

2段水平プレート付き吊床版橋断面の空力特性について

Aeroelastic Characteristics of Stress-ribbon Bridge Deck Sections with Leading Edge Stabilizers in Tandem

畠中 真一*, 宮地 真一**, 枝元 勝哉***, 瀬戸内 秀規****

Shinichi HATAKENAKA, Shinichi MIYACHI, Katsuya EDAMOTO and Hideki SETOUCHI

- * 工修 川田工業株式会社 技術開発本部 技術研究室 (〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)
 ** 工修 川田工業株式会社 技術開発本部 技術研究室, 係長 (〒550-0014 大阪市西区北堀江 1-22-19)
 *** 工修 川田工業株式会社 技術開発本部 技術研究室, 係長 (〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)
 **** 工修 川田工業株式会社 技術開発本部 技術研究室 (〒550-0014 大阪市西区北堀江 1-22-19)

This paper presents effects of leading edge stabilizers in tandem on the aeroelastic stability of ribbon stress-bridge deck sections. Two-dimensional wind tunnel tests were performed using flat rectangular section models with various leading edge stabilizers and fairings. Comparing torsional flutter responses and moment coefficients of each model, it was confirmed that the leading edge stabilizers in tandem would be a useful countermeasure improving the aeroelastic stability of the stress-ribbon bridge sections.

Key words: leading edge stabilizer, torsional flutter, stress-ribbon bridge, wind tunnel test

1. まえがき

吊床版橋は、水平に張り渡した多数のケーブルで薄い床版を直接支持した帯状の橋梁であり、近年、景観を考慮した人道橋などに数多く採用されるようになってきている。しかしながら、一般に他の橋梁形式と比較して吊床版橋は幅員や桁高が小さく、また、たわみやねじれに対する剛性も低いことから、低風速域においてたわみやねじれ渦励振が、また高風速域においてねじれフラッターの発現が予測される。このため、特に長支間の吊床版橋では、橋梁ごとに耐風安定性の照査が行われており、その結果空力安定対策が必要とされる場合にはフェアリングの設置を検討した例が報告されている¹⁾。また、フェアリング以外の対策としては、ダンパーなどの機械的対策も考えられる。しかしながら、いずれの場合においても、死荷重の増大あるいは設置の手間などから、費用面において必ずしも良策とはいえない場合も多いものと思われる。それゆえ、安価でかつ設置が容易な空力的制振対策の開発が、耐風設計に携わる実務技術者から強く望まれている。

このような状況のもと、経済的かつ設置の容易な空力的制振対策として、著者らは水平プレートを利用した制振法に着目し、その有効性についての研究を行ってきた^{2),3)}。その結果、偏平な斜張橋箱桁断面の桁側面に水平プレートを設置した場合、渦励振やねじれフラッターに

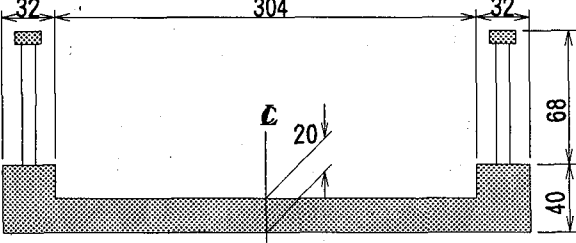
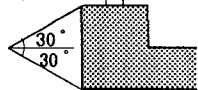
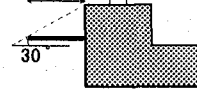
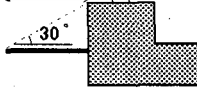
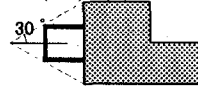
対する耐風安定性が著しく向上することを確認している。また、長大箱桁橋を対象とした齊藤ら⁴⁾の実験報告、あるいは、2主桁橋を対象とした酒井ら⁵⁾の実験報告から、同種のプレートの有効性が確認されている。

箱桁橋および桁橋に関する以上の知見から、桁側面の適切な位置に水平プレートを設置することで、吊床版橋についてもねじれフラッターの限界風速を高めることが期待できるとして、著者らは過去に主桁側面に1段の水平プレートを設置した場合の耐風安定性について検討を実施してきた⁶⁾。しかしながら、この場合、迎角の条件によっては水平プレートの空力安定効果がほとんど現れないことも確認されており、より効果的な水平プレートの配置についての検討が重要な課題となっていた。

ここで、過去に実験の対象とした斜張橋箱桁断面と吊床版橋断面を比較すると、前者の桁下面コーナー部が斜めにカットされた形状であるのに対し、後者の桁下面は直角のコーナーを有し、そのかど部において明確な剥離点を形成している。すなわち、この部分での剥離特性の相違は、橋梁の空力安定性に大きく影響していることが予想される。このため、橋面上の剥離流を制御する目的で設置する1段の水平プレートのみでは、広い迎角範囲での十分な空力安定性が得られない場合があるものと判断される。

以上のような観点から、吊床版橋断面の空力安定対策を実施する場合には、桁の上下面両側で剥離流を制御す

表－１ 基本断面および対策断面

 縮尺：1/12.5			
Model-R (基本断面)		Model-UL20 (2段水平プレート)	
Model-U20 (1段水平プレート)		Model-F (フェアリング)	
Model-U30 (1段水平プレート)		Model-L20 (下側1段水平プレート)	
Model-U40 (1段水平プレート)		Model-C20 (隅切り断面相当)	

表－２ ばね支持実験条件

		想定した実橋	ばね支持実験	
			所要値	実験値
重 量		3.126 tf/m/Br.	32.4 kgf/model	10.8 kgf/model
極慣性モーメント		522 tf・s ² ・m/m/Br.	0.0346 kgf・s ² ・m/model	0.0346 kgf・s ² ・m/model
振動数	たわみ	1.21 Hz	—	2.44 Hz
	ねじれ	1.74 Hz	—	3.60 Hz
構造対数	たわみ	—	0.02	0.06
減衰率	ねじれ	—	0.02	0.02

る必要があるものと考えられる。そこで、本研究では、桁側面に２段の水平プレートを設置した場合の空力特性を、風洞実験により検証することとした。また、従来より用いられているフェアリングを設置した断面や、隅切を模した断面との比較を行うほか、水平プレートを１段のみ設置した場合との空力特性の相違についても考察を行った。これらの結果から、桁上下面に明確な剥離点を有する吊床版橋断面の空力安定化対策として２段水平プレートを設置することにより、広範囲の迎角において耐風安定性が向上することが確認されたので、ここにその結果を報告する。

なお、水平プレートを１段のみ設置した場合との比較検討を行うにあたり、文献 6)の実験結果の一部を引用したことを最初に述べておく。

2. 実験概要

吊床版橋断面の風洞実験に際しては、川田工業(株)所有の多目的風洞施設を利用した。この風洞施設は、開放型と閉鎖型の２つの測定洞を備えた水平回流式ゲッチング型であり、本実験では幅2.0m×高さ2.5m×全長15.0mの閉鎖型測定洞を使用した。なお、本風洞の一樣流送風時における風速分布の偏差は0.6%以下であり、また、乱れ強さは0.3%以下である。

表－１は、検討の対象となる吊床版橋の基本断面と各種の空力対策を施した断面を示したものである。基本断面模型は、文献1)を参考にして縮尺1/12.5で製作され、表中に示されるように、空力対策として水平プレートおよびフェアリングを設置した対策断面を用意したほか、断面

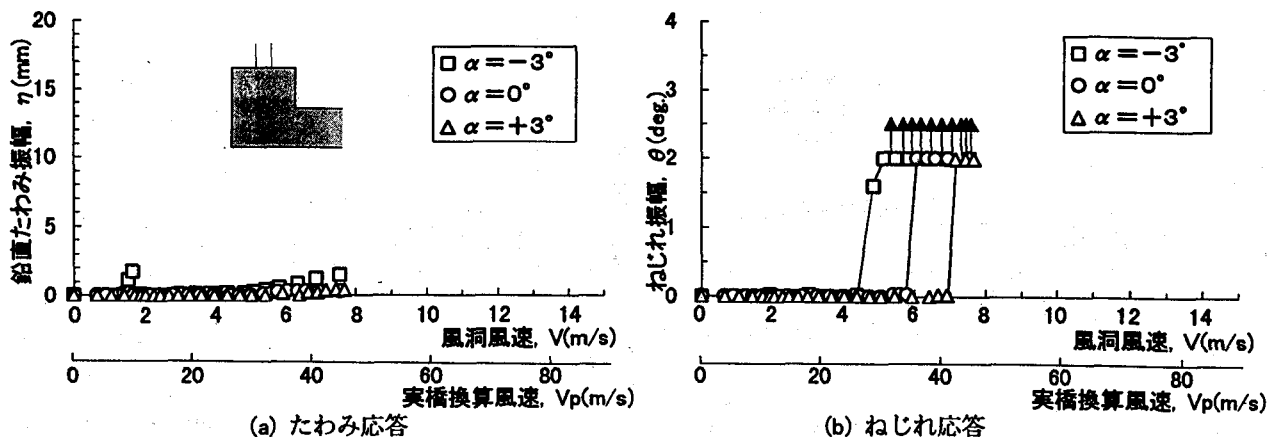


図-1 基本断面(Model-R)のばね支持実験結果

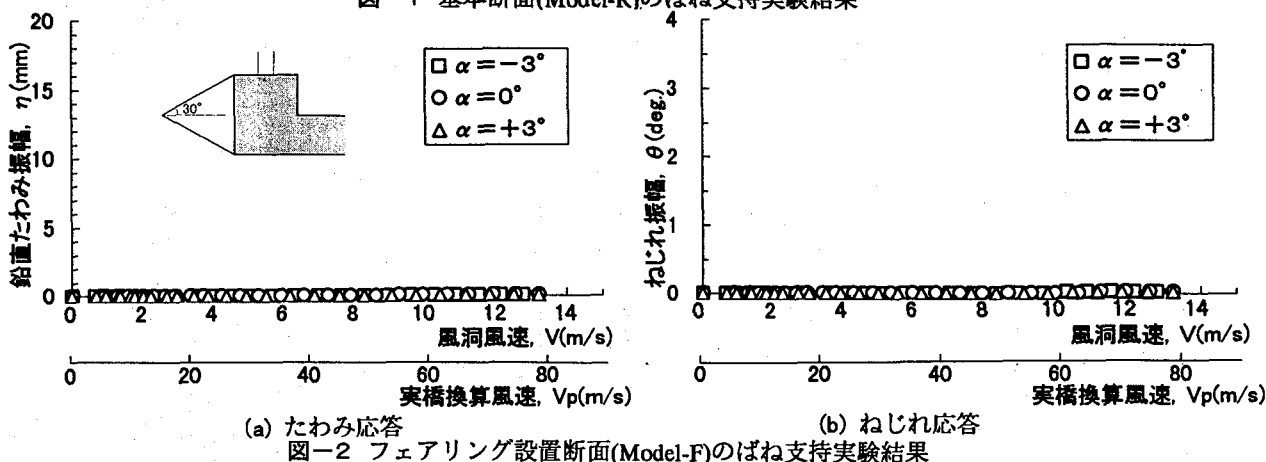


図-2 フェアリング設置断面(Model-F)のばね支持実験結果

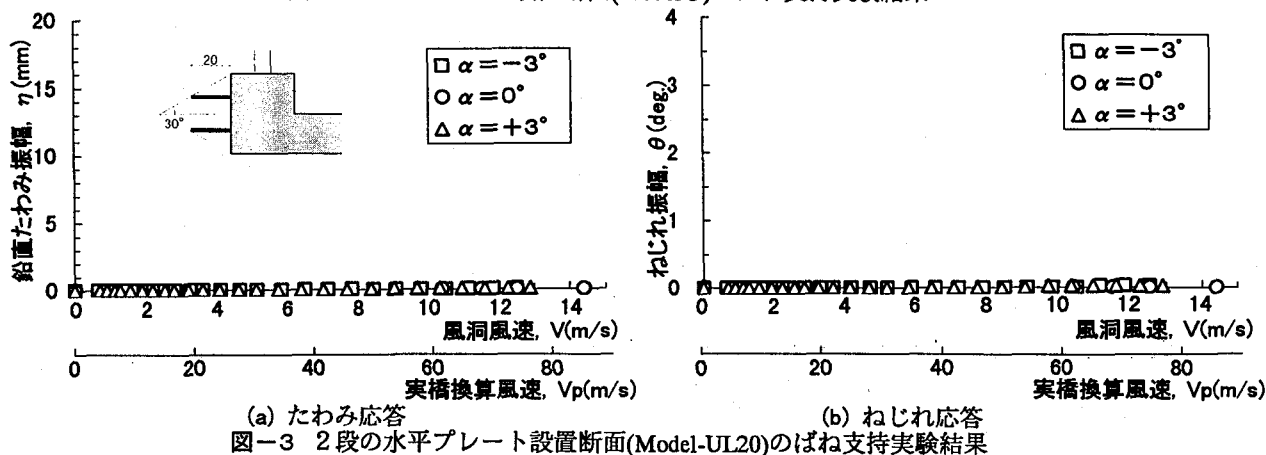


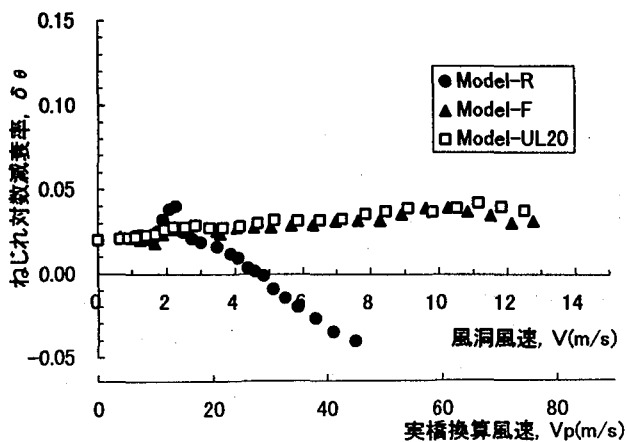
図-3 2段の水平プレート設置断面(Model-UL20)のばね支持実験結果

の隅切り効果を狙った模型についても一部用意し、検討を加えることとした。水平プレートは、幅 b がそれぞれ $b=20\text{mm}$, 30mm , 40mm の3体を製作し、桁コーナーとプレートの先端を結ぶ傾斜角が 30° となるよう水平に設置した。一方、フェアリングは、上面傾斜角が 30° をなすように、一辺の長さが桁高に等しい正三角柱を製作し、基本断面の側面部分に設置した。なお、水平プレートおよびフェアリングで用いた傾斜角 30° は、文献7)の報告を参考としたものである。

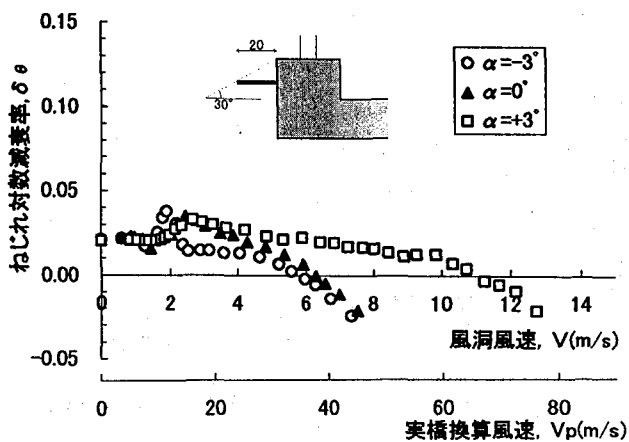
各モデル名に付した記号のR, F, U, L, ULは、それぞれ基本断面、フェアリング付き断面、上側1段水平プレ

ート付き断面、下側1段水平プレート付き断面、および2段水平プレート付き断面であることを表し、また、U, L, あるいはULに付した数字は、水平プレートの幅を表している。なお、Model-UL20の水平プレート間を図のように蓋でふさいだモデルを用意し、これを隅切り断面に相当するモデル(Model-C20)として使用した。

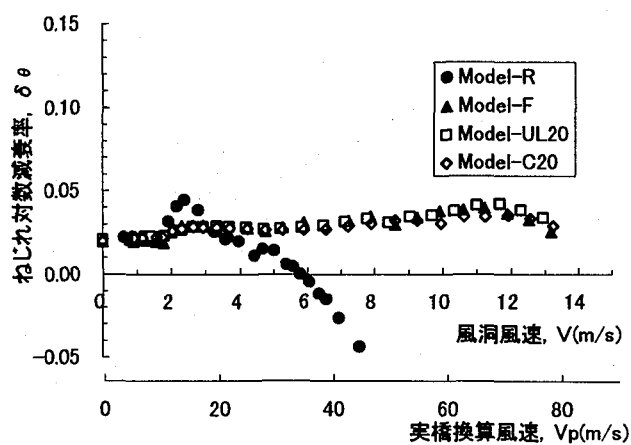
風洞実験に際しては、はじめにModel-R, Model-F, およびModel-UL20に関して、一様流中におけるばね支持実験を実施し、また、あわせて文献6)に報告されたModel-U20~U40に関する結果とも比較することにより、2段水平プレートの空力安定効果を確認した。表-2にばね支持



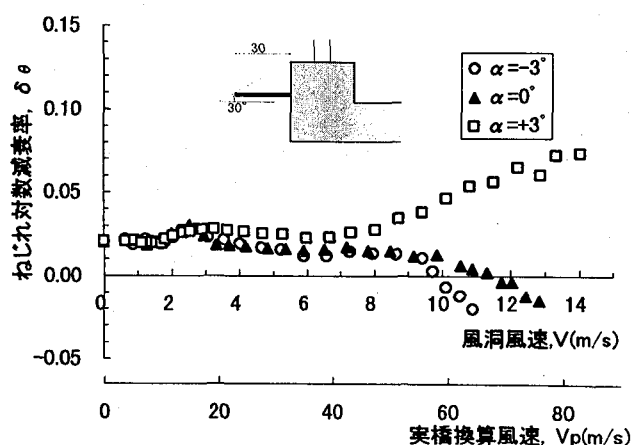
(a) 迎角 $\alpha = -3^\circ$ の場合



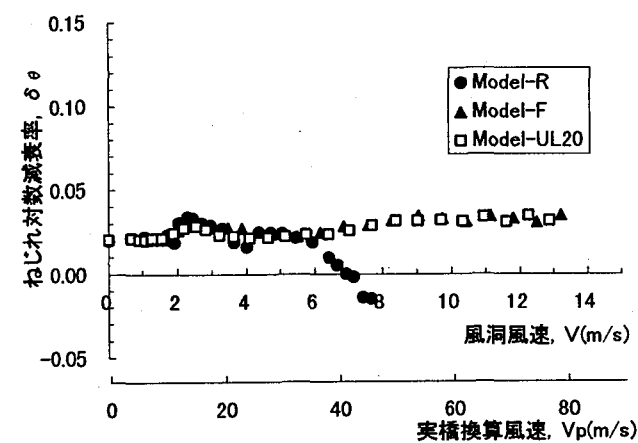
(a) Model-U20



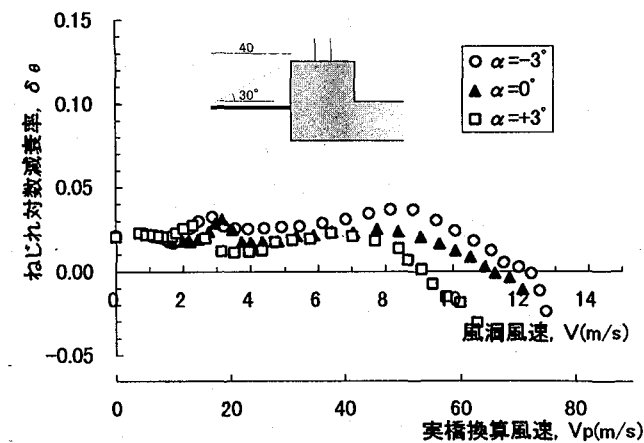
(b) 迎角 $\alpha = 0^\circ$ の場合



(b) Model-U30



(c) 迎角 $\alpha = +3^\circ$ の場合



(c) Model-U40

図-4 2段水平プレート・フェアリング・隅切りを設置した断面の $V - \delta_\theta$ 曲線

図-5 水平プレートを1段のみ設置した断面の $V - \delta_\theta$ 曲線

実験の条件を示す。なお、模型重量の所要値が非常に大きく、質量の相似が困難であったことから、たわみ渦励振に関してはスクルートン数による相似を考え、たわみに関する構造対数減衰率を $\delta_g=0.06$ に設定した。また、高風速時の風圧に伴う模型の姿勢変化を補正するため、各風速において所定の迎角になるよう静的ねじれ角を調整した。

ばね支持実験の終了後、各断面について静的三分力試験を実施し、三分力特性とばね支持実験結果との関連性について検討した。なお、静的三分力試験に際しては、空気力係数の風速依存性を確認するために、風洞風速 $V=5.0\text{m/s}$ および $V=8.0\text{m/s}$ の2通りの風速で測定を実施した。

3. ばね支持実験結果

(1) 2段水平プレートを設置した場合の空力応答特性

Model-R, Model-F, および Model-UL20 を対象に、一様流中にてばね支持実験を実施した。はじめに、それぞれの断面について迎角 α を $\alpha=-3^\circ, 0^\circ, +3^\circ$ と変化させた場合の鉛直たわみ応答 η とねじれ応答 θ の測定結果を図-1~3に示す。(図中の $\uparrow$ を付した記号は測定限界以上の振動が発生したことを示す。)

図-1からわかるように、Model-R では迎角 α が $\alpha=-3^\circ$ (図中の $\square$ 記号)のとき、風洞風速 $V=1.7\text{m/s}$ において振幅 $\eta=1.7\text{mm}$ のたわみ渦励振が発現している。また、ねじれフラッターに着目すると、 $\alpha=-3^\circ$ の場合(図中の $\square$ 記号)は $V=4.8\text{m/s}$ において、 $\alpha=0^\circ$ の場合(図中の $\circ$ 記号)は $V=5.8\text{m/s}$ において、さらに $\alpha=+3^\circ$ の場合(図中の $\triangle$ 記号)は $V=7.0\text{m/s}$ なる風速において、振幅 θ が 2° 以上となるようなねじれ振動が発現している。

一方、図-2からわかるように、Model-F では $V=13\text{m/s}$ 程度まで渦励振とねじれフラッターのいずれも発現していない。同様に図-3から、Model-UL20 についても $V=13\text{m/s}$ 程度まで渦励振やねじれフラッターは発現しておらず、Model-R と比較して空力安定性が著しく向上していることがわかる。ここに、桁側面に設置した2段水平プレートは、上下面コーナーに明確な剥離点を有する吊床版橋基本断面に対し、フェアリングと同等の優れた空力安定効果を付与するものと判断される。

次に、風洞風速 V に伴うねじれ対数減衰率 δ_g の変化を調べることで、水平プレートのねじれフラッター特性に与える影響を考察することとした。図-4(a)~(c)は、Model-R, Model-F および Model-UL20 について、迎角 α を $\alpha=-3^\circ, 0^\circ, +3^\circ$ と変化させた場合のねじれ対数減衰率 δ_g の測定結果を示したものである。ここに、対数減衰率を算出するにあたっては、基準片振幅を $\theta=1^\circ$ に設定している。なお、 $\alpha=0^\circ$ の場合には、隅切り断面に相当するモデルとして表-1に示した Model-C20 についての実験も実施しており、その結果についても並記する。

図-4(a)~(c)を観察すると、Model-R のねじれ対数減衰率 δ_g (図中の $\bullet$ 記号)は、風速 $V=2.2\text{m/s}$ 程度でいったん最大値を示したあと徐々に減少し、 $\alpha=-3^\circ, 0^\circ, +3^\circ$ の迎角に対して、それぞれ $V=4.8\text{m/s}, 5.8\text{m/s}, 7.0\text{m/s}$ なる風速で負の値へと転じている。これらの風速においてねじれフラッターを生じることは図-1(b)の $V-\theta$ 曲線からも確認できる。これに対し、Model-F のねじれ対数減衰率 δ_g (図中の $\blacktriangle$ 記号)は、 $V=13\text{m/s}$ 程度以下の風速域内において、無風時の値($\delta_g=0.02$)を上回っており、Model-R の結果(図中の $\bullet$ 記号)に比べて、大きな空力安定性を示している。また、Model-UL20(図中の $\square$ 記号)に着目すると、各迎角において Model-F 断面とほぼ同等のねじれ対数減衰率が確保されていることがわかる。すなわち、2段水平プレートを設置することにより、フェアリングを設置した場合とほぼ同程度の空力安定化効果が確保されていることが理解される。なお、2段水平プレート付き断面において、ねじれフラッターに対する耐風安定性が確保された風洞風速 $V=13.0\text{m/s}$ は、想定した実橋に対する換算風速では 78.3m/s に相当し、一般的な吊床版橋の架設地点を考慮すると、ほぼ十分な耐風安定性を有しているといえる。

なお、迎角 $\alpha=0^\circ$ の場合のみではあるが、隅切り断面に相当する Model-C20(図-4(b)中の $\diamond$ 記号)については、Model-UL20 と同程度の空力安定性を示しており、水平プレート間をふさぐ蓋が及ぼす影響は小さいものと判断される。

(2) 水平プレートを1段のみ設置した場合との比較

ここでは、文献6)で提示した水平プレートを1段のみ設置した場合の応答特性を、前述した2段水平プレート付き断面と比較する。図-5(a)~(c)はそれぞれ、Model-U20, Model-U30 および Model-U40 を対象として、迎角 α を $\alpha=-3^\circ, 0^\circ, +3^\circ$ と変化させた場合における一様流中でのねじれ対数減衰率 δ_g の測定結果である。

はじめに、Model-U20 断面(図-5(a))に着目すると、迎角が $\alpha=+3^\circ$ の条件(図中の $\square$ 記号)では、 $V=11\text{m/s}$ 程度以上の風速で δ_g が負の値となり、ねじれフラッターが発現している。しかしながら、迎角が $\alpha=0^\circ$ や -3° の条件(図中の $\blacktriangle$, $\circ$ 記号)では、 $V=6\text{m/s}$ 程度の風速で δ_g が負の値に転じており、負の迎角における空力安定効果はあまり期待できない結果となっている。さらに、図-4に示した Model-UL20 と比較しても、空力安定性は劣る結果となることがわかる。

次に、Model-U30(図-5(b))に着目すれば、迎角が $\alpha=+3^\circ$ の条件(図中の $\square$ 記号)において高い空力安定性が確保されているものの、迎角が $\alpha=0^\circ$ (図中の $\blacktriangle$ 記号)では $V=11\text{m/s}$ 程度において、また、 $\alpha=-3^\circ$ (図中の $\circ$ 記号)では $V=10\text{m/s}$ 程度の風速で δ_g が負の値に転じている。

一方、水平プレート幅を $b=40\text{mm}$ とした Model-U40(図-5(c))では、上述した Model-U20 や Model-U30 の場合

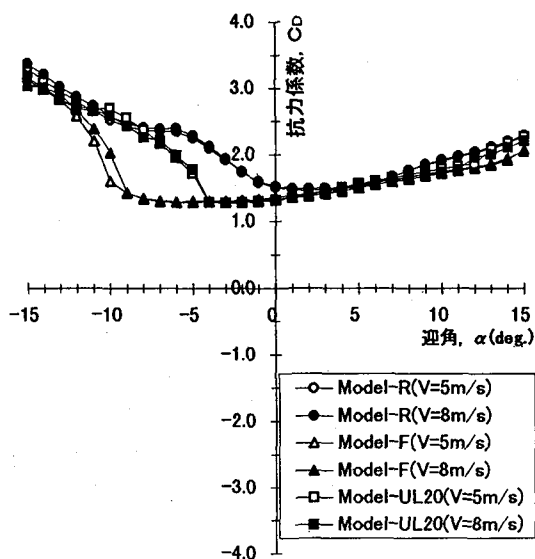


図-6 基本断面・フェアリング・2段水平プレートを設置した断面の抗力係数 C_D 曲線

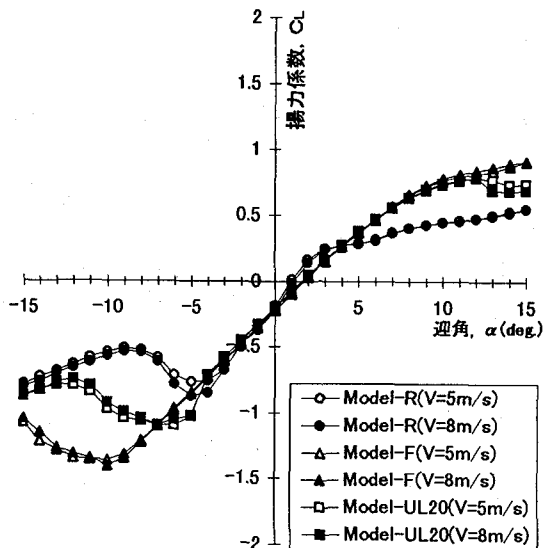


図-7 基本断面・フェアリング・2段水平プレートを設置した断面の揚力係数 C_L 曲線

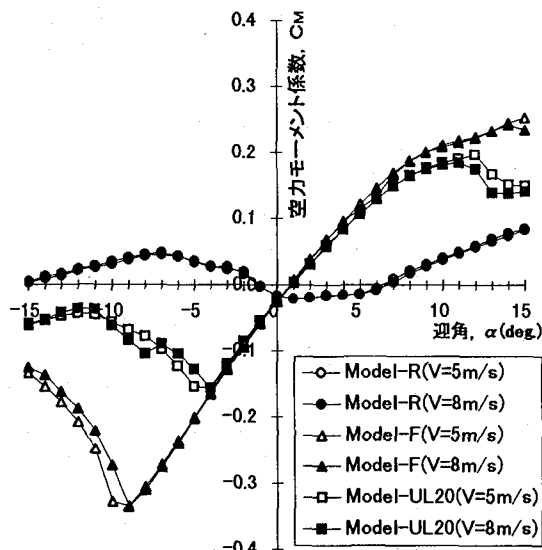


図-8 基本断面・フェアリング・2段水平プレートを設置した断面の空力モーメント係数 C_M 曲線

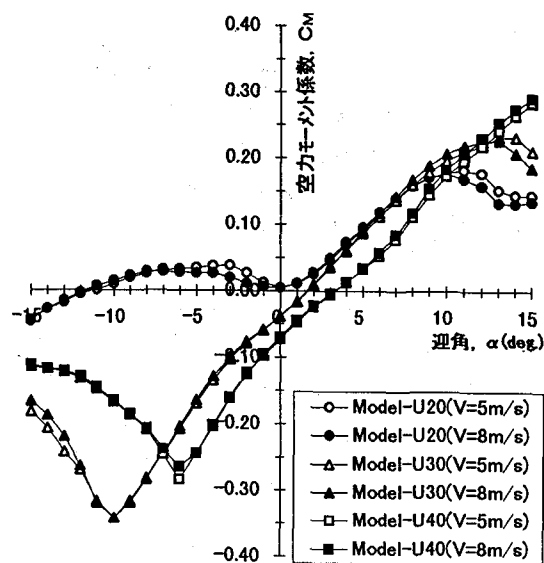


図-9 1段水平プレートを設置した断面の空力モーメント係数 C_M 曲線

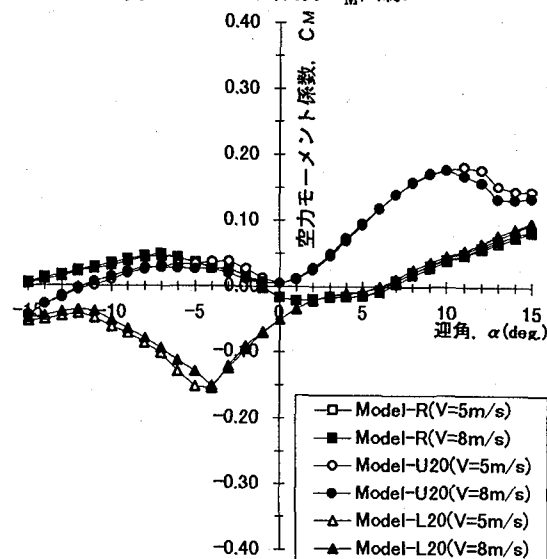


図-10 基本断面および1段水平プレートを設置した断面の C_M 曲線

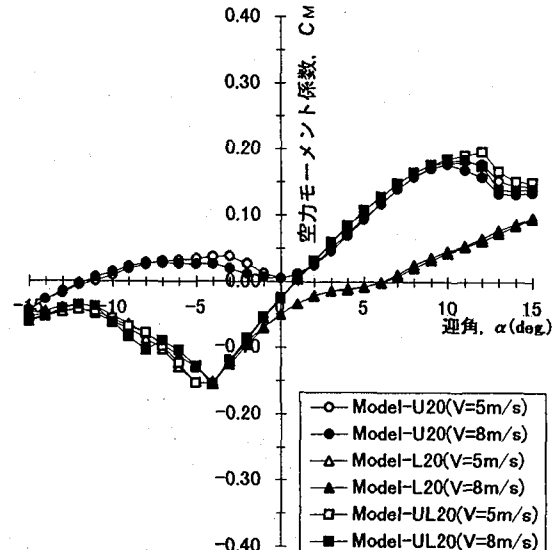


図-11 2段水平プレートおよび1段水平プレートを設置した断面の C_M 曲線

とは逆に、迎角が $\alpha = -3^\circ$ なる条件（図中の○記号）で空力安定性が最も向上する結果となっている。

以上の結果より、1段の水平プレートを設置した断面では、その設置位置により空力的に有効となる迎角が変化するため、対象とした吊床版橋のねじれフラッターに対する空力安定性において、十分な耐風対策となり得ない場合があることがわかった。しかし、水平プレートを2段設置することにより、空力安定化効果の迎角依存性を低減できるため、十分な空力安定性が得られることが判明した。

4. 静的三分力実験結果

前章で示したように、水平プレートやフェアリングを設置した断面と基本断面の空力減衰特性には顕著な差異が認められる。そこで、本章では静的三分力実験の結果をもとに、耐風安定性と静的空気力特性（主として空力モーメント係数）の関連性について考察を行うこととした。

Model-R、Model-F および Model-UL20 について、一樣流中でそれぞれ静的三分力実験を実施し、得られた抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L 、および空力モーメント係数 C_M の測定結果を図-6～8に示す。なお、空気力係数の風速依存性の有無を確認するため、風速 $V=5.0\text{m/s}$ および $V=8.0\text{m/s}$ なる2通りの風速にて実験を実施したが、図に示すように、大きな特性の差異は認められなかった、したがって、以下の比較では $V=8.0\text{m/s}$ の結果に基づいて考察を行う。

図-6より、Model-F（図中の▲記号）や Model-UL20（図中の■記号）の抗力係数 C_D は、正の迎角範囲で Model-R（図中の●記号）の結果とほぼ一致していることがわかる。また、図-7に着目すると、同じく Model-F や Model-UL20 の揚力係数 C_L は、 $-5^\circ \leq \alpha \leq +5^\circ$ の迎角範囲で基本断面の結果にほぼ一致していることがわかる。

これに対し、図-8に着目すると、Model-F や Model-UL20 の空力モーメント係数 C_M は、 $-15^\circ \leq \alpha \leq +15^\circ$ の全迎角範囲において Model-R の結果と大きく相違していることがわかる。ここで、ばね支持実験を行った迎角範囲 $-3^\circ \leq \alpha \leq +3^\circ$ における空力モーメント係数 C_M の迎角 α に対する勾配に着目すると、ばね支持実験において、比較的低風速でねじれフラッターが発現した Model-R が全体として負の勾配であるのに対し、風洞風速 $V=13\text{m/s}$ 程度までねじれフラッターが発現しなかった Model-F や Model-UL20 の勾配は大きな正勾配を示しており、 C_M の勾配とねじれフラッター特性には有意な関連性が認められる。それゆえ、以下では、各断面モデルの空力モーメント係数 C_M の特性を詳細に吟味することとする。

図-9は、Model-U20、Model-U30 および Model-U40 の空力モーメント係数 C_M の測定結果である。ばね支持実験の結果によれば、Model-U30 および Model-U40 では迎

角範囲 $-3^\circ \leq \alpha \leq +3^\circ$ において、ねじれフラッター風速が向上する結果が確認されている。これと対応するように、図-9における Model-U30 および Model-U40 の空力モーメント係数 C_M （図中の△、□記号）は、風洞風速 $V=8\text{m/s}$ の条件の下で、 $-6^\circ \leq \alpha \leq +10^\circ$ なる迎角範囲でほぼ直線的に増大していることがわかる。一方、ねじれフラッター風速の向上が迎角 $\alpha = +3^\circ$ の場合のみ確認された Model-U20 の場合、 $-7^\circ \leq \alpha \leq 0^\circ$ なる迎角範囲では C_M の勾配が負となる特性が認められる。ここに、 C_M の勾配とねじれフラッターに対する空力安定性は比較的良好に対応していると言える。

ところで、図-10は、Model-U20 と Model-L20 の空力モーメント係数 C_M を Model-R の結果と比較したものであるが、図からわかるように、Model-U20 の空力モーメント係数 C_M （図中の●記号）は、迎角 $0^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ$ の正の迎角範囲では直線的な正勾配を呈し、Model-R の特性と明らかに相違する結果となっているものの、負の迎角範囲で基本断面の結果（図中の■記号）とほぼ一致している。このことから、上側に設置した水平プレートは、迎角が正の状態ではねじれフラッターに対する空力安定化効果を発揮するものと読み取れ、これは図-5(a)に示したばね支持実験結果とも対応している。これに対し、下側1段のみ水平プレートを設置した Model-L20（図中の▲記号）の C_M の勾配は、 $-4^\circ \leq \alpha \leq +1^\circ$ なる迎角範囲で大きな正勾配を呈しているものの、正の迎角範囲では基本断面の結果とほぼ一致している。すなわち、下側1段の水平プレートは、迎角が負となった場合のねじれフラッターに対してのみ、空力安定化効果を発揮するものと判断される。

一方、図-11は、Model-U20 と Model-L20 の空力モーメント係数 C_M を、Model-UL20 の結果と比較したものであるが、図からわかるように Model-U20（図中の●記号）については、正の迎角範囲での空力モーメント係数 C_M が Model-UL20（図中の■記号）の結果とほぼ一致している。また、Model-L20 の空力モーメント係数 C_M （図中の▲記号）は逆に負の迎角範囲で Model-UL20 の結果（図中の■記号）とほぼ一致している。

図-10、11の結果より、対象としたモデルに対し、上段プレートは正の迎角において、また、下段プレートは負の迎角において、それぞれ空力安定性の向上に寄与する特性を有しており、また、2段水平プレートは上記のそれぞれの特性を併せ持つことにより、ばね支持実験を行った $-3^\circ \leq \alpha \leq +3^\circ$ の正負両迎角範囲内で空力安定効果を発揮したものと考えられる。

5. まとめ

本論文は、一連の部分模型風洞実験を通して、吊床版橋によく用いられる偏平矩形断面に対する水平プレート

(1) 桁側面に設置した2段水平プレートは、吊床版橋でよく用いられる偏平矩形断面に生ずる渦励振やねじれフラッターに対し、フェアリングや隅切り断面と同等の優れた安定効果を発揮する。

(2) 本研究で対象とした偏平矩形の吊床版橋断面において、広範囲の迎角にわたる空力安定性を確保するためには、桁の上面と下面の剥離流双方を制御することが必要である。

(3) 偏平矩形断面のねじれフラッターに対する水平プレートの空力安定化効果は、静的空力モーメント係数曲線の勾配の大きさと比較的良好に対応する傾向が認められた。

(4) 静的空力モーメント係数の比較結果から、上段プレートは正の迎角において、また、下段プレートは負の迎角において、それぞれ空力安定性の向上に寄与する特性を有していると思われる。また、2段水平プレートは、上記のそれぞれの特性を併せ持つことで、正負双方の迎角範囲にわたり優れた空力安定化効果を発揮するものと考えられる。

水平プレートは、フェアリングなどの空力的対策と比較して安価であり、かつ桁本体への設置作業も比較的容易である。本研究の実験結果から、吊床版橋の耐風対策として2段の水平プレートを設置することにより、フェアリングと同等の空力安定化効果を期待できることが確認された。今後は可視化実験などを行い、水平プレートによる剥離制御効果を明確にするとともに、本研究とは異なる辺長比を持つ断面や、実橋への適応性などについても検討を行う予定である。最後に、本論文が耐風設計に携わる実務技術者にとって有用な技術資料になることを心より願う次第である。

参考文献

- 1) 徳山清治, 上迫田和人, 石原元, 矢野一正: 吊床版橋の動的挙動について—車両走行試験と風洞試験—, プレストレストコンクリート技術協会第3回シンポジウム論文集, pp.201~206, 1992年11月.
- 2) 米田昌弘, 宮地真一, 瀬戸内秀規, 枝元勝哉: 偏平箱桁断面に対する水平プレートの空力制振効果に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.42A, pp.825~832, 1996年3月.
- 3) 米田昌弘, 宮地真一, 瀬戸内秀規, 枝元勝哉: 地覆・高欄を設置した偏平箱桁断面に対する水平プレートの空力制振効果について, 構造工学論文集, Vol.43A, pp.929~938, 1997年3月.
- 4) 斉藤通, 本田明弘: 長大箱桁橋の耐風性及び制振対策法について, 構造工学論文集, Vol.36A, pp.889~894, 1990年3月.
- 5) 酒井洋典, 小川一志, 下土居秀樹, 斉藤敏雄: 2主桁橋梁の空力特性改善策に関する実験的研究, 第12回風工学シンポジウム論文集, pp.393~398, 1992年12月.
- 6) 畠中真一, 米田昌弘, 宮地真一, 瀬戸内秀規: 吊床版橋のねじりフラッター特性に及ぼす水平プレートの空力制振効果について, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集, I-B91, pp.182~183, 1997年9月.
- 7) 久保喜延, 小石明, 田崎賢二, 中桐秀雄: 橋梁断面における空力干渉作用のメカニズムについて, 第13回風工学シンポジウム論文集, pp.353~358, 1994年12月.

(1997年9月26日受付)