

# 複雑形状の結合部を持つ超大型浮体構造物の波浪中弾性応答解析

正員 桃木 勉\* 正員 米山 治男\*  
平石 哲也\*

## Analysis of Elastic Response of Very Large Floating Structures with Joined Portion of Complicated Shape in Waves

by Tsutomu Momoki, *Member* Haruo Yoneyama, *Member*  
Tetsuya Hiraishi

### Summary

Recently, very large floating structures (VLFS) are proposed for use as an airport, disaster prevention bases and offshore wind power generation system, and so on. There are a lot of researches on hydrodynamic response of the VLFS in waves. However, it is necessary to research the influence of the discontinuity of the stiffness when the floating units of different types are connected with each other or the joints of floating units have a special shape.

In this research, we conducted the hydraulic model experiment on 1/50 scale, and analyzed the elastic response of the test model using VODAC (Very Large Floating Structure Oriented Dynamic Analysis Code). The depth to length ratio of the model is relatively large, and its joint part is composed of multiple materials. VODAC developed by University of Tokyo calculates the hydroelastic response of a large floating structure fully considering the hydrodynamic interaction effects. Two kinds of beam FE-models are employed as a structural model; one is the model that arranges equivalent beam elements on the neutral plane, and the other the model that represents the deck, bottom and vertical wall using beam element individually. We discussed suitable structural modeling technique by comparison of an experiment and analysis.

### 1. 緒言

近年、超大型浮体構造物について、海上空港や浮体式防災基地、洋上風力発電などでの利用が幅広く検討されている。これまでも超大型浮体構造物の実現に向けてたくさんの水理模型実験が実施されるとともに、さまざまな超大型浮体の波浪中弾性解析手法が開発されてきた。対象となる浮体構造物はその規模が非常に大きいため、実海域における構造物にしても、あるいは実験模型にしても、複数のユニットで構成されユニット間を結ぶ結合部が生じることが想定される。これまでの多くの研究では全体の剛性に及ばず結合部の影響は非常に小さいものとして特に考慮されていない。しかしながら、超大型浮体構造物を実海域において実現するには、設置海域の地形に合わせて複数種類の構造物で構成されることが予想され、ユニット間の結合部の問題は重要であると思われる。特に結合部の形状が特殊なものになったり、剛性が異なる浮体が結合されるような場合には、剛性の非一様性についても検討する必要があると考えられる。

本研究では飯島ら<sup>1)2)</sup>によって開発された VODAC (Very Large Floating Structure Oriented Dynamic Analysis Code) を用いて浮体構造物の波浪中弾性応答解析を行った。まず始めにポンツーン型の超大型浮体構造物に対して、VODAC を適用することの妥当性の確認と、剛性が一般的な浮体構造物に対する検証を行うために、矢後ら<sup>3)</sup>による VL10 模型を用いた水理模型実験について数値解析を行った。この結果をふまえて、Fig.1に示すような 1/50 スケールによる水理模型実験を行うと共に、数値



Fig. 1 Whole view.

\* (独) 水産工学研究所

\*\* (独) 港湾空港技術研究所

原稿受理 平成18年2月21日

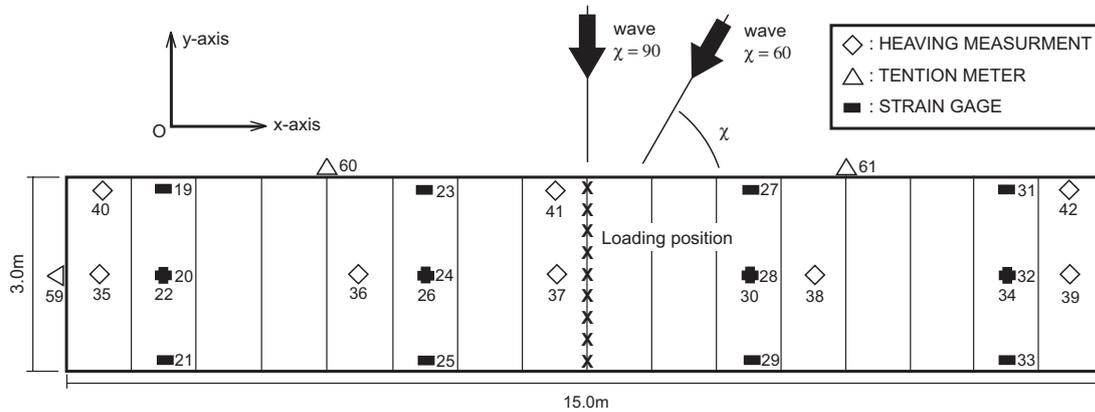


Fig. 2 Location of measurement sensor on float.

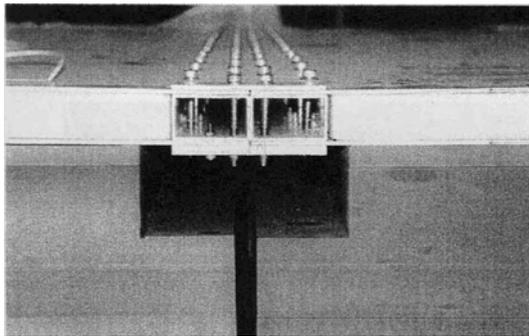


Fig. 3 Joined portion.

解析を行った。今回使用した模型は水平方向の大きさに比べて鉛直方向について比較的大きく、結合部は複数の部材で構成されている。また、VODAC については構造領域を複数の梁要素とそれを繋ぐ節点によってモデル化し、梁要素に断面積や断面二次モーメント、ねじり係数などの情報を与えることで構造解析を行っているが、この構造領域のモデル化について水平面上に梁要素を配置する平面的なモデルと、鉛直方向を考慮して梁要素を組み上げる立体的なモデルの二通りについて計算を行った。これらの計算結果について実験結果を交えながら考察を行い、解析対象をモデル化する時の問題点について検討を行った。

## 2. 水理模型実験と数値解析手法の概要

### 2.1 PARI 模型を用いた水理模型実験概要

本研究における水理模型実験については港湾空港技術研究所の環境インテリジェント水槽において行った。ここで使用した模型を PARI 模型と呼ぶこととし、実験結果と数値解析について検討を行った。水理模型実験で計測された各物理量について浮体模型上での計測位置を Fig.2に、ユニット間の結合の状況について Fig.3に示す。

今回、用いられた浮体模型は仮想実機 (3.1km×510m) から一部分 (750m×150m) を抜き出した部分構造物を対象にしており、抜き出された部分構造物の 1/50 模型となっている。浮体構造物の緒元を Table.1に示す。ここで水深が二つ記されているが、これは入射波の波向きが 0 度の場合には水深 81.5cm、60 度と 90 度の場合には水深 40.0cm で実験を行ったことを意味している。また浮体模型は全長 15.0m と非常に大きいため、使用するアルミニウム部材の都合上、複数のユニットを結合して模型

Table 1 Principal particulars of the test model .

		Test Model	Prototype
Scale Ratio		1/50	1/1
Length	L(m)	15.00	750.0
Breadth	B(m)	3.00	150.0
Depth	D(m)	0.25	12.5
draft	d(m)	0.03	1.5
Stiffness / Breadth			
	EI/B(kNm <sup>2</sup> /m)	$1.06 \times 10^2$	$6.61 \times 10^8$
Water Depth		H(m)	0.40, 0.815
			20.0, 40.75

全体を構成することとした。また、ユニットの剛性を受け持つ部分は硬質発泡ポリエチレンを二枚のアルミニウム板で挟みこむサンドイッチ構造とし、このアルミニウム板の下部に軟質発泡ポリエチレンの浮力材を接着している。また Fig.3に示すように、ユニット間の結合についてはアルミ角材によって補強されたユニット端部を上下から厚さの異なる 2 枚のアルミニウム板をあてがって、ボルト締めで固定する構造となっている。Fig.2上の細い縦線はユニット間の結合部であり、PARI 模型は 16 個のユニットで構成されていることを示している。今回使用した浮体模型にはこのような結合部があることから剛性の一様性が確保されていない。そのため、浮体の剛性について詳細な状況を確認するために静的載荷試験を行っている。Fig.2の浮体模型中央に × 印で示されている所が静的載荷試験で荷重を加えた場所であり、載荷後に浮体模型の鉛直方向変位分布を計測している。

本研究では Test condition として入射波高 4.0cm(模型量)、波向き 0 度、60 度、90 度、波周期 8.0sec(現地換算量) で計測された結果を中心に議論を行った。

以後、波周期については現地換算量、それ以外は模型量で表記する。

### 2.2 数値解析手法の概要

本論文で用いている数値解析理論は飯島ら<sup>1)2)</sup>によって開発された VODAC を用いており、ここではその概要を示す。

VODAC について流体領域では特異点分布法と影本の相互干渉理論<sup>4)</sup>が組み合わせて用いられ、構造領域では FEM が用いられている。また Fig.4に示すように流体領域では group body の概念が取り入れられ、構造領域については部分構造法を応用することによって、より大きな構造物でも扱うことができるように

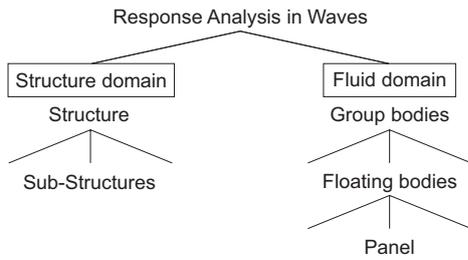


Fig. 4 Hierarchy of the VODAC.

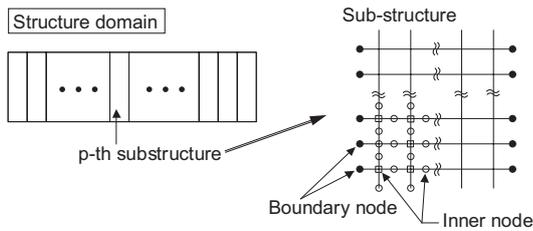


Fig. 5 The concept of a structure domain.

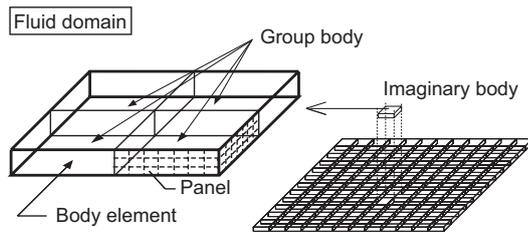


Fig. 6 The concept of a fluid domain.

なっている。

また、VODAC は本来、半潜水式の大規模浮体の波浪中弾性応答解析に開発されたものであるが、矩形形状の大規模浮体を多数の小さな矩形要素に分割して、これらの間の相互干渉問題として解けば、箱型の大規模浮体構造物についての解析を行うことも可能である。構造領域及び流体領域のモデル化についてその概念を Fig.5、Fig.6に示す。

構造領域では多数の要素浮体で支持された浮体構造物について梁要素を使った骨組モデルでモデル化し、Fig.5のように複数個の部分構造に分割する。それぞれの部分構造は他の部分構造と境界節点を介して結合されている。また本研究では、梁要素が十字に交差する場所にある節点に浮体要素をとりつけ、流体領域からの力を入力する荷重入力点としている。流体領域では構造物の没水部について Fig.6のように複数の浮体要素で構成されているとし、さらに group body の概念を取り入れてモデル化を行っている。ここで group body とは近接するいくつかの要素浮体からなる流体力学的に一つのまとまりとみなされる単位のことを指す。また group body の概念は一つの要素浮体上のパネルだけでなく、近接する複数の浮体上のパネルにまで拡張するものである。

ただし、group body とその配置についてのいわゆる仮想円柱の仮定<sup>5)</sup>が設けられる。また group body は剛体として振舞うという仮定が設けられる。ここで矩形浮体に VODAC を適用した場合、仮想円柱が重なりあう部分が発生し、これは特異点分布法に置き換えて考えると、この部分で正しくない境界条件をつけたことに相当する。しかしながら、工学的には箱型の大規模浮体について解析しても良好な精度が得られることがわかっている<sup>6)</sup>。

### 3. 水理模型実験と数値解析の比較・考察

#### 3.1 剛性が異なる場合の波浪中弾性応答

本研究では、結合部の有無による検証を行うために、矢後ら<sup>3)</sup>によって行われた VL10 模型を用いた水理模型実験についても数値解析を行った。VL10 模型は曲げ剛性を受け持つアルミニウム板と浮力を受け持つ発泡ポリエチレンとから構成されているが、使用されているアルミニウム板は継目のない一枚板が使われている。このため、VL10 模型は結合部がなく剛性が水平方向に一樣となっている。ここで VL10 模型について、模型の断面図を Fig.7に示す。

詳しい計測位置や Test condition については矢後らの論文<sup>3)</sup>を参照することとするが、本研究では  $\lambda/L = 0.1$ 、 $\lambda/L = 0.5$  の2つの波周波数及び入射波の波向 0 度、60 度、90 度の3方向についての計 6 パターンについて検証を行うこととした。

VL10 模型の波浪中応答問題について数値解析を行うにあたって、構造部分のモデル化については Fig.5及び Fig.7に示しているように剛性を受け持つアルミニウム板を梁要素とそれを繋ぐ節点によってモデル化している。下部の浮力材については、アルミニウム板に比べて剛性は十分小さく、全体剛性への寄与が無視できるとして、構造部分のモデル化では考慮していない。また、流体部分については Fig.6に示しているように、複数の矩形浮体の集まりであると仮定し、group body の概念を取り入れてモデル化を行っている。

Fig.8、Fig.9に VL10 模型上における波浪中の応答振幅分布を示す。縦軸は応答振幅を入射波の波高で無次元化した値、横軸には浮体模型上の位置を全長の半分で無次元化した値をとる。Fig.8は入射波の波長が  $\lambda/L = 0.1$  となる時の波浪中応答振幅で、入射波高に対する振幅そのものが小さいこともあるが、入射波の向きにかかわらず計算結果は実験結果とよく一致している。Fig.9は入射波の波長が  $\lambda/L = 0.5$  となる時の応答振幅分布で、波向 60 度において数値解析のほうが実験結果よりも若干小さめの値となっている。しかしながら、実験値と計算値の差は小さく、変化の傾向はよく一致していることから定性的には良い

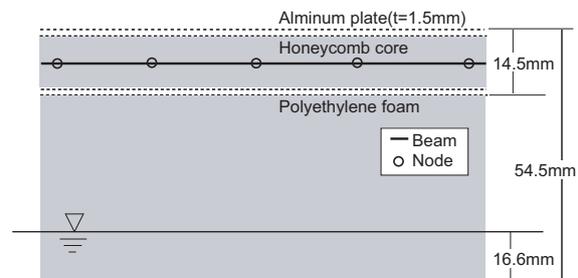


Fig. 7 Cross section of the VL10 model.

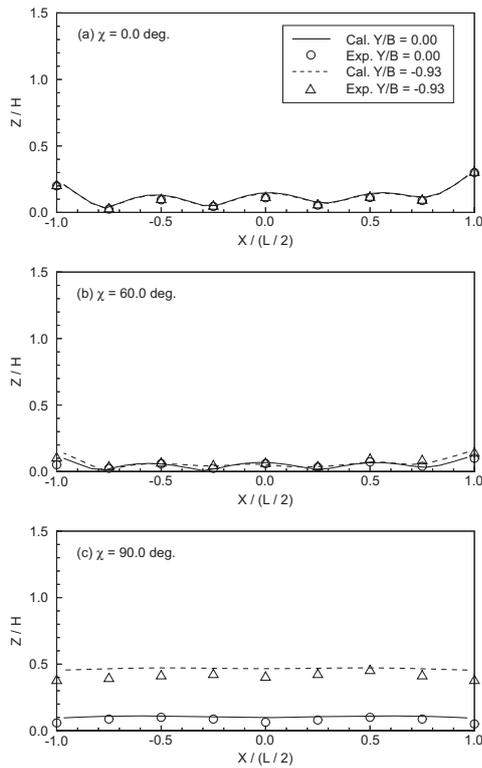


Fig. 8 Longitudinal distributions of vertical displacement ( $\lambda/L = 0.1$ ).

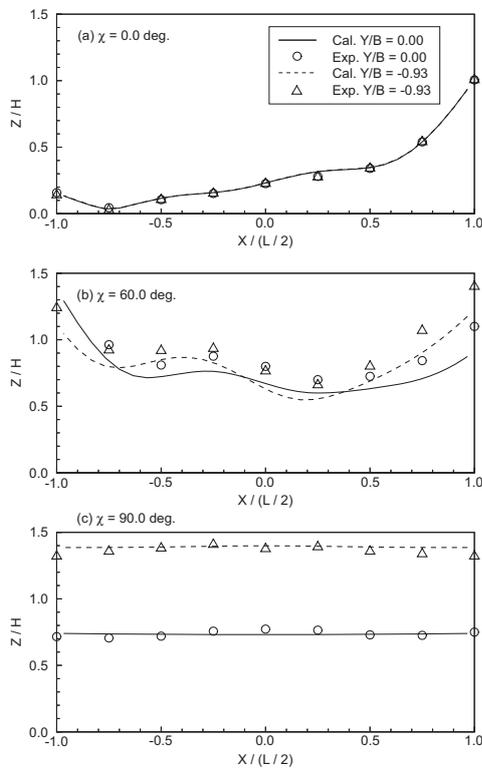


Fig. 9 Longitudinal distributions of vertical displacement ( $\lambda/L = 0.5$ ).

結果を示していると考えられる。また、波向 0 度、90 度の時には定量的に見ても良い結果が得られていることが分かる。これらのことから、VL10 模型のように結合部がなく、剛性が一樣であるという理想的な条件においては、構造領域のモデル化について Fig.7 のような簡単な梁要素の配置でも、VODAC による数値解析から十分な精度の応答振幅を得られることがわかった。

### 3.2 PARI 模型を用いた時の波浪中弾性応答

#### 3.2.1 模型のモデル化

次に港湾空港技術研究所で行った水理模型実験について数値解析を行うために、PARI 模型についてモデル化を行った。流体領域については VL10 模型の時と同様、Fig.6 のように複数の矩形浮体の集まりであると仮定し、group body の概念を取り入れて浮力体没水部についてモデル化を行っている。

構造領域については骨組モデルを用い、FEM 解析を行っているが、今回の模型に対応して二通りの骨組モデルについて検討を行った。一つは Fig.10 に示すように模型全体を VL10 模型と同様に水平方向の梁要素のみでモデル化したもので、これを model1 とした。もう一つは Fig.11 に示すように、アルミニウム板の上下の板を個別の梁要素でモデル化すると共に、ユニット端部についてはアルミニウム角材の鉛直部分についても梁要素を用いるなど、3 次元的な骨組み構造となっているもので、これを model2 とした。ここで結合部において複数の板が重なっている部分については完全に密着しているものと仮定して一枚の板と見なしている。また、アルミニウム板の下部に浮力材として取り付けられている軟質発泡ポリエチレンについてはアルミニウム板に比べて剛性が小さいことから、構造領域のモデル化では考慮していない。

超大型浮体構造物は水平面の広がり比べて厚さは非常に小さいことから、これまで行われてきた研究の多くは、model1 のように水平方向の要素のみでモデル化されている。この model1 で

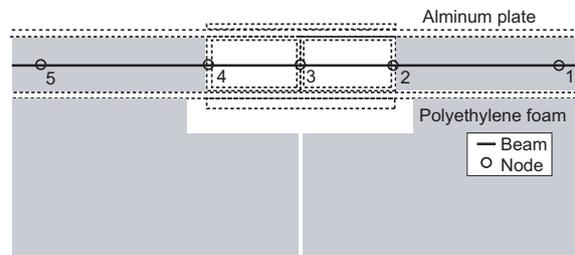


Fig. 10 Cross section of the model1.

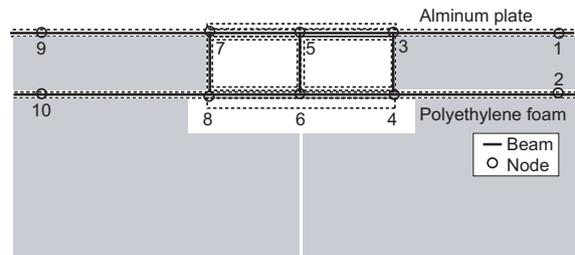


Fig. 11 Cross section of the model2.

はアルミニウム板の中央に梁要素を配置しており、曲げ剛性等の情報を FEM で用いるため、アルミニウム板の断面形状から断面積や断面二次モーメント、素材のヤング率等の情報を梁要素に入力している。また結合部においても同様に断面形状の情報をを用いている。しかしながら、節点 2, 3, 4 を通る鉛直部材については梁要素を配置しておらず、この鉛直部材の情報が構造計算に反映されていない。

一方、model2 ではそれぞれの部材について梁要素を用いて構造物全体をモデル化しており、梁要素に入力する情報はアルミニウム板の断面形状の情報である。そのため、節点番号 3-4, 5-6, 7-8 間における鉛直方向の梁要素によってアルミニウム角材の鉛直部分の断面形状の情報が入力できるようになっている。また 2.2 節でも説明しているが、本研究では水平方向の梁要素が十字に交差している部分の節点は浮体要素からの荷重を入力する点である。アルミニウム板の上下の板における同じ  $x$  および  $y$  座標位置の二つの節点について、この荷重入力点である節点を含む座標位置では上下の節点間にバネ要素を配置しており、鉛直方向の力について伝達を行っている。また、それ以外の節点については上下それぞれ独立である。

### 3.2.2 静的載荷試験

PARI 模型は結合部が存在し、そのため水平方向の剛性が一樣ではない。そこで、PARI 模型がどのような剛性の分布を持っているのか、その特徴を確認するために静的載荷試験を行った。2 章で述べたように浮体中央部 Fig.2 上の  $\times$  印に合計 3010.56N の重りを均等に配置することで荷重を加え、レーザー式変位計を浮体模型のセンターライン上に複数配置し、浮体模型の鉛直方向変位を測定した。また前項で構築した二つの構造モデルを用いて、水理模型実験と同様に静的載荷試験の数値解析を行った。そ

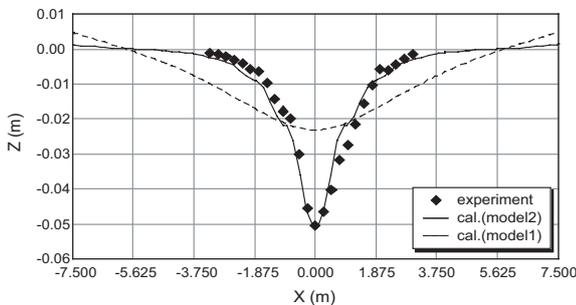


Fig. 12 Displacement in loading test.

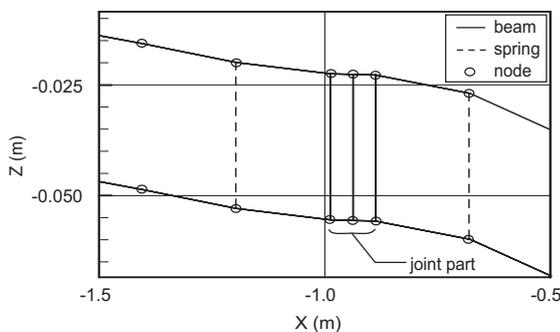


Fig. 13 Deformation of beam element.

の結果を Fig.12 に示す。また Fig.13 に model2 による数値解析結果について結合部近傍の変形挙動を示している。ここで縦軸は鉛直方向の実測値、横軸は浮体中央を zero とした時の浮体模型上の位置であり、単位は共にメートルである。また、グラフ中の記号および線種はそれぞれのグラフ中の凡例にしたがう。

水理模型実験では荷重を加えられた中央付近において約 5.0cm の変位が計測されたが、 $x = \pm 3.75\text{m}$  付近になると、ほとんど zero になっていることが分かる。また、結合部に回転変形が集中したたわみ形状が確認できる。この数値解析結果について model1 による数値解析では変位の最大値が約 2.3cm と実験値の半分以下であり、 $x$  軸方向の剛性が全体的に実際よりも大きくなっているものと考えられる。また模型実験で得られたような結合部におけるたわみ形状が再現されなかった。一方、model2 による数値解析では変位の最大値が実験値とほぼ一致するとともに、結合部におけるたわみ形状を再現できることが確認できた。またアルミニウム板部分については剪断変形よりも曲げ変形の方が卓越しているが結合部においては変形全体に対する剪断変形の割合が高くなるという解析結果が得られた。

なお、水理模型実験で見られる変位の非対称性については結合部におけるボルトの締め具合が必ずしも均等でなかったために生じたものと考えられる。

### 3.2.3 波浪中応答解析

次に波浪中弾性応答について見ていく。Fig.14 は波周期が 8.0sec の規則波が浮体に入射した時の浮体模型 Center line 上における応答振幅の分布である。Fig.14-(a) は入射波の波向が 60 度の時の実験値と計算値の比較を行ったものである。グラフの白丸、黒丸は模型実験の再現性を確認するために行われた 2 回の実験結果であり、Fig.2 に示す point35,36,...,39 において計測した値である。点線は model1 を用いた場合の計算結果、実線は model2 を用いた場合の計算結果である。model1 を用いた数値解析では、全体的に振幅が小さく、波上側の point39 を除けば実験値の半分以下となり、中央付近ではほとんど動揺していないという結果になった。一方 model2 を用いた場合は point35,38 において若干大きな値がでているものの、定性的には良い結果が得られている。

剛性が一樣な VL10 模型を用いた波浪中応答解析では定量的に良い結果が得られていた model1 が、PARI 模型のように剛性が一樣でない浮体構造物については数値解析精度が悪いのは、静的載荷試験の結果からも分かるように、剛性の変化が起きている場所において浮体の変形が十分に再現できないことが主な原因と考えられる。一方、静的載荷試験において変位の最大値や結合部におけるたわみ形状について再現できる model2 を用いた数値解析では、精度よく計算されていることが分かる。しかしながら、model2 を用いた場合でも定量的にみると、完全には一致していない。これは静的載荷試験による実験値が左右非対称になっていることなどから、数値解析モデルの剛性の分布と浮体模型の剛性の分布とは完全には一致していないことが原因の一つと考えられる。また、今回使用した浮体模型の喫水は 3.0cm であり、入射波の高さが 4.0cm よりも大きな場合には、肉眼による観測からも浮体模型がスラミングを起こしていることが確認された。このことから、入射波高が 4.0cm の実験においても、何らかの非線形性の影響が出ている可能性が考えられる。

また、ここで波向き 0 度及び 90 度についても検討を行った。Fig.14-(b) は、波向き 0 度の時の応答振幅分布であるが、入射波

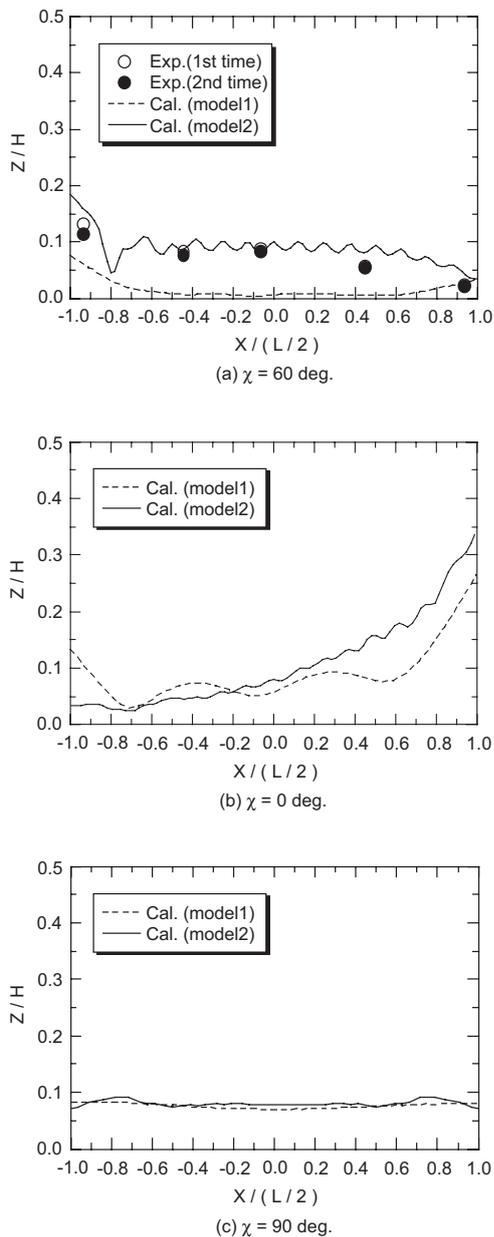


Fig. 14 Heaving amplitude in uni-directional wave.

の波向が 0 度の時だけ水深が 81.5cm と他の波向の時よりも水深が深くなっている。静的載荷試験で求められた計算結果と同様に  $x$  軸方向の剛性の再現性が悪い model1 と再現性がよい model2 とでは変形の傾向が違っており、定性的に見ても異なる結果を示している。Fig.14-(c) は波向 90 度の時の浮体中央における応答振幅分布であるが、model1 と model2 ではほぼ一致していることが分かる。これは、PARI 模型が  $y$  軸方向には結合部等による剛性が変化するような要因がなく、剛性が一様であるためと考えられる。

#### 4. PARI 模型の波浪中弾性応答解析

前章において数値解析の精度について検証を行った結果、構造領域について model2 を用いて計算することにより、PARI 模

型のような剛性が不均一な浮体構造物でも高い精度で計算できることが確認できた。本章では、数値解析による PARI 模型の波浪中応答特性について考察を行った。

Fig.15 ~ 17 は Fig.2 で示された各計測位置における計算結果であり、横軸に波周期をとり、縦軸に応答振幅を入射波の波高で無次元化した値を示したグラフである。ここで Fig.15 は浮体に対して入射波の波向が 0 度の場合、Fig.16 は波向が 60 度の場合、Fig.17 は波向が 90 度の場合のグラフである。ここでグラフ中の点線は model1、実線は model2 を用いた数値解析による結果である。

Fig.15 を見ていくと波向きが 0 度の場合、波下側では波周期が大きくなっても、鉛直方向の応答振幅はほとんど大きくなっていないことが分かる。一方、波上側にある Point39 や Point42 では波周期が長くなるにつれて、応答振幅が大きくなっていることが分かる。ただし、model1 を用いた数値解析による応答振幅は model2 を用いた場合に比べて小さくなっている。

次に、入射波の向きが 60 度の場合を見ていく。Fig.16 に示すように波向が 60 度の場合には、model1 及び model2 のどちらを選択するかによって数値解析の結果が大きく異なっている。波下側の Point35 では入射波の周期が長くなることで振幅も大きくなっているが、model2 では特に波周期が 8.0 秒から 10.0 秒の間に弾性応答の振幅が大きく増加している。これに対して model 1 では周期 9.0 秒までは応答振幅の増加が小さく、ほとんど揺れていないが、それより周期が長い領域では応答振幅が大きくなり続け、周期 13.0 秒では model2 による計算値よりも大きな値を示している。浮体中心部付近にあたる point36~38 では model1、model2 ともに波周期が長くなるにつれて浮体の動揺が大きくなっているが、model 1 を用いた計算結果は model2 を用いた計算結果に比べて応答振幅の値は半分以下しかなく、波浪中の浮体の動揺について、かなり小さな値しか得られていないことが確認できる。ただし、波上側の point39,42 における二つのモデルの解析値は、ほぼ一致している。

最後に浮体に対して入射波の波向が 90 度の場合を見ていく。Fig.17 に示すように model1、model2 のどちらを用いて計算を行っても、ほとんど同じ計算結果が得られた。これは PARI 模型が  $y$  軸方向にはユニット同士の連結がないことから剛性が一様になっており、そのため構造領域のモデル化による差がほとんどないものと考えられる。また実験結果との比較を行っていないものの、波周期の増加に対して応答変位は一定割合で増加していることや、PARI 模型の幅は 3.0 m と比較的狭いため、模型そのものが剛体に近い運動を行っていることが予想される。このことより、線形の範囲では厳密なものである VODAC を用いていることから、PARI 模型における波向 90 度の数値解析は高い精度で計算されていることが推測される。

入射波の波向が 0 度及び 60 度の時は model1 と model2 では計算結果が異なったが、model1 を用いて数値解析を行った結果は全般的に model2 を用いて数値解析を行った場合に比べてかなり小さな値を示していることが確認できた。3 章で検証した計算精度を考えると、model1 による数値解析は実現象よりも過小評価している危険性が高い。これらのことから数値計算のために対象構造物をモデル化するにあたって、剛性が一様な浮体構造物については問題ないが、結合部や鉛直部材の影響等により剛性が大きく変化するような構造物については、構造領域のモデル化の際に注意する必要があることを確認した。

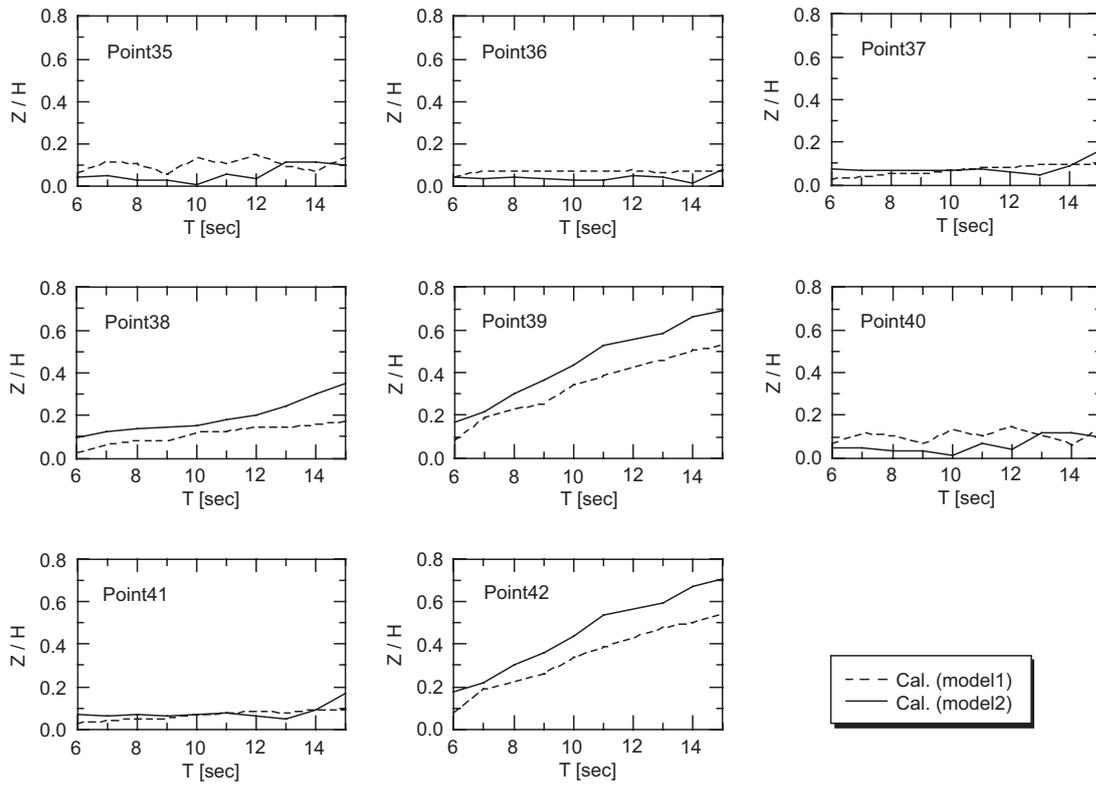


Fig. 15 Amplitude of vertical displacement in terms of wave period ( $\chi = 0 \text{ deg.}$ ).

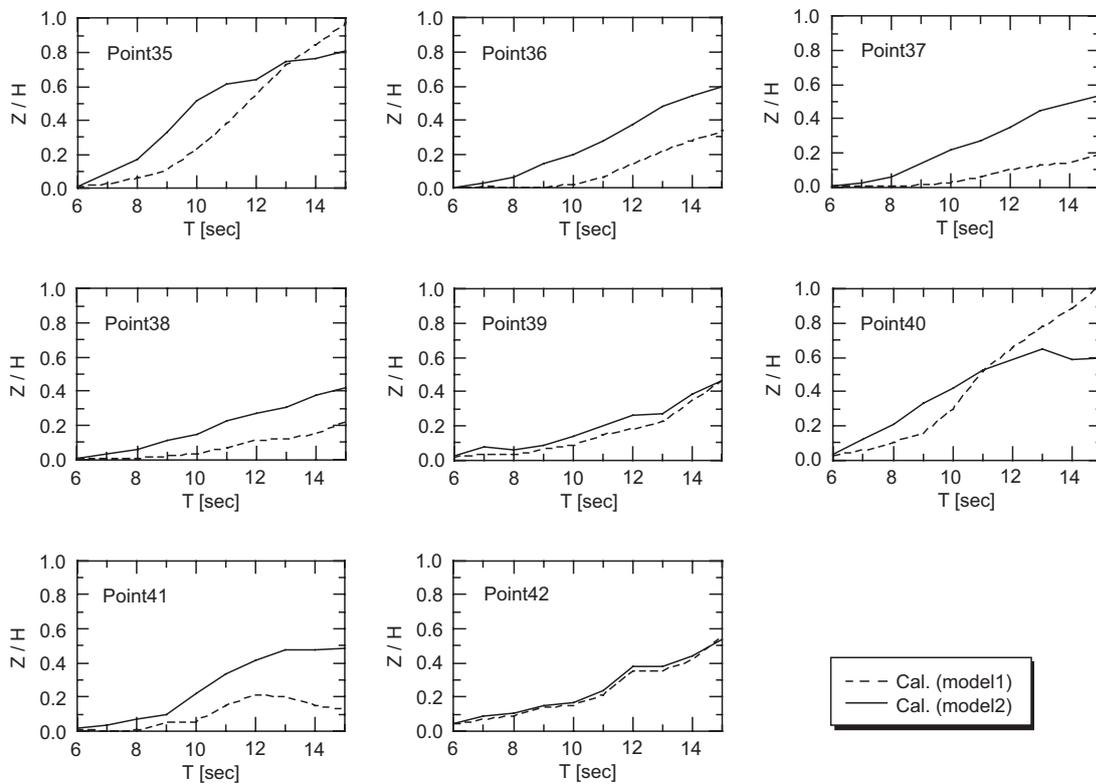


Fig. 16 Amplitude of vertical displacement in terms of wave period ( $\chi = 60 \text{ deg.}$ ).

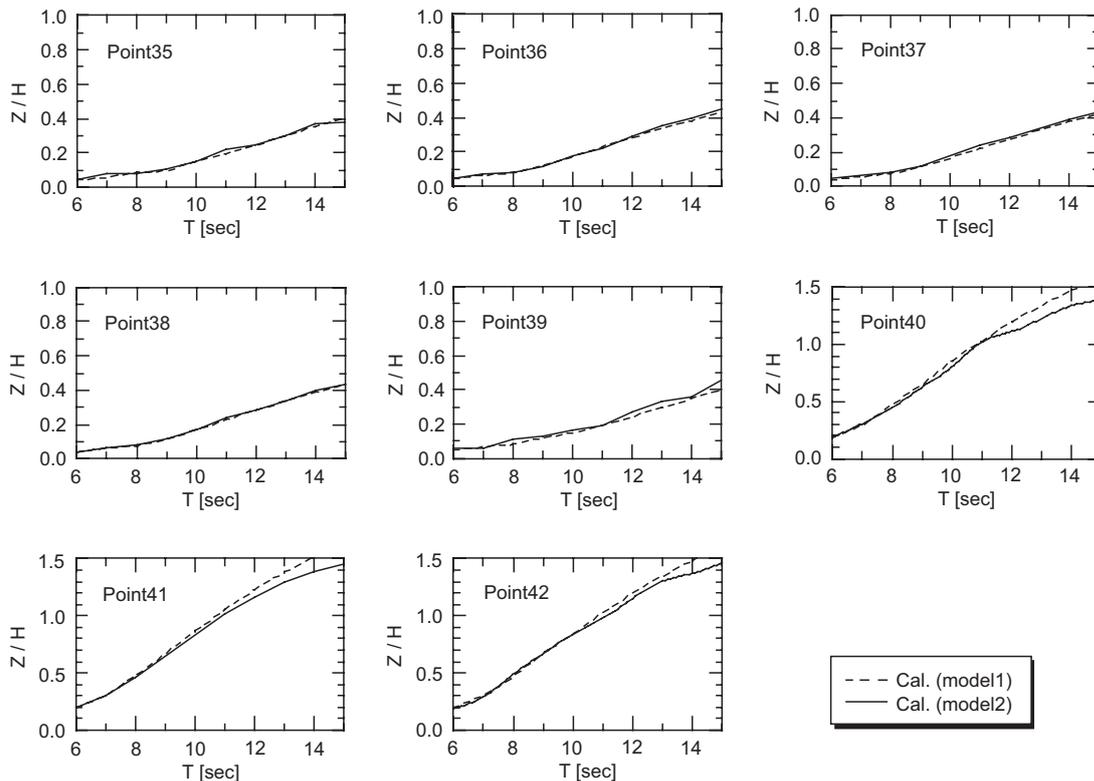


Fig. 17 Amplitude of vertical displacement in terms of wave period ( $\chi = 90 \text{ deg.}$ ).

## 5. 結 言

対象となる浮体構造物について、梁要素を用いた立体骨組構造でモデル化するような数値解析手法を用いる場合には、以下のような知見が得られた。

(1) 剛性が様な浮体構造物については水平方向の梁要素だけで構築された簡単な構造モデルを用いても、定量的に高い精度で数値解析を行うことができる。

(2) 超大型浮体構造物のように水平方向の大きさに比べて鉛直方向には非常に小さな構造物であったとしても、極端に剛性が変化するような連結部の存在は、従来型の 2 次元的な梁要素モデルでは鉛直部材の影響を再現することが難しく、結合部の影響を十分な精度で数値解析を行うことが難しい。

(3) 結合部等によって剛性が様でない構造物についても立体的に梁要素を配置することにより、数値解析の際に鉛直部材についても詳細な情報を入力すれば、定量的に高い精度で数値解析を行うことが可能である。

(4) PARI 模型は長手方向に剛性が非様な模型であるが、周期が長くなるにつれて浮体の動揺が大きくなる傾向は数値解析によって再現された。ただし、従来型の 2 次元的な梁要素モデルは 3 次元的な梁要素モデルによる解析結果よりも動揺量が小さい結果しか得られておらず、入射波の条件や計測位置によっては 2 倍以上も異なり、構造領域のモデル化の違いによる数値解析への影響は顕著である。

以上より、鉛直方向に対して水平方向に極端に大きな構造物であったとしても、剛性が非様なような結合部を有する構造物について数値解析モデルを構築するには、結合部の局所変形を考慮した構造領域の正確なモデル化を行うことが重要である。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、東京大学の鈴木英之教授および大阪大学の飯島一博助手には多大なるご助言を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 飯島一博, 鈴木英之, 吉田宏一郎: 超大型半潜水式浮体の波浪中構造応答解析, 日本造船学会論文集, 第 181 号, pp.281-288(1997).
- 2) 飯島一博: 超大型半潜水式浮体の波浪中応答解析と構造形態が構造応答に与える影響, 博士論文, (1997)
- 3) 矢後清和, 遠藤久芳: 浅喫水型浮体の波浪中弾性応答について, 日本造船学会論文集, 第 180 号, pp.341-352(1996).
- 4) Kagemoto, H. and Yue, D.K.P.: Interaction among multiple three-dimensional bodies in water waves, *J. Fluid Mech.*, Vol.166, 1986, pp.189-209.
- 5) Goo, J.S. and Yoshida, K.: A Numerical Method for Huge Semisubmersible Responses in Waves, *SNAME Transactions*, Vol.98, 1990
- 6) Iijima, K., Yoshida, K. and Suzuki, H.: Structural Design Methodology of VLFS from the viewpoint of Dynamic Response Characteristics, *VLFS'99*, Vol.1, 1999, pp.249-258.