

第 I 部門 メッシナ海峡橋型桁断面のフラッター特性に関する研究

京都大学大学院 学生員○阿部和浩 京都大学工学研究科 フェロー 松本 勝
三井造船(株) 正会員 吉住文太 京都大学工学研究科 正会員 白土博通

1. はじめに 長大橋梁の耐風安定化を図る為、桁断面の幾何学形状に工夫を加えることが必要とされる。現在までに様々な断面開発が行われてきたが、現在計画中的メッシナ海峡橋梁では、非常に良好なフラッター安定性を有するとされる桁断面が提案されている。本研究では、メッシナ海峡橋型の桁断面基本形及びグレーチングを被覆した被覆形を対象として風洞実験を行い、その非定常空気を測定し、フラッター特性の評価に有効な非定常空気力係数を用いてフラッター安定性に関する検証を行った。

2. 実験概要 実験に用いた模型は、図1に示すとおり、半楕円を挟んで翼状断面を左右に配置した3連箱桁形式断面を有するものである。静的空気力測定実験及びたわみ・ねじれ各1自由度強制加振実験を行い、ロードセルを用いて断面に作用する空気力を直接測定した。静的空気力測定の迎角は、 $-10^{\circ} \sim 10^{\circ}$ まで 1° ピッチで設定した。強制加振実験は、たわみ片振幅 $\eta_0=5\text{mm}$ 、ねじれ片振幅 $\phi_0=2^{\circ}$ とし、静的三分力測定試験においてモーメント係数 C_M に負勾配の現れる迎角 -5° でも測定を行った。なお加振周波数は $f=1.3\text{Hz}$ で一定とした。

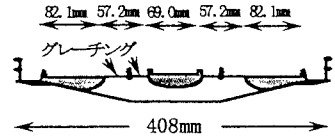


図1 実験に使用した模型断面

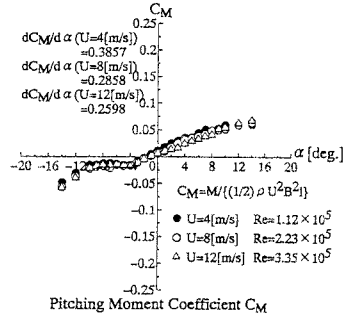


図2 モーメント係数 C_M (基本断面)

3. 静的空気力特性 基本断面の静的空気力測定の結果得られたモーメント係数を図2に示す。図より $-4^{\circ} \sim -7^{\circ}$ 付近でネガティブスロープ $dC_M/d\alpha < 0$ を示しており、負迎角でのねじれ振動に対する空力的不安定性が危惧される。また、抗力係数、揚力係数、モーメント係数ともに、2次元平板と比べてかなり小さく抑えられていることがわかった。

4. 非定常空気力特性 基本断面およびグレーチングをふさいだ改断面について、迎角 $\alpha = 0^{\circ}$ 、 -5° で強制加振実験を行い得られた非定常空気力係数のうちの A_1^* 、 A_2^* 、 H_3^* 、 A_4^* を、2次元平板の結果と合わせて図3に示す。図より、いずれの係数も平板よりかなり低い値を有することがわかる。また、 H_2^* 、 A_4^* は負の値を有し、2次元平板と符号が逆転している。また、風に対して迎角が負になると、ねじれ振動の減衰項である A_2^* の値が正に転じており、メッシナ海峡橋型断面は、ねじれ振動に対する安定性が負迎角で悪化する断面であることがわかる。

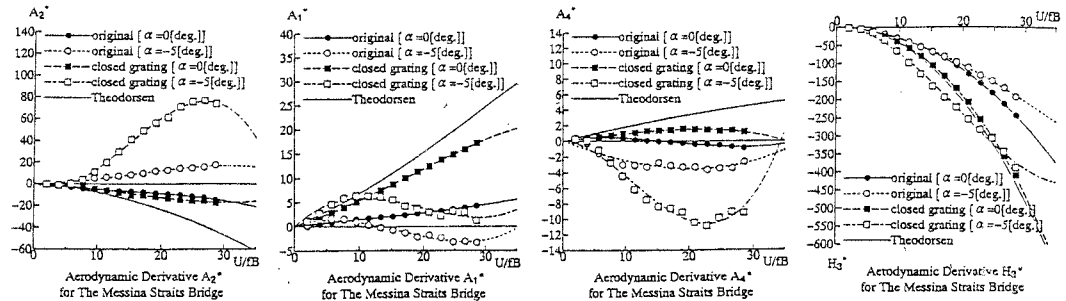


図3 非定常空気力係数

5. フラッター解析結果 前節の非定常空気力係数を用いてたわみ、ねじれ2自由度複素固有値解析を行った結果を2次元平板の結果と合わせて図4に示す。風速-対数減衰率図より、基本断面は迎角 0° ではかなり高

風速まで、たわみ、ねじれいずれのモードでもフラッターが発現しないという結果が得られた。また、風向に対し迎角 -5° とすると風速0m付近でもねじれフラッターが発生し、風速を上げるとたわみフラッターが発生することがわかった。一方、断面のグレーチングをふさぐと、迎角 0° でも2次元平板より若干低風速でねじれフラッターが発現するので、メッシナ海峡橋型断面はグレーチング部がフラッター安定性に寄与する働きをしていることがわかる。なお、やはり負迎角ではフラッター発現風速が低下している。

また、非定常空気力係数のねじれ減衰への寄与を検討するため、基本断面で迎角 0° の場合について Step-By-Step 解析を行った結果を図5に示す。
 $-①A_2^*$ 項が正減衰に対し、 $-①②A_1^*|H_2^*|\cos\theta_2$ の項の絶対値が低減していることが目立つ。また、高風速域にて $-①②A_1^*|H_2^*|\cos\theta_1$ 、 $+①②A_4^*|H_2^*|\sin\theta_1$ 、 $+①②A_4^*|H_3^*|\sin\theta_2$ の3項により、減衰が正に引き上げられているのがわかる。 $-①A_2^*$ 、 $-①②A_1^*|H_2^*|\cos\theta_2$ の2項に変曲点がみられないにもかかわらず、 δ 全体で変曲点が認められるのは、平板では無視できるか、むしろ負減衰に向かっている $-①②A_1^*|H_2^*|\cos\theta_1$ 、 $+①②A_4^*|H_2^*|\sin\theta_1$ 、 $+①②A_4^*|H_3^*|\sin\theta_2$ の3項が重要となった為と考えられる。図6のフローチャートに示すとおり、メッシナ海峡橋型断面では非定常空気力係数 H_2^* 、 H_3^* 、 A_1^* 、 A_4^* 及び $\sin\theta_1$ 、 $\sin\theta_2 = \cos\theta_1$ の相互作用により、この3項を正の方へ引き上げていると考えられる。ここで、前節で考察したように、単体箱桁形式断面では非定常空気力係数 H_2^* および A_4^* が平板と一致して正値を示すのに対して、メッシナ海峡橋型断面では負値を示すが、この特性がねじれ減衰に貢献していることがわかる。実際、図7に示すとおり2次元平板の非定常空気力係数を $H_2^* < 0$ 、 $A_4^* < 0$ として複

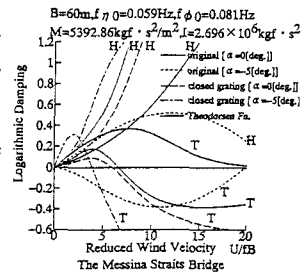


図4 複素固有値解析結果

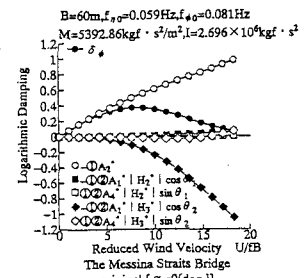


図5 Step-by-step解析結果

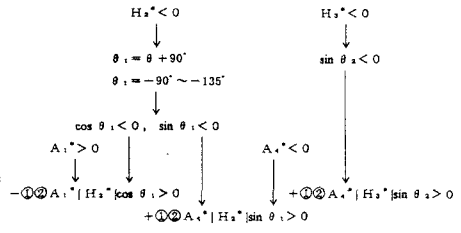
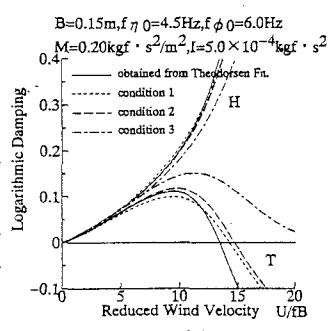


図6 非定常空気力係数のねじれ減衰への寄与



condition1: $H_2^* < 0$, condition2: $A_4^* < 0$
 condition3: $H_2^* < 0, A_4^* < 0$
 図7 $H_2^* < 0, A_4^* < 0$ と仮定した場合の2次元平板の複素固有値解析結果

6. 結論及び今後の課題 メッシナ海峡橋型基本断面は迎角 0° で非常に良好なフラッター安定性を示す。安定化の理由としては全般的に非定常空気力が小さく、連成項 A_1^* 、 H_3^* の低減により、フラッター発現に寄与の大きい負の減衰項 $-①②A_1^*|H_2^*|\cos\theta_2$ が抑制されて不安定化が抑えられていることに加えて、 $H_2^* < 0$ 、 $A_4^* < 0$ であることにより、空気減衰における連成空気力の効果が大幅に低減されることが起因していると考えられる。解析結果によると、メッシナ海峡橋型桁断面のフラッター特性は、迎角 0° ではフラッターが発生しないなどかなり良好であるが、風に対して負迎角となると極端に悪化することがわかった。よって、今後メッシナ海峡橋型桁断面の実橋への適用にあたっては風に対する迎角を十分に考慮することが必要であると考えられる。