

## 有限次数近似モデルのフラッター解析手法の適用に関する考察

JFE 技研(株) 正会員 ○村上 琢哉

**1. 概要** フラッター解析は、非定常空気力係数からフラッター発現風速を算出する解析手法であるが、複素固有値解析による手法、Step-by-Step による手法、時刻歴解析による手法に大別される。時刻歴解析による手法は、航空分野においてアクティブ制御する目的で開発された。振動数に依存する非定常空気力を有理関数あるいは有限次数で近似する手法<sup>1)</sup>(以下、RFA 法)をとることにより振動数に依存しない風速表示形式の定式化が可能となり、時間領域の計算が可能となる。土木分野においては、増川<sup>2)</sup>が橋梁断面に適用し、その後、アクティブ空力制御検討<sup>3)</sup>、フラッターとガスト応答の同時時刻歴解析<sup>4)</sup>などにも適用されている。本研究では、有限次数近似モデルによる時刻歴解析について基本的な検討を行なった。すなわち、バネ支持試験結果と直接比較することにより、本解析手法が他の手法と比べて優位となる適用課題を検討した。具体的には、複素固有値解析において物理的意味が不明瞭な箇所、最近検討が行なわれている分枝のスイッチング<sup>5)</sup>について考察を加えた。

**2. 解析手法と条件** 検討対象は翼断面 NACA0012 とした。選定理由は、非定常空気力特性の理論値が得られており扁平一箱桁断面と類似であること、たわみ振動とねじれ振動との空気力の重ね合わせが成立すること、振幅依存性が小さいなど、自由振動応答を議論する上での解析上の仮定が主に成立することによる。バネ支持試験、解析条件を表-1に示す。これは、質量、極慣性モーメントをほぼ同じで振動数比を変化させた場合を実施した。RFA 法による時刻歴解析は2自由度解析であり、強制変位後の自由振動波形を算出した場合と加振を一定時間付与した後に自由振動波形を算出した場合の2通り行なった。加振時間は5秒または10秒として自由振動に移行させているため、自由振動前の加振状態ではバネ支持試験の様に必ずしも一定振幅で振動していないことを付記する。

表-1 バネ支持試験・解析条件

試験・解析条件	Set A	Set C
質量 (kg/model)	12.955	12.878
極慣性)(kgm <sup>2</sup> /model)	0.417	0.401
たわみ振動数 (Hz)	1.406	2.398
ねじれ振動数 (Hz)	2.280	2.453
振動数比	1.62	1.02
構造減衰	0.02	0.02
空気密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1.18	1.16

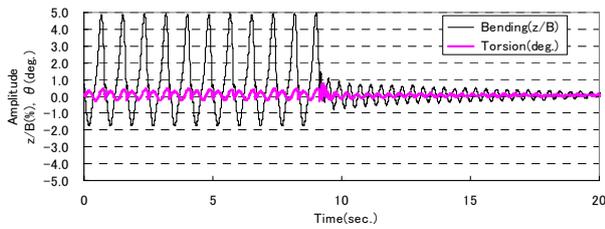
(備考) 模型幅:0.4m, 模型長:1.59m

**3. 解析結果と考察****3. 1 複素固有値解析が重根となる条件での考察**

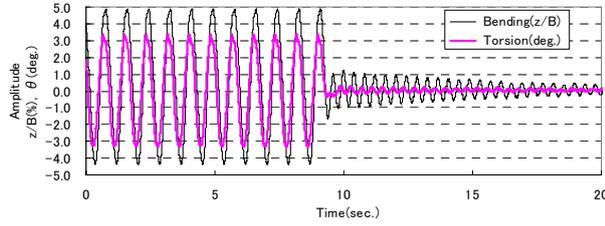
一例として、Set C の風速 19m/s において振動数 1.2Hz で加振した時の時刻歴波形を比較して、図-1 (1)、(2)に示す。この風速では振動数の繰返し計算により収束計算を行なう複素固有値解析では重根解が得られて振動数がゼロとなり、物理的な意味が不明瞭である。これを見ると、たわみ加振時の風洞試験結果が正の方向に偏った強制加振波形になっていることがわかる。これはたわみ振動の振動数が共振点から外れているために大きな加振力が必要であったが、加振力が不足しているためにバネの復元力だけで上向きに加振力を与えた状態になっていると考えられる。また、自由振動に移行した後には約 2.4Hz の振動となり、たわみ卓越の振動になっていることがわかる。一方、ねじれ加振においては、たわみとねじれの振幅比は異なるもののバネ支持試験で見られる加振・自由振動の振動性状を時刻歴解析でも再現できていることがわかる。時刻歴解析のねじれ加振後 1~2 波で一定振幅に達していることから、この振動系の減衰は大きく、また、ねじれ振動に起因する系であるから、この振動系はねじれ分枝と判断される。さらに、加振状態から自由振動に切り替えた直後では過減衰の様な振動波形となり、これでもねじれに起因する振動系が大きな減衰であると判断できる。その後の自由振動はたわみ加振時と同様のたわみ卓越の振動波形が得られており、分枝のスイッチングが生じていることがわかる。このように、時刻歴解析は分枝の見極め、分析にも有効であると判断される。

キーワード フラッター解析, 時刻歴解析, フラッター分枝, スwitching

連絡先 〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町1丁目 JFE 技研(株)土木・建築研究部 TEL044-322-6337

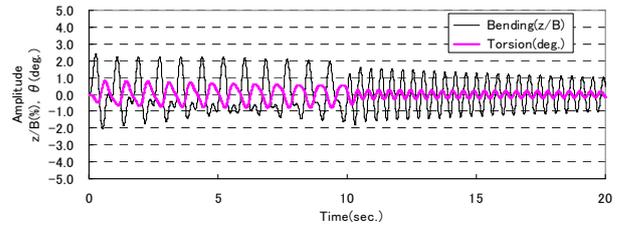


(a) たわみ加振1.2Hz(風洞試験)

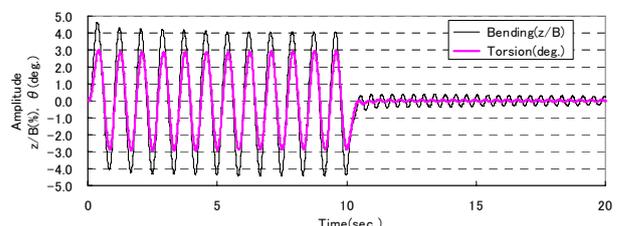


(b) ねじれ加振1.2Hz(風洞試験)

(1) バネ支持試験結果



(a) たわみ加振1.2Hz(時刻歴解析)



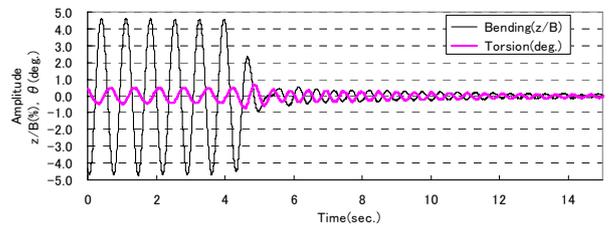
(b) ねじれ加振1.2Hz(時刻歴解析)

(2) 時刻歴解析結果

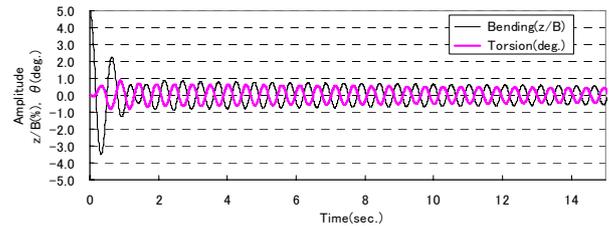
図-1 加振状態と自由振動波形の比較 (Set C : 風速 19m/s)

3. 2 分枝のスイッチング

Set Aにおいてフラッター発現風速直前の風速 12m/s におけるたわみ加振の自由減衰の時刻歴波形を比較して図-2 に示す. これより, バネ支持試験では, 自由減衰に移行直後から振動応答は急激に小さくなるが, その過程ではねじれ振動が励起され, たわみ振動の減衰後には, ねじれ振動数による自由振動となり, 分枝のスイッチングが行なわれていることがわかる. 時刻歴解析結果と比較すると, 応答振幅は異なっているものの, この傾向は同様であると言える. したがって, 非定常空気力の連成項を介してたわみ応答とねじれ応答が時間的に変化する現象は時刻歴解析でも表現可能であると判断される. ただし, 分枝のスイッチングは Step-by-Step 解析でも適用可能であることから, 計算の簡便さ, 非定常空気力係数の寄与度把握の面で優位性は見られないことから, 応答の時間変化を考察する場合に有用性があると判断される.



(a) 風洞試験結果



(b) 時刻歴解析結果(初期条件:強制変位付与)

図-2 分枝のスイッチングの比較

(Set A : 風速 12m/s たわみ加振)

4. まとめ

有限次数近似モデル (RFA 法) によるフラッター時刻歴解析の有用性に関して, バネ支持試験と比較検討した. その結果, 本解析は, 複素固有値解析では不明瞭な分枝の見極めを分析するツールとして有用であり, 強制加振からの自由振動応答, 分枝のスイッチングなど応答の時間変化を概ね表現できることがわかった. ただし, Step-by-Step 解析など他の解析手法と比較した場合には, 応答の時間変化, すなわち, 風速変動, ガスト応答などの強制外力の時間変化による応答変化の検討に最も有用であると判断される.

謝辞

本検討を行なうにあたって, 京都大学工学研究科 松本勝教授, 白土博通准教授に多くのご指導を賜りました. 記して謝意を示します.

参考文献

- 1) 例えば, Roger, K. L. : Airplane Math Modeling Methods for Active Control Design, AGARD-CP-228, pp. 4. 1-4. 11, 1977.
- 2) 増川淳二 : 様々な橋梁断面に作用する非定常空気力の有限次数近似モデルとその応用, 東京大学修士論文, 1994.
- 3) Wilde, K., Fujino, Y. and Masukawa, J. : Time domain modeling of bridge deck flutter, 土木学会論文集, No. 543/I-36, pp. 19-30, 1996.
- 4) 勝地 弘, 山田 均, 楠原栄樹 : 有理関数近似モデル空気力を用いた長大吊橋対風応答解析法の検討, 第 19 回風工学シンポジウム論文集, pp. 441-446, 2006.
- 5) Matsumoto, M. : "Flutter instability of structures", Proc. of 4<sup>th</sup> EACWE, 2005.