HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	塑性率を考慮した原子力発電所の耐震設計に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	長澤，和幸
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12822号
Issue Date	2017-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/66496
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Kazuyuki_Nagasawa_review.pdf，審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　長澤 和幸

審査担当者　主　査　特任教授　奈良林 直
副　査　教　授　中村 孝
副　査　教　授　佐々木 克彦
副　査　教　授　菊地 優

学位論文題名

塑性率を考慮した原子力発電所の耐震設計に関する研究
(Study on seismic design of nuclear power plants considering ductility factor)

原子力発電所における耐震設計では、考えうる最大の揺れに対して原子炉安全を確保することが求められる。地震動は自然現象であるので、入力となる基準地震動の検討をはじめ、耐震設計体系は材料の変形を弾性域にとどめて十分な保守性をもって評価されてきた。しかし、近年、2007 年新潟県中越沖地震、2011 年東北地方太平洋沖地震等、基準地震動を超過する地震動が観測されており、それらの地震の原子力施設への影響の精査を行い、現行の耐震設計体系の保守性を確認できる状況に至った。加えて、2011 年の福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、原子炉安全に係る深層防護の一層の高度化に関する検討が進められ、設計基準を超えた状態の設計体系への反映が議論されている。しかし、耐震設計については、設計基準である基準地震動を超える状態を考慮した耐震設計体系が世界的にも確立されていない。

そこで、本研究では、基準地震動を超える地震動を受けた場合でも、塑性率を考慮して新たな耐震設計法を構築することを目的とし、地震の影響を受けた発電所の機器の損傷事例を基に、実力ベースで原子力発電所の安全尤度の確保を評価することとした。また、荷重-変形特性評価法の採用により、交番性を有する地震荷重のもとでの塑性変形によるエネルギー吸収と、地震動による変位制御性の評価が可能となり、かつ、設備の固有周期と降伏震度との関連が容易で多種多様な構造に対する汎用的な取扱いが可能となる。

本研究は全 7 章で構成し、以下に各章の概要と得られた知見を述べる。

第 1 章では、耐震設計に係る深層防護として、耐震設計拡張状態 (SDEC) を考案して、この状態を想定した耐震設計体系構築の方向性を示した。

第 2 章では、新たな耐震設計法として、線形応答解析により概ね弾性範囲で行われる現行の設計法に対し、設備の損傷ないし機能維持限界を許容塑性率で表し、荷重-変形特性を表す規格化した 1 自由度バイリニアモデルを用いた弾塑性解析により得られる応答塑性率スペクトルと比較を行う世界で初めての手法を提案した。これを設備の損傷と関連付けて設計用静的震度を導出する汎用性のある手法とした。これにより、荷重-変形特性の感度解析等により多質点系設備を含めて対象設備の適用性が高いことを明らかにした。

第 3 章では、2011 年東北地方太平洋沖地震により事故に至った福島第一原子力発電所において、観測された地震動についての応答塑性率を用いた系統的な分析を初めて試み、初通過破壊に対する分析、塑性エネルギーを用いた累積疲労に対する分析を実施した。この結果は実際の設備の状況と

も整合し、損傷評価指標としての応答塑性率の利用は適切であることを明らかにした。

第 4 章では、2007 年新潟県中越沖地震を受けた柏崎刈羽原子力発電所の設備のうち、地震により損傷を受けた低耐震クラスの設備等について応答塑性率の観点から分析を行った。発電所における設備の地震被害の整理の結果から、初通過破壊による設備被害は主に屋外の低耐震クラス設備に限られることを明らかにし、これらに対する応答塑性率を用いた分析の結果、損傷を与える応答塑性率は 30 程度であることを明らかにした。

第 5 章においては、損傷評価指標としての応答塑性率の妥当性を検証するため、過去に国内で観測された近地地震のうち、加速度の上位 60 波を選定して各指標との比較分析を行った結果、設備の弾塑性挙動を考慮した場合の損傷評価指標として、応答塑性率が他の指標に対して優れた指標であることを明らかにした。

第 6 章では、第 2 章に提案した新たな耐震設計法について、第 3 章および第 4 章で得られた設備分析の知見を踏まえて、柏崎刈羽原子力発電所特定重大事故等対処施設を設計対象とし、許容塑性率の設定、入力地震動の想定、設計用静的震度の同定を行うことで、本手法が実際の設備の設計に実効的に展開可能であることを明らかにした。

第 7 章は、各章で得られた知見を総括して結論にまとめた。

以上を要約するに、本研究では、2007 年新潟県中越沖地震及び 2011 年東北地方太平洋沖地震に実際に被災した柏崎刈羽原子力発電所及び福島第一原子力発電所において、応答塑性率スペクトルを用いた分析を実施し、応答塑性率の観点から地震動特性と設備被害の関係を確認し、本研究の耐震設計法が実効的に適用可能であることを世界で初めて明らかにした。本研究は、原子力発電所の耐震尤度評価や安全上重要な設備の弱点の抽出に適用可能である。本研究によって得られた工学的知見は、世界の耐震工学の進展に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があると認める。