

旧タコマナローズ橋の空力振動モード間の相互干渉

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、アメリカのプージェット・サウンド湾、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、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。そこで本研究では落橋時、旧タコマ橋で発生していたと考えられる異種空力振動モード間での空力干渉現象について検証し、干渉の有無を明らかにすることを試みた。

2. 実験概要

本研究における風洞実験で使用する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。風洞内風速 V [m/s] は、風洞内に設置されたピトー管によって得られた速度圧をデジタルマノメーターによって計測し、算出する。

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自由度の挙動が可能な状態でコイルばねとピアノ線によって支持され、風洞外のフレームに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2.50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の挙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、各ケースごとに風速を変化させ、各風速に対する曲げおよびねじれの応答量を、測定機器を図-2のように用いて測定した。また、本実験に使用した模型の諸元を表-1に示す。

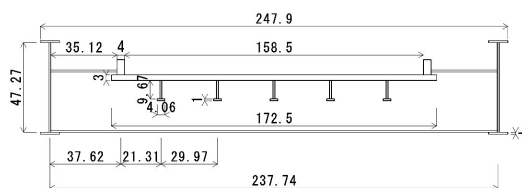


図-1 模型断面図

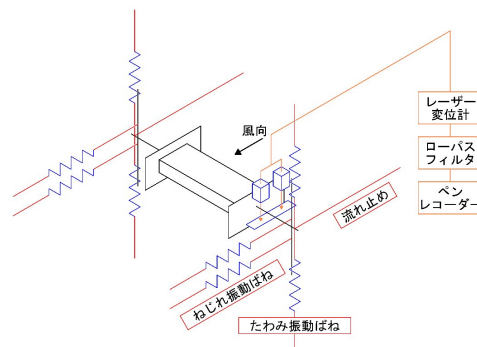


図-2 支持と測定機器

表-1 実橋および再現模型の振動諸元

諸元	実橋値(単位長)	0.89[m] 模型所要値	0.89[m] 模型実験値
質量 M	8480[kg/m]	3.019[kg]	3.008[kg]
モード極慣性モーメント I	177320[kg・m]	0.0253[kg・m ²]	0.0266[kg・m ²]
たわみの固有振動数 f_{η}	0.6[Hz]	3.25[Hz]	3.18[Hz]
ねじれの固有振動数 f_{ϕ}	0.23[Hz]	1.30[Hz]	1.31[Hz]
たわみねじれ振動数比 f_{η}/f_{ϕ}	2.61	2.50	2.44
たわみ構造減衰 δ_{η}	-	0.02	0.012~0.154
ねじれ構造減衰 δ_{ϕ}	-	0.02	0.067~1.124

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

3.1. 再現模型の応答特性

実橋から相似則に基づき算出した諸元を考慮した再現模型の応答特性を図-3に示す。まず、(a)図のたわみ1自由度、2自由度支持における応答振幅の比較より、1自由度より2自由度の応答振幅が小さく、2自由度応答

において同風速で発生しているねじれフラッターによりたわみ渦励振が抑制される干渉現象が見られた。(b)図のねじれ1自由度, 2自由度支持の結果を比較しても同様に, 1自由度より2自由度の応答振幅が小さくなっており, 2自由度応答において同風速で発生しているたわみ渦励振によりねじれフラッターが抑制される干渉現象が見られた。また, (c)図のたわみ, ねじれ2自由度の応答特性を比較したものでは, ねじれフラッターが発現する風洞内風速 $V=1.28\text{m/s}$ 以上で, ねじれ振動とともにたわみ振動も発生していることが見受けられる。なお, これらの両モードの振動数はともに各モードの固有振動数と一致している。

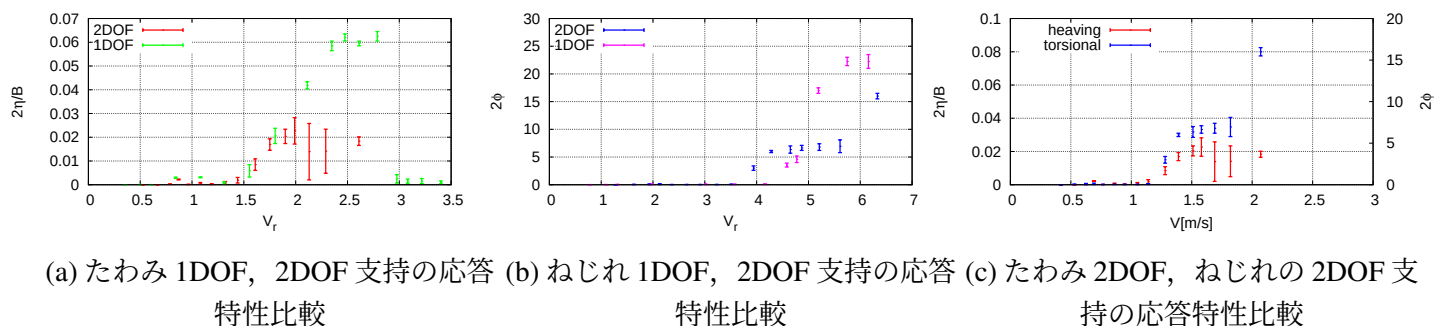


図-3 縮尺模型の応答特性

3.2. 京都大学大学院松本らの研究結果¹⁾との比較

松本らの研究では, 1自由度たわみ振動の応答特性として, 換算風速 $V/f_\eta B=0.8\sim 1.05$ において第一渦励振が存在しており, その後, $V/f_\eta B=1.5\sim 2.5$ 付近で第二渦励振が発生していることが報告されている。ここで, スクルートン数の定義を以下に示す。

$$Sc_\eta = \frac{2m\delta_\eta}{\rho d^2}, \quad Sc_\phi = \frac{2I\delta_\phi}{\rho d^4} \quad (1)$$

ここで, m はモード質量 [kg], I はモード極慣性モーメント [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$], δ_η は鉛直たわみに関する対数構造減衰, δ_ϕ はねじれに関する対数構造減衰, ρ は空気密度 [kg/m^3], d は桁高 [m] を表す。

本研究ではスクルートン数の範囲に違いがあり, 振幅も小さいが, 第一渦励振の発生も見られる。第二渦励振についても発現風速域やスクルートン数 Sc_η の観点から見ても特に大きな違いは見られない。また, 1自由度ねじれ振動についても発現風速域やスクルートン数 Sc_η の観点から見ても特に大きな違いは見られない。次に, 2自由度支持における応答の比較結果を図-4に示す。本研究の結果では, 2自由度支持でのねじれ振動が顕著である風速域でのスクルートン数 Sc_ϕ の範囲で松本らの研究結果では, 風速域によってたわみ渦励振がねじれ渦励振を励起する現象とたわみ渦励振がねじれフラッターを抑制する2つの現象が発生している。しかし, 本研究ではたわみ渦励振がねじれ渦励振を励起する現象も見られず, また, たわみ渦励振がねじれフラッターを抑制する現象は見られるが, たわみ, ねじれ振動が抑制されて完全に消えているわけではないことがこの比較によっても確認された。

4. おわりに

以上2つの結果より, 本研究では実橋から相似則に基づき算出した諸元を考慮した再現模型で干渉現象を確認することができたが, 松本らの研究で起こっている干渉現象が, 本研究では起こっておらず, それぞれ振動を完全に打ち消すことはなく両振動が共存しているという差異が見受けられ, この差異の要因を今後検討していく必要があると考える。また, 減衰の調整を可能にし, 本実験で大きな値で出てしまったねじれの減衰特性など調整できるようにすることで, より高い精度で他研究との比較ができるようにすることが必要である。

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.

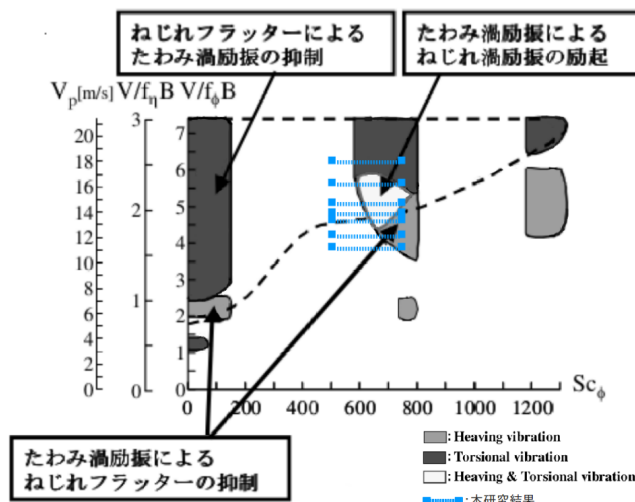


図-4 2DOF 支持における松本らの応答図との比較