

I—53 津波に対する防波堤効果の計算について

東北大学工学部 正員 三浦 晃

津波による災害を軽減する目的で、湾内に防波堤を建設するとき、防波堤の設置場所による湾内波高の変化の一般的特性を知ることが必要なことである。この様な一般的特性は極めて簡単なモデルによる理論的推察によっても得られると思われるので、理論的に津波に対する防波堤の効果を計算し実験結果と比較してみた。

清水の運動が一次元的なモデルで近似出来るとし、長波の近似がゆるぎれるとする。又防波堤の南口部をのぞいては線型近似が出来、海底摩擦や渦によるエネルギーの消耗はないと仮定する。このような場合は、運動方程式および連続方程式は次の様になる。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + g b h \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

ここに Q は流量、 η は静水面からの水位上昇量、 x は水平座標、 t は時間、 g は重力加速度、 h は水深、 b は水路中である。図-1に示すような湾のモデルを考え、座標原点を防波堤の位置にとり、防波堤の外側の湾に関する量には添字1を、内側の湾に関する量には添字2を、外海に対する量には添字3をつけて区別するものとする。防波堤南口部の条件としては、水理学で一般に使用されている水位差と流量との関係式を利用する。即ち、

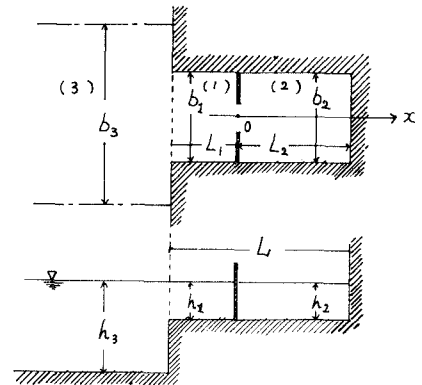


図-1

$$x = 0 ; \quad Q_1 = Q_2 = \pm c_2 A_0 \sqrt{2g|\eta_1 - \eta_2|} \quad (3)$$

ここで、 A_0 は防波堤の南口部面積、 c_2 は流量係数、複号は $(\eta_1 - \eta_2)$ の符号に順ずるとする。湾口部の条件としてはやはり同様に次式を使用する。即ち

$$x = -L_1 ; \quad Q_1 = Q_3 = \pm c_1 A_1 \sqrt{2g|\eta_3 - \eta_1|} \quad (4)$$

ここで、 A_1 は湾口部断面面積、 c_1 は流量係数、複号は $(\eta_3 - \eta_1)$ の符号に順ずる。湾奥の条件としては、一応完全反射を考慮して

$$x = L_2 ; \quad Q_2 = 0 \quad (5)$$

過渡的な現象を論議するのに便利な方法としてよく特性曲線法が使用されるが、線型の波動の場合にもきりぬけて有効に用いることが出来るから、特性曲線法により解くことにする。

今初期条件として $t=0$ での η, Q を x の函数として与える。境界条件としては

$x=0$ で (3) 式, $x=-L_1$ で (4) 式, $x=L_2$ で (5) 式で与える。しかるときは 湾口では

$$\left. \begin{aligned} Z_1^+ &= \pm \frac{\gamma}{1+\alpha_{13}} (\sqrt{\gamma^2+4|Z_3^++Z_1^-|} - \gamma) - Z_1^- \\ Z_3^- &= \pm \frac{\alpha_{13}\gamma}{1+\alpha_{13}} (\sqrt{\gamma^2+4|Z_3^++Z_1^-|} - \gamma) - Z_3^+ \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

防波堤開口部では

$$\left. \begin{aligned} Z_2^+ &= \pm \frac{\beta}{1+\alpha_{12}} (\sqrt{\beta^2+4|Z_1^++Z_2^-|} - \beta) - Z_2^- \\ Z_1^- &= \pm \frac{\alpha_{12}\beta}{1+\alpha_{12}} (\sqrt{\beta^2+4|Z_1^++Z_2^-|} - \beta) - Z_1^+ \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ここに $Z_1^+ = \frac{Q}{bc} + \eta$, $Z_1^- = \frac{Q}{bc} - \eta$, $\alpha_{13} = \frac{b_1}{b_3} \sqrt{\frac{h_1}{h_3}}$, $\alpha_{12} = \frac{b_1}{b_2} \sqrt{\frac{h_1}{h_2}}$, $\beta = \frac{1+\alpha_{12}}{\alpha_{12}} \frac{h_2 A_0 \sqrt{2} k_1}{b_1 h_1}$, $\gamma = (1+\alpha_{13}) k_1 \sqrt{2} h_1$,

$C = \sqrt{gh}$. (6), (7) 式は湾口および防波堤開口部での条件である。計算結果の一部を図示する。

図-2 は防波堤が無い場合に、波がどのぐらい続いてくると完全な周期的な波の来る場合と同様な湾内極大波高が得られるかを示したもので、平衡の位置には意外に早く達し、湾の固有振動周期に近いと振巾が大きくなることがわかる。図-3 は $h_1=h_2=h_3$, $b_1=b_2=b_3$ の場合、水深の変化に対する防波堤の効果を示したものである。これらの結果は水理模型実験結果と良い一致を示している。即ち津波に対する防波堤の効果は、この様な簡単な理論からかなり定量的に知ることが出来る。図-4 は防波堤の位置による湾奥の波高減少の効果を示したものである。 $h_1=h_2=10m$, $h_3=25m$, $b_1=b_2=\frac{1}{2}b_3$, $b_0/b_1=0.2$ と仮定した。図から明らかなように、湾口に設けられた防波堤は、色々な周期の波を考えた場合一番効果があることがわかる。計算と水理実験とを比較した結果、津波に対する防波堤の効果をしらべるには、簡単な一次元モデルで、防波堤開口部に非線型効果を考えた理論が、かなりよい精度で水理実験を説明することがわかり、現実の湾に対しても簡単な2次元モデルによる数値計算が可能であらう。

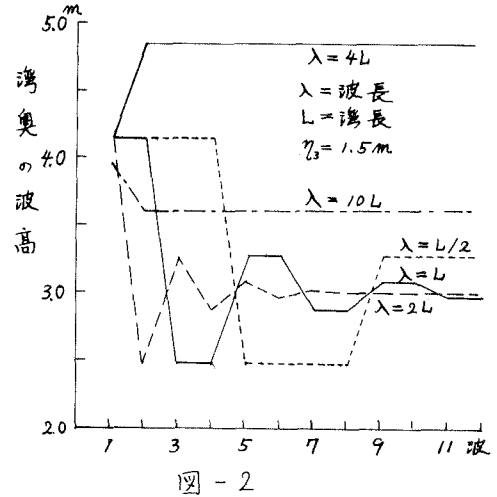


図-2

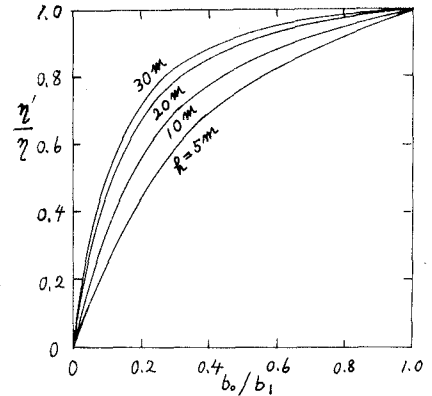


図-3

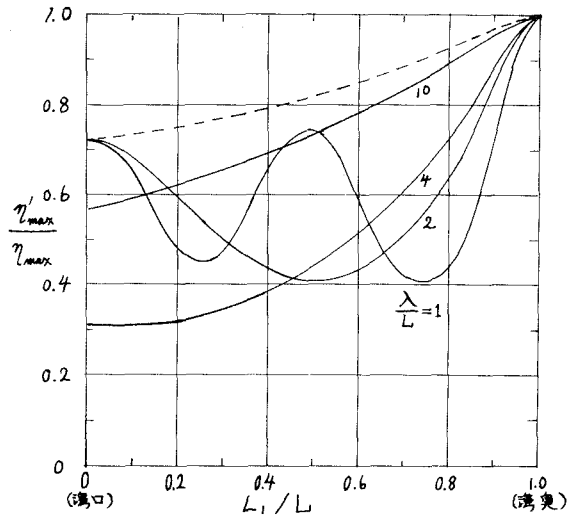


図-4