

学 位 論 文 題 名

面材釘打ち耐力壁の性能評価法に関する研究

学位論文内容の要旨

建築物の必須要求性能の一つに、地震や風などの水平力に対して損傷・倒壊しないことがある。大半の木造住宅では、これらの力に対し、筋かい軸組や面材釘打ち耐力壁などのせん断耐力で抵抗する方式が採用されている。在来軸組構法では従来、筋かい軸組が水平耐力要素の中心であったが、近年は面材釘打ち耐力壁も増える傾向にあり、特に北海道などの寒冷地域でその比率が高まっている。また、枠組壁工法や各種のパネル構法は、構造原理自体が壁式構造のため、導入当初から面材釘打ち耐力壁が用いられてきた。

面材釘打ち耐力壁は、木材の枠材や軸組材に合板や構造用パネルなどの面材を、多数の釘で打ち付けて一体化したものである。これらのせん断耐力は、一般に実大せん断耐力試験によって評価されるが、実務的な簡便さから、一定の基本仕様に対しては同一の許容せん断耐力（壁倍率）が与えられている。しかし、実際のせん断耐力は、使用する木材の材質や現場施工の良否によって大きく変動する。また、実大せん断耐力試験は耐力壁脚部の浮き上がりを強固に拘束して行われるのが普通であるが、実際の建物における浮き上がり拘束効果は、設計・施工によって大きく異なる。

基本的な仕様の面材釘打ち耐力壁に対しては、釘 1 本あたりのせん断耐力に基づく理論計算法も示されているが、その適用限界はこれまでのところ、上記の実験的評価法と同様である。

以上のように、面材釘打ち耐力壁のせん断耐力評価は、現在極めて概算的な範疇に留まっており、より信頼度の高い性能評価を実現するための、各種試験法や理論解析法の開発が必要とされている。

本研究では以上の背景から、枠組壁工法用面材釘打ち耐力壁を取り上げ、次の 3 点に着目して、実験的、解析的検討を試みた。

- 1) 面材釘打ち耐力壁のせん断耐力評価の基本となる釘接合耐力の評価
- 2) 木材の狂いや現場施工不良等による接合耐力変動が与える影響の推定
- 3) 建物中の浮上り拘束効果を考慮に入れた耐力壁の性能評価

各論に先立ち、第 1 章では研究背景と研究目的について、第 2 章では既往の研究と本研究の着目点について、第 3 章では本研究で用いた基礎理論と数値解析法について述べた。

第 4 章では上記 1) について検討した。面材釘打ち耐力壁のせん断耐力は、主として面材と木材の釘接合耐力に支配される。釘接合部が単体で力を負担する場合、その許容耐力は実験から得られる統計的下限值（信頼水準を考慮した 5% 下限推定値）とするのが一般的である。これに対し、面材釘打ち耐力壁の許容せん断耐力に対応する釘接合部単体の許容耐力は、耐力壁には多数の釘が並列使用され

ることを考慮して、平均値（信頼水準を考慮した 50% 下限推定値）を用いてよいとされている。

しかし、面材釘打ち耐力壁における釘接合部は、位置によって負担力が異なるため、上記のような理想的並列モデルを前提とする考え方には疑問がある。そこでこの研究では、多数の釘 1 面せん断試験から得られた荷重－すべり曲線の確率密度分布を基に推定された、数段階の下限荷重－すべり曲線を用いて、耐力壁のせん断耐力解析を行った。

その結果、耐力壁の許容せん断耐力に対応する釘 1 本あたりの許容 1 面せん断耐力は、その 40～50% 下限耐力となること、その適正值は建物の規模に応じて異なることが明らかとなった。これにより、釘 1 面せん断耐力として一律に平均値（50% 下限値）を用いるのは、厳密には誤りであるが、実用的概算値としては大きな問題のないことが分かった。

第 5 章では上記 2) について検討した。面材釘打ち耐力壁における釘接合耐力は、不可避免的な基本変動の他にも、様々な要因によって変動する。その一つに、釘打ち位置のバラツキによるマージン（釘から木材の縁端までの距離）不足が挙げられる。面材釘打ち耐力壁は、施工現場または工場で枠材に面材を釘打ちして作られるが、その際、枠材の狂いや人的作業の不備（ヒューマンエラー）による、釘打ち位置のバラツキが避けられない。

そこで、これらのバラツキが耐力壁のせん断耐力に与える影響を推定するため、釘 1 面せん断耐力のマージンによる変動を考慮したモンテカルロシミュレーション（乱数発生による数値シミュレーション）を試みた。ここではまず、枠材の狂いのうち最も影響が大きいと考えられる反りを取り上げ、市販の枠組壁工法用縦枠材について反りの確率密度分布を実測した。人的作業のバラツキについては、事実上実態調査が困難なため、起こり得るバラツキの範囲と確率密度分布特性、頻度を机上で想定した。

以上の確率密度分布と、マージン不足を想定した釘 1 面せん断試験から得られた、荷重－すべり曲線の確率密度分布に基づき、各釘の初期位置をランダムに与えながら、多数回の数値シミュレーションを行った。その結果、釘接合部のマージン不足は特に最大耐力に影響し、施工精度が低いと大地震時の倒壊危険度が増すことが分かった。

また、シミュレーションの結果から、この耐力低下は施工工程管理の程度によって大きく異なるため、工程管理レベルに応じて耐力壁の許容せん断耐力を増減するなどの実効策を導入し、木造住宅全体の性能向上を促すことが重要であることが示唆された。

第 6 章では上記 3) について検討した。実際の建物における耐力壁は、脚部接合部や横架材との接合部が弱点となり、そこから先行破壊して転倒する危険性を持っている。現在はこれを避けるために、接合部許容耐力の確認を別に行うことになっているが、脚部の浮上りを考慮した耐力壁の変形性状や終局耐力、靱性の評価は行われていない。

ここでは、耐力壁自体の真のせん断変形と脚部の浮上り変形を一旦分解し、脚部接合仕様や鉛直荷重を考慮した性能評価補正を行った上で改めて合成し、建物中における耐力壁の実際の変形挙動を推定するための解析方法を誘導した。脚部の浮上り抵抗要素としては、面材と下枠との釘接合、金物による柱脚接合、鉛直荷重などを想定した。この方法による数値解析結果を実大せん断耐力試験結果と比較し、実用的に支障のない精度で、耐力壁のせん断耐力推定が可能なことを示した。

上記の検証結果に基づき、実条件に合った鉛直荷重や脚部接合仕様を考慮に入れた数値シミュレーションを行った。その結果、現行の評価法は、鉛直荷重の大きさによっては最大耐力を過大評価している危険性のあること、同種の耐力壁でも、鉛直荷重と接合仕様が異なれば剛性・耐力に差が生じ、想定されている耐力が発揮されないことが明らかとなった。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 平 井 卓 郎

副 査 教 授 端 俊 一

副 査 助 教 授 小 泉 章 夫

副 査 教 授 平 嶋 義 彦 (名古屋大学生命農学研究科)

学 位 論 文 題 名

面材釘打ち耐力壁の性能評価法に関する研究

本論文は7章からなる総頁数127の和文論文で、他に参考論文5編が添えられている。

地震や風などの水平力に対する、木造住宅の主要な抵抗要素の一つに、木材の枠材や軸組材に合板や構造用パネルなどの面材を、多数の釘で打ち付けた面材釘打ち耐力壁がある。面材釘打ち耐力壁には各種の仕様があるが、現行法規では同一仕様に対しては一律の許容耐力が与えられている。しかし、その実際の性能は、同一仕様でも木材の材質や現場施工の良否によって大きく変動し、また建物中における脚部浮き上がり拘束の程度によっても大きく異なる。

本論文では上記の問題点に着目し、以下のような実験的、解析的検討を試みている。

1) 面材釘打ち耐力壁のせん断耐力評価の基本となる釘接合耐力の評価

面材釘打ち耐力壁のせん断耐力は、面材と木材の釘接合耐力に支配される。釘接合部が単体で力を負担する場合、その許容耐力は統計的下限值から導かれるが、耐力壁に対応する釘接合部の許容耐力は、多数の釘が並列使用されることを考慮し、平均値から導いてよいとされている。

しかし、面材釘打ち耐力壁の釘接合部は、位置によって負担力が異なり、無条件に理想的並列モデルを適用することはできない。本論文では、釘1面せん断荷重－すべり曲線の確率密度分布から、数段階の下限荷重－すべり曲線を推定し、これを用いた耐力壁のせん断耐力解析を行った。これにより、耐力壁の許容せん断耐力に対応する、釘1本あたりの許容1面せん断耐力は、その40～50%下限耐力となること、その適正值は建物の規模に応じて異なることを示した。この結果から、現行の評価法は原理的には正しくないが、実用的概算法としては許容可能なことが確認された。

2) 木材の狂いや現場施工不良等による接合耐力変動が与える影響の推定

面材釘打ち耐力壁の釘接合耐力は、不可避免的な基本変動の他にも、様々な要因によって変動する。その一つに、釘打ち位置のバラツキによるマージン（釘から木材の縁端までの距離）不足が挙げられる。面材釘打ち耐力壁は枠材に面材を釘打ちして作られるが、その際、枠材の狂いやヒューマンエラーによる釘打ち位置のバラツキが避けられない。

本論文では、マージンによる釘1面せん断耐力の変動を考慮したモンテカルロシミュレーションにより、これらのバラツキが耐力壁のせん断耐力に与える影響を推定した。枠材の狂いについては、

最も影響の大きい反りの確率密度分布を実測し、ヒューマンエラーについては、確率密度分布を机上で想定した。これらの確率密度分布と、マージン不足を想定した釘1面せん断試験から得られた、せん断荷重－すべり曲線の確率密度分布に基づき、各釘の初期位置をランダムに与えながら、数値シミュレーションを行った。これにより、釘接合部のマージン不足は特に最大耐力に影響し、施工精度が低いと大地震時の倒壊危険度が増すことを明らかにした。

3) 建物中の浮上り拘束効果を考慮に入れた耐力壁の性能評価。

実際の建物における耐力壁は、脚部などの接合部が弱点となり、そこから先行破壊して転倒する危険性を持っている。現在はこれを避けるため、別途接合耐力の確認を行うことになっているが、脚部の浮上りを考慮した耐力壁の変形性状や終局耐力、靱性の評価は行われていない。

本論文では、建物中における耐力壁の変形挙動を解析するため、耐力壁自体のせん断変形と脚部の浮上り変形を一旦分解し、脚部接合仕様や鉛直荷重を考慮した性能評価補正を行った上で改めて合成する方法を誘導し、その有効性を実験的に検証した。この検証結果に基づき、実条件に合った鉛直荷重や脚部接合仕様を考慮に入れた数値シミュレーションを行い、現行の評価法は鉛直荷重によっては最大耐力を過大評価している危険性のあること、同種の耐力壁でも鉛直荷重と接合仕様が異なれば、剛性・耐力に大きな差が生じることを明らかにした。

以上のように本論文は、木造住宅の耐震、耐風性能評価の信頼性を高めるための、面材釘打ち耐力壁の新しい性能評価法を提案しており、その成果は学術上、応用上高く評価される。よって審査員一同は、矢永国良が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。