

氏名	わん だん <b>王 丹</b>
学位(専攻分野)	博 士 ( 学 術 )
学位記番号	博 甲 第 8 9 4 号
学位授与の日付	平成 30 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 造形科学専攻
学位論文題目	<b>ファイバー要素でせん断変形を考慮した弾塑性平面梁-柱有 限要素モデルの開発</b>
審査委員	(主査)教授 金尾伊織 教授 満田衛資 教授 阪田弘一 講師 村本 真

## 論文内容の要旨

本論文は、建築骨組系の曲げ変形による弾塑性挙動を予測するために用いられているファイバー要素で構成された平面梁-柱有限要素をせん断変形をも考慮できるように工夫した解析法を開発し、その予測精度を検証した内容と、局部座屈現象をその解析モデルに取り入れるための知見を得るために汎用有限要素法を用いて H 形鋼材の局部座屈発生時の垂直応力とせん断応力の推移を検討した内容をまとめたものである。論文は全 6 章からなっている。

第 1 章では、研究の目的と背景、論文の構成と各章の概要が記されている。本解析法が、増分摂動法により構築された複合非線形梁-柱有限要素法 **FERT-P** を基盤とし、せん断変形を考慮した **FERTs-P** と名付けられた解析法であることが述べられている。

第 2 章では、この論文の主要部分である **FERTs-P** の基礎理論が詳細に記述されており、部材断面のせん断ひずみ分布を曲げによる垂直ひずみ分布と独立に扱い、ファイバー要素に採用する構成則も連成しないという大胆な仮定のもとで解析モデルが構築されている。せん断ひずみ分布は材軸のせん断ひずみを基に、弾性時のせん断ひずみ分布で記述し、材軸のせん断ひずみをあたかも変位ベクトルの成分の一つと扱うことで剛性方程式を導いている。内力仮想仕事においてせん断変形による仕事が評価されている。

第 3 章では、**FERTs-P** をコーディングした数値解析プログラムにより、弾性梁理論値との比較、汎用有限要素法による H 形鋼材の数値解析結果との比較、H 形鋼材の繰返し実験および極軟鋼せん断パネルを用いた筋違付き鋼骨組実験結果との比較により、解析法の有用性が示されている。

第 4 章では、**FERTs-P** のファイバー要素のせん断応力-せん断ひずみ関係および垂直応力-垂直ひずみ関係に局部座屈を考慮することを目的として、H 形鋼材のウェブ局部座屈現象を汎用有限要素法による数値実験を用いて調べ、局部座屈発生時にせん断応力と垂直応力の大きさが逆転するような現象が発生することを述べている。

第 5 章では、第 4 章の結果を基に、幅厚比をパラメータとする局部座屈発生時のせん断応力の推定式を提案している。

第 6 章は、結びとして、以上の結果をまとめている。

## 論文審査の結果の要旨

コンピュータの計算能力の飛躍的向上と有限要素法などの数値解析法の発展により、建築設計時における構造シミュレーションによる検討は特別なことではなくなりつつある。しかしながら現状は、建築骨組全体の複合非線形解析を実行するには、比較的高性能の汎用の解析法では、まだまだコンピュータ能力の相当高いものが必要であったり、一方で、パーソナル・コンピュータ・レベルでの的確な挙動予測には不十分な解析法であったりしている。建築骨組は、比較的細長い部材により構成されており、古典的な棒材理論を用いた解析法の開発は、多くの建築事務所が手軽にパソコンで数値シミュレーションを行うためには必要なツールであるといえる。本研究は、構造力学の基本概念である垂直応力とせん断応力の連成に対し、工学的判断といくつかの非線形解析例題の検証により、2つの応力成分を独立に扱うという大胆な仮定を導入した **FERTs-P** と呼ばれる梁-柱有限要素解析法を提案し、その有効性を例証している。さらに局部座屈問題への展開の可能性を示している。

棒材断面の曲げによる垂直ひずみ分布は通常、平面保持の仮定に従うとするが、この研究では、せん断ひずみ分布を弾性時のせん断ひずみ分布で与えることとし、弾塑性時も保持されると仮定している。さらに、ファイバー要素に採用する垂直、せん断の応力-ひずみ関係は連成しないという大胆な仮定を導入して、解析モデルが構築されている。また、せん断ひずみ分布は材軸のせん断ひずみを基準に記述し、その材軸のせん断ひずみを変位ベクトルの一つの成分として扱うことによって、速度型仮想仕事式により剛性方程式を導いている。提案した解析法から数値解析プログラムを作成し、弾性梁理論との比較、弾塑性梁問題について汎用有限要素数値解と繰り返し実験結果との比較、せん断挙動が支配的となる鋼骨組実験結果との比較から、解析法が十分に有用であることを例証している。

論文の後半部では、せん断による局部座屈問題への適用できる応力ひずみ関係を作成するための基礎資料を得ることを目的に、**H**形鋼材の汎用有限要素法による数値実験を行い、ウェブに局部座屈が生じると、せん断応力の大きさが急激に減少し、逆に垂直応力の大きさが増加するという現象が生じることを明らかにし、局部座屈発生時のせん断応力の推定式を提案している。

本研究は、棒材理論による梁-柱有限要素法に画期的な工学近似手法を導入し、せん断変形を考慮する解析法を提案することで、これまで棒材型有限要素法で課題であったせん断変形を無視することによるロッキング現象を克服するとともに、せん断変形を考慮した弾塑性挙動予測への道を拓いている。また、ここで提案されたモデルは、鋼構造のみならず、鉄筋コンクリート造、木造などの骨組解析法へも新たな展開の可能性を提示するものであり、意義深い研究であると位置づけられる。

本論文は、審査を経た以下の2編の論文にその内容が発表されている。

- [1] 王 丹、林 慶樹、村本 真、森迫清貴：ファイバー要素でせん断変形を考慮した弾塑性平面梁-柱有限要素モデル、日本建築学会、日本建築学会構造系論文集、第82巻、第737号、pp.1035-1045, 2017.7.
- [2] 王 丹、村本 真、森迫清貴：H形鋼ウェブの塑性局部座屈における応力の推移、日本建築学会、構造工学論文集、Vol.64B、pp.63-70, 2018.3.