

(I-12)

TRDを設置した1自由度系ラーメン構造模型の自由振動

東海大学 学生会員 作間 友幸
東海大学 宮川 卓
東海大学 正会員 島崎 洋治

東海大学研修員 佐伯 秀
(株)日本コムシス 尾畑 守夫

1. はじめに

1 自由度系せん断型ラーメン構造模型に転動型制振装置(TRD)を設置した場合の自由振動応答実験と解析について述べる。これまでに 2 自由度系の自由振動実験¹⁾および強制振動実験を実施し、TRDの制振効果と有効性を示してきた²⁾。実用化に向けては理論的に装置のメカニズムを把握し、設計パラメータの最適化についても検討する必要がある。このため転動子の運動の非線形を取り入れた理論式を導出し数値解析を行った。本研究では装置の減衰パラメータとしてクーロン減衰³⁾および粘性減衰の適当な組み合わせを選択し、自由振動の実験結果と数値解析結果を比較検討する。

2. 実験方法

自由振動実験として、図-1 に示すような模型構造物の点 A に初期変位を与え自由振動させ、点 B の応答加速度波形を測定する。初期変位は 0.5cm 刻みで、0.5cm から 3cm までの異なる 6 種類を考える。

3. 運動方程式

図-2 より模型の質量 M に関する運動方程式は、次のように書くことができる。

$$\ddot{x} = -\frac{1}{M}(c\dot{x} + kx - Ft) \quad (1)$$

また図-3 より転動子の u、v 方向の運動は次のように書くことができる。

$$u \text{ 方向: } m_t \ell \ddot{\theta} + m_t \ddot{x} \cos \theta = F - F_d - m_t g \sin \theta \quad (2)$$

$$v \text{ 方向: } m_t \ell \dot{\theta}^2 - m_t \ddot{x} \sin \theta = N - m_t g \cos \theta \quad (3)$$

$$F_d = \mu N \operatorname{sgn} \dot{\theta} + C \dot{\theta} \quad (4)$$

$$C = 2 \cdot m_t \cdot h \cdot \omega \quad (5)$$

ここで、 m_t は転動子の質量、 $\ell = R - r$ 、 θ は転動子重心の振れ角、 F_d は容器から受ける摩擦力、 N は垂直抗力、 g は重力加速度、 β は転動子の回転角度、 ω は転動子の固有円振動数である。また、 θ 方向の運動方程式は次式であらわされる。

$$-F \cdot r = I \cdot \beta = \frac{1}{2} m_t r^2 \frac{\ell}{r} \ddot{\theta} \quad (6)$$

ここに、 I は慣性モーメントである。

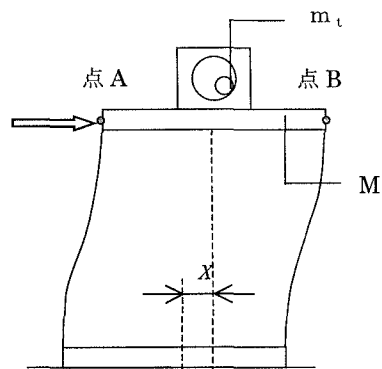


図-1 1層ラーメン構造

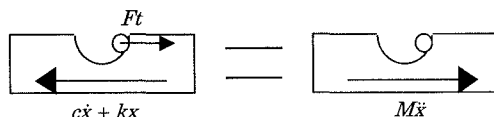


図-2 1層部分の自由物体図

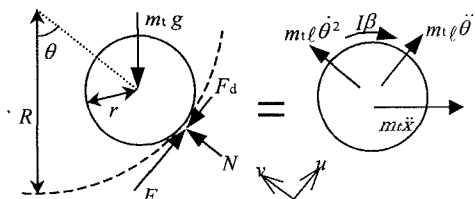


図-3 転動子の自由物体図(減衰あり)

キーワード：TRD 制振 パッシブ制御型

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. 実験結果と数値解析結果の比較検討

式(1)(2)(3)(4)(5)(6)で示した運動方程式に対し 4 次のルンゲ・クッタ法を適用して数値解析を行った。時間刻みは 0.02sec とし、構造物の減衰定数 $h=0.002$ は一定(実験値)とした。しかしながら、クーロン減衰係数 μ は一定で初期変位により、表-1 に示す値を仮定した。

x	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
μ	0.10	0.17	0.25	0.28	0.33	0.38

x : 初期変位[cm] μ : クーロン減衰係数 (表-1)

図-4 は実験とクーロン減衰のみを考えた場合の解析による結果を示したものである。

減衰特性を評価するために実験と解析の加速度[gal]のグラフの頂点 1 から頂点 10 までの減衰勾配値 K を次のように定義した。

$$K = -\frac{A_1 - A_{10}}{t_1 - t_{10}} \quad (7)$$

ここでは、 A_i は i 番目の最大加速度[gal]で、 t_i はその時の時刻である。

図-5 はクーロン減衰のみを考慮した時の K -初期変位曲線である。この曲線は、初期変位が 2.0cm 付近で変化していることが分かる。また、実験とクーロン減衰のみを考慮した解析による K の相違は、初期変位が大きくなるに従って、大きくなっている。図-6 は数値解析において、クーロン減衰に加えて粘性減衰も考慮した場合の応答波形である。図 4-(a)と図-6 を比べてみれば分かるように粘性減衰も考えることにより実験結果に近い波形が得られたことが分かる。この場合のクーロン減衰係数と粘性減衰定数は一定で、それぞれ $\mu=0.15$ 、 $h=0.18$ を使用してある。

5. まとめ

TRD を設置した 1 自由度系せん断ラーメン構造の運動をシミュレートするために、理論モデルを考え、装置減衰としてクーロン減衰および粘性減衰を考慮した場合の連成運動方程式を導出した。2 つの減衰の組み合わせにより、実験結果は数値解析により良くシミュレートできることを示した。

参考文献：1) 尾崎守夫他、1999 年第 26 回関東支部技術研究発表会講演要集、制振型制振装置の非線形性を考慮した理論およびシミュレーション

2) 佐伯秀他、1999 年東海大学紀要、制振型制振装置をつけた 1 自由度系せん断型ラーメン構造模型の正位変位応答に関する実験とその解析

3) 山口宏樹、構造物振動・制御、共立出版株式会社、pp.54-91、1998.

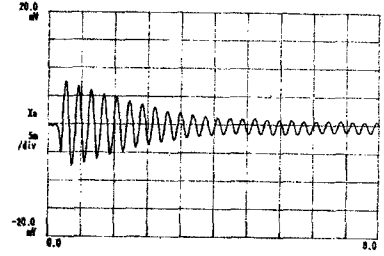


図-4(a) 実験結果

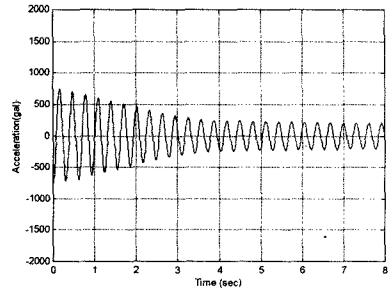


図-4(b) 数値解析 (クーロン減衰)

図-4 実験と解析結果
(初期変位 1.5cm の場合)

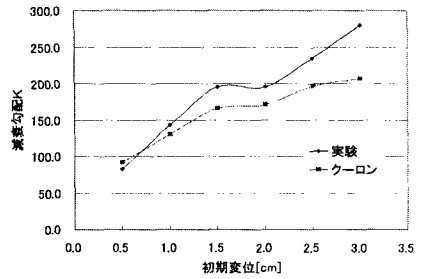


図-5 初期変位と減衰勾配 K の関係

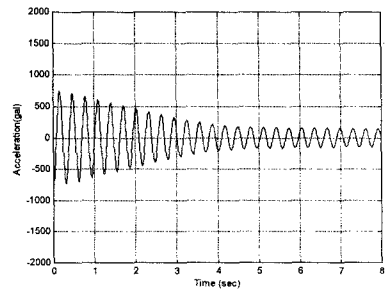


図-6 数値解析 (クーロン減衰 + 粘性減衰)
(初期変位 1.5cm の場合)