

没水平板を持つ矩型浮体の動揺特性について

DYNAMIC MOVEMENT OF PONTOON TYPE FLOATING STRUCTURE WITH FLAT PLATES

武村 武¹・落合 実²・遠藤 茂勝³

Takeshi TAKEMURA, Minoru OCHIAI and Shigekatsu ENDO

¹学生会員 工修 日本大学大学院生産工学研究科 (〒275-8575 習志野市泉町1-2-1)

²正会員 工修 日本大学講師 生産工学部土木工学科 (〒275-8575 習志野市泉町1-2-1)

³フェロー会員 工博 日本大学教授 生産工学部土木工学科 (〒275-8575 習志野市泉町1-2-1)

Pontoon type floating structure with submerged flat plate has been studied in this paper. Wave response analyses of the pontoons have been performed for several different attached positions of flat plate and the stability of the pontoons were examined. Furthermore, the characteristics of the hydrodynamics such as the reflection and a transmission ratio were examined.

It was verified that the flat plate have worked effectively for mitigation of the heaving motion, especially it is obvious to the plate area of 2 times of surfaces area at the water line and 0.02 or more wave steepness. It was confirmed that the dimension and attaching depth of flat plates important factor for motion control of a floating pontoon. The possibility of the stable improvement and the effective wave control by the size and position of the flat plate were shown.

Key Words : Floating structure, motion control, hydrodynamics force

1.はじめに

沿岸海域において高度な多目的利用を実現するには静穏な海域の確保と、その海域の利用手段を確保する必要がある。今、広い海域を考えたとき両者の目的にかなう構造物として浮体式構造物があげられる。

浮体式構造物は、海洋空間利用という面で水深や海底の性状などの制約を受けないばかりか、浮力を利用した大型構造物を考えたとき、広いスペースを有効に利用できることや、移動が可能であることを考えあわせると利用価値の高い構造物といえる。しかし、波の作用に伴う動揺が著しく利用上の課題が残されている。

本来、浮体の動揺を軽減することは容易ではなく、浮防波堤や栈橋などではある程度の動揺を許容してきた。また、浮防波堤では浮体の運動に伴うスラミング現象や運動の位相差などを利用する例もあり、浮体の動揺を積極的に軽減しようとする試みは少なかつたように思われる。一般に浮防波堤などにおいて波浪の制御効果が期待されるのは、浮体幅の4~5

倍程度の波長の波までが限度であるといわれるように、比較的周期の短い波に有効で、長周期の波では動揺が大きいことを示している。

そこで、ここでは海洋空間利用を発展させる意味を含め、波浪制御効果に異なった周波数帯を持つ構造形式を組み合わせたハイブリット型ともいえるべき没水平板付浮体の検討を行った。没水平板による波の制御に関する研究としては入江ら^{1),2)}の研究があり、波の制御に有効であることが明らかにされている。また、浮体と組み合わせた研究としては小島ら^{3),4)}、増田ら⁵⁾、そして著者ら⁷⁾の研究があるが理論値と実験値の整合性は必ずしも良くない。

そこで、消波性能として浮体が短周期の波の制御、そして没水平板が長周期の波の制御に有効であることから、浮体形状や係留の有無によってどの程度の波長の波にまで安定性の確保が可能であるか、またその時の没水平板の必要面積や取り付け深さなどによって浮体の挙動がどのように変化するかを調べる研究の一環として、ここでは浮体の主要な運動であるheavingに主眼をおいて、浮体幅をパラメーターとした実験を行い動揺特性について検討した。

2.実験装置および実験浮体

表－1 実験条件

h・T (cm) (sec)	Hi (cm)	L (cm)	Hi/L	h/L
70・1.0	6.79	154.91	0.044	0.452
70・1.2	6.05	216.94	0.028	0.323
70・1.4	4.94	280.30	0.018	0.250
70・1.6	3.75	342.45	0.011	0.204
70・2.0	2.98	462.07	0.006	0.151

(1) 実験・計測装置および実験条件

実験に使用した造波水槽は長さ27.6m、幅0.7m、高さ1.0mの両面ガラス張りの鋼製2次元水槽で、一端にピストン式造波装置が取り付けられている。水槽の両端にはスリット式の低反射消波装置がおかれている。

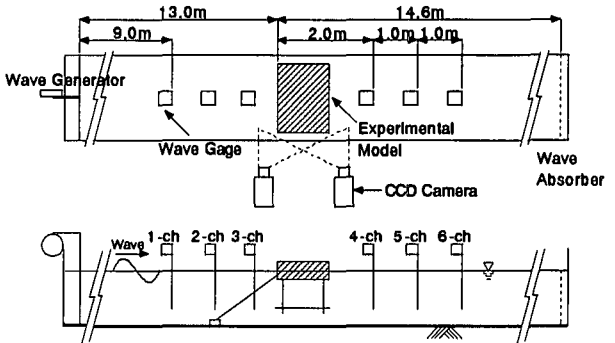
実験条件としては、ここではやや長周期の波に対する浮体の安定性についての検討を考えているため入射波形勾配が0.02程度の波についても対象とした。実験条件は表－1に示した通りである。ここで入射波高（Hi）は浮体を設置する前に造波機から13.0m地点で予め測定した波高である。

実験に使用した浮体モデルは、浮体の下部水中部分にシャフトで水平板を固定した没水平板付矩型浮体である。

また実験では、カラービデオ画像を用いて動揺解析を行うために3色の発泡スチロール製カラーボールを浮体の前後と重心線上の位置に設け、水槽側面より2台のCCDカメラによって撮影した。収録された画像は動揺解析装置本体に1/60秒毎に取り込まれ、デジタル化されたカラーボールの重心位置を、静止状態からの移動量として表示される。

そして、浮体の動揺とは別に、浮体前後の波の計測を行うために、図－1に示したように沖側では入射波測定用に1台、反射波測定用に2台、岸側では透過波測定用に3台の計6台の容量式波高型を設けた。

また、係留については極力自由度を妨げない状態で浮体の動揺を比較する観点から全く係留せずフリーの状態と、入射側に2点係留を施した2通りについて実験を行った。



図－1 実験水槽および波高計配置図

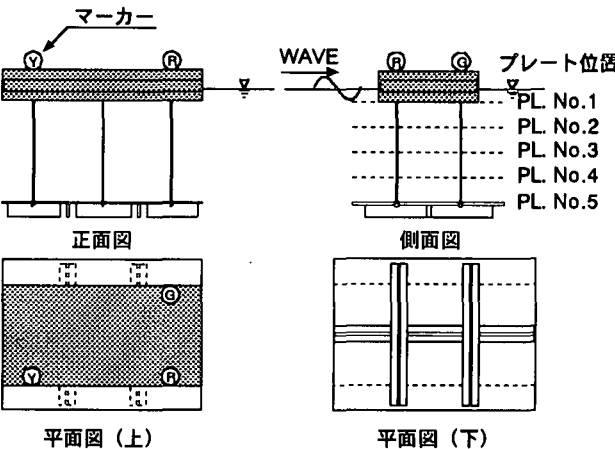
表－2 浮体モデル一覧表

Model	Pontoon Size(cm)	Plate Position	Draft(cm)	Plate Size(cm)
L-0	30×120×11	none	3.2	none
L-2		No.5	3.4	45×140
L-3		No.3, No.5	3.4	45×140×2
S-0	30×60×11	none	3.0	none
S-2		No.5	3.3	45×80
S-3		No.3, No.5	3.3	45×80×2
M-0	60×30×11	none	3.3	none
M-1		No.5(S)	3.3	45×60
M-2		No.5(L)	3.5	60×60
M-3		No.3, No.5(S)	3.9	45×60×2
M-4		No.3, No.5(L)	3.9	60×60×2

(2) 浮体モデル

実験では18種類の浮体について動揺の計測をしたがここでは表－2に示すように基本浮体として浮体幅B=30.0cmに対して2倍のB=60.0cm、そして4倍の幅を持つB=120.0cmの3種類を用いた。それぞれの浮体において、下部水中部に浮体の吃水面よりやや大きめでフィン付の亚克力製水平板が1枚または2枚取り付けられている。水平板に取り付けられているフィンは高さ5.0cmで浮体の水平移動を抑制するために設けてある。実験に使用した浮体モデルの詳細図の一例を示したものが図－2である。

ここに示した浮体はM-1型浮体モデルで水平板の取り付け深さは浮体下部より9.0cm間隔としているがその位置が最も深いプレートポジション（PL No.5）の位置にのみ取り付けただのもので、浮体サイズはB=30.0cmである。同様に、B=60.0cmの浮体をS型浮体とし、S-3型浮体とはプレートポジションがNo.3とNo.5の位置に同一種類の水平板が2枚ついている浮体である。またB=120.0cmの浮体はL型浮体である。実験においてM型浮体のみ係留されている。



図－2 実験浮体の一例（M-1浮体）

3.実験結果と考察

(1) 基本浮体の動揺特性

本実験では、浮体幅の異なる3つの浮体を基本浮体として用いているが水平板の取り付けられていない浮体についてのheaving特性の実験結果を示したものが図-3である。横軸には波長(L)に対する浮体幅(B)の比を取り、縦軸にはheavingの振幅(η)を入射波高(H_i)で無次元化したheaving量(η/H_i)をとって示したものである。M型浮体に対してS型浮体は2倍、L型浮体は4倍の浮体幅を有しているが $L/B=6.0$ 以下の波、すなわち浮体幅の6倍以下の波長の波では波長が短くなるほどheaving量が減少するが、逆にそれより長い波長を有する波に対しては浮体は波の振幅に等しいheavingとなっている。この事より、一般にいわれるポンツーン型浮体の消波効率の限界($L/B \approx 5.0$)と本実験における結果はほぼ一致していると考えられる。

(2) 板付浮体の動揺特性

次に浮体の水面下に水平板を取り付けた浮体のheaving特性の実験結果についてまとめたものが図-4である。この図も横軸に相対浮体幅(L/B)を取り、縦軸に η/H_i をとって示したものである。

この結果では、浮体幅が異なるので同一の波に対しても横軸の位置はややずれたところに表示されているが浮体に対する水平板面積の割合がほぼ等しいL-2、S-2、M-1型浮体では、heaving特性はほぼ同様の傾向を持っていることが示されている。特に、M-1型浮体では沖側が係留されているがその影響はあまり見受けられない。しかし、M-2型浮体ではM-1型浮体と同じ1枚板であるが水平板の面積が約30%程度増加されており、その事によってheaving量が著しく減少し、相対浮体幅 $L/B=16.0$ 程度においても、heaving量は入射波高値の約60%程度まで軽減させられることが認められる。これは没水平板のエッジが入射波の作用を受ける浮体の入射面より沖側に引き出されているため、波が入射して浮力を受けて浮体の入射側が上昇しようとして浮体の重心、または岸側端部を中心とした回転モーメントが働くときに、水平板を囲んで存在する流体の粘性抵抗力がM-2型浮体の方が水平板の張出部が多い分抵抗が増加しheavingの軽減に寄与しているものと考えられる。

(3) 係留浮体の動揺特性

M-1型浮体とM-2型浮体では没水平板の面積がやや増加するだけでheavingが著しく減少するので、係留浮体における没水平板の効果について検討を行った。

係留浮体M-0、M-1、M-2、M-3型浮体の4浮体におけるheaving特性の実験結果をまとめたものが図-5である。

M-0型浮体は没水平板を有しないので相対浮体幅

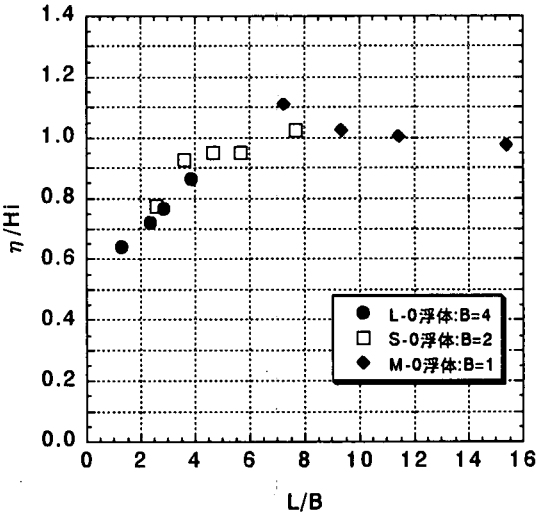


図-3 基本浮体のHeaving特性

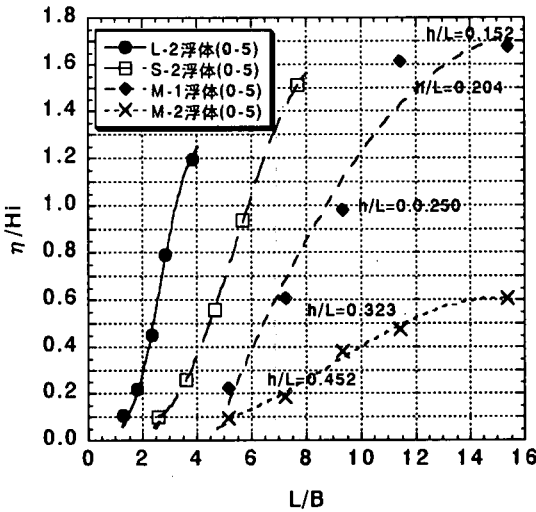


図-4 1枚板を有する浮体のHeaving特性

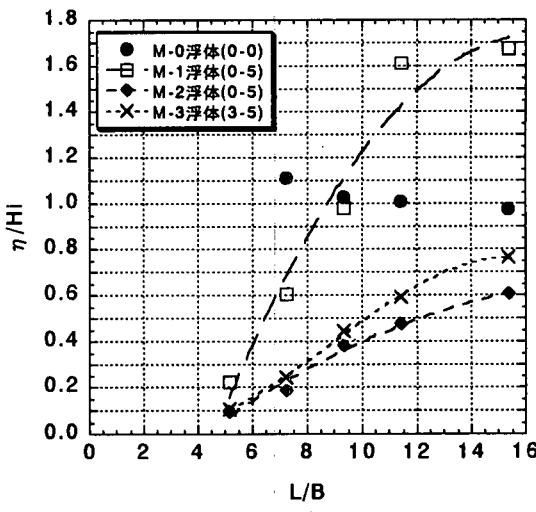


図-5 係留浮体のHeaving特性

に対するheavingの結果は、ほぼ一定値を取り入射波と同様な振幅で運動していることが示されている。

一方、没水平板を1枚有するM-2型浮体と2枚有するM-3型浮体では、M-3型浮体の方が没水平板の面積比では約50%も多いのにもかかわらずheavingの結果に著しい差が認められず、取り付け面積比の大きい浮体の方がheavingが若干大きくなっている。これは、没水平板の取り付け位置に関係があると考えられる。M-3型浮体では没水平板2枚のうち1枚が水深の浅い部分に設置されているため、波の入射時に波の作用を受けて浮体を振動させるのではないかと考えられる。このことより、没水平板の取り付け位置によってはマイナスの効果となることを示していると思われる。

しかし、M型浮体では没水平板を設けることによりL/B=16程度の浮体幅に対して波長の長い波でもheavingを60%以下に抑制することができ、没水平板がheavingの軽減に効果的であることが示されている。

(4) 浮体規模によるheaving特性

基本浮体に没水平板を2枚としたときのheaving特性に実験結果を示したものが図-6である。図の結果で示されるように没水平板を2枚とした場合ではL/B=4.0~8.0程度の範囲において浮体幅の効果は少なく、波に対するheavingの軽減にはあまり効果的でないようである。また、M型浮体は係留してあるのでその効果も見逃せない点と考えているが浮体幅の狭い方が波が透過しやすいことからheavingが少ないとも考えられるので伝達波等の検討もする必要がある。

(5) 係留浮体の反射率と伝達率

浮体が海域に設置された場合の周辺の海域への影響として配慮しなければならない点として浮体からの反射波と伝達波の問題がある。そこで浮体のheavingとの関連で反射率、伝達率について検討した。反射波高はHealyの方法で求め、伝達波は浮体背後1.0mに設けた浮体にもっとも近い地点の測定結果を用いて各浮体ごとにまとめたものが図-7である。

M-1型浮体とM-2型浮体は図-4、5で示したように、同じ1枚板の場合であるが板の面積がやや異なるもののheavingの傾向が著しく異なるので、それらの浮体についての反射率、伝達率を示した。図に示されるように反射率ではL/B=5.0に対してKr=0.3、そしてL/B=15に対してKr=0.05程度で、両者はほとんど差が認められないのに対して、伝達率ではL/Bの小さいところで10%程度の差が認められる。従って反射率と透過率を見る限り両者の運動の差による違いは認められない。また、M-2型浮体とM-3型浮体では没水平板が1枚と2枚であるがheaving量の差は少なくほぼ同一の傾向を持っていることもあり、反射率、伝達率ともほとんど一致し

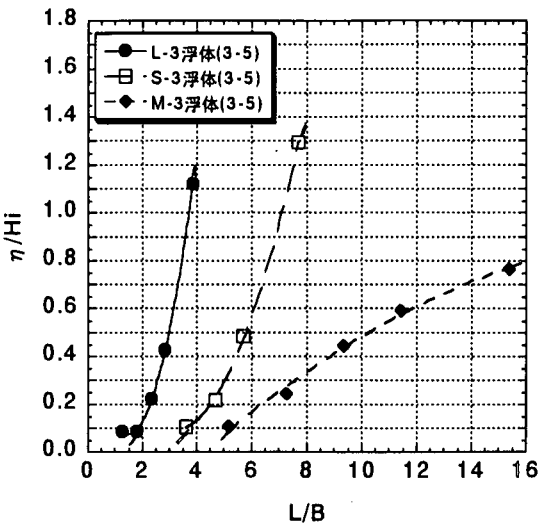


図-6 浮体規模によるHeaving特性

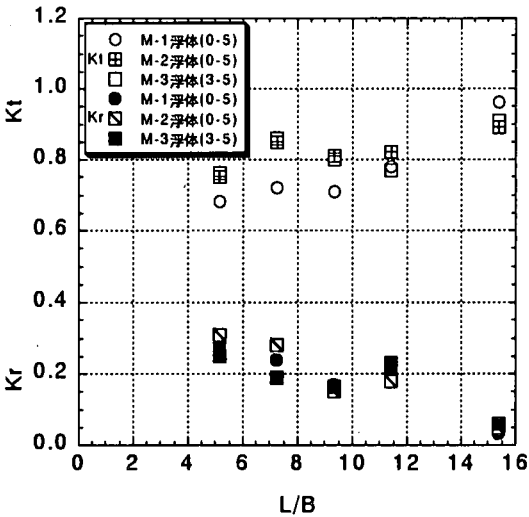


図-7 透過率・反射率

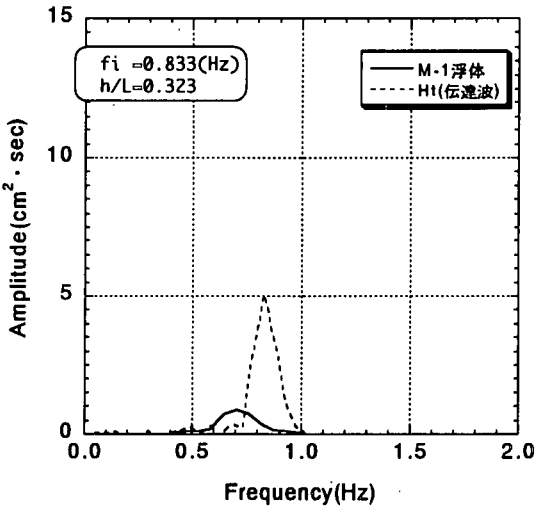


図-8 周波数特性

ている。このような結果となった理由の1つとして考えられることはいずれの浮体の場合も吃水がきわめて浅く、入射波が通過しやすい浮体であることがあげられる。

(6) 浮体と伝達波の周波数特性

この実験では規則波を対象としているが、没水平板付の浮体からの反射波や伝達波には、入射波の周波数とは異なった周波数帯の波が発生することが報告されているのでそれらの検証を行った。また、そのような結果が認められる場合には浮体自身が入射波特性とは異なった運動が卓越するものと考えられる。そこで、浮体の運動と伝達波の時系列記録から周波数解析を行った。その結果の一例を示したものが図-8、9である。

図-8はM-1型浮体における結果である。この結果によれば、浮体の卓越周波数は入射波の周波数 $f_i=0.833(\text{Hz})$ よりやや小さな値となり分布も広くなり浮体の運動周期が長くなっているのに対して、伝達波の卓越周波数はほぼ入射波のそれに等しいが周波数帯の幅がかなり広がって入射波の周期よりかなり異なった周期の波が伝達されていて、その上振幅もかなり減衰していることが認められる。このことから、M-1浮体では浮体の運動周波数が短くなり、その結果heavingが卓越するものと考えられる。

また、図-9に示したM-2型浮体も同様に入射波周波数 $f_i=0.833(\text{Hz})$ の場合の浮体の運動と伝達波の周波数特性である。浮体の運動周波数帯がきわめて広がっている。一方伝達波の方にも入射波より長周期や短周期の波が認められるが、入射波周期と同じ周期の波が卓越していることがわかる。このことより、M-2型浮体では没水平板の効果として入射波周期と異なった複雑な周期の運動を含んでいるためheavingが軽減されたものと推察される。また、逆にheavingが少ない分、没水平板による流体の攪乱や渦の発生が少なく伝達波が大きくなるものと推察される。

(7) 浮体のheavingとpitching特性

これまで主として浮体のheavingについて述べてきたが浮体の運動のheavingに対する浮体のpitching角の関係を併せて示したのが図-10である。この結果は、縦軸には静水面を基準とした浮体の変位量 ($\pm \eta / H_i$) を取り、横軸に浮体の静水面に対する傾斜角 (deg) をとったものである。この図は没水平板の取り付けられていないS-0型浮体と2枚取り付けられているS-3型浮体の結果を重ねたものである。波の条件は入射波波形勾配 $H_i/L=0.039$ と比較的波高が大きい、相対水深 $h/L=0.323$ 、相対幅 $L/B=3.6$ と比較的波長の短い波の場合の結果である。S-0浮体では、入射波とほぼ同様の振幅と傾斜を持っていることがわかるが、S-3型浮体ではheaving, pitchingともに少ないことがわかる。このように没水平板付浮体では浮体の動揺や傾斜を著しく軽減することがで

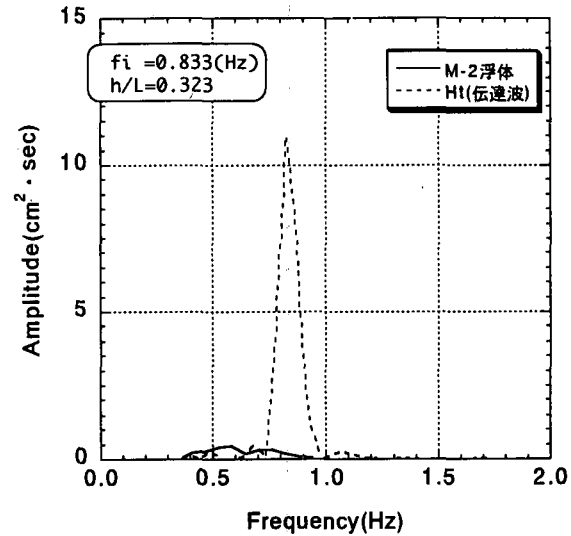


図-9 周波数特性

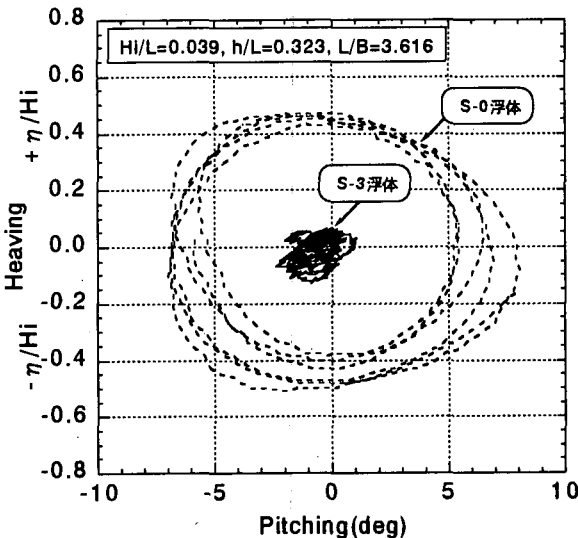


図-10 PitchingとHeavingの相關

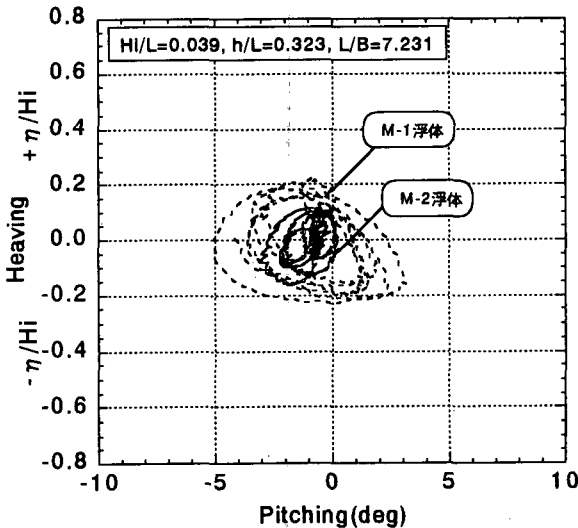


図-11 PitchingとHeavingの相關

きるので浮体の安定性の確保の方法として有効と考えられる。

また、図-11は係留された浮体のうち、比較的安定性の悪いM-1型浮体と安定性の良いM-2型浮体を同様な軸で示したものである。相対幅は $L/B=7.23$ と比較的大きな条件である。M-1浮体ではM-2浮体と比較してheavingが大きいだけでなくpitchingも著しく大きくなり、浮体の動揺は極めて複雑な運動をしていることがわかる。

M-2型浮体では、 L/B が大きいにも関わらずS-3型浮体に近い運動であることが確認される。

4.まとめ

本研究の結果、没水平板付矩型浮体の動揺特性を明らかにすることができ、要約すると以下のようにまとめられる。

- (1) 没水平板が1枚の場合では、浮体の吃水面における面積と取り付け没水平板の比率が同一の浮体の場合では、入射波の波形勾配が0.03以上で L/B が10以下では浮体幅が大きくなってもheaving特性は基本的には変化せず、heavingに対する抑制効果は同程度であることが明らかとなった。また、係留浮体においてもheavingの傾向はほぼ同様の傾向を示し、係留による影響は少ないようである。
- (2) 没水平板が1枚の場合でも、その面積を増大させたM-2型浮体では当然の事ながらheavingの抑制効果は大きく L/B が16程度でも η/H_i が0.6程度であることから没水平板の効果が著しいことがわかる。
- (3) 同じ係留浮体の場合でも、没水平板の取り付け面積によって動揺特性は著しく変化し、没水平板の面積が少ないとあまり効果がないが、没水平板2枚を離して取り付けたものと1枚をやや大きくしたものとでは、1枚の方がheavingの抑制効果は大きく必ずしも2枚とする必要はない。このことは、比較的浅い部分に取り付けることにより板が入射波による作用を受けて安定性が悪くなるものと考えられる。
- (4) ポンツーン型浮体に没水平板を2枚取り付けた場合、浮体幅の長い場合と短い場合では浮体幅は長い方がheavingに対して安定性があり、 L/B の広い範囲に対して安定度が確保される。
- (5) 没水平板付浮体のうち平板の面積が浮体の吃水面にほぼ等しいようなときは浮体の運動周期が長くなり没水平板を取り付けたことにより長周期の運動をさせる結果となりheavingがあまり抑制さ

れない。しかし、この場合でも伝達波には効果があり伝達波の周波数帯を広げ、振幅の低減に効果を有している。

- (6) 没水平板の面積が十分でheavingの抑制効果が著しいM-2型浮体では幅広い周波数帯の運動となるが、伝達波は入射波の周波数特性が強くあまり低減していない。
- (7) 浮体の運動はheavingのみならずpitching等も考慮する必要がある。一般に没水平板付浮体ではheavingを低減させることができるだけでなくpitchingをも著しく軽減できることが明らかとなった。

以上、没水平板を持つ矩型浮体の動揺特性について検討してきたが、浮体の規模、没水平板の取り付け位置と必要面積を考慮すればheavingのみならずpitchingをも軽減できるので、浮体の安定性の確保に役立つと思われる。

なお、この研究は「平成6年度研究所大型機器設備（動態情報解析機器装置）」を用いた研究であることを付記する。

参考文献

- 1) 入江功, 信岡尚道, 小島治幸, 三原泰司: 底版型潜堤の波浪減殺効果, 海岸工学論文集, 第38巻, pp561~565, 1991.
- 2) 入江功, 小島治幸, 古賀巖: 浮体と没水平板のハイブリッド構造物による波の制御, 海岸工学論文集, 第40巻, pp631~635, 1993.
- 3) 小島治幸, 入江功, 池崎靖: 浮体と没水平板によるハイブリッド消波堤の水理特性に関する研究, 海岸工学論文集, 第41巻, pp751~755, 1994.
- 4) 小島治幸, 入江功, 関本恒浩: 鉛直運動を許容したハイブリッド消波堤の水理特性, 海岸工学論文集, 第45巻, pp711~715, 1998.
- 5) 増田光一, 高岩千人, 八木英紀: 没水平板を用いた浮体橋の動揺軽減に関する研究, 海岸工学論文集, 第42巻, pp981~985, 1995.
- 6) 中村孝幸, 加藤健一, 河野徹, 上村稔: スラミング現象を利用した浮防波堤の波浪制御効果について, 海洋開発論文集, Vol.14, pp311~316, 1998.
- 7) 落合実, 遠藤茂勝: 水平板によるポンツーンの動揺制御に関する基礎実験, 海洋開発論文集, Vol.11, pp345~350, 1995.

(1999.4.19受付)