

論文内容の要旨

論文題目 STRENGTHENING OF UNREINFORCED MASONRY STRUCTURES
IN EARTHQUAKE PRONE REGIONS
(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する研究)

氏名 マヨルカ アレジャーノ ユリサ パオラ

組積造構造物 (masonry) は、木造構造物とともに最も古くから現在まで使われている構造形式である。世界中で様々な形態の組積造が使われているが、発展途上国では、無補強の組積造構造物が一般に広く普及している。世界の人口の30% (約18億人) もの人々が、釜で焼かずに天日に干しただけの著しく強度の低いレンガ (アドベと呼ぶ) を積み上げた構造の建物で生活をしている。

過去に発生した多くの地震は、無補強の組積造構造物の地震に対する脆弱性を露呈させてきた。20世紀に発生した地震による犠牲者の60%以上が、組積造構造物の崩壊が原因で亡くなっている。このような状況を踏まえ、組積造構造物の耐震性向上に向けた提案が、これまでも度々なされてきたが、それらは貧困な人々や、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を背景として、地震に弱い無補強の組積造構造物に住む人々は、今後も後を絶たないと考えられる。根強い習慣となっている不適格な住宅の建設と、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、住宅ストックに加わっていき、将来の地震時にこれらの構造物が数多く崩壊し、多くの人命が奪われる可能性がますます高くなる。このような脆弱な無補強組積造構造物の耐震性を向上していくことが、この問題の本質的な解決策であるが、これを実現するには、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。

これまで組積造の補強は、主に歴史的価値のある文化財的な構造物の外壁などの非構造部材に限られてきた。しかしながら、防災上の観点からは一般住宅を対象とした耐震補強が重要であり、これを実現するには、現地で入手可能な材料と現地の労働者によって施工できる安価な補強法が求められている。

組積造は、世界中において様々な材料と工法でつくられている。現存する全ての組積造に対する補強策が実験的に検討されることが望ましいが、技術的・経済的な理由から現実的には不可能である。そこで重要となってくるのが、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である。

従来行われてきた活動から、実際に耐震補強を推進するには、技術的な問題の解決を目指すアプローチだけでは、不十分であることが明らかである。安価な工法は耐震補強推進の原動力の一つにはなり得るが、人々の地震リスクに対する意識が低ければ、それが実際に普及するには至らない。耐震補強の重要性の理解を広めるために、自分たちの住居を補強する効果がいかに高いかを理解してもらう教育活動が求められる。これらの活動では、補強による構造物の耐震性向上をわかりやすく提示できる数値シミュレーションは、大きな効果を持っている。

本研究は上記のような背景を踏まえて生まれたものである。本研究の最終目標は、組

積造構造物を対象とし、現地で入手可能な材料と技術によって、現地の人々の手によって施工可能な経済的な補強法を提案し、さらにこれを広く普及させるための環境整備を行い、耐震性の低い多くの組積造の耐震補強を実現することである。この目標を達成するために、研究プロジェクト全体としては、以下の四つの課題を挙げているが、博士論文の中では、研究のコアとなる と に焦点を当てて検討した。なお、本研究は防災上の観点から、経済的余裕のない地域の1～2階建ての組積造住宅建物を対象に研究を行った。

-) 無補強の組積造構造物のための数値解析ツールの構築
-) また、構築したツールの補強された組積造構造物への拡張
-) 組積造構造物の耐震補強指針の考案
-) インターネットを利用した組積造構造物の耐震補強促進策の提案

上記の と の目的は、無補強組積造建物はもちろん、補強した建物に対しても適用できる、有効な解析ツールの構築である。この解析ツールにより、異なる材料特性や形状を有する構造物に対して、補強効果の定量的な評価と、それぞれの状況に応じた最適な補強法の提示が可能になり、一般の人々に対して、補強の重要性を明示することができる。 と は、無補強組積造構造物の補強に関する技術的問題、および社会的問題の解決につながるものである。

と に関しては、数値解析および実験の二つのアプローチ法で取り組んでいる。数値解析手法としては、ポストピーク挙動とクラックの進展の追跡が可能で、組積造の異方性の考慮が容易である応用要素法 (Applied Element Method: AEM) を用いた。そしてまず、AEMによる解析結果と、文献から得られた既往の実験データとの比較を行った。組積造のモデル化に際しては、brick-mortar結合パネや新しい弾塑性構成則を、従来のAEMに新たに導入した。新しい材料モデルの詳細については後述する。

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上で、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-band) を使用する新しい補強法を提案した。この方法の利点は、世界中でPP-bandが安価に入手可能であること、施工が容易であることが挙げられる。

提案した補強法の効果を確認し、さらに本研究で開発した数値解析ツールの適用性を検証するための実験を行った。まず解析に必要なパラメーターを決定するため、材料の圧縮強度、引張強度、粘着力などの材料試験を行った。組積造構造物の破壊実験として、無補強の組積造壁、およびPP-bandによって補強された壁について、一面載荷実験を実施した。補強による耐力の上昇は見られなかったが、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についての効果が確認された。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-band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。

組積造構造物に関する耐震補強指針の詳細については、本論文では言及していないが、各パラメーターの違いによる補強の効果については、評価できる環境を整備した。本研究の成果は、組積造構造物の耐震補強指針の礎となるものと位置づけられる。