

I-184 デュアルタイプ吊橋の力学的性状について

大阪大学 正員 小松定夫

大阪大学 正員 西村宜男

阪大院 学生員 長井正嗣

1. まえびき

吊橋の外力に対する抵抗は死荷重によるケーブルの初期張力の寄与する割合が大きいことは周知の通りである。Fig. 1に示すようにMain cableと新たに設けたSub cableの間のハンガー・プレス・ストレスを導入することによつて、死荷重を軽減する方法が考えられる。更に斜スリッパを採用することによつて、ハンガーのtruss-actionによる両cableの相互拘束による剛性増加が期待できる。とくに局所的変形に対して斜スリッパ効果が著しいことから、活荷重を平均化するので、補剛桁の経済設計が進められるため、従来の補剛桁位置には車輪交通のための床版と床組のみ設置すればよい。この種の工夫は比較的短径間の吊橋に適用された例がある。¹⁾

長径間吊橋にこの方法を適用する場合、次のような問題を解決しなければならぬ。

- (1) 補剛桁を用いたため、ねじりに対してケーブル系全体で抵抗しなければならぬ。通常の吊橋では補剛桁のねじり剛性が系全体に占める割合がかなり大きいので、プレス・ストレスと斜スリッパを用いた工夫で、これを補うか。
- (2) 風荷重に対しても、通常吊橋では補剛桁の鉛直軸周りの曲げ剛性が大きく系全体の抵抗に寄与しているが、デュアルタイプ吊橋ではSub cableがこの役割を果しうるか。
- (3) どのようなプレス・ストレス工法を採用すれば、所要のプレス・ストレスを導入しうるか。

以上の問題を解決するとともに、次のようなデュアルタイプ特有の諸量に関して、その最適値又は最良の方法について検討する必要がある。

- (1) Sub cableのライズ・スパン比 f_s/l (2) Sub cableの断面積、プレス・ストレス量
- (3) 風圧を小さくするような床版と床組 (4) 多径間吊橋の場合のSub cableの取付法

本研究では上記の問題点のうち2項について、計算方法、数値解の試験による検証と若干の考察について述べる。

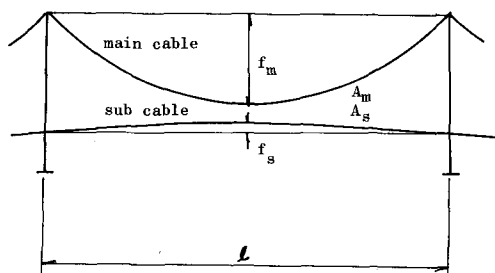


Fig. 1 Side view of dual type suspension bridge

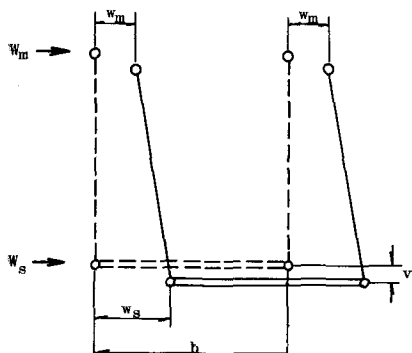


Fig. 2 Lateral deflection under wind loads

2. 基礎方程式

横変位 w_m, w_s に対して鉛直変位 v が生ずるものとして基礎方程式を導出した。なお、プレストレス P は橋軸方向単位長さ当りのトンガーに導入される量で代表した。また鉛直変位 v の基礎式は簡単な形の Vertical Hanger のものを用いた。水平方向の釣合より

$$-(H_m + H_{pm}) w_m'' + \frac{w_s - w_m}{f} \{ (H_m + H_{pm})(y_m'' + v'') + m_m \} = W_m \quad (1)$$

$$-(H_s + H_{ps}) w_s'' - \frac{w_s - w_m}{f} \{ (H_m + H_{pm})(y_m'' + v'') + m_m \} = W_s \quad (2)$$

ここで、 W_m, W_s は風荷重、 $H_m = (m_m + m_s + P_t) l^2 / 8 f_m$ 、 $H_s = P_t x^2 / 8 f_s$ 、 m_m, m_s は荷重、 H_{pm}, H_{ps} は T-バーの付加張力を表す。Main cable に対し m 、Sub cable に対し s の suffix を付す。鉛直方向の釣合より

$$-(H_m + H_s + H_{pm} + H_{ps}) v'' = H_{pm} y_m'' - H_{ps} y_s'' \quad (3)$$

Main cable の付加張力に関し

$$H_{pm} = - \frac{E_c A_{cm}}{L_m} y_m'' \int_0^L v dx \quad (4)$$

Sub cable の付加張力に関し

$$H_{ps} = \alpha L / L_s \cdot E A_{cs}, \quad \alpha L = \int_0^L \left\{ \sqrt{1 + \left\{ \frac{d(y_s - v)}{dx} \right\}^2} + \left(\frac{dw_s}{dx} \right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{dy_s}{dx} \right)^2} \right\} dx \quad (5)$$

以上 $w_m, w_s, v, H_{pm}, H_{ps}$ に関して (1) ~ (5) 式を用いて解くことは可能で、そのフローチャートを Fig. 3 に示す。

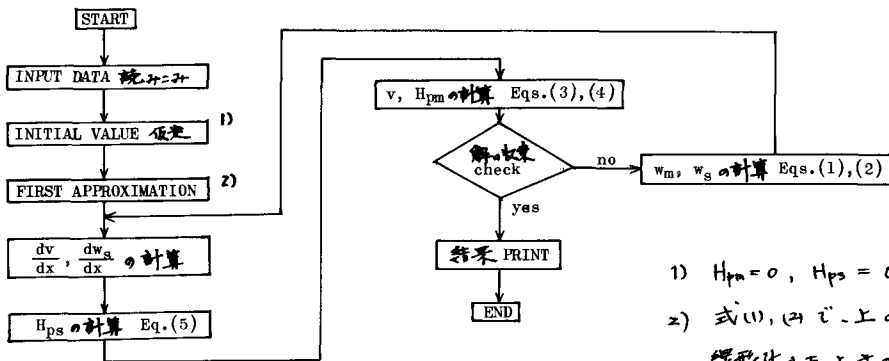


Fig. 3 Flow chart

- 1) $H_{pm} = 0, H_{ps} = 0, v = 0$
 2) 式(1), (2) 以上の条件を用い、線形化してこの解をより近似とする。

3. 数値計算によるデフォルタイプ吊橋の風荷重に対する特性

上記のフローチャートに従って、数値計算した結果より主径間 300m 程度の中級スパンの吊橋の構造特性について考察を加えた。

(1)、補剛桁の四角剛性が低いため、座部分に通常吊橋と同程度の風圧を受けた場合は、通常吊橋に比べて一般に不利である。しかし補剛桁を有さないために吊橋座部の暴露面積が縮小し風荷重は軽減されることを考えると、適当なプレストレスカネと Sub cable のサイズとの組合せによって、変位を通常の吊橋と同程度に小さくすることが可能である。例えば $P_t = 0.2 \text{ t/m}$ 、 $f_s = 0.01$ 程度の値を用いると主径 300m の通常吊橋に生ずる最大たわみ $w_s = 5 \sim 6 \text{ m}$ と同程度の変位になる。(Fig. 4, 5)

その際デュアルタイプ吊橋では、中期的な応力はほとんど生じない。(Fig. 6)

(2)、横たわみによつて、Subcable に付加張力を生ずる。Fig. 6 にみられるようにプレストレス量が小さい範囲で H_{ps} は無視できない程度になるが(この範囲で横たわみは過大となり実用的でない)、 $Pr/m_d > 0.1$ の領域では Subcable の初期張力に較べ H_{ps} は充分小さく、基礎方程式よりこの項を除外しても差支えない。同様鉛直たわみ v 、Maincable 付加張力も無視でき、結局、実用範囲の吊橋の諸元に対し前出の基礎方程式 (1)、(2) は線形となり、 $\therefore$ 充分な精度の近似解とみなしうる。

(3)、Subcable ライズ f_s が小さいと吊橋の横たわみは小さくなる。(Fig. 4, 5) しかしその際の Subcable 断面積は Fig. 7 に示すように極端に大きくなり実用的でない。

よつて先に掲げた検討事項について、以上の横たわみの特性だけで結論できないが、筆者等の別の研究³⁾も合せて推論すると、地上上の問題に困難さがないければ、デュアルタイプ吊橋は 800 m ~ 1000 m 級のスパンに適用して充分効果をあげることは期待できるものと思われる。

4. 模型実験

Fig. 8 に示すような諸元を有する縮尺模型について実験を行った。プレストレスは Subcable の両端に取付けたターンバックルを締付するこゝによつて算入した。鉛直スパンの場合にはほぼ均一に全スパンに渡りプレストレスを算入できるが、斜スパンに対してプレストレスを均等に算入することは非常に困難である。スパンと Subcable の取付金具を最初から固定しておくこゝ、プレストレス量

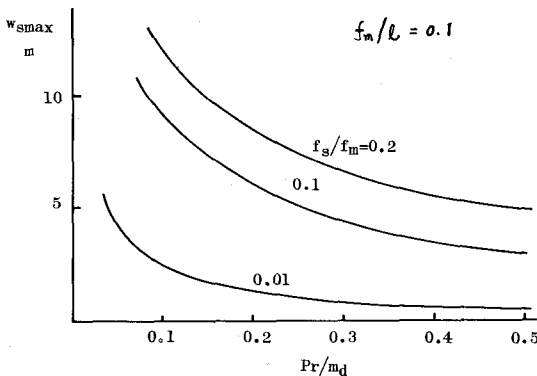


Fig. 4 $w_{smax} - Pr/m_d$

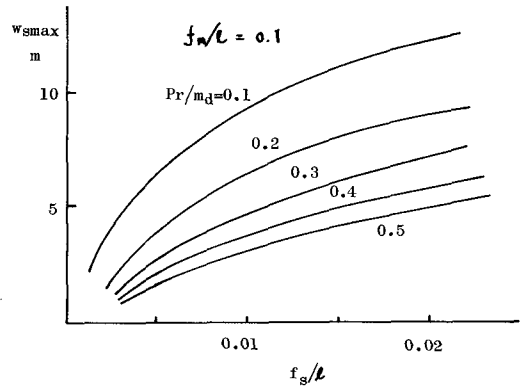


Fig. 5 $w_{smax} - f_s/l$

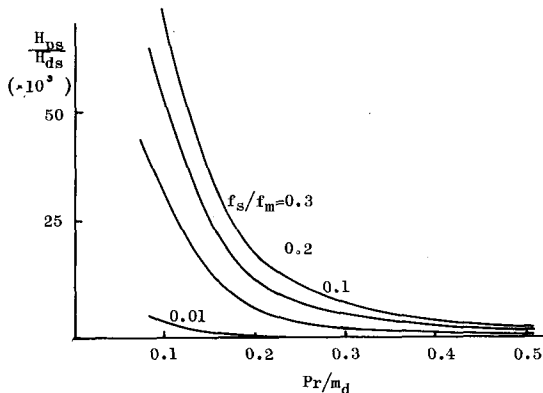


Fig. 6 $H_{ps}/H_{ds} - Pr/m_d$

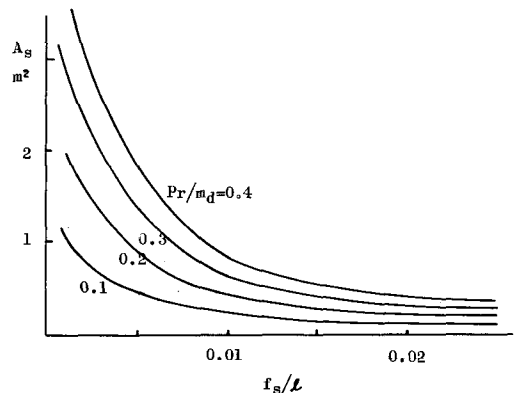


Fig. 7 $A_s - f_s/l$

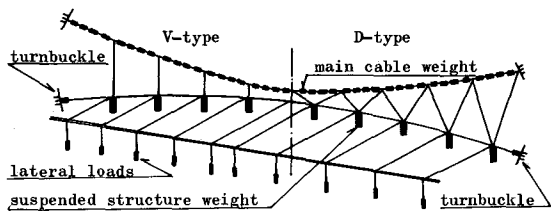


Fig. 8 Test model and experimental apparatus

Model	f_s	f_s/L	Model	f_s	f_s/L
V-1	10 cm	0.025	D-1	10 cm	0.025
V-2	20 cm	0.05	D-2	10 cm	0.05
V-3	30 cm	0.075	D-3	10 cm	0.075

模型諸元

$$L = 400 \text{ cm}, f_m = 40 \text{ cm}, h_m = 10 \text{ cm}, EA_m = 4.2 \times 10^4 \text{ kg}$$

$$EA_s = 1.65 \times 10^4 \text{ kg}, EA_h = 6.6 \times 10^2 \text{ kg}, m_m = 20 \text{ g/cm}, m_s = 15 \text{ g/cm}$$

$$W_s = 2.5 \text{ g/cm}$$

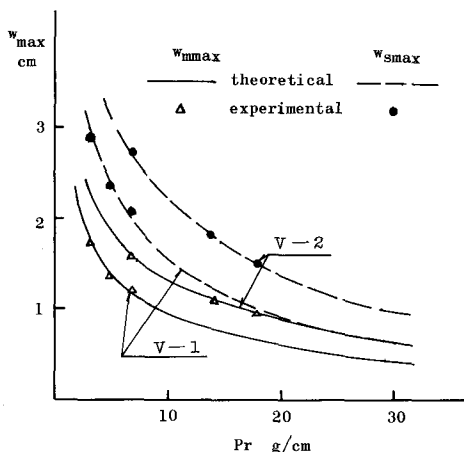


Fig. 9 Relation between lateral deflection $w_{\max}$ and prestress Pr ($W_s = 0.25 \text{ g/cm}$)

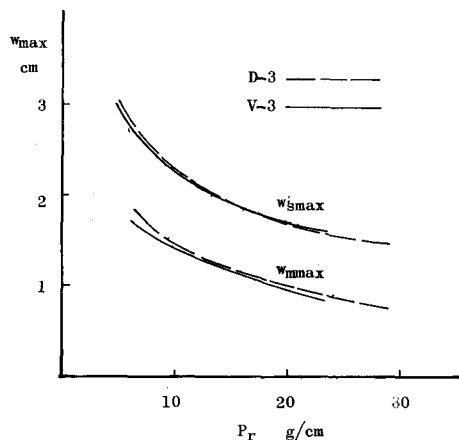


Fig. 10 Comparison between two hanger arrangements

の変化につれ、導入されるハンガー力がアンバランスになり、スパンの4分点付近のハンガーの一部に死荷重による初期張力を越える量のハンガー力が導入されてたむけ生ずるようになる。そこでSubcableとハンガーの取付点でアプレストレスを導入につれてケーブルが滑る構造として、アプレストレスを導入後固定すると、ほぼ均等なアプレストレス導入が可能となった。Fig. 9は横たわみ最大値の理論と実験値を比較したものである。両者はよく一致している。又Fig. 10に示す如く、ハンガーが斜直の場合と斜の場合ではほとんど横たわみ量に変化が現われないことが確かめられた。実橋でアプレストレスを導入する場合、スパンごとヒターンバックルを取付ける方法、床版床組重量を利用してアプレストレスする方法等が考えられる。各工法の得失について実験的に検討中であるが、それぞれ長一短があり、その中の長所だけを生かせるような組合せ工法が最良であろうと予想している。

参考文献

- 1) 小西一郎：長工吊橋の新しい傾向，三菱重工技報 ヤマ巻6号，昭和41年
- 2) 兵庫県，徳島県：大鳴門橋 概略設計書
- 3) 小松 西村長寿：ササケーブルを有するアプレストレスト吊橋の力学特性について
昭和46年度土木学会関西支部 講演会