

テーマ

③新たな技能・技術領域の職業能力開発に必要な専門知識・技能・技術及び指導方法に関する調査・研究

副題

木造住宅の耐震性を学ぶ構造実験実習およびその教材作成とその訓練効果の検証

所属施設 独立行政法人 高齢・障害・求職者雇用支援機構
執筆者 鶴田 暁 (四国職業能力開発大学校)

第1章 序論

1.1 本研究の背景および目的

四国職業能力開発大学校 専門課程 住居環境科（以下、当科と称す。）は建築現場で活躍できる実践技術者を育成するため、建築設計、建築現場管理技術、構造設計技術、建築施工技術と幅広いカリキュラムを運営している。対象者は、高等課程を修了したもので定員 20 名としている。

当科学生の進路状況は、定員 20 名のうち 2 割程度の学生は他校の応用課程へ進学し、大半の学生は中国・四国ブロックの建築・建設業界の企業に就職している。そして、就職した大半の学生は、現場の技術者として木造建築物に携わっている。

当科でおこなう木造建築に関する系基礎学科および先行学科では、市販の参考書を活用し、①木質構造に関すること、②図面の読図や作図に関すること、③木質材料に関すること、④木材加工による継手・仕口の形状に関すること、⑤木材の架構計画に関すること、⑥構造計画、いわゆる耐力壁の量やバランスとその接合方法に関する内容を実施している。さらに、専攻実技科目の構造実験実習では、木造耐力壁を評価する面内せん断試験を実習に取り入れている。現在使用している教材の内容は、構造実験実習でおこなう面内せん断試験実習の方法と耐力壁の評価方法のみを示している。

しかしながら、構造実験実習でおこなう面内せん断試験で得たデータに基づいた耐力壁の壁倍率はどのように算出されるのか、告示の壁倍率を發揮するためにはどのような施工であることが前提なのか、耐震性を維持・向上させるための施工方法や施工管理のポイントなどを論じている内容ではない。どれほど参考書に記載されている法整備された値を用いて木造住宅の耐震性に関する授業ができたとしても、耐力壁に係る規定がどのような経緯を経て算出された数値なのか、法整備された性能を發揮するためにはどのような構造体や施工精度であることが前提なのかについて説明するのは容易でない。したがって、構造実験実習を実施できる職業能力開発施設が実験データを活用し、データ解析と考察をまとめた木造住宅の耐震性について特化した教材は、全国の居住系指導員にとって有用であると考えられる。

そこで、木造住宅の現場を取り巻く状況を把握し、耐震教育にふさわしい構造実験実習を実施するため、実務で木造住宅の中間検査を担う建築技術者のヒヤリングおこなった。建築技術者の回答は、「施工不良は些細であるがその数は少なくなく、耐震性の低下に影響を及ぼす施工不良が散見される」という内容であった。具体的には「釘の打ち忘れにより釘の間隔が広がる」、「面材同士の間隔が確保できていない」、「釘が面材にめり込んでいる」、「補強金物のナットを締め忘れる」などの施工不良が挙げられた。施工不良が生じる原因は、「建

築基準法の改正」、「新しい施工技術および新建材の開発に伴う施工方法の変化」、「補強金物の増加」、「業界特有の課題である建設技能者の人材不足および技能伝承が行き届かない」と推察される。

これらの現場が抱える課題点から「建築現場の施工者が正しい知識を身に付けた上で施工をおこなわなければ、いくら耐震性を向上させるための研究が進展し、法が強化し、整備しても全く意味を持たないのでは？」という問いが生じる。

本研究は、建築現場で抱える課題点に対し工学的に指摘・指導できる建築技術者を目指す学生を対象に、「木造住宅の耐震性に大きな影響を及ぼす耐力壁の施工方法および施工精度をパラメータとした実験実習、耐力壁の評価、実験結果のまとめ」と「建築現場判断の施工方法および施工精度が招く耐震性の低下に関する教材」を作成することを目的とした。

1.2 本研究の方針

本論文における研究は、専門課程および応用課程でおこなわれる木造住宅の耐震要素を学ぶ面材耐力壁の面内せん断試験実習に関する実習課題とその教材を提案するものである。さらに、各職業能力開発施設の居住系の指導員が木造住宅の耐震教育をおこなう場合にも使用できる教材を提案する。

試験体は、建築現場の瑕疵について中間検査を担う建築技術者にヒヤリングをおこなって、建築現場に潜在化している諸問題を再現した試験体を作製し、その問題が解決できる実験計画と耐震性を学べる仕様とする。その内容は、面材耐力壁とした場合の耐震性に大きく寄与する耐力壁のバランスに関する事、構造用面材の耐力壁の施工精度に着眼した実験であり、建築技術者として就職する学生が耐震性について学べるカリキュラムとする。

習得度の検証方法は、木造住宅の耐震要素である耐力壁に関する知識の有無を確認するため、住宅金融支援機構の「【フラット35】対応木造住宅工事仕様書平成28年度版¹⁾」(以下、「フラット35」と称す。))を参考にし、木造耐力壁の施工方法、木質構造、建築基準法の耐力壁に関する問題の25問で構成した確認テストをおこなう。検証の対象は、関東職業能力開発大学校 専門課程 建築科2年生とした。実施時期は、構造実験実習の前後で同一の確認テストを実施し、受講生の正答率の増減で検証した。習得度を検証した期間は、平成30年度から令和2年度の3年間である。

1.3 本論文の構成

本論文は、4章で構成され、以下に各章の概要を記載する。

第1章「序論」では、本研究の背景および目的を述べるとともに、研究の方針および本論文の構成を述べた。

第2章「面内せん断試験実習」では、5種類の面内せん断試験体の製作および面内せん断試験をおこなって、釘の間隔および初期の釘頭のめり込みが合板厚の50%程度を有する施工不良が針葉樹構造用合板の耐力壁のせん断耐力に及ぼす影響を把握することとした。

第3章「木造住宅の耐震性を学ぶ構造実験実習およびその教材作成とその訓練効果の検証」では、既存の教材に構造実験実習で得たデータを追加した「木造住宅の耐震性を学ぶ教材^{参考資料1)}」を作成した。そして、その教材を活用して授業を実施した直後、構造実験実習の受講者に対して受講前後の理解度を確認テスト^{参考資料2)}で調査し、実習課題の訓練効果を正答率の増減で検証した。

第4章「結論」では、本研究で得られた研究成果を述べた。

第2章 面内せん断試験実習

2.1 はじめに

木造住宅の耐力壁は、従来多用されていた柱と柱の間に斜材を挿入する筋かい耐力壁から、柱と柱を構造用面材で繋ぐ面材耐力壁を建物外周部に配置する施工方法へと変化している。

構造用面材の耐力壁は、筋かい壁と比較すると、施工方法が容易で気密性および断熱性に優れ、構造特性も安定し靱性に富む特徴を有している。さらに耐震性を向上させるには釘の種類、長さ、間隔を変更するだけで可能であると報告されている²⁾。

しかし、構造用面材の耐力壁への変化に伴う施工方法の課題点は、耐力壁を要しない箇所の非耐力壁への対応である。建築技術者へヒヤリングした回答によると、非耐力壁に対する対応は2つに分かれると言う。一例目は、非耐力壁と見なしたい壁は、面材に打ち付ける釘の間隔を建築基準法で規定する間隔 150 mm以内ではなく、150 mm以上で施工し非耐力壁であると見なし、非耐力壁の耐力を算入しないで耐力壁の配置バランスを調整する方法である。二例目は、外周すべての壁を耐力壁として施工し側端部の耐力壁の充足率は満たし木造住宅の耐力は増すが、耐力壁のバランスが崩れる恐れのある設計・施工方法である。

しかしながら、いずれの場合も課題は残る。一例目の場合、設計者はこの非耐力壁としたいために、実験や構造計算で確認しないで安易に釘の間隔を大きくしているが、本当に非耐力と見なせるほど耐力が低下しているか確認していないため不安を払拭できない。耐力壁のバランスを判断する偏心率および壁率比は、仮に非耐力壁と見なせるほど耐力低下しないのであれば、非耐力壁の耐力により設計段階と実物の建築物で異なることになる。設計した建築物が大地震動を受けた際の捻じれによって倒壊や損傷に及ぶではないかという不安を払拭できない。

二例目の場合、基準法施行令 46 条で規定する総壁量および側端部の壁の充足率のみを満たすとよいと判断する設計者は、安易に建物外周部の壁を全て耐力壁で設計する。このような住宅設計は、耐力壁の壁長および側端部の充足率を満たすが、過剰設計が故に招く耐力壁のバランスを崩し壁率比の低い構造計画になる可能性もある。

さらに、建築施工者は、構造用面材耐力壁の施工性向上を優先するため、複数のエアール具を長いホースでコンプレッサーに連結して施工する。その際、空気圧の不足によりエアール具の機能を果たさないことがある。エアール具のメーカーは、工具ごとに空気圧を推奨しているが、施工者は施工性を優先するが故に、メーカーが推奨している空気圧以上の空気圧で施工している。自動釘打ち機の場合は、空気圧を上げて施工すると面材に釘頭をめり込ませてしまう。既往の実験でも、釘を面材耐力壁にめり込ませると耐力壁のせん断耐力が低下することが投稿されているが、釘のめり込み量とせん断耐力の関係を明らかにする研究事例は少なく、現場にも浸透していない。

そこで本章では、建築基準法にも明記されて無く、工学的にも明らかになっていない非耐力壁とみなす施工方法の性能、釘頭のめり込みの施工不良が現場で容易に行われない教育ができる教材を作成することを目的とし、次の2点について明らかにする。

1. 釘の間隔がせん断耐力に及ぼす影響
2. 初期の釘頭のめり込みが合板厚の 50%程度を有する施工不良が針葉樹構造用合板の耐力壁のせん断耐力に及ぼす影響

2.2 試験体の概要

2.2.1 釘の間隔がせん断耐力に及ぼす影響

標準試験体サイズおよび部材の断面寸法は、文献 3) に準拠し図 2.1、表 2.1 に示すとおり製作した。なお、試験体の概要は表 2.2 に示す。

釘の間隔の検討は、木造住宅の施工管理に従事する建築技術者へヒヤリングした後に決定した。施工管理者は、非耐力壁と見なす面材壁を施工する場合の釘の間隔を設計者から明確な指示を受けないので、現場施工者の判断によって 150 mm 以上 200 mm 未満の間隔で釘を打ち付ける場合が大半で、その壁の耐力は把握していない。

本研究では、釘の間隔を 150 mm とした試験体を標準試験体とし、標準試験体から 3 段階で 1.3 倍の 200 mm、2.0 倍の 300 mm、4.0 倍の 600 mm と釘の間隔を大きくして、釘の間隔が壁のせん断耐力に及ぼす影響を把握することを目的とする。

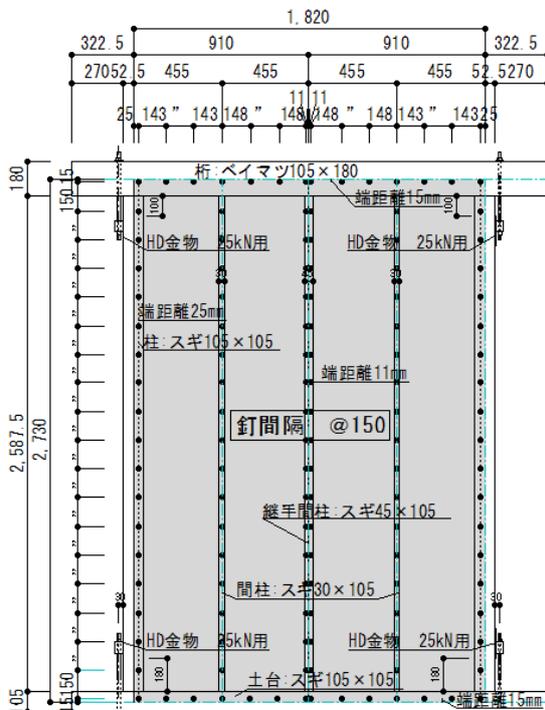


図 2.1 標準試験体 (釘間隔 150 mm)

表 2.1 試験体供試材の概要 (単位mm)

部材	材種	断面寸法
柱	スギ	105×105
梁	ベイマツ	105×180
間柱	スギ	30×105
継手間柱	スギ	45×105
構造用合板	針葉樹	3' × 6' t = 9.5
釘	N50	釘頭部系 : 6.6 釘胴部径 : 2.75
HD 金物	25kN 用	ビスどめ ホールダウン U

表 2.2 試験体の概要 (釘の間隔)

試験体名	試験体数	試験体概要	釘本数	釘間隔比
K-150 (標準)	3	釘の間隔 150mm	96	1.0
K-200	3	釘の間隔 200mm	72	1.3
K-300	3	釘の間隔 300mm	48	2.0
K-600	3	釘の間隔 600mm	36	4.0

2.2.2 初期の釘頭のめり込みが合板厚の50%程度を有する施工不良が針葉樹構造用合板の耐力壁のせん断耐力に及ぼす影響

2.1で述べたとおり、構造用面材の耐力壁は施工性の良い自動釘打ち機を使用して1日に大量の耐力壁を施工している。現場施工者は、生産性を重要視するが故にメーカー推奨の空気圧以上で面材に釘を打ち込んでいる。よって、図2.2に示す釘頭が構造用面材にめり込むという施工精度の悪い事例を散見する。

しかしながら、現場の建築技術者および施工者は、この釘頭が構造用面材にめり込む施工不良に関して、どの程度のめり込みであれば許容されるのか、耐震性にどのくらい影響を及ぼすのかについて把握していない。

本節では、前節で示した試験体K-150を標準試験体とし、図2.2に示す釘頭が構造用合板厚の50%程度めり込んだ試験体K-150-Mとし、釘頭のめり込み量が面材厚の50%程度に達するまで釘締めを用いて打ち込み後、図2.3に示すとおりその量をデジタルノギスで測定して作製した。表2.3に示す試験体の概要は、初期の釘頭のめり込みが構造用合板厚の50%程度を有する施工不良がせん断耐力に及ぼす影響を把握することを目的とした。



図 2.2 釘頭のめり込み状況



図 2.3 釘頭のめり込み量を測定する様子

表 2.3 試験体の概要（釘頭のめり込みの有無）

試験体名	試験体数	試験体概要	釘本数	めり込み量
K-150 (標準)	3	釘間隔 150mm	96	無
K-150-M	3	釘間隔 150mm	96	面材厚の 50%程度

2.3 試験体の製作

試験体は、文献 3) に準拠し構造耐力上主要な部材である横架材の土台と桁を柱で繋ぐ試験体のフレームと耐震要素である針葉樹構造用合板と間柱と継手間柱を釘で接合した構造体を構成する。

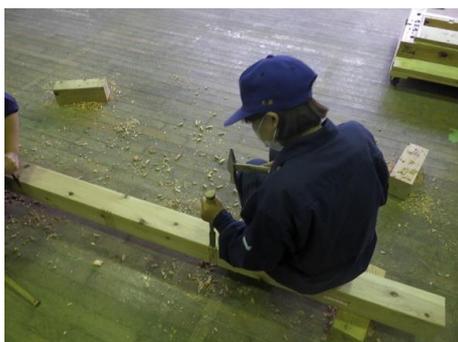
図 2.4 に示すとおり、試験体製作に関する実習は、図面の読図と作図、墨付け、簡単な木材加工と電動工具の安全な使用方法の習得、補強金物の重要性、建付け等の技能を学生が習得出来る内容とした。



①墨付け作業



②柱の仕口加工



③木材加工



④面材を釘で固定



⑤めり込み量の測定



⑥全数の釘頭のめり込み量の測定と記録

図 2.4 試験体を作成する様子

2.4 試験方法と使用機器

2.4.1 試験の種類および面内せん断試験方法

文献 3) では、構造部材の部位別に試験の種類および試験方法を規定している。本研究は、鉛直構面のせん断耐力を評価するため、面材張り耐力壁の面内せん断試験を採用した。

面内せん断試験の試験体の設置方法は、図 2.5 に示すとおり、無載荷でおこなう柱脚固定式とタイロッド式の方法があり、本研究では無載荷柱脚固定式を採用した。

面内せん断試験は図 2.6 に示す静的加力試験機と接続した関連機器を使用し、载荷スケジュールは見かけのせん断変形角の $1/450 \text{ rad}$ 、 $1/300 \text{ rad}$ 、 $1/200 \text{ rad}$ 、 $1/150 \text{ rad}$ 、 $1/100 \text{ rad}$ 、 $1/75 \text{ rad}$ 、 $1/50 \text{ rad}$ で正負交番の 3 回繰り返し荷重を加力し、 $1/50 \text{ rad}$ のサイクル終了後 $1/15 \text{ rad}$ まで引き切るか最大荷重の 80% の荷重に低下するまで加力する方法でおこなった。



①柱脚固定式



② タイロッド式

図 2.5 面内せん断試験の試験体の設置方法



①ハイブリッドアクチュエーター



②制御盤



③変位計(50 mm)



④試験計測・制御用パソコン

図 2.6 面内せん断試験で使用する静的加力試験機と関連機器一覧

2.5 試験結果と考察

2.5.1 釘の間隔がせん断耐力に及ぼす影響

ここでは、釘の間隔が壁のせん断耐力に及ぼす影響を把握するため、釘の間隔を建築基準法の規定に準じた 150 mm で面材に打ち付けた試験体 K-150 を標準とし、200 mm、300 mm、600 mm と 3 段階で広げた 4 つのパラメータで各 3 体ずつ合計 12 試験体の面内せん断試験をおこなった。

図 2.7 に釘の間隔と最大せん断耐力の関係、図 2.8 に釘の間隔と壁倍率の関係、図 2.9 釘の間隔別の見かけのせん断変形角とせん断耐力（包絡線）の関係、図 2.10 に釘の間隔別の試験体の破壊性状を示す。なお、その他の詳細な実験データは参考資料 3 に示す。

図 2.7 に示すとおり、最大せん断耐力は釘の間隔を K-150 の 1.3 倍まで広げた K-200 と比較すると、標準試験体の 14.8 kN から 20% 低減した 12.4 kN、2 倍まで広げた K-300 で 40% 低減した 8.5 kN、さらに 4 倍のまで広げた K-600 で 60% 低減した 5.6 kN となった。決定係数 $R^2=0.99$ から判断すると、釘の間隔と最大せん断耐力は相関関係であると明らかになった。

図 2.8 に示すとおり、壁倍率は標準試験体 K-150 と比較すると釘の間隔を 1.3 倍の K-200 で 25% 低下した「1.7」、2 倍の K-300 で 50% 低減した「1.2」、4 倍の K-600 で 60% 低減した「0.8」となった。決定係数 $R^2=0.79$ から判断すると相関関係にあると明らかになった。

図 2.9 に示すとおり、釘の間隔の広げると釘の本数は減少するので最大荷重および初期剛性は低下するが、靱性力は低下していないことがわかった。

図 2.10 に示すとおり、釘の間隔別の試験体の最終破壊性状は、針葉樹構造用合板の構面外座屈によって生じる釘のパンチングシアや釘と針葉樹構造用合板の端部に作用するせん断力によって生じる構造用合板の割裂破壊など同様の破壊性状となった。

以上のことから、非耐力壁と見なす面材壁の壁倍率は、釘の間隔を告示規定の 150 mm から 4 倍の 600 mm まで広げても「0.8」となり、建築基準法で示す壁倍率の最小値「0.5」を下回らないことがわかった。したがって、釘の間隔を既定の 150 mm から 4 倍の 600 mm としても、非耐力壁とは言えないことが示唆された。

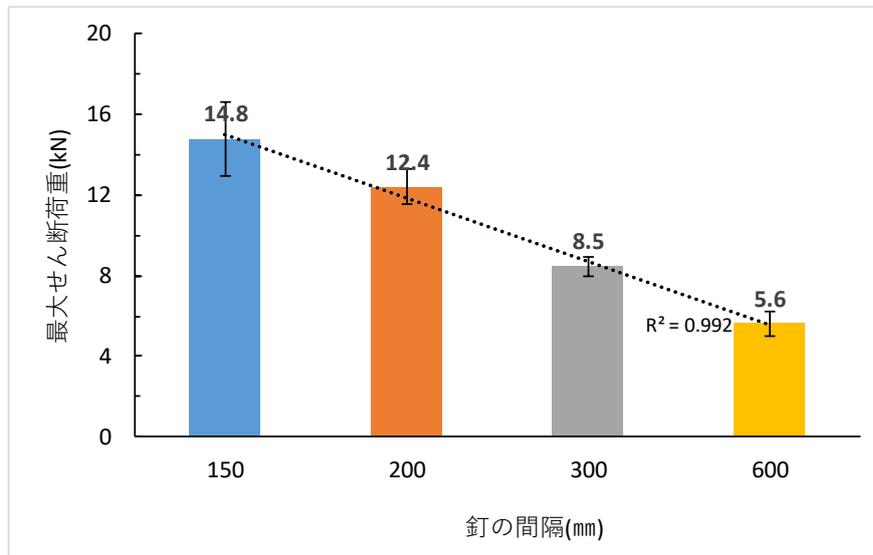


図 2.7 釘の間隔と最大せん断耐力の関係

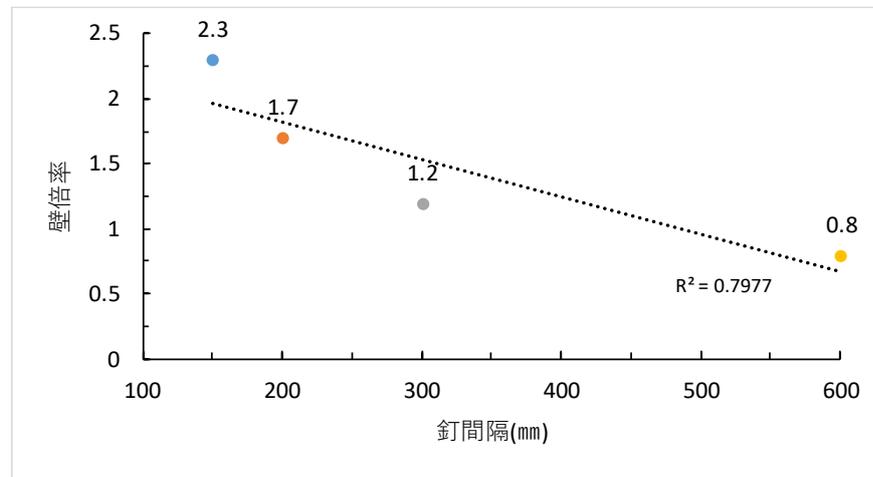


図 2.8 釘の間隔と壁倍率の関係

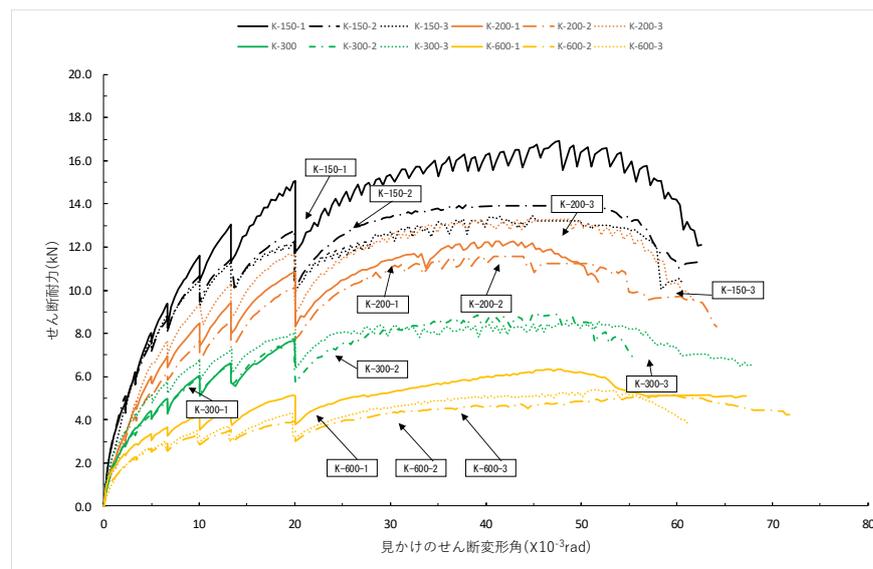


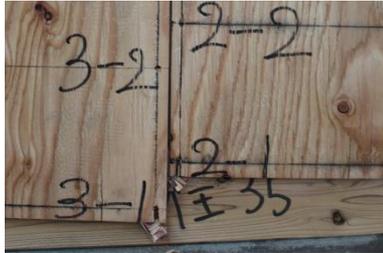
図 2.9 釘の間隔別の見かけのせん断変形角とせん断耐力の関係 (包絡線)



①K-150 面材の割裂破壊 (引張側)



②K-150 釘のパンチングシア (引張側)



③K-200 継手間柱部分の面材の割裂(継手間柱)



④K-200 釘のパンチングシア(圧縮側)



⑤K-300 面材の割裂破壊(引張側)



⑥K-300 釘のパンチングシア(圧縮側)



⑦K-600 面材の浮き(圧縮側)



⑧K-600 面材の割裂破壊(引張側)

図 2.10 釘の間隔別の試験体の破壊性状

2.5.2 初期の釘頭のめり込みが合板厚の50%程度を有する施工不良が針葉樹構造用合板の耐力壁のせん断耐力に及ぼす影響

初期の釘頭のめり込みの有無がせん断耐力に及ぼす影響を把握するため、針葉樹構造用合板の耐力壁を施す釘を建築基準法で規定する釘の間隔 150 mm以内で施工し、めり込みを有しない試験体 K-150 の3体と合板厚の50%程度釘頭のめり込みを有する試験体 K-150-M の3体、合計6体の面内せん断試験をおこなった。

図 2.11 に初期の釘頭のめり込みの有無と最大せん断耐力の関係、図 2.12 に初期の釘頭のめり込みの有無と壁倍率の関係、図 2.13 に初期の釘頭のめり込みの有無別の見かけのせん断変形角とせん断耐力(包絡線)の関係、図 2.14 に釘のめり込みを有する破壊性状を示す。なお、各試験の詳細なデータは参考資料4に示す。

図 2.11 に示すとおり、合板厚の50%程度釘頭のめり込みを有する試験体 K-150-M の最大せん断耐力は、釘のめり込みを有しない試験体 K-150 の 14.8kN から 40%程度低減した 8.6kN となった。

図 2.12 に示すとおり、合板厚の50%程度釘頭のめり込みを有する試験体 K-150-M の壁倍率は、釘のめり込みを有しない試験体 K-150 の「2.3」から 65%低減した「0.8」となった。

図 2.13 に示すとおり、見かけのせん断変形角とせん断耐力の関係から合板に打ち付けた釘頭が合板厚の50%程度のめり込む施工は、見かけのせん断変形角 $1/100\text{rad}$ 付近で最大荷重 8.6kN に達し、 $1/75\text{rad}$ 付近で最大荷重の 10%弱低下し、 $1/50\text{rad}$ 付近で最大荷重の 80%まで荷重低下した。これは、初期の施工時に合板を釘のめり込みで損傷させ、小さな変形角 $1/75\text{rad}$ 付近で合板の構面外座屈によるパンチングシアで破壊し、荷重を低下させる重大な施工不良であることがわかった。

図 2.14 に示すとおり、破壊性状は針葉樹構造用合板の耐力壁に左右する圧縮側で構面外座屈、引張側で引張力によって生じるパンチングシアとなった。

以上のことから、初期の釘頭のめり込みが面材厚の50%程度有する施工不良は、針葉樹構造用合板の耐力壁の最大せん断耐力を 40%低減させ、壁倍率を告示の「2.5」より 70%も下回る「0.8」とする、重大な施工不良であることが示唆された。

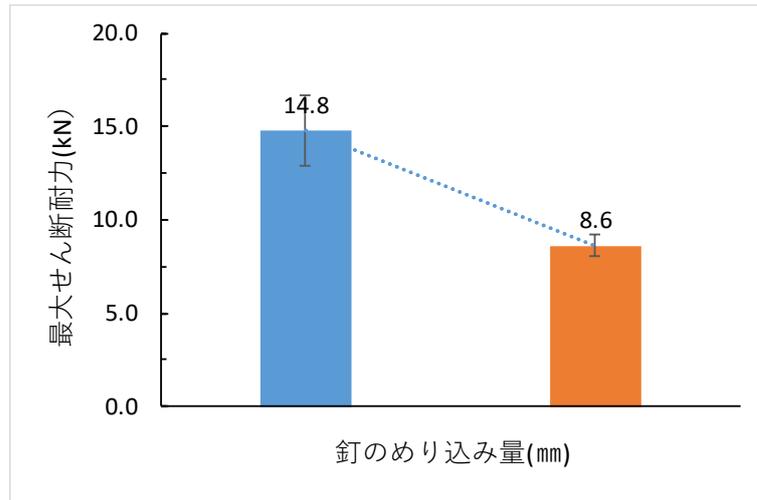


図 2.11 初期の釘頭のめり込みの有無と最大せん断耐力の関係

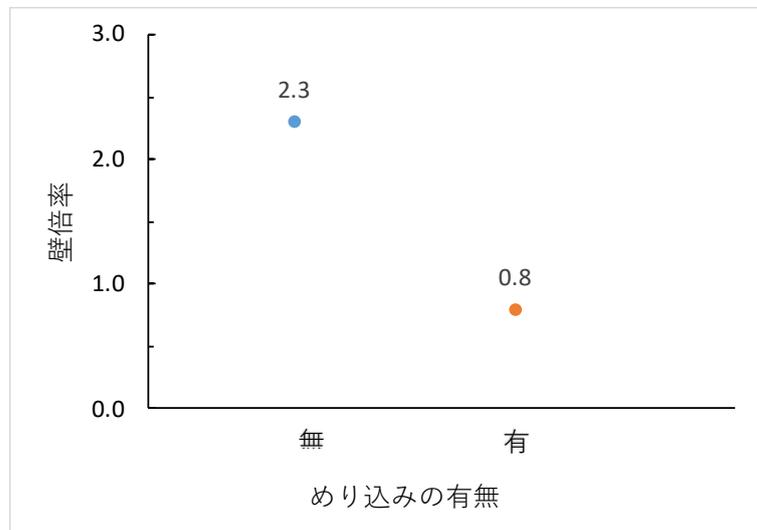


図 2.12 初期の釘頭のめり込みの有無と壁倍率の関係

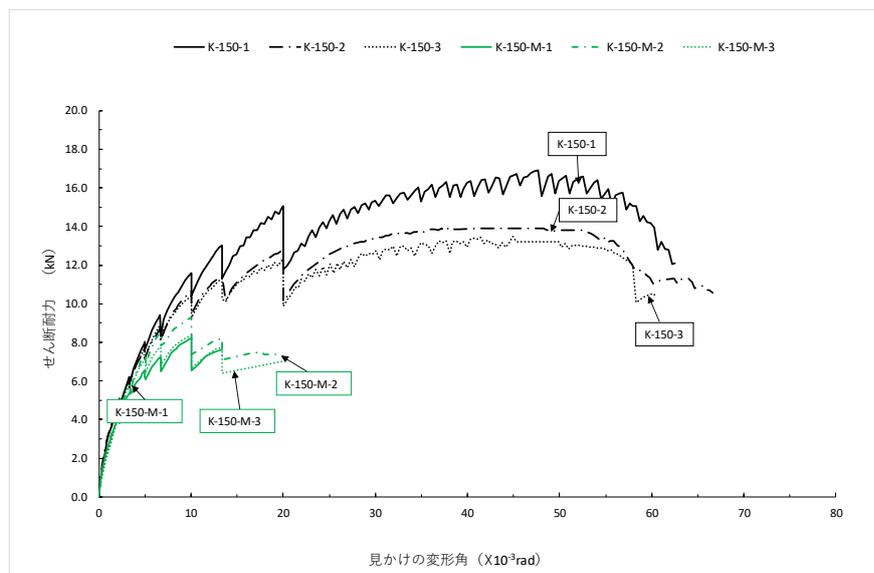
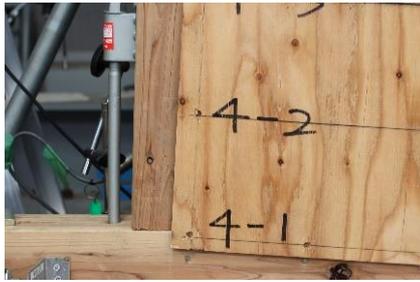


図 2.13 初期の釘頭のめり込みの有無別の見かけのせん断変形角とせん断耐力の関係(包絡線)



① K-150-M 釘のパンチングシア(引張側)



② K-150-M 釘のパンチングシア(引張側)



③ K-150-M 釘のパンチングシア (継手間柱)



④ K-150-M 釘のパンチングシア(継手間柱)

図 2.14 初期の釘頭のめり込み有の試験体の破壊性状

2.6 まとめ

建築現場で設計者および施工管理者が非耐力壁だとみなしている面材壁のせん断耐力と施工不良である釘のめり込みの有無がせん断耐力に及ぼす影響を面内せん断試験で把握した。得られた知見を要約する。

- 1) 針葉樹構造用合板の耐力壁の最大せん断耐力は、釘の間隔を 150mm から 200mm、300mm、600 mm と 3 段階で変化させた場合、14.8kN から 12.4kN、8.5kN、5.6kN と段階的に低下した。
- 2) 建築基準法で定められた針葉樹構造用合板の耐力壁の釘の間隔を 150mm から 200mm、300mm、600 mm と 3 段階で変化させた場合の壁倍率は、「2.3」から「1.7」、「1.2」、「0.8」と段階的に低下した。
- 3) 針葉樹構造用合板の耐力壁を打ち付ける釘の間隔を建築基準法の規定 150mm から 600mm まで大きくしても壁倍率は、壁倍率の最小値「0.5」を上回る「0.8」となり、非耐力壁とは言い難い結果となった。
- 4) 初期の釘頭のめり込みが合板厚の 50%程度を有する針葉樹構造用合板の耐力壁の最大せん断耐力は、釘頭のめり込みを有しない針葉樹構造用合板の耐力壁と比較すると 40%低下した 8.61kN となった。
- 5) 初期の釘頭のめり込みが合板厚の 50%程度を有する針葉樹構造用合板の耐力壁の壁倍率は、釘頭のめり込みを有しない針葉樹構造用合板の耐力壁と比較すると 65%低下した「0.8」となった。

第3章 木造住宅の耐震性を学ぶ構造実験実習およびその教材作成とその訓練効果の検証

3.1 はじめに

関東職業能力開発大学校および四国職業能力開発大学校で取り組む構造実験実習は、学生自ら作製した木造耐力壁の面内せん断試験をおこない、その実験データを解析、考察、まとめをおこない、木造住宅の耐震性を工学的に学ぶカリキュラムとしている。

しかしながら、これまで実習で用いている教材は、耐力壁の試験方法と評価方法のみを示しているだけで、耐力壁に求められている耐力を発揮するための重要な施工のポイント、施工管理のポイントが示されていない。

本章では、既存の構造実験実習の教材を見直すため、耐震要素を理解しやすい実験パラメータで面内せん断試験の実験実習を実施し、その実験データの解析と考察をおこなった内容へ改善した「木造住宅の耐震性を学ぶ教材」を作成する。そして、その教材を活用した授業をおこない、訓練効果の検証を目的とする。

構造実験実習および構造実験実習用教材の検証は、木造住宅の耐震性に関する知識を実習前後で同一の確認テスト^{参考資料 2)}の正答率で確認し、実習前後の確認テストの正答率の増減で訓練効果の検証を行うこととする。

3.2 構造実験実習で活用する耐力壁の面内せん断試験実習の教材作成

本研究では、関東職業能力開発大学校 専門課程 建築科 2 年生および四国職業能力開発大学校 専門課程 住居環境科 2 年生で実施する専攻実技（受講推奨科目）構造実験実習で使用する教材作成をおこなう。

木造住宅の構造計画は、一般的に建築基準法施行令 46 条に準拠した壁量計算をおこなう。同条には、壁倍率や柱頭・柱脚に作用する引抜力の算定などの要素を含んでおり、その内容について専攻学科で指導しているが、学生は十分に理解していると言い難い。

そこで改善する教材は、本研究でおこなった面内せん断試験方法、実験データの整理、グラフ作成から解析・考察し、耐震要素および耐力壁に作用する荷重の流れを終局時の破壊性状から確認できる可視化した教材に改善した。

本研究で作成した参考資料 1 に示す教材は、構造実験実習で得た参考資料 3、4 に示す実験データを基に作成した。

3.3 確認テストによる訓練効果の検証方法

実習課題の訓練効果は、本実習課題を受講後の確認テストの正答率と受講前の確認テストの正答率の増減で検証する。なお正答率は、正解数を出題数で除し100分率で表現した。確認テストとその解答は参考資料2に示す。

確認テストは、構造実験実習の訓練効果を検討するため、平成30年度から令和2年度の3年間で本実習課題を受講した関東職業能力開発大学校 専門課程 建築科 2年生を対象におこなった。表3.1に示すとおり、確認テストの構成は、耐力壁の施工方法に関する設問15問、木質構造に関する設問を6問、建築基準法の耐力壁に関する設問4問の25問とした。確認テストは受講前に1回おこない、本研究テーマである針葉樹構造用合板の耐力壁の構造実験実習を終了後、データ解析と考察をまとめ、本研究で改善した参考資料1に示す「木造住宅の耐震性を学ぶ教材」を活用した授業を実施した直後、2回目の受講後の確認テストをおこなった。

なお、本研究で訓練効果を検証する対象は、2回の確認テストと講義に参加した学生のみとした。

表 3.1 確認テストの構成

設問分野	設問数	設問項目	設問内容
施工	15	耐力壁の施工方法	耐力壁の詳細な施工方法
構造	6	木質構造設計	在来軸組工法の力の流れ
法規	4	耐力壁に関する建築基準法	建築基準法で整理されている壁倍率

3.4 確認テストによる訓練効果の検証結果

図 3.1①に構造実験実習の受講前と受講後の確認テストの正答率の増減を年度毎で示す。総合の正答率は平成 30 年度で受講前の 40%から受講後は 1.8 倍の 71%、令和元年度で 45%から 1.4 倍の 65%、令和 2 年度で 43%から 2.0 倍の 86%まで上昇した。これは、構造実験実習の課題は荷重の流れを破壊性状により確認できる木造住宅の耐震性を可視化した内容であり、学生にとっても理解しやすい有用な手段であったと推察された。

施工の分野は耐震性を維持・向上させるための施工の要素とその方法を主とした設問であった。図 3.1②に示すとおり、正答率は平成 30 年度で受講前の 38%から受講後は約 1.8 倍の 71%、令和元年度で 45%から 1.6 倍の 70%、令和 2 年度で 38%から 2.2 倍の 83%まで上昇した。これは、試験体の図面の読図や製作を通じて実験のパラメータ、いわゆる耐震要素を把握でき、構造実験実習を通じて耐震性を工学的に理解し習得できたと推察される。

構造の分野は在来軸組工法で建築した木造住宅に作用する荷重の流れを主とした設問であった。図 3.1③に示すとおり、正答率は平成 30 年度で受講前の 58%から受講後は 1.3 倍の 77%、令和元年度で 42%から 1.4 倍の 58%、令和 2 年度で 24%から 4.0 倍の 86%まで上昇した。特に確認テスト問題 4 の耐力壁が抵抗する荷重に関する設問の正答率は 10 倍まで増加し、木造住宅の耐震性を左右する構造部材を明確に理解できたと考えられる。

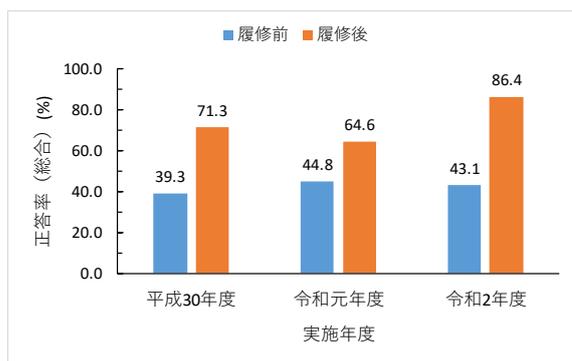
法規の分野は壁倍率を主とした設問であった。図 3.1④に示すとおり、正答率は、平成 30 年度で受講前の 27%から受講後は 2.0 倍の 58%、令和元年度で 47%から横ばいの 49%、令和 2 年度で 24%から 4.0 倍の 86%まで上昇した。しかしながら、出題数が 4 問と少ないことから正答率のみで訓練効果の有無を検証し難い内容となった。

また、図 3.1⑤に示すとおり、確認テスト 25 問の中に構造実験実習に関連する設問を 9 問取り入れた結果、構造実験実習に関する設問の正答率は平成 30 年で受講前の 45%から受講後は 1.6 倍の 75%まで上昇し、令和元年度で 31%から 2.0 倍の 64%まで上昇、令和元年度で 46%から 2.0 倍の 89%まで上昇した。これは、実験パラメータを理解した試験体を構造実験実習で壊す実習は、荷重の流れや耐震要素を明確に理解でき、木造住宅の耐震性を効率的に習得できる内容であることがわかった。

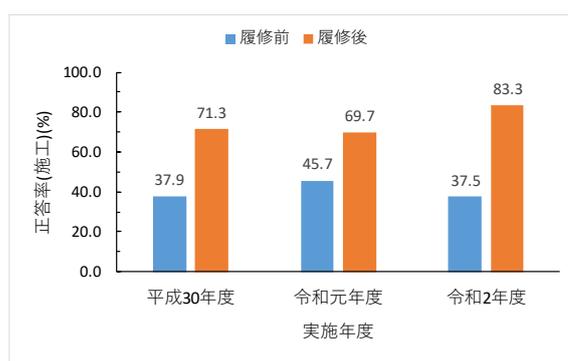
さらに、図 3.1⑥で示すとおり、集合訓練のみで受講したクラス全体とゼミナール形式でおこなう総合製作実習の課題も同様の内容で受講したゼミ学生の確認テストの総合点数で比較すると、ゼミ学生の受講後の正答率は、平成 30 年度と令和 2 年度共に集合訓練のみで学んだクラス全体の正答率を僅差で上回った。これは、2 種類の訓練形式で確認テストの正答率を比較した結果であり、集合訓練の受講のみで十分な効果が得られ、ゼミナール形式で

受講すると十二分な効果を得られることがわかった。

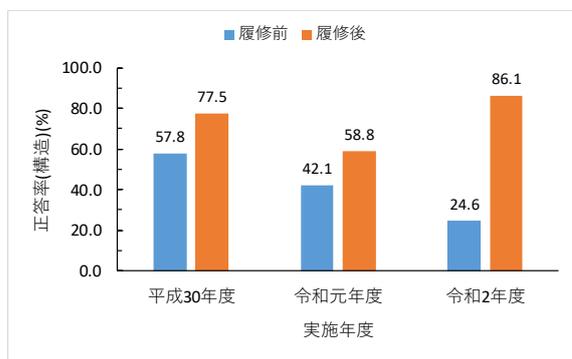
以上のことから、どちらの訓練形式でも実験パラメータを理解した試験体を自ら製作し、面内せん断試験実習をおこない、耐力壁の荷重の流れや破壊性状を学び、実験データの整理、解析、考察、レポートおよび実験結果のパネル作成を取り入れた構造実験実習と実験実習データを基に作成した教材を活用した100分授業は、耐震要素と施工精度の重要性を可視化した習得しやすい有用な手段であることが示唆された。



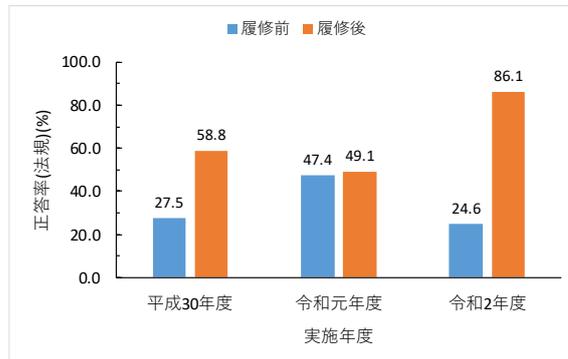
①総合



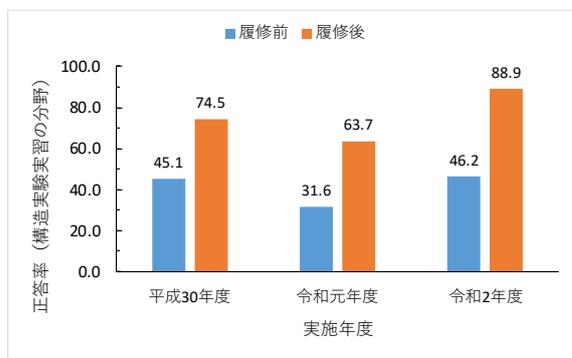
②施工の分野



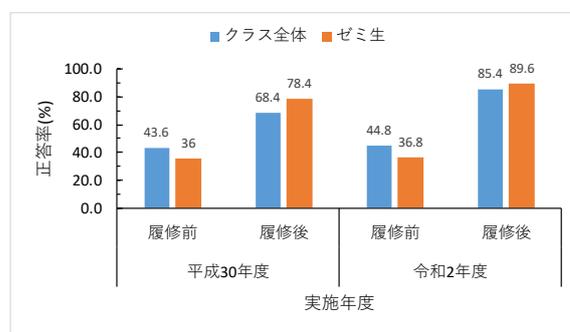
③構造の分野



④法規の分野



⑤クラス全体の構造実験実習の分野



⑥ クラス全体とゼミナール形式でも学んだ学生の正答率

図 3.1 年度毎の確認テストの履修前と履修後の正答率の比較

3.5 まとめ

針葉樹構造用合板の耐力壁に釘の間隔の変化および初期の釘頭のめり込みが合板厚の 50% 程度有する施工不良の耐力壁がせん断耐力に及ぼす影響を学ぶ構造実験実習およびその教材に対する訓練効果を検証した。得られた知見を以下に要約する。

- 1) 総合正答率は、平成 30 年度から令和 2 年度にかけ、受講前の 45%から受講後は 1.8 倍の 76%、45%から 1.4 倍の 65%、43%から 2.0 倍の 86%まで上昇した。つまり、構造実験実習と「木造住宅の耐震性を学ぶ」教材は、有用であることがわかった。

- 2) 構造実験実習を、ゼミナール形式でも学んだゼミ学生の受講後の正答率は、集合訓練形式のみで学んだクラス全体の正答率を僅差で上回るものの、どちらの形式で学んでも十分な結果を得ることができた。つまり、実験パラメータを理解した試験体を実験実習によって壊し、荷重の流れを破壊性状で確認できる可視化した構造実験実習は有用なカリキュラムであることがわかった。

第4章 結論

本研究は、職業能力開発大学校でおこなわれている専攻実技、いわゆる実習科目において針葉樹構造用合板の耐力壁の面内せん断試験を実施し、木造住宅の耐震性に関する知識の習得を工学的に理解できるカリキュラムとその教材を検討したものである。

以下に、本研究で得られた知見を各章ごとに示す。

第1章「序論」では、本研究の背景と目的を示すとともに、本研究の方針および構成を示した。

第2章「面内せん断耐力試験実習」では、耐震要素のポイント、施工管理のポイントを学ぶために以下の2パターンのパラメータとした。

- ①釘の間隔がせん断耐力に及ぼす影響
- ②初期の釘頭のめり込みが合板厚の50%程度を有する施工不良が針葉樹構造用合板の耐力壁のせん断耐力に及ぼす影響

以上の面内せん断試験をおこなって、以下の知見を得た。

- 1) 針葉樹構造用合板の耐力壁を施す釘の間隔を標準150mmから200mm、300mm、600mmと3段階で変化させた最大せん断耐力は、14.8kNから12.4kN、8.5kN、5.6kNと段階的に低下した。
- 2) 建築基準法で定められた針葉樹構造用合板の耐力壁の釘の間隔を150mmから200mm、300mm、600mmと3段階で変化させた場合の壁倍率は、「2.3」から「1.7」、「1.2」、「0.8」と段階的に低下した。
- 3) 非耐力壁と見なす壁倍率は、釘の間隔を建築基準法の規定する150mmから600mmまで大きくしても壁倍率の最小値「0.5」を下回ることはなく、非耐力壁と言い難いことがわかった。
- 4) 初期の釘頭のめり込みが合板厚の50%程度めり込んだ針葉樹構造用合板の耐力壁と釘頭のめり込みを有しない針葉樹合板耐力壁の試験体を比較すると、最大せん断耐力は40%低下した8.6kN、壁倍率は65%も低減した。

第 3 章「木造住宅の耐震性を学ぶ構造実験実習およびその教材作成とその訓練効果の検証」では、本実習課題を受講した学生に対して訓練効果を検証するため、確認テストをおこなった。本章で得られた知見は以下の通りである。

- 1) 構造実験実習前の耐力壁に関する確認テストの正答率はどの年度も約 40%程度だった。しかしながら、実験実習と実験実習のデータを活用した教材を用いた講義で施工精度や耐震要素を学んだ直後の確認テストの正答率は平成 30 年度で 1.8 倍の 71%、令和元年度で 1.4 倍の 65%、令和 2 年度で 2.0 倍の 86%まで上昇したことから、有用な実習カリキュラムと教材であることがわかった。
- 2) 構造実験実習前を集合訓練形式のみで学んだクラス全体の受講後の正答率は、ゼミナール形式でも学んだゼミ学生の正答率を僅差で下回るが、どちらも十分な訓練効果を得られた。つまり、荷重の流れを破壊性状で学ぶ耐震性を可視化した構造実験実習のカリキュラムと本研究で作成した木造住宅の耐震性を学ぶ教材は有用であった。

謝辞

本論文は、筆者が平成 30～31 年にかけて、職業能力開発総合大学校 高度養成課程の在学中におこなった「木造住宅の耐震性を学ぶ教材」の作成に関する研究と関東職業能力開発大学校に在籍中の平成 30 年度と令和 2 年度におこなった総合製作実習の成果をまとめたものです。

本論文を執筆するにあたり、職業能力開発総合大学校 基盤ものづくり系 建築施工・構造評価(木造)ユニット 准教授 塚崎 英世先生(主査)には、本論文に関する貴重な研究機会を与えていただきました。また、研究の進行および成果をまとめるにあたりご指導、ご助言をいただきました。ここに深く感謝し、心よりお礼申し上げます。

職業能力開発総合大学校 基盤ものづくり系 建築施工・構造評価(木造)ユニット 准教授 前川 秀幸先生(副査)、建築施工・構造評価(RC)ユニット 准教授 藤野 栄一先生(副査)、建築施工・構造評価(木造)ユニット 助教 佐畑 友哉先生には、有益なご助言をいただきました。ここに深く感謝いたします。実験試験体の作製および測定においては、筆者が在籍していた関東職業能力開発大学校 専門課程 建築科青山 健太さん、阿久津 有信さん、門澤 智也さん、佐藤 彩音さん、藤井 雄大さん、荒井 奏未さん、大森 綾乃さん、中山 翔陽さん、野寺 匠さん、半澤 碧人さんにご協力いただきました。心より感謝申し上げます。また確認テストによる訓練効果の検証では、平成 30 年度から令和 2 年度まで在籍された関東職業能力開発大学校 専門課程 建築科 2 年生の学生の皆様にご協力いただきました。心からお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 独立行政法人 住宅金融支援機構：【フラット 35】対応木造住宅工事仕様書平成 28 年度版、井上書院、2018.2.20
- 2) 一般社団法人 木を活かす建築推進協議会：木材・木造建築の物性的特質 報告書、一般社団法人 木を活かす建築推進協議会、2017.3.31
- 3) 公益財団法人 日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2017 年版)、公益財団法人 日本住宅・木材技術センター、2017.5
- 4) 一般社団法人 日本建築学会：木質構造設計基準・同解説書 一許容応力度・許容応力度設計法一、一般社団法人 日本建築学会、2013.10.20
- 5) 大橋雄二：日本建築構造基準変遷史、財団法人 日本建築センター、1993.12
- 6) 国土交通省建築研究所編：改正検知器基準法の構造関係規定の技術的背景、ぎょうせい 2001.3