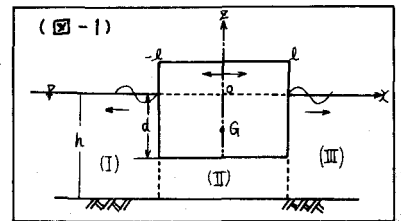


矩形断面浮体の付加質量と減衰係数について

大阪大学 工学部 正 員 榎木 亨
神戸商船大学 正 員 久保雅義
大阪大学 工学部 学生員 京谷光高

1 緒言 港湾計画における港内静穏度の決定に当り、これは係留船の波による船体運動を正しく把握する必要がある。ところで船体運動を支配する波による流体力は(1)入射波が浮体の存在によって乱されないと仮定したとき働く Froude-Kriloff Force F_F , (2)入射波が浮体により攪乱されることによって生ずる Diffraction Force F_D として(3)静水中での浮体の動揺により生ずる Radiation Force F_R から成り立っている。ここで Froude Kriloff Force は船体周りの波による圧力場を積分することにより比較的簡単に求められる。次に Diffraction Force と Radiation Force を加えたものは、付加質量を M' , 減衰係数を N とする時 $F_D + F_R = M'(\ddot{\xi} - \dot{\xi}) + N(\dot{\xi} - \xi)$ で表わされる。ここで ξ は船によって排除された水の質量の x 方向の平均流速で、 $\dot{\xi}$ は微分を示す。したがって付加質量と減衰係数が定まれば、上述の船体運動を明らかにすることが出来る。ここでは係留中の船を対象としているので、浅海域において、岸壁がない場合 (Open Jetty と呼ぶ) とある場合 (Solid Jetty) の Swaying, Rolling として Heaving に対する付加質量と減衰係数を従来の二次元理論^(1,2)で求め、Oortmerssen による実験及び三次元理論⁽³⁾との比較検討を行なった。

2 矩形断面浮体の付加質量と減衰係数の算定方法 図-1 に示すように水深 h の海域に、船巾 $2l$, 吃水 d の矩形浮体が $\xi e^{i\omega t}$ で Swaying を, $\zeta e^{i\omega t}$ で Heaving を, として $\theta e^{i\omega t}$ で Rolling を行なった場合、図-1 に示す各領域での速度ポテンシャルは以下のようにあらわされる。



$$\phi_I = A_0 e^{ik(x+l)} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n e^{k_n(x+l)} \frac{\cosh k_n(h+z)}{\cosh k_n h}$$

$$\phi_{II} = C_0 \frac{x}{l} + D_0 + \sum_{s=1}^{\infty} \left(\frac{C_s}{\sinh \frac{s\pi l}{h-d}} \cdot \sinh \frac{s\pi x}{h-d} + \frac{D_s}{\cosh \frac{s\pi l}{h-d}} \cdot \cosh \frac{s\pi x}{h-d} \right) \cos \frac{s\pi}{h-d} (h+z) - \frac{i\omega \zeta}{h-d} \left\{ \frac{x^2}{2} - \frac{(h+z)^2}{2} + \frac{(h-d)^2}{6} \right\} - \frac{i\omega \theta x}{h-d} \left\{ \frac{x^2}{6} - \frac{(h+z)^2}{2} + \frac{(h-d)^2}{6} \right\}$$

$$\phi_{III} = G_0 e^{-ik(x-l)} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} + \sum_{n=1}^{\infty} G_n e^{-k_n(x-l)} \frac{\cosh k_n(h+z)}{\cosh k_n h} \quad \text{for Open Jetty}$$

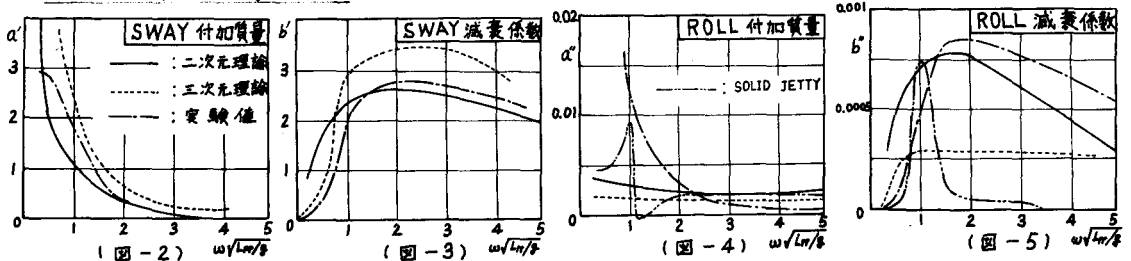
$$\phi_{III} = G_0 \frac{\cosh k(r-x)}{\cosh k(r-l)} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} + \sum_{n=1}^{\infty} G_n \frac{\cosh k_n(r-x)}{\cosh k_n(r-l)} \frac{\cosh k_n(h+z)}{\cosh k_n h} \quad \text{for Solid Jetty}$$

ここで ω は周波数で、 k および k_n は $\omega^2 = kg \tanh kh = -k_n g \tanh k_n h$ で決まる固有値である。上記ポテンシャル中の各係数は図-1 中の各領域の境界での流速および圧力の連続性より決定される。次に一例として Swaying の付加質量と減衰係数を求める方法を示す。 θ および ζ が 0 で ξ のみ与えた時のポテンシャルより、浮体の両側に作用する圧力を積分して水平波力 P を求めると、Swaying の運動方程式は $-\omega^2 M \xi = P = \text{Re}(P) + i \text{Im}(P)$ で表わされる。ここで M は船の質量である。この式は又 $(M + \text{Re}(P)/\omega^2) \ddot{\xi} + (-\text{Im}(P)/\omega) \dot{\xi} = 0$ と変形できる。したがって M' 及び N は、 $M' = \text{Re}(P)/\omega^2$, $N = -\text{Im}(P)/\omega$ として求めることが出来る。

RollingとHeavingについて同様の手法によりそれぞれの付加質量及び減衰係数を求める。

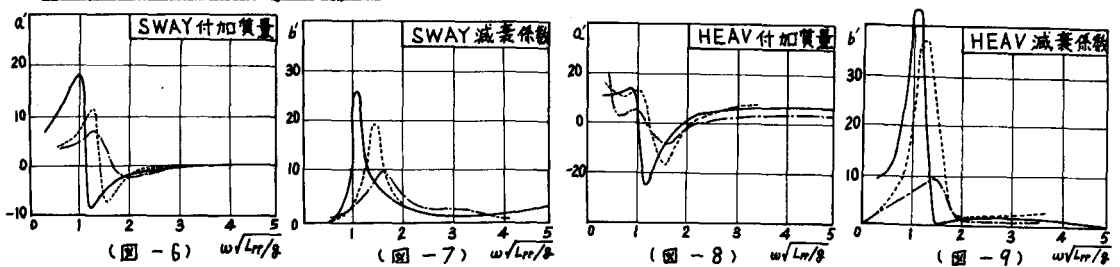
3 理論値と実験値との比較 以上のようにして求めた付加質量 M' と減衰係数 N を、SwayingとHeavingについては $M'/N = a'$ 、 $N/M\sqrt{g/L_{pp}} = b'$ の無次元数で示し、RollingについてはRollingの付加慣性モーメントを I' 、減衰係数を N_R とする時、 $I'/ML_{pp}^2 = a''$ 、 $N_R/(ML_{pp}^2\sqrt{g/L_{pp}}) = b''$ の無次元数で示す。ここで M は船の質量、 L_{pp} は船の垂線向長を表す。Cortmensenは $L_{pp}=310\text{m}$ 、 $2b=47.2\text{m}$ 、 $d=18.9\text{m}$ 、 $M=235,000\text{ton}$ 、重心高さ 13.52m 、メタセンタ高さは $GM=5.78\text{m}$ について実験を行い、さらに三次元理論解析を行っているので、その結果と、上記二次元理論とを比較すると図2-5のようになる。

(3-1) Open Jettyの場合



上図に示すようにSwayingの付加質量と減衰係数は二次元理論でもほぼ説明できるが、Rollingの付加慣性モーメントは二次元理論及び三次元理論と実験値とでは傾向そのものが大きく異なっており、周期の長い波の場合には理論値は実際よりも過大評価されていることがわかる。Heavingについては示してないが、Swayingと同様、理論値と実験値とはかなりよく一致している。図4、図5にはSolid Jettyの結果も含めて記載している。

(3-2) Solid Jettyの場合



Solid Jettyの場合の付加質量と減衰係数は、Open Jettyの場合とかなり傾向が異なり周期の長い所で、非常にずい変化を示す。そしてこの場合、理論値と実験値は形状は似ているけれども、理論値は過大評価の傾向があることがわかる。

以上のように係留浮体の付加質量と減衰係数は周波数に大きく左右されるが、一方向自由振動により付加質量と減衰係数が周波数に依存しないうちの形を与えられている。この両者の相関は港湾計画に大きく影響するものと思われるが、今後さらに具体的に検討をすすめていきたい。

- (1) 木原、轟：矩形断面浮体の波浪動揺に関する研究、港研報告、第14巻第2号、1975
- (2) 井島ほか：有限水深の波による矩形断面浮体の運動と波の变形、土木学会論文報告集、第202号、1972
- (3) Cortmensen, van: The Motions of a Moored Ship in Waves, Publication No. 510
Netherlands Ship Model Basin Wageningen, The Netherlands