

〔Ⅲ〕 浮体の動揺応答の推定法に関する研究

加藤 俊司*・安藤 定雄*

目 次

第1章 緒言	57	3.1.2 水槽模型試験	61
第2章 研究の概要	57	3.1.3 水槽模型試験結果及び理論推算値との比較	62
2.1 研究目標	57	3.1.4 大型浮遊式海洋構造物の波浪中における動揺応答特性	68
2.2 研究概要	57	第4章 研究成果の要約	69
2.3 研究計画	58	第5章 結言	69
第3章 研究実施内容及び結果	58		
3.1 規則波中における浮体の動揺応答特性	58		
3.1.1 理論計算法	58		

第1章 緒 言

海洋空間等の有効利用のために供する大型浮遊式海洋構造物は、波浪中における耐波性能や運動性能及び洋上における接合作業や維持補修等の面で優れている多列多行に配置した浮体にて上部構造物を支持する半潜水型の構造様式を適用することが有利であると考えられる。このような大型浮遊式海洋構造物は、多目的利用するために上部構造物の面積が巨大化し、それを支持する浮体も莫大な数になる傾向がある。

このように巨大かつ大規模な浮遊式海洋構造物を、気象及び海象条件が厳しい外洋に設置する際には、大型浮遊式海洋構造物の実現の可能性、稼働性や安全性等に関連する上部構造物の弾性撓みや係留等を検討する必要がある。その場合、波浪中における動揺応答特性を簡便かつ精度よく予測できる手法を確立することが、これらの検討の基礎となる重要な課題である。

半潜水式石油掘削リグ等の既存の浮遊式海洋構造物に関する波浪中における動揺応答特性の推定法及び推定精度の実情を見ると、通常、1971年に J.P.Hoofft¹⁾が提案した推定手法がよく用いられており、それによる推定値は、水槽試験及び実海域実験等にて計測された動揺量と極めてよく一致することが数多くの研究^{2),3),4)}にて検証されている。しかしながら、これらの浮遊式海洋構造物は、本論文の研究対象とする大型浮遊式海洋構造物と対比すると極めて小規模な浮遊式海

洋構造物であり、支持浮体の数も極めて少ない。

そこで、本研究においては、Hoofftの推定手法を改良して波力や流体力等の推算精度の向上を図るとともに、形状が異なる支持浮体を組み合わせた巨大かつ大規模な浮遊式海洋構造物の波浪中における動揺応答特性を比較的簡単に予測できる計算プログラムを作成した。そして、大型浮遊式海洋構造物の部分模型及び大型模型による波浪中動揺試験から得られた動揺量と改良計算法による推定値との比較検討を行った。その結果、波浪中における動揺応答特性を極めてよい精度にて予測できる手法を完成させた。

第2章 研究の概要

2.1 研究目標

本研究の目標は、海洋空間等の面的利用のために供する巨大かつ大規模な浮遊式海洋構造物の波浪中における動揺応答特性を、無係留状態で上部構造物が剛体であるとの仮定に基づいて精度よく予測できる数値計算プログラムを開発することである。その数値計算プログラムを用いれば、「浮体の耐波設計法に関する研究」における浮体の弾性撓み変形や曲げモーメント、「浮体の複数係留システムと総合把駐力に関する研究」における係留システムに働く係留力、或は「浮遊式海洋構造物の実海域実験」における構造物の諸性能等を推定することが可能となる。

2.2 研究概要

本研究では、以下に示すような手法に従って数値計算プログラムを開発した。

*海洋開発工学部 運動性研究室

(1) 一般に用いられる Hooft の手法をそのまま単純に適用すると支持浮体数が莫大であるため、計算量が飛躍的に増大する。そこで、本研究の対象としている大型浮遊式海洋構造物は、等間隔に配列された支持浮体にて上部構造物を支える構造様式になるように支持浮体の形状が変化した場合には、支持浮体に働く外力及び流体力等を分割して与える簡略化を行っている。

(2) 外力及び流体力の推定には、「浮体に働く外力及び流体力の推定法に関する研究」において模型試験等で十分検証された3次元理論計算^{9),10),11)}を適用する。

(3) 大型浮遊式海洋構造物の波浪中応答特性を予測する数値計算手法は、既に浮体工法による海上空港建設に係わる評価のための技術調査研究⁹⁾等によって確立されている推定手法を応用し、改良数値計算プログラムを完成する。

(4) 大型浮遊式海洋構造物の部分模型及び大型模型を用いて波浪中における動揺応答特性の計測試験を行い、そこで求めた動揺応答特性と完成した数値計算プログラムを用いて求めた推算値とを比較検討し、推定精度の確認を行う。

以上の過程を経て実機規模の大型浮遊式海洋構造物の波浪中における動揺応答特性を、任意の大きさ及び任意の支持浮体の組み合わせ等に関して精度よく予測できる数値計算プログラムを完成させた。

2.3 研究計画

本研究の年次計画は、「大型浮遊式海洋構造物の建設基礎技術に関する研究」の第I期技術開発の前半である昭和57年度及び昭和58年度において実施された。

昭和57年度においては、推定手法の簡略化、既存の数値計算プログラムの改良及び浮体に働く外力及び流体力の検討等を行った。

昭和58年度においては、大型浮遊式海洋構造物の部分模型及び大型模型を用いて無係留状態の波浪中における動揺試験を行い、そこで得られた浮体の動揺応答特性と改良数値計算プログラムによる推算値との比較検討等を行った。そして、波浪中における動揺応答特性を理論的に精度よく予測できる数値計算プログラムを完成することができた。

第3章 研究実施内容及び結果

3.1 規則波中における浮体の動揺応答特性

3.1.1 理論計算法

多列多行に配置された浮体にて上部構造物を支持する構造様式を有する大型構造物の、波浪中における動揺応答特性を理論的に推定する際の基本的な仮定は、次の通りである。

- イ) 波浪外力及び浮体の動揺等は入射波の周波数と等しい調和振動である。
- ロ) 波は微小振幅波であり、その波に対する浮体の動揺量も微小振幅である。
- ハ) 非線形減衰力は、浮体の動揺と波粒子との相対速度の自乗の項にて考慮し、等価線形化して計算の簡略化を図っている。

(1) 支持浮体の形状

本研究に用いた上部構造物を支持する浮体（以後、支持浮体と称する。）としては、図3.1に示すようなフーティング型、ローワーハル型及びポントーン型の3種類である。

(2) 大型構造物の運動方程式

大型構造物の波浪中における6自由度の運動方程式は、一般に非線形減衰力を考慮した場合、次式のように書き表わすことができる。

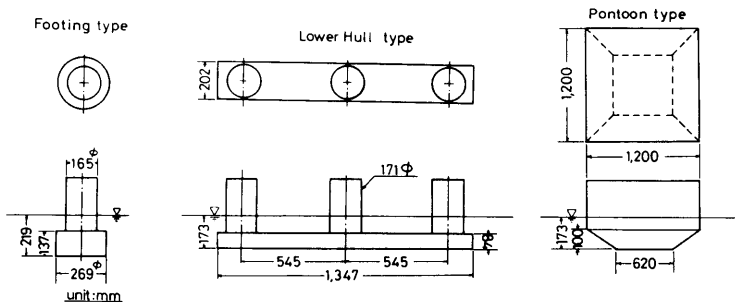


図3.1 支持浮体の形状

$$\sum_{i=1}^6 \{ (M_{ji} + a_{ji}) \dot{X}_i + N_{ji}^I \dot{X}_i + N_{ji}^{II} |\dot{X}_i - \bar{U}_i| (\dot{X}_i - \bar{U}_i) + K_{ji} X_i \} = F_j, \quad (j=1, 2, \dots, 6) \quad (3.1)$$

ここで、 X_i は浮体の重心における*i*方向の運動、*i*、*j* = 1, 2, ..., 6は、それぞれ前後揺れ、左右揺れ、横揺れ、縦揺れ及び水平回転運動に対応する。

$$M_{ji} = \begin{bmatrix} M & & & & & \\ & M & & & & \\ & & M & & & \\ & & & I_4 & & \\ & & & & I_5 & \\ & & & & & I_6 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

M 及び I_j ($j=4, 5, 6$)はそれぞれ浮体の質量及び*j*軸まわりの慣性モーメントである。 a_{ji} は浮体の付加質量または付加慣性モーメント、 N_{ji}^I は造波減衰係数、 N_{ji}^{II} は粘性減衰係数、 \bar{U}_i は平均波粒子速度、 K_{ji} は静的流体圧力によって生ずる線形復原力係数、 F_j は波浪強制力である。なお、座標系は図3.2に示すように定め、その原点を、構造物の重心とする。

通常、(3.1)式を解く方法としては、時間領域または周波数領域の解法が考えられるが、ここでは周波数領域による解法について述べる。

まず、(3.1)式で左辺の第3項が含まれない線形運動方程式を解いて X_i の初期値 $X_i^{(0)}$ を求め、その値を用いて浮体の運動速度と波の水粒子速度とから $|\dot{X}_i^{(0)} - \bar{U}_i|$ を求め(3.1)式の第3項を等価線形化して書き換えた次式に代入して

$$\sum_{i=1}^6 \{ (M_{ji} + a_{ji}) \dot{X}_i + \{ N_{ji}^I + \frac{8}{3\pi} N_{ji}^{II} |\dot{X}_i^{(0)} - \bar{U}_i| \} \dot{X}_i + K_{ji} X_i \} = F_j + \sum_{i=1}^6 \frac{8}{3\pi} N_{ji}^{II} |\dot{X}_i^{(0)} - \bar{U}_i| \bar{U}_i \quad (3.3)$$

($j=1, 2, \dots, 6$)

1次近似解 $X_i^{(1)}$ を求め、この解を再び(3.2)式に代入して解くといった操作を繰り返して行い、 $(X_i^{(n)} - X_i^{(n-1)})$ が所要の精度で収束するまで繰り返し計算し、最終的な $X_i^{(n)}$ を解 X_i とする。

その際、(3.3)式の運動方程式の各項の係数は次のように設定する。

イ) 流体力係数

流体力係数は、支持浮体の形状に応じて、3次元特異点分布法⁹⁾、または有限要素法⁶⁾等を用いて求める。そして、各動揺モードにおける支持浮体単体に働く付加質量または付加慣性モーメント及び造波減衰係数を支持浮体の基数分だけ単純加算したものを大型海洋構造物に働く流体力とする。なお、支持浮体間の相互干渉は、各支持浮体単独に働く流体力係数に修正係数を乗じることで考慮することができる。

さらに、連成運動時の連成流体力係数は次のようにして求められる。

図3.3に示すように、各支持浮体に働く流体力の作用

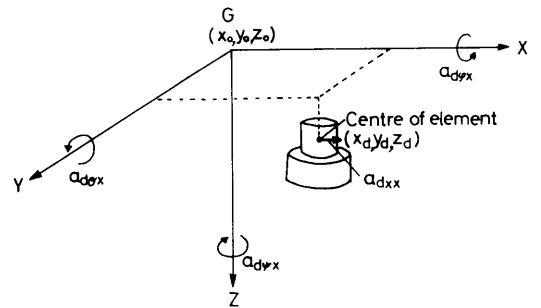


図3.3 支持浮体に働く流体力の作用点と原点との関係

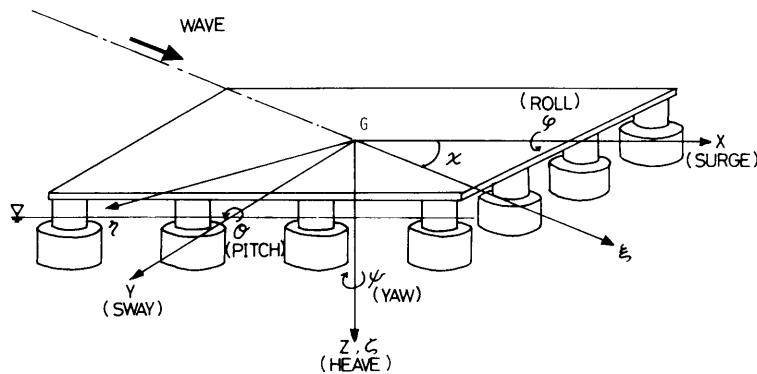


図3.2 大型浮遊式海洋構造物の座標系

点を (x_d, y_d, z_d) とする。その作用点は、通常、水面まわりの連成流体力係数を用いて逆算して求めるが、連成流体力係数が求められない場合は、浮心であるとする。今 x, y 及び z 方向の流体力係数を a_{dxx}, a_{dyy} 及び a_{dzz} とすれば、支持浮体が x 方向に振動した場合の大型浮遊式海洋構造物の重心 (x_0, y_0, z_0) まわりの連成流体力係数の間に次の関係がある。

$$\left. \begin{aligned} a_{d\varphi x} &= a_{d\varphi y} = a_{d\varphi z} = 0 \\ a_{d\theta x} &= a_{dxx}(z_d - z_0) \\ a_{d\varphi x} &= -a_{dxx}(y_d - y_0) \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

同様にして他の動揺モードに対しても連成流体力係数を求めることができる。

ロ) 粘性減衰力係数

x, y 及び z 方向の各支持浮体に働く粘性減衰力係数を q_{dx}, q_{dy}, q_{dz} とすれば、これらの値は次式で求めることができる。

$$\left. \begin{aligned} q_{dx} &= C_{Dx} S_x \\ q_{dy} &= C_{Dy} S_y \\ q_{dz} &= C_{Dz} S_z \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

ここで、 C_{Dx}, C_{Dy} 及び C_{Dz} は各動揺方向の抗力係数で、これらの係数は支持浮体単独の各動揺モードに対する強制動揺試験または、支持浮体で支持される部分模型による平水中における自由動揺試験にて求まる各動揺モードの減減曲線から求めることができる。

さらに連成粘性減衰力係数については、粘性減衰力の作用点が流体力の作用点と等しいとして、連成流体力係数を求める方法と同じ方法を用いて求めることができる。

以上から求まる粘性減衰力係数を支持浮体の基数分だけ加算することによって、構造物の重心まわりの粘性減衰力係数 N_{ji}^{II} を求めることができる。

ハ) 復原力係数

復原力係数は、各支持浮体の水線面積 (S_{0d}) 及び水線面の面積中心 (x_{0d}, y_{0d}, z_{0d}) から次式で求めることができる。

$$\left. \begin{aligned} K_{33} &= \sum \rho g S_{0d} & K_{44} &= \sum \rho g S_{0d} (y_{0d} - y_0)^2 \\ K_{34} &= \sum \rho g S_{0d} (y_{0d} - y_0) & K_{55} &= \sum \rho g S_{0d} (x_{0d} - x_0)^2 \\ K_{35} &= \sum \rho g S_{0d} (x_{0d} - x_0) & K_{45} &= -\sum \rho g S_{0d} (y_{0d} - y_0)(x_{0d} - x_0) \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

ここで、 ρ は流体密度、 g は重力加速度である。

ニ) 波浪強制力及びモーメント

波が伝播して来る方向を浮体の x 軸に対して角度 (χ) を成す ξ 軸とし、その軸に垂直な軸を η と ζ 軸とすれば各支持浮体に働く x, y 及び z 方向の波浪強制力の振幅と位相 $(F_{dx}, F_{dy}, F_{dz}, \varepsilon_{fx}, \varepsilon_{fy}, \varepsilon_{fz})$ 並

びに支持浮体の水線面における x, y 及び z 軸まわりの波浪強制モーメントの振幅と位相 $(M_{dx}, M_{dy}, M_{dz}, \varepsilon_{MX}, \varepsilon_{MY}, \varepsilon_{MZ})$ とから、任意の入射波に対する各支持浮体による構造物の重心に対する波浪強制力及びモーメントは、次式にて求めることができる。

$$\left. \begin{aligned} F_{d1} &= F_{dx} \sin(\omega t - k\xi - \varepsilon_{fx}) \\ F_{d2} &= F_{dy} \sin(\omega t - k\xi - \varepsilon_{fy}) \\ F_{d3} &= F_{dz} \sin(\omega t - k\xi - \varepsilon_{fz}) \\ F_{d4} &= F_{d3}(y_{0d} - y_0) - F_{d2}(z_{0d} - z_0) + M_{dx} \sin(\omega t - k\xi - \varepsilon_{MX}) \\ F_{d5} &= F_{d1}(z_{0d} - z_0) - F_{d3}(x_{0d} - x_0) + M_{dy} \sin(\omega t - k\xi - \varepsilon_{MY}) \\ F_{d6} &= F_{d2}(x_{0d} - x_0) - F_{d1}(y_{0d} - y_0) + M_{dz} \sin(\omega t - k\xi - \varepsilon_{MZ}) \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

ここで、 ω は入射波の円周波数、 k は波数である。

上式にて求まる各支持浮体単独の構造物の重心に対する波浪強制力及びモーメントを単純加算して大型構造物に働く波浪強制力及びモーメントを求める。なお、支持浮体間の相互干渉は、流体力係数と同様に修正係数という形で考慮することができる。

各支持浮体の形状に対する (3.7) 式の計算手法を以下に詳述する。

i) フーティング型支持浮体の場合

フーティング型支持浮体は軸対称形状であるため、一方向の入射波について支持浮体単独に働く波浪強制力を有限要素法⁶⁾または固有関数展開法⁷⁾にて求めておけば、(3.7) 式は次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} F_{d1} &= F_\xi \cos \chi \sin(\omega t - k\xi - \varepsilon_\xi) \\ F_{d2} &= F_\xi \sin \chi \sin(\omega t - k\xi - \varepsilon_\xi) \\ F_{d3} &= F_\zeta \sin(\omega t - k\xi - \varepsilon_\zeta) \\ F_{d4} &= F_{d3}(y_{0d} - y_0) - F_{d2}(z_{0d} + l_z - z_0) \\ F_{d5} &= F_{d1}(z_{0d} + l_z - z_0) - F_{d3}(x_{0d} - x_0) \\ F_{d6} &= F_{d2}(x_{0d} - x_0) - F_{d1}(y_{0d} - y_0) \end{aligned} \right\} \quad (3.7)'$$

ここで、 F_ξ, F_ζ 及び $\varepsilon_\xi, \varepsilon_\zeta$ は ξ 方向の波浪強制力の振幅と位相であり、 l_z は水線面から浮心までの距離である。

ii) ローハル型及びポンツーン型支持浮体の場合

ローハル型及びポンツーン型支持浮体の場合には、波の入射角が $0^\circ, 45^\circ$ 及び 90° についてのみ支持浮体単独に働く波浪強制力を 3次元特異点分布法⁵⁾にて求めておけば、それ以外の任意の入射角に対しては 3点の値を用いた 2次式補間にて x, y 及び z 方向の波浪強制力及び水線面における x, y 及び z 軸まわりの波浪強制モーメントを求め、(3.7) 式に代入して、大型浮遊式海洋構造物の重心に対する波浪強制力及びモーメントを求める。

ホ) 質量及び慣性モーメント

大型構造物の質量は、各支持浮体の排水量を単純加算し、それを重力加速度にて除して求める。

また、慣性モーメントは、各支持浮体の質量に各支持浮体の重心位置と大型構造物の重心位置との距離の自乗を乗じ、それを単純加算して求める。

なお、慣性モーメントに関しては、空气中または平水中における自由動揺試験より求まる値を使用することも可能である。

(3) 数値計算手法

大型構造物の波浪中における動揺応答特性の数値計算プログラムを用いて計算する際の流れ図を図3.4に示す。

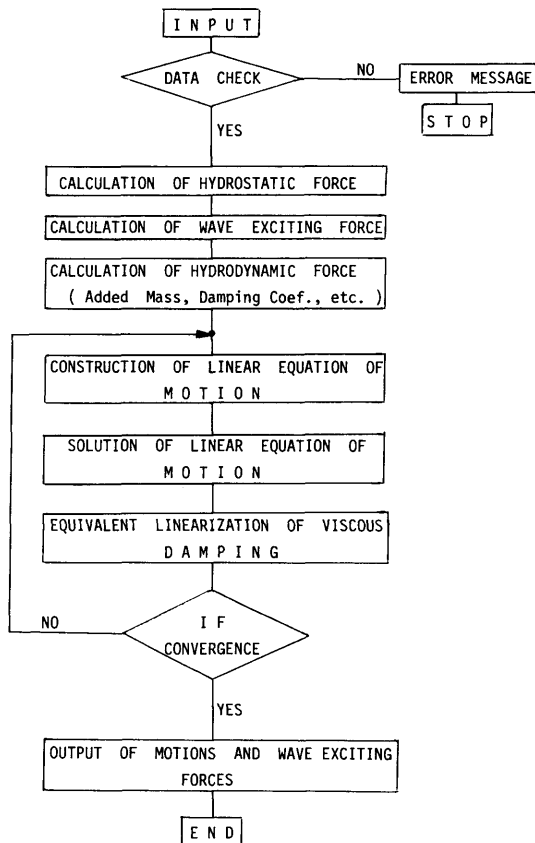


図3.4 大型浮遊式海洋構造物の波浪中における動揺応答特性の数値計算の流れ図

3.1.2 水槽模型試験

(1) 部分模型試験

大型構造物の部分模型についての規則波中における動揺応答特性は、無係留状態で水深が1.8mに対して求められた。フーティング型、ローハル型及びポンツーン型の支持浮体による3種類の供試模型の主要目及び実験状態は表3.1に、供試模型の概要図を図3.5に

表3.1 部分模型の主要目

支持浮体	フーティング型	ローハル型	ポンツーン型
全長	6.00 m	6.00 m	6.00 m
全幅	1.63 m	1.63 m	1.63 m
喫水	0.219 m	0.167 m	0.167 m
排水量	314.4 kg	314.3 kg	550.2 kg
要素浮体数	33個	11個	3個
\overline{GM}_ℓ	5.05 m	5.70 m	26.55 m
\overline{GM}_t	0.126 m	0.195 m	0.661 m

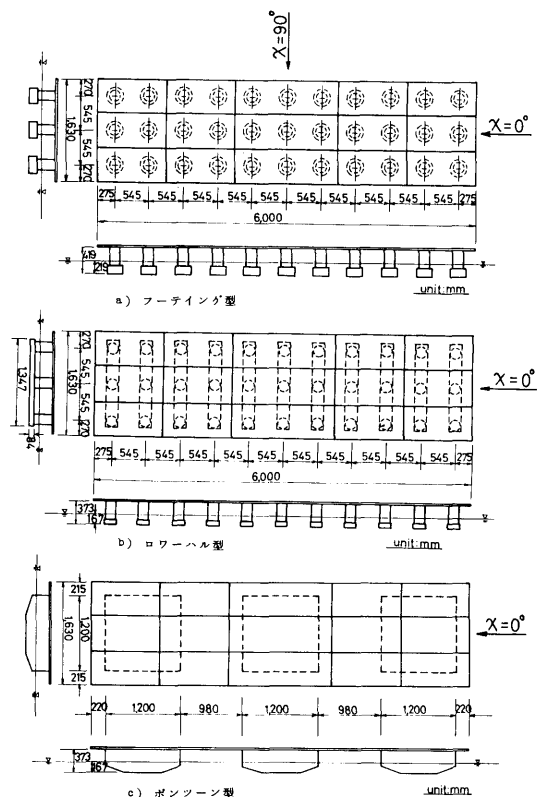


図3.5 部分模型の概要図

それぞれ示す。なお、縮率は実機の $\frac{1}{30}$ である。

波浪条件は、波高が6 cm~16cm (実機換算で1.8~4.8m) の範囲で縦波 ($\chi=0^\circ$) 及び横波 ($\chi=90^\circ$) である。

水槽模型試験は、海洋構造物試験水槽で水平回転運動だけを拘束した状態で実施した。

計測項目は、サーボ式波高計による入射波の計測及び機構式の6自由度動揺計測装置による模型中心の上部構造物上における5自由度の運動の計測である。

(2) 大型模型試験

構造物の大型模型についての規則波中における動揺応答特性は、部分模型とほぼ同様な試験手法にて求めた。

供試模型は、フーティング型支持浮体の大型模型I型、フーティング型とローハル型支持浮体混合の大型模型II型及びフーティング型、ローハル型とポンツーン型支持浮体の3種混合の大型模型III型の3種類である。それらの供試模型の主要目及び実験状態を表3.2に、概要図を図3.6に示す。なお、縮率は $\frac{1}{30}$ である。

波浪条件は、標準波高を167mm (実機換算で5.0m) としたが、一部の波周期については、100, 120及び260 mm に変化させて波高影響を調べた。波との出会角は、I型模型では $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ 及び 90° の4種類、II型模型では 30° のみ、そしてIII型模型では 0° と 30° の2種類である。

3.1.3 水槽模型試験結果及び理論推算値との比較

(1) 部分模型

水槽模型試験にて3種類の部分模型について波浪中における5自由度の動揺応答特性を求めた結果を前後揺れ、左右揺れ、上下揺れ、横揺れ及び縦揺れの順に図3.7から図3.11に示す。図中の丸印が縦波中 ($\chi=$

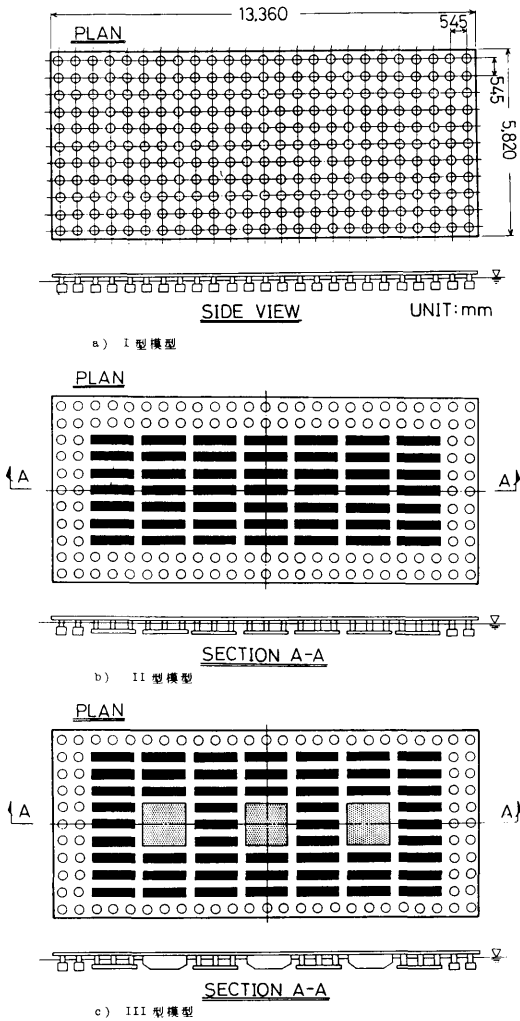


図3.6 大型模型の概要図及び支持浮体の配列

表3.2 大型模型の主要目

大型模型の種類		I 型	II 型	III 型
全 長	m	13.36	13.36	13.36
全 幅	m	5.82	5.82	5.82
排 水 量	kg	2622.4	2620.8	2926.2
支持浮体の本数 本	フーティング	275	128	86
	ローハル		49	54
	ポンツーン			3

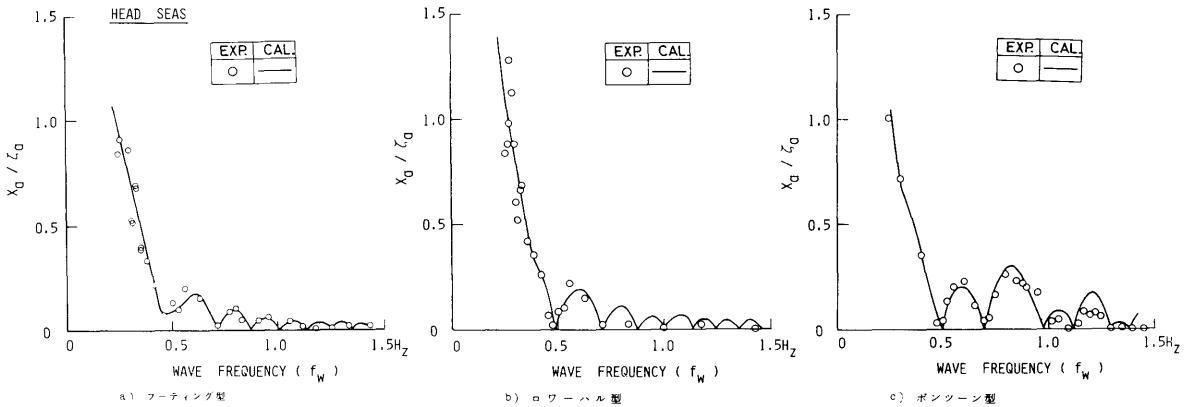


図3.7 部分模型の前後揺れの周波数応答特性

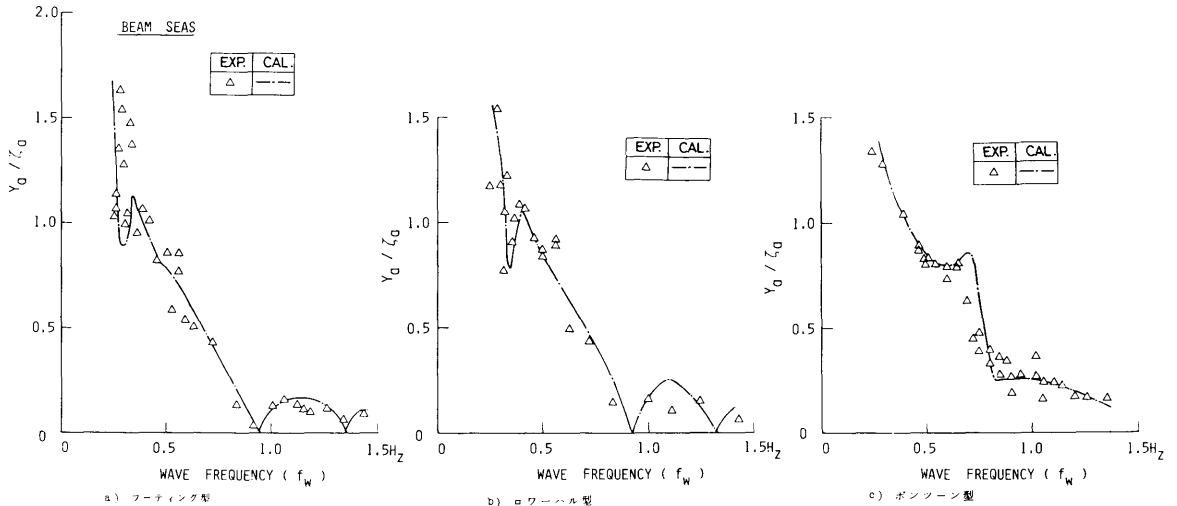


図3.8 部分模型の左右揺れの周波数応答特性

0°), 三角印が横波中 ($\chi=90^\circ$) における動揺応答特性の実験値であり, 矢印は平水中における自由動揺試験にて求めた各動揺モードの固有周波数である。また, 図中の実線が縦波中, 一点鎖線が横波中における動揺応答特性の理論推算値である。なお, 理論推算には, 支持浮体間の相互干渉を考慮してないが, 粘性減衰力は, 浮体に働く外力及び流体力の推定法に関する研究の成果, 浮体工法による海上空港建設に係わる評価のための技術調査研究⁸⁾及びこの研究で実施した平水中における自由動揺試験結果から求めた非線形減衰力係数等を考慮し, 前後揺れ及び左右揺れに関しては支持浮体の形状に関係なく (3.4) 式の C_D を総て 1.0 とし, 上下揺れに関しては, フーティング型で 1.5, ローハ

ル型で 4.0 及びポンツーン型で 5.0 の一定値を適用している。

図の横軸は, 模型に対する波周波数であり, 縦軸は, 変位の振幅を波振幅に対する比, 回転角の振幅を最大波傾斜角に対する比で示している。

イ) 前後揺れの応答特性

図3.7によると3種類の部分模型とも水槽模型試験結果と理論推算値とは極めてよく一致しており, 今回の試験範囲では支持浮体間の相互干渉等を無視し, 粘性減衰力だけを考慮すれば充分なる精度で予測できることが確認された。

ロ) 左右揺れの応答特性

図3.8によると3種類の部分模型とも水槽模型試験

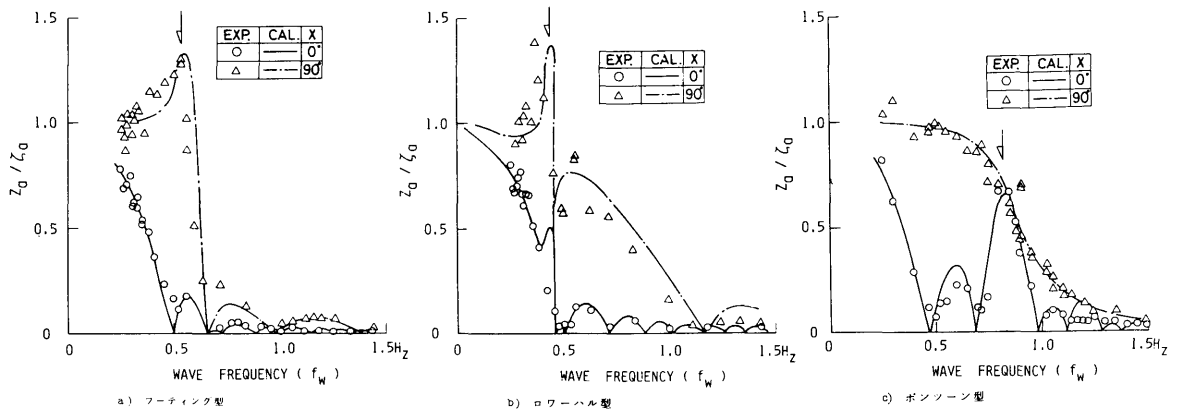


図3.9 部分模型の上下揺れの周波数応答特性

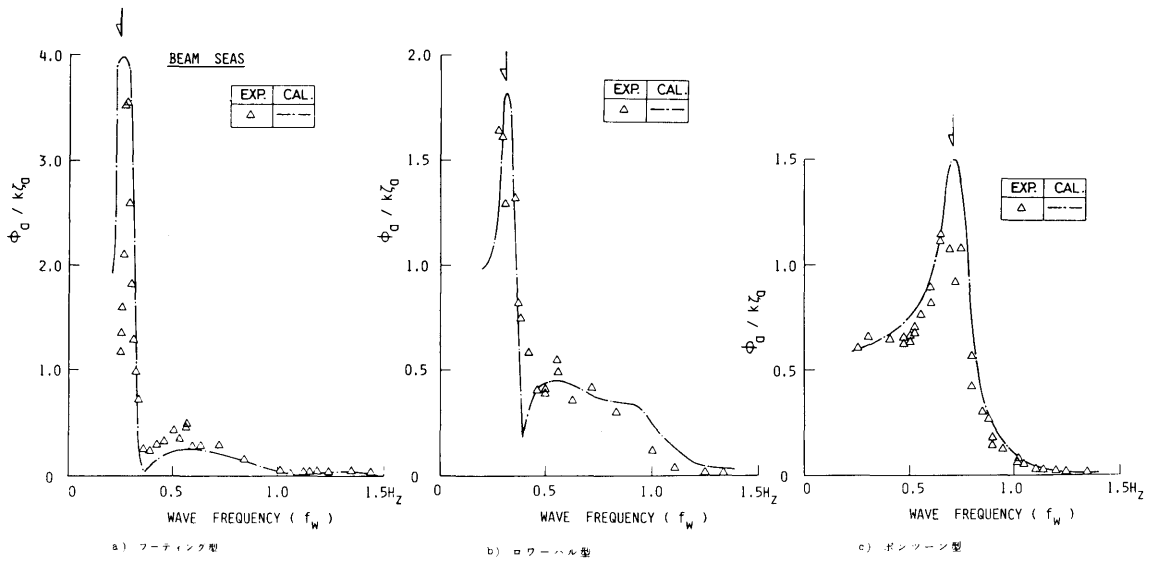


図3.10 部分模型の横揺れの周波数応答特性

結果と理論推算値とは極めてよく一致しており、今回の試験範囲では、前後揺れと同様に粘性減衰力だけを考慮すれば充分なる精度で予測できることが確認された。

ハ) 上下揺れの応答特性

図3.9から3種類の部分模型とも縦波中、横波中における水槽模型試験結果はいずれも理論推算値とも極めてよく一致しており、今回の試験範囲では、前後揺れ及び左右揺れと同様に粘性減衰力だけを考慮すれば充分なる精度で上下揺れを予測できることが確認された。また、支持浮体の形状による粘性減衰力の設定値は、

適正な値であるといえる。

ニ) 横揺れの応答特性

図3.10から3種類の部分模型とも水槽模型試験結果の横揺れの周波数応答特性及び固有周波数とも理論推算値とほぼよく一致しており、今回の試験範囲では、支持浮体間の相互干渉等を無視し、粘性減衰力だけを考慮すれば相当な精度で横揺れを予測できることが確認された。しかしながら、横揺れの固有周波数付近については、理論推算値が水槽模型試験結果より高い応答特性を与えている。したがって、総ての支持浮体ともに粘性減衰力係数を多少大きな値に設定すべきであ

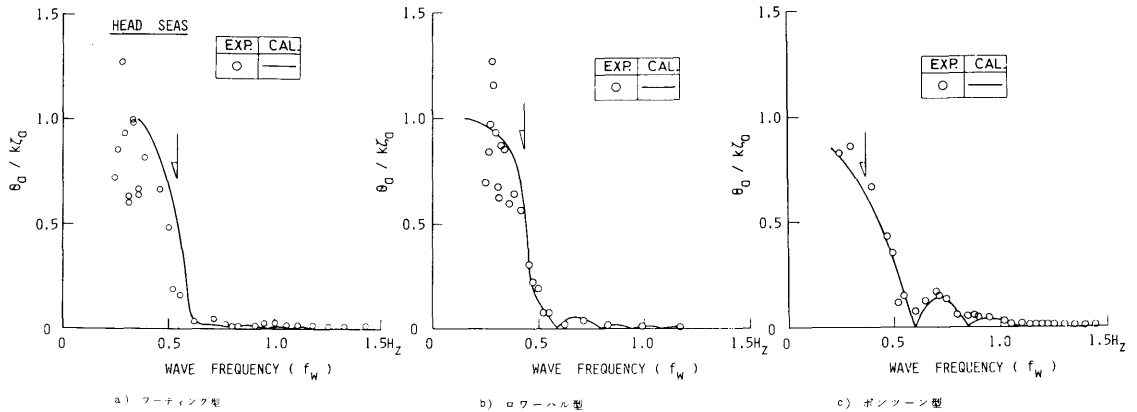


図3.11 部分模型の縦揺れの周波数応答特性

ろう。

ホ) 縦揺れの応答特性

図3.11から3種類の部分模型とも周波数で0.5Hz以上の高周波領域においては、水槽模型試験結果と理論推算値とも極めてよく一致しており、今回の試験範囲では、支持浮体間の相互干渉等を無視し、粘性減衰力だけを考慮すれば充分なる精度で予測できることが確認された。しかしながら、波周波数で0.5Hz以下の低周波数領域においては、水槽模型試験結果と理論値との一致度が必ずしも良好であるとは云えない。低周波数領域では造波装置の能力から充分なる波高が起こすことができないうために最大波傾斜角も極端に小さくなるので、縦揺れの振幅が小さくなり、計測精度上の誤差や入射波の正弦性が確保できなくなる等を勘案すると縦揺れの応答特性に関する水槽模型試験結果と理論推算値とはほぼよく一致しており、粘性減衰力だけを考慮すればほぼよい精度で予測できることが確認された。

以上、述べてきたように大型構造物の部分模型程度の主要目であれば、上部構造物の剛性や支持浮体間の相互干渉等を無視し、粘性減衰力だけを適正に設定しておけば極めてよい精度で波浪中における動揺応答特性を予測できる。

(2) 大型模型

水槽模型試験にて3種類の大型模型について波浪中における5自由度の動揺応答性を求めた結果を前後揺れ、左右揺れ、上下揺れ、横揺れ及び縦揺れの順に図3.12から図3.16に示す。図中の丸印が縦波中($\chi = 0^\circ$)、三角印が横波中($\chi = 90^\circ$)を、逆三角形と四角印

がそれぞれ $\chi = 30^\circ$ と 60° の斜め波中における動揺応答特性の水槽模型試験にて求めた値であり、実線が縦波中、破線が横波中、一点と二点鎖線がそれぞれ $\chi = 30^\circ$ と 60° の斜め波中における動揺応答性の理論推算値である。

なお、理論推算では部分模型の場合と同じく支持浮体の相互干渉を考慮しないで粘性減衰力のみを考慮した。また、横軸、縦軸の表現法は、部分模型の場合と同じである。

イ) 前後揺れの応答特性

図3.12から3種類の大型模型とも水槽模型試験結果と理論推算値とは極めてよく一致している。したがって、模型を大型化しても部分模型と同様な理論推定法が適用できることが確認された。

なお、大型模型になると部分模型よりも低い周波数から応答特性が小さくなり、応答特性の変動する回数が増加することが判る。この様な傾向を基にして、大型構造物の前後揺れの応答特性を予測すると、極めて低い周波数から応答特性が小さくなり、応答特性の変動も増加するであろう。前後揺れの応答特性が変動する主要因は、支持浮体に作用する波浪強制力が取り付け場所によって位相が異なるため、全体の支持浮体に作用する波浪強制力にした際、波浪強制力が相殺しあって零となる波周波数が存在するからである。

ロ) 左右揺れの応答特性

図3.13から左右揺れの応答特性は、今回実施した範囲で前後揺れの応答特性と同様に粘性減衰力を考慮すれば充分なる精度で予測することが確認された。また、大型浮遊式海洋構造物の左右揺れの応答特性も大略予

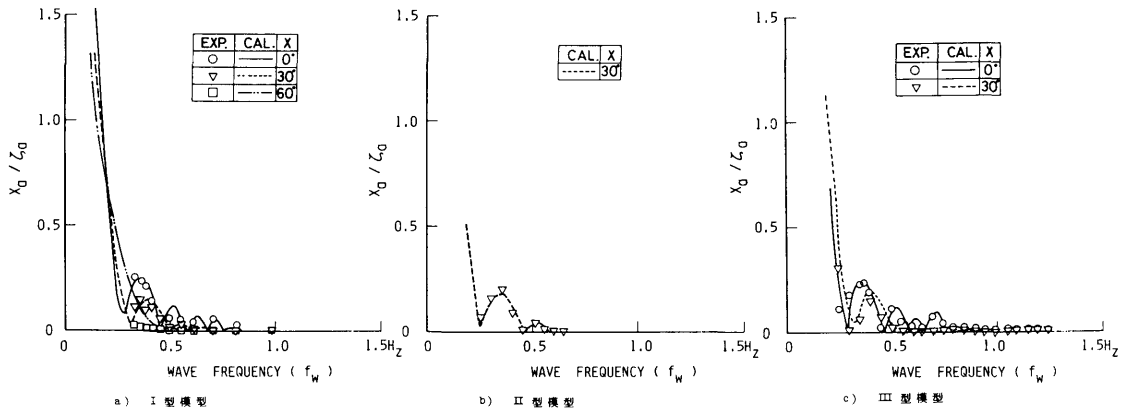


図3.12 大型模型の前後揺れの周波数応答特性

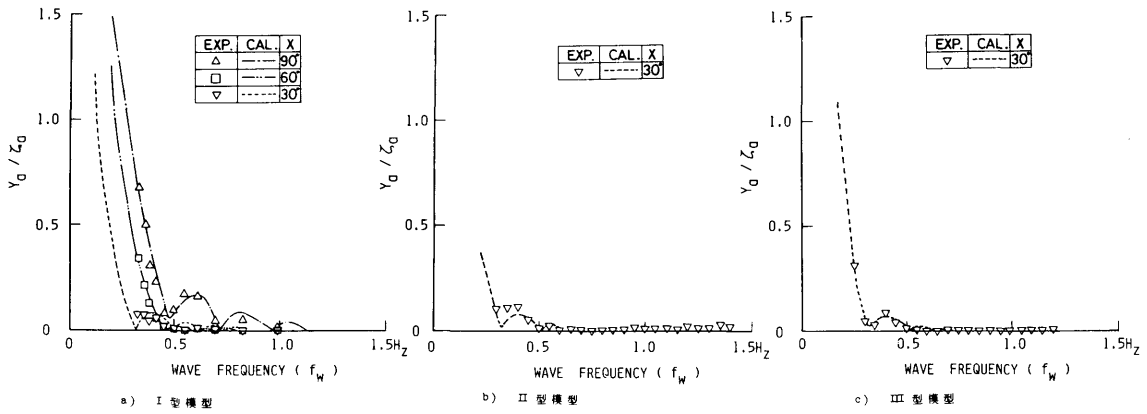


図3.13 大型模型の左右揺れの周波数応答特性

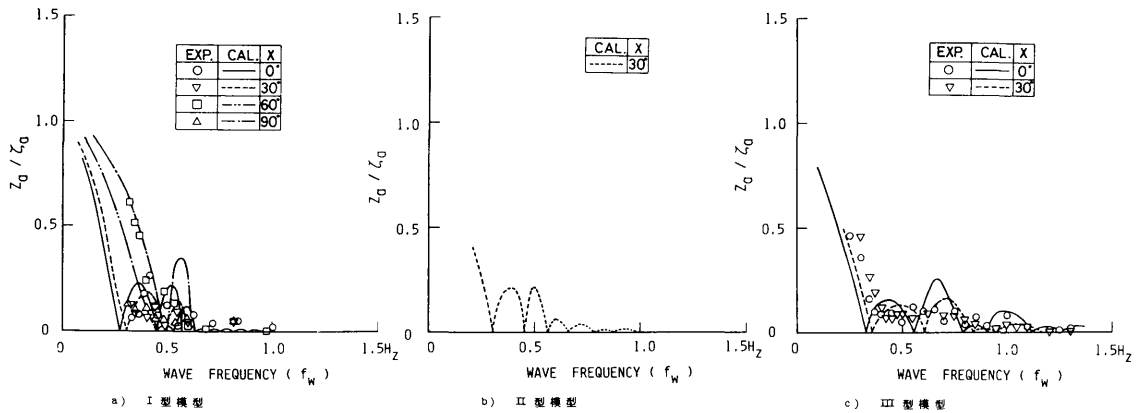


図3.14 大型模型の上下揺れの周波数応答特性

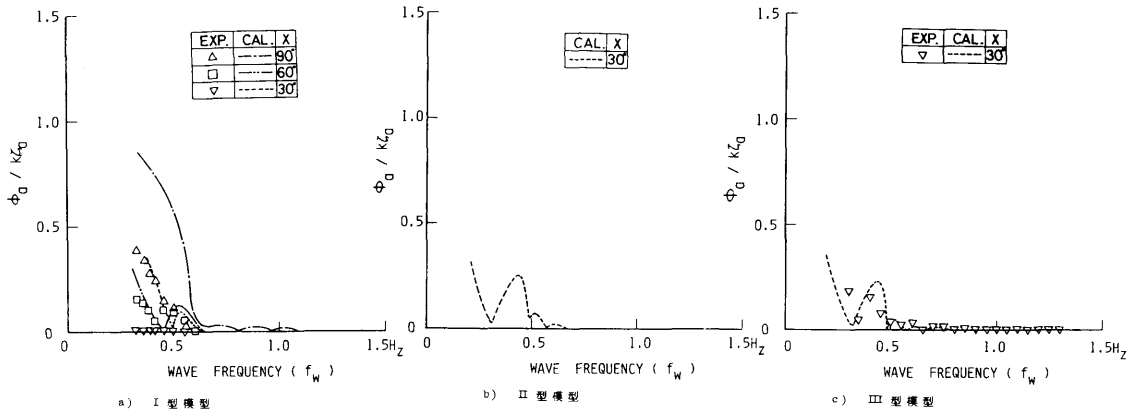


図3.15 大型模型の横揺れの周波数応答特性

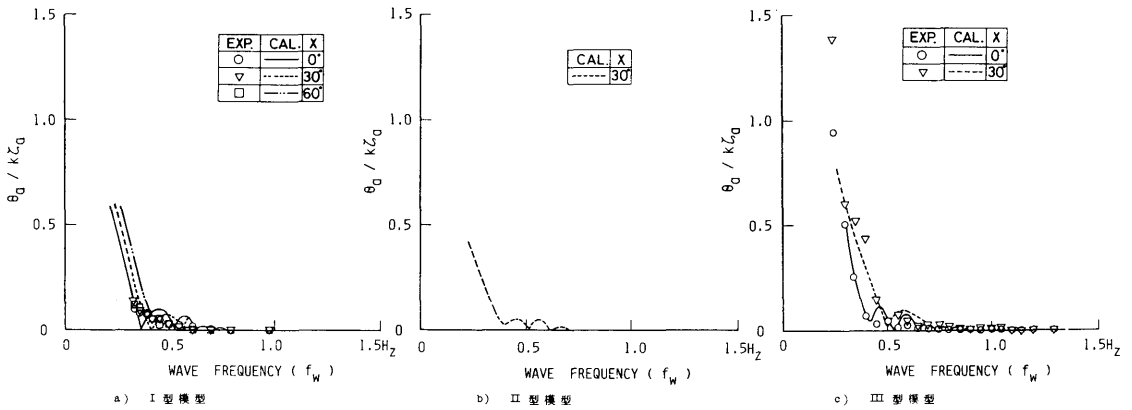


図3.16 大型模型の縦揺れの周波数応答特性

測できると考えられる。

ハ) 上下揺れの応答特性

図3.14から上下揺れの応答特性は、II型模型に対する実験値はないが、今回実施した範囲で前後揺れ及び左右揺れの応答特性と同様に実用上十分なる精度で予測できることが確認された。

ニ) 横揺れの応答特性

図3.15から、III型の大型模型では、水槽模型試験結果の横揺れの周波数応答特性と理論推算値とよく一致していることがわかる。従って今回の試験範囲では粘性減衰力だけを考慮すれば実用にさしつかえない精度で予測できると考えられる。しかしながら、I型模型では、横揺れの周波数応答特性は、理論推算値が水槽模型試験結果より高い応答特性を示している。これは上部構造物の弾性変形及び微小横揺れの計測精度等に起

因しているものと思われるが、その理由は、説明することができなかった。

ホ) 縦揺れの応答特性

図3.16から縦揺れの応答特性は、II型模型についての実験結果はないが、今回実施した範囲では粘性減衰力を考慮すれば実用上十分なる精度で予測できることが確認された。

以上、述べて来たように今回実施した水槽模型試験の範囲では部分模型や大型模型程度の主要目に対して、上部構造物の剛性及び支持浮体間の相互干渉等を見逃し、粘性減衰力だけを適正に設定することにより実用上さしつかえない精度で波浪中における動揺応答特性を予測できることが判明した。

なお、水平回転運動の応答特性については、第5編「浮体の複数係留システムに関する研究」において、

示している。

3.1.4 大型浮遊式海洋構造物の波浪中における動揺応答特性

前項までにおいて多数の支持浮体群によって上部構造物を支持する構造様式の大規模構造物の波浪中における動揺応答特性を精度よく予測できる数値計算プログラムが完成した。そこで第1編「大型浮遊式海洋構造物の建設基礎技術に関する研究概要」の3.1において示した大規模構造物の主要目規模について波浪中における動揺応答特性を推算した。

波浪中における動揺応答特性の計算対象にする大型浮遊式海洋構造物としては、大型模型のI型と同じフーティング型支持浮体で上部構造物を支持する構造様式であるとし、その主要目を表3.3に示す。

表3.3 大型浮遊式海洋構造物の主要目

項目	寸法
全長 m	1571
全幅 m	654.6
排水量 t	1,132,877
支持浮体の本数	フーティング型 4,400本

数値計算では、前項までと同様に上部構造物の剛性及び支持浮体間の相互干渉等を無視し、粘性減衰力だけを考慮する。

推算結果の中から代表的な事例とし、縦波($\alpha = 0^\circ$)中における縦揺れ及び上部構造物の中心と波上側端部における上下方向変位をそれぞれ図3.17～図3.19に示す。これらの図の横軸の波周波数は、実機スケール(f_{ws})で表わしている。

これらの図から大型模型の結果から予測したように動揺応答特性は、波周波数が0.05 Hzと極めて低周波数まで縦揺れが波傾斜角に対して0.02以下、上部構造物の中心における上下方向変位が波高に対して0.08以下、上部構造物の波上側端部における上下方向変位が波高に対して0.25以下であり、応答特性が周波数の変化に対して極めて細かく変動していることが判る。

そこで、大型浮遊式海洋構造物を設置する際の最も厳しい波浪条件を波周期が9秒付近で最大波高を10mで水深を50mとすると、縦揺れの最大値が0.18°程度、上下方向変位の最大振幅は上部構造物の中心で0.4m

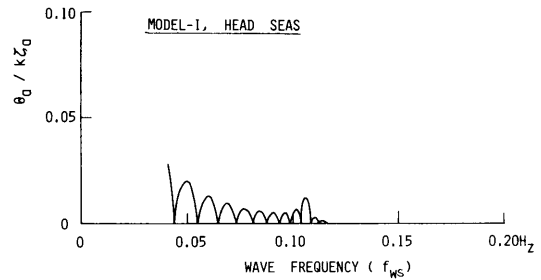


図3.17 大型浮遊式海洋構造物の縦揺れの周波数応答特性 (f_{ws} : 実機スケールの波周波数)

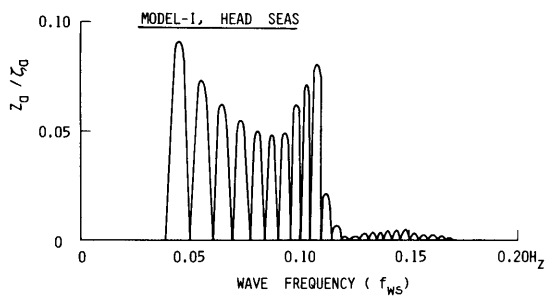


図3.18 大型浮遊式海洋構造物の上部構造物中心における上下方向変位の周波数応答特性 (f_{ws} : 実機スケールの波周波数)

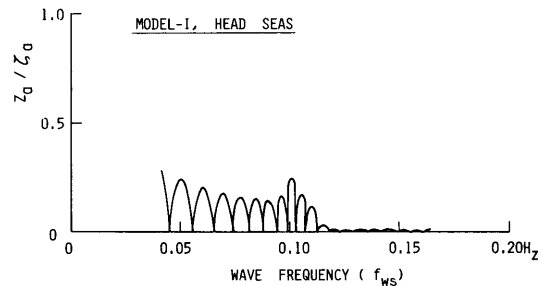


図3.19 大型浮遊式海洋構造物の上部構造物波上側端部の上下方向変位の周波数応答特性 (f_{ws} : 実機スケールの波周波数)

程度、波上側端部で1.20m程度である。なお、フーティング型支持浮体の形状及び支持浮体にローハル型やポンツーン型等を適正に組み合わせることにより上述の動揺量は軽減することができよう。

第4章 研究成果の要約

本研究によって得られた成果を要約すると以下に示す事項を挙げることができる。

- 1) 各種の支持浮体で上部構造物を支持する構造様式の大型構造物の波浪中における動揺応答特性を実用上さしつかえない程度の精度で予測できる数値計算プログラム (MOTION) を完成した。
- 2) 「浮体に働く外力及び流体力の推定法に関する研究」の成果を取り入れ、上部構造物の剛性及び支持浮体の相互干渉等を無視し、粘性減衰力だけを考慮して推定すれば波浪中における部分模型及び大型模型の動揺応答特性は、水槽模型試験結果とよく一致することが確認された。

第5章 結 言

本研究は、科学技術庁の科学技術振興調整費による『海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究』の中の浮遊式海洋構造物の建設基礎技術に関する研究の一環として実施したものである。研究期間は昭和57年～58年度の2ヶ年にわたり行われ、本研究の目標は充分達成して完了した。

すなわち本研究において完成した動揺応答特性計算プログラム (MOTION) を用いれば、自由浮体の動揺応答特性の推算だけでなく、弾性浮体としての撓み変形及び複数係留システムによって係留された大型浮遊式海洋構造物の各種外乱に対する動揺応答特性や係留ラインに働く張力特性等の広範囲な研究に役立てることが可能となった。

最後に本研究を実施するに当たり、水槽模型試験データの蓄積及び理論計算の一部を引き受けていただいた海洋開発工学部の大川主任研究官及び影本研究官に感謝致します。

なお、理論計算は、船舶技術研究所の中央電子計算機の FACOM M-180II AD を使用して行った。

参 考 文 献

- 1) Hooft, J. P. : A Mathematical Method of Determining Hydrodynamically Induced Force on a Semisubmersible, SNAME, 1971.
- 2) 金網正夫外：浮遊式海洋構造物の設計システム、三井造船技報、第103号、1978。
- 3) 田才福造外：Semi-Submersible Catamaran Hull の規則波中の運動について、第40回西部造船会々報、1970。
- 4) 野尻信弘、井上義行：半潜式海洋構造物の波浪中における動揺計算、石川島播磨技報、第17巻第3号、1977。
- 5) 大川豊：コラム付没水体に働く波強制力について 第40回船舶技術研究所研究発表会講演集、1982。
- 6) 瀬戸秀幸外：有限要素法による定常波動問題の基礎的研究、日本造船学会論文集、第136号、1974。
- 7) 増本彰外：浮体群に働く波強制力について、日本造船学会論文集、第145号、1979。
- 8) 安藤定雄外：浮体工法による海上空港建設に係わる評価のための技術調査研究、船舶技術研究所報告、Supplement No. 4, 1983。