

Title	溶接トラス節点に関する研究
Author(s)	黒羽, 啓明
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/28798
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏名・(本籍)	黒羽啓明 くろばねよしあき
学位の種類	工学博士
学位記番号	第 6 2 5 号
学位授与の日付	昭和 4 0 年 3 月 1 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
学位論文題目	溶接トラス節点に関する研究 (主査)
論文審査委員	教授 鷺尾 健三 (副査) 教授 安宅 勝 教授 奥島 正一 教授 足立 孝 教授 伊藤 富雄 教授 伊藤 克三 教授 寺沢 一雄 教授 渡辺 正紀

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は鉄骨建築構造物に於ける溶接トラス節点の力学的な性状に関する研究をまとめたもので、次の3篇からなっている。

第1篇 リップ溝形トラス節点に関する研究

第2篇 部材相互を直接溶接した鋼管トラス節点に関する研究

第3篇 スプリットT形鋼溶接トラス節点に関する研究

これら3篇の研究に共通な研究目的、及び研究方法を挙げると次の通りである。

- トラス節点は多くの部材が結合された複雑な形状の継手であり、一般に、この継手には、各々の部材によって多軸の軸方向力が加えられる。この様な複雑な継手の力学的な性質を調べるためには、実際のトラス節点と同じ状態のもとで実験を行なうことが重要な研究方法であると考えられ、更に、この様な実験的な方法によらなければ、トラス節点の実際の力学性状が分らない部分が多い。それにもかかわらず、上述の様な研究方法による研究は、これまでほとんど行なわれておらず、トラス節点の慣用の設計方法には、多くの疑問点が見出される。

そこで、この研究では、実際のトラス節点と出来るだけ同様な形状、応力状態を再現した実験に基づいた実験的な方法により、節点の性状を調べることにした。この様な実験を行なうために、特別の節点加力装置を試作して使用した。なお、この研究方法は大阪大学教授、鷺尾健三博士の御提案によるものであり、また、加力装置はドイツの Maunsmuurohren A.G. で行なわれた実験に用いられたものを参考として考案したものである。

- この研究の目的は、経済的なトラス構造物を作るための、節点の最も合理的な設計方法を見出す

ことである。そのためには、節点の力学的性能だけでなく、加工の信頼性や経済性についても、崑に考慮を払うことが必要であろう。そこで、この研究では、トラスの部材としての性能、節点自体の性能、節点の加工条件等をあわせて念頭においた上で、出来るだけ合理的で、かつ実用的なトラス節点をとり挙げることを試みた。また、加工の難易性や加工費に関する調査も出来るだけ行なうことにした。

- 3 実験的に求められた節点の耐力、変形を表現する方法としては、「骨組としてのトラス」の耐力、変形に対応させ得る量として表わすのが便利であると考えられる。そのために、節点効率、節点のゆりみ量（いずれも無次元の量）等による表わし方を新しく考案した。
- 4 この研究では、トラス節点のうちでは最も簡単でかつ代表的と考えられる「1本の真直ぐな弦材に2本のラチス材が集まり、両ラチス材が引張、圧縮を受ける節点」に限ってとり挙げることにした。

この研究の第1篇は、弦材及びラチス材にリップ溝形鋼を用いたトラスの節点をとり扱ったもので、この様な節点で、出来るだけ加工の簡単な数種類の節点の設計を試み、これらの力学性状を調べることにより、最も適切な節点の形を見出そうとしたものである。

軽量形鋼のトラス節点では、ラチス材の軸方向力が弦材の薄い板の部分に Platten 的な荷重として加わり、このために、薄い板の局部的な曲げ変形によって、節点の剛性、耐力が低下することが多く、これは薄板断面材の継手の特徴の1つと云える。しかしながら、最初に試みた弦材にラチス材を直接溶接接合する設計では、その設計方法によって必然的に生じた節点の偏心のために、節点に集まる各部材の端部が曲げ変形を生じて節点が破壊し、その節点効率は45%程度にすぎない。この節点では、弦材フランジのラチス材が直接溶接された部分に、予想された様な局部変形を生じる。しかし、この局部変形に対する補強を付加しても、節点の剛性は増加するが、その耐力は僅かしか増加しない。そこで、ラチス材が溶接される位置の弦材の薄い板の部分の板厚を直接増す様な、比較的小型の補強板を用いて、節点の偏心をなくした設計を試みた結果、節点効率はおよそ100%になり得ることが分った。そして、この設計によれば、加工は比較的容易で、かつ、溶接施工条件の偏差が節点の力学的性能にあまり影響を与えないことが認められた。

以上の研究によって、上述の如き局部変形と節点の剛性と耐力との関係も、この変形に対する適切な補強方法などに関して、若干の重要な性質を見出すことが出来た。

第2篇は、各部材をそれぞれの相貫線に沿って直接溶接して作られた鋼管トラス節点に関する研究である。この形式の節点では、節点に集まる各部材の断面形、これらが結合されるとき材端の位置の関係、各部材の部材応力の比率等の非常に多くの組合せが考えられ、また、それらが実際に使われている。これらの組合せの変化によって、すなわち節点の形と荷重状態の変化によって節点の力学的な性質が変化する。更に、材端の溶接条件、管中に充填されたコンクリート等が節点の性質に与える影響についても考慮を払う必要がある。この研究は上述の様な節点の設計、加工上の諸条件によって変化する力学性状を、約180ケの試験体によって実験的に調べたものである。この実験の結果導き出された結論の概要は次の通りである。

鋼管トラス節点の破壊の直接の原因と考えられる節点の変形を、次の3つの形態に分類することが出来る。

- 1 溶接部近傍の管壁の局部的な曲げ変形
- 2 引張支管の切断
- 3 圧縮支管の局部座屈

このうち、2、3項の形態で破壊する時の節点の耐力は、支管の軸方向応力との間に一定した関係がみられ、支管自体の耐力によって決せられる場合である。しかし、1項の形態で破壊する時の節点の耐力は、節点細部の形や部材応力の変化によって複雑に影響される。節点自体が破壊するのは、必ずこの局部変形が過度に大きくなる場合であるから、この局部変形の性質は、節点の耐力、剛性を調べるために重要な問題と考えられる。

局部変形の形を調べると、弦材管壁の曲げ変形が著しいことが分る。従って、当然この変形によって破壊する節点の耐力は、弦材管壁の剛性によって著しく変る。弦材の壁厚を増加するか、弦材管中にコンクリートを充填すると、節点の耐力は増し、節点のゆるみは小さくなる。

この研究では、この試験体の様な小径管では出来るだけ薄肉で、かつ、中空の管を標準の弦材管と決めて、この標準の弦材管をもった節点に対して、弦材管の壁厚の変化以外のいくつかの要因が節点の性状に反ばす影響を調べることにした。実験の系統をこの様にした理由は、弦材管壁が薄いほど、弦材の部材としての効率は向上するが、これに反して、節点自体の耐力は小さくなり、より危険な場合となると考えたことである。

標準の弦材管をもつ節点で、その耐力に及ぼす影響の大きい要因の1つは、引張、圧縮両支管の溶接継目の間の隙間（最短距離） g である。 g が充分大きい時には、局部変形の形状は弦材管壁部分の曲げ変形だけが著しく、支管管壁の変形はほとんどみられない。この範囲では g の変化によって節点の耐力は余り変化しない。しかし、 g がある一定限度以下に小さくなり、支管どうしが相貫する様になると、節点の耐力は急に上昇し、かつ、局部変形は支管管壁にもみられる様になる。

節点の耐力に大きい影響を及ぼす要因の第2は、圧縮支管の管径 d である。 d が大きくなると節点の耐力は増加する。しかし、圧縮支管の壁厚を一定に保ったまま、 d を増加させると、圧縮支管の断面積も増加するので、節点の耐力を圧縮支管の材軸方向耐力に対する比率（圧縮支管の継手効率）の形で表わすと、この値は d が増加するほど小さくなることは注意を要する。

上述の g 、 d 以外の部分の寸法の変化が節点の耐力に及ぼす影響は、 g が大きな範囲では大きくない。部材の交角が変っても、節点の耐力を、圧縮支管の軸方向力の弦材に垂直方向の分力によって表わすと、交角の変化の影響は小さい。一方、 g が小さい範囲では、圧縮支管の壁厚、部材交角等が節点の耐力に及ぼす影響はかなり大きい、これらの間の一定した関係は未だわかっていない。

g 、 d のみを変数として節点の耐力 P を与える実験式を求めてみた。この実験式は g の大きい範囲では精度がよいが、 g の小さい範囲では精度が悪い。 g が小さく、支管どうしが相貫する節点では、節点の耐力に大きい影響を及ぼす要因の数が多いので、本実験の範囲では、この様な節点の性状の全ぼうは充分明らかでない。この問題の解明は将来に期したい。

上の様な局部変形耐力は、弦材に働く材軸方向応力によっても影響を受ける。特に圧縮応力が大きい節点では、耐力が20~30%低くなることが確められた。

引張支管の切断によって破壊する節点の耐力は、引張支管の全引張耐力に関係した量となり、節点

効率が100%となる場合である。しかし、この耐力は節点に於ける偏心量によっても影響され、この影響の程度は、節点に集まる各部材を骨組として取り扱って考察した結果とも一致することが確認出来た。ここで注意すべきことは、引張支管溶接部が亀裂を生じることによって節点が破壊したと考えられる場合はほとんどなかったことである。従って、この実験の範囲では、節点溶接部の施工程度の変化は節点の耐力に影響を与えなかった。

節点の局部変形耐力が一定限度以上になる節点（すなわち、圧縮支管の圧縮応力が一定限度以上になる節点）では、圧縮支管の局部座屈を生じる場合がある。この局部座屈耐力には、上述の如き圧縮支管自体の圧縮耐力以外にも、いくつかの影響を及ぼすべき要因が推定される。その1つは載荷方法である。この様に一定の載荷方法に固有に生じる座屈現象であるならば、節点在实际のトラスの一部であるときにも、同様な座屈を生じるかどうかについては疑問が残る。圧縮支管の局部座屈の性状も、なお将来の検討が必要な問題である。

局部変形によって生じる節点のゆるみは、弦材管壁の剛性が小さいほど、2本の支管の相貫線が離れる程著しくなり、高い荷重段階では、通常の長さのラチス材の伸縮量よりも大きくなるがあった。

この篇の最後の部分では、節点の耐力の表わし方の1つである節点効率と、節点が破壊する様なトラスの耐力との関係について考察したもので、この節点効率によって、トラスの耐力の下限値の近似値を与え得ることが結論された。

第3篇は、スプリットT形鋼を部材に用いた溶接トラスの実用、開発を狙いとして、そのための節点の数種類の設計例をとり挙げ、これらの力学性状、加工費用、加工方法を調査研究したものである。その結果、各設計例の節点の力学的な性能、加工費等を考慮した上で、若干の特徴や優劣の程度に関する結論が得られた。なかでも、ラチス材のウェブの一部を切り欠き、フランジにスリットを作って弦材のウェブにはめ込んで直接溶接する設計は、力学的な性能、加工費等の面ですぐれていることが明らかになり、またこれのいくつかの改造案も力学的な性能がよかった。

ラチス材の軸方向力の弦材に垂直方向の分力は、リップ溝形鋼トラス節点、鋼管トラス節点の耐力にも影響を及ぼすことが多いことは前述の通りであるが、本篇のスプリットT形鋼トラス節点の場合では、これの影響により、節点のパネル内で剪断変形を生じ、この変形のために節点が破壊する場合が多かった。剪断変形を生じる節点は、引張ラチス材の切断する節点に比べて、節点のゆるみ量は大きくなり、変形能力は小さくなる。

この剪断変形に対する耐力は、節点の中のフランジの拘束状態によって変り、節点細部の形との関係が深い。この耐力を推定するために、極限解析の考え方に基づいた略算法を考え、これによって節点の剪断耐力のある程度の近似値を得ることが出来た。

節点が薄いガセット・プレートだけで補強されている時には、圧縮ラチス材の溶接部付近で、弦材ウェブや薄いガセット・プレートが局所的な面外座屈を生じることが見出された。これまで、このような現象はあまり注目されていなかったが、節点の設計に際しては注意すべき問題点である。

この研究では、在来の山形鋼鋸接トラス節点の実験を行なった。この種の節点は、スプリットT形鋼のほかの節点に比べて、節点効率はやや低く、せいぜい60~80%で、かつ、その加工費も特に安く

はならないことが分った。この節点は、鉸孔による断面欠損のために、節点効率は80%程度以上とはなり得ない。更に、鉸継手の長さが短かいときには、偏心引張（又は圧縮）によって、全実断面が引張（又は圧縮）力に対して、有効に働かないことが分った。

以上3篇の研究によって、ある限られた範囲内に対してではあるが、軽量形鋼、鋼管、スプリットT形鋼のトラス節点の力学性状を推定することが可能となった。そして、これらの節点のうちから、節点加工の信頼性や経済性をもあわせ考慮した上での、若干の合理的な設計方法を想定することが出来た。

また、この研究によって、トラス節点のこれまで注目されていなかった重要な性質を、いくつか見出すことが出来た。この様に、この研究で始めて見出された性質とは、たとえば、薄肉断面材節点に於ける局部変形や、スプリットT形鋼節点に於ける剪断変形の如く、この実験の様な剪断型の（ラチス材が引張、圧縮となる場合の）荷重を受ける節点に固有な性質が多い。これは、これまで1つの部材の材端の溶接継手や鉸接継手に関する研究のみが多く行なわれており、この研究の様に、節点全体をとり出して、実際の節点と同様な荷重状態で実験的に調べるといふ、当然行なわれるべき研究があまり行なわれていなかったことに原因するものと思われる。

論文の審査結果の要旨

本論文は、溶接トラス節点部分の挙動を、圧縮弦材と引張および圧縮2ラチス材とからなるK形の節点部分を取出したものについて、研究した結果をまとめたもので、序言と3篇（9章）の本文とからなっている。

第1篇「リップ溝形鋼トラスに関する研究」（2章）では、まず、リップ溝形鋼ラチス材をリップ溝形鋼弦材にはめこんで、直接溶接して造ったトラス梁について実験し、周知の慣用トラス解析法に基づいて求めた値に比べて、最大荷重は、平均50%にしか達しなかったが、これは、圧縮ラチス材が圧縮座屈した1例を除き、すべて節点近傍の局部座屈や局部変形などに起因するものであることを確かめ、次いで、著者の工夫した加力装置を使って、圧縮弦材と引張・圧縮2ラチス材とからなるK形の節点部分だけを取出したものについて実験し、前述トラス梁実験と同様、その耐力は、主として節点近傍の局部座屈などによって、慣用トラス解析法に基づく計算値にくらべて著しく低下することを確認し、その比として定義した「節点効率」や、変形について同様の量として定義した「節点のゆりみ」について研究し、また、節点部分の補強方法についても研究し、ラチス材に適当な板厚のエンド・プレートを用いると「節点効率」が著しく改善されることを見出している。

第2篇「部材相互を直接溶接した鋼管トラス節点に関する研究」（6章）では、鋼管寸法・トラス材軸線交点のくい違い・載荷条件・溶接条件などの各種組合せからなるK形節点部分について、著者の加力装置を使って広汎・詳細な実験的研究を行ない、節点効率の低下は、日本建築学会鋼管構造計算規準（昭和37年6月）に示されているような溶接部だけに支配されるものでなく、主として、円筒曲

面である鋼管の局所的な変形に支配されるものであり、鋼管寸法・トラス材軸線交点のくい違いなどが節点効率に大きな影響を持つことも、弦材へのコンクリート充填が有利なことも、ラチス材端の扁平加工が意外に不利であり注意を要することなども、すべて、その根拠をここに求めるべきであることを確め、節点耐力を推定するための実験式を求め、また、節点の崩壊するトラスの終局耐力を求める方法を工夫し、例題をあげて説明している。

第3篇「スプリットT形鋼トラス節点に関する研究」(1章)では、スプリットT形鋼を、部材の組合せと節点加工法をかえて、直接溶接して造った、各種のK型節点部分について、著者の加力装置を使って、詳細な実験的研究を行ない、節点効率は節点部分の剪断変形・局部座屈・ラチス材に対する弦材の振れなどによって著しく低下(最低45%)するものでありこれを妨げる形式の節点がすぐれていることを確め、また、比較のために、在来の山形鋼を鋸接した節点についても実験を行ない、山形鋼で重心線の空間的くい違いなどが大きく影響して、意外に節点効率の低い(平均約63%)ことも確めている。そのほか、節点効率を低下させる上述の原因を説明出来るような節点耐力計算法を工夫し、また、節点加工々数・加工時間などを調べ、加工費を比較している。

本論文は、各種鋼材の溶接トラス節点部分を取り出し、著者の工夫した加力装置を使って、広汎かつ詳細な実験的研究を行なうことによって、在来見逃されていたトラス節点部分の挙動が大きく溶接トラスの耐力を支配するものであることを見出し、耐力低下の原因となるその挙動を明らかにし、溶接トラス節点に対する正しい考え方樹立に寄与する所の大きいものであり、この研究は、また、現在の鋼構造学界で溶接接合部自身の挙動の問題を、1つの重要研究課題たらしめることに大きく貢献したものである。従って、本論文は博士論文として十分価値あるものと認める。