

小型滑走艇の操縦運動に関する実艇実験

輸送高度化研究領域 * 二村 正、上野 道雄、塚田 吉昭、宮崎 英樹

1. はじめに

プレジャーボートに代表される小型滑走艇の操縦性能に関する計測例は少ない。これは小型滑走艇の操縦性能に大きな問題が指摘されていないこともあるが、排水量等の制限から模型実験が困難なことや、実艇では主に船体浮上量等の滑走艇特有の運動計測が高精度で行えないことが上げられる。一方、当所の 80m 角水槽での自由航走模型試験では、RTK-GPS(リアルタイムキネマティック GPS)を導入¹⁾し、模型船の平面運動を高速・高精度で計測している。本装置は、模型船の上下位置計測も可能である。

そこで、本装置を小型滑走艇の運動計測に使用した実験技術の確立と、基本的な操縦性能把握を目的とした実海域実験を実施した。試験としては Z 試験、緊急回避試験等も行っているが、本報告では艇の浮上量が計測できた直進試験と旋回試験結果について報告する。

2. 供試艇と運動計測方法

実験に使用した滑走艇の写真を図-1 に示す。この艇は長さ 6m の標準的な船外機タイプのプレジャーボート (M-2) である。実験状態の主要目を表-1 に、静止時の喫水の状態を図-2 に示す。なお試験時には 3 名が乗艇している。

滑走艇の運動の内、水平面位置、速度、進行方向、船首方位、トリム角、船体浮上量は、図-1 に示す船体中心線上の前後 2 点に設置した GPS アンテナにより得られた 5Hz の位置情報から算出した。また、船体の 3 軸角度と 3 軸加速度等を光ファイバージャイロにより計測した。舵角は船外機に取付けたポテンショメータで、プロペラ回転数はエンジンのパルス信号を計測して算出した。GPS の運動計測システムや、本実験の詳細については文献 1、2) を参照願う。

表-1 主要目

項目	寸法
L (m)	6
B (m)	1.79
D (m)	0.725
d (m)	0.322
Disp. (m ³)	1.49
Engine	90ps



図-1 供試船 (M-2)

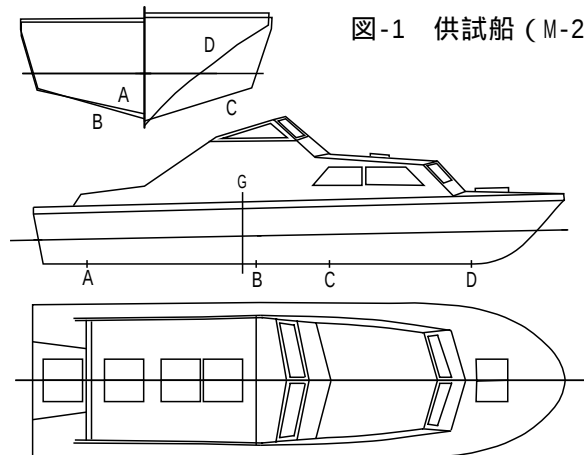


図-2 M-2 船体形状及び静止時喫水

3. 直進試験結果

直進試験の結果として、図-3 にプロペラ回転数 n と船速 U 、図-4 に船速 U とトリム角 θ (GPS 計測値)、図-5 に船速 U と重心位置の浮上量 h の関係を示す。滑走艇では船速によりその航走姿勢が大きく変化する。停止時には図-2 のように前トリムであるが、図-4 では走行開始と共に船首が上がり、 $U=10\text{m/s}$ で最大の 5° 程度の船首上げトリムとなる。図-5 の浮上量では、低速度では重心位置は一旦沈下するが $U=5\text{m/s}$ 以上から浮上し最大速度 $U=15\text{m/s}$ では $h=16\text{cm}$ 程度浮上するのが計測された。

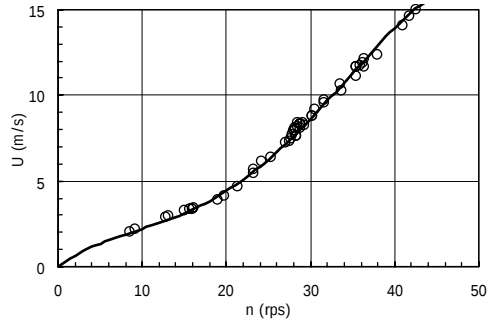


図-3 プロペラ回転数と船速（直進試験）

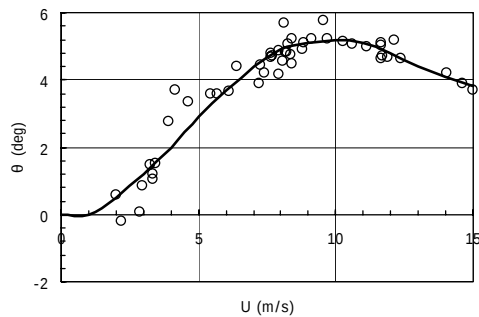


図-4 船速とトリム角（直進試験）

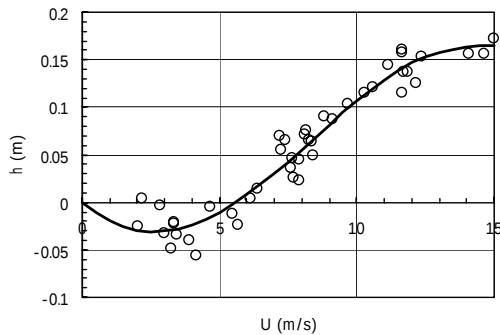


図-5 船速と重心位置浮上量（直進試験）

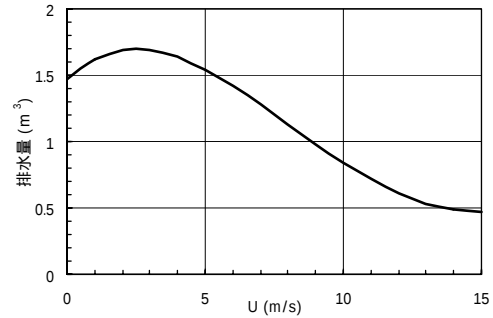


図-6 静水面を基準とした排水量変化
（直進試験のトリム角、浮上量から算出）

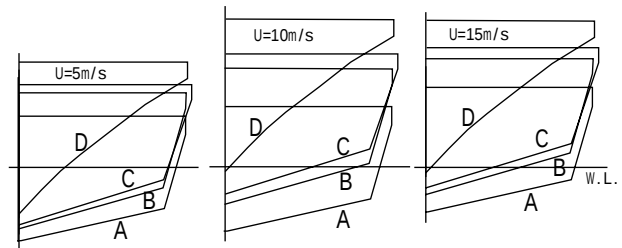


図-7 船速の違いによる姿勢変化（直進状態）

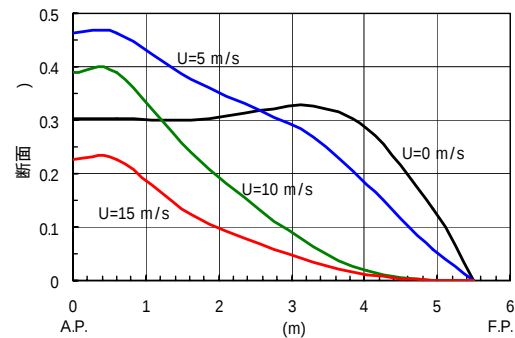


図-8 船速の違いによる排水量分布の比較

上記のように、船速に対するトリム角と浮上量が計測できたが、船体姿勢を把握するため、図-4、5 中に示すトリム角と浮上量の近似曲線を用い、静水面を基準とする船体姿勢や排水量を計算した。図-6 に船速の違いによる排水量変化を示す。また図-7 に $U=5\text{ m/s}$ 、 10 m/s 、 15 m/s の速度での船体姿勢を、同じく図-8 に停止時及び各速度での船長方向排水量分布を示す。

図-6 の排水量変化を見ると、 $U=5\text{ m/s}$ までは静水面に対する排水量が増加し、 $U=5\text{ m/s}$ 以上から排水量が減少していく。

この排水量変化の様子を図-7、8 で見ると、 $U=5\text{ m/s}$ では船首上げトリムにより船体前半の排水容積は減少するが、船尾が沈み合計の排水量とし

ては増加することになる。 $U=10\text{ m/s}$ ではトリムが最大となるため、D 断面は水面にキールが接している程度となり船体前半の排水容積が大幅に減少して、合計の排水量は停止時の 57% となる。しかし、船尾の排水容積は停止時に比べ依然として大きい。 $U=15\text{ m/s}$ になるとトリムは逆に減少するが浮上量は更に大きくなるため、同じく D 断面は水面にキールが接している程度の状態であるが、船尾の排水容積が停止時よりも少なくなるため、合計の排水量は停止時の 32% 程度と更に減少する。

4．旋回試験結果

旋回試験では舵角計を見ながら舵角を設定した。プロペラ回転数は直進時に 29rps または 38rps と

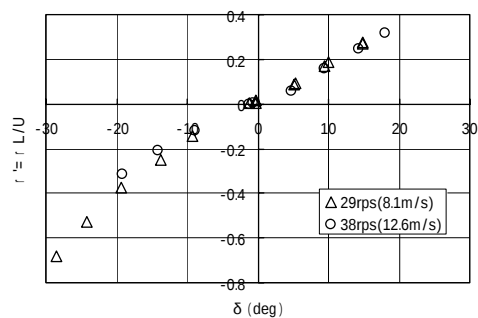


図-9 旋回性能 r'

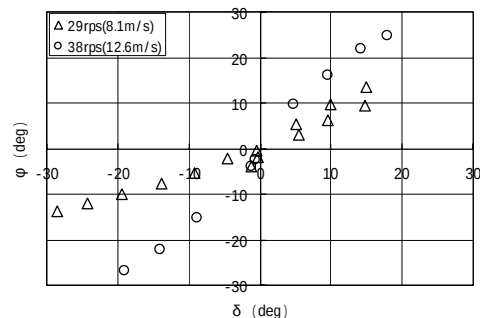


図-12 旋回時のヒール角 ϕ

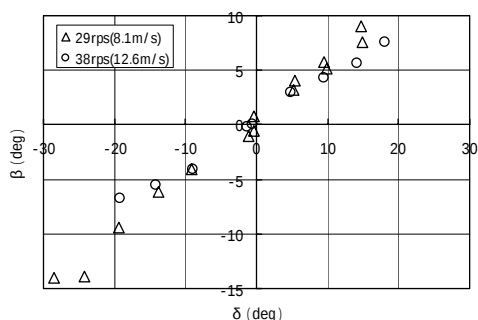


図-10 偏角 β

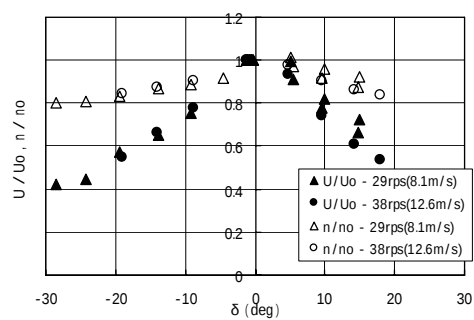


図-13 旋回による船速低下と回転数低下

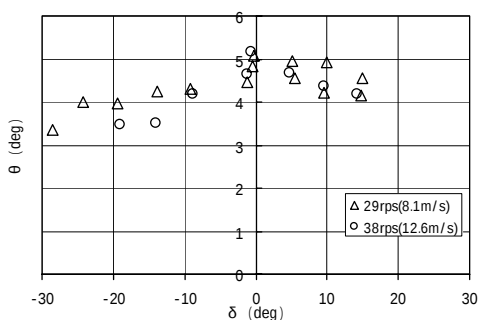


図-11 旋回時のトリム角 θ

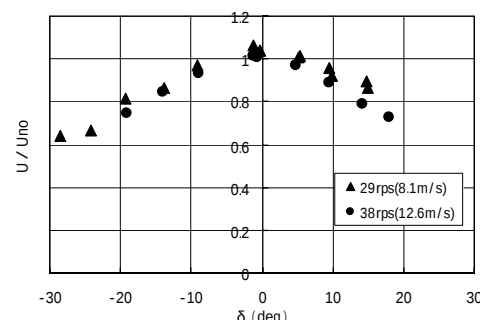


図-14 回転数低下を考慮した船速低下

なるよう回転計を見ながらスロットルを設定し、旋回開始後に回転数が低下してもスロットルの位置は変えなかった。この回転数に対応する直進時の速度は、8.1m/s と 12.6m/s である。

図-9 に回頭角速度 r の無次元値 $r' = rL/U$ と舵角 δ の関係を示す。また、図-10 に偏角 β 、図-11 にトリム角 θ (GPS 計測値)、図-12 にヒール角 ϕ 、図-13 に旋回時の船速 U を進入船速 U_0 で無次元化した船速低下 U/U_0 と、同じく旋回時のプロペラ回転数 n を進入時の回転数 n_0 で無次元化した回転数低下 n/n_0 を示す。

図-9 の旋回性能には船速の影響はあまり無く、針路安定性も良い。図-10 の偏角は風波の影響によりばらついているものの、GPS 装置により計測

できた意義は大きいと考える。

図-11 のトリム角については、光ファイバージャイロによる計測値もあるが、GPS 計測値との差は最大 0.8° 程度であるものの、図-11 よりも更にばらつきが大きいいため、GPS 計測値を採用してここに示した。

図-12 のヒール角については、滑走艇特有の非常に大きな内傾斜が計測され、また、プロペラ回転数の違いが顕著に見られる。

図-13 の船速低下については、旋回時の速度低下が大きい。しかし、同じく図に示すように回転数も低下しているため、この船速低下には回転数低下成分も含まれている。そこで図-3 のプロペラ回転数と船速の近似曲線により、低下した回転数

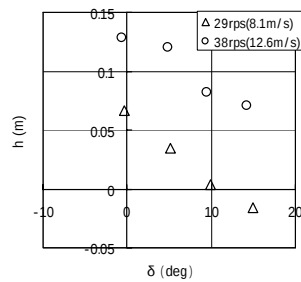


図-15 旋回時の重心位置浮上量

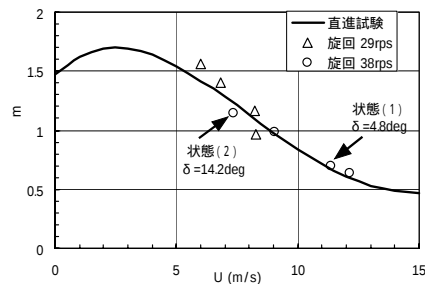


図-16 静水面を基準とした排水量

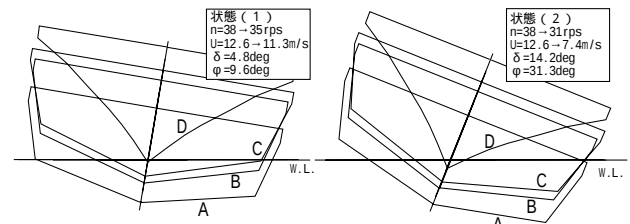


図-17 旋回時の姿勢変化

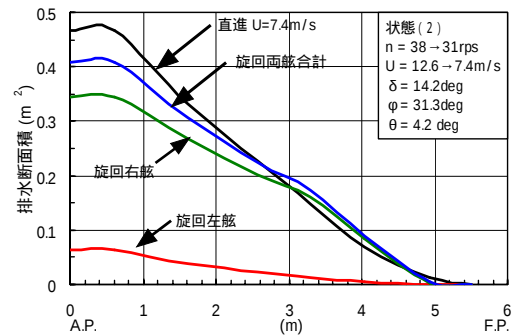


図-18 旋回時と直進時の排水量分布の比較

相当の船速 U_{no} を求め、旋回時の船速 U を無次元化した船速低下 U/U_{no} を図-14 に示す。

図-15 に旋回時の重心位置の浮上量 h を示す。旋回運動中の浮上量については、陸上に設置した GPS 基準局からの補正データの受信障害により得られたデータは少なく、また、その信頼性も高いとはいえない。図-15 に示した結果は、比較的通信障害が少なかった 2 航走分、計 8 点の結果である。旋回運動により、重心位置が下がる傾向にあるが、これには旋回による船速低下、トリム角、ヒール角変化が大きく影響している。このため、直進試験と同様に船体姿勢把握のため、各状態のヒール角、トリム角、浮上量から、静水面を基準とする船体姿勢や排水量を計算した。

図-16 に各旋回状態の静水面を基準とした排水量を直進状態の排水量（実線）と共に示す。また図-17 に、図-16 中に示した状態(1)と(2)の点の船体姿勢を、同じく図-18 に状態(2)の船長方向排水量分布を直進時の同船速 $U=7.4\text{ m/s}$ の排水量分布と共に示す。

図-16 の排水量の結果を見ると、旋回運動を行っていても直進時の同船速とほぼ同じ程度の排水量であることがわかる。また、浮上量の計測結果も妥当な値が計測されていることが推察される。

旋回時の船体姿勢を図-17、18 で見ると、左右舷の排水量の違いが良くわかる。しかし、図-18

の船体長手方向の合計排水量分布は、直進状態に比べ排水量中心が船首側に移動している傾向はあるものの、それほど大きな差はない。つまり、船速で整理すれば、直進状態と旋回状態の船体長手方向の排水量分布はほぼ同じで、かつ、排水量もほぼ同じであると言える。

5. おわりに

小型滑走艇の操縦運動計測を高精度な RTK-GPS を用いて実海域で実施した。この GPS 装置により、偏角や浮上量も含めた操縦運動が計測できた。またこのデータを用いて直進時の滑走状態や旋回時の船体姿勢、排水量分布等が明らかとなった。これらの成果は、滑走艇の操縦運動モデルの構築に有益であると思われる。

本研究で用いた滑走艇は海上技術安全研究所が国土交通省海事局船舶工業課からの受託研究で建造した M-2 である。実験の実施にあたってご協力いただきました関係各位にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 二村正 他：GPSを用いた角水槽の新しい模型船位置計測システム、第2回海技研発表会講演集、2002
- 2) 塚田吉昭 他：RTK-GPS を用いた小型高速艇の操縦運動計測に関する実海域実験、関西造船協会春期講演会講演集、2004