



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Seismic Performance of Steel Moment-Resisting Frames with Spines Examined by Shake-Table Tests
Author(s)	QIE, Yi
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16623号
Issue Date	2025-09-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16623
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/98233
Type	doctoral thesis
File Information	QIE_Yi_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



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 QIE Yi

審査担当者 主 査 教 授 岡崎 太一郎

副 査 特任教授 菊地 優

副 査 教 授 高井 伸雄

学位論文題名

Seismic Performance of Steel Moment-Resisting Frames with Spines Examined by Shake-Table Tests

(心棒を備えた鋼構造ラーメンの耐震性能を検証する振動台実験)

建築構造架構 Frame は、地震による変形が特定層に集中しないように、全層でバランスよく塑性変形するように設計される。しかし、設計基・規準を満足する架構であっても、変形集中は現実的に起こり得る。この古典的な設計問題を解決する方法として、架構に心棒 Spine を接合する設計が注目されている。心棒とは、複数層または建物高さいっぱいに連続で、大きな剛性と耐力をもち、基礎にピン接合された鉛直要素をいう。重力荷重を支持せず、地震時にだけ機能する付加要素である。理想として、心棒は、架構の水平耐力に寄与せず、架構の変形を高さ方向に分散する効果だけを担う。耐震補強例や新設例も報告されており、Frame-Spine の設計思想は世界中に普及しつつある。ところが、動的特性に注目すると、心棒を接合された架構は、エネルギー吸収機構を形成したあと、一次モードの応答を低減されるが、見かけ上、弾性状態にとどまるために、高次モードの応答をほとんど低減されない。高次モードがもたらす各層の加速度応答と、心棒に作用する水平力は、天井知らずに増大し得る。Frame-Spine に固有の高次モードは、地震動に依存するために、実務設計に用いられる静的解析で検証不可能なばかりか、動的応答解析でも評価しにくい。こうした心棒の欠点を補完するために、心棒と架構の間で伝達される力を制御する接合要素 Force-Limiting Connections (FLCs) を付ける方法が提案されている。伝達力を制御し、若干の相対変位を許容することで、架構の高次モードを抑制する効果を期待できる。ただ、Frame-Spine も Frame-Spine-FLC も、理論や数値解析で検証された概念で、実測や構造実験によって実証されていない。本論文は、上記の課題認識のもとで、Frame-Spine と Frame-Spine-FLC の実大振動台実験を実施し、その構造特性と振動特性を分析した成果をまとめたものである。

本論文は、全 7 章で構成される。

第 1 章は、研究の背景と範囲、目的と、論文の全体構成を述べている。

第 2 章は、関連する既往文献の知見を整理し、課題を抽出している。

第 3 章は、防災科学技術研究所 E-ディフェンス震動台で実施された、実大振動台実験の計

画を述べている。試験体は、4 層の鋼構造ラーメンと心棒として設計した梁、2 種類の FLC で構成された。Frame-Spine 試験体は、ラーメンと心棒をラーメンの各床で緊結して構成された。Frame-Spine-FLC 試験体は、屋根以外の緊結を外して、2 階床を T 字形鋼材、4 階床を U 字形ダンパーで接合して構成された。大小 6 回の本加振と、8 回のホワイトノイズ加振を行い、多数の計測機器を設置して、試験体の応答が詳細に記録された。

第 4 章は、振動台実験の結果を述べ、実験結果に対して較正した Frame の数値モデルを加えて、Frame、Frame-Spine と Frame-Spine-FLC の応答を比較している。心棒がない Frame は、小加振でも変形集中を来して倒壊するが、心棒を接合した Frame-Spine 試験体は、全層に変形を分散した。Frame-Spine-FLC 試験体は、Frame-Spine 試験体と比較して、変形が不均等になった反面、加速度応答と心棒に作用するせん断力を低減した。心棒と FLC の効果を実証し、定量的に評価している。

第 5 章は、振動台実験から得た弾性・弾塑性応答データと、モード解析法を述べている。4 つの振動台実験を選択して、各試験体の構造特性、加振内容、同列に比較するためのデータ処理を述べている。また、弾塑性応答に適用しうる、各種のモード同定法と時間周波数解析法を整理している。

第 6 章は、モード解析の結果を述べ、それに基づいて、Frame-Spine と Frame-Spine-FLC に固有の振動特性を検証している。5 つの実験データに適用した結果から、モード解析法の長所と短所を比較し、線形理論に基づくモード解析法を非線形系に適用する限界を分析している。近似解ではあるものの、モード解析から、共通の分析結果を得ている。Frame-Spine 試験体は、塑性化後に高次モードを励起しやすい特徴をもっていたこと、Frame-Spine-FLC 試験体における FLC は、塑性化後の高次モードを低減したこと、しかし、Frame-Spine 試験体も Frame-Spine-FLC 試験体も、他の試験体と比較して、地震動特性の影響を受けやすかったことを結論づけている。

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、建築構造物の耐震技術について、従来よりも高い信頼性で安心・安全あるいは損傷制御を実現できる、新しい構造型式の可能性を実証したものである。建築鋼構造の耐震安全性と信頼性、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。