

波による円柱の振動特性について——特に揚力による効果——

大阪大学工学部 正員 榎木 亨
 大阪大学大学院 学生員 中村孝幸
 大阪大学大学院 学生員 三木秀樹

1. まえがき—従来海洋構造物の波浪による動的応答を求めるに当って振動外力としては、いわゆるMorison波力式により表現される波の進行方向に作用する波力(以下直方向力と称す。)のみを対象としてきた。しかし、実際の場合においては、円柱後流域における渦形成、掃き出し等の非ポテンシヤル的な原因により波の進行直角方向にも流体力(以下揚力と称す。)が作用している。そして、この揚力は著者らがすでに明らかにしてきたように、Keulegan, Carpenterにより指摘されたK-C数に密接な関連を有しており、その大きさはK-C数が5以上では直方向力に比して有意な量となり、K-C数が10付近では直方向力よりも大きな量にもなる。また、揚力の周波数は、直方向力が波の周波数と同様の周波数を有しているのに対し、後述するようにK-C数が5以上では波の周波数よりも高周波数となってあらわれてくる。したがって、波動場における揚力は、一般の固定式海洋構造物の固有周波数が波の周波数よりも高周波側にあることを考慮すると波浪による動的応答を求める際にはこの揚力はより重要な外力要因と考えざるを得ない。

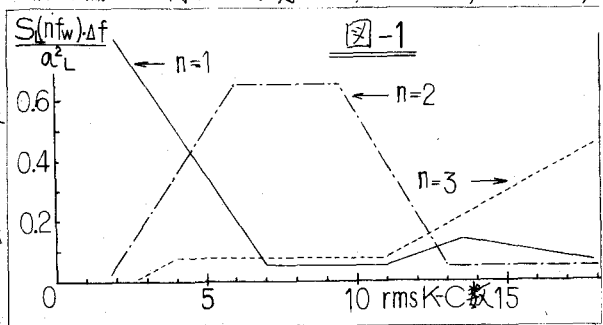
このような観点より、著者らは従来より全く無視されてきた波動場における揚力による振動応答の実態を単円柱モデルを用いて構造物の固有周波数 f_n と波の周波数 f_w との比、および前述した揚力特性を支配するK-C数に着目して実験的に明確にした。また、揚力による振動応答の波浪特性よりの推算化を進めるため静的な揚力特性より新らしく波動場における揚力式を提案し振動方程式を介してその振動応答を求め実験値と対応させてその妥当性も検討しているが、これについては後日報告したい。

2. 静的揚力の特性—揚力スペクトルにおいて卓越したピークを有する波の基本、2倍、3倍周波数揚力のスペクトル密度 $S_L(f_w)\Delta f$, $S_L(2f_w)\Delta f$, $S_L(3f_w)\Delta f$ のK-C数による変化を多くの実験結果より模式的に示したのが図-1であって、図-1は各揚力スペクトル密度を分散 σ^2 で除した値を縦軸に、水深方向における水粒子水平速度 $u(z)$ のr.m.s.値 u_{rms} を用いて求めたrms K-C数を横軸にとって示したものである。この図より揚力の周波数は、rms K-C数が0~5では波の基本周波数が、5~12付近では波の2倍周波数が、13以上では波の3倍周波数が卓越することがわかる。なお、この実験値の算出に当ってスペクトル密度は周波数分解能を高めるためFFT法で求めた。また、本報では詳述しないが、上述した揚力周波数特性は円柱後流渦パターンと密接に関連していることを付記しておく。揚力の大きさについては、本講演集の揚力を考慮した円柱に作用する合成波力についてを参照されたい。

3. 実験装置—本実験に用いた振動円柱の構造は、水底下部に鋼棒バネ部、水底より水表面上20cmまでが実験円柱部、さらにその上に固有振動数を低くするための円柱と同径の鉄よりなる荷重部の3部分からなり、鋼棒バネ部の下端が固定された片持梁形式となっている。振動変位は、振動円柱頂部の変位を対象にして、振動円柱中心の鉛直上方に固定

されたシネカメラにより16コマ/秒で撮影し、グラフペンを用いてその変位を読み取った。なお、水表面上には円柱周囲流況を観察できるように銀粉トレーサーを散布して実験を行っている。実験に用いた円柱径は2.5cmで、水深は35cm一定である。振動円柱の水中固有周波数は、本学の造波機性能および前述した静的揚力特性を考慮して、1.075Hz, 1.351Hz, 1.714Hzの3種類を選定した。

4. 共振状態を生ぜしめる波周波数について—図-2は、揚力方向の共振曲線を示すもので、縦軸に揚力方向の変位が不規則となることを考慮して実験振動変位の $\frac{1}{10}$ 有義極大値 $Y_{p/10}$ と静的変位 Y_s との比をとり、横軸に波周波数 f_w と振動円柱固有周波数 f_n との比をとりパラメータに



rms K-C数をとり示すものである。ここで、 Y_s は揚力係数に著者らが提案した $\frac{1}{10}$ 有義極大揚力係数 $C_{L1/10}$ の算定式を用いて求めた値である。図-2より揚力方向に共振状態を生ぜしめる波周波数 f_w は、 $f_w = f_n$, $\frac{1}{2}f_n$, $\frac{1}{3}f_n$ の3ヶ所であることがわかる。しかし、共振状態はK-C数により影響を受け、K-C数が0~4付近では $f_w = f_n$ の共振状態が卓越し、K-C数が4以上では $f_w = \frac{1}{2}f_n$ の共振状態が最も卓越し次に $f_w = \frac{1}{3}f_n$ の共振状態が卓越するも $f_w = f_n$ の共振状態は出現しない。これらの事は前述した静的揚力の周波数特性を考慮すれば理解できる。また、K-C数4以下の場合での $f_w = f_n$ の共振状態はその共振度が大きいにもかかわらず揚力の大きさが小さいためその動的変位は小さく工学的に無視できる共振現象である。

5. 揚力方向と直方向の振動変位の比について—図-3は前述した $Y_{p/10}$ と直方向の $\frac{1}{10}$ 有義極大変位 $X_{p/10}$ との比を縦軸に、横軸に同様に前述の f_w/f_n の比をとり、パラメータにrms K-C数をとり示すものである。この図より、 $f_w/f_n = 0.7$ 以上では、直方向が卓越しており、 $f_w/f_n = 0.6$ 以下では揚力方向が卓越し $f_w/f_n = \frac{1}{2}, \frac{1}{3}$ の揚力方向共振点付近ではその卓越度は特に大きくなっていることがわかる。また直方向、揚力方向振動変位による合成変位が設計的立場より必要となるが、この極大合成変位についても各方向変位との比をとり検討した。この結果、 $f_w/f_n = 0.8$ 以下で、rms K-C数4以上のときには従来の直方向のみの動的応答評価だけでは特に危険となること、揚力方向共振点の $f_w/f_n = \frac{1}{2}, \frac{1}{3}$ の付近では極大合成変位が $Y_{p/10}$ のみで決定され得ることなどが判明した。

