

Title	水平荷重による柱軸力を受ける鋼構造ラーメン骨組中の柱における弾性座屈性状の考察と座屈軸力算定手法の提案
Author(s)	高田, 明伸
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/34418
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (高田 明伸)

論文題名

水平荷重による柱軸力を受ける鋼構造ラーメン骨組中の柱における
弾性座屈性状の考察と座屈軸力算定手法の提案

論文内容の要旨

日本建築学会による各種指針においては、骨組中の柱についてその有効座屈長さを何らかの方法で計算し、それを用いて柱の許容圧縮応力度を算定している。鋼構造ラーメン骨組中の柱の有効座屈長さについては過去に様々な研究がなされているが、それら既往の研究のほとんどは骨組に鉛直下向き荷重が作用する条件での検討である。しかしながら、大きな地震荷重が作用する日本においては、水平荷重（地震荷重）作用時の柱軸力に対する曲げ座屈についても検討する必要がある。本論文では、地震水平荷重作用時と柱軸力分布が相似になる鉛直方向荷重群を地震時柱軸力相当荷重と呼び、この荷重群に対する骨組の弾性座屈性状と柱の有効座屈長さについて論じた。

第1章では、鋼構造骨組中の柱の許容圧縮応力度が有効座屈長さを用いて算定されること、また、有効座屈長さが柱の弾性座屈軸力から算定されることを説明した。さらに、前述のように既往の研究が鉛直下向き荷重を対象としているのに対し、本論文では地震時柱軸力相当荷重を対象とすることを述べた。

第2章では、線材解析プログラムを用いて、均等ラーメン骨組および不均等ラーメン骨組の数値解析を行い、その弾性座屈性状について考察した。その結果、鉛直下向き荷重作用時には同一層内の全ての柱が同様に圧縮軸力を受けて座屈するため、層全体が水平方向に大きく変形するsway（横移動）座屈モードになり、柱の有効座屈長さは部材長以上になるという従来の知見を確認した。そのうえで、地震時柱軸力相当荷重作用時には、同一層の柱において圧縮軸力を受ける柱と引張軸力を受ける柱が同時に存在することで、ほとんどの場合に水平方向の変形をあまりともなわずに柱1本のみが座屈するモードになり、柱の有効座屈長さは部材長以下になることを示した。

第3章では、まず、柱脚ピンの1層1スパン骨組を用いて梁の剛比を変化させた数値解析を行い、座屈前の鉛直方向変形が骨組の座屈モードと柱の有効座屈長さに有意な影響を与える場合があることを例示した。この知見を説明するために、簡易な柱モデルを用いて理論的な考察を行った。その結果、地震時柱軸力相当荷重作用時には、圧縮軸力が柱をsway変位させようとする幾何剛性成分と、引張軸力が柱を鉛直に戻そうとする幾何剛性成分が存在し、柱の軸方向変形を考慮しなければその両者が相殺されてsway座屈モードが生じないことを示した。しかし、座屈前の柱の軸方向変形を考慮すれば、圧縮軸力が柱をsway変位させようとする幾何剛性成分のほうが大きくなり、sway座屈モードが生じる可能性があることを示した。さらに、これらの知見を用いて、地震時柱軸力相当荷重を受ける多層多スパンラーメン骨組中の柱の有効座屈長さ算定図表を作成した。これは骨組中の柱を、両端に回転バネがあり、柱頭に水平バネが取り付けく柱モデル（詳細柱モデル）に置換し、そのバネ剛性をできるだけ単純かつ安全側に評価して作成したものである。

第4章では、前述の詳細柱モデルを用い、その材端バネ剛性をできるだけ厳密に評価し、なおかつ解を容易に得られる弾性座屈軸力（有効座屈長さ）の算定手法を提示した。ここでは、柱の座屈モードとして以下の3つを仮定してそのたわみ曲線を n 次曲線で近似し、仮想仕事の原理を適用することで、解を容易に得られる弾性座屈軸力算定式を示した。仮定した3つの座屈モードは、部材角が生じない個材座屈モードと、部材角が生じて柱がS字に変形するsway座屈モード、および個材とswayの中間のモードで、柱の中央が大きくたわみ、かつ部材角が生じる中間座屈モードである。詳細柱モデルにおける両端のバネ剛性は、同一層の柱・梁による影響、上下層の柱・梁による影響、それらの柱軸力が及ぼす影響を考慮して評価した。これらの材端バネ剛性評価法を用いることで、数回の繰り返し計算が必要になるが、第2章に示した数値解析結果を精度よく評価できる手法を示すことができた。

第5章は本研究で得られた成果の総括と今後の課題を示し、本論文の結論とした。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (高 田 明 伸)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	多 田 元 英
	副 査	教 授	宮 本 裕 司
	副 査	教 授	倉 本 洋

論文審査の結果の要旨

日本建築学会による各種指針においては、骨組中の柱についてその有効座屈長さを何らかの方法で計算し、それを用いて柱の許容圧縮応力度を算定している。鋼構造ラーメン骨組中の柱の有効座屈長さについては過去に様々な研究がなされているが、それら既往の研究のほとんどは骨組に鉛直下向き荷重が作用する条件での検討である。しかしながら、大きな地震荷重が作用する日本においては、水平荷重（地震荷重）作用時の柱軸力に対する曲げ座屈についても検討する必要がある。本論文では、地震水平荷重作用時と柱軸力分布が相似になる鉛直方向荷重群を地震時柱軸力相当荷重と呼び、この荷重群に対する骨組の弾性座屈性状と柱の有効座屈長さについて論じている。

第1章では、鋼構造骨組中の柱の許容圧縮応力度が有効座屈長さを用いて算定されること、また、有効座屈長さが柱の弾性座屈軸力から算定されることを説明している。さらに、前述のように既往の研究が鉛直下向き荷重を対象としているのに対し、本論文では地震時柱軸力相当荷重を対象とすることを述べている。

第2章では、線材解析プログラムを用いて、均等ラーメン骨組および不均等ラーメン骨組の数値解析を行い、その弾性座屈性状について考察している。その結果、鉛直下向き荷重作用時には同一層内の全ての柱が同様に圧縮軸力を受けて座屈するため、層全体が水平方向に大きく変形するsway（横移動）座屈モードになり、柱の有効座屈長さは部材長以上になるという従来の知見を確認している。そのうえで、地震時柱軸力相当荷重作用時には、同一層の柱において圧縮軸力を受ける柱と引張軸力を受ける柱が同時に存在することで、ほとんどの場合に水平方向の変形をあまりともなわずに柱1本のみが座屈するモードになり、柱の有効座屈長さは部材長以下になることを示している。

第3章では、まず、柱脚ピンの1層1スパン骨組を用いて梁の剛比を変化させた数値解析を行い、座屈前の鉛直方向変形が骨組の座屈モードと柱の有効座屈長さに有意な影響を与える場合があることを例示している。この知見を説明するために、簡易な柱モデルを用いて理論的な考察を行っている。その結果、地震時柱軸力相当荷重作用時には、圧縮軸力が柱をsway変位させようとする幾何剛性成分と、引張軸力が柱を鉛直に戻そうとする幾何剛性成分が存在し、柱の軸方向変形を考慮しなければその両者が相殺されてsway座屈モードが生じないことを示している。しかし、座屈前の柱の軸方向変形を考慮すれば、圧縮軸力が柱をsway変位させようとする幾何剛性成分のほうが大きくなり、sway座屈モードが生じる可能性があることを示している。さらに、これらの知見を用いて、地震時柱軸力相当荷重を受ける多層多スパンラーメン骨組中の柱の有効座屈長さ算定図表を作成している。これは骨組中の柱を、両端に回転バネがあり、柱頭に水平バネが取り付け柱モデル（詳細柱モデル）に置換し、そのバネ剛性をできるだけ単純かつ安全側に評価して作成したものである。

第4章では、前述の詳細柱モデルを用い、その材端バネ剛性をできるだけ厳密に評価し、なおかつ解を容易に得られ

る弾性座屈軸力（有効座屈長さ）の算定手法を提示している。ここでは、柱の座屈モードとして以下の3つを仮定してそのたわみ曲線を n 次曲線で近似し、仮想仕事の原理を適用することで、解を容易に得られる弾性座屈軸力算定式を示している。仮定した3つの座屈モードは、部材角が生じない個材座屈モードと、部材角が生じて柱がS字に変形するsway座屈モード、および個材とswayの中間のモードで、柱の中央が大きいたわみ、かつ部材角が生じる中間座屈モードである。詳細柱モデルにおける両端のバネ剛性は、同一層の柱・梁による影響、上下層の柱・梁による影響、それらの柱軸力が及ぼす影響を考慮して評価している。これらの材端バネ剛性評価法を用いることで、数回の繰り返し計算が必要になるが、第2章に示した数値解析結果を精度よく評価できる手法となっている。

第5章は本研究で得られた成果の総括と今後の課題を示している。

公聴会では、設計用地震荷重作用時の柱軸力よりかなり大きな柱軸力を考えていること、およびそれに伴う塑性化を無視していることなどに対して、本研究の位置付けが質問された。それに対して、本研究では弾性座屈荷重が作用荷重や全塑性耐力よりも十分に上回ることを確認することで、現状の実務設計で用いられている座屈長さが安全側に過ぎる旨を示したこと、またそれによってより合理的な設計資料を提供できる結果が得られたこと、などの回答がなされた。

以上のように、本論文は地震水平荷重作用時と柱軸力分布が相似になる鉛直方向荷重群を用いて、骨組中の柱の座屈長さについて定量的・定性的な考察を行っており、鋼構造骨組中の柱の設計に対する有益な知見を得ている。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。