

川田工業(株) 正会員 ○ 米田 昌弘

川田工業(株) 正会員 前田 研一

東京大学 正会員 伊藤 学

1. まとめ 耐風性を考慮した長大吊橋の補剛桁として、トラス桁と流線形箱桁桁がある。従来、前者に比べて、(1)桁の断面剛性が風による揺れが小さくなる、鋼材使用量が少なく経済設計が可能となる、(2)桁のねじれ剛性が大きく、クッタースに對する耐風不安定性が向上する、(3)外面の塗装面積が少なく鋼材単価が安い、また、窓開きの内面は塗装の必要がないので維持が容易となる。などの利点を有するといわれている。

しかしながら、流線形箱桁桁を最初採用した Severn 橋が使用開始後16~17年に、本橋に橋梁としてお預りの限界に達するところまで劣化したことが報告されている。この原因として、鉄板ハンガーに起因する問題点と交通量の激増に伴う等価荷重の増加、および橋梁の劣化問題など、これらの原因を自らの要素を以てして起因するものではないかと検討は現在行われている。

吊橋に對する自重の着目として以前は指摘されているが¹⁾、流線形箱桁桁の補剛桁に、耐風性に着目して行うコンクリート等により、質量を付加的に、質量を増やすことを考えれば、如何なるものがあるか。この質量付加的桁とは、ヤークトハンガーの断面が従来の流線形箱桁桁桁に比べて幾何学的に、表-1に示すように流線形箱桁桁とトラス桁の両方の利点を有する。静的特性について、本橋に報告されている²⁾、ここでは、質量を付加的に吊橋の固有振動数と相対的にクッタースの限界風速を計算し、質量を付加的に、場合により比較して若干の差を認める。

表-1 概略的な特性比較

諸元	補剛形式		
	トラス	流線形箱桁	流線形箱桁+質量
経済性	桁調量	△	◎
	ケーブル径	△	◎
	塗装量	△	◎
	評価	△	◎
面外特性	風力係数	△	◎
	断面剛性	◎	△
	変位	△	◎
	断面力	△	◎
動的特性	振動数	△	◎
	フラッター	△	◎
	パフティング	◎	△
	評価	◎	△
ハンガーの疲損特性		◎	△
総合評価		◎	△

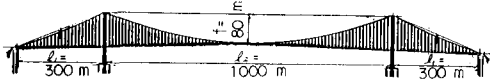


図-1 対象とする吊橋の一般図

2. 対象となる吊橋 数値計算の対象とした吊橋は、流線形箱桁補剛桁の中央径間長1,000mの3径間単純梁式橋である。一般図に示す質量を数量する前の断面質量は、丸い丸い図-1、表-2に示す。なお、この吊橋、鉄板ハンガーを有するコンクリート自歩道の張出し部が無く、これを除く。Severn 橋の補剛桁を模して作成されている。

3. 固有振動特性 計算の簡便さから、中央径間の逆行第一モードに對する鉛直に於けるねじれの固有振動数も、後述理論を適用して算定する。算定式を以下に示す。

鉛直に於ける逆行振動数 $f_{n,z}$

$$f_{n,z} = \frac{n}{2\ell_1} \sqrt{\frac{H_0}{\frac{w}{g}} + \frac{n^2 \pi^2 EI_x}{\frac{w}{g} \ell_1^2}} \quad (3.1)$$

ねじれ逆行振動数 $f_{n,y}$

$$f_{n,y} = \frac{n}{2\ell_1} \sqrt{\frac{GJ}{I_0} + \frac{H_0 b^2}{I_0}} \quad (3.2)$$

($n=2, 4, \dots$)

ここに、 g は重力の加速度、 H_0 はメインケーブルの水平張力であり、 $H_0 = w \ell_1^2 / 8\delta$ と g の間、

上式に於いて、 δ はケーブルのねじれ係数、 w は単位長さ当たりの吊橋自重であり、鉛直に於ける振動は、

し、また、おじい振動の非線形性に起因する項も考慮すべきだが、おじい大々的割合をいれる。

図-1 おじい表-2 に示した諸量を式(3.1), (3.2) に代入すれば、質量を付加した場合の中央径間の逆対称1次振動数を算定できる。また、死荷重の50% (6.5 t/m) に相当する付加質量を、付加慣性モーメントが次第に小さくなるように橋軸に沿って集中的に設置した場合について同様に計算できる。計算結果を表3に示す。この表から、付加質量を橋軸中央に沿って集中的に設置すれば、おじい振動数と質量を付加する前の値と比べてほとんど変化しないことが判る。考慮すべきは、振動数が変化せず質量だけが增加した場合の利点を、おじいおじい風荷振動のバリエーションを例に示し、その定性的な影響の概略を図-2 に示す。この図より、風荷振動のバリエーションの応答振動が小さく抑えられ、振動強度が向上する傾向を定性的に示すことが出来る。

4. 曲おじいフラッターの限界風速 自然風の傾斜角が小さい場合、流線と箱桁を有する吊橋に発生するフラッターは曲おじいフラッターであると見立てられる。そこで、Theodorsen の非定常空気を作用させた曲おじいフラッターの限界風速を計算し、質量を付加した場合の影響について検討した。計算結果を図-3、-4 に示す。図-3 は付加質量を橋軸中央に沿って設置した場合であり、軸直線の振動数 $f_{2,z}$ 、おじい振動数 $f_{2,y}$ を一定にして計算した。一方、図-4 は付加質量6.5 t/mの設置する場合であり、橋中央の幅員方向に変化させて計算した場合である。すなわち、この場合では、慣性モーメントが付加されておじい振動数が低下するので、おじい振動数について式(3.2)を再計算した値を用いた。

これらの結果より、付加質量を橋軸中央に沿って設置した場合では、付加した場合と比べて曲おじいフラッターの限界風速が上昇していることが判る。また、付加質量を $a=8$ m までに設置すれば、質量を設置する場合と比べて曲おじいフラッターの限界風速が低下していることが判る。このことは、付加質量を橋軸に沿って集中的に設置するおじい、RC 床版のようになら振動が現れ、設置するおじい可能であるおじい意味である。

5. おじいおじい 付加質量を有する吊橋の梁端の橋梁に適用するおじい、また、上述したおじい効果を定量的に把握して行く必要があり、このおじい研究を梁端までおじいおじいおじいして行く。

＜参考文献＞

1) 平井 俊彦：重荷重成る橋脚吊橋について、土木学会編文集6号、1959。

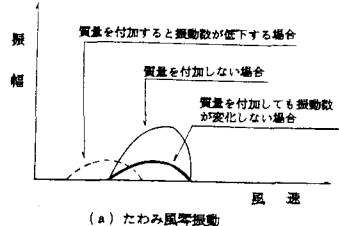
2) 川口 忠樹：セーリング橋の梁端に懸架質量の付加による振動、橋梁工学、vol.13 no.7/1984。

表-2 対象とした吊橋の断面諸量

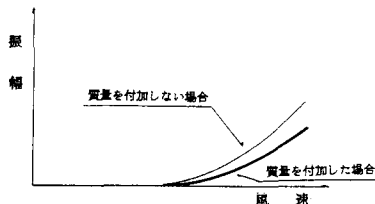
重量	W (t/m)	13.0
慣性モーメント	I_0 (t-m ⁴ /m)	70.0
断面2次モーメント	I_x (m ⁴)	1.0
ねじれ剛性	J (m ⁴)	2.0
ヤング係数	E (t/m ²)	2.1×10^7
せん断弾性係数	G (t/m ²)	8.1×10^6

表-3 逆対称1次振動数の計算値

	付加質量前 W=13 t/m	付加質量後 W=19.5 t/m
たわみ $f_{2,z}$ (Hz)	0.126	0.125
ねじれ $f_{2,y}$ (Hz)	0.516	0.533



(a) たわみ風荷振動



(b) たわみのバウエーティング

図-2 質量を付加した場合の応答特性

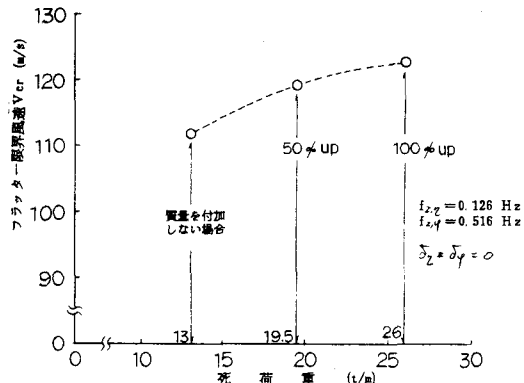


図-3 付加質量を橋軸に沿って集中的に設置した場合の限界風速

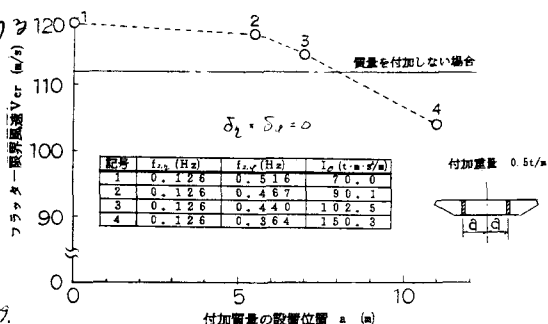


図-4 付加質量の設置位置を変化させた場合の限界風速