

九州産業大学工学部 正員 吉村 健
九州大学応用力学研究所 正員 中村泰治
九州産業大学工学部 学主員 石田良三 荒敷信介
藤原 雄

1. まえがき 吊橋・斜張橋のガスト不規則振動と瞬間領域で推定するには、ステップ状の鉛直ガスト—sharp-edged gust—が作用する時の過渡揚力応答あるいは過渡空カモーメント応答が必要である(図-1参照)。本研究では、前報告¹⁾で述べた、sharp-edged gustの発生装置の性能の最終的確認のために、二次元剛翼模型について過渡揚力応答を測定し、理論値(Küssner関数)との比較検討を行なった。その結果を以下に報告する。ガストは進行波入力と見なされるが、この種の入力に対する線型系の応答について二・三考察を加えたので、これについても合わせて報告する。

2. 実験装置の概要 図-2に模型支持装置の概略図を示す。模型③の上端は、四枚の板バネ②を介して支持板④に弾性支持されている。支持板は、防振ゴムを介して実験台車に固定される。一方、模型の下端は2枚の板バネを介して、支持用フレーム⑥に弾性固定されている。模型の下端には、流れの二次元性を保つために、端板⑤に取り付けられている。

図-3は模型・板バネ・端板の断面図である。揚力とモーメントは、板バネ②の歪を半導体ゲージで検出して求められた。模型③はNACA0012の二次元剛翼であり、弦長($C=2b$)×スパン長(L)=10×34cm.系の軽量化をはかるために、模型は軽金属板と硬質の発泡スチロールで作られ、端板⑤は二重端板とした。空中と水中における系の振動数は、それぞれ、46Hzと24Hzである。板バネの歪は、測定した揚力・モーメントの範囲で極めて良好な線型性を示した。

3. 実験結果 図-4の図中実線の曲線は、得られた過渡揚力応答である。図中 $\tau \rightarrow \infty$ は応答の漸近線であり、横軸は無次元時間 $\tau = U/b$ 、縦軸は無次元揚力 $Q(\tau) = L(\tau)/(2\rho S U b U)$ である。ここに、 U は流速、 τ は時間、 $L(\tau)$ は揚力、 ρ は水の密度、 U はガスト流速。応答に見られる周期的変動成分を除去すると、

図中破線で示される理論値(Küssner四数)と比較的良好一致している。この周期的変動は、ガスト発生装置から生じる表面波に起因する成分と思われる。

4. 進行波入力による線型系の応答 次に、図-5に示す四種の波形を持つ流速 U の進行波入力を考え、これらが構造物に作用する時の線型応答について考察する。ガスト、海洋波、地震波(表面波)等がこの種の力に相当する。

(1). 進行インパルス入力 進行インパルス入力 f が長さ $2b$ の構造物に作用する場合の線型応答を考える(図-a)。構造物の先端 $x=b$ に入力が達する時刻を $\tau=0$ とすると、 x 点に入力が達するのに要する時間は $\tau_0 = (x+b)/U = (x^*+1)b/U$ であり、その無次元時間は $\tau_0 = x^*+1$ 。ここに $x^* = x/b$ 。よって、構造物に作用する入力は $\delta(\tau-\tau_0)$ となる。この入力に対する応答を $g(\tau) = L[\delta(\tau-\tau_0)]$ で表す。

(2). 任意形状の進行波入力 任意形状の進行波入力 $f(\tau-\tau_0)$ (図-b)は、テール関数を用いて、

$$f(\tau-\tau_0) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau_1) \delta(\tau-\tau_0-\tau_1) d\tau_1 \\ \equiv \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau_1, \tau_0=0) \delta(\tau-\tau_0-\tau_1) d\tau_1 \quad \text{--- ①}$$

で表わされる。この入力に対する応答 $g(\tau)$ は、たみ込み積分を用いて

$$g(\tau) = L[f(\tau-\tau_0)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau_1, \tau_0=0) L[\delta(\tau-\tau_0-\tau_1)] d\tau_1 \\ = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau_1, \tau_0=0) \cdot h(\tau-\tau_1) d\tau_1 \quad \text{--- ②}$$

すなわち、応答は構造物の先端($x^*=-1$)で観測される入力 $f(\tau_1, \tau_0=0)$ と $h(\tau)$ のたみ込み積分で表わされる。

(3). 周期的進行波入力 無次元振動数 $k = \omega \cdot b/U$ (ω は円振動数)の周期的進行波入力 $e^{ik(\tau-\tau_0)}$ (図-c)に対する応答は、 $h(\tau)$ のフーリエ変換 $H(k)$ (周波数応答関数)を用いて

$$g(\tau) = H(k) \cdot e^{ik\tau} = [R(k) + iX(k)] e^{ik\tau} \quad \text{--- ③}$$

で与えられる。ここに $R(k)$ と $X(k)$ は、それぞれ $H(k)$ の実部と虚部である。

(4). 進行ステップ入力 進行ステップ入力 $E(\tau-\tau_0)$

(図-4)をフーリエ変換して

$$\int_{-\infty}^{\infty} E(\tau-\tau_0) e^{-i\omega\tau} d\tau = [\pi\delta(\omega) + i/\omega] e^{-i\omega\tau_0} \quad \text{--- ④}$$

式②に、 $f(\tau, \tau_0=0) = E(\tau, \tau_0=0)$ を代入し、その両辺をフーリエ変換した式に式④を代入して

$$[\pi\delta(\omega) + i/\omega] [R(\omega) + iX(\omega)] \\ = \pi R(0) + X(\omega)/\omega - iR(\omega)/\omega \quad \text{--- ⑤}$$

式⑤をフーリエ逆変換すると $E(\tau-\tau_0)$ に対する応答 $\Psi(\tau)$ が得られるが、因果律が成り立つから、 $\Psi(\tau)$ は次の二通りの式で与えられる。

$$\Psi(\tau) = 2/\pi \int_0^{\infty} |R(\omega)/\omega| \sin \omega\tau d\omega$$

$$\Psi(\tau) = R(0) + 2/\pi \int_0^{\infty} |X(\omega)/\omega| \cos \omega\tau d\omega \quad (\tau > 0) \quad \text{--- ⑥}$$

なお、 $\Psi(\tau)$ と $R(\tau)$ の間には、 $\Psi(\tau) = \int_0^{\tau} R(\tau') d\tau'$ なる関係が成り立つ。

る関係が成り立つ。

5. おまじ

sharp-edged gust に対する二次元剛翼模型の過渡揚力応答を特殊水路を用いて測定した。その結果、理論値との間に比較的良好な一致が認められた。

謝辞：本研究を行うにあたり、九州産業大学工学部の亀井頼隆氏と同上木構造力学研究室の平論生諸氏におまじいただいたことを記し、謝意を表したい。

参考文献

- 1) 吉村 健他：九州大学応用力学研究所、所報、第56号、567
- 2) Papoulis, A: The Fourier Integral and Its Applications, McGraw-Hill, 1962.



図-1 sharp-edged gustの作用を受ける吊橋

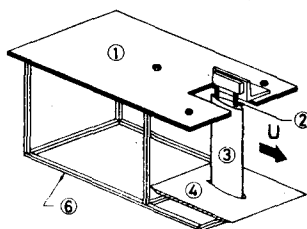


図-2 模型支持装置の概観図

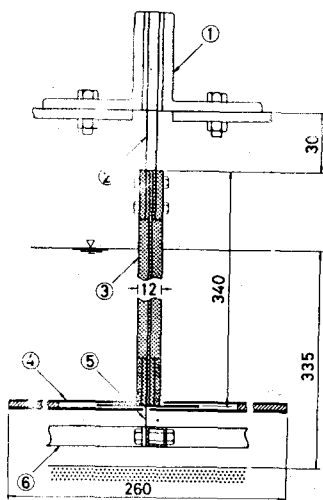


図-3 模型板本端部の断面図

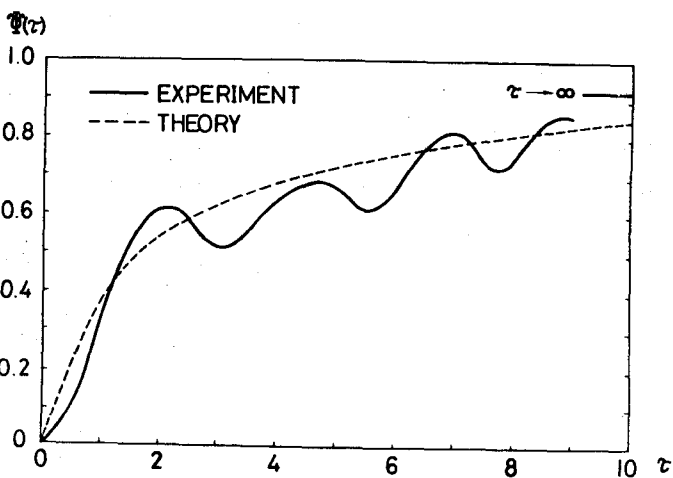


図-4 Küssner 問題の理論値と実測値

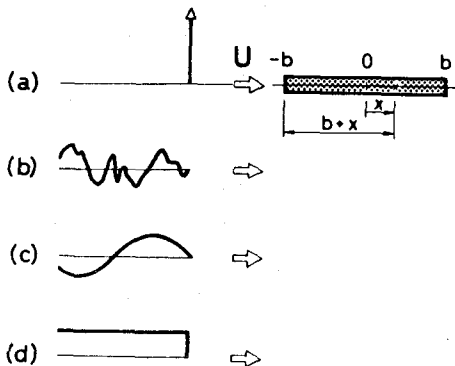


図-5 種々の進行波入力に対する線型系の応答