

第I部門 非定常空気力を考慮した長大橋ガスト時刻歴応答解析

京都大学工学部 正会員 ○陳 新中
京都大学工学部 正会員 松本 勝

1. まえがき 自然風による長大橋のガスト応答特性を解析的に検討する際に、周波数領域解析法を用いることが多いが、非定常性の強い強風に対する応答評価、各種の非線形要素を考慮するなどの場合、時刻歴応答解析を行うことが要求される。ところが、通常対象とした風速域では空気力が強い非定常性及び空間相関を持つにも関わらず、従来の時刻歴応答解析法においては、空気力を準定常理論で評価し、その空間相関を考慮しないことが多い[1]。そこで、本研究は空気力の空間相関と非定常性を考慮したガスト時刻歴応答解析法を提案し、それを用いて長大吊橋を対象に解析を行い、周波数領域解析の結果と比較し、その有効性を考察する。

2. 解析手法 風速主流方向が橋軸方向と垂直すると仮定する。変動風速のパワースペクトルとコヒーレンスはそれぞれ Von Karman 式と Karman 型指数関数で与える。変動風速の時刻歴をそのパワースペクトルと空間相関特性に基づいて、多次元 AR モデルでシミュレートする。自励空気力と強制空気力の時刻歴を求めるには、それらをそれぞれ構造系応答及び変動風速をある線形系を通した出力として捉える。これらの系の周波数応答関数はそれぞれ Scanlan が定義した非定常空気力係数及び空力アドミッタンス関数で定義される。橋軸方向座標 x にある単位長さの断面に作用するねじれ振動 $\alpha(x, t)$ によるピッチングモーメント $M_{se\alpha}(x, t)$ を例とする。調和振動の場合

$$M_{se\alpha}(x, t) = \frac{1}{2}\rho U^2(2b^2)k^2(A_3^* + iA_2^*)\alpha(x, t) = \frac{1}{2}\rho U^2(2b^2)H(x, ik)\alpha(x, t) \quad (1)$$

周波数応答関数 $H(x, ik) = A_3^* + iA_2^*$ は次のような有理関数近似式で表示できる [2]。

$$H(x, ik) = Q_1 + Q_2(ik) + \sum_{j=1}^m \frac{Q_{j+2}ik}{ik + R_j} \quad (2)$$

ここに、 $2b$: 桁幅、 $k = \omega b/U$: 換算振動数、 U : 平均風速、 ρ : 空気密度、 A_2^*, A_3^* : 非定常空気力係数、 $Q_1, Q_2, Q_{j+2}, R_j (R_j \geq 0; j = 1 \sim m)$: 定数。それらの値は式 (2) の計算値と $H(x, ik)$ の実測値とは最も一致するように最小自乗法で決定される。

そこで、任意振動 $\alpha(x, t)$ による $M_{se\alpha}(x, t)$ は次のように与えられる。

$$M_{se\alpha}(x, t) = \frac{1}{2}\rho U^2(2b^2)(Q_1\alpha(x, t) + Q_2\frac{b}{U}\dot{\alpha}(x, t) + \sum_{j=1}^m Z_j(x, t)) \quad (3)$$

$$\dot{Z}_j(x, t) = -R_j\frac{U}{b}Z_j(x, t) + Q_{j+2}\dot{\alpha}(x, t) \quad (j = 1 \sim m) \quad (4)$$

ここに、 $Z_j(x, t) (j = 1 \sim m)$: 補助変数。

同様に、他の自励空気力成分も相応した構造系応答から求められる。また、空力アドミッタンス関数と空間修正関数を考慮した強制空気力の各成分も同様な手法で変動風速の時刻歴から与えられる。さらに、時刻歴応答を求めるには自励空気力時刻歴とのフィードバックが必要である。

本研究が提案した方法では、無次元振動数に依存した空気力の非定常特性を式 (2) に示した有理関数式で表示することはポイントである。Fig.1 と Fig.2 は非定常空気力係数 A_2^* と空力アドミッタンス関数の有理関数近似の一例である。有理関数の項数は $m=2$ とする。 $B/D = 5$ と $B/D = 20$ の矩形断面の A_2^* の実測値は風洞実験より求めたものである [3]。式 (2) に示した有理関数式は鈍い橋桁断面にも適用できることが確認できた。

XINZHONG CHEN and MASARU MATSUMOTO

3. 解析結果 中央径間 2000m 級の長大吊橋を例とする。橋桁部分の空気力のみを考慮し、静的ねじれ変位による橋軸方向の空気力特性の変化を無視する。15 次固有モードまで考慮したフラッター解析の結果より平均風速 69.3m/s から連成フラッターが生じる [4]。平均風速 60m/s における中央径間 L/2 点の変動風速と空気力及びガスト応答の時刻歴の一例を Fig.3 ~ Fig.6 に示す。また、平均風速 70m/s 時の応答の一例を Fig.7 に示す。周波数領域解析と時刻歴解析による中央径間 L/2 点のねじれ変位 RMS 値の比較を Fig.8 に示し、両者の結果はかなり一致していることがわかる。

4. 結論 本研究は、換算振動数に依存した空気力の非定常性及び空間相関特性を有理関数近似式で表示し、従来の周波数領域解析法と同様に空気力の非定常性と空間相関を考慮できるガスト時刻歴応答解析法を新たに提案した。本研究が提案した解析法は、準定常空気力を用いた従来の解析よりは、実構造物の挙動を精度良く予測できることが期待できる。

謝辞 本研究に御協力を頂いた京都大学工学部助手白土博通氏に感謝する。

参考文献： [1] G. Diana, F. Cheli, S. Bruni, G. Larose, APSOWE3 Symposium, Hong Kong, 1993

[2] Karpel, M., Journal of Aircraft, Vol.19, No.3, 1982

[3] 松本 勝, 新原雄二, 小林裕輔, 構造工学論文集, 1994 年

[4] 松本 勝, 陳 新中, 白石成人, 第 13 回風工学シンポジウム論文集, 1994 年

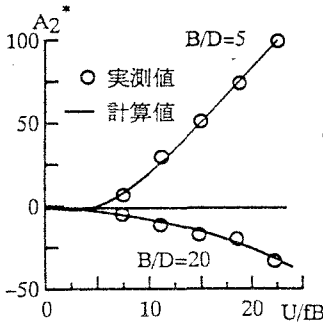


Fig.1 A_2^* の有理関数近似

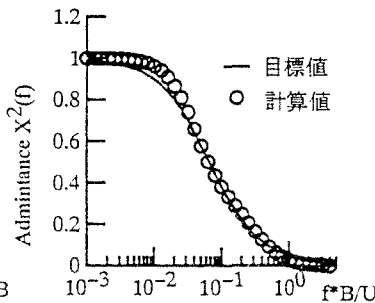


Fig.2 Sears関数の有理関数近似

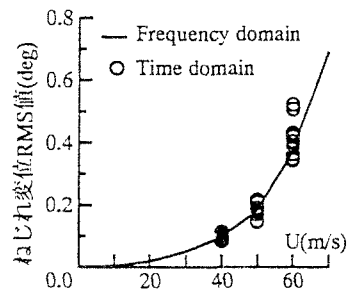


Fig.8 異なる解析法の比較

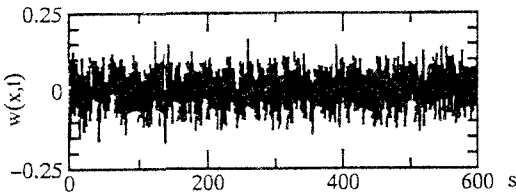


Fig.3 主流鉛直方向変動風速 $w(x,t)$ ($U=60\text{m/s}$)

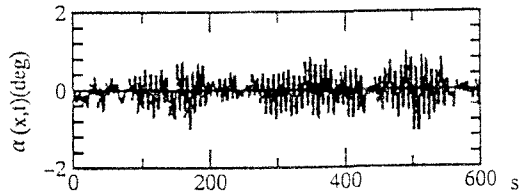


Fig.6 ねじれ変位時刻歴($U=60\text{m/s}$)

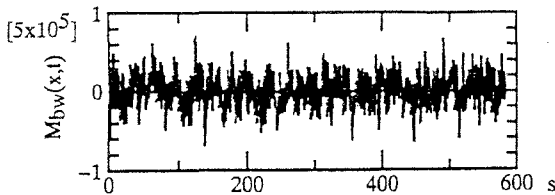


Fig.4 $w(x,t)$ による強制モーメント($U=60\text{m/s}$)

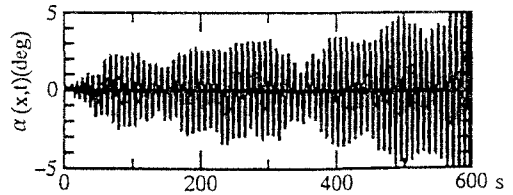


Fig.7 ねじれ変位時刻歴($U=70\text{m/s}$)

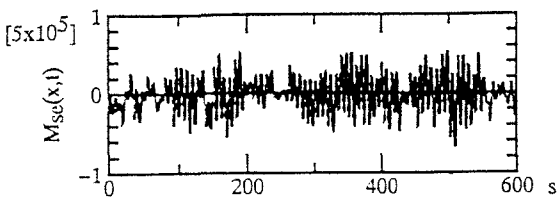


Fig.5 非定常自励モーメント($U=60\text{m/s}$)