

建築研究資料

Building Research Data

No. 206

May 2023

長周期地震動に対する超高層鉄骨造建築物の 耐震安全性検証方法に関する検討

～柱、梁部材の疲労性能評価式と

建築物の限界最大層間変形角に基づく耐震安全性検証方法～

Study on Seismic Safety Evaluation Method for Super-High-Rise Steel Buildings
against Long-Period Earthquake Ground Motions

～ Seismic Safety Evaluation Method Based on the Fatigue Performance Evaluation Formula
for Column and Beam Members and the Limit of Maximum Inter-Story Drift Angle of Buildings ～

長谷川隆, 福元敏之, 澤本佳和, 黒川泰嗣,
上瀧敬太, 鈴木芳隆, 安本宏, 城戸將江,
森田高市, 岩田善裕, 三木徳人

Takashi Hasegawa, Toshiyuki Fukumoto, Yoshikazu Sawamoto, Yasushi Kurokawa,
Keita Kotaki, Yoshitaka Suzuki, Hiroshi Yasumoto, Masae Kido,
Koichi Morita, Yoshihiro Iwata, Norihito Miki

国立研究開発法人 建築研究所

Published by

Building Research Institute

National Research and Development Agency, Japan

国立研究開発法人建築研究所、関係機関及び著者は、
読者の皆様が本資料の内容を利用することで生じた
いかなる損害に対しても、一切の責任を負うものでは
ありません。

はしがき

現在の超高層建築物等の性能評価で用いられている設計用の長周期地震動は、地域や周期によっても、告示波の2倍程度の速度応答スペクトルとなる場合があり、通常のクライテリア（塑性率2、最大層間変形角1/100）で超高層鉄骨造建築物の設計を行うと、これまでより大きな断面が必要となり、設計が困難となる場合もあると考えられる。そのため、このような地震動に対して、梁部材や柱部材の限界性能に基づいた設計を行うことにより、通常のクライテリアを用いない設計法が要望されている。このような場合、建築物の最大層間変形角が現状に比べて大きくなる可能性があり、骨組応答性状を把握するとともに倒壊までの余力も検討しておく必要がある。

平成22～24年度の国土交通省建築基準整備促進事業（以下、「基整促」という）に於ける検討では、一般的な超高層建築物が梁降伏型で設計されていることを念頭に、梁端部の多数回繰返し実験を主に実施し、柱部材は基本性能を把握するに留まっていた。そのため、現状では鉄骨柱部材やCFT（コンクリート充填鋼管）柱部材には設計用疲労曲線が無く、長周期地震動により建築物が大きな応答変形を生じている状態での安全性検証を行う上で、技術的な知見が十分ではない。

これらの問題を解決するため、主に超高層鉄骨造建築物を対象に平成30(2018)年度から3カ年にわたり、基整促として「S29 長周期地震動に対する超高層鉄骨造の安全性検証法に関する検討」の調査研究が実施された。建築研究所でもこの課題に対応するために、指定課題として「過大入力地震に対する鋼構造建築物の終局状態の評価手法と損傷検知に関する研究（平成28～30年度）」及び「極大地震に対する鋼構造建築物の倒壊防止に関する設計・評価技術の開発（令和1～3年度）」を実施し、上記の基整促の事業主体と共同研究を締結して検討を進めた。建築研究所はこの共同研究で、調査研究の計画策定や成果の取りまとめに関して主たる役割を果たし、最終成果として、鉄骨及びCFT柱部材の疲労性能評価式を提案するとともに建築物に一定の余力を確保するための限界最大層間変形角の設定方法を提案した。

本資料は、上記の基整促「S29 長周期地震動に対する超高層鉄骨造の安全性検証法に関する検討」において、平成30年度～令和2年度の3カ年で実施した調査の報告書を再構成し、調査内容全体がよりわかりやすくなるように取りまとめたものである。本資料が、長周期地震動に対する超高層鉄骨造建築物の構造設計を行う設計者や耐震安全性の評価を行う性能評価機関等において、基礎資料として有効に活用され、これまで以上に信頼性と構造安全性の高い鉄骨造建築物の建設に役立てられることを期待する。

令和5年5月

国立研究開発法人 建築研究所

理事長 澤地孝男

長周期地震動に対する超高層鉄骨造建築物の耐震安全性検証方法に関する検討

～柱、梁部材の疲労性能評価式と 建築物の限界最大層間変形角に基づく耐震安全性検証方法～

長谷川隆¹⁾，福元敏之²⁾，澤本佳和²⁾，黒川泰嗣³⁾，
上瀧敬太²⁾，鈴木芳隆⁴⁾，安本宏⁴⁾，城戸將江⁵⁾，
森田高市¹⁾，岩田善裕⁶⁾，三木徳人⁶⁾

概 要

本研究では、鉄骨柱部材とCFT（コンクリート充填鋼管）柱部材を対象として、設計用疲労曲線式を提案するための実験や解析的検討を行なった。また、柱や梁部材の破断や耐力劣化などを考慮し、建物の倒壊までの追跡が可能な地震応答解析を行なって、設計用の地震動よりも大きな地震動が作用した場合でも、一定の余力が確保されるような方策について検討した。この調査検討から得られた結果を以下にまとめて示す。

- 1) 鉄骨柱部材については、繰り返し荷重が作用する角形断面鋼管柱を対象に、変動軸力や変動振幅の特性に着目した繰り返し載荷実験やFEM解析を実施し、一定軸力での特性、変動軸力での特性、及び、任意の変位振幅での特性を把握し、それらに基づく疲労性能評価式を提案した。
- 2) CFT柱部材については、CFT柱部材の多数回繰り返し載荷実験として、変動変位振幅や変動軸力の影響などについて検討し、これらの結果に基づいて、実験下限値を与える疲労性能評価式を提案した。
- 3) 上記の疲労性能評価式を用いた鉄骨柱部材とCFT柱部材の耐震安全性評価手法を提案した。また、設計地震動より大きい地震動が作用した場合でも建物が倒壊しないように、最大層間変形角の応答限界値を設定する方法を提案した。

1) 建築研究所，2) 鹿島建設技術研究所，3) 鹿島建設，4) 小堀鐸二研究所，5) 北九州市立大学，6) 国土技術政策総合研究所

Study on Seismic Safety Evaluation Method for Super-High-Rise Steel Buildings against Long-Period Earthquake Ground Motions

~ Seismic Safety Evaluation Method Based on the Fatigue Performance Evaluation Formula for Column and Beam Members and the Limit of Maximum Inter-Story Drift Angle of Buildings ~

Takashi Hasegawa¹⁾, Toshiyuki Fukumoto²⁾, Yoshikazu Sawamoto²⁾, Yasushi Kurokawa³⁾,
Keita Kotaki²⁾, Yoshitaka Suzuki⁴⁾, Hiroshi Yasumoto⁴⁾, Masae Kido⁵⁾,
Koichi Morita¹⁾, Yoshihiro Iwata⁶⁾, Norihito Miki⁶⁾

Abstract

In this study, experimental tests and analytical studies were conducted to propose the design fatigue curve formula of steel rectangular hollow section (RHS) column and CFT (concrete-filled steel tube) column. And, earthquake response analysis of model frames considering the fracture and deterioration of column and beam members was performed to examine ultimate-limit performance of super-high-rise steel buildings against the long-period earthquake ground motions. The seismic safety evaluation method to ensure a certain deformation capacity even in the event of an earthquake ground motion larger than the design earthquake ground motion was also investigated. Following results were obtained in the study.

- 1) As for RHS column, cyclic loading tests and FEM analysis were conducted to investigate the effect of variable axial force and variable amplitude on columns under cyclic loading. From the result of these tests, seismic performance of RHS columns under constant axial force, variable axial force, and variable amplitude was clarified, and the fatigue performance evaluation formula for RHS column was proposed.
- 2) As for CFT column, cyclic loading tests of CFT columns were conducted to investigate the effect of variable amplitude and variable axial force. Based on these results, the fatigue performance evaluation formula that gives the lower limit of the experiment was proposed.
- 3) In this study, the seismic safety evaluation method using the above fatigue performance evaluation formula for steel frame column members and CFT column members was proposed. In addition, we proposed the method of setting the response limit value of maximum inter-story drift angle in order to prevent a building from collapsing even when an earthquake ground motion larger than the design earthquake ground motion acts.

1) Building Research Institute, 2) Kajima Technical Research Institute, 3) Kajima Corporation, 4) Kobori Research Complex Inc., 5) The University of Kitakyushu, 6) National Institute for Land and Infrastructure Management

長周期地震動に対する超高層鉄骨造建築物の耐震安全性検証方法に関する検討

～柱、梁部材の疲労性能評価式と 建築物の限界最大層間変形角に基づく耐震安全性検証方法～

目 次

はしがき	
概要	i
Abstract	ii
第1章 はじめに	1. 1-1
1.1 背景、調査項目及び調査目的	1. 1-1
1.2 各調査項目の具体の検討内容	1. 2-1
1.3 本書の構成	1. 3-1
1.4 調査体制	1. 4-1
第2章 鉄骨柱部材の設計用疲労曲線式の検討	2. 1-1
2.1 鉄骨柱部材の多数回繰り返し載荷実験 (H30 年度実施)	2. 1-1
2.2 設計用疲労曲線と有限要素法を用いた解析可能性の検討 (R1 年度実施)	2. 2-1
2.3 鉄骨柱部材の多数回繰り返し載荷実験と疲労評価の検討 (R2 年度実施)	2. 3-1
2.4 まとめ	2. 4-1
第3章 角形 CFT 柱部材の設計用疲労曲線式の検討	3. 1-1
3.1 既往研究の分析と疲労性能曲線式の検討 (H30 年度実施)	3. 1-1
3.2 角形 CFT 柱部材の多数回繰り返し載荷実験 (R1 年度実施)	3. 2-1
3.3 CFT 柱部材の多数回繰り返し載荷実験と疲労評価の検討 (R2 年度実施)	3. 3-1
3.4 まとめ	3. 4-1
第4章 超高層鉄骨造建築物の地震応答解析に基づく耐震安全性検証法の検討	4. 1-1
4.1 超高層鉄骨造建物の試設計と劣化を考慮した時刻歴応答解析 (H30 年度実施)	4. 1-1
4.2 建物が倒壊するまでの余力の検討と耐震安全性検証の試行 (R1 年度実施)	4. 2-1
4.3 耐震安全性評価法、層間変形角クライテリア等の提案 (R2 年度実施)	4. 3-1
4.4 まとめ	4. 4-1
第5章 おわりに	5-1
謝辞	