

I - 432

H ∞ 制御理論に基づく橋桁・車両連成時変系のアクティブ振動制御(株) オリエンタルコンサルタンツ
埼玉大学工学部正会員 ○伊藤亜木
正会員 山口宏樹

1. 研究の背景及び目的

近年、都市部の高速道路等の高架橋において、走行車両に起因する交通環境振動が周辺地域の問題として取り上げられるようになり、各種の制振対策が検討されている。本研究では、こうした交通振動が非定常であることや、制振すべき対象が車両と橋桁の連成した、振動数の時々刻々変化する時変システムであることに着目し、H ∞ 制御理論に基づくアクティブ・ロバスト制御の適用性に関して検討を行った。

2. 解析モデル

図.1に示すように、高架橋の桁として一般的な、スパン40m、1次モードの固有振動数3.0 Hz、路面凹凸を持つ単純梁上を、重量20tonの車両が20m/secで走行するモデルを想定する。ただし、車両は40m間隔で橋桁に進入するものとする。車両の固有振動数は3.0Hzであり、橋桁・車両連成系の3.0Hz近傍での振動を制振対象とした。また、制御力を桁中点に作用させるものとし、同じく桁中点での橋桁の応答をセンシングしたフィードバック制御による振動制御を想定している。

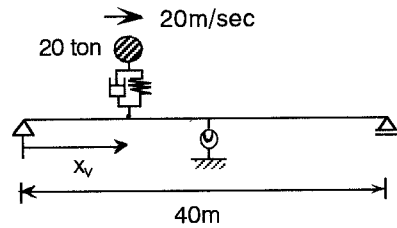


図.1 解析モデル

3. H ∞ 制御に基づく振動制御

本研究では、フィードバック制御理論の中でも、H ∞ 制御が振動数領域において周波数応答がある値以下に抑える制御方法であることから、時変系（振動数の変化）に対してロバストな制御が可能であると考え、H ∞ 制御理論を交通環境振動に適用し、ループ整形法を用いて制御器を設計した。その際、振動数の変化する時変系に対しての制振要求を反映させるために周波数依存型の重みを導入したが、車両を含まないシステムに対して3.0Hz付近の振動を適度に抑えるように重みを設計している。このように設計された制御器を用いて解析モデルでの交通振動制御を行い、時変系の固有値の軌跡から、LQ制御の制振効果との比較や、数値シミュレーションによるH ∞ 制御の特性検討を行った。

4. 解析結果及び考察

図.2は外乱に対するシステムの応答の比（振動の大きさ）を表すボード線図で、車両位置の変化によるシステムの固有振動数の変化を表している。橋梁上を車両が走行することにより、3Hzであったシステムの振動数は2.5Hz付近と3.5Hz付近の振動数に変化していることがわかる。そこで、図.3のように、3Hz付近の応答に等しく重みをかけた場合を考えてH ∞ 制御器を設計した。この場合、LQ制御とほぼ同様の制御効果が得られる

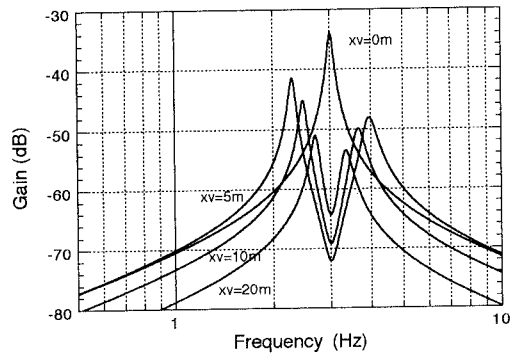


図.2 システム固有振動数の変化

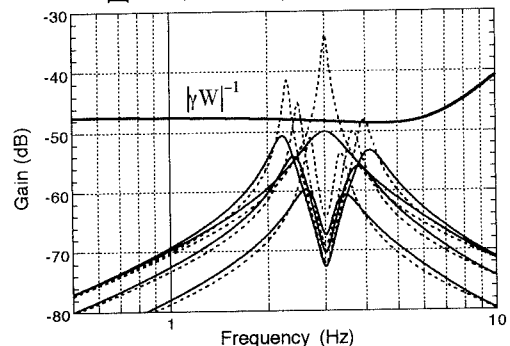


図.3 重み関数 (case1)

ことが数値解析によりわかっている。図中の重み曲線 $| \gamma W |^{-1}$ は、重み関数 W に設計のパラメータである γ を乗じたものの逆関数である。この重み曲線以下に応答を小さくする制御設計であるため、制御後の応答は重み曲線以下に抑えられている。次に、図. 2 よりわかるように、連成系の2.5Hz付近の振動が3.5Hz付近の振動より大きくなることから、重み関数として、図. 4 のような、変化した振動数のうち低振動数のほうを大きく抑えるものを考えた。本研究で用いたループ整形法では、システムの安定性も考慮されるため、システムを不安定にするような制振要求を与えた場合、必ずしも応答を重み曲線以下に抑えられないことがあることに注意すべきである。

図. 5 は、システムの固有値をプロットしたもので、横軸は固有値の実部、縦軸は虚部を表わしており、左に行くほどシステムの減衰が大きいことを意味する。この図から、case 1 及びLQ制御の場合、車両が桁 midpoint に近づくのに伴って減衰の減少（図上で点の右方向への移動）が起こり、期待する制振効果が得られないことが分かる。しかし case 2 の重みをかけて制御を行ったところ、2.5Hz付近の振動（図上での上側の▲）の減衰の減少を抑えられ、ロバストな制御が可能であることがわかった。

図. 6 及び図. 7 に case 2 の場合の動的支点反力の時刻歴応答とパワースペクトルを示す。この図から、case 2 の重みは特に2.5Hz付近の応答に大きな効果があることがわかる。しかし、1.0Hz以下の振動にも重みをかけているので、桁のたわみによる振動（20m/sec/40m=0.5Hz）を抑えようとする制御力が発生していることがわかる。しかし環境振動に影響を与えるのは3Hz付近の振動であることが分かっていることから、こうした低周波数の振動成分はフィルターで除去して制御を行えばより経済的な制御が可能だと考えられる。

5. 結論

H^∞ 制御による振動制御は重みの設計により制振要求が容易に制御器に反映でき、重みの選び方によっては橋桁・車両連成時変系に対してロバストな制御が可能であることが分かった。

参考文献

- 1) 三田： H^∞ 制御、昭晃堂、1994、2) 山口・野田・丸山・藤野・高見：構造物のアクティブ振動制御入門—LQ最適制御から H^∞ 最適制御へ—

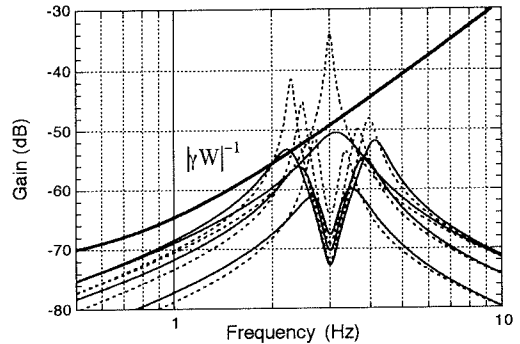


図. 4 重み関数 (case2)

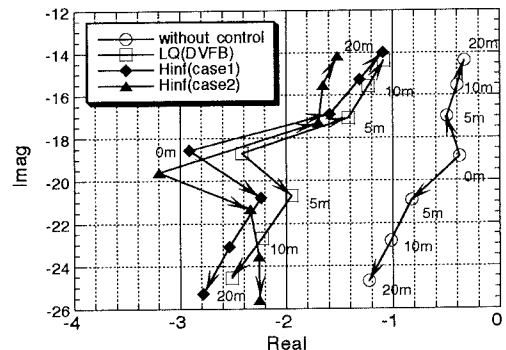


図. 5 システムの固有値の変化

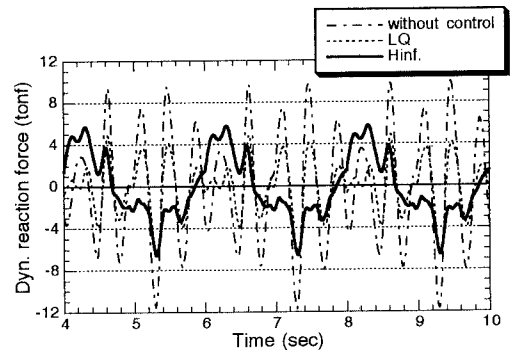


図. 6 動的支点反力の時刻歴応答

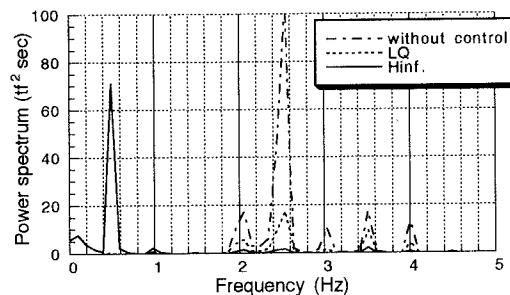


図. 7 動的支点反力のパワースペクトル