

中央大学工学部 正員 ○ 岡内 功

東京大学工学部 正員 宮田 利雄

1. まえがき

吊橋の風により誘起される自励振動現象は耐風設計上特に重視されている現象であるが、個々の吊橋の安定性の判定は風洞実験によるのが一般的である。しかし、従来の多くの研究にもかかわらず吊橋に生ずる各種の自励振動の発生機構は必ずしも理論的に明らかにされておらず、問題は複雑な様相を呈している。本文では自励振動の発生機構と特性に関する分析結果を述べ、耐風設計、風洞実験の実施、あるいはその結果の評価のための資料となし得る考察結果を示すことにする。

2. 自励振動の発生機構による分類

吊橋に生ずる自励振動は、吊構造部の断面形状のみならず、迎角、各種の力学的特性など多くの因子の影響をうける複雑な性状を示すことは従来からしばしば述べられてきたとおりであって、その振動性状の類似性などに基づき航空機翼の研究においてよく知られている曲げ揺れフラッター型と失速フラッター型に大別して説明されていた。しかし、振動の発生後の振巾の変化状態、あるいはこれと発振風速との関連などに着目すると、従来の分類よりも次に示す三種類に分ける方が、現象を整理し理解する上でより適切であると考えられるに至った。従来から明らかにされている点をも含みつつ、自励振動の発生機構と特性に応じて分類を行なうことのようになるであろう。

(a) 曲げ揺れフラッター型自励振動

これは曲げ、および揺れが連成する二自由度振動であって、振動発生後急激に発達し、振動数は曲げ、および揺れの固有振動数のほぼ中間の値をとる。この振動の発生は、Theodorsenの平板に対する非定常(動的)空力を用いた Bleichの理論による検討が可能であり、この意味で本文ではこの振動を分類の一項目としている。この型の振動では不安定なリミットサイクル(後述)が風速に対して急激な上昇を示している点に特徴があり、他種の自励振動と比べて異なるところである。振動が現れるケースは、平板、流線型を吊構造部とする吊橋で、しかも風が水平に近い迎角で吹く場合である。

(b) 失速フラッター型自励振動

この振動は揺れのみの一自由度振動に近く、その振動数は揺れの固有振動数とほとんど変わらない振動である。そして、発生後、定常振動(安定なリミットサイクル)を形成し、その振巾は風速の上昇と共に増大する。さらにリミットサイクルは風速に対し履歴曲線を描いている。一般に、充腹折、充実率の大きいトラスを吊構造部とする吊橋においてこの種の振動が発生するが、この現象に対する準定常理論の適用の結果によれば、^{*} 定常(静的)空力モーメント係数曲線の勾配が負となる場合がある。この条件は、曲線が極値を持つ迎角付近を初期迎角とする場合を除けば実験結果の傾向によく合致する。準定常理論によればリミットサイクルの発現も裏付けられている。^{*} 第23回年次学術講演会[I-95]

(c) 準曲げ揺れフラッター型自励振動

これは曲げと揺れの連成する振動であるが、曲げ揺れフラッター型に比べて揺れが卓越しており、振動発生後の振動もその場合より穏やかである。この種の振動は、従来失速フラッター型自励振動の

範疇に入れられていたのがあるが、曲げ挠みフラッター型自励振動に近い挙動を多く示すところから、改めて失速フラッター型より分離し、準曲げ挠みフラッター型と称して分類したものである。実験において観測される振動には不安定なリミットサイクルの存在が認められ、したがって、この型の振動は、吊橋造りの各部材から発生する振動を原因とする初期擾乱が、この不安定なリミットサイクルの振動に到達する風速において発生していると考えられ、この点において不安定なリミットサイクルが風速に対して急激な立上りを示す曲げ挠みフラッター型の場合とは異なった特徴が見られる。振動数は挠みの固有振動数より低いが、曲げ挠みフラッター型の場合ほどの低下は見られない。振動が現われるのは充実率の小さい閉床トラスないし吊橋造部とする場合である。

3. 振動性状の特徴を示す実験結果

上述のような分類は振動性状の相違に基づいてなされたものであるが、各々の性状を典型的に表わす風洞実験結果を示す Fig. 1, 2, 3 のようになる。なお、図において横軸は風速、縦軸は挠み振動の倍振巾を表わし、図中の数字は対数減衰率であって、振動の収斂、発散の度合いを示している。

Fig. 1 は分類(a)に属する平板模型の結果である。振動が収斂、または発散する境界となる不安定なリミットサイクルが存在するが、その風速に対する立上り方は急であり、このほくも直さず、振動の発振する風速がほとんどの振巾に寄らず、ほぼ一定であることを意味するを解しうる。

Fig. 2 は分類(b)に属する充実率の大きいトラス模型の実験結果であるが、定常振動(安定なリミットサイクル)が存在している。Fig. 2(b)のリミットサイクルの計算値は準定常理論によるものである。

Fig. 3 は準曲げ挠みフラッターと称した自励振動が現われる充実率の小さい閉床トラスの場合である。不安定なリミットサイクルが低風速域で大きい振巾を呈し、風速の増大と共に小さくなる。これは平板模型の結果と異なるところで、振動の発振風速が振巾によって変化することを示唆するものである。

4. おわりに

以上に示すように、吊橋の風による自励振動現象を理解する上に特性の差による分類は有用であると考えられるが、ここで注目すべきは自励振動の発生する風速が振巾によって変化しうるという事実である。これは、設計上、また風洞実験により発振風速を確認する上で重要なことであり、各振動の特性と実際の橋の耐振動特性とに合った発振風速の定義の明確化をうながすものである。

Fig. 1 平板模型の示す不安定なリミットサイクル, $\alpha = 0^\circ$, (=自由度: 曲げ, 捻り)

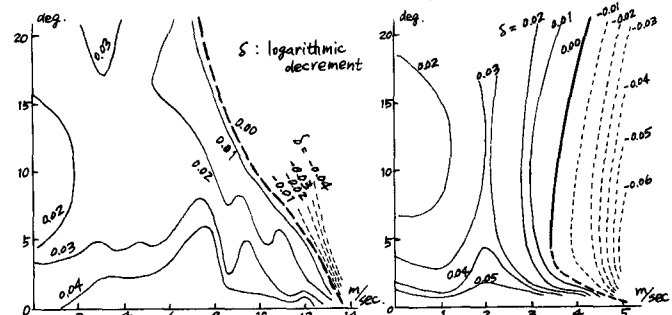
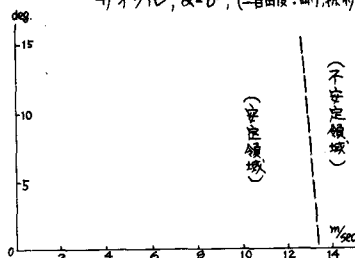


Fig. 3 不安定なリミットサイクルの卓越した例

Fig. 2(a) 安定なリミットサイクルの卓越した例

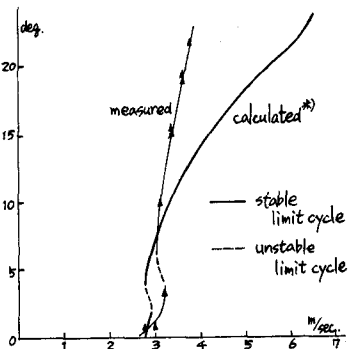


Fig. 2(b) リミットサイクルの履歴曲線例