

愛媛大学工学部 正員 中村孝幸
大阪大学工学部 正員 雄水 亨

1. まえがき 既に著者らは、円柱海洋構造物に作用する波力について検討を加え、波の進行方向と直角な方向に作用する波力（揚力）が従来より取扱われてきた波の進行方向に作用する波力（直方向力）に比較して有意な大きさとなることやその卓越周波数が入射波の周波数に比較して高次周波数となることなどの特性を有することなどを指摘した。このように揚力が直方向力に比較して有意な大きさになってくると、円柱構造物に作用する波力の算定には、直方向力と揚力を考慮した合成波力としての取扱いが当然必要になってくる。

このような観点より、本報では直方向力については従来よりの算定式であるMorrison 波力式を、揚力については著者らが円柱構造物の振動応答を求める際に導いた4成分揚力式を用いて、これら両方向力による合成波力の推算を行ない、実測値との比較の上でその妥当性を検証したものである。

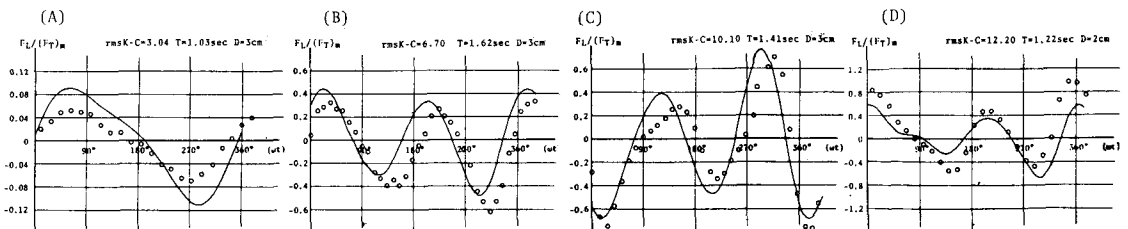
2. 揚力式についての検討

既に著者らは、円柱構造物の揚力による振動応答を求める際に、揚力の不規則性までも考慮した時間波形をあらわす4成分揚力式(1)式を提案した。

$$F_L(t) = \int_0^{H/2} \left\{ \frac{1}{2} C_{Lrms} \rho D U_m^2(z) \sum_{n=1}^4 \sqrt{\frac{S_L(n f_{wn}) \Delta f}{\sigma_z^2}} \cos(2\pi f_{wn} t - \epsilon_n) \right\} dz \quad (1)$$

ここに、 $F_L(t)$ は水深 h の位置に鉛直に設置された円柱全体に作用する揚力、 h は水深、 η は水面変動で $\eta = (H/2) \cos \omega t$ で与えられる。また、 C_{Lrms} は極値揚力のrms値に対する揚力係数、 ρ は流体密度、 D は円柱径、 $U_m(z)$ は水底より z の位置における水粒子水平速度の最大値、 $S_L(n f_{wn}) \Delta f / \sigma_z^2$ は波の n 倍周波数の揚力成分についての無次元スペクトル密度、 f_{wn} は波の周波数、 ϵ_n は η と各成分揚力との位相差である。

ここでは、直方向力と揚力とを考慮した合成波力を推算する上で必要となる(1)式の揚力算定式としての妥当性を実測値との比較の上で検討してみた。なお、(1)式による揚力の算定結果は、(1)式中に C_{Lrms} があらわれていることから推察されるように揚力の極値に関するr. m. s. 値という一種の平均的な値を与えることになる。そして、以下では構造物の動的応答を考慮しない場合の静的な設計に用いられると考えられる $1/10$ 最大揚力を推算する目的から(1)式中の C_{Lrms} のかわりに $C_{L0.1}$ を用いた式により揚力の算定を行なった。これらの算定結果並びに実測結果を波の1周期分について示すのが図-1である。図中で白丸が実測値を、実線が算定値をあらわしており、いずれも直方向力の極値の平均値 $(F_r)_m$ で無次元化して示した。ここで、図-1(A)~(D)はrms K-C数($U_{rms} T/D$)が3より12まで増大変化する場合の結果を示しており、rms K-C数の増大とともに高次周波数を有する揚力成分が卓越することから揚力の波形はより複雑になっていく。なお、実測値は対応する実験ケースの50秒間の揚力変動記録より、極値揚力の最大値付近の値が出現する部分を選び出して波の1周期分についてプロットしたものである。これらの図より、算定結果は実験結果と揚力の時間形状並び

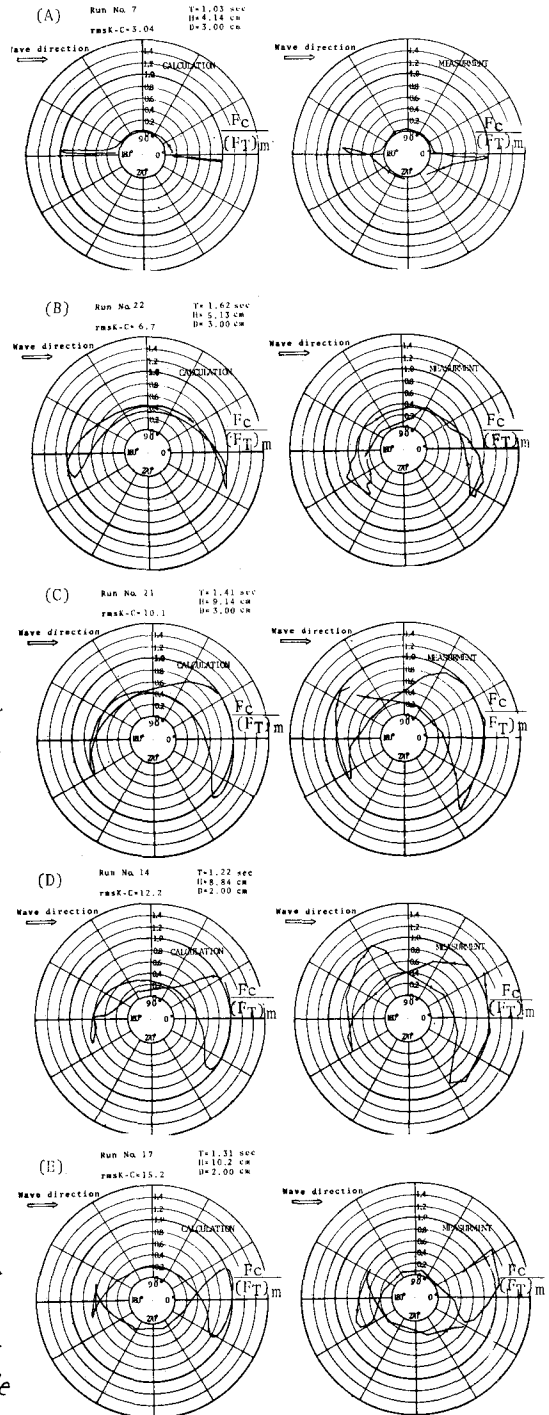


(図-1)

にその絶対値においてはほぼ一致しており、 C_L 方を用いた(1)式により極値揚力の最大値付近を含む揚力時間波形の推算が可能であると結論づけることができよう。

3. 合成波力について

直方向力については Morison 波力式を、揚力については C_L 方 を代入した(1)式を用いて合成波力の推算を行なった。これらの推算結果を示すのが 図-2 であり、同図中に比較のため右側に実験結果も示した。この図は、直方向力と揚力の合成ベクトルの頂点が波の1周期の間に描く軌跡を示すもので、図中 $\theta=0^\circ$ が波の進行方向に一致している。なお、図-2 においては、合成波力の大きさ F_c を2. と同様に直方向力の極値の平均値 $(F_T)_m$ で無次元化してあらわした。図-2(A)~(E)は、rms K-C数 が3~15へと増大する場合の合成波力ベクトルの描く軌跡の変化を示すものである。(A)は、rms K-C数 3の場合で、直方向力が揚力に比して卓越することから、 $F_c/(F_T)_m$ の極値は $\theta=0^\circ, 180^\circ$ の角度位置に出現している。また、(B)~(D)は、波の2倍周波数の揚力成分が卓越する場合で、 $F_c/(F_T)_m$ の極値の出現位置は rms K-Cの増大と共により広範囲に拡大しており、 $F_c/(F_T)_m$ の値が1に近い状態がより長く持続することになる。さらに(E)は、rms K-C数 15の場合で、波の3倍周波数の揚力成分が卓越する領域になっていることから、合成ベクトルの軌跡は円を3ヶ連ねたような形状になっている。この場合も $F_c/(F_T)_m$ が1に近い極値状態が比較的広範囲にわたっていることが認められる。そして、(A)~(E)の合成波力ベクトルの計算値と実測値を比較すると、合成ベクトルの軌跡の形状において多少の相違がみられるものの $F_c/(F_T)_m$ の極値の出現する角度位置はよく一致しており、揚力が不規則的な出現をすることを考慮するならば、Morison 波力式並に4成分揚力式 (C_L 方を代入した(1)式)を用いてはほぼ合成波力の推算が可能であると結論づけられよう。なお、上述した合成波力の推算法は、各円柱に作用する合成波力の方向が必要となる多柱式構造物の設計においてよりその有用性が発揮されよう。



(図-2)

参考文献) 1) Sawaragi T. et al : Characteristics of lift force on a circular pile in waves, Coastal Engineering in Japan, Vol. 19, 1976. 2) Sawaragi T. et al : Dynamic behavior of a circular pile due to eddy shedding in waves, Coastal Engineering in Japan, Vol. 20, 1977.