

浮桟橋の動揺低減技術に関する実験と計算及び実機計測

池 末 俊 一*・田 村 一 美*・熊 本 直 樹*・松 浦 正 己**
西 垣 亮**・木 原 一 禎***・津 丸 徳 宏****

浮桟橋は、波浪・航走波での動揺により係留系の疲労破壊などを生じるケースが多い。また、浮桟橋利用者のニーズとして揺れに対する対策を求める声が多いのも事実である。そこで、本研究では松浦ら (2000) による浮体動揺を大幅に軽減可能な技術に着目し、同技術の浮桟橋への適用に関して水槽実験による検討を行った。実験の結果、この動揺低減技術により浮桟橋の動揺を大幅に低減可能なことが分かった。また、動揺低減性能を評価するための計算法を開発し、実験結果との比較により精度を検証した。更に、本技術を適用した実機について航走波による動揺計測を実施し、その動揺低減効果を実際に確認した。

1. はじめに

浮桟橋は、潮位変動に対して乾舷を一定に保つことが可能なため、潮位変動の大きい地域で船の乗船・下船設備として良く用いられる構造物である。しかし、桟橋自体が浮体であることから、波浪や航走波での動揺により係留系の疲労破壊などを生じる事が多々ある。また、(財)沿岸開発技術研究センター (1998) が実施したアンケート調査では、浮桟橋の動揺低減に対するニーズが多いという結果が得られている。特に、浮体の横揺に関しては造波減衰力が小さいため、浮桟橋の横揺固有周期と波浪や航走波の周期が一致する場合に利用者が大きな揺れを感じる。このような背景より、浮体の横揺を主とする動揺について、その低減対策が求められている。

このような浮桟橋の横揺に対する低減技術として、以下の2通りのアプローチが考えられる。

(a) 浮体動揺の固有周期を、波浪や航走波の周期からずらす方法。

(b) 浮体動揺に対する減衰を大きくする。

前者のアプローチとしては、(財)沿岸開発技術センター (1998) による、「揺れない浮体構造物」の技術が挙げられる。この技術には、水線幅変更型、減揺タンク上載型、SLO-ROL タンク付加型、TMD 制振装置付加型の4タイプがある。これら4つのタイプは各々手法が異なるものの、浮体動揺の固有周期を長周期化し波浪や航走波の周期から遠ざけることで横揺を低減させるコンセプトとなっている。

後者のアプローチとしては、浮体構造物にフィンを追加し、減衰力を増加させる方法が一般的である。これは、船舶分野ではビルジキールと呼ばれるものに相当する。松浦ら (2000) は作業台船の動揺に対して実験を行い、この方法を改良することでより大きな減衰力が得られる技術を開発した。図-1 に松浦ら (2000) が開発した技術

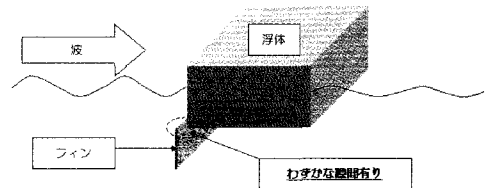


図-1 松浦ら (2000) の動揺低減技術

を示す。この技術は、フィン（フィン）を浮体構造物との間に僅かに隙間が空くように取り付けもので、この隙間を流体が通過する際に大きな減衰力が発生する。

本研究では、この松浦ら (2000) の動揺低減技術の浮桟橋への適用について実験および実機計測による検証を行った。また、その動揺低減効果を評価するための計算法を開発した。

2. 動揺低減技術の浮桟橋への適用に関する検証実験

松浦ら (2000) の動揺低減技術を浮桟橋に適用した場合の動揺低減効果について、実験による検証を行った。本実験では、図-2 に示すような浮桟橋模型を用いた。今回の実験では、動揺低減効果を明確に把握する目的で、敢えて大きな横揺応答が生じやすい形状を選定した。

図-3 に示すようにフィン模型はヒンジ支持式、剛支持式の2種類とした。またフィンの高さ H_b は、吃水 d の0.25 倍、0.50 倍、1.00 倍の3種類とした。

計測機器・模型の配置を図-4 に示す。実験では、浮体のロール（横揺）を運動量計測装置にて計測した。また、入反射波及び透過波を、波高計にて計測した。

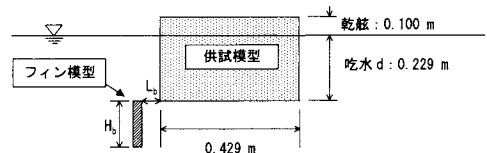


図-2 浮桟橋模型 (模型縮尺 1/7)

* 正会員 三菱重工業(株) 技術本部 広島研究所
** 非会員 三菱重工業(株) 技術本部 長崎研究所
*** 正会員 三菱重工業(株) 広島製作所
**** 非会員 三菱重工業(株) 広島製作所

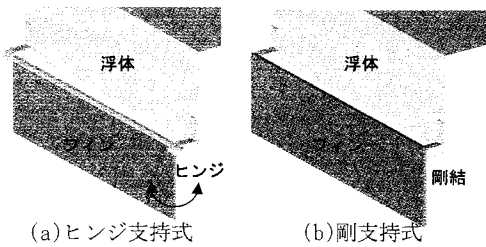


図-3 フィン模型

実験条件は、実験波の波周期を0.8～2.2 s、波高を0.07 mとし、浮体-フィン間の隙間 L_b を0.02 mとした。ただし、浮体-フィン間の隙間 L_b については、その影響を調べるため、浮体のロールがピークとなる周期で $L_b=0.01$ m, 0.02 m, 0.03 mとした場合の比較を行った。また、隙間の有無や、フィンを波上側・波下側に取り付けた場合の影響についても比較を行った。なお、模型の係留用コイルばねには、ばね定数が0.0578 kN/mのものを用いた。

図-5に剛支持式、 $L_b=0.02$ mの場合のロール応答実験結果を示す。まず、フィンの無い場合は、1.7 s付近で応答がピークとなった。これに対し、フィンを装着した場合にはフィンの高さに関わらず、1.7 s付近でのロール応答が概ね6割程度低減された。ただし、フィンの高さ

によりロール応答特性は異なる結果となった。フィンの高さが吃水 $\times 0.25$ の場合には、周期1.2 sと1.8 sの2箇所、ロールのピークが現れるような応答特性となった。これに対し、フィンの高さが吃水 $\times 1.00$ の場合では、ロールのピークが周期2.15 s付近となり、フィン無しの場合に比べて長周期側へシフトしている。また、ロール応答のピーク値に関しては、フィン高さが吃水 $\times 1.0$ の場合は吃水 $\times 0.25$, 0.50の場合に比べて1.5倍程度大きくなっている。これは、フィンが大きい分波圧の受圧面積も大きくなり、フィンが剛結であるため浮体側に大きなモーメントが伝達してしまうことが原因である。

ヒンジ支持式、 $L_b=0.02$ mの場合のロール応答実験結果を図-6に示す。フィン無しの場合のロールピーク周期1.7 s付近で、概ね7割程度のロール応答低減となり、ヒンジ支持式が剛支持式に比べて低減効果が大きい。また、剛支持式の場合と比べ、その応答特性も変化している。剛支持式の場合は、フィン高さが吃水 $\times 0.25$ の場合のみロールピークが2つ現れたが、ヒンジ支持式では吃水 $\times 0.50$ の場合にもピークが2つ現れた。また、吃水 $\times 1.00$ については、ヒンジ支持式ではロール応答値が周期1.4 s付近から横ばいとなり、その値も吃水 $\times 0.25$, 0.50のピーク値とほぼ同等のレベルになっている。これは、フィンが浮体とヒンジで連結されることで、フィンに作用するモーメントが浮体側に伝達しないためであ

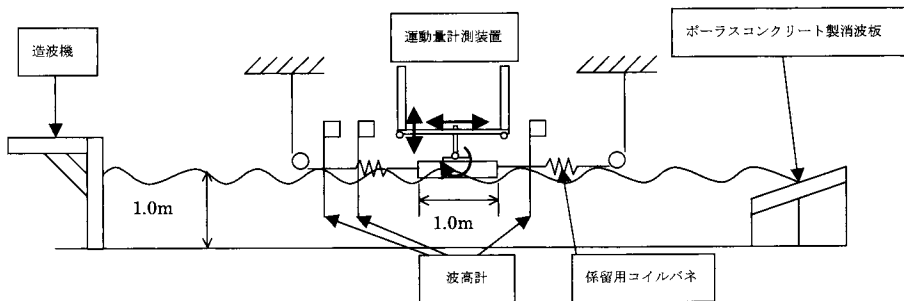


図-4 計測機器・模型の配置

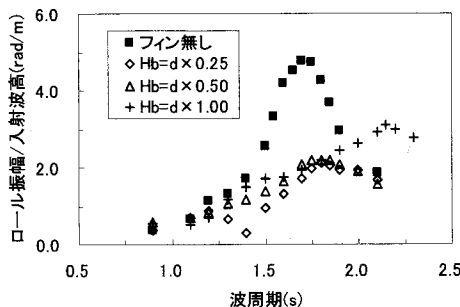


図-5 ロール応答計測結果(剛支持式)

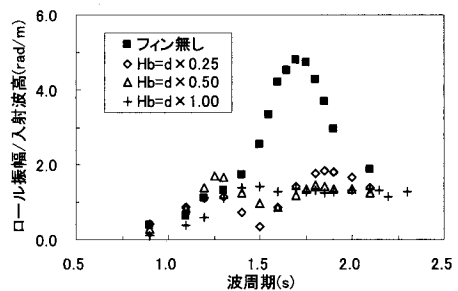


図-6 ロール応答計測結果(ヒンジ支持式)

る。

図-7に、浮体のロール応答がピークとなる1.8sにて、フィンと浮体の隙間 L_g を変化させた場合の実験結果を示す。この実験結果より、ロール応答値はフィン-浮体の間隔にほとんど影響を受けていないことが分かった。しかし、この結果からのみからはフィン-浮体間の隙間による動揺低減効果が全く無いとも解釈できる。

そこで、隙間が無い場合の実験を行い、隙間の有無による影響について検証した。図-8にその結果を示す。この結果より、隙間が無い場合でも、フィンが無い場合に比べればロール応答が低減されていることが分かる。ただし、隙間の有る場合の方が、隙間の無い場合に比べて3割程度動揺低減効果が大きくなっている。このことから、隙間によって、より大きな減衰効果が得られることが分かる。また、これらの結果より、フィン-浮体間の隙間の有無は減衰効果に大きく影響するが、隙間の大きさはある程度確保されていれば十分であり、減衰効果にさほど影響しないということが分かる。

図-9に、フィンを波上側に取り付けた場合と波下側に取り付けた場合のロール応答実験結果を示す。結果から分かるように、波下側にフィンを装着した場合には、全く減衰効果が得られていない。これは、フィンに作用する波力が、浮体に作用する波力のモーメントと逆向きに作用することでロールの運動を抑制することを示している。従って、波の来襲方向がある方向に限られるケー

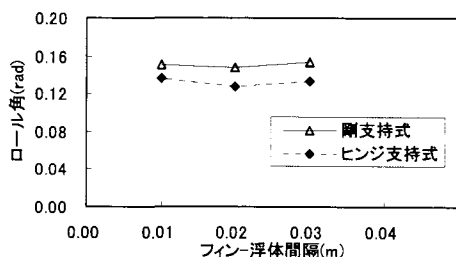


図-7 隙間の影響(フィン高さ:吃水×0.25, 波周期1.8s)

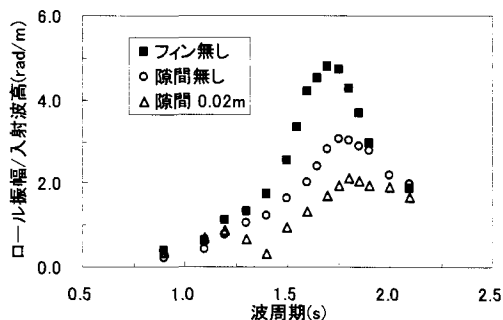


図-8 隙間の有無の影響(剛支持型, フィン高さ:吃水×0.25)

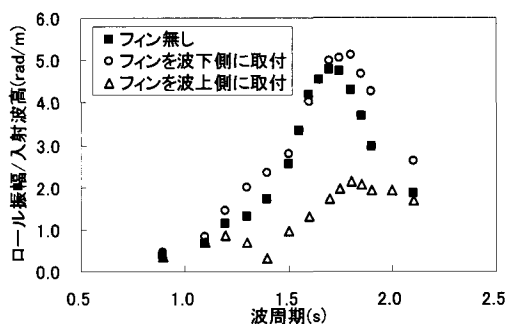


図-9 フィン取付位置の影響(剛支持型, フィン高さ:吃水×0.25)

スでは、浮体の波上側のみにフィンをつけておけば十分な減衰効果を得られるものと考えられる。

3. 動揺低減効果を評価する計算手法の開発

松浦ら(2000)の動揺低減技術について、その動揺低減効果を評価するための計算手法の開発を行った。ここで、計算では自由表面を有する流体と構造物の連成運動を解く必要がある。本研究では、この連成運動を解く手法として、池末ら(2003)の方法を用いた。池末ら(2003)の方法は、自由表面を有する流体を境界要素法、浮体を剛体の運動方程式にて解き、収束計算により互いの連成を考慮するものである。ただし、この方法では流体を理想流体と仮定しているため、フィンに作用する抗力の評価が出来ない。従って、フィンに作用する抗力については何らかのモデル化を施し、浮体の運動方程式に組み込む必要がある。

このフィンに作用する抗力について、本研究では図-10のようなモデル化を試みた。このモデルでは、フィンに作用する抗力を、フィンの上半分と下半分に分け、次のように考えた。

$$F_{Du} = C_D \cdot \rho \frac{D}{4} U_{Fu} |U_{Fu}| \cdot B \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$F_{Db} = C_D \cdot \rho \frac{D}{4} U_{Fb} |U_{Fb}| \cdot B \quad \dots\dots\dots (2)$$

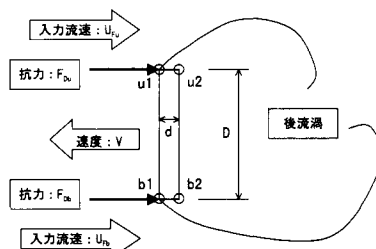
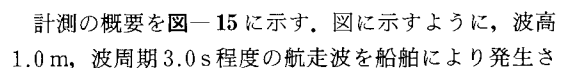


図-10 フィンへ作用する抗力モデル

図-12 フィン高さと α_u , α_b の関係



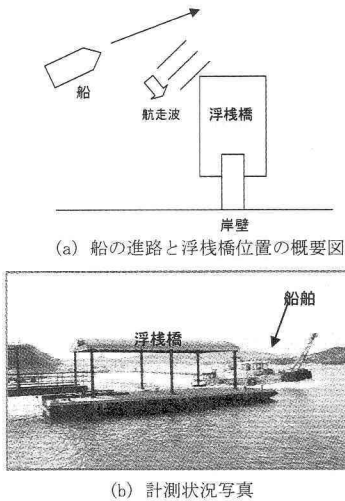


図-15 実機計測の概要 (航走波による動揺を計測)

せ、その航走波による浮桟橋の動揺を計測した。

計測対象とした浮桟橋の諸元は、長さ 15 m、幅 8 m で、吃水は 2.5 m となっている。この浮桟橋には、図-16 に示すように浮桟橋の底端部に水平方向のフィンが設けられ、フィンの根元の部分には僅かな隙間が空けられている。

また、この浮桟橋を設置する前段階で、同サイズの既設浮桟橋についても動揺計測を行い、これを比較対象にすることとした。

図-17 に動揺計測結果を示す。入射波については、浮桟橋に作用する航走波の第 1 波が、両者ともほぼ同一の波高、周期となっている。しかし、ロール応答についてはフィンによる動揺低減技術を施した新設浮桟橋の方が既設のものに比べて明らかに小さくなっており、その動揺低減効果が高いことが分かる。

5. まとめ

本研究では、松浦ら (2000) による動揺低減技術の浮桟橋への適用について検討を行った。本研究の成果を以下に述べる。

- (1) 今回対象とした浮体模型 (吃水 0.229 m、幅 0.429 m) について剛支持式、ヒンジ支持式のフィンを浮体と隙間を空けて装着した場合、ロール応答が各々 6 割、7 割程度低減される。



図-16 新設浮桟橋の断面

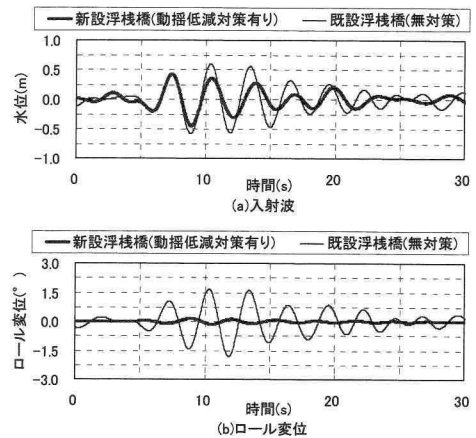


図-17 実機計測結果

- (2) 浮体-フィン間の隙間の有無は、動揺低減効果に大きく影響する。ただし、ある一定の隙間が確保されていれば、隙間の大きさは動揺低減効果にあまり影響を与えない。
- (3) フィンを波下側に取り付けた場合には、動揺低減効果が得られない。
- (4) フィンに作用する抗力について簡易なモデルを考案し、動揺低減効果を評価しうる計算法を開発した。
- (5) 動揺低減技術を適用した浮桟橋について実機計測を行い、その動揺低減効果を実際に確認した。

参考文献

- (財)沿岸開発技術研究センター(1998):「揺れない浮体構造物の研究」研究報告書, 日本財団, 65 p.
- 松浦正己・矢野州芳 (2000): 三菱動揺低減ボード MSboard, 作業船 WORKVESSEL, 第 251 号, pp. 16-19.
- 池末俊一・他 (2003): ツイン型浮防波堤の波浪透過特性に関する実験と計算, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp. 666-670.
- 谷澤克治 (1997): 加速度ポテンシャルによる波浪中浮体運動の非線形理論と数値解法の研究, 学位論文, 大阪大学, 127 p.
- Turgut Sarpkaya and James L. O'Keefe (1995): Oscillating flow about two-and three-dimensional bilge keels, OMAE 1995, pp. 263-270.