

湾水振動に及ぼす湾口部の水深変化の影響について

徳島大学工学部

正員 越智 敏

同上

正員 三井 宏

徳島大学工業短期大学部

正員 村上 仁士

1. まえがき： 従来の湾水振動に関する研究は、港湾の内外で水深の等しいモデルを用い、港湾の形状特性に主体が置かれていた。しかし、現地港湾の共振特性を予測するには港湾の海底地形にあわせて水深変化の影響を考慮し解析する必要がある、特に湾水の共振特性は湾口部の境界条件によって規定されるため、湾口部における水深変化の影響を把握することが重要であると思われる。本研究は1次元長方形港湾を対象として理論解を示し、その解析結果と実験結果にもとづいて湾水の振動特性に及ぼす湾口部の水深変化の影響について考察する。

2. 理論解： 湾口水深変化の影響を導入した湾水振動理論にはLe Méhautéの理論があるが、水深変化の度合いが大きくなると適用できない欠点があり、湾口部における波のエネルギー-逸散も考慮されていない²⁾。この欠点を解消するために、湾口部の水深変化がない場合に波のエネルギー-逸散を考慮して得られた理論と一樣幅の木路で水深のみが変化する場合に波の変形を取り扱った理論を用い、波を複素表示することによって両者を組み合せ、理論解を導出した。ここでは、その結果のみを示す。まず、図-1に示すような港湾モデルにおける湾奥の波高増幅率 R （入射波高の2倍に対する湾奥の波高）は次式で与えられる。

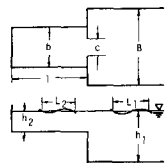


図-1 港湾モデル

$$R = \frac{r(1+p)A_1}{2\sqrt{1+(B_2r^2p)^2-2B_2r^2p\cos(\hat{B}_2+2\hat{p})}} \quad (1)$$

$\hat{p} = -2\pi L/L_2$ (2) であり、 r は波高減衰率、 p は湾奥の反射率と長周期波の場合にはそれぞれ1となる。 A_1 は図-1の港湾モデルで湾奥のない場合の急縮断面の透過率、 B_2 および $\hat{B}_2$ は急拡断面の反射率と位相差である。

$$A_1 = \frac{\alpha_1 \alpha_1'}{\sqrt{1+(\beta_1 \beta_2)^2 + 2\beta_1 \beta_2 \cos \beta_1}} \quad (3)$$

$$B_2 = \sqrt{\beta_2^2 + r^2 + 2\beta_2 r \cos(\beta_2 - \hat{p})} \quad (4)$$

$$\hat{B}_2 = \tan^{-1} \frac{\beta_2 \sin \beta_2 + r \sin \hat{p}}{\beta_2 \cos \beta_2 + r \cos \hat{p}} \quad (5)$$

式(4)、(5)中の r 、 $\hat{p}$ は次式で表わされる。

$$r = \frac{\alpha_1 \alpha_2 \beta_2}{\sqrt{1+(\beta_1 \beta_2)^2 + 2\beta_1 \beta_2 \cos \beta_1}} \quad (6) \quad \hat{p} = \tan^{-1} \frac{\sin(\hat{\alpha}_1 + \hat{\alpha}_2) + \beta_1 \beta_2 \sin(\hat{\alpha}_1 + \hat{\alpha}_2 - \beta_1)}{\cos(\hat{\alpha}_1 + \hat{\alpha}_2) + \beta_1 \beta_2 \cos(\hat{\alpha}_1 + \hat{\alpha}_2 - \beta_1)} \quad (7)$$

α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 、 $\hat{\alpha}_1$ 、 $\hat{\alpha}_2$ 、 $\hat{\beta}_1$ および $\hat{\beta}_2$ はそれぞれ図-2の湾口部モデルにおける波の変形を示す諸量で、

$$\alpha_1 = (b/B)^{1/4} (c/b)^{1/4} \quad (8) \quad \alpha_2 = (b/B) \alpha_1 \quad (9) \quad \beta_1 = \sqrt{1-(b/B)\alpha_1^2 - E_1} \quad (10) \quad \beta_2 = \sqrt{1-(b/B)\alpha_1^2 - E_2} \quad (11)$$

$$\hat{\alpha}_1 = \cos^{-1} \frac{\{1+(b/B)\}(b/B)\alpha_1^2 + E_1}{2(b/B)\alpha_1} \quad (12) \quad \hat{\alpha}_2 = \cos^{-1} \frac{\{1+(b/B)\}\alpha_1^2 + E_2}{2\alpha_1} \quad (13)$$

$$\hat{\beta}_1 = \cos^{-1} \frac{2 - \{1+(b/B)\}(b/B)\alpha_1^2 - E_1}{2\sqrt{1-(b/B)\alpha_1^2 - E_1}} \quad (14) \quad \hat{\beta}_2 = \cos^{-1} \frac{2 - \{1+(b/B)\}\alpha_1^2 - E_2}{2\sqrt{1-(b/B)\alpha_1^2 - E_2}} \quad (15)$$

式中の E_1 、 E_2 はそれぞれ急縮断面および急拡断面における波のエネルギー-逸散率であり、 E_2 は文献(2)に示した実験値を用い、 E_1 は E_2 に比べて小さいと思われる、解に与える影響も小さいので0とする。 $\hat{\alpha}_1$ 、 $\hat{\beta}_2$ は文献(3)から

$$\hat{\alpha}_1' = 2/(1+n_2 h_2/n_1 h_1) \quad (16) \quad \hat{\beta}_2 = (1-n_2 h_2/n_1 h_1)/(1+n_2 h_2/n_1 h_1) \quad (17)$$

波のエネルギー-保存則を適用することによって求められ、 $n=1+2kh/\sinh 2kh$ 、 L は波長、 h は波数、 $\hat{\alpha}_1=0$ 、 $\hat{\beta}_2=\pi$ とし、添字1は外海、2は港湾内を示す。なお、理論の適用範囲は $b/B \geq 0.2$ 、 $B/L_1 \leq 0.5$ である。

3. 湾口部の水深変化の影響: 実験は図-1のモデルで $b/B=0.2$, $c/b=1.0$ の長方形港湾を用い, 港湾内の水深 h_2 を 10 cm として外海水深 h_1 を 10 cm ごとに 80 cm ままで変化させ, 入射波の周期 T は 2 sec と 1.6 sec の2種類, 波高は 5 mm とした。図-4はそれぞれ h_1 と h_2 の2倍および5倍にしたときの振動特性を示したもので, 実験値を●印で示してある。図からわかるように, $b/B=0.2$ 程度の港湾幅が外海幅に比べて狭い場合にはほぼ同様な振動特性を示しており, 共振時の増幅率が若干大きくなるくらいで湾口部の水深変化の影響は顕著に現われていない。図-5, 6は共振点のみを抽出して, 共振時の相対湾長 l_R/l_2 および増幅率 R_R の特性を示したものである。横軸の $\frac{n_2 l_2}{n_1 l_1}$ は水深変化の度合を表わすパラメーターで, 長周期波の場合には湾内水深と外海水深の比の平方根 $\sqrt{h_2/h_1}$ に近似され, 値が小さいほど水深変化が大きくなる。両図から, l_R/l_2 は基本モードも第2モードも $\frac{n_2 l_2}{n_1 l_1}$ によってそれほど変動していないが, R_R は水深変化が激しくなるにつれて若干増加する傾向がみられるようである。つ

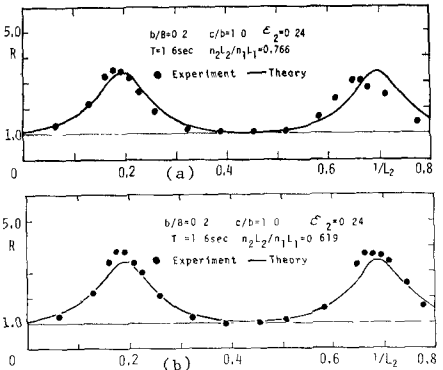


図-4 湾水の振動特性

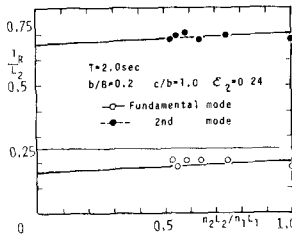


図-5 l_R/l_2 の特性

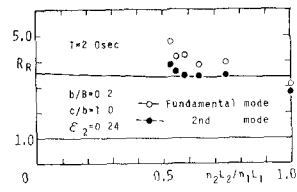


図-6 R_R の特性

ぎに, 2. で述べた理論の解析結果に基づき考察を加える。図-7は実験で用いた $b/B=0.2$ の全港の港湾について, 外海水深を半無限まで種々に変化させたときの湾水の振動特性を求めたものである。図から, 実験によって得られた結果と同様な傾向を示していることがわかり, 港湾内と外海とむかひの水深差があっても共振点がやや左上方に移動する程度で, 振動特性にはそれほど明確な違いは現われず, 湾口水深変化の影響は顕著でないことがわかる。また, 理論解の妥当性を検討するために図-4~6には実験値とともに理論値を併記してあるが, 理論曲線は共振時の波高増幅率が若干小さく与えているものの, ほぼ実験値と適合しているものと考えられる。このことから, 本理論を用いて港湾幅の広い場合について湾口水深変化の影響を調べる。図-8, 9は共振点に注目して l_R/l_2 および R_R の特性を示したものである。 l_R/l_2 は水深変化が急激になるにつれて, どの港湾幅の場合にもほぼ一様に小さくなる。一方, R_R は b/B によって変化の度合が異なり, $b/B=0.7$ の場合, 外海水深が半無限 ($\frac{n_2 l_2}{n_1 l_1}=0$) のときの R_R は水深変化のない ($\frac{n_2 l_2}{n_1 l_1}=1.0$) ときの4倍以上にもなっている。

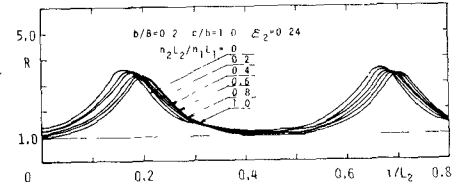


図-7 湾水の振動特性

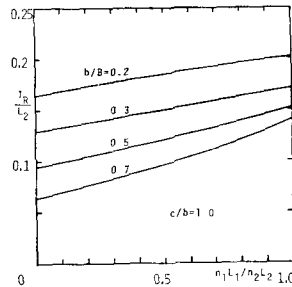


図-8 l_R/l_2 の特性

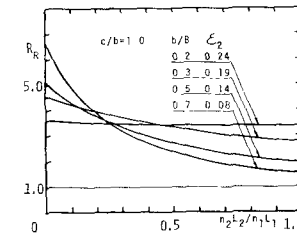


図-9 R_R の特性

4. おまけ: 以上, 湾水振動に及ぼす湾口部の水深変化の影響は, 港湾幅が広くなるほど

顕著に現われ, 水深変化が激しくなるほど共振時の増幅波高は大きくなり, 共振周期は短くなることわかった。最後に, 実験および資料整理に御協力頂いた当時徳島大学学生の武川秀也君(前田道路)に謝意を表す。

〈参考文献〉 1) Le Méhauté, B.: Theory of wave agitation in a harbor, J. Hy. Div., Proc. ASCE, pp. 11-41, Nov. 1960.
2) 村上・越智: 防波堤による波のエネルギー散散および湾水振動の制御について, 第22回造船, pp. 231-233, 1975.
3) Ippen A.T.: Estuary and coastline hydraulics, Chap. 1, pp. 71-77.