

1-00 トラスの換れに関する一考察

東京大学工学部 正員 奥村 敏恵
電力中央研究所 正員 渡辺 啓行

幅員の大きい橋梁に於いて、橋構は主荷重に対する直接的な負担のわりに、柱屋に対する安全性から非常に大きな断面を必要とする。トラス等の open bridge では、弦材の剛度を高める事に依りこの橋構断面を軽減出来ると思われる。又、パイプをトラス等に用いる時、腹材を弦材に剛節すると腹材の面外捻曲値は、弦材の諸剛度によって増加される事が知られている。

以上の事を定量的に調べる事を最終目標において、本研究では、トラスの換れについて、その換れ剛度に対する弦材諸剛度の影響を調べてみた。即ち、従来無視されていた弦材諸剛度を考慮に入れた理論式を立て、これによる理論値と実験値との比較検討を行った。

理論式誘導は概略次の様に行つたが、問題を簡単にするため、弦材については断面図心と剪断中心とが一致するもののみを扱つた。又、弦材は全長にわたつて一様断面とし、腹材も全ての単位トラスで同一断面を有するものを扱つた。

弦材剛性を考えない換れ変形に対しては、従来の文献に見られる様にトラスを理想化して依り、腹材は剪断力のみを受けるメンバーと考え、変形の適合から単純換れ応力を求めている。一方、曲げ換れ変形に対しては、各単位トラスの両端で、弦材に生じた反りが連続する様に、拘束力 X_r のトラス断面内の合力は零)を与え、それに伴い bimoment を構成するものと仮定する。これより、曲げ換れ応力及び、反り拘束に依り生ずる附加回転変形を求めた。

反りの連続条件は、一般に次の形となる。

$$-g_r X_{r-1} + (p_r + p_{r+1}) X_r - g_{r+1} X_{r+1} = -w_r^M + w_{r+1}^M \quad (1)$$

ここで、 p_r は単位トラスの一端に上の様な拘束力を単位量与えた時のその端面の反りであり、 g_r は同じ荷重による他端の反りである。これらは、各単位トラスについて、トルクと拘束力との2種の荷重と各々の変形とに相反定理を適用する事から決定され、今扱っているトラスに於いては全単位トラスについて一定である。 r は単位トラスの番号、 w^M はトルクによる単位トラスの反りである。

次に、換れ変形の際の弦材の変形を、その剪断中心まわりの回転と、トラス断面の回転中心と弦材剪断中心を結ぶ軸のまわりのタワミとの2種と考え、タワミ量はトラスの回転変形に比例しており、反りは、回転変形の長手方向量による一回微係数に比例しているから、反りを拘束する事は弦材では、そのタワミ角を連続させる事と同意義となる。従つて、弦材剛性を考えた時には、弦材の節点で曲げモーメントが生ずるが、これは上述の条件を満足するという条件から計算される。そして軸力のみを考えた(弦材剛度を考慮しない)場合のトラスの単純換れ変形を n 組の単位トラスからトラスの全長で、 n 中とし、 ϕ を未知パラメータに選んで、以上の全つた変形を ϕ の関数として表わした後、これらの全変形エネルギーと外力のなす仕事について、Clapeyron の定理から、パラメータ ϕ とトルク M_t との関係を求めた。

主構ワーレン、橋構ダブルワーレンのトラスについてのこの関係式は次の様になった。

$$M_{\phi} = \left[\frac{4b^2d^2A_vA_h\mu_v\mu_h}{A_v\mu_vb^2+2A_h\mu_hd^2} E + 4 \left\{ R_1 G J_0 + \frac{R_2}{3} \frac{E(I_0 R^2 + C_{\theta} \tau_0)}{\lambda^2} \right\} \right] \frac{\phi}{\lambda} \quad (2)$$

ここで、 $J_0, C_{\theta} \tau_0$ は弦材の捩剛性、 b, d はトラスの中と高さ、 λ は単位トラス長、 R はトラスの回転中心と弦材中心との距離、 I_0 はこの距離を結ぶ軸のまわりのトラスの当量断面2次モーメント、 R_1 と R_2 は弦材のタワミによって決まってくる値で、トラス組数 n 、各単位トラス番号 r 、そして軸力のみを考えた場合のトラスの捩れに関する諸定数に依っている定数である。オー式は従来行なわれている方法で求めた値と一致しオー式以下が弦材諸剛度の影響で、一定のトルクに対して、パラメータ中は従来の値よりこの量だけ軽減される。 A_h, A_v は腹材断面積、 $\mu = \sin^2 \theta$ 、 θ は図6参照。

以上による計算結果と実験値を図示する。なお、今回行った実験に用いた試験体は、弦材の諸剛度が顕著に現われる様態に比して特に弦材の大きなものを選び、材料は真ちゅうを用い、又、初めの仮定と反するが弦材にはアングルを用いた。載荷は、一端にトルクを与え、反りに対して他端固定として実験を行った。トラスの組数は6とした。

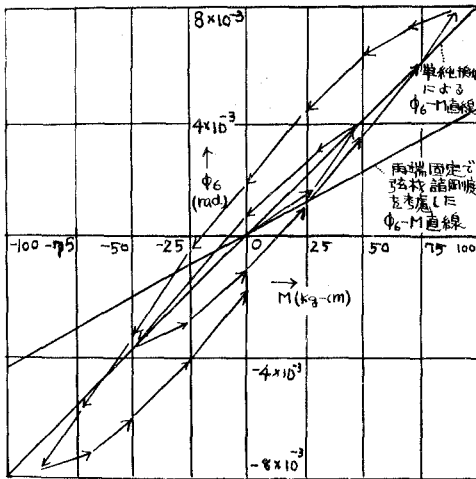


図1 ϕ -M 曲線 ϕ は曲げ捩れも含めた載荷端の回転変形で(2)によりMの函数で与えられる

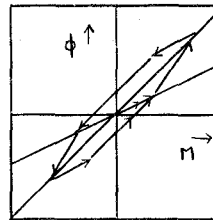


図2 仮定が全て成立するとして場合の模型化した ϕ -M曲線

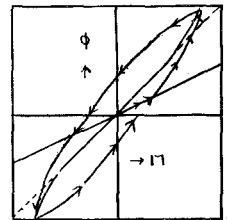


図3 ある荷重以上で変形が非線型化した場合の模型化した ϕ -M曲線

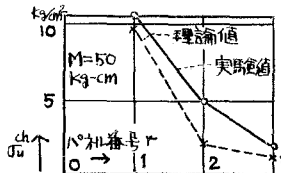


図4 弦材応力の絶対値の長手方向変化図

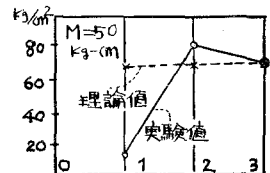


図5 斜材応力の絶対値の長手方向変化図

図1は実験結果で矢印の順にトルクを加えた。荷重の増減に対して、ヒステリシスを示すのは、端部を固定する際、ビスを用いた事により、ある大きさの荷重変化に対しては固定条件がゆるむためと考えられる。この事を模型的に考えたのが図2、図3である。

この様に図を見ると図1に於いて、荷重変化が1の面は弦材剛度を考慮した直線に沿って変形し荷重変化が大になると固定端があるみ単純捩れ変形に近づいて行く。固定が完全であればヒステリシスは西かず、弦材剛度を考慮した ϕ -M直線をたどるものと考えられる。図4は弦材応力であり、図5は主構斜材応力である。単純捩れによる主構斜材応力は、図1に於ける2種の ϕ -M直線の tangent の差に近い order で実験値と違っていた。以上の事より、両端が固定されていて、弦材の曲げ剛度が大きい場合には、トラスの捩れ剛度への弦材剛度の影響は無視出来ない位大きくなる事がわかった。

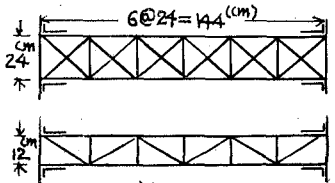


図6 試験体略図