

波浪運動にともなう単円柱の振動特性—とくに高次周波数特性について

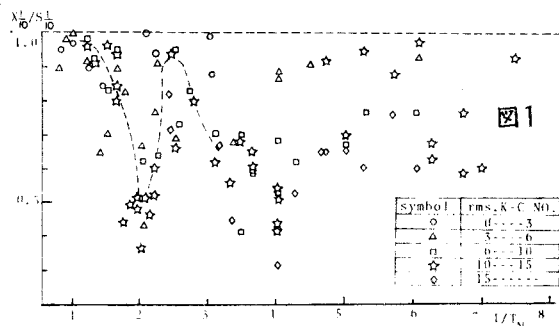
大阪大学工学部 正員 榎木 亨
大阪大学大学院 学生員 三木 秀樹

1. まえがき—既に著者らは、単円柱構造物の波浪による振動応答の実態について波の周期 T と単円柱構造物の固有周期 T_N の比(T/T_N)が0.8~3.4の領域を対象として報告した。その結果 $T/T_N=2,3$ では波の進行方向に直角な方向に作用する揚力による振動応答が、波の進行方向に作用する波力(以下、直方向力と呼ぶ)による振動応答の最大2~3倍程度となる事実を明らかにした。しかし実際の海洋構造物を想定した場合 T/T_N は5以上であることから、本報告においては、前回報告の T/T_N が0.8~3.4の範囲を拡大して、 $T/T_N=3.3\sim7.5$ における揚力と直方向力による振動特性を調べ、 $T/T_N=3.4$ 以下の結果と比較して単円柱振動特性のうち、とくに高次周波数特性について報告するものである。

2. 実験方法—本実験に用いた振動円柱は、25cmの鋼棒バネ部と55cmの実験円柱部から成り、(a)水深35cmの場合は、円柱下端が水底の位置にあり、水底下25cmの所で鋼棒バネ下端を固定し($T_N=0.343$ 秒)、(b)水深が65cmの場合は水底上5cmの所で鋼棒バネ下端を溝型鋼に固定した($T_N=0.298$ 秒, 0.386 秒)片持ちは"リ"型式のものである。円柱径 D は2.48cm、鋼棒バネ径 d は、(a)で0.54cm、(b)で0.58cmである。(b)では、溝型鋼を揚力方向に切断した断面が"リ"型であり水平水粒子速度が鉛直方向に指数的に減少すること、 d/D が0.23程度であることから、揚力及び直方向力は円柱部のみに作用するものと考え、溝型鋼による影響はないものと仮定した。振動変位は、円柱頂部の変位を対象とし、円柱中心の鉛直上方に設置したシネカメラにより、2424/秒で撮影し、グラフペンを用いて、その変位を読み取った。揚力方向の変位は、不規則運動を示すため、実験振動変位の代表値としての1/10最大値 Y_{10} をもとに表示する。直方向の変位も同様に(不規則となる場合が一部ある)1/10最大値 X_{10} で示す。同時にこれら2方向の変位を合成した変位の大きさについても1/10最大値 S_{10} で示す。静的な変位 X_S の算定には、Morison式を用い $C_D=1.5$, $C_M=2.2$ とし、 Y_S には、著者らの提案した1/10最大揚力係数 C_{L10} を用い、円柱下端より水表面まで鉛直上方に積分して求めている。なお、ここに用いた抗力係数 C_D 、慣性力係数 C_M は著者らが実験的に求めた値の平均値である。

3. 直方向の変位と合成変位の比較—図1は、 X_{10}/S_{10} を縦軸に、 T/T_N を横軸にとりK-C数をパラメータとして Y_{10} と S_{10} の比の変化を示したものである。

図2は Y_{10}/X_{10} を縦軸に、 T/T_N を横軸にとりK-C数をパラメータとして、 Y_{10} と X_{10} の比の周波数にともなう変化を示したものである。図2から明らかなように、 $T/T_N=2,3$ 付近では、K-C数3以上の場合に、また $T/T_N=4$ 付近ではK-C数6以上の場合に Y_{10} は X_{10} に比して大きくなる。そしてこれらの領域



では図1から明らかのように、合成変位 $S_{\text{合}}$ に比して直方向変位は0.5程度にしか示さない。 $T/T_N=4$ 以上の領域についてはK-C数によるバラツキが大きいものの図1に示すように X_0/S_0 は0.9~0.5となり構造物設計に重要な合成変位として直方向変位のみをもって設計することは疑問があり、高次周波数の場合でもやはり揚力を考慮しなければならない。

4. 共振状態を生ぜしめる波の周期特性 図3, 4はそれぞれ縦軸に $X_0/X_s, Y_0/Y_s$ を、横軸に

T/T_N ととりK-C数をパラメーターとして、直方向(図3)及び揚力方向(図4)の共振曲線を示すものである。ただし X_s, Y_s は各々直方向、揚力方向の共振を考慮しない静的な変位である。図3より、直方向に共振を生ぜしめる波の周期 T は $T_N, 2T_N, 3T_N, 4T_N, 5T_N, 6T_N$ と思われるが、 $T/T_N=1$ のときが卓越する。これに対し $T/T_N=4, 5, 6$ の X_0/X_s の大きさは $T/T_N=1, 2, 3$ に比して小さい。また $T/T_N=7$ 以上になると共振現象は示さなくなるようである。また T/T_N の全領域にわたってK-C数の顕著な効果は見られない。図4より、揚力方向に共振状態を生ぜしめるのは、波の周期 T が $T_N, 2T_N, 3T_N, 4T_N, 5T_N, 6T_N$ の場合になることがわかる。

しかし、K-C数3以下の場合、 $T/T_N=1, 2, 3$ において共振を生じりけれども、これらの変位の大きさは、図1, 2から明らかのように工学的に無視できる程度となる。一方K-C数3以上になると $T/T_N=2$ の共振状態が最も卓越し、次に $T/T_N=3, 4, 5, 6$ の順にその大きさは減少し、 $T/T_N=7$ 付近では共振は生じない。以上のことから、K-C数3以上の場合には、 T/T_N が1~6の領域について、揚力を考慮した合成変位を動的に求める必要がある。なお $T/T_N=3, 4$ 以下の領域については振動モデルを介した数値計算の結果と直方向変位、揚力方向変位とともに報告しているが $T/T_N=4$ 以上の場合については、他の機会に報告したい。なお今回の実験は、用いた造波水槽の機能の関係から、K-C数は17まで T/T_N は7付近までの領域に限られたことを付け加えておく。

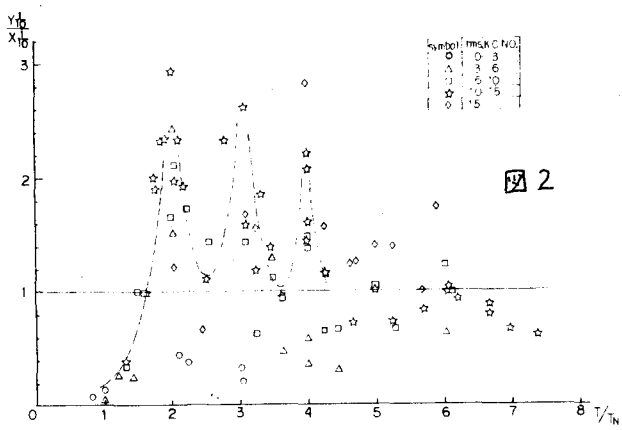


図2

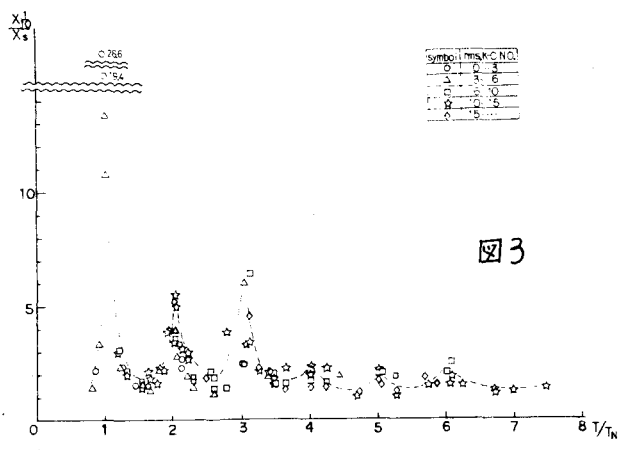


図3

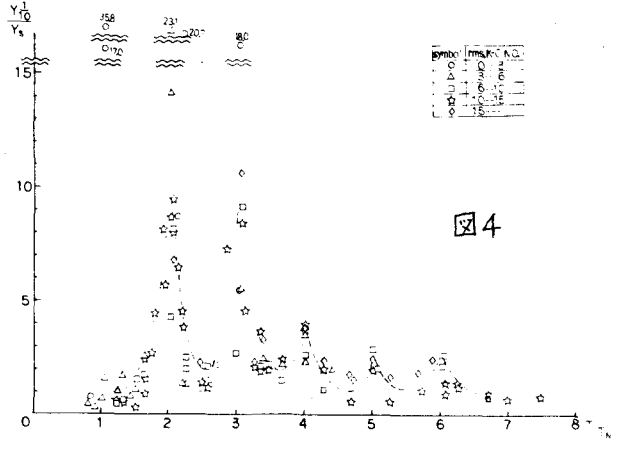


図4