

接合法の違いによる鋼ジョイント近傍の木部材の力学性状

Mechanical properties of timber member near the steel joint due to difference of connection method

今井富士夫*, 村上弥生**, 間瀬英男***, 飯村 豊****, 中澤隆雄*

Fujio Imai, Yayoi Murakami, Hideo Mase, Yutaka Iimura, Takao Nakazawa

* 工博 宮崎大学教授 工学部土木環境工学科 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1)

** 宮崎大学工学研究科博士前期課程 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1)

*** 宮崎ウッドテクノ(〒883-0105 宮崎県東臼杵郡東郷町)

**** 農博 宮崎県木材利用技術センター (〒885-0037 都城市花繰町 21-2)

The members in the timber bridge are connected to steel joint with bolts and the cross sections have a tendency to enlarge. Strain in the timber members near the steel joint is different from the distribution analyzed by the beam theory due to the bearing force of bolts and the enlargement of cross section. The influence of connection bolts and resin injected between timber member and steel joint on the stress concentration and strain distortion appeared in the timber member are examined by model test and finite element method.

Key Words: glued laminated timber, steel joint, stress concentration, stress relaxation

キーワード: 集成材, 鋼ジョイント, 応力集中, 応力緩和

1. まえがき

近年, 自然との共生が望まれるなかで, 木材を主部材とした橋梁などの大型構造物の建設が増加している. このような大規模な構造物では, 断面の高さが 1 m を超える部材も使用されるようになってきている¹⁾.

2003 年 4 月, 宮崎県に集成材を用いた大規模なキングポストトラス道路橋 (以下, トラス橋) が建設され, 部材断面も高さが 1.7 m にも及ぶ大断面となっている. 完成時に静的載荷試験を実施し, 鋼ジョイント近傍の木部材に発生するひずみを測定した. 測定ひずみを鋼ジョイントの曲げ拘束も考慮した 3 次元骨組解析による結果と比較したところ, ひずみの傾斜やその分布に差異のあることが明らかとなった²⁾.

木橋の一般的な設計には, 建築分野に使用される比較的小さな断面を有する部材を対象とした木質構造設計基準³⁾などが準用されている. このような基準による応力照査には, 断面の大型化に伴う断面内応力の 2 次元的に変化する分布性状を考慮できない骨組解析で得られた応力を使用しているのが現状である.

さらに, 木部材と鋼ジョイントとの連結には鋼ボルトを使用するケースが多いが, 木材が鋼に比べて軟らかいために, 鋼橋で一般的な摩擦接合は適用できず, ボルトの

せん断による支圧接合とならざるを得ない. 支圧接合では木材が軟らかいために, ボルト近傍の木部材には極端な応力集中も発生する.

前述したトラス橋の実橋試験でひずみゲージから得られた実験値と解析値の差異は部材の大断面化と接合ボルトによる応力集中が原因と考えられる.

これまでの木部材の鋼ジョイントに関する研究はジョイント部全体の耐荷力について検討したものが多く^{4)~7)}, 断面内部に発生する応力分布について詳細に論じた研究はほとんど見受けられないように思われる.

著者らは先に前述のトラス橋の下弦材を対象にして 3 次元 FEM 解析を実施し, 鋼ジョイント近傍の木部材の応力集中や断面大型化による応力やひずみの偏在などを確認するとともに, 応力集中の緩和策も提案した⁸⁾. 木橋での鋼ジョイントではボルトと木部材のボルト孔との隙間に樹脂を充填するが, 一般的な充填法では木部材とジョイントの鋼板の接触面にも樹脂が充填されるものとなる. しかしながら, 先の解析では, 接合に対する樹脂の寄与度は明らかでないために, 接触面に充填された樹脂の影響は無視するものであった.

本論文は, 樹脂充填の有無による応力集中やひずみの 2 次元的拡がりの変化および提案した応力緩和策の有効性について, 実験的・解析的に検討したものである.

2. 解析モデル

本橋の鋼板による接合法には、木部材の中央に1枚の鋼板を差し込むものと木部材の両面に鋼板を配置するような2つの方法がある。ここでの接合法は前述のトラス橋で採用された両面型を対象とした。

実橋の両面型鋼ジョイントは図-3の鋼ジョイントを模した供試体の両端と同様で、木部材と鋼板の接合には多数のボルトが使用されている。対象としたトラス橋では、 $\phi 24\text{mm}$ のボルト径に対して、木部材のボルト孔の径は $\phi 27\text{mm}$ と、ボルト径よりも3mmほど大きな孔を穿っている。実橋では、両者の隙間による接合部のガタを除去するために、その隙間には樹脂を充填する方法が採用されている。

樹脂充填法を示したものが図-1で、鋼板と木部材の間に10mmの隙間を設けて、下部導入口から樹脂を注入し、導入面とは反対側の充填確認口から樹脂があふれたとき、ボルトとボルト孔の隙間に樹脂が充填されたとするものである。この結果、鋼ジョイントの鋼板と木部材の接触面にも樹脂が充填されていることになる。

また、著者らが提案したボルト支圧による応力集中の緩和策は図-2に示すように、鋼板と木部の接触面でのボルト孔にボルトとの非接触部を設けるものである。テーパ付きの孔（以後、テーパ孔）は非接触部ではボルト径の2倍の直径を有し、奥行はボルト径とほぼ同じ長さとするものである。現在のところ、テーパ孔はその効果を定性的に確認するもので、サイズが最適なものであるかは今後の課題となる。

本論文では木部と鋼ジョイントの鋼板の接触面に充填

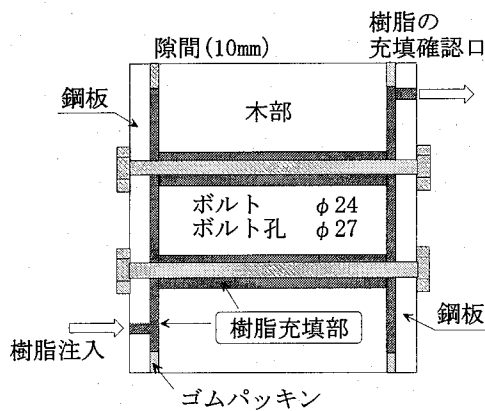


図-1 樹脂充填法

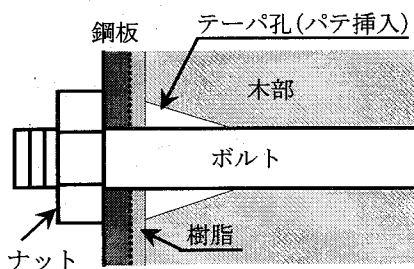


図-2 応力緩和策

された樹脂が木部材の応力（ひずみ）分布に与える影響ならびに応力緩和策として提案したテーパ孔の効果を確認するために、実験と解析を実施した。対象とする荷重は単純引張荷重である。

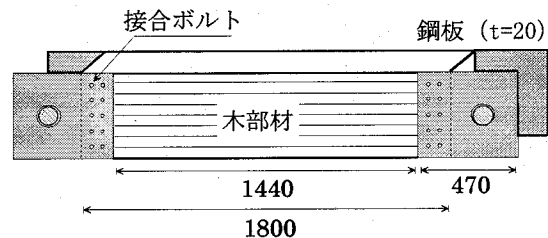
2.1 実験概要

実験で使用した供試体を図-3に示す。鋼ジョイントに相当する鋼板は板厚20mmで、木部材の全長は1800mm、純木材部は1440mmとした。鋼板は木部材の両面に配置され、 $\phi 12$ のボルトを介して接合されている。応力緩和策として提案しているテーパ孔の有無については、1つの供試体のなかで、左側はテーパ孔を施さないものにし、右側にはテーパ孔を開口した。

木部材は8層から成る対称異等級集成材とし、各層のラミナの厚さは30mmで、ラミナの配分は図-4に示すようになっている。ラミナの等級は上下端部から中央に向かって、L90、L70、L50となっており、部材幅は200mmである。ここで、等級を示すL〇〇は、例えばL90は弾性係数 $E=9000\text{N/mm}^2$ を保证するラミナであることを示している。

鋼ジョイント部の詳細を示したものが図-5である。ボルトを2列（5本/列）に配したもので、ボルトを挿入する木部材のボルト孔はボルト径と同じ12mmとして、ボルトとボルト孔の間には隙間は生じないようにした。ただし、鋼板のボルト孔は $\phi 14\text{mm}$ である。

実験での測定項目は鋼板近傍の木部材ひずみと鋼板からの木部材の引抜け量で、ひずみは側面では図-5に示すように、幅方向には図-6のように鋼板から30mmの



左側：テーパ孔無 右側：テーパ孔有

図-3 供試体の全景

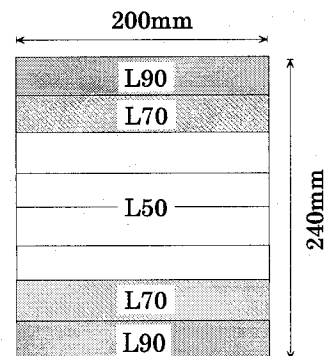


図-4 ラミナの配分

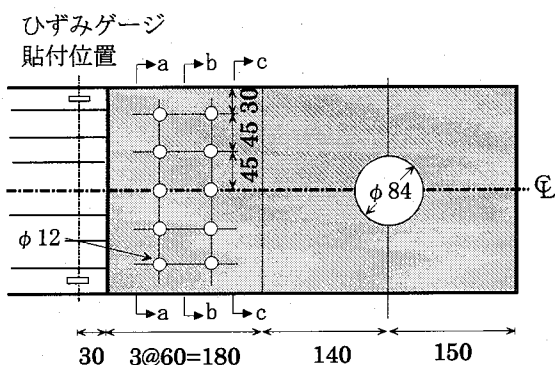


図-5 鋼ジョイント部の詳細とひずみゲージ貼付位置

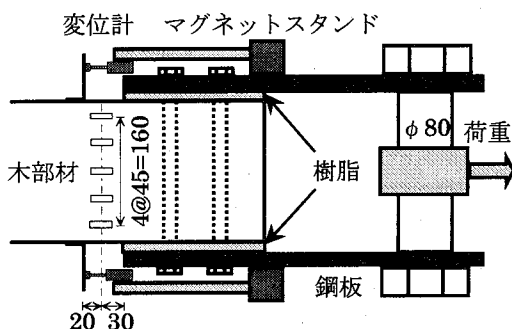


図-6 鋼ジョイント部の平面

位置に貼付したひずみゲージにより測定した。引抜け量は図-6に示すように、鋼板に設置されたマグネットスタンドで固定されたデジタル変位計（ $500\mu/\text{mm}$ ）にて鋼板から50mmの位置での高さ中央点を測定した。

実験での樹脂充填法は以下のとおりである。まず、鋼板と木部材との接合面の側面と底部に幅7mm、厚さ3mmの亚克力板を貼り付けて隙間を作成する。次いで、その隙間にエポキシ樹脂を上面から流し込んだ。ボルトは亚克力板を取付けた後に配置した。また、樹脂による付着がひずみ分布に与える影響を検討するために、木部材と鋼材間を縁切りするように、樹脂に換えて厚さ0.3mm程度のビニールシートを挟み込んだ供試体も作成した。

本実験での荷重は単純引張荷重で、荷重は木部材の両側面に配置した鋼板に開口された $\phi 84\text{mm}$ の孔に $\phi 80\text{mm}$ の大口径のボルトを挿入して、図に示すように大口径ボルトに荷重を作用させた。載荷時に載荷側の鋼板が変形しないように、大口径ボルトの部分に補強用木材を挿入している。

文献8)の解析で、鋼ジョイント近傍にはボルトの支圧力によって、木部材には過度な応力集中が発生することが明らかとなり、応力集中の緩和策として、図-7 供試体のテーパ孔

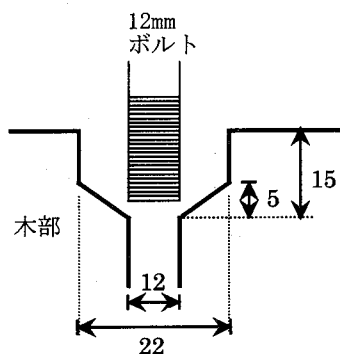


図-2に示すようなテーパ孔を提案している。本実験ではこれに準じるように、図-7に示すようなボルト径のほぼ2倍の径となる $\phi 22\text{mm}$ の孔を10mmの深さまで開け、そこから5mmにテーパを付した孔を削孔した。

なお、樹脂を充填する場合には図-2に示すように、テーパ孔には剛度の無いパテを入れて、樹脂がテーパ孔に入り込まないようにしている。

2.2 解析概要

実験結果を解析的に検討するために、3次元FEM解析を実施した。図-8は解析で使用したモデルの要素分割を示したもので、供試体の1/4モデルを採用している。解析要素は木部材とボルトには8節点ソリッド要素を、鋼板には4節点シェル要素を使用した。

要素分割は材軸方向に60分割、高さ方向には16分割、奥行方向は4分割とした。ボルトが設置されている箇所の分割は図-8の上段に示すような分割を行い、解析におけるテーパ孔は、図-2に示すような一様な傾斜を有するテーパ孔とした。

拘束条件は、鋼板の左端を鉛直方向、水平方向の変位および鉛直軸回りの回転を固定し、さらに木部とボルトの中央面側の材軸直角方向変位を拘束した。

解析での木部材と鋼板との連結と材料には以下のような仮定を行った。

- (1) 木部材と鋼板の間にビニールシートを付した供試体については、鋼板と木部の間での接触面での力の伝達はなく、木部材と鋼板に作用する力はボルトを介して伝達される。すなわち、木部材と鋼板の同一座標の節点変位は互いに独立である。
- (2) 樹脂を充填した供試体については、樹脂の接触面でのすべり性状に対する寄与度が不明であることから、接触面での木部材と鋼板の節点は剛結とする。すなわち、ここでは樹脂の剛性は無限大とするものである。
- (3) 材料はすべて弾性とする。

解析に使用した材料定数については、鋼材は弾性係数 $E=2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ とし、木部材は異方性材料として、文献9)を参考にして、表-1のような諸値を使用した。木部材の各ラミナの弾性係数は規

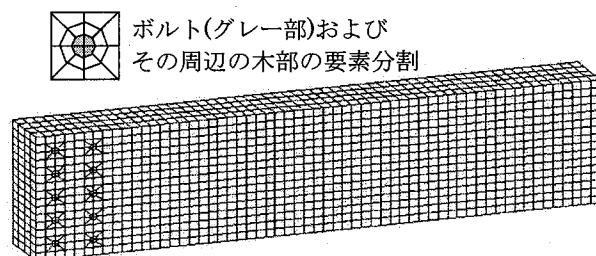


図-8 解析での要素分割

表-1 木部材の材料定数⁹⁾

弾性係数	Ex	各ラミナの規定値 ³⁾
	Ey, Ez	0.04Ex
せん断弾性係数	G	0.067Ex
ポアソン比	ν_x	0.4
	ν_y, ν_z	0.016

注) 添字 x は繊維に平行, y と z は直角方向を示す

格値を採用している。なお、本解析には汎用解析ソフトの MARC を使用した。

3. 解析で得られた木部材および鋼板のひずみ分布

本章の解析では、集成材全体に一樣なひずみ 100μ が生じるように、各ラミナの基準弾性係数を考慮して換算された引張荷重を図-8の右端に負荷したもので、載荷方法は文献8)を参照されたい。よって、図-6の供試体に対する荷重とは異なるものとなっている。以下の考察でのひずみはすべて材軸方向ひずみである。

3.1 木部材のひずみ分布

図-9は実験でのひずみゲージ貼付位置である鋼板から 30mm 離れた箇所での図-4に示す木部材の断面内部のひずみ分布を示したものである。

図-9(a)は木部材と鋼板の間にビニールシートを挿入したモデルを想定したもので、以後、このモデルを「縁切り」と称することにする。(b)は木部材と鋼板に樹脂を充填したモデルで、以後「樹脂充填」とする。さらに、ここでのモデルは応力緩和を目的に、図-2に示すようなテーパ孔を設けている。以下では、テーパ孔を付したモデルは「テーパ孔有」、付していないものは「テーパ孔無」と称することにする。

図-9の色分けは 25μ ごとで、太線は 100μ を示している。

まず、「縁切り」でのテーパ孔の効果について考察する。図-9(a)から明らかなように、木部内部のひずみは一樣ではない。「テーパ孔無」では中央から側面に向かって、ひずみは増大しており、側面では設定ひずみ 100μ に対しておよそ2倍の 193μ が発生し、中央では $50\sim 75\mu$ と設定ひずみの半分程度となっている。上下の分布では高さ中央から上下縁に向かって減少し、上下縁の中央では最小の 40μ となっている。

「テーパ孔有」では最大ひずみはテーパ孔の終端近傍に発生しており、この場合の最大ひずみと最小ひずみはそれぞれ 158μ 、 47μ で、最小ひずみは「テーパ孔無」とほぼ同様であるが、最大ひずみは25%程度の低減効果がみられる。

両者のひずみの分布状況とひずみ値から、テーパ孔を

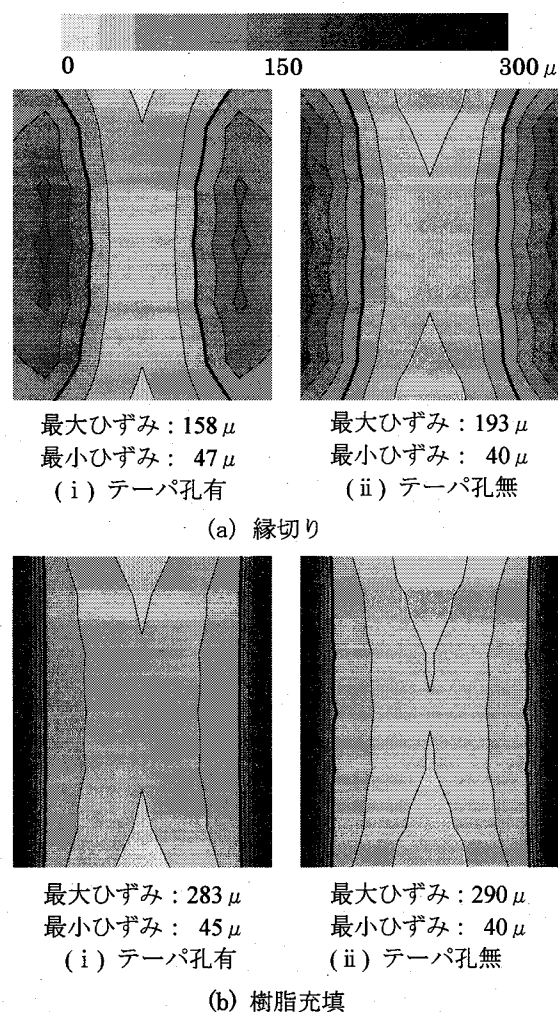


図-9 木部材内部のひずみ分布 (設定ひずみ: 100μ)

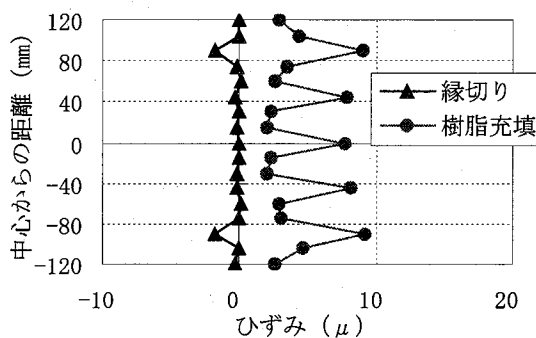
施すと、内部の応力変化は緩和され、最大ひずみも大きく低減することから、テーパ孔は応力緩和策としての効果は十分に認められる。このことは、先に発表した文献8)の実橋レベルの断面でも同様な結果を得ている。

次に、「樹脂充填」についてみると(図-9(b))、テーパ孔の有無に関わらず、両者ともに側面に過大なひずみが集中している。最大および最小ひずみともにテーパ孔の有無による差異はほとんど見られず、最小ひずみは「縁切り」とほぼ同様な値であるが、最大ひずみは設定ひずみの3倍近い値となり、「縁切り」よりも大きくなっている。

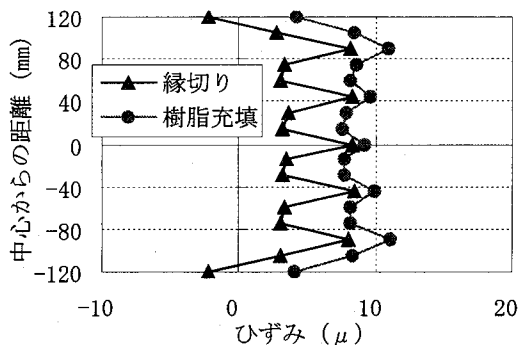
3.2 鋼板のひずみ分布

図-10は「テーパ孔有」について、「樹脂充填」と「縁切り」の両者ともに同じ位置の鋼板のひずみ分布を示したものである。図での(a)~(c)は図-5に示す位置のもので、鋼板端部とボルト間、ボルト間同士および木部材縁端とボルト間の中央部のものである。

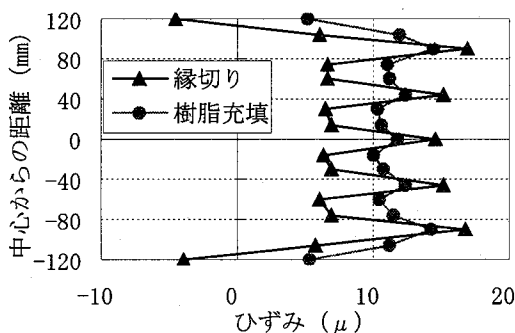
「縁切り」での断面 a-a におけるひずみは0に近い値となっており、木部材と鋼板の接触面の変位は互いに



(a) 断面 a-a



(b) 断面 b-b



(c) 断面 c-c

図-10 鋼板ひずみ

独立であるとの解析の仮定は守られていることが確認できる。断面 b-b から断面 c-c では木部材からボルトを介して、順次鋼板に応力が伝達されており、発生ひずみから推定される鋼板の受け持つ力は、引張力の大部分を支持するものとなっている。

「樹脂充填」では、木部材と鋼板の節点が剛結されているために、この場合の断面は木部材と鋼板から成る合成断面となるため、断面 a-a においても鋼板にひずみは生じることになる。断面 a-a においてはひずみの凸凹が顕著で、ボルトによる支圧力の影響は大きいですが、断面 b-b や断面 c-c ではボルト支圧力の影響は減少するが、負荷した引張力に対する鋼板の支持力は増加している。

4. 実験および解析結果に関する考察

本章では実験および解析から得られた結果を基に、木部材と鋼材間の樹脂充填が鋼ジョイントから木部材の引抜け性状に与える影響や応力緩和策として提案したテーパ孔の効果について考察する。

4.1 実験での荷重に対する変形

図-11 は荷重（図-6 参照）に対する木部材の鋼板からの引抜け量を示したものである。

「縁切り」ではテーパ孔の有無に関わらず、いずれも初期荷重 30kN 近傍までは大きな引抜けが生じている。本実験では木部材のボルト孔はボルト径と同じにしたが、鋼板のボルト孔はボルト径よりも 2mm 大きくなっている。30kN までの大きな引抜けは鋼板とのずれによるものと考えられる。その後はほぼ線形的な引抜けとなり、120~130 kN の荷重に至ってからは非線形的な増加に移行している。テーパ孔の有無について比較すると、テーパ孔を付した場合が大きくなる傾向にあり、非線形域での引抜けは「テーパ孔有」は「テーパ孔無」に比べて 1.5 倍程度にもなっている。テーパ孔を付けると、木部材内でのボルトを固定する領域が減るとともに、伝達力が最も大きな木部材の縁端でボルトが自由となっているため、テーパ孔は応力緩和には効果があるものの、引抜けについては検討すべき課題を含んでいることになる。

「樹脂充填」では図中には書き込めなかったが、荷重 84kN、104kN、150kN で異常音が発生した。特に、初回の 84kN では爆裂的な激しい音を響かせた。

このことを考慮に入れて考察するが、84kN では引抜けにわずかな変化が生じているが、むしろ 100kN で明らかなすべりを呈し、さらに、150kN でもすべりが確認される。84kN までは荷重に対する引抜け量は非常に小さく、その後も異常音が発生するごとに引抜け量は増大するものの、最後の部分が「縁切り」の初期傾きとなるようである。なお、「樹脂充填」では引抜け量が大きな流れを呈する以前に載荷を終了しているが、これは載荷荷重が油圧ジャッキの容量 200 kN に達したためである。

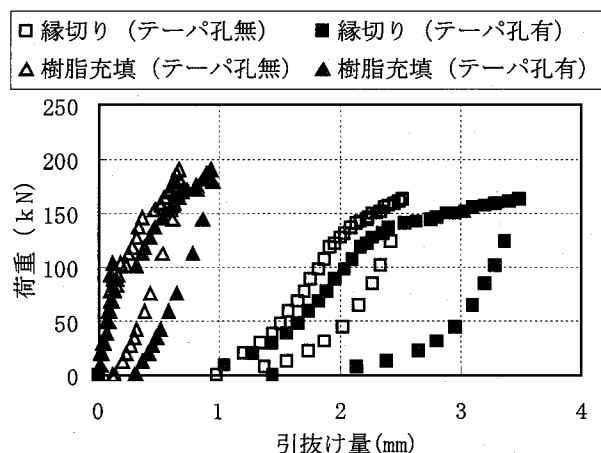


図-11 荷重と引抜け量の関係

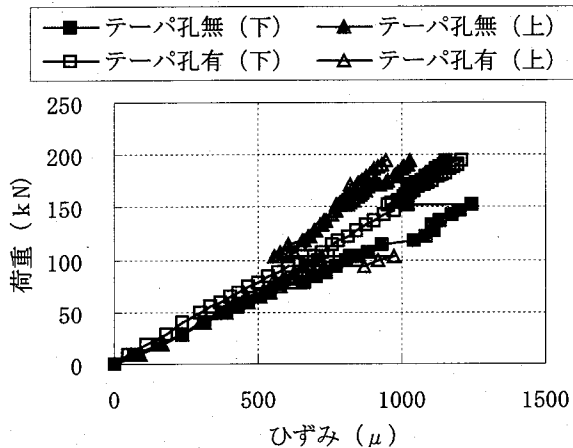


図-12 荷重とひずみの関係（樹脂充填）

図-12 は「樹脂充填」での荷重－ひずみ曲線であり、図中の上・下は測定位置を示すもので、いずれも上下の縁端ラミナの中心（縁端から 15mm）のものである。

「縁切り」での荷重に対するひずみはほぼ線形であり、ここには掲載していない。

図-11 で述べたように、3つの荷重で異常音が聞かれ、たわみではあまり明瞭でなかったが、本図では個々の荷重でひずみが大きく変動している。初めの異常音時の荷重 84kN ではテーパー孔有無の両者ともにひずみの変動が生じているが、150kN では「テーパー孔無」のみに変動が生じており、これらの異常音は樹脂に付着切れが生じたものと考えられる。

上記の結果から、使用した樹脂の付着強度が概算できる。異常音が発生した荷重を樹脂の付着切れであると仮定すると、そこでの最小付着荷重 $P_{\min}$ は 84kN となる。よって、そこでの付着強度 τ_u は 2 面接合であることを考慮すると、式(1)にて算出できる。

$$\tau_u = P_{\min} / (2 \times A) \quad (1)$$

ここに、 A は 1 面の接触面積である。

式(1)から、 $\tau_u = 1 \text{ N/mm}^2$ となる。

解析的には図-9 に示すように、樹脂を充填した場合には側面ひずみはほぼ均等で設定ひずみの 3 倍程度のひずみとなっていることから、実際の樹脂の付着強度は 1 N/mm^2 以上となることは明らかである。実験終了後に樹脂の状況を確認するために、鋼板と木部材をはがしてみたが、剥離部分を確認することはできなかった。

4.2 木部材側面のひずみ分布

図-9 では鋼板から 30mm の位置での木部材の断面内のひずみ分布について解析的に得られた結果を図示したが、実験では断面内部のひずみを測定することは困難であり、実験では木部材の表面のひずみを測定した。

図-13 は「縁切り」の実験と解析で得られた荷重 10kN あたりの木部材側面での材軸方向ひずみの高さ方向変化

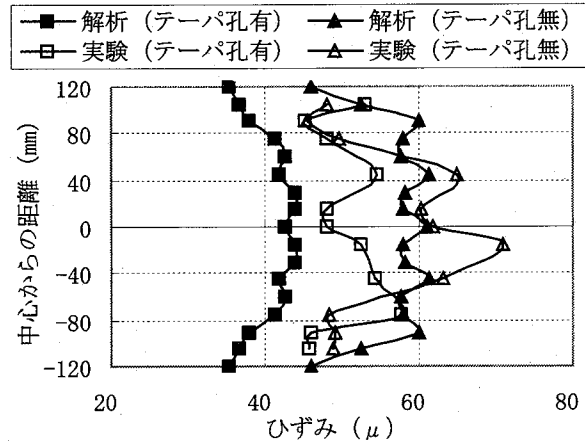


図-13 高さ方向のひずみ変化（縁切り）

について示したもので、実験値は荷重 30kN～110kN の荷重区間のひずみを割線勾配により 10kN あたりのひずみに換算したものである。

供試体の集成材としての弾性係数 E_{est} は、各ラミナの基準値を用いて以下のように換算される。

$$E_{\text{est}} \times A_t = \sum (E_k \times A_k) \quad (2)$$

ここに、 A_t は集成材全体の断面積であり、 E_k と A_k はそれぞれ、各ラミナの弾性係数と断面積である。

式(2)より、集成材としての弾性係数は 6500 N/mm^2 であり、集成材としての引張力 10kN に対する平均ひずみは 32μ となる。

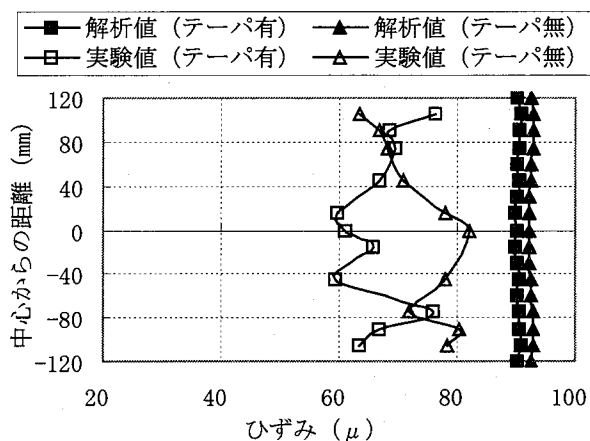
木材のひずみ測定では木目の方向などにより、過度に変化する場合があることはよく知られている。このことを考慮して実験と解析を比較すると、定性的には合致していると云えよう。いずれの場合にも縁端ボルト近傍から上下縁に向かっては、ひずみは減少しており、高さ中央部ではボルトの支圧力の影響を受けて、凸凹の様相を呈している。

解析の結果ではテーパー孔を施すことによって、高さ中央部では 20μ 近い低減があり、凸凹の差も小さくなっている。実験結果でもテーパー孔の開口の効果は認められ、高さ中央付近では解析と同様な低減が認められる。

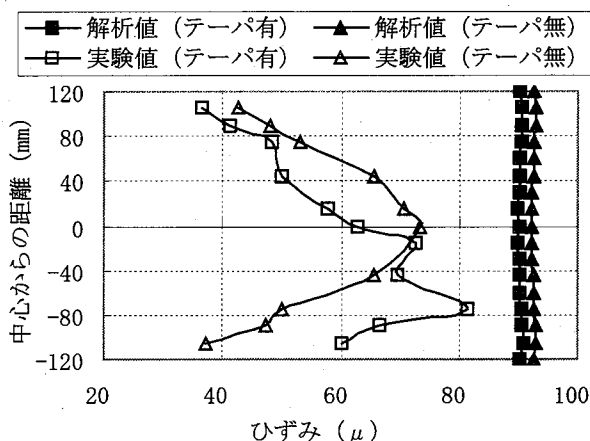
また、木部両面に生じる最小ひずみも、集成材に 10kN の引張力を与えたときの理論値 32μ を越えた結果となっている。

図-14 は「樹脂充填」でのひずみ分布を示したもので、実験値は(a)には異常音の発生する以前の 30kN～60kN でのひずみ変化を、(b)には異常音発生後の 160kN～180kN のひずみ変化を「縁切り」と同様に 10kN あたりの値で示したものである。今回の解析は弾性解析なので、解析結果は、(a)と(b)の両者とも同じ値となる。

解析においてはテーパー孔が有る場合が無い場合よりもやや小さくなる傾向にはあるが、その差異はほとんどない。また、実験においてもテーパー孔の効果は認められるものの、「縁切り」ほどには顕著ではない。



(a) 30kN~60kN の区間



(b) 160kN~180kN の区間

図-14 高さ方向のひずみ変化 (樹脂充填)

実験での荷重の初期段階の(a)については、乱れはあるものの、木材特有の計測ひずみの乱れを考慮すると、ほぼ一様な分布を示していると考えられる。

異常音が生じた後の(b)では中央部から上下縁側に向かって小さくなっており、「縁切り」のような中央部分に顕著な凸凹は見受けられないものの、両者ともに平均的なひずみは低減し、「縁切り」に類似するものとなっている。このことは充填した樹脂が付着切れを起こしているものとみなせるが、前述したように、実験後の付着切れを十分に確認できなかったため、今後の実験で確認する必要がある。

解析と実験を比較すると、(a)と(b)のいずれにおいても

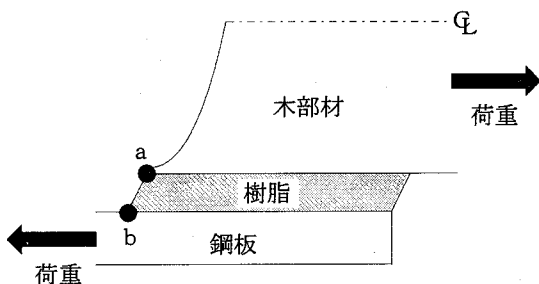


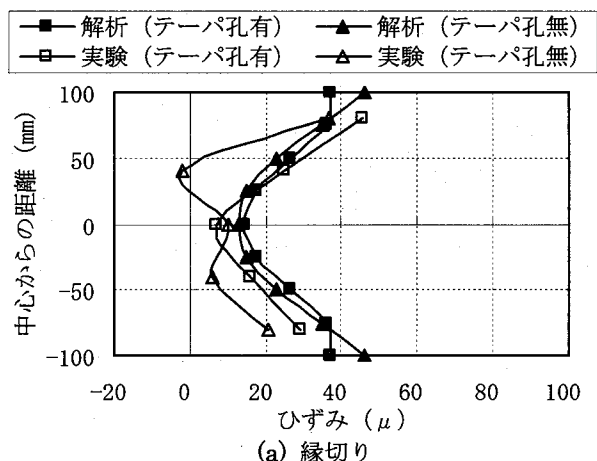
図-15 樹脂の変形による
鋼板と木部材のずれ変形

解析値が高くなっている。図-15に示すように、実験では充填樹脂の変形により、点aと点bは異なる変位となるが、解析では2つの点は剛結されており、両者にずれが生じることはない。よって、変形の緩衝材となる樹脂が無いために、解析における鋼材接触面での木部材は過度な変形が生じることになり、接触面でのひずみは急増することになる。

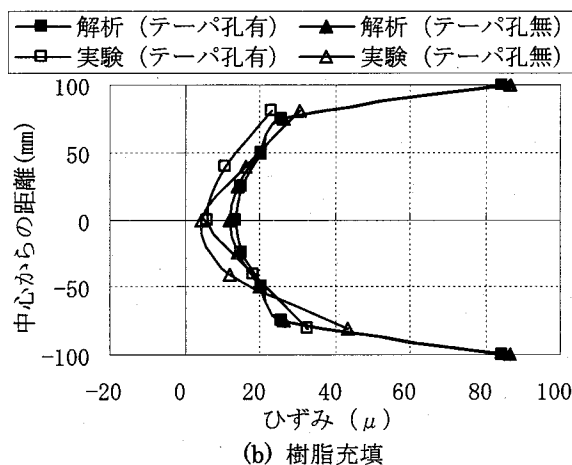
以上のことから、「縁切り」した場合にはボルトの支圧の影響は大きく、テーパ孔による応力集中に対する緩和策は有効であると考えられる。また、「樹脂充填」の場合には、鋼板と木部材の力の伝達を樹脂が大きく負担しており、ボルトの支圧力による影響は緩和されるが、鋼板の力を木部材の側面全体で支持するために、ボルトの支圧力以上の変形が木部材側面に生じることなどが明らかとなった。

4.3 木部材上面のひずみ分布

図-16は木部材上面のひずみの変化について図示したもので、高さ方向と同様に10kNあたりのひずみを図示している。「樹脂充填」は30kN~60kNの荷重区間のものである。



(a) 縁切り



(b) 樹脂充填

図-16 幅方向のひずみ変化

いずれの結果も図-9で示したように、ひずみは断面の両側面が大きくなり、中央部では大きく低減するものとなっている。また、テーパ孔の有無による影響は解析、実験ともにほとんど見受けられない。

解析において、「縁切り」での「テーパ孔有」の側面近傍でひずみに変化がないのは、テーパ孔による側面の木部材とボルトとの非接触部によるものである。

解析と実験との比較では、「縁切り」においてはほぼ一致していると考えられるが、「樹脂充填」では図-14の考察で述べたように、解析では接触面の鋼板と木部材の節点を剛結としたために、縁端部で過度なひずみを発現する結果となっているが、実験では樹脂の変形により、ひずみの最大と最小の差は狭いものとなっている。

以上のことから、断面上縁のひずみ変化、言い換えると断面の奥行方向のひずみ変化はボルトの支圧力によるものとは考えられず、むしろ断面の2次元的な拡がり、すなわち断面の大型化によるものと思われる。このことは、接合に対する断面の幅の適正化を図る必要があることを示唆するものである。

5. あとがき

橋梁に使用される木部材は、鋼ジョイントのボルトによって支圧され、部材断面も適用橋梁の長大化に伴って、大型化する傾向にある。

鋼ジョイント近傍の木部材の応力やひずみは、このような断面の大型化とボルトの支圧力によって、断面内の応力（ひずみ）分布は梁理論の仮定とは異なって、大きなゆがみを有するものとなる。さらに、ボルトと木部材のボルト孔との隙間に樹脂を充填する際に、木部材と鋼板の間にも樹脂が注入されている。

本論文は、接合に使用されるボルトや樹脂ならびに断面の大型化が鋼ジョイント近傍の木部材の応力集中やひずみのゆがみに与える影響ならびに応力緩和策の効果について、モデル実験とFEM解析による解析の両面から検討したものである。

得られた結果を要約すると、以下ようになる。

- (1) 「縁切り」では接合ボルトの支圧力による応力集中は過大となり、テーパ孔は応力集中の緩和策として有効となる。
- (2) しかしながら、テーパ孔による木部材内部でのボルト支持領域が減少するため、荷重に対する引抜けは大きくなる傾向にある。
- (3) 「樹脂充填」では木部材と鋼板の接触面での樹脂の伝達力により、ボルト支圧による応力集中は緩和されるが、接触面での木部材のひずみは過度に大きくなる。
- (4) 「縁切り」および「樹脂充填」のいずれの場合においても、断面の2次元的な拡がりにより、設計に利

用されるであろう集成材としての荷重に対する木部材ひずみに比べて、両側面は過度に大きなひずみが生じ、中央部分では過度に小さなひずみが生じることになる。

本論文で得られた結果は1体の供試体による鋼ジョイント近傍の木部材のひずみ性状を論じたものであり、結果を設計に反映するまでには至っていない。今後、断面寸法の異なる供試体の実験や非弾性解析などを実施して、木橋の合理的な設計法を提案していく予定である。

参考文献

- 1) 渡辺浩志, 久保田努, 齋藤潔, 柴田直明: 日影入線木橋(長野県林道木橋標準設計)の施工, 第2回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, pp.41-45, 2003
- 2) 今井富士夫, 飯村豊, 入江達雄, 中澤隆雄: かりこぼうず大橋の材料および力学性状, 構造工学論文集, Vol.50A, pp.865-872, 2004
- 3) 日本建築学会: 木質構造設計標準・同解説, 2003
- 4) M.Reid and J.Shin: Capacity Predictions for One Two-row Bolted Timber Connections, 8th World Conference on Timber Eng., pp.291-296, 2004
- 5) H.Johnsson and L.Stehn: A linear Fracture Mechanics Evaluation of Plug Shear Failure, 8th World Conference on Timber Eng., pp.253-258, 2004
- 6) J.Sjödin, C.J.Johansson and H.petersson: Influence of moisture induced stresses in steel-to-timber dowel joints, 8th World Conference on Timber Eng., pp.253-258, 2004
- 7) 渡辺浩, 飯村豊, 樋口友三, 山田朗央: 木橋における集成材ボルト接合部の繰返し挙動に関する実験的研究, 第4回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, pp.95-100, 2005
- 8) 今井富士夫, 藤本英稔, 間瀬英男, 飯村豊, 中澤隆雄: 大断面集成材の鋼ジョイント近傍の応力集中とその緩和策, 構造工学論文集, Vol.51A, pp.1203-1210, 2005
- 9) 長谷部薫, 薄木征三, 元沢清佳: バットジョイントを有するプレストレス木床版の曲げ試験と解析, 構造工学論文集, Vol.50A, pp.847-854, 2004
- 10) JAS: 構造用集成材の日本農林規格, (社)日本合板検査会, pp.12-47, 1996

(2004年9月17日受付)