

## [別紙 2]

### 審査の結果の要旨

氏名 サリーム ムハマド ウマール

世界規模で地震災害を見た場合、犠牲者の7割は、石やレンガ、ブロックなどを積み上げた構造物(これらを総称して組積造と呼ぶ)の崩壊によって発生している。また組積造は、中国やインド、中東や中南米など、世界の地震多発帯の主要構造物(世界の人口の約6割が住む)であるために、これらの建物の耐震性の向上は世界の地震被害を軽減する上で最重要課題といえる。

そこで本研究は、以下で説明する7章から構成されている研究論文として、組積造の地震被害による犠牲者の軽減を最終目標に、これを実現するための安価で効果的な耐震補強法に関して研究するものである。

第1章では、研究全体の目的や背景、本研究の構成を説明している。

第2章では、過去の提案された耐震補強法をレビューするとともに、本研究で提案する新しい複合材料とそれを用いた耐震補強法を紹介している。その背景は以下の通りである。一般に建物の耐震性は、「強度、変形能、エネルギー吸収能」の3つで決定されるが、組積造建物の耐震補強に関する過去の多くの研究は、強度のみを強化する手法や、変形能やエネルギー吸収能のみを向上させるものが多い。耐震性を向上させる3つの条件をすべて向上させ、さらに経済性や簡便性までに配慮した耐震補強法はない。

第3章では、補強材としてファイバー補強ポリマー (FRP) とポリプロピレンバンド (PP バンド) を合わせて用いる補強法の詳細を説明している。初期強度は向上するが脆性破壊を免れない高価な材料である FRP と、初期強度の向上は望めないが変形能とエネルギー吸収能を向上させる安価な材料である PP バンドの長所を組み合わせる複合材料である。条件の異なる12種類の組積造壁模型(6種類: 面内斜め(せん断)圧縮破壊試験、6種類: 面外曲げ試験、それぞれ非補強と補強)を用いた実験から補強法の効果を評価した。補強法としては、PP バンド補強、FRP 補強、今回新しく提案する FRP と PP バンドを合わせた補強 (FRP+PP バンド複合補強) の3種類とした。実験結果からは、提案する FRP+PP バンド複合補強壁が、初期強度の向上のみならず、変形能とエネルギー吸収能も大きく向上させることが分かった。

第4章では、本研究で提案する FRP+PP バンド複合補強法の効果を、3次元応用要素法 (3-D AEM) を用いて数値解析的に分析する手法を提案している。3-D AEM による解析結果の精度は、前章で紹介した供試体壁を用いた破壊実験を3-D AEM を用いて再現し、両者の結果を比較することで確認した。同じ条件の実験と数値解析結果の比較から、3-D AEM が非補強組積造、PP バンド補強組積造、FRP 補強組積造、FRP+PP バンド複合補強組積造のいずれにおいても高精度に挙動を再現できることが確認できた。

第5章では、非補強組積造壁をコストや適用性を加味した上で最適に補強するFRPの分量と配置法を決める手法について、面内せん断破壊試験と面外曲げ破壊試験を行なって検討している。理由は、FRPを補強材として用いる補強法の研究は多く実施されているが、用いるFRPの適切な分量や配置法を決定する方法について検討しているものがないためである。具体的な検討としては、用いるFRPの分量を変化させた実験と、分量一定条件の下で用いるFRPの幅を変えた実験を行ない、実験結果の比較から、最適な分量と配置法を提案する手法を考察した。結果として、施工性も高く材料のコストを低価格に抑えながらも組積壁の強度の効率的な向上が可能であることがわかった。

第6章では、前章までの検討結果を踏まえ、1/4スケールの組積造建物模型を用いた振動台実験を行い、提案する補強法の動的挙動における効果を検証している。具体的には、非補強組積造模型（1体）、FRP補強組積造模型（4体）、PPバンド補強組積造模型（1体）、FRP+PPバンド複合補強組積造模型（1体）の合計7体の組積造建物模型を用いた振動台実験を行った。振動外力を小さな方から徐々に大きな方へ、周波数と振幅を変えた正弦波を振動台に入力することで組積造建物模型に作用し、その動的挙動を分析した。4体のFRP補強組積造模型を用いた実験では、用いるFRPの分量と配置法を変えて、効果的な補強法を探った。FRP補強組積造模型は強度の向上によって耐震性を高めることは出来たが、過大な振動外力が作用した場合には非補強組積造と同様に脆性破壊することがわかった。一方、PPバンド補強組積造模型とFRP+PPバンド複合補強組積造模型は、高い変形能とエネルギー吸収能を示し、壊れる場合も延性破壊することがわかった。

7章では、1～6章の研究成果を踏まえ、次のような結論を導いている。FRPとPPバンドの複合材料を用いた耐震補強法によって、地震に対して脆弱な非補強組積造建物の耐震性を、強度、変形能、エネルギー吸収能の全てを向上させることによって、大幅に高めることができる。さらにFRPはドアや窓などの開口部の周辺に設置することで、同じ分量であっても効果がより高まること、補強後に組積造壁の表面に設置するモルタルなどの被覆によって、初期強度発揮後の急激な強度低下とPPバンドの紫外線劣化を防ぐことができる。最後に今後の研究の方向性と課題をまとめている。

以上のように本研究では、世界規模での地震被害の軽減における最重要課題である組積造建物の耐震性を効果的に向上させるFRP+PPバンド複合補強法を提案するとともに、その効果を様々な角度から実験・分析したものである。得られた成果は、組積造建物の耐震性の向上に大きく貢献すると期待され、将来の地震被害の軽減につながるものである。

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。