

FEM解析による土木分野に適した木材のせん断破壊標準試験法に関する基礎的研究

金沢工業大学大学院 学生員 ○篠原己観郎 フェロー 本田秀行
福岡大学 正会員 千田知弘 正会員 渡辺浩 秋田県立大学木高研 佐々木貴信

1. はじめに

2009年に「森林・林業再生プラン」が閣議決定されたのに続き、2010年には「公共建築物における木材の利用の促進に関する法律」が施行され、土木分野に対する木材利用の義務化が明文化された。そこでは、年間300万 m^3 もの木材利用量が土木分野に求められており、現状年間約100万 m^3 である木材利用量を如何に目標数に近づけていくのかが今後の重大な課題となっている。一方、土木分野での木材利用に関しては、近年では木橋などの研究が積極的に行われてきたが、その中で木橋に着目すると、土木分野に適した基準強度や試験法が整備されておらず、普及を目指すには少なからず障害が存在する。その代表例がせん断強度であり、測定が著しく困難であるため、極端に低く安全側に設定された建築基準法の値を代用している。この許容応力度を満たそうとすると、桁断面が巨大化し、仮設箇所、コスト等の面などで大きな制約を受ける。九州産スギ材を例にとると、現在使用されているせん断許容応力度は0.6MPaであるが、多くの研究者が経験則から推測している1.2MPaであることが簡単に示せれば、上記制約が解消される。

本研究は、既往の木橋の研究で実績のあるFEM解析を用い、曲げ方式で確実にせん断破壊する試験ジグと試験法を開発し、土木分野に適した木材のせん断強度を明示することを目的とした研究の基礎研究であり、2試験体を設計し、解析した結果を報告する。

2. 試験体概要

木材のせん断強度測定を困難としている最大の理由として、せん断強度に比して曲げ強度が著しく低いことが挙げられる。そこで本研究では、鋼製ジグを用いて曲げを補強した試験法を提案する。試験体正面図を図-1に、側面図を図-2に、平面図を図-3に、内部構造を分かりやすくするために鋼ジグの上フランジを取り除いた概略図を図-4に示す。鋼ジグに木材を挿入し、ボルトで固定するだけの仕様とした。

鋼ジグは支間中央部の断面を使用した構造計算において、3点曲げで50kNまで降伏しない断面とした。FEM解析では、木材に必要なせん断応力(許容せん断応力度1.2MPaの3倍の3.6MPa)を生じさせることが可能であるか、必要なせん断強度に達する前に鋼ジグが降伏(240MPa)しないか、木材を固定するボルトが降伏しないか、の3点に絞って解析した。

3. FEM解析モデル

本解析では、汎用FEM(有限要素法)解析ツールANSYS(Ver13.0, ANSYS, Inc)を用いて解析を行った。FEM解析モデル(要素分割図)を図-5に示す。解析ではソリッド要素を用い、要素サイズ2.5~10mmとした。解析では支点板と載荷板もモデル化し、接触解析を行うことで、対象試験体にFEM固有の応力集中が生じないようにした。材料定数を表-1、表-2に示す。解析では公称値を用いた。境界条件は、支点板底面中央に位置する全ての節点のy方向変位を拘束、2つの支点板の内片方の同じ位置の節点のz方向を拘束した。

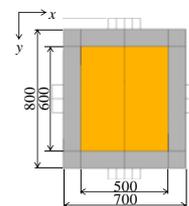


図-1 正面図

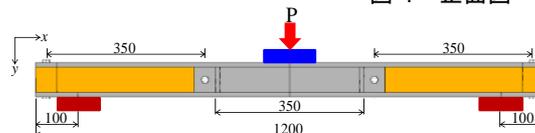


図-2 側面図

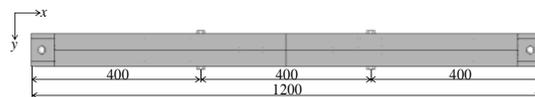


図-3 平面図

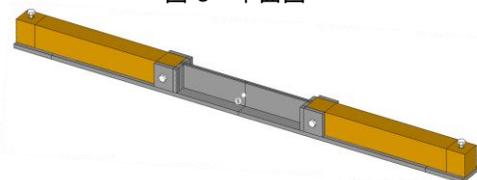


図-4 概略図

キーワード 木材, FEM, せん断強度

連絡先 〒921-8501 石川県野々市市扇ヶ丘7-1 金沢工業大学大学院 環境土木工学専攻

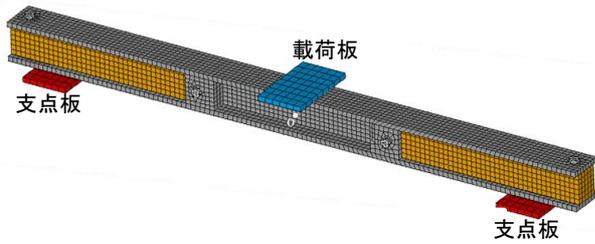


図-5 要素分割図

表-1 材料定数

部位・部材	要素形状・自由度	メッシュサイズ (mm)	ヤング率 (GPa)	ポアソン比
鋼材	6面体 8節点 24自由度 (SOLID185)	1	200	0.3
ボルト	6面体 8節点 24自由度 (SOLID185)	1	200	0.3
ボルト頭	4面体 10節点 30自由度 (SOLID187)	1	200	0.3
載荷板	6面体 8節点 24自由度 (SOLID185)	2	2.0×10^5	0.3
支点板	6面体 8節点 24自由度 (SOLID185)	2	2.0×10^5	0.3
木材	6面体 8節点 24自由度 (SOLID185)	1	表-2	表-2

表-2 木材の材料定数

ヤング率	$E_x = E_y = E_z = 7.5 \text{ GPa}$
せん断弾性係数	$E_s = E_{xy} = E_{yz} = E_{zx} = E_s / 25 = 0.3 \text{ GPa}$
ポアソン比	$\nu_{xy} = \nu_{xz} = \nu_{yz} = \nu_{yx} = 0.016$ $\nu_{zx} = \nu_{zy} = 0.4$

4. 解析結果と考察

50kN 載荷時に試験体に生じる軸方向応力分布を図-6に、木材に生じるせん断応力分布を図-7に、ボルトに生じる相当応力分布を図-8に示す。ボルトは2方向に挿入されているので、相当応力分布で示した。本試験体は鋼ジグの支間中央部と端部とで構造が異なるが、構造計算通りに、鋼ジグに生じる軸方向応力は、降伏点240MPaを下回った。しかしながら、木材にはボルト挿入位置に大きなせん断応力集中が見られるのみで、木材本体には1.4MPa程度の応力しか生じず、条件である3.6MPaを満たさない。これは、木材を取りつけるために挿入したボルトに力が集中し、木材に十分に力が伝わらない、せん断遅れ挙動が生じたためと考えられる。ボルトに力が集中した理由として、試験体中央部以外は木材がウェブの役割を担うが、ボルトで固定されているだけであるので、上フランジと下フランジの変形挙動が一致せず、ボルトが著しくせん断を受けるためである。よって、ボルトに応力集中が生じないように、鋼ジグにウェブを取りつけ補剛したモデルで再解析を行った。

ウェブを取りつけ補剛した試験体の側面図を図-9に示す。本モデルの場合、試験後に木材を取り出すことが困難となるので、木材の張出しを250mmと大きくした。応力分布に図-6~図-8との大きな差が見られなかったため、ここでは各図は省略する。図-9のモデルの場合、ボルトに生じる最大応力は22MPaまで減少し、ウェブを取りつけた効果が見られた。しかしながら、せん断応力に関しては、図-7に見られたボルト挿入部付近の応力集中は減少したが、鋼ウェブの効果で試験体全体のせん断剛性が向上し、木材本体には0.23MPaの応力しか生じなかった。よって、ボルトの応力集中を減少させつつ、せん断剛性が向上しない試験体設計が今後の課題となる。

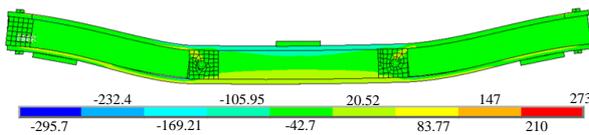


図-6 試験体に生じる軸方向応力分布

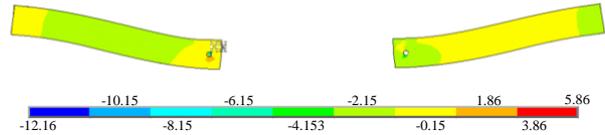


図-7 木材に生じるせん断応力分布

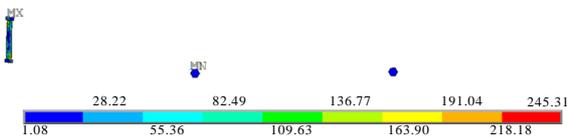


図-8 ボルトに生じる相当応力分布

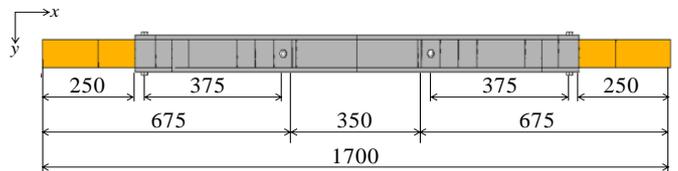


図-9 補剛した試験体の側面図

4. まとめ

本研究では、FEM 解析を用い、鋼ジグを用いた曲げ方式で確実にせん断破壊する試験ジグと試験法の開発の基礎研究を行った。鋼ジグに生じる軸方向応力、木材に生じるせん断応力、ボルトに生じる曲げ応力を照査し、鋼ジグとボルトが降伏しない試験体設計は成功したが、必要な木材のせん断強度は得られなかった。しかしながら、FEM を用いた本研究手法は、詳細設計に非常に有効であった。