

I - 251

TLDを用いた柔構造物の地震応答制御に関する実験的研究

京都大学大学院 学生員○本郷克浩
京都大学工学部 正会員 家村浩和

中部大学工学部 正会員 山田善一
立命館大学理工学部 正会員 伊津野和行

1. はじめに

柔構造物の振動を低減する目的で最近では様々な振動制御手法が実施、あるいは研究されている。本研究では、こうした背景をふまえて既に風による制振対策として実用化されているTuned Liquid Damper(TLD)を用いて受動的振動制御実験を行い、地震波入力時におけるその有効性を検討した。

2. 実験システム

実験システムは、水平加振振動台、3層供試体、制振装置、記録装置からなっている。実験システムのブロックダイアグラムを図1に示す。振動台制御用コンピュータで入力波データを読み込みそれを入力波の記録時間間隔に従い逐次デジタル信号としてDA変換器に送る。そしてDA変換器でアナログ信号に変換して振動台を加振する。また、供試体各層と振動台には速度計が、TLDである円筒型水槽には波高計が設置しており、そこで得られたアナログデータをAD変換器でデジタル信号に変換し制御用コンピュータでフロッピーディスクに記録する。

モード次数	1	2	3
刺激係数	0.268	-0.075	0.029
固有周期(s)＜理論値＞	0.662	0.236	0.164
固有周期(s)＜測定値＞	0.686	0.259	0.1827
減衰率(%)＜測定値＞	0.355	0.381	5.94

表1 供試体の刺激係数、固有周期、減衰率

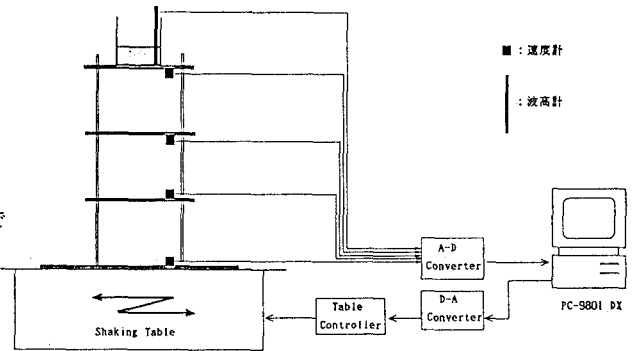


図1 実験システムのブロックダイアグラム

供試体は床が各層500mm×500mm、厚さ12.2mmの鋼板で製作した。柱は1250mm×16mm×3.2mm（柱剛性11.43kgf/cm）の角材を用いており、床間隔は31cmである。供試体のモード図を図2に示す。また供試体の刺激係数、固有周期及び減衰率を表1に示す。固有周期と減衰率の実験値はSweep試験により求めた。

本実験ではダンパーとして半径12cmの円筒型水槽を用いた。Housnerの理論によると半径R、水深Hの円筒型水槽におけるスロッシング周期Tは

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g} \frac{\coth(1.84H/R)}{1.84}}$$

で与えられる。これに従って供試体の1次固有周期0.69sにスロッシング周期を同調する為、水深はH=4.06cmとした。このとき供試体の1次等価質量に対するTLDの質量比は $\mu=4\%$ となる。

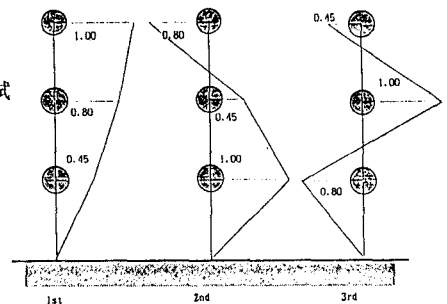


図2 モード図

3. 振動実験

実験ではEL CENTRO波を供試体に入力した。振動台の出力加速度の最大値は25galである。このときの第3層の応答速度の時刻歴を図3、そのフーリエスペクトルを図4に示す。TLDを設置した場合第3層の速度振幅が小さくなっており、フーリエスペクトルの1~2Hz付近に見られるピークがTLDを設置しない場合の約50%にまで低減されている。一方、2次振動と思われる4Hz付近のピークに変化はない。また、TLDの作動状態の目安になる波高の時刻歴を図5に示す。制振効果の高い6~8秒付近で波高の動きが大きくなっており、さらに微小速度応答振幅時でも確実に作動していることがわかる。

次に、大きな地震の場合水槽内の水はスロッシングを行わず波が砕けた状態になる。このような場合におけるTLDの制振効果を検討した。テーブルの出力加速度は50galである。この時の第3層の応答速度のフーリエスペクトルを図6に示す。TLDを設置しない場合の約60%に制御されており、波が砕けた状態でも制振効果のあることがわかる。

4. TMDの数値シミュレーションとの比較

ここでは代表的なパッシブコントロールであるTMDとの制振効果の違いを検討した。質量比4%で古典制御理論により最適設計されたTMDをWilsonの θ 法を用いて数値シミュレーションをおこなった。この時の第3層の応答速度のフーリエスペクトルを図7に示す。シミュレーションによるTMDの方が実験によるTLDよりも供試体の1次振動をよりよく制御できている。これはTLDにおいて水だけの減衰が最適減衰よりも小さいことや、減衰に参与する水が水槽内の水の一部であることによるものであると考えられる。図6

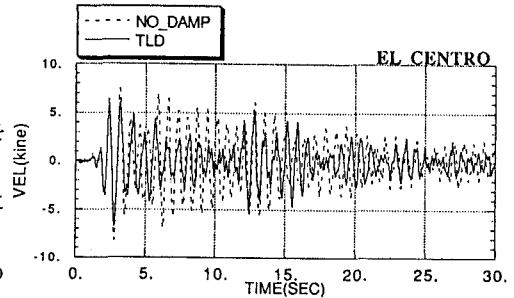


図3 第3層の応答速度の時刻歴
(MAX25gal)

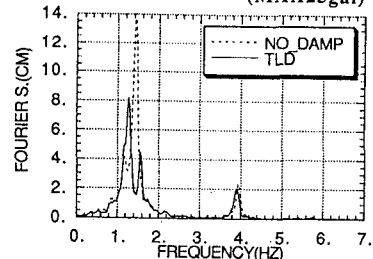


図4 第3層の応答速度記録のフーリエスペクトル

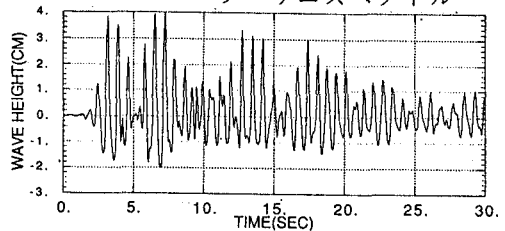


図5 波高の時刻歴

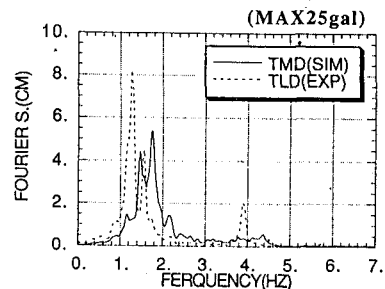


図6 50gal入力時の第3層の応答速度のフーリエスペクトル

5. まとめ

本研究ではTLDを設置することにより、地震波(EL CENTRO)入力時において供試体の1次振動がTLDを設置しない場合に比べて約50%に低減されており、TLDによる制振の有効性を実験的に検証することができた。さらに波が砕けた場合でもTLDは制振効果のあることが確認された。

最適設計されたTMDと比較して、今回の実験ではTLDは制振効果が低かったが、粘性液体を用いることなどにより減衰性を高めてやればTMDの制振効果に近づくものと思われる。今後は、減衰をコントロールしたTLDにも取り組んでいく必要がある。