

II-11 スリットケーソンにおける水理的係数の 高周波成分波の影響

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

スリット壁のような透水性の壁を有する消波構造物を設計する際に、波浪変形や波力を推定することが必要となる。この時に透水壁にどのような水理的係数を使用するかは、重要な問題として残されている¹⁾。これらの係数について、角野らは“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²⁾。また谷本らは、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³⁾。著者らは、従来よりこの水理的係数をモリソン式中の抗力係数および質量係数として取り扱ってきた。単一のスリット壁のみの構造物として波力実験を行ない、抗力係数および質量係数を求めると、これらの係数はレイノルズ数やクーリガン・カーペンター数で比較的良好に整理することができた。また抗力係数については定常流実験における損失水頭係数の値との連続性も良かった⁴⁾。

構造が単一スリット壁に比べ多少複雑になる、前壁にスリット壁を用い、後壁に不透過壁を用いたケーソン堤についても同様の実験を行なった。その実験結果から、スリットケーソンにおけるこれらの係数の水理的特性は、定性的には単一スリット壁の場合と同じ傾向を示すことがわかった。しかし定量的にはこれらの係数のバラツキが大きく、平均的な係数の値も単一スリット壁の値とは異なり、定常流実験の値との連続性も良くなかった⁵⁾。この原因の1つとして、透水性の壁を有するケーソン堤の場合、規則波実験においても基本周期以外の高次の波が発生し、その影響が考えられる。そこで、本研究ではデータを解析する上で多少の検討を加えた上で計算し、その結果について考察した。

2. 実験方法および解析方法⁵⁾

実験は、長さ19.7m、幅0.4m、高さ0.8mのペンデュラム式造波装置が設置されている二次元規則波造波水槽で行なった。模型は図-1に示す模型を使用し、前壁のスリット壁にアームを取り付け上端部を固定し、片持梁構造としてストレイン・ゲージにより各時刻の水平全波力を測定した。またスリット壁前面の水面波形も実測した。入・反射波の波高の推定には分離推定法を用いた⁶⁾。

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。モリソン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。

ここで、 ρ は水の密度、 dA は微小投影面積、 dV は微小実質体積、 h は水深、 η はスリット壁前面の表面波形の水位を表わす。

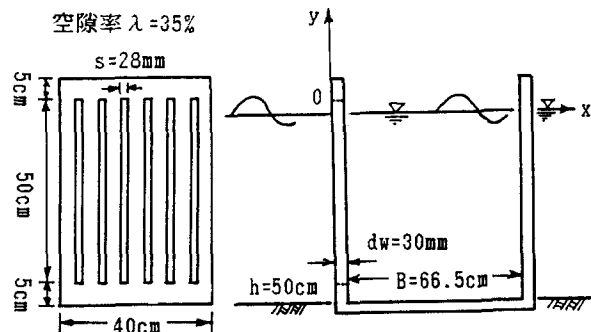


図-1 模型概要図

波の波形 η 、水平水粒子速度 u および加速度 $\dot{u}$ は微小振幅波理論の部分重複波より求めている。抗力係数 CD および質量係数 CM の算出方法は、 CD および CM を時間の関数として考え実測波力と計算波力が一致するように求めるAl-Kazilyの方法、 CD および CM を時間によらず一定として考え実測波力と計算波力の差が最小小さくなるように求める最小自乗法の方法を用いた。

3. 実験結果および考察

時間軸の原点のとり方また位相の決定によって、波形 η はもちろんのこと水平水粒子速度 u および加速度 $\dot{u}$ の値も大きく異なる。モリソン式では、 u および $\dot{u}$ を正確に表現することが必要であり、抗力係数および質量係数は u および $\dot{u}$ の値に直接作用する。ここでは u および $\dot{u}$ を直接測定することが出来なかったので、この点に特に注意をはらう必要がある。今まではスリット壁前面の波形記録から静水面と交わる点を基準として、それに位相を考慮して時間軸の原点を決定してきた。単一のスリット壁の場合はスリット壁前面の波形が正弦波に近く、このように決定してもさほど問題とはならなかった。しかしスリットケーソン堤の場合は、基本周波数以外の高次の周波数の波の出現によって常に正弦波に近い波が出来るとは限らない。また高次の周波数の波の波高が小さくても、スリット壁と不透透壁の間隔である遊水室幅によってスリット壁前面の波形が乱れることもある。図-2の実測波形も高次の波の出現と遊水室の幅によって、二次波峰が強く表れている1例である。この様な2次波峰が強く表れる場合の時間軸の決定は非常に難しく、また決定しても人によって個人差が出てく

$$F_T(t) = F_D(t) + F_I(t)$$

$$= CD(t) \cdot f_D(t) + CM(t) \cdot f_I(t) \quad \dots\dots (1)$$

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

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

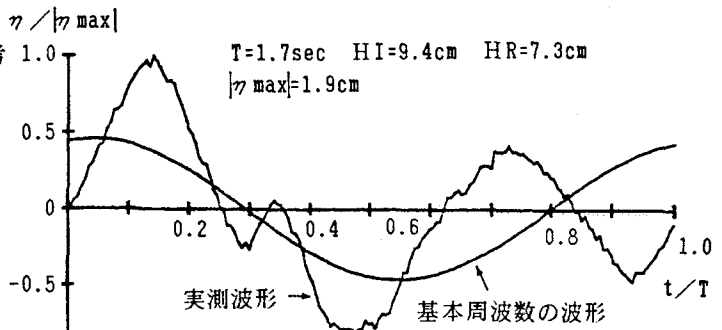


図-2 実測波形及び計算波形

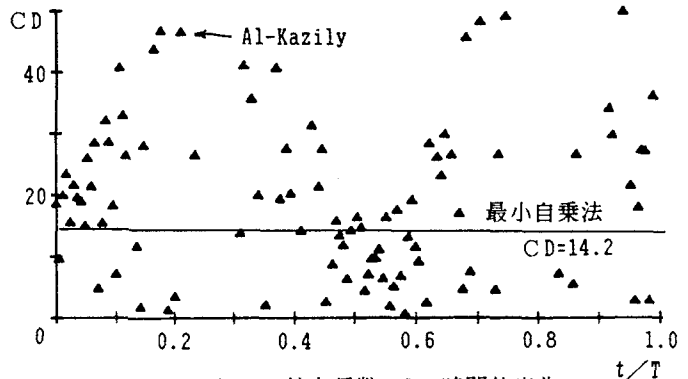


図-3 抗力係数 CD の時間的変化

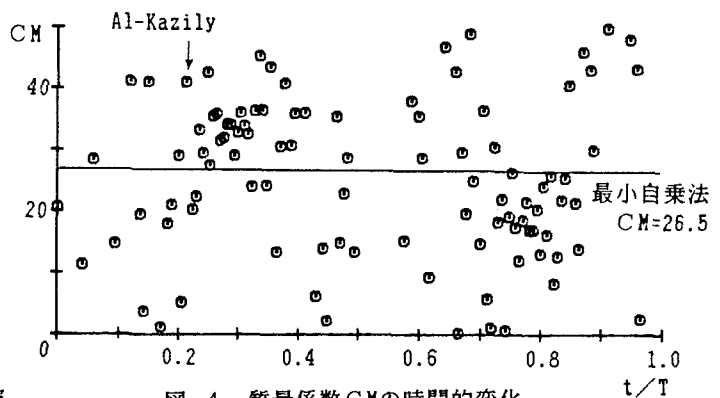


図-4 質量係数 CM の時間的変化

るものと思われる。そこで、ここではまずスリット壁前面の波形をフーリエ級数に展開し、各周波数成分波に分解した。次に分離推定法から求めた入・反射波の波高を用いた部分重複波とフーリエ級数による成分波の波形が、最もよく一致するように位相を決定した。図-2の例のように2次波峰の強く表れている波においては、実際の測定値と基本周波数の成分波とは大きく異なることがわかる。

図-2の基本周波数の波を使用して u および $\dot{u}$ を計算し、 CD および CM を求めた例を図-3, 4に示す。時間軸をある程度正確に表現すると、図-3, 4に示されるようにAl-Kazilyの方法による $CD(t)$ および $CM(t)$ はばらつきは大きい、その安定していると考えられる領域の平均的な値はほぼ妥当な値を示している。また最小自乗法による CD および CM も同様であり、Al-Kazilyの値とはほぼ同じ値を示している。

u および $\dot{u}$ の計算に基本周波数の4倍の周波数まで考慮して計算すると、波形は実測波形に非常に近くなるが、 $fD(t)$ および $fI(t)$ の値は基本周波数のみの値とあまり変わらない。従って CD および CM の値も多少変わるが、ほぼ基本周波数のみの値と同じ値を示す。これは遊水室の幅 B が各周波数の波長 L の $L/2$ の整数倍に近いとスリット壁前面の波形はその周波数の波の腹の部分に相当する。故に反射率が大きくなり、実測波形が基本周波数のみの波の波形とは大きく異なる。しかし、その周波数成分波の腹に相当する場所は、その周波数成分波の鉛直方向の水粒子

速度および加速度は最も大きくなるが、水平方向の水粒子速度および加速度は最も小さい箇所になる。よって高次の周波数成分波までも考慮しても水平方向の水粒子速度および加速度にはあまり影響しないと考えられる。但し、高次の周波数においてもその周波数の入・反射波の波高が大きいときには当然考

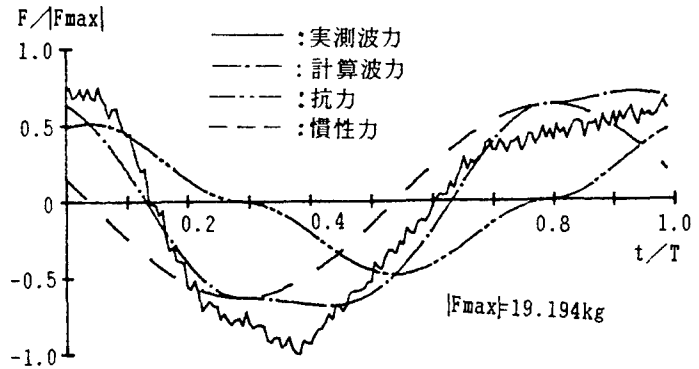


図-5 実測波力及び計算波力

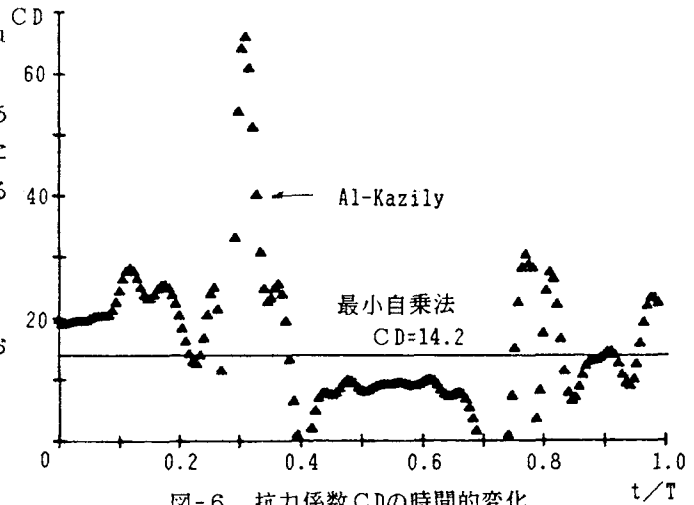


図-6 抗力係数 CD の時間的变化

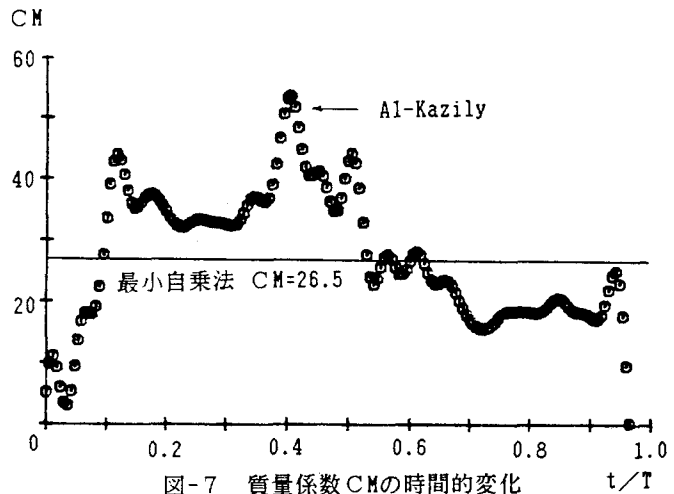


図-7 質量係数 CM の時間的变化

慮しなければならない。

実測波力と最小自乗法によるCDおよびCMを使用して計算した全波力を図-5に示す。実測波力と計算による全波力は比較的良好に一致しているが、最大波力付近では多少異なる。特に計算波力の最大値は実測波力の絶対最大値より小さい値を示しており、最大波力を推定するときには、このことを考慮しなければならない。計算による抗力および慣性力についても図-5に示してあるが、ここで計算した波においては、抗力および慣性力のどちらかが特に卓越している波ではなく、ほぼ同程度の値を示している。

一般に実測波力には図-5に見られるように、ある程度の雑音が混入している。CDおよびCMを求める際、Al-Kazilyの方法では微小時間間隔の2つの波力の関係式より算出しているため、直接実測波力を使用して算出すると誤差が大きくなる。それが図-3、4のばらつきとして表れていると考えられる。したがって、

$$F_c(\omega) = \begin{cases} 1 & : \omega \leq 2\pi f_c \\ 0 & : \omega > 2\pi f_c \end{cases} \quad \dots\dots (4)$$

に示す数値的なローパスフィルター $F_c(\omega)$ を通して雑音を除去した後、CDおよびCMを計算したものを図-6、7に示す。なお、ここでは周波数を $f_c=11.8\text{Hz}$ として計算を行なった。但し、 ω は角周波数を表わす。

雑音を除去すると図-6、7に示されるようにCDおよびCMの値の安定領域では、ほぼ一定値を示し、不安定な領域においてはピーク値を示している。各領域の範囲は図-3、4とほぼ同じ領域である。また最小自乗法によって求めたCDおよびCMの値は図-3、4の値と同じである。

4. まとめ

基本周期以外の高次の周波数の入・反射波の波高が小さい場合でもスリット壁前面の波形に影響する場合がある。よって時間軸および位相は角周波数ごとに決定する必要がある。

最小自乗法によって抗力係数および質量係数を決定する場合には、実測波力の雑音を考慮する必要はない。しかし、Al-Kazilyの方法で係数を決定するときには雑音を除去する必要がある。

ここでは、スリット壁前面の波形において2次波峰が強く表れている波について計算を行なったが、今後他の実験値についても同様の解析を行ない抗力係数および質量係数の全体的な特性について調べていく予定である。

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号第3号，pp.43~77，1982.
- 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，pp.337~341，1983.
- 5) 浦島三朗・近藤俊郎：スリット壁の波力係数に関する基礎的研究，土木学会北海道支部論文報告集，第44号，pp.211~214，1988.
- 6) 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.