

1. はじめに

環境・景観への配慮，地産地消を目的として，木質構造物の研究が土木分野においても注目されている．その代表的な構造物が木橋であり，木橋の接合部は構造物全体の性能に関わる重要な要素である．木材は柔らかく，めり込みによる変形が著しいため，めり込み挙動を解明するために有限要素法を用いた多くの研究が行われている．しかし，その多くは木材繊維直交方向のめり込みを取り扱っているものであり，木材繊維方向のめり込みを対象とした研究はほとんど見当たらない．

本研究は，FEM 解析により木材繊維方向のめり込みを弾塑性解析で検討し，ボルト接合部のめり込み挙動を把握することを目的としている．そこで，本解析では種々の材料モデルや構成則，拘束条件を用いて解析を行った結果と実験値との比較を行い，解析モデルの妥当性について検討を行った結果を報告する．

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 1/2 モデルで，図-1 に示すような直交異方性弾塑性体とした．本解析では，鋼板によるボルト端部の応力集中を防ぐために鋼板をモデル化せず，ボルト端部に直接強制変位を与えることとした．木材の断面は高さ 180mm×幅 150mm で，6 層からなる同一等級構成集成材（E65-F255，樹種：スギ）である．

木材は直交異方性の性質から，材料のモデル化および拘

束条件をどのように設定するかが非常に重要な要素となる．弘末ら¹⁾はスギ集成材を使用した 3 点曲げ形式実験により，木材接線方向の材中間部と材端部で強度が異なるという結果を報告している．また，写真-1 は実験後のボルト接合部の様子で，ボルトは繊維方向に真っ直ぐめり込んでおり，繊維直交方向・接線方向には変形が生じていない．また，ボルト圧縮部の反対側では，ボルトと木材の間に肌離れが生じている．

以上の観点から，本解析では図-2 に示すように，ボルト周囲に縦横 20×20mm のめり込み部を設けて，Y 軸方向の全節点変位と材中央面・材端面の Z 軸方向をそれぞれ拘束した．材料値については，Z 軸方向の材中間部を 1/2，材端部をそれぞれ 1/4 として表-1 に示す材料値を適用した．また，ボルトと木材（または樹脂）の間には，接触要素としてインターフェイス要素を適用している．この要素は圧縮側では高い剛性で力を伝達し，引張側では低い剛性を与えてほぼ自由とすることで，めり



写真-1 ボルトのめり込み

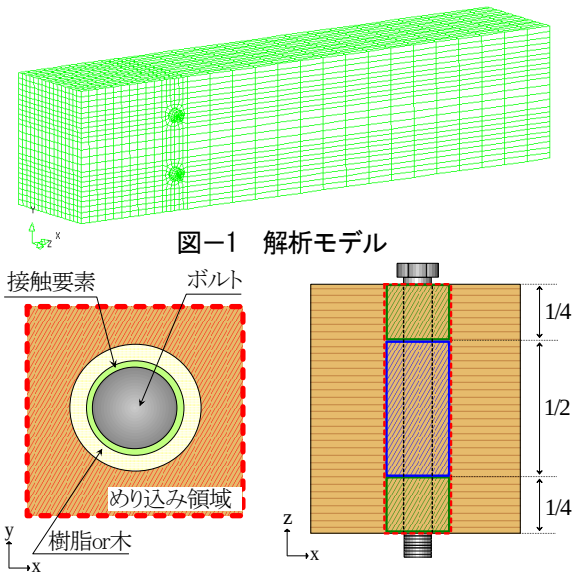


図-1 解析モデル

図-2 ボルト近傍のめり込み領域

表-1 要素の材料特性

ボルト	弾性係数(N/mm ²)	2.0*10 ⁵	
	ポアソン比(ν)	0.3	
	降伏応力(N/mm ²)	340	
	降伏基準	von Mises	
木部材 (めり込み部: 材中間部)	弾性係数(N/mm ²)	E _x	6500
		E _y ,E _z	260
	ポアソン比(ν)	ν_{xy}	0.4
		ν_{yz},ν_{zx}	0.016
	せん断弾性係数(N/mm ²)	G _{xy} ,G _{yz} ,G _{zx}	384
	降伏応力(N/mm ²) (※めり込み部のみに適用)	σ_x	31.0
		σ_y,σ_z	9.7
	降伏基準	Hill	
めり込み部: 材端部	弾性係数(N/mm ²)	E _x	4550
		E _y ,E _z	182
	ポアソン比(ν)	ν_{xy}	0.4
		ν_{yz},ν_{zx}	0.016
	せん断弾性係数(N/mm ²)	G _{xy} ,G _{yz} ,G _{zx}	303
	降伏応力(N/mm ²)	σ_x	31.0
		σ_y,σ_z	9.7
	降伏基準	Hill	
x:繊維方向、y:繊維直交方向、z:接線方向			

込み部の挙動を表現している。

直交異方性材料の降伏条件としてはHillの条件式がよく知られている。本解析においてもHillの条件式により木質構造設計規準・同解説²⁾(以下、木規準)に示された支圧強度を適用している。しかし、木規準に示された値は安全面を最大限に考慮した値であり、実際は木規準の1.5倍程度まで高くなる事が分かっている³⁾。また、スギの樹種については繊維直交方向の実験値は木規準の値とほぼ同等となることから⁴⁾、木材繊維方向の降伏値のみを木規準の1.5倍として設定した。ボルトおよび樹脂の降伏条件についてはvon Misesの降伏条件を使用している(表-1)。

3. 解析結果

本解析では、ボルト径とボルト孔が等しい16mm(d16)と20mm(d20)の打込み型とボルト孔(ϕ)がボルト径よりも大きく、その隙間に樹脂を充填したd16 ϕ 20の樹脂型について解析を行った。

図-3は各モデルの荷重-変位曲線である。黒い破線はd16とd20の設計耐力を示している。d16とd20打込み型については、初期剛性やめり込み変位に多少の差異が生じているものの、実験値とほぼ等しい挙動を示している。また、

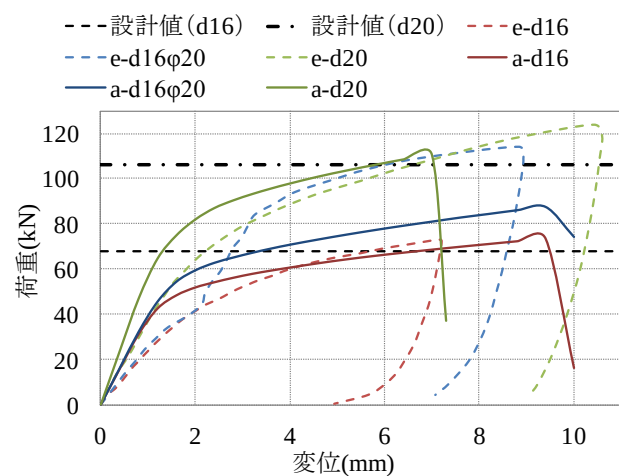


図-3 荷重-変位曲線

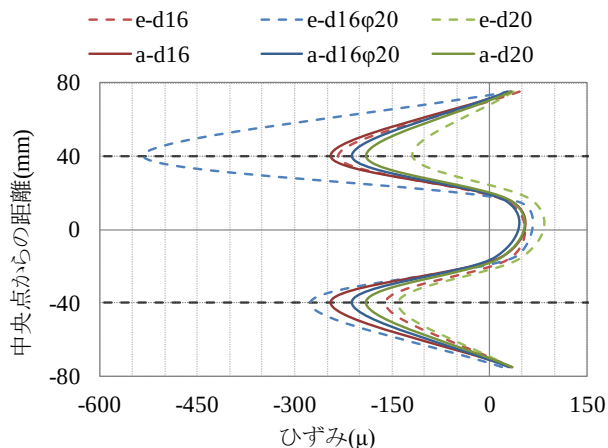


図-4 ひずみ分布

それぞれの設計耐力も満足していることから、本解析のモデル化は妥当であると考えられる。一方、d16 ϕ 20の樹脂型は、d20の設計耐力を満たしてはいないものの、d16の打込み型と比較すると耐力の向上が見られることから、樹脂の効果が確認できたといえよう。初期剛性の差異に関しては、ボルト端部の拘束条件が起因していると考えられる。実験の場合は鋼板を介してボルトに変位を与えているが、ボルト端部のナットは手締めで固定しているだけで、回転やボルトの軸方向の拘束はほぼ自由となっている。一方、解析ではボルト端部の軸方向変位を完全に固定している。したがって、拘束により初期の反力が大きくなることから、初期剛性が高くなると考えられる。

図-4はボルトから30mmの位置における高さ方向のひずみ分布で、荷重10kNに換算した値を比較している。図中の黒い破線はボルト位置である。ボルト位置では応力集中が発生するため、圧縮側で大きなひずみが生じ、中間部や端部では引張ひずみが生じている。ひずみ分布の傾向については、打込み型は実験値に近い分布を示しており、ボルト径が大きくなるほどひずみが小さくなるという実験値と同様の性質が確認できる。一方、樹脂型については、実験値のd16とd16 ϕ 20を比較した場合、樹脂型の方が大きなひずみが発生しているのに対し、解析では逆の結果を得ている。この点については、樹脂の効果を考える上で非常に重要な要素となるので、実験と解析の両面から検討していく必要がある。

4. まとめ

本稿で得られた結果を要約すると以下ようになる。

1. むり込み部の剛性を変化させ、Y軸方向の全節点変位を拘束することでめり込み挙動が一致する。
2. 繊維方向の降伏応力を1.5倍にすることで実験値と同等の耐力を満足する。
3. ボルト接合部のめり込み挙動を解析的に把握することができた。

参考文献

- 1) 弘末幹明 他：日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.17-18, 2009.
- 2) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説，p.223, p.404, 2006.
- 3) 田中勝 他：日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.53-54, 2003.
- 4) 神戸渡 他：日本建築学会東北支部研究報告会，pp.42-44, 2009.