

## 論文審査の結果の要旨

氏名：廣 石 秀 造

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：靱性型木造面格子壁の基本的構造特性に関する研究

—構造設計上の課題の分析と設計手法の提案—

審査委員：（主査） 教授 岡 田 章  
（副査） 教授 古 橋 剛 教授 中 田 善 久

現在、国内林業は衰退の一途を辿っており、昭和30年には9割以上を記録した木材自給率が、現在では全体の2割程度まで低下している。このことから国内林業の復興を目的として、2010年に「公共建築物等における木材の利用促進に関する法律（公共建築物等木材利用促進法）」が施行された。この中では中小規模の公共建築物の原則木造化が義務付けられており、木材の新たな利用方法の開発と木質構造の設計手法の確立が期待されている。

木材は、大部分の応力状態（引張、せん断、座屈等）に対して降伏後の変形性能に乏しく、構造設計上は脆性的な材料として扱われている。このような性質を持つ木材を建築部材として使用するにあたり、現在の木質構造の構造設計では脆性破壊を生じさせない応力範囲での使用との基本条件のもと、外力に対して変形を抑制する「強度型」を目標とした設計が通常行われている。従来の設計に用いられている「壁倍率」は、強度型の設計を基本とした指標と位置付けられる

一方、木材は繊維直交方向の圧縮である支圧（部分横圧縮）に対しては低剛性ながらもめり込みを生じて高い靱性を示すという優れた性状を有している。このような背景のもと、申請者は木材のめり込み性状を積極的に利用することで、高い変形性能を有し、エネルギー吸収性能に期待できる構造の確立を目標として検討を行っている。本論文ではめり込み性状を利用するために相欠き仕口に着目し、当該仕口を格子状に並べた「面格子壁」を研究対象としている。

面格子壁は面内に水平力が加わると、相欠き仕口における2部材間の相対角度の変化に伴い、接触部にめり込みが生じるため、粘り強い性状を示すとされている。一方、開口を有する耐力壁として社寺等の耐震補強などに既に適用された例はあるが、本論文で対象としているエネルギー吸収性能を目標としたものではない。このような視点に立った研究例は今までほとんど見られず、申請者の取り組みは新規性の高い独創的な試みとして高く評価できる。

本論文では、まず既往の研究を概観し、木材のめり込み剛性が非常に小さいことから、面格子壁は初期剛性が低く、告示で規定される他の耐力壁に比べて壁倍率が小さな値となることを示している。また、この特徴を受け、面格子壁に関する大部分の既往研究が壁倍率の向上を目標とした初期剛性向上に関するものであり、面格子壁の基本的な構造特性を定量的に評価した研究はほとんど見られないことを指摘している。

そこで本論文では、現行の壁倍率に規定される部材断面や格子間隔などの諸元にとらわれず、面格子壁の基本的な構造特性の把握を試みている。具体的には、材種、部材断面、格子間隔等をパラメータとし、実験及び数値解析により、これら材料諸元、構造諸元の及ぼす影響について検討を行っている。また、本論文では従来の耐力壁を「強度型」、めり込みが卓越し靱性に富む性質を持つ壁を「靱性型面格子壁」と定義すると共に、脆性的な破壊を生じず、めり込みが卓越する面格子壁の仕様を示している。併せて、靱性型面格子壁の構造設計手法を提案し、実用化の一例として耐震シェルターへの適用を検討している。

本論文は全7章で構成されている。申請者は「仕口」、「面」、「立体」の3つに大別して検討を行っており、「仕口」の検討は第3章に、「面」の検討は第4章と第5章に、「立体」は第6章にそれぞれ該当している。この内、第3章から第6章の成果は、「靱性型木造面格子壁を用いた耐震シェルターの基本構造特性の把握」及び「木造面格子壁の格子間隔が剛性と耐力に及ぼす影響」として、それぞれ日本建築学会構造系論文集第689号と第694号に掲載されている。

第1章の「序論」では、木材の特徴と木質構造の現状について考察し、特に検討対象としている面格子壁について分析すると共に、これらを踏まえたテーマの設定とその意義、論文の構成について述べている。

第2章の「相欠き仕口および木造面格子壁の概要と既往の研究」では、木材、相欠き仕口、面格子壁の概要について論じると共に、面格子壁に関する既往の研究を整理・分析している。なお、現行の面格子壁は平成15年国土交通省告示第1543号において壁倍率が規定されており、部材断面と格子間隔に応じて0.6倍～1.0倍の値が規定されている。これを受けて、既往の研究では壁倍率の規定されていない310mm超の格子間隔でほとんど検討が行われていないことを示している。

第3章の「相欠き仕口の基本構造特性の把握」では、相欠き仕口の曲げ試験を通して、相欠き仕口の構造特性について検討を行っている。曲げ試験では、材種、断面寸法、切欠き寸法、接合部形状をパラメータとして剛性、履歴特性、破壊性状、終局耐力について考察し、すべての試験体でスリップ型の履歴性状となり、比較的剛性の低いスギが靱性の高い性状を示すこと、剛性の大きなカラマツやスギのE90材では脆性的な性状となる一方、仕口の切欠き寸法を浅くすることで靱性の向上が見込めること、等の結果を示している。さらに、塑性後の挙動を評価できる解析モデルの構築を目的として、実験結果を用いて相欠き仕口の回転剛性のモデル化を行っている。

第4章の「靱性型木造面格子壁の基本構造特性の把握」は、本論の中核をなす章である。本章では実験及び数値解析により、木造面格子壁の構造特性について検討を行っている。面格子壁の水平加力試験では、材種、切欠き寸法、格子間隔をパラメータとして性状を定量的に示している。また、実験結果と従来の理論式との比較を行い、降伏後の挙動に差異が生じることを指摘している。これを受け、塑性後の挙動を評価できる数値解析モデルを提案し、実験結果との比較を行うことで解析モデルを含めた数値解析手法の妥当性を示している。さらに、数値解析結果に基づき、脆性的な破壊を生じず、めり込みが卓越する靱性型面格子壁の仕様、具体的には、①格子間隔は340mm以上、②材料はスギなどの低剛性材が有効、③剛性の高いカラマツなどは仕口の切欠き深さを浅くすることで使用可能、等の仕様を示している。

第5章の「靱性型木造面格子壁の設計手法確立のための基本的検討」では、第4章で示した結果を基に、数値解析を用いて靱性型木造面格子壁用の設計基準強度および木材のばらつきに着目した検討を行っている。現行の告示の基準強度を用いた場合、小さな変形角で脆性的な破壊を生じ、実験と異なる性状となることを指摘している。また、面格子壁内に告示相当の部材が混在した場合、格子耐力のばらつきが変形性能に及ぼす影響は無視できないという結果を示している。これを受け、格子間隔の粗い靱性型面格子壁の変形性能を適切に評価するためには、部材や仕口の性能のばらつきの評価、妥当性ある基準強度の設定、等が必要との課題を示している。

第6章の「靱性型木造面格子壁の構造設計手法の提案」では、木材のばらつきを考慮し、限界状態設計法に基づく構造設計手法の提案を行っている。また、実用化の一例として耐震シェルターへの適用を検討している。まず、現行の耐震シェルターを概観し、一般的な建築物と荷重条件が異なること、耐震シェルターに関する研究がほとんど見られず構造性能の定量的な評価方法が存在しないこと、等の問題点を指摘している。さらに、実大規模の1層木造軸組建物を用いて材種、仕口の隙間をパラメータとした振動実験を行い、既存軸組と耐震シェルターとの相互作用について整理、分析を行っている。

第7章では、本研究の総括を述べると共に、靱性型木造面格子壁の今後の課題を示している。

以上、本論文は木造面格子壁を対象に、材料・構造諸元と構造性能の関係について実験、数値解析を用いて分析、整理し、提案した靱性型面格子壁について検討を行っており、以下のような独創性が見られる。

- ①脆性材料である木材を組み合わせることで、優れた変形性能とエネルギーの吸収性能を有する木造面格子壁を提案していること。
- ②木造面格子壁の高い靱性は、木材の繊維方向依存の異方性を原因とするめり込みを積極的に利用していること。
- ③格子壁の部材交差部のディテールとして、加工・施工性に優れた相欠き仕口を選択すると共に、仕口部のめり込みを先行させ、曲げ破壊を生じさせないことを条件として断面・形状などの仕様を提示していること。
- ④相欠き格子部の曲げモーメントと相対部材角の関係を振りばねで評価し、これを用いた格子壁の数値解析モデルを提案し、実験結果との比較により、数値解析手法の妥当性を検証していること。
- ⑤エネルギー吸収に期待した木造格子壁の設計には、高剛性、高耐力を目指す現状の木質構造の設計手法を適用することができないことから、本構造の性能を踏まえた構造設計手法を新たに提案していること。

このように、本研究は現在の木質構造の耐震工学の範疇では捉えられない新たな構造形式を対象としたものであり、今後の発展も十分に期待される研究と評価でき、今後、木造建築物の発展に寄与できる有用

な知見を示したものとする。

このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するために必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

平成26年10月16日