

I - 554

3,000m級吊橋の連成フラッター特性に及ぼすケーブルシステムの効果について

— 支間長比0.3なる3径間吊橋モデルを対象とした検討 —

川田工業㈱ 正員 ○大野克紀 川田工業㈱ 正員 米田昌弘
 川田工業㈱ 正員 中崎俊三 川田工業㈱ 正員 野村國勝

1. まえがき

3,000m級の超長大吊橋を実現させるためには、風荷重による静的変形特性はもちろんのこと耐フラッター性がきわめて重要な検討項目となる。このようなことから、著者らは、支間長が3,000mの単径間吊橋モデルを対象に、非定常空気力に基づく立体骨組みフラッター解析を実施し、クロスステイ方式とモノケーブル方式が連成フラッターの発現風速を上昇させる有効な一手段になり得ることをすでに報告している¹⁾。しかしながら、周知のごとく、吊橋の構造特性はタワー剛性や支間長比によって変化する。そこで、中央支間長が3,000mで支間長比が0.3なる3径間吊橋モデルを対象に、立体骨組みフラッター解析を新たに実施し、連成フラッター特性に及ぼす各種ケーブルシステムの効果を検討することとした。

2. 対象とした吊橋モデルと検討条件

対象とした橋梁は、図-1に示す流線形箱桁で補剛された中央径間長が3,000m、支間長比が0.3、サグ比1/10なる3径間吊橋である。対象吊橋の基本条件と構造諸元をそれぞれ表-1, 2に示す。

着目したケーブルシステムは、図-2に示すような従来形式であるTYPE-0、モノケーブル方式であるTYPE-M、クロスステイを中央径間のすべての区間に採用したTYPE-C100ならびに中央径間のタワー側から1/4区間のみに採用したTYPE-C25の4タイプである。参考までに、TYPE-C100の解析モデル（節点数=196、部材数=325）を図-3に示す。なお、TYPE-C100とTYPE-Mのスパン中央部におけるハンガー高さは、建築限界等を考慮して30mに設定することとしている。したがってTYPE-C100とTYPE-Mでのタワー高さは、TYPE-0やTYPE-C25に比べ30m高くなっている。

3. 連成フラッター解析結果と考察

今回の立体骨組みフラッター解析にあたっては、平板翼の非定常揚力と非定常モーメントのみを補剛桁に作用させる場合（CASE-1）に加え、桁とケー

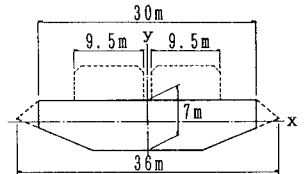


図-1 流線形箱桁断面

表-1 対象吊橋の基本条件 (TYPE-0)

項目	条件
形式	3径間吊橋
支間割	1,000m+3,000m+1,000m
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
ハンガー形式	鉛直ハンガー

表-2 構造諸元 (TYPE-0)

重 量	ケーブル	t/m/Br.	18.0
	吊構造部	t/m/Br.	19.5
	合 計	t/m/Br.	37.5
重量慣性モーメント	吊構造部	t・m ² /m/Br.	210.0
	ケーブル	t・m ² /m/Br.	405.0
	合 計	t・m ² /m/Br.	615.0
剛 性	面内断面2次モーメント	m ⁴ /Br.	11.0
	面外断面2次モーメント	m ⁴ /Br.	110.0
	ねじれ定数	m ⁴ /Br.	22.0
ケーブル断面積		m ² /Br.	2.0
塔頂バネ定数	橋軸方向	t/m/tower	7.0×10 ³
	橋直方向	t/m/tower	8.1×10 ³
	ねじれ	tm/rad/tower	4.8×10 ⁶
抗力係数	桁	—	0.65
	ケーブル	—	1.00

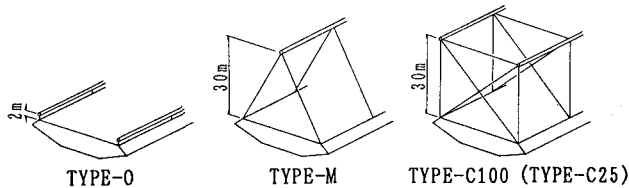


図-2 検討したケーブルシステム

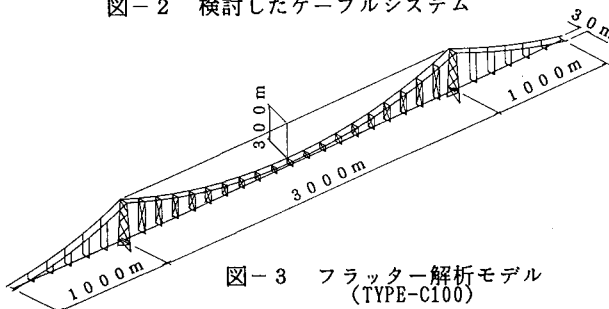


図-3 フラッター解析モデル (TYPE-C100)

ブルの横たわみ振動に伴う抗力ならびにケーブルの鉛直たわみ振動に伴う揚力も考慮した場合（CASE-2）も実施することとした。なお、後者のCASE-2（付加空気を考慮した解析）では、補剛桁の抗力係数 C_{De} を $C_{De}=0.65$ 、メインケーブルの抗力係数 C_{Dc} を $C_{Dc}=1.00$ と仮定している。

付加空気を考慮した連成フラッター解析によって得られた、TYPE-0とTYPE-C100の $V-\delta$ 曲線（風速と空力減衰の関係）を図-4、5に示す。これら図において、空力減衰が正から負になる風速が、構造減衰を無視した場合の連成フラッター発現風速に対応する。本研究で対象としたような中央支間長が3,000mなる超長大吊橋の構造減衰については議論の余地があるものと思われるが、ここでは充腹桁を有する吊形式橋梁の値として一般に採用されることの多い $\delta = 0.02$ なる構造対数減衰率を仮定した場合に加え、ダンパーの設置によって構造対数減衰率を $\delta = 0.04$ まで高めた場合についても考察の対象とした。着目したすべてのケーブルシステムに対する連成フラッター発現風速を表-3にまとめる。表-3から、従来方式であるTYPE-0では構造減衰が増加しても連成フラッターの発現風速はわずかしこ上昇しないのに対し、TYPE-MやTYPE-C100ならびにTYPE-C25では構造減衰が連成フラッター特性を検討する上で重要な設計要因になっていることがわかる。すなわち、CASE-2なる解析結果に着目すれば、TYPE-MとTYPE-C100の連成フラッター発現風速は、TYPE-0に比べ $\delta = 0.02$ なる構造対数減衰率を仮定した場合にそれぞれ1.4倍と1.2倍に、また、 $\delta = 0.04$ なる構造対数減衰率を仮定した場合にそれぞれ1.4倍と1.3倍にもなっている。また、TYPE-C25では $\delta = 0.02$ なる構造対数減衰率を仮定した場合にはTYPE-0の発現風速を若干下回るものの、 $\delta = 0.04$ なる構造対数減衰率を仮定した場合には、TYPE-0に比べ、1.3倍にもなっている。なお、クロスステイ方式やモノケーブル方式を採用した場合に得られた発現風速の上昇効果は、等価極慣性モーメントが従来形式に比べきわめて増大したことによって、連成フラッターの励振力が相対的に低下したことに起因する。

4. まとめ

以上の検討結果より、3,000m級の3径間吊橋に対してもクロスステイ方式やモノケーブル方式は連成フラッターの発現風速を上昇させる有効な手段になり得る可能性が高いと言えた。今後は、ダンパーやTMDならびにその他の構造的対策との併用について検討を行い、3,000m級の3径間吊橋に対する連成フラッターの発現風速を80m/s程度まで上昇させるべく、研究を継続していく所存である。なお、本研究での連成フラッター解析にあたっては、横浜国立大学の宮田利雄教授と山田均助教授が開発されたプログラム²⁾を使用させていただいた。両先生には、本研究を実施するにあたり貴重なご助言も賜り、紙面を借りてここに厚くお礼を申し上げます。

【参考文献】 1) 米田 他：3,000m級吊橋の静的特性と連成フラッター特性に及ぼす各種ケーブルシステムの効果について、構造工学論文集，Vol. 40A, 1994年3月。 2) 宮田・山田・太田：立体骨組み解析法による横たわみしたトラス補剛桁の曲げねじれフラッター解析，土木学会論文集，第404号/I-11, 1989年3月。

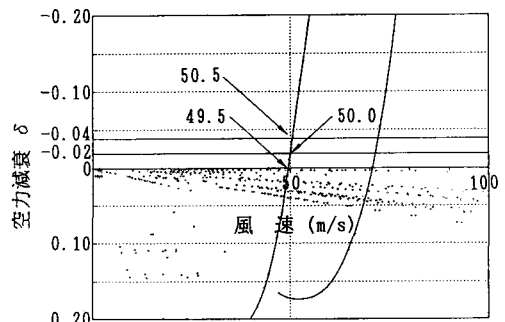


図-4 V- δ 曲線 (TYPE-0)

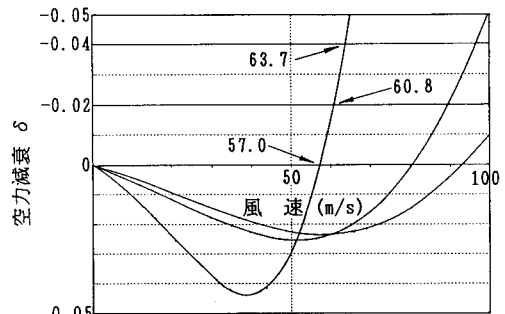


図-5 V- δ 曲線 (TYPE-C100)

表-3 連成フラッターの発現風速 (m/s)

		構造対数減衰率		
		$\delta = 0.0$	$\delta = 0.02$	$\delta = 0.04$
TYPE-0	CASE-1	49.0	49.8	50.2
	CASE-2	49.5	50.0	50.5
TYPE-M	CASE-1	50.5	65.0	68.2
	CASE-2	65.0	69.0	72.6
TYPE-C100	CASE-1	50.0	56.0	59.8
	CASE-2	57.0	60.8	63.7
TYPE-C25	CASE-1	26.5	42.5	59.8
	CASE-2	32.0	48.5	66.0