吊橋主塔の3次元性を考慮した制振 Countermeasure for Suppressing Wind-Induced Vibration Taking Aerodynamic 3-D Effect into Account

松本 勝*¹ 白土 博通*²
Masaru MATSUMOTO Hiromichi SHIRATO

The aerodynamic device on suspension bridge tower standing isolatedly during construction is investigated in order to suppress the vortex-induced oscillation. The plate attached on both windward and leeward surface of two tandem tower columns effectively stabilizes the structure. It is known that the optimum install length and location of the device along the column is only 10% of tower height at the crest of tower. It proves that the aerodynamic 3-D effect near the crest is controlling the whole response characteristics of tower.

1. はじめに

架設中独立状態にある吊橋主塔は、可撓性に富むため風の作用を受けて振動しやすい構造系となる。このため、架設中の一時期のみの仮設の対策を含め、様々な制振対策が開発され、実用に供されている。

本研究は、主塔の塔柱断面にある付加部材を取り付け、塔柱断面周囲の流れを制御し、振動の原因となる空気を抑える空気力学的（空力）制振対策を検討したものである。通常、空力制振対策は断面直角の部材長手方向に一樣に設置される。ただし気流の非一樣性を促すために、断続的に設置される場合もあるが、制振を必要とする部材・構造要素の全長にわたり断続配置されるのが普通である。吊橋主塔は一方を地面に固定され、他方（塔頂部）は自由な構造系であることから、振動に伴う自励空気が塔高方向に非一樣であり、また塔頂部付近の流れは3次元性（塔柱断面まわりの流れが塔高方向に一樣でないこと）が強いものと考えられる。ここで検討された空力制振対策は、このような3次元空力特性を積極的に利用したものである点に特徴がある。図-1に対象とした吊橋主塔の形状を示す。なお、制振の対象とした振動は、橋軸直角方向の風による塔面外の曲げ振動である。一連の風洞実験は、相似条件より決まるスクリーン数より小さく設定し、空力的に敏感な系を対象に、乱れの強さ0.5%以下の空間的に一樣な気流中で実施された。

2. 塔柱断面の2次元空力特性と空力制振対策

図-2に地上より塔高の60%高さの断面をもつ2次元剛体模型の振動応答図を示す。塔面外方向の曲げ振動は、無次元風速 V_r ($V_r = U/fD$, U : 平均風速, f : 固有振動数, D : 断面見つけ幅) 7付近および10付

近よりそれぞれ渦励振応答が発現している。この振動は風向が橋軸直角方向のときに最も顕著に現れることが確認されている。

図-3にはこの渦励振の制振を目的に、2次元模型に種々の付加材を取り付け、その制振効果を調べたものである。図より上流側塔柱断面の風上面、および下流側塔柱断面の風下面にそれぞれ面に平行に板を設置したケース（ケースC4）が、他に比べて著しい制振効果を発揮している。この方法は、Konig, Roshko¹⁾により鈍頭円柱の抗力低減に、また Naudascher等²⁾により正方形断面のギャロッピング制振（ただし4面すべてに平板設置）にそれぞれ有効であることが既に紹介されている。平板設置の制振効果は、前面側の平板縁端部からの流れの剥離が前面の“肩”に丁度（あるいは若干 over shoot する程度に）衝突するときに最も顕著であると言われている。本研究の場合、前面側の平板による剥離流れが断面角部を丸みを帯びた形状に見かけ上変化させることと、後縁側平板は角部を持つ後縁形状を保つことの2つの効果が同時に発揮されたことによるものと考えられる。この見かけの形状は Toebes, Eagleson³⁾による流力的に最も安定なブレード断面形状と一致している。

3. 空力制振対策の最適設置長

最も制振効果を発揮した前面・背面への平板設置について、面外のロッピング振動モードを与えられた3次元剛体模型を用いて、最適設置長に関する検討を行った。独立状態の吊橋主塔の振動モードより、塔頂部近傍の自励空気が系の空力特性に対して最も顕著に作用するものと考えられることから、平板は塔頂部より順次設置長を伸ばし、最適長さを求めることとした。

*1京都大学工学部、助教授 *2京都大学工学部、助手

Associate Professor, Kyoto Univ. Research Associate, Kyoto Univ.

図-4に設置長と渦励振最大応答振幅(倍振幅)の関係を示すが、10%程度の設置長の場合に最も制振効果が大きく、さらに設置長を増加させると再び振動が発生し、応答振幅が増加している。これは、塔頂部近傍の流れが系全体の空力特性を支配しており、逆に塔の空力的制振を検討する場合には塔頂部の流れを制御することが最も効果的であることを示すものと判断される。

4. まとめ

吊橋主塔の面外曲げ振動に対する空力制振対策として、上流側塔柱の前面、および下流側の背面にそれぞれ面に平行に平板(板の幅は塔柱の見つけ幅よりやや小さい)を設置する方法が効果的であることが明かとなった。

塔頂部より塔基部方向へこの平板を設置する場合、塔

高の10%程度の設置長で最も制振効果が大きく、さらに設置長を増加させれば、新たな渦励振が発生し制振効果が低下することが明かとなった。このことより、塔頂部近傍の流れが系全体の空力特性を支配することが裏付けられると共に、塔の空力的制振を検討する場合には塔頂部の流れを制御することが最も効果的であることが示された。

参考文献

- 1) K. Konig, A. Roshko, J. of Fluid Mech., vol. 156, 1985.
- 2) E. Naudascher, J. R. Weske, B. Fey, J. of Wind Eng. and Ind. Aerod., vol. 8, 1981.
- 3) G. H. Toebes, P. S. Eagleson, J. of Basic Eng., Trans. of ASME, 1961

図-1 吊橋主塔形状

図-2 塔柱断面2次元模型の振動応答図
(原形断面)

図-3 塔柱断面2次元模型の振動応答図
(空力制振対策の検討)

図-4 3次元模型による空力制振対策の最適設置長