

木部材ボルト接合部の解析に関する検討

宮崎大学大学院 学生員 井上裕基

宮崎大学工学部 正 員 今井富士夫・尾上幸造・中澤隆雄

1. はじめに

近年、管理された薄板（ラミナ）を樹脂で接着しては梁に成形された集成木材を利用した近代木橋が建設されてきた。近代木橋の代表的な構造形式はアーチ橋とトラス橋である。かりこぼうず大橋は2003年に宮崎県に建設された支間48mのキングポストトラス橋である¹⁾。本橋の部材接合には鋼ジョイントが使用されており、鋼ボルトを介して力は伝達されている。本橋ではボルトねじ部の破損や木部材のボルト孔の裂けを避けるために、ボルト孔はボルトよりも大きくし、隙間によるガタを防ぐために樹脂が充填されている。充填樹脂はボルト接合部の耐力を向上させることは既に明らかとなっていたが²⁾、その効果は設計基準には反映されていない。

本研究は樹脂効果を詳細に検討し、基準に反映させることを目的とするもので、これまで実験的に検討を進めてきた³⁾⁴⁾。本報告は樹脂効果を解析的に解明することを目的に、種々の解析要素や材料的非線形モデルについて検討した結果について報告するものである。

2. 解析モデル

解析モデルは本研究室で実施された供試体を採用したもので、図-1に示すような1列2本のボルト配列のもので、鋼板を木部材の両面に配置したものである。木部材の断面は幅×高さ=150mm×180mmの6層からなる同一等級構

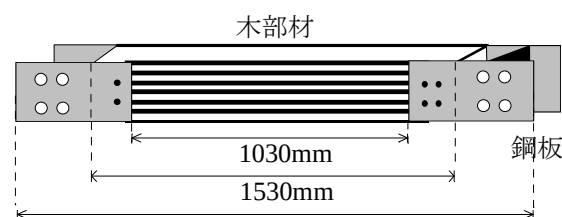


図-1 解析モデル



写真-1 ボルトの変形

図-2 ボルト周辺

成集成材（E65-F255、樹種:スギ）である。鋼ボルトはd16で、樹脂を充填する場合のボルト孔の径はφ20である。

写真-1は終局時のボルトの状況を示したものである。ボルトの変形によって、ボルトの片側は木にめり込み、逆側は離れている。この挙動を解析するために、図-2に示すように、ボルトと孔の間にはインターフェース要素を採用した。この要素の圧縮垂直応力は高い剛性で力を伝達するが、引張垂直やせん断応力はほぼ自由と考えて、低い剛性を与えている。

木部材はボルトなどの面圧によるめり込みが局所的に発生する。めり込み剛性や強度は木部材自体のものとは異なるものである。本解析では図-2に示すように、ボルト周りの木材の一部にめり込みを考慮した領域を設け、そこにはめり込み剛性を導入した。めり込み剛性や強度は部材端部と中央部では異なったものとなる⁵⁾⁶⁾。そこで、部材厚の両端1/4には端部剛性を、中央部の1/2には中央部剛性を適用した。宮崎県産スギラミナのめり込み性能は森田らが材料試験で得られた応力-めり込み変位の関係を公表しており⁵⁾、その関係はBi-linear型で表わされるが、応力ひずみ関係とはなっていない。そこで、木材工業ハンドブックに記載されている応力-めり込みひずみ図⁶⁾を参考に、図-3(a)のようなめり込み部の材料特性を仮定した。

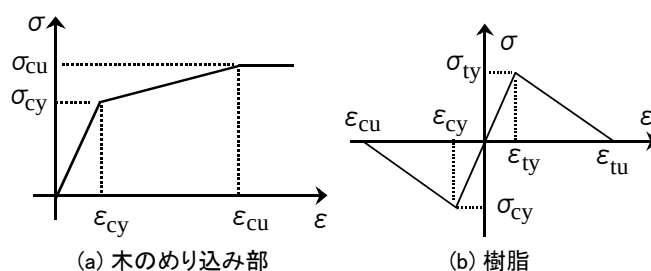


図-3 樹脂と木のめり込み部の材料特性

表-1 木めり込み部と樹脂の材料値

	木めり込み部		樹脂	
	中央部	材端部		
弾性係数 (N/mm ²)	280	220	3300	
ポアソン比	0.4	0.4	0.4	
強度 (N/mm ²)	降伏	2.8	圧縮	-93.1
	終局	6	引張	37.9
限界ひずみ	降伏	0.01	降伏	-0.028
	終局	0.1	終局	0.014

樹脂は実験で割れがみられている。そこで、図-3 (b) に示すような材料特性を仮定した。

表-1 は木めり込み部と樹脂の材料特性の材料諸元を示している。母材である集成材の異方性材料で、材軸方向の弾性係数は 6500N/mm^2 であり、樹脂の弾性係数は木部材の $1/2$ 程度である。

3. 解析結果

ここではボルト d16 に対して、ボルト孔をボルトと同径にした「打込み」とボルト孔を $\phi 20$ としてボルトとの隙間に樹脂を充填したもの「樹脂」について解析を行った。

図-4 は解析と実験から得られた荷重-引抜け曲線を示したものである。図中、「設計値」は接合部の設計耐力を示している⁷⁾。図から明らかなように、解析は初期剛性が実験に比べてやや高いようであるが、終局に至る挙動は実験とほぼ一致していると言えよう。実験の結果と同様に、解析においても樹脂をボルト孔に充填すると、引抜け剛性および終局荷重も向上しており、ボルトとボルト孔の隙間に樹脂を充填した場合、その終局荷重はボルト孔と同径のボルトの設計耐力まで向上している。このことは、樹脂を充填すると、その設計耐力はボルト孔と同径のボルトの設計値を使用してよいことを示唆するものである。

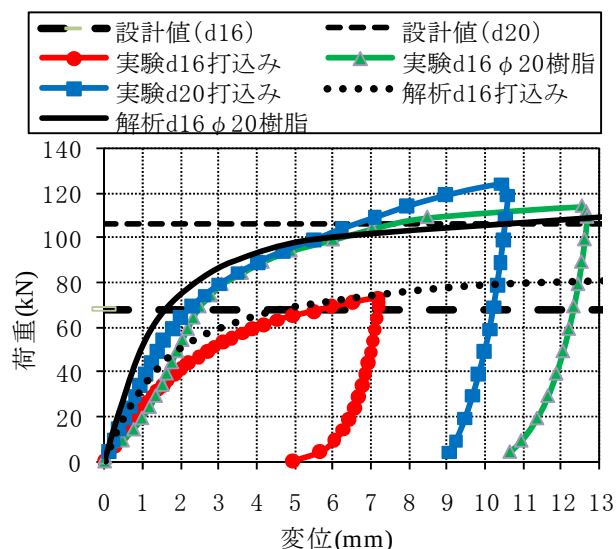


図-4 荷重-引き抜け曲線

図-5 は各荷重段階の荷重 10kN あたりのひずみ分布を示したもので、測定位置はボルト中心から 30mm 離れた位置である。木部材は均一な材料ではなく、木目の影響を受けるために実験結果にはバラツキが生じてしまう。このことを考慮して、実験と解析を比較する。

まず、ボルト位置では両者ともに圧縮ひずみが大きく、ボルト中間部や端部では引張ひずみが発生している。引張ひずみは荷重が増加とともに増大するが、圧縮ひずみは破

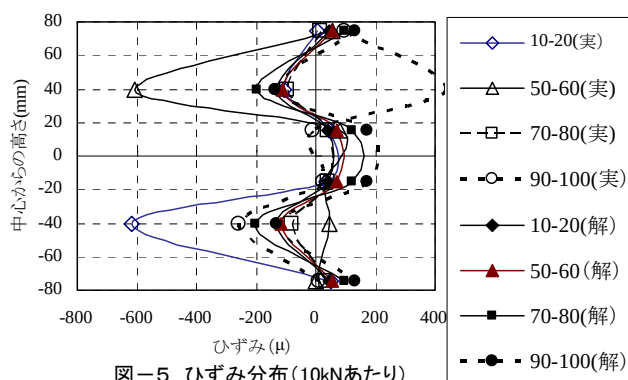


図-5 ひずみ分布 (10kNあたり)

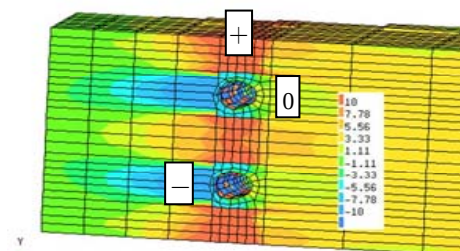


図-6 木部材の材軸方向の応力分布

壊に至る中間荷重で最大を示している。

実験も同様な傾向を示しているが、ボルト位置での圧縮ひずみが中間的な荷重で過大となるが、その後はほぼ解析に近い値を示している。ただし、終局荷重近傍でボルト位置の圧縮ひずみが引張に遷移しているが、この原因は考察できていない。

図-6 は解析で得られた終局時の木部材の材軸方向の応力分布を示したものである。ボルトの変形によるめり込みによって圧縮応力が生じ、逆側のボルト近傍の応力はほぼ 0 となっている。またボルトの上下の側面には圧縮集中部とほぼ同等の引張応力が生じていることは興味深い。

4. まとめ

本報告で得られた結果を要約すると以下ようになる。

- (1) 解析はほぼ実験と一致するが、非線形材料特性で仮定したモデルの検証が今後、必要となる。
- (2) 樹脂は実験で得られた結果と同様に、めり込み剛性や耐力を向上させる。

参考文献

- 1) 有村英樹 他：駒井技報、Vol.23、pp.31-43、2004、2) 手塚升 他：日本建築学会大会学術講演梗概集、その1、その6、その7、その10、その16、1987~1995、3) Fujio IMAI 他：10th World Conference on Timber Engineering、2008、4) 今井富士夫 他：構造工学論文集 Vol.56A、pp.850-857、2010、5) 森田秀樹 他：木材工業、Vol.58、No.7、pp.311-317、2003、6) 林業試験場監修：木材工業ハンドブック、p.137、2004、7) 日本建築学会：木質構造設計基準・同解説-許容応力度・許容耐力設計法一、p.239-p.247、2006