

(I-36) アクティブ TLD の制振効果に関する解析的検証

東京大学工学系研究科 学生員 鈴木 大也
 東京大学工学系研究科 正会員 阿部 雅人
 東京大学工学系研究科 フェロー 藤野 陽三

1. はじめに

土木構造物は、地震や交通、風などによる振動の影響を受けているが、我々が安全に使用することができるよう、これまでに振動に対する対策が多数研究されている。その一つの例がパンプの振動制御であるが、そのデバイスとしては液体の動揺を構造物の固有振動数に同調させる TLD (同調式液体ダンパー) が代表として挙げられる。本研究では、磁力によって体積力を加えることが出来る磁性流体を用いることで、構造物との同調がずれたときにおいてもアクティブな制御を行うことで高い制御効果を維持することが可能なアクティブ TLD について、実験結果との比較を行い、考察を行う。

2. 磁性流体 TLD のモデル化

ここでは、TLD を解析しやすい形にするために TLD および建物模型を 1 自由度でモデル化して、全体では 2 自由度のモデルで定式化を行う。

TLD の容器には、図 1 に示す矩形容器 (幅 a 、奥行 b 、水深 h) を用い、その液面動揺を 2 次元問題として考える。液体は浅水状態 ($h/a \ll 1$) にあり、座標系 $X-Z$ は容器とともに動くとし、容器は水平運動 $X(t)$ を受けるとする。また、容器内の液体は非圧縮性、渦なしとし、液体の表面張力は無視し、磁性流体の自由表面を 1 次スロッシングモードであると仮定する。

図 2 はシステムをモデル化したものであり、図中の添字 S は建物模型、 T は TLD に関する量を示している。また、TLD と建物模型が連成した支配方程式は次式ようになる。

$$M_t = \frac{1}{2} \left(\frac{a^2}{\pi} \right) \frac{1}{\tanh(\pi h/a)}, \quad F_{mg} = \frac{f_0}{4\alpha^2 \{1 + (\pi/2a\alpha)^2\}} (e^{-2a\alpha} + 1),$$

$$\text{建物模型と TLD の質量比: } \mu = \frac{\rho a b h}{M_t}$$

$$\begin{bmatrix} 1 + \mu & -\frac{2a\mu}{h\pi^2} \\ -\frac{2a^2}{\pi^2 M_t} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{X} \\ \ddot{q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2\xi_s \omega_s & 0 \\ 0 & 2\xi_t \omega_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega_s^2 & 0 \\ 0 & \omega_t^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(1 + \mu)\ddot{Z} \\ \frac{2a^2}{\pi^2 M_t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{F_{mg} f(t)}{M_t} \end{bmatrix}$$

3. 解析

3.1 建物模型の緒言

実験に用いられている建物模型は、2 階建てのモデルで各階の部分はアルミニウム、各床部分を支える 4 本の柱の部分は鉄でできている。この建物模型の固有振動数や減衰定数を同定するために模型のみのスィ

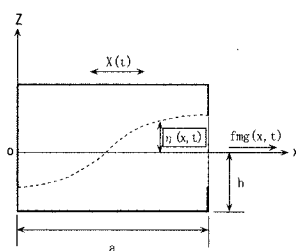


図1

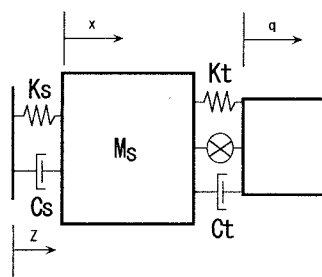


図2

キーワード TLD, 磁性流体, Bang-Bang 制御

連絡先 〒113-8656 文京区本郷 7-3-1 Tel. 3812-2111 FAX 5689-7292

ープテストを行い、スィープテストの結果からハーフパワー法を用いて固有振動数は 2.275Hz、減衰定数は 8.23×10^{-3} と求められている。

3.2 磁力無付加スィープテストに関する解析

スィープテストは振動台による強制振動下で建物模型の応答が定常になるまで時間をおいて測定をし、振動台加振振動数を 1.5Hz～2.5Hz まで 0.025Hz のステップで徐々に変化させて行う。測定するものは振動台振動数、建物模型変位、振動台変位で、結果は図 3 の点線で示すように、ある振動数下の最大建物模型変位で無次元化して表している。また、解析による結果を図 3 の実線で示している。

3.3 磁力付加スィープテストに関する解析

磁性流体を用いた TLD にコイルを用いて磁力を加えて制御を行う。磁性流体には矩形容器の両側からコイルによって磁力を加える。加える磁力は片側から交互にオンオフを繰り返し、磁力により液面を変化させ、流体力を働かせて制振に用いる。制御力は模型変位のフィードバックとなる Bang-Bang 制御によって制御力を加える。制御則は阿部²⁾によって提案され、次式で表される制御則を用いる。

$$u = -u_{\max} \operatorname{sgn} \left[\left(1 - \frac{\mu}{2\zeta} \alpha \right) \frac{\bar{q}}{\mu} x \right]$$

$$\hat{x} = \sqrt{\dot{x}^2 + \ddot{x}^2 / \omega_s^2}, \quad \hat{y} = \sqrt{\dot{y}^2 + \ddot{y}^2 / \omega_t^2}, \quad \alpha = \hat{y} / \hat{x} \quad \mu: \text{TLD と建物模型の質量比}, \zeta: \text{TLD の減衰比}, \bar{q}: \text{重み}$$

磁力無付加実験と同様に振動台振動数、建物模型変位、振動台変位を測定し、ある振動数下の最大建物模型変位で無次元化して表している。結果は図 4 に、実験結果を点線で、解析結果を実線で示している。

4. 結論

図 3、図 4 から制御を行った磁性流体 TLD (アクティブ TLD) は磁性流体 TLD と比較して、構造物の固有振動数付近の広い範囲で変位応答を効果的に低減させることが可能であることがわかる。今後の課題としては、実験値と解析値との開きを小さくすることが挙げられるが、それはモデル化の際に 1 次モードの影響が大きいのことを仮定しているためであると考えられる。したがって、モデル化の再検討することが課題として挙げられる。

<参考文献>

- 1) 佐野 泰如・阿部雅人・藤野陽三：磁性流体を用いたアクティブ同調式液体ダンパー(TLD)の制振効果，土木学会第 52 回年次学術講演会，1997
- 2) 阿部雅人，藤野陽三：アクティブ動吸振器の最適制御則の摂動解，構造工学論文集，Vol.42A，1996 年 3 月

謝辞

本研究は平成 10 年度文部省科学研究費補助金 (萌芽的研究，課題番号 10875092) の補助によるものである。ここに記して謝意を表する。

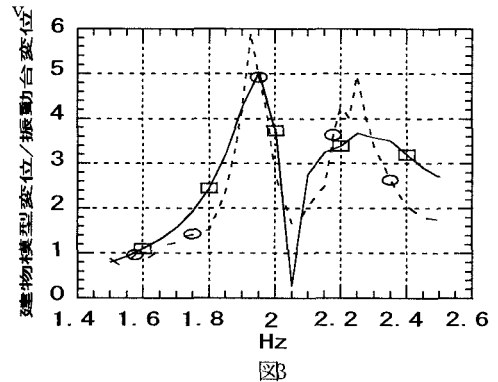


図3

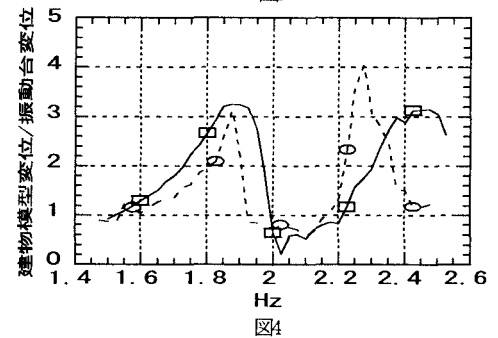


図4