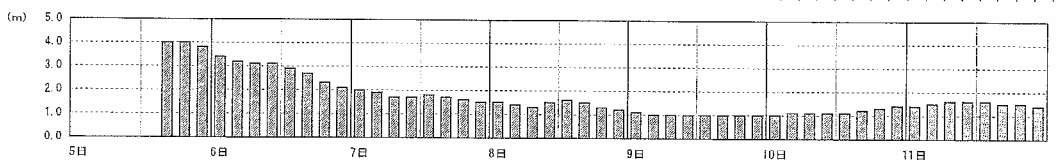
【風向】



平均風速 17 14 11 12 14 15 16 16 15 14 13 12 11 11 10 10 10 10 9 8 9 11 11 9 7 6 5 4 3 3 2 3 3 4 4 4 5 6 6 8 11 11 12 12 11

【波情報：波向と波高】

【波向】



有義波高

4.0 4.0 3.8 3.4 3.2 3.1 3.1 2.9 2.7 2.3 2.1 2.0 1.9 1.7 1.7 1.8 1.7 1.6 1.5 1.5 1.4 1.3 1.5 1.6 1.5 1.3 1.2 1.1 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.1 1.1 1.1 1.1 1.2 1.3 1.4 1.4 1.5 1.6 1.6 1.6 1.5 1.5 1.4

図9 波浪予測情報の例(週間予測, (財)日本気象協会提供)

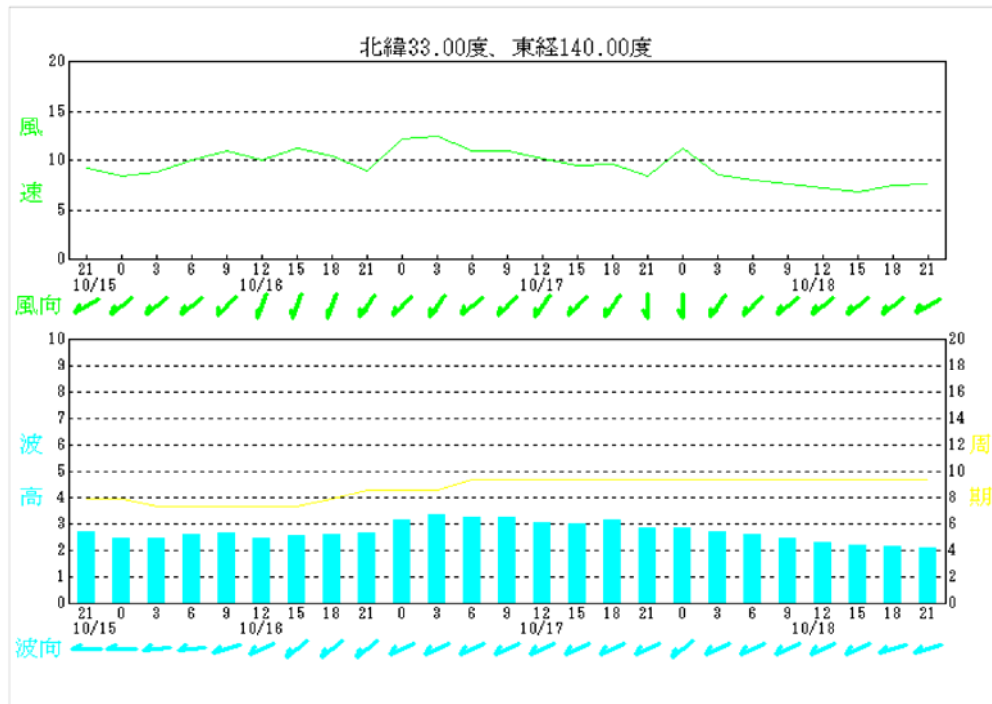


図10 波浪予測情報の例(3日予測, 国際気象海洋株式会社提供)

海域別ポイント別波浪予想図 (東海道沿岸海域)

【番組番号:100】

提供 株式会社ハレックス

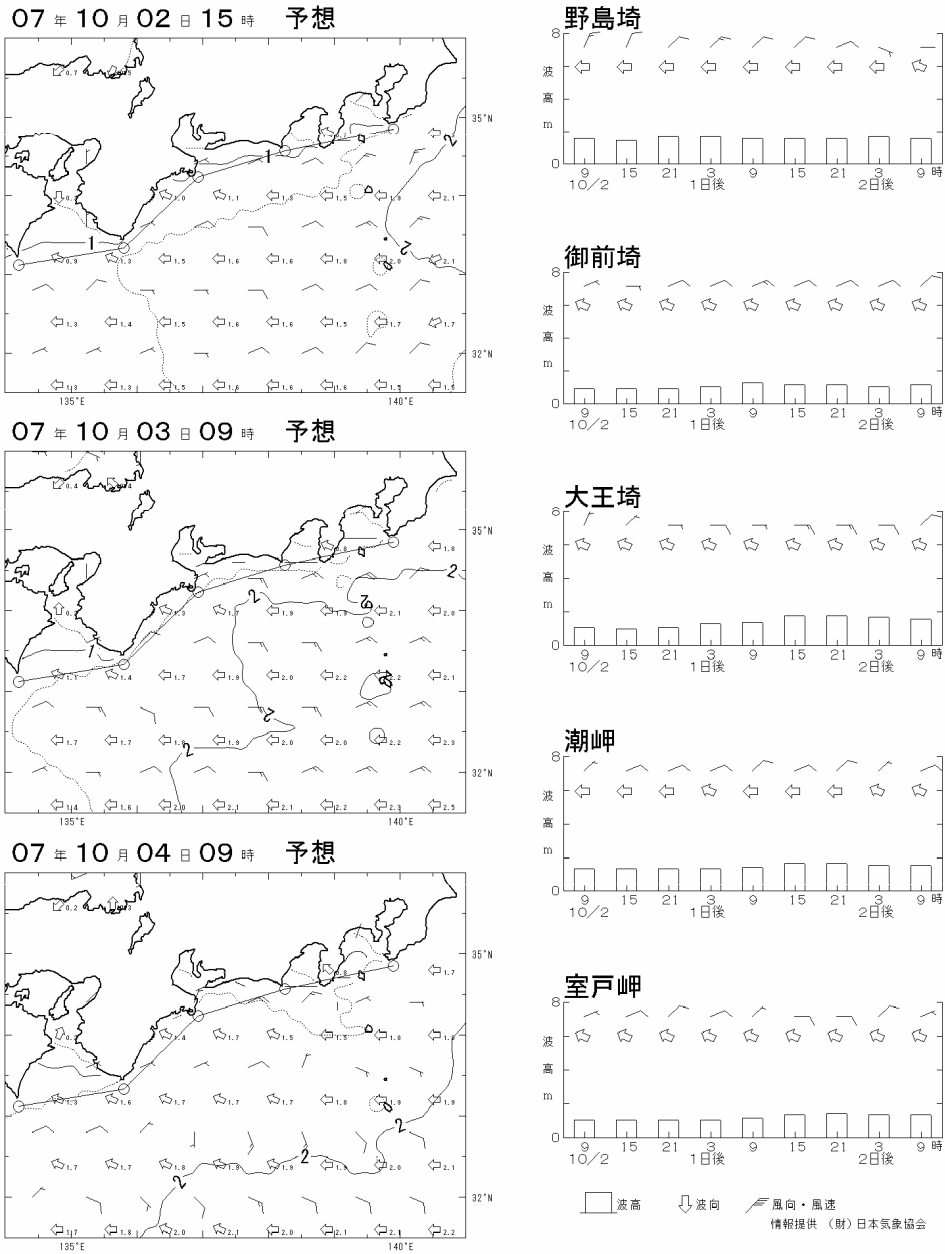


図11 波浪予測情報の例(2日予測, 株式会社ハレックス提供)

2. 施工管理の現状・要望及び波浪観測データの利用

2-1 施工管理の現状と要望

アンケート・ヒアリング調査により，施工管理の現状，波浪観測情報・予測情報の必要性及び観測システムに関する課題（設置・運用・保守）についての整理を行った．

調査対象者はズワイガニ増殖場造成事業を実施している鳥取県，島根県，兵庫県，京都府の漁港漁場担当部署及びこれまでに増殖場造成事業等に携わった施工業者とした．

調査結果を表 2 に示すが，概略的には次のようにまとめられる．

- ・ 現状の施工管理（工程計画の策定，施工の可否判断）においては，ナウファスによる沿岸の波浪観測情報や，気象予測情報等を主として活用している（民間による有料気象予測システムを利用する場合もある）．
- ・ 波浪観測点が工事海域と離れている場合には観測データは参考程度にしか利用されておらず，よりの確な施工管理のためには工事海域近辺における観測データの提供が望まれている．
- ・ 一方，気象庁の 72 時間波浪予測情報は日常的に利用されており，「有効である」と認識されている．
- ・ 沖合での波浪観測については，当該工事海域における波浪状況情報が得られることより施工管理に有効に利用されるものと期待されている．
- ・ 施工管理をよりの確に行うためには波高データの他，流況・風況データが得られること，及び当該水域における波浪予測情報が得られることが望まれている．
- ・ 施工管理のために要求される波高データの精度は 10～数 10cm である
- ・ 波浪観測データの利用頻度は 1 日に数回程度である．

アンケート・ヒアリング調査における「沖合波浪観測システムの設置」については，次のようにまとめられる．

「沖合波浪観測システムによる当該海域情報の取得により，よりの確な施工管理を行える事が期待されている．システムが設置されない場合においても既往の情報提供システムの利用によっても施工管理を行うことは可能と考えられており，具体的な情報取得の代替手段としては，気象庁の 72 時間波浪予測情報，気象予測情報等が主たるものとして挙げられる」

表2 ヒアリング結果のまとめ

項 目		回 答
1	現状における気象・海象情報の利用目的と利点	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工程計画の策定，施工可否の判定のため．具体的には， ・ 気象・波浪の現況及び変化傾向の把握により施工可否や避難の判断を行う ・ 波浪予測情報により工程計画の見直しを行う ・ 以上より施工における安全性，経済性が向上する
2	現状における取得データ項目と頻度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 天気図，風向・風速，視程，波高，周期，波向，波浪予測，気象予報を1日に数回
3	現状における気象・海象情報の入手方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ テレビや電話の気象情報 ・ インターネット（ナウファス・気象庁の波浪実況，気象庁の波浪予測，その他気象情報） ・ 携帯サイト（海上保安庁等）
4	現在入手できる気象・海象情報についての評価・課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現在入手できる情報だけでは十分ではなく，もっと詳細な情報（流況・風況等）が必要 ・ 波浪観測地点と施工海域が離れている場合は参考程度の利用となる ・ 波高予測の表示を20cm単位程度に細かくする必要がある
5	沖合波浪観測システムの利用価値	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施工海域近くの観測データであることより正確な情報が入手でき，利用価値が高い
6	沖合波浪観測システムが設置された場合の利点	<ul style="list-style-type: none"> ・ 沖合いの観測値を用いることによって，数時間後の波浪状況がより正確に予測できる ・ 施工海域での海況をタイムリーに把握することにより，作業中止や船舶避難等に利用できる． ・ 作業可否判断がより的確に行え，適切な工程管理が図れるとともに作業の施工性（経済性），安全性が向上する．
7	沖合波浪観測システムに望まれる情報	<ul style="list-style-type: none"> ・ 波高，周期，波向，波浪予測，気象予報に加えて 流向・流速，風向・風速，気温，気圧，潮流，高潮，津波観測情報
8	沖合波浪観測システムからの情報入手頻度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1～3時間に1回
9	沖合波浪観測システムにおける波高の要求精度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 10～数10cm

2-2 波浪観測データの利用

ヒアリング結果等から、沖合域での波浪観測資料の利用目的別に、波浪観測システムの仕様を検討した。

利用目的としては、施工管理（工程計画の策定、施工の可否判断）、設計波算定、供用係数算定、津波の早期検知とし、これらの利用目的別に、取得データ項目、取得方法、要求精度、利用方法、観測期間、概算費用等についてとりまとめた。

とりまとめの結果を表3に示す。また、費用の詳細内訳については次章に示す。

なお、簡易型GPS波浪計システムには、観測データを自動的にメール配信する方式と、ユーザーがデータサーバーにアクセスする方式があり、表3においては両者を併記している。

以下に波浪観測システムの利用目的の一つに挙げられる、設計波の算定及び供用係数の算定の考え方をまとめる。

(1) 設計波の算定について

「漁港・漁場の施設の設計の手引：全国漁場漁港協会」においては、「設計沖波の諸元については、信頼すべき実測値が得られる場合、これらの実測値を統計的に処理して算定するものとする」とあるが、具体的な観測年数については言及していない。

一方、「港湾施設設計指針（内規）」では「沖波の諸元の決定においては、実測資料としては相当長期間（10箇年以上）あることが望ましいが、実測資料が不足している場合は、おおむね30箇年以上の気象資料を用いて得られた推算値を実測資料で補正して使用する。気象資料から求めた推算値を実測資料で補足する場合、実測資料は最低3箇年以上のものであって、かつ異常波浪時のデータを相当含むことが必要である」としている。

これらより、波浪観測データから設計波の算定を行う場合は5～10箇年程度の継続的観測が必要といえる。

設計波の算定により当該水域近辺及び沿岸部における魚礁・漁港施設等の設計において適切な設計条件を与えることができる。

(2) 供用係数の算定の算定について

「漁港漁場関係工事積算基準：全国漁場漁港協会」における供用係数については全国主要港湾の供用係数が準用されている。

供用係数の算定については気象資料を用いた波浪推算解析によることも出来るが、当該海域の供用係数をより適切に定めるためには、実測値に基づいた算定が望ましい。

全国主要港湾の供用係数は最低5箇年（内規）の実測値に依っていることより、波浪観測データから供用係数の算定を行う場合は5箇年程度の継続的観測が必要といえる。

表 3-1 波浪観測についての整理結果（利用目的毎）

波浪観測についての整理結果（利用目的毎）					
利用目的	1. 施工可否判断 (沖合における魚礁等の設置工事)	2. 施工可否判断 (沖合における魚礁等の設置工事)	3. 設計書の算定 (沖合における魚礁等の設計条件)	4. 沖合における供用係数の算定	5. 津波の早期検知
適用システム	簡易型GPS波浪計	簡易型GPS波浪計	簡易型GPS波浪計	簡易型GPS波浪計	国土交通省型GPS波浪計
利用者	施工管理者、施工業者	同左	行政	行政	行政、気象庁
利用方法	・自動配信メールによる受信 ・施工管理者・施工業者が、パソコン、携帯電話で受信し、施工可否を判断	・施工管理者・施工業者が、パソコン、携帯電話からアクセスし、施工可否を判断	・長期間のデータを取得し、波浪推算の検証および設計波見直しに用いる。	・長期間の観測を行うことにより、流天日数（供用係数）を算出する。	・連続的にデータを受信し、津波来襲に伴う海面変動を把握する。 ・沖合で津波を早期検知することにより、沿岸住民の安全を図る。
利用頻度（期間）	施工期間中	同左	5～10年に1回程度	5年に1回程度	常時
観測データ	ブイの水平・鉛直座標（波高、周期、波向）、風向、風速、流向、流速、気圧等	同左	同左	同左	・津波観測情報（波浪計地点における津波の高さ、津波到達時刻）
観測データの取得頻度	1時間に1回	同左	同左	同左	常時
観測データの要求精度	10cm～数10cm	同左	10cm	同左	数cm
データの処理・管理方法	・利用者自身が過去のデータを保存する	・サーバーに過去のデータを自動保存する	・長期間のデータの保管・管理を行う機能を設置し、適宜データの解析処理を行う	同左	・海面の上下変動を処理して津波成分を抽出する。（別途解析）
システム構成	・海上ブイのみの構成であり、波浪推算結果はパケット通信（NWTトコモ）またはオーブコム衛星通信で指定アドレスにメールで自動送信される。 ・ブイ内には電源設備、GPSアンテナ、通信アンテナ、波浪推算部、計測通信制御部が搭載されている。 ・漏水の有無、ハッチの開閉状態、灯火異常、電圧異常に関する情報によりシステムの状態が監視できる。	・海上ブイと陸上のデータサーバーからなり、波浪推算結果はサーバーがサーバーにアクセスして取得する。 以下 同左	同左	同左	・ブイには電源、GPS測速機器、気象観測機器、状態監視装置 ^{※1} 、航路認識、データ制御装置 ^{※2} 、衛星無線装置 ^{※3} 、観測品 ^{※4} を搭載している。 ・波速、その他観測データは陸上局へ無線伝送後、TCP/IPネットワーク接続によるリアルタイムでデジタル専用回線で監視局、観測センターへ通信される。
費用（初年度）	6334万円	6894万円	6894万円	6894万円	2億円～3億円
運用費も含めた総額	・工期4年の費用総額：1億586万円 ・工期6年の費用総額：1億7464万円 ・工期8年の費用総額：1億9112万円	・工期4年の費用総額：1億1326万円 ・工期6年の費用総額：1億8484万円 ・工期8年の費用総額：2億252万円	・5年観測の費用総額：1億7800万円 ・10年観測の費用総額：2億5910万円	・5年観測の費用総額：1億7800万円	不明
費用（データ処理）	不要 (波浪予測を行う場合は、ソフト開発費が別途必要となる)	同左	データ解析費用（300～500万円/回程度）	データ解析費用（300～500万円/回程度）	不明

表3-2 波浪観測についての整理結果（利用目的毎）

波浪観測についての整理結果（利用目的毎）					
利用目的	1. 施工可否判断 (沖合における魚礁等の設置工事) メール配信方式	2. 施工可否判断 (沖合における魚礁等の設置工事) ユーザーアクセス方式	3. 設計波の算定 (沖合における魚礁等の設計条件)	4. 沖合における供用係数の算定	6. 津波の早期検知
課題（システム構築）	<ul style="list-style-type: none"> 波浪予測を行う場合は、別途予測システムの構築が必要となる。この場合、その作成は利用者が行うこととなる。 波浪予測システムの構築においては、気象庁及びCOMET INSによる波浪予測データとの連携が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 サーバーの管理者・管理場所の設置が必要となる。 波浪予測を行う場合は管理者によるシステムの構築が求められる。 波浪予測システムの定期的なバージョンアップが必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> サーバーの管理者・管理場所の設置が必要となる。 管理者による設計波算定システムの構築が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> サーバーの管理者・管理場所の設置が必要となる。 管理者による供用係数算定システムの構築が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 沖合の津波を計測するには、数cmの観測精度が要求される。 防災に関わることなので、津波成分の抽出手法には精度の高さ、信頼性が要求される。 海面変動の連続データという大量のデータを常時送信し続けることができるシステムでなければならぬ。
課題（保守・運用）	<ul style="list-style-type: none"> ブイの正常動作を確認するための管理者を配置する必要がある ブイに異常（漂流、データ異常等）が発生した場合は保守体制を確立する必要がある。 	同左	同左	同左	<ul style="list-style-type: none"> 防災に関係するので、誤報、欠測等がないような体制を構築する必要がある データの処理に際しては気象庁との連携が必要となる
システム利用による利点	<ul style="list-style-type: none"> 施工可否に関して明確な判断が下せるため、経費性・安全性が視す。 適切な工程管理が可能となり、工事費の低減が図れる。 	同左	<ul style="list-style-type: none"> 沖合での波浪観測資料によって波浪推算の検証を行うことができ、設計波算定の精度が高まる。 	<ul style="list-style-type: none"> 当該水域における供用係数をより適切に決定できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 津波が沿岸に達する前に沖合で検知することができ、住民の早期避難に役立つ。
備考	現状では国土交通省、気象庁の波浪実況、気象庁の波浪実況・気象予報を基に施工可否判断を行っている。	同左	<ul style="list-style-type: none"> 近傍港湾の沖波が使用されている 	<ul style="list-style-type: none"> 漁港漁場関係工事積算基準及び港湾土木積算工事積算基準による近傍港湾の供用係数が使用されている 	<ul style="list-style-type: none"> 国土交通省により、主に東北地方、四国地方にGPS波浪計の広域配置が進められている。

※1 状態監視装置によるGPS波浪計の監視項目①内部温度②内部湿度③漏水の有無④衝撃の有無⑤風雨密ハッチ開閉の有無⑥灯火異常監視⑦灯火異常監視⑧搭載機器関連電圧

※2 GPS波浪計に設置されている機器の情報を一括して管理している。

※3 衛星無線装置はGPS波浪計が漂流した場合に位置情報を知らせる。

※4 構築品の項目①ブイメンテナンス時に作業船を接続させるための防舷材や作業用梯子等②ブイ内部の換気設備、照明設備等③喫水調整のためのパラスト

3. 沖合域における波浪観測システム（案）

増殖場造成事業は1工区2km四方×4地点,各工区4年以上～8年未満の工期が想定されている。

事業地点は沖合い35～90km,水深250m以深が予定されており,また波浪観測システムの主利用目的は施工期間中における施工管理であり,要求精度は波高10cmで十分であることより,当該事業における沖合波浪観測システムについては以下のシステムが適当と考える。

- ・ ナウファスのような海底設置型波浪計での対応が不可（最大水深50m程度まで）であることより,ブイを使ったGPS波浪観測システムとする。
- ・ 施工管理,供用係数の算定,限界波高の検証における波高の要求精度は10cm程度であることより簡易型GPS波浪観測システムとする。
- ・ データ通信方式は衛星通信方式とする（パケット通信では離岸距離が長くて対応不可）
- ・ 観測データの配信については 利用者の利便性,データの保存・管理の必要性を考慮し,データセンターへのアクセス方式とする（メール配信方式とした場合は初期費用で約500万円,保守費用（年間）で約60万円安価となる）。
- ・ 但し,沖合における津波の早期検知の目的には,観測精度の高い国土交通省型GPS波浪計が必要とされる。

3-1 システム構成

簡易型GPS波浪観測システムの構成図を図12に示す。ブイ内はGPSアンテナ,通信アンテナ,波浪演算部,計測通信制御部,電源から構成されている。GPSアンテナと波浪演算部は標準化されており,計測通信制御部と通信アンテナが搭載されている。電源は太陽電池システムと蓄電池を基本としている。

観測されたデータ（演算結果）は衛星通信によってデータセンターに送信され,蓄積される。データセンターでは,サーバー（ホームページ）を通じて観測データが公開される。

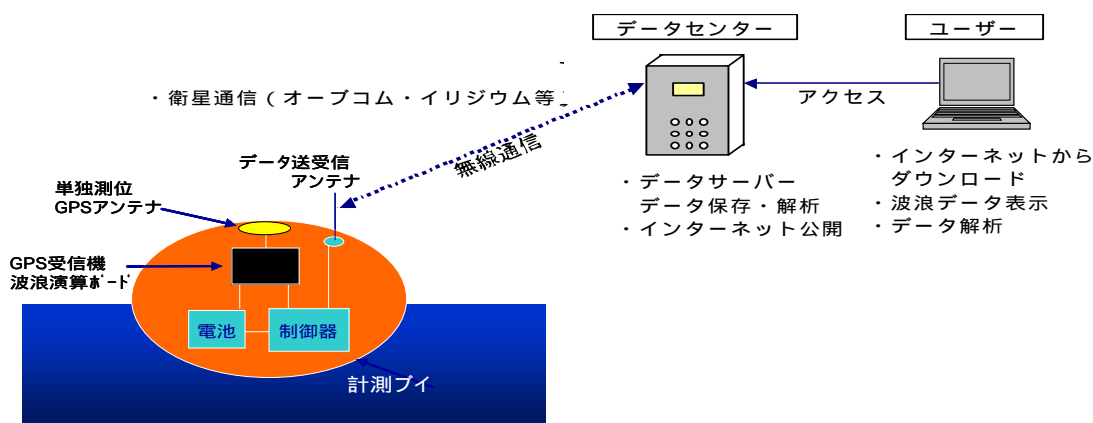


図12 簡易型GPS波浪計システム構成概念図

3-2 取得データ

観測データ数は、システム上最大 8 項目である(9 項目以上にする場合は初期費用で約 3000 万円の増額となる)。基本データは以下の 4 項目である。

- ・ブイの位置(水平,鉛直)3成分,
- ・波浪計システムの状況を示す情報(ハッチの開閉,浸水,内部温度,湿度)

この他に 4 項目の観測が可能であることよりここでは,行政及び施工業者から要望のあった次の 4 項目の計測を行うものとする。

- ・風向,風速
- ・流向,流速

なお,ブイの位置データからは,波高,周期,波向が自動的に演算される。機器の電圧に関する情報は,ブイの位置情報と一緒に取得される。灯火に関する情報は,上記 8 項目とは別に航路標識のシステムから取得される。

3-3 データ通信・保存・アクセス方式

簡易型 GPS 波浪計のシステム構成図は図 12 に示したとおりである。計測ブイで観測されたデータはブイ内で演算処理され,波浪演算結果その他の項目がテキスト化され,衛星を介してデータセンターに通信・蓄積される。

また,データは 1 時間に 1 回通信衛星を介してデータセンター(サーバー)に送信される(0.4s 間隔で毎時 40 分~正時までの 20 分間のデータを収集し,その演算結果を送信)。

ユーザーはデータセンターにアクセスし,データを閲覧したり,必要に応じてダウンロードして利用(解析)することとなる。

別途,システム管理者によって観測データは保存され必要に応じて解析処理することとなる。

3-4 簡易型 GPS 波浪計と国土交通省 GPS 波浪計・ナウファスとの比較

上に提案した簡易型 GPS 波浪観測システムと国土交通省 GPS 波浪観測システム,ナウファスシステムの比較を表 4 に示す。

波浪観測システムの比較

	簡易型 GPS 波浪観測システム	国土交通省：ナウファシステム	国土交通省：GPS 波浪観測システム	
システム構成	離岸距離	・無制限 (単独測位方式)	・最大 5km (5km を超える場合は、中継器を設置するか、海上の観測塔や島を經由し無線によって伝送) ・中継器を設置する場合は最大 10km	・精度を確保するためには、GPS 基地局との距離が 20km 程度以下 (RTK 方式)
	設置水深	・数百 m (係留索を設置できる水深の範囲)	・最大 50m (潮象計)	・数百 m (係留索を設置できる水深の範囲)
	観測/演算項目	<p><観測></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ブイの水平・鉛直座標、システム異常情報 (灯火、電圧等) ・風向・風速、流向・流速 <p><演算></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 方向スペクトル 2) 平均波向 3) 波高・周期 (最高波、1/10 最大波、有義波、平均波) 4) 周期帯別波高、波向 5) 長周期波、副振動、潮位 (オプショナル) 	<p><観測></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ブイの水平・鉛直座標、ブイの 2 軸傾斜、ブイの方位、風向・風速、気温、気圧、水温、探検関連データ (オプショナル) <p>【陸上観測局】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・波高・周期 (最高波、1/10 最大波、有義波、平均波)、平均波向 	
	精度	波高 10cm 波向 5°	表面波形：1cm、流速：1cm/s	水平 1cm+1ppm、垂直 2cm+1ppm (1ppm は陸上局から GPS 波高計までの水平距離の 1/100 万の距離) 例：水平距離 10km の場合、1,000,000cm×1/1,000,000=1cm の誤差)
	伝送システム	・オーブコム衛星通信による	・データは海底ケーブルで観測所へ伝送後、アナログ専用回線で監視局に伝送される。	・無線で陸上局へ伝送後、TCP/IP ネットワークによるリアルタイムでデジタル専用回線で監視局、観測センターへ通信される。
	観測・伝送	<p><第一世代>一般回線</p> <ul style="list-style-type: none"> ・0.5 秒間隔で毎秒校正前後 10 分ずつ、計 20 分間のデータを取集 ・第二世代 ISDN 回線 ・0.5 秒間隔で毎秒校正前後 10 分ずつ、計 20 分間のデータを取集 ・第三世代インターネット VPN ・0.5 秒間隔で取得された 1 分間のデータを 1 ファイルとして伝送 <p>リアルタイム処理サーバでは、インターネット、VPN を通じて毎分 5 秒に監視局から観測データファイルを取得する。</p>	<p><第一世代>一般回線</p> <ul style="list-style-type: none"> ・0.5 秒間隔で毎秒校正前後 10 分ずつ、計 20 分間のデータを取集 ・第二世代 ISDN 回線 ・0.5 秒間隔で毎秒校正前後 10 分ずつ、計 20 分間のデータを取集 ・第三世代インターネット VPN ・0.5 秒間隔で取得された 1 分間のデータを 1 ファイルとして伝送 <p>リアルタイム処理サーバでは、インターネット、VPN を通じて毎分 5 秒に監視局から観測データファイルを取得する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・1 秒間隔で取得され、24 時間連続のリアルタイムで陸上局へ無線伝送されたあと、観測局から観測センターに通信される。
	電力	・太陽光発電及び蓄電池 (無日照 15 日間分)	・海底ケーブルで供給	・太陽光発電及び蓄電池 (無日照 15 日間分)
	消費電力	・GPS 受信機 バケット通信 5W、オーブコム衛星 2W	<ul style="list-style-type: none"> ・本体、送変器 約 50W ・データ取り出し (周辺機器を含む) 約 300W 	<ul style="list-style-type: none"> ・GPS 受信機 1.5W ・送受信機本体 送信時：40W 受信時：7W
	設置/方法	・アンカーと係留索で係留	・海底に設置された架台上に設置 (作業船と潜水夫による設置)	・アンカーと係留索で係留
	耐用年数	<ul style="list-style-type: none"> ・係留索は、劣化、摩耗するため定期交換をする (4 年毎) ・本体を整備しながら (機器交換やブイの調整、必要部分の修繕) 最低 10 年 	<ul style="list-style-type: none"> ・海中部 10 年 (センサー、海底ケーブル、保安器) ・陸上部 10 年 (保安器、変換器、テレメータ装置、ケーブル) ・7 年 (計算装置、表示装置) 	<ul style="list-style-type: none"> ・本体を整備しながら (機器交換やブイの調整、必要部分の修繕) 最低 10 年
保守・運用形態	保守	<ul style="list-style-type: none"> ・年 1 回海上保安庁の措置による点検 (海上保安庁の措置により、6 ヶ月点検がある場合がある) 	<ul style="list-style-type: none"> ・年 1 回 ・光ファイバによる潮象計の向きの変動、内部コンパネ、傾斜計による変動日時特定等 ・潜水夫による潮象計等の清掃、機器メーカーによる陸上の機器の点検 	<ul style="list-style-type: none"> ・24 時間連続での GPS 波高計観測設備の監視・制御及び送受信機の管理、保守点検 ・観測局 1 回/3 月毎 (観測局があった場合等は必要なく点検を行う) ・アンテナ、本局基地局、ケーブル等の外観について目視による点検 ・所定のメンテナンス設定を行う ・その他に衛星の保守等、RTK-GPS の運用に関する情報が必要 ・陸上局 1 回/3 月毎 (波高計があった場合等は必要なく点検を行う) ・局舎を含め、目視による点検 ・陸上局の動作確認の確認、所定のメンテナンス設定を行う
	バックアップ		<ul style="list-style-type: none"> ・回線ダウンやサーバ故障に備え、主系統と予備系統に二重化している 	<ul style="list-style-type: none"> ・観測データを 1 分単位でファイル化したうえで保存 ・陸上局で一定期間観測データ及び演算・処理結果を保存、保存容量は、30 日分以上
利用形態	<ul style="list-style-type: none"> ・演算結果は衛星通信を介し、サーバーに保存される ・ユーザーはサーバーにアクセスして所要のデータを取得 	<ul style="list-style-type: none"> ・インターネットを介してリアルタイムで有義波諸元・周期待別波・潮位・毎分平均水面高等を公開している。波高については、過去のデータもダウンロード可能である 	<ul style="list-style-type: none"> ・既存のソフトウェアを拡張する形で、観測データ (波高) を配信する準備中 (2007 年 8 月現在) 	

波浪観測システムの比較

表 4-2 波浪観測システムの比較(2)

	簡易型 GPS 波浪観測システム	国土交通省：ナウファスシステム	国土交通省：GPS 波浪観測システム	
費用	<p>波浪観測システム Y20,000,000 (パイ本体・20B-2500R・φ2.5m 型) (GPS 波浪計・衛星通信方式・電源含む) ・係留装置 (4 年対応) Y10,000,000 ・航路標識・航行警報付許可標識 Y1,500,000 ・風速計、流速計 Y4,700,000 ・データセンターシステム Y5,000,000 ・設置費用 Y20,000,000 (基地港から 100mle 約 185m, 水深 200m とし想定)</p> <p>合計 Y62,100,000 (その他費用を含めて)</p>	<p>〈センサー関連〉 ・海中計測機器 (海象計, 水中ケーブリング保安器) Y6,250,000 ・陸上部機器 (海象計変換器, 有線テレメータ他) Y10,350,000 ・ケーブリング Y21,500,000 (5km) ・海象計設置 Y45,100,000 (水深 50m) 合計 Y83,000,000</p> <p>〈センサー関連〉 ・監視局機器 (波浪データ伝送装置等, データ記録装置, 有線テレメータ他) Y14,124,000 (システム関連) ・ネットワーク加入費 Y4,800 ・ルータ工事費 約 Y150,000 ・ルータ購入費 データ転送装置の一装置として納入 合計 Y14,000,000</p> <p>〈システム関連〉 ・ネットワーク加入費 Y38,200 ・ルータ工事費 導入設置時に含まれる ・ルータ購入費 NEC リース</p>	<p>波浪計 陸上部 観測局</p> <p>上記に含まれる。</p>	<p>国土交通省：GPS 波浪観測システム ・パイ Y20,000,000 ・GPS, 観測機器 Y30,000,000 ・係留装置 Y80,000,000 (水深 250m 程度) ・陸上部, 監視局, 観測センターへの通信システム Y50,000,000 ・設置工事 Y50,000,000 1 地点合計 Y200,000,000~Y300,000,000</p>
初期費用		<p>監視局</p>		
運用費用	<p>(1 年間の保守費) 航路標識点検費, 風速計・流速計点検・清掃費, 保険料サー バー管理費, データ通信費 Y3,840,000</p> <p>(工事費) 観測終了時に, 波浪計撤去費, パイ及び観測機器撤去費 (保管, 係留装置撤去費等 費用は, 観測年によって異なる。</p>	<p>観測センター (港空研)</p> <p>波浪計観測所</p> <p>監視局</p> <p>観測センター (港空研)</p>	<p>不明</p> <p>波浪計</p> <p>陸上部 観測局</p> <p>不明</p>	
課題・改善点	<p>観測データは, 1 観測当たり数分~数十分の低頻度で, メー ルで配信される。それに対して, 波形データは 1 観測当たり 数千個という大量のデータなので, メールで送信できない。 このため, 波高, 周期に異常値が観測されても, 波形データ を確認することができない。波形データを取得するには, 観 測パイ内に保存し, 定期的に回収する必要がある。</p>	<p>〈第一, 第二世代〉 ・二時間毎の取録のため, 津波等の瞬発現象に対応できない。 ・(津波観測データとしても活用できる) 多くの潮位観測データは港空研に オンライン集約されていない。 〈第三世代〉 ・インターネット網の脆弱性 (サーバダウン, ウイルス, ハッキング等) ・情報伝送の高速化 (情報のリアルタイム化)</p>	<p>・離島からの通信手段の改善 (衛星通信を利用するため費用がかかる)</p>	
その他		<p>・波浪地点の水深が 50m 未満, 設置地点までの海底ケーブル延長が 10km 以 下 (中継器を付けた場合) という制約がある。</p> <p>・波浪などによって海面付近に気流が混入すると, 超音波信号にはノイズが 混入し, 観測データの解析が出来ない場合がある。</p>	<p>・RTK 方式では, 陸上部機器による位置補正が必要のため陸上部からの距離を 20km 程度以下にする必要がある。 ・データが届かないといった障害が発生した場合, 現地陸上部まで確認に行く 必要がある。(陸上部は無人的ことが多い)</p> <p>・搬送機位相を計測できる GPS 受信機を使うため GPS センサー自体が高価であ る。</p>	

3-5 GPS 波浪計の係留系と設計

水深 200m の地点に設置する 4 年対応の係留索の例を図に示す。係留索設計の基本的な考え方は、ある波浪計設置会社の「係留設計に関する解説」に従っている。同基準では、計算に必要な諸条件及び計算過程と設計過程には、(社)日本港湾協会による「港湾の施設の技術上の基準・同解説」をベースとしており、ここでは「鎖の許容張力は、前記 JIS の規格に示された破断試験荷重の 1/3 としてよい」としている。

一方、「漁港・漁場の施設の設計の手引」では「係留索にチェーンを使用する場合の安全率は 3.0 以上とする。安全率 = 切断試験荷重/係留索の最大張力」としており、同じ基準を用いているといえる。

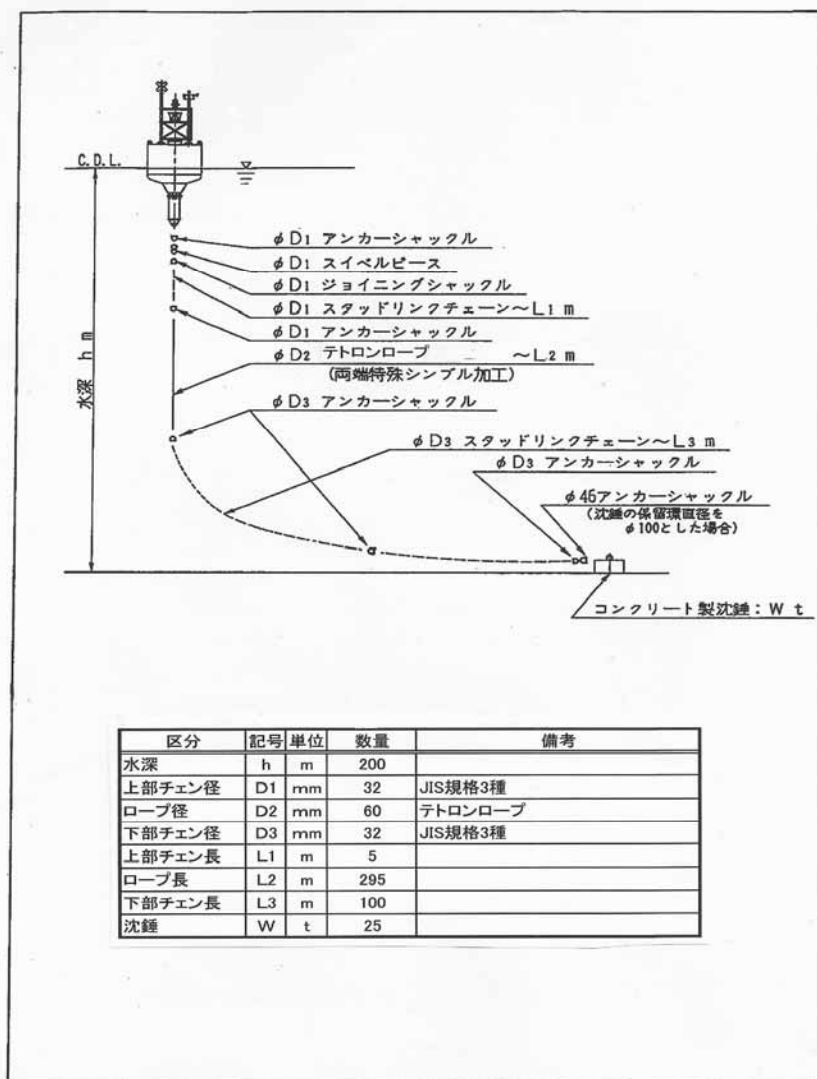


図 13 水深 200m の地点に設置する 4 年対応の係留索の例

設計には、過去の観測時の設計を参考にして、仮に以下の条件を与えて、4年後の残存安全率が3以上になるようにしてある。実際に設計を行う場合には、既往の波浪推算結果、波浪観測結果、風観測結果、海上保安庁の資料等を参照する必要がある。

最大有義波高	H (1/3)	= 9m
最大最高波高	H (max)	= 16m
波周期	T	= 13 秒
最大風速		50m/s
底質		砂

2年対応の場合、ロープやチェーンの構成は同じであるが、ロープとチェーンの接合部がやや簡単なものになる。これは、これまでの経験から、観測期間が長くなると、ロープやチェーン自体の摩耗よりも、接続部の摩耗が係留索の寿命を決定していることが分かっているからである。

接合部の磨耗、特にロープの接合部は金属環との長期接触があるためチェーンのように何年で何mm減耗するというデータは少なく、現在のところロープ係留の場合は接合部補強を施しても2年を標準とし、接合部補強加工しても経験的に設計可能年数は4年が限度であると判断される。

チェーンに関しては通常 JIS2 種が多用されるが、磨耗条件の厳しい部分は硬度の高い3種を採用する場合がある。チェーンを太くすることで強度を上げることは可能であるが、その分水中重量が増え、ブイの余裕浮力が小さくなる。ブイの型式があらかじめ決まっている場合は、係留索の軽量化設計を行なう場合もある。係留具の中間にロープを採用している場合はそのために、チェーンに相当する強度と信頼性が採用条件となる。ここでテトロン系ロープを採用しているのは、耐引張り強度、対磨耗性などの仕様が、海洋において長期使用するロープとしてもっとも優れているため、これ以外のロープはブイ係留索としては摩擦に弱く、1年以内の使用しかできない。

3-6 国土交通省のシステムとの連携について

沖合域における波浪観測システムが設置された場合の国土交通省のシステムとの連携の可能性及びその波及効果についてまとめる。

連携の可能性

沖合域における波浪観測システムの観測データはデータセンター（サーバー）に蓄積されるが、データの書式を国土交通省のナウファスシステムあるいは GPS 波浪観測システムと統一する等の処理を施すことによって、ナウファスシステムあるいは GPS 波浪観測システムのネットワーク観測所として一括して扱うことができる。

データの書式を統一することによって、多くのデータが一元的に管理され、データのより有効な活用（統計解析、予測解析等）が期待できる。

また、今後水産基盤整備事業で波浪状況を把握する必要性が生じた場合において、国土交通省のナウファスシステムあるいは GPS 波浪観測システムにおける観測点が当該事業海域に近い場合においては既存の国土交通省の観測システムを用いることで十分である場合もある。

波及効果

国土交通省のシステムとの連携により、1 地点での単独観測よりも波浪観測値を平面的に把握することができる。また、観測値に異常値が混入した場合も他の地点の観測値と比較することによって、異常であると判断することが容易になる。

4. システムに係る概算費用

想定されているズワイガニ増殖場造成工事の1工区の工事期間は4～8年程度であることより、ここでは4,6,8年の3つの工期を想定して、波浪計設置から撤去までに必要な費用(概算)を算出した。費用の内訳としては、設置・運用・撤去費用、障害に伴う費用、データ解析の費用であり、各種予測システムの開発費用は含んでいない。

概算費用算出に用いた前提を以下に示す。

- ・係留索(材質;テトロン系)は4年間使用できるものとする。設置4年後には、波浪観測ブイの回収、整備、係留索の交換、再設置作業が必要になる。
- ・6年観測の場合、後半は2年対応の係留索を用いる。
- ・波浪観測に加えて、風向・風速観測、流向・流速観測を行う。
- ・観測期間が長期の場合(5年以上)は、途中段階で風向・風速計、流向・流速計の全交換を行う。
- ・観測完了時には、ブイや観測機器の整備(保管)作業を行う。

(1) 設置・運用・撤去費用

概算費用一覧を表5に示す。なお、表に示した項目以外に次の費用が必要となる。なお、撤去作業においてはアンカー、係留索等を全て回収するものとする。

- ・システム管理のための担当者人件費
- ・データセンターの管理経費(事務所賃借費、光熱費、消耗品費等)

(2) 障害に伴う費用

想定される障害の種類と、対応に必要な概算費用を以下に示す。

なお、保険に加入した場合はブイ本体の損傷・紛失、係留索の損傷・紛失、海上局における観測機器(各種センサー)の損傷・紛失に伴う機器類の修理・新設、ブイの回収及び再設置に係る費用については保険によって補填されることより管理者の負担は無い。

ブイの漂流、回収、再設置

船舶安全法によると、海域は以下のように区分される。

[沿海区域] 概ね日本、サハリン及び朝鮮半島の各海岸から20海里以内

[限定沿海] 沿海区域のうち母港から2時間以内に往復できる区域

[近海区域] 東経175度、南緯11度、東経94度、北緯63度の線により囲まれた水域

設置予定海域で一番遠いところは陸域より約 50 海里であることより近海区域に対応した船舶を使用しなければならない。この範囲を想定すると、ブイの回収工事には 500 万円程度の予算が必要と考えられる（保険に加入している場合は発生しない）。

なお、保険に加入していない場合は再設置費用としては当初と同額の 2000 万円が必要となる。

データが配信されない，異常値が配信される

想定される障害と対応方法，必要な費用を表 6 に示す。

表中，海上局にかかる費用については保険に加入している場合は発生しない。

その他の障害の可能性

その他の事故としてブイの盗難被害が考えられる。盗難等によってブイが紛失した場合はブイ本体を含めた機器の再手配と再設置費用が必要となる。

保険に加入している場合は発生しない。

(3) データ解析費用

沖波算定，供用係数算定のための波浪の出現頻度統計，高波の順位統計，各種相関解析，極値統計等，標準的な統計解析の場合 300 万円～500 万円程度/回と想定される。

表5 単独測位方式GPS波浪計概算費用一覧(単位:千円)

単独測位方式GPS波浪計概算費用一覧(単位:千円)

区分	項目	基本仕様	設置年					合計	備考
			1年目	2年目	3年目	4年目	5年目		
4年	海上局	パイ本体	20,000						※1 流況計の固有精度は保証されない(註1) ※2 1ヶ月間、降水除去、内蔵湿度、湿度 ※3 1ヶ月間、降水除去、内蔵湿度、湿度 ※4 中継機は7ヶ月間稼働のみ ※5 設置時、撤去時許可申請書作成業務 ※6 陸揚機において数値、手帳、紙包、保管 ※7 陸揚機において撤去後、紙包、保管 ※8 陸揚機において撤去の廃棄業者で処分 ※9 船積積載のみで保守高後 ※10 基本子、ケーブル、消耗品、監視項目追加 ※11 流況計、風速計の高後、補修
		設置費	10,000						
		船積積載	1,500						
		風向・風速センサー	3,000						
		波高計(7ヶ月間稼働のみ)	3,000						
		ADSP(7ヶ月間稼働のみ)	3,000						
		システム監視カメラ	600						
		カメラ本体	600						
		ケーブル	1,000						
		ケーブル	4,000						
		ケーブル	300						
		ケーブル	20,000						
6年	海上局	パイ本体	20,000						※12 陸揚機撤去後、主要部品交換費 ※13 2年対応仕様 ※14 主要部品交換 ※15 全交換(但し、データ処理開発費は設置時のみ) ※16 全交換(同上) ※17 全交換(同上) ※18 ハードウェアアップ ※19 アップデート
		設置費	10,000						
		船積積載	1,500						
		風向・風速センサー	3,000						
		波高計(7ヶ月間稼働のみ)	3,000						
		ADSP(7ヶ月間稼働のみ)	3,000						
		システム監視カメラ	600						
		カメラ本体	600						
		ケーブル	1,000						
		ケーブル	4,000						
		ケーブル	300						
		ケーブル	20,000						
8年	海上局	パイ本体	20,000						※20 陸揚機撤去後、主要部品交換費 ※21 主要部品交換 ※22 全交換(但し、データ処理開発費は設置時のみ) ※23 全交換(同上) ※24 全交換(同上) ※25 ハードウェアアップ ※26 アップデート ※27 撤去後設置 ※28 4年目回収
		設置費	10,000						
		船積積載	1,500						
		風向・風速センサー	3,000						
		波高計(7ヶ月間稼働のみ)	3,000						
		ADSP(7ヶ月間稼働のみ)	3,000						
		システム監視カメラ	600						
		カメラ本体	600						
		ケーブル	1,000						
		ケーブル	4,000						
		ケーブル	300						
		ケーブル	20,000						

注1:固有の精度は流速1~2cm/s、流向1°であるが、パイに搭載された場合、波高が高いほど精度が悪くなる。流速30%程度、流向45°(67%分働)程度である。
注2:波浪計の予備機を消費した場合は、4年目の工事費は、撤去、設置合わせて2000万円となる。

システム障害の種類と対応策、必要な費用（その1）

症状	発生場所	発生推定箇所	推定原因	推定分析	現場対処可否	正常に戻すための方法	各復旧費用	
観測データと灯火監視情報が全く配信されない	海上局(ブイ)	ブイが沈没または破損	大型船舶の衝突	機器等の周囲は閃光で孤立した浮体のため沈まない、大きな衝撃による破壊が、引き込みの可能性が高い。	×	発見すれば回収～陸揚げとする。費用は状態による。	見積	
		通信アンテナの障害	大型船舶の部分衝突、高波浪等による破損	波浪計ラインとは別系統の消灯警報の情報はアンテナ破損が考えられる。	○	ブイ上でアンテナの仮交換をおこなない正常に通信できれば交換する。	200万円	
		通信ケーブルの障害	高波浪等による破損、接触不良	波浪計ラインとは別系統の消灯警報の受信もなければ通信ケーブルの断線、破損が考えられる。	○	障害ヶ所が確認できればブイ上でケーブルの交換を行う。	200万円	
		通信制御装置内部の障害	部品不良、雑音等の印加、CPUの暴走、異常電圧の負荷	この時点から次の観測時刻で再起動しななければ制御装置自体の再チェックが必要。	×	発見すれば回収～陸揚げとする。費用は状態による。	500万円	
		電気通信系統の障害	接続部の接触不良	コネクタ類、端子部のゆるみによる接触不良から断線。固定方法の問題はなかったか。	○	臨時点検で障害ヶ所が確認できればブイ上で補修、交換を行う。	200万円	
		電線ラインの障害	電線ケーブルの切断、接触不良	波浪計ラインとは別系統の消灯警報の受信もなければ電線ケーブルの破損が考えられる。	○	臨時点検で障害ヶ所が確認できればブイ上で補修、交換を行う。	200万円	
		電源装置の障害	ソーラーパネルの破損	蓄電池からの電力消費が進み、次第に電圧値が低下してくるとこの可能性が高い。	○	臨時点検で障害ヶ所が確認できればブイ上で補修、交換を行う。	200万円	
		サーバーの障害	サーバー供給側の管理ミス	定期保守による一時的システム停止の予告の有無。	○	サーバー側対応。	0円	
		受信PCの障害	内部要因 (OS、プログラム障害)	他のクライアントは正常に受信できていたら当該PCに異常あり。	○	メーカー修理。	見積	
		HP用PCの障害	内部要因 (OS、プログラム障害)	他のクライアントは正常に受信できていたら当該PCに異常あり。	○	メーカー修理。	見積	
		システムソフトの障害	外部要因 (新型ウイルス等)	ウイルス対策ソフトの不備あるいは新型ウイルスに感染した可能性。	○	メーカー修理。	見積	
		衛星システム	衛星システム	衛星自身の障害	衛星通信会社より報告の義務あり。あるいは予告の有無を確認する。	○	ブイでデータが作られていれば通信端末が次の送信時刻まで保持する。	0円
				地球局～管制局の障害	衛星通信会社より報告の義務あり。あるいは予告の有無を確認する。	○	重篤な障害以外は復旧までの主要時間情報が比較的早く入る。	0円
				ネットワーク環境の障害	専用GCCからユーザー側ネットワークに渡す際の障害、通信ログの有無を確認する。	○	重篤な障害以外は復旧までの主要時間情報が比較的早く入る。	0円

保険加入の場合、海上局に係る費用は発生しない

表 6-2 システム障害の種類と対応策及び費用(2)

システム障害の種類と対応策、必要な費用(その2)

症状	発生場所	発生推定箇所	推定原因	推定分析	現状対処可否	正常に戻すための方法	各復旧費用
受信データの全てが9999と表示される	海上局(ブイ)	GPSアンテナ、ケーブル、波浪演算装置	GPSアンテナ、ケーブルが破損、または切断された GPSデータが取れていないためデータが作られない	外的な要因による破損の可能性が高い。 波浪演算ソフトはGPSデータが入って始めて演算を行うプログラムになっている。 波浪演算装置へのデータ入力以前の段階である。	○	ブイ上でアンテナの取換えを行い、正常に通信できれば交換する。 制御ソフトが原因であれば1日1回リアルタイムクロックが時刻校正を行うため再起動がかかり、最大1日以内に正常な状態に戻る。 スパイク雑音等一過性のものであれば、次の時刻で戻るように設計されている。	200万円
受信データの日時、ブイの位置、電圧は表示されるが、波浪データが9999となる。	海上局(ブイ)	波浪演算装置	GPSデータは受信しているが波浪演算がされていない	GPS衛星の飛来数や捕捉数が足りないために波浪演算ソフトでの計算が成立しない。	○	制御ソフトが原因であれば1日1回リアルタイムクロックが時刻校正を行うために再起動され、最大1日以内に正常に戻る。 スパイク雑音等一過性のものであれば、次の時刻で戻るように設計されている。	0円
受信データのうち波高や周期等の波浪データの値が、以上に大きい(小さい)。	海上局(ブイ)	波浪演算装置	GPSデータは受信しているが波浪演算が適正にされていない。	GPS衛星の飛来数や捕捉数が足りないために波浪演算ソフトでの計算が成立しない。	○	受信データの前後のデータと比較して明らかに不自然な数値の場合は、一過性の雑音の影響していることが多い。次々回くらしいに正常なデータを送るよう設計されている。このような状態が続くようであれば、陸上からコマンドを送り、リセット、再起動をかける。	0円

注) 9999 データは異常値を示す

保険加入の場合、海上局に係る費用は発生しない

5. まとめ

[施工管理の現状と課題]

- ・現状の施工管理（工程計画の策定，施工の可否判断）においては主としてナウファスによる沿岸波浪観測情報や，気象予測情報等が利用されているが，波浪観測点が工事海域と離れている場合には観測データは参考程度にしか利用されておらず，よりの確な管理のためには工事海域近辺における観測データが必要と考えられている．

[沖合波浪観測システムの利用目的・課題]

- ・沖合波浪観測システムは，施工管理への利用を主たる目的とするが，長期間に亘る観測データの蓄積と解析により設計波や供用係数を算定することも出来る．
- ・施工管理については当該海域の情報の取得により，よりの確な管理が行えると考えられるが，必要不可欠なものではなく既往の情報提供システム等の利用によっても施工管理を行うことは可能と考える．
- ・一方、施工管理を行うためには現況データの提供のみでなく当該水域を対象として，観測データに基づいた波浪予測を行うことが重要となる．
- ・また，施工管理においては沖合波浪観測システムからのデータのみでなく，気象庁の 72 時間波浪予測情報や気象予測情報等も含めて総合的に判断する必要がある．
- ・また，設計波の算定により当該水域近辺及び沿岸部における魚礁・漁港施設等の設計において適切な設計条件を与えることができるが，この目的のためには 5～10 箇年程度の継続的観測が必要となる．
- ・波浪観測データから供用係数の算定を行う場合は 5 箇年程度の継続的観測が必要となる．

[既往の情報提供システム等の利用について]

既往の情報提供システムについては以下のシステムの利用があげられる．

- ・ 気象庁の沿岸波浪計，国土交通省のナウファス，GPS 波浪計の実況値
- ・ 気象庁や気象情報提供会社が提供する気象実況，気象予報，波浪予測情報

工程計画の策定，工事可否判断，避難・退避判断等の施工管理を行う場合はこれらの情報を適宜取得し管理者が判断することとなるが，当該水域の現況データが得られないという課題がある。

当該水域の現況あるいは直近のデータを得ることは当日あるいは短期の管理のためには非常に有効であり，これらの情報を得るための方策としては以下があげられる．

- ・ 運航会社との連携による当該水域を航行するフェリー，貨物船等からの取得
- ・ 漁業協同組合との連携による当該水域で操業している漁業者等からの取得

[沖合波浪観測システム設置・運用の概算費用総額]

- ・ 施工管理への利用
 - 工期 4 年の場合：1 億 1326 万円
 - 工期 6 年の場合：1 億 8484 万円
 - 工期 8 年の場合：2 億 252 万円
- ・ 設計波，供用係数の算定
 - 5 年観測の場合：1 億 7800 万円
 - 10 年観測の場合：2 億 5910 万円

[沖合波浪観測システムの設置基数]

- ・ 増殖場造成事業は 4 漁場で予定されており，対象海域は広域（東西約 330km、南北約 130km）にわたっている。各漁場の海象は異なることが予想されることより，よりの確な管理をおこなうためには各漁場に最低 1 基、計 4 基の設置が必要となる。

資料・参考文献

1 . 簡易型 GPS 波浪計の設置実績と津波の早期検知システムの費用

[簡易型 GPS 波浪計の設置実績]

簡易型 GPS 波浪計の設置実績（設置場所，観測目的，観測主体，観測期間，開発費（販売価格），運用費，障害実績等）を表 1 に示す．

[津波の早期検知を目的とする場合のシステム構成，費用について]

津波の早期検知を目的とした観測では，要求精度は 1 ～ 数 cm であり，かつ常時観測が必要となる．このため，鉛直方向の水位変動を簡易型 GPS 波浪計よりも精度良く測定する国土交通省の GPS 波浪観測システムと同様のシステム構築が必要となるが，国土交通省の GPS 波浪観測システムに要する費用は初期費用のみを比べても簡易型 GPS 波浪計の費用の約 3 ～ 4 倍の 2 ～ 3 億円となっている．

これより，津波を沖合で早期検知することは費用面での課題が多いと判断される．

表1 単独測位GPS波浪計設置実績

No	品名	タイプ	目的	観測主体	観測場所	離岸距離	水深	観測項目	観測期間	開発費用	運用費用(月)	備考
1	セオパック	既存ブイ取付け型	比較計測 現用波浪ブイに併設	JAXA 宇宙航空研究開発機構	紀淡海峡 (ZDB-250HW上)	淡路島東方 約10km	約40m	年月日時・ブイ位置 波高(有義・最大・1/10) 波向(有義・最大・1/10) 周期(有義・最大・1/10)	2002.8	500万	2週間のデータ ログー記録のため 運用費なし	記録式
2	係留ブイ	φ1.2m小型ブイ	波浪観測	気象庁	室戸岬	室戸岬南方 約5km	約90m	年月日時・ブイ位置 波高(有義・最大・1/10) 波向(有義・最大・1/10) 周期(有義・最大・1/10) 波数・電圧	2003.3~4	1000万	設置1週間後船舶 衝突のため回収	ドコモパケット通信
3	セオパック	既存ブイ取付け型	航路ブイ搭載 検証実験	JAXA・海保 気象協会	東京湾第二海堡	約5km	約20m	年月日時・ブイ位置 波高(有義・最大・1/10) 波向(有義・最大・1/10) 周期(有義・最大・1/10) 波数・電圧	2003.6	400万	20万	ドコモパケット通信
4	漂流ブイ	外洋漂流式	波浪計測 (超音波比較検証)	JAXA	鹿島港沖	約5km	約20m	年月日時・ブイ位置 波高(有義・最大・1/10) 波向(有義・最大・1/10) 周期(有義・最大・1/10) 波数・電圧	2004.10	600万	2万	通信衛星
5	漂流ブイ	外洋漂流式	波浪計測 短波レーダ比較検証	NICT 情報通信研究機構	沖繩	石垣沖 約5km ¹⁾	—	年月日時・ブイ位置 波高(有義・最大・1/10) 波向(有義・最大・1/10) 周期(有義・最大・1/10) 波数・電圧・波形	準備中	800万	—	通信衛星
6	セオパック	既存ブイ取付け型	航路ブイ搭載	海保試験研究センター JAXA/気象協会	久里浜沖	約5km	約40m	年月日時・ブイ位置 波高(有義・最大・1/10) 波向(有義・最大・1/10) 周期(有義・最大・1/10) 波数・電圧・風向・風速	2005.12 ~2006.2	600万	2万	ドコモパケット通信
7	漂流ブイ	外洋漂流式	外洋波浪計測	JAXA・気象庁	太平洋	太平洋	—	年月日時・ブイ位置 波高(有義・最大・1/10) 波向(有義・最大・1/10) 周期(有義・最大・1/10) 波数・電圧	2006.7~8	500万	2万	通信衛星 (波高10m観測)
8	漂流ブイ	外洋漂流式	外洋波浪計測	中央水産研究所	太平洋	太平洋	—	年月日時・ブイ位置 波高(有義・最大・1/10) 波向(有義・最大・1/10) 周期(有義・最大・1/10) 波数・電圧	2007.8~	300万 (販売)	—	通信衛星
9	セオパック	既存ブイ取付け型 伊勢湾2号ブイに搭載	波浪情報	海上保安庁	伊勢湾口	神島沖 約5km	約50m	年月日時・ブイ位置 波高(有義・最大・1/10) 波向(有義・最大・1/10) 周期(有義・最大・1/10) 波数・電圧・風向・風速	2007.3~	300万 (販売)	5000円	ドコモパケット通信 (波高7m観測)
10	セオパック	既存ブイ取付け型 黒潮牧場ブイに搭載	波浪観測	気象庁	高知沖	高知港沖 約27 ²⁾ km	約50m	年月日時・ブイ位置 波高(有義・最大・1/10) 波向(有義・最大・1/10) 周期(有義・最大・1/10) 波数・電圧	2007.4~	300万 (販売)	2万	通信衛星 (波高15m観測)

* 開発費用の欄に(販売)とあるのは、販売時の価格を示す。

2. 中・遠距離フェリーにおける運航管理

参考のため、中・遠距離フェリーにおける運航管理の現状をヒアリング調査した。結果を表2に示すが概略的には次のようにまとめられる。

欠航基準 ; 風速, 波高, (視程距離) によって定められており, 規程値は,
風速 ; 18 ~ 22m
波高 ; 4 ~ 5m

入手情報 ; 気象庁から提供される気象予測, 波浪予測が主たる入手情報であり, 一部民間有料サイトからも情報を入手している。また, 遠距離フェリーでは航海中の別船舶からの情報が活用されている。

欠航決定権 ; 多くの場合船長が決定権を持っているが, 港長や保安部からの指示がある場合はそれに従っている。

表2 中・遠距離フェリーにおける通航基準

中・遠距離フェリーにおける通航管理

NO	運航会社	運航区間	時間 (概数)	欠航基準	入手情報	欠航決定手続き他
1	青森フェリー	青森～函館	4	風速 25m 波高 5m	気象予報 波浪予測 (ネット情報) 民間有料 (国際気象海洋)	船長の判断による 運航管理者による指示はない
2	新日本海フェリー	小樽～新潟～舞鶴	2.0	風速 22m 波高 5m 視程 1000m	気象予報 波浪予測 (ネット情報) 民間有料 (ハレックス) 米軍台風警報センター 航海中の別船舶からの情報	船長と運航管理者の協議によるが、最終的には船長の判断に従う 航海途中での気象変化時は避難港に退避する
3	商船三井フェリー	苫小牧～大洗	1.8	風速 18m 波高 5m 視程 1000m	気象予報 波浪予測 (ネット情報) 航海中の別船舶からの情報	船長と運航管理者の協議によるが、最終的には船長の判断に従う 港長からの指示がある場合は、それに従って待機する 航海途中での気象変化時は避難港に退避する
4	佐渡汽船	新潟～直江津～佐渡	2.5	風速 20m 波高 4m	気象予報 気象庁波浪予測	船長の判断による 運航管理者による指示はない
5	マルニーマリアー	東京～奄美～那覇	4.8	基準はない	気象予報 波浪予測 (ネット情報) 航海中の別船舶からの情報	運航管理者が決める 海保からの避難勧告がある場合は、それに従って退避する 台風時以外では欠航等の問題は少ない
6	東海汽船	東京～八丈島	1.0	具体的数値は無い	気象予報 波浪予測 (ネット情報) 航海中の別船舶からの情報	前日夕方における現地港内 (八丈島) のうねり、波高を基に船長、運航管理者が協議して決定 航海途中で引き返すこともある
7	隠岐汽船	七瀬～境～隠岐	1.5	風速 20m 波高 4.5m 視程 1000m	地方気象台への問い合わせ (毎朝) 気象予報 波浪予測 (ネット情報)	船長と運航管理者の協議によるが、最終的には船長の判断に従う
8	九州郵船	博多～対馬	4.5	風速 20m 波高 5m	気象予報 波浪予測 (ネット情報)	船長の判断による 運航管理者による指示はない
9	九州商船	長崎～五島	4.5	風速 20m 波高 5m	気象予報 波浪予測 (ネット情報)	船長の判断による 運航管理者による指示はない

3. アンケート・ヒアリング結果

表 3-1 スワイガニ増殖場造成事業事業者及び施工業者からのヒアリング・アンケート結果(1)

スワイガニ増殖場造成事業実施及び予定府県等からのアンケート・ヒアリング結果(その1)

設 問	兵庫県	鳥取県	兵庫県馬場水産事務所	京都府水産事務所	兵庫県(中村組)	兵庫県(伊藤組)	鳥取県	
1	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施工中、施工済みの魚籠設置工事場所について ・ 魚籠設置関係工事計算基準の準拠を適用し、原則 $\alpha=1.65$ である(8~10月)、それ以外の月は工期外としている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 沖合 3km 程度 ・ 水深 100m 程度 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 沖合 40km 程度 (最大) ・ 水深 320m 程度 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 沖合 26km 程度 ・ 水深 270m 程度 (スワイガニ増殖場設置工事想定) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 沖合 34km 程度 ・ 水深 260m 程度 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 沖合 25km 程度 ・ 水深 280m 程度 	<ul style="list-style-type: none"> ・ A 社 沖合 5km 程度(水深 50m 程度) ・ B 社 沖合 20km 程度(水深 45m 程度) ・ C 社 沖合 7km 程度(水深 120m 程度) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鳥取県
2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 費用係数の設定について 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 漁港施設関係工事計算基準の準拠を適用し、原則 $\alpha=1.65$ である(8~10月)、それ以外の月は工期外としている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 近隣港域のものを用いている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ランク 9 ($\alpha=3.70$) で設定。 		<ul style="list-style-type: none"> ・ 鳥取県 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鳥取県 	
3	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工事の施工、施工管理に気象・海象情報を活用しているかどうか、またその入手方法について 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 利用している ・ インターネット(サイト名)：Yahoo! 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 利用している ・ テレビの気象情報 ・ インターネット(サイト名)：気象庁、海上保安庁 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 利用している ・ テレビの気象情報 ・ インターネット(サイト名)：気象庁、海上保安庁 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 利用している ・ インターネット(気象庁、国際気象海洋株式会社) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 利用している ・ インターネット(国際気象海洋株式会社) ・ 携帯サイト(海上保安庁気象情報) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鳥取県 	
4	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人手した情報の活用方法について ・ 現状における施工可否の判断基準について(施工中止の場合の判断基準) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工事箇所に適用可能な情報があれば利用できる ・ 業者の自主判断で、施工計画書の規定により気象条件が一定値を超えた場合、工事を中止する等の対応を取っている ・ 県の対応としては、台風等の災害が予測される場合には工事の中止を含めた気象情報の強化を指導することがある ・ 業者が行う保安署との協議の中で決定されることがある 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 風速 10ms 以上、または波高 1.5m 以上、または波程 1km 未満以上の時に工事を中止する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 風速 8ms 以上、または波高 1.5m 以上の時に工事を中止する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 波高 1.5m 以上の時に工事を中止する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ A 社 波高 1m 以上、風速 10ms 以上、波程 1km 未満 ・ B 社 波高 2m 以上、風速 10ms 以上、波程 1km 未満 ・ C 社 波高 1.5m 以上 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鳥取県 	
5	<ul style="list-style-type: none"> ・ インターネット公開による、柴山、鳥取、現港、浜田(国土交通省)、総ヶ沖(気象庁)の波象観測情報について 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 利用している ・ 設計の基礎資料として利用することがある 					<ul style="list-style-type: none"> ・ A 社 利用していない(施工海域の情報ではない) ・ B 社 利用していない(施工海域の情報ではない) ・ C 社 初めて知った。今後利用したい(データを分析し、施工に役立てたい) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鳥取県
6	<ul style="list-style-type: none"> ・ 気象庁の 72 時間波象予測情報について 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 利用しており、役立っている。 ・ 概況を知る上でよく利用している。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 利用している 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 利用している 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 利用している 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 利用している 	<ul style="list-style-type: none"> ・ A 社 利用している(船舶移動工程を紐む上で役立っている) ・ B 社 利用している(施工工程管理に利用している) ・ C 社 初めて知った。今後利用したい(よりよい施工管理に繋がると思う) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鳥取県
7	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現在入手できる気象・海象情報について 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現在入手し得る情報だけでは十分とは言えないが、これ以上の気象・海象情報の収集には限界があると感じている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 出港してから現地まで 5 時間程度かかるので、船舶航行の安全のためにより精度の高い気象・海象予測が望ましい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 気象・海象情報は十分である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 波象予測は 20cm 単位くらいの詳細な表示をして欲しい。 ・ 流速や向流の予測も欲しい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 気象・海象情報は十分である 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現在入手できる情報だけでは十分ではなく、もっと詳細な情報が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鳥取県

*鳥取県 A: 東部の施工業者 C: 西部の施工業者

ズワイガニ増殖場造成事業実施及び予定府県等からのアンケート・ヒアリング結果(その2)

(2/2)

設 問	兵庫県	鳥取県	兵庫県伊豆水産事務所	京都府水産事務所	兵庫県(中村組)	兵庫県(伊藤組)	島根県
8	<p>・水 GPS 波浪計は水深数1~数mの沖合に設置が可能であるが、その利用価値について</p>	<p>・浴出には潮位計、海象計が設置されているが、沖合の観測記録は少ないので、波浪、潮流、風向、風速等のデータがあれば波浪推算、高潮計算等の基礎資料としても利用可能であると考えられる。</p>	<p>・まさに魚籠設置海域における情報が得られると思う。</p>	<p>・当該海域の情報が得られることより利用価値が高い。</p>	<p>・当該海域の情報が得られることより利用価値が高い。</p>	<p>・あることが望ましいが、現状で入手できる情報でも代替できる。</p>	<p>・A社 施工海域の情報が得られるので利用価値は高い。 ・B社 観測精度が高ければ利用できる。 ・C社 利用価値は高い。</p>
9	<p>・沖合における波浪観測情報が常時把握されること、観測に必要な情報について</p>	<p>・魚籠の安定計算に必要な潮流、沖波波高等データが蓄積された場合は利用したい。 ・魚籠、漁網作業に高潮、津波情報を利用できるなら利用したい。 ・現状潮位が即時入手できるなら利用できる。</p>	<p>・波浪、波向、潮流、風向・風速</p>	<p>・波浪、潮流、風向・風速</p>	<p>・波浪、潮流、風向・風速</p>	<p>・波浪、波向、潮流、風向・風速</p>	<p>・波浪、波向、潮流、風向・風速観測情報、気温、気圧、風向、風速の情報が必要である。</p>
10	<p>・沖合における波浪観測情報が常時把握できる場合、適切な情報の入手頻度について</p>	<p>・1~2時間に1回</p>	<p>・1日に1回</p>	<p>・1日に1回</p>	<p>・1~2時間に1回</p>	<p>・1日に1回</p>	<p>・1~3時間に1回</p>
11	<p>・沖合における波浪観測情報が常時把握される場合、望まれる波浪の精度について</p>	<p>・10cm程度の精度</p>	<p>・精度はできるだけ高い方がいい</p>	<p>・精度はできるだけ高い方がいい</p>	<p>・10cm程度の精度</p>	<p>・50cm程度の精度</p>	<p>・数10cm程度の精度</p>
12	<p>・今後インターネットや携帯端末から沖合における波浪観測情報が入手できること、利用するかどうか その場合、どのように利用し、現在と比べてどのようになっているか が改善され、便利になると思われる点について</p>	<p>利用する ・計画工程、週間予定を立案する時に利用する。 ・2、3日前に工事予定を決定する時に利用する。 ・当日の工事決定する時に利用する。 ・その日の内でも午前、午後の工事を決定する時に利用する。</p> <p>改善点・利点 ・今まで十分でなかった気象・海象情報を補うことができる。計画の立案について、経験や勘に頼っていた部分があるが、科学的根拠を持って対応することが可能となる。そのため、無駄な観測に出ることの削減、無駄な観測に出しまつたがための無駄な労力、設備の危険が軽減される。そして、それらは安全な施工、精度の高い管理につながる。</p>	<p>利用する ・作業の安全性が向上し、工程管理が円滑に行われる。</p>	<p>利用する ・より正確な情報が入手でき、出航計画が立て易くなる。</p>	<p>大いに利用する ・海上工事の作業工程決定に利用。 ・不意の気象変化による海上事故が突然に防げる。</p>	<p>利用する ・海上工事の作業工程決定に利用。 ・不意の気象変化による海上事故が突然に防げる。</p>	<p>利用する ・魚籠沈没を予防する場、前夜・早朝・出港時・施工時・帰港時に利用する。 ・作業可否の判断に利用する。</p> <p>改善点・利点 ・現在船長の経験に基づいて行っている作業可否の判断がより明確に行え、作業の施工性、安全性が向上する。 ・出戻り等が低減される。 ・現在は予報しかなく、しかも対象範囲が広い。ため、工事海域に必ずしも使える情報とは限らない。</p>

*島根県 A：東部の施工業者 C：西部の施工業者

表 3-3 アンケート・ヒアリング結果のまとめ

魚礁設置施工者に対するアンケート・ヒアリングのまとめ

回答	質問 1	質問 2	質問 3
① A 社	<p>ナウファアスの波浪実況情報等を活用されていますか？ 活用されている場合、どのように活用されていますか？</p> <p>→ 活用している (NOWPHAS)</p> <ul style="list-style-type: none"> ナウファアスの実況値は、作業可否判断等、施工の際の情報の一つとして活用したいと考えている。 ナウファアスの過去のデータ (確定値) は、作業船の稼働率の評価等施工計画策定に用いている。 	<p>波浪実況情報は御社の業務にどのような利点がありますか？</p> <p>・海上工事の場合は、作業可否判断が安全面や経済面で非常に重要である。</p> <p>・合理的な作業計画の策定を行うためには波浪データは必要不可欠である。</p>	<p>今後展開が予定されている GPS 波浪計 (水深数 100m の海域：東北ではすでに設置されている) の観測値が入手できた場合、どのような利点があると思われますか？</p>
② B 社-1	<p>→ 活用している (NOWPHAS)</p> <ul style="list-style-type: none"> ナウファアスの定時データを数年間記録し、総合評価における工期設定に活用したことがある。(浜田港) 		
③ B 社-2	<p>→ 活用している。(日本気象協会の波浪予測)</p> <ul style="list-style-type: none"> 当該海域のピンポイント情報を得て翌日の作業可否の参考にしていて、また、現場内に波浪計を設置している。 現場では現況目視及び海象予報により判断しており、現場から離れた NOWPHAS の実況観測値が入手できても作業可否実際の判断には余り参考にならない。 		
④ B 社-3	<p>→ 活用している (NOWPHAS)</p> <ul style="list-style-type: none"> 当日の波浪の現況及び変化傾向 (気圧配置により) を把握するため。 工期に対しての稼働率評価と、今後の稼働率想定に利用。 工程算定に利用。 台風の接近時等において、他の観測点のデータからその規模の推定に利用。 	<p>・工事の工程計画において稼働率等が把握できる。</p> <p>・日々の作業開始において可否の判断材料になる。</p>	<p>・工事現場に近い場所に設置されていれば、波浪の傾向等は把握できる。</p>
⑤ B 社-4	<p>→ 活用している (潮流実況、波浪予測等)</p> <ul style="list-style-type: none"> 土運船での土砂投入工事に関しては、潮流 (方向・速さ) を考慮し、土運船の投入位置を微調整できる。 波浪予測により、工事中止の判断基準をした。 リアルタイム潮流データを施工時に活用した。 	<p>・波浪実況情報のみで特定すると、利用価値は少ないと思われるが、気象海象予報と組み合わせれば利用価値は高まる。</p> <p>・小規模工事で、独自の予想 (天気図等からの判断) に頼らなければならぬ場合、工事中止判断基準について利点があると思う。現場で容易に情報が入手できることが望ましい。</p>	<p>・波浪観測値のみの情報であれば、特に利点は思いつかない。</p>
⑥ B 社-5	<p>→ 活用している (海上保安部の情報)</p> <ul style="list-style-type: none"> 工事中止判断等の運営の参考にしている。 	<p>・工事現場の海域における観測情報及び予報があれば有効に利用できるかと考える。</p>	<p>・工事現場が沿岸なので、外洋の情報は余り参考にしていない。</p>
⑦ B 社-6			<p>・天候急変を早期把握し作業中止や船舶避難等に利用できる。</p> <p>・津波の予測情報が出されたら活用できる。</p>
⑧ B 社-7	<p>→ 活用している (NOWPHAS)</p> <ul style="list-style-type: none"> 日単位、時単位の波浪状況の確認。 	<p>・工事現場所轄上での作業可否、予定 (作業内容変更等) の決定。</p>	<p>・観測値を用いることによって、数日・数時間後の波浪状況がより正確に予報できるのであれば、現場において効果がある。</p>
⑨ B 社-8	<p>→ 活用している (NOWPHAS, 他機関の予報)</p> <ul style="list-style-type: none"> 現場作業の可否の判断材料にしている。 	<p>・時化の間には作業できない作業・できない作業を調整できる。</p> <p>・避難・養生を速やかにできる。</p>	<p>・波浪観測点の沖合にあると、波浪変形のないより正確な情報が入手できる。</p>

4. ナウファス設置点

平成17(2005年)9月6日 作成

整理番号	地点名	地点CODE	波高計					波向計				
			機種	水深(m)	設置高(m)	北緯(WGS)	東経(WGS)	機種	水深(m)	設置高(m)	北緯(WGS)	東経(WGS)
1	留萌	604	海象計	49.8	0.8	43° 51' 59"	141° 28' 07"	海象計	49.8	0.8	43° 51' 59"	141° 28' 07"
2	石狩新港	611	海象計	22.4	1.6	43° 14' 55"	141° 16' 44"	海象計	22.4	1.6	43° 14' 55"	141° 16' 44"
3	瀬棚	603	U S W	52.9	0.8	42° 26' 39"	139° 49' 03"	CWD	20.0	2.7	42° 26' 00"	139° 49' 58"
4	深浦	201	U S W	51.0	1.9	40° 39' 34"	139° 54' 42"					
5	秋田	101	U S W	29.4	2.3	39° 44' 16"	140° 00' 26"	CWD	29.4	2.8	39° 44' 16"	140° 00' 26"
6	酒田	102	U S W	45.9	1.2	39° 00' 31"	139° 46' 45"	傾斜計	45.9	—	39° 00' 31"	139° 46' 45"
7	新潟沖	112	海象計	34.5	1.2	38° 00' 17"	139° 07' 34"	海象計	34.5	1.2	38° 00' 17"	139° 07' 34"
8	直江津	114	海象計	32.7	1.2	37° 14' 09"	138° 16' 25"	海象計	32.7	1.2	37° 14' 09"	138° 16' 25"
9	富山	115	海象計	20.0	1.2	36° 46' 40"	137° 12' 18"	海象計	20.0	1.2	36° 46' 40"	137° 12' 18"
10	伏木富山	113	海象計	46.4	1.2	36° 49' 15"	137° 04' 29"	海象計	46.4	1.2	36° 49' 15"	137° 04' 29"
11	輪島	105	海象計	52.0	1.2	37° 25' 51"	136° 54' 08"	海象計	52.0	1.2	37° 25' 51"	136° 54' 08"
12	金沢	106	海象計	21.1	1.2	36° 36' 50"	136° 34' 03"	海象計	21.1	1.2	36° 36' 50"	136° 34' 03"
13	敦賀	116	U S W	18.8	1.3	35° 41' 17"	136° 04' 36"					
14	柴山	310	海象計	41.1	0.5	35° 40' 17"	134° 40' 37"	海象計	41.1	0.5	35° 40' 17"	134° 40' 37"
15	柴山(港内)	313	U S W	11.1	0.5	35° 39' 32"	134° 39' 58"					
16	鳥取	304	海象計	30.9	0.5	35° 33' 16"	134° 09' 41"	海象計	30.9	0.5	35° 33' 16"	134° 09' 41"
17	境港	312	U S W	12.0	1.5	35° 31' 56"	133° 16' 36"					
18	浜田	305	海象計	50.1	0.9	34° 54' 19"	132° 02' 11"	海象計	50.1	0.9	34° 54' 19"	132° 02' 11"
19	盛島	406	海象計	21.1	0.6	34° 00' 43"	130° 47' 35"	海象計	21.1	0.6	34° 00' 43"	130° 47' 35"
20	玄界灘	405	海象計	39.5	1.8	33° 56' 02"	130° 28' 05"	海象計	39.5	1.8	33° 56' 02"	130° 28' 05"
21	伊王島	404	U S W	31.9	1.7	32° 42' 59"	129° 45' 15"	CWD	31.9	2.5	32° 42' 59"	129° 45' 15"
22	名瀬	402	U S W	54.6	0.6	28° 27' 07"	129° 31' 18"					
23	那覇	702	U S W	52.9	1.5	26° 15' 28"	127° 38' 52"	CWD	38.4	1.5	26° 15' 41"	127° 39' 22"
24	紋別(南)	609	海象計	52.6	0.8	44° 19' 04"	143° 36' 25"	海象計	52.6	0.8	44° 19' 04"	143° 36' 25"
25	釧路	613	海象計	50.1	0.9	42° 54' 38"	144° 23' 50"	海象計	50.1	0.9	42° 54' 38"	144° 23' 50"
26	十勝	607	海象計	23.0	0.9	42° 39' 06"	143° 41' 08"	海象計	23.0	0.9	42° 39' 06"	143° 41' 08"
27	苫小牧	602	海象計	50.7	0.9	42° 32' 39"	141° 26' 46"	海象計	50.7	0.9	42° 32' 39"	141° 26' 46"
28	むつ小川原	202	U S W	43.8	0.9	40° 55' 30"	141° 25' 27"	CWD	27.8	2.6	40° 55' 12"	141° 24' 44"
29	八戸	203	U S W	27.7	1.9	40° 33' 39"	141° 34' 06"	CWD	27.7	3.1	40° 33' 39"	141° 34' 06"
30	久慈	219	海象計	49.5	1.1	40° 13' 04"	141° 51' 36"	海象計	49.5	1.1	40° 13' 04"	141° 51' 36"
31	釜石	204	U S W	49.8	0.9	39° 15' 54"	141° 56' 06"					
32	石巻	218	海象計	20.8	0.5	38° 20' 49"	141° 15' 16"	海象計	20.8	0.5	38° 20' 49"	141° 15' 16"
33	仙台新港	205	U S W	21.3	3.2	38° 15' 00"	141° 03' 58"	CWD	21.3	3.5	38° 15' 00"	141° 03' 58"
34	相馬	214	U S W	17.1	1.7	37° 51' 28"	140° 58' 52"	CWD	17.1	2.8	37° 51' 28"	140° 58' 52"
35	小名浜	206	海象計	23.8	1.6	36° 55' 04"	140° 55' 18"	海象計	23.8	1.6	36° 55' 04"	140° 55' 18"
36	常陸那珂	209	U S W	30.3	3.0	36° 23' 42"	140° 39' 12"	CWD	30.3	3.0	36° 23' 42"	140° 39' 12"
37	鹿島	207	U S W	24.0	2.8	35° 53' 55"	140° 45' 14"	CWD	24.0	3.5	35° 53' 55"	140° 45' 14"
38	第二海堡	217	海象計	28.8	0.7	35° 18' 13"	139° 44' 52"	海象計	28.8	0.7	35° 18' 13"	139° 44' 52"
39	アシカ島	901	U S W	21.7	1.0	35° 12' 38"	139° 44' 06"					
40	波浮	212	U S W	48.3	1.0	34° 40' 35"	139° 27' 08"	CWD	29.7	2.5	34° 40' 31"	139° 26' 19"
41	下田	504	U S W	51.1	1.0	34° 38' 48"	138° 57' 11"					
42	清水	505	海象計	51.8	0.6	35° 01' 16"	138° 32' 05"	海象計	51.8	0.6	35° 01' 16"	138° 32' 05"
43	御前崎	501	海象計	22.8	0.6	34° 37' 17"	138° 15' 33"	海象計	22.8	0.6	34° 37' 17"	138° 15' 33"
44	伊勢湾	506	海象計	26.9	0.5	34° 55' 12"	136° 44' 25"	海象計	26.9	0.5	34° 55' 12"	136° 44' 25"
45	潮岬	301	海象計	54.7	0.6	33° 25' 59"	135° 44' 50"	海象計	54.7	0.6	33° 25' 59"	135° 44' 50"
46	神戸	306	海象計	17.0	0.5	34° 38' 50"	135° 16' 36"	海象計	17.0	0.5	34° 38' 50"	135° 16' 36"

47	小松島	311	U S W	20.8	0.5	34° 02' 24"	134° 38' 37"	C W D	20.8	11.1	34° 02' 24"	134° 38' 37"
48	室津	307	海象計	27.7	0.2	33° 16' 18"	134° 08' 50"	海象計	27.7	0.2	33° 16' 18"	134° 08' 50"
49	高知	309	海象計	24.1	0.5	33° 28' 57"	133° 35' 13"	海象計	24.1	0.5	33° 28' 57"	133° 35' 13"
50	上川口	308	U S W	27.9	0.6	33° 01' 54"	133° 03' 29"					
51	蒔田	409	U S W	9.6	1.4	33° 47' 59"	131° 04' 20"	C W D	9.6	1.9	33° 47' 59"	131° 04' 20"
52	細島	411	海象計	48.3	0.4	32° 26' 36"	131° 43' 42"	海象計	48.3	0.4	32° 26' 36"	131° 43' 42"
53	志布志湾	407	U S W	36.2	1.5	31° 25' 02"	131° 06' 36"	C W D	36.2	2.3	31° 25' 02"	131° 06' 36"
54	鹿児島	408	U S W	24.1	0.6	31° 33' 20"	130° 34' 21"					
55	中城湾	701	海象計	39.6	0.5	26° 14' 32"	127° 57' 55"	海象計	39.6	0.5	26° 14' 32"	127° 57' 55"
56	平良	703	海象計	44.1	0.7	24° 51' 39"	125° 14' 08"	海象計	44.1	0.7	24° 51' 39"	125° 14' 08"
57	石垣	704	U S W	16.7	1.2	24° 20' 34"	124° 07' 46"					
58	石垣沖	705	海象計	34.8	0.7	24° 21' 55"	124° 06' 10"	海象計	34.8	0.7	24° 21' 55"	124° 06' 10"
59	室戸沖GPS		G P S	100	海面	33° 08' 26"	134° 12' 10"					

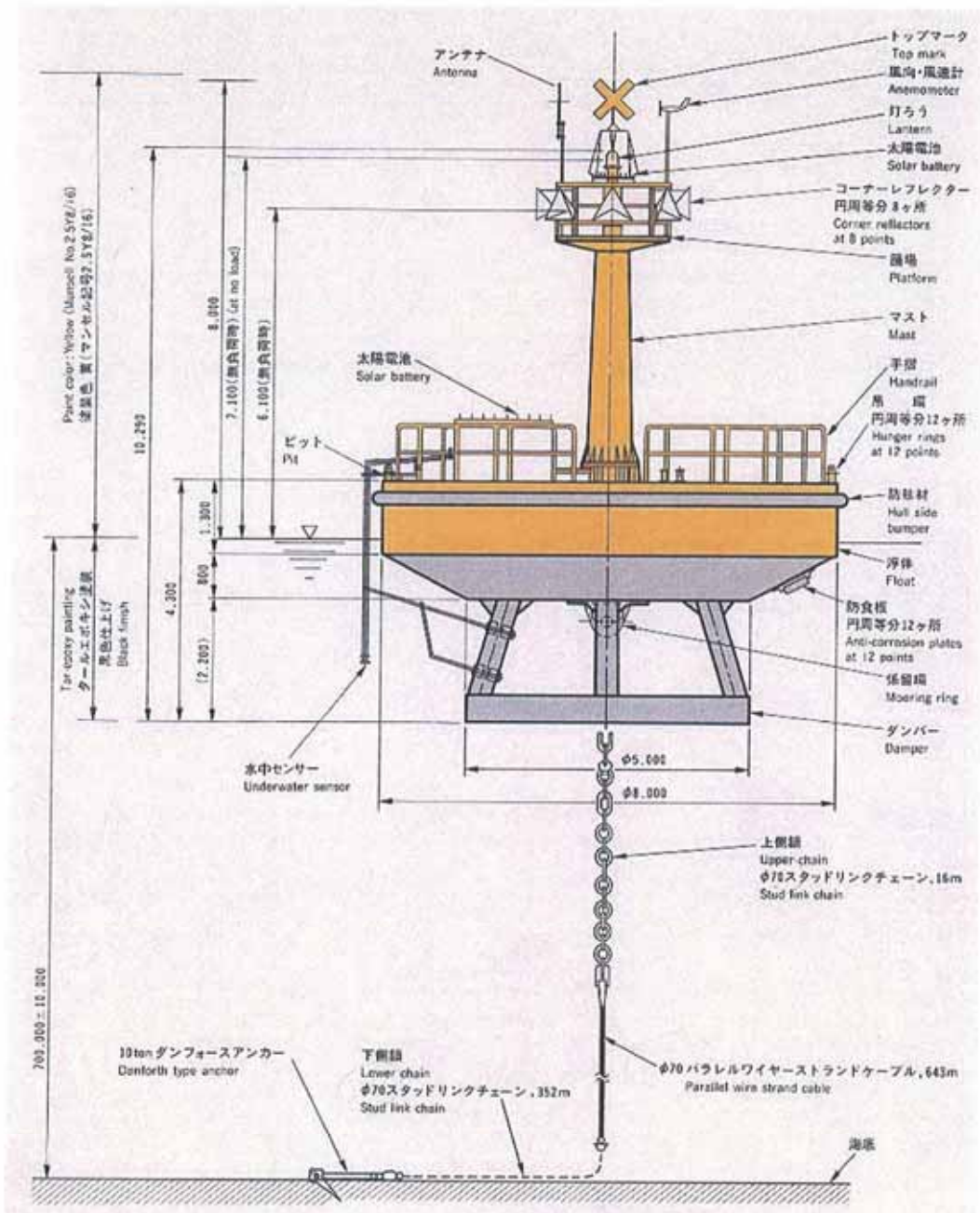
注1) 海象計：超音波ドップラー式波浪計， U S W：超音波式波高計， C W D：超音波式流速計型波向計

注2) 水深は、水表面から海底面までの距離の平均値より主要4分潮の振幅の和を減じた値である。

設置高とは、海底面から視測センサーまでの高さのことである。

5. 土佐黒潮牧場ブイ構成図

土佐黒潮牧場ブイ構成図(5号)
Structure of the Buoy and Mooring System



BACK

HOME

GPS 波浪計を活用した沖合波浪観測網の構築について
The System of Offshore Wave Monitoring Network by GPS Buoy system

鈴木史朗*・宮島正悟**
SUZUKI Shiro and MIYAJIMA Shogo

* (財) 沿岸技術研究センター 波浪情報部 主任研究員
** 国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所 所長

Installation of the GPS Buoy is planned to improve existing nationwide ocean wave information network, which provides valuable maritime information for various purposes such as planning of port facilities, structure design, construction management and maintenance, etc. Not only this system will make the wave information more accurate than ever, in case of earthquake this system is expected to monitor Tsunami prior to the arrival at the coast, and to deliver Tsunami information to those organizations concerned. This paper describes the outline of the Offshore Wave Network by GPS Buoy system and the development plan of the observation center.

Key Words: GPS Buoy, GPS-RTK, GPS satellite, tsunami, NOWPHAS, COMEINS

1. はじめに

GPS 波浪計とは、海上に係留されたブイなどの小型浮体に、GPS 受信機や各種センサーを搭載し、水面変動や風向・風速などの観測を行う装置である。GPS 波浪計は、固定点における GPS 測位に基づく補正データを必要とするため、離間 20km 以内（現時点の制限）にある陸上局と常時無線交信する。さらに、海上で得られた観測データは陸上局に送信される。図-1 にその概要を示す。日本沿岸各地に設置される GPS 波浪計から観測される種々のデータは沖合波浪観測網によって収集・蓄積される。このシステムにより、港湾整備に必要な沖合波浪情報等の海象情報を取得するとともに、地震発生時には、津波情報を港湾到達の数分から 10 分前程度に収集し、関係機関に配信することを計画している。

本論文は、GPS 波浪計による沖合波浪観測網を構築するにあたり、その核となる観測センターと収集ネットワークについて調査・検討した内容を報告するものである。

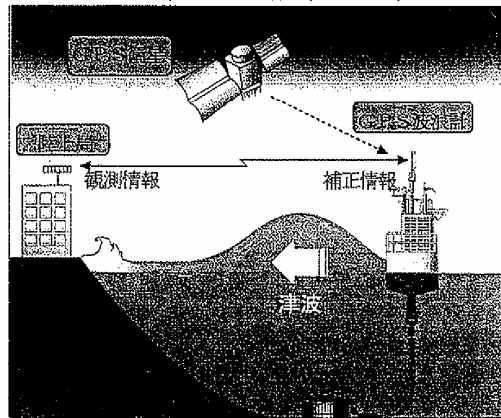


図-1 GPS 波浪計の概要

2. 沖合波浪観測網の概要

日本沿岸各地に設置される予定の GPS 波浪計について、観測データをリアルタイムで収集するための観測網について検討した。観測網全体の概要を図-2 に示す。GPS 波浪計は、無線により陸上局と接続し、陸上局は現地事務所（港湾事務所等）と専用回線等で接続される。現地事務所からは、拡張港湾WANを経由して観測センターと接続される。なお、国土技術政策総合研究所（以下、国総研という）に拡張港湾WANの接続口（ルータ、L3スイッチ等）があり、観測センターは専用回線等で国総研に接続する必要がある。



図-2 沖合波浪観測網の全体概要

GPS 波浪計でのデータ収集、陸上局との無線交信および観測センターへのデータ伝送は 1 秒毎に行われる。

GPS 波浪計では、図-3 に示すように、陸上局から無線を介して送信された補正データがブイ搭載の GPS 受信機に入力され、自動的に RIK (Real Time Kinematic) 測位結果が収集・制御装置に送られる。同時に、ジャイロからの傾斜データ、風向・風速センサー等からのデータ、灯火や電源などに関する管理情報が送られる。収集・制御装置により、これらのデータはまとめて陸上局へ無線伝送される。ブイで収集されたデータや無線機情報、陸上局の管理情報などは図-4 に示すようにデータ伝送装置に収集・蓄積されるとともに、TCP/IP ソケット等を用いて観測センターへ伝送される。

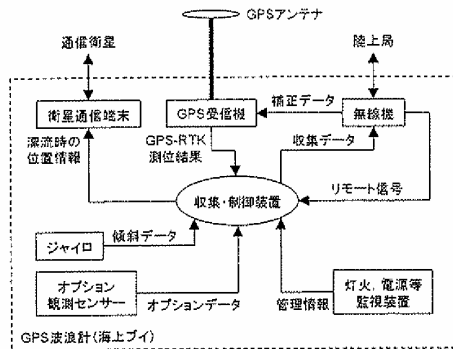


図-3 GPS波浪計(海上ブイ)におけるデータの流れ

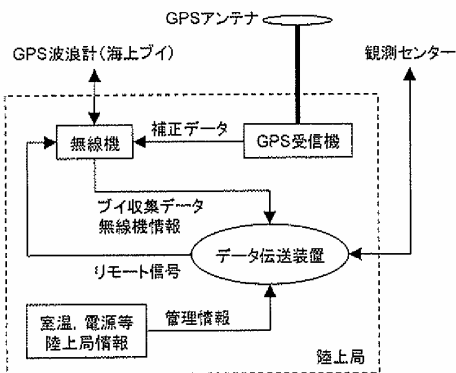


図-4 陸上局におけるデータの流れ

3. 拡張港湾WANを用いた収集ネットワークの検討

拡張港湾WANは、広域イーサネット技術を用いたWAN(Wide Area Network)であり、国土交通省港湾局、国総研、地方整備局(港湾空港部)、港湾事務所、港湾・空港整備事務所、港湾空港技術調査事務所などを結んでいる。拡張港湾WANには、一般行政情報ネットワークと港湾危機管理ネットワークがあるが、波浪観測データを収集することを想定した「波浪観測ネットワーク」セグメントの新設が検討されている。技術的には、VLAN(Virtual LAN;仮想LAN)を用いることにより、波浪情報ネットワークは一般行政情報ネットワークや港湾危機管理ネットワークとは分離されるため、セキュリティ上の問題は無いといえる。拡張港湾WANを用いたデータ収集網におけるデータの流れを図-5に示す。

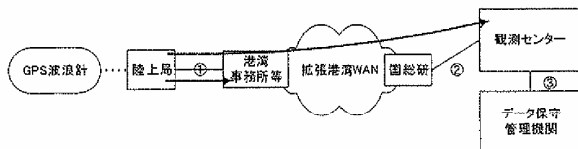


図-5 拡張港湾WANを用いたデータ収集網

4. データ収集・解析・配信システムの検討

GPS波浪計が観測したデータをリアルタイムに収集し、解析・配信するための項目について検討した。

4.1 システム全体構成の検討

システム全体の接続概要図を図-6に示す。沖合波浪観測システムは、常時(24時間365日)運用の動作を求められるシステムであり、一部の障害発生時にも、通信および処理を停止することなく運用を継続できる高い信頼性が要求される。また、複数のGPS波浪計のデータをリアルタイムに計算するため、高精度で高速の処理能力が必要である。運用開始時は数機程度の見込みであるが、GPS波浪計は最大30機の整備が予定されているため、増設に対応した拡張性を備える必要がある。

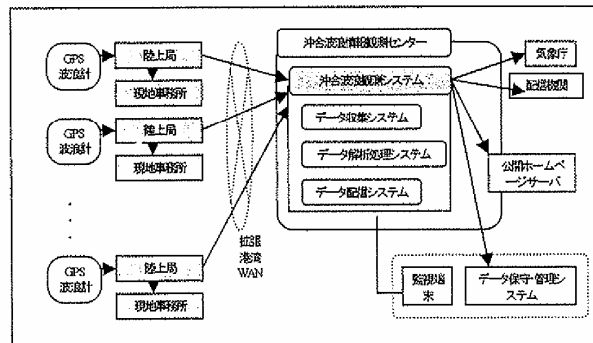


図-6 沖合波浪観測システム接続概要図

沖合波浪観測システムは3つのサブシステムから構成される。3つのサブシステムとその特徴を図-7に示す。

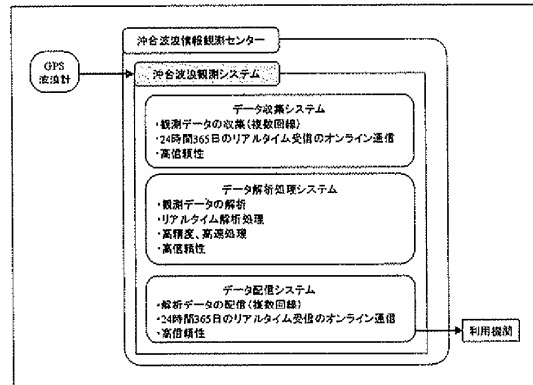


図-7 サブシステムの特徴

4.2 GPS波浪計のデータ解析処理の検討

GPS波浪計の解析処理は、ノイズ処理、周期帯波高演算、津波波形抽出処理、津波検知処理、波向演算処理等の各種の解析処理で構成される。これらの処理・解析のフローを図-8に示す。また、解析処理によって発行されるデータの種類を表-1に示す。

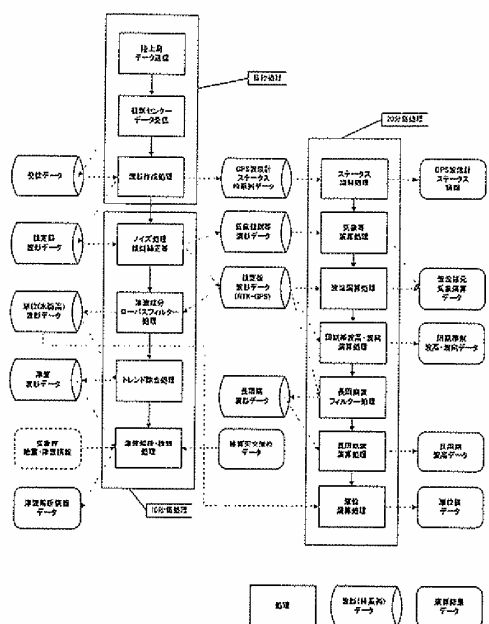


図-8 GPS 波浪計データの処理・解析フロー

表-1 発行されるデータ一覧

データ名	種類	説明	間隔/入力
①受信データ	生データ	陸上局から毎秒伝送	1秒
②検定前波形データ	波形時系列	RTKデータ	1秒/①
③自動検定後波形データ	波形時系列	自動ノイズ除去、内潮、時刻補正等を行う	1秒/②
④潮位(平均水面高) 波形データ	波形時系列	波浪成分を除去した潮位	10秒/③
⑤津波波形データ	波形時系列	天文潮位、高潮、異常潮位等成分を差し引いた津波成分、0値を中心に変動	10秒/④
⑥長周期波成分データ	波形時系列	周期30秒以上の長周期成分	5秒/③
⑦気象観測データ	波形時系列	風向・風速、気圧等の気象観測データ	1秒/①
⑧波浪諸元データ	演算値	ピッチアップ注での波高・周期・波速・波向	20分/③⑦
⑨高潮期別極値データ	演算値	ズバツ高潮期による高潮期別波高・波向	20分/③
⑩周期波高データ	演算値	120分単位の長周期波高	120分/③
⑪潮位値データ	演算値	毎分、10分毎、毎時などの潮位値	秒10分毎/④
⑫推算天文潮位	演算値	1年間潮位値からの天文潮位値	演算管理④
⑬津波解析情報	演算値	(a)第N津波検知情報 (a)が、地点毎の閾値を超えた場合に発行。 (b)第N津波波極大値情報 (a)発行後に、極大値時に発行。 (c)第N津波波高・周期を解析し発行し津波波高・周期を解析し発行	発行毎/⑤
⑭GPS 波浪計ステータス情報	演算値	GPS 波浪計管理情報を監視に必要なフォーマットとしたもの	任意/①

5. データ保守・管理システムの検討

データ保守・管理の業務内容は、収集したデータの品質管理、解析、保存管理などである。具体的なデータ保守管理作業を表-2に示す。

表-2 データ保守管理の業務内容

項目	内容
データ品質管理	・波形データのノイズ除去、補正、再計算 ・再計算結果の評価
データ収集	・17秒間隔収集が出来なかったデータのワライ収集(ワライ、ノイズ除去) ・ワライデータの再投入計算処理
データ統計処理	・品質管理されたデータを用いた月次報告、年次報告作成(日表、グラフ、出現頻度図など)
解析処理	・高波浪、津波発生時の事例報告 ・天文推算潮位の解析・作成
データアーカイブ管理	・品質管理されたデータ(波形、演算結果等ファイル)を記録メディアに保存・管理する。 ・記録メディアが古くなった場合に、フォーマット変換等を行う。
データ提供	・品質管理されたデータについて、研究機関等の要請に基づきワライによる提供を行う。 ・場合によっては、データ提供ホームページなどを運用する。
その他	・その他の品質管理に係わる業務

6. 沖合波浪情報観測センター構築の検討

沖合波浪情報観測センター構築における装置の構成方針について検討結果を示す。

6.1 システムの信頼性

24時間365日の連続運用を実現するために、観測センターの運用マシンは主機と障害時の運用・待機となる副機の二重構成が望まれる。システムそのものが堅剛である必要がある。一般に基幹業務で採用されるUNIXサーバでは、ディスク、電源、ファンなど主要コンポーネントが冗長化されている。連続運用が必須である本センターにおいても、主要コンポーネントが冗長化されたUNIXサーバの採用が望まれる。

6.2 システムの冗長性

信頼性が高く安定した連続運用を実現するためには、運用マシンの他に、もう1台のマシンを準備し運用・待機の構成をとることが多い。なお、このシステムではトラブル発生時に、業務を待機マシンに引き継ぐための2重化制御ソフトウェアにおいては、高い信頼性と実績が必要であり、次に示すような機能を必要とする。

- ・運用マシンでのトラブルの自動的な検出
- ・運用マシンから待機マシンへのデータの引継ぎ
- ・運用マシンから待機マシンへのネットワークの引継ぎ
- ・待機マシンにおける運用マシンとしての業務起動

6.3 トラブルの監視

ハードウェア、OSの異常などは、製造メーカーのリモート監視サービスに委ねることができる。本サービスを利用した場合、トラブル発生後に専門スタッフを呼ぶのではなく、異常を事前に検出することができる。異常発生の兆候を検知し予防保守を実施することで不要なトラブルを未然に防ぐことができる。

6.4 システム構成の概要とシステムの拡張性

30の観測局から、1秒間1回の間隔でデータを受信した場合、1日当たり1観測局で、86,400通のデータとなり、全局では、2,592,000通のデータを処理することになる。これらの条件を想定した導入当初の構成例(CPU数、メモリ量)を表-3に示す。さらに、拡張性を考慮した機

器構成図例を図-9に示す。

表-3 拡張性を考慮した構成例

装置名		導入当初	将来の拡張性
1 データ解析サーバ	CPU数	2CPU	4CPU
	メモリ数	4GB	8GB
2 データ収集サーバ	CPU数	2CPU	4CPU
	メモリ数	4GB	8GB
3 配信サーバ	CPU数	2CPU	4CPU
	メモリ数	4GB	8GB

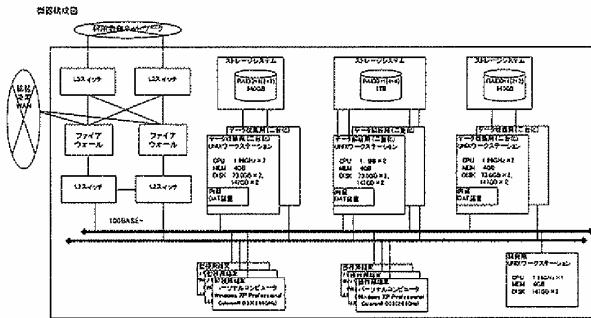


図-9 機器構成図例

7. 沖合波浪情報観測センターの運用課題の検討

沖合波浪観測情報及び解析情報の提供・公開に係る課題について検討した。

7.1 データ提供・公開に関する問題の整理

(1) 波浪観測情報の提供・公開

国土交通省港湾局が管轄する全国波浪観測データについては、(独) 港湾空港技術研究所において、リアルタイムでデータの収集・解析処理が行われており、その解析結果はホームページにより公開されている。また、(財) 沿岸技術研究センターが運用している COMEINS Web において港湾局や港湾管理者などの特定ユーザに提供されている。波浪観測データのリアルタイムでの公開の際には、「解析処理は自動であり、演算値にはノイズによる異常値が含まれる場合がある速報値であること」と、この速報値は、品質管理を経て、後日修正される場合があることを明記すべきである。

(2) 津波に関する情報の提供・公開

津波警報は気象庁のみが行うことが気象業務法に定められている(政令に定められた場合を除く)。また、防災上の観点等から気象庁以外の事業者等による津波予報は当面許可しないとされている。従って、沖合波浪観測データの津波警報や津波予報への活用は、これらのデータを気象庁に配信して気象庁で行う方法が考えられる。

一方、自動検定後波形データやフィルター処理を施した津波周期成分の波形データをリアルタイムで一般に公開することは、特に法的には問題ないが、ノイズ処理や解析処理が自動であるためノイズを含む場合があること、

また解析データについては、津波高さを自動的に計算する手法が十分にオーソライズされていないことから、津波に関する観測データの一般公開については、今後十分な検討が必要である。

(3) 公開データの統一性

観測データの信頼性を確保するため、各観測局で行う GPS 波浪計の個別解析処理結果と、全国に配置された GPS 波浪計のデータを集中処理する観測センターの解析結果に不整合が生じないようにする必要がある。このため解析ソフトウェアの共通化を図るとともに、データ分岐・再利用時の不整合防止にも留意する必要がある。

7.2 データ提供先とデータ内容の検討

データ提供先とデータ内容についての検討結果を以下に示す。

① 気象庁

補正等の前処理データを除く、ほとんどのデータの提供を行うことにより、津波警報や津波予報への活用が考えられる。

② 地方整備局・港湾事務所等

観測主体であり、補正等の前処理データの扱いを除き、全てのデータが利活用できる。ただし、データ処理手法やデータの見方などの「利用の手引き」等により周知が必要。

③ 港湾管理者等及び防災機関(自治体)等

「利用の手引き」の配布だけではなく、データ利用のための防災担当者向け研修会などの実施が必要。

④ 現地事務所での演算等

現地事務所において、演算・表示を行う場合は、観測センターと同一の解析手法・ソフトウェアを用いることとする。

⑤ ホームページによる一般公開

ノイズを含むデータによる一般の利用者の混乱が起きないように注意するとともに、判断が難しいデータ、誤解を生みやすいデータの公開は避けるべきである。特に、地震・津波発生時に、影響地域においてパニックや流言など社会的な混乱を引き起こすことがないように十分注意すべきである。

8. おわりに

GPS 波浪計及び観測センターの整備が行われることにより、沖合における波浪観測及び津波観測を通じて沿岸防災に大きな貢献を果たすことが期待される。

本稿は、国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所発注による「平成17年度 沖合波浪観測システム検討調査」を取りまとめたものである。多大なご協力をいただいた関係各位に感謝申し上げます。

単独測位方式による GPS波浪観測システムの実証実験

OCEAN EXPERIMENT ON A LOW-COST GPS-BASED WAVE HEIGHT AND DIRECTION SENSOR

村山貴彦¹・中西寛登²・宇都宮好博³・松田正俊⁴・山口功⁵
Takahiko MURAYAMA, Hiroto NAKANISHI, Yoshihiro UTSUNOMIYA,
Masatoshi MATSUDA, and Isao YAMAGUCHI

¹(財)日本気象協会 首都圏支社調査部 (〒170-6055 東京都豊島区東池袋3-1-1)

²(財)日本気象協会 首都圏支社調査部 (〒170-6055 東京都豊島区東池袋3-1-1)

³正会員 博(工) (財)日本気象協会 首都圏支社調査部 (〒170-6055 東京都豊島区東池袋3-1-1)

⁴海上保安庁 総務部 海上保安試験研究センター (〒190-0015 東京都立川市泉町1156)

⁵工博 (独)宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部 (〒181-0015 東京都三鷹市大沢6-13-1)

Ocean wave information is indispensable for a coastal activity and service of ship to be carried out safely and economically. A low-cost wave height and direction sensor was developed by Japan Aerospace Exploration Agency and Japan Weather Association. The purpose of this study is to examine observation accuracy of wave height, period, and direction on the light buoy of Japan Coast Guard. Then, we installed a low-cost wave height and direction sensor on the light buoy and observed ocean wave in the sea. And, we compared data observed by light buoy with data observed by NOWPHAS (Nationwide Ocean Wave information network for Port and HarbourS). Our results show that observation accuracy on the light buoy is high.

Key Words : wave height, wave direction, GPS, buoy, wave observation,

1. はじめに

港湾および沿岸の開発・維持管理や船舶の運航および海洋レジャーにとって、海洋観測情報は不可欠なものとなっている。しかし、現在主流の海底設置型の波浪計は設置や維持管理にかかるコストが膨大で手軽に設置することは難しい。また、設置できる水深に制限があるため、外洋での観測が困難である。

そこで、低コスト(設置・維持管理面)で、外洋でも利用できるようなGPS単独測位方式の波浪観測システム(以下、GPS単測式波浪計)の開発を目指し、これまで陸上および海上の実験・検証を行い、一定の成果を得ている^{1,2)}。

一方、港湾施設や船舶の航行する付近でよくみられる航路標識(灯浮標、灯標等)は、灯火および塗装等により岩礁、浅瀬等の危険箇所や航路等を標示しており、航行する船舶にとって非常に重要な情報を提供している。

これらの航路標識で気象海象が観測できれば、船舶の安全運行に有益な情報が得られるものと考えられる。

本研究では、独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)と財団法人日本気象協会(JWA)が開発したGPS単測式波浪計を海上保安庁所管の灯浮標に取り付け、一般的な航路標識におけるGPS単測式波浪計の観測精度を検証した。なお、精度検証には運輸省港湾局所管の全国港湾波浪観測網(NOWPHAS)の実測値を使用した。本論はその内容を報告するものである。

2. 観測システムの概要

(1) GPS観測量の特徴

GPSの測位精度は、その処理アルゴリズムによって異なり、単独測位は数十m、ディファレンシャルGPSは数m、キネマティックGPSは数cmとなっている。キネマティックGPSはその精度の高さから長周期の低加速度運動にも

追従して正確な測位が可能であるため、津波計測などに適している。しかし、キネマティックGPSは陸側に固定された基準局を必要とし、基準局までの距離が15~20km以内という制限があるため外洋で使用できないという欠点がある。単独測位アルゴリズムは、1台のGPS受信機で位置を計測するため、GPS信号が伝播中に受ける大気遅延などGPSシステムに起因する誤差が除去できず、測位精度は他のアルゴリズムに比べて低い。しかし、誤差の変化はゆっくりしており100秒から数十分程度の時定数を持っている。これは、測位誤差に影響を与えるGPSシステムに起因する誤差（受信機誤差を除く）が100秒以上の時定数を持っているためである。このことから測位誤差のほとんどすべての電力は0.011Hz以下の周波数帯に存在している。一方、海洋波浪により動揺するブイの運動は0.1秒から20秒（0.05Hz~10Hz）の周期を持つことから、両者を適当なフィルタで弁別し、GPSシステム誤差の影響を最小限に抑えてブイの運動だけを抽出できることがわかる⁹⁾。

(2) 波浪データの抽出方法

本研究に使用しているGPS単測式波浪計では、GPS単測データから以下の3段階の処理を経て波浪データを抽出している。第1段階では、GPS測位データを東、北、上の局所座標系に座標変換する。座標原点は測位データの初期値を原点としている。第2段階では、受信しているGPS衛星の変更や信号追尾におけるサイクル・スリップなどで発生する測位の不連続点の除去である。不連続点のみられる高調波は、次の段階のハイパスフィルタ処理で誤差となって影響を及ぼすので、ここでは衛星の切替や、急激な位置の変化がないかを統計処理で検知して、不連続点がある場合は前後のデータのオフセットを0にして連続的に波形が繋がるような処理をしている。第3段階はハイパスフィルタによるGPSシステム誤差の除去である。ここでは、30秒周期の波まで観測できるようにカットオフ周波数を0.021Hzとし、誤差を数cmに抑えることができるような特性を有する6次のハイパスフィルタを組み込んでいる。

この手法を用いた陸上実験では、誤差が波高で2.5cm、周期で0.17秒、方位で1.7°で計測できることが確認されている⁹⁾。

(3) 波浪諸元の算定方法

波高、周期の定義に関しては、ゼロ・アップ・クロス法が広く使われている。ゼロ・アップ・クロス法では、波が平均海面を下から上へ横切り、再び下から上へ横切るまでの間を一波と定め、その一波の間にある頂点と最下点の距離がその波の高さ（波高）で、その一波の間の時間が周期である。一定期間の個々波を波高が大きい順に1/3抽出して平均したものを有義波、同じく1/10までを対象としたものを1/10最大波、一定期間内で最も大きい波を最大波として算出している。

波向に関しては様々な定義がある。最もよく使われる手法は、スペクトル解析に基づくもので、海洋波浪のエネルギー（方向スペクトル）は周波数スペクトルと方向分布関数の積で表すことができる。Longuet-Higgins, Cartwright and Smith⁹⁾によれば、方向分布関数はフーリエ展開でき、クロススペクトルを求めることで方向関数を近似的に計算することができる。ここでは、方向スペクトルの第1ピークから第3ピークにおける周波数で、波向を求めている。

(4) 観測システムの構成

観測システムの構成を図-1に示す。観測システムは、GPS式波浪計、GPSアンテナ、携帯用アンテナ（航路標識一陸間通信用）、風向・風速計、蓄電池および太陽電池パネルで構成されている。GPS式波浪計の筐体内には、GPSの位置と時刻情報および風向・風速計の信号を演算処理する装置と、演算後の観測データを陸上に伝送するためのNTT-DoCoMoパケット通信システムが格納されている。

現在観測可能な波浪諸元（波高、周期、波向）は、毎正時10分前から正時10分後の20分間の位置情報を演算処理することにより算出している。算出された波浪諸元は、風向・風速および電源電圧情報と共に、リアルタイムにデータを陸上側にメール送信できる。

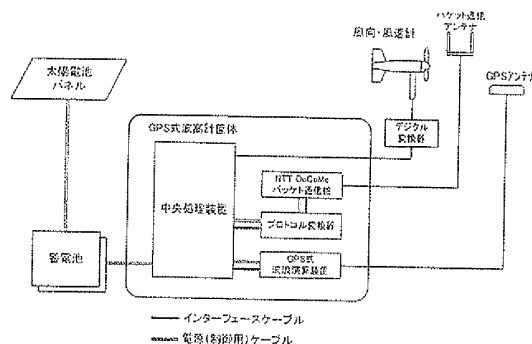


図-1 観測システムの構成

3. 実証試験

(1) 試験場所

灯浮標に取り付けたGPS単測式波浪計の精度検証は、灯浮標付近に設置されている海底設置型超音波式波高計の実測値と比較することとした。このため、運輸省港湾局所管の全国港湾波浪観測網（NOWPHAS）の地点であるアシカ島付近にある、海上保安庁の灯浮標（かさじま）を実証試験場所とした（図-2参照）。

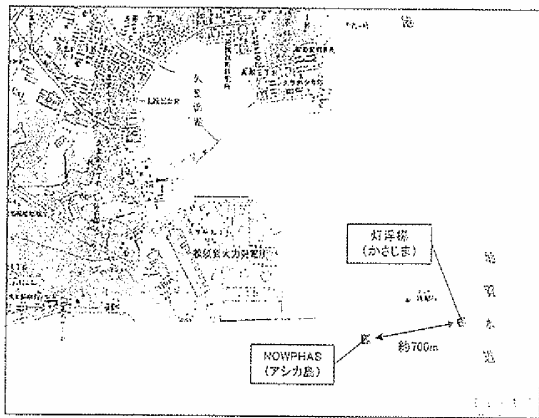


図-2 実証試験海域 (久里浜港沖)

(2) 試験期間

実証試験は、平成17年12月8日から翌年1月27日までの約1ヶ月半実施した。

(3) 試験方法

GPS単測式波浪計および風向・風速計を灯浮標 (かさじま) に取り付け、気象海象を観測した。灯浮標に観測装置を機装した状況を写真-1に示す。

実測値はNTT DoCoMoのバケット通信システムを用いてリアルタイムで陸上にメール送信し、インターネットを介してJWAが受信した。JWAでは毎時受信するメール (実測値) を、波浪観測データ伝送・監視システムによって、監視・データ処理した (図-3参照)。

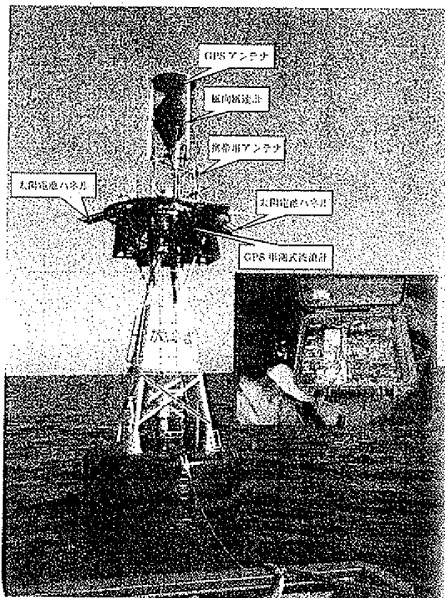


写真-1 灯浮標 (かさじま) に機装された観測システム

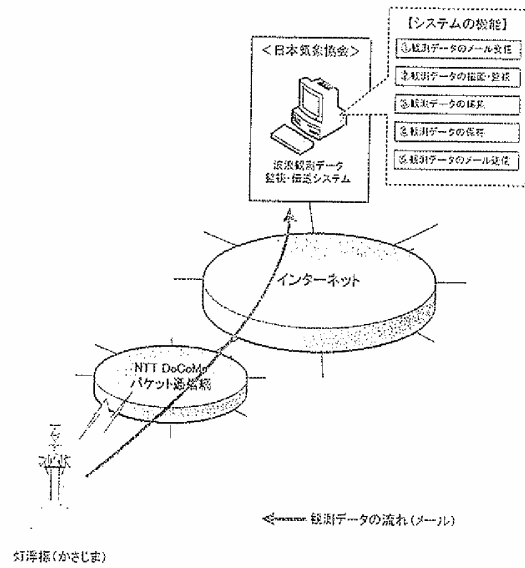


図-3 実測値の流れ

4. 実証試験結果と検証

(1) 測得状況

実測値の欠測状況および測得率を表-1に示す。欠測数は全期間中10回で、測得率は99%と高い測得率であった。同期間のNOWPHASアスカ島の欠測数は10回であることから、NOWPHASと同程度の測得状況といえる。

表-1 GPS単測測位方式によるデータの取得率
測得率: 99.16%

	計測数	欠測数	欠測率
2005年12月	572	7	1.22%
2006年01月	624	3	0.48%
全期間	1196	10	0.84%

(2) NOWPHAS実測値との比較

GPS単測式波浪計の観測精度を検証するために、灯浮標 (かさじま) の近傍に位置するNOWPHASアスカ島地点 (図-2参照) の実測値 (以下、NOWPHAS実測値) とGPS単測式波浪計の実測値 (GPS波浪計実測値) とを比較した。かさじまとアスカ島とは約700m離れ、水深がそれぞれ35mと22mで異なっていることから、両地点の波浪は実際に異なっていると推測される。このため、GPS単測式波浪計の精度を厳密に検証する上ではこの違いを考慮する必要がある。

そこで、両地点の海底地形の違いによる波浪特性の違いを把握するために、沖波が各地点に伝播する際に波が

変形する様子を再現した（浅海変形計算）。この浅海変形計算はエネルギー平衡方程式を基本として、沖波が浅海域に伝播する際の方向および周波数のスペクトルを計算する手法である。浅海変形計算結果から、かさじまとアシカ島の波高階級別・周期階級別の波高比、周期比、および波向の偏角を算定した（浅海変形パラメータの作成）。この浅海変形パラメータを用いてNOWPHAS実測値を補正し、GPS波浪計実測値と比較した。以下にその内容を観測要素別に示す。

a) 有義波高

GPS波浪計の実測波高と浅海変形補正したNOWPHASの実測波高との相関図を図-4に示す。この図から、両者の相関係数は $R^2=0.87$ で、GPS波浪計の実測波高はNOWPHASの実測波高より全般的に26%程度高めであることが明らかとなった。

さらに、両地点の浅海変形の効果を明確にするために、NOWPHASの実測値とそれを浅海変形補正した値とを比較した。その比較図を図-5に示す。この図から、波高の浅海変形の効果は2%程度であることがわかった。

b) 有義周期

GPS波浪計の実測周期と浅海変形補正したNOWPHASの実測周期との相関図を図-6に示す。この図から、両者の相関係数は $R^2=0.67$ で、GPS波浪計の実測周期はNOWPHASの

実測周期より全般的に6%程度長めであることが明らかとなった。

さらに、波高同様にNOWPHASの実測値とそれを浅海変形補正した値とを比較した。その比較図を図-7に示す。この図から、周期の浅海変形の効果は1%程度であることがわかった。

c) 卓越波向

NOWPHASアシカ島では波向を観測していないことから、波向の精度検証はJWAが作成した「日本沿岸局地波浪データベース（以下、局地波浪DB）」の卓越波向を用いた。この局地波浪DBは、気象庁から1日2回配信される日本沿岸波浪GPV（格子間隔：6分（約10km）、時間間隔：6時間）を、地形による遮蔽効果と局所的な風波を考慮に入れて2分格子間隔（約3.7km）の値に内挿・再計算を行った結果であり、初期値（実測値を基に作成された格子点値）と6時間先予測値から構成されている。このDBには予測値も含まれているが、実況を精度よく解析・予測していることから、設計波算定などの際の沖波として多方面で利用されている。

そこで、GPS波浪計の実測波向と浅海変形補正した局地波浪DBとの差を求め検証した。両者の波向の偏差（GPS波浪計—局地波浪DB）の出現頻度を図-8に示す。この図の横軸は、波向偏差を16方位に分割したものを示し、波向偏差=0のときはGPS波浪計の実測波向は局地波

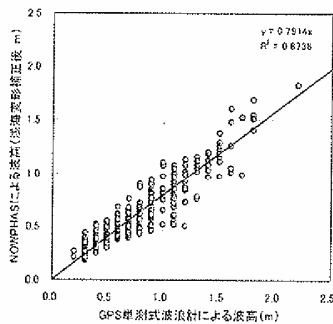


図-4 波高の相関図

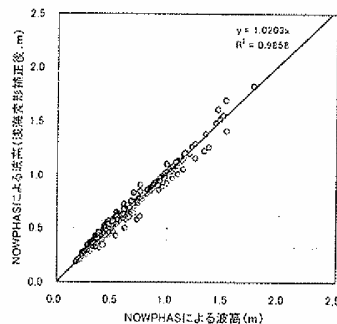


図-5 浅海変形計算の効果（波高）

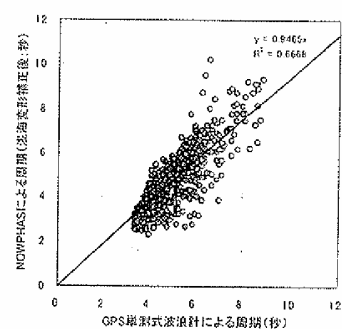


図-6 周期の相関図

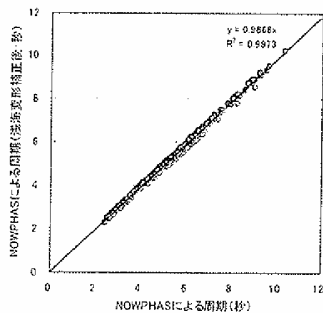


図-7 浅海変形計算の効果（周期）

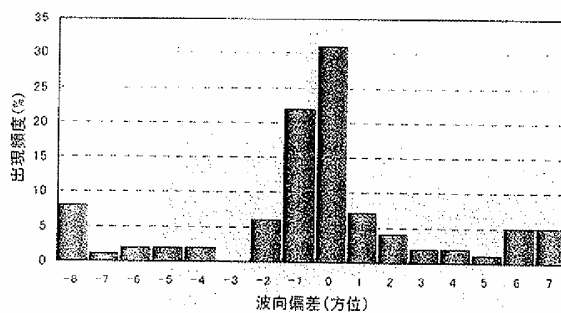


図-8 GPS波浪計の実測波向と浅海変形補正した局地波浪DBとの偏差

浪波の波向と一致していることを表している。また、波向偏差=-8のときはGPS波浪計の実測波向は局地波浪波の波向と正反対であることを表している。

この図から、GPS波浪計の波向は±1方位の偏差以内に60%の割合（±2方位の場合70%の割合）で出現していることがわかった。また、波向偏差が+6から-8の出現頻度が若干高めになっていることから、GPS波浪計の実測波向が正反対の方位に観測される場合もあることがわかった。

(3) 有義波高の補正

灯浮標は波浪により上下左右方向に動揺するが、浮体の種類や形状によって固有動揺特性が異なる。このため、波浪を精度よく観測するにはこの固有動揺特性を考慮した補正を必要がある。

そこで、今回の試験で用いた灯浮標（L-2型ブイ）の固有動揺特性を類似の円筒型ブイ水槽実験に基づく流体係数にて計算した。

固有動揺特性の補正式は、保留された浮体の上下運動を2次遅れ系として線形近似したものをを用いている。その伝達関数 $G(s)$ は固有角周波数を ω_0 、減衰比を ζ として

$$G(s) = \frac{\omega_0^2}{s^2 + 2\zeta\omega_0s + \omega_0^2} \quad (1)$$

となる。波高の補正はこの伝達関数のゲインの逆数を求めればよいので、 $s = j\omega$ を代入して

$$\begin{aligned} 1/|G| &= 1/|G(j\omega)| \\ &= \frac{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\zeta\omega_0\omega)^2}}{\omega_0^2} \\ &= \frac{\sqrt{\omega^4 + (4\zeta^2 - 2)\omega_0^2\omega^2 + \omega_0^4}}{\omega_0^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{\omega_0^4}\right)\omega^4 + \frac{2(2\zeta^2 - 1)}{\omega_0^2}\omega^2 + 1} \\ &= \sqrt{P_1\omega^4 + P_2\omega^2 + 1} \quad (2) \end{aligned}$$

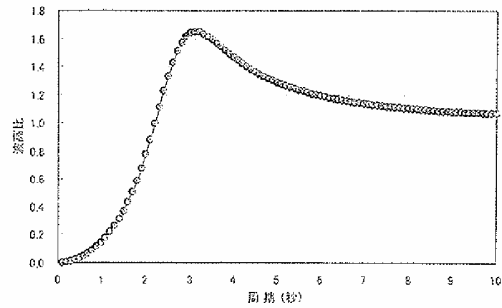


図-9 灯浮標（L-2型ブイ）のゲイン特性

となる。この式が上下運動の補正式となる。よって、係数 P_1, P_2 の符号は海洋波浪の場合では、共振点でピークが多少認められるため、減衰比が臨界減衰以下($2\zeta^2 - 1 < 0$)であると推定され、一般には $P_1 > 0$ 、 $P_2 < 0$ となる。かさじまの灯浮標（L-2ブイ）の補正係数のゲインを図-9に示す。

以上のように求めた補正係数を用いてGPS波浪計の実測波高を補正した。補正前、補正後のGPS波浪計の実測波高、および浅海変形補正後のNOWPHASの実測波高の比較を図-10と図-11に示す。なお、図-11は図-10の一部拡大図である。さらに、ここで補正されたGPS波浪計の実測波高と浅海変形後のNOWPHASの実測波高との相関図を図-12に示す。これらの図から、①GPS波浪計の実測波高の変化傾向は、補正前より補正後の方がNOWPHASの波高とよく一致している、②波高の相関係数は $R^2=0.86$ で、GPS波浪計の波高はNOWPHASの波高より全般的に2%高めであることが明らかとなった。

以上のことから、GPS波浪計の実測波高に灯浮標の固有動揺特性を考慮した補正を加えることで、補正前の波高の偏りが26%であったのに対し補正後のそれは2%と、ほとんど波高の偏りがなくなることがわかった。この結果から、今回のGPS単測式波浪計の波高の観測誤差は2%程度と考えられる。

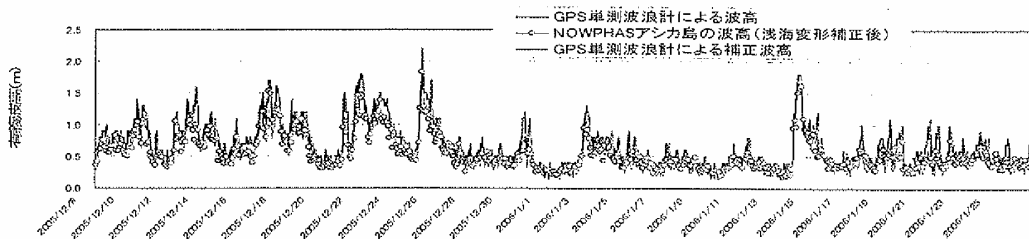


図-10 固有動揺特性による補正前、補正後のGPS波浪計の実測波高、および浅海変形補正後のNOWPHASの実測波高の経時変化図

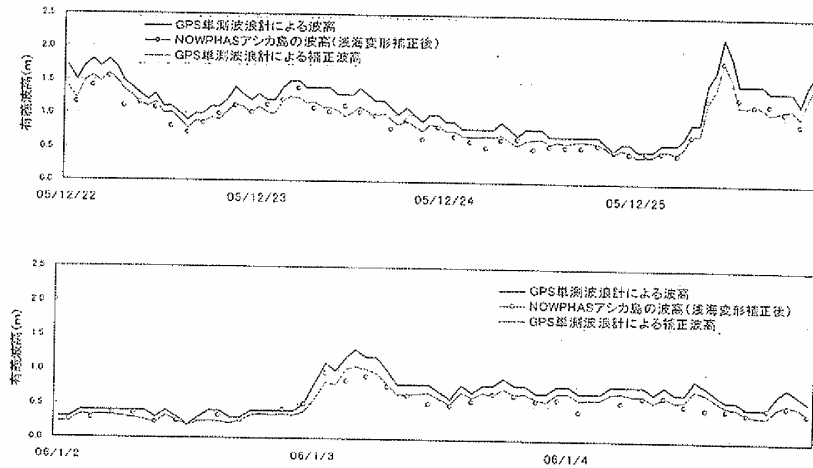


図-11 固有動揺特性による補正前、補正後のGPS波浪計の実測波高、および浅海変形補正後のNOWPHASの実測波高の拡大経時変化図

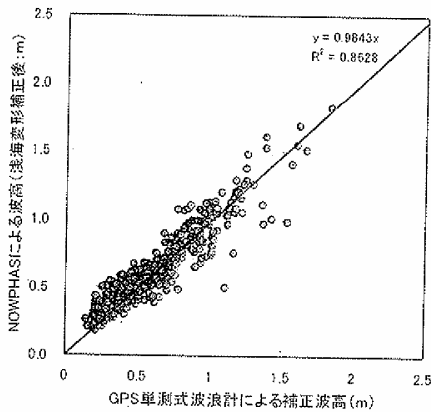


図-12 GPS波浪計の固有動揺補正波高とNOWPHASの浅海変形補正波高との相関

5. おわりに

GPS単測測位方式の波浪観測システムを海上保安庁所管の灯浮標に取り付けて、波浪観測システムの実証試験を行った。このシステムによる実測値とNOWPHASによるそれとを比較した。特に波高の比較では、GPS波浪計の実測値を灯浮標の固有動揺特性で補正することで、高い相関結果が得られている。

今後は、信頼性の高いとされる海象計（従来の海底設置型超音波式波高計と多層式ドップラー流速計の機能を一体化した観測装置）と同一地点で長期間観測し、一般的な灯浮標における観測精度を検証する必要がある。特に、波向については海象計の実測値と比較・検証すると共に、その補正方法も検討する必要がある。

謝辞：GPS単測測位方式による波浪観測システムの開発に携わり、灯浮標の固有動揺特性を計算された、株式会社ゼニライトブイには多大なご協力を得ました。ここに改めて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Harigae, M., Yamaguchi, I., Kasai, T., Igawa, H., Nakanichi, H., Murayama, T., Iwanaka, Y., and Suko, H.: A Low-Cost GPS-Based Wave Height and Direction Sensor for Marine Safety, ION GNSS 2004.
- 2) Harigae, M., Yamaguchi, I., Kasai, T., Igawa, H., Nakanichi, H., Murayama, T., Iwanaka, Y., and Suko, H.: Abreast of the Waves, Open-Sea Sensor to Measure Height and Direction, GPS World, May 2005, pp.16-26.
- 3) Longuet-Higgins, M., Cartwright, D. E., and Smith, N. D.: Observations of the Directional Spectrum of Sea Waves Using the Motions of a Floating Buoy, Ocean Wave Spectra, U. S. Naval Oceanographic Office, 1963.