

電力中央研究所	正会員	○小森修蔵
同 上	同 上	田中寛好
同 上	同 上	和田 明

1. はじめに

近年、海洋構造物の建設水深が次第に増大してゆく傾向にあるが、その結果、構造物の固有周期が長くなり、海洋波の周期に近づくため、波浪等の外力による動的影響を考慮した設計が不可欠となってくる。ところで、これまでは、構造物の固有振動周期あるいはその整数倍の周期の単一波を一定時間作用させ、構造物の挙動を検討してきた。しかしながら、実際の海洋でこのような波浪が襲来することはきわめてまれであり、ある瞬間に構造物の固有周期の波が作用したとすれば、次の瞬間には異なった波が作用するのが一般的である。そこで、筆者らは、まず、単一周周期波によって従来の研究結果の検証を行なった後、現地波浪スペクトルを作用させ、構造物の挙動を検討したものである。

2. 実験方法

実験は、任意のスペクトルをもつ波浪を発生させる外海波浪実験設備を用いて行なった。実験対象とする海洋構造物の模型は種々考えられるが、ここでは形が最も単純な円柱構造物を選んだ。図-1に示すような模型をつくり、波を作用させたが、このような構造にしたのは、現地の共振特性を模型上で再現させるためであり、また、共振状態を再現させる波が造波範囲内になるように模型縮尺を決定した。この構造物の固有振動周期は、 0.287 sec (3.48 Hz) であり、対数減衰率 $\delta = \ln \Delta = 0.0843$ である。模型の材質は、上部が中20mmの鋼材 (SS41) であり、下部が中10mmのアルミ材である。円柱模型の上部と下部の接続ならびに下面への固定に関しては、相当の精度で製作しないと、自由振動させた時に筒内運動を起こし、竹期の目的が果たせなくなるため、かなりの注意を要した。模型縮尺は $1/100$ 程度を想定し、不規則波に関しては福島海岸の波浪スペクトルを4種類使用した。実験に用いた規則波は、波高が $1 \text{ mm} \sim 5.6 \text{ cm}$ 、現地換算で $[10 \text{ cm} \sim 5.6 \text{ m}]$ 、周期が $0.287 \sim 5 \text{ sec}$ ($0.2 \sim 3.48 \text{ Hz}$)、現地換算で $[2.87 \sim 50 \text{ sec}$ ($0.02 \sim 0.348 \text{ Hz}$)] 程度の波を使用した。また、不規則波としては、福島海岸での観測 (水深 11.3 m) 結果からスペクトルを計算し、水深 35 m 地底のスペクトルに換算してそれを使用した。

3. 実験結果ならびに考察

まず、規則波の周期を種々変化させて、円柱構造物に一定時間作用させた結果、つぎのことが判明した。

(1) 円柱構造物の固有周期の整数倍の周期を有する規則波が定常的に襲来する際は、共振現象が見られ、共振しない場合の数倍のモーメントが海底部に生ずる。しかし、6倍周期以上の波になると、共振現象は明確でなくなり、非整数倍の場合と区別がつかなくなる。(図-2)

(2) 波の進行方向波力モーメントは、 $K-C$ 数 (uT/D) にあまり強く依存しない。(図-2) [$K-C$ 数による差が小さいため、図中では区別して表示していない]

(3) 長周期波 ($T/T_n > 8$ 程度の波) に関しては、応答は小さいながらもその波の周期で振動するが、構造物の固有周期で振動する割合が大きくなるため、 M_p/M_0 の値が剛構造物の場合より大きくなると考えられる。(図-2)

(4) 波に直角方向に作用する力によるモーメントは、 $K-C$ 数に強く依存する。

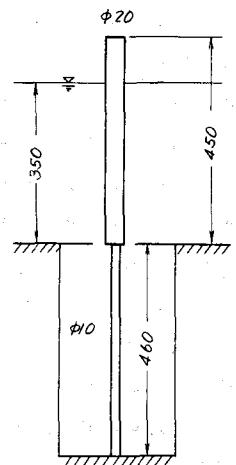


図-1 実験装置

固有周期の3～7倍程度の波が襲来する際は、K-C数に關してある値以上の範囲においては、波に直角方向の力によるモーメントの方が進行方向の力によるモーメントよりも大きくなる場合が存在し、設計にあたっては注意を要する。(図-3)

つぎに、不規則波を作用させ、各周波数成分における波力モーメント応答関数(波力モーメント/波高)を求め、規則波の結果と比較すると、

(5) 規則波が定常的に襲来する場合、固有周期ならびにその整数倍周期(4～5倍程度まで)のところで、波の進行方向、直角方向波力モーメント応答関数ともピークを有するが、不規則波力モーメントスペクトルおよび不規則波形状スペクトルより求めた不規則波力モーメント応答関数は、固有周期のところではピークを持つが、整数倍固有周期のところでは顕著なピークを持たない。また、整数倍以外のところでは、規則波、不規則波の波力モーメント応答関数はほぼ同程度である。(図-4、5)

なお、波に直角方向の波力モーメントに關しては、紙面の都合上図面は省略したが、つぎのような特性が判明した。

(6) いかなる周期の波が作用しても、直角方向にはその波の周期よりも構造物の固有周期で振動する割合が大きい。直角方向に關する応答関数の基本周期でのピークは進行方向に比べて急峻になる。

(7) 波のスペクトルの形、大きさによる応答関数の相違は、進行方向より直角方向の波力モーメントについて顕著である。これは、K-C数による波力モーメントの相違が直角方向の方に顕著に現われるためである。

以上を総合すると、

実際の海では、波高、周期とも一定した波が定常的に襲来する確率は少なく、完全共振は起こりにくい。規則波から得られた応答関数をそのまま適用すると、共振周期付近で波力を大きく見積りすぎる結果となり、設計上安全ではあるが、場合によっては問題があらうと思われる。したがって、柔構造物設計にあたっては、対象地先の波浪スペクトルを用いて実験し、その結果に基づいて構造物の耐波力を結論づける必要がある。

なお、これら一連の実験を行なうにあたっては、電力技術整備株式会社の竹内 出氏の協力を得た。ここに謝意を表わすものである。

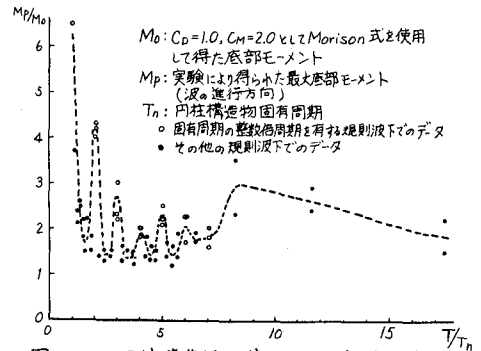


図-2 円柱構造物の共振特性(規則波による)

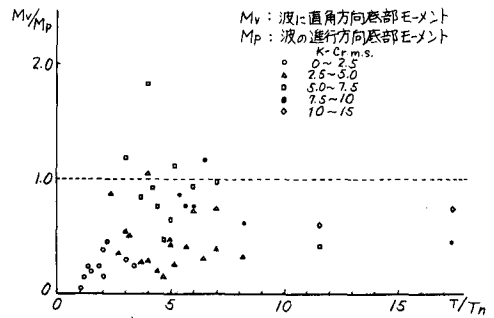


図-3 直角方向と進行方向の波力モーメント比

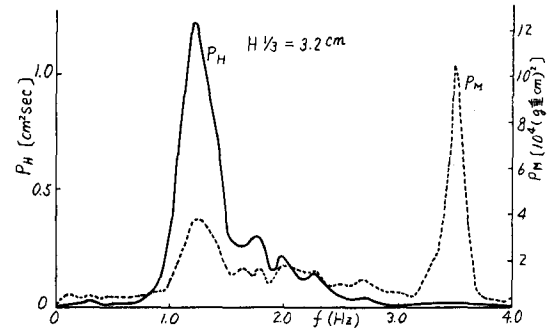


図-4 波浪スペクトルと波力モーメントスペクトル

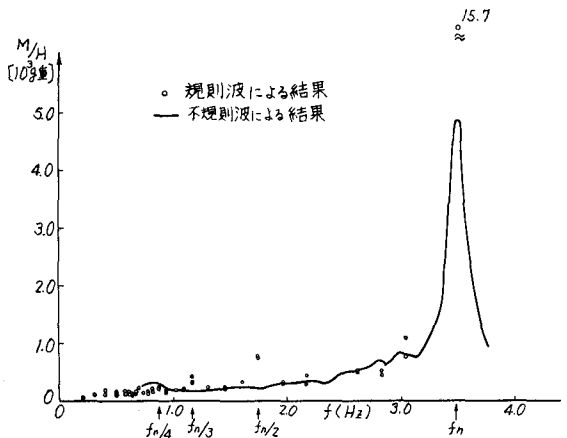


図-5 波力モーメントに關する応答関数