

平板列による波の完全反射の条件

大阪市立大学工学部 正員 角野昇八・小田一紀
大阪市立大学工学部 学生員 ○沢田亮弘

1. まえがき 波向方向に直角に設置された鉛直平板列と浅海波の干渉の線形問題については、MAE法¹⁾を用い、またその内解²⁾にはスリットを通る流れの詳細流れを用いて解析した(これとは別に、内解に blockage coefficient の概念を用いる解法³⁾も示した)。得られる解は $\% (D: \text{隣接平板中心間隔}, L: \text{波長}) < 1$, $2\alpha\%$ (開口率, $2\alpha: \text{スリット幅}) \ll 1$ の条件の下で有効であるが、この解によれば $\% \rightarrow 1$ になればなるほど反射率(r_R)は1に、また透過率(r_T)は0に近づき、すなわちスリットがあるにもかかわらず波は平板列より完全反射される傾向になるとの興味ある結果が得られた。このような解は、支配方程式と境界条件が同じであるために解も同じ形となる音波と平板列との干渉の問題においても得られている³⁾。この現象は、物理学的な興味の外に海岸工学的にも、これと同じ平面形状の構造物、例えば渚堤の配置間隔の設計などにも有用であると思われるので、その現象を実験的に確認した。

2. 理論式 MAE法によ、て得られた r_R と r_T の形は以下のようである¹⁾。

$$r_R = \sqrt{(4k^2 D^2 (A_1^2 + A_2^2) + 4k D A_2 + 1) / [4k^2 D^2 (A_1^2 + A_2^2)]}, \quad r_T = \sqrt{1 / [4k^2 D^2 (A_1^2 + A_2^2)]} \quad (1)$$
 ただしここに

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= [\ln(\frac{2L}{4}) + \gamma + \pi \sum_{n=1}^{\infty} N_0(n\pi D)] / 2\pi = \frac{1}{2}\pi \ln(\frac{L}{2} \cdot 2\alpha\%) - \sum_{n=1}^{\infty} (\frac{1}{4n\pi} - \frac{1}{2\pi}) \\ A_2 &= -[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_0(n\pi D)] / 4 = -\frac{1}{2}kD \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

であり、 $k = 2\pi/L$, L : 波長, γ : オイラーの定数 ($= 0.5772 \dots$), N_0 : 0 次のノイマン関数, J_0 : 0 次のベッセル関数をそれぞれ表わしている。また上式中の $\sum N_0$ および $\sum J_0$ の級数和表現は $\% < 1$ の条件の下で有効である。式(1)および式(2)によれば、 $\% \rightarrow 1$ ($kD \rightarrow 2\pi$) の場合には、 $2\alpha\%$ の値の大小にかかわらず $r_R \rightarrow 1$, $r_T \rightarrow 0$ となることを知る。

一方、平板列と音波の平面波との干渉の問題に対して Miles の得た r_T の理論式³⁾ は、

$$r_T = 1 / \sqrt{1 + 4(\%L)^2 \{ \ln[\text{cosec}(\frac{\pi}{2} \cdot 2\alpha\%)] + \pi \}^2} \quad (3)$$
 ただしここに

$$\pi = \{ \{ (1 - (\%L)^2)^{\frac{1}{2}} - 1 \} \cos^2(\frac{\pi}{2} \cdot 2\alpha\%) \} / \{ \{ (1 - (\%L)^2)^{\frac{1}{2}} - 1 \} \sin^2(\frac{\pi}{2} \cdot 2\alpha\%) \} \quad (4)$$
 である。上式には式(1)と同様に $\% < 1$ の条件が課されているが、 $2\alpha\%$ に対する制約はなく、したがってその影響を正確に見積ることができる。

3. 実験条件および方法 長さ50m, 幅1m, 高さ1.75mの造波水槽を用い、水槽長さのほぼ中央部を高さ80cm, 厚さ1.7mmの鋼平板で遮断し、その幅中央に10cm~52cmの鉛直スリットを設けて r_R および r_T を測定した。水深は50cm, $\% = 0.01$ および 0.03 である。水槽幅を D , スリット幅を 2α とし、水槽の側壁を反射鏡面と考へれば、この実験内容は平板列の問題と等価となるので、実験における開口率は $2\alpha\% = 0.1 \sim 0.52$ である。実験における $\%$ の値の範囲は $\% = 0.502 \sim 0.958$ とした。 $\% \geq 1$ の条件での実験を行わなかったのは、Twersky⁴⁾ も記しているように、この条件ではスリットから発生する進行波モードは $\% < 1$

の条件下のようには1つではなく、複数となり、しかもその波向は入射波向とは異なるので、スリット周辺には複雑な様相の波が発生するようになるためである。

4. 実験値との比較

まず、最も注目される $D/L = 1$ 付近では、理論によつて算定されるように沖側には全反射に近い状態が、また岸側には多少の擾乱を除けば波はほとんど透過しない状態が実験においても現われることが確認できた。このような様子をグラフで表わしたものが図-1 ~ 3 であり、図には $H/L = 0.01$ および 0.03 の波に対する r_R および r_T の実験値とともに、MAE 法および Miles による理論曲線を示した。

まず、反射率については、 $D/L = 0.958$ の時には完全反射に近い値が得られ、比較的開口率の大きい $2\theta/D = 0.52$ においてもほぼ80%の反射率を呈している。また、理論値との比較では、 H/L の大小にかかわらず全般にその整合性が良く、特に開口率の影響も考慮できる Miles による理論式とよく一致している。ただ、 $2\theta/D = 0.1$ および 0.3 の時には実験値の方が多少理論値よりも小さくなるが、この原因としては、一端は造波板、他端は開口率の小さい平板で遮蔽されに水域内で長周期波動が生じ、それに本来の入射波が重なったためと思われる。このことは、平板前面の腹と節より算定される $(H_{max} + H_{min})/2$ の値が、 $2\theta/D = 0.1$ および 0.3 の時には入射波高よりも大きくなることから十分に推察される。

次に透過率については、実験値は $2\theta/D = 0.1$ および 0.3 の時、理論値とほぼ一致し、 $2\theta/D = 0.52$ の時には理論値よりも小さい値を示している。これは、スリットにおけるエネルギー損失量を決定するスリット通過水粒子速度は、 r_T が大きい場合に大きく、また、損失量そのものは開口率が大きい場合に大きくなるからであり、この両者が大きい $2\theta/D = 0.52$ の場合には、スリットにおける損失エネルギーが大きくなり、それだけ理論値と実験値との差も大きくなる。

<参考文献>

- 1) Kakuno, S., Theoretical & Applied Mech., vol.32, 1984.
- 2) 角野他, 水30回海講, 1983.
- 3) Miles, J.W., Quarterly of Applied Math., Vol. 7, 1949.
- 4) Twersky, V., J. Research Natl. Bureau Standards 64D, 1960.

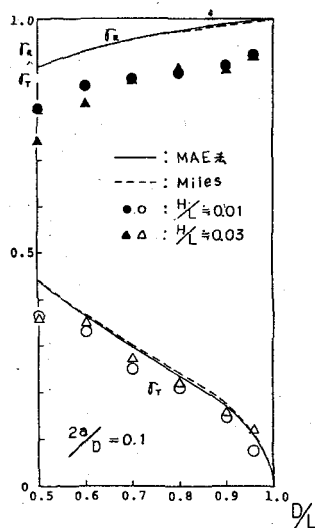


図-1 $r_R, r_T - D/L$ の関係

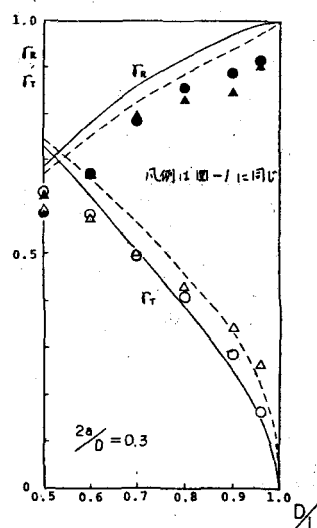


図-2 $r_R, r_T - D/L$ の関係

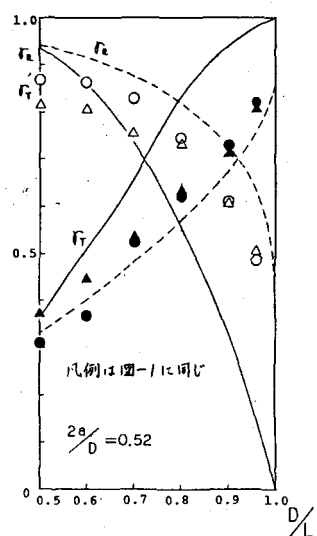


図-3 $r_R, r_T - D/L$ の関係