

# 規則波による単円柱の動的応答特性について

中国工業技術試験所 ○ 正員 大谷敏昭  
同 正員 横川 洪

1. はじめに 固定式海洋構造物の設置水深はしだいに増大する傾向にあり、それに伴ないその固有周期は長くなり海洋波の卓越周期に近づいてゆく。従って、波浪による構造物の動的応答特性に関する研究が今後一層必要になると思われる。最近、海洋構造物の基本的構成要素である鉛直円柱に、その固有周期の整数倍の周期を有する規則波を作用させた場合に波力中の高調波成分により波の進行方向に共振が観察されたことがいくつか報告されているが、<sup>1)2)3)</sup>未だ十分に特性が解明されているとは言えず、今後更に多くのデータの蓄積が必要と思われる。今回、鉛直単円柱に固有周期の3.75～8.25倍の周期を有する規則波を作用させた場合の円柱の応答特性について実験を行なったので報告する。

2. 実験装置・方法 2次元造波水槽(長さ50m、幅0.6m、高さ1.2m、1端にピストン式造波装置を有す。)のほぼ中央部にテストセクションを設置した。試験円柱は直径10cm、アルミニウム製で、上端をアルミニウム製小径薄肉円柱に結合し、さらにその上端が鉄骨製支持体により固定された形の片持梁構造となっている。小径薄肉円柱表面にはひずみゲージをはり付け、波力による波の進行方向の円柱の応答を検出した。水槽の水深は80cmの一定とした。実験状態において、円柱の固有周期は0.244sec、減衰定数は $3.24 \times 10^{-3}$ であった。円柱に作用させる波の周期は、造波水槽の能力も考慮して固有周期の3.75倍(0.915sec)から8.25倍(2.013sec)まで0.25倍ずつ変化させた。波高は各周期の波について4cmから12cmまで2cmずつ変化させた。但し、3.75倍のものでは波形が安定しなかったため波高10、12cmでの実験は中止した。波表面での水粒子速度に基づくK- $\sigma$ 数は今回の実験範囲では5以下であった。測定記録は解析の都合を考慮してデータレコーダに収めた。

3. 結果 波の周期が固有周期の整数倍の場合に顕著な共振が観察された。記録の一部を図1に示す。図中T:波の周期、 $T_n$ :固有周期である。共振は一般に同一波高の波では周期が長くなるほど小さくなり、一方同一周期の波では波高が大きくなるほど大きくなる傾向を示した。共振の大きさを知るために、図1に示したようなひずみゲージからの出力記録をフーリエ解析して各波数成分の振幅を求めた。そこで、固有周波数成分の振幅と、ほとんど波の基本周波数成分から成るその他の周波数成分の振幅の和(波力による静的応答に対応するものとみなした。)との比を全ての波について計算した。結果を図2に示す。

4. 結果の検討 波形記録をフーリエ解析して各成分の振幅の大きさを求めた結果、一般に高調波成分がストークス波理論で与えられるものよりもかなり大きいことがわかった。特に、固有周波数成分の比較的大きいものは大きな共振を示していることがわかった。そこで次のような仮定のもとに共振特性の近似的な解析を試みた。①今回の実験範囲では、波

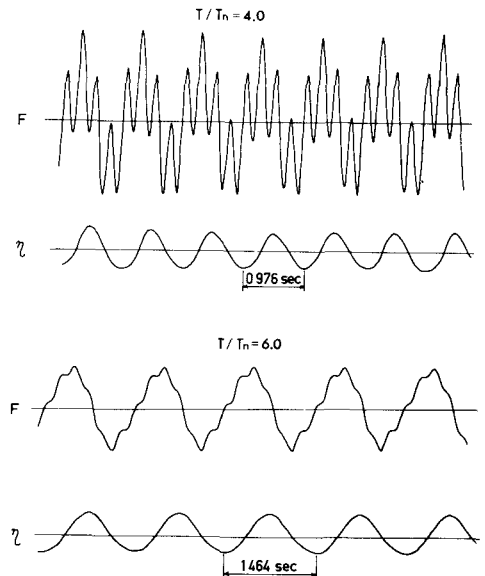


図1 応答・波形記録(波高10cm)

の一周期において抗力の最大値は質量力の最大値の高々20%程度と予想されたため、波力としては質量力のみを考えた。  
 ②波を、フーリエ解析により求めた各周波数成分の振幅を有する微小振幅波群に分解し、波力は各々の微小振幅波が独立に作用した場合の線形和で表わされるものとした。今、微小振幅波群のうちの1つ、 $\eta_n = a_n \cos \omega_n t$  ---- (1)、(ここで $\eta_n$ : 静止水面を基準にした波面高さである。)が水底から水面上まで存在する鉛直円柱に作用したときの波力は次のように表わされる。

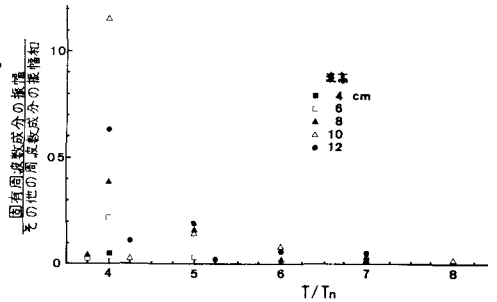


図2 共振の大きさ(実験値)

$$F_n = \phi_M \cdot \frac{\omega_n^2}{k_n} \cdot \frac{a_n \sinh(k_n d + k_n \eta_n)}{\sinh k_n d} \cdot \sin \omega_n t \text{ ---- (2)}$$

ここで、 $\phi_M = -C_M \cdot \rho \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2$ ,  $k_n = 2\pi/L_n$ ,  $C_M$ : 質量力係数,  $\rho$ : 水の密度,  $D$ : 円柱径,  $L_n$ : 波長,  $d$ : 水深である。分子の部分に含まれる双曲線関数項を $k_n \cdot \eta_n$ の級数で展開すると共に $\eta_n$ に(1)を代入して整理すると(3)のようになる。

$$F_n = \phi_M \cdot \omega_n^2 / k_n \cdot \{A_n \cdot \sin \omega_n t + B_n \cdot \sin 2\omega_n t + C_n \cdot \sin 3\omega_n t + \dots\} \text{ ---- (3)}$$

ここで、 $A_n, B_n, C_n \dots$ :  $a_n, k_n, d$ による係数である。従って、波面変動のために波力は高調波成分を持つことになる。今、円柱体を粘性減衰を有する1自由度の強制振動系と考え、円柱は強制力である波力に対して応答するが、その量はみかけの波力として(3)式の各周波数項に振幅増幅率のかかった形で表わされる。(4)...

$$F'_n = \phi_M \cdot \omega_n^2 / k_n \cdot \{R(\omega_n) \cdot A_n \cdot \sin(\omega_n t - \alpha_n) + R(2\omega_n) \cdot B_n \cdot \sin(2\omega_n t - \beta_n) + \dots\}$$

ここで、 $R(\omega)$ : 振幅増幅率,  $\alpha_n, \beta_n \dots$ : 波力に対する応答の位相遅れである。従って、1つの波によるみかけの力は各微小振幅波によるものの総和として表わされる。

$$F = \sum F'_n \text{ ---- (5)}$$

これより、(5)式中の固有周波数成分が非常に大きな振幅増幅率のため拡大されて共振が出現することになる。以上の方法を用いて計算を行なう。尚、簡単のために位相差は無視した。又、質量力係数は一定とした。 $T/T_n = 4.0$ の場合について(5)式中の固有周波数成分の振幅と、それ以外の周波数成分の振幅の総和との比を計算した。後者は波の基本周波数成分がほとんどであり、しかもその振幅増幅率 $\approx 1.0$ であったので共振のない単純の波力に対応すると考えて良いと思われる。各波高における計算値を、先に求めた応答記録のスペクトル解析による実験値(図2)と比較したものを表1に示す。尚、 $T/T_n \geq 5.0$ の場合は、波浪中の固有周波数成分が非常に小さく、精度上問題があると思われるので計算は中止した。表1の両者の傾向は大体一致している。一般に波高が大きくなるにつれて共振が大きくなるのは、波面変動が大きいほど波力中の高調波成分が基本周波数成分

| 波高 cm | 計算値  | 実験値  |
|-------|------|------|
| 4     | 0.02 | 0.05 |
| 6     | 0.48 | 0.22 |
| 8     | 0.82 | 0.39 |
| 10    | 1.08 | 1.15 |
| 12    | 0.96 | 0.63 |

表1 共振の大きさの比較( $T/T_n=4.0$ )  
 に比べて相対的に大きくなることによりと思われる。波高10cmの場合には他に比較して波浪中の固有周波数成分がやや大きくなっており、その結果大きな共振が出現したのもと思われる。以上、共振の原因を波力中の固有周波数と一致する高調波成分及び波浪中の固有周波数と一致する成分の両者によるものとして解析を試みたが、実験値との対応を得ることが出来たと思われる。

5. 参考文献
- 1) 中村・榎木・三木: 第31回土木学会年次学術講演会概要集, PP.102~103, (1976)
  - 2) 榎木・中村・三木: 第24回海岸工学講演会論文集, PP.367~371, (1977)
  - 3) 本多・光易: 第23回海岸工学講演会論文集, PP.58~63, (1976)