

法政大学 学生会員* 広瀬孝司
法政大学 正会員 大地羊三

1. まえがき ケーブル構造の大変形解析において、一般には、部材は節点間で直線とし、分布荷重は節点荷重に置き換えて考え、張力と変形は線形関係であると仮定している。しかし、この解析方法では計算過程で圧縮部材の処理が必要となる。さらに、ケーブル部材は直線ではなく自重によってサグを生じており、応力と歪の関係は線形(弾性)にもかかわらず、弦方向張力と弦方向変位の関係は非線形となる。本報告は自重により生じるケーブル部材のサグを考慮した平面ケーブル構造の大変形解析について報告する。

2. 基本式 図1の状態にあるケーブル部材において、たわみ曲線を放物線と近似すると弦長 l と弦方向張力 H の関係は、部材長と弾性の比の関係から次のようになる。(図2はこの関係を示す)

$$\frac{H_b}{EA} - \frac{1}{24} \left(\frac{W \cos \alpha}{H_b} \right)^2 \frac{l}{S_0} - \frac{l - S_0}{l} = 0$$

E : ケーブルの弾性係数 W : ケーブル部材重量
 A : ケーブルの断面積 T : 接線方向張力
 S_0 : ケーブルの無応力長 α : 弦方向と水平方向のなす角度

また、 $R_a = R_b = W/2$, $H_b = -H_a$ の関係がある。

3. 切線剛性マトリックス 基本式を用いて、全節点での釣合い条件式を作ると、非線形の連立方程式が得られる。これをニュートン・ラフソン法を用いて解くのであるが、その時の部材の断面力増分と変位増分の関係を表わす切線剛性マトリックスは次のようになる。(図3参照)

$$\begin{bmatrix} dN_a \\ dS_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{EA}{S_0} K_c & 0 \\ 0 & \frac{H_b}{l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dU_0 \\ dU_1 \end{bmatrix}$$

$$K_c = \left\{ 1 + \frac{1}{24} \left(\frac{W \cos \alpha}{H_b} \right)^2 \right\} / \left\{ 1 + \frac{1}{12} \left(\frac{W \cos \alpha}{H_b} \right) \frac{l}{S_0} \frac{EA}{H_b} \right\}$$

また、 $dN_b = -dN_a$, $dS_b = -dS_a$ の関係がある。

4. 数値計算例 無応力長 S_0 に等しい支点間距離に無応力状態を張らせた単一ケーブルを考え、10部材に分割した場合(②)と、2部材に分割した場合(③④)について、本報告の解析値(①③)とケーブルが直線部材であると仮定して解いた場合(②④)を比較した。集中荷重 P は中央点に作用し、その大きさはケーブル重量との比 P/w で表わし、変位はスパン中央のたわみ f とスパン l との比 f/l (サグ比)で示した。(図4参照)

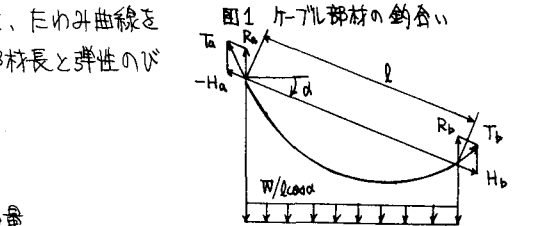


図1 ケーブル部材の釣合い

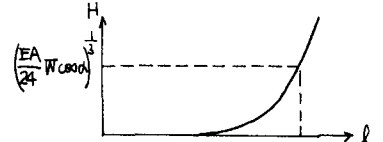


図2 弦長と弦方向張力の関係

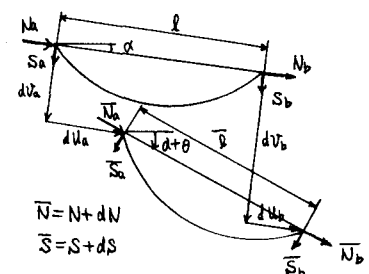


図3 部材端変位と部材回転角

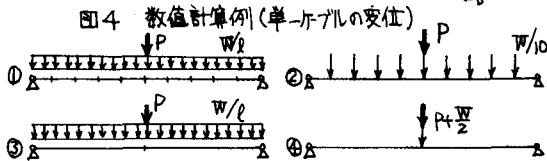


図4 数値計算例(単一ケーブルの変位)

種数	P/w	0	0.25	0.5	1.0
① 10部材(サグ考慮)		35.52	42.77	48.02	55.81
② / (直線)		35.64	42.84	48.07	55.84
③ 2部材(サグ考慮)		35.54	42.78	48.02	55.82
④ / (直線)		39.11	44.79	49.31	56.49

5. あとがき ケーブル部材のサグを考慮した解法では、従来の解法に比べて、部材数が少なくて精度を上げることができ、不安定構造でも問題は無い。またケーブルトラスの場合に外荷重に対して有効に働かぬ部材の挙動を追うことができ、従来の解法での圧縮部材の処理も必要ない。(※現在 日本電信電話公社勤務)