

I-470

回転式アクティブダンパーの制振効果に関する数値シミュレーションについて

清水建設 正員 〇 梢 進一 橋横河橋梁 正員 鈴木 泰之
橋横河橋梁 正員 長谷川 進 長岡技科大 正員 鳥居 邦夫

1. まえがき

筆者らは、先に吊橋主塔の制振方法の一例として回転式アクティブダンパーを含む制御システムを考案し、渦励振を想定した制振実験により本システムの有効性を示した。¹⁾²⁾本制御システムは、制振力として付加質量を回転して得られる遠心力を利用しているため、単一の周期を持つ制振力を発揮する。そのため、渦励振のような比較的規則性のある振動に対しては制振効果が容易に推察できるが、自然風によって発生する不規則な振動に対しては、実験、数値シミュレーション等により制振効果を検証する必要がある。そこで、筆者らは検証の一つの手段として、実際の制御方法を反映した時刻歴応答解析のプログラムを作成し、不規則振動に対する本制御システムの有効性を検討したので報告する。

2. 数値シミュレーション方法

構造物に風外力と制振力が作用する場合の運動方程式を、マトリックス表示すると式(1)となる。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{f\} - \{u\} \quad (1)$$

ここに、 $[M]$;質量マトリックス、 $[C]$;減衰マトリックス、 $[K]$;剛性マトリックス、 $\{x\}$;変位ベクトル、 $\{f\}$;風外力ベクトル、 $f=1/2\rho V^2AC$ 、 ρ ;空気密度、 V ;強風記録、 A ;構造物の風向方向暴露面積、 C ;抗力係数、 $\{u\}$;制振力ベクトル、 $u=mr\omega^2\sin(\omega t+\phi)$ 、 m ;付加質量、 r ;付加質量の回転半径、 ω ;付加質量の角速度、 ϕ ;構造物の応答に対する制振力の位相

数値シミュレーションでは構造物の応答を制振力にフィードバックしているため、制振力の周期は応答の卓越振動数に一致し、位相は応答に対して常に $-\pi/2$ の位相差を持っている。また、制振力は構造物の応答振幅が制御目標値に達すると一旦停止し、応答値が再び制御目標値を越えると制振力がスタートすることとした。

3. 数値シミュレーション結果

主塔モデルとして、図-1に示すような高さ約283mの主塔を10質点系に置き換えたものを用い、固有振動数と振動モードを合わせてこれに示す。図-2に強風記録、図-3に主塔頂部の応答変位波形、図-4にその応答スペクトルを示す。図-4より、1次モードが極めて卓越していることから制振力は塔頂部(N.11)に作用させる。また、図-3から1波毎の周期を求め卓越モードの周期との比を調べると、1周期毎に変化していることが分かる。(図-5参照)したがって、制振を効果的に行うには制振力を卓越モードの周期

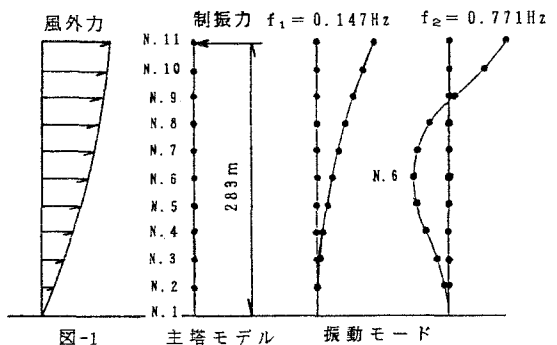


図-1 主塔モデル 振動モード

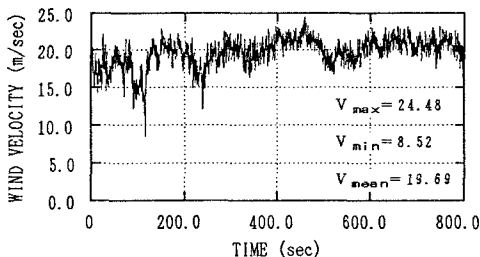


図-2 強風記録

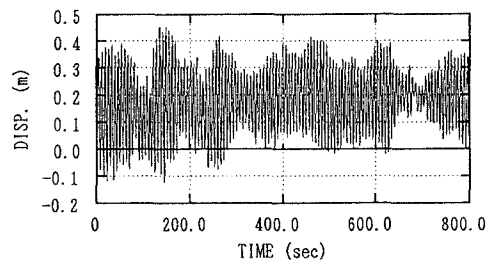


図-3 塔頂部の応答変位波形

に一致させることに加えて、フィードバックにより位相を調整して最適な制振力を作用させる必要がある。

図-6は、先に述べた制御方法を用いて制御目標値を0.02mに設定した場合の制振時の応答波形で、図-7はその応答スペクトルである。図-6より主塔の静的変位を制御することはできないが、振動は減少していることが分かる。図-8は制振力作用中の位相調整状況であり、1波毎に位相を調整して常に最適な位相を保っていることを示している。次に、塔頂の制振力が2次モードに与える影響を調べる。図-9に2次モードの腹にあたる位置(N.6)での応答スペクトルを示すが、この図より塔頂に作用させた制振力は2次モードの発生に影響しないことが分かる。

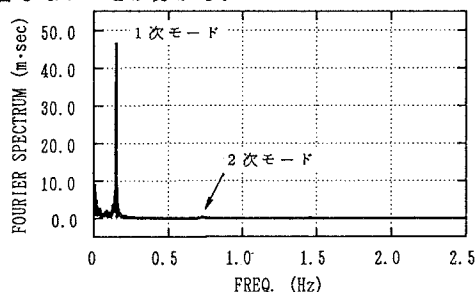


図-4 塔頂部の変位応答スペクトル

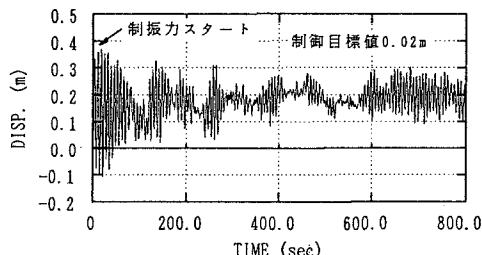


図-6 制振時の応答波形(塔頂部)

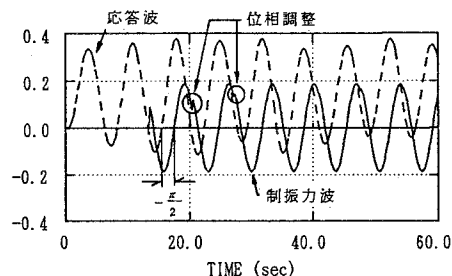


図-8 位相調整の状況

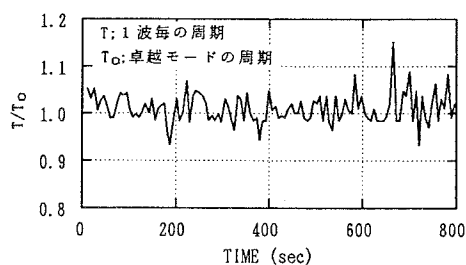


図-5 周期の変化状況

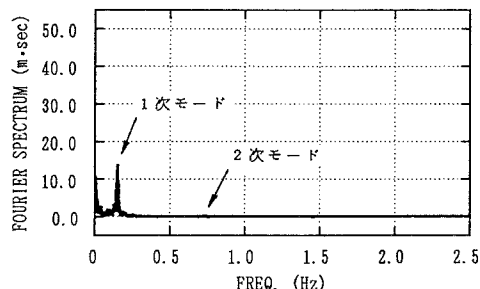


図-7 変位応答スペクトル(塔頂部)

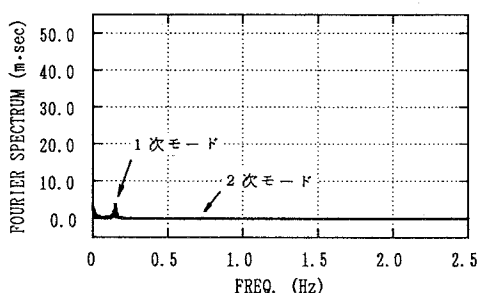


図-9 変位応答スペクトル(N.6)

4. まとめ

制御システムを再現した数値シミュレーションにより、周期的な制振力で自然風による主塔の応答を制御することを試みた。その結果、主塔の応答振幅・周期は不規則に変化するが1次モードが卓越するため、制振力の周期を主塔の卓越振動数に一致させ制振力の位相を逐次調整することにより、制振効果が期待できることが分かった。

今後は、シミュレーション結果を参考にしてより信頼性の高い、効率の良い制御方法を作成したいと考える。なお、数値シミュレーションに用いた風速は本四公団による測定記録をお借りした。³⁾ここに謝意を表する。 <参考文献>1) 梢, 鈴木, 横尾; 回転式アクティブダンパーによる制振実験, 土木学会第44回年次学術講演会概要集第1部, 1989, 2) 鈴木, 田中, 横尾, 他; 回転式アクティブダンパーによる制振実験, 鋼橋技術報19号, 1990, 3) 大鳴門橋動態解析業務報告書平成元年 3月, 本四公団, 本四エンジ, 横河橋梁