

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
 日本国有鉄道 正 員 工修 古橋正雄
 京都大学工学部 学生員 松本 勝

1. まえがき

近年土木構造物は次第に長大化、高層化の傾向にあり、その合理的設計のためには耐風安定性が一つの主要な要素となつてきている。これまで長大吊橋について多くの研究がなされてきたがアーチ・リブの耐風性状に関しては R.R. Bradshaw の論文⁽¹⁾に見られる程度で、その研究はほとんどなされておらず。そこで、比較的径間の大きいアーチ・リブの動的性状とその空気力学的応答を検討し、合理的設計をする上での問題点を明らかにするための実験的研究を行った。研究の対象は、現在大阪府で計画中の安治川河口のアーチ型防潮水門で、その 1/40 部分模型を用いて、空気力学的3分力測定、さらに空気力を受けた時の振動の不安定現象について、2,3の基礎的考察を行ったので、その結果をここに報告する。

2. 模型実験結果

静的実験；静的空気力とは、抗力、揚力及び空力モーメントで、次式のように与えられる。

$$D = C_D \cdot \frac{1}{2} \rho U^2 A, \quad L = C_L \cdot \frac{1}{2} \rho U^2 A, \quad M = C_M \cdot \frac{1}{2} \rho U^2 AB \quad (\text{ここに } A; \text{受風面積, } B; \text{幅})$$

図-1 のような断面形状を有する模型を用いて、 C_D, C_L, C_M -迎角曲線を実験より求めた。その結果は図-2 に示す通りである。 C_L, C_M 値は迎角 α が $\pm 6^\circ$ の範囲内では、 α に対して直線的に変化する。そこで $(\frac{dC_L}{d\alpha})_{\alpha=0}$ 値を各模型について求めると表-1 に示すようになる。アーチ模型の $(\frac{dC_L}{d\alpha})_{\alpha=0}$ は 2次元平板の場合の理論値 (2π) の約 66% である。一般に TP-Type より、TA-Type の方が、 C_L, C_M 値は小さく、かつ失速の影響が少いように思われる。 C_D の値は、 $C_D = C_{D0} + C_{D1} \cdot \alpha^2$ の形になるが、やはり迎角が $\pm 6^\circ$ の範囲では一定と考える。この値は表-1 に示す通り TA-Type と TP-Type はほぼ、同じである。

動的実験；振動実験において、部分模型が満足すべき相似則は次式で与えられる。

$$\left(\frac{I_0}{\rho L^4}\right)_m = \left(\frac{I_0}{\rho L^4}\right)_p, \left(\frac{M}{\rho L^2}\right)_m = \left(\frac{M}{\rho L^2}\right)_p, \left(\frac{U}{\omega_0 L}\right)_m = \left(\frac{U}{\omega_0 L}\right)_p, \left(\frac{U}{\omega_k L}\right)_m = \left(\frac{U}{\omega_k L}\right)_p, (\delta)_m = (\delta)_p, \dots \text{suffix } m, p \text{ は model, prototype を表す。}$$

この式より、模型の質量 M 、質量極慣性モーメント I_0 、バネ定数、バネ間隔が求まる。本研究では、静的空気力測定に用いた模型を2自由度に支持して振動実験を行ったので、上記の相似則を完全に満たしたのではないが、非定常空気力として空力弾性論による理論式を用いた場合の曲げねじりフック-限界風速 U_{FC} と実験による限界風速の比較のため、その結果の一部を示すと図-3 のようになる。図-3 からわかる通り、実験値の方が非常に低く、 U_{FC} は危険側にあることとなる。なお U_{FC} は次式の共通根として与えられる。

$$\begin{cases} (1 - g_k g_0) \left(\frac{M}{\rho L^2}\right) \omega_0^2 X^2 + \left[\frac{M}{\rho L^2} (E_R - g_k E_I) + \frac{M}{\rho L^2} (A_R - g_0 A_I)\right] X + A_R E_R - B_R D_R - A_I E_I + B_I D_I = 0 \\ (g_k + g_0) \left(\frac{M}{\rho L^2}\right) \omega_0^2 X^2 + \left[\frac{M}{\rho L^2} (g_k E_R + E_I) + \frac{M}{\rho L^2} (A_I + g_0 A_R)\right] X + A_I E_R - B_R D_I + A_R E_I - B_I D_R = 0 \end{cases}$$

(上式の各記号については、土木学会関西支部「土木構造物の振動と安定性」-P-164-参照)。

3. 突席のアーチ型ゲートの振動の安定性

振動中のアーチ・リブに働く空気力として、3分力測定実験によって得られた定常空気力に相対迎角を考慮したものを利用すると、アーチ・リブの連成振動の基礎方程式は次のようになる⁽²⁾⁽³⁾。

$$\frac{EI}{R^3}(u'' + 2u'' + u) + IAR \ddot{u} = -\tilde{C}_L p R (\varphi + \frac{\dot{u}}{R}) - \delta_u \dot{u}$$

$$(\frac{EI_y}{R^3} + \frac{EI_z}{R^3})\beta'' - \frac{GK}{R} \beta'' + IAR^2 \beta'' - \frac{EI_y}{R^3} \varphi''' + (\frac{EI_y}{R^3} + \frac{GK}{R}) \varphi'' = C_D p R^2 - \delta_\beta \dot{\beta}$$

$$(\frac{EI_y}{R^3} + \frac{B^2 EI}{12 R^3}) \varphi''' + (\frac{B^2 EI}{12 R^3} - \frac{GK}{R}) \varphi'' + (\frac{B^2 EI}{12 R^3} + \frac{EI_z}{R^3}) \varphi' + I I_p R \ddot{\varphi} - \frac{EI_y}{R^3} \beta''' + (\frac{GK}{R} + \frac{EI_z}{R^3}) \beta'' = \tilde{C}_M p B R (\varphi + \frac{\dot{u}}{R}) - \delta_\varphi \dot{\varphi}$$

ここで、 EI ：面内曲げ剛性、 EI_y ：面外曲げ剛性、 GK ：ねじり剛性、 EC_w ：曲げねじり剛性

R ：曲率半径、 B ：幅、 $\delta_u, \delta_\beta, \delta_\varphi$ ： u, β, φ 方向の減衰係数、 $p = \frac{1}{2} \rho U^2 B$ 、 $C_L = \tilde{C}_L \alpha$ 、 $C_M = \tilde{C}_M \alpha$

(u, β, φ の方向は右図参照)

単純支持のアーチ・リブがその面に直角方向に一定なる円荷重を受ける場合を考えると、上式の解は次のように置く。

$$u = u_0(\theta) + F \sin \frac{n\pi\theta}{\psi_0} e^{\lambda t}, \quad \beta = \beta_0(\theta) + G \sin \frac{n\pi\theta}{\psi_0} e^{\lambda t}, \quad \varphi = \varphi_0(\theta) + H \sin \frac{n\pi\theta}{\psi_0} e^{\lambda t}$$

これを、上記の弾性方程式に代入し、 $e^{\lambda t}$ を含む項のみを整理し、その特性方程式を求めれば

$$\begin{vmatrix} IAR\lambda^2 + \tilde{C}_L p R \lambda + \delta_u \lambda + S1, & 0, & C_D p R \\ 0, & IAR\lambda^2 + \delta_\beta \lambda + S2, & -S3 \\ -\tilde{C}_M p B R \frac{\lambda}{R}, & -S3, & I I_p R \lambda^2 + \delta_\varphi \lambda + S4 - \tilde{C}_M p B R \end{vmatrix} = 0$$

これを展開すると、 λ に関する6次式

$$f(\lambda) = K_1 \lambda^6 + K_2 \lambda^5 + K_3 \lambda^4 + K_4 \lambda^3 + K_5 \lambda^2 + K_6 \lambda + K_7 = 0 \text{ を得る。}$$

この振動は次の3条件で示される、いわゆるRouthの判定式を満足するとき安定であって、次式を満足する最小の U が、このアーチ・リブの限界風速になる。

条件1：条件； K_i ($i=1, \dots, 7$) がすべて正であること。

条件2：条件； $K_2 K_5 - K_1 K_6 > 0$

条件3：条件； $(K_2 K_3 - K_1 K_4) K_4 > (K_2 K_5 - K_1 K_6) \cdot K_2$

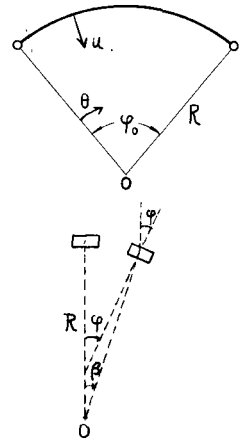
上記の条件から、 $R = 3416.4(\text{cm})$ 、 $B = 1190.0(\text{cm})$ 、中心角 $\psi_0 = \frac{5}{6}\pi$ で図-4で示される断面をもつアーチ型ゲートの限界風速を求めると、93.5 mを得た。これに対する実験的検討は後程、行う予定である。

4. あとがき

この研究は、大阪府高潮課における防潮水門に対する研究の一環として行われており、未だ研究途上にある。関係者の御援助に対してここに感謝の意を表すものである。

(参考文献)

- (1) R.R. Bradshaw; Pro. ASCE, Vol. 90, No. ST.3, 1964, p. 1~11
- (2) 平井 敦 ; 金岡橋Ⅱ
- (3) 深沢泰晴 ; 土木学会論文集, Vol. 96 昭38
- (4) 高橋判衛 ; 「自動制御の数学」



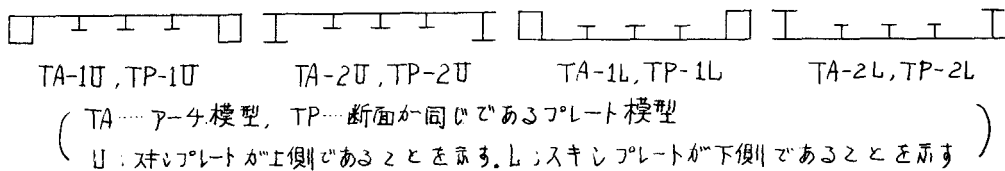


図 - 1 .

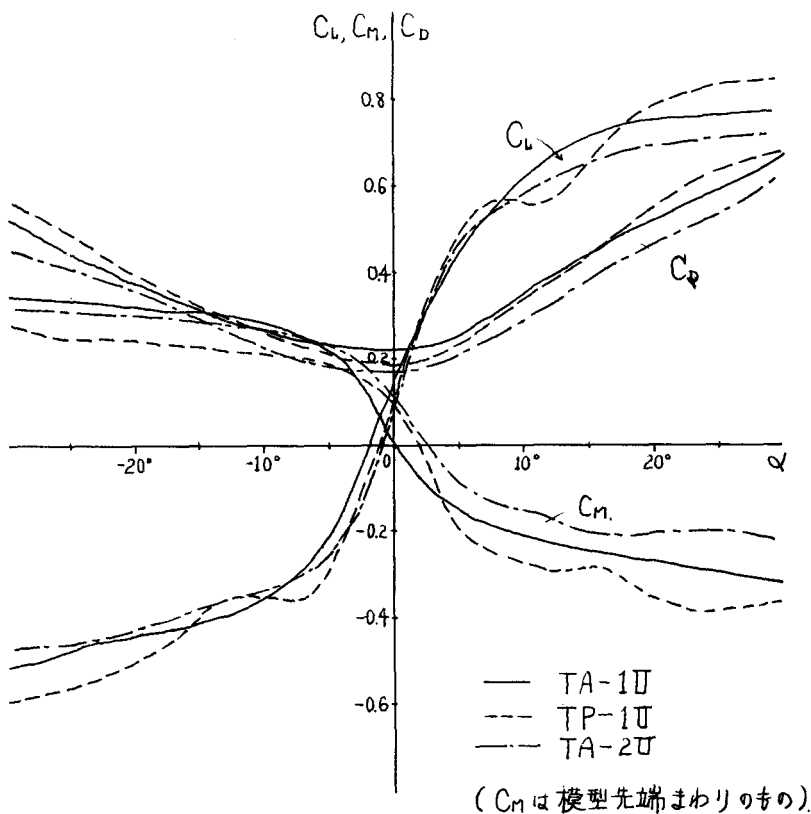


図 - 2

表 - 1 .

	TA-1U	TA-1L	TA-2U	TA-2L	TP-1U	TP-1L	TP-2U	TP-2L
$\left(\frac{dC_L}{d\alpha} \right)_{\alpha=0}$	4.24	4.20	4.01	4.30	5.38	7.46	4.69	5.96
C_D	0.23	0.20	0.19	0.17	0.21	0.19	0.22	0.19

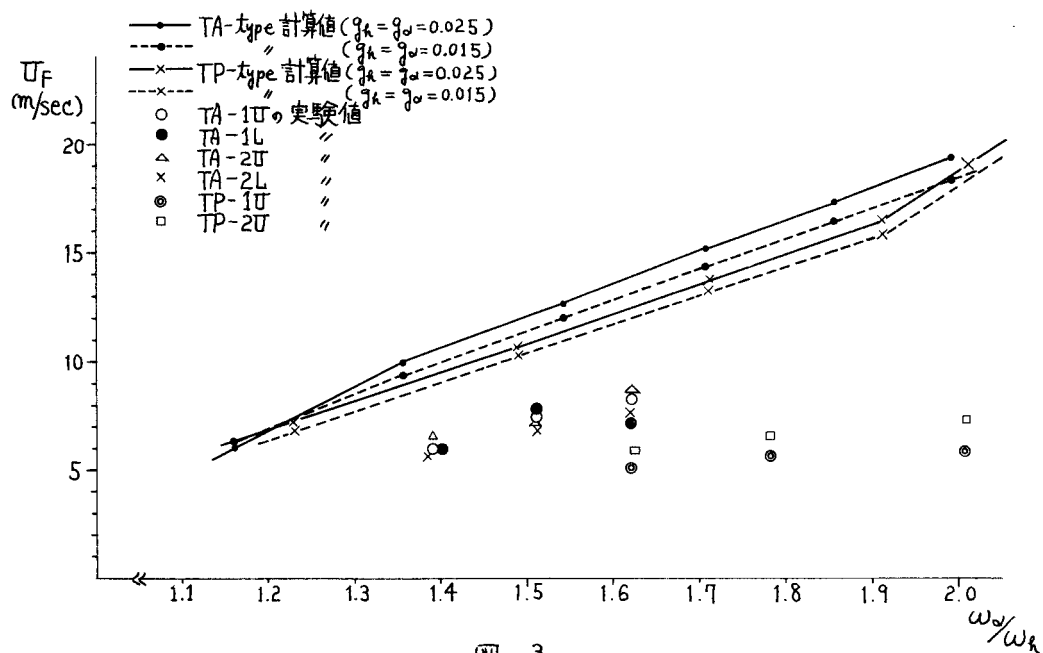


図-3

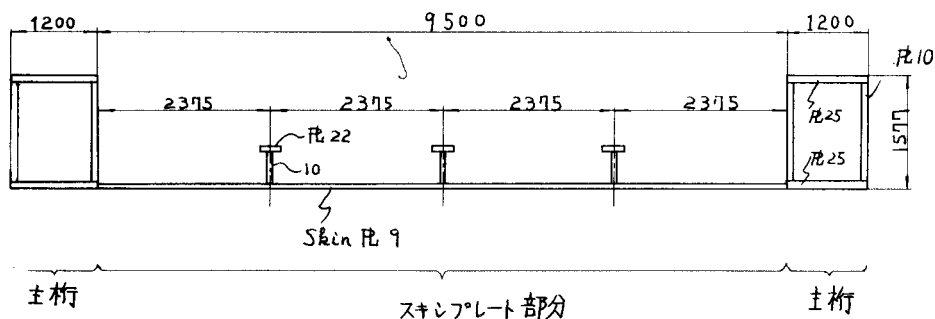


図-4