

氏 名	やす い のぶ ゆき 安 井 信 行
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3744 号
学位授与の日付	平 成 15 年 5 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	軸力と繰返し曲げを受ける冷間成形円形鋼管柱の局部座屈挙動解析に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 井 上 一 朗 教 授 上 谷 宏 二 教 授 中 島 正 愛

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、冷間成形の円形鋼管柱に発生する局部座屈を対象としている。局部座屈は鋼構造骨組の塑性変形能力ならびに耐力を決定づける主要因の一つであるため、鋼構造骨組が倒壊に至るまでの弾塑性挙動を地震応答解析により明らかにするには、局部座屈の影響を考慮可能な解析方法が必要とされる。変動軸力と繰返し曲げを受ける柱が局部座屈を生じて耐力劣化する弾塑性挙動を表現するため、今までに多くの解析方法が提案されているが、地震応答解析に用いられている既往の解析方法は、局部座屈の影響を劣化型の応力－歪関係に集約させているため、異なる幅厚比（径厚比）や材質を持つ部材に対して個々の応力－歪関係を定式化しなければならない。本論文は、局部座屈に起因して耐力劣化する冷間成形円形鋼管柱の弾塑性挙動を表現するため、劣化型の応力－歪関係を定式化する必要がないよう、局部座屈変形による幾何学的非線形を考慮するとともに、地震応答解析に適用可能な簡潔な解析モデルを提案することを目的として纏めたものである。本論文は序論と結論を含め、全5章で構成されている。

第1章は序であり、本研究の背景と目的を記述するとともに、関連分野の既往の研究について概観している。

第2章では、円形鋼管の局部座屈の中で最も単純なケースである軸対称の局部座屈を対象とし、軸対称の局部座屈が発生する冷間成形円形鋼管の弾塑性挙動を表現可能な解析モデルを提示した上で、その軸力と軸方向変形の増分関係を導いた。ここで提案した軸対称の局部座屈解析モデルは、局部座屈部分を弾塑性ヒンジと弾塑性変形領域からなる単純な崩壊機構でモデル化したものである。この解析モデルが圧縮力を受けると弾塑性ヒンジが回転し、弾塑性変形領域が鋼管外側に変形するため、局部座屈変形の幾何学的非線形を考慮可能である。また、弾塑性ヒンジの応力と変形の関係を、明瞭な降伏点のない素材の応力－歪関係と対応するように導いているため、劣化型の応力－歪関係を定式化する必要がない。第2章では、軸対称の局部座屈解析モデルの妥当性を検証するため、短柱圧縮試験、および繰返し軸方向載荷実験の結果と解析結果を比較した。その結果、短柱圧縮試験に対する解析結果は、軸力－軸方向変形関係における最大耐力を精度よく予測可能であり、試験結果と解析結果の最大耐力の差は、解析結果の5%以下であった。また、繰返し軸方向載荷実験に対する解析結果は、実験結果の耐力劣化開始サイクルを精度よく予測可能であり、耐力劣化開始点における実験結果と解析結果の圧縮耐力の差は解析結果の7%以下であり、実験結果と解析結果の差は小さいことを確認した。

第3章では、第2章で提案した軸対称の局部座屈解析モデルを拡張し、軸力と繰返し曲げを受けて非対称の局部座屈を生じる冷間成形円形鋼管柱の解析モデルを提案している。解析モデルは、柱材の両端部に局部座屈をモデル化した局部座屈域を配置し、局部座屈が発生しない部分は弾性の曲げせん断棒でモデル化している。局部座屈域は、円形鋼管断面を等分割し、その分割された断面と断面積が等価な置換座屈要素で局部座屈をモデル化したものである。置換座屈要素は両端に弾塑性ヒンジを持つ2本の直線材で構成され、圧縮力を受けると弾塑性ヒンジが回転して置換座屈要素が鋼管外側または内側に変形するため、局部座屈変形の幾何学的非線形を考慮可能である。第3章においても、非対称の局部座屈解析モデルの妥当性を検証するため、軸力と繰返し曲げを受ける円形鋼管の実験結果と解析結果を比較している。その結果、非対称の局部座屈解

析モデルは、軸力と単調曲げを受けて耐力劣化する円形鋼管の最大耐力を精度よく評価可能であり、実験結果と解析結果の最大耐力の差は解析結果の5%以下であることを確認した。また、軸力と繰返し曲げを受ける円形鋼管に対する解析結果は、実験結果の耐力上昇や耐力劣化の過程、および耐力劣化開始サイクルをほぼ予測可能であり、各サイクルの最大耐力と除荷時耐力を最大でも15%程度の誤差で評価可能であることを確認した。

第4章では、第3章で提案した非対称の局部座屈解析モデル（本解析モデル）が地震応答解析に適用できることを示すため、円形鋼管の片持柱と円形鋼管柱を持つ1層1スパン骨組の地震応答解析を行い、既往の解析モデルの代表として一般化塑性ヒンジを用いた解析モデル（既往モデル）の地震応答解析結果と比較した。本解析モデルと既往モデルを用いた地震応答解析結果から、局部座屈と変動軸力が円形鋼管柱の弾塑性挙動に及ぼす影響について考察し、多層骨組が倒壊に至るまでの弾塑性挙動を適切に把握するには、柱材の変動軸力と局部座屈による耐力劣化を同時に評価することが重要であることを指摘している。

第5章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、鋼構造骨組を構成する冷間成形円形鋼管柱が地震時に変動軸力と繰返し曲げを受けて局部座屈を生じ、その進展に伴って耐力劣化する挙動を複合非線形解析により追跡しようとするもので、そのための解析モデルと解析方法を提案したものである。得られた主な研究成果は次のとおりである。

1. 冷間成形円形鋼管柱の材端に発生する局部座屈を簡潔な崩壊機構を用いてモデル化し、局部座屈の変形による幾何学的非線形を考慮した解析モデルを提案した。この解析モデルによれば、柱の寸法と素材の応力-歪関係を与えることで局部座屈により耐力劣化する冷間成形円形鋼管柱の挙動が表現可能であるとともに、地震時に変動軸力と多数回の繰返し曲げを受けて耐力劣化する冷間成形円形鋼管柱の動的な複合非線形解析が容易に実行できるものである。
2. 素材・径厚比の異なる冷間成形の円形鋼管を用いて、短柱圧縮試験と繰返し軸方向載荷実験、および圧縮・曲げ載荷実験を行い、提案した解析モデルを用いた結果と実験結果を比較した。その結果、異なる載荷方法や加力振幅にかかわらず、この解析モデルは実験結果から得られた最大耐力、耐力劣化開始時期、および耐力劣化後の挙動を精度良く近似できることを確認している。
3. 素材試験の統計量から求める応力-歪関係を用いて、冷間成形円形鋼管柱の径厚比と最大耐力、塑性変形能力との関係を予測した結果は、既往の実験式や実験結果と良好な対応を示すことを確認している。
4. 提案した解析モデルが地震応答解析に適用できることを実証するために、軸力の変動量や径厚比を変数として円形鋼管柱構造の地震応答解析を行っている。その結果、鋼構造骨組が倒壊に至るまでの挙動を適切に把握するためには、柱の変動軸力と局部座屈による耐力劣化を同時に評価することが重要であることを指摘している。

以上、要するに本論文は、大地震を受ける鋼構造骨組の鋼管柱の局部座屈に起因する倒壊を予測可能とするもので、鋼構造骨組の耐震性能の評価法と耐震設計法に貢献するものであり、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、平成15年4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。