

大阪大学工学部 正会員 榎木 亨
 大阪大学工学部 正会員 ○ 岩田 好一朗
 大阪大学大学院 学生員 富士川 洋一

1. 緒言 : 近年, 消波効果を有する鉛直岸壁(あるいは護岸)が注目を集め, この種の岸壁形状の用途とその消波特性について検討が加えられてきている。本論で取り挙げる鉛直消波岸壁構造としては, 背後に遊水部を有し前面の透過壁厚は葉波の波長に比して極めて小さい構造の場合である。この鉛直消波岸壁の消波効果について著者の榎木・岩田は規則波に対して, 透過壁の反射率を33%~38%, 遊水部長と入射波長の1/4奇数倍にすれば最大の消波効果がもたらされる事を既に明らかにした。いうまでもなく, 現地海岸での葉波は不規則波浪であるため, 不規則波に対する消波効果を明らかにしておくに限り現地海岸への施工に大きな問題が残る。著者らは不規則波浪に対する検討の第一段階として2成分合成波に対する消波効果を調べ, 単成分波に対する消波効果との差異について考察を加えたいのでその結果の一部を報告することとする。

2. 理論解析 : 1)まず, 2成分合成入射波 η_{CI} が2つの単成分の単純重ね合せとして, $\eta_{CI} = a_1 \cos(k_1 x + \omega t + \theta_1) + a_2 \cos(k_2 x + \omega t + \theta_2)$ で与えられるものとする。この2成分合成波が鉛直消波岸壁に入射し, 透過壁と不透過壁間で反復反射するものとし, そのうち有限回の反復反射($\gamma_{1R}^2, \gamma_{2R}^2, \gamma_{2R}^2$ 以上の項を考慮しない)を考慮すると, 遊水部の不透過壁での水位変動 η_H^* と鉛直消波岸壁前面での水位変動 η_C^* はおおのづか(1)式と(3)式で与えられる。なお, 同式は透過壁と不透過壁での反射, 透過の際波の位相は与えられているものとして導かれたものである。

$$\eta_H^* = \alpha_1 \alpha_2 \gamma_{1T} (1 + \gamma_{2R}) \sqrt{1 + \alpha_1^4 \gamma_{1R}^2 \gamma_{2R}^2 + 2 \gamma_{1R} \gamma_{2R} \alpha_1^2 \cos\left(\frac{4\pi L}{L_1}\right) \cos(\omega t + \hat{\theta}_{H1})} \\
+ \alpha_2 \alpha_2 \gamma_{1T} (1 + \gamma_{2R}) \sqrt{1 + \alpha_2^4 \gamma_{1R}^2 \gamma_{2R}^2 + 2 \gamma_{1R} \gamma_{2R} \alpha_2^2 \cos\left(\frac{4\pi L}{L_2}\right) \cos(\omega t + \hat{\theta}_{H2})} \quad \text{----- (1)}$$

ただし,

$$\hat{\theta}_{H1} = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sin(2\pi L/L_1) + \alpha_1^2 \gamma_{1R} \gamma_{2R} \sin(6\pi L/L_1)}{\cos(2\pi L/L_1) + \alpha_1^2 \gamma_{1R} \gamma_{2R} \cos(6\pi L/L_1)} \right\}, \quad \hat{\theta}_{H2} = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sin\left(\frac{\omega L}{\gamma_{1T}} \hat{\theta}_1 + \hat{\theta}_2 - \frac{2\pi L}{L_2}\right) + \alpha_2^2 \gamma_{1R} \gamma_{2R} \sin(6\pi L/L_2)}{\cos\left(\frac{\omega L}{\gamma_{1T}} \hat{\theta}_1 + \hat{\theta}_2 - \frac{2\pi L}{L_2}\right) + \alpha_2^2 \gamma_{1R} \gamma_{2R} \cos(6\pi L/L_2)} \right\} \quad \text{----- (2)}$$

$$\eta_C^* = a_1 \sqrt{1 + \xi_1^2 + 2 \xi_1 \cos(2k_1 x + \theta_{C1})} \cdot \cos(\omega t - \hat{\theta}_{C1}) + a_2 \sqrt{1 + \xi_2^2 + 2 \xi_2 \cos(2k_2 x + \theta_{C2})} \cdot \cos(\omega t - \frac{\omega L}{\gamma_{1T}} \hat{\theta}_1 + \hat{\theta}_2 - \hat{\theta}_{C2}) \quad \text{----- (3)}$$

ただし, $\xi_L = \gamma_{1R}^2 + \gamma_{1T}^2 \alpha_L^2 \gamma_{2R}^2 + 2 \alpha_L^2 \gamma_{1R} \gamma_{2R} \gamma_{1T} \cos\left(\frac{4\pi L}{L_L}\right), (L=1, 2), \theta_{CL} = \tan^{-1} \left\{ \frac{\gamma_{1T} \alpha_L \gamma_{2R} \sin\left(\frac{4\pi L}{L_L}\right)}{\gamma_{1R} + \gamma_{1T} \gamma_{2R} \alpha_L^2 \cos\left(\frac{4\pi L}{L_L}\right)} \right\}, (L=1, 2)$
 $\hat{\theta}_{CL} = \tan^{-1} \left\{ \frac{-\sin k_L x + \gamma_{1R} \sin k_L x + \gamma_{1T}^2 \alpha_L^2 \gamma_{2R} \sin\left(k_L x + \frac{4\pi L}{L_L}\right)}{\cos k_L x + \gamma_{1R} \cos k_L x + \gamma_{1T}^2 \alpha_L^2 \gamma_{2R} \cos\left(k_L x + \frac{4\pi L}{L_L}\right)} \right\}, (L=1, 2)$ ----- (4)

なお, (1)式~(4)式で, a_L =成分波の振幅, $k_L (=2\pi/L_L)$ =成分波の波数, L_L =成分波の波長, $\omega_L (=2\pi/T_L)$ =成分波の周波数, T_L =成分波の周期, x =透過壁を原点とし岸方向を正方向とする水平距離, t =時間, $\hat{\theta}_L$ =成分波の位相差, α_L =成分波の波高減衰係数(なお, 後述する図-3, 図-4, 図-5で示す理論値は全て $\alpha_L=1$ に対する値である), γ_{1T}, γ_{1R} は透過壁での成分波の透過率と反射率, γ_{2R} =不透過壁での成分波の反射率(α_L と同様, 理論値は $\gamma_{2R}=1$ に対して求めてある), L =遊水部長, 添字 i は成分波を示し, $(L=1, 2)$, 例之は, γ_{1R} は透過壁での1成分波の反射率を示す。

3. 水理実験 : 上述の解析値の妥当性を検討するために水理実験を行なった。用いた水槽は長さ30m幅0.75m

×高さ1.0^m、片面ガラス張りの室内鋼製水槽であり、造波機はフラップ型である。実験波はあらかじめ磁気テープに記録された合成すべき2つの単成分波と電氣的に合成された2成分波を用いて生成させるが、本実験では2成分波として、 $T_1=1.0^{sec}$, $2A_1=1.3^{cm}$ と $T_2=0.64^{sec}$, $2A_2=0.75^{cm}$ の合成波 (Case-1), $T_1=1.0^{sec}$, $2A_1=2.0^{cm}$ と $T_2=0.64^{sec}$, $2A_2=1.0^{cm}$ の合成波 (Case-2), $T_1=0.8^{sec}$, $2A_1=2.05^{cm}$, $T_2=1.0^{sec}$, $2A_2=1.05^{cm}$ の合成波 (Case-3) の3種類を用いた。水位変動は全て電気抵抗線式水位計で計測し、記録は全て磁気テープとペン書きレコーダーで行なった。水深は造波機前面で約56^{cm}とし、造波機より10^m 離れに地盤より小綫を設けて水深を浅くして22^{cm}の一定水深とし、この水域に消波岸壁を設置した。また透過壁としては空隙率0.186の多孔壁を用いた。実験は、3種類の合成波とその成分波のおのおのについてそれぞれ5種程度変えて水位変動を計測するが、このうち岸壁前面の水位変動は1^{cm} 間隔で沖方向60^{cm} ($L_1 \sim \frac{1}{2}L_1$) の範囲にわたり計測した。なお2成分合成波に対しては2成分が完全に合成された状態に於てから透過壁と不透過壁を同時に設置して計測を行なった。本論では図-1に示すCase-1 (単成分波の単純重ね合せが認められる場合) とCase-3 (非線型波が生ずる場合) について、遊水部内の水位変動と岸壁前面の水位変動について述べる。なお、一例としてCase-1の合成入射波の時間波形を示すと図-2のようであり、単一成分波の波形とは異なっている。図-3はCase-1とCase-3の波に対する岸壁前面での合成波高の最大値の場所的な分布を示す一例であり同図には実験値(●印)と理論値(3)式の $(\eta_c^*)_{max}$ が示されている。なお、(3)式の値は(a)では $\delta r_1 = \delta r_2 = 0.29$, $\delta r_1 = \delta r_2 = 0.71$, (b)では $\delta r_1 = 0.30$, $\delta r_2 = 0.30$, $\delta r_1 = 0.71$, $\delta r_2 = 0.69$ の実験値, $\delta r_1 = \delta r_2 = \alpha_1 = \alpha_2 = 1$ 、計測入射波より算定した $\hat{\theta}_1$ と $\hat{\theta}_2$ を用いて計算した値である。Case-1の波については図-3(a)に示すように実験値と計算値とよく一致しており単成分波の単純重ね合せ現象が生じている事は明らかである。一方、図-3(b)に示すCase-3の波については、図-1(b)に示すように $(\frac{1}{2}(\frac{L_1}{T_1}) - \frac{1}{2})$ の非線型干渉波が形成されるため、この干渉波の効果を考慮していない(3)式の計算値と実験値はCase-1の波程度には一致しないけれども定性的には充分一致している。この合成波高の最大値を入射波高に割った値、 $H_c^*_{max} / H_L$ と L/L_1 の関係を示したのが図-4であり、同図に示した合成波の計算値(3)式は、 $H_c^*_{max} = [(\eta_c^*)_{max}]_{max}$, $H_L = H_1 + H_2 = 2A_1 + 2A_2$ を用いて無次元化されたものである。同図によれば、非線型干渉波が生ずるCase-3についても比較的よく実験値(●印)と理論値が一致しており、Case-1の場合の結果と合せて考えると、著者らの実験範囲での2成分波に対しては各成分波の単純重ね合せとして(3)式で取扱った鉛直消波岸壁の消波効果はほぼ評価できるものといえる。また合成波に対して消波効果高まる遊水部長さは構成成分波の波高分布によりかなり変化するものと考えられるが、図-4(a)に示す短周期($T_2=0.64^{sec}$)の波高 $2A_2=0.75^{cm}$ の長周期($T_1=1.0^{sec}$)の波高 $2A_1=1.3^{cm}$

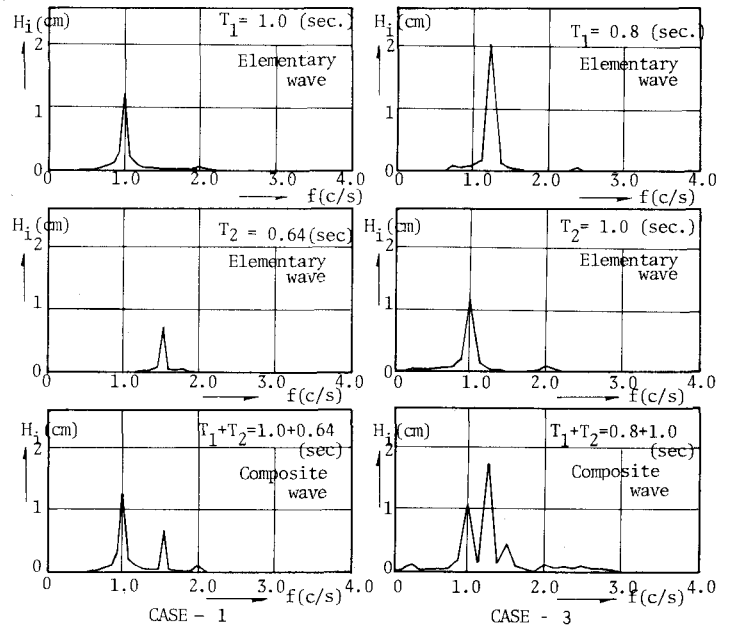


図-1 実験波の特性



図-2 合成波の時間波形 (Case-1)

この干渉波の効果を考慮していない(3)式の計算値と実験値はCase-1の波程度には一致しないけれども定性的には充分一致している。この合成波高の最大値を入射波高に割った値、 $H_c^*_{max} / H_L$ と L/L_1 の関係を示したのが図-4であり、同図に示した合成波の計算値(3)式は、 $H_c^*_{max} = [(\eta_c^*)_{max}]_{max}$, $H_L = H_1 + H_2 = 2A_1 + 2A_2$ を用いて無次元化されたものである。同図によれば、非線型干渉波が生ずるCase-3についても比較的よく実験値(●印)と理論値が一致しており、Case-1の場合の結果と合せて考えると、著者らの実験範囲での2成分波に対しては各成分波の単純重ね合せとして(3)式で取扱った鉛直消波岸壁の消波効果はほぼ評価できるものといえる。また合成波に対して消波効果高まる遊水部長さは構成成分波の波高分布によりかなり変化するものと考えられるが、図-4(a)に示す短周期($T_2=0.64^{sec}$)の波高 $2A_2=0.75^{cm}$ の長周期($T_1=1.0^{sec}$)の波高 $2A_1=1.3^{cm}$

のほぼ1/2程度に小さい場合でも、長周期よりむしろ短周期の成分波長の0.15~0.25程度とすれば充分消波効果が高められる事が認められる。なお、この事は長周期波の成分波高が短周期成分波高の2倍以上の大きな値とする場合については勿論再検討を要するが、図-4(b)とも合わせて考えると、単一成分波より2成分合成波に対して設計する方が、所要の消波効果を達成するための遊水部長さをより小さくできる事を示すものと考えられる。また、図-5に示す不透過壁前面の水位変動 H^* (H^*)_{max}については、 H^* ほど実験値(●印)と計算値(1)式の一致は認められないが、定性的には充分一致しており、特に非線形干渉波が無視される場合には、この H^* はほぼ(1)式で算定し得ると考えてよいであろう。

参考文献

- 1) 榎木 亨・岩田 好一郎 : 多孔式鉛直消波岸壁の水利特性に関する二三の考察, 220号, 1973.

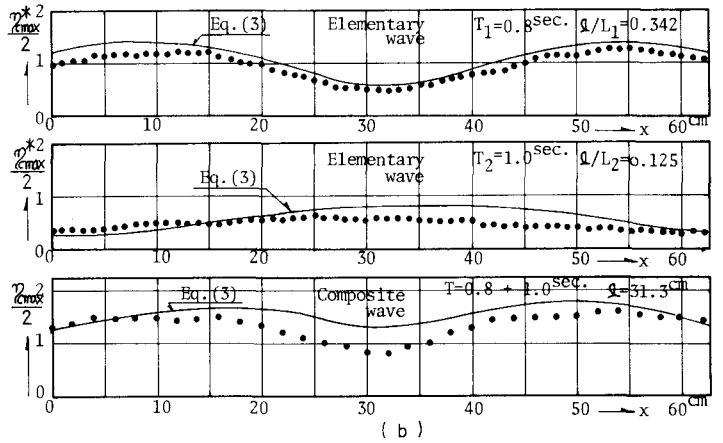
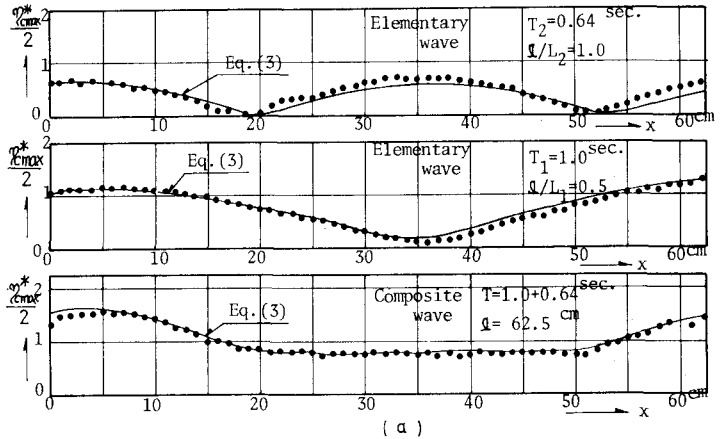


図-3 鉛直消波岸壁前面の合成波高分布 (●印は実験値を示す)

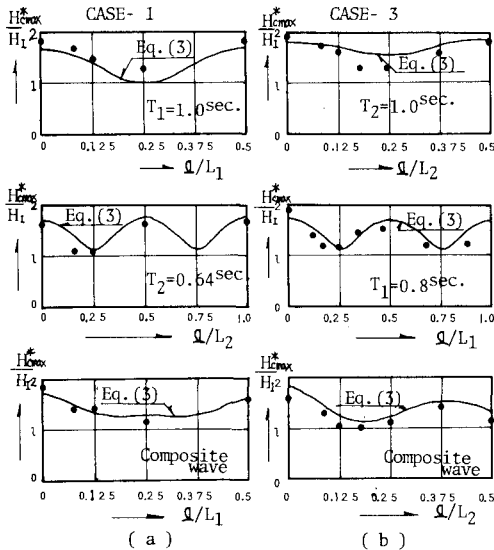


図-4 H^*_{max}/H_1 と l/L_i との関係

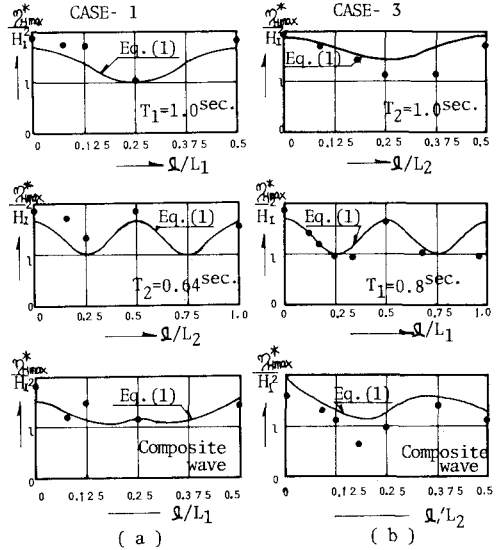


図-5 H^*_{max}/H_2 と l/L_i との関係