

令和 6 年 6 月 3 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：19K04863

研究課題名（和文）旋回流れを利用した能動型減揺装置に関する研究

研究課題名（英文）Study on actively controlled Anti-Rolling system using swirling flow

研究代表者

安藤 孝弘（ANDO, Takahiro）

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・主任研究員

研究者番号：30425756

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）：本研究では、新形式の円環型減揺タンクの活用を目的として、搭載方法の違いによる減揺特性の違いについて、主に実験的に検証した。はじめにウイングタンクを円環形状としたU字管型減揺タンク内の液体の固有周期を粒子法で精度良く推定出来ることを示し、次に円環型減揺タンクを両舷に配置した場合の性能評価及び制御方法を示した。また円環型減揺タンクとU字管型減揺タンクを組合せることを提案し、その性能評価を実施した結果、旋回流れの起動・停止のタイミングにより、発生する減揺モーメントの増減調整の可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

浮体のROLL回転中心に設置することで能動的制御を可能とする新形式の円環型減揺タンクについて、浮体両舷に設置した際の性能を評価したが、十分な減揺効果が得にくいことが判明した。しかし旋回流れの制御方法についての有用な知見を得たことから、U字型減揺タンクと旋回流れ機能を有する円環型減揺タンクとの組み合わせにより、受動型減揺タンクの機能に加えダクト内の流量を調整可能な減揺タンクの提案に至った。ベンチテストによる性能評価からは、旋回流れの制御により減揺モーメントの増減調整が可能であることを示唆する結果が得られた。本研究の成果は、今後のより安全性の高い減揺装置の提案・開発に繋がることが期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we experimentally examined the effect of different tank installations on the roll reduction effect for the purpose of using a new type of tubular anti-rolling tank. 1.It was shown that the natural period of liquid in a U-shaped anti-rolling tank with a wing tank changed into a tube shape can be accurately estimated by the particle method. 2.The performance evaluation of the tubular anti-rolling tank placed on both sides of the model and the timing of the start-up of the swirling flow were shown. 3. A combination of a tubular anti-rolling tank and a U-shaped anti-rolling tank was proposed, and its performance was evaluated, with results showing the possibility of controlling the damping moment by using a swirling flow.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：減揺装置 アンチローリングタンク

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

作業船や浮体式洋上プラントの作業性や稼働率の向上、ならびに浮体式港湾施設等の需要が増す中、低速航行時や停船時における減揺対策の需要が高まっている。船舶の代表的な減揺装置として、フィンスタビライザーは低速航行時や停船時の減揺効果に乏しく、アンチローリングタンク（以下、ART）は浮体の横揺れに反応し揺れを打ち消す方向にタンク内の液体が移動し減揺効果を得るよう予め設計されており、浮体の固有周期等の動揺特性が変化する場合に減揺効果が著しく低下する。また通常 Roll または Pitch の一方のみの動揺に対応し、船長船幅比 (L/B) が小さい作業船や浮体式洋上プラント等の減揺対策としては不十分と言える。そこで本研究では上記諸問題の克服を目標に、作業船や浮体式洋上プラント等のような低速航行時や停船時の減揺対策が必要な浮体を対象として、申請者が特許出願した Roll、Pitch の水平二方向の揺れを能動的に制御が可能な新形式の円環型減揺タンク（以下、円環タンク）の採用を提案し、得られる減揺効果や姿勢安定効果を実験的に明らかにすると共に、その性能推定・評価を実施する。

2. 研究の目的

採掘等に用いられる作業船や浮体式洋上プラントでは、波浪による動揺が稼働率や作業性に直結することから効果的な減揺装置についての需要は非常に高い。本研究では、これらの要求に資する新形式の能動型減揺装置の採用を提案し、減揺効率化のための因子の抽出やこれを踏まえた減揺効率の改善手法や、その性能推定等の基盤技術構築を目的とする。

3. 研究の方法

当初の研究計画では図-1 で示す新形式の減揺タンクを基本として、外観形状を真円から長円に変更するなどした際の減揺特性を確認するとしていたが、用意した機材ではタンク内液体の流速を十分に安定させることが困難であったために、真円形状の円環タンクと従来型 U 字管式減揺タンクを組み合わせる方式を新たに考案した（図-2）。これは両舷タンクを繋ぐ水路（以下、ダクト）の開閉により、a). U字管型のみ、b). 円環型のみ、c). U字管型と円環型の併用の 3 種類の減揺方法を切り替えることで、受動型、能動型の両機能を得ることを目的とした。この方式を中心に減揺性能、および減揺効率の改善手法についての調査を行った。

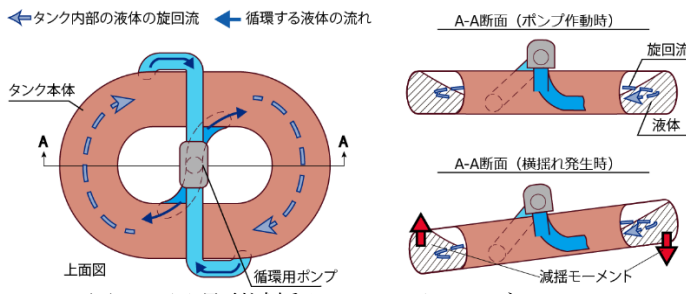


図-1 円環型減揺タンクのイメージ

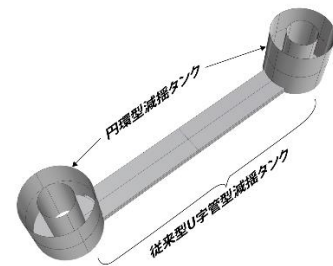


図-2 減揺タンクの組合せ

(1) 特殊な形状を有する減揺タンク内液体の固有周期の推定

減揺モーメント（以下、モーメント）を計測するための強制動揺試験（ベンチテスト）に使用する試験機の加振性能に合わせてタンク模型サイズは全長 1m、タンク内液体の固有周期  $T_{ART}$  を 4 秒程度とする条件を決めた。ここでは橋本らの報告[1]で使用されたタンクサイズを参考に断面形状を上記条件まで拡大した図-3 に示す U 字管型矩形減揺タンク（以下、U 型矩形タンク）と、これと同等の性能になるように設計した U 字管型円環減揺タンク（図-4 参照、以下、U 型円形タンク）の 2 種類の模型を製作した。これらのタンク模型内の液体の固有周期  $T_{ART}$  の推定には、SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法のオープンソースコード DualSPHysics V4.0 を使用し、両舷タンクに水位差をつけた初期状態から解放し収束するまでをシミュレートした。

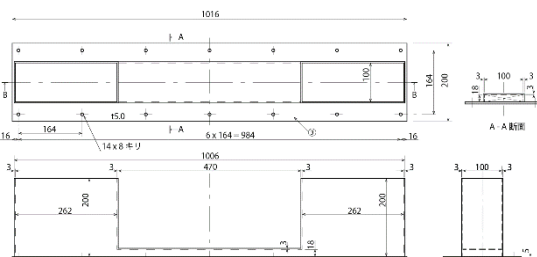


図-3 U 字管型矩形減揺タンク

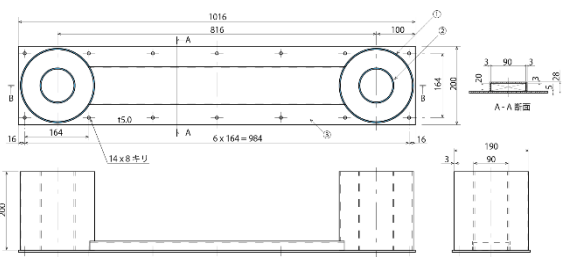


図-4 U 字管型円環減揺タンク

はじめに U 型矩形タンク模型の二次元モデルの計算結果を基本として、同タンクの三次元モデルで粒子間距離や粘度等の係数を調整し各種パラメータを確定したうえで U 型円形タンク模型の計算に適用し、両タンク模型の  $T_{ART}$  が同程度の固有周期となるように模型寸法を微修正した。SPH 法の三次元モデルで良好な結果を得るために必要な粒子間距離  $dp$  の値は、本モデルの狭小部であるダクト高さ  $Dt$  に対して約  $1/25$  と十分に小さくする必要があった。また検証試験として、製作したタンク模型を用いて、SPH 法と同様の自由減衰試験を実施した。図-5 に SPH 法の解析例を、図-6 に検証試験の様子を示す。

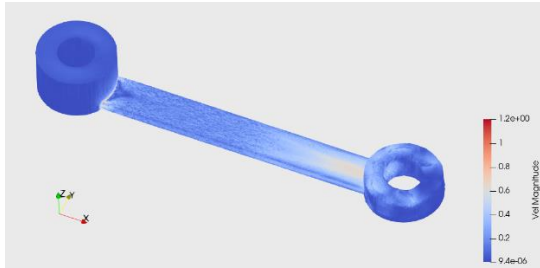


図-5 SPH 法の解析例

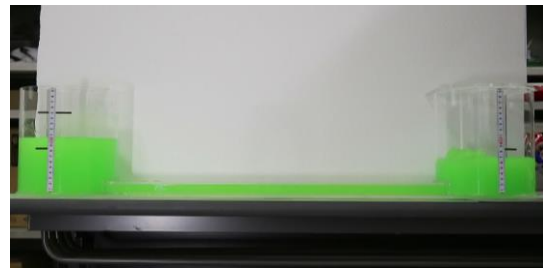


図-6 検証試験の様子

### (2) 円環型減揺タンクの両舷配置および制御方法

図-1 に示した円環タンクを、浮体の ROLL 回転中心位置以外に設置した際の減揺特性については不明であることから、これを調査した。はじめに図-8 に示すように、タンク内の液体を循環し旋回流れを発生させる機能を有する円環タンクを両舷に配し、タンク位置を任意に変更可能とする分離型円環減揺タンク模型 (図-7 参照) を製作した。これを簡易動揺装置に搭載し、一定に傾斜させた状態から停止するまでの自由振動を計測する。試験中の旋回流れの有無や、旋回流れの起動/停止のタイミングを条件とした計測結果を比較し、減衰に寄与する因子を調査した。なお使用した分離型円環減揺タンク模型の両舷タンクはダクトで連結されておらず U 字管型減揺タンクの機能は有していない。あくまで図-1 に示した円環タンクのイレギュラーな配置と複数個搭載時の性能確認に主眼を置いた。

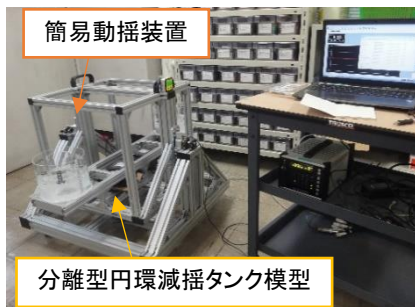


図-7 自由振動試



図-8 旋回流れ機構

### (3) ベンチテストによる減揺モーメントの計測

上記までに製作した、a). U 型矩形タンク (Frahm 式)、b). U 型円形タンク、および、3. (2) に示した円環タンクの機能と上記 b. を統合した、c). 旋回流れ機能付 U 型円形タンクの各模型をベンチテストに供した。加振装置 (図-9) の回転台に設置した検定治具 (図-10) 上に各模型を固定し、タンク内液体の固有周期を中心とした 10 ケースの加振周期  $T$  と 2 ケースの加振振幅  $\theta$  ( $\pm 2, 5 \text{ deg}$ ) を組み合わせた加振条件による強制動揺を行い、検定治具の両舷に配した検力計の出力に検力計間の距離 (0.6m) を乗じることで、各加振条件におけるモーメントを得た。また加振装置回転台の回転軸上に加速度計を配置し、基準位相並びに動揺角の検証を行った。但し計測される生データには空タンク、架台、タンク内液体の慣性力が含まれるため、タンク内流れで生じる荷重を得るには図-11 左のように両舷タンクの上部密閉状態 (非作動状態) で動揺試験を行い、液体が流動する作動状態の時刻歴から非作動状態の時刻歴を差し引くことで、液体の流



図-9 加振装置

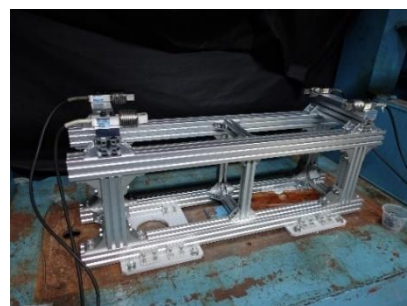


図-10 検定治具



れのみで生じる荷重の時刻歴を得た。即ち解析的に実施する場合は、作動状態及び非作動状態で得られた時刻歴波形を、それぞれフーリエ変換し正弦関数で表してから差し引きを行った。

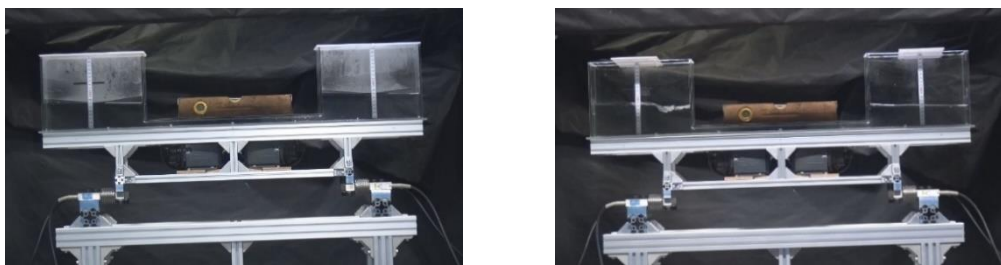


図-11 ベンチテストの様子 (左：非作動、右：作動、 $T=4.16$  sec、 $\theta=\pm 2$  deg)

#### 4. 研究成果

##### (1) 特殊な形状を有する減揺タンク内液体の固有周期の推定

U型矩形タンク模型とU型円形タンク模型の自由減衰試験をSPH法でシミュレートした。得られた液体の挙動を、経過時間毎の両舷タンク内中央位置の水位差からなる角度として図-12に示す。また上記計算と同様の手順で実施した検証試験の結果についても合わせて示す。初期水位や水面形状の違いから、計算結果と試験結果では得られた角度がやや異なるものの、両者から得られるタンク内液体の固有周期は良く合っており、使用した粒子法コードがU型円形タンクのような特殊なウイングタンク形状を有する減揺タンクの設計ツールとしても有用であることを示した。各タンク模型における液体の固有周期 ( $T_{ART}$ ) はそれぞれ、U型矩形タンク：4.16sec、U型円形タンク：3.93secであった。なお、検証試験についても橋本ら[1]の手順を踏襲した。

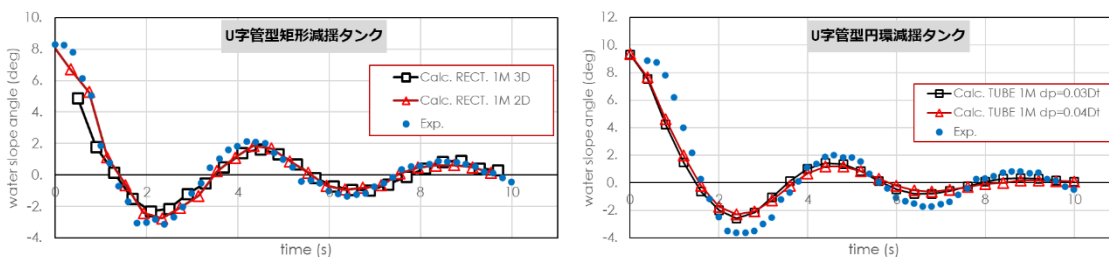


図-12 各タンク模型におけるSPH法と模型試験の減衰曲線の比較

##### (2) 円環型減揺タンクの両舷配置および制御方法

簡易動揺装置に搭載した分離型円環減揺タンク模型の自由振動は、旋回流れが無ければ図-13左に示すように収束に時間を要する。同様に両舷の円環タンク内に旋回流れを常時発生させた状態の結果を図-13右に示すが、自励振動的な挙動により振幅が不安定となる傾向が見られたことから、整流効果を目的として両舷の円環タンクに図-14に示すような天板を設置した。結果を図-13右に重ねて示す。減揺効果は両舷タンク同士で相殺されることが推察され明確な減衰は見られないが、挙動は安定した。これらの現象を踏まえ、旋回流れの操作には三路スイッチを用いて、両舷の旋回流れを完全に交互に作動させ、そのタイミングは図-15に示すように模型の動揺

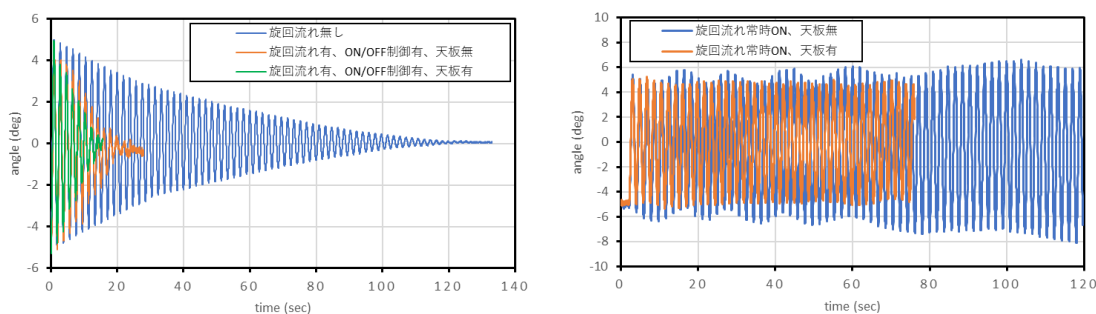


図-13 分離型円環減揺タンクの自由振動試験結果



図-14 天板設置の様子

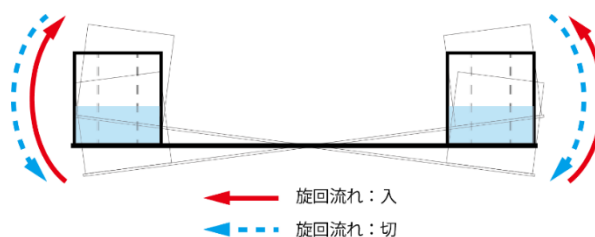


図-15 旋回流れ用ポンプの制御

に応じて、旋回流れをタンクの【下死点でON】、【上死点でOFF】とした。また上記天板との併用も試みた。結果を図-13左に重ねて示すが、開始から収束までの時間は1/6と1/8程度に短縮され一定の効果が得られたものの、減揺効果は限定的であることが推察できる。ベンチテストで確認したところ、上記のモーメントは加振周期に依らず、 $\theta = \pm 2\text{deg}$  : 0.01 kgf-m、 $\theta = \pm 5\text{deg}$  : 0.015 kgf-m程度であった。これは後述するU型円形タンクから得られるモーメントの1/60程度の値であり、両舷に配した円環タンクのみでは有効な減揺効果が得にくいことが分かった。

### (3) ベンチテストによる減揺モーメントの計測

U型矩形タンク模型とU型円形タンク模型のベンチテストの結果を、加振周期とモーメントの関係として、図-16、図-17に加振振幅ごとに示す。どちらの試験条件でも、タンク形状による差は非常に小さく、U字管型の減揺タンクであれば、液体の出入が阻害されるほど複雑タンク形状でない限り、タンク長さや容積を同等に設定すれば、得られるモーメントに差が生じないことを確認した。 $\theta = \pm 2\text{deg}$ の結果(図-16)では、モーメントはどちらのタンク模型でも $T/T_{ART} = 1 \sim 1.1$ 付近で最大となり、ここから離れる加振条件ではモーメントが低下する。1周期中の左舷タンクの最大水位を棒グラフで示すとモーメントと同様の傾向となる。 $\theta = \pm 5\text{deg}$ の結果(図-17)では、傾斜が増したことにより、 $T/T_{ART} \geq 1.1$ における両舷タンク間の水の移動時間が確保され、タンク水位の上昇によりモーメントが増加することが分かる。したがって、 $\theta = \pm 2\text{deg}$ の加振条件でも強制的に流量を確保できれば、遅い加振周期においてはモーメントを改善できる可能性があるため、U型円形タンクのウイングタンク内に旋回流れを発生させ、これによって強制的にダクトを通じて液体を排出する「旋回流れ機能付U型円形タンク」を製作し、減揺特性を上記と同様に調査した。結果を図-18に示す。旋回流れを両舷とも常時発生させた結果は、旋回流れにより両舷タンク間の液体の流れが阻害され、旋回流れの無いU型円形タンク模型の結果(同図、●)よりもモーメントが低下する。一方、図-15に示した旋回流れ用のポンプを交互に作動させた結果は、 $T/T_{ART} \geq 1.0$ の加振条件でモーメントが改善されており、旋回流れが両舷タンク間の液体の流量の増加に寄与すること示した。従って、遅い動揺周期であれば、振幅が小さい場合に限り両舷タンクの旋回流れの起動/停止のタイミングにより、ダクト内の液体の流量調整が可能であると言える。なお図-16~18に示したモーメントの発生は、動揺信号に対する位相差の90度を中心として $\pm 60$ 度ほどの範囲で生じているため、モーメントの増加は減揺効果に直結するわけではなく、位相差を含めて総合的に取り扱う必要がある。特にARTは設定値より長い周期では動揺を増幅させることが知られているため[2]、上記で示した旋回流れによる流量調整の効果を適切に制御できれば、この危険性の軽減に寄与できる可能性がある。

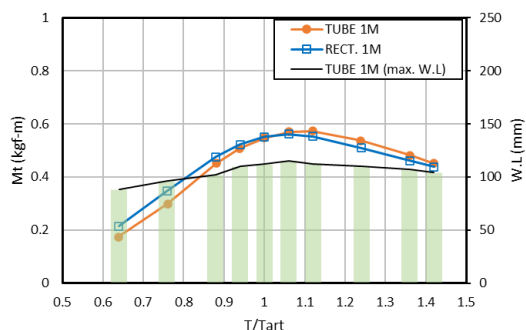


図-16 減揺モーメント ( $\theta = \pm 2\text{deg}$ )

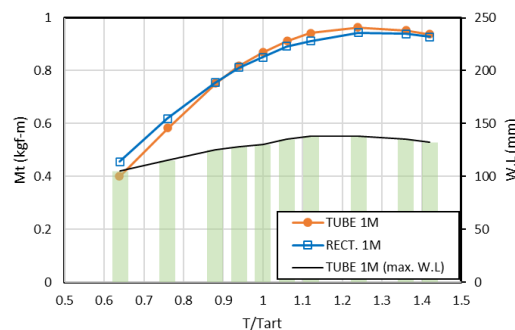


図-17 減揺モーメント ( $\theta = \pm 5\text{deg}$ )

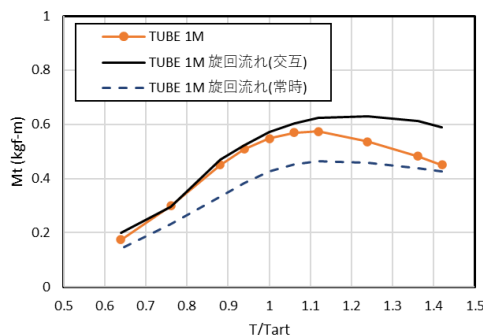


図-18 旋回流れ機能付U字管型円環減揺タンクの減揺モーメント ( $\theta = \pm 2\text{deg}$ )

### 参考文献

- [1] 橋本博公、末吉誠、峯垣庄平、パラメトリック横揺れ防止装置としてのアンチローリングタンクの性能推定、日本船舶海洋工学会論文集、6巻、2007、305-311
- [2] 松村紀孝、横揺れを軽減する『アンチローリングタンク』ご存じですか?、月刊公団船、290号、67-72

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 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------