

水平板によるポンツーンの動揺制御に関する基礎実験

Experimental study on Dynamic Motion Control by Flat Plate Attached on the Pontoon

落 合 実*・遠 藤 茂 勝*

Minoru Ochiai and Shigekatsu Endo

The experiments on this study were conducted to find the effective motion control by a flat plate attached on the pontoon, and also Wave response characteristics of several type of the pontoon were examined. Then, it was verified that the flat plate have worked effectively for motion control of a floating pontoon, especially against a wave with comparatively large wave steepness. It was confirmed that the dimension and attaching depth of flat plates are important factor for motion control of a floating pontoon. The most effective plate for motion control on these experimental condition is case 4. This method using a simple potential energy of fluid could be multiply applied to pontoon with other formed ones.

keyword:(Dynamic Behavior, Pontoon, Floating structure)

1. はじめに

浮体構造物に関するこれまでの研究を大別すると浮防波堤と浮体式けい船岸を対象とした研究が主なものである。^{1)~8)} 浮防波堤は波浪制御のみならず水質環境の保全の観点から注目され、種々の構造物が開発研究されている。しかし、近年大水深での波浪制御が必要となってきたことから、改めて浮防波堤や浮体の係留に関して検討がなされている。また浮体式のけい船岸は沿岸域において潮位差の大きい地点での陸揚げや仮設栈橋などに用いられているが、近年プレジャーボートの普及とマリーナなどの整備に伴ってポンツーンの栈橋が多く用いられるようになった。しかしこの種の浮体構造物は比較的規模が小さいため波浪や人の移動による動揺が大きく、安定性がよくない。そして湾内域では一般に軟弱な海底が多いことから、従来のチェーン係留や杭係留にみられるローラー支承で連結するような浮体形式には検討すべき問題が多くある。このように浮体構造物の波浪動揺特性が重要な課題であるが浮体自身で動揺を軽減させるような構造を開発する試みはまだ十分ではなく、動揺制御型浮体の開発が望まれているのが現状である。

そこで本研究では浮体の波浪による動揺を極力軽減できる機能を有する浮体を検討することを目的としてポンツーンの下部に水平板を設けた浮体構造物を対象に動揺制御機能について基礎的実験を行う。

2. 実験装置および条件

実験に用いた水槽は図-1に示すように長さ27.6m、幅0.7m、高さ1.0mの両面ガラス張り鋼製2次元水槽であり、ピストン型造波装置が取り付けられている。波浪条件としては一般に浮体構造物が長周期波に対して動揺が大きいとされていることから本実験では比較的長周期で波形勾配が小さい波浪を対象とする。造波条件は表-1である。ここで入射波高:Hiは浮体を浮かべる地点(造波板より13m地点)において予め測定した

入射波高である。実験はマーカを取り付けた浮体を水槽のほぼ中央部(造波板より13m地点)に浮かべ、浮体の動揺を水槽側面よりビデオ撮影する。その収録された動揺浮体画像を1/30秒毎にパソコンに読み込み、マーカ座標をデジタル化する。そしてマーカ座標から浮体の前端上部と後端上部の位置を座標換算し、それら浮体の前後端部の動揺量を静止状態位置からの相対変動量として表して浮体の動揺特性を検討する。すなわち入射波に対する浮体の上下動(Heaving)、前後動(Swaying)そして横揺れ(Rolling)について検討する。

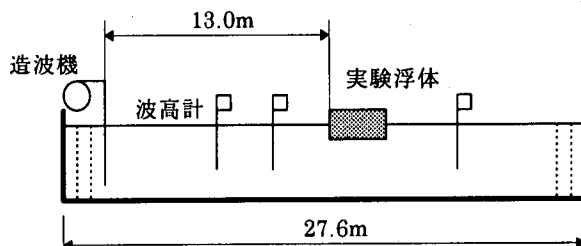


図-1 実験水槽概略図

表-1 実験造波条件

水深 (cm)	h	70
波高 (cm)	H_i	4.21 ~ 8.52
波形勾配	H_i/L	0.008 ~ 0.039
比水深	h/L	0.135 ~ 0.323

3. 浮体モデル

実験に用いた浮体モデルは、長さ:B=60cm、幅:W=30cm、高さ:a=11cm、吃水:d=3.1cmのポンツーン型であり、浮力と安定性を考慮して発泡スチロールを木板で挟んだ構造形式となっている。図-2にこの浮体の諸元と運動座標系を示す。このモデルを基本形式として、図-3に示すように浮体下部の任意位置に水平アクリル板を取り付けた4種類を実験対象としている。また

*正会員 日本大学生産工学部土木工学科 (〒275

習志野市泉町1-2-1)

水平アクリル板には水平方向の移動を抑制するために鉛直下向きに高さ50mmのフィンが取り付けられている。

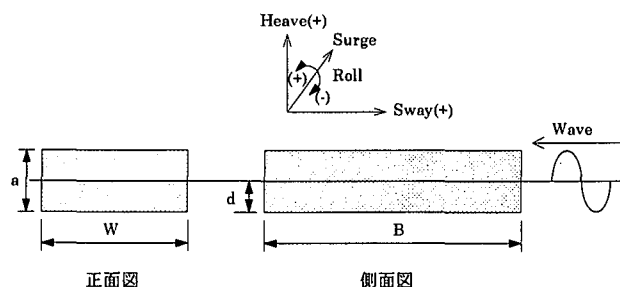


図-2 浮体運動の座標系

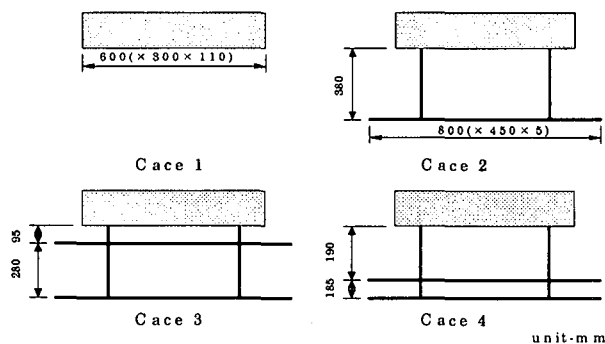


図-3 ポンツーン型浮体モデル

4. 実験結果および考察

4.1 Heaving 特性

図-4 は入射波形勾配: $H_i/L=0.026$ の波に対する浮体前部の上下運動量、すなわちHeaving量: η の時系列結果を示したものである。図-4 (a) は基本ポンツーンである Case 1 の結果であり、入射波の波動とほぼ同様な運動形態となっていることが認められる。すなわち入射波の成長過程としては造波板の駆動に伴って静水の状態から波の振幅がしだいに大きくなり、5~6波以降ではほぼ一定の波高が数波連続し、その後水槽端部や堤体前面からの反射波が造波板に衝突して再造波されるためより大きな振幅となることが確認されている。この連続した一定波高を「実験波」としており、この「実験波」に対応した浮体の動揺のみを本実験で対象としている。そして一定波高は $H_i/L=0.026$ の場合、約9~17secの範囲であり、その間に出現する波数は造波周期によって異なっている。

図-4 (b) は図-4 (a) と同じ条件波に対する Heaving 運動の時系列を Case 4 について示したものである。この図において Case 4 の運動は Case 1 と異なり実験波に対応した波に対して振幅が一定でないことが示され、水平板の影響が表れているものと考えられる。しかし振幅量は Case 1 よりも Case 4 の方がかなり小さく、また振幅の出現周波数は Case 1 と Case 4 の両Caseとも入射波周期とほぼ同じであることが認められる。

図-5 は図-4 と同じ入射波条件に対する浮体の後端部のHeaving運動の時系列として示したものである。図-5 (a) および(b) は浮体前後端の運動の違いをそれ

ぞれ図-4 (a) および(b) と直接比較できる。これらの図から水平板を取り付けない基本ケースにおいては当然浮体の長さ分だけ時間差があるが振幅量とその傾向は浮体の前後端でほぼ同じ運動をしていることが認められる。一方水平板を取り付けたCase 4は後端部の振幅が前端部よりもかなり小さく、また前端部の運動が静水面以上であるが後端部は振幅の中心がほぼ静水面となっている。これらの傾向は水平板の影響によるものと考えられる。

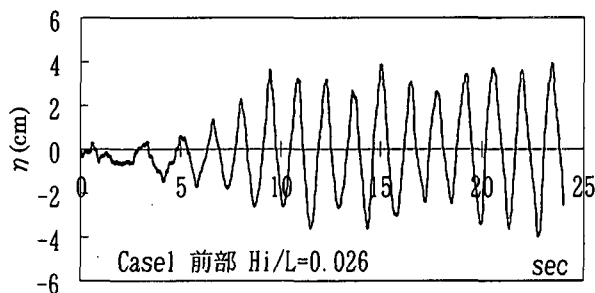


図-4 (a) Heaving運動時系列

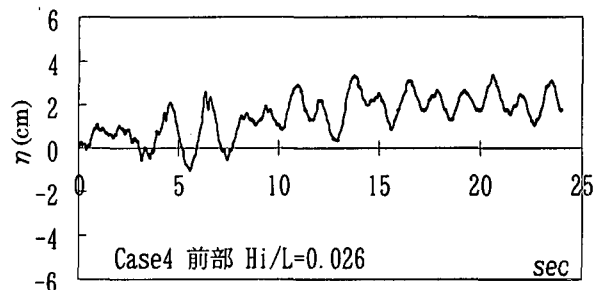


図-4 (b) Heaving運動時系列

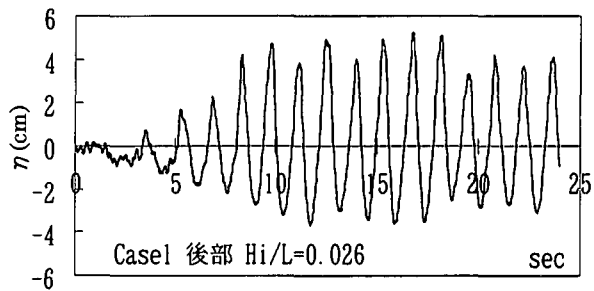


図-5 (a) Heaving運動時系列

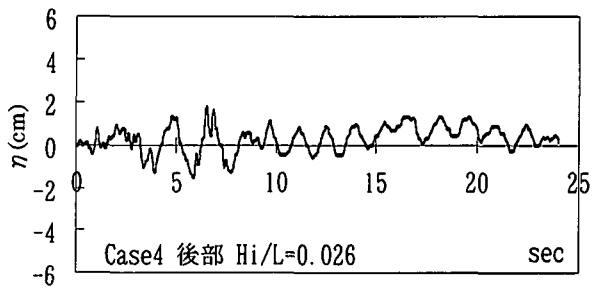
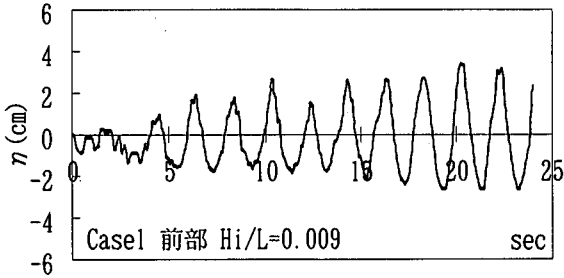


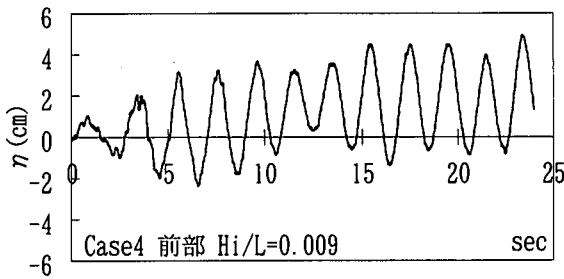
図-5 (b) Heaving運動時系列

図-6 は入射波形勾配: $H_i/L=0.009$ の波に対する浮体の前端部のHeaving運動の時系列結果である。図-6 (a) および(b) はそれぞれ Case 1 および Case 4 の運動であり、両結果とも入射波周期と同様な運動とな

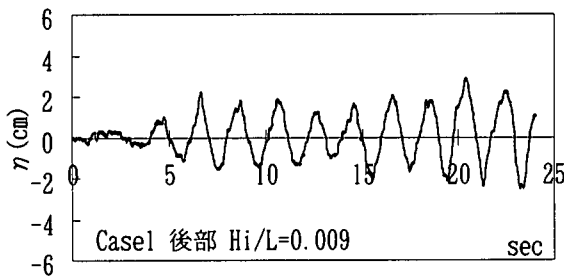
っており、Case 1 と Case 4 の運動がにあまり差がないことを示している。この入射波では「実験波」は約6～13secの範囲であり、その範囲の動揺を検討対象としている。



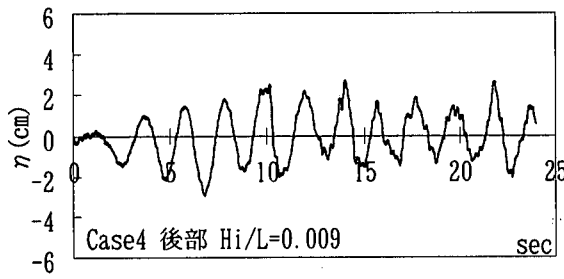
図－6 (a) Heaving運動時系列



図－6 (b) Heaving運動時系列



図－7 (a) Heaving運動時系列

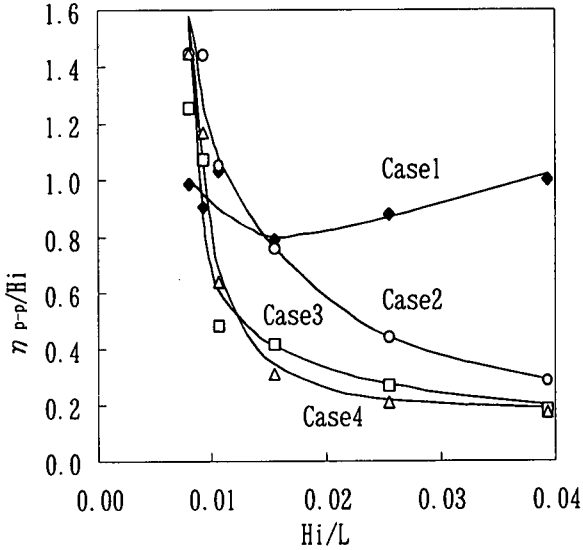


図－7 (b) Heaving運動時系列

図－7は図－6と同じ条件波に対する浮体の後端部の Heaving 運動を示してある。図－7 (a)および(b)はそれぞれ Case 1 および Case 4 の場合を示している。後端部のHeaving振幅は浮体長さに対応した移動の時間的な遅れがあるものの図－6に示された前部部の運動とほぼ同様の運動特性を示している。これらの図から水平板の有無による Heaving運動の顕著な変化が認められないことから、長周期の波形勾配が小さい波に対して Case 4 の浮体は板による動揺制御機能が少ないことがわかる。

図－8は浮体前端部の Heaving 運動の無次元振幅 (Heaving振幅: $\eta_{p-p}/\text{入射波高:}H_i$) と入射波形勾配との関係を各Caseをパラメータとして示したものである。基本ポンツーンであるCase 1 は入射波形勾配の変化に対して約 $H_i/L=0.015$ 程度で若干小さくなるもののほぼ入射波高と同程度の Heaving 運動をしていることが認められる。また水平板を取り付けた場合にはCase全体として入射波形勾配: H_i/L が大きくなるに伴いHeaving振幅が小さくなり、特に約 $H_i/L=0.015$ 以上でかなりのHeaving振幅の低減が認められた。しかしCase 4 は波形勾配が約0.01程度においてHeaving振幅が入射波高よりもかなり大きくなることが認められる。このような浮体の前端部のHeaving振幅は後端部にも確認されている。

このようにHeaving振幅の結果において水平板の有無による顕著な傾向の違いにより、水平板の動揺制御効果が認められたが取り付け位置によってHeaving振幅が異なることも確認される。そしてHeavingの時系列とその振幅の結果から本実験浮体においてHeavingを効果的に抑制・制御できる浮体は水平板を最下部に2枚取り付けた Case 4 であることが認められる。



図－8 入射波波形勾配とHeaving振幅の関係

4. 2 浮体のSwaying 特性

図－9は入射波形勾配: $H_i/L=0.026$ の波に対する浮体前端部の水平移動量、すなわち Swaying量: α の時系列結果を示したものである。図－9 (a)は基本ポンツーン Case 1 の結果であり、造波後約3sec程度で若干大きな運動を示しているがこの場合の「実験波」は約9～17secの範囲であることから実験波の範囲においては入射波の波動に対応してほぼ一定の水平往復運動となっていることが認められる。図－9 (b)は図－9 (a)と同じ条件波に対する Swaying 運動の時系列を Case 4 について示した一例である。この図の実験波 (約9～17secの範囲) において Case 4 の水平運動はCase 1と異なり一定な水平往復運動でないこ

とが示され、水中に取り付けた水平板の影響が表れているものと考えられる。このようなSwaying運動は水平板を取り付けた Case 2 および Case 3 においても認められている。

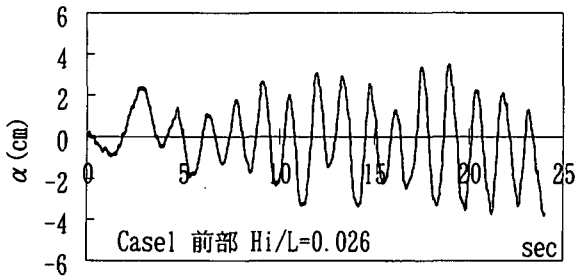


図-9(a) Swaying運動時系列

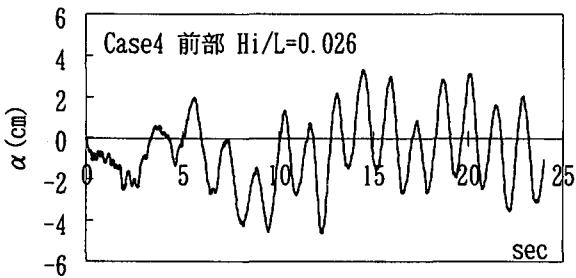


図-9(b) Swaying運動時系列

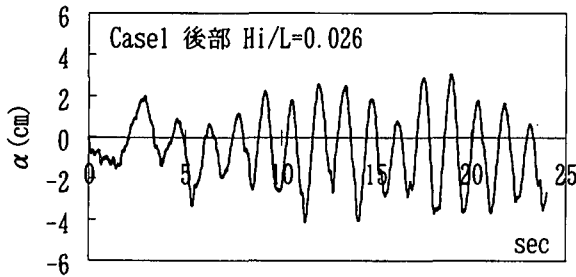


図-10(a) Swaying運動時系列

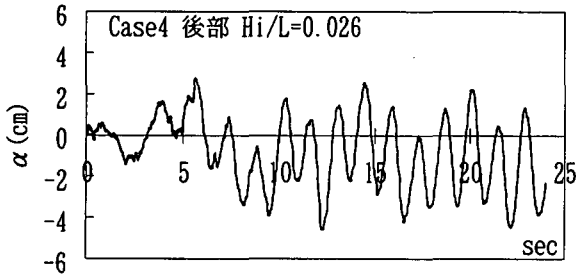


図-10(b) Swaying運動時系列

図-10は図-9と同じ造波条件: $H_i/L=0.026$ における浮体の後端部のSwaying運動の時系列を示したものである。図-10(a)および(b)は浮体の前と後の運動の違いをそれぞれ図-9(a)および(b)と比較することができる。これらの図において浮体の前後端におけるSwayingはほぼ同様な時系列運動となっているが浮体の前端部の水平運動に比べ後端の運動は負の方向、すなわち波の進行方向に若干シフトしており、入射波の水平波力によって浮体が若干移動するものと考えら

れる。この傾向は水平板を取り付けた全てのケースにおいても認められている。図-11は入射波形勾配: $H_i/L=0.009$ の波に対する浮体の前端部の水平移動(Swaying量: α)の時系列結果である。図-11(a)および(b)はそれぞれCase 1 および Case 4 の場合であり、両図とも水平往復運動の周期が入射波周期と同程度となっていることが認められる。そして実験波(約6~13secの範囲)に対する水平運動の往復距離は基本型であるCase 1 と水平板を取り付けたCase 4 の場合において同程度であり、またその水平移動の平均位置は入射前の静止状態とほぼ同じ位置であることが認められる。

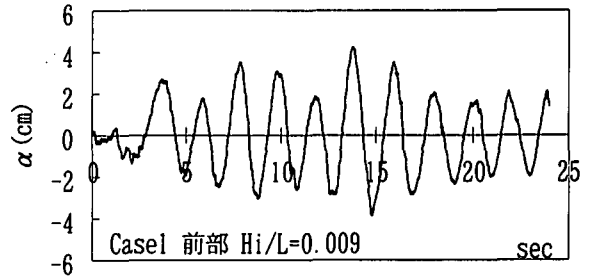


図-11(a) Swaying運動時系列

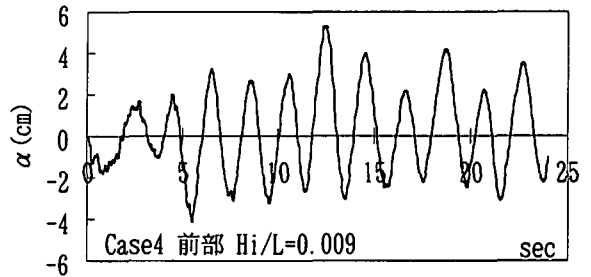


図-11(b) Swaying運動時系列

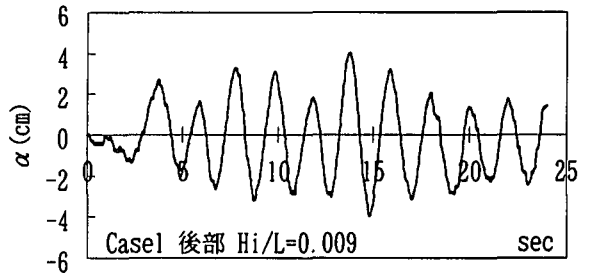


図-12(a) Swaying運動時系列

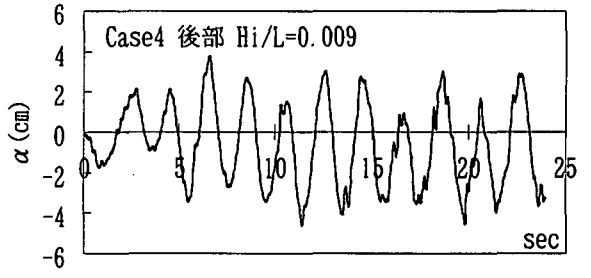


図-12(b) Swaying運動時系列

図-12は図-11と同じ入射波条件に対する浮体の後端部の水平移動を時系列として表したものである。そ

して図-12(a)および(b)はそれぞれ Case 1 および Case 4 の場合であり、これらの図はほぼ同様の時系列結果を示し、水平板の有無による顕著な違いは認められない。図-11および12から比較的入射波形勾配の大きい場合には水平板の有無による違いが確認できるが波形勾配の小さい場合にはその違いは顕著でないことが認められる。そこで水平運動の往復距離: α_{p-p} と入射波形勾配の関係を示したものが図-13である。この図は浮体の前端部の無次元往復距離 (α_{p-p}/H_i) と入射波形勾配: H_i/L の関係を各浮体ケースをパラメータとして表している。図において水平板を取り付けない Case 1 は波形勾配が約0.015までは波形勾配の増加に伴い水平往復距離が減少し、約0.015以上の波形勾配になるとその減少割合が小さくなる傾向が認められる。この傾向は水平板を2枚取り付けたCase 3およびCase 4においても同様に認められる。しかし水平板を1枚取り付けたCase 2は波形勾配の増加に伴い約 $H_i/L=0.015$ まで極端に増加し、水平板を取り付けないCase 1よりも大きいSwaying量となり、約 $H_i/L>0.015$ になるとSwaying量が逆に低減する傾向が認められる。このことから浮体の水平運動には水平板の枚数が大きく影響し、本実験浮体では1枚の水平板ではSwaying運動を増幅させ、2枚の水平板が動揺制御に有効である。また波形勾配が約 $H_i/L>0.04$ の比較的大きい場合には図中の傾向から水平板を取り付けたケースがSwaying運動に対して有効な制御効果を示すものと考えられる。各ケースの水平往復距離と入射波形勾配の関係から水平板の取り付け位置としてはCase 3の場合が本実験範囲において有効であり、比較的大きい波形勾配を考慮するとCase 4が有効である。

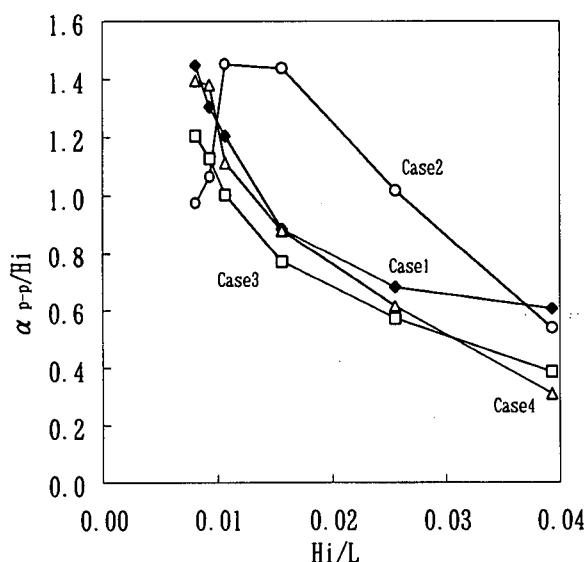


図-13 入射波波形勾配とSwaying振幅

4. 3 浮体のRolling 特性

図-14は入射波形勾配: $H_i/L=0.026$ の波浪に対する浮体の横揺れ角度、すなわち Rolling量: δ の時系列結果を示したものである。図-14(a)は基本ポンツ

ン Case 1 の結果の一例であり、この造波条件に対する実験波は約9~17secの範囲となっている。この実験波の範囲におけるRolling量の時系列は約+0.07~-0.09 rad 程度の振幅でほぼ一定となり、その振幅周期は入射波周期にほぼ対応していることが認められる。

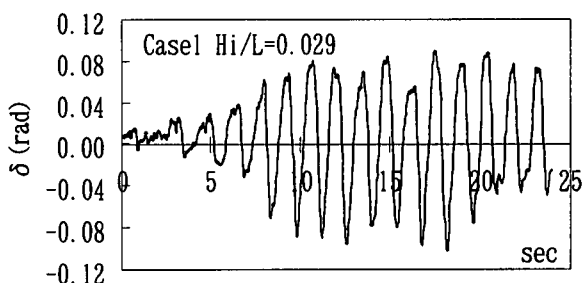


図-14(a) Rolling運動時系列

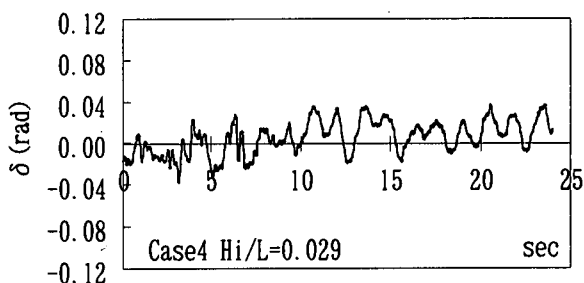


図-14(b) Rolling運動時系列

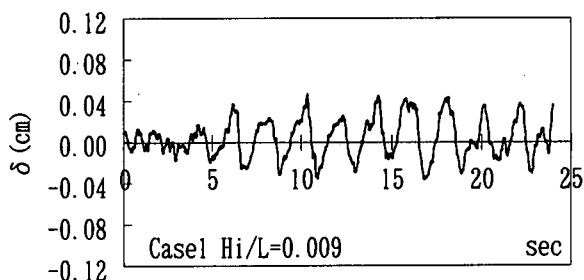


図-15(a) Rolling運動時系列

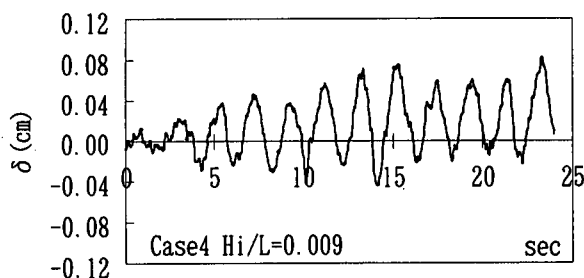


図-15(b) Rolling運動時系列

図-14(b)は図-14(a)と同じ条件波に対する Rolling運動の時系列を Case 4 について示したものである。この図の実験波 (約9~17secの範囲) において Case 4 はCase 1と異なり、時系列として一定振幅となるようなRolling運動が認められない。またこの図において実験波に対してRollingは約+0.04~-0.02 radの範囲であり、図-14(a)と比較してかなり小さい

Rolling量であることから、水中に取り付けた水平板の効果が表れているものと考えられる。このようなRolling運動の形態は水平板を取り付けた他のCase 2 および Case 3 においても認められている。

図-15は入射波形勾配: $H_i/L=0.009$ の波に対する浮体のRolling量の時系列結果である。図-15(a)および(b)はそれぞれCase 1 および Case 4 の場合であり、約6~13secの範囲が実験波となっている。これらの図の実験波に対する時系列は、ほぼ同様の結果を示し、水平板の有無による顕著な違いは認められない。浮体のRolling量を表現するに当たって、Rolling量の時系列が周期的な運動であることから各波浪に対する代表Rolling量を各実験波に対する時系列振幅の平均値: δ_{p-p} (平均Rolling量) で表すこととする。そこで平均Rolling量: δ_{p-p} と入射波形勾配の関係を示したものが図-16である。この図は縦軸を浮体長さ B と入射波波高の比: H_i/B で浮体の波浪による傾き $\tan \delta_{p-p}$ を除した無次元平均Rolling量: $\tan \delta_{p-p} / (H_i/B)$ と入射波形勾配: H_i/L との関係を示すパラメータとして表している。図において水平板を取り付けないCase 1 は波形勾配が約0.02までは波形勾配が大きくなるに伴い平均Rolling量が大きくなり、約0.02以上の波形勾配になるとほぼ一様となる傾向が認められる。また水平板を取り付けた浮体では約 $H_i/L < 0.015$ において波形勾配が大きくなるに伴い平均Rolling量が比較的大きく減少し、約0.015以上の波形勾配になるとほぼ一様となることが認められる。またCase 2 においては波形勾配が約0.01より小さい範囲でCase 1 よりもかなり大きな揺れ角度となっていることが認められ、水平板を1枚取り付けることによって動揺を増加させることとなり、水平板の取り付け枚数と位置が重要となる。

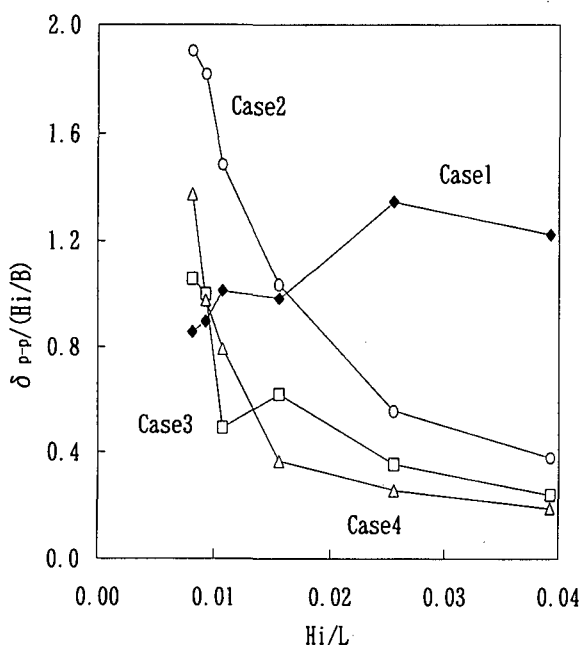


図-16 入射波波形勾配とRolling量の関係

そこで各ケースの無次元平均Rolling量と波形勾配の関係において水平板の取り付け方法としてはCase 4 の場合が特に有効であることが認められる。

5. おわりに

本実験では水平板を有するポンツーン型浮体について動揺を測定し、水平板の動揺制御効果とその機能を検討した。特に水平板を取り付けた数種類の浮体モデルを対象に波浪応答特性としてHeaving、Swaying およびRollingについて検討し、水平板の有効性を検証した。その結果、比較的波形勾配が小さい条件で行った実験であったが約 $H_i/L > 0.015$ の範囲で動揺制御に対して水平板の有効性が認められた。そして約 $H_i/L < 0.015$ では水平板が動揺を増大させるケースも認められ、水平板の取り付け位置と大きさが浮体の動揺制御に大きく影響することが認められた。そして波浪応答特性の結果から本実験条件において最も浮体の動揺制御に有効な浮体はCase 4 であることが明らかとなった。

本研究で対象とした動揺制御の方法は基本的な流体力を応用したものである所以他形式の浮体などにも適用できるものと考えられる。そして今後、比較的短い周期で動揺する浮体の周波数応答特性や浮体周りの流体現象と浮体運動の関連そして3次元的な浮体動揺特性について検討検討を進めている。

なお本研究は本学研究所大型機器備品購入予算にて購入の「動揺情報解析装置」を用いた研究である。

参考文献

- 1) 高山他；大型矩形浮体の波浪中の動揺と係留力に関する研究（第1報）、港湾技術研究所報告、第19巻、第3号、pp. 71-103、1980
- 2) 小日山他；浮体係留船岸の建設可能性について、海洋開発論文集、Vol. 5、pp. 43-48、1989
- 3) 上田他；港湾における浮体構造施設の現況と展望、海洋開発論文集、Vol. 6、pp. 327-332、1990
- 4) 中村；浮遊式防波堤の動特性と消波効果について、海洋開発論文集、Vol. 4、pp. 165-170、1988
- 5) 中村他；浮防波堤による動揺発散波の特性を利用した波浪制御法について、海洋開発論文集、Vol. 9、pp. 235-240、1993
- 6) 吉本他；フローティングブリッジの開発について、海洋開発論文集、Vol. 6、pp. 343-346、1990 & Vol. 7、pp. 83-88、1991
- 7) 前田；浮遊式海洋構造物の研究の現状（その1）、（その2）、生産研究、第44巻9号、pp. 1-8、9-16、1992
- 8) 林他；水平板を有するポンツーンの波浪動揺特性、日本大学理工学部学術講演会講演論文集、pp. 471-472、1994
- 9) 林他；動揺制御型ポンツーンの波浪応答特性について、日本大学生産工学部学術講演会講演概要土木部会、pp. 81-84、1994