

斜張橋主塔への可変剛性型セミアクティブ振動制御の適用に関する一考察

北見工業大学大学院工学研究科	○学生員	池田憲俊
北見工業大学	正会員	宮森保紀
北海道大学大学院工学研究科	正会員	小幡卓司
北見工業大学	正会員	三上修一
北見工業大学	F 会員	大島俊之

1. はじめに

橋梁をはじめとする土木構造物には、通常の活荷重のみではなく、地震や風、通過車両などに起因する振動に対しても安全性や使用性を確保することが求められる。構造物の動的性能を向上させる有効な手法のひとつとして振動制御に関する研究が行われており、近年では制御対象構造物に直接制御力を作用させることなく、剛性や減衰などの構造特性を変化させることで高い振動抑制効果が期待できるセミアクティブ制御が注目されている¹⁾。

著者らの一部も構造物の固有振動特性を随時変化させることで、動的応答量を低減させる可変剛性型セミアクティブ制御に関する検討を行ってきたが、本研究では斜張橋主塔を制御対象として解析モデルを構築し、振動制御シミュレーションを行い、本手法の適用性を検討したので、その結果を報告する。

2. 解析手法

2.1 解析モデル

本研究では、主塔高さ 50.0m の斜張橋主塔を制御対象として解析モデルを構築した。図-1 に解析モデルと、想定した主塔頂部と基部の断面を示す。解析モデルは主塔部、横梁部、補剛部、連結部、支承部から成る節点数 21、要素数 22 の 2 次元骨組み構造とする。

本研究では、解析モデルの主塔基部に補剛部を設け、補剛部と主塔の連結状態を切り替えることで構造全体の剛性を可変とする制御システムを導入する。通常時（OFF 状態）は、連結部に小さな断面の部材を用い、補剛部が主塔と切り離された状態を想定する。一方、制御装置の動作時（ON 状態）は、連結部に補剛部と同じ断面寸法を適用し、補剛部の剛性が構造全体に作用するものとする。したがって、モデル化においては ON 状態と OFF 状態を表す 2 つの剛性マトリックスを作成し、シミュレーションにおいては、制御装置の ON-OFF 切り替えに応じて随時剛性マトリックスを切り替える。

また、固有振動解析から求めた固有振動数と固有振動モードを図-2 に示す²⁾。図-2 における EM は有効質量比を表している。

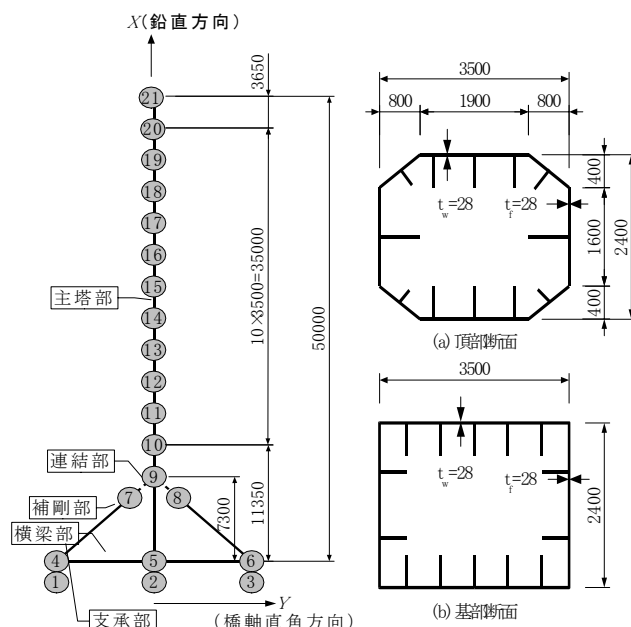


図-1 解析モデル

2.2 振動制御手法

上述のように、補剛部と主塔の連結状態を切り替えるため、同一の振動モードにおいて ON 状態と OFF 状態 2 つの固有振動数が存在する。本研究の制御手法は、地震動などの入力外力の卓越振動数が構造物の固有振動数と近接して共振しないように、制御装置の ON-OFF を適宜切り替えるものである。制御則に関しては、まず ON 状態の 1 次固有振動数と OFF 状態の 1 次固有振動数をそれぞれ抽出するフィルタを作る。その後、作成したフィルタで主塔頂部の応答加速度をフィルタリングし、フィルタリングした ON-OFF 状態両方の加速度があらかじめ決定した閾値を超えた場合、逆の状態に移行させることで ON-OFF 状態の切り替えを表現する。また、セミアクティブ制御では、構造物の動的特性を変化させることによって振動応答の低減を狙うものであることから、ある程度の時間構造物の状態を固定すれば振動制御効果が発揮されやすいと考えられるため、ON 状態に対して状態継続時間を設定する。

キーワード セミアクティブ振動制御、ON-OFF 制御

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町165番地 TEL 0157-26-9488 FAX 0157-23-9408

3. 時刻歴応答解析

時刻歴応答解析手法にはニューマーク β 法を用い、振動性状の異なる 3 種類の地震波形を入力して解析を行った。結果の一例として、道路橋示方書の標準地震波形 I - I - 1 を入力した場合を図-3 に示す。図-3 では、制御を行わずに連結部の剛性を OFF 状態および ON 状態で固定した場合とセミアクティブ制御を行った場合の、主塔頂部の応答変位波形とフーリエスペクトル、制御時に何回 ON-OFF 状態が切り替わったかを表す状態切り替え履歴を示す。また、この場合の加速度の閾値は ON 状態、OFF 状態それぞれに対し 7.5 m/s^2 , 10.0 m/s^2 とし、状態継続時間は 5sec とした。図-3 のフーリエスペクトルのピークが非制御時に比べ約 3 分の 1 となっているように、制御を行うことによって、ON 状態と OFF 状態のうち、各制御時間間隔における応答変位の小さな状態を選択することができたため、結果的に応答変位が制御時間全体で小さくなっている。

また、25-30sec では比較的長時間に渡って ON 状態が維持されることで、OFF 状態固定時と比較して良好な振動制御効果が表れている。

4. まとめ

可変剛性型セミアクティブ振動制御を行うことによって、主塔単独と同様の OFF 状態固定時や、主塔に補剛部材を取り付けた ON 状態固定時よりも応答変位が減少することが本研究の解析結果から判明した。このため、実橋梁に対しても可変剛性型セミアクティブ振動制御を適用することで、単純に部材の断面積を増加させて剛性を確保するという方法よりも有効な場合があると考えられる。今後は、解析で仮定したような制御装置の機構を、どのように実橋梁に実装するかを検討する必要がある。また、本研究では ON-OFF を切り替える指標を応答加速度のみとしたが、応答速度や応答変位など複数の情報を組み込んだ制御則を導入すればより一層の振動制御効果が期待される。

【参考文献】

- 1) G. W. Housner et al.,: Structural control: Past, Present, and Future, *J. of Engineering mechanics*, Vol. 123, No. 9, 1997
- 2) 小幡卓司、水草浩一、林川俊郎、佐藤浩一：MATLAB による複素固有値解析に基づいた歩道橋の振動特性に関する一考察、土木学会北海道支部論文報告集、第 55 号 (A)、pp.300-303, 1999

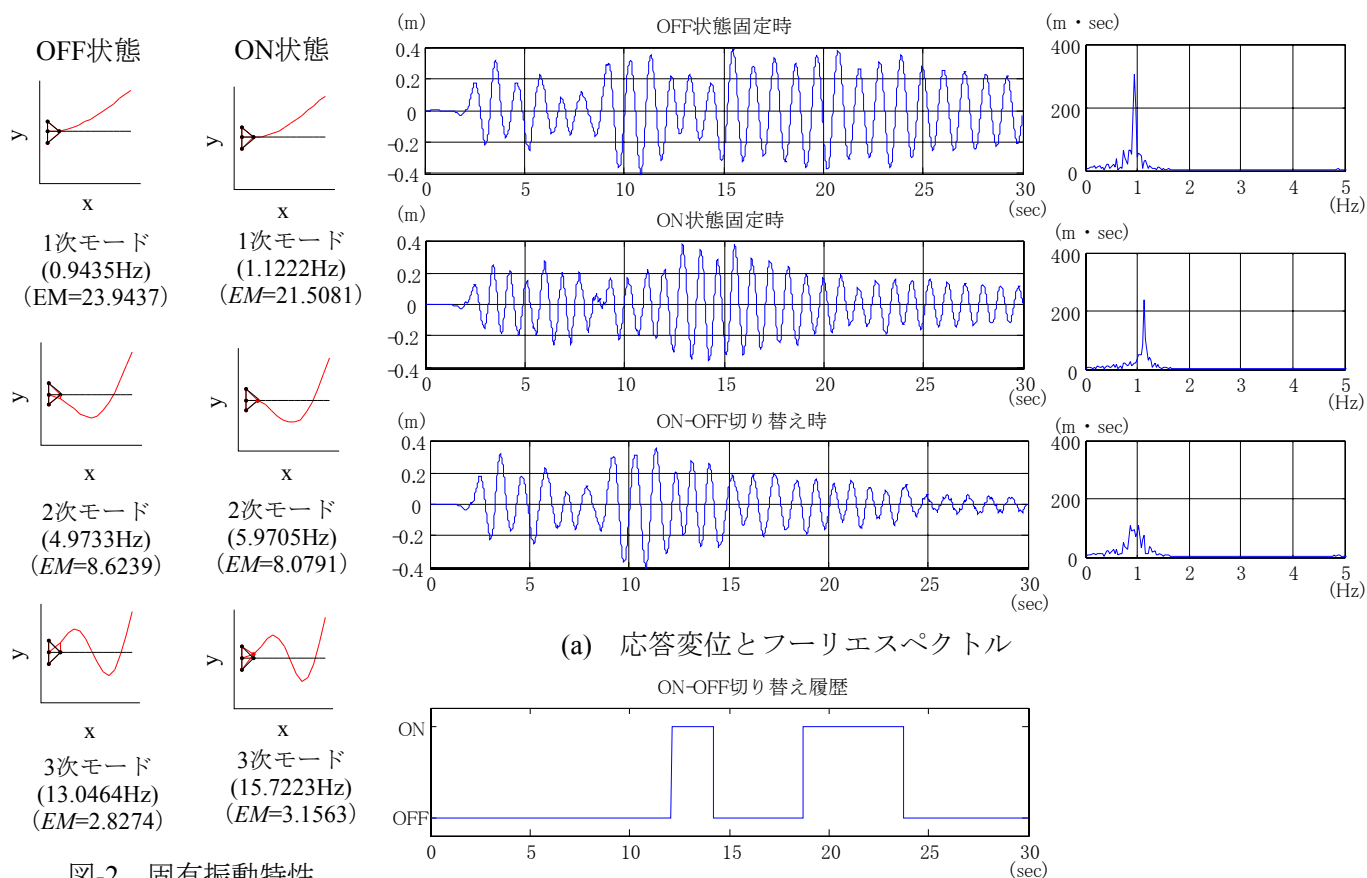


図-2 固有振動特性

(b) ON-OFF 切り替え履歴

図-3 解析結果