

京都大学	博士 (工学)	氏名	植村 佳大
論文題目	埋込コンクリートヒンジを活用したRC柱の危機耐性向上策に関する研究		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>東日本大震災の発生を機に、「設計段階で想定していなかった事象においても、構造物が単体またはシステムとして、破滅的な状況に陥らないようにするべき」という危機耐性の概念が提案されたことで、今までの耐震設計の枠組みにおける議論に加えて、耐震設計で制御してきた範囲を超えた不測の事態に対処するための配慮が必要となってきた。しかし、危機耐性を実現するための具体的な構造技術の開発や構造計画の提案などの例は未だ少なく、今後活発な議論および検討が求められている。</p> <p>そこで本論文は、鉄筋コンクリート柱 (RC柱) の危機耐性向上に向けて、RC柱の設計基準事象に対する耐震性能に加え、設計基準外事象に対する復旧性等を向上させるため、コンクリートヒンジを活用したRC柱の検討、提案をするものである。</p> <p>第1章では、背景および危機耐性、RC柱の致命的な崩壊の防止策、崩壊制御策に関する既往の研究を整理し、RC柱の危機耐性の実現に必要な課題について述べている。</p> <p>第2章ではRC柱の復元力特性を改善する手法について、RC柱の最大荷重以前の変形領域に着目した検討と最大荷重以降の変形領域に着目した検討を実施した。具体的には、前者に対する検討として、アンボンド高強度芯材を活用したRC構造 (UBRC構造) によるRC柱の骨格曲線改善効果を解析的検討により明らかにした。そして、本検討での得られた新たな知見を踏まえたUBRC構造における設計上の留意点について示した。また、後者に対する検討として、軸方向鉄筋の座屈抑制効果を目的とした二種類の改善策が有効であることを示した後、既往の研究において検討例の少ない、軸方向鉄筋座屈以降のRC柱の荷重低下挙動について、実験結果から得られた知見を述べた。</p> <p>第3章では、コンクリートヒンジの一種であるメナーゼヒンジに関する実験的検討を行い、ヒンジ部回転復元力特性において、ヒンジ部コンクリート幅の影響が大きいことを明らかにするとともに、本章で得られた知見を現行の耐震設計法に反映させることを念頭に、メナーゼヒンジの最大抵抗モーメント、回転剛性に関する新たな解析手法を提案した。そして、提案手法を用いて、メナーゼヒンジ部の構造詳細がヒンジ部の回転復元力特性に与える影響について検討した。</p> <p>第4章では、第3章で示した実験結果を用いて、現在我が国で広く用いられているヒンジ部コンクリート幅の広いメナーゼヒンジにおけるひび割れ発生メカニズムについて検討した。その結果、現行の設計法に記載されているひび割れ発生メカニズムが、ヒンジ部コンクリート幅の広いメナーゼヒンジに対しては適用できない可能性を示した。そして、拡張有限要素法を用いたひび割れ進展解析により、ヒンジ部コンクリート幅の広いメナーゼヒンジ特有のひび割れ発生メカニズムを明らかにするとともに、ヒンジ部の構造がひび割れ発生に与える影響、およびそのメカニズムについて示した。</p> <p>第5章では、既存のメナーゼヒンジを有するRC柱の大変形時における耐震補強策としてUBRC構造の活用を提案し、正負交番載荷実験により、大変形領域におけるメナーゼヒンジの水平・回転抵抗力の増大効果を確認した。また、正負交番載荷実験</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	植村 佳大
<p>の再現解析を実施し、提案した耐震補強を適用した柱構造が示した抵抗モーメントー回転角関係を解析的に算出した。加えて、提案した耐震補強によるメナーゼヒンジの水平・回転抵抗力増大メカニズムを明らかにするとともに、提案補強法に対する動的解析の検討例として、本実験供試体を対象とした動的解析を行い、提案補強法によるメナーゼヒンジ構造の動的応答特性の改善効果を確認した。</p> <p>第6章では、これまでの検討で得られた知見を踏まえ、RC柱基部にメナーゼヒンジを埋め込むことで、軸方向鉄筋の座屈発生後（設計基準外事象）の柱の荷重低下挙動を改善し、かつ破壊挙動の不確定性を最小限に留めることを可能とする「埋込メナーゼヒンジRC柱」の開発に向けて、正負交番載荷実験を実施した。また、第2章および第5章で検討したUBRC構造を埋込メナーゼヒンジRC柱と組み合わせることで、柱の破壊挙動の不確定性を最小限に留めると同時に、柱単体の自立性維持を保証できる「埋込メナーゼヒンジUBRC柱」を併せて提案した。その結果、埋込メナーゼヒンジRC柱は、軸方向鉄筋の座屈発生前における挙動では、通常のRC柱と同傾向の挙動を示す一方で、軸方向鉄筋の座屈発生後の挙動（設計基準外事象）では、通常のRC柱に比べ、柱基部の軸変形およびせん断変形が大幅に抑制されることを明らかにした。さらに、柱基部での軸変形およびせん断変形が防止されたことで、座屈した鉄筋の引張抵抗力が確実に発揮され、通常のRC柱に比べて軸方向鉄筋座屈後の荷重低下が改善されることを示した。以上の結果から、埋込メナーゼヒンジRC柱では、設計基準外事象に対して緩やかな荷重低下を示しながら、挙動の不確定性を最小限に留めた構造が実現された。また、埋込メナーゼヒンジUBRC柱では、埋込メナーゼヒンジRC柱で確認された効果に加え、高強度芯材により設計基準外事象に対する柱の自立性が維持されており、埋込メナーゼヒンジによるヒンジ機構発現状態での柱の安定性の向上が確認された。また、正負交番載荷実験結果と両構造の設計時に実施した簡易的な解析の結果を比較することにより、両構造の実験での挙動が設計時の想定に即していることを明らかにした。そして最後に、これらの結果を受けて、埋込メナーゼヒンジRC柱および埋込メナーゼヒンジUBRC柱の構造設計手順を提案した。</p> <p>第7章では、本研究において得られた結論を総括し、今後の研究課題について整理した。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、鉄筋コンクリート柱（RC柱）の危機耐性向上に向けて、RC柱の設計基準事象に対する耐震性能に加え、設計基準外事象に対する復旧性等を向上させるため、コンクリートヒンジを活用したRC柱の検討、提案するものである。本論文の学術的意義は、以下のとおりである。

1) コンクリートヒンジの一種であるメナーゼヒンジの設計法では、その回転復元力特性におけるヒンジ部コンクリート幅の影響は無視しているものの、メナーゼヒンジの実験的検討により、その影響は無視し得ないことを示し、メナーゼヒンジの最大回転抵抗モーメント、回転剛性に関する新たな解析・設計手法を提案した。

2) メナーゼヒンジ部に発生する軸方向ひび割れについて拡張有限要素法を用いた解析を実施し、ヒンジ部コンクリート幅が大きい場合、交差鉄筋が引張鉄筋として機能することによりヒンジ部コンクリート縁端部の圧縮軸力が増大し、これがヒンジ部切欠き部を起点とする柱部の割裂ひび割れを誘発することを明らかにした。

3) RC柱の復元力特性を改善する手法について、アンボンド高強度芯材を活用したRC構造（UBRC構造）によるRC柱の骨格曲線改善効果を定量的に明らかにした。さらに、UBRC構造を、メナーゼヒンジを有する柱構造の自立化に向けた補強法に応用したUBRC補強を提案し、その補強効果を実験および解析より評価した。

4) 設計基準事象に対する耐震性能を確保しつつ、設計基準外事象である軸方向鉄筋座屈発生後の無秩序な塑性化による挙動の不確定性を最小限にとどめることを目的とした埋込メナーゼヒンジRC柱、さらに柱単体での自立性をも確保できる埋込メナーゼヒンジUBRC柱を提案した。正負交番載荷実験により、設計基準事象において形成された塑性ヒンジ部が、設計基準外事象では破壊が進行するものの、鉛直力支持能力と鉛直・水平変位の連続性を保証する構造ヒンジへと移行できることを確認した。

5) 本論文で提案する構造に対する設計手順を提案した。まず、設計基準外事象で求められる構造ヒンジを設計した後、設計基準事象における耐震設計を行うことで、設計基準外事象に対する挙動を確実にすることができ、かつ、これらの設計が既存の設計式および簡易的な解析モデルを用いて実施することができることを示した。

以上のように、本論文は、RC柱の危機耐性向上策として、コンクリートヒンジの一種であるメナーゼヒンジに着目し、その力学特性に関して極めて新規性に富んだ検討が実施されるとともに、それに基づく現行の設計基準の改良法を提案している。また、本論文で提案した埋込メナーゼヒンジRC柱および埋込メナーゼヒンジUBRC柱は、設計基準外事象に対する挙動を定性的に保証することが可能であり、設計基準外の地震への対策やその後の復旧性を考える上で有利となる。そのため、本研究は危機耐性向上に対する有用な具体的技術提案といえる。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2年1月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

[要旨公開可能日：令和2年3月23日以降](#)