

つり橋の空力応答に関する2,3の考察

徳島大学工学部 正員 宇都宮英彦
京都大学大学院 学生員 O 岡南 博夫
松尾橋梁 K.K. 尾島 暁

1. まえがき

構造物の動的解析手法の発達に伴い、長大構造物の空力応答に関する考察が進められ、その実験的・手法的進歩と共に、従来の定性的現象の把握からさらに進んで、流れの場も含めた厳密な検討が行われている。本報告は、徳島県高松市に建設された小鳴門橋の耐風性と検討する研究の一環として行われたものであり、トラス補剛桁つり橋に、歩道橋を添架することによる耐風工学的影響と、風洞実験とアナログシミュレーションによって検討したものである。

2. 実験的考察

(静的空力)

風洞実験は徳島大学工学部機械工学科に設置された、BD-700-2.5-20 型吹出式風洞(島津製作所)を用いて行われた。模型は小鳴門橋断面を原型にした部分模型(1/40)である。風速はピトー管とゲージンゲン型マノメーターによって測定し、三合力の測定には3-CB-11A型天秤(島津製)を用いた(写真-1)。図-1は添架した歩道橋の位置を示すものであり、歩道橋は片持梁形式で主構に連結されるものとする。測定された空力係数の一部を図-2に示す。また迎角 0° 付近での揚力係数曲線の勾配 $(dC_L/d\alpha)_{\alpha=0}$ の値は、下にも示通りである。

Model	T	T0	TU	TM	TL	Plate
$(dC_L/d\alpha)_{\alpha=0}$	3.74	2.87	1.60	2.90	3.34	4.70

通常トラス形式のつり橋では、その充実率が小さい場合、平板と同等の空力係数が作用するものと仮定して解析するのであるが、理想的な平板の $(dC_L/d\alpha)_{\alpha=0}$ が2.0であり、また有限の厚みをもつもので、本実験では4.70となったが、これらと比較してもかなり小さな値となっている。小鳴門橋の充実率は40%弱と大きく、このような場合には、平板としての解析を行うことは、相当に危険であることが予想される。

(動的実験)

縮尺部分模型による振動実験は、定常風と、格子によって乱された変動風に対して行われた。変動風の測定は、熱線風速計を用いて行った。

○限界風速の測定

図-1に示された模型に対し、フラッター振動実験を行い、定常振幅曲線とフラッター限界風速を求めた。各模型のフラッター終止風速は表-1に示す通りである。この結果より、歩道橋を添架する場合には、その取付け位置は、補剛トラスの上下弦材の中間位置(TM型)に設けるのが耐風性能上最適であると言える。縮尺模型に対して、実験的に求められた限界風速を実橋に換算すると、T, TMに対し、振動数比2.35に対応するものを外挿法で求めると、いずれも18 m/secと

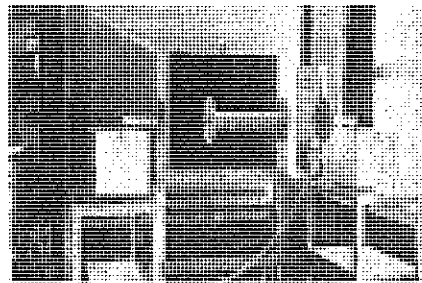


写真-1

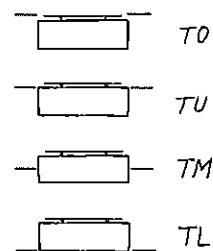


図-1 模型断面

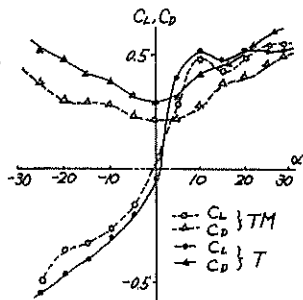


図-2 空力係数曲線

なり、臨界率を考慮すれば $V_{cr} = 18/\pi = 15.15 \text{ m/s}$ と
なる。これに、自然風の迎角の影響等を考慮する
と、最も安全側に見て、この値の6割程度、約 90 m/sec
が限界風速となる。

○乱れに流れの中での応答

風洞吹出口に設けた格子によって乱流を発生させ、

この気流中での空気のおよび応答を測定した。自由振動法⁽¹⁾によって測定された $dC/d\alpha$ の値は、静止模型では、
3.74 であったが、振動状態では $k=0.2$ のとき 1.95 となった。座力弾性学的に計算された、動的効果と定める
係数は Theodorsen⁽²⁾ では $C(k) = C(0.2) = 0.751$ 、Sears⁽³⁾ によれば $S(k) = S(0.2) = 0.718$ であり、3.74 との
積を取ればいずれも実験値より大きい。実験値では位相差を考慮していないためにこのような差が生じたものと
思われる。

2種類の格子による乱れの強さは4%および8%であったが、この乱流中でのフラッター振動実験の結果は、
フラッター開始風速、終止風速ともに、定常風中の応答に比較して有意な差は認めなかった。ただし、たわみ応答
に乱れの影響が大きく現われていることは、前回の表(シミュレーションによる)で指摘された通りであった。
本実験における乱流は、高周波ホワイトノイズ状のスペクトルを有しており、模型への影響は、際立った特性と
示さなかったと考えられる。

3. 準定常空気力による応答のアナログシミュレーション

実験に用いた振動系に対応する運動方程式は、たわみおよび回転変位を z 、 α とすると、動的効果と Theodorsen
関数によって修正した準定常空気力によって、

$$m\ddot{z} + C_z\dot{z} + k_z z = -\rho b V^2 [C(k)(C_L + C_D \frac{dz}{dz}) + 4(\frac{dC_L}{d\alpha})_{k=0} (1 + C(k)) \frac{b\dot{\alpha}}{V}]$$

$$I\ddot{\alpha} + C_\alpha\dot{\alpha} + k_\alpha \alpha = 2\rho b V^2 [C(k)(\frac{C_L}{b} - (\frac{dC_L}{d\alpha})_{k=0} \{1 - C(k)\} \frac{b\dot{z}}{V})]$$

m : 模型質量, I : 模型慣性モーメント, C_z, C_α : 減衰定数, k_z, k_α : 剛性, ρ : 空気密度,

z, α : 模型幅置, C_L, C_D : 実験的に定まる空気力係数, $(\frac{dC_L}{d\alpha})_{k=0}$: 純じり1自由度振動実験で

得られたモーメント曲線の勾配, V : 風速, $C(k)$: Theodorsen 関数, k : 換算振動数

によって与えられる。この微分方程式をアナログ回路によって表わし、フラッター振動のシミュレーションを行
った。また、風の変動成分を正弦波状ガストと設定し、Sears 関数により変動空気の連続を行い、変動風に
よる応答を考察した。定常風に対するシミュレーション結果は、実験値とほぼ一致しており、準定常空気の
適用が可能であると考えられる。変動風に対しては、実験値による強制振動を重ね合わせられた形であるが、実験
と同様に、たわみモードへの影響が大きくなることを認められた。また、自然風のスペクトルがホワイトノイズ状
であり、長周期構造物の不規則振動と論ずる場合、固有振動数付近のスペクトル値が、かなり大きい意味を持つ
ことが予測された。

4. おわりに

小島内橋を平橋構造物として耐風性を論ずるには問題があることを指摘し、また歩道橋を架設する場合
には安定性能上、上下段材の中間位置が適当であると推論し、予想される限界風速と定めた。変動風の影響に
ついては不十分ではあるが、たわみモードへの影響が大であることが認められた。

(参考文献)

- (1) R.H. Scanlan & A. Subazvar, ASCE, EMDivision, April, 1968, p.429. (2) F. Bleich, Mathematical Theory of Vibration
in Suspension Bridges, Bureau of Pub. Roads, 1950. (3) W.A. Sears, Some Aspects of Nonstationary Airfoil Theory
and its Practical Application, JAS, vol. 8, 1941. (4) 本報告, 変動風による平橋の応答について, 橋梁の耐風性・交通シミュレーション集。