

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
総合技術コンサルタント	正員	石田良三
九州産業大学大学院	学生員	荒波信介

①. まえがき 吊橋・斜張橋のガスト不規則振動を時間領域で推定するには、sharp-edged gustが作用する時の過渡揚力応答が必要である。本研究では、前報¹⁾で述べたsharp-edged gust発生装置について、過渡揚力発生装置を含めた装置全体の総合的性能を検定するために、二次元剛翼模型に対する過渡揚力応答を測定し、理論値(Küssner関数)との比較を行った。またKüssner関数についても二三考察を加えたので、これらの結果を以下に報告する。

②. 実験装置の概要 図-1に模型支持装置の概略図を示す。模型③の上端は、4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、フレーム⑥に弾性固定されている。模型下端には、流れの二次元性を保つために端板④に取り付けられている。

図-2は模型・板バネ・端板の断面図である。揚力は、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NACA 0012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、模型は軽金属と硬質の発泡スチロールで作られ、端板④は二重構造とした。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。板バネの歪の線型性は良好であった。

③. 実験結果 図-3の一点鎖線は、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 $\tau = U \cdot t / b$ 、縦軸は無次元揚力歪 $(\tau) = L(\tau) / (2 \rho U^2 b w)$ である。ここに、 U は流速、 t は時間、 $L(\tau)$ は揚力、 ρ は水の密度、 w 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関数)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である。そこで、消波

板を模型上端に取り付けた結果、図-3の実線の応答が得られた。理論値との一致はさらに良くなっている。

④. Küssner関数に関する二三の考察 まず一般に、図-4に示す4種の波形を持つ波速 U の進行波入力 $f(\tau - \tau_0)$ を考え、これが構造物に作用する時の線型応答に暗箱理論²⁾を適用する。ガスト、海洋波、地震波(表面波)等がこの種の入力に相当する。

(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-4a)。構造物の先端 $x=0$ に入力が達する時刻を $\tau_0=0$ とすると、 x 点に入力が達するのに要する時間は $\tau_0 = (x+b)/U = (z+1)b/U$ でありその無次元時間 $\tau_0 = z+1$ 。ここに $z^* = z/b$ 。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 $A(\tau) = L[\delta(\tau - \tau_0)]$ で表わす。

(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-4b)は、デルタ関数を用いて、

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

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

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

すなわち、応答は構造物の先端($z^*=-1$)で観測される入力 $f(\tau, \tau_0=0)$ と $A(\tau)$ のたま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 $R = \omega b/U$ (ω は円振動数)の周期的進行波入力 $e^{iR(\tau - \tau_0)}$ (図-4c)に対する応答は、 $A(\tau)$ のフーリエ変換 $H(R)$ (周波数応答関数)を用いて

$$g(\tau) = H(R) \cdot e^{iR\tau} = [F(R) + iG(R)] e^{iR\tau} \quad \text{--- ③}$$

で与えられる。ここに $F(R)$ と $G(R)$ は、それぞれ $H(R)$ 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-d) 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

$$[\pi\delta(\omega) + i/\omega][F(\omega) + iG(\omega)] = \pi F(0) + G(\omega)/\omega - iF(\omega)/\omega \quad \text{--- ⑤}$$

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。

$$\psi(\tau) = 2/\pi \int_0^{\infty} [F(\omega)/\omega] \sin \omega\tau d\omega$$

$$\psi(\tau) = R(0) + 2/\pi \int_0^{\infty} [G(\omega)/\omega] \cos \omega\tau d\omega \quad (\tau > 0) \quad \text{--- ⑥}$$

(5). Küssner関数 Küssner関数 $\psi(\tau)$ と Shears関数 $\phi(\omega)$ とでは、進行波入力としてのガストの観測点が異なり、それぞれ翼の前縁 ($z^* = -1$) と中央 ($z^* = 0$) である。そこで、観測点を $z^* = -1$ に統一すると、 $\phi(\omega)$ は

$$\phi(\omega) = \phi(\omega) \cdot e^{-i\omega} \quad \text{--- ⑦}$$

$$= [C(\omega)\{J_0(\omega) - iJ_1(\omega)\} + iJ_1(\omega)] e^{-i\omega} \quad \text{--- ⑦}$$

のように書き改められる。この $\phi(\omega)$ の実部と虚部をそれぞれ $F(\omega)$ と $G(\omega)$ で表わせば、Küssner関数は式⑥で与えられる。

5. もすび sharp-edged gust に対する二次元剛翼模型の過渡揚力応答を特殊永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。また暗箱理論を用いれば、Shears関数の Küssner関数が容易に導かれる事を示した。

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土木構造工学研究室の平論生諸氏にお多岐にわたったことを記し謝意を表わしたい。

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、557
- 2) Papoulis, A; The Fourier Integral and Its Applications, McGraw-Hill, 1962

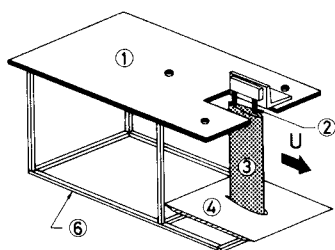


図-1 模型・支持装置の概略図

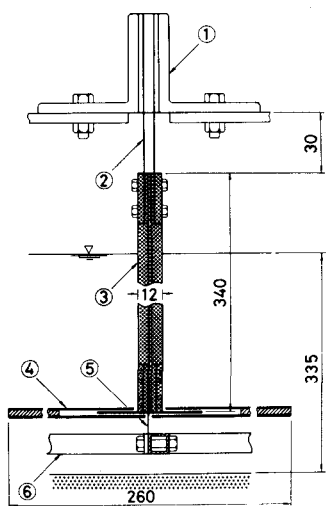


図-2 模型・板バネ・端板の断面図

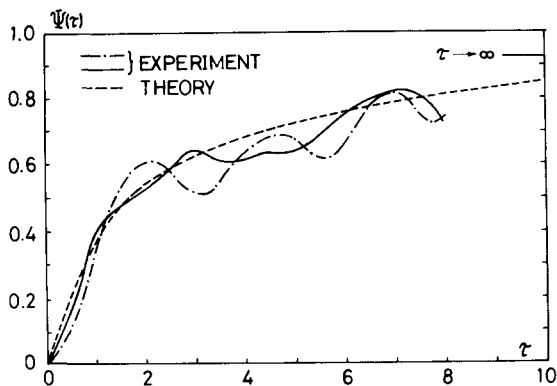


図-3 Küssner問題の理論値と実験値

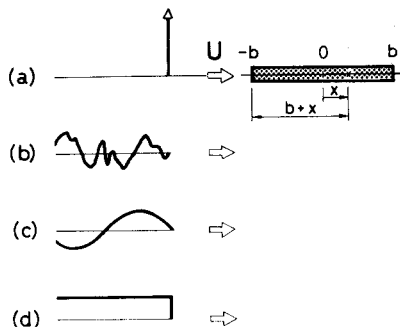


図-4 種々の進行波入力に対する線型系の応答