

## 樹脂接合による鋼ジョイント近傍の木部材の応力性状に関する研究

### Study on stress properties of timber member near the steel joint connected with resin

○村上弥生\* 今井富士夫\*\* 中澤隆雄\*\* 間瀬英男\*\*\* 飯村豊\*\*\*\*  
MURAKAMI Yayoi, IMAI Fujio, NAKAZAWA Takao, MASE Hideo and IIMURA Yutaka

- \* 宮崎大学博士前期課程 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1)  
\*\* 工博 宮崎大学工学部土木環境工学科(〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1)  
\*\*\* 宮崎ウッドテクノ(株) (〒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 resin injected into the gap between the bolt and the bolt hole in the timber member is filled to the space between the steel connection plate and the timber member made for the injection in timber bridges. However, the research on the resin as the joint material is seldom found, because the resin is not the main joint material.

This paper deals with the relation between shearing stress and slip and the bond capacity of the resin. The influence of the resin on the mechanical properties of the timber member near the steel joint is also examined.

**Keywords** : 集成材、接合、樹脂、付着強度、ずれ特性

*glued laminated timber, connection, resin, bond capacity, slipping property*

### 1. まえがき

近年、自然との共生が望まれるなかで木橋の建設が増加しており、品質の信頼性が高い集成材を利用することにより、道路橋も多数建設されるようになってきた<sup>1)</sup>。集成材を利用した近代木道路橋では支間の増大により、木部材の断面は大型化する傾向にあり、部材も支間に対して単一ではなく、鋼ジョイントを介して接合されたものとなっている。鋼ジョイントでは鋼板と木部材の接合は鋼ボルトによる支圧接合となっている。

このようなボルト接合に関する研究としては、部材全体の耐荷力や木部材のプラグ破壊などの破壊形式について論じた研究<sup>2), 3)</sup> や、ボルトの木部材に対する支圧影響を解析的に検討したものもあるが、解析でのモデルは2次元モデルとなっている<sup>4)</sup>。

著者らは先に、実橋の静的試験<sup>5)</sup> において、鋼ジョイント近傍の木部材のひずみ分布が設計に使用される梁理論では説明できない特異な分布となることを明らかにし、実橋レベルの大型断面の3次元有限要素解析<sup>6)</sup> により、特異な分布性状はボルトの支圧力による応力集中のみならず、断面の大型化に起因することを明らかにしてきた。ここでは、支圧ボルトによる応力集中の緩和策も提案し、その効果も解析的に示している。

次いで、文献7) では供試体による試験と3次元有限要素解析の両者から、ボルト支圧による鋼ジョイント近傍の木部材の応力集中や断面の大型化による部材内の応力の極端な偏在を確認してきた。

これらの一連の研究から、鋼ジョイントの接合強度を検討するためには、実橋における接合部

の状況を忠実に取り入れた実験や3次元解析が必要であることを示唆するものである。

実橋の鋼ジョイントでの鋼板と木部材の接合には鋼ボルトが使用されていることは前述してきたとおりであるが、実橋ではボルトと木部材のボルト孔の隙間に樹脂を充填することにより、2次元的な応力の発生を抑制している。

図-1は実橋での樹脂充填法を示したものである。この工法によれば、鋼ジョイントの鋼板と木部材との接触面にも樹脂が充填される。しかしながら、鋼材と木部材との間に充填された樹脂のずれ性状や付着強度あるいは木部材のひずみ分布に与える影響について検討した研究はほとんど見受けられず、著者の文献7)でのボルトと樹脂を併用した研究のみのものである。

本論文は、鋼板と木部材の接触面に注入された樹脂独自の付着性状や樹脂充填が鋼ジョイント近傍の木部材に与える影響について実験的に検討した結果を報告するものである。

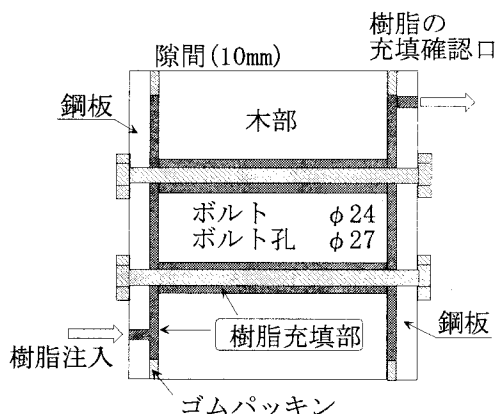


図-1 実橋での樹脂充填法

## 2. 試験概要

本実験での供試体は図-2～図-4に示すもので、鋼ジョイントに相当する鋼板は板厚20mm、集成木部材の長さは1500mmで、木部材と鋼板との接触面の荷重方向の長さは180mmである。供試体の断面は図-3に示すような異等級対称モデルとなっており、ラミナの層厚はすべて20mmで、断面寸法は幅100mm×高さ160mmである。

供試体では右側のみを測定部とし、鋼板と木部材の接触部に樹脂を充填した。ただし、荷重時での付着切れによる接合部破壊を避けるために、ボルト(φ10mm)を2列(1本/列)に差し込んでいるが、荷重時にボルトによる影響が生じないように、木部材のボルト孔は直径12mmとし、ボルトとボルト孔の隙間には樹脂が入り込まないようにしている。また、供試体の左側は非測定部として、鋼板と木部材をボルトで直接結合したもので、その配列は2列(3本/列)とした。ここではボルトと木部材のボルト孔の径は同一として、ボルトを打ち込んでいる。

本供試体の樹脂充填法は、鋼板と木部材の隙間は接触面の底部と側面の縁端に配置された厚さ3mm～9mm、幅7mmの亚克力板により作られ、上部から樹脂を流し込んだものである。

実験での測定項目は木部材の鋼材からの引抜け量と鋼板近傍の材軸方向のひずみで、図-4に示すように、引抜け量は鋼板から200mm離れた箇所の木部材と鋼板の相対変位をデジタル変位計(500μ/mm)にて、ひずみは鋼板から30mm離れた箇所の木部材上下面と側面に貼付したひずみゲージにて測定した。

本実験での荷重は単純引張荷重としており、図-2や図-4(b)に示すように、木部材の両側面に配置した鋼板に開口されたφ84mmの孔にφ80mmの大ボルトを挿入して、このボルトに荷重を作用させた。写真-1は実験での供試体の設置風景を示したものである。

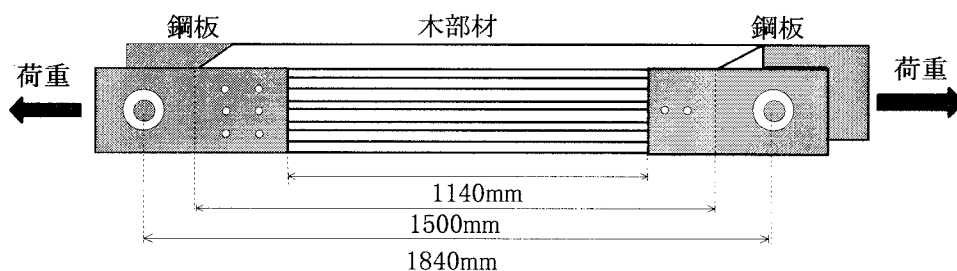


図-2 供試体

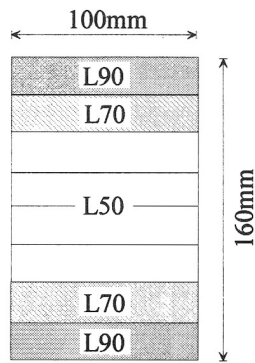


図-3 異等級集成材

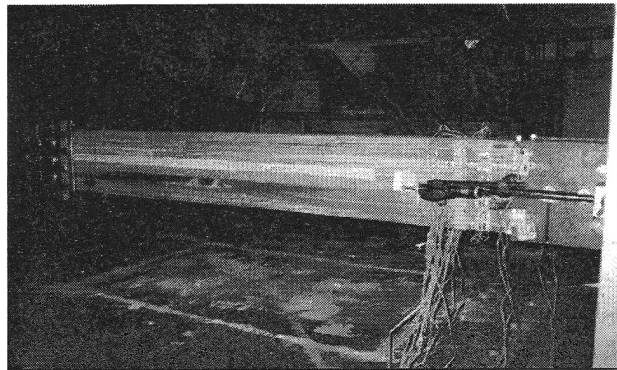


写真-1 実験風景

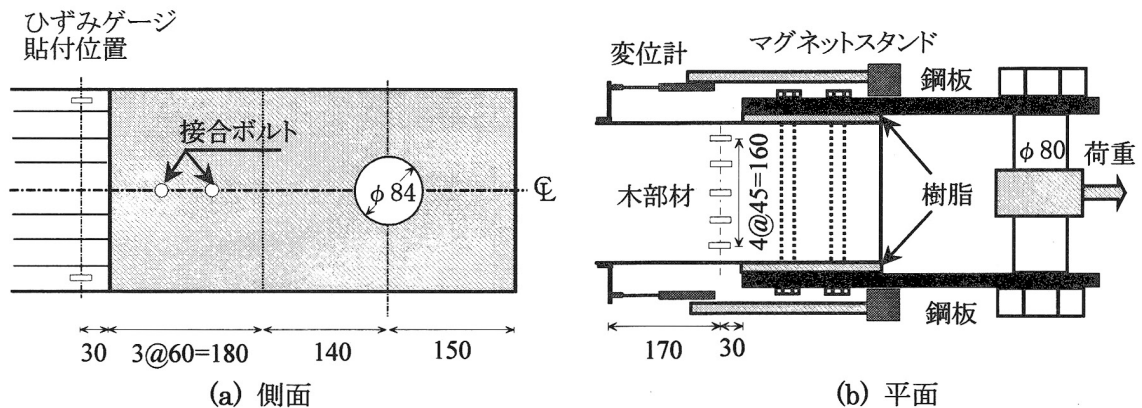


図-4 鋼ジョイント部の詳細

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 引抜け性状と付着強度

充填樹脂のずれ剛性について検討する。

図-5は樹脂の厚さを3mm、6mm、9mmと変化させたときの、各樹脂厚に対する引張荷重と木部材の鋼板からの引抜け量の関係を、樹脂に作用するせん断応力とずれ量に換算して示したものである。

ここで、ずれ量は実験での変位計で得られた引抜け量と同等と定義した。また、せん断応力は、樹脂が木部材の両側面に充填されているので、2面せん断として、以下の式により求めた。

$$\tau = P / 2 A \quad (1)$$

ここに、 $\tau$ はせん断応力であり、 $P$ は作用軸方向荷重(引張荷重)、 $A$ は接触面の1面あたりの面積である。

図から明らかなように、いずれの樹脂厚においても、せん断応力(引張荷重)に対してずれ量はほぼ線形に増加していくなかで、突然に急激な応力低下が生じている。また、線形域でのせん断応力に対するずれ量の関係(ずれ剛性)も、樹脂厚の変化に関わらず、ほぼ同値である

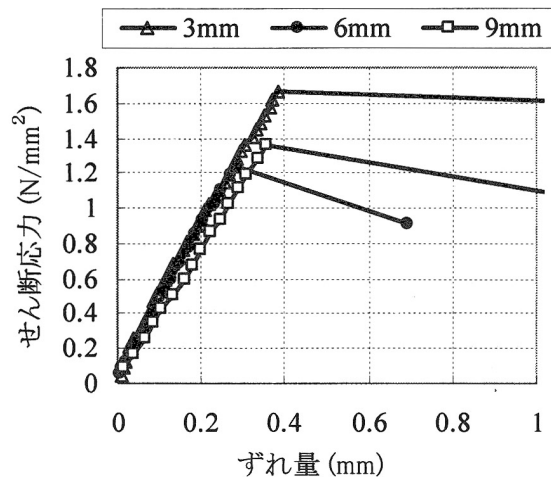


図-5 せん断応力とずれ量の関係

と思われる。

せん断応力とずれ量の関係を直線回帰したところ、以下の式となった。

$$\tau = 4.35 \Delta \quad (2)$$

ここに $\Delta$ はずれ量で、この式は高い相関を示し、 $r=0.99$ となっている。

さらに、最大せん断応力は樹脂厚に関連はないようである。この結果を最大引張荷重と式(1)により換算された最大せん断応力を樹脂の付着強度としたものを表-1に示す。表から付着強度は3つの樹脂厚の平均値として、 $\tau_u=1.4 \text{ N/mm}^2$ が与えられる。

写真-2は樹脂剥離の状況を示したものである。樹脂は鋼板との付着切れを完全に起こしており、木部材とは十分な結合状態にあった。このことから、表-1で与えられる付着強度は樹脂と鋼板との付着切れであることになる。

よって、鋼板表面に溝を切るなどの細工を施せば、付着強度の向上は可能となることが明らかとなった。

表-1 最大引張荷重と付着強度

樹脂厚	3mm	6mm	9mm	平均
最大引張荷重 (kN)	95.6	71.1	78.5	81.7
付着強度 $\tau_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.66	1.23	1.36	1.42

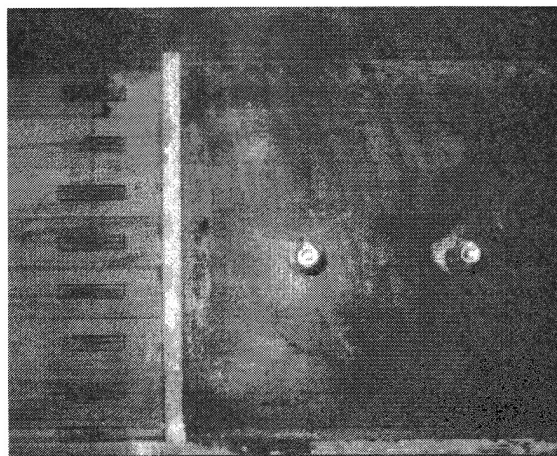


写真-2 樹脂剥離の状況

### 3.2 鋼ジョイント近傍の木部材のひずみ性状

図-6は鋼板から30mm離れた木部材の最上下縁（いずれもL90）の荷重-ひずみ曲線を示したものである。最上縁では樹脂厚3mmから9mmへと順次傾きは大きくなっているが、最下縁では逆に小さくなっている。荷重が単軸引張であることを考えると、樹脂厚による傾きへの影響は特にないものと考えられる。また、いずれも最大荷重までは、ひずみは線形に変化しており、木部材は弾性域にあることを示している。

さらに、最大荷重以降は先のせん断応力と同様に、ひずみに急激な低下が生じている。

図-7は木部材の側面の高さ方向ひずみ分布を荷重10kNあたりについて示したもので、(a)は最大荷重に至る前の分布状況を、(b)は最大荷重からひずみが激減したときの分布状況を示したも

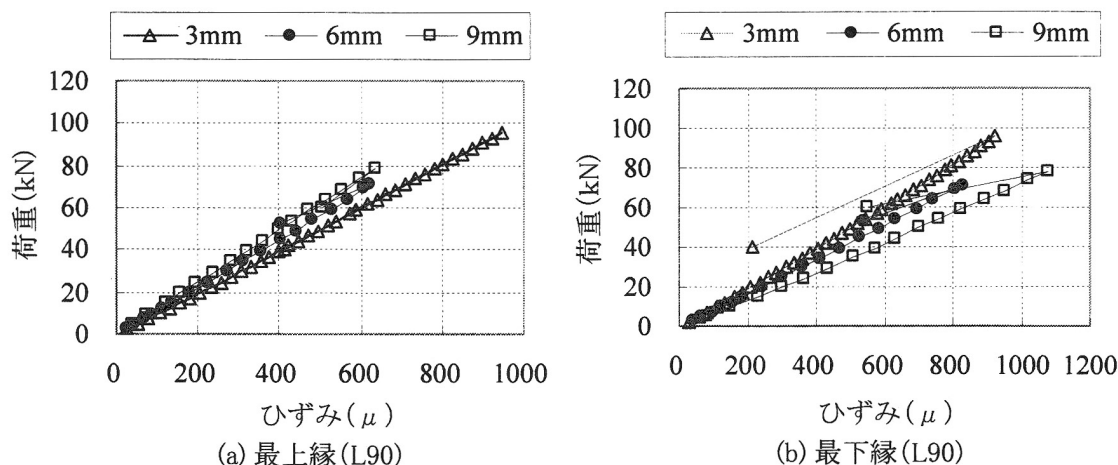


図-6 荷重-ひずみ曲線

ので、最大荷重時に大きな音が発生していることから、(a)は「樹脂剥離前」、(b)は「樹脂剥離後」と称することにした。

なお、断面を均一とした場合での梁理論による引張荷重 10kN に対する発生ひずみは、 $96\mu$  で、図中には太い実線で表している。

「樹脂剥離前」は、木材特有の繊維の方向や節などによるひずみの乱れを考慮すると、樹脂厚は特に影響するものではなく、ほぼ同様な分布になっていると思われる。その分布は中央が最大となり、上下縁で最小となる傾向にあり、その差は  $40\mu$  程度となっている。また、梁理論との比較では、実験値は中央で 40% 程度の増加となっており、上下縁でも理論値を上回る結果となった。

「樹脂剥離後」は、いずれの充填厚の場合にも中央部（ボルト位置）が平均値で  $170\mu$  程度となっており、上下縁に向かって、ひずみは大きく減少している。このことから、この段階で樹脂が剥離して、ボルト接合に移行したことが読み取れる。

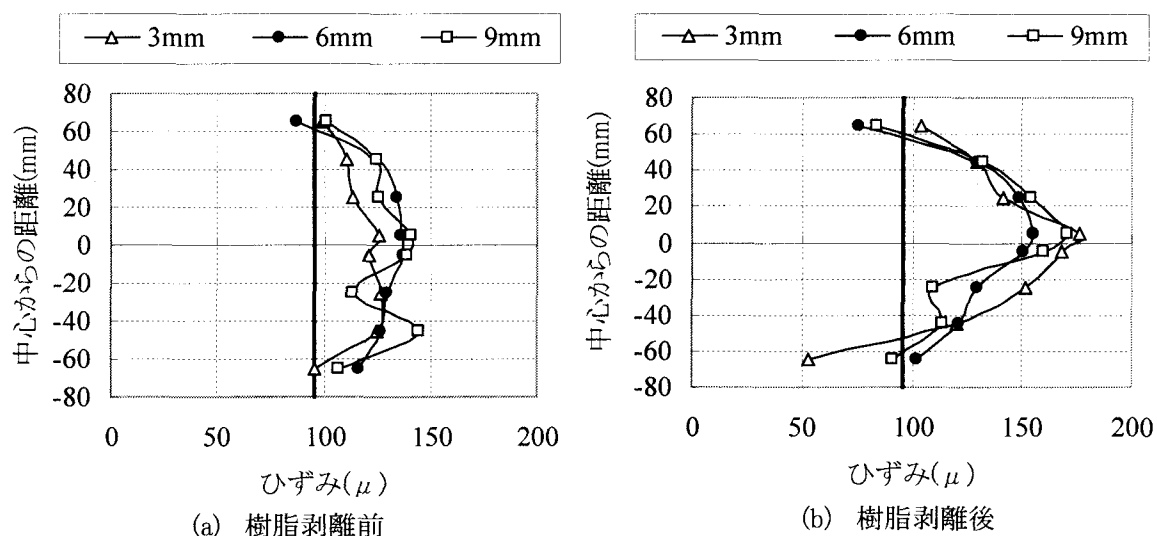


図-7 高さ方向ひずみ分布

図-8 は木部材の幅方向のひずみ分布を示したもので、高さ方向の場合と同様に、(a)は「樹脂剥離前」、(b)は「樹脂剥離後」である。

「樹脂剥離前」では、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傾向にある。梁理論との比較では、両側面は理論を上回るものとなるが、中央部では大きく下回る結果となっている。このことは、著者らはこれまでボルト接合やボルトと樹脂の併用に関して明らかにしてきたことと一致するもので、部材板厚の影響によるものである。

「樹脂剥離後」は、中央面（縦軸 0mm）に対して対称となるべきひずみ分布が大きく乱れており、十分な考察はできない。これは、樹脂の剥離が両面ともに、完全に同時期に発生していないことを示すもので、そのため、接合力のボルトへの移行に時間差が生じたためと考えられる。

#### 4. まとめ

本論文は、鋼ジョイントでの木部材と鋼板が樹脂接合された場合の樹脂のずれ性状、付着強度ならびに鋼ジョイント近傍のひずみ分布について検討したものであり、本研究の結果を整理すると以下ようになる。

- (1) 木部材と鋼板の間に充填される樹脂厚は、樹脂のせん断力に対するずれ量の関係や付着強度には影響を及ぼさない。このことから、ここで使用した樹脂の  $\tau-\Delta$  の関係式や付着強度が充填樹脂の厚さに関係なく、一般的な形で得ることができた。

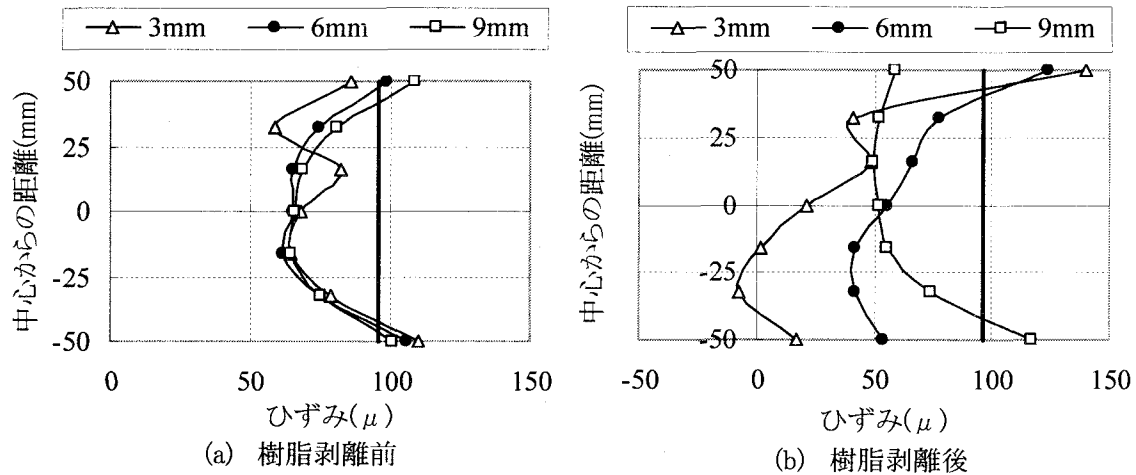


図-8 幅方向ひずみ分布

- (2) 今回の実験で得られた樹脂の付着強度は鋼板に対するもので、木部材との付着はこの付着強度に達しても損なわれていない。よって、鋼板の面を工夫することにより、付着強度の向上は図れるものと思われる。
- (3) 樹脂接合においても、これまでの著者らのボルト接合の結果と同様に、鋼板との接合面でのひずみは梁理論で得られる値よりも大きな値となる。
- (4) 断面の奥行方向ひずみは、接合面では大きくなるが、中央面では過度に小さくなる。

#### 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) H. Johansson and L. Stehn : A Linear Fracture Mechanics Evaluation of Plug Shear Failure, 8<sup>th</sup> World Conference on Timber Eng., pp.253-258, 2004
- 3) 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
- 4) M. Reid, J. Shin and P. Quenneville : Capacity Predictions for One and Two-row Bolted Timber Connection, 8<sup>th</sup> World Conference on Timber Eng., pp.275-280, 2004
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 今井富士夫、村上弥生、間瀬英男、飯村豊、中澤隆雄：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、構造工学論文集、Vol.52A、pp.829-836、2006