

日本道路公団関門架橋工事事務所 正会員 村上巳里 〇正会員 佐伯彰一

1. 概要

図-1は、架設時における吊橋のケーブルおよび補剛ゲタの変形、応力を電子計算機で計算する場合の計算順序の概略を示したものである。すなわち

- (1). 架設時の諸計算の基準となる完成時のケーブルの形状およびケーブルの無応力長を求める。
- (2). 架設時の吊弦力を仮定する。
- (3). (2)で仮定した吊弦力に基づいて、架設時のケーブル形状を求める。
- (4). 完成時のケーブル形状と架設時のケーブル形状より補剛ゲタの変形を求め、これに基づいて吊弦力を計算する。
- (5). (2)で仮定した吊弦力と(4)で求めたそれとが一致するか否かを照査し、一致しない場合は(2)~(5)の計算を繰返す。

以上の方法を3径間2ヒンジ補剛吊橋を対象にプログラム

を作成しているが、ここでは紙面の関係もありその基本とした計算式のみを記すことにする。

2. 完成時のケーブル形状およびケーブルの無応力長の計算

吊橋完成時において、死荷重はすべてケーブルで支持されるものとするれば、ケーブル形状およびケーブルの無応力長の計算は図-2に示すようなケーブルのみを対象として行なえばよい。

格点*i*と*i+1*の間のケーブルにおいて、図-3のように記号を定義すれば、次の関係式を得る。

$$b_i = (H/w) \{ \cosh \phi_i - \cosh (2\lambda_i - \phi_i) \} \quad \text{---(1)}$$

$$\text{ここに } \lambda_i = w a_i / (2H) \quad \text{---(2)}$$

$$\begin{aligned} \phi_i &= \sinh^{-1} \{ -\sinh (2\lambda_i - \phi_{i-1}) - Y_i / H \}, (i \neq 1) \\ &= \sinh^{-1} (-Y_i / H) = \cosh^{-1} (T_i / H), (i=1) \end{aligned} \quad \text{---(3)}$$

一般に完成時においては、ケーブル径間長*L*、ケーブル径間距離、格点間横距*a_i*および吊弦力*Y_i* (*i*=2~*n*-1)は既知であるが、さらにその他の既知により径間はつぎの3つに分類される。

CASE 1: *Y_i*が既知 (左右対称な径間では、1/2径間を考えればよく、格点1は径間中央となり、*Y₁*は実際の吊弦力の1/2の値となる)。

CASE 2: *H*が既知 (例えば、3径間吊橋の側径間。側径間の*H*は、中央径間のそれに等しく、

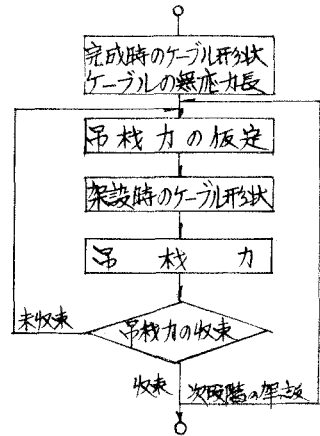


図-1

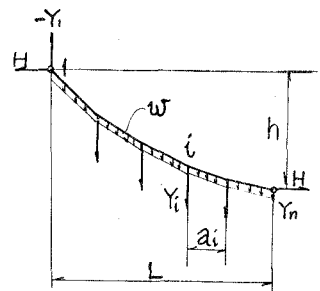


図-2.

側径間の計算に先だって中央径間の計算を行なえば既知となる。。

CASE 3 : T_i 未既知 (例えば, 3 径間吊橋のバックステイ。バックステイの側径間側端部のケーブル張力は, 側径間のバックステイ側端部のそれに等しい。)

したがって, CASE 1 および CASE 3 では H を, CASE 2 では Y_i を仮定すれば (1) ~ (3) 式より b_i は求めることができる。しるかに, b_i は,

$$h - \sum_{i=1}^{n-1} b_i = 0 \quad (4)$$

を満足していなければならない。これを満足していない場合は前述の仮定値 H あるいは Y_i をつぎに示す式から求める ΔH あるいは ΔY_i だけ修正して再計算を行なう。

$$\Delta H \text{ (または } \Delta Y_i) = (h - \sum_{i=1}^{n-1} b_i) / \sum_{i=1}^{n-1} \gamma_i \quad (5)$$

$$\text{ここに } \gamma_i = \beta_{i1} + \beta_{i2} \mu_i$$

$$\beta_{i1} = \{ b_i + a_i \sinh(2\lambda_i - b_i) \}; \quad ; [\text{CASE 1, 3}]$$

$$= 0 \quad ; [\text{CASE 2}]$$

$$\mu_i = \alpha_{i1} + \alpha_{i2} \mu_{i-1} \quad ; \quad (i \neq 1)$$

$$= Y_i / (H^2 \cosh \phi_i) \quad ; [\text{CASE 1}]$$

$$= 1 / (H \cosh \phi_i) \quad ; [\text{CASE 2}]$$

$$= -T_i' / \cosh \phi_i \quad ; [\text{CASE 3}]$$

$$\alpha_{i1} = \{ 2\lambda_{i-1} \cdot \alpha_{i-1} + Y_i / (H^2 \cosh \phi_i) \}; \quad ; [\text{CASE 1, 3}]$$

$$= 0 \quad ; [\text{CASE 2}]$$

$$\alpha_{i2} = \cosh(\phi_{i-1} - 2\lambda_{i-1}) / \cosh \phi_i$$

以上により, b_i が求めれば完成時のケーブル座標が計算され, ケーブルの形状が決定される。

また, ケーブルの無応力長 l_{u1} は, 完成時のケーブル長 l_1 から, その時のケーブルの弾性伸びを減ずることにより求められる。

$$l_{u1} = l_1 - l_{e1} \quad (7)$$

l_1, l_{e1} は, 次式で与えられる。

$$l_1 = \{ b_1^2 + (a_1 \sinh \lambda_1 / \lambda_1)^2 \}^{1/2}$$

$$l_{e1} = H l_1^2 \{ \lambda_1 \coth \lambda_1 + (a_1 / l_1)^2 \{ 1 - \sinh(2\lambda_1) / (2\lambda_1) \} \} / 2 \quad (8)$$

3. 架設時のケーブル形状の計算

前述の完成時においては, a_i が既知であったが, 架設時の計算では a_i は未知で, l_{u1} が既知である。このような場合の計算式は下記の文献に記されており, それをそのまま用いた。

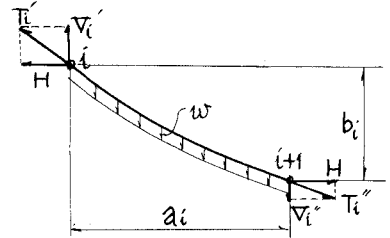


図-3

"Cable Movement under Two-Dimensional Loads"

by W. Tarence O'Brien and Arthur J. Francis A.S.C.E., June 1964

$$\begin{aligned}
 V_i'' &= V_i' - w l u_i \\
 V_i' &= V_{i-1} - Y_i \\
 T_i' &= H \sec \{ \tan^{-1} (V_i' / H) \} \\
 T_i'' &= H \sec \{ \tan^{-1} (V_i'' / H) \} \\
 b_i &= (V_i' + V_i'') l_i / (T_i' + T_i'') \\
 a_i &= H l_i \log \{ (T_i' + T_i'' + w l u_i) / (T_i' + T_i'' - w l u_i) \} / (w l u_i)
 \end{aligned} \quad (9)$$

したがって、 b_i および a_i は、 H および V_i' を仮定すれば上式より求められる。

仮定値 H および V_i' が正しいか否かは、完成時の場合と同様の方法で照査するが、たゞ架設時の場合は、ケーブル径間長 L およびケーブル径間総距離は、個々の径間の値としては与えることができず、吊橋全体に対する値となる。このため上記の照査も吊橋全体において満足するか否かを検することになる。このため、 H および V_i' の修正量 ΔH および $\Delta V_i'$ の計算式は、対象とする吊橋の開式により異なったものとなるが、いずれにしても H および V_i' の変化量 ΔH および $\Delta V_i'$ と $\sum_{i=1}^{n-1} a_i$ および $\sum_{i=1}^{n-1} b_i$ の変化量 Δa および Δb との関係が求まっておれば、その計算式は容易に導くことができる。

ΔH 、 $\Delta V_i'$ 、 Δa_i および Δb_i の関係はつぎのとおりである。

$$\begin{aligned}
 \Delta V_i' &= (K_1 \Delta a + K_2 \Delta b) / K_f \\
 \Delta H &= (K_2 \Delta a + K_3 \Delta b) / K_f \\
 \text{ここに } K_1 &= \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} (a_i^3 / l_i) \right\} / K_f \\
 K_2 &= \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} (a_i^2 b_i / l_i^2) \right\} / K_f \\
 K_3 &= \left(\sum_{i=1}^{n-1} a_i \right) / H - K_1 \\
 K_f &= K_1 K_3 - K_2^2
 \end{aligned} \quad (10)$$

なお、 Y_i は、補剛ゲタが剛性を有する場合は未知数であり、前述したように仮定しなければならない。

4. 架設時の吊桁力の計算(補剛ゲタが剛性を有する場合)

架設途中に、補剛ゲタが剛性を有する場合の吊桁力は、補剛ゲタの剛性がないとした場合の吊桁力に完成時と架設時との間の補剛ゲタの変形によって生じる吊桁力の変化量 R_i を加えたものとなる。

R_i の計算は、吊桁間隔 a を支間長とし、支点に上記の補剛ゲタの変形に相当する移動 δ_i を考えた場合の支点反力を求めることに同じである。

図-4(a) にしめす連続ゲタの支点 i 上の曲げモーメントを M_i とすれば、

$$\begin{aligned}
 M_{i-2} + 4M_{i-1} + M_i \\
 = -(6EI/a^2) (\delta_{i-2} - 2\delta_{i-1} + \delta_i)
 \end{aligned} \quad (11)$$

なる関係がある。

これより、 $M_0 = 0$ であることから M_i を仮定すれば M_i は求められる。いま、このようにして求めた支点上の曲げモーメントを M_i' とおく。

この場合、支点 n での値 M_n' は必ずしも 0

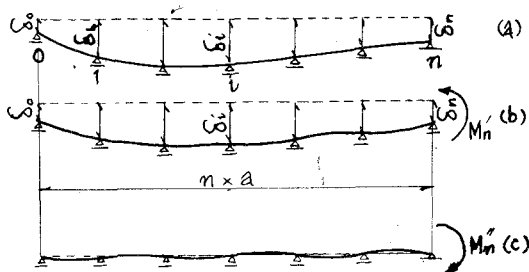


図-4

とはならない。これを補正するには、支点 n に M_n' に大きさは等しく、方向が逆のモーメントが作用した場合の支点上曲げモーメント M_i'' を求め、 M_i' に加えればよい。すなわち

$$M_i = M_i' + M_i'' \quad (12)$$

を計算される。

M_i'' については、

$$M_{i-1}'' + 4M_i'' + M_{i+1}'' = 0 \quad (13)$$

なる関係があり、 $M_i = C\beta^i$ とおき、(13) に代入し、 $\beta \neq 0$ および $M_0'' = 0$ 、 $M_n'' = -M_n'$ なる条件を考えると、 M_i'' は次式であらわされる。

$$M_i'' = -(\beta_1^i - \beta_2^i) M_n' / (\beta_1^n - \beta_2^n) \quad (14)$$

$$\text{ここに } \beta_1 = -2 + \sqrt{3}$$

$$\beta_2 = -2 - \sqrt{3}$$

また R_i は、次式で計算される。

$$R_i = -(M_{i-1} - 2M_i + M_{i+1}) / a \quad (15)$$

なお、実計算においては、 n が大きくなると M_i' の仮定値によっては、 M_i' と M_i'' の大きさがかけはなれたものとなり、一度では正しい解が得られないことがある。この場合は (12) 式で求めた M_i をあらためて M_i'' とおき繰返し計算を行なわなければならない。