

1-3 湾水振動における開口部のエネルギー損失の効果について

徳島大学工業短期大学部 正員 村上 仁士
徳島大学大学院 〇学生員 野口 英二
徳島大学大学院 学生員 鈴木 一光

1. まえがき; Ippen-Goda が求めた¹⁾ 簡単な長方形湾の湾水振動理論に、開口部でのエネルギー損失を表わす損失係数(f)を導入することにより、防波堤開口部におけるエネルギー損失を考慮した湾水振動理論を提示する。また、それと同時に、Unlüata-Mei の理論²⁾をも参考にし、湾水の振動特性を、理論、実験の両面から検討する。

2. 理論; 図-1 のような湾モデルにおいて、まず最初に次のような仮定を行う。1) 水は非粘性、非圧縮性である。2) 入射波は一定周期の微小振幅波で、半無限の海岸線に対して直角に入射する。3) 波は境界面で完全反射し、湾内外は一樣水深である。4) 開口幅は比較的小さく、開口部における出入量はほぼ一樣である。5) 波は線形長波である。以上の仮定により速度ポテンシャルが存在し、波高分布関数を含む速度ポテンシャルを仮定して、それを Laplace の式に代入すると、Helmholtz の式が得られる。そこで、この Helmholtz の式を、境界面上では法線速度が 0、開口部から無限遠方では完全重複波になるという境界条件と、開口部での湾内外の流速が一定という条件を用いて解くと、開口部での湾外、湾内の平均水位 $\bar{\eta}_1, \bar{\eta}_2$ が得られる。また、時刻 t にかかわらずつねに開口部においては湾内外に水位差を生じているものと仮定するならば、次式が成立する。

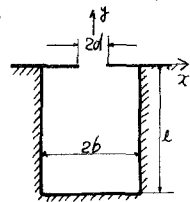


図-1 湾モデル
----- (1)

$$\bar{\eta}_2 - \bar{\eta}_1 = \frac{1}{2g} \cdot U \cdot |U|$$

さらに、上の条件を用いて解くと、C に関する 4 次方程式(2)式が得られる。

$$\frac{16f^2 a^2 g^2 R^4}{9\pi^2 d^2} C^4 - \frac{8f a g R^2 K_1}{3\pi d} C^3 + \left[\left\{ X_2 - \frac{d}{b} (\cot \beta L - S_1) \right\}^2 + X_1^2 \right] \cdot C^2 - 1 = 0 \quad \text{----- (2)}$$

$$\left(X_1 = \frac{2}{\pi} R d \int_0^{\beta L} \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2 / (R d)^2 - \alpha^2} d\alpha, \quad X_2 = \frac{2}{\pi} R d \int_0^{\beta L} \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2 / (R d)^2 - \alpha^2} d\alpha, \quad S_1 = 8 \left(\frac{b}{\pi d} \right) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\sin \frac{n\pi d}{2b}) \cdot \cos \frac{n\pi}{2}}{n^2 \beta_n \tanh \beta_n R L} \right. \\ \left. \beta_n = \sqrt{\left(\frac{n\pi}{2Rb} \right)^2 - 1} \quad (n\pi > 2Rb \text{ のとき}), \quad \beta_n = i\beta'_n = i \sqrt{1 - \left(\frac{n\pi}{2Rb} \right)^2} \quad (n\pi < 2Rb \text{ のとき}) \right)$$

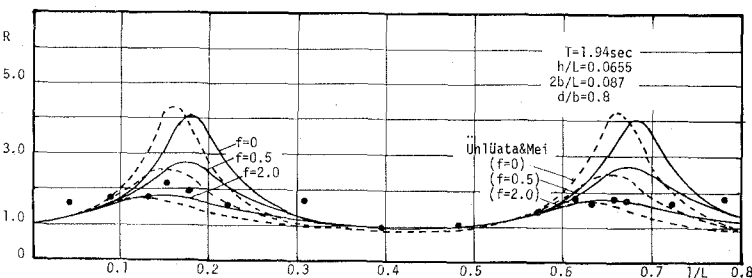
ただし; σ は角振動数、 f は損失係数、 a は入射波高、 R は波数、 g は重力加速度、 C は水粒子の速度を示す定数。

以上の結果、湾奥(0, -L)での波高増幅率 R は(2)式の C を用いると次のようになる。

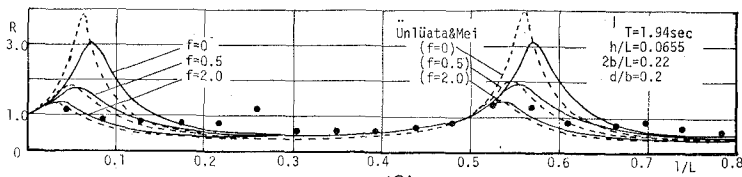
$$R = \left| \frac{d}{b} \frac{1 - S_2}{\sin \beta L} C \right| \quad \text{--- (3)}$$

$$\text{ただし, } S_2 = \frac{4b}{\pi d} \sin kL \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{\pi \beta_n} \times \frac{\sin \frac{n\pi d}{2b} \cos \frac{n\pi}{2}}{\sinh \beta_n R L} \right)$$

3. 振動特性; 図-2 は(3)式で、 $T=1.94 \text{ sec}$, $h=15 \text{ cm}$,



(1)



(2)

図-2 湾水の振動特性

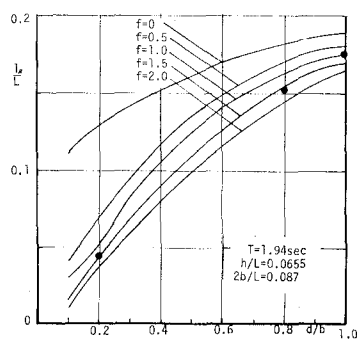
$Q=2.6$ とした計算結果である。同図には、エネルギー損失を考慮した理論と同様な手法で解かれた Ünlüata-Mei の理論と実験結果を併記している。図の(1)は、表長に比べ湾幅 $2b$ が小さく、開口部が大きい ($d/b=0.8$) 場合である。 f が大きくなるにつれて、 R_L (共振湾幅率) が減少し、 λ/L (相対共振湾長) が小さい方へ変化することかわかる。図の(2)は、表長に比べ湾幅が比較的大きく、開口部が小さい ($d/b=0.2$) 場合である。 f による変化は(1)と同じ傾向を示しているが、 R_L の最少値は 1 以下となっている。一方、Ünlüata-Mei の理論値は、式(3)に比べると R_L に関してはほぼ同じ値をとっているが、 λ/L は全体的に小さい方へずれる傾向にある。

4. 共振特性: a) λ/L と f の関係 図-3 は λ/L , f の変化に対する λ/L の変化を示したものである。外海が半無限の基本モードの場合は通常 $\lambda/L=0.25$ で共振するといわれるが、 λ/L が小さく、 f が大きくなるにつれて、この値よりも小さくなる。とくに、図の(1)および(2)と比較した場合、 λ/L (相対共振湾長) が小さくなればなるほどこの傾向は顕著である。一方、実験値において、 λ/L が 1 に近い場合は、湾幅が大きいため λ/L は小さくなり、逆に λ/L が小さい場合は、湾幅によらずほぼ同じ値になり、損失係数 f とはほぼ関係なく考えられる。また、理論値と実験値を比べて、 λ/L が小さく、 λ/L が小さいほどエネルギー損失の効果がおきにくいことがわかる。 b) λ/L と R_L の関係 図-4 は λ/L , f の変化に対する R_L の変化を示したものである。エネルギー損失を考慮しない場合 ($f=0$) では、 λ/L の減少とともに R_L が増加する、いわゆる harbor paradox を呈している。しかし、エネルギー損失を考慮した場合 ($f \neq 0$) では、 λ/L が減少するほど R_L が減少する傾向がみられ、 λ/L と同様、 λ/L が小さくなればなるほどこの傾向は顕著である。一方、実験値において、湾幅が小さい場合は λ/L の減少とともに R_L も減少するが、湾幅が大きい場合は、開口比による変化はさほどみられない。また、理論値と実験値を比較した場合、 λ/L と同様、 λ/L が小さいほどエネルギー損失の効果が大きいのことがわかる。

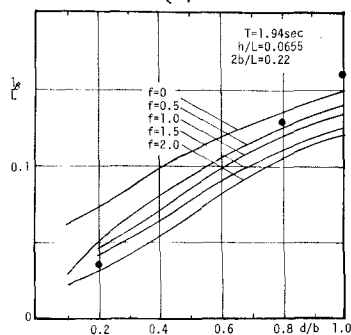
5. あとがき: 本研究により、開口部でのエネルギー損失が湾木の共振特性に大きな影響を及ぼすことがわかった。しかしながら、 f の値を任意に与えることによって湾木振動を論じたにすぎず、開口部でのエネルギー損失は湾木形状、入射波の諸元によって変化するのでと考えられ、今後、 f の値を定量的に評価しなければならぬ。

最後に本研究にあたり、実験などに御協力頂いた山田平氏(東亜建設)に感謝の意を表す。

参考文献 ① Ippen, A.T. and Y. Goda: The solution for a rectangular harbor connected to the open sea, Rep. No. 59, M.I.T., July, 1963.
② Ünlüata, Ü. and C.C. Mei: Effects of entrance loss on harbor oscillations, Jour. Waterways Harbors and Coastal Eng. Div., pp. 161-188, May, 1975.

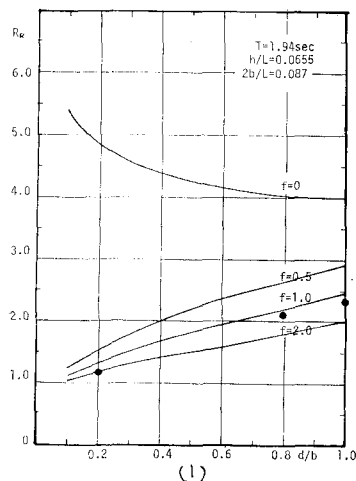


(1)

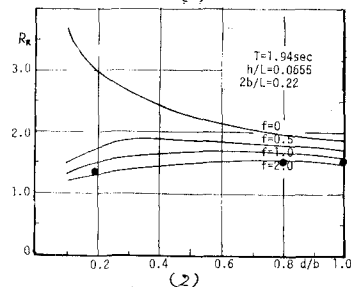


(2)

図-3 λ/L と f の関係



(1)



(2)

図-4 λ/L と R_L の関係