

学 位 論 文 題 名

Bending Strength and Stiffness of Butt-jointed Glulam Beams for Residential Construction

（住宅用バットジョイント集成梁の曲げ耐力と剛性）

学位論文内容の要旨

日本の人工林は現在その多くが育成途上にあり、主伐材を安定供給する状態に至っていない。人工林育成の過程で伐採される間伐材は、形状寸法、材質ともに劣るため、経済的、技術的に利用が難しく、需要の乏しい状況が続いている。それによる間伐の遅れが、人工林の効果的な育成を阻み、主伐材の安定供給を遅らせるとともに、森林自体の活性化をも阻むという悪循環に陥っている。

また、いわゆる天然林から伐採される木材も、世界的に低質化が進む傾向にあり、優良材の選択的利用による総伐採量の増加を抑制するためには、伐採総量ベースの利用効率の向上が望まれている。

間伐材を初めとする低質材の構造用材としての利用法の一つに、集成材としての利用があるが、間伐材などの多くは通直材が少なく、そのままでは短い梁材としても利用効率が極めて低い。そのため、低質材のみを原材料とする場合、集成材の曲げ耐力を支配する引張側最外層も含め、ラミナ（集成材を構成する板材）の縦継ぎが必要になり、縦継ぎの品質管理が極めて重要になる。

しかし、製材加工業の大半を占める零細工場では、フィンガージョイントなどの構造用縦継ぎ設備を導入し、JAS 規格等を満たす工程管理を確実に行うことが難しいことが多い。

一方、最も簡単な縦継ぎ法であるバットジョイントは、接合効率が劣るため、最近ほとんど用いられていないが、経費的にも工程管理の面からも、導入が容易である。したがって、製品性能上の支障がなければ、地域内低質資源を地域内で集成加工する際の縦継ぎ法として見直される可能性を持っている。バットジョイントは同時に、品質管理の不十分なフィンガージョイントの、下限的性能評価モデルと見なすこともできる。

間伐材など低質材のこれまでの利用開発研究は、原材料として低質材だけを想定したものがほとんどであった。しかし、現在も一定量の中高質材が市場流通していることを考えれば、低質短尺材と中高質長尺材を混合利用するのも一つの有効な方策であると考えられる。

集成材の曲げ性能は、引張側外層ラミナの強度に依存するが、一般住宅レベルで見れば、床梁の必要長さはその大半が 3.6m 程度である。したがって、汎用性を求めず、用途を限定した部材開発を考えれば、間伐材などの低質短尺材を圧縮側およびコア部分に、中高質長尺材を引張側に配置した集成材（以下バットジョイント集成材）を住宅用床梁材として供給できる可能性がある。

本研究ではこのような視点から、短尺ラミナと長尺ラミナを組み合わせたバットジョイント集成材

を試作し、その住宅用床梁材としての性能評価を行った。

第1章では、集成材の製造技術および剛性・耐力の評価法に関する基本事項を示した。

第2章では、圧縮側外層およびコア部分に短尺ラミナを、引張側外層に長尺ラミナを配置した、数種類の5層バットジョイント集成材の、住宅用床梁材としての曲げ性能を検討した。ここでは、品質管理が不備な場合の下限性能を把握するため、バットジョイント部に2mmの隙間を設けた集成材の曲げ破壊試験を行い、長尺ラミナのみからなるコントロール試験体の曲げ性能と比較した。

バットジョイント集成材の剛性・耐力は、短尺ラミナを圧縮側外層に配置すると、バットジョイント部で圧縮応力が直接伝達されないため、短尺材をコア部分に配置した場合より低下が著しいことが分かった。この試験結果から、緻密な品質管理が難しく、バットジョイント部に隙間の生じる可能性がある場合は、引張側外層、圧縮側外層ともに縦継ぎのない長尺ラミナを使用し、コア部分にバットジョイントラミナを配置するのが適切であるという結論が得られた。

バットジョイント集成材の曲げ剛性低下については、バットジョイント周辺部の歪エネルギー密度分布を考慮した、バットジョイントの等価形状置換による近似計算法を誘導し、実験結果との比較により、この方法によって有効曲げ剛性の計算が可能であることを検証した。また、最弱バットジョイント断面の有効断面係数を用いることにより、実用レベルで支障のない曲げ耐力推定が可能ながことが分かった。

以上により、バットジョイント集成材を住宅用床梁に使用する場合、バットジョイントの存在によって、剛性・耐力が低下しても、実用的に可能な範囲の構造計算で断面設計が行えることを示した。

第2章の検討結果から、圧縮側バットジョイント部での応力伝達の有無が曲げ性能に大きく影響することが分かった。そこで、第3章では工程管理が不十分でも圧縮側ラミナでの応力伝達が行えるよう、バットジョイント部にポリウレタン系接着剤を充填した接着剤充填型バットジョイントについて検討を行った。

ここでは、バットジョイント部の木口間に2mmの隙間のある場合、木口面が十分密着している場合、木口間に接着剤を充填した場合について、3層モデル試験体を用いた圧縮試験を行った。その結果、木口間に隙間があると圧縮剛性・耐力が著しく低下すること、木口面を慎重に密着させた場合も、連続したラミナに比べ圧縮剛性が低下する場合があること、木口間に接着剤を充填すると圧縮応力伝達が確実になり、ほぼ100%の剛性・耐力効率が期待できることが分かった。

また参考のために、上記と同様の試験体について引張試験も行い、引張側ラミナでは接着剤を充填しても、ほとんど剛性・耐力の向上は期待できないことを確認した。

上記の検討結果に基づき、第4章では接着剤充填型バットジョイントを用いた集成材を制作し、第2章と同様な曲げ破壊試験を行った。この試験結果を、コントロール集成材およびバットジョイント部に隙間のある集成材の試験結果と比較した結果、バットジョイント部に接着剤を充填することにより、集成材の剛性・耐力が大きく向上することが分かった。この効果は、特に圧縮側外層に接着剤充填ラミナを配置する場合に著しかった。その結果、木口間に隙間のあるバットジョイント集成材と異なり、圧縮、引張側外層に長尺ラミナを配置するよりも、使用可能な枚数の長尺ラミナを引張側外層に集中配置し、コア部分および圧縮側外層に短尺ラミナを配置する方が、高い曲げ性能が得られるこ

とが分かった。この集成材の曲げ剛性と耐力は、長尺ラミナのみからなる集成材より数パーセント程度低いだけで、住宅用床梁として十分な曲げ性能を持つことが明らかとなった。

接着剤充填型バットジョイントは高度な技術を必要とせず、零細な木材加工工場でも品質管理可能である。したがって、この集成加工法の導入により、地域内における低質木材資源と中高質木材資源の混合利用と、住宅用構造部材の供給が可能になると考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 平 井 卓 郎

副 査 教 授 藤 川 清 三

副 査 助 教 授 小 泉 章 夫

副 査 教 授 上 田 恒 司 (弘前大学教育学部)

学 位 論 文 題 名

Bending Strength and Stiffness of Butt-jointed Glulam Beams for Residential Construction

(住宅用バットジョイント集成梁の曲げ耐力と剛性)

本論文は5章からなる総頁数 121 の英文論文で、他に参考論文 2 編が添えられている。

間伐材を初めとする低質材の構造用材としての利用法の一つに、集成材としての利用があるが、間伐材などの多くは通直材が少なく、そのままでは短い梁材としても利用効率が極めて低い。そのため、これらのみを原材料として集成材を製造するには、引張側最外層も含めてラミナ (集成材を構成する板材) の縦継ぎが必要になる。しかし、我が国の製材加工業の大半を占める零細工場では、フィンガージョイントなどの構造用縦継ぎ設備を導入し、JAS 規格等を満たす工程管理を確実に行うのが難しいことが多い。開発途上国ではなおさらである。一方、最も簡単な縦継ぎ法であるバットジョイントは、性能的にはフィンガージョイントなどに大きく劣るが、経費的にも工程管理の面から、導入が比較的容易である。

集成材の曲げ性能は、引張側外層ラミナの強度に依存するが、一般住宅における床梁の必要長さはその大半が 3.6m 程度である。この点を考慮すれば、間伐材などの低質短尺材を圧縮側およびコア部分に、中高質の長尺材を引張側に配置した集成材梁 (以下バットジョイント集成材) を住宅用床梁材として供給できる可能性がある。

本論文ではこのような視点から、短尺ラミナと長尺ラミナを組み合わせたバットジョイント集成材を試作し、その住宅用床梁材としての性能評価を行っている。

まず、圧縮側外層およびコア部分に短尺ラミナを、引張側外層に長尺ラミナを配置した数仕様の 5 層バットジョイント集成材を製作し、住宅用床梁材としての曲げ性能を検討した。その際、工程管理が不十分な場合を想定し、バットジョイント部に隙間を設けた。この検討結果から、緻密な工程管理が難しく、バットジョイント部に隙間の生じる可能性がある場合は、引張側外層、圧縮側外層ともに縦継ぎのない長尺ラミナを使用し、コア部分にバットジョイントラミナを配置するのが適切であると結論付けている。

バットジョイント集成材の曲げ剛性低下については、バットジョイント周辺の歪エネルギー密度

分布を考慮した、等価形状置換による近似計算法を提案し、その有効性を検証した。また、最弱バットジョイント断面の有効断面係数を用いることにより、曲げ耐力推定が可能なことを示した。以上により、バットジョイント集成材の実用レベルでの断面設計を可能とした。

次に、工程管理が不十分でも圧縮側ラミナで応力伝達が行えるよう、バットジョイント部にポリウレタン系接着剤を充填した接着剤充填型バットジョイントについて検討を行った。これにより、通常のバットジョイントでは、木口面を慎重に密着させても、連続ラミナに比べ圧縮剛性が低下する場合があるのに対し、接着剤を充填すると圧縮応力伝達が確実になり、ほぼ 100%の剛性効率が得られることを示した。

上記の検討結果に基づき、接着剤充填型バットジョイントを用いた集成材を試作して曲げ性能試験を行った。これにより、接着剤充填型バットジョイント集成材では、使用可能な枚数の長尺ラミナを引張側外層に集中配置し、コア部分および圧縮側外層に短尺ラミナを配置する方が、高い曲げ性能が得られることを示した。また、この集成材の曲げ剛性と耐力は、長尺ラミナのみからなる集成材より数パーセント程度低いだけで、住宅用床梁として十分な曲げ性能を持つことを明らかにした。

接着剤充填型バットジョイントは高度な技術を必要とせず、零細な木材加工工場でも工程管理可能である。したがって、この集成加工法の導入により、低質木材資源と中高質木材資源の混合利用による住宅用構造部材の供給が可能になると考えられる。

以上のように本論文は、低質木材資源を低次加工により住宅構造用材として利用するための、新たな方法を提案しており、その成果は学術上、応用上高く評価される。

よって審査員一同は、Dansoh, Anim Boanyo が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。