

中部工業大学 土木工学科 正員 高田 彰
 中部工業大学大学院 学生員 ○ 吉田 吉治

1. まえがき 波の位相差を利用した消波構造はこれまでに種々考案され、その消波効果について、理論的に実験的に検討され、田中(1966), Marks & Jarlan(1968), Terett, Osorio & Lean(1970), Richey & Solitt(1970), 長尾・加藤(1970), 井島ら(1972), 土屋・芝野(1972)および榎木・岩田(1973・1975)らの興味深い成果が発表されている。しかし、田中, 土屋・芝野および著者(1973)の研究以外の大部分は非越波の場合を対象としており、越波を前提とする現在の設計基準において非越波時の研究成果を適用することには問題があると考えられる。一方、越波を考慮した上記の二、三の研究に限られた範囲の実験に基づく考察であり、一般的な成果を得るまでに至っていないようである。そこで、本研究では、図-1に示される位相差消波板(いわゆるカーテンウォール)を有する防波護岸を対象とし、位相差消波板の位置と規模(越波時, 非越波時)による共振水域の消波効果(とくに不透過鉛直壁の波の打上げ高 R_{ou})を実験的に調べ、さらに R_{ou} の推算法に、榎木・岩田の手法を用いて検討したものである。

2. 実験装置と実験方法 幅0.8m, 高さ1.8m, 長さ30mのフラップ式造波水槽の一端に図-1に示すような不透過鉛直壁と位相差消波板を設置した。一様水深 $h=135$ cm, 波の周期 $T=1.8$ sec, 入射波高 $H=26.8$ cm, 入射波長 $L=477$ cmとし、位相差消波板の位置 $l=(1/4)L, (3/8)L$, および $(1/2)L$ の3種類について、天端高 $H_{au}=0\sim 40$ cm, 遮蔽深さ $H_{ad}=0\sim 60$ cmの範囲で組み合わせて、

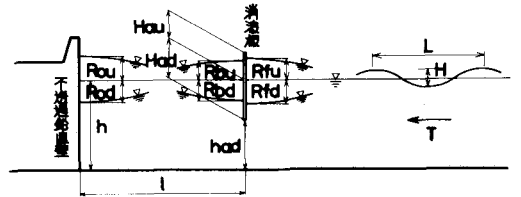


図-1 位相差消波板を有する防波護岸

R_{ou} の減少効果を調べた。一方、 R_{ou} の推算式に、榎木・岩田の微小振幅波の反復反射の重ね合わせの手法を適用して、推算値と実験値とを比較した。

3. 実験結果と考察 (1) 鉛直消波板(いわゆるカーテンウォール)の透過率 α_T および反射率 α_R α_T と α_R とは 質量保存則により、 $\alpha_T + \alpha_R = 1$ なる関係で表わされるので、 α_T について 調べた。図-2は、 α_T と H_{au}/H との関係 H_{ad}/H のパラメーターで図示した実験結果である。これより、 H_{au}/H および H_{ad}/H が大きい程、 α_T は小さいことがわかる。越波時の α_T は次のように考えることができる。透過波のエネルギーは鉛直消波板の下部を通過した入射波のエネルギーの一部と越波の落下による伝達波のエネルギーの総和であり、式(1)で示される。

$$E_T = E_d + E_a \quad (1)$$

ここに、 E_T : 伝達波の単位面積当りの平均エネルギー($= (1/8)\omega H^2$), E_d : 鉛直消波板の下部を通過したエネルギーによって発生したと考えられる波の平均エネルギー($= (1/8)\omega H_d^2$), E_a : 越波によって発生したと考えられる波の平均エネルギー($= (1/8)\omega H_a^2$), である。伝達波に変換されるときに周期の変化を無視して、式(1)を波高の関

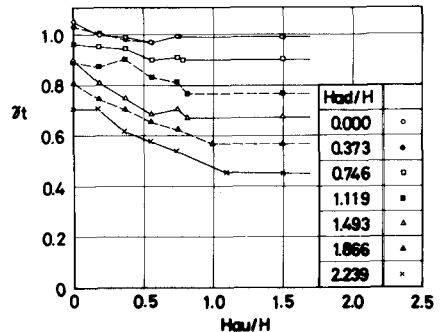


図-2 α_T と H_{au}/H および H_{ad}/H との関係

係で表わせば、式(2)のように示される。

$$\gamma_T = \frac{H_T}{H} = \sqrt{\left(\frac{H_d}{H}\right)^2 + \left(\frac{H_a}{H}\right)^2}, \quad (2) \quad \left(\begin{array}{l} \text{ここに、} \gamma_T: \text{鉛直消波板の透過率} \\ H: \text{入射波高} \end{array} \right)$$

一方、一周期の越波量 Q と越波による伝達波高 H_a との関係は、近似的に次のように示される。

$$\frac{1}{8} H_a^2 L = \xi Q H, \quad \therefore \frac{H_a}{H} = \sqrt{\xi \frac{Q}{HL}} = \xi^* \sqrt{\frac{Q}{HL}}, \quad (3)$$

ここに、 ξ および ξ^* : 実験係数,

式(2)の H_d/H は、Wiegel (1960)の式を用いれば、式(4)で示される。

$$\frac{H_d}{H} = \beta \left(\frac{\sinh 4\pi \frac{h_{ad}}{L} + 4\pi \frac{h_{ad}}{L}}{\sinh 4\pi \frac{h}{L} + 4\pi \frac{h}{L}} \right)^{1/2}, \quad (4) \quad \left(\text{ここに、} \beta: \text{実験係数} (\leq 1) \right)$$

β および ξ^* については講演時に述べる。

(2) 共振水域内の消波効果 この種の消波構造は、位相差消波板の位置によって、消波効果が著しく異なり、 $l/L = (1/4)(2n+1)$, ($n=0,1,2, \dots$)において消波効果が最もよく、 $l/L = (1/2)(2n+1)$ において、消波効果が全くないという極端な選別消波の欠点を有していることは、これまでの非越波時の研究において明らかにされている。図-3は $l/L = 1/4, 3/8$ および $1/2$ において、 $H_{ad}/H = 1.493 = \text{const.}$ とし、 H_{au}/H と R_{ou}/H との関係を示す。図-4は $H_{au}/H = 0.560 = \text{const.}$ とし、 H_{ad}/H と R_{ou}/H との関係を示す。これらより、 H_{au}/H が小さく越波する場合と、 $l/L = 1/4$ において消波効果が著しく、 $l/L = 1/2$ ではほとんど消波効果のないことがわかる。しかし、 $l/L = 3/8$ において、 H_{au}/H が小さい場合は、 $l/L = 1/4$ の場合より消波効果が著しいことがわかった。この原因として、越波による伝達波と位相差消波板下部からの透過波との相殺作用があるためと考えられ、越波による倍周波数の伝達波と共に、その特異性は興味ある現象といえよう。また、着者のこれまでの研究によれば、消波効果の著しい l/L の位置がかなり幅広く存在することがわかったので、不規則波を対象とした場合にどかなり期待がとてるといえよう。 R_{ou}/H の推算式は、榎木・岩田による微小振幅波の共振水域内における反復反射により生じる成分素波の線形重ね合せの考え方をを用いることによって式(5),(6)のように近似的に示される。

$$\frac{R_{ou}}{H} = \frac{R_{ou}^*}{H} + \frac{\pi H (R_{ou}^*)^2}{4L} \left(3 \coth^3 2\pi \frac{h}{L} + \tanh 2\pi \frac{h}{L} \right), \quad (5)$$

ここに、 R_{ou}^*/H は、榎木・岩田により、有限反復の場合では、式(6)で示される。

$$\frac{R_{ou}^*}{H} = \gamma_T \sqrt{1 + (1 - \gamma_T)^2 + 2(1 - \gamma_T) \cos 4\pi \frac{l}{L}}, \quad (6)$$

図-5(a)~(c)は、式(5),(6)の推算式と実験値とを比較したもので、越波;非越波に係らず、 γ_T と R_{ou}

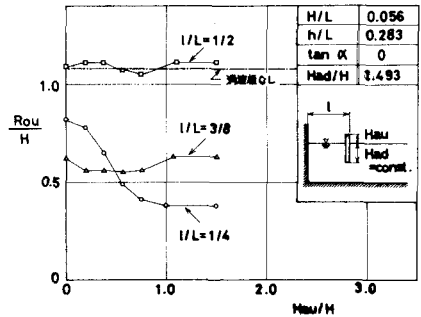


図-3 H_{au}/H と R_{ou}/H との関係

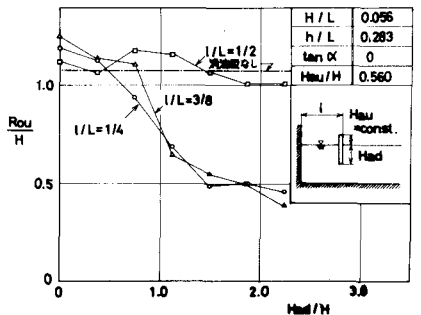
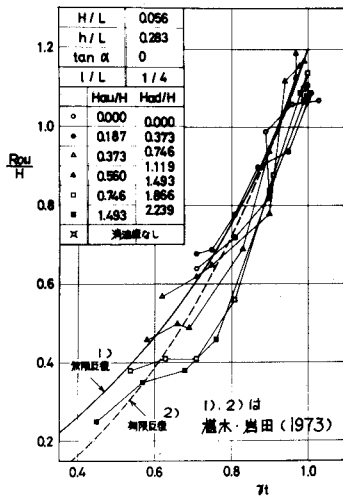
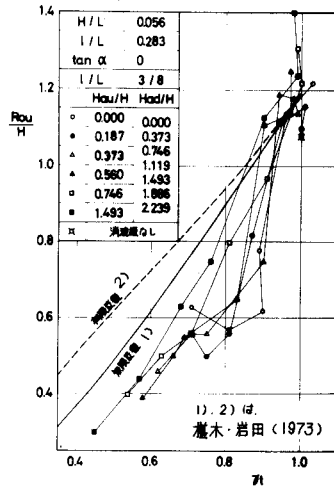


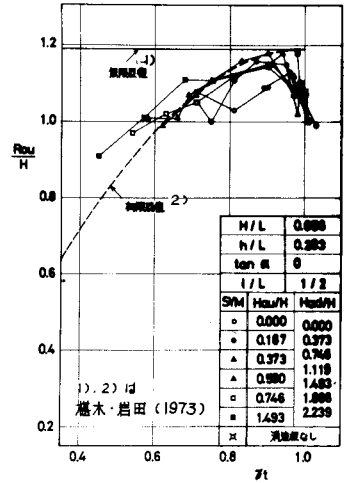
図-4 H_{ad}/H と R_{ou}/H との関係



(a) $l/L=1/4$



(b) $l/L=3/8$



(c) $l/L=1/2$

図-5 Tl と Rou/H との関係

Rou/H との関係を示したものである。なお、式(6)で必要な Tl の値は、図-2の実験値を用いて計算している。これらより、実験値のばらつきは大きい、 $l/L=1/4$ と $1/2$ における推算値は実験結果をかなりよく説明していることがわかる。一方、 $l/L=3/8$ の場合の推算値は過大な値を与える。その原因は越波による倍周波数でかつ位相のずれた伝達波の影響と考えられるので今後検討したい。

(3) 共振水域外(消波板前面)の消波効果 消波板前面の打上げ高 Rou/H の実験結果は、講演時に述べるが、実験では $l/L \approx 0.125, 0.625$ の前後で最小になる。この結果は、共振水域内の消波効果(すなわち $l/L=1/4, 3/4$ で Rou/H が最小、 $l/L=1/2, 1$ で Rou/H が最大)の特性とかなり異なる。また、 Rou/H の減少効果あまり大きくないので、消波板前面の合成波高の制御はあまり期待できないと考えられる。

4. 深い水深の消波構造の提案 以上の実験とその考察より図-6に示すような、波の位相差と強制砕波とを利用する消波構造のモデルが考えられる。すなわち、静水面より上下の斜面板は砕波を促進させて、位相差板の下部からの透過エネルギーを小さくし、さらに、消波板前面の反射率の減少を目的とする。また、静水面下の鉛直板(ただし、 $l/L=1/4 \sim 3/8$)は波の位相差の発生を目的とする。このような構造であれば、周期の異なる不規則波の消波にも対応できるものと考えられるが、実験結果については講演時に述べる。

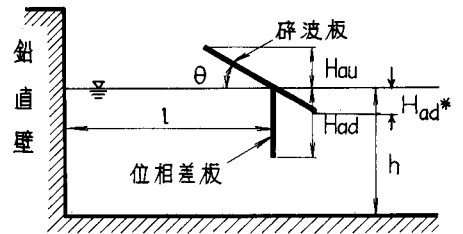


図-6 深い水深の消波構造の提案

5. あとがき 位相差消波板を越波する場合で Tl が的確に推定できれば、この種の消波構造の共振水域内の消波効果の推定に榎木・岩田の手法は実験結果をかなりよく説明できることがわかる。しかし、 $l/L=3/8$ の越波時は推定値よりも実験値の方が消波効果が著しく、消波板天端からの越波による共振水域内の倍周波数で位相のずれた伝達波の発生が推測される。波の位相差を用いる消波構造は、ある特定の範囲の周期の波以外は消波しないという選別消波の欠点があるので、周期の異なる不規則波に対しては種々の問題が起こる。そのような欠点を補う意味で、例えば、図-6のような消波構造を検討することは有用であると考えられる。

〔付記〕 本研究の実験に、中島諭君(現在、名古屋大学大学院)の助力を得た。ここに記して謝意を表す。