

I-156

斜張橋の施工精度に関する確率論的考察

川崎重工業(株) 正会員 ○竹村勝之

川崎重工業(株) 正会員 坂井藤一

1. まえがき

鋼橋の設計、製作および架設の各工程においては広範囲で種々の誤差が生ずるため、完成時の寸法形状や部材応力状態は設計者の意図するものとは必ずしも一致しない。従って施工に際しては、効果的な品質管理を行ない、施工精度の改善に努めることが必要となる。本研究は、各種の誤差要因を確率変数と考え、それらが斜張橋の施工精度に及ぼす影響を確率有限要素法により予測し、誤差と施工精度の関係について調べるとともに、現場施工におけるケーブル調整の精度改善効果について検討を加えたものである。

2. 部材組立後の施工精度

構造物は数多くの部材の集合体であり、各部材には図1に示すような確率的に変化する不確定要因があると考えられる。自重や剛性は、設計段階で確定値と仮定されるが、各要素の寸法や単位重量等のばらつきにより変動する。また設計計算における仮定値と実際値のずれやモデル化上の誤差も大きな変動要因となる。部材長は、製作誤差とともに継手部の肌すきや溶接収縮の影響を受ける。添接部の角折れ誤差は、部材の曲りや端面の製作精度、架設に際する添接誤差などにより生ずると考えられる。

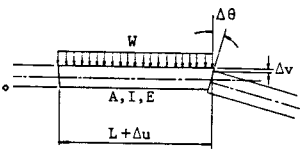


図1 部材の誤差

確率変数で表わされた部材を組立てた後の構造物の形状や応力分布は、以下の方法により求めることができる。¹⁾ 組立後の施工精度(設計値とのずれ)の平均値 $\bar{x}$ 、変動成分 Δx は次式で表わされる。

$$x = \bar{K}^{-1} \cdot (p - k \cdot X_D) \quad (1) \quad \text{但し、} \bar{K} = K_D + k, K_D; \text{剛性の平均値, 設計値}$$

$$\Delta x = \bar{K}^{-1} \cdot (\Delta p - \Delta k \cdot \bar{X}) \quad (2) \quad \bar{X} = X_D + x, X_D; \text{変位の平均値, 設計値}$$

また $k, \Delta k$ は剛性誤差の平均値、変動成分、 $p, \Delta p$ は荷重誤差の平均値、変動成分である。

Δx の共分散マトリックスは、各種誤差の共分散マトリックス C_{rr} と次式の様に関連づけられる。断面力の施工精度も同様にして求まる。

$$C_{xx} = H \cdot C_{rr} \cdot H^T \quad (3) \quad H; \text{単位誤差による影響マトリックス}$$

C_{xx} の対角項より分散が、また非対角項より各種施工精度間の相関係数が求められる。

3. ケーブル調整後の施工精度

斜張橋等のケーブル構造物の施工に際しては、一般にケーブル調整(シム調整)により施工精度の改善が図られる。調整に際し、管理の対象とするものを y 、対象としないものを z とすると、調整後の施工精度は

$$y_1 = y + A \cdot s \quad (4) \quad A, B; \text{単位シム量による影響マトリックス}$$

$$z_1 = z + B \cdot s \quad (5) \quad s; \text{各ケーブルのシム量}$$

で表わされる。 y と z は調整前の施工精度であり、その確率特性は2の方法で求められる。シム量 s は、 y の内積を最小化する様に決定されるものと仮定されると、調整後の施工精度は次式で表現できる。²⁾

$$y_1 = y - A \cdot (A^T \cdot \rho \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot \rho \cdot y = y - A_1 \cdot y \quad (6)$$

$$z_1 = z - B \cdot (A^T \cdot \rho \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot \rho \cdot y = z - B_1 \cdot y \quad (7)$$

ここで、 ρ は種々の管理項目に関する重み係数マトリックスである。 y, z の平均値は、 y, z の平均値を用いて、また共分散は次式により算定することができる。

$$C_{y_1 y_1} = C_{yy} + A_1 \cdot C_{yy} \cdot A_1^T - (A_1 + A_1^T) \cdot C_{yy} \quad (8)$$

$$C_{z_1 z_1} = C_{zz} + B_1 \cdot C_{yy} \cdot B_1^T - B_1 \cdot C_{yz} - B_1^T \cdot C_{yz} \quad (9)$$

$$C_{y_1 z_1} = C_{yz} + A_1 \cdot C_{yy} \cdot B_1^T - A_1 \cdot C_{yz} - B_1^T \cdot C_{yy} \quad (10)$$

4. 数値計算例

図2に示す斜張橋において、表1および表2に示す様な誤差があるものとする。これらの誤差（合計134個）が統計的に独立であるものと仮定して計算した組立後の施工精度を図3の実線に示す。なお設計に際しては、曲げモーメントが平滑化する様にケーブル張力が決定されている（図2参照）とした。

施工精度の平均値は主に死荷重誤差に起因し、剛性誤差の影響は小さい。これは曲げモーメントの平滑化により、製作そりが小さくなる事による。変動成分に関しては、形状は死荷重誤差の影響が卓越するが、曲げモーメントは角折れ誤差の影響が顕著である。しかしながら、隣接する継手の角折れ間に負の相関を考えると、精度は著しく改善する。この事は、先行工程での誤差を後工程で吸収することが効果的な精度改善法であることを示唆している。3通りのケーブル調整を行った後の施工精度を図3に示す。形状・張力調整の場合の重み係数は、形状1mmと張力1tが等価となる様に設定した。形状調整により形状誤差は微小となるが誤差応力は大きくなる。張力調整により、ケーブル張力と塔の曲げモーメントは設計値と一致するが、形状や桁曲げモーメント誤差は著しく大きくなる。従って、形状と張力を同時に管理する調整法をとる必要があるが、ケーブル張力や主径間のたわみを除いて精度改善の効果はあまり期待できない。

本計算例による誤差応力の標準偏差は30～50 kg/cm²程度であり、ケーブル張力の変動係数は、調整前で約2%，調整後は1%程度となる。

参考文献

- 1) K. Takemura, H. Akao, Proc. of ICOSAR`85, Kobe, Japan, May, 1985
- 2) 藤澤伸光：『斜張橋架設時のシム量決定方法』，橋梁と基礎，1984年9月，10月

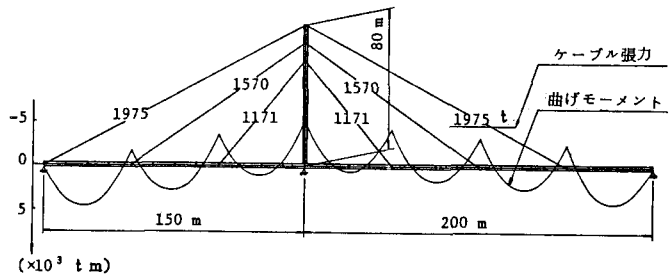
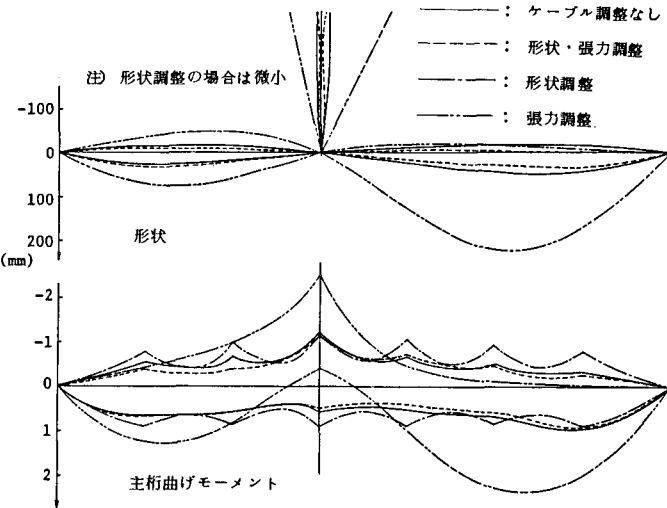


図2 解析対象モデル

	設計値	平均値	標準偏差		標準偏差
死荷重	$W_0=18 \text{ t/m}$	$1.02 W_0$	$0.03 W_0$	ケーブル長	3 mm
桁剛性	$I_0=1.80 \text{ m}^4$	$1.05 I_0$	$0.05 I_0$	ブロック長	1.5 mm
ケーブル剛性	$A_0=0.06 \text{ m}^2$ 0.03 m^2	$1.02 A_0$	$0.01 A_0$	角折れ	桁塔 1/5,000 rad 1/10,000 rad

表1 設計値の誤差

表2 寸法誤差



注) 張力調整により、誤差は完全になくなる。

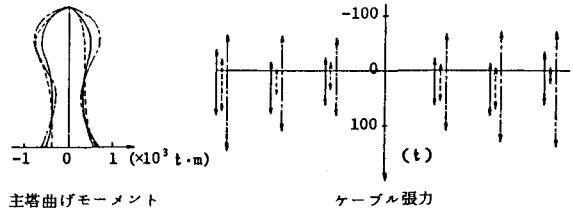


図3 施工精度の予測結果（ $\mu \pm 2.6$ レベル）