

# 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（要約）

王 丹

本論は、せん断変形を考慮するいくつかのファイバー要素で構成される新しい平面梁－柱有限要素法を増分摂動法により定式化して提案している。筆者らの研究室では、ファイバー要素を用いた FERT(Finite Element Method with Rigid-body Motion Coordinate and Transfer Matrix Technique)と呼ぶ梁－柱有限要素法を開発してきており、部材や骨組の大変形あるいは座屈などを含む弾塑性挙動解析結果を数多く報告してきた。FERT では大たわみを考慮するために有限要素に移動座標を採用し、要素自体の曲げひずみは比較的小さいものとして垂直ひずみを微小ひずみで記述した上で、一軸の応力ひずみ履歴則を用いた解析を行ってきた。また、弾塑性の応力ひずみ履歴則を高精度に順守するために、さらに座屈などの臨界挙動解析で課題となる増分刻み幅の課題を解決するために、増分摂動法が導入されている。増分摂動法で定式化されたモデルによる解析法は、FERT-P と呼ばれている。

しかしながらせん断変形、せん断ひずみに関しては、立体骨組解析法においてねじれ変形を評価していることを除けば、全く考慮できていなかった。せん断変形を考慮した梁の解析は、他研究者も精力的に研究しており、ファイバーモデルによる弾塑性解析についての報告もある。本論では FERT-P にせん断変形を考慮するための理論的な拡張が行われている。

論文は全 6 章で構成されている。

第 1 章では、本研究の背景、研究目的および本論文の構成を記している。

第 2 章では、提案するファイバー要素で構成された平面梁－柱有限要素でせん断変形を考慮する解析法の基礎式を示している。ここでは、せん断ひずみ分布を仮定してファイバー要素位置でのせん断ひずみを評価するという手法を導入している。これは、棒材理論とファイバー要素による簡単なモデルを用いて弾塑性骨組解析にせん断の影響を考慮しようとする手法の試みである。せん断ひずみ分布は、弾性時におけるせん断ひずみ分布と材軸のせん断ひずみ（回転角）の積で表すこととし、せん断ひずみ分布は、弾塑性時も変化しないものとしている。垂直応力ひずみ関係とせん断応力ひずみ関係は独立しているものとしている。また、曲げ変形による理論にせん断変形の影響を累加する形で定式化しており、既開発の解析法 FERT-P の拡張版として位置づけられ、定式化

は増分摂動法を用いている。

第 3 章では、弾性平面梁問題を対象とした検証結果、汎用有限要素解析法による弾塑性梁問題との比較、さらに他研究者による鋼部材および骨組の繰り返し载荷実験を対象とした数値解析結果を提示する。これらにより、棒材理論とファイバー要素によってせん断変形を考慮する第一段階モデルとしての予測性能を示している。

しかしながら、実験で観察しているせん断力によるウェブ塑性局部座屈に伴う耐力低下現象を予測することは出来ておらず、解析モデルに新たな工夫を盛り込む必要がある。そこで次章の検討を行う。

第 4 章では、FERTs-P においても局部座屈を予測可能とするための基礎資料を得ることを目的として、汎用有限要素法を用いた一連の数値実験によって、ウェブに塑性局部座屈が生じる際の垂直応力とせん断応力の様相がどのように推移しているのかを調べた結果を報告している。

H 形鋼のウェブが局部座屈するような場合の履歴挙動については、他研究者により多くの実験と数値解析により検討され、それらの履歴モデルの構築方法が示されている。しかしながら、これらの研究により、性能を評価する方法や、耐力低下の要因は示されているが、応力状態の変化を詳細に言及したものはあまり見当たらない。そこで、ウェブが局部座屈するときの応力状態を垂直応力とせん断応力に着目してその推移を調べている。その結果、こうした現象では垂直応力とせん断応力の大きさの大小関係が入れ替わることを見出し、それらの履歴について示している。

第 5 章では、汎用有限要素解析による数値実験によって得られた結果の考察によりファイバーモデルの応力ひずみ関係をモデル化する第一段階として、一方向载荷時における塑性局部座屈発生時のせん断応力の予測式を示している。この予測式を用いれば FERTs-P において座屈発生時の応力が予測でき、骨組全体の解析につなげることができる。

第 6 章では、第 2 章から第 5 章までの結論をまとめている。