

ダイバージェンス型吊橋の耐風安定性 (Ⅳ)

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

石川島播磨重工業(株) 正 員 ○川上 剛司
 徳島大学大学院 学生員 佐野 演秀

はじめに

中央支間長が2,000m以上の超長大吊橋では、その設計において耐風安定性の支配するところが多く、そのかかわり方も複雑であり、特に動的な耐風性を支配する最も重要な空力不安定現象はフラッターと呼ばれる発散振動である。この現象を防ぐため従来の吊橋では振れ剛性の増加により、振れと撓みの固有振動数比 f_α / f_η を大きくすることで曲げ振れフラッターの限界風速の向上を図っている。しかし、超長大吊橋では所要の振れ剛性を確保するための桁重量の増加は否めず、この方法による限界風速の向上はスパン長に限界があると云われている。本研究ではJ.R.Richardsonの提案したTwin Bridge の概念¹⁾を基に従来法と全く異なる設計法として、振れと撓みモードの固有振動数比 (f_α / f_η) を1.0 として曲げ振れフラッターを回避し、支配的な空力現象を静的な現象であるダイバージェンスだけにしようとするダイバージェンス型吊橋の耐風性について言及する。そして、吊橋構造の諸要素がダイバージェンス型吊橋の空力安定性に及ぼす効果を現象論的に把握し耐風設計をより具体化する。ダイバージェンスの発現風速は、 $V_D = (2 \cdot K_t / \rho \cdot S_t \cdot b^2)^{1/2}$ により推定でき、式中の空力モーメント係数 (C_M) 曲線勾配 S_t を0に近付けることで V_D の上昇を図ることができる。

桁断面概要

トラス補剛桁は、その断面形を扁平なものとして抗力を低減し、オープングレーティングの設置により開床構造として揚力の低減を図ることで空気力学的に非常に鈍感な断面となり、ダイバージェンス型吊橋に用いた場合、優れた耐風性を得ることができる²⁾ことから、補剛桁には扁平トラス補剛桁を採用している。また、固有振動数の調整は構造設計上非常に困難であり、振れ剛性を必要以上に低減することはできないため、図1のように付加重量部材を桁端部より張出して極慣性モーメントを増加し、振れ振動数の低下を図る。更に桁高縮小に伴う撓み振動数の低下を補うため主構を3本とする。

これらにより、固有振動数比 (f_α / f_η) を1.0

としている。実橋および模型の所要値を明石海峡大橋案と同時に表1に示す。補剛桁とケーブルの鋼重の和は37.4ton/m となり、やや重量の軽減を図ることができるものの、付加重量を含む桁の総重量は50.9ton/m と大きく、これを支える橋脚、橋台、アンカーケーブル等の下部構造、主塔断面に与える影響は大きく、現時点では経済的效果は得られないものと思われる。

実験結果および考察

まず、実験において非常に現象の捉えにくいダイバージェンス現象について述べる。図2に各風速における応答振幅を示し、図3には振動時の静的変形量を示している実橋風速 $V_p = 100\text{m/s}$ を越えた辺りから振れ変位は急激に増加し、 $V_p = 114\text{m/s}$ では迎角 $\alpha = -5.3^\circ$ もの大きな振れ変形に発達している。また、

この変形と同時に振れ振動も大きくなっている。図4はこのケースの各風速における振動数成分を示しており、線で結んだ値はスペクトル解析の結果最もエ

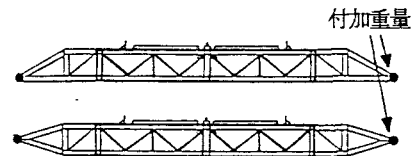


図1 桁断面

表1 実橋およびモデルの所要値

		明石海峡大橋設計案 桁高14m		ダイバージェンス型吊橋	
実験値	$\frac{W}{I_p} \frac{f_\alpha}{f_\eta}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \frac{\text{Hz}}{\text{Hz}}$		3.64×10^{-3}	2.05×10^{-3}
1/150	f_α / f_η			1.49	1.00
実験値	$\frac{W}{I_p} \frac{f_\alpha}{f_\eta}$	$\frac{\text{t}}{\text{m}^2} \frac{\text{Hz}}{\text{Hz}}$		50.9	9.0
	f_α / f_η			2.07	1.00

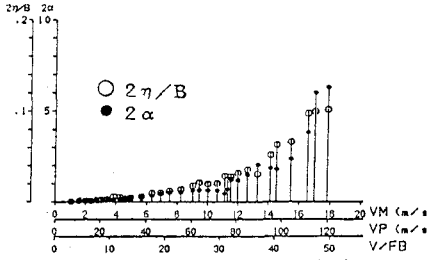


図2 応答振幅風速図

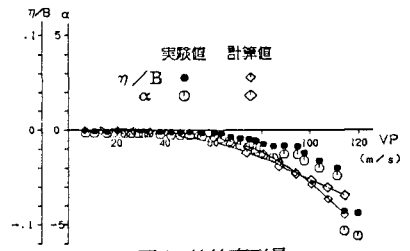


図3 静的変形量

エネルギーの大きかった成分を表している。この図からも判るように $V_p = 60 \text{ m/s}$ 付近から徐々に振れ振動数は減少している。また、 $V_p = 114 \text{ m/s}$ 付近での大振幅の振動は空力モーメントの作用により発現していると考えられるものの振れと撓みのモード間の位相差の存在による所謂連成フラッターではなく回転変位における復元力の低下、即ち振れ剛性の低下を思わせるものであり、この風速域で振れ変形が著しく大きくなっていることやダイバージェンスの発現風速の理論値の $V_p = 103 \text{ m/s}$ に近似した値であることからこの現象がある種のダイバージェンス現象であると考えられる。他の安定な空力応答特性を示したケースについても $V_p = 50 \text{ m/s} \sim 80 \text{ m/s}$ 付近より振れ振動数が低下しており、これにより振れ振動と撓み振動の連成はなくなるものと考えられる。そしてこのことがダイバージェンス特性の一つとして挙げられる。図5～7は何れも耐風性の優れたモデルの風速-応答振幅図である。空力モーメント係数 (C_M) 曲線勾配 S_t が0.1以上のところでは応答振幅は小さく、空気力学的に安定となっているが、 S_t が0.1以下では応答振幅は大きくなり、不安定性をもたらすものとなる。 C_M 曲線の勾配が小さくなると振れ振動における空力減衰は低下することから、このような不安定な現象が発生すると考えられる。図5、図7の不安定な振動は撓み振動であり、空力モーメントの支配する振れの不安定振動は見られないが、ダイバージェンス型吊橋では、振れモードの振動が抑えられ撓み振動が卓越する特徴があることから、これらの振動は S_t の減少に起因するものであると思われる。その他のケースについても S_t が0.1以下で空力不安定性が増し、耐風性は悪化することから必要以上の S_t の減少は動的な不安定現象を誘発することになる。従ってダイバージェンス型吊橋の耐風設計を考える場合 S_t の値を0.1以上とする必要があり、また耐ダイバージェンス性の向上を図るには $S_t = 0.3$ とすることが妥当であると云える。しかし、不安定な撓み振動の発生に関する情報は不十分であり、これについては更に明確にする必要がある。

結論 本研究ではダイバージェンス型吊橋の実現可能性について言及し、現象論を明確に捕えながらダイバージェンス特性が空力安定性に及ぼす効果についての検証を行った。構造的、空気力学的な条件を踏まえ、設計を実施することでダイバージェンス型吊橋の実用化は可能であると云える。

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

2) 宇都宮英彦、長尾文明、川上剛司：ダイバージェンス型吊橋の耐風安定性に関する一考察，土木学会，第39回中国四国支部研究発表会講演概要集，I - 15，1987, 5.

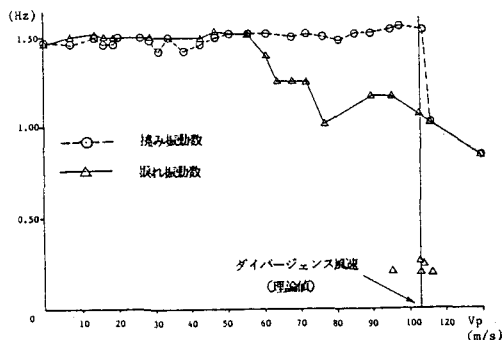


図4 各風速における振動数の変化

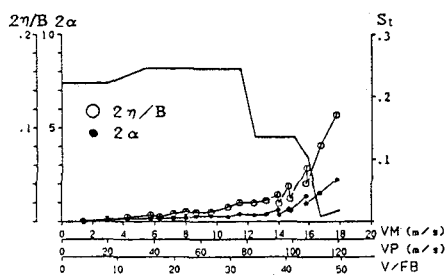


図5 各風速における応答振幅および S_t の変化

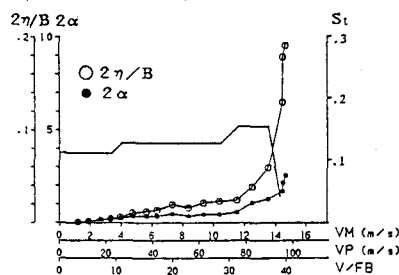


図6 各風速における応答振幅および S_t の変化

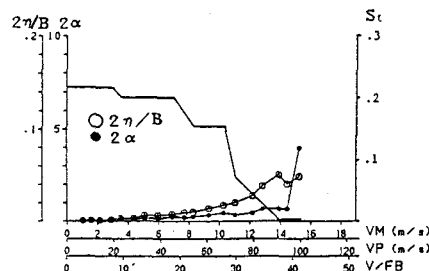


図7 各風速における応答振幅および S_t の変化