

## 柱体列まわりの渦流れと作用波力に関する研究

愛媛大学工学部 正員 中村幸幸

1. まえがき：柱体列構造の透過性防波堤に関する研究は、現在までに数多く行われてきている。しかしながら、このような構造物による消波機構を検討する上で重要となる柱体列まわりの渦流れを対象にした研究は少なく、その実態についてもほとんど知られていない。ここでは、まず最初に、柱体間で発生する渦流れの特性を離散化渦モデルによる理論的な検討や流況観測実験に基づき明らかにする。これに引き続き、柱体に作用する渦力の算定を行い、波浪ポテンシャル理論による算定結果や水理実験結果などとの比較から作用波力に及ぼす渦流れの効果について考察するものである。

2. 渦流れの算定モデルの概略：ここで用いた算定モデルは、柱体よりの剥離せん断層を近似するための離散化渦モデルと、柱体列と渦流れおよびそれと波との干涉効果を算定するための湧き出し分布法とを結合したものである。そして、この解析は以下のような仮定に基づくものである。①柱体列中の1柱体まわりの渦流れは、左右対称である。②渦糸モデルには、定常状態下での渦流れの算定が可能となるように、中村と久保<sup>1)</sup>による減衰渦糸モデルが適用できる。③渦流れに及ぼす鉛直流速の効果は無視でき、水平流速はそれを水深方向に平均化した代表流速で近似できる（水平2次元モデル）。この際、柱体列と波との干涉、すなわち柱体列まわりのポテンシャル流れの算定には、中村と小野<sup>2)</sup>による柱体の規則配列を想定したグリーン関数法によるものを、また柱体列と渦流れの干涉効果の算定には、各柱体間での渦流れの無限鏡像を考えた中村と楨本<sup>3)</sup>による方法を各々採用した。

3. 実験装置および実験方法：（1）実験装置；実験に用いた柱体列は、1辺7cmの正方ひし形柱体をその隅角部が開口部に位置するように直線に配列したものである。この柱体列の開口率 $\epsilon$ には、20, 29%の2種類を採用した。そして、柱体列中の1柱体については、片持ち梁形式で支持し、その梁の側面に貼付けたひずみゲージにより柱体に作用する波力を測定した。また、モリソン式による作用波力の分離解析が可能となるように、針流速計を用いて柱体間の開口部での水平流速を測定した。（2）実験方法；実験では、作用波の周期 $T$ ならびに波高 $H$ を各種に変化せしめ、柱体列による透過率 $C_T$ 、反射率 $C_R$ 、作用波力 $F_x$ 、開口部での水平流速 $U$ を測定した。この際、柱体列背後の渦流れについてもトレーサ法により可視化してビデオカメラにより撮影して観測した。作用波の条件は、 $T$ が0.8～2.5secの範囲の7種類、 $H$ が2～7.5cmの範囲の4種類である。このとき、柱体列の設置水深 $h$ は、50cmと一定にした。

4. 流況の観測結果と算定結果との比較：（1）流況の観測結果；ひし形柱体列のまわりで観測された渦流れのパターンは、開口部の水平流速を用いて定義される $K-C$ 数によりほぼ分類することができ、本実験の範囲内では図-1に示すような結果が得られた。図中で（A）は、未発達型とも言うべきもので、渦対は左右でほぼ対称で、逆流に際して開口部に引き戻されて消滅する特性がある。一方、（B）は、掃き出し型とも言うべきもので、渦対は開口部より掃き出されて遠方に到り、 $K-C$ 数がより大きくなると渦対の左右の非対称性も強くなるなどの特性がある。また、同一の条件下では、

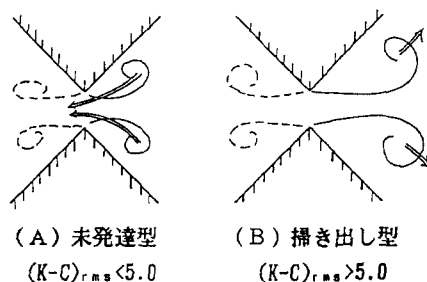


図-1 柱体列まわりの渦パターンの分類

透過波側の渦対の方が、反射波側のそれよりも大規模に発達しやすいことなども確認された。（2）流況の算定結果；図-2と図-3は、それぞれ上記の（A）と（B）の渦パターンが現れる条件下での剥離せん断層の算定例を示すものである。なお、ここでは解析の仮定でも述べたように左右対称な渦対のみに限定していることから、その半分について示した。これらの図から、 $K-C$ 数が小さな場合（図-2）、前半周期に

発生した渦糸が透過波側での渦の形成の際に引き戻されていることや、 $K-C$ 数が大きな場合(図-3)、発生渦は十分に発達して遠方に到るなど観測結果の特性とほぼ一致していることがわかる。

5. 柱体に作用する波力

(1) 図-4は、柱体波力をモリソン式に基づき抗力 $F_D$ と慣性力 $F_I$ に分離解析し、これらの極大波力 $F_x$ に占める割合を浅水比 $h/L$ の変化で表す。この図より、 $h/L$ の小さな長周期側では $F_D$ が、その大きな短周期側では $F_I$ がほぼ卓越する傾向が認められる。また、図-5は、上記の図-4の流況シミュレーション結果に基づき求めた波力時間波形の算定結果と実測結果との比較を示すもので、図中には渦流れの効果を無視した波浪ポテンシャル理論による算定結果についても付記した。この図より、渦流れの効果を考慮した波力の算定結果は、時間的な変動特性ならびに極大波力を含めて、実測結果とよく一致していることがわかる。また、渦流れの発生による波力成分は、ポテンシャル的な波力成分を上回る大きさになることなども認められる。そして、図-4に見られるような抗力が卓越する現象は、直接的には柱体列の背後に形成される渦流れの効果によるものと結論される。

6. 結語：以上の検討より、柱体列まわりの渦流れおよび作用波力は、本研究で開発した離散化渦モデルによる算定法を用いてほぼ推定できることなどが判明した。

<参考文献> 1)中村、久保;第35回海講論文集、pp.607-611,1988. 2)中村、小野;第35回海講論文集、pp.527-531,1988. 3)中村、楨本他;第30回海講論文集、pp.415-419,1983.

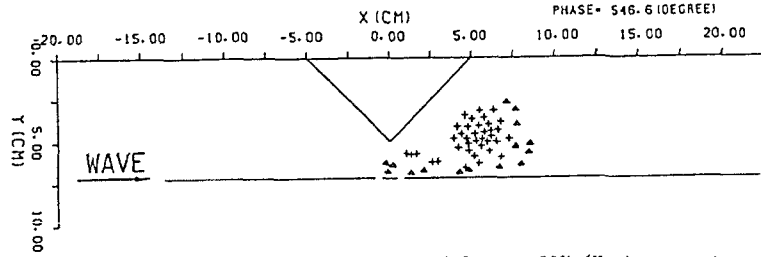


図-2 渦流れの算定結果 ( $T=1.6\text{sec}$ ,  $H=5.0\text{cm}$ ,  $\varepsilon=29\%$ ,  $(K-C)_{rms}=4.8$ )

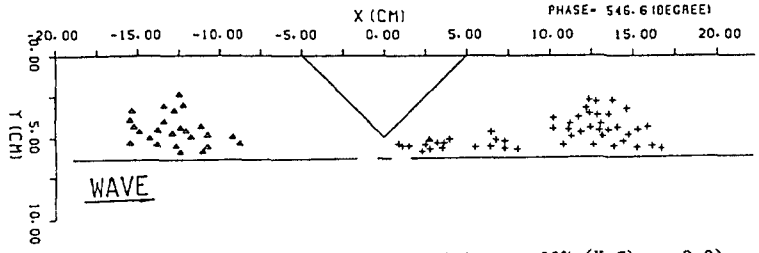


図-3 渦流れの算定結果 ( $T=2.0\text{sec}$ ,  $H=5.0\text{cm}$ ,  $\varepsilon=20\%$ ,  $(K-C)_{rms}=8.0$ )

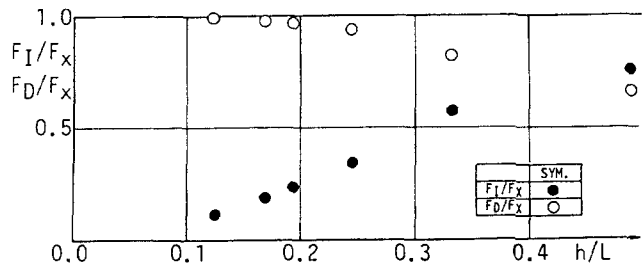


図-4 ひし形柱体に作用する抗力と慣性力 ( $\varepsilon=20\%$ ,  $H/h=0.10$ )

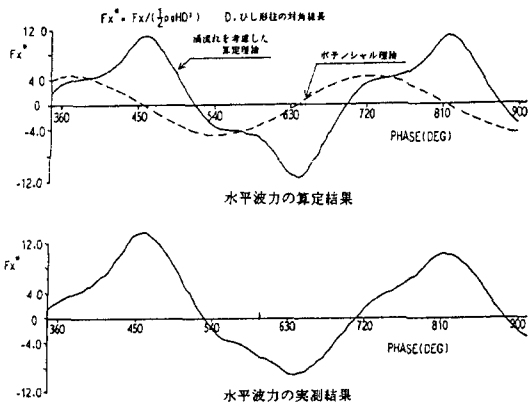


図-5 ひし形柱体に作用する波力の時間波形 ( $T=2.0\text{sec}$ ,  $H=5.0\text{cm}$ ,  $\varepsilon=20\%$ ,  $(K-C)_{rms}=8.0$ )