

第1部門 複合非線形骨組解析による鋼長柱部材の全体座屈の再現性について

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○徳永 宗正 東京工業大学大学院理工学研究科 正会員 小野 潔
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 三好 崇夫 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村 政秀
 大阪大学名誉教授 フェロー 西村 宣男 大阪大学大学院工学研究科 正会員 奈良 敬

1. はじめに

文献1)では、全体(部材)座屈は複合非線形骨組解析の中で自動的に考慮できるとされ、全体座屈は解析で考慮し、局部座屈強度を照査式で評価する方法が記述されている。しかし、文献1)には複合非線形解析で全体座屈を考慮できる根拠は示されていない。さらに実務設計における複合非線形骨組解析では、初期たわみ、偏心は考慮しない場合が多く、特に残留応力を考慮する場合はほとんどないと考えられる。そこで、本論文では顕著な全体座屈現象が見られた鋼部材の圧縮実験²⁾を基に、ファイバーモデルを用いた複合非線形骨組解析を行い、実験結果との比較によって、複合非線形骨組解析による鋼長柱部材の全体座屈の再現性について検証した。

2. 対象とした実験

文献2)では、幅厚比パラメータ $R_R=0.7$ 以下で局部座屈が生じない板要素で構成される、無補剛箱形断面長柱の終局挙動に着目した実験結果が報告されている。本研究ではこのうち、図-1および表-1に示すような諸元を有する供試体S-25-22およびS-50-22を対象に複合非線形骨組解析を実施した。詳細は文献2)を参照されたい。

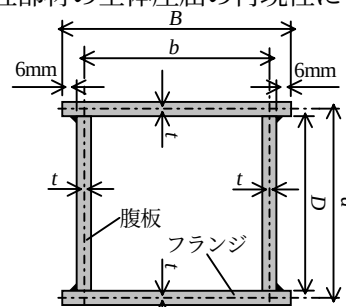


図-1 供試体断面図

表-1 供試体の諸元等

供試体名	S-35-22	S-50-22
B (mm)	151	151
D (mm)	127	122
t (mm)	6.00	6.01
断面積 A (mm ²)	3340	3280
部材長 L (mm)	1880	2690
断面回転半径 r (mm)	54.9	53.1
細長比パラメータ λ	0.640	0.948
弾性係数 E (GPa)	215	
降伏応力 σ_Y (MPa)	742	
δ_0/L ($\times 10^{-4}$)	6.29	3.15

図-2 要素分割図
(EERCでの解析モデルの例)

3. ファイバーモデルを用いた複合非線形骨組解析

本研究では、複合非線形骨組解析結果プログラムによる解析結果の相違についても考察するため、解析プログラムとして、汎用プログラムEERC³⁾、大阪大学で開発されたプログラム、および大阪市立大学で開発されたプログラムEPASS/USSPの3種類を用いた。実験供試体の解析モデルを図-2 (EERCでの解析モデルの例)、図-3に示す。この供試体は、HT80材で製作されており、解析においては、その応力-ひずみ関係は、材料試験結果の平均値に基づいて、表-1に示す機械的特性値を用いて、二次勾配を $E/100$ としたバイリニア型構成式でモデル化した。初期たわみは、表-1に示すように、実験で計測された初期たわみの最大値 δ_0 が柱の中央で生ずる正弦半波形で与え、残留応力は高張力鋼部材の圧縮強度に関する既往の研究⁴⁾に基づいて、図-3のような分布形状を仮定した。ただし、解析ケースとして、残留応力を無視するものも設定し、EERCを用いた解析では残留応力を考慮していない。

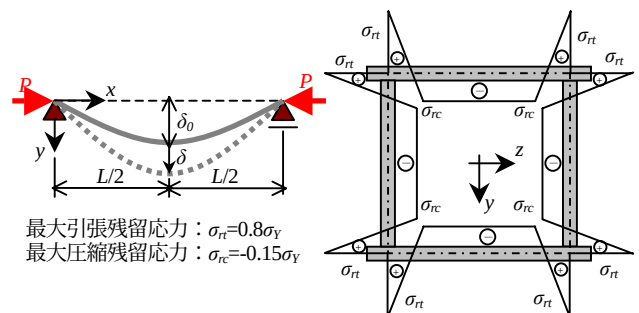


図-3 解析モデル

4. 実験結果と解析結果の比較

圧縮力 P と図-3に示す中央点の水平方向変位 δ の関係について、供試体S-35-22で残留応力を無視した解析結果を図-4、考慮した解析結果を図-5、および供試体S-50-22で残留応力を無視した解析結果を図-6、考慮した解析結果を図-7にそれぞれ実験結果および弾性理論解と比較して示す。ただし、実験結果は文献2)から読み取ったものであるため、誤差を含んでいることに注意されたい。

図-4、図-6より、残留応力を無視して初期たわみの実測値を与えた。いずれの解析も、载荷初期は弾性理論解と一致するため、妥当な結果が得られていると判断される。しかし最大耐力点付近までの剛性は実験結果と大きく異なる結果となった。また、実測された初期たわみを考慮しても、終局荷重の解析結果は実験結果に比して約10%危険側に評価されている。

また、図-5、図-7より、残留応力を考慮したいずれの解析も、载荷初期は弾性理論解と一致し、最大耐力も実験結果とほぼ等しく、最大耐力に関しては残留応力を考慮した骨組解析によって再現できるといえる。しかし剛性に関しては、実験結果から算定されるものよりも大きくなる結果となった。これは解析において、局所的な初期たわみ形状や偏心の影響を考慮しておらず、さらに供試体の残留応力を正確にモデル化できていないことが原因の一つと考えられる。

実務設計で用いられる骨組解析では、複合非線形性を考慮する場合はあるものの、初期たわみや偏心、さらに残留応力の影響を考慮することはほとんどないと考えられる。従って、鋼長柱部材の最大耐力を実設計で解析的に把握する場合には、道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編⁴⁾に記載されている長柱の耐力力曲線のように、初期たわみ、偏心、残留応力等の影響が盛り込まれている照査式を使用するのがよいと考えられる。

5. まとめ

本論文では、既往の鋼長柱部材の実験結果を基に複合非線形骨組解析を行い、実験結果との比較によりその妥当性や最大耐力に影響を及ぼす要因について検討した。以下に結論の概要を示す。

- ・ 複合非線形骨組解析で鋼長柱部材の全体座屈を考慮するには、初期たわみ、偏心、残留応力の影響を適切に考慮する必要がある。
- ・ 実務設計では、道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編の長柱の耐力力曲線のような、初期たわみ、偏心、特に残留応力の影響を盛り込んだ照査式を使用するのがよいと考えられる。

【参考文献】 1) 宇佐美勉：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン，社会法人日本鋼構造協会，技報堂出版，2006。 2) 宇佐美勉，福本秀士，青木徹彦：溶接箱断面柱の局部座屈と全体座屈の連成に関する実験的研究，土木学会論文集，第308号，pp.47-58，1981。 3) (株)地震工学研究開発センター：EERC/Fiber User's Manual，2007。 4) 越智内土：高張力鋼からなる板構造要素および部材の終局強度と座屈設計法に関する研究，大阪市立大学学位論文，2003。 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，1996。

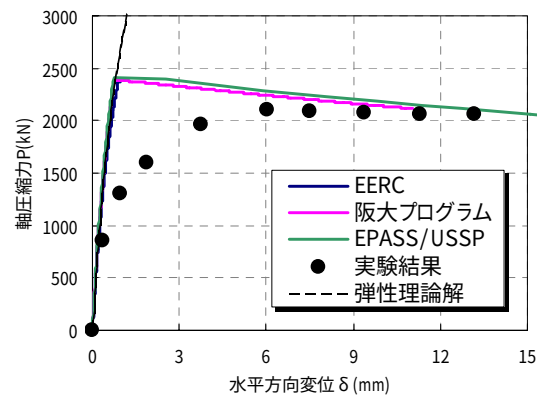


図-4 S-35-22，残留応力なし

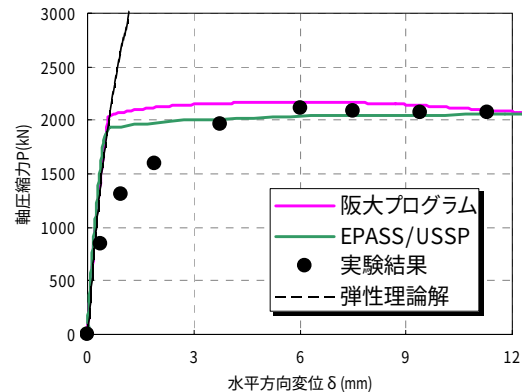


図-5 S-35-22，残留応力あり

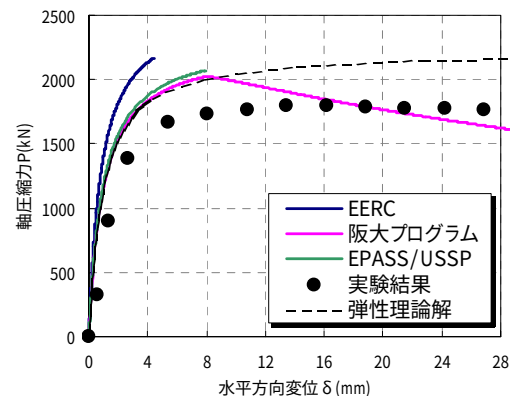


図-6 S-50-22，残留応力なし

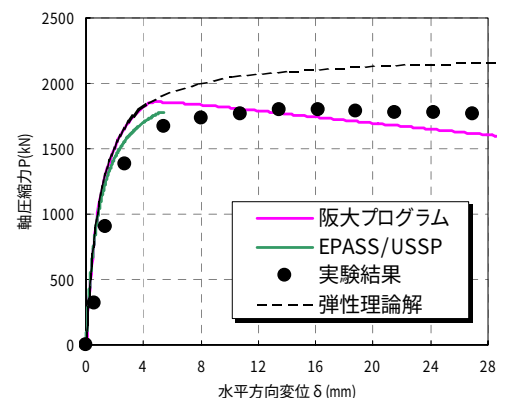


図-7 S-50-2