

II-324 長周期動揺する係留浮体に及ぼす非線型減衰力について

大阪大学工学部 正会員 ○青木伸一
 “ “ 榎木亨
 運輸省港務局 “ 高田昌行

① はじめに : 係留船舶や浮遊式海洋構造物など、運動の固有周期が風波の周期よりもかなり長い係留浮体の運動予測においては、長周期の外力の算定とともに、主として水の粘性に起因すると思われる非線型な減衰の影響をどのように考慮するかが重要な問題である。というのは、長周期運動による造波減衰は一般に非常に小さいため、造波減衰のみを考慮した通常の計算では運動を過大に見積るこゝが多いためである。一般に非線型減衰項は運動速度を v とすると $Dv|v|$ のように表示され、減衰係数は浮体の自由振動実験から求めるこゝが多いようである。ところが最近の研究¹⁾によれば、浮体が長周期動揺のみ行う場合と波浪中で短周期動揺しながら長周期動揺する場合とでは減衰の大きさが異なることも指摘されており、減衰係数の決定法が見直されつつある。本研究は、簡単な水理模型実験と数値計算によって、長周期動揺する係留浮体に及ぼす非線型減衰力の影響を調べたものである。

② 自由振動実験 : まず最初に模型浮体を用いて自由振動実験を行い非線型減衰の影響を調べた。実験には、図-1に示すような矩形断面浮体(奥行39.5cm)を線型バネ(単位奥行長さ当りのバネ定数 $k=2.58 \text{ gf/cm}^2$)で係留したモデルを用い、浮体側面の二つの標点の運動をビデオに記録した後のその点の座標を読みとって Sway, Heave, Roll の運動に換算した。図-3中の実線は Sway と Roll に初期変位を与えた場合の Sway の減衰振動を表している。図-2は Sway の平均揺れ幅 ϵ_m と減衰揺れ幅 $\Delta \epsilon$ との関係を示したもので、図中白丸が Sway へのみ初期変位を与えた場合、黒丸が Sway と Roll に初期変位を与えた場合のものである。今回の実験に用いたモデルは、流体以外に係留バネを通して Sway と Roll に強い連成があるが、Sway の減衰に関しては Roll の運動の影響はほとんどみられない。また図中実線と示した直線は自由振動周期における造波減衰係数から算出した減衰直線であるが、実験では造波減衰力以外に大きな非線型減衰力が働いていることがうかがえる。

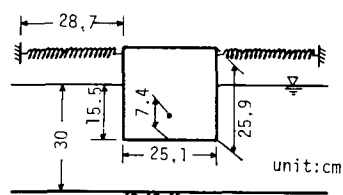


図-1 模型浮体

一方、図-3中の破線および点線は(1)式で与えられる時間領域での浮体の運動方程式を数値的に解いて求めた減衰曲線である。こゝに破線は非線型減衰項を無視した場合、点線は $D(Sway) = 55 \text{ gf} \cdot \text{sec}^2/\text{cm}^3$ とした場合の減衰曲線である。これより、

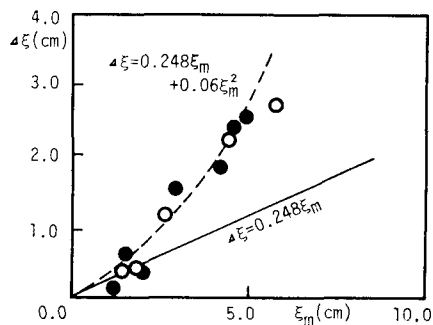


図-2 減衰曲線

非線型減衰係数を適当に与えることにより実験と計算の減衰振動をほぼ一致させることが可能であることがわかる。この減衰係数と先の造波減衰を用いて減衰曲線を描いたのが図-3の破線であり、実験値とほぼ対応している。以上の実験および計算結果より、Sway の自由振動

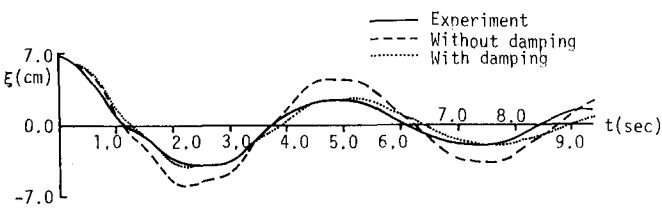


図-3 減衰曲線

においては非線型減衰力が大きく寄与しており、これはまた従来の表示式を用いて数値計算することにより減衰振動をほぼ説明できることがわかった。

$$M_i \ddot{x}_i + \sum_{j=1}^3 \{ m_{ij} \ddot{x}_j + \int_{-\infty}^t K_{ij}(t-\tau) \dot{x}_j d\tau \} + V_i |x_i| x_i + C_i \dot{x}_i + k_i x_i = 0 \quad (i=1,2,3) \quad (1)$$

3 2成分波を用いた強制振動の数値実験 : ここでは2成分波を用いた強制振動の数値実験を行なうことよって、従来の表示法による非線型減衰項が浮体の運動にどのような影響を与えるかをみる。計算に用いた浮体は自由振動実験に用いたものと同じであるが、今回は係留バネのバネ定数を1.13 gf/cmと約半分にした。このモデルについて先と同様の自由振動実験を行なったところ、推算された sway の非線型減衰係数 V は $70 \text{ gf} \cdot \text{sec}^2/\text{cm}^3$ とバネ定数が大きい場合よりも大きな値を示した。数値計算では、2成分波による強制外力項を(1)式の右辺に付加することによって浮体の運動を求めたが、その際の2成分波は1つの成分波の周期を1 secに固定し、他の成分波の周期を0.865 secから0.891 secまで種々変えることによって群波の周期 T_G を6.4 secから8.2 secまで変化させた。ただし成分波の振幅は各々1 cmとした。強制外力としては1次の波浪強制力 $f^{(1)}$ および2次の長周期漂流力 $f^{(2)}$ を用いたが、これらの値は井島およびPinksterの方法を用いて計算している。2成分波の水位変動 η , $f^{(1)}$ および $f^{(2)}$ の時系列の一例 ($T_G=7.2 \text{ sec}$) を図-5(A)~(C)に示す。図-4は群波の周期 T_G の変化による sway の長周期運動(運動の長周期成分の振幅 ξ_{a-low}) の変化を示したものである。図中破線は非線型減衰項を無視した場合の計算値、実線は $V=70$ とした場合の計算値である。これより、実験で求めた非線型減衰係数を計算に取り入れることによって、運動の共振特性は著しく抑えられ運動応答に明確なピークが生じなくなることがわかる。また図中点線は V を用いた計算において1次の波力 $f^{(1)}$ を省略し、長周期外力である $f^{(2)}$ のみを与えて行なった計算結果を示しているが、 $f^{(1)}$ と $f^{(2)}$ を与えた場合より長周期運動は大きくなっており、 $f^{(1)}$ によって発生する短周期の運動によって長周期の減衰力が增大することを示している。図-5(b)に $T_G=7.2 \text{ sec}$ の場合の上記3種類の運動を対比して示している。ただし線の種類は図-4と同一である。

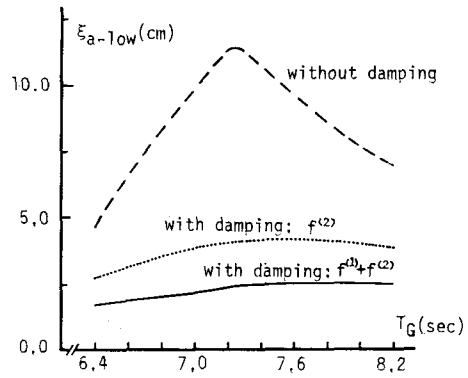


図-4 長周期運動の周波数応答

4 あとがき : 今回行なった簡単な実験と計算によって、係留浮体の長周期運動に及ぼす非線型減衰の影響は予想以上に大きく、長周期運動の共振ピークを著しく抑える効果があることがわかった。さらに非線型項から生じる長周期の減衰力は短周期の運動にもかなり影響されることも明らかになった。今後は浮体形状による減衰の相異、非線型減衰の縮尺効果なども含めて非線型減衰力の実態を明らかにしていく必要があると考える。

<参考文献> 1) 斎藤公男, 高木又男 他 ; 長周期動揺する係留浮体に働く減衰力について, 造船学会秋期連合大会論文集, 1984

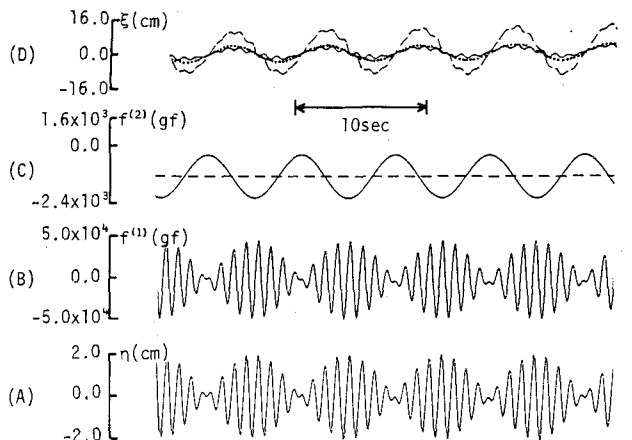


図-5 水位変動(A) 波浪強制力(B) 長周期漂流力(C) Sway運動(D)