

I-314 ファジィSI法によるケーブル張力調整法の改良について

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

1. まえがき

筆者らは、System Identification(SI法)、いわゆる構造同定法を用いて、構造系に含まれる誤差要因を分析し、それらの結果をもとに完成系を予測してケーブル張力調整を行う方法を研究してきた¹⁾。そして、SI法の持つ諸問題を解決するため、計測値をファジィデータと考え、ファジィ係数を持つファジィ線形回帰分析²⁾を構造同定法に適用して、ファジィSI法を開発した³⁾。ここで、ファジィSI法はSI法の拡張になっており、数々の特長を有することを報告した^{3), 4)}。

本報告では、ファジィSI法の改良を試みたので、その定式化と、簡単な斜張橋モデル⁴⁾を使用してファジィSI法と改良ファジィSI法の解を比較し、その有効性について述べる。

2. 改良ファジィSI法

ファジィSI法は、ファジィ線形回帰分析を応用しているため、N個のファジィ係数のなかで、少数のファジィ係数のみが幅を持つような結果が得られることが多い。これは特定の誤差寄与率には幅がないことを意味し、現実的でない場合がある。そこで、田中らが提案している方法(文献5)の定式化4)を適用して、すべてのファジィ係数が幅を持つようにした。以下その定式化を述べる。

架設時に計測される計測値と設計値との差を表す不整合量 $\tilde{z}$ を、モデル式の係数の可能性に依存するとみなし、ファジィ係数 $\tilde{\alpha}_i$ を持つ誤差モードの線形的重ね合わせで表す。ここで、記号 $\sim$ はファジィ集合を表す。

$$\tilde{z} = \sum_{i=1}^N \tilde{\alpha}_i \cdot F_i \quad (F_i: \text{誤差モードベクトル}) \quad (1)$$

ここで、問題はファジィ係数 $\tilde{\alpha}_i$ を決定することである。適合度を計る基準パラメータ h ($0 \leq h < 1$) を導入し、ファジィ線形回帰分析を適用すれば、以下の最大値問題に関する線形計画問題に帰着される。ただし、以下の追加制約条件が改良箇所である。そして、図-1のように、 c_i と α_i の代表値を用いて三角形のメンバーシップ関数により計算の簡略化を図っている。

$$\text{目的関数} \quad \text{MAX} \rightarrow J(c_i) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M c_i \cdot |f_{ji}| \quad (2)$$

$$\text{制約条件} \quad Z_j \geq (1-h) \sum_{i=1}^N c_i |f_{ji}| - (1-h)e_j + \sum_{i=1}^N \alpha_i |f_{ji}| \quad (3)$$

$$-Z_j \geq (1-h) \sum_{i=1}^N c_i |f_{ji}| - (1-h)e_j - \sum_{i=1}^N \alpha_i |f_{ji}| \quad (4)$$

$$j=1, 2, \dots, M \quad c_i \geq 0 \quad (5)$$

$$\text{追加制約条件} \quad \text{MIN} \{c_i/\alpha_i, \dots, c_n/\alpha_n\} \geq \varepsilon \quad (6)$$

ここに、M: 計測項目数(断面力および変位など)

N: 誤差要因の数

Z_j : $\tilde{z}$ の計測項目 j における計測値と設計値との不整合量

f_{ji} : 誤差モードベクトル F_i の j 成分

c_i, α_i : $\tilde{\alpha}_i$ のメンバーシップ関数(図-1)の代表値

e_j : 計測値(ファジィ出力)の誤差

ε : 実行可能解を捜すパラメータ

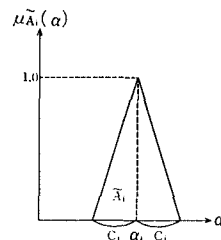


図-1 $\tilde{\alpha}_i$ のメンバーシップ関数

3. 改良ファジィSI法とファジィSI法との解析結果の比較

文献4)と同一のモデルに本法を適用して結果を比較する。図-2の斜張橋のモデルに、表-1の真値誤差（誤差系1～6）を含む誤差系を作成した。表-1の想定誤差を誤差モードベクトルとし、誤差寄与率 α_i を計算した。表-2に両者の計算比較を示した。ファジィSI法の解では、誤差寄与率の α_i が幅を持たない項目（ α_1, α_5 ）があるが、改良ファジィSI法では、すべての誤差寄与率が幅を持っている。両者の解は、ほぼ等しく、改良ファジィSI法で幅を持った α_1, α_5 はファジィSI法の幅を持たない値の近傍で幅を有している。そして、その幅は当然のことながら小さな値となっている。なお、 ε の設定では、幅 c_i を中心 α_i の10%（ $\varepsilon=0.1$ ）から小さい値へと、バイセクション法などを用いて ε を変化させ、実行可能解が存在しない ε の値から、解の存在する値に遷移した ε を近似最適解とした⁵⁾。本例の場合、 $\varepsilon=0.00001$ で近似最適解が得られた。

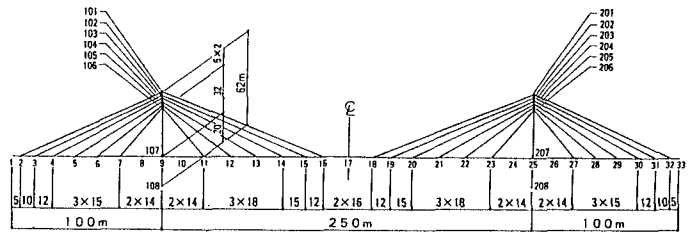


図-2 斜張橋モデル図

表-1 誤差一覧表

誤差系	真値誤差 (a)	想定誤差(影響値) (b)
1	側径間の重量5%減	側径間の重量10%増
2	中央径間の重量5%増	中央径間の重量10%増
3	側径間の桁剛度6%増	側径間の桁剛度10%増
4	中央径間の桁剛度4%減	中央径間の桁剛度10%増
5	塔の剛度誤差無し	塔の剛度10%増
6	全ケーブルのヤング係数10%減	全ケーブルのヤング係数10%減

表-2 改良ファジィSI法とファジィSI法の計算比較

誤差寄与率	正解 (a/b)	ファジィSI法($h=0.5, ei=2.0$)	改良ファジィSI法(同左)
α_1	-0.5	-0.49972	-0.49971~0.49975
α_2	+0.5	0.49995~0.50001	0.49994~0.50002
α_3	+0.6	0.59673~0.59797	0.59738~0.59785
α_4	-0.4	-0.40172~ -0.39908	-0.40169~ -0.39911
α_5	0.0	-0.00293	-0.00281~ -0.00285
α_6	+1.0	0.99978~1.00000	0.99978~1.00000

4. むすび

改良ファジィSI法の適用によって、全ての誤差寄与率 α_i に幅を持たせることができた。本法は入出力関係の持つあいまいさを、中心の値に比例して、各々のファジィ係数に配分する定式化となっており、工学的にも、妥当な結果が得られていると考えられる。今後、本法の実橋への適用により実用性をさらに高める予定である。

＜参考文献＞

- 1) 亀井正博、金吉正勝、田中 洋：SI法を用いた吊り構造系の誤差要因分析について、土木学会第42回年次学術講演会講演概要集、I-198、1987.10
- 2) 寺野寿郎、浅居喜代治、菅野道夫：ファジィシステム入門、オーム社、PP.67-81、1987
- 3) 亀井正博、古田均、金吉正勝、田中 洋：ファジィSI法によるケーブル張力調整法について、土木学会第44回年次学術講演会講演概要集、I-160、1989.10
- 4) 古田均、亀井正博、金吉正勝、田中 洋：斜張橋の架設管理へのSI法とファジィSI法の適用、土木学会、構造工学論文集、Vol.36A、1990.3
- 5) 石刈久生、田中英夫、黄承国：作業時間解析におけるファジィ回帰手法の比較、システム制御情報学会論文誌、Vol.3, No.3, 1990