

没水球体に作用する不規則波の波力特性に関する実験的研究

名古屋大学工学部 正員 岩田好一朗 ○水谷法美
名古屋大学研究生 正員 都築克嘉

1. 緒言: 著者らは、不規則波の最も簡単な形である二成分波を取り上げ、没水球体に作用する波力に及ぼす波の不規則性の影響について検討を加えた¹⁾。その結果、没水球体に作用する波力の大きさは、波高が増大する過程(波高増大過程)の波と波高が減少する過程(波高減少過程)の波では大きさが異なること、そして、これには前後の波の波高の相関、波高の変化が影響を及ぼしていることを指摘した。本研究は、更に不規則波による波力特性について、水理実験を行い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(25mx0.95mx0.7m)で行われた。静水深 h を70cmで一定に保ち、球の設置水深(d)を $d=0.212, 0.425h$ の二種類変化させた。発生波は、ブレットシュナイダー型スペクトルを期待スペクトルとする7種類の不規則波である。合計14ケースの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。本実験で使用了球は、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、無次元最大波力などの無次元量、Morison式((1),(2)式)中の波力係数をゼロダウングロス法によって定義される波ごとに計算した。なお、波力係数の計算法は最小自乗法を使い、加速度の時間波形は、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されたものを使用した。

$$F_x = \frac{1}{8} C_{Dx} \rho \pi D^2 u \sqrt{u^2 + w^2} + \frac{1}{6} C_{Mx} \rho \pi D^3 \dot{u} \quad (1), \quad F_z = \frac{1}{8} C_{Dz} \rho \pi D^2 w \sqrt{u^2 + w^2} + \frac{1}{6} C_{Mz} \rho \pi D^3 \dot{w} \quad (2)$$

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無次元最大波力、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。なお、不規則波では、 γ, δ の値は波別解析波ごとに異なるため、 γ, δ の値を前後2波づつを含めて合計5波の値をそれぞれの波別解析波に対して計算した。

$$\gamma_i = \frac{1}{5} \sum_{k=i-2}^{i+2} (H_k - \bar{H})(H_{k+1} - \bar{H}) / \frac{1}{5} \sum_{k=i-2}^{i+2} (H_k - \bar{H})^2 \quad (3), \quad \delta_i = \left\{ \frac{1}{5} \sum_{k=i-2}^{i+2} (H_k - \bar{H})^2 \right\}^{1/2} / \bar{H} \quad (4)$$

ここに、 H は波高、 $\bar{H}$ は平均波高で、添字 i は i 番目の波を示す。

4. 結果および考察: 図-1は、不規則波の波別解析波の C_{Mx} とK.C.数($\sqrt{2}u_{rms}T/D$)の関係を示した一例である。同図では、前の波との波高の大小関係、無次元流速の最大値(u_m^*)と無次元加速度の最大値($\dot{u}_m^*$)の大小関係の両方により値を区別した。不規則波の C_{Mx} の値は、規則波の値のまわりにばらつく傾向がある。これは、二成分波の場合と同様に、波の不規則性の影響である。しかし、不規則波の場合は、二成分波の場合と異なり、波別解析波ごとに波高の相関、変動の大きさが異なるために、二成分波のような明瞭なループ状の分布にはならない。不規則波の場合は、二成分波の場合と異なり、波高増大課程の波であつても必ずしも無次元流速が無次元加速度よりも大きくなるため、前の波との波高の大小関係のみに着目しても、また、無次元流速と無次元加速度の大小関係のみに着目しても明瞭な傾向は認められない。しかし、波高増大過程の波で無次元流速の方が無次元加速度よりも大きい波の値は、波高減少過程の波で無次元流速が無次元加速度よりも小さくなる波の値よりも大きくなることが確かめられた。波高増大過程の波で無次元流速が無次元加速度よりも小さくなる波、あるいは、波高減少過程の波で無次元加速度よりも無次元流速の方が小さくなる波の多くは、左右あるいは、上下非対称な波であるか、周期が前の波と大きく異なる波で、無次元流速と無次元加速度の時間波形は二成分波の場合のように相似にならない波であることが認められた。したがって、

波力に及ぼす波の不規則性の影響は、流速・加速度の相対的な大きさの差による粘性抵抗力、あるいは、剥離渦の影響の差の他に、波の非対称性による流速、加速度の時間波形の非相似性の影響も指摘できる。

つぎに、 C_{Nx} とK.C.数の関係に及ぼす波高の相関係数と変動係数の影響について考察する。図-1からはあまり明瞭ではないが、 γ が小さく、 δ も大きい波の値はばらつきが大きいことが認められた。したがって、二成分波の波力に対して指摘されているように、波高の変化が大きい波は、波力係数のばらつきが大きくなることは不規則波の場合でも指摘できる。二成分波の場合に比べて、 γ 、 δ による差があまり明瞭でないのは、 γ 、 δ には、波の非対称性、あるいは周期の変動の影響が含まれていないことの影響が原因の一つとして挙げられる。したがって、波の不規則性にこれらの影響を考慮する必要があることが指摘できる。

図-2は、 C_{Dx} とK.C.数の関係の一例を示したものである。同図からも、全体的には、慣性力係数の場合と同様に、規則波の値の周りにばらつく傾向があることが認められる。抗力係数の場合も、波高の大小関係、あるいは、無次元流速と無次元加速度だけでは明瞭な差は認められないが、波高増大過程の波で流速が相対的に大きくなる波は、波高減少過程の波で流速が相対的に小さくなる波の値よりもK.C.数の小さい範囲では大きく、また、K.C.数が大きい範囲では小さくなるという二成分波の場合と同様の傾向が一般的な傾向として認められた。

図-3は、x方向の無次元最大波力($F_{Nx}/\rho(u^2+w^2)_m D^2$)とK.C.数の関係を示した一例である。無次元最大波力は全体的にはK.C.数が約10以下の範囲ではK.C.数の-1乗に比例して減少し、K.C.数が約10以上の範囲ではほぼ一定値になる傾向が認められた。また、無次元最大波力はK.C.数が約10以下の範囲で、無次元流速が無次元加速度よりも大きくなる波の値が全体的に小さな値となる傾向がある。これは、この範囲の波力は慣性力が支配的であるため、波力が加速度に比例しているのに対して、波力を無次元化するのが流速の2乗であり、その流速が加速度よりも相対的に大きくなっているからである。この結果は二成分波の場合と同様である。

したがって、波力を無次元化する場合に波の時系列特性の影響を考慮することが重要であることが指摘できる。

5. 結言: 以上、不規則波の波力特性について検討を加えてきた。その結果、不規則波の波力には、波高の相関係数 γ 、変動係数 δ の他に、波の非対称性、周期の変動が波力に影響をおよぼしていることが指摘された。今後、これらの影響を定量的に評価し、不規則波の波力に及ぼす波の不規則性の影響についてさらに検討を加えていく所存である。

参考文献 1) 岩田・水谷・都築, 土木学会論文集(投稿中)

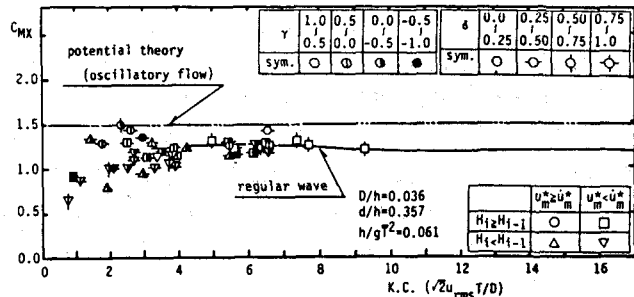


図-1 C_{Nx} とK.C.数の関係

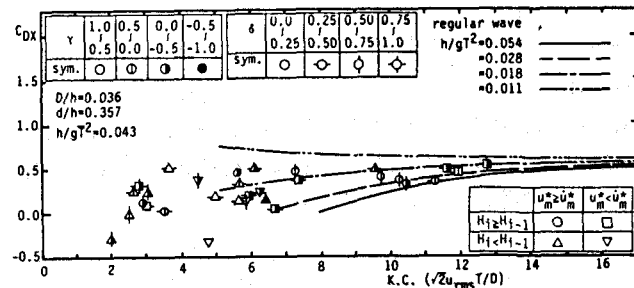


図-2 C_{Dx} とK.C.数の関係

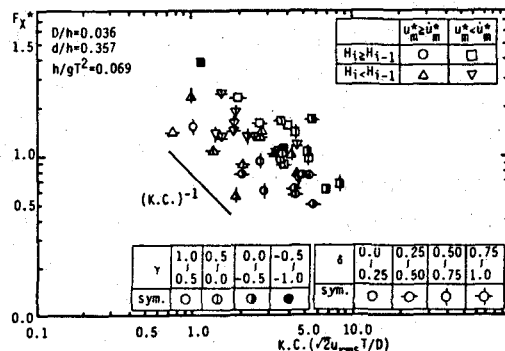


図-3 無次元最大波力とK.C.数の関係