

東北大学工学部 正員 倉西 茂
 東北大学大学院 学生員 ○越後 滋

1. はじめに

従来、吊橋に風荷重等の横荷重や偏心した荷重によるねじれ荷重が作用する場合、補剛桁の変形は、鉛直・水平・ねじれ変位に対しそれぞれ独立に解かれてきた。しかし、ケーブルは空間曲線をなしており、ねじれと水平変位は連成して生じ、また吊材定着点の位置や左右のケーブルの変位差から生ずる左右の吊材張力差等によって、各変形は独立には起り得ない。このような問題については、最近いくつかの研究があるが、ここでは比較的取扱いの容易な差分法を用いて解析を行っている。

2. 解析法

今、Fig. 1-2 に示す諸元をもつ吊橋の鉛直・水平・ねじれ方向の荷重を受け、補剛桁が u, v, φ 、ケーブルが η, ζ なる変形を生じたものとする。補剛桁の断面重心とねじれ中心は一致するとし、吊材の伸びを無視すれば、ケーブルの変位は、

$$\eta_z = u \pm b \cdot \varphi \quad (1)-1.2$$

$$\zeta_z = v - a \cdot \varphi - h \cdot \theta_z \quad (2)-1.2$$

ただし、添字の 1, 2 はそれぞれ左右のケーブルに関することを示す。

これらの変形により、ケーブルの釣り合いは、吊材張力を S 、その鉛直・水平成分を V, H なる添字で表わせば、

$$(H_w + H_{p1}) \cdot (\eta + \eta_z)' = -(w_c + S_{v1}) \quad (3)-1.2$$

$$(H_w + H_{p2}) \cdot \zeta'' = -(P_{Hc} + S_{H2}) \quad (4)-1.2$$

となる。また補剛桁には

$$\text{鉛直方向に對し: } P_v + w_g - (S_{v1} + S_{v2})$$

$$\text{水平方向に對し: } P_{Hg} - (S_{H1} + S_{H2})$$

$$\begin{aligned} \text{ねじれに對し: } M_t - S_{v1} \cdot (b + a \cdot \varphi) + S_{v2} \cdot (b - a \cdot \varphi) \\ + S_{H1} \cdot (a - b \cdot \varphi) + S_{H2} \cdot (a + b \cdot \varphi) \end{aligned}$$

なる外力が働き、死荷重 (w_g : 補剛桁, w_c : ケーブル) とそれによるケーブル張力の水平成分 H_w との関係

$$H_w \cdot y'' = -(w_g/2 + w_c), \quad y'' = 8f/\ell^2 \quad (5)$$

を考えれば、補剛桁の変形に関する次の三つの基礎式が得られる。

$$EI_y \cdot u'''' - (EI_y - EI_\varphi) \cdot (\varphi \cdot v'')'' = P_v + (2H_w + H_{p1} + H_{p2}) \cdot u'' + b \cdot (H_{p1} - H_{p2}) \cdot \varphi'' - 8f/\ell^2 \cdot (H_{p1} + H_{p2}) \quad (6)$$

$$EI_\varphi \cdot v'''' - (EI_y - EI_\varphi) \cdot (\varphi \cdot u'')'' = P_{vg} + 2P_{Hc} + (2H_w + H_{p1} + H_{p2}) \cdot v'' - a \cdot (2H_w + H_{p1} + H_{p2}) \cdot \varphi'' - (H_w + H_{p1}) \cdot (h \cdot \theta_z)'' - (H_w + H_{p2}) \cdot (h \cdot \theta_2)'' \quad (7)$$

$$\begin{aligned} EC \cdot \varphi'''' - GK \cdot \varphi'' &= M_t - 2a \cdot P_{Hc} + (a^2 + b^2) \cdot (2H_w + H_{p1} + H_{p2}) \cdot \varphi'' + b \cdot (H_{p1} - H_{p2}) \cdot u'' - a \cdot (2H_w + H_{p1} + H_{p2}) \cdot v'' \\ &\quad - 8f/\ell^2 \cdot b \cdot (H_{p1} - H_{p2}) + a \cdot (H_w + H_{p1}) \cdot (h \cdot \theta_z)'' + a \cdot (H_w + H_{p2}) \cdot (h \cdot \theta_2)'' \end{aligned} \quad (8)$$

また、ケーブルの付加張力は、ケーブル長を L_E とすれば、

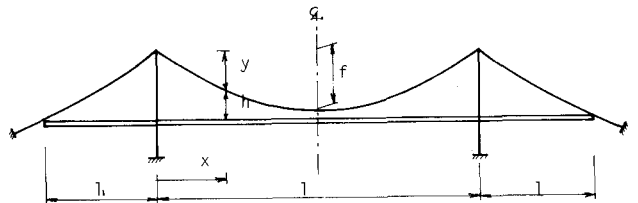


Fig. 1 General View

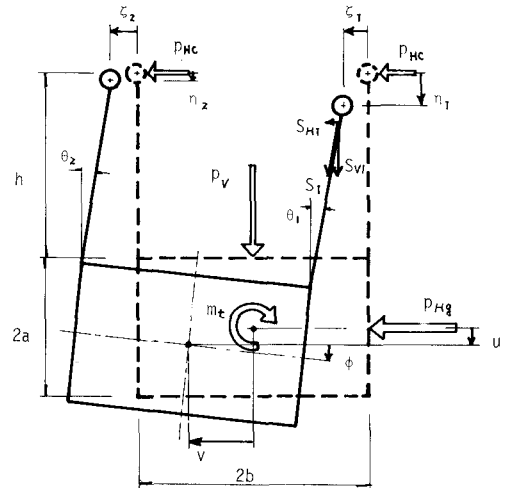


Fig. 2 Displacement of Cross Section

$$H_{P2} = E_c A_c / L_c \cdot \Sigma \{ 8f / l^2 \cdot \int (u \pm b \cdot \varphi) dx \} \quad (9) - 1.2$$

さらに、吊材張力の鉛直・水平成分と吊材の傾斜角 θ との関係、 $S_H = S_V \cdot \theta$ より次式が得られる。

$$(H_W + H_{P1}) \cdot (V'' - a \cdot \varphi'') - (H_W + H_{P2}) \cdot (h \theta_2)'' + P_{HC} = \{ (H_W + H_{P2}) \cdot (u \pm b \cdot \varphi) - 8f / l^2 \cdot H_{P2} - W_2 / 2 \} \cdot \theta_2 \quad (10) - 1.2$$

以上の (6) ~ (10) 式を連立させて解けばよいわけであるが、解析的にはほとんど不可能であり、近似解法によるかならない。本研究では差分法を用い、非線形項は逐次近似させて数値解析を行った。

3. 数値計算例

Fig.3 は三径間ニヒンジ吊橋について、従来行われてきたように、鉛直水平・ねじれ変位を別々に差分法で解いた結果である。計算には表 I に示される南備讃瀬川吊橋の諸元を用い、荷重としては、鉄道荷重 4.0 t/m (例車長 37.0 m, 偏心率 3.1 m, 7.5 m), 道路荷重 2.16 t/m (偏心率 7.0 m), 風荷重 2.0 t/m (全径間等分布, ケーブルに 0.5 t/m) を用い、載荷状態は図中に示すとおりである。太線は鉛直水平たわみ、及びねじれ角を、細線は鉛直水平面内の曲げモーメント、及び橋軸まわりのねじれモーメントを示す。

先に述べた解析法による連成解の結果は、単径間吊橋については既に得られているが、三径間ニヒンジ吊橋については現在計算中である。単径間吊橋についての結果をみると、連成解はわずかではあるが非連成解より小さな値となり連成の影響が現われている。

4. あとがき

本解析法において、三方向の変形を連成させているのは、ケーブルの付加張力と吊材張力の鉛直・水平成分であるが、基本となっている膜理論では微小変形を取り扱っている(特にケーブル方程式ではそのたわみ変位の影響は考慮されない等)ため、比較的大きな変形を考える場合にはより以上の検討が必要と思われる。

また差分法を用いる場合、分割数による誤差が一つの問題となるが、Fig.3 に示した場合(全径間 37 等分)と 62 等分の場合とで約 2% の差違がある。だが、定性的な判断には十分と思われる。

なお、今後連続補剛桁吊橋や横方向の剛性が得やすいと思われるケーブル面が傾斜しているような吊橋についても解析を行う予定である。

$E I_s$	$4.330 \times 10^8 \text{ t} \cdot \text{m}^2$	1	1092 m
$E I_T$	$2.624 \times 10^9 \text{ t} \cdot \text{m}^2$	1 ₁	260 m
$E C_{ur}$	$9.934 \times 10^{10} \text{ t} \cdot \text{m}^4$	f	100 m
G K	$1.684 \times 10^8 \text{ t} \cdot \text{m}^2$	2 a	13 m
$E_c A_c$	$1.541 \times 10^7 \text{ t/cable}$	2 b	37 m

Table.1 Dimensions of Suspension Bridge

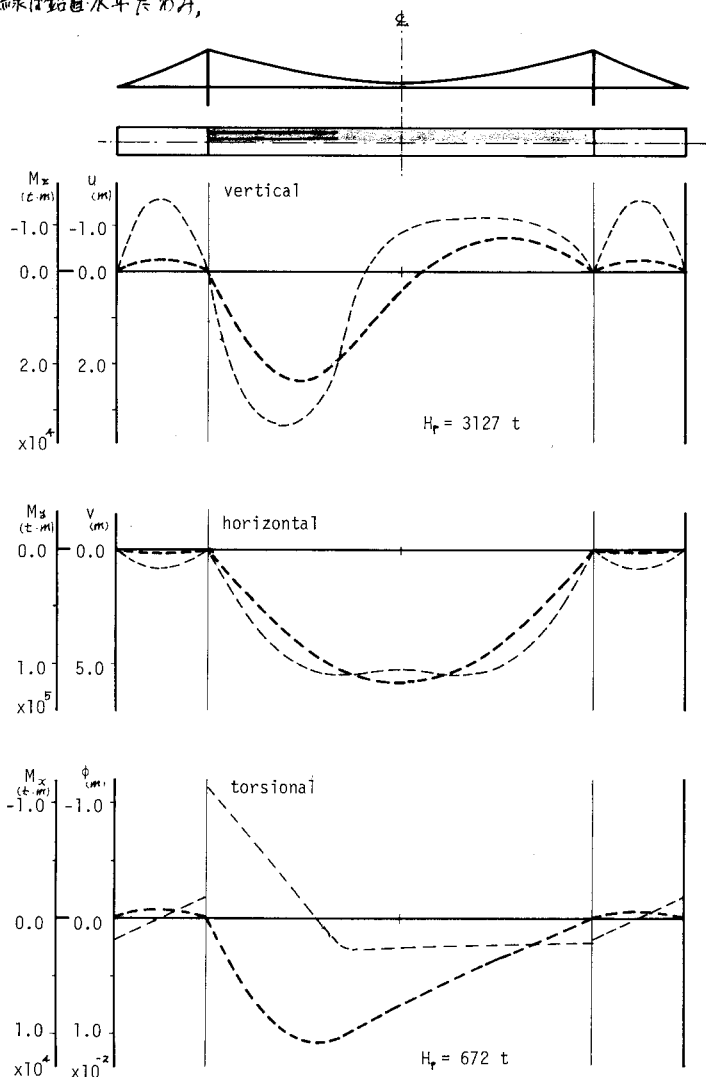


Fig.3 Displacements and Moments in Vertical, Horizontal and Torsional Directions