

後壁不透過壁を有する前壁スリット壁の抗力係数 及び質量係数について

浦 島 三 朗*・近 藤 徹 郎**

Drag and Mass Coefficients on Slotted Wall of Impermeable Structure with One Pervious Wall

Saburo URASHIMA and Hideo KONDO

要 旨

後壁不透過壁を有する前壁スリット壁の水理的係数を Morison 式中で使用される抗力係数及び質量係数として波動実験の波力より求め、単一スリット壁の係数と比較検討した。その結果、同じ様な傾向を示すが、単一スリット壁よりも小さな値を示す。

Abstract

The hydrodynamic coefficients are computed based on the measured total force on the slotted wall of impermeable structure with one pervious wall in the wave field. The hydrodynamic coefficients are the drag and mass coefficients in Morison's equation. These drag and mass coefficients show a similar tendency the coefficients of the single slotted wall. But these values of coefficients are smaller for impermeable structure with pervious wall than for single slotted wall.

1. ま え が き

海岸及び港湾の消波構造物として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、近年種々の研究が盛んに行なわれている¹⁾。この様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最もよく適合するよう

著者らは従来より Morison 式を単一の透水壁の波力に適用して、波力実験よりこれらの値から係数を決定してきた。図-1 に示すように透水壁にスリット壁を使用した単一スリット壁の水理的係数を構造条件ごとに 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⁴⁾。単一スリット壁の場合、比較的よく消波効果及び波力の実験値とこれらの係数を使用した計算値とが適合した。単一スリット壁から求めた水理的係数を多重透水壁を使用した直立消波構造物にも適用し、反射率等を実験値と比較すると、あまり適合性がよくない場合も生じる。この原因として単一スリット壁のようにスリット壁を通過した波が再びスリット壁に作用しない場合と異なり、後ろに不透壁過壁があると通過した波が後壁によって反射し、前壁に再び作用することにより、水理的係数も単一のスリット壁とは異なる特性を示すものと考えられる。

そこで本研究では、まず後壁のある構造として

* 助教授 土木工学科

** 教 授 室蘭工業大学土木工学科

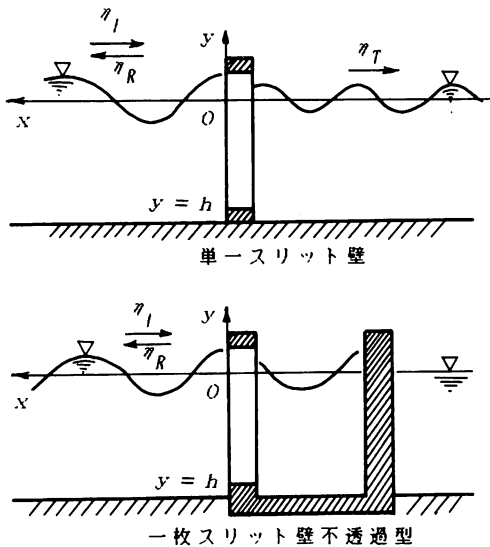


図1 スリット壁型消波構造物

最も単純な図-1のような一枚スリット壁型不透過堤について波力実験を行ない、前壁のスリット壁に働く波力から水理的係数である抗力係数及び質量係数を求め検討したものである。

2. 実験方法

実験は長さ 19.7 m、幅 0.8 m 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た水槽を用いた。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⁴⁾。波力検出装置は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 $s = 28$ mm、壁厚 $dw = 30$ mm であり、構造は一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、遊水幅 $B = 66.5$ cm と一定した。実験は入射波高 $H_I = 3.5$ cm ~ 13 cm、周期 $T = 1.2 \sim 2.0$ sec で、水深 $h = 50$ cm と一定にして行った。入・反射波の振幅 a_I , a_R 及び位相 δ_I , δ_R の決定方法には分離推定法を用い、またスリット壁前面の水面波形 η 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。

3. 解析方法

波力算定式はスリット壁に作用する全波力 $F_T(t)$

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 $F_D(t)$ と、圧力勾配によって生ずる力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出来ないので、式(2), (3)中の水平水粒子速度 u 及び加速度 $\dot{u}$ は微小振幅波理論の部分重複波を考慮して求めると式(4), (5), (6)で表わされる。ここでスリット壁の位置を $x = 0$ とし、 C_D , C_M は抗力係数及び質量係数、 ρ は水の密度、 d_A は投影微小面積、 d_v は実質部の微小体積、 $k = 2\pi/L$, $\sigma = 2\pi/T$ で、 L は波長を表わす。

なお抗力係数 C_D 、質量係数 C_M は Reynolds 数及び Keulegan-Carpenter 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、一周期内で自乗平均した水平水粒子速度 u_{rms} 、Reynolds 数及び Keulegan-Carpenter 数を式(7)で定義することとした。ここで、 ν は動粘性係数、 N は一周期内的の分割数を表わす。

抗力係数及び質量係数の算定方法には各種の方法が提案されているが、ここでは Al-Kazily の方法と最小自乗法による方法で解析を行なった。Al-Kazily の方法とは、 C_D 及び 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、実測による波力とスリット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)と一致すると考える方法である。最小自乗法による方法とは一周期内において 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方法である。

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

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

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

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

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

$$\dot{u} = a_1 \sigma^2 \frac{\cosh k(h+y)}{\sinh kh} \sin(kx - \sigma t + \delta_i) + a_R \sigma^2 \frac{\cosh k(h+y)}{\sinh kh} \sin(kx + \sigma t + \delta_R) \quad (6)$$

$$RE = \frac{u_{rms} \cdot S}{\nu} \quad K.C. = \frac{u_{rms} \cdot T}{d_w} \quad (7)$$

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

4. 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及びスリット壁に作用する水平全波力、また前出の Al-Kazily の解析方法によって得られた抗力係数 C_D 、質量係数 C_M の時間的変化を示している例である。横軸は周期 T に対する解析時刻 t の比であり、縦軸はスリット壁の前面の水位と入射波振幅の比 η/a_1 、水平全波力と最大水平全波力の比 F/F_{max} 、及び 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。これは波力は抗力と慣性力の和で表わされ、抗力は水粒子速度また慣性力は水粒子加速度によって決定され、抗力と慣性力の卓越する t/T は $\pi/4$ の位相を持っているためである。 C_D は t/T が 0.5 及び 1.0 付近ではほぼ一定な値を示すが、 t/T が 0.25 及び 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 $t/T = 0.25$ 及び 0.75 付近では安定な値を示し、 C_D が安定な値を示している $t/T = 0.5$ 及び 1.0 付近では大きな変動を示している。これは抗力が卓越している領域では水平水粒子加速度が小さくなり、そのため C_M の計算の精度が低下し、逆に慣性力が卓越している領域では水平水粒子速度が小さくなり、そのため C_D の計算の精度が低下するためと考えられる。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及び質量係数の値を示しており、この例では Al-Kazily の方法で求めた C_D 、 C_M のそれぞれの安定領域の平均と近い値を示しているが、二次波峰等が強く表れている波においては大きな違いがみられる。

Al-Kazily の方法で求めた C_D の平均的な値を RE 数で整理したものを図-3に示す。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、前に行った単一スリット壁の抵抗特性と同じ抵抗特性

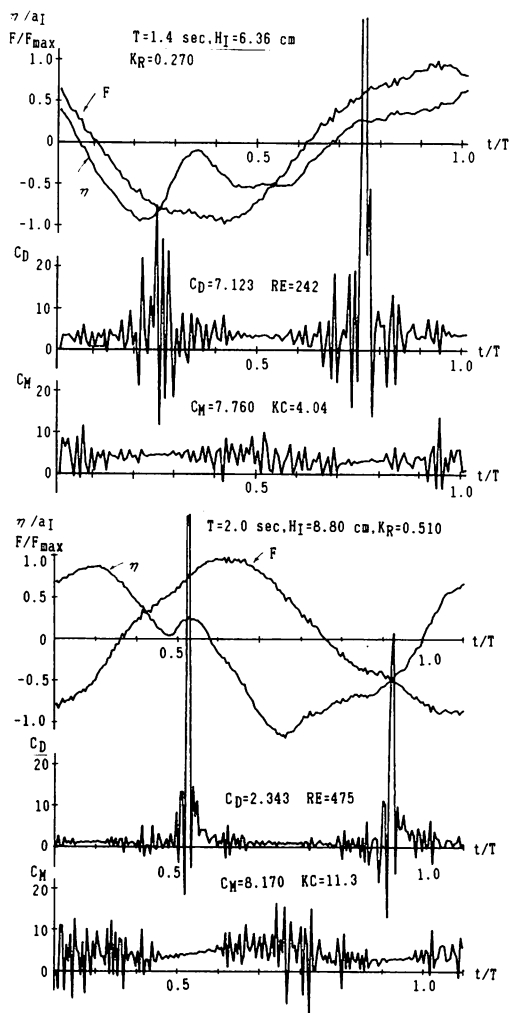
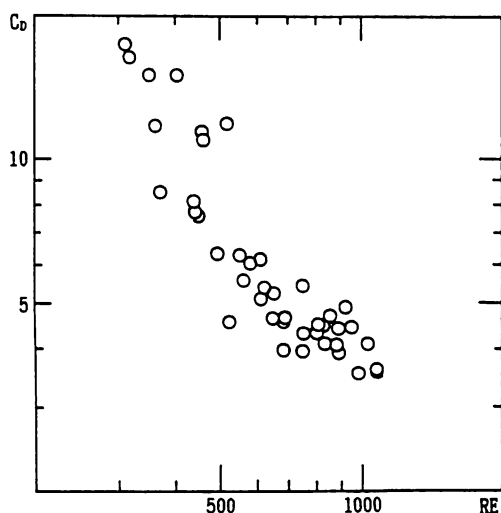
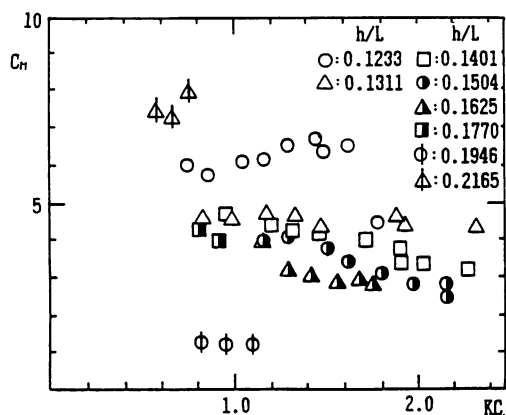


図2 波形、波力及び C_D 、 C_M の時間的変化

を示しているが、ここで求めた C_D の値は単一スリット壁の C_D の値と比較するとかなり小さい値を示している。単一スリット壁の場合波動実験の値と定常流実験の値との連続性がよく、一連の値として取り扱ったが、本実験においてはこのままではこのように取り扱うことはできない。

C_M についても C_D と同様に Al-Kazily の方法で求めた C_M の平均的な値を $K.C.$ 数の関数として周期別にプロットしたものを図-4に示す。周期別にみると $K.C.$ 数が大きくなるに従い C_M の値が減少している。また長周期のものほど C_M の値が大きくなっている。これらは単一スリット壁と同じ傾向を示し、 C_M は波長と $K.C.$ 数の関数で表わされる。しかし、この C_M の値も単一スリット壁の C_M より若干小さい値を示している。最小自乗法に

図3 Reynolds数と抗力係数 C_D の関係図4 Keulegan-Carpenter数と質量係数 C_M の関係

よる C_D , C_M は RE 数及び $K.C.$ 数によってもよく整理することが出来なかった。

この様な構造物は基本周波数以外に整数倍の高次の周波数の波が構造物によって発生するといわれている。本実験においてもスリット壁前面の波形

にこのような特性が表れている。今回の解析ではこれらを考慮していないため、水平水粒子速度及び加速度の算定において実際の値よりも大きく計算されていると考えられる。

4. ま と め

スリット壁と不透過壁を組み合わせた縦スリット壁型ケーソンの抗力係数及び質量係数は、単一のスリット壁の抗力係数及び質量係数と比較すると時間的変化及び Reynolds 数及び Keulegan-Carpenter 数による水理的傾向はほぼ同じ傾向を示しているが、抗力係数及び質量係数の値は単一のスリット壁より小さい値を示している。今後、基本周波数以外の高次の周波数の波の影響について検討する必要があると思われる。最後に実験等にご協力頂いた土木工学科第15期生の谷内裕治君、富田研一君に感謝の意を表します。

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.

(昭和63年11月30日受理)