

## 鉛直振動の抑制に関する 液体運動の利用について

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** これから長大化の見込まれる斜張橋の架設系は、その構造系の特性を生かして、張り出し工法とすることが多い。その際完成直前では、長い片持梁となっているため最も不安定な系となり、風・地震等による振動が生じ易く、施工性や安全性および強度の面から非常に危険な状態となる。この振動を抑制する方法としてこれまでTMD(Tuned Mass Damper)(図1)などが用いられたことがある。しかしながら、この方法では桁の張り出し長さが変わると共に、構造系の固有振動数が下がり、そのたびにTMDを微妙に調節しなければならない。これに対して変形の自在な液体を用いれば、液体がも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、その振動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、鉛直振動に対しての検討は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する方法を検討した。

**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<sup>1)</sup>。

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

ここで、 $\sigma$ は液体の表面張力、 $\rho$ は液体の密度、 $R$ は半径、および $\xi_{mn}$ 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、という点に着目した実験を行なった。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 $D$ )17cmの円筒容器に水を注ぎ、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 $H=25\text{mm}$ の時に生じる波の固有モードに同調さ

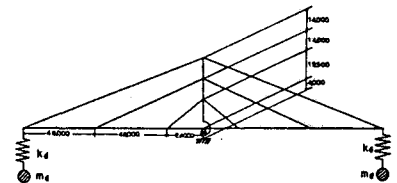


図1 T. M. D.

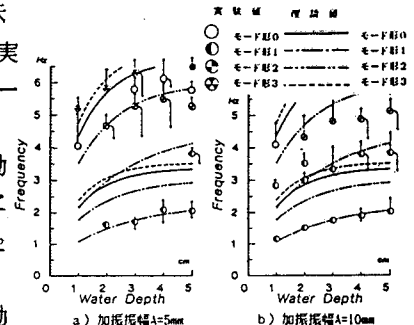


図2 液体の水深と振動数と固有モード

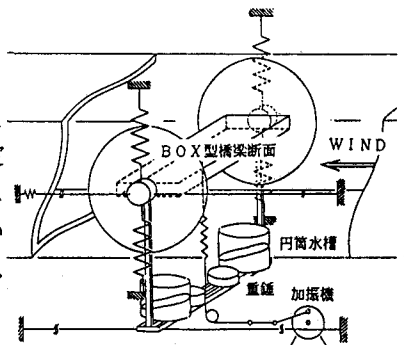


図3 実験装置図

せた場合と、 $H=30\text{mm}$ のものに同調させた場合の2種類を行なった。  
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8に示す。

**4. 実験結果と考察** 加振振動数 $f$ を $H=25$ および $30\text{mm}$ の2通りにつ  
いて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。自由減衰の場合、これらをそれぞれ<k25\*>、  
<k30\*>シリーズとし、円筒容器1個と2個の違いを<k11>、<k12>と  
する。常時エネルギーを供給させる場合は、<w11>シリーズと表す。

①自由減衰の場合(図4, 5, 6) これらの図は自由減衰の振動  
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、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。  
図6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。<k30>シリーズは加振振動数を $H=30\text{mm}$ の場合の固有振動  
数に同調させているため小さな振幅で減衰効果が起きている。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。この  
場合、効果が現われたのは $H=25\sim H=45\text{mm}$ の範囲であり、このときの  
質量比( $\mu$ )は5～8%であった。<k25>シリーズでは、 $H=20, 25, 30\text{mm}$   
の時に減衰効果がみられる。しかしながら、<k30>シリーズのように  
[ $H/D$ ]を上げてても減衰の傾きは大きくならなかった。この原因につ  
いては、 $H=15, 20, 25\text{mm}$ という水深では波がスロッシングまで発達する  
には浅過ぎたためではないかと考えられる。

②常時エネルギーを供給させた場合(図7, 8) <w25>シリーズ  
において、 $H=25\text{mm}$ とした時には、減衰装置がない場合の最大応答振  
幅は<w251>では80%、<w252>では60%程度になっているのがわかる。  
この場合、効果があるとみられるのは、 $H=25\text{mm}$ の時のみであった。  
<w30>シリーズでは<w301>のときの風速を徐々に上げていくと、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。  
<w302>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4～7%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の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すみ橋梁の振動抑制に有効であると考えられよう。

参考文献 1) Benjamin, T. B. and Ursell, F., Proc. R. Soc., Ser. A. 225(1954), 505

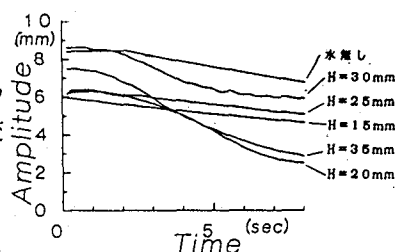


図4 減衰振幅図<k252>シリーズ

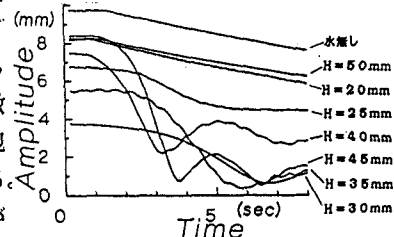


図5 減衰振幅図<k302>シリーズ

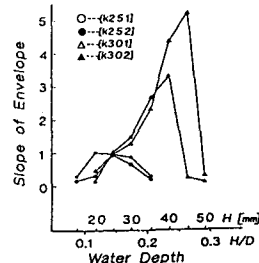


図6 水深と減衰の傾き

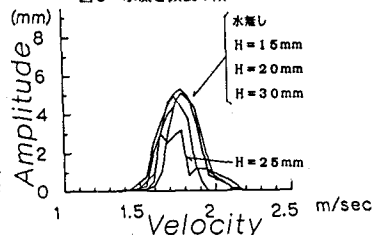


図7 応答曲線<w252>シリーズ

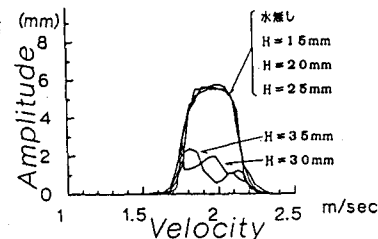


図8 応答曲線<w301>シリーズ