

# 鋼管構造接合部の局部変形

(トラスの節点について)

大阪大学工学部 東 郷 武

鋼管は、座屈と振りに強く、しかも、近年の溶接技術の発達と、自動切断機の開発により、接合法が比較的容易になったことなどによって、急速に構造材としての脚光を浴びるようになった。特にトラス形式の骨組の部材として、鋼管は理想的な断面形を持つので、鋼管価格の増高を考えた場合、この種の骨組は、従来の型钢による骨組よりも、経済的に有利であることが実証されており、今後、ますます増加するものと思われる。

ところが、最近建設されている鋼管構造は、大部分、比較的薄肉の鋼管（管外径/管厚-20~50）によるものが多く、断面の効率は厚肉のものより有利であるのは当然であるが、管壁が局部変形し易く、接合部では、耐力の低下、あるいは、有害な変形を招くおそれがある。

構造物に使用される鋼管の局部変形については、研究の歴史が浅く、日本よりも早く鋼管構造の発達した諸外国においても、この問題が研究テーマとしてとりあげられてから、数年程度しか経過していない。

鋼管の局部変形は、解析が極めて困難であり、実験的に研究する場合にも、多軸載荷を必要とする場合が多く、しかも関連する parameter の個数が膨大になるので、現在のところ、定量的に満足出来る研究結果はみられないが、鷲尾研究室で行なわれてきた、トラスの節点のみをとり出した研究<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>では、現在の設計法では危険な場合が生じ得ることが明らかになってきた。

定量的に詳しく論じるだけのデータは得られていないが、トラスの節点の力学的性状の傾向を述べて、参考に供したいと思う。

## 1. 節点の偏心と節点の耐力

鷲尾研究室で採用した載荷方法は、図1の如き三軸載荷の装置<sup>(5)</sup>を用いたもので、主管（弦材）の片側は軸力が作用していない。供試体は図2の如く、節点の偏心を三種類に変化させたものである。

節点の耐力は、偏心が負の試験体、即ち  $f = -\frac{D}{4}$  のものが最も大きく、 $f = \frac{D}{4}$  の試験体が最も小さい。但し、支管径（ $d$ ）/主管径（ $D$ ）の大きい試験体は、 $f = -\frac{D}{4}$  の場合、支管の交叉部分が大きくなって、この部分で局部変形を生じ  $f = 0$  の場合よりも耐力の低下する場合は

ある。

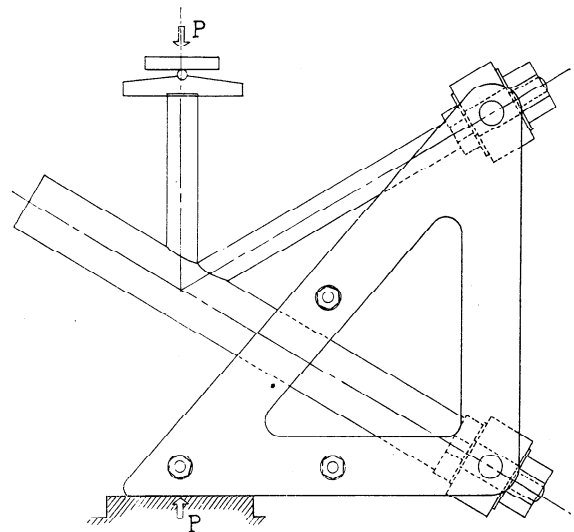


図1 載荷方法

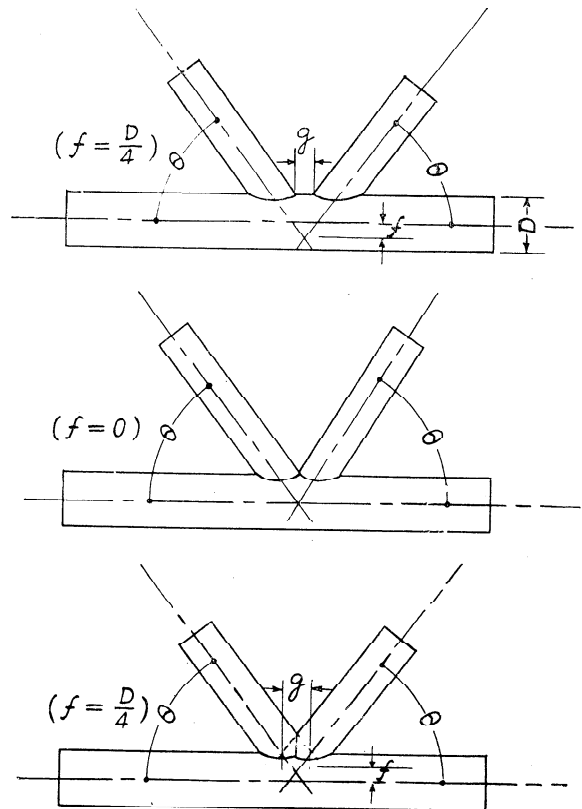


図2 試験体

今、 $g$ の変化による節点の耐力を図上に表わすと、およそ図3の如き曲線になる。図3は、主管の管径 $D$ 、

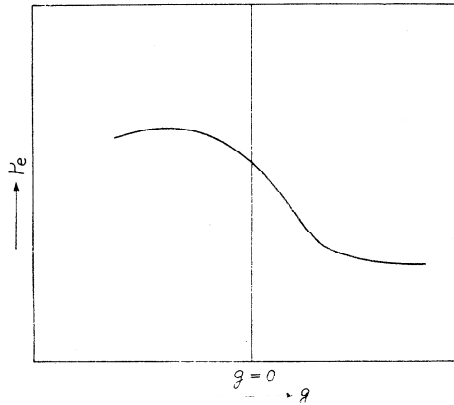
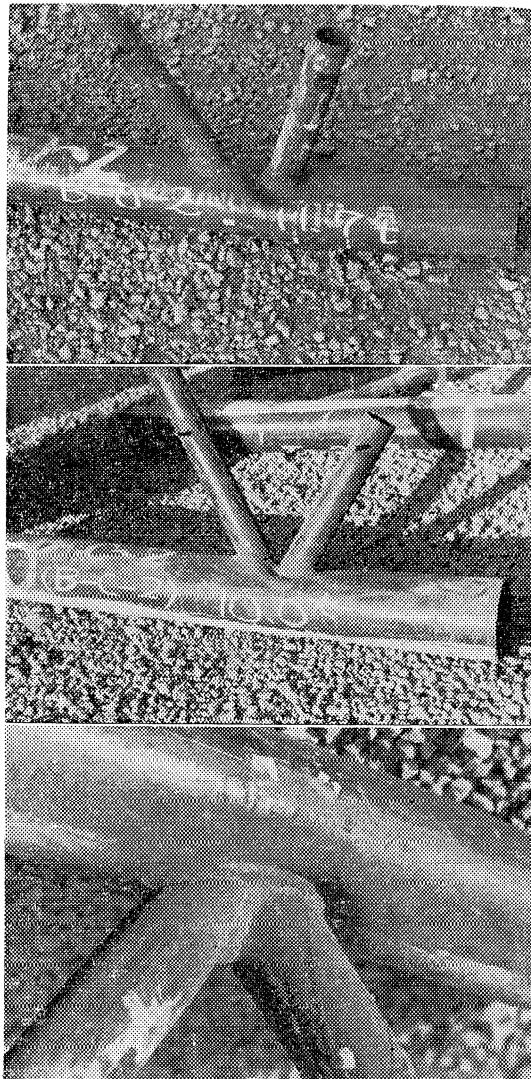


図3 節点耐力と $g$ の関係

管厚 $T$ 、支管の管径 $d$ 、管厚 $t$ 、主管・支管の交角 $\theta$ を一定に保ち、 $g$ のみを変化させた場合である。この図によると、両支管をいくらか交叉させた場合が最も強いこと



写 1

がわかる。Godfrey は、溶接施工上、 $g > 0$  の場合は、 $g > \frac{1}{2}$  が望ましいと述べている<sup>6)</sup>が、図3から、主管の局部変形を防ぐためには、 $g$ は出来るだけ小さい方が望ましいといえる。破壊の形は $f$ の変化によって、写1の如くなる。写真は、主管 $P-101.6\phi \times 3.2$ 、支管 $48.6\phi \times 3.2$ の場合である。尚、上に述べた議論は、全て、トラスの節点部分のみをとり出したものについてであって、節点の偏心によるトラスの二次応力については、別に考えなければならない。

## 2. 主管と支管の管径比について

図3に見るように、 $g$ が正の方向にある程度以上大きくなると、節点は圧縮支管のめり込みによって崩壊し、 $g$ による耐力の変化は小さくなる。このような範囲<sup>7)</sup>の試験体の耐力を、圧縮支管外径( $d_o$ )/主管外径( $D$ )によって図上に表わすと、耐力の実測値のばらつきから考えて、実用上は、図4の如き直線で近似できる( $d_o/D < 0.2$ ,  $d_o/D > 0.7$ の範囲についてはまだわかっていない)。

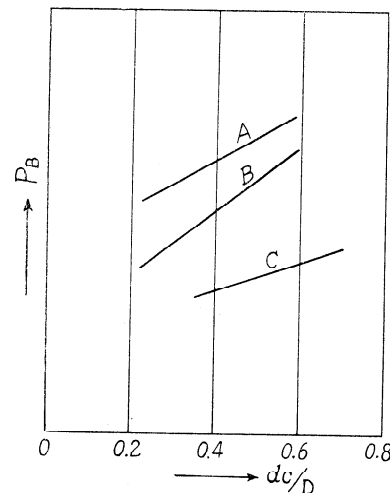


図4 節点耐力と管径比

直線A, Bは、同じ形の試験体で、主管の厚みのみ異なるものである。直線Cは、A, Bに比べて、主管径の小さいものである。これらの直線を

$$P_B = a \frac{d_o}{D} + c \dots (1)$$

で表わすと、 $C$ 常に0より大きく、勾配 $a$ は、 $D/T$ が大きいほど、

いくらか大きくなる。今、圧縮支管の効率を示す一つの目安として、圧縮支管の単位周長当りのめり込み耐力 $\alpha$ を求めると、

$$\alpha = \frac{a}{\pi D} + \frac{c}{\pi d_o} \dots (2)$$

となり、 $a, c$ が一定の場合、 $d_o$ が大きいほど、 $\alpha$ は小さくなる。次に、同じ目的で、圧縮支管の単位断面積当りのめり込み耐力 $\beta$ を求めると、

$$\beta = \frac{\alpha}{t} = \frac{a}{\pi D t} + \frac{c}{A_o} \dots (3)$$

になる。ここに $A_o$ は圧縮支管の断面積である。一般に、市販の鋼管は、径が大きくなれば厚みも厚くなり、従って、断面積も大きくなるので、 $d_o/D$ が大きいほど $\beta$ は

小さくなる。即ち、 $d_o/D$  が小さくなれば、節点の耐力は減少するが、支管の許容耐力も減少するので、効率はかえってよくなることわかる。

「鋼管構造計算規準」<sup>7)</sup> では主管の局部変形を防ぐために  $d_o/D \geq 1/4$  とすることを規定しているが、上に述べた如く、 $d_o/D < 1/4$  であっても、 $d_o/D \geq 1/4$  の場合より効率が低いとは考えられない。

### 3. 主管管厚の変化について

一般に、主管管厚の厚い方が、主管の局部変形は生じ難いが、図4の直線A、Bに見る如く、主管の厚いAの方がBよりも勾配が小さい。従って、 $d_o/D$  が大きくなると、両者の差は、 $d_o/D$  が小さい場合よりも、小さくなっていく。即ち、主管の厚みの変化が、圧縮支管のめり込み耐力におよぼす影響は、 $d_o/D$  の値によって、必ずしも一定ではなく、 $d_o/D$  が大きくなるに従って、影響は小さくなっていく。

換言すれば、 $d_o/D$  が小さい場合は、主管の厚みを増せば、めり込み耐力は飛躍的に増大するが、 $d_o/D$  が大きい場合は、めり込み耐力の増加はそれほどでもないということである。

### 4. 節点のゆるみについて

主管、あるいは両支管交叉部の局部変形は、節点にゆるみを生じる。従って、トラスの撓みは、このゆるみによる影響が、加算されてくる。然し、一般に、剪断変形の大きなトラスは、ラチス材の座屈長が大きく、net section に対してはかなりの余裕があるので、影響はそれほど大きくはないようである。

節点のゆるみは、鋼管による網目状のシェルなどの場合に、等価弾性係数の低下を招き、重大な影響を招くと考えられる。これらの問題については、別の機会に述べる。

### 5. 節点の耐力の実験例

節点の力学的性状の一般的傾向については上に述べたとうりであるが、実験による実測値を示して、耐力低下の大きさについて述べたいと思う。

供試体は図2の通りで、主管に  $P-101.6\phi$  を用い、 $\theta=60^\circ$  とし、主管管厚と支管の種類を変化させたものである。図1の載荷方法による最大荷重を、 $g$ によって図上にプロットし、これらの値を直線で結ぶと、図5の如くである。 $g > 0$  の試験体の崩壊の原因は、大部分、圧縮支管のめり込みによるもので、 $g < 0$  では、引張支管の破断、又は、両支管交叉部の局部変形である。

これらの値を比較するために、節点安全率  $\eta$  によって耐力を無次元化し、これを  $g$  によって図上に表わすと図6の如くなる。節点安全率とは、

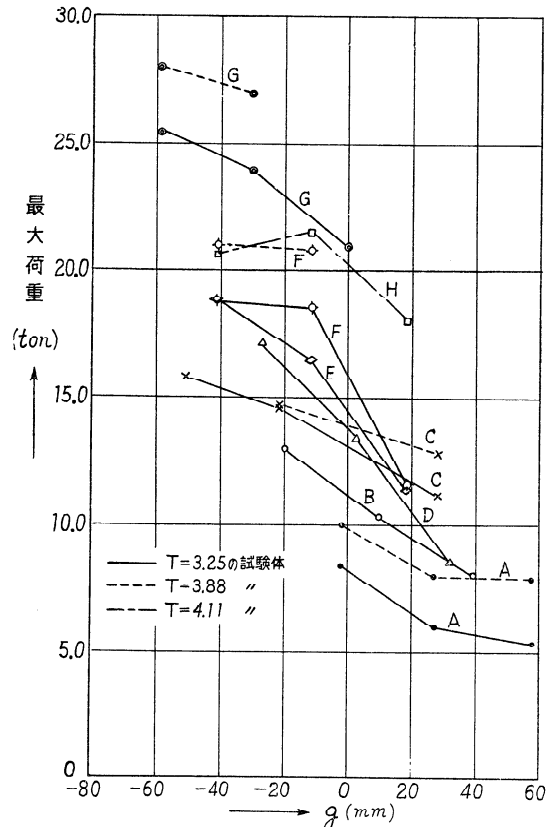


図 5  $g$  と最大荷重

表 1 試験体種類

	主管	圧縮支管	引張支管
A	101.6φ	27.2φ×2.6	27.2φ×2.6
B	〃	42.7φ×2.4	42.7φ×2.4
C	〃	60.5φ×2.6	42.7φ×2.4
D	〃	48.6φ×3.6	48.6φ×3.6
E	〃	60.5φ×2.6	60.5φ×2.6
F	〃	60.5φ×3.2	60.5φ×3.2
G	〃	76.3φ×3.2	76.3φ×3.2
II	〃	60.5φ×2.6	60.5φ×2.6

$$\eta = \frac{P_R}{M_{in}(A_m, A_{bc}, A_{bt})\sigma_{ym}} \quad (4)$$

(4)で表わされるものである。ここに、 $P_R$  は試験体の最大荷重、 $A_m$ 、 $A_{bc}$ 、 $A_{bt}$  はそれぞれ、主管、圧縮支管、引張支管の断面積、 $\sigma_{ym}$  は主管素材の降伏点である。(4)式の分母は、全部材が、主管素材と同じ降伏点を持つと考え、節点の偏心による二次応力、製作誤差等を考慮しない場合(全部材の交角は  $60^\circ$  であるから、この場合は、三部材の軸力が全て等しくなる)の試験体降伏荷重の計算値である。 $\sigma_{ym}$  を基準に選んだのは、主管の局部

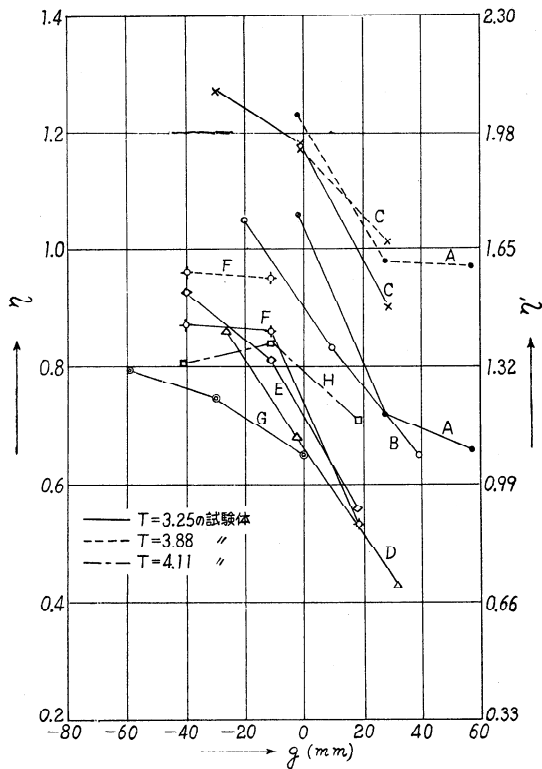


図 6  $g$  と節点安全率

変形が、節点の耐力を低下させる主要な原因であり、しかも、試験体によって、主管素材の機械的性質が異なるからである。

(4)式において、 $\sigma_{ym} = 2.4t/cm^2$  (STK41 に要求される最小の降伏点) とおいた場合の節点安全率を  $\eta'$  とし、この座標を右側に示す。(4)式の  $\sigma_{ym}$  は一定でないので、 $\eta$  と  $\eta'$  は必ずしも対応しないが、ここでは、Hを除いて  $\sigma_{ym}$  はほとんど一定であるので、図6の  $\eta$   $\eta'$  とはH以外は対応している。)

図6によると、 $g > 0$  の試験体E, F, Dを除いて全て  $\eta' > 1$  であるが、 $g < 0$  の試験体A, B, Cを除いて全て  $\eta < 1$  である。一般に電縫鋼管の降伏点は極めて高いので、 $\eta'$  を基準にとれば大部分安全であるが、 $\eta$  を基準にした場合(即ち、素材の降伏点を許容応力度とし

た場合) 極めて危険であると云える。熱間引抜鋼管の場合は、電縫鋼管ほど高い降伏点を期待出来ないので、実用上、問題になると思われる。

試験体Dが、このように低い安全率を示しているのは、支管の管厚 ( $t = 3.60mm$ ) が、管径 (48.6mmφ) の割に、かなり厚いからである。 $g > 0$  の試験体E, Fは、 $\eta'$  を基準にとっても、安全率は1.0より低くなっている。「鋼管構造計算基準」<sup>7)</sup>では、原則として、支管管厚  $t$  は、主管管厚  $T$  よりも薄くすることを規定し、Godfreyは、 $t$  が  $T$  より厚くなければ、局部変形の問題は、実用上、考慮しなくてもよい<sup>6)</sup>と述べているが、本実験から、 $t \leq T$  の場合でも、危険な場合があることがわかる。

もっとも、トラスのラチス材は、座屈に対して断面が決定される場合が多く、net section に対しては、かなり余裕のある場合が多いが、現在の設計法が必ずしも、十分安全な設計方針を与えているとは考えられない。

引用文献

- 1) 鷲尾・黒羽・杏野・三好「鋼管トラス節点の研究(その1)」日本建築学会論文報告集第69号(昭36. 10),
- 2) 鷲尾・黒羽・東郷「鋼管トラス節点の研究(その2)」日本建築学会論文報告集第84号(昭, 38, 4)
- 3) 鷲尾・黒羽・東野「鋼管トラス節点の研究(その4)」未発表
- 4) 大和ハウス技術レポート No.1. (1962)
- 5) Westdeutschen Mannesmannröhren Aktiengesellschaft: "Grundlagen für den Bau und die Fertigung geschweißter Rohrkonstruktionen" (1948)
- 6) G. B. Godfrey, "Toints in Tubular Structures" The Structural Engineers, (April, 1959)

文献

- 1) 金谷弘「鋼管分岐継手の局部変形」日本建築学会論文報告集第89号(昭, 38, 9)
- 2) 藤本・阿部・佐藤「鋼管接合部の局部応力並びに局部変形(第1報)」日本建築学会論文報告集第89号(昭, 38, 9)
- 5) A. A. Toprac, "Tubular Connections: A Review of Stress Analysis and Design" International Institute of Welding Commission XV (June, 1963)
- 4) 総合建築(建築と鋼管), (1963, 陽春号)
- 5) 大和ハウス技術レポート No.3 (1963)