

II-318 二重縦スリット壁型消波ケーソンの透過壁に作用する波力について

清水建設(株)技術研究所 正員 萩原運弘

1. はじめに: 近年, 直立消波ケーソンの消波性能面だけでなく波力の低減機能に注目し, これを大水深域での防波堤に採用しようとする気運が高まっている。しかし, この種のケーソンは透過壁と不透過壁が遊水室を介して一体化された構造形式であるため作用する波力も非常に複雑である。本研究では, 二重縦スリット壁型消波ケーソンの透過壁に作用する部材波力の基本特性について調べるとともに, 著者が提案している積分方程式による解析法の適用性について検討するものである。

2. 実験装置と実験方法: 実験は長さ40m, 幅4m, 高さ1.3mの二次元造波水槽を用いて実施された。水槽内には, 水路を二分する隔壁板が設けてあり, 幅0.6mの小水路に堤体模型を設置し, 他方の広水路側で入射波高を測定した。縦スリット壁模型は壁厚3cmで幅0.2mずつに分割されており, 両側のダムー模型を塩化ビニール樹脂材で, また中央の計測用模型をアクリル樹脂材で制作した。これを図-1に示すように, 円形リングにひずみゲージを接着した容量20kgの検出器からなる波力測定装置に取り付けた。実験では水深を $h=50\text{cm}$ 一定とし, 第一スリット壁の開口比を $\varepsilon_1=0.1, 0.2, 0.3$ , 第二スリット壁の開口比を $\varepsilon_2=0.1, 0.2$ , 全堤体幅波長比を $X/L=0.1\sim 0.4$ の範囲で変化させ, 波高 $H_2=6\sim 12\text{cm}$ , 周期 $T=1.2, 1.7, 2.0$ 秒の波を作用させた。第一スリット壁と第二スリット壁に作用する水平波力は測定装置の関係から, 同一の波浪条件を用いて別々に測定された。また, スリット壁前面の水位変動をスリット壁より1cm沖側に取り付けた波高計によって同時に測定した。

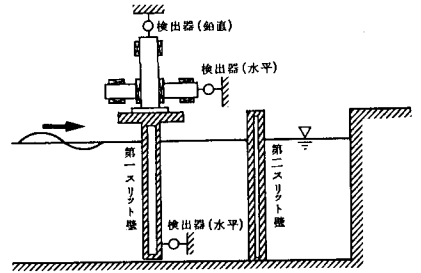


図-1 実験装置

3. 算定方法: 用いた解析法は, 透過壁での水平流速を未知関数とした積分方程式に帰着する方法で, その概略を示すと1) 各領域の速度ポテンシャルを水底と水面の条件を満足するラプラスの方程式の解として, 鉛直方向座標 $Z$ に関する直交関数系により, 未定複素定数を係数とする無限級数に展開する。2) 各スリット壁において水平方向の未知流速 $U_1(z)$ ,  $U_2(z)$ を導入し, 流量と運動量の接続条件を課す。運動量方程式中の損失係数と見掛けのオリフィス長さは波浪条件および構造条件の関数で表わし推定する。3) 二つの接続条件から, 最終的に $U_1$ ,  $U_2$ に関する第一種フレドホルム型の連立積分方程式を導き, これを数値積分することにより $U_1$ ,  $U_2$ を求める。4)  $U_1$ ,  $U_2$ が求めれば複素定数が計算でき, 各領域の速度ポテンシャルが決定できる。5)  $U_1$ を各スリット壁面での水位とし, 波圧 $P$ を次式から計算する。

$$P = \rho g Z + \rho g \beta \left\{ 1 + \frac{\cosh \beta(z+h)}{\cosh \beta h} - \frac{\cosh \beta(\beta+h)}{\cosh \beta h} \right\} \quad (1)$$

ここに,  $\rho$ : 流体密度,  $g$ : 重力の加速度,  $\beta$ : 波数( $=2\pi/L$ )である。

3. 実験結果と計算結果: 図-2に $H_2=10\text{cm}$ ,  $T=1.7$ 秒,  $\varepsilon_1=0.3$ ,  $\varepsilon_2=0.1$ の条件での第一スリット壁, 第二スリット壁, 背後の不透過壁および消波ケーソン全体に作用する波力波形を $X/L=0.15$ と $0.3$ の場合について示す。ただし, 背後の不透過壁とケーソン全体に作用する波力は計算結果だけである。 $X/L=0.15$ と $0.3$ の場合の第一スリット壁および第二スリット壁に作用する波力波形を比較すると, 実験結果, 計算結果とも $X/L=0.15$ の場合にはほぼ同位相で変化しているのに対して,  $X/L=0.3$ の場合第二スリット壁の波力のピークが第一スリット壁の波力に比べて若干遅れて現われている。また実験波力は計算波力よりも若干小さい値を示す。いま, 各スリット壁に作用する波力の最大値に注目して, 次式で定義される波力係数を考える。

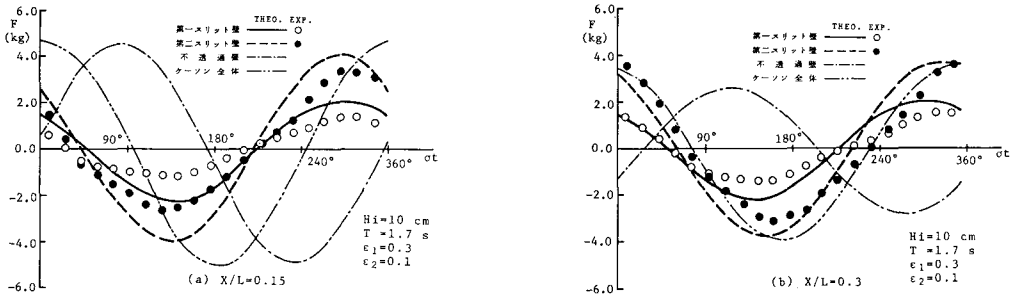


図-2 二重縦スリット壁型消波ケーブの波力波形

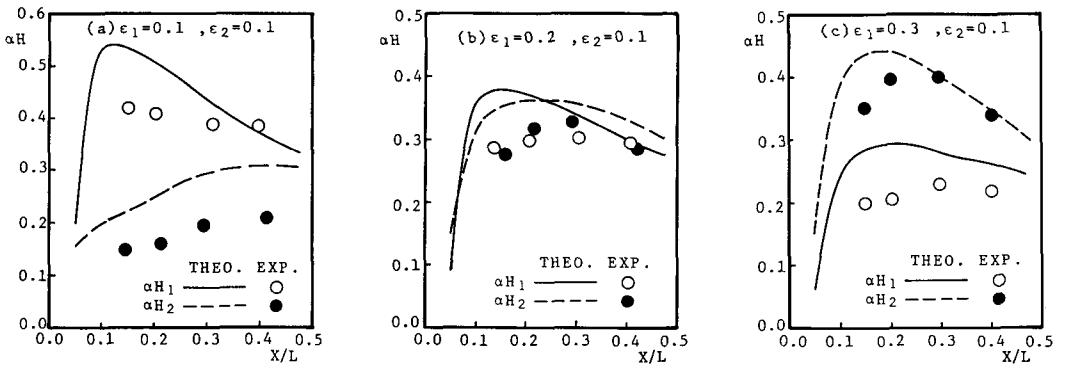


図-3 第一スリット壁および第二スリット壁の波力係数 (H1=10 cm, T=1.7 秒)

$$\alpha_{Hi} = \frac{F_{mi}}{\omega_0 H_i (1 - \epsilon_i) D h} \quad (i=1, 2) \quad (2)$$

ここに、 $\alpha_{Hi}$ : 波力係数、 $F_{mi}$ : 最大水平波力、 $\omega_0$ : 水の単位体積重量、 $D$ : 透過壁の幅である。図-3は $H_1=10$  cm、 $T=1.7$  秒、 $\epsilon_2=0.1$  の条件で、各 $\epsilon_1$ に対して第一スリット壁および第二スリット壁の波力係数 $\alpha_{H1}$ 、 $\alpha_{H2}$ と $X/L$ との関係を示したものである。実験結果は計算値よりも若干小さな値を示すが、両者の傾向は比較的良好に一致している。すなわち $\alpha_{H1}$ 、 $\alpha_{H2}$ とも $X/L$ に対して最大値を持つ傾向を示し、 $\alpha_{H1}$ が最大となる $X/L$ の値は $\epsilon_1$ が大きくなるにつれて若干大きくなるが、 $\alpha_{H2}$ が最大となる $X/L$ の値は逆に $\epsilon_1$ が大きくなるほど小さくなっている。また $\epsilon_1$ が大きくなるほど $\alpha_{H1}$ の値は小さく、逆に $\alpha_{H2}$ の値が大きくなっており、 $\epsilon_1=0.2$ 、 $\epsilon_2=0.1$ の条件において $\alpha_{H1}$ 、 $\alpha_{H2}$ はほぼ等しい値を示している。透過壁に作用する波力はエネルギー損失と密接な関係があると推定される。そこで構造条件の単純な二重縦スリット壁型消波ケーブに関して、 $H_1=10$  cm、 $T=1.7$  秒、 $\epsilon=0.2$ の場合の反射率 $KR$ およびスリット壁、背後の不透過壁、消波ケーブ全体の各波力係数 $\alpha_{Hi}$  ( $i=1, 2, 3$ )と $X/L$ との関係を図-4に示す。ただし、背後の不透過壁および消波ケーブ全体の波力係数は計算結果(式(2)で $\epsilon=0$ )だけである。透過壁でのエネルギー損失が最も大きくなる、すなわち $KR$ が最小になる $X/L$ においてスリット壁の波力係数 $\alpha_{H1}$ は最大になり、作用する波力も大きいことがわかる。また $KR$ が大きくなる $X/L$ においては、 $\alpha_{H1}$ は小さく、逆に背後の不透過壁の波力係数 $\alpha_{H2}$ が大きくなっており、透過壁でのエネルギー損失が少ない場合には背後の不透過壁に大きな波力が作用することを示している。一方、ケーブ全体の波力係数 $\alpha_{H3}$ は $X/L$ に対して $\alpha_{H2}$ と同様な傾向を示すが、 $\alpha_{H2}$ に比べてその変化は緩やかである。

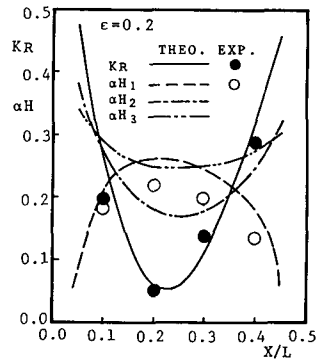


図-4 一重縦スリット壁型消波ケーブの反射率と波力係数