

徳島大学工学部

正員 〇越智 裕

徳島大学工学部

正員 三井 宏

徳島大学工業短期大学部

正員 村上 仁士

1. まとめ: 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ことから、前報では湾口部水深が急変するような1次元長方形港湾を用い、基礎的に湾水振動に及ぼす水深変化の影響について調べた。しかし、実験範囲が狭かったことや理論解析に若干の問題点があったため、必ずしも満足する結果が得られなかった。本報では、先の理論解析の欠点を是正した解を示すとともに新たに実験を行い、湾口部前面に斜面を設置して水深が徐々に変化する場合の実験結果とも合せ、湾口部水深変化すると2の湾水の共振特性について述べる。

2. 理論解析: 図-1のような湾口部水深が急変する港湾モデルにおいて、防波堤による波の透過・反射特性と水深変化の影響とを別個に取り扱う。すなわち、前者の提案した湾の内外心等水深の場合に波のエネルギー透過と導入として得られた理論と一樣描の水路と水深のみが変化する場合に透過率および反射率を求めた理論とを用い、それぞれの波を複素表示することによって両者を重ね合せ、理論解を誘導した。ここでは、その結果のみを示す。まず、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、次式で表わされる。

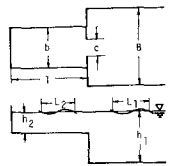


図-1 港湾モデル

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

A_1 は急縮断面の透過率、 B_2 および $\bar{B}_2$ は急拡断面の反射率、位相差 $\bar{P} = -2\pi L/L_2$ (2) である。 r は波高減衰率、 P は湾奥の反射率と長波の場合にそれぞれ1となる。

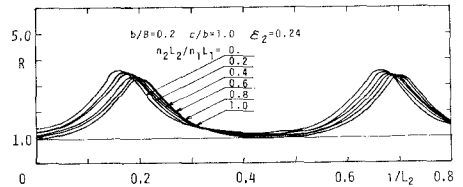


図-2 湾水の共振特性

$$A_1 = \frac{\alpha_1 \alpha_1}{\sqrt{1+(\beta_1 \beta_2)^2 + 2\beta_1 \beta_2 \cos \bar{\beta}_1}} \quad (3)$$

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

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

$$r = \frac{\alpha_1 \alpha_2 \beta_2}{\sqrt{1+(\beta_1 \beta_2)^2 + 2\beta_1 \beta_2 \cos \bar{\beta}_1}} \quad (6)$$

$$\bar{P} = \tan^{-1} \frac{\sin(\bar{\alpha}_1 + \bar{\alpha}_2) + \beta_1 \beta_2 \sin(\bar{\alpha}_1 + \bar{\alpha}_2 - \bar{\beta}_1)}{\cos(\bar{\alpha}_1 + \bar{\alpha}_2) + \beta_1 \beta_2 \cos(\bar{\alpha}_1 + \bar{\alpha}_2 - \bar{\beta}_1)} \quad (7)$$

$\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2, \bar{\alpha}_1, \bar{\beta}_1, \bar{\alpha}_2$ および $\bar{\beta}_2$ は、防波堤による波の変形を表わす諸量で、文献(2)の定義と同じである。

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

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

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

E_1, E_2 は急縮断面および急拡断面における波のエネルギー透過率であり、 E_2 は文献(2)に示した実験値を用い、 E_1 は解に与える影響が小さいので0と仮定する。

また、 α_1 は水深が急変する場合の急縮断面の透過率、 β_2 は急拡断面の反射率、 $n = (1 + 2\pi h / \sinh 2\pi h) / 2$ 、 k を波数、 L を波長として、次式で表わされる。

$$\alpha_1' = 2 / (1 + n_2 L_2 / n_1 h_1) \quad (16)$$

$$\beta_2' = (1 - n_2 L_2 / n_1 h_1) / (1 + n_2 L_2 / n_1 h_1) \quad (17)$$

添字1は外海、2は港湾内を示し、理論の適用範囲は $b/B \geq 0.2$, $B/L_1 \leq 0.5$ である。

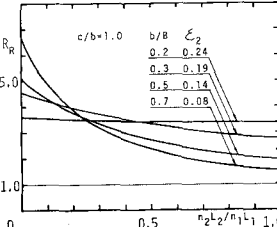
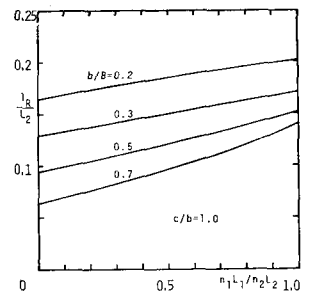
図-3 R_R の特性図-4 L_R/L_2 の特性

図-2は、 $b/B=0.2$ 、 $c/b=1.0$ としたときの数値計算結果を示したものである。 $\frac{n_2 L_2}{n_1 L_1}$ は水深変化の割合を表すパラメーターで、長波の場合には湾内水深と外海水深の比の平方根 $\sqrt{h_2/h_1}$ と近似され、値が小さいほど湾内の内と外との水深差が大きくなる。図からわかるように、湾幅が比較的小さい場合には、水深変化による湾水の振動特性の違いは顕著に現われず、湾内と外海とを合わせた水深差があっても共振点やや左上方に移動する程度である。図-3、4は、共振点のみに注目して共振相対湾長 l_R/L_2 および共振波高増幅率 R の特性を示している。 l_R/L_2 は水深変化が急激になるにつれて、どの湾幅の場合もほぼ一様に小さくなっていく。これに対し、 R は湾幅によって変化の割合が異なり、 b/B が大きくなるほど水深変化の影響が強くなることわかる。また、前期の実験結果では、水深変化の影響がそれほど顕著に現われなかったが、実験範囲が $\frac{n_2 L_2}{n_1 L_1}=0.76 \sim 1$ であることからすれば当然であったように思われる。

3. 実験結果： 実験は、図-1の湾モデルで $b/B=0.2$ 、 $c/b=1.0$ として、湾内水深 $h_2=10\text{cm}$ 、外海水深 $h_1=10\text{cm}$ ごとに 60cm まで変化させた。入射波の周期は 2sec と 1.6sec の2種類、波高は 5mm とした。図5～7では、実験値を示しており、図中には理論曲線を併記している。図から、 $\frac{n_2 L_2}{n_1 L_1}$ が小さくなるにつれて、 l_R/L_2 はわずかに減小し、理論曲線と比較的よく適合しているようである。 R の実験値は理論値よりも若干大きい値を示し、増大割合もやや大きい。このことから、本理論によって共振湾長はほぼ予測できそうであるが、共振波高は危険側の値を与えるものと思われる。

つぎに、湾口部前面に斜面を設置して水深が一様勾配で変化する場合の共振特性について述べる。実験は、 $h_1=30\text{cm}$ 、 $h_2=10\text{cm}$ とし、斜面と底面との交角 θ を $15^\circ \sim 90^\circ$ まで4種類とし、勾配の最小値が $\tan \theta = 1/3.7$ である。その他の諸元は前述と同じである。図-8、9から、 l_R/L_2 は斜面勾配がゆるやかになるにつれてわずかに変動しているようであり、また、 R は基本モードおよび第2次モードともにやや増加する傾向を示している。しかし、それぞれの変動量自体は小さく、Micheの理論により反射率を算定すると完全反射となることから、斜面勾配が比較的大きい場合には、斜面の影響はあまり強くないものと思われる。

4. おまけ： 湾水振動に及ぼす湾口部の水深変化の影響は、湾幅が広くなるほど顕著となり、湾内の内と外との水深差が大きくなるほど共振湾長は短く、増幅度は大きくなることわかった。また、湾口部前面の斜面の影響は、勾配が比較的大きい場合には、それほど顕著でないようであった。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井秀也君（前田道路）に謝意を表す。

（参考文献）

- 1) 越智・三井・村上：湾水振動における湾口水深の急変効果について，第31回水工学講演会概算集，pp.63-64，1976。
- 2) 村上・越智：防波堤による波のエネルギー消散および湾水振動の制御について，第22回海岸工学論文集，pp.271-277，1975。
- 3) Ippen A.T: Estuary and Coastline Hydrodynamics, Chap. 1, pp. 71-77。

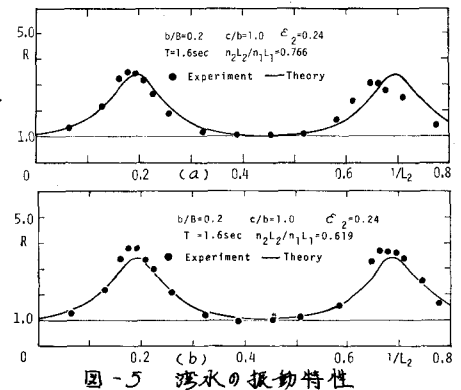


図-5 湾水の振動特性

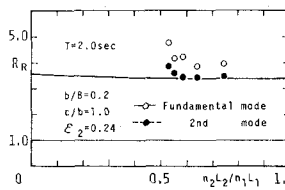


図-6 R_R の特性

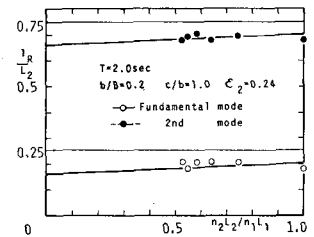


図-7 l_R/L_2 の特性

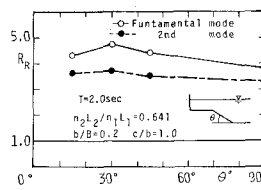


図-8 R_R の特性

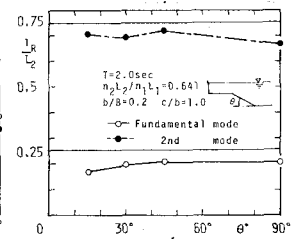


図-9 l_R/L_2 の特性