Title	Seismic Performance and Design of Japanese Steel Chevron-Braced Moment-Resisting Frames [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Lopes Dias, Ilanildo Renato
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15373号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/89492
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Lopes_Dias_Ilanildo_Renato_review.pdf, 審査の要旨

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　　博士 (工学)　　　　氏名　　Lopes Dias Ilanildo Renato

審査担当者　主　査　教　授　　岡崎 太一郎
　　　　　　副　査　教　授　　菊地 優
　　　　　　副　査　准教授　　高井 伸雄

学位論文題名

Seismic Performance and Design of Japanese Steel Chevron-Braced Moment-Resisting Frames
(ブレース付ラーメン鋼架構の耐震性能と設計)

ブレース付鋼構造は、地震力に抵抗する水平剛性と耐力を確保しやすい優位性のために、広く一般的に用いられる耐震構造型式である。ブレースは、空間配置の要求に応えるために、K 形に配置される場合が多い。わが国に多い、ブレースをラーメン構造の中に配置する型式は、諸外国と比較すると特異であり、本論文では特に、ブレース付ラーメン鋼構造と称する。構造系の不静定性と、ブレースの複雑な履歴挙動のために、K 形ブレース付ラーメン鋼構造の塑性崩壊機構は、載荷履歴に大きく依存する。この構造型式において、K 形ブレースが接合する梁は、引張・圧縮ブレースの間の不釣合力と、ラーメン構造としての曲げモーメントの両方を生じるために、設計の難易度が高い。意外にも、わが国の設計基・規準は、K 形ブレースが接合する梁や、ブレース接合部の詳細などの鍵となる設計要素を含めて、ブレース付鋼構造の設計に十分な言及をしていない。設計規定や設計手引きが十分でなく、構造設計者の裁量で様々な設計が実施されてきたことが、ごく最近の被害地震でも、ラーメン鋼構造の構造被害が目立つ原因だと考えられる。

この状況に鑑みて、本研究は、下記の目的を掲げた:(1) K 形ブレース付ラーメン鋼構造の地震時挙動に対する理解を深め、その設計上の問題点を明らかにすること、(2) 同構造について、各部材の耐力要求を導くこと、(3) K 形ブレースが接合する梁について、ブレースが伝達する不釣合力、座屈に伴ってブレースが伝達する二次的な力、ラーメン構造として生じる曲げモーメントに対して、適切な構面外補剛則を導くこと、(4) わが国の設計規範に則った K 形ブレース付ラーメン鋼構造の実性能を検証すること。この目的を達成するために、三次元非線形有限要素法解析と、ファイバー要素による二次元非線形時刻歴応答解析、の二種類の数値解析を実施した。前者に、汎用商用ソフトウェアの ADINA、後者に、オープンソース・ソフトウェアの OpenSEES を用いた。いずれの解析も、構造実験で得た応答と観察を十分な精度で再現できることを検証した。

本論文は、全 7 章で構成されている。

第 1 章は、研究の背景と範囲、問題意識、目的を述べている。

第 2 章は、関連文献に述べられる実験的・解析的検討や、設計基・規準を分析し、現状の問題点を抽出している。

第 3 章は、K 形ブレース付ラーメン鋼構造の塑性崩壊機構と、その機構に対応した梁の耐力要求

を述べている。同構造を表現する三次元非線形有限要素法モデルを構築し、実験データに対して正確性と信頼性を検証した。そのモデルを用いて、部材寸法やブレース接合部などの設計の選択肢を媒介変数とした 16 のモデルを構築し、3 種類の載荷履歴 (単調載荷、対称繰返し載荷、非対称繰返し載荷) を与えて、詳細な解析を実施した。解析結果に基づいて、塑性崩壊機構の適性と適用範囲を検証した。

第 4 章は、K 形ブレースが接合する梁に要求される構面外補剛を述べている。第 3 章と同じ有限要素法モデルに基づいて、ブレース接合部 (ブレースの座屈方向が構面内・構面外、ブレース端の回転拘束が大きい・小さい) と構面外補剛 (補剛点に設置する回転剛性と水平剛性、補剛点の位置) を媒介変数とした 16 のモデルを構築し、詳細な解析を実施した。解析は、ブレースが構面外に座屈し、かつ、そのブレースの回転拘束が大きい場合に、梁が大きく横ねじれ変形する構造実験の結果を再現した。ただし、構面外補剛が不十分な場合に、梁の横ねじれ変形が極端に進行しても、構造系の履歴挙動にほとんど影響しないことを確認した。この解析結果から、ブレースと梁の交点を構面外補剛することで、十分に梁の横ねじれ変形を制御できることと、その補剛に必要な回転剛性と水平剛性を明らかにした。

第 5 章は、わが国の設計基準に合致した設計手順を述べ、その手順に基づいて、4 層、8 層、12 層の K 形ブレース付鋼構造建物の設計例を示している。ただし、(a) 近年まで推奨された、場合によっては、理論的に不適切なブレース付ラーメン鋼構造、(b) 第 3 章で導いた耐力要求に基づくブレース付ラーメン鋼構造、(c) 米国等の諸外国で主流の concentrically-braced frames (CBFs)、つまり、ブレースだけに地震荷重を負担させ、接合部を極力単純接合とする K 形ブレース付鋼構造、の 3 種類を設計した。

第 6 章は、第 5 章に示した設計例について、それぞれの耐震性能を検証している。ファイバー要素による二次元非線形モデルを構築し、単調載荷挙動と、28 の実地震を用いた時刻歴応答解析を実施した。例外なく、全てのモデルが、二次設計に対応するレベル 2 地震を受けても、平均的に層変形角 0.02 ラジアン以内にとどまり、わが国の設計要求に対して十分な耐震性能を示した。3 種類の設計を比較すると、米国式の CBF が最も耐震性能で優れたが、他の 2 種類と比較してより多くの鋼材重量を必要とした。

第 7 章は、研究の結論、その結論の適用範囲、今後の検討課題を整理している。

これを要するに、本論文は、耐震構造として広く一般的に用いられる K 形ブレース付ラーメン鋼構造を対象として、その挙動と性能限界を明らかにし、適切な耐震性能と信頼性を確保するための設計技術を示している。これらの知見は、建築鋼構造の耐震安全性と経済性に寄与し、構造工学と耐震工学に対して貢献するところ大なるものがある。よって、著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。