

GPSを用いた角水槽の新しい模型船位置計測システム

海上安全研究領域 操縦・制御研究グループ *二村 正、上野道雄
耐航・復原性能研究グループ 田口晴邦、沢田博史

1. まえがき

80m角水槽の自由航走模型試験では、これまで模型船の航跡や速度などの平面運動を水中超音波により計測を行ってきたが、水中超音波による位置計測では、模型船の下に超音波発信子を設けなければならないこと、サンプリング周期が長いこと、時々大きな位置計測誤差が発生する等の欠点があった。

一方、近年、GPS(Global Positioning System)の普及及び計測精度の向上により模型船の運動を計測できる状況となってきたため、著者らは以前、GPS装置を用い、角水槽で平水中模型実験の運動計測を行いその有用性を確認した¹⁾。その後更にGPS装置が高精度化、小型軽量化されたため、80m角水槽の自由航走模型船の運動をGPSにより計測するシステムを新たに整備した。

本報告では整備したGPSを用いた模型船位置計測システムの紹介を行うと共に、船体上下揺れや縦揺れ運動等の計測の可能性について紹介する。

2. GPS位置計測システムの構成

今回導入したGPS装置の機器構成を以下に示す。また、その配置を図-1に示す。

- 1, 基準局(研究棟屋上にアンテナ設置)
- 2, 移動局2局(模型船搭載)
- 3, 補正データ及び位置データ送受信機一式
- 4, 位置データ処理及び表示用PC

基準局と移動局2局のGPS受信機3台は米国トリンプル社製M750、データ送受信機はセナー社製セナーリンクMK-である。本装置は、RTK-OTF(Real Time Kinematic On The Fly)方式+Moving Base RTK方式で、高精度の位置計測が5Hzで行える。

本方式を簡単に紹介する。まず、研究棟屋上に設置した基準局(アンテナ)は位置が固定されているため、計測された位置情報に含まれる誤差が解る。

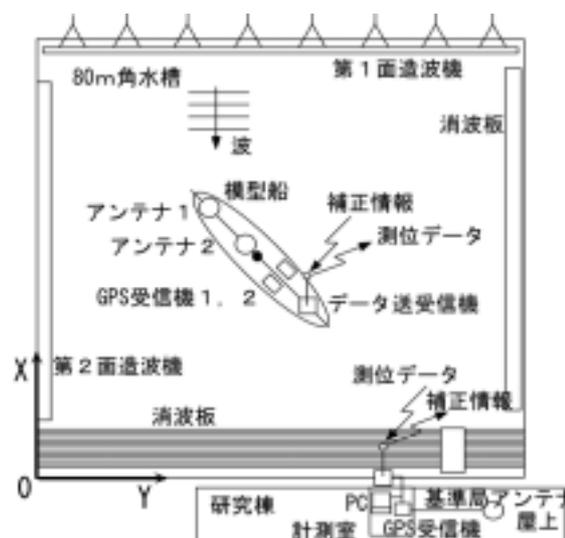


図-1 GPS機器配置

この補正情報を模型船上に送信し、模型船上のアンテナ1で計測される位置を補正する(RTK-OTF方式)。一方、模型船上のアンテナ1の補正前データを基準とし、アンテナ2の相対位置(距離と方向)を求めるが、どちらの測位データにもほぼ同じ誤差が含まれているため、得られる相対位置は高精度で計測できる(Moving Base RTK方式)。アンテナ1, 2ともRTK-OTF方式として計測することも可能であるが、軽量化等の観点から本方式を採用した。

計測された模型船上2点の測位データは陸上に無線で送信されるが、得られた測位データは緯度経度データ及び相対位置データであるため、計測室のPCで角水槽座標系への変換を行い、2点のアンテナ位置から模型船の重心位置、速度、進行方向角、方位角等を時々刻々計算し表示する。

3. 計測例の紹介

GPS位置計測システムで計測した船長4.5mの高速カーフェリー模型試験の一例を紹介する。図-2に模型船に搭載したGPS装置の配置を示す。アン



図 - 2 GPS装置の模型船上配置

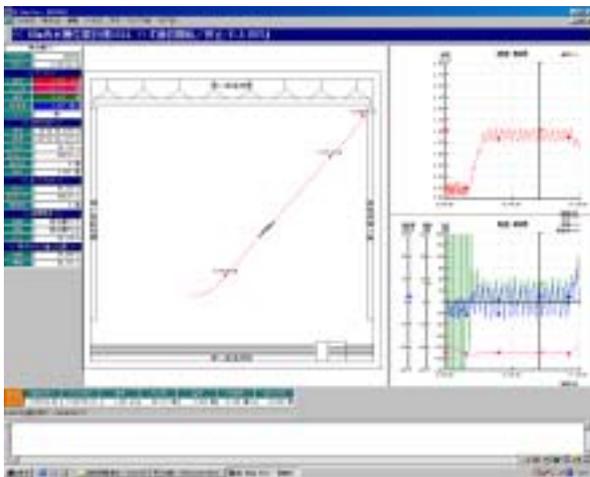


図 - 3 GPS位置計測システムによる計測例
(斜め追い波)

テナ1はS.S.8付近、アンテナ2はS.S.5の船体中心線上に設置した。アンテナ間の距離は1.36mである。また、波浪中の実験であるため、アンテナは重心から0.45mの高さに設置した。模型船に積載したアンテナ、GPS受信機、データ送受信機等の合計重量は6.3kgで小型軽量である。

図 - 3に斜め追い波状態の計測例を示す。先に述べたように、模型船から送られてくるデータを時々刻々処理し、計測室のPCの画面上に重心位置、速度等を表示する。左画面には重心速度、方位角等、各アンテナの受信状態(測位モード)や受信している衛星数が数値で表示される。また、画面中央には角水槽内の模型船の位置及び航跡を、右側には速度、方位角、偏角、回頭角速度が時系列グラフで表示される。

本模型実験では波長、波高、波向き、船速を変え、

約600航走の試験を行った。試験中の最大ロール角は約 20° であったが、試験開始時にRTK-OTF方式 + Moving Base RTK方式の高精度測位状態であれば、試験中における計測精度の劣化は発生せず、全て高精度測位が行え、波浪中の模型実験でも使用可能であることが確認できた。

4. 固定点による水平面位置計測精度

移動局2局のアンテナを陸上に固定し水平面位置計測を行った結果により、本計測システムの位置計測精度を確認する。

水槽右側の陸上において、X方向にアンテナ間距離1.3mの間隔で2台のアンテナを固定し、5Hzで10分間、3000データの計測を行った。図 - 4に各アンテナの位置計測結果を示す。ただし、この図の座標原点は総データの平均位置である。平均位置からのばらつきはアンテナ1, 2とも半径20mmの範囲内に収まっている。また、2乗平均平方値はアンテナ1で5.8mm、アンテナ2で6.2mmの高精度で求められている。ただし、ここに示したアンテナ2の位置計測精度については、以下に述べる処理を計測室内

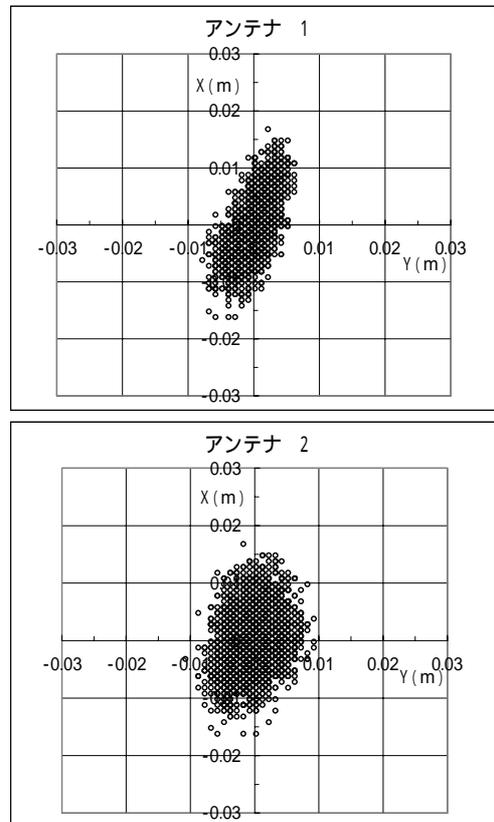


図 - 4 固定点での各アンテナ位置計測結果

のPCで行った結果であり、RTK-OTF方式 + Moving Base RTK方式の計測精度を表すものではない。

先に述べたように、アンテナ2の位置はアンテナ1を基準として距離と方向から求めるが、本システムでは、模型船上に2台のアンテナを固定して取り付けるため距離は変化しない。そこで、得られた距離データを使用せずに、方向データと実アンテナ間距離を用いてアンテナ2の位置を計算している。固定点の計測ではX方向にアンテナを設置したため、アンテナ2のばらつきがY方向にのみ広がっている結果となっているが、例えば、今回の固定点の計測に置いて、Y方向にアンテナを並べた場合、アンテナ2のY方向のばらつきはアンテナ1と同じ広がり、X方向のばらつきが10mm程度増える可能性があると言える。

以上、固定点計測を行った結果、本システムは、アンテナ1で20mm、アンテナ2で30mm以内の高精度で計測でき、模型船の航跡や平均速度等の水平面運動を計測するには十分な精度を有していることが解った。

5. GPSによる模型船の波周期運動の計測

本GPS位置計測システムでは、高さ方向の位置を考慮せずに平面運動を求めているが、GPS受信機は高さ方向の位置も求められている。ただし、その計測精度は平面位置に比べ10mm程度悪いと言われている。そこで、波周期の船体運動がどの程度計測できるか検討した結果を紹介する。

5.1.1 陸上での高さ方向の計測精度確認

図-5に、前述の固定点計測時の各アンテナ高さ変動時系列を示す。なお、高さの基準位置は総データの平均位置である。また、アンテナ2の位置は前述の実アンテナ間距離を用いて計算した結果である。平均位置からのばらつきはアンテナ1で30mm以内、アンテナ2で40mm以内である。また、2乗平均平方値はアンテナ1で7.8mm、アンテナ2で8.4mmであり、やはり水平面内の位置計測のばらつきに比べ大きな値となっている。

同じく、陸上にて、アンテナ2台を上下に100mm平行移動させた場合の計測結果について述べる。図-6に、アンテナ間の中央位置をアンテナ1と2から求め、その高さ変動及び実高さとの誤差の時系列

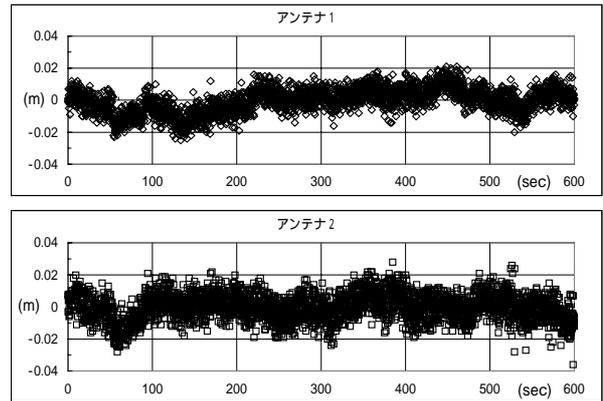


図-5 固定点での各アンテナの高さ変動

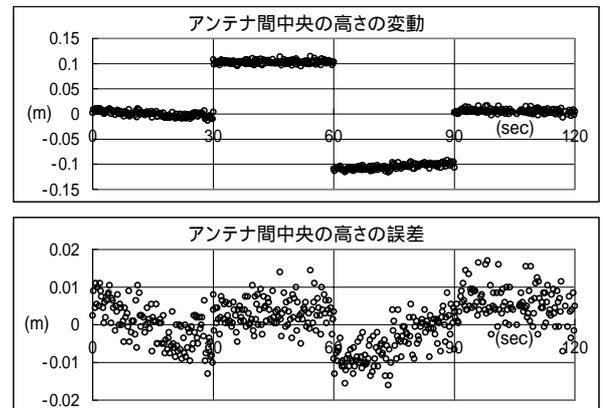


図-6 上下移動での重心高さ変動及び誤差 (±100mm上下に平行移動)

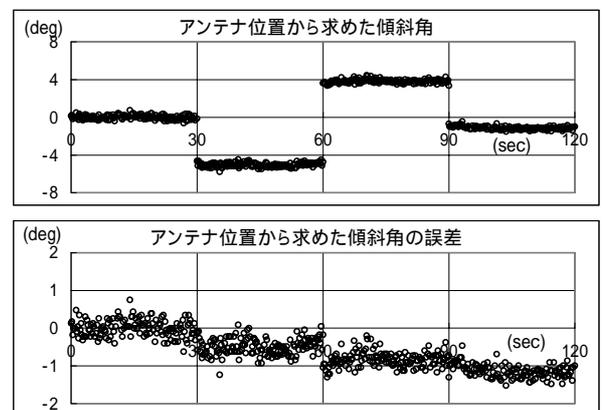


図-7 アンテナ間を傾斜させた場合の傾斜角変動及び誤差 (-4.55°, 4.65°傾斜)

を示す。0~30秒が0mm、30~60秒が+100mm、60~90秒が-100mm、90~120秒が0mmである。なお、高さを変更する時間が数分あるが本グラフからは除いている。図-6のアンテナ間中央位置の高さ方向の計測精度は、図-5のアンテナ1の精度と同じ20mm以内であるが、上下揺れ運動を計測するた

めには十分な精度とは言えない。また、図 - 5 で述べたようにアンテナ 2 の高さ精度が悪いため、模型船の上下揺れ運動を計測するには重心位置とアンテナ 1 を近づけた方が精度が良いと言える。

図 - 7 に、アンテナ間を傾斜させた場合の各アンテナ高さから求められる傾斜角の変動及び実傾斜角との誤差時系列を示す。図 - 6 と同じく 30 ~ 60 秒が -4.55° 、60 ~ 90 秒が 4.65° である。陸上での計測ではアンテナ間距離 1.3m で実施したが、角度計測誤差は 1.5° 程度であり、これも縦揺れ運動を計測するためには十分な精度とは言えない。

5.2. 模型船の船体運動計測例

以下に、実際の模型実験での運動計測例を紹介する。図 - 8 に GPS 位置計測結果から求めた上下揺れ、縦揺れ、前後揺れの結果を示す。この実験状態は図 - 3 に示した斜め追い波状態である。また、図には比較のため、模型船に搭載した加速度計とジャイロにより計測した結果を併せて示す。なお、加速度計の積分値は GPS の平均位置に合わせ一定値を加算している。更に、先に述べたように模型船上のアンテナは重心よりも高い位置に取り付けたため、GPS で計測される位置には横揺れや縦揺れの成分が入っている。このため、ジャイロで計測した角度を用いて GPS で計測した位置を修正し、修正した位置を用いて船体運動を求めている。

模型船に搭載したアンテナ 2 は、重心位置に非常に近いため、上下揺れ（重心高さ）の計測精度は陸上の計測結果から 40mm 程度であると推測されるが、上下揺れの計測結果もその程度のばらつきが見られ、運動状態においても陸上での静的な計測精度と同程度であるといえる。また、図から明らかなように GPS による上下揺れ運動の計測精度は十分とは言えないが、角水槽の自由航走模型試験で上下揺れ運動を計測するためには加速度計の 2 重積分しか方法が無く、積分誤差や数値処理を考えると、GPS による上下揺れ運動計測は有効な手段といえる。

縦揺れ運動についての角度計測精度は、アンテナ間距離が 1.36m であるので、陸上での角度計測誤差と同じ 1.5° 程度であると思われる。計測結果に置いてもジャイロの計測値に比べ、 1.5° 程度のばらつきが見られ、陸上の計測精度とほぼ同じであることが確認できる。また、ジャイロに比べその計測精度は不十

分であると言える。

前後揺れ（速度）に関しては平面運動であり、かつアンテナ 2 と重心位置が近いので、重心位置計測精度は 30mm 以内であるが、前後揺れ速度の計測結果はばらつきも小さく良好に計測できている。この他の平面運動である左右揺れや船首揺れも、ここに示した斜め追い波のような出会周期の長い状態であれば良好なデータが得られ、前後揺れ等の運動計測に対して GPS は有効な手段であるといえる。しかしながら、出会周期の短い向波等では 5 Hz サンプルングでは船体運動を計測する無理があり、更に高周波数の GPS 装置の開発が望まれる。

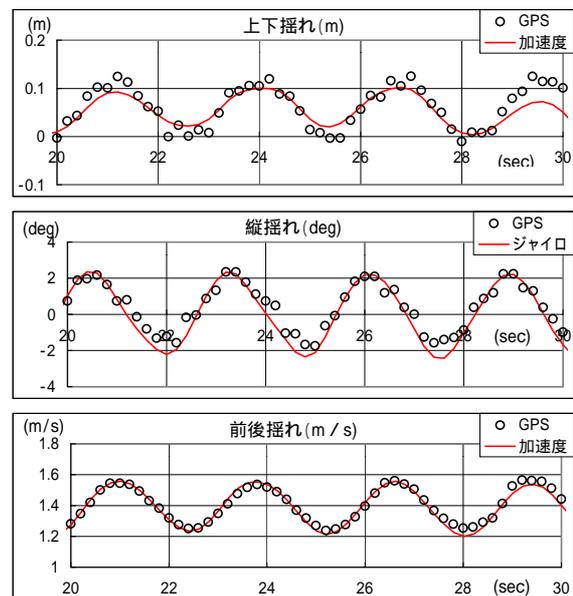


図 - 8 GPS による波周期運動の計測結果

6. まとめ

80m 角水槽に新たに整備した GPS を用いた模型船位置計測システムの紹介を行い、その位置計測精度を確認した。また、GPS による模型船の波周期運動計測の可能性について検討した結果、精度的には十分ではないもの出会波周期が長ければ上下揺れや前後揺れ、船首揺れ、左右揺れの運動計測に対して GPS は有効な手段であることを示した。

参考文献

- 1) 上野道雄 他 : 自由航走模型船を用いた操縦性能実験における GPS (RTK-OTF 測位システム) の有効性について、関西造船協会誌第 228 号、1997 年