

波力を受ける薄肉大口径円柱の挙動解析

東海大学 学生員 ○鍋田佳宏
東海大学 正員 斎藤敏明

1 まえがき これからの海洋構造物は益々大型化してくることが予想される。そこで、円筒構造物の場合ではその口径が大きくなり、波長に比べ口径を無視することができなくなり、構造物の波に対する応答が問題となる。本研究では、このような大口径円筒の波に対する応答を検討した。解析に当っては、剛体と考えた円柱の周囲に作用する波圧分布を求め、次にこれを円筒シェルに作用させ、有限要素法を用いて数値解析を行った。なお、この解析では動的な応答解析が必要であるが、波と構造物の固有周期が大きく異なるため、静的な解析でも充分な近似が得られるものと考えられる。

2 モデル 図1に示すようなモデルを考えた。計算にあたっては水深 h を基準とし、円筒厚さは $0.01h$ 、円筒高 $1.2h$ とし、 R は $0.2 \sim 2.4h$ と変化させた。

3 波力 円柱に作用する波力は、MacCamyとFuchs, 山口と土屋の示した次式の第1次近似式を使った。

$$\frac{P}{\rho g H} = -\frac{\cosh k(h+Z)}{\pi k R \sinh k h} \left(\sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos n\theta \sin \omega t + \sum_{n=0}^{\infty} b_n \cos n\theta \cos \omega t \right) \quad \text{---(1)}$$

上式を変形して、

$$\frac{P}{\rho g H} = -\frac{\cosh k(h+Z)}{\pi k R \sinh k h} \left(\sum_{n=0}^{\infty} \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \cos n\theta \right) \quad \text{---(2)}$$

ここで $k = 2\pi/L$ である。

上式は静水圧項を含まず、また波峰が円柱前面に作用した時の状態を示している。上式によれば、波圧は $\cos n\theta$ の級数で展開されることになり、軸対称構造物に非軸対称荷重が作用した問題と考えることができる。

図2は $L=3.73h$ のとき、口径に対する波圧の各 $\cos n\theta$ の成分の変化を示したものである。縦軸は全波圧に対する割合である。図のように、径が変化すると、その成分の割合は大きく変化し、径が小さいときは級数項が少なくてすむが、大きくなると多くの項数が波圧を表現するのに必要と

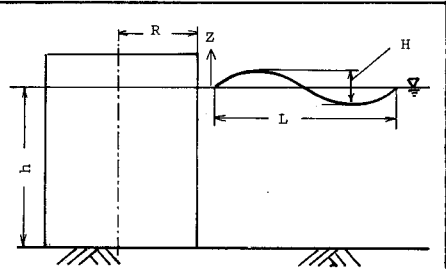
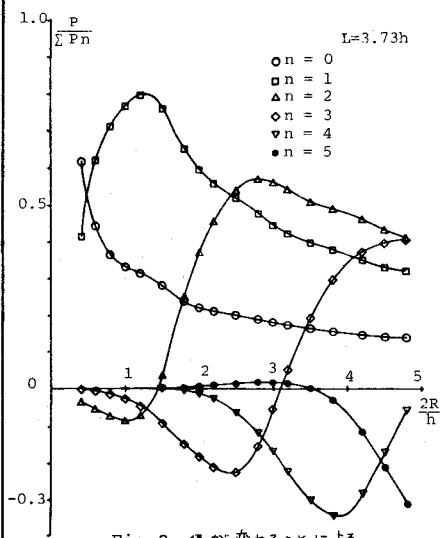
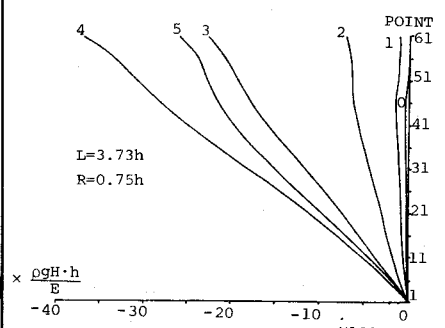


Fig.1 MODEL

Fig.2 径が変わることによる各 n の割合の変化。Fig.3 各 n に対するシェルの変形

なってくる。

4 回転シェルに非軸対称荷重が作用した場合の有限要素解析 回転シェルの有限要素解析は Grafton, Strome が軸対称荷重問題を円錐台形要素を用いて解いたのが最初であり、その後 Percy, Pean らにより非軸対称問題にもフーリエ級数を用いることにより適用できることが明らかになった。この非軸対称荷重の回転シェルは6つのひずみベクトルを持ち、Novozhilov の導いた関係式を用いて剛性マトリクスを誘導した。問題を円筒に限ると半径 R が一定となり、剛性マトリクスの計算に含まれる線積分を数値積分する必要がなくなり、陽な形で解を求めることができる。解析には要素数を60とし、したがって節点(point)は61とした。図3は半径が0.75hの場合に、各 $\cos n\theta$ の単位分布荷重を独立に作用させた場合の、半径方向変位を示している。深さ方向荷重分布は、水面で $\cos n\theta$ とし、深くなるにしたがい、波の場合と同様に減衰させた。図のように、この種の円筒では、 $\cos 4\theta$ という外力に最も変形しやすいことを示している。円筒のたてよこ比によって、変形しやすい外力のパターンは、一般に異ってくる。

5 波が作用する円筒シェル 波圧が作用した場合の解析には、上でのべた外圧と図3に示したような解析結果を重ね合せれば良い。図4は作用する波圧と、先に示した単位分布荷重に対する応答、および波圧が作用した場合の変形を、各 $\cos n\theta$ の成分で比較したものである。波圧は左の座標、変形は右の座標であり、波圧の作用するシェルの変形は5倍して示してある。図の場合、円筒の変形は、 $n=3 \sim 4$ の分布荷重に対して変形しやすいため、波圧分布が小さくても変形はかなり増大されている。 $n=3 \sim 4$ の荷重分布が大きい場合は、大きな変形が予想される。図5は水面下 $1/4$ h における θ 方向の波圧分布と変位である。図6は変形を3次元的に表わしたもので、 $\theta = 180^\circ$ 付近で内側に変位しているのがわかる。さらに、詳細については当日発表する。

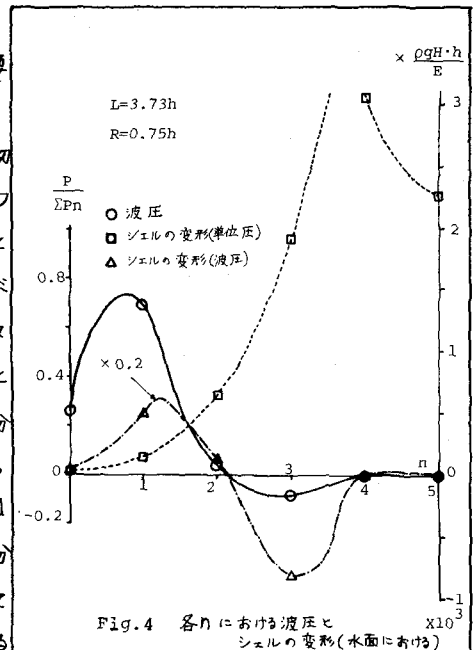


Fig. 4 各 n における波圧とシェルの変形(水面における)

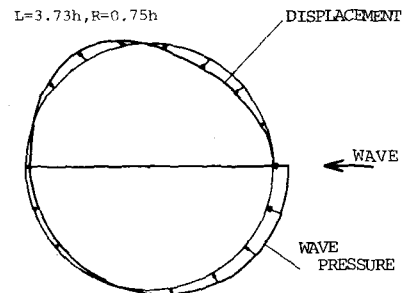


Fig. 5 θ 方向の波圧と変位

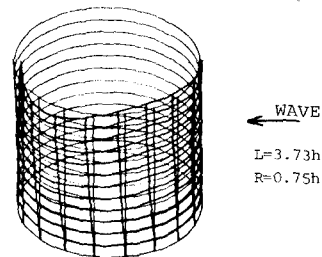


Fig. 6 変形

参考文献 (1) 山口正隆・土屋義人: "大口径円柱に作用する波圧・波力に及ぼす波の非線型性の影響"

土木学会論文報告集 第229号・1974年9月

(2) O.C. Zienkiewicz・Y.K. Cheung: "マトリクス有限要素法" 培風館