

有限次数近似モデル空気力を用いたメッシナ海峡大橋の時刻歴対風応答解析

三菱重工業 正会員 ○松田 政禎
 横浜国立大学 フェロー 山田 均
 横浜国立大学 正会員 勝地 弘

1. はじめに

世界最大の海峡横断吊橋計画であるメッシナ海峡大橋は、さまざまな研究機関で検討が行われている。これを契機に、研究機関相互の解析手法や信頼性の評価に関する研究、BenchMark Study を行う動きがある。一方、このような超長大吊橋の設計では、静的解析やフラッター解析のほかに、高風速域における非定常な風に対するガスト応答を求めるために、時刻歴解析を行う場合がある。このとき、重要な検討項目として非定常空気力の評価がある。これまで非定常空気力は、計測上の理由から周波数領域で表現されてきた。しかし、近年では、応答を直接的に評価できる時間領域での解析が求められており、有理関数近似を利用した方法が提案されている¹⁾。

そこで本研究では、メッシナ海峡大橋を対象として、非定常空気力を有限次数近似モデルで評価した時刻歴応答解析を行った。そして、メッシナ海峡大橋の挙動を推定し、既往研究²⁾との比較検討を行い、有限次数近似モデル空気力の適用性を探った。

2. メッシナ海峡大橋の概要

イタリア本土とシチリア島を結ぶ、主径間 $L=3300\text{m}$ の超長大吊橋（図1）であり、2012年に供用開始が予定されている。主ケーブルは片側2本であり、桁幅は60.4m、3つの箱桁とオープングレーチングから構成され、箱桁はハンガーを介して横桁で支持されている。断面比が10以上の扁平断面である。

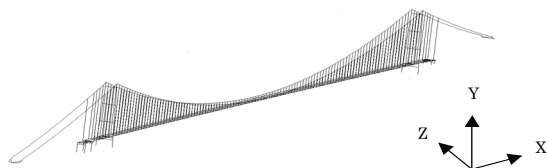


図1 メッシナ海峡大橋の全体系モデル

3. 解析法の定式化

3.1 有限次数近似モデル空気力

風速 U の条件下で、2自由度振動する橋梁の非定常揚力 L と空力モーメント M についての有限次数近似モデル空気力は以下で示される。

$$\mathbf{C}_f = \begin{bmatrix} \frac{L}{\frac{1}{2}\rho U^2 B} \\ \frac{M}{\frac{1}{2}\rho U^2 B^2} \end{bmatrix} = \left(\frac{B}{U}\right) \mathbf{A}_1 \begin{bmatrix} \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \mathbf{A}_0 \begin{bmatrix} y \\ \theta \end{bmatrix} + \sum_{l=1}^{n_l} \begin{bmatrix} \chi_{2l-1} \\ \chi_{2l} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\left(\frac{B}{U}\right) \begin{bmatrix} \dot{\chi}_{2l-1} \\ \dot{\chi}_{2l} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\lambda_l & 0 \\ 0 & -\lambda_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \chi_{2l-1} \\ \chi_{2l} \end{bmatrix} + \mathbf{A}_{l+1} \begin{bmatrix} y \\ \theta \end{bmatrix} \quad (l=1, \dots, n_l) \quad (2)$$

y : 鉛直変位、 θ : ねじれ変位、 $\dot{y} = \frac{dy}{dt}$ 、 $\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt}$ 、

B : 桁幅、 ρ : 空気密度、 U : 平均風速

このモデルにおいて、 $\lambda_1, \dots, \lambda_{n_l}$ と、係数行列 $\mathbf{A}_0, \dots, \mathbf{A}_{n_l+1}$ が未知のパラメータとなる。これらの係数は、非定常空気力係数の測定結果を有理関数近似し、最小2乗法を用いて決定した。

3.2 状態方程式

有限次数近似モデル空気力を用いた運動方程式は

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}\mathbf{q} = \gamma \left\{ \left(\frac{B}{U}\right) \mathbf{A}_1 \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{A}_0 \mathbf{q} + \sum_{l=1}^{n_l} \mathbf{x}_l \right\} + \mathbf{Q}_b \quad (3)$$

$$\mathbf{q} = \begin{Bmatrix} h(t) \\ \alpha(t) \end{Bmatrix}, \quad \mathbf{Q}_b = \begin{Bmatrix} \mathbf{L}_b \\ \mathbf{M}_b \end{Bmatrix}, \quad \gamma = \frac{1}{2} \rho U^2 B^2$$

であり、一般化基準座標 ξ によりモード座標系における多自由度運動方程式に拡張すると、

$$\mathbf{I}\ddot{\xi} + \mathbf{A}\dot{\xi} + \mathbf{B}\xi - \mathbf{C} = \mathbf{Q}_b \quad (4)$$

となる。この式を状態方程式表示すると

$$\dot{\mathbf{Y}}(t) = \mathbf{P}\mathbf{Y}(t) + \mathbf{Q}_b \quad \mathbf{Y}(t) = [\dot{\xi}(t) \ \xi(t) \ x_1 \ x_2 \ \dots \ x_{n_l}]^T \quad (5)$$

となる。これを直接積分法で解き基準座標 ξ を求める。橋梁の実変位として鉛直変位 $h(x,t)$ 、ねじれ変位

キーワード：有限次数近似モデル空気力、メッシナ海峡大橋、時刻歴応答

連絡先 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 TEL 045-339-4243 FAX 045-348-4565

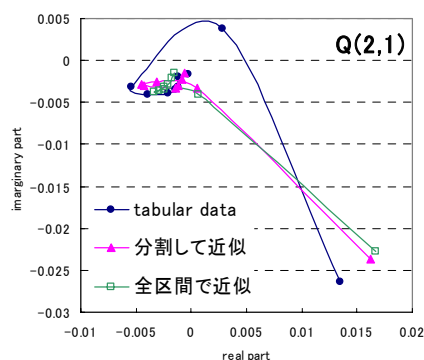


図2 有限次数近似の結果

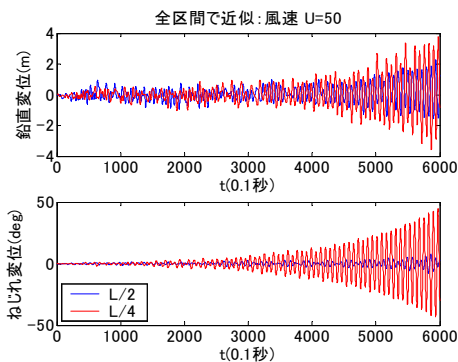


図3 たわみとねじれの応答 1

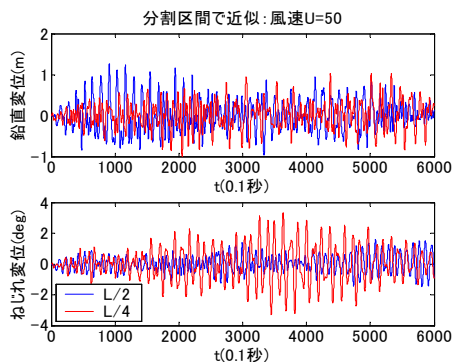


図4 たわみとねじれの応答 2

$\alpha(x,t)$ は、一般化座標 ξ と固有振動モードベクトルの積によって求める。

$$h(x,t) = \sum_i^m h_i(x) B \xi_i(t), \quad \alpha(x,t) = \sum_i^m \alpha_i(x) \xi_i(t) \quad (6)$$

4. メッシナ海峡大橋の応答解析

風洞試験により測定された非定常空気力係数を近似するが、近似精度の影響を検討するために2通りの近似を行う。全風速域の測定データを用いて近似した場合と、測定データを低風速域と高風速域に分割して近似した場合を検討した。変動空気力 Q_b は、別途シミュレートした変動風速により算定した。

4.1 有限次数近似の結果

図2は有限次数近似の結果を示す。この図からは近似区間による精度の差は大きくないといえる。ただし、横軸-0.005付近(=実風速40~50m/s付近)では、分割近似の方が若干、実験値に近い。

4.2 時刻歴解析の結果

図3は、全風速域で近似した場合の時刻歴解析結果を示す。ねじれ変位が時間と共に増幅し、発散していく結果となった。同様に、図4は分割区間で近似した場合の結果を示す。この風速での鉛直変位、ねじれ変位には発散状況は確認できない。これより、4.1で述べた実風速40~50m/s付近のわずかな近似精度の差が、応答解析に重大な影響を及ぼすことが分かる。

図5は、ねじれ変位に関する本解析結果と既往研究結果の比較を示す。このとき非定常空気力係数は分割区間により近似した。L/2点のRMS値はミラノ工科大学(PDM)での解析結果と定性的に近いといえる。ただし、高風速域においては違いが現れている。これは、モデル化や解析アルゴリズムの差が影響していると考えられる。

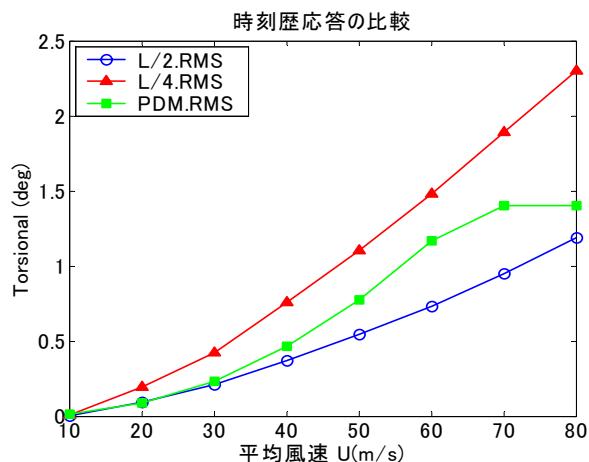


図5 ねじれ変位の比較

5. まとめ

本研究では、メッシナ海峡大橋を対象に有限次数近似モデル空気力を用いた時刻歴応答解析を行い、有限次数近似モデル空気力の影響を検討した。得られた結果を以下に述べる。

- 本研究での有限次数近似モデル空気力による時刻歴応答解析は、既往研究結果と同様の応答性状を示した。
- 非定常空気力係数の有限次数近似の精度が、高風速域での応答に大きく影響するため、対象風速域に限定した近似を行うなど、慎重な検討が必要となる。

[参考文献]

- 1) 増川、藤野；「橋桁に作用する非定常空気力の有限次数近似モデル」第49回年次学術講演会、1994
- 2) G.Diana, et al.; "Comparisons between Wind Tunnel Tests on a full Aeroelastic Model of the Proposed Bridge over Stretto di Messina and numerical results", J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1995