

トラス橋斜材におけるカルマン渦励振推定発現風速の過大評価について ～アスペクト比がカルマン渦励振発現風速に及ぼす影響～

九州工業大学 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 学生会員 井上 遥奈

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に、2009年12月中間橋脚付近の斜材部でき裂が発見され、これは季節風が橋軸直角方向に吹き付けることによる振動が原因と考えられた。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⁾。そこで本学では、これまで低風速域における自己励起型渦励振について研究が行われ、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)}。

ところで、高風速域における振動はカルマン渦励振と考えられるが、カルマン渦励振発現換算風速 V_{cr} の推定式 $V_{cr}=1/St$ より、カルマン渦励振推定発現風速は28.1m/sとなり、上記の調査結果では20~25m/sで振動が確認されていることから、カルマン渦励振推定発現風速は過大評価である。また、図1に既往の研究結果を整理したもの示す。図1より、アスペクト比の増加に伴い、カルマン渦励振発現換算風速が低下する傾向にあることがわかる。

本研究では、異なるアスペクト比を有する2種類の3次元弾性模型を用いた応答実験および様々なアスペクト比におけるストローハル数計測を行い、アスペクト比がカルマン渦励振発現換算風速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

今回の実験で使用する風洞は、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×幅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

使用する2種類の模型は断面辺長比 $B/D=1.18$ の矩形断面で、アスペクト比はそれぞれ30.0, 56.9とし、既往の研究結果と比較することで、アスペクト比がカルマン渦励振発現換算風速に及ぼす影響について考察する。

2.2 3次元弾性模型を用いたストローハル数計測

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、4風速での各カルマン渦放出振動数を測定し、直線の勾配からストローハル数を算出する。また、移動隔壁を風洞内に設置し、アスペクト比を変化させることでストローハル数に及ぼすアスペクト比の影響について考察する。

3. 実験結果および考察

図2に応答実験の結果を示す。カルマン渦励振については、アスペクト比30.0では換算風速 $V_r=6.3$ で、アスペクト比56.9では換算風速 $V_r=7.4$ で発現している。カルマン渦励振発現換算風速はカルマン渦放出振動数を無次元化したストローハル数 $St=f_v D/V$

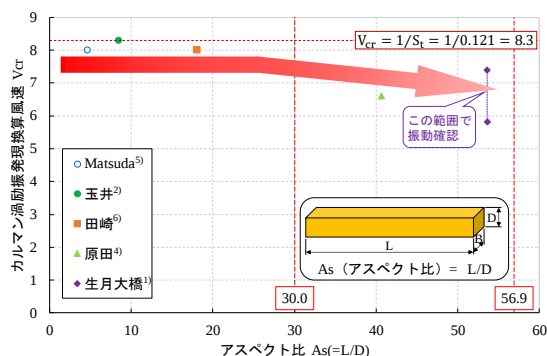


図1 既往の研究結果

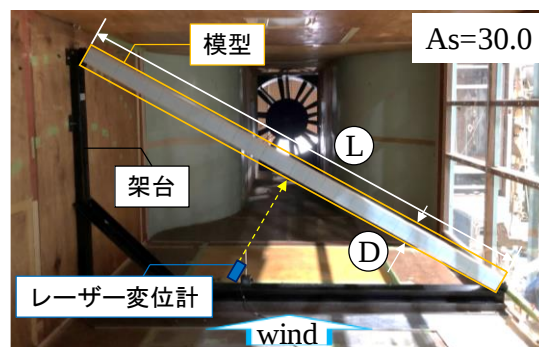


写真1 模型設置状況

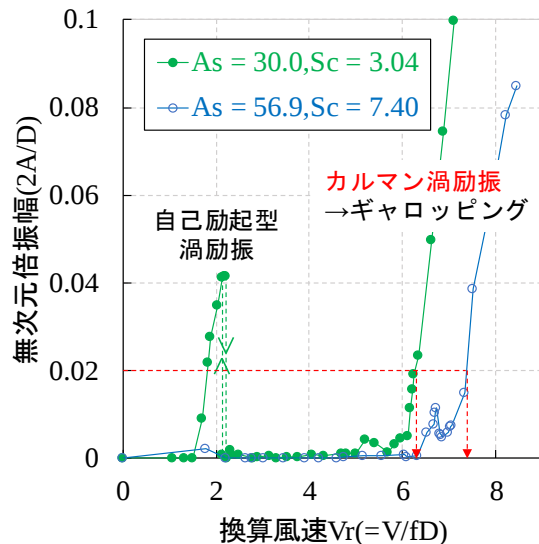


図2 応答実験結果

(f_v : カルマン渦放出振動数, D : 矩形柱の流れ直角方向断面高さ, V : 風速) を用いて, $V_{cr}=1/St$ で推定することができる. 断面辺長比 $B/D=1.18$ の矩形断面のストローハル数計測値は $St=0.121$ ⁷⁾ より, カルマン渦励振発現換算風速 V_{cr} を推定すると $V_{cr}=1/St=1/0.121=8.3$ となり, アスペクト比 30.0, 56.9 の実験結果において, とともに推定換算風速より低い風速でカルマン渦励振が発現している. このことよりアスペクト比が大きくなると断面形状に固有であるストローハル数が大きくなる可能性があると考えられる.

次に, 図 3 に様々なアスペクト比でのストローハル数計測結果を示す. 既往の研究⁷⁾ (アスペクト比 $As=10.8$ のときストローハル数 $St=0.121$) と比較して, 計測ストローハル数がいずれのアスペクト比においても大きい結果となった. また, 隔壁を用いず計測を行った, アスペクト比 30.0 のストローハル数は $St=0.149$, アスペクト比 56.9 のストローハル数は $St=0.137$ であり, アスペクト比 30.0 のほうがアスペクト比 56.9 よりストローハル数が大きい結果となったが, 応答実験の結果, アスペクト比 30.0 のほうがカルマン渦励振発現換算風速が低いことから, この結果は妥当であると考えられる.

さらに, 図 4 に既往の研究を含めた応答実験結果に様々なアスペクト比でのストローハル数から推定されるカルマン渦励振発現換算風速の結果を示す. これより, アスペクト比が大きくなると, ストローハル数が大きくなり, カルマン渦励振発現換算風速が低下している可能性があると考えられる. また, 一般的なカルマン渦励振発現風速の推定は, アスペクト比の小さい 2 次元剛体模型を使用して計測したストローハル数を用いるため, 実際には推定風速より低い風速でカルマン渦励振が発現する可能性があり, 耐風設計上危険側の評価につながる場合も想定される. ただし, 断面辺長比 $B/D=1.18$ で矩形断面のトラス橋斜材に限る.

4. 結論および今後の課題

断面辺長比 $B/D=1.18$ の矩形断面で, アスペクト比 30.0, 56.9 である 3 次元弾性模型の応答実験を行った結果, アスペクト比が大きくなると, 推定換算風速より低い風速でカルマン渦励振が発現した. また, 移動隔壁を風洞内に設置しアスペクト比を変化させ, ストローハル数を計測した結果, アスペクト比が大きくなると, ストローハル数が大きくなることがわかった. つまり, アスペクト比が大きくなると, ストローハル数が大きくなり, カルマン渦励振発現換算風速が低下している可能性がある. これが生月大橋におけるカルマン渦励振推定発現風速が過大評価になった要因であると考えられる. また, 一般的なカルマン渦励振発現風速の推定は, アスペクト比の小さい 2 次元剛体模型を使用して計測したストローハル数を用いるため, 実際には推定風速より低い風速でカルマン渦励振が発現する可能性があり, 耐風設計上危険側の評価につながる場合も想定される. ただし, 断面辺長比 $B/D=1.18$ で矩形断面のトラス橋斜材に限る.

今後の課題として, アスペクト比がストローハル数に与える原因の解明, アスペクト比の変化によるストローハル数の補正係数を考えることが挙げられる.

参考文献

- 1) 中村型三ら: 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.: Experimental Study on Aerodynamic Vibrations of rectangular cross sections having low side ratios, Proceedings of 8th International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications, 2016.
- 6) 田崎賢治ら: 剥離干渉効果を利用した矩形断面柱の耐風制振法, 平成 5 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, I-52, 1994.
- 7) Matsuda, K. et al.: Low Speed Instability of Two-Dimensional Rectangular Prisms, Proceedings of the ASME 2013 Pressure Vessels and Piping Conference (PVP2013), 97353, 2013.

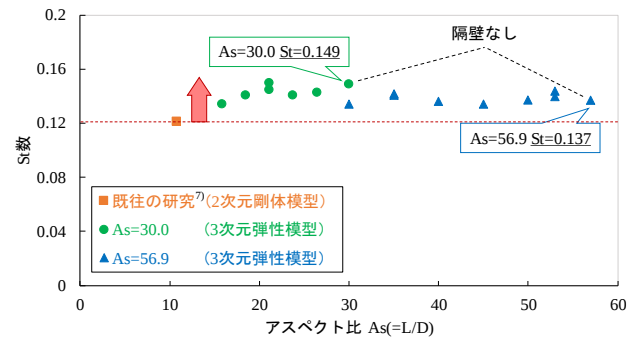


図 3 アスペクト比 As と
ストローハル数 St の関係

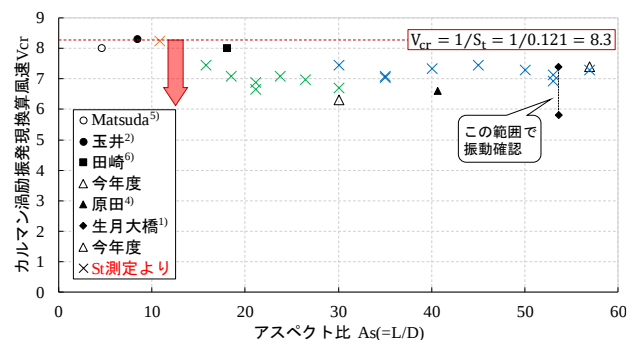


図 4 アスペクト比 As と
カルマン渦励振発現換算風速 V_{cr} の関係