

丙第307号証

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 4601-1987

社団法人 日本電気協会
電気技術基準調査委員会

推せんの辞

原子力発電の技術進歩は目覚ましく、通商産業省では、原子力発電の高度化を進めるため、発電用原子力設備の技術基準及びその他関連規定について技術の進歩及び社会情勢の変遷により即応したものとし、保安の万全を期すため民間の創意を生かしつつその整備を進めているところがあります。

このような中で、日本電気協会の電気技術基準調査委員会において本指針が改訂され、原子力発電所の耐震設計技術について、関係各方面の意見を広く取り入れて、その内容の充実が図られたことは誠に喜ばしいことと存じます。

本指針は、原子力発電所の耐震設計技術について細部にわたり明らかにしたものであり、原子力発電所の設計から運転・保守に至る各実務を担当する方々にとって大変役に立つものと存じます。

本指針は、電気技術基準調査委員会において、学識経験者をはじめとして各界の専門家が慎重に検討の上まとめられたものと承知しております。国の技術基準並びにその関連規定はもとより、本指針に定められた事項についてもよく遵守され、原子力発電所の耐震設計技術に係わる設計、工事及び運用に万全を期されることを期待します。

昭和62年 8 月

通商産業省 資源エネルギー庁

長官官房審議官 逢坂 國 一

まえがき

原子力発電所の耐震設計に関する指針を検討するために、電気技術基準調査委員会原子力専門委員会は昭和43年1月「耐震設計分科会」を設置し審議を進めた。「原子力発電所耐震設計技術指針：JEAG 4601-1970」原案は、逐次耐震設計分科会の検討を得て、昭和45年5月に原子力専門委員会、ついで同年7月には電気技術基準調査委員会の承認を得て完成された。なお、ここでは設計地震の定義、地震時の許容応力について論議されたが、これに関しては科学技術庁の原子力平和利用委託研究として基礎的研究がなされていた。

一方このような状況下において、日本電気協会は昭和49年通商産業省より上記設計地震の定義及び地震時の許容応力と密接に係る“耐震設計用地震力のとり方に関する指針”の検討の依頼を受けた。この検討のすすめ方については原子力専門委員会で審議した結果、原子力平和利用委託研究の成果に留意しつつ検討することとなり、電気技術基準調査委員会の下に「原子力耐震安全評価特別委員会」を発足させ、昭和50年4月に中間報告書がまとめられた。更に、昭和43年来の耐震設計分科会の中に設置されていた「機器・配管許容応力小委員会」の結論と、この中間報告書により、“状態の組合せと応力評価に関する指針”及び“原子力発電設備の耐震設計上の重要度分類とその適用範囲に関する指針”について検討を加えるため、この特別委員会の下に「許容応力分科会」及び「耐震安全重要度分類分科会」をそれぞれ昭和50年11月に発足させた。これにより「原子力発電所耐震設計技術指針：JEAG 4601-1970」の重要度分類及び許容応力について増補、改訂がなされ「原子力発電所耐震設計技術指針：重要度分類・許容応力編、JEAG 4601・補-1984」となり、昭和59年に発行された。

一方、JEAG 4601-1970は、昭和35年以来実地での発電所の設計が先行していたため耐震設計の基礎的知識を集約することに重点が置かれて記載されていた。そこでこの増補版と内容の記述方式などの整合をとり、最近の知見を加えて本文全般について、これの改訂を行うことになり、電気技術基準調査委員会原子力専門委員会の下に、昭和59年1月より「耐震設計分科会」が再び設置された。

本文の執筆方針については準備会、各種関係機関と検討調整の結果を踏まえ、第1回分科会で下記のごとく定められた。

すなわち、今回の改訂に当たっては、より技術指針的性格を強く出し、現時点に至るまでの許認可の経験をもとに、いわゆるライセンスابلなものについて、耐震設計の筋道を樹て記述することを原則とする。新規手法について各種の方法による研究試験が完了したもののうち本協会「原子力発電耐震設計特別調査委員会」において審議が終了し、通商産業省へ報告がなされ、今後の取扱いの見通しが明確になったものは前者に準じ記述する。その他の研究成果については、その公表の度合いを付して一覧表とし、今後の発展・実用化を待つこととする。

本指針の適用範囲は軽水炉を中心とするものであるが、いわゆる「ATR」などの圧力管型炉にも、その特有な部分を除いては適用可能であると考えられている。また将来の高速増殖炉などについても、基本的事項は適用し得ることは明らかである。

このような方針でまとめられた内容は、原案では膨大な頁数となったが極力短縮してこの量と

なった。未だ例題，内容の背後にあるものの説明など不十分な点が多いが，引用文献，参考文献を参考にさせていただきよう希望する。

この改訂作業に当っては，前記の背景から得られた全ての技術的成果を採り入れ，最新の「耐震設計技術指針」を作成すべく，前述のように詳細多岐に亘る百科事典的なものよりも，「指針」らしい体裁を備え，なおかつ公式集的なものではないということで最終稿がまとめられた。耐震設計分科会には，各章を総括的に検討する総括検討会，各専門分野の検討を行うための地震動検討会，土木構造物検討会，建物・構築物検討会，及び機器・配管系検討会を設け多くの執筆者が多量の努力を傾注して作成した。ここに至るまでには各検討会で数回の改稿が行われ，総括検討会40回，地震動検討会16回，土木構造物検討会16回，建物・構築物検討会22回，機器・配管系検討会27回，そして7回の分科会の審議を経て完了した。

ここに関係各委員，関係官庁の方々，執筆者各位（社内等で分担された方々でお名前を把握していない方も含め），多くのコメントを寄せられた電力はじめ各社の方々，協会事務局の方々，そして特にご尽力いただいた各検討会の幹事の方々に厚くお礼申し上げる。

昭和62年 8 月

電気技術基準調査委員会

原子力専門委員会

耐震設計分科会 分科会長 柴田 碧

電気技術指針について

電気事業法に基づく技術基準は、電気工作物の安全確保に必要な最小限度の規制事項を法的に定めている。

電気技術基準調査委員会が作成する「電気技術規程」は技術基準を具体的に説明するものや、基準に明記されていないことを補足・補完したり、暫定的な例外認可の参考となるもの等解りやすく記載したもので、これらを民間規程として電気事業者をはじめ、電気工作物の設計、施工、維持管理に当たる施設者、工事関係者のためにその内容と性格に応じて義務的、勧告的及び推奨的事項に区分し定めているものである。

一方、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化が必要と考えられるが研究開発課題が多かったりして、一律に定めることが困難又は不適當な数多くの事項がある。

例えば

- (1) 新技術に関する事項で規程化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、対策等について学論、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化が困難な場合。
- (3) 研究開発課題が含まれる事項で細部について義務、勧告、推奨等、明確に区分することが困難な場合。
- (4) 社会情勢の変化に対し、規程化することが必ずしも適当でない場合。

このように、直ちに規程化することが難しいが、大綱的には安全確保のため規程化することが望まれるものについて、これを「電気技術指針」として取りまとめることにしている。

このため、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ものであるが、次の事項に留意して運用することが必要である。

- (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ないようにする。
- (3) この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することができること。

電気技術指針は関係官庁をはじめ、関係各方面の多数の権威者の方々が参加している電気技術基準調査委員会で多大の労力と時間をかけて慎重審議し、取りまとめたもので関係方面で多くの方々の活用を願ってやまない。

なお、本指針については今後改善を図って参りたいと考えているので、ご意見、ご要望のある方は日本電気協会に申し出られることを願う次第である。

電気技術基準調査委員会, 専門委員会, 研究部会分科会等には通商産業省資源エネルギー庁長官官房審議官, 公益事業部原子力発電安全管理課長, 原子力発電安全審査課長ほか関係各課の他, 下記の関係官庁の参加を得て指針作成の指導をいただいている。

通商産業省立地公害局
通商産業省機械情報産業局
地方通商産業局公益事業部
工業技術院標準部
科学技術庁原子力安全局

労働省労働基準局・産業安全研究所
郵政省電気通信政策局
運輸省地域交通局陸上技術安全部
自治省消防庁・消防研究所
東京消防庁予防部

指針作成に参加した委員の氏名 (敬称略)

電気技術基準調査委員会 (○印は, 幹事会議構成メンバー)

委員長	○山田直平	東京大学	委員	吉田一哉	日本国有鉄道
幹事	○木村清治	電気事業連合会	〃	○宮川澄夫	日本電機工業会
〃	○中山三郎	日本電気協会	〃	田中義則	日本電線工業会
委員	○浜谷洲人	北海道電力	〃	○池田栄一	日本電設工業会
〃	勝又義信	東北電力	〃	早坂勝久	協送電線建設技術研究会
〃	○藤森和雄	東京電力	〃	○飯島一利	火力原子力発電技術協会
〃	○服部弘	中部電力	〃	井上力	電設備技術協会
〃	得永秀二	北陸電力	〃	山村昌	東京大学
〃	○成松啓二	関西電力	〃	関根泰次	東京大学
〃	和泉晋一	中国電力	〃	都甲泰正	東京大学
〃	富田盛夫	四国電力	〃	田村康男	早稲田大学
〃	○中田満夫	九州電力	〃	尾出和也	電力中央研究所
〃	竹之内達也	電源開発	〃	佐藤孝平	電子技術総合研究所
〃	田中好雄	日本原子力発電	幹事補	○小田健太郎	電気事業連合会
〃	○金子允	群馬県	〃	○飯沼孝正	日本電気協会
〃	永根五郎	動燃事業団			

原子力専門委員会 (○は幹事)

主査	都甲泰正	東京大学	委員	○世古隆哉	東京電力
委員	○三島良績	東京大学	〃	○岡島弘之	中部電力

〇安藤良夫	東京大学	〇杉本宏	北陸電力
〇飯田國廣	東京大学	〇川勝理	関西電力
〇柴田碧	東京大学	〇仁木可也	中国電力
〇鶴戸口英善	東京大学	〇野中廣	四国電力
〇近藤駿介	東京大学	〇井地輝雄	九州電力
〇村主進	原子力工学試験センター	〇浜崎一成	日本原子力発電
〇宮永一郎	電力中央研究所	〇國頭曉	電源開発
〇久田俊彦	鹿島建設	〇宇佐美武	電気事業連合会
〇堀雅夫	動燃事業団	〇葦原悦朗	東芝
〇寺田重三郎	東京電力	〇大木新彦	日立製作所
〇佐藤雅男	北海道電力	〇西井孝一	三菱原子力工業
〇八島俊章	東北電力	〇中野秀男	富士電機
		〇野本照雄	日本原子力発電
		参 加	
(常時参加) 神田 淳	資源エネルギー庁 公益事業部	(常時参加) 伊部 幸美	資源エネルギー庁 公益事業部
〃 西脇 由弘	〃	〃 岡崎 俊雄	資源エネルギー庁 公益事業部
〃 高塚 夏樹	〃		資源エネルギー庁 公益事業部

耐震設計分科会

分科会長	柴田 碧	東京大学	委 員	大村 文	中国電力
副分科会長	秋野 金次	原子力工学試験センター	〃	岩部 正司	四国電力
委員	青山 博之	東京大学	〃	井上 勝弘	九州電力
〃	岡村 弘之	東京大学	〃	村上 元	電源開発
〃	表 俊一郎	九州産業大学	〃	加藤 宗明	日本原子力発電
〃	片山 恒雄	東京大学	〃	遠藤 六郎	日本原子力発電
〃	都 甲 泰正	東京大学	〃	桜井 彰雄	電力中央研究所
〃	田治見 宏	日本大学	〃	望月 武彦	動力炉・核燃料 開発事業団
〃	林 正夫	電力中央研究所	〃	林 勉	日立製作所
〃	原 文雄	東京理科大学	〃	猿山 一郎	三菱原子力工業
〃	渡部 丹	東京都立大学	〃	一木 忠治	東芝
〃	森 晋一	北海道電力	〃	雪島 伊乙夫	富士電機
〃	千田 清寿	東北電力	〃	名井 透	鹿島建設
〃	矢野 明義	東京電力	〃	舟橋 功男	竹中工務店
〃	田中 宏志	東京電力	〃	黒田 孝	清水建設
〃	水野 教宏	中部電力	〃	桑原 芳朗	大成建設
〃	越 智 理	北陸電力	〃	松本 崇	大林組

〃	手塚昌信	関西電力	〃	鈴木舜一	原子力工学試験センター
(旧委員)	竹森達郎	大成建設	(旧委員)	可児次郎	東芝
〃	後藤浩一	関西電力	〃	谷越敏彦	日立製作所
〃	秋田昭作	東北電力	〃	内ヶ崎儀一郎	〃
〃	佐藤州建	北海道電力	〃	伊部幸美	原子力工学試験センター
〃	加藤欽也	東京電力	(常時参加)	岡崎俊雄	科学技術庁 原子力安全局
(常時参加)	伊部幸美	資源エネルギー庁 公益事業部	〃	今村治	〃
〃	佐々木政則	〃	〃	木之田善一	〃
〃	西脇由弘	〃			
〃	高塚夏樹	〃			

総括検討会(◎印は幹事)

委員	柴田 碧	東京大学	委員 ◎遠藤六郎	日本原子力発電	
〃	秋野金次	原子力工学試験センター	〃	江刺靖行	電力中央研究所
〃	田中宏志	東京電力	〃	澤田貞章	三菱原子力工業
〃	水野教宏	中部電力	〃	内田一義	鹿島建設
〃	手塚昌信	関西電力	〃	戸村英正	大林組
〃	加藤宗明	日本原子力発電	〃	鈴木舜一	原子力工学試験センター
〃	内山祐一	日立製作所	〃	松本卓士	東芝
(旧委員)	伊部幸美	原子力工学試験センター	(旧委員)	後藤浩一	関西電力
〃	吉川禎一	三菱原子力工業	〃	落合兼寛	日立製作所
(常時参加)	伊部幸美	資源エネルギー庁 公益事業部			
(主な参加者)	松本正毅	関西電力	(主な参加者)	伊藤洋	電力中央研究所
〃	岡村知郎	東芝	〃	福西史郎	三菱原子力工業
〃	寺田賢二	東京電力	〃	鈴木智	日立エンジニアリング

地震動検討会(◎印は幹事)

委員	塩谷常吉	北海道電力	委員	北野剛人	関西電力
〃	丹治郁夫	東北電力	〃	増田靖彦	中国電力
〃	水本道雄	東京電力	〃	田中英成	四国電力
〃	◎水野教宏	中部電力	〃	塩田睦	九州電力

〃	鈴木孝夫	中部電力	〃	平井武	電源開発
〃	酒井重人	北陸電力	〃	加藤朝郎	日本原子力発電
(旧委員)	吉田一	東京電力	(旧委員)	久道雄治	中国電力
〃	釣谷年勝	北陸電力			
(主な参加者)	飯田隆保	中部電力	(主な参加者)	斎藤英明	東京電力
〃	熊谷千代志	中国電力	〃	田中英郎	東京電力

土木構造物検討会(◎は幹事・○は副幹事)

委員	織田紀雄	北海道電力	〃	塚井直樹	中国電力
〃	開発澄夫	東北電力	〃	小林修二	四国電力
〃	○寺田賢二	東京電力	〃	竹下達男	九州電力
〃	宮池克人	中部電力	〃	山田一彦	電源開発
〃	塚原克敏	北陸電力	〃	山崎正	日本原子力発電
〃	◎手塚昌信	関西電力	〃	江刺靖行	電力中央研究所
(旧幹事)	後藤浩一	関西電力	(旧委員)	石井好正	電源開発
(旧委員)	小山田博	北海道電力	〃	北村邦雄	〃
〃	田中征夫	九州電力	〃	佐々木清	中国電力
(主な参加者)	松本正毅	関西電力	(主な参加者)	伊藤洋	電力中央研究所
〃	松本恭明	関西電力	〃	富樫勝男	日本原子力発電
〃	吉沢貞人	中部電力			

建物・構築物検討会(◎は幹事)

委員	藤原智史	北海道電力	委員	木佐木	上九州電力
〃	田中雅順	東北電力	〃	横野敬二	電源開発
〃	◎田中宏志	東京電力	〃	加藤朝郎	日本原子力発電
〃	鈴木恭喜	東京電力	〃	内田一義	鹿島建設
〃	杉山信夫	中部電力	〃	武田正紀	清水建設
〃	青木弘之	北陸電力	〃	戸村英正	大林組
〃	小林正則	関西電力	〃	慈道順一	竹中工務店
〃	増田靖彦	中国電力	〃	諏訪部昭久	大成建設
〃	宮住勝彦	四国電力			

(常時参加)	内山 裕一 日立製作所	(常時参加)	松本 卓士 東芝
〃	澤田 貞章 三菱原子力工業		
(旧委員)	松田 耕作 四国電力	(旧委員)	斎藤 昌弘 東京電力
〃	桑原 芳朗 大成建設	〃	平島 新一 清水建設
〃	瀬戸川 葆 関西電力	〃	釣谷 年勝 北陸電力
〃	増田 尚 北海道電力	〃	久道 雄治 中国電力
〃	森 晋一 北海道電力		
(主な参加者)	吉田 成年 大林組	(主な参加者)	児玉 城司 大成建設
〃	濱本 卓司 大林組	〃	高橋 元一 鹿島建設

機器・配管系検討会(◎印は幹事)

委員	鈴木 龍幸 北海道電力	委員	徳永 保典 九州電力
〃	河上 晃 東北電力	〃	磯辺 武雄 電源開発
〃	堀水 靖 東京電力	〃	◎加藤 宗明 日本原子力発電
〃	五百旗頭 弘之 中部電力	〃	遠藤 六郎 日本原子力発電
〃	山崎 達広 北陸電力	〃	内山 祐一 日立製作所
〃	市橋 一郎 関西電力	〃	澤田 貞章 三菱原子力工業
〃	米本 武 中国電力	〃	松本 卓士 東芝
〃	伊藤 英樹 四国電力	〃	小林 修 富士電機
(旧委員)	馬瀬 清 北陸電力	(旧委員)	大場 健二 東北電力
〃	碓井 勝夫 電源開発	〃	落合 兼寛 日立製作所
〃	吉川 禎一 三菱原子力工業	〃	大林 政文 四国電力
〃	入江 正三 九州電力	〃	畑 宏 中国電力
〃	小森 明生 東京電力		
(主な参加者)	鈴木 智 日立エンジニアリング	(主な参加者)	岡村 知郎 東芝
〃	福西 史郎 三菱原子力工業	〃	松本 卓郎 中部電力
〃	鈴木 哲也 中部電力	〃	田中 修 富士電機

事務局(日本電気協会 技術部・技術基準課)

技術部長 (総括)	飯 沼 孝 正	日本電気協会
原子力 (専)担当	畑 宏 忠	中国電力出向
原子力 (専)担当	小 池 清 澄	日本原子力 発電出向
原子力 (専)担当	浅 井 敬 久	四国電力出向
原子力 (専)担当	金 田 一 彦	北陸電力出向
調査委水力 (専)担当	征 矢 善 郎	日本電気協会
火力(専) 担 当	佐 野 昭 一	東京電力出向
発 変 電 (専)担当	井 領 正 明	関西電力出向
送電(専) 担 当	今 村 義 人	九州電力出向
(旧部員)	芹 沢 和 三	日本原子力 発電出向
		配電(専) 担 当
		使用設備 (専)内線 規程(専) 担 当
		目 崎 章 二
		中部電力出向
		占 本 宏 和
		日本電気協会
		〃
		渡 邊 泰 信
		日本電気協会

原子力発電所耐震設計技術指針

目 次

推せんの辞 通商産業省 資源エネルギー庁 長官官房審議官 逢坂 国一
まえがき 原子力専門委員会 耐震設計分科会 分科会長 柴田 碧
電気技術指針について
本指針の見方
指針作成に参加した委員の氏名

第1章 総 論

1.1 基本的考え方	3
1.1.1 耐震設計の目的	3
1.1.2 耐震設計と安全設計	3
1.2 耐震設計の概要	3
1.2.1 耐震設計の流れ	3
1.2.2 耐震重要度分類	5
1.2.3 設計用地震力	8
1.2.4 地震と基準地震動の概要	8
(1) 「審査指針」の概要	8
(2) 地震の概要(設計用最強地震, 設計用限界地震)	8
(3) 基準地震動の概要及び評価	10
1.2.5 地質・地盤調査の概要	11
(1) 概要	11
(2) 地質調査	11
(3) 地盤調査・試験	12
1.2.6 地盤の安定性評価及び土木構造物の耐震設計の概要	13
(1) 原子炉建屋基礎地盤	13
(2) 原子炉建屋周辺斜面	14
(3) 屋外重要土木構造物	14
1.2.7 建物・構築物の耐震設計の概要	15
(1) 基本的事項	15
(2) 地震応答解析	16
(3) 応力解析と構造設計	18
(4) コンクリート製格納容器	19
1.2.8 機器・配管系の耐震設計の概要	19

(1) 耐震設計の基本方針	19
(2) 地震応答解析と設計用地震荷重	20
(3) 応力・強度解析	21
(4) 耐震安全性評価	22

第2章 地震と基準地震動

2.1 地震と基準地震動の概要	27
2.2 地震	31
2.2.1 過去の地震	31
(1) 地震活動性	31
(2) 地震被害歴	40
(3) 地震動の強さの統計的期待値	42
(4) 考慮すべき過去の地震	43
2.2.2 活断層	45
(1) 活断層	45
(2) 活断層と過去の地震	47
(3) 活断層と微小地震	48
(4) 考慮すべき活断層による地震	48
2.2.3 地震地体構造	53
(1) 地震地体構造	53
(2) 考慮すべき地震地体構造による地震	54
(3) 直下地震	54
2.3 基準地震動	56
2.3.1 地震動特性	56
(1) 地震動の最大振幅	56
(2) 岩盤における地震動の周波数特性	57
(3) 断層モデルによる地震動の推定	59
(4) 地震動の継続時間と振幅包絡線の経時的变化	60
2.3.2 基準地震動	64
(1) 考慮する地震	64
(2) 地震動の定義位置	64
(3) 敷地における地震動特性	64
2.3.3 模擬地震波の作成	66
2.4 その他	68
2.4.1 地震予知	68
(1) 地震予知	68
(2) 大規模地震対策特別措置法	69

2.4.2 津波	69
----------	----

第3章 地質・地盤調査

3.1 地質・地盤調査の概要	77
3.1.1 地質調査の概要	77
3.1.2 地盤調査・試験の概要	77
3.2 地質調査	78
3.2.1 調査の目的と範囲	78
(1) 調査の目的	78
(2) 調査の範囲	78
3.2.2 広域調査	79
(1) 調査計画	79
(2) 地質・地質構造の評価	85
3.2.3 敷地内調査	89
(1) 調査計画	89
(2) 地質・地質構造の評価	95
(3) 岩盤分類	96
3.3 地盤調査・試験	105
3.3.1 調査・試験の目的	105
3.3.2 調査項目及び調査範囲	107
(1) 原子炉建屋基礎地盤	107
(2) 原子炉建屋周辺斜面	107
(3) 屋外重要土木構造物地盤	107
3.3.3 安定性検討に必要な物性	115
(1) 静的強度特性	115
(2) 静的変形特性	115
(3) 動的強度特性	119
(4) 動的変形特性	119
(5) 減衰特性	119
3.3.4 地盤の分類と工学的特性・評価	119
(1) 地盤の分類	119
(2) 地盤の工学的特性と評価	119
(3) 地盤構成材料の分類	121
(4) 地盤構成材料の工学的特性と評価	123
3.3.5 物性の表示方法と設計への適用	125
(1) 静的強度特性の表示	125
(2) 静的変形特性の表示	130

(3) 動的強度特性の表示	131
(4) 動的変形・減衰特性の表示	137
(5) 地盤物性のバラツキの評価方法	140
3.4 調査・試験計画の例	143

第4章 地盤の安定性評価及び土木構造物の耐震設計

4.1 耐震設計の基本方針	169
4.1.1 地盤及び土木構造物の耐震重要度の評価	169
4.1.2 設計用地震力の考え方	169
4.1.3 安全性評価の基本的な考え方	170
4.2 原子炉建屋基礎地盤	174
4.2.1 地盤のモデル化	174
(1) 基礎地盤の調査と区分	174
(2) 物性	174
4.2.2 設計用地震力	174
(1) 静的検討に用いる地震力	174
(2) 動的検討に用いる地震動	176
4.2.3 耐震設計法	177
(1) すべり面法等の慣用法による解析	177
(2) 静的解析	177
(3) 動的解析	178
(4) その他	180
4.2.4 安定性の評価	181
(1) 評価項目	181
(2) 評価基準値	182
4.3 原子炉建屋周辺斜面	184
4.3.1 地盤のモデル化	184
(1) 安定性評価の対象とすべき斜面	184
(2) 物性	184
(3) その他考慮すべき条件	184
4.3.2 設計用地震力	185
(1) 静的検討に用いる地震力	185
(2) 動的検討に用いる地震動	185
4.3.3 耐震設計法	186
4.3.4 安定性の評価	186
(1) 評価項目	186
(2) 評価基準値	186

4.4	屋外重要土木構造物	187
4.4.1	基本的な考え方	187
	(1) 対象構造物の範囲	187
	(2) 必要とされる機能	187
4.4.2	考慮すべき事項	189
	(1) 地震の影響	189
	(2) 物性	189
4.4.3	設計用地震力	192
	(1) 動的検討に用いる地震動	192
	(2) 静的検討に用いる地震力	192
4.4.4	構造物の耐震設計法	193
	(1) 耐震設計の手順	193
	(2) 震度法	193
	(3) 応答変位法	194
	(4) 動的解析法	195
4.4.5	安全性の評価	197
	(1) 地盤の安定性	197
	(2) 構造物部材の安全性の照査	197
	(3) 相対変位	198
4.5	その他土木構造物	198
4.6	耐震設計に当たっての問題点の検討及び耐震設計の例	199
4.6.1	原子炉建屋基礎地盤	199
	(1) 検討項目	199
	(2) 検討用モデル	200
	(3) 検討結果	201
4.6.2	原子炉建屋周辺斜面	213
	(1) 検討項目	213
	(2) 検討用モデル	213
	(3) 検討結果	214
4.6.3	屋外重要土木構造物	225
	(1) 検討項目	225
	(2) 検討用モデル	225
	(3) 検討結果	226

第5章 建物・構築物の耐震設計

5.1 基本的事項	265
5.1.1 耐震設計の基本方針	265
5.1.2 耐震設計上の重要度分類	265
5.1.3 地震力の算定法	271
(1) 静的地震力	271
(2) 動的地震力	271
5.1.4 荷重の組合せと許容限界	274
(1) 荷重とその組合せ	274
(2) 許容限界	274
5.1.5 建物・構築物の機能及び構造	276
(1) 構造計画	276
(2) BWR 原子炉建屋	277
(3) PWR 原子炉建屋	277
(4) コンクリート製格納容器	283
(5) その他建物及び構築物	284
5.2 地震応答解析	287
5.2.1 概要	287
(1) 入力地震動	287
(2) 建屋—地盤連成モデル	288
(3) 上部構造モデル	288
(4) 耐震壁の復元力特性及び基礎マットの浮上り非線形特性	289
(5) 振動方程式の数値解析手法	289
(6) 建屋応答結果	289
5.2.2 地盤及び構築物の物性値評価	290
(1) 地盤の物性値	290
(2) 建物・構築物の物性値	307
5.2.3 建物・構築物と地盤の相互作用	313
(1) 解析理論	313
(2) 解析手法	323
5.2.4 線形地震応答解析	334
(1) 建物・構築物のモデル化	334
(2) 設計用入力地震動	338
(3) 応答解析手法	341
(4) その他	349
5.2.5 非線形地震応答解析	352
(1) 概要	352

(2) 建物・構築物の復元力特性	352
(3) 地盤の復元力特性	360
(4) 非線形応答解析手法	362
(5) 非線形応答特性	364
5.2.6 建屋安定性の検討	366
(1) 接地圧の評価	366
(2) 滑動の評価	366
5.3 応力解析と構造設計	367
5.3.1 概要	367
5.3.2 応力解析	368
(1) 建屋形状及び構造形式の概要	368
(2) 荷重条件	369
(3) 解析方法	369
5.3.3 断面設計	379
(1) 応力の組合せ	379
(2) 断面算定の方法	379
5.3.4 機能維持の検討	385
(1) 要求機能と部位	385
(2) 許容限界値の考え方	385
(3) 終局強度設計	387
5.3.5 安全余裕度	391
(1) 静的地震力に対する評価	391
(2) 動的地震力に対する評価	392
5.4 コンクリート製格納容器	393
5.4.1 一般事項	393
(1) 概要	393
(2) 技術基準の概要	394
(3) 設計用荷重の種類	395
(4) 設計用荷重の組合せと荷重状態	396
(5) 設計許容値	398
5.4.2 PCCV	401
(1) 概要	401
(2) 構造解析	401
(3) 断面設計	403
(4) 実験検証	404
5.4.3 RCCV	405
(1) 概要	405
(2) 構造解析	406

(3) 断面設計	407
(4) 実験検証	407
5.5 解析例	407
5.5.1 BWR (MARK-II)	408
(1) 建屋概要	408
(2) 解析条件	409
(3) 地震応答解析	420
(4) 主要構造部の応力解析と断面設計	435
5.5.2 PWR (4 LOOP)	435
(1) 建屋概要	435
(2) 解析条件	436
(3) 地震応答解析	448
(4) 主要構造部の応力解析と断面設計	448

第6章 機器・配管系の耐震設計

6.1 基本的事項	479
6.1.1 耐震設計の基本方針	479
(1) 構造計画と耐震支持計画	480
(2) 耐震解析と安全性評価	480
6.1.2 耐震重要度分類	481
6.1.3 荷重の組合せと許容限界	481
(1) 荷重の組合せ	481
(2) 許容限界	481
6.1.4 設計用地震力	481
6.1.5 地震応答解析	481
(1) 応答解析法一般	482
(2) 解析モデル	483
(3) 地震応答解析と設計用地震荷重	483
6.1.6 応力・強度解析	483
(1) As, Aクラス機器の応力解析	485
(2) B, Cクラス機器の応力解析	485
(3) 支持構造物の応力解析	485
6.1.7 耐震安全性評価	486
6.1.8 耐震設計の基本手順	493
6.2 重要度分類	493
6.2.1 基本方針	493
6.2.2 重要度分類の概要	493

6.3	荷重の組合せと許容限界	495
6.3.1	基本方針	495
	(1) 記号の説明	495
	(2) 耐震As及びAクラス施設	496
	(3) 耐震B及びCクラス施設	497
6.3.2	荷重の組合せ	497
	(1) 地震荷重と組合せる運転状態	497
	(2) 荷重の組合せと許容応力状態	499
6.3.3	主要機器の許容応力	500
	(1) 耐震As及びAクラス施設の許容応力	500
	(2) 耐震B及びCクラス施設の許容応力	507
6.4	設計地震力	507
6.4.1	重要度分類と設計用地震力	507
6.4.2	静的地震力	508
	(1) 屋内の一般機器	508
	(2) 建屋連成系の機器	509
	(3) 屋外の機器	510
6.4.3	動的地震力の概要	511
	(1) As及びAクラス機器	511
	(2) Bクラス機器	511
6.5	地震応答解析	511
6.5.1	床応答スペクトル	511
	(1) 床応答スペクトル算定の一般事項	511
	(2) 設計用床応答スペクトル	516
6.5.2	動的解析モデル	518
	(1) 機器・配管系のモデル化基本方針	519
	(2) 容器	520
	(3) 配管	528
	(4) その他機器	539
	(5) 支持構造物	557
6.5.3	設計用減衰定数	561
	(1) S ₁ 地震応答用	561
	(2) S ₂ 地震応答用	561
6.5.4	地震応答解析法	564
	(1) 建屋連成系の機器	566
	(2) 容器	566
	(3) 配管	568
	(4) その他機器	569

(5) スロッシング	569
6.6 応力・強度解析	570
6.6.1 荷重・応力の組合せ	570
(1) 地震荷重と組合せるべき荷重	570
(2) 地震応力算定の概要	572
6.6.2 As 及びAクラス機器	573
(1) 応力解析の基本事項	573
(2) 第1種機器	574
(3) 第2種容器	601
(4) 第3種機器	613
(5) その他機器	625
6.6.3 B及びCクラス機器	630
(1) 容器	630
(2) 配管	718
(3) その他機器	730
6.6.4 支持構造物	740
(1) 支持構造物一般	740
(2) アンカー部	741
(3) 埋込金物	742
6.7 As 及びAクラス機器の地震時機能確認	746
6.7.1 動的機器	746
6.7.2 電気計装機器	747

第7章 今後の技術的課題の展望

7.1 地震と基準地震動	759
7.1.1 標準的な地震カタログの作成	760
7.1.2 地震地体構造の評価	760
7.1.3 地震動特性の評価	760
7.1.4 断層モデルに基づく地震動評価	760
7.1.5 上下地震動	761
7.2 地質・地盤調査	761
7.2.1 断層の活動性評価	761
7.2.2 砂礫地盤の調査法・評価法	761
7.2.3 節理性岩盤及び岩盤内不連続面の評価法	762
7.2.4 岩盤の引張強度評価	762
7.2.5 静的物性と動的物性の相関	762
7.3 地盤の安定性評価及び土木構造物の耐震設計	763

7.3.1	地盤震度	763
7.3.2	地震時土圧	763
7.3.3	大変形問題	763
7.3.4	屋外重要構造物の限界状態設計	764
7.4	建物・構築物の耐震設計	764
7.4.1	建物と地盤の動的相互作用の設計上の取扱い	764
7.4.2	地震時土圧	765
7.4.3	復元力特性	765
7.4.4	機能維持の検討について	766
7.4.5	耐震余裕度について	766
7.4.6	上下動の動的解析	766
7.4.7	免震構造	767
7.4.8	第四紀層地盤立地	767
7.5	機器・配管系の耐震設計	768
7.5.1	現在の標準的技術	768
7.5.2	新知見による高度化技術	769
7.5.3	将来活用すべき技術	770
	あとがき	771

添付資料

添付資料—1	許認可及び関連法令等について	777
添付資料—2	試験・検査	782
2.1	地盤調査における試験・検査	782
2.2	建物・構築物に関する試験・検査	786
2.3	機器・配管系に関する試験・検査	789
添付資料—3	地震感知装置	792
添付資料—4	地震後の点検	794

付 録

付録—1	各種試験・研究一覧	797
付録—2	改良標準化調査	814
付録—3	各発電所耐震仕様	824
付録—4	最近の内陸型地震に関する調査報告	826
付録—5	基本文献・参考図書一覧	884
付録—6	原子力工学試験センター，原子力安全解析所耐震関係コードの概要・一覧	890

表 3.2.3-1 岩盤分類法の適用及び工学的区分との対応

構成岩石種類		岩盤としての地質分類 〔 3.3.4 (3)を参照〕		地盤構成材料としての工学的区分 〔 3.3.4 (4)を参照〕	物性表示のための工学的区分 〔 3.3.5 を参照〕		
		岩塊の硬さ	岩盤分類法				
火成岩 変成岩	堆	古生層	硬 岩	電研式分類等	<ul style="list-style-type: none"> ○硬 岩 おおむね新鮮なもの ○風化岩, 変質岩 風化, 変質により岩質が劣化したもの, その程度により物性表示上軟岩B又は軟岩Aとして取扱う場合がある(風化軟岩)。 		
		中生層					
		古第三系					
積 新 第 三 系	一般堆積岩	中新統	軟 岩 (堆積性軟岩)	軟岩Ⅰ類 ⁽¹⁾	硬質岩盤に準じた2~3段階岩質等級区分 ⁽³⁾ 原則として岩石種類のみ 岩石種類, 岩相によるグループ分け	軟 岩 1軸圧縮強度(q_u)が100~200 kgf/cm ² 以下のものを軟岩として扱う	軟岩B ⁽²⁾ (同左)
		鮮新統		軟岩Ⅱ類			軟岩B ⁽²⁾ 比較的固結度が大きい か又は不飽和状態のもの
		火 山 碎 屑 岩		軟岩Ⅲ類			軟岩A ⁽²⁾ 軟質で飽和状態のもの

注:(1) 構成岩石の固結度により, 古第三系又は鮮新統の一部もこれに含まれる場合がある。

注:(2) 岩石試験結果の適用において, 有効応力法に対応するものをA, 全応力法に対応するものをBとした。

(表 3.3.5 - 1 参照)

注:(3) 各地点の地質状況に応じて, 適切な等級区分を設定する。

表 3. 2. 3-2 電研式岩盤分類 ^(3.2.3-5)

名称	特 徴
A	<p>きわめて新鮮なもので造岩鉱物及び粒子は風化，変質を受けていない。キレツ，節理はよく密着し，それらの面に沿って風化の跡は見られないもの。</p> <p>ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。</p>
B	<p>岩質堅硬で開口した（たとえ1 mmでも）キレツあるいは節理はなく，よく密着している。ただし，造岩鉱物及び粒子は部分的に多少風化，変質が見られる。</p> <p>ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。</p>
C _H	<p>造岩鉱物及び粒子は，石英を除けば風化作用を受けてはいるが岩質は，比較的堅硬である。</p> <p>一般に褐鉄鉱などに汚染され，節理あるいはキレツの間の粘着力はわずかに減少しており，ハンマーの強打によって割れ目に沿って岩塊が剝脱し，剝脱面には粘土質物質の薄層が残留することがある。</p> <p>ハンマーによって打診すれば少し濁った音を出す。</p>
C _M	<p>造岩鉱物及び粒子は，石英を除けば風化作用を受けて多少軟質化しており，岩質も多少軟らかくなっている。</p> <p>節理あるいはキレツの間の粘着力は，多少減少しておりハンマーの普通程度の打撃によって，割れ目に沿って岩塊が剝脱し，剝脱面には粘土質物質の層が残留することがある。</p> <p>ハンマーによって打診すれば多少濁った音を出す。</p>
C _L	<p>造岩鉱物及び風化作用を受けて軟質化しており岩質も軟らかくなっている。</p> <p>節理あるいはキレツの間の粘着力は減少しており，ハンマーの軽打によって割れ目に沿って岩塊が剝脱し，剝脱面には粘土質物質が残留する。</p> <p>ハンマーによって打診すれば濁った音を出す。</p>
D	<p>岩石鉱物及び粒子は，風化作用を受けて著しく軟質化しており岩質も著しく軟らかい。</p> <p>節理あるいはキレツの間の粘着力はほとんどなく，ハンマーによってわずかな打撃を与えるだけでくずれ落ちる。剝脱面には粘土質物質が残留する。</p> <p>ハンマーによって打診すれば著しく濁った音を出す。</p>

電気技術指針
原子力編
JEAG4601-1987

原子力発電所耐震設計技術指針

Technical Guidelines for Aseismic Design
of Nuclear Power Plants

昭和62年8月15日 発行
平成4年9月30日 第2刷発行

定価：本体 18,000 円（税別）

編集：電気技術基準調査委員会
発行：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（代）

© 日本電気協会 1987