

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名   ウサレム   ハッサン  
**Ousalem Hassane**

本論文は、鉄筋コンクリート柱の軸崩壊過程と補強手法に関する実験的研究と解析的研究であり、概要は以下のとおりである。

研究に先立って、耐震設計と研究の現状について整理されている。構造物の耐震設計の目的は構造物の性能を向上させて損傷を制御し、倒壊を防止することである。損傷制御に関してはこれまでさまざまな知見が得られているが、倒壊のメカニズムは複雑であり、まだ十分には理解されていない。せん断補強筋量が少ない柱、特に短柱は地震時にせん断破壊する可能性が高いが、構造物の崩壊過程はよくわかっておらず、柱のせん断破壊と軸崩壊を考慮した解析モデルによって構造物の耐力を評価する必要がある、としている。また、特にせん断破壊以降の軸力がどのように支持されるかよくわかっていないために、耐震補強の実務では経済的な理由からすべての部材が補強されない場合がある一方で、崩壊を防止するために二次的な軸力支持システムも導入して補強する場合もある。実際、耐震補強ではコストや時間などいくつもの問題を考慮する必要がある。このような問題を解決するため手法は十分ではなく、例えば既存の鉄骨フレームによる補強は計画上の制限を受ける。鉄板や他の材料で柱を拘束するのは有効であるが、コストや施工の難しさなどの問題もある。これらを解決するために新しい補強方法の開発と検証が必要である、としている。

本論文ではまず鉄筋コンクリート柱のせん断破壊以降の完全な軸崩壊現象に至るまでの挙動について検討している。荷重条件を変えた静的加力実験によって、すなわち、一定軸力または変動軸力を受ける場合、多数回または少数回の繰返し加力、一方向加力を受ける場合などの実験により、柱の崩壊現象はせん断耐力が十分低下したときに生じることを明らかにしている。最大耐力からせん断強度が低下するのは2%の変形角から2種類の耐力低下勾配を辿る。また、従来の一般的な予測とは異なり、極めて高い圧縮軸力に達する変動軸力を支持する場合が、中間的な一定軸力を受ける場合よりもむしろよい挙動を示す例があることを実験的に明らかにした。試験体数は少ないが、水平変形が小さい場合は非常に高い軸力を支持することが可能であること、また、したがって、軸耐力は水平加力の進行に応じて低減することなどを実験的に明らかにしている。

また、本論文ではせん断強度、せん断強度時の変形、軸崩壊時の変形などを評価する簡単な方法が提示されている。せん断破壊時の変形の評価はせん断破壊した83試験体の、せん断強度および軸崩壊時の変形は43試験体の、文献も含むデータベースにもとづいて検証されている。せん断強度の評価はトラスモデルとコンクリートの引張強度にもとづく破壊力学の理論によって導かれており、この評価法は既往の他の評価法と平均やばらつきなどの精度

を比較して概ね妥当であることが検証されている。

せん断破壊時の水平変形の評価では、選択したデータベースによって既往の評価法を検証しており、せん断補強筋比やせん断応力度レベルなど本質的なパラメータを抽出し、本研究で提案した手法は他の既往の方法よりも精度よい評価法であることが確認されている。

軸崩壊時の水平変形は、限られたものであるが選択したデータベースや実施した実験によって既往の評価法を応用した手法を検証することにより解析が行われている。この理論では破壊線の幅を想定してこの幅を決定する過程に特徴がある。これを決めるパラメータは実験結果に基づいており、その結果、評価法では以下の2つのメカニズムが考慮されている。斜めの破壊線に沿ったせん断摩擦理論と斜めの破壊領域に適用する塑性理論で、それぞれに簡易な評価法が示されている。実験結果と解析結果の比率の平均とばらつきを統計的に解析してこの方法は従来手法に比べて精度が改善されていることを確認している。以上を総合化してせん断破壊する柱の包絡線のモデル化を提案している。やや不適合があるが、提案したモデルは実際の挙動を精度よく概ね妥当であり、データが増えればさらに改善可能である。

本論文の第2の実験シリーズは耐震補強に関するものである。新しい材料で柱を拘束して、望ましい変形能力を確保する方法を提案して検証している。実験により、提案した手法は有効な補強方法であること、若干のせん断強度の増大と非常に大きな変形能力を与えること、が可能であること、などを確認している。

せん断強度と変形能力は既往の評価式を適用して評価している。この方法により、新しい材料の効果は等価なせん断補強筋に置換可能であることを確認し、実験結果はこの方法により概ね予測可能になっている。

また、補強試験体で軸崩壊が生じる変形を予測するために本論文の前半で提案した領域破壊にもとづく評価法が補強試験体の実験結果にも適用されている。補強量が少ない場合は概ね妥当な結果になったが、補強量が多い場合は過大評価する傾向があり、この点に関してはさらに解析的な検討が必要である。

さらに、補強試験体はファイバーモデルにより解析されている。材料モデルのパラメータを調整することによってせん断力および剛性低下を模擬している。また、拘束された要素試験の結果から、新材料によって拘束されたコンクリートの応力歪関係を提案している。これを適用して補強された柱の復元力特性がより精度よく予測することが可能になることを確認している。

以上のように、本論文は、柱の軸力による崩壊挙動を数多くの実験的研究を実施することにより確認した上で、この実験データおよびさらに数多くの既往の実験データを用いて、柱の軸崩壊挙動を評価するモデルを提案して検討したものであり、また、軸崩壊挙動に対して経済的な補強手法を提案して実験的に補強の有効性を検証しており、耐震診断基準および耐震補強指針の背景になる技術の発展に大きく貢献している。

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。