

I-421 スパン3000m吊橋のケーブルシステムについて

川田工業(株) 正員○木村公男 川田工業(株) 正員 中崎俊三
 川田工業(株) 大野克紀 川田工業(株) 正員 野村国勝

1. まえがき

現在、明石海峡大橋の建設が進められており、スパン 2000m級の吊橋が実現しようとしている。しかしながら、国内外の海峡連絡案の中にはこの明石海峡大橋のスパンをも上まわる超長大吊橋により計画されているものが少なくない。このような超長大吊橋においては、静的にも動的にも耐風性が最も重要な問題であることは論を待たない。特に、スパンの増大により固有振動数が低下するので、フラッター発生風速の低下が予想され大きな問題となる。したがって超長大吊橋においては、その振り剛性を高めて耐風安定性を向上させることが極めて重要である。しかし、補剛桁の振り剛性のみを高めて耐風安定性を確保するのは、補剛桁の大幅な鋼重増加を招き現実的ではない。これに対して、適切なケーブルシステムにより吊橋全体系の振り剛性を高め、固有振動数の上昇を図れば、耐風安定性の向上に非常に有効と考えられる。そこで、スパン 3000mの吊橋に対して、種々のケーブルシステムによる静的・動的特性の変化を検討したので報告する。

2. 検討条件

検討の対象としたのは図-1に示すスパン 3000mの単径間吊橋である。検討基本条件を表-1に示すが、サグ比は1/10に固定した。補剛桁に作用する風荷重の低減も超長大吊橋における重要な課題と考えられることから、補剛桁の形式は扁平閉断面箱桁とした。明石海峡大橋箱桁検討案¹⁾を参考に、桁高を7mとして図-2に示すような断面を想定し、試算により表-2に示す死荷重と、表-3に示す部材の断面定数を仮定した。

今回検討するケーブルシステムは、図-3に示す3タイプである。すなわち、①従来のタイプ、②従来の吊橋の断面にブレースを追加したタイプ、③モノケーブルから桁両側を吊るタイプである。図にはスパン中央断面を示すが、建築限界等を考慮してハンガー長を設定した。なお、予備検討において、(橋軸方向に)斜めハンガーの有利性がほとんど認められなかったので、ハンガーは鉛直ハンガーとした。

表-1 検討基本条件

項目	条件
形式	単径間吊橋
スパン	3,000 m
サグ比	1/10
幅員構成	第1種第3級4車線
ケーブル間隔	30m (or モノケーブル)
ハンガー形式	鉛直ハンガー

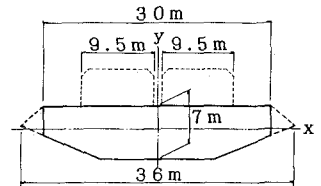


図-2 補剛桁断面

表-2 死荷重強度

項目	重量 t/m/Br	慣性モーメント t·m ² /Br
ケーブル	18.0	
吊構造	19.5	2,100
合計	37.5	

図-1 検討モデル

表-3 部材断面定数

項目	断面定数		
	断面積	Ac	
ケーブル		2.0m ² /Br	
補剛桁	断面二次モーメント	Ix	11.0m ⁴ /Br
		Iy	110.0m ⁴ /Br
	振り定数	J	22.0m ⁴ /Br

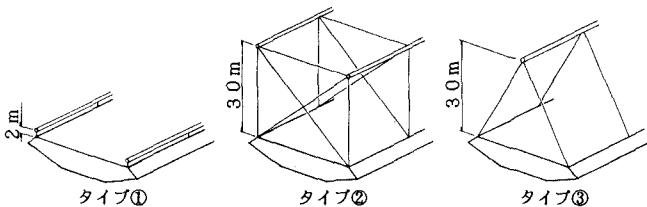
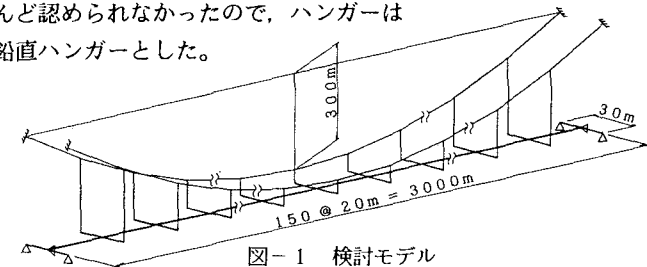


図-3 検討するケーブルシステム

3. 静的検討

まず、風荷重に対する静的検討を行った。風荷重は、本四耐風設計基準(1976)²⁾により、基本風速を $V_{10}=40\text{m/s}$ として表-4の通り算定した。

図-4に、風荷重によるタイプ①(従来形式)のケーブルと補剛桁の面外変位、および補剛桁の面外曲げモーメントを示す。仮定した風荷重条件において、補剛桁はスパン中央部で26m程度変位するものの、補剛桁に作用する面外曲げモーメントは最大15万 tm (応力度にして 2000kg/cm^2)程度であり、暴風時の許容応力度の割増しを考慮すれば、十分断面構成が可能と言える。

次に、補剛桁に振り荷重を載荷して振り剛性を検討した。振り荷重として、本四上部構造設計基準³⁾に基づいて算定した等分布活荷重による、最大偏載時のトルク成分 $t = 9.0 \text{ tm/m/Br}$ を満載した。振り荷重満載時の補剛桁の捩れ変形量を、3タイプ比較して図-5に示す。タイプ①(従来形式)に対して、タイプ②、③の捩れ変形量が半減しており、振り剛性が上がっていることが窺われる。図-6に、タイプ②、③のスパン中央断面の変形状態を示すが、この図から判るようにブレースを追加したり、モノケーブルシステムを採用してハンガーと桁とで三角形の断面構成とした場合、補剛桁が捩れるときに補剛桁に水平変位が生じ、補剛桁の重量による復元力が作用するため、捩れ変形量が減少するものと考えられる。

4. 固有振動数

固有振動解析を実施して求めた固有振動数を表-5に示す。対称1次の捩れ振動数がタイプ①に対して、タイプ②で約13%、タイプ③で約17%増加している。タイプ②および③においては、静的な捩れ変形状態(図-6)から予想されるように、捩れ振動と面外曲げ振動とが連成しており、フラッター発生風速の定量的評価は、より詳細な検討に待たなければならないが、Selbergの式において振り振動数の上昇分のみを考慮すれば、たとえば、タイプ②の曲げ振りフラッター発生風速が、タイプ①に対して約17%向上することが期待される。

5. まとめ

スパン 3000mの吊橋に対する検討の結果、静的な風荷重に対しては、補剛桁として偏平箱桁を採用できれば従来形式で相当の超長大スパンに対して設計可能であることが分かった。また、適切なケーブルシステムの採用により、固有振動数の上昇が期待でき、耐風安定性を改善し得る感触が得られた。

[参考文献] 1)土木学会：本四連絡橋耐風研究小委員会報告書，昭和60年 3月。 2)本四公団：耐風設計基準(1976)，昭和51年 3月。 3)本四公団：上部構造設計基準，1989年 4月。 4)米田昌弘：吊形式橋梁の固有振動特性と風による振動に及ぼす構造的要因の影響に関する研究，学位請求論文，昭和62年11月

表-4 風荷重強度

項目	設計風速 m/s	抗力係数	投影面積 $\text{m}^2/\text{m/Br}$	風荷重 t/m/Br
ケーブル	71	0.7	3.0	1.2
ハンガー	71	0.7	2.6	
補剛桁	62	0.8	7.0	2.0

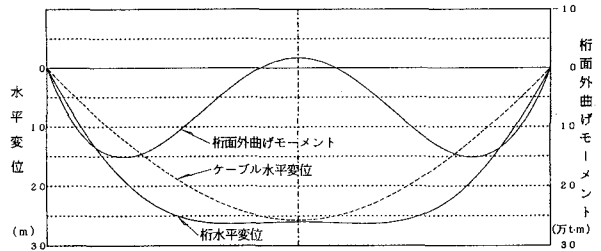


図-4 風荷重による面外変位と桁面外曲げ(タイプ①)

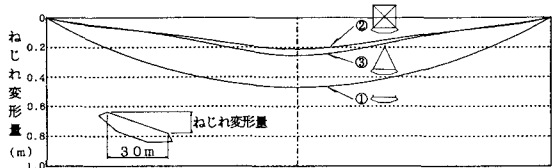


図-5 振り荷重満載時の補剛桁のねじれ変形

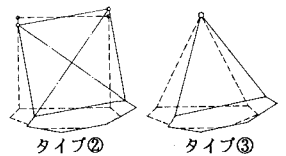


図-6 ねじれ変形状態

表-5 固有振動数 (Hz)

振動モード	ケーブルシステム	固有振動数 (Hz)		
		①	②	③
鉛直	対称1次	0.089	0.089	0.089
	逆対称1次	0.064	0.064	0.064
捩れ	対称1次	0.166	0.187	0.194
	逆対称1次	0.187	0.204	0.207