

大型浮遊構造物間の相互干渉に関する実験的研究

海洋科学技術センター 続 辰之介

運輸省船舶技術研究所 星 野 邦 弘

” 大 松 重 雄

1. はじめに

海洋構造物による海洋空間等の面的な利用拡大（水深50~100m）を図るためには、これに用いられる海洋構造物の大型化および大水深化が要求されるとともに、この構造物を外海の厳しい気象・海象から保護するための波浪制御技術が不可欠である。沖合の大水深海域に展開される大型海洋構造物を保護するための波浪制御技術の一つとして浮遊式の波浪制御構造物が考えられるが、従来、いわゆる浮消波堤（又は浮防波堤）の適用には波高が小さく、かつ波長の比較的短い内湾域や港湾域に限られていた。しかしながら、外海への適用が技術的に可能ならば、現在未利用になっている空間を利用しやすくとともに、この海域の生産性を飛躍的に増大させることが可能となる。このような観点から外海に適用できる浮遊式波浪制御構造物の型式、基本形状を明らかにするための実験的検討を実施した。¹⁾これから、ボンツーン型を基本形状とする「水平安定板付ボンツーン型」が技術的にも経済的にも充分可能性があることが確認できた。さらに、面的な利用拡大のためには波浪制御構造物のある間隔で複数基設置することになるが、この場合の構造物間の開口部あるいは端部から回り込んでくる回折波等を含む波浪特性、構造物間の相互の安全性等についても調べた。²⁾一方、多行多列の支持浮体を持つ大型の浮遊式海洋構造物を実現させるための基盤技術として、外力・流体力の推定法、最適耐波設計法、複数係留システム設計法等についての検討を行なった。³⁾これらの成果はプロトタイプ浮遊式大型海洋構造物の海域実験において現在確認を行なっているところである。ところで、これらの構造物は各々単独で用いられることもあるが、多くの場合組み合わされて用いられることが多いと考えられる。このような場合、相互の構造物にはさまれる場所での波浪や構造物の動揺特性について把握しておくことは、両構造物の構造や係留系の設計及び安全性を検討するうえで重要であると考えられる。そこで、本研究では浮遊式波浪制御構造物と大型浮遊式海洋構造物とを組合せた状態での透過波等の波浪状態及び両構造物の挙動等の相互干渉影響について実験的に調べることにする。

2. 研究の目標

本研究の目標は、今までの浮遊式波浪制御構造物と大型浮遊式海洋構造物に関する研究成果を活用してこれらの構造物を組合せた場合の波浪や構造物の挙動等を調べ、それぞれの構造物の単独の場合の性能と比較することにより相互干渉による影響について明らかにすることである。そのため、水平安定板付ボンツーン型浮消波堤3基と33本コラムフーティング型大型海洋構造物を平面水槽に設置し、この時両者の相対位置を3種類変化させて、波浪や動揺の変化を実験的に調べる。

3. 研究の方法

3.1 消波原理と供試模型

一般に浮体で波を消す場合、主として浮体で波を崩して波の粒子の運動を渦などに変えて波のエネルギーを減殺させる方法と、主として浮体による発散波と散乱波と入射波とを干渉させて波のエネルギーを減殺させる方法とに大別される。今回の供試模型は後者の原理を用いた型式で、特に運動のうち Heaving周期と入射波との関係を利用して消波させる機構となっている。本研究開発における消波目標を実機波周期1.4 sec のとき波高伝達率を0.56にしている。従って、供試模型の Heavingの固有周期が2.2secとなるように設計した。すなわち、Heaving の固有周期と入射波とが同調する点では入射波と浮体の運動によって発生する波との干渉によって通過する波が小さくなり消波効果を発揮させようとするものである。

本研究で用いた水平安定板付ボンツーン型浮消波堤（以下、浮消波堤とよぶ）は図1に示すように矩形断面を基本形状とし、浮体1基の大きさは長さ 3.9m、幅 0.95m、高さ 0.792m、総排水量 450kgであり、これを浮体間の間隔 0.7m で3基設置した。一方、33本コラムフーティング型大型海洋構造物（以下、大型海洋構造物とよぶ）の大きさは全長 6m、幅 1.63mである。

3.2 実験方法

上記の浮消波堤3基と大型海洋構造物1基を平面水槽（長さ40m, 幅 28m）に設置した。この時両構造物の相対位置の変化により両者間の波浪状態や運動特性にどのような影響があるかを調べるため、相対位置を3種類変化させた（図2）。なお、係留方法は浮消波堤が中間シンカーを用いた方法及び大型海洋構造物は弱いバネによる拘束である。また、実験時の水深は 1.8m である。

計測項目のうち波浪については入射波1点、大型海洋構造物周辺の波浪を5点、また、浮消波堤単独の場合は組合せた場合の大型海洋構造物のそれぞれの位置における波浪を各1点計測した。なお、両構造物の Heaving, Swaying, Rollingの運動を浮消波堤は動揺ガイド装置、大型海洋構造物は無接触型セルスポットシステムを使用して計測した。これらの入力信号は各々の増幅器を介しデータレコーダ（14チャンネル）及びミニコンピュータのフロッピーに収録し、実験終了後統計解析及びスペクトル解析などを行った。

3.3 波浪条件

実験に使用する入射波は規則波、不規則波及び集中波とし、両構造物が設置されていない状態で計測しておき各計測点でのバラツキ等をあらかじめ調べておくものとする。

規則波は実機換算で2mと4mに相当する5cmと10cmとし、波周期を実機換算で6.0～20.9秒に相当する0.95～3.31秒の範囲で変化させた。また、不規則波としては JONSWAP型スペクトルを用い有義波高は実機換算で $H_{1/3}=6m$ に相当する15cmとし、ピーク周期を実機換算で14秒、9.8秒、8秒に相当する2.21秒、1.55秒、1.26秒と変化させた場合と、 $H_{1/3}=3m$ に相当する約8cmとし、ピーク周期を実機換算で9秒に相当する1.42秒の4種類を用いた。なお、波との出合角は 0° で一定である。

4. 研究の成果

4.1 浮消波堤の波高伝達率について

規則波における消波特性について、縦軸に波高伝達率 $K_t(H_t/H_i)$ をとり、横軸に実機換算による周期ベース（秒）で表したグラフを図3に示す。ここでは、波高の違いによる波高伝達率 K_t への影響がみられないので、5cmと10cmの平均値をプロットしてある。全体的な傾向としては $T=13$ 秒付近で K_t が一旦下がる点を有することが特徴である。ここでは浮体の Heaving周期と入射波周期とが同調した点であり上述した消波機構が発揮されたところである。本来、Heaving周期は実機の入射波周期で14秒のところであり、ここで K_t が下がるはずであるが、これは、係留系の影響や渦及び浮体の他の運動との連成によるものと考えられる。一方、不規則波の例としてピーク周期14秒、有義波高6mの場合と集中波の場合について、それぞれ応答関数を求め図4及び図5に示す。これらと規則波のそれを比較すると、 K_t の下がる点や各計測位置での K_t の変化などはほぼ同じ傾向であるといえる。このことは不規則波中での応答も周波数領域の中で線形的に取り扱えることを意味する。 $T=14$ 秒を境にしてこれより短い周期帯では各計測点での K_t の値に差がみられるのに対し、長い周期帯では差がみられない。このことは、長周期になると浮体が波に乗る状態となり入射波がそのまま通過するようになるためであろう。しかしながら、短い周期側では浮体間の間隔及び浮体端部からの回折波等の影響を受けて、各測定位置での K_t の値に影響を与えたものと考えられる。

本浮消波堤の消波性能は、規則波や不規則波中において実機換算周期 $T=13\sim 14$ 秒相当の時におおむね $K_t=0.56$ を満足していることから所期の目標を達成していると考えられる。このことは従来浮消波堤の適用範囲が内湾域や港湾域に限られていたことが、外海での実現の可能性が確認できたことにより、適用可能な海域が広がり、将来の海洋空間の利用拡大へ大きく前進したといえる。

4.2 相互干渉影響について

従来の研究では浮消波堤や大型海洋構造物がそれぞれ単独に海洋中に設置されるとして取り扱うことが多かった。しかしながら、浮消波堤などはその後背域の静穏海域の多面的な利用を促進する目的で設置されるもので、利用形態によっては大型の構造物が設置される可能性がある。この場合、浮消波堤が単独に設置された時の波高伝達率がある目標値を満足していたとしても、後背域の設置される構造物との相互影響により波高の状態や両構造物の動揺特性などが変化することが予想される。従って、実用性を高めるためには組み合わせた場合についての状態を把握しておくことが重要となる。

(1) 動揺特性

まず、大型海洋構造物の存在の有無によって浮消波堤の動揺に変化があるかどうかについて、図6に規則波中における Heavingの例を示す。これは浮消波堤が単独の場合と相対位置を3種類変化させた場合の特性を無次元表示している。これによると、大型海洋構造物が後背域に設置されていても、今回の位置関係の以内では、浮消

波堤の Heaving に変化はみられない。また、ここには図示していないが、Swaying や Rolling もほぼ同じ傾向で単独の場合に比べてもあまり変化が認められない。次に不規則波の例として、ピーク周期で実機換算14秒（模型周期2.21秒）の場合の Heaving について図7に示す。これからも単独の場合とほとんど変化がないことがわかる。なお、Swaying や Rolling も同じ傾向である。以上のことから、浮消波堤の動揺は大型海洋構造物の存在の有無にかかわらずほとんど影響を受けないことがわかる。従って、浮消波堤の動揺を検討する場合は入射波を考慮すればよいことになる。ただし、後背域の大型海洋構造物の形状によっては反射波等が多くなることが予想されるのでこの点に留意する必要がある。

次に大型海洋構造物の動揺特性のうち、規則波中における Heaving の例について図8に示す。まず、この構造物の Heaving の固有周期は実機換算周期で11~12 秒付近であることがよみとれ、長周期側では浮体が波の上下運動に伴って運動するため $Z/H=1.0$ となっている。一方、浮消波堤と組み合わせられて設置された場合では、特に最も接近した時の Heaving が大きくなっているが、他の例では単独の場合と比べて差は認められない。また、Swaying でも単独の場合に比べて、最も接近した場合に動揺が大きくなっている。しかしながら、Rolling ではさほど差は認められない。以上のことから、浮消波堤と組み合わせることによって大型海洋構造物の動揺特性に影響を与えることがわかった。ところで、図8は入射波として構造物が設置されていない場合の波浪を用いて各々の動揺を無次元化して表示しているが、さらに相互干渉効果を浮きぼりにするために、入射波として浮消波堤によって軽減された波浪を用いて各々無次元化する方法を考えた。もし相互干渉による影響がなければ単独の場合の動揺特性と、浮消波堤によって軽減された波浪で無次元化した場合の動揺特性とは同じになるはずである。このような考え方に基づいて、規則波中における Heaving を求めたのが図9である。これによると、単独の場合に比べて組合せた場合の方が運動が大きくなっていることがわかり、図8に比べて相互干渉による影響が顕著に現れているといえる。また、相対位置との関係からみると、おおむね最も接近した場合に運動が大きくなっている傾向がある。また、他の動揺特性もほぼ同じ傾向を示している。次に不規則波の例について、実機換算周期 $T=14$ 秒（模型周期 2.21 秒）の場合の Heaving と Swaying について図10に示す。これからも、最も接近した時が運動のエネルギーが大きいことがわかる。以上のことから、大型海洋構造物の構造や運動特性などは単独性能だけで決めるよりは、浮消波堤など組み合わせられて用いられる構造物との相対位置等を考慮し、検討しておく方が望ましいことを示唆している。

(2) 波浪状況

大型海洋構造物周辺の水位変動を調べるため構造物から平均0.5m張り出して容量式波高計を5点取り付けて計測した。これから得られた相対水位のデータから構造物の動揺分を差し引き絶対水位を求めた。この事例として図11に a点における相対水位及び図12に同点の絶対水位について示す。まず相対水位では浮消波堤の存在によって大型海洋構造物周辺の水位が軽減されていることがわかる。また、特にHeaving の影響を受けて固有周期付近の 11~12秒で大きい値となっている。一方、絶対水位では波長の短いところでは軽減されるが、波長の長いところでは逆に増大することもあり、大型海洋構造物の動揺によるラディエーションの影響が考えられる。しかしながら浮消波堤による軽減度は相対位置及び計測位置により複雑に変化しており、詳細な検討をする必要があるとともにまた、波高計を取り付けた位置についても検討する必要がある。本研究で対象としている多行多列の支持浮体を持つ大型海洋構造物周辺の波の変形についての研究は少なく、高山ら⁴⁾は多数の円筒支持浮体が格子状に配列されて浮遊している構造物によって起る波の反射及び透過について実験的に調べ、反射率は前面数列の円筒によって決まり、構造物の長さにはほとんど関係ないとしている。そうすると、第1列目の支持浮体の数が多いほど反射率が大きくなり、今回の浮体のように第1列目の支持浮体が11本有る場合には反射率も大きくなることが考えられる。さらに、相互の構造物間が接近している場合にはより複雑な波の変形が起こることが予想されるが、今回の実験ではこれらについての解明までは至っていないので今後の検討課題である。

5. あとがき

本文では、浮遊式の波浪制御構造物である水平安定板付ボンツーン型浮消波堤と33本コラムフーティング型大型海洋構造物とを組合せた場合の両者間の波浪の変化、両構造物の動揺等に基づき相互干渉影響等について実験的に調べたもので、以下の点が明らかになった。

- (1) 浮消波堤としての消波性能は実機換算周期で 13~14秒相当の時に、ほぼ波高伝達率 $K_t=0.56$ を満足していることから所期の目標を達成していると考えられる。
- (2) 浮消波堤と大型海洋構造物とを組合せた場合、浮消波堤の動揺特性は後背域に大型海洋構造物を設置しても、単独の場合とほとんど変わらないことから影響をあまり受けないことがわかった。

- (3) 一方、大型海洋構造物の動揺特性は単独の場合に比べて大きくなっており相互干渉による影響が現れている。また、相対位置の関係では両浮体が近接して設置してある場合に動揺が大きくなることがわかった。
- (4) 大型海洋構造物周辺の相対水位は浮消波堤によって軽減されるが、軽減度は両構造物間の相対距離、計測位置によって複雑に変化する。
- (5) 一方、絶対水位（波高）は浮消波堤によって波長の短いところでは軽減されるが、波長の長いところでは逆に増大することもあり、大型海洋構造物の動揺によるラディエーションの影響が見られる。

このように、浮消波堤や大型海洋構造物が各々単独で設置されている場合と相違して、これらが組み合わされた場合には相互干渉による影響が現われることがわかった。このことは設計や配置を検討するうえで重要である。しかしながら、両構造物の相対位置の違いによる波の変形などさらに検討する必要がある。また、実際の海域に適用するためには自然環境条件の定量的な把握及びプロトタイプによる海域実験等による検証が重要である。

参考文献

- 1) 続 辰之介, 浮田基信, 石井進一, 1985: 浮遊式波浪制御構造物の水槽実験結果について
第10回海洋開発シンポジウム論文集, 93-98.
- 2) 続 辰之介, 浮田基信, 1986: 浮遊式波浪制御構造物の水槽実験結果について(2)
第11回海洋開発シンポジウム論文集, 151-156.
- 3) 安藤定雄ほか, 1985: 大型浮遊式海洋構造物の建設基礎技術に関する研究
船舶技術研究所報告 別冊第6号, pp135.
- 4) 高山知司, 菊地 治, 西田一彦, 1979: 大型浮遊構造物による波の反射及び透過に関する模型実験
第26回海岸工学講演会論文集, 466-470.

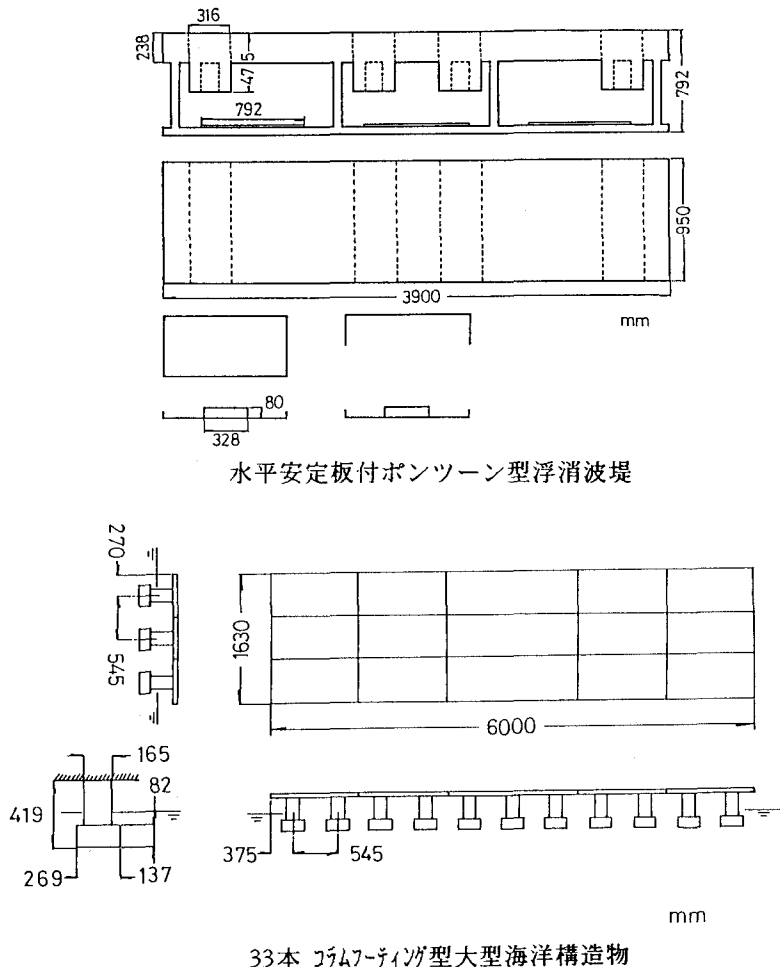


図1 供試模型の概略図

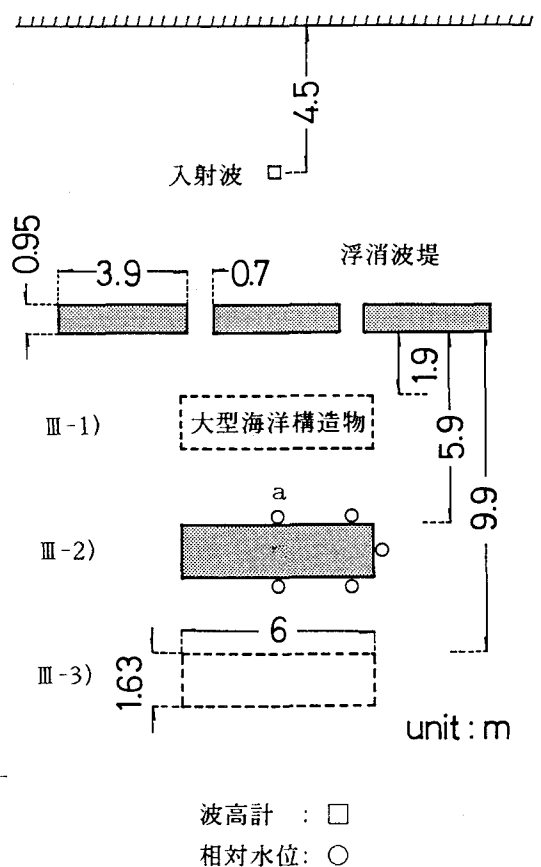


図2 実験の配置図

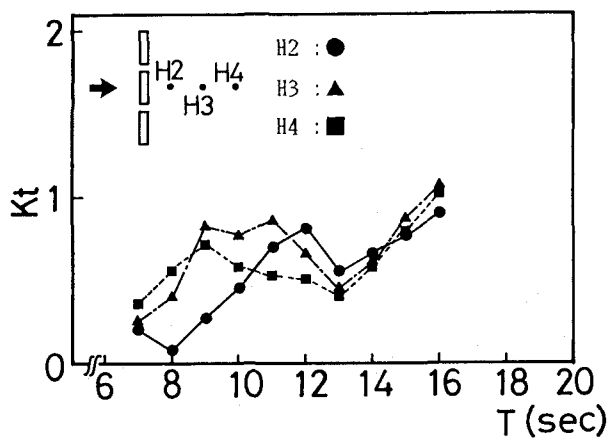


図3 規則波における波高伝達率

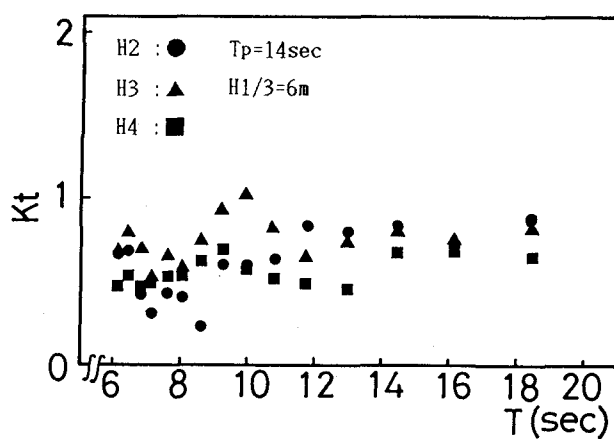


図4 不規則波における波高伝達率

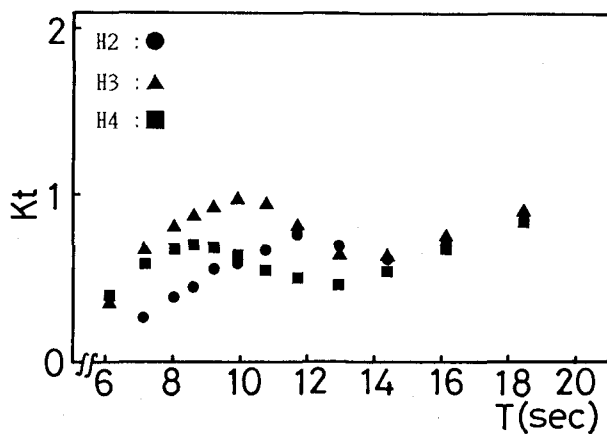


図5 集中波における波高伝達率

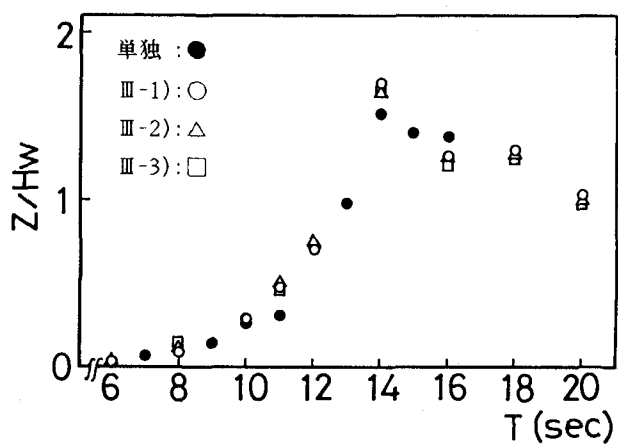


図6 浮消波堤のヒービングの応答特性（規則波）

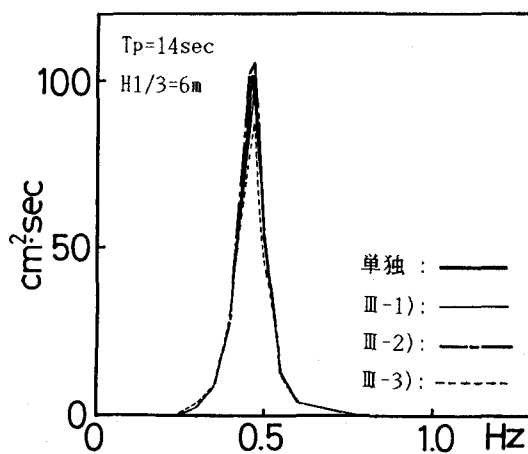


図7 ヒービングの周波数応答特性

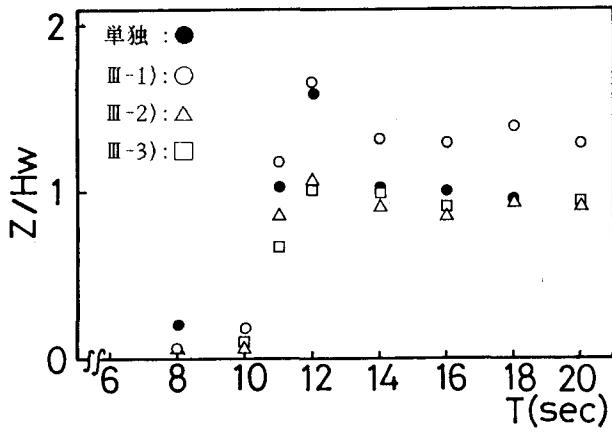


図8 大型海洋構造物のヒービングの応答特性（規則波）

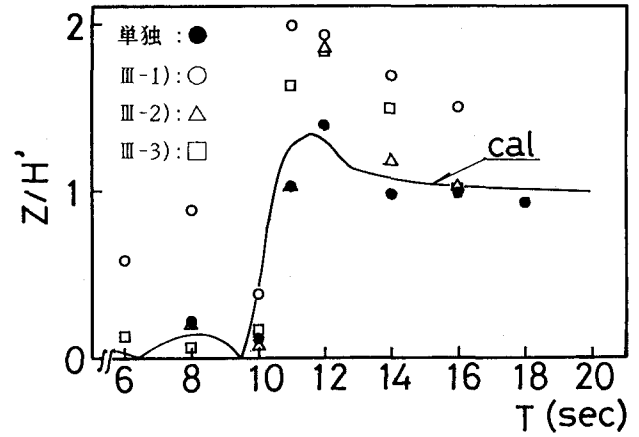


図9 ヒービングにみられる相互干渉影響
（大型海洋構造物）

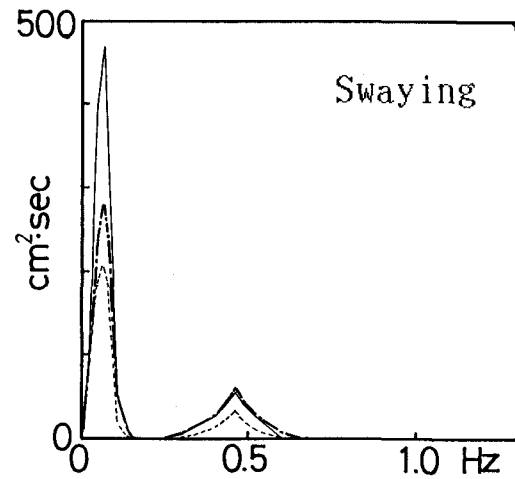
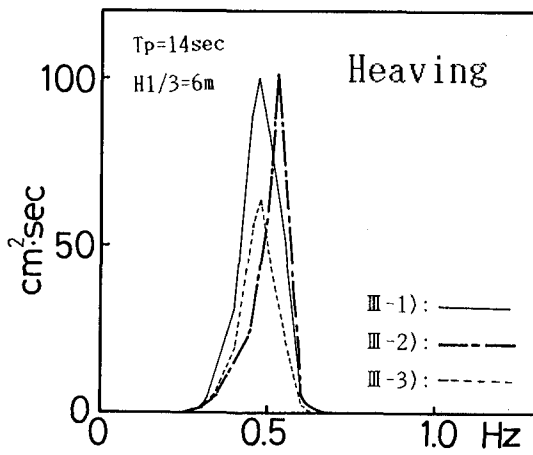


図10 相対位置の違いによる動揺特性（大型海洋構造物）

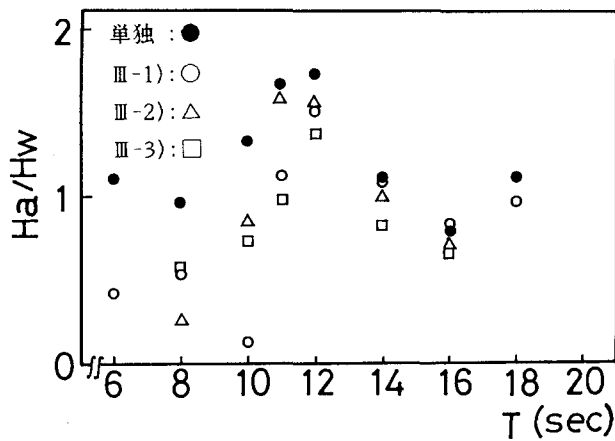


図11 a点における相対水位の比較（規則波）

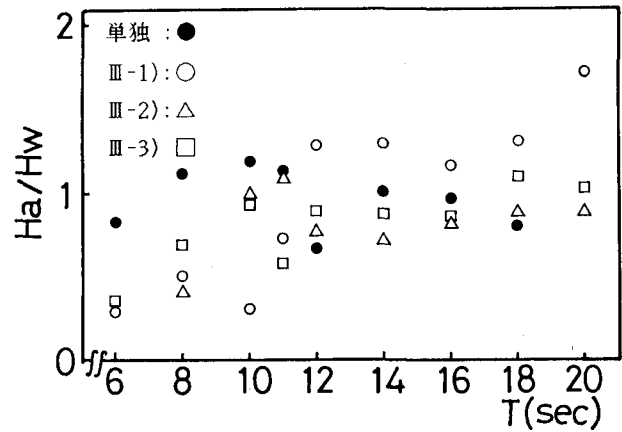


図12 a点における絶対水位の比較（規則波）