

京都大学	博士 (工 学)	氏名	山田 諒
論文題目	地震時の実挙動を考慮した鉄筋コンクリート造耐震壁の設計手法の提案		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>日本での建物の構造設計では、建物全体を対象とした弾塑性増分解析が用いられることが多い。このとき、建物の主要な直交二方向をそれぞれ独立に扱い、検討方向と直交する架構の影響は無視することが多い。一方、実際の地震波によって建物には三次元的な振動が同時に作用する。したがって、柱や壁といった鉛直部材は水平二方向に同時に変形し、さらに梁のせん断力や転倒モーメント等によって、鉛直部材に作用する軸力が変動する。</p> <p>水平二方向加力が耐震壁の挙動に与える影響に関しては、国内外問わず、過去に多く行われている。これらの研究の多くは、壁板方向 (面内方向) 加力時に曲げ破壊が生じる試験体を対象にしている。一方、面内方向加力時にせん断破壊や脚部すべり破壊が生じる試験体に対しては、研究例が非常に少ない。また、面内方向において曲げ破壊が先行するような試験体に対する実験では、複数の研究で水平二方向加力の影響は軽微であると示されているが、面内方向においてせん断破壊や脚部すべり破壊が先行する場合には、水平二方向加力は耐力に影響を及ぼすことが指摘されている。</p> <p>本研究では、二方向水平力および変動軸力が同時に作用する、三方向加力条件下における耐震壁部材の終局耐力について検討し、その評価法を提案している。特に、現在知見が不足している、耐震壁の面内方向にせん断破壊や脚部すべり破壊が生じる場合に関して検討を行っている。本論文は 10 章からなる。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の研究背景および研究目的、全体の構成を示している。</p> <p>第 2 章では、既往の研究についての調査結果を簡潔にまとめ、現状の課題点および本研究の位置づけについて示している。</p> <p>第 3 章および 4 章では、三方向加力条件がせん断耐力に及ぼす影響について検討するため行った、せん断破壊が先行する耐震壁試験体に対する載荷実験について記載している。第 3 章では、側柱を有する (I 形断面) 試験体に対して、第 4 章では、側柱をもたない (矩形断面) 試験体に対して載荷実験を行っている。実験変数は、面外変形量、面外方向反曲点高さ、軸力条件である。その結果、面外方向変形の増大が面内方向最大基準化せん断応力に及ぼす影響は、軸力条件によって異なることがわかった。一方、軸力変動による最小軸力が引張側に増大することによって面内方向最大基準化せん断応力は低下した。さらに、面外方向変形が面内方向変形の 3 倍となる場合、面内方向のみに加力を行った場合と比べ、最大耐力が 6% 低下した。</p> <p>第 5 章では、第 3 および 4 章に示した載荷実験結果を、良好な精度で追跡可能な有限要素解析モデルを構築し、それに基づきせん断耐力の検討を行った。その結果、断面形状や軸力条件に関わらず、面外方向変形量の増大に伴い、面内方向最大耐力が減少した。一方、最大耐力点における軸力比が同じであれば変動軸力における最小軸力の大きさは面内方向最大耐力に大きな影響を及ぼさないことなどが明らかとなった。</p> <p>第 6 章では、申請者が過去に提案した三方向加力条件を考慮したせん断終局耐力評価方法を拡張する形で、面外方向せん断スパンや断面形状に依らない終局せん断耐力評価法を提案した。既往の試験体および第 3 および 4 章に示した試験体計 12 体に対して提案手法の精度検証を行い、実験値を提案手法による計算値で除した比が、平均値 0.97、標準偏差 0.040 となり、高い評価精度となった。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	山田 諒
<p>第7章では、第6章で提案したせん断耐力の評価手法および過去に行われた耐震壁試験体に対する実験データベースを用い、三方向加力条件を考慮した耐力余裕度や耐力残存率を検討した。実務設計において利用されるせん断耐力評価式である広沢 mean 式に対する余裕度の平均値は、面外方向変形がない場合と比べ、面外方向変形角 1.50%時では 9%低下した。また、壁横筋比、壁縦筋比および主筋比が小さい場合、内法高さを端部拘束領域幅で除した値が大きい場合に耐力低下が大きくなった。</p> <p>第8章では、三方向加力条件が脚部すべり耐力に及ぼす影響を検討するため行った、耐震壁試験体に対する載荷実験について記載している。実験変数は、面外変形量、軸力条件である。面外変形倍率（面内方向変形に対する面外方向変形の比）が 1.0 で変動軸力を受ける試験体および面外変形倍率が 3.0 で一定軸力を受ける試験体の 2 体はせん断破壊、面外変形倍率が 3.0 で変動軸力を受ける試験体は脚部すべり破壊となった。また、脚部すべり破壊が生じた試験体の脚部コンクリートひずみが、せん断破壊となった他の試験体のひずみと比べ引張側に増大しており、コンクリートの摩擦作用による脚部すべり耐力への寄与分の低下が推察された。</p> <p>第9章では、井戸裕らが提案した脚部すべり耐力評価手法に基づき、第8章に示した脚部すべり破壊が生じた試験体の最大耐力に、軸力変動が及ぼす影響を検討した。脚部すべり耐力評価手法は、脚部に生じる応力状態に基づき、コンクリートの摩擦作用および鉛直方向鉄筋のダウエル作用の和として耐力を算出する。面外方向変形を考慮した載荷経路によって脚部すべり耐力を評価した結果、実験時、軸力 0kN の状態で観測された負側の最大耐力を、摩擦係数 1.0 の場合に良好な精度で評価することができた。一方、負側の変形の影響を考慮した載荷経路によって、実験時の正側の最大耐力を、摩擦係数 0.7 の場合に良好な精度で評価することができた。従って、軸力変動を伴う場合には、摩擦係数が著しく低下することを考慮に入れた耐力評価が必要となることを提示した。</p> <p>10章では、本研究で得られた知見および今後の課題についてまとめている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本研究では、二方向水平力および変動軸力が同時に作用する、三方向加力条件下における耐震壁部材の終局耐力と破壊モードについて検討し、その評価法を提案している。特に、現在知見が不足している、耐震壁の面内方向にせん断破壊や脚部すべり破壊が生じる場合に関して検討を行い、設計手法を提案している。

本研究で得られた主な成果を以下に記す。

1. 三方向加力条件が耐震壁のせん断耐力に及ぼす影響を検討することを目的に、せん断破壊が先行する耐震壁試験体に対する載荷実験を実施した。試験体形状による三方向加力条件の影響の違いを検討するため、側柱を有する（I形断面）試験体、および、側柱をもたない（矩形断面）試験体に対する載荷実験を実施した。実験変数は、面外変形量、面外方向反曲点高さ、軸力条件である。全試験体において、設計時の想定通り、せん断破壊となった。面外方向変形の増大が面内方向最大基準化せん断応力に及ぼす影響は、軸力条件によって異なること、面外方向変形はせん断剛性を低下させるが、曲げ剛性にはほとんど影響を及ぼさないことなどの新たな知見が得られた。
2. 上記載荷実験結果を追跡可能な有限要素解析モデルを構築し、それに基づいた数値解析シミュレーションを行った。その結果、断面形状や軸力条件に関わらず、面外方向変形量の増大に伴い、面内方向最大耐力が減少することが示された。また、最大耐力点における軸力比が同じであれば変動軸力時最小軸力の大きさは面内方向最大耐力に大きな影響を及ぼさないことも明らかとなった。
3. 三方向加力条件を考慮したせん断耐力の評価手法を提案し、既往の試験体および上記の試験体、計 12 体に対して、提案手法の精度検証を行った。その結果、実験値と提案手法による計算値の比が、試験体形状に関わらず平均値 0.97、標準偏差 0.04 以下となり、提案手法が高い評価精度を持つことを確認した。さらに、本提案手法を過去に行われた耐震壁試験体 124 体に対する実験データベースに適用し、三方向加力条件を考慮した、余裕度や耐力残存率について検討を行い、同様に高い評価精度を持つことを示した。
4. 脚部すべり破壊が生じた試験体に対し、既存の脚部すべり耐力評価手法を用い、脚部すべり耐力に三方向加力条件が及ぼす影響を検討した。その結果、脚部すべり耐力の評価には、軸力変動を含む繰返し載荷による摩擦係数の低下を考慮する必要があることが明らかとなった。

本論文は、鉄筋コンクリート造建築物の地震時実挙動を考慮した、耐力評価法、破壊モード判定法などの設計手法を提案しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和 6 年 1 月 16 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。