II-16　　湾水振動の制御に関する一考察

徳島大学工業短期大学部　正員　村上仁士

1. まえがき： 湾水の共振特性は，damping factor によって規定される。著者は，ここ数年来種々の角度から，この問題について検討してきたが[1]，本研究は，これらの研究の一環をなすもので，防波堤開口部における波のエネルギー逸散を考慮した解を，LeMéhauté が求めた理論[2]と同様な方法で導き，その解の特性から，湾水振動の制御に関して若干の考察を行なったものである。

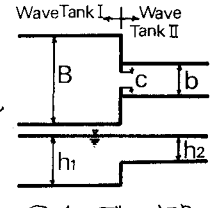


図-1 モデルの記号

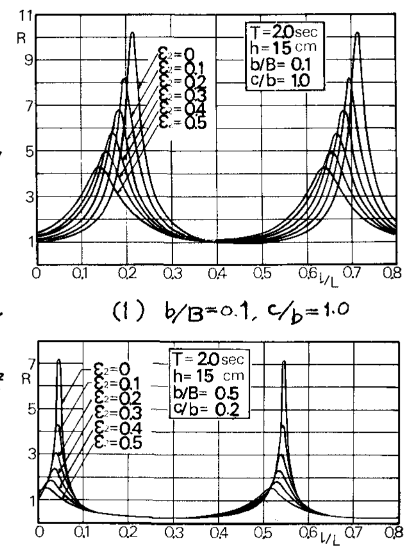
2. 理論解析； (1) 流量保存則： 図-1 に示した水槽IからIIへ波が進行する場合，開口部における流量の連続性から，$Z\bar{\alpha}_1+\bar{\beta}_1=\bar{J}$ (1)，同様に水槽IIからIへ波が進行する場合，$(1/Z)\bar{\alpha}_2+\bar{\beta}_2=\bar{J}$ (2) ただし，$Z=bL_2/bL_1$，$\bar{\alpha}_n=\alpha_n\exp(i\hat{\alpha}_n)$ $n=1,2$ $\bar{J}=1$ である。なお添字1，2 はそれぞれ水槽IおよびIIの波の特性を示し，α，β は，それぞれ反射および透過特性を示す。(2) エネルギー保存則： 水槽IからIIへ，および水槽IIからIへ波が進行する場合に，開口部で失なう波のエネルギー逸散率（入射波のエネルギーと逸散エネルギーとの比）をそれぞれ ε_1 および ε_2 とすると，エネルギー流束が一定の条件から，$\beta_1^2+AZ\alpha_1^2+\varepsilon_1=1$ (3) $\beta_2^2+(1/AZ)\alpha_2^2+\varepsilon_2=1$ (4) を得る。ここに，$A=A_2/A_1$ ただし，$A_n=1+2k_nh_n/\sinh 2k_nh_n$ $(n=1,2)$，$k=2\pi/L$，L は波長である。水槽IおよびIIから振幅の異なる波が逆向きに入射するとき，(3)，(4)式の関係から，$\alpha_2\beta_1=AZ\alpha_1\beta_2$ (5)，$\hat{\alpha}_2-\hat{\beta}_2=-(\hat{\alpha}_1-\hat{\beta}_1)+\pi(+2n\pi)$ (6) が得られ，(1)〜(6)式から，$\beta_1,\beta_2,\alpha_2,\hat{\alpha}_1,\hat{\alpha}_2,\hat{\beta}_1,\hat{\beta}_2$ は α_1 の関数としてそれぞれ次式のように求められる。 $\beta_1=(1-AZ\alpha_1^2-\varepsilon_1)^{1/2}$ (7) $\beta_2=\{(1-\varepsilon_2)(1-AZ\alpha_1^2-\varepsilon_1)/(1-\varepsilon_1)\}^{1/2}$ (8) $\alpha_2=\{(1-\varepsilon_2)AZ\alpha_1/(1-\varepsilon_1)\}^{1/2}$ (9)

$$\cos\hat{\alpha}_1=\{\alpha_1(A+Z)+\varepsilon_1/Z\alpha_1\}/2 \qquad (10)$$

$$\cos\hat{\alpha}_2=\frac{1-(1-\varepsilon_2)\{(1-\varepsilon_1)-A\alpha_1^2(A+Z)\}/(1-\varepsilon_1)}{2(1-\varepsilon_2)AZ\alpha_1/(1-\varepsilon_1)} \qquad (11)$$

$$\cos\hat{\beta}_1=\{(2-\varepsilon_1)-Z\alpha_1^2(A+Z)\}/2\cdot(1-AZ\alpha_1^2-\varepsilon_1)^{1/2} \qquad (12)$$

$$\cos\hat{\beta}_2=\frac{1+(1-\varepsilon_2)\{(1-\varepsilon_1)-A\alpha_1^2(A+Z)\}/(1-\varepsilon_1)}{2\{(1-\varepsilon_2)(1-AZ\alpha_1^2-\varepsilon_1)/(1-\varepsilon_1)\}^{1/2}} \qquad (13)$$



(1) b/B=0.1, c/b=1.0

(2) b/B=0.5, c/b=0.2

図-2 湾水の振動特性（湾奥）

上式で，$\varepsilon_1=\varepsilon_2=0$ とおいた場合，LeMéhauté が誘導した解と一致する（註：$\hat{\beta}_2$ については LeMéhauté の論文に誤りがあるように思われる）。未知数 α_1 については，LeMéhauté の式[3] $\alpha_1=2(c/b)^{1/2}(B/b)^{1/4}/\{1+A(L_2/L_1)\}$ (14) を使用する。さて，湾奥における波高増幅率 R（入射波高の2倍に対する湾奥の波高）の算定方法は，LeMéhauté の解法と同じであるため，ここでは省略し，その結果のみを示す[3]。

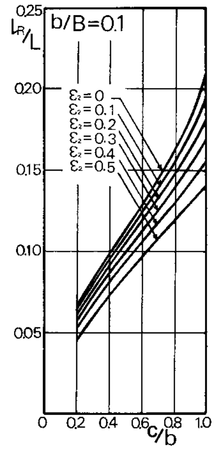
$$R=r\alpha_1(1+p)/2\{1+(\beta_2r^2p)^2-2\beta_2r^2p\cos(\hat{\beta}_2+2\hat{r})\}^{1/2} \qquad (15)$$

ここに，r：底面摩擦係数，p：湾奥の反射率，$\hat{r}=2\pi l/L_2$，l は湾長である。

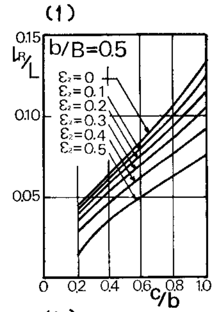
3. 振動特性； ε_1，ε_2 を正確に求めて，振動特性を調べるべきであるが，以下は急拡に比べ，急縮の場合のエネルギー逸散は十分小さいという仮定，したがって $\varepsilon_1=0$ および h は湾内外で一定という前提のもとに議論を進める。図-2 (1)，(2) は，(15)式で，$T=2$ sec，$h=15$cm，$p=1$，$r=1$ とした計算結果である。図から，ε_2 が大きくなるにつれて，R が低下し，共振を生ずる点が変化することがわかる。両図の比較から，

b/Bが大きい方がRは小さくなる。とくに（2）図にみられるように，ある波長の場合には，港奥の波高が入射波高以下になる可能性があることは興味ぶかい。

4. 共振特性：（1）c/bとl_R/Lとの関係：図-3(1),(2)は，c/b，ε_2の変化にともなう共振点l_R/Lの変化を示したもので，c/bが小さく，ε_2が大きくなるほど，l_R/Lが小さくなり，基本モードの場合，通常$l_R/L=0.25$といわれているが，この値よりもはるかに小さくなることがわかる。両図から，b/Bが小さいほど，c/bの変化にともなうl_R/Lの変化は大きい。（2）c/bとR_Rとの関係：図-4(1),(2)は，港湾内の波のエネルギー逸散が，防波堤開口部のみで生ずる場合，c/b，ε_2の変化にともなう共振時の波高増幅率R_Rの変化を示したものである。(1)図($b/B=0.1$)で，$\varepsilon_2=0$の場合，c/bが小さくなるにつれて，R_Rは急激に増加する。すなわち，*harbor paradox*が成立するが，ε_2が大きくなるにしたがって，それが成立しなくなる。とくに，開口幅が小さくなると，逸散エネルギーの効果がR_Rにおよぼす影響が大きくなる。(2)図($b/B=0.5$)の場合も全く同様のことがいえるが，ε_2が前者の場合よりも大きくなって*harbor paradox*が成立しなくなることになり，開口部で，ある程度以上のエネルギー逸散がなければ*harbor paradox*が成立する可能性があることを示唆している。両図から，港湾幅が小さい方が，共振特性に及ぼす防波堤の効果は顕著であることがわかる。以上は，エネルギー逸散を開口部のみと考えたが，さらに底面摩擦の項を加えた($r=0.95$)結果を示したものが図-5(1),(2)である。(1)図にみられるように，$\varepsilon_2=0$であっても*harbor paradox*が成立しないこともありうる。これは，すでにLeMéhauté[4]が"底面摩擦を考慮すれば*harbor paradox*は成立しないことがある"として指摘していることである。

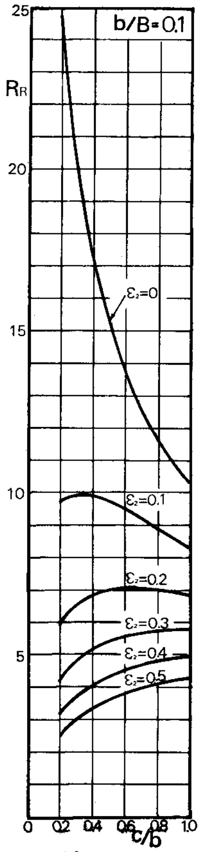


(1)

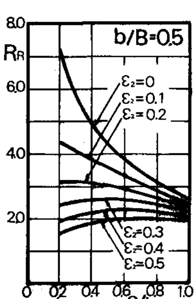


(2)

図-3 c/bとl_R/Lとの関係

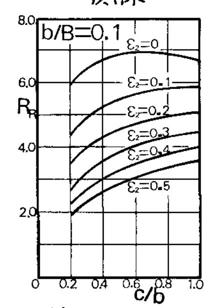


(1)

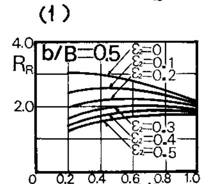


(2)

図-4 c/bとR_Rとの関係($r=1$)



(1)



(2)

図-5 c/bとR_Rとの関係($r=0.95$)

5. あとがき：本研究によって，開口部における波のエネルギー逸散を，適当な方法により決定すると，共振特性が把握でき，それによって港内振動を制御しうることがわかった。また，*harbor paradox*の矛盾およびその可能性についても検討することができた。しかし，本解析には，多くの仮定が含まれており，今後，急縮急拡の場合の波の反射および透過特性ならびに位相特性を明確にしなければならない。最後に，本研究にあたり御指導，御激励を頂いた京都大学岩垣雄一教授，土屋義人教授，徳島大学三井宏教授，討尋，図面作成にあたり御協力頂いた徳島大学大学院学生越智裕，島田富美男両君に深謝の意を表するとともに，本研究は文部省科学研究費による研究の一部であることを付記する。

参考文献

1) 岩垣・村上；第26回～第28回年講，土木学会，昭46～昭48.
2) LeMéhauté, B.; Periodical gravity wave on a discontinuity, J. Hy. Div., ASCE, pp.11-41, Nov., 1960
3) LeMéhauté, B.; Theory of agitation in a harbor, J. Hy. Div., ASCE, pp.31-50, March, 1961.
4) LeMéhauté, B. & B.W. Wilson; Discussion of "Harbor paradox" J. Waterways & Harbors Div., ASCE, pp.111-130, Aug., 1961.