

II-295

没水球体に作用する二成分波の波力の波力係数に関する実験的研究

名古屋大学 正 員 岩田好一朗 ○ 水谷法美
名古屋大学 学生員 川角伸彦 都築克嘉

1. 緒言: 構造物に作用する不規則波の波力の特性を明らかにすることは、海岸・海洋構造物を設計する上で重要な課題である。二成分波は、不規則波の最も簡単な形であると考えられるため、二成分波による波力の特性を明らかにすることは、不規則波の波力の特性を検討する上で非常に重要である。著者らは、これまでに没水球体に作用する二成分波の波力の特性について検討を加えてきた^{1)・2)} これらの結果に対し、さらに詳細な検討を加えたのでその結果について報告する。

2. 水理実験: 実験は、名古屋大学工学部土木工学科の二次元鋼製水槽(25m×0.95m×0.7m)で行われた。静水深を3種類(h=70, 56, 40cm)、球の設置水深(d)をd=0.357h(h=70, 56cmに対して)、d=0.425h(h=40cmに対して)になるように決定した。発生波は、周波数が0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1Hzの規則波を二つずつ合成して得られる二成分波であり、周期の組合せを15種類、最大波高を10cmと20cmの2種類変化させ、計30種類の波を発生させた。全ての実験種目に対して、水位(η)、水平、鉛直方向の流速(u, w)、波力(F_x, F_z)の時間記録を同時に計測した。なお、水位を電気容量式水位計により、流速を電磁流速計により、波力をCantilever型波力計により計測した。本実験で使用した球は、直径(D)が2.5cmの合成樹脂性のものである。

3. 解析方法: 実験で得られた水位、流速、波力の時間波形をすべてサンプリングタイム0.05秒で離散化しMorison式((1), (2)式)中の波力係数をゼロダウクロス法によって定義される波ごとに最小自乗法により計算した。なお、加速度の時間波形を、流速の時間波形に時間微分に相当する数値フィルターをかけることにより計算した。

$$F_x = \frac{1}{8} C_{Dx} \rho \pi D^2 u \sqrt{u^2 + w^2} + \frac{1}{8} C_{Mx} \rho \pi D^3 \dot{u} \quad (1), \quad F_z = \frac{1}{8} C_{Dz} \rho \pi D^2 w \sqrt{u^2 + w^2} + \frac{1}{8} C_{Mz} \rho \pi D^3 \dot{w} \quad (2)$$

ここに、 C_{Dx} , C_{Dz} は抗力係数、 C_{Mx} , C_{Mz} は慣性力係数、 ρ は水の密度で、下付き添え字x, zはそれぞれ水平方向、鉛直方向に関する量を、また、上付きドット ($\dot{\cdot}$)は時間に関する微分を示す。本論では、このようにして得られた波力係数を前後の波の波高の相関係数 γ ((3)式)、波高の変動係数 δ ((4)式)などの波の時系列特性と関連づけて検討を加えた。

$$\gamma = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (H_i - \bar{H})(H_{i+1} - \bar{H}) / \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2} \quad (3), \quad \delta = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2 \right\}^{1/2} / \bar{H} \quad (4)$$

ここに、 H は波高、 $\bar{H}$ は平均波高、 N は波の数で、添え字 i は i 番目の波を示す。

4. 結果および考察: 著者らは、二成分波の波力の特性について検討を加え、その結果、波高が増大する過程(波高増大過程)の波の慣性力係数は、波高が減少する過程(波高減少過程)の波の慣性力係数に比べ全体的に大きくなることを指摘した²⁾ これらの傾向は、前後の波の波高の相関係数 γ が小さい方が明瞭であった。しかし、その原因の詳細については明らかにされていない。本論は、その原因について若干の考察を加えたものである。図-1は、水位変動、波力、流速、加速度の時間変化の一例を示したものである。ただし、それぞれの最大値で無次元化してある。同図より、波力の時間波形の位相は加速度の時間波形の位相に非常に近く、また、波形もほとんど相似であると見なせる。したがって、本実験の範囲では、抗力より慣性力が支配的であったことがわかる。図-1より、波高増大過程の波の無次元波力に比べ、波高減少過程の波の無次元波力は無次元加速度に比べて全体的に小さい。これは、上述したように本実験で支配的であった慣性力の係数が、波高増大過程の値より波高減少過程の値の方が小さいためであり、このことから同じ加速度の波であっても波高減少過程より波高増大過程の波の方が波力は小さくなることが指摘できる。本実験のKeulegan-Carpenter数($=\sqrt{2}u_{rms}T/D$, ここに、 T は波の周期、以下K.C.数と称する)の範囲はほとんどが8程度以下であり、別に行った可視化実験の結果³⁾よりこの領域では渦の発生もあまり認められていない。したがって、抗

力は、渦の発生にともなう圧力の非対称性に基づく力よりもむしろ水の粘性による球表面での摩擦力が支配的であると考えられる。水平床での底面摩擦力の場合、摩擦力の位相は流速の位相よりも $\pi/4$ だけ先に進むことが知られている。また、波動場中の直立円柱表面に形成される境界層内の流速も主流に比べ位相が先に進むことが報告されている⁴⁾。球表面での摩擦力も同様に位相が流速より進むと仮定すれば、波力をMorison式で計算する以上、慣性力にも摩擦力は含まれることになる。ところで、図-1より、波高増大過程では、無次元流速の最大値は、無次元加速度の最大値よりもより全体的に大きく、逆に、波高減少過程では、無次元流速の方が小さいことが認められる。球表面での摩擦力が、慣性力にも含まれるならば、同じ加速度であっても相対的に流速が大きい波高増大過程では、波高減少過程より慣性力に含まれる摩擦力の大きさは、大きくなることが考えられる。図-2は、慣性力係数 C_{MX} とK.C.数の関係を示したものである。図中白又きの記号は、無次元加速度よりも無次元流速の方が大きい値を示し、黒塗の記号は、無次元加速度よりも無次元流速の方が小さい値である。同図より、慣性力係数の値は、全体的には、K.C.数の変化によらず一定値を取るよう見えるが、K.C.数が2~7の範囲で値が上下に分かれていることがわかる。特に、上側の値は、白又きの記号、すなわち無次元流速の方が、無次元加速度より大きい値となっており、その傾向は、波高の大小関係で分類した場合²⁾より明瞭になっていることがわかった。また、粘性の影響がより大きいと考えられるReynolds数 $(=\sqrt{2}u_{rms}D/\nu)$ 、 ν は水の動粘性係数)が小さい波の方が同じK.C.数に対する C_{MX} の差は大きい。したがって、上述したように球表面での摩擦力が慣性力にも含まれており、その大きさが、波高増大過程の方が、波高減少過程より相対的に大きいために、慣性力係数、あるいは波力の大きさが変化するものと考えることができよう。一方、抗力係数 C_{DX} とK.C.数の関係を図-3に示す。図-3より、抗力係数も無次元流速が大きいものと小さいもので値が上下に分かれることが認められるが、慣性力係数の場合と比べてあまり明瞭ではない。また、紙面の都合上ここには図示していないが、上下の関係が逆転する場合もありその特性は慣性力係数の場合より複雑である。したがって、抗力係数の特性については、波の時系列の影響についてさらに検討をする必要がある。また、波高増大過程と波高減少過程の波力の差、および、慣性力係数の差は、波高の相関係数 γ によって変化することは、上でも述べたが、波高の変動係数 δ によっても変化し、 δ が大きい方が同じ γ の値であってもその差は明瞭となることも明らかとなった。

5. 結言： 以上、二成分波の波力特性、特に波力係数の特性について検討を加えてきた。その結果、波力には、波の時系列特性が影響をおよぼしていることが指摘された。今後、不規則波の波力に及ぼす波の時系列特性の影響についても議論して行く所存である。

参考文献 1)岩田・水谷,第42回年講,1987.
2)岩田・水谷・都築,昭和62年度中部支部年講,1988.
3)岩田・水谷・川角,第35回海講論文集,1988(投稿中).
4)岩垣・石田,第21回海講論文集,1974.

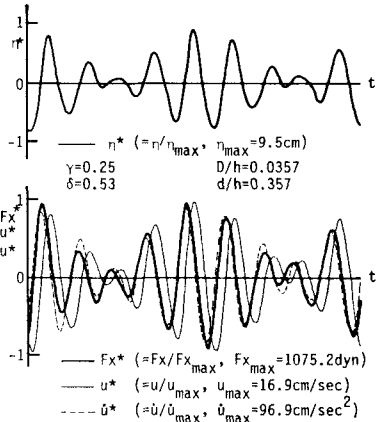


図-1 水位変動、波力、流速、加速度の時間波形の一例

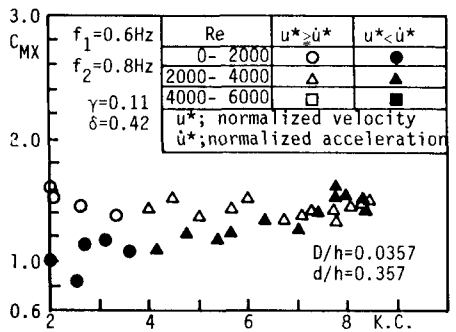


図-2 C_{MX} とK.C.数の関係の一例

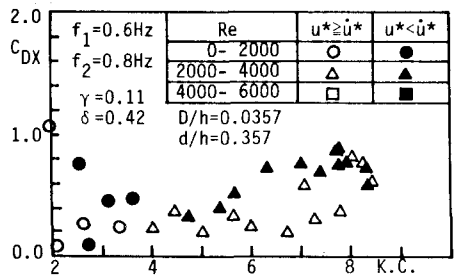


図-3 C_{DX} とK.C.数の関係の一例