

京都大学工学部 正会員 ○浅野 敏之

京都大学工学部 正会員 岩垣 雄一

大阪府 高階 宏

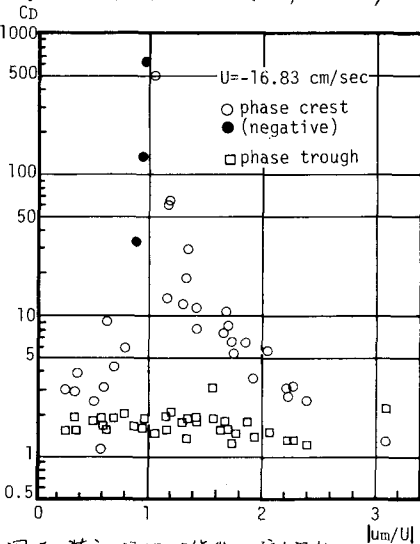
1. 緒言 海洋および沿岸海域にはさまざまな流れが存在するため、海中構造物に作用する外力としては波浪のみをとりあげるだけでは不十分であり、波と流れの両者について考える必要がある。波と流れの共存場における円柱に作用する流体力の特性を調べた研究は、Tung & Huang (1973), Dalrymple (1975), 堀川・水口ら (1976・1977) 等があるが、共存場に特有な流体力の性質についての物理的な考究には至っておらず、この現象に対する理解はきわめて不十分である。共存場では流れによって円柱周囲の水粒子運動が円柱に対して非対称になることから、本研究は特にこの流れの非対称性に注目して、抗力係数 C_D および慣性係数 C_M の変化の特性を実験的に考察したものである。

2. 実験装置・実験方法 実験は水槽内に流れを発生させるための循環流装置のついた、長さ27m、幅50cm、高さ70cmの造波水槽を用いて行った。流体力測定円柱は直径3cmのアクリル製で、長さ4cmの流体力受感器が上部円柱と板はねで接続されている。板はねの両面に貼られたストレインゲージによって検出されたひずみ量を増幅し、さらに16Hzを遮断周波数とするローパスフィルターを通した記録から流体力の読み取りを行った。水深は全実験を通じて45cmであり、流体力測定位置は静水面下9.3cmである。流れの条件は、順流・逆流それぞれについて約12cm/secと約17cm/secの流速を持つ4つのケースに、流れのない場合を加えて5ケースとした。波の周波数は0.5Hzから1.4Hzまでをとり、それぞれの周波数に対して波高を4~7通りに変化させた。予備的な実験として、波のみが作用する時の抗力係数 C_D および慣性係数 C_M を求めたが、その結果は従来の多くの測定結果のばらつきの範囲内にはいり、本実験装置の測定精度が十分であることを確認した。

3. 実験装置ならびに考察 (1) 特定の位相から算出した流体力係数 共存場における C_D および C_M の算出方法として最初に用いたのは、抗力または慣性力のいずれかが0になる特定の位相から、他の係数値を求める方法である。図-1は逆流の場合にこの方法で求めた C_D の結果である。横軸は波の水粒子速度の最大振幅 U_m と流れの流速 U との比 U_m/U の絶対値であり、波と流れの強さの構成比を示すとともに、円柱に対する流れの非対称性を示すパラメータでもある。図-1において、波の水粒子速度が流れの方向と一致する谷の位相（□印）では、 C_D は1~2程度の値をとり、 $|U_m/U|$ によってあまり変化しないことがわかる。一方、波の水粒子速度が流れの方向と逆になる峰の位相（○印）においては、 $|U_m/U|$ が1に近づくにつれて、 C_D の値がきわめて大きくなる。これは波と流れの合速度が0に近づくのに、流体力は残留渦の効果等により、0とはならないためと考えられる。しかし、この時に得られる C_D の値は合速度が大きいために比べて信頼度が低い。このようにこの方法では、波と流れの流速成分の構成比が変化すると信頼度が変化するので、 C_D に与える流れの効果を正確にとり出すことが非常に困難になる。 C_M についても同様のことがいえる。また流れが大きくなると、すべての位相で合速度が0とならず、 C_M は算定できなくなる。

(2) 最小自乗法から算出した流体力係数 流れの流速 U を考慮したモリソン式は次式となる。

$$F(t) = \frac{1}{2} \rho C_D A (U_m \cos \alpha t + U) |U_m \cos \alpha t + U| + \rho C_M V (-\alpha U_m \sin \alpha t) \quad \text{図-1 特定の位相から算出した抗力係数}$$



この方法は測定された流体力曲線と最も良く一致するように、正弦級数の係数として C_D, C_M を定めるものである。図2および図3はそれぞれこの方法で求めた C_D および C_M と $K-C$ 数 ($U_m D$) との関係を示す。流況の非対称性を示す量 $|u_m|/U$ をパラメータとして示したものである。 C_D は $K-C$ 数によらずば一定の値をとるが、 C_M は C_D に比べて値のばらつきが大きいことがわかる。また同じ $K-C$ 数のデータに対して、 $|u_m|/U$ が大きくなるほど、 C_D および C_M の値は小さくなるようであるが、他のケースの C_M についての結果では、これと逆の傾向を示す場合もあり、上述の性質は必ずしも明らかでない。この方法では、実測流体力と最も良く一致する C_D, C_M の値は一周期を通じて一定と仮定して求めるが、共存場では円柱に対する流況の非対称性から、液と流れが同方向となる位相と逆方向となる位相とで後流渦の形成・流下の様子が異なり、 C_D, C_M の値も位相によって異なることが予想される。これを検討するために、実測流体力とそれに最も良く一致する計算流体力曲線を、流れがない場合と順流の場合について示したものが図4、図5である。ここで計算値は微小振幅波理論によるものであり、流体力の高次調波成分は考慮できないことを考えれば、図4の流れのない場合においては、計算値と実測値は良く一致していると見てよい。一方、図5の共存場の結果は、流れのない場合と比べて一致度は悪く、その偏差の傾向はこの順流の実験ケースにおいて、共通に見られるものであることもわかった。すなわち位相 $\pi/2$ 付近で実測値は計算値より小さく、位相 π と位相 $3\pi/2$ 付近で実測値は計算値より大きく、位相 0 と位相 2π で大きく異なる。図5で液の氷粒子速度と流れが同方向となる、 $0 \sim \pi/4$ と $5\pi/4 \sim 2\pi$ の位相間で C_M の値を大きくすると、抗力と慣性力の合力の計算曲線は実測値と良く一致する方向に移動する。これより流況の非対称性を考慮して、 C_D, C_M が位相により変化すると考えれば、共存場の流体力の変動特性を良く説明できると思われるが、今後さらに検討する必要がある。上記の改良法として、Reid のフィルターを用いて水面変動から u および $\dot{u}$ を計算し、最小自乗法から C_D, C_M を求めた。この方法はある程度波形の有限振幅性や非対称性を考慮でき、またデータの読み取りを計算機処理して精度を向上させたものであるが、やはり実測流体力曲線に計算値は、ある位相間で一定の傾向の偏差を持って一致しないことがわかった。

4. 結言 共存場における流体力の特性は、 Re 数、 $K-C$ 数および液と流れの流速成分比等により支配されると考えられる。本研究では共存場において流体力係数を評価する際の問題点を提起するにとどまったが、今後はこれらの諸量と C_D, C_M の変化特性を系統的に調べて明らかにするつもりである。最後に本研究は文部省科学研究費(特定研究(I)、代表者元良誠三東大教授)による研究の一部であることを付記し、謝意を表する。

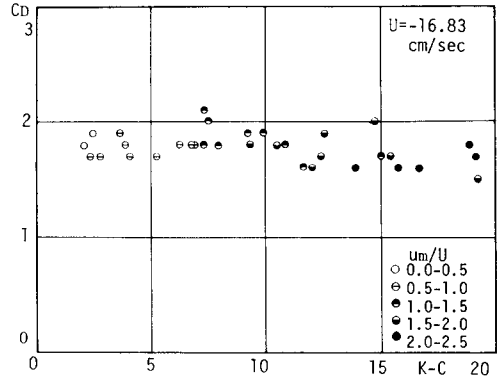


図2 最小自乗法より求めた抗力係数

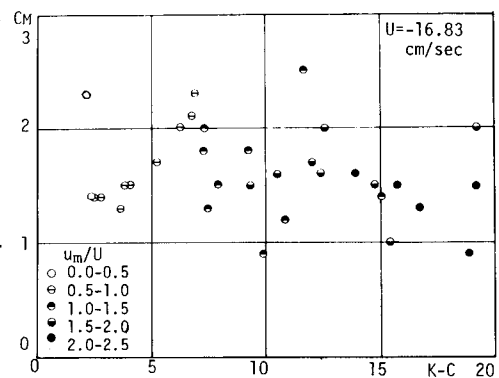


図3 最小自乗法より求めた慣性係数

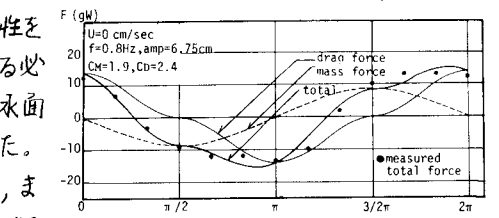


図4 実測流体力と計算値の比較(流れなし)

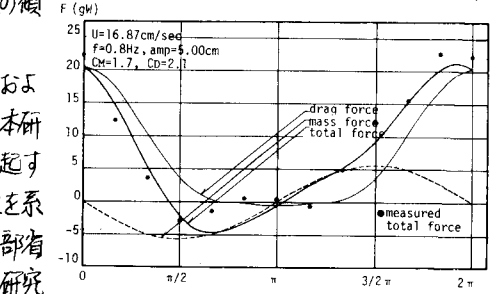


図5 実測流体力と計算値の比較(順流)