

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

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¹⁾。本手法には、空気力係数同定における一意性の問題が生じない、一般減衰振動を前提として定式化しているため高減衰波形に適用しても整合性が保たれる、といった利点がある。本研究では、ある偏平箱桁についての風洞実験結果から非定常空気力の同定を行い、本手法の適用性を検討する。

2 風洞実験データ

同定に用いたのは、文献2)の偏平箱桁の部分模型(桁幅0.293m)を対象とした風洞実験データである。文献2)においても非定常空気力の同定を行っているが、同定した減衰、剛性マトリクスから非定常空気力係数を直接算定している点が新たに提案している手法とは異なる。この従来法では同定の一意性を解消するために、空力的連成が十分に小さいという仮定を導入している。そのため同実験は、フラッターが発生する以前の低中風速域を対象として行った。また、より高い無次元風速域での空気力を得るために、表1に示すような模型の質量と極慣性を増やした4ケースについて実験を行っている。

3 非定常空気力の同定

提案法においてはまず第1段階として、風洞実験により得られた自由振動波形からモード特性、すなわち振動数と減衰を表すラプラス変換パラメータ s とモード形状を表す複素振幅比 ϕ を抽出する。次に第2段階として、得られたモードデータ群から有限次数近似モデルの係数パラメータを同定する。

第1段階のモード特性は、文献2)において実験波形から拡張カルマンフィルタを用いて同定した、減衰、剛性マトリクスより固有値解析を行って求めた。その後、誤差が大きいと考えられるデータを取り除き、表1中に示した数からなるモードデータ群を準備した。表1中には、各モードデータ群が与える無次元風速 $\bar{U} = U/Bf$ (U : 風速, B : 桁幅, f : 振動数) の上限、すなわち同定される非定常空気力の適用可能範囲の上限も示してある。

第2段階のパラメータ同定の条件は文献1)とほぼ同様である。同定時のモデル次数は $n_t = 2$ とし、2種類の評価関数を用いた。評価関数 J_1 はすべてのモードデータが有限次数モデルによる空気力を組み込んだ運動方程式を満たすことを利用したもの、 J_2 は得られたモードデータ群に対し直接最小2乗法を適用したものである。ただし、 J_2 の重み係数に関してのみ変更を加えた。文献1)で採用した重み係数を用いて予備解析を行った結果、モード振動数にかなり大きな推定誤差が生じたためである。本解析では、モード情報ごとにケースや風速に依存しない一定の重みを与えることとし、その値は最尤推定の

考え方にしがたい決定した。具体的には、同一風速で複数回行っている計測データについての残差をモード情報ごとに集計し、その2乗平均の逆数の概数を重み係数とした。同定に用いた重み係数は、たわみ、ねじれ各モードの s , 同じく各モードの ϕ についてそれぞれ、0.25, 1, 25, 100である。

表1 風洞実験ケース²⁾

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 ² /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

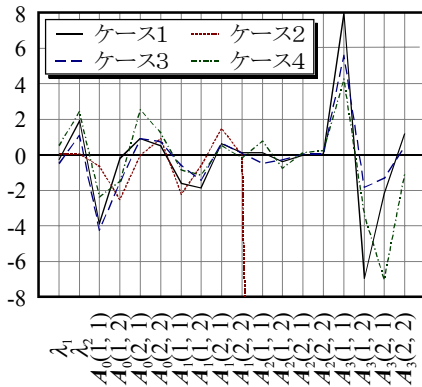


図1 係数パラメータ同定値 (J_1)

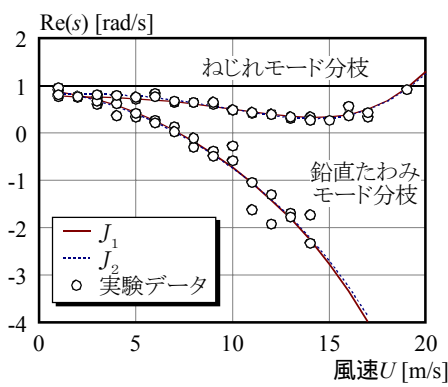


図3 再現した s の実部 (ケース4)

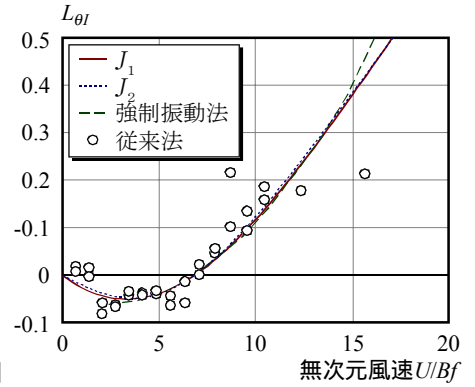


図5 空気力係数例 ($L_{\theta I}$, ケース4)

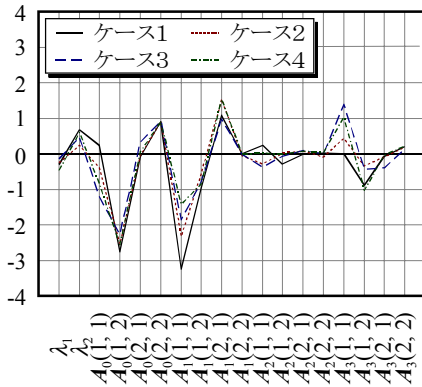


図2 係数パラメータ同定値 (J_2)

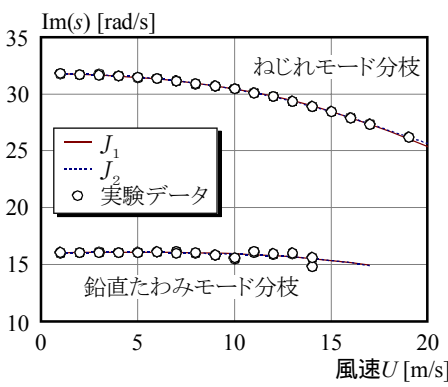


図4 再現した s の虚部 (ケース4)

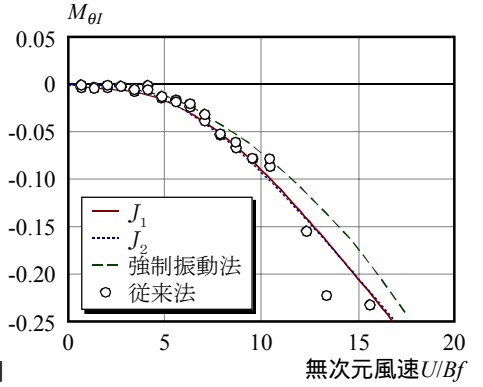


図6 空気力係数例 ($M_{\theta I}$, ケース4)

4 同定結果

有限次数近似モデルの係数パラメータ同定値を図1, 2に示す. 全般的に J_1 を用いた結果 (図1) の方が若干ばらつきが大きいことが分かる. J_1 を用いたケース2の結果では λ_1 と λ_2 の値が近接しており, パラメータ推定値の一部ではその絶対値が60程度とかなり大きい値となった. また, J_1 を用いたケース2, 4を除く6ケースで $\lambda_1 (< \lambda_2)$ が負となる結果が得られている.

これらの係数パラメータ同定値から再現したモード情報の例として, ケース4についての s の実部 (減衰) と虚部 (振動数) を図3, 4に示す. 図中には, 同定の入力となる実験結果から求めたモードデータ群についても示してある. モードデータ群にはある程度のばらつきが残っており, 風洞実験および第1段階の同定は必ずしも精度の高いものではなかったと考えられる. しかし, 同定値から求めたモード情報の傾向は評価関数によらず実験データとよく一致しており, その再現性は良好であることが分かる. 図に示していない他のケースについてもほぼ同様の結果が得られている. なお本解析においては, 文献1) でみられたような物理的に意味のない複素固有値解が現れることはなかった.

係数パラメータ同定値から再現した非定常空気力係数の例として, ケース4での $L_{\theta I}$, $M_{\theta I}$ (いずれも調和振動) を図5, 6にそれぞれ示す. 図中には, 別途行われた強制振動法および従来法による結果も示してある. フラッター特性への影響度が高い $M_{\theta I}$ 等4つの係数だけでなく, 図5の $L_{\theta I}$ のように従来法による結果がある程度明確な傾向を示している係数であれば, 概ね良好な再現結果が得られている.

5 おわりに

有限次数近似モデルを用いた非定常空気力の同定法を風洞実験結果に適用し, 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. 評価関数 J_2 は, 比較的ばらつきの小さい係数パラメータ同定を可能とするが, 重み係数によっては推定誤差が大きくなることもある. このことから考えると, 重み係数の与え方に選択の余地がない J_1 の方が, かえって使い勝手はよいとも言える.

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, 2000, 掲載予定.
- 2) 岩本ほか: 2つのモードからなる自由振動波形を用いた橋桁の非定常空気力係数の同定, 第12回風工学シンポジウム論文集, 1992.