

(Ⅱ-23) 弛緩係留された六角形浮体の動揺解析

運輸省港湾技術研究所構造部 正会員 上田 茂
同 上 正会員 白石 悟

1. はじめに

本研究では、弛緩係留された六角形浮体の規則波中の動揺特性、波漂流力とそれに伴う長周期動揺および数値シミュレーションで用いる減衰定数などについて模型実験および数値シミュレーションで検討した。

2. 浮体の形状および係留系

図-1に示す中央部に空隙を有する六角形浮体を検討した。係留系はコイルスプリングを用いた強弱二種類（ばね定数は33.0および7.3 kgf/m、初期張力は0.4および0.25kgf、以下係留系HardおよびSoftと記述）とした。実験は規則波中および不規則波中に行い、規則波は0.63から2.21sまでの0.08sおきの各周期について波高6cm、不規則波は0.95, 1.58, 2.21sの各周期について、それぞれ有義波高3, 6, 10cmとした。

3. 計算手法

形状が六角形であること、中央部に空隙があることから有限要素法を用いて浮体に作用する波力および造波抵抗力を算定した。不規則波中においては浮体の長周期動揺が観測されたので、数値シミュレーションにおいては変動波漂流力を考慮した。波漂流力は丸尾の理論に基づき変動波漂流力の時系列をあらかじめ計算し、係留浮体の運動方程式の数値積分の際に各計算ステップにおいて強制力として加えた。

4. 計算結果および考察

(1) 減衰定数

図-2にサージング、ヒーピング、ピッチングについて、自由振動実験で得られた減衰定数（以下実験値と記述）と、有限要素法で算定した造波抵抗力から求めた減衰定数（以下理論値と記述）とを比較して示す。サージングの固有周期（係留系Softのとき9.8s、係留系Hardのとき5.2s）に対しては減衰定数の実験値は理論値に比べ大きい、これは粘性減衰の影響によるものと思われる。

(2) 波漂流力係数

図-3は規則波実験結果から求めた波漂流力係数を示す。同図には、六角形浮体を幅90cm、長さ104cmの直方体浮体に近似し伊藤の近似理論で波透過率を求め、丸尾の式で算定した波漂流力係数を示す。波周期1.2s以上では波漂流力係数の計算値は実験値と一致するが、波周期1.2s以下では、波漂流力係数の実験値は計算値の約0.5倍である。長さLと幅Bの比が $L/B=1.15$ であり、二次元理論に基づいて算定した波漂流力係数の計算値は実験値と一致していない。そこで、数値シミュレーションにおいては、二次元理論で算定した波漂流力係数を実験値に基づいて修正する。

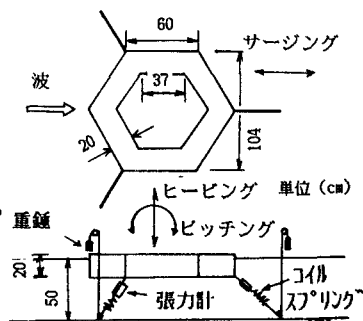


図-1 浮体の形状と係留系

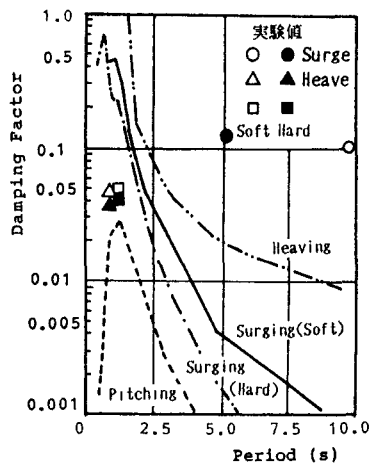


図-2 減衰定数

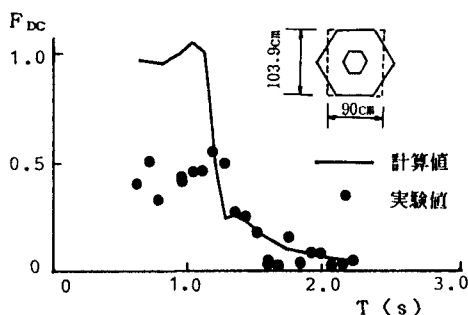


図-3 波漂流力係数

(3) 規則波に対する動揺特性

弛緩係留された六角形浮体は規則波中では一定量だけ漂流し、その位置を中心にほぼ一定振幅で動揺する。そこで、動揺振幅の実験値と波漂流力を考慮しない計算値とを比較する。図-4はサージング、ヒービング、ピッチングについて動揺振幅の計算値と実験値とを示す。各成分とも、付加質量および減衰定数の理論値を用いた計算値は実験値とほぼ一致する。ただし、ヒービングの固有周期0.9s付近およびピッチングの固有周期1.2s付近については、減衰定数の理論値を用いた動揺振幅の計算値は実験値よりも大きい。減衰定数の実験値0.047(ヒーブ)および0.05(ピッチ)を用いた動揺振幅の計算値は実験値とよく一致する。このことは固有周期に対して浮体が共振するときには減衰係数に振幅依存性があることを示唆する。

(4) 不規則波に対する動揺特性

係留系Softについて、サージングの減衰定数に理論値と実験値を用いた計算を行ったところ、減衰定数に理論値を用いた最大両振幅の計算値は実験値よりも小さく、とくに $T_{1/3}=0.95s$ では $H_{1/3}=3, 6, 10cm$ に対し計算値は実験値の0.26, 0.24, 0.46倍である。これに対し減衰定数を0.11(実験値)とした最大両振幅の計算値は実験値とほぼ一致した。このことから変動波漂流力に起因する浮体の長周期動揺が生ずることが予想されるときには減衰定数に理論値を用いると動揺量を過小評価する恐れがあり、理論値より小さな減衰定数を用いて検討する必要がある、できれば模型実験を行って減衰定数を求めるのが望ましい。

図-5は波周期とサージングの最大両振幅の関係を示す。図中には変動波漂流力の影響を検討するために、係留系Softについて波漂流力を考慮せずに計算した結果も示す。変動波漂流力を考慮した場合には係留系HardおよびSoftのいずれについても最大両振幅の計算値は $H_{1/3}=3, 6, 10cm$ の各条件において実験値とよく一致する。係留系Softでは、 $H_{1/3}=6, 10cm$ のときに $T_{1/3}=1.58s$ よりも $T_{1/3}=0.95s$ の方が最大両振幅が大きい。変動波漂流力による浮体の長周期動揺が卓越しているためである。これに対し、 $T_{1/3}=2.21s$ では波強制力の影響が大きい(図-4参照)ので最大両振幅は波高に比例する。係留系HardとSoftのばね定数の比は4.5であるが、係留系Hardの場合、動揺振幅がかなり抑制されている。このことから弛緩係留系では、浮体の利用条件を考慮し、係留系のばね定数、波周期、波高などに留意し設計する必要がある。

5. あとがき

本論文の動揺実験は運輸省第二港湾建設局が実施したものである。筆者らはこれに先立ち、直方体浮体において長周期動揺実験を行っているが、長周期動揺をさらに精度よく予測するためには、減衰定数についてより詳細に検討する必要があると考えている。

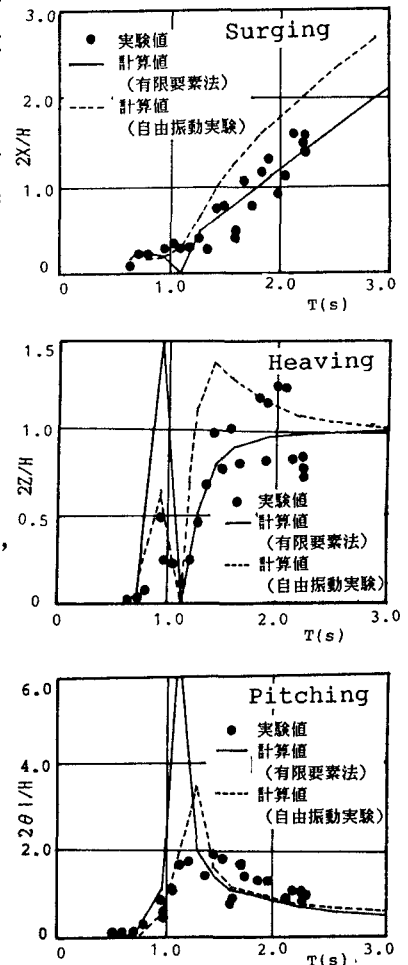


図-4 規則波中の動揺振幅

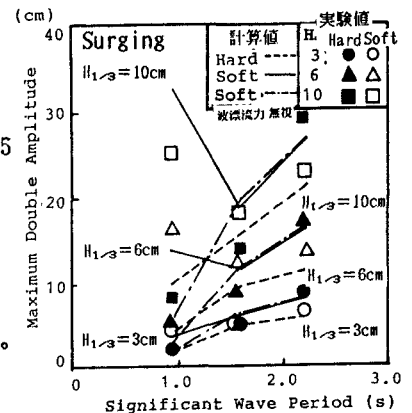


図-5 波周期と動揺振幅の関係