

多列水平円柱に作用する波スラミング荷重について

上村 稔 ○正会員 復建調査設計（株）

河野 徹 正会員 復建調査設計（株）

中村 孝幸 正会員 愛媛大学工学部

1. まえがき

既に著者らは、水面付近に配置した複数の水平円柱部材と波面との衝突現象（波スラミング現象）によるエネルギー逸散を利用する浮体式消波工を提案し、その消波効果などを明らかにしてきた。その結果、比較的短周期の波の減勢に対して、このような浮体式消波工が有効であることなどを確認した。

しかしながら、実際設計に対しては、波スラミング現象に伴う衝撃性の波力の実態を明らかにする必要がある。本研究では、その第一ステップとして、複数の水平円柱部材が水面付近に固定されている状態を想定して、円柱間の間隔や波条件による波スラミング荷重の変化特性を主に実験的に検討する。

2. 実験装置および実験方法

実験には、長さ28m、幅1m、高さ1.25mの2次元造波水槽を用いた。水槽内には、直立堤を想定した反射壁を設け、その前面に図-1に示すように計5本の水平円柱を所定の外縁間隔(l_0)となるように均等に配置した。用いた円柱の直径 D は、模型縮尺1/15程度を想定して6.6cmとした。これら円柱群は、図中に示すように両端部に設けたアクリル固定板に剛に取り付け、この板をさらに角パイプと反射壁で固定した。実験で採用した外縁間隔(l_0)、そのときの水平設置幅 B 、配列ピッチ長 q 、開口率 $P_o(=l_0/q)$ を一括して表-1に示す。

円柱に作用する衝撃力を含む作用波力の測定は、図-1中に示すように超小型波圧計を円柱周囲の8カ所に配置して、これら測定波圧の合力を各時間ステップで求め、水平波力と鉛直波力を算出する方法とした。この超小型波圧計の固有振動数は、メーカー仕様によると2kHz程度であり、衝撃性の波圧を精度よく測定できると考えられる。なお、波力算定では、各波圧計の代表面積を図-1中に示す波圧計の左右の22.5度の範囲とした。実験では、このような波圧計を8カ所に取り付けた波力測定用の円柱は、入射側から3番目と5番目に配置した。この5番目の円柱は、重複波による鉛直方向流速が最も大きくなる鉛直壁の前面の位置に相当する。

実験では、設置水深 $h=50\text{cm}$ と固定して、表-1に示す3種類の配置条件の各々に対して、入射波高 $H=7.5\text{cm}$ 、 15cm 、 20cm の3種類、作用波の周期 $T=0.9\sim 1.8\text{s}$ の範囲の中の8種類程度を選定した。

3. 運動量理論に基づく理論的な考察

従来、円柱に作用する衝撃性のスラミング荷重は、Kaplanらの研究に代表されるように、円柱の没水状況に応じて変化する付加質量の時間的な変化を考えて求められている。Kaplanらの研究では、単円柱を対象としていることから、付加質量の解

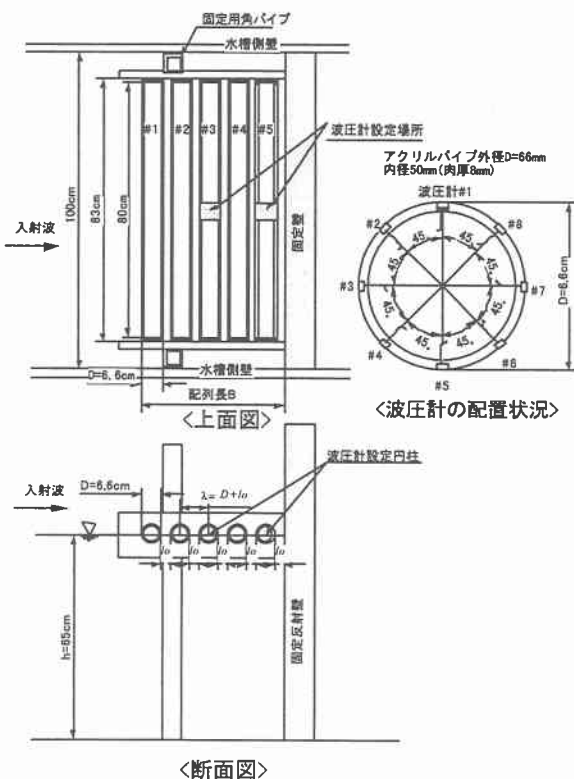


図-1 円柱および波圧計の配置状況

表-1 円柱の配置条件

設置幅 B	ピッチ長 q	開口長 l_0	開口率 P_o
40.5cm	8.1cm	1.5cm	0.165
52.0cm	10.4cm	3.8cm	0.365
65.5cm	13.1cm	6.5cm	0.496

析的な解が利用できるが、図-1のような配列円柱では円柱間の相互干渉効果を考慮する必要がある。ここでは、著者らの中の一人による湧き出し分布法に基づく数値解析により、図-1に示す鉛直壁前面の5本円柱の衝撃力係数（鉛直方向のスラミング係数 C_s ）を求めてみた。この代表例を示すのが図-2で、表-1中の $Po=0.165$ の配列条件の結果に相当する。図は、円柱の時々刻々の吃水深 d による C_s の変化を表し、比較のため、単円柱の結果も併せ示してある。この図から、5本並列円柱の C_s は、単円柱と同様に、ほぼ接水と同時に3.1に立ち上がり、さらに没水深が深くなると増大する傾向が見られ、ほぼ半没水時にピークを示すことが分かる。このような傾向は単円柱と大きく異なり、円柱間の相互干渉効果による影響といえる。なお、円柱が接水と同時に立ち上がり示すのは、接水時に付加質量の時間的な変化が大きくなることによる。

図-3は、図-1の#3の円柱に対する C_s （鉛直衝撃力）を各種の配列条件に対して示すもので、配列間隔が大きくなると、 C_s のピークは接水時に移行し、単円柱と類似したピーク値になるが、やはり円柱間の相互干渉効果により、作用時間は増大することなどが確認できる。

4. 実験結果

図-4は、各配列条件下での図-1中の#3の円柱に対する鉛直波力の最大値を C_s で表現したもので、図-3に示す C_s の最大値も併せ示してある。図中では、周期に関する無次元量として水深・波長比（ h/L ）が採っており、入射波高による差異も分かるようにしてある。この図より、いずれの配列条件でも右下がりの傾向にあり、長周期のときに C_s は大きくなるようである。これは、短周期波では、反射波が低減される度合いが大きいことによると考えられる。反射率の h/L による変化については、講演時に紹介したい。開口率の影響に着目すると、 C_s の実験結果は、理論的に推定されるように開口率が小さくなると増大する傾向は認められるものの、絶対値の一致度は十分でない。これは、理論で無視している開口部での水位上昇速度の増大やスプラッシュの影響などによると考えられる。なお、円柱に作用する水平波力は、開口率にもよるが、上記した鉛直波力に比較すると3～6割程度と比較的小さいことを付記しておく。

今後は、運動量理論で無視されている各種の実現象を含めて、理論算定モデルの確立を計っていきたい。

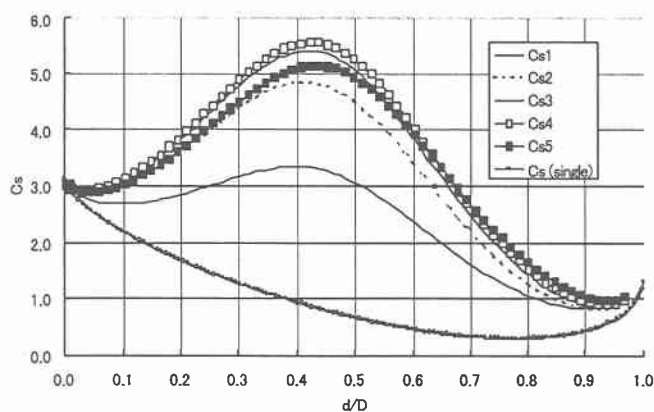


図-2 没水深による円柱群のスラミング係数の変化（開口率0.185, 5本並列円柱）

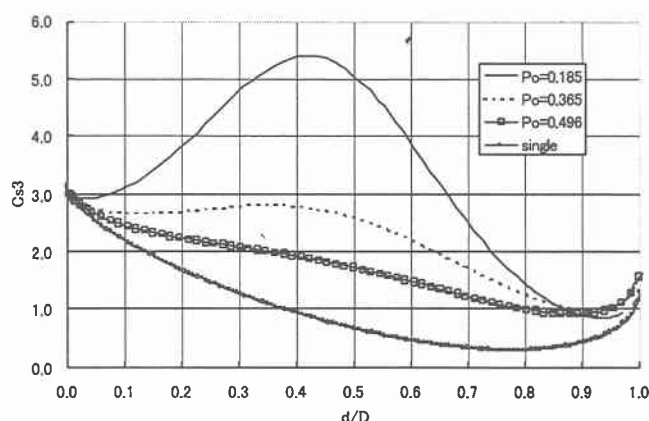


図-3 #3円柱の開口率によるスラミング係数の変化（5本並列円柱）

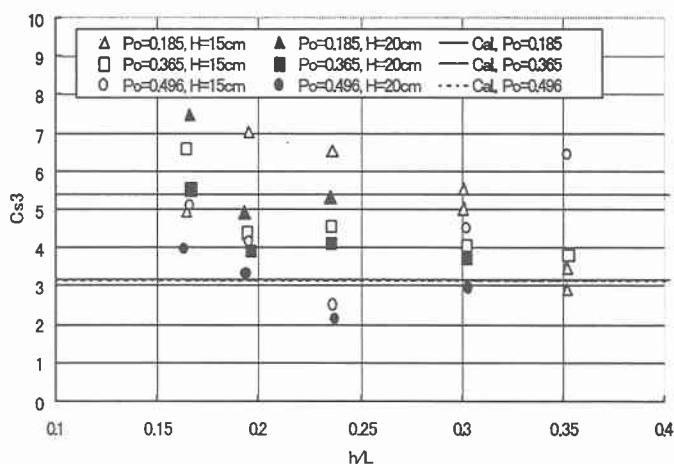


図-4 各開口率での#3円柱の最大スラミング係数