

長大橋のフラッター空気力に関する一考察

徳島大学工学部 フェロー 宇都宮 英彦
松尾橋梁（株）

池内 彰

徳島大学工学部 正会員 長尾 文明
徳島大学大学院 学生員 ○金海 展弘

1. まえがき 近年吊橋の長大化に伴い、空力振動現象が重大な問題になっており、自励振動（フラッター）に対する安全性の評価が重要な課題になっている。

従来の研究^{1) 2)}において、トラス補剛桁を用いて捩れと曲げの振動数比が 1.0 近傍でのフラッター特性について調査され、模型に作用する空気力を準定常的にとらえて位相平面図により振動数比 1.0 近傍におけるフラッター発生機構について考察を行っている。

そこで本研究では、作用空気力の非定常性を考慮し、作用空気力を準定常的にとらえた場合の位相平面図と非定常空気力特性から推定される位相平面図を比較検討することで、非定常空気力の準定常的表現の妥当性について調べる。

2. 実験概要 実験に使用した風洞は徳島大学工学部に設置されている吸い込み式室内還流式エッフェル型風洞（測定部：0.7m(幅)×1.5m(高さ)×2.5m(長さ)、最大風速 10m/s）を使用した。また、図-1 に実験に使用した模型断面形状（幅員：B 桁高：D、B/D=13 の矩形と B/D=4.5 の H 型）を示す。これらの断面を用いて静的空気力を計測し、それぞれの断面において捩れと曲げの振動数の比を変化させて動的応答実験を行い、振動数比 1.0 近傍でのフラッター特性の変化を調べる。さらに、動的応答実験で得られたデータをもとに強制振動法により、捩れ 1 自由度、曲げ 1 自由度の実験を行い、そのときの模型表面の圧力を測定し非定常空気力特性を調べる。また、表面圧力計測実験に用いた模型は、図-1 に示すものと同じもので、スパン中央部の断面に直径 1mm の大きさで模型の上面に 15 個の圧力孔を等間隔に設けたものを使用した。

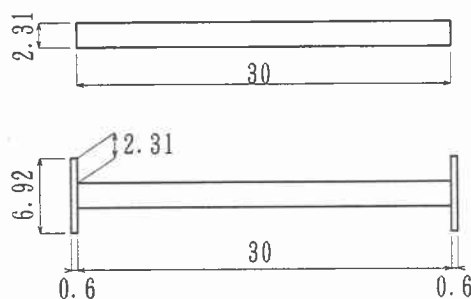


図-1 模型断面形状

3. 非定常空気力の準定常的表現 非定常空気力の準定常的表現とは、運動する物体の空気力学的特性が、いかなる瞬間においても、その瞬間の相対迎角における、静的空気力特性と等しい空気力が作用しているという仮定に基づいている。また、変位により形成される迎角と振動速度に伴い形成される相対迎角により模型に作用する空気力を仮定している。ここで、捩れ変位、回転速度、作用空気力および相対迎角（ここでは、前縁部の角度と仮定している）の定義として、主流方向の風速に対して、模型が頭上げ方向の運動および頭上げ方向に力が作用しているときは負とし、頭下げ方向の運動および頭下げ方向に力が作用しているときは正とする。また、曲げ変位および作用空気力の定義として、下向きの運動方向および下向きに作用しているときは正で、上向きの運動方向および上向きに作用しているときは負である。

4. 位相平面図の比較 ここでは、H型断面で振動数比が 1.05 におけるフラッター発生時における位相平面図の比較を行う。空気力を準定常的にとらえたときの位相平面図を図-2、非定常空気力特性から推定される位相平面図を図-3 に示す。これらの図は、それぞれ捩れと曲げモードに分割されて表現された図である。

まず、捩れモードの振動により形成される空力モーメント ($M_{\phi\phi}$)、揚力 ($L_{\phi\phi}$) についての比較をする。捩れ変位により形成される空力モーメント成分 M_{ϕ} は、捩れ変位に対して逆相で作用しているのに対し、非定常性を考慮した場合の M_{ϕ} は捩れ変位に対して同相で作用している。また、相対迎角により形成される空力モーメント成分 M_{ϕ} と非定常性を考慮した場合の M_{ϕ} はともに捩れ変位速度に対して同相に作用している。 $L_{\phi\phi}$ においては、空気力を準定常的に考えた場合と非定常性を考慮した場合の作用方向は同じである。

次に、曲げモードの振動により形成される空力モーメント ($M_{\eta\eta}$)、揚力 ($L_{\eta\eta}$) についての比較を行う。

曲げ変位により形成される空力モーメント M_η は無視されているが非定常性を考慮した場合、無視できず曲げ変位により形成される M_η は曲げ変位に対して同相に作用している。また、相對迎角により形成される空力モーメント成分 $M_{\dot{\eta}} (= M_{\eta\dot{\eta}})$ は曲げ変位速度に対して逆相で作用しているが、非定常性を考慮した場合の $M_{\dot{\eta}}$ は曲げ変位速度に対して同相で作用している。 $L_{\eta\dot{\eta}}$ においても、曲げ変位により形成される揚力成分 L_η は無視されているが、非定常性を考慮した場合の L_η は値そのものは小さいものの、無視されず曲げ変位に対して逆相で作用している。また、相對迎角により形成される揚力成分 $L_{\dot{\eta}} (= L_{\eta\dot{\eta}})$ と非定常性を考慮した場合の $L_{\dot{\eta}}$ はともに曲げ変位速度に対して逆相で作用している。

以上より、曲げモードの振動により形成される空気力 $L_{\eta\dot{\eta}}$ 、 $M_{\eta\dot{\eta}}$ において、準定常的な表現をした場合の曲げモードの変位により形成される空気力 L_η 、 M_η は迎角の変化を伴わないため無視されているが、非定常性を考慮した場合は無視することができない。また、 $M_{\eta\dot{\eta}}$ の速度比例成分 $M_{\dot{\eta}}$ において、準定常的な表現の場合と非定常性を考慮した場合では逆向きに作用している。

捩れモードの振動により形成される空気力 $L_{\phi\dot{\phi}}$ 、 $M_{\phi\dot{\phi}}$ において、 $L_{\phi\dot{\phi}}$ は非定常空気力を準定常的な表現によっても、かなりの精度で近似できていると判断できる。また、捩れ変位に非定常性を考慮した場合の $M_{\phi\dot{\phi}}$ の捩れ振動速度成分 $M_{\dot{\phi}}$ と準定常的な表現をした場合の $M_{\phi\dot{\phi}}$ の捩れ振動速度成分 $M_{\dot{\phi}}$ は同じ向きに作用していて非定常空気力を準定常的に表すことができている。しかし、非定常性を考慮した場合の $M_{\phi\dot{\phi}}$ の捩れ変位成分 M_{ϕ} と準定常的な表現をした $M_{\phi\dot{\phi}}$ の捩れ変位成分 M_{ϕ} は逆向きに作用している。

全体的に、曲げモード ($L_{\eta\dot{\eta}}$ 、 $L_{\phi\dot{\phi}}$) においては、非定常空気力を準定常的に表現できているが、捩れモード ($M_{\eta\dot{\eta}}$ 、 $M_{\phi\dot{\phi}}$) において、非定常空気力を準定常的に表現することにはかなり問題があるといえる。このことは、ギャロッピングにおいては準定常理論の適用はできるが、捩れフラッターにおいては準定常理論の適用は困難であるということに一致する。

5. あとがき 曲げモードにおいて非定常空気力を準定常的に表現できていると考えられるが、捩れモードにおいては表現しきれなかった。この理由として、準定常理論による作用空気力の仮定において無理があり、捩れの場合においては、前縁側と後縁側では相對迎角が逆向きになるということが考えられる。また、非定常性を考慮した場合、曲げ変位加速度により形成される空気力は無視することはできずフラッター発生機構において影響があることが分かった。

[参考文献]

- 1) 佐野演秀、宇都宮英彦、長尾文明：“ダイバージェンス型吊橋のフラッターについての2,3の考察” 構造工學論文集 1992.
- 2) 水口登志夫、宇都宮英彦、長尾文明：“トラス補剛桁に作用するフラッター空気力に関する実験的研究” 土木学会四国支部技術 1995.

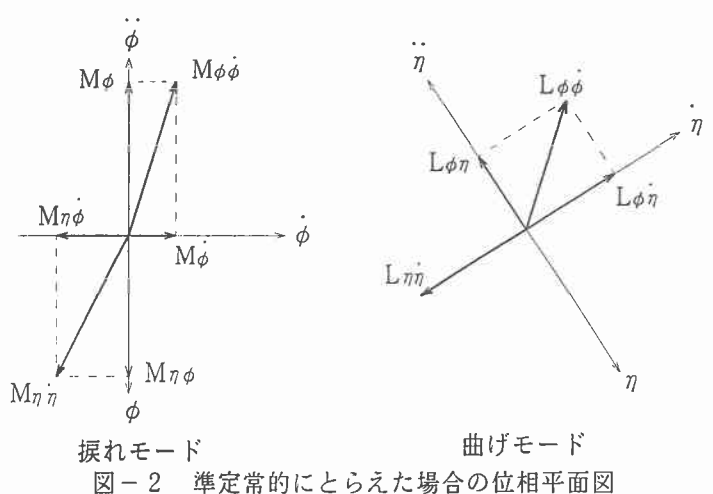


図-2 準定常的にとらえた場合の位相平面図

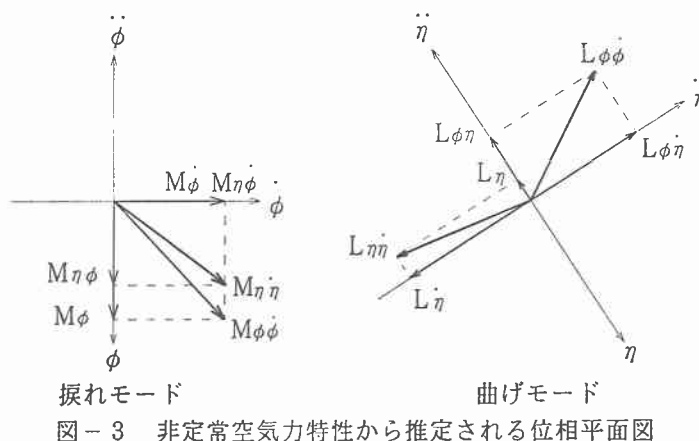


図-3 非定常空気力特性から推定される位相平面図