

大規模浮体における波強制力の相互干渉効果

正員 吉 田 宏一郎* 正員 鈴 木 英 之*
 正員 岡 徳 昭* 学生員 飯 島 一 博**
 学生員 志 村 拓 也** 正員 有 馬 俊 朗***

Hydrodynamic Interaction Effects on Wave Exciting Force in Large Scale Floating Structures

by Koichiro Yoshida, *Member* Hideyuki Suzuki, *Member*
 Noriaki Oka, *Member* Kazuhiro Iijima, *Member*
 Takuya Shimura, *Member* Toshiro Arima, *Member*

Summary

On analysis of wave exciting forces of large scale floating structure consisted of multiple elements, a part of authors proposed a computation method taking hydrodynamic interaction between elements into account, and proved effectiveness of the method by model testes in previous papers.

In this method, such an assumption is laid down, which gives a restriction in application of the method, that a fictitious, bottom-mounted vertical cylinder circumscribing one element does not contain any part of the other element itself. Although existence of lower-hull connecting column elements violates the above assumption, it can be proved that the effect of violation is small in case of lower-hull. This fact is confirmed by model tests. The computer program for this method is leveled up for the sake of making large scale computation possible, and the upper limit of computation is discussed.

1. は じ め に

我国のように国土が狭益でかつ平地の割合が低く、一方、人口が多くかつ国民の活動度が高い国においては、沿岸域の海洋空間の有効利用が重要なテーマになる。浮体による各種のマリンレジャーおよび文化・教育施設、埋立による長崎空港・関西国際空港などの海上空港、消波工と浮体式タンクとの組合せによる上五島・白島の原油備蓄基地、接地式あるいは浮体式の廃棄物処理施設、本州四国連絡橋を代表とする各種の渡海橋や海上バイパス道路など多くの例が存在する。これらのいずれの目的のための施設も今後さらに発展、拡大し、また別の目的としての発電・各種生産やビジネス・居住などのための施設も次第に現実化して来るものと予想される。

海上空間は広大であるため、以上のような目的のための

施設などの規模も一般に大きい。言い換えれば、海のアメニティ性など海洋独特の好ましい特性を利用する施設以外では、海上空間の広大さを利用することが主要な特性となるために自づと大規模になる。一方、大規模な施設は当然ながら海洋の自然環境に大きな負荷を与える可能性がある。そのため、近年、大規模な海洋施設などの構築法として環境に与える負荷が相対的に非常に小さい浮体を利用することが重要な課題となっており、大規模浮体コンセプトが活発に発表されるとともに、設計法や設計のための解析技術の研究開発が実施されている。

著者の一部らは、従来、半潜水式構造を立体骨組構造とみなして、波浪中における、弾性変形を含む運動応答の解析法を開発して来たが¹⁻⁴⁾、Kagemotoらの理論^{5,6)}を基礎に、三次元特異点分布法を導入して、近年、大径のコラムを使用した半潜水式構造の波強制力の評価に流体力学的相互干渉を考慮した方法およびこのような半潜水式構造の波浪中運動を甲板構造の弾性変形の影響を考慮して解析する、即ち流力弾性現象として解析する方法を開発した⁷⁻¹⁰⁾。

この流体力学的相互干渉を考慮した計算法の理論においては要素浮体に外接する鉛直仮想円柱が隣接要素浮体に低触しないという仮定が設けられ、これが適用上の制約とな

* 東京大学工学部

** 東京大学工学系大学院

*** 日本海事協会技術研究所

原稿受付 平成5年7月9日

秋季講演会において講演 平成5年11月9, 10日

っている。一般に、ローハルのようなコラムを結合する没水構造の存在はこの仮定を侵すことになるが、本論文においては、ローハルの場合、この仮定を侵すことの影響は小さいと理論的に考察し、これを模型実験により確認することにより、計算法のより広い適用性を示す。また、多数要素からなる大規模浮体の波強制力の計算が可能のように計算プログラムを整備し、その特性の考察を行うとともに、著者等の計算機環境における計算可能規模の上限について検討し、長さがキロメートル規模の半潜式空港の波強制力解析が可能であることを示唆する。

2. 相互干渉理論と適用範囲

2.1 相互干渉理論

複数浮体の波荷重に関する流体力学的相互干渉については、大楠¹⁾を始め、多くの論文が存在するが、以下では、著者の一部の論文²⁾の記述を基礎にした理論の概要を示す。

(1) 基本仮定

流体は非圧縮性、非粘性、流体の運動は非回転、また、入射波の流体運動は、微小振幅周期運動、自由表面はすべての方向に無限に広がっていて、水深は、一定であるとする。また、ある浮体を囲む最小半径の、水底に達する仮想円柱の内側には、他の浮体が存在しないとす。また、座標系は Fig. 1 のようにそれぞれの浮体に対して局所座標系を取る。

(2) diffraction potential の表現

このとき任意の浮体 i による diffraction potential ϕ_i^p は G_i を浮体 i の局所座標系で表わされた、ラプラス方程式、自由表面条件、水底での条件、無限遠での放射条件を満たす Green 関数、 σ_i を浮体没水表面 S における没水表面条件を満たすように決めた source 密度として、次式のよう書かれる。

$$\phi_i^p = \iint_S G_i \sigma_i ds \quad (1)$$

これを円筒関数で展開し行列表示すると次式が得られる。

$$\phi_i^p = \{A_i\}^T \{\phi_i^p\} \quad (2)$$

ただし、この表現は浮体 i の仮想円柱の外側でのみ有効な表現である。ここで $\{A_i\}^T$ は未知係数ベクトル、 $\{\phi_i^p\}$ は浮体 i に関する局所座標系で表される散乱成分波を要素とするベクトルで第一種 Hankel 関数からなる要素と第二種変形 Bessel 関数からなる要素があり、これらはそれぞれ振動項と単調減衰項に当たる。これは Graf の加法定理¹²⁾を介し、座標変換行列 $[T_{ij}]$ を介することで浮体 j に関する局所座標系で表される入射成分波ベクトル $\{\phi_j^p\}$ で書くことができる。

$$\phi_i^p = \{A_i\}^T [T_{ij}] \{\phi_j^p\} \quad (3)$$

ここで入射成分波ベクトルは、第一種 Bessel 関数からなる要素と第一種変形 Bessel 関数で表されている。ただし、こ

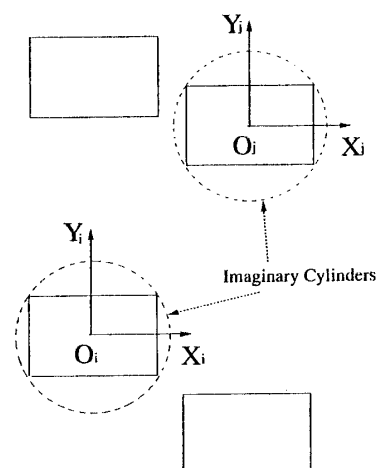


Fig. 1 Definition of coordinates in multiple floating bodies

の表現は浮体 i および浮体 j の仮想円柱の外側に各々浮体 j および浮体 i の原点が存在する場合に有効な式である。

(3) diffraction 伝達行列

浮体 j に関する入射波を入射成分波ベクトルの p 番目の成分とするときの散乱波係数を p 行の要素とする行列を $[B_j]^T$ とするとき、 $[B_j]$ を浮体 j に関する diffraction 伝達行列ということにする。これは、浮体 j の形状に固有な行列である。(Fig. 2 参照)

(4) 平面入射波 potential の表現

平面入射波の potential ϕ_0 は任意の浮体 j の局所座標系で表現される入射成分波ベクトル $\{\phi_j^p\}$ とその係数ベクトル $\{a_j\}^T$ を用いて次式のように表される。

$$\phi_0 = \{a_j\}^T \{\phi_j^p\} \quad (4)$$

(5) 全入射 potential と diffraction potential

以上より浮体 j に入射する全入射 potential ϕ_j^t として、以下の表現が得られる。

$$\phi_j^t = \left(\{a_j\}^T + \sum_{i=1}^N \{A_i\}^T [T_{ij}] \right) \{\phi_j^p\} \quad (5)$$

ここで、 N は浮体の数である。このとき diffraction potential ϕ_j^p は diffraction 伝達行列 $[B_j]$ を用いて、次のように表すことができる。(Fig. 2 参照)

$$\phi_j^p = \left(\{a_j\}^T + \sum_{i=1}^N \{A_i\}^T [T_{ij}] \right) [B_j]^T \{\phi_j^p\} \quad (6)$$

いま定常状態と考えているからこれと(2)式でインデックス i を j に変えたものと等置して、次式が得られる。

$$\{A_j\} = [B_j] \left(\{a_j\} + \sum_{i=1}^N [T_{ij}]^T \{A_i\} \right) \quad (j=1 \sim N) \quad (7)$$

この連立方程式より $\{A_j\}$ を解くことにより、相互干渉を考えたとき(多数浮体を考えたとき)の source の密度分布を計算せずに多数浮体間の相互干渉を考慮した potential が得られる。

(6) 波強制力

以上のように $\{A_j\}$ が求められると波強制力は、次式から

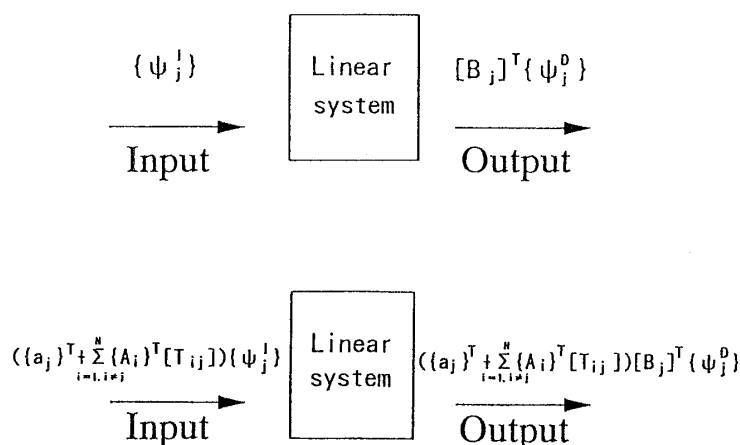


Fig. 2 Expressions of inputs and outputs when problems concerned are regarded as linear systems

計算される。

$$\begin{aligned}
 F_{kj} &= -i\rho\omega \iint_s (\phi_j^1 + \phi_j^0) n_{kj} ds \\
 &= -i\rho\omega \left((a_j)^T + \sum_{i=1, i \neq j}^N \{A_i\}^T [T_{ij}] \right) \\
 &\quad \times \iint_s \left(\{\psi_j\} + \iint_s \{\sigma_j\} G_j ds \right) n_{kj} ds \quad (8) \\
 &\quad (k=1 \sim 6; j=1 \sim N)
 \end{aligned}$$

ここで ρ は水の密度、 n_{kj} は浮体 j の k 方向の一般方向余弦である。ベクトル $\{\sigma_j\}$ の p 番目の要素は $\{\psi_j\}$ の p 番目の要素の入射成分波が単独の浮体 j に入射した場合の diffraction 問題の積分方程式を解くことによって得られる浮体 j の没水表面上の source 密度であり、diffraction 伝達行列の転置行列 $[B_j]^T$ の p 行の要素を求める時、すでに得られているものである。

2.2 近似的適用による範囲拡張

浮体 j の入射ベクトルを $\{\psi_j\}$ とし、 $\{\psi_j\}$ の p 成分を入射 potential とするときの source 密度を p 成分とする source 密度ベクトルを $\{\sigma_j\}^p$ とする。このとき、その決定法より没水表面条件に対応するものとして次式が得られる。

$$\frac{\partial}{\partial n} \left(\{\psi_j\} + \iint_s \{\sigma_j\}^p G_j ds \right) = 0 \quad (9)$$

一方浮体 j の仮想円柱の外側では、 $[B_j]^T$ の決定法より以下が成立する。

$$\iint_s \{\sigma_j\}^p G_j ds = [B_j]^T \{\psi_j\} \quad (10)$$

(5) 式を入射 potential とするとき、仮想的に求められた source 密度を σ_j' とすると次式が成り立つ。

$$\iint_s \sigma_j' G_j ds = \left((a_j)^T + \sum_{i=1, i \neq j}^N \{A_i\}^T [T_{ij}] \right) [B_j]^T \{\psi_j\} \quad (11)$$

(10) 式を考慮して、次のように書き換える。

$$\iint_s \sigma_j' G_j ds = \left((a_j)^T + \sum_{i=1, i \neq j}^N \{A_i\}^T [T_{ij}] \right) \iint_s \{\sigma_j\}^p G_j ds$$

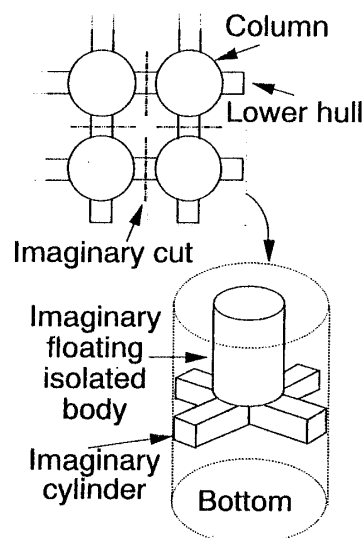


Fig. 3 Adoption of concept of imaginary cut in case of column-lowerhull type of semisubmersible

$$+ \sum_{i=1, i \neq j}^N \{A_i\}^T [T_{ij}]) \iint_s \{\sigma_j\}^p G_j ds \quad (12)$$

これは浮体 j の仮想円柱の外側の部分の任意の点で成り立っているから、次式が成立する。

$$\sigma_j' = \left((a_j)^T + \sum_{i=1, i \neq j}^N \{A_i\}^T [T_{ij}] \right) \{\sigma_j\}^p \quad (13)$$

このとき、浮体の全 potential = 平面入射波 potential ϕ_0 + 全 diffraction potential ϕ^D だから

$$\begin{aligned}
 \phi_0 + \phi^D &= \phi_0 + \sum_{i=1}^N \phi_i^D + \phi_j^D \\
 &= \left((a_j)^T + \sum_{i=1, i \neq j}^N \{A_i\}^T [T_{ij}] \right) \{\psi_j\} + \iint_s \sigma_j' G_j ds \\
 &= \left((a_j)^T + \sum_{i=1, i \neq j}^N \{A_i\}^T [T_{ij}] \right) \left(\{\psi_j\} \right. \\
 &\quad \left. + \iint_s \{\sigma_j\}^p G_j ds \right) \quad (14)
 \end{aligned}$$

ここで、(9) 式から次式が成立するのは明らかである。

$$\frac{\partial}{\partial n} (\phi_0 + \phi^D) = 0 \text{ on 全浮体没水表面} \quad (15)$$

このことにより、前述の相互干渉理論を用いることで、全浮体没水表面上で没水表面条件が満たされていることになる。本質的に相互干渉理論で解かれる解は、三次元特異点分布法の解と変わらないわけである。

このことから、本来の相互干渉の仮定に反する部分（仮想円柱に他の浮体が存在している場合）のみ、没水表面条件が満たされていないわけで、この部分が全体に比べて小さければ、十分精度の良い解が期待できると考えられる。そこで、本来連続体であるものに仮想的に切断を入れてやることで多数浮体の相互干渉の問題に置き換えることが考えられる。具体的には、次章で述べるように、大規模半潜水式浮体の構造形式の一つであるコラム・ローハル型を対象とし、Fig. 3 に示すようにローハルに仮想切断を入

れるものである。その場合、仮想切断によって生じる、仮想断面の部分をどう扱うかが問題になるが、前節の考察から、この部分には特異点分布法でのパネル分割を行わず空洞にしておくのが良いと考えられる。なぜならば、もしこの部分にも source を置くのであれば、余計な境界条件をつけることに他ならないからである。

3. 模型実験による検証

3.1 実験概要

前章で述べたようにローハルを仮想的に切断したことによって「ある浮体の仮想円柱に他の浮体が存在してはならない」という仮定に反して相互干渉理論を適用した数値計算結果と比較検討するために水槽実験を行った。実験では、Fig. 4 に示してあるような、5行5列のコラムの下部に格子構造のローハルを持つコラム・ローハル型の浮体構造を実験模型とした。この模型は、十分剛性を持たせて、剛体として扱えるように設計し、浮体としての動揺も起こらないように設置して、波強制力のみ測定することにした。

模型を構成する浮体に便宜上、固有番号を付ける。すなわち、長手方向が横方向になるように置いて、真上からこの浮体を見たときに、左下隅から右に $1, 2, 3, \dots, k$, その上の列を $k+1, k+2, \dots$ のように番号を付けるものである。

また、相互干渉効果の影響を評価するため Fig. 4 に示すように、浮体番号 11 と 15 のコラムに十字のローハルがついた部分（以後、“単体”と呼ぶ）が、残りの 23 本の部分（以後、“本体”と呼ぶ）から分離している。各コラムは、直径 3.5 cm（小径）と直径 15 cm（大径）の 2 種類、ローハルは断面寸法 7 cm×7 cm の 1 種類とした。

水槽実験は東京大学の運動性能水槽（長さ 45 m, 幅 5 m, 深さ 3 m）で行った。入射する波は、周期 0.6 秒から 2.8 秒、波高を 3 cm から 5 cm とした。

模型の設置に関しては、喫水は 270 mm とし、支持は分力計を介して行い、前方の“単体”、“本体”、後方の“単体”のサージ方向とヒープ方向の波強制力を測定できるようにした。

模型の配置は、前方の“単体”を“本体”にはめ込んだ本来の位置に配置する場合と、“本体”から 120 cm, 60 cm, 15 cm 引き離れた位置に設置する場合の 4 通りとし、相互干渉の影響を比較するようにした。また、“単体”のみを設置し測定する実験も行った。

実験データは、サンプリング周波数を 10 Hz～20 Hz で計測し、その時系列のデータから定常状態の振幅の平均値を読みとって実験結果とした。

3.2 実験結果と計算結果の比較

Fig. 6～Fig. 13 に水槽実験の結果とその数値計算との比較のグラフのうち特徴的な結果が得られたものを示す。

なお、Fig. 5 に“単体”の要素分割を示す。分割数は約 700 要素である。グラフはすべて横軸に入射波の角周波数、縦

軸に“単体”、“本体”の各支持点で測定した流体力のサージ力、ヒープ力の振幅を入射波の振幅で除いたものを取り、周波数応答曲線を表わす形にしてある。

実験値と計算値の比較結果は以下のようにまとめられる。

- 数値計算による値は、一般に実験結果と良く一致しており、数値シミュレーションの精度が確かめられた。
- “単体”のみの場合では、実験結果と計算結果は殆ど一致しており、このような形状の浮体に関しても、相互干渉を考慮しない三次元特異点分布法自体の数値計算の誤差は考慮しなくても良いと思われる。
- 小径コラム“単体”のみの場合でも、よく一致しているので、コラムが細いことによる粘性の影響は無視できる。したがって、抗力の影響は無視してもよいと考えられる。
- 大径コラムでは良い相関が得られている一方、小径コラムでは全体的に数値計算では値を小さく評価している傾向がみられる。これは、ローハルの仮想円柱の仮定を侵している部分の影響が、小径コラムでは、大径コラムよりも相対的に大きいために生ずる誤差と思われる。

4. 応用計算例と考察

4.1 計算規模の上限

今回の数値シミュレーションは、東京大学大型計算機センターの主システム（HITAC M 880/310）で行った。diffraction potential の級数表示の近似式で、振動項を 9 項、単調減衰項を 14 項とって計算をした。この場合、浮体数を N 個とすれば、解くべき係数ベクトル $\{A\}$ の連立方程式は $23N$ 元となる。コラム 100 本のモデルでは、浮体数を 100 とするため、2300 元の連立方程式となり、この配列のメモリー占有量から推定して全メモリー占有量は 100 MB 程度となり、このシステムのメモリの拡張領域 512 MB の 1/5 程度である。以下では、コラム数 100 本までの計算を行っているが、さらにその数倍まで計算できる可能性があるといえよう。

4.2 多数要素浮体の波強制力の特徴

(1) コラム 25 本のモデルについて

コラム 25 本のモデルの波強制力の特徴について以下にまとめる。

- “単体”の受ける相互干渉の影響は、高周波数領域で大きく現れ、応答曲線が相互干渉のない場合の曲線のまわりで大きく振動することが多い。
- 前の“単体”を“本体”から引き離れた場合でも、“単体”の受ける相互干渉の影響は無視し得ない。これは Green 関数の性質から考えて、ある浮体の別の浮体を与える影響は、浮体間の距離の 2 分の 1 乗に反比例するので意外に減衰は少ないためである。

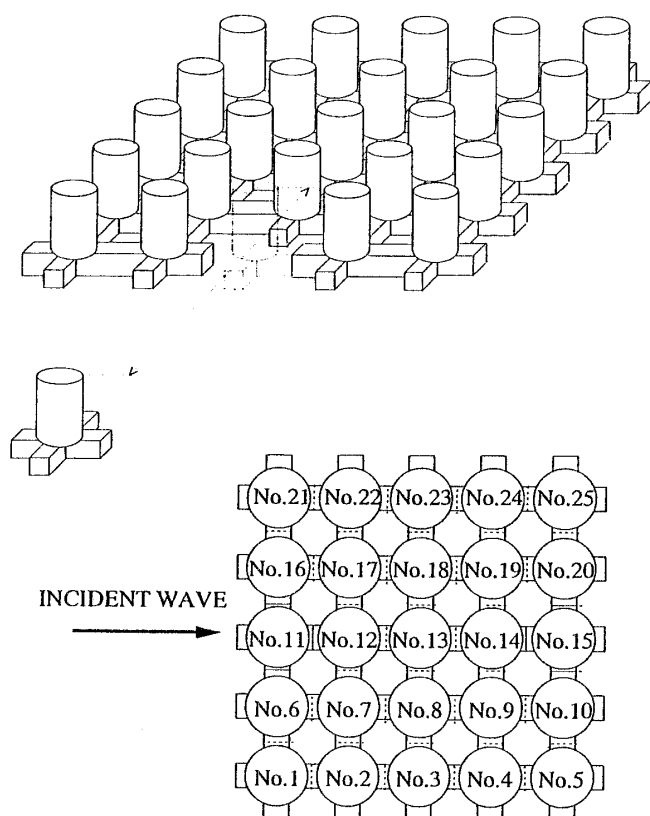


Fig. 4 Configuration of submerged part of model used in wave exciting force test

- ・大径のコラム（コラムの直径/コラム間の距離=1/2）では、相互干渉の影響は非常に大きい、小径のコラム（コラムの直径/コラム間の距離=1/9）では、わずかに高周波領域で見られるだけである。コラムの直径/コラム間の距離の比が大きければ相互干渉の影響も大きい。
- ・コラム・ローハルの型の浮体では、相互干渉に与える影響が大きいのはコラムである。ローハルが無くコラムだけとした場合の周波数応答曲線はローハルを含めた時の周波数応答曲線と相似性がある。これは、大径コラムの場合にも、本来相互干渉効果の小さい小径コラムの場合にもいえることである。
- ・ヒープ方向の波強制力について、“単体”に及ぼす影響が中周波数領域から高周波数領域にかけて明瞭に現れているが、低周波数領域に比べて絶対値が小さいため、相対的に相互干渉影響は小さい。
- ・相互干渉の与える影響は“本体”に与えるものよりも“単体”に与えるものが大きい。つまり、相互干渉影響は局所的な影響として顕著である。

以上のことは、25本コラムモデルに関する計算結果を元にした考察であるが、その他の場合にもほぼ同様なことがいえる。

（2）浮体数の増加が相互干渉に与える影響

コラム数25本のモデルで実験との相関を調べ、本来の仮

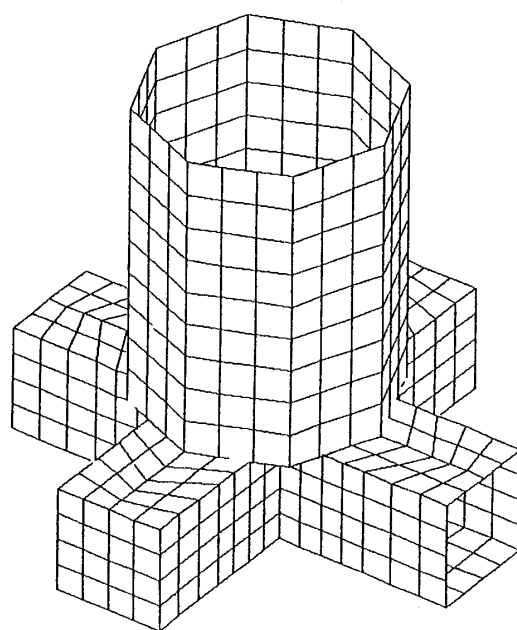


Fig. 5 Subdivision of unit element by panels

定をおかすような場合でもその部分が小さいならばこの解析手法が適用できることが確かめられた。ところが実際に空港などに用いられると考えられるセミサブ形式の構造体では、コラム数がさらに増大する事は避けられないことは明らかである。従ってここでは計算機の能力、計算時間、費用などを考慮しつつ、さらにコラム数の大きいものすなわちコラム数50本のものと100本のものについて追加計算を行い、それらの結果に共通している特性を調べた。コラム数50本のものは入射波の進行方向に垂直に5本、平行な方向に10本並べてある。同様にコラム数100本のものは5×20の様に並べている。コラム数100本のものはたとえばコラム間隔を50メートルとしたときには250×1000メートルの構造体に対応している。

計算時の一つの単体あたりのパネル分割数は、300程度としてあるがこれは計算の精度の為に十分であろう。25本のものと同様に振動項9項、単調減衰項14項にとってある。

以下に計算結果とその特徴について考察を交えながら述べる。

- ・ Fig. 14, 15を見ると、入射波と垂直な横方向の行の並びではその応答曲線の極大値及び極小値の周波数が特に低周波数領域から中周波数領域（ $\omega=2.0\sim8.0$ (rad/sec)）で、よく似通っていて相似的な形であることが分かる。また、応答の大きさから中央に近いほど大きな相互干渉の影響が表れる傾向のあることが分かる。まず、応答曲線の形が一行で較べた時に相似性を持つというのはこの構造が波の進行方向に縦並びに同様な形式を持っていることが原因である。上述の周波数領域では前後の他の浮体（コラム）との相互干渉影

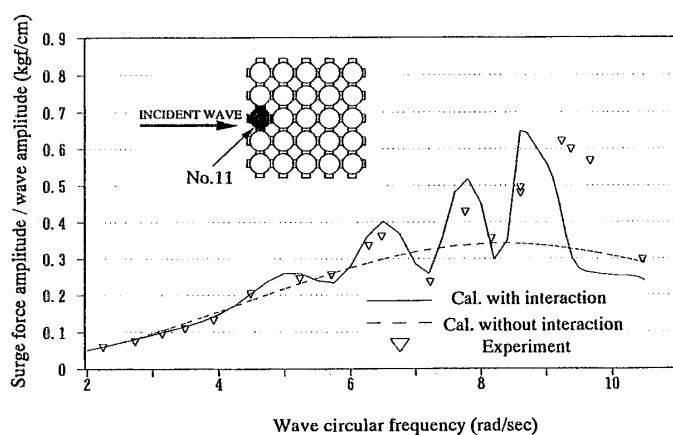


Fig. 6 Comparison of frequency response functions of surge force with experiments w.r.t. floating body element No.11 (large diameter column case)

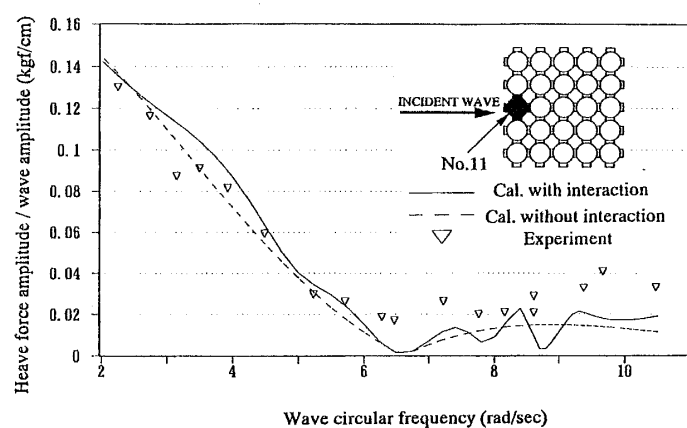


Fig. 7 Comparison of frequency response functions of heave force with experiments w.r.t. floating body element No.11 (large diameter column case)

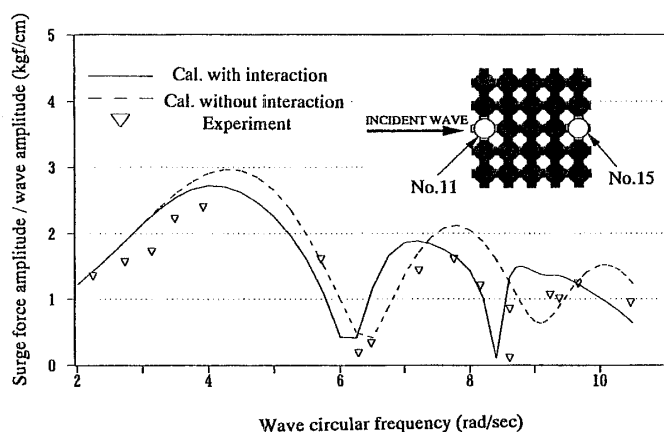


Fig. 8 Comparison of frequency response functions of surge force with experiments w.r.t. all elements without No.11 and No.15 (large diameter column case)

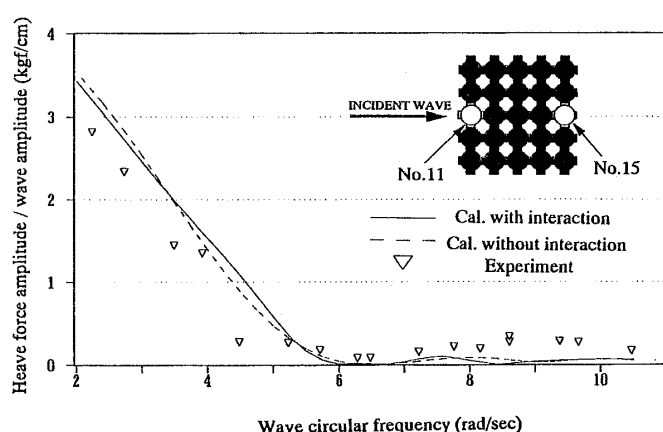


Fig. 9 Comparison of frequency response functions of heave force with experiments w.r.t. all elements without No.11 and No.15 (large diameter column case)

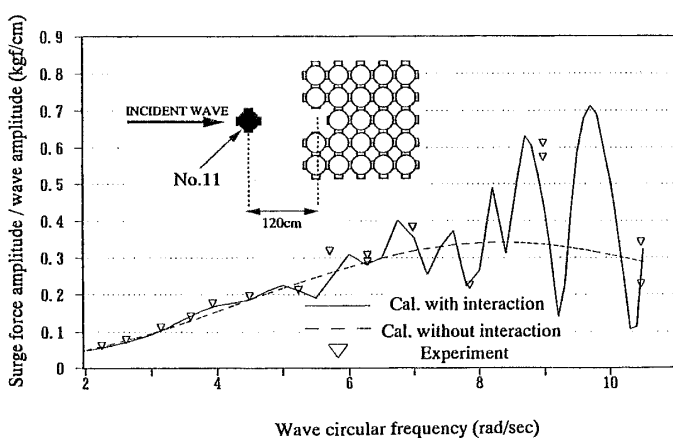


Fig. 10 Comparison of frequency response functions of surge force with experiments w.r.t. floating body element No.11 located by 120 cm apart from original body (large diameter column case)

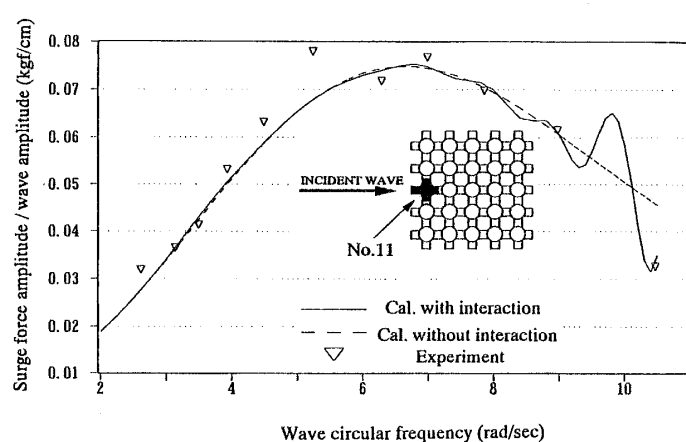


Fig. 11 Comparison of frequency response functions of surge force with experiments w.r.t. floating body element No.11 (small diameter column case)

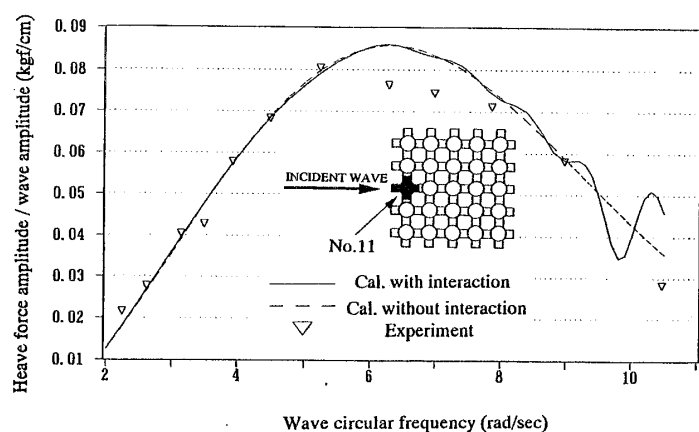


Fig. 12 Comparison of frequency response functions of heave force with experiments w.r.t. floating body element No. 11 (small diameter column case)

響が強く、横方向の他の浮体との相互干渉は弱い。縦並びの一行を取り出して計算してもかなり似通った応答曲線が得られると予想される。

次に相互干渉影響の大きさが変わってくるのは、波の進行方向から見て横方向にある浮体（他の列から）の影響である。相互干渉影響はその代表的部分、この場合はコラムが近いほどその影響を受ける。従って中心にあるものほど影響があることの説明がつく。

- また、一行を取り出して比較したとき (Fig. 16 参照)、一定の周波数応答曲線に近づくような傾向は見られない。相互干渉効果は複雑に絡み合っており、たとえば、コラムが一定の間隔で無限に近い数だけ配置されているとしても、単純にどの要素でも一定のディフラクションであるとは仮定できないと予想される。
- 相互干渉を含めたときの応答曲線が収束する可能性が特殊な場合に限りある。すなわち、最も波上側の一行をコラム数 50 本のものと 100 本のものを比較すると

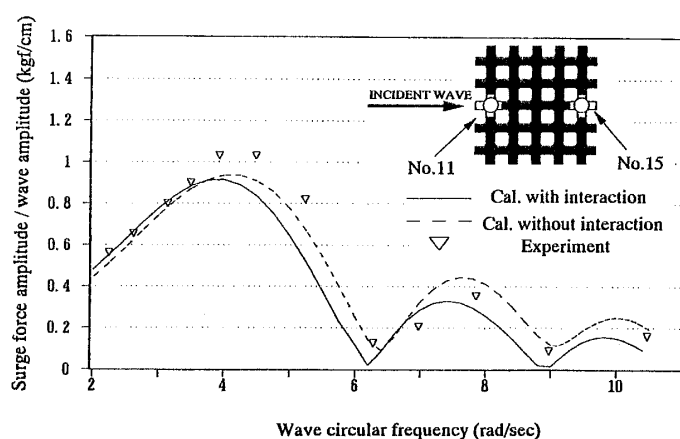


Fig. 13 Comparison of frequency response functions of surge force with experiments w.r.t. all elements without No. 11 and No. 15 (small diameter column case)

$\omega=9.5$ (rad/sec) 以上で一致している。また、最も波下側の一行を同様に比べたときやはり一致している様である。ただし、より低い周波数領域ではこのことは未知である。

- 応答曲線の全体の中での最大値に関してはまず場所的なことから述べると波の進行方向から見て中心線上にあり、端部ではなく内側で見られる。周波数の観点から見ると個々の場所での応答の最大値の周波数は一定とは限らない。但し、全体で比べたときの応答の最大値が見られるのは、コラム数 50 本、100 本の場合には、 $\omega=8.7$ (rad/sec) となっている。

コラム数を横軸に取りそのときの全体の応答最大値を単体としての最大値で除した値を縦軸に取った図 (Fig. 17 参照) で見ると、コラム数が増えるに従ってその最大値は大きくなるものの収束するようである。ところでこの最大値は、波崩れや線形理論の限界を越えているものと考えられる。平面波と仮定した場合、波

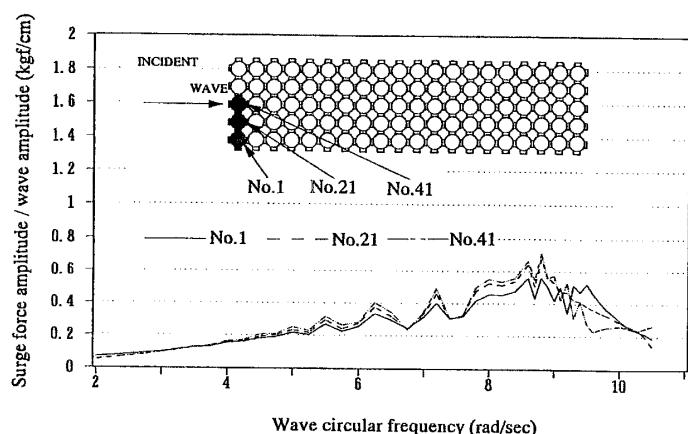


Fig. 14 Calculation results of the front row in 100 elements model

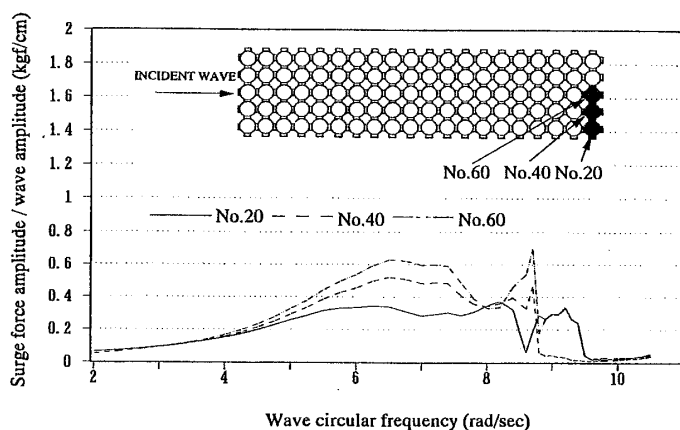


Fig. 15 Calculation results of the rear row in 100 elements model

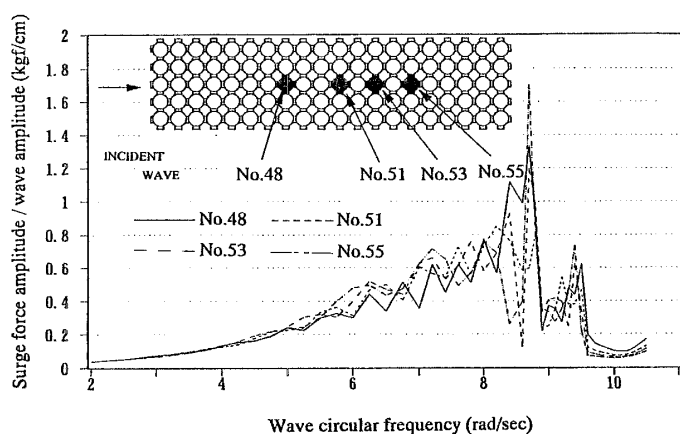


Fig. 16 Calculation results of the center column in 100 elements model

崩れの起こる限界は波高が波長の $1/7$ と仮定したものと、線形理論の限界はさらにその半分として分散関係を考慮し相互干渉を無いとして計算させた曲線が図中にプロットされている。(Fig. 18 参照)

5. おわりに

本研究によって得られた結論は以下のようにまとめられる。

- (1) 多数のコラムをローハルで結合した没水部構造を有する大規模半潜式構造の波強制力は、全体を、ローハルに仮想切断を入れることによって出来る、コラムと切断部分ローハルからなる浮体要素の集合とみなし、先に開発した、多数の要素浮体の流体力学的相互干渉を考慮する計算法を適用することによって、一般に良好な精度で評価できる。即ち、この計算法はローハルが存在する一般的な半潜水構造まで適用範囲を拡張できる。
- (2) 上述した適用範囲の拡張が可能になる理由は、理論に存在する仮定、即ち、要素浮体に外接する鉛直円柱が隣接要素に抵触しないという仮定が侵されている部分のみ没水表面条件が満たされていないことになるので、この部分が没水表面全体に比較して十分小さいならば、誤差も十分小さいと考えられるからである。
- (3) 多数の大径コラムとローハルからなる半潜水式構造の、波上側の要素コラムに作用する波強制力について、サージ力は相互干渉の影響を大きく受け、特に高周波数領域で著しい。このことは、要素コラムが波上側の上流方向へかなりの距離移動してもほぼ同様である。ヒープ力については、相互干渉の影響は高周波数領域で大きいものの、この領域における波強制力の大きさは低周波数領域に比べて非常に

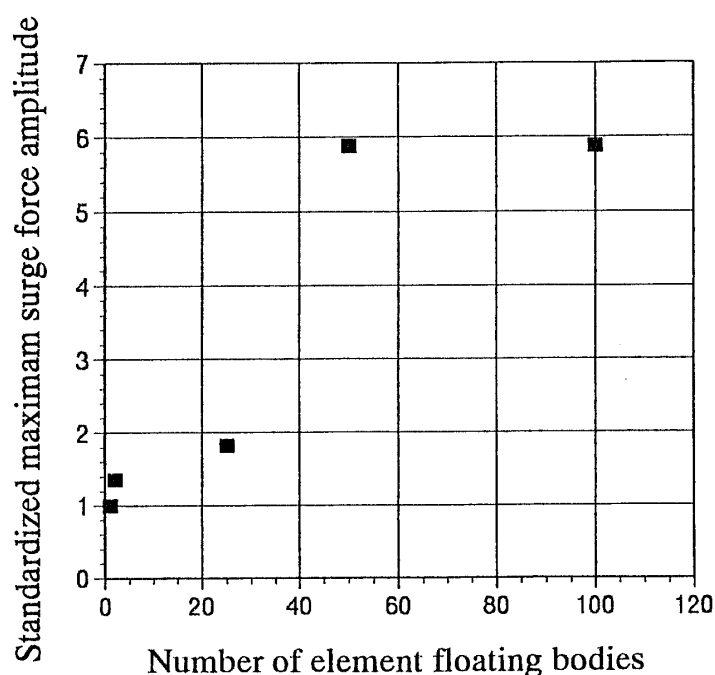


Fig. 17 Correlation between standardized maximum surge force amplitude and number of element floating bodies

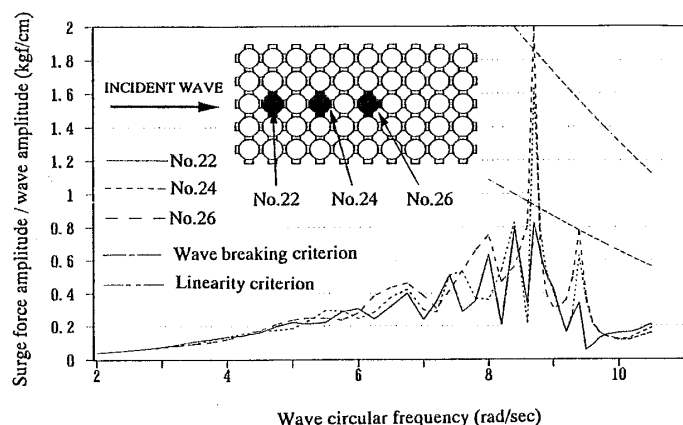


Fig. 18 Calculation results of the center column in 50 elements model with criteria on the magnitude of surge force

小さいのであまり目立たない。一方、波下側の要素コラムに作用するサージ力、ヒープ力についてもほぼ同様なことが言えるが、一般に、実験値に比べて計算値は若干過大となる。これは粘性影響による波高減衰に起因するものと推定され、前報¹⁰⁾における結果と同一の傾向である。

- (4) 多数の小径コラムとローハルからなる半潜水式構造については、波上側、波下側の要素コラムとも、また、サージ力、ヒープ力とも、極く高い周波数領域を除いて相互干渉の影響は非常に小さい。さらに、実験値との相関が良いことから、小径コラムの場合においても、大径のローハルが存在する場合には、

要素コラムに作用する波強制力に占めるコラム自身の抗力の比率は小さく、全体構造解析のための波強制力の評価においては、この種の粘性影響は無視できる。

- (5) 本研究において対象としている計算法は、基本的に、多数の要素浮体からなる半潜式構造の波強制力の評価に適用することを主目的としている。本研究において実行された計算の最大要素浮体数は100個であるが、著者等の計算機環境における計算可能規模の上限としては200-300個程度まで拡大できる可能性が高いと予測される。このことは、長さがキロメートル規模の半潜式海上空港の全体あるいは半分の構造部分の計算がほぼ原構造のままで一回で出来ることを意味している。
- (6) 要素浮体の数が50個および100個の場合には、それぞれ、模型の波方向長さの中央および1/4の位置で、幅の中央の要素浮体のサージ力が高周波数領域で非常に高いピークを示す。ピークが発生する周波数、ピークの値は両者でほぼ等しい。類似の現象は前報⁷⁾にも現れている。このピークの高さは線形解析の結果として現れており、値の大きさとしては碎波現象により、理論のあてはめとしては波理論の線形性により限界が生じると考えられる。
- (7) 要素浮体のサージ力の周波数応答曲線は、相互干渉を考慮する場合、その影響により、相互干渉を考慮しない場合の曲線のまわりに振動する傾向を有している。しかし、浮体全体としてのサージ力の周波数応答曲線は、相互干渉を考慮する場合においても、要素浮体に作用する波強制力の線形和であるため、比較的なだらかな形状を示し、相互干渉を考慮しない場合の曲線から低周波数側へ移動している。類似の傾向は前報⁸⁾の歪応答の曲線に現れている。
- (8) 前述のように、大規模半潜式構造の波強制力の計算が、線形範囲内と言え、精度よく実行できることは、この種の構造の設計の信頼性を高め、設計を合理化するのに有効であろう。ただし、概念設計において使用できるノウハウとするためには、計算結

果に含まれている、多くのまた複雑な特性に関して、見通しの良い検討を十分に行う必要がある。

本研究の終りに当たり、研究の途上において、種々有益な討論をしていただいた釜山水産大学の具滋三講師、安藤裕子さんに御礼申し上げます。また、原稿準備に協力していただいた小田野由香さんに感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 吉田宏一郎, 石川邦照, 飯田國廣: 浮遊骨組構造の周期応答解析, 日本造船学会論文集, 第136号, 1974
- 2) 吉田宏一郎, 石川邦照: 浮遊骨組構造の周期応答解析(続報), 日本造船学会論文集, 第138号, 1975
- 3) 吉田宏一郎, 石川邦照: 三次元骨組構造の周期応答, 日本造船学会論文集, 第143号, 1978
- 4) 吉田宏一郎, 尾崎雅彦, 岡徳昭: 緊張繫留プラットフォームの構造応答特性, 日本造船学会論文集, 第152号, 1983
- 5) Kagemoto, H. and Yue, D. K. P.: Interaction among multiple three-dimensional bodies in water waves, An exact algebraic method, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 166, 1986
- 6) Kagemoto, H. and Yue, D. K. P.: Wave-induced motions of multiple floating bodies, Journal of SNAJ, Vol. 161, 1987
- 7) 具滋三, 吉田宏一郎: 多数の三次元任意形状物体間の相互干渉, 日本造船学会論文集, 第165号, 1989
- 8) 吉田宏一郎, 具滋三, 岡徳昭: 多数の浮体で支持された長大な半潜式構造体の波浪応答解析, 日本造船学会論文集, 第166号, 1989
- 9) Goo Ja-Sam and Yoshida, K.: A numerical method for huge semisubmersible response in waves, SNAME Transactions, Vol. 98, 1990
- 10) 吉田宏一郎, 具滋三, 小林顕太郎, 鈴木裕子: 複数浮体からなる構造物に働く波強制力および波浪応答に関する研究, 日本造船学会論文集, 第172号, 1992
- 11) Ohkusu, M.: Hydrodynamic forces on multiple cylinders in waves, International Symposium on the Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves, 1974
- 12) Watson, G. N.: A treatise on the theory of Bessel functions, 2nd edition, Cambridge University Press, 1966