

ガスト空気力の定式化が橋梁のガスト応答解析結果におよぼす影響

東京大学 正 員 木村 吉郎
 東京大学大学院 学生員 田村 央

東京大学 正 員 藤野 陽三
 川崎製鉄(株) 正 員 中村 聖三

1. はじめに 著者らは、橋梁のガスト応答を生じさせる不規則変動空気力(以下「ガスト空気力」とする)の特性を明らかにする目的で実験的研究を行っている¹⁾。その結果、偏平六角形断面をもつ模型に対しては、既往のガスト応答解析で用いられている(狭い意味での)ストリップ理論による解析結果と比較して、1) 断面に作用するガスト揚力の測定値は小さい、2) 模型のスパン方向に離れた2断面間に作用するガスト揚力の相関の測定値は大きい、ことが示されている。これら2つの傾向は、橋梁のガスト応答の大きさに対して反対の影響をもつため、空気力の定式化の違いが橋梁のガスト応答予測の解析結果にどのような影響をおよぼすかは明らかではない。そこで、ストリップ理論の仮定に基づく場合と、実際に測定されたガスト空気力を用いた場合の両方について、実橋を単純化したモデルを対象としてガスト応答を計算して比較した。

2. 解析方法 模型に作用するガスト揚力の測定値を用いて応答計算を行うためには、空気力を無次元振動数の関数として表す必要がある。そこで断面に作用するガスト揚力のパワースペクトル $S_L(f)$ を以下のように無次元化した。まず既往のガスト応答解析における定式化において、変動風速の主流方向成分の寄与を無視すると、 $S_L(f)$ は以下のように表される。

$$\begin{aligned} S_L(f) &= (0.5\rho Ub C_{L\alpha})^2 \times S_w(f) \times \chi_a(fL_w/U) \\ &= (0.5\rho Ub C_{L\alpha})^2 \times (\sigma_w^2 L_w/U) \times G(fL_w/U) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 ρ :空気密度、 U :風速、 b :桁幅、 $C_{L\alpha}$:揚力係数の勾配、 $S_w(f)$:鉛直変動風速のパワースペクトル、 χ_a :空力アドミッタンス、 σ_w^2 :鉛直変動風速の分散、 L_w :乱れのスケール、 G :無次元振動数(fL_w/U)の関数である。したがって、(1)の両辺に f をかけて $(0.5\rho Ub C_{L\alpha} \sigma_w)^2$ でわると、得られる無次元化パワースペクトル $fS_L/(0.5\rho Ub C_{L\alpha} \sigma_w)^2$ が無次元振動数の関数となることがわかる。乱れのスケールと桁幅の比が相似されていれば、無次元振動数を桁幅 b で定義しても同様な定式化が可能なので、以下無次元振動数を fb/U で定義する。

鉛直変動風速の乱れのスケールが桁幅にはほぼ等しい気流が作用した場合に、偏平六角形断面に作用するガスト揚力の測定値の無次元化パワースペクトルを、ストリップ理論の仮定に基づく既往の解析法(空力アドミッタンスとしてSears関数を使用)による結果とともに図1に示す。先に述べたように測定値の方が解析値よりも小さいが、注目すべき点は、測定を行った風速の違いによって無次元化パワースペクトルの値がばらつくことである。この理由としては、一様流中での揚力係数の勾配を無次元化の際に使っていることなどが考えられるが、詳細はさらに検討する必要がある。このようにガスト揚力の測定値が無次元振動数のみの関数として表せないために、どの風速における測定値を使うかによって、解析結果は異なってくる。

なおガスト空気力のスパン方向のコヒーレンスの測定値については、無次元振動数の関数として表されることが示されており、測定値を近似する実験式¹⁾を用いて解析を行った。

3. 対象としたモデル 中央スパン890mの斜張橋の諸元をもとに、中央スパンのみを対象とし、橋桁に作用する空気力のみを考慮して鉛直ガスト応答を計算した。橋桁は偏平な箱桁で、桁幅は30.8m、揚力係数の勾配は5.64とした。1～3次モードそれぞれの構造の特性は、固有振動数が0.216、0.266、0.337Hz、モード質量が4068、6073、6054t、モード減衰定数はすべて1%とした。なお振動モードは、1～3次モードをそれぞれサイン波の0.5～1.5周期に対応するものとして単純化した。

自然風の特性は、変動風速鉛直成分の乱れの強さを10%とした。また、ガスト揚力を測定した実験¹⁾における乱れのスケールと桁幅の比を相似するために、変動風速鉛直成分の乱れのスケールは29.1mとした。

空力減衰は、準定常の仮定に基づくものを用いた。ストリップ理論の仮定を用いた解析では、空力アドミッタンスとしてSears関数を使用した。

4. 解析結果および考察 風速12m/sでのガスト揚力の測定値をもとに得られた応答の解析結果を図2に示す。縦軸は各モードの腹におけるr.m.s.応答振幅である。スパン中央での応答は1次と3次モードの応答の重ね合わせとなり、黒丸の太線で示してあるが、1次モードの寄与がほとんどである。ストリップ理論の仮定に基づく解析結果においても1次モードの寄与がほとんどであった。

ガスト揚力の測定値に基づく結果を、ストリップ理論の仮定に基づく結果とスパン中央でのr.m.s.応答に関して比較したのが図3である。応答の大きさについては、どの風速における測定値を用いるかによって結果が異なるので厳密な比較はできないが、風速が40～50m/s以下では測定値に基づく結果の方がやや小さめである。しかし風速とともに応答の増加する割合が、測定値に基づく結果の方が高風速側で大きくなっており、風速60m/s以上では測定値に基づく結果の方が大きくなると考えられる。いずれにせよ両者の応答の大きさはほぼ等しいレベルにあるが、これは、ストリップ理論の仮定によるものに比べ、実際に断面に作用するガスト空気力の大きさは小さいが、異なる断面に作用するガスト空気力の相関が大きいために、2つの影響が打ち消し合っているためと考えられる。

次に風速30m/sにおけるスパン中央での応答のパワースペクトルを図4に示す。測定されたガスト空気力に基づく解析結果の方は、応答の振動数成分が低振動数に集中しており非共振成分が大きいのに対し、ストリップ理論の仮定に基づく結果では共振点付近での振動数成分が大きい。このように、どちらのガスト空気力の定式化を用いるかによって、応答の特性はかなり異なってくるといえる。

4. おわりに 実際の測定値に基づくより精緻なガスト空気力の定式化によって、橋梁のガスト応答の予測値が既往の解析によるものとどのように異なってくるか検討した。対象としたモデルにおいては、応答の大きさはストリップ理論の仮定に基づくものとあまり変わらないが、その特性はかなり違ったものとなることがわかった。今後は、このような傾向が一般的なものであるのか、それとも違う傾向となるケースもあるのかなど、いろいろな実橋のモデルを対象に検討を加えていく予定である。

<参考文献> 1) 偏平な橋桁に作用するガスト空気力の特性、田村央ほか、第49回年次講演会、1994。

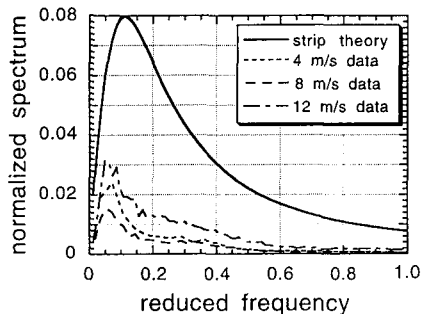


図1 ガスト揚力の無次元化パワースペクトル

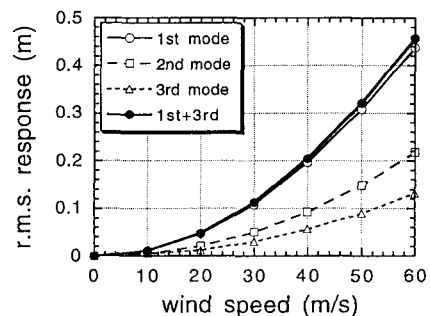


図2 ガスト揚力の測定値(U=12m/sにおける)を基にした解析結果

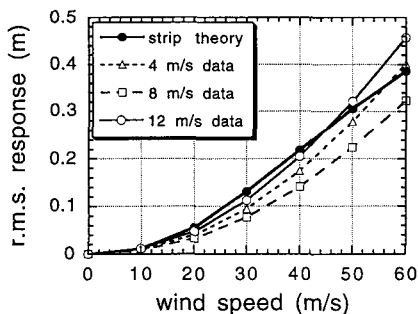


図3 スパン中央における応答解析結果

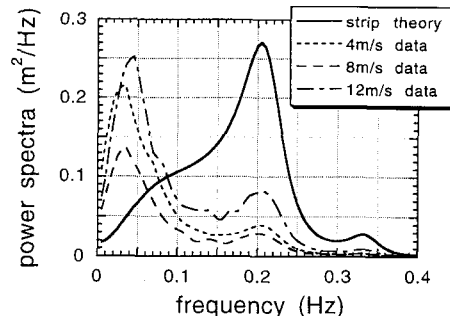


図4 応答のパワースペクトル (風速30m/s)