

I-B 22

連行荷重を受けるはりの振動低減に関する考察

武蔵工業大学 正会員 丸山 収
清水建設（株）正会員 秀嶋 桂

1. はじめに

高架橋等の交通振動を低減することを目的として、走行荷重-はり系の振動制御に関する研究が行われている¹⁾。これらの研究の中で、走行荷重-はり系が連成振動することにより制御対象のシステムが時変系となることに対応するために、予めはりの1次自由振動モードに同調するTMDを設計し、TMDにより低減することが出来ない振動成分に対しては、アクティブ制御を適用する方式のものがある。

本研究は、外乱を等間隔で走行する連行荷重列としてモデル化する場合および各荷重の到着時間がポアソン確率過程に従う連行荷重列とする場合を解析対象にして、上述の研究により提案されている制御手法を適用し、制御効果の検討を数値シミュレーションにより行っている。

2. 解析モデル

連行荷重-はり-TMD系の運動方程式を導くにあたり、次のような仮定を設定する。(a)はりは、単純ばりとし、均一な断面を有するものとする、(b)1走行荷重は1自由度振動系にモデル化され、はり上を一定速度で走行するものとする。各々の走行荷重は同一速度を有し、同一間隔ではりに到着する場合（CASE1）、到着時間がポアソン確率過程に従う場合（CASE2）を考える。また、制御装置は、TMDをはりの中央点に設置し、アクティブな制御を行う場合にはそれをアクチュエーターにより作動させるものとする。

上記の仮定の基で、連行荷重-はり-TMD系の連成振動方程式を得る。具体的な定式化は、紙面の都合上省略するが、解析に用いたはりは、スパン40mの単純ばりとし、単位重量：26.2kN/m、曲げ剛性：

2.39x10⁹kNm²、はりのモード減衰は一律に2%考慮し、

表.1 走行荷重系の諸元

応答計算は4次振動モードまでを考慮した。こ

こで、はりの1次の固有振動数は、2.94Hzである。

TMDは、はりとの質量比5%として、古典的な動吸振器の設計法により固有振動数：2.8Hz、減衰定数：0.134とした。走行荷重は、CASE1の場

合には、荷重③が同一間隔で走行するものとし、CASE2では、表-1に示す4つのタイプの荷重を一様乱数によりランダムに抽出した。また、はりには次式のパワースペクトル特性を有する表面凹凸を考慮した。

$$S_r(\Omega) = a \times 0.05^{-n} \quad (0 \leq \Omega \leq 0.05), \quad S_r(\Omega) = a\Omega^{-n} \quad (\Omega \geq 0.05) \quad (1)$$

ここで、 Ω :波数、 $a=0.004(\text{cm}^2/(\text{cycle/m}))$ 、 $n=1.9$ である。

3. 制御方式

ここで用いた制御方式は、藤野らの研究²⁾を参考にして、TMDのみによるパッシブ制御、TMDと全状態量フィードバック併用時変制御（ACTIVE1）およびTMDとはりの状態量のみを考慮した定常フィードバック制御（ACTIVE2）の3ケースを考えた。ここではフィードバック制御の評価関数の重み行列は、1ケース設定して対角成分のみに与えており、重みと制御力の関係などの詳細な検討は行っていない。

4. 数値計算例

(a) 等間隔で走行する場合（CASE1）

荷重間隔10mで荷重③が、速度20m/sで10台走行する場合を考える。図.1は、はりの表面凹凸のサンプルを50ケース算出して求めた中央点における変位および速度のRMS応答を示している。ここで、横軸は荷重系が通過する全時間で基準化し、静的なたわみ成分を除去した成分を示している。ACTIVE1およびACTIVE2の比較ではともに制御効果は認められたが、両者の間に顕著な差異は認められず、TMDのみによるパッシブな

制御では、非制御時に対しての低減効果が、あまり見られなかった²⁾。

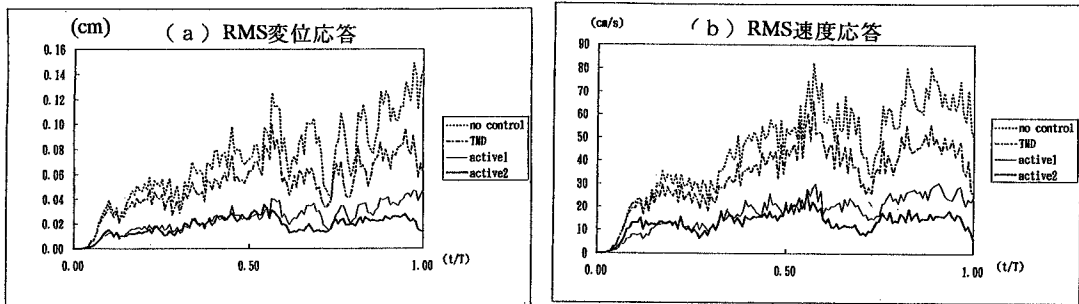


図.1 はり中央点におけるRMS応答（等間隔連行荷重）

（b）到着時間がポアソン確率過程に従う場合（CASE2）

実際、はりに進入する走行荷重の到着時間は、不規則であり事前にそれを知ることは困難である。そこで、この到着時間に関する確率モデルが必要となる。ここでは、到着時間をポアソン確率過程にモデル化して与えることとする。はり端に到着する荷重数 $N(T)$ がポアソン過程に従うものとする、時間間隔 T の間に n 回到着する確率は、次式で与えられる。

$$P(N(T) = n) = \frac{(\lambda T)^n}{n!} \exp(-\lambda T) \quad (2)$$

ここで、 λ は単位時間発生率を表す。

はりとTMDの諸元は、到着時間が既知の場合と同様のものを用いて、荷重の走行速度は10m/sとした。走行荷重は、表.1に示す①、②、③および④が $\lambda = 0.1(1/s)$ の到着率でランダムにはりに進入するものとする。また、アクティブ制御については、到着時間が不規則なので、はり上の荷重状態も不規則となり、応答量を時変フィードバックすることが難しく、ACTIVE2の定常レギュレータによる一定ゲイン制御のみを行った。図.2は、はりの中央点におけるRMS応答を示している。ここで、確率量は、表面凹凸、荷重系および到着時間である。図.2より、10秒前後までは、ACTIVE2の方が明らかに低減効果があるが、10秒以降は、1次振動モードに同調したTMDのみのパッシブ制御の低減効果が十分に認められる解析結果となった。これは、非制御の場合のRMS応答が10秒程度で定常状態に達しており、スペクトル特性を調べれば明確となるものと思われるが、はりの1次振動成分が卓越しているものと考えられる。

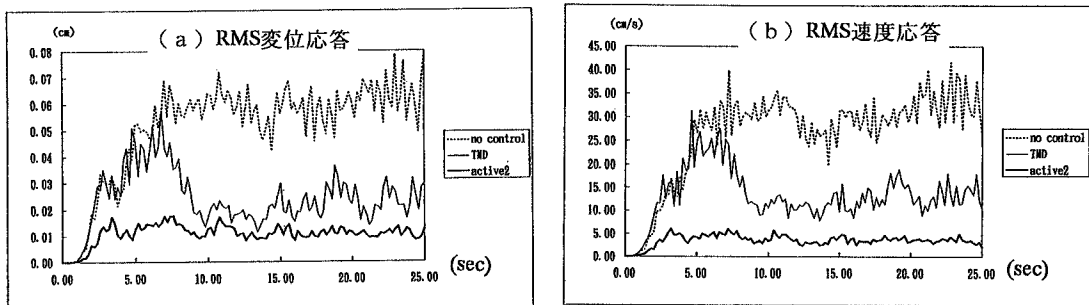


図.2 はり中央点におけるRMS応答（ポアソン確率過程）

5. おわりに

当然のことながら、構造系の振動性状は、システムと外乱の性質に依存するものである。外乱の性質による各制御方式の制御効率を詳細に検討することを考えている。

- 1) 振動制御小委員会：構造物の振動制御(3)-道路橋の交通環境振動制御、第3回振動制御ワークショップ、PART-A、1995.8
- 2) 比江島・藤野：桁端ダンパーによる橋梁の交通振動の低減、土論集No.465/I-23, pp.107-116, 1993.4