

# 有限次数近似モデルに基づく橋桁の非定常空気力同定に関する一考察

名古屋工業大学 正員 岩本政巳 東京大学 フェロー 藤野陽三

## 1 はじめに

自由振動法に基づく橋桁の非定常空気力同定手法として著者らは、実験により得られたモード情報から有限次数近似モデルの係数パラメータを推定する方法を提案している<sup>1),2)</sup>。文献2)では、風洞実験結果に本手法を適用してかなり良好なモード情報再現値と非定常空気力係数を得ることができたことが分かった。ただし、一部のケースでは評価関数による再現性の傾向が異なっていた。そこで本研究では、モード情報再現値の残差に着目して評価関数による差異を調べるとともに、最尤法に基づく重み係数の再設定と同定を行った。

## 2 文献2)の同定結果における評価関数による傾向の差異

文献2)の同定は、表1に示すある偏平箱桁模型に関する4ケースの風洞実験結果を対象に行っている。その際採用した評価関数内の重み係数設定法は、非常に単純なものであった。すべてのモードデータが運動方程式を満たすことを利用し、その一般化揚力  $L$  とモーメント  $M$  に対して最小2乗法を適用した評価関数  $J_1$  では、 $L$ 、 $M$  成分のオーダーは等しいと見なしてすべての重み係数を1とした。また、モードデータ群に対し直接最小2乗法を適用した  $J_2$  では、同一風速で複数回行っている計測データについての変動値をもとに重み係数を決定した。

同定結果から求めたモード情報の再現性はおおむね良好であった。ただし、評価関数による再現性の傾向には差異も認められた。典型的な例は、図1に示すケース1の鉛直たわみモード分枝の複素振幅比  $\phi$  (モード形状) である。この図より、評価関数による差異がかなり大きく、 $J_1$  の方がその精度は高いことが分かる。

そこで、同定の入力としたデータセット群と係数パラメータ同定値から求めたモード情報再現値の残差に着目して、評価関数による差異を調べた。計算した残差はモード情報ごとに集計し、その rms 値を求めた。さらに、各モード情報のオーダーの違いを考慮して、求めた残差の rms 値をモード情報そのものの rms 値で除した、残差レベルを計算した。評価関数  $J_1$  の値から  $J_2$  の値を差し引いた、残差レベルの差をケースごとにまとめたのが図2である。この値が大きいほど、 $J_2$  の残差レベルが相対的に小さく精度が高いことを表している。 $J_1$  においてはねじれモード分枝におけるラプラス変換パラメータ  $s$  の実部(減衰)、 $J_2$  においては  $\phi$  の精度が、それぞれ比較的低いことが分かる。特にケース1では、その傾向が大きく現れている。

## 3 重み係数の再設定と同定

こうした残差の影響を同定に反映させるため、求めた残差を誤差と見なして、最尤法に基づく同定を再度行うこととした。重み係数の算定に用いた相対的な残差を図3、4に示す。評価関数  $J_1$  ではねじれモード分枝のモーメント  $M$  の実部を、 $J_2$  ではねじれ分枝の  $s$  の虚部(振動数)を、それぞれ基準とした。なお  $J_2$  については、計測データの変動値から算定した値との比較のため、

同定に用いた相対的な変動値の概数値で除してある。 $J_1$  における相対残差は、当初の予想に反して大きくばらついていることが分かる。モード分枝を問わず、一般化揚力  $L$  の残差はモーメント  $M$  に比べかなり大きい。その原因としては、運動方程式中の一般化質量、減衰、剛性マトリクスおよび有

表1 風洞実験ケース

ケース	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	
質量 [kg/m]	3.35	4.19	4.82	4.19	
極慣性 [kg・m <sup>2</sup> /m]	0.0338	0.0423	0.0486	0.0612	
固有振動数 [Hz]	たわみ	2.58	2.57	2.82	2.55
	ねじれ	5.22	5.13	5.23	5.06
対数減衰率	たわみ	0.0217	0.0306	0.0100	0.0172
	ねじれ	0.0235	0.0303	0.0187	0.0182
発振風速 [m/s]	15.5	17.6	18.9	19.5	
同定に使用したモードデータ数	たわみ	11	28	28	28
	ねじれ	15	39	31	34
無次元風速の上限	13.4	14.7	13.3	15.6	

キーワード: 橋桁, 同定, 非定常空気力, 有限次数近似モデル

連絡先: 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 TEL/FAX 052-735-5495

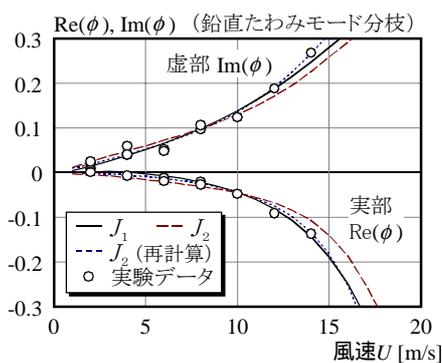


図1 モード情報再現結果例(ケース1)

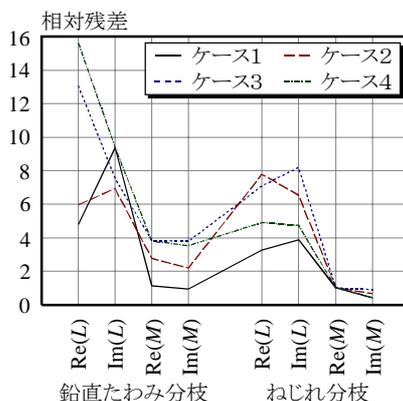


図3 相対的な残差( $J_1$ )

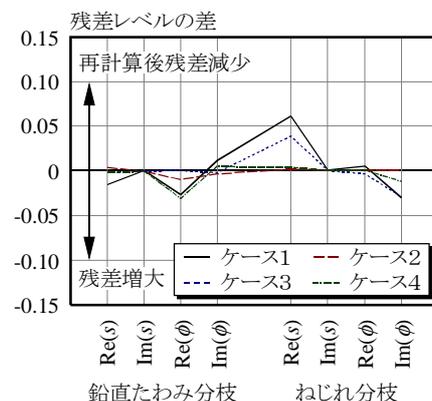


図5 再計算前後の残差レベルの差( $J_1$ )

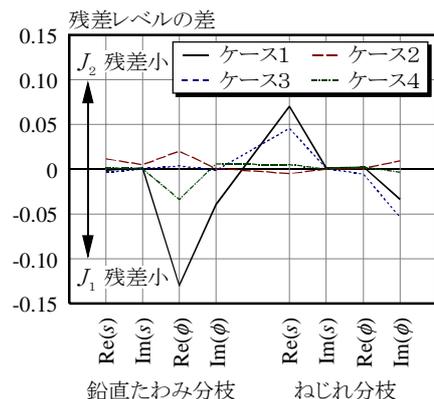


図2 評価関数による残差レベルの差

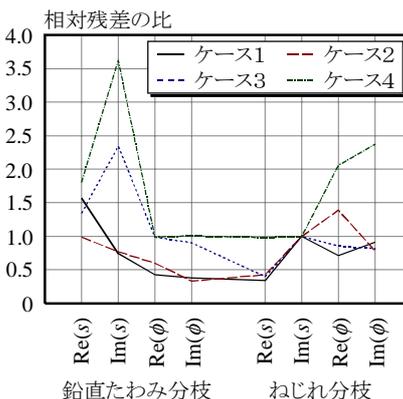


図4 相対的な残差の比( $J_2$ )

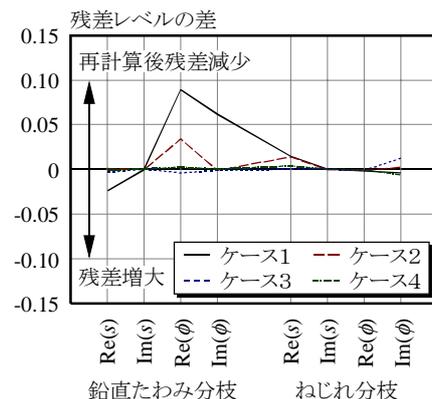


図6 再計算前後の残差レベルの差( $J_2$ )

有限次数近似モデルの空力特性マトリクスにおける  $L$  成分値が  $M$  成分値に比べ大きいこと(試算によると、その比は3程度である)、第1段階の拡張カルマンフィルタによる特性マトリクスの同定において  $L$  成分の精度が低かったことが挙げられる。また  $J_2$  についても、計測データの変動値との間にはある程度の隔たりがあることが分かる。

#### 4 再計算後の同定結果における傾向

相対残差の逆数の2乗で与えた、新たな重み係数によるモード情報の再現性の変化を調べるため、図2と同様の手順で再計算前後の残差レベルの差を求めた。その結果を図5、6に示す。この値が大きいほど、再計算により残差が減少していることを表している。 $J_1$ 、 $J_2$  ともに、残差の大きかった部分が改善されていることが分かる。一例として、図1中には  $J_2$  による再計算後の再現値を示している。この図より、 $\phi$  の再現性が向上していることが確認できる。評価関数による残差の差も減少しており、全般的にバランスのよい再現結果が得られている。ただし、 $J_1$  における再計算前後の残差レベルの差は、相対残差のばらつき、すなわち重み係数の変化の割には小さい。また、 $J_1$  における係数パラメータのばらつきは全般的に減少しており、 $J_2$  の同定値に近づく傾向が見受けられた。ただし、ケース2の係数パラメータ  $\lambda$  値が近接する現象は、再計算後の同定結果にも依然として発生していた。

以上のことから、残差に基づく重み係数の設定がモード情報の再現性の向上に有効であると考えられる。特に、モード情報を直接同定の対象とする評価関数  $J_2$  では、それを効率よく行うことができる。したがって、同定結果の使用目的等に応じて積極的に再現性の操作を行いたい場合には、 $J_2$  の活用が効果的であると考えられる。

#### 5 おわりに

有限次数近似モデルに基づく橋桁の非定常空気力同定手法をにおける、評価関数による同定結果の差異と重み係数の設定法について検討を行った。その結果、同定に用いる評価関数の重み係数設定においては、モード情報に関する残差をもとにした最尤法の適用が有効であることが分かった。特に、モード情報を直接同定の対象とする評価関数  $J_2$  はそれを効率よく行うことができるため、積極的に再現性の操作を行いたい場合に有効であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 岩本, 藤野:有限次数近似モデルに基づく橋桁の非定常空気力同定の定式化, 土木学会論文集, No.647/I-51, pp.205-216, 2000.
- 2) 岩本, 藤野:有限次数近似モデルに基づく偏平箱桁の非定常空気力の同定, 土木学会第55回年次学術講演会, I-B049, 2000.