

マリーナ用浮き桟橋の波浪応答に関する研究

八千代エンジニアリング(株) 正員○上原 義正, ニッタ(株) 正員 山本 剛
鳥取大学工学部 正員 野田 英明・松原 雄平・黒岩 正光

1.はじめに: 著者ら¹⁾は小型ポンツーンを多連結した柔軟構造桟橋の波浪による動的応答について実験的に研究を進めてきた。本研究では柔軟構造を有する桟橋の動揺計算法を提案し、前報¹⁾で報告した実験結果と比較するとともに、数値モデルの妥当性について検討するものである。

2. 桟橋模型: 図-1は本研究に用いた縮尺1/10の模型の概略を示したもので、長さ方向に10個の小型ポンツーンを連結し、浮体長を122.5cmとした。実験モデルの諸元は表-1に示すとおりである。実験条件ならびに方法については前報¹⁾を参照されたい。

3. 桟橋の動揺計算手法: 本研究では井島ら²⁾の解析法を用いて計算を試みた。この方法は2次元境界値問題をポテンシャル関数に関するグリーン公式を数値的に解く方法で、大型構造物周辺に発生するような発散波および回折波を無視した方法である。図-2は計算に用いた流体領域を表したもので、浮体周辺のポテンシャル関数を計算するために、図に示すように領域(O)を入射波と反射波の領域、領域(O')を透過波の領域、領域(I)をラプラス方程式を満たす速度ポテンシャルが存在する3つの領域を考えた。領域(I)の境界を離散化すると、各要素でのポテンシャル値はグリーンの公式を満たし、これに境界条件を代入することによりポテンシャル値を求めることができる。

運動方程式は、桟橋に作用する流体力から、次式が導かれる。

すなわち、
$$M \frac{d}{dt^2} D(t) = F_s + F_M + F_E + F_A + F_C \quad (1)$$

である。ここに、 M は質量(慣性モーメント)、 $D(t)$ は運動変位(回転)、 F_s は静的復元力、 F_M は係留力、 F_E は波浪強制力、 F_A は付加質量力および F_C は減衰力であり、いずれも浮体の動揺が微小であるとして線形化した。しかし井島らの手法は単体浮体を対象としたものであるので、著者ら提案した桟橋に適用するのは困難である。そこで、浮体の柔軟性を考慮するために、本桟橋浮体を浮体CDD'C'(前出図-2)にあてはめ、図-3に示すようなポンツーンの数に要素分割し、それぞれが剛性を持った梁で連結されているものとする。ある質点 j に単位力1を作用させたときの質点 i の変位であるたわみ影響係数 ε_{ij} を用い、各ポンツーンに作用する流体力 P_j から全体のポンツーンの動揺 z_i をモデル化すると、 $z_i = \sum_{j=1}^m \varepsilon_{ij} P_j$ (2)となる。

なお、図中に示す K_{zz} はバネ定数を表す。以上の運動方程式とグリーンの公式を連立させることにより浮体の動揺振幅、反射率、透過率などの未知数を解くことができる。

4. 計算結果および考察: 図-4は model1 と model2 における $H=6(\text{cm})$ 、 $T=1.2(\text{sec})$ の波浪に対する各ポンツーンの鉛直動揺分布を示したものであり、縦軸は鉛直変位 Z を波高 H で無次元化している。model1 では剛性が大きいため、実験値および計算値とも浮体中央部で極小値を示している。一方 model2 では model1 ほど中央部の極

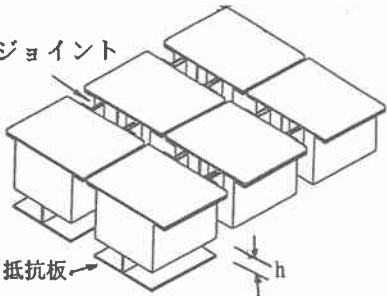


図-1 浮き桟橋模型

表-1 実験モデル

実験モデル	曲げ剛性	抵抗板
1	19863 (kgf cm ²)	-
2	1047 (kgf cm ²)	-
3	911 (kgf cm ²)	-
4	ヒンジ	-
5	1047 (kgf cm ²)	25mm
6	1047 (kgf cm ²)	50mm

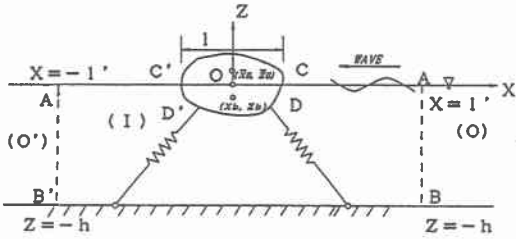


図-2 流体領域の定義

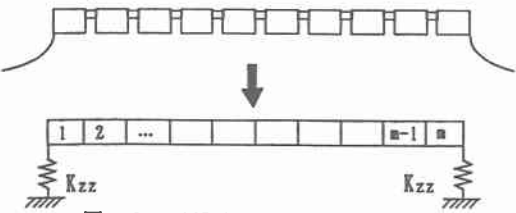


図-3 柔軟構造浮体の計算モデル

小は認められず、各ポンツーンともほとんど同じ値を取っており、剛性低下の影響が見られている。また実験値と比べると、model1 ではほぼ一致しているが、model2 では浮体の両端で若干の誤差が見られる。図-5は model1 と model2 における最も沖側のポンツーンの鉛直変位を波高 H で無次元化した無次元鉛直変位 Z_1/H と $1/L$ ($1/L$: 浮体長, L : 波長) との関係を示したものである。 $1/L$ が小さい場合において model1, model2 との違いは見られない。しかし $1/L$ が大きくなるにつれ、model2 では実験値、計算値とも大きくなっていくのがわかる。 $1/L$ が小さい場合は剛性が大きくても波に追従した動きをするが、 $1/L$ が大きくなるとある程度剛性が大きいものでは波に追従できず、波に抵抗するようになり動揺量が小さくなっている。また、 $1/L=0.4$ 付近で極小値を取っているが、これは Surge の固有周期付近であり、水平方向に大きく運動するため係留索による拘束力が働いていると思われる。図-6は model2 と抵抗板モデルの model5 および model6 における最も沖側のポンツーンの無次元鉛直変位と Z_1/H と $1/L$ との関係を示したものである。図-5と同様に $1/L$ が小さいといずれのモデルでも同じような値を示している。しかし、 $1/L$ が大きくなるにつれ抵抗板モデル (model5, model6) では動揺低減の効果が現れている。すなわち、水粒子速度が大きくなり、抵抗板による剥離などが生じていると考えられ、浮体に作用する圧力を低減できることができる。図-7は model1~4 における浮体による反射率 K_r と $1/L$ との関係を示したものである。この図より $1/L>0.7$ で model1 の計算値のみが突出しており、また実験値においても model1 が他のモデルに比べ大きくなっているのがわかる。実験値と比較すると、すべてのモデルにおいて計算値の方がやや大きくなっているのがわかる。実際は連結された個々ポンツーン間に隙間が存在し、エネルギー損失が生じていると考えられる。剛構造浮体では水粒子の運動が浮体により妨げられていると思われ、従って柔構造にすることにより反射率を抑えることができる。

5. おわりに:

本研究で得られた結果を要約すると以下のようである。1) 従来の剛構造浮体の計算手法にたわみ影響係数を導入することにより、柔構造栈橋の動揺を計算することができることが分かった。2) 抵抗板を用いたモデルでは $1/L$ の大きいところで動揺を抑えることができる。3) 柔構造モデルでは剛構造モデルと比べると、 $1/L$ が大きくなるにつれ反射率は小さくなる。

《参考文献》 1) 山本剛ら: マリーナ用浮き栈橋の設計法に関する研究, 第46回土木学会中国四国支部, 1994

2) 井島武士ら: 任意断面浮体の2次元係留運動と波の変形, 土木学会論文報告集 第272号, 1978

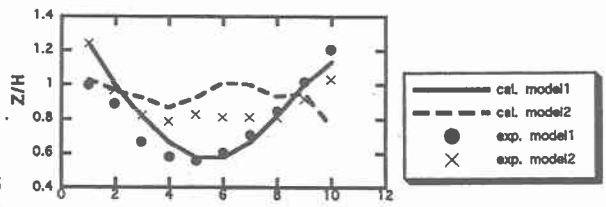


図-4 動揺分布

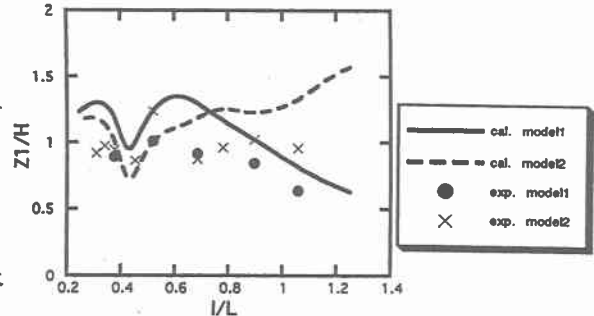


図-5 無次元鉛直変位 (柔構造モデル)

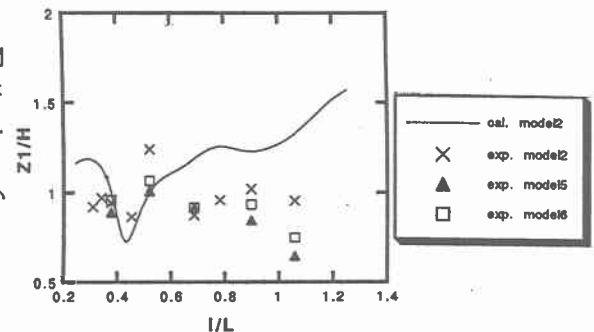


図-6 無次元鉛直変位 (抵抗板モデル)

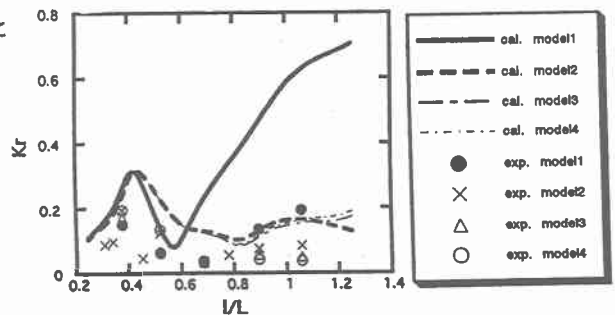


図-7 反射率