238 自由航走模型船の水中超音波による位置計測システム

船舶技術研究所 二村 正、上野 道雄、藤原 敏文、野中 晃二
シップ・アンド・オーシャン財団 小川 陽弘○

Ultrasonic Positioning System for Free Running Model Ships

Tadashi Nimura*, Michio Ueno*, Toshifumi Fujiwara*, Koji Nonaka*,
Akihiro Ogawa**

Ultrasonic positioning system for free running model ships at the 80m square basin in Ship Research Institute has recently been enhanced with a newly developed signal processing code on personal computer. This positioning system visualizes the trajectory of radio controlled model ship together with time history of her speed, direction, drift angle and turning rate in time. The accuracy of the positioning is confirmed to be enough for the analyses of model ship motion.

1. はじめに

船舶技術研究所には、主に船舶の安全性の研究を行うための角水槽と呼ばれる一辺が80mの正方形の水面を持つ水槽がある。この角水槽では、無線操縦で自由航走する模型船の位置や速度を水中超音波により計測している^{1,2)}。この水中超音波による位置計測システムは、近年のパソコンの処理速度の増加や新しく開発したプログラムにより、リアルタイムでの模型船の重心軌跡、速度、進行方向等の計測、表示が可能となり、実験を行う上での危険回避に役だっている。本報告では、水中超音波による位置計測システムの機器構成や新しく開発したプログラムの概要と、リアルタイムで表示される航跡の利用について紹介する。また、この位置計測システムの計測精度について示す。

2. 角水槽と自由航走模型船

角水槽の概略図を Fig.1 に示す。この水槽には2辺に造波装置があり、波浪中での実験が行える。水槽の4隅付近には、深さ方向に2箇所、計8台の模型船位置計測用の水中超音波受信器が設置されている。

Fig.1 General Plan of 80m Square Tank

通常角水槽で用いられる模型船には無線操縦用の受信機、操舵装置、プロペラ駆動用モータ、動揺や方位計測用のジャイロ、舵力計等の各種計測機器、データ送信用テレメータ、位置計測用の水中超音波発信機器、電源である多くのバッテリーが搭載されている。これらの搭載機器は重心位置や慣性モーメントが実船と相似になるように配置されている。模型船で計測されたデータは無線

* Ship Research Institute, 6-38-1 Sinkawa,
Mitaka, Tokyo 181 Japan

** Ship & Ocean Foundation,
Senpaku Shinko Building, 15-16 Toranomon
1-Chome, Minato-ku, Tokyo 105 Japan

Fig.2 Free Running Model Ship

で陸上に送られ計算機に記録される。また、送られてきたデータの一部はリアルタイムで処理され、模型船が各種実験法に対応した運動を行うように舵角、プロペラ回転数の制御が行われる。

模型船の写真を Fig.2 に示す。この模型船は航海訓練用の練習船の模型（約 1/25）で、平水中での操縦性能試験用である。船長は4.29m、幅0.73m、排水量387kgで、角水槽で使用される標準的な大きさの模型である。なお、この模型船には上述の計測機器の他に、別の目的に使用した位置計測用のGPS関係の機器が搭載されている³⁾。

3、水中超音波による位置計測システム

角水槽で通常使用されている水中超音波による位置計測システムの概要は以下の通りである。模型船の船底の前後2箇所に直径約18mm、高さ約63mmの超音波発振子（固有振動数100kHz）が取り付けられている。超音波発振子は、陸上からある時間間隔で発信される無線信号に従い、前後が交互に水中超音波を発する。その水中超音波を水槽4隅の受信器（Fig.1）で受信し、発信から受信までの時間差から超音波発振子までの距離を求めている。この距離データをGPIBによりパソコンに取り込み、個々の超音波発振子の位置を三角測量の原理で求め、模型船の重心軌跡、速度、進行方向等をリアルタイム

Fig.3 Example of Real Time Display on CRT

ムに計算、表示する。この位置解析表示プログラムは新たにBASICで制作した。プログラム及び計測システムは、多少の受信エラーに対しては以下に示すような配慮が、誤データに対しては修正等の配慮がなされているため、リアルタイムでの表示に中断が無い。例えば、超音波発振子の位置を求めるには、原理的には最低2箇所の受信点があればよいが、模型船と受信点の位置関係による精度低下や、受信エラーによるデータの欠落を防ぐために4点での受信を行っている。また、水槽の深さ方向に2箇所の受信器（水深1mと3.9m）を設置して、深さ方向の水温分布や模型船形状等によると思われる受信不良状態が発生した場合に、受信器を切り換えて使用している。水中超音波を発する時間間隔は、超音波の残響と思われる計測エラーを避けるため、通常最も短い時間間隔として0.3秒間隔としているが、模型船には前後2箇所の発振子を取り付けてあるため、発振子1個当たりの位置データは0.6秒のサンプリング間隔である。しかし、解析プログラムにより、模型船の前あるいは後の発振子2時刻間の位置を直線補間により求め、この補間データと直接得られた位置データにより模型船の重心位置、速度等を0.3秒間隔で計算している。

Fig.3に練習船（Fig.2）の平水中旋回試験の計測例（左舵角 15° ）を示す。模型船の重心軌跡、速度、進行方向、回頭角速度、偏角（方位角と進行方向とのなす角度）がこの図のようにCRTにリアルタイムで表示される。ここに示した試験のように旋回径が小さい場合の事故は少ないが、旋回径の大きな旋回試験や直進試験、後述するZ試験等の場合、以前は回避行動の遅れなどで造波機、消波ビーチへの衝突、座礁などの事故を起こすことがあり、操船者はかなりの緊張を強いられてきた。し

Fig.4 Fixed Point Data
(3.33Hz, 2526.3sec, RMS=0.46cm)

かし、リアルタイムで模型船の位置や速度が表示されるようになったため、的確な回避行動が取れ、夜間での実験なども安全に実施できるようになった。このように、位置計測システムは操船者への有用な情報としても活用されている。また、この位置計測システムを用いた模型実験の一部自動化についても今後検討して行きたいと考えている。

4、固定点での位置計測精度

基本的な位置計測精度の確認のため、角水槽のほぼ中央に常設されている検定用の固定発振子によって固定点での位置計測を行った。Fig.4に0.3秒間隔で約42分間計測した結果を示す。座標の原点は計測値の平均値である。計測値は数点を除いて半径約1cmの範囲内に収まっている。また、すべての点の2乗平均の平方根は0.46cmであった。離れている数点は4つの受信点の内、受信できない箇所が1ないし2箇所あった点である。このような現象は角水槽の端付近に模型船が近づいたとき起こりやすいが、水槽中央部で水中超音波が正常に受信できればその位置は精度良く計測できていることが解る。

5、自航模型船の位置計測精度

実際の自航模型船の位置計測精度について、操縦性能試験の一つであるZ試験により説明する。ここに示す 20° Z試験とは、舵角を交互に 20° 切り返し、運動のオーバーシュートの大きさを判定する試験法である。Fig.5に重心軌跡を、Fig.6に時系列を示す。

Fig.5 Model Ship Trajectory of
-20deg Zig-zag Test

Fig.6 Time History of -20deg Zig-zag Test

Fig.6の横軸は操舵開始を時刻0としている。Fig.6には模型船に搭載した角速度ジャイロ(R.Gyro)、方位ジャイロ(D.Gyro)の結果をあわせて示す。上から、速度、回頭角速度、偏角、方位角、舵角、船底の前後に設置した超音波発振子間の距離の誤差である。水中超音波発振子の取り付け間隔は2.145mで、この発振子間の距離誤差は移動時の精度を見る場合の一つの目安になると考えられる。50秒付近の雑音を除くと、発振子間の距離誤差は±1cm以内で、固定点での位置計測精度と同程度であり、また方位角およびその微分値である回頭角速度もジャイロと良い対応を示しており、運動の計測に十分な精度を有していることがわかる。50秒付近のスパイク状の雑音は、4箇所を受信できるはずのデータが2箇所でしか受信できなかったためであることを確認しているが、このように受信不良が発生した場合、運動の計測精度に問題があり、現在は極力データそのものの補正を行わないようにしているが、模型実験の一部自動化を考える場合、制御プログラムに工夫が必要であると思われる。

6. おわりに

自由航走模型船の水中超音波による位置計測システムと、リアルタイムに表示される模型船の位置情報の利用

の概要について紹介した。また、その計測精度は実用上運動の計測に十分であることを示した。

参考文献

- 1) 小川、松元、森 : 模型船用航跡自画装置について、船舶技術研究所報告 第9巻 第1号、1972.1.
- 2) 石田、菅、猿田、安野 : 角水槽の多点式航跡自画装置について、第50回船舶技術研究所研究発表会講演集、1987.12.
- 3) 上野、二村、藤原、野中 : 自由航走模型船を用いた操縦性能実験へのGPSの応用、第68回船舶技術研究所研究発表会講演集、1996.12.