

五角形断面桁の底面傾斜角 12 度におけるウェブ高の空力特性に与える影響

九州工業大学大学院 学生会員 ○久積和正 (株) 奥村組 正会員 辻栄治
九州工業大学 フェロー 久保喜延 九州工業大学 正会員 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。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桁が提案された。本研究では応答実験、三分力実験および圧力測定実験を通して五角形断面のウェブ高を変化させることによる対風特性を明確にすることを目的とした。

2. 実験概要 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、底面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が既往の研究より確認されている。図-2において、底面傾斜角 $\theta = 10^\circ, 11^\circ, 12^\circ, 13^\circ, 14^\circ, 15^\circ, 16^\circ$ の場合の既往の三分力測定実験結果を示す。風荷重に対して最も影響が大きいのは抗力係数 C_D であり、底面傾斜角 $\theta = 12^\circ$ のとき最小となった。さらに、揚力係数 C_L においても $\theta = 12^\circ$ のとき負の値を示し最小となった。そこで図-1に示す五角形断面剛性模型を用い、本研究では底面傾斜角 $\theta = 12^\circ$ と固定して、断面幅 B とウェブ高 D との無次元比 $B/D = 4, 4.56, 5, 5.78$ と変化させ、さらに迎角 α （頭上げを+とする）の変化による空力特性への影響も検討した。この実験ケースで一様流中においてねじれ 1 自由度応答実験を行い、応答特性が最も悪く耐風性が安定していなかった $B/D = 4$ に着目し、表面圧力測定実験を行った。圧力測定実験では強制加振時の加振振幅をねじれ倍振幅 $2\phi = 1.0$ [deg.] と設定し、風洞風速で $5.77\text{m/s} \sim 13.9\text{m/s}$ の範囲で測定した。また、加振振動数は応答実験でのねじれ固有振動数 2.19Hz に設定した。

3. 実験結果および考察

3-1 1 自由度ねじれ応答実験 ここでは $B/D = 4$ の応答図を図-3に示し、それぞれの B/D についてフラッターが発現する境界の迎角を図-4に示す。 $B/D = 4$ においては、迎角 $\alpha = -4^\circ \sim +2^\circ$ の範囲でフラッターは発現せず、 $\alpha = -6^\circ, -5^\circ, +3^\circ, +4^\circ, +6^\circ$ でフラッターが発現した。他の B/D と比較すると図-4に示すように、 B/D が大きくなるにしたがって、つまりウェブ高が小さくなるにしたがってフラッターが発現する迎角の境界が広がっている。このことより、五角形断面桁においては、桁上面の断面形状が一定であっても、ウェブ高が変化すると桁周辺の流れ特性も変化することが確認でき、ウェブ高が大きくなるにしたがってその耐風特性は悪くなるといえる。また、 $B/D = 4$ に着目すると、 $\alpha = +4^\circ$ よりも $\alpha = +6^\circ$ の方がフラッター発現風速は高くなっている。他の B/D においては迎角 α の絶対値が大きくなるとフラッター発現風速は低くなり、耐風性が悪くなる傾向にある。よって、 B/D が小さくなると迎角 α に対して耐風性が安定しないと考えられる。さらに、迎角 α の+、-について考察すると、全ての B/D において、迎角の+側よりも-側の方が耐風性が良い結果となり、底面傾斜角 $\theta = 12^\circ$ の五角形断面は、頭下げの迎角に対して耐風性が良好であると考えられる。

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、表面圧力

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 FAX 093-884-3100

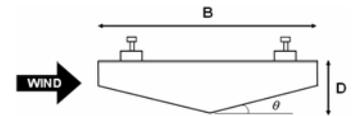


図-1 五角形断面

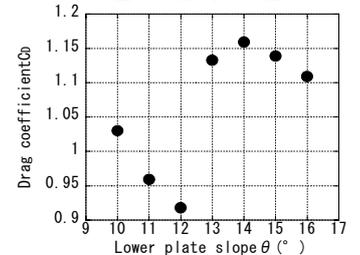


図-2 抗力係数とウェブ傾斜角の関係

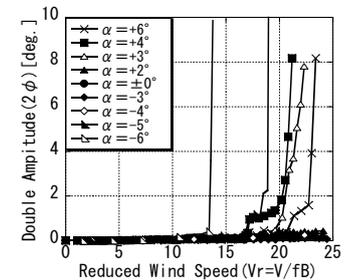


図-3 B/D=4 のねじれ応答図

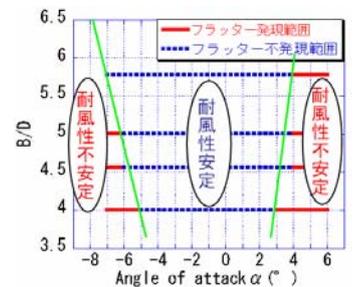


図-4 フラッターが発現する迎角の境界

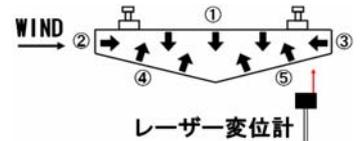


図-5 正の圧力の定義

3-2 表面圧力測定実験 強制加振時に測定した応答変位と変動圧力成分との位相差を各面に分けて考察する. 図-5のように正圧の方向を定義すると, 下流側で応答を測定していることから, 面①においては, $X/B=0\sim 0.5$ (上流側) の範囲では加振振幅に対して変動圧力の位相差が正 ($0^\circ\sim 180^\circ$) の場合に断面に対して励振力が作用し, $X/B=0.5\sim 1$ (下流側) の範囲では位相差が負 ($-180^\circ\sim 0^\circ$) の場合に励振力が作用する. 面④においては, 位相差が負 ($-180^\circ\sim 0^\circ$) の場合に励振力が作用し, 面⑤においては, 位相差が正 ($0^\circ\sim 180^\circ$) の場合に励振力が作用する. ここでは, フラッターが発現しなかった $\alpha = \pm 0^\circ$, $+2^\circ$ およびフラッターが発現した $\alpha = +6^\circ$ の結果を示す. 面①について位相差を見ると, $\alpha = \pm 0^\circ$ において正の位相差を示し, $\alpha = +2^\circ$, $+6^\circ$ においては負の位相差を示した. したがって, 面①では $\alpha = \pm 0^\circ$ において上流側で励振力が作用し, 下流側で減衰力が作用しており, $\alpha = +2^\circ$, $+6^\circ$ においては上流側で減衰力が作用し, 下流側で励振力が作用しているといえる. しかし, $\alpha = +2^\circ$ においては $X/B=0.6\sim 1.0$ の範囲で 0° 付近の値を示していることから, $\alpha = +2^\circ$ においては大きな励振力は作用していないといえる. 以上の結果とねじれ1自由度応答実験におけるフラッター発現の有無を考慮すると, $\alpha = \pm 0^\circ$ では下流側における減衰力が断面に支配的に作用し, ねじれ振動を制御していると考えられる. $\alpha = +2^\circ$ でも $X/B=0.6\sim 1.0$ (下流側) の範囲で位相差は 0° 付近の値を示していることから大きな励振力は認められず, 応答実験においてフラッターが発現しなかった結果と適合している. また, $\alpha = +6^\circ$ においては, 下流側における励振力が断面に支配的に作用し, フラッター発現の起因となっていると考えられる. 同様に面④について位相差を見ると, $\alpha = \pm 0^\circ$ において負の位相差を示し, $\alpha = +2^\circ$, $+6^\circ$ では正の位相差を示した. したがって, 面④では迎角 $\alpha = \pm 0^\circ$ において励振力が作用し, $\alpha = +2^\circ$, $+6^\circ$ においては上流側で減衰力が作用しているといえる. これは応答実験におけるフラッター発現と比較して対称的な結果となった. 面⑤について位相差を見ると, $\alpha = \pm 0^\circ$ において負の位相差を示し, $\alpha = +2^\circ$, $+6^\circ$ では正の位相差を示した. したがって, 面⑤では迎角 $\alpha = \pm 0^\circ$ において減衰力が作用し, 他の $\alpha = +2^\circ$, $+6^\circ$ においては上流側で励振力が作用しているといえる. したがって面⑤において減衰力が働く場合にフラッターを抑制する結果となり, 下面全体としては下流側における位相差がねじれ振動の起因となっていると考えられる. 以上の結果より, 五角形断面の空力弾性振動に対して大きな影響を与えているのは, 断面の上面および下面に働く変動圧力であると考えられ, 特に下流側における位相差がフラッター発現の有無に支配的であると言える. また, 迎角が $\alpha = +2^\circ$ から $+6^\circ$ に増加することで, 断面の下流側において作用する励振力が強まることによりフラッターが発現すると推定され, $\alpha = +2^\circ$ と $\alpha = +3^\circ$ の間にフラッター発現の迎角の境界が存在した応答実験結果と一致したといえる.

4. まとめ (1) 五角形断面桁においては, 桁上面の断面形状および底面傾斜角が一定であっても, ウェブ高が変化すると桁周辺の流れ特性も変化することが確認でき, B/D が小さくなるにしたがって, すなわちウェブ高が大きくなるにしたがってその耐風特性は悪くなることが分かった. (2) 底面傾斜角 $\theta = 12^\circ$ の五角形断面では, B/D の変化に関係なく負の迎角に対して耐風性が良好であると考えられる. (3) 五角形断面のねじれ振動に大きな影響を及ぼすのは断面の上下面に働く非定常圧力であると考えられる. 特に上面, 下面共に下流側に働く非定常圧力が振動に対して支配的であると考えられ, この部位において減衰力を作用させれば五角形断面におけるフラッター発現を抑制させることが可能であると思われる.

参考文献; 吉田健太、他 長大橋用五角形断面箱桁の空力特性に関する研究 第60回講演概要集 pp605~606

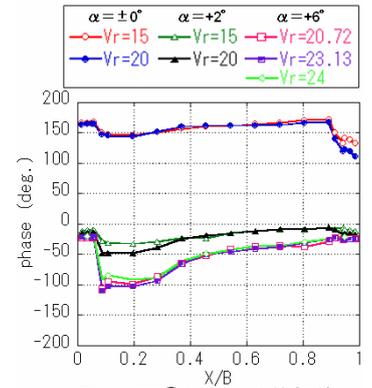


図-6 面①における位相差

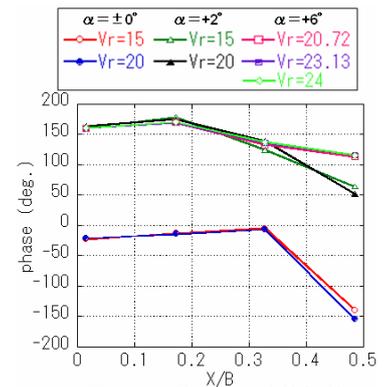


図-7 面④における位相差

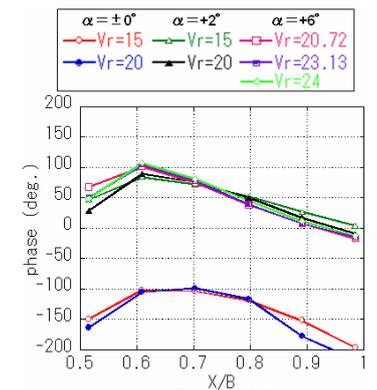


図-8 面⑤における位相差