

片側のみに斜材を有するプラットラス形式ガセットの下弦材直上部の応力評価に関する検討

鋼構造研究室 樺澤 陸玖
指導教員 岩崎 英治

1. はじめに

トラス橋格点部は構造上、雨水や塵埃が堆積しやすく、局所的な腐食が生じやすい環境にある。トラス橋格点部のガセットプレートは道路橋示方書¹⁾では、必要板厚が、トラス構造設計要領(案)²⁾では、必要板厚と格点部に生じる応力式が示されている。しかし、供用後に生じる損傷に対する基準は存在しない。加えて、この部位は応力状態が複雑となるため、照査には有限要素解析を用いることとなり、時間を必要とする。そのため、補修の要否の判断を早急に行うことは難しいのが現状である。この課題に対して岩崎ら³⁾は、力のつり合い条件と幾つかの仮定によりこの部位の応力状態を簡易的に評価する方法を提案している。しかし、この提案では、対象をワーレン形式鋼トラス橋の格点部としており、プラット形式については、検討がなされていない。また、プラット形式の格点部では、ワーレン形式の格点部とは異なり、斜材が片側からのみ差込むため、垂直材に発生する軸力を無視することはできない。そのため、ワーレン形式の評価式では、プラット形式の格点部の応力は評価できない可能性がある。そこで本研究では、プラット形式鋼トラス橋のガセット下弦材直上部の応力を評価する方法について検討を行う。

2. 評価式の検討

2.1 格点部の力の分解

格点に集まる部材の軸力は、力のつり合い条件を満足することから、格点部の左右の弦材、斜材と垂直材が接続されている場合には、2個の独立な力で表すことができる。そこで、弦材を左右に引張る力 N_0 、弦材と斜材・垂直材によりガセットをせん断変形させる力 S_0 を2つの独立な力と考えると、格点部の軸力は図-1のように表すことができる。一方、各部材の軸力が与えられたとき、2個の独立な力は以下のように表される。

$$N_0 = (N_1 + N_2)/2, \quad S_0 = N_1 - N_2 \quad (1)$$

以下では、引張力 N_0 とせん断力 S_0 がそれぞれ独立に作用した場合の格点部の応力を評価する方法について検討を行う。

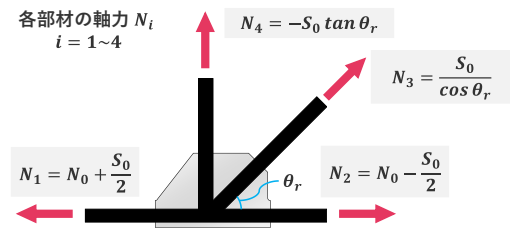


図-1 格点部の力の分解

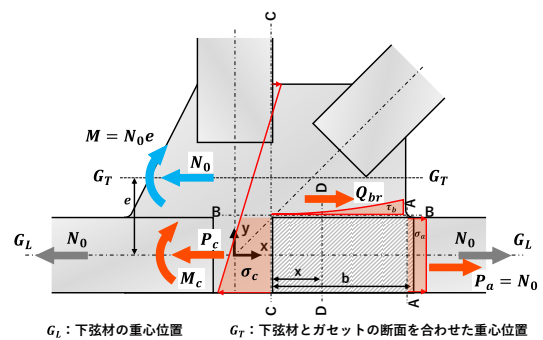


図-2 引張力 N_0 によるガセットの応力

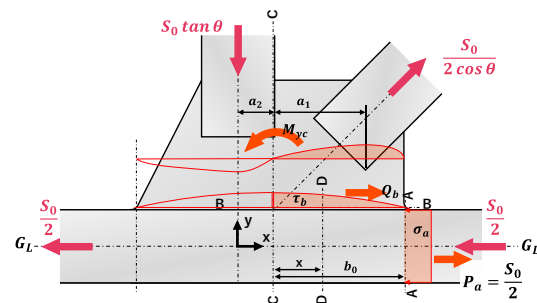


図-3 せん断力 S_0 によるガセットの応力

2.2 引張力 N_0 が作用した場合の評価式の検討

引張力 N_0 が作用した場合のガセットに発生する応力について図-2に示す。下弦材に引張力が作用した場合には、せん断応力はガセット中央に対して逆対称の分布となることから、せん断応力と板厚の積は、C-C断面でゼロ、A-A断面で最大値 q_b となる以下の分布を仮定する。

$$q(x) = q_b\{\alpha(x/b) + (1 - \alpha)(x/b)^3\} \quad (2)$$

ここで、 $q(x)$ はせん断流(N/mm) ($q(x) \equiv \tau_{xy}(x)t(x)$)、 q_b はせん断流の最大値(N/mm)、 α はC-C断面からA-A断面までの応力の分布を制御する未定係数、 b はフィレットを含むガセットの半幅(mm)である。せん断流の最大値 q_b は、力のつり合い条件により算出する。また、その他の応力については、 σ_x は算出した τ_{xy} を

含む力のつり合い条件により算出し、 σ_y は応力が小さいため考慮しないものとする。

2.3 せん断力 S_0 が作用した場合の評価式の検討

せん断力 S_0 が作用した場合のガセットに発生する応力について図-3に示す。格点部にせん断力が作用した場合には、せん断応力はガセット中央C-C断面付近で最大値 q_b 、端部A-A断面で最小となる以下の2つの分布を仮定する。

$$q_1(x) = q_b \left\{ \beta + (1 - \beta) \left(1 - \frac{|x - b_0 \zeta_1|^{n_1}}{(b_0 - b_0 \zeta_1)^{n_1}} \right) \right\}, (-x_0 < x) \quad (3a)$$

$$q_2(x + x_0) = \frac{2q_1(x = -x_0)}{1 + e^{-n_2(x+x_0)}}, \quad (-x_0 > x) \quad (3b)$$

ここで、 $q_1(x)$ 、 $q_2(x + x_0)$ はせん断流(N/mm)、 q_b はせん断流の最大値(N/mm)、 b_0 はフィレットを含まないガセットの半幅(mm)、 x_0 はガセット中央から垂直材軸線までの距離(mm)、 β 、 n_1 、 n_2 、 ζ_1 は未定係数である。 β は最大値から端部までの応力分布を制御し、 $\beta = 1$ のとき $q_1(x)$ は端部まで一定、 $\beta = 0$ のとき端部でゼロとなる n_1 次曲線を仮定する。 n_2 はシグモイド関数の傾きを制御し、 $n_2 = 0$ のとき傾きはゼロ、値が大きくなるほど傾きは大きくなる。 ζ_1 は斜材・垂直材の差込み深さによる応力分布の変化に対応するための未定係数である。せん断流の最大値 q_b は、力のつり合い条件により算出する。

せん断力が作用した場合の垂直応力 σ_y は、ガセット中央付近でゼロ、斜材・垂直材が下弦材直上部に近接する位置付近で最大値 p_b となり、この位置で x 軸に関する変化量がゼロとなる3次曲線により分布を仮定する。また、最大値 p_b の位置から端部までの分布は未定係数 γ により制御する。

$$p(x) = p_{b1} \left\{ \frac{3(x - b_0 \zeta_2)}{2a_1} - \frac{(x - b_0 \zeta_2)^3}{2a_1^3} \right\} \quad (b_0 \zeta_2 < x < a_1 + b_0 \zeta_2) \quad (4a)$$

$$p(x) = p_{b1} \left\{ 1 - \gamma_1 \left(\frac{x - b_0 \zeta_2 - a_1}{b_0 - b_0 \zeta_2 - a_1} \right)^2 \right\} \quad (a_1 + b_0 \zeta_2 < x < b_0) \quad (4b)$$

$$p(x) = p_{b2} \left\{ \frac{3(x - b_0 \zeta_2)}{2a_2} - \frac{(x - b_0 \zeta_2)^3}{2a_2^3} \right\} \quad (-a_2 + b_0 \zeta_2 < x < b_0 \zeta_2) \quad (4c)$$

$$p(x) = -p_{b2} \left\{ 1 - \gamma_2 \left(\frac{x - b_0 \zeta_2 + a_2}{b_0 + b_0 \zeta_2 - a_2} \right)^2 \right\} \quad (-b_0 < x < -a_2 + b_0 \zeta_2) \quad (4d)$$

ここで、 $p(x)$ はせん断流(N/mm)、 p_{b1} 、 p_{b2} はせん断流の最大値(N/mm)、 a_1 はガセット中央から斜材下端

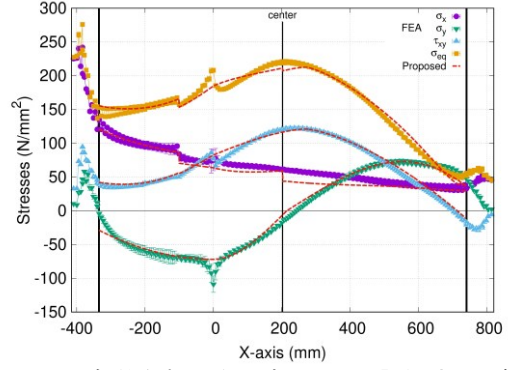


図-4 一般的な軸力作用時の FEA と評価式の比較

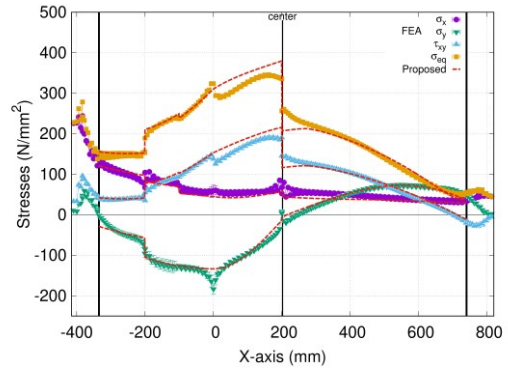


図-5 減肉が生じた場合の FEA と評価式の比較

までの距離(mm)、 a_2 はガセット中央から垂直材軸線までの距離(mm)、 ζ_2 は斜材・垂直材の差込み深さによる応力分布の変化に対応するための未定係数である。 p_{b1} 、 p_{b2} は力のつり合い条件により算出する。垂直応力 σ_y は $\sigma_y = p(x)/t(x)$ により求め、 σ_x は算出した τ_{xy} と σ_y を含む力のつり合い条件により算出する。

3. 評価式の妥当性の検証

3.1 解析モデル

ガセット下弦材直上部の応力分布は、斜材の角度や、斜材・垂直材のガセットへの差込み深さにより変化する。そこで、これらの違いによる応力の変化を確認するために、斜材の角度4種と、角度ごとに差込み深さを3段階変化させた計12種類の格点について検討を行う。モデルは、下弦材一体形式のガセットプレートとそこに接続するトラス材の一部をモデル範囲とし、3節点シェル要素を用いる。範囲は、格点部を中心とした半径 $L=2.5m$ とする。要素の大きさは、下弦材直上部で約10mmとし、フィレット部はより細かく、下弦材直上部から離れるほど粗く分割する。

3.2 パラメータの検討

FEAと評価式の応力分布を比較した結果、各パラメータは以下の値、または式により決定することとする。

$$\alpha = 0.5, \beta = 0.11n_1, n_1 = 0.0031(c_1 \sin \theta - h_u) + 0.6447,$$

$$\zeta_1 = 0.006(c_1 \sin\theta - h_u) - 0.0255, n_2 = 0.009, \gamma_1 = 0.5, \\ \gamma_2 = 0.6, \zeta_2 = 0.0006c_2 + 0.1617$$

ここで、 c_1 は斜材の差込み深さ(mm)、 θ は斜材軸線と下弦材軸線の間の角度、 c_2 は垂直材の差込み深さ(mm)である。

3.3 FEA と評価式の比較

一般的な軸力作用時として、引張力 N_0 とせん断力 S_0 が2000kNずつ作用した場合のFEAと評価式の比較について図-4に示す。図-4より、評価式とFEAの結果はおおむね一致している。

垂直材軸線から左右に200mmの範囲に板厚減少が発生した場合のFEAと評価式の比較について図-5に示す。図-5より、板厚変化位置周辺では評価式とFEAの応力に誤差が生じているが、分布はおおむね一致している。

4. 結論

提案した評価式を活用することで、プラット形式ガセットの下弦材直上部の応力を有限要素解析に頼ることなく評価することができる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書（I 共通編・II 鋼橋編）・同解説，丸善，2017.
- 2) 本州四国連絡橋公団：トラス構造設計要領(案)，1993.
- 3) 岩崎ら：腐食減肉の生じたトラス橋の下弦材直上ガセット部の応力評価と維持管理方針の提案，土木学会論文集 A1, Vol74, No.1, 2018.