

旧タコマナローズ橋の空力振動モード間の相互干渉に関する検討

徳島大学大学院 学生会員 岡村 宗一郎 徳島大学 正会員 野田 稔
徳島大学 フェロー 長尾 文明

1. はじめに

1940年にアメリカのタコマ海峡で、旧タコマナローズ橋の落橋事故が発生した。旧タコマ橋を落橋に導いた空力振動現象は、ねじれフラッターと呼ばれるものであるが、発現風速が大きくなっていったことから、フラッター発現前に発生していたたわみ振動によってフラッターが抑制されるような干渉現象が起きていたのではないかと推測されている¹⁾。旧タコマ橋の落橋時に、この橋でどのような現象が発生していたのか不明瞭な点も多い。本研究では、以前徳島大学で実施された風洞実験で観測されたたわみ振動とねじれ振動の同時発生という結果²⁾をより詳しく検討していくため、ねじれフラッターとたわみ渦励振が同時に発生している同時発生状態、ねじれフラッターがたわみ渦励振を抑制する現象、たわみ渦励振がねじれフラッターを抑制する3つの現象の再現と検証を行った。

2. 実験概要

本研究における風洞実験で使用する1/50縮尺模型の断面を図-1に示す。本実験では、徳島大学工学部に設置されている押込み型室内還流式エッフェル型風洞(測定部:1.0m(幅)×1.5m(高さ)×4.0m(長さ))を使用した。風洞内にはピトー管を設置し、速度圧を風洞内風速 V [m/s]に換算した。

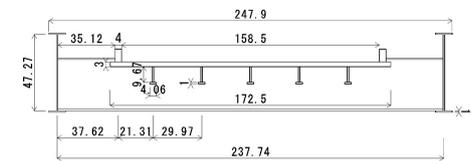


図-1 1/50 縮尺模型断面図

縮尺模型の風洞内への設置は、図-2に示すように曲げおよびねじれの2自由度の運動が可能な状態でコイルばねとピアノ線によって支持し、風洞外のフレームに各ばねの一端を固定している。たわみねじれの振動数比は落橋時のものに近い値である2.43としている。

曲げ、ねじれ各1自由度支持での各風速に対する応答量を測定する際には、測定する振動系のみ運動が可能となるよう、他方の振動系の振動をワイヤーにより拘束し、別途振動数、減衰率を測定することで1自由度、2自由度支持での応答量の比較を換算風速下で行うことができる。

本実験では、図-2中のねじれ振動ばねに別途オイルダンパーを設置して減衰を付加し、対数減衰率の変化による応答特性の変化を検証した。各風速に対する曲げおよびねじれの応答振幅は、図-2に示すようにレーザー変位計によって測定した。

3. 旧タコマ橋縮尺模型の応答特性の比較および干渉現象についての検証

実橋から相似則に基づいて算出した諸元を考慮したねじれの無風時の対数減衰率0.04における1/50縮尺模型の応答特性を図-3に、対数減衰率0.12における1/50縮尺模型の応答特性を図-4に示す。図-3の(a)は2自由度支持におけるたわみ、ねじれ振動の応答特性を比較したもの、(b)は2自由度支持および1自由度支持におけるたわみの応答特性を比較したもの、(c)は2自由度支持および1自由度支持におけるねじれの応答特性を比較した図である。図-4の(a)はたわみ加振を行ったときの2自由度支持におけるたわみ、ねじれ振動の応答特性を比較したもの、(b)はたわみ加振を行ったときの2自由度支持におけるたわみ、ねじれ振動の応答特性を比較したものを示している。応答特性の図では縦軸に倍振幅を、横軸に風洞内風速をとっている。

3.1. 対数減衰率0.04の場合

図-3に、対数減衰率0.04の場合の応答特性の比較結果を示す。(a)を見ると、風洞内風速約0.95m/s以上の風速では、ねじれ振動が顕著になっており、その時のたわみ振動は抑制されているような応答が見られる。次に(b)より、1自由度支持と比べると、2自由度支持では風洞内風速1.2m/s以上でたわみ応答振幅が抑えられており、振動

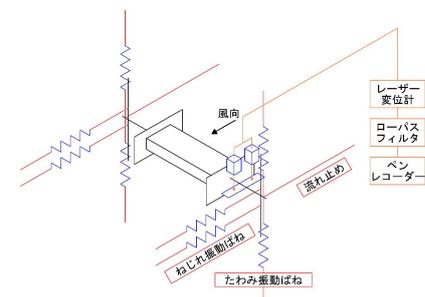


図-2 支持と測定機器

が抑制されている。一方で,(c) では,1 自由度,2 自由度共にねじれ振幅に大きな違いは見られない。このことから,ねじれフラッターによりたわみ渦励振の応答振幅が,1 自由度支持のものより 2 自由度支持の時のほうが大幅に小さくなっている。このことから,たわみ渦励振の応答がねじれフラッターによって抑制される干渉現象が生じていると考えられる。また,対数減衰率 0.04 の場合では加振モードによる応答の変化は見られない。

3.2. 対数減衰率 0.12 の場合

図-4 に,対数減衰率 0.12 の場合の応答特性の比較結果を示す。(a) より,風洞内風速 1.6m/s 以上においてたわみ加振した時にはねじれフラッターは風洞内風速 2.0m/s まで発生していない。一方,2.0m/s 以下の風速域においてたわみ渦励振が発現し,2 自由度支持状態においても 1 自由度の応答とほぼ一致している。(b) よりねじれ加振をした時にはねじれ振動が発生することにより風洞内風速 1.6m/s 以上ではたわみ渦励振は生じておらず,大振幅のたわみ振動が抑制されている。そしてねじれフラッターは 2 自由度支持において 1 自由度支持の応答とほぼ一致している。また,??では風洞内風速 1.2m/s から 1.6m/s までの風速域では振幅は小さいながらも両振動が同時発生していることが見受けられる。このことから,加振モードによって加振されていないたわみ,ねじれ共に抑制されていると推定することができる結果が得られた。ただし,ねじれ加振時には一部,両振動の同時発生状態も存在している。

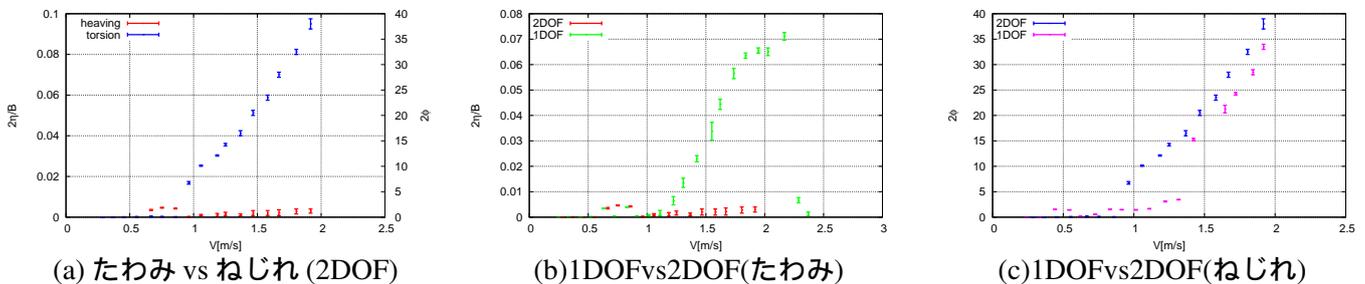


図-3 応答特性 (対数減衰率 0.04)

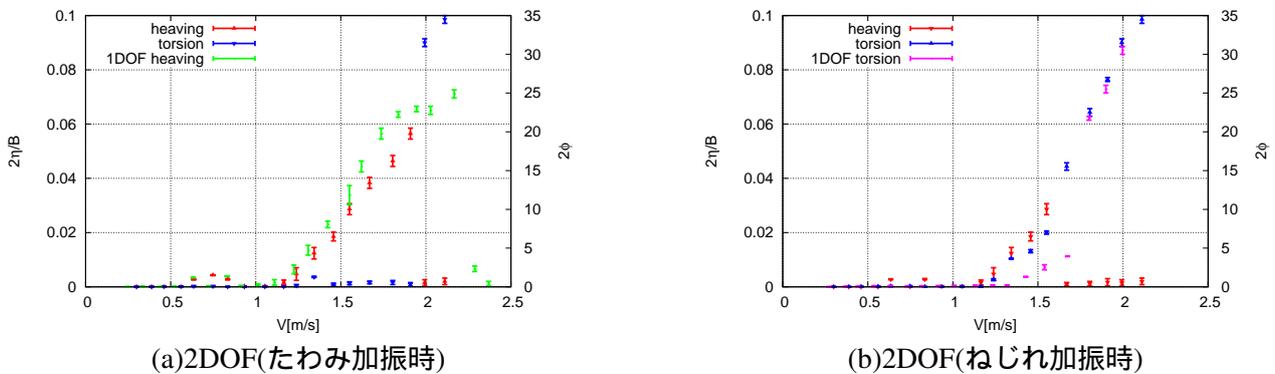


図-4 応答特性 (対数減衰率 0.12)

4. おわりに

以上の結果から,ねじれフラッターがたわみ渦励振を抑制する現象と部分的にはあるが,たわみ渦励振とねじれフラッターの同時発生状態の再現とたわみ振動がねじれ振動が抑制される現象が確認できた。その他に,加振モードによってたわみ,ねじれ共に抑制されていると推定することができる結果が得られた。しかし,ねじれ振動がたわみ振動によって抑制される現象については再現することができなかった。今後,強制加振による圧力試験により落橋時にどのように揚力やモーメントといった非定常空気が作用し,影響していたかを検証する必要がある。

参考文献

- 1) 松本勝 他, 「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, PP.303-308, 2002.
- 2) 岡村宗一郎, 「旧タコマナローズ橋の空力振動モード間の相互干渉」, 平成 25 年度土木学会四国支部 第 19 回技術研究発表会講演概要集, PP.39-40, 2015