

博士学位論文

(内容の要旨及び論文審査の結果の要旨)

	KITO Kazuki
氏名	木藤 一輝
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博 甲 第 69 号
学位授与	令和 7 年 9 月 19 日
学位授与条件	学位規程第 3 条第 3 項該当
論文題目	応力度分布に基づく山形鋼ブレース接合部の接合部耐力の評価方法
論文審査委員	(主査) 教授 薩川 恵一 ¹ (審査委員) 教授 鈴木 森晶 ² 講師 巽 信彦 ¹

論文内容の要旨

応力度分布に基づく山形鋼ブレース接合部の接合部耐力 の評価方法

本論文は、山形鋼ブレース接合部の応力度分布に基づく接合部耐力に関する研究を行ったものである。大空間を構成する屋内運動場などの低層の鉄骨造建築物では、人や物資などの収容力が高いことから災害時に避難所として利用され、防災拠点としての機能を発揮するためには高い耐震性能が要求される。このような建築物では、梁間方向をラーメン構造とし、桁行方向に引張ブレース構造とすることが一般的である。引張ブレース構造とは、ブレース材にターンバックルや等辺山形鋼を用いた圧縮力の負担を期待しない引張ブレースによって、地震力(水平力)に抵抗する構造形式である。よって、ブレース構造ではブレース材が主要な耐震要素のため、ブレースの性能を十分に発揮できるような接合部とする必要がある。よって、弾性限耐力に相当するブレース接合部の降伏耐力、および保有耐力接合の条件を満たすための最大耐力を正確かつ簡便に評価できることが望ましい。

現在の設計指針である鋼構造接合部設計指針では、ブレース接合部の最大耐力の算定について、突出脚を有する断面を使用する場合に偏心曲げを伴う引張材として計

算するのが煩雑であるため、ボルト列数に応じた無効長さを決定する簡易的な手法が採用されている。一方、山形鋼ブレース接合部を対象とした接合部耐力に関する既往の研究では、応力方向のボルト列数に加えて、面外偏心距離、面内偏心距離、継手長さ(第一ボルトから最終ボルトまでの接合部の長さ)などが接合部耐力に影響することが明らかにされている。また、国外においても山形鋼ブレース接合部の接合部耐力を検討した研究が多数実施されており、継手長さや面外偏心距離を採用した評価式を提示している。

山形鋼ブレースの最大耐力の設計式および評価式が多く存在しており、これまでに提案されてきた評価式は実験結果と実験変数に基づいて導出されている。その理由は、載荷実験ではボルトの締め付けなどの制約から同一断面における面外および面内偏心距離の影響を個別に検討できないことや、実験におけるひずみ計測では断片的な情報しか得ることができず、接合部の応力度分布を捉えることが困難なためである。数値解析では、実験で検討できない条件もモデル化でき、また応力度分布を把握することができるため、既往の研究よりも精度良く評価できる可能性がある。

本論文では、高力ボルトの締め付けや相互間の接触によって実際には再現不可能な条件も含めて数値解析モデルを構築し、面外および面内偏心距離が接合部の降伏耐

1 愛知工業大学 工学部 建築学科（豊田市）

2 愛知工業大学 工学部 社会基盤学科（豊田市）

力と最大耐力に及ぼす影響を応力度分布に基づいて検討する。そして、得られた応力度分布の検討に基づいた接合部の降伏耐力と最大耐力の評価式の導出も実施する。

本論文は5章で構成され、以下に各章の内容を示す。

第1章では、本研究の背景を述べて、本研究に関する既往の研究について整理する。そのうえで、ブレース接合部に関する課題点を挙げて、本研究の目的と論文の構成を示す。第2章では、山形鋼ブレース接合部の偏心距離と継手長さに着目した単調引張試験を実施して、降伏耐力と最大耐力に与える影響について確認する。本章では、断面サイズ、継手長さ、面外および面内偏心距離をパラメータとした載荷実験を行い、各種パラメータが及ぼす影響について検討した。さらに、得られた実験結果とこれまでに既往研究で提案された評価式との比較検討も実施する。

第3章では、数値解析を実施して得られた応力度分布に基づく山形鋼ブレース接合部の降伏耐力の評価式を提案した。載荷実験と同様に、継手長さ、面外および面内偏心距離が降伏耐力時の応力度分布に与える影響について確認した。応力度分布に基づいた力学モデルを構築し、降伏耐力時の評価式を提案している。

第4章では、数値解析を実施して得られた応力度分布に基づく山形鋼ブレース接合部の最大耐力の評価式の構築を実施する。3章と同様に、継手長さと面外および面内偏心距離をパラメータとして、最大耐力時における応力度分布を確認する。応力度分布に基づく最大耐力の評価式を提案する。

第5章では、各章で得られた研究成果についてまとめる。

以上の検討より、本論文では、数値解析における応力度分布に基づいて、山形鋼ブレース接合部の降伏耐力と最大耐力の評価式を提案した。載荷実験では、ボルトの締め付け等の制約から検討できない面外偏心距離のみを有するモデルを構築し、面外偏心距離と面内偏心距離の影響を分けて検討することができた。その結果に基づき、実験結果を安全側に評価できる評価式を構築できることを示した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、山形鋼ブレース接合部の応力度分布に基づく接合部耐力に関する評価方法を期した内容である。大空間を構成する屋内運動場などの低層の鉄骨造建築物では、人や物資などの収容力が高いことから災害時に避難所として利用され、防災拠点としての機能を発揮するためには高い耐震性能が要求される。このような建築物では、梁間方向をラーメン構造とし、桁行方向に引張ブレース構造とすることが一般的である。引張ブレース構造とは、ブレース材にターンバックルや等辺山形鋼を用いた圧縮力の負担を期待しない引張ブレースによって、地震力(水平力)に抵抗する構造形式である。ブレース構造ではブレース材が主要な耐震要素のため、ブレースの性能を十分に発揮できるような接合部とする必要がある。そこで弾性限耐力に相当するブレース接合部の降伏耐力、および保有耐力接合の条件を満たすための最大耐力を正確に把握することが重要であり、設計者の立場からは簡便に評価できることが望ましい。

山形鋼ブレース接合部耐力を対象とした研究では、国内外継手長さと偏心距離を変数とした山形鋼ブレース接合部の接合部耐力を検討した研究が多く行われており、応力方向のボルト列数に加えて、構面外偏心距離、構面内偏心距離、継手長さ(第一ボルトから最終ボルトまでの接合部の長さ)などが接合部耐力に影響することが明らかにされている。そして山形鋼ブレースの最大耐力の設計式および評価式が多く存在しており、これまでに提案されてきた評価式は実験結果と実験変数に基づいて導出されている。現在の設計指針である鋼構造接合部設計指針では、ブレース接合部の最大耐力の算定について、突出脚を有する断面を使用する場合に偏心曲げを伴う引張材として計算するのが煩雑であるため、ボルト列数に応じた無効長さを決定する簡易的な手法が採用されている。

既往の研究における山形鋼ブレース接合部耐力を評価するための手法は、載荷実験からのアプローチであり、数十年前に使用された実験装置では装置能力の制限から、小さい断面でしか扱えておらず、構面外偏心距離、構面内偏心距離の実験変数が接合部耐力に与える影響を捉えることは難しかったと思われる。また近年では建築構造

の DX 化が進み、有限要素法を用いた数値解析において、載荷実験と実施したようなトレースが可能となっていることから、実験で検討できない実験変数も対象とすることが可能となり、断面内の力の流れが可視化可能で応力度分布を把握することができるため、構面外偏心距離、構面内偏心距離による曲げモーメントを確認することが可能となり、既往の研究よりも精度良く評価できる可能性がある。

本論文では、構面外および構面内偏心距離が接合部の降伏耐力と最大耐力に及ぼす影響を応力度分布に基づいて検討する。そして、得られた応力度分布の検討に基づいた接合部の降伏耐力と最大耐力の評価式の導出も実施する。

本論文は 5 章で構成され、以下に各章の内容を示す。

第 1 章では、本研究の背景を述べて、本研究に関する既往の研究について整理する。そのうえで、ブレース接合部に関する課題点を挙げて、本研究の目的と論文の構成を示した。

第 2 章では、山形鋼ブレース接合部の偏心距離と継手長さに着目した単調引張試験を実施して、降伏耐力と最大耐力に与える影響について確認する。本章では、断面サイズ、継手長さ、面外および面内偏心距離をパラメータとした載荷実験を行い、各種パラメータが及ぼす影響について検討した。さらに、得られた実験結果とこれまでに既往研究で提案された評価式との比較検討も実施した。

第 3 章では、有限要素法を用いた数値解析を行い、許容応力度設計で使用する山形鋼ブレース接合部の降伏耐力の評価式を提案した。載荷実験と同様に、継手長さ、面外および面内偏心距離が降伏耐力時の応力度分布に与える影響について確認した。応力度分布に基づいた力学モデルを構築し、降伏耐力時の評価式を提案した。

第 4 章では、有限要素法を用いた数値解析を行い、終局耐力設計で使用する山形鋼ブレース接合部の最大耐力の評価式の構築を実施する。3 章と同様に、継手長さと面外および面内偏心距離をパラメータとして、最大耐力時における応力度分布を確認した。応力度分布に基づく最大耐力の評価式を提案した。

第 5 章では、各章で得られた研究成果についてまとめた。

本論文では、数値解析における応力度分布に基づいて、山形鋼ブレース接合部の降伏耐力と最大耐力の評価式を提案した。載荷実験では、ボルトの締め付け等の制約から検討できない面外偏心距離のみを有するモデルを構築し、面外偏心距離と面内偏心距離の影響を分けて検討することができた。その結果に基づき、実験結果を安全側に評価できる評価式を構築できることを示している。

本研究で得られた知見は、許容応力度設計及び終局耐力設計における山形鋼ブレース接合部の降伏耐力・最大耐力の評価の精度が高まり、今後の耐震補強方法への波及も期待されることから工学的に高い価値が認められる。以上のことから当該論文が生産・建設工学専攻の博士論文の水準に十分に達していると判定する