

I-418

設計者の満足度を考慮した新しいファジィケーブル張力調整法

日立造船(株) 正員 金吉正勝 日立造船(株) 正員 田中 洋  
 大阪市建設局 正員 亀井正博 京都大学工学部 正員 古田 均

1. まえがき

斜張橋の設計時にはプレストレス(PS)をケーブルへ導入することにより、主桁の断面力を低減させ経済設計を行っており、また架設時には、ケーブル張力誤差及び主桁・塔などの変形誤差を消去するシム調整を行っている。著者は、設計者が設計目標値の上下限界を入力すれば、ファジィ線形回帰分析により最適なプレストレス量及びシム量が自動決定される方法を提案してきた。<sup>1)</sup>

本稿ではファジィ数理計画法の満足度の概念を用いたケーブル張力調整法を開発したので報告する。

2. 満足度の概念<sup>2),3)</sup>

設計者の経験を生かし、図-1のように制約条件の上、下限値( $F_U, F_L$ )の他に希望中心値( $F_C$ )を与え、非対称なメンバーシップ関数を定義し、この値を設計者の満足度 $\mu$ とする。満足度の値は、制約条件が希望中心値に合った場合は1.0、上、下限値の場合は0.0、その中間の場合は0.0~1.0の間の数となる。

図-1の例で示すと、ある部材のPS量として80tfと決定された場合は、満足度は0.75となる。

3. 定式化

ここでは、PS量を決定する場合の定式化を行う。

死荷重時の断面力を $F_d$ 、PS導入による断面力を $F_{PS}$ 、また、PS導入後の断面力を $F_o$ とする。

$$F_o = F_d + F_{PS} = F_d + \sum_{i=1}^N X_i \cdot K_i \quad (1)$$

$$F_L \leq F_o \leq F_U \quad (2)$$

ここに、図-1を参照して、

- $F_C$ : 希望断面力の中心値,  $F_U$ : 希望断面力の上限界,
- $F_L$ : 希望断面力の下限界,  $K_i$ : 単位PS量による影響値
- $D_L$ :  $F_C - F_L$ で表される幅 (Lの範囲と呼ぶ)
- $D_R$ :  $F_U - F_C$ で表される幅 (Rの範囲と呼ぶ)

部材断面力(j)に着目して上式の(1),(2)を変形すれば次式となる。

但し、Nはケーブル本数。また、 $j=1, 2, \dots, M$  (M: 断面力照査項目数)とする。

$$F_{Lj} - F_{dj} \leq \sum_{i=1}^N X_i \cdot K_{ji} \leq F_{Uj} - F_{dj} \quad (3)$$

いま、 $F_{Lj}' = F_{Lj} - F_{dj}$ ,  $F_{Cj}' = F_{Cj} - F_{dj}$ ,  $F_{Uj}' = F_{Uj} - F_{dj}$ とすれば、満足度 $\mu$ は、以下のように表せる。

Lの範囲

$$\mu_{jL} = \left\{ \begin{array}{ll} 0.0 & (F_{Lj}' \text{ 以下の区間}) \\ 1.0 - (F_{Cj}' - \sum_{i=1}^N X_i \cdot K_{ji}) / D_{Lj} & (F_{Lj}' \text{ と } F_{Cj}' \text{ の間の区間}) \end{array} \right\}$$

Rの範囲

$$\mu_{jR} = \left\{ \begin{array}{ll} 1.0 + (F_{Cj}' - \sum_{i=1}^N X_i \cdot K_{ji}) / D_{Rj} & (F_{Cj}' \text{ と } F_{Uj}' \text{ の間の区間}) \\ 0.0 & (F_{Uj}' \text{ 以上の区間}) \end{array} \right\} \quad (4)$$

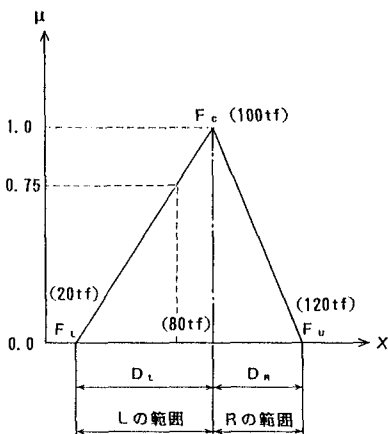


図-1 非対称のメンバーシップ関数(満足度)

(1) 目的関数の規範Ⅰ……各々の照査項目に対する満足度の最小値を最大にする場合。

$$\text{目的関数 1 : } \mu_D(x^*) = \max \{ \min (\mu_{1L}(x^*), \mu_{1R}(x^*), \dots, \mu_{mL}(x^*), \mu_{mR}(x^*)) \} \quad (5)$$

(2) 目的関数の規範Ⅱ……各々の照査項目に対する満足度の総計を最大値にする。

$$\text{目的関数 2 : } f = \sum_{j=1}^M \mu_j(x^*) \Rightarrow \max \quad (6)$$

以上のような定式化を行えば、最適PS量は通常の線形計画法を解くことにより求められる。

#### 4. 計算例

図-2に示す斜張橋を用いてPS量決定の例を示す。設計目標値として表-1の値を入力し、本方法により決定したPS量を表-2に示す。文献1)により求めた解も比較のため表-2に示す。3解法ともほぼよく似た断面力となっているが、本法の規範Ⅰで求めた解はより設計者の希望値に近い値となっており、本法は、設計者の意図を反映した解が得られる有効な解法である。シム量を決める場合は、 $F_d$ を誤差量、 $F_{PS}$ をシム調整によるケーブル張力やキャンバ一等の変化量、 $F_o$ を希望調整値、 $K_i$ を単位シム量による影響値とすれば、PS量決定と同一の定式化となる。

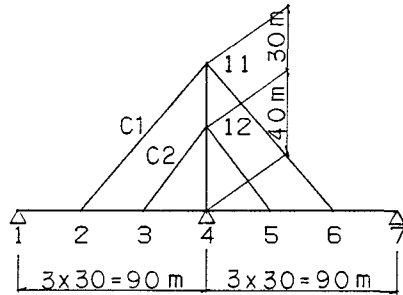


図-2 斜張橋モデル図

#### 5. 結論

本稿で紹介した新しいファジィケーブル張力調整法は、メンバーシップ関数の設定が必要なので豊富な設計経験を持つ技術者のツールとして推奨できる。経験の浅い技術者には文献1)の方法が向いている。従って、第1ステップの段階では後者を用い、第2ステップで本法を用いれば設計の効率化が可能である。本法の例では、満足度の形として三角形の場合を示したが、式(4)の区間を細分化すれば台形状のメンバーシップ関数でも計算可能である。

#### (参考文献)

- 1) 古田 均, 亀井正博, 金吉正勝, 田中 洋: ファジィ理論を応用したケーブル張力の最適調整法, 土木学会, システム最適化に関するシムポジウム講演集, pp.147-154, 1989.11.
- 2) 古川浩平, 井上幸一, 中山弘隆, 石堂一成: 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 論文集第374/I-6, pp.495-502, 1986.10.
- 3) 坂和正敏: ファジィ理論の基礎と応用, 森北出版, 1990.2.

表-1 目標値

PS量	下限値	中心値	上限値
ケーブルC1 (tf)	+ 20.0	+100.0	+120.0
ケーブルC2 (tf)	- 20.0	+ 60.0	+ 80.0
格点4モーメント (tf・m)	-500.0	-300.0	-100.0

表-2 計算結果

PS量	本 法 規 範 Ⅰ	本 法 規 範 Ⅱ	文 献 1) の 方 法
ケーブルC1 (tf)	94.4	100.0	100.4
ケーブルC2 (tf)	54.4	49.1	48.8
格点4モーメント (tf・m)	- 286.0	- 300.0	- 300.0
目的関数 1	0.930	0.864	0.860
目的関数 2	2.790	2.864	2.840