

建設省北陸地建 正員 清水 亨
 埼玉大学工学部 正員 山口 宏樹
 東京大学工学部 正員 伊藤 学

1. はじめに

長大吊橋はフレキシブルな構造であり、風により種々の振動が誘起されやすい。そのうち自由振動であるおねれフラッターは、耐風設計を支配するものとして最も重視されているが、この他に自然風の乱れによる“バフエッティング”、あるいは渦糸脱落といった限定振幅振動の問題となることが多い。これらの振動現象は独立して生じるわけではないのにもかかわらず、現在までのところ、これらの間の相互作用に関しては未解明な点が多い。

以上のような観点から、本研究では特に鉛直振動に着目し、鉛直強制振動がおねれフラッターに及ぼすような効果を及ぼすかについて風洞実験により検討し、さらにStrip Theoryを前提とした2次元非定常空気をを用いた2次元構造系に作用する空気を評価し、鉛直加振のモード形の違い、振幅の違いが3次元フラッター応答特性にどのような影響をもたらすかを検討した。

2. 鉛直強制振動の空力的効果

鉛直強制振動が吊橋のおねれフラッターに及ぼすような空力的効果を調べたために、図1に示す(桁高/桁幅)=0.2のH型断面を有する部分模型を用いて、図2に示す実験装置により2次元風洞実験を行った。図からもわかるように、加振用アームと模型とはボールベアリングを介して連結されており、鉛直加振によっておねれ方向の運動が拘束されることのないように考慮してある。実験パラメータとしては鉛直加振振動数 f_v 、鉛直加振振幅 h_0 の2つを採用し、それらはそれぞれおねれの固有振動数 f_T 、桁幅 B で無次元化した形で整理した。実験から得られたおねれに関する振動記録から、自由振動法により、空気のおねれ速度比例項にかかる係数である非定常空気係数虚部 CHI を次式により求めた。

$$CHI = \frac{2\theta\phi_0\omega\omega_0}{\pi\rho B^2 U^2}(\delta_0 - \delta) \quad (1)$$

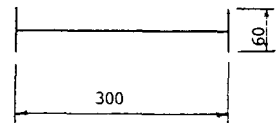


図1 模型断面図

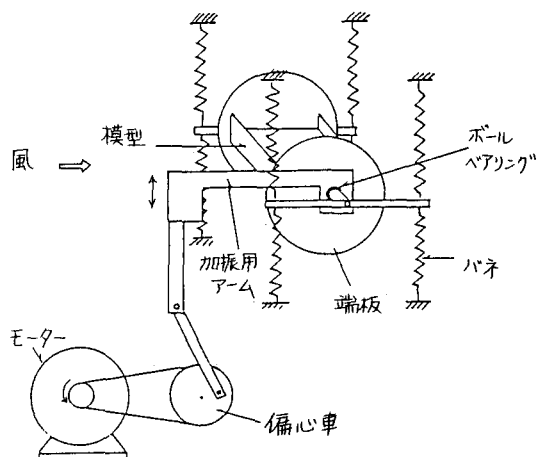


図2 実験装置概略図

ここで、 θ は模型の単位長さあたり極慣性モーメント、 ϕ_0 はおねれ振幅(rad)、 ω_0, ω はそれぞれ無風時、送風時の円振動数、 δ_0, δ はそれぞれ無風時、送風時の対数減衰率、 ρ は空気密度、 U は風速である。 CHI と換算風速 $U_r (=U/f_T B)$ の関係を表わす実験ケースについて示したものが図3~図6である。図3は鉛直加振をしない場合のもので、図4は $f_v/f_T = 0.56$ 、 $h_0/B = 0.034$ の場合、図5は $f_v/f_T = 0.56$ 、 $h_0/B = 0.081$ の場合、図6は $f_v/f_T = 1.12$ 、 $h_0/B = 0.035$ の場合をそれぞれ表わしている。図3、4、5と比較すると、鉛直加振振動数が同じ場合は、鉛直加振振幅が増大するにつれて CHI のおねれ振幅に対する非線形性が低減していくのがわかる。さらに図3、4、6と比較すると、鉛直加振振幅がほぼ同じ場合は、鉛直加振振動数が増大するにつれて CHI の振幅に対する非線形性が低減している。このように鉛直振幅の増大も鉛直

振動数の増大とともに非定常空気係数 C_{MI} の振幅に対する非線形性を低減させることを考えると、加振振動数と加振振幅の積である鉛直加振速度振幅が重要なパラメーターとなっていることが推察される。

3. 2次元非定常空気を用いた3次元フラッター特性の推定

前述したように、鉛直強制振動の存在は2次元非定常空気力に対して何らかの影響を及ぼしている。そこで、鉛直強制振動が3次元構造系のフラッター応答特性に対してどのような効果をもたらすかを調べた。3次元構造系としては簡単のため鉛直たわみ1次、2次、3次モードをそれぞれ $h_1(x) = \sin \frac{\pi}{2} x$, $h_2(x) = \sin \frac{2\pi}{2} x$, $h_3(x) = \sin \frac{3\pi}{2} x$ とし、フラッターの生じるおねじれモードとしては $\phi_1(x) = \sin \frac{\pi}{2} x$ と仮定した。ただし、 x は橋軸方向に沿った直線座標、 l はスパン長である。固有振動数としては、2次元実験と同様に、 $f_{v1}/f_T = 0.56$, $f_{v2}/f_T = 1.12$, $f_{v3}/f_T = 1.66$ とした。ここに f_{vi} は i 次の鉛直たわみの固有振動数である。また、おねじれの構造減衰としてはおねじれ振幅によらず、対数減衰率が 0.03 と仮定した。空気力は Strip Theory に基づき、吊橋の各部分について、その位置での鉛直加振振幅、おねじれ振幅に示した2次元非定常空気係数 C_{MI} を用いて評価した。以上の条件下で計算により得られた結果が図7~9であり、各図で縦軸はスパン中央点におねじれ倍振幅、横軸は換算風速である。これらの図より若干の例外はあるが、鉛直強制振動が存在すると、そのモード形が1次、2次、3次のどの場合についても振幅の増大につれてフラッター発振風速が高風速側へ移動するのが観察される。

4. まとめ

鉛直たわみ振動の存在はH型断面補剛吊橋のフラッター発振風速を上昇させる効果が認められたが、そのメカニズムについては流れの場の詳細な検討等が必要であろう。また、種々の断面形についての検討も必要と思われる。

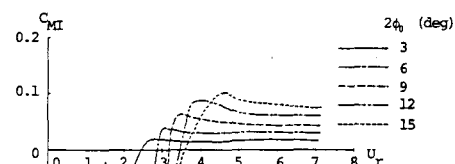


図3 $U_r - C_{MI}$
(鉛直加振なし)

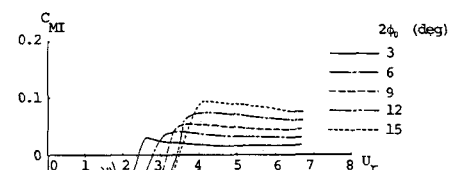


図4 $U_r - C_{MI}$
($f_{v1}/f_T = 0.56$, $h_0/B = 0.034$)

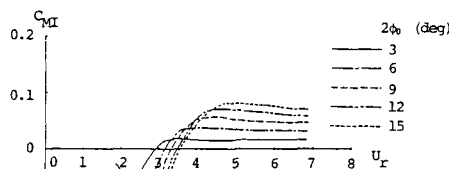


図5 $U_r - C_{MI}$
($f_{v1}/f_T = 0.56$, $h_0/B = 0.081$)

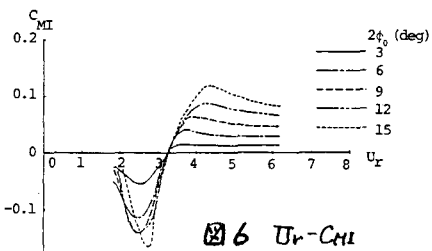


図6 $U_r - C_{MI}$
($f_{v2}/f_T = 1.12$, $h_0/B = 0.035$)

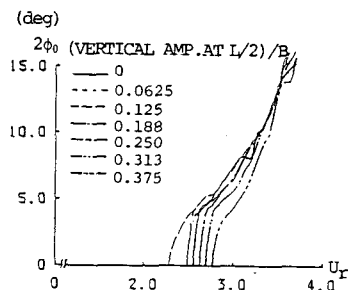


図7 計算による $V-A$ (鉛直たわみ1次)

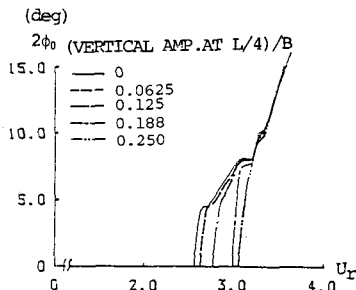


図8 計算による $V-A$ (鉛直たわみ2次)

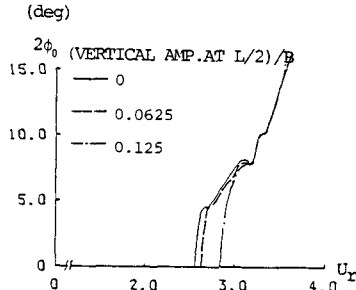


図9 計算による $V-A$ (鉛直たわみ3次)