

中央径間長 3000m を有する二箱桁形式超長大多径間吊橋の耐風安定性に関する研究

首都大学東京大学院 学生会員 ○岩下慎吾 首都大学東京 正会員 中村一史

中央大学 正会員 平野廣和

首都大学東京 フェロー会員 野上邦栄 正会員 村越 潤

大日本コンサルタント(株) 石井喜代志 正会員 平山 博

1. はじめに

近年、吊橋の長大化に向けた構造形式として、多径間吊橋が採用される例が相次いでいる。中国では中央径間長 1080m の 4 径間吊橋（秦州長江大橋・馬鞍山長江公路大橋）が完成し、チリでは中央径間長 1155m の 4 径間吊橋チャカオ橋が建設中である。長大吊橋では耐風安定性の確保が重要となるが、支間が長くなるほどフラッター限界風速は低下し、一箱桁の適用が困難になる。本研究では中央径間長 3000m の超長大多径間吊橋に開口部を有する二箱桁を適用し、さらにセンターステイを設置してフラッター限界風速の向上を試みた。

2. 対象橋梁と設計条件

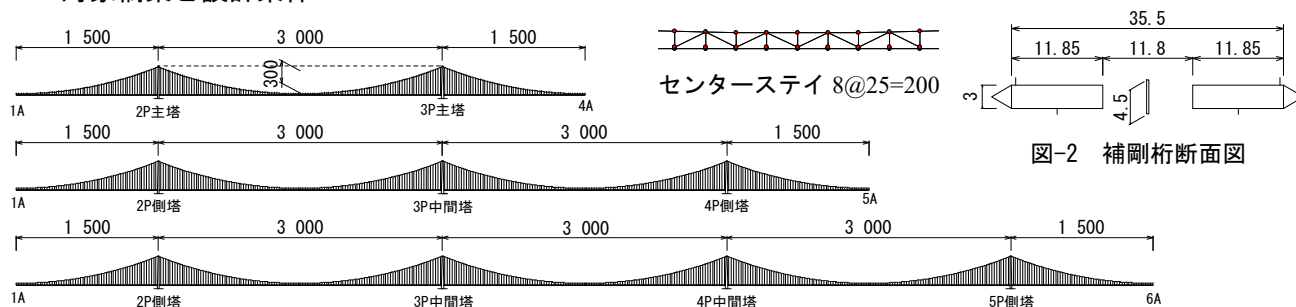


図-1 試設計で対象とした多径間吊橋（単位：m）

本研究で扱う橋梁は、3、4、5 径間 2 ヒンジ吊橋である（図-1）。補剛桁は

図-2 に示す空力特性に優れた二箱桁断面形式であり、中央部にセンターバ

リアを有する。表-1 に、材料諸元を示す。主ケーブルはサグ比 1/10 とし、材

料は ST1770 を用い、安全率は海峡横断道路ケーブル安全率検討委員会¹⁾の

成果から 1.8 を適用している。主塔は 6 層ラーメン形式であり、主要部材の

断面は本州四国連絡橋公団の設計基準²⁾により、応力度照査ならびに座屈

安定照査を満足するように設計した（表-2）。特に中間塔の塔柱は、活荷重偏載による発生応力が高いため、

側塔より剛性の高い断面になっている。さらなる耐風安定化策として各中央径間の中央部 200m の区間にセ

ンターステイを設けた。

3. 解析方法

マルチモード連成フラッター解析³⁾によりフラッター

一限界風速を推定する。まず固有振動モードと固有振

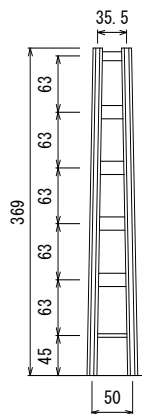


図-3 主塔正面図

表-1 材料諸元

部位	補剛桁	主塔柱	塔水平材	ケーブル	ハンガー
鋼種	SM490Y	SM570	SM490Y	ST1770	ST1570
許容応力度(MPa)	210	255	210	981	628

表-2 主要部材断面諸元

	A(m ²)	I _{yy} (m ⁴)	I _{zz} (m ⁴)	J(m ⁴)
補剛桁	1.117	2.184	174.3	3.651
3 径間吊橋主塔-柱	5.495	99.422	223.522	135.835
4.5 径間吊橋側塔-柱	~2.804	~47.733	~46.890	~49.406
4.5 径間吊橋 中間塔-柱	8.230	157.560	727.136	261.440
	~4.072	~73.148	~110.675	~91.460

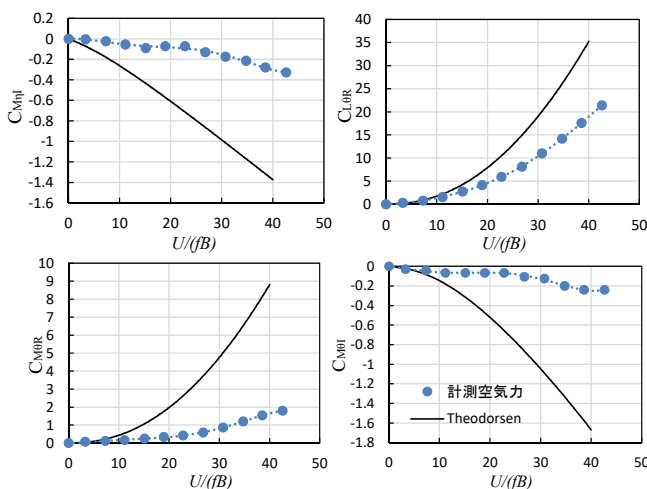


図-4 非定常空気力

キーワード 耐風 吊橋 多径間 フラッター センターステイ 二箱桁

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL : 042-677-1111 Email: iwashita-shingo1@ed.tmu.ac.jp

動数を得るため、全体系を骨組み構造でモデル化し、固有振動解析（100 次）を実施した。フラッター解析で考慮する非定常空気力は図-4 に示す風洞実験による計測結果⁴⁾を用いた。無風時の対数減衰率は、0.02 とした。

4. 解析結果と考察

(1) センターステイなし

表-3 にフラッター限界風速を、図-5 に風速-減衰曲線をそれぞれ示す。表中の一箱桁の値は、一連の研究結果⁵⁾によるものであり、非定常空気力は平板翼理論 (Theodorsen) に基づくものである。これに対し二箱桁の非定常空気力を考慮した結果は、限界風速が約 26% 向上している。しかし、明石海峡大橋のフラッター照査風速 (78m/sec) には達しなかった。図-6 に、4 径間吊橋のフラッター振動モードの内訳を示す。(a), (b), (c) に示す 3 つの主要な振動モードはいずれも橋軸方向に対する主ケーブルと補剛桁の相対変位を伴う逆対称振動であることがわかり、これらの振動を抑制するためにセンターステイを適用することが考えられた。

(2) センターステイあり

表-3, 図-5 より、センターステイの設置によりフラッター限界風速の向上に一定の効果が見られた。図-7 に示すフラッター発生時の振動モードを見ると、同図(a)の鉛直 1 次の振動数は 0.04Hz となり、図-6(a)の鉛直 2 次 0.054Hz より低い振動数のモードが寄与している。一方で図-7(c)のねじり振動モードは逆対称から対称に変化しているが、振動数は 0.111Hz のまま変わらなかった。したがって、センターステイの設置後は鉛直振動とねじり振動の振動数の差が広がり、低風速での振動モードの連成を防ぐことになり、フラッター限界風速が向上したものと考えられる。なお、図を略したが、一箱桁に対して同様にセンターステイを設置したところ、全く効果がなかった。これはフラッター振動モードがすべて補剛桁とケーブルの相対変位を伴わない対称振動であったためと考えられる。したがって、センターステイが有効となるのはフラッターに伴う振動モード形状が主に逆対称成分で成り立っている場合であるといえる。

5. まとめ

二箱桁の適用により、径間数に拠らず一箱桁と比べてフラッター限界風速が上昇した。さらに、対象橋梁のフラッター振動特性を分析して適切な対策を施すことで、より高いフラッター限界風速を得ることができた。

参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団：海峡横断道路ケーブル安全率検討委員会報告書，2003.3
- 2) 本州四国連絡橋公団編：上部構造設計基準・同解説，1989.4
- 3) 岩本政巳：吊形式橋梁に関するフラッターを中心とした空力振動予測，東京大学学位論文，1995.3
- 4) 出野麻由子，住吉文太，曾我明，井上浩男：付加物を有する二箱桁断面における耐風安定性の検討，構造工学論文集，Vol.53A，pp.637-638，2007.3
- 5) 岩下慎吾，中村一史，野上邦栄，石井喜代志，平山博：中央径間長 3000m を有する超長大多径間吊橋の耐風安定性と安定化策に関する基礎的検討，土木学会第 73 回年次学術講演会概要集，pp.567-568，I-284，2018.

表-3 フラッター限界風速（単位：m/sec）

	一箱桁 ⁵⁾	二箱桁	二箱桁+センターステイ
3 径間吊橋	52.6	64.6	72.6
4 径間吊橋	51.2	64.5	74.1
5 径間吊橋	50.8	64.5	74.2

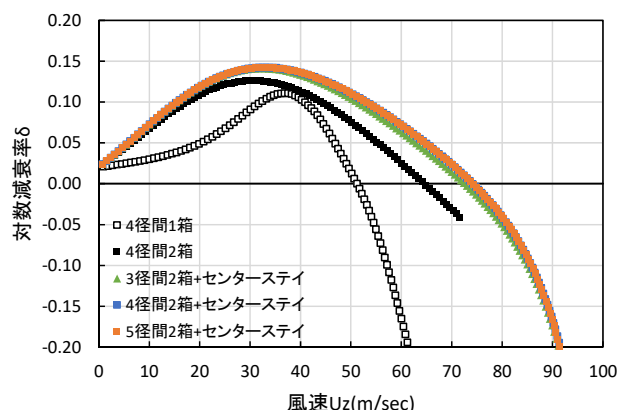


図-5 風速 U_z - 減衰曲線

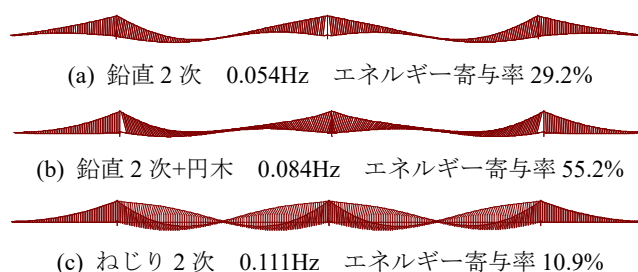


図-6 フラッター振動モードの内訳（センターステイなし）

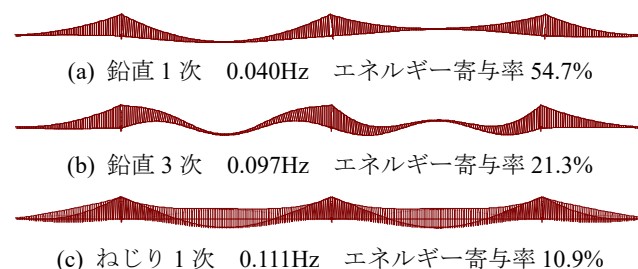


図-7 フラッター振動モードの内訳（センターステイあり）