

1. まえがき 筆者等は斜めハンガーを有する Double Cable (いわゆるセバーン型) あるいは Mono Cable 吊橋の力学特性について研究を続けているが、今回これらの斜めハンガーのねじり変形における効果に関して、考察を行ったので報告する。鉛直曲げ変形において斜めハンガーによる剛性増加がある程度期待できることがこれまでの研究で明らかになった。ねじり変形においても Double Cable の場合、2面の斜めハンガーは鉛直変形と同様、単に鉛直面内で変形するだけであるから、力学的には鉛直曲げ変形の延長で論ずることが出来る。Mono cable 吊橋のねじり変形は Double Cable の場合と本質的に変形特性が異なるから、鉛直変形の単なる延長として理論を展開することはできない。

Mono Cable 吊橋のねじり変形は Double Cable のねじり変形と横変位が、複雑に関連したものと考えられる。

2. 基礎方程式の誘導 (Double Cable)

Fig. 1 に示すように、斜めハンガーを一種の膜と考える場合、その面内における釣合から次の式が与えられる。

$$F(x) = -\frac{dH(x)}{dx} \quad (1)$$

$$S(x) = -H(x)\left(\frac{d^2v}{dx^2} + \frac{d^2y}{dx^2}\right) - \frac{dH(x)}{dx}\left(\frac{dv}{dx} + \frac{dy}{dx}\right) - m_c \quad (2)$$

斜めハンガーの効果率は次式で与えられる。

$$u_c = h(x)\frac{dv}{dx} - C_1 F(x) \quad (3)$$

ここで、 u_c はケーブルの橋軸方向変位、長さ L のハンガー長として $C_1 = k^3/a E_s A_h$

一方補剛桁における吊材力、断面力及び外力は Fig. 2 のように作用する。

ケーブルのねじり抵抗は

$$dT_s = S(x)b dx \quad \frac{dT_s}{dx} = S(x)b \quad (4)$$

分布トルク $F(x)h(x)dx$ は補剛桁のセグメント変化に対応し

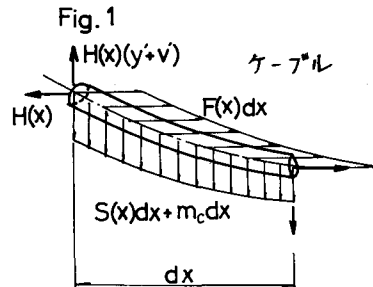
$$dM_w = -F(x)h(x)b dx$$

$$T_w = -\frac{dM_w}{dx} = F(x)h(x)b$$

$$\frac{dT_w}{dx} = \frac{d^2M_w}{dx^2} = \frac{dF(x)h(x)}{dx} b \quad (5)$$

吊材からのねじり及び曲げねじり抵抗を併せて、

$$\bar{m}_t = -\frac{dT}{dx} - \frac{dT_w}{dx}$$



補剛桁

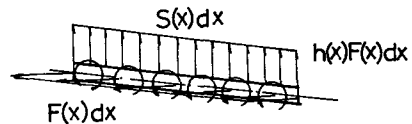
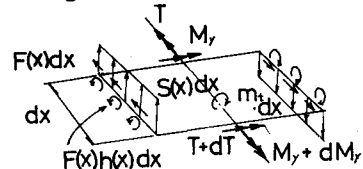


Fig. 2



$$= -S(x)b - \frac{dF(x)h(x)}{dx}b \quad (6)$$

補剛桁のねじりに関する基礎方程式は $E_s C_w \varphi'' - G_s J \varphi'' = m_t + \bar{m}_t \quad (7)$

こゝに m_t は外力分布ねじりモーメント $\bar{m}_t$ は吊弦力による分布ねじりモーメントである。
(7)式に(6)式を代入

$$E_s C_w \varphi'' - G_s J \varphi'' + S(x)b + \frac{dF(x)h(x)}{dx}b = m_t$$

式中の $F(x)$, $S(x)$ は(1), (2)式で与えられる。又 $v = \frac{b}{2} \varphi$ なる関係から 斜トンガ一吊橋のねじりに関する基礎方程式は

$$E_s C_w \varphi'' - \left(G_s J + H(x) \frac{b^2}{2} \right) \varphi'' - H_p b y'' - H_p' h(x)b - H_p \frac{b^2}{2} \varphi' = m_t \quad (8)$$

一方ケーブル方程式より $u_c' = \frac{H_p}{E_c A_c} \sec \psi - v' y'$

(3)式とから u_c を消去すると

$$h(x) \frac{b}{2} \varphi'' = C_2 H_p - C_1' H_p' - C_1 H_p'' \quad (9)$$

3. 基礎方程式の解法

(8)式と(9)式を境界条件を満足するように、解くわけだが、変数係数を含む微分方程式であること、(8)式左辺に2つの非線形項を有することから、次に示す差分方程式と Galerkin 法を組合せた loop 計算を行なう。(9)式を差分方程式に與えらる

$$-\left(\frac{C_{1r}}{\lambda^2} - \frac{C_{1r}'}{2\lambda} \right) H_{p,r-1} + \left(C_{2r} + \frac{2C_{1r}'}{\lambda^2} \right) H_{p,r} - \left(\frac{C_{1r}}{\lambda^2} + \frac{C_{1r}'}{2\lambda} \right) H_{p,r+1} = h(x) \frac{b}{2} \varphi_0''(r) \quad (10)$$

右辺の $\varphi_0''(r)$ はオ1近似として鉛直トンガ一吊橋の値を用いる。境界条件として両端ケーブルの軸方向変位が0,

$$H_{p,-1} - H_{p,1} = C_3 \varphi'(0)$$

$$H_{p,n-1} - H_{p,n+1} = C_3 \varphi'(L)$$

こゝに $C_3 = \lambda b h_0 / C_{1,0}$

次に(10)式で求めた H_p を(8)式に用いて、ねじり角のオ2近似 φ_2 を求める。

$$E_s C_w \int_0^L \varphi'' \bar{\varphi} dx - G_s J \int_0^L \varphi'' \bar{\varphi} dx - \frac{b^2}{2} \int_0^L H(x) \varphi'' \bar{\varphi} dx - b y' \int_0^L H_p \bar{\varphi} dx - b \int_0^L H_p' h(x) \bar{\varphi} dx - \frac{b^2}{2} \int_0^L H_p' \varphi' \bar{\varphi} dx = \int_0^L m_t \bar{\varphi} dx \quad (11)$$

(11)式の解 φ_2 を再び(10)式右辺にオ1 H_p のオ2近似を求め、更に(11)式でより精度のよい φ を求める。このように loop させて(8)式、(9)式の複雑な計算が可能である。

4. あとがき

紙面の都合で、ケーブルの場合の基礎方程式の誘導を述べることはできなかつたが、できれば講演当日、数値計算の結果と共に発表したい。

参考. "ケーブル吊橋の静力学的特性について" 小坂 西村 下村

昭和44年度 土木学会関西支部講演会 概要