

没水球体に作用する回折波力

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
 名古屋大学研究生 正〇都築克嘉 名古屋大学大学院 学 松岡滋治

1. はじめに： 構造物に作用する波力は、構造物の代表径が入射波長に比して大きくなると、波の変形が大きくなり、回折波力が支配的となる。本研究では、従来より未解明であった没水球体に作用する回折波力の特性的について検討を加えたのでその結果について報告する。

2. 数値計算： 図-1に示されるように、一定水深 h の水域に、 $(x, y, z) = (0, 0, -d)$ に中心を持つ半径 a の球体が固定されているとする。この水域に、波高 H 、角周波数 $\sigma (=2\pi/T, T$ ：波の周期)の微小振幅波が、 x の負の方向から入射してくる場合を取り扱う。

本研究では、没水球体による回折波の速度ポテンシャル ϕ_0 をハイブリッド法¹⁾を準用して計算した。ハイブリッド法は、球体の中心を通る鉛直軸を中心とする半径 A の円筒状の仮想境界面により、この水域を仮想境界面の外部と内部に二分し、外部領域(0)における回折波の速度ポテンシャル ϕ_{00} に対しては解析解を求め、内部領域(1)における回折波の速度ポテンシャル ϕ_{01} に対しては、数値解析解を全ての境界条件を満足するように求め、両者を仮想境界面上で接続させることにより、全領域の速度ポテンシャル $\Phi = (\phi_1 + \phi_0)e^{-i\sigma t}$ 、 ϕ_1 は、入射波の速度ポテンシャルで、微小振幅波理論の解を与える)を求める方法である。なお、計算の際の要素の分割幅は、自由表面、底面では $L/20 \sim L/30$ 、仮想境界面では $h/20$ 、球体表面では $\pi a/20$ とした。

3. 解析方法： 本研究では、球体に作用する波力を、入射波の成分、回折波の成分および両者の和の3種類計算した。それぞれの成分を、 F_i 、 F_D 、 F_T で表わし、作用方向を添字 $i (=x, z)$ で表すと次式で与えられる。

$$F_{Ti} = \text{Re}(i\rho\sigma \int_{S_S} \phi_{01} n_i dS \cdot e^{-i\sigma t}) \quad (1)$$

$$F_{Di} = \text{Re}(i\rho\sigma \int_{S_S} \phi_{00} n_i dS \cdot e^{-i\sigma t}) \quad (2)$$

$$F_{Ti} = F_{Ti} + F_{Di} \quad (3)$$

なお、 ρ は水の密度、 n_i は i 方向の方向余弦である。また、これらの波力を更に定量的に評価するために、次式で与えられる質量係数 C_{Li} 、付加質量係数 C_{Ai} を定義する。

$$C_{Li} = \frac{F_{Ti}}{\rho \pi D^3 \ddot{u}_{im}/6} \quad (4) \quad C_{Ai} = \frac{F_{Di}}{\rho \pi D^3 \ddot{u}_{im}/6} \quad (5)$$

ここに、 D は球体の直径、 $\ddot{u}_i$ は i 方向の球体の中心での加速度で、添字 m は最大値を示す。

4. 計算結果とその考察： 図-2は、 $d/h=0.5$ の場合の C_{Ax} と ka (k は波数)の関係を、 D/h をパラメータとして示したものであり、回折波の波力 F_{Dx} と入射波の波力 F_{ix} の位相差 α_{Ax} と ka の関係も同時に示してある。 C_{Ax} は、 D/h が0.286以下の場合には、 ka の変化によらず C_{Ax} はほぼ一定値をとり、その値は0.5に非常に近く、回折波による波力 F_{Dx} と入射波による波力 F_{ix} の位相差もほとんどない。しかし、 D/h が0.286より大きい場合は、 ka が0.3程度以上になると C_{Ax} は ka の増加にともない若干増大し、 ka が0.5~0.8付近で極大値をとる。その後、 C_{Ax} は ka の増加とともに減少する。また、 C_{Ax} の ka にともなう変化がほとんどない ka が約0.3以下の範囲では、 C_{Ax} の値は D/h が大きい方が大きくなる。 D/h が0.714以上の場合には、図-2からも認められるように、 C_{Ax} は極小値をとった後、 ka の増加に伴い再び増大する。 ka の変化にともなう C_{Ax} の変化は、球体の存在による波の変形のために、球体表面の圧力分布が、球体がない場合と比べて変化するためであり、 ka が大きくなるほど、すなわち、球径が波長に比べて大きくなるほど波の変形の影響が大きくなるためである。また、 C_{Ax} が D/h により変化するの、 D/h が大きくなると、球体の上部と自由表面の間、球体の下部と底面の間が狭くなるため、

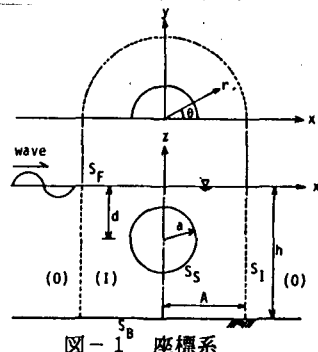


図-1 座標系

球体の上下での流速場が大きく変化し、その影響が広範囲に及ぶことが原因として考えられる。

つぎに、 C_{Ax} と ka の係数に及ぼす d/h の影響について考察する。 D/h が0.143以下の場合、 d/h による C_{Ax} の有意な差は認められないが、 D/h が0.143より大きい場合は、 C_{Ax} は、 D/h が同じ値であっても、 d/h によって変化する。図-3は、 $D/h=0.571$ の場合の3種類の d/h に対する C_{Ax} と ka の係数を示したものであるが、同図にも示されるように、 d/h の小さい方が C_{Ax} の ka にともなう変化は大きくなる。これは、自由表面に近づくほど水粒子の運動が大きくなること、また、同一の波の条件のもとでも、球体の上下の水粒子の運動の大きさの差は d/h が小さいほど大きくなるためである。

ここでは図示しないが、 C_{Az} の ka にともなう変化は、 C_{Ax} の場合と良く似ているが、 C_{Ax} に比べて C_{Az} の ka にともなう変化の方が大きい。特に、 D/h が大きくなるほど C_{Ax} との差が大きくなる。これは、自由表面、底面の境界が、水平方向の波力よりも鉛直方向の波力により強く影響を及ぼしているためである。そして、 C_{Az} と ka の係数に及ぼす d/h の影響も C_{Ax} の場合よりも大きくなる。

つぎに、全波力の定量的な特性について C_{ix} を取り挙げて議論する。図-4は、 C_{ix} と ka の係数を D/h をパラメータとして示したものの一例であり、全波力 F_{Tx} と入射波の波力 F_{ix} の位相差 α_{ix} も同時に示されている。 ka が1.0より小さい範囲では、 F_{ix} と F_{ox} に位相差があまりないため、 C_{ix} の ka にともなう変化は、 C_{Ax} の場合とよく似ている。しかし、 ka が1.0を越えると、 C_{ix} は小さくなり、 $D/h=0.714$ と0.857の場合は、 C_{ix} の値は ka の増加にともない急激に減少する。これは、 C_{Ax} が小さくなると同時に、 F_{ix} と F_{ox} の位相差が大きくなるためであり、 C_{ix} の ka の増大にともなう減少は、 C_{Ax} が再び増加する ka の範囲でも引き続いている。ただし、 $D/h=0.857$ の場合は、 F_{ox} と F_{ix} の位相差が π を越えると、 F_{ox} と F_{ix} は互いに打ち消し合うものの、 C_{Ax} が急激に大きくなるため、 C_{ix} は急激に増大する。ただし、回折波の波力 F_{ox} の絶対値が入射波の波力 F_{ix} の絶対値よりも大きくなるため、全波力 F_{Tx} の位相は F_{ox} の位相と近くなり、 F_{ix} との位相差は、図-4にも示されるように π まで急増する。なお、 D/h が0.286以下の C_{ix} は、 ka にともなう変化はほとんどなく、 C_{ix} の値は、一様振動流中の球体に対するポテンシャル理論値1.5にほぼ等しい。 C_{ix} に及ぼす d/h の効果は、 C_{Ax} の場合と同様であり、 d/h が小さい方が C_{ix} の ka にともなう変化は大きくなる。

C_{iz} の特性は、紙面の都合上図示できないが、基本的な特性は C_{ix} とよく似ている。しかし、既述したように、 C_{Az} が C_{Ax} よりも ka の変化とともに大きく変動するため、 C_{iz} の ka にともなう変化は C_{ix} の場合よりも大きい。

5. おわりに：本研究では、数値解析結果に基づいて球体に作用する回折波力について検討を加えた。その結果、球体に作用する回折波力は、 ka 、 D/h 、 d/h によって大きく変化することが明らかとなった。今後、水理実験を行い、回折波力の特性について更に検討を加えていく所存である。

参考文献 1) 清川哲志・大山巧、土木学会論文集、第345号/II-1, pp.131

-140, 1984.

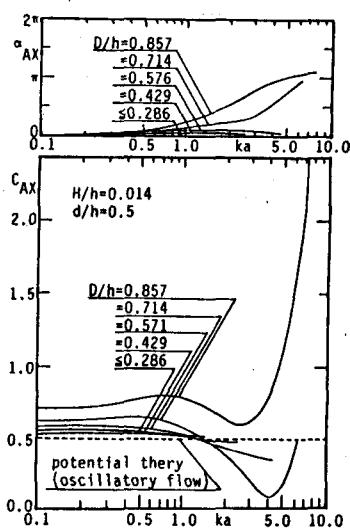


図-2 C_{Ax} , α_{Ax} と ka の係数

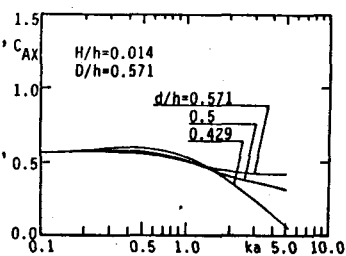


図-3 C_{Ax} , d/h と ka の係数

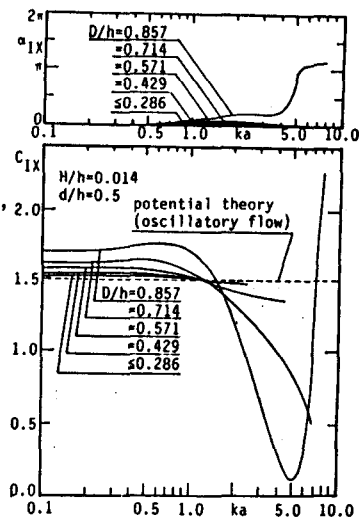


図-4 C_{ix} , α_{ix} と ka の係数