

平成22年 5月26日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19560800
 研究課題名（和文）
 渦法による非線形波浪中の付加物付き浮体構造物の動揺解析手法の開発
 研究課題名（英文）
 Analysis of motion of a fin-attached floating structure using a vortex method
 研究代表者
 今井 康貴（imai yasutaka）
 佐賀大学・海洋エネルギー研究センター・准教授
 研究者番号：90284231

研究成果の概要（和文）：

本研究では、洋上に設置された浮体構造物の動揺と波漂流力を低減させる方法として浮体構造物にフィンを設置する方法を提案し、その第1段階とし、動揺するフィン単体に作用する流体力を計測した。従来のモリソン式に造波減衰項を加え、造波項と抗力項をより詳細に分ける方法を提案し、強制動揺実験に適用することにより動揺周期および動揺振幅が流体力に与える影響を調べた。

研究成果の概要（英文）：

We proposed a fin-attached structure to reduce motion and wave drift of a float structure installed on the sea. As the 1st step, the characteristics of hydrodynamic force acts on a oscillating fin under a free surface is measured. We propose a new method to decompose the hydrodynamic force into added mass, damping and viscous force. The wave making damping term was added to a conventional Morrison formula. The effect of the period and amplitude of motion are investigated

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

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：渦法、海洋プラットフォーム、非線形波浪

1. 研究開始当初の背景

近年の国連海洋法条約に基づく排他的経済水域の定着化と、我が国周辺海域での水産・鉱物・資源等の適切な保全・管理及び持続的な利用の重要性の増大から、我が国の第3期科学技術基本計画（平成18年～平成2

2年）では、“海洋空間活用の基盤となる浮体技術の確立が急務で、洋上浮体の研究開発に集中的に取り組む必要がある”と述べている。洋上浮体は、洋上風力発電、海洋温度差・波力等の海洋エネルギー利用、メタンハイドレート生産等広範な対象に利用される。

このような浮体構造物を、我が国周辺の厳しい気象・海象条件下で安全に供用するためには、大波浪下での浮体の動揺の低減化と、定点係留の観点から波漂流力の低減化という2つの課題の解決が必須である。この課題を同時に解決する方法としては、浮体の没水部に固定又は可動フィンを設置して、フィンの

① 浮体の動揺エネルギーを渦のエネルギーに変換する（浮体動揺低減化）。

② 翼型フィンに発生する揚力を利用して、浮体を、波の入射方向へ推進させる（波食い推進による波漂流力低減化）。

という効果を利用する方法が有望である。この方法の実用化のためには、浮体の運動に及ぼすフィンの影響を実験的に正確に把握すると共に、上記の課題を解決するフィンの最適形状と最適配置を求める計算手法の開発が必要である。

2. 研究の目的

図1に示すように、没水部に固定又は可動する翼型フィンを備えた浮体構造物を考える。波が入射すると浮体は動揺するが、フィンで生じる渦の散逸により、浮体には減衰力が働く。また、波浪中にある翼は、前進速度が無い固定翼でも、振動する流れの存在により、翼への見かけの相対流入が生じ、翼前方へ推力を発生することができる。そこで、浮体に翼型フィンを設置する際に、浮体の波下側へ作用する定常力である波漂流力と逆向きの推力を発生する向きにフィンを取り付けると、浮体に作用する波下側への定常力を大幅に減らすことが可能である（寺尾(1982)）。このため、浮体構造物の建設コストの中で、大きなウェイトを占める係留コストを大幅に下げることが可能となる。

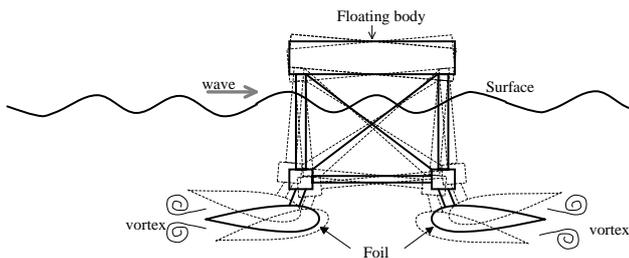


図1 フィン付き浮体

本研究の目的は、大波浪中にある浮体の動揺低減化と波漂流力低減化のためにフィン付き浮体構造物を提案し、フィンが構造物運動や流体力に及ぼす効果を水槽実験および数値計算によって明らかにすることである。また、浮体とフィンの相互干渉を考慮した上でフィンの最適形状及び最適配置、構造物の動揺を計算する手法を開発する。計算には、

近年著しい発展をみせているものの、海洋分野には適用例が少ない渦法を用いる。開発した計算法を水槽実験結果と比較して検証を行う。

3. 研究の方法

3.1 水槽実験

本研究の最終目的は任意断面形状を持つフィンを浮体に付設した場合の浮体動揺の低減ならびに波漂流力の低減であり、そのためのフィン最適配置や最適断面形状の決定である。しかしフィン付き浮体に作用する流体力や運動を求めることは複雑であるため、第一段階として没水フィン単体での強制動揺実験を行い、流場と流体力特性の関係について検討した。また、第二段階としてフィンを付設した箱型浮体についても二次元水槽実験を行い、フィン取付位置や取付方向が規則波中運動に与える影響を計測した。

3.2 数値計算

翼型フィンの最適形状と最適配置を求めるためには、自由表面を持った流体中にある浮体とフィンの形状を考慮でき、フィンから生じる渦の生成、拡散も正確に求めることができる粘性流体計算手法が必要となる。この目的に適した計算手法の候補としては、①VOF法やCIP法等の差分法、②MPS法やSPH法等の粒子法、③渦法がある。この内、①の差分法では、流体領域を格子分割するため、時間的に移動する鋭く尖った翼表面境界に沿って、時間ごとに格子分割を行うことは非常に困難である。また、流体を無数の流体粒子の集まりとして考える②の粒子法では、本研究で対象としている翼周りに生じる渦や、渦の存在によって浮体や翼に生じる流体力等の計算は現状では困難なように思われる。そこで、本研究では③の渦法を用い、振動するフィンに作用する流体力およびフィン周りの流れを求める数値計算プログラムを開発することが目的である。

4. 研究成果

4.1 水槽実験

実験には佐賀大学海洋エネルギー研究中心伊万里サテライトの二次元水槽を使用した。実験装置の配置を図.2に示す。水槽は長さ19.5m、幅0.8mである。平板模型は弦長20cm、厚さ1cmの亚克力板を使用した。表1に強制上下揺の実験条件を示す。

表 1 実験条件

	平板 1	平板 2
弦長 L(mm)	150 200	
没水深度 d(mm)	120, 170, 220, 270, 520	
運動周期 T(s)	0.8-2.0	
運動振幅 (mm)	5-20	
KC 数	0.21-0.84	0.15-0.63

検力計を用いて反力を計測し、次節の方法で成分分解することにより付加質量係数、造波減衰係数および抗力係数を算出した。造波ダンピングを算出するため、物体から離れた場所で散乱波波高を計測した。また、PIV (particle image velocimetry) を用いて模型周囲の流場を計測した。

4. 1. 1 流体力の分解

渦粘性が重要な場合において、物体に作用する流体力は物体長さが波長に比べて小さい場合、主にモリソン式を用いて表されてきた。モリソン式では断面物体に作用する流体力を円柱背後の渦によって発生する圧力差による抗力と円柱の存在によって周囲流体が加速・減速されるために生じる慣性力の和によって表す。しかし、従来のモリソン式では自由表面影響を考慮していないため、本研究のように物体が自由表面近くで振動する場合には造波によるダンピングを入れる必要がある。そこで本研究ではモリソン式に造波によるダンピング項を加え、より高精度な力の分解を行った。

具体的な手順は以下の通りである。振幅 ζ 、周波数 ω で振動する上下揺 z を $z = \zeta \cos(\omega t)$ とおくと、上下揺速度 \dot{z} および加速度 \ddot{z} は次式で表される。

$$\dot{z} = -\zeta \omega \sin(\omega t), \quad \ddot{z} = -\zeta \omega^2 \cos \omega t \quad (1)$$

船舶工学では反力を付加質量と造波減衰に分解する方法が用いられてきた。

$$F = (A_{33} + M) \ddot{z} + B_{33} \dot{z} \quad (2)$$

ここで F は計測した反力、 A_{33} は付加質量係数、 B_{33} は造波ダンピング係数、 M は物体の質量である。ただし、(2)式では粘性流体力成分が造波減衰項に含まれるため、粘性項成分のみ取り出すことは不可能である。

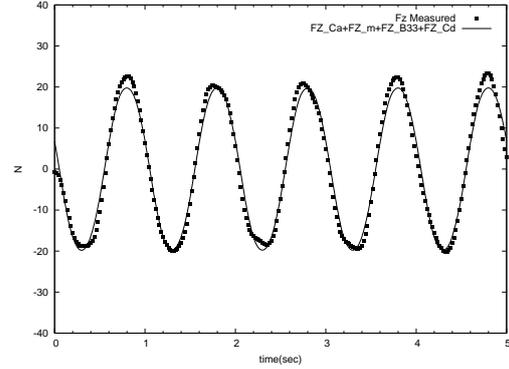
一方、反力を慣性力成分と抗力成分に分解する方法はモリソン式が用いられてきた。

$$F = \frac{1}{2} \rho C_d S \dot{z} |\dot{z}| + \frac{\pi}{4} \rho C_a L S \ddot{z} + M \ddot{z} \quad (3)$$

ここで F は計測反力、 C_d は抗力係数、 C_a は

付加質量係数である。 ρ は流体密度、 L は代表長さ、 S は投影面積である。本式は広く用いられてきたが、本研究のように造波減衰がある場合には、その影響を考慮する必要がある。そこで本研究では高精度の粘性流体力評価のため、(3)に造波減衰項を入れた式を用いた。

$$F = (A_{33} + M) \ddot{z} + B_{33} \dot{z} + \frac{1}{2} \rho C_d \dot{z} |\dot{z}| \quad (4)$$



弦長 150mm、厚さ 10mm の平板を振幅 20mm で強制上下揺した場合の流体力係数を Fig. 5 に示す。横軸は動揺周期 (秒)、縦軸は A_{33} 、 B_{33} 、 C_d の無次元値である。設置深度を水面から 120, 170, 220, 270, 520mm と変え自由表面影響をみた。 B_{33} は没水深度が浅いほうが大きい。これは没水深度が小さい方がより大きな造波を生じるため、物理的に妥当といえる。また、運動周期が長くなるほど値が小さくなっており、これも物理的に妥当である。 A_{33} は没水深度が浅くなるほど小さい。 C_d は動揺周期の依存性が小さい。

同じく弦長 200mm の平板を振幅 20mm で強制上下揺した場合の流体力係数を Fig. 6 に示す。 A_{33} 、 B_{33} 、 C_d は、150mm の場合とほぼ同様の傾向を示すが、 A_{33} 、 B_{33} は弦長 200mm の場合の方が大きい。これは模型寸法が大きいためと考えられる。また、没水深度が小さい場合の自由表面影響が 150mm の場合と比較して大きい。

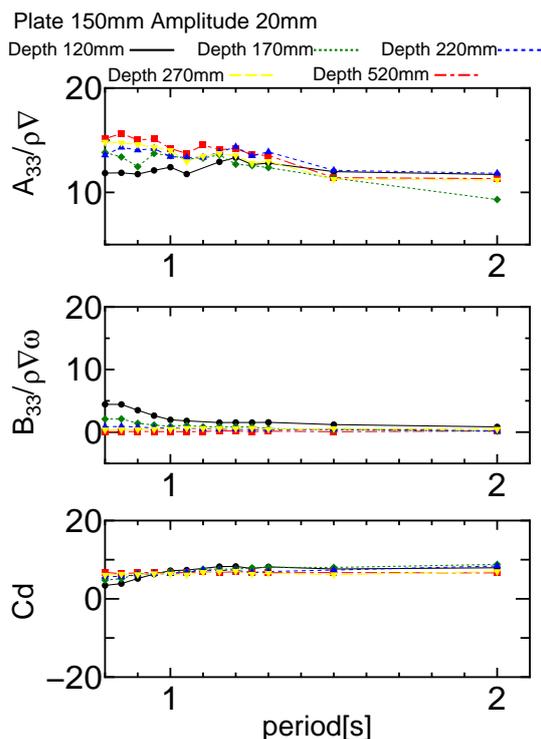


Fig.5 Hydrodynamic force coefficient (Chord Length 150mm)

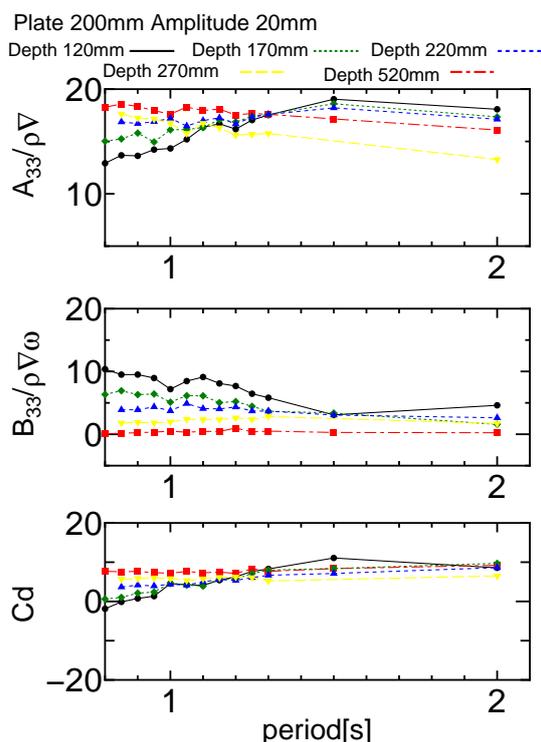


Fig.6 Hydrodynamic force coefficient (Chord Length 200mm)

4. 2 数値解析コードの開発
渦法による流体力数値シミュレーション

コードの開発を行った。放出渦の取扱や自由表面近傍における渦の発生・消散に改善が必要であるため、今後の検討課題とする。

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)

[学会発表] (計 3 件)

- ① 浮体型海洋エネルギー施設の動揺低減装置の流体力特性に関する研究, 小田純子, 今井康貴, 永田修一[他], 日本船舶海洋工学会講演会論文集 (8), 473-476, 2009年5月28日 (兵庫県神戸市)
- ② 振動するフィンに作用する粘性流体力に関する実験的研究(一般講演(G1)), 永田修一, 豊田和隆, 今井康貴, 久池井智成, 松永成正, 小田純子, 大津好清, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 (7W), 1-2, 2008年11月20日 (広島県呉市)
- ③ 水面近傍の水面下で振動するフィンに働く流体力と周辺流場に関する実験的研究(オーガナイズドセッション(OS3): 外洋上プラットフォーム(その2)), 今井康貴, 永田修一, 豊田和隆, 小田純子, 久池井智成, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 (6), 61-64, 2008年5月29日 (長崎市)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 没水フィンに作用する波浪中流体力と周辺流体の速度場に関する研究, 小田純子, 永田修一, 今井康貴[他], OTEC (13), 47-54, 2007 査読無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今井 康貴 (imai yasutaka)
佐賀大学・海洋エネルギー研究センター・准教授
研究者番号: 90284231

(2) 研究分担者

永田 修一 (nagata shuichi)
佐賀大学・海洋エネルギー研究センター・教授
研究者番号: 30404205

(2) 研究分担者

豊田 和隆 (toyota kazutaka)
佐賀大学・海洋エネルギー研究センター・准教授
研究者番号: 10274507