

東京大学工学部

正員 平井敦

日本交通技術 KK

正員 ○高山弘美

森田泰生

吊橋の耐風安定性に関する問題として、自動振動による破壊と静的抗力による座屈破壊がある。このレポートでは日本交通技術が試算した数種の補剛トラス吊橋について、座屈限界風速及びフラッター限界風速（自動振動限界風速）を計算し、吊橋の諸要素がその耐風安定性に影響する度合を検討したものである。この場合、座屈限界風速とフラッター限界風速との間に関連性が認められたが、注目すべきことも知れない。座屈限界風速は平井が提示した式⁽¹⁾を用い、フラッター限界風速は、この報告では一つの目安として F. Bleich の簡易計算法⁽⁴⁾を用いた。

1) 座屈限界風速 V_k と吊橋の諸要素との関係

$$V_k^2 = \frac{4\pi\sqrt{2g}\sqrt{EI\cdot GK}}{\mu C_d \rho b l^2}$$

ここで

$$\mu^2 = 1 + \frac{\sqrt{1.28}}{4\pi^2} \left(\frac{S + C_d}{C_d} \right)$$

$$EI = EI + \frac{\pi^2 b^2}{l^2} H_w \quad GK = GK + \frac{4\pi^2}{l^2} EC_w + \frac{H_w}{2} b^2$$

空気力係数 $C_d = 0.3$, $S = 0.7$ と仮定して計算した V_k 値を吊橋の諸要素と共に、数表に記載した。 V_k に影響する要素として支間 l 、死荷重 W 、補剛トラスの曲げ剛性 EI 及び捩り剛性 GK などが考えられるので、各項目別に調べてみた。

i) 支間 l

V_k の式、ならびに数表、図1,2にみられるように、支間 l の影響は非常に大きい。従って、長大橋を設計する際には支間 l に十分留意しなければならないと思われる。

ii) 死荷重 W

図1 ($V_k - W$) を観察すると、支間 l を一定とすれば V_k と W はほぼ比例関係にあり、死荷重 W の増加につれて V_k も増大する。その度合は l が大きくなるにつれ減少する。長大支間 $l = 1500^m$ の場合、type 8 と 10 とを比較すると死荷重 $W = 16.25 \text{ t/m} \sim 25.47 \text{ t/m}$ (56% 増加) に対し、 $V_k = 101^m \sim 119^m$ (18% 増加) の増加を生じており、死荷重増加による V_k の増加は長大支間の場合では、あまり期待出来ないことがうかがわれる。

iii) 補剛トラスの曲げ剛性 EI

数表の EI/EJ 項を観察すると、小支間吊橋 ($l = 500^m$) の場合、約 0.30、長大支間 ($l = 1500^m$) の場合、約 0.05 の値を示している。これより、 EI を倍に増加させると V_k 値は $l = 500^m$ の場合、約 8% 増しになり、 $l = 1500^m$ の場合約 2% 増しになる。従って、 EI の V_k への影響度は微少で特に長大支間の場合、無視し得る程小さいと思われる。

iv) 補剛トラスの捩り剛性 GK

数表の GK/GK 項を観察すると、支間 l にあまり関係なく約 0.78 ~ 0.55 の値を示している。こ

れより GK を倍に増加させると V_k 値は約 20% ~ 12% 増すことになる。従って EI に比べると大きな影響を持つことが分る。

なお、空気力係数は V_k 値に大きな影響を与えるので、 C_d, S を小さくするような構造が望まれる。

2) フラッター限界風速と吊橋の諸要素の関係

吊橋の自励振動の限界風速を推定するには、吊橋に作用する動的空気力を適用して求めるのが至当と考えられるが、試算の段階においては $F. Bleich$ の簡易計算法によるフラッター限界風速 V_F を参考とすることが出来ると思われる。そこで $F. Bleich$ の簡易計算法により計算したフラッター限界風速 V_F をフラッター振動数と共に数表に記載した。 V_F に影響する要素として吊橋の換り剛性 GK と補剛トラス断面の回転二次半径 r との比 GK/r を検討してみた。

図 2 ($V_F - GK/r$) を観察すると GK/r に比例して V_F が増加している (支間一定のとき)。吊橋の剛性に比して回転二次半径を小さくすると、振動時の抵抗に比べて慣性力が減少し、 V_F が増大するものと思われる。従って、自励振動に対する耐風安定性の見地から、設計上次のことが考えられる。

i) 吊橋の換り剛性に比して回転二次半径を小さくする。即ち、床版にグレーティングを用いる際には中央部にコンクリートを集め、外側にグレーティングを配置すると、公共添加物は断面の中央部に取付けると効果的である。その影響度を調べるのに type II ($L=1500^m$) において、 $r=10.1^m$ を 8.0^m と仮定して計算すると、 V_F は 63.6^m から 71.4^m に増加した。

ii) 補剛トラス主構の高さを適当に高くする。type II ($L=1500^m$) においてトラス高さを 12^m から 15^m に増すと、換り剛性が増し回転二次半径は 10.1^m から 10.3^m にしか増加せず、結局 V_F は 63.6^m から 72.8^m に増加した。尚一般に回転二次半径 r は床版部分によって左右され、トラス高さによる影響は小さい。

以上は前述したように平板に対する理論的空気力の適用によって得られた結果であるが、吊橋補剛トラス断面に作用する動的空気力は、平板に対するものとはなり違つた性状を示す場合が多い。この点を今後風洞実験によって照査する予定である。

3) 座屈限界風速 V_k とフラッター限界風速 V_F との関係

フラッター限界風速 V_F を座屈限界風速 V_k の尺度 $\sqrt{EI \cdot GK / \rho l^2}$ に関して V_k と共にグラフにプロットすると図 3 のようになった。これを見ると V_F は吊橋の剛性に対して V_k と類似の傾向を示している。従って、或る定つた補剛トラスの断面形状 (主に床版構造) が与えられたならば、座屈限界風速に一定の比率を算することによって、自励振動に対する安定性の尺度とする可能性も考えられる。但し、この比率は補剛トラスの断面形状 (主に床版構造) によって変化するので、数種の床版構造に対して風洞実験解析を実施する必要がある。

- (参考文献) (i) A. Hiral : Aerodynamic Stability of Suspension Bridges under Wind Action
Proceedings of The Japan Academy, Vol 36 (1955) P. 625
(ii) F. Bleich : The Mathematical Theory of Vibration in Suspension Bridges.
Bureau of Public Roads U.S.A (1950)

Type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
中央支間 C	500	500	500	500	1000	1000	1000	1500	1500	1500	1500
主橋間隔 D	34.0	34.0	34.0	33.0	34.0	34.0	33.0	37.0	37.0	37.0	33.0
主橋高支 E	8.0	8.0	8.5	8.0	12.0	10.0	9.0	11.5	11.5	11.0	12.0
死荷重密度 W	10.75	11.50	17.80	11.1	13.60	15.25	12.9	16.25	16.65	25.47	15.5
H-TL張力 H _T	8398	8484	13906	8318	21250	23828	19739	30469	31219	47756	29063
換算曲げ剛性 EI	154×10^8	174×10^8	256×10^8	135×10^8	1214×10^8	1387×10^8	957×10^8	3542×10^8	3728×10^8	5630×10^8	3459×10^8
換算曲げ剛性 GK	254×10^7	262×10^7	329×10^7	209×10^7	523×10^7	435×10^7	443×10^7	601×10^7	607×10^7	746×10^7	734×10^7
EI/EJ	0.30	0.34	0.31	0.22	0.11	0.13	0.06	0.05	0.04	0.03	0.04
GK/GK	0.72	0.70	0.64	0.72	0.74	0.64	0.77	0.64	0.63	0.55	0.78
$\frac{\sqrt{EI \cdot GK}}{EJ}$	1.48×10^{-2}	1.55×10^{-2}	2.16×10^{-2}	1.29×10^{-2}	0.75×10^{-2}	0.72×10^{-2}	0.62×10^{-2}	0.38×10^{-2}	0.38×10^{-2}	0.52×10^{-2}	0.46×10^{-2}
座落限界速度 V _h	200	207	242	187	142	140	130	101	102	119	111
加算2次半径 r	94	97	100	100	99	109	99	106	106	111	101
$\frac{GK}{r}$	0.270×10^7	0.270×10^7	0.329×10^7	0.209×10^7	0.528×10^7	0.339×10^7	0.447×10^7	0.567×10^7	0.573×10^7	0.672×10^7	0.727×10^7
75%一振動数 W	2442	2258	2429	2497	1235	1094	1314	0818	0806	0730	0887
75%一振動数 W _h	145.7	134.7	173.0	126.7	78.0	68.4	82.4	53.7	53.7	58.0	63.6

