

没水球体に作用する二成分波の波力特性

名古屋大学 正 岩田 好一郎

名古屋大学 学 水谷 法美

愛知工業大学 学 ○都築 克嘉

1. 緒言: 構造物に作用する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である。現地波浪が不規則波であることから、不規則波の波力特性を調べることは、特に、不規則波と規則波の波力の特性における差異を明らかにすることは、工学上重要である。二成分波は、不規則波の最も簡単なものとみなせるので、二成分波による波力の特性を明らかにすることは、波力に及ぼす波の不規則性の影響を検討する上で基本的に重要であると考えられる。著者のうち、岩田・水谷は、球体に作用する二成分波の波力の特性を検討し¹⁾、波力の特性に前後の波の相関が影響を及ぼしている可能性のあることを指摘した。本研究では、さらに詳細な水理実験を行ない、二成分波による波力の特性に検討を加えたので、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長さ25m、幅0.7m、高さ0.95mの二次元鋼製水槽で行われた。計測は、波力をCantilever型波力計により、流速を電磁流速計により、水位を容量式水位計により行われた。球の直径(D)は、2.5cmで一定とした。

静水深(h)と球の設置水深(d)は、h=70cmのときにd=-25cm、h=54cmのときにd=-20cm、h=40cmのときにd=-17cmで行われた。発生波は、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0、1.1 Hzの6つの周波数の規則波を各々二つずつ合成し、波高を二種類変化させて、計30種類の合成波を各水深について作用せしめた。

3. 解析方法: 実験で得られた水位、流速、波力の時間波形を、全てサンプリングタイム 0.05秒で離散化し、無次元最大波力などの無次元量を計算した。また、波力算定式としてMorison式(1)、(2)を採用して同式中の流体力係数を最小自乗法により計算した。

$$F_{1x} = \frac{1}{8} C_{D1x} \rho \pi D^2 u \sqrt{u^2 + w^2} + \frac{1}{6} C_{M1x} \rho \pi D^3 \dot{u} \dots (1)$$

$$F_{2x} = \frac{1}{8} C_{D2x} \rho \pi D^2 w \sqrt{u^2 + w^2} + \frac{1}{6} C_{M2x} \rho \pi D^3 \dot{w} \dots (2)$$

ここに、 C_{D1x} 、 C_{D2x} は水平、及び鉛直方向の抗力係数、 C_{M1x} 、 C_{M2x} は水平、及び鉛直方向の慣性力係数であり、 ρ は水の密度、 u と w は水粒子の水平、及び、鉛直方向の速度、 \dot{u} と \dot{w} は水粒子の水平、及び鉛直方向の加速度を表す。なお、加速度を流速の時間波形に数値微分に相当する数値フィルターをかけて計算した。これらの諸量はゼロダウンクロス法によって定義された波ごとに計算された。

波の不規則性を表す量として次式で示される前後の波の相関係数 r を取り上げ、前後の波の相関が波力に及ぼす影響について検討した。

$$r = \frac{1}{\sqrt{1-N}} \frac{\sum_{i=1}^{N-1} (H_i - \bar{H})(H_{i+1} - \bar{H})}{\sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2} \dots (3)$$

ここに、 \bar{H} は平均波高、 N は波の数、添字 i は i 番目の波高を示す。

本論では更に、波別解析された波ごとの流体力係数を、波の時系列記録と対応させて検討した。

4. 実験結果及び考察: 岩田・水谷は、球体に作用する二成分波による波力が、規則波による波力に比べ若干小さくなること、特に抗力は、二成分波と規則波の差が大きめということを指摘しており、その原因として前後の波の相関が関係している可能性があることを挙げている。

本研究では、水深、二成分波の周期の組合せについて、更に詳細な検討を加えてみた。その結果、上述した様な相関係数 r による差は、明瞭には認められなかった。しかし、波別解析された波ごとの流体力係数を、波の時系列記録と対応させて検討した結果、次の様な傾向が見られた。

図1に、波の時系列記録に対する流体力係数の関係を示す。图中、K.C.は、K.C.数($U_{max}T/D$)。Re はレイノルズ数($U_{max}D/\nu$)である。なお、 U_{max} は水平方向の最大水粒子速度、 ν は水の動粘性係数、 T は波の周期を表す。白抜きの記号はK.C.数が増加してきたことを表し、黒塗りの記号はK.C.数が減少してきたことを表している。周期はほぼ一定とみなせたので、K.C.数の変化は、波高の変化としてほぼみなすことができる。

K.C.数と抗力係数の関係を、波高の時系列記録で整理して図2に示す。図2より、K.C.数が3付近から8付近の間の中間のK.C.数については、同じK.C.数、即ち同じ波高の波であっても、抗力係数の値は二種類に変化することが認められる。具体的には、前の波に比べてK.C.数が増加した時の抗力係数の値は、前の波に比べてK.C.数が減少した時の値に対して、同じK.C.数の波であるにもかかわらず、全体的に小さい値をとる。このことは、前後の波の相関の如何によって、球体周囲の境界層、流線の乱れ、渦形成の機構に差異があることを指摘するものと思われる。

つぎに、K.C.数と慣性力係数の関係を、波高の時系列記録で整理して図3に示す。同図より、慣性力係数についても抗力係数と同様に、同じK.C.数、あるいは、同じ波高の波であっても、値が二種類に変化することが認められる。しかし、慣性力係数の場合には、抗力係数の場合とは逆に、前の波に比べてK.C.数が増加した時の慣性力係数の値の方が、同じK.C.数の波であっても全体的に大きな値をとる。慣性力係数のこのような変動は規則波には見られなかったことである。このことは、球体周囲の流線の乱れ、渦の存在が、球体周囲の圧力変動、水粒子の加速度に影響を及ぼすことが考えられるが、現在の段階ではまだ明らかではない。

上述した様な、波が大きくなる時と小さくなる時で抗力係数、慣性力係数の値が異なる現象と、前後の波の相関係数 γ との関係を調べると、 γ が負のものは、正のものに比べ、値の変化の度合が明瞭になる傾向がある。また、これらの傾向は、抗力係数よりも、慣性力係数の方が比較的顕著であった。その原因のひとつとしては、 γ が波の時系列記録のばらつきを示すことを考えると、球体周囲の流況の差異が指摘出来るが、また明らかな段階ではなく、可視化等によって検討を加えなければならない。なお、Re数が小さい時の方が、波が大きくなるときのと小さくなるときの流体力係数の値の差は、大きくなる傾向が数ケースでみられたが、あまり明瞭ではなく、この点についても更に広範囲の実験を行い検討する必要がある。

5. 結言: 以上、議論してきた結果、同じK.C.数であっても、前後の波の相関によって流体力係数の値が変化することが確かめられた。今後更に検討を加えていく所存である。

参考文献 1) 岩田・水谷; 没水球体に作用する二成分波による波力の特性に関する一考察, 土木学会第42回年講

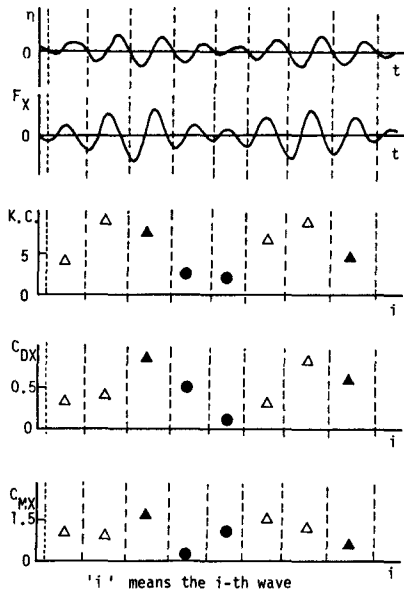


図1 波高、波力、K.C.数と流体力係数の関係

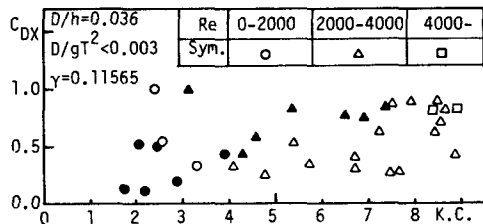


図2 K.C.数と抗力係数の関係

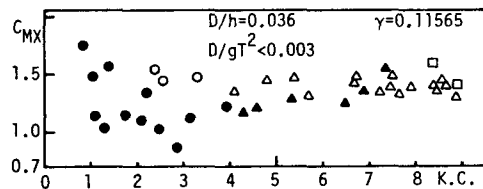


図3 K.C.数と慣性力係数の関係