

構造基本断面における異種空力振動の干渉効果に関する研究

京都大学大学院 学生員 ○玉置 斉 京都大学工学研究科 フェロー 松本 勝
 京都大学工学研究科 正会員 白土 博通 京都大学工学研究科 正会員 八木 知己
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 江口 陽紀¹⁾ 京都大学大学院 学生員 水野 恵介
 1)研究当時京都大学大学院

1. 概説

1940年11月7日、旧Tacoma橋が落橋するという事故が起きた。この事故の原因はねじれフラッターであるとされており、その落橋経緯はF.B.Farquharsonの文献¹⁾にその詳細が報告されている。この報告書によれば、風速18.7m/sで振動数0.6Hzの対称5次鉛直たわみ渦励振が発現し、その直後に突然振動数0.23Hzの逆対称1次のねじれフラッターに変化し落橋に至ったとされている。過去の研究²⁾によりねじれフラッターが鉛直たわみ渦励振によって空力的干渉を受け、その結果旧Tacoma橋のフラッター発現風速が大幅に引き上げられていた可能性、またたわみ渦励振によってねじれ渦励振が励起される可能性が示された。このように橋梁など可撓性に富んだ実構造物においては、鉛直たわみとねじれが異次モードの組み合わせで振動し、それらの振動間で空力的干渉が起こる可能性があり、特に後者のようにある振動により他の振動を励起される場合、非常に危険である。そのため異なる振動モード間の空力干渉現象を把握することは、実構造物の挙動を評価する上で非常に重要な問題であると考えられる。

そこで本研究では構造基本断面における異種空力振動現象の干渉を把握することを目的に、カルマン渦励振、自己励起型渦励振、ギャロッピング、ねじれフラッター等の空力振動が発生することが知られているB/D=2矩形断面を対象にバネ支持自由振動実験及び強制加振実験を行い、鉛直たわみ振動とねじれ振動間の空力干渉現象の把握を試みた。

2. B/D=2における異種空力振動干渉

本研究では、鉛直たわみ・ねじれの渦励振、ギャロッピング、ねじれフラッターの空力振動干渉を議論するために、固有振動数比（以下 f_{ϕ}/f_{η} ）を1.05, 1.13, 1.32, 2.01に調整して自由振動実験を行った。なお、振動数比 $f_{\phi}/f_{\eta} < 1$ にすると実験制約上、ねじれスクルトーン数 Sc_{ϕ} が上がりねじれ振動が発現しなかった。そのため、鉛直たわみ振動とねじれ振動間の空力干渉は見られなかった。以下に確認された現象と空力干渉及びそれらの考察を示す。

2.1 連成フラッター

$f_{\phi}/f_{\eta}=1.05$ において、ある風速域で1自由度系では振動が発現しないが、2自由度系において鉛直たわみ振動とねじれ振動が同時に発現する現象が確認された。 $f_{\phi}/f_{\eta}=1.05$ における2自由度系自由振動応答を Fig.1 に示す。この時の自由振動実験における振幅比及び位相は、強制加振実験によって得られた非定常空気力係数を用いた複素固有値解析によって求められたものとほぼ同じで、また振動数はスペクトル解析により鉛直たわみ、ねじれ固有振動数の中間値の同じ振動数で振動していることが確認された。以上よりたわみ、ねじれ振動数比が1.0に近い特別な場合においてはB/D=2矩形断面で連成フラッターが発現しうると考えられるが、一般に実構造物では同次モードにおいてねじれ固有振動数がたわみ固有振動数を大きく上回るため、このような現象がおこる可能性は低いと考えられる。

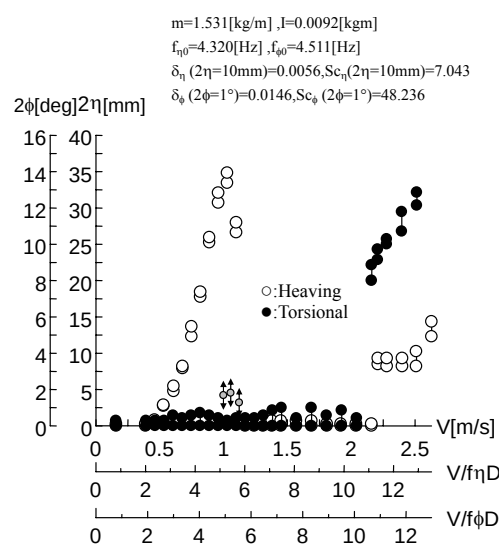


Fig.1 $f_{\phi}/f_{\eta}=1.05$ における2自由度系自由振動応答

キーワード 渦励振、ねじれフラッター、ギャロッピング、空力干渉

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学 工学研究科 社会基盤工学専攻 気圏工学研究室 075-753-5093

2.2 ねじれフラッターとギャロッピング間における空力干渉

$f_{\phi 0}/f_{\eta 0}=1.13, 1.32$ において、ねじれフラッターがギャロッピングを抑制する現象が確認された。この現象では静止時からまもなくギャロッピング振動が卓越し、ある程度ねじれ応答振幅が大きくなるにつれて、ギャロッピング振動の振幅が小さくなる応答特性を示す。Fig.2 にギャロッピングからねじれフラッターへの過渡状態の応答波形を示す。この要因としては、ねじれフラッターの発生起因である剥離バブルにより、ギャロッピングの励振力となっている圧力回復が妨げられた、あるいはねじれ振幅が大きくなることで、たわみ振動方向の接近流が再付着し、ギャロッピングの励振力となっている内部循環流の形成が妨げられたため、ギャロッピングが抑制されているものと考えられる。また $f_{\phi 0}/f_{\eta 0}=1.32$ において、ギャロッピングによりねじれフラッターを抑制される現象が確認された。これはギャロッピングの流れ場が卓越し、ねじれフラッターの励振力である剥離せん断層の再付着が生じず、剥離バブルの形成が妨げられたためと考えられる。

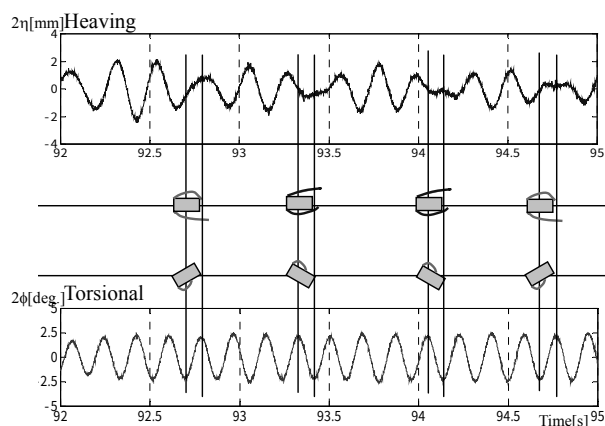


Fig.2 ギャロッピングからねじれフラッターへの過渡状態の応答波形

2.3 ねじれ渦励振とギャロッピングの空力干渉

$f_{\phi 0}/f_{\eta 0}=2.01$ において、ねじれ渦励振によりギャロッピングを抑制する現象が確認された。静止時からまもなくギャロッピング振動が卓越し、ある程度ねじれ応答振幅が大きくなるにつれて、ギャロッピング振動の振幅が小さくなる応答特性を示す。Fig.3 にギャロッピングからねじれ渦励振への過渡状態の応答波形を示す。この要因としては、ねじれ渦励振の励振力が渦であるためにギャロッピングの振動方向と逆面の圧力回復が妨げられたこと、ねじれ渦励振の振幅がある値に達したときにカルマン渦の放出が制御されたことなどが考えられる。

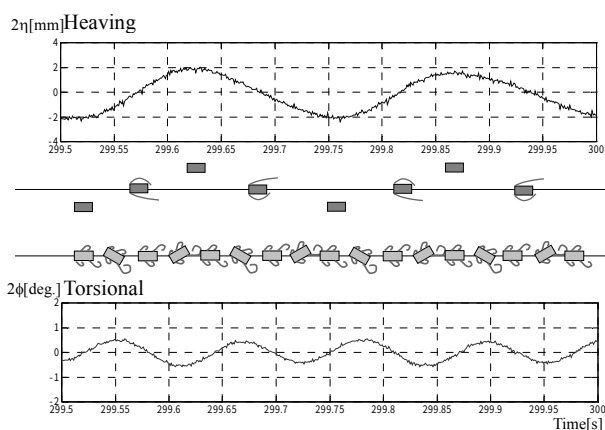


Fig.3 ギャロッピングからねじれ渦励振への過渡状態の応答波形

3. 結論

本研究対象とした $B/D=2$ において矩形断面以下のような現象及び空力干渉が確認された。

- 1) 連成フラッター
- 2) ねじれフラッターがギャロッピングを抑制する空力干渉。
- 3) ギャロッピングがねじれフラッターを抑制する空力干渉。
- 4) ねじれ渦励振がギャロッピングを抑制する空力干渉。

但し連成フラッターに関しては、鉛直たわみ・ねじれ振動数比が 1.0 に近い特別な場合で起こるもので、実構造物では起こる可能性は低いと考えられる。

本研究により、基本構造断面である $B/D=2$ 矩形断面において空力干渉が確認できた。これより現在の実橋の二次元剛体模型実験による耐風安定性評価を行う際には、同次モードの振動の組み合わせを対象にしたフラッター解析だけでなく、異次モード間の異種空力振動干渉も含めた検討の必要性が示唆される。

参考文献

- 1) F.B.Farquharson(1949): "Aerodynamic Stability of Suspension Bridges, Part I ~ IV".
- 2) 松本 勝, 白土博通, 八木知己, 四條利久磨, 江口陽紀, 玉置斉, 旧 Tacoma 橋における異種空力振動の干渉現象, 第 17 回風工学シンポジウム論文集, pp303-308, 2002.