

建築研究報告

REPORT OF THE BUILDING RESEARCH INSTITUTE

No. 150

April 2022

応答スペクトルに基づく建築物の
安全限界時応答評価と現行基準に関する研究

Study on Evaluation of Seismic Response of Buildings at the Safety Limit and
Current Japanese Seismic Design Codes Based on Response Spectrum

大塚 悠里, 平石 久廣

Yuri OTSUKA, Hisahiro HIRAISHI

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

平成 12 年の建築基準法施行令の改正により、従来の保有水平耐力計算等と並立する形で限界耐力計算が規定された。保有水平耐力計算は、強度を基準に構造物の性能を検証する強度ベースの性能検証法であり、限界耐力計算は、応答変位を基準に構造物の性能を検証する変位ベースの性能検証法である。極めて稀に生じるような大地震に対する場合には、建築構造物の損傷をある程度許容せざるを得ない実状がある。この場合、建築構造物の地震応答は非線形となり、強度は頭打ちとなる傾向を有するため、建築物の損傷程度は強度より変位に対応させて評価するのがより合理的である。そのため、建築構造物の性能を倒壊防止のみならず、建築物に求められる機能等に応じて損傷を抑制することを目標とする性能指向型の構造設計のためには、変位ベースの限界耐力計算の方がより適した性能検証方法であると考えられる。

一方、保有水平耐力計算については、これが導入された昭和 56 年以降、我が国で発生した平成 7 年の兵庫県南部地震、平成 16 年の新潟県中越地震、平成 23 年の東北地方太平洋沖地震等の被害調査報告により、建築構造物の倒壊防止の観点から、その有効性が十分、確認されていることは周知の通りである。

保有水平耐力計算と限界耐力計算との計算結果を比較した場合には、ある程度の差異は生じざるを得ないが、その差が工学的に有意な差であるかどうかは検証しておく必要がある。本書では、性能検証に与える地盤増幅等に係る各種係数の影響を系統立てて評価し、保有水平耐力計算と限界耐力計算の結果の差異を体系的に整理している。このような結果は今後の限界耐力計算の適用方法を検討する上で、有益な情報となり得ると考えられる。

本書に報告する研究内容については、当初、明治大学建築構造第一研究室（平石研究室）で着手されたものである。一方、建築研究所においても、研究課題「開発途上国の現状に即した地震・津波に係る減災技術及び研修の普及に関する研究」（平成 30 年度～令和 3 年度）において、日本を含む世界の地震応答評価法を調査する必要性が生じていた。そこで、建築研究所において明治大学の先行研究を引き継ぎ、本研究課題の中で、地盤条件等の仮定をより広い範囲に設定し、より一般的な結論を導き出せるよう発展させることとした。本書は、今後の建築物の耐震性能検証のあり方を検討していく上で、本研究の成果が極めて重要であると考え、これを建築研究所より、建築研究報告として出版するものである。本書が、限界耐力計算の今後の適用方法を検討していく上で、研究者のみならず、実務に携わる技術者の方々にも参考されることを期待する。

令和 4 年 4 月

国立研究開発法人建築研究所
理事長 澤地 孝男

応答スペクトルに基づく

建築物の安全限界時応答評価と現行基準に関する研究

大塚 悠里*1, 平石 久廣*2

概要

現在、日本の中低層建物の多くは1981年に施行された保有水平耐力計算により設計されている。また、保有水平耐力計算とは別に、2000年に施行された限界耐力計算がある。保有水平耐力計算は強度ベースな性能検証法である一方、限界耐力計算は等価線形化法に基づいた変位ベースな性能検証法である。

2005年の構造計算書偽装事件の際には、この2種類の耐震設計法を用いて構造計算した必要耐力には大きな差異が生じることが議論となった。このため、著者等は保有水平耐力計算と限界耐力計算の工学的な差異を明らかにするため、加速度一定領域と速度一定領域における検討を行った。また、等価線形化法による耐震性能の合理的な評価法を提示し、建築物の塑性化に伴う周期の伸びや減衰が建築物の必要水平耐力に与える影響を明らかにした。

一方、既往の研究では地域係数 Z を1.0として検討を行っており、建物周期と減衰による低減係数以外の係数である地域係数 Z や地盤増幅係数 G_s について建物の耐震性能に与える影響を定量的に把握するに至っていない。また、建物の崩壊時の応答評価に極めて重要な応答周期が属する周期領域の検討は行われていない。

このため、本報告では日本の建物の耐震性の実状と課題を検討するにあたり、応答評価式を物理的意義が明快なエネルギーの釣合に基づいて、地域係数 Z 、地盤増幅係数 G_s を含めて誘導すると共に、既往の知見も含め、体系的かつ総合的な耐震規定の評価を行った。具体的には、建物の崩壊時の応答周期の検討から、多くの建物が崩壊時には速度一定領域に属することを示した。また、エネルギーの釣合から地震時の応答に及ぼす構造因子の影響を容易に視認できる応答評価式を示し、この応答評価式に基づいて、建物の耐震設計時に用いる係数が建物の耐震性能に与える影響を明らかにした。さらに、地盤種別ごとの建物の必要ベースシア係数 C_{BT} と地域係数 Z 、降伏変形 R_y 及び応答変位の具体的な相互関係を示した。さらに、第1種地盤から第3種地盤の場合について、保有水平耐力計算と限界耐力計算の必要ベースシア係数の比較を行った。

*1 国立研究開発法人建築研究所 国際地震工学センター 研究員

*2 明治大学理工学部建築学科 名誉教授 (国立研究開発法人建築研究所 客員研究員)

STUDY ON EVALUATION OF SEISMIC RESPONSE OF BUILDINGS AT THE SAFETY LIMIT AND CURRENT JAPANESE SEISMIC DESIGN CODES BASED ON RESPONSE SPECTRUM

Yuri OTSUKA*¹, Hisahiro HIRAISHI*²

ABSTRACT

Recently, most Japanese middle and low-rise buildings have been designed by the calculation of lateral load-carrying capacity. The calculation based on the capacity spectrum method enforced in 2000 is also applicable for the design of buildings. Roughly speaking, the calculation of lateral load-carrying capacity is a strength-based performance verification method, and the calculation of response and limit strength is a displacement-based performance verification method based on the equivalent linearization method.

In the case of seismic counterfeiting in 2005, it was argued that there would be a large difference in the required ultimate strength between these two seismic design methods. In order to clarify the engineering difference between the two design methods, the authors conducted a study in the constant velocity region and constant acceleration region. Based on the estimation method, the authors have already presented the rational estimation method for seismic performance and clarified the cause of the large difference in the required ultimate strength.

However, in the research mentioned above, the site amplification was the seismic zone coefficient was settled to be 1. Moreover, the effects of the ground amplification factor and the seismic zone coefficient on the seismic performance of buildings were not quantitatively evaluated.

This paper investigates the seismic characteristic of buildings in Japan at critical deformation, which are important factors for seismic design. In the investigation, the paper first clarifies that most buildings range in the constant velocity region at the critical deformation. And, the paper proposes the response evaluation formula, which is derived from the energy equation and enables to recognize easily and visually the effect of structural factors on the response during earthquake motions. From this response evaluation formula, the influence of the coefficient defined in the seismic design of the building on the seismic performance is clearly understood.

*1 Research Engineer, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering,
Building Research Institute

*2 Prof. Emer., Dept. of Architecture, School of Science and Technology, Meiji Univ.
(Visiting Research Fellow, Building Research Institute)

目次

1. はじめに.....	1
2. 等価線形化法に基づく応答評価.....	2
2.1 等価周期の一般式.....	2
2.2 等価周期の具体例と考察.....	5
3. 速度一定領域における応答評価式.....	8
3.1 エネルギーの釣合による応答評価式.....	8
3.2 限界耐力計算による応答評価式.....	11
4 加速度一定領域・速度一定領域における現行基準の検討.....	13
4.1 保有水平耐力計算.....	13
4.2 限界耐力計算.....	18
4.3 保有水平耐力計算と限界耐力計算の比較.....	23
5. 地域係数 Z と地盤増幅係数 G_s の影響.....	30
5.1 地域係数 Z の影響.....	30
5.2 地盤増幅係数 G_s の影響.....	35
5.2.1 略算法による地盤増幅係数 G_s	35
5.2.2 精算法による地盤増幅係数 G_s	37
5.2.3 略算法及び精算法による地盤増幅係数 G_s の比較.....	39
6. まとめ.....	42
謝辞.....	45
参考文献.....	46