

斜張橋における施工誤差の影響の予測

川崎重工業（株） 正員 ○ 竹村 勝之
川崎重工業（株） 松本 憲治

1. まえがき

鋼橋の施工に際しては、設計段階で仮定した死荷重や部材剛度に基づき製作そりを算定し、その形状に応じて部材を製作し現地に搬入して架設する。これらの各工程においては広範囲で種々な誤差が介入し、完成時の計画寸法形状、部材応力状態が設計の目標とするものとは完全には一致しない。本研究は各種施工誤差を確率変数として捉え、その影響を線形一次近似理論により予測する手法を示すとともに、所定のケーブル張力を導入することが極めて重要な¹⁾斜張橋に適用して、その影響を検討したものである。

2. 施工誤差の要因

検討の対象とした施工誤差を図1に示す。死荷重や剛性の誤差要因としては、単位重量、寸法（板厚、床板厚、ウェブ高など）や弾性係数のばらつきの他に、設計計算における仮定値と実際値のずれによる誤差、およびモデル化誤差（等分布荷重への置換、有効巾、二次部材の剛性など）を含む。部材の各製作工程で生ずる種々の誤差は、集積して部材の長さ

製作そりの 算定誤差	{	死荷重誤差
		剛性誤差
製作・架設 誤差	{	部材長誤差
		部材間目違い
		部材間角折れ

図1 施工誤差の種類

や部材間の目違い、角折れ（部材のそり、端面直角度）として現われ、また架設時における部材間の肌すきや、現場溶接による収縮、変形もこれらの誤差で表現される。

3. 施工誤差の影響の解析

確率変数として表わされた上記施工誤差の影響は、確率有限要素法²⁾を適用することにより統一的に求めることができる。死荷重状態での構造物の応答は、微小変形理論の仮定のもとで次のようになる。

$$\text{設計仮定} \quad \{P_d\} = [K_d] \cdot \{x_d\} \quad (1)$$

$$\text{予測モデル} \quad \{P_d + P + \Delta P\} = [K_d + K + \Delta K] \cdot \{x_d + x + \Delta x\} \quad (2)$$

荷重、剛性、変位に対し、添字 d で設計値を、添字がないもので平均値誤差を、また Δ で誤差の変動部分を表示した。(2) 式から (1) を引き、 $[\Delta K] \cdot \{\Delta x\}$ の項を小さいものとして無視すると次の2つの式を得る。

$$\{x\} = [\bar{K}]^{-1} \cdot \{P - K \cdot x_d\} \quad (3) \quad \text{ただし } [\bar{K}] = [K_d + K]$$

$$\{\Delta x\} = [\bar{K}]^{-1} \cdot \{\Delta P - \Delta K \cdot \bar{x}\} \quad (4) \quad \{\bar{x}\} = \{x_d + x\}$$

(1), (3) 式を通常の確定論的方法により解き、平均値応答 $\{\bar{x}\}$ が求められる。

一方、(4) 式における

$$\{Q\} = \{\Delta P - \Delta K \cdot \bar{x}\}$$

は、各種施工誤差の変動成分 $\{q\}$ によって生ずる節点荷重ベクトルであり、その線形一

Katsuyuki TAKEMURA, Kenji MATSUMOTO

次近似は(5)式の様に表わせる。偏微分は、平均値における値である。部材長、目違い、角折れ誤差による荷重は内的外力であり、対象とする部材の部材座標系における変位ベクトルに単位の変位量を生ぜしめる材端力と等価な節点荷重で表現できる。誤差変位 Δx の共分散マトリックスは、

$$\{Q\} = \left[\frac{\partial Q}{\partial q} \right] \cdot \{\Delta q\} \quad (5)$$

$$[\Gamma_{\Delta x}] = [H] \cdot [\Gamma_{\Delta q}] \cdot [H]^T \quad (6)$$

$$\text{ここで } [\Gamma_{\Delta x}] = \{\Delta x\} \cdot \{\Delta x\}^T$$

$$[\Gamma_{\Delta q}] = \{\Delta q\} \cdot \{\Delta q\}^T$$

$$[H] = [K]^{-1} \cdot \left[\frac{\partial Q}{\partial q} \right]$$

(4), (5)式から(6)式のように表わされ、応答の標準偏差や応答間の相関係数が算出される。断面力に関する共分散マトリックスも同様にして求まる。

4. 斜張橋への適用例

図2に示す三径間対称斜張橋に上記理論を適用する。製作単位として主桁は27部材、塔は6部材からなるものとし、各製作部材に対し表1に示す死荷重、剛性誤差を設定するとともに、主桁、塔の部材長誤差として $\sigma = 1 \text{ mm}$ 、部材間角折れ誤差として $\sigma = 1/3000$ を、ケーブル長誤差として $\sigma = 3 \text{ mm}$ を考慮した。これら誤差が統計的に独立とした場合の誤差の組合せによって生ずる桁のたわみ、曲げモーメントおよびケーブル張力を図3に示す。

たわみは完成時の形状誤差として残る。ケーブル張力は目標とする死荷重張力に対し平均値、標準偏差とともに2%弱であり死荷重誤差の影響が大きい。主桁曲げモーメントはかなり大きく、 $(\mu + 3\sigma)$ レベルで評価すると活荷重による最大曲げモーメントの2割にも達する。角折れ誤差の影響が卓越するが、隣接する継手の角折れ量に対し-0.5の相関性を考慮すると誤差モーメントが著しく減少する。この事は先行工程における誤差を次工程に生かした品質管理を行うことが重要であることを示唆している。

	設計仮定	μ	σ
死荷重	$1.8 \frac{1}{m}$	+ 2 %	2 %
主桁 I	$1.8 \frac{m^4}{m^2}$	+ 5 %	2 %
ケーブル E	$2 \times 10^7 \frac{1}{m^2}$	+ 1.5 %	1 %

表1 死荷重・剛性誤差の設定値

参考文献

- 1) 国広・竹村他、「ケーブル系橋梁の静力学的特性」, 川崎重工技報、昭和59年 1月
- 2) Handa, K. 他、Proc. of ICOSSAR'81, Trondheim, Norway, June, 1981

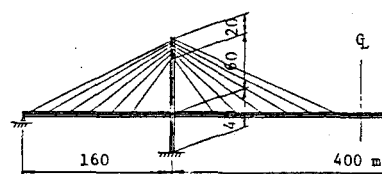


図2 解析モデル

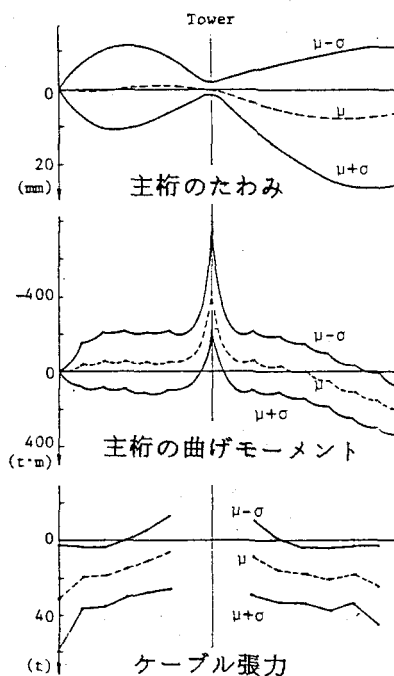


図3 誤差変位・断面力