

トラス橋斜材のカルマン渦励振に関する迎角特性

九州工業大学大学院 学生会員 〇原田 健佑
九州工業大学大学院 (研究当時) 井上 遥奈
九州工業大学大学院 学生会員 吉居 翔太郎

九州工業大学大学院 正会員 松田 一俊
九州工業大学大学院 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、6~8m/s の低風速域と 20~25m/s の高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。

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た応答実験を、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 $\alpha=0^\circ$ 、水平偏角 $\beta=0^\circ$ である。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 $D=0.050\text{m}$ 、断面幅 $B=0.059\text{m}$ である。表 1 に実験条件を示す。また、図 1 に模型の鉛直たわみ 1 次モード図を示す。模型の迎角を $\alpha=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ 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 2 に迎角 α に対する水平偏角 β の対比表を示す。

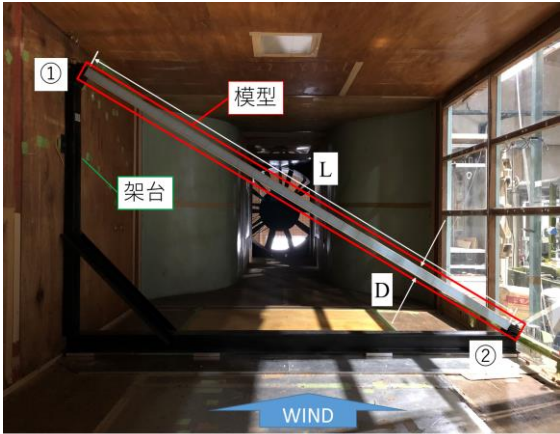


写真 1 模型設置状況

表 1 実験条件

迎角	α	[°]	0	10	20	30
振動数	f	[Hz]	16.37	16.1	16.88	17.12
構造減衰 (対数減衰率)	δ	[-]	0.00905	0.0126	0.00875	0.0121
空気密度	ρ	[kg/m ³]	1.223	1.23	1.223	1.22
スクルー トン数	Sc	[-]	7.4	10.24	7.15	9.92

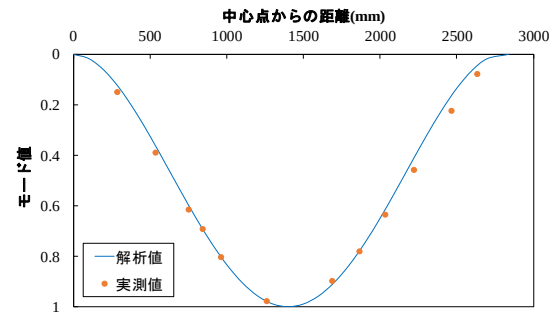


図 1 鉛直たわみ 1 次モード図

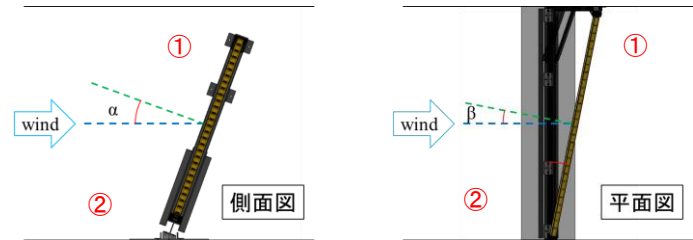


図 2 迎角 α 及び水平偏角 β の定義

表 2 迎角 α に対する水平偏角 β の対比表

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

キーワード カルマン渦励振, 風洞実験, 迎角
連絡先 住所: 〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1, 電話: 093-884-3466

3. 実験結果および考察

図3に応答実験結果を示す。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。これはスクリーン数がいずれも 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 $V_{cr}=6.6$ 、 $\alpha=30^\circ$ では $V_{cr}=7.0$ 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 $2A/D=0.02$ を基準としている。一方、正方形角柱を用いた石原らの研究⁵⁾によると、ストローハル数 St は、 $\alpha=0^\circ$ から $\alpha=13^\circ$ 付近にかけて上昇し、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から得られる迎角とカルマン渦励振発現換算風速の関係は、石原らの研究⁵⁾とほぼ対応している。また、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⁹⁾。

図4に既往の研究⁴⁾の、アスペクト比 $As=40.6$ の応答実験結果を示す。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。既往の研究はフランジ突起を有する実機断面を用いた実験であることから、フランジ突起の有無が発現換算風速に与える影響は小さいと考えられる。Matsuda, K. et al の研究⁷⁾においても、矩形断面とフランジ突起を有する実機断面のカルマン渦励振発現換算風速の差は小さいことが示されている。

また、表2より図3の応答実験は迎角 α を変化させるとともに水平偏角 β も変化している。そこで、図5に別途行った水平偏角 β のみを変化させた実験結果を示す。いずれの水平偏角においても、ほぼ同じ換算風速でカルマン渦励振が発現しギャロッピングへと移行したため、図3及び図4の結果は迎角の影響が大きいと推察される。

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、迎角が大きくなると、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) 石原孟ら：一様流中に置かれた正方形角柱の空気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.
- 6) Matsuda, K. et al.: Low seed instability of two-dimensional rectangular prisms, Proceedings of ASME PVP2013, 97353, 2013.
- 7) Matsuda, K. et al.: Effects of rectangular column flanges in steel structures on motion-induced vortex vibration, Proceedings of the ASME-JSME-KSME 2019 Joint Fluids Engineering Conference (AJKFLUIDS2019), 4620, 2019.

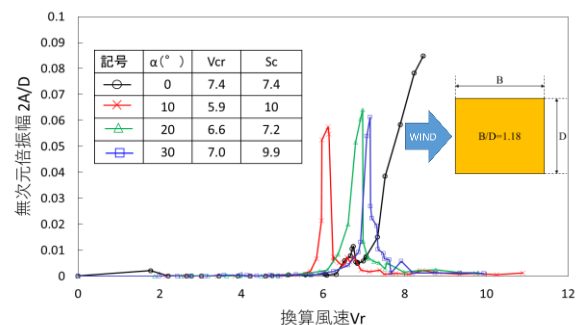


図3 応答実験結果($As=56.9$)

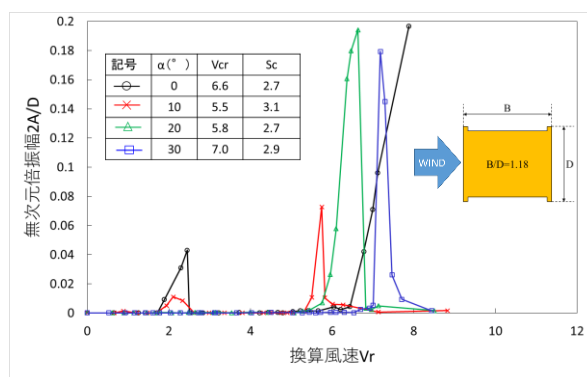


図4 既往の研究⁴⁾の応答実験結果($As=40.6$)

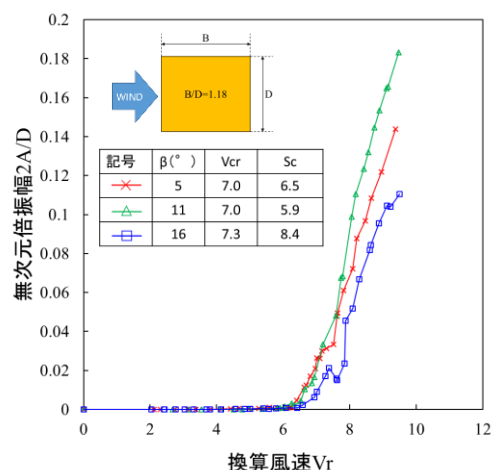


図5 応答実験結果($As=56.9$, $\alpha=0^\circ$)