

二重管浮体係留システムの抵抗特性に関する実験

九州大学工学部 学生員 ○小坂 実 正員 吉田明徳 村上啓介
(株)日本国土開発 正員 中村哲也

1. まえがき

昨年度西部支部発表会において、没水平版の新しい係留方法として、二重管式水平版サポートシステムを提案し、サポート部(内管)に作用する流体抵抗力が、内管と外管の間隙部の断面平均流速 U の2乗に比例すると仮定したときの比例定数(抵抗係数 λ)の基本的な特性について調べ、以下の結果を得た。(a)抵抗係数は内管の振幅 ξ に逆比例し、振動周期と間隙長が一定ならば、 $\lambda \cdot \xi$ は ξ によらず一定値を取る。(b)抵抗係数はレイノルズ数 R 。(= Ue/ν : e は間隙幅)だけでは規定されず e/b (b は内管半径)と $\sqrt{S \cdot R}$ 。(= $S=Ue/\sigma$: ストローハル数 σ は内管の振動角周波数)で決まる。(c)抵抗力は主として二重管部分の摩擦抵抗により生じ、管口部や内管底面隅角部で生じる渦による抵抗は相対的に小さい。二重管式係留システムで係留された没水平版の動揺と波浪制御効果を理論解析によって明らかにするためには、抵抗係数の値のみならず抵抗力の内管鉛直変位に対する位相差が重要である。本報告では、内管に作用する流体抵抗力の内管変位に対する位相差の基本的な特性を検討した。

2. 実験および解析方法

2.1 実験方法

実験装置の概略を図-1に示す。実験は、水槽内に固定した内径 $2a$ の外管の中で、直径 $2b$ の内管を強制的に鉛直振動させ、このときの強制力(駆動力)と内管の鉛直変位を同期して測定した。内管は直径が $2b=14\text{cm}$ 、長さ $l=135\text{cm}$ の塩ビ管を用い、外管は内径が $2a=15, 16, 17\text{cm}$ でそれぞれの二重管部の長さ(ラップ長と呼ぶ)が $l=40, 60, 80\text{cm}$ となるようなアクリルパイプを用いた。内管と外管の間隙長 $e(e=a-b)$ とラップ長の組み合わせに対して、内管の振幅を $\xi=1.25, 2.5, 5.0, 7.5\text{cm}$ の4ケースに変化させ、それぞれのケースについて内管の振動周期を $T=0.2 \sim 2.4$ 秒まで0.2秒毎に変えて実験を行った。

2.2 解析方法

解析方法は前回と同様に、あらかじめ算定できる静水圧による復元力 F_0 、内管に作用する付加質量力 F_1 、内管の慣性力 $M \cdot \frac{d^2 z}{dt^2}$ を、測定した強制力 F_d 、から差し引いて粘性抵抗力 $F(t)$ を求めた。このようにして求めた抵抗力 $F(t)$ の時間波形をフーリエ解析すると、明らかに高次の周波数成分が含まれている。そこで、抵抗力 F は基本周波数成分と高次の周波数成分の線形和で表されるものと仮定し、各周波数成分の係数 $a_k, b_k(k=1, 2, 3, \dots)$ を、次式で表す誤差の2乗の和が最小となるようにして求めた。

$$\varepsilon^2 = \sum_{n=1}^N [F_d(n\Delta t) - \sum_{k=1}^{k^*} (a_k \sin(k\sigma n\Delta t) + b_k \cos(k\sigma n\Delta t))]^2 \quad \dots\dots (1)$$

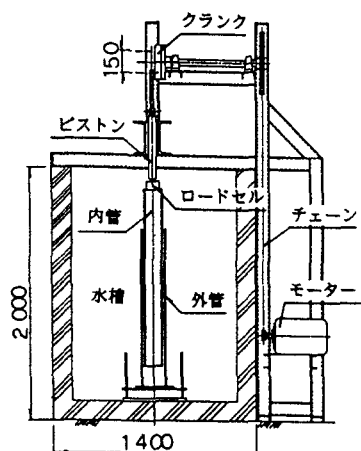


図-1 実験装置

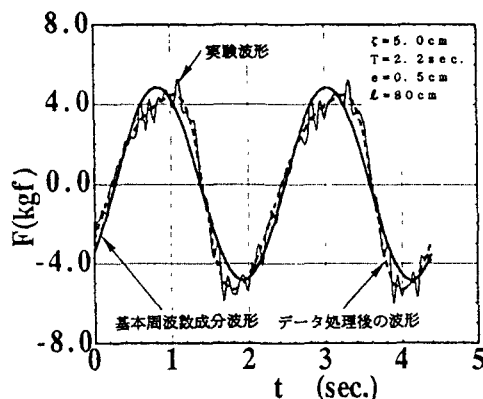


図-2 無次元抵抗力の時間曲線

Nは解析に用いるデータ個数、 Δt はサンプリング間隔を表す。

このようにして解析した波形データの1例を図-2に示す。図中の細線は実測波形、破線は(1)式より求めた係数を5倍周波数成分まで重ね合わせた波形、太線はそのうちの基本周波数成分を示している。この図より、解析により求めた抵抗力の時間波形は、実測波形に含まれる高周波数成分を切り捨て、その変動を滑らかな曲線で近似したものとなっていることがわかる。

3. 実験結果

図-3は $l/b=8.57$ 、 $e/b=0.143$ （比間隙と呼ぶ）の場合の無次元抵抗力の基本周波数成分と倍周波数成分の周波数変動を示したものである。この図より、内管に作用する抵抗力として基本周波数成分が卓越し、無次元抵抗力の基本周波数成分は、振動周期と間隙長を固定すると内管の振幅によらず一定値を取るのに対し、倍周波数成分は振幅が大きくなるにつれ増大する傾向を示している。図-4は、 $l/b=8.57$ 、 $\xi/b=0.07$ の場合について、 $e/b=0.07$ 、 0.14 、 0.21 と変化した場合の内管に作用する抵抗力の鉛直変位に対する位相差(δ/π)の特性を示したものである。位相差は各比間隙長とも $R_s' (=R_s \cdot \xi/b)$ が大きくなるにつれ増大する傾向を示し、その増加の割合は比間隙長が小さくなるにつれ減少する傾向を示す。また、各ケースとも R_s' が20000付近で位相差の変化が不連続となっている。このことは、実験より得られた抵抗力の時間波形を見ると、今回実験を行ったすべてのケースにおいてこの周波数付近で波形が大きく歪む傾向を示すことに起因していると考えられるが、その原因についてはいまのところ明かではない。図-5は、 $l/b=8.57$ 、 $e/b=0.07$ の場合について、 $\xi/b=0.18$ 、 0.38 、 0.71 と変化した場合の位相差の特性を示している。この場合も図-5と同様に R_s' が20000付近で位相差の変化が不連続となっている。前回示したように、抵抗係数 $\lambda' (= \lambda \cdot \xi)$ は周期と間隙長が一定ならば、 ξ によらず一定値を取るのに対し、位相差は ξ によって異なる値を取る傾向を示した。また、各振幅の場合とも内管の振動振幅が大きくなるにつれ位相差は急激に増加する傾向を示している。

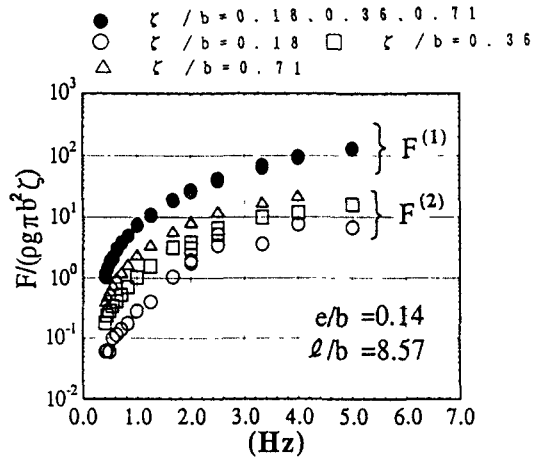


図-3 無次元抵抗力の周波数変動

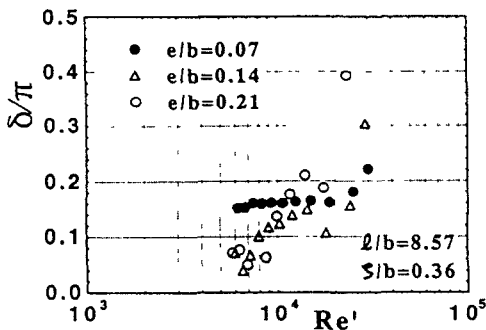


図-4 位相差に対する比間隙長の影響

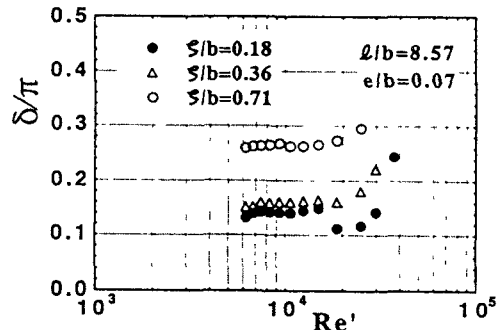


図-5 位相差に対する振幅の影響

参考文献

- 清田ら：二重管式水平版サポートシステムの抵抗特性，平成3年度西部支部研究発表会，pp.156-157
 吉田ら：二重管式浮体係留システムの抵抗特性，海岸工学論文集，第38巻，1991，pp.791-795