

I-343 吊橋キャットウォークの最適形状調整システム

新日本製鉄(株) 正員 北條 哲男
新日本製鉄(株) 正員 今野 信一

1 まえがき

吊橋メインケーブル架設用の吊足場であるキャットウォークは、応力部材はすべてロープ部材から成る多次不静定の非線形構造物であり、メインケーブル架設形状に平行にかつある一定量の離れをもって架設されなければならない。ところが、実際にキャットウォークを架設すると、張り渡し形状は種々の誤差要因(図-1)により目標値(設計値)と一致しないため、定着部でロープの引込みや繰出しを行ってある精度内で目標値に近づけるべく調整作業を行なう。従来、この形状調整には数回の試行錯誤を要していた。本吊橋連絡橋の吊橋等の様に長大化、大スパン化する吊橋ケーブル工事に対応するためには、数多い調整可能箇所の中から形状調整に最適な調整箇所と調整長を算定する最適形状調整システムの確立が必要となった。

2. 最適形状調整システムの概要

種々の制約条件下である最適基準を満足する(目的関数を最小にする)解を求めるという手法を本問題にあてはめ、一般に経営学や計画問題で用いられている混合型整数計画法(Mixed Integer Programming; MIP)を適用した。MIPでは、与えられた形状誤差値に対して目標値と許容の誤差範囲内で、また調整ストローク長も許容の範囲内で、形状調整を行い得る最適な調整箇所とそこの調整長を提示する。更に、最適な調整箇所の数も出来る限り少なくなるように解が求まる。

図-1 形状誤差要因

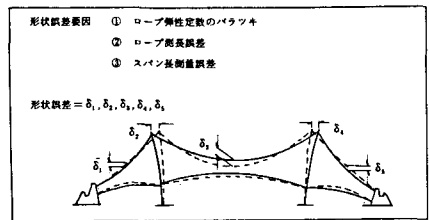
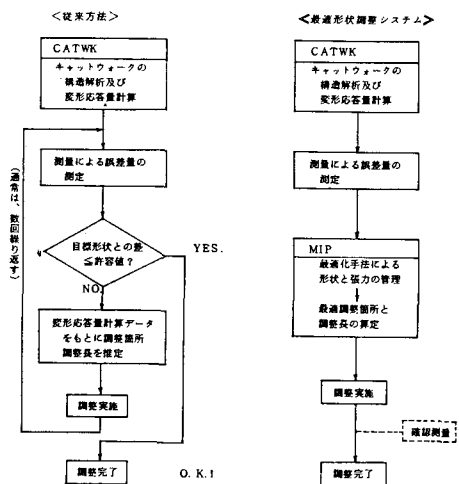


図-2 最適形状調整システムの概略



3. MIP適用による最適形状調整手法

本問題にMIPを適用するにあたり、以下の前提で定式化を行った。

- 1) 最適条件は、係数倍した調整長の総和を最小にすること
- 2) 変位と張力に関する制約条件は、応答値が目標値と

※「CATWK」は「立体ケーブルトラスの非線形解析プログラム」
※「MIP」は「CATWK (MIP)」=「最適調整量算定プログラム」
※「MIP」はプログラム名でもあるし、最適化手法(混合型整数計画法: Mixed Integer Programming)そのものをも意味する。

ある誤差範囲にあること

③変数となる調整長は上限値と下限値の間にあり、求まった最適調整解の値数は所定数以下であること。

＜ 定 式 化 ＞

① 目的関数

$$f(x) = \sum C_j \cdot |x_j| \rightarrow \text{Min}$$

② 制約条件

・ 調整すべき変位置量；

$$\{\delta_i - \delta_{ia}\} \leq [A_{ij}] \{x_j\} \leq \{\delta_i + \delta_{ia}\}$$

・ 調整すべき張力変化量；

$$\{\Delta T_k - \Delta T_{ka}\} \leq [B_{kj}] \{x_j\} \leq \{\Delta T_k + \Delta T_{ka}\}$$

・ 目的関数の線形化と変数条件；

$$\{x_j + x_j^p - x_j^m\} = \{0\}$$

$$\{x_j^p\} \geq \{0\}, \{x_j^m\} \geq \{0\}$$

$$\{-l_j\} \leq \{x_j\} \leq \{l_j\}$$

(変数内容)

C_j 重み係数

x_j 変位置量 = 各部材のロープロット込み長あるいは送り出し長

δ_i 変位置量 = 設計形状値と架設形状値(測量による)との誤差量

δ_{ia} 変位置量 = 設計形状値と調整後形状値との許容誤差量

A_{ij} 応答比 = 第j点での単位の調整長による第i点の変位応答量

ΔT_k 張力変量 = 設計張力値と架設時張力値との誤差量

ΔT_{ka} 張力変量 = 設計張力値と調整後張力値との許容誤差量

B_{ij} 応答比 = 第j点での単位の調整長による第k部材の張力変化量

l_j 調整長限界値 = 各定着部分における調整のための余裕ストローク長

4 まとめ

吊橋キャットウォークの架設形状管理に最適化手法を適用して解析した結果、以下の様な最適形状調整システムを確立した。

1) 着目箇所て修正すべき変位置量を δ 、張力変化量を ΔT とし、許容誤差量を $\delta_a, \Delta T_a$ とすれば形状値・張力値とも下式の範囲内の値をとるような解(調整長)を求めることができる。

$$\{\delta - \delta_a\} \leq \{\text{変位置量}\} \leq \{\delta + \delta_a\}$$

$$\{\Delta T - \Delta T_a\} \leq \{\text{張力変量}\} \leq \{\Delta T + \Delta T_a\}$$

2) 各定着箇所て、調整に要するストローク長の上下限界を設定したことにより、極端に長い調整長が解として算出されることはない。

$$\{-l\} \leq \{\text{調整長}\} \leq \{l\}$$

3) 最適解として求まるものは、全調整可能箇所の中でどこでどれだけ処理すればよいか、即ち調整すべき箇所とそこでの調整長が求まる。

4) 最適調整箇所数は、実行可能な範囲内で可能な限り絞り込むことができる。従って、できるだけ少ない箇所での調整方法を提示することが可能である。

尚、数値解析例等の詳細については講演時に補足する予定である。

参考文献 (1) MPSX-MIP GUIDE (IBM) (2) 土木工学における数値解析/計画手法概論(サイエンス社)
(3) 土木計画とOR (丸善) (4) 最適化手法の構造設計解析への応用 (培風館)