

# 論文の要旨

## 題目 建築骨組の耐震補強格子ブロック壁および耐震補強格子壁の形状最適化 (Shape Optimization of Latticed Blocks and Walls for Seismic Retrofit of Building Frames)

氏名 見上 知広

本論文では、耐震補強格子ブロック壁や耐震補強格子壁に着目し、これらを最も振動・騒音が少ない工法の一つである接着工法で既存骨組に取付けた耐震補強フレームについて、様々な目標性能に適する形状を示すとともに、その形状を得るために有効な最適化手法を提案している。本論文は、全5章で構成されている。

第1章は、序章である。まず本研究の背景として、耐震改修が庁舎施設や病院、中小事務所ビルなどであまり進んでいない現状を示すとともに、主な耐震化の遅れの原因として、改修工事中の事業継続性や改修工事後の使用性の低下が考えられることを述べている。また、改修工事中の事業継続性確保のためには、施工範囲を限定するとともに施工時の振動や騒音を低減する必要があるため、枠付きブレースやブロックをフレーム内に設置する工法が有効であること、および工事時の振動・騒音の低減には接着接合工法が有効であることを述べ、接着接合工法を用いた耐震補強工法に関する既往の研究について説明するとともに、本研究の目的と意義を明確にしている。

第2章では、鉄筋コンクリート造の既存建物に、FRP製の格子ブロック（枠と格子からなるブロック）で構成される耐震壁を増設する耐震補強工法に着目し、補強部材の体積、補強後の水平剛性および梁のせん断力を目的関数として、補強効果の高い格子ブロックの形状すなわち格子部材の配置と断面積を、最適化手法により得る方法を提案している。解析モデルは、横×縦=2.0m×1.0mの耐震補強格子ブロックを基本ユニットとし、横に2ユニット、縦に4ユニット連結した8ユニット連結2次元モデルとしている。最適化手法としては、逐次2次元法を採用し、設計変数は格子ブロック内の各格子材の断面積、厳密にはモデル面内方向の厚さとしている。また、既存骨組と耐震補強格子ブロックおよび耐震補強格子ブロックどうしの接合部には、引張力が働かないよう接触要素を配置している。

第2章の検討の結果、以下の成果を得た。

- 1.耐震補強格子ブロック壁に要求されるさまざまな力学性能や部材体積を目的関数と制約条件に与えて最適化を実行することにより、それぞれの設計条件に対して最適な耐震補強格子ブロック壁の形状が得られる。
- 2.部材の軸方向剛性を評価する際に、厚さと剛性の関係を非線形として、上限値と下限値の間中間的な厚さの部材の剛性を実際より小さく評価することにより、厚さが中間的な部材が無くなりやすくなり、少ない部材の最適形状を求めることが可能である。
- 3.本手法を用いることで、水平方向の剛性を確保しながら軽量化を図り、既存骨組への影響についても考慮した耐震補強格子ブロック壁の形状の最適化が可能である。
- 4.接触接合部のモデル化や枠の太さなどの諸条件を、実情に即したものにしておくことにより、本手法により得られた耐震補強格子ブロック壁の最適形状がより実用的なものになると考えられる。

第3章では、第2章で得られた耐震補強格子ブロック壁の最適な形状を参考に指定した10種類のユニットの内いくつかのユニットで構成される耐震補強格子ブロック壁の形状を、組合せ最適化手法を用いて最適化している。さらに1回目の最適化の結果得られた解の形状を基に10種類のユニットを指定し直し、その内いくつかのユニットで構成される耐震補強格子ブロック壁の形状を最適化している。解析モデルは、第2章と同様の耐震補強格子ブロックを基本ユニットとし、横に4ユニット、縦に4ユニット連結した16ユニット連結2次元モデルとしている。最適化手法としては、組合せ最適化手法の内、擬似焼きなまし法を採用している。この手法によれば、第2章の逐次

2次計画法と異なり、中小断面部材をあらかじめ排除することが可能である。第2章と同様、目的関数は補強部材の体積、補強後の水平剛性および梁のせん断力としている。なお本章では、第2章よりも具体的に実際の施工手順を想定して接着接合をモデル化するために、既存骨組と耐震補強格子ブロックおよび耐震補強格子ブロックどうしの接着接合部には、硬化後の接着剤の特性を考慮した、弾塑性ばねを配置する。また、最適化の結果得られた耐震補強格子ブロック壁について、有限要素モデルを作成して詳細な応答解析を行い、最適化されていない形状の耐震補強格子ブロック壁に比べ最適化された耐震補強格子ブロック壁が、より圧縮力によって層せん断力を伝達する機構を形成していることを示すとともに、早期に既存骨組への影響が過大にならずに、目標とする層間変形角まで大きな剛性低下を起こすことなく補強効果を発揮することを示している。

第3章の検討の結果、以下の成果を得た。

1. 第2章と同様、耐震補強格子ブロック壁に要求されるさまざまな力学性能や部材体積を目的関数と制約条件に与えて最適化を実行することにより、それぞれの設計条件に対して最適な耐震補強格子ブロック壁の形状が得られる。
2. 第2章と同様、本手法を用いることで、水平方向の剛性を確保しながら軽量化を図り、既存骨組への影響についても考慮した耐震補強格子ブロック壁の形状の最適化が可能である。
3. 局所探索法の一つである擬似焼きなまし法は、本章で対象としたような解析のために多くの計算量を必要とする組合せ最適化問題に対して有効である。
4. 最適解として得られる耐震補強格子ブロック壁の形状は、用いるユニットブロック群に大きく依存しており、異なるユニットブロック群を用いることで、さまざまな最適解を得ることが可能である。本章では、1回目の最適化の結果を基に改良したユニットブロック群を基にした2回目の最適化の方が優秀な解を得ることが出来た。

第4章では、鉄筋コンクリート造の既存骨組に枠付き鉄骨ブレースを増設する耐震補強工法に着目し、枠付き鉄骨ブレースを縦横斜めの格子材からなる耐震補強格子壁としてとらえ、その格子材の配置を、最適化手法を用いて最適化している。解析モデルは、1.95 mの縦格子材と2.2 mの横格子材および $0.5 \cdot \sqrt{1.95^2 + 2.2^2}$  mの斜め格子材からなる格子壁(モデル1)、0.975 mの縦格子材と1.65 mの横格子材および $0.5 \cdot \sqrt{0.975^2 + 1.65^2}$  mの斜め格子材からなる格子壁(モデル2)、1.30 mの縦格子材と1.65 mの横格子材および $0.5 \cdot \sqrt{1.30^2 + 1.65^2}$  mの斜め格子材からなる格子壁(モデル3)の3種類とする。最適化手法としては、3章と同様、擬似焼きなまし法を採用し、設計変数は各格子材の断面積とし、それぞれ耐震補強に有効な大断面と十分に小さい小断面の2種類のどちらかとしている。目的関数は、補強後の水平剛性あるいは補強部材の体積としている。この手法により、既存建物の変形性能に適合した、補強効果の高い格子材の配置を得ることが可能である。なお、既存骨組と格子材の接合部には、引張力が働かないよう接触要素を配置している。

第4章の検討の結果、以下の成果を得た。

1. 耐震補強格子壁に要求されるさまざまな力学性能や部材体積を目的関数と制約条件に与えて最適化を実行することにより、それぞれの設計条件に対して最適な耐震補強格子壁の形状が得られる。
2. 格子材と既存部材の間に接触要素を配置し、各部材を1つの骨組要素でモデル化して、部材座屈を考慮せずに最適化することによって、壁のせん断力に対して主に圧縮力で抵抗する部材配置が得られる。最適化後、部材座屈を防ぐために格子材の断面積を大きくする、もしくは座屈止めを設けるなどの対応により、水平剛性を確保しながら、軽量化した耐震補強格子壁を得ることが可能である。
3. 様々なレベルの層間変形角を与えて最適化することによって、既存建物の変形性能に整合した耐震補強が可能である。

第5章は、結論であり、第2章から第4章までで得られた成果を要約している。また、格子材の座屈の適切な考慮や、接着接合部の性状把握とモデル化が今後の課題であることを述べている。