

I-5 波のエネルギー逸散を考慮した湾水振動の解析

徳島大学工業短期大学部 正員 村上仁士
徳島大学工学部 正員 越智裕

1. まえがき: 前回の講演会において、着者の1人は防波堤開口部に生ずる渦、乱れなどによる波のエネルギー逸散を導入して湾水振動を解析したが、振動特性については、定性的な傾向をみるにとどまり、不都合な点も少くなかった。そこで、新たに開口部における波の変形を規定する諸量および逸散されるエネルギー量と実験的に把握し、その実験結果を用いて共振理論を導き、さらに解の数値計算を行うとともに、解に関して実験的な検証を加えた。

2. 理論解析: 図-1に示すように、有限幅Bの外海に港湾幅b, 開口幅C, 湾長Lの長方形港湾が連結するよう1次元の取り扱いがでる最も簡単なモデルを想定し、水深は港湾内外で一様とする。波は微小振幅波を仮定し、単程に波を重ね合わせができるものとする。長方形港湾における湾水の共振現象は、機構的に開口部で水槽断面が急縮する場合および急拡する場合のそれぞれの入射波、反射波および透過波を重ね合わせたものと考えられ、まず断面急変部における波の特性について解析する。

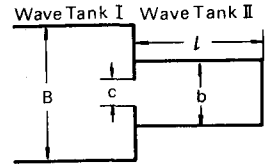


図-1 港湾モデル

(i) 流量連続の条件; 水槽IからIIへ波が進行する断面急縮の場合、開口部での流量の連続性から、 $(b/B)\bar{\alpha}_1 + \bar{\beta}_1 = \bar{f}$ (1) ただし、 $\bar{\alpha}_1 = \alpha_1 \exp(i\hat{\alpha}_1)$, $\bar{\beta}_1 = \beta_1 \exp(i\hat{\beta}_1)$, $\bar{f} = f$ である。同様に、水槽IIからIへ波が進行する断面急拡の場合の連続式は、 $(B/b)\bar{\alpha}_2 + \bar{\beta}_2 = \bar{f}$ (2) ただし、 $\bar{\alpha}_2 = \alpha_2 \exp(i\hat{\alpha}_2)$, $\bar{\beta}_2 = \beta_2 \exp(i\hat{\beta}_2)$ である。ここに、記号 α および β は透過波および反射波の特性を示し、複素数として表わすと、振幅はその絶対値、位相差は $\hat{\alpha}$ で示される。添字1, 2はそれぞれ急縮および急拡の場合を示している。(ii) エネルギー保存則; 急縮および急拡の場合に、開口部における波のエネルギー逸散率とそれぞれ ε_1 および ε_2 とすると、エネルギー保存則から、 $\beta_1^2 + (b/B)\alpha_1^2 + \varepsilon_1 = 1$ (3) $\beta_2^2 + (B/b)\alpha_2^2 + \varepsilon_2 = 1$ (4) が求まる。また、 α_1 と α_2 との関係について、 $\alpha_2 = (b/B)\alpha_1$ (5) で与えられている。したがって、 α_2 , β_1 , β_2 , $\hat{\alpha}_1$, $\hat{\alpha}_2$, $\hat{\beta}_1$, $\hat{\beta}_2$ は α_1 の関数として、次式のようになる。

$$\beta_1 = \sqrt{1 - (b/B)\alpha_1^2 - \varepsilon_1} \quad (6) \quad \beta_2 = \sqrt{1 - (b/B)\alpha_1^2 - \varepsilon_2} \quad (7)$$

$$\hat{\alpha}_1 = \cos^{-1} \frac{1 + (b/B)\alpha_1^2 + \varepsilon_1}{2(b/B)\alpha_1} \quad (8) \quad \hat{\alpha}_2 = \cos^{-1} \frac{1 + (b/B)\alpha_1^2 + \varepsilon_2}{2\alpha_1} \quad (9)$$

$$\hat{\beta}_1 = \cos^{-1} \frac{2 - \{1 + (b/B)\alpha_1^2 + \varepsilon_1\}}{2\sqrt{1 - (b/B)\alpha_1^2 - \varepsilon_1}} \quad (10) \quad \hat{\beta}_2 = \cos^{-1} \frac{2 - \{1 + (b/B)\alpha_1^2 + \varepsilon_2\}}{2\sqrt{1 - (b/B)\alpha_1^2 - \varepsilon_2}} \quad (11)$$

上式で、 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0$ とした場合には、Le Méhautéが導出した式と一致する。また、Le Méhautéは α_1 を与える実験式を提案しているが、その精度に問題があることがわかったので、ここでは着者が導いた α_1 に関する実験式を用いることとする。 $\alpha_1 = (C/b)^{1/4} (B/b)^{1/4}$ (12) つぎに、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)の算定方法については、Le Méhautéの方法と同じであるため、ここでは省略し、結果のみを示すと次式のようになる。

$$R = \frac{r(1+P)\alpha_1}{2\sqrt{1 + (B_2 r^2 P)^2 - 2B_2 r^2 P \cos(\hat{\beta}_2 + 2\hat{F})}} \quad (13)$$

ただし、 P は湾奥の反射率、 r は底面および側面における境界摩擦による波高減衰率を表わし、 $\hat{F}$ は港口と湾奥との間の波の位相差 $\hat{F} = -2\pi L/L$ で与えられ、 L は波長である。なお、本理論の適用範囲は、開口部からの回折・散乱波の影響が無視できる $B/L \leq \frac{1}{2}$ のときであり、 $b/B \geq 0.2$ の場合に有効となる。

3. 実験的検証: 水深15cm, 周期2secの波を用いた場合の実験結果と理論の解析結果とを比較し, 検証を行う。(13)式を数値計算するに当

って, 未知数 ϵ_2 は文献(2)において, 同一諸元の波を用いて実験的に求められているので, その結果を使用し, 他の未知量 P および Γ は長周期の波の場合にはほぼ1となる。図-2は縦軸に波高増幅率 R , 横軸に相対湾長 L/L をとり, 理論結果と実験結果を示したものであり, 従来の理論のうち, 代表的なLe Méhautéの理論およびIppenと合田の理論結果も比較のために併記してある。図から, 開口部における波のエネルギー-逸散を考慮した本理論の場合には, 従来の理論解に比べて実験結果とよく適合しており, 共振を生じる相対湾長およびそのときの波高増幅率(以下, 簡単に共振相対湾長および共振増幅率と呼ぶ)も非常によく一致しており, 本理論解が妥当であることがわかる。

4. 共振特性: 本理論による計算結果から, とくに共振相対湾長および共振増幅率の特性について考察する。図-3は, 開口比 c/b の増減による共振相対湾長 Lr/L の変化を示したものである。 Lr/L はどの相対湾港幅 b/B においても, 全開($c/b=1$)の場合に最大となり, b/B が大きくなり, c/b が小さくなるにつれて減少する。図-4は共振波高増幅率 Rr と c/b の関係を示したものである。図から, $b/B=1$ の場合を除いて, 全開のときに Rr は最大となり, c/b が小さくなるにつれて Rr は減少し, いわゆるharbor paradoxは成立していることがわかるが, $b/B=1$ の場合には, 逆に Rr は増大する傾向となり, harbor paradoxの成立していることがわかる。また, b/B が小さいほど Rr の変化率は大きくなり, $c/b=0.2$ 程度では, どの b/B についても Rr はほぼ1.2となる。

5. あとがき: 本研究によって, 外海幅が有限と考えられる1次元の場合に, 実験結果とよく一致する解が得られたが, 今後, 外海幅が半無限の2次元的な広がりをもつ場合についても, 波のエネルギー-逸散を考慮した湾水振動理論の確立が望まれる。最後に, 本研究にあたり有益な御助言を賜った, 京都大学岩垣雄一教授, 徳島大学三井宏教授, 実験などにご協力頂いた大学院生の島田富美男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(自然災害特別研究: 代表者岩垣雄一教授)による研究の一部であることを付記する。

参考文献

- 1) 村上仁士; 波のエネルギー損失を考慮した湾水振動の一解法, 第26回中四年講, 昭和49年5月。
- 2) 村上仁士ら; 断面急変部における波のエネルギー-逸散について, 第27回中四年講, 昭和50年5月。

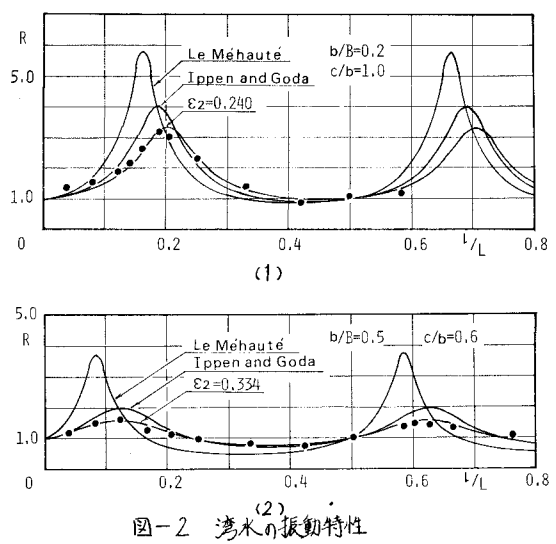


図-2 湾水の振動特性

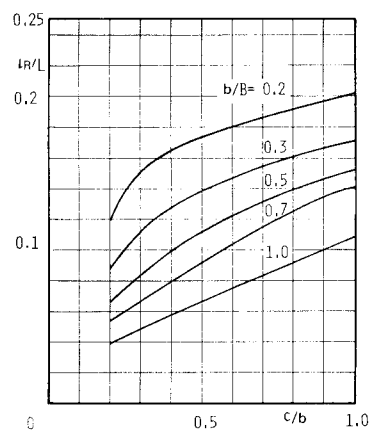


図-3 Lr/L の特性

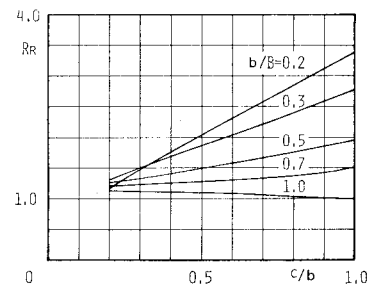


図-4 Rr の特性