

二重管の抵抗特性に関する実験的研究

九州大学工学部 ○ 三宅司
日本国土開発 田代晃一

吉田明徳

牛房幸光

1. まえがき

著者らは浮遊式海洋構造物の動揺を制御する動揺減衰装置として、図-1に示すような抵抗二重管を考案した。この抵抗二重管は、構造物の動揺に応じて、内管(円板)が固定された外管内を振動する際に生じる抵抗力を、動揺の制御に用いようとするものである。その特徴として、オイルダンパー等と違って油漏れ防止のシーリング等を必要とせず機能的に簡単であること、また、抵抗力は主として円板の前後で生じる渦によるため、流速の2乗に比例し、潮位変動などの長周期動揺に対しては抵抗は小さく、波浪などの短周期変動に対しては大きな抵抗力を生じ、且つ動揺振幅の2乗に比例して大きくなるなどの特徴を有している。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ることを目的とする。

2. 実験方法

実験装置の概略を図-1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 $2a$ ($=17, 24\text{cm}$)の二種類のアクリルの外管を角周波数 σ 、振幅 $\eta=4.0\text{cm}$ 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、

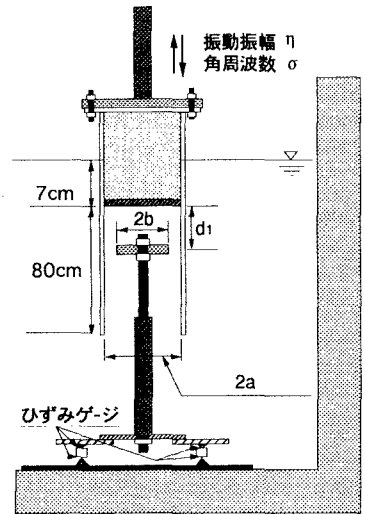


図-1 実験装置の概略

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 100Hz 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、 $2a=17\text{cm}$ の外管に対しては、直径 $2b=15, 16\text{cm}$ の2通りについて、また $2a=24\text{cm}$ の外管に対しては直径 $2b=19, 20.5, 22, 23\text{cm}$ の4通りの合計6通り(外管と円板の間隙 e と円板の半径 b との比 $\beta(=e/b)=0.045, 0.063, 0.091, 0.133, 0.171, 0.263$)について、それぞれ円盤の設置位置(円盤と外管底面との距離 d_1)や、2枚の円板を用いる場合の円板間の間隔を変化させて係数の特性を調べた。

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。 C_D を抗力係数、 C_M を質量係数とし、抗力項に表れる $|\cos\sigma t|\cos\sigma t$ 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 $F(t)$ は次式で表される。

$$F(t) = C_D \cdot \frac{4}{3} \rho b^2 v_{max}^2 \cdot \cos\sigma t - C_M \cdot \rho \pi V \sigma v_{max} \cdot \sin\sigma t + (\text{高次の周波数成分}) \quad (1)$$

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 $F(k\Delta t)$ (Δt : サンプリング間隔、 $k=1, 2, \dots, N$)は、データ長 $T(=N\Delta t)$ を基本周期とする有限フーリエ級数に展開できる。

$$F(k\Delta t) = \sum_{n=1}^{\frac{N}{2}} F_n \cos\left(\frac{2\pi kn}{N} + \theta_n\right) \quad (2)$$

外管の変位 $z(t)$ の測定値も、同様に有限フーリエ級数に展開でき、これらのフーリエ係数より、流体力 $F(t)$ の基本周波数成分 σ の振幅 F_1 、および $F(t)$ と $z(t)$ の位相差 ϕ が算定できる。そこで、これと式(1)の基

本周波数成分の項を等値することにより、 C_D 、 C_M を次式で算定した。

$$C_D = \frac{F_1 \cdot \sin \phi}{\frac{4}{3} \cdot \rho b^3 v_{max}^2}, \quad C_M = \frac{-F_1 \cdot \cos \phi}{\rho \pi V \sigma v_{max}} \quad (3)$$

4. 実験結果と考察

抵抗力 $F(t)$ のフーリエスペクトルの例を図-2 に示す。 $F(t)$ 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いるため、基本周波数成分のみについて解析した。また、抗力項に比べて慣性項はいずれの場合も 10 % 以下と小さい。図-3 は抗力係数を算定した例を示している。振動の周期 T 、円板の直径 $2b$ 、および間隙流速の振幅 v_{max} で定義する KC 数 ($= v_{max} T / 2b$) と、レイノルズ数 Re ($= v_{max} 2b / \nu$) との比がほぼ 300 程度の値より大きいレイノルズ数では、例に示すようにレイノルズ数が増大するとともに係数値も一次的に変化する。このグラフ上に最小 2 乗法を用いて、近似直線をひき、その切片の値を C_{d1} 、傾きを C_{d2} として求め、同様に C_M についても C_{m1} 、 C_{m2} を求めた。図-4 は、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際の C_{d1} と C_{m1} の値を示したものである。この図より、 d_1 を円板の直径 $2b$ より大きく取れば ($d_1 / 2b > 1.0$) 係数値は d_1 に依存しないことがわかる。このことは、 C_{d2} と C_{m2} についても同様である。図-5 は、間隙比 $\beta(e/b)$ に対する C_{d1} 、 C_{m1} の変化を示しており、 C_{m1} については、 β の増加と共に一次的に増加する傾向がみられるが、 C_{d1} は、 $\beta = 0.13$ 付近で β に対する勾配が変化している。 $\beta = 0.13$ 近傍で C_{d1} の β に対する傾きが、変化する理由については、よくわからない。今後、さらに詳しい実験を行い検討する予定である。図-6 は、同様に傾き C_{d2} 、 C_{m2} の変化を表したもので、 C_{d2} 、 C_{m2} は、いずれも 10^{-5} のオーダーの値をとり、 C_{d2} は正の値を、 C_{m2} は負の値をとる傾向がある。これら C_d 、 C_{d2} より抗力係数 C_D を、また C_{m1} 、 C_{m2} より、質量係数 C_M を推定することができる。

5. おわりに

本文では、円板の枚数が 1 枚の場合のみについて述べてきた。今後の実験では、円板の枚数が複数の場合についてその枚数や円板の設置間隔によって、抗力係数と質量係数がどのような特性を示すかについてさらに実験を進めており、また、この抵抗二重管を用いることによる浮遊構造物の制御効果についても、解析を行う予定である。

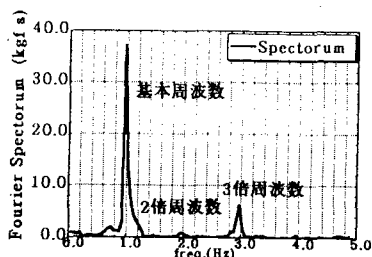


図-2 抵抗力のフーリエスペクトル

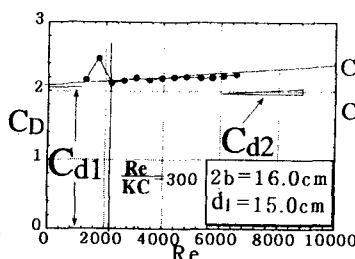


図-3 抗力係数値の算定例

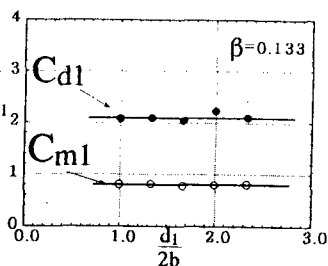


図-4 d_1 による各係数値(切片)の変動

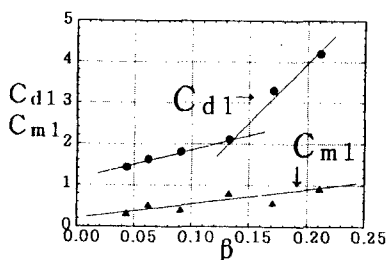


図-5 β による各係数値(切片)の変動

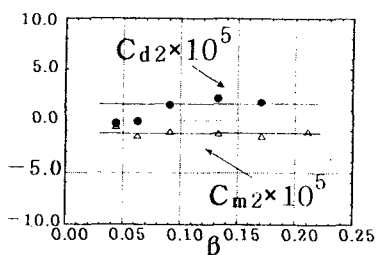


図-6 β による各係数値(傾き)の変動