

京都大学工学部 正員 工博 小西一郎
 京都大学工学部 正員 工博 白石成人
 京都大学工学部 正員 工修 坪倉英彦
 京都大学大学院 学生員 辻 勝成

I. まえがき

フリ橋に作用する定常空気力に関する研究は翼に対して Theodorsen が導いた空気力を適用した F. Bleich の理論をはじめとして色々な提案がなされている。最近 R.H. Scanlan 及び A. Sabzevari⁽¹⁾⁽²⁾ がフラッター時の空気力を鉛直変位 h の時間微分 $\dot{h}$ と回転変位 α 及びその時間微分 $\dot{\alpha}$ の一次結合として仮定しそれらにかかる空力係数を部材模型による風洞実験より定める試みが行われた。

筆者らはこの空気力判定における自由振動法に着目して、種々の断面形状の吊橋部材模型について空力係数を定め、これらの耐風安定性に及ぼす影響について検討しようとするものである。

実験は現在継続中であり、一応現在までに得られた結果を報告する。

II. 運動方程式及び空力係数

図-1 のような系に対する運動方程式は

$$\ddot{h} + 2\zeta_{h0}\omega_{h0}\dot{h} + \omega_{h0}^2 h = H_1 \dot{h} + H_2 \dot{\alpha} + H_3 \alpha = L/m$$

$$\ddot{\alpha} + 2\zeta_{\alpha0}\omega_{\alpha0}\dot{\alpha} + \omega_{\alpha0}^2 \alpha = A_1 \dot{h} + A_2 \dot{\alpha} + A_3 \alpha = M/I_p$$

ここで

ω_{r0} : 固有振動数 ζ_{r0} : 減衰比 ($r = h, \alpha$)

H_i, A_i : 空力係数 m, I_p : 単位長さ当たりの質量及び質量慣性モーメント

H_i, A_i はそれぞれ次式より定められる。

$$H_1 = 2\zeta_{h0}\omega_{h0} - \frac{\sigma_h}{\omega_h}$$

$$H_2 = \frac{1}{\omega} \left(\frac{h_0}{\alpha_0} \right) [(\omega_{h0}^2 - \omega^2) \sin \theta + (2\zeta_{h0}\omega_{h0} - H_1) \omega \cos \theta]$$

$$H_3 = \left(\frac{h_0}{\alpha_0} \right) [(\omega_{h0}^2 - \omega^2) \cos \theta - (2\zeta_{h0}\omega_{h0} - H_1) \omega \sin \theta]$$

$$A_1 = \frac{1}{\omega} \left(\frac{\alpha_0}{h_0} \right) [(\omega^2 - \omega_{\alpha0}^2 + A_3) \sin \theta + (2\zeta_{\alpha0}\omega_{\alpha0} - A_2) \omega \cos \theta]$$

$$A_2 = 2\zeta_{\alpha0}\omega_{\alpha0} - \frac{\sigma_\alpha}{\omega_\alpha}$$

$$A_3 = \omega_{\alpha0}^2 - \left\{ 1 + 4 \left(\frac{\sigma_\alpha}{\omega_\alpha} \right)^2 \right\} \omega_\alpha^2$$

ここで

ω_r, ζ_r ($r = h, \alpha$) : 1 自由度の場合の振動数及び対数減衰率

ω : 2 自由度の場合のフラッター振動数

h_0, α_0 : 2 自由度の場合の鉛直及びおじれの定常振幅

θ : 鉛直振動とおじれ振動の位相差

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\omega^2 - \omega_{\alpha0}^2 + A_3}{(2\zeta_{\alpha0}\omega_{\alpha0} - A_2)\omega}$$

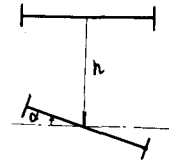


図-1

H_1, A_1 は実験によって定められるものであるが、翼に対しては Theodorsen によって理論的に表わされている。

$$\begin{aligned} H_1^* &= \frac{m}{\rho b^3 \omega} H_1 = -\frac{2\lambda}{k} \sqrt{F^2(k) + G^2(k)} & A_1^* &= \frac{I_p}{\rho b^3 \omega} A_1 = \frac{\pi}{k} \sqrt{F^2(k) + G^2(k)} \\ H_2^* &= \frac{m}{\rho b^3 \omega} H_2 = -\frac{\pi}{k} [1 + \sqrt{F^2(k) + G^2(k)}] & A_2^* &= \frac{I_p}{\rho b^3 \omega} A_2 = -\frac{\pi}{2k} [1 - \sqrt{F^2(k) + G^2(k)}] \\ H_3^* &= \frac{m}{\rho b^3 \omega} H_3 = -\frac{2\lambda}{k^2} \sqrt{F^2(k) + G^2(k)} & A_3^* &= \frac{I_p}{\rho b^3 \omega} A_3 = \frac{\pi}{k^2} \sqrt{F^2(k) + G^2(k)} \end{aligned}$$

ここで

ρ : 空気密度 $2b$: 幅員 k : 換算振動数 ($= \lambda \omega / V$)

H_i^*, A_i^* はそれぞれ無次元化した空力係数を表わす。

III. 実験的検討

実験は吸込式 NPL 型風洞によって各部分模型に対して、鉛直 1 自由度、わじれ 1 自由度及び 2 自由度の状態での振動を測定した。

(A) 実験装置

模型は上下 8 本の Spring で支持し、鉛直 1 自由度の場合は模型の後端よりビームを張りわじれ振動を拘束した。変位は板バネにはりつけたストレン・ゲージにより検出した。

(B) 模型

$l = 94 \text{ cm}$, $2b = 30 \text{ cm}$ の部分模型で、床面は円床及び円床のもので、それぞれにトラス、プレート型式の Web-plate を取り付けられる。現在までに解析を行なった模型の諸元を表-1 に示す。但しこれらの値は模型のみでなく一階に振動する付属物も加えたものである。

表-1 模型諸元

Model	m (kg sec ² /m)	I_p (kg sec ² m/m)	
		$F_b = 15 \text{ cm}$	$F_b = 25 \text{ cm}$
Plate	0.730	2.814×10^{-2}	2.973×10^{-2}
DP70F30	0.850	2.951×10^{-2}	3.111×10^{-2}

模型記号 D: 円床 P70: 桁高 70mm のプレートガチ
F30: 幅 30mm のワッシャー

(C) 実験結果及び考察

実験結果を表-2, 図-2, 図-3 に示す。Plate, DP70F30 の模型とも Spring 間隔 15cm ($\omega_{\alpha 0}/\omega_{\beta 0} \approx 1.01$) では曲げわじりフラッターの振動が観測され、Spring 間隔 25cm ($\omega_{\alpha 0}/\omega_{\beta 0} \approx 1.40$) ではわじれ振動が支配的であった。

表-2 固有振動数及び対数減衰率

Model	Plate		DP70F30	
	$F_b = 15$	$F_b = 25$	$F_b = 15$	$F_b = 25$
$\omega_{\alpha 0}$	9.01	8.94	8.30	8.31
$\delta_{\alpha 0}$	0.0184	0.0172	0.0227	0.0127
$\omega_{\beta 0}$	9.11	12.62	8.48	11.61
$\delta_{\beta 0}$	0.0411	0.0311	0.0343	0.0256

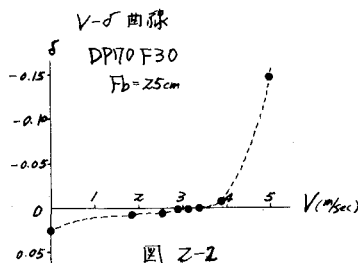
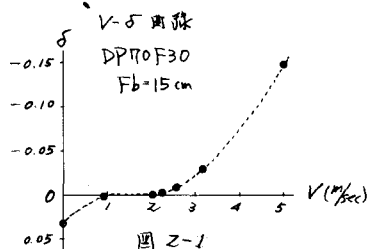


図2で示される空力係数 H_1^* ,

A_2^* について考察を加えると

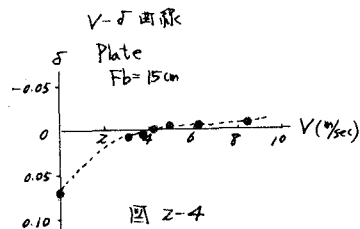
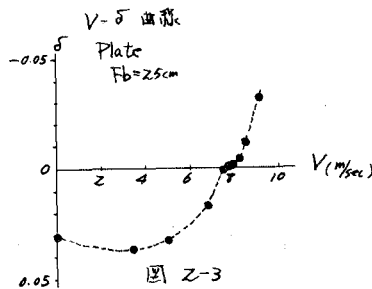
1. H_1^* : Plate, DP70F30

のいずれの断面形状とも

傾向としては似てゐるが

値はPlateがDP70F30

の約1/2である。



2. H_2^* , H_3^* : 断面形状による違いより、

振動数比 (ω/ω_0) による違いが大きい。

3. A_1^* : 振動数比による影響は値としては

あまり変わらないが傾向は違つてゐる。

又断面形状による違いが明確である。

4. A_2^* : 振動数比による影響はほとんど

ないが、断面形状による違いは符号が逆転

して大きく違つてゐる。

5. A_3^* : 断面形状による違い

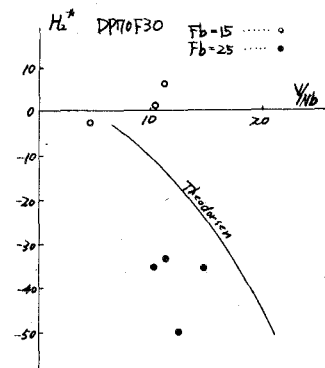
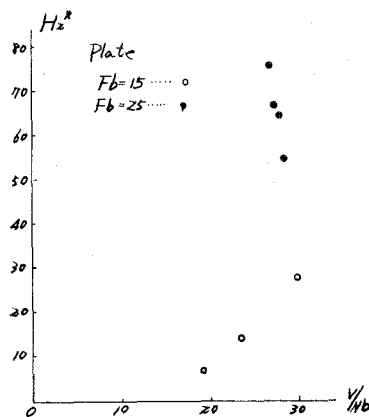
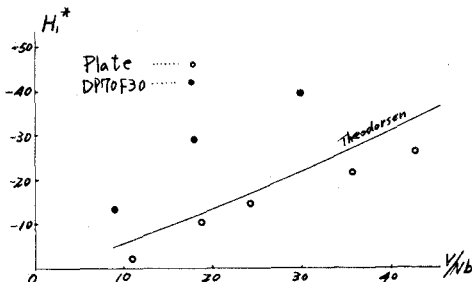
はほとんどないが振動数

比によつて値が違ふとき

に模型による振動数比の影響

が反対の傾向として現わ

れてゐる。



鉛直振動とわじり振動が相互に

及ぼす影響について考へてみる

と、

1. 鉛直振動がわじり振動に

及ぼす影響は振動数比に関

してはそれほど変わらない

が断面形状によつて大きく

変化する。

2. わじり振動が鉛直振動に

及ぼす影響は断面形状によ

つてはそれほど変わらない

が振動数比によつて大きく

変化する。

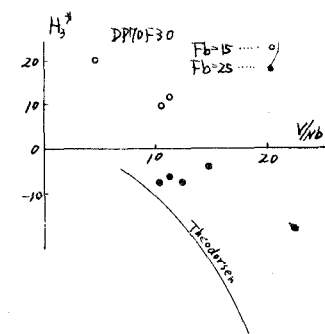
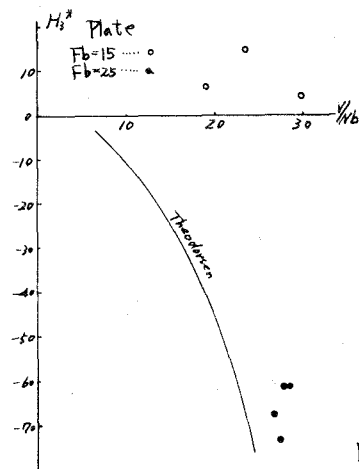


図 2-3-1

次にPlateの実験結果と

Theodorsen関数による値

を比較してみると

1. H_1^* , A_1^* , H_3^* ($Fb=25$) はほぼ理論値に近い。

2. A_1^* , A_2^* は傾向的には似ているが値は相当はなれている。

3. H_2^* , H_3^* ($Fb=15$) は全くかけはなれている。

IV. あとがき

断面形状 (d/b , S/t , 補剛形式 etc) が H_1 , A_1 に及ぼす影響については詳細な検討及び H_1 , A_1 自身の値が耐風安定性に及ぼす影響については当日発表する。

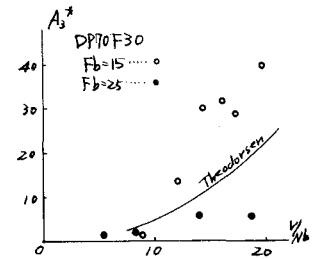
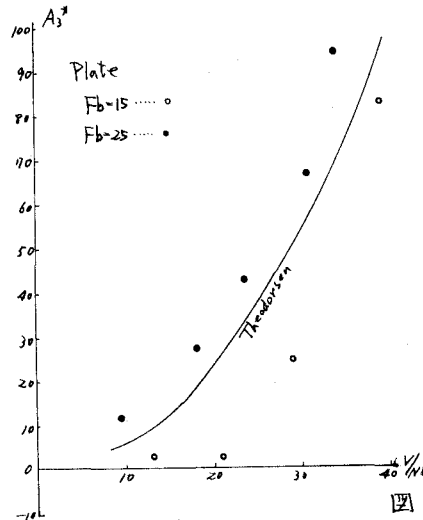
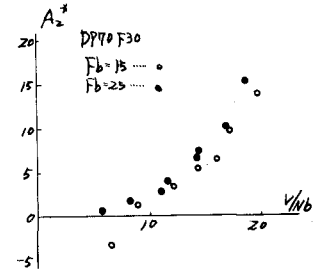
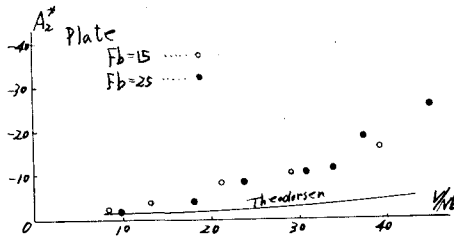
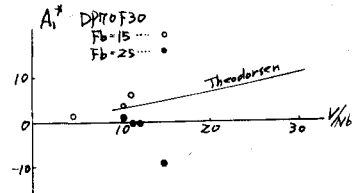
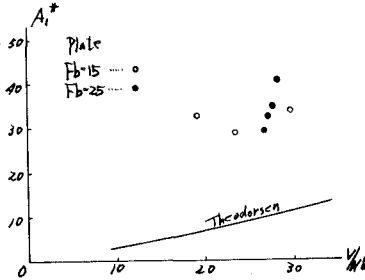


図 3-2

参考文献

- (1) R.H. Scanlan and Ali. Sabzevari "Suspension Bridge Flutter Revisited"
A.S.C.E. Structural Engineering Conference / Seattle, Washington May 8-12, 1987
- (2) Ali. Sabzevari and R.H. Scanlan "Aerodynamic Instability of Suspension Bridges"
Proc. of A.S.C.E. April 1988. Jour. of E.M. Division