

斜張橋架設精度管理への多目的計画法の応用

01401604 甲南大学理学部 中山 弘隆 NAKAYAMA Hiroataka
 宇部興産(株) 金重 和義 KANESHIGE Kazuyoshi
 宇部興産(株) 竹本 信司 TAKEMOTO Shinji
 宇部興産(株) *和多田康男 WATADA Yasuo

1. はじめに

斜張橋は主塔から斜めに張ったケーブルで主桁に作用する曲げモーメントを低減することができ、構造的にも非常に合理的な橋梁形式で、近年、その景観的な美しさからモニュメントあるいはランドマークとして建設される例が増加している。斜張橋は、ケーブル張力を任意に設定し構造系の断面力バランスを改善できると他の橋梁には例を見ない特徴をもっている。しかし、そのためにケーブル張力、主桁キャンバー、主塔のおおれといったいろいろな管理項目を架設時に調整する必要がある。これらはケーブルの長さを調整することによってなされるが、ケーブルの長さは温度変化の影響を受けるため、比較的溫度変化の少ない午前2時頃から午前8時頃までという極めて短時間に作業を完了させる必要がある。従来、この精度管理の問題に対しては熟練者の経験にもとづく判断に任せられたり、ゴールプログラミングを利用する方法がとられていた。しかし、いずれの場合にも試行錯誤の回数が多く、所定の時間に満足いく調整をすることが困難であった。著者らはこのような多目的問題に対し有効である満足化トレードオフ法を適用し、さらにグラフィクス入出力によってその操作が簡単・容易になるようにした対話型の精度管理システムを開発し、いくつかの実橋に適用したのでその結果をここに報告する。

2. 問題の定式化と精度管理システムの開発

調整すべき量は以下のようなものである¹⁾。

- i) 各ケーブルの張力誤差 p_i ,
- ii) 各ノードにおけるキャンバー誤差 q_j ,
- iii) ケーブル調整量 Δl_i ,
- iv) 調整するケーブル本数 n .

ケーブル調整に関しケーブル剛性の変化は十分に小さいとすることにより、上記各量は次のように与えられる。 n をケーブル本数、 ΔT_i ($i = 1, \dots, n$) を張力の設計値と計測値のズレ、 x_{ik} を k 番目のケーブルの単位長さ変化によって生じる i 番目のケーブルの張力変化とすると、ケーブル調整 $\Delta l_1, \dots, \Delta l_n$ による張力誤差は

$$p_i = |\Delta T_i - \sum_{k=1}^n x_{ik} \Delta l_k| \quad (i = 1, \dots, n) \quad (1)$$

m をノード数、 ΔZ_j ($j = 1, \dots, m$) をキャンバーの設計値と計測値のズレ、 y_{jk} を k 番目のケーブルの単位長さ変化によって生じる j 番目のノードのキャンバー変化とすると、ケーブル調整 $\Delta l_1, \dots, \Delta l_n$ によるキャンバー誤差は

$$q_j = |\Delta Z_j - \sum_{k=1}^n y_{jk} \Delta l_k| \quad (j = 1, \dots, m) \quad (2)$$

さらに、ケーブル調整量に対する上下限制約として

$$\Delta l_{Li} \leq \Delta l_i \leq \Delta l_{Ui} \quad (i = 1, \dots, n). \quad (3)$$

結局、問題は(3)の制約の下で $(p_1, \dots, p_n, q_1, \dots, q_m, \Delta l_1, \dots, \Delta l_n, n)$ を最小にする多目的計画問題となる。

このような多目的計画法に対して著者の一人が提案した、意思決定者の希求水準を解の探索の手がかりとする満足化トレードオフ法²⁾を用い、さらに操作性を上げるためにグラフィクス入出力のユーザーインターフェイスをもつ対話型精度管理システムを開発した⁴⁾。

3. 白鳥大橋への適用

白鳥大橋は山口県宇部市にある常盤公園の西側

幹線園路整備事業の一環として常盤湖西岸に建設された歩行者専用の3径間連続斜張橋である⁵⁾。常盤公園は数多くの白鳥で有名で、白鳥大橋は白鳥をイメージして塔形状やケーブル配置などに景観的な配慮を施すとともに、利用者が湖の景観を楽しむことができるよう、橋梁中央部にバルコニーを設けている。その概要は以下の通りである。

- 全長: 156m
- 有効幅員: 3.5m
- 構造形式: 3径間連続斜張橋
- 材質: SS400, S10T, SWPR7A(JIS)
- 全ケーブル本数: 40
- 鋼材全重量: 300.067tf

架設時における精度管理は計4回、すなわち架設ケーブルが8本、20本、32本および40本になったときに行った。ただし本橋に対しては、主桁の剛性がケーブルに比べ非常に大きいため、クローラクレーンを用いたベント工法による主桁架設時に厳密なキャンバー(出来形)管理を行い、本システムを用いた精度管理においては、ケーブル張力誤差のみを調整の対象とした。最終結果は図1のようになり、十分に満足できるものであった。

4. むすび

それぞれの段階における精度管理はほんの1~2回の希求水準入力で満足できる結果が得られた。操作も簡単で、本システムは北九州市の筑豊ハープ橋にも適用されてその有効性が確認されている。今後の課題としては、1) 計測データのオンライン入力、2) 設計変数の感度に対するより正確な計算のために3次元非線形構造解析を行うこと、3) 他のケーブル構造物(たとえば、ニールセン橋)への応用、などがあげられる。

参考文献

[1] 古川, 井上, 中山, 石堂 (1986): 多目的計画法を用いた斜張橋の架設時精度管理システムに関する研究, 土木学会論文集, 374/I-6, 495-502.

[2] 中山 (1984): 多目的計画法に対する満足化トレードオフ法の提案, 計測自動制御学会論文集 20: 29-35
 [3] 中山, 谷野 (1994): 多目的計画法の理論と応用, 計測自動制御学会
 [4] Nakayama, H., Kaneshige, K., Takemoto, S. and Watada, Y. (1995): An application of a multi-objective programming technique to construction accuracy control of cable-stayed bridges, *Euro. J. OR* 87, 731-738
 [5] 大久保, 他 (1992): 常盤公園白鳥大橋の設計と架設, 橋梁工学, 28, 2-13

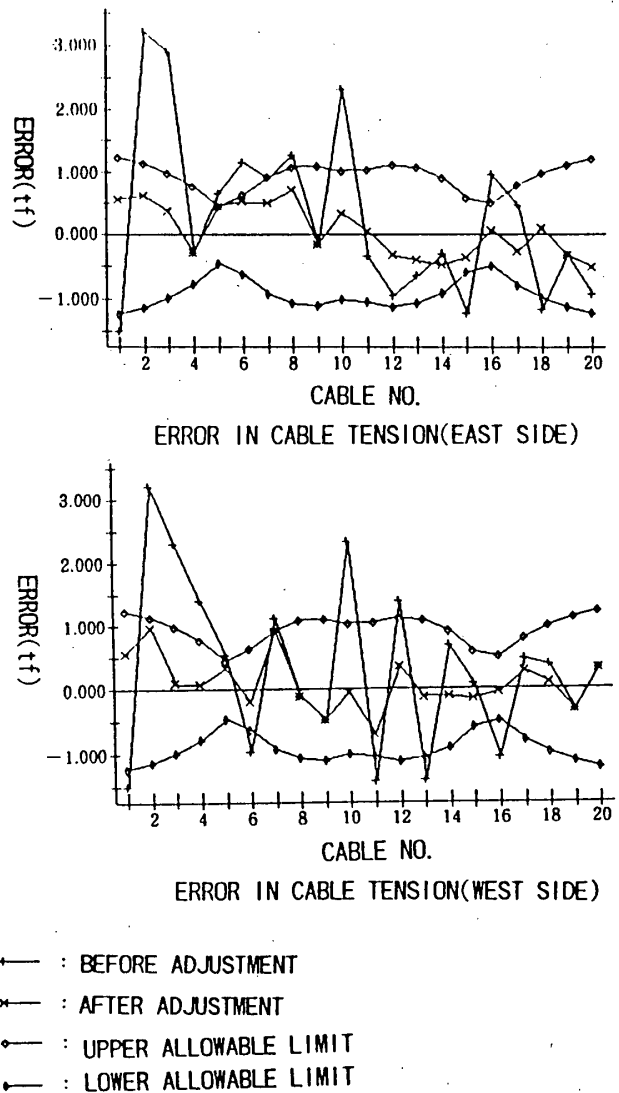


図1 白鳥大橋に対する精度管理システム適用結果