

東京大学工学部○学生員 都築 進
東京大学工学部 正 員 渡辺 晃
東京大学工学部 正 員 堀川清司

1. 緒 論

海洋構造物等の水平部材の設置位置としては静水面下から静水面上まで多くの場合が考えられ、それぞれの場
合について波力を評価する必要がある。柱状部材に作用する波力の評価には、完全に水没した部材についてはモ
リソン公式が用いられてきた。しかし、モリソン公式の流体力係数についてはまだ不確かな点も多い。さらに静
水面近傍の部材の場合には、没水体積の変化による付加的な力が生じるため現象が複雑となり、波力の評価法も
まだ確立されていない。本研究では、水平円柱を対象として実験を行い、モリソン公式の流体力係数に対する評
価を行うと共に、静水面近傍の円柱に作用する波力の算定法に対しても考察を加えた。

2. 実験装置および実験条件

実験では、二次元造波水路で規則波を発生させ、三分力計に取り付けた直径5.0 cm、長さ20.0 cmのア
ルミ製中空円柱に作用する水平方向・鉛直方向波力を水面波形と共に実験した。

実験条件としては表-1に示すように、円柱の設置水
深を静水面下から静水面上まで計7通り、波の周期を
計4通り変化させた。

表-1 実験条件

水深 (cm)	60.0
円柱の設置 位置 (cm)	-20, -15, -10, -5, 0, 2.7, 5
周期 (s)	2.18, 1.76, 1.48, 1.28

但し、円柱の設置位置は静水面を基準。

3. 解析方法

(1) モリソン公式の流体力係数について

モリソン公式は、波力を抗力と慣性力の和として表わしたものである。ところで、抗力は柱体表面からの剥離渦
がもたらす非対称圧力に基づくものであり、剥離渦の発生と瞬間流速との間には一般に位相のずれがあると思わ
れる。従って抗力の表示に位相差 φ を考慮し、全波力 F に対するモリソン公式の表現として式(1)を採用した。

$$F = PC_M \frac{\pi}{4} D^2 l \dot{v}(\theta) + \frac{1}{2} PC_D l D v(\theta + \varphi) |v(\theta + \varphi)| \quad (1)$$

ここで、 ρ : 流体の密度、 D : 円柱直径、 l : 円柱長、 v : 流速、 θ : 位相角、 C_M : 質量係数、 C_D : 抗力係数
本研究では、モリソン公式に位相差を考慮しない場合の流体力係数と式(1)で表現される位相差を考慮した場合
の流体力係数および位相差を求めて、2つの無次元量レイノルズ数、クーリーガン・カーペンター数で整理した。
なお、流体力係数および位相差の計算方法には、実験波力と理論波力との差の一周期内二乗和が最小となるよう
にする、いわゆる最小二乗法を用いた。また、流体力係数の値は水平方向、鉛直方向それぞれについて求めるも
のとし、さらに実験波力波形と理論波力波形との一致がよくないものについては検討の対象から除いた。

(2) 静水面近傍の水平円柱に作用する波力の評価モデル

Kaplan & Silvert (1976) によると、没水体積が変化する円柱に作用する波力は、圧力勾配による力と付加
質量分の運動量変化による力の和として、没水断面積 A_i と付加質量 M_v を用いて次式で表現される。

$$F = \rho A_i l \dot{v} + d(M_v v) / dt \quad (2)$$

式(2)において M_v = 一定の場合を考えると、モリソン公式から抗力項を除いた式と等価になる。従って、式
(2)に抗力項を加えた次式(3)は、モリソン公式をも包含した波力の評価式といえよう。(但し円柱の投影断面長)

$$F = \rho A_i l \dot{v} + d(M_v v) / dt + \frac{1}{2} PC_D l D v |v| \quad (3)$$

本研究では、抗力の影響を無視した式(2)における付加質量 M_v の評価にKármán (1929) の着水衝撃モデル
を適用して理論波力を計算し、実験波力と比較することによりこのモデルに対する検討を行った。

4. 実験結果および考察

(1) モリソン公式の流体力係数について

図-1は、位相差を考慮しない場合の流体力係数とレイノルズ数、クーリガン・カーペンター数との関係を示したものであり、図-2は位相差を考慮した場合の流体力係数とレイノルズ数、クーリガン・カーペンター数との関係および位相差とクーリガン・カーペンター数との関係を示したものである。なお、ここで示した流体力係数は水平方向波力から求めたものであり、鉛直方向波力については、実験値と理論値との一致が悪いため、検討の対象から除いた。図-1、図-2によると、位相差を考慮した場合の流体力係数の値は位相差を考慮しない場合と比較してばらつきが大きい。これは、位相差のわずかな差が流体力係数に与える影響が非常に大であるためである。

(2) 実験波力とモリソン公式による理論波力について

図-3は、実験波力と、位相差を考慮しない場合と考慮した場合の理論波力とを水平、鉛直方向それぞれについて示したものである。図-3に示されているように、実験波力と理論波力との一致が特に鉛直方向で悪い理由としては、揚力による影響等が考えられる。そのことは、水平方向から求めた流体力係数を用いて求めた理論波力ベクトルを実験波力ベクトルから引いた残差波力ベクトルと、流速ベクトルとが各位相で直交していることから確認された。

(3) 静水面近傍の水平円柱に作用する波力の評価について

図-4は式(2)における付加質量 M_v をKármánのモデルで評価することによって計算した理論波力と実験波力とを、水平・鉛直両方向について示したものである。なお、図-4に示した波力は、浮力の影響を除いたものである。図-4に示されているように、この理論値は円柱が没水している状態で作用する力については過小評価の傾向を示しているが、これは抗力項を省略しているためと考えられる。また、円柱が水中から出る際の力については過大評価の傾向にある。これは、Kármánの着水衝撃モデルでは円柱が水中から出る際の付加質量の変化を精度よく評価できないためと考えられる。

5. 結論

- 1) 水中の水平円柱に作用する波力の水平成分についてはモリソン公式で十分表現でき、流体力係数はレイノルズ数、クーリガン・カーペンター数と共に変化する。ただし、鉛直成分については揚力の影響を無視できない。
- 2) 静水面近傍に位置する水平円柱に作用する波力は、圧力勾配による力に付加質量分の運動量変化による力を加えたモデルである程度表現できる。ただし、水面をよぎる円柱の付加質量と抗力項の評価法については、今後更に検討する必要がある。

参考文献 Kaplan & Silvert (1976): Impact forces on platform horizontal members in splash zone, O. T. C.

Kármán (1929): The impact of seaplane floats during landing, NACA TN 321

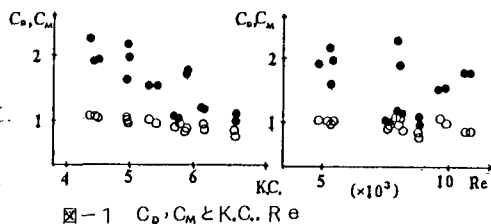


図-1 C_D, C_M と $K.C., R_e$

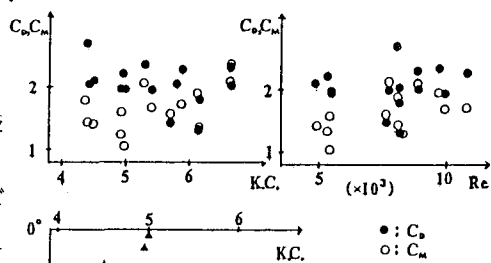


図-2 位相差を考慮した C_D, C_M, ϕ と $K.C., R_e$

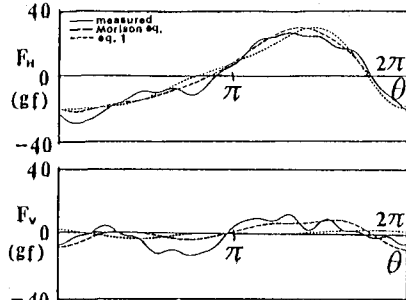


図-3 理論波力と実験波力

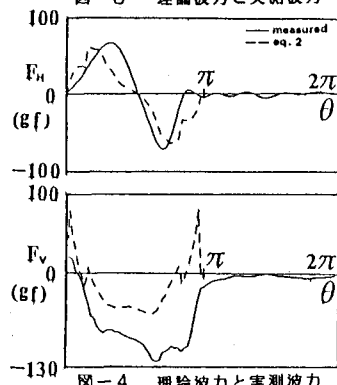


図-4 理論波力と実験波力