

直立円柱のはい上がりによる波力

大阪大学工学部 正員 榎本 亨
大阪大学工学部 正員 後野 正雄
大成建設 正員 柴原 信之

1. まえがき : 従来円柱に対する直方向力の算定式として用いられているモリソン式は流体の持つ速度場・加速度場が物体によって変形されることによつて生じる力を表現したものである。このモリソン式を直立円柱に適用する場合には、流体場の変形を水平面内の2次元的なものとしてとらえている。しかし実際には円柱表面に沿う波のはい上がりで代表されるような次元的な変形も生じている。またモリソン式を波動場中で用いる場合には管径Dと波長λの間に $D/\lambda < 0.2$ という制約条件があり、その結果粘性項が局所加速度項 $\partial u/\partial t$ のみで表現され空間加速度項 $\partial^2 u/\partial x^2$ が考慮されていない。しかし $D/\lambda < 0.2$ の条件が満足されていても波形勾配 H/λ が十分に大きな場合には $\partial^2 u/\partial x^2$ が $\partial u/\partial t$ に比して無視できるとは限らない。波動場中の直立円柱に作用する波力の中にモリソン式では表現できない波力が含まれているとすれば、これらのはい上がり及び $\partial^2 u/\partial x^2$ に起因する可能性が強いと推定できる。本研究は実験により、モリソン式で表現できない異常波力の存在を確認し、その発生原因として前述のはい上がりに求めて結果をまとめたものである。

2. 実験装置及び実験手法 : 円柱モデルには図1に示すような19Hzの固有振動数を持つ外径6cmの塩ビニル製パイプを用い、円柱の先端には変位計及び加速度計を取りつけて先端部の変位及び加速度を計測した。また円柱沖側側面には容量式波高計のセンサーを取り付け、円柱前面の水位変動(はい上がり)を測定し、入射波特性は円柱中央における位置で測定した。水深は62cmで一定とし、実験で用いた波はほぼ深海波の領域に相当する。この円柱を先端における1自由度等価振動系に変換すると先端の変位 X は次式で表わせる。

$$M \cdot \ddot{X} + C \cdot \dot{X} + K \cdot X = F_{eq}(t) \quad (1)$$

ここに M, C, K はそれぞれ等価な質量、減衰係数、バネ定数である。また円柱に作用する波力を $F(z, t)$ とすると等価外力 $F_{eq}(t)$ は次のように表わせる。

$$F_{eq}(t) = \int_0^{L+Z} f(z) \cdot F(z, t) dz \quad (2)$$

ここに $f(z)$ は円柱に固有な影響係数であり、 Z は円柱下端を原点とし円柱の軸に沿った座標である。図2は影響係数の実験値と理論値を比較したものであり1自由度振動系への変換が可能なることを示している。

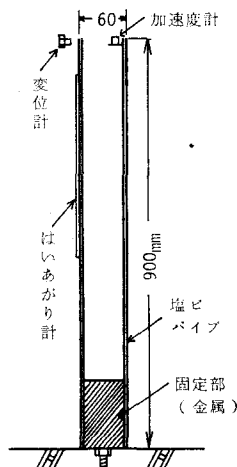


図1 模型円柱

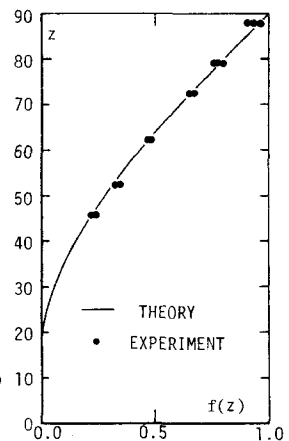


図2 影響係数

Toru Sawaragi

Masao Nochino

Nobuyuki Shibahara

3. 実験結果 : A) 異常波力の存在 : 図3は実験結果の1例で

あり、入射波、はい上がり、加速度及び変位が示されている。加速
速度の記録にはある位相において強制され、その後自由振動と思
われる振動が生じている。すなわち図中の位相Ⅰの直前まで自由
減衰振動を行ない、位相ⅠよりⅡまでは不規則な変動を示した後
再び自由減衰振動を示している。実験で作用させた波は1Hz前後
の周波数であるので19Hzの固有振動を持つ円柱にはモリソニ式で
示される波力では共振現象を生ぜしめる可能性は少なく、また自
由減衰振動が繰返えされることは考えられない。従って位相Ⅰか
らⅡの間においてモリソニ波力以外の外力が作用していると考え
るべきであろう。以後この外力を異常波力と呼ぶ。

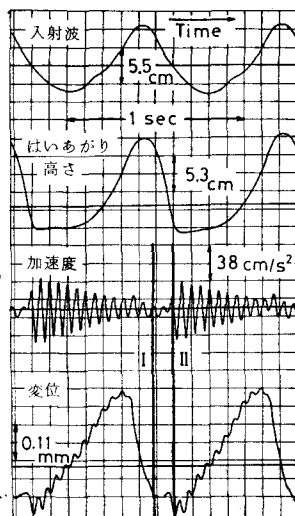


図3 実験記録

B) 異常波力の異態について : はい上がりのピークは入射波の峰より
遅れて現われており、はい上がりのピーク直後に異常波力の発
生位相Ⅰが生じている。このことは前述の3次元変形としての
はい上がりが有意な大きさを持ち、異常波力の発生機構はい上
がった水塊の運動と何らかの関連のあることを示唆するも
のと思われる。また変位の記録より、この異常波力が波力の
絶対値を減少させる傾向を持つことがわかる。しかしな
がら高い固有振動数を有する円柱に自由振動を生じさせて
いる。これは異常波力の作用時間の短いパルス的な性格
によるものであり、海洋構造物の部材等に同様な振動を生
じさせることが考えられ、構造物の疲労破壊の面から考察
すると絶対値の減少が必ずしも安全側に作用するとは言
えず、この異常波力の特性を十分考慮する必要があると思
われる。

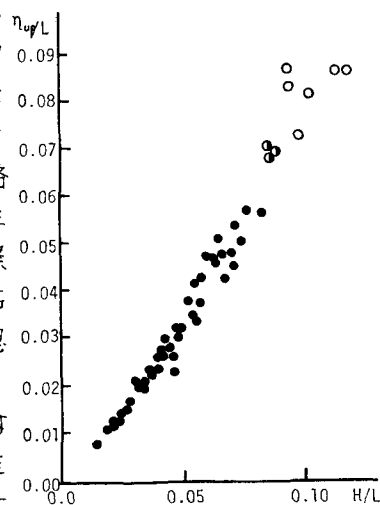


図4 異常波力の発生限界

C) 異常波力の発生限界と作用時間 : 図4は静水面からのはい
上がり高さ η_u を波長で無次元化し、波形勾配との関係を示
したものである。図中白丸は異常波力の発生しているケー
ス、黒丸は発生していないケース、半黒は判別の困難な
ケースである。この図より無次元化したはい上がり高さ $\frac{\eta_u}{L}$
は波形勾配と強い線型関係にあり、発生限界はい上がり
高さ η_u と波形勾配で表わしうることがわかる。図5は異
常波力の作用時間(位相Ⅰ～Ⅱ)をはい上がりのピークか
ら静水面を切り下がるまでの時間 T_p で無次元化し H/L に
ついて整理したものである。個々の波による変動幅も実
線で示してあるが H/L にかかわらず0.70～0.90の間では
ほぼ一定値をとると考えてよからう。

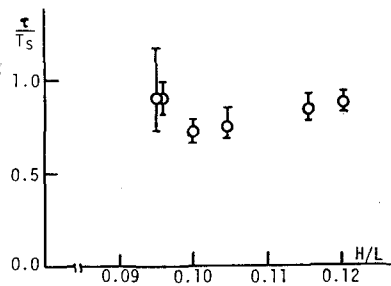


図5 異常波力の作用時間