

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

徳島大学工学部 正 員 宇都宮英彦 徳島大学工学部 正 員 長尾 文明
 徳島県 正 員 ○水口登志夫 徳島大学工学部 正 員 松本 知樹

1. まえがき トラス補剛桁に顕著に発生するフラッター現象は振れフラッターであるが、時としてトラス補剛桁においても連成フラッターが発現することが知られている。連成フラッターの特徴として、曲げと振れの振動数の一致とモード間の位相差の存在があげられる。さらに曲げと振れの振動数比(以下 f_b/f_r と表示する。)に大きく支配され、 f_b/f_r が大きいほどフラッターに対して安定であり、 $f_b/f_r=1.1$ 付近で最も不安定となり、 $f_b/f_r=1.0$ では安定性が大幅に回復するという性質を有している。そこで、トラス補剛桁断面に注目し、 f_b/f_r を1.0近傍まで変化させた応答実験結果より、フラッター発生機構に関する振動論的説明を試みた。

2. 実験概要 本研究の考察には、図1に示すようなトラス補剛桁を床版および上下弦材を想定し単純化したモデルにより得られた実験結果を用いた。2自由度支持状態で上下弦材位置を変化させた応答実験を行うと共に、支持装置のバネ間隔を変化させ、振れの固有振動数のみ変化させることで f_b/f_r を1.98 1.42 1.07 0.96の4段階に設定し、振れおよび曲げの振動変位、固有振動数、モード間の位相差を計測した。また、モデルの三分力特性について静的空気力計測実験を行い計測した。

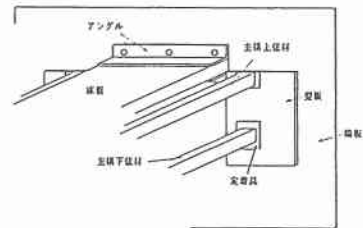


図1 モデル概要

3. 実験結果および考察 $f_b/f_r=1.98$ に設定した応答実験では、上下弦材の配置位置によりフラッター発現風速、発現後の応答履歴に違いが見られたが、発生するフラッター現象は全て振れフラッターと思われる振れ1自由度のフラッター現象であった。また、静的空気力計測結果は、上下弦材の配置位置により定量的な違いが見られるものの、定性的には図2に示した三分力図に代表されるように迎角 0° 付近で揚力係数曲線勾配

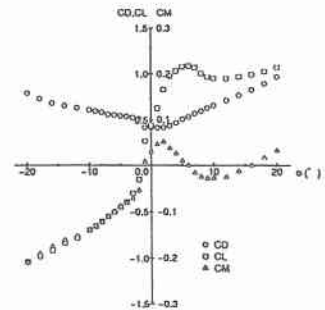
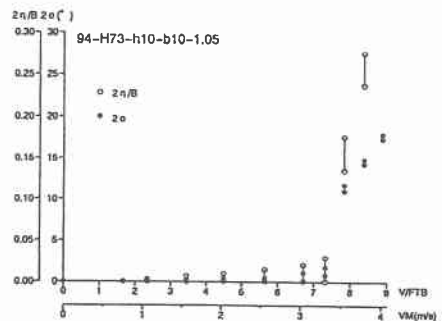


図2 三分力特性図

($dC_L/d\alpha$)、空力モーメント係数曲線勾配(S_o)が共に正勾配となる静的空気力特性が得られた。図3は $f_b/f_r=1.07$ に設定した場合の風速応答図である。 $f_b/f_r=1.98$ 1.42では、振れフラッターと思われる振れ1自由度のフラッターが発生していたが、 $f_b/f_r=1.07$ では著しい曲げの振動変位を伴う連成フラッターと思われるフラッターが発現した。さらに、 $f_b/f_r=0.96$ に設定した場合、図4の風速応答図に示されているようにフラッターは発生せず不規則な曲げの振動が計測された。図5は曲げに対する振れの位相差を計測したものである。曲げに対して振れの位相が進んだ時を正、遅れた時を負として示している。この図によると $f_b/f_r=1.0$ を境にフラッター特性が分かれるように位相差も 90° 以上と 90° 以下に分かれることがわかった。これら $f_b/f_r=1.0$ 近傍での現象を元にフラッター発生機構について考察を行った。まず、空気力について変位により形成される空気力と振動に伴う模型前縁での相対迎角により形成される空気力を準定常的に仮定した。この仮定によると振れ振動では変位

図3 V-A図 ($f_b/f_r=1.07$)

により形成される空気力と相対迎角により形成される空気力が考えられ、これらの空気力の合力を考えた。揚力について L_{ss} 、空力モーメントについて M_{ss} と表示する。曲げ振動では相対迎角により形成される空気力が考えられる。振れ振動により形成される揚力 L_{ss} を外力とした強制振動により曲げ振動が発現すると考えると強制振動の特性により曲げの変位は $f_s/f_n > 1.0$ の場合、 L_{ss} より 90° 以上の位相遅れで発現し、 $f_s/f_n < 1.0$ の場合、 L_{ss} より 90° 以下の位相遅れで発現することになる。以上の考察をベクトル図にまとめたものを

$f_s/f_n > 1.0$ 以上の場合について図7に、 $f_s/f_n < 1.0$ の場合について図8に示す。これらのベクトル図は反時計回りの方向を位相の進んだ状態と定義している。また、変位について無風時の状態を基準位置として、曲げ変位について下方に変位した状態を正、振れ変位について模型前縁が頭上げ方向に変位した状態を正と定義している。さらに、空気力については、揚力について鉛直下向きに作用する時を正、空力モーメントについて時計回り方向に作用するときを正と定義している。これらのベクトル図について空力モーメントに着目すると振れ振動により形成される空力モーメント M_{ss} は減衰力として作用しているのに対し、曲げ振動により形成される空力モーメント M_{ss} は $f_s/f_n > 1.0$ の場合、励振力方向に作用しており、 $f_s/f_n < 1.0$ の場合、減衰力方向に作用し、 $f_s/f_n > 1.0$ の場合、フラッターが発生する要因を有しているが、 $f_s/f_n < 1.0$ の場合、フラッターが発生しないことがわかる。また、曲げと振れの位相差 θ について $f_s/f_n > 1.0$ の場合、 90° 以下の位相差として示されるのに対し、 $f_s/f_n < 1.0$ の場合、 90° 以上の位相差として示される。すなわち、準定常的に仮定した空気力と強制振動における特性を考慮することにより実験におけるフラッター特性、位相特性を説明することができる。ここで、揚力に着目した場合、振れ振動により形成される揚力 L_{ss} は曲げ振動において励振力方向に作用しているのに対し、曲げ振動により形成される揚力 L_{ss} は減衰力方向に作用しているため L_{ss} と L_{ss} の大小関係により振れフラッターと連成フラッターに分かれるものと考えられる。本報では、 S_a が正勾配の場合について報告したが、 S_a が負勾配の場合についても本考察により作成したベクトル図によりフラッター特性、位相特性を説明することが可能である。

4. まとめ 本研究により振れフラッターと連成フラッターの基本的な発生機構は同一のものと考えられる。また、作用空気力の準定常的な仮定が含まれているが、変位により形成される空気力と相対迎角により形成される空気力を仮定することで空気力の非定常性を考慮したことで等価なものが得られたと考えられる。

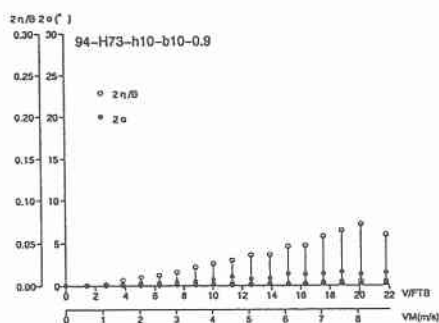
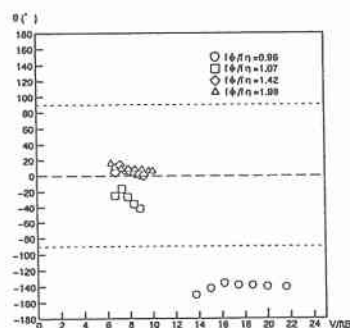
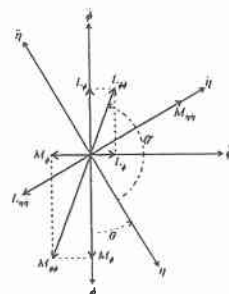
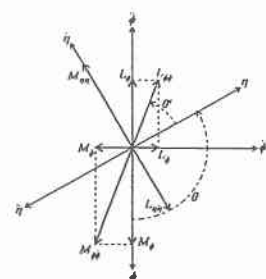
図4 V-A図 ($f_s/f_n=0.96$)

図5 風速-位相差図

図6 ベクトル図 ($f_s/f_n > 1.0$)図7 ベクトル図 ($f_s/f_n < 1.0$)