

I-247

斜張橋のケーブル長誤差の算定および調整

佐藤鉄工(株) 正員 勝俣 徹

佐藤鉄工(株) 浅島 弘光

1. まえがき

斜張橋の架設時の部材力あるいはキャンバーを計画値に近づけるために、ケーブルの長さ調整が一般に行われている。当然のことながら、調整量の算定結果が調整作業の効率、施工精度に大きな影響を及ぼす。ケーブルの長さ調整量の算定には、系の残留誤差を極力少ないシム量によって許容値内に収束させようと、最適化手法が用いられている。¹⁾²⁾ また、架設段階における系の誤差要因分析により誤差を定量化し、施工管理の精度向上が図られようとしている。³⁾

ここでは、斜張橋のケーブル架設後のシム調整量の算定を目的とした場合、系に残留する種々の誤差は、その特性から「ケーブル長」と「格点力」との2つの誤差に集約され、後者はシム量の調整によっては除去し得ないことを述べる。

2. 種々の誤差を考慮した関係式

図-1に示すように、中央をケーブル支持された単純ばりに外力Pが作用する構造モデルにおいて、変位の適合条件より次式が成り立つ。

$$k \cdot T = (P - T) \cdot \delta \quad (1)$$

$$d = k \cdot T \quad (2)$$

ここに、 k, T, δ, d はケーブルの伸び剛性、張力、はりのたわみ性および格点変位をそれぞれ示す。ところで、実際の構造物においては、種々の誤差が介入することは避けられない。そこで、系に誤差が存在する場合について、式(1)、(2)を書き改めて以下のように表せるものとする。

$$(k + \Delta k) \cdot (T + \Delta T) + \Delta l = \{P + \Delta P - (T + \Delta T)\} \cdot (\delta + \Delta \delta) \quad (3)$$

$$d + \Delta d = (k + \Delta k) \cdot (T + \Delta T) + \Delta l \quad (4)$$

ここに、 $\Delta k, \Delta T, \Delta \delta, \Delta d$ は k, T, δ, d の、 Δl は無応力状態におけるケーブル長 l の誤差とする。ただし、計測誤差などは含まれないものとし、部材の温度分布は均一であると仮定する。

いま、式(3)、(4)において $\Delta k \cdot \Delta T, \Delta T \cdot \Delta \delta$ を微小として無視し、ケーブル長および格点力の誤差 $\Delta l, \Delta P$ と物理的に等価と考えられる項どうしの代数和をそれぞれ式(5)、(6)と置く。これと式(1)、(2)の関係を考慮して整理すれば、式(7)が導かれる。

$$\Delta l^* = \Delta l + \Delta k \cdot T \quad (5)$$

$$\Delta P^* = \Delta P + (P + \Delta P - T) \cdot \Delta \delta / \delta \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta T \\ \Delta d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & Y_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta l^* \\ \Delta P^* \end{bmatrix} \quad (7)$$

ここに、 X_1, Y_1 は $\Delta l^*, \Delta P^*$ の単位当りの変化量に対する影響値の列ベクトルとする。以上のように $\Delta T, \Delta d$ は式(5)、(6)に示すケーブル長および格点力の2つの誤差 $\Delta l^*, \Delta P^*$ の一次結合として表される。

複数のケーブルが任意に配置された構造系については、線形性を仮定して式(8)のように表されよう。ここに、ケーブル本数を N 、ケーブル定着格点数を M とする。

張力、変位、ケーブル長および格点力の誤差をそれぞれ

$$\begin{bmatrix} \Delta T \\ \Delta d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & Y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta l^* \\ \Delta P^* \end{bmatrix} \quad (8)$$

$\Delta T = {}^T [\Delta T_1 \cdots \Delta T_i \cdots \Delta T_N]$, $\Delta d = {}^T [\Delta d_1 \cdots \Delta d_i \cdots \Delta d_M]$, $\Delta l^* = {}^T [\Delta l_1 \cdots \Delta l_i \cdots \Delta l_N]$ および $\Delta P^* = {}^T [\Delta P_1 \cdots \Delta P_i \cdots \Delta P_M]$ とし、 Δl^* および ΔP^* に対応する影響マトリックスを $X = [X_1 \cdots X_i \cdots X_N]$, $Y = [Y_1 \cdots Y_j \cdots Y_M]$ とする。 X_i は i 番目のケーブル長が $\Delta l_i = 1$ 変化したときの影響ベクトルを、 Y_j は j 番目の格点に外力 $\Delta P_j = 1$ が作用したときのそれを示す。なお、影響マトリックス $[X \ Y]$ は正方形行列であり、

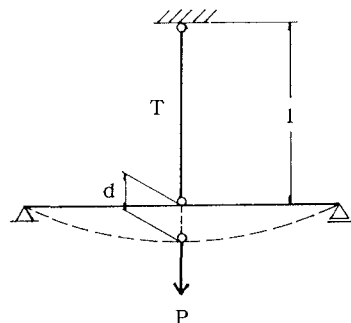


図-1 中央をケーブル支持された単純ばり

変位および格点ベクトル Δd 、 ΔP^* の次元は等しくなければならない。

3. シム調整量の算定

ケーブル張力および格点変位の計測は、斜張橋においては比較的容易なことから、一般には架設時の管理項目とされている。架設後の張力および格点変位の計画値と実測値との差 ΔT 、 Δd を消去するためには、式(9)より算出される ΔI^* 、 ΔP^* を系に対する修正量とすればよい。すなわち、 ΔT および Δd は、少なくとも理論上は「ケーブル長」および「格点力」を修正するとによって、完全に消去される。

式(5)、(6)よりケーブル無応力長と定着点間距離との差や、死荷重の算定誤差の他に、これらと等価な誤差を
$$\begin{bmatrix} \Delta I^* \\ \Delta P^* \end{bmatrix} = [X \quad Y]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta T \\ \Delta d \end{bmatrix} \quad (9)$$
 も ΔI^* 、 ΔP^* により除去し得ることが明かである。 ΔI^* はケーブルの伸び剛性、サグの影響などのケーブル長に関する誤差の修正量であり、 ΔP^* は外力に相当することから主塔や桁の剛性のみでなく、部材の初期形状(製作キャンバー)誤差なども修正可能である。

言うまでもなく、 ΔI^* はシムプレート厚などを変化させることによって施工可能な調整量である。一方、 ΔP^* は死荷重を付加するなどの手段によって実現される強制的な外力であり、実際にはほとんど施工は困難である。したがって、シム調整 ΔI^* が行われた系には、式(8)より ΔP^* の逆符号に相当する誤差が残留することを意味し、これはシム量により部分的な修正、例えば張力または変位のいずれか一方の誤差を小さくすることは可能であるものの、本質的にはシム調整によって系から除き得ないことが同式よりわかる。

通常、部材の製作精度は、あらかじめ仮組立などによって確認されるため、主塔および桁の製作による誤差変形は小さいものとすれば、式(9)より算出されるケーブル長誤差 ΔI^* のみをシム調整量とすればよい。

4. 適用例

(単位mm)

歩行者専用の二径間連続箱桁を有する斜張橋(橋長46.2M、幅員2.5M)の張力・変位の実測データを用いて、前述の方法により誤差量を計算した。図-2に ΔP^* による主塔と桁の変位を示すが、実橋における主塔のねじれと桁の鉛直下方への変形が推定される。ここで、張力または変位のどちらか一方に着目して誤差を消去したときのシム調整量を試算すると施工不可能な過大なシム量が算出された。

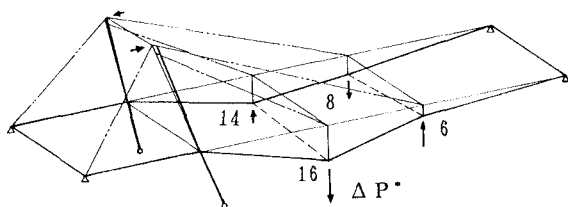


図-2 格点力の誤差 ΔP^* による部材変形

式(9)によるケーブル長誤差をシム調整 ΔI^*

により除去した後、図-2の例に示すように ΔP^* の逆符号の外力による桁の変形量あるいはケーブル張力から、工学的判断により必要があればシム調整量を決定するのともひとつの方法であると思われる。

5. あとがき

斜張橋の施工に当たっては、十分な品質管理のもとに部材が製作されるにもかかわらず、架設時には許容値を超える誤差が生じる場合が多いようである。部材の製作精度を高めることが、架設精度の向上につながるという指摘もある。それは本文で述べたとおり、「ケーブル長」以外の部材の誤差は、シム調整によって本来、除去し得ないことから理解されよう。過剰品質を避けるのは当然として、総合的な観点からの技術の検討は今後とも望まれると思われる。

[参考文献]

- 1) 松村, 新家, 頭井, 寺西: 斜張橋のケーブル張力計測と張力調整, 橋梁と基礎, 1979年9月。
- 2) 藤澤: 斜張橋架設時のシム量決定方法, 橋梁と基礎, 1984年9-10月。
- 3) 亀井, 金吉, 田中: SI法によるケーブル張力調整法と施工管理について,

土木学会第42回年次学術講演会, 昭和62年9月。