

II-4 半円管列の消波性能について

室蘭工業大学 学生員 児玉 幸博

室蘭工業大学 正会員 近藤 俊郎

1. まえがき

港湾やマリナなど狭い水域で用いられる消波構造物は、従来のようなマッシュアップなものではなく小断面軽量なものが望まれる。また水質保全という立場から海水交換が可能で、かつ軟弱な海底地盤でも設置できるものも必要である。ここではそのような軽量の防波堤として、波の進行方向とその逆方向（以下ではそれぞれ「正方向」「負方向」という）についての抵抗が前者の方が大きくできる半円管列を用いた防波堤を取り上げ、その消波効果を明らかにしようとするものである。

2. 実験方法

(1) 半円管列の種類

一枚半円管列と二重半円管列の二種類を対象とした。一枚半円管列では通水断面積の急拡によるエネルギー損失のみで、二重半円管列では遊水部を設けることにより、半円管列でのエネルギー損失に加えて波の位相差を利用して消波効果を高めようとするものである。二重半円管列の水室幅Bは変化させた。

(2) 抵抗係数

三角ぜきをもつ定常流水路中に自由水面をなくし管路を作り、そこに半円管列を設置し、その前後の水頭差をマンメーターで測定した。抵抗係数 C_L は下式で求める。

$$C_L = 2gh_L / v^2 = 2gA^2 h_L / Q^2 \dots (2.1)$$

ここで、Aは水路の断面積、 h_L は水頭差、Qは流量を表す。Qは三角ぜきより求める。

(3) 伝達率と反射率

長さ18.5mの規則波造波水路で、水深35cm、入射波高 $H_i = 1.5\text{cm}$ 、 4cm ($h/L = 0.30$ のときのみ変化させた)と一定にし、周期Tを変化させていった。伝達率 K_T は下式より求める。

$$K_T = H_T / H_i \dots (2.2)$$

ここで、 H_i と H_T はそれぞれ入射波と伝達波の波高を表す。 H_T は構造物の岸側1/4波長の点で測定している。反射率は固定した二本の波高計を使って行う港湾技研の方法¹⁾から求めた。

3. 実験結果

(1) 抵抗係数 C_L

一枚半円管列の正負両方向の抵抗の違いを図-1で、この半円管列を二重にしたときの抵抗係数を図-2で示した。正方向と負方向を比較してみると乱流域において一枚では正方向が負方向の約2倍、二重では約2.8倍の C_L の値を示す。正方向のグラフで $Re=80$ 付近で落ち込みが見られるが、これは形状による渦のでき方の違いによると考えられ

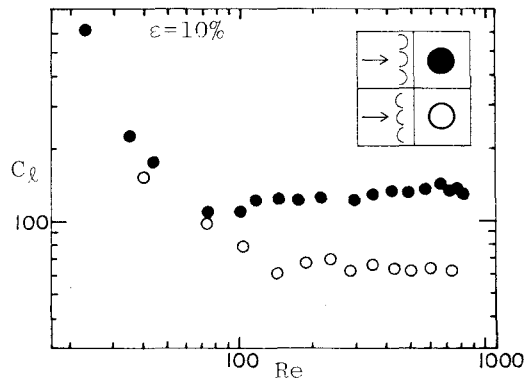


図-1 一枚半円管列の抵抗係数

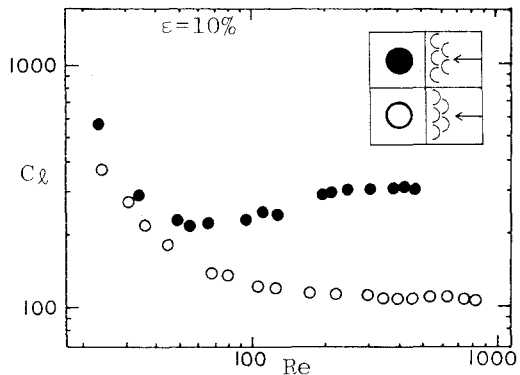


図-2 二重半円管列の抵抗係数

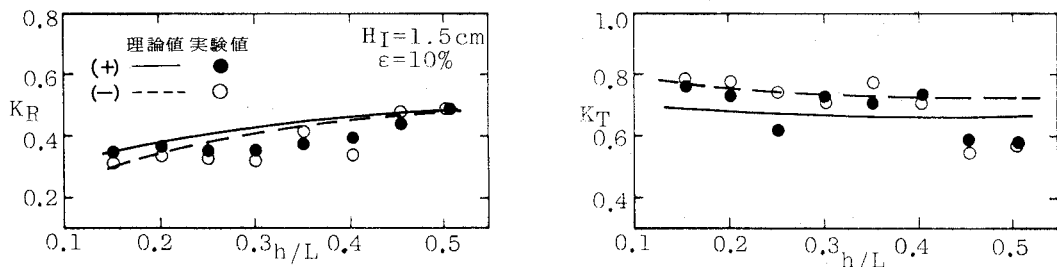


図-3 一枚半円管列の反射率と伝達率

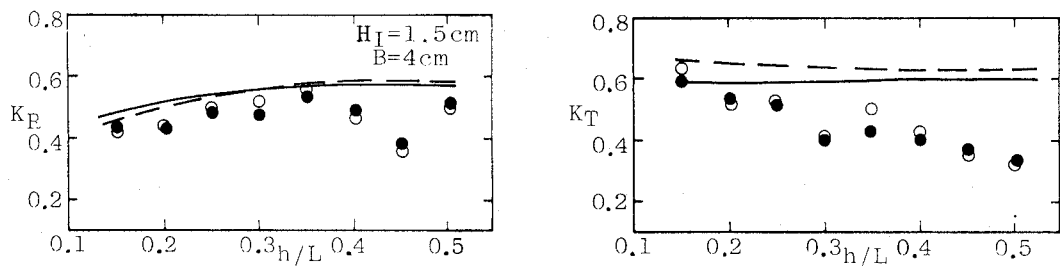


図-4 二重半円管列 (B=4cm) の反射率と伝達率

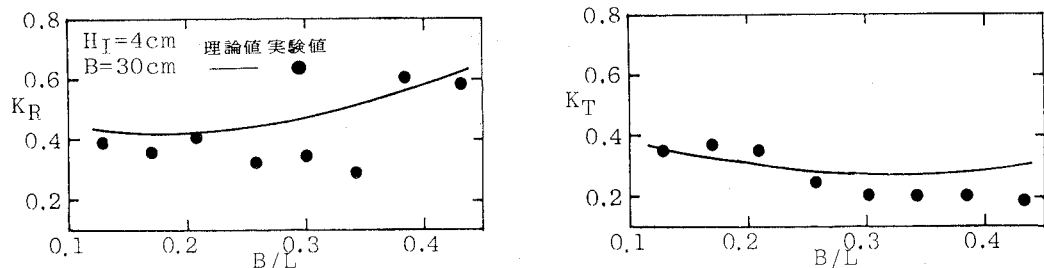


図-5 二重半円管列 (B=30cm) の反射率と伝達率 (正方向のみ)

る。一枚と二重とを比べてみると、二重の方が正方向で約2.3倍、負方向で約1.6倍の C_d の値を示す。正方向の方が二重にすることの効果が大きく表れる。

(2) 伝達率と反射率

1) 周期変化：一枚半円管列の伝達率と反射率を図-3, 4に、二重半円管列 (B=4cm) の伝達率と反射率を図-5, 6に示した。一枚半円管列の反射率は短周期になるに従いゆるやかに上昇する傾向があり、長周期では正方向が負方向に比べて0.03~0.05高い値を示す。二重半円管列の伝達率は短周期で急に下がる傾向が見られ、伝達率、反射率ともに抵抗係数の実験で見られたような正負の大きな差は見られなかった。二重半円管列 (正方向) の水室幅Bを30cmにしたときの反射率、伝達率を図-7, 8に示した。反射率が短周期で急に上がる傾向が見られた。

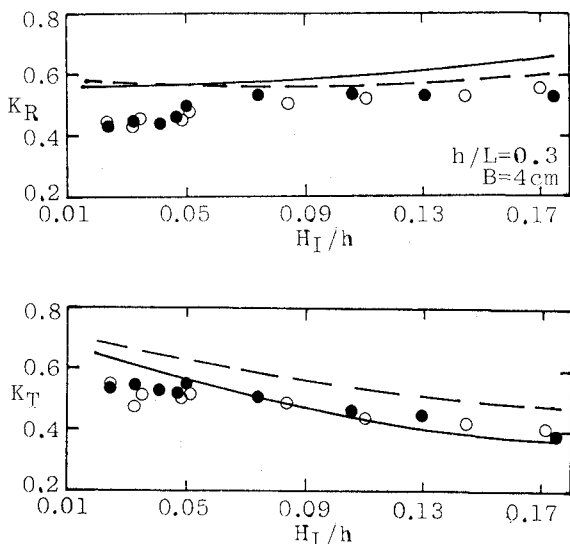


図-6 二重半円管列 (B=4cm) の反射率と伝達率 (波高変化)

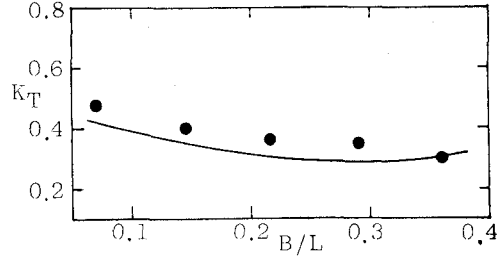
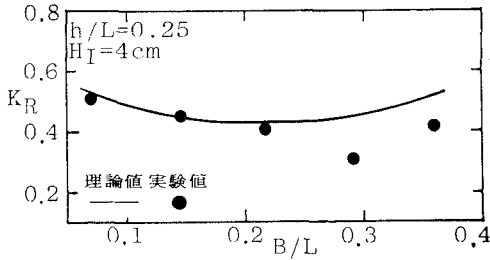


図-7 水室幅の変化に伴う二重半円管列 ($h/L=0.25$) の反射率と伝達率

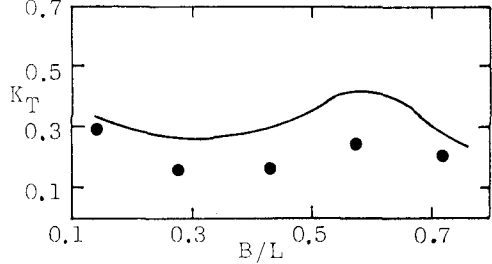
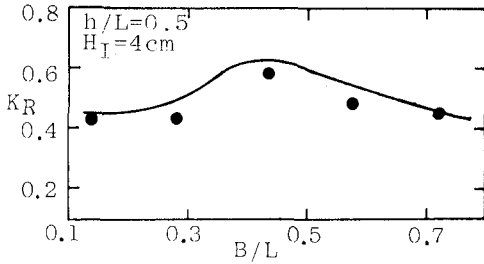


図-8 水室幅の変化に伴う二重半円管列 ($h/L=0.5$) の反射率と伝達率

2) 波高変化: h/L を 0.30 に一定にして、波高を 0.8 ~ 6cm まで変化させたときの、二重半円管列の伝達率と反射率のグラフを図-9,10 に示した。伝達率は波高が大きくなるにしたがいゆるやかに下がっていき、逆に反射率はゆるやかに上がっていく。周期変化のグラフに比べ値の変化は少ない。正方向と負方向の値の差は、伝達率、反射率ともにほとんどない。

3) 水室幅変化: h/L を 0.25 と 0.5 にそれぞれ一定にして、水室幅 B を 10 ~ 50cm に変化させていったときの反射率と伝達率を図-11,12 ($h/L=0.25$) と図-13,14 ($h/L=0.5$) に示した。 $h/L=0.25$ のグラフでは伝達率、反射率ともに短周期でゆるやかに下がる傾向があり、 $h/L=0.5$ の反射率のグラフでは $B/L=0.45$ 付近にピークが見られた。

4. 理論計算

(1) 近藤の理論式²⁾

波は微小振幅の長波であり、半円管列の厚さは波長に比べて非常に小さく、かつエネルギーの損失は半円管列の部分のみで起こると仮定した。入射波に対する反射波と伝達波の振幅の比は次式ようになる。

$$\frac{a_r}{a_i} = \frac{A_{0,1}(2+A_{1,2})+A_{1,2}(2-A_{0,1})\exp(-2ikB)}{(2+A_{0,1})(2+A_{1,2})-A_{0,1}A_{1,2}\exp(-2ikB)} \quad \dots (4.1)$$

$$\frac{a_t}{a_i} = \frac{4}{(2+A_{0,1})(2+A_{1,2})-A_{0,1}A_{1,2}\exp(-2ikB)} \quad \dots (4.2)$$

$$A_{0,1} = \frac{\sigma}{hk} \left(\frac{C_{l1}}{2g} |u_{1,1}| + i \frac{\sigma \mathcal{L}_{a1}}{g} \right)$$

$$A_{1,2} = \frac{\sigma}{hk} \left(\frac{C_{l2}}{2g} |u_{2,2}| + i \frac{\sigma \mathcal{L}_{a2}}{g} \right)$$

$$|u_{1,1}| = \frac{8}{3\pi} \sqrt{\frac{g}{h}} (1-K_R) a_i$$

$$|u_{2,2}| = \frac{8}{3\pi} \sqrt{\frac{g}{h}} K_T a_i$$

ここで C_l は実験で求めた抵抗係数であり、 C_{l1} は前部、 C_{l2} は後部の半円管列の値を、 $\mathcal{L}_{a1}$ 、 $\mathcal{L}_{a2}$ はそれぞれのオリフィス長さを、 a_i , a_r , a_t はそれぞれ入、反射、伝達波の振幅を表す。結果は図中に示す。

(2) 萩原の理論式³⁾

この理論で微小振幅浅水波を対象に、減衰定常波を表す無限級数項を省略することなく防波堤全体を構成する構造要因をパラメーターとして簡明に式が誘導できる。振幅の比は下式に示す。

$$\frac{a_r}{a_i} = 1 - \frac{\sigma}{g \cdot a_i \cdot N_0} \int_{-h}^0 \epsilon_1 U_1(\xi) \cosh k(\xi+h) d\xi \quad \dots (4.3)$$

$$\frac{a_t}{a_i} = \frac{\sigma}{g \cdot a_i \cdot N_0} \int_{-h}^0 \epsilon_2 U_2(\xi) \cosh k(\xi+h) d\xi \quad \dots (4.4)$$

$U_1(Z), U_2(Z)$ は下式の連立積分方程式を数値積分することにより求まる。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_1 \int_{-h}^0 R_1(z, \xi) U_1(\xi) d\xi + \epsilon_2 \int_{-h}^0 R_2(z, \xi) U_2(\xi) d\xi &= \frac{i \cdot a_i \cdot g}{\sigma} \zeta(z) \\ \epsilon_1 \int_{-h}^0 T_1(z, \xi) U_1(\xi) d\xi + \epsilon_2 \int_{-h}^0 T_2(z, \xi) U_2(\xi) d\xi &= 0 \end{aligned} \right\} \quad \dots (4.5)$$

$$N_0 = \frac{\sinh 2kh + 2kh}{4 \cosh kh} \quad \zeta(z) = \frac{2 \cosh k(z+h)}{\cosh kh}$$

積分核 $R_1(Z, \xi), R_2(Z, \xi), T_1(Z, \xi), T_2(Z, \xi)$ は既知であり、 ϵ_1 は前部半円管列の、 ϵ_2 は後部半円管列の開口比を表す。

5. 理論値と実験値の比較

- 1) 周期変化：一枚半円管列の反射率の実験値はかなり理論値と一致し、伝達率は理論値ほど正負方向の差がでなかった。一枚と二重半円管列を比べてみると、反射率はどちらもほぼ理論値に近いが伝達率は二重ではかなり理論値よりも低い値になり、短周期では特にその傾向が見られる。水室幅が30cmの二重半円管列では反射率が $h/L=0.3$ 付近では理論値よりかなり低めの値をとる。伝達率は短周期では理論値より低い値をとる。
- 2) 波高変化：反射率は低い波高で理論値より0.1 ぐらい低い値をとる。伝達率は正負どちらの方向の実験値も正方向の理論値にかなり近くなるが、 $H_1/h=0.05$ 以下では理論値よりも低い値を示す。
- 3) 水室幅変化： $h/L=0.25$ では $B=30\text{cm}$ 以下において反射率の実験値は理論値とほぼ一致し、伝達率は理論値より少し高めの値を示した。 $h/L=0.5$ では反射率、伝達率ともにピークのである B/L の値は同じであるが、伝達率はどの水室幅のときも理論値より0.1~0.2 ほど低い値をとる。反射率、伝達率ともに傾向は理論値とほぼ同じである。

6. 結論

- 以上の結果より、(1) 半円管列は二重にすることにより、低反射性を保ちつつ伝達率を低減できる。
- (2) 抵抗係数が正負方向で倍以上違っても、反射率や伝達率はほとんど変わらない。
- (3) 特定の波長帯の波に対して、水室幅によっては低反射率、低伝達率を両立できる。
- (4) 長周期の波の場合は反射率も伝達率も理論値ではば推定できる。

本研究は当研究室が新日鉄（株）建材開発技術部の協力を得て行ったものであり、同部の関係各位と本学土木工学科4年目学生更科俊之、村松政夫両君の協力に感謝の意を表する。

<参考文献>

- 1) 合田・鈴木・岸良・菊地：港湾技研資料、No.248、1976。
- 2) 近藤・竹田：消波構造物、森北出版、1983。
- 3) 萩原：多重円筒列型防波堤の反射率・透過率の解析と諸要因の影響、土木学会論文集、No.363、1985-11。