

I-253 2500m吊橋の耐風設計に関する一考察

住友重機械工業(株) ○正員 荒居祐基
住友重機械工業(株) 正員 宮崎正男

1. はじめに

現在わが国では、主径間長約2000mの世界最大の吊橋が建設中であるが、吊橋のスパン長大化の変遷から推測すると、今後、スパン2000mを越える吊橋の出現も十分に考えられる。そこで、ここではスパン2500mの超長大吊橋を一つのモデルとして考え、長大吊橋において最も重要とされる耐風設計の観点から、現在建設中の2000m級吊橋と比較検討を実施して、2500m吊橋の問題点を考察した。

2. 2500m吊橋の構造概要

検討対象とした2500m吊橋のモデルの構造概要は次のとおりである。側径間長は1000m、側径間比を0.4とした。また、ケーブルは片側2本のダブルケーブル形式として、ケーブルサグ比は1/10とした。補剛桁はトラス形式で、その主構断面寸法を35.5m×14mとした。

3. 静的設計について

2500m吊橋の暴風時に発生する補剛桁断面力を照査するため、横変形解析を実施して2000m級吊橋との比較を行った。その結果の一例を図. 1に示す。図. 1は水平曲げモーメントの分布図を示すが、2500m吊橋では2000m級吊橋に比べて10%程度の増加が見られる。また、分布の特徴として中央径間中央におけるケーブルへの荷重移行量の増加により、桁断面力の減少が見られる。これに対して、せん断力分布については、2500m、2000mともに同程度の値となった。従って、せん断力により断面決定されるトラス補剛桁の斜材、垂直材等については、2500m吊橋においても2000m級吊橋と同等の断面にて設計が可能であるが、水平曲げモーメントにより断面決定される弦材に関しては、断面のアップが必要と判明した。そこで、設計可能な断面を調べるために、弦材断面積をパラメータとして、発生する最大水平曲げモーメント値と抵抗値との関係を求めた。その結果が図. 2である。図より、弦材断面積を3割程度大きくすれば、抵抗断面力が発生断面力を上回り、設計可能となることがわかる。一方、図. 3には発生する最大水平曲げモーメントへ与える各パラメータの影響度を示すが、図. 2における発生断面力の増加が、弦材断面積の増加に伴う補剛桁水平曲げ剛度増加の寄与であることがこれよりわかる。以上により、暴風時の補剛桁設計を可能とするには、トラス補剛桁の弦材断面積を2000m級吊橋よりも3割程度の増加させる必要があると判明した。

4. 動的設計について

2500m吊橋の耐風安定性として、曲げねじれフラッターの発振風速を求め、2000m級吊橋との比較により耐風設計の可能性を検討した。図. 4に耐風安定性照査の基本となる固有値解析の結果とフラッター発振風速の推定値をそれぞれ示す。なお、曲げねじれフラッターの発振風速は簡易式を用いて推定しており、固有値解析のケースは、吊橋の耐フラッター性に影響を及ぼすと考えられるパラメータを想定して設定した。図. 4より、2500m吊橋の鉛直曲げ対称1次の振動数は、2000m級吊橋に比べてそれほど変化しないが、ねじれ対称1次の振動数に関しては、スパン増による吊橋全体のねじれ剛性の低下により、基本ケースで約10%低下することがわかる。この結果、フラッター発振風速も低下して、耐フラッター性は悪化する。この対策をパラメータ解析の結果より推測すると、補剛桁と主塔のねじれ剛度を高めることが効果的と判断できるが、これらはいずれも吊橋全体のねじれ剛性を高めることにほかならない。発振風速でみると、2000m級吊橋と同等の耐フラッター安定性を確保するには、補剛桁ねじれ剛度を2000m級吊橋の約1.4倍、または主塔のねじれ剛度を10倍程度にしなければならないことになる。しかし、このことを実現するためには多くの問題があり、吊橋のねじれ剛度を高めることが2500m吊橋の大きな課題といえよう。

この課題に対して、トラス補剛桁のねじれ剛性を高める方法を検討した。図. 5は、トラス補剛桁の各パラメータがねじれ定数Jに与える影響度を示したものであるが、トラス横構断面積、主構幅、主構高を大きくすることがねじれ剛性を高めるのに効果のあることがわかる。しかし、主構幅や主構高をいわずらに大きくすることは、受風面積を増すととも耐風動特性を変化させる上、経済性の面においても望ましくない。従って、補剛桁のねじれ剛性を高めるには、横構断面積を大きくすることが効果的となる。

5. まとめ

スパン2500mの超長大吊橋と2000m級吊橋を比較検討し、耐風設計に関する問題点を検討した。この結果、暴風時の補剛桁断面力に対する耐力については、トラス弦材断面を現行の2000m級吊橋よりも1.3倍程度に大きくする必要があり、曲げねじれフラッターの安定性確保のためには、補剛桁ねじれ剛度を1.4倍に増すか、主塔ねじれ剛度を10倍程度大きくしなければならないことがわかった。これらの実現には多くの問題が残るが、補剛桁のねじれ剛度を高めるひとつの方法として、トラス横構断面を大きくすることが有効であると判明した。

今回の検討は、いくつかの前提に基づく2000m級吊橋との比較検討ではあるが、今後の超長大吊橋の検討において、本検討が参考となれば幸いである。

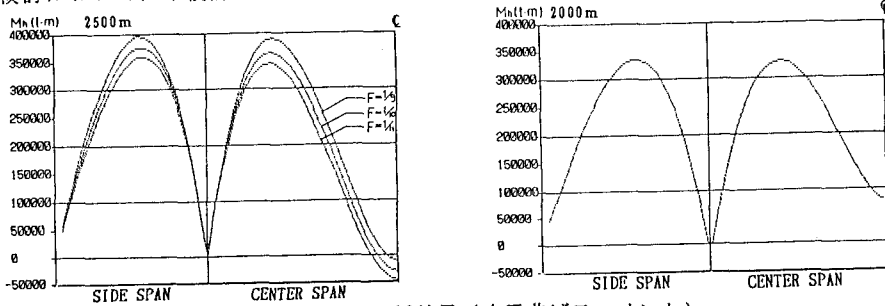


図. 1 横変形解析結果(水平曲げモーメント)

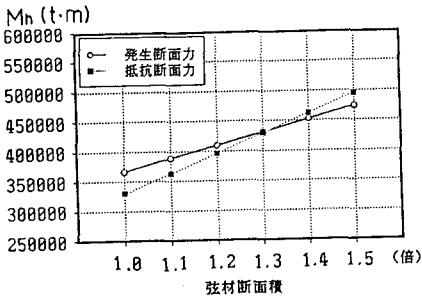


図. 2 弦材断面積増加による発生断面力と抵抗断面力

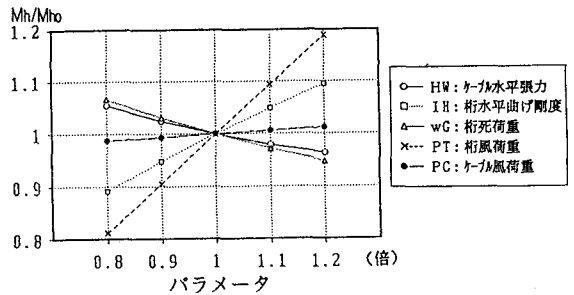


図. 3 水平曲げモーメントに及ぼす影響度

0	2000m級吊橋	曲げ f_{pe}	ねじれ f_{te}	$U_{F,pt}$
1	基本ケース	●	▲	●
2	桁 幅 1.1倍	●	▲	●
3	桁ねじれ剛度 0.7倍	●	▲	●
4	桁ねじれ剛度 1.4倍	●	▲	●
5	縦横性モーメント 0.8倍	●	▲	●
6	塔ねじれ剛度 10倍	●	▲	●
7	塔面外剛度 10倍	●	▲	●

図. 4 2500m吊橋の固有値解析結果およびフラッター発振風速

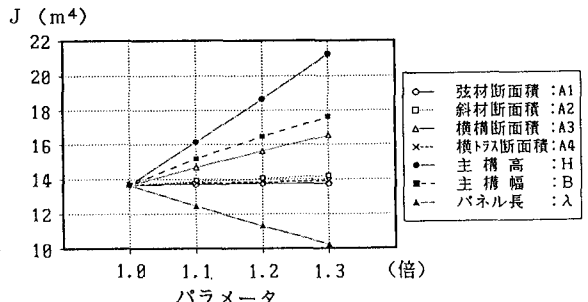


図. 5 補剛桁ねじれ剛性に及ぼす影響度