

令和 6 年 9 月 9 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04867

研究課題名（和文）実船に適用可能な船側相対水位の同時多点計測システムの開発

研究課題名（英文）Development of simultaneous multipoint measurement system of ship side water level applicable to actual ship

研究代表者

池本 義範（Ikemoto, Yoshinori）

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・海上技術安全研究所・研究員

研究者番号：80358407

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：船体まわりや海洋構造物の水位分布の計測はそれらの状態を把握するためのモニタリングの重要項目の一つである。本研究では造波等による水位変化の同時多点計測のために模型船自体をセンサとする電極列を表面に形成した電気抵抗による計測法とTime Domain Reflectometryを応用した計測方式を考案した。それぞれについて模型船側面に同時多点水位計を模型船に貼付し造波水槽で計測の試行を行った。入力とした出合い波波高を模型船のセンサで計測したところ電気抵抗式では良好に一致することを確かめた。TDR方式も同条件の実験を実施したが期間中に動的な解析アルゴリズムを確立するところまでは至らなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、船体側面に生じる水位変化による造波抵抗の推算には写真撮影やビデオカメラ画像による解析が用いられてきた。しかしながら、光学的な計測ではカメラから計測対象までの間に不要な波が画角に入るのが避けられない課題があった。またセンサを水に沈めて計測する手法ではそれ自身が波を起こすため、船体側面の同時多点水位計測は困難であった。

本研究では0.1mm以下のテープ状導電性材料を短冊状に並べてセンサとして用いた。このセンサで時空間的に船体側面の波形を捉えることを可能なことを確かめた。浮体などの表面に生じている水位を容易に捉えられるため、浮体周りの計算流体力学などの解析精度向上に役立つものと期待される。

研究成果の概要（英文）：Measuring the water level distribution around ship hulls and marine structures is one of the important elements of monitoring their condition. In this study, we devised a method of measurement based on electrical resistance, forming an array of electrodes on the side surface of the model ship itself to serve as a sensor for simultaneous multi-point measurement of water level changes due to wave generation, etc. We also devised a measurement method using Electric Resistance and Time Domain Reflectometry. For each, we attached a simultaneous multi-point water level meter to the side of the model ship and conducted wave height measurement trials in a wave-making tank. In the electrical resistance-based measurement, we confirmed that the encounter wave height inputted matched well with the measurement by the sensor on the model ship. We also conducted experiments under the same conditions with the TDR method, but we did not reach the point of establishing a dynamic analysis algorithm.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：電気抵抗式水位計 TDR Time Domain Reflectometry 多点同時計測 波高計 水位計 波高 水位

1. 研究開始当初の背景

従来、船体側面に生じる水位変化による造波抵抗の推算にはビデオ画像やレーザーなどによる計測が用いられてきた。しかしながら、センサを水に沈めて計測する手法ではそれ自身が波を起こすため、同時多点な水位計測は困難であった。一方で、非接触で計測する手段として画像による計測や、レーザー・スリット光により波の断面から一度に広範囲の波を画像解析により求める手法が試みられている。これらはいずれも船外に装置を設置する必要があり、水槽で実施する模型船実験等においては実施可能であっても実際の海域で、航行する船舶・海洋構造物等の造波を計測するのは困難である。また光学的な計測であるため、例えば船体側面から画像撮影する場合カメラの手前に波があると、視界が遮られ奥行き側にある船側波形が計測できない問題があった。

2. 研究の目的

本研究では船体側面上の複数の水位計測点からの計測値を電氣的に同時取得し、船体側面に生じている船側波形をリアルタイムに計測できるシステムを開発することを目的としている。

そこで船体の表面にごく薄い水位センサ群を貼付ければ、船側波形に影響を及ぼさず同時多点水位計測が出来ると考えた。このために厚さが極めて薄いテープ状の導電性センサを複数使用している。

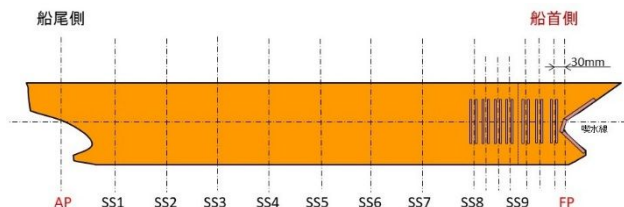


Fig.1 船体側面電極位置

水位センサ電極を Fig.1 のように船体等の表面に並べて取り付けることで、船体それ自体を船側波形の時間計測の出来る波高計とした。

波高計測方法として従来使われていた電気抵抗式計測と船舶の電気配線の検査に使用されている TDR 法(Time Domain Reflectometry)を利用した計測法の 2 つを実施する。前者は'80 年代頃まで模型船実験や岸壁の水位計測等に

使われてきた実績がある。ところで実際の船舶・海洋構造物では乾舷の高さが 30m 程度に達するものもある。電気抵抗式では抵抗値が大きくなりすぎて計測が困難になる可能性がある。

一方、後者の TDR 法計測は建造物や艦船などの配線設備の検査に用いられており長大であっても対応できるが、逆に短小な配線では信号反射が速すぎ、却って検出が難しくなるおそれがある。そこでそれぞれの測定方式で船側波形計測を実施し、その適用範囲を明らかにする。

3. 研究の方法



Fig.2 船体側面へのセンサ取付状況

始めに電気抵抗式水位計による多点水位計測が可能かどうか確かめた。造波水槽において、左舷側に Fig.2 のようにセンサ群を配置した模型船を用いて平水中および波浪中の航走試験を行った。造波実験では出会い波と模型船の船側波形を計測する実験を行った。次に右舷側の同じ位置に TDR 式水位計のセンサ群を配置して上記と同じ条件で航走試験を行った。各方式の結果を比較してそれぞれのセンサの適用範囲を検討する。本研究では上記の目的を達成するため、以下の通り計測システムの開発と水槽実験を実施した。

(1) 同時多点水位計測装置の開発

i) 電気抵抗式水位計測システム

電気抵抗式水位計は水に浸した電極間の水位による電気抵抗によって計測するシステム

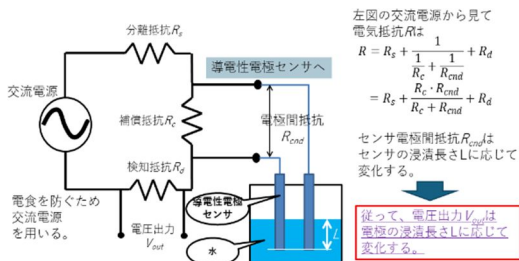


Fig.3 電気抵抗式水位計の測定

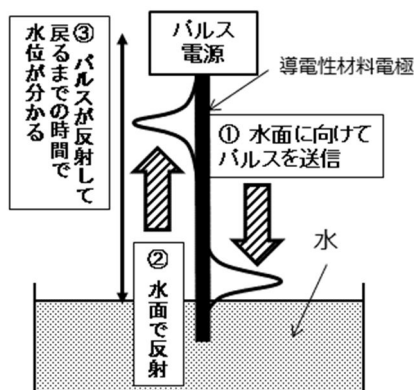


Fig.4 製作した電気抵抗式水位計

である。本研究ではこの原理を用いて同時多点計測できるシステムを開発した。Fig.3 に本システムの計測原理を、Fig.4 に製作した電気抵抗式水位計を示す。本装置は 8ch の入力を持っており、各入力の水位による電気抵抗値に従った電圧を出力するよう設計されている。

### ii) TDR 法(Time Domain Reflectometry)を利用した水位計測システム

パルス信号を用いた TDR 法(Time Domain Reflectometry)で水位計測するシステムを考案した。計測原理を Fig.5 に示す。製作した TDR 水位計を Fig.6 に示す。本装置は 8ch の入力を持つ。



水面ではインピーダンス(電気抵抗)が急峻に変化するため、パルス信号が水面で反射してしまう現象を利用

Fig.5 TDR 式水位計の計測原理

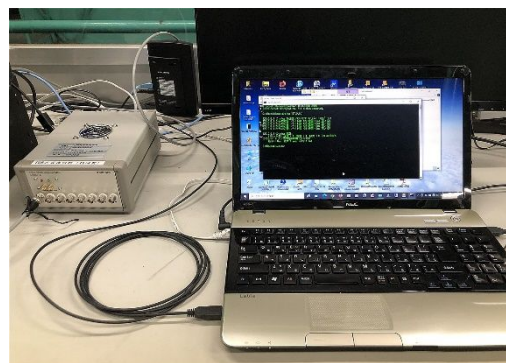


Fig.6 製作した TDR 式水位計

### (2) 模型船船体側面へのセンサ電極取り付けと検定

水位センサは水位変動が著しいと考えられる船首側のスケアステーション(SS)の FP~SS8 の間に 8 本を等間隔で配置した。但し、供試模型船には SS9 に沿ってスタットが打たれているため SS9 には配置していない。電極には表面にコーティングされていない銅箔テープを使用している。銅箔テープの厚さは 0.01mm 程度であるので造波にはほぼ影響しないものと考えられる。センサ電極は電気抵抗式の場合 2 本で 1 組となっており、1 組各々の間隔は 5 mm とした。

センサの検定はトリミングタンク内に模型船を浮上しないよう固定して繰り返し注排水することで行った。このときの水位変化を超音波式水位計(分解能 1mm)で計測し基準値とした。この結果を電気抵抗式水位計、TDR 式水位計の計測値と比較して検定を行った。

### (3) 解析方法

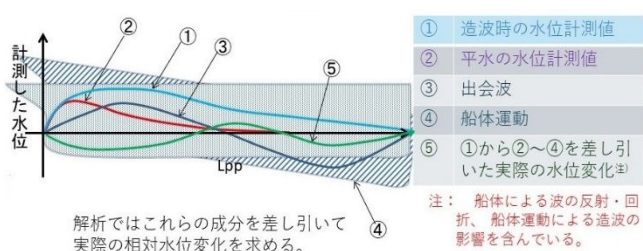


Fig.7 計測結果の解析方法

Fig.7 は波浪中航走時の造波について模式的に表したものである。水位計測値には以下の 3 つの成分が含まれている。

平水航走時の水位計測値

出合い波波高

船体運動による水位変化

これらを から差し引いたものが実際の船体側面の水位変化である。本実験では曳引台車前方に水位計を取り付け、出合い波波高 の計測を同時

に行っている。なお、実際の船体運動ではロール成分が存在するが、簡単化のため本実験では模型船船体のロールを固定しピッチとヒープのみの状態で航走している。曳引時の台車速度は模型船の設計速度に固定とした。

## 4. 研究成果

平水中の水槽における模型船造波曳航実験の様子(平水中、造波無し)を Fig.8 に示す。このときの水位変化の画像と抵抗式水位計による水位変化(Fig.9)を重ねてみると良好に一致しており、船首部の船側波形が計測できていることが分かる。

さらに水槽で造波し、1次元の波浪中を航走する水槽実験を行った。波長・船長比( $L/\lambda$ )をそれぞれ 1.5、1、0.5 とし、曳引台車速度 1.491m/s(設計速度)、波高 3cm、4cm で電気抵抗式水位計を用いて船側波形の計測実験を行った。実験( $L/\lambda=0.5$ 、波高 4cm、台車速度 1.491m/s)の模型船船首部写真(Fig.10)を示す。また 3.(3)で述べた処理を行った計測結果を Fig.11 に示す。航走時に模型船が出合い波に乗り上げて船首部分が大きく動揺するが動揺を取り除いた波

形を見てみると平水時の船首造波波形が出会い波の周期で増減していることが分かる。このことから良好に船側波形が計測できているものと思われる。なお TDR 式波高計も同じ条件で実験を実施しているが、解析が未了のため本報告には掲載していない。成果報告書作成現時点での学会等への口頭・論文発表はないが、今後の発表を準備している。

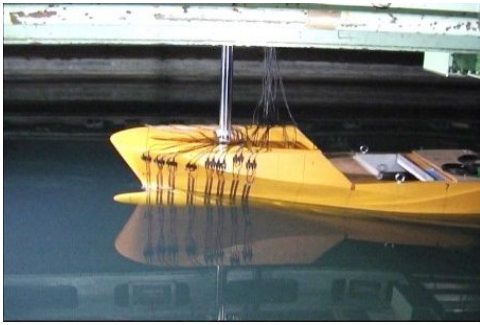


Fig.8 模型船を用いた水槽実験（平水中）

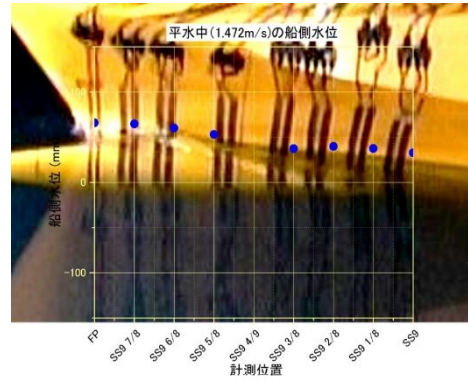


Fig.9 平水中曳航時の造波

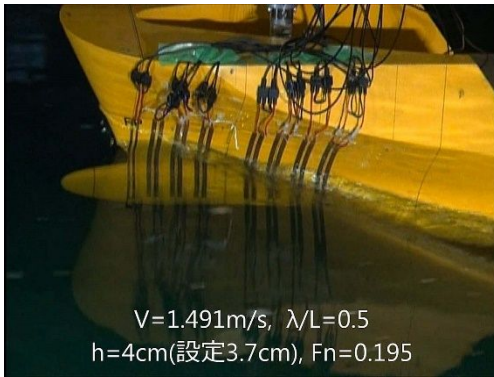


Fig.10 模型船を用いた水槽実験（造波）

船首水位センサの水位時系列変化  
 $\lambda/L=0.5, h=4\text{cm}, V=1.491\text{m/s}$

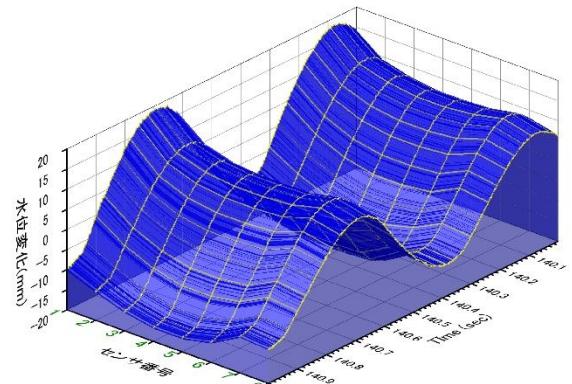


Fig.11 造波航走時の船側波形計測結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)      | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|-------|--------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 牧野 雅彦<br><br>(Makino Masahiko) |                       |    |
| 研究協力者 | 後藤 英信<br><br>(Goto Hidenobu)   |                       |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|         |         |