

石川島播磨重工業 正 員 籠田 彰

横浜国立大学 正 員 宮田 利雄

横浜国立大学 学生員 太田 博文

1. まえがき

今後の長大橋梁計画における最大の関心事の一つとして、中央支間長2000mを越す超長大吊橋の建設があげられる。我が国においては、本四架橋プロジェクトの今後のハイライトとなるであろう2000m級吊橋の建設に大きな期待が寄せられている。このような超長大吊橋の設計において最も重要なファクターは十分な耐風性の保持にあることは言うまでもなからう。本報告では、2000m級超長大吊橋として試算設計された計画案¹⁾について、フラッタ、ならびにガスト応答の観点から解析的な検討を加えたのでその結果について報告するものである。併せて、長大吊橋の耐フラッタ性能向上を旨としたTwin吊橋案²⁾についても同じような検討を加え、その耐風性評価を行ったので相互比較することとする。

2. 解析方法

ここでは、2000m級超長大吊橋として試算設計された計画案の諸元を基本にし、補剛桁形状は扁平な平板状断面をもつとして、作用空気力は平板翼断面のそれと同じであると考えて種々の検討を行うこととした。すなわち、フラッタ、鉛直たわみガスト応答について、鉛直たわみと捩れの固有振動数比を変化させて、フラッタ限界風速、ガスト応答量、および各風速における振動数、あるいは振動数応答関数などの特性変化を追跡するのであるが、これを平板翼に作用する非定常空気力に風の乱れによる変動空気力を線形的に重ね合わせて解析し、検討した。ガスト応答解析は不規則振動の振動数領域における解析法に従うこととし、空力アドミッタンスは平板翼に対するSears関数を用いる、風の乱れは鉛直ガスト $w(t)$ のみを考えPanofsky・McCormick式を用いる、橋軸方向の空間相関係数には指数型を用いる、鉛直たわみと捩れの固有振動モード形の連成度の影響はほぼ無視できるので2つのモード形は同一と見なす、風速変動による変動揚力と変動空力モーメントとは互いに独立と考えるか変動揚力のみを考える、といった仮定を置いている。

3. フラッタの解析結果

平板状断面系に発生する鉛直たわみと捩れが連成する曲げ捩れフラッタの限界風速に関しては、よく知られているように、鉛直たわみの固有振動数 n_2 と捩れ固有振動数 n_1 との比 n_2/n_1 に応じて、図1に示すような特性、すなわち n_2/n_1 を大きくするとともに、またある極小値(約 $n_2/n_1 \neq 1$ において)を境にして n_2/n_1 を小さくし、1に近づけるとともに限界風速が大きくなる。従来、曲げ捩れフラッタの限界風速を向上させるためには n_2/n_1 を大きくすることに心がむけられていた。ところが、Twin吊橋案²⁾では床版部を2分割してその間を横桁で継ぎ、回転半径を大きくとることによって n_2/n_1 を1に限りなく近づけ、このとき期待される捩れの大きな空力減衰効果によって限界風速を極めて高いものとする考え方が提案されている。 n_2/n_1 を限りなく1に近づける構造設計が可能であれば耐フラッタ性能は十分に高いと評価できる。ちなみに、2000m級吊橋試案の諸元によると $n_2/n_1 \approx 2.4$ で、限界風速約50m/sと十分高くない。ところで、 n_2/n_1 の変化は、通常、長大吊橋では鉛直たわみ振動数は支間長とサグ比でほぼ決定されるので、ここでは捩れ振動数 $n_2 = \sqrt{K\phi/\theta}/2\pi$ について、回転半径(すなわち θ)を大きくする[図1(a)]、または見かけの捩れ剛性 $K\phi$ を小さくする[(b)]ことによって対処している。以上は双方の結果を比較しているが、以下の解析では回転半径を変える場合のみを述べる。

4. 鉛直たわみガスト応答の解析結果

風の乱れによる変動空気力が作用すると、鉛直たわみガスト応答(RMS)が図2に示すように発生する。特徴的なところは、上述のフラッタ限界風速を極小にする振動数比 n_2/n_1 を境にして、大きい側と小さい側とで応答特性に著しい差が見られることである。大きい側では図2(a)のように、風速の増加に伴い一つの基線に沿う応答過程をたどり、それぞれの振動数比に応じたフラッタ限界風速の直前で急激に大きくなる応答へ移行している。換算風速10程度までは2次曲線的に、これ以上では直線的に大きくなり、しかも風の乱れの強さ(鉛直ガスト I_w)にほぼ比例している。これに反し、振動数比が、

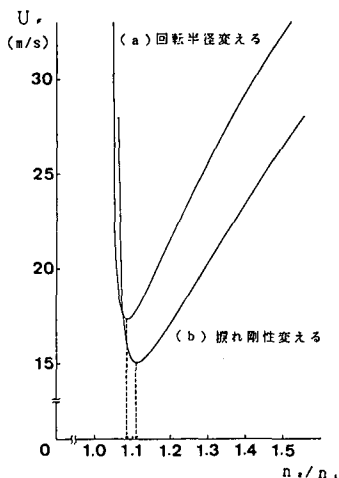


図1 振動数比-フラッタ限界風速

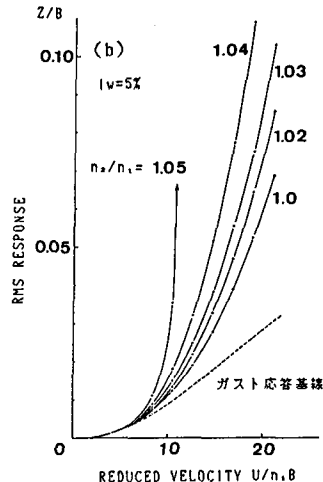
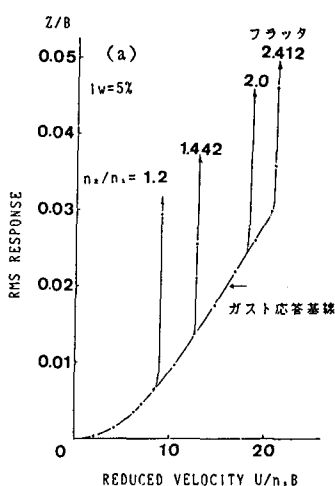


図2 n_2/n_1 による応答特性比較

1に近い側では図2(b)のように、上述のような基線は存在せず、それぞれの振動数比に応じた固有の応答過程をたどり、フラッタ限界風速に近づくとともに急激に大きくなる。しかも、前述の基線をはるかに上まわる応答となる。先に見た振動数比1のTwin吊橋案はフラッタ性能は優れているものの、このガスト応答が相当に大きなものとなることが分る。以上の特性は変動空力モーメントを省いた場合のものであるが、この空力成分を考慮すると、振動数比の大きい側では図3に示すように応答がおさえられるように働くことが見られる。他方、小さい側ではこの逆に、図2(b)よりも大きな応答を示すようになることが分る。図4、および図5は、それぞれ振動数比固定、換算風速固定の場合の鉛直たわみ・捩れ連成系におけるたわみ成分に関する振動数応答関数である。図中に示した「たわみ分枝」、「捩れ分枝」がパラメータの変化に応じて大きく動き、上述したガスト応答特性の種々の変化がこの特性、すなわち平板翼断面に働く非定常空力特性に大きく支配されている状況をうかがうことができる。

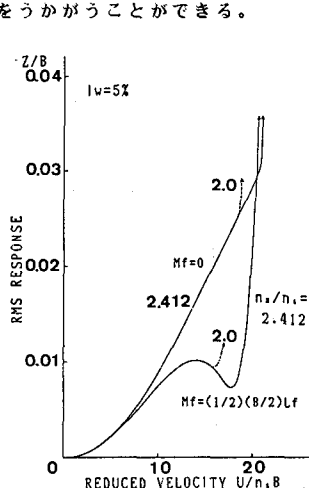


図3 変動空力モーメントの影響

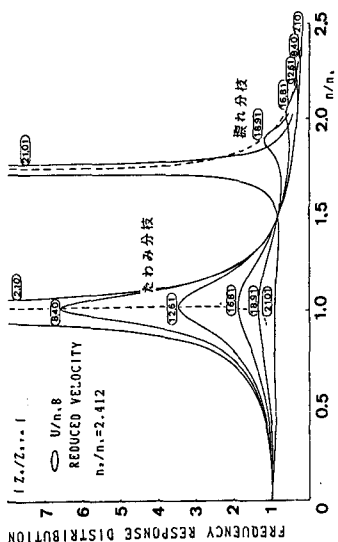


図4 振動数応答関数 (振動数比固定)

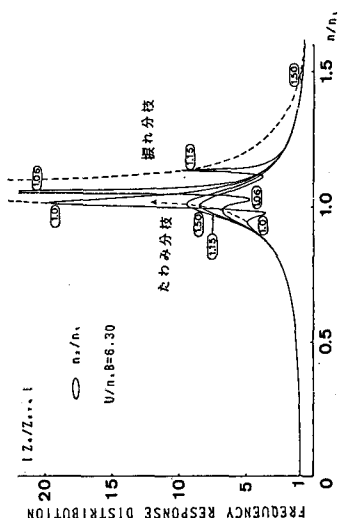


図5 振動数応答関数 (換算風速固定)

参考文献

- 1) 土木学会本州四国連絡橋耐風研究小委員会、昭和59年度調査報告書、昭和60年3月。
- 2) Richardson, J.R., The Development of the Concept of Twin Suspension Bridge, NMI R 125, 1981.
- 3) Miyata, T. et al., Evaluation of Gusts on Flexible Structure, Pre.Rept. 9th Congress of IABSE, 1972.