

木ボルト接合部の引抜け挙動に関する非線形解析

宮崎大学大学院 学生員 岩吉絢子
宮崎大学工学部 正 員 今井富士夫

1. はじめに

木橋の接合部において、ボルト孔にボルトを挿入する際、ボルト孔の裂けやねじ部の損傷を避けるためにボルト孔をボルト径よりも大きく穿ち、その隙間に樹脂を充填する工法が採用されることがあり、本研究室では充填樹脂がボルト接合部の機能を向上させることを実験的に明らかにしてきた¹⁾。しかし、実験ではボルト接合部の破壊に至るまでの木部材、樹脂およびボルトの挙動を詳細に把握することは困難である。そこで、FEM 解析を用いることによりボルトのめり込み挙動等を詳細に把握できる解析モデルを作成することが本研究の目的である。

2. 供試体のモデル化

解析で対象としたモデルは、実験供試体の接合部近傍を対象としたもので図-1に示す。ボルト接合部は、木材が鋼よりも軟らかいため、木部材へのめり込みが生じ、反対側では離れが発生する。このような接合部を表現するために、これまでコンタクト要素等の接触要素を用いて解析を行ってきたが十分な結果が得られなかった。

そこで、ここでの解析には接触要素を使用せず、図-2のように端部は変位を与える方向とは逆の面に、中間部は変位方向の面で肌離れすると仮定し、肌離れする接触面に剛度の極めて低い薄い要素を挿入することにより、ボルト変形に伴う木部材からのボルトの肌離れを表現することにした。また、桑村の研究でボルトの支圧中心から左右それぞれ 30°~95°の範囲に滑りが生じるとしている²⁾ことから、肌離れの逆側であるめり込み部に対しては、図-3のように滑り領域を設けた。

実験での载荷方法は静的単純引張荷重で、鋼板を介してボルトに荷重が伝達され、これによりボルトが木材にめり込むことから、鋼板をモデル化し、鋼板の左端面に強制変位を与えた。

拘束条件としては、x 軸は強制変位を与える場所と供試体の右端面、y 軸と z 軸はそれぞれ軸中央面を拘束した。

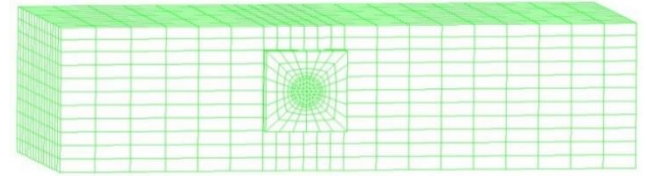


図-1 解析モデル

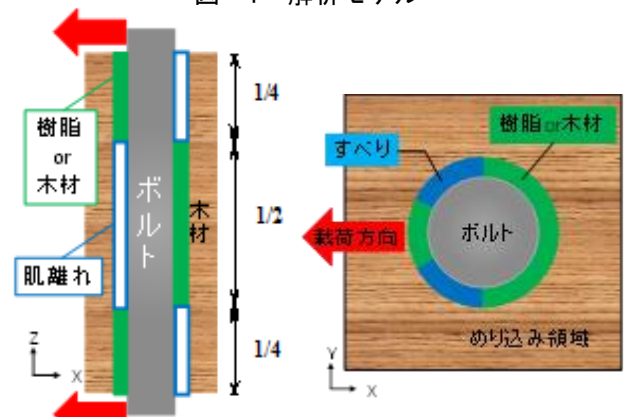


図-2 肌離れの仮定

図-3 滑りの仮定

表-1 材料特性

鋼材	弾性係数 (N/mm ²)	2.0×10 ⁵
	降伏応力 (N/mm ²) (ボルトの一部のみに適用)	320
木部材	弾性係数 (N/mm ²)	6500
	降伏応力 (N/mm ²) (めり込み部のみに適用)	31
樹脂	弾性係数 (N/mm ²)	3300
	降伏応力 (N/mm ²)	93.1

材料特性は表-1のようになっており、降伏基準は von Mises である。肌離れと滑りの材料値は隣接する材料値の 1/10,000 としている。

3. 解析結果

本解析では、ボルトとボルト孔が同等の打ち込み型 d16, d20 とボルト径よりも大きくボルト孔を穿ちその隙間に樹脂を充填した樹脂型 d16φ20, ボルト孔の両縁端部にテーパ域を設け樹脂を充填した d16φ20T32 の 4 つのモデルについて解析を行った。

図-4 は各モデルの荷重-変位曲線である。d16 は青色、d16φ20 は紫色、d16φ20T32 は緑色、d20 は赤色で示し、マーカーが白抜きになっているものが解析値

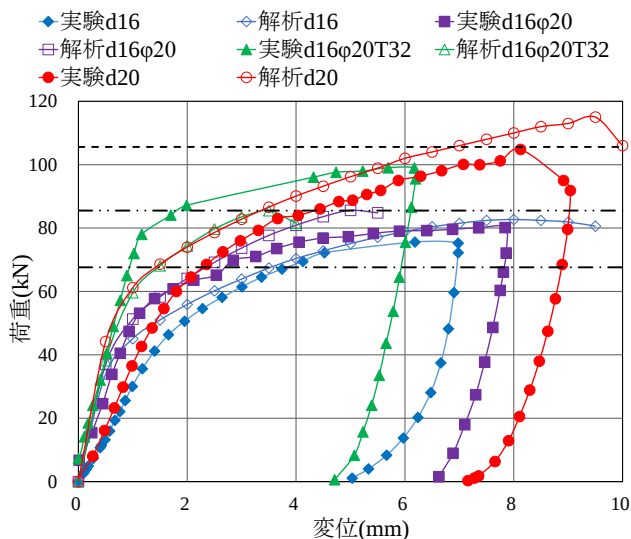


図-4 荷重－変位曲線

である．図中の一点鎖線は d16，二点鎖線は d18，破線は d20 の設計上のボルト接合部の終局耐力を表している．解析値は実験値に比べ初期剛性が高く出ているが，終局までの変位と強度は概ね捉えることができています．

d16φ20 についても，荷重－変位曲線は両者ともに良く一致しており，終局荷重は d18 の設計終局耐力と同等の値になっている．しかしながら，テーパをボルト孔両端に設けた d16φ20T32 は，初期剛性は実験値とほぼ同等であるが，終局耐力は差異が生じている．

図-5 はボルトの端から 20mm の位置におけるひずみ分布で，荷重 10kN に換算した値を比較している．図中の黒破線はボルト位置である．色分けは荷重－変位曲線と同じであり，破線が実験値，実線が解析値である．解析結果は打込み型では実験値に比べ大きな値となり，樹脂型に関しては実験値よりも小さな値となった．解析値と実験値に差はあるものの，傾向的には

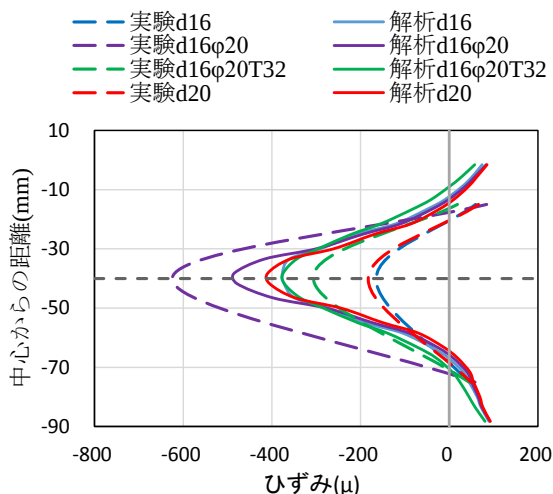


図-5 ひずみ分布

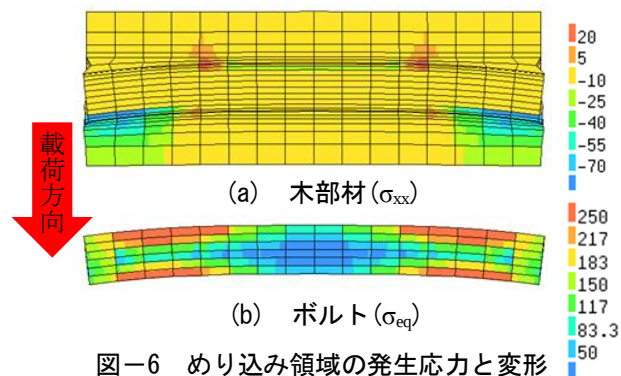


図-6 めり込み領域の発生応力と変形

テーパ型を除けば捉えることができていえる．

以上のことから，本法はボルト孔が両端で変化するテーパ型を除く，打込み型や樹脂型のようにボルト孔が様なボルト接合についての解析には十分に適用できると考えられる．

図-6(a) は木部材の繊維方向の応力と変形，(b) はボルトの相当応力と変形を示している．仮定したとおり木部材の端部では荷重方向と逆側で，中央部では荷重方向で応力が小さく，変形状態からも肌離れが生じていることがわかる．ボルトは端部で応力が大きく発生し，降伏する．

4. まとめ

本論文ではボルトのめり込み挙動を解明できる解析モデルを開発することを目的に，通常のコンタクト要素などの接触要素を使用せず，接触部分には通常の要素を用いて，肌離れになる箇所と圧着側の滑る箇所に剛性を低くした材料値を適用し，簡易的にめり込みや肌離れを表現する簡易的な解析モデルを提案し，実験との比較を行った．その結果，本解析モデルはボルト孔が部材の中で一様であれば，実験で得られた結果を十分に把握できることが明らかとなった．よって，本法を用いれば，多段階ボルトの接合部の終局までの変形過程や応力の変化などを解明できると考えられる．

また，今回の解析で樹脂効果も解析的に明らかにすることができた．

付 記

本研究は科学研究費助成事業・基盤研究(C) (平成 25 年度－27 年度，課題番号：25420487，代表者：今井富士夫) の交付を受けて実施された．

参考文献

- 1) 今井富士夫 他：充填樹脂が木部材ボルト接合部に与える効果に関する検討，構造工学論文集 Vol.58A, pp.793-802, 2012.
- 2) 桑村仁：繊維方向荷重を受ける単一ボルト接合部木材の破壊強さ，日本建築会構造系論文集，第 78 巻，第 691 号，pp.1575-1584, 2013.