

(株) 神戸製鋼所	正	頭井 洋
大阪市土木局	正	松村 博
(株) 栗本鉄工所	正	寺西 功

1. まえがき

近年急速に発展してきた斜張橋は、中径間橋梁の重要な一形式としての地位を確立したといえる。斜張橋の製作施工で重要な点は、ケーブルの張力導入方法とその管理である。特に最近数多く架設されるようになったマルチケーブル斜張橋においては、ケーブル架設時に多数のケーブル張力を即時に計測し張力調整を迅速に行ない得る事が重要となる。これまでの架設報告によると、ケーブル架設に先だて、7ピアノ線ご各ケーブル定着間の距離を計り製作架設による誤差を事前に把握し各ケーブル毎にシムプレート厚を決定してケーブルの張力調整を行なっている場合が多い。本報告では、ケーブル架設後実測張力と目標張力との差が許容しうる張力差におさまっていない場合、最適化手法を用いて全ケーブルの張力を一度に調整する最適シム調整量の計算方法について述べ、実橋への適用例についても報告する。なお本手法は、著者の一人がニールセン橋の斜材張力調整について発表したものを応用・発展させたものである。

2. 最適シム調整量の計算

斜張橋特有の立体挙動およびケーブルの非線形性をできるかぎり正確にとらえるよう以下の仮定を用いた。

- 1) 補剛桁には、伸び刚性、面内曲げ刚性、ねじり刚性および曲げねじり剛性を考慮する。
- 2) 塔は任意形状の立体ラーメン構造とする。ただし張力調整時に橋軸直角方向の変形は生じない。
- 3) ケーブルの基礎式には、カタナリー方程式から導びいた接線剛性式を用いる。
- 4) ケーブルは、1本の棒に置換された補剛桁の剛なアーチの先端に取付けられている。
- 5) 線形化した有限変形理論に基づき、重ね合せの法則が成立する。

以上の仮定のもとに、ケーブル張力差 ΔT が定着間距離の誤差のみに起因している場合の各ケーブルのシム調整量 Δl は、式(1)により一義的に決定できる。

$$\Delta l = [X]^{-1} \cdot \Delta T = [D] \cdot \Delta T \quad \text{----- (1)}$$

式(1)の $[X]$ は、単位調整量による各ケーブルの張力変化量マトリックスで、 i 番目のケーブルを $\Delta l = 1$ だけ調整した時の各ケーブルの張力変化量を X_i とすると $[X] = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ で与えられる。また ΔT は、目標張力 T_0 と実測張力 T_1 との差である ($\Delta T = T_0 - T_1$)。さて式(1)をそのまま用いてシム調整量を決定しようとすると非常に過大なシム量が得られる。この理由は、 ΔT の中には計測誤差をはじめとする各種誤差が、定着間距離の誤差と混在しており、そのような要因にもとづく張力差までも定着間距離の修正のみで調整しようとするところにもともと無理があることによる。ケーブルをはじめ桁および塔は慎重に製作施工されており、調整の必要な定着間距離の誤差は、本来数 mm ないし数十 mm 程度の充分に小さいものであるはずである。したがって各ケーブルにわずかの張力差 ε_i を残留させてやり、 ε_i の絶対値が許容しうる張力差 $\varepsilon_{\max}$ よりも小さい ($|\varepsilon_i| < \varepsilon_{\max}$) という制約条件のもとに、調整量 Δl を最小にする最適化問題を解いてやれば実際のシム調整量が決定できる。そのさいの調整量は、式(2)で与えられる。

$$\Delta l = [D] \cdot (\Delta T + \varepsilon) \quad \text{----- (2)}$$

Δl のノルムを目的関数にとり、共役勾配法により式(2)を解けば、各ケーブルの最適シム調整量 Δl および張力残差 ε_i が同時に求まる。

3. 川崎橋のケーブル張力調整

北大阪周遊自転車道の一環として架橋された川崎橋は、橋長約129m、幅員3mの人道橋で、図1に示したように非対称のマルチケーブル斜張橋である。上流、下流側それぞれに10本計20本のロックドコイルロープが用いられている。(K1)~(K9)には50φの、(K10)には70φのケーブルが用いられている。

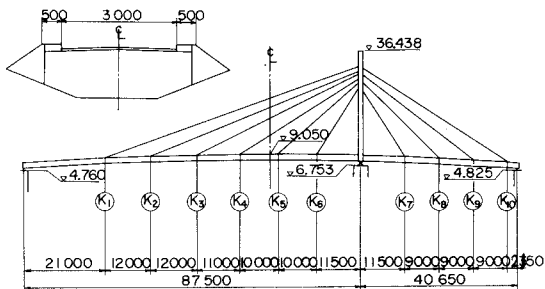


図-1 川崎橋一般図

表1 川崎橋 材料張力調整結果

		単位 Ton mm									
材料	目標	調整前	第1回目の	第1回目の	第1回目の	第2回目の	第2回目の	第2回目の	第2回目の	第2回目の	第2回目の
No.	張力	実測張力	調整量	計算張力	実測張力	調整量	計算張力	実測張力	調整量	計算張力	実測張力
K1	23.1	22.6 98%	6	22.5	22.4 97%	0	23.3	23.8 103%			
K2	20.8	24.6 119	-14	19.6	20.1 97	0	20.6	21.0 101			
K3	23.1	31.2 134	-29	22.1	22.7 99	0	22.8	23.7 103			
K4	28.1	26.5 94	-15	27.2	26.6 95	0	26.4	27.2 97			
K5	23.0	23.1 101	-12	23.1	23.1 100	0	22.7	23.1 100			
K6	9.1	10.4 115	-6	8.8	9.3 102	0	9.0	9.9 103			
K7	10.0	10.4 104	-7	10.3	10.1 101	0	9.7	9.9 99			
K8	13.1	21.4 164	-22	13.6	13.4 102	0	12.2	13.4 102			
K9	27.4	20.1 73	-7	28.2	26.4 96	3	26.7	28.3 103			
K10	83.6	88.0 105	-28	81.7	80.5 96	5	81.9	84.2 101			
K1	23.1	23.0 100	8	23.1	21.7 94	0	22.6	22.7 98			
K2	20.8	20.7 100	-4	20.3	20.2 98	0	20.7	21.2 102			
K3	23.1	29.5 127	-21	22.9	22.7 98	0	22.7	23.4 101			
K4	28.1	25.3 90	-8	27.8	26.6 95	0	26.3	27.0 96			
K5	23.0	18.7 81	-3	23.2	21.7 94	2	23.1	23.2 101			
K6	9.1	11.7 129	-4	9.4	9.4 103	0	8.9	9.4 103			
K7	10.0	14.2 142	-11	10.7	11.5 115	0	11.2	11.3 113			
K8	13.1	18.4 141	-22	13.0	13.7 105	0	12.5	13.7 105			
K9	27.4	18.2 66	-7	27.2	25.1 92	4	26.1	27.3 100			
K10	83.6	89.1 119	-39	80.5	79.0 94	6	81.4	83.6 100			

1mm以下の値を四捨五入して決定したものが表1に示す第1回目のシム調整量である。ここで(K10)については、桁および塔の応力への配慮から、目標張力をやや低目の81tonに設定している。表1に示したように第1回調整後の実測張力は計算張力と良く一致しており、2.で述べた仮定および計算手法は妥当なものといえよう。目標張力に対する誤差についても、ほとんど5%以内におさまっていることがわかる。張力差の比較的大きい数本についてのみ再度調整を行なうことにし、第1回調整後の実測張力を用いて最適計算を行ない、その結果を参考にして表1に示す5本について第2回目の調整を行なった。なお下流側の(K7)については目標張力と15%の差が生じていたが、目標張力自体が小さく、また桁および塔の応力にも充分の余裕があったので調整を省略した。第2回調整後の実測張力は下流側の(K7)を除きすべて目標張力と5%以内の精度で一致しており、極めて良好な調整が行ないえたといえよう。桁および塔の応力についても、充分安全であることを確認した。

4. あとがき

本手法によれば、架設時に多数のケーブルの張力調整を迅速に行なうことができ実用上有効な手法と考えられる。また実橋に適用し、張力計測後だけにシム調整量を計算し現場を手待ちにすることなくスムーズに調整を行なうことができ良好な結果をおさめた。本研究を行なうにあたり小西一郎京都大学名誉教授、大阪大学小松定夫教授より御指導を賜った。また神戸製鋼所新家主任研究員の御協力を得た。ここに付記し感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 新家, 頭井他: ニールセン橋の斜材張力調整に関する一手法, 神戸製鋼技報, Vol. 27, No. 1, 1977. 1
- 2) 新家, 広中, 西村: ロープの振動特性に関する実験的研究, 土木講演概要集, I-177, 1977. 10.