

# 建築研究報告

*REPORT OF THE BUILDING RESEARCH INSTITUTE*

No. 155

*March 2024*

極大地震動に対するエネルギー法による  
鉄骨造建築物の耐震安全性評価と計算事例

Seismic Safety Evaluation for Steel Buildings by The Energy Balance Method  
against Huge Earthquake Ground Motions and Calculation Examples

長谷川隆, 荻野雅士, 富澤徹弥, 金城陽介, 植木卓也,  
加藤敬史, 脇田直弥, 松蔭知明, 大内京太郎, 鈴木悠介,  
小坂橋裕一, 一戸康生

Takashi HASEGAWA, Masashi OGINO, Tetsuya TOMIZAWA, Yosuke KANESHIRO, Takuya UEKI,  
Takashi KATO, Naoya WAKITA, Tomoaki MATSUKAGE, Kyotaro OUCHI, Yusuke SUZUKI,  
Yuichi KOITABASHI, Yasuo ICHINOHE

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

今後、発生が懸念されている首都直下地震や巨大海溝型地震などでは、現在の耐震基準上の想定より大きな地震動が発生する可能性がある。このような極大地震動によって建築物は大きな被害が生じる可能性があるため、建築物の終局限界状態の挙動を明らかにして、その評価法や設計法を確立しておく必要がある。特に、鉄骨造建築物では、継続時間の長い地震動で鉄骨部材が繰り返し変形することによって疲労的に破断する可能性があり、そのような現象への対策は急務と考えられる。

現在、中低層建築物の耐震安全性の確認として行われている保有水平耐力等の計算では、繰り返し変形による梁部材の損傷が直接は得られないため、このような繰り返し変形による部材の損傷を適切に評価できる方法が必要と考えられる。そこで、建築研究所では2つの指定課題「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（2016～2018年度）」及び「極大地震動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（2019～2021年度）」を実施して、繰り返し変形による鉄骨部材の損傷を適切に評価できる方法として、エネルギー法告示の計算への適用について検討を行った。

これらの研究課題では、各層の保有性能の算定に関して、繰り返し変形の影響を考慮する方法として部材の疲労性能評価式から各層の保有エネルギーを計算する方法が提案された。この方法は、断層近傍の地震や巨大海溝型地震等の特性の異なる地震動の影響を考慮できるものであり、入力エネルギーの増加係数等が提案された。また、この方法を適用した極大地震動に対する5つの試設計建物の計算事例を作成し、提案した評価方法の有用性を示した。これらの研究成果を、実務設計で活用できるようにするため、2022年度に（一社）日本鋼構造協会に「エネルギー法に基づく鋼構造建築物の耐震安全性評価事例作成小委員会」を設置し、検討が行われた。

本報告は、これらの研究課題等で得られた、繰り返し変形の影響を考慮できるエネルギー法の計算方法とそれを用いた5つの試設計建物の計算事例に関する成果を取りまとめたものである。本報告が、極大地震動に対する鉄骨造建築物の構造設計を行う設計者に有効に活用され、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6年3月

国立研究開発法人 建築研究所

理事長 澤地孝男

# 極大地震動に対するエネルギー法による鉄骨造建築物の耐震安全性評価と計算事例

長谷川隆<sup>1)</sup>，荻野雅士<sup>2)</sup>，富澤徹弥<sup>3)</sup>，金城陽介<sup>4)</sup>，植木卓也<sup>4)</sup>，  
加藤敬史<sup>5)</sup>，脇田直弥<sup>6)</sup>，松蔭知明<sup>6)</sup>，大内京太郎<sup>6)</sup>，鈴木悠介<sup>7)</sup>，  
小坂橋裕一<sup>8)</sup>，一戸康生<sup>9)</sup>

## 概 要

本報告は、今後、発生が懸念されている首都直下地震や巨大海溝型地震など現在の耐震基準上の想定よりも大きな地震動（極大地震動）に対する鉄骨造建築物の耐震対策として、エネルギー法に基づく新たな評価方法を提案し、それを用いた試設計建物の計算事例を取りまとめたものである。以下に、提案された評価方法の概要を示すとともに、5つの試設計建物の検討概要を示す。

### 1) 繰り返し変形を考慮したエネルギー法の計算

鉄骨造建築物では、継続時間の長い地震動で鉄骨部材が繰り返し変形することによって疲労的に破断する可能性があり、鉄骨部材の繰り返し変形の影響を適切に評価できるエネルギー法の計算方法を提案した。提案した計算方法は、梁端部の疲労性能評価式に基づいて、各層において、最初に梁端が破断するまでに当該層が吸収できるエネルギーを層の保有エネルギーとし、層の必要エネルギーと比較することで建物の耐震安全性の検証を行う方法である。また、断層近傍の地震や巨大海溝型地震など、地震動特性に対応したエネルギーの増加倍率を考慮した必要エネルギーの計算方法等を示した。

### 2) 極大地震動に対する5つの試設計建物の耐震安全性の計算事例

本報告で提案されたエネルギー法による耐震安全性評価方法を用いて、5つの試設計した鉄骨造建物（4層事務所ビル、8層事務所ビル、9層事務所ビル、12層事務所ビル、4層物流倉庫）、を対象に、極大地震動に対する耐震安全性の評価計算を行った。これらの試設計建物の計算から、本報告で提案した計算方法を用いることで、入力地震動の特性やレベル、建物の梁端部仕様、ダンパーの挿入、高強度鋼の使用によって、各層の保有エネルギーに対する必要エネルギーの比がどのように変化するかが明確に示すことができ、その有効性を示すことができた。

---

1)建築研究所，2)日本設計，3)明治大学，4)JFE スチール，5)鹿島建設，6)日鉄エンジニアリング，7)日本製鉄，8)日建設計，9)日本鋼構造協会

# Seismic Safety Evaluation for Steel Buildings by The Energy Balance Method against Huge Earthquake Ground Motions and Calculation Examples

Takashi Hasegawa<sup>1)</sup>, Masashi Ogino<sup>2)</sup>, Tetsuya Tomizawa<sup>3)</sup>, Yosuke Kaneshiro<sup>4)</sup>, Takuya Ueki<sup>4)</sup>,  
Takashi Kato<sup>5)</sup>, Naoya Wakita<sup>6)</sup>, Tomoaki Matsukage<sup>6)</sup>, Kyotaro Ouchi<sup>6)</sup>, Yusuke Suzuki<sup>7)</sup>,  
Yuichi Koitabashi<sup>8)</sup>, Yasuo Ichinohe<sup>9)</sup>

## Abstract

An earthquake directly beneath the capital and a giant trench earthquake, which are feared to occur in the future, may produce earthquake ground motions greater than those assumed by the current seismic design code. In this report, the seismic evaluation method based on the energy balance method for steel building structures against such huge earthquake ground motions was proposed, and the calculation examples of the model buildings using it were demonstrated. An overview of the proposed evaluation method is shown below, as well as calculation result of five model buildings.

### 1) The energy balance method considering multi-cycle deformation

In steel building structures, steel members may undergo fracture due to multi-cycle deformation under long-duration earthquake motions. A calculation method based on the energy balance method that can appropriately evaluate the effects of cyclic deformation of steel members was proposed in this document. In the proposed calculation method, absorbed energy capacity of each story is determined by the calculating energy that the beam-end can absorb until it reaches its the fracture limit ductility which is calculated based on the fatigue limit curve equation of beam-end. By comparing this with the required energy of each story, the seismic safety of buildings is verified. In addition, a method for calculating the required energy was proposed that considers energy increase factor corresponding to seismic motion characteristics.

### 2) Calculation examples for seismic safety evaluation of five model buildings against huge earthquake ground motions

Using the seismic safety evaluation method based on the energy balance method proposed in the report, calculation for seismic safety evaluation against huge earthquake ground motions for five steel model buildings (4-story office building, 8-story office building, 9-story office building, 12-story office building, 4-story distribution warehouse) was performed. By using the calculation method proposed in this document, it becomes clear how the ratio of required energy to absorbed energy capacity of each story changes depending on characteristics and level of the input seismic motions, specifications of beam ends and usage of hysteresis damper. Through these studies, we were able to demonstrate effectiveness of the proposed method.

---

1) Building Research Institute, 2) Nihon Sekkei Inc., 3) Meiji Univ., 4) JFE Steel Corp., 5) Kajima Corp., 6) Nippon Steel Engineering Co., Ltd, 7) Nippon Steel Corp., 8) Nikken Sekkei Ltd, 9) Japanese Society of Steel Construction

# 極大地震動に対するエネルギー法による鉄骨造建築物の耐震安全性評価と計算事例

## 目次

はしがき	
概要	i
Abstract	ii
第1章 はじめに	1-1
第2章 繰り返し変形を考慮したエネルギー法による鉄骨造建築物の耐震安全性検証方法	2-1
2.1 繰り返し変形を考慮したエネルギー法計算の特徴と適用範囲	2-1
2.2 梁端部の疲労性能評価式に基づく層の保有エネルギーの計算	2-2
2.3 長継続時間地震動の等価繰り返し回数	2-3
2.4 各層の必要エネルギー吸収量の計算	2-4
2.5 必要・保有エネルギー吸収量の比較による耐震安全性の確認	2-5
2.6 柱脚の限界変形を考慮した保有エネルギーの計算	2-5
2.7 ダンパー付建物の静的増分解析からのトリリニアモデルへの置換	2-9
2.8 エネルギー法告示と整合する点等を踏まえた本提案の計算方法の活用方法と実務設計 に適用する場合の考え方	2-10
第3章 計算例1) 4階建て事務所ビルの設計と耐震安全性評価の計算	3-1
3.1 一般事項	3-1
3.2 保有水平耐力計算に基づく設計	3-8
3.3 疲労性能評価式を用いたエネルギー法に基づく設計	3-10
3.4 まとめ	3-40
第4章 計算例2) 8階建て事務所ビルの設計と耐震安全性評価の計算	4-1
4.1 一般事項	4-1
4.2 保有水平耐力計算に基づく設計	4-9
4.3 疲労性能評価式を用いたエネルギー法に基づく設計	4-15
4.4 原設計まとめ	4-28
4.5 補強方針	4-30
4.6 梁端接合部の仕様変更による補強	4-31
4.7 ダンパーによる補強	4-39
4.8 梁端接合部の仕様変更およびダンパーによる補強の併用	4-48
4.9 補強設計まとめ	4-50
第5章 計算例3) 9階建て事務所ビルの設計と耐震安全性評価の計算	5-1

5.1	一般事項	5-1
5.2	保有水平耐力計算に基づく設計	5-9
5.3	疲労性能評価式を用いたエネルギー法に基づく設計	5-11
5.4	まとめ	5-38
第6章	計算例4) 12階建て事務所ビルの設計と耐震安全性評価の計算	6-1
6.1	一般事項	6-1
6.2	保有水平耐力計算等に基づく設計	6-10
6.3	疲労性能評価式を用いたエネルギー法に基づく設計	6-18
6.4	まとめ	6-51
第7章	計算例5) 4階建て物流倉庫の設計と耐震安全性評価の計算	7-1
7.1	一般事項	7-1
7.2	保有水平耐力計算に基づく設計(耐震モデル)	7-12
7.3	疲労性能評価式を用いたエネルギー法に基づく設計	7-15
7.4	まとめ	7-47
第8章	おわりに	8-1
	謝辞	

エネルギー法に基づく鋼構造建築物の耐震安全性評価事例作成小委員会（令和4年度）

委員名簿

（順不同、敬称略）

令和4年6月時点

委員長	長谷川 隆	国立研究開発法人 建築研究所
委員	荻野 雅士	一般社団法人 日本建築構造技術者協会（(株) 日本設計）
〃	富澤 徹弥	一般社団法人 日本建築構造技術者協会（明治大学）
〃	金城 陽介	JFE スチール（株）
〃	植木 卓也	JFE スチール（株）
〃	加藤 敬史	一般社団法人 日本建築構造技術者協会（鹿島建設（株））
〃	松岡 祐一	日鉄エンジニアリング（株）
〃	脇田 直弥	日鉄エンジニアリング（株）
〃	松蔭 知明	日鉄エンジニアリング（株）
〃	大内 京太郎	日鉄エンジニアリング（株）
〃	鈴木 悠介	日本製鉄（株）
〃	小坂橋 裕一	一般社団法人 日本建築構造技術者協会（(株) 日建設計）
〃	一戸 康生	一般社団法人 日本鋼構造協会