

I-189

塔がヒンジ固定された斜張橋の
シム調整量の決定方法に関する一試案

櫻田機械工業(株) 正員 押尾 泰 寿
 櫻田機械工業(株) 正員 利 守 尚 久
 櫻田機械工業(株) 正員 森 田 仁

1. まえがき

斜張橋の架設時において、ケーブル張力や形状を管理するために実施されるシム調整は、ケーブルソケット前面にシムプレート挿入し、ケーブル長を微調整することによって行われる。

シム調整量の計算は、各ケーブルに単位シム量変化を与えたときの管理項目の応答を表わす影響マトリックスを用いて行うが、この計算は影響マトリックスが正則であることを前提条件にしている。

本稿は、塔がヒンジ固定された斜張橋において、影響マトリックスが特異になることを明らかにしたのち、実用的なシム調整量の決定方法について述べるものである。

2. シム調整量の算定式の解

ケーブル張力が計画値から ΔT だけ隔たっている場合、この張力誤差 ΔT を打ち消すために必要なシム調整量 S は、 i 番目のケーブルに単位シム量変化を与えたときの各ケーブル張力変化ベクトル K_i を列ベクトルとするマトリックス K を用いて、次式で表わされる。

$$\begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & \cdots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \cdots & K_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{n1} & K_{n2} & \cdots & K_{nn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_n \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \Delta T_1 \\ \Delta T_2 \\ \vdots \\ \Delta T_n \end{pmatrix} \quad \text{ここで、} \Delta T_1 \sim \Delta T_n \text{ は、各吊材の張力差(既知量)} \quad (1)$$

塔がヒンジ固定された斜張橋について考えると、(1)式の影響マトリックスの j 番目の列ベクトルは、 j 番目のケーブルに単位シム量変化を施したときの各ケーブル張力変化ベクトルを表わしており、塔基部の安定条件から次式のつりあい条件式が成り立つ。

$$\sum_i a_{ij} \cdot K_{ij} = 0 \quad \text{ここに、} a_{ij} \text{ は定数} \quad (2)$$

例えば、図-1に示すモデルで考えると、(2)式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \cos \theta_1 \cdot K_{11} + \cos \theta_2 \cdot K_{21} + \cos \theta_3 \cdot K_{31} &= 0 \\ \cos \theta_1 \cdot K_{12} + \cos \theta_2 \cdot K_{22} + \cos \theta_3 \cdot K_{32} &= 0 \\ \cos \theta_1 \cdot K_{13} + \cos \theta_2 \cdot K_{23} + \cos \theta_3 \cdot K_{33} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

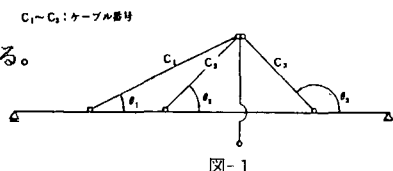


図-1

(1)式の影響マトリックスの i 行に $K_{ij} \leftarrow a_{ij} \cdot K_{ij} + \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot K_{ij}$ なる基本変形を行うと、 i 行ベクトルの要素は全て(2)式を満足する。したがって、 i 行ベクトルはゼロベクトルとなり $|K| = 0$ を得る。

すなわち、影響マトリックス K の階数は、 $n-1$ となる。したがって、 i 番目のシム量を $S_i = \alpha$ とし、 i 番目の方程式を除いた、 $n-1$ 元の連立1次方程式に(1)式を書き直すと次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} K_{11} \cdot S_1 + K_{12} \cdot S_2 + \cdots + K_{1m} \cdot S_m &= -\Delta T_1 - K_{1i} \cdot \alpha \\ K_{21} \cdot S_1 + K_{22} \cdot S_2 + \cdots + K_{2m} \cdot S_m &= -\Delta T_2 - K_{2i} \cdot \alpha \\ \vdots & \vdots \\ K_{m1} \cdot S_1 + K_{m2} \cdot S_2 + \cdots + K_{mm} \cdot S_m &= -\Delta T_m - K_{mi} \cdot \alpha \end{aligned} \right\} \quad \text{ここで、} m=n-1 \quad (4)$$

(4)式における影響マトリックスを K^* 、未知量ベクトルを S^* 、既知量ベクトルを T^* とおくと(4)式は $K^* \cdot S^* = T^*$ (5)

と表わされる。(5)式において $|K^*| \neq 0$ であるから、(5)式の解は次のようになる。

$$\begin{aligned} S^* &= (K^*)^{-1} \cdot T^* \\ &= (K^*)^{-1} \cdot (-\Delta T^* - \alpha K_i^*) \\ &= -(K^*)^{-1} \cdot \Delta T^* - \alpha (K^*)^{-1} \cdot K_i^* \end{aligned} \quad (6)$$

以上より、(1)式の連立1次方程式の解は張力差ベクトル ΔT が塔基部の曲げモーメントのつりあい条件式を満足するという制約のもとに任意の α を持つ解となる。

3. 実用的なシム調整量の決定方法

(6)式から求められるシム調整量は不定であるため不定数 α を決定するための条件が必要となる。 α は、全体のシムプレート増減を最小にする条件(シム量ベクトルの内積最小条件)より求められる。目的関数 f は、

$$f = \sum_{i=1}^n S_i \times S_i = (1 + \sum_{i=1}^n (S_{1i})^2) \alpha^2 + 2 \cdot \sum_{i=1}^n (S_{1i} \cdot S_{2i}) \cdot \alpha + \sum_{i=1}^n (S_{2i})^2$$

ここで、 $S_1 = -(K^*)^{-1} \cdot \Delta T^*$ 、 $S_2 = -(K^*)^{-1} \cdot K_i^*$

である。したがって、 f を最小にする条件式 $\frac{d f}{d \alpha} = 0$ により α は次のように決定される。

$$\alpha^* = - \frac{\sum_{i=1}^n (S_{1i} \times S_{2i})}{1 + \sum_{i=1}^n (S_{2i})^2} \quad (7)$$

i 番ケーブル以外の全てのケーブル張力誤差は0になるが、 i 番ケーブルには張力誤差

$$\Delta T_i^* = \Delta T_i + \frac{1}{a_i} \sum_{j=1}^n a_j \cdot \Delta T_j \quad (8)$$

が残留する。したがって、 i 番ケーブルは、この残留誤差を最も小さくする次の条件式から決定される。

$$\text{Min, } i \left| \Delta T_i + \frac{1}{a_i} \sum_{j=1}^n a_j \cdot \Delta T_j \right| \quad (9)$$

以上の諸式によりシム調整量が決定される。計算手順を図-2に示す。

4. 数値計算

本稿で提案したシム調整量の決定方法の妥当性を検討するため、表-1に示す代表的な誤差を想定し数値計算を行った。解析モデルを図-3に示す。想定した誤差要因ごとにケーブル張力誤差を算出し、これを除去するためのシム調整量を計算した結果、実際の値が求まり、表-2のように残留張力誤差は0になった。

5. あとがき

本稿では、ケーブル張力をシム調整の管理項目に選んだ場合について述べたが、管理項目が桁のエレベーションの場合についても、影響マトリックスは特異になり、塔基部の安定条件式をエレベーションの場合に置き換えれば、同様の手順でシム調整量は計算できる。本稿で示したシム調整量の決定方法は、反復計算量が少なくすみ、十分実用に供せられるものと考えられる。

参考文献 利守・鈴木：斜張橋の架設時におけるシム調整量の決定方法に関する一試案、櫻田技報第3号、1985.8

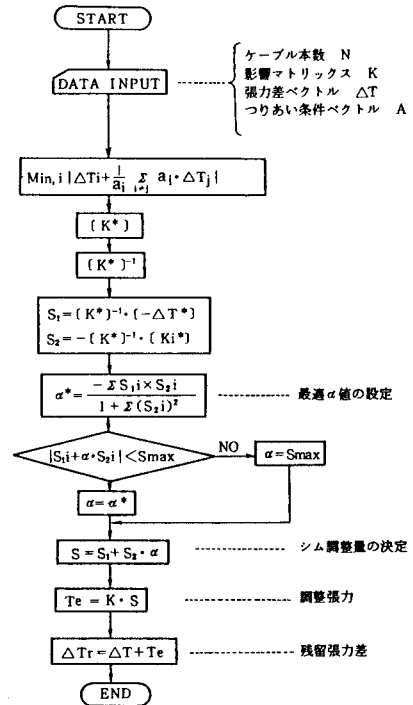


図-2 計算手順

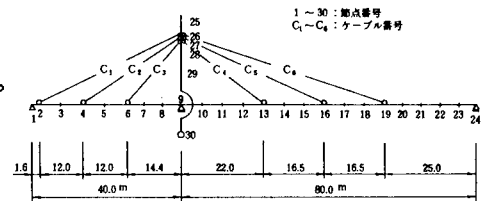


図-3 解析モデル

表-2 計算結果

管 理 項 目		ケ ー ブ ル 張 力		
ケ ー ス 番 号		Case 1	Case 2	Case 3
管理項目の誤差 (ton, mm)	C ₁	2.139	-2.295	6.557
	C ₂	0.593	-0.682	3.157
	C ₃	0.169	-0.172	1.563
	C ₄	0.362	-0.563	5.007
	C ₅	1.357	-1.433	4.470
	C ₆	1.114	-1.116	1.952
シム 調 整 量 (mm)	C ₁	-1.427	1.587	-5.764
	C ₂	-0.463	0.521	-2.222
	C ₃	-0.230	0.246	-1.254
	C ₄	-1.166	1.356	-6.152
	C ₅	-1.065	1.152	-3.948
	C ₆	-0.514	0.518	-1.058
残 留 誤 差 (ton, mm)	C ₁	0.000	0.000	0.000
	C ₂	0.000	0.000	0.000
	C ₃	0.000	0.000	0.000
	C ₄	0.000	0.000	0.000
	C ₅	0.000	0.000	0.000
	C ₆	0.001	0.002	0.003

表-1 想定誤差

ケース番号	誤 差 の 内 容
Case 1	全ケーブルの伸び剛性が所定値より5%大きい場合
Case 2	桁の曲げ剛性が所定値より5%大きい場合
Case 3	桁の重量が所定値より5%大きい場合