

電氣技術規程

原 子 力 編

原子力発電所耐震設計技術規程

JEAC 4601-2008

 社團 法人 日本電氣協会

原 子 力 規 格 委 員 会

はじめに

(社) 日本電気協会「原子力規格委員会」は、原子力施設の安全性と信頼性を確保する観点から、その設計・建設・運転等において実現することが適切と考えられる技術及び技術的活動の仕様について定める電気技術規程（以下、JEACという）及び電気技術指針（以下、JEAGという）を制定するとともに、新たに得られた知見を踏まえてその改定を行うことを任務としています。

本協会における原子力分野のJEACとJEAGの策定活動は、昭和41年に設置された「原子力専門委員会」により開始されました。この委員会は平成9年に「原子力専門部会」に改組され、さらに平成12年11月には、原子力を取り巻く環境が大きく変化し、急速に進展する技術革新と産業活動の国際化を背景に、健全な原子力技術のあるべき姿について専門家の合意するところを文書化している学協会規格・基準の社会的重要性が増したこと、原子力安全規制行政活動における判断基準に学協会規格を活用する方針が示されたことから、これらの審議にあたって公平性、公正性、公開性を確保することを定めた規約を有する「原子力規格委員会」に改編されて今日に至っています。

本委員会は現在、次の7分科会を設置して、関連するJEACとJEAGを5年ごとを目途に改定し、さらに最新の技術的知見を隨時規程・指針化するべく審議を行っています。

- | | |
|------------|-------------|
| 1. 安全設計分科会 | 5. 耐震設計分科会 |
| 2. 構造分科会 | 6. 放射線管理分科会 |
| 3. 原子燃料分科会 | 7. 運転・保守分科会 |
| 4. 品質保証分科会 | |

本委員会の審議は公開で行われ、その審議予定及び審議過程を記録した議事録は委員会のインターネットホームページに掲載されています。また、委員会は可決したJEAC・JEAGの制・改定案をパブリックコメントに付し、いただいたご意見を踏まえて適切な修正が行われたことを確認してから、これを印刷公知することにしています。

本委員会は、このJEAC及びJEAGの制定を通じて原子力の平和利用の発展に、いささかなりとも貢献したいと考えています。皆様におかれましては、これらを適宜にご活用いただくとともに、その改定・制定に対して忌憚のないご意見をお寄せいただけますよう、よろしくお願い申し上げます。

平成20年12月

原子力規格委員会
委員長 関村 直人

「原子力発電所耐震設計技術規程」について

原子力発電所の耐震設計技術については、「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-2008)の「「原子力発電所耐震設計指針」について」で述べたような経緯を経て、本規程 JEAC4601 は下記のように指針 JEAG4601 から分離制定された。「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和 56 年 7 月 20 日 原子力安全委員会決定）」(以下、「耐震審査指針（1981）」という)に適合するものとして、原子力発電所耐震設計技術指針 許容応力・重要度分類編」(JEAG4601-1984), 「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-1987), 「原子力発電所耐震設計技術指針追補版」(JEAG4601-1991)において、その全般が規定されている。このうち、許容応力編は ASME Pressure Vessel and Piping Sec. III の設定、通産省告示 501 号の制定を受けて、1960 年代より改定作業を行った結果を考慮して制定された。

その後、耐震審査指針（1981）は、1995 年兵庫県南部地震の経験に基づき耐震技術に関する最新の知見を取り入れるよう高度化の検討がなされ、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(平成 18 年 9 月 19 日 原子力安全委員会決定) (以下、「耐震審査指針（2006）」という)として改訂された。

耐震審査指針（2006）の改定を受け、今日までの耐震設計に関する技術指針「原子力発電所耐震設計技術指針 許容応力・重要度分類編」(JEAG4601-1984), 「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-1987), 「原子力発電所耐震設計技術指針追補版」(JEAG4601-1991) を一本化するとともに、建物・構築物、機器・配管系及び土木構造物の耐震設計に関する内容について、耐震審査指針（2006）に適合するよう見直し、また今日までの審査実績や最新の知見を取り入れて、「原子力発電所耐震設計技術規程」(JEAC4601-2008)として制定した。

一方、耐震審査指針（2006）の改訂を受け諸般の作業の進行の便宜のため、先行発刊した「原子力発電所耐震設計技術指針 基準地震動策定・地質調査編」(JEAG4601-2007)についても「基礎地盤の安定性評価及び周辺斜面の安定性評価」及び「津波水位評価」等自然現象を扱う事項に関する内容を充実し「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-2008)として改定版が発刊された。本規程はこれらとは一体で運用されるものであり、いずれの指針・規程を用いる場合には、両者の記載事項の関係について十分な理解が必要である。

制定に当たっては耐震審査指針（2006）に適合させるべく、最新知見を取り入れた規程としての作業を進めてきたが、制定途中で発生した 2007 年新潟県中越沖地震については現在解説中であり技術指針及び本規程の中には反映していない。新潟県中越沖地震において得られた耐震設計に関する新たな知見については今後速やかに反映していく。

また、今回制定した「原子力発電所耐震設計技術規程」(JEAC4601-2008)と「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-2008)は一体で運用されるものであるとともに当面の間は「原子力発電所耐震設計技術指針 許容応力・重要度分類編」(JEAG4601-1984), 「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-1987), 「原子力発電所耐震設計技術指針追補版」(JEAG4601-1991)についても平行して適用・運用していく。これらの各指針・規程を平行して用いる場合には、両者の記載事項の関係について十分な理解と吟味が必要である。

なお、耐震設計に関する最新の知見を反映するとしているが、今後得られる新たな知見や設計経験の蓄積に応じ発行時点までの技術についても、その時々で積極的に導入していくこ

とが重要であることから、この点は特に留意する必要がある。

言うまでも無く、耐震設計の適否は、実際の地震に遭遇してはじめて、明確になるものであるが、本技術規程はその基本を示すもので、その解釈、運用については、使用者の格段の配慮を期待するものである。

最後に、原子力規格委員会、耐震設計分科会及び各検討会等審議に参加してご協力いただいた関係各委員の方々及び関係諸機関の方々、そして特にご尽力いただいた原案作成者、検討会幹事の方々に厚くお礼申し上げる。

平成20年12月

原子力規格委員会
耐震設計分科会
分科会長 柴田 碧

本指針制定に参加した委員等の氏名（敬称略、審議当時の所属）

原子力規格委員会

委員長 関村直人 東京大学	委員 百々 隆 日本原子力技術協会
副委員長 新田隆司 日本原子力発電㈱	〃 長崎晋也 東京大学
幹事 越塙誠一 東京大学	〃 西岡周二 日本原子力保険プール
委員 飯塙悦功 東京大学	〃 西脇由弘 東京大学
〃 鹿島光一 勝電力中央研究所	〃 沼宮内惣雄 (財)放射線計測協会
〃 兼近稔 鹿島建設㈱	〃 平野光将 武藏工業大学
〃 神田忠雄 原子力安全・保安院	〃 藤沢盛夫 富士電機システムズ㈱
〃 楠橋幹雄 (株)日本製鋼所	〃 古川雄二 三菱重工業㈱
〃 小林英男 横浜国立大学	〃 増田博 日本原子力発電㈱
〃 阪口正敏 中部電力㈱	〃 宮野廣 東芝プラントシステムズ㈱
〃 重政弥寿志 (財)原子力安全基盤機構	〃 森信昭 (社)日本電気協会
〃 設楽親 東京電力㈱	〃 山口篤憲 (財)発電設備技術検査協会
〃 柴田碧 東京大学 名誉教授	〃 山本哲也 原子力安全・保安院
〃 田辺裕美 (財)日本原子力研究開発機構	〃 吉川榮和 京都大学 名誉教授
〃 千種直樹 関西電力㈱	〃 吉村忍 東京大学
〃 辻昭夫 日立GEエナジー・エナジー㈱	
〃 寺井隆幸 東京大学	

フェロー 秋山 守 (株)エネルギー総合工学研究所

フェロー 班目春樹 東京大学

常時参加者 竹内大二 内閣府

旧委員 饒場洋一 三菱重工業㈱	旧委員 関弘明 (社)火力原子力発電技術協会
〃 上杉信夫 (財)発電設備技術検査協会	〃 根井寿規 原子力安全・保安院
〃 蛸田佑一 (社)日本電気協会	〃 早川均 富士電機システムズ㈱
〃 大西一之 日本原子力保険プール	〃 前田太志 (財)日本原子力研究開発機構
〃 大橋弘忠 東京大学	〃 山田知穂 原子力安全・保安院
〃 唐澤俊樹 東京電力㈱	〃 吉村宇一郎 (財)原子力安全基盤機構

旧フェロー 安藤良夫 東京大学 名誉教授

耐震設計分科会

分科会長	柴田 碧 東京大学 名誉教授	委 員 須原淳二 清水建設㈱
副分科会長	原 文雄 東京理科大学	" 園 洋一 九州電力㈱
副分科会長	久保哲夫 東京大学	" 田中英朗 東京電力㈱
幹 事	白井英士 関西電力㈱	" 中田節也 東京大学
委 員	青山 博之 東京大学 名誉教授	" 西好一 (財)電力中央研究所
"	浅野彰洋 四国電力㈱	" 貫井 泰 東京電力㈱
"	今塙善勝 ㈱大林組	" 野田静男 (独)原子力安全基盤機構
"	植田正弘 日本原子力発電㈱	" 濱田政則 早稲田大学
"	瓜生 满 (独)日本原子力研究開発機構	" 原 弘明 中国電力㈱
"	遠藤六郎 日本原子力発電㈱	" 久田嘉章 工学院大学
"	大宮幸男 ㈱竹中工務店	" 平井 武 電源開発㈱
"	尾形芳博 東北電力㈱	" 平田和太 (財)電力中央研究所
"	金谷賢生 関西電力㈱	" 平山 浩 ㈱東芝
"	兼近 稔 鹿島建設㈱	" 藤田 聰 東京電機大学
"	北森俊行 東京大学 名誉教授	" 藤田隆史 東京大学
"	北山和宏 首都大学東京	" 松田晃幸 日本原子力技術協会
"	衣笠善博 東京工業大学	" 三木俊也 富士電機システムズ㈱
"	木村康治 東京工業大学	" 南源司 北陸電力㈱
"	工藤一嘉 日本大学	" 村角保行 大成建設㈱
"	久野通也 中部電力㈱	" 山口 彰 大阪大学
"	斎藤久和 北海道電力㈱	" 山崎晴雄 首都大学東京
"	酒井俊朗 東京電力㈱	" 吉村 忍 東京大学
"	佐藤邦彦 三菱重工業㈱	
"	鈴木 智 日立 GEニューカリア・エナジー㈱	

旧委員	秋野 金次		旧委員	高尾 誠 東京電力㈱
"	市橋 一郎 (㈱)原子力安全基盤機構		"	武田 正紀 清水建設㈱
"	遠藤 良幸 東北電力㈱		"	田治見 宏 日本大学 名誉教授
"	金田 正彦 三菱重工業㈱		"	土方勝一郎 東京電力㈱
"	清原 一彦 九州電力㈱		"	中川 正紀 日立 GE ニューカリア・エナジー㈱
"	纒織 一起 東京大学		"	花田 尚宏 日本原子力技術協会
"	河野 倫範 中国電力㈱		"	広谷 浄 東北電力㈱
"	櫻井 彰雄 (財)電力中央研究所		"	藤田 宏一 北海道電力㈱
"	佐藤 俊作 鹿島建設㈱		"	前川 功 北陸電力㈱
"	白浜 健二 大林組㈱		"	栗川 三郎 東京工業大学
"	関村 直人 東京大学			

総括検討会

主査	柴田 碧 東京大学 名誉教授		委員	酒井 俊朗 東京電力㈱
副主査	原 文雄 東京理科大学		"	清水 明 大林組
副主査	久保 哲夫 東京大学		"	鈴木 智 日立 GE ニューカリア・エナジー㈱
幹事	白井 英士 関西電力㈱		"	田中 英朗 東京電力㈱
委員	植田 正弘 日本原子力発電㈱		"	中島 政隆 閑東芝
"	遠藤 六郎 日本原子力発電㈱		"	貫井 泰 東京電力㈱
"	小川 幸雄 清水建設㈱		"	野田 静男 (㈱)原子力安全基盤機構
"	金津 努 (財)電力中央研究所		"	森山 健一 大成建設
"	金谷 賢生 関西電力㈱		"	藪内 彰夫 鹿島建設㈱
"	神地 正紀 (㈱)竹中工務店		"	吉賀 直樹 三菱重工業㈱
"	久野 通也 中部電力㈱			

旧委員	秋野 金次		旧委員	土方勝一郎 東京電力㈱
"	武田 正紀 清水建設㈱		"	中川 正紀 日立 GE ニューカリア・エナジー㈱

地震・地震動検討会

主査 工藤一嘉 日本大学
副主査 久田嘉章 工学院大学
幹事 久野通也 中部電力㈱
委員 赤司二郎 九州電力㈱
〃 阿比留哲生 中国電力㈱
〃 石川和也 東北電力㈱
〃 岡崎敦 関西電力㈱
〃 小笛敦司 北陸電力㈱
〃 川里健 日本原子力発電㈱

委員 佐伯智也 北海道電力㈱
〃 佐藤清隆 ㈱電力中央研究所
〃 高橋裕幸 東京電力㈱
〃 武村雅之 鹿島建設㈱
〃 壇一男 清水建設㈱
〃 仲田満也 電源開発㈱
〃 松崎伸一 四国電力㈱
〃 渡部哲巳 中部電力㈱

旧委員 阿部琢志 日本原子力発電㈱
〃 梅木芳人 中部電力㈱
〃 大竹宏 東北電力㈱
〃 繁纏一起 東京大学
〃 園洋一 九州電力㈱

旧委員 高橋利昌 四国電力㈱
〃 桶口雅之 東北電力㈱
〃 伏見実 関西電力㈱
〃 翠川三郎 東京工業大学
〃 八代和彦 東京電力㈱

土木構造物検討会

主査 衣笠善博 東京工業大学
副主査 西好一 ㈱電力中央研究所
幹事 金谷賢生 関西電力㈱
委員 生貞幸治 九州電力㈱
〃 大友敬二 ㈱電力中央研究所
〃 大宮宏之 東北電力㈱
〃 川本秀夫 中国電力㈱
〃 北川陽一 日本原子力発電㈱

委員 五月女敦 電源開発㈱
〃 高尾誠 東京電力㈱
〃 寺田康人 北陸電力㈱
〃 仲田洋文 中部電力㈱
〃 松崎伸一 四国電力㈱
〃 山崎晴雄 首都大学東京
〃 蔡正樹 北海道電力㈱

常時参加者 今井哲久 中部電力㈱

〃 蒲池孝夫 関西電力㈱

旧委員 大内泰志 四国電力㈱

〃 梶田卓嗣 九州電力㈱

〃 金津 努 勘電力中央研究所

〃 小林正典 東北電力㈱

常時参加者 武田智吉 東京電力㈱

〃 森俊朗 日本原子力発電㈱

〃 酒井俊朗 東京電力㈱

〃 伴一彦 電源開発㈱

〃 富樫勝男 日本原子力発電㈱

〃 四家 隆 北海道電力㈱

建物・構築物検討会

主査 久保哲夫 東京大学

副主査 北山和弘 首都大学東京

幹事 貫井泰 東京電力㈱

委員 赤瀬竜也 東京電力㈱

〃 阿比留哲生 中国電力㈱

〃 大宮幸男 ㈱竹中工務店

〃 尾形芳博 東北電力㈱

〃 小川幸雄 清水建設㈱

〃 川里健 日本原子力発電㈱

〃 斎藤久和 北海道電力㈱

〃 清水明 ㈱大林組

〃 中島政隆 ㈱東芝

委員 野口清隆 電源開発㈱

〃 平子静 日立GEニュークリア・エナジー㈱

〃 福島泰明 鹿島建設㈱

〃 伏見実 関西電力㈱

〃 藤井淳 北陸電力㈱

〃 船本憲治 九州電力㈱

〃 星野賢治 中部電力㈱

〃 細川高志 四国電力㈱

〃 森山健一 大成建設㈱

〃 吉賀直樹 三菱重工業㈱

常時参加者 土井希祐 新潟大学

旧委員 阿部琢志 日本原子力発電㈱

〃 遠藤良幸 東北電力㈱

〃 園洋一 九州電力㈱

〃 高下真 中国電力㈱

〃 竹内雅之 東京電力㈱

〃 土方勝一郎 東京電力㈱

〃 西村功 東京電力㈱

〃 藤田宏一 北海道電力㈱

機器・配管系検討会

主査 原 文雄 東京理科大学

副主査 藤田 聰 東京電機大学

幹事 植田正弘 日本原子力発電㈱

委員 飯田 純 東北電力㈱

〃 池田和豊 四国電力㈱

〃 岩田吉左 電源開発㈱

〃 上野晋介 北陸電力㈱

〃 遠藤六郎 日本原子力発電㈱

〃 尾崎博 富士電機システムズ(㈱)

〃 行徳俊夫 日立GEニュークリア・エナジー(㈱)

委員 小江秀保 関西電力㈱

〃 田村伊知郎 中国電力㈱

〃 堤喜隆 中部電力㈱

〃 中島政孝 ㈱東芝

〃 波木井順一 東京電力㈱

〃 堀内敏光 原子燃料工業㈱

〃 山田孝憲 九州電力㈱

〃 吉井俊明 北海道電力㈱

〃 吉賀直樹 三菱重工業㈱

旧委員 梅本 明 四国電力㈱

〃 江藤和敏 九州電力㈱

〃 倉田勝 北陸電力㈱

〃 笹田直伸 北海道電力㈱

〃 鈴木智 日立GEニュークリア・エナジー(㈱)

〃 筒井光男 東北電力㈱

事務局 ((社)日本電気協会 技術部)

事務局 牧野政雄 (総括)	事務局 石井光雄 (原子力規格委員会担当)
---------------	-----------------------

〃 高須伸夫 (原子力規格委員会担当)

〃 糸田川龍雄 (原子力規格委員会担当)

〃 国則信二 (原子力規格委員会担当)

〃 大東祐一 (原子力規格委員会担当)

〃 田村義明 (原子力規格委員会担当)

〃 平野喜久 (原子力規格委員会担当)

旧事務局 浅井 功 (総括)	旧事務局 中島純一 (原子力規格委員会担当)
----------------	------------------------

〃 荒木義恭 (原子力規格委員会担当)

〃 池田和夫 (原子力規格委員会担当)

〃 白川義康 (庶務)

〃 長谷川重信 (原子力規格委員会担当)

〃 福原保 (原子力規格委員会担当)

第4章 目次

4.1 基本事項	
4.1.1 適用範囲	267
4.1.2 準用する規準類	267
4.1.3 機器・配管系の耐震設計の基本方針	
4.1.3.1 地震時に確保すべき安全状態	268
4.1.3.2 基本的な方針	268
4.1.3.3 弹性設計用地震動 Sd	269
4.1.4 用語と略称	271
4.1.5 一般事項	
4.1.5.1 機器・配管系の設備の区分	274
4.1.5.2 機器と支持構造物の境界	276
4.1.5.3 プラントの運転状態	277
4.1.5.4 プラントの供用状態	277
4.2 荷重の組合せと許容限界	
4.2.1 基本方針	
4.2.1.1 基本的考え方	279
4.2.1.2 記号の説明	280
4.2.2 荷重の組合せ	
4.2.2.1 地震荷重と組み合わせる運転状態	281
4.2.2.2 荷重の組合せと供用状態	285
4.2.2.3 運転状態と地震動の組合せに対応する供用状態	296
4.2.3 地震力が加わる場合の許容応力	
4.2.3.1 S クラス施設の許容応力	303
4.2.3.2 B クラス及び C クラス施設の許容応力	345
4.2.3.3 制御棒及び燃料集合体の許容基準	350
4.2.4 耐震設計に適用する材料強度	353
4.3 設計用地震力	
4.3.1 耐震重要度分類と設計用地震力	354
4.3.2 水平地震力と鉛直地震力による荷重の組み合せ法	
4.3.2.1 動的地震力における組み合わせ	355
4.3.2.2 静的地震力における組み合わせ	355
4.4 地震応答解析	
4.4.1 一般事項	358

4.4.2 地震応答解析法	358
4.4.3 床応答スペクトル	361
4.4.4 地震応答解析モデル	363
4.4.5 設計用減衰定数	364
4.5 強度評価	
4.5.1 一般事項	377
4.5.2 強度評価法	379
4.6 動的機器の地震時機能維持評価	
4.6.1 適用範囲	380
4.6.2 地震時機能維持が要求される機器	380
4.6.3 機能維持評価法	
4.6.3.1 一般的原則	381
4.6.3.2 試験による評価の方法	381
4.6.3.3 解析による評価の方法	382
4.7 電気計装機器の耐震設計	
4.7.1 適用範囲	390
4.7.2 強度評価	391
4.7.3 地震時機能維持が要求される電気計装機器	392
4.7.4 機能維持評価法	392
4.8 機器・配管系支持構造物のエネルギー吸収を利用した耐震設計	
4.8.1 一般事項	393
4.8.2 用語の定義	394
4.8.3 架構レストレインントの弾塑性を利用した配管系設計法	
4.8.3.1 適用範囲	395
4.8.3.2 用語の定義	398
4.8.3.3 設計の基本方針	402
4.8.3.4 許容限界	402
4.8.3.5 品質管理	403
4.8.4 配管に制振サポートを用いた場合の機器・配管系設計法	
4.8.4.1 適用範囲	404
4.8.4.2 用語の定義	408
4.8.4.3 設計の基本方針	409
4.8.4.4 許容限界	410
4.8.4.5 品質管理	412
4.8.5 機器に制振サポートを用いた場合の機器・配管系設計法	

4.8.5.1 適用範囲	413
4.8.5.2 用語の定義	415
4.8.5.3 設計の基本方針	416
4.8.5.4 許容限界	416
4.8.5.5 品質管理	417
附属書 4.1 機器・配管系の耐震設計に適用する許容応力値	421
附属書 4.2 機器・配管系の静的地震力	425
附属書 4.3 機器・配管系の耐震強度評価法	429
附属書 4.4 動的機器の地震時機能維持評価法	625
附属書 4.5 電気計装機器の地震時機能維持評価法	771
附属書 4.6 架構レストレイントの弾塑性を利用した配管系設計法	777
附属書 4.7 配管に制振サポートを用いた場合の機器・配管系設計法	786
附属書 4.8 機器に制振サポートを用いた場合の機器・配管系設計法	795
参考文献	800
参考資料	805

4.8 機器・配管系支持構造物のエネルギー吸収を利用した耐震設計

4.8.1 一般事項

本節では、機器・配管系支持構造物のエネルギー吸収を利用した耐震設計について規定する。

(1) 架構レストレインントの弾塑性を利用した配管系の耐震設計

以下の条件をすべて満たす場合に適用することができる。

- a. 配管支持構造に、斜材のない溶接構造の架構レストレインントを用いる。
- b. 地震時に、架構レストレインントの弾塑性挙動によるエネルギー吸収を利用する。
- c. 「4.8.3 架構レストレインントの弾塑性を利用した配管系設計法」の規定に適合する。
- d. 対象とする配管系の耐震重要度がSクラスであるか又は破損によるSクラス設備の安全機能への波及的影響を設計用地震動に対して評価する必要のあるBクラス、Cクラスである。
- e. 本耐震設計法を適用する配管系に下記(2)又は(3)に該当する制振サポートが適用されていない。

(2) 配管に制振サポートを用いた場合の機器・配管系の耐震設計

以下の条件をすべて満たす場合に適用することができる。

- a. 配管支持構造に制振サポートを使用する。
- b. 弹塑性ダンパ、摩擦ダンパ、あるいは鉛ダンパの制振サポートである。
- c. 「4.8.4 配管に制振サポートを用いた場合の機器・配管系設計法」の規定に適合する。
- d. 制振サポート設置箇所が上記(1)の耐震設計法を適用する配管系に含まれていない。

(3) 機器に制振サポートを用いた機器・配管系の耐震設計

以下の条件をすべて満たす場合に適用することができる。

- a. PWR 一次冷却系に含まれる蒸気発生器等重機器の支持構造に制振サポートを使用する。
- b. 鉛ダンパの制振サポートである。
- c. 「4.8.5 機器に制振サポートを用いた場合の機器・配管系設計法」の規定に適合する。
- d. 制振サポート設置箇所が上記(1)の耐震設計法を適用する配管系に含まれていない。

【解説】

本節に規定する設計法は、地震に伴う振動エネルギーを機器・配管系の支持構造物に積極的に吸収させることにより、地震応答を低減する耐震設計である。このような耐震設計法を採用することにより、

(1) 支持構造部分の減衰効果により支持構造物の個数が減る

(2) その結果、支持構造が簡素化され、保守管理が容易になる

等の効果が期待される。制振装置には、能動的制振装置と受動的制振装置があるが、本節では、受動的制振装置のうち制振サポートを取り付けた機器・配管系の耐震設計法について規定している。

電気技術規程原子力編

JEAC 4601 - 2008

原子力発電所耐震設計技術規程

Technical Code for Seismic Design of Nuclear Power Plants

平成21年12月25日 初版発行

定 價：本体30,000円（税別）

編 集 原 子 力 規 格 委 員 会

発 行  日 本 電 気 協 会

東京都千代田区有楽町1-7-1

電話 03-3216-0555 (出版部)

03-3216-0553 (技術部)

© 日本電気協会 2009

印 刷 音 羽 印 刷 株 式 会 社

中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価

平成20年度中間報告

平成21年4月

有限責任中間法人 日本原子力技術協会

中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価委員会

はじめに

中越沖地震を被災した柏崎刈羽原子力発電所では、耐震設計グレードの高い安全上の重要機器に、外観上大きな損傷は認められておりません。しかしながら、設計基準を超える地震荷重を受けた重要機器の健全性を確認し対策を着実に実施することが、災害に強い発電所を再構築していくための必要条件となりました。また、災害から得られた貴重な教訓を関係者が広く共有していくことが、将来の原子力利用を安全に展開していく上での最重要課題のひとつとなりました。

このため、構造強度・検査・耐震などを専門的分野とする学識経験者と、電力・メーカー等の関係者が一同に会し、平成19年9月末に「中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価委員会」が日本原子力技術協会に発足、地震荷重を受けた機器の健全性評価について、解析的評価と点検結果の両面から検討することいたしました。

平成19年度は、委員による現地視察により状況を確認し、検討事項に反映するとともに、検査対象と検査技量の考え方、国内外の規格基準と機器継続使用の考え方、疲労評価を補完する材料試験データ収集、地震応答解析の評価、ボルト締結部の検査有効性、溶接残留応力緩和の影響などの課題を検討するため、検査、評価基準、疲労・材料試験、動的評価、締結部材評価、高経年化の各WGを設置、成果を平成19年度中間報告書として取り纏めました。

平成20年度は、建築・土木分野を含む8名の専門家を加えてWGを再編成し、5WG(評価基準WG、検査WG、疲労・材料試験WG、配管振動評価WG、建屋-機器連成WG)を適宜開催し、設備継続使用に向けた個別技術課題に取り組んで参りました。具体的には配管の塑性ひずみ測定評価や締結部材健全性評価などの継続案件に加えて、機器・配管の弾塑性挙動を考慮した解析手法の適用性評価、配管の合理的な振動特性評価、原子炉圧力容器基礎部の耐震評価などの案件に取り組み、柏崎刈羽発電所の課題解決に向けた技術支援と、関係学協会等への情報発信に努めているところです。

今後も引き続き、技術知見を踏まえた合理的な健全性評価のあり方を検討し、地震後の再起動に関する考え方の整理や安全裕度に関する説明性向上の方策などにも取り組むこととしておりますが、ここに平成20年度の検討成果を中間的な報告として取り纏めました。

最後に、ご多忙のなか審議に参画いただき多大な提言を賜りました、委員・参加者等、関係各位に深く感謝申し上げます。

平成21年4月

中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価委員会
主査 野本敏治

7. 「安全裕度」の予備的検討

7. 1 解析評価の保守性

新潟県中越沖地震により、柏崎刈羽原子力発電所は設計用地震動を超える地震動を受けたにも関わらず、重要設備に有意な損傷は認められなかった。この結果は、原子力発電設備の耐震設計の有する裕度が大きいことを示すものである。東京電力が実施した解析の有する保守性の評価結果から耐震設計の有する保守性について、一例を図 7.1-1 に示す。

図 7.1-1 は、残留熱除去系配管のティー部における発生応力を、設計で用いられている手法を基準に表 7.1-1 に示す保守性をそぎ落とした解析ケースと比較し、その影響について評価したものである。

ケース A と比較して、ケース C (床応答スペクトルの拡幅の削除、二乗和平方根の採用) では発生応力は約 30% 低下する。また時刻歴解析、配管の減衰定数を考慮するとケース C から発生応力がさらに 30% 以上低下し、材料証明書、応力係数の保守性まで加味したケース Z の結果と比較すると、現在の健全性評価に使用されている発生応力は 3.1 倍の余裕を有している。同様の比較は、残留熱除去系配管のレデューサー部などについても実施され、約 3 倍の余裕を有することが示されている。

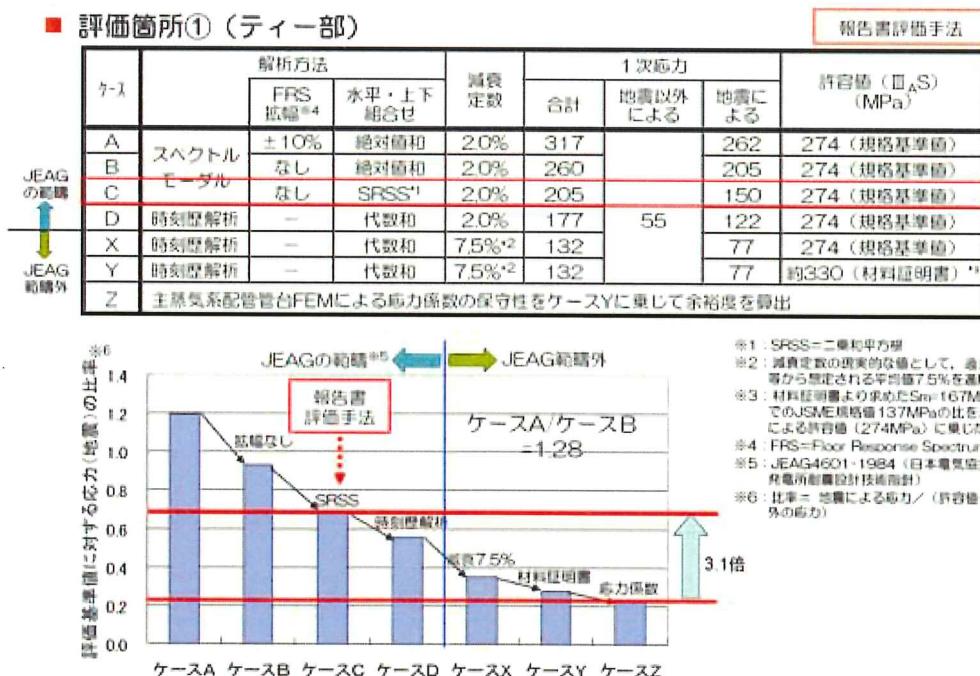


図 7.1-1 7号機 残留熱除去配管の地震応答解析の保守性※

※ 東京電力資料より引用

新潟県 設備健全性、耐震安全性に関する小委員会 資料 No.設備小委 13-2

表 7.1-1 残留熱除去系配管ティー部の発生応力を比較した解析方法

ケース A	一般的に耐震設計で採用されている方法で、床応答スペクトルの 10%拡幅を含むスペクトルモーダル法による解析結果。
ケース B	ケース Aと同じ方法であるが、床応答スペクトルの 10%拡幅をなくした解析結果。
ケース C	ケース B の解析結果に対して、水平方向、上下方向の応力の加算において、絶対値和の代わりに二乗和平方根を採用した解析結果。東京電力の新潟県中越沖地震後の機器の健全性評価はこの解析方法で実施された。
ケース D	ケース C でスペクトルモーダルの代わりに時刻歴解析で評価した結果。JEAG でもケース D までは適用が認められている。
ケース X	ケース D に対して、配管減衰定数として過去の試験における平均値を適用した試算結果。
ケース Y	ケース X に対して、材料証明書に記載された材料の強度から想定される許容値で評価した結果。
ケース Z	主蒸気管台の有限要素解析の結果をもとに応力係数の保守性をケース Y の結果に乗じて余裕度を算出した結果。

7. 2 安全裕度の「見える化」

このような地震応答解析の有する耐震裕度について、一般の方々にもわかりやすい説明を行う必要がある。そこで耐震裕度の説明性向上のために、「安全」、「説明性」などをキーワードに「安全裕度の見える化」について検討した。（添付資料 7-1）

耐震設計の安全裕度を議論において、以下の点について留意する必要がある。

- ・ 「プラント全体の安全性」と「個別の設備、機器の健全性」は区別して考えること
- ・ 「安全目標に対する安全裕度」と「設備の機能維持に対する耐震裕度」などターゲットとする「安全」についても明確にすること
- ・ 「決定論的安全性評価」と「確率論的安全性評価」があるが説明するデータの内容を踏まえてわかりやすい説明をすること

また耐震設計クラスの低い機器では地震により損傷が生じる可能性があるが、機能維持の観点から安全性には影響しないことなども含め、説明方法を検討する必要がある。

地震時の安全性にとって最も重要性の高い、原子炉の地震応答を 3 次元 FEM 解析により視覚化する研究も実施されている。この研究では、炉内構造物の地震応答をダイナミックに可視化するとともに、原子炉内を地震時に仮想的にウォークスルーして各部を点検するモードなどが含まれ、地震による炉内構造物の振動状況、発生応力の大小を視覚的にとらえることができる。このようなシミュレーションは安全裕度の説明性が向上するため、安全裕度の見える化方策として有効である。