

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K15137

研究課題名（和文）鋼構造柱脚の力学的特性に関する力学的・解析的検討

研究課題名（英文）Mechanical and analytical studies on mechanical properties of steel structure column base

研究代表者

高塚 康平（Takatsuka, Kouhei）

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：90758351

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：中低層鋼構造建物に広く用いられる露出柱脚を対象に有限要素法解析および載荷実験を行い、[1]圧縮側ベースプレートの面外変形と基礎コンクリートの支圧変形、[2]引張側ベースプレートの面外変形とアンカーボルトの伸び変形、[3]アンカーボルトの本数と配置、の3点を考慮した弾性剛性を検討した。そして、これらの結果を踏まえて、露出柱脚の弾性剛性の算定式を構築した。その結果、現在広く用いられている算定式よりも、式のものではあるがより高い精度で弾性剛性を算定することが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で提案した弾性剛性算定式は既往のものに比べ複雑ではあるが、算定式そのものは陽関数であり、露出柱脚の実用の範囲を考慮して算定式を近似することで算定式の簡便化が可能と考えられる。また、本検討で用いたモデルは構造力学で広く用いられている単純なもの組み合わせであり、本検討で考慮した以外のアンカーボルトの本数や配置の場合にも剛性算定式への反映が容易となっている。さらに、一部が陰関数となってしまうが本検討での算定式は軸力が作用する場合にも対応している。すなわち、この算定式を用いることで、とくに1層の応答への影響が大きいとされている柱脚の弾性剛性をより高い精度で算定することが可能となった。

研究成果の概要（英文）：For the exposed column base widely used at mid-and-low-rise steel building, finite element method analyses and loading tests were conducted, and a calculation formula of the elastic stiffness was proposed considering: [1] the out-of-plane deformation of the compression side baseplate and the bearing deformation of the foundation concrete, [2] the out-of-plane deformation of the compression side baseplate and the elongation of the anchor bolts, [3] the number and the layout of the anchor bolts. Although the proposed formula is more complicated than the currently widely used formula by considering [1]~[3], the proposed formula can estimate the elastic stiffness with higher accuracy.

研究分野：鋼構造

キーワード：鋼構造 柱脚 弾性剛性 有限要素法解析

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年建築されている鋼構造建物はオイルダンパーなどの制震部材を設けている場合が多く、地震時には制震部材が多くエネルギーを吸収し建物の損傷を抑制するよう設計されている。しかし、制震部材を設けていない建物も依然として多く存在し、こうした建物は各層の梁端接合部と1層柱脚に塑性ヒンジが形成されることでエネルギーを吸収するよう設計されている。地震時に変形が想定される鋼構造柱脚は「露出柱脚」「根巻き柱脚」「埋込み柱脚」の3種類に大別でき、それぞれの弾性剛性・降伏耐力・終局耐力が鋼構造接合部設計指針¹⁾などに示されている。いずれの評価式も比較的簡便な関数として表されているが、実験的に確認された特定の条件下でのみ使用できるため、詳細な条件は不明なままであり、評価式の精度にも限界がある。

2. 研究の目的

本研究では、柱脚の剛性や耐力などの力学的特性を現状の条件を超える範囲で精度よく評価するため、現状の設計式で考慮していない項目が柱脚の力学的特性に及ぼす影響を明らかにし、設計で考慮が可能な項目を組み込んだ設計式を構築することを目的とする。

3. 研究の方法

研究当初は、概ね3種類に分類できる鋼構造柱脚のうちの「露出柱脚」と「埋込み柱脚」を対象に、弾性剛性および降伏耐力の算定式・設計式を、解析的検討を通して構築する予定であったが、世界的な情勢の変化および研究の進行をふまえ、「露出柱脚」のみを対象とし、解析的検討と併せて載荷実験を実施することで、露出柱脚の弾性剛性の算定式の構築を構築する。

4. 研究成果

(1)はじめに

鋼構造柱脚である露出柱脚は、図1に示すようにベースプレート・無収縮モルタル・アンカーボルト・鉄筋コンクリート造基礎で構成され、それぞれの要素に変形が生じる。本研究では、これらを下記の3種類に大別し、それぞれを分析・算定することで、弾性剛性の算定を行った。

- ①アンカーボルトの伸び変形
- ②引張側ベースプレートの面外変形
- ③圧縮側ベースプレートの面外変形と基礎の支圧変形

構築した弾性剛性 K の算定式を図1中に示す。算定式中の「 $ab\delta_L/T_L$ 」は分類①、「 $bp\delta_L/T_L$ 、 T_J/T_L 、 T_G/T_L 」は分類②、「 $c\delta/C$ 、 d_c 」は分類③におおよそ対応しており、これらを後述で分析することで、弾性剛性 K の算定が可能となる。なお、上記3種類のうちの分類①のみに着目して算定した式²⁾に、実験結果との対応を踏まえて設定した補正係数を乗じたものが、文献1)などに弾性剛性算定式として掲載され、現在広く用いられている。

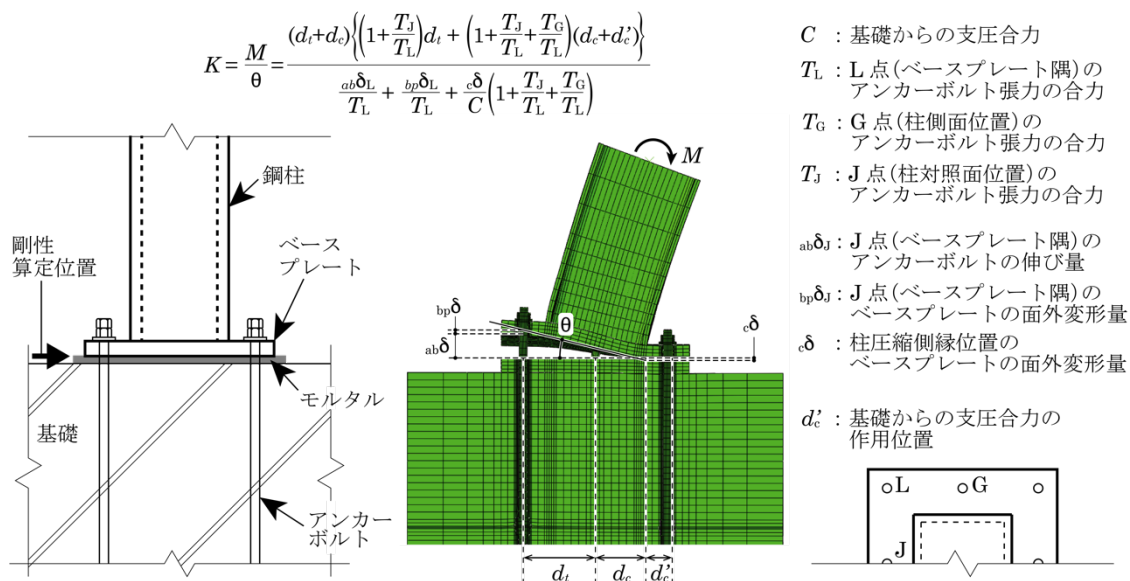


図1 露出柱脚の概要と弾性剛性の算定式

(2) 荷重実験と有限要素法解析

前述した①～③の挙動を分析するために、荷重実験と有限要素法解析を行った。検討一覧を表1に、荷重装置の概要を図2に示す。また、荷重実験結果と有限要素法解析結果から求めたベースプレートの面外変形を比較して図3に示す。圧縮側は面外変形を伴いながら基礎に沈み込むような変形が生じ、引張側はアンカーボルトの張力に伴う面外変形が生じていることが分かる。

表1 検討一覧

検討名称	ベースプレート 厚さ	ベースプレート 幅	アンカーボルト 本数	実施
T36-4,8	36mm	650mm	4, 8	実験 解析
T50-4,8	50mm			
A40-4,8	40mm	650mm	4, 8	解析
A50-4,8	50mm			
A60-4,8	60mm			
A70-4,8	70mm			
B50-4,8	50mm			
B70-4,8	70mm	590mm	4, 8	解析
C50-4,8	50mm	710mm	4, 8	
C70-4,8	70mm		4, 8	

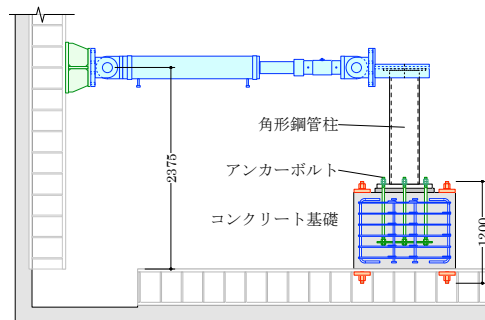


図2 試験体と荷重装置

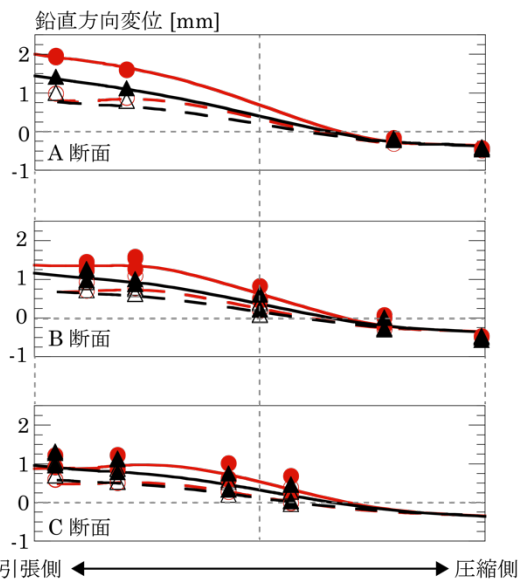
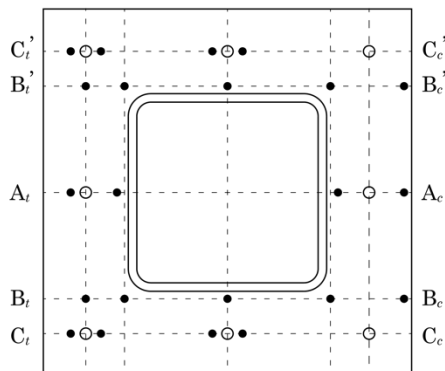


図3 ベースプレートの面外変形

(3) ベースプレートの面外変形の分析・算定式の構築

上記(2)の検討をおよび文献3)と4)をふまえたベースプレートのモデル化を図4に示す。分類②の引張側ベースプレートの面外変形は、アンカーボルト位置を考慮した複数の梁から成る交差梁モデルにより、分類③の圧縮側ベースプレートと基礎の変形は、基礎をウィンクラーばねでモデル化した弾性床上梁モデルにより、それぞれモデル化した。

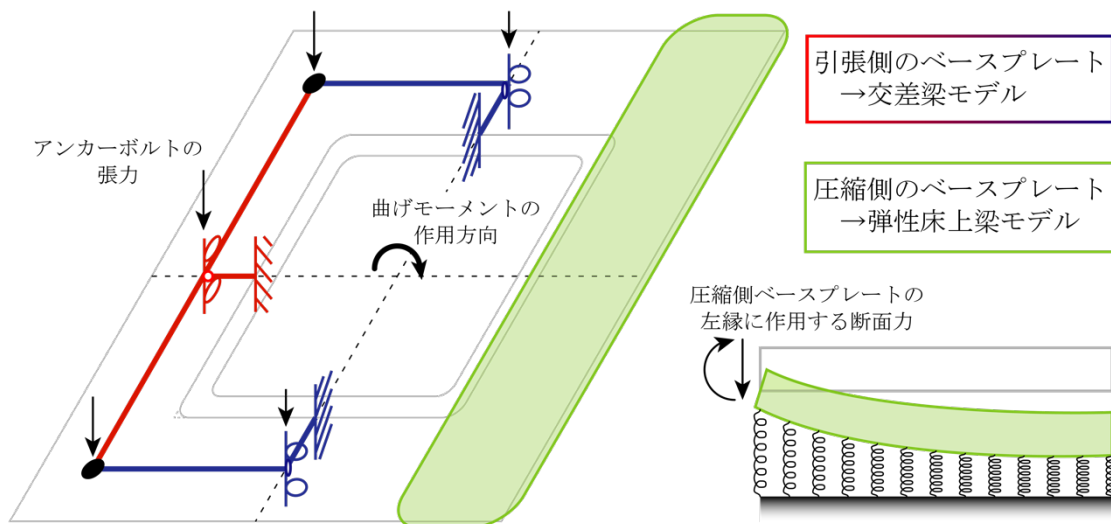


図4 ベースプレートの面外変形のモデル化

(4) 弾性剛性の算定と解析結果との比較

上記(3)のモデルを用いて各要素の変形に関する立式を行い、前述の算定式中に含まれる「 $b_p \delta_L / T_L$, δ / C , T_j / T_L , T_G / T_L , d_c 」を求めた。また、現在広く使用されている弾性剛性算定式の考え方に倣い、アンカーボルトの伸び変形にかかる「 $ab \delta_L / T_L$ 」を求めた。これらを用いることで、弾性剛性 K の算定が可能となった。表 1 に示した解析 A~C の全 16 通りの柱脚に対する弾性剛性算定結果を図 5 に示す。また、文献 1) などに示されている既往の算定式による算定結果を図 5 に併記する。図 5 から明らかなように、本研究の手法による算定結果の方が、既往の研究の算定結果に比べ、多くの場合で解析結果と良い対応を示す結果が得られた。

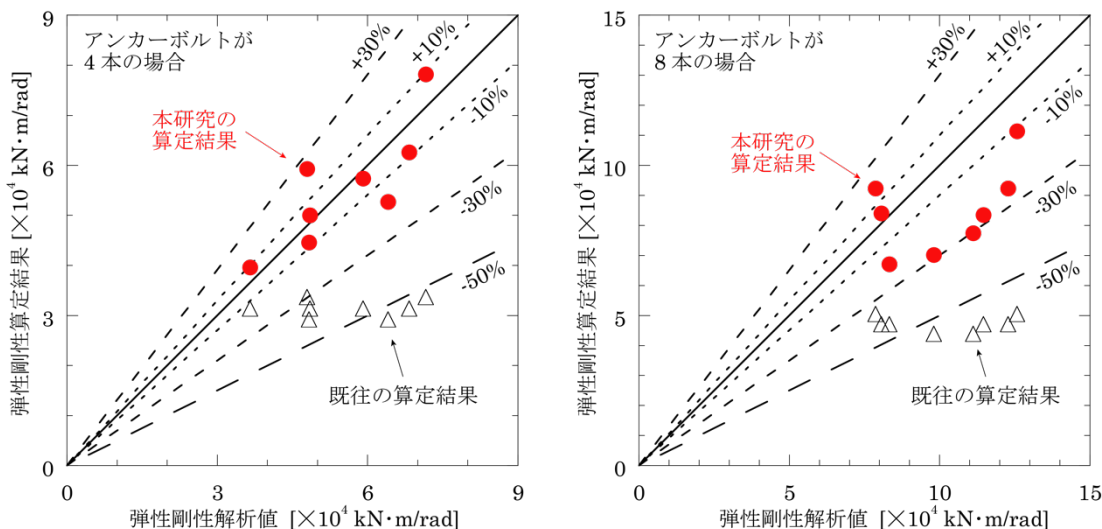


図 5 弾性剛性の算定結果の検証

(5) 成果の位置づけと今後の展望

図 5 に示すとおり、既往の算定式による算定結果に比べ高い精度で弾性剛性を算定することが可能となった。これにより、中低層建物の応答をより実際に近い精度で算定することが可能となったと考えられる。ただし、現状の算定式は、算定に必要な変数が多く、既往の算定式に比べ煩雑であることは否めない。現時点でもいくつかの変数を簡単に算定する近似手法を検討しているが、実務での使用を想定した算定式の簡略化が今後の課題と考えている。また、既往の算定式でもある程度の精度で算定できる場合があることをふまえ、算定式の簡略化だけでなく、要素寸法に応じた簡便な算定方法の構築も、今後の課題と考えている。

[参考文献]

- 1) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，2021
- 2) 秋山宏，黒沢稔，和国信之，西村功：鋼構造露出型柱脚の強度と変形，日本建築学会論文報告集，第 342 号，pp.46-54，1984
- 3) 宮坂博信，新井聡，内山政彦，山田丈富，橋本篤秀：露出型固定柱脚構成要素の弾塑性挙動解析手法に関する研究（その 1）曲げモーメントのみが作用する柱脚，日本建築学会構造系論文集，第 66 巻，第 550 号，pp.167-174，2001
- 4) Keiichi Hayashi：Theorie des Trägers auf elastischer Unterlage und ihre Anwendung auf den Tiefbau nebst einer Tafel der Kreis und Hyperbelfunktionen，Springer，1921

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 0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 荒井りらこ, 高塚康平	4. 巻 構造
2. 論文標題 露出柱脚のベースプレートの面外変形に関する解析的研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 949-950
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 無
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 高塚康平, 荒井りらこ	4. 巻 構造
2. 論文標題 露出柱脚の弾性剛性に及ぼす基礎コンクリートの影響に関する解析的研究, その1 解析概要および結果	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 849-850
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 無
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 荒井りらこ, 高塚康平	4. 巻 構造
2. 論文標題 露出柱脚の弾性剛性に及ぼす基礎コンクリートの影響に関する解析的研究, その2 弾性剛性の算定	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 851-852
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 無
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 荒井りらこ, 高塚康平	4. 巻 第61巻
2. 論文標題 露出柱脚のベースプレートの面外変形に関する解析的研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会近畿支部研究報告集	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 無
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 荒井りらこ, 高塚康平	4. 巻 第60号
2. 論文標題 露出柱脚の弾性剛性に及ぼす基礎コンクリートの影響に関する解析的研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会近畿支部研究報告集	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 無
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1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 荒井りらこ
2. 発表標題 露出柱脚のベースプレートの面外変形に関する解析的研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

高塚康平 経歴&研究業績 http://www.steel.archi.kyoto-u.ac.jp/faculty/takatsuka/index.html

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
---------	---------