

I-A 223

最近の知見を盛り込んだ長大吊橋の空力弾性時系列解析に関する研究

横浜国立大学 正会員 山田 均

横浜国立大学 正会員 Virote BOONYAPINYO

横浜国立大学 正会員 宮田 利雄

1. はじめに

長大橋梁の耐風設計手段として、風洞試験データを基礎にして数値解析を積極的に利用することが認知されつつある。これは明石海峡大橋での全橋模型試験の実施を背景とするところが大きく、実験成果を詳細に検討するために、必要性が大きかったことが挙げられる。長大橋の耐風応答解析は必ずしも新しいアイデアではなく、古くから試みられてきた。ただし、主として、計算機能力、ソフトウェアの開発等、手段としての解析能力の不足により必ずしも十分な検討が行われてきたとはいえない。特に、ガスト応答解析にしても、フラッターを対象とした解析にしても、周波数をパラメータとした実験データをベースにしたデータを用いているために周波数領域での解析が主であり、振動応答の時系列解析については実施例はごく僅かにすぎない。ただし、大変形に伴う構造特性や、空気力の特性を振動状況、変位状況に応じ反映させるためには時系列解析にメリットがあるであり、今後のビッグプロジェクトのためにも、実績のある周波数領域の解析に加え、時間領域の解析も選択肢の一つとして加える意味は大きい。最近の研究例では、藤野ら〔1〕、松本ら〔2〕による非定常空気力の有理関数近似を用いた時間領域の表現や、ガスト空気力の時間軸での展開〔3〕など、線形の非定常、変動空気力表現の範囲にとどまらざるをえないものの時間領域での解析実施の背景が整ってきており、ここではこれらの研究成果を反映し、具体的な構造モデルとして2000m級の吊橋を想定し、解析を加え解析の実施状況等に検討を加えた。

2. 時間領域での空力弾性解析

非定常空気力モデルは次のような、(1) 非定常空気力は一様流中の周波数依存のもの、(2) 構造物との相対運動の影響は無視するが、気流の乱れに起因する空間相関を持つ変動空気力、2種類を合わせることにした。非定常空気力は周波数と時間依存の表現を通常用いるが、複雑な運動を反映する非定常空気力表現とするために藤野らの提案する方法を用いた。変動空気力は所定の空間相関を持つ変動風速時系列を変動空気力に変換するものとし、空力アドミッタンスには準定常表現と共にダavenportタイプのものとシアーズ関数のものを適用した。いずれも周波数領域で定義された関数であるが、時間領域に変化を行い適用している。変動風速は多次元の自己回帰移動平均 (ARMA) モデルを適用し発生させた。風速の発生は空間内の各位置の風速変動のパワースペクトルとコヒーレンスを用いて行っている。変動風速間の相関 (例えば、U-Vなど) については特に考慮はしていない。

これらを長大吊り橋モデルの適用すると解析サイズは非常に大きくなり、解析実施上の支障が生じる。このためここではモード座標による変換を行うこととし、解析サイズの低減を行っている。用いた固有モードは1次から20次までと、40次までの2種類を行ったが解析結果に有為な差はなかった。モード座標を用いた運動方程式の状態空間表示は次のようになる。

$$\begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{q}} \\ \ddot{\mathbf{q}} \\ \dot{\mathbf{x}}_3 \\ \vdots \\ \dot{\mathbf{x}}_{m+2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{I} & \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{0} \\ -\hat{\mathbf{M}}^{-1}\hat{\mathbf{K}} & -\hat{\mathbf{M}}^{-1}\hat{\mathbf{C}} & \frac{1}{2}\rho U^2\hat{\mathbf{M}}^{-1} & \cdots & \frac{1}{2}\rho U^2\hat{\mathbf{M}}^{-1} \\ \mathbf{0} & \mathbf{A}_3 & -\frac{U}{B}b_3\mathbf{I} & \cdots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \mathbf{A}_{m+2} & \mathbf{0} & \cdots & -\frac{U}{B}b_{m+2}\mathbf{I} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{q} \\ \dot{\mathbf{q}} \\ \mathbf{x}_3 \\ \vdots \\ \mathbf{x}_{m+2} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ \vdots \\ \mathbf{0} \end{Bmatrix} \mathbf{F}_b \quad (1)$$

ここで $\hat{\mathbf{M}} = \mathbf{M} - \frac{1}{2}\rho B^2\mathbf{A}_2$; $\hat{\mathbf{C}} = \mathbf{C} - \frac{1}{2}\rho UB\mathbf{A}_1$; $\hat{\mathbf{K}} = \mathbf{K} - \frac{1}{2}\rho U^2\mathbf{A}_0$; $\mathbf{A}_l = \Phi^T \mathbf{a}_l \Phi$, $l = 0, 1, 2, \dots, m+2$; $\mathbf{M}$, $\mathbf{C}$, $\mathbf{K}$ = モード毎の一般化質量, 一般化減衰, 一般化剛性; $\mathbf{x}_l$, $l = 3, 4, \dots, m+2$ = 空力状態ベクトル; U = 平均風速; ρ = 空気密度 = 0.125 kg/m³; B = 桁幅; $\mathbf{q}$ = 一般化座標。この表現では、桁の運動による非定常空気力も風速変動による空気力も同じレベルで考慮されているために、解析上の差はなくフラッターもガスト応答も扱い得ることになる。

3. 解析例

2000m級の吊り橋をターゲットとして適用した例を以下に示す。周波数領域の解析とは、線形変換の関係にあるため、整合は問題がないはずであり、別途解析を行った例によっても良好な結果がえられている。図-1に得られた時系列の一例を示す。穏やかなフラッターの発生とガスト応答の組み合わせを再現することが出来ることが分かる。図-2には全橋模型実験値との比較を示している。比較すると整合は必ずしもよくない場合もあるが、周波数領域の解析結果も似たような不整合を生じる場合も報告されており、裏表の関係にある時系列解析も解析データ、条件について詳細な検討が必要であることを示している。

参考文献

- [1] 増川, 藤野他, 第49回年次学術講演会概要集I-B, pp1010-1011, 平成6年9月
- [2] 松本他, 第13回風工学シンポジウム論文集, pp227-232, 平成6年12月
- [3] 例えば, 山田他, 第3回振動コロキウムPART A, 平成7年8月。

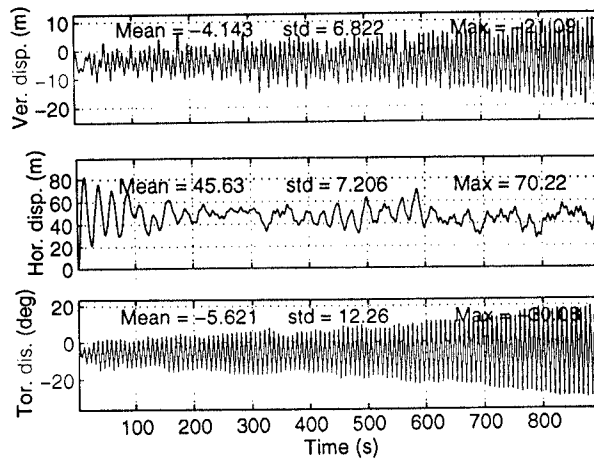


図-1 得られた時系列の一例

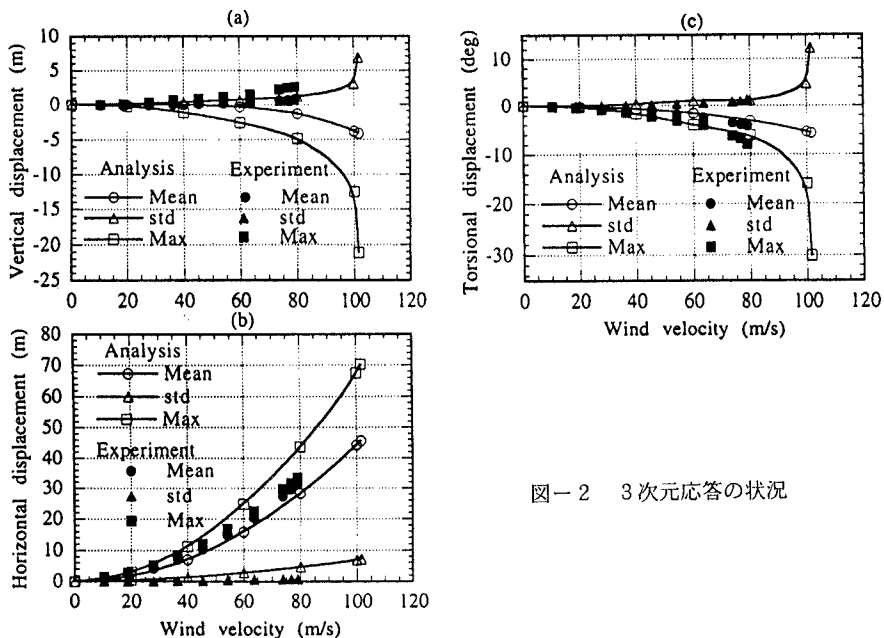


図-2 3次元応答の状況