

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760782

研究課題名（和文） 長大弾性管に最適な渦励振軽減装置の開発

 研究課題名（英文） Development of an Optimum Attachment for Suppressing Vortex
Induced Vibration of a Long Flexible Pipe

研究代表者

千賀 英敬（SENGA HIDETAKA）

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：60432522

研究成果の概要（和文）：海洋開発の分野において用いられる円柱形状の構造物には様々な外力が作用する。それらの中でも、構造物から剥離する渦により生じる揚力は渦励振と呼ばれる振動現象を引き起こす。渦励振を軽減させるため、付加物を取り付けることが考えられるが、使用環境によっては意図した軽減効果が得られないことや、逆に渦励振を増大させることもある。本研究ではまず、付加物を取り付けることによって円形断面構造物の挙動や周りの流場がどのように変化するかを実験した。また付加物の形状を容易に変更し、渦励振軽減性能の検証を可能にするため、数値計算法を検討した。

研究成果の概要（英文）：In Ocean development, many cylindrical shape structures are in use. These structures are subjected to many external forces. Especially, the lift force induced by the shedding vortices cause the vibration of the structures. One of the solutions to suppress vibrations is to attach appendages on structures. However, it may happen that such appendages increase vibrations in some situations. In this research, some experiments were carried out to reveal the influence of the motion and flow field around the structure with the appendages. Then, numerical simulation method was developed to easily modify an appendage's shape and simulate its performance in different circumstances.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：渦励振，付加物，PIV

1. 研究開始当初の背景

ハイブリッド車のモータ，携帯電話や太陽光発電パネルなど，レアメタルは幅広い製品に利用されており，我が国の製造業の継続・発展には欠かせない資源である。昨今の経済発展により，中国をはじめとする資源大国がレアメタルを自国で保有・消費を開始し，世界的にもレアメタルの需要が拡大している。資源大国が国外への輸出規制を行い，国家規模でレアメタルの囲いこみを行った場合，自

国に資源を持たない我が国の製造業への影響は計り知れないものとなる。

四方を海に囲まれた我が国は広大な排他的経済水域をもち，その深海底には希少な資源が眠っているとされている。海底資源の探査とその技術開発は，現在注目を集めている分野の一つであり，その成功は誰もが望むところである。調査により発見された資源を効率よく開発し，利用できれば，資源の大半を輸入に頼らざるを得ない我が国にとって

非常に大きな利益となる。

現在、海底資源の開発や海底の科学掘削には、長大弾性管が用いられている。今後、大水深海域での掘削作業のために長大弾性管の長さが増せば、その剛性は相対的に低下し、より柔軟な構造物となる。長大弾性管まわりの流れは波や潮流、自身の運動などで時々刻々と変化し、これらの流れにより長大弾性管から渦が剥離する。剥離した渦は長大弾性管に渦励振(Vortex Induced Vibration)と呼ばれる振動現象を引き起こす。渦励振は繰返荷重として作用するため、疲労破壊の一因となり得る。また激しい渦励振が発生することで、掘削作業の中断を余儀なくされる。従って、渦励振を軽減し、作業効率を上げるための対策が必要である。

2. 研究の目的

多くの研究者により、整流作用を目的とした付加物を海洋構造物や水中ロボットに取り付けることの有効性は既に実証されている。円柱形状構造物に関しても同等の研究が行われてきた。しかしながら、使用環境によっては、付加物による意図した渦励振の軽減効果が得られないことや、逆に振動を増大させることもある。また、実際の掘削作業を考えた場合、1本の長い管に付加物を単純に取り付けるわけではなく、繋ぎ合わせる管の長さに応じた付加物形状の検討が必要であり、渦励振の軽減性能だけでなく、付加物の取り付け方の簡便さや実作業の妨げにならない形状であることも考慮されるべきである。

本研究では、付加物を取り付けることによって円形断面構造物の挙動や周りの流場がどのように変化するかを実験により解析すること、また付加物の形状を容易に変更し、渦励振軽減性能の検証が可能となる数値計算法を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

①剛体円柱を用いた実験

大阪大学の小型回流水槽(観測部: 1.0m×0.3m×0.3m)にて実験を行った。この水槽内に、剛体円柱の両端を固定、またはコイルばねを用いて支持し、一様流(レイノルズ数は約5000~20000)を与えた。

剛体円柱は透明なアクリル製であり、円柱に取り付けた付加物は、透明なアクリル製もしくは透明な塩化ビニル製のスプリッタ板と翼型を用いた。付加物単体の長さは、円柱の直径を D とし、 $0.5D$, $1.0D$, $1.5D$ を用いた。付加物はテフロン製のリングを介して円柱に取り付けた場合(円柱と付加物は別々に回転可能)と、直接円柱に取り付けた場合(付加物は円柱と共に回転)の2種類を試した。円柱両端からの巻き込み流れによる3次元影響を除くため、両端に円形のエンドプレート

を取り付けた。

円柱の断面および付加物の断面に複数のマーカーを貼り、運動と回転を計測可能とした。また可視化用レーザーを照射して円柱後方の2次元断面内を流れる粒子を可視化した。円柱と付加物の運動・回転と周囲の流場は、1台のハイスピードCCDカメラにより撮影し、解析を行った。したがって、解析において運動と流場の間に時間のずれは生じない。これらの実験の様子をFig.1に示す。

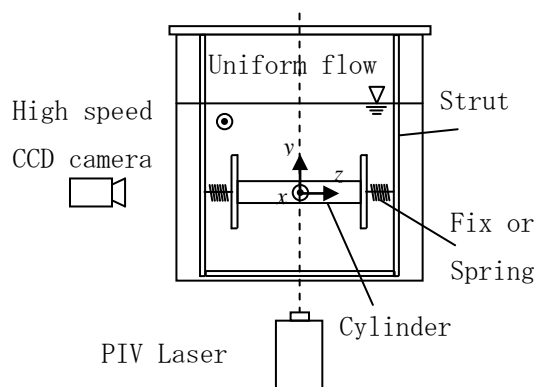


Fig.1 Experimental set up.

②数値計算手法

付加物を円柱に取り付けた際の渦励振の軽減性能を検証するため、本研究では渦法を用いた数値計算手法を検討した。

渦法を使用することの利点は、流場全体にメッシュを張る必要がないことである。従って、付加物の形状を任意に変更することが容易となる。

4. 研究成果

①剛体円柱を用いた実験成果

前述の実験方法にて、付加物の長さは $0.5D$ を使用し、付加物を円柱に直接取り付け、 0.39 , 0.47 m/sの一様流速を与えた場合における、円柱中心の運動の軌跡と渦励振の周波数をFig.2,3に示す。

同図より、付加物を取り付けた場合、円柱模型の振動数が減少していること、また円柱中心の運動の軌跡が異なっていることから、付加物を取り付けることにより、渦の流出位置が変化していることがわかる。

$0.5D$ のスプリッタ板を取り付けた場合では、付加物を取り付けていない場合より x 軸方向の運動振幅は小さくなっているが、 y 軸方向の運動振幅はあまり変化していない。

$0.5D$ の翼型を取り付けた場合では、他の付加物を取り付けた場合の運動と異なり、円運動を行っている。この場合の運動振幅は x , y 軸方向ともに減少しており、運動振幅の面において渦励振は軽減されていると言える。

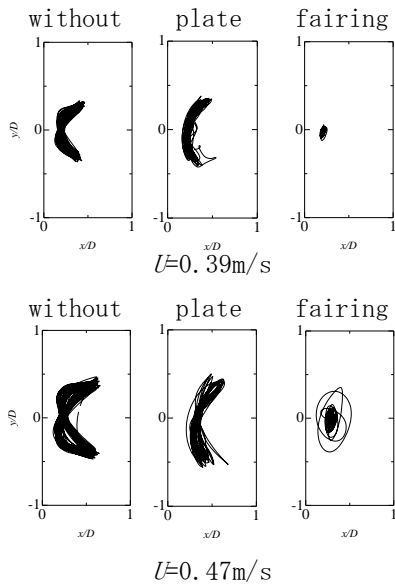


Fig.2 Comparisons of the cylinder's trajectory with different appendage shape.

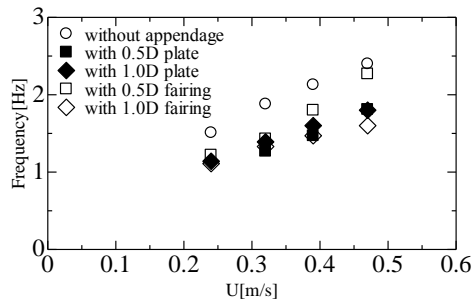


Fig.3 Vibration frequency of the cylinder in Y direction.

渦励振の軽減が顕著にみられた $0.5D$ の翼型について、他の付加物とどのように異なっているのかを考察する。 $0.5D$ の翼型が取り付けられた円柱は周期的な渦励振ではなく、一定の回転角度を保ちながら円運動を行っていた。円柱周囲の流場を可視化し、渦がどのように発生しているか解析した。 Fig.4 に、付加物を取り付けていない場合と $0.5D$ の翼型を取り付けた場合の円柱周りの流場の一例を示す。 一樣流速は $U=0.47\text{m/s}$ で、流れは図の左から右方向である。 同図において、付加物を取り付けられていない円柱の後方流場には、カルマン渦が発生していることがわかる。 一方で $0.5D$ の翼型が取り付けられた円柱の後方流場にも上下に渦の存在が確認できる。 しかしながら、それらの渦の前後方向(一樣流方向)の間隔は、付加物なしの場合の渦の間隔と比べて非常に近いことがわかる。 これらの渦は順次、円柱から離れて行くが、渦の前後位置が近く、上下の渦による揚力が打ち消しあい、渦励振が軽減されたと考えられる。

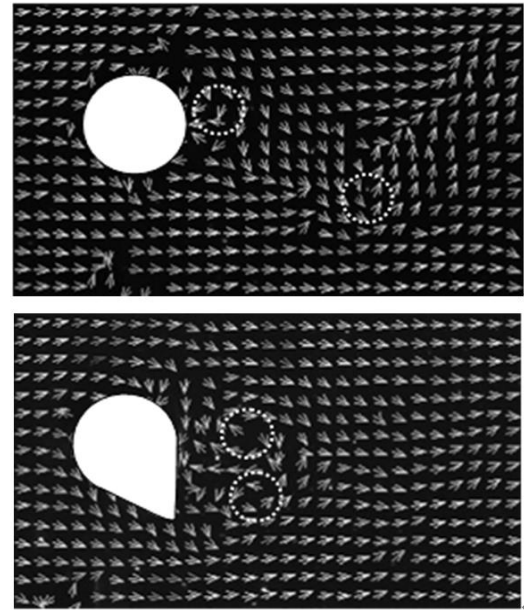


Fig.4 Comparison of flow fields.

付加物が円形断面構造物に及ぼす影響の実験を行った結果、以下の結論を得た。 スプリット板や翼型等の付加物を単純に取り付けると、場合によっては、共振の起きる振動周波数でなくても渦励振の振動振幅を増大させることを確認した。 付加物を取り付けた場合の渦の流出周波数は、取り付ける付加物の断面の長さに関係している。 付加物の断面長さを調整することにより、渦励振による円柱の振動数を意図的に変化させることが可能である。 カルマン渦の流れ方向の間隔を変化させることが可能な付加物は、渦励振を軽減可能である。 円形断面構造物が受ける流速の方向が一定であるか、曳航ケーブルのように円形断面構造物自身にある程度の振れが許容される場合、付加物を直接構造物に取り付けて渦励振を軽減する本研究の手法は有効である。 しかしながら、時々刻々と流向が変化する潮流に対しては対応することができない。 今後、付加物のみが回転できる取り付け方で、付加物と円柱間の摩擦を変化させ、その影響を調べる必要がある。

②数値計算手法

渦法は、流れの物理に基づいた簡潔なアルゴリズムから成り立ち、渦度の集中した領域に応じて流体要素を追跡可能であるラグランジュ的性質等の特徴を持ち、非定常流れの解析法として工学的応用も進められている。 また、格子生成を必要としない為、解析対象の形状を容易に変更することが可能である。 よって、高効率な付加物の形状設計を目的にする本研究に適した数値計算手法である。

本研究で開発した渦法の計算精度を検証するために、静止流体中において急発進する

円柱後方の流速分布を実験値と比較した。その結果を Fig. 5 に示す。この時のレイノルズ数は 500 である。同図より、本計算法は実験結果と良い一致を示している。

本手法を用いて、付加物が取り付けられた場合の円柱に働く揚力・抗力、また流場がどのように変化するかを検証し、前述の回流水槽を用いた実験結果と比較した。

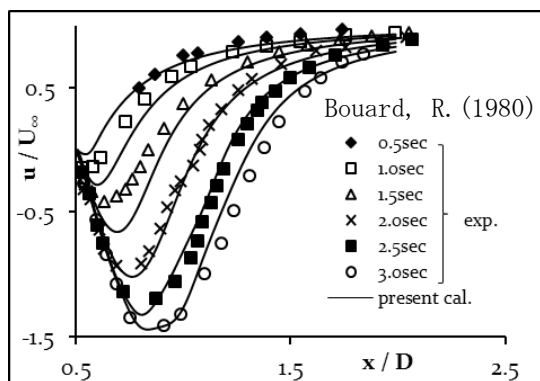


Fig. 5 Time history of velocity on x axis

Fig. 6 に、2次元渦法と実験結果の解析により求めた翼型の付加物後端周辺の流線を示す。この計算では、付加物は円柱に固定されており、回転運動は行わない条件である。

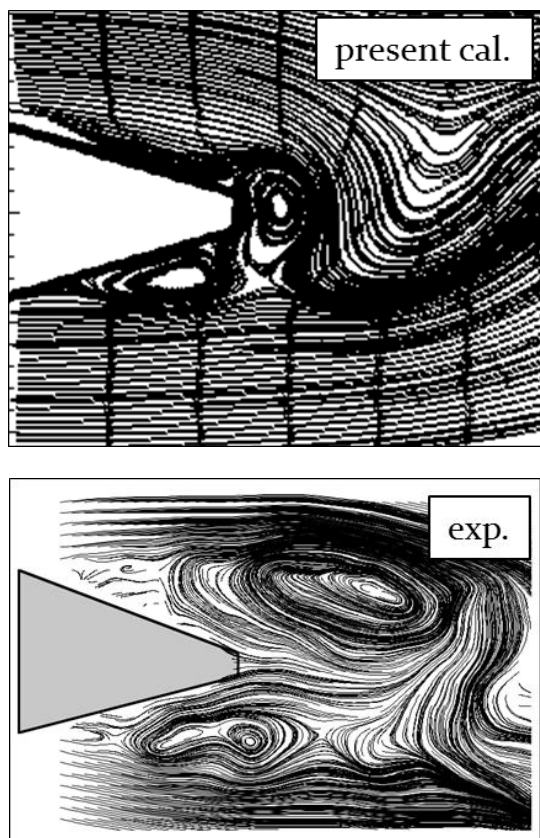


Fig. 6 Streamline around the appendage

同図を見ると、付加物下方に生成された渦の位置は、実験結果における渦の位置と比較して一致していることがわかる。一方、移流に関しては、計算結果において付加物上方の渦が付加物に沿って後方に流れ込んでいるが、実験結果においては付加物上方の渦は付加物後方に流れ込まず、x 軸方向に流され移動しており、両者に違いが現れた。計算結果における渦が付加物後方に流れ込む現象については一様流からの影響が小さいためと、付加物を挟んで流れ込む渦とは反対側で生成される渦からの影響が小さいため起こると推測され、今後精度改善が必要である。

また、本研究で行っている渦法は2次元であり、今後3次元への拡張が必要である。

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 1 件)

千賀英敬, 山本祐樹, 付加物が渦励振に与える影響の実験, 日本船舶海洋工学会論文集, 査読有, 第 15 号, (2012), pp. 191-197

[学会発表] (計 1 件)

山本祐樹, 千賀英敬, 付加物が渦励振に与える影響の検証実験, 平成 23 年日本船舶海洋工学会秋季講演会(2011)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

千賀 英敬 (SENGA HIDETAKA)

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：60432522