

## 没水球体に作用する揚力の特性に関する実験的研究

名古屋大学工学部 正 岩田好一朗 名古屋大学工学部 正 水谷法美  
名古屋大学大学院 学〇 原 基久 名古屋大学工学部 学 小林 誠

**1. はじめに：** 著者らは、球径が入射波長に比して小さい場合の没水球体に作用する波力について、抗力・慣性力に代表される流れ方向の力を中心に検討を加えてきた<sup>1)</sup>。本研究は、波の変形が小さい場合に支配的な波力の一つであり、従来よりあまり検討されていない揚力について、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(25m×0.7m×0.95m)で行われた。静水深(h)は70cmで一定とし、入射波の周期(T)を4種類(1.15, 1.5, 2.0, 2.5秒)、波高(H)を7種類(3~15cm)変化させた。それぞれの発生波に対して、球体の直径(D)を3種類(6.36, 2.5, 0.95cm)、球体の設置水深(d)を静水面下12.5, 25.0, 37.5, 50.0cmの4種類変化させた。それぞれのケースに対して、異なる二点で、水位変動( $\eta$ )とx, z方向の流速u, w, 水位変動とx, y, z方向の波力Fx, Fy, Fzを同時に計測した。なお、xは、波進行方向を正とする水平軸、zは静水面上に原点を持ち、鉛直上向きを正とする鉛直軸で、yはx, z軸に直行する水平軸である。

**3. 解析方法：** 実験で得られた全ての時間波形をサンプリングタイム0.05秒で離散化し、揚力Fyの最大値とFx, Fzの最大値の比、および無次元最大揚力などの無次元量を計算した。また、FFT法によってFyの振幅スペクトルを512個のデータを使って計算し、n次の揚力係数を式(1)で計算した。

$$CL_n = (F_{ynRMS}) / \rho (u^2 + w^2)_m D^2 \quad (n=1, 2, 3) \quad (1)$$

ここにCL<sub>n</sub>はn次の揚力係数、F<sub>ynRMS</sub>は揚力のn次成分のRMS値、添字mは最大値を示す。

**4. 実験結果及び考察：** 図-1に無次元最大揚力( $F_{ym} / \rho (u^2 + w^2)_m D^2$ )とx方向のK.C.数( $u_m T / D$ )との関係を示す。無次元最大揚力は全体的には、K.C.数が増加するにともない、ほぼ(K.C.数)<sup>-1</sup>に比例して減少することがわかる。これは、揚力の最大値はx方向の流速、つまり波高に比例することを示す。揚力は、球表面での摩擦力がy方向で非対称になること、また、剥離渦の非対称性により圧力が非対称になることにより発生すると考えられるが、図-1の結果より、これらの非対称性は流速に比例して大きくなることになる。また、無次元最大揚力は、Fx, Fzの場合と異なり、同じK.C.数に対しては、D/hが小さくなるほど大きくなる。D/hが小さくなることは、Reynolds数が小さくなることになり、そのため、粘性の影響が大きくなることが考えられる。

図-2は、Fyの最大値F<sub>ym</sub>とFxの最大値F<sub>xm</sub>との比を示したものである。D/h=0.091の場合は、F<sub>ym</sub>/F<sub>xm</sub>は小さく、ほとんどが0.1以下であったため、同図にはD/h=0.036, 0.014の場合のみを示した。F<sub>ym</sub>/F<sub>xm</sub>はK.C.数がほぼ10以下の範囲では、ばらつきが大きいものの、大半が0.1~0.2の間で一定値をとる。これは、この範囲では、Fx, Fyがともに波高に比例しているためである。そして、渦の吐出しが顕著になるK.C.数が約10を越えるあたり<sup>1)</sup>からその値は小さくなっていく。これは、F<sub>ym</sub>が波高に比例するのに対して、F<sub>xm</sub>はK.C.数が10を越えたあたりから波高の2乗に比例するため、FyがFxに比べて小さくなるためである。またこの結果より抗力が卓越し、波高の増大による波力の増大の割合が大きくなる範囲では、揚力の影響は小さくなることを示すものである。

図-3はF<sub>ym</sub>とz方向波力の最大値F<sub>zm</sub>の比F<sub>ym</sub>/F<sub>zm</sub>とz方向のK.C.数( $w_m T / D$ )を示したものである。同図からも、図-2と同様な傾向が認められるが、その値は図-2に示されるF<sub>ym</sub>/F<sub>xm</sub>の値に比べかなり大きく、1.0を越えるものも多い。また、x方向とz方向の水粒子の運動の大きさの比が小さなものほど値が大きくなる傾向がみられる。これは、楕円比が小さくなるほどz方向の水粒子の運動は小さくなり、それにともないz方向波力が小さくなることが原因である。これらの結果より、揚力の発生機構にはx方向の水粒子の運動が大きく寄

与していると考えられる。

つぎに、揚力の時間波形について議論する。図-4に、揚力の時間波形の一例を示す。揚力の時間波形には、基本周波数成分だけでなく、高次の周波数成分の波力が多く含まれており、不規則な変動をしていることが認められる。この波力の周波数特性を議論するために、式(1)で計算されるCL1~CL3とK.C.数の関係を図-5に示す。CL1~CL3はいずれもばらつきが大きいものの、K.C.数の増加にともない減少する傾向がある。そして、その大きさは、ほぼ同じ程度であることがわかる。これらの結果より、揚力の発生機構と考えられる摩擦力、あるいは圧力の非対称性は複雑な振動をしていることが指摘できる。

**5. おわりに：** 以上、没水球体に作用する揚力の特性について検討を加えてきた。その結果、揚力の大きさはx方向波力の5割程度、z方向波力の2倍程度にまでなる場合もあり、無視することのできない量であることが確認された。また、その時間波形には高次周波数成分が多く含まれており、非常に複雑である。本研究では、この揚力について定量的に評価するには至っていない。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, 土木学会論文集 (投稿中)

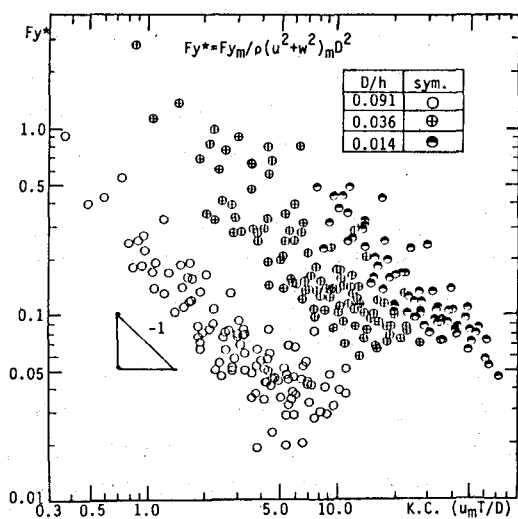


図-1  $Fy_m / \rho (u^2 + w^2)_m D^2$  と K.C. 数の関係

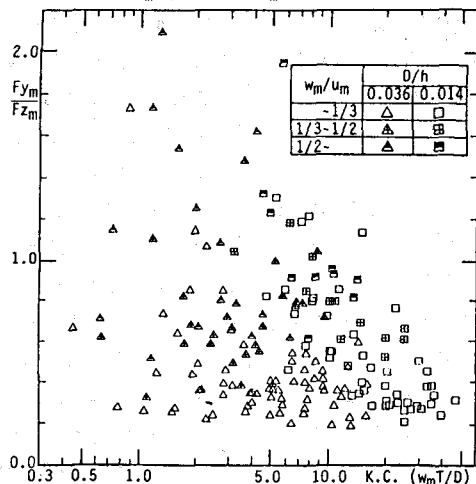


図-3  $Fy_m / Fz_m$  と K.C. 数の関係

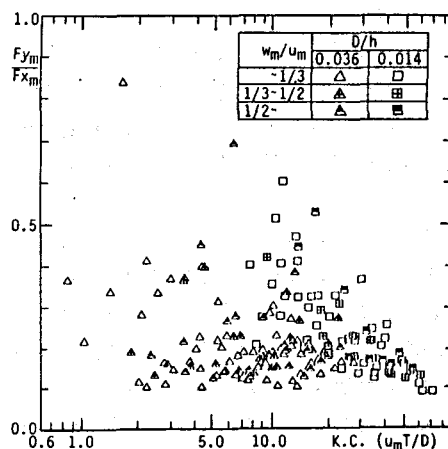


図-2  $Fy_m / Fx_m$  と K.C. 数の関係

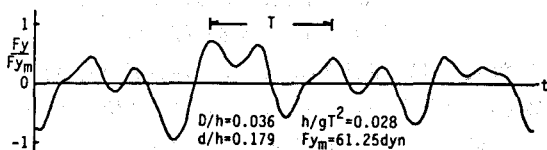


図-4  $Fy$  の時間波形の例

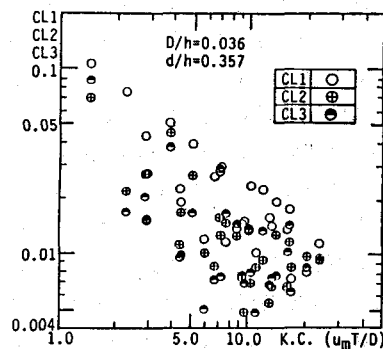


図-5 CL1, CL2, CL3 と K.C. 数の関係