

大阪府立工業高等専門学校 正員 岡南博夫
 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

1. まえがき 長大橋梁のガスト応答を解析的に検討する場合、従来の Davenport の方法として知られる統計的手法によって行われることが多いが、自然風の鉛直方向ガストに起因した鉛直曲げガスト応答に対してはなお不明な点もあり、正しくガスト応答を評価できていないと考えられる場合も存在する。著者等は、これまでに二次元模型に対する風洞実験を行い、変動流の鉛直方向成分に起因する平板状模型の応答値が時間領域で求められた計算値と比較的良好一致することが知られた。しかしながら、このことは、風洞内で発生した変動流に対するものであって、自然風の有する乱れに起因した橋梁断面のガスト応答を精度良くシミュレートすることができかどうかはなお不明である。そこで、本報告は自然風の乱れに起因する実橋の空力挙動を検討するための第一段階として行うものであり、鉛直方向ガストによる曲げ応答をシミュレートする方法を述べるものである。

2. 変動風速および曲げ応答のシミュレーション 鉛直曲げ j 次モードの一般座標を $g_j(t)$ 、鉛直曲げ j 次モード関数を $\psi_j(x)$ とし、吊橋補剛桁の又点における鉛直曲げ応答 $z_j(x, t)$ を次式で表わされるものとする。

$$z_j(x, t) = \sum g_j(t) \psi_j(x) \quad \text{----- (1)}$$

このとき、二次元模型の空力挙動が実橋のストリップ部の挙動を表わすものとし、モード関数の直交条件を考慮すれば、実橋の鉛直曲げ j 次モードの振動方程式は次式で表わすことができる。

$$\ddot{g}_j(t) + 2\zeta_j \omega_j \dot{g}_j(t) + \omega_j^2 g_j(t) = \{ H_1 \dot{g}_j(t) + L_j(t) \} \int_0^L \psi_j^2(x) dx / \int_0^L m \psi_j^2(x) dx \quad \text{----- (2)}$$

ただし、 ζ_j , ω_j ; 無風時の j 次モードの減衰比、および固有円振動数、 L ; 橋長、 m ; 単位長当りの質量、

H_1 ; 二次元模型を使用した風洞実験より得られる非定常空気力係数 $h_1(x)$; j 次モードの揚力で、又点における揚力を $L(x, t)$ とすると $L(x, t) = \sum L_j(t) \psi_j(x)$, t ; 時間

j 次モードの一般座標は次式で表わされる。

$$g_j(t) = \int_0^t g_j(t-\tau) \left\{ \rho \int_0^L \{ (dG/dU) \psi_j \} \psi_j(x, \tau) h_2(x, \tau-\tau_2) d\tau_2 \right\} \psi_j(x) dx / \int_0^L m \psi_j^2(x) dx d\tau \quad \text{---- (3)}$$

ただし、 ρ ; 空気密度、 b ; デッキ半幅、 U ; 平均風速、 $v(x, t)$; 又点における変動風速鉛直方向成分、

$dG/d\alpha$; 二次元模型実験より得られる静的空気力係数の勾配、 $h_2(t)$; j 次モード応答伝達関数、 $h_q(t)$;

二次元模型実験より得られる揚力伝達関数

従って、式(1)、式(2)より又点における鉛直曲げ応答が求められ、また、曲げモーメント $M(x, t)$ 、剪断力 $Q(x, t)$ は橋梁断面の断面二次モーメントを I 、弾性係数を E とすれば、次式より求められる。

$$M(x, t) = EI \sum g_j(t) (d^2 \psi_j(x) / dx^2), \quad Q(x, t) = EI \sum g_j(t) (d^3 \psi_j(x) / dx^3) \quad \text{----- (4)}$$

なお、応答を求めるに先立って、式(3)における $v(x, t)$ を求めなければならないが、ここでは、橋軸方向に分布する鉛直方向ガストを橋軸方向 Δx 区間ごとに離散的に分布するものと仮定し、たがいに関連する $N = L/\Delta x$ 個の平均値 0 の定常確率ガウス過程 $v_i(x)$; $i = 1, 2, \dots, N$ の同時シミュレーションを行う。なお、本解析においては、入力ガストの非定常性あるいは橋軸方向に分布する乱れの変化特性等をも考慮した実橋のガスト過渡応答を検討することを目的とするものであるが、まず、定常確率過程を考え本解析方法に対する検討を行うものである。そこで、各点のガストは同じパワースペクトル密度 $S(\omega)$ を有し、各点間のクロススペクトル密度 $S_{ij}(\omega)$ は $S_{ij}(\omega) = S(\omega) \exp \{ -\eta |i-j| \Delta x \omega / (2\pi U) \}$ なる実数で表わされるものと仮定しシミュレーションを行う。

3. シミュレーション結果 鉛直方向ガストのパワースペクトル密度として Panofsky-McCormick の近似式を用いて変動風速のシミュレーションを行った。また、 $S_{ij}(\omega)$ において、decay-factor $\eta = 7$ とした。図・1に橋

軸上 A, B, C 点における変動風速のシミュレーション結果を、また、図・2にそのパワースペクトル密度を示した。図・2における実線はPanofsky-Mc Cormickの近似式であり、破線はシミュレーション結果を逆算したものであるが、良好な結果が得られていることが示されている。図・3はシミュレートされた変動風による鉛直曲げ応答を求めた結果を示すが、時々刻々の橋軸の変化が知られる。なお、計算は0.25秒間隔で行ったが、図には1秒間隔の結果を示した。図・4は、128秒間における橋軸上各点における最大応答値をプロットしたものである。

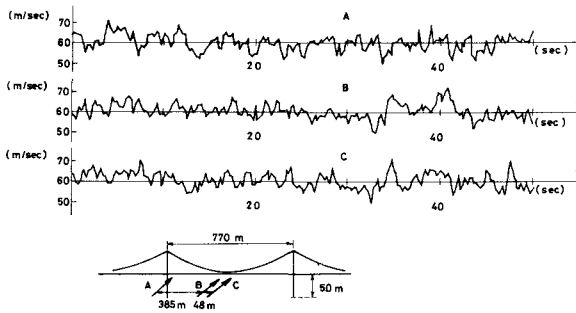


Fig.1 Simulated winds (0.01~2.00 Hz)

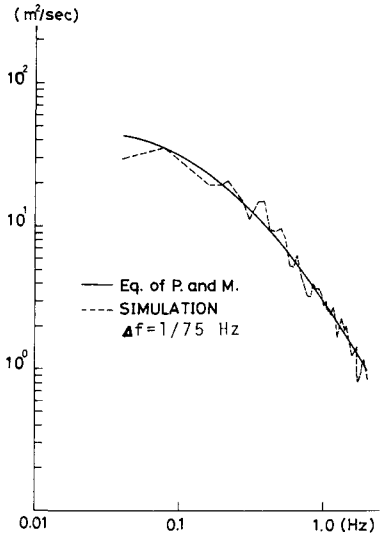


Fig.2 Power spectrum of simulated wind

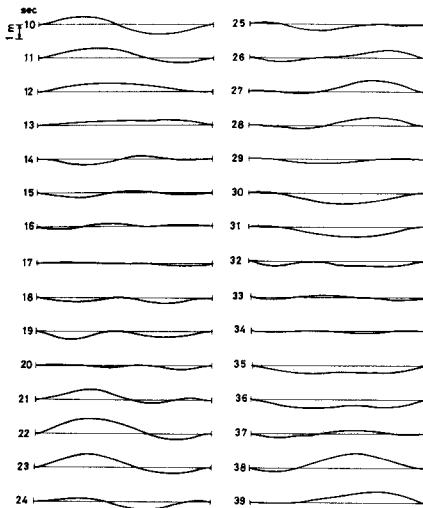


Fig.3 Gust transient response by simulated winds ($k=7, \Delta f=1/75 \text{ Hz}, \Delta t=0.25 \text{ s}$)

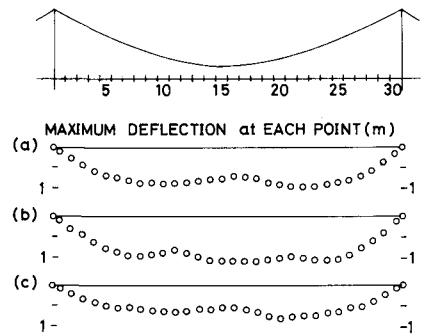


Fig.4 Maximum deflection at each point
(a): $k=7, \Delta f=1/75 \text{ Hz}$
(b): $k=7, \Delta f=1/150 \text{ Hz}$
(c): $k=\infty, \Delta f=1/75 \text{ Hz}$

4. あとがき 実橋の鉛直曲げガスト時間応答のシミュレーションについて、まず第一段階として定常確率過程を対象として述べた。定常確率過程では、従来の統計的手法で求められる結果で検討ができ、変動風速をシミュレートする場合の橋軸分割長の長さ、あるいは、周波数分割幅、サンプリング時間幅の問題等、今後さらに検討する必要がある。また、空力減衰、揚力伝達係数の評価、およびスパン方向のガスト低減効果等、今後検討すべき課題が残されている。

参考文献 (1) M. Sinozuka; Simulation of Multivariate and Multidimensional Random Processes, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 49 No. 1 (Part 2), 1971
(2) 星谷 勝; 確率論的手法による振動解析, 鹿島出版会, 1974