

II-5 スリット壁の波力係数に関する基礎的実験

苫小牧工業高等専門学校 正会員 浦島 三朗
室蘭工業大学 正会員 近藤 俊郎

1. まえがき

スリット壁や多孔壁のような透水性の壁を持つ直立消波構造物は、海域の有効利用の面からも注目をあび、種々の研究が盛んに行われている¹⁾。このような研究の中で構造物による波浪変形及び構造物に作用する波力を推定するときに必要な水理的係数にどのような値を使用するかが非常に重要な問題となる。これらの係数の決定方法には種々の方法が提案されており、角野ら²⁾は“Blockage Coefficient”と呼ばれる柱体断面形状のみによって決定される純理論係数を用いている。また谷本ら³⁾は、これらの係数を波浪変形理論式の未定係数としてとらえ、反射率の実験結果に適合するように既知量の関数として表わしている。著者らは⁴⁾従来より Morisson 式を透水壁の波力に適用してこれらの値から係数を決定し、スリット壁の構造条件ごとに Reynolds 数や Keulegan-Carpenter 数の関数として整理し、これを波浪変形理論及び波力の推定に使用してきた。一枚スリット壁から求めた波力係数を多重透水壁にも適用し、反射率等を実験値と比較したが、あまり適合性がよくない場合も生じる。そこで本研究では、まず一枚スリット壁型不透過堤について波力実験を行い、前壁のスリット壁に働く波力から波力係数を求め検討したものである。

2. 実験方法及び解析方法

波動実験は長さ19.7m、幅0.8m、高さ0.8mのペンデュラム式造波装置が設置されている両面ガラス張りの水平底の二次元規則波造波水槽を仕切り板により二分し、その一方にスリット壁を取り付けた波力検出装置を設置した水槽を用いた。波力検出装置は図-1に示すようにアーム上端部を固定した片持梁構造でアーム部にストレインゲージを貼付してある。模型として使用したスリット壁はアクリル材を用い、空隙率 $\lambda=35\%$ 、スリット幅 $s=28\text{ mm}$ 、壁厚 $d=30\text{ mm}$ であり、構造は1枚スリット壁型不透過堤で背後不透過壁には水槽の末端を使用し遊水室幅 $B=66.5\text{ cm}$ である。実験は入射波高 $H_I=3.5\sim 13\text{ cm}$ 、周期 $T=1.2\sim 2.0\text{ sec}$ である。入射波の波高及び位相差の推定には分離推定法⁵⁾を用い、またスリット壁前面の水面波形はスリット壁前方 2.5 cm に取り付けた波高計より測定した。

波力算定式はスリット壁に作用する全波力 $FT(t)$ は、揚力が働かないものとする Morison の提案した構造物背後の渦によって生ずる力の抗力 $FD(t)$ と、圧力勾配によって生ずる力

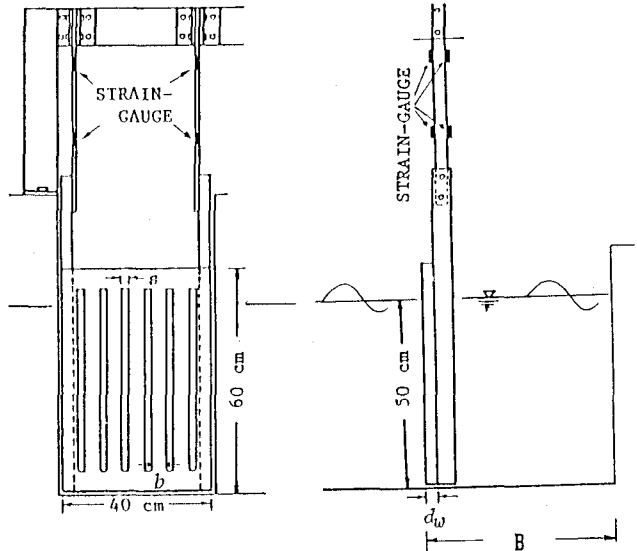


図-1 模型概要図

ならびに構造物の存在によって生ずる力の慣性力 $F_I(t)$ の線形和として式 (1) ~ (3) で表わされる。スリット壁では円柱等の孤立構造物とは異なり、反射波を無視することができないので、式 (2), (3) 中の水平水粒子速度および加速度は微小振幅波理論により部分重複波を求めて求めると式 (4), (5), (6) で表わされる。ここで、スリット壁の位置を $x=0$ とおき、位相差 δ は実験より求める。抗力係数 C_D , 質量係数 C_M の算定方法は C_D , C_M が時間の関数であるが水深方向には一定であるとし、実測による波力と壁前面の水位の時間-波形記録を一定時間間隔で読み取り、その波力が各時刻で式 (1) と一致すると考え、

Al-Kazily の手法を模して求めた。また 1 周期内において C_D , C_M が変化しないものと仮定した理論波力と実測波力の差が最小となるように求める最小自乗法でも C_D , C_M を求めた。なお、抗力係数、質量係数は RE 数や KC 数の関数として表示されることが多い。この場合、水平水粒子速度としては、本研究における抗力係数が自乗された水平水粒子速度に関して水深方向の積分によって表わされることを考慮して、水平水粒子速度、 RE 数および KC 数を式 (7) で定義することとした。

3. 実験結果及び考察

図-2 は実験より得られたスリット壁前面の波形およびスリット壁に作用する水平全波力、また前出の Al-kazily の解析法によって得られた抗力係数 C_D , 質量係数 C_M の時間的変化を示す例である。横軸は作

$$F_T(t) = F_D(t) + F_I(t) = C_D(t) \cdot f_D(t) + C_M(t) \cdot f_I(t) \quad \dots (1)$$

$$F_D(t) = C_D(t) \int_{-h}^{\eta} \rho \frac{u \cdot |u|}{2} dA \quad \dots (2)$$

$$F_I(t) = C_M(t) \int_{-h}^{\eta} \rho \dot{u} dV \quad \dots (3)$$

$$\eta = a_I \cos(kx - \sigma t) + a_R \cos(kx + \sigma t + \delta) \quad \dots (4)$$

$$u = a_I \sigma \frac{\cosh k(h+y)}{\sinh kh} \cos(kx - \sigma t) - a_R \sigma \frac{\cosh k(h+y)}{\sinh kh} \cos(kx + \sigma t + \delta) \quad \dots (5)$$

$$\dot{u} = a_I \sigma^2 \frac{2 \cosh k(h+y)}{\sinh kh} \sin(kx - \sigma t) + a_R \sigma^2 \frac{2 \cosh k(h+y)}{\sinh kh} \sin(kx + \sigma t + \delta) \quad \dots (6)$$

$$RE = \frac{u_{rms} \cdot S}{v} \quad KC = \frac{u_{rms} \cdot T}{d_u}$$

$$u_{rms} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{\int_{-h}^{\eta} u_i^2 dy}{h + \eta}} \quad \dots (7)$$

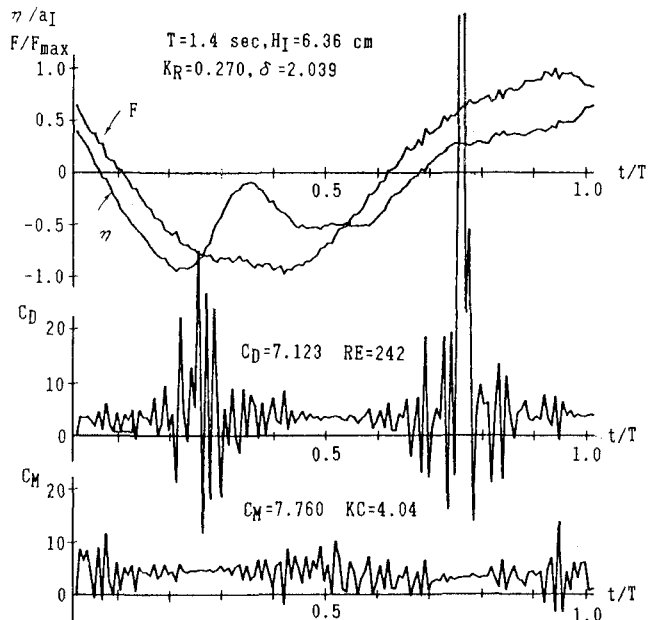


図-2 波形、波力及び C_D , C_M の時間的変化

用波の周期 T に対する解析時刻 t の比であり、縦軸にはスリット壁前面水位と入射振幅の比 η/aI 、水平全波力と最大水平全波力の比 F/F_{max} 、および C_D 、 C_M の各時刻の値を示している。波形と波力のピーク値は一致せず、ある位相でずれている。 C_D は t/T が 0.5 および 1.0 付近でほぼ一定な値を示すが、 t/T が 0.25 および 0.75 付近ではピーク値を示し大きく変動している。また C_M は C_D が変動している $t/T=0.25$ および 0.75 付近で安定な値を示し、 C_D が安定な値を示している $t/T=0.5$ および 1.0 付近で大きな変動を示す。これは抗力が卓越している領域では C_M の精度が低下し、慣性力が卓越している領域では C_D の精度が低下すると思われる。図中に示す C_D 、 C_M の値は最小自乗法で解析した抗力係数、質量係数の値である。

図-3 は図-2 と同様に波形、波力、抗力係数、質量係数の時間的変化を示す 1 例である。波形と波力のピーク値は一致せず、その位相のずれは図-3 より大きい。 C_D 、 C_M は図中で大きな変動を示すが、その領域は C_D は波形が静水面付近で、 C_M は波峰付近で生じる。図-2 および図-3 の例では Al-kazily の方法で求めた C_D 、 C_M の安定している領域の平均的な値と最小自乗法で求めた C_D 、 C_M とがほぼ一致しているが、 C_D あるいは C_M が卓越していると思われる波については、片方の C_M あるいは C_D が Al-kazily の方法で求めた C_D 、 C_M の値と最小自乗法で求めた C_D 、 C_M とが一致しない場合が多い。

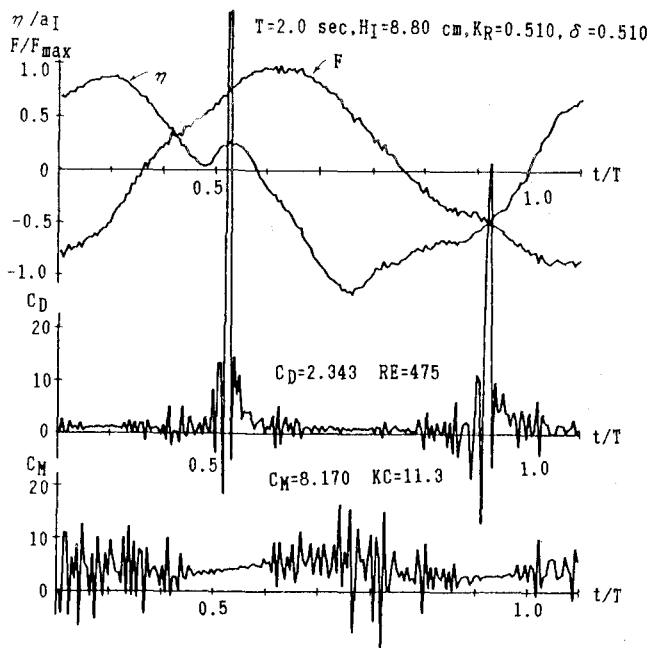


図-3 波形、波力及び C_D 、 C_M の時間的变化

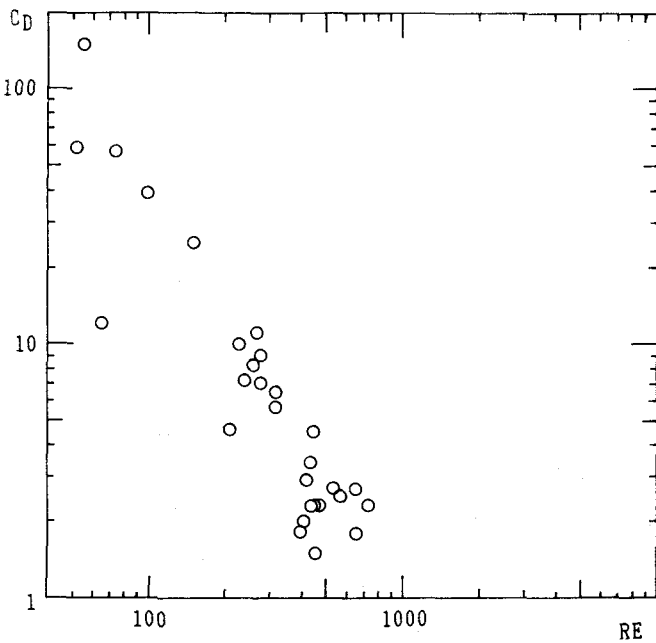


図-4 抗力係数 C_D と REYNOLDS 数との関係

最小自乗法で得られた CD 、 CM の値を Reynolds 数で整理したものを図-4に示す。ここで示した CD は最小自乗法で求めたものであるが、実験結果より CM が卓越し明らかに CD の値が低下していると思われる CD のデータは除いて示してある。この波動実験による結果は実験波の制約のため $RE < 1,000$ 程度の範囲しか得られず、また多少変動しているが全体的傾向としては流速に反比例する層流的抵抗特性を示している。この層流的抵抗特性は、前に行なった単一スリット壁の抵抗特性と同じ特性を示しているが、ここで求めた CD の値は単一スリット壁の CD の値と比較するとかなり小さい値を示している。

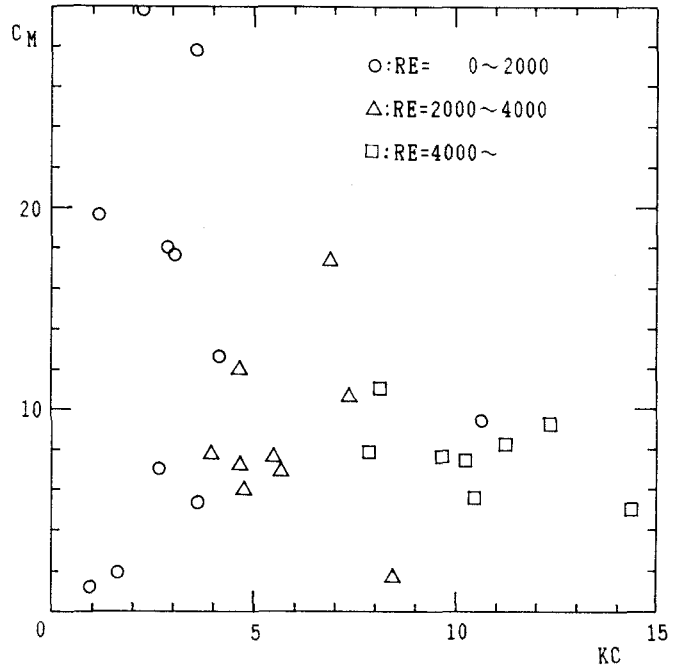


図-5 質量係数 CM とKEULEGAN-CARPENTER数との関係

CM についても CD と同様に最小自乗法で得られた CM を KC 数の関数としてプロットしたものを図-5に示す。またここでも実験結果より CD が卓越し明らかに CM の値が低下していると思われる CM のデータは除いて示してある。 CM はばらつきが大きい各 RE 数で区分分けしてみると比較的まとまっているようである。各 RE 数で CM は KC 数が小さい領域では、その増加とともに CM は急激に減少し、ある KC 数以上ではほぼ一定値へ漸近している傾向がみられる。また周期別にみると長周期の波ほど CM の値が大きくなっている。

スリット壁と不透過壁を組み合わせた1枚スリット壁不透過堤の抗力係数および質量係数は、単一スリット壁の抗力係数および質量係数と比較すると時間的な変化および Reynolds 数、Keulegan - Carpenter数による水理的特性はほぼ同じ傾向を示しているが、抗力係数 CD 、質量係数 CM の値は単一スリット壁の値よりより小さい値を示している。

参考文献

- 1) 近藤俊郎・竹田英章：消波構造物，森北出版，279p.，1983.
- 2) 角野昇八：漸近展開接合法の海岸工学への応用，水工学シリーズ，87-B-3，1987，
- 3) 谷本勝利・吉本靖俊：直立消波ケーソンの反射率に関する理論及び実験的研究，港湾技術研究所報告，第21巻第3号，pp43~77，1982.
- 4) 浦島三朗・石塚耕一・近藤俊郎：縦スリット壁に作用する波力に関する基礎的研究，海岸工学講演会論文集，第30回，pp337~341，1983.
- 5) 合田良実・鈴木康正・岸良安治・菊地 治：不規則波実験における入・反射波の分離推定法，港湾技研資料，NO.248，1976.