電気技術指針

原　子　力　編

原子力発電所耐震設計技術指針

JEAG 4601-2015

一般社団法人
日本電気協会

原子力規格委員会

「原子力発電所耐震設計技術指針」について

原子力発電所の耐震設計技術については，本指針，JEAG4601 が 1970 年版として出版されて，その筋書きができた。その後，「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）を踏まえて，「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）が発刊された。

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て，「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。この耐震審査指針（2006）の改訂を受け，諸般の作業の進行の便宜のため，基準地震動の策定並びに地質調査について，それらの関連分野の最新の知見を取り入れて，「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）として先行発刊された。その後，「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価」と「津波水位評価」をこれに加えて，「原子力発電所耐震設計技術指針」（JEAG4601-2008）が改定発刊された。（JEAG4601-2008 の改定発刊に伴い，JEAG4601-2007 は廃刊された。）

一方「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）を一本化し，「原子力発電所耐震設計技術規程」（JEAC4601-2008）として新たに制定した。

JEAG4601-2008 の改定に当たっては，耐震審査指針（2006）を踏まえ，最新知見を取り入れた指針としての改定作業を進めてきたが，作業途中で発生した 2007 年新潟県中越沖地震などの知見については，この改定版では取り纏められるには至らなかった。

その後，2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波によって，東京電力㈱福島第一原子力発電所が被災したのを契機に，原子力規制委員会が発足し，事故の反省や国内外の指摘を反映して「原子炉等規制法」等が改正された。（以下，「新規制基準」という）

本協会では，新規制基準との整合や 2007 年新潟県中越沖地震及び 2011 年東北地方太平洋沖地震から得られた知見等を反映して，この度「原子力発電所耐震設計技術指針」（JEAG4601-2015）として改定し，発刊することとした。本指針はともに改定された「原子力発電所耐震設計技術規程」（JEAC4601-2015）と一体で運用されるものであり，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。

なお，新規制基準に係る適合性審査は，現在も継続して実施されているところであり，その審査の過程で示される知見については，継続的な取り組みによる新たな研究成果と併せて今後も引続き知見の収集に努め，反映が必要な事項を整理していく。

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，本技術指針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，検討及び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 27 年 5 月

原子力規格委員会
耐震設計分科会
分科会長　原　文雄

電気技術規程・電気技術指針について

〔自主保安と民間規格について〕

電気工作物の保安確保は，電気工作物設置者の自己責任に基づく自主保安が基本です。電気事業法に基づく技術基準は，公共の安全を確保し，環境の保全を図ることを目的にした，電気工作物の工事，維持及び運用の基準ですが，保安確保に関しては，法令が必要とする最小限の技術的要件を定めたものであることを理解する必要があります。

そのため，技術基準では規定していない，電気工作物の工事，維持，運用の技術的細目や品質管理に係わる事項，また，材料，設計，施工，検査等の技術的細目などについては，実態上，民間の自主保安に委ねられることになります。したがって，技術革新等による最新の知見を反映し，技術的な細部を定めた民間規格があれば，国の技術基準と一体をなして運用されることにより，電気工作物のより一層の安全性の向上が期待されます。

また，民間規格には，最新の技術的知見を迅速に反映し，技術の標準化を促すとともに，国際標準との整合性を図ることにより，貿易に係る技術的障害を排除し，産業の発展及び国際貿易の促進に貢献することが期待されています。

電気技術規程・電気技術指針は，このような背景と必要性に基づき自主的に制定された民間規格です。これらは，技術基準や技術基準の解釈等の規定を踏まえ，その規定内容を解説するとともに，民間規格として必要な事項を補足，補完するなどにより，技術基準を遵守することはもちろんのこと，法令では明記されていない自主的規定や，必要に応じて電気事業法以外の法令の規定に関する事項を含めるなどにより，保安確保に万全を期すことができるよう努めています。

また，これら民間規格は，これを制定した委員会から技術基準の解釈等への引用要請を行うことにより，法令等に活用されることがあり，原子力分野については，国が技術的な妥当性を評価したうえで規制に活用することがあります。

〔電気技術規程，電気技術指針の区分について〕

「電気技術規程」は，工事規程，維持規程，検査規程等に細分され，それぞれの内容と性格に応じ規定事項の要求レベル（義務，勧告，推奨等）を明示し，運用に当たっての利便性なども考慮したものとなるように努めています。さらに，原子力分野については，守るべき判定基準を含むものとしています。

したがって，「電気技術規程」の内容はおおよそ次のようなものとして制定しています。

① 難解な表現となっているもの又は立法技術の点から抽象的な表現となっている技術基準の条項について，法令の記述形式にとらわれず，法令に定められている主旨を汲みとり，わかり易く表現した具体的なもの

② 新技術の開発，新製品の出現，社会情勢の変遷等により，技術基準の解釈に記述されていない方法により施設する場合や新しい資機材を使用して施設する場合に，それら

が省令の技術基準を満足し「民間の自己責任としての運用」ができるようなもの

③ 技術基準の解釈等に明記されていない補足，補完的事項を記したもの

④ 運転，保守，工事，検査の際に参考となるもの

⑤ 原子力分野については，性能規定化された技術基準の具体的な仕様や実施方法を示す規定として，規制に活用されるもの

これに対し，「電気技術指針」は，今後，改良が期待される新技術に関することや保安上「規程」として制定することが必要と考えられるが研究開発課題である事項等，一律に定めることが困難又は不適当な数多くの事項がある場合の技術的内容を取り扱っています。

例えば次のような場合があげられます。

① 新技術に関する事項で「規程」とするためには諸外国の例を含めて実績，実例が数少ない場合

② 保安上必要な事項であるが，その方法，対策等について学説，方法論が必ずしも確立していないため，広く一般に適用するものとして「規程」とすることが困難な場合

③ 未解決，未確定な研究開発課題が含まれる事項がある場合

④ 社会情勢が急激に変化し，「規程」とすることが必ずしも適当でない場合

このように，大綱的には遵守すべき事項ではありますが，その方法，施策等について直ちに規程として運用するには至っていないと考えられる事項等について，「電気技術指針」として取りまとめています。

なお，「電気技術指針」は原則的には「電気技術規程」に準じて遵守されることが望ましいのですが，次の事項に留意して運用することが必要です。

① 実際の適用に当たって技術の進歩を阻害することのないように解釈すべきであること。

② 内容を十分理解して，設計，施工等に際して誤りの無いようにすること。

③ 指針に記載されていない事項，方法等であっても，それが保安上適切なものである場合は採用できること。

〔規程・指針の制定・改定について〕

電気技術規程・電気技術指針は，常に更新されるべき生きた民間規格です。技術の進歩や社会情勢の変遷に応じて，適宜改定しています。

電気技術規程・電気技術指針は，関係各分野の多数の権威者の方々が参加され，多大な労力と時間をかけて慎重審議の結果，電気工作物の保安確保のために必要と認めた事項を取りまとめたものです。したがって，誰もが，これら規程・指針を尊重することによって，安全性の高い電気工作物が施設され，維持されることになります。

これら電気技術規程・電気技術指針は，わが国の電気技術の成果の一つであるとともに，電気保安に携わっておられる方々のための民間規格です。これら規程・指針の内容についてのご意見・ご要望がありましたら，日本電気協会技術部にお申し出ください。

免責事項

この規格は，審査の公正，中立，透明性を確保することを基本方針とした原子力規格委員会規約に従って，所属業種のバランスに配慮して選出された委員で構成された委員会にて，専門知識及び関心を有する人々が参加できるように配慮しながら審議され，さらにその草案に対して産業界，学界，規制当局を含め広く社会から意見を求める公衆審査の手続きを経て制定されました。

原子力規格委員会は，この規格に関する説明責任を有しますが，この規格に基づく設備の建設，維持，廃止等の活動に起因する損害に対しては責任を有しません。また，この規格に関連して主張される特許権及び著作権等の知的財産権の有効性を判断する責任も，それらの利用によって生じた知的財産権の侵害に係る損害賠償請求に応ずる責任もありません。そうした責任はすべてこの規格の利用者にあります。

なお，この規格の審議に規制当局，産業界の委員が参加していますが，このことはこの規格が規制当局及び産業界によって承認されたことを意味するものではありません。

著作権

文書による出版者の事前了解なしに，この規格のいかなる形の複写・転載も行ってはなりません。

この規格の著作権は，全て(一社)日本電気協会に帰属します。

Disclaimer

This standard was developed and approved by the Nuclear Standards Committee of JEA in accordance with the Standards Committee Rules, which assure fairness, impartiality and transparency in the process of deliberating on a standard. The Committee was composed of individuals competent and interested in the subject and elected, maintaining the balance of the organizations to which they belong as specified in the Rules, although any interested person was provided the opportunity to participate in the deliberation. Furthermore, the standard proposed by the Committee was made available for public review and comment, providing an opportunity for additional input from industry, academia, regulatory agencies and the public-at-large.

The Nuclear Standards Committee of JEA accepts responsibility for interpreting this standard but does not accept responsibility for detriment caused by any actions based on this standard during construction, operation or decommissioning of facilities. The Nuclear Standards Committee does not endorse or approve any item, construction, device or activity based on this standard. In addition, the Nuclear Standards Committee neither takes any position with respect to the validity of any intellectual property rights such as patent rights or copyrights asserted in relation to any items mentioned in this document, nor assumes any liability

原子力発電所耐震設計技術指針

目　次

第1章　基準地震動策定

第1章　目次 …… 3
1.1　基本事項 …… 5
1.2　敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 …… 10
1.3　震源を特定せず策定する地震動 …… 40
1.4　基準地震動Ssの策定 …… 41
附属書1.1　経験的な方法に用いる手法の留意事項 …… 45
参考文献 …… 51
参考資料 …… 53

第2章　地質・地盤調査

第2章　目次 …… 143
2.1　基本事項 …… 145
2.2　地質・地質構造に関する調査 …… 148
2.3　基礎地盤及び周辺斜面に関する調査 …… 171
2.4　地震動評価に関する地下構造調査 …… 193
2.5　津波に関する地質調査 …… 195
参考文献 …… 199
参考資料 …… 201

第3章　基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価

第3章　目次 …… 217
3.1　基本事項 …… 219
3.2　地震力に対する基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価 …… 221
3.3　地殻変動に対する基礎地盤の安定性評価 …… 232
附属書3.1　基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価の流れ …… 233
附属書3.2　地殻変動に対する基礎地盤の安定性評価の流れ …… 234
参考文献 …… 235
参考資料 …… 236

第 3 章　目 次

3.1　基本事項 ……219
3.1.1　適用範囲 ……219
3.1.2　用語の定義 ……220

3.2　地震力に対する基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価 ……221
3.2.1　評価の手順 ……221
3.2.2　基礎地盤及び周辺斜面のモデル化 ……222
3.2.2.1　物性値の設定 ……224
3.2.2.2　評価対象断面の選定 ……225
3.2.3　すべり面の設定 ……225
3.2.4　動的解析（周波数応答解析）による安定性評価 ……226
3.2.4.1　解析手法 ……226
3.2.4.2　入力地震動 ……227
3.2.4.3　評価基準 ……227
3.2.5　静的非線形解析等による安定性評価 ……228
3.2.5.1　解析手法 ……228
3.2.5.2　入力地震力 ……229
3.2.5.3　評価基準 ……230
3.2.6　動的解析（時刻歴応答解析）等による安定性評価 ……230
3.2.6.1　解析手法 ……230
3.2.6.2　入力地震動 ……230
3.2.6.3　評価基準 ……231

3.3　地殻変動に対する基礎地盤の安定性評価 ……232
3.3.1　評価の手順 ……232
3.3.2　評価基準 ……232

附属書 3.1　基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価の流れ ……233
附属書 3.2　地殻変動に対する基礎地盤の安定性評価の流れ ……234

3.2.4.2 入力地震動

動的解析に用いる地震動は，敷地内の地質構造等を考慮し，解放基盤表面で定義された基準地震動 Ss を一次元波動理論などに基づき解析モデルの下端まで引き戻し又は引き上げた地震動とする。

【解　説】

基準地震動 Ss の設定については，「第 1 章　基準地震動策定」を参照する。

引き戻しの方法については，一次元を基本として行うが，敷地内の地質構造や弾性波速度構造が不均質な地盤では，二次元の地盤構造モデルにより引き戻しを行うことが合理的であるため，地質構造等に応じて選択する。また，方向性を有しない基準地震動 Ss については，必要に応じて位相反転の影響についても検討する。

3.2.4.3 評価基準

(1) すべりに対する検討

基礎地盤及び周辺斜面の安定性は，「すべり安全率」を用いて評価する。

設定したすべり面に対して，せん断力のつり合いを考えて式(3.2.4.3-1)などからすべり安全率を求めて評価する。

$$Fs = R / L \quad \cdots\cdots (3.2.4.3\text{-}1)$$

Fs ：すべり面におけるすべり安全率

R ：すべり面上のせん断抵抗力の和

L ：すべり面上のせん断力の和

すべり安全率に対する評価基準値は，基礎地盤は 1.5，周辺斜面は 1.2 とし，すべり安定性評価では，すべり安全率が評価基準値以上であることを確認する。

【解　説】

上記評価項目のほかに，例えば局所安全係数の分布，引張応力領域の拡がりの検討が必要となる場合もある。ただし，局所安全係数は有限要素法における個々の要素の局部的な破壊に対する一指標にすぎず，局所安全係数 1.0 以下の要素が連続してすべり面を形成しない限り，基礎地盤全体のすべり破壊とは直接結びつかないものである。

基礎地盤のすべり安定性評価に対する評価基準値「1.5」と周辺斜面のすべり安定性に

対する評価基準値「1.2」との関係について，その確率論的な意味について検討した報告がある（参考資料 3.11 参照）。

(2) 支持力及び傾斜に対する検討

基礎地盤の支持力に対する評価基準値は，極限支持力が地震時接地圧よりも大きいことを確認する。

なお，支持力としては，根入れの効果を考慮することができる。

基礎底面の傾斜については，許容される傾斜が建物及び構築物に対する要求性能や重要度に応じて設定し，動的解析の結果に基づいて求められた基礎の最大不等沈下量による傾斜が許容値を超えてないことを確認する。

なお，地殻変動による変形の影響を受ける可能性がある場合については，その変形についても適切に考慮する。

【解　説】

基礎底面の傾斜の評価基準値については，審査ガイドでは基本設計段階の目安として1/2,000 以下という記載があるが，耐震設計上の重要度分類Ｓクラスの機器及び系統を支持する建物及び構築物ごとに許容値を適切に設定し，安全機能が重大な影響を受けないことを確認する必要がある。

3.2.5　静的非線形解析等による安定性評価

3.2.5.1　解析手法

動的解析（周波数応答解析）において，評価基準値を満足するものの，局所安全係数分布図等において，岩盤若しくは弱層における引張応力の発生あるいは局所安全係数1.0 以下の領域の発生が基礎地盤及び周辺斜面の安定性に影響を及ぼすと判断される場合，静的非線形解析等を用いて安定性を評価する。

【解　説】

解析手法としては，せん断強さや引張り強さ以上の応力を負担している要素に対して，その過剰な負担分を周囲の要素に分配する手法が用いられる。

静的非線形解析の解析手順の一例は下記のとおりである。

① 自重によって発生する地盤内初期応力の算定

② 増分地震力によって発生する地盤内増分応力などの算定

電気技術指針原子力編
JEAG 4601-2015

原子力発電所耐震設計技術指針

Technical Guidelines for Seismic Design of Nuclear Power Plants

平成28年3月30日　第3版発行

定　価：本体9,000円（税別）

編　集　原子力規格委員会
発　行　一般社団法人 日本電気協会
東京都千代田区有楽町1－7－1
電話　03－3216－0555（事業推進部）
03－3216－0553（技術部）

©日本電気協会　2016

印刷　永和印刷株式会社