

小型船舶の停船時横揺れ防止装置の試作

高津 宣夫¹・若月 昇²・亀谷 裕敬¹・千葉竜太郎³

Rolling Reduction of Small Ships by Active Pendulum

Nobuo TAKATSU¹, Noboru WAKATSUKI², Hirotaka KAMEYA¹ and Ryotaro CHIBA³

¹ *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Science and Engineering,
Ishinomaki Senshu University, Ishinomaki, Miyagi 986-8580, Japan*

² *Department of Information Technology and Electronics, Faculty of Science and Engineering,
Ishinomaki Senshu University, Ishinomaki, Miyagi 986-8580, Japan*

³ *Chiba Tekko Company Limited, Matsubaracho 11-8 Ishinomaki Miyagi, Japan*

Abstract

A simple rolling reduction system is developed for small ships or boats at their moorings. An active pendulum mounted on the ship was driven by a servo motor so as to reduce the rolling velocity of the ship. The reduction system is installed to a small model ship and its performance was evaluated and validated. Then the system is applied to a cylindrical rolling body which simulates a real small boat. The rolling body weighs 32kg and rolls on the ground. Free rolling motion of the rolling body equipped with the reduction system diminished after two cycles of its natural vibration demonstrating the effectiveness of the proposed system.

1. はじめに

石巻地方は近海漁業や養殖、あるいは釣り船や海のレジャー用として小型船が多用されている。そのような小型の船は停船時に波や風を受けて揺れ動き、釣り船ではこの揺れによる船酔いが釣り人口の拡大に対して大きなネックの一つになっている。また養殖においても船の揺動により安全性と作業効率が低下している場合があると思われる。従来より大型船に対しては種々の揺動防止装置の研究開発が行われていて、特に航行時に効果を持つ装置が実用化されているが、このような小型船については導入例は少ない。

本研究はそのような小型船における停船時の主要な揺れである横揺れを低減するために、容易に取り付け可能でしかも安価な横揺れ抑制装置を開発することを目的とする。

2. 横揺れ抑制の方法

周知のように船体の横揺れ（ローリング）は船体の慣性モーメントと浮力に起因する復元モー

メントから構成される一自由度回転振動であり、減衰の要因は船体と水との粘性摩擦によるもののみであるので、減衰係数 μ （式(2)参照）は0.015-0.02(1/s)と極めて小さい。この振動を抑えるために、ビルジキール、安定水槽、安定フィン、ジャイロスタビライザーなど様々な方法がすでに考案されている⁽¹⁾。しかし小型釣り船の停船時に効果的な装置は見当たらない。松久らはロープウェイのゴンドラの制振を目的として振り子型動吸振器の原理を研究し、振り子の取り付け位置が重要であることを理論的に示した^(2,3)が、制振効果に限界がある。

一方、筆者らはすでにアクティブマス方式の横揺れ低減装置の理論的検討と模型船での実験を行っており、小型船の揺れの主要成分がローリングであること、ステッピングモータで駆動される倒立振り子がローリングを低減できることを確認している⁽⁴⁾。その原理は横揺れを小型圧電ジャイロセンサで検出し、船上で倒立振り子をローリング軸と平行な軸周りに回転させて揺れを抑制する

¹石巻専修大学理工学部機械工学科

²石巻専修大学理工学部情報電子工学科

³㈱千葉鉄工所 石巻市松原町11番8号

ものである。倒立振り子として密度の異なる金属棒を用いた。

本研究では以上の考え方を発展させ、横揺れ抑制装置の実用化を目指す。ローリング振動の角速度 ω_s に比例する復元モーメントをおもりの移動により与えることで振動を抑制することになりは、おもりの移動には機構を単純化するために振り子を用い、その角度 θ_p を ω_s に比例するように制御することとした。まず模型船での実験を行い、効果を確認した上で2人乗りの小型ボートを模した陸上実物大揺動実験装置での実験を行った。その経過を報告する。

3. 実験の方法と結果

3.1 模型船での実験

図1(a)に模型船の外観を示す。船体は長さ500mm、直径210mmの塩化ビニール管材からなり、船体には圧電ジャイロセンサ FRA-S1A (旧富士通メディアデバイス製、感度25.0mV/deg/s、ダイナミックレンジ ± 60 deg/s)、振り子、振り子駆動用RCサーボモータ SX-101Z (SANWA製、速度0.18sec/60°、トルク3.3kg・cm @6V)、16ビットシングルボードコンピュータ (SBC、i8086 互換 V25 を使用) を用いた制御

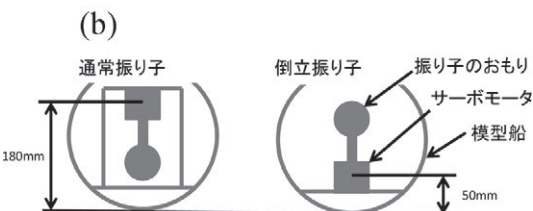
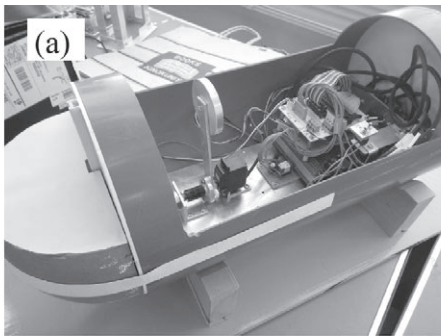


図1 模型船実験装置 (a) 外観 全長0.5m、質量2.2kg、振り子有効長さ0.14m (b) 振り子の設置状況

装置、NiMH 電池が組み込まれている。船体総質量は2.2kgである。同図(b)に示すように、振り子は有効長さが140mmで、通常の懸垂方式と倒立形式の2種類を試した。振り子おもりの質量は45gおよび112.5gの2種類とした。

図2に制御回路を示す。ジャイロセンサで検出したローリング角速度 ω_s を SBC に取り込み、振り子の回転角度指令 $\theta_{p,ref}$ を演算して RC サーボモータへ PWM パルスとして出力する。RC サーボモータは本来模型の無線制御 (ラジコン) のために開発された簡易回転アクチュエータであるが、それ自身位置決めのためのフィードバック回路を内蔵しており、PWM パルスを与えることで容易に回転位置決めができる。応答も300deg/s程度と即応性にすぐれ、近年小型ロボットの制御に多用されるようになった。したがって制御則は式(1)に示すように比例ゲイン K_v のみとした。

$$\theta_{p,ref} = K_v \omega_s \quad \dots(1)$$

このように振り子を回転させて復元モーメントを得ようとするとき、振り子はダイナミクスを持つから振り子の角度を式(1)に厳密に追従させることは困難であり、位相遅れは避けられない。また振り子駆動用サーボモータが船体に対し反トルクを作用させることも考えられる。これらの問題が予想されたが、提案する簡単な制御がどの程度有効か、実験で確かめることとした。

模型船を水槽に浮かべ、約10度の初期ローリング角を与えた後の自由振動の角速度を測定し、減衰振動波形より減衰係数 μ を求めた。

$$\mu = \frac{1}{T} \ln \left(\frac{y_n}{y_{n+1}} \right) \quad \dots(2)$$

ここに、 T : 振動の周期, y_n, y_{n+1} : 相隣り合う

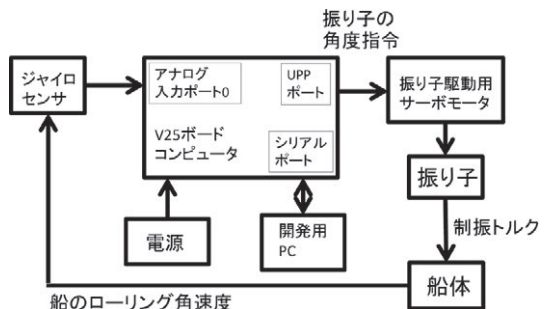


図2 模型船での制御回路

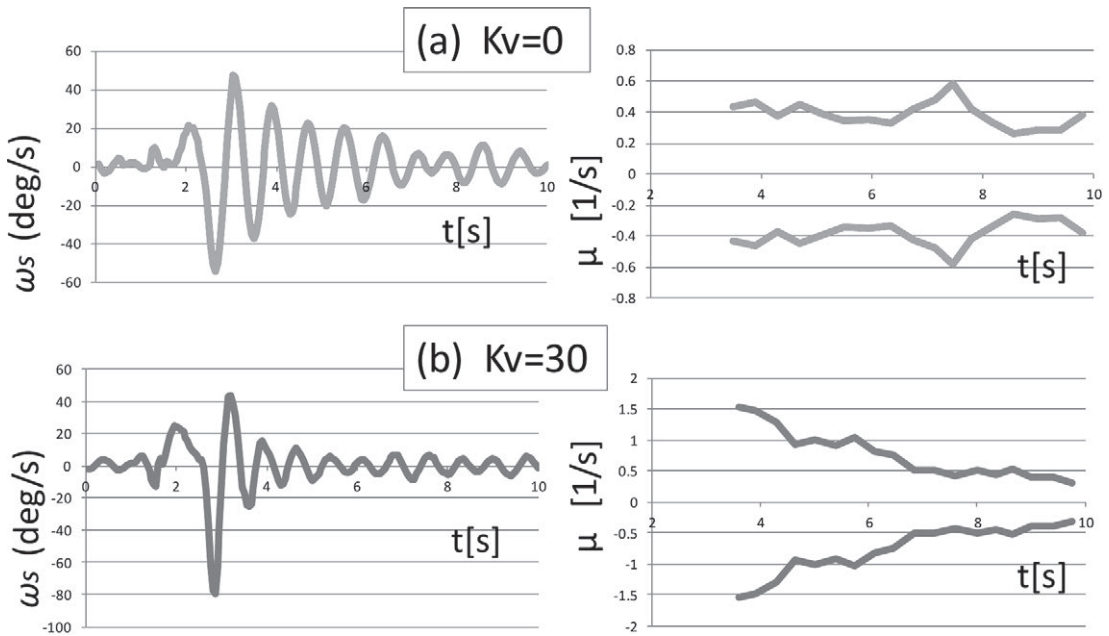


図3 模型船における抑制効果の例 倒立振り子で 112.5g の重り 上段 制御なし 下段 制御あり Kv=30

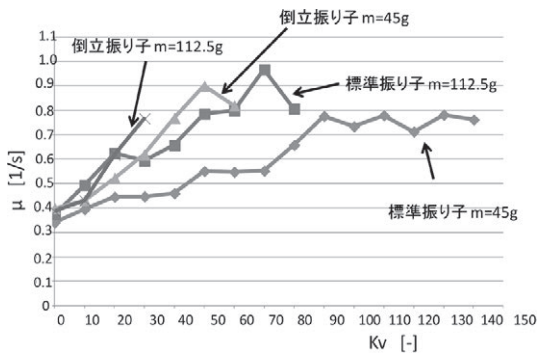


図4 模型船における横揺れ抑制効果に及ぼす比例ゲインの影響

ピークの値である。

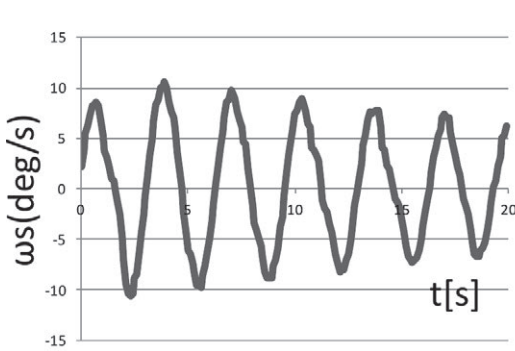
図3に倒立振り子でおもりの質量を 112.5g とした場合の振動抑制効果を示す。制御なしでは周波数 1.17Hz のローリングが続き、 μ がほぼ一定値 0.4 を示しているのは粘性減衰に近い挙動を表している。制御を行うと振動が抑制され、 μ は当初 1.5 と大きい値が時間とともに減少する。すなわち初期の段階で制振効果が大きいことがわかる。

抑制効果は比例ゲイン、おもりの質量、振り子の形式により変化する。図4に減衰係数に及ぼす比例ゲインの影響を4種類の振り子条件に対して

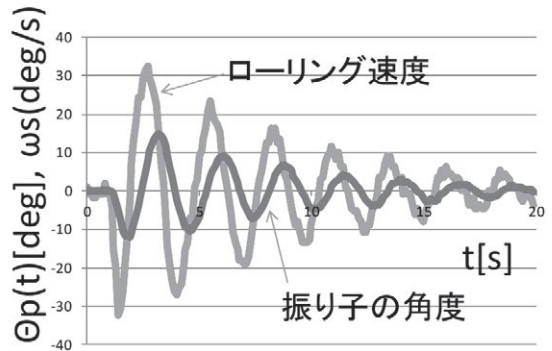
示す。 μ は図3に示したように時間とともに変化する、観測時間全体にわたる平均値を求めた。倒立振り子のほうが抑制効果は高いが、通常振り子でも K_v を大きくとれば同等の効果が期待できること、装置の安定性を考慮して、次節の実物大陸上模型では通常の懸垂方式を採用することにした。

3.2 陸上実物大揺動実験装置での実験

二人乗り小型ボートに相当する陸上揺動実験装置を試作した。図5(a)に装置の概要を示す。船体のローリング振動を、半径 0.75m、長さ 1m の半円筒状揺動体を床上で転動させることで模擬した。揺動体は直径 30mm、肉厚 3mm のアルミ合金パイプ溶接構造であり、質量は 32kg である。揺動体中央上部に AC サーボモータ（山洋電気製 65ZBM010、定格出力 300W、定格速度 3000 rpm、定格トルク 0.93Nm）を取りつけ、減速機を介してアーム有効長さ 0.6m の振り子を駆動する。振り子回転軸の位置は半円筒の中心に一致させた。振り子アーム自体の質量は 1.5kg、慣性モーメントは 0.223 kg・m² である。おもりは質量 1kg のものを 3 個用意した。



(a) 制御をしないときのローリング速度



(b) 制御を行ったときのローリング速度と振り子の角度

図8 横揺れ抑制効果 (a) 制御なし (b) 制御あり、振り子アームのみ $K_v=60$

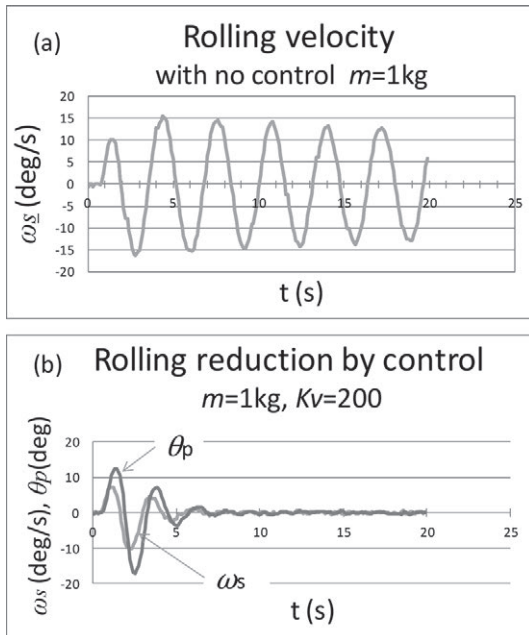


図9 横揺れ抑制効果 (a) 制御をしないときの船体のローリング角速度、(b) 制御を行った時の角速度 ω_s および振り子の振れ角 θ_p 、おもり 1kg、比例ゲイン $K_v=200$

(b)を図8(b)と比較すると、ローリング速度に対する振り子角度の位相遅れが減少しており、より抑制効果が高まったと考える。

4. 考察とまとめ

単純な制御手法により、振動ジャイロセンサとアクティブ振り子を用いて小型船体の横揺れを抑制することができた。実用化のためには小型化と

自立化・低コスト化とともに、安定性・安全性が重要であり、以下の課題を解決することが望まれる：

- 使われた振り子・駆動システムの質量は船体の10%程度であり、決して小さくない。また使用したサーボモータの仕様により AC 200V の電源を用いた。船上で使用することから DC 化は必須であり、またより軽量化するためにたとえばワイヤ駆動の直動システムを導入することが望ましい。
- 人員などペイロードがある場合・それらが船上で移動する場合も考慮した時の抑制効果と安定性の検討が必要である。
- 今回の横揺れ抑制装置では、ローリング速度のみの低減を行い、船体のローリング角度については考慮しなかった。実用にはこの点を含めた制御が必要である。

終わりにあたり、この研究は平成 24 年度共創センタープロジェクト事業の支援を受けて行われたことを記して本学共創センターに謝意を表する。また実験の実施にあたっては本学機械工学科平成 24 年度卒研究生 菊地智君から多大の協力を得た。ここに記して感謝の意を表わす。

文献

- (1) 若月、小野、高津、圧電ジャイロを利用した小型船揺動制御の研究、石巻専修大学研究紀要、第 14 号、2003, pp.35-41.
- (2) 面田信昭、船舶工学の基礎、成山堂書店、1978 年、

小型船舶の停船時横揺れ防止装置の試作

p.153.

(3) 松久、顧、王、西原、佐藤、索道搬器の動吸振器による制振、日本機械学会論文集 C 編 59 巻 562 号 1993, pp.1717-1722.

(4) 松久寛、ゴンドラの制振装置の開発、日本機械学会論文集 C 編 78 巻 788 号 2012, pp.1026-1030.

(5) たとえば、白井良明、ロボット工学、オーム社、1999 年、p.41.