

旧タコマナロウズ橋の渦励振応答に対する減衰の影響

大阪大学大学院(研究当時:高知大学理工学部) 学生会員 ○井田 直宏 高知大学 正会員 野田 稔

1. はじめに

1940年にアメリカワシントン州のタコマ海峡で、旧タコマナロウズ橋が風速約19m/sの風でねじれフラッターを発生し、落橋した。Farquharsonらの研究¹⁾では、桁形状による空力不安定性を指摘しており、旧タコマナロウズ橋以外にも長大吊橋が空力不安定性の影響で振動する事例が多く報告されている。本研究では、旧タコマナロウズ橋の二次元部分剛体模型を作成し、ばね支持応答試験によって旧タコマナロウズ橋に発生する渦励振とフラッターを再現した。また、電磁ダンパーを用いて鉛直曲げ方向の渦励振応答に対する対数減衰率の影響について検討した。

2. 実験概要

本研究の風洞実験で使用した1/100縮尺模型の断面図をFig.1に示す。本実験は、高知大学防災工学実験棟内の押し込み式室内還流型風洞(測定洞:50cm(幅)×100cm(高さ)×200cm(長さ))を使用し、風洞風速を約7.5m/sまで段階的に上昇させ応答を測定した。また、測定洞上部に設置したピトー管により速度圧を計測し、曲げまたはねじれの固有振動数によって換算風速(U/fD)を求めた。

ばね支持応答試験では、2自由度の運動が可能な状態でコイルバネとピアノ線によって模型が支持されている。曲げ/ねじれの振動数比(f_{η}/f_{ϕ})は落橋時の振動数比の2.5に近い値である2.42~2.47に設定した。また、左右に配置した電磁石を適当な間隔で離れたまま固定し、その間にアルミ板を吊り下げた電磁ダンパー(Fig.2)を用いて鉛直曲げ方向の対数減衰率を変化させることができる。なお、本研究では、ねじれの対数減衰率は0.025を維持した。

3. 電磁ダンパーの性質と対数減衰率の決定

電磁ダンパーは磁界内を移動する導体に生じる渦電流を用いて減衰力を生む装置であり、電磁石間に取り付けたアルミ板の移動に伴い、磁場の変化を打ち消す方向に渦電流が発生することで、移動方向と逆方向の抵抗力を与える。また、発生した逆起電力は運動速度に比例する磁気制動力を生じさせるため、オイルダンパーと同様に粘性ダンパーとして使用できる。電磁ダンパーに接続した電源装置の出力電圧を調整することで、電磁石の磁束密度を変化させることができるが、印加電圧と実際に得られる対数減衰率の関係性を詳しく調べる必要がある。対数減衰率の算出には、3.0mm以下の振幅の小さい範囲を除いて平均した値を用いた。印加電圧と対数減衰率の関係はFig.3に示すように、指数関数的な傾向があった。Fig.3の結果をもとに目標とする対数減衰率付近の印加電圧を決定した。

4. 旧タコマナロウズ橋の対風応答の基本特性

はじめに、基本断面における曲げ方向対数減衰率0.02の場合の渦励振とねじれフラッターの基本応答をFig.4に示す。ここで示す応答図は、横軸に換算風速、縦軸に、曲げ方向の応答図では無次元倍振幅を、ねじれ方向の応答図では単位を角度に取った倍振幅を示している。換算風速5付近から渦励振応答が確認でき、換算風速30付近からねじれフラッターの発生を確認することができた。松本らの研究²⁾では、換算風速4付近から渦励振が発生しており、曲げ方向の運動は既往の研究に近い結果を再現できている。

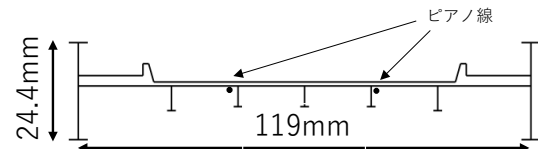


Fig.1 1/100 橋梁模型断面



Fig.2 電磁ダンパー

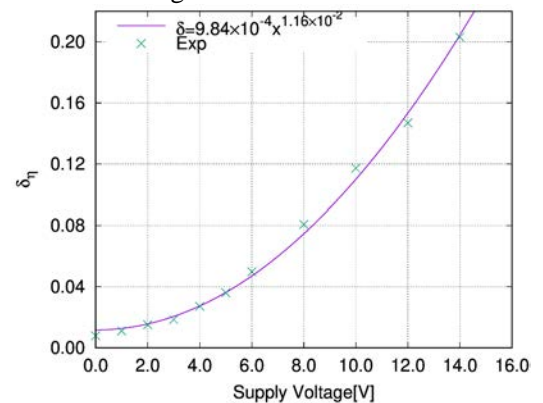


Fig.3 印加電圧と対数減衰率の関係

5. 鉛直曲げ渦励振に対する対数減衰率の影響評価

続いて、電磁ダンパーを用いて鉛直曲げ方向の対数減衰率を変化させた際の渦励振応答の変化について検討した。対数減衰率は0.01~0.05までの範囲で0.005ピッチの合計9種類について各応答を計測した。計測した結果をFig.5に示す。渦励振応答最大値は、対数減衰率の増加に伴って減少する傾向が確認できた。また、渦励振の発現風速は、対数減衰率の変化によらずほぼ同じ換算風速から発現し、収束していることが確認できる。この実験結果を用いて、渦励振最大応答値を無次元化した値と、対数減衰率を両対数軸上に指数関数で近似計算した結果をFig.6に示す。両対数軸上で無次元最大応答値と対数減衰率は直線的な傾向があることが確認できる。渦励振応答は限定振動であり、直接橋梁の落橋にはつながらない現象であるが、日常的な風速で発生するため、累積的な振動で橋梁に疲労損傷の原因となり、抑制する必要がある。今回得られた実験結果から、渦励振応答に対して減衰を付加することで空力不安定性振動を抑制することが示された。また、実橋での空力不安定性振動に対する対策として用いられるダンパーなどによる制振効果を実験によって確認することができた。

6. おわりに

本実験では、旧タコマナローズ橋の二次元部分剛体模型を作成し、渦励振とフラッターの再現を行うことができた。また、曲げ方向の対数減衰率を段階的に大きくすることによって渦励振最大応答値は指数関数的に減少することが確認できた。設計の段階で許容とする渦励振応答値に近づけるためには、どれほどの減衰を付加すればよいかという指標になり得る実験結果であり、今後、よりサンプル数を増やし異なる断面形状でも一般化した評価ができるのかなどについても検討を進めたい。

謝辞

本研究の一部は、科研費（19H02410）の助成を受けて実施された。ここに記し、謝意を表す。

参考文献

- 1) Farquharson, F.B: Aerodynamic Stability of Suspension Bridges, Univ. of Washington Experiment Station, Bulletin No.116, PART I ~PART II, 1940-1954
- 2) Masaru Matsumoto, Hiromichi Shirato, Tomomi Yagi, Rikuma Shijo, Akihito Eguchi, Hitoshi Tamaki: Effects of Aerodynamic interferences between heaving and torsional vibration of decks: the case of Tacoma Narrows Bridge, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 91, pp.1547-1557, 2003

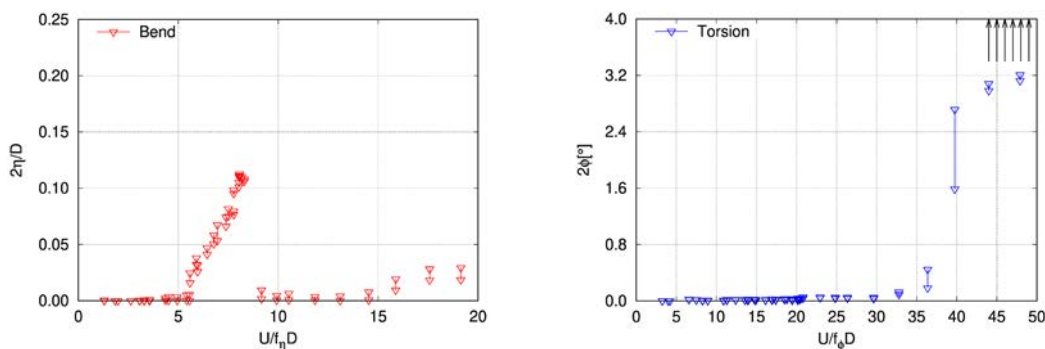


Fig.4 旧タコマナローズ橋基本断面における鉛直曲げ渦励振応答とねじれフラッター (対数減衰率:鉛直曲げ 0.02,ねじれ 0.025)

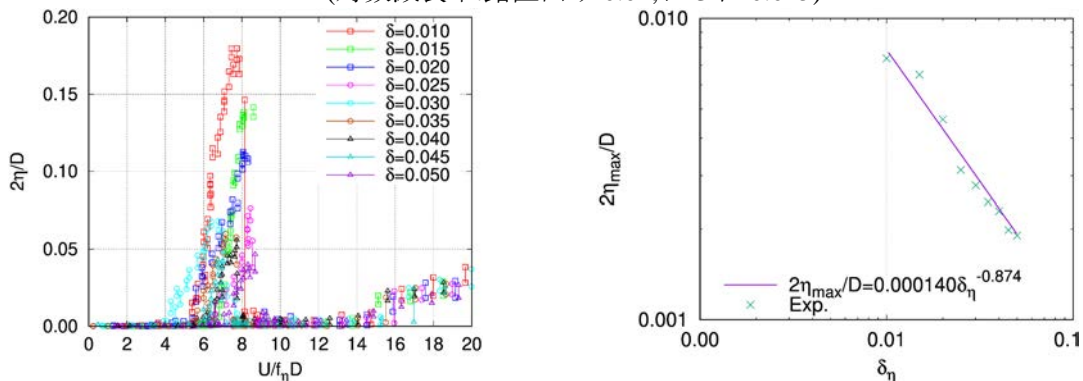


Fig.5 鉛直曲げ渦励振に対する対数減衰率の関係

Fig.6 対数減衰率に対する渦励振換算倍振幅の関係