

建設省土木研究所 正員 佐藤 弘史

建設省土木研究所 正員 成田 信之

### 1. まえがき

疲労および使用性の面で重要な、長大橋梁の自然風の乱れによる不規則振動(ガスト応答)を扱う。ガスト応答の推定については数多くの研究がなされているが、それらは解析手法、対象構造物、対象とする応答のモードについて次のように分類される。

|                     |                  |                               |
|---------------------|------------------|-------------------------------|
| 解析手法                | 対象構造物            | 対象とする応答のモード                   |
| 周波数軸での解析<br>時間軸での解析 |                  |                               |
|                     | 2次元構造物<br>3次元構造物 | 鉛直たわみモード<br>横たわみモード<br>ねじれモード |

筆者らは以前、3次元構造物の鉛直たわみおよびねじれモードのガスト応答について周波数軸で推定する方法を示し、一樣流中での風洞実験により得られた空力特性をパラメータに取り入れ長大斜張橋のガスト応答を推定し、実橋観測により得られた値と比較した<sup>1)</sup>。ここでは同様の解析を時間軸で行なう方法を示し、その方法を実際の橋梁に適用した例を示す。

### 2. 計算方法

基本式は次のとおりである。

$$\eta(x, t) = \sum_r \bar{q}_{\eta r}(t) \Phi_{\eta r}(x), \quad \varphi(x, t) = \sum_r \bar{q}_{\varphi r}(t) \Phi_{\varphi r}(x)$$

$$\ddot{\bar{q}}_{\eta r} + 2\zeta_{\eta r} \omega_{\eta r} \dot{\bar{q}}_{\eta r} + \omega_{\eta r}^2 \bar{q}_{\eta r} = \int \Phi_{\eta r} p_L dx / \int m \Phi_{\eta r}^2 dx$$

$$\ddot{\bar{q}}_{\varphi r} + 2\zeta_{\varphi r} \omega_{\varphi r} \dot{\bar{q}}_{\varphi r} + \omega_{\varphi r}^2 \bar{q}_{\varphi r} = \int \Phi_{\varphi r} p_H dx / \int I \Phi_{\varphi r}^2 dx$$

$$p_L(x, t) = p_{L\eta}(x, t) + p_{L\varphi}(x, t) + p_{Lw}(x, t)$$

$$p_H(x, t) = p_{H\eta}(x, t) + p_{H\varphi}(x, t) + p_{Hw}(x, t)$$

自励空気力は構造物の振動に関係した量であるので、これを構造物の減衰力および復元力とあわせて扱えば、ガスト応答は、自然風の乱れによる強制空気力と、自励空気力を含んだ構造系のインパルス応答とのためこみ積分により求められる。しかし、自励空気力は揚力・モーメントとも鉛直たわみ振動およびねじれ振動に関連した項を含んでいるため、このインパルス応答関数を解析的に求めることは困難である。ここでは自励空気力を含んだ構造系のアドミッタンスをマトリックスの形で求め、これを数値積分により逆フーリエ変換してインパルス応答関数を求めた。したがって自然風の乱れによる強制外力を時間軸で求めるために、空力アドミッタンスも逆フーリエ変換した。

### 3. 計算結果

関門橋での観測より得られた自然風のデータ<sup>2)</sup>を用いてガスト応答の推定計算を行った。なお実際の計算にあたり、用いた仮定および設定したパラメータの値は次のとおりである。

- 風速データの入力については、空間相関を考慮するため補助桁を橋軸方向にいくつか分割し、その区間内では相関係数1であるように、区間が異なる場合は相関係数ほとんど1のように自然風を作用させた<sup>3)</sup>。
- 平均風速の過渡、時間による変動を考慮するため時系列の風速データをいくつかの区間に分割し、それぞれの平均値を用いることにした。
- 空力アドミッタンスとしては、変動風速鉛直成分と揚力を結びつけるものとして Sears 関数あるいは Davenport のアドミッタンスを、変動風速橋脚直交方向水平成分と揚力を関係づけるものとして Horlock 関

数を用いた。なおSears関数およびHoltrop関数については絶対値表示の他に複素数表示のものも用いた。

d. 空力モーメントの変動成分は、揚力の変動成分に寄与率を乗ずることにより求まるものとした<sup>4)</sup>。

e. 自励空気力は一様気流中における強制振動の模型実験より求めたものを用いた。ただし振幅非線形性は考慮していない。

f. 揚力傾斜は一様気流中における三分力試験より求めたものを用いた。

g. モードの直交性を考慮した。ただし、鉛直たわみモードとねじれモードとの間では直交性は仮定せず、その連成を考慮した。

h. 固有振動数・振動モードは計算により求めたものを用い、鉛直たわみモードは5次まで、ねじれモードは2次までのものを用いた。また構造対数減衰率としてはすべてのモードで0.03を用いた。

推定計算の1例を、対応する自然風のデータおよび応答の観測値とあわせて以下に示す。

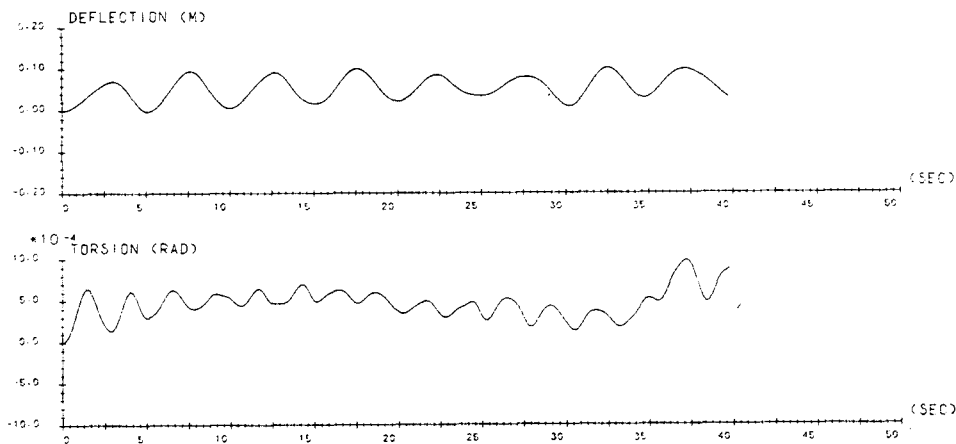
自然風のデータ（関門橋中央区間）

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| 橋軸直角方向の平均風速 $\bar{U}$ (m/s)       | 18.6 |
| 橋軸直角方向の変動風速の標準偏差 $\sigma_u$ (m/s) | 1.2  |
| 橋軸直角方向の乱れ強さ $\sigma_u/\bar{U}$    | 0.06 |
| 鉛直方向乱れ強さ $\sigma_w/\bar{U}$       | 0.05 |
| 迎角 $\alpha$ (deg)                 | 9.0  |

ガスト応答観測結果（関門橋中央区間）

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| 鉛直たわみ応答の標準偏差 $\sigma_y$ (cm)                       | 1.4 |
| ねじれ応答の標準偏差 $\sigma_\phi (\times 10^4 \text{ rad})$ | 4.9 |

ガスト応答推定結果（関門橋中央区間）



#### 4. あとがき

長大橋梁の鉛直たわみおよびねじれのガスト応答を時間軸で推定する方法およびその適用例を述べてきた。今後の課題としては、推定計算における仮定の妥当性の吟味、パラメータの影響の検討、さらに適切なパラメータの値の設定が挙げられる。なお今回の推定計算のプログラミングにあたり、(株)日本建設コンサルタントの上原セ司氏に、プログラムのオペレーションについては構造研究室湯沢聡技官に協力いただいた。記して感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 成田・佐藤；オセロ橋造物の耐風性に関するシンポジウム、
- 2) 成田・横山；土木研究所資料第1214号、
- 3) 小西・白石他；長大つり橋に関する動的耐風設計法の研究・1973、
- 4) 小西・白石他；長大つり橋の動的耐風設計法の研究・1975