

I-333 平板状断面を持つ長大吊橋の振れガスト応答解析

横浜国立大学 学生員 太田 博文
正 員 宮田 利雄

1. まえがき

長大吊橋の耐風安定性を評価する上で、耐フラッター性能が十分に保持されていることの確認は言うまでもなく、風の乱れによるガスト応答特性についても十分に把握しておくことが必要である。このガスト応答と関連した検討課題として、準定常仮定の妥当性、応答評価方法、およびフラッター発生風速に対する影響の3点が挙げられている。昨年度、平板翼に作用する非定常空気力と変動気流による変動空気力とを重ね合わせて、長大吊橋のガスト応答、特に鉛直たわみ応答の解析結果を示した¹⁾。ここでは、同じ手法によって振れガスト応答を解析し、その特性と共にフラッター発生風速との関連について検討した結果を述べることにする。

2. 解析方法

解析の基本方針は、吊橋補剛桁形状は扁平な平板状断面を持つとし、上述したように、作用空気力は平板翼断面のそれと同じであると考ええる。長大吊橋として想定されるトラス桁断面、あるいは箱桁断面ともに、厳密には扁平な平板翼断面とは言い難い。しかし、箱桁断面の風洞試験において観測されるフラッター特性には曲げ振れフラッターの特徴が認められている。本来、平板状断面には曲げ振れフラッターが典型的に発生するが、このような平板状断面に対するガスト応答の解析結果は吊橋断面のガスト応答特性を調べるための一つの目安を与えられられる。また、乱れた自然風中で発現するフラッター(特に曲げ振れフラッター)特性の一端を表す結果が得られると考えられる。ガスト応答解析は昨年度の報告¹⁾と同じ不規則振動の振動数領域における解析法に従い、風の乱れは鉛直ガスト成分のみを考えることとした。

3. 振れガスト応答の解析結果

鉛直曲げと振れの連成振動系に風の乱れによる変動揚力、あるいは変動空気モーメントが作用すると、鉛直たわみ、振れのガスト応答が発生する。しかし、それぞれの応答特性には若干の差異が存在するようである。図1は鉛直たわみと振れの固有振動数比 $n_2/n_1 = 2.41$ の場合の鉛直たわみ応答パワースペクトル密度関数である(変動空気モーメント $M_f = 0$)。これに対し、図4は同じ振動数比の場合の振れ応答パワースペクトル密度関数である(変動揚力 $L_f = 0$)。後者では、スペクトル形状が平均風速によって大きな変化をせず、しかも各風速に応じた振れ振動数に対応する位置でのピーク応答が顕著で、これより低振動数領域の応答の寄与が小さいことが読みとれる。一方、前者の鉛直たわみ応答のスペクトルでは、平均風速がフラッター発生風速 U_F の直前に至るまでピーク状の応答は大きくなく、むしろ低振動数領域の応答の寄与が大きいことが分かる(もちろん、 U_F 直前ではフラッター振動数に対応するピーク応答が著しくなる)。これらのことから、鉛直たわみ応答には風の乱れの低振動数領域の寄与が大きい、振れ応答にはその振動数に対応するピーク応答が支配的であると考えられる。

以上のような応答のパワースペクトル密度関数を各平均風速ごとに計算し、さらに振動数領域での積分を施すと二乗平均応答が求められる。図2, 3は風の鉛直ガストの乱れの強さ $I_w = 5\%$ の場合の鉛直たわみ応答のRMS値を固有振動数比 n_2/n_1 を変化させて示したもので、昨年度すでに報告している¹⁾。フラッター発生風速を極小にする固有振動数比を境にして、大きい側では図2のように、他方、小さい側では図3のように応答特性を相異している。これに反し、振れ応答のRMS値については、図5に示すように、固有振動数比に応じた変化は特に認められない。図2, 3, および5において、変動空気モーメント M_f 、または変動揚力 L_f を省略したり、考慮に入れたりしてそれぞれを対比している。実際的には、風の乱れによる変動空気力は乱れの空間的・時間的相関性に支配され、従って、変動揚力と変動空気モーメントの2つの力の成分

を考えるについては完全に独立か、相関を1にするかの間にあると考えるべきであろう。このような観点に立つと、実際の応答特性はそれぞれの中間的な振る舞いを示すものと考えられる。

4. 考察

さて、図5によると、鉛直ガストの乱れの強さが $I_w = 5\%$ の場合でも振れのガスト応答はかなりの大きさで発現することが知られる。本州四国連絡橋耐風設計基準によると、フラッター発生風速として一様流中の風洞試験結果において $1^\circ \sim 5^\circ$ の振幅を与える最小風速と定義し、さらにこれが設計風速より1.2倍以上であることを要求している。この規定は鉛直たわみ、振れのガスト応答がきわめて小さい場合には十分な適応性をもつと考えられるが、この例のような無視できない大きさのガスト応答がフラッター発生風速以前に発生すると考えられる場合には、これを十分に評価しておく必要がある。

ところで、固有振動数比が $n_2/n_1 = 1$ となる場合、すなわちフラッター発生風速を極めて高いものとするを意図して考えられた Twin 吊橋案²⁾についてガスト応答値を解析してみると、図3、および5に示すように、相当の大きさの応答となっている。図5の振れ応答図において、固有振動数比 $n_2/n_1 = 2.41$ の場合のようなフラッター発生風速近くでの急激な応答の立ち上がりがない代りに、風速の上昇と共に振れ応答が大きく発達する状況が見てとれる。確かに、固有振動数比を限りなく1に近づけてフラッター発生風速を無限大にするとの考え方は革新的であるが、風の乱れによるガスト応答が相当の大きさで発現し、一見フラッターと見まがいがうばかりであることには十分な注意が必要である。これらの応答特性はタウトストリップ模型による風洞実験において容易に観察することができる。

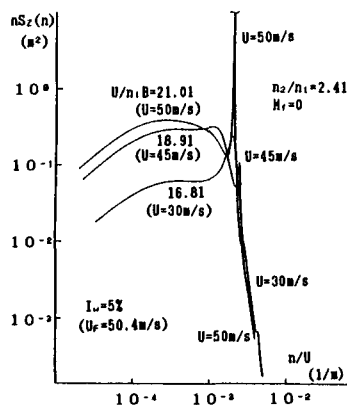


図1 鉛直たわみ応答のパワースペクトル

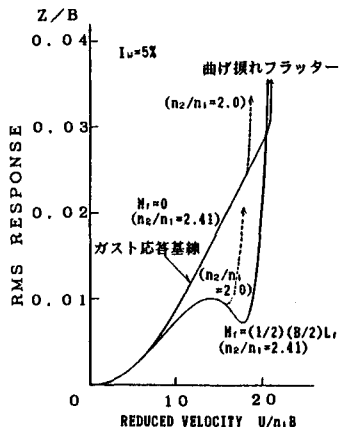


図2 鉛直たわみ応答〔固有振動数比 大〕

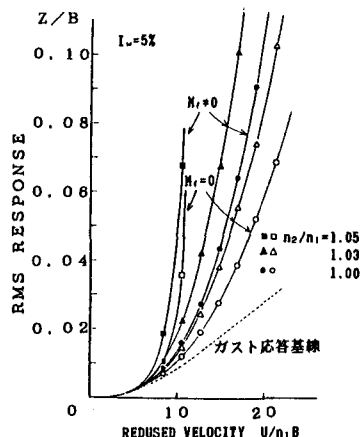


図3 鉛直たわみ応答〔固有振動数比 小〕

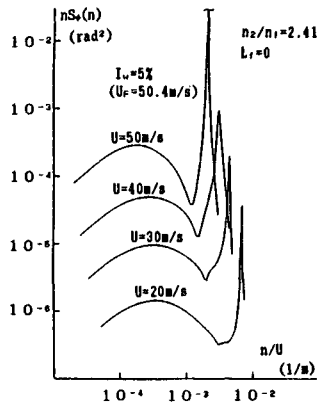


図4 振れ応答のパワースペクトル

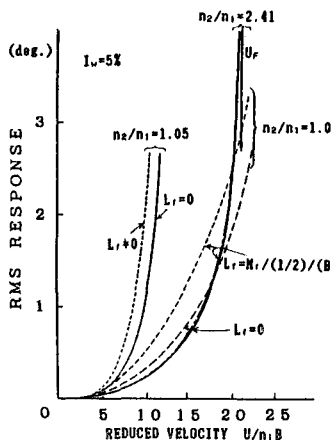


図5 振れ応答

参考文献

- 1) 籠田 彰, 宮田 利雄, 太田 博文, 平板状断面を持つ長大吊橋のフラッター・ガスト応答に関する2, 3の考察, 土木学会第40回年次学術講演会, 1-238, 昭和60年9月.
- 2) Richardson, J. R., The Development of the Concept of Twin Suspension Bridge, NMI-R 125, 1981.