

京都大学工学部 正員 小西 一郎
京都大学工学部 正員 白石 成人
京都大学工学部 正員 ○ 松本 勝

1. まえがき

構造物の耐風性状について従来より数多くの研究者によつて貴重な成果が報告されており、次第に諸問題が明らかにされてきたが、未だ十分に解決されていない点も多く残されている。その中の一つとして、自然風のカストに起因する可撓性に高む構造物

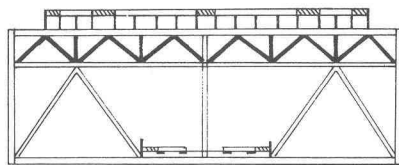
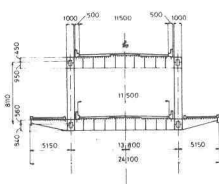


图 1. (MODEL B)吊 桥 1 案 断 面 图

Davenport の統計的な評価に始まって、⁽¹⁾Vickery, ⁽²⁾伊藤・宮田, ⁽³⁾小西・白石等によりいくつかの貴重な成果が報告されている。構造物のガスト応答を評価する際に ⁽⁴⁾(i)自然風の有する特性, (ii)構造断面特有の空力性状, (iii)構造物の振動特性 等を明らかにすることが必要とされる。本研究においては、(ii)に注目し主として、2, 3 の構造断面二次元模型を用いて鉛直成分ガストとそれに起因する非定常空力を関連づける動的揚力関数を実験的に求め、その結果に 2, 3 の評価を加えるものである。



六甲アイランド連絡橋断面

图 2. (MODEL C)

2. 風洞実験および結果

本研究において対象とされた構造断面は、平板断面(MODEL A)、本州四国連絡橋吊橋1断面(MODEL B)および六甲アイランド連絡橋計画断面(MODEL C)である。模型B, Cについてはその断面を図1, 2に示す。なお、風洞内に変動気流を発生させる方法としては、写真1に示されるように薄翼6枚に強制回転振動を与えることによった。発生できる気流は、正弦波に近いもの、その合成されたものおよび不規則波である。

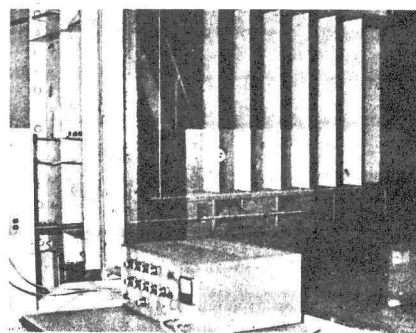


写真 1

不規則波発生装置

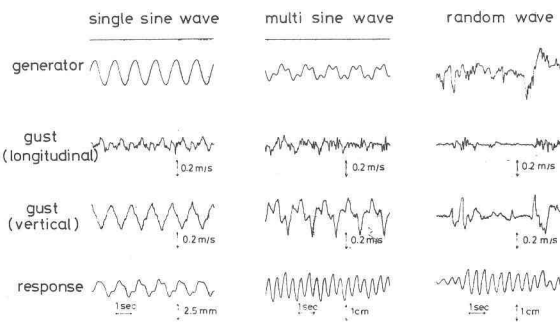
i) ペン書き記録およびパワースペクトル密度

模型 B の場合および模型 C の場合の、翼の運動、主流方向およ

び主流直角方向の変動風速、模型の応答（たわみ）の記録を図3, 4に示す。これらの図に示されるように、翼の運動と主流直角成分変動風速にはかなり強い相関がみられる。なお、変動風速は模型断面中心より側方4.5 cmに設置されたX型熱線風速計により測定されたものである。一方、主流直角方向変動風速および模型の応答のパワースペクトル密度（スペクトル解析器による結果）を図5, 6に示す。

ii) 空力減衰特性

前記の主流直角方向変動風速および模型の応



答のパワースペクトル密度の間には次の関係式が成立する。

$$S_q(n) = \left(\frac{2\pi p b U}{m \omega_0^2} \right)^2 |H(\omega)|^2 |\chi_A(k)|^2 S_v(n) \quad (1)$$

但し $S_q(n), S_v(n)$; 応答および変動風速のパワースペクトル密度, p : 空気密度, b : 断面半弦長, U : 平均風速, m : 振動系の単位スパン当りの質量, ω_0 : 無風時における振動系固有のたわみ円振動数, k : 換算振動数 ($= b\omega/U$), $|\chi_A(k)|^2$: 空力増幅関数,

$$|H(\omega)|^2 = \left[\left\{ 1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right\}^2 + \left\{ 2\zeta_0 \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{H_1}{\omega_0} \frac{\omega}{\omega_0} \right\}^2 \right]^{-1} \quad (2)$$

; dynamic magnification, ζ_0 : 無風時における振動系のたわみ振動減衰比

式(2)中, 記号 H_1 は, 空力減衰を表す動的空気力係数であり, 一様空気流中での自由振動法によって各断面について得られるものは, それぞれ次のように近似的に表わすことができる ($H_1^* = \frac{m}{p b^3 \omega} H_1$)

$$\text{模型 A; } H_1^* = -2\pi F_1 k / \rho \quad (3)$$

$$\text{模型 B; } H_1^* = -0.04294 V^2 - 2.2439 V \quad (4)$$

$$\text{模型 C; } H_1^* = -1.060 V^2 - 1.211 V \quad (5)$$

但し, $V = U/b\omega = 1/k$; 換算風速

$F_1(k)$; Theodorsen 関数の実数部

iii) 動的揚力関数 (dynamic lift function)

変動風速 (鉛直ガスト) に起因して構造断面に生ずる変動空気力は統計的には次式のように表わすことができる。

$$S_L(n) = (2\pi p b U)^2 |\chi_A(k)|^2 S_v(n) \quad (6)$$

但し $S_L(n)$: 変動空気力のパワースペクトル密度
一方, 薄翼に正弦的に変動する風速が作用した場合に生じる空気力は Sears によって次式のように表わされている。⁽⁵⁾

$$L_{vs}(t) = 2\pi p b U \Phi(k) v_0 e^{i\omega t} \quad (7)$$

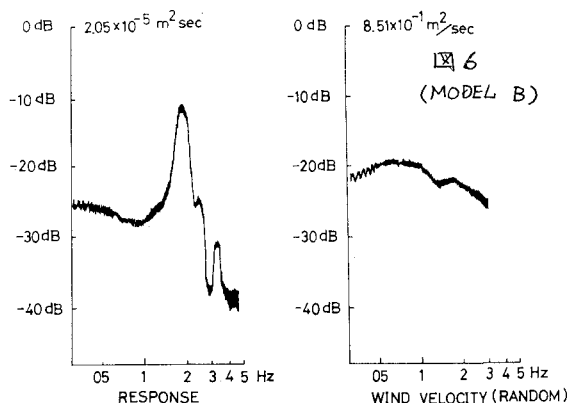
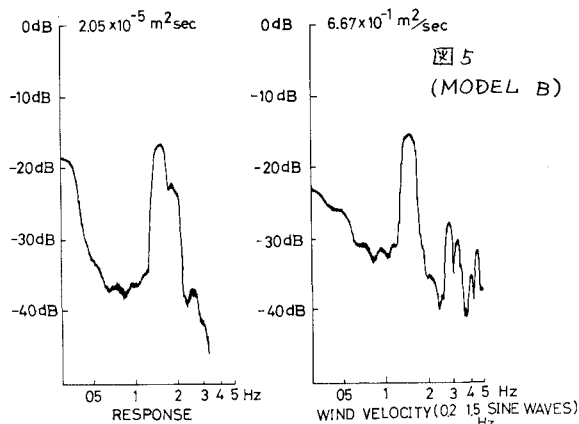
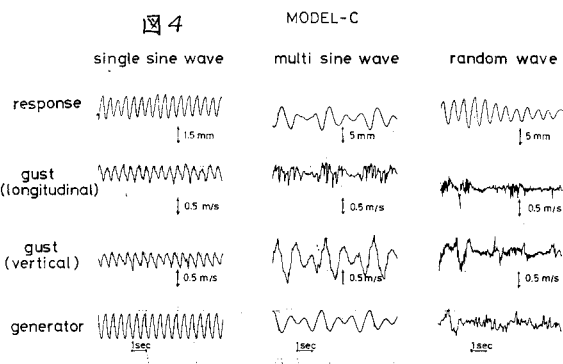
但し $L_{vs}(t)$: 周期的鉛直ガストに起因する揚力,

$\Phi(k)$; Sears 関数

河島, 小西・白石等は, 周期変動流中に置れた薄翼や平板断面についての実験値と Sears 関数の絶対値と比較しかなりの一致をみており, さらに P. Lamson の研究によれば, 乱流格子による不規則なガストによって薄翼断面について得られる空力増幅関数 $|\chi_A(k)|^2$ は, $|\Phi(k)|^2$ と比較的一致していることなどから, 薄翼や平板断面に, 不規則鉛直ガストに起因して生ずる変動空気力は近似的に次式で表わせるものと考えられる。

$$L_{vr}(t) = 2\pi p b U |\Phi(k)| \cdot v(t) \quad (8)$$

図 4



但し $L_{01}(t)$: 不規則ガストに起因する空気力

$\psi(t)$: 不規則鉛直ガスト

図7, 8および9に, 模型A, BおよびCについて実験より得られた動的揚力関数 (dynamic lift function) (空力増幅関数の平方根) $|\chi_A(k)|$ を示す。図7においては, Sears 関数の絶対値, 河島⁽⁶⁾, P. Lamson⁽⁷⁾の結果を併せて示すものであり, 図8および9においては, 風洞気流の変動特性が単一正弦波, 複合正弦波および不規則波の場合の結果を併せて示すものである。これらの図より知られるように, 実験的に得られた動的揚力関数は, 多少のバラツキはみられるが, ガストの変動特性によらずほぼ同一の傾向を示すものと判断される。なお, 図8および9において点線は Sears 関数の絶対値を表わし, 実線は次式より得られる結果を表わすものである。

$$|\chi_A(k)| = \frac{(dC_F/d\alpha)_{\alpha=0}}{2\pi} \cdot |\Phi(k)| \quad (9)$$

但し $|\chi_A(k)|$: 動的揚力関数, $(dC_F/d\alpha)_{\alpha=0}$: $\alpha=0^\circ$ における静的空気力係数勾配,

なお, 模型BおよびCの $(dC_F/d\alpha)_{\alpha=0}$ 値はそれぞれ, 3.325, 4.914 である。図8および9に示されるように, 式(9)より得られる結果は実験値と比較的良好一致することより本研究で対象とされた構造断面については, ガストに起因する空気力を次式で近似的に表わせるものと考えられる。

$$L_{01}(t) = PBU \left(\frac{dC_F}{d\alpha} \right)_{\alpha=0} |\Phi(k)| \cdot \psi(t) \quad (10)$$

なお, 図7~9を比較すれば, 同じ換算振動数において動的揚力関数 (または空力増幅関数) は, 模型A, C, Bの順に小さくなっていることより, 本州四国連絡橋吊橋一葉断面は他の2断面に比べガストの影響は小さいと思われる。

3. 結び

本研究において得られた結果を簡単にまとめれば, 模型A, B, Cについて (1) 気流の変化特性による動的揚力関数 (または空力増幅関数) にあまり違いはみられなかった。(2) 空力増幅関数または動的揚力関数は, それぞれ, $\left\{ (dC_F/d\alpha)_{\alpha=0} / 2\pi \right\}^2 |\Phi(k)|^2$ および $\left\{ (dC_F/d\alpha)_{\alpha=0} / 2\pi \right\} \cdot |\Phi(k)|$ によって近似的に表わせるものと思われる。なお以上の諸結果を用いることにより解析される構造断面のガスト過渡応答については別の機会に発表したい。参考文献 (1) A. G. Davenport: A Statistical Approach to the Treatment of Wind Loading of Tall Masts and Suspension Bridges, PhD, 1961. (2) B. J. Vickery & A. W. Clark: Lift on Across-Wind Response of Tapered Stacks, J. of Structural Division, ASCE, 1972, (3) 伊藤孝, 宮田利雄他: 変動風速による吊橋模型の不規則応答, 第28回土木学会年次学術講演会, (4) 小西一郎, 白石成久他: 長大吊橋補剛桁の風に対する動的応答の数値計算例, 第28回土木学会年次学術講演会, (5) W. R. Sears: Some Aspects of Non-stationary Airfoil Theory and its Practical Application, J. of Aeron. Sci., Vol 8, 1941, (6) 河島佑男他: 変動風と変位する平板状構造物の耐風応答特性に関する2, 3の基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第195号, 1971, (7) P. Lamson: Measurement of Lift Fluctuations due to Turbulence, NACA, Technical Note, 3380, 1957.

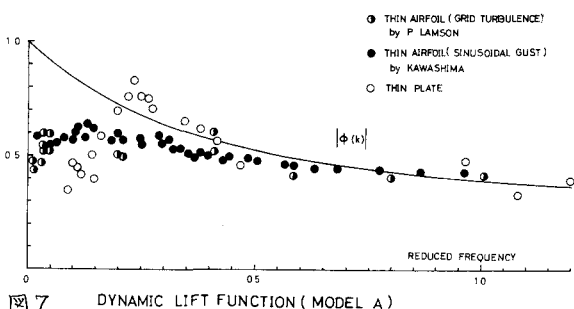


図7

DYNAMIC LIFT FUNCTION (MODEL A)

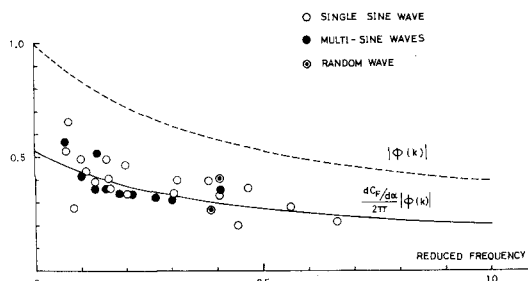


図8 DYNAMIC LIFT FUNCTION (MODEL B)

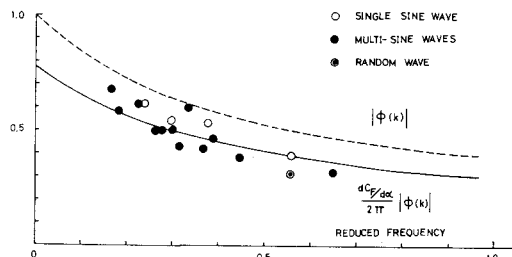


図9 DYNAMIC LIFT FUNCTION (MODEL C)