

防衛大学校土木工学教室 正 員 〇林建二郎

" " 藤田 悟

" " 正 員 藤間功司

" " 正 員 重村利幸

1. はじめに: 柱状な海洋構造物の設計においては、構造物の波力に対する振動応答特性の把握と併せて共振制御についても検討する必要がある¹⁾。本研究は、波動場に鉛直設置された直円柱の渦励振動制御に関する基礎的な研究として振り子式動吸振器の制振効果について検討したものである。

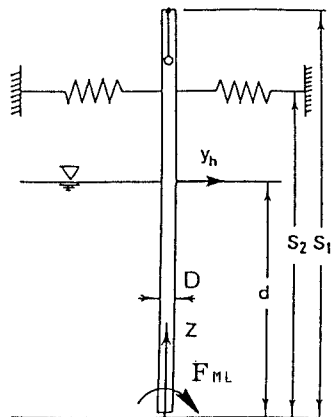
2. 実験装置および方法: 使用した円柱体の概略を図-1に示す。円柱体は直径1cm、長さ112.5cmの心軸円柱と試験円柱(外径 $D=1.905\text{cm}$ 、長さ98.5cm)で構成されている。試験円柱の上部は、水槽方向と直角な両方向に引張りバネを用いて弾性的に支持され、その下端は長さ20cm、幅5cm、厚さ0.6cmの円柱支持板に接続されている。支持板の水路方向両端は、水槽床部にピボット設置されているので試験円柱は、揚力方向にのみロッキング振動する。円柱振動量はバネの伸縮量に比例する力を歪ゲージを用いて電圧変換し計測した。静水表面位置における円柱振動量を代表振動量 y_h とする。

振り子式動吸振器は、円柱体の上端より水路方向に水平設置された支柱の端に重さ41.4gfの糸振り子を設置したものである(図-2参照)。振り子の質量は円柱体の換算質量²⁾の1/176である。振り子の固有振動数 f_{np} が試験円柱の水中固有振動数($f_{nw}=1.54\text{Hz}$)と一致するように糸の長さ(10.6cm)を調整した。振り子の振動量 y_2 の測定にはビデオカメラを用いた。

実験には、静水深 $d=80\text{cm}$ を有する規則波を用いた。静水表面位置におけるKeulegan-Carpenter数(=CKC数)を約10に固定し、動吸振器設置時と不設置時のそれぞれにおける渦励振動量の周波数比 f_w/f_{nw} (f_w =作用波周波数)に対する変化特性を調べた。また、振動外力となる試験円柱に作用する揚力モーメントを推定するために、振動しないように固定設置した同試験円柱のピボット点まわりの揚力モーメント F_{ML} を測定した。

3 結果および考察

試験円柱の振動モデルと座標系を図-2に示す。糸振り子の振動方程式は(1)式で与えられる。試験円柱の振動方程式はピボット支点におけるモーメントの釣合条件を満たす(2)式で与えられる²⁾。(2)式においては、振り子の振動に伴い円柱上端に作用する力によるモーメント(左辺第3項、第4項)が考慮されている。式中の M_{mt} 、 C_{mt} 、 K_{mt} は、試験円柱体のモーメント換算質量、換算減衰係数、換算バネ係数である。 M_p 、 C_p 、 K_p は、振り子の換算質量、換算減衰係数、換算バネ定数である。これら振動諸元の値を表-1に示す。 $y_h, \dot{y}_h, \ddot{y}_h$ は、試験円柱の振動変位、速度、加速度である。 $y_2, \dot{y}_2, \ddot{y}_2$ は振り子の振動変位、速度、加速度である。 f_L は揚力の卓越周波数である。



(S1=112.5cm, S2=103cm)

図-1 試験円柱の概略

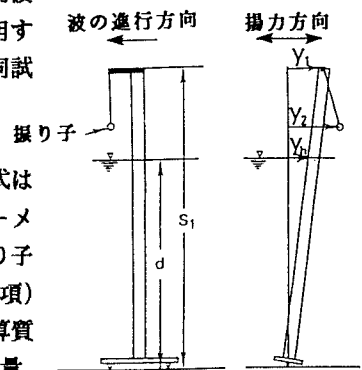


図-2 振動モデルと座標系

$$M_p \cdot \ddot{y}_2 + C_p (\dot{y}_2 - \dot{y}_h \cdot S_1/d) + K_p (y_2 - y_h \cdot S_1/d) = 0 \quad \text{--- (1)}$$

$$M_{mt} \cdot \ddot{y}_h + C_{mt} \cdot \dot{y}_h + K_{mt} \cdot y_h - C_p (\dot{y}_2 - \dot{y}_h \cdot S_1/d) \cdot S_1 - K_p (y_2 - y_h \cdot S_1/d) \cdot S_1 = F_{ML} \cdot \sin(2\pi \cdot f_L \cdot t) \quad \text{--- (2)}$$

静水中での減衰自由振動記録より、減衰振動する円柱振動量 y_h の各半振幅 Y_h に対する減衰定数 h_{tw} を対数減衰法を用いて算定した。 h_{tw} と Y_h/D の関係を図-3に示す。 h_{tw} は Y_h/D の増加に伴い増加する。 h_{tw} と Y_h/D の関係を示す回帰式を図中に示す。

図-4a), b)に、振り子式動吸振器不設置時と設置時における円柱振動量 y_h の最大片幅振動値 Y_{hmax} と f_w/f_{nw} の関係を示す。同図中のc)に振り子の振動 y_2 の最大片幅振動値 Y_{2max} と f_w/f_{nw} の関係を示す。図中の計算値は、表-1に示す振動諸元と円柱固定時における揚力モーメント F_{HL} の実測値を(1)式、(2)式に代入して得られた数値解である。動吸振器不設置時の計算値は左辺の第4項、第5項を取り除いた(1)式による値である。動吸振器設置時の計算値は(1)、(2)式を連立させたものである。(1)式中の減衰係数 C_{mt} は、図-3c)に示す回帰式を用いた次式で評価した。

$$C_{mt} = 2 \cdot \{0.003 + 0.0076 \cdot (Y_h/D)^{2.28}\} \cdot (M_{mt} \cdot K_{mt})^{1/2} \quad \text{--- (4)}$$

CKC=10の場合、揚力の卓越周波数 f_L は作用波周波数 f_w の2倍である。従って、動吸振器不設置時には $f_w/f_{nw}=0.5$ 付近で共振現象が生じている。振動円柱と流れとの相互作用による非線形振動のため実験値は、 $f_w/f_{nw}=0.5$ 近傍の幅広い領域で大きな振動値を示している。一方、動吸振器設置時には $f_w/f_{nw}=0.5$ 近傍で顕著な制振効果が得られている。しかし、 $f_w/f_{nw}=0.46$ および $f_w/f_{nw}=0.55$ 付近では新たな共振が生じている。計算値は、制振領域（a点近傍）および新たな共振領域（b点近傍、c点近傍）を良く評価している。

a、b、c点における揚力モーメント F_{HL} 、円柱変位 y_h 、ならびに振り子の変位 y_2 の位相関係を計算結果より調べた。a点では、揚力モーメント F_{HL} と振り子振動による外力モーメントが打ち消し合って制振効果が生じている。b点での共振は、振り子が円柱と同位相で振動する結果、円柱の振動方程式中の慣性力項が見かけ増加し、円柱の固有振動数 f_{nw} が見かけ上減少したためである。c点での共振は、振り子が円柱と逆位相で振動する結果、a点と逆の現象が生じ f_{nw} が増加したためである。

<参考文献>1)小村辰彦、波による海洋プラットフォームの振動特性および共振制御に関する研究、金沢大学工学部博士論文、1993、2)林等、波動場における直円柱渦励振動特性及びその制振に関する基礎的研究について、海岸工学論文集、39巻、1992。

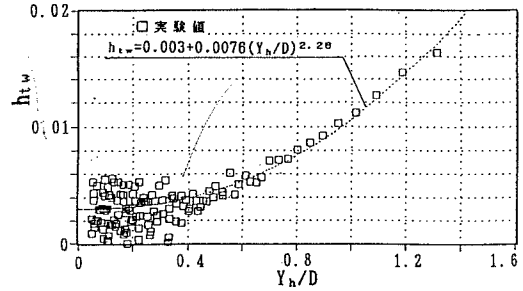


図-3 静水中における試験円柱の減衰定数

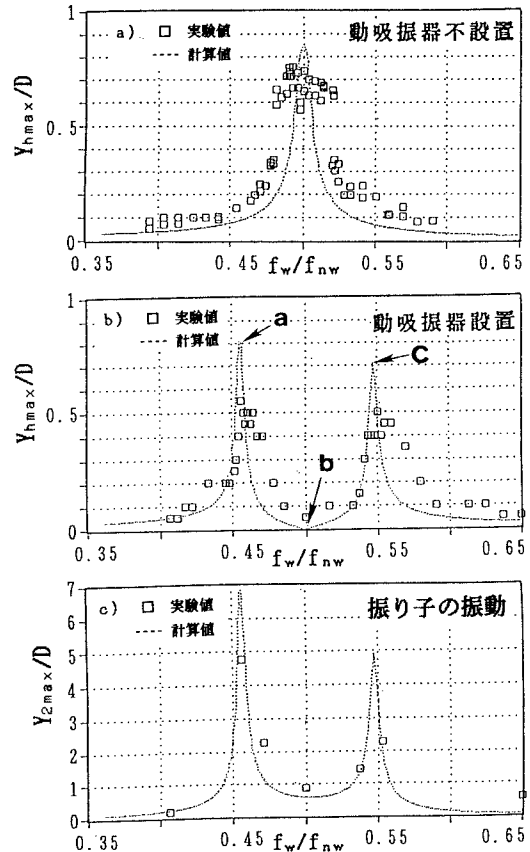


図-4 振り子式動吸振器の制振効果

表-1 振動諸元

$M_{mt}=197\text{gf}\cdot\text{s}^2$ 、 $C_{mt}=(4)\text{式}$ 、 $K_{mt}=18382\text{gf}$
 $M_p=0.042\text{gf}\cdot\text{s}^2/\text{cm}$ 、 $C_p=0.0186\text{gf}\cdot\text{s}/\text{cm}$ 、 $K_p=3.91\text{gf}/\text{cm}$