

埼玉大学 正員 山口 光樹
 新日鉄 正員 藤井 康盛
 東京大学 正員 伊藤 孝

1. はじめに

長大吊橋主塔が架設途上の独立状態にあるとき、その剛性が比較的低いため風に よって橋軸方向の曲げ振動を生ずることがある。この振動はいわゆる渦励振と考えられるが、この種の事例はしばしば報告され、場合によっては架設作業の支障を生じたのみならず、塔構造に損傷を与えかねないものとして、その対策に関心が寄せられてきた。このような吊橋主塔の渦励振対策として構造的に振動減衰性を高める振幅を減小させるメカニカルダンパーがあり、塔頂から斜めに張ったケーブルとその端部に取り付けた減衰器、質量から構成される、いわゆるケーブルダンパーシステムがこれまでに研究され、実績も多い。個々の対策についてはかなり詳しく検討されており、本研究ではこれらのメカニカルダンパーをモデル化し、一般論としてのダンパー特性を数値パラメーター解析により明らかにしてその最適化を試みた。

2. 解析モデル

吊橋主塔・制振系を図-1に示すような片持ちはり1自由度制振系を付加した振動系をモデル化する。メカニカルダンパーの1自由度振動系へのモデル化にあたっては、既往の制振装置が本質的にはすべて動的吸振器に他ならず、1自由度モデルで表わし得ることを考慮して、メカニカルダンパーの基本的特性を一般的に把握することと考へた。従って制振装置を具体化したときに生ずる個々の問題、例えばケーブルの風に

よるおどり等の問題については扱いたいが、それらは具体策を講ずる上での二次的問題として考えることとすればよい。

3. パラメーター解析

吊橋主塔の風による振動は自励的性質を多少有するものの、全般的にみれば渦交番力がもたらす共振現象として捉えることが可能であり、図-1の解析モデルに周期外力が作用した場合の定常応答を求めた。また主塔の風による振動応答は風速の上昇とともに各次固有振動が次々と現れるものの、一般に吊橋主塔の場合、2次以上の固有振動の出現風速はかなり高風速となった問題とならないため、曲げ1次固有振動のみを対象とした応答計算を行っている。

メカニカルダンパーの特性を評価するにあたり、制振系の制御パラメーターおよび制振効果の指標としての応答パラメーターを以下のように考え、数値パラメーター解析によってその特性を明らかにした。

(i) 制御パラメーター

制振系は剛性、質量、減衰の三要素からなり、各要素に対して次の無次元量を制御パラメーターとする。

(1) 同調比(tuning parameter) : $\alpha = \omega_2/\omega_1$

(2) 質量比(mass parameter) : $\mu = m_q/pA l$

(3) 減衰定数(damping parameter) : $\xi = C_q/2m_q\omega_1$
 ここで ω_1 は制振系固有振動数 ($\sqrt{k_q/m_q}$)、 ω_2 は主塔曲げ1次固有振動数である。なお、サブパラメーターとして制振装置の取り付け位置 Q 、および主塔構造減衰 η (減衰定数) を考へた。

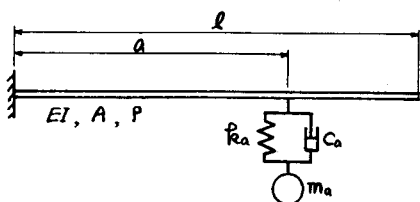
(ii) 応答パラメーター

制振効果の指標として次の二つの応答パラメーターを採用する。

(1) 主塔の動的応答倍率(変位)の最大値 L_{max}

(2) 共振時の主塔・制振系の対数減衰率 δ_T

ただし、この二つのパラメーターは独立でなく、対数



主塔(EI, A, P), 制振系(m_q, C_q, R_q)

図-1 解析モデル

減衰率 δ_T は L_{max} を用いた式により算出される。

$$L_{max} \approx \pi / \delta_T$$

4. 制御パラメータの影響度

図-2～図-5に解析結果を示す。これらの図は横軸に同調比 α 、質量比 μ 、制振系減衰定数 ξ とそれぞれとり、縦軸には動的応答倍率最大値 L_{max} および共振時対数減衰率 δ_T をとったもので、実線は L_{max} 、破線は δ_T を示している。図より、応答への影響度という点では同調比 α が最も著しいこと(図-2)、質量比 μ は大きいほど L_{max} が低減するものの、その効果には限度があること(図-3)、制振系減衰定数は他の制御パラメータとの組み合わせによって最適値があること(図-4)等がわかる。さらに主振動系と主塔の構造減衰 h_1 は制振効果にあまり影響を及ぼさないことも図-5より判断できる。

なお、制御パラメータである制振系取り付け位置 a については先端($a=1$)が最適であることが理論的に言え、図に示した解析結果はすべて $a=1$ とした場合のものである。

5. メカニカルダンパーの最適化

以上示したパラメータ解析結果から最適制御パラメータを考える。図-2より同調比 α の値は1より若干小さい値が最適であると考えられる。図-3は $\alpha=1$ の場合について横軸に質量比 μ をとり、三つの ξ について制振効果を比較したものであるが、実際問題として制振系の質量をあまり大きくはできず(固有振動性状が変化することや制振系そのものの振動が問題になる等の理由による)、またあまり大きくしても制振効果は上がらないことから、 μ としては0.005程度でよさそう。この値は比較的小さな値であり、制振系に必ずしも大きな質量を必要としないという結果は注目すべきである。 $\alpha=1$ 、 $\mu=0.005$ の場合、図-4により $\xi=0.1$ 程度の最適値があるといえる。制振系の減衰を大きくしすぎるとかえって制振効果が期待できないことも注意すべき点であろう。

6. まとめ

吊橋主塔架設時の渦励振対策にメカニカルダンパー特性を調べた。結果はあくまで解析モデルに関するものであるが、最適な制振装置設計のための基礎資料となるものと考えられる。

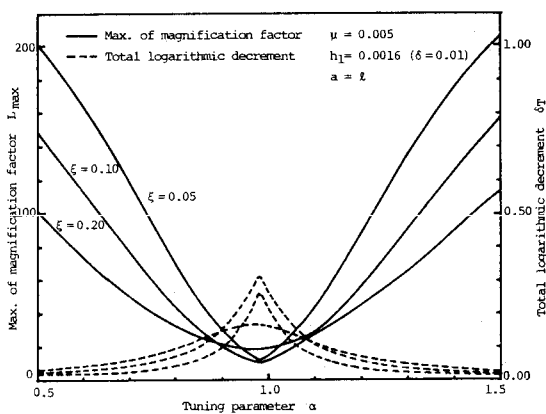


図-2 同調比 α

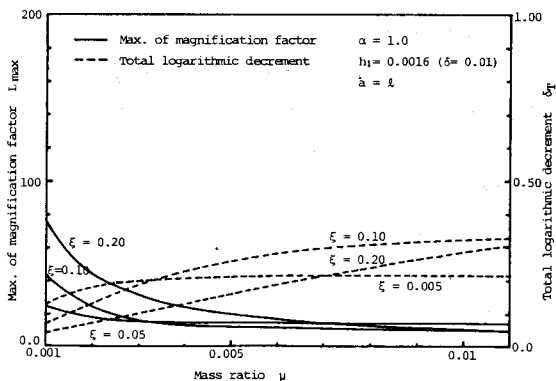


図-3 質量比 μ

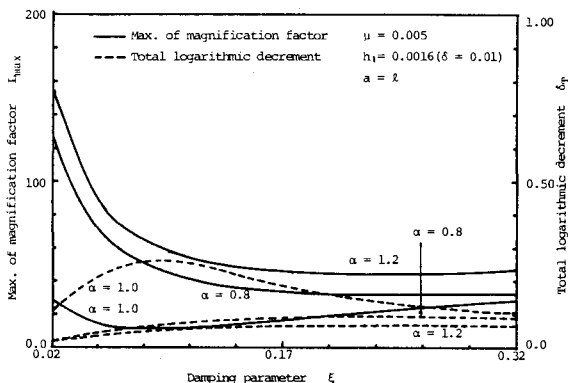


図-4 減衰定数 ξ

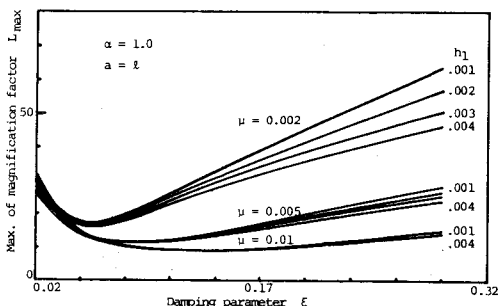


図-5 主塔構造減衰 h_1 の影響