

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360357

研究課題名(和文)液体輸送のための袋状コンテナ船に関する研究

研究課題名(英文)Study on a Bag Type Container for Liquids Transportation

研究代表者

土井 康明(Doi, Yasuaki)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10134454

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 8,600,000円

研究成果の概要(和文): 袋状のコンテナに液体を充填して、海上を曳航する袋状コンテナに発生する流体力ならびに袋の動きを明らかにするため、縮尺模型を用いた平水中および規則波中での流体力計測ならびに袋の形状可視化実験を実施し、さらに流れと変形の数値シミュレーション解析を行い、以下の結論を得た。

波長船長比が小さくなるほど袋状コンテナが受ける抵抗は増加することから、波の波長が短い海域では大きな曳船の動力が必要になる。波長船長比が大きくなるほど袋状コンテナの抵抗変動振幅、膜変動振幅は増加することから、波の波長が長い海域では膜破損の危険性が増す。柔らかい膜素材を使用により、波浪中での抵抗を低減できる可能性がある。

研究成果の概要(英文): Characteristics of a bag type container are investigated experimentally and numerically. A scale model of the bag type container filling a liquid was towed in calm-water and in regular waves. Hydrodynamic force acting on the container and deformation of the container were measured. A numerical model for the motion of the bag type container was developed for numerical flow simulation. The followings are concluded.

As the value of wave length/ship length ratio becomes smaller, the resistance of a bag type container increases. So that, the higher power of a tugboat is required in waves of shorter wave length. As the value of wave length/ship length ratio becomes larger, the amplitude of resistance acting on a bag type container increases. The deformation of the container also increases. So that, the risk of container damage will increase in sea condition of longer wave length. As the elasticity of container becomes smaller, the resistance of a bag type container in waves decreases.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：船舶工学 海洋工学 流体工学 水輸送

1. 研究開始当初の背景

地球規模での水資源欠乏の訪れが危惧されている近年、豊富な水がある日本でも、渇水時や地震発生などの災害時において局所的な水不足が生じており、緊急時の迅速かつ大量の水輸送が求められている。このような水問題に対処するため、淡水化プラントや水輸送といった手段がとられる。しかしながら、淡水化プラントは、大量のエネルギー消費を必要とするため、大規模な水需要に対応できない。タンカーやパイプラインによる輸送も、対費用効果の点からコスト高が否めない。これらの代替手段として、巨大な袋に水を入れて船で曳引しながら輸送する水輸送ビジネスが提案され、国内においても災害時の緊急水輸送手段としての可能性が検討されている。

2. 研究の目的

緊急時の迅速かつ大量の水輸送として期待される袋による海上水輸送(以下、袋状コンテナ船)は、袋状のコンテナに液体を充填して、海上を曳船にて曳航する輸送法である。まず、袋状コンテナ船の縮尺模型を用いて平水中での曳航試験を行い、平水中での抵抗の特性を調査する。さらに、規則波中での試験を行い、波浪時の抵抗増加のメカニズムを明らかにする。そして、水輸送に適切な袋状コンテナ船の形態を提案することを目的としている。

本課題では、袋状のコンテナに液体を充填して、海上を曳航する場合に発生する流体力ならびに膜の動きを明らかにし、流体輸送に適切な袋状コンテナ船の形態を提案することを目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、縮尺模型を用いた流体力計測、縮尺模型の形状可視化実験ならびに、流れと変形の数値シミュレーション解析により研究を遂行した。実験は広島大学の船型試験水槽(長さ×幅×深さ=100m×8.0m×3.5m)にて行った。袋状コンテナ船の実機を長さ×幅×喫水=100m×15m×7m(内容量 4378 t)と想定し、その1/25縮尺模型を用いた(長さ×幅×喫水=4m×0.60m×0.14m)。膜素材はLLPE(リニアタイプ低密度ポリエチレン)、膜の厚さは0.61mmで引張降伏応力は12MPaである。平水中及び正面規則波中で曳航試験を行った。既存の袋状コンテナの曳航速度が約4ノットであり、この速度は、フルード数0.05に相当することから、平水中試験での曳航速度は、フルード数0.03~0.15とした。気象庁公表の波高データより、日本沿岸部において累年の平均波高は0.8~1.3mであった。日本沿岸部海域での曳航を想定し、実機で波高1.5mとなる0.06mを規則波実験の波高とした。波長船長比0.375~2.0とし、袋状コンテナの曳航速度は、フルード数を0.05, 0.08, 0.15とした。実験装置の概要をFig. 1

に示す。袋状コンテナが受ける抵抗は、模型曳航索端の検力計によって計測した。規則波中の実験では、入射波の波高は、模型曳航索端より側方1.6mにおいて計測した。また、水中での袋状コンテナの膜変動は水中ビデオカメラで撮影した。

数値解析法は、袋状コンテナの膜変動をバネ系モデルにより解析し、外部流は三次元非圧縮の流体運動方程式と連続式を境界適合型有限差分法で解析し、膜変動と外部流を練成させる手法を用いた。袋状コンテナの膜変動による流れを計算するために膜境界に適合する物体適合座標を導入している。離散化は差分法を用い、対流項の差分には3次の風上差分を導入している。

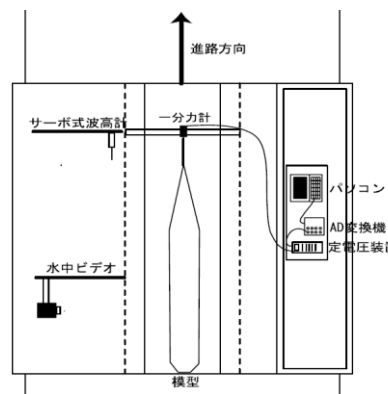


Fig.1  
実験装置概要

4. 研究成果

平水中での抵抗試験結果、以下のことが明らかとなった。フルード数が0.1以下の速度域では、袋状コンテナに作用する抵抗は、相当平板摩擦抵抗の5倍程度である。一般船舶の場合、フルード数が0.1以下では、摩擦抵抗が支配的で渦抵抗は全抵抗の5割以下であるのに対し、袋状コンテナについては平水中の抵抗成分として、摩擦抵抗以外の成分が大きいことが判明した。実験時の水面観察より顕著な造波は確認できないことから、袋状コンテナの平水中の抵抗発生の要因として渦抵抗が考えられる。

規則波中での抵抗試験結果、以下のことが明らかになった。波長船長比が大きくなるほど、波浪による抵抗増加は単調に減少する(Fig. 2)。この特徴は計測した全フルードで同様の傾向である。一般船型では、波長船長比が1近辺で波浪による抵抗増加は最大となる。これは入射波の波長が船の長さに等しいとき、剛体としての船の運動が最大となるためである。袋状コンテナの場合、規則波中の特性は一般船舶とは異なることが判明した。また、規則波中での抵抗の変動振幅については、出会い波周波数により、周期的な抵抗変動が存在することが分かった。さらに、波長船長比が0.5から2.0の範囲内では、波長船

長比が大きくなるほど、抵抗の変動振幅は増加することが分かった。これは、袋状コンテナの膜の変形に関連することが推察されることから、膜の変形量を画像解析により計測した。

規則波中で曳航した袋状コンテナの縦方向鉛直中心面における3点の膜の鉛直位置を画像解析より計測しスペクトル解析した。その結果、入射波のスペクトルと膜変動のスペクトルのピーク的位置が一致していることが分かった。袋状コンテナは曳航時に出会い波周波数での周期的な膜変動が存在することが分かった。さらに、波長船長比が大きくなるほど膜変動振幅は増加し、波長船長比が1以上では、入射波の振幅より膜変動振幅が大きくなることが分かった。このことは、膜変動振幅が外部流の水粒子の運動振幅を上回っていることになり、膜変動が、その外部の流れに影響を及ぼしていることを意味する。なお、規則波中曳航時の袋状コンテナの surge, sway 方向変動は、膜の鉛直振幅に比べ小さいことが分かった。

本研究で開発した平水中での解析法を、さらに規則波中での解析法に発展させた。規則波中での袋状コンテナの変動および外部流の流れの解析を行うとともに、模型試験結果と比較検討し、以下の考察を得た。本数値計算法による規則波中の抵抗増加は、実験値に比べやや低い値を示しているが、波長船長比が大きくなるほど抵抗増加は単調に減少しており、これは模型実験の傾向と一致している (Fig. 3)。また、膜変動振幅については、本手法による数値計算値の傾向は波長船長比が大きくなるほど膜変動振幅が大きくなるというものであり、これは模型実験の傾向と一致している。振幅量を比較しても、数値計算において模型実験と同程度の変動振幅を持つ出会い波周期での形状変化を再現できている。本手法による数値計算値の傾向は波長船長比が大きくなるほど抵抗変動振幅が大きくなるというものであり、これは模型実験の傾向と一致している (Fig. 4)。計算によって得られた波浪による抵抗増加値は実験値に比べやや低いが、これは本手法の格子解像度では渦の発生による抵抗増加を完全に再現できないためで解像度を高めることで改善できる。さらに袋状コンテナの膜素材の剛性を変化させた解析を行い、数値計算の結果から、波浪中抵抗増加が小さくなる剛性があることを見いだした。計算結果得た規則波中の膜変動の様子を Fig. 5 に示す。研究成果を総括し、以下を結論として得た。

1) 波長船長比が小さくなるほど袋状コンテナが受ける抵抗は増加することから、実機の利用に当てはめると、波の波長が短い海域では大きな曳船の動力が必要になる。2) 波長船長比が大きくなるほど袋状コンテナの抵抗変動振幅、膜変動振幅は増加することから、波の波長が長い海域では膜破損の危険性が増す。3) 柔らかい膜素材を使用することによ

り、波浪中での抵抗を低減できる可能性がある。

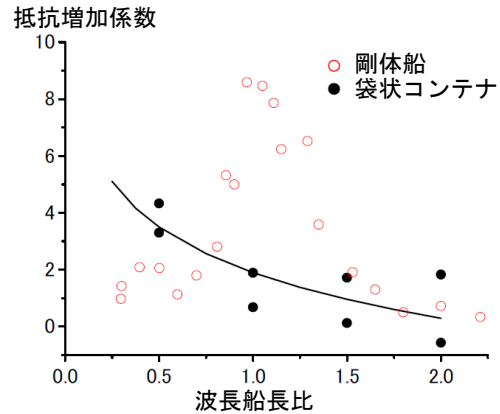


Fig.2 規則波中の抵抗増加 (Fn=0.15)

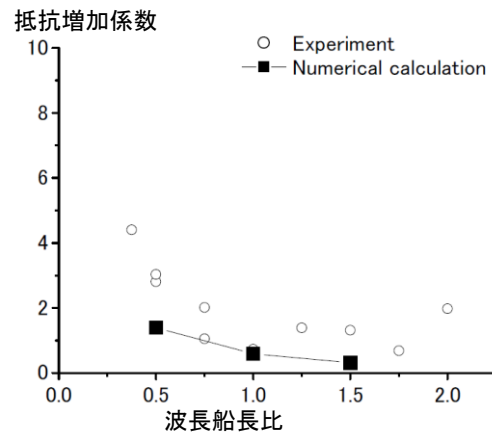


Fig.3 規則波中の抵抗増加 (Fn=0.08)

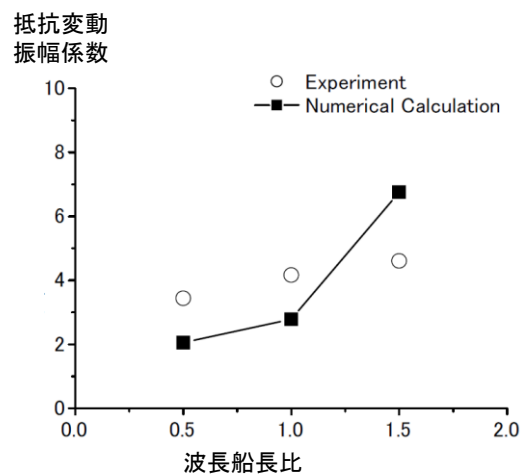


Fig.4 規則波中の抵抗変動振幅 (Fn=0.08)

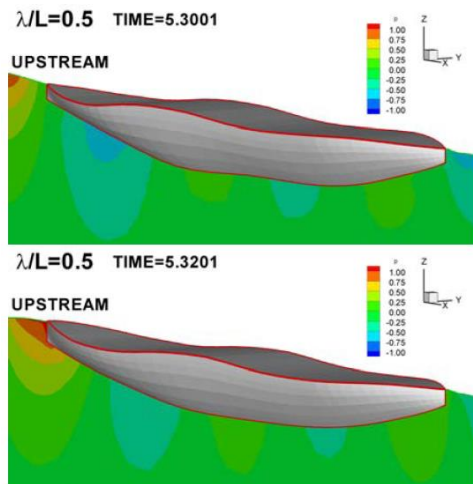


Fig.5 規則波中の膜変動の様子  
(波長船長比 0.5,  $F_n=0.08$ )

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0件)

[学会発表] (計 0件)

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 0件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

取得年月日 :

国内外の別 :

[その他]

該当無し

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

土井 康明 (DOI, Yasuaki)

広島大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号 : 10134454

(2) 研究分担者

陸田 秀実 (MUTSUDA, Hidemi)

広島大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号 : 80273126

中島 卓司 (NAKASHIMA, Takuji)

広島大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号 : 40444707

(3) 連携研究者

該当無し

(4) 研究協力者

該当無し