

新型海象観測計の実証試験について

星加 泰央*・大村 厚夫**・津田 宗男**

* (一財) 沿岸技術研究センター 企画部 主任研究員

** (一財) 沿岸技術研究センター 調査役

新型海象観測システムは、①従来の GPS 波浪計の RTK-GPS 測位方式に準天頂衛星みちびき (QZSS) を加えた RTK-GNSS 測位方式による測位精度・安定性の向上、②カタマラン船型ブイによる波浪観測精度の向上、③カタマラン船型ブイの甲板・機器室・バッテリー室配置による保守点検の作業性の向上が期待されている。本稿は和歌山県南西沖において実施している新型海象観測計の実証試験について報告するものである。

キーワード：GPS 波浪計，カタマラン船型海象観測計，実証試験，RTK-GNSS 測位，メンテナンス性

1. はじめに

GPS 波浪計は、平成 18 年から整備が始まり、全国で 18 基の GPS 波浪計が運用されてきた。GPS 波浪計には、波浪観測とリアルタイムナウファス速報値の提供と津波検知等の役割がある。これまで、係留索の摩耗やブイの構造等いくつかの問題点が挙げられ、円筒型ブイの改良が加えられてきた。

本実証試験は、新型海象観測計開発の一環として、令和 3 年度～令和 5 年度まで実施する計画である。令和 3 年度は、各種事前調査と新型海象観測計(以下、新型ブイと称する。)の設計・製作及び設置を行って観測を開始した¹⁾。

2. 実証試験の課題と概要

2. 1 GPS 波浪計の課題

現行の GPS 波浪計の課題として下記の内容があり、新型ブイの開発によって改善が期待されている。

- ・観測精度確保のため、従来から RTK-GPS 測位方式が採用されているが、稼働率・測得率の改善の余地がある。
- ・RTK-GPS 測位方式では、安定した観測には陸上局とブイ局との離隔距離が 20km 以下に制約されるため、設置海域の制約がある。
- ・システム運用には、ブイ局の定期的な保守点検が不可欠であり、気象・海象条件に左右される外洋の海上でのメンテナンス作業が困難である。
- ・従来の円筒型ブイでは、アンカーと係留索(チェーン)の規格が大型化し、係留索のコストが大きいという問題がある。

2. 2 実証試験の概要

実証試験では、従来の GPS 衛星に加えて、今後 7 基体

制まで拡張予定の国産準天頂衛星みちびき(以下、QZSS と称する。)を利用する、RTK-GNSS(GPS+QZSS)化してシステム更新を図るとともに、陸上局からの離隔距離を 30km 程度まで拡張できることを確認する。

また、新型ブイの採用により、係留張力の低減による係留索のコストダウン、保守点検の作業性の向上、短周期領域における波浪追従性の改善による波浪観測精度向上について確認する。実証試験のイメージを図-1 に示す。

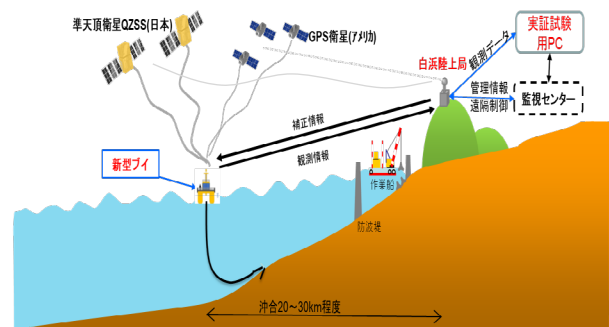


図-1 実証試験イメージ

3. 和歌山南西沖の実証試験

3. 1 令和 3 年度実証試験の項目

本稿では下記の項目について記述する。

- ・深海域でのブイ設置位置
- ・RTK-GPS 測位方式と RTK-GNSS 測位方式の比較試験
- ・新型ブイの設計・製作及び設置
- ・係留設備の設置状況の ROV 調査

3. 2 新型ブイ設置位置

新型ブイ設置位置選定における検討項目・検討結果を表-1 に示す。なお、陸上局は既設陸上局を利用する。

表-1 新型ブイ設置の検討項目・検討結果

検討項目	検討内容	検討結果
設置位置の自然条件		
水深	深海波が観測できること (水深231m以上)	○ 240m想定
	なだらかであること	○
海底地形	海底谷から十分離隔があること	○ 沖合に海底谷あり
	砂地盤が望ましい (アンカーが効くこと)	○ 砂地盤
設置位置の周辺条件		
船舶の航行経路と頻度	船舶航行の障害とならないこと	○ 旧海象計の沖側
漁業権の設定海域	漁業権が設定されていないこと	○ 漁業権区域外側
漁業施設との離隔距離	漁業施設から十分離隔があること	○ いけすの沖側 魚礁との離隔あり
漁船の操業海域	漁船の操業の障害とならないこと	△ 底引き網等
陸上局との通信条件		
離隔距離	陸上局と良好な通信ができること	○ 23km
見通し		○ 水タンクの遮蔽なし

新型ブイの設置位置は、深浅測量(水深、海底地形、海底谷)、海底地盤調査(砂地盤)及び文献調査(航路、漁業)、無線通信試験により陸上局から23km沖合に位置に決定した。新型ブイ設置位置を図-2に示す。

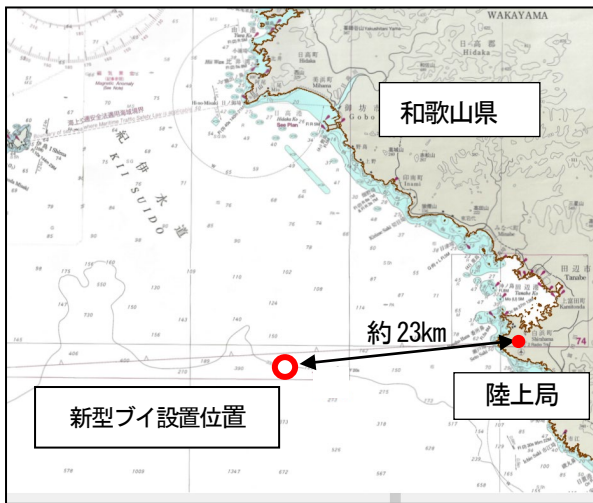


図-2 新型ブイ設置位置図

3. 3 測位方式の比較試験

(1)比較検証方法

測位方式の比較検証方法は下記のとおりである。

- 1)平草原公園内にある基準点(一等三角点:平草原)にRTK-GPS方式及びRTK-GNSS方式の実験機材を設置し、固定点での測位精度を比較評価した。
- 2)交通船にブイ局を想定したRTK-GPS方式及びRTK-GNSS方式の実験機材を設置し、陸上局から20km及び30kmの海域において、1.5時間程度データを取得し、表-2に示すように、測位信頼度・無線通信の通信状態を比較評価した。

表-2 測位比較の比較検証方法

基準局	移動局	観測地点	精度信頼度		無線通信
			RTK-GPS	RTK-GNSS	RTK-GPS
陸上局	基準点	一等三角点	○ (測位精度実施)	○ (測位精度実施)	○
		交通船	20km	○	○
	(ブイ局)	30km	○	○	○

(2)測位精度の比較結果

定点測量による基準点におけるRTK-GPS方式とRTK-GNSS方式の測位精度は、表-3に示すとおりである。

- 水平方向 X, Y の測位精度に差異はなかった。
- 鉛直方向 H の測位精度は、RTK-GNSS方式の方が20mm程度低下しているが、GPSとQZSSの複数の衛星システムを使用するRTK-GNSS方式では、衛星軌道高度の違いにより、RTK-GPS方式と比べてH方向の精度が低下しているものと考えられる。なお、衛星軌道高度は、GPS衛星は約20,000km、QZSS衛星は約32,000~40,000kmである。精度向上については、RTK測位計算性能を向上した新たなGNSS受信機を使用することで測位精度向上が期待されている。

表-3 測位精度比較結果

	RTK-GNSS 基準点成果との差異	RTK-GPS 基準点成果との差異	GPSとGNSS の差異
X	+0.007m	+0.008m	-0.001m
Y	-0.009m	-0.008m	+0.001m
H(鉛直)	-0.028m	-0.007m	+0.021m

(3)測位信頼度の比較結果

基準点及び沖合20km、30kmの想定ブイ局において、RTK-GPS方式、RTK-GNSS方式ともにFIX率は100%であり、測位信頼度の差異はなかった。今回の試験は短時間であり、長期的にはGNSS測位による測位信頼度の向上が期待されている。

ここで、FIX率とは、FIX解の得られた比率であり、FIX率が高いほど測位精度が高いと言える。FIX解が得られた場合の測位精度は2cmとされている。

(4)無線通信の通信状態の比較結果

無線通信試験は、双方向通信の試験であり、RTK-GPS測位方式にて下記の3項目について行い、離隔距離30kmまで拡張できることを確認した。

1)通信の安定度

陸上局及び20km地点、30km地点の想定ブイ局において、無線データの誤り率は0%であり、通信の安定度に差異はなかった。

2)受信信号レベル

陸上局の受信信号レベルは、20km地点の想定ブイ局から送信した信号で平均119、30km地点

からで平均 101 であった。30km 地点の方が受信信号レベルは弱くなるものの、通信が不適と判定される 50 を上回っており無線通信可能であった。

3)受信信号品質

信号 S と雑音 N の比率 SN 比は、20km 地点、30km 地点ともに平均値は約 240 であった。最小値は 30km 地点の方が低いが、無線通信可能であった。

ここで、SN 比は高い方が信号品質は良く、また変動が少ない方が良いことを示している。

3. 4 新型ブイの設計条件

新型ブイ及び係留設備の設計条件を、以下に示す。

(1)気象・海象条件

設計条件の気象・海象条件等を表-4 に示す。設置水深は設計波の周期に対して深海波が観測できる条件としている。

表-4 新型ブイの設計条件

項目	内容	備考
1	設計水深	231m以上 深海波に相当する水深
2	設計波	
	有義波高: $H_{1/3}$	12.6m 文里港準沖波地点における50年確率波
	有義波周期: $T_{1/3}$	17.2S
3	10分間平均流速: U_{10}	60m/s 建築物荷重指針・解説
4	海水流速(超流速)	1.5m/s 日本海洋データセンターの統計値
5	付加荷重(水中重量)	浮魚礁設計施工技術基準
	ブイ本体	80N/m ² 生物付着厚さ:7cm
	係留索	40N/m ² 生物付着厚さ:4cm
6	底質	砂質(想定) 事前調査で確認
7	日照条件	気象庁アメダスデータ等により設定する

(2)係留設備(係留索・アンカー)の設計安全率等
係留設備に関する設計条件を表-5 に示す。

表-5 係留設備の設計条件

項目	内容	備考
1	係留索安全率	5 チェーンの破断荷重に対する安全率「5」
2	アンカー	ダンフォースアンカー
	把駐力 安全率	1.2
	把駐力係数	3 港湾の施設の技術基準・同解説/平成11年4月では、砂で「3」となっている
3	係留索の腐食・磨耗代	チェーン
	係留環接続部	10mm/年
	海中一般部	1mm/年 ※懸垂部係留索
	海底立上部	5mm/年
	海底接触部(地鎖部)	3mm/年

3. 5 新型ブイの構造

(1)カタマラン船型ブイの検討

ブイ本体構造については、従来型のφ7mの円筒型・尾筒なしタイプのブイに対して、下記の3項目を改善すべき課題として検討した。

- ① 係留張力の低減
 - ② 波浪追従性(波浪周期4~6秒付近の周波数応答特性)の改善
 - ③ 外洋における保守点検の作業性の向上
- 上記①~③を実現するブイ本体構造として、従来の

円筒型ブイではなく、図-3に示すようなカタマラン型(双胴型)形状を採用した。



図-3 カタマラン船型ブイのイメージ

4 新型ブイの設計・製作

4. 1 ブイの挙動確認計画

大水深海域における波浪、潮流及び風が作用する条件で、係留索を接続した新型ブイの模型実験は困難であるため、波・潮流・風の複合作用条件での1点係留方式のブイの挙動について、現地海域における実証実験を実施することとなった。

ブイの挙動把握のためのデータ取得項目、取得頻度等は、表-6のとおり設定した。表中の黒字は従来のGPS波浪計の観測項目、赤字は実証試験での追加項目である。

表-6 ブイの挙動計測項目

分類	観測機器	設置場所	データ収録項目	計測頻度
気象	風向風速計	機器室上部	風向風速の瞬時値	連観測・サブリング 間隔: 1s
海象	流向流速計	単胴底部	流向・流速	
動揺	RTK-GPS	機器室上部	緯度、経度、高さ	
	傾斜計	機器室内	ブイ傾斜、加速度	
	ジャイロセンサー	機器室内	Roll、Pitch、Yaw、X、Y、Z角速度・加速度	
	方位コンパス	機器室上部	ブイ方位	
係留	歪みゲージ	係留棒両端部	係留張力	
構造	土圧計	デッキ上部	デッキ波圧	

4. 2 ブイ及び係留設備の設計

(1)係留設備等の安全解析

係留設備等安全解析では、観測に必要な機器・設備を搭載した新型ブイに対して、設計条件等に対応する係留動揺シミュレーションを行い、最大動揺量や最大係留張力等を算出した。これにより、ブイの安定性・安全性を確認すると共に、搭載機器の配置、ブイ構造及び係留設備の設計を実施した。

新型ブイ・係留設備の諸元を表-7、表-8と構造図を図-4に示す。

表-7 新型ブイの諸元

全長	12.0m
全幅	7.0m
浮体深さ	3.5m
喫水	2.2m
乾舷	1.3m
全高	約10.4m
重量	約627kN

表-8 係留設備(係留索, アンカー)の諸元

係留索	係留環接続部 (φ114mmAS~)	×	3 m
	φ68mmチェーン(G3)	×	17 m
	φ68mmチェーン(G3)	×	178 m
	φ100mmチェーン(G3)	×	72 m
	φ73mmチェーン(G3)	×	200 m
	全長	×	470 m
アンカー(ダンフォース型)			128 kN(空中重量)



係留索 アンカー
写真-2 係留設備

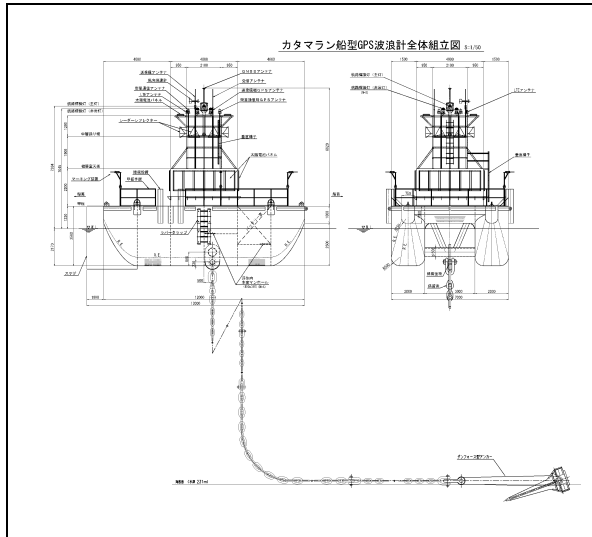


図-4 新型ブイと係留設備の構造

4.3 新型ブイの製作

新型ブイ本体, 係留設備(係留索, アンカー)の製作・艤装について工程を表-9示す。ブイ等の設計・製作は, 令和3年8月~令和4年2月末の期間で行った。製作した新型ブイ, 係留設備の写真を写真-1, 写真-2に示す。

表-9 ブイ本体, 係留設備製作の工程表

項目	R3年						R4年		
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
ブイ本体	10:20:31	10:20:30	10:20:31	10:20:30	10:20:31	10:20:31	10:20:28	10:20:31	
設計・図面作成	■								
材料手配・加工		■							
組立・溶接			■	■	■	● 塗装前検査			
電気工事							■		
塗装							■	ブイ	
搭載機器		■ 製作					■ 艤装	● 完成検査	
係留索								● 完成検査	
アンカー								● 完成検査	



写真1 新型ブイ

5. 現地実証試験

5.1 ブイ設置計画

(1)ブイ設置時留意事項

ブイ設置時の留意事項は下記のとおりである。

① アンカー設置位置

アンカーの設置精度は, 緯度経度±3秒以内(緯度±93m, 経度±75m以下)。

② 地鎖展張方向

新型ブイと陸上局との間に存在する障害物を回避し, 無線通信を確保するため, アンカー着底後, 南東方向に係留索を展張する。

③ ブイ立ち上がり位置

起重機船を移動させながら, 係留索を直線状に展張しアンカーから所定の展張方向に新型ブイを立ち上げる。

(2)使用船舶機器計画

新型ブイ設置に使用する作業船舶は, 潮流作用状態でも作業船を定点保持・移動可能な定点保持機能を有し, ブイ本体の重量約627kNを揚重できる大型起重機船を使用した。

(3)アンカー・係留索の設置方法

アンカーの設置精度を高めるため, 定点保持された起重機船の甲板から, ウインチによりアンカーを吊下ろし, 着底させる吊下ろし方式とした。海底部に展張する係留索は, 観測中の波浪によるブイの上下動の拘束や係留索の切断等を避けるため, 係留索が団子状態にならないよう展張する必要がある。今回は起重機船の移動速度とウインチの巻き出し速度とを連動させて, 係留索を展張した。

(4)ブイの設置方法

海底部係留索の展張後, 図-5に示すように, ブイをクレーンで海上に吊下ろした。

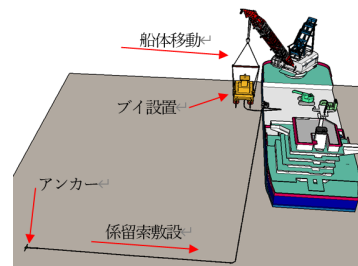


図-5 ブイ設置方法(吊下ろし方式)

5. 2 ブイ設置位置の実績

アンカーの設置位置は、±1m 以内と精度良く設置できた。新型ブイ設置写真を写真-3、写真-4に示す。



写真-3 起重機船によるブイ設置状況



写真-4 ブイ設置完了

5. 3 ROV調査

(1)使用機械、調査方法

新型ブイ設置後、遠隔操作無人探査機(以下、ROVと称する。)にて、動画撮影と超音波探査装置によるアンカー・係留索の設置状況の調査を行った。

1)使用船舶・機械

調査船を写真-5、ROVを写真-6に示す。



写真-5 調査船

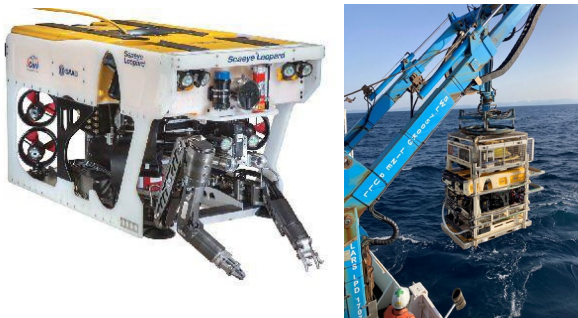


写真-6 ROV

2)調査方法

調査船から海底付近までROVを吊下ろし、海中ではROVがアンカーから係留索に沿ってブイ接続部まで、自走して撮影を行った。調査方法を図-6に示す。

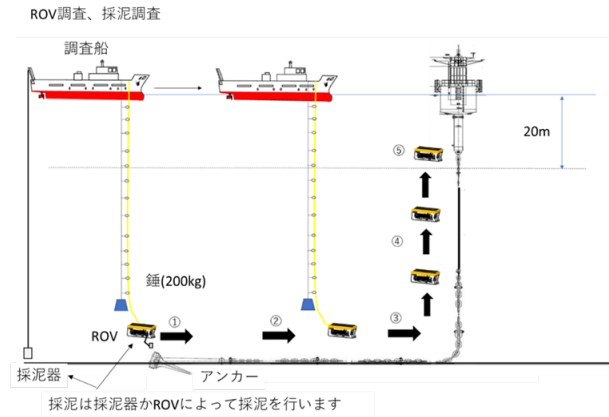


図-6 ROV調査方法

(2)調査結果

アンカーおよび係留索は、海象観測に支障がなく設置されていることが確認できた。

6. おわりに

本業務で、令和3年度内にカタマラン船型ブイを設計・製作し、現地に設置することができた。新型ブイの観測データを取得していることが確認されており、令和4年度には取得された観測データの整理、解析が行われる予定である。引き続き、新型ブイの実用性を確認するため、波浪観測の精度確認、RTK-GPS測位方式からRTK-GNSS測位方式への変更、ブイのメンテナンス性等の実証を進める計画である。

謝辞

本稿は、国土交通省近畿地方整備局港湾空港部の令和3年度新型海象観測計実証業務の成果¹⁾の一部を報告したものである。

検討にあたっては、(国研)海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所 米山領域長をはじめとする有識者及び関係各所から貴重なご意見、ご指摘を頂いた。ここに厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 国土交通省近畿地方整備局港湾空港部：令和3年度新型海象観測計実証業務報告書，2022。

