

論文の内容の要旨

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—

本論文は、高い靱性に期待した木造面格子壁の構造特性について論じたものである。

木材は、樹木から伐採される自然の材料であるため、乾燥収縮、強度、弾性係数等の物理的性質が、樹木の繊維方向との傾斜角により著しく異なる性質、すなわち異方性を有することが特徴である。また、木材は材種、産地、生育環境、含水率等が強度や弾性係数に及ぼす影響が大きく、部材ごとに大きなばらつきが生じる材料である。木材の破壊性状は、大部分の応力状態（引張、曲げ、せん断、割裂き、座屈）に対して降伏後の変形性能に乏しく、構造設計上は脆性材料として扱われている。ただし、繊維直交方向の圧縮となる横圧縮や支圧（部分横圧縮）に対しては、低剛性ながらも木材のめり込みを生じて靱性に富む性質を有している。

このような性質を持つ木材を建築物の構造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、本来脆性材料である木材を脆性破壊が生じない応力範囲で使用する、という観点から「強度型」を目標とした設計が通常行われている。これに対して、本論文では木材のめり込み性状を積極的に利用することで、高い変形性能を有する構造要素を提案すると共に、この要素を構造設計するための手法の確立を目的としている。

木材の靱性に富む「めり込み」を利用したディテールや構造としては、以下に示すものが挙げられる。

(1)貫、(2)相欠き仕口、(3)集積型木質吊屋根構造

本論文ではこれらの3つの構造形式の内、最も加工が容易で汎用性が高いと思われる(2)相欠き仕口を取り上げ、格子状に木材を並べた壁を対象とした。この種の壁は一般に「面格子壁」と呼ばれている。相欠き仕口は接合する2つの材をそれぞれ欠き取って重ね合わせる継手、仕口であり、2部材間の相対角度の変化に伴い、接触部分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。

面格子壁は開口を有し、光を取り入れることが可能な耐力壁として、既に社寺等の建築物や耐震補強などに数多く使われている。面格子壁の面内に水平力が加わる時、面格子内には①相欠き仕口部のめり込み応力、②相欠き残余部の曲げモーメント、③相欠き残余部のせん断力等が生じる。②、③の応力が支配的な場合、脆性的な破壊モードが生じる可能性がある。このため、現行の設計では想定荷重下で②、③が原因となる崩壊を生じさせない目標、具体的には高強度、高剛性と共に関係率の確保を目標とした「強度型」の設計が行われている。これに対して、①による変形を先行させて、②、③による崩壊の回避を目指すことが本論文で対象とする面格子壁の目標である。

木材のめり込み剛性は、繊維方向の弾性係数のおよそ $1/25 \sim 1/50$ とされており非常に小さいため、面格子壁は初期剛性が低く、さらに乾燥収縮や施工誤差に伴う隙間が大きく影響する性質を持つ。このため、面格子壁に関する既往の研究は初期剛性の向上による壁倍率の向上を目指したものが大部分であり、面格子壁の格子間隔を細かくすると共に隙間の影響の評価や、仕口部にジベルや楔などを付加した検討などが数多く行われている。一方、壁倍率の規定されていない格子間隔（超 310 mm）については、ほとんど検討は行われていない。以上のことから本論文では、現行の壁倍率の範囲にとらわれず、面格子壁の基本的な構造性能の把握を試みた。この結果に基づき、相欠き仕口の「めり込み」の特徴を生かして、靱性に富む壁の仕様を分析した。なお、一般的な耐力壁として用いられる面格子壁を「強度型」とし、本論文で提案する靱性に富む性質を持つ壁を「靱性型面格子壁」と定義した。

本論文では「仕口」、「面」、「立体」の3つに分けて検討を行った。まず、「仕口」では相欠き仕口の基本的力学性状の把握を試みた。次の「面」は本論文の中核をなす部分であり、靱性型面格子壁の力学性状の把握を行った。最後に「立体」では、靱性型面格子壁の構造設計手法の提案を行い、実用化の一例として耐震シェルターへの適用を検討した。

本論文は、7章より構成されている。上述の3つの検討の内、「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。

第1章「序論」では、木材の特徴と木質構造の現状を概観し、本論文で対象としている靱性型面格子壁の設計上の課題を分析した。これらを背景として研究目的を明らかにすると共に、論文の全体構成及び用語の定義を示した。

第2章「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、研究対象である「相欠き仕口」と「木造面格子壁」の既往の研究に対して、調査・整理を行った。このように面格子壁の現状を分析し、課題を整理すると共に、さらに「靱性型面格子壁」の課題と、本研究の位置づけを明らかにした。

第3章「相欠き仕口の基本構造特性の把握」では、最初に相欠き仕口単体の基本的力学特性の把握を目的とした実験とその結果について論じた。まず、相欠き仕口の曲げ試験を行い、その構造特性について明らかにした。ここでは、材種、断面寸法、切欠き寸法、接合部形状に着目した結果を示した。さらに、これらの結果と現在一般的に使用されている相欠き仕口の理論式との比較を行い、既存理論式の適用性を検証した。また、併せて塑性後の挙動を評価できる数値解析モデルの構築を目的として、回転剛性のモデル化を行った。本章で得られた知見を以下に示す。

- ・相欠き仕口の曲げ試験ではすべての試験体でスリップ型の履歴性状を示した。
- ・スギ無等級材では0.3rad以降も耐力低下が見られず、靱性の高い性状を示した。
- ・剛性の大きなスギE90やカラマツでは、曲げ破壊やせん断破壊など脆性的な性状を示した。
- ・剛性や密度の大きな材料においては、脆性的な破壊が卓越するため、この種の材料を使用する際には仕口の切欠き寸法の変更などの工夫が必要である。
- ・比較的剛性の低いスギの使用などが靱性型として適当であることが示唆された。
- ・弾性範囲から塑性後の挙動まで評価できる仕口部の回転剛性のモデル化を行った。

第4章「靱性型木造面格子壁の基本構造特性の把握」では、面格子壁を対象とした基本的力学特性の把握を目的として実験と数値解析を行い、その結果について論じた。まず、木造の設計に係わる現行の告示・規準について調査・整理を行った。続いて、木造面格子壁の水平載荷実験を行い、木造面格子壁の基本的力学特性を明らかにした。この結果を基に、構造解析手法の妥当性の検証を行うと共に、数値解析を用いて格子間隔が及ぼす影響に着目した結果を示した。本章で得られた知見を以下に示す。

- ・面格子壁の水平載荷試験では、すべての試験体でスリップ型の履歴性状を示した。
- ・スギの無等級材は靱性の高い性状を示したが、剛性の大きなカラマツやヒノキでは曲げ破壊やせん断破壊など脆性的な性状を示した。
- ・塑性後の挙動を評価できる解析モデルの構築を試みた。実験結果と解析モデルは良好に一致したが、仕口の力学性状のバラつきを考慮する必要があることが示唆された。
- ・格子間隔をパラメータとした検討より、めり込みを卓越させるためには空隙率が45～50%以上必要となり、1,700mm×2,300mmの規模の壁では格子の部材構成5×6が強度型と靱性型の境界であることが示唆された。

第5章「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、靱性型木造面格子壁の設計上の課題について論じた。靱性型木造面格子壁用の設計用基準強度および木材のばらつきに着目した数値解析を行い、靱性型面格子壁に必要な性能について結果を示した。本章で得られた知見を以下に示す。

- ・木材の設計用基準強度をパラメータとした検討を行った。告示の基準強度を用いた場合、小さな変形角で脆性破壊を生じる結果となり、実験結果と異なる性状を示した。
- ・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、靱性型面格子壁を対象とした妥当性ある設計用基準強度の設定が必要であることが示唆された。
- ・格子の耐力のばらつきを考慮した検討を行い、面格子壁内に告示値相当の部材が横材1本に混在した場合を除いて、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が得られた。

第6章「靱性型木造面格子壁の構造設計手法の提案」では、靱性型面格子壁の実用例として、耐震シェルターを取り上げ、構造設計手法の提案を行った。まず、現行の耐震シェルターの概説を示した。続いて、耐震シェルターに必要な構造設計手法について整理を行い、「限界状態設計法」に基づく新たな構造設計手法の提案を行うと共に、面格子壁の水平加力実験及び数値解析結果より、設計に必要な耐力係数と荷重係数を算出した。併せて、実大規模の1層木造軸組建物を用いて振動実験を行い、その結果を示した。本章で得られた知見を以下に示す。

- ・実大振動実験では既存軸組と耐震シェルターの衝突を生じた。シェルターは既存軸組と共に変形し仕

口部にめり込みを生じると共に、既存軸組の崩壊後においてもシェルターに十分な耐荷性能を有していることが確認され、靱性型木造面格子壁のシェルターへの適用の有効性が把握された。

- ・荷重と木材のばらつきを考慮した簡易的な設計手法を提案した。なお、本手法を用い数件の実施例を報告している。

最後に、第 7 章「総括」において研究成果をまとめると共に、靱性型木造面格子壁の今後の課題について述べた。

本論文では、「靱性型木造面格子壁」を提案し、その基本的構造特性の把握を行った。また、靱性型面格子壁に適した部材寸法、格子間隔、相欠き仕口の切欠き寸法等の仕様を提示した。今後、靱性型面格子壁を対象とした設計用基準強度の設定、めり込みによるエネルギー吸収性能の定量的な評価、仕口のばらつきを考慮した数値解析モデルの構築、等の更なる検討が必要である。