

東海大学 学生会員 坂本 憲靖 東海大学 正会員 島崎 洋治
東海大学 非会員 中沢 真一、板子 誠、作間 友幸

1. はじめに

地震動のような非定常振動にパッシブ型制振装置を適用した場合、定常振動時に比べ制振効果が低減すると予測される。パッシブ型制振装置の一つである転動型制振装置 (Tuned Rotary-Mass Damper : 以下 TRMD) は、転動する回転子 (転動子) とそれを受ける円弧の容器 (外殻) からなる非常にシンプルな構造をもつ汎用性の高い装置である。ここでは、まず、地震動を受ける TRMD の運動方程式を導出し、解析結果と模型実験結果を比較することにより TRMD の地震動による減衰特性を求める。その後 1 自由度系のモデル解析を行い TRMD の地震時の制振効果を数値解析的に考察する。

2. 実験概要

TRMD の地震動による振動特性を知るため、TRMD を取り付けた 1 層のラーメン模型を作成し振動台実験を行う。計測は構造物 (ラーメン模型) の 1 層目と地盤 (振動台) の加速度を測定する。使用する地震波は ElCentro、十勝沖、秋田の 3 種である。それぞれの計測された最大地盤加速度は 51.4Gal、39.5Gal、51.4Gal である。TRMD は構造物との同調比、質量比を考慮して設計しており、それらの諸元を表・1 に示す。

3. 解析手法

数値解析は以下に示す理論式に対し、4 次の Runge-Kutta 法を適用して行う。ここで、 M_s, c_s, k_s, x_s は構造物の 1 層目の質量、減衰係数、ばね定数、変位を示し、 \ddot{x}_0 は振動台上で計測された加速度とする。また、 $m_t, \ell, \theta, C, \mu', I, \omega$ は転動子の質量、重心の運動半径 ($\ell = R - r_0$)、振れ角、粘性減衰係数、クーロン摩擦係数、慣性モーメント、固有角振動数である。

TRMD・構造物の運動方程式

$$\ddot{x}_s = -(1/M'_s)(c_s \dot{x}_s + k_s x_s - F_\theta) - \ddot{x}_0 \quad (1)$$

$$\ddot{\theta} = -(R'/m_t \ell)(\mu' N' \operatorname{sgn} \dot{\theta} + C \ell \dot{\theta}) - (R'g \sin \theta) / \ell - (R'/\ell)(\cos \theta - \mu' \operatorname{sgn} \dot{\theta} \sin \theta)(\ddot{x}_0 + \ddot{x}_s) \quad (2)$$

ただし

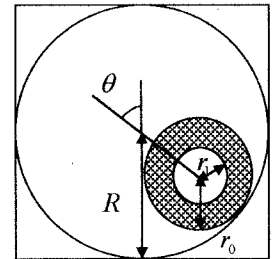
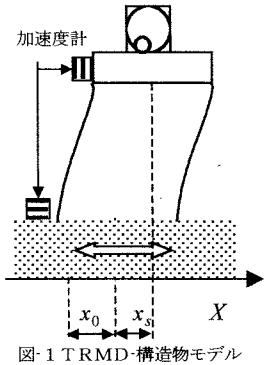
$$R' = 2r_0^2 / (3r_0^2 + r_1^2) \quad (3) \quad M'_s = M_s + m_\theta \quad (4)$$

$$N' = m_t \ell \dot{\theta}^2 + m_t g \cos \theta \quad (5)$$

$$m_\theta = m_t (1 - R' \cos^2 \theta + R' \mu' \operatorname{sgn} \dot{\theta} \sin \theta \cos \theta) \quad (6)$$

$$F_\theta = (\sin \theta + R' \mu' \operatorname{sgn} \dot{\theta} \cos \theta) N' + R' C \ell \cos \theta \dot{\theta} - (1 - R') m_t g \sin \theta \cos \theta \quad (7)$$

$$h_t = C \ell (2m_u \omega) \quad (8) \quad m_u = m_t + I / r^2 \quad (9)$$



図・2 TRMD モデル

表・1 TRMD・構造物の諸元

モデル重量 M_s [gf]	1011
振動数 f_s [Hz]	2.44
同調比 f_t/f_s	0.995
質量比 m_t/M_s	0.01

キーワード：転動型制振装置、TRMD、制振

連絡先：〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117 東海大学土木工学科 Tel0463(58)1211 Fax0463(50)2045

4. 地震動によって異なる TRMD の減衰特性

地震応答解析に用いる入力波は振動台上で計測された加速度とし、TRMD と構造物の諸元は表-1 に示した値を用いた。表-2 は各地震波別に解析と実験の最大応答加速度等が合うようにして求めた TRMD の減衰比とクーロン摩擦係数である。表-2 から分かるように、減衰は同じ TRMD であっても地震波毎に異なっている。これはクーロン摩擦係数及び減衰比が実際には一定ではなく転動子の動きによって変化しているためと予想される。表-3 には地震波別による構造物最大応答加速度の比（解析値/実験値）を示してある。解析例として図-3 に El Centro 波で加振した時の解析結果と実験結果を示す。本来減衰比とクーロン摩擦係数は時間的に変化するものと考えられるが、これらを地震波別に一定と仮定した解析結果は、比較的良く構造物の地震応答をシミュレートしていると考えられる。

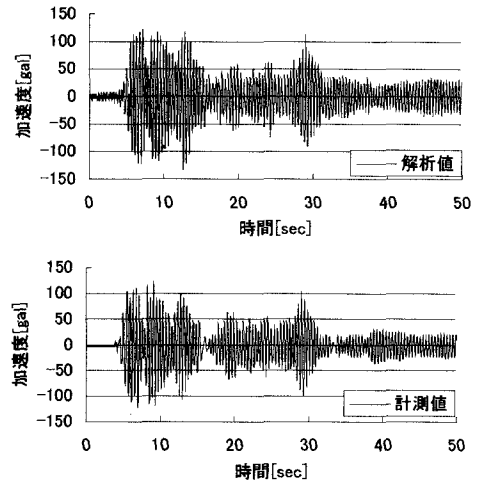


図-3 実験値と解析値の加速度

表-2 地震動別の減衰比とクーロン減衰係数

	El Centro	十勝沖	秋田
減衰比 h_t	0.017	0.032	0.03
クーロン減衰係数 μ'	0.035	0.05	0.02

表-3 実験値と解析値の最大加速度の比

El Centro	十勝沖	秋田
1.08	0.992	1.074

5. 応答解析による TRMD の制振効果

TRMD の地震動に対する制振効果を検証するために、1 自由度系構造物の制振時と非制振時における固有振動数別最大加速度を振動数別に求める。表-4 には、解析に用いた構造物と TRMD の諸元を示してある。入力地震波として兵庫県南部地震（最大水平加速度：678 Gal）を用いる。図-4 は最大応答加速度をスペクトル表示したものである。どのような固有振動数をもつ構造物であっても、非制振時と比べ制振時のスペクトルが全体的に下がっており、構造物の減衰が TRMD によって大きくなったことが分かる。また、制振時のスペクトルの凹凸が小さくなっていることから、TRMD が地震動による構造物の共振を抑えていることが分かる。

表-4 解析時の諸元

構造物	重量	1000kgf
	固有振動数	$f_n=0.1\sim 5.0\text{Hz}$
	減衰比	$h_s=0.001$
TRMD	質量比	$\mu=0.03$
	減衰比	$h_t=0.01\sim 0.03$
	同調比	$\gamma=0.9\sim 1.1$

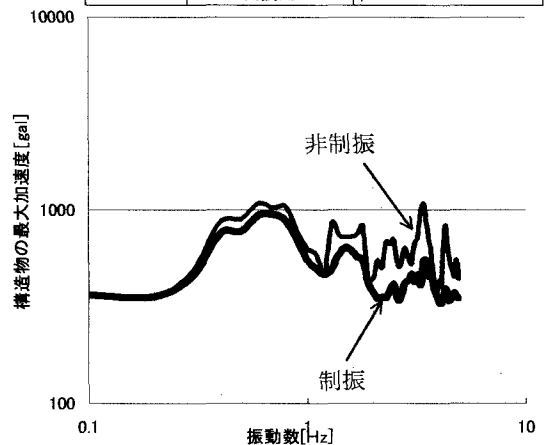


図-4 構造物の最大応答加速度

6. まとめ

1 層ラーメン模型の地震応答解析結果と模型実験結果を比較することにより、TRMD の減衰特性が地震波によって変化することが分かった。また、1 自由度系モデルの地震応答解析の結果、TRMD は地震による構造物の共振を抑えることができ、地震力による構造物の応答を低減できることが分かった。

【参考文献】

- (1)尾畑守夫他：構造工学論文集 vol47A 「転動型制振装置の自由振動における制振効果」 (2)金子善他：熊谷組技術研究報告第 55 号/1996.10 「橋梁用制振装置” パワフル TMD ” の基礎理論と制振効果の検討」 (3)大崎順彦著：「新・地震動のスペクトル解析入門」 鹿島出版 (4)山口宏樹：構造物振動・制御、共立出版株式会社 pp.133-149、1996