

福島県産材を利用した天井野縁ユニット施工方法の開発

Development of a ceiling field unit construction method using materials from
Fukushima Prefecture

阿部 恵利子^{*} 山形 敏明^{*}

Eriko Abe

Toshiaki Yamagata

In recent years, wooden houses have been pre-cut, and today there are cases where the outer walls are pre-cut, but the interior is not yet pre-cut. In particular, in the case of construction work on the ceiling edge, the work is always facing upwards, so it is physically demanding for older carpenters, and there is a strong demand for pre-cutting. In addition, it is expected that the utilization ratio of domestic timber will be increased by constructing the united field edge using domestic timber and cedar/cypress. In this research, various verification experiments are conducted for practical use, and construction methods are examined.

1. はじめに

1-1 研究の背景

近年の木造住宅建築は、住宅の構造部材がプレカットされた状態で現場に届き組み立てるとい施工方法が主流となっている。木造住宅のプレカット化は、構造部材の他、補助部材や床合板・野地合板等、外壁材に至るまで加工範囲が広まっているが、内装部材についてはほとんど進んでいない現状にある。

木造住宅の現場施工において、特に天井野縁の内装施工は絶えず上を向いての作業であり、高齢化している大工職人には体力的にも過重な労働作業となっている。一方、鋼製天井野縁は施工性の良さからその需要も高まり、大手ビルダーを中心に積極的な採用が進んでいる。したがって、木製天井野縁のプレカット化は作業の軽減化や大工職人不足への対策としても有効であると期待されるものでもある。しかし、これまで天井野縁に関する既往研究は、國崎らの吊りボルトの耐力などの鋼製下地の安定性に関する研究¹⁾はあるが、木製天井野縁のユニット化に関連する研究は見当たらない。

これらから本研究は、福島県郡山地区木材木工団地協同組合を中心に産学連携体制により、施工性の向上と耐力性の高い木製天井野縁のユニット化とその施工方法を開発することを目的とし、木材強度及び施工性能等について実証及び検証した「令和元年度木製品需要拡大技術導

^{*} 人間生活学科

入事業」^{注1)}について報告する。

1-2 研究目的

本研究は福島県産材の杉・桧を用いて、木製天井野縁をユニット化することを目的とする。このことから、ユニット化した木製天井野縁(以下、ユニット野縁と記す。)による施工を普及させることにより、国産木材の利用比率向上の一端となることを目標としている。

これまで、木造住宅の天井下地には、釘の保持力が強い欧州産赤松が使用されることが多く、国産杉材について一般的に釘の保持力が弱いとの認識から、杉材の使用率が低い状況である。

木製天井野縁をユニット化し、施工マニュアルを普及させることは、現在、欧州赤松材を使用しているハウスメーカー等への促販を可能とし、国産木材利用率の向上に資するものである。

1-3 研究方法

本研究は、木製天井野縁のユニット化と実用化を図るため、福島県産杉材・桧材及び欧州産赤松材の試料を用いて、釘の保持力、強度等の実証実験を行い、その検証データより施工マニュアルを作成する。具体的な研究方法は以下のとおりである。1)産学協同による、実験等の計画及び実施 2)施工現場の現地調査 3)振動実験 4)試料による施工実証実験 5)施工マニュアルの作成の検討

2. 開発プロセスの概要

開発研究の実施内容を表1に示す。本研究に関する実施組織は、福島県郡山地区木材木工団地協同組合(以下、木工組合と記す。)、郡山チップ工業、ガイドーハント(株)、オオバ工務店(株)、郡山女子大学、福島県ハイテクプラザの5者で実施し、これらが連携して開発に携わっている。

まず、本開発研究を進めるにあたり、木工組合の開発準備段階での課題について報告がなされた。天井野縁のユニット化を目指して、ユニット野縁の実物大モデルを製作したが、ユニット野縁同士を組む施工は、天井のゆがみが発生しやすいことや野縁を組む時間の短縮にはならない等、多くの問題が提起された。また、強度などの問題から敬遠されがちであるが、県産木材で野縁に使うことが多い「杉」や、一般的には流通していない「桧」など、樹種の違いによる材料の特性を把握し、一般的に使用されている欧州赤松との比較検証から、県産木材の強度に関する確認を要望された。

表1に示すように、令和元年7月より令和2年2月の期間で、検討会が3回、現地調査1回、各種実験は4回実施した。

福島県産材を利用した天井野縁ユニット施工方法の開発

表1 プロセスの概要

	実施日	主な議題
検討会(第1回)	令和元年7月30日	本事業の役割分担とスケジュール、実証実験に関連する意見交換を実施した。
木材強度試験	令和元年9月6日	ハイテクプラザ会津にてボードとビスの引抜耐力・木材試料の曲げ試験を実施した。
現地調査	令和元年9月16日	県南地区の住宅を調査し、野縁の施工状況を確認した。
検討会(第2回)	令和元年9月30日	現地調査の報告と振動実験に向けての詳細な打ち合わせを実施した。
振動実験(第1回)	令和元年11月9日	埼玉県草加市(財)建材試験センターにて振動実験を実施した。
振動実験(第2回)	令和元年12月19日	ハイテクプラザ南相馬にて振動実験を実施した。
検討会(第3回)	令和2年1月20日	振動実験の報告とユニット化に向けての打ち合わせを実施した。
施工実証実験	令和2年2月4日	天井野縁ユニットの施工実証試験を実施した。

第1回検討会では本事業の役割分担とスケジュール、実証実験に関連する意見交換を実施し、検討会の内容をもとにハイテクプラザ会津にて樹種の違いによる木材強度実験を実施した。筆者らは木材強度試験、現地調査、振動実験に立ち会い、ユニット化に向けての検討と天井野縁ユニットの施工実証試験の有効性について検証し、報告書としてまとめた。

実験の概要は、杉・桧・欧州赤松を試料として石膏ボード(t12.5)と木材試料(30×40mm)を組み合わせ、ビスL28を打ち込み、オートグラフを使用して引抜耐力および木材の曲げ試験を実施した。引抜耐力の試験では、石膏ボード無しの木材試料(30×40mm)にビスL28を打ち込んだ引抜耐力も確認した。また、実際に野縁がどのように組み立てられているのかを確認し、野縁の施工について大工職人にヒアリング調査を実施するため、木造住宅の施工現場を調査した。

第2回検討会では現場調査の報告と振動実験に向けての詳細な打ち合わせを実施した。振動に対するユニット野縁の揺れ強度を確認するために、木材強度実験で得た引抜耐力および木材の曲げ試験の結果をもとに、埼玉県草加市(財)建材試験センターにて1回目のユニット野縁振動実験を実施した。

2回目のユニット野縁振動実験は、ハイテクプラザ南相馬にて振動時間を1分間に設定し、300ガルの振動から実験を開始した。また、振動状況や試験体のねじれに対する強度を確認するために、試験体に筋交いを入れ、振動時間を100ガルずつ上げて、500ガルで振動させた時の躯体のねじれや震度7強相当の振動に対する実証実験を行い、試験躯体の破損状況を確認した。

第3回検討会では振動実験の報告とユニット化に向けての打ち合わせを実施し、施工実証実験では、ユニット野縁による施工法が施工時間の短縮や高耐力、省施工化による労力の軽減が

実現可能か否かを確認するための実験を実施した。ユニット化した野縁を組む施工方法と大工職人が在来工法で行っている施工を比較し、開発したユニット野縁の実証実験を行った。振動実験の結果より安全性が確認されたユニット野縁を用いて、6畳(3,640×2,730mm)の室における天井野縁の施工時間や作業性を確認し、その有用性を検証した。

3. 天井野縁の施工状況調査

天井野縁の施工状況を確認するために、県南地区にある木造二階建住宅の施工現場を調査した。写真1は天井野縁の施工状況である。



写真1 天井野縁の施工状況

3-1 木造住宅の概要

調査した住宅は、福島県西白河郡西郷村(県南地区)にあり、一階床面積117.94㎡(35.60坪)、二階床面積28.09㎡(11.50坪)、延床面積156.03㎡(47.10坪)、建築面積122.74㎡(37.05坪)、敷地面積450.68㎡(136.05坪)の木造二階建である。

3-2 天井野縁の施工法と作業工程

木造住宅の二階部分や天井仕上げ前の室を確認し、天井吊木や天井野縁の組み方等、その施工法と作業工程について調査した。天井野縁の施工時間について、大工職人のヒアリングでは「6畳程度であれば、所要日数は一日程度である」とのことであった。

天井野縁の組み方は大工職人によりそれぞれ施工法が異なり、作業工程も同一ではないものの、一般的な現場作業では足場板を渡して作業することは共通している。この作業は、無理な体勢により行われるもので、体に大きな負担がかかる。特に、天井野縁よりも吊り野縁の施工は、より体への負担が大きいものとする。

4 木材強度試験

ハイテクプラザ会津において、ユニット野縁に使用する木材の強度試験を行った。実験には樹種の違いによる木材強度を把握するため、杉・桧・欧州赤松を木材試料とし、石膏ボード(t12.5)と木材試料(30×40mm)を組み合わせ、ビスL28を打ち込んだものを使用した。また、石膏ボード無しの木材試料(30×40mm)にビスL28を打ち込んだものについても引抜耐力を確認した。これらの試料の木材強度を比較検証するため、オートグラフを使用して、それぞれ6回引抜耐力の試験並びに木材の曲げ試験を行った。



写真2 引抜耐力の試験
(石膏ボード+木材試料+ビスL28)



写真3 引抜耐力の試験
(木材試料+ビスL28)

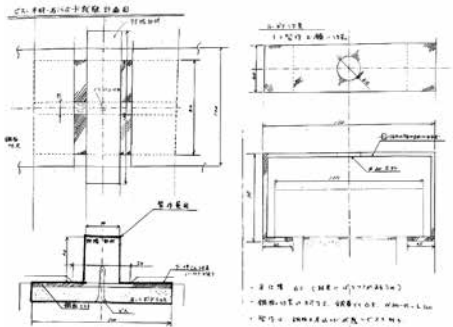


図1 要素試験設計図



写真4 試験体の準備

4-1 杉・桧・欧州赤松のビスの引抜耐力

樹種の違いによるビスの保持力を比較するために、杉・桧・欧州赤松を木材試料として試験体を作製し、樹種の違いによる引抜耐力の試験を行った。

写真2は石膏ボード(t12.5)と木材試料(30×40mm)を組み合わせ、ビスL28を打ち込んだ試験体を用いた引抜耐力試験である。写真3は木材試料(30×40mm)にビスL28を打ち込んだ試験体を用いた引抜耐力試験である。図1に要素試験設計図を示す。要素試験設計図は、引抜耐力の試験に使用する試験体の設計図である。写真4は試験体の準備の様子である。

4-1-1 杉・桧・欧州赤松の引抜耐力の試験結果

図2に杉・桧・欧州赤松を木材試料とした引抜耐力の試験結果を示す。

最大荷重 (N) の平均値は杉420.4、桧337.0、欧州赤松315.9となり、引抜耐力は杉が最も大きく、次いで桧、欧州赤松の順であり、杉の引抜耐力は欧州赤松の1.3倍であることが確認された。また、欧州赤松や桧は引抜耐力にばらつきがみられたが、杉は比較的一定に推移し、安定している。なお、写真5は破壊された試験体であり、破壊は全て石膏ボードで生じている。

図3は、杉・桧・欧州赤松の木材試料 (30×40mm) にビスL28を打ち込み、オートグラフを使用して引抜耐力の試験を行った結果である。

最大荷重 (N) の平均値は杉769.9、桧1133.1、欧州赤松847.9であり、引抜耐力は桧が最も大きく、次いで欧州赤松、杉の順であった。

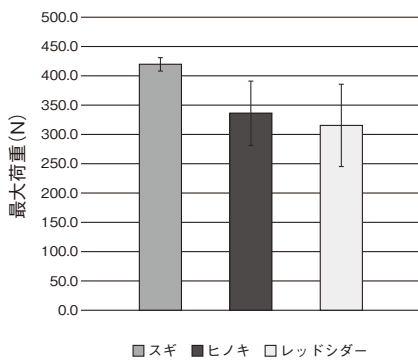


図2 石膏ボード+木材試料+ビスL28の引抜耐力



写真5 破壊された試験体

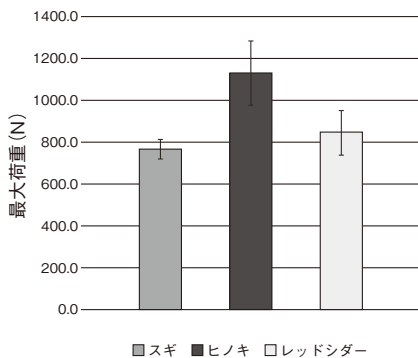


図3 木材試料+ビスL28の引抜耐力

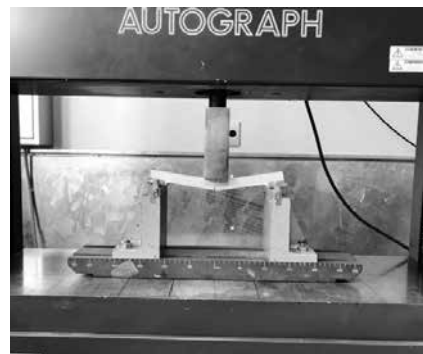


写真6 木材試料の曲げ試験

4-2 杉・桧・欧州赤松の曲げ試験

樹種の違いによる曲げ強度を比較するために、杉・桧・欧州赤松を木材試料 (120×80mm) として曲げ試験を実施した。曲げ試験にはオートグラフを使用し、曲げ強さ (MPa) から杉・桧・欧州赤松の強度特性を把握した。写真6はオートグラフによる木材試料の曲げ試験の様子

である。

4-2-1 杉・桧・欧州赤松の曲げ試験結果

図4は杉、桧、欧州赤松を木材試料(120×80mm)とした曲げ試験結果である。曲げ強さ(MPa)の平均値は、桧90.3、欧州赤松76.7、杉60.3であり、桧の曲げ強さが最も大きく、次いで欧州赤松、杉の順である。

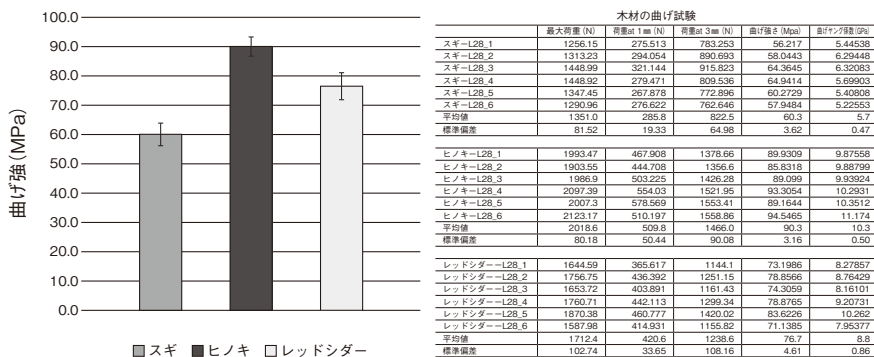


図4 木材の曲げ試験結果

4-3 木材強度試験の結果

以上、木材強度試験結果から、桧は引抜耐力および曲げ強度ともに大きく、欧州赤松に比して強度が大きいことが確認された。また、石膏ボードを組み合わせた杉の引抜耐力は、比較した木材試料の中で最も大きいものであったが、木材に直接ビスを打ち込んだ引抜耐力や曲げ強度の実験結果においては、比較した木材試料の中で杉の強度は若干劣るものの、欧州赤松とほぼ同等の強度が得られることが確認された。

5. ユニット野縁の振動実験

5-1 振動実験(その1)

木工組合1名、郡山チップ工業2名の作業員3名が埼玉県草加市、財) 建材試験センター内試験棟において、木工組合で製作したユニット野縁が振動に対してどのように揺れるのかを確認するために、振動架台上部にユニット野縁の構造材を組み立て、ユニットを設置し、振動実験を実施した。

図5にユニット野縁の振動実験の試験体平面図1を示す。幅1,100mm・高さ1,500mmの試験体をボルトで固定し、ユニット野縁(30×40mm)の振動実験を実施した。開発したユニット野縁に筋交補強をしない場合、どのような揺れが起こるのかを検証し、その結果をユニット野縁の振動実験(その2)にフィードバックする目的で実施された。

振動架台上部にて構造材を組み立て、ユニット野縁設置後、石膏ボードを貼り、計測ユニットを取り付けて試験体の振動実験を実施した。写真7はユニット野縁の振動実験の様子である。

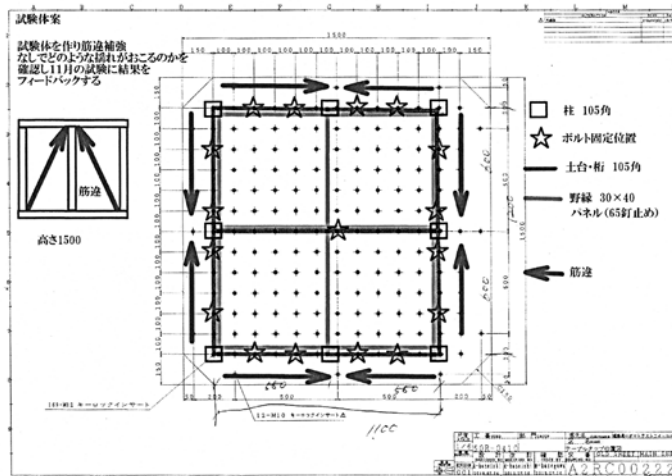


図5 試験体平面図1



写真7 ユニット野縁の振動実験(その1)

5-1-1 ユニット野縁の振動実験(その1)結果

ユニット野縁の振動実験結果は、躯体に対する振動数が少なかったことから破損はみられなかった。そこで、急遽、筋交いを外して再度実験を行った。その結果、ユニット野縁の振動実験(その2)を実施するための課題として以下の1)~4)が見出された。1) 試験体の幅並びに高さを大きくする 2) 筋交いなどの補強の必要性について検討する 3) 試験体に、より大きな負荷をかけるため振動時間を長くする 4) ユニットの設置をさらに簡易化できるか検討する

5-2 振動実験(その2)

福島県産材を利用した天井野縁ユニット施工方法の開発

次に、ユニット野縁の振動実験(その1)の結果をフィードバックし、開発したユニット野縁が振動に対してどのように揺れるのかを再確認するために、南相馬ハイテクプラザにてユニット野縁の振動実験(その2)を実施した。図9に新たに製作した試験体平面図2を示す。振動実験では、図のような試験体の幅1,700mm・高さ2,800mmの試験体をボルトで固定し、ユニット野縁(30×40mm)の振動実験を実施した。補強等の条件を修正した試験体を新たに製作し、振動負荷を変更して実験を実施した。

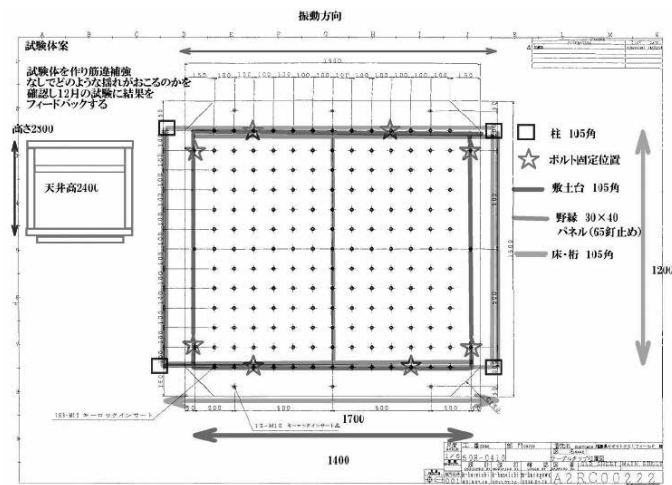


図9 試験体平面図2

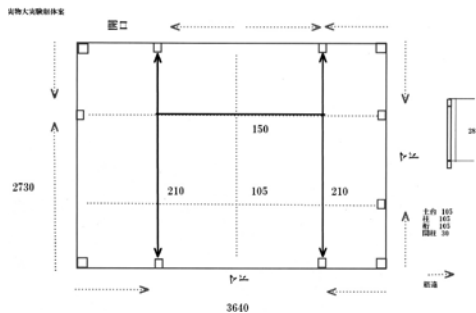


図10 ユニット野縁実験躯体案

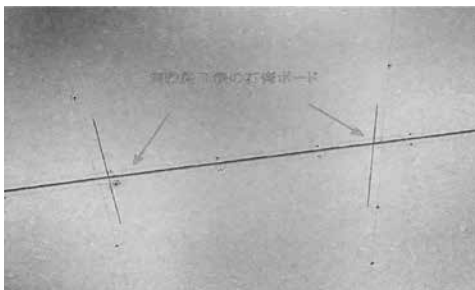


写真9 振動実験後の石膏ボード

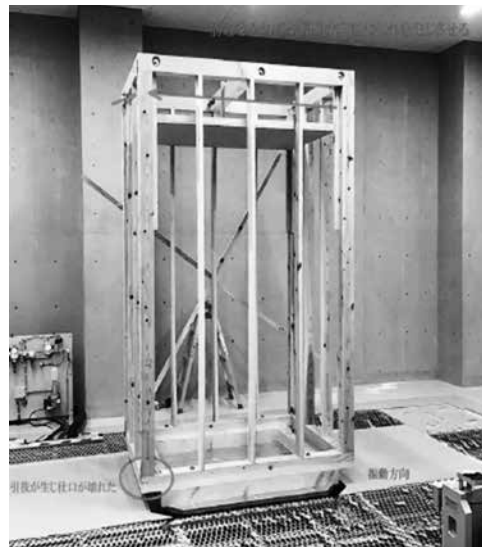


写真8
ユニット野縁振動実験(その2)試験体

5-2-1 天井野縁ユニットの振動実験(その2)結果

図10は、ユニット野縁実験躯体案の設計図、写真8はユニット野縁振動実験の試験体である。実験は振動負荷を変更して行いユニット野縁の強度や安全性について検証した。

実験での振動時間は1分間と設定した。振動数を100ガルずつ上げたものの、振動による負荷は一定方向で試験体に変化は見られなかった。400ガルまで上げて同様の結果であった。そこで、試験体に筋交いを入れ、500ガルで振動させることで、ねじれを生じさせ、さらに多方向からの負荷をかけ強度を確認した。

写真9は振動実験後の石膏ボードの状況である。石膏ボードにも目立った損壊やズレはなかった。これらは、野縁をユニット化したことにより石膏ボードを打ち付ける面が安定し、ユニット野縁と石膏ボードが一体化した面材としての役割を果たしたことによるものとする。

実験結果より、震度7強、1分間の振動に対しても、躯体より先にユニット野縁が破壊されることはなかったことから、野縁をユニット化しても地震時に天井が落ちることはないことが実証された。

6. ユニット野縁の実証実験

6-1 ユニット野縁の施工性

ユニット野縁の施工実証試験を実施するために、木工組合の敷地内倉庫において、6畳(3640×2430mm)の室の骨組を製作し、開発したユニット野縁を図11実験躯体平面図をもとに施工し、在来工法による天井野縁の施工と比較することで、施工性や施工に要する時間、作業性等について検討した。

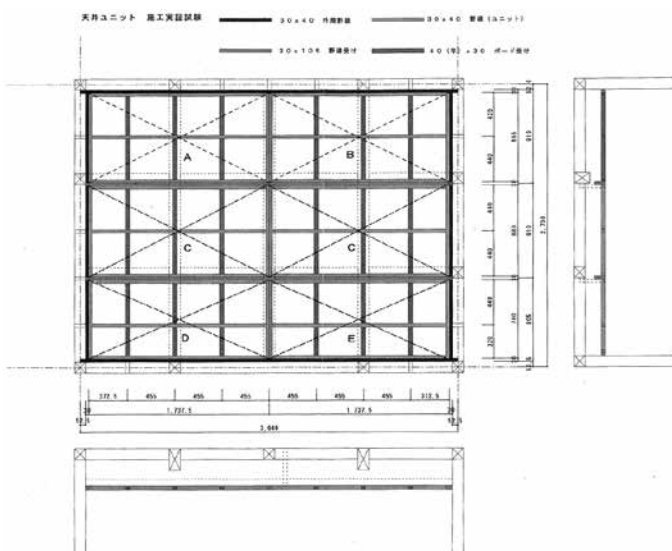


図11 ユニット野縁の実験躯体 平面図

開発したユニット野縁の実証実験では、以下の基礎仕様を仮定し施工した。1) 天井吊木と吊木受けを利用し、高さ基準を出す 2) 1) の吊木に掛けるようにユニット野縁のをせる 3) ユニット野縁を壁に固定する 4) 吊木で高さを固定する 上記1)～4) の基礎仕様に従って、ユニット野縁を6畳(3640×2430mm)の室に施工した結果、大工職人1人で効率的に滞りなくユニット野縁の施工を完了することが出来た。このことから、ユニット野縁施工の基礎仕様は確立できたものとする。

6-2 ユニット野縁の有用性

6畳(3640×2430mm)の室における野縁の施工には、野縁ユニット6枚を要する。6枚のユニットを製作する時間を含め、実験では施工に3時間要した。在来工法で行われている野縁の施工は概ね8時間要していることから、天井野縁のユニット化は、施工効率を向上させることが実証された。結果は以下の通りである。1) 施工時間が約1/3となり工期を短縮できる 2) 工場でプレカットして納材するため、現場でのごみが削減できる 3) 道路幅員の狭い場合が多い首都圏での施工の際、材料の搬入がスムーズにできる 4) 大工職人の熟練度に関係なく、施工精度の均一性が保たれる

7. まとめ

本研究は福島県産材の杉・桧を用いて、木製天井野縁のユニット化と施工方法の開発を目的としている。本研究結果をまとめると以下の通りである。

- 1) 一般的に杉は柔らかく釘が効きづらいと認識されてきたが、木材試料にビスL28を打ち込んだ場合の引抜耐力や曲げ強度において、杉の強度は、桧や欧州赤松に比べて若干劣るものの、欧州赤松とほぼ同等の強度が得られることが確認された。
- 2) 開発した天井野縁のユニットは、震度7強の地震を想定した振動に対しても十分な耐力を有していることが示された。
- 3) 施工方法の開発では、ユニット化した天井野縁の施工法は、現場で野縁を組む在来工法による施工よりも施工時間が短縮されることが実証された。作業労力も緩和され、作業効率の向上が得られた。

今後、ユニット化した木製天井野縁による施工を普及させることは、国産木材の利用比率向上に寄与するものであり、ひいては建設業界の懸案である大工不足の対策にもつながるものであると考える。

参考文献

- 1) 國崎洋, 元結正次郎, 中西敦士: 野縁方向における天井面の圧縮性能に吊りボルトが与える影響 (鋼製下地在来工法天井における天井面の安定性に関する研究 その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp883-884, 2012, 9.

注

注1) 福島県では、豊富な森林資源を循環利用し、森林環境の適正な保全と持続可能な社会づくりを進めるため、県産材の需要拡大に向けた新用途・新技術の開発や普及啓発活動に係る事業計画(プロジェクト)の提案に対して、県の定める予算の範囲内で補助金を交付している。