

大阪大学工学部

神戸商船大学船貨輸送研養施設

大阪大学大学院

正会員 榎木 亨

正会員 久保 雅義

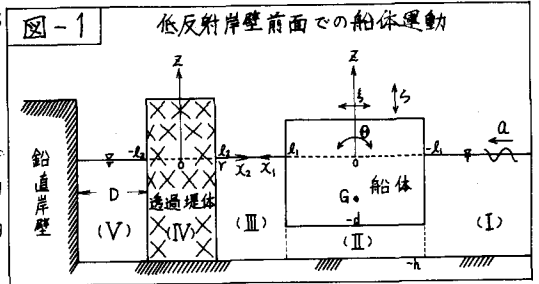
学生会員 京谷 光高

1. 緒言

最近、港内静穏化のために、透過堤体の背後に適当な遊水部を設けた低反射岸壁が、よく使用されるようになってきた。従来、港内静穏度は、港内での波高のみで決められる傾向が強かったように思われるが、低反射岸壁の設計基準も港内での波高を小さくする、すなわち岸壁前面での反射率を低くすることに主眼が置かれていた。しかし実際に港を使用する船舶の観点からすれば、船体運動量を小さくすることを設計基準にすべきであり、この設計基準と反射率を最小にするという設計基準とは一致するのかが疑問が残る。著者らは、鉛直岸壁前面での係留船舶の挙動について研究を行なってきたが、船体運動特性は波の周期にも大きく依存することが判明した。そこで本論文では、低反射岸壁前面での船体運動、および荷役能率を考察し、これらより低反射岸壁の設計基準のあり方について考察を行なったものを報告する。

2. 理論解析

図-1に示すように、水深 h 、透過堤体幅 $2l_2$ 、遊水部の幅 $D=(1-Pl_2)$ の低反射岸壁の前面で、船幅 $2l_1$ 、吃水 d の矩形浮体が、 $\xi e^{i\omega t}$ で SWAYING、 $\zeta e^{i\omega t}$ で HEAVING、そして $\Theta e^{i\omega t}$ 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表わされる。なお、座標軸は、図-1に示すように静水面に z 軸の原点をとり、 x 軸には透過堤体中央から右向きに x 軸、船体中央から左向きに x_1 軸をとる。この時の x_1, x_2 の関係は、 $x_1+x_2=l_2+r$ で示される。



$$\phi_I = \left\{ A_n e^{-ik_n(x+l_2)} + B_n e^{ik_n(x+l_2)} \right\} \frac{\cosh k_n(h+z)}{\cosh k_n h} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n e^{k_n(x+l_2)} \frac{\cos k_n(h+z)}{\cos k_n h}$$

$$\phi_{II} = C_0 \frac{x_1}{l_1} + D_0 + \sum_{s=1}^{\infty} \left(\frac{C_s}{\sinh \frac{s\pi l_1}{h-d}} \frac{\sinh \frac{s\pi x_1}{h-d}}{h-d} + \frac{D_s}{\cosh \frac{s\pi l_1}{h-d}} \frac{\cosh \frac{s\pi x_1}{h-d}}{h-d} \right) \cos \frac{s\pi(h+z)}{h-d}$$

$$- \frac{i\omega \zeta}{h-d} \left\{ \frac{x_1^2}{2} - \frac{(h+z)^2}{2} + \frac{(h-d)^2}{6} \right\} - \frac{i\omega \Theta x_1}{h-d} \left\{ \frac{x_1^2}{6} - \frac{(h+z)^2}{2} + \frac{(h-d)^2}{6} \right\}$$

$$\phi_{III} = \left\{ E_n e^{ik_n(x-r)} + F_n e^{-ik_n(x-r)} \right\} \frac{\cosh k_n(h+z)}{\cosh k_n h} + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ E_n e^{k_n(x-r)} + F_n e^{-k_n(x-r)} \right\} \frac{\cos k_n(h+z)}{\cos k_n h}$$

$$= \left\{ E_n e^{-ik_n(x-l_2)} + F_n e^{ik_n(x-l_2)} \right\} \frac{\cosh k_n(h+z)}{\cosh k_n h} + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ E_n e^{-k_n(x-l_2)} + F_n e^{k_n(x-l_2)} \right\} \frac{\cos k_n(h+z)}{\cos k_n h}$$

$$\phi_{IV} = \sum_{s=0}^{\infty} \left(G_s \frac{\cos k_s z_2}{\cos k_s l_2} + H_s \frac{\sin k_s z_2}{\sin k_s l_2} \right) \frac{\cosh k_s(z+l)}{\cosh k_s h}$$

$$\phi_V = Y_0 \frac{\cos k(x_1+Pl_2)}{\cos kPl_2} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh k h} + \sum_{n=1}^{\infty} Y_n \frac{\cosh k_n(x_1+Pl_2)}{\cosh k_n Pl_2} \frac{\cos k_n(h+z)}{\cos k_n h}$$

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、 $\bar{k}_s$ は $\bar{k}_s h \tanh \bar{k}_s h = (1 - i \frac{\mu}{\omega}) \frac{\omega^2 h}{g}$ ($s=0, 1, 2, \dots$)で定まる固有値である。 V は透過堤体の空隙率、 μ は流速に比例する抵抗であり、 $P=1-P$ である²⁾。次に、図-2に示すように浮体に作用する圧力(静水圧は無視)の合力をそれぞれ P_1, P_2, P_3 と表わすと、浮体の運動方程式は

次式で表わされる。

$$\begin{aligned} \text{SWAY} & - \dot{\omega} M \xi = P_1 - P_3 \\ \text{HEAVE} & - \dot{\omega} M \zeta = P_2 - 2P_3 g l \zeta \\ \text{ROLL} & - \dot{\omega} I \Theta = M_{p1} + M_{p2} + M_{p3} - 2P_3 g d l \cdot \overline{GM} \Theta \end{aligned}$$

ここで、 M は浮体の質量、 I は重心まわりの慣性モーメント、 M_{pi} は波力モーメント、 $\overline{GM}$ はメタセンター高、 ρ は水の比重である。

上記ポテンシャル中の各係数と船体運動量 ξ, ζ, Θ および図-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。

3. 計算例および考察

一例として、 $V=0.5$, $l=1/4$, $D=1/2$, $\mu=2\omega$ の低反射岸壁を考える。

岸壁前面での各周期の波に対する反射率は、すでに明らかにされているように入射波の周期によって異なり、浮体ROLL固有周期を T_R とすると $T/T_R=1.17$ で最小となる。岸壁前面での各周期の波が進入した時の浮体の運動を、ROLLについては図-3、SWAYについては図-4、HEAVEについては図-5に示している。なお、比較のために着着らが以前解析した鉛直岸壁前面での浮体運動、

ならびに岸壁から浮体幅の距離を離れた地点(横さん橋型式)での浮体運動も同様に図に示している。各図の縦軸には、各運動の振幅を半波高をもって

無次元化し、横軸には T/T_R を表わしている。これによると、SWAYに関しては周期の短い所では変位が少ないが、周期が長くなると横さん橋型式と同様、鉛直岸壁前面での変位より大きくなる傾向が見られる。HEAVEに関しては、周期の短い所では鉛直岸壁の場合とほぼ同じ値であるが、周期が長くなるにつ

いて変位量が小さくなる傾向が見られる。ROLLに関しては、浮体のROLL固有周期に等しい波が進入した場合、他のケースと同様に、尖鋭なピークを持つがピーク値は低くなっている。以上のことより、船体運動に及ぼす低反射岸壁の効果は、周期の短い波が進入した場合には効果があるように思われるが

周期が長くなるとSWAY量が大きくなり、荷役能率の面から考えると好ましくないように思われる。そこで、船体運動による荷役作業限界を水平移動50cm

上下移動50cmと仮定した場合、各周期の波が進入した時、どの程度の波高であれば、水平(SWAY量+ROLLによる水平変位量)および鉛直(HEAVE量+ROLLによる鉛直変位量)移動が50cmになるかを示したのが図-6、図-7である。

これらの図より、周期の長い所では水平方向変位量は鉛直岸壁よりも大きくなり、荷役能率が落ちる傾向にある。鉛直方向変位量は、全周期にわたって鉛直岸壁よりも小さく、良い傾向にある。又、反射率が一番小さくなる周期

$T=1.17T_R$ の波が進入しても、船体運動にはほとんど影響がないことが判明した。以上のように、低反射岸壁の設計を行なう場合には、単に岸壁前面の反射率だけではなく、船体運動についても検討を加えるべきであることを指摘したが、この報告はただ1ケースだけであるので、他の条件での解析および、

実験を今後検討していくつもりである。

(参考文献)

- 1) 榎木 亨：第25回海岸工学講演会
- 2) 井島武士：第19回海岸工学

