

ダイバージェンス型吊橋の耐風安定性に関する一考察

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
 徳島大学 工学部 学生員 ○川上 剛司

1. はじめに 2,000m級のスパンを有する超長大吊橋を想定する場合、耐風安定性が設計を支配と言っても過言ではなく、特に構造物を破壊に到らしめる曲げねじれフラッターを回避することが重要である。この発生を防ぐために従来の吊橋では、ねじれ剛性の増加により振動数比を大きくすることで限界風速の向上をはかっている。しかし、超長大吊橋では所要のねじれ剛性を確保するために膨大な桁重量の増加を招くことになり経済性に問題が生じる。ダイバージェンス型吊橋は、振動数比を 1.0 とすることで曲げねじれフラッターを回避し、支配的な空力不安定現象をダイバージェンスだけにしようというものである。1) ダイバージェンスの限界風速は一般にフラッター発生時の風速を上回るものとされているため、限界風速の向上が期待できる。また、これはねじれ剛性を高める必要がなく、重量が軽減できるため経済的であるといえる。本研究では、ダイバージェンス型吊橋の実用化の可能性を広げるものとして、箱桁とトラス補剛桁の両者に対し、その耐風性について検討している。箱桁は付加重量の設置等により振動数比を調整できるが、空気力の改善に困難が伴う。一方、トラス補剛桁では揚力、空力モーメント等の空気力特性が一般に優れており、また、弦材断面や桁高の減少により容易に振動数比を調整でき、桁高を減少することで一般に箱桁より大きな抗力の逓減もはかることができる。

ダイバージェンス限界風速は、 $V_D = (2K\alpha / \rho S\alpha b^2)^{1/2}$ により推定できる。式中の空力モーメント係数曲線の勾配 $S\alpha$ を 0 に近づける (V_D を上昇させる) ことを第一の目的として静的な風洞実験を行ない、空気力学的対策について検討し、静的空気力特性の良好な模型断面を追求する。そしてその優れた断面について動的な実験を行い模型に付加重量を設置して振動数比を 1.0 とし、その模型をダイバージェンス型とすることで振動特性の改善を計っている。

2. 模型 図-1 に示す模型 (A)、(B) は夫々、本実験における偏平箱桁、トラス補剛桁の代表的なものである。(A) は縮尺 1/200 で、2本の桁幅は建築限界まで小さくしており、中央開口部の幅 b と桁高 D の比 b/D は 3.0 である。これにより揚力、空力モーメントの逓減を計り、さらに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により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得ている。(B) は縮尺 1/150 とし、抗力を抑制するために桁高が 4.5m 非常に小さくなっている。また、トラス補剛桁は、非剥離型の特性を持っているため、空力対策は中央開口部に設置したスタビライザーと路側帯部分にオープングレーティングを設けているだけである。表-1 に両模型の各諸元を示す。本模型では中央径間 2,000m の明石海峡大橋を想定して、単位長当り桁重量 35 ton に対し 10 ton 程度の付加重量を桁端部に集中して加え、極慣性モーメントを増大させることによりねじれ振動数の減少をはかり、ダイバージェンス型吊橋 ($f\alpha/f\eta = 1.0$) へと導いている。

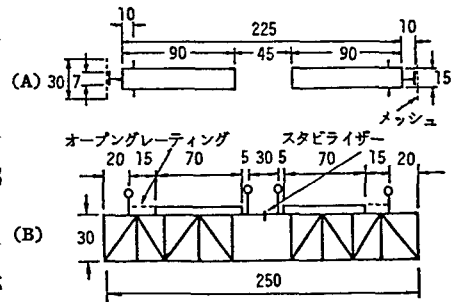


図-1 模型断面図

表-1 偏平箱桁およびトラス補剛桁の構造諸元

		従来型 実橋値	ダイバージェンス型	
			所要値	実験値
偏平箱桁 (A) 1/200	W	35 t/m	1.160 kg/m	1.168 kg/m
	I_p	720 ts ²	8.025×10^{-4} kgm ²	8.563×10^{-4} kgm ²
	$f\alpha$	0.095 Hz	0.990 Hz	1.053 Hz
	$f\eta$	0.070 Hz	0.990 Hz	1.064 Hz
	$f\alpha/f\eta$	1.357	1.00	0.989
トラス補剛桁 (B) 1/150	W	35 t/m	1.382 kg/m	2.044 kg/m
	I_p	908 ts ²	2.888×10^{-3} kgm ²	2.985×10^{-3} kgm ²
	$f\alpha$	0.100 Hz	0.798 Hz	0.790 Hz
	$f\eta$	0.070 Hz	0.798 Hz	0.793 Hz
	$f\alpha/f\eta$	1.429	1.00	0.997

3. 静的空気力特性 (A)、(B) 夫々のモデルについて静的空気力特性が最も良好と判断されたものを図-2、図-3 に示す。図-3 は図-2 に比べて迎角の変化に対する空気力係数の変化の割合が小さくなっている。C_M 曲線に関しては、図-2 で見られる負勾配が図-3 では存在していないことから、ねじれフラ

ッター発生危険性は少ない。箱桁は剥離型の特性が非常に強いに対し、トラス補剛桁はそれ自体が非剥離型の構造であるため、剥離による不安定な空気力が抑えられているものと思われる。 $\alpha = 0^\circ$ 近傍の S_α の値は (A) では約 0.19、(B) では約 0.25 でありこれよりダイバージェンス風速はどちらも約 110 m/s である。

4. 振動応答特性 図-2, 3 に示す特性をもつ (A), (B) について部分模型によるパネ支持実験を行った。図-4 はトラス補剛桁モデル (B) において振動数比 $f_\alpha / f_\eta = 1.37$ とした場合の応答を示している。

実橋換算風速 $V_p = 53 \text{ m/s}$ で曲げねじれフラッターが発生している。また図-5 は $f_\alpha / f_\eta = 1.0$ のダイバージェンス型にした場合の $V-A$ 図である。図-4 で見られた曲げねじれフラッターは回避され、 $V_p = 101 \text{ m/s}$ でダイバージェンスが発生している。ダイバージェンス型吊橋とすることで限界風速は向上しその耐風安定性は大きく改善されている。パネ支持実験より得られた (A), (B) の両模型の迎角に対する限界風速の値について図-6 に示す。(A), (B) とともに $\alpha = 0^\circ$ では限界風速が $V_p = 100 \text{ m/s}$ まで達している。しかし、(A) は迎角が付くと耐風安定性が悪化し $\alpha = 2^\circ \sim 3^\circ$ では $V_p = 23 \text{ m/s}$ といった低風速域においてねじれフラッターが発生している。これは空力モーメントの不安定性によるものである。これに対し (B) は迎角の有無に関わらず、非常に優れた耐風安定性を示している。これはトラス補剛桁の場合、迎角による空気力の変動が小さいためである。図-7 は (B) の振動時における静的変位量を示している。風速が高くなると過大なる静的変形が生じていることが問題として残る。

5. 結論 本研究ではダイバージェンス型吊橋の実用化の可能性について箱桁、トラス補剛桁の両側から検討した。箱桁に比べ、トラス補剛桁は迎角の変化に対しても非常に安定な特性を示し、限界風速はかなり向上した。高い風速域における静的な変形を回避することができれば、ダイバージェンス型吊橋の実用化は大いに期待できるものと考えられる。

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

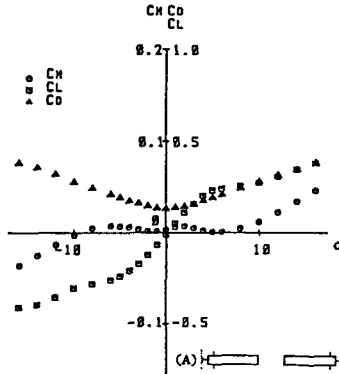


図-2 三分力曲線図

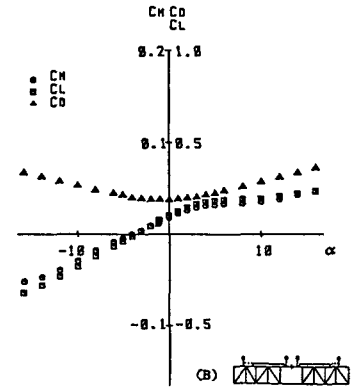


図-3 三分力曲線図

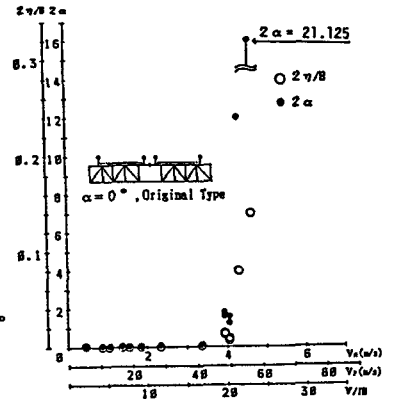


図-4 振動応答振幅-風速図

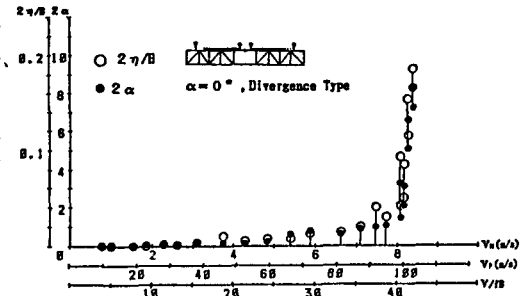
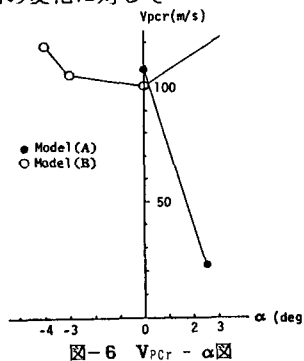
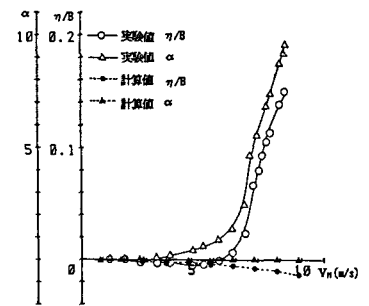


図-5 振動応答振幅-風速図

図-6 $V_{pCr} - \alpha$ 図図-7 静的変位量 ($\alpha = -4^\circ$)