

I-334

ファジィSI法を用いた昼間ケーブル張力調整の試み

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

斜張橋のケーブル張力を調整するためには橋体の形状やケーブル張力を計測しなければならないが、この作業は通常夜間に実施される。これは温度の影響を除外するために、橋全体の温度が一定になった後に計測を行う必要があるためである。特にマルチケーブルタイプの斜張橋の張り出し架設時の場合、特に上記の作業が架設期間中に連続することになる。さらに、長大橋になるとその作業は長期に渡ることになり過酷な条件となってくる。

筆者らは、System Identification法(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⁾。

本文では、このファジィSI法を用いて温度測定値をファジィデータと考えて構造同定を行い、温度の影響を除去する方法について検討を加えたので報告する。

2. 定式化

橋体の形状およびケーブル張力等の計測値をファジィデータと考え $\tilde{N}$ とする。これらの計測値の標準温度での値を $\tilde{N}_0$ とし、これらの諸量に対する温度の影響値を K_i とし、 $\tilde{N}$ 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 $\tilde{x}_i$ を持つ温度影響値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。

$$\tilde{N} = \tilde{N}_0 + \sum_{i=1}^N \tilde{x}_i \cdot K_i \quad (K_i: \text{温度影響値モード}) \quad (1)$$

ここで、問題はファジィ係数 $\tilde{x}_i$ 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。ここで、 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。

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

$$\text{制約条件} \quad N_j + (1-h)e_j \geq (1-h) \sum_{i=1}^N c_{ij} |k_{ji}| + \sum_{i=1}^N \alpha_i k_{ji} + (1-h) \sum_{i=N+1}^{N+M} c_{ij} |k_{ji}| + \sum_{i=N+1}^{N+M} \alpha_i k_{ji} \quad (3)$$

$$N_j - (1-h)e_j \leq -(1-h) \sum_{i=1}^N c_{ij} |k_{ji}| + \sum_{i=1}^N \alpha_i k_{ji} - (1-h) \sum_{i=N+1}^{N+M} c_{ij} |k_{ji}| + \sum_{i=N+1}^{N+M} \alpha_i k_{ji} \quad (4)$$

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

ここに、 M : 計測項目数(断面力および変位など)

N : 温度分布の区割り個数(但し、桁のように温度差が存在する場合は、一定温度と温度差の重ね合わせとみなすため区割り個数は2個となる)

N_j : $\tilde{N}$ の計測項目 j における計測値

K_{ji} : 計測値に対する温度の影響値(一定温度と温度差の各々の影響値に分離する)

$c_i, \alpha_i, \tilde{x}_i$ のメンバーシップ関数の代表値

e_j : 計測値(ファジィ出力)の誤差

式(3),(4)の右辺の下線部の影響値 k_{ji} については、 $i = N+j$ の時のみ $k_{ji} = 1$ 、その他は $k_{ji} = 0$ とおく。すなわち、下線部は式(1)に於ける $\tilde{N}_0$ を表現しており各々の Σ 項は1個の項で成り立っている。以上の解法により $\tilde{N}_0$ の推定値が得られれば夜間における計測値を得たことになり、著者らの方法³⁾⁻⁵⁾により張力調整が可能となる。

3. 数値計算例

菅原城北大橋の架設時（昭和63年8月：ケーブル8段完了時）の計測値を用いて、本方法の妥当性について検討を加えた。温度影響の最も大きいと思われる季節のデータである表-1を入力値とした。計測点および橋体形状を図-1に示す。8月12日と14日の計測値を使用した標準温度20℃での推定値(Case-1)と8月12日と15日の場合の推定値(Case-2)を温度一定時の夜間の計測データ(8月10日午後8時：温度の絶対値の大小の影響はほとんど無い)と比較した(表-2)。C4とC34のケーブル張力で差が少し大きいが桁のキャンバー値等は良好一致が見られる。

表-1 菅原城北大橋の架設時計測データの一部

計測 データ		計 測 日 時			
		8月12日 午前10時	8月14日 午後0時	8月15日 午後2時	
温 度 [℃]	桁 A点	桁上面	35.8	46.3	45.3
		桁下面	29.7	33.4	32.6
	桁 B点	桁上面	48.3	61.8	55.6
		桁下面	29.9	34.0	32.6
	桁 C点	桁上面	38.0	42.7	34.7
		桁下面	29.7	33.1	31.6
	P11 塔	側径間	29.7	30.9	30.9
		中央径間	29.0	30.0	30.9
	P12 塔	側径間	30.3	32.1	31.0
		中央径間	29.3	30.4	31.1
	P11ケーブル		36.2	40.0	38.2
	P12ケーブル		36.1	41.0	38.5
ケ ー ブ ル 張 力 [tf]	C4		202.1	209.7	205.9
	C11		189.8	186.6	189.6
	C34		187.0	179.7	183.8
	C41		229.7	237.3	232.9
桁 キ ャ ン バ ー [m]	P11製 造 間	Pt.6	19.682	19.651	19.674
		Pt.12	19.814	19.803	19.810
	中 径 央 間	Pt.26	20.008	19.996	19.998
		Pt.34	19.781	19.770	19.777
	P12製 造 間	Pt.56	18.922	18.921	18.922
		Pt.62	18.401	18.384	18.388

表-2 標準温度20℃での推定値

計測データ		Case 1 8月12日と8月14日での推定値	Case 2 8月12日と8月15日での推定値	8月10日午後8時の計測データ (温度一定時)
ケーブル張力 [tf]	C4	192.3	190.5	199.9
	C11	189.1	186.8	187.0
	C34	186.5	183.5	198.9
	C41	216.8	218.2	214.1
桁キャンバー [m]	P11側径間 Pt.6	19.689	19.711	19.719
	Pt.8	19.735	19.741	19.749
	中径 Pt.26	20.004	19.998	20.001
	中央 Pt.34	19.774	19.780	19.772
	P12側径間 Pt.60	18.606	18.612	18.612
	Pt.62	18.428	18.432	18.444

注記) $e = 3.0 t \cdot f$ (ケーブル張力) $h = 0.5$
 2.0 cm (桁キャンバー)
 3.0℃ (計測温度)

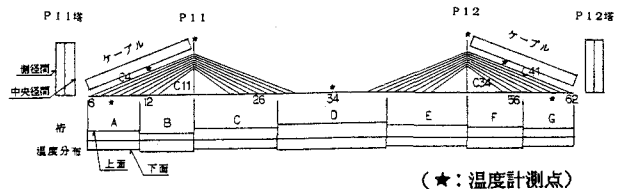


図-1 計測点および温度分布

4. むすび

今回の例では温度の測定点が少なく、温度分布の区割りメッシュの仮定がおおまかであった。測定点を増やして区割りをきめ細かくすれば、さらに精度は向上すると思われる。また、架設機材の影に入る箇所でも温度計測を行った可能性もあり、今後計測精度の高いデータを集積する必要がある。架設地点の条件によっても諸条件が変化するので、直接本法を実用に適用するには問題がある。適用に当たって架設初期では夜間に行い、その後昼間を想定し照査及び検討を行い、昼間のケーブル張力調整に移行するのが实际的であろう。今後、更に温度分布データ等を集積して実橋に適用を試み、改良を加える予定である。

<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) 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の改良について、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集、I-314、1990.9