

I-310

液体振動を利用した鉛直振動の抑制効果について

九州工業大学・工学部 学生員 ○大原英史

〃 正員 久保喜延

〃 学生員 金尾 稔

1. まえがき

これからの土木構造物はますます大型化し可撓性に富む傾向がみられ、これにともない風荷重の影響も大きなものとなってきている。この風によって構造物に生じた振動は、完成時では利用上、また架設時においても作業の安全や施工の能率の上から問題となり、何らかの方法を用いて減衰あるいは抑制する必要がある。大型の構造物の一例として橋梁を挙げると架設段階においては主塔のみの状態になる時がある。これは片持ち梁のようになり、非常に不安定であるが、この状態の主塔に対してはその振動振幅を減衰させる色々な手法が考案、実施されている。桁についてもその両端にバネとおもりを取り付けた、ダイナミック・ダンパー(モデル図1)を用いたものがあるが、厳密な固有振動数の調節が必要である。これに対して変形の自在な液体を用いれば、液体が持ついくつかの振動モードによって、ある程度幅のある振動数域について、その振幅を抑制できるのではないかと考えた。最近では、このような液体のスロッシングダンパーを水平振動に対して用いた研究がなされているが、鉛直振動に対する検討はあまりなされていないので、本研究ではこれを直接鉛直振動の抑制に応用し、その効果を検討した。

2. 研究の背景

円筒容器内液体の自由振動の固有振動数は次式によって与えられる¹⁾。

$$\Omega_{mn}^2 = \left\{ \left(\frac{\xi_{mn}}{R} \right)^3 \frac{\sigma}{\rho} + \frac{\xi_{mn} g}{R} \right\} \tanh \left(\frac{\xi_{mn} H}{R} \right) \quad (1)$$

ここで、 σ は液体の表面張力、 ρ は液体の密度、 R は容器の半径、および ξ_{mn} は、 $J'_m(\xi_{mn})=0$ の根である(J' はBessel関数の微分形)。円筒容器を強制加振した場合の容器内の水面振動の特性を調べるために、内径10,17,30cmの亚克力製の円筒容器を用いた。このときの振動数と水深の関係について、内径17cmの場合の結果を図2に示す。これによれば、式(1)の値と実験値は、ほぼ一致しているが、実験結果では式(1)による振動数の2倍、3倍のあたりでも、同一モードの波が生じていることが確認できた。

3. 実験方法

実験は、①自由減衰をしている状態と②常時振動エネルギーが供給されている状態の2通りについて行なった。①については、加振機を用いて一定振動数で加振し、水面に波が生じた時に加振を止めて、その後の自由振動の振幅の変化を見た。また、②についてはBluff bodyが風を受けると、渦励振をおこして振動するという現象があり、この振動している模型の振幅をどれほど抑えることができるか、という点に着目して実験を行なった。実験は九州工業大学工学部開発土木工学科付属の省資源実験室に備え付けの中型風洞で、Box型の橋梁断面をバネ吊りし、これに円筒水槽および重量調節用のおもりを載せて行なった(図3)。加振振動数 f を固定し水深 H を変えて行なった。直径(内径)17cmの円筒容器に水

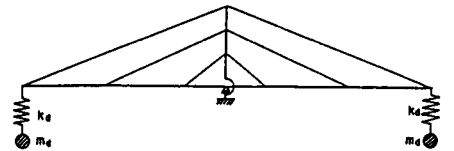


図1 ダイナミック・ダンパー(モデル)

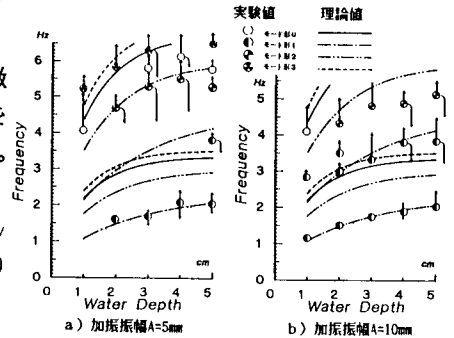


図2 液体の水深と振動数と固有モード

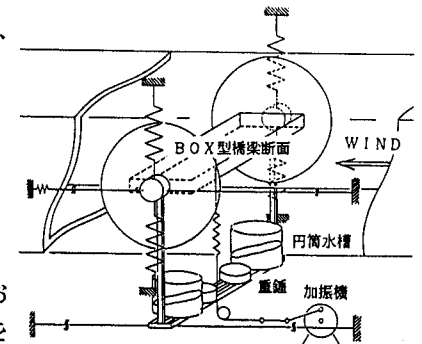


図3 実験装置図

を注ぎ、そのときの水深 H を15mmから5mmごとに50mmまで変えて、 $[H/D]$ の違いによる減衰の効果を見た。振幅はレーザー変位計を用いて取り込み、この出力信号をスペクトルアナライザーを通して振幅の包絡線を描かせた。加振振動数を $H=30\text{mm}$ のものに同調させた場合について行なった。質量比の違いを見るために容器を1個用いた場合と2個用いた場合について行なった。実験の結果を図4～図6に示す。

4. 実験結果と考察

加振振動数 f を水深 $H=30\text{mm}$ の場合に水面形状の固有モードが発生する振動数に同調させて、水深 H を変えた実験を行なった。

①自由減衰の場合(図4, 5) 図4は水深30mmの液体がもつ固有振動数で振動した場合の自由減衰の振動振幅の包絡線である。いずれの場合においても減衰はスロッシング(波が碎波している状態)発生直後から生じている。これらの図からわかる通り、加振振幅や水深によって減衰特性が異なるため、一般の対数減衰率のような形で一律に表現することは難しい。ここではこの包絡線の傾きの最大値を比較することによって減衰特性を表している。また、図5で大きな減衰効果が現れている場合は、大きなスロッシングが起きていた。加振振動数を $H=30\text{mm}$ の場合の固有振動数に同調させているため、 $H=30\text{mm}$ では比較的小さな振幅で減衰効果が起きていることがわかる。また、水深が大きくてもスロッシングが発生すれば、減衰効果は現れる。容器1個の場合、2個の場合とも効果が現われたのは $H=25\sim 45\text{mm}$ の範囲であり、このときの質量比 μ はそれぞれ5～8%、9～16%であった。

②常時エネルギーを供給させた場合(図6) 風速を徐々に上げていくと、容器1個の場合は片振幅が33mm位になるところでスロッシングが発生し、振幅を抑制し始め、そのときの最大振幅は減衰装置がない場合の47%程度であった。容器2個の場合では同様に62%程まで振幅を抑制している。この場合、効果が認められたのは、 $H=30, 35\text{mm}$ の場合のみであった。

5. まとめ

I. 鉛直振動において、円筒水槽内の液体はスロッシングを起こし、振幅をある程度抑制することができる。ただし、一つの振動数に対しては適当な水深域 H が存在し、これを外れると質量比が大きくてもあまり効果は期待できない。

II. 質量比が5～8%程度でもスロッシングが生じれば減衰の効果は十分にあるから、この装置を備え付けることによって重量の大きな物体の振動の抑制効果を期待できる。以上のように、この液体ダンパーは取り付ける構造物の固有振動数に対して水深を調節して同調させる必要があるが、取り扱いが簡単で質量比も小さくてもすみ橋梁の振動抑制に有効であると考えられよう。

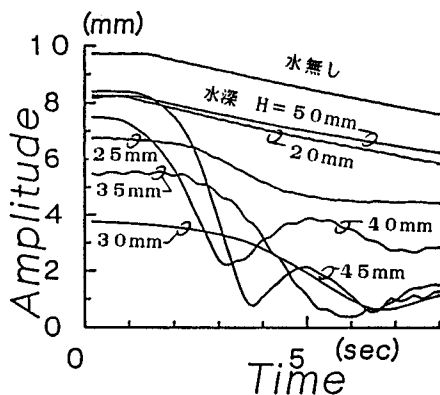


図4 自由減衰波形の包絡線

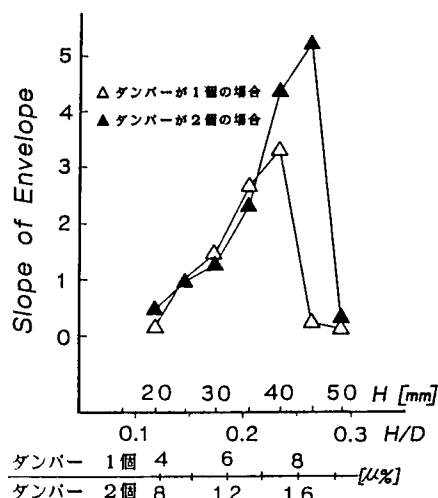


図5 水深と減衰包絡線の傾きと質量比

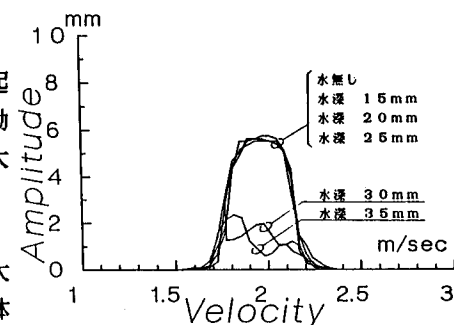


図6 振幅の応答曲線