

---

## 紹 介

---

### 潮位・津波観測システムについて

鶴岡 睦\*・鈴木 博樹\*・九谷 昌治\*・中舘 明\*

#### 要 旨

本報告では、気象庁における潮位や津波の観測データを取得、伝送、集約、処理する一連の自動化した潮位・津波観測システムについて解説する。測器である検潮儀と津波観測計には電波式センサを採用している。また巨大津波観測計には水圧センサを採用し水中に設置している。データ伝送は、津波データ送信装置と衛星通信装置で行い、通常は地上回線の広域 IP 通信網を利用し、地上回線の異常時等には衛星通信回線を利用して伝送するよう冗長化しており、停電時でも 72 時間稼動するバッテリーを備え、津波等により水没した場合でも稼動するよう耐水性筐体に収納している。データ集約装置は、気象庁本庁（以下「本庁」という）のほかバックアップシステム（地域冗長）として大阪管区気象台に設置し、観測データをリアルタイムで集約、処理し、高潮・津波等の監視のため、庁内の各システムへ配信している。本庁のデータ集約装置は、他機関（国土交通省水管理・国土保全局、国土交通省港湾局、国土地理院、海上保安庁、自治体等）のデータも扱っている。

#### 1. はじめに

2014 年 10 月現在、第 1 図に示す全国 100 地点の検潮所及び津波観測施設において 24 時間不断で潮位や津波の観測を実施している。観測データは、高潮、津波、副振動等に関する情報の発表に用いられるほか、地球温暖化による海面水位変動や東南海・南海地震の発生メカニズムの把握に向けた地殻変動の監視にも利用され、沿岸防災の実況監視には欠かすことができない。

潮位・津波観測システムとは、潮位・津波を観測する検潮所及び津波観測施設、取得した観測データを伝送する通信網、本庁及び大阪管区気象台に設置している観測データを集約、処理するデータ集約装置など、潮位・津波観測データの取

得、伝送、集約、処理を行う一連の自動化したシステムを指して呼ぶこととする。

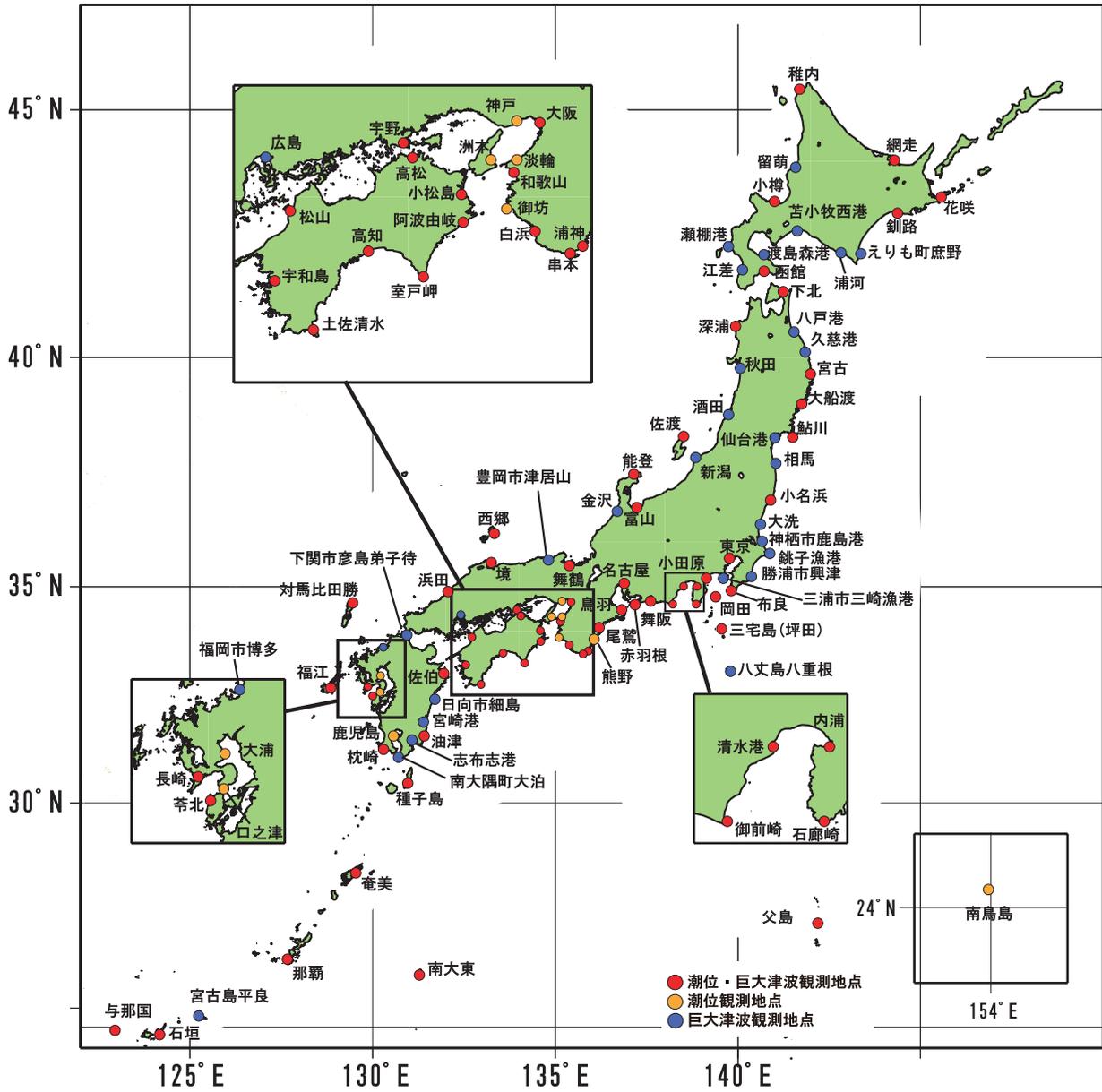
本稿では、潮位・津波観測システムの概要を広く職員に知ってもらうために解説する。

#### 2. 潮位・津波観測システム

潮位・津波観測システムの概要を第 2 図に示す。このシステムは、大きく分けて検潮所及び津波観測施設、通信網、データ集約装置の三つで構成される。第 2 図に基づいてデータの流れの概要を説明する。各地の検潮所及び津波観測施設には、潮位・津波の測器とデータ伝送を行う機器を設置し、観測データを取得するとともに、観測データはパケット化し、通常は広域 IP 通信網（地上回

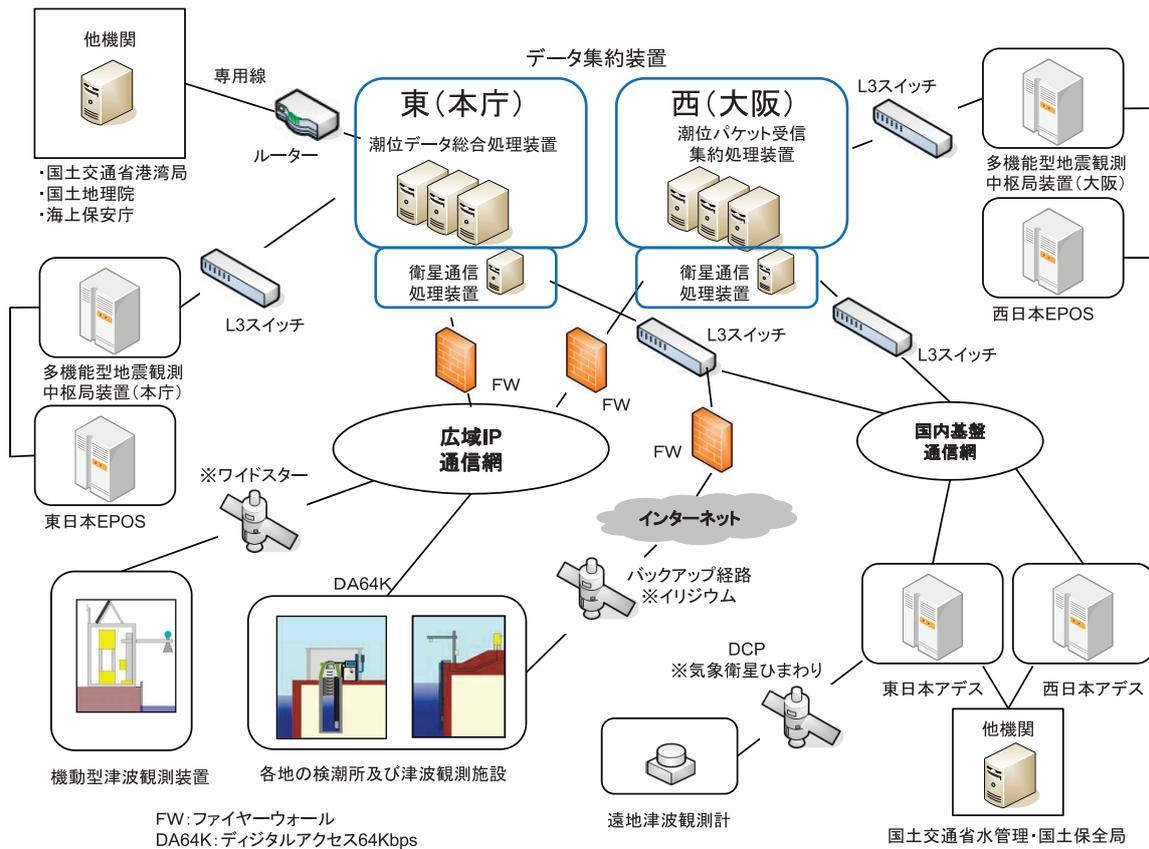
---

\* 地球環境・海洋部海洋気象課



第1図 検潮所及び津波観測施設の配置

検潮儀、津波観測計又は遠地津波観測計を設置する地点を潮位観測地点、巨大津波観測計を設置する地点を巨大津波観測地点として示している。



第2図 潮位・津波観測システムの概要

線)でデータ集約装置へ伝送する。地上回線が途絶した場合は、観測データをメールにしてバックアップ経路となる衛星通信回線(イリジウム)でインターネットを経由してデータ集約装置へ伝送する。観測データは本庁と大阪管区気象台のデータ集約装置に集約する。データ集約装置は、伝送されてきた観測データの品質管理を自動で行うほか、フォーマットを変換して気象庁内の気象情報伝送処理システム(以下「アデス」という)や地震活動等総合監視システム(以下「EPOS」という)へデータを配信する処理を行っている。

検潮所及び津波観測施設が津波等で損壊した場合には、臨時に機動型津波観測装置を設置して観測を継続する。観測データはパケット化し衛星通信回線(ワイドスター)でデータ集約装置へ伝送する。また南鳥島には遠地津波観測計を設置し、観測データは電文として気象衛星ひまわりでアデスを経由してデータ集約装置に伝送する。

他機関の観測データは、専用線又はアデスを

経由して本庁のデータ集約装置に集約している。データ集約装置の前にファイヤーウォールを置いてアクセス制御を行うことで、データ伝送以外の処理を無効化し、外部からデータ集約装置への不正侵入を遮断している。

以下の節で、システムを構成する個別の機器について解説する。

## 2.1 潮位・津波観測の測器

潮位観測に用いる測器として、検潮儀(電波式)、津波観測計(電波式)又は遠地津波観測計を採用している。また、津波観測には潮位観測に用いる測器のほか、巨大津波観測計を用いている。個々の観測地点に設置している測器を第1表に示す。

各測器について、詳細を以下に示す。

### 2.1.1 検潮儀(電波式)

検潮所の模式図を第3図に、検潮儀(電波式)などの測器の検潮所への設置状況を第4図に示

第 1 表 観測測器・機器の設置状況

下記のほか、衣浦、四日市、姫路（飾磨）の 3 地点で自治体等の検潮儀からデータ分岐を行っており、津波データ送信装置を設置している。

管轄する 管区等	観測地点名	電波式		遠地 津波計	巨大 津波観測計 設置場所 (内or外)	津波デー タ送信装置 設置場所 (内or外)	衛星 通信装置 設置場所 (内or外)	管轄する 管区等	観測地点名	電波式		遠地 津波計	巨大 津波観測計 設置場所 (内or外)	津波デー タ送信装置 設置場所 (内or外)	衛星 通信装置 設置場所 (内or外)	
		検潮儀	津波 観測計							検潮儀	津波 観測計					
本庁	父島	○			内	内	内	大阪	浦神	○			内	内	内	
	南島島			○					串本	○			内	内	内	
札幌	稚内	○			内	内	内	白浜	○			内	内	内		
	網走	○			内	内	内	御坊		○			外	内		
	花咲	○			内	内	内	和歌山	○			内	内	内		
	釧路	○			内	内	内	淡輪	○				内	内		
	函館	○			内	内	内	大阪	○			内	内	内		
	小樽		○		外	外	外	神戸	○				内	内		
	留萌				外	内	外	洲本		○			外	外		
	浦河				外	内	内	豊田市津居山				内	内	内		
	瀬棚港				外	内	外	舞鶴	○			内	内	内		
	江差				外	内	内	宇野	○			内	内	内		
	えりも町庶野				外	外	外	広島				内	内	内		
	苫小牧西港				外	外	外	境	○			内	内	内		
	渡島森港				外	内	外	浜田	○			内	内	内		
	仙台	八戸港				外	外	外	西郷	○			内	内	内	
下北			○		外	内	内	松山	○			内	内	内		
深浦		○			内	内	内	宇和島		○		外	外	外		
宮古			○		外	外	外	高松	○			内	内	内		
大船渡		○			内	内	内	小松島	○			内	内	内		
久慈港					外	外	外	阿波由岐		○		内	外	外		
鮎川		○			内	内	内	室戸岬	○			内	外	内		
仙台港					内	外	外	高知		○		内	外	外		
小名浜		○			内	内	内	土佐清水	○			内	内	内		
秋田					外	外	外	下関市弟子待					内	内	内	
酒田					外	内	外	福岡市博多					内	内	内	
相馬					外	外	外	大浦		○			外	内	外	
東京		大洗				外	外	外	口之津	○				内	内	内
		神栖市鹿島港				外	外	外	長崎	○			内	内	内	
	銚子漁港				内	内	内	福江	○			内	内	内		
	勝浦市興津				内	外	内	対馬比田勝		○		外	外	外		
	布良	○			内	内	内	佐伯		○		外	外	外		
	東京	○			内	内	内	帯北		○		外	外	外		
	岡田	○			内	内	内	日向市細島				内	内	内		
	三宅島(埴田)		○		外	外	外	宮崎港				内	外	内		
	八丈島八重根				外	外	外	油津	○			内	外	内		
	三浦市三崎漁港				外	外	外	志布志港				内	外	外		
	小田原		○		外	外	外	南大隅町大泊				内	内	内		
	石廊崎		○		外	外	外	鹿児島		○			外	外	外	
	内浦	○			内	内	内	枕崎	○			内	内	内		
	清水港	○			内	内	内	種子島		○		外	外	外		
	御前崎	○			内	内	内	奄美		○		外	外	外		
	舞阪	○			内	内	内	那覇	○			内	内	内		
	赤羽根		○		外	外	外	南大東		○		外	外	外		
	名古屋	○			内	内	内	宮古島平良				外	内	外		
	鳥羽	○			内	内	内	石垣		○		外	内	外		
	尾鷲	○			内	内	内	与那国		○		外	外	外		
	熊野		○			外	外	計	100	44	25	1	91	99	99	
	佐渡		○			外	外									
	新潟					外	外									
	富山	○				内	内									
	能登		○			外	外									
	金沢					外	外									

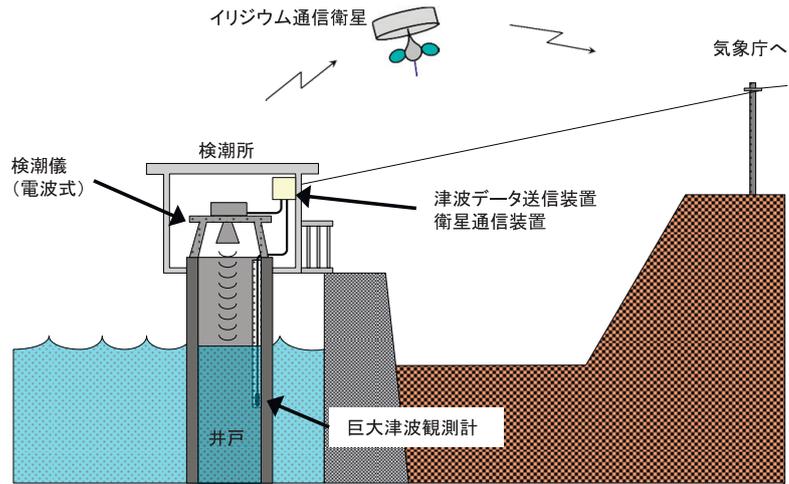
す。検潮儀（電波式）は、海面への風や波の影響が少ない検潮所内に設置し、送受波器と伝送部で構成される。第 2.1.4 節に後述する巨大津波観測計を併設している検潮所が多く、その状況を第 5 図に示す。

送受波器は、検潮所内の井戸上部の取付架台に設置し、海面へ向けて固定し、直下の潮位を観測する。送受波部から海面に向けてマイクロ波パルスを送射し、電波が海面で反射し戻ってくるまでの時間を測定してセンサから海面までの高さを算出する。あらかじめセンサの高さをパラメータとして設定しており、潮位に換算する。観測した潮位はアナログ信号として伝送部へ出力し、伝送部

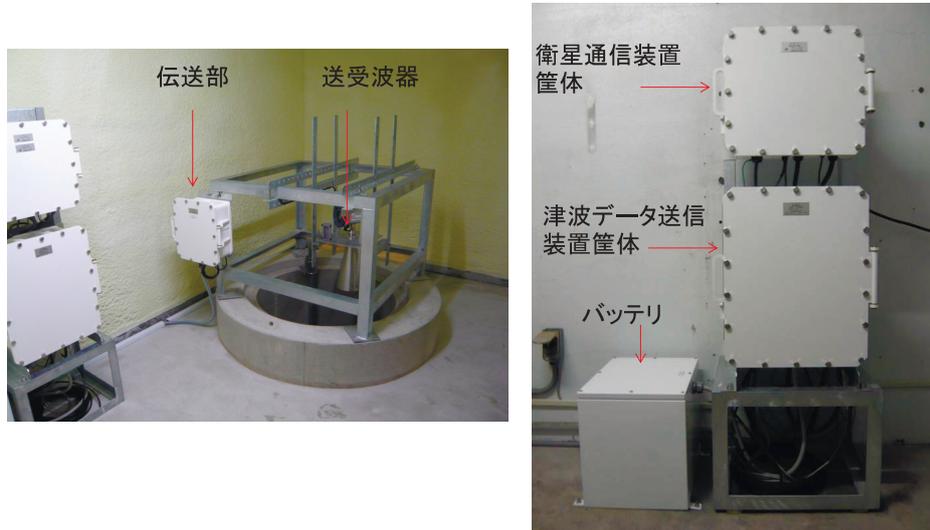
においてデジタル変換し、1 秒ごとのデータとして RS-422A で第 2.2 節に後述する衛星通信装置を経由し津波データ送信装置へ出力する。

測器の性能等は以下のとおりである。

- (ア) 測定方式 : マイクロ波パルスレーダー方式
- (イ) 使用周波数 : 5.8GHz (帯域± 0.5GHz)
- (ウ) 計測範囲 : 0 ~ 20m
- (エ) 測定精度 : ± 10mm
- (オ) 照射角度 : 約 17 度
- (カ) 出力信号 : アナログ DC4-20mA
- (キ) 測定間隔 : 1 秒



第 3 図 巨大津波観測計を併設する検潮所の模式図



第 4 図 検潮儀（電波式）（左），検潮所内に設置した衛星通信装置，津波データ送信装置及びバッテリーの筐体（右）の設置状況

観測精度保持のため、1年又は6か月に1回点検（垂測点検）を実施している。レーザー距離計により測った潮位と検潮儀の示す値とを比較し、その差が許容範囲（5mm未滿）であるかについて確認している。許容範囲を超えた場合は、検潮儀のオフセット調整を行う。観測地点のうち13地点（父島、稚内、網走、釧路、函館、大船渡、布良、富山、串本、浜田、油津、長崎、那覇）は、地球温暖化による長期的な海面水位変動の監視のため、検潮儀（電波式）と測定方法は同じで測定精度が±2mmの精密型検潮儀（電波式）をセンサとして用いている。これら13地点で6か月に1回の点検を行い、他の地点では1年に1回の点



第 5 図 検潮所の井戸に設置した巨大津波観測計

検を行っている。

検潮儀（電波式）の導入や新しい精度確認方法の採用にあたって試験を行った結果を第3節で述べる。なお、電波法による微弱な電波を利用する無線設備に属し、無線局の免許は不要である。

### 2.1.2 津波観測計（電波式）

津波観測施設の模式図を第6図に示す。津波観測計（電波式）は、送受波部、伝送部、取付支柱により構成される。第2.1.4節に後述する巨大津波観測計を併設している施設が多く、岸壁への設置状況を第7図に示す。

津波観測計（電波式）は、岸壁等に設置した取付支柱のアーム先端に取り付けた送受波器を直下へ向けて固定し、海側に向けて振り出し潮位を観測する。測定方法とデータ出力については、検潮儀（電波式）と同様である。

観測精度保持のため、1年に1回の設置面検測を実施し、支柱を設置する設置面と津波観測計（電波式）の高さが変化していないことを確認している。

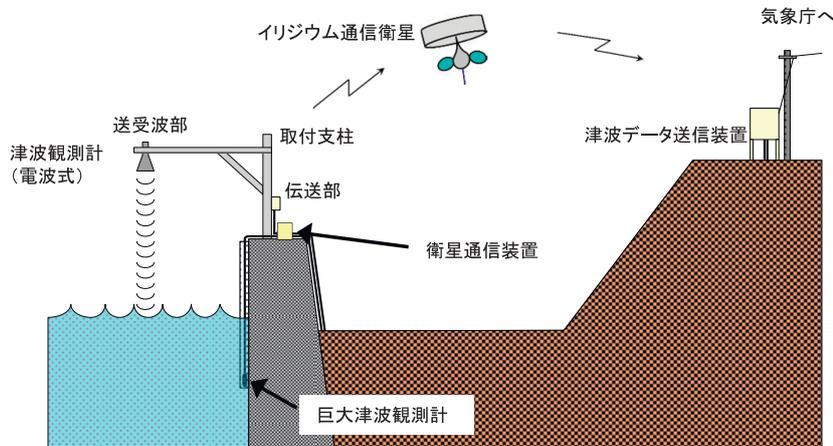
機器の性能等は、検潮儀（電波式）と同様である。観測地点のうち3地点（熊野、御坊、阿波由岐）は、東南海・南海地震の発生メカニズムの把握に向け地殻変動を監視するため、測定精度が±2mmの精密型津波観測計（電波式）をセンサとして用いている。

### 2.1.3 遠地津波観測計

南米のチリ沖等で発生する遠地地震に伴う津波を本土到達前にとらえるため、1996年に日本最東端の南鳥島に遠地津波観測計を設置し、潮位・津波を監視している。遠地津波観測計の模式図及び水圧センサの設置状況を第8図に示す。遠地津波観測計は水圧センサ、専用ケーブル、接続箱、潮位計変換器、接続変換器、DCP（Data Collection Platform）送信装置で構成される。

現在の装置は、2002年に更新整備したものである。水圧センサは海底に設置し、水圧の変化から海面の高さを測定する。水圧センサは水圧の変化を周波数に変換し出力する。出力された値は専用ケーブルにより陸上の接続箱から潮位計変換器に出力する。潮位計変換器は水圧センサからの周波数測定値を水位に変換（1～4kHzを0～30mに対応）し、その値を観測基準面上の値に計算して、接続変換器へ1秒ごとのデータをRS-422A出力する。接続変換器ではRS-422A入力をRS-232Cに変換して出力し、DCP送信装置により気象衛星ひまわりを經由して本庁へ伝送する。DCP送信装置は10秒ごとのデータを前20分間収録した電文を10分ごとに送信している。24時間の動作を保証し、停電等による欠測を防ぐためバッテリーを備えている。

機器の性能等は以下のとおりである。



第6図 津波観測施設の模式図

- (ア) 測定方式 : 水圧式
- (イ) 計測範囲 : 0.3m ~ 7.0m (最大 30m)
- (ウ) 測定精度 :  $\pm 0.5\%F.S.$  (15cm) 以下
- (エ) 出力信号 : RS-232C (接続変換器)
- (オ) 測定間隔 : 1 秒
- (カ) 伝送間隔 : 10 分

#### 2. 1. 4 巨大津波観測計

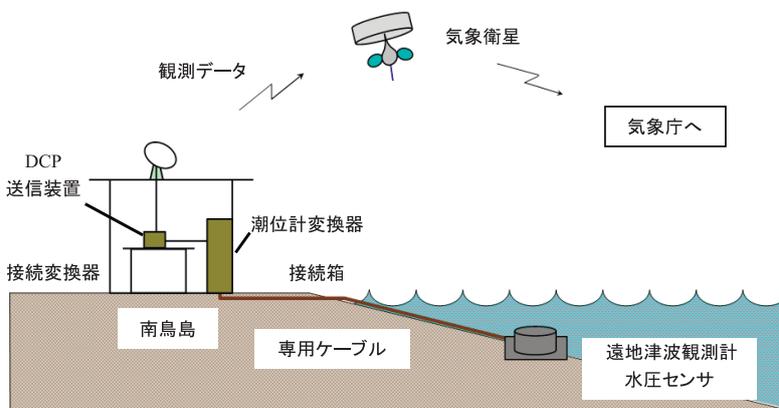
巨大津波観測計は、水圧センサ、設置保護管、気圧計（津波データ送信装置内設置）により構成される。

水圧センサを水中に設置し、海面の変動により生じる水圧の変化を測定することにより津波の高

さを算出する。常時観測できるため、以前設置されていた陸上設置型と比べ障害の発見が容易である。観測データは 5 秒ごとにサンプリングしている。水圧センサ単体でも観測データに日時を付加し、内部メモリに約 70 時間分の観測データを保存できるため、信号線の切断等でデータ伝送が行えない場合でも、水圧センサが稼動していれば、観測値を保持し、後日データを回収することが可能である。水圧センサの材質は耐蝕性に優れたチタンである。検潮所では井戸の縁に、井戸のない地点では岸壁等に設置している。検潮所及び津波観測施設における巨大津波観測計の設置状態を、それぞれ第 5 図及び第 7 図に示す。



第 7 図 津波観測計（電波式）の設置状況



第 8 図 遠地津波観測計の模式図（左）、水圧センサの設置状況（右）

水圧センサの設置保護管は井戸設置と岸壁設置で材質が異なり、井戸では塩化ビニール製で、岸壁ではより強度の高いチタン製を用いており、いずれも耐蝕性を有する。また、岸壁では保護管の固定と保護のため、防舷材を設置している。

水圧センサで測定される圧力は、水圧と気圧の合計であるため、津波データ送信装置内の気圧計で測定された大気圧を差し引き、水圧のみを算出している。

検潮儀・津波観測計（電波式）と比べて、観測精度が海水密度の変動や水圧計特有の値のドリフトの影響を受けて変化し劣るが、検潮儀・津波観測計（電波式）が水没して観測できない10mを超える巨大津波でも観測が可能である。

機器の性能等は以下のとおりである。

- (ア) 測定方式 : 水圧式
- (イ) 動作温度 :  $-10 \sim 50^{\circ}\text{C}$   
(ただし、凍結しないこと)
- (ウ) 計測範囲 : 水深 20m まで
- (エ) 測定精度 :  $\pm 1\%$
- (オ) 温度ドリフト :  $\pm 0.015\%/^{\circ}\text{C}$  以下  
( $-10 \sim 50^{\circ}\text{C}$ における任意の  $10^{\circ}\text{C}$ 内)
- (カ) 出力信号 : RS-232C
- (キ) 測定間隔 : 5 秒 (伝送は毎秒)

### 2.1.5 機動型津波観測装置

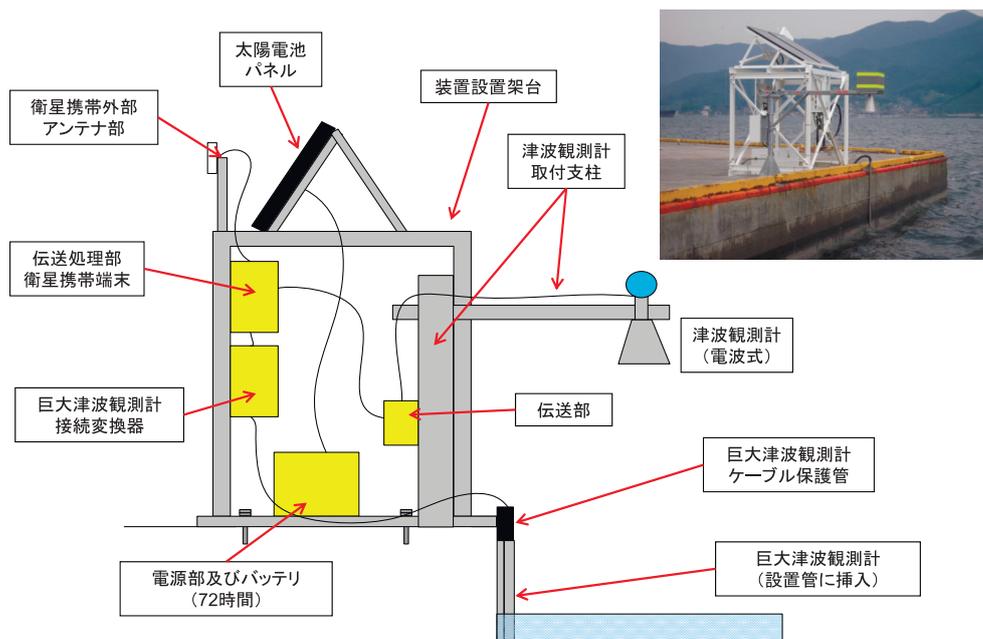
機動型津波観測装置は、2011年3月の東日本大震災で潮位・津波観測施設が損傷し、観測が継続できなくなった経験を踏まえ、津波観測業務の迅速な復旧・継続に備えるための予備的な観測装置である。

機動型津波観測装置の構成を第9図に示す。津波観測計（電波式）・伝送部、巨大津波観測計・ケーブル保護管・接続変換器、伝送処理部、衛星携帯端末、衛星携帯外部アンテナ部、電源部により構成される。

観測原理は津波観測計（電波式）と同様であるが、商用電源や通信網の復旧目処が立たない被災地域へ設置することを考慮し、電源部は、太陽電池パネルと72時間のバッテリーを用いた自立電源及び衛星通信回線（ワイドスター）を備え、観測データを本庁と大阪管区気象台へ伝送する。

### 2.2 データ伝送について

第2図に示したとおり、全国の検潮所及び津波観測施設において観測した各データは、津波データ送信装置によってパッケージ化され、広域IP通信網により本庁・大阪管区気象台のデータ集約装置へ毎秒伝送している。



第9図 機動型津波観測装置の模式図（左）と設置状況（右上）

また、広域 IP 通信網が途絶した場合においても継続して観測データが伝送できるよう、バックアップとして衛星通信回線を利用できる体制である。

以下では津波データ送信装置、広域 IP 通信網、衛星通信装置及び衛星通信処理装置について詳細を示す。

### 2.2.1 津波データ送信装置

第 10 図の右側に、津波データ送信装置の概要を示す。

津波データ送信装置は、データ処理部、電源部、ルータ、避雷器で構成される。検潮儀、津波観測計、巨大津波観測計からの信号はまず第 2.2.3 節で後述する衛星通信装置経由でデータ処理部に入力され、その信号に機器の状態を示した情報を付加して、パケット送信用 WIN フォーマット（東京大学地震研究所で開発した多チャンネル地震波形データ処理システム「WIN システム」で使用されるデータ形式）に変換し、毎秒、広域 IP 通信網を利用し本庁等へ伝送する。

また、電源部は津波データ送信装置に接続される機器や衛星通信装置へも電力を供給し、停電時

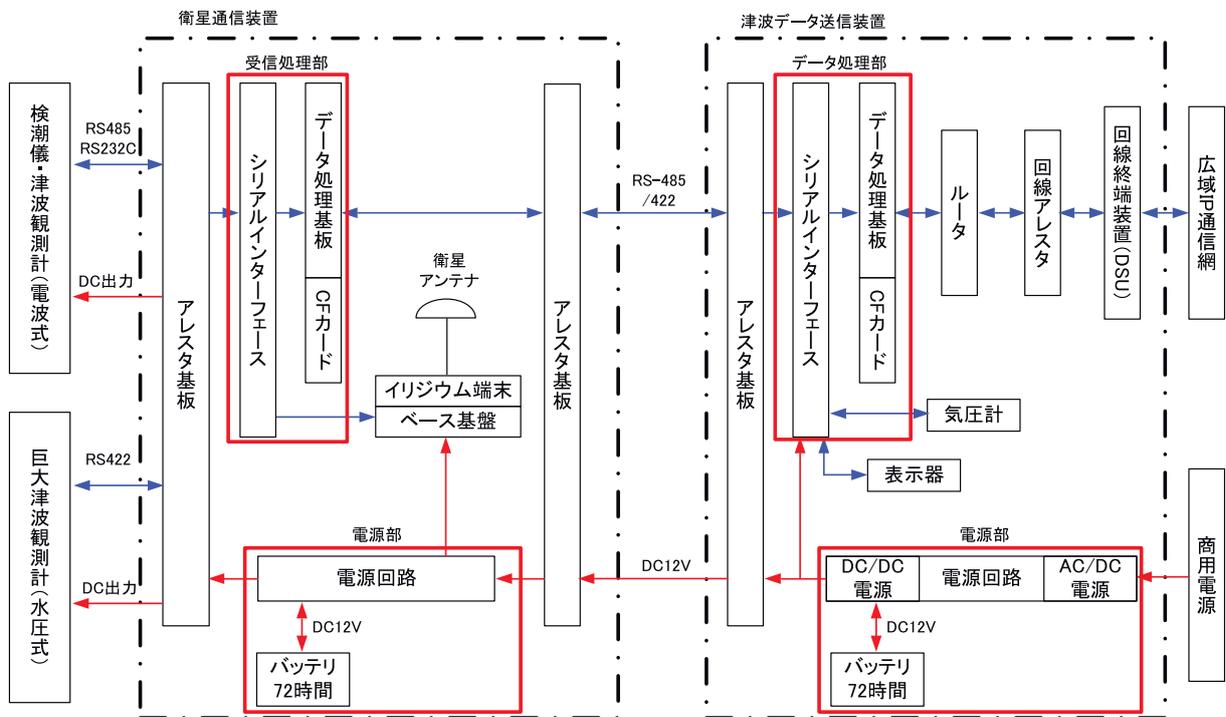
には観測から伝送までを 72 時間以上運用できるバッテリーを備えている。各所にアレスタ基板等の避雷器を取り付け、回線、電源線、データ信号線経由の雷サージ侵入を防いでいる。第 4 図に示すように筐体は、バッテリー以外の全てを収納でき、防水対策を施して、水没しても観測が継続できる設計となっている。

観測データやログ等の情報は交換可能なメモリ（コンパクトフラッシュ）に 1 か月分を収録している。津波データ送信装置に対して、広域 IP 通信網経由で本庁から保存データやエラーログの取得、リアルタイムデータの閲覧やソフトウェアの再起動、設定変更等の遠隔操作等が可能である。データやログは障害原因の特定にも利用できる。

津波データ送信装置は業者点検を 2 年に 1 回、また、職員による点検を 1 年に 1 回実施している。

### 2.2.2 広域 IP 通信網

各観測施設の観測データを、遅延なく確実にデータ集約装置や副振動監視システムへ送信するために、高速かつ安定した広域の通信回線網が必要となる。このため、2009 年度に広域 IP 通信網の利用を開始した。広域 IP 通信網に関する仕様は



第 10 図 津波データ送信装置（右側）及び衛星通信装置（左側）の概要

以下のとおりである。

- (ア) 通信網：IP-VPN（エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社）
- (イ) アクセス回線：デジタルアクセス（DA64Kbps）  
※ただし、大船渡は光回線（1Mbps）を利用
- (ウ) 回線速度  
観測局：64Kbps  
本庁：100Mbps  
大阪管区气象台：10Mbps
- (エ) その他機能：帯域制御
- (オ) 業者保守体制：24 時間受付

津波データ送信装置は、回線終端装置（DSU）から通信網のアクセス回線に接続する、検潮所等に設置した DSU は耐水筐体内に收容されており、信号線等の引き込み部分に十分な耐水対策が施されている。これにより、津波等により検潮所等が水没した場合でも通信機器は動作する。

アクセス回線から伝送される観測データは、広域 IP 通信網を経由して、データ集約装置側で受信するが、当該通信網は、地震火山部が運用している火山遠望観測用のカメラ映像等のデータ伝送経路と共同で利用している回線であり、潮位・津波データの優先度を高くし、安定した伝送処理を可能としている。

### 2.2.3 衛星通信装置

第 10 図の左側に、衛星通信装置の概要を示す。

衛星通信装置は、通常（地上回線による運用）は、1 日 1 回のヘルスチェックのみを行っているが、地上回線の途絶又は津波データ送信装置が機能を失った際に、異常を検知し衛星通信回線に自動で切替えてデータ伝送を開始する、

衛星通信装置は、受信処理部、電源部、イリジウム端末（イリジウムショートバーストデータ対応 9602 端末）、衛星通信アンテナで構成され、測器からの観測データ入力信号を受信し、その信号に機器の状態を表す保守情報を付加したものを、メール（衛星通信用フォーマット）に変換して、イリジウム衛星ネットワークとインターネットを経由して本庁等に伝送する。

衛星通信装置で送信時に作成される観測データのサンプリング間隔は 5 秒である。送信時には前 2 分間のデータを収録するメールデータを 1 分ごとに送信する。

また、電源は検潮儀又は津波観測計、及び巨大津波観測計へ電力を供給するとともに、停電時には観測から伝送までを 72 時間以上運用できるバッテリーを備えている。各所に避雷器を取り付け、各センサ、電源線、データ信号線経由の雷サージ侵入を防いでいる。筐体には、バッテリー以外の全てを収納でき、津波等により水没した際に、通信機能を保持するため、耐水対策を施している。

### 2.2.4 衛星通信処理装置

衛星通信処理装置は、第 2 図に示すように本庁及び大阪管区气象台のデータ集約装置ラック内に設置し、地上回線の途絶又は津波データ送信装置が機能を失った際等に、観測局に設置の衛星通信装置からの観測データをメールで受信し、観測地点ごとに 1 秒ごと（伝送される観測データは 5 秒ごとの値のため 5 秒間は同じ値になっている。）の WIN フォーマットに変換した後、本庁及び大阪管区气象台のデータ集約装置に送信する。

衛星通信処理装置からは、観測局の衛星通信装置に対し、以下のコマンド送信を行うことが可能である。第 11 図に衛星通信処理装置の監視画面を示す。

- (ア) 衛星通信装置の再起動
- (イ) 送信モード切替
  - ・通常観測モード（障害時自動切替え）
  - ・連続観測モード（強制送信）
- (ウ) 送信間隔
  - ・1 分単位での変更が可能
  - ※通常は 1 分間隔の送信
- (エ) 送信データ量
  - ・1 分単位での変更が可能
  - ※通常は 2 分間分のデータを送信

### 2.3 データ集約装置（潮位・津波観測データの集配信と他機関とのデータ交換）

日本全国の観測データをリアルタイムで受信、処理し、高潮、津波等の監視や情報提供に必要な

全監視画面

状態一覧 全監視		送受信履歴 潮位表示			地点パラメータ設定					再起動コマンド					処理装置再起動			
稚内	網走	花咲	釧路	えりも	旭川	札幌	仙台	新潟	相馬	小名浜	秋田	酒田	大洗	鹿島	銚子	漁港	勝浦	布良
東京	岡田	三宅島	八丈島	父島	油壺	小田原	石廊崎	内浦	清水港	御前崎	舞阪	赤羽根	名古屋	鳥羽				
尾鷲	熊野	佐渡	新潟西	富山	能登	金沢	舞鶴	津居山	神戸	洲本	浦神	串本	白浜	御坊				
和歌山	大阪	淡輪	境	西郷	浜田	宇野	広島	高松	小松島	阿波由岐	室戸岬	高知	土佐清水	宇和島				
松山	下関	博多	大浦	対馬比田勝	長崎	福江	口之津	茶北	佐伯	日向白浜	宮崎	油津	志布志	大泊				
鹿児島	枕崎	種子島	奄美	那覇	南大東	平良	石垣	与那国										

状態一覧画面

状態一覧 全監視		送受信履歴 潮位表示			地点パラメータ設定					再起動コマンド					処理装置再起動
地点名	現在動作モード	正常時動作モード	異常時動作モード	最新データ受信時刻	潮位特 殊情報	巨大津波 特殊情報	DC 供給	LAN 状態	シリアル 状態	CF カード	充電器 故障	バッテリ ロー			
八丈島	U	U	C	2014/10/06 08:00	-	0	正常	正常	正常	正常	正常	正常			
父島	U	U	C	10/06 08:00	-	0	正常	正常	正常	正常	正常	正常			
油壺	U	U	C	10/06 08:00	-	0	正常	正常	正常	正常	正常	正常			
小田原	U	U	C	2014/10/06 08:00	0	0	正常	正常	正常	正常	正常	正常			
石廊崎	U	U	C	2014/10/06 08:00	0	0	正常	正常	正常	正常	正常	正常			
内浦	U	U	C	2014/10/06 08:00	0	0	正常	正常	正常	正常	正常	正常			
清水港	U	U	C	2014/10/06 08:00	0	0	正常	正常	正常	正常	正常	正常			
御前崎	U	U	C	2014/10/06 08:00	0	0	正常	正常	正常	正常	正常	正常			
舞阪	U	U	C	2014/10/06 08:00	0	0	正常	正常	正常	正常	正常	正常			
赤羽根	U	U	C	2014/10/06 08:00	0	0	正常	正常	正常	正常	正常	正常			
名古屋	U	U	C	2014/10/06 08:00	0	0	正常	正常	正常	正常	正常	正常			
鳥羽	U	U	C	2014/10/06 08:00	0	0	正常	正常	正常	正常	正常	正常			
江津	C	U	C	2014/10/06 08:56	0	0	正常	異常	正常	正常	正常	正常			
熊野	U	U	C	2014/10/06 08:00	0	-	正常	正常	正常	正常	正常	正常			
佐渡	U	U	C	2014/10/06 08:00	0	0	正常	正常	正常	正常	正常	正常			

パラメータ設定変更画面

変更後パラメータ

通常モード観測データ送信間隔  
 24

待機モード観測データ送信間隔  
 1

連続送信モード観測データ送信間隔  
 1

連続送信モードデータ送信量  
 2

気圧補正固定値  
 1013.0

正常時動作モード  U

異常時動作モード  C

送信      キャンセル

第 11 図 衛星通信処理装置の監視画面  
(上段：全監視画面，中段：状態一覧監視画面，下段：パラメータ設定画面)

データを継続して、庁内の他システムに配信することを目的とし、2007年2月にデータ集約装置として、「潮位データ総合処理装置」（以下「東システム」という）を本庁に整備した（2013年11月に機能を強化しつつ更新）。

また、そのバックアップシステム（地域冗長）として、2010年3月に「潮位パケット受信集約処理装置」（以下「西システム」という）を大阪管区気象台に整備した。首都圏直下型地震などで

本庁が被災し機能を失った時においても、高潮・津波等の監視を継続し情報提供ができるようになり、安定性と信頼性が確保されている。

なお、東システムは、潮位観測を行っている他機関（国土交通省水管理・国土保全局，国土交通省港湾局，国土地理院，海上保安庁，自治体等）と接続し、潮位データの収集を行っている。各機関は気象庁を中継し、相互にデータ交換が可能である。

### 2.3.1 潮位データ総合処理装置（東システム）

東システムは、オンライン・リアルタイム（パケット、ファイル、電文）又は非リアルタイム（電文）で伝送されてくる気象庁及び他機関の観測データを、品質管理処理を行った後、データを取り込み集約する。また、これらのデータを、高潮、津波の監視等に利用するため、アデス、EPOSに配信する。

システムの外観を第12図に、システム構成とデータフローの概要を第13図に示す。大きく分けて、観測データの送受信を行う「データ入出力



第 12 図 潮位データ総合処理装置（東システム）

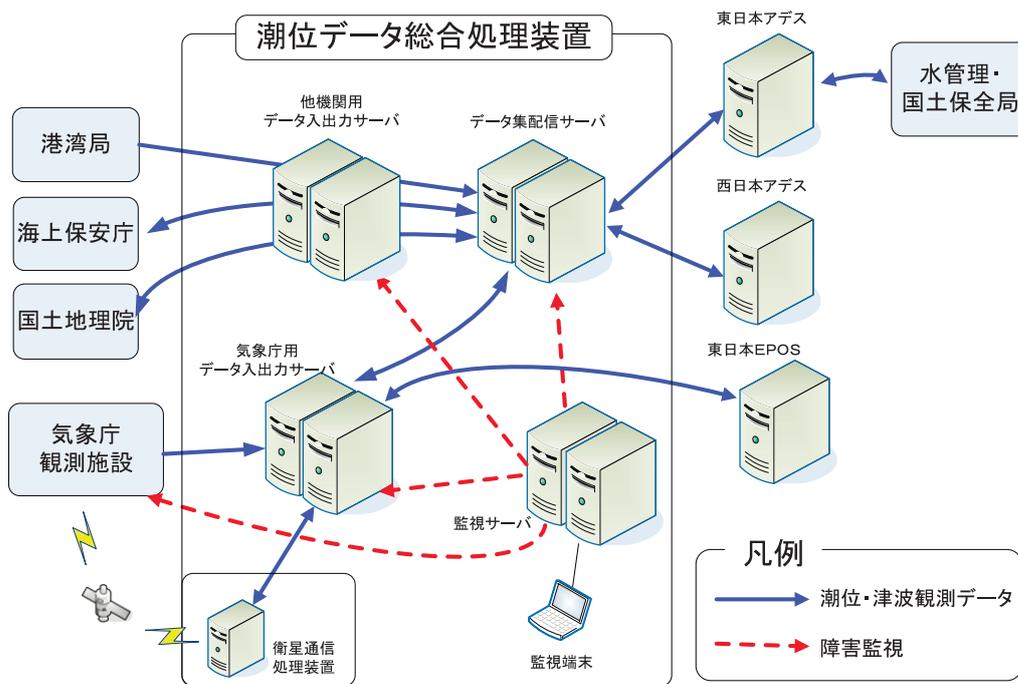
サーバ」、観測データを編集・蓄積する「データ集配信サーバ」、システム全体の障害監視を行う「監視サーバ」、収集した潮位データの保守情報やデータの異常のモニターを行う「監視端末」から構成される。なお、各サーバは冗長構成とし、運用サーバに障害が発生した場合は待機サーバに自動切替する。

これらのサーバで行う処理の詳細は、次のとおりである。

#### （ア）データ入出力サーバ

観測データの送受信について、負荷分散するため、気象庁用と他機関用（国土交通省港湾局、海上保安庁、国土地理院）で別のデータ入出力サーバを整備している。

気象庁用データ入出力サーバでは、津波データ送信装置又は衛星通信装置から送信されてきた観測データを受信し、共通フォーマットに変換してデータ集配信サーバへ転送する。また、他機関用データ入出力サーバは、専用線を介して各機関の対向サーバと接続されており、各機関から送信されてくる観測データはそれぞれフォーマットが異なるため共通フォーマットに変換して、データ集配信サーバへ転送する。これら集約された観測デ



第 13 図 システム構成とデータフローの概要（東システム）

ータは、本サーバを介して各機関と相互交換が可能である。

(イ) データ集配信サーバ

各データ入出力サーバから転送されてきた観測データを蓄積するとともに、港湾局からリアルタイムで毎秒送信されてくるGPS波浪計のデータを受信し、データ集配信サーバにて、毎秒WINフォーマットに変換し、気象庁用データ入出力サーバを介して、東日本EPOSへ転送する処理を行い津波監視等に供している。GPS波浪計のデータ伝送には、アデスの電文と同様のJMAソケット手順を用いている。潮位の観測データを国際気象通報式に定める二進形式汎用気象通報式(FM94BUFR)に変換し、アデスに5分間隔又は10分間隔で送信し、庁内及び他機関等に観測データを提供するとともに、気象庁ホームページや気象業務支援センターへも配信している。

潮位が観測地点ごとに設定した基準を超えた場合は、自動的にその内容を高潮・異常潮観測報(チヨウイカンシ報、電文)に編集して発信する機能を有し、異常潮位及び高潮の監視に利用している。異常潮位の場合、観測された潮位があらかじめ計算された推算潮位から一定値以上高くなる状態が一定期間継続した場合に電文を発信する。高

潮の場合、観測された潮位が東京湾平均海面(TP)から一定値以上高い場合に電文を発信する。

また、通信上の問題等で観測データにスパイクノイズ等が混入することがあるため、オンラインで入手したデータに対し品質管理を行い、ノイズを自動的に除去する機能も備えている。

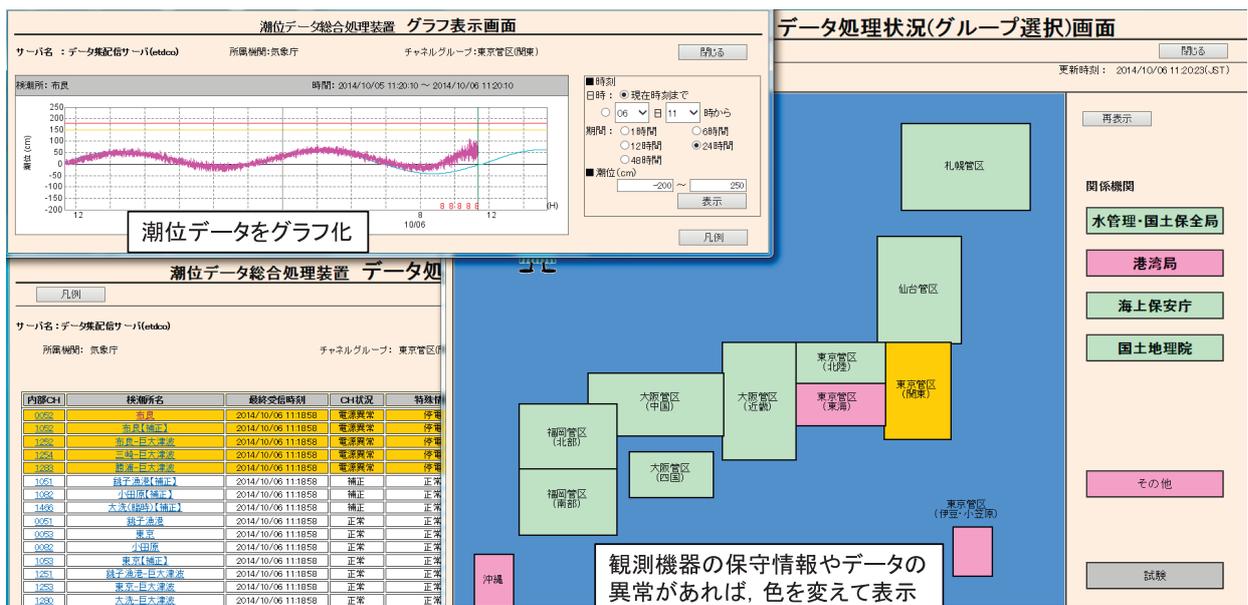
(ウ) 監視サーバ

第14図に監視端末の監視画面を示す。監視サーバでは、各観測地点の観測データの受信・収録状況、及び観測データをGUIによりグラフ化して表示し、収集した観測機器の保守情報やデータに異常があれば地図の色を変えて、特殊情報を表示させるなどの画面報知を行う。観測データの収録状況やシステム全体の負荷、ネットワークの状況、システム全体の障害等を検知し、メールによって自動的に障害を通知する機能も備えている。

また、地点ごとのメタデータや各処理に必要なパラメータを設定管理する。この設定画面を第15図に示す。

2.3.2 潮位パケット受信集約処理装置(西システム)

西システムは、東システムと同等の機能を持つバックアップシステム(地域冗長)として、大阪



第14図 観測データ監視画面(東システム)



第15図 パラメータ設定画面（東システム）

管区气象台へ設置している。

システム構成とデータフローの概要を第16図に示す。サーバ構成については、基本的には東システムと同様であるが、西システムは、東システムの地域冗長との位置づけであることから、各サーバはシングル構成である。

西システムの冗長機能は以下のとおりである。

#### (ア) 観測データの受信

観測地点の津波データ送信装置と衛星通信装置の送信先に、東システムと西システムそれぞれのデータ入出力サーバを指定しており、常時両システムでデータ受信を行っている。このため、東システムそのもの又は東システムが気象庁の観測データを集約するアクセス回線で障害が発生した場合やメンテナンス時でも、運用切替作業を行うことなく、観測データの集約が可能である。なお、西システムは、他機関との接続を行っていないため、他機関の観測データも冗長化していない。

#### (イ) 観測データの送信

データ入出力サーバから受信した観測データは、東システムと同様に、データ集配信サーバに

蓄積するとともに、WINフォーマットに変換しデータ入出力サーバを介してEPOSへ、二進形式汎用気象通報式(FM94 BUFR)及びチヨウイカンシ報を作成して、アデスへ送信している。

EPOSへの送信については、東システムから本庁設置の東日本EPOSへ、西システムから大阪管区气象台設置の西日本EPOSへ常時送信しているため、仮に本庁が機能を失っても、全国の潮位を継続して提供することが可能である。

また、アデスへの送信については、東システム及び西システムから、本庁及び大阪管区气象台設置のアデスへそれぞれ電文を常時送信している。通常は、アデスは東システムからの電文を利用し、障害等により電文送信が行えなくなった場合に、本庁の地球環境・海洋部海洋気象課からの依頼により、予報部情報通信課システム運用室がアデス側で西システムからの電文受信に切替を行う。

#### (ウ) データ品質管理処理

東システムと同じ処理によりデータ品質管理を行い、ノイズを自動的に除去する。ただし、西システムではサーバを冗長化していないことから、観測データを受信し、西日本EPOSに送信する機

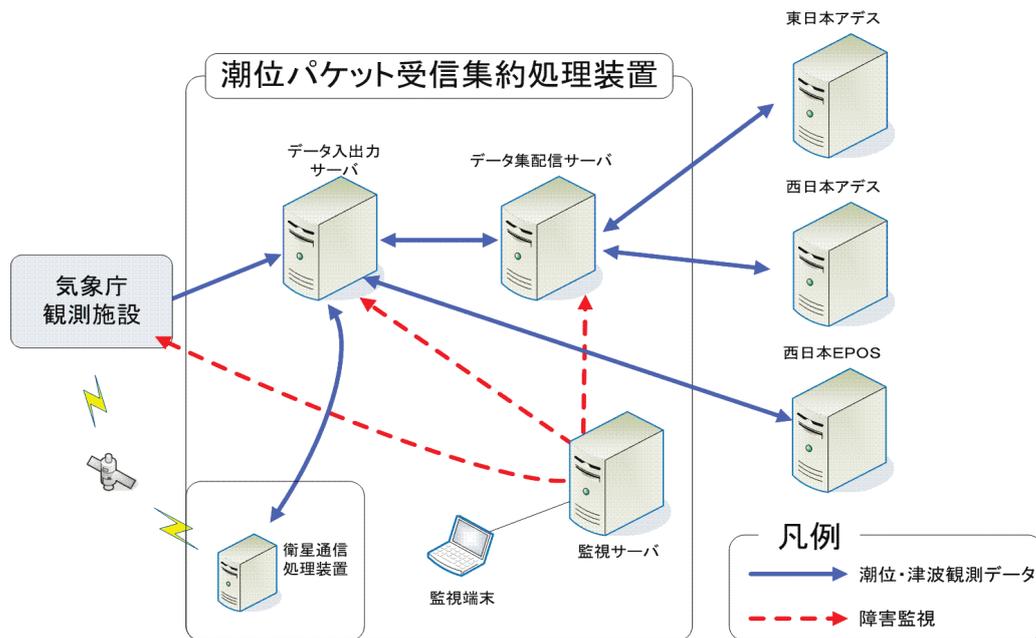
能をデータ入出力サーバ側に搭載した。このため、仮にデータ集配信サーバ及び監視サーバが障害となり機能しない場合でも、データ入出力サーバのみで、受信したデータの品質管理を行い、観測データを西日本 EPOS に送信することができる。

(エ) データ監視機能

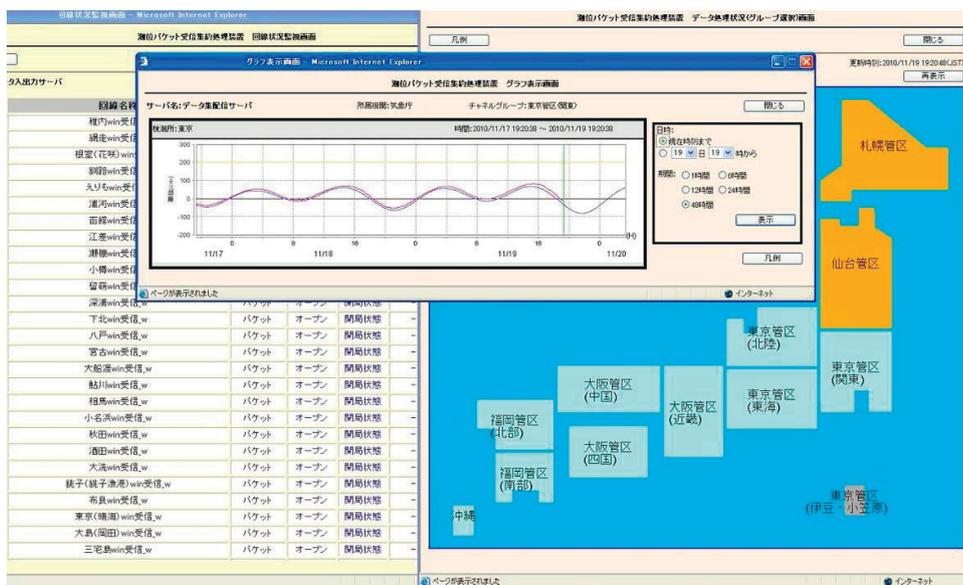
西システムは大阪管区气象台に設置されているが、東システムと一体的に運用を行うため、本庁

設置の専用監視端末の WEB 画面上で、データ監視や設定変更等の全ての操作をリモートで実施できるようになっている。これにより、東システムが機能を失う等の運用切替が必要な場合は、本庁においても迅速に切り替えられる。また、第 17 図に示すように西システムの監視画面や操作画面は、操作性を考慮して東システムと同じ配置としている。

また、各観測地点固有の設定情報については、



第 16 図 システム構成とデータフローの概要 (西システム)



第 17 図 潮位及び巨大津波データ監視画面 (西システム)

東システムと西システムの設定に差異が発生しないよう、東システムで使用するパラメータを共有して利用できる仕組みである。

#### 2.4 潮位・津波観測システムの変遷

潮位・津波観測システムの大きな変遷として、2007年2月のデータ集約装置の整備が挙げられる。気象庁のほか他機関（国土交通省水管理・国土保全局、国土交通省港湾局、国土地理院、海上保安庁、自治体等）の観測データを含めてリアルタイムで集約、処理し、高潮や津波等の監視のため、アデスやEPOSに配信する。このシステム整備は、上陸した台風の数が増加した2004年に台風などに伴う豪雨災害対策の一つとして、高潮監視の強化を目的として実施した。

2009年度には全国の潮位・津波観測機器の更新整備を行うとともに、新たに広域IP通信網を利用したデータ伝送に変更し、それまで個々の気象官署を経由して集約していたデータを直接本庁へ集約する方式を採用することにした。また巨大津波観測計をそれまでの陸上設置型から水中設置型へ変更した。

さらに、2011年3月の東日本大震災で、東北地方太平洋側を中心に観測施設の損壊、電力や通信網の途絶が発生し、潮位・津波観測が継続できない状況に陥ったことから、検潮儀・津波観測計の耐水強化を施した電波式センサへの変更、通信網の二重化、バックアップ電源の強化、筐体の耐水強化を実施したほか、観測施設が被災した場合の代替として観測を行う機動型津波観測装置の整備を行い、潮位・津波観測を継続するための措置を講じた。

このように、2007年以降に潮位・津波観測システムが大きく変更されたことにより、観測データが防災情報の作成や発信に安定して活用できるようになっている。

### 3. 電波式センサの導入について

電波式センサの導入前に、検潮所における潮位観測で十分な機能を持っているか、東京検潮所において検潮儀（フロート式）との比較試験を行った。また、検潮所に電波式センサを設置するにあ

たり、精度を保持するために検潮儀（フロート式）で行っていた垂測尺による点検に代わる新しく簡便な点検方法として、レーザー距離計を用いた方法の試験を行った。その試験結果について報告する。

#### 3.1 電波式センサと検潮儀（フロート式）の比較試験

2008年5月から2010年1月までの間、電波式センサと検潮儀（フロート式）との比較試験を行った。

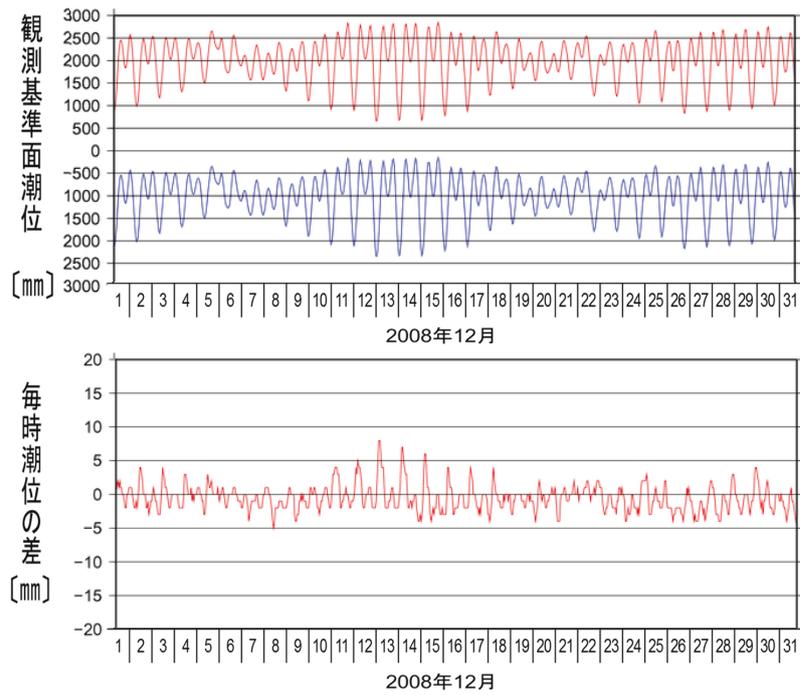
電波式センサは、検潮儀（フロート式）で観測をしている井戸上に併設することとし、井戸の中央にフロートを浮かべて観測を行っているため、フロートの真上とならないように井戸縁に寄せて設置した。比較試験の様子を第18図に示す。

第19図は2008年12月の東京検潮所の検潮儀（フロート式）と電波式センサのデータ及びそれら二つのデータの差を描画している。差はほぼ5mm以内に収まっており、検潮儀（フロート式）の観測精度±10mmを満たしている。

次に満潮時刻と干潮時刻のずれと潮位の差を第20図に示す。満潮及び干潮の時刻についてはほぼ差はない。潮位の差では干潮時、特に大潮の干

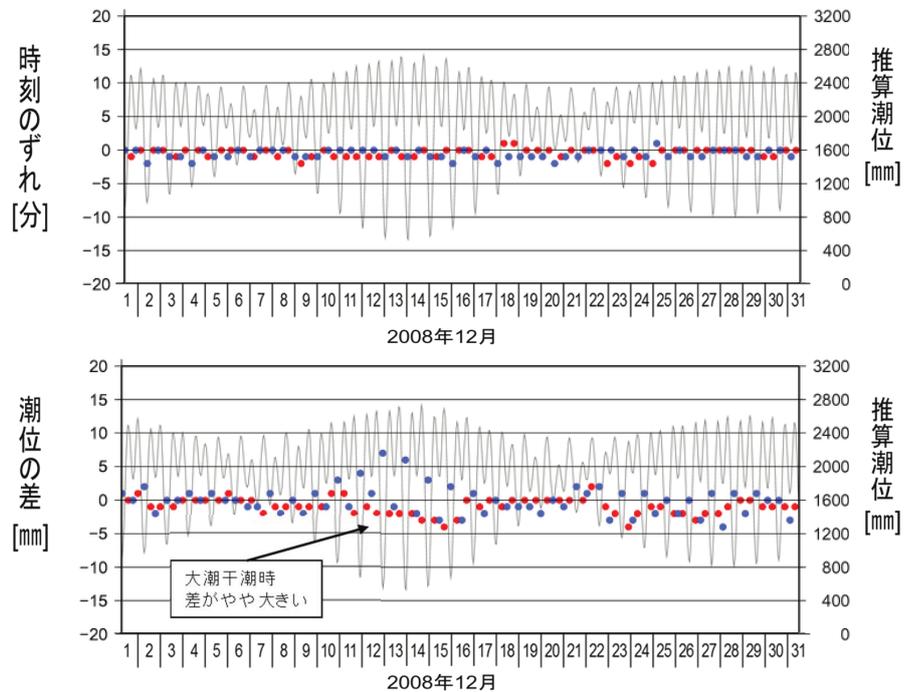


第18図 東京検潮所における電波式センサと検潮儀（フロート式）の比較試験の様子



第19図 電波式センサと検潮儀（フロート式）の毎時潮位の比較

上図：赤が電波式センサ、青が検潮儀（フロート式）のデータで、後者を3000mm下方に描画。  
 下図：電波式センサから検潮儀（フロート式）を引いた値



第20図 満干潮時刻のずれ（上図）及び満干潮時の潮位の差（下図）

電波式センサから検潮儀（フロート式）を引いた値で示し、赤が満潮時、青が干潮時である。

潮において、10mm 以内ではあるが差がやや大きくなっている（電波式センサの潮位が高く観測されている）。これについては、試験環境の模式図を第 21 図に示すが、潮位が低い時には、電波式センサから水面が遠くなり、並べて設置しているフロートのマイクロ波の照射範囲に占める割合が大きくなり、フロートの上面をノイズとして拾ってしまうことが考えられた。実際に運用するときにはフロートが取り除かれたことによりこの問題はなくなった。

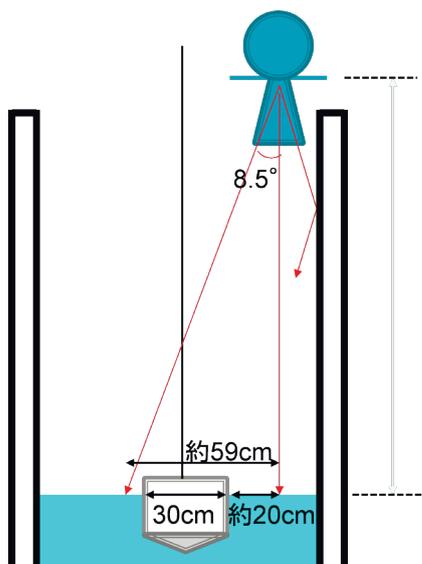
なお、第 19 図、第 20 図とも図の分かりやすさのため 2008 年 12 月の例で示したが、他の期間でも同様の結果であった。

以上から、観測精度± 10mm を要求される検潮儀において、電波式センサは検潮儀（フロート式）と比較して、精度的にも十分な機能を備えている。さらにメリットとして、海面との非接触性となったため、メンテナンスフリーであり、障害の要因を減らせるなどが挙げられる。

2011 年以降の全国への電波式センサの整備、展開を行う際の検査においても、十分な精度が得られることが立証され、電波式センサは新しい検潮儀として運用されている。

### 3.2 レーザー距離計による精度確認

従来の検潮儀（フロート式）の精度確認では、垂測尺による点検を行っていた。今回導入した電



第 21 図 試験環境の模式図

波式センサでは垂測尺による点検が実施できないため、操作が簡便なレーザー距離計を点検に用いることとした。レーザー距離計は、水面での反射が弱いものの、垂測尺による点検と比べて操作が少なく簡便であるとともに、垂測尺で必要だった 5 年に一度のメンテナンスが不要となるなどのメリットがある。

第 22 図に点検時の設置方法を示す。レーザー距離計は電波式センサと同じアームに取り付け、電波の発射位置とレーザーの発射位置を同じ高さに正しく取り付けておく必要がある。また、水面での反射が弱いため、水面にレーザーを反射する素材の板を浮かべて検潮儀（電波式）との比較を行い、精度を確認した。

測定結果については、第 2 表に示すとおりこれまで実施されてきた垂測尺による点検とほぼ同じ測定精度が得られた。

この比較試験における精度保持に用いたレーザー距離計の仕様は以下のとおりである。

- (ア) 型式 : Leica DISTO A2
- (イ) 計測範囲 : 0.05 ~ 60m
- (ウ) 分解能 : 1mm
- (エ) 電源 : 9V 乾電池 1 個

### 4. まとめ

潮位や津波を観測する検潮所及び津波観測施設、取得した観測データを伝送する通信網、本庁



第 22 図 レーザー距離計による精度確認

第 2 表 精度確認方法比較 (単位 : mm)

単位:mm	2008 10/10	11/7	2009 1/6	1/19	4/8	5/15	平均
垂測尺による垂測点検結果	-	-1	-2	-2	-	+1	-1
レーザー距離計による点検結果	+3	0	-2	+2	+3	+3	+1.5

及び大阪管区气象台に設置した観測データを集約、処理するデータ集約装置など、潮位・津波観測データの取得、伝送、集約、処理を行う一連の自動化した潮位・津波観測システムについて解説した。

検潮所や津波観測施設で用いている測器の検潮儀と津波観測計は電波式センサを採用している。電波式センサは、従来の検潮儀（フロート式）との比較観測の結果から、十分な精度が確保されているとともに耐水強化を施している。巨大津波観測計は水圧センサを採用し、水中に設置することで従来の陸上設置型と異なり常時観測が可能になった。

データ伝送には、津波データ送信装置と衛星通信装置を使用し、通常は地上回線の広域 IP 通信網を通して伝送され、地上回線の異常時等に衛星通信回線を通して伝送するよう冗長化している。

また、停電や電源部異常等による電力の供給が停止しても観測を可能とするため、72 時間稼動するバッテリーを備えている。さらに、津波等による水没でも稼動するよう耐水性筐体に収納している。

データ集約装置は、本庁に潮位データ総合処理装置（東システム）を、バックアップシステム（地域冗長）として大阪管区气象台に潮位パケット受信集約処理装置（西システム）を設置している。

管理する日本全国の観測データをリアルタイムで集約、処理し、高潮・津波等の監視のため、気象庁内のアデス、EPOS へ提供している。東システムは他機関（国土交通省水管理・国土保全局、港湾局、国土地理院、海上保安庁、自治体等）のデータも扱っている。

潮位・津波観測データは、高潮、津波、副振動等に関するリアルタイムの情報発表に利用されるほか、地球温暖化による海面水位変動などにも利用されるため、観測データは一定の精度を確保するとともに、安定して取得、伝送、集約、処理し

なくてはならない。データ集約装置の整備、測器や通信網の変更、東日本大震災で観測施設の損壊、電力や通信網の途絶の経験をもとに、通信網の冗長化、電源強化等の機能強化を行い、現在の潮位・津波観測システムによる安定した観測データの提供が実現し、国民の安全確保に寄与する情報発表を不断に行うための環境が整ったと言える。

データ集約装置は、観測データを高潮や潮位情報に活用するための機能を含んでいることを述べたが、さらなる情報高度化のための技術開発も行っている。東システムの 2013 年更新時に、副振動を検知した場合に副振動監視報の電文として配信するための機能を追加し、2014 年度に運用を開始した。これまでの副振動監視システムでは、整備された一部の官署しか副振動を監視できなかったが、この仕組みを導入することで、海に面した全官署において副振動監視体制が強化された。

#### 参 考 文 献

- 岡田良平・永井千春・若木静夫・島田俊昭・遠峯勉 (2005): 精密型水位計の整備, 測候時報, 72, 特別号, 109-114.
- 島田俊昭・野崎太 (2002): 検潮 (潮汐観測, 津波観測) システムの概要と潮汐データの利用, 測候時報, 69, 特別号, 97-115.