

原子力発電所屋外重要土木構造物の 耐震性能照査指針・ 同マニュアル

登録 番号	平成14年5月30日
	第 49187 号
社団法人 土木学会	
附 属 土木図書館	

2002年5月

土木学会
原子力土木委員会

巻頭言

(社) 土木学会原子力土木委員会では、原子力発電所施設の土木技術に関する課題の調査・研究を行い、学術、技術の進展に寄与するとともに、学会活動を通じて社会に奉仕することを目的として鋭意活動を行っている。これまでの活動を通して、次のような研究成果を刊行し、会員の皆様に提供している。

- ・原子力発電所地質・地盤の調査・試験法および地盤の耐震安定性の評価手法 1985年8月
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル 1992年9月
- ・原子力発電所の立地多様化技術 1996年3月
- ・原子力発電所の立地多様化技術(追補版) 1999年3月
- ・原子力発電所の津波評価技術 2001年2月

現在、新立地部会(断層活動性分科会)、耐震性能評価部会、地下環境部会、津波評価部会、地盤安定性評価部会の5つの研究委員会が活動を進めている。

耐震性能評価部会(主査 岡村 甫 高知工科大学長)では、平成9年12月～平成13年9月までの約4カ年で、委託研究「原子力発電所鉄筋コンクリート製地中構造物の耐震性能照査法の体系化研究」を実施した。この研究は、兵庫県南部地震における鉄筋コンクリート構造物の甚大な被害に鑑み、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震安全性の更なる向上を目的としたものである。具体的には、1992年9月に刊行した「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル」に、その後の地震応答解析技術の開発成果を追加し、性能照査の概念に基づいた耐震設計法として刊行することを目指したものである。

耐震性能評価部会の下に鉄筋コンクリートWGと地震荷重WGを設置し、コンクリート構造および地盤に関係する研究者、技術者、実務者がそれぞれ互いの領域に踏み込んだ議論を重ね、4カ年の研究成果として「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・同マニュアル」を策定した。この指針・マニュアルは、現行マニュアルの安全性照査の考え方を更に合理化するとともに、構造物の要求性能の記述を、技術者以外の方にも容易に理解いただけるように配慮がなされている。本指針・マニュアルが、原子力発電所屋外重要土木構造物の安全性向上、設計合理化ばかりでなく、原子力発電の信頼性向上にも役立つことを期待したい。

本研究に長期間熱心に取り組んでいただいた岡村部会主査を始め、部会委員、WG委員および関係各位に、深甚なる敬意を表し、感謝申し上げる次第である。

平成14年5月20日

土木学会 原子力土木委員会
委員長 加藤正進

部会主査挨拶

本書は、平成9年度～平成13年度までの委託研究「原子力発電所鉄筋コンクリート製地中構造物の耐震性能照査法の体系化研究」の成果により、平成4年9月に原子力土木委員会から刊行された「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル」を改訂し、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・同マニュアル」としたものである。

平成7年1月17日の阪神淡路大震災における土木構造物の被害を教訓として、以降、各機関において土木構造物の耐震安全性が見直されている。土木学会コンクリート委員会では、平成8年にコンクリート標準示方書「設計編」、「施工編」を改訂すると同時に、その重要性を認識し「耐震設計編」を独立させて刊行している。この「耐震設計編」の特徴は、地震の再現頻度を考慮し、多段階の地震による安全性確認の方法を採用したこと、この際、非常に大きな地震に対しては構造物の塑性変形により安全性を確保することを明確にしたことである。また、道路、鉄道等では、それぞれ独自に設計法の見直しが行われ、既設構造物に対しては耐震補強を施すなど、構造物全般の耐震安全性向上が図られている。

電力においては、先の「安全性照査マニュアル」により、限界状態設計の概念を導入して性能照査の枠組みを構築し、土木構造物の耐震安全性の評価に先駆的な役割を果たしてきている。今回、さらに耐震安全性評価手法の高度化・合理化を図るべく研究を行ったものである。この研究の着手に当たって、以下の点を達成することを目標とし、改訂した指針にはこの研究成果を取り込むようにした。

- (1) 性能照査型の体系を明確にした指針とすること
- (2) できる限り実構造物に近い鉄筋コンクリート構造モデルを使用して強地震時を模擬した実験を行い、その挙動特性を明らかにして地中構造物の地震時安全性を検証すること。
- (3) 地中構造物の大地震時における挙動をできる限り忠実に評価できる解析手法の適用性を検証し、標準的な手法として提示すること。

特に、実機に近いレベルでの振動台実験として、世界最大規模の振動台とせん断土槽（現独立行政法人 防災科学技術研究所所有）を使用して、砂地盤に埋設した鉄筋コンクリート構造モデルの加振実験（最大入力加速度約1100gal）を実施した。限られた条件での実験ではあったが、世界的に例を見ないこの実験を成功させ、地中構造物の地震時安全性を確認するとともに、強地震時の砂地盤の挙動特性、地盤と構造物の境界部の挙動特性等の貴重なデータを取得した。これらの研究成果は、改訂した指針の根幹を形成するとともに、一般に公開することにより、地中構造物の耐震安全性に関係する研究の進展、耐震安全性の信頼性向上に寄与できる有用なものであると確信している。

本書は、使用性を考慮して以下に示すように3分冊として刊行した。

- 第1分冊 ・屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針
・屋外重要土木構造物の耐震性能照査マニュアル
- 第2分冊 ・照査例
- 第3分冊 ・技術資料

指針、マニュアル、技術資料の内容については、本耐震性能評価部会、RCワーキングおよび地震荷重ワーキングの委員に議論していただき、最終的に本書に示す内容のようにとりまとめた。性能照査の概念を採り入れた指針としており、本指針と同時期に改訂作業が進められていたコンクリート標準示方書（平成14年3月改訂）の内容との整合を図っている。その結果、原子力発電所の屋外重要土木構造物という具体的な

構造物を対象とした耐震性能照査編とも言える内容となっている。本書が、新規の屋外重要土木構造物の地震時安全性照査ばかりでなく、既設施設の耐震安全性確認など、原子力土木施設の耐震安全性評価の種々側面で利用されることを希望する。

最後に、本指針・マニュアルの内容審議で熱心にご議論いただいた委員各位、電力における本研究の推進担当者、振動台実験に関係された研究機関の担当者各位に、衷心よりお礼申し上げます。

平成 14 年 5 月 20 日

耐震性能評価部会

主査 岡村 甫

土木学会 原子力土木委員会

(五十音順, 平成14年5月現在)

委員長	加藤正進	財団法人 電力中央研究所 理事 我孫子研究所長
顧問	石原研而	東京理科大学理工学部土木工学科 教授
〃	岡村 甫	高知工科大学 学長
〃	垣見俊弘	元 財団法人 原子力発電技術機構
〃	川本 眺万	元 名古屋大学
〃	岸 清	東京電力株式会社 顧問
〃	桜井彰雄	財団法人 電力中央研究所 名誉特別顧問
〃	徳山 明	富士常葉大学 学長
委員	青柳征夫	財団法人 電力中央研究所 理事待遇 首席研究員
〃	井澤 一	電源開発株式会社 原子力事業部 部長代理
〃	衣非安章	九州電力株式会社 土木部長
〃	大西有三	京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻 教授
〃	北山一美	原子力発電環境整備機構 技術部 技術部長
〃	國生剛治	中央大学理工学部土木工学科 教授
〃	坂巻昌工	核燃料サイクル開発機構 大洗工学センター 大洗工学センター管理部 工務課長
〃	佐藤哲明	東北電力株式会社 土木建築部 副部長
〃	首藤伸夫	岩手県立大学総合制作学部 教授
〃	武山正人	四国電力株式会社 取締役建設部長
〃	田中和広	山口大学理学部化学・地球科学科 教授
〃	田中源之助	北海道電力株式会社 土木部長
〃	佃 栄吉	独立行政法人 産業技術総合研究所活断層研究センター長
〃	寺田賢二	東京電力株式会社 原子力技術部 土木技術グループマネージャー
〃	土岐憲三	立命館大学理工学部建設環境系・土木工学科 教授
〃	中井 卓	北陸電力株式会社 原子力土木部長
〃	藤原茂範	中国電力株式会社 土木部 部長
〃	藤原吉美	関西電力株式会社 土木建築室 土木建設グループチーフマネージャー
〃	堀井秀之	東京大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻土木工学科 教授
〃	前川宏一	東京大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻土木工学科 教授
〃	宮池克人	中部電力株式会社 土木建築部 取締役土木建築部長
〃	山崎晴雄	東京都立大学大学院理学研究科地理科学専攻地理学教室 教授
〃	吉井幸雄	日本原子力発電株式会社 開発計画室 取締役土木建築部長
〃	渡邊啓行	埼玉大学工学部建設工学科 教授

幹事長	西 好一	財団法人 電力中央研究所 参事 我孫子研究所副所長
幹事	大友敬三	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 地盤耐震部 上席研究員
〃	金谷 守	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 地盤耐震部 上席研究員
〃	金谷賢生	関西電力株式会社 土木建築室 土木建設グループマネージャー
〃	河井 正	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 地盤耐震部 主任研究員
〃	木方建造	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 高レベル廃棄物処分研究P 上席研究員
〃	鈴木義和	東京電力株式会社 原子力技術部 土木調査グループマネージャー
〃	仲村治朗	中部電力株式会社 土木建築部 原子力土建グループ（土木）課長
〃	幡谷竜太	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 高レベル廃棄物処分研究P 主任研究員
〃	松山昌史	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 流体科学部 主任研究員

土木学会 原子力土木委員会 耐震性能評価部会

(五十音順)

主査	岡村 甫	高知工科大学 学長
委員	青柳 征夫	財団法人 電力中央研究所 理事待遇 首席研究員
	伊藤 裕	東北電力株式会社 土木建築部 課長 (土木技術)
	岩楯 徹広	東京都立大学大学院工学研究科大学院土木工学専攻 教授
	遠藤 達巳	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 材料構造部 上席研究員
	大友 敬三	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 地盤耐震部 上席研究員
	角田 與史雄	北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 教授
	金谷 守	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 地盤耐震部 上席研究員
	金津 努	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 材料構造部長
	金谷 賢生	関西電力株式会社 土木建築室 土木建設グループマネージャー
	國生 剛治	中央大学理工学部土木工学科 教授
	佐伯 武俊	四国電力株式会社 建設部 課長
	坂本 容	北海道電力株式会社 土木部 原子力土木グループ 主幹グループリーダー
	佐藤 良一	広島大学大学院工学研究科社会環境システム専攻 教授
	澤田 義博	名古屋大学工学部社会環境工学科 教授
	鈴木 義和	東京電力株式会社 原子力技術部 土木調査グループマネージャー
	竹下 達男	九州電力株式会社 土木部 原子力土木グループ長 (次長)
	田辺 忠顕	名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 教授
	当麻 純一	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 地盤耐震部長
	富樫 勝男	日本原子力発電株式会社 開発計画室 土木建築総括グループマネージャー (次長)
	土岐 憲三	立命館大学理工学部建設環境系・土木工学科 教授
	仲村 治朗	中部電力株式会社 土木建築部 原子力土建グループ (土木) 課長
	西 好一	財団法人 電力中央研究所 参事 我孫子研究所副所長
	濱田 政則	早稲田大学理工学部土木工学科 教授
	原田 光男	東京電力株式会社 建設部 土木・建築技術センター 火力原子力土木技術グループ マネージャー
	伴 一彦	電源開発株式会社 原子力事業部 土木計画グループリーダー (副部長)
	平岡 順次	中国電力株式会社 土木部 マネージャー (原子力土木)
	堀江 正人	関西電力株式会社 土木建築室 土木建設グループリーダー
	前川 功	北陸電力株式会社 原子力土木部 土木技術チーム統括 (課長)
	前川 宏一	東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 教授
	町田 篤彦	埼玉大学工学部建設工学科 教授
	丸山 久一	長岡技術科学大学工学部環境・建設系 教授
	宮川 豊章	京都大学大学院工学研究科土木工学専攻 教授
	六郷 恵哲	岐阜大学工学部土木工学科 教授
	渡邊 啓行	埼玉大学工学部建設工学科 教授

途中退任

委員	青沼正光	東北電力株式会社
〃	岩吉敬輔	九州電力株式会社
〃	遠藤正昭	東北電力株式会社
〃	岡市明大	関西電力株式会社
〃	神谷誠一郎	九州電力株式会社
〃	小林修二	四国電力株式会社
〃	佐藤哲明	東北電力株式会社
〃	柴田俊治	北陸電力株式会社
〃	原口和靖	関西電力株式会社
〃	松本恭明	関西電力株式会社
〃	水野直也	中部電力株式会社
〃	百瀬洋一	中部電力株式会社
〃	米谷富裕	北陸電力株式会社

土木学会原子力土木委員会 耐震性能評価部会 鉄筋コンクリートWG

(五十音順)

浅野 彰洋	四国電力株式会社 建設部 副長
遠藤 達巳	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 材料構造部 上席研究員
梶田 卓嗣	九州電力株式会社 土木部 原子力土木グループ 課長
島 弘	高知工科大学工学部社会システム工学科 教授
金津 努	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 材料構造部長
金谷 賢生	関西電力株式会社 土木建築室 土木建設グループマネジャー
高尾 誠	東京電力株式会社 原子力技術部 土木調査グループ 副長
寺田 康人	北陸電力株式会社 原子力土木部 土木技術チーム 副課長
中西 浩和	中部電力株式会社 土木建築部 原子力土建グループ (土木) 副長
中房 悟	日本原子力発電株式会社 開発計画室 土木建築総括グループ (課長)
中村 光	名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 助教授
二羽 淳一郎	東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻 教授
橋本 純	電源開発株式会社 エンジニアリング事業部 地盤耐震技術グループ 課長
福本 幸成	東京電力株式会社 建設部 土木・建築技術センター 火力原子力土木技術グループ 主任
堀江 正人	関西電力株式会社 土木建築室 土木建設グループリーダー
前川 宏一	東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 教授
松井 淳	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 材料構造部 主任研究員
松尾 豊史	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 材料構造部 主任研究員
松村 卓郎	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 材料構造部 主任研究員
宮川 義範	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 材料構造部 研究員
睦好 宏史	埼玉大学工学部建設工学科 教授
安田 悟	東北電力株式会社 土木建築部 課長 (品質保証)
藪 正樹	北海道電力株式会社 土木部 原子力土木グループ 主査
山田 恭平	中国電力株式会社 土木部 原子力土木担当 副長
武若 耕司	鹿児島大学工学部海洋土木工学科 助教授

途中退任

池口 幸宏	電源開発株式会社	武田 悦男	九州電力株式会社
岡市 明大	関西電力株式会社	原口 和靖	関西電力株式会社
柏木 雄二	九州電力株式会社	平松 住雄	中部電力株式会社
川本 秀夫	中国電力株式会社	松本 敏克	株式会社ニュージェック
黒岡 浩平	中国電力株式会社	松本 恭明	関西電力株式会社
志村 聡	東京電力株式会社	野本 高憲	東京電力株式会社
高橋 鉄一	四国電力株式会社	宮岸 和信	北陸電力株式会社

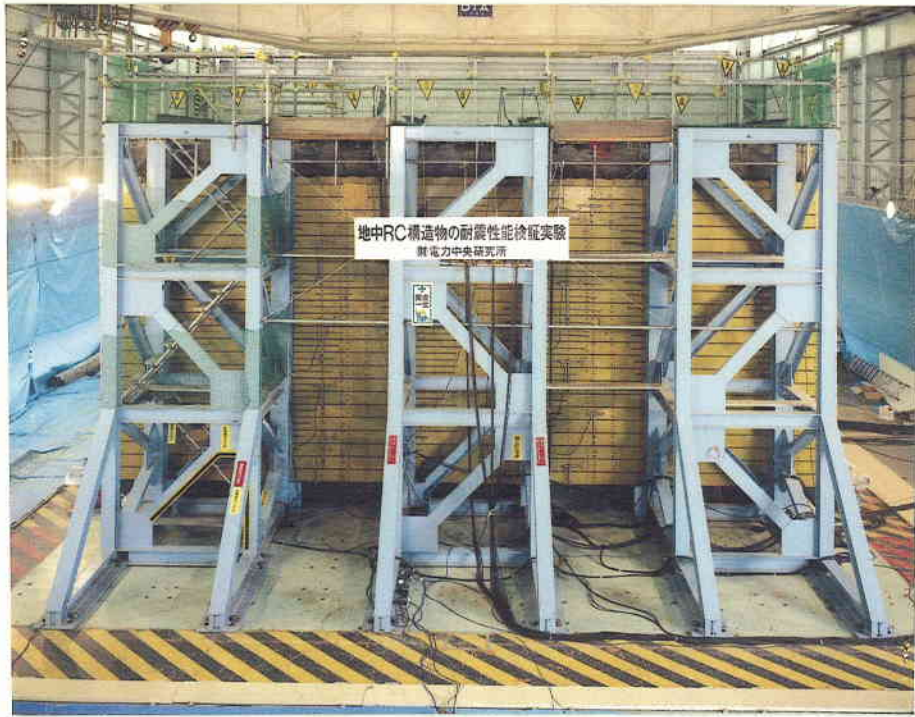
土木学会原子力土木委員会 耐震性能評価部会 地震荷重WG

(五十音順)

浅野 彰洋	四国電力株式会社 建設部 副長
石川 博之	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 地盤耐震部 上席研究員
岩下 和義	埼玉大学工学部建設工学科 助教授
大友 敬三	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 地盤耐震部 上席研究員
梶田 卓嗣	九州電力株式会社 土木部 原子力土木グループ 課長
金谷 守	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 地盤耐震部 上席研究員
金谷 賢生	関西電力株式会社 土木建築室 土木建設グループマネジャー
河井 正	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 地盤耐震部 主任研究員
北川 陽一	日本原子力発電株式会社 開発計画室 土木設計グループ (副長)
窪 泰浩	東京電力株式会社 原子力技術部 土木調査グループ 副長
佐藤 浩章	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 地盤耐震部 主任研究員
佐藤 誠	中部電力株式会社 土木建築部 原子力土建グループ (土木)
澤田 純男	京都大学防災研究所耐震基礎分野 助教授
末広 俊夫	東京電力株式会社 技術開発研究所 建設技術グループ 主任研究員
寺田 康人	北陸電力株式会社 原子力土木部 土木技術チーム 副課長
東畑 郁生	東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 教授
当麻 純一	財団法人 電力中央研究所 我孫子研究所 地盤耐震部長
中村 晋	日本大学工学部土木工学科 助教授
橋本 純	電源開発株式会社 エンジニアリング事業部 地盤耐震技術グループ 課長
堀江 正人	関西電力株式会社 土木建築室 土木建設グループリーダー (副長)
三浦 房紀	山口大学大学院理工学研究科環境共生工学専攻 教授
安田 悟	東北電力株式会社 土木建築部 (品質保証) 課長
藪 正樹	北海道電力株式会社 土木部 原子力土木グループ 主査
山田 恭平	中国電力株式会社 土木部 原子力土木担当 副長

途中退任

池口 幸宏	電源開発株式会社	嶋田 昌義	東京電力株式会社
岡市 明大	関西電力株式会社	志村 聡	東京電力株式会社
岡島 靖司	東京電力株式会社	高橋 鉄一	四国電力株式会社
柏木 雄二	九州電力株式会社	武田 悦男	九州電力株式会社
門木 秀一	北陸電力株式会社	原口 和靖	関西電力株式会社
亀谷 泰久	中部電力株式会社	松本 恭明	関西電力株式会社
川本 秀夫	中国電力株式会社	宮岸 和信	北陸電力株式会社
黒岡 浩平	中国電力株式会社		



埋設されたボックスラーメン構造試験体の振動台加振実験



ボックスラーメン構造試験体

原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針

【目次】

第1章 総則	1
1.1 適用の範囲	1
1.2 耐震性能照査の手順	4
第2章 屋外重要土木構造物の耐震性能	8
2.1 一般	8
2.2 屋外重要土木構造物の要求性能	8
2.3 屋外重要土木構造物の目標性能	9
2.4 耐震性能	9
2.5 耐久性能	12
第3章 材料	13
3.1 一般	13
3.2 コンクリートの材料特性	13
3.3 鉄筋の材料特性	14
3.4 地盤の材料特性	14
第4章 地震の影響および環境作用	15
4.1 一般	15
4.2 耐震性能照査で考慮する地震の影響	15
4.3 耐久性能照査で考慮する環境作用	16
第5章 解析手法	17
5.1 一般	17
5.2 耐震性能照査における応答値の評価に用いる解析手法	17
5.3 耐久性能照査における設計値の評価に用いる解析手法	18
第6章 性能照査	20
6.1 一般	20
6.2 安全係数	20
6.3 耐震性能照査	23
6.3.1 照査項目とその限界値	23
6.3.2 照査用限界値の設定	24
6.4 耐久性能照査	27
6.4.1 照査項目とその限界値	27
—付録—	
原子力発電所屋外重要土木構造物の通常運用時の性能照査	29

原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査マニュアル

【目次】

第1章 総則	35
1.1 規則・指針類のとりまとめ	35
1.2 用語の解説	36
第2章 屋外重要土木構造物の耐震性能	38
2.1 屋外重要土木構造物の要求性能	38
2.2 Fault Tree Analysis (FTA)による限界状態の検討	38
2.2.1 屋外重要土木構造物に対する FTA	38
2.2.2 構造物の限界状態の抽出	39
2.3 屋外重要土木構造物の目標性能	39
第3章 材料	48
3.1 一般	48
3.2 コンクリートの材料特性	48
3.2.1 一般	48
3.2.2 材料特性	49
3.3 鉄筋の材料特性	52
3.3.1 一般	52
3.3.2 材料特性	52
3.4 地盤の材料特性	53
第4章 地震の影響および環境作用	54
4.1 一般	54
4.2 荷重	54
4.2.1 荷重設定の基本	54
4.2.2 荷重の種類	54
4.2.3 荷重の特性値	54
4.3 荷重の組合せ	57
4.3.1 荷重の組合せの基本	57
4.3.2 耐震性能照査における荷重	57
4.3.3 耐久性能照査および通常運用時の性能照査における荷重の組合せ	58
第5章 解析手法	60
5.1 耐震性能照査における応答値の評価に用いる解析手法	60
5.1.1 解析手法の要件	60
5.1.2 時刻歴地震応答解析の実施手順	62
5.2 解析に用いる地盤のモデル化	64
5.2.1 モデル化の基本方針	64
5.2.2 地盤の非線形モデル	64

5.3	部材非線形解析を用いた応答値の算出	76
5.3.1	モデルの種類と特徴	76
5.3.2	解析モデルの作成	76
5.3.3	地震応答解析実施時における留意点	92
5.3.4	解析結果評価時の留意点	96
5.4	材料非線形解析を用いた応答値の算出	99
5.4.1	解析手法の種類と特徴	99
5.4.2	解析モデルの作成	103
5.4.3	地震応答解析実施時における留意点	107
5.4.4	解析結果評価時の留意点	108
5.5	環境作用によるコンクリートの経年劣化の評価	110
第6章	性能照査	112
6.1	安全係数	112
6.1.1	安全係数の設定方針	112
6.1.2	耐震性能照査に用いる安全係数(その1)	113
6.1.3	耐震性能照査に用いる安全係数(その2)	115
6.1.4	耐久性能照査に用いる安全係数	116
6.2	限界値の設定	118
6.2.1	目標性能の具体化	118
6.2.2	限界状態の具体化	118
6.2.3	限界値と照査における考慮事項	120
6.3	曲げ系の破壊に対する照査	121
6.3.1	ひずみによる照査	121
6.3.2	層間変形角による照査	121
6.4	せん断破壊に対する照査	127
6.4.1	一般	127
6.4.2	腹部コンクリートの斜め圧縮破壊耐力	127
6.4.3	斜め引張破壊耐力	127
6.5	耐久性能照査	136
6.5.1	耐久性能照査方法	136
6.5.2	ひび割れに対する照査	136
6.5.3	中性化に対する照査	137
6.5.4	塩害に対する照査	138
6.5.5	凍害に対する照査	147