

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 13 日現在

機関番号：14401
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21780167
 研究課題名（和文）
 木質構造を対象とした有限要素解析モデルの開発に関する研究
 研究課題名（英文）
 Analytical study on finite element method analysis for timber structures
 研究代表者
 瀧野 敦夫 (TAKINO ATSUO)
 大阪大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号：10403148

研究成果の概要（和文）：本研究では、基礎的な材料試験や接合部試験に基づいて、木質構造を対象とした非線形有限要素解析を実施した。汎用有限要素解析ソフトウェアである LS-DYNA に含まれる簡易異方性モデルである木材モデルを用いると、木材特有のめり込み現象といった異方性の非線形挙動を精度良く再現することができた。本解析手法を用いれば、種々の複雑な接合部の有限要素解析を実施することが可能となる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we conducted the non-linear FEM analysis for timber structures, based on the basic material tests and joint tests. Using wood material model, which is simplified anisotropic model including LS-DYNA (one of the general commercial applications), the analytical results showed close agreement with the test results such as compressive deformation perpendicular to the grain.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：木質構造

科研費の分科・細目：森林学・木質科学

キーワード：木質構造、有限要素解析、非線形挙動、めり込み、異方性

1. 研究開始当初の背景

近年、木質構造の研究者が工学系・農学系問わず飛躍的に増大し、これに伴い種々の実験データ・解析データが蓄積され、木質構造研究は大きく進展した。木質構造の有限要素解析に関しても、部材レベルから構造体レベルまで多くの解析事例が蓄積されつつあるが、その手法は研究者個人の判断に委ねられている部分が多く、一般的な手法として確立されたものは存在しない。木材は生物材料であるが故に、材料の不均一性（ヤング係数の

ばらつき、節の有無、年輪構成に伴う材質の変化等）が生じることや異方性材料という複雑な構成が有限要素解析をより一層困難なものにしている。さらに木材には、割裂破壊やめり込みといった木材特有の破壊現象が見られる。特にめり込みは、木質接合部の靱性確保には欠かすことのできない特性で、終局状態に至る過程で出現することが非常に多く、解析において塑性域まで追従するためには、避けて通ることのできない現象である。このような状況にありながら、木材の材料

モデルや要素モデルに関する基礎的な研究はほとんど行われていない。これは、実際には有限要素解析と言いつつも線材と節点バネでモデル化したフレーム解析を行っている研究が非常に多いところに起因している。このようなフレーム解析では、接合部試験から得られた復元力特性をそのまま節点バネモデルに適用すればよく、鋼構造等の他種構造の解析手法と大きく変わるところはない。しかし、接合部の力学性能を解明する際には、多数のパラメータを用いたケーススタディが解析手法の最も得意とするところであり、このような場合には木材の特性を明確にする必要がある。このためには、精度の高い有限要素解析モデルの構築が必要不可欠であると言える。

2. 研究の目的

本研究では、木材の圧縮試験やせん断試験など基礎的な材料試験を行い、木材の材料構成則について考察し、この結果に基づいて有限要素解析における材料モデルに関する考察を行う。また、めり込み挙動を伴う接合部の解析へと応用し、木質構造を対象とした有限要素解析手法の構築を目指す。

3. 研究の方法

(1) 木材の圧縮試験・ブロックせん断試験

解析に使用する諸定数を求めるために、圧縮試験、ブロックせん断試験を実施した。繊維方向と繊維直交方向に分けて実施し、各方向に対するヤング係数やポアソン比、せん断弾性係数を得た。

(2) めり込み試験

木材の代表的な非線形挙動であるめり込み試験を実施した。

(3) 接合部試験

種々の接合部試験を実施した。試験種別は、腰掛け鎌ぎの引張試験、追掛大栓継手の曲げせん断試験、木質ラーメン構造接合部の曲げせん断試験、貫十字型の柱梁仕口の曲げせん断試験、筋かい架構の水平せん断加力試験である。

(4) 有限要素解析の実施

(1)～(3)で示した各実験に対して3次元有限要素解析を実施した。また、解析手法の応用を試みるために、伝統的木造建築物に用いられる組物を対象とした解析も実施した。

4. 研究成果

(1) 木材の圧縮試験・ブロックせん断試験

スギ、スギ集成材、ベイツ、カラマツ集成材、オウシュウアカマツ集成材について、ヤング係数やポアソン比についてまとめた。本実験では、実構造物に用いるような実大サイズの製材を試験体に用いている。木材は異方性材料であるが、繊維方向の強度、剛性が

卓越しているうえに、実際の構造物においては年輪の傾斜角や髓心の有無などを詳細に調査することは不可能であることから、実用性を考慮して、有限要素解析で用いる値は繊維方向と繊維直交方向の2種類でよいと考える。つまり、接線方向と半径方向の区別は特に設けないこととした。



写真1 圧縮試験とブロック試験の様子

圧縮試験とブロック試験のFEM解析モデルを図1に、解析結果と実験結果の比較を図2に示す。解析に使用する材料定数は、実験より得られた値を用いた。異方性の木材材料モデルを用いることにより、塑性化後の挙動も再現することができており、せん断試験の荷重低下についても概ね再現可能であることが分かる。ただし、加力方向によっては、変形状や破壊形状が大きく異なるものも見られ、これらについては十分注意が必要である。

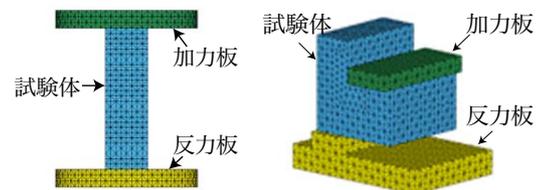


図1 解析モデル（左：圧縮試験、右：ブロックせん断試験）

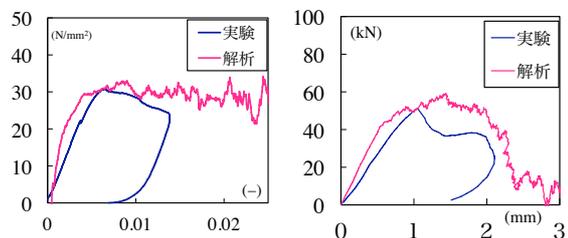


図2 解析結果と実験結果の比較
(左：圧縮試験、右：ブロックせん断試験)

(2) めり込み試験

スギ、スギ集成材、カラマツ集成材、オウシュウアカマツ集成材について、めり込み試

験を実施した（写真 2、図 3）。特にスギ集成材では、ラミナの接着方向に対して加力板の向きが平行と直交する 2 方向に対して実験を行ったところ、接着方向の違いでめり込み特性が異なる結果が得られた（図 4）。

めり込み試験の有限要素解析モデルを図 5 に、解析結果と実験結果の比較を図 6 に示す。等方性弾塑性体モデルによる解析結果では、概ね精度良く実験結果を再現できていることが分かる。しかし、加力方向によっては大きな差異が生じており、正確な解析を実施するためには異方性モデルを用いなければならないことが分かる。



写真 2 めり込み試験の様子

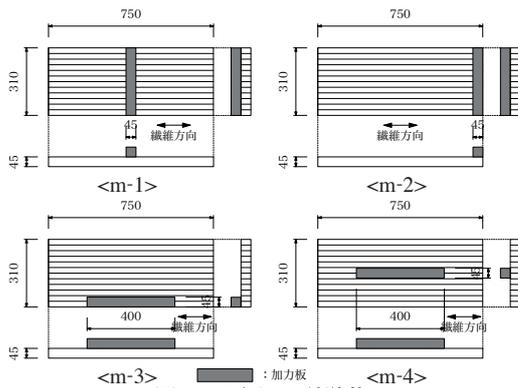


図 3 めり込み試験体（スギ集成材）

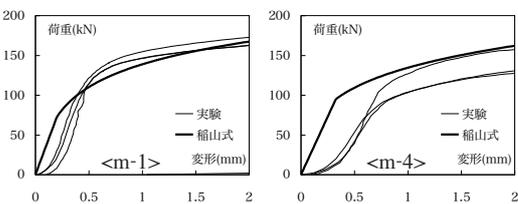


図 4 めり込み試験の比較（スギ集成材）

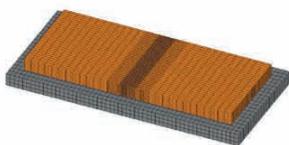


図 5 解析モデル（めり込み試験）

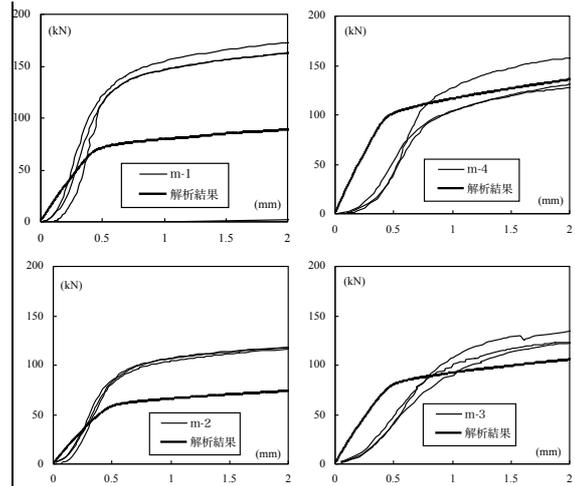


図 6 解析結果と実験結果の比較

(3) 接合部試験

貫十字型の柱梁仕口の曲げせん断試験の様子を写真 3 に示す。破壊は、まず仕口部分の柱においてめり込み変形が見られ、その後、曲げ破壊による引張破断が生じた。

有限要素解析モデルを図 7 に示す。解析モデルには異方性を考慮した木材材料モデルを用いた。なお、貫十字型の柱梁仕口の試験体を作成した元の木材から圧縮試験体やブロックせん断試験体を採用しており、ヤング係数やせん断弾性係数などの諸定数を求めているため、解析にはこれらの定数を用いた。解析結果と実験結果の比較を図 8 に示す。スギでは、初期剛性や降伏時の挙動など非常に精度良く再現できている。ベイマツでは初期剛性、降伏耐力ともに解析の方が高い傾向にはあるが、定性的な傾向は捉えることができる。図 9 に示す破壊時の変形形状も概ねよい対応を示していることが分かる。



写真 3 貫十字型の柱梁仕口の曲げせん断試験の様子

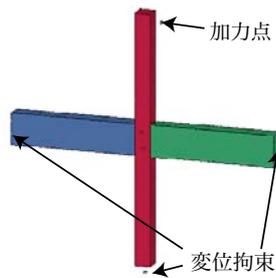


図 7 貫十字型の柱梁仕口試験体の有限要素解析モデル

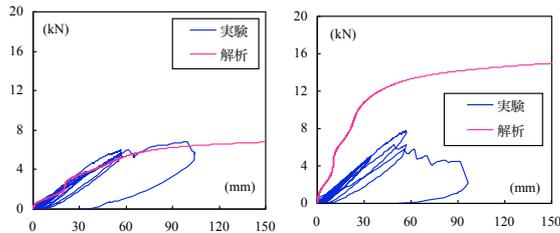


図 8 解析結果と実験結果の比較
(左：スギ、右：ベイマツ)

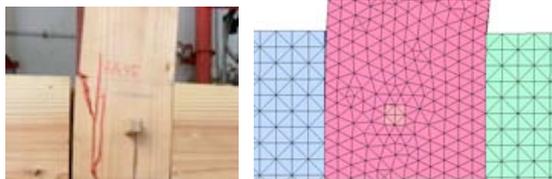


図 9 変形状の比較

(4) 伝統的木造建物への応用

本解析手法を伝統的木造建物の組物付き柱への解析に応用することを試みた。解析モデルを図 10 に、解析結果を図 11 に示す。定量的な評価はまだ完全には行えないが、定性的傾向については概ね捉えることができている。今後は、さらに応用例を増やしていき、解析精度の信頼性を向上させることが必要である。

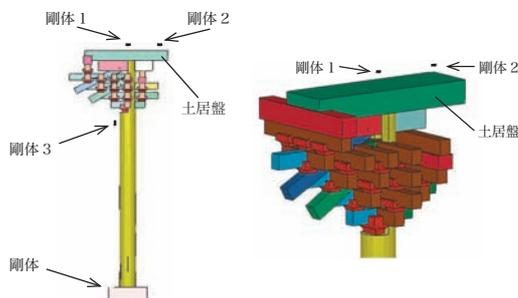


図 10 伝統的木造建物への応用例 (有限要素解析モデル)

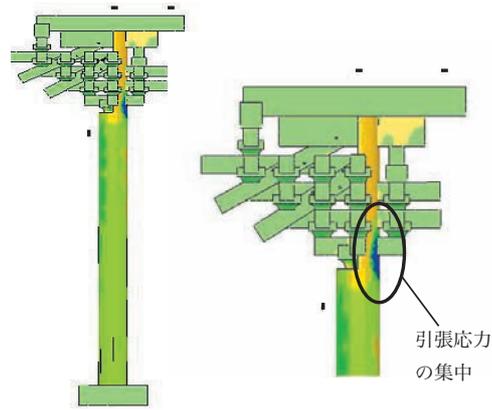


図 11 伝統的木造建物への応用例 (解析結果)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

(1) 有限要素解析によるスギのめり込み挙動に関する研究：大熊徹、瀧野敦夫、宮本裕司、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読無、C-1、pp. 7-8、2010. 9

(2) 有限要素解析によるスギのめり込み挙動に関する研究：大熊徹、瀧野敦夫、宮本裕司、日本建築学会大会近畿支部研究報告集、第 50 号、査読無、pp. 313-316、2010. 6

〔学会発表〕(計 2 件)

(1) 大熊徹、瀧野敦夫、宮本裕司：有限要素解析によるスギのめり込み挙動に関する研究、平成 22 年度日本建築学会大会、平成 22 年 9 月 9 日、富山県富山市

(2) 大熊徹、瀧野敦夫、宮本裕司：有限要素解析によるスギのめり込み挙動に関する研究、平成 22 年度日本建築学会近畿支部研究発表会、平成 22 年 6 月 20 日、大阪府大阪市

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

瀧野 敦夫 (TAKINO ATSUO)

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：10403148