

橋梁の空力ガスト不規則非定常振動に関する基礎的研究

京都大学工学部 正員 白石 成人 京都大学工学部 正員 松本 勝
 京都大学工学部 学生員 加藤 隆 広島県 正員 岡 淳一

1. まえがき

長大橋梁の空力ガスト不規則振動現象の問題において、従来より行なわれている周波数解析および時間過渡応答解析では、入力変動風速が定常統計過程によって表わせるものとして解析が進められてきたが、近年の橋梁の長大化に伴ない、固有周期も大きなものとなり、特に台風の襲来を受ける我が国では、大きく変動する風速、風向を解析の上に反映する必要があると思われる。本研究は、入力変動風速の非定常性に着目し、より有効な解析方法を検討し、風洞実験により得られたデータを用いて実測応答と計算応答の比較を行ない、基礎的な考察を加えるものである。

2. 風洞実験

1:10 H型断面（桁高と弦長の比が1:10のH型断面）を対象として、つぎの実験を行なった。

① スパン長50cm、コード長18cmのモデルを用いて、種々の迎え角に対する静的空気力を測定した。解析に使用した近似曲線を図1に示す。

② 2枚加振翼により、風洞内に正弦波に近い2次元変動気流を発生させ、①と同様のモデルを使用して、1:10 H型断面に対する空力システム関数を求めた。これより図2に示す等価Küssner関数（揚力の発生機構の時間過渡状態を表わす関数） $\psi(t)$ を誘導した。

③ スパン長93cm、コード長20cmのモデルを2次元バネ支持し、6枚加振翼により風洞内にランダム波に近い2次元変動気流を発生させた。熱線風速計により主流ならびに鉛直方向風速を測定するとともに、鉛直たわみ振動応答を測定した。

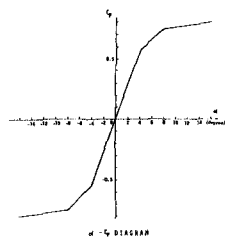


図 1.

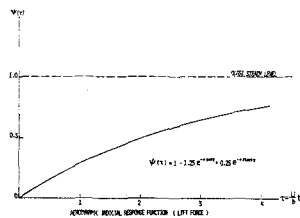


図 2.

3. 解析方法

主流方向変動風速 U 、迎え角 α における、単位スパン長さあたりの準定常揚力の式が、

$$L(\alpha) = \frac{1}{2} \rho B U^2 C_F(\alpha) \quad (1)$$

で示されるように、主流方向変動風速の非定常性は、 U の評価によって反映できると考えられる。すなわち、全評価時間よりも小さなある評価時間(T_e)内で主流方向変動風速を平均し、テータサンプリング間隔ごとにずらして各時刻の平均風速とした、移動平均風速の概念を導入する。有効評価時間 T_e での、時刻 t における移動平均風速 $\bar{U}(t)$ は次式で表わすことができる。

$$\bar{U}(t) = \frac{1}{T_e} \int_{t-T_e/2}^{t+T_e/2} U(t) dt \quad (2)$$

〔解析方法1〕 揚力の発生機構に着目し、等価Küssner関数 $\psi(t)$ が0.9999になるまでの無次元時間で($=\frac{U}{b}t$)を、全評価時間における平均風速 $\bar{U}$ によって有次元にした時間を T_{e1} とする。これを有効評価時間として求めた移動平均風速 $\bar{U}_{T_{e1}}$ を、主流方向風速として用いた。

変動揚力は次式で示される。

$$L(t) = \frac{1}{2} \rho B \int_{t-T_{e1}}^t \bar{U}_{Te1}^2(t_i) \cdot C_F(\alpha(t_i)) \frac{d\psi(t-t_i)}{dt} dt \quad (3)$$

〔解析方法2〕 構造物の減衰に着目し、全評価時間における平均風速 $\bar{U}$ に対する単位衝撃振動応答関数の包絡線が、 $t=0$ の時刻の値に対して $\frac{1}{20}$ まで減衰するのに要する時間を T_{e2} とする。これを有効評価時間として求めた移動平均風速 $\bar{U}_{Te2}$ を、主流方向風速として用いた。変動揚力は次式で示される。

$$L(t) = \frac{1}{2} \rho B \int_{t-T_{e1}}^t \bar{U}_{Te2}^2(t_i) \cdot C_F(\alpha(t_i)) \frac{d\psi(t-t_i)}{dt} dt \quad (4)$$

〔解析方法3〕 比較のために、従来¹⁾の時間過渡応答解析の方法により、全評価時間における平均風速 $\bar{U}$ を、主流方向風速として用いた。変動揚力は次式で示される。

$$L(t) = \frac{1}{2} \rho B \bar{U}^2 \int_{t-T_{e1}}^t C_F(\alpha(t_i)) \frac{d\psi(t-t_i)}{dt} dt \quad (5)$$

上述の3方法によって求めた変動揚力から鉛直たわみ振動応答を求めるにあたって、空力減衰は準定常空力減衰によった。すなわち、解析方法1および2においては式(6)、解析方法3では式(7)とする。

$$3_a = (\rho b \bar{U}_{Te2} / 2m\omega_0) \cdot (dC_F/d\alpha) \quad (6)$$

$$3_a = (\rho b \bar{U} / 2m\omega_0) \cdot (dC_F/d\alpha) \quad (7)$$

したがって、鉛直たわみ振動応答は次式で表わせる。

$$\eta(t) = \int_{t-T_{e2}}^t L(t_i) \cdot h(t-t_i) dt_i \quad (8)$$

$$h(t) = \sin(\omega_1 t) \cdot \exp\{-(3_0 + 3_a)\omega_0 t\} / m\omega_0 \quad (9)$$

$$\omega_1 = \omega_0 \sqrt{1 - 3^2} = \omega_0 \quad (10)$$

4. 解析結果および考察

風洞実験より求めた2種類の変動気流の風速図ならびに、前記の各解析方法により求めた応答図を、実測応答図とともに図3、4に示す。図中、記号AおよびBで示される○部はそれぞれ比較的強い風速域、比較的弱い風速域に対応している。従来より空力鉛直たわみ振動に関しては、鉛直方向変動風速がほぼ支配的となり、主流方向変動風速の影響は極めて小さいと考えられていたが、実測応答図のA部ではB部に比べその振動振幅が大きくなっていることより、このように構造物の固有周期の数倍程度の周期で比較的大きくかつゆるやかに変動する非定常気流の作用を受ける可能性がある場合には、主流方向成分の変動をも無視できないと思われる。計算応答の振動波形については、その大まかな大きさや時間に対する変動特性に関しては顕著な差はみられず、標準偏差がほぼ同じ値を示すものの、実測応答においてみられた特性が、解析方法1では明確に、解析方法2でもかなり認められるのに対して、解析方法3では認められない。このことより、鉛直たわみ振動については、鉛直方向変動風速の影響は大きいものの、不規則振動解析を行なう場合の対象となる、平均風速値を求める際の評価時間の影響を、十分検討することが必要と考えられる。

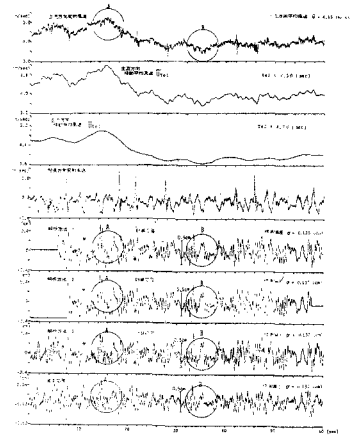


図3. 風速図ならびに応答図

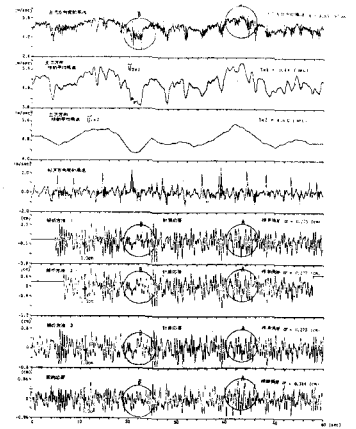


図4. 風速図ならびに応答図