

京都大学	博士 (工学)	氏名	伊藤麻衣
------	---------	----	------

論文題目	スリット入り鋼板耐震壁におけるパネル型面外補剛法の検証と補剛設計式の導出
------	--------------------------------------

(論文内容の要旨)

近年、建物に要求される性能として、大地震後の安全性はもとより、財産・機能保持、事業継続等が求められるようになってきている。この要求性能を満たすために、高層建物ではその内部にエネルギー吸収を担う制振機構を付与する方法が既に実用化されているが、中小規模建物への適用促進を考えた場合、普段からなじみのある材料の利用や、製作や施工の手軽さが普及への鍵となる。そこで、縦方向に多数スリットを入れた薄鋼板を木パネルで挟み込み、鋼板の座屈を抑制しエネルギー吸収能力を向上させる耐震壁を開発した。この耐震壁は軽量でコンパクトであり交換も容易であるという特長を持つため、特に中小規模建物の耐震改修に適している。本研究は、木パネルの面外補剛材としての有効性や、提案耐震壁を建物に組み込んだ場合の地震応答抑制効果を詳細に検討するとともに、耐震壁として十分な性能を発揮するために必要な補剛厚に関して、実用的な設計式を導出することを目的としたもので、論文は全7章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景とそれに関連する既往の研究、目的、論文全体の構成を記述している。

第2章では、スリット入り鋼板の特長、鋼板に座屈が発生しないと仮定した場合の既往の耐力設計式および剛性設計式を整理している。またスリットで挟まれた部分のアスペクト比が小さい鋼板の耐力をさらに精度よく評価するため、せん断力の影響を考慮した全塑性モーメントを用いた修正耐力設計式を導出している。さらに、木パネルによる面外補剛の特徴や、適用箇所および設置方法の基本方針を記述している。

第3章では、補剛に関するさまざまな変数を用いた縮小・実大要素試験体に対して正負交番漸増繰返載荷実験を行い、本耐震壁の挙動や基本性能を検証している。めり込み剛性の小さい木パネルを補剛材として用いることで、補剛材に挟まれた鋼板の面外変形が抑制される結果、耐力および消費エネルギーが大幅に増えること、補剛厚やボルト本数を増加させることによって消費エネルギーの向上が期待できること、を明らかにしている。また、鋼板にスリットを入れることで、面外変形が各スリット端に分散するため接触圧が小さくなり、大変形時まで木パネルが破損することなく安定した挙動を示すこともあわせて確認している。さらに、スリット端に円弧加工を施すことでスリット端での応力集中が緩和され亀裂が抑制されること、実大寸法の2段スリット入り鋼板でも縮小試験体と同等の木パネル補剛の効果が得られること、を実証している。

京都大学	博士 (工学)	氏名	伊藤 麻衣
<p>第 4 章では、第 3 章で単体としての性能が明らかとなった本耐震壁を間柱として組み込んだ 3 層鉄骨骨組を試設計しサブストラクチャ・オンライン応答実験を行い、試設計の妥当性、骨組内の耐震壁の挙動や減衰性能、鋼板の終局状態を検討している。耐震壁降伏後は耐震壁に対する付帯梁の変形の影響が相対的に小さくなり、また設計で意図した通りに耐震壁近傍における梁の塑性化が生じなかったことから、中小地震だけでなく大地震時においても耐震壁が主たるエネルギー消費源として機能しうることを確認している。また全層の耐震壁で鋼板の面外変形は各スリット端に均等に分散し、せん断変形角 5%に至るまでスリット端から亀裂が発生しないことも明らかにしている。</p> <p>第 5 章では、第 3 章で示した要素実験試験体を対象とした有限要素解析を行い、解析結果と実験結果を照合した結果、有限要素解析モデルは実験結果を良い精度で再現しており、履歴性状をより広範に検討するための解析ツールとして有効であることを確認している。また、スリット端部周辺の要素の応力特性をせん断変形角に応じて変化させることによってスリット端の亀裂を模擬することから、実験で見られた大変形時の耐力低下を再現できたことから、スリット端の亀裂が耐力低下の原因であることを明らかにしている。</p> <p>第 6 章では、有限要素解析と座屈理論を用いて、スリット入り鋼板の必要補剛厚やボルト補剛区間を求める実用的な補剛設計式を導出している。補剛判定基準として、補剛を施した場合の最大耐力と面内耐力の比を 0.8 以上、かつ等価粘性減衰定数 0.3 以上を保証するために最大耐力に対する変形ゼロ時のスリップ耐力の比を 0.5 以上と定めている。具体的な設計手順としては、横座屈荷重設計式において鋼板の曲げ剛性に補剛材の曲げ剛性の 0.1 倍を加算し、そこから求められる補剛時の座屈荷重が降伏耐力の 2.5 倍となるように補剛厚を求めている。またボルトを増やす場合は、補剛剛性の結合係数である 0.1 を、ボルト増設前後のボルトで囲まれた領域の面積の比の 2 乗に反比例させた値とすることで、必要補剛厚を適宜低減している。この補剛設計式を使って算出した補剛厚は、第 3 章の実験結果の傾向を良好に追跡しており、実用的な補剛設計式として妥当であることを証明している。</p> <p>第 7 章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

わが国の地震防災を考えるうえで、既存不適格建物の耐震改修は焦眉の課題であり、その促進には改修に適した工法の開発が不可欠である。本研究は、中低層建物の改修を射程とし、小型で軽量の耐震壁を設置することによって強度とエネルギー消費能力を高める工法の開発を目的としている。耐震壁として薄鋼板を用い、それに縦スリットを入れることによって強度と剛性を調節し、さらに薄板に特徴的な構面外座屈や局部座屈の進展を防ぐために木パネルで薄板を挟み込むという工法を提案した。この工法を用いることによって、手で持てるほど軽量で加工性や施工性にも優れた耐震壁が実現できることを示した本研究は、下記の点において際だっている。

1. 多数のスリット入り鋼板耐震壁試験体に対して正負交番漸増繰返し載荷実験を行い、スリットの有無、補剛厚、補剛材質、ボルト本数や初期トルク値、載荷履歴等の変数と耐震壁の性能に関する基礎データを獲得した。補剛材質を変数とした実験から、めり込み剛性の小さい木合板はスリット端からの亀裂と柱状部端部の面外変形の両者をバランス良く抑制でき、他の材質より効果的な補剛が実現できることを明らかにした。
2. 本耐震壁を組み込んだ3層鋼構造骨組模型に対して、サブストラクチャ・オンライン応答実験と一方向単調載荷実験を実施することから、骨組の地震応答性状、骨組内の耐震壁の挙動、履歴減衰効果および耐震壁の終局状態を検証した。その結果、提案耐震壁は主たるエネルギー消費源として有効に働き、大変形時まで耐力低下のない安定した挙動を示すことを検証した。
3. 座屈理論と有限要素解析を組み合わせ、スリット入り鋼板の座屈を抑制し十分なエネルギー消費能力を持つために必要な木パネル補剛厚やボルト補剛区間を求める補剛設計式を導出した。この補剛設計式を使って算出した補剛厚は、実験結果やそれを補足する有限要素法解析結果を良好に追跡しており、設計式として妥当であることを明らかにした。

以上、中低層建物に適し特に耐震改修に有効な耐震壁を新たに提案し、その性能を詳細な実験から検証したうえで、実用に供しうる設計式を導出した本論文は、わが国のこれからの地震防災に対して極めて有益な情報を提供するものである。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成23年12月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。