

東京大学工学部 正会員 宮田利雄
 〃 〃 小栗英和
 東京大学大学院 学生員 久保真延

まえがき

従来、トラス補剛桁を有する吊橋の耐風安定性は、二次元振動実験(自由振動法)により数多く検討されてきた。しかしながら、補剛桁に作用する非定常空気力と応答との間の関係について検討した研究例は少ない。トラス補剛桁において、自動振動が観測されると、揺れ振動が卓越するものの、曲げ(上下)振動がこれに随伴することはいはしばしである。ところで、強制振動法による測定非定常空気力の各成分は、1自由度(曲げまたは揺れ)振動を与えた場合のものである。この問題に対する基礎資料を得るために、強制振動法により測定された非定常空気力から振動応答を追跡し、自由振動法による観測結果との比較を試みた。さらに、自由振動実験中に観測される微小振動の発現に対する考察を行った。

強制振動法と自由振動法

1自由度系に作用するモーメントを

$$M = \frac{1}{2} \rho V^2 B^2 l \left(M_{GR} \frac{\theta}{\theta_0} + M_{GI} \frac{\dot{\theta}}{\theta_0 \omega} \right)$$

とおけば、振動方程式は、

$$\ddot{\theta} + 2\zeta_0 \omega_0 \dot{\theta} + \omega_0^2 \theta = \nu \left(M_{GR} \frac{\theta}{\theta_0} + M_{GI} \frac{\dot{\theta}}{\theta_0 \omega} \right)$$

であり、この系の対象減衰率は次のようになる。

$$\delta = 2\pi \rho \sqrt{(\omega/\omega_0)^2 - \beta^2} \quad \text{--- (a)}$$

但し、 $\omega^2 = \omega_0^2 - M_{GR} \nu \cdot \frac{1}{\theta_0}$, $\beta = \zeta_0 - M_{GI} \nu \cdot \frac{\dot{\theta}}{2\theta_0 \omega \omega_0}$

$\nu = \frac{1}{2} \rho V^2 B^2 l / \Theta$, Θ : 慣性モーメント, ζ_0 : 構造減衰

ρ : 空気密度, V : 風速, B : 幅, l : 長さ, ω_0 : 固有振動数

ここで、 M_{GR} , M_{GI} は、強制振動法により測定される非定常空気力である。

一方、自由振動法による応答から、振動系の δ が求められる。従って、理想的な状態、即ち、完全に1自由度の振動系であれば、両者の δ は一致するはずである。

結果と考察

実験は、トラス断面のグレーティングを閉じたもの(closed type)と閉じないもの(open type)の二つの模型に対して行われた。自由振動法では、2自由度を許した振動系であるが、揺れ1自由度に着目して、実験した。その結果、得られた応答曲線(A-V- δ 曲線)が、Fig. 1, Fig. 4に示されている。この場合、倍振幅1度以下の微小振動が、発現したが、これについては、Fig. 8に実線で表わされている。一方、強制振動法により測定された揺れモーメントは、Fig. 3, Fig. 6である。この測定非定常空気力を(a)式に代入し、各振幅毎に計算された δ を使って書いたA-V- δ 曲線が、Fig. 2, Fig. 5である。自由振動実験結果と計算結果とを、closed typeとopen typeについて比較すると、両者共、全体のオーダーが、 V_N (換算風速= V/NB)に対して若干ずれており、強制振動法が

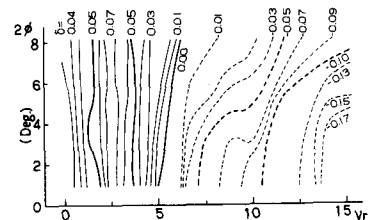


Fig. 1 Response curve by free vibration method in closed type

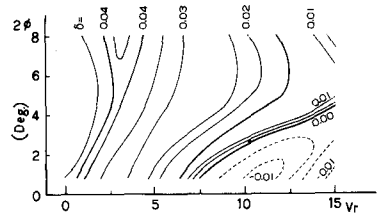


Fig. 2 Calculated response curve in closed type

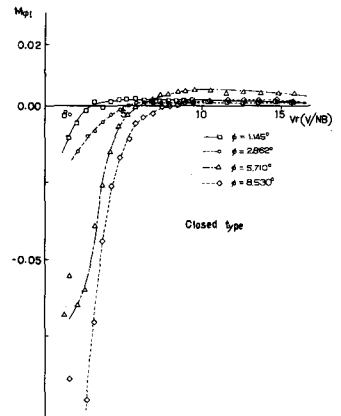


Fig. 3 Aerodynamic force in closed type

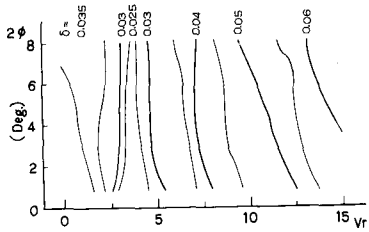


Fig. 4 Response curve by free vibration method in open type

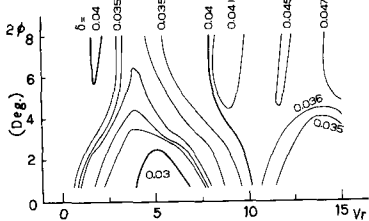


Fig. 5 Calculated response curve in open type

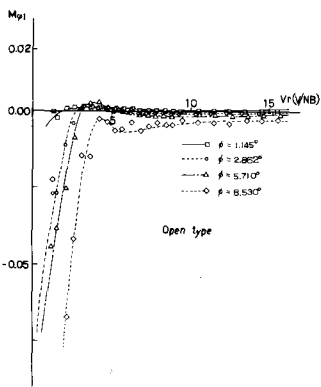


Fig. 6 Aerodynamic force in open type

(空気力による減衰効果がない)と仮定して、応答計算を行った。その結果が Fig. 8 である。その中で、破線は計算結果であり、実線は自由振動実験で観察された最低振幅である。closed type も open type も $V=3$ (m/sec) 付近まではよく一致しているが、open type では、この風速以上で全く一致しない。一方、closed type は氷散する風速 (6 m/sec) までよく一致している。この理由として、closed type では、Fig. 3 からわかるように、空気力の減衰成分がほとんど 0 とみなせるためであると思われる。しかし、open type については、そうではないので、更に詳しく検討する必要がある。

今後の問題点としては、強制振動法では微小振幅における非定常空気力の測定方法及び達成効果をどのように考えるか、自由振動法では、より精度の高い実験をするための支持条件の改良等が考えられる。

今回の実験およびデータ整理には、東京大学橋梁研究室、大竹克治技官ほかの方々の尽力があった。深く感謝する次第である。

ら計算されたものは、自由振動法の結果より δ の変化が緩慢であり、大振幅では、傾向がかなり異なっている。これだけの差を生じた理由としては、2自由度系において1自由度 (ねじれ) のみに着目したため、大振幅での振動の非線形性、模型の吹き上げによる振動系の変化等が考えられる。これらの諸点については、さらに詳しく検討する。

さて、上に述べた如く、微小振動が発現することが観察されたが、これは、静止モーメントの変動成分に起因すると考えた。このことを考察する目的で、ねじれモーメントおよび静止モーメントの R.M.S. を測定した。closed type に対するその結果が、Fig. 7 である。揺れモーメントの R.M.S. は、振幅の増加と共に増大するが、 $\phi=2.86^\circ$ と $\phi=5.71^\circ$ を境に振幅に対する非線形性が顕著になっている。一方、静止モーメントの変動成分の R.M.S. は $\phi=2.86^\circ$ とほぼ同じであるが、 $\phi=1.145^\circ$ のものより大き目になっており、 $V=6\sim 7$ (m/sec) 付近で、ピークが存在している。これに対して、パワースペクトルを計算してみると、2.85 cycle 付近にピークが現われ、このピークの形状は、 $V=6\sim 7$ (m/sec) で鋭くなり、ピーク値も大きい。しかし、さらに風速を上昇すると、その領域を離れて、ピークの形状は鈍くなり、周波数域も広くなる。このことから、静止している模型まわりの流れの状況がある風速で特異な現象を呈していると考えられる。また、R.M.S. のグラフから静止中の模型に作用する変動空気力は、必ずしも振動中のものより小さくなることはよいことが知られる。次に、この静止モーメントの変動成分の R.M.S. を使って、微小振動の応答計算をした。即ち、Fig. 7 の R.M.S. の1/2倍の空気力 (正弦波的に変動する空気力) 加、位相差をもたずに作用している

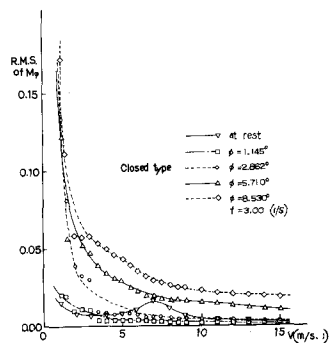


Fig. 7 R.M.S. of aerodynamic force in open type

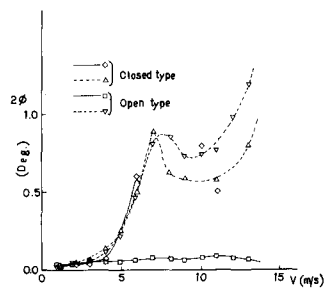


Fig. 8 Response curve in smaller amplitude