

— 寄稿 —

## 簡易潮位計の工夫\*

木戸 和男<sup>†\*\*</sup>・奥村 裕弥<sup>‡</sup>・大澤 賢人<sup>†</sup>

### 要 旨

解析データのひとつとして潮位データが欲しいと思っても近くに検潮所がない、あるいは観測対象とする現象のスケールに対して、既設の潮位観測施設では地点間隔などの条件を満たさない場合に、臨時的に数ヶ月間の運用が可能な観測網を展開できる比較的安価で簡単に製作できる簡易潮位計を提案した。この潮位計は、測定器として市販の圧力式深度計、波の減衰器として機能する細いチューブ、これらを格納する塩化ビニール製のパイプで構成されている。室内で測定した時定数（緩和時間）を用いた計算では、周期 30 秒以下の波は 0–10%以下に減衰し、1 時間以上の周期の長い波は減衰されることがなく 1–1 分半の遅れで測定されるものと推定された。

国土地理院検潮場との実海面比較観測では 3 cm 以内の差で非常に良い相関と追従性を示し、簡便な潮位計として利用できる性能を持っていることが示された。また、北海道南部の噴火湾沿岸 3 ケ所に 3 ヶ月間設置した耐久試験観測では、湾内でも場所によって大きく異なる海面の昇降が観測され、低予算で多数の潮位計を製作して観測網を展開することの利点が示された。

### 1. はじめに

2006 年 9 月 19 日から 20 日にかけて、日本海を北上して来た台風 13 号 (T0613) くずれの温帯低気圧が北海道西岸沖を通過し (気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>), 石狩湾に面した小樽市祝津沖のホタテガイ養殖施設が甚大な被害を受ける急潮災害が発生した。養殖施設内には偶然、日油技研工業 (株)

が試験用の水温・塩分観測ブイを、その傍らには北海道立地質研究所 (現在、北海道立総合研究機構 地質研究所) が電磁流速計を設置していた。災害発生後無事に回収されたそれらの観測記録と、小樽・留萌の気象データおよび小樽港・忍路港の潮位データ (気象庁および国土地理院ホームページ <http://www/gsi.go.jp/index.html>) を見ると、急潮発生の経過の概略は以下のようであった。

台風が日本海南部・中部にあった 9 月 17 日からすでに潮位が低下し始め、同日深夜には予測天文潮より 35 cm 低い潮位となって、その後上昇に転じた。18 日には石狩湾上の風の北西向き成分が強くなったにもかかわらず潮位はさらに上昇し、19 日には湧昇と考えられる 4 °C の水温低下と 0.5 の塩分増加が起こった。20 日朝には低気圧の通過に伴って風の南東向き成分が強くなり、潮位は予測天文潮を 30 cm 以上も上回る潮位となって後、急速に低下した。先の急潮はこの時に発生し、30

\* 2009 年 11 月 30 日受理; 2010 年 6 月 4 日受理  
著作権: 日本海洋学会, 2010

† (地独) 北海道立総合研究機構 地質研究所  
〒047-0008 小樽市築港3-1

‡ 北海道立函館水産試験場 (現在, (地独) 北海道立総合研究機構  
水産研究本部 〒046-8555 余市町浜中町238)

\*\* TEL 0134-24-3829 FAX 0134-24-3839  
e-mail: kido-kazuo@hro.or.jp

秒間の平均流速で最大 77 cm/sec の岸沿いの流速を記録した。50 cm に満たない海面の上昇が平衡を失った時にどれほど大きな運動エネルギーが発生するのか、改めて思い知らされた災害であった。

この時、湧昇には潮位の低下と上昇、急潮には潮位の上昇が先行して生じていたこと、また、湧昇発生前の潮位の急速な低下がその後の急潮発生までの上昇にどのような影響を及ぼしたのかなど、湧昇や急潮の発生機構を考える上で非常に興味深い、1 地点のみの観測データでは、それらの現象がどの程度の空間規模で生じたのか、また海面の昇降がその後石狩湾内でどのように伝播したのか、などについては全く分からない。

潮汐、上述の湧昇や急潮のほか、陸棚波や内部波など、沿岸ではさまざまな現象が生起し、あるいは伝播しているが、それらの調査研究には多くの場合、水温・塩分や流向・流速の観測データが用いられ、潮位が関係する現象には既存の検潮所のデータが利用される。しかし、観測の対象とする現象が局地的あるいは小規模な場合には、観測海域内に検潮所がない、あるいは検潮所の間隔が現象の規模に比べて大きいために、潮位変動の実態を把握するために必要なデータが得られないこともあると考えられる。

そのような場合、水温・塩分計や流速計などと同様に、観測者自ら潮位観測点あるいは観測網を設置構成する必要があるが、とりわけ予算が十分でないなどの理由で諦めることも多いのではないだろうか。

本報告で著者らは、沿岸に多数ある漁港や船着場、入り江などに臨時的に設置して 1 回の設置作業で 1 季 3 ヶ月程度の期間連続的に運用できる、既製の測定器と身近にある材料を利用して比較的低予算で簡単に製作可能な簡易潮位計を提案する。ただし、既存の恒久的検潮施設と同じレベルの測定を目指したのではなく、水温・塩分計や流向・流速計などに加えることができる簡便な観測手段として、手持ちの観測機器・予算や作業環境をはじめとする種々の制限の中でとり得る最良と思われる方法を目指したものであることを予めお断りしておきたい。

## 2. 測定器および測定法の検討

検潮所がない海域での観測や潮位観測網の展開に必要な

な潮位計について、以下の条件で検討した。

- (1) 多数の観測点を確保するため、できるだけ低価格であること。
- (2) 漁船が岸壁で行う作業の妨げにならないよう、できるだけ小型で、独立して運用できること。
- (3) 特別な工事を必要とせず、設置・撤収が簡便に行えること。
- (4) 設置法から考えて、mm の分解能を要する観測対象は除外し、分解能は 1 cm 程度とする。

水位を測定する方法には、大きく分けてフロート式、超音波式、水圧式の三つの方式がある。フロート式、超音波式は国土地理院や気象庁、海上保安庁などの所管する検潮所の多くで採用されている方式で、精密な測定が可能であるが、設置工事を必要とし、したがって経費もかかるため条件 (1) - (3) の観点から除外した。

海洋測器メーカーから深度計・波高計として市販されている小型で記録・電源内蔵の水圧式測定器は、「投げ込み」「吊り下げ」方式の簡便な設置が可能で特別な工事を必要とせず、漁船の作業を邪魔しないため、観測可能期間と分解能を満足すれば、本報告の目的とする測定器として有望であろう。

市販の記録・電源内蔵型水圧式測定器で潮位を測定するには、以下三つの方法が考えられる。

- (1) バースト間隔、バースト内の測定間隔と測定回数が選択できる波高計を用いて適当なバースト間隔で測定し、各バースト内の測定値を統計処理して潮位を決定する方法。
- (2) 測定間隔が選択できる深度計を用いて短い（例えば 1 秒）間隔で測定し、ローパス・フィルターを通して高周波を除去した潮位データとする方法。
- (3) 機械的なフィルターを通して高周波を除去し、適当な測定間隔に設定した深度計で測定した値を潮位データとする方法。

波高計を用いる方法 (1) が設置は最も簡便であるが、例えば JFE アドバンテック社 (旧 JFE アレック社) の水圧式メモリー波高計 INFINITY-WH model AWH-USB の場合、カタログ価格で 1 台 600,000 円と、同社の小型メモリー水温深度計 COMPACT-TD model ATD-HR の 1 台 300,000 円、オンセット社ウォーターレベルロガー U20 型の 1 台 86,000 円などと比べて高額

であり、同じ予算で設置できる観測地点数を半減させる。

また、波高測定は大容量の記憶媒体が必要であり、バースト間隔・測定間隔（最短 0.1 秒）と回数の組合せを工夫しても観測期間を制限する大きな要因となる。同様に、測定間隔を短くした深度計をそのまま用いる方法（2）も、記憶容量から観測期間は短く制限される。したがって、安価な機械的フィルターが工夫できれば、測定間隔を分単位の比較的長いものに設定すると計算上 6 ヶ月程度の観測期間が確保できる方法（3）が著者らの予算と観測器間の要求を満たす方法として、総合的に最良と考えられる。

ただし、水圧と気圧の和を測定する水圧式水位計の弱点として、零点補正のために気圧の観測値を必要とすることに留意しなければならない。また、用意できる予算や必要な観測期間によっては（1）や（2）の方法も採用の対象とすべきである。

以上の検討を踏まえ、本報告では、他の観測目的での利用も兼ねて購入した電源・データ内蔵式の小型水温・水深計と機械式高周波フィルターを利用することにし、Holthuisen, L. H. (2007) と富永 (1976) の教科書を参考に、漁船による波と港内に進入した波のうち周期 30 秒以内の比較的周期の短い波を除去し、1 時間以上の比較的長い周期の波はなるべくそのまま測定できる、設置・回収が簡便に行えるコンパクトな形状の潮位計を工夫することを目標とした。

### 3. 潮位計の構成

Fig. 1 に著者らが試作した潮位計を示す。(A) は全体の断面図、(B) は各部の写真である。潮位計は、測定器として市販の圧力式深度計 e (JFE アドバンテック社 COMPACT-TD model ATD-HR)、内径 4 mm 長さ 9 m のビニールチューブを巻きつけた波の減衰器 f、これらを収納する塩化ビニール製の密閉ケース g および g' から成る。波の減衰特性はチューブの内径と長さに大きく依存する。

このケースは下端の直径 4 mm の穴 a で海中に通じ、上端の穴 d に取り付けられた市販の水道ホースを経て大気に通じている。潮位計ケース上端にホースを取り付け、先端に錘を付けたロープを添わせて上下に動かないよう

にし、Fig. 1 (C) に示すように岸壁等から海中に設置する。この時、大きなゴミの防除と岸壁による磨耗の軽減のためにケースをプラスチック製の網（例えば商品名 トリカルネット）で包んでおく。ロープの代わりにステンレス製の棒を用い、Fig. 1 (D) に例示した方法で測器の位置を正確に保って固定し、設置場所の水準測量を行えば、多少の費用と手間はかかるもののより正確で観測地点相互の絶対比較のできる潮位観測が可能になると考えられる。

ケース下部 g' の a から b までの空隙は、外側を覆ったプラスチック製の網を通過した小さなゴミを落とし、減衰器 f に入ることを少しでも防ごうという意図を持っている。当初、最も懸念されたのがこのゴミの侵入と生物付着であったが、3 ヶ月ほどの試験運用後に開いてみると、中の海水が硫化水素臭を放ち、ケース内壁とラベル代わりのビニールテープが黒く変色して、付着生物も見られなかった。内部の海水交換が悪いために無酸素状態となり、生物が生息できる環境ではなくなっていたものと推定される。

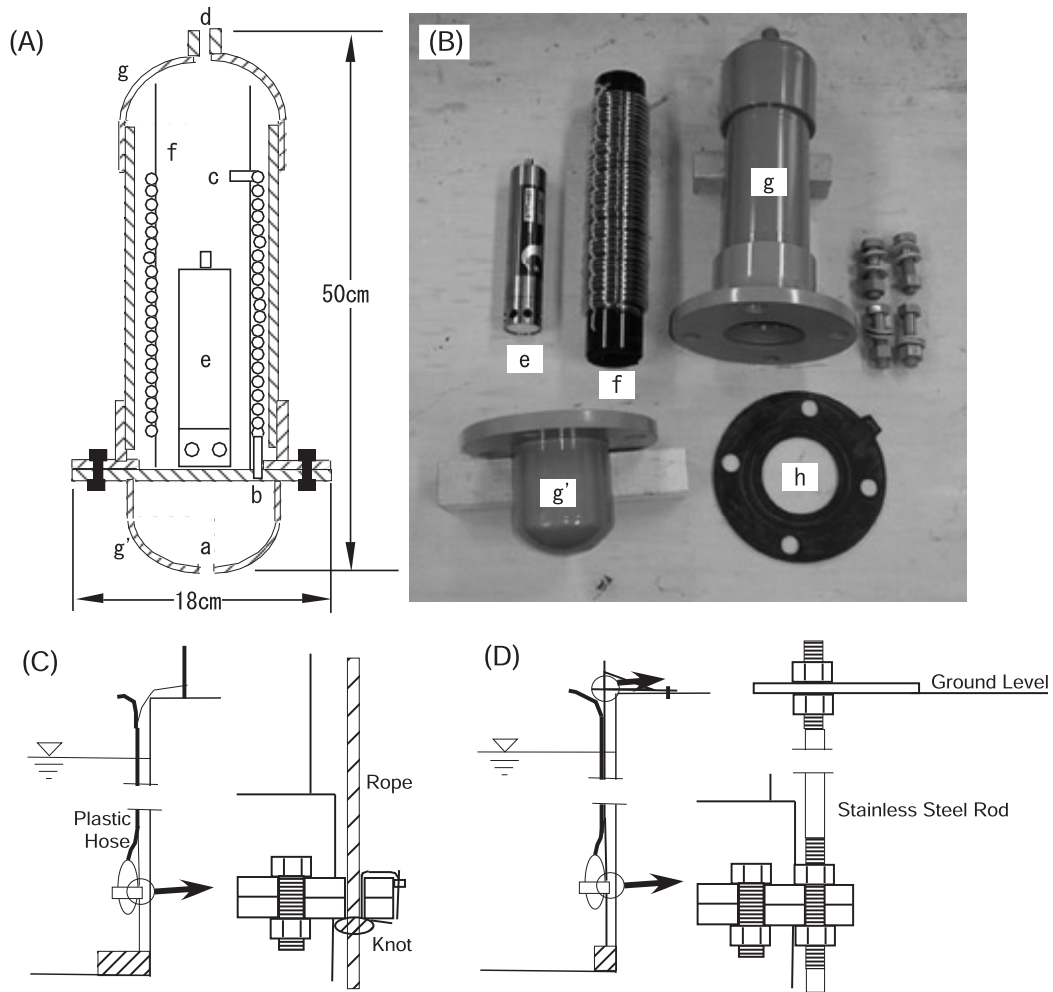
### 4. 時定数の測定と減衰効果の推定

この潮位計の中核となる減衰器の性能を確かめるため、時定数（緩和時間）を測定し、その結果に基づいて減衰効果を推定した。

Fig. 2 に測定に用いた実験系を示す。外部に開いている Fig. 1 (A) ケース g' の穴 a (径 4 mm) にコネクターを接着し、ホースの内部抵抗が障害にならないよう a の径より大きい内径約 20 mm のホース経由で水位を作る容器（ポリ瓶を改造したもの）に繋ぐ。この容器に別のタンクからゆっくり水を供給し、容器の横に繋いだ排水用ホースから余分な水を排出して水位を一定に保つ。この容器の位置を上下して、水位の上昇と下降の状態を作ることができる。

Fig. 1 (A) のケース上端 d に付けたホース（内径 15 mm）内部の適宜定めた基準からの水位を  $h(t)$ 、 $h(t)$  を基準とした外部の水位を  $H_0$  とする。 $h(t)$  の時間変化を記述する基本方程式を、 $k$  を比例定数として、

$$\frac{dh(t)}{dt} = k(H_0 - h(t)) \dots \dots \dots (1)$$



**Fig. 1.** (A) Profile of the simple tide gauge and (B) a picture of the parts. The parts are a : a hole opening to the water, b and c : the start and end point of tube damper f respectively, d : a hole opening to the air through a hose of water supply, e : a pressure-type depth meter COMPACT-TD model ATD-HR of JFE Advantech company, Kobe, Japan, f : the viscous tube damper of 4 mm diameter and 9 m length, g and g' : PVC tube containing the depth meter and the viscous tube damper, h : a rubber packing. The space of g' is expected to function as a sink of small particles. Figures (C) and (D) show the settling methods of this tide gauge, and the method illustrated in (D) is useful for precise discussion of the tidal variations measured at multiple stations by referring to geographical level data.

と記載する。

初期条件を  $h(0)=0$  とした解は

$$h(t) = H_0 \{1 - \exp(-kt)\} \dots\dots\dots (2)$$

となり、時定数  $t_c$  は緩和時間の定義 (岩波理化学辞典, 1958) または

$$H_0 - h(t_c) \equiv H_0/e$$

から、

$$k = 1/t_c \dots\dots\dots (3)$$

という関係にある。

測定に用いた JFE アドバンテック社製小型メモリー水温・深度計 COMPACT-TD model ATD-HR は、時定数 0.005 秒、分解能 1 cm である。時定数の測定は測定間隔 1 秒で、 $H_0=10, 18, 47, 96$  cm、水面の上昇・下降について各々 2 回行った。測定に要した時間は全工

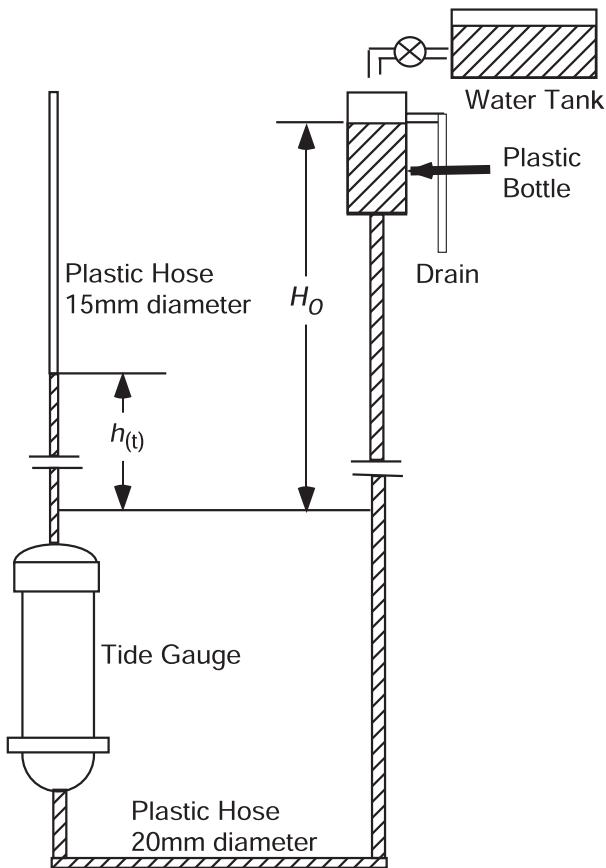


Fig. 2. Schematic representation of the experimental system for relaxation time determination. The plastic container indicated by an arrow make positive or negative constant water level referred to  $h(t)=0$  in eq. (1) by upward or downward transfer.

程でおよそ2時間であった。

測定結果を Fig. 3 (A) に示す。時定数は  $H_0=10$  cm で 50 秒,  $H_0=18$  cm で 55 秒,  $H_0=47$  cm で 70 秒,  $H_0=96$  cm で 85 秒であった。

次に、外部の水位が振幅  $H_0$  で周期的に変化する場合を考える。

基本方程式 (1) の  $H_0$  を、 $\omega$  を角振動数とする  $H = H_0 \sin(\omega t)$  と置き換えると、

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{t_c} \{H_0 \sin \omega t - h(t)\} \dots\dots\dots (4)$$

初期条件  $h(0)=0$  とする解は、

$$h(t) = \frac{H_0}{\sqrt{1+t_c^2\omega^2}} \sin(\omega t - \vartheta) + \frac{t_c\omega H_0}{1+t_c^2\omega^2} \exp(-\frac{t}{t_c}) : \vartheta = \arctan(t_c\omega) \dots\dots (5)$$

である。振幅  $H_0$  の周期的変動に対する減衰効果は右辺第 1 項の  $1/\sqrt{1+t_c^2\omega^2}$  で表され、これを仮に減衰係数 (reduction coefficient) と呼ぶことにする。同じく第 1 項の  $\vartheta$  は減衰、すなわち出入りする水の動きに対する阻害によって生じる位相の遅れを示し、また右辺第 2 項の  $t_c\omega \exp(-t/t_c)/(1+t_c^2\omega^2)$  は、阻害によって生じる振動中心の変移の  $H_0$  に対する比率 (仮に変移比率と呼ぶことにする) を示している。

時定数  $t_c$  をパラメータとし、周期の関数として計算した減衰係数を Fig. 3 (B) に示す。周期 1 秒以下では時定数に関係なく減衰係数はほぼ 0 となり、波はほとんど除去される。周期 10 秒で 0.03 以下、波浪の周期として比較的長い 30 秒では 0.1 以下となって、うねりくらいの波までは港内に入れた波の振幅の 10% 以下に減衰する。周期 30 秒を超えると減衰係数は急激に増大し、1000 秒で 0.9 以上、4000 秒でほぼ 1 となって、周期 1 時間を超える波は減衰されることなくほぼそのまま測定されることになる。

減衰過程によって生じる位相の遅れ  $\theta$  を時間に直して Fig. 3 (C) に示す。遅れは、ほとんど除去される周期 30 秒以下の波については 8 秒以内、周期 1 時間を超える波については時定数、すなわち波の振幅に応じて 50 秒から 90 秒の一定の値となる。

Fig. 4 (A) に式 (5) 右辺第 2 項  $t_c\omega \exp(-t/t_c)/(1+t_c^2\omega^2)$  で示される変移比率の、 $t=0$  における値の周期に対する変化を示す。周期 30 秒を超えると急激に増大し、周期 300 秒から 700 秒にかけて最大の 0.5 となって、その後は減少する。周期 30 秒以下と周期 4000 秒以上の領域では変移の初期比率は 0.1 以下である。この変移比率の時間的な変化を見るため、 $t_c/(1+t_c^2\omega^2)$  は時間に対して 1 未満の定数なので、 $\exp(-t/t_c)$  だけをいくつかの時定数について計算して Fig. 4 (B) に示す。時定数 50 秒では 300 秒、時定数 90 秒では 450 秒で 0 となり、波高や周期の変化に対して 5 分から 8 分で変移は解消して新しい状態に追従することがわかる。

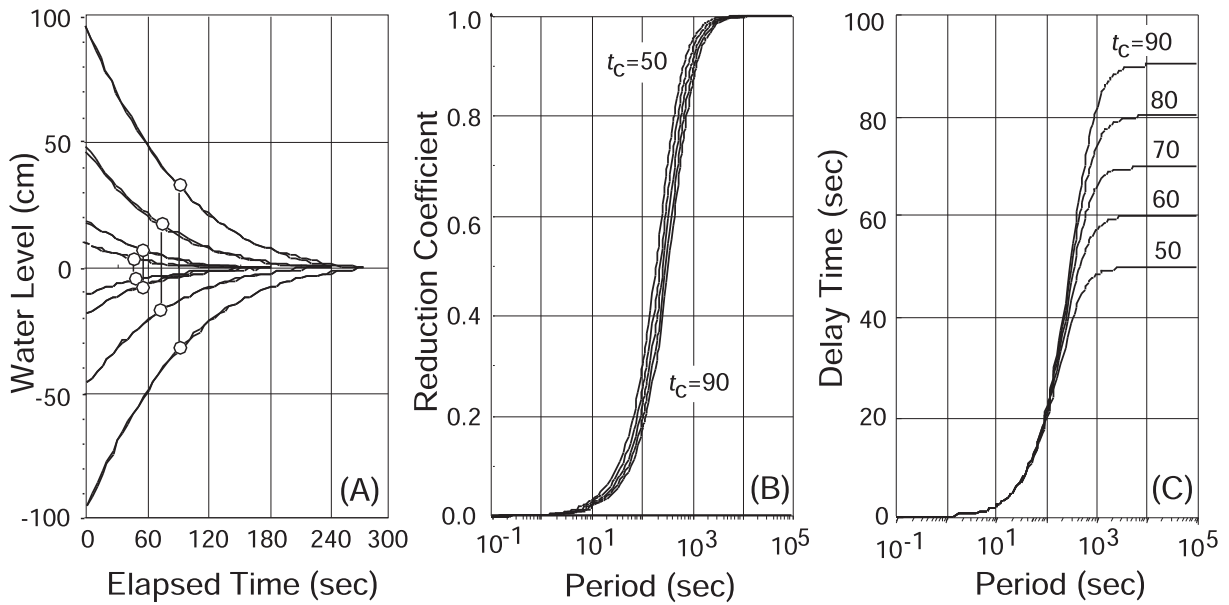


Fig. 3. (A) Temporal changes of water level measured to determine the relaxation times for eight cases of water level difference. Open circles connected with the lines indicate the relaxation times. (B) Reduction coefficients  $1/\sqrt{1+t_c^2\omega^2}$  as a function of period  $T=2\pi/\omega$ , of the first term, the right side in eq. (5) for five cases of relaxation time  $t_c$ . (C) Delay phases  $\vartheta = \arctan(t_c\omega)$  in eq. (5) expressed in time for five cases of relaxation time.

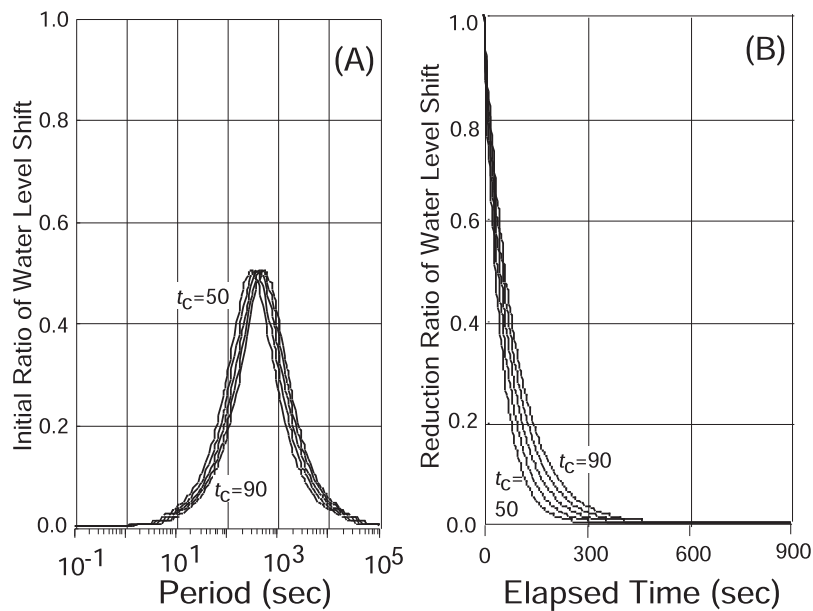


Fig. 4. (A) Initial water-level shift  $t_c\omega/(1+t_c^2\omega^2)$  of the second term, the right side in eq. (5) induced by reduction process, for five cases of relaxation time. (B) Temporal decrease of water-level shift  $\exp(-t/t_c)$  for the same cases, showing that an initial water-level shift is cancelled within 5 to 10 minutes.

## 5. 実海面での比較試験と観測例

時定数に基づいた計算では上述のような性能が期待できるが、実際にはどうであろうか。国土地理院忍路検潮場を比較対象として、2009年6月10日から24日まで簡易潮位計を設置し、様々な分野で潮位データとして最もよく用いられている測定方法による値との比較を行った。

Fig. 5 に忍路検潮場と簡易潮位計設置地点の位置、および潮位計の設置方法を示す。簡易潮位計は、忍路検潮場（北緯 43 度 13 分，東経 140 度 52 分：小樽市忍路 北海道大学忍路臨海実験所構内）の脇 2 m の護岸に打ち込まれた係船用鉄杭に陸上側のロープを固定し、護岸から約 3 m 沖，水深約 1 m の地点に、先端にアンカー、護岸直下のホースに錘を付けて海底に沿うように設置した。観測に用いた測器は時定数測定に用いたものと同じ JFE アドバンテック社製小型メモリー水温・深度計 COMPACT-TD model ATD-HR で、時定数 0.005 秒，分解能 1 cm，測定間隔は 10 分である。0 点補正のための気圧データは、ホームページで公開されている気象庁 AMeDAS データから、小樽の海面気圧を用いた。

国土地理院ホームページを通じての質問に対する回答によれば、忍路検潮場では導水管を通じて海水を導いた観測井戸で、30 秒毎に測定した潮位（30 秒値）から計算した 3 分値を基本データとして周期 2 時間以下の波を除去するよう平滑化操作を行い、毎時潮位、日平均潮位などの公開データとしている。ここで、30 秒値は一次データではあるが、導水管と観測井戸の面積の比によって予め波が機械的に減衰されたものであることに留意する必要がある。

Fig. 6 (A) に国土地理院の 30 秒値と著者らの 10 分毎の観測値各々の毎正時の値の時系列を、また (C) には国土地理院の毎時潮位と 2 時間 13 データを単純移動平均した著者らの毎正時の値の時系列を、各々の観測期間の平均値からの偏差として示す。Fig. 6 (B) と (D) は、それぞれ (A) と (C) の相関関係を示している。時系列曲線は僅かな違いが見られるだけで、ほとんど重なり、平滑化操作を加えない 30 秒値/10 分間値で決定係数 0.997，平滑化した毎時潮位/移動平均値で決定係数 0.996，両者の差はいずれも最大 3 cm で、高い相関関係を示している。

以上の結果から、この簡易潮位計は mm 単位の分解能が要求される精密測定は難しいが、cm 単位で測定で

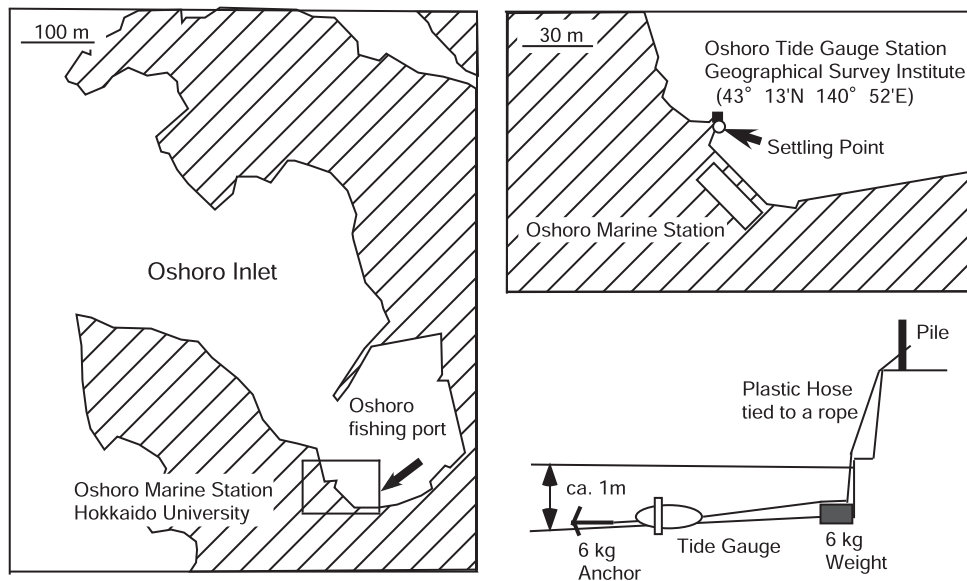


Fig. 5. Location of the *in-situ* test site of the simple tide gauge and schematic presentation of the settling method.

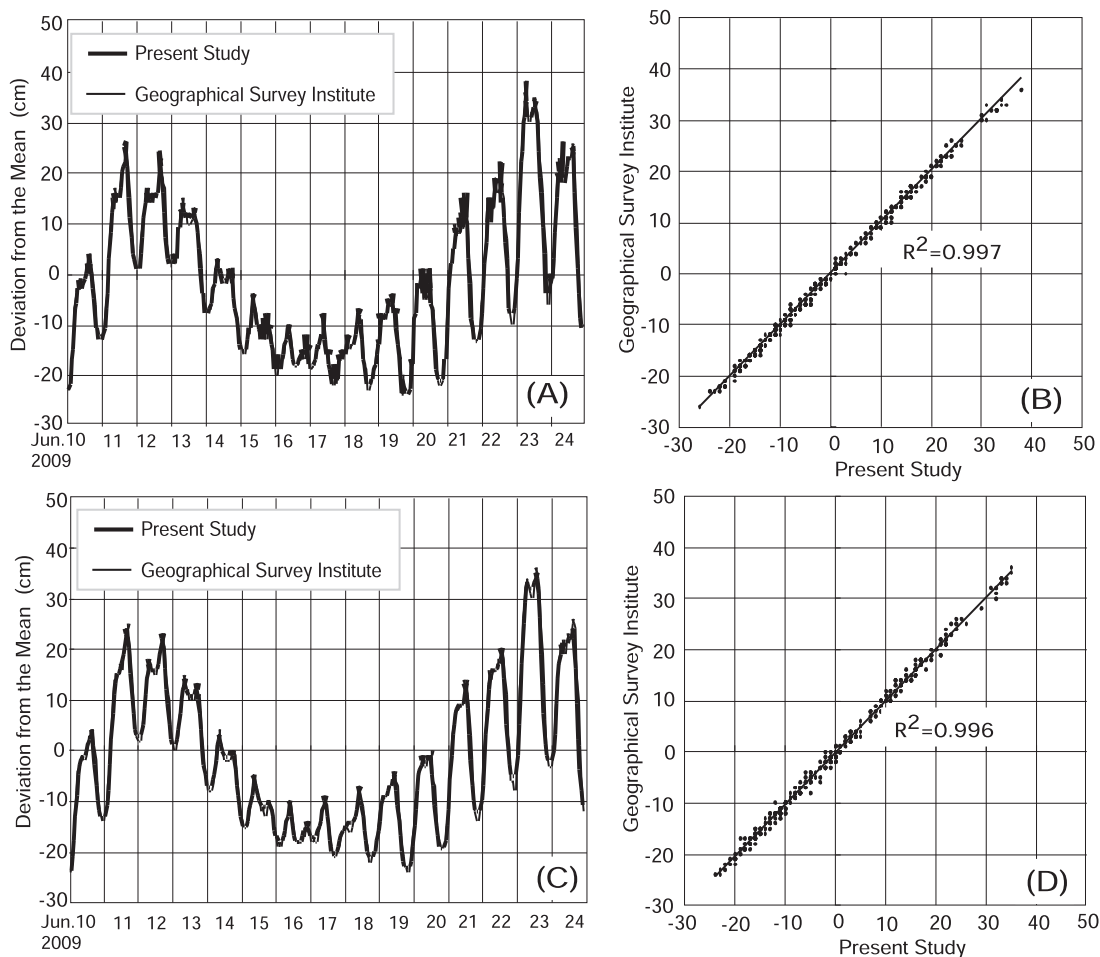


Fig. 6. Temporal changes of sea level observed at the Oshoro Tide Gauge Station, Geographical Survey Institute and the present study, relative to each mean level during the observation term, for the cases of the data without numerical filtering process (A), and of the data without waves of period shorter than 2 hours (C). Figures (B) and (D) show the correlations of the two data sets shown in figures (A) and (C) respectively. These figures show a good agreement between the two methods.

き、減衰特性から考えて周期1時間以上のイベントの観測には十分利用できるものと考えられる。

Fig. 7には、この潮位計の耐久試験を兼ねて、どのようなデータが得られるか試験的に行った観測の結果を示す。設置場所は北海道南部、噴火湾沿岸の室蘭市追直 (Muroran)、国縫 (Kunnui)、落部 (Otoshibe) の3漁港で、2008年8月から10月にかけて、各港の岸壁にFig. 1 (C) に示す方法で吊り下げ、10分間隔で測定し室蘭の海面気圧で補正した。Fig. 7に示した図は、10分ごとの測定値から2時間13個のデータを単純移動平均して毎正時の値とし、これを241点24時間タイド・

キラー・フィルター (花輪・三寺, 1985) によって潮汐周期以下の波を除去したものである。変動幅は異なるものの3地点が概ね同様に変化していることが多いが、8月21日から31日にかけて、落部や室蘭で他の2地点とは逆位相で変化していることが目立っている。

噴火湾では、全湾規模の渦 (例えば Takahashi *et al.* 2004)、沿岸湧昇 (大谷・出口, 1983)、内部波の伝播 (佐藤ら, 2006) など、多くの研究が行われている。Fig. 7では佐藤ら (2006) が扱った近慣性周期の変動は除去されているが、それらの研究に取り上げられた現象をはじめ、噴火湾で生起するさまざまな現象が Fig. 7



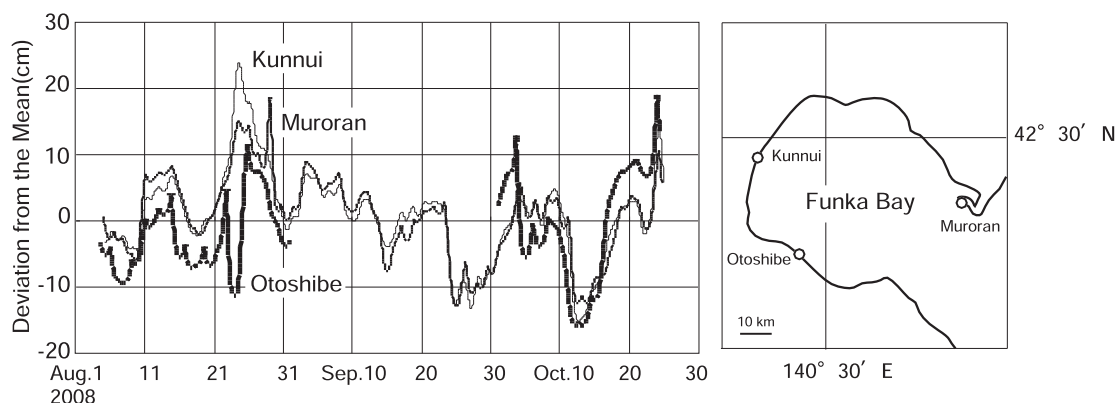


Fig. 7. An example of the observations at three stations on the coast of Funka Bay shown in the right figure. Sea level variations shorter than tidal periods have been cut off by 24-hour tide killer filter. The sea level variations, especially from August 21 to 31, are very interesting in what caused these complicated motions.

のような潮位変動にどのように反映されるのか、あるいは反映されないのか、非常に興味深い。このような観測データは、潮位観測網を展開することではじめて得られるデータであり、比較的予算で製作できる簡易潮位計の利点を示す好例と考えられる。

## 6. まとめ

本報告では、主として海水の粘性を利用して波を減衰する、低価格で簡単に製作でき、設置・回収が簡便で臨時的な潮位観測に便利な簡易潮位計を提案した。

時定数（緩和時間）は初期水位差 10 cm で 50 秒、96 cm で 85 秒であった。時定数を用いて減衰効果を推定した結果、周期 1 秒以下の波はほぼ除去され、周期 1–10 秒の波はその振幅の 3% 以下に、周期 30 秒の波で 10% 以下に減衰されるものと推定された。一方、周期 1 時間以上の周期の長い波は減衰されることなく、1 分から 1 分半の遅れでそのまま測定されるものと推定された。

国土地理院忍路検潮場を対象とした実海面比較試験でも 3 cm 以下の差で高い相関と追従性が確認され、また、北海道南部、噴火湾の沿岸 3 ヶ所での試験観測からは、水温・塩分や流向・流速の係留観測と併せて、観測網を展開して沿岸で生起するさまざまな現象に伴う潮位の変化を広範囲に観測するための簡易潮位計として利用できる可能性を持っていることが示された。

## 謝辞

簡易潮位計の試作は、北海道重点領域特別研究「噴火湾奥部の貧酸素水塊の形成・発達及び沿岸部への輸送メカニズム解明調査」の一環として行ったものである。

実海面試験では北海道大学北方生物圏フィールド科学センター忍路臨海実験所、国土地理院忍路検潮場、小樽市漁業協同組合、室蘭市漁業協同組合、長万部漁業協同組合、八雲漁業協同組合の協力を頂きました。また、査読者の方々からは有益なご意見を頂きました。皆様に厚くお礼申し上げます。

## References

- 花輪 公雄・三寺 史夫 (1985): 海洋資料における日平均値の作成について—日平均値を扱う際の留意点—, 沿岸海洋研究ノート, **23**, 79–87.
- Holthuijsen, L. H. (2007): *Waves in Oceanic and Coastal Waters*, Cambridge University Press, Cambridge, 387pp.
- 岩波理化学辞典 (1958) 岩波書店, 東京, 1631pp.
- 大谷 清隆・出口 良二 (1983): 渡島半島東岸の沿岸湧昇, 北海道大学水産学部彙報, **34**, 291–311.
- 佐藤 千鶴・磯田 豊・岩橋 雅行・清水 学 (2006): 噴火湾における近慣性周期の内部ケルビン波: 沿岸海洋研究, **44**, 49–58.
- Takahashi, D., Nishida, Y., Uehara, K., Miyake, H. (2004): Dynamics and water mass structure of a summertime anticyclonic eddy in Funka Bay, Hokkaido, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **61**, 185–195.
- 富永政英 (1976): 海洋波動 —基礎理論と観測成果—. 共立出版, 東京, 591pp.

## A Design of a Simple Tide Gauge

Kazuo Kido<sup>†</sup>, Hiroya Okumura<sup>‡</sup> and Masato Osawa<sup>†</sup>

### Abstract

A design of a simple tide gauge, which can be made easily and at a relatively low price, is proposed to observe readily sea-level fluctuations at multiple stations accompanying various coastal phenomena. This gauge is composed of a depth meter of a pressure sensor and a tube of 4 mm diameter and 9 m length as a damper of high frequency waves. Those are contained in a PVC pipe.

High frequency waves of period shorter than 30 seconds are cut off or reduced to magnitude within 10% of wave heights, but waves of period longer than 1 hour are passed with delay time from 1 to 1.5 minutes. Comparing with the data of an authorized tide gauge station and observations at three stations around the Funka Bay, Hokkaido, Japan showed that this simple gauge can be used sufficiently in studies and researches on coastal oceanography.

(Corresponding author's e-mail address: kido-kazuo@hro.or.jp)

(Received 30 November 2009; accepted 4 June 2010)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2010)

---

<sup>†</sup> Geological Survey of Hokkaido, Hokkaido Research Organization, 3-1 Chikko, Otaru 047-0008, Japan

<sup>‡</sup> Fisheries Research Department, Hokkaido Research Organization, 238 Hamanaka-cho, Yoichi 046-8555, Japan