

連続斜張橋の固有振動特性およびフラッター特性に関する解析的検討

九州工業大学大学院 学生会員○山口 鈴人 正会員 松田 一俊
株式会社 IHI インフラシステム 秦 聡一朗 杉本 高志

1. はじめに

近年海外では Queensferry Crossing や Rion-Antirion Bridge のような連続斜張橋が建設されている。従来国内外で建設されてきた斜張橋の多くは、2主塔3径間タイプであり、連続斜張橋である3主塔4径間や4主塔5径間タイプとなった場合の固有振動特性やフラッター特性についての検討事例は少ないのが現状である。そこで、本研究では、連続斜張橋の径間数および主塔構造諸元（主塔高さ、面外曲げ剛性）を変化させ、それらが固有振動特性およびフラッター特性に与える影響を解析的に検討した。

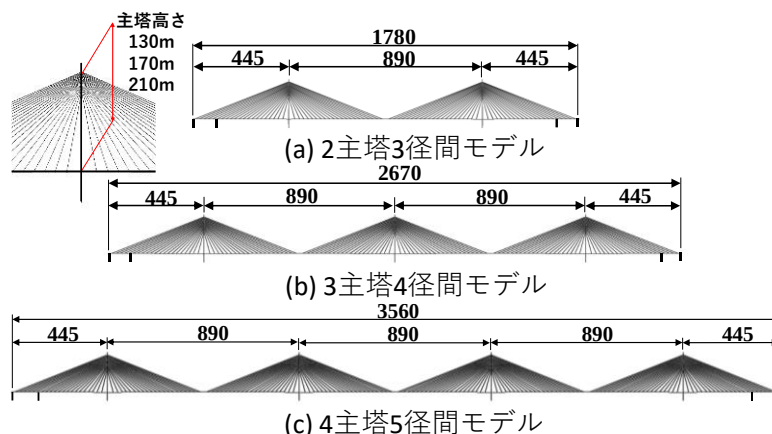


図-1 解析モデル (単位: m)

2. 解析モデル・解析概要

解析モデルは、多々羅大橋の中央径間長を参考に、支間中央で線対称となるように2主塔3径間モデルを作成した。同様に、橋軸方向中央で線対称となるように3径間4主塔モデルおよび4主塔5径間モデルを作成した。図-1に示す各モデルは、3次元立体骨組み解析モデルであり、桁、主塔、橋脚は梁要素、ケーブルはトラス要素とした。主塔の面外曲げ剛性は1倍、10倍、20倍に変化させた。主塔高さは、桁上で130m、170m、210mの3種類とした。気流傾斜角は0, $\pm 3\text{deg.}$ 、平均風速鉛直分布のべき指数は1/7とし、風速は中央支間中央の桁高度における数値とした。逐次荷重増分法による静的風荷重を載荷させた状態で50次までの固有値解析を行い、モード重ね合わせ法によるフラッター解析を行った。構造減衰（対数減衰率）は全モードとも $\delta=0.02$ とした。三分力および非定常の各空気力係数は、断面辺長比 $B/D=33.3$ の一平板のCFD解析値¹⁾を用いた。

3. 固有振動特性

図-2に主塔高さ170mの各解析モデルの無風時固有振動モードおよび固有振動数を示す。径間数の増加とともに固有振動数は低下する傾向にあり、とくに4主塔5径間モデルの桁鉛直たわみ1次モード固有振動数は、2主塔3径間モデルのそれに比べ約65%低下する。この低下は、支間中央付近の見かけの桁鉛直たわみ剛

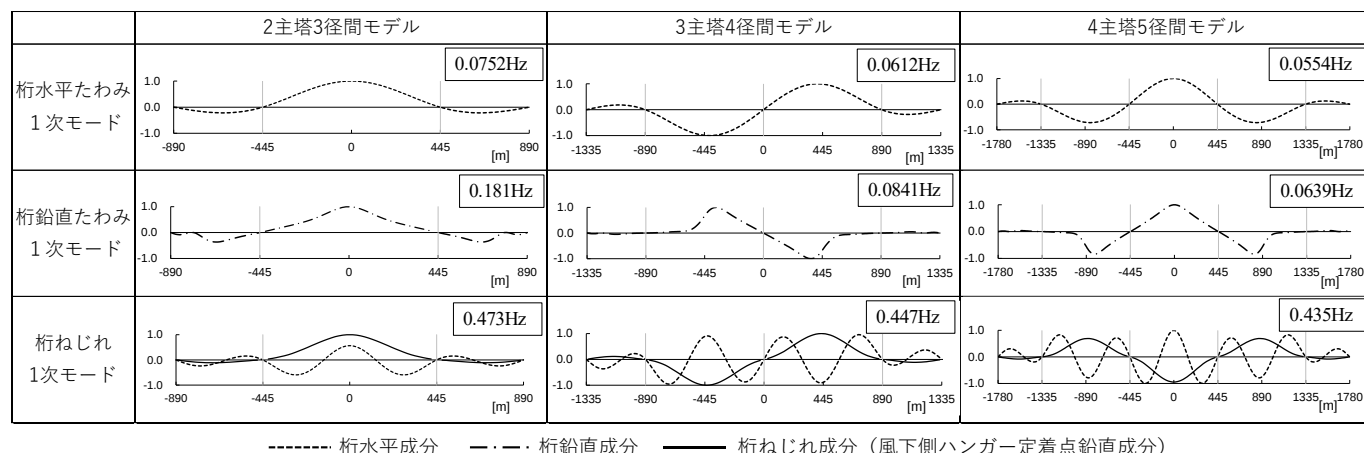


図-2 無風時固有振動モード (主塔高さ 170m)

キーワード 連続斜張橋, 固有振動特性, フラッター特性, フラッター解析

連絡先 〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1 九州工業大学大学院 工学研究院 建設社会工学研究系 TEL093-884-3466

性の低下²⁾に起因することから何らかの対策が望まれる。ここでは中間主塔のみの面外曲げ剛性を増加させて桁鉛直たわみ1次モードおよび桁ねじれ1次モードの各固有振動数に与える影響を調べた。2主塔3径間モデルについては、主塔2基の剛性を増加させた。その結果を図-3 および図-4 に示す。いずれの解析モデルとも主塔面外曲げ剛性の増加とともに桁鉛直たわみ1次モード固有振動数が増大する。また表-1 よりこの増大効果は、径間数が多いほど顕著であることが分かる。これは径間数が多いほど見かけの桁鉛直たわみ剛性が低下する要因である中間主塔の基数が多いため、剛性増加の影響を受け易いことが考えられる。

4. フラッター特性

主塔高さ 210m の各解析モデルの気流傾斜角 0deg.におけるフラッター解析結果を図-5 に示す。各モデルともフラッター風速は 100m/s を超過している。さらに主塔高さ 210m, 主塔面外曲げ剛性倍率 20 倍の各モデルについて、気流傾斜角±3deg.におけるフラッター解析結果を図-6 に示す。気流傾斜角±3deg.においてフラッター風速が 70~80 数 m/s に低下した要因は、中央径間中央付近の桁に作用する非定常空気力係数 C_{M0i} が正值となることから、フラッター特性がねじれフラッターに変化したことが考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた知見は、以下のとおりである。なお、別途活荷重たわみ特性の検討³⁾も実施している。

- (1) 径間数の増加とともに固有振動数は低下するが、主塔面外曲げ剛性の増加とともに桁鉛直たわみ1次モード固有振動数が増大する傾向にある。この増大効果は、径間数が多いほど顕著である。
- (2) 気流傾斜角 0deg.の場合、各モデルともフラッター風速は 100m/s 超となったが、気流傾斜角±3deg.の場合、ねじれフラッターとなり 70~80 数 m/s に低下した。

表-1 桁鉛直たわみ1次モード固有振動数
(主塔高さ 210m) [Hz]

	主塔面外剛性倍率		増加分	比率
	①1倍	②20倍	②-①	②/①
2主塔3径間モデル	0.192	0.221	0.0290	1.15
3主塔4径間モデル	0.0868	0.113	0.0262	1.30
4主塔5径間モデル	0.0665	0.111	0.0445	1.67

参考文献

- 1) 田邨拓海, 黒田眞一, 山内邦博, 松田一俊, 佐藤弘史, 森内 昭: 数値流体解析および風洞実験による各非定常空気力係数を用いた長大箱桁吊橋のフラッター解析に関する比較検討, 風工学研究論文集, 第26巻, pp.268-277, 2020.
- 2) Niels J. Gimsing, 伊藤 學監訳: 吊形式橋梁—計画と設計—, 建設図書, 1990.
- 3) 岡田誠司, 秦総一郎, 杉本高志, 山口鈴人, 松田一俊: 連続斜張橋の活荷重たわみ特性に関する一検討, 土木学会第76回年次学術講演会講演概要集, 2021(発表予定).

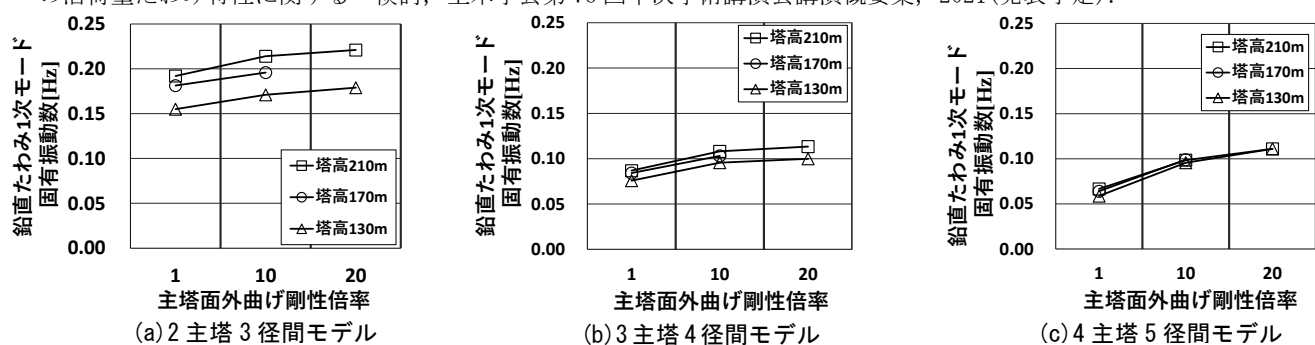


図-3 主塔高さ・主塔面外曲げ剛性別の桁鉛直たわみ1次固有振動数

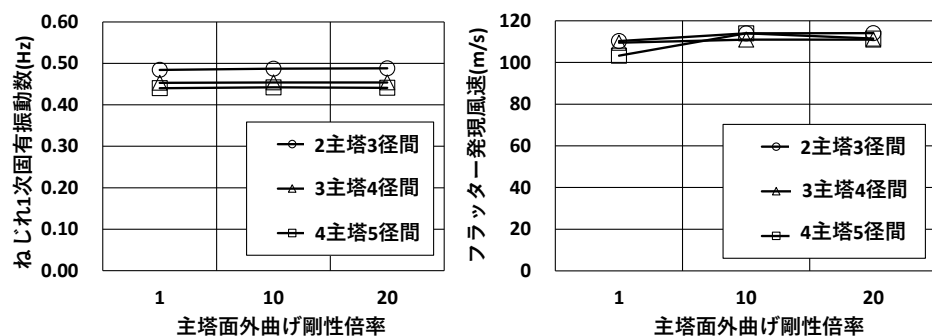


図-4 主塔面外曲げ剛性別の桁ねじれ1次固有振動数 (主塔高 210m)

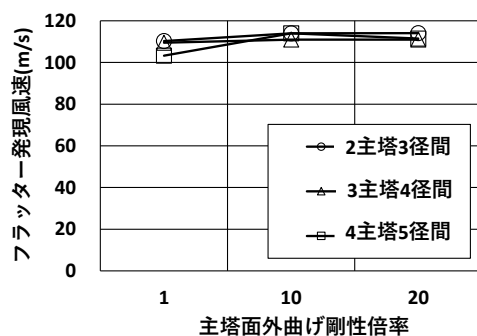


図-5 フラッター風速 (主塔高さ 210m, 気流傾斜角 0deg.)

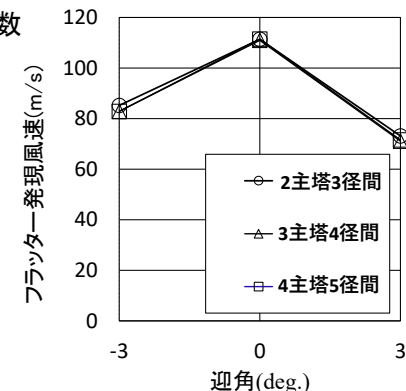


図-6 フラッター風速 (主塔高さ 210m, 剛性倍率 20 倍)