

トラス橋斜材のカルマン渦励振に関する迎角特性

九州工業大学 学生会員 ○原田 健佑
九州工業大学 学生会員 井上 遥奈
九州工業大学 学生会員 吉井 翔太郎

九州工業大学 正会員 松田 一俊
九州工業大学 正会員 加藤 九州男

1. はじめに

長崎県の平戸島と生月島を結ぶ下路式 3 径間連続トラス橋である生月大橋が 1991 年に完成した。しかし、18 年後の 2009 年 12 月に中間橋脚付近の斜材部でき裂が発見された。本橋には、年中季節風が橋軸直角方向に吹き付けることや、それほど大型車交通量が多くないことから、この疲労き裂の発生原因は季節風による振動が原因とされ、調査の結果、20~25m/s の高風速域と 6~8m/s の低風速域で斜材の振動が確認された¹⁾。本学では低風速域における自己励起型渦励振の研究が行われ、自己励起型渦励振の応答特性が明らかにされてきた^{2), 3), 4)}。

一方、高風速域における振動はカルマン渦励振と考えられる。カルマン渦励振とは、ある限定された風速域で、カルマン渦放出周波数と固有振動数が一致する lock-in 現象による共振現象である。

また、実橋梁に吹き付ける風向きは常に橋軸直角方向ではなく、様々な方向から吹き付けるため、橋軸直角方向だけでなく異なった風向きにおける斜材への影響の検討が必要とされる。

本研究では、3 次元弾性模型を用いて応答実験及びストローハル数測定を、迎角を変化させて行い、斜材に吹き付ける風向及びアスペクト比がカルマン渦励振に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

使用する風洞は、九州工業大学所有の境界層型波浪風洞（測定部断面：高さ 1.78m×2.62m）である。写真 1 は模型設置状況であり、迎角 $\alpha=0^\circ$ 、偏角 $\beta=0^\circ$ である。

2.1 3 次元弾性模型を用いた応答実験

図 1 に模型概要を示す。模型は、断面辺長比 $B/D=1.18$ の矩形断面を有するアスペクト比 $L/D=56.9$ の 3 次元弾性模型である。模型の寸法は、長さ $L=2.8\text{m}$ 、断面高さ $D=0.50\text{m}$ 、断面幅 $B=0.59\text{m}$ である。迎角を $\alpha=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ と変化させることで、迎角がカルマン渦励振に及ぼす影響について考察する。図 2 に迎角 α 及び偏角 β の定義、表 1 に迎角 α に対する偏角 β の対比表を示す。

2.2 3 次元弾性模型を用いたストローハル数測定

応答実験と同様の模型を使用し、I 型プローブを用いて、模型静止時における、ある風速 V でのカルマン渦放出振動数 f_v を測定し、ストローハル数 St を求める。なお、カルマン渦励振発現換算風速 V_{cr} は、 $V_{cr}=V/f_v D$ を用いて、 $V_{cr}=1/St$ で推定することができる。

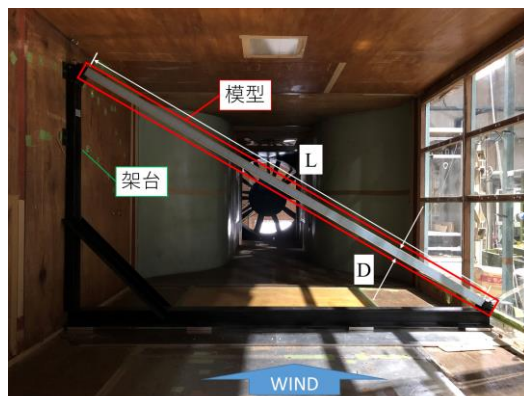


写真 1 模型設置状況

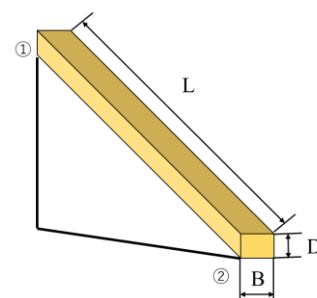


図 1 模型概要

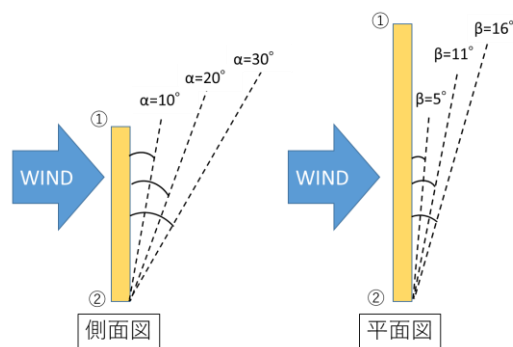


図 2 迎角 α 偏角 β の定義

表 1 迎角 α における偏角 β の対比表

$\alpha (^{\circ})$	$\beta (^{\circ})$
0	0
10	5
20	11
30	16

3. 実験結果および考察

図 3 に応答実験の結果を示す。換算風速 $V_{cr}=2$ 付近に発現が予測される自己励起型渦励振は確認できなかった。これはスクロートン数がいずれも 7.0 以上と大きいことが要因とされる。迎角 $\alpha=0^\circ$ では発現換算風速 $V_{cr}=7.4$ のカルマン渦励振からギャロッピングへと移行した。 $\alpha=10^\circ$ では発現換算風速 $V_{cr}=5.9$ でカルマン渦励振が発現し、 $\alpha=20^\circ$ は $V_{cr}=6.4$ 、 $\alpha=30^\circ$ では $V_{cr}=6.9$ と、迎角を増加させていくにつれて、発現換算風速が増加していくことが確認された。なお、発現換算風速は、無次元倍振幅 $A/D=0.01$ を基準としている。迎角 10° 以上でギャロッピングが発生しなくなる原因は、揚力係数勾配が正であることに起因していると考えられる⁵⁾。

次に、アスペクト比とカルマン渦励振発現換算風速の関係について考察する。図 4 に既往の研究⁴⁾の、アスペクト比 $As=40$ の応答実験結果を示す。 $\alpha=0^\circ$ ではギャロッピングが発生しており、 $\alpha=10^\circ$ では発現換算風速 $V_{cr}=5.6$ でカルマン渦励振が発現し、

$\alpha=20^\circ$ は $V_{cr}=6.0$ 、 $\alpha=30^\circ$ では $V_{cr}=7.0$ であり、本研究のカルマン渦励振発現換算風速と既往の研究のそれは、ほぼ同値となっている。したがって、アスペクト比と、カルマン渦励振発現換算風速の明確な関係性を見出すことはできなかった。

また、正方形角柱を用いた石原らの研究⁹⁾によると、ストローハル数 St の迎角による変化は、 $\alpha=13^\circ$ 付近で急激に上昇し、さらに迎角を増加させると徐々に減少していく傾向にあることが示されている。カルマン渦の発現換算風速 V_{cr} は、 $V_{cr}=1/St$ で与えられることから、図 3 に示す迎角とカルマン渦励振発現換算風速の関係は、既往の研究⁴⁾とほぼ対応していると考えられる。

4. まとめ

断面辺長比 $B/D=1.18$ の矩形断面を有する、アスペクト比 56.9 の 3 次元弾性模型の応答実験を、迎角を変化させて行った結果、迎角を大きくしていくにつれて、揚力係数勾配の変化に伴い、ギャロッピングが消滅し、カルマン渦励振のみが発現する傾向にあることがわかった。迎角とカルマン渦励振発現換算風速との関係は、既往の研究成果にほぼ対応した。

参考文献

- 1) 中村聖三ら：生月大橋の風況調査，土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集 I-323，pp.645-646，2012。
- 2) 玉井佑典ら：低風速域で生じるトラス橋斜材の空力振動に関する実験的研究，第 23 回風工学シンポジウム論文集，pp.211-216，2014。
- 3) Matsuda, K. et al.: Experimental Study on Aerodynamic Vibrations of a Bracing Member with a Rectangular Cross Section of The Long-Spanned Truss Bridge, Proceedings of 14th International Conference on Wind Engineering, June, 2015.
- 4) 原田健太郎ら：トラス橋斜材の 3 次元弾性模型を用いた自己励起型渦励振の応答特性に関する研究，平成 26 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，I-22，2015。
- 5) Matsuda, K. et al.: Low seed instability of two-dimensional rectangular prisms, Proceedings of ASME PVP2013, 97353, 2013.
- 6) 石原孟ら：一様流中に置かれた正方形角柱の空力特性の数値予測に関する研究，土木学会論文集 A Vol.62, No.1, pp.78-90，2006。

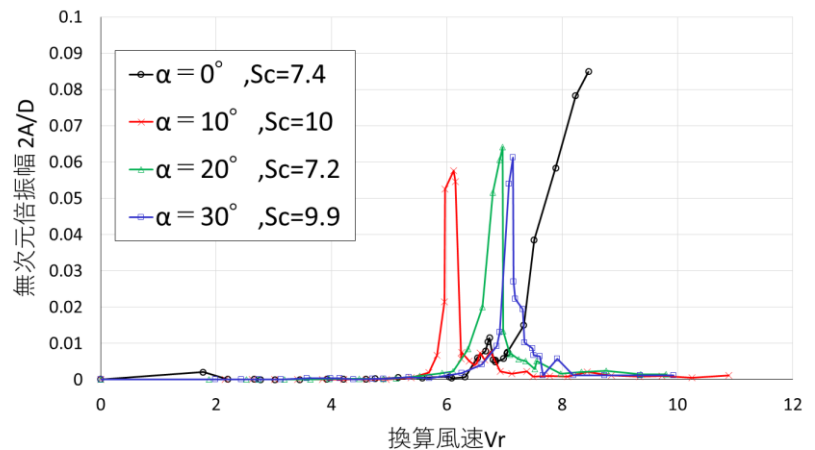


図 3 応答実験結果($As=56.9$)

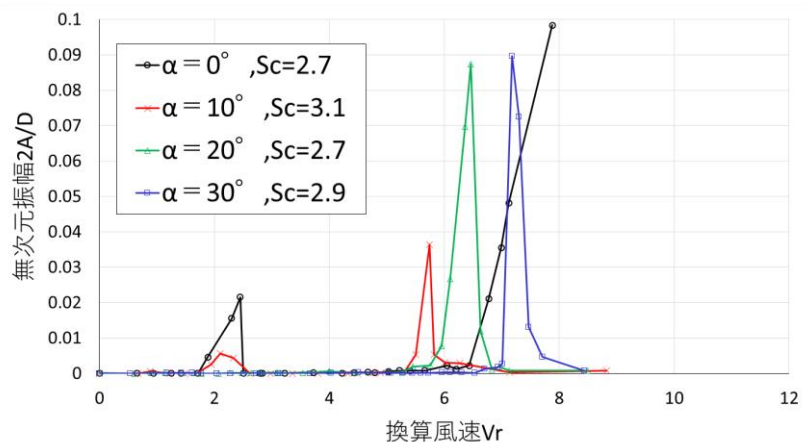


図 4 既往の研究⁴⁾の応答実験結果($As=40$)