

I-448

都市内高架橋の交通振動に対するスライディングモード制御の適用

(株)宮地鐵工所 正会員 ○増田高志
 埼玉大学工学部 正会員 山口宏樹

1. はじめに：都市内高架道路周辺における交通環境振動が問題とされてから久しい。交通環境振動では、桁の鉛直1次曲げ振動と車両との連成によって起こる2~5Hzの振動が問題の一つとされ、低い振動の低減に様々な制御法の適用が検討されてきたものの、かならずしも十分な成果は得られていない¹⁾。そこで本研究では、アクティブ制御の中でも、時変系に対してロバストな非線形制御であるスライディングモード制御性の適用について、数値シミュレーションより検討した²⁾。

2. 問題の設定と解析モデル：桁の鉛直振動と車両の連成に着目し、図1のように橋桁を梁とし、車両をピッチング振動を考慮した2自由度系でモデル化する。橋桁はスパン40m、総重量100.68tf、1次固有振動数2.94Hz、車両モデルは重量19.47tf、固有振動数2.4Hzと3.3Hzであり、車両一台が速度10m/secで通過するものとした。また、限界制御力4tfのアクチュエータを桁中点に設置して制御力を加え、環境振動の評価を桁支点での反力で行っている。

橋桁と車両が連成することで、システムの固有振動数が時々刻々変化する。図2に、本研究での解析モデルに対しての、車両位置によるシステム固有振動数の変化を示す。このように、システム固有振動数は時々刻々と変化する時変系であるため、TMD等の同調系ダンパーでは十分な性能が発揮できない。

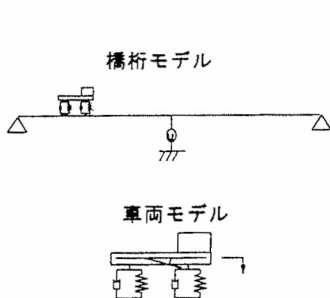


図1. 解析モデル

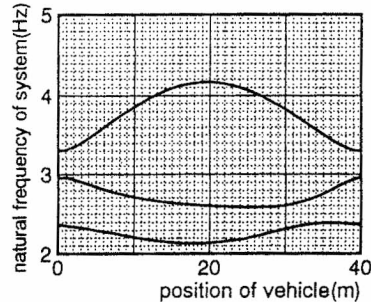


図2. システム固有振動数の変化

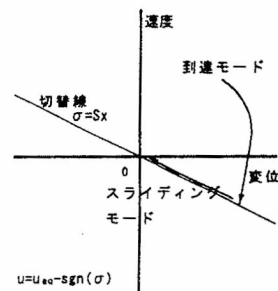


図3. SMC概念図

3. スライディングモード制御の適用：スライディングモード制御(SMC)は図3のように、位相平面での切替線上にシステムを拘束するよう制御を行うことから、時変系に対してロバストであるとされている³⁾。そのため、車両情報等、システムに関する情報を必要とせず、制振効果が期待できるものと考えた。

SMCを設計する場合、様々な設計パラメータが存在するため、まず設計パラメータの及ぼす制振効果への影響を調べた。図4は、切替線の傾きを横軸に、無次元化した桁中点加速度のr.m.s値を縦軸に取った図である。本研究でのモデルでは切替線の傾きはあまり重要なパラメータではないことがわかる。一方、図5は非線形制御力の大きさの影響を示したものである。非線形制御力を限界制御力である4tfにとると制御効果が最大になることがわかるさらに図6にはチャタリング対策として導入する切替線での境界層幅の影響を示した。境界層幅が狭い部分では、チャタリング現象が発生している。

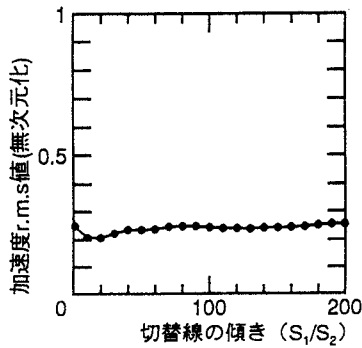


図4. 切替線の傾きの影響

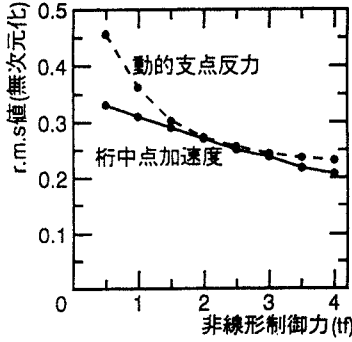


図5. 非線形制御力の影響

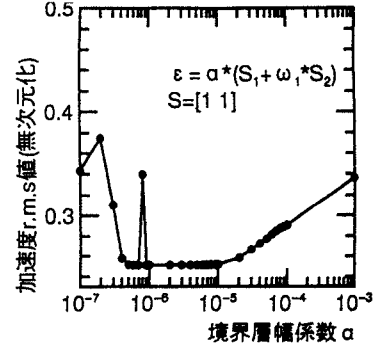


図6. 切替線境界層幅の影響

以上の検討結果をもとに最適設計し、そのSMCにより制御された桁応答の位相平面軌跡が図7である。図中のAB間が切替線である。また、円の大きさから、SMCにより最大応答が十分に低減されていることが分かる。図8には、この時の動的支点反力の時刻歴応答および図9にはそのパワースペクトルを示した。それぞれ非制御時と比較して十分な制振効果が確認できる。さらに、最大制御力を同じにするという条件のもと、直接速度フィードバック（DVFB）との比較を行った。図10にその結果を示したが、SMCのほうがDVFBと比較して、かなり制御効率がよいことが分かる。これは、SMCが非線形制御であり、制御力を限界（4tf）まで利用するためである。

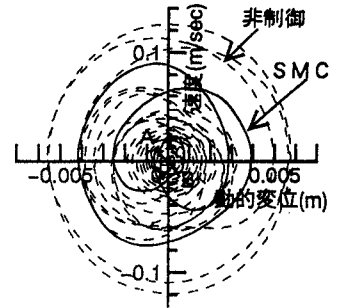


図7. 位相平面図

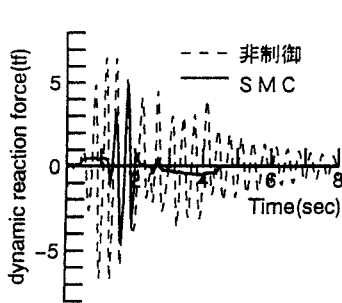


図8. 支点反力時刻歴応答

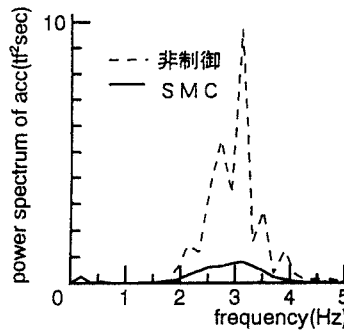


図9. 支点反力パワースペクトル

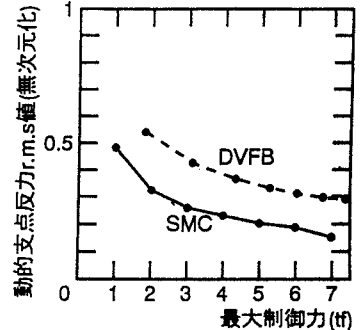


図10. 制御効率

4. まとめ：本研究より以下のことが明らかとなった。1) 交通環境振動は桁と車両の連成により、システムの固有振動数等が変動する。2) SMCの適用により動的支点反力応答において低減効果があった。3) SMCはDVFBと比較して同じ最大制御力に対して制振効果がよい。4) SMCは設計パラメータが多く設計において自由度が大きい

参考文献：1) 比江島・藤野：粘性ダンパーによる橋梁の交通振動の軽減，土木学会論文集第465号，I-23，pp. 107-116，1993、2) 増田：都市内高架橋の交通振動に対するアクティブ振動制御の適用性，埼玉大学大学院修士論文，1995、3) 野波：スライディングモード制御－非線形ロバスト制御の設計理論－，コロナ社，1995