

伊勢湾を対象海域とした沖合波浪観測システムの検討

高瀬英悟*・菊地洋二**・澤田 玲***

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** (一財) 沿岸技術研究センター 調査役

*** 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 調査課長

伊勢湾を対象海域とする沖合波浪観測システムを構築するため、GPS波浪計、陸上局及び観測局の設置位置や整備仕様などについて検討した。検討にあたり、従来の検討手順に加え東北地方太平洋沖地震の経験を踏まえた機能改善・向上方策を検討・整理し、沖合波浪観測システムを検討した。

キーワード：GPS、波浪観測、津波防災

1. はじめに

現在、全国で15基設置されているGPS波浪計は、海底地形の影響を受けない大水深において精緻な沖合波浪観測を行い、港湾整備に活用されている。東北地方太平洋沖地震では、東北地方沿岸に設置されていた複数のGPS波浪計が沿岸への津波到達時刻より約10分早く津波を観測し、気象庁が津波警報の引き上げを行うなど、GPS波浪計の津波早期検知効果が発揮されたところである。

一方、中部地方整備局管内では東北地方太平洋沖地震の津波被害を契機に、発生確率が高いとされる東海・東南海・南海の三連動地震の逼迫性から、地元自治体等より「伊勢湾口」へのGPS波浪計の設置を要望する声が高まった。このため、精緻な沖合波浪の観測及び津波の早期検知を目的として、伊勢湾口GPS波浪計設置の検討を進めることとなった。

また、管内には既に御前崎沖(静岡)、尾鷲沖(三重)にGPS波浪計が設置されており、この伊勢湾口を含めた3基体制を確立することで中部地方沿岸域の地震・津波の減災対策として期待されているところである。

本検討では、伊勢湾口GPS波浪計及び陸上局の設置位置、GPS波浪計の基本仕様を検討した。

2. GPS波浪計及び陸上局設置位置の検討

2.1 GPS波浪計設置海域の検討

GPS波浪計設置地点の選定は、図-1に示す手順に従って行った。

(1) 波浪計としての条件

はじめに、陸岸地形による遮蔽がなく、沖波と考えられる水深の海域を抽出するため、伊勢湾口及び周辺における波の周期の出現状況を5～10年間を対象として整理した(表-1)。但し、静岡御前崎沖と三重尾鷲沖は2009

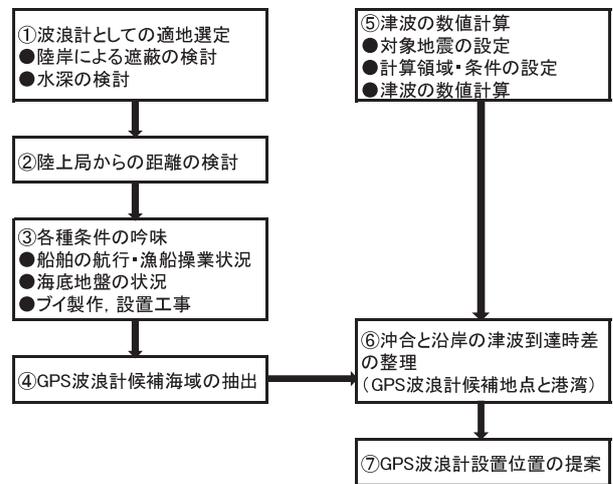


図-1 GPS波浪計設置地点の選定手順

表-1 伊勢湾口及び周辺の周期出現状況

波浪観測地点	観測数(回)	測得率(%)	有義波周期と未超過出現率		波長(m)	期間	
			周期(s)	未超過観測数			出現率(%)
下田	40546	92.5	12	40244	99.3	225	10年間(2000～2009年)
清水	43471	99.2	12	43082	99.1	225	10年間(2000～2009年)
御前崎	40116	91.5	13	39832	99.3	264	10年間(2000～2009年)
静岡御前崎沖	3844	87.8	12	3825	99.5	225	1年間(2009年)
三重尾鷲沖	4296	98.1	13	4274	99.5	264	1年間(2009年)
伊勢湾口(A地点)	22489	95.6	13	22280	99.1	264	5年間(2002～2006年)

註1: 測得率 = 観測数 / 規定回数 × 100

註2: 波長 = $g/2\pi \times \text{周期}^2$ (g: 重力加速度 = 9.8m/s²)

註3: 未超過観測数 = 設定した、周期以下の周期の出現回数

註4: 伊勢湾口(A地点)の資料は、平成14～18年度 気象観測資料整理委託報告書(財団法人日本気象協会)から引用

年から観測を開始しているため、対象期間は1年となっている。

設定した周期以下のものの出現率が99%以上となるような周期を求めたところ、海域全体で12～13sとなった。

対応する深海波の波長は、 $g/2\pi \times \text{周期}^2$ (g: 重力加速度 = 9.8m/s²) で計算され、225～264mとなる。即ち、出現する波長の99%以上は、これらの平均を取って245m程度以下であることが分かる。このことから、沖波を観測するには、245mの半分即ち120m程度以上の水深を目安とした。

(2) 陸上局からの距離の検討

RTK-GPS (リアルタイムキネマティック) 方式による波浪観測精度 (誤差数 cm 程度以内) を確保し, 陸上の受信局で電波を受ける関係から, 陸岸からの距離が 30km 以内であることを目安とした。

(3) 海底地形条件の検討

1 点係留方式のGPS波浪計ブイの沈錘を海底に設置することから, 海底勾配は比較的平坦であることが望ましい。これまでの実績から, 1/20 程度以下を目安とした。

また, 図-3 に示す底質分布図より, 伊勢湾口付近の海底の地質は細砂・砂または泥であることがわかった。

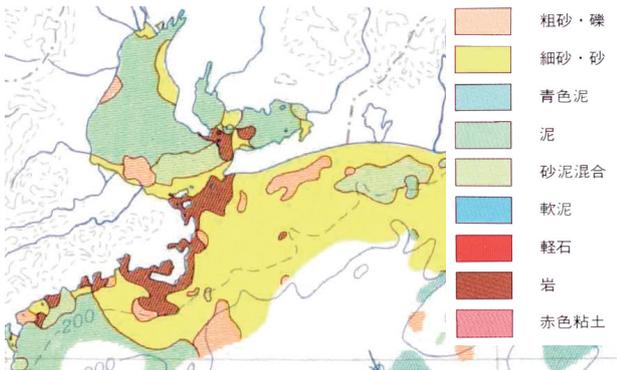


図-3 伊勢湾口付近の底質分布図

(4) 船舶の航行状況

伊勢湾口は, 湾内各港の入出港船舶が必ず通過するため, 対象海域は非常に輻輳している。GPS波浪計は, これら船舶の航行の妨げとならない箇所に設置する必要がある。船舶の航行状況を把握するため, 関係部署よりAIS (船舶自動識別装置) を用いた航跡データに基づく航跡図を入手し, 年間を通じて比較的航行が少ない海域を抽出した。図-4 は, 2011 年 10 月 12~18 日 (7 日間) の航跡図に比較的航行の少ない海域を黄色枠で示したものである。他の時期についても同様に海域を絞り込んだ。

(5) 海域候補の抽出

(1) ~ (4) の検討結果により抽出された候補海域を図-5 に示す。検討条件全てを満足する海域が無い場合, 陸上局の選定と併せて設置可能な海域を絞り込むこととした。

図中の水色の網掛けは, 水深条件を満たす範囲を示し, 黄色の網掛けは, 船舶航行量の少ない範囲を示している。丸で囲んだ範囲は, 水深が複雑なため不適である。いずれの海域も陸岸から 30km 以内である。

2.2 陸上局設置位置の検討

(1) 陸上局設置候補地の抽出

GPS波浪計設置候補海域を対象とした陸上局の設置候

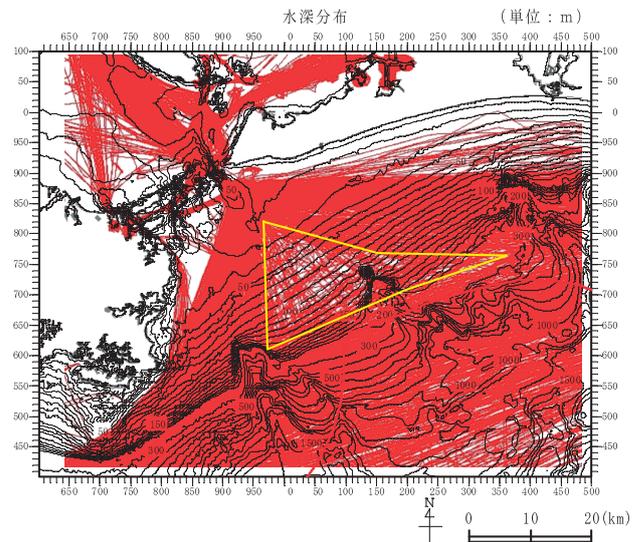


図-4 AIS データに基づく航跡図

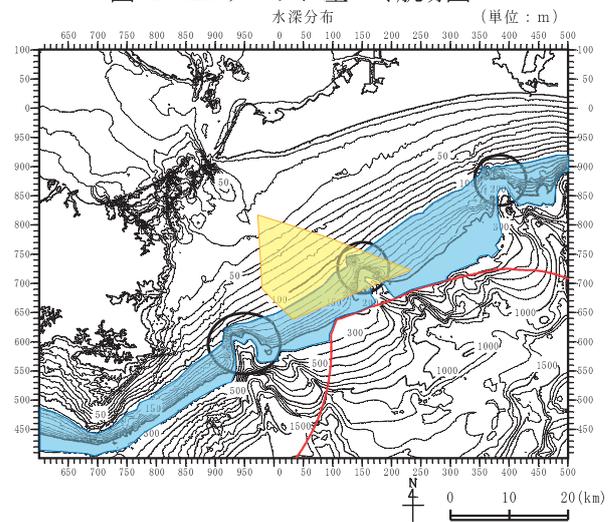


図-5 GPS波浪計の設置可能な海域

補地域は, 愛知県側 (渥美半島), 三重県側 (志摩半島) となる。

候補地の抽出は, まず机上検討で対象地域から候補地を複数抽出し, 現地調査において施設周辺状況等の詳細情報を確認し絞り込んだ。

陸上局設置位置の制約条件としては, 以下の 3 点が挙げられる。

- イ) GPS波浪計を見通せること
- ロ) 仰角 10 度以上に上空視界を遮る障害物が無いこと
- ハ) 周囲にGPS衛星からの電波が多重反射を起す障害物が無いこと

また, 現地調査では以下の点に着目し調査した。

- ・電源の有無
- ・電話等通信回線の有無
- ・屋内機器設置場所の有無
- ・屋外施設の設置スペースの有無
- ・作業車搬入路等の作業環境

以上より, 対象地域における候補地点を以下の 3 箇所に絞り込んだ。

【愛知県側（渥美半島）】 【三重県側（志摩半島）】

- ①伊勢湾海上交通センター ③鳥羽展望台
- ②大山山頂

①は、設置環境、作業環境、経済性ともに優れている。
 ②は、設置環境は適しているが、アクセス路の整備が必要など経済性に劣る。また、③は新たな土舎やアンテナを設置する必要があり、経済性にやや劣る結果となった。

2.3 GPS波浪計及び陸上局設置位置の提案

陸上局の候補地に対してGPS波浪計の設置可能な位置は、図-6に示す4地点となった。地点①、②は大山山頂から、地点③は、伊勢湾海上交通センターからそれぞれ20km以内で水深が最大となる地点である。地点④は、中部地方整備局（道路部）設置の波高計撤去跡であり、船舶の航行や漁業の障害にならないことが確認されているため、候補地点とした。なお、4地点の水深は、最大でも90mで目安とした120m以下であるが、周期13sの場合の浅水係数が0.95以上であることから問題がないと判断した。

3. GPS波浪計の基本仕様の検討

係留設備を含めたGPS波浪計本体の設計にあたって、GPS波浪計が設計条件に対して十分な安全性を確保するとともに、所要の動揺特性を満足させることが重要である。

このため、構造上の安全率と動揺特性を満足しているかチェックする必要があるが、本検討では静的解析による概略検討とし、動揺解析結果は詳細設計で考慮することとした。

3.1 GPS波浪計本体の仕様

GPS波浪計は、ブイ本体、係留設備及び各種の搭載

機器から構成される。ブイの径は、実績の多い5.0mを従来型とし、尾筒を設けない7.0mを改良型として2タイプ検討した（改良案については後述する）。

3.2 設計条件

(1) 主要項目

ブイ本体の設計条件は、以下のとおり設定した。

- ①本体の構造形式：鋼製
- ②アンテナ高さ：喫水面から8m以上
- ③係留方式：1点係留方式
- ④鉛直運動固有周期：6秒以下
- ⑤GPS波浪計から伝送するデータ：
 - ・ブイのX, Y, h座標
 - ・ブイの2軸傾斜
 - ・ブイの方位
 - ・管理情報
 - ・風向, 風速
 - ・流向, 流速
 - ・気温, 気圧, 水温

(2) 気象・海象条件

今回設定した気象・海象設計条件を表-2に示す。

表-2 気象・海象条件

項目	内容
設置水深	約 90m
海底地質	砂質
設計波	・有義波高 $H_{1/3}$ $H_{1/3} = 16.73 \text{ m}$ ・有義波周期 $T_{1/3}$ $T_{1/3} = 18.5 \text{ S}$
風速	・10分間平均 U_{10} 60.0 m/s
流速	・海水流速（潮流速） 2.4 m/s
付加荷重	付着物の重量を考慮する。 着水については、考慮しない。
日照条件	設置箇所近傍の気象庁アメダスデータまたはNEDOの全国日射関連データマップ等により設定する。

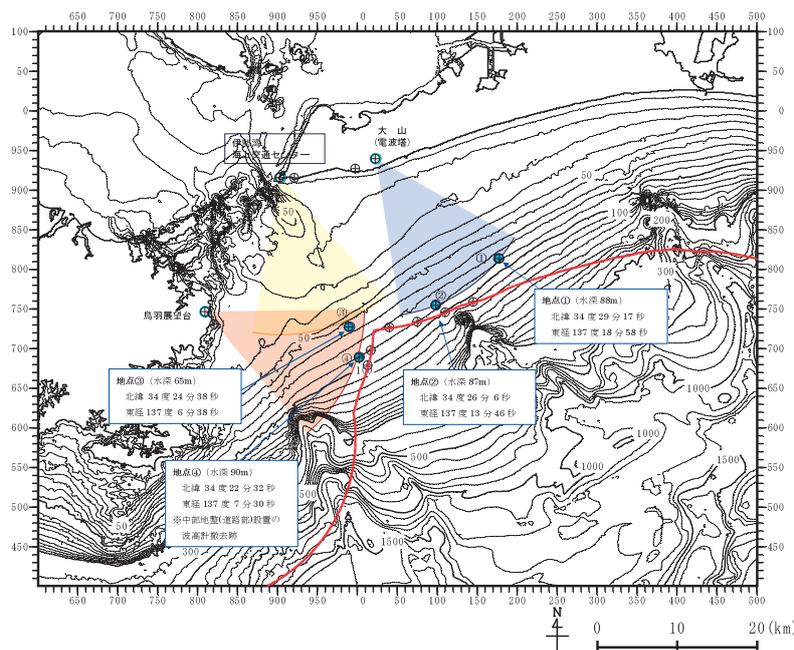


図-6 陸上局及び海域候補地

3.3 係留系の仕様

係留設備は1点係留とし、尾筒の先端に係留環を設けて係留索がねじれない構造で接続する。

係留索は、チェーンのみの場合とワイヤーケーブルを組合せる場合があるが、200m以浅の水深で一般的に採用されているチェーン方式を選択した。

設定した設計条件に基づいて外力を算定し、係留アンカーに鉛直荷重が発生しないチェーン長を静的カタナリ一計算で求めた。図-7、図-8にGPS波浪計一般配置図の従来型と改良型をそれぞれ示す。

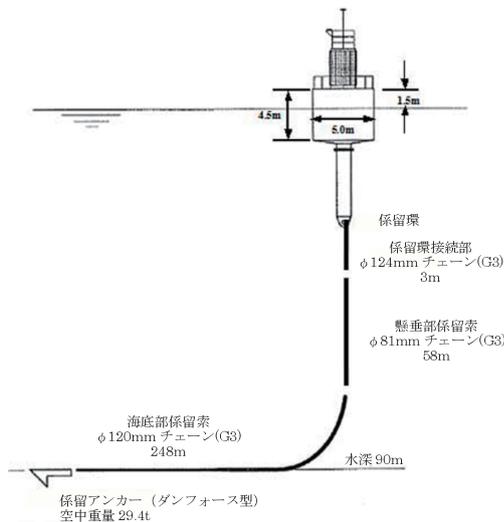


図-7 GPS波浪計一般配置図【従来型】

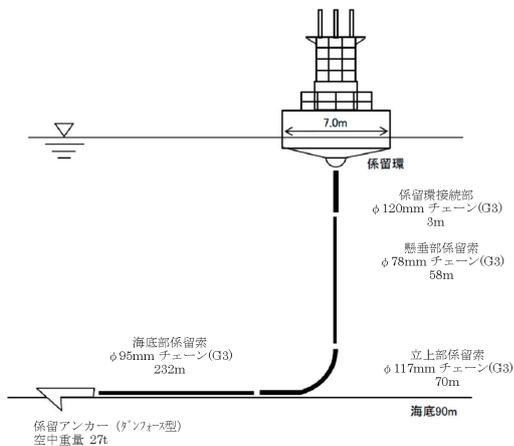


図-8 GPS波浪計一般配置図【改良型】

4. 現行システムの機能向上の検討

検討にあたり、東北地方太平洋沖地震においてGPS波浪計の観測データ伝送が停止したことについて、観測センターを管理する(独)港湾空港技術研究所へのヒアリングを行った。以下に、ヒアリング等を踏まえた機能向上に関する方策を整理する。

4.1 回線の二重化(衛星回線の使用)

東北地方太平洋沖地震では、地震等により主に陸上局から観測局間の専用回線の断線によりデータ伝送が停止

した。

回線の多重化は、複数の有線による通信回線の多重化や無線による通信が一般的であるが、衛星回線を活用することにより、陸上局から観測センターの通信が可能となることから、回線二重化で最も効率的な方法となる。但し、衛星回線は他の通信方法に比べ割高となることから、全国レベルでの整備によるコストダウンを図ることが効率的であると考えられる。

4.2 電源の強化

東北地方太平洋沖地震では、地震等により長期間にわたり停電が続いた。現行システムでは、無停電装置による電源のバックアップ機構が備わっているが、対応時間は24時間であったため、24時間以内の電源復旧が不可能であった今回の震災では、24時間以降はシステムが停止した。

回線の二重化とともに、停電時の電源確保は重要であり、以下の方法が考えられる。

- ・無停電装置(UPS)増強
- ・太陽電池等の設置 など

4.3 GPS波浪計ブイの改良

今回検討したブイ(改良案)の改良点を以下に示す。

- ①衝突被害軽減：ブイ径を拡大することにより、機器室の高さを低くすることで船舶衝突時におけるパネル破損の低減を図る。また、波の跳ね返りによる破損防止のため波よけを追加する。
- ②機器室数の減少：従来の3室から2室に変更し、メンテナンス時の作業時間の短縮を図る。また、機器室上に櫓を1段追加し、昇降における安全性を高めるとともに作業スペースを確保する。
- ③流向・流速計架台の仕様変更：浮体側面の回転式架台をスライド式架台に変更し、メンテナンス時の安全性を高める。
- ④ブイ重量の低減：尾筒を無くしブイ全体重量の低減を図る。また、尾筒内へのバラスト充填も不要であるため、工期短縮やコストダウンが可能となる。

5. 謝辞

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23年度 沖合波浪観測システム構築検討調査」での検討の一部を取りまとめたものである。検討に際し、整備局関係者には、貴重なご意見・ご指導をいただき、ここに記して厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 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：平成23年度 沖合波浪観測システム構築検討調査 報告書(平成24年3月)。