

令和 4 年 4 月 5 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04687

研究課題名（和文）建築物における地震外力抵抗要素であるH形断面鋼柱の構造性能評価

研究課題名（英文）Structural performance evaluation of building H-shape steel column under seismic load action

研究代表者

佐藤 篤司（SATO, Atsushi）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：00362319

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：H形断面部材は、建物柱部材として利用されている。ラーメン架構では柱は水平外力に対しても抵抗するため、鉛直力である軸力と同時に水平力に抵抗する曲げモーメントを受けることになる。大地震に対しては、柱の鉛直支持能力を保持すると同時に、水平力に対する構造性能も保持する必要がある。そのような構造性能を保証するために設計規範が学会などから刊行されているが、現行設計式は1980年代までの研究にとどまっており、十分な評価出来ている状況では無かった。本研究では、実務設計で用いられるH形断面鋼柱を対象とした実部材実験と数値解析を実施し、より精緻にその構造性能（耐力と塑性変形能力）が評価できる評価式を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

建物の耐震安全性は人命の保護、財産の保全の観点から極めて重要である。建物の柱部材は居住空間を確保するために重要な構造部材であり、その機能は大地震時においても保持する必要がある。

H形断面部材は建物の柱部材として利用されているが、その安全性を保証する設計規範は1980年代の研究成果に基づくもので、十分な評価がなされているとは言えない状況であった。本研究では、実務設計で用いられる様々な断面形状を実部材実験、および数値解析で実施することで、その構造性能を定量的に評価する設計式を提案した。より実現象を捉えた本研究の成果は、建物の構造安全性に大きく貢献すると言える。

研究成果の概要（英文）：The H-shaped cross-section member is used as a building column member. In a moment-resisting frame, columns simultaneously resist horizontal external force with axial force. In the event of a large earthquake, it is necessary to maintain the vertical support capacity of the columns and, at the same time, maintain the structural performance against horizontal forces. Academic societies have published design norms to guarantee such structural performance, but the current design formula is limited to research until the 1980s, and it has not been fully evaluated. In this study, we conducted actual member experiments and numerical analysis on H-shaped cross-section steel columns used in practical design and proposed an evaluation formula that can evaluate the structural performance (strength and plastic deformation ability) more precisely.

研究分野：建築鋼構造

キーワード：鋼柱 H形断面 曲げ面内挙動 曲げ面外挙動 耐力相関式 塑性変形能力 軸力比 細長比

1. 研究開始当初の背景

鉄骨構造建物の終局時の設計に対しては、日本建築学会が刊行する鋼構造塑性設計指針(2017年改定)、鋼構造限界状態設計指針・同解説(2010年改定)が構造設計者の設計規範として活用されている。両指針は主に、水平力に抵抗する平面架構の構面内の部材設計について規定している。構造骨組への鉛直荷重と水平荷重の作用により、鋼柱は鉛直方向の力(鉛直力: N)と水平方向の力(水平力: Q)を受けるとともに、部材に生じるせん断力による曲げモーメント(M)も受けることになる。このように、鋼柱は複合応力状態にあり、この応力状態に対して、学会指針は確保できる耐力および塑性化を許容する場合の設計制限などを規定している。しかしながら、学会が規定する鋼柱の設計式は、1980年代までの実験結果に基づいていること、柱の応力状態を再現する実験が容易ではないことから限定的な応力状態の実験結果のみに基づいていること、など限られたデータに基づいて構築されている。特に、鋼柱としてH形断面を用い、強軸まわりに曲げモーメントを受ける場合には、曲げねじれ座屈が部材寸法・荷重条件によっては生じることになるが、このような不安定現象を抑制するための設計制限については、根拠となる明確なデータが示されないまま規定されている現状にある。さらに、広幅断面の実験結果を示しているが、細幅断面では曲げねじれ座屈がより顕著に発現するため、その影響を明確にする必要があると言えるが、断面形状の影響についても言及していない現状にある。

2. 研究の目的

広幅断面・中幅断面・細幅断面のH形鋼柱の構造性能評価実験を実施する。鋼柱の応力状態は様々であることから、その応力状態を再現した実部材実験を実施する。建築空間を確保するための柱には、終局時にも軸力を保持し続ける性能が必要となるため、まず、耐力について評価を行う。次に、鋼柱の塑性化(損傷)を許容する部位については、柱に作用する軸力を保持した状態で塑性変形できる性能について評価を行い、どのような応力状態(軸力と曲げモーメントの組み合わせ)に対して建物倒壊の引き金となる急激な耐力劣化を抑制し、塑性変形を確保できるかを評価する。同時に終局時の壊れ方についても評価する。最後に、想定される応力状態の実部材実験データを蓄積することで、有効な数値シミュレーションが実施可能となるため、数値解析の妥当性を検証した後に悉皆的な数値シミュレーションを実施し、実験結果と解析結果の双方のデータを確率論に立脚した手法を用いて評価することで、実務設計に適用可能な設計式、設計制限式を提案することを本研究の上位目標と設定する。

3. 研究の方法

代表研究者が自ら開発・設計し、所属機関に保有する実験装置を用いて鋼柱の実部材実験を実施する。柱の応力状態(材端曲げモーメント比、軸力比)を再現した部材実験は、その煩雑さと再現性の難しさから1980年代以降ほとんど実施されることはなく、特に地震時の複合応力状態を再現した実験については、代表研究者が調べた範囲では実施された実績が国内では見つけられなかった。代表研究者が保有する実験装置は、鋼柱が受ける複合応力を精緻に再現することに成功しており、さらに装置の載荷システムに工夫を加えたことで、実構造物の鋼柱で想定される応力状態の両極端とその中間が再現できる装置となっている。この実験装置を活用することで、鋼柱に想定される応力状態の実験データを網羅的に収集することができる。さらに、鋼柱が終局限界状態に至るまでの弾塑性の力学的挙動を連続的に把握できる貴重な資料が得られる。近年の数値演算処理の飛躍的向上により、容易に数値シミュレーションが実施できるようになったが、鋼材の弾性域を超え、塑性域までを対象した数値シミュレーションでは、実現象を適切に捉えているかは実験結果とのキャリブレーションなくしては立証できないことから、実部材実験のデータを収集し、網羅的に把握できることには学術的な価値が非常に高いと言える。また、鋼柱の構造性能と対応する終局限界状態(壊れ方)をセットで提供できる結果は、構造設計者が建物全体の終局限界状態をイメージする上で重要なデータになると言える。数値で表現される構造性能のデータのみでなく、壊れ方(終局限界状態)と対応したデータを成果として収集する。

4. 研究成果

H形断面鋼柱は、工場建屋や体育館などの鉄骨建築で用いられている。また、諸外国では事務所ビルなどの柱としても多用されている。日本におけるH形断面鋼柱の研究は、1980年代後期まで積極的に実施されていたが、矩形中空断面の登場により研究活動は停滞し、その後の設計体系が更新されないままとなっていた。ただし、上述したように建物の柱部材としてH形断面は多用されていることから、その構造性能を精緻に評価することは極めて重要と言える。

H形断面鋼柱の終局限界状態は、板要素の局部座屈、曲げ面内不安定、曲げ面外不安定の3つによって(あるいは複合的に発生)して決定される。曲げ面外不安定は、開断面特有の現象であり、その評価については現行の設計体系の中では精緻に追求されていない現状にあった。本研究課題の成果として、H形断面部材に生じる曲げねじれ座屈の定量的評価法を構築し、構造性能評価の提案式を提案した。提案する評価式には、実設計で用いられる断面形状を網羅する形となっており、実用性の高い提案となっている。構造性能を関数として提案するとともに、必要値を満たすための条件式の形式でも提案することで、現行指針での運用が容易にできる提案となっている。また、曲げ面内不安定が終局限界状態となる場合の定量的評価法も構築することで、H

形断面鋼柱の終局限界状態が何で決まるかを判定できる成果を得た。曲げ面内不安定の評価についても、鋼柱の断面形状を考慮することで、汎用性の高い提案となっている。

既往研究の局部座屈評価式と本研究の成果を総合することで、H形断面部材の構造性能評価が可能となる提案を行った。ただし、柱に作用する曲げモーメントの分布形状が限定的な部分も課題として残っており、今後の研究で取り組む課題としている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 佐藤篤司、小野木武司	4. 巻 770
2. 論文標題 軸方向圧縮力と2軸曲げモーメントを受ける角形鋼管柱の実験的研究 材端曲げモーメント比0.0・載荷方向45°とした場合	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 595-605
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aijs.85.595	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shimpei Yoshioka, Atsushi Sato, Takeshi Onogi	4. 巻 3
2. 論文標題 Experimental Study on Deep-Column Subject to Compressive Axial Force with One End Cyclic Bending Moment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The XII Conference on Steel and Composite Construction	6. 最初と最後の頁 203-212
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/cepa.1195	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shimpei Yoshioka, Atsushi Sato, Takeshi Onogi, Masahiro Aoyama	4. 巻 1
2. 論文標題 EXPERIMENTAL STUDY ON BEAM-COLUMN SUBJECT TO COMPRESSIVE AXIAL FORCE WITH ONE END MONOTONIC BENDING MOMENT	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The 12th Pacific Structural Steel Conference	6. 最初と最後の頁 000-000
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 佐藤篤司、吉岡慎平	4. 巻 796
2. 論文標題 一端曲げを受けるH形断面鋼柱の曲げねじれ座屈を考慮した構造性能評価手法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 567-578
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aijs.87.567	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐藤 篤司、藤原 羽教	4. 巻 87(794)
2. 論文標題 曲げ面内不安定で終局限界状態に至る鋼柱の塑性変形能力	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 381 ~ 392
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.87.381	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐藤 篤司, 吉岡 慎平	4. 巻 86 (789)
2. 論文標題 軸方向圧縮力と繰返し一端曲げモーメントを受けるH形断面鋼柱の実験的研究 断面形状を細幅断面・中幅断面とした場合	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 1558 ~ 1569
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.86.1558	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐藤 篤司, 山田 隼地	4. 巻 86(784)
2. 論文標題 軸方向圧縮力と一端曲げモーメントを受ける広幅H形断面鋼柱の実験的研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 1002 ~ 1013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.86.1002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hayashi Takuro, Sato Atsushi, Yoshioka Shimpei	4. 巻 4
2. 論文標題 Structural performance evaluation of square hollow section column under compressive axial force with bending moment having different width thickness ratio	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The 9th European Conference on Steel and Composite Structures (EuroSteel2021) (Wiley, Ernst & Sohn)	6. 最初と最後の頁 2341 ~ 2348
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cepa.1559	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Atsushi SATO, Masahiro AOYAMA, Kenta INDEN, Tetsuro ONO, Kazuya MITSUI	4. 巻 1
2. 論文標題 Design limitations for the steel beam-column to ensure full plastic moment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Stability and Ductility of Steel Structures 2019 (CRC Press Taylor & Francis Group)	6. 最初と最後の頁 963-971
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 吉岡慎平、佐藤篤司
2. 発表標題 軸方向圧縮力と繰返し一端曲げモーメントを受ける中幅 H 形断面鋼柱の実験的研究
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原羽教、佐藤篤司
2. 発表標題 軸方向圧縮力と単調曲げモーメントを受ける鋼柱の曲げ面内挙動
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中塚奏哉、佐藤篤司
2. 発表標題 軸方向力と単調一端曲げモーメントが作用する広幅 H 形鋼柱における復元力モデルの構築
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉岡慎平, 佐藤篤司
2. 発表標題 軸方向圧縮力と繰返し一端曲げモーメントを受ける細幅H形鋼柱に関する実験的研究
3. 学会等名 日本建築学会東海支部研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉岡慎平, 佐藤篤司
2. 発表標題 軸方向圧縮力と単調一端曲げモーメントを受ける細幅H形断面鋼柱の耐力評価
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中塚 奏哉、佐藤 篤司
2. 発表標題 曲げねじれ座屈を考慮した指標に基づく広幅 H 形断面鋼柱の塑性変形能力評価
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原羽教、佐藤篤司
2. 発表標題 強軸まわりに曲げを受けるH形断面鋼柱の局部座屈あるいは曲げ面内不安定で決まる終局状態の一考察
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉岡慎平, 佐藤篤司
2. 発表標題 軸方向圧縮力と単調一端曲げモーメントを受けるH形断面鋼柱の解析的研究
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中塚奏哉, 佐藤篤司
2. 発表標題 軸方向力と単調一端曲げモーメントが作用する広幅H形鋼柱における復元力モデルの構築
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuro Hayashi, Atsushi Sato
2. 発表標題 Experimental Study of The Beam-Column with Different Width-to-Thickness Ratio
3. 学会等名 The 22nd Japan-Korea-Taiwan Joint Seminar on Earthquake Engineering for Building Structures (SEEBUS) (SEEBUS 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Soya Nakatsuka, Atsushi Sato
2. 発表標題 Mathematical Modeling of Steel Beam-Column Under Compressive Axial Force with One End Monotonic Moment
3. 学会等名 The 22nd Japan-Korea-Taiwan Joint Seminar on Earthquake Engineering for Building Structures (SEEBUS) (SEEBUS 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shimpei Yoshioka, Atsushi Sato, Takeshi Onogi
2. 発表標題 DEEP WIDE-FLANGE COLUMN TESTING UNDER COMBINED LOADING CONDITION
3. 学会等名 The 21th Japan-Korea-Taiwan Joint Seminar on Earthquake Engineering for Building Structures (SEEBUS) (SEEBUS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------