

II-397 二重管の抵抗特性と没水水平版の波浪制御効果に関する研究

日本国土開発 ○ 田代晃一 村松博実
九州大学工学部 吉田明德 入江功

1. 目的

著者らは二重管式係留システムにより水平版を係留することを提案し¹⁾、さらに、水平版に図-1に示すような抵抗二重管を取り付けることによって、水平版の鉛直運動を制御することを考えている。本研究は、抵抗二重管の内管（円板）に作用する抵抗力が、内管と外管の間隙部の断面平均流速の2乗に比例する抗力と、加速度に比例する質量力との和で表されると仮定して、比例定数（抗力係数 C_D 、質量係数 C_M ）の基本的な特性を実験によって調べ、ついで抵抗二重管を取り付けた没水水平版の波浪制御効果を、ポテンシャル接続法（選点解法）を用いた数値計算を行って検討した。

2. 実験方法

実験装置の概略を図-2に示す。直径 $2b$ の円板を取り付けたアルミ棒を支持台に固定し、内径 $2a$ ($=17\text{cm}$) のアクリルの外管を角周波数 σ 、振幅 η で鉛直振動させて、支持台を支える2本のはりの上下面に取り付けたひずみゲージにより円板に作用する力を、また電磁変位計により外管の変位を測定し、サンプリング周波数 50Hz でデータレコーダーに記録した。円板は厚さが 3cm のアクリル板を用い、直径 $2b = 14, 15, 16\text{cm}$ の3通りについて、それぞれ1枚のみ取り付けた場合と、複数枚（2枚および3枚）取り付けた場合について、円板の設置位置（円板と外管底面との距離 d_1 ）や、円板間の間隔による係数の特性を調べた。

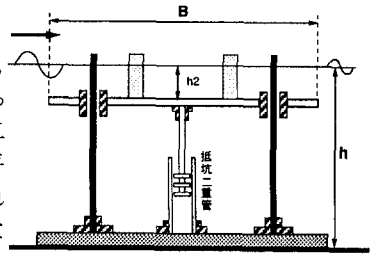


図-1 二重管で係留された没水水平版

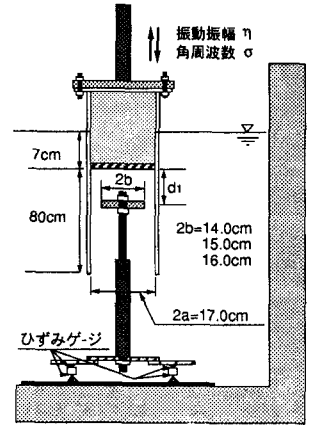


図-2 実験装置の概略

3. 解析方法

円板に作用する抵抗力 $F(t)$ が抗力と質量力の和として表せるものと仮定すると、 C_D を抗力係数、 C_M を質量係数として $F(t)$ は次式で表される。

$$F(t) = C_D \cdot \frac{\rho}{2} \pi b^2 v_{max}^2 |\cos \sigma t| \cos \sigma t - C_M \cdot \rho V \sigma v_{max} \cdot \sin \sigma t \quad (1)$$

ただし、外管の変位を $Z(t) = \eta \sin \sigma t$ で表し、 $Z(t)$ および $F(t)$ は鉛直上向きを正に取っている。また v_{max} は間隙部の断面平均流速の振幅で、右辺第2項中の V は円板の体積を意味する。一方、実験で測定した円板に作用する抵抗力 $F_e(k \Delta t)$ (Δt : サンプリング間隔, $k = 1, 2, \dots, N$) は外管の振動周波数 σ を基本周波数成分とするフーリエ級数に展開できる。

$$F_e(k \Delta t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \{A_n \cos n \sigma k \Delta t + B_n \sin n \sigma k \Delta t\} \quad (2)$$

式中の係数 A_n と B_n は、 n を5次まで取り最小自乗法によって算定した。

一方、式(1)の抗力項の $|\cos \sigma t| \cos \sigma t$ を、外管の振動周波数 σ を基本周波数とするフーリエ級数に展開すると次式を得る。

$$F(t) = C_D \cdot \frac{4}{3} \rho b^2 v_{max}^2 \cos \sigma t - C_M \cdot \rho \pi V \sigma v_{max} \cdot \sin \sigma t + (\text{高次の周波数成分}) \quad (3)$$

そこで、式(2)と式(3)の基本周波数成分の項を等値することにより、 C_D 、 C_M を算定した。

4. 抵抗二重管の抗力係数

抵抗力 F_e のフーリエスペクトルの例を図-3に示す。 F_e には明らかに高次の周波数成分が含まれているが、基本周波数成分が卓越しており、これは他の場合も同様である。また、抗力項に比べて慣性項はいずれの場合

も10%以下で、水平版自身の付加質量力に較べて著しく小さいため、本文では抗力係数 C_D についてのみ述べる。図-4は、円板が1枚の場合における外管の振動振幅 $\eta = 2.0, 4.0, 6.0\text{ cm}$ のときの抵抗力の値を、レイノルズ数 $Re = 2bv_{max}/\nu$ に対してプロットしたもので、抵抗力は外管の振幅に依存しないと見せるから、その後の実験は、外管の振動振幅を一定（ $\eta = 4\text{ cm}$ ）にして行った。まず、円板と外管底面との距離 d_1 をいくつか変えて実験を行った結果、ここに示してはいないが、 d_1 を円板の半径 b より大きく取れば（ $d_1/b > 1.0$ ）係数は d_1 に依存しないことがわかった。図-5は円板が2枚の場合に、円板の間隔 d_2 を変化させたときの C_D の変化を示している。間隔が円板の直径以上あれば（ $d_2/b > 2.0$ ）、抗力係数は一枚の場合の2倍の値を取るが、間隔が円板の直径より小さくなると係数値は減少し、 $d_2/b \rightarrow 0$ で C_D は1枚の場合の値に漸近する。また、ここに示してはいないが、円板の間隔が一定であれば、 C_D は円板の枚数に比例して増大する。図-6は、円板の間隔を円板の直径にほぼ等しく取った場合について、間隔比 e/b と円板の枚数 m による C_D の変化を示しており、これより図中に示す実験式が得られる。

5. 抵抗二重管による波浪制御効果

図-7と図-8は、奥行き h あたり1本の抵抗二重管に換算したときの抗力係数が4.7の場合（ $C_M = 0.0$ ）の計算結果を、 $C_D = 0.0$ の場合とともに示したもので、図-8中に示す条件より、これは板に水深を20mとすると、版長40mの水平版に直径2mの二重管（間隔1cmで円板の枚数6枚）が20m四方に9本設置され、これに対して波高4mの波が入射する場合に当たる。図-7は、反射率 k_r と通過率 k_t について示したもので、抵抗の無い場合（ $C_D = 0.0$ ）と較べて $kh = 1.0 \sim 1.5$ での波の遮断効果は減少するが、 $kh < 1.0$ の長波長域における消波効果が20%程度増大する。また抵抗が大きくなると $kh = 1.0 \sim 1.7$ の波長域においては反射率が大きく減少し、図には示してはいないがこのときのエネルギー損失は最大で50%程度に達する。図-8は、水平版の鉛直動揺を示しており、 $kh < 2.0$ において抵抗の無い場合より最大で50%程度、鉛直動揺が減少する。抵抗二重管は没水水平版の波浪制御の為のみでなく、浮体構造物の動揺制御に関して、その単純な構造と相まって、利用の可能性があるものと考えられる。

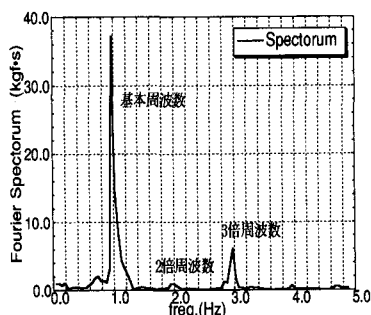


図-3 抵抗力のフーリエスペクトル

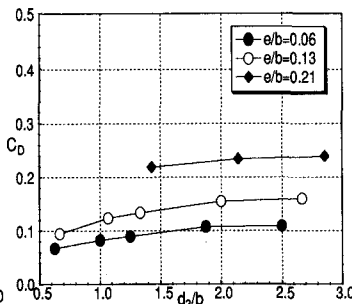


図-5 円板(2枚)の間隔によるCDの変動

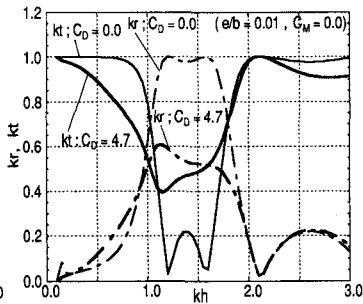


図-7 反射率、通過率

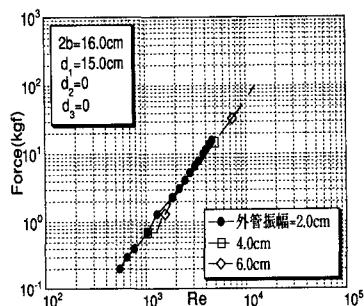


図-4 外管の振幅と抵抗力の関係

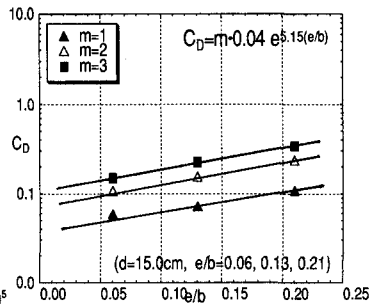


図-6 間隔比と抗力係数との関係

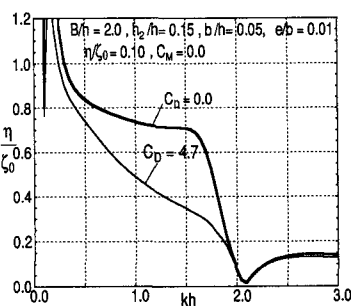


図-8 水平版の鉛直動揺

1) 吉田他：二重管係留システムで係留された没水水平版による波の制御，海工論文集，第39巻，1992