

1. まえがき 本論文は, 平板および疑似円形, 矩形の断面形状をもつ1列の無限柱体列を, その列方向に直角に振動させた場合の2次元付加質量特性について理論的考察を加えるものである。

図-1に示すような円形や矩形の断面を有する柱体列は, 水中構造物として海洋や海岸, 河川構造物に広くみられ, 従ってその付加質量の算定は耐震設計上重要であると思われる。また最近, スリット式消波ケーソンの水理特性の解析に関連して, スリット壁(本研究における矩形柱体列)の付加質量, あるいはそれと理論的に密接に関連する有効慣性長を実験的に求める研究^{1), 2)}が進められるなど, 別な面からも注目されている。本論文では上記3種の柱体列の付加質量特性について, 本研究とは別の視野から既に別々に求められている研究成果を再整理し, 特にいわゆる“blockage coefficient”の概念と関連させてこれを再考するものである。

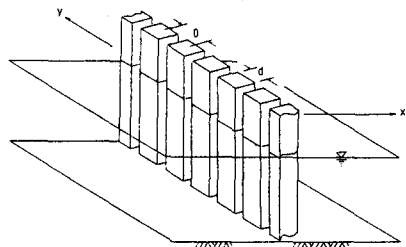


図-1. 水中の柱体列構造

2. 無限柱体列の付加質量 ここでは, 平板か疑似円形, 矩形のいずれかの断面形状をもち, その軸方向長さ無限であるような柱体を直線上に無限に並べ, それを無限水域中で列方向と直角方向に振動させた場合の柱体列2次元付加質量の問題を考える。

Sedov³⁾によれば, このような場合の付加質量 λ_x は次式に表わされる。 $\lambda_x = -\rho S + 2\rho D C$ ----- (1)
ここに ρ は流体密度, S は断面積, D は隣りあう柱体の中心間隔である。また C (長さの次元をもつ)は, Tuck⁴⁾やNewman⁵⁾によつて“blockage coefficient (阻塞係数)”と名づけられた, 柱体列による非定常流の障害の程度を表わす理論係数で, 障害物が全く無いときには $C=0$, 逆に完全阻塞のときには $C=\infty$ の値をとる。式(1)の関係を通じてこの C は付加質量と関係づけられているが, 既に明らかにしたように柱体列からの波の反射, 透過の現象とも密接に関連しており⁶⁾, 従つてそのような意味からは柱体列周辺の非定常水理現象を特徴づける1つの定数といえる。また谷本他²⁾による有効慣性長の概念はこれと同じ基盤上にあるものといえよう。障害物の断面形状が与えられればこの C は一意的に決定され, さらに式(1)より付加質量が算定されるが, その決定のためには所与の断面形状周辺の流れをポテンシャル流の問題として等角写像等の理論を用いて解く必要がある。従つて断面形状が複雑である場合にはこの C を求めることは極めて困難なこととなるが, 平板列や疑似円柱列, 矩形柱列の簡単な形状の場合に対しては既往の解が得られる。

1). 平板列 Sedov³⁾は置列の問題に関連して, またNewman⁵⁾は2枚の壁に挟まれた“slender body”の問題に関連してこの場合の λ_x や C を論じた。彼らによれば,

$$\lambda_x = -2\rho D \frac{\pi}{\pi} \log \cos(\pi d/2D), \quad C = -\frac{D}{\pi} \log \cos(\pi d/2D), \quad (S=0), \quad \text{----- (2)}$$

ただしここに d は平板の幅を表わす。

2) 疑似円柱列 スリット幅が狭くなるにつれて柱体列方向の半径が狭まって楕円断面柱体列となり, 逆に広がるにつれて円形断面柱体列に近くなるような柱体列のblockage coeff.として, Lamb⁷⁾は以下の両式で求められる C を与えた。

$$C = r_y \tan(\pi r_y/D), \quad \pi C/D = \sinh^2(\pi r_x/D), \quad \text{----- (3)}$$

ただしここに r_y は柱体列方向の短軸半径を, また r_x はそれと直角方向の長軸半径を示す。式(3)の前の式と式(1)とからこの場合の付加質量は,

$$\lambda_x = -\rho \pi r_x r_y + 2\rho D r_y \tan(\pi r_y/D) \quad (S = \pi r_x r_y) \quad \text{----- (4)}$$

列方向の短軸径を d とすれば $d = 2r_y$ であるので、上式は、

$$\lambda_x = -\frac{1}{2} \pi d r_x + \pi d \tan(\pi d/2D). \quad \text{----- (5)}$$

3) 矩形柱列 水深が浅い水域における矩形断面浮体の blockage coeff. に対して、Taylor⁸⁾ は近似式を求め、また Flagg 他⁹⁾ は Gurevich の求めた厳密式を具体的に計算した結果を与えた。自由水面および水底を反射鏡面として考えれば、この問題は本論文で扱う矩形柱体列の問題に等価となる。ここでは、これら両者のうちの式の形の簡略さより Taylor による近似式を採用する。すなわち、

$$C = bD/2(D-d) + (D/\pi - b/2) - D/\pi \log 4(D-d)/D + D(D-d)^2/8\pi D^2 + 281D(D-d)^3/180\pi D^3, \quad \text{----- (6)}$$

ただしここに、 d と b は柱体列の方向およびそれに直交する方向の矩形断面の辺長を表す。また上式は、スリット幅が十分に狭いという条件、すなわち $(D-d)/D \ll 1$ の条件でのみ有効であることを注意したい。

3. 計算結果

図-2は、平板列と疑似円柱列、正方形断面 ($b=d$) の柱体列の各場合についての付加質量をスリットの締切率 (d/D) の関数として表わしたものである。ただし付加質量の値は ρS で除して無次元化し、付加質量係数 C_x として表わした (平板列の場合の S は、平板の幅と同じ直径も有する円の面積を用いた)。この図によれば、正方形断面の柱体列の C_x が最も大きく、疑似円柱列がこれに次ぎ、平板列のそれはこれら両者に比べてかなり小さい。この関係は先に発表した柱体列からの波の反射率の断面形状の違いによる大小関係と一致しており⁶⁾、従って柱体列の付加質量の大小と波の反射、透過現象の大小とは

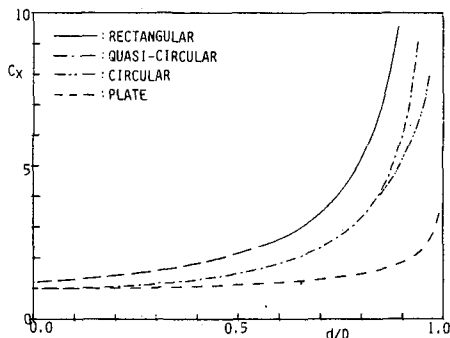


図-2. 各断面柱体列の付加質量係数

1対1の対応関係にある現象といえる。なお疑似円柱列の C_x は、Masset¹⁰⁾ によって本手法とは別の方法で求められた円柱列に対する C_x (図中の2点鎖線) よりも大きい。この理由はいうまでもなく、締切率の増大に伴い、疑似円柱列の場合にはその断面形状が歪んで楕円形状になるためで、図-3に示す締切率に対する r_x/r_y の関係を示す曲線をも参照すれば、 $(D-d)/D \leq 0.8$ で $r_x/r_y \leq 1.15$ 程度までは、両者はほぼ一致している。

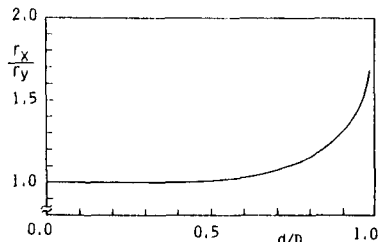


図-3. 締切率による疑似円形の歪の程度

図-4は角柱列の場合について、その断面の両辺の比を $b/d = 0.01 \sim 3.0$ に変化させた場合の C_x の図である (ただしこの場合、 $S = \pi d^2/4$ として平板列の結果との比較と容易にした)。この図によれば、振動方向の断面辺長が短くなればなるほど、すなわち振動方向に扁平になるほど付加質量は小さくなり、そしてついには平板列に対する式(2)の厳密解に漸近してゆく様子を見ることが出来る。

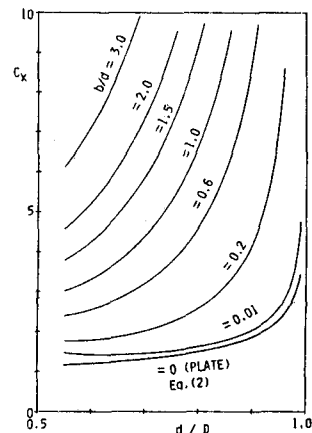


図-4. 矩形柱体列の付加質量

4. 参考文献

- 1) 浦島・石塚・近藤, 昭56年年講.
- 2) 谷本・吉本, 昭57年海講.
- 3) Sedov, Two-dimensional Problems in Hydrodynamics and Aerodynamics, Wiley, 1965.
- 4) Tuck, Advances in Applied Mechanics, Vol.15, Academic Press, 1971.
- 5) Newman, J. of Fluid Mechanics, Vol.39, 1969.
- 6) Kakuno, Proc. COASTAL STRUCTURES '83.
- 7) Lamb, Hydrodynamics, Dover, 1932.
- 8) Taylor, J. of Ship Research, Vol.17, No.2, 1973.
- 9) Flagg and Newman, J. of Ship Research, Dec., 1971.
- 10) Massel, J. of ASCE, WW2. Vol.102 1976.