

長大橋用五角形断面箱桁の空力特性に関する研究

九州工業大学院 学生員 吉田健太 辻栄治
九州工業大学 正会員 久保喜延 木村吉郎 加藤九州男

1. はじめに 現在世界最長の明石海峡大橋を超える超長大橋の議論が行われているが、その実現に向けては吊橋の空力弾性振動に関する更なる研究が必要である。空力弾性振動とは構造物に風が作用した際に生じる振動現象である。振動抑制策の一つとして、フェアリング等の空力的付加部材を設置する方法があるが、経済性やメンテナンスを考えるとフェアリング等の付加部材の使用は好ましくない。そこで、空力的付加部材を使用しなくても耐風性が得られ、かつ経済性に優れた五角形断面が提案され、本研究では三分力実験、応答実験を通して断面のウェブ傾斜角を変化させることで対風特性を明確にし、明石海峡大橋を超える超長大橋用補剛桁の開発を目的とした。

2. 三分力および応答実験概要 実験には、境界層風洞（測定断面高さ 1800 mm，幅 2400 mm～2600 mm）を使用し、一様流中で測定した。供試模型には、**図1**に示すような五角形断面模型を用いた。**図2**においてウェブ傾斜角が $\theta = 10^\circ, 13^\circ, 16^\circ, 19^\circ, 22^\circ$ の場合の過去の応答実験結果のまとめを示す。 $\theta = 19^\circ, 22^\circ$ はフラッター発現風速が低く、明らかに耐風性が悪い。一方で、 $\theta = 27^\circ, 30^\circ, 33^\circ$ の場合はフラッター発現風速が高く、耐風性が良い。また、五角形断面において桁上面の断面形状が一定であっても、ウェブ傾斜角が変化すると桁上面での流れ特性も変化すること、つまり桁上面の流れが桁高の支配を大きく受けることが確認されている。そこで、本研究では供試模型の B, a および D を一定にし、 D を変化させることによってウェブ傾斜角を $\theta = 10^\circ, 11^\circ, 12^\circ, 13^\circ, 14^\circ, 15^\circ, 16^\circ$ と変化させ、三分力測定および応答測定を行った。

3. 三分力実験結果および考察 **図3, 4**において測定された空気力を、横軸にウェブ傾斜角，縦軸に抗力係数，揚力係数としてそれぞれについて示す。

3-1 抗力係数とウェブ傾斜角の関係 **図3**によると、抗力係数 C_D は、ウェブ傾斜角 $\theta = 14^\circ$ のとき最大で $C_D = 1.16$ ， $\theta = 12^\circ$ のとき最小で $C_D = 0.92$ となった。また、抗力係数は、ウェブ傾斜角の変化に対して $\theta = 10^\circ \sim 16^\circ$ において増加し続けるのではなく、 $\theta = 10^\circ$ から $\theta = 12^\circ$ まで減少し、 $\theta = 12^\circ$ から $\theta = 14^\circ$ において増加し、 $\theta = 14^\circ$ から $\theta = 16^\circ$ の範囲で減少している。よって、 $\theta = 13^\circ$ を境にして対風性が変化しているのではないかと考えられる。一般的にウェブ傾斜角が増加するに従って、風に対する投影面積が大きくなるため、抗力が大きくなると考えられている。しかし、この五角形断面では剥離した渦による背圧が断面の下流側に働き、その背圧と上流側の正圧とが相殺し、その相殺割合が $\theta = 12^\circ$ の場合は大きく、 $\theta = 14^\circ$ のときは小さくなったために**図3**のような傾向になったのではないかと考えられる。

キーワード：五角形断面，ウェブ傾斜角，フラッター発現風速，抗力係数，揚力係数

連絡先：〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1 九州工業大学 TEL 093-(884)-3109

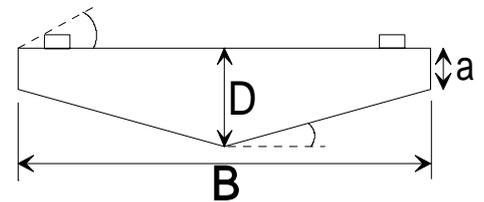


図1 模型断面図

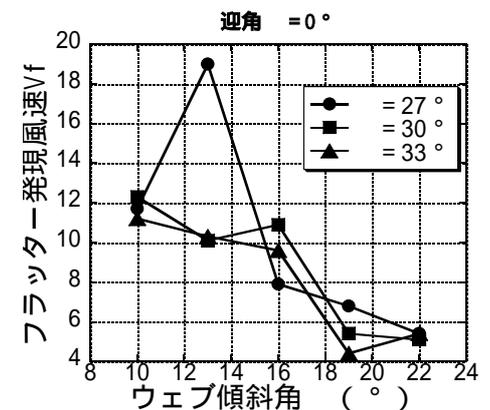


図2 既往の研究の応答図

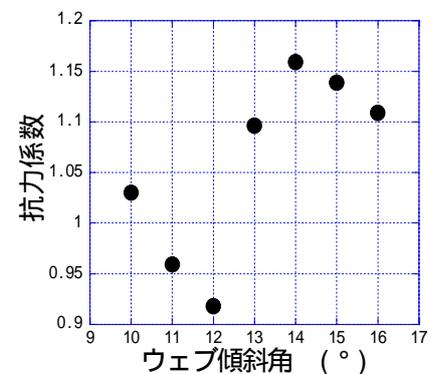


図3 抗力係数とウェブ傾斜角の関係

3-2 揚力係数とウェブ傾斜角の関係 図4によると、揚力係数 C_L はウェブ傾斜角 $\theta = 10^\circ \sim 13^\circ$ では値が負となり、 $\theta = 12^\circ$ のとき最小で $C_L = -0.48$ となった。 $\theta = 14^\circ \sim 16^\circ$ では値が正となり、 $\theta = 16^\circ$ のとき最大で $C_L = 0.31$ となった。揚力が負であるということは、下向きに揚力が働くということであり、正であるということは、上向きに揚力が働くということである。吊形式橋梁において、揚力が下向きに働くとケーブルに引張力が作用し、桁の剛性が間接的に大きくなり耐風性が良くなる可能性があると考えられている。このことによれば、ウェブ傾斜角が $\theta = 10^\circ \sim 13^\circ$ のときは $\theta = 14^\circ \sim 16^\circ$ に比べて耐風性が良くなる可能性があると考えられる。その中でも最小値を示している $\theta = 12^\circ$ のときに最も剛性が大きくなり、耐風性が良くなると思われる。

4. 応答実験結果および考察 図5において測定した応答を、横軸にねじれ固有振動数 f と総幅員 B で無次元化した換算風速 $V_r(B)$ を、縦軸に倍振幅2 [deg.]として示す。また、図6において横軸にウェブ傾斜角 θ を、縦軸にフラッター発現風速 V_r として示す。フラッターは $\theta = 13^\circ \sim 16^\circ$ で発現し、 $\theta = 10^\circ \sim 12^\circ$ では発現しなかった。図6によると、相対的にウェブ傾斜角が増加するに従って、フラッター発現風速が低風速化する傾向にあると考えられる。また、渦励振はどの角度でも発生しなかった。

5. フラッター発現風速とモーメント係数の比較 図7において横軸にモーメント係数 C_M 、縦軸にフラッター発現風速 V_r として示す。モーメント係数の値が減少するに従って、フラッター発現風速が高くなる傾向にある。また、その傾向には線形性がある。ここでモーメント係数の値に着目すると、フラッターが発現していない $\theta = 10^\circ \sim 12^\circ$ は負であり、発現している $\theta = 13^\circ \sim 16^\circ$ は正である。モーメント係数の値が負ならば桁の上流部を下げ、正ならば桁の上流部を上げるようなモーメントが働いているということである。つまり、モーメント係数の値の正負でフラッターが発現するか否かを判断できると推測される。また、フラッター発現風速の推定も行える可能性がある。

6. 結論 三分力特性を総合して考察すると、抗力が最も小さく、最も大きい揚力が下向きに働き、更に負のモーメントが働く $\theta = 12^\circ$ において最も良好な三分力特性が得られたと考えられる。また、フラッターは $\theta = 10^\circ \sim 12^\circ$ のときは発現せず、 $\theta = 13^\circ \sim 16^\circ$ のとき発現した。そのフラッター発現風速はウェブ傾斜角が小さくなるに従って高くなるということが確認できた。このことは、ウェブ傾斜角が小さくなるに従って橋桁形状が流線型に近づくことにより、応答が制御されたと考えられる。上記の通り三分力特性および応答特性を検討した結果、最良の三分力特性が得られ、かつ応答実験においてフラッターが発現しなかった $\theta = 12^\circ$ が本研究の中での最良のウェブ傾斜角となった。

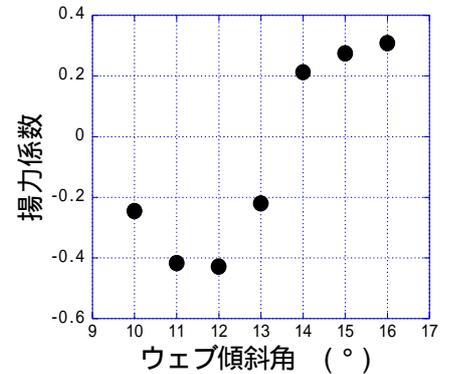


図4 揚力係数とウェブ傾斜角の関係

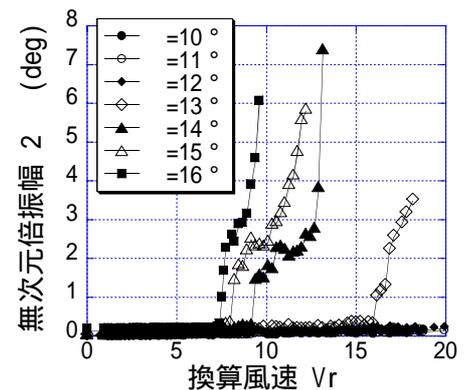


図5 ねじれ応答図

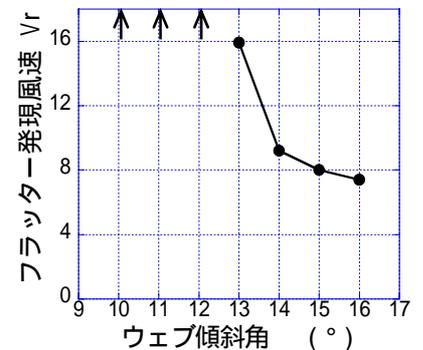


図6 フラッター発現風速

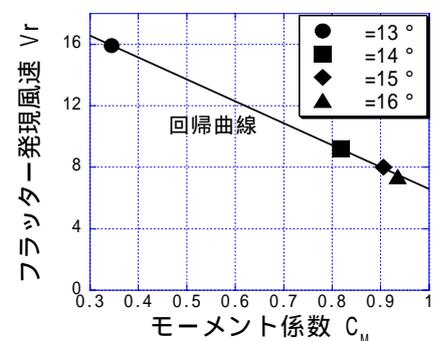


図7 フラッター発現風速とモーメント係数の関係