

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
 京都大学大学院 学生員 工修 宇都宮英考
 京都大学大学院 学生員 辻 勝成

I. まえがき

つり橋の空力安定問題に対する実験的研究は F.B. Farquharson 教授をはじめとして数多く行われていくつもの重要な特性が得られているが、最近流れを不連続流として取扱ひ、そこから得られる流体力学的な力を用いて振動解析を行おうとする試みが見られる。筆者等はこの方法に着目して実際のつり橋への適用の可能性を実験的に検討しようとするものである。不連続流の理論は Helmholtz, Kirchhoff, Rayleigh 等によって発展せられたものであるが、これは Plate Girder や Box-type の補剛桁を持つつり橋に対しては、これまで一般に用いられて来た Potential flow による理論の不十分な点とある程度補いうるものと考えられる。実験は現在継続中であり、その定量的な解析にまでは進んでいないが、一応現在までに得られた結果を報告する。

II. 不連続流場におけるつり橋の安定問題

Helmholtz flow を用いて振動を論じた例は、D. Dicker⁽¹⁾が H-section について行ったものを見る程度である。この理論はまだいくつかの不明確、不完全な点を含んでいるようであるが、その理論に従って概略説明する。

不連続流では自由流線を含む流れについてその流線に沿う条件から写像によって複素速度ポテンシャルを求め、物体の前後面の圧力差からその物体に作用する抗力を求める。速度 V 、密度 ρ の定常流中に水平から α だけ傾斜した長さ l の平板に作用する抗力は Rayleigh⁽²⁾によれば $T = \rho V^2 l \frac{\pi \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha}$ で与えられる。Wake を考慮するとこの値は修正係数 Q により $T' = (1+Q) \frac{\pi}{4 + \pi} \rho l V^2$ ($\alpha = \frac{\pi}{2}$) となる。

Dicker はこの力を振動方程式に導入し振動数方程式を求め、Routh の安定条件から限界周速を定めようとしている。特にフランジを有する H-section についてその上流側のプレートが主要な役割を演ずるとして次のような振動方程式を導いた。

$$\left. \begin{aligned} (Mp^2 + 2KVP + K_u)U &+ (S_u p^2 + 2KVP)A = 0 \\ (Mp^2 + K_v)W &- KVP A = 0 \\ (S_v p^2 + 2KVP)U &- KVP W + [I_v p^2 + K_v(ba + 2c^2)p + (K_a - K_b V^2)]A = 0 \end{aligned} \right\}$$

ここに、 M は単位質量、 p は減衰および振動数を表わす複素数、 $K = (1+Q) \frac{\pi}{4 + \pi} \rho d$ 、 K_u 、 K_v 、 K_a は u 、 v 、 w 方向のバネ定数、 b はフランジの影響による空気力の作用点の偏心を $b d$ と表わしたもので、 $I_a = I_{ca} + MD^2$ 、 $S_a = MD$ である。

この式から振動数方程式を求めて、Routh の安定性判別条件式を適用すれば 限界周速を求めることができる。

Ⅲ. 実験的検討

・実験装置；使用風洞…吸込式NPL型風洞：風速 $0 \sim 25 \text{ m/sec}$ の一様二次元流 測定部 $1.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ 。

天秤…島津六分力天秤より揚力抗力、モーメントを検出

模型支持装置…上下8本のSpringによりmodelを支持。2自由度の振動を行う。

・模型； $AR=3.0$, $l=90 \text{ cm}$, $b=30 \text{ cm}$ の部分模型でトラス、プレート型式の併用を可能にするためWeb plateのヒリはむしろできるようにし、Slotの影響を調べるために床面を5-sectionsに分割、桁高は10 (type A), 15 (type B), 18 (type C) cmの3種のものを製作した。流体力学的な力と断面形状の関係を捕えやすいようにできるだけ単純な断面とした。

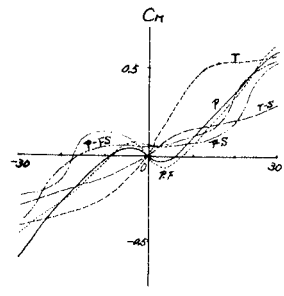
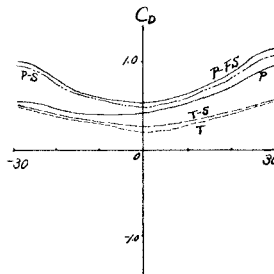
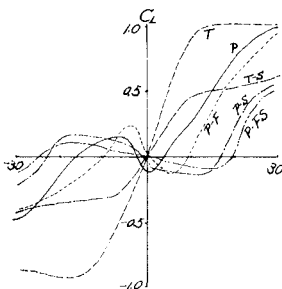
・実験結果および考察。

三合力試験および振動実験の結果についてその一部を下の図に示す。フラッター試験では $\omega = \text{const.}$ として ω/ω_n の値をSpring間隔を変化させることにより、限界風速の変動を見た。これまでの資料によって得られたことを以下に列挙する。

1. トラス型式とプレート型式では流れの状態が大きく異なる。前者の三合力曲線はほぼ平板に近い性状を示すが、後者の場合はNegative Slopeがはっきりと表われる。(本実験では $h/c < 3.0$)
2. Slotを設けると揚力曲線の傾斜 $dC_L/d\alpha$ は減少し、作用する揚力も60%程度に下る。プレート型式ではNegative Slopeの範囲もひろがってくるが傾斜はゆるやかで、Slotが安定性を増加させる働きとすることが明らかである。
3. フランジは対称はプレート型式であるが、安定性を低下させる。しかし値のある値で床面が床床の場合は有利に働くこともある。
4. トラスの場合、桁高の影響は殆ど見られなかった。

以上の結果から判断して、つり橋に通常用いられるトラス型式の補剛桁に対しては、その充実率が小さければ平板の場合と非常に良く似た挙動を示す。プレート型式に対するDickerの理論の妥当性を検討するには理論に含まれる不備な点のために数値的な比較にまでは到っていないがSlotの効果やフランジのない断面の不安定現象を考えるとやはり問題が残る。流れに対して抵抗する断面積が大きい場合にはHelmholtz flowとPotential flowを組合わせに何らかの流れを考える必要があると考えられる。

フラッター実験	固有振動数 f (Hz)	ねじれ ねじれ	限界フラッター 振動数 風速
プレート P	8.69	11.08	10.05 3.65
	8.66	12.36	— —
	8.66	13.80	13.30 5.32
	8.66	15.93	15.15 7.80
プレート (スロット) P-S	8.91	11.36	8.83 8.01
	8.88	13.22	8.60 8.56
	8.87	14.31	8.62 8.80
	8.86	15.06	8.70 8.94
トラス T	9.10	11.42	10.03 6.89
	9.10	12.51	11.61 9.04
	9.15	14.60	13.25 9.75
	9.13	16.44	14.89 11.62
トラス (スロット) T-S	9.35	11.74	10.79 10.17
	9.30	13.22	12.19 12.52
	9.30	14.78	14.14 15.55
	9.30	15.94	15.16 15.97
プレート (フランジ) P-F	8.58	11.08	10.59 3.65
	8.54	12.56	12.10 4.08
	8.56	13.83	13.41 4.28
	8.58	15.70	14.36 5.16
プレート (スロット) P-FS	8.80	11.50	11.48 7.85
	8.78	12.53	12.50 8.90
	8.78	14.34	14.34 9.96
	8.78	14.95	15.00 10.80



参考文献：Dicker "Aerodynamic Stability of H-Section" Proc. of ASCE, April 1966, Engineering Mechanics Division.
L.M. Milne-Thomson "Theoretical Hydrodynamics" MacMillan & Co., 1949.