

富山県 正員 大西 信久
 , , 安原 宗光
 川田工業 , ○ 野村 国勝

1. まえがき

愛本橋は富山県下新川郡宇奈月町愛本に架設された橋長130m(支間128.4m)、巾幅8.5m(うち歩道1.5m)の1等橋のニールセンローゼ橋である。(図-1)

本橋梁型式は、美観的にすぐれているとともに、静的及び動的力学特性も、他のアーチ橋に比較してすぐれていることから、最近、我国でも架設されることが多くなった。

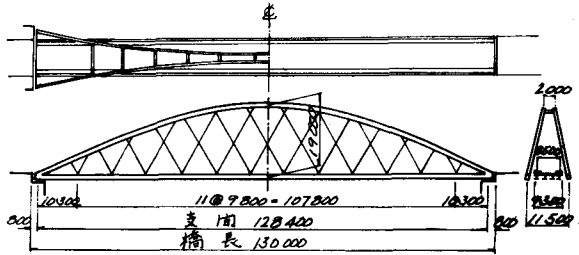


図-1 愛本橋一般図

しかしながら、そうしたニールセン橋の特徴が発揮される為には、当然のことながら、斜材にゆりみが生じないように架設する必要がある。通常、現場架設に先立って、仮組の段階で斜材張力が所定の値を示すように斜材長さが決定されるので、現場でもその状態が再現されれば問題はないが、架設誤差等の為に、ある程度の斜材のゆりみ或いは張力過多は、まぬがれないであろう。

本文は、このようなゆりみ或いは張力過多の状態にある斜材が設計値通りの値を示すように調整する為の理論を導き、模型実験により、その妥当性を確認するとともに、本橋での実用例を示したものである。

2. 斜材張力調整理論

ここでは、調整前での斜材張力 T から、設計張力 T' に調整する為には、各々の斜材長さをどのように変えれば良いかを目標に理論を展開する。

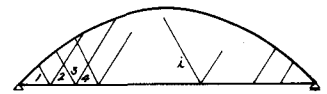


図-2

図-2において、 i 番目の吊材長さを単位量($\Delta l_i = 1$)変化させた時に、各吊材に及ぼす張力変化を

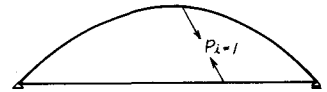


図-3

$$\{X_i\} = [X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ii}, \dots, X_{in}]^T \quad (1)$$

とすると、全ての吊材については

$$\{X\} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1i} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2i} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{ni} & \dots & X_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

図-3のごとく全ての吊材を除いた構造系において i 番目の吊材長で吊材方向に単位荷重($P_i = 1$)を作用させた時に生じる各吊材長での吊材方向のたわみ量を

$$\{\delta_i\} = [\delta_{i1}, \delta_{i2}, \dots, \delta_{ii}, \dots, \delta_{in}]^T \quad (3)$$

とすると、全ての吊材系については

$$\{\delta\} = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1i} & \dots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & & & & & \\ \vdots & & & & & \\ \delta_{i1} & & & & & \\ \vdots & & & & & \\ \delta_{n1} & \dots & \dots & \dots & \dots & \delta_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

各吊材の長さを l_i 、ヤング係数を E_i 、断面積を A_i とすると、 i 番目の吊材を単位量変化させた時には、次の関係式が成立する。

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1i} & \dots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & & & & & \\ \vdots & & & & & \\ \delta_{i1} & & & & & \\ \vdots & & & & & \\ \delta_{n1} & \dots & \dots & \dots & \dots & \delta_{nn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_1/E_1A_1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & l_2/E_2A_2 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & l_i/E_iA_i & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & 0 & \dots & l_n/E_nA_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{i1} \\ x_{i2} \\ \vdots \\ x_{ii} \\ \vdots \\ x_{in} \end{bmatrix} \quad (5)$$

全ての吊材についてまとめると次式が成立する。

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \\ 0 & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1/E_1A_1 + \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1i} & \dots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & & & & & \\ \vdots & & & & & \\ \delta_{i1} & & & l_i/E_iA_i + \delta_{ii} & & \\ \vdots & & & \vdots & & \\ \delta_{n1} & \dots & \dots & \dots & \dots & \delta_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & \dots & x_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

簡単に書いて

$$[E] = [D] \cdot [X] \quad (6') \quad [E]; \text{ 単位行列}$$

また、吊材の張力差を

$$\{\Delta T\} = [\Delta T_1, \Delta T_2, \dots, \Delta T_i, \dots, \Delta T_n]^T \quad (7)$$

調整シムプレート厚（つまり、吊材の長さ変化）を

$$\{\Delta l\} = [\Delta l_1, \Delta l_2, \dots, \Delta l_i, \dots, \Delta l_n]^T \quad (8)$$

とすると、次の関係式が成立する。

$$[X] \cdot \{\Delta l\} = \{\Delta T\} \quad (9)$$

(6'), (9) 式より

$$\{\Delta l\} = [X]^{-1} \cdot \{\Delta T\} = [D] \cdot \{\Delta T\} \quad (10)$$

$[D]$ は骨組構造が与えられれば、簡単に求まるものであり、従って、吊材の張力差 $\{\Delta T\}$ が与えられれば、調整シムプレート厚 $\{\Delta l\}$ は、(10)式により求めることができる。

3. 模型実験

2.で述べた張力調整理論の妥当性を確認する為に模型実験を行った。その概要を次に示す。

3-1. 模型タイプ

模型タイプは、図-5に示すType-1, Type-2を選んだ。各々のタイプは次の性格をもつ。

Type-1 ----- 簡明かつ精度良い実験が行えること。

Type-2 ----- ニールセン橋梁の骨組構成に類似した構造であること。

3-2. 測定項目及び実験方法

測定項目は吊材長さの変更(シムプレートの挿入)による1)吊材の張力変化, 2)フレームのひずみ, 3)フレームのたわみの三項目である。

吊材張力の測定は吊材とフレームの間にリン青銅板を挿入して、そのひずみを読み取って張力を測定した。シムプレートの挿入はターンバックルを回転させることにより代用させた。(図-4) 実験の手順は次の通りである。

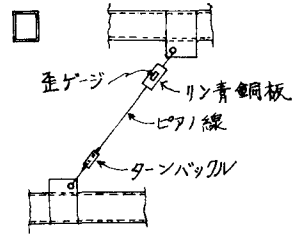
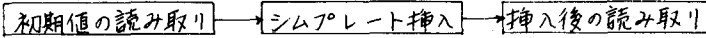


図-4



本実験で特に注意したことは上記のどの段階でも吊材が引張状態を保つように、つまり、どの段階でも構造系が変わらないようにしたことである。

3-3. 実験値と理論値の比較

実験値と理論値の比較を図-5に示す。シムプレート ΔL の挿入に対する吊材の張力変化 ΔT の理論値は各々のTypeに対し、式(10)の|D| matrixを作成し、式(10)を変形して次のように求める。

$$|\Delta T| = |D|^{-1} \cdot |\Delta L|$$

なお、模型のフレームの断面二次モーメント I 、及び吊材断面積 A は次の通りである。

$$I = 34\,880\text{ mm}^4, \quad A = 0.785\text{ mm}^2$$

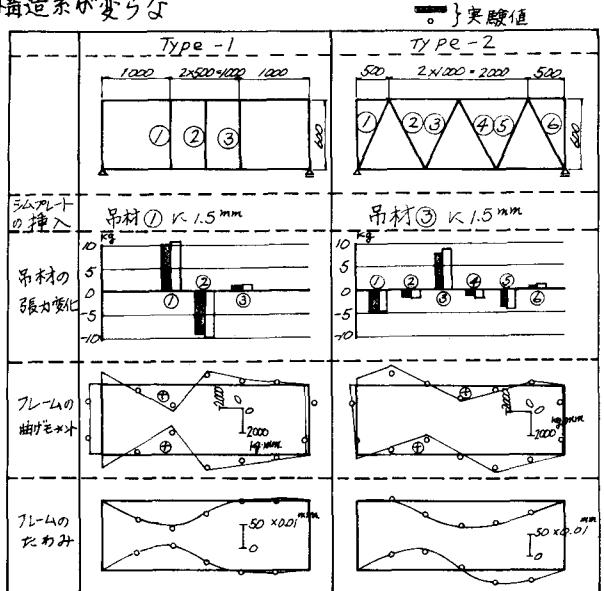


図-5 模型タイプ別の実験値と理論値の比較

4. 張力調整理論の本橋への適用

模型実験の結果をみると、実験値と理論値は良い一致を示している。したがって、本橋の斜材張力調整はこの理論を用い、次のような手順で行った。

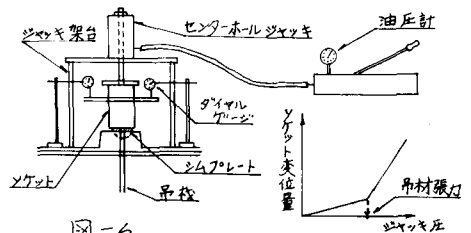
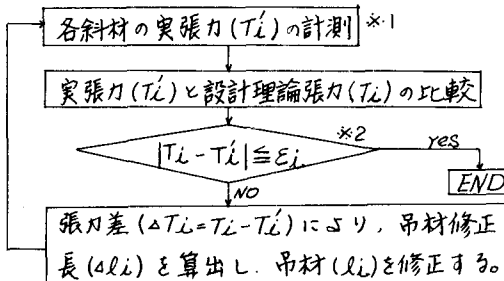


図-6

*1; 吊材の張力はセンターホールジャッキにて、ソケットを引き込み、ジャッキ圧とソケット変位量の関係図より求めた。(図-6)

*2; ϵ_i は張力許容誤差

この斜材張力調整手順に従えば斜材張力は設計張力に調整できるわけであるが、本橋について、測定の結果、得られた張力差 ΔT から、そのまま、シムプレート調整量 Δl を算出すると Δl は非常に大きな値になることがわかり、(図-7に斜材張力の調整結果を示すが、調整前での張力差 ΔT から、 Δl を算出すると最大 300mm 程度になる。)調整作業工程上、実際的でないので、検討の結果、各吊材の張力差 ΔT_i は測定誤差 $\Delta \varepsilon_i$ を含んでいることを考慮して、 $(\Delta T_i \pm \Delta \varepsilon_i)$ の範囲で Δl を算出すれば適当に調整できることがわかった。

かように ΔT_i を適当に選べば、シムプレート調整量はかなり少なくて済むことがわかった。

本橋の場合、最大 30mm のシムプレート量で調整できた。ただし、測定誤差 $\Delta \varepsilon_i$ は、 1ton 以内とした。

調整結果は、図-7に示す通りであるが、この図より、シムプレート増減の斜材張力変化に及ぼす影響は、実際は理論よりも鋭敏であるようである。

これは、図の斜材番号9~15の間で、一回調整後の結果と二回調整後の結果が逆符号であることから、わかる。したがって、三回調整においては、この兵を考慮して計算シムプレート量 Δl の約 $1/2$ を導入したが、良い結果が得られた。

このように、シムプレートの増減と斜材張力変化の関係が、理論と実際とで多少、異なるのは、本橋の斜材は自重を有するケーブル部材(PWS)であるのに対し、理論的には軸力部材として取扱っていることによるものと思われる。

自重を有するケーブル部材に対する取扱いについては、今後の検討が必要であろう。

5. あとがき

本文では、ニールセン橋の斜材調整理論を導き、模型実験による確認、本橋への応用例を示したわけであるが、ほぼ設計値通りに調整することができた。

この理論によれば、ニールセン橋に限らず、非抗圧部材から成る橋造物(例之は、斜張橋、非線形性を考慮すれば吊橋、ケーブルトラス等)は、調整可能であろう。

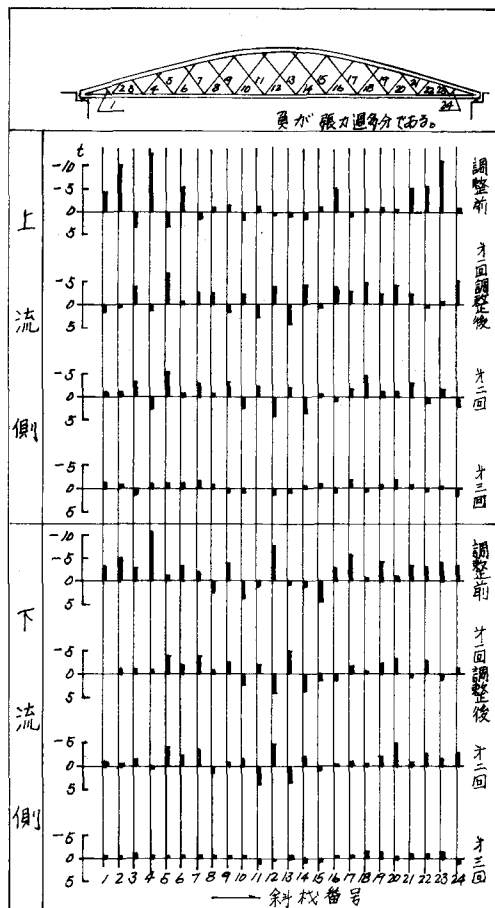


図-7 斜材張力調整結果