

論文の内容の要旨

論文題目 無補強組積造壁を含むRC造架構の耐震性能評価に関する
実験的研究

氏 名 晋 沂雄

本研究は、「無補強組積造壁を含む RC 造架構の耐震性能評価に関する実験的研究」と題し、無補強コンクリートブロック（以下、ブロック）造壁を含む RC 造架構を対象に、現時点で十分明確にはされていない架構の面内方向の挙動およびその耐震性能を明らかにしようとするものである。本論文では、全てのブロックユニットに 3 軸ひずみゲージを貼付することにより、壁体に生じる主ひずみ分布に基づき、時々刻々と変化する壁体の対角圧縮ストラットの形成状態を精密に分析し、RC 造架構とブロック造壁それぞれの負担せん断力、また全体架構の骨格曲線を中心とした耐震性能を詳細かつ精緻に評価した上で、その骨格曲線をより簡便にモデル化することを主目的としている。本論文の構成および各章の概要は以下のとおりである。

第 1 章「序論」では、世界各地で発生する地震において、無補強組積造壁およびこれを含む RC 造建物が大きな被害を受けていることから、その耐震性を向上し地震被害を抑制するための第一段階として、この構造形式を有する建物の荷重－変形関係を中心とする耐震性能の評価が重要であることを述べた。

第 2 章「無補強組積造壁を含む RC 造縮小架構の予備静的加力実験」では、梁変形による壁体の拘束有無が壁体の面外転倒に影響を与えると考え、まず梁変形の有無による架構の面内挙動を検討するため、剛梁型および柔梁型試験体を用いた 2008 年度の予備静的加力実験について説明した。しかし、ここでの実験では、柔梁型試験体の梁変形が想定よりも過大となり、壁体に局所的な損傷集中をもたらした可能性が見られ、より現実的な梁挙動による壁体の破壊パターンを調べる必要があること、また FEMA306, 356 等の既往の研究による壁体の骨格曲線評価法を両試験体に適用した結果、実験結果による荷重－変形関係が正確に再現できないことから、無補強組積造壁を有する RC 造架構についてより正確な面内方向の耐震性能評価が必要であることを述べた。

第3章「無補強組積造壁のひずみ度分布に着目したRC造縮小架構の静的加力実験」では、ブロック造壁に形成される対角圧縮ストラットの詳細な計測に基づく縮小試験体の計画およびその静的加力実験結果について述べた。本研究の計測計画では、壁体の全ブロックユニットに3軸ひずみゲージを貼付し、荷重レベル・変形レベルおよび梁の剛性の違い等による対角圧縮ストラットの主ひずみ分布の変化を詳細に分析可能にした。また、本研究の試験体は、ブロック造壁および周囲フレームのそれぞれの負担せん断力を定量的に算定し、その妥当性を検討するため、無架構壁体試験体、剛梁型および柔梁型純フレーム試験体、剛梁型および柔梁型組積造壁内蔵フレーム試験体の組み合わせで構成されており、ここで柔梁型試験体は、梁の変形が過大となった予備静的加力実験時の柔梁型試験体を改善すべく、2階部の柱高さおよび2階の梁剛性を再設定した。次いで、各試験体における破壊経過および荷重－変形関係について説明し、純フレームと比較して組積造壁内蔵フレーム試験体では壁体の設置によって引張側柱の曲げひび割れがより高い位置まで発生し、壁体の寄与により架構の耐力は増加したがその靱性は減少したことを述べた。

第4章「圧縮主ひずみに基づく無補強組積造壁の負担せん断力および架構全体のせん断力の評価」では、各柱と壁体の負担せん断力の和により、実験結果における架構の荷重－変形関係を推定した。ここでは、まず実験で得られる曲率分布に基づき各柱の負担せん断力を算定した結果、純フレーム試験体の実験結果と精度よく対応することを示した。しかしながら、これとFEMA306, 356等で提案された手法により評価した対角圧縮ストラットによる壁体の負担せん断力の和により、組積造壁内蔵フレーム試験体の荷重－変形関係を追跡したところ、実験結果を大きく過小評価する結果となった。そこで、壁体のみのせん断力が計測された無架構組積造壁試験体より、対角圧縮ストラットの形成領域に分布する圧縮主ひずみを用いて、ストラットの代表角度、等価幅およびこれに作用する平均圧縮主ひずみを算定した。次に、ストラットの形成角度を想定した斜めプリズム圧縮試験による圧縮主応力－圧縮主ひずみ関係との対応から、その等価幅に作用する平均圧縮主応力を求め、壁体の負担せん断力を評価した結果、実験結果と精度良く対応することを示した。また、この評価手法を積造壁内蔵フレーム試験体に適用した結果、壁体と両柱の負担せん断力の和により、実験結果が精度良く再現できた。続いて、壁体の対角圧縮ストラットの形成メカニズムを調べた結果、柔梁型試験体では梁変形によりストラットの形成角度が剛梁型試験体より大きくなること、ストラットの等価幅には部材角の進展により大きい変動がないこと、また「水平変形－ストラットの等価幅に作用する平均圧縮主応力」関係は「水平変形－壁体の負担せん断力」関係とほぼ同様の推移を示すことから、ストラットの等価幅に作用する平均圧縮主応力を把握することで壁体の負担せん断力が精度良く推定できることを説明した。なお、柔梁型試験体を用いてより現実的な梁の挙動を考慮し壁体の破壊パターンを調べた結果、梁変形に伴う圧縮力の作用によって対角圧縮ストラットの形成角度がより大きくなったが、その等価幅および平均的な圧縮主応力には大きな差が見られな

かった。一方、これらの結果を FEMA306 の評価式と比較したところ、FEMA306 では対角圧縮ストラットの等価幅を過小に評価していることが主要因で、実験結果における負担せん断力を過小評価する結果になったことを述べた。

第 5 章「無補強組積造壁を含む RC 造架構の骨格曲線の簡易評価手法」では、本実験結果から得られた壁体の荷重－変形関係をより一般化・単純化し、その骨格曲線上の特徴点であるひび割れ点、最大耐力点および耐力低下後の残留耐力保持点の簡易評価手法を提案した。まず、ひび割れ点については、ひび割れ耐力を本実験結果と既往の研究結果に基づき壁体の最大耐力の 70%とし、ひび割れ部材角を定めるための初期剛性は等価幅を有する対角圧縮ストラットの軸剛性を水平剛性に変換したものとした。ここで等価幅は、本実験結果より、ストラットの形成に寄与する圧縮主ひずみが壁体全領域に生じると仮定することから、壁体の幾何学的形状に基づき、 $0.25l_d$ (l_d : 壁体の対角長さ) と提案した。次に、第 4 章での検討によりストラットの等価幅に作用する平均的な圧縮主応力 σ_m を把握することで壁体の負担せん断力が精度良く推定できることが明らかとなったことを利用し、壁体の最大耐力を次のように評価した。まず、壁体の最大耐力時にストラットの等価幅に作用する σ_m 、即ち $\sigma_{m,max}$ をストラットの形成角度を想定した斜めプリズム圧縮試験結果から評価した。その時、ストラットの等価幅に作用する平均圧縮主ひずみが斜めプリズム圧縮試験における最大圧縮応力度発生時のひずみの 50%程度であり、 $\sigma_{m,max}$ も斜めプリズム圧縮強度 $\sigma_{斜め,max}$ の約 50%に対応したため、 $\sigma_{m,max}$ を $0.5\sigma_{斜め,max}$ と設定した。次に、これとストラットの等価幅および角度を用いることで、実験における壁体の最大耐力が概ね評価可能であることを確認した。なお、斜めプリズム試験体は 3 段プリズム試験体と同様、ブロックユニット自体が圧縮力により破壊したことや両者の圧縮試験結果が概ね等しかったことなどから、両プリズム試験体は圧縮力の作用角度による影響は小さかったものと考えられる。従って、本評価手法を用いて無補強組積造壁の最大耐力を評価する場合、基本的には斜めプリズム圧縮試験を行うことが望ましいが、これが困難な場合には FEMA306 で簡易的に採用されている手法と同様に 3 段プリズム圧縮強度 σ_{max} の 50%相当値を用いても $\sigma_{m,max}$ の算定結果に大きな差は生じないものと考えられる。最大耐力時部材角は、最大耐力時に観測された壁体の損傷状況から、壁体の対角方向の全長に渡りブロックユニットの貫通ひび割れを伴う階段状ひび割れが発生した部材角である 0.4%と設定した。最後に、耐力低下後の残留耐力保持点については、実験結果から残留耐力保持時にストラットの等価幅における平均圧縮主応力が最大耐力時の 1/2 程度に低下していたことより最大耐力の 50%と提案した。その部材角は、実験において引張側柱頭部および圧縮側柱脚部のせん断ひび割れが部材せい全長に渡ってほぼ完全に進展した損傷状況、即ち周囲フレームによる壁体の拘束力がこれ以上期待できないと判断される部材角 1.0%を採用した。以上の本簡易評価手法による壁体の骨格曲線と各柱の負担せん断力を加算した結果、実験結果と概ね整合していることからその妥当性を確認した。

第 6 章「結論」では、本研究で得られた知見を総括し、今後の課題について記述している。

なお、本研究では架構の幾何学的条件の違いも反映しうる復元力特性の評価・設定手法を提案しているが、その一方で本研究では一貫してある一定の縦横比を有する無補強組積造壁を含む架構の実験結果を検討対象としているため、異なる縦横比を有する無補強コンクリートブロック造壁について、実験的あるいは解析的検討より、本研究で提案したブロック造壁の骨格曲線の簡易評価手法の妥当性や適用可能範囲を検証する必要がある。また、本研究ではまだ十分明確にされてない無補強組積造壁を有する RC 造架構の面内方向加力に対する耐震性能について詳細な検討を行ったが、面内のみならず面外加力による壁体の損傷およびこれによる架構の耐力低下などを考慮した耐震性能評価への展開も必要である。そのためには、面内および面外加力の相互影響を考慮した架構の耐震性能を、例えば壁体を面内に損傷を与え、次に面外加力により損傷を与えた後に再度面内加力を行うなどして、検討することが、今後の課題として挙げられる。