

直円柱に作用する波力

鳥取大学工学部 正会員 工博 野田英明
 大阪大学大学院 学会員 工修 〇松見吉晴
 戸田建設(株) 正会員 杉内仁志

1, はじめに 直円柱に作用する波力に関する研究は, Morisonらからはじまって, 今日まで数多くの研究が行われてきた。しかし, 波動現象の複雑さや波力に関する要素が多いため, Morison波力式中に含まれる抗力係数および慣性力係数ともに, 数多くの実験結果にもとづいて算定されたにもかかわらず, その結果には, ばらつきが大きくまだ明確な結論をうるにいたっていない。本研究では, Morison波力式中に含まれている抗力係数および慣性力係数を算定するに, 従来の研究に対して, 1) 実験装置(波力計の問題), 2) 実験方法(碎波および部分重複波の問題), 3) 実験資料の解析(波力モーメントの測定値に含まれる誤差の問題)という3つの問題点を改善して, 各係数を算定する試みを行ったのでその結果を報告する。

2, 実験結果の検討

図-1は, 抗力係数 C_D の値とReynolds数の関係を示したものである。なお, 本研究では, Reynolds数の代表流速として, 円柱中心位置に波の峯がきたときの静水面における水平水粒子速度を微小振幅波理論にもとづいて計算した値 U_{cs} を用いる。同図より, 本研究のReynolds数の範囲は狭いが, 上述した3つの問題点を考慮して算定した C_D の値のばらつきは, 従来の合田¹⁾, 山口らのそれと比べてかなり小さくなることわかる。このことより, 3つの問題点を考慮すれば C_D の値とReynolds数との関係をかなり明確に求めうると期待できる。ただ本研究に用いた実験水槽では広範囲のReynolds数について, これらの関係を検討できなかった。図-2は, 慣性力係数 C_M の値と $K-C$ 数の関係を示したものである。なお, $K-C$ 数の代表流速としては, Reynolds数と同様 U_{cs} を用いる。従来からいわれているように C_M の値が後流渦と関係するということと $K-C$ 数の変化によって再検証した結果, 渦が発生, 発達し始める $K-C$ 数が7付近まで C_M の平均値曲線は, ほぼ理論値2.0を示し, それより大きい $K-C$ 数では, 渦の発生, 発達にともなって C_M の値は減少することがわかる。また, 図中の中村の C_M の平均値は, 著者らのそれより0.1~0.6程度大きい。このことは, 中村も指摘しているように, その実験結果には円柱への液のはいがり効果の影響が含まれているため, 著者らの実験結果より大きい値を示していると推察される。上述した C_D および C_M の値は, 渦の影響を全く考慮していない。次に, 問題となるのは, 円柱後流域に発生, 発達する渦によって; C_D および C_M の値がどのように変化するかである。そこで, 著者らは渦の発生, 発達の過程を実験的に調べ, 渦と C_D および C_M の値との関係を検討した。

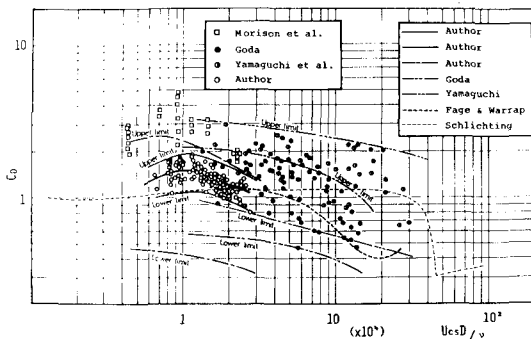


図-1 抗力係数 C_D とReynolds数の関係

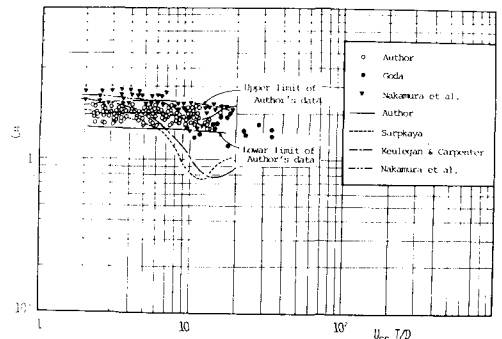


図-2 慣性力係数 C_M と $K-C$ 数の関係

3, 抗力係数および慣性力係数の渦による変化

図-3は、円柱まわりの流況を可視化することによって、渦の発生、発達、消滅の過程を示したものである。この図には、時間の経過を示すため水面の時間的変動および渦の位置、大きさを示す図も同時に示してある。渦の中心は、円柱中心からの角度 θ と距離 R によって、渦の大きさは、その半径 r によって示される。同図から明らかなように波の1周期において渦の発生、発達、消滅の過程から、この区間は、5区間に分けられ、区間ⅠおよびⅣで渦が発生して、区間Ⅱ、Ⅲ、Ⅴで渦が消滅する。ここで、 C_D および C_M の値に及ぼす渦の影響をみるため、前述した渦の発生しない区間ⅡおよびⅤに注目し、これらの値を検討しよう。いま、この区間の抗力係数および慣性力係数を上述のそれと区別するためにそれぞれ C_D^* および C_M^* と記することにする。 C_D^* および C_M^* は、この区間内の相異なる2つの位相とその位相での波力モーメントの測定値より簡単に算出できる。なお、渦の発生、発達に関する観察から本研究では、それらの位相を $\omega t = -5\pi/2$ および $\omega t = -\pi/3$ と定めた。ここで、渦の影響を含んだ C_D および C_M と含まない C_D^* および C_M^* の比較をするために、つぎの一種の相対的な違いを表わすパラメータを導入する。すなわち、 $D_c = (C_D - C_D^*)/C_D^*$ および $I_c = (C_M - C_M^*)/C_M^*$ である。図-4は、 D_c と $K-C$ 数との関係を示すものであって、ここに示した実験における Reynolds 数の範囲は、 $4.6 \times 10^3 \sim 1.6 \times 10^4$ である。同図より明らかなように若干のばらつきはみられるが、 $K-C$ 数の増加とともに D_c の値もやや増加する傾向がみられるとともに、 $C_D^* > C_D$ であることを示している。一方、図-5は、 I_c と $K-C$ 数との関係を示すものであって、顕著な傾向は、 $K-C$ 数の増加とともに I_c の値が増大することである。とくに、 $K-C$ 数10以上では、ばらつきが大きい、 I_c の値が急激に増加している。これは、 C_M^* の値が $K-C$ 数12~14付近から急激に減少することを示している。図-2は、渦の影響が入っていると考えられる C_M の値と $K-C$ 数の関係を示すものであって、この図では、 $K-C$ 数12~14付近でそれほど急激な減少はみられない。とこが、Keulegan Carpenter や Sarpkaya の結果では、この付近で急激な減少がみられ、 C_M^* の減少傾向と一致することがきわめて興味深い。いずれにしても D_c および I_c は、 $K-C$ 数の関数と考えてよいことがわかる。おわりに、渦の効果についてこれ以上の議論を展開するためには、どうしても渦の発生機構、内部機構の解明が必要であるが、現段階ではそれは非常に困難であり、各係数に対して渦の効果を上述したように評価することも工学的意義のあることと思われる。参考文献、1) Goda, Y.: Wave Forces on Vertical Circular Cylinder; Experiments and a Proposed Method of Wave Force Computation, Report Port and Harbour Tech. Res. Inst., No. 8, 1964, PP. 1-74. 2) 土屋義人, 山口正隆: 波にふる円柱の抗力係数および質量係数について, 第19回海岸工学講演会論文集, 1972, PP. 379-383. 3) 中村孝幸: 海洋構造物に作用する波力特性とその振動応答に関する研究, 大阪大学学位論文, 1977. 4) Keulegan, G.H. and Carpenter L.H.: Forces on Cylinders and Plates in an Oscillating Fluid, Jour. Res. N.B.S., Vol. 60, No. 5, 1958, PP. 423-440.

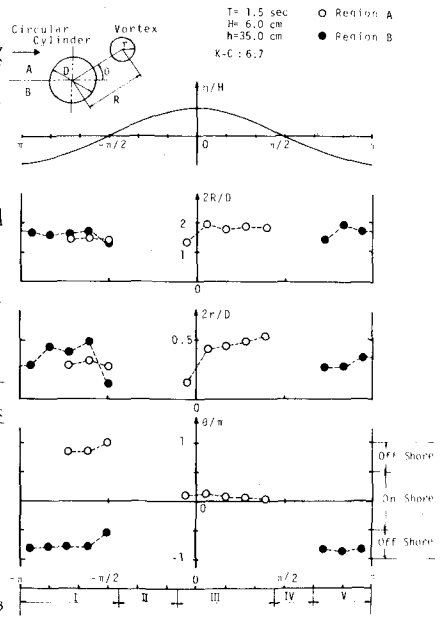


図-3 渦の発生・発達・消滅の過程

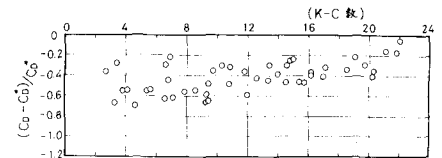


図-4 D_c と $K-C$ 数の関係

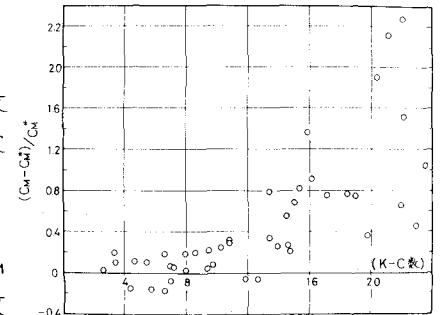


図-5 I_c と $K-C$ 数の関係

Car Carpenter や Sarpkaya の結果では、この付近で急激な減少がみられ、 C_M^* の減少傾向と一致することがきわめて興味深い。いずれにしても D_c および I_c は、 $K-C$ 数の関数と考えてよいことがわかる。おわりに、渦の効果についてこれ以上の議論を展開するためには、どうしても渦の発生機構、内部機構の解明が必要であるが、現段階ではそれは非常に困難であり、各係数に対して渦の効果を上述したように評価することも工学的意義のあることと思われる。参考文献、1) Goda, Y.: Wave Forces on Vertical Circular Cylinder; Experiments and a Proposed Method of Wave Force Computation, Report Port and Harbour Tech. Res. Inst., No. 8, 1964, PP. 1-74. 2) 土屋義人, 山口正隆: 波にふる円柱の抗力係数および質量係数について, 第19回海岸工学講演会論文集, 1972, PP. 379-383. 3) 中村孝幸: 海洋構造物に作用する波力特性とその振動応答に関する研究, 大阪大学学位論文, 1977. 4) Keulegan, G.H. and Carpenter L.H.: Forces on Cylinders and Plates in an Oscillating Fluid, Jour. Res. N.B.S., Vol. 60, No. 5, 1958, PP. 423-440.