

石川島播磨重工業(株) 正 樋上 秀一
石川島検査計測(株) 鈴木 利彦

1. まえがき 橋梁の三次元動的応答を推定する手段として、実験的に二次元非定常空気を検出して、ストロップ理論の仮定のもとに準解析的に求める手段がある。この方法を自励振動の限界風速推定に適用した例は報告されているが、空気が構造減衰率と同じオーダーである橋脚振の振幅推定に適用して、その妥当性を検討した報告は筆者が知るかぎり無い。そこで、橋脚振を強制型と考えた場合と自励型と解釈した場合の相違、然風時の空力減衰の取扱いによる相違を含めて、ストロップ理論の橋脚振々幅推定への適用性について検討を加えた。

2. 定常振動振幅計算式 橋脚振を対象としていることより、空力的、構造的にモード間、たわみとねじれ振動自由度間の連成は存在しないものと仮定する。ここではたわみ振動に着目する。三次元応答は非定常空気をし、振動変位を $y = \phi(x)$ のようにモード関数 $\phi(x)$ と一級座標 ξ で表わすと次式のように表現される。

$$\ddot{\xi} + 2\omega_0\varphi\dot{\xi} + \omega_0^2\xi = \frac{L\varphi}{m\varphi} = \frac{\int L|\phi|dx / \int \phi^2 dx}{\int m\phi^2 dx / \int \phi^2 dx} \quad \text{----- ①}$$

非定常空気が強制型の場合は式②で、自励型の場合は式③で定式化して、空気の振幅依存性は非定常空気係数 C_L, L_R, L_z を ξ のべき関数として取扱うことにより式中に入力される。定常振動解は式④と⑤で与えられる。

$$L = \frac{1}{2}\rho V^2 B C_L e^{i\omega t} \quad \text{----- ②} \quad L = \rho B^2 \omega^2 (L_R + L_z) \xi e^{i\omega t} \quad \text{----- ③}$$

$$\text{強制型空気が: } \xi = \frac{\frac{1}{2}\rho V^2 B \int C_L |\phi| dx}{2\omega_0^2 \varphi m_{eq} \int \phi^2 dx} \quad (\text{共振状態の仮定を使用}) \quad \text{----- ④}$$

$$\text{自励型空気が: } 2\omega_0\varphi = \frac{\rho B^2 \omega}{m_{eq}} \cdot \frac{\int L_z \phi^2 dx}{\int \phi^2 dx} \quad \text{を満足する } \xi \quad \text{----- ⑤}$$

ここで、 ω : 応答振動数 V : 風速 B : 桁幅 ρ : 空気密度である。定常振動振幅を上式により求める際、構造減衰定数 φ の振幅依存性を考慮しなければならないことは言うまでもない。

一方、非定常空気係数は、自由振動法を用い二次元模型の定常振動振幅より実験的に検出するものとする。模型振幅を δ 構造対数減衰率を δ_s とすると非定常空気係数は次式で求められる。このとき、 φ と同様に δ_s の振幅依存性を考慮しなければならない。

$$C_L = \frac{m\omega_0}{\frac{1}{2}\rho V^2 \pi B} \cdot \delta \cdot \delta_s \quad \text{----- ⑥} \quad L_z = \frac{m}{\pi \rho B^2} \cdot \frac{\omega}{\omega_0} \cdot \delta_s \quad \text{----- ⑦}$$

ここで、簡単のため、三次元構造系と二次元模型は同じ動特性諸元を持つとして空気の解釈の仕方による三次元応答振幅の相違を検討する。定常振動解式④の $\int C_L |\phi| dx$ を $\int L_z [C_L/L_z] |\phi| dx$ と書き直し、 $[C_L/L_z]$ を式⑥と⑦で置換えると、式④は次式となる。

$$\xi = \frac{\rho B^2}{2\varphi m_{eq}} \cdot \frac{\omega}{\omega_0} \cdot \frac{\int L_z \delta |\phi| dx}{\int \phi^2 dx} \quad \text{----- ④'}$$

更に、 δ は ξ に対応するため $\delta = \xi |\phi|$ であることより式④'は次式となり、この式は自励型空気の定常解

$$1 = \frac{\xi}{\xi} = \frac{\rho B^2}{2\varphi m_{eq}} \cdot \frac{\omega}{\omega_0} \cdot \frac{\int L_z \phi^2 dx}{\int \phi^2 dx} \quad \text{----- ④''}$$

式⑤に等しい。従って、上記の空気の定式化を用いる限り、空気の解釈の仕方によらず三次元応答解析結果は変わらないと言える。以降の検討は空気を自励型として取扱う。で行なう。

3. 実験概要 ストリップ理論適用の妥当性検討は三次元模型の応答との比較によて行、た。三次元模型は柄④剛性棒模型を用いた。この模型の柄を剛体棒に取付けることにより二次元模型を構成して、二次元と三次元模型の製作精度に起因する実験誤差が生じないよう配慮した。無風時の空力減衰の影響を調べるため、剛性(体)棒のみの状態に柄に相当する質量を付加して、元のととの対数減衰率(δ_{s0})と柄取付時の減衰率($\delta_{s0} + \delta_{sa}$)の差を空力対数減衰率(δ_{sa})とした。実験は三次元模型の1次と2次のためモードを対象とした。また、非定常空気力の振幅依存性は外部付加減衰量の調整により、振動振幅を変化させ検出した。

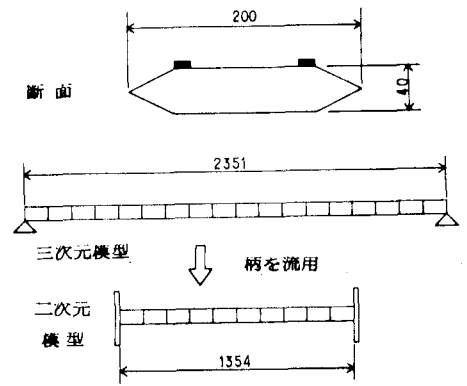


図-1 供試模型

4. 結果と結論 L/B の大きさ、振幅依存性は無風時の空力減衰を構造減衰と見なすか否かにより異なる(図-2)。図-2に示したような振幅依存性を有する断面においては、モードの影響によて、三次元応答の等価値は二次元応答の値より大きくなる。これらの L/B を用いて、構造減衰の振幅依存性を考慮に入れて、ストリップ理論によて求めた三次元応答計算値と模型実験値を図-4, 5に比較した。これらの図中には、応答が剛体の動きである場合の振幅、亦なわち一般に使われている部分模型実験で得られる応答に対応する振幅が示されているが、モードの影響を考慮に入れると振幅は剛体応答と比較して2割程度大きくなること判る。

以上により、空気力と構造減衰力の振幅依存性を配慮したストリップ理論によて、高次の共振振振幅を十分推定できると結論される。また、ストリップ理論適用に際しては、空気力を恒風型として取扱、た場合と強制型として取扱、た場合とは、その計算結果に差異は生じない。

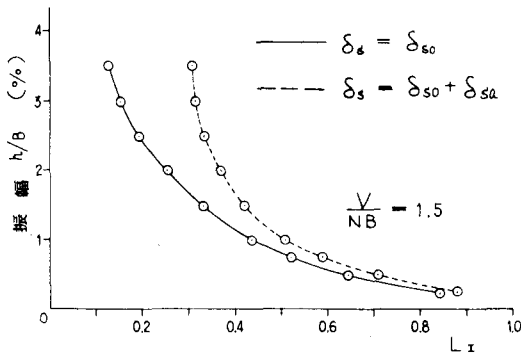


図-2 非定常空気力の振幅依存性

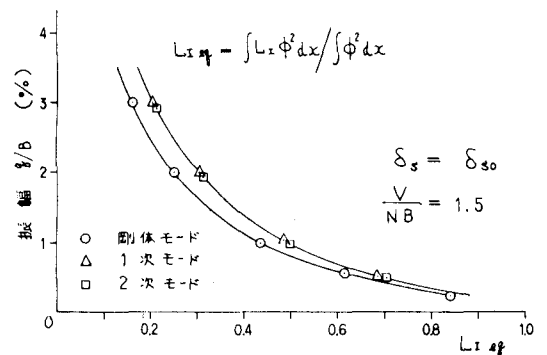


図-3 モードによる非定常空気力の違い

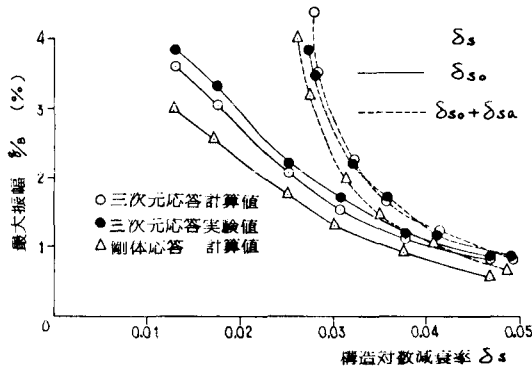


図-4 1次モードの応答振幅

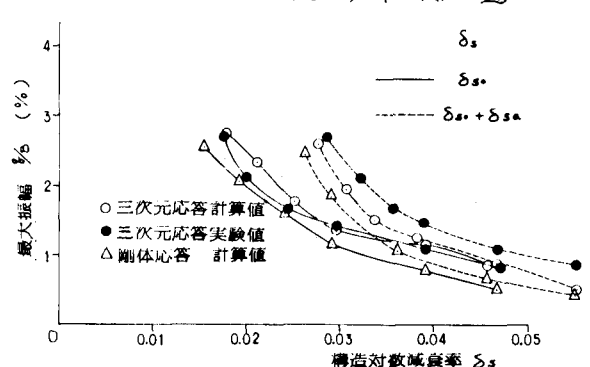


図-5 2次モードの応答振幅