

京都大学院橋梁工学研究室	学生員	○与那嶺 一秀
京都大学院橋梁工学研究室	学生員	Hong Jin Wuk
京都大学院橋梁工学研究室	学生員	Robby Permata
京都大学院橋梁工学研究室	正会員	白土 博通

1. 序論

明石海峡大橋を上回る長大橋の耐風安定性を確保するには既存のトラス桁構造より安定した断面の開発が求められる。その対案として断面を空間的に並列配置することが挙げられ、その効果が明らかになった。

空間の存在がフラッター安定化に繋がる可能性があるということから、本研究では、断面の空間配置によりフラッター安定性の向上を図った。計算による解析値と風洞実験による実験値の非定常空気力係数とフラッター解析の結果を比較し、考察を行うことを目的とする。

2. 振動する物体に作用する空気力の表現

フラッター現象を考える際には物体に作用する空気力を把握することが必要である。そこで、橋梁桁断面が風から受ける非定常空気力について、Scanlan により次のような定式化が提案されている。

$$L = \frac{1}{2} \rho (2b) V^2 \left\{ kH_1^* \frac{\dot{\eta}}{V} + kH_2^* \frac{b\dot{\phi}}{V} + k^2 H_3^* \phi + k^2 H_4^* \frac{\eta}{b} \right\}$$

$$M = \frac{1}{2} \rho (2b^2) V^2 \left\{ kA_1^* \frac{\dot{\eta}}{V} + kA_2^* \frac{b\dot{\phi}}{V} + k^2 A_3^* \phi + k^2 A_4^* \frac{\eta}{b} \right\} \quad (1)$$

ただし、 L は単位スパン長あたりの非定常揚力（下向き正）[N/m]、 M は単位スパン長あたりの非定常モーメント（頭上げ正、弦長中央点まわり）[N・m/m]、 η はたわみ変位（下向き正、弦長中央点における変位）[m]、 ϕ はねじれ変位（頭上げ正）[rad]、 V は風速[m/s]、 ρ は空気密度[kg/m³]、 b は半弦長[m]、 k は換算振動数（= $b\omega_F/V$ ）、 ω_F は円振動数[rad/s]である。

3. 断面の空間配置による連成フラッター安定化

松本らの研究により、ねじれ分枝の連成フラッターに主に影響を与えるのは8つの非定常空気力の中、 $H3^*$ 、 $A1^*$ 、 $A2^*$ であることが分かっている。本章では、連成フラッターが起こる断面として知られている $B/D=20$ の矩形断面の両方に小さい付加断面を設置することで、連成フラッターの制御を試みる。

付加断面が本体の $B/D=20$ の平板（以下からは主桁と命名する）より何倍も小さいことから、主桁と付加平板同士の干渉効果を無

視する前提で、模型全体の非定常揚力を計算する時は付加断面による $H3^*$ 、 $A1^*$ 、 $A2^*$ の変化は無視できる。一方、ねじれ一自由度時の非定常モーメントの計算においては、付加断面の揚力と設置位置（付加断面中心から主桁の中心までの距離）の積の成分も考慮しないとイケない。その時、 $A1^*$ の場合はねじれ一自由度時には考慮しなくてもよく、 $H3^*$ の場合は揚力から求めるため無視でき、 $A2^*$ のみ考慮すればよくなる。つまり、 $H3^*$ 、 $A1^*$ 、 $A2^*$ の内、主桁の両方に付加断面を設置することにより大きく変化するのは $A2^*$ しかない想定できる。

そこで、図-1のように主桁と $B/D=20$ の付加平板を組み合わせ、フラッター解析を行う。



図-1 解析モデル

$$L_{all} = L_1 + L_2 + L_3$$

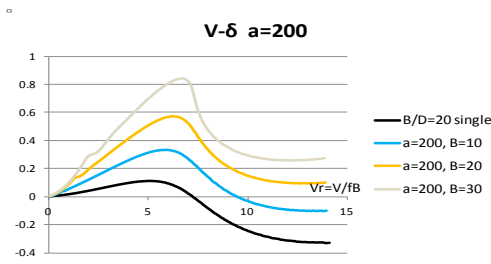
$$M_{all} = M_1 + M_2 + M_3 - aL_2 + aL_3 \quad (2)$$

ただし、 L_{all} 、 L_1 、 L_2 、 L_3 は模型全体及び主桁、上流側付加角柱、下流側付加角柱の揚力、 M_{all} 、 M_1 、 M_2 、 M_3 は各々のモーメント、 a は設置位置である。今回の解析では断面間の干渉は無視して計算している。

式(5)から全体の非定常揚力と非定常モーメントを求め、2章で述べたように非定常空気力係数を求める。それを用いてフラッター解析を行った結果を図-2に示した。

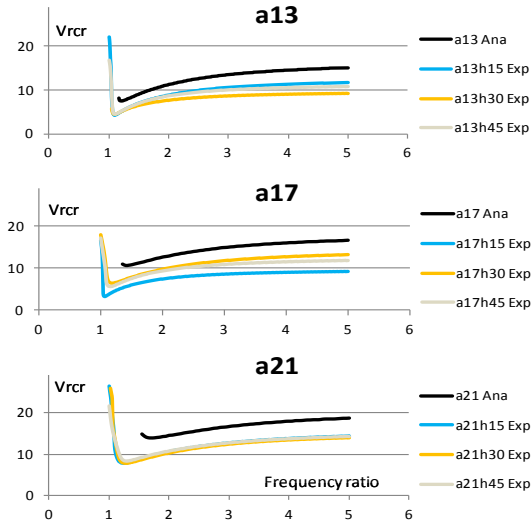
付加平板の幅員 B を大きくするほど、フラッター発現風速が著しく増加した。しかし、計算の前提として主桁と付加物同士の干渉効果は無視したため、風洞実験で確認する必要がある。実験は非定常空気力測定実験、非定常圧力測定実験、可視化実験を行った。

Yonaine Kazuhide, Hong Jin Wuk, Robby Permata,
Shirato Hiromichi
buchizu@yahoo.co.jp



図一2 フラッター発現速度

4. 解析値と実験値の比較



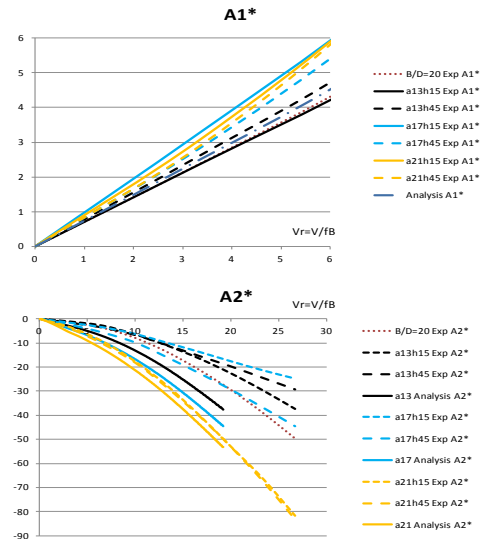
図一3 実験値のフラッター発現風速

ねじれ分枝のフラッター解析結果を図一三に示す。振動数比1.0から5.0まで0.1間隔として解析を行った。横軸は振動数比、縦軸はフラッター発現無次元速度で、設置位置 a ごとにまとめた。その結果、ロードセルを用いた実験値では解析値ほどのフラッター安定化効果がないことが確認された。

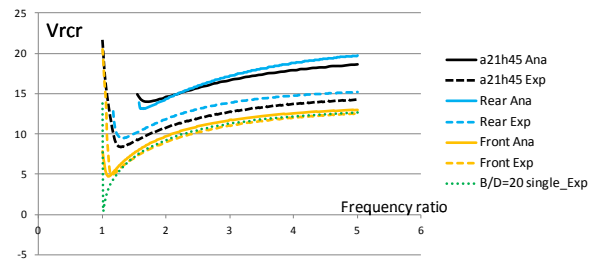
全ケースの $A1^*$, $A2^*$ の図を集めて図一四に示す。 $A1^*$ は解析値と実験値の差がほとんどなかったため図を省いた。 $A2^*$ は、実験値が解析値より下回っている。さらに、図一三と比較すると、その差が大きいほどフラッター発現速度が低くなっている。つまり、実験値が解析値より $A2^*$ の負の値が小さく、模型が期待より安定にならなかったと考えられる。 $a21h15$ と $a21h45$ とは、 $A2^*$ の値は解析値に近いが、 $A1^*$ の絶対値が解析値より大きいことであると考える。

上流側と下流側に設置されている付加平板それぞれの役割を検討するため、付加平板を上流側のみ設置したケース (Front, $a21h45F$) と下流側のみ設置したケース (Rear, $a21h45R$) と両方設置したケース ($a21h45$) の解析値と実験値から得たフラッター発現速度を図一五に示す。解析値 (実線, Ana) と $B/D=20$ 単体の図と比較すると、Rear のケースはフラッター安定化に多く寄与しているものの、Front のケースはそうではないことが分かる。

しかし、実験値 (点線, Exp) を確認すると、Rear のケースは解析値よりはるかに下回っているが、Front のケースは解析値との差が小さい。



図一4 非定常空気力係数の実験値と解析値の比較



図一5 各付加平板の役割

言い換えると、本来、下流側の付加平板はフラッター安定化に大きい役割を果たすはずだが、他の断面による流れの影響で計算上での効果が発揮できないことが分かる。一方、上流側の付加平板が主桁に与えている影響は大きいとは言えない。つまり、付加平板が両方付いたケースの実験値が解析値より低い原因は下流側の付加平板が自分の役割を果たしてないためだと考えられる。

5. まとめ

解析により付加平板の空間配置が連成フラッター安定化に大きく寄与すると思われた。しかし、実験では大きい効果を得られなかった。たわみ運動の際、断面同士の影響により下流側の付加平板が期待したほどの役割を果たさなかったためである。

今後の課題として、付加平板における非定常圧力を測定すること、主桁から下流側の付加平板への影響を抑えることのできる主桁及び付加平板の形状を検討することがあげられる。

参考文献

- 1) 松本 勝, 水野 恵介, 大窪 一正, 伊藤 靖晃; “連成フラッターの分枝特性に関する考察”, 土木学会論文集A, Vol. 63, No. 1, pp. 252-264, 2007