

報 告

衣浦港における簡易な潮位観測装置を用いた 観測運用性能の実証試験

Field examination of the observational and operational performances of a simple tide level measurement device in Kinuura port

内藤 了二*・鮫島 和範**・近藤 泰徳***

Ryoji NAITO, Kazunori SAMESHIMA and Yasunori KONDO

要旨：港湾の堤外地は、多くの事業所が立地している中で、高潮浸水による脆弱性を有しているため、浸水被害が発生した際には物流・産業活動に与える影響が大きい。また、規模の大きい港湾で常設検潮所を物流・産業活動に影響を及ぼすエリアに複数配置するとなると、施設整備、維持管理等にコスト及び時間を要する。本研究は実海域において、簡易な潮位観測装置（超音波式及び水圧式）を用い、常設の衣浦港潮位観測所至近での実証試験を行った。簡易な潮位観測装置及び常設検潮所の検潮記録を比較した結果、主要4分潮の振幅合計は、各計測機器間での差異が1%であり高潮、低潮が同様な値であった。遅角から算出した平均高潮間隔は、各計測機器間での差は1.2分以内であり、簡易な潮位観測装置は港湾域の潮位観測に利用できる性能を有していた。さらに、実証試験から得られた知見をもとに観測装置の設置、保守点検、データ通信及び処理、維持管理の各段階における、技術的な留意点をまとめた。

キーワード：簡易観測、堤外地、潮位、高潮、超音波式、水圧式、フロート式、港湾

1. はじめに

港湾の堤外地は、多くの事業所が立地し、高潮による浸水リスクを有している。三河湾に位置する衣浦港は、堤外地に物流・産業機能が多く集積している。衣浦港は、南北約 20km の細長い形状を有しており、港口から港奥部で潮位変動の時間差が生じる。こうした規模の大きい港湾で常設検潮所を物流・産業活動に影響を及ぼすエリアに複数配置するとなると、施設整備、維持管理等にコストおよび時間を要する。そのため、安価で容易に設置できる潮位観測装置を用いることが可能であれば、実務面および防災面からも有効であると考えられる。

木戸ら¹⁾は、臨時的に運用が可能な観測網を展開できる比較的安価で容易に製作できる簡易潮位計（圧力式）を提案している。笹ら²⁾は、瀬戸内海の大崎上島に、超音波式潮位計を設置し、1 年間の連続観測を行うとともに、同時計測した水圧式センサによる計測値と比較している。

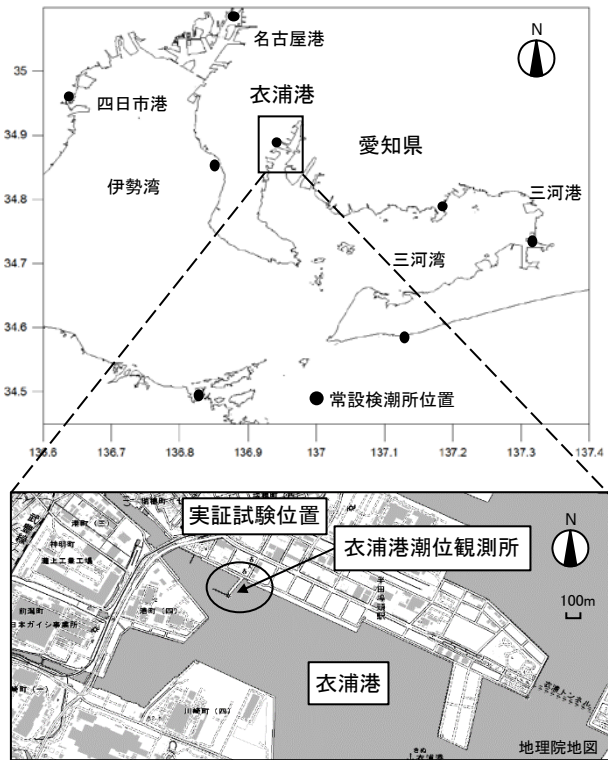
既往研究では、常設検潮所と簡易な潮位観測装置の精度検証を実海域で同時に観測を行い、実務面

の運用に着目した技術的な留意点をまとめた研究例はない。本研究は、簡易な潮位観測装置（超音波式・水圧式）を用いて、常設検潮所至近での実証試験を行うことにより観測精度を検証し、実証試験から得られた知見をもとに観測装置の設置、保守点検、データ通信および処理、維持管理の各段階における、技術的な留意点をまとめることとした。

2. 方法

簡易な潮位観測装置（超音波式・水圧式）の実証試験は、図 1 に示す三河湾内の衣浦港潮位観測所至近で実施した。簡易な潮位観測装置は、超音波式および水圧式の 2 種類の計測機器を用いた。衣浦港潮位観測所は、フロート式計測機器で潮位観測を行っており、検潮井戸が設置されている。本研究では、簡易な潮位観測装置と常設検潮所との検潮記録の精度を実証試験により比較した。超音波式計測機器は、検潮所付近の波除堤天端面に設置した。水圧式計測機器は岸壁側面に設置した（図 2）。

* 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所, ** 非会員 国土交通省航空局, *** 正会員 玉野総合コンサルタント株式会社流域技術部



* 国土地理院電子地図を元に一部作成

図1 伊勢湾・三河湾の常設検潮所と実証試験位置図

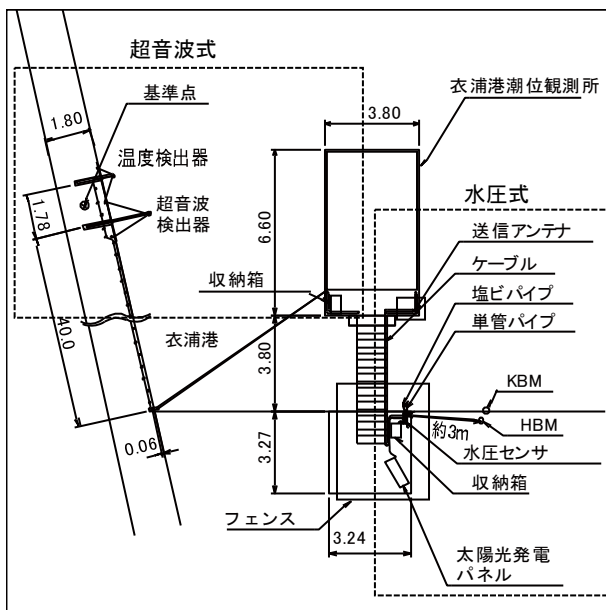


図2 簡易な潮位観測装置の設置平面図

2.1 超音波式計測機器の設置方法及び原理

2.1.1 計測機器の設置方法

計測機器の設置状況を図3に示す。超音波検出器の固定は、中継板と取付架台（ステンレス製； $L=2,600\text{mm}$, $B=80\text{mm}$, $t=5\text{mm}$ ）を用いて、波除堤天端面上にアンカーボルトで天端面上に固定した。中継板と取付架台には、防錆処理として亜鉛めっきを

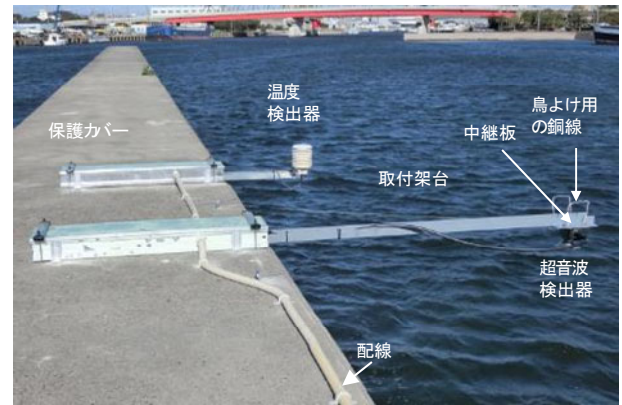


図3 超音波式計測機器の設置状況（波除堤天端上）



図4 検出器，記録装置の設置状況（衣浦港潮位観測所内）

施した。検出器（ケネック社製；UHT3-10）は、1.5m海側に前出した位置に設置した。検出器の水平確認は水平器を用い、機器設置高は水準測量で計測した。温度検出器（ケネック社製；UHS-3）は、超音波検出器の近傍に設置した。検出器の落下を防止するため、中継板から波除堤天端面までワイヤーロープで固定した。検出器上部には、鳥よけのため銅線を設置した。安全対策のため、蛍光塗料を塗布した保護カバーを設置した（図3）。露出配管は、合成樹脂可とう2層電線管（PFD管； $\phi 22\text{mm}$ ）で配線保護を行い波除堤上に固定して、検出器本体に接続した。検出器本体およびデータ記録装置、停電時対応のための無停電装置は、図4に示すように、衣浦港潮位観測所内に収納箱（ステンレスキャビネットBOX）に設置した。なお、データ通信用ルーフトップアンテナを収納箱上に設置した。

2.1.2 超音波式計測機器の計測原理

超音波式計測機器の計測原理は、超音波振動子から0.1秒ごとに超音波信号（以下信号）を海水面に対して発射し、海水面から信号が戻る往復時間より水位を計測する方法である。信号は、気温により伝搬速度が異なる。通風筒付き温度検出器から計測時

の気温を計測し補正することで、正しい音速を求めた。それにより、超音波信号の正しい往復時間が求められ、海水面までの正確な水位が求められる。図5には、超音波式の機器通信の構成図を示す。屋外に設置した検出器から本体に信号が送信され、A/Dボードを通じて、記録装置にデータが記録される。そのデータをメール通信によりLTE回線を利用して配信するデータ通信プログラムを構築した。

2.1.3 超音波の指向性

超音波の広がる特性を指向性と呼び、振動子に対して、中心軸上（角度 0° ）の最大音圧に対して音圧が0となる広がり角度を指向角と呼ぶ（図6）。指向角 15° とすると、衣浦港のように、海水面まで測定距離が5mの場合、受信半径が1.4mとなる（図6）。前出しの長さが受信半径より短い場合、波除堤壁面からの音波の乱反射による影響が考えられる。そのため、検出器を1.5m海側に前出しすることとした。

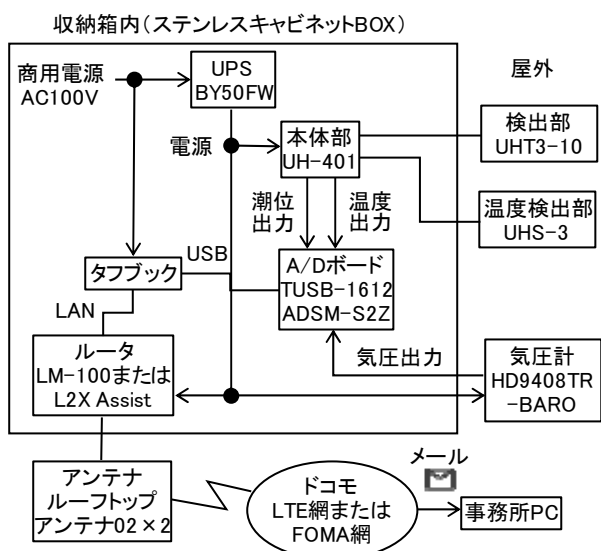


図5 超音波式計測機器の機器通信構成

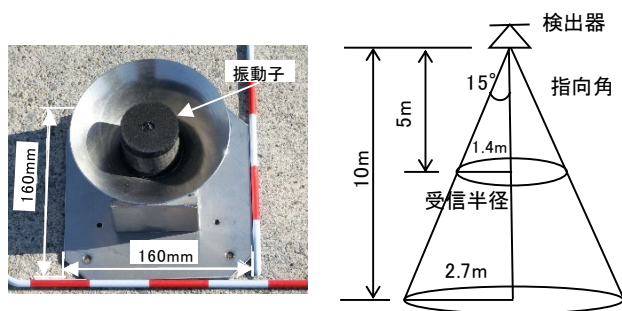


図6 検出器と指向角概念図

2.1.4 超音波式計測機器の検潮記録処理

超音波式計測機器の検潮記録は、0.5s（2Hz）間隔とした。データ処理は、前後2分間の計4分間480サンプリングデータを移動平均処理して、1サンプリング毎に順次繰り返し行った。この移動平均値より10分毎にデータ抽出した。ノイズ処理は、元データと移動平均値とを比較し、設定値の20cmより大きいスパイク状のデータは、ノイズと判断し除去した。温度、気圧についても、移動平均処理を行った。

2.2 水圧式計測機器の設置方法及び測定原理

2.2.1 計測機器の設置方法

計測機器及びデータ送信機（OKES社製）は、図2および図7に示すように衣浦港潮位観測所の近傍に設置した。データ受信機（OKES社製）は、国土交通省衣浦港事務所内に設置した。データ送信機は、簡易に取付けが可能かつ天候等に左右されず安定してデータ通信が可能な箇所に設置した。また、データ送信器とデータ受信機の間に障害物がなく見通しがいい場所を選定した。

水圧センサ設置と計測原理の概念図を図8に示す。水圧センサは、下面より水圧をダイヤフラムで感知する。水圧センサからは常時大気圧がかかる仕組みとなっている。水圧センサ下部を保護するため、塩化ビニールパイプ（ $\phi=8\text{cm}$ ）による蓋を設置した（図8）。水圧センサを固定するため、鉛直方向の固定用単管パイプ設置後、岸壁上部で水平方向に接続した単管パイプにより支持した。

図9に示すように、電源はドライフィットバッテリーを使用し、充電のために太陽光ソーラーパネルを設置した。収納箱は、コンクリートブロックと全ネジボルトで固定し水没防止のため、約30cmかさ上げした。収納箱のケーブル入口は、防水のためパテを注入した。太陽光ソーラーパネルは、コンクリートブロック（ $h=10\text{cm}$ ）の上に真南に設置し、パネル上部側には、鳥よけ用の針を設置した。送信用アンテナとアンテナ用ケーブルを計測機器本体に接続した。

2.2.2 水圧式計測機器の計測原理

図10には、水圧式計測機器の機器通信構成を示す。水圧式計測機器の計測原理は、図8に示すように、海水面と水圧センサまでの水深に比例する水圧を測定して潮位を求める方法である。図中に示す水圧センサの内側は大気圧、外側からは水圧がかかり圧力差が生じる。この圧力差がダイヤフラム（圧力差に

よって変異を感知する膜)に作用し、半導体圧力変換素子に歪みが生じる。半導体圧力変換素子ではこの歪みを電気信号に変換して出力する。出力電流は水深 0m から 10m に対して、4mA～20mA の範囲で水深に比例した電流が出力される。この電流を送信制御部で読み取り水深に変換する原理である。

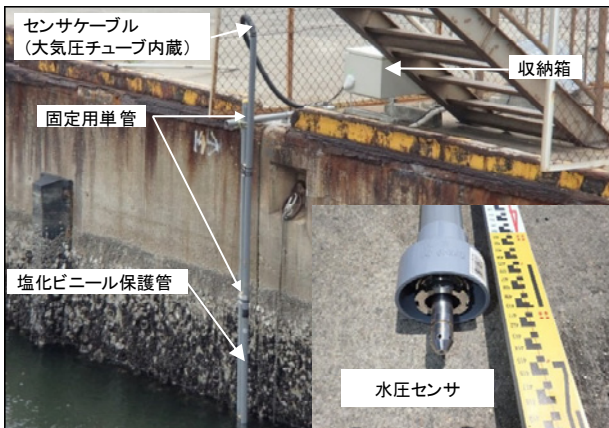


図 7 水圧式計測機器の設置状況

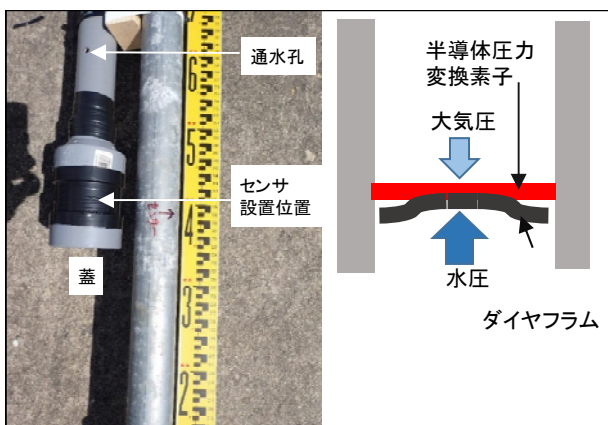


図-8 水圧センサ設置と計測原理の概念図



図 9 水圧式計測機器の機器本体、電源装置の設置状況

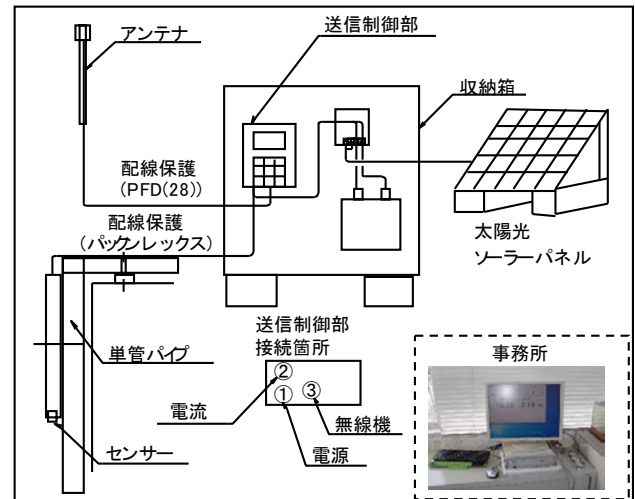


図 10 水圧式計測機器の機器通信構成

2.2.3 水圧式計測機器の検潮記録処理

水圧式計測機器の検潮記録は、0.1s (10Hz)間隔とした。データ処理は、30 秒間サンプリング数 300 個のデータを単純平均処理し、その値より 2 分間隔で抽出を行った。データは、機器本体部の記録装置に保存を行い、常設検潮所の踊り場上に設置した送信アンテナから事務所に設置した受信アンテナまで特定小電力無線(429Mhz 帯)にて無線伝送を行った(図 10)。データ伝送間隔は、2 分毎とし、リアルタイムに画面表示をさせている。潮位補正は、同時検潮による縮率補正を行った。

2.3 潮位観測基準面の設定

実証試験では、簡易な潮位観測装置(超音波式および水圧式)と常設検潮所(フロート式)において検潮記録を取得している。今後、簡易な潮位観測装置を高潮監視や深淺測量等の実務で活用していくためには、C.D.L.等の基準面からの値による検証も重要である。本研究では、簡易な潮位観測装置と常設検潮所の基準面高さの関係を明確にするため、水準測量を実施して、潮位関係図を作成した。なお、本研究での高さの基準は最低水面とし、海上保安庁海洋情報部が告示で定めている検潮所近傍にある HBM (金属標) 下 3.12m を採用した。

2.3.1 水準測量による基準点の設定

簡易な潮位観測装置の高さの基準点(水準点(H), KBM)をあらかじめ設置した。基準点の高さを求めるため、HBM を既知点として水準測量を実施した。

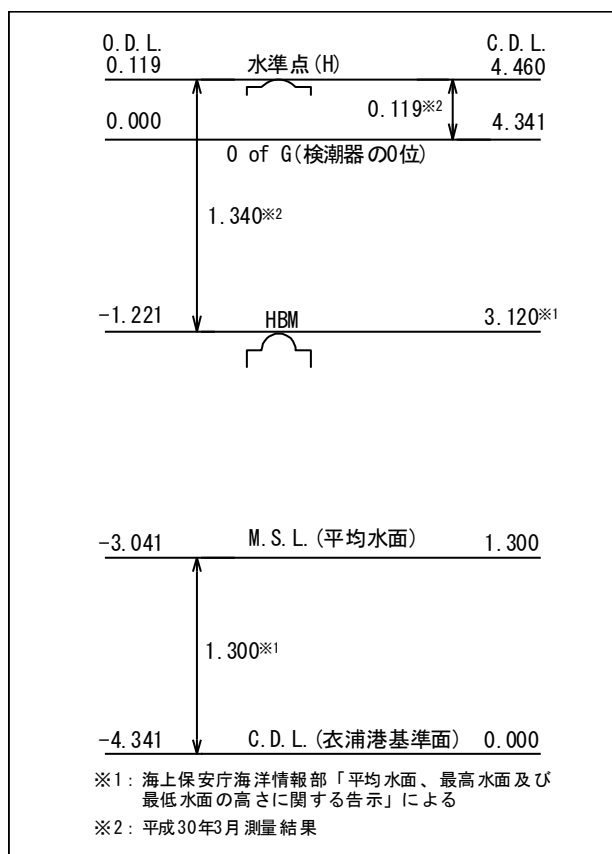


図 11 超音波式計測機器の潮位関係図

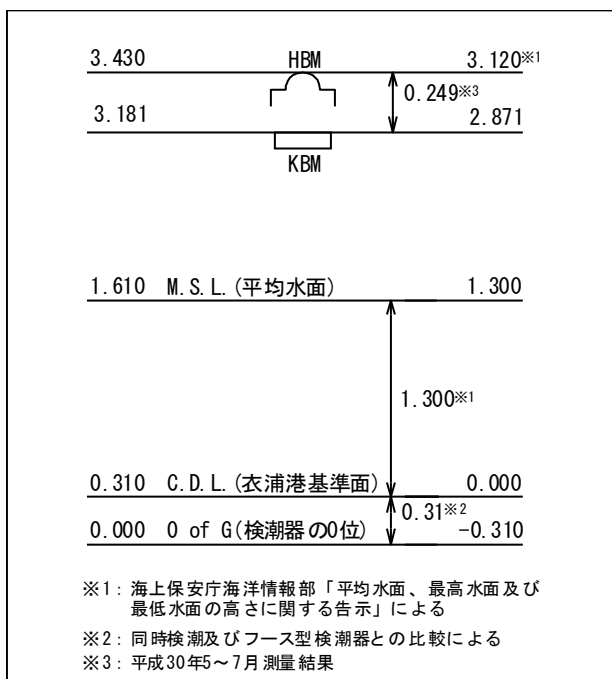


図 12 水圧式計測機器の潮位関係図

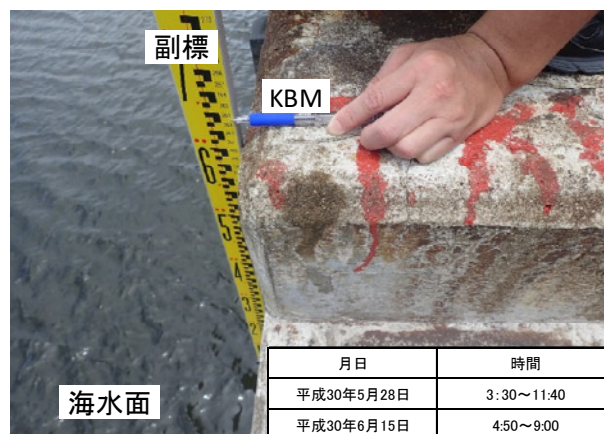


図 13 同時検潮の状況および基準とした KBM の位置

水準測量の結果より、超音波式計測機器の潮位関係図 (図 11)、水圧式計測機器の潮位関係図 (図 12) を作成した。水圧式計測機器の 0 位は、常設検潮所に設置されている計測機器との高さ関係の比較により算出した。これらの潮位関係図を作成することにより、簡易な潮位観測装置と常設検潮所との潮位高さの比較を正確に行うことが可能となった。

2.3.2 常設検潮所の基準測定

常設検潮所のフロート式計測機器の錘測基点から計測機器の 0 位の高低差 (錘測定数) を確認するため、感水紙による基準測定を実施した。基準測定^{4),5)}の結果、高低差は、6.998m であった。本検潮所の錘測定数は 7.003m であり、その差は 1cm 以内であったので、本研究では、錘測定数 7.003m を使用した。

2.3.3 同時検潮

水圧式計測機器は、水圧を測定し水深 (潮位) を求めているが、水圧と水深 (潮位) の関係は海水密度によって異なってくるため、同時検潮により補正係数を算出する必要がある³⁾。図 13 には、同時検潮の方法と実施時間を示す。同時検潮は、HBM を既知点とし、水準測量により設置した KBM から海水面までの高低差を 10 分間隔で箱尺を用いて測定した。同時検潮は、潮位変動の測定範囲が広い方が望ましいことから、大潮期に実施した。また同時検潮の測定時間を短縮するため、水圧センサを上下させて実施する方法もある。ただこの方法は、ほぼ同じ密度分布で実施するため、相関係数は高くなると想定されるが、満潮時と干潮時とでは密度分布が異なるため、正確に補正できるかが懸念される。本研究では、5 月 28 日に満潮時 (3 時 30 分) から干潮時 (11 時 40 分) まで約 8 時間連続で実施した。なお満潮時付

表 1 調和解析の計算条件

使用データ	計算期間	間隔	計算方法	分潮
フロート式 水圧式 音波式	30日 平成30年5月30日 ～平成30年6月28日	1時間	最小二乗法	10分潮 $Q_1, O_1, P_1, K_1, N_2,$ M_2, S_2, K_2, M_4, MS_4

近は海象条件がやや悪かったため、6月15日に満潮前後（4時50分～9時の約4時間）の観測を実施し、2回の結果を合わせて回帰分析を行った。

2.4 簡易な潮位観測装置の精度検証

簡易な潮位観測装置と常設検潮所との精度を検証するため、調和分解計算を行った。潮汐は、主として月や太陽の及ぼす引力が自転している地球上の各点において異なるためにおこるもので、通常1日に2回みられる規則的な海面昇降運動である。実際には複雑な潮汐現象が、多数の規則正しい正弦曲線（潮汐）からなっていると仮定し、各潮汐の振幅及び遅角を求める計算を調和分解^{4),5)}という。

表1には、調和分解の計算条件を示す。計算期間は、30日間とし、1時間値の潮位を用いた。計算より得られた主要4分潮 O_1, K_1, M_2, S_2 の総和による振幅の差異及び M_2 遅角の差異より、簡易な潮位観測装置における検潮記録の精度を検証した。

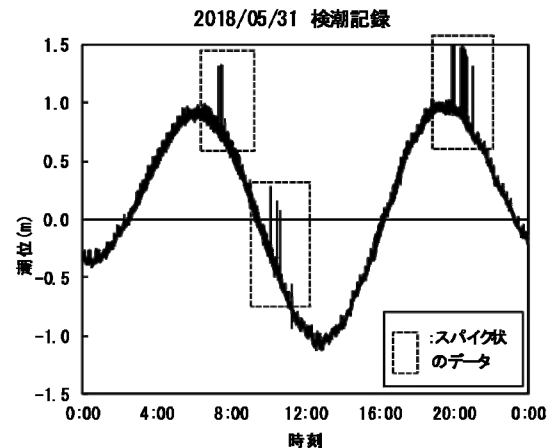
3. 結果と考察

3.1 超音波式計測機器の検潮記録処理

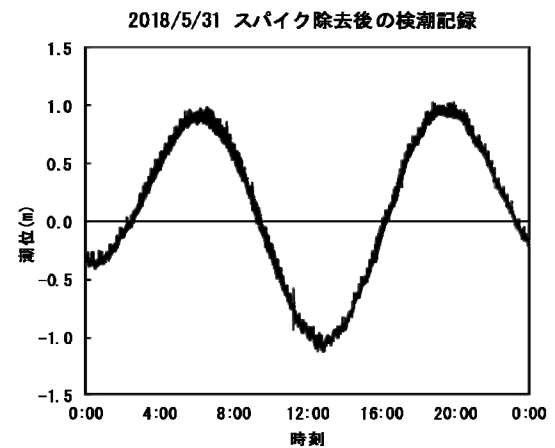
超音波式計測機器による検潮記録およびスパイク除去後の時系列波形データを図14に示す。検潮記録の場合、スパイク状のデータが散見されるが、2.1.4節で示した20cm以上のスパイク状データを除去した後の波形をみると、平滑なホワイトノイズのみの波形となった。この結果より移動平均処理を施して整理を行った。

3.2 水圧式計測機器の検潮記録整理

水圧式計測機器と副標（箱尺）との同時検潮結果を図15に示す。水圧式検潮器の0位はC.D.L -0.31m、副標はC.D.L +0.04mである。同時検潮結果をみると、ばらつきはあるものの、決定係数（ R^2 ）は0.999となり水圧式計測機器と副標による観測は相関性が高い結果であった。また、縮率補正の回帰式により算出した値と副標の観測値を比較すると、概ね3cm以内の範囲となっており、副標観測の誤差を考慮すると良好な結果であった。



(a) 検潮記録



(b) スパイク除去後の検潮記録

図 14 超音波式計測機器のデータ処理結果

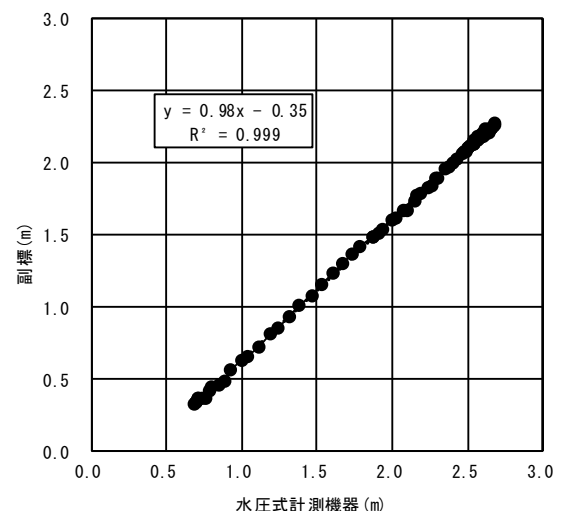


図 15 同時検潮の結果

常設検潮所におけるフロート式計測機器の0位を確認するため行った基準測定、各計測機器で実施した水準測量の結果から潮位観測基準面の変動がないことが確認できた。また、水圧式計測機器の設置前、点検時、撤去時の計3回実施した水準測量の結果に変動がなかったことから、今回の設置方法が妥当であることが確認できた。

3.3 常設検潮所との検潮記録の比較

図16(a), (b), (c)には、大潮時(2018年5月31日)における簡易な潮位観測装置と常設検潮所との検潮記録の比較結果を示す。潮位の時系列を見ると、3つのタイプの計測機器は、3cm以上の差異はなかった。さらに、5月31日、7月1日(小潮時)での各計測機器の差分頻度を比較したところ、図17に示すとおり、超音波式、水圧式ともにフロート式との差異は概ね2cmの範囲内であった。

超音波式計測機器と常設検潮所(名古屋港検潮所;電波式)との比較観測⁹⁾では、台風通過時における検潮記録の差異は±3cmの範囲であった。本研究で取得した検潮記録の差異は、±3cmの範囲で、データの多くは、0cmもしくは-1cmの差分頻度であることから、内藤⁹⁾の報告と本研究ではほぼ同等な結果であることを確認した。

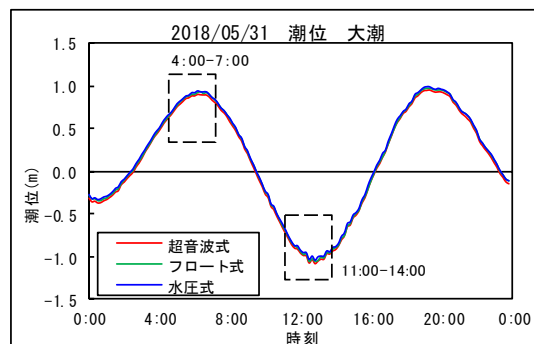
水圧式計測機器と常設検潮所(北海道忍路検潮所;フロート式)との比較観測¹⁾の場合は、3cm以内と報告されている。本研究で取得した検潮記録の差異は、±3cmの範囲で、観測データの多くは±1cm以内の差分頻度であることから、木戸¹⁾の報告と本研究では、ほぼ同等な結果であることを確認した。

3.4 調和分解計算による潮位の観測精度検証

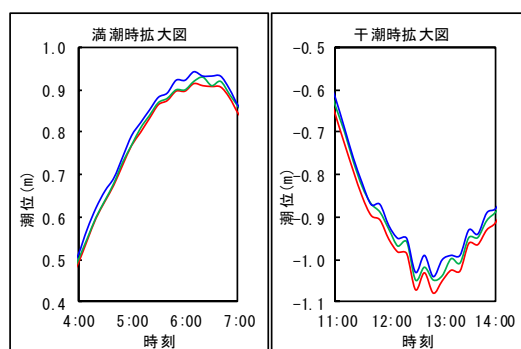
調和分解計算結果を表2に示す。各計測機器の主要4分潮の振幅の和は、119.93~121.56cmとなっておりその差は1%と小さい。また、平均高潮間隔(M_2 潮の遅角/29)の差は、フロート式を基準とすると、水圧式は-1.2分、音波式は+0.9分となっている。これらのことは、各計測機器が、時計のずれや通水孔のつまり(フロート式、水圧式)等がなく、正確に潮位を測定していることを示している。

調和分解で得られた各分潮の調和定数(振幅、遅角)は、その海域の潮汐特性の把握や、推算潮位等に利用されるものであるが、この潮汐現象(調和定数)は大きな地形変化等がない限り、大きく変動することはない。よって、潮位の精度検証に調和分解

を用いることは、普遍性のある有効な手法であると考えられる。



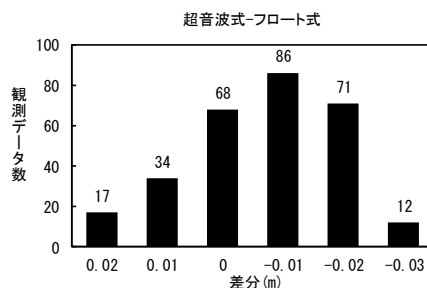
(a) 検潮記録の比較



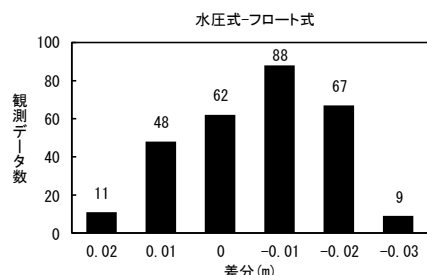
(b) 満潮時拡大図

(c) 干潮時拡大図

図16 簡易な潮位観測装置と常設検潮所との検潮記録の比較(大潮時)



(a) 超音波式-フロート式の差分



(b) 水圧式-フロート式の差分

図17 簡易な潮位観測装置と常設検潮所との差分頻度の分布

表2 調和分解計算による観測精度の検証結果

	O_1	K_1	M_2	S_2	$M_2+S_2+K_1+O_1$	遅角 (°)	遅角/29 ×60 (分)	遅角の差 (分)
フロート式	18.39	16.44	60.49	25.61	120.93	177.80	367.9	0.0
水圧式	18.22	15.80	60.36	25.55	119.93	177.25	366.7	-1.2
超音波式	17.58	16.02	61.14	26.82	121.56	178.25	368.8	0.9

3.5 簡易な潮位観測システムの保守・点検

3.5.1 超音波式計測機器

超音波検出部の取付架台の外観確認、超音波検出器、温度検出器の外観確認（損傷の有無）、受波レベルの確認、音の確認（音のムラ、強弱等）、データ保存状況の確認を定期的に行った。観測機器の設置高さの確認は、HBM から波除堤天端高および検出器まで水準測量を行い、設置高さに変動がないことを確認した。海水面と検出器との鉛直距離をリボンテープで確認し、本体部表示値との差異を確認した。現地の設置機器の点検は、計測方法が非接触型のため水圧式より容易であった。

3.5.2 水圧式計測機器

設置後には、観測機器の異常および検潮記録が正常に取得されているか保守・点検を行なった。収納箱内の温度を観測したところ、30℃から37℃の範囲で温度が推移していたが、設置期間中での気温変化に伴う動作の異常はみられなかった。

機器の設置高さの確認は、HBM から塩化ビニール保護管天端高まで水準測量を行い、設置高さに変動がないことを確認した。太陽光ソーラーパネルの点検は、パネル面に布で覆いをして電圧測定を行った。

12V 検出されれば異常なしと判断した。受信時の時刻修正及び検潮記録が正常に取得できているかの確認を事務所内で実施した。

機器撤去時には、保護用塩化ビニール管に貝などの生物類の付着がみられた。設置期間中(45 日間)は、水圧センサ下部に蓋を設置したため、水圧センサ部には直接生物類が付着していないことを確認した。

金属製の保護管を岸壁に固定することにより、水圧センサの着脱簡素化による保守性と荒天時の信頼性向上が図られることも考えられる。

3.6 実証試験から得られた技術的な留意点

現地実証試験を通じて、得られた結果および知見をもとに簡易な潮位観測装置の設置、保守点検、データ通信、データ処理および維持管理の各段階での技術的な留意点と比較結果を表3に示した。

超音波式計測機器および水圧式計測機器を比較すると、データ精度は、両者ともに、必要なデータ処理（超音波式計測機器はフィルタリング、水圧式計測機器は同時検潮による補正）を実施すれば、常設検潮所での検潮記録とほぼ同程度の水準を確保できることが判明した。

設置については、水圧式計測機器のほうが1日に対応できるため容易であるが、保守点検は基本的にメンテナンスフリーである超音波式計測機器が優位である。なお、今後の技術的な課題は、安全対策、ユーザーへの配信方法、台風等の荒天時も含めた一定期間の検証が挙げられる。

表3 簡易な潮位観測装置の設置・維持管理等に関する留意点

	超音波式の潮位観測装置	水圧式の潮位観測装置
概要	超音波を海水面に向け発射し、海水面で反射し戻ってくるまでの時間を温度補正を行い潮位を求める。静穏海域、反射波の影響が少ない場所に設置。	簡易に作成した観測井戸内に水圧センサを設置し、水面－センサ間の水圧を測定し潮位を求める。静穏海域の岸壁側に設置。
データ精度	海水面を直接測定するため安定性は水圧式よりやや劣るが、フィルタリング、移動平均処理により、精度の確保が可能。	井戸内で観測するため、安定したデータを取得が可能。水圧と水深の関係は海水密度によって異なるため、同時検潮により補正係数の算出が必要。
設置	2日から3日程度で設置可能。計測機器と海水面の間には、1m以上離隔が必要。検出部は架台に固定。本体部は建物内に収納箱を設置して保管。電源が確保できない場合は、電源引き込み工事が必要。	同時検潮を含め1日程度で設置可能、かつ設置・撤去が容易。電源が確保できない場合、ソーラパネルの設置で対応可能。本体部は外部に設置可能。その場合、浸水対策によるかさ上げが必要。
保守点検	非接触測定のため、基本的にはメンテナンスフリー。定期的にセンサーの基準高を水準測量によりチェックが必要。年に1回は、水面までの送受波状況を確認、調整が必要。	保護管に見殻等が付着するので、半年に1回は清掃が必要。検潮器の0位をチェックする同時検潮を年1回程度実施が必要。定期的に基準高を水準測量によりチェックが必要。
耐用年数	約5年（検出部の状況により変動）	約3年から5年（水圧センサーの状況により変動）
安全性	検出器、温度計がむき出しで設置しているため、いたずら等への安全・盗難対策が必要。	岸壁上に本体部を設置しているだけであるため、いたずら等への対策が必要である。特に太陽光パネルは見た目が派手なため、目に付きやすい。
通信設備	本体から事務所までメールでデータ転送。LTE回線を利用した通信方式。	送信専用アンテナから事務所設置の受信機に通信。リモート環境を設定し、ポケットWifi等で他事務所へ配信可能。
総括	一定の精度が確保でき、常設検潮所の補完的な利用が見込める。簡易かつ数年間の観測が可能。近隣に電源・電柱の確保が必要。ユーザーへの配信方法が課題。台風期も含めた一定期間の検証が課題。	一定の精度が確保でき、常設検潮所の補完的な利用が見込める。簡易かつ数年間の観測が可能。電源の引き込みにコストを要する場所では優位性が高い。ユーザーへの配信方法が課題。台風期も含めた一定期間の検証が課題。

3.7 簡易な潮位観測装置の今後の活用策

平成30年9月の台風21号を踏まえて改訂された港湾の堤外地等における高潮リスク低減方策ガイドライン⁷⁾によれば、円滑な防災行動のための情報共有体制として、潮位観測情報の共有体制の確保が必要であるとされている。とりわけ、今後は港湾域の堤外地のうち、物流・産業活動に重大な影響を及ぼす被害が想定されるエリアを選定し、港湾管理者・海岸管理者、市町村、地方整備局、関連民間企業、地方気象台等により、ハード及びソフト対策を含む「エリア減災計画」を策定することとなっている。こうしたエリアでは、潮位計の設置・更新を検討することが望ましいとされたところである。本研究で検討した簡易な潮位観測装置は、表3中に示した技術的課題がクリアされれば、潮位観測機器の設置・更新が検討される上で防災面での活用が今後期待される。

また、地震発生後には、臨時検潮所⁸⁾として簡易な潮位観測装置の活用が考えられる。復旧工事を速やかに実施するには、深淺測量による現況調査が欠かせないが、簡易な潮位観測装置は、設置が容易かつ安価なため、初動対応として32昼夜以上の潮位観測⁸⁾による活用が見込まれる。さらに、潮位差がある閉鎖性海域での離島部の港湾域において、局所的な潮位変動の把握や湾内の常設検潮所の補完機能としての潮位観測に活用が期待できる。特に、簡易潮位観測装置の最大メリットとして、設置が容易で搬送もしやすいため、設置工事が短期間かつ安価に対応ができることが期待できる。通信設備についても、専用回線でなくLTE網による無線通信でも十分対応できることから、ランニングコストを抑えることが可能である。実際に、自治体及び民間事業者が簡易な潮位観測装置を導入する際には、設置、維持管理、通信に関するライフサイクルコストを推定し、費用対効果を検討していくことが望まれる。

4. 結論

本研究は、実海域において簡易な潮位観測装置(超音波式及び水圧式)を用い、常設検潮所(フロート式)至近での精度検証を行なった。主要な結論は、以下の通りであった。

- ・簡易な潮位観測装置および常設検潮所で取得した検潮記録を比較した結果、主要4分潮の振幅合計は、各検潮器間での差異が1%であり潮位変動は、同様な値であった。

- ・遅角から算出した平均高潮間隔は、各検潮器間での差は1.2分以内であり簡易な潮位観測装置は、潮位をほぼ正確に記録できていたと考えられる。

- ・衣浦港での実証試験より、本研究で試験した簡易な潮位観測装置は、港湾域の潮位観測に十分利用できる性能を有していることが示された。

- ・簡易な潮位観測装置の設置、保守・点検、データ通信、データ処理および維持管理の各段階での技術的な留意点をまとめた。

- ・本研究で検討した簡易な潮位観測装置は、観測精度が確保できかつ、設置が容易で安価なため、防災面、実務面での活用の可能性があるものと考えられる。

謝辞

実証試験の実施に際しては、愛知県港湾課、衣浦港務所および国土交通省中部地方整備局港湾空港部、三河港湾事務所、名古屋港湾空港技術調査事務所の関係各位にご協力を賜りました。国土技術政策総合研究所 秋山吉寛研究官からは、有益なご助言、辻澤伊吹研究員からは、実証試験の実施にご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

引用・参考文献

- 1) 木戸和男, 奥村裕弥, 大澤賢人: 簡易潮位計の工夫, 海の研究, 19 (5), pp233-242, 2010.
- 2) 笹健児, 永井紀彦, 桑垣和夫, 服部慎一: 潮位差の大きな実海域における空中発射型超音波潮位計の精度向上に関する研究, 海洋開発論文集, 第22巻, pp97-102, 2006.
- 3) 社団法人海洋調査協会: 海洋調査技術マニュアル-深淺測量-, pp1-149, 2003.
- 4) 日本水路協会: 水路測量技術テキスト 水路測量 第2巻, pp1-46, 2002.
- 5) 財団法人沿岸開発技術研究センター: 潮位を測る 潮位観測の手引き, pp93, 2002.
- 6) 内藤了二, 熊谷兼太郎, 鈴木健之, 鈴木武: 超音波を使用した潮位の簡易観測に向けた現地試験, 国土技術政策総合研究所資料, No.959, pp1-20, 2017.
- 7) 国土交通省港湾局: 港湾の堤外地等における高潮リスク低減方策ガイドライン(改定版), pp1-66, 2019.
- 8) 公益社団法人日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻), pp1,867, 2018.

著者紹介

内藤 了二（正会員）

国土交通省 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 主任研究官（横須賀市長瀬 3-1-1），昭和 63 年 3 月 運輸省入省，平成 22 年 9 月 京都大学大学院 博士後期課程修了，博士（工学），技術士（建設部門），日本環境化学会会員，日本水環境学会会員，土木学会会員，E-mail: naitou-r852a@mlit.go.jp.

鮫島 和範（非会員）

国土交通省航空局安全部安全企画課空港安全室長（東京都千代田区霞が関 2-1-3），平成 14 年 3 月 九州大学大学院 修了，平成 14 年 4 月 国土交通省入省，平成 29 年 6 月 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 沿岸防災研究室長，E-mail:sameshima-k83ab@mlit.go.jp

近藤 泰徳（正会員）

玉野総合コンサルタント株式会社 流域技術部 水工課長（名古屋市東区東桜 2-17-14），平成 4 年 3 月 三重大学大学院 修了，技術士（建設部門）平成 4 年 4 月 玉野総合コンサルタント（株）入社，平成 27 年 7 月 現職，E-mail:kondo-yn@tamano.co.jp.

Field examination of the observational and operational performances of a simple tide level measurement device in Kinuura port

Ryoji NAITO, Kazunori SAMESHIMA and Yasunori KONDO

ABSTRACT: The area outside of a port's seawalls, where many offices and factories are located, is vulnerable to storm surge flooding, and thus when the flooding occurs, it may greatly harm logistics and industrial activities. If many tide stations are placed in the area to reduce the danger, substantial cost and time would be necessary for the installation and maintenance. A verification test of simple tide level measurement devices (ultrasonic and hydraulic pressure gauges) was carried out near the permanent tide station in Kinuura port to determine the accuracy of the sea level measurement. As a result of the comparison of the tide records from harmonic analysis between the simple tide level measurement system and the permanent tide station, total amplitude of the four major tidal components differed by 1% between them. Likewise, high tide and low tide values differed by equal or less than 1.2 minutes. The difference in mean high tide interval, calculated from the retarded, was approximately 1 minute between the simple measurement devices and the permanent tide gauge. These results indicate that the simple measurement system has sufficient accuracy for measuring tide level in the port. Finally, technical considerations for the installation, maintenance, and data communication and handling on the system are summarized.

KEYWORDS: *simple measurement, tide level, ultrasonic device, hydraulic pressure device, float device, maintenance, storm surge, area outside of seawalls, port*