

新潟大学 正 大川秀雄
 新潟大学 正 矢島基臣
 新潟県 阿部高次

1. まえがき 海洋構造物のうち、ジャケットタイプのもは、脚柱と支持杭が、モルタル充填等の方法によって一体化されている場合がある。波力などの周期をもって繰返し作用する横方向外力を考えると、この種の構造物では、脚柱の支持条件の設定によって、変位や固有振動周期などの計算値が大きく影響を受ける¹⁾。そこで、昨年、自由長を有する杭の固有振動周期について、地盤に砂を使った実験を行い、地盤バネを一定としたときの理論値と比較検討をした²⁾。その後、地盤バネが深さとともに直線的に増大する場合や、杭に加わる軸圧縮力を考慮した場合、どのようにその固有振動周期が影響を受けるか、数値解析を試みたので、結果を報告する。

2. 実験方法 模型杭はアルミパイプで、長さ129cm、外径1.90cm、肉厚0.097mm、曲げ剛性 EI $1.509 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 、コード等付属物も含めた単位長さ当りの質量 m $0.1594 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{cm}^2$ である。下端はコンクリートブロックに埋め込まれている。上端には加速度計(付属物も含めて107g)と上載荷重としてのおもり(0, 1, 2, 4 kg)が取り付けられている。砂層深さ l_1 を0, 25, 50, 75, 100cmの各段階で固有振動周期を測定した。実験は粒度の異なる3種類の砂について行い、締め固めの程度はそれぞれ違えてある。地盤の横方向弾性係数を E_s 、軸力を N_c 、たわみ量を y 、地表面から下方へ x 軸として、地盤の振動減衰はないものとするれば、支配方程式は地上部分で、

$$EI \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + N_c \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} + m \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} = 0, \text{ 地中部分で } EI \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + N_c \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} + E_s(x) y_1 + m \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} = 0$$

である。このうち軸力の N_c 項を省略し、 $E_s = \text{const}$ としたもの(モデルBとする)が昨年検討したものである。

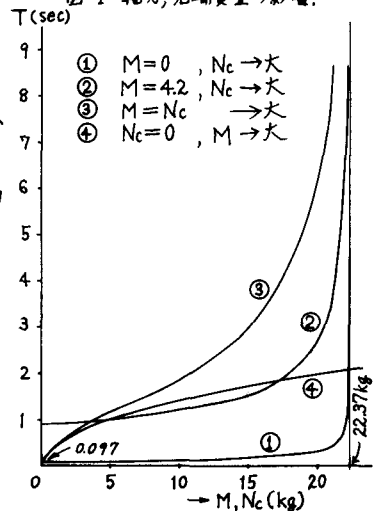
3. 固有振動周期の算出について 横方向地盤反力係数 E_s が深さによらず一定ならば、軸力 N_c の項を入れたままでも、複雑ではあるが振動数判別式を導くことができる。しかしながら、 E_s が深さによって変化する場合は、解析的に求めることは一般的には困難となるので、マトリックス法によって求めることとした。計算はすべて、杭の分割数を26として、行われている。杭先端の上載荷重はPrzemienieckiの方法で、集中質量のままで処理した。なお、数値解の精度は昨年の理論計算の結果と比較したところ、最大で2%、おおむね1%以下であって、この点問題はないものと考えられる。

4. 計算結果について (1)軸力の影響について、一 地中部分がなくて、すべて自由長($l_1=129\text{cm}$, $l_2=0\text{cm}$)としたときについて調べると、

軸力 N_c が大きくなるにつれて(先端質量 $M=0$)振動周期は長くなり、その増加する割合は、Eulerの座屈荷重($P_{cr}=22.37\text{ kg}$)に近付くにつれて、急激に大きくなる(図-1の曲線①)。また、先端質量($M=4.2\text{ kg}$)が軸力とは独立に別途作用している場合は、軸力だけが作用する場合よりも、軸力の増加に対する周期の増加が大きいの(曲線②)。先端質量が大きくなるほどこの傾向が著しくなることより、軸力と先端質量が相乗的な作用をして、振動周期を大きくしていると解釈される($M=N_c$ の場合は曲線③)。

(ロ)先端質量の影響について、—先端質量の場合も軸力と同様に振動周期を増大させるが、軸力の場合とは逆に、その増加の割合は、先端質量の増加とともに小さくなる(図-1の曲線④)。これは、パイプを横にして片持ち梁として振動させた場合に対応する。先端質量の大きさにかわりなく、軸力は常にゼロなので、座屈が起きない点(イ)の場合とは異なる。

図-1 軸力、先端質量の影響。



(イ)と(ロ)の影響を実験での上載荷重4kgの範囲で比較してみると、振動周期が上載荷重のないときの約10倍近くなっているが、軸力としての影響は1/100程度と小さい。すなわち、上載荷重が座屈荷重に比較して1/10程度と小さいときは、先端質量の影響だけを考えれば十分である。一方、荷重が増加するにつれて、軸力による影響が大きくなり、座屈荷重に近付くとそれは支配的となる。

(ハ)地盤の横方向弾性係数の分布形について— K. Terzaghiの提案に従えば、砂層地盤に対して、 $E_s = n_h \cdot x$ である。実験した3例のうち、砂層を比較的密に締め固めた場合の実験値と、上式で与えられるような横方向弾性係数を深さの一次関数とした場合(モデルAとする)の計算値を図-2に示す。この場合、 $n_h = 0.67$ (砂の相対密度Mediumに相当する値)である。また、図-2には、横方向弾性係数を深さによらず一定とした場合(モデルB)の理論値も合わせて示した。この場合の横方向弾性係数は、深さ方向の平均値として、 $E_s = n_h \cdot l_1/2$, ただし $n_h = 0.67$ で計算されている。

図-2からわかるように、モデルAの方が周期を大きく見積る結果となっている。このことは、1次の固有振動周期に関する限り、地盤バネが自由端に近いものほど、すなわち地表面に近いものほどよく働くことを示している。その結果モデルBの方が、地表面に近い地盤バネが大きく作用することとなり、固有振動周期が小さくおさえられることとなる。このことは、図-3のようにパイプ(杭)の一部にだけ(この例では各々25cmの区間)地盤バネとして $E_s = 4.0 \text{ kg/cm}^2$ を作用させてみた計算例によって、図に記入されているように、固有振動周期が大きく変わることと示される。このような理由のため、モデルAでは n_h を大きくしても、固有振動周期の減少量はモデルBに比べて小さい(図-4)。また、図-3の左側のモデル(モデルCとする)より計算された、 $l_1 = 100 \text{ cm}$ の場合 ($E_s = 4.0 \text{ kg/cm}^2$) の固有振動周期と、モデルAとモデルBでも有するためのそれぞれの地盤バネを求めてみると、およそそのところモデルAでは $n_h = 0.35 \text{ kg/cm}^2$, Bでは $E_s = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ となる。すなわちこの例では、同じ周期をもつためにはモデルCはBの2倍の強さの地盤バネを必要とするが、その作用区間がBの1/4であるため、杭の地中長さでの平均値でみた強さは1/2である。さらに、モデルAの地盤バネの働き具合を調べるため、モデルA(軸力を含む)で上記の実験値と合致する n_h を求めたところ、 $n_h = 5.0 \text{ kg/cm}^2$ となって、過大な値で実際の地盤の値としては考えにくいものとなった。他の実験例も同様なこととなることより考えると、この実験例では、砂層表面近くでの地盤バネがかなり作用していたものと思われる。

実際の構造物においては、その基礎地盤が成層状になっていて³⁾、各層で弾性係数が異なるような場合は注意を要するものと思われる。また、地表面近くの地盤の状況が固有振動周期に大きな影響を及ぼすことが予想される。

〈参考文献〉 1) 大川・矢島：固定型海洋鋼構造物の特性，新潟大学工学部

研究報告，オ26号，1977， 2) 大川・矢島：自由長を有する杭の固有振動

数，新潟大学工学部研究報告，オ27号，1978， 3) J.M.Rodriguez Ortiz,

J. Castaneda: Dynamical Behaviour of Piles in Nonlinear Stratified Soil, Proc. 9th ICSMFE, Vol. 2, 1977

図-2 地盤バネのモデル化。

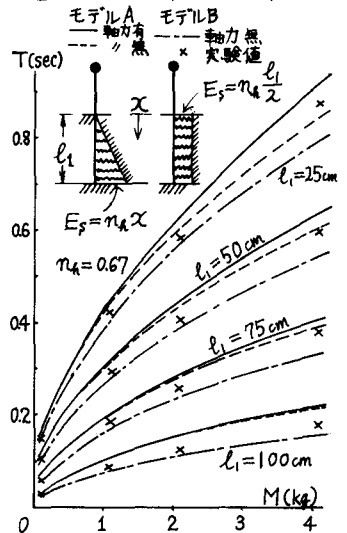


図-3 地盤バネの位置による影響。

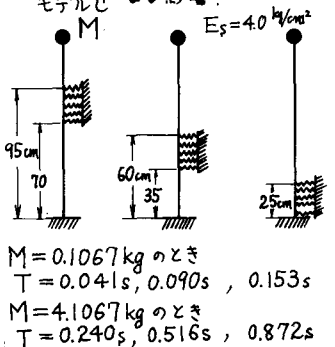


図-4 地盤バネによる振動周期。

