

[-474 同調液体ダンパーによる鉛直方向振動の制振]

東京大学 学生員 孫 利民

東京大学 学生員 中岡 照夫

東京大学 学生員 Piyawat Chaiseri

東京大学 正員 藤野 陽三

東京大学 正員 Benito Pacheco

東京大学 正員 伊藤 學

1. はじめに 容器内の液体動揺を利用したダンパーには種々の利点があり、建設工学の分野で最近特に活発な研究が行われている。しかしこれまでは、水平方向の振動を抑制する研究がほとんどであった。そこで、本報では、U字管ダンパーによる垂直方向の振動制御について、実験及び理論によって検討した。また、U字管ダンパーと組み合わせるオリフィスとしては、従来使われていた水中のオリフィスではなく、空気オリフィスを用いて、その特性も併せて検討した。空気オリフィスの長所としては、交換が非常に容易であることが挙げられる。

2. 連成振動方程式及び解析法 図1は、この実験に用いた、片側の口に密閉した空気室を持つU字管ダンパーを構造物にのせた連成系振動モデルで、これについて方程式を考える。まず、体積変化による空気の力は本来非線形であるが、これを線形近似する。そのために、空気の膨張、圧縮は、断熱過程であると仮定する。つまり、 $PV^\gamma = \text{const.}$ P : 空気圧、 V : 空気室体積、 γ : 比熱比。これをもとに、Lagrangeの方程式を用いて、構造物-U字管ダンパーの連成振動方程式を求めると式(1)、(2)のようになる。

$$\rho ALx + C_d x + A \{ 2\rho g + \gamma (P_0 + \rho gH) / H_0 \} x + \rho AH\dot{y} = 0 \quad (1)$$

$$(\rho AL + M_d + M_b)\ddot{y} + C_b \dot{y} + K_b y + \rho AHx = P \sin \omega t \quad (2)$$

ここで、 x : 液面の変位、 A : 管の断面積、 d_1 : 直線部の液体の長さ(密閉側)、 d_2 : 曲線部の液体の長さ、 d_3 : 直線部の液体の長さ(開放側)、 L : 液体の全長($d_1 + d_2 + d_3$)、 H : 液体の高低差、 H_0 : 空気室の長さ、 M_d : 容器の質量、 C_d : ダンパーの減衰係数、 y : 構造物の変位、 M_b : 構造物の質量、 K_b : 構造物の剛性、 C_b : 構造物の減衰係数、 g : 重力加速度、 P_0 : 大気圧、 P : 外力の振幅、 ω : 外力の角振動数、 γ : 比熱比、 ρ : 液体の密度、とする。実際実験に使ったU字管ダンパーは、高さ80cm、断面積50cm²で管中に入る水の質量は5~6kgであった。また、式(1)、(2)からわかるように、ダンパーとしての有効質量は、左右の管中の水の高低差分の質量 ρAH である。次に、式(1)、(2)で、表わされた連成振動方程式の解析法について考える。ここで問題となるのは、(1)式、つまりU字管ダンパー側の方程式の減衰項が非線形となる事である。水中オリフィスを使用した場合、多くの研究によって明らかになっているように、圧力損失係数 κ を用いて、

$$C_d = \rho A \kappa | \dot{x} | / 2 \quad (3)$$

と表わされる。(3)式から明らかなように減衰項は非線形となり、速度の絶対値に依存する。空気オリフィスもこれと同様であることが、実験により確かめられた(次節参照)。ただし、 κ は、実験より求めた値を用いる。解析法としては、線形化加速度法を用い、 C_d 中の速度の絶対値には前段階における速度を代入して時刻歴を求めていく。

3. U字管ダンパーの自由振動実験 まず、U字管ダンパーの減衰特性を調べるために自由振動実験を数種類のオリフィスについて行なった。このうちオリフィスがない場合と、 $r=1\text{cm}$ の場合について結果を、横軸に振幅、縦軸に減衰定数 h をとってプロットしたのが、図2である。これらより、空気オリフィスを取り付けたこのU字管ダンパーの減衰が、振幅、つまりは速度に直線的に依存するのがわかる。

4. 構造物とU字管ダンパー系の正弦加振振動実験 次に振動台を加振して、制振時(ダンパーをのせた時)と非制振時(ダンパーをのせない時)の振動台の振幅を比較する実験を行なった。ここでダンパーの有効質量 ρAH を振動台の質量の0.01、また両者の振動数比を0.99となるように水の量などを調整した。またこの実験も、数種類のオリフィスについて行なったが、図3に $r=2\text{cm}$ の場合についてその実験値と、解析による理論値を比較したグラフを示す。このグラフにおいて、横軸は入力と振動台の振動数比、

縦軸は振動台の振幅である。この図3より、実験結果では、制振時の振動台の振幅が非制振時の1/6程度まで、制御されており、ダンパーの効果が認められる。また理論値を求める際に、実験時の実際の入力波形を解析に用いた。これは実験装置の性能上、入力としてきれいな正弦波が得られなかったためである。この結果、図3からわかるように、理論値と実験値がよく一致した。これより、この解析方法を用いて、かなり精度の高い予測が可能であると考えられる。

5. まとめ 本報では、片側の口に密閉した空気室を持つU字管に空気オリフィスを組み合わせたダンパーが、垂直方向振動の制御に十分効果のあることを実験により示した。また同時に、その効果を線形加速度法によって、予測できることも示した。しかし、実用に向けて今後更に実験を重ね、空気オリフィスの特性をより解明し、また、解析による予測についてもより確実なものとなるよう研究が必要であると考えられる。最後に、実験の準備段階で多くの貴重な助言をいただいた、川崎重工業株式会社の坂井藤一氏、玉木利祐氏に感謝致します。

(参考文献) 1) 坂井、高枝、玉木：液注管ダンパーの提案，構造工学論文集Vol. 35A 1989年3月 2) 坂井、高枝、玉木：相似モデルによる液注管ダンパーの制振実験，構造工学論文集Vol. 36A 1990年3月 3) 平野：Hydrodynamic Vibration Damperについて，三井造船技報・第87号 4) 松浦、松本、互平、水内、有馬、城市：動吸振器による振動防止法に関する研究，関西造船協会誌・第199号 昭和60年12月

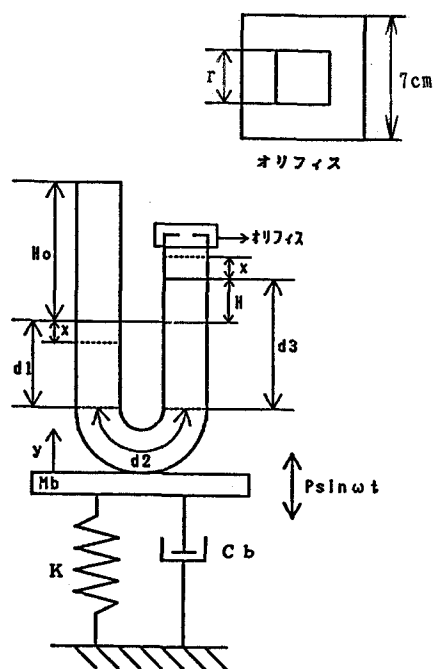


図1 構造物とU字管ダンパーの連成系振動モデルとオリフィス

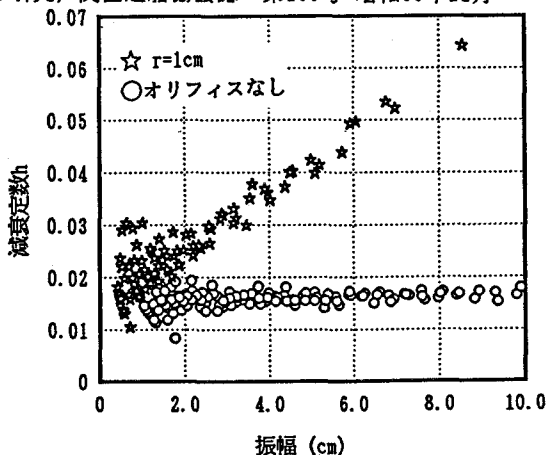


図2 自由振動による減衰定数

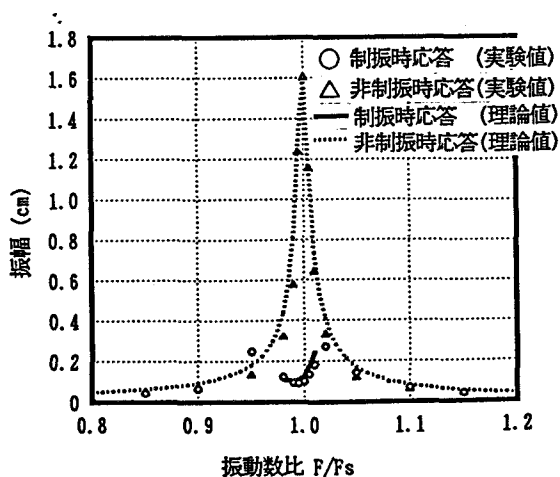


図3 周波数応答曲線