

I-737

風力を逆利用した橋梁主塔のガスト制振対策

石川島播磨重工業(株) 正員 上島 秀作

石川島播磨重工業(株) 正員 樋上 琇一

1. まえがき

今後、超長大橋を開発していく過程で耐風設計上問題となる現象の一つに風によるガスト応答がある。現在広く採用されているTMDを超長大橋のような長周期構造物に適用した場合、十分な制振効果が得られなくなることが指摘されている。事実、本州四国連絡橋・多々羅大橋併合直前の桁水平曲げ1次モードの固有周期は約20秒であり、TMDによる制振は困難である。

ここでは、長周期構造物にも適用可能な、風力を逆利用した空力的制振方法を開発し、長大吊橋主に適用した場合の解析的検討結果について報告する。

2. 制御空気力

構造物の要素*i*に作用する抗力を準定常空気力を用いて次式のように表現する。

$$F_i = 1/2 \rho C_{di} A_{ni} (U_i - \dot{x}_i)^2 \quad (1)$$

$$\approx 1/2 \rho C_{di} A_{ni} \cdot U_i^2 - \rho C_{di} A_{ni} U_i \cdot \dot{x}_i \quad (2)$$

ここで、 F_i :要素*i*の抗力、 ρ :空気密度、 C_{di} :要素*i*の抗力係数、 A_{ni} :要素*i*の投影面積、 U_i :風速、 $\dot{x}_i$:要素*i*の速度。

式(2)において、構造物まわりの流れを適当な方法で変化させることで抗力係数をアクティブコントロールし、制御可能な制振力を得る。すなわち、

$$C_{di}(t) = C_{di0} + \Delta C_{di}(t) \quad (3)$$

ここで、 C_{di0} :制御時の平均抗力係数、 $\Delta C_{di}(t)$:コントロール抗力係数(変動分)。

安定した制振効果を得るために、本研究では $\Delta C_{di}(t)$ による制振力を速度比例項とする次の制御則を採用した。

$$C_{di}(t) = C_{di0} - g \cdot \dot{x}_i \quad (4)$$

ここで、 g :コントロールゲイン。式(4)を式(2)に代入して整理する。

$$F_i = 1/2 \rho C_{di0} A_{ni} U_i^2 - (\rho C_{di0} A_{ni} U_i + 1/2 \rho A_{ni} U_i^2 g) \cdot \dot{x}_i \quad (5)$$

このように、風外力は静的空気力、振動に伴う準定常空気力、制御空気力の和で表現される。

なお、コントロール抗力係数の制御は整流板張り出し長を駆動装置によって変化させることで対応する。また、ガスト応答値はランダム外力の時刻歴を用いた過渡応答解析から得られる時刻歴応答から求めた。

3. 制御法妥当性の確認

はじめに、風洞天井からピアノ線吊りされた2次元剛体模型を用いて、コントロール抗力係数の変化を実験的に確認した。この模型は図-1に示す吊橋主塔架設時ガスト対策用制振対策を想定している。実験結果を図-2に示す。整流板張り出し長*d*の増加に伴い、抗力係数 C_d は単調減少し、 $d = 12\text{mm} = 0.1D$ (D :見付け幅)において、 C_d はほぼ半減する。この整流板張り出し長と抗力係数の関係を用いて、制御空気力を得ることにした。

次に、同一模型によるガスト応答実験値と解析値を比較検討した。風洞気流は乱れの強さ $Iu = 17\%$ の境界層乱流を使用した。模型諸元は明石海峡大橋主塔の縮尺1/55を想定した数値を用いた。比較結果を図-3に示す。実験値と解析値とはコントロールゲインをパラメータとした場合、定性的に同様の傾向を示し、定量的には最大20%の偏差で対応した。この結果からは本制御法の妥当性を示すことができた。

4. 長大吊橋主塔への適用検討

本制御法を長大吊橋主塔に適用した場合の制御効果を解析的に検討した。解析対象は明石海峡大橋主塔独立状態である。解析結果を図-4に示す。なお、比較のため従来型TMDによる制御解析結果も併記した。本制振装置を主塔上部より塔高の1/4の範囲に設置し、整流板最大振幅を0.23mとして制御すると、架設時設計風速において無対策時塔頂振幅約2mのガスト応答振幅が約半減することが予想される。

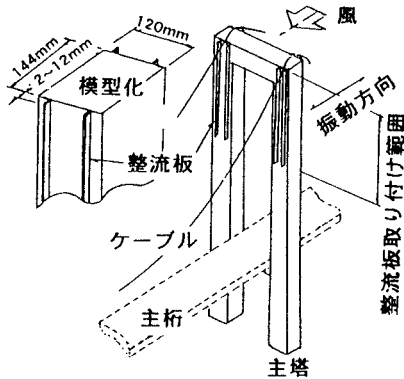
本制御法の特長として、風速が増加しても比較的安定した制振効果が発揮される点が挙げられる。

すなわち、TMDでは想定風速域以上の風による振動現象には能力不足となることが避けられないのに対し、本制御法では風速の増大に応じて制振力も増大し、想定した風速以上の振動現象にも安定した制振効果が得られる。

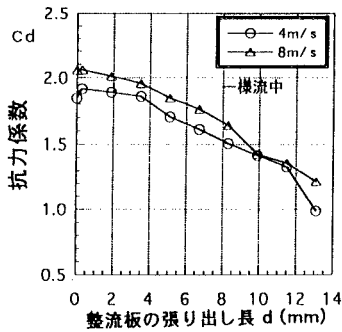
5. まとめ

- (1)新しい考えに基づくアクティブ空力制振方法（抗力係数変化法）を考案した。ピアノ線吊り2次元剛体模型を用いたガスト応答実験結果と理論値とは最大20%の偏差で対応する。
- (2)明石海峡大橋主塔独立時に本制振装置を塔頂より塔高の1/4だけ設置した場合、解析によると架設時設計風速においてガスト応答振幅が半減できることが予想される。

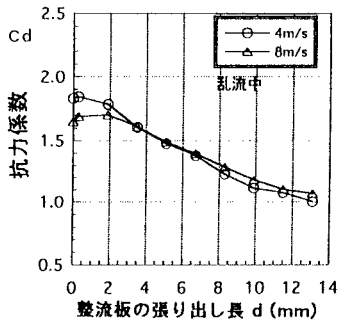
参考文献 1) E.Naudascher : Flow-Induced Forces and Vibrations,1982.



図一 1 主塔ガスト制振対策

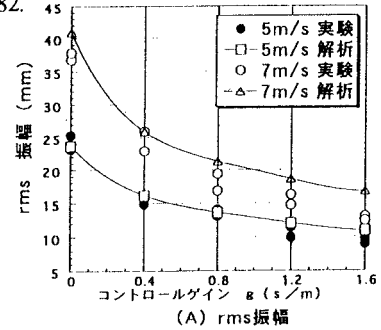


(A)一様流中

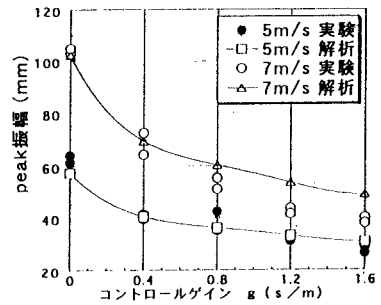


(B)乱流中

図一 2 整流板による抗力係数変化

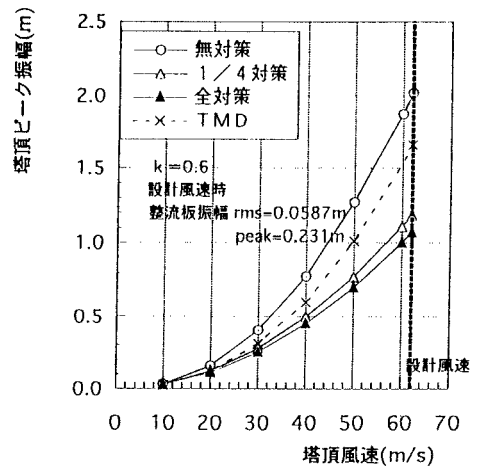


(A) rms 振幅



(B) peak 振幅

図一 3 2次元剛体模型ガスト応答実験値と解析値の比較



図一 4 ガスト応答解析結果
明石海峡大橋主塔独立状態