

3. トラス構造物

3.1 はじめに

トラス橋の特長の一つは、比較的小さな部材を組み立てることにより大きな剛性を持つ橋を構築することができ、輸送・架設の制約が少ないことが上げられる。したがって、古くから多用されるとともに研究・工夫が加えられ、さまざまな形の鋼トラス橋が架けられてきた。しかし、プレートガーダー橋に比べて部材数・溶接延長が多く、格点構造が複雑であるため比較的製作工数が多く、大型架設機器の進歩や走行性・景観性・維持管理性のニーズから、最近では他の形式に押され気味である。

したがって、トラス橋に関する設計法や細部構造については古くからの研究により既に確立された感があり、現道路橋示方書・同解説（以下、道示）の形が出来上がった昭和 55 年以降の研究・開発は、本州四国連絡橋建設に伴うものがほとんどである。また、現道示において、参考資料として鋼道路橋設計便覧¹⁾（以下、便覧）が随所にあげられているが、そもそも両者の守備範囲が明確ではなく、便覧の中には道示のみなし仕様とした方がよいと思われる内容も数多く見受けられる。

そこで、現道示に不足していると考ええるもの、変更した方がよいと考える以下の項目について記述する。

- (1) トラス格点部の二次応力
- (2) トラス格点部の継手構造の設計
- (3) ガセットの板厚と補剛材
- (4) トラスの弦材、腹材のかど溶接
- (5) ポニートラスの上弦材の面外座屈
- (6) トラスの安定
- (7) 橋軸方向地震力に対する支承付近の主構応力

なお、トラス圧縮部材の極限強度と設計法については、座屈設計ガイドライン²⁾に詳しく述べられているため、ここでは割愛する。また、最近のトラス構造の一つとして複合トラスの研究があるが、むしろ PC 箱桁橋に分類されるものと考え、ここでは取り上げないものとする。

3.2 トラス格点部の二次応力

道示の二次応力の規定は注意事項だけであり、本州四国連絡橋公団が発行しているトラス構造設計要領（案）³⁾（以下、本四）の以下の規定をみなし仕様とすることが望ましい。

- (1) トラス部材の腹材高がトラスパネルの間隔の $1/10$ を超える場合には、二次応力を考慮した断面力によって部材断面を照査するのを原則とする。
- (2) 二次応力を考慮した場合の許容応力度は、10%の割増しを行ってよい。

これは、部材の幅長比が比較的小さい部材 ($h/l < 1/10$) を用いた通常のトラスでは、二次応力は一次応力の 5~25%程度であり、一般のトラス橋では剛性の増加、床組・横構等の二次部材による共同作用等のため、一次応力が計算値の 70~90%に減じられ、二次応力を無視した計算でも十分安全と考えられるためである。

部材幅長比の大きい場合には、二次応力の比率が増大するため、二次応力を考慮した設計を行うのがよい。二次応力と一次応力を重ねて検討する場合には、諸外国の規定を参考に、許容応力度を割増して考えることができるとした。

しかし、二次部材が期待できない場合や、解析値の精度向上を別途行っている場合等については、許容応力の割増しは行わないことが望ましい。具体的には、PC床版等を用いて縦桁、横桁、横構等を省略したり、立体解析やFEM解析により主構の設計を行っている場合である。

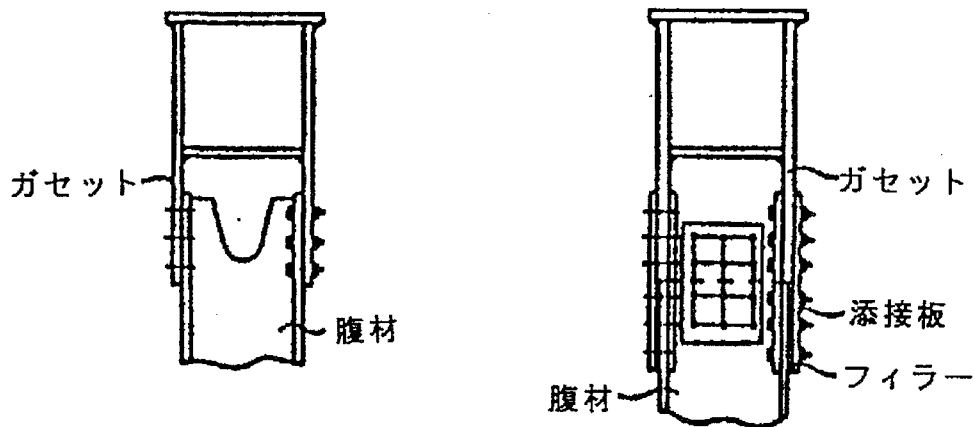
3.3 トラス格点部の継手構造の設計

トラス格点部は密閉構造となり、特殊な継手設計が必要である。本四等での成果を折り込み、設計者に問題点を把握させる必要がある。また、格点構造は橋梁だけではなく汎用性があるため、本四の規定をみなし仕様とすることが望ましい。

(1) 腹材とガセットの連結方式には図 3.1 に示すように、

- a. さし込み式
- b. 突き合わせ式

の 2 通りがあるが、疲労の影響等を考慮し、一般的にはさし込み式を用いるのを標準とする。



a. さし込み式

b. 突き合わせ式

図 3.1 腹材とガセットの連結方法

(2) 以下に示すような場合には、突き合わせ式を用いるのがよい。

- a. 腹材の軸力が大きく、腹材のフランジとガセットの連結のみではボルト本数が著しく増大する場合。
- b. 部材の架設順序より、腹材のガセットへのさし込みが困難と予想される場合。

(3) さし込み式の連結構造は、腹材のフランジとガセットプレートをボルトで連結するのを標準とする。したがって、腹材のウェブを流れてきた応力は、いったんフランジに移ってそれからボルトを介してガセットに伝達されることになり、継手部においては、局部的に応

力が集中することが予想される。また、腹材が箱形断面の場合に材端でウェブを絞ってH形断面とした場合には、フランジの板厚が薄いと局部座屈が生じるおそれがある。したがって腹材のフランジが薄く応力に余裕がない場合には、フランジを材端部で増厚するのがよい。(図 3.2) また、ウェブ応力がフランジに流れる伝達範囲は、図のように勾配 40% ($\theta=22^\circ$) と考えてよい。

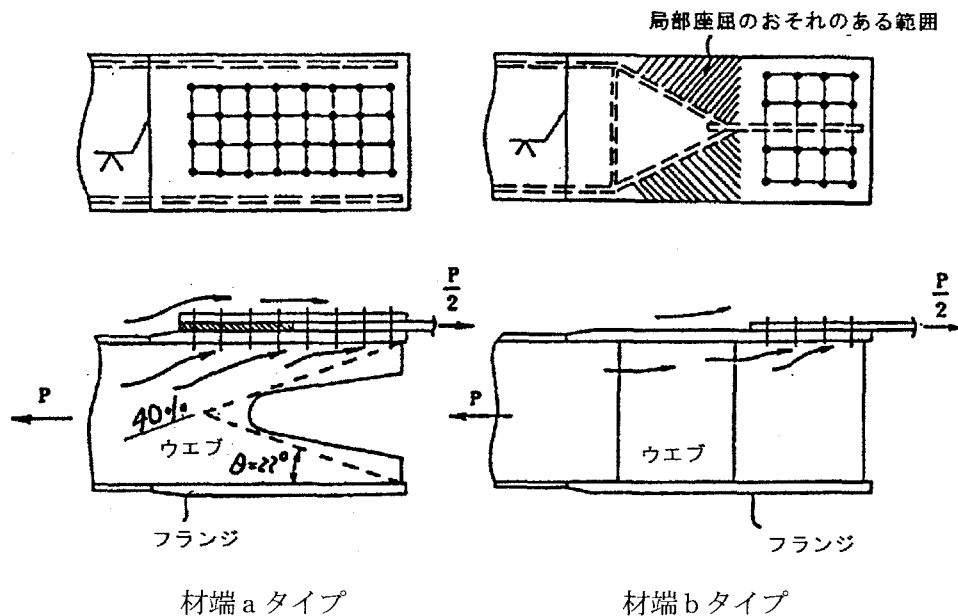
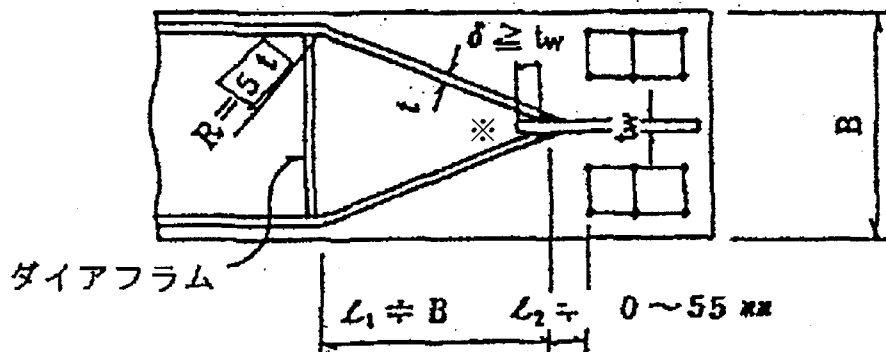


図 3.2 材端における力の流れ

なお、箱断面の材端 b タイプは下図を標準とする。



※部は溶接しない。

図 3.3 腹材の腹板のしぼり込み形状

3.4 ガセットの板厚と補剛材

道示のガセットの規定は、解説において、「もともと SS41 に対する 20 という数値の根拠も明確な理論から定めたものではなく、」と述べられており、本四の規定をみなし仕様とすることが望ましい。

また、ガセットの自由長が長くなると、圧縮応力が作用する場合には局部座屈に対してかなり危険であり、補剛材要否の照査が必要である。

- (1) ガゼットの板厚は，(3)に規定する算定式によって算出された値以上，かつ**9mm**以上とする。
- (2) ガゼットプレートの板厚は，前項を満足するほかに，
- 添接ガゼット形式格点では(4)で規定する算定式により算出された値以上とする。
 - 一体構造形式格点では，(5)で規定する式により合成応力の照査を行わなければならない。
- (3) 添接ガゼット形式および一体構造形式の両形式において，部材の両面にガゼットプレートを使用する場合には，ガゼットプレートの板厚は，式(3.1)を満足しなければならない。

$$t \geq \frac{P_i \times 10}{b_e \cdot \sigma_a} \left(\frac{1}{2} + \frac{I_w}{A_w} \cdot \frac{1}{b^2 + d^2} \right) \quad (3.1)$$

- t : ガゼットの厚さ (cm)
 P_i : 腹材軸力 (kN)
 b_e : ガゼット有効幅 (cm)
 $b_e = b + 0.8d$
 b : ボルト群の幅 (cm)
 d : ボルト群の長さ (cm)
 I_w : トラス面内についての
 腹材の断面2次モーメント (cm⁴)
 A_w : 腹材断面積 (cm²)
 σ_a : ガゼット材の引張許容応力度 (N/mm²)

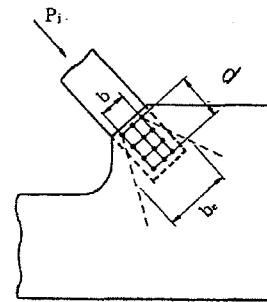


図 3.4

なお，一格点に多数の腹材が連結する場合は，各々の腹材に対して板厚を計算し，そのうち最大となる板厚を用いなければならない。

- (4) 添接ガゼット形式格点のガゼットプレート板厚は，式(3.1)を満足するほかに，式(3.2)を満足しなければならない。

$$t \geq \frac{3 \times 10}{4} \cdot \frac{\sum P_i \times \cos \theta_i}{B \cdot \tau_a} = \frac{3 \times 10}{4} \cdot \frac{|P_R - P_L|}{B \cdot \tau_a} \quad (3.2)$$

- t : ガゼットの厚さ (cm)
 P_i : 腹材軸力 (kN)
 P_L, P_R : 弦材軸力 (kN)
 (図示の方向を正とする)
 θ_i : 弦材と腹材のなす角度
 n : 一格点に集まる腹材の数
 B : ガゼット幅 (cm)
 τ_a : ガゼット材の許容せん断応力度 (N/mm²)

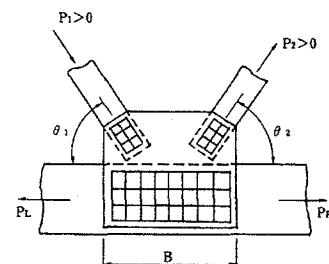


図 3.5

- (5) 弦材の腹板とガセットを一体化する構造で、かつ部材両面にガセットを用いる場合、その各々のガセットの板厚は、式 (3.1) により求め、次式 (3.3) により合成応力を照査するものとする。

$$\sqrt{3(k \cdot \tau)^2 + \sigma_0^2} \leq 1.2 \sigma a \quad (3.3)$$

$$\tau = \frac{\sum P_i \times \cos \theta_i \times 10}{2 \cdot B \cdot t}$$

$$= \frac{|P_R - P_L| \times 10}{2 \cdot B \cdot t}$$

$$\sigma_0 = \frac{P_R \times 10}{A_C + A_G} \quad (P_R > P_L \text{としたとき})$$

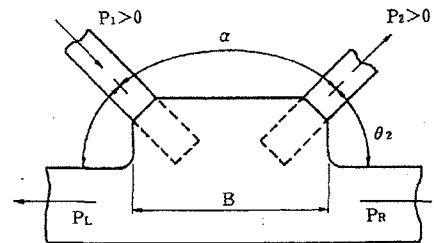


図 3.6

A_C : 弦材総断面積 (cm²)

A_G : ガセットの断面積 (cm²)

P_R, P_L : 弦材軸力 (kN) (図示の方向を正とする)

P_i : 腹材軸力 (kN)

k : 図 3.6 に示す両腹材間の角度 α° およびトラス形式により表 3.1 に示す値とする。なお、中間の角度の場合には、直線補間で求める。

表 3.1 腹材間の角度 α とトラス形式による k の値

ブラット格点		ワーレン格点	
α°	k	α°	k
30°	2.0	60°	1.8
45°	1.8	90°	1.6
60°	1.6	120°	1.4

- (6) ガセットプレートの自由長 l が、表 3.2 に示す値以上の場合の自由辺縁端部は、自由辺をリブの付いた柱として、 l/r が 60 程度に入るようなリブで補強するものとする。このとき、ガセットプレートの有効幅は $12t$ とする。

表 3.2 補剛材を必要としない l/t の上限値

鋼種	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SMA490	SM570 SMA570	HT690	HT780
l/t	60	52	49	43	38	35

ここに、 t : ガセットの厚さ

- (7) ガセットプレート内部において図 3.7 に示す l' が、表 3.3 に示す値以上の場合には、腹材軸力による局部座屈に対して適当な補強を行うものとする。

表 3.3 補剛材を必要としない l'/t の上限値

鋼種	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SMA490	SM570 SMA570	HT690	HT780
l'/t	27	23	22	19	17	16

ここに、 t : ガセットの厚さ

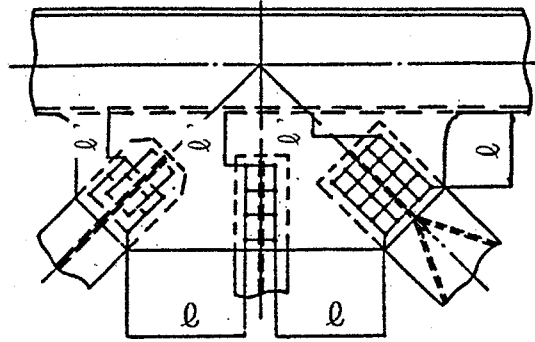


図 3.7 l と l' のとり方

3.5 トラスの弦材、腹材のかど溶接

道示には、すみ肉溶接の規定はあるが、トラスの弦材、腹材の形状保持と応力伝達に必要なかど溶接および格点部のかど溶接の規定がない。そこで、本四の規定をみなし仕様とする。

- (1) レ形溶接の開先形状は溶接条件を考慮して決定する。なお、必要に応じて J 形開先を用いるのがよい。

レ形溶接ののど厚 a は次式に示す寸法を標準とする。

$$t_1 \geq a \geq \sqrt{2 \cdot t_2} \quad (3.4)$$

ここに、 t_1 : 薄い方の板厚(mm)

t_2 : 厚い方の板厚(mm)

- (2) 一体構造形式格点における弦材のガセットプレート側かど溶接のサイズ (のど厚) は、下記の式を満たすものとする。ただし、式(3.5)または式(3.6)の適用は、ガセットのフィレット端より弦材高さの 1/2 の距離までとする。(図 3.8)

1) すみ肉溶接の場合

$$t_1 \geq S \geq \sqrt{2 \cdot t_2} \quad (3.5)$$

$$t_1 \geq S \geq \sqrt{2} \cdot (0.2 t_f) \quad (3.6)$$

ここに、 S : すみ肉溶接のサイズ (mm)

t_1 : 薄い方の板厚(mm)

t_2 : 厚い方の板厚(mm)
 t_f : フランジの板厚(mm)

2) 部分溶け込みグルーブ溶接の場合

$$t_1 \geq a \geq \sqrt{2 \cdot t_2} \quad (3.7)$$

$$t_1 \geq a \geq 0.26 t_f \quad (3.8)$$

ここに, a : のど厚 (mm)

3) 1)および2)において, 内・外両側に溶接する場合は, それぞれののど厚の合計を a とする.

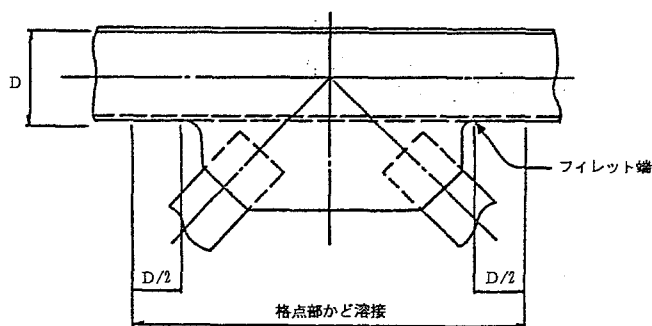


図 3.8 格点部かど溶接の適用範囲

3.6 ポニートラスの上弦材の面外座屈

ポニートラスの上弦材の面外座屈については, U形フレームによる支持点において横方向にばね支持された圧縮材として座屈安定性を照査しておくべきである 4)。

図 3.9 に示すようなポニートラス上弦材の面外の有効座屈長 l は, 式(3.9) によって求めることができる。

$$l = \left(\frac{\lambda_0 + 1.8}{X_v^{0.4}} \right) a, \quad l \geq a \quad (3.9)$$

$$\lambda_0 = \frac{1}{\pi} \frac{a}{\gamma} \sqrt{\frac{F}{E}}$$

a : U型ラーメン間隔

γ : 上弦材の鉛直軸まわりの断面 2 次半径

F : 鋼の材料強度の規格値

E : 鋼のヤング係数の規格値

x_v : ポニートラスの U 形ラーメン剛性を評価するパラメーター

$$X_v = \frac{K_v a^3}{E I_c}$$

I_c : 弦材の鉛直軸に関する断面 2 次モーメントで中央上弦材の値

$$K_v = \frac{1}{\frac{h_1^3}{3E I_v} + \frac{bh_2^2}{2E I_b} + fh_2^2}$$

h_1, h_2 : それぞれ図 3.9 に示す U 形ラーメンの高さ

I_v, I_b : それぞれ垂直材および床ばりの断面 2 次モーメント

f : 垂直材と床ばりとの連結部の撓性係数で、

無補剛の端板や山形剛を介してボルトにより連結する場合 ;

$$0.5 \times 10^{-8} \text{rad/N} \cdot \text{mm},$$

補剛材付き端板を介してボルトにより連結する場合 ;

$$0.2 \times 10^{-8} \text{rad/N} \cdot \text{mm},$$

連結部を十分補強し溶接またはボルトにより連結する場合 ;

$$0.1 \times 10^{-8} \text{rad/N} \cdot \text{mm}$$

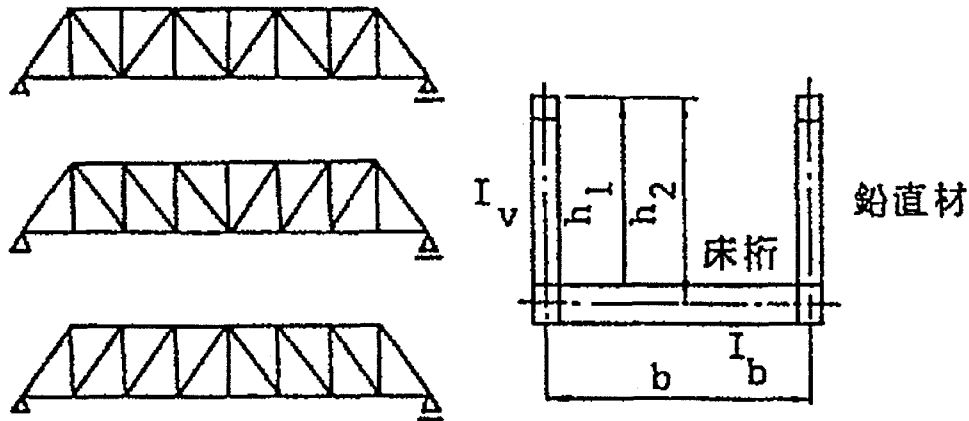


図 3.9 ポニートラスの主構形式と断面

3.7 トラスの安定

道示においては、トラスの全体座屈に対して注意喚起と便覧参照の表記になっているが、便覧において力学的性状の考え方の一つが述べられており、要求性能とみなし仕様として以下の表記が望ましい。

- (1) トラスは全体座屈に対して安定でなければならない。
- (2) $L/B < 30$ (L : 支間長, B : 主構間隔) の場合は全体座屈に対して安定であるとみなしてよい。

3.8 橋軸方向地震力に対する支承付近の主構応力

支承に取り付く格点部に要求される性能として、橋軸方向地震力が作用したときに生じる偏心曲げ

モーメントに対する抵抗が必要であるが、道示においては規定されていない。便覧にその照査方法が提案されており、それをみなし仕様とすることが望ましい。

- (1) 支承に取り付く格点部は橋軸方向地震力に対して安全でなければならない。
- (2) (3)により照査された場合は(1)の性能を満たしているとみなしてよい。
- (3) 図 3.10 のように支承に取り付く格点に集まる部材とその部材の反対側格点相互をつなぐ部材に限った構造系を取り出したうえ、格点曲げモーメントを近似的に各部材の剛比によって分配して応力照査を行う。たとえば、部材 AB に作用する曲げモーメントは式(3.10)と考えるものとする。

$$M_{AB} = \frac{k_1}{\sum_{i=1}^4 k_i} M \quad (3.10)$$

$$k_i = \frac{E I_i}{l_i}$$

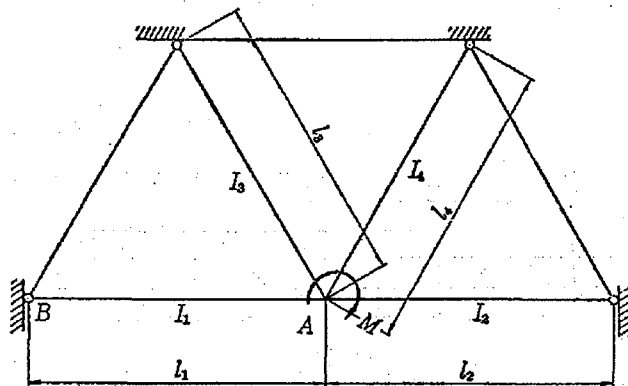


図 3.10 地震時にトラス格点部に加わる曲げモーメントの計算法

参考文献

- 1) 日本道路協会，鋼道路橋設計便覧，1970.8.
- 2) 本州四国連絡橋公団，トラス構造設計要領（案），1993.9.
- 3) 土木学会，座屈設計ガイドライン，1987.10.
- 4) 土木学会，鋼構造物の終局強度と設計，1994.7.