

審 査 の 結 果 の 要 旨

論 文 提 出 者 氏 名 マヨルカ アレジャノ ジュリサ パオラ

地震に弱い代表的な構造タイプに、レンガやブロック、石などを積み上げて構造物とする組積造がある。引っ張り抵抗に乏しいレンガやブロック、石などを主たる構造材料として利用するために、構造体として変形能力が低く、地震で脆性的に崩壊する被害が続出する。中でも特に釜で焼かずに天日に干しただけのレンガ(アドベと呼ぶ)を積み上げた構造や無補強の組積造構造物の耐震性は著しく低い。世界規模で地震防災を考える上での最大の課題は、このような組積造構造物が地震の多発する国や地域で数多く建設され、広く一般的に利用されていることである。

このような状況を踏まえ、これまでも組積造構造物の耐震性向上に向けた提案が度々なされてきたが、それらは経済的に窮する人々や十分な教育を受けていない人々には受け入れられてこなかった。このままでは途上国における人口の増加、根強い習慣となっている不適格な住宅の建設、資金不足や材料の制限などにより、耐震性に欠けた構造物がさらに住宅ストックに加わっていく。そして将来の地震時にこれらの構造物が多数崩壊し、多くの人命が奪われる。

本研究の最終目標は上記のような問題を踏まえた上で、脆弱な無補強組積造構造物の耐震性向上を実現することである。この目標の達成には、技術的な問題と社会的な問題の二つの問題を解決する必要があるが、本研究ではまず技術的な課題の解決を目指す。すなわち、様々な組積造の挙動を効率的にモデル化できる数値解析ツールの開発と、各地で安い価格で入手可能な材料と工法で効率的に耐震性を向上させる手法の提案である。理由は、これらの研究成果が耐震補強活動を推進させるための原動力になる制度やシステム設計などの環境整備に大いに役立つからである。

本論文は上記のような点を背景として、地震多発地域の無補強組積造建物の耐震補強対策法に関して研究するものであり、本編(全6章)と付録(論文提出者による地震被害調査報告と実験の詳細報告)から構成されている。以下に本編の各章の内容について要約する。

第1章では、上で述べたような研究全体の目的や背景、既往の研究と本研究の構成を説明している。

第2章では、無補強の組積造構造物の破壊挙動を解析する数値解析法を提案している。まず現時点における各種の数値解析法をレビューするとともに、組積造構造物の破壊解析法として必要な性質や機能をまとめている。そして組積造建物を解析する上で必要な弾塑性理論について検討した上で、無補強組積造建物対応版の応用要素法(Applied Element Method, AEM)を紹介した。次に過去に実施された無補強組積造壁構造の破壊実験を対象として、提案したAEMを用いた解析結果との比較を行った。

第3章では、効果的な補強法を提案するために、既存の補強法の詳しい調査を行った。すなわち、エポキシ樹脂をはじめとするグラウト材の注入による補強、表面コーティングによる補強、構造部材を付加させる補講法などに関してそれぞれの長所と短所、適用性などをまとめた上で、本論文の研究成果の1つの柱である新しい補強法を提案している。提案手法とは、荷物の梱包によく用いられるポリプロピレン製のバンド(PPバンド)を使用する新しい補強法である。

この方法の利点としては、世界中で PP バンドが安価に入手可能であること、施工が容易であること、さらに材料強度の経年劣化が少ないなどが挙げられる。なお本章では、提案する補強法で用いる材料や工程などについても詳細な説明を行っている。

第 4 章では、前の第 3 章で提案した補強法の適用性の確認と、後の第 5 章で数値解析を用いてキャリブレーションを行うのに必要なデータを入手するために実施した実験を詳しく紹介している。行った実験は、用いる各種材料の材料特性を知るための実験と、壁構造のせん断破壊に対する提案手法の補強効果を確認する実験に分けられる。さらに後者の実験では、本研究で提案する補強法を用いた場合と用いない場合での比較実験も行っている。

第 5 章では、本研究で提案した補強法によって耐震性の高まった組積造壁の破壊挙動を追跡するための新しい数値解析法を提案している。すなわち、補強材として用いる PP バンドメッシュの効果を解析に取り込むための新しいアイデアを提案し、これを第 2 章で提案した無補強組積造構造物解析プログラムに組み込む方法について説明している。本章で提案した数値解析法によって、前章で行った破壊実験の結果が高精度に再現できることを確認した上で、各種の材料特性や境界条件が組積造構造物の破壊挙動にどのような影響を与えるのかを、それぞれの材料パラメータや境界条件を変化させた数値シミュレーションによって確認している。

最終章の第 6 章では各章でのポイントをまとめるとともに論文全体の結論を述べている。そしてさらに今後の研究の方向性や課題について整理している。

以上のように本研究は、世界規模で地震被害を軽減する上での最重要課題であるにもかかわらず、一向に進んでいない無補強組積造構造物の耐震補強の進展を目標に、これを妨げている現状の問題点を分析した上で、各地で容易に入手できる材料と技術で耐震性を向上させる耐震補強法とこれを数値解析的に追跡できるモデルを提案するものである。提案の耐震補強策によって、構造物の変形能の向上と脆性破壊の回避、さらにポストピーク挙動の改善が確認された。具体的には、補強されていない供試体では、最大耐力以降は急激な耐力の低下が見られたのに対し、PP バンドによって補強された供試体では、急激な耐力低下は見られなかった。これらの実験結果から、提案した補強法により組積造建物の耐震性が大きく向上することが確認された。

本研究によって得られた成果は、これまで決め手となる耐震補強法がなかった無補強組積造構造物の耐震補強の進展に大きく貢献するものである。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。