

瀧上工業(株) 熊 沢 周 明  
 " 〇安 藤 浩 吉  
 " 速 田 清

1. まえがき

吊橋の主ケーブルは塔柱、あるいはアンカーブロック附近のスプレーサドルによつて数本のケーブルに分岐され、アンカーされるのが普通である。しかし、小吊橋においては、バックステーの美観上、またはアンカーブロックの簡素化の理由から、この分岐点(スプレーバンド)を塔柱とアンカーブロックとの中間の空中に設ける場合がある。この場合は分岐点が水平、鉛直方向ともに移動し、とくに、架設中のケーブル張力の変動にもなつて、鉛直方向の移動が大きく、分岐点からアンカー部までの各ケーブル間の形状、および張力の変化が著しい。

本文はこの場合の簡単な計算式、およびそれを使用して( DEMOS使用) 空中に分岐点のある場合のバックステーケーブルについて、2, 3の考察をしてみた。

2. 計算式

ケーブルは完全に可撓性で、自重または等分布荷重のもとにケーブルの形状は放物線と仮定する。いま、図-1に示すように、1本のケーブルが分岐点において*m*本のケーブルに分岐され、それらが図-2に示すように左右対称になつてアンカーされている場合、各ケーブルの無応力長、重量、およびび剛性をそれぞれ、 $C_i$ 、 $W_i$ 、および $EA_i$ とし、それらが張渡されている区間の長さ、高さ、およびアンカー部の奥行をそれぞれ、 $l_i$ 、 $h_i$ 、および $\lambda_i$ とすれば、分岐点の位置 $x_0$ 、 $y_0$ (未知数)を用いるとつぎの式が成立する。

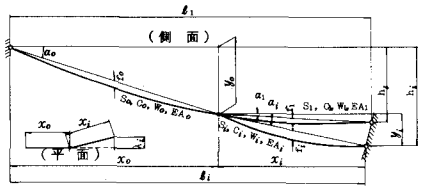


図-1

各ケーブル張力の水平成分、 $H_i$ 、および鉛直成分、 $V_i$ は

$$H_i = \frac{W_i x_i}{8 f_i} \quad (1) \quad V_i = H_i (\pm 4 n_i + \tan \alpha_i) \quad (2)$$

各ケーブルの曲線長  $S_i$ は、サグ比  $n_i$  が小さいものとして

$$S_i = x_i \left( \sec \alpha_i + \frac{8}{3 \sec^3 \alpha_i} n_i^2 \right) \quad (3)$$

各ケーブルの弾性のび  $\Delta S_i$  は

$$\Delta S_i = \frac{H_i x_i}{EA_i} \left( \sec^2 \alpha_i + \frac{16}{3} n_i^2 \right) \quad (4) \text{である。}$$

ここに、 $n_i = \frac{f_i}{x_i}$  (5)  $\sec \alpha_i = \sqrt{1 + \left( \frac{y_i}{x_i} \right)^2}$  (6) であり、 $x_i$  はケーブルの方向にそつた水平距離である。

つぎに、各ケーブルの無応力長  $C_i$  は、線膨張係数  $\alpha$ 、および温度差を  $t$  として、

$$C_i = \frac{S_i - \Delta S_i}{1 + \alpha t} = \text{Const.} \quad (7) \text{である。}$$

式(1)から(6)までは  $i=0, 1, 2, \dots, m$  までの  $m+1$  組が存在し、これらを用いて分岐点における力のつり合いを考えれば

$$H_0 = \sum_{i=1}^m H_i \sec \phi_i \quad (8) \quad V_0 = \sum_{i=1}^m V_i \quad (9) \text{となる。}$$

したがつて、式(1)から(6)までのグループを  $m+1$  組と式(8)、および(9)を連立方程式として解けば、 $H_i$ 、 $V_i$ 、 $x_i$ 、 $y_i$ 、 $f_i$ などを求めることができる。

しかし、上記の連立方程式は多元高次連立方程式となつて、直接解くことは困難であるので、本文ではつぎに示すようになくり返し計算を行なつた。

式(6)に式(3)、(4)、および(5)を代入し、 $f_i$ について整理すると、 $f_i$ の3次式

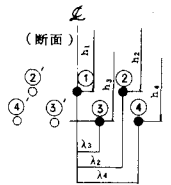


図-2

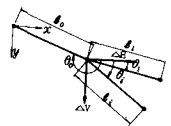


図-3

$$A_1 f_i^3 + A_2 f_i^2 + A_3 f_i + A_4 = 0 \quad (10) \quad i = 0, 1, 2, \dots, m$$

$$A_1 = \frac{8}{3x_i \text{Sec}^3 \alpha_i} \quad A_2 = \frac{16W_i}{24EA_i} \quad A_3 = x_i \text{Sec} \alpha_i - C_i \quad A_4 = -\frac{W_i x_i^2}{8EA_i} \text{Sec}^2 \alpha_i \quad \text{となる。}$$

式(10)に対して、 $x_0, y_0$ を適当に仮定し、 $f_i$  ( $0 < f_i$ )を  $m+1$ 組について求め、式(1)、および(2)より各  $i$  に対応する  $H_i$ 、および  $V_i$ を求める。これらを式(8)、および(9)の換算、すなわち、 $H_0 - \sum_{i=1}^m H_i \text{Sec} \phi_i = \Delta H$  (8)'  $V_0 - \sum_{i=1}^m V_i = \Delta V$  (9)'として計算し、不平衡力  $|\Delta H|$ 、 $|\Delta V| \leq \epsilon$  (許容誤差)になるまで  $x_0, y_0$ を修正してくり返し計算を行なう。この場合の一つの方法としては、図-3に示すような、全体を直線と仮定した骨組構造の分岐点に、不平衡力  $\Delta H$ 、および  $\Delta V$ が作用したときの分岐点の弾性変位  $\Delta x$ 、および  $\Delta y$ を求め、すなわち、連立一次方程式(11)を

$$\left. \begin{aligned} \left( \sum_{i=0}^m \frac{EA_i}{l_i} \cos^2 \theta_i \right) \Delta x + \left( \sum_{i=0}^m \frac{EA_i}{l_i} \sin \theta_i \cos \theta_i \right) \Delta y &= \Delta H \\ \left( \sum_{i=0}^m \frac{EA_i}{l_i} \sin \theta_i \cos \theta_i \right) \Delta x + \left( \sum_{i=0}^m \frac{EA_i}{l_i} \sin^2 \theta_i \right) \Delta y &= \Delta V \end{aligned} \right\} (11)$$

解いて、新しい仮定値、 $x'_0 = x_0 + \Delta x \cdot \gamma$ 、 $y'_0 = y_0 + \Delta y \cdot \gamma$ を作る。ここに  $\gamma$ はダンピング定数で、本文の場合では  $\epsilon = \frac{H_0}{10000}$  または  $\epsilon = \frac{V_0}{10000}$  として、 $\frac{f}{x} = 0.001 \sim 0.03$ 程度で  $\gamma = 0.1 \sim 2$  ぐらいが最も早く収束した。

### 3. 計算例および考察

図-4に示すように、分岐点において7本のケーブルに分岐したバックステーが完成時において、すべて等しい張力となるように張渡されている。この場合の結果は表-1のようである。

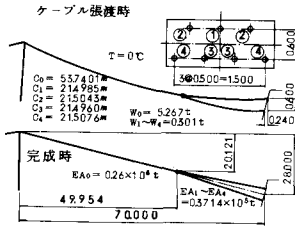


図-4

この結果から、ケーブル張渡し時においても、ケーブルの奥行方向の広がりについては、ほとんど張力差はなく、上下方向の広がりにおいて著しい。そこで、上段、および下段ケーブルをまとめて1本のケーブルとみなし、結果をまとめたケーブル本数で割った場合として、ケーブル張渡し時から完成時までについて、2.3考察してみよう。

図-5は各ケーブルのサグと張力の関係を示したものである。ケーブル張渡し時には、上下段のサグの差は非常に大きい、 $T=300$  t程度となるとほとんど一致する。

図-6は上下段ケーブルの張力比と張力の関係を示したものである。ケーブル張渡し時には、下段ケーブルは上段ケーブルの約20%の張力であるが、急激に変化し完成時には上下等しくなる。

図-7は下段ケーブルの無応力長を正規の長さより  $\pm 10$  mmまで変化させた場合のケーブル張渡し時、および完成時の上下段ケーブルの張力比を示したものである。

以上考察については紙面の都合でかなり省略したが、当日説明を加える。

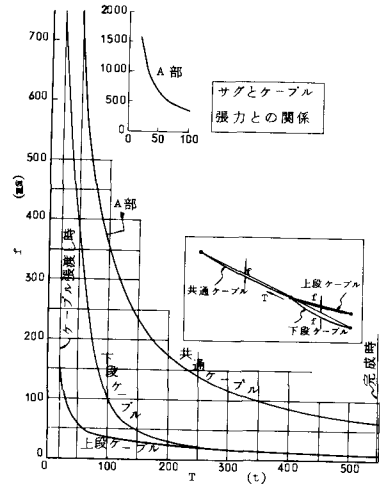


図-5

ケーブル本数	N	r (m)	T (t)	ケーブル本数	r (m)	T (t)
0	1.584	21,537	(21,535)	0	0.665	547,062 (547,244)
1	0.145	5,612	(5,615)	1	0.010	7,8130 (7,8075)
2	0.145	5,621		2	0.010	7,8111
3	0.789	1,129	(1,137)	3	0.010	7,8261 (7,8248)
4	0.789	1,130		4	0.010	7,8223

表-1

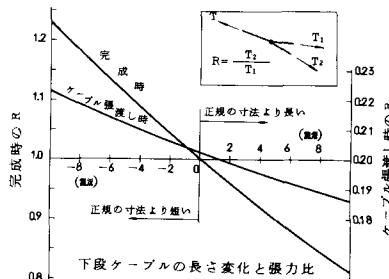


図-7

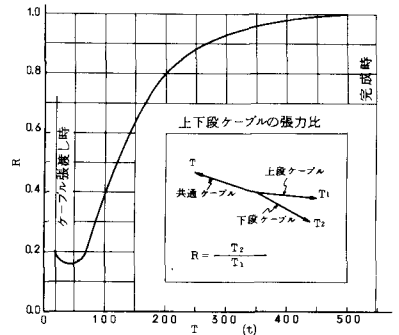


図-8