I－7　斜めに張られたケーブルをもつつり橋の力学的性状

京都大学工学部　正　員　小西一郎
京都大学工学部　正　員　山田善一
京都大学大学院　学生員○岩田輝俊

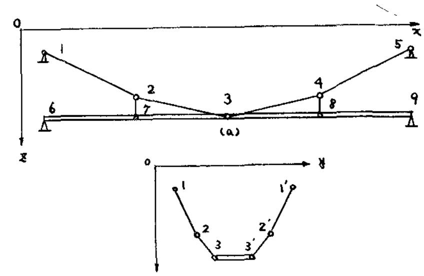
1. まえがき

近年長大橋の要請が各地でみられ、とくに長距離を結ぶ橋梁形式としてつり橋が採用されている。このつり橋は周知の通り、他の橋梁形式に比較して剛性が小さく大きい変形や振動を生じやすい。過去このため致命的被害をうけた例も少なくない。以来、より工学的なつり橋を作るため種々の研究、改良がなされているが、最近その中で従来のつり橋とはかなり異った形式のつり橋が提案され、その一部はすでに実現されている。ここでは斜めに張ったケーブルをもつつり橋についてある一つの構造系を考え、それについて静力学の範囲で変形法を用いてケーブルの形の決め方と活荷重が作用したときの任意の方向の変位をもとめる方法について述べその数値計算例を発表する。

2. 考える構造系と主な仮定

机上計算機の能力を考慮して図－1に示すようなケーブル、補剛桁、ハンガーよりなる非常に簡素化した構造系を考え、座標を図のように選ぶ。一般的な解法ととくに異る仮定は

1). 荷重は全て図－1に示す節点に集中的に作用する。
2). 補剛桁は各節点で曲げモーメントに応じて回転する回転バネで連結されている。
3). ハンガーはその張力に応じてその伸びを考慮に入れる。



図－1　考える構造系

3. 自重によるケーブルの応力とケーブルの形の決め方

二本のケーブルは互に平行ではなく、その各々も同一平面上にない。そこで簡単のためx, y, z平面に投影した形について議論を進める。

a). y平面に関して

y平面に投影されたケーブルの軸力をN_yで表わすと、点2, 3, 7についてつり合の条件から

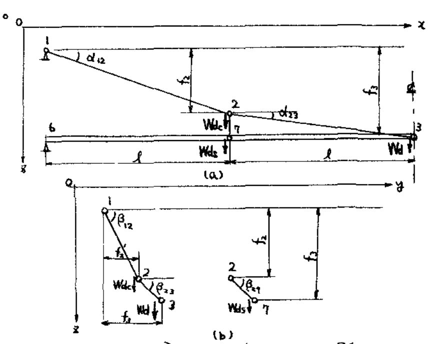
$$N_{12dy}\cdot\sin\alpha_{12} = W_{dc} + N_{27dy} + N_{23dy}\cdot\sin\alpha_{23}$$

$$N_{12dy}\cdot\cos\alpha_{12} = N_{23dy}\cdot\cos\alpha_{23}$$

$$N_{27dy} = W_{ds}$$

$$N_{23dy}\cdot\sin\alpha_{23} = (1/2)W_d$$

ここにW_{dc}は一節点当りのケーブル自重、W_{ds}は一節点当りの補剛桁の自重、$W_d = W_{dc} + W_{ds}$である。



図－2　自重によるケーブルの形

一方幾何学的に

$\tan\alpha_{12} = f_2/l$, $\tan\alpha_{23} = (f_3 - f_2)/l$

したがって

$f_2 = (3/4)\, f_3$

b). x平面に関して

a)の場合と全く同様につり合の条件と幾何学的条件から

$$f_2' = \frac{2W_{ds} + W_d}{3W_d\cdot f_3 + 2(W_{ds} - W_d)\cdot f_2}\cdot f_3'$$

となり結局 l, f_3, f_3', W_{ds}, W_{dc} を与えればケーブルの形が決まりその応力も求まる。

4. 鉛直方向の活荷重による変形

a). y平面に関して

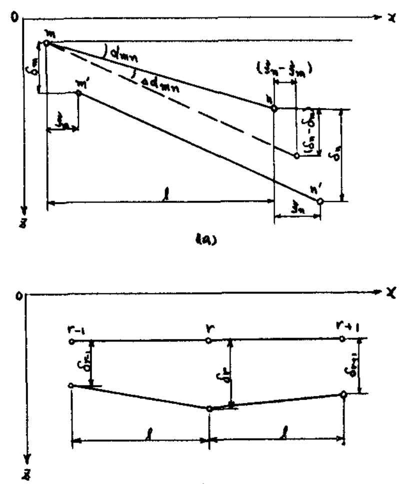


図-3. ケーブル,補剛桁の要素の変位状態

ケーブル、補剛桁の要素の変位状態は図-3に示す。高次の微小量を無視すると変位と部材応力の関係は

$N_{mnly} = (E_cA_c/l_{mn})\{(\xi_n-\xi_m)\cdot\cos\alpha_{mn} + (\delta_n-\delta_m)\cdot\sin\alpha_{mn}\}$

$-M_{r,r-1} + M_{r,r+1} = (\delta_{r+1}+\delta_{r-1}-2\delta_r)\cdot(k/l)$

$X_{r,r+1} = -(1/l)(M_{r,r+1}+M_{r+1,r})$

$X_{r+1,r} = -(1/l)(M_{r,r+1}+M_{r+1,r})$

ここに E_c, A_c はケーブルのヤング率, 断面積を示し、M, X は補剛桁の材端モーメント, せん断力を示す。

各節点で外力とのつり合式を作ると

$\sum_i (N_{mily}\cdot\cos\alpha_{mi} - N_{midy}\cdot\Delta\alpha_{mi}\cdot\sin\alpha_{mi}) = 0$

$\sum_i (N_{mily}\cdot\sin\alpha_{mi} + N_{midy}\cdot\Delta\alpha_{mi}\cdot\cos\alpha_{mi} + W_{mil}) = 0$

$M_{r,r+1} + M_{r,r-1} = 0$

$X_{r,r-1} + W_{rl} - N_{Rl} - X_{r,r+1} = 0$

ここに $\Delta\alpha_{mn} = \{(\xi_m-\xi_n)\cdot\sin\alpha_{mn} - (\delta_m-\delta_n)\cdot\cos\alpha_{mn}\}/l_{mny}$, W_l は活荷重, N_{Rl} はハンガーの張力を示す。

b). x平面で

a)と同じように考えて

$N_{mnlx} = (E_cA_c/l_{mn})\{(\eta_n-\eta_m)\cdot\cos\beta_{mn} + (\delta_n-\delta_m)\cdot\sin\beta_{mn}\}$

$\sum_i (N_{milx}\cdot\cos\beta_{mi} - N_{midy}\cdot\Delta\beta_{mi}\cdot\sin\beta_{mi}) = 0$

$\sum_i (N_{milx}\cdot\sin\beta_{mi} + N_{midx}\cdot\Delta\beta_{mi}\cdot\cos\beta_{mi} + W_{mil}) = 0$

$\Delta\beta_{mn} = \{(\eta_n-\eta_m)\cdot\cos_{mn} + (\delta_n-\delta_m)\cdot\sin\beta_{mn}\}/l_{mn}$

したがって各節点での変位(ξ, δ, η)を未知数とする方程式をとけばいいことになる。

5. まとめ

この理論では高次の微小量を無視する点, 節点の分割数等問題がのこるが今後改良していきたい。なお水平荷重に対する考え方も当日発表したい。