

I - 695

ケーブルステイ方式による超長大吊橋の耐風安定化に関する研究

住友重機械工業(株) ○正員 荒 居 祐 基

〃 正員 宮 崎 正 男

〃 正員 久 保 田 浩

〃 鈴 木 義 光

1. まえがき

超長大吊橋では、その支間長の増加とともに、特にねじれ固有振動数の低下が著しいことはよく知られている。このねじれ振動数の低下に伴って、空力不安定振動としての曲げねじれフラッタの発生風速は急激に低下し、耐風設計上の重大な問題となっている。著者らは既往の研究¹⁾において、この超長大吊橋における曲げねじれフラッタの安定化対策として、構造力学的なケーブルステイ方式が有効な一手法となり得ることを解析的に示しているが、本研究では超長大吊橋の全橋縮尺構造模型を用いた振動実験の実施し、各種ケーブルステイ方式の有効性の検証を行った。具体的には、図-1に示す水平ステイ方式と対角ステイ方式による吊橋ねじれ固有振動数の上昇効果を確認した。その実験結果について報告する。

2. 吊橋全橋模型

検討の対象とした実橋モデルは、中央支間長2500mの3径間2ヒンジ吊橋である。振動実験は実橋モデルの縮尺1/100の構造模型を使用して行った。表-1に全橋模型の構造諸元一覧を示す。なお、実橋換算した模型の構造諸元および固有振動数より曲げねじれフラッタの発生風速を試算すると $V_{cr}=69\text{m/s}$ となる。

3. 水平ステイの効果

実験結果の一例として、各ステイ方式の設置前後の固有振動数計測結果を表-2に示す。各ステイ方式はねじれモードの固有振動数のみを上昇させる効果があり、鉛直曲げや水平曲げモードの固有振動数に対しては影響を及ぼさないことが確認できる。このうち水平ステイに関しては、ねじれ対称1次モードの固有振動数に特に効果が大きく、逆対称モードではわずかな振動数上昇にとどまっている。これは水平ステイが桁ねじれ振動時に連成する主ケーブルの橋軸方向逆対称振動（塔のねじれ振動）を拘束し、見かけ塔のねじれ剛性を補完して吊橋のねじれ振動数を上昇させることから、桁のねじれ振動に伴う塔頂の振動振幅が極めて小さい逆対称モードや対称2次モードでは、水平ステイの効果は十分に発揮されないことに起因する。このことは図-2に示す水平ステイ設置前後の振動モード図からも明かといえる。

また、水平ステイ設置ケースの実験における特異な現象として、ねじれ対称1次モードの固有振動数で模型を定常加振した後に自由減衰振動させると、最大振幅点となる中央径間L/2点における減衰はかなり大きく、振動モードが対称1次から逆対称1次へ変化することが確認された。これは水平ステイが吊橋をねじれ対称1次モードで振れにくくしていることを示すものである。このときの振動波形図の一例を図-3に示す。

4. 対角ステイの効果

3.で示したように水平ステイは逆対称モードに対しては効果が小さい。したがって、対称モードとなるフラッタの発生風速は上昇しても、状況によっては逆対称モードのフラッタ発生の危険性が残る。そこで既往の研究²⁾などで示されている対角ステイ方式の採用により、ねじれ逆対称モードの振動数上昇を図ることとした。表-2によれば、対角ステイの設置によりねじれ逆対称1次の固有振動数は大幅に上昇し、さらに対称モードにも効果が現れている。また、表-3は対角ステイの設置位置をパラメータとした実験結果であるが、対角ステイの設置は逆対称モードの最大振幅点となるL/4点付近が最も効果的となっている。

以上により、水平ステイと対角ステイを組み合わせれば、ねじれ対称・逆対称ともに固有振動数を上昇させることが可能となり、今回の実験ケースでは対称モードで39%、逆対称モードで57%の振動数上昇となった。よって、曲げねじれフラッタの発生風速は試算で $V_{cr}>100\text{m/s}$ となり、大幅なフラッタ発生風速の上昇による耐風安定性の改善が大いに期待できる。

5. まとめ

超長大吊橋に発生が予想される曲げねじれフラッタの耐風安定化対策として、水平ステイ方式と対角ステイ方式の組み合わせが有効であることを全橋模型振動実験により確認することができた。

なお、本研究の一部は（社）国際建設技術協会の巨大プロジェクト新技術開発調査長大橋梁上部工小分科会の業務の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) 荒居, 宮崎: 超長大吊橋の耐風設計と水平ステイシステムに関する研究, 第13回風工学シンポジウム論文集, 1994年12月
- 2) 亀井ほか: 対角ステイを有する吊橋の研究, 住友重機械技報, Vol. 17/No. 47, 1969年8月

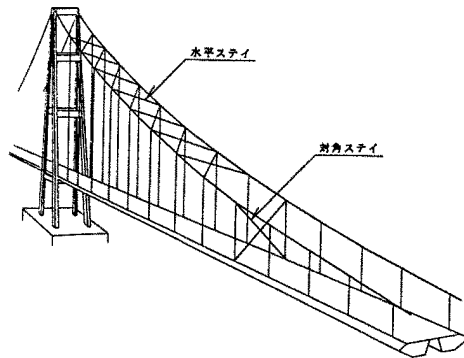


図-1 水平ステイ・対角ステイ概要図

表-1 全橋模型構造諸元一覧

項目	単位	諸元
支間割	m	12.5+25.0+12.5
ケーブルサグ比	—	1/3
ケーブル間隔	cm	40.0
死重	kgf/m	1.81
活重	kgf/m	2.64
重合計	kgf/m	4.45
振モーメント	kgf・cm ² /m	724
慣性矩	kgf・cm ⁴ /m	340
慣性矩合計	kgf・cm ⁴ /m	1064
耐風性	kgf・cm ²	1.22×10 ⁴
ねじれ	kgf・cm ⁴	1.65×10 ⁴
固有振動数	Hz	0.526
ねじれ	Hz	1.556

表-2 固有振動数計測結果 (Hz)

ケース	鉛直曲げ(1次)		ねじれ(1次)		備考
	対称	逆対称	対称	逆対称	
1	0.547 (0.526)	0.703 (0.683)	1.680 (1.656)	1.836 (1.795)	ステイ無し
2	0.547	0.703	2.285	1.914	水平ステイ設置 (設置区間: 全長の48%区間)
3	0.547	0.703	1.953	2.891	対角ステイ設置 (設置位置: 中央径間L/4点2箇所)
4	0.547	0.703	2.344	2.891	水平ステイ+対角ステイ (ケース2と3の組み合わせ)

※()内は解析値

表-3 対角ステイ設置位置の影響 (Hz)

ケース	ねじれ(1次)		備考
	対称	逆対称	
1	1.680	1.836	ステイ無し
2	1.875	2.070	中央径間L/3点2箇所
3	1.953	2.891	中央径間L/4点2箇所
4	1.719	2.285	中央径間L/8点2箇所

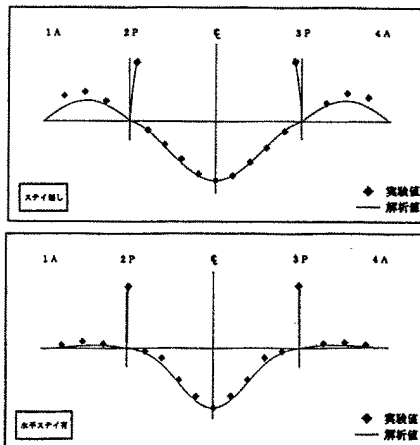


図-2 ねじれ対称1次振動モード図

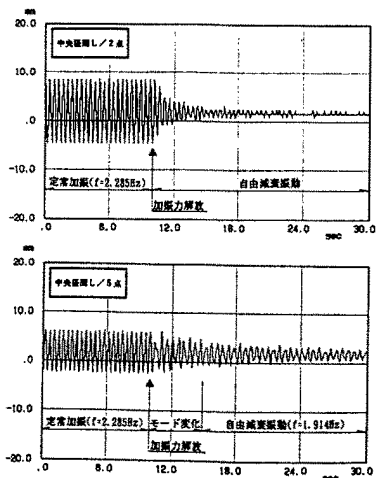


図-3 振動波形図（水平ステイ有）