

東京大学大学院

学生員 真下和孝

東京大学工学部

正員 宮田利雄

本州四国連絡橋公団

正員 秋山晴樹

1. まえがき

自然風の下で弾性支持されたトラス形式の橋梁断面の橋たわみ(流水方向)不規則振動現象を、ARMA(自己回帰移動平均)モデルを用いて解析し、手法としてのARMAモデルの適用性を検討する。なお、本研究では土木学会・本州四国連絡橋耐風研究小委員会の指導のもとに、本州四国連絡橋公団が徳山市相英で実施した耐風実験橋計画における観測データを用いた。ここに示す解析例では、固有振動数は0.52Hzである。

2. 橋たわみ振動方程式のモデル化

ARMAモデルとは、対象とするシステムの現在の応答が有限時間過去の応答と有限時間過去の入力の線型和として表わされると考える一つのモデルである。(1)式は(2, 2)次のARMAモデルの例である。

$$X(\omega) = F_1 X(\omega - \Delta t) + F_2 X(\omega - 2\Delta t) + G_1 U(\omega - \Delta t) + G_2 U(\omega - 2\Delta t) \quad (1)$$

ここで、 X ：応答、 U ：入力、 ω ： $\omega = i \Delta t$ の省略表記、 Δt ：サンプリング時間間隔とする。

自然風の時間的、空間的に不規則な変動風速を受けた1自由度系としての、(2)式に示す橋たわみ振動方程式を(1)式のARMAモデルに変換し、パラメータ(F_1 , F_2 , G_1 , G_2)を推定することが当面の目的となる。

振動方程式は、次式のように書ける。

$$\ddot{X} + 2\omega(\zeta_0 + \zeta_a)\dot{X} + \omega^2 X = 2P\dot{X}U/U \quad (2)$$

ここで、 ω ：振動時円振動数、 ζ_0 ：無風時減衰定数、 P ：平均風速 U による抗力、 X ：橋たわみ変位、 U ：変動風速、である。さらに、(2)式において、 ζ_a ：空力減衰定数、および X ：空力アドミッタンスであるが、解析では、これらの量と ω を未知量として推定する。簡単のために(2)式の係数を $J = 2\omega(\zeta_0 + \zeta_a)$ 、 $K = \omega^2$ 、 $L = 2P\dot{X}/U$ とおく。モデルのあてはめによる推定では、 J 、 K 、 L の各量とも定数として与えられることになるが、空力アドミッタンス X 、空力減衰定数 ζ_a などは本来振動数の関数と考えるべきものである。今回解析した橋たわみ振動は、入力である変動風速 U が広帯域不規則変動量であって、対象として考えている系が比較的広い振動数領域で応答するので、定数の

形で推定される各量の物理的意味が、あいまいになると言い得る。この解決法の一つとして、対象とする振動数帯を濾波し、パラメータを推定する手法が考えられる。

3. 解析条件

解析は次の三条件で行なった。

- i) 変位および変動風速にバンドパスフィルターを施す。
- ii) 変動風速のみにバンドパスフィルターを施す。
- iii) フィルターを施さず、評価時間を短く取る。

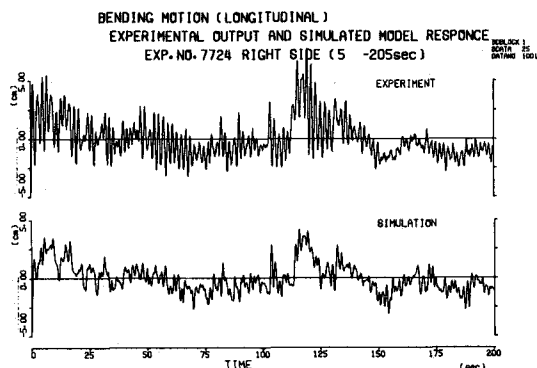


図1 観測変位とシミュレート変位の対比
バンドパスフィルター 施さず
パラメータ評価時間 200秒

観測変位は低振動数成分および固有振動数付近の成分が卓越している。ところがデータをそのまま用い評価時間200~400秒でパラメータを推定し、そのパラメータを用いてARMAモデルで振動をシミュレートすると、より重要と思われる固有振動数付近の成分がカットされる(図1参照)。これを避けるためフィルターを施さない場合は、評価時間を10~25秒と短かく取ってみた。

i), ii) については、評価時間400秒とし、フィルターはFFT法により、振動数帯として0.2 Hz, 0.4 Hz 間隔を適宜選んだ。

自然風の変動性は本来三次元的なものであるが、観測点は左右の2点のみであるので、解析にはこれらの変動風速を2入力として用い、それぞれ左右点の観測変位と対応させた。

4. 解析結果および考察

準定常理論を適用すれば、各パラメータは、 $U = 10 \text{ m/s}$ の場合; $(J, L) = (0.231, 0.0627)$ $U = 14 \text{ m/s}$ の場合; $(J, L) = (0.256, 0.0878)$ となる。また、固有振動数は0.52 Hz であるから、 $K = 10.7$ と近似できる。これらの値は解析結果の比較の目安とし得る。

フィルターを施して解析した場合、 K については、0.4~0.6 Hz のバンドでは、ほぼ全てのケースで、それ以外のバンドでは、ii) の場合に約半数のケースで妥当な値を得た。 J , L については、よい値が得られなかった。

フィルターを施さず評価時間を10~25秒と短く取った場合には、 K の値は9.5~12.5の範囲で得られた。 J の値は0.1~0.6の範囲に L の値は0.02~0.07の範囲に納まった。

推定されたパラメータを用い、ARMAモデルによりシミュレートした変位を、解析条件ii), iii) について図2, 図3に示す。

パラメータ推定値の安定性, 妥当性に着目して、以上三つの解析条件の適用性を比較すると、今回の解析では、iii), ii), i) と順序づけることができよう。

今後さらに他の解析条件を加えて、推定精度を上げるべく検討する必要がある。

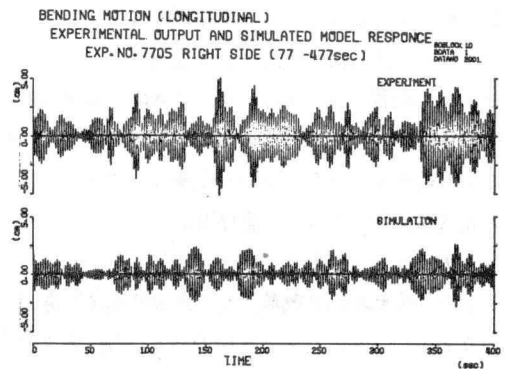


図2 観測変位とシミュレート変位の対比
バンドパスフィルター(0.4~0.6 Hz)
パラメータ評価時間 400秒

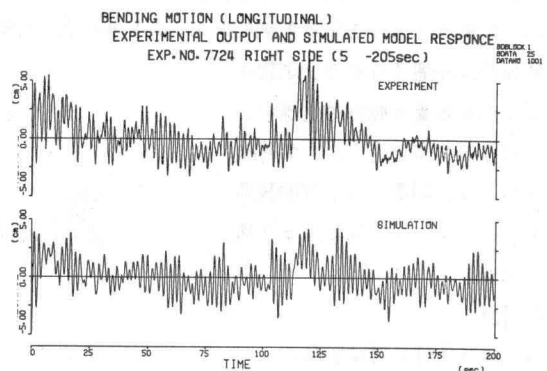


図3 観測変位とシミュレート変位の対比
バンドパスフィルター施さず
パラメータ評価時間 10秒