

徳島大学 工学部 正員 ○宇都宮 英彦
 徳島大学 工学部 正員 長尾 文明
 鴻 池 組 山本 眞久

1. まえがき

超長大吊橋の建設の可能性を拡げるものとして、J.R.Richardsonの提案したTwin Bridge の概念¹⁾は、注目に値するものである。彼の提案は吊橋のねじれ剛性を高めることにより、フラッターの発生を防ぐという従来の考え方を放棄して、2組の主ケーブルで2組の桁を別々に吊り、たわみとねじりの振動数を一致させることによって、フラッターを回避し、発生する空力不安定現象をダイバージェンスに導くことにより限界風速の向上を期待するものである。2本の補剛桁の間隔を拡げることで、ねじり振動数を増加させることなく、ねじり抵抗を増しうるという点で、極めて優れた着想であると言える。しかしTwin Bridge としての機能を発揮するためには剛な横桁の設計を必要とし、また、2組の桁の個々の剛性についても、他の諸々の空力不安定現象に対して安定であるためには、ある程度の剛性は必要であると思われる。そのような観点から、本研究では、ダイバージェンス型の吊橋としての利点を生かしつつより実行可能な方向を探るべく、空力的な対策と、ねじり振動数の調整について検討を行っている。

2. ダイバージェンス限界風速

風洞実験において通常使用される2自由度の剛体部分模型を対象とすると、ダイバージェンス限界風速は $V_{cr} = \sqrt{2K\alpha / \rho S\alpha \cdot b^2}$ によって与えられる。本式によって、ダイバージェンス限界風速を上昇させ、安定性を高めるためには、2つの直接的な方法があることがわかる。1つは分子のねじり剛性 $K\alpha$ を可能な限り大きくすることである。これはねじり振動数を増加させることになるという点で好ましくないが、吊橋全体系の総合的な安定性を確保するためにはある程度の剛性が基本的に必要であるとの観点に立つとき、この結果生じるねじり振動数の増加は、床版部の両端に付加した空力対策を含む付加重量(たとえば箱桁構造であれば、桁内部空間に充填した捨コンクリートなど)によって調整し、全重量が適正なレベルに納まるような工夫が必要となる。他の1つは、式中の分母に含まれるモーメント係数曲線勾配 $S\alpha$ を小さくすることである。ここでは扁平箱桁を基本断面として前、後縁部近傍に適当な空力対策を施すことによって $S\alpha$ を減少させることを検討する。

3. 模型

2,000m級吊橋を想定したダイバージェンス型吊橋の諸元を表1に示す。模型は縮尺1/180 とし図-1には抗力の大幅な遙減を意図して選んだ扁平箱桁断面を示している。図中、桁断面の両端部に付したサイドプレートと、乱流発生装置としてのメッシュは、剥離型としての箱桁に作用する空気力を抑制する効果を与えるものである。原型のままではねじり振動数とたわみ振動数の比の値が1.6程度となるため、これら空力対策の重量の他に、桁両端部に付加重量を与えて極慣性モーメントを増加させることで、振動数比1を実現する。本模型では

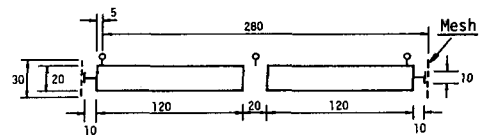


図-1 模型断面図

表-1 構造諸元

原形	ダイバージェンス模型	所要値	実験値
W	35 t/m	1.419kg(+16t/m)	1.446 kg
I_p	720 t·s ²	1.50×10^{-3} (kg·m·s ²)	1.55×10^{-3} (kg·m·s ²)
f_n	0.06 Hz	0.805	0.80202
f_α	0.095Hz	0.805	0.79613
$\delta_n=0.0247$, $\delta_\alpha=0.272$			

単位長当り桁重量35ton に対し、15ton 程度の付加重量を見込んでいるが、これは構造形式(サグ、タワースティ、桁断面)の変更によって、更に軽量化も可能であると考えられる。

4. 静的空気力特性

限界風速 V_D を直接的に支配するのは C_M 曲線の勾配 $S\alpha$ であるが C_L , C_D もまた静的変位を増加させ迎角を発生させる原因となりうる。従ってこれら三分力の値が、基本的に小さいことが望ましいわけであ

る。基本断面に対し三角フェアリング、サイドプレート、高欄(位置の変更)、剥離板、乱流発生用メッシュなどを試行錯誤的に設置して静的空気力の変化を調べた。図-2には、典型的な三分力曲線を示している。(a)は基本断面に対応しており、 C_M 曲線は $\pm 5^\circ$ の範囲では全体としてゆるやかな負勾配を有しているが、絶対値が小さく空力対策の効果が期待できる。(b)は(a)の両端に三角フェアリングを付置したもので、この場合は、剥離が極端に抑えられて、全体の特徴が平板に近づいていることが判る。(c)は、本シリーズで最も有効な空力装置を設置した場合である。桁高の1/2の高さのサイドプレートを高さ分だけ張出して設置して流れの剥離を抑制する。このことにより C_M 曲線は正勾配を持つようになる。

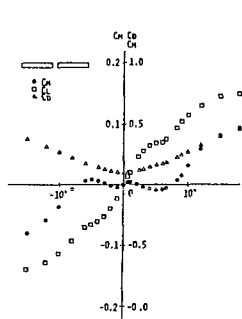


図2-(a) 三分力曲線

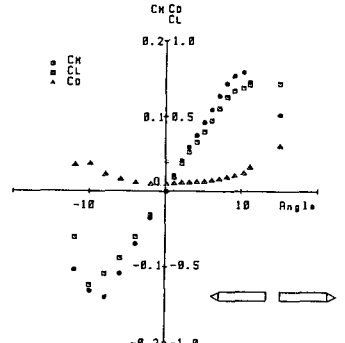


図2-(b) 三分力曲線

これを更にサイドプレートに重ねてメッシュ構造を設置することで乱流を発生させ、 C_M 曲線の勾配を調整する。メッシュについてはレイノルズ数の影響等を無視していることを配慮する必要があるが、乱流発生機能のみでなく弱い剥離も促進しているようである。(c)の場合 $\alpha = 0$ 近傍の S_α の値は約0.25であり、この結果から $V_D = 6.1 \text{ m/s}$ となることが予想される。

これを更にサイドプレートに重ねてメッシュ構造を設置することで乱流を発生させ、 C_M 曲線の勾配を調整する。メッシュについてはレイノルズ数の影響等を無視していることを配慮する必要があるが、乱流発生機能のみでなく弱い剥離も促進しているようである。(c)の場合 $\alpha = 0$ 近傍の S_α の値は約0.25であり、この結果から $V_D = 6.1 \text{ m/s}$ となることが予想される。

5. 動的応答特性

静的空気力特性が最も良好な(c)について、部分模型によるバネ支持実験を行った。模型諸元は表1、図-1に示した通りである。図-3は、 $f_\alpha / f_\eta = 1$ のダイバージェンス型の応答を示している。 $V = 6 \text{ m/s}$ (実橋換算風速 80 m/s)の付近で大振幅の振動が発生しているが、これは予測されたダイバージェンス風速に極めて近い値ではあるものの、現象的には所謂ダイバージェンスではなく、定常振幅の振動である。その振動数は図中に示すようにたわみ、ねじりいずれの固有振動数とも異なる値を取っている。

図-5は、バネ支持実験中のモデルの静的変位量を示すものである。2つの曲線は高欄位置の違いに対応するものである。ねじり変位は比較的小きな値であった。

図-6は迎角 $\alpha = +3^\circ$ を付した場合の $V-A$ 図である。限界風速が極端に低下しているために、この形式が不完全であることを示す結果になったが、不安定振動の振動数の変化の様子が興味深い。

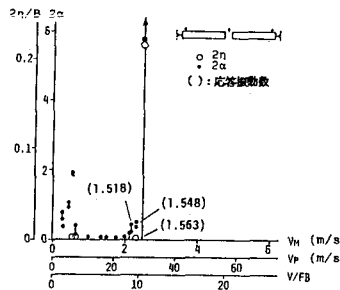


図-3 振動応答振幅-風速図、 $\alpha = 0^\circ$

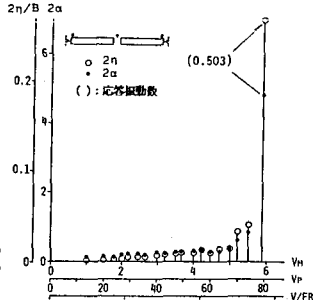


図-4 振動応答振幅-風速図、 $\alpha = 0^\circ$

6. むすび

本研究はダイバージェンス型吊橋の可能性について検討したものである。今回のモデルでは重量と迎角に対して問題が残ったが、この形式を意図して設計上の工夫を施せば、更に効率の良いものを見出すことは十分に期待できるものと考えられる。

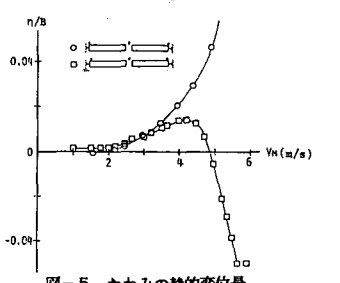


図-5 たわみの静的変位量

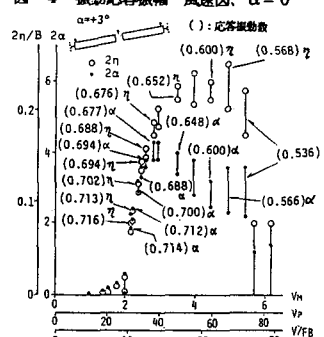


図-6 振動応答振幅-風速図、 $\alpha = 3^\circ$

参考文献 (1) J.R.Richardson :The Development of the Concept of the Twin Suspension Bridge,NMI R125, Oct.,1981.