

甲第 344 号証

# IAEA Safety Standards

for protecting people and the environment

## Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations

Specific Safety Guide

---

No. SSG-9



**IAEA**

International Atomic Energy Agency

## **IAEA SAFETY RELATED PUBLICATIONS**

### **IAEA SAFETY STANDARDS**

Under the terms of Article III of its Statute, the IAEA is authorized to establish or adopt standards of safety for protection of health and minimization of danger to life and property, and to provide for the application of these standards.

The publications by means of which the IAEA establishes standards are issued in the **IAEA Safety Standards Series**. This series covers nuclear safety, radiation safety, transport safety and waste safety. The publication categories in the series are **Safety Fundamentals**, **Safety Requirements** and **Safety Guides**.

Information on the IAEA's safety standards programme is available at the IAEA Internet site

<http://www-ns.iaea.org/standards/>

The site provides the texts in English of published and draft safety standards. The texts of safety standards issued in Arabic, Chinese, French, Russian and Spanish, the IAEA Safety Glossary and a status report for safety standards under development are also available. For further information, please contact the IAEA at PO Box 100, 1400 Vienna, Austria.

All users of IAEA safety standards are invited to inform the IAEA of experience in their use (e.g. as a basis for national regulations, for safety reviews and for training courses) for the purpose of ensuring that they continue to meet users' needs. Information may be provided via the IAEA Internet site or by post, as above, or by email to [Official.Mail@iaea.org](mailto:Official.Mail@iaea.org).

### **OTHER SAFETY RELATED PUBLICATIONS**

The IAEA provides for the application of the standards and, under the terms of Articles III and VIII.C of its Statute, makes available and fosters the exchange of information relating to peaceful nuclear activities and serves as an intermediary among its Member States for this purpose.

Reports on safety and protection in nuclear activities are issued as **Safety Reports**, which provide practical examples and detailed methods that can be used in support of the safety standards.

Other safety related IAEA publications are issued as **Radiological Assessment Reports**, the International Nuclear Safety Group's **INSAG Reports**, **Technical Reports** and **TECDOCs**. The IAEA also issues reports on radiological accidents, training manuals and practical manuals, and other special safety related publications. Security related publications are issued in the **IAEA Nuclear Security Series**.

The following States are Members of the International Atomic Energy Agency:

AFGHANISTAN	GHANA	NORWAY
ALBANIA	GREECE	OMAN
ALGERIA	GUATEMALA	PAKISTAN
ANGOLA	HAITI	PALAU
ARGENTINA	HOLY SEE	PANAMA
ARMENIA	HONDURAS	PARAGUAY
AUSTRALIA	HUNGARY	PERU
AUSTRIA	ICELAND	PHILIPPINES
AZERBAIJAN	INDIA	POLAND
BAHRAIN	INDONESIA	PORTUGAL
BANGLADESH	IRAN, ISLAMIC REPUBLIC OF	QATAR
BELARUS	IRAQ	REPUBLIC OF MOLDOVA
BELGIUM	IRELAND	ROMANIA
BELIZE	ISRAEL	RUSSIAN FEDERATION
BENIN	ITALY	SAUDI ARABIA
BOLIVIA	JAMAICA	SENEGAL
BOSNIA AND HERZEGOVINA	JAPAN	SERBIA
BOTSWANA	JORDAN	SEYCHELLES
BRAZIL	KAZAKHSTAN	SIERRA LEONE
BULGARIA	KENYA	SINGAPORE
BURKINA FASO	KOREA, REPUBLIC OF	SLOVAKIA
BURUNDI	KUWAIT	SLOVENIA
CAMBODIA	KYRGYZSTAN	SOUTH AFRICA
CAMEROON	LATVIA	SPAIN
CANADA	LEBANON	SRI LANKA
CENTRAL AFRICAN REPUBLIC	LESOTHO	SUDAN
CHAD	LIBERIA	SWEDEN
CHILE	LIBYAN ARAB JAMAHIRIYA	SWITZERLAND
CHINA	LIECHTENSTEIN	SYRIAN ARAB REPUBLIC
COLOMBIA	LITHUANIA	TAJIKISTAN
CONGO	LUXEMBOURG	THAILAND
COSTA RICA	MADAGASCAR	THE FORMER YUGOSLAV REPUBLIC OF MACEDONIA
CÔTE D'IVOIRE	MALAWI	TUNISIA
CROATIA	MALAYSIA	TURKEY
CUBA	MALI	UGANDA
CYPRUS	MALTA	UKRAINE
CZECH REPUBLIC	MARSHALL ISLANDS	UNITED ARAB EMIRATES
DEMOCRATIC REPUBLIC OF THE CONGO	MAURITANIA	UNITED KINGDOM OF GREAT BRITAIN AND NORTHERN IRELAND
DENMARK	MAURITIUS	UNITED REPUBLIC OF TANZANIA
DOMINICAN REPUBLIC	MEXICO	UNITED STATES OF AMERICA
ECUADOR	MONACO	URUGUAY
EGYPT	MONGOLIA	UZBEKISTAN
EL SALVADOR	MONTENEGRO	VENEZUELA
ERITREA	MOROCCO	VIETNAM
ESTONIA	MOZAMBIQUE	YEMEN
ETHIOPIA	MYANMAR	ZAMBIA
FINLAND	NAMIBIA	ZIMBABWE
FRANCE	NEPAL	
GABON	NETHERLANDS	
GEORGIA	NEW ZEALAND	
GERMANY	NICARAGUA	
	NIGER	
	NIGERIA	

The Agency's Statute was approved on 23 October 1956 by the Conference on the Statute of the IAEA held at United Nations Headquarters, New York; it entered into force on 29 July 1957. The Headquarters of the Agency are situated in Vienna. Its principal objective is "to accelerate and enlarge the contribution of atomic energy to peace, health and prosperity throughout the world".



IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No. SSG-9

# SEISMIC HAZARDS IN SITE EVALUATION FOR NUCLEAR INSTALLATIONS

SPECIFIC SAFETY GUIDE

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY  
VIENNA, 2010



## COPYRIGHT NOTICE

All IAEA scientific and technical publications are protected by the terms of the Universal Copyright Convention as adopted in 1952 (Berne) and as revised in 1972 (Paris). The copyright has since been extended by the World Intellectual Property Organization (Geneva) to include electronic and virtual intellectual property. Permission to use whole or parts of texts contained in IAEA publications in printed or electronic form must be obtained and is usually subject to royalty agreements. Proposals for non-commercial reproductions and translations are welcomed and considered on a case-by-case basis. Enquiries should be addressed to the IAEA Publishing Section at:

Marketing and Sales Unit, Publishing Section  
International Atomic Energy Agency  
Vienna International Centre  
PO Box 100  
1400 Vienna, Austria  
fax: +43 1 2600 29302  
tel.: +43 1 2600 22417  
email: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org)  
<http://www.iaea.org/books>

© IAEA, 2010

Printed by the IAEA in Austria  
August 2010  
STI/PUB/1448

### IAEA Library Cataloguing in Publication Data

Seismic hazards in site evaluation for nuclear installations : safety guide. —  
Vienna : International Atomic Energy Agency, 2010.  
p. ; 24 cm. — (IAEA safety standards series, ISSN 1020-525X ;  
no. SSG-9)  
STI/PUB/1448  
ISBN 978-92-0-102910-2  
Includes bibliographical references.

1. Nuclear facilities — Seismic prospecting — Risk assessment.
  2. Nuclear facilities — Seismic tomography — Safety measures.
  3. Earthquake hazard analysis. 4. Earthquake resistant design.
- I. International Atomic Energy Agency. II. Series.

IAEAL

10-00636

## FOREWORD

The IAEA's Statute authorizes the Agency to establish safety standards to protect health and minimize danger to life and property — standards which the IAEA must use in its own operations, and which a State can apply by means of its regulatory provisions for nuclear and radiation safety. A comprehensive body of safety standards under regular review, together with the IAEA's assistance in their application, has become a key element in a global safety regime.

In the mid-1990s, a major overhaul of the IAEA's safety standards programme was initiated, with a revised oversight committee structure and a systematic approach to updating the entire corpus of standards. The new standards that have resulted are of a high calibre and reflect best practices in Member States. With the assistance of the Commission on Safety Standards, the IAEA is working to promote the global acceptance and use of its safety standards.

Safety standards are only effective, however, if they are properly applied in practice. The IAEA's safety services — which range in scope from engineering safety, operational safety, and radiation, transport and waste safety to regulatory matters and safety culture in organizations — assist Member States in applying the standards and appraise their effectiveness. These safety services enable valuable insights to be shared and all Member States are urged to make use of them.

Regulating nuclear and radiation safety is a national responsibility, and many Member States have decided to adopt the IAEA's safety standards for use in their national regulations. For the contracting parties to the various international safety conventions, IAEA standards provide a consistent, reliable means of ensuring the effective fulfilment of obligations under the conventions. The standards are also applied by designers, manufacturers and operators around the world to enhance nuclear and radiation safety in power generation, medicine, industry, agriculture, research and education.

The IAEA takes seriously the enduring challenge for users and regulators everywhere: that of ensuring a high level of safety in the use of nuclear materials and radiation sources around the world. Their continuing utilization for the benefit of humankind must be managed in a safe manner, and the IAEA safety standards are designed to facilitate the achievement of that goal.



## **THE IAEA SAFETY STANDARDS**

### **BACKGROUND**

Radioactivity is a natural phenomenon and natural sources of radiation are features of the environment. Radiation and radioactive substances have many beneficial applications, ranging from power generation to uses in medicine, industry and agriculture. The radiation risks to workers and the public and to the environment that may arise from these applications have to be assessed and, if necessary, controlled.

Activities such as the medical uses of radiation, the operation of nuclear installations, the production, transport and use of radioactive material, and the management of radioactive waste must therefore be subject to standards of safety.

Regulating safety is a national responsibility. However, radiation risks may transcend national borders, and international cooperation serves to promote and enhance safety globally by exchanging experience and by improving capabilities to control hazards, to prevent accidents, to respond to emergencies and to mitigate any harmful consequences.

States have an obligation of diligence and duty of care, and are expected to fulfil their national and international undertakings and obligations.

International safety standards provide support for States in meeting their obligations under general principles of international law, such as those relating to environmental protection. International safety standards also promote and assure confidence in safety and facilitate international commerce and trade.

A global nuclear safety regime is in place and is being continuously improved. IAEA safety standards, which support the implementation of binding international instruments and national safety infrastructures, are a cornerstone of this global regime. The IAEA safety standards constitute a useful tool for contracting parties to assess their performance under these international conventions.

### **THE IAEA SAFETY STANDARDS**

The status of the IAEA safety standards derives from the IAEA's Statute, which authorizes the IAEA to establish or adopt, in consultation and, where appropriate, in collaboration with the competent organs of the United Nations and with the specialized agencies concerned, standards of safety for protection



of health and minimization of danger to life and property, and to provide for their application.

With a view to ensuring the protection of people and the environment from harmful effects of ionizing radiation, the IAEA safety standards establish fundamental safety principles, requirements and measures to control the radiation exposure of people and the release of radioactive material to the environment, to restrict the likelihood of events that might lead to a loss of control over a nuclear reactor core, nuclear chain reaction, radioactive source or any other source of radiation, and to mitigate the consequences of such events if they were to occur. The standards apply to facilities and activities that give rise to radiation risks, including nuclear installations, the use of radiation and radioactive sources, the transport of radioactive material and the management of radioactive waste.

Safety measures and security measures<sup>1</sup> have in common the aim of protecting human life and health and the environment. Safety measures and security measures must be designed and implemented in an integrated manner so that security measures do not compromise safety and safety measures do not compromise security.

The IAEA safety standards reflect an international consensus on what constitutes a high level of safety for protecting people and the environment from harmful effects of ionizing radiation. They are issued in the IAEA Safety Standards Series, which has three categories (see Fig. 1).

### **Safety Fundamentals**

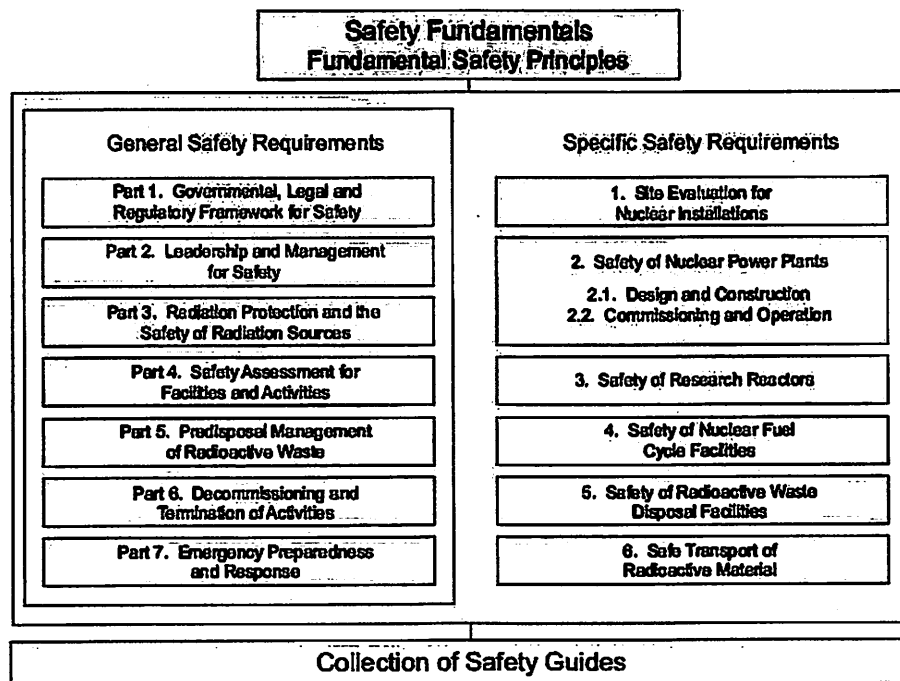
Safety Fundamentals present the fundamental safety objective and principles of protection and safety, and provide the basis for the safety requirements.

### **Safety Requirements**

An integrated and consistent set of Safety Requirements establishes the requirements that must be met to ensure the protection of people and the environment, both now and in the future. The requirements are governed by the objective and principles of the Safety Fundamentals. If the requirements are not met, measures must be taken to reach or restore the required level of safety. The format and style of the requirements facilitate their use for the establishment, in a harmonized manner, of a national regulatory framework. Requirements, including numbered 'overarching' requirements, are expressed

---

<sup>1</sup> See also publications issued in the IAEA Nuclear Security Series.



**FIG. 1. The long term structure of the IAEA Safety Standards Series.**

as 'shall' statements. Many requirements are not addressed to a specific party, the implication being that the appropriate parties are responsible for fulfilling them.

### **Safety Guides**

Safety Guides provide recommendations and guidance on how to comply with the safety requirements, indicating an international consensus that it is necessary to take the measures recommended (or equivalent alternative measures). The Safety Guides present international good practices, and increasingly they reflect best practices, to help users striving to achieve high levels of safety. The recommendations provided in Safety Guides are expressed as 'should' statements.

### **APPLICATION OF THE IAEA SAFETY STANDARDS**

The principal users of safety standards in IAEA Member States are regulatory bodies and other relevant national authorities. The IAEA safety

standards are also used by co-sponsoring organizations and by many organizations that design, construct and operate nuclear facilities, as well as organizations involved in the use of radiation and radioactive sources.

The IAEA safety standards are applicable, as relevant, throughout the entire lifetime of all facilities and activities — existing and new — utilized for peaceful purposes and to protective actions to reduce existing radiation risks. They can be used by States as a reference for their national regulations in respect of facilities and activities.

The IAEA's Statute makes the safety standards binding on the IAEA in relation to its own operations and also on States in relation to IAEA assisted operations.

The IAEA safety standards also form the basis for the IAEA's safety review services, and they are used by the IAEA in support of competence building, including the development of educational curricula and training courses.

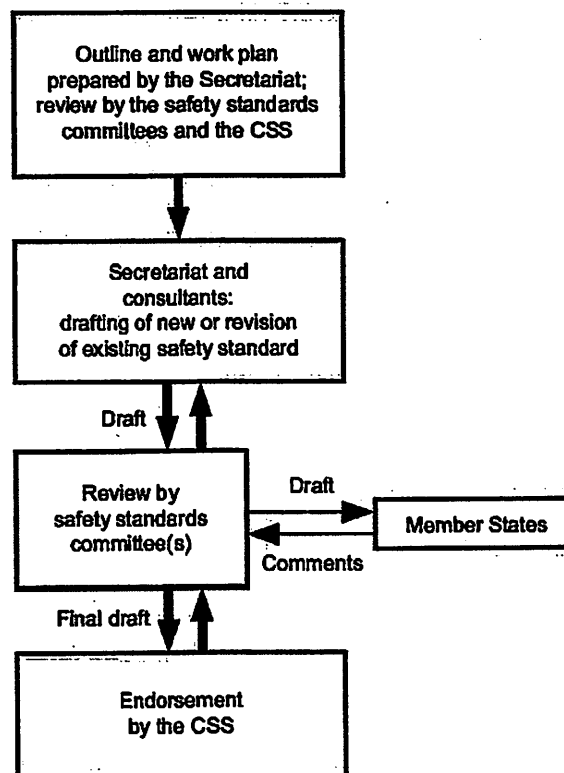
International conventions contain requirements similar to those in the IAEA safety standards and make them binding on contracting parties. The IAEA safety standards, supplemented by international conventions, industry standards and detailed national requirements, establish a consistent basis for protecting people and the environment. There will also be some special aspects of safety that need to be assessed at the national level. For example, many of the IAEA safety standards, in particular those addressing aspects of safety in planning or design, are intended to apply primarily to new facilities and activities. The requirements established in the IAEA safety standards might not be fully met at some existing facilities that were built to earlier standards. The way in which IAEA safety standards are to be applied to such facilities is a decision for individual States.

The scientific considerations underlying the IAEA safety standards provide an objective basis for decisions concerning safety; however, decision makers must also make informed judgements and must determine how best to balance the benefits of an action or an activity against the associated radiation risks and any other detrimental impacts to which it gives rise.

## **DEVELOPMENT PROCESS FOR THE IAEA SAFETY STANDARDS**

The preparation and review of the safety standards involves the IAEA Secretariat and four safety standards committees, for nuclear safety (NUSSC), radiation safety (RASSC), the safety of radioactive waste (WASSC) and the safe transport of radioactive material (TRANSSC), and a Commission on Safety Standards (CSS) which oversees the IAEA safety standards programme (see Fig. 2).





**FIG. 2.** *The process for developing a new safety standard or revising an existing standard.*

All IAEA Member States may nominate experts for the safety standards committees and may provide comments on draft standards. The membership of the Commission on Safety Standards is appointed by the Director General and includes senior governmental officials having responsibility for establishing national standards.

A management system has been established for the processes of planning, developing, reviewing, revising and establishing the IAEA safety standards. It articulates the mandate of the IAEA, the vision for the future application of the safety standards, policies and strategies, and corresponding functions and responsibilities.

## **INTERACTION WITH OTHER INTERNATIONAL ORGANIZATIONS**

The findings of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) and the recommendations of international

expert bodies, notably the International Commission on Radiological Protection (ICRP), are taken into account in developing the IAEA safety standards. Some safety standards are developed in cooperation with other bodies in the United Nations system or other specialized agencies, including the Food and Agriculture Organization of the United Nations, the United Nations Environment Programme, the International Labour Organization, the OECD Nuclear Energy Agency, the Pan American Health Organization and the World Health Organization.

## **INTERPRETATION OF THE TEXT**

Safety related terms are to be understood as defined in the IAEA Safety Glossary (see <http://www-ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm>). Otherwise, words are used with the spellings and meanings assigned to them in the latest edition of The Concise Oxford Dictionary. For Safety Guides, the English version of the text is the authoritative version.

The background and context of each standard in the IAEA Safety Standards Series and its objective, scope and structure are explained in Section 1, Introduction, of each publication.

Material for which there is no appropriate place in the body text (e.g. material that is subsidiary to or separate from the body text, is included in support of statements in the body text, or describes methods of calculation, procedures or limits and conditions) may be presented in appendices or annexes.

An appendix, if included, is considered to form an integral part of the safety standard. Material in an appendix has the same status as the body text, and the IAEA assumes authorship of it. Annexes and footnotes to the main text, if included, are used to provide practical examples or additional information or explanation. Annexes and footnotes are not integral parts of the main text. Annex material published by the IAEA is not necessarily issued under its authorship; material under other authorship may be presented in annexes to the safety standards. Extraneous material presented in annexes is excerpted and adapted as necessary to be generally useful.

## CONTENTS

1.	INTRODUCTION .....	1
	Background (1.1–1.3) .....	1
	Objective (1.4–1.5) .....	1
	Scope (1.6–1.11) .....	2
	Structure (1.12) .....	3
2.	GENERAL RECOMMENDATIONS (2.1–2.11) .....	4
3.	NECESSARY INFORMATION AND INVESTIGATIONS (DATABASE) .....	7
	Overview (3.1–3.5) .....	7
	Geological, geophysical and geotechnical database (3.6–3.23) .....	8
	Seismological database (3.24–3.33) .....	12
4.	CONSTRUCTION OF A REGIONAL SEISMOTECTONIC MODEL .....	15
	General (4.1–4.13) .....	15
	Seismogenic structures (4.14–4.27) .....	18
	Zones of diffuse seismicity (4.28–4.32) .....	20
5.	EVALUATION OF THE GROUND MOTION HAZARD .....	21
	General (5.1–5.4) .....	21
	Characterization of ground motion (5.5–5.15) .....	22
6.	PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS .....	26
	General (6.1–6.5) .....	26
	Hazard integral (6.6) .....	27
7.	DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS .....	28
8.	POTENTIAL FOR FAULT DISPLACEMENT AT THE SITE .....	29
	General (8.1–8.2) .....	29
	Capable faults (8.3–8.7) .....	30



Capable fault issues for new sites (8.8) .....	31
Capable fault issues for sites with existing nuclear power plants (8.9-8.13).....	31
<b>9. DESIGN BASIS GROUND MOTION, FAULT DISPLACEMENT AND OTHER HAZARDS .....</b>	<b>32</b>
Levels of ground motion hazard (9.1-9.2) .....	32
Design basis response spectra (9.3-9.6).....	33
Time histories (9.7-9.15) .....	34
Fault displacement (9.16).....	37
Evaluation of other hazards associated with earthquakes (9.17) .....	37
<b>10. EVALUATION OF SEISMIC HAZARDS FOR NUCLEAR INSTALLATIONS OTHER THAN NUCLEAR POWER PLANTS (10.1-10.11) .....</b>	<b>37</b>
<b>11. PROJECT MANAGEMENT SYSTEM .....</b>	<b>41</b>
Specific aspects of project organization (11.1-11.14) .....	41
Engineering uses and output specification (11.15-11.17) .....	43
Independent peer review (11.18-11.20) .....	45
<b>REFERENCES .....</b>	<b>47</b>
<b>ANNEX: TYPICAL OUTPUT OF PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSES .....</b>	<b>49</b>
<b>DEFINITIONS .....</b>	<b>51</b>
<b>CONTRIBUTORS TO DRAFTING AND REVIEW .....</b>	<b>55</b>
<b>BODIES FOR THE ENDORSEMENT OF IAEA SAFETY STANDARDS .....</b>	<b>57</b>

## 1. INTRODUCTION

### BACKGROUND

1.1. This Safety Guide was prepared under the IAEA programme for safety standards for nuclear installations. It supplements the Safety Requirements publication on Site Evaluation for Nuclear Installations [1]. The present publication provides guidance and recommends procedures for the evaluation of seismic hazards for nuclear power plants and other nuclear installations. It supersedes Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.3 (2002).

1.2. In this publication, the following was taken into account: the need for seismic hazard curves and ground motion spectra for the probabilistic safety assessment of external events for new and existing nuclear installations; feedback of information from IAEA reviews of seismic safety studies for nuclear installations performed over the previous decade; collective knowledge gained from recent significant earthquakes; and new approaches in methods of analysis, particularly in the areas of probabilistic seismic hazard analysis and strong motion simulation.

1.3. In the evaluation of a site for a nuclear installation, engineering solutions will generally be available to mitigate, by means of certain design features, the potential vibratory effects of earthquakes. However, such solutions cannot always be demonstrated to be adequate for mitigating the effects of phenomena of significant permanent ground displacement such as surface faulting, subsidence, ground collapse or fault creep.

### OBJECTIVE

1.4. The objective of this Safety Guide is to provide recommendations and guidance on evaluating seismic hazards at a nuclear installation site and, in particular, on how to determine: (a) the vibratory ground motion hazards, in order to establish the design basis ground motions and other relevant parameters for both new and existing nuclear installations; and (b) the potential for fault displacement and the rate of fault displacement that could affect the feasibility of the site or the safe operation of the installation at that site.

1.5. This Safety Guide is intended for use by regulatory bodies responsible for establishing regulatory requirements, and for operating organizations directly responsible for the assessment of seismic hazards at a nuclear installation site.

## SCOPE

1.6. The guidance and procedures recommended in this Safety Guide can appropriately be used in site evaluations and in evaluations of seismic hazards for nuclear installations in any seismotectonic environment.

1.7. Other seismic hazard phenomena involving permanent ground displacement (e.g. liquefaction, slope instability, subsidence, ground collapse, seismically induced soil settlements) as well as seismically induced floods are treated in detail in the Safety Guides relating to geotechnical aspects of site evaluation and foundations and to external floods (see Refs [2, 3], respectively).

1.8. This Safety Guide addresses an extended range of nuclear installations as defined in Ref. [4]: land based stationary nuclear power plants, research reactors, nuclear fuel fabrication facilities, enrichment facilities, reprocessing facilities and independent spent fuel storage facilities. The methodologies recommended for nuclear power plants are applicable to other nuclear installations by means of a graded approach, whereby these recommendations can be customized to suit the needs of nuclear installations of different types in accordance with the potential radiological consequences of their failure when subjected to seismic loads. The recommended direction of grading is to start with attributes relating to nuclear power plants and eventually to grade down to installations with which lesser radiological consequences are associated<sup>1</sup>. If no grading is performed, the recommendations relating to nuclear power plants are applicable to other types of nuclear installations.

1.9. This Safety Guide addresses issues relating to site evaluation for nuclear installations. Design related seismic safety aspects of nuclear power plants are covered in Ref. [5].

1.10. For the purpose of this Safety Guide, existing nuclear installations are those installations that are: (a) at the operational stage (including long term operation

---

<sup>1</sup> For sites at which nuclear installations of different types are collocated, particular consideration should be given to using a graded approach.



and extended temporary shutdown periods); (b) at a pre-operational stage for which the construction of structures, the manufacturing, installation and/or assembly of components and systems, and commissioning activities are significantly advanced or fully completed; or (c) at temporary or permanent shutdown stage while nuclear fuel is still within the facility (in the core or the pool). In existing nuclear installations that are at the operational and pre-operational stages, a change of the original design bases may lead to a significant impact on the design and, consequently, to important hardware modifications [6]. Such a change in the original design bases may be made for a new seismic hazard at the site or a change in the regulatory requirements regarding the consideration of seismic hazards and/or seismic design of the installation.

1.11. The probabilistic seismic hazard analysis recommended in this Safety Guide also addresses what is needed for probabilistic safety assessments (PSAs) conducted for nuclear installations. In accordance with Ref. [7], seismic PSAs are required for seismic evaluation of nuclear power plants.

## STRUCTURE

1.12. Recommendations of a general nature are provided in Section 2. The acquisition of a database containing the information needed to evaluate and address all hazards associated with earthquakes is discussed in Section 3. Section 4 covers the use of this database for the construction of a seismotectonic model. Section 5 reviews vibratory ground motion hazards using the databases developed (Section 3) and the seismotectonic model (Section 4). Sections 6 and 7 discuss probabilistic and deterministic methods of evaluating vibratory ground motion hazards. Section 8 reviews methods for evaluation of the potential for fault displacement. Section 9 discusses the development of design basis ground motion and fault displacement. Sections 3 to 9 provide detailed guidance for nuclear power plants. Section 10 discusses the evaluation of seismic hazards for nuclear installations other than nuclear power plants using a graded approach. Section 11 addresses project management, including quality assurance and peer review requirements. The annex provides an example of typical output deriving from probabilistic seismic hazard analyses.

## 2. GENERAL RECOMMENDATIONS

2.1. As established in the Safety Requirements publication, Site Evaluation for Nuclear Installations [1]:

"The seismological and geological conditions in the region and the engineering geological aspects and geotechnical aspects of the proposed site area shall be evaluated." (Ref. [1], para. 3.1.)

"The hazards associated with earthquakes shall be determined by means of seismotectonic evaluation of the region with the use to the greatest possible extent of the information collected." (Ref. [1], para. 3.3.)

"Hazards due to earthquake induced ground motion shall be assessed for the site with account taken of the seismotectonic characteristics of the region and specific site conditions. A thorough uncertainty analysis shall be performed as part of the evaluation of seismic hazards." (Ref. [1], para. 3.4.)

"The potential for surface faulting (i.e. the fault capability) shall be assessed for the site. . . ." (Ref. [1], para. 3.5.)

Detailed requirements are also included in Ref. [1], paras 3.2, 3.6 and 3.7.

2.2. In accordance with these requirements and in line with international practice, the geological, geophysical and seismological characteristics of the region around the site and the geotechnical characteristics of the site area should be investigated as recommended in this Safety Guide for the purpose of evaluating the seismic hazards at the nuclear installation site.

2.3. Where necessary, the site region should include areas extending beyond national borders and the relevant offshore area for sites located near a coastline. The database acquired should be homogeneous for the entire region to the extent possible or, at a minimum, should be sufficiently complete for characterizing, from a seismotectonic point of view, features relevant to the site that are located in other States or in offshore areas.

2.4. The size of the region to be investigated, the type of information to be collected and the scope and detail of the investigations should be determined in accordance with the nature and complexity of the seismotectonic environment. In



all cases, the scope and detail of the information to be collected and the investigations to be undertaken should be sufficient for determining the vibratory ground motion and fault displacement hazards. If the site is close to major tectonic structures such as plate boundaries, thrust zones and subduction zones, including those in offshore areas, these structures should be considered in the investigations not only as seismogenic but also as features that may strongly affect the travel path and the site response.

2.5. The seismic hazard evaluation should be done through implementation of a specific project for which clear and detailed objectives are defined, and in accordance with a work plan, as recommended in Section 11 of this Safety Guide. This seismic hazard evaluation project should be carried out by a multidisciplinary team of experts, including geologists, seismologists, geophysicists, engineers and possibly other experts (e.g. historians). The members of the team for the seismic hazard evaluation project should demonstrate the expertise and experience commensurate with their role in the project.

2.6. The general approach to seismic hazard evaluation should be directed towards reducing the uncertainties at various stages of the evaluation process in order to obtain reliable results driven by data. Experience shows that the most effective way of achieving this is to collect a sufficient amount of reliable and relevant data. There is generally a trade-off between the time and effort necessary to compile a detailed, reliable and relevant database and the degree of uncertainty that the analyst should take into consideration at each step of the process.

2.7. The collection of site specific data tends to reduce uncertainties. However, part of the data used indirectly in seismic hazard evaluation may not be site specific; for example, in many cases the strong motion data used to develop the attenuation relationships. There may be, therefore, a part of the uncertainty which is irreducible with respect to site specific investigations. This should be recognized and taken into consideration by including aleatory uncertainty (i.e. uncertainty that is intrinsic or random in nature) and epistemic uncertainty (i.e. uncertainty that is extrinsic in nature or is associated with modelling) within the framework of seismic hazard evaluation.

2.8. The overall uncertainty will involve both aleatory uncertainties, and epistemic uncertainties that arise owing to differences in interpretation on the part of informed experts participating in the seismic hazard evaluation. Every aspect of the identification, analysis and characterization of seismic sources and estimation of ground motion hazards may involve subjective interpretation by



experts. By taking due consideration of this, such interpretations should be treated in the seismic hazard analysis in a consistent manner, providing for a suitable representation of current thinking in seismic source and ground motion modelling. Particular care should be taken to avoid bias in these interpretations. Expert opinion should not be used as a substitute for acquiring new data. The project team for the seismic hazard evaluation should not promote any one expert hypothesis or model. It should, however, evaluate all viable hypotheses and models using the data compiled, and then develop an integrated evaluation that incorporates both knowledge and uncertainties.

2.9. To cover the diversity of scientific interpretations, one approach is to involve a team of experts qualified in each of the relevant disciplines. When such an approach is not feasible, an alternative approach to hazard analysis can be taken. In such a case, it should be demonstrated that a similar level of uncertainty in the input can still be represented. This may be possible by developing a detailed analysis of relevant data and scientific research and by incorporating into the analysis all scientifically valid alternative hypotheses, associated uncertainties and sensitivity analyses. A systematically conducted sensitivity analysis should be used to support the evaluation of the significance of the contributions of the various input data in the model.

2.10. Uncertainties that cannot be reduced by means of site investigations (e.g. uncertainties arising from the use of ground motion attenuation relationships derived for other parts of the world) do not permit hazard values to decrease below certain threshold values. For this reason, and regardless of any lower apparent exposure to seismic hazard, a minimum level should be recognized as the lower limit to any seismic hazard study performed for a nuclear power plant using this Safety Guide.

2.11. In that regard, generically, this level should be represented by a horizontal free field standardized response spectrum anchored to a peak ground acceleration value of  $0.1g$  (where 'g' is the acceleration due to gravity). It should also be recognized that when geological and seismological data have deficiencies in comparison with what is recommended in Section 3, the value of  $0.1g$  will not represent a sufficiently conservative estimate of the hazard. This fact should be properly represented in defining the design basis and re-evaluation parameters discussed in Refs [5, 6], respectively.

### 3. NECESSARY INFORMATION AND INVESTIGATIONS (DATABASE)

#### OVERVIEW

3.1. A comprehensive and integrated database of geological, geophysical, geotechnical and seismological information should be acquired and incorporated in a coherent form for evaluating and resolving issues relating to all hazards associated with earthquakes.

3.2. It should be ensured that each element of every database has been investigated as fully as possible before an integration of the various elements is attempted. The integrated database should include all relevant information: that is, not only geological, geophysical, geotechnical and seismological data, but also any other information that is relevant to evaluating the ground motion, faulting and geological hazards at the site.

3.3. Investigations should be conducted on four spatial scales — regional, near regional, site vicinity and site area — leading to progressively more detailed investigations, data and information. The detail of these data is determined by the different spatial scales. The first three scales of investigation lead primarily to progressively more detailed geological and geophysical data and information. The site area investigations are aimed at developing the geotechnical database. To achieve consistency in the presentation of information, whenever possible the data should be compiled in a geographical information system with adequate metadata information. All data should be stored in a uniform reference frame to facilitate comparison and integration.

3.4. The compilation of the seismological database will normally be less dependent on the regional, near regional and site vicinity scales than that of other databases. However, seismogenic structures in the near region and in the site vicinity will usually be more important for seismic hazard evaluation, depending on the rates of activity, the expected maximum potential magnitudes and the regional attenuation of ground motion. Particularly for some intraplate tectonic settings, attention should be paid to compiling seismological data for more distant seismic sources that may be beyond the typical boundaries of the region. In offshore regions, adequate investigations should be conducted in order to fully analyse the tectonic characteristics of the region and to compensate for any lack of or deficiency in the seismological data.



3.5. When a seismic hazard analysis is performed for any reason during the operating lifetime of the nuclear power plant (e.g. for a periodic safety review or a probabilistic seismic hazard analysis for a seismic probabilistic safety assessment), the integrated database should be updated to cover the time elapsed from the most recent compilation of data until the present, and recent scientific findings should be incorporated.

#### GEOLOGICAL, GEOPHYSICAL AND GEOTECHNICAL DATABASE

3.6. As established in Ref. [1], para. 2.19: "The size of the region to which a method for establishing the hazards associated with major external phenomena is to be applied shall be large enough to include all the features and areas that could be of significance in the determination of the natural and human induced phenomena under consideration and for the characteristics of the event."

#### Regional investigations

3.7. The size of the relevant region may vary, depending on the geological and tectonic setting, and its shape may be asymmetric in order to include distant significant seismic sources of earthquakes. Its radial extent is typically 300 km. In intraplate regions, and in the particular case of investigations into the potential for tsunamis (Ref. [3]), the investigations may need to consider seismic sources at very great distances from the site. If it can be demonstrated easily that there are major tectonic structures closer to the site than the radius indicated, then studies should concentrate on this part of the region.

3.8. The purpose of obtaining data on a regional scale is to provide knowledge of the general geodynamic setting of the region and the current tectonic regime, as well as to identify and characterize those geological features that may influence or relate to the seismic hazard at the site. The most relevant among these geological features are structures that show potential for displacement and/or deformation at or near the ground surface; that is, capable faults. The data obtained from any type of published and unpublished geological and geophysical source (e.g. data derived from existing galleries, road cuts, geophysical surveys or boreholes) should be presented on maps with appropriate cross-sections.

3.9. Where existing data are inadequate for the purpose of delineating seismogenic structures, in terms of location, extent and rate of ongoing deformation, it may be necessary to verify and complete the database by acquiring new geological and geophysical data. This may involve investigations

at the scale (detail) of the near region and site vicinity to assess the potential seismogenic features located outside the near region. Identification of the ground effects of prehistoric and historical earthquakes on the geological and geomorphological environment (i.e. palaeoseismology, see para. 4.13) is also useful for this purpose.

3.10. The data are typically presented on maps at a scale of 1:500 000 or larger, and with appropriate cross-sections.

#### **Near regional investigations**

3.11. Near regional studies should include a geographical area typically not less than 25 km in radius, although this dimension should be adjusted to reflect local conditions. The objectives of these studies are to:

- (1) Define the seismotectonic characteristics of the near region on the basis of a more detailed database than that obtained from the regional study;
- (2) Determine the latest movements of faults;
- (3) Determine the amount and nature of displacements, rates of activity and evidence related to the segmentation of faults.

3.12. To supplement the published and unpublished information for the near regional area, specific investigations typically should include a definition of the stratigraphy, structural geology and tectonic history of the near region. The tectonic history should be thoroughly defined for the present tectonic regime, the length of which will depend on the rate of tectonic activity. For example, for studies to assess fault capability, the tectonic information through the Upper Pleistocene–Holocene (i.e. the present) may be adequate for interplate regions and that through the Pliocene–Quaternary (i.e. the present) for intraplate regions. Age dating, by any reliable and applicable method, should be performed. In addition to field mapping, other sources of data should be used if necessary, for example:

- (a) Subsurface data derived from geophysical investigations (such as seismic reflection, refraction, gravimetric, electric and magnetic techniques), to characterize spatially the identified structures considered to be relevant in terms of their geometry, extent and rate of deformation. Use of heat flow data may also be necessary. These data are of primary importance in dealing with offshore areas (for sites located on or near a coastline).



- (b) Surface data derived from studies of Quaternary formations or land forms, such as terrace analysis and pedological and sedimentological studies. Use should be made of aerial and satellite photographs and/or images for this task.
- (c) For understanding the ongoing rate and type of deformation, use should also be made of data derived by recently developed technological means such as global positioning system data and interferometry data, and of data derived from strain rate measurements.

3.13. For some relevant structures identified in the near regional investigations, it may be necessary to conduct additional geological and geophysical studies at the site vicinity scale in order to obtain the desired detail of characterization (see para. 4.13).

3.14. Investigations should be made in sufficient detail so that the causes of each recent (in terms of the pertinent time window for the specific local tectonic environment) geological and geomorphological feature that is relevant (e.g. linear topographic or structural features as found in photographs, remote sensing imagery or geophysical data) can be properly included in a reasonable model of the recent geological evolution of the area.

3.15. The data are typically presented on maps at a scale of 1:50 000 and with appropriate cross-sections.

#### **Site vicinity investigations**

3.16. Site vicinity studies should cover a geographical area typically not less than 5 km in radius. In addition to providing a yet more detailed database for this smaller area, the objective of these investigations is to define in greater detail the neotectonic history of the faults, especially for determining the potential for and rate of fault displacement at the site (fault capability), and to identify conditions of potential geological instability of the site area.

3.17. Investigations of the site vicinity typically should include geomorphological and geological mapping, geophysical investigations and profiling, boreholes and trenching (see Section 8), and the data to be provided should be consistent with the tectonic environment and the geological features observed. As a minimum, the following data sets should be provided:

- (a) A geological map with cross-sections;
- (b) Age, type, amount and rate of displacement of all the faults in the area;

- (c) Identification and characterization of locations potentially exhibiting hazards induced by natural phenomena (e.g. landslide, subsidence, subsurface cavities or karstic processes) and by human activities.

3.18. Typically, the data are presented on maps at a scale of 1:5000 and with appropriate cross-sections.

#### **Site area investigations**

3.19. Site area studies should include the entire area covered by the nuclear power plant, which is typically one square kilometre. The primary objective of these investigations is to obtain detailed knowledge of the potential for permanent ground displacement phenomena associated with earthquakes (e.g. fault capability, liquefaction, subsidence or collapse due to subsurface cavities) and to provide information on the static and dynamic properties of foundation materials (such as P-wave and S-wave velocities), to be used in site response analysis as defined in detail in Ref. [6].

3.20. The database should be developed from detailed geological, geophysical and geotechnical studies, including in situ and laboratory testing.

3.21. The following investigations of the site area should be performed, by using field and laboratory techniques:

- (a) Geological and geotechnical investigations to define the stratigraphy and the structure of the area: Investigations using boreholes or test excavations (including in situ testing), geophysical techniques and laboratory tests should be conducted to define the stratigraphy and structure of the site area and to determine the thickness, depth, dip, and static and dynamic properties of the different subsurface layers as may be required by engineering models (e.g. Poisson's ratio, Young's modulus, shear modulus, density, relative density, shear strength and consolidation characteristics, grain size distribution).
- (b) Hydrogeological investigations: Investigations using boreholes and other techniques should be conducted to define the geometry, physical and chemical properties, and steady state behaviour (e.g. water table depth, recharge rate, transmissivity) of all aquifers in the site area, with the specific purpose of determining the stability of soils and how they interact with the foundation.



- (c) Supplemental investigations of site effects: The dynamic behaviour of the site should be assessed, using available macroseismic and instrumental information as guidance.

3.22. All the data required for assessing the dynamic soil-structure interaction should be acquired in the course of these investigations. For completeness and efficiency, the investigations described in paras 3.19 and 3.20 should be integrated with the investigations required for the dynamic soil-structure interaction as described in Ref. [2].

3.23. The data are typically presented on maps at a scale of 1:500 and with appropriate cross-sections.

#### SEISMOLOGICAL DATABASE

3.24. As established in Ref. [1], para. 3.2: "Information on prehistorical, historical and instrumentally recorded earthquakes in the region shall be collected and documented." A catalogue — the site earthquake catalogue — should be compiled that includes all earthquake related information developed for the project covering all those temporal scales.

#### Prehistoric and historical earthquake data (pre-instrumental data)

3.25. All pre-instrumental data on historical earthquakes (that is, events for which no instrumental recording was possible) should be collected, extending as far back in time as possible. Palaeoseismic and archaeological information on historical and prehistoric earthquakes should also be taken into account.

3.26. To the extent possible, the information on each earthquake should include:

- (a) Date, time and duration of the event;
- (b) Location of the macroseismic epicentre;
- (c) Estimated focal depth;
- (d) Estimated magnitude, the type of magnitude (e.g. moment magnitude, surface wave magnitude, body wave magnitude, local magnitude or duration magnitude; see Definitions) and documentation of the methods used to estimate magnitude from the macroseismic intensity;
- (e) Maximum intensity and, if different, intensity at the macroseismic epicentre, with a description of local conditions and observed damage;
- (f) Iseismal contours;

- (g) Intensity of the earthquake at the site, together with any available details of effects on the soil and the landscape;
- (h) Estimates of uncertainty for all of the parameters mentioned;
- (i) An assessment of the quality and quantity of data on the basis of which such parameters have been estimated;
- (j) Information on felt foreshocks and aftershocks;
- (k) Information on the causative fault.

The intensity scale used in the catalogue should be specified, since intensity levels can vary, depending on the scale used. The magnitude and depth estimates for each earthquake should be based on relevant empirical relationships between instrumental data and macroseismic information, which may be developed from the database directly from intensity data or by using isoseismals.

#### **Instrumental earthquake data**

3.27. All available instrumental earthquake data should be collected. Existing information on crustal models should be obtained in order to locate earthquakes. The information to be obtained for each earthquake should include:

- (a) Date, duration and time of origin;
- (b) Coordinates of the epicentre;
- (c) Focal depth;
- (d) All magnitude determinations, including those on different scales, and any information on seismic moment;
- (e) Information on observed foreshocks and aftershocks, with their dimensions and geometry where possible;
- (f) Other information that may be helpful in understanding the seismotectonic regime, such as focal mechanism, seismic moment, stress drop and other seismic source parameters;
- (g) Macroseismic details as discussed in para. 3.26;
- (h) Asperity location and size;
- (i) Estimates of uncertainty for each of the parameters mentioned;
- (j) Information on the causative fault, directivity and duration of rupture;
- (k) Records from both broadband seismometers and strong motion accelerographs.

3.28. When the catalogue of prehistoric, historical and instrumental earthquake data has been compiled, an assessment of the completeness and reliability of the information it contains, particularly in terms of macroseismic intensity, magnitude, date, location and focal depth, should be conducted. In general, the

catalogues are incomplete for small magnitude events owing to the threshold of recording sensitivity, and they are incomplete for large magnitude events owing to their long recurrence intervals (and the comparatively short period of coverage of the catalogues). Appropriate methods should be used to take account of this incompleteness.

3.29. Wherever possible, available recordings of regional and local strong ground motion should be collected and used for deriving or selecting appropriate ground motion attenuation relationships and in developing response spectra as discussed in Section 9.

#### **Project specific instrumental data**

3.30. To acquire more detailed information on potential seismic sources, it is recommended that a network of sensitive seismographs having a recording capability for micro-earthquakes be installed and operated. The minimum monitoring period necessary to obtain meaningful data for seismotectonic interpretation is at least several years for regions of high seismicity, and is much longer for regions of low seismicity. It is advisable to link the operation and data processing, data interpretation, and reporting of the local micro-earthquake network to the regional and/or national seismic networks. If the selected instrumentation for this purpose cannot adequately record strong motion earthquakes, consideration should be given to collocating several strong motion accelerographs with the sensitive seismographs.

3.31. Earthquakes recorded within and near such a network should be carefully analysed in connection with seismotectonic studies of the near region.

3.32. Strong motion accelerographs should be installed permanently within the site area in order to record small and large earthquakes (Ref. [5]). Weak and strong motion instrumentation using vertical and horizontal arrays should be used for a better understanding of buried structures and site response. A stratigraphic profile with dynamic soil properties below the network stations should be obtained.

3.33. This instrumentation should be appropriately and periodically upgraded and calibrated to provide adequate information in line with updated international operational practice. A maintenance programme, including data communication aspects, should be in place to ensure that no significant lapses occur.



## 4. CONSTRUCTION OF A REGIONAL SEISMOTECTONIC MODEL

### GENERAL

4.1. The link between the geological, geophysical, geotechnical and seismological databases (Section 3) and the calculation of the seismic hazard (Sections 5–8) is a regional seismotectonic model, which should be based on a coherent merging of the databases. In the construction of such a model, all relevant interpretations of the seismotectonics of the region that may be found in the available literature should be taken into account. Above all, a sound database is essential in the construction of a reliable seismotectonic model. It should be noted that the most sophisticated methods will not yield good models if the database is poor or insufficient.

4.2. The standard procedure is to integrate the elements of the seismological, geophysical and geological databases (see Section 3) in order to construct a coherent seismotectonic model (and alternative models) consisting of a discrete set of seismogenic structures.

4.3. The seismogenic structures identified may not explain all the observed earthquake activity. This is because seismogenic structures may exist without recognized surface or subsurface manifestations, and because of the timescales involved; for example, fault displacements may have long recurrence intervals with respect to seismological observation periods.

4.4. Consequently, any seismotectonic model should consist, to a greater or lesser extent, of two types of seismic source:

- (1) Those seismogenic structures that can be identified by using the available database;
- (2) Diffuse seismicity (consisting usually, but not always, of small to moderate earthquakes) that is not attributable to specific structures identified by using the available database.

4.5. The evaluation and characterization of seismic sources of both types involve assessments of uncertainty. However, seismic sources of the second type, those of diffuse seismicity, pose a particularly complex problem in seismic hazard evaluation and will generally involve greater uncertainty because the causative faults of earthquakes are not well understood.

4.6. An attempt should be made to define all the parameters of each element in a seismotectonic model. The construction of the model should be primarily data driven, and the data should not be interpreted in a manner that supports an individual's preconception.

4.7. When it is possible to construct alternative models that can explain the observed geological, geophysical and seismological data, and the differences in these models cannot be resolved by means of additional investigations within a reasonable time frame, all such models should be taken into consideration in the final hazard evaluation, with due weight given to each model. The epistemic uncertainty (i.e. the uncertainty associated with the modelling process) should be adequately assessed, to capture the full range of hypotheses regarding the characterization of the seismic sources and the frequencies of the earthquakes.

4.8. Prior to the use of the earthquake catalogue (see para. 3.24) to estimate the magnitude–frequency relationship for a seismic source, considerable evaluation and processing of the catalogue is required. This should include:

- (a) Selection of a consistent magnitude scale for use in the seismic hazard analysis;
- (b) Determination of the uniform magnitude of each event in the catalogue on the selected magnitude scale;
- (c) Identification of main shocks (i.e. declustering of aftershocks);
- (d) Estimation of completeness of the catalogue as a function of magnitude, regional location and time period;
- (e) Quality assessment of the derived data, with uncertainty estimates of all parameters.

4.9. The magnitude scale selected should be consistent with the magnitude scale used in the ground motion attenuation relationships that are used in the hazard calculations and in any relationships used to derive the earthquake magnitude from intensity data. In deriving magnitude–frequency relationships, the selected magnitude scale should vary close to linearly with the moment magnitude ( $M_w$ ) scale across the magnitude range of interest, in order to avoid magnitude saturation effects. This is in line with the recognition that the use of  $M_w$  is becoming a worldwide standard, owing to its increased use in seismology and the development of attenuation relationships.

4.10. A magnitude–frequency relationship should be developed for each seismic source. Each magnitude–frequency relationship should include the maximum potential magnitude up to which the magnitude–frequency relationship applies.



4.11. Uncertainty in the parameters of the magnitude–frequency relationship should be defined by probability distributions that account for any correlation between the parameters.

4.12. The maximum potential magnitude  $m_{\max}$  associated with each seismic source should be specified, and the uncertainty in  $m_{\max}$  should be described by a discrete or continuous probability distribution. For each seismic source, the value of  $m_{\max}$  is used as the upper limit of integration in a probabilistic seismic hazard calculation and in the derivation of the magnitude–frequency relationship, and as the scenario magnitude in a deterministic seismic hazard evaluation. For sites in intraplate settings, the largest observed earthquake may not be a good estimate of  $m_{\max}$ . The use of global analogues is important, and care should be taken to determine the appropriate seismotectonic analogue. The sensitivity of the resulting hazard to the selection of the  $m_{\max}$  distributions should be tested.

4.13. Earthquakes produce effects on the environment that are also described in the macroseismic intensity scales. Some of these effects (e.g. faulting, liquefaction, coastline uplift) can be observed to recognize past earthquakes. The study of the geological record of prehistoric and historical earthquakes is referred to as palaeoseismology. Palaeoseismic studies may be particularly useful in areas for which historical earthquake records are lacking. When appropriate, palaeoseismic studies should be performed by using the database described in Section 3 for the following purposes:

- (a) Identification of seismogenic structures on the basis of the recognition of effects of past earthquakes in the region.
- (b) Improvement of the completeness of earthquake catalogues for large events, using identification and age dating of fossil earthquakes. For example, observations of trenching across the identified capable faults may be useful in estimating the amount of displacement (e.g. from the thickness of colluvial wedges) and its rate of occurrence (e.g. by using age dating of the sediments). Regional studies of palaeo-liquefaction can provide evidence of the recurrence and intensity of earthquakes.
- (c) Estimation of the maximum potential magnitude of a given seismogenic structure, typically on the basis of the maximal length of the structure and displacement per event (trenching) as well as of the cumulative effect (seismic landscape).
- (d) Calibration of probabilistic seismic hazard analyses, using the recurrence intervals of large earthquakes.

## SEISMOGENIC STRUCTURES

### Identification

4.14. All seismogenic structures that may have significance for contributing to the ground motion and fault displacement hazard at the site should be included in the seismotectonic model.

4.15. With regard to the ground motion hazard, the concern lies with those seismogenic structures whose combination of location and earthquake potential could contribute to the seismic hazard at the site over the range of ground motion frequencies of interest.

4.16. With regard to the fault displacement hazard, the concern lies with those seismogenic structures close to the site that have a potential for displacement at or near the ground surface (i.e. capable faults, see Section 8).

4.17. The identification of seismogenic structures should be made from the geological, geophysical, geotechnical and seismological databases (see Section 3) on the basis of those geological features for which there is direct or indirect evidence of their having been a seismic source within the current tectonic regime. The correlation of historical and instrumental recordings of earthquakes with geological and geophysical features is particularly important in identifying seismogenic structures, although a lack of correlation does not necessarily indicate that a structure is not seismogenic.

4.18. Whenever the investigations described in Section 3 show that an earthquake hypocentre or a group of earthquake hypocentres can potentially be associated with a geological feature, the rationale for this association should be developed by considering the characteristics of the feature, its geometry and geographical extent, and its structural relationship to the regional tectonic framework.

4.19. Other available seismological information (such as information on uncertainties in hypocentral parameters and the earthquakes' focal mechanisms, stress environments and foreshock and aftershock distributions) should also be used in considering any association of earthquake hypocentres with geological features.

4.20. When specific data on a particular geological feature are lacking or sparse, a detailed comparison of this feature with other analogous geological features in the region should be made in terms of their age of origin, sense of movement and



history of movement, to help determine whether the feature can be considered seismogenic.

4.21. The incorporation of seismogenic structures into a seismotectonic model should be done firmly on the basis of the available data and should incorporate uncertainties in the identification of these structures. Unsupported assumptions or opinions with regard to the association between earthquakes and geological features should not be considered an appropriate assessment of uncertainty. However, the lack of data on a geological feature should not by itself be considered a sufficient reason to treat the feature as not seismogenic.

#### Characterization

4.22. For seismogenic structures that have been identified as being pertinent to determining the exposure of the site to earthquake hazards, their associated characteristics should be determined. The dimensions of the structure (length, down-dip, width), orientation (strike, dip), amount and direction of displacement, rate of deformation, maximum historical intensity and magnitude, palaeoseismic data, geological complexity (segmentation, branching, structural relationships), earthquake data and comparisons with similar structures for which historical data are available should be used in this determination.

4.23. When sufficient information about the seismological and geological history of the movement of a fault or structure (such as segmentation, average stress drop and fault width) is available to allow estimates to be made of the maximum rupture dimensions and/or displacements of future earthquakes, this information together with empirical relationships may be used to evaluate the maximum potential magnitude. A number of other data that may be used to construct a rheological profile are also important in this estimation, such as data on heat flow, crustal thickness and strain rate.

4.24. In the absence of suitably detailed data, the maximum potential magnitude of a seismogenic structure can be estimated from its total dimensions. For a fault source, the maximum magnitude can be estimated using the fault's length and depth as well as the stress regime impinging on it. In locations where a fault zone comprises multiple fault segments, each fault should be taken into account independently. The possibility of the multiple fault segments rupturing simultaneously during a single earthquake should also be analysed. In order to deal with  $m_{\max}$  uncertainties, a suite of possible fault rupture length scenarios should be developed and used to determine the best estimate for  $m_{\max}$  values on that fault.

4.25. Other approaches are available for estimating maximum potential magnitudes on the basis of statistical analysis of the magnitude–frequency relationships for earthquakes associated with a particular structure. These approaches assume an association between the structure and all the earthquake data used. In all cases, the results of these methods should be confirmed to be consistent with the data.

4.26. Regardless of the approach or combination of approaches used, the determination of the maximum potential magnitude may have significant uncertainty, which should be incorporated to the extent that it is consistent with geological and geomorphological data.

4.27. In addition to the maximum potential magnitude, a magnitude–frequency relationship should be derived for each seismogenic structure included in the seismotectonic model, to determine: (a) the rate of earthquake activity; (b) an appropriate type of magnitude–frequency relationship (e.g. characteristic or exponential); and (c) the uncertainty in this relationship and its parameters.

## ZONES OF DIFFUSE SEISMICITY

### Identification

4.28. Seismotectonic provinces should be used to represent zones of diffuse seismicity in which each seismotectonic province is assumed to encompass an area having equal seismic potential (i.e. a geographically uniform rate of seismicity). A geographically non-uniform distribution of seismicity can also be used provided that the available data support this assumption.

4.29. In the performance of a seismic hazard evaluation, knowledge about the depth distribution of the diffuse seismicity (e.g. derived from the seismological database) should be incorporated. Estimates of the maximum depth of earthquakes can be made on the basis of the recognized fact that earthquakes originate within or above the brittle to ductile transition zone of the Earth's crust.

4.30. Significant differences in rates of earthquake occurrence may suggest different tectonic conditions and may be used in defining the boundaries of the seismotectonic provinces. Significant differences in focal depths (e.g. crustal versus subcrustal), focal mechanisms, states of stress, tectonic characteristics and Gutenberg–Richter *b* values may all be used to differentiate between provinces or zones.



## Characterization

4.31. The maximum potential magnitude not associated with identified seismogenic structures should be evaluated on the basis of historical data and the seismotectonic characteristics of the zone. Comparison with similar regions for which extensive historical data are available may be useful, but considerable judgement may be used in such an evaluation. Often the value of maximum potential magnitude obtained will have significant uncertainty owing to the relatively short time period covered by the historical data with respect to the processes of ongoing deformation. This uncertainty should be appropriately represented in the seismotectonic model.

4.32. For seismic sources that have few earthquakes, determination of the Gutenberg–Richter  $b$  value may involve a different approach, which may include adopting a value that represents the regional tectonic setting of the seismic source; for example, a stable continental tectonic setting. This approach is viable because many studies have shown that the  $b$  value varies over a relatively narrow range within a given tectonic setting. Regardless of the approach used to determine the  $b$  value of the magnitude–frequency relationship, uncertainty in the parameter should be appropriately assessed and incorporated into the seismic hazard analysis.

## 5. EVALUATION OF THE GROUND MOTION HAZARD

### GENERAL

5.1. The ground motion hazard should preferably be evaluated by using both probabilistic and deterministic methods of seismic hazard analysis. When both deterministic and probabilistic results are obtained, deterministic assessments can be used as a check against probabilistic assessments in terms of the reasonableness of the results, particularly when small annual frequencies of exceedance are considered. The probabilistic results allow deterministic values to be evaluated within a probabilistic framework so that the annual frequency of exceedance of each spectral ordinate of the deterministic response spectrum is known.



5.2. In the seismic hazard evaluation, all uncertainties — both aleatory and epistemic — should be taken into account. In a deterministic seismic hazard analysis as recommended in this Safety Guide, uncertainties are incorporated by using a conservative process at each step of the evaluation. These steps are described in para. 7.1. The probabilistic seismic hazard analysis should provide a realistic assessment and should incorporate uncertainties explicitly in the analysis.

5.3. When conducting studies for seismic probabilistic safety assessment as required in Safety of Nuclear Power Plants: Design [7], the performance of a probabilistic seismic hazard analysis is a requirement. The same requirement applies when a seismic probabilistic safety assessment is to be performed as part of an evaluation of the seismic safety of an existing nuclear power plant. A probabilistic seismic hazard analysis may also be used to support seismic margin assessments for nuclear power plants; for example, in the derivation of the review level earthquake (see Ref. [6]).

5.4. When computer codes are used in the evaluation of the ground motion hazard, they should be able to accommodate the variety of alternative attenuation and seismic source models defined by the project team for the seismic hazard evaluation, for use in the calculations. It should also be demonstrated that these codes account appropriately for the treatment of uncertainties.

#### CHARACTERIZATION OF GROUND MOTION

5.5. One or more ground motion parameters and, if appropriate, ground motion components should be selected that best meet the objectives of the seismic hazard analysis. The parameters most commonly used to characterize ground motion are response spectral acceleration, velocity or displacement at specified damping levels, ground motion duration and oscillator frequencies. Other parameters include peak ground acceleration, peak ground velocity, peak ground displacement, the average value of response spectral values over a specified range of oscillator frequencies, Fourier amplitude spectrum and power spectral density. The ground motion components that are commonly used are the largest horizontal component, the geometric mean of the two horizontal components, the random horizontal component, the vector sum of the two horizontal components, and the vertical component. The selection of the ground motion parameters and components should be consistent with the requirements of the users of the seismic hazard analysis (see Section 11).

## Ground motion prediction models: Attenuation relationships

5.6. The attenuation relationship(s) should express the ground motion as a function of all relevant parameters, using an empirically or theoretically constrained relationship of the form:

$$GM = g(m, r, c_i) + \varepsilon_{gm} + \varepsilon_c \quad (1)$$

where

- $GM$  is the median estimate of the ground motion parameter and ground motion component of interest (usually expressed as a logarithm);
- $g(\dots)$  is a mathematical function;
- $m$  is the earthquake magnitude;
- $r$  is the seismic source to site distance;
- $c_i$  are other relevant parameters (e.g. style of faulting, hanging wall effects and local site conditions);
- $\varepsilon_{gm}$  is the aleatory uncertainty;
- $\varepsilon_c$  is the component to component variability (i.e. the variability between the two horizontal components should the random horizontal component of ground motion be used in the seismic hazard analysis).

5.7. The calculated ground motion may express the maximum ground motion or a random component, depending on the project needs (see Section 11). The parameter  $\varepsilon_c$  is used when the component to component variability needs to be represented.

5.8. It is useful in some situations to divide the aleatory uncertainty into its inter-event or between-earthquake component ( $\varepsilon_e$ ) and its intra-event or within-earthquake component ( $\varepsilon_s$ ). If, for a given attenuation relationship, such a partitioning of the uncertainty is not available, it can be estimated from those attenuation relationships that provide a partitioning of the uncertainty. It should be noted that attenuation relationships are also referred to as ground motion prediction equations because the process that they represent covers more than just attenuation. The term 'attenuation relationship', while not fully descriptive, is used in this Safety Guide for historical reasons and for consistency with common usage. A separate relationship may be used for the vertical ground motion.

5.9. Magnitude, distance and the other relevant parameters should be selected to be consistent with those used in the characterization of the seismic sources. If



there is a discrepancy between the parameters used in the selected attenuation relationships and those used in other parts of the seismic hazard analysis, this discrepancy should be mitigated by converting from one parameter to the other by using well established empirical relationships and their corresponding uncertainties. The range of magnitudes for which the attenuation relationship is valid should be checked.

5.10. The attenuation relationships should be compatible with the reference site condition. If these conditions are not the same, an adjustment should be made using empirical or theoretical site response factors and their corresponding uncertainty.

5.11. Attenuation relationships should be selected to meet the following general criteria: they should be current and well established at the time of the study; they should be consistent with the types of earthquake and the attenuation characteristics of the region of interest; they should match as closely as possible the tectonic environment of the region of interest; and they should make use of local ground motion data where available. Caution should be exercised in comparing selected attenuation relationships with recorded ground motions from small, locally recorded earthquakes. The use of such recordings (e.g. in scaling the selected attenuation relationships) should be justified by showing that their inferred magnitudes and distance scaling properties are appropriate for earthquakes within the ranges of magnitude and distance that are of greatest concern with regard to the seismic safety of the nuclear power plant.

5.12. Epistemic uncertainty should be included by using multiple attenuation relationships suitable for each tectonic environment represented in the analysis. These attenuation relationships should be chosen to capture adequately the range of credible interpretations in relevant model characteristics.

5.13. Seismic intensity data may also be used to estimate attenuation relationships in those regions of the world where instruments for recording strong motion have not been in operation for a long enough period of time to provide suitable amounts of instrumental data. These data should be used at least in a qualitative manner to verify that the attenuation relationships used to calculate the seismic hazard are representative of the regional attenuation characteristics.

#### **Ground motion prediction models: Seismic source simulation**

5.14. In seismically active regions for which data from ground motion caused by identifiable faults are available in sufficient quantity and detail, simulation of the

fault rupture as well as of the wave propagation path is another procedure that should be followed. In cases where nearby faults contribute significantly to the hazard, this procedure may be especially effective. The parameters needed include:

- (a) Fault geometry parameters (location, length, width, depth, dip, strike);
- (b) Macroparameters (seismic moment, average dislocation, rupture velocity, average stress drop);
- (c) Microparameters (rise time, dislocation, stress parameters for finite fault elements);
- (d) Crustal structure parameters, such as shear wave velocity, density and damping of wave propagation (i.e. the wave attenuation  $Q$  value).

For complex seismotectonic environments such as plate boundaries, thrust zones and subduction zones, and in particular for offshore areas, the specific seismotectonic setting of the earthquake that affects those seismic source parameters mentioned in (a)–(d) should be considered in the characterization of the ground motion.

5.15. To stay within the range of magnitudes that is represented by the database used in the derivation of the attenuation relationships, it is necessary to use a corresponding lower magnitude limit. The practice has been to combine this lower limit consideration with an engineering concept that is linked to a ground motion level from a magnitude below which no damage would be incurred by the safety related structures, systems and components of the nuclear power plant. It is clear that a magnitude value alone is not the best way of representing damage potential. An alternative to the use of a magnitude measure, the lower bound motion filter, may be specified, therefore, in terms of an established damage parameter, such as the cumulative absolute velocity, in conjunction with a specific value of that parameter for which it can be clearly demonstrated that no significant contribution to damage or risk will occur. The lower bound motion filter should be selected in consultation with the seismic designer and/or the fragility analyst.



## 6. PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS

### GENERAL

6.1. The probabilistic seismic hazard analysis should make use of all the elements and parameters of the seismotectonic model (see Section 4), including the quantified uncertainties. When alternative models have been proposed by the team performing the probabilistic seismic hazard analysis, they should be formally included in the probabilistic hazard computation.

6.2. The smallest annual frequency of exceedance of interest will depend on the eventual use of the probabilistic seismic hazard analysis (i.e. whether for design purposes or for input to a seismic probabilistic safety assessment) and should be indicated in the project plan (see Section 11). This value can be extremely low (e.g.  $10^{-8}$ ) when it is associated with seismic probabilistic safety assessment studies in which the nuclear power plant has a very low core damage frequency in relation to non-seismic initiators (e.g. for innovative reactors). In such cases, care should be taken to assess the suitability and validity of the database, the seismotectonic model and the basis for the expert opinion, since uncertainties associated with these can significantly bias the hazard results.

6.3. The conduct of a probabilistic seismic hazard analysis should include the following steps:

- (1) Evaluation of the seismotectonic model for the site region in terms of the defined seismic sources, including uncertainty in their boundaries and dimensions.
- (2) For each seismic source, evaluation of the maximum potential magnitude, the rate of earthquake occurrence and the type of magnitude–frequency relationship, together with the uncertainty associated with each evaluation.
- (3) Selection of the attenuation relationships for the site region, and assessment of the uncertainty in both the mean and the variability of the ground motion as a function of earthquake magnitude and seismic source to site distance.
- (4) Performance of the hazard calculation (see para. 6.6).
- (5) Taking account of the site response (see para. 9.3).

6.4. The results of the probabilistic seismic hazard analysis are typically displayed as the mean or median annual frequency of exceedance of measures of horizontal and vertical ground motion that represent the range of periods of

importance with regard to structures, systems and components. An acceptable method for propagating the epistemic uncertainties through the probabilistic seismic hazard analysis is the development of a logic tree, which can be evaluated by one of the following methods: (1) complete enumeration of the logic tree branches; or (2) Monte Carlo simulation. The mean, 16th, 50th (median) and 84th fractile hazard curves are typically used to display the epistemic uncertainty for each measure of ground motion. These hazard curves can be used to develop uniform hazard spectra (i.e. spectral amplitudes that have the same annual frequency of exceedance for the range of periods of interest with regard to structures, systems and components) for any selected target hazard level (annual frequency of exceedance) and confidence level (fractile). Where a probabilistic seismic hazard analysis is used in determining a design basis level, an appropriate annual frequency of exceedance should be considered together with the corresponding measure of central tendency (mean or median).

6.5. To assist in determining the ground motion characteristics at a site, it is often useful to evaluate the fractional contribution from each seismic source to the total seismic hazard by means of a deaggregation process. Such a deaggregation may be carried out for a target annual frequency of exceedance, typically the value selected for determining the design basis ground motion. The deaggregation may be performed for at least two ground motion frequencies, generally at the low and high ends of the spectrum, which can be used to identify the magnitude-distance pairs that have the largest contribution to the frequency of exceedance of the selected ground motion frequencies.

#### HAZARD INTEGRAL

6.6. The annual frequency of exceedance of a specified level of ground motion at a site due to one or more seismic sources should be evaluated by integrating over all relevant contributions. The parameters needed for this evaluation are as follows:

- $S$  is the number of seismic sources;
- $m_{\min}, m_{\max}$  are the minimum and maximum potential magnitudes of the seismic source  $i$  (see para. 11.17 for a discussion of  $m_{\min}$ );
- $d_{\min}, d_{\max}$  are the minimum and maximum earthquake rupture dimensions of the seismic source  $i$ ;
- $r_{\min}, r_{\max}$  are the minimum and maximum distances from the seismic source  $i$  to the site;



$\nu_i$  is the expected frequency, per unit time period per seismic area, of earthquakes of a magnitude equal to or greater than  $m_{\min}$  of the seismic source  $i$ ; this may be represented by a Poisson process or a renewal process.

## 7. DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS

7.1. The assessment of seismic hazard by deterministic methods should include:

- (1) Evaluation of the seismotectonic model for the site region in terms of the defined seismic sources identified on the basis of tectonic characteristics, the rate of earthquake occurrence and the type of magnitude–frequency relationship;
- (2) For each seismic source, evaluation of the maximum potential magnitude;
- (3) Selection of the attenuation relationships for the site region and assessment of the mean and variability of the ground motion as a function of earthquake magnitude and seismic source to site distance;
- (4) Performing the hazard calculation as follows:
  - (i) For each seismogenic structure, the maximum potential magnitude should be assumed to occur at the point of the structure closest to the site area of the nuclear power plant, with account taken of the physical dimensions of the seismic source. When the site is within the boundaries of a seismogenic structure, the maximum potential magnitude should be assumed to occur beneath the site. In this case, special care should be taken to demonstrate that the seismogenic structure is not capable (see Section 8).
  - (ii) The maximum potential magnitude in a zone of diffuse seismicity that includes the site of the nuclear power plant should be assumed to occur at some identified specific horizontal distance from the site. This distance should be determined on the basis of detailed seismological, geological and geophysical investigations (both onshore and offshore) with the goal of showing the absence of faulting at or near the site, or, if faults are present, of describing the direction, extent, history and rate of movements on these faults as well as the age of the most recent movement. If the absence of faulting in the area is confirmed, it can be assumed that the probability of earthquake occurrence in this area is negligibly low. This investigation is typically for the range of a few



kilometres to a maximum of about ten kilometres. The actual distance used in the attenuation relationships will depend on the best estimate of the focal depths and on the physical dimensions of the potential earthquake ruptures for earthquakes expected to occur in the seismotectonic province.

- (iii) The maximum potential magnitude associated with zones of diffuse seismicity in each adjoining seismotectonic province should be assumed to occur at the point of the province boundary closest to the site.
- (iv) Several appropriate ground motion prediction equations (attenuation relationships or, in some cases, seismic source simulations) should be used to determine the ground motion that each of these earthquakes would cause at the site, with account taken of the variability of the relationship, the source model simulation and the local conditions at the site.
- (v) Ground motion characteristics should be obtained by using the recommendations given in the relevant paragraphs of Section 5.
- (5) Taking account appropriately of both aleatory and epistemic uncertainties at each step of the evaluation, with the consideration that the conservative procedure described in (4) has already been introduced to cover uncertainties, and double counting should be avoided.
- (6) Incorporation of the site response (see para. 9.3).

## **8. POTENTIAL FOR FAULT DISPLACEMENT AT THE SITE**

### **GENERAL**

8.1. This section provides guidelines and procedures for assessing the potential for fault displacement (capability) at or near the site for both new and existing nuclear power plants. It also provides recommendations regarding the scope of the investigations that are necessary to permit such an assessment to be made.

8.2. Fault displacement can occur as a result of an earthquake (either directly or indirectly). In other words, displacements could be associated with the causative fault or could occur co-seismically on secondary faults. It should be noted that tectonic displacements associated with folds (synclines and anticlines) are also

included in the term 'fault displacement'. However, fault creep, when demonstrated as such, is outside the scope of this Safety Guide.

## **CAPABLE FAULTS**

### **Definition**

8.3. The main question with regard to fault displacement is whether a fault (buried or outcropping) at or near the site is capable. The basis for answering such a question should be the database (see Section 3) as incorporated in the seismotectonic model (see Section 4), together with such additional specific data as may be needed.

8.4. On the basis of geological, geophysical, geodetic or seismological data, a fault should be considered capable if the following conditions apply:

- (a) If it shows evidence of past movement or movements (such as significant deformations and/or dislocations) of a recurring nature within such a period that it is reasonable to conclude that further movements at or near the surface may occur. In highly active areas, where both earthquake data and geological data consistently reveal short earthquake recurrence intervals, periods of the order of tens of thousands of years (e.g. Upper Pleistocene–Holocene, i.e. the present) may be appropriate for the assessment of capable faults. In less active areas, it is likely that much longer periods (e.g. Pliocene–Quaternary, i.e. the present) are appropriate.
- (b) If a structural relationship with a known capable fault has been demonstrated such that movement of the one fault may cause movement of the other at or near the surface.
- (c) If the maximum potential magnitude associated with a seismogenic structure, as determined in Section 4, is sufficiently large and at such a depth that it is reasonable to conclude that, in the current tectonic setting of the plant, movement at or near the surface may occur.

### **Investigations necessary to determine capability**

8.5. Sufficient surface and subsurface related data should be obtained from the investigations in the region, near region, site vicinity and site area (see Section 3) to show the absence of faulting at or near the site, or, if faults are present, to describe the direction, extent, history and rate of movements on these faults as well as the age of the most recent movement.



8.6. When faulting is known or suspected to be present, site vicinity scale investigations should be made that include very detailed geological and geomorphological mapping, topographical analyses, geophysical surveys (including geodesy, if necessary), trenching, boreholes, age dating of sediments or faulted rock, local seismological investigations and any other appropriate techniques to ascertain the amount and age of previous displacements.

8.7. Consideration should be given to the possibility that faults that have not demonstrated recent near surface movement may be reactivated by reservoir loading, fluid injection, fluid withdrawal or other such phenomena.

#### CAPABLE FAULT ISSUES FOR NEW SITES

8.8. Where reliable evidence shows that there may be a capable fault with the potential to affect the safety of a plant at a site, the feasibility of design, construction and safe operation of a plant at this site should be re-evaluated and, if necessary, an alternative site should be considered.

#### CAPABLE FAULT ISSUES FOR SITES WITH EXISTING NUCLEAR POWER PLANTS

8.9. In view of the extensive site investigation required for a nuclear power plant before construction, in general, the situation should not arise in which further consideration has to be given to the potential for fault displacement at the site of an existing nuclear power plant. However, it may be the case that information comes to light that requires a new assessment of fault displacement potential to be made.

8.10. In such circumstances, efforts should first be made to acquire further data relating to the fault of concern. It may be that, by using the definition and the deterministic methodology described in paras 8.3–8.7, no sufficient basis is provided to decide conclusively that the fault is not capable. In this case, with the totality of the available data, probabilistic methods analogous to and consistent with those used for the ground motion hazard assessment should be used to obtain an estimate of the annual frequency of exceedance of various amounts of displacement at or near the surface.

8.11. In the probabilistic fault displacement hazard analysis, the following two types of possible displacements should be considered: (a) primary displacement, typically in the form of direct seismogenic fault rupture; and (b) secondary

displacement (also called indirect or subsidiary displacement), typically associated with induced movement along pre-existing seismogenic slip planes (e.g. a triggered slip on an existing fault or a bedding plane from an earthquake on another fault) and non-seismogenic slip planes (e.g. localized fractures and weak clay seams). In addition, the displacement should generally be characterized as a three dimensional displacement vector, and should be resolved into components of slip along the fault trace and along the fault dip, with the resulting amplitude equal to the total evaluated slip (for a given annual frequency of exceedance and given fractile of hazard). The evaluation should address epistemic uncertainties adequately.

8.12. The probabilistic fault displacement hazard analysis should be performed by using the same procedures as are used to perform a probabilistic seismic hazard analysis (see Section 6), and replacing the dependent variable with  $D$ , i.e. the near surface fault displacement, where

- $\lambda(D > d|t)$  is the derived rate at which the surface or near surface fault displacement  $D$  exceeds the value  $d$  in time  $t$  at the site;
- $P(D > d|m, r)$  is the probability that the surface or near surface fault displacement  $D$  exceeds the value  $d$  given an earthquake of magnitude  $m$  on seismic source  $i$  located at a distance  $r$  from the site.

8.13. The primary fault displacement can be estimated from the magnitude by using a relationship between  $D$  and  $m$ . The secondary displacement can be estimated from magnitude and distance by using a relationship between  $D$ ,  $m$  and  $r$ . These relationships should be selected and applied by using the same guidelines as are presented for ground motion attenuation relationships. In regions where a source model is available, they should be applied by using guidelines presented for a source simulation frequency of 0 Hz.

## 9. DESIGN BASIS GROUND MOTION, FAULT DISPLACEMENT AND OTHER HAZARDS

### LEVELS OF GROUND MOTION HAZARD

9.1. Typically, two levels of ground motion hazard, named SL-1 and SL-2, are defined as the earthquake design basis for each plant. The definition and application of these levels in plant design are explained in Ref. [5].<sup>2</sup> In design, the



SL-2 level is associated with the most stringent safety requirements, while SL-1 corresponds to a less severe, more probable earthquake level that normally has different implications for safety. When probabilistic seismic hazard analysis is used, either a reference annual frequency of exceedance is needed, derived on the basis of data from experience, for example, or a performance based approach may be taken.

9.2. Regardless of the method used to evaluate the ground motion hazard, both SL-1 and SL-2 levels should be defined by means of appropriate spectral representations and time histories. The ground motion should be defined for free field conditions, at the level of ground surface or key embedment depths and in line with user requirements (see Section 11). The ground motion for reference bedrock conditions should be given, provided that a good geotechnical database is available. Ground motions at the foundation level and at the surface can then be computed, with account taken of the transfer functions of the overlying soil layers. Consideration should be given to the appropriate interfacing of the defined reference ground motion and the site response analysis [2].

## DESIGN BASIS RESPONSE SPECTRA

### Site response analysis

9.3. A number of approaches can be taken, in order to take into account the geological and geotechnical conditions at a site as part of the estimation of ground motion. The first approach is to utilize ground motion attenuation relationships appropriate for the site conditions (i.e. attenuation relationships that have been developed for subsurface conditions of the type that prevails at the site). The second approach is to conduct a site response analysis compatible with the geotechnical and dynamic characteristics of the soil and rock layers beneath the site [2]. This also includes incorporating site response into the calculations for seismic hazard analysis (in the case of a probabilistic analysis). In both of these approaches, uncertainties should be taken into account. However, site profile related uncertainty contributions that are already inherent in the ground motion attenuation relationships used in the seismic hazard analysis should be identified and disregarded so as not to be included more than once.

---

<sup>2</sup> In some States, regulatory bodies require only an evaluation of SL-2 level earthquakes.

### **Uniform hazard response spectra**

9.4. The uniform hazard approach makes use of the results of the probabilistic seismic hazard analysis. A uniform hazard response spectrum is developed by selecting the values of the response spectral ordinates that correspond to the annual frequencies of exceedance of interest from the seismic hazard curves. One or more uniform hazard response spectra may be developed from the results of the probabilistic seismic hazard analysis and any subsequent site response analyses that have been performed (if needed).

### **Standardized response spectra**

9.5. A standardized response spectrum having a smooth shape is used for engineering design purposes and to account for the contribution of multiple seismic sources represented by an envelope incorporating adequate low frequency and high frequency ground motion input. The prescribed shape of the standardized response spectrum is obtained from various response spectra derived on the basis of earthquake records and engineering considerations. This standardized response spectrum is scaled to envelop the mean ground motion levels at low and high frequencies.

9.6. It is possible to have low to moderate magnitude near field earthquakes that have a relatively rich high frequency content and short duration with a high peak acceleration. The use of the peak acceleration from this type of earthquake to scale a broadbanded standardized response spectrum could lead to an unrealistic shape for the standardized response spectra. In such a case, it is preferable to use multiple response spectra for design purposes to reflect properly the different types of seismic sources.

### **TIME HISTORIES**

9.7. Time histories should satisfactorily reflect all the prescribed ground motion parameters as embodied in the response spectra or other spectral representation with the addition of other parameters such as duration, phase and coherence. The number of time histories to be used in the detailed analyses and the procedure used in generating these time histories will depend on the type of analysis to be performed. Good coordination with the designer of the plant should be established in order to understand and respond to the needs of the particular type of engineering analysis. Time histories should be adequate for performing particular types of engineering analyses required for safe design of the plant.



### **Ground motion duration**

9.8. The duration of ground motion is determined by many factors, including the length and width of fault rupture (generally characterized by magnitude), crustal parameters along the propagation path (generally characterized by distance), conditions beneath the site and the presence of a sedimentary basin. A consistent definition of duration should be used throughout the evaluation. Common definitions of duration include:

- (a) The time interval between the onset of ground motion and the time at which the acceleration has declined to 5% of its peak value;
- (b) The time interval between the 95th and 5th percentiles of the integral of the mean square value of the acceleration;
- (c) The time interval for which the acceleration exceeds 5% of  $g$ .

9.9. In determining an appropriate duration for the time histories, due weighting should be given to any empirical evidence provided by the regional database. For some sites, relatively low amplitude motions from distant, large earthquakes may pose a liquefaction hazard. When this condition applies, time histories used for liquefaction should include such low amplitude time histories over an appropriate duration.

### **Methods of developing design time histories**

9.10. There are various methods that can be used to develop design time histories, depending on the available data. In all cases, these time histories should be compatible with the characteristics of the design earthquakes, the amplitude and spectral shape of the response spectra and the duration of the design ground motions.

Common methods for developing design time histories are as follows:

- (a) Appropriately selected and scaled recorded time histories, for which the scaling factor is within the range 0.5–2.0;
- (b) Appropriately selected recorded time histories modified using spectral matching techniques in which the phase characteristics of the ground motion are taken into account;
- (c) Artificial time histories, usually having random phase;
- (d) Simulated time histories based on numerical modelling methods.

9.11. Significant progress has been made in the numerical evaluation of ground motion, including fault rupture simulation, wave propagation paths and site effects (e.g. by use of empirical Green's function methods). Ground motions thus obtained for regions for which pertinent parameters are available can be employed to complement the more traditional methods. These new approaches should be applied carefully, especially when developed for soils that are expected to respond non-linearly.

9.12. In using response spectra to develop design time histories, it should be ensured that the time histories include the appropriate energy content represented by the design ground motions. This could be done by calculating the corresponding power spectral density functions.

#### **Vertical ground motion**

9.13. Vertical design ground motions (response spectra and time histories) should be developed by using the same methods as are used for developing horizontal ground motions. However, if vertical attenuation relationships are not available, it may be reasonable to assume a prescribed ratio between vertical and horizontal ground motion. Empirical evidence has shown that the vertical to horizontal ratio varies typically from half to over one, and is largest for large magnitudes, close distances and high frequencies.

#### **Ground motion for base isolated and buried structures**

9.14. The methodology for deriving the design ground motions for the SL-1 and SL-2 levels has been developed for plant structures having conventional foundations. For structures that utilize base isolation systems for seismic protection, additional considerations may be necessary. Of most concern are long period effects which may cause excessive residual displacements in the elements of the base isolation system. For plant structures for which a base isolation system is envisaged, time histories should be examined and, if necessary, modified to take these long period effects into account (see also Ref. [5]).

9.15. For buried structures such as ducts and piping, appropriate response spectra and time histories should be developed in cooperation with the structural designer. Similarly, when the project plan calls for the consideration of sloshing effects in pools or ponds, appropriate ground motion representation should be developed.



## **FAULT DISPLACEMENT**

9.16. For existing nuclear power plants for which a fault displacement analysis was performed in accordance with paras 8.9–8.13, the fault displacement associated with each feature under investigation should be determined from the fault displacement hazard curves by using an annual frequency of exceedance commensurate with the safety requirements specified in the project plan.

## **EVALUATION OF OTHER HAZARDS ASSOCIATED WITH EARTHQUAKES**

9.17. Aside from the evaluation of the ground motion and surface faulting hazards, the results of a seismic hazard analysis should be used in the assessment and mitigation of other hazards associated with earthquakes that may be significant for the safety of nuclear power plants. These hazards include tsunamis, liquefaction, slope instability, subsidence, subsurface cavities, karstic processes and the failure of water retaining structures, which may be initiated either by ground motion or by surface faulting. A thorough assessment should be carried out to determine the effects of these secondary hazards on the overall seismic hazard (see Refs [2, 3]), in particular when a seismic probabilistic safety assessment is conducted for a nuclear power plant.

# **10. EVALUATION OF SEISMIC HAZARDS FOR NUCLEAR INSTALLATIONS OTHER THAN NUCLEAR POWER PLANTS**

10.1. In consideration of the use of a graded approach, as mentioned in para. 1.8, this Section provides guidance for the seismic hazard evaluation for a broad range of nuclear installations other than nuclear power plants. These installations include [4]:

- (a) Research reactors and laboratories in which nuclear material is handled;
- (b) Installations for storage of spent nuclear fuel (collocated with either nuclear power plants or independent installations), including:
  - (i) Installations for spent fuel storage for which active cooling is required;

- (ii) Installations for spent fuel storage that require only passive or natural convection cooling.
- (c) Processing facilities for nuclear material in the nuclear fuel cycle, for example, conversion facilities, uranium enrichment facilities, fuel fabrication facilities and reprocessing plants.

10.2. For the purpose of seismic hazard evaluation, these installations should be graded on the basis of their complexity, potential radiological hazards, and hazards due to other materials present. Seismic hazard evaluation should be performed in accordance with this grading.

10.3. Prior to categorizing an installation for the purpose of adopting a graded approach, a conservative screening process should be applied in which it is assumed that the entire radioactive inventory of the installation is released by the potential seismically initiated accident. Provided that the potential result of such a radioactive release were that no unacceptable consequences would be likely for workers or for the public (i.e. provided that doses to workers or to the public due to the release of that radioactive inventory would be below the authorized dose limits established by the regulatory body), or for the environment, and provided that no other specific requirements are imposed by the regulatory body for such an installation, the installation may be screened out from the seismic safety evaluation. If, even after such screening, some level of seismic safety evaluation is desired, national seismic codes for hazardous and/or industrial facilities should be used.

10.4. If the results of the conservative screening process show that the potential consequences of such releases would be 'significant', a seismic hazard evaluation of the installation should be carried out.

10.5. The likelihood that a seismic event will give rise to radiological consequences will depend on the characteristics of the nuclear installation (e.g. its purpose, layout, design, construction and operation) and on the event itself. Such characteristics should include the following factors:

- (a) The amount, type and status of the radioactive inventory at the site (e.g. whether solid or fluid, processed or only stored);
- (b) The intrinsic hazard associated with the physical processes (e.g. nuclear chain reactions) and chemical processes (e.g. for fuel processing purposes) that take place at the installation;
- (c) The thermal power of the nuclear installation, if applicable;
- (d) The configuration of the installation for activities of different kinds;



- (e) The concentration of radioactive sources in the installation (e.g. for research reactors, most of the radioactive inventory will be in the reactor core and the fuel storage pool, whereas for fuel processing and storage facilities it may be distributed throughout the installation);
- (f) The changing nature of the configuration and layout for installations designed for experiments (such activities have an associated intrinsic unpredictability);
- (g) The need for active safety systems and/or operator actions for the prevention of accidents and for mitigation of the consequences of accidents; characteristics of engineered safety features for the prevention of accidents and for mitigation of the consequences of accidents (e.g. the containment and containment systems);
- (h) The characteristics of the processes or of the engineering features that might show a cliff edge effect<sup>3</sup> in the event of an accident;
- (i) These characteristics of the site that are relevant to the consequences of the dispersion of radioactive material to the atmosphere and the hydrosphere (e.g. size, demographics of the region);
- (j) The potential for on-site and off-site contamination.

10.6. Depending on the criteria of the regulatory body, some or all of the factors mentioned should be considered. For example, fuel damage, radioactive releases or doses may be the conditions or metrics of interest.

10.7. The grading process should be based on the following information:

- (a) The existing safety analysis report for the installation, which should be the primary source of information;
- (b) The results of a probabilistic safety assessment, if one has been performed;
- (c) The characteristics specified in para. 10.5.

10.8. The grading of the installation leads to its categorization. This grading may have been performed at the design stage or later. If the grading has been performed, the assumptions on which it was based and the resulting categorization should be reviewed and verified. In general, the criteria for categorization should be based on the radiological consequences of releases of

---

<sup>3</sup> A 'cliff edge effect' in a nuclear installation is an instance of severely abnormal system behaviour caused by an abrupt transition from one system status to another following a small deviation in a system parameter; and thus a sudden large variation in system conditions in response to a small variation in an input.

the radioactive material contained in the installation, ranging from very low to potentially severe radiological consequences. As an alternative, the categorization may range from radiological consequences within the limits of the installation itself, to radiological consequences within the site boundary of the installation, to radiological consequences for the public and the environment outside the site.

10.9. As a result of this process of grading of the installation, three or more categories of installation may be defined on the basis of national practice and criteria, as indicated in para. 10.8. As an example, the following categories may be defined:

- (a) The lowest hazard category includes those nuclear installations for which national building codes for conventional facilities (e.g. essential facilities such as hospitals) or for hazardous facilities (e.g. petrochemical or chemical plants), as a minimum, should be applied.
- (b) The highest hazard category includes installations for which standards and codes for nuclear power plants should be applied.
- (c) There is often at least one intermediate category of hazardous installation, for which, as a minimum, codes dedicated to hazardous facilities should be applied.

10.10. The seismic hazard assessment should be performed by using the following guidance:

- (a) For the least hazardous installations, the seismic hazard input for the design may be taken from national building codes and maps.
- (b) For installations in the highest hazard category, methodologies for seismic hazard assessment as described in the earlier sections of this Safety Guide should be used (i.e. recommendations applicable to nuclear power plants).
- (c) For installations categorized in the intermediate hazard category, the following cases may be applicable:
- (d) If the seismic hazard assessment is typically performed using methods similar to those described in this Safety Guide, a lower seismic input for designing these installations may be adopted at the design stage, in accordance with the safety requirements for the installation.
- (e) If the database and the methods recommended in this Safety Guide are found to be excessively complex, time consuming and demanding in terms of effort for the nuclear installation in question, simplified methods for seismic hazard assessment (that are based on a more restricted data set) may be used. In such cases, the seismic input finally adopted for designing these



installations should be commensurate with the reduced database and the simplification of the methods, account being taken of the fact that both of these factors may tend to increase uncertainties.

The number of design basis ground motion levels for nuclear installations (e.g. SL-2 and SL-1 for nuclear power plants) should be decided in this context.

10.11. The recommendations relating to seismic instrumentation at the installation and the site area (see paras 3.29 and 3.31) should be graded in accordance with the category of the installation as defined in para. 10.9.

## **11. PROJECT MANAGEMENT SYSTEM**

### **SPECIFIC ASPECTS OF PROJECT ORGANIZATION**

11.1. This section provides recommendations and guidance on preparing and conducting a seismic hazard analysis and reporting its results.

11.2. A project work plan should be prepared prior to, and as a basis for, the execution of the seismic hazard analysis project. The work plan should convey the complete set of general requirements for the project, including applicable regulatory requirements. It is advisable that this set of requirements be reviewed by the regulatory body prior to conducting the seismic hazard analysis. In addition to general requirements, the work plan should delineate the following specific elements: personnel and their responsibilities; work breakdown and project tasks; schedule and milestones; and deliverables and reports.

11.3. A programme should be established and implemented under the management system to cover all activities for data collection and data processing, field and laboratory investigations, analyses and evaluations that are within the scope of this Safety Guide (see Refs [8, 9] for requirements, recommendations and guidance on management systems).

11.4. The results of the seismic hazard analysis should include all outputs indicated in the work plan. The annex identifies typical results to be reported in all applications as well as others that may be required by the study sponsor. The

reporting of the seismic hazard analysis should be specified in sufficient detail in the work plan.

11.5. To make the evaluation traceable and transparent to users, peer reviewers, the licensee and the regulatory body, the documentation for the seismic hazard analysis should provide the following: description of all elements of the seismic hazard analysis process; identification of the study participants and their roles; and background material that comprises the analysis documentation, including raw and processed data, computer software and input and output files, reference documents, results of intermediate calculations and sensitivity studies.

11.6. This material should be maintained in an accessible, usable and auditable form by the study sponsor. Documentation or references that are readily available elsewhere should be cited where appropriate. All elements of the seismic hazard analysis should be addressed in the documentation.

11.7. The documentation should identify all sources of information used in the seismic hazard analysis, including information on where to find important citations that may be difficult to obtain. Unpublished data that are used in the analysis should be included in the documentation in an appropriately accessible and usable form.

11.8. The documentation for the seismic hazard analysis should identify the computer software that was used. This should include programs used in the processing of data (e.g. the earthquake catalogue) and the programs used to perform calculations for the seismic hazard analysis.

11.9. If earlier studies for seismic hazard analysis for the same area are available, comparisons should be made to demonstrate how different approaches or different data affect the conclusions. The comparisons should be documented in a way that allows review.

11.10. The validity of the proposed seismic source model should be tested a posteriori against existing knowledge; for example, by comparing long term strain rates predicted by the model against geodetic and geological observations.

11.11. Owing to the variety of investigations carried out (in field, laboratory and office) and the need for expert judgement in the decision making process, technical procedures that are specific to the project should be developed to facilitate the execution and verification of these tasks, and a peer review of the process should be conducted.



11.12. Requirements for implementing a formal management system programme should be established by the study sponsor. The sponsor should identify the quality assurance standards to be met. Applicable requirements, recommendations and guidance on the management system are provided in Refs [8, 9]. Special provisions should be specified to address document control, analysis control, software, validation and verification, procurement and audits, and non-conformance and corrective actions. Work related documents should be prepared to cover all the activities for data collection and data processing, field and laboratory investigations, analyses and evaluations that are within the scope of this Safety Guide.

11.13. A key interface issue is the implementation of the seismic source, ground motion and site response models by the hazard analyst. These models should be documented and reviewed in a formal way.

11.14. Specifically, the project plan should describe provisions for collecting new data that may be important for the conduct of the seismic hazard analysis and/or for responding to requests by experts, including the bases for balancing potentially conflicting project needs.

#### ENGINEERING USES AND OUTPUT SPECIFICATION

11.15. A seismic hazard analysis is usually conducted for purposes of seismic design and/or seismic probabilistic safety assessment. The work plan for the seismic hazard analysis should identify the intended engineering uses and objectives of the study, and should incorporate an output specification for the seismic hazard analysis that describes all specific results necessary to fulfil the intended engineering uses and objectives of the study, in addition to the general requirements identified.

11.16. To the extent possible, the output specification for the seismic hazard analysis should be comprehensive. The output specification may be updated, as necessary, to accommodate additional results, to alter the prescription of the results, and/or to reduce the scope of the results. Elements that should be considered in the output specification include (but are not limited to):

- *Ground motion parameters.* Specified ground motion parameters should be sufficient to develop the recommended results and any additional outputs required for engineering use (see the annex for typical outputs of a probabilistic seismic hazard analysis).



- *Vibration frequencies.* In addition to specific client requirements, the range and density of specified vibration frequencies for the uniform hazard spectra should be sufficient to adequately represent the input for all safety relevant structures, systems and components.
- *Damping.* Specified damping values should be sufficient to adequately represent input for, and effects on, responses of all safety relevant structures, systems and components.
- *Ground motion components.* Provision for the output of both vertical and horizontal motions should be specified.
- *The reference subsurface rock site condition.* For studies where site response analysis is performed, the output specification should include definition of the rock site condition (usually for a depth significantly greater than 30 m, corresponding to a specified value of the shear wave velocity,  $V_s$ , consistent with firm rock). Rock hazard results to be developed should correspond to this reference rock site condition.
- *Control point(s).* The output specification should specify the control points (e.g. depths at the site) for which near surface hazard results are obtained. Usually, the control points include the ground surface and key embedment depths (e.g. foundation levels) for structures and components. The specified control points should be sufficient to develop adequate input(s) for soil-structure interaction analyses.

11.17. In any seismic hazard analysis, there is a need to consider a lower bound magnitude owing to constraints in the seismological database. Therefore, in addition to the specification of outputs for anticipated engineering uses, the project plan should specify the following additional parameters relating to engineering validity and/or the utility of the seismic hazard analysis:

- *Lower bound motion filter.* Although use of a lower bound motion is needed to develop a practical computation for seismic hazard analysis, foremost, the lower bound motion should be selected to include all potentially damaging and risk significant events. The lower bound motion filter should be selected in consultation with the seismic designer and/or the fragility analyst for the seismic probabilistic safety assessment, who should agree both that the filter is set so as to capture all potentially damaging or risk significant events.
- *Lower bound magnitude.* In addition to previous recommendations, a selected lower bound magnitude should not exceed  $M_w = 5.0$ .
- Alternatively to the use of a magnitude measure such as  $M_w$ , the lower bound motion filter may be specified in terms of an established damage parameter, such as cumulative absolute velocity, in conjunction with a



specific value of that parameter for which it can be clearly demonstrated that no contribution to damage or risk will occur.

#### INDEPENDENT PEER REVIEW

11.18. In view of the complexity of seismic hazard analysis, an independent peer review should be conducted. The peer reviewer(s) should not have been involved in other aspects of the probabilistic seismic hazard analysis and should not have a vested interest in the outcome. The level and type of peer review can vary, depending on the application of the seismic hazard analysis. The peer review should address all parts of the seismic hazard analysis, including the process for the seismic hazard analysis, all technical elements (e.g. seismic source characterization, ground motion estimation), the method of seismic hazard analysis, and quantification and documentation. The peer review panel should include the multidisciplinary expertise to address all technical and process related aspects of the analysis.

11.19. The purpose of the peer review is to provide assurance that a proper process has been duly followed in conducting the seismic hazard analysis, that the analysis has addressed and evaluated epistemic uncertainties, and that the documentation is complete and traceable.

11.20. Two methods of peer review can be used: (1) participatory peer review; and (2) late stage peer review. A participatory peer review is carried out during the course of the study, allowing the reviewer(s) to resolve comments as the seismic hazard analysis proceeds and as technical issues arise. A late stage and follow-up peer review is carried out towards the end of the study. Participatory peer review will decrease the likelihood of the study being rejected at a late stage.

## REFERENCES

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. NS-R-3, IAEA, Vienna (2003).
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.6, IAEA, Vienna (2004).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Flood Hazard for Nuclear Power Plants on Coastal and River Sites, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.5, IAEA, Vienna (2003) (revision in preparation).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Safety Glossary: Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection, 2007 Edition, IAEA, Vienna (2007).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.6, IAEA, Vienna (2003).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Evaluation of Seismic Safety for Existing Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.13, IAEA, Vienna (2009).
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series No. NS-R-1, IAEA, Vienna (2000).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3, IAEA, Vienna (2006).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1, IAEA, Vienna (2006).



## Annex

### TYPICAL OUTPUT OF PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSES

**TABLE A-1. TYPICAL OUTPUT OF PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSES**

Output	Description	Format
Mean hazard curves	Mean annual frequency of exceedance for each ground motion level of interest associated with the suite of epistemic hazard curves generated in the probabilistic seismic hazard analysis.	Mean hazard curves should be reported for each ground motion parameter of interest in tabular as well as graphic format.
Fractile hazard curves	Fractile annual frequency of exceedance for each ground motion level of interest associated with the suite of epistemic hazard curves generated in the probabilistic seismic hazard analysis.	Fractile hazard curves should be reported for each ground motion parameter of interest in tabular as well as graphic format. Unless otherwise specified in the work plan, fractile levels of 0.05, 0.16, 0.50, 0.84 and 0.95 should be reported.
Uniform hazard response spectra	Response spectra whose ordinates have an equal probability of being exceeded, as derived from seismic hazard curves.	Mean and fractile uniform hazard response spectra should be reported in tabular as well as graphic format. Unless otherwise specified in the work plan, the uniform hazard response spectra should be reported for annual frequencies of exceedance of $10^{-2}$ , $10^{-3}$ , $10^{-4}$ , $10^{-5}$ and $10^{-6}$ and for fractile levels of 0.05, 0.16, 0.50, 0.84 and 0.95.
Magnitude-distance deaggregation	A magnitude-distance (M-D) deaggregation quantifies the relative contribution to the total mean hazard of earthquakes that occur in specified magnitude-distance ranges (i.e. bins).	The M-D deaggregation should be presented for ground motion levels corresponding to selected annual frequencies of exceedance for each ground motion parameter considered in the probabilistic seismic hazard analysis. The deaggregation should be performed for the mean hazard and for the annual frequencies of exceedance to be used in the evaluation or design.

**TABLE A-1. TYPICAL OUTPUT OF PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSES (cont.)**

Output	Description	Format
Mean and modal magnitude and distance	The M-D deaggregation results provide the relative contribution to the site hazard of earthquakes of different sizes and at different distances. From these distributions, the mean and/or modal magnitudes and the mean and/or modal distances of earthquakes that contribute to the hazard can be determined.	The mean and modal magnitudes and distances should be reported for each ground motion parameter and level for which the M-D deaggregated hazard results are given. Unless otherwise specified in the work plan, these results should be reported for response spectral frequencies of 1, 2.5, 5 and 10 Hz.
Seismic source deaggregation	The seismic hazard at a site is a combination of the hazard from individual seismic sources modelled in the probabilistic seismic hazard analysis. A deaggregation on the basis of seismic sources provides an insight into the possible location and type of future earthquake occurrences.	The seismic source deaggregation should be reported for ground motion levels corresponding to each ground motion parameter considered in the probabilistic seismic hazard analysis. The deaggregation should be performed for the mean hazard and presented as a series of seismic hazard curves.
Aggregated hazard curves	In a probabilistic seismic hazard analysis, often thousands to millions of hazard curves are generated to account for epistemic uncertainty. For use in certain applications (e.g. a seismic probabilistic safety assessment), a smaller, more manageable set of curves is required. Aggregation methods are used to combine like curves that preserve the diversity in shape of the original curves as well as the essential properties of the original set (e.g. the mean hazard).	A group of aggregated discrete hazard curves, each with an assigned probability weight, should be reported in tabular as well as graphic format.
Earthquake time histories	For the purposes of engineering analysis, time histories may be required that are consistent with the results of the probabilistic seismic hazard analysis. The criteria for selecting and/or generating a time history may be specified in the work plan. Example criteria include the selection of time histories that are consistent with the mean and modal magnitudes and distances for a specified ground motion or annual frequency of exceedance.	The format for presenting earthquake time histories will generally be defined in the work plan.



## DEFINITIONS

**accelerogram.** A recording of ground acceleration, usually in three orthogonal directions (i.e. components), two in the horizontal plane and one in the vertical plane.

**aleatory uncertainty.** Uncertainty inherent in a phenomenon. Aleatory uncertainty is taken into account by representing the phenomenon in terms of a probability distribution model.

**capable fault.** A fault that has a significant potential for displacement at or near the ground surface.

**epicentre.** The point on the Earth's surface directly above the focus (i.e. hypocentre) of an earthquake.

**epistemic uncertainty.** Uncertainty attributable to incomplete knowledge about a phenomenon, which affects the ability to model it. Epistemic uncertainty is reflected in a range of viable models, multiple expert interpretations and statistical confidence.

**fault (geological).** A planar or gently curved fracture surface or zone of the Earth across which there has been relative displacement.

**free field ground motion.** Motion that would occur at a given point on the ground owing to an earthquake if vibratory characteristics were not affected by structures and facilities.

**frequency of exceedance.** The frequency at which a specified level of seismic hazard will be exceeded at a site or in a region within a specified time interval. In probabilistic seismic hazard analysis (PSHA), generally a one year time interval (i.e. annual frequency) is assumed. When the frequency is very small and it cannot exceed unity (in the prescribed interval), this number approaches the probability of the same event when the random process is assumed to be Poissonian.

**hypocentre.** The point (focus) within the Earth at which an earthquake is initiated.

**interplate.** Of tectonic processes, at the interfaces between the Earth's tectonic plates.

**intraplate.** Of tectonic processes, within the Earth's tectonic plates.

**magnitude (of an earthquake).** Measure of the size of an earthquake relating to the energy released in the form of seismic waves. Seismic magnitude means the numerical value on a standardized scale such as, but not limited to, moment magnitude, surface wave magnitude, body wave magnitude, local magnitude or duration magnitude.

**maximum potential magnitude.** Reference value used in seismic hazard analysis characterizing the potential of a seismic source to generate earthquakes. The way in which it is calculated depends on the type of seismic source considered and the approach to be used in the seismic hazard analysis.

**palaeoseismicity.** The evidence of a prehistoric or historical earthquake manifested as displacement on a fault or secondary effects such as ground deformation (i.e. liquefaction, tsunami, landslides).

**peak ground acceleration.** The maximum absolute value of ground acceleration displayed on an accelerogram; the greatest ground acceleration produced by an earthquake at a site.

**response spectrum.** A curve calculated from an accelerogram that gives the value of peak response in terms of the acceleration, velocity or displacement of a damped single-degree-of-freedom linear oscillator (with a given damping ratio) as a function of its natural frequency or period of vibration.

**seismogenic structure.** A structure that displays earthquake activity or that manifests historical surface rupture or the effects of palaeoseismicity, and that is considered likely to generate macro-earthquakes within a time period of concern.

**seismotectonic model.** The model that defines the characterization of seismic sources in the region around a site of interest, including the aleatory and epistemic uncertainties in the seismic source characteristics.

**site response.** The behaviour of a rock or soil column at a site under a prescribed ground motion load.



**surface faulting.** Permanent offsetting or tearing of the ground surface by differential movement across a fault in an earthquake.

**uniform hazard response spectrum.** Response spectrum with an equal probability of exceedance for each of its spectral ordinates.

## **CONTRIBUTORS TO DRAFTING AND REVIEW**

<b>Abe, H.</b>	<b>Japanese Nuclear Safety Institute (JNES), Japan</b>
<b>Aspinall, W.</b>	<b>Aspinall and Associates, United Kingdom</b>
<b>Belsham, C.</b>	<b>Nuclear Directorate of the Health and Safety Executive, United Kingdom</b>
<b>Berge-Thierry, C.</b>	<b>Autorité de sûreté nucléaire, France</b>
<b>Campbell, K.</b>	<b>ABS Consulting (EQECAT), United States of America</b>
<b>Chigama, A.</b>	<b>International Atomic Energy Agency</b>
<b>Diburg, S.</b>	<b>Ingenieurgesellschaft Niemann und Partner GbR, Germany</b>
<b>Ebisawa, K.</b>	<b>Japanese Nuclear Safety Institute (JNES), Japan</b>
<b>Fukushima, Y.</b>	<b>Shimizu Corporation, Japan</b>
<b>Giardini, D.</b>	<b>Swiss Seismological Service, Switzerland</b>
<b>Godoy, A.</b>	<b>International Atomic Energy Agency</b>
<b>Graizer, V.</b>	<b>U.S. Nuclear Regulatory Commission, United States of America</b>
<b>Gürpınar, A.</b>	<b>International Atomic Energy Agency</b>
<b>Kluegel, J.</b>	<b>Goesgen nuclear power plant, Switzerland</b>
<b>Mallard, D.</b>	<b>Private consultant, United Kingdom</b>
<b>Martin, C.A.</b>	<b>GEOTER International, France</b>
<b>Romeo, R.</b>	<b>Innovare: Tecnologie, Esperienze e Ricerche (ITER), Italy</b>
<b>Rosenhauer, W.</b>	<b>Private consultant, Germany</b>
<b>Serva, L.</b>	<b>Private consultant, Italy</b>



<b>Sewell, R.</b>	Private consultant. Switzerland
<b>Sollogoub, P.</b>	International Atomic Energy Agency
<b>Stepp, C.</b>	Private consultant. United States of America
<b>Takada, T.</b>	University of Tokyo. Graduate School of Engineering, Japan
<b>Thomas, B.</b>	U.S. Nuclear Regulatory Commission. United States of America
<b>Tinic, S.</b>	Beznau nuclear power plant, Switzerland
<b>Woo, G.</b>	Risk Management Solutions, United Kingdom
<b>Zwicky, P.</b>	Basler and Hofmann Consulting Engineers. Switzerland

## BODIES FOR THE ENDORSEMENT OF IAEA SAFETY STANDARDS

*An asterisk denotes a corresponding member. Corresponding members receive drafts for comment and other documentation but they do not generally participate in meetings. Two asterisks denote an alternate.*

### Commission on Safety Standards

*Argentina: González, A.J.; Australia: Loy, J.; Belgium: Samain, J.-P.; Brazil: Vinhas, L.A.; Canada: Jammal, R.; China: Liu Hua; Egypt: Barakat, M.; Finland: Laaksonen, J.; France: Lacoste, A.-C. (Chairperson); Germany: Majer, D.; India: Sharma, S.K.; Israel: Levanon, I.; Japan: Fukushima, A.; Korea, Republic of: Choul-Ho Yun; Lithuania: Maksimovas, G.; Pakistan: Rahman, M.S.; Russian Federation: Adamchik, S.; South Africa: Magugumela, M.T.; Spain: Barceló Vernet, J.; Sweden: Larsson, C.M.; Ukraine: Mykolaichuk, O.; United Kingdom: Weightman, M.; United States of America: Virgilio, M.; Vietnam: Le-chi Dung; IAEA: Delattre, D. (Coordinator); Advisory Group on Nuclear Security: Hashmi, J.A.; European Commission: Faross, P.; International Nuclear Safety Group: Meserve, R.; International Commission on Radiological Protection: Holm, L.-E.; OECD Nuclear Energy Agency: Yoshimura, U.; Safety Standards Committee Chairpersons: Brach, E.W. (TRANSSC); Magnusson, S. (RASSC); Pather, T. (WASSC); Vaughan, G.J. (NUSSC).*

### Nuclear Safety Standards Committee

*Algeria: Merrouche, D.; Argentina: Waldman, R.; Australia: Le Cann, G.; Austria: Sholly, S.; Belgium: De Boeck, B.; Brazil: Gromann, A.; \*Bulgaria: Gledachev, Y.; Canada: Rzentkowski, G.; China: Jingxi Li; Croatia: Valčić, I.; \*Cyprus: Demetriades, P.; Czech Republic: Šváb, M.; Egypt: Ibrahim, M.; Finland: Järvinen, M.-L.; France: Feron, F.; Germany: Wassilew, C.; Ghana: Emi-Reynolds, G.; \*Greece: Camarinopoulos, L.; Hungary: Adorján, F.; India: Vaze, K.; Indonesia: Antariksawan, A.; Iran, Islamic Republic of: Asgharizadeh, F.; Israel: Hirshfeld, H.; Italy: Bava, G.; Japan: Kanda, T.; Korea, Republic of: Hyun-Koon Kim; Libyan Arab Jamahiriya: Abuzid, O.; Lithuania: Demčenko, M.; Malaysia: Azlina Mohammed Jais; Mexico: Carrera, A.; Morocco: Soufi, I.; Netherlands: van der Wiel, L.; Pakistan: Habib, M.A.; Poland: Jurkowski, M.; Romania: Biro, L.; Russian Federation: Baranaev, Y.; Slovakia: Uhrik, P.; Slovenia: Vojnovič, D.; South Africa: Leotwane, W.; Spain: Zarzuela, J.; Sweden: Hallman, A.; Switzerland: Flury, P.; Tunisia: Baccouche, S.*



*Turkey:* Bezdegumeli, U.; *Ukraine:* Shumkova, N.; *United Kingdom:* Vaughan, G.J. (Chairperson); *United States of America:* Mayfield, M.; *Uruguay:* Nader, A.; *European Commission:* Vigne, S.; *FORATOM:* Fourest, B.; *IAEA:* Feige, G. (Coordinator); *International Electrotechnical Commission:* Bouard, J.-P.; *International Organization for Standardization:* Sevestre, B.; *OECD Nuclear Energy Agency:* Reig, J.; *\*World Nuclear Association:* Borysova, I.

#### **Radiation Safety Standards Committee**

*\*Algeria:* Chelbani, S.; *Argentina:* Massera, G.; *Australia:* Melbourne, A.; *\*Austria:* Karg, V.; *Belgium:* van Bladel, L.; *Brazil:* Rodriguez Rochedo, E.R.; *\*Bulgaria:* Katzarska, L.; *Canada:* Clement, C.; *China:* Huating Yang; *Croatia:* Kralik, I.; *\*Cuba:* Betancourt Hernandez, L.; *\*Cyprus:* Demetriades, P.; *Czech Republic:* Petrova, K.; *Denmark:* Øhlenschläger, M.; *Egypt:* Hassib, G.M.; *Estonia:* Lust, M.; *Finland:* Markkanen, M.; *France:* Godet, J.-L.; *Germany:* Helming, M.; *Ghana:* Amoako, J.; *\*Greece:* Kamenopoulou, V.; *Hungary:* Koblinger, L.; *Iceland:* Magnússon, S. (Chairperson); *India:* Sharma, D.N.; *Indonesia:* Widodo, S.; *Iran, Islamic Republic of:* Kardan, M.R.; *Ireland:* Colgan, T.; *Israel:* Koch, J.; *Italy:* Bologna, L.; *Japan:* Kiryu, Y.; *Korea, Republic of:* Byung-Soo Lee; *\*Latvia:* Salmins, A.; *Libyan Arab Jamahiriya:* Busitta, M.; *Lithuania:* Mastauskas, A.; *Malaysia:* Hanrahan, M.A.; *Mexico:* Delgado Guardado, J.; *Morocco:* Tazi, S.; *Netherlands:* Zuur, C.; *Norway:* Saxebøl, G.; *Pakistan:* Ali, M.; *Paraguay:* Romero de Gonzalez, V.; *Philippines:* Valdezco, E.; *Poland:* Merta, A.; *Portugal:* Dias de Oliveira, A.M.; *Romania:* Rodna, A.; *Russian Federation:* Savkin, M.; *Slovakia:* Jurina, V.; *Slovenia:* Sutej, T.; *South Africa:* Olivier, J.H.I.; *Spain:* Amor Calvo, I.; *Sweden:* Almen, A.; *Switzerland:* Piller, G.; *\*Thailand:* Suntarapai, P.; *Timisia:* Chékir, Z.; *Turkey:* Okyar, H.B.; *Ukraine:* Pavlenko, T.; *United Kingdom:* Robinson, I.; *United States of America:* Lewis, R.; *\*Uruguay:* Nader, A.; *European Commission:* Janssens, A.; *Food and Agriculture Organization of the United Nations:* Byron, D.; *IAEA:* Boal, T. (Coordinator); *International Commission on Radiological Protection:* Valentin, J.; *International Electrotechnical Commission:* Thompson, I.; *International Labour Office:* Niu, S.; *International Organization for Standardization:* Rannou, A.; *International Source Suppliers and Producers Association:* Fasten, W.; *OECD Nuclear Energy Agency:* Lazo, T.E.; *Pan American Health Organization:* Jiménez, P.; *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation:* Crick, M.; *World Health Organization:* Carr, Z.; *World Nuclear Association:* Saint-Pierre, S.

### Transport Safety Standards Committee

*Argentina:* López Vietri, J.; *\*\*Capadonia, N.M.:* *Australia:* Sarkar, S.; *Austria:* Kirchnawy, F.; *Belgium:* Cottens, E.; *Brazil:* Xavier, A.M.; *Bulgaria:* Bakalova, A.; *Canada:* Régimbald, A.; *China:* Xiaoqing Li; *Croatia:* Belamarić, N.; *\*Cuba:* Quevedo Garcia, J.R.; *\*Cyprus:* Demetriades, P.; *Czech Republic:* Ducháček, V.; *Denmark:* Brøddam, K.; *Egypt:* El-Shinawy, R.M.K.; *Finland:* Lahkola, A.; *France:* Landier, D.; *Germany:* Rein, H.; *\*Nitsche, F.;* *\*\*Alter, U.;* *Ghana:* Emi-Reynolds, G.; *\*Greece:* Vogiatzi, S.; *Hungary:* Sáfár, J.; *India:* Agarwal, S.P.; *Indonesia:* Wisnubroto, D.; *Iran, Islamic Republic of:* Eshraghi, A.; *\*Emanjomah, A.;* *Ireland:* Duffy, J.; *Israel:* Koch, J.; *Italy:* Trivelloni, S.; *\*\*Orsini, A.;* *Japan:* Hanaki, I.; *Korea, Republic of:* Dae-Hyung Cho; *Libyan Arab Jamahiriya:* Kekli, A.T.; *Lithuania:* Statkus, V.; *Malaysia:* Sobari, M.P.M.; *\*\*Husain, Z.A.;* *Mexico:* Bautista Arteaga, D.M.; *\*\*Delgado Guardado, J.L.;* *\*Morocco:* Allach, A.; *Netherlands:* Ter Morshuizen, M.; *\*New Zealand:* Ardouin, C.; *Norway:* Hornkjøl, S.; *Pakistan:* Rashid, M.; *\*Paraguay:* More Torres, L.E.; *Poland:* Dziubiak, T.; *Portugal:* Buxo da Trindade, R.; *Russian Federation:* Buchelnikov, A.E.; *South Africa:* Hinrichsen, P.; *Spain:* Zamora Martin, F.; *Sweden:* Häggblom, E.; *\*\*Svahn, B.;* *Switzerland:* Krietsch, T.; *Thailand:* Jerachanchai, S.; *Turkey:* Ertürk, K.; *Ukraine:* Lopatin, S.; *United Kingdom:* Sallit, G.; *United States of America:* Boyle, R.W.; Brach, E.W. (Chairperson); *Uruguay:* Nader, A.; *\*Cabral, W.;* *European Commission:* Binet, J.; *IAEA:* Stewart, J.T. (Coordinator); *International Air Transport Association:* Brennan, D.; *International Civil Aviation Organization:* Rooney, K.; *International Federation of Air Line Pilots' Associations:* Tisdall, A.; *\*\*Gessl, M.;* *International Maritime Organization:* Rahim, I.; *International Organization for Standardization:* Malesys, P.; *International Source Supplies and Producers Association:* Miller, J.J.; *\*\*Roughan, K.;* *United Nations Economic Commission for Europe:* Kervella, O.; *Universal Postal Union:* Bowers, D.G.; *World Nuclear Association:* Gorlin, S.; *World Nuclear Transport Institute:* Green, L.

### Waste Safety Standards Committee

*Algeria:* Abdenacer, G.; *Argentina:* Biaggio, A.; *Australia:* Williams, G.; *\*Austria:* Fischer, H.; *Belgium:* Blommaert, W.; *Brazil:* Tostes, M.; *\*Bulgaria:* Simeonov, G.; *Canada:* Howard, D.; *China:* Zhimin Qu; *Croatia:* Trifunovic, D.; *Cuba:* Fernandez, A.; *Cyprus:* Demetriades, P.; *Czech Republic:* Lietava, P.; *Denmark:* Nielsen, C.; *Egypt:* Mohamed, Y.; *Estonia:* Lust, M.; *Finland:* Hutri, K.; *France:* Rieu, J.; *Germany:* Götz, C.; *Ghana:* Faanu, A.; *Greece:* Tzika, F.; *Hungary:* Czoch, I.; *India:* Rana, D.; *Indonesia:* Wisnubroto, D.; *Iran, Islamic*



*Republic of*: Assadi, M.; \*Zarghami, R.; *Iraq*: Abbas, H.; *Israel*: Dody, A.; *Italy*:  
 Dionisi, M.; *Japan*: Matsuo, H.; *Korea, Republic of*: Won-Jae Park; \**Latvia*:  
 Salmins, A.; *Libyan Arab Jamahiriya*: Elfawares, A.; *Lithuania*: Paulikas, V.;  
*Malaysia*: Sudin, M.; *Mexico*: Aguirre Gómez, J.; \**Morocco*: Barkouch, R.;  
*Netherlands*: van der Shaaf, M.; *Pakistan*: Mannan, A.; \**Paraguay*: Idoyaga  
 Navarro, M.; *Poland*: Wlodarski, J.; *Portugal*: Flausino de Paiva, M.; *Slovakia*:  
 Homola, J.; *Slovenia*: Mele, I.; *South Africa*: Pather, T. (Chairperson); *Spain*: Sanz  
 Aludán, M.; *Sweden*: Frise, L.; *Switzerland*: Wanner, H.; \**Thailand*: Supakit, P.;  
*Tunisia*: Bousselmi, M.; *Turkey*: Özdemir, T.; *Ukraine*: Makarovska, O.; *United*  
*Kingdom*: Chandler, S.; *United States of America*: Camper, L.; \**Uruguay*:  
 Nader, A.; *European Commission*: Necheva, C.; *European Nuclear Installations*  
*Safety Standards*: Lorenz, B.; \**European Nuclear Installations Safety Standards*:  
 Zaiss, W.; *IAEA*: Siraky, G. (Coordinator); *International Organization for*  
*Standardization*: Hutson, G.; *International Source Suppliers and Producers*  
*Association*: Fasten, W.; *OECD Nuclear Energy Agency*: Riotte, H.; *World*  
*Nuclear Association*: Saint-Pierre, S.



**IAEA**

International Atomic Energy Agency

No. 22

## Where to order IAEA publications

In the following countries IAEA publications may be purchased from the sources listed below, or from major local booksellers. Payment may be made in local currency or with UNESCO coupons.

### AUSTRALIA

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132  
Telephone: +61 3 9210 7777 • Fax: +61 3 9210 7788  
Email: [service@dadirect.com.au](mailto:service@dadirect.com.au) • Web site: <http://www.dadirect.com.au>

### BELGIUM

Jean de Lanoy, avenue du Roi 202, B-1190 Brussels  
Telephone: +32 2 538 43 08 • Fax: +32 2 538 08 41  
Email: [jean.de.lanoy@infoboard.be](mailto:jean.de.lanoy@infoboard.be) • Web site: <http://www.jean-de-lanoy.be>

### CANADA

Bernan Associates, 4501 Forbes Blvd, Suite 200, Lanham, MD 20706-4346, USA  
Telephone: 1-800-865-3457 • Fax: 1-800-865-3450  
Email: [customercare@bernman.com](mailto:customercare@bernman.com) • Web site: <http://www.bernman.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 1-5369 Canotek Rd., Ottawa, Ontario, K1J 9J3  
Telephone: +613 745 2665 • Fax: +613 745 7660  
Email: [order.dept@renoufbooks.com](mailto:order.dept@renoufbooks.com) • Web site: <http://www.renoufbooks.com>

### CHINA

IAEA Publications in Chinese: China Nuclear Energy Industry Corporation, Translation Section, P.O. Box 2103, Beijing

### CZECH REPUBLIC

Suweco CZ, S.R.O., Klecakova 347, 180 21 Praha 9  
Telephone: +420 26603 5364 • Fax: +420 28482 1646  
Email: [nakup@suweco.cz](mailto:nakup@suweco.cz) • Web site: <http://www.suweco.cz>

### FINLAND

Akateeminen Kirjakauppa, PO BOX 128 (Keskuskatu 1), FIN-00101 Helsinki  
Telephone: +358 9 121 41 • Fax: +358 9 121 4450  
Email: [akailaus@akateeminen.com](mailto:akailaus@akateeminen.com) • Web site: <http://www.akateeminen.com>

### FRANCE

Form-Edit, 5, rue Janssen, P.O. Box 25, F-75921 Paris Cedex 19  
Telephone: +33 1 42 01 49 49 • Fax: +33 1 42 01 90 90  
Email: [formedit@formedit.fr](mailto:formedit@formedit.fr) • Web site: <http://www.formedit.fr>  
Lavoisier SAS, 145 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex  
Telephone: +33 1 47 40 67 02 • Fax: +33 1 47 40 67 02  
Email: [romuald.verrier@lavoisier.fr](mailto:romuald.verrier@lavoisier.fr) • Web site: <http://www.lavoisier.fr>

### GERMANY

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags GmbH, Am Hofgarten 10, D-53113 Bonn  
Telephone: +49 228 94 90 20 • Fax: +49 228 94 90 20 or +49 228 94 90 222  
Email: [bestellung@uno-verlag.de](mailto:bestellung@uno-verlag.de) • Web site: <http://www.uno-verlag.de>

### HUNGARY

Librotrade Ltd., Book Import, P.O. Box 126, H-1656 Budapest  
Telephone: +36 1 257 7777 • Fax: +36 1 257 7472 • Email: [books@librotrade.hu](mailto:books@librotrade.hu)

### INDIA

Allied Publishers Group, 1st Floor, Dubash House, 15, J. N. Heredia Marg, Ballard Estate, Mumbai 400 001,  
Telephone: +91 22 22617926/27 • Fax: +91 22 22617928  
Email: [alliedpl@vsnl.com](mailto:alliedpl@vsnl.com) • Web site: <http://www.alliedpublishers.com>

Bookwell, 2/72, Nirankari Colony, Delhi 110009  
Telephone: +91 11 23268786, +91 11 23257264 • Fax: +91 11 23281315  
Email: [bookwell@vsnl.net](mailto:bookwell@vsnl.net)

### ITALY

Libreria Scientifica Dott. Lucio di Biasio "AEIOU", Via Coronelli 6, I-20146 Milan  
Telephone: +39 02 48 95 45 52 or 48 95 45 62 • Fax: +39 02 48 95 45 48  
Email: [info@libreriaaeiou.eu](mailto:info@libreriaaeiou.eu) • Website: [www.libreriaaeiou.eu](http://www.libreriaaeiou.eu)



#### **JAPAN**

Maruzen Company, Ltd., 13-6 Nishinbashi, 3 chome, Chuo-ku, Tokyo 103-0027  
Telephone: +81 3 3275 8582 • Fax: +81 3 3275 9072  
Email: [journal@maruzen.co.jp](mailto:journal@maruzen.co.jp) • Web site: <http://www.maruzen.co.jp>

#### **REPUBLIC OF KOREA**

KINS Inc., Information Business Dept. Samho Bldg. 2nd Floor, 275-1 Yang Jae-dong SeoCho-G, Seoul 137-130  
Telephone: +02 589 1740 • Fax: +02 589 1748 • Web site: <http://www.kins.co.kr>

#### **NETHERLANDS**

De Lindeboom Internationale Publicaties B.V., M.A. de Ruyterstraat 20A, NL-7482 BZ Haaksbergen  
Telephone: +31 (0) 53 5740004 • Fax: +31 (0) 53 5729296  
Email: [books@delindeboom.com](mailto:books@delindeboom.com) • Web site: <http://www.delindeboom.com>

Marinus Nijhoff International, Koraalrood 50, P.O. Box 1853, 2700 CZ Zoetermeer  
Telephone: +31 793 684 400 • Fax: +31 793 615 668  
Email: [info@nijhoff.nl](mailto:info@nijhoff.nl) • Web site: <http://www.nijhoff.nl>

Swets and Zeitlinger b.v., P.O. Box 830, 2160 SZ Lisse  
Telephone: +31 252 435 111 • Fax: +31 252 415 888  
Email: [info@swets.nl](mailto:info@swets.nl) • Web site: <http://www.swets.nl>

#### **NEW ZEALAND**

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132, Australia  
Telephone: +61 3 9210 7777 • Fax: +61 3 9210 7788  
Email: [service@dadirect.com.au](mailto:service@dadirect.com.au) • Web site: <http://www.dadirect.com.au>

#### **SLOVENIA**

Cankarjeva Založba d.d., Kopitarjeva 2, SI-1512 Ljubljana  
Telephone: +386 1 432 31 44 • Fax: +386 1 230 14 35  
Email: [import.books@cankarjeva-z.si](mailto:import.books@cankarjeva-z.si) • Web site: <http://www.cankarjeva-z.si/uvoz>

#### **SPAIN**

Díaz de Santos, S.A., c/ Juan Bravo, 3A, E-28006 Madrid  
Telephone: +34 91 781 94 80 • Fax: +34 91 575 55 63  
Email: [compras@diazdesantos.es](mailto:compras@diazdesantos.es), [carmela@diazdesantos.es](mailto:carmela@diazdesantos.es), [barcelona@diazdesantos.es](mailto:barcelona@diazdesantos.es), [julio@diazdesantos.es](mailto:julio@diazdesantos.es)  
Web site: <http://www.diazdesantos.es>

#### **UNITED KINGDOM**

The Stationery Office Ltd, International Sales Agency, PO Box 28, Norwich, NR3 1 GN  
Telephone (orders): +44 870 600 5552 • (enquiries): +44 207 873 8372 • Fax: +44 207 873 8203  
Email (orders): [book.orders@tso.co.uk](mailto:book.orders@tso.co.uk) • (enquiries): [book.enquiries@tso.co.uk](mailto:book.enquiries@tso.co.uk) • Web site: <http://www.iso.co.uk>

#### **On-line orders**

DELTA Int. Book Wholesalers Ltd., 39 Alexandra Road, Addlestone, Surrey, KT15 2PQ  
Email: [info@profbbooks.com](mailto:info@profbbooks.com) • Web site: <http://www.profbbooks.com>

#### **Books on the Environment**

Earthprint Ltd., P.O. Box 119, Stevenage SG1 4TP  
Telephone: +44 1438748111 • Fax: +44 1438748844  
Email: [orders@earthprint.com](mailto:orders@earthprint.com) • Web site: <http://www.earthprint.com>

#### **UNITED NATIONS**

Dept. 1004, Room DC2-0853, First Avenue at 46th Street, New York, N.Y. 10017, USA  
(UN) Telephone: +800 253-9646 or +212 963-8302 • Fax: +212 963-3488  
Email: [publications@un.org](mailto:publications@un.org) • Web site: <http://www.un.org>

#### **UNITED STATES OF AMERICA**

Bernan Associates, 4501 Forbes Blvd., Suite 200, Lanham, MD 20706-4346  
Telephone: 1-800-865-3457 • Fax: 1-800-865-3450  
Email: [customer-care@bernan.com](mailto:customer-care@bernan.com) • Web site: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 812 Proctor Ave., Ogdensburg, NY, 13689  
Telephone: +888 551 7470 (toll-free) • Fax: +888 568 8546 (toll-free)  
Email: [order.dept@renoufbooks.com](mailto:order.dept@renoufbooks.com) • Web site: <http://www.renoufbooks.com>

#### **Orders and requests for information may also be addressed directly to:**

Marketing and Sales Unit, International Atomic Energy Agency  
Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria  
Telephone: +43 1 2600 22529 (or 22530) • Fax: +43 1 2600 29302  
Email: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org) • Web site: <http://www.iaea.org/books>



**IAEA**

International Atomic Energy Agency

## RELATED PUBLICATIONS

### **SITE EVALUATION FOR NUCLEAR INSTALLATIONS SAFETY REQUIREMENTS**

#### **Safety Requirements**

#### **IAEA Safety Standards Series No. NS-R-3**

STI/PUB/1177 (28 pp.; 2003)

ISBN 92-0-112403-1

€15.00

### **EXTERNAL HUMAN INDUCED EVENTS IN SITE EVALUATION FOR NUCLEAR POWER PLANTS**

#### **Safety Guide**

#### **IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.1**

STI/PUB/1126 (49 pp.; 2002)

ISBN 92-0-111202-5

€14.50

### **DISPERSION OF RADIOACTIVE MATERIAL IN AIR AND WATER AND CONSIDERATION OF POPULATION DISTRIBUTION IN SITE EVALUATION FOR NUCLEAR POWER PLANTS**

#### **Safety Guide**

#### **IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.2**

STI/PUB/1122 (32 pp.; 2002)

ISBN 92-0-110102-3

€11.50

### **METEOROLOGICAL EVENTS IN SITE EVALUATION FOR NUCLEAR POWER PLANTS**

#### **Safety Guide**

#### **IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.4**

STI/PUB/1148 (34 pp.; 2003)

ISBN 92-0-102103-8

€12.50

### **FLOOD HAZARD FOR NUCLEAR POWER PLANTS ON COASTAL AND RIVER SITES**

#### **Safety Guide**

#### **IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.5**

STI/PUB/1170 (83 pp.; 2003)

ISBN 92-0-112803-7

€20.00

### **GEOTECHNICAL ASPECTS OF SITE EVALUATION AND FOUNDATIONS FOR NUCLEAR POWER PLANTS**

#### **Safety Guide**

#### **IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.6**

STI/PUB/1195 (53 pp.; 2005)

ISBN 92-0-107204-X

€19.00



## **Safety through international standards**

***The fundamental safety objective is to protect people and the environment from harmful effects of ionizing radiation.***

This fundamental safety objective of protecting people — individually and collectively — and the environment has to be achieved without unduly limiting the operation of facilities or the conduct of activities that give rise to radiation risks.

— Fundamental Safety Principles: Safety Fundamentals,  
IAEA Safety Standards Series No. SF-1 (2006)

---

**INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY  
VIENNA  
ISBN 978-92-0-102910-2  
ISSN 1020-525X**

IAEA 安全基準

人間と環境を保護するために

核施設のサイト評価における地震ハザード

特定安全ガイド

No. SSG-9



## IAEA 安全関連公開文書

### IAEA 安全基準

憲章第 III 条の規定において IAEA は健康保護と生命財産への危険最小化のための安全基準を策定または採用し、基準の適用を規定する権限が与えられている。

IAEA が基準を策定する手段としての公開文書は『IAEA 安全基準シリーズ』に含めて発行される。このシリーズでは核安全、放射線安全、輸送安全、および廃棄物安全が扱われる。シリーズ内の文書類別は『安全原則』、『安全要件』、『安全ガイド』がある。

IAEA の安全基準事業に関する情報は IAEA のインターネットサイト、  
<http://www-ns.iaea.org/standards/>  
から入手できる。

このサイトには既発行または安全基準案の英語版が置かれている。安全基準はアラビア語、中国語、フランス語、ロシア語、スペイン語で発行され、IAEA 安全用語集と安全基準策定に関する進捗報告も入手できる。詳細については IAEA に問い合わせていただきたい。宛先は PO Box 100, 1400 Vienna, Austria である。

IAEA では安全基準利用者すべてから基準を利用した経験に関する情報を期待している。利用には、例えば国家規制の基本に用いた、安全審査や訓練コースに利用した、などがある。この情報は今後も利用者の利用目的を満たす安全基準でありつづけるために使われる。情報は IAEA のインターネットサイトや上記宛先への郵便、あるいは電子メールで [Official.Mail@iaea.org](mailto:Official.Mail@iaea.org) へ送ることもできる。

### 基準以外の安全関連公開文書

IAEA は基準の適用を規定することができ、また憲章第 III 条および第 VIII.C 条の規定により、核の平和利用活動に関する情報の交換を可能にし、かつ推進し、この目的において加盟国間の仲介を行う。

核の利用活動における安全および保護に関する報告は『安全報告』として発行され、安全基準を支援するための実用的な例や詳細な手法についての情報を公開している。

## 核施設のサイト評価における地震ハザード

### 安全基準アンケート

IAEA では利用者の意見を歓迎しています。

<http://www-ns.iaea.org/standards/feedback.htm>



IAEA の加盟国は以下の通りである。

AFGHANISTAN	アフガニスタン
ALBANIA	アルバニア
ALGERIA	アルジェリア
ANGOLA	アンゴラ
ARGENTINA	アルゼンチン
ARMENIA	アルメニア
AUSTRALIA	オーストラリア
AUSTRIA	オーストリア
AZERBAIJAN	アゼルバイジャン
BAHRAIN	バーレーン
BANGLADESH	バングラデシュ
BELARUS	ベラルーシ
BELGIUM	ベルギー
BELIZE	ベリーズ
BENIN	ベナン
BOLIVIA	ボリビア
BOSNIA AND HERZEGOVINA	ボスニア・ヘルツェゴビナ
BOTSWANA	ボツワナ
BRAZIL	ブラジル
BULGARIA	ブルガリア
BURKINA FASO	ブルキナファソ
BURUNDI	ブルンジ
CAMBODIA	カンボジア
CAMEROON	カメルーン

CANADA	カナダ
CENTRAL AFRICAN REPUBLIC	中央アフリカ
CHAD	チャド
CHILE	チリ
CHINA	中華人民共和国
COLOMBIA	コロンビア
CONGO	コンゴ
COSTA RICA	コスタリカ
CÔTE D'IVOIRE	コートジボワール
CROATIA	クロアチア
CUBA	キューバ
CYPRUS	キプロス
CZECH REPUBLIC	チェコ
DEMOCRATIC REPUBLIC OF THE CONGO	コンゴ民主共和国
DENMARK	デンマーク
DOMINICAN REPUBLIC	ドミニカ共和国
ECUADOR	エクアドル
EGYPT	エジプト
EL SALVADOR	エルサルバドル
ERITREA	エリトリア
ESTONIA	エストニア
ETHIOPIA	エチオピア
FINLAND	フィンランド
FRANCE	フランス
GABON	ガボン
GEORGIA	グルジア



GERMANY	ドイツ
GHANA	ガーナ
GREECE	ギリシャ
GUATEMALA	グアテマラ
HAITI	ハイチ
HOLY SEE	バチカン市国
HONDURAS	ホンジュラス
HUNGARY	ハンガリー
ICELAND	アイスランド
INDIA	インド
INDONESIA	インドネシア
IRAN, ISLAMIC REPUBLIC OF	イラン
IRAQ	イラク
IRELAND	アイルランド
ISRAEL	イスラエル
ITALY	イタリア
JAMAICA	ジャマイカ
JAPAN	日本
JORDAN	ヨルダン
KAZAKHSTAN	カザフスタン
KENYA	ケニア
KOREA, REPUBLIC OF	大韓民国
KUWAIT	クウェート
KYRGYZSTAN	キルギスタン
LATVIA	ラトビア
LEBANON	レバノン

LESOTHO	レソト
LIBERIA	リベリア
LIBYAN ARAB JAMAHIRIYA	リビア
LIECHTENSTEIN	リヒテンシュタイン
LITHUANIA	リトアニア
LUXEMBOURG	ルクセンブルク
MADAGASCAR	マダガスカル
MALAWI	マラウイ
MALAYSIA	マレーシア
MALI	マリ
MALTA	マルタ
MARSHALL ISLANDS	マーシャル諸島
MAURITANIA	モーリタニア
MAURITIUS	モーリシャス
MEXICO	メキシコ
MONACO	モナコ
MONGOLIA	モンゴル
MONTENEGRO	モンテネグロ
MOROCCO	モロッコ
MOZAMBIQUE	モザンビーク
MYANMAR	ミャンマー
NAMIBIA	ナミビア
NEPAL	ネパール
NETHERLANDS	オランダ
NEW ZEALAND	ニュージーランド
NICARAGUA	ニカラグア

NIGER	ニジェール
NIGERIA	ナイジェリア
NORWAY	ノルウェー
OMAN	オマーン
PAKISTAN	パキスタン
PALAU	パラオ
PANAMA	パナマ
PARAGUAY	パラグアイ
PERU	ペルー
PHILIPPINES	フィリピン
POLAND	ポーランド
PORTUGAL	ポルトガル
QATAR	カタール
REPUBLIC OF MOLDOVA	モルドバ
ROMANIA	ルーマニア
RUSSIAN FEDERATION	ロシア
SAUDI ARABIA	サウジアラビア
SENEGAL	セネガル
SERBIA	セルビア
SEYCHELLES	セーシェル
SIERRA LEONE	シエラレオネ
SINGAPORE	シンガポール
SLOVAKIA	スロバキア
SLOVENIA	スロベニア
SOUTH AFRICA	南アフリカ
SPAIN	スペイン



SRI LANKA	スリランカ
SUDAN	スーダン
SWEDEN	スウェーデン
SWITZERLAND	スイス
SYRIAN ARAB REPUBLIC	シリア
TAJIKISTAN	タジキスタン
THAILAND	タイ
THE FORMER YUGOSLAV REPUBLIC OF MACEDONIA	マケドニア共和国
TUNISIA	チュニジア
TURKEY	トルコ
UGANDA	ウガンダ
UKRAINE	ウクライナ
UNITED ARAB EMIRATES	アラブ首長国連邦
UNITED KINGDOM OF GREAT BRITAIN AND NORTHERN IRELAND	イギリス
UNITED REPUBLIC OF TANZANIA	タンザニア
UNITED STATES OF AMERICA	アメリカ合衆国
URUGUAY	ウルグアイ
UZBEKISTAN	ウズベキスタン
VENEZUELA	ベネズエラ
VIETNAM	ベトナム
YEMEN	イエメン
ZAMBIA	ザンビア
ZIMBABWE	ジンバブエ

IAEA 憲章の承認は 1956 年 10 月 23 日にニューヨークの国連本部で開催された IAEA 憲章会議で行われた。憲章の発効は 1957 年 7 月 29 日である。IAEA の本部はウィーンにある。IAEA の主たる目的は「全世界の平和と健康と繁栄へ原子力による貢献を加速し拡大する」ことである。

**IAEA 安全基準シリーズ No. SSG-9**

**核施設のサイト評価における地震ハザード**

**特定安全ガイド**

**国際原子力機関**

**ウィーン 2010**



## 著作権表示

IAEA の科学分野および技術分野公開文書はすべてが 1952 年(ベルヌ(訳注 1))採択 1972 年パリ改正の万国著作権条約により保護されている。著作権は世界知的所有権機関(WIPO、ジュネーブ)による拡張で電子のおよび仮想的\*(virtual)知的財産権も含むこととなった。IAEA の印刷または電子的公開文書に含まれる文言の全体または一部を利用するためには許可を要し、通常は使用料協定の対象である。非商業的複製の提案と翻訳は歓迎され、個別事情を考慮する。問い合わせは IAEA 公開文書部に連絡されるべきである。

Marketing and Sales Unit, Publishing Section  
International Atomic Energy Agency  
Vienna International Centre  
PO Box 100  
1400 Vienna, Austria  
fax: +43 1 2600 29302  
tel.: +43 1 2600 22417  
email: sales.publications@iaea.org  
<http://www.iaea.org/books>

訳注 1 ジュネーブと思われる。

© IAEA, 2010  
Printed by the IAEA in Austria  
August 2010  
STI/PUB/1448

### IAEA 図書館公開文書目録データ

Seismic hazards in site evaluation for nuclear installations : safety guide. —  
Vienna : International Atomic Energy Agency, 2010.  
p. ; 24 cm. — (IAEA safety standards series, ISSN 1020-525X ;  
no. SSG-9)  
STI/PUB/1448  
ISBN 978-92-0-102910-2  
Includes bibliographical references.

1. Nuclear facilities — Seismic prospecting — Risk assessment.

核施設 地震探査 リスク評価

2. Nuclear facilities — Seismic tomography — Safety measures.

核施設 地震断層映像 安全処置

3. Earthquake hazard analysis.

地震ハザード解析

4. Earthquake resistant design.

耐震設計

I. International Atomic Energy Agency.

国際原子力機関

II. Series.

双書

IAEAL 10-00636

## 緒言

IAEA はその憲章によって、健康保護と生命財産への危険最小化のための安全基準を策定する権限をもつ。これらの安全基準は IAEA の自己事業に適用しなければならず、一方で加盟国は自己の核および放射線安全監督規則を通してこの基準を適用できる。繰り返して精査される安全基準の全体は、その適用に関する IAEA の支援とを合わせ、世界的安全施策の重要な要素となってきた。

1990 年代中盤に IAEA 安全基準の大幅改定事業が開始された。このときから監督委員会の組織も変更され、組織的手法による各基準の全面改定も行われた。その成果である新基準は加盟各国の高い能力と最良執行とを反映したものになっている。安全基準部

\*(Commission on Safety Standards)による支援のもとで IAEA は安全基準の世界的普及と適用とに向けて尽力している。

いかなる安全基準も、しかしながら、実際に適用されてのみ効果を発揮できる。IAEA の安全業務は広範な対象を包含するもので、工学的安全、操業安全と放射線、輸送と廃棄物の安全、あるいは監督規制や組織の安全常識にも及び、加盟各国による基準の適用や成果の評価についての支援を行っている。これらの安全業務は貴重な観測の共有を可能にするものであり、加盟各国はぜひそれらを活用していただきたい。

核および放射線安全の規制運用は国レベルの責務であり、多数の加盟国ではすでに IAEA 安全基準の国家規則における利用を決定している。各種の国際的安全協約を採用する契約主体においても、IAEA の安全基準は協約上の責務を効果的かつ確実に履行するため整合性と信頼性のある手段となっている。さらに安全基準は全世界の設計者、製造者、運転者にも採用され、原子力発電、医療、工業、農業、研究、教育の分野で核および放射線安全の向上につながっている。

世界のあらゆる場所で利用者や規制組織が向き合う、核物質や放射線源の利用において最高度の安全を確保しようとする挑戦を、IAEA は真剣に受け止めている。核物質や放射線源を人類の福利のために継続的利用するには、それらが安全に管理されなければならず、IAEA の安全基準はその目標を達成する手段として構成されているものである。



# IAEA 安全基準

## 基礎知識

放射線の存在は自然現象のひとつであり、自然界の放射線源は環境がもつ特性である。放射線と放射性物質は有益な応用が数多く存在し、原子力発電、医療、工業、農業に使われている。従事者、一般公衆、環境への放射線リスクがこれらの利用によって発生しうるので、リスクを評価するべきであり、必要に応じて管理するべきである。

医療への放射線利用、核施設の運転、放射性資材の製造・輸送・使用、および放射性廃棄物の管理は、従って、安全基準に基づいて行われるべきである。

安全規制は国レベルの責務である。しかし放射線リスクは国境を越えるものであり、国際的協力によって世界的な安全が強化される。この国際的協力とは相互に経験を共有し、およびハザードの抑制、事故防止、緊急事態対応、有害影響の発生緩和、への能力を高めることである。

加盟各国は注意義務および保護措置義務があり、国内および国際的な事業の実行と義務の履行とが期待される。

加盟各国が国際法の一般原則に基づく責務、例えば環境保護に関する責務、に応える上で国際安全基準による支援を得ることができる。また国際安全基準<の遵守>は安全に関する信頼を強め、国際商業および貿易の便宜となる。

核安全機能は世界的に運用されており、しかも改善が続けられている。IAEA の安全基準は強制力のある国際的機能と国レベルの安全基盤の設置を支援するものであり、この世界的な施策の評価指標となっている。IAEA 安全基準は契約主体が国際規約に照らして自己の成績を評価するためにも有効な手段のひとつとなっている。

## IAEA 安全基準

IAEA 安全基準の地位は IAEA 憲章に基づくものであり、憲章によって IAEA は安全のためおよび健康保護と生命財産への危険最小化のための安全基準を策定または制定し、適用を規定する権限を有している。その際 IAEA は、国連の正当な機関および関連する特別任

務部局と協議し、適切であれば共同する。

電離性放射線による有害な影響から人々および環境の保護を確保する観点において、IAEA の安全基準は基本となる安全原則、要件、および個別手段を設定して人々の放射線への曝露抑制、放射性物質の環境への放出抑制、核反応炉心への制御不能・核連鎖反応の制御不能・放射線源またはその他の放射線源の制御不能につながるおそれのある事象の可能性低減、このような事象が発生した場合の影響軽減を図っている。本安全基準が適用される対象は放射線リスクが発生しうる施設および事業であって、それら施設および事業に含まれるものは核施設、放射線または放射線源<(放射性物質)>の使用、放射性物質の輸送、および放射性廃棄物の管理である。

安全措置と安全保障措置<sup>1</sup>には共通の目的があり、それは人の生命と健康を保護し、環境を保護することである。安全措置と安全保障措置は統合的に策定し実行されるべきである。これは安全保障措置が安全措置を妨害せず、かつ安全措置が安全保障措置を妨害しないためである。

IAEA 安全基準はいずれも人々と環境を電離性放射線による有害な影響から保護するために国際合意された高いレベルの安全確保を反映している。安全基準は『IAEA 安全基準シリーズ』として発行され、それらは3種類に分けられる(Fig. 1を参照)。

## 安全原則

安全原則は基本的な安全目標と保護と安全の原理について記述し、安全要件への基礎を構成するものである。

## 安全要件

安全要件シリーズ各部は全体として統一された要件群を示し、それらは現在および将来の人々と環境を確実に保護するために守るべき内容を含んでいる。各要件は安全原則の目的と原理とに律せられたものである。要件が充足されない場合、必要なレベルの安全を達成または回復するための措置が必要である。国レベルの規制施策を確立するうえで調和した決定様式が可能となるように、各要件の書式および文書形式が作られている。各要件、お

---

<sup>1</sup> IAEA 核安全保障シリーズの公開文書も参照されたい。

よび番号が付けられた上位要件は、英語で'shall'と表現されている。要件の多くは特定の主体に向けたものではなく、これらは要件を遵守する任務のある適切な主体が想定されている。

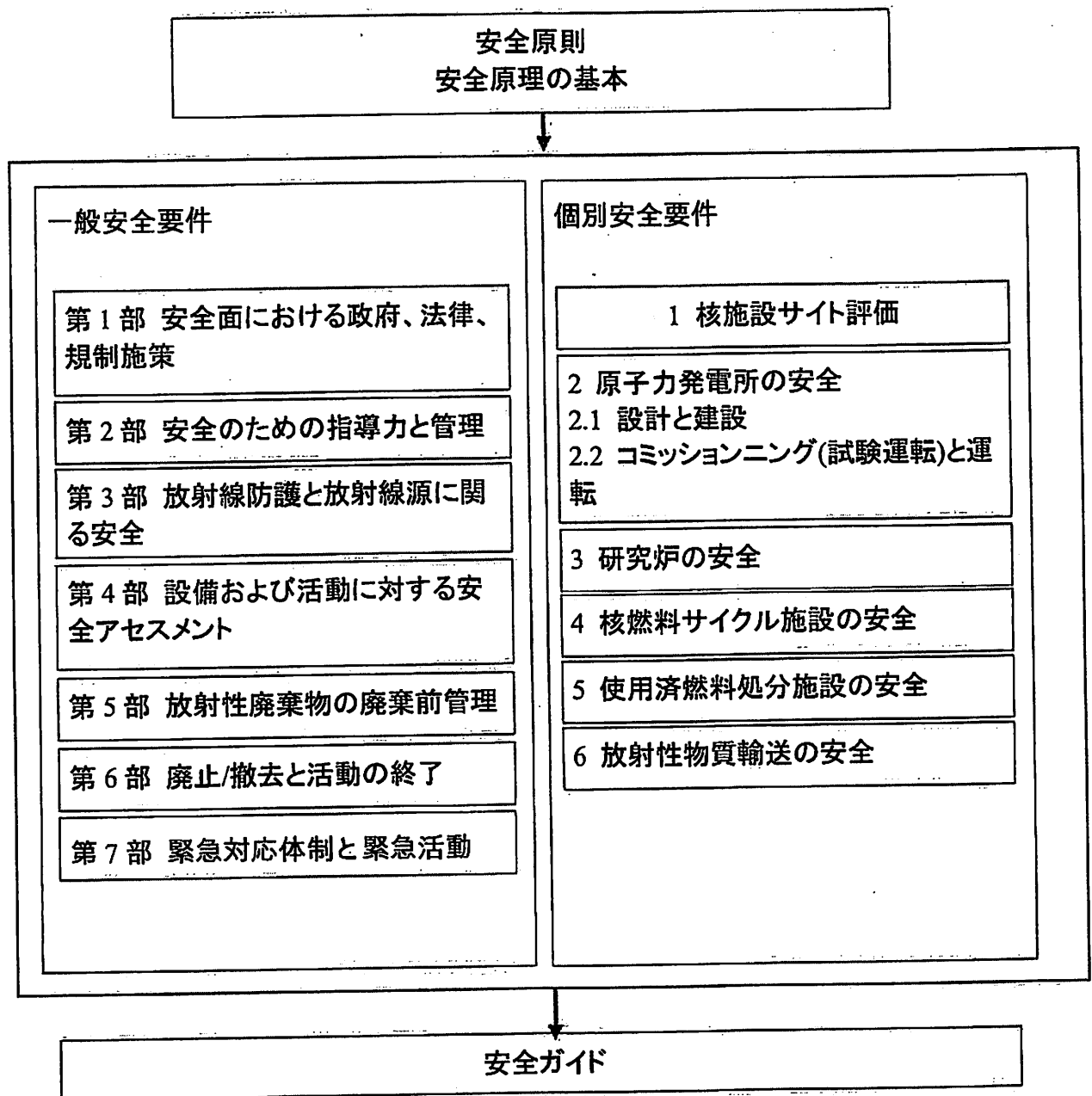


Fig. 1 IAEA 安全基準シリーズの長期構造



## 安全ガイド

安全ガイドでは安全要件を遵守する方法に関する推奨事項および示唆が記述されており、それらは推奨された方策(あるいは等価な代替手段)を実行する上での国際合意を示すものである。安全ガイドでは最良執行を反映したものとなりつつある国際的に良好な慣習を提示し、さらに高いレベルの安全を目指す利用者を支援するものである。安全ガイドではこれらの推奨事項を英語で'should'と表現している。

## IAEA 安全基準の適用

IAEA 加盟各国における安全基準の主たる利用者は、規制組織とその他の国家機関である。IAEA 標準はまた、その他の参加組織と設計、建設、施設運転、さらに放射線と放射性物質を利用する多数の組織にも使用される。

IAEA 安全基準の適用対象は、相当であれば、すべての施設と活動の、その既存と新設とを問わず、存在期間全体であり、それら施設と活動は平和目的に使用されるものであって、基準はまた存在する放射線リスクを低減するための保護措置にも適用される。安全基準は加盟各国が施設や活動に対するそれぞれの国家規制のための参照点として利用できる。

IAEA 憲章の規定によって、これらの安全基準が IAEA 自身の事業に関する場合は IAEA に対して、また IAEA が支援する加盟各国の事業に関しては加盟各国に対して、強制力を持つ。

IAEA 安全基準は IAEA が実施する安全レビュー事業の基盤を構成するものであり、また IAEA の実行能力形成支援でも使用される。この支援には教育課程と訓練コースの開発が含まれる。

国際協約は IAEA 安全基準に類似した要件が含まれており、契約主体はこれに拘束される。IAEA 安全基準はこれら国際協約、業界標準、および詳細な国家要件によって補完され、人々と環境の保護に向けて整合した基盤を構成する。国レベルでの評価が必要となる特定の安全視点も存在する。例えば IAEA 安全基準の多くは、特に計画や設計上の安全視点を取り扱うものでは、主として新規の施設または活動への適用が意図されている。従来の基準で建設されている既存施設では IAEA 安全基準の規定要件に必ずしも全面的に適合しないことがある。このような施設に対して IAEA 安全基準を適用する方法は加盟各国の判断に委ねられている。

IAEA 安全基準を通底する科学的配慮は安全に関する判断の客観的基礎となる。しかし同時に施策決定者は情報に基づいた判断をするべきであり、行動または行為による利益と放射線リスクやその他の発生しうる負の結果とを衡量し最良の決定を行うべきである。

## IAEA 安全基準の策定プロセス

安全基準の起草とレビューの担当は IAEA 事務局と 4 つの安全基準委員会、すなわち核安全(NUSSC)、放射線安全(RASSC)、放射性廃棄物安全(WASSC)、および放射性物質の輸送安全(TRANSSC)、そして IAEA 安全基準事業の全体を監督している安全基準部\*(CSS)である(Fig. 2 を参照)。

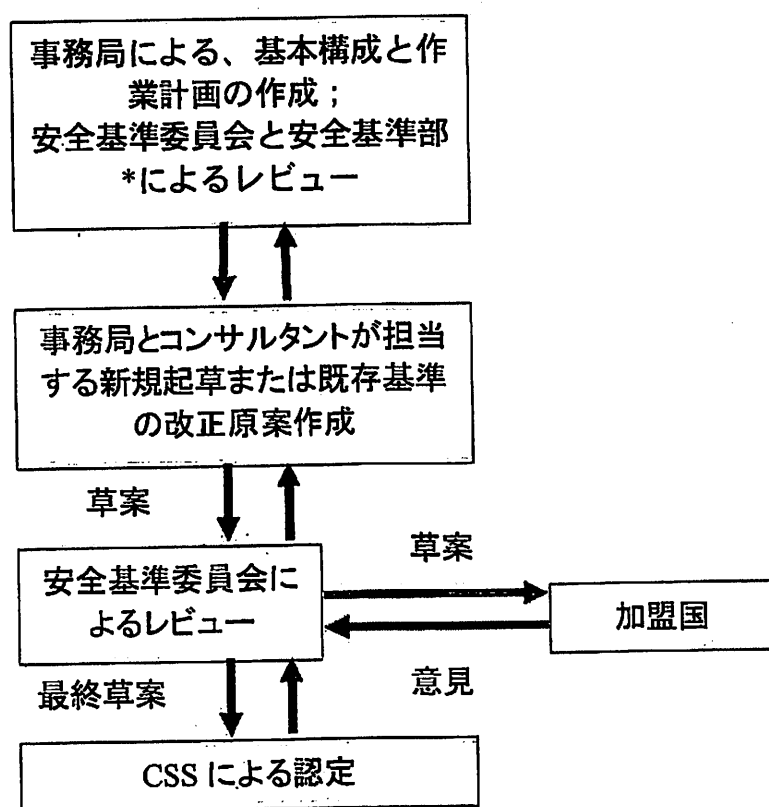


Fig. 2 新規安全基準発行と既存基準の改正プロセス、起草原案作成

すべての IAEA 加盟国は各安全基準委員会に専門家を指名する権利があり、また基準案に意見を提出することができる。安全基準部の委員は事務局長が任命し、国家基準の制定責務にある上位官僚を含む。

IAEA 安全基準の計画、立案、精査、発行、改正、の手続きに関する管理システムが確立されている。管理システムは IAEA の使命と、安全基準の将来的適用構想と、政策および方策と、実行権限および責務とを相互に結びつけるものである。

## その他国際機関との相互調整

原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)による見解、およびその他の国際的専門家組織、特に国際放射線防護委員会(ICRP)、の推奨が IAEA 安全基準策定に取り入れられている。一部の安全基準は国連における他の組織、例えば国連食糧農業機関(FAO)、国連環境計画(UNEP)、国際労働機関(ILO)、OECD 原子力機関、全米保健機関(PAHO)、世界保健機関(WHO)など、との協調によって策定されているものがある。

## 文言の解釈

安全関連の用語は『IAEA 安全用語集：核安全および放射線防護で使用される用語(2007 年版)』(<http://www-ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm> を参照)に従って解釈される。これ以外の語は最新の The Concise Oxford Dictionary における綴りと語義が用いられる。安全ガイドでは英語版の文書が権威を持つ。

各 IAEA 安全基準の背景とそれが占める位置、目的、範囲、構成は、それぞれの 1 章「概要」に記載される。

安全基準文書の本体に含めることが最適でない資料は付録または付属書とすることがある。このような資料の例は、本文に属するか別途の資料であるが本文の明示を裏付けているもの、あるいは計算方法、手順、制約や条件を示しているもの、がある。

付録が収載されているとき、それは一体となって安全基準を構成している。付録の文言は本文文言と同一の地位にあり、IAEA による原著である。付属書および本文の脚注は、収載されていれば、実例や付加情報や付加的説明に使われるものである。付属書および脚注は本体の一部ではない。付属書に収載して IAEA が公表した資料は必ずしも IAEA の原著ではない；安全基準の付属書として他者の著作物も公表されうる。付属書に収載された外部資料は一般的な利用の便宜のため必要に応じて抜粋ないしは翻案されている。

訳注 <https://www.nsr.go.jp/archive/jnes/database/iaea/iaea-ss.html> 旧組織からの情報-IAEA 安全基準邦訳データベース



訳注 [...]の引用元は次の文書の付録F、IAEA 指針の抄訳。

『原子力発電所敷地内断層の変位に対する評価手法に関する調査・検討報告書』

平成25年9月

編集：敷地内断層評価手法検討委員会

一般社団法人 原子力安全推進協会

連絡先：一般社団法人 原子力安全推進協会

<http://www.genanshin.jp/archive/sitefault/data/JANSI-FDE-01.pdf>

## 目次

1. 序章 .....	25
概説(1.1-1.3) .....	25
目的(1.4-1.5) .....	25
適用範囲(1.6-1.11) .....	26
本書の構成 (1.12) .....	27
2 一般的要件 (2.1-2.11) .....	29
3.データベース .....	33
概要 (3.1-3.5) .....	33
地質学的、地球物理学的、および地盤工学的データベース (3.6-3.23) .....	35
地震学的データベース(3.24-3.33) .....	39
4. 広域地震構造モデルの構築 .....	43
一般事項(4.1-4.13) .....	43
地震発生構造 .....	47
震源不特定の地震活動域(4.28-4.32) .....	49

5. 地震動ハザードの評価.....	51
一般事項(5.1-5.4).....	51
地震動の特性評価 (5.5-5.15).....	51
6. 確率論的地震ハザード解析 .....	56
一般事項(6.1-6.5).....	56
ハザード積分(6.6).....	57
7. 決定論的地震ハザード解析 .....	58
8. サイトにおける断層変位の可能性.....	60
一般事項(8.1-8.2).....	60
将来活動する可能性のある断層(8.3-8.7) .....	60
新規サイトにおける断層活動の可能性の課題(8.8) .....	61
既設原子力発電所における断層活動の可能性の課題(8.9-8.13) .....	62
9. 設計基準地震動、断層変位、その他のハザード .....	63
地震動ハザードのレベル(9.1-9.2).....	63
設計基準応答スペクトル(9.3-9.6).....	64
時刻歴波形(9.7-9.15).....	65
断層の変位(9.16).....	67
地震に関連するその他のハザードの評価(9.17) .....	67
10. 原子力発電所以外の原子炉等施設における地震ハザード評価(10.1-10.11).....	68
11. プロジェクトマネジメント.....	72
実施体制に関するいくつかの側面(11.1-11.14).....	72

設備構築への利用と成果仕様(11.15-11.17).....	74
第三者によるピアレビュー(11.18-11.20).....	76
参照文献.....	76
別表.....	78
用語の定義.....	81



# 1. 序章

## 概説(1.1-1.3)

1.1. 本安全指針は、原子炉等施設施設を対象とする安全基準に関する IAEA プログラムの下で作成されたものであり、安全要件に関する既刊の『原子炉等施設の立地評価 [1]』を補完するものである。本指針は、発電所等の原子炉施設における地震ハザードの評価するための安全指針を提供するとともにその手続きを勧告するものであり、IAEA 安全基準シリーズ No. NS-G-3.3 (2002)、『原子力発電所の地震ハザード評価(Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series)』に代わるものである。

1.2. 本書においては次の事項が考慮されている：

- ・ 新設または既設の原子力施設に対する外部事象による確率論的安全評価実施のための、地震ハザード曲線および地震動スペクトルの必要性；
- ・ 過去 10 年間に IAEA が行った原子炉等施設における地震安全研究に関するレビュー知見の取り入れ；
- ・ 近年の主要な地震から得られた集合知；
- ・ 新しい解析手法、特に確率論的地震ハザード解析と強振動のシミュレーション分野に関する解析手法の発展

1.3 原子力施設のサイト評価においては、一般的に工学的手段の利用によって、具体的には特定の設計上の処置をもって、地震で発生しうる振動の影響を緩和することができる。しかし、そのような手段が、著しい地面変位（地表断層、沈下、崩落、断層クリープなど）を緩和するのに十分かどうかは必ずしも実証されてるわけではない。

## 目的(1.4-1.5)

1.4 本安全指針は、原子力施設のサイトにおける地震ハザードの評価に関し、特に以下の二点の評価法につき、勧告と手引きを提供することを目的とする。

(a)振動性の地震動ハザード。新設および既設の施設に関し、設計基準となる地震動その他の関連パラメータを確立する；

(b)断層変位の可能性および断層変位の速度。これらは対象となるサイトのフィジビリティあるいはその施設運用の安全性に影響を与える

1.5 本指針は、指針の利用者として、規制要件の設定に責任をもつ規制機関および原子炉等施設サイトの地震ハザード評価に直接の責任を持つ操業主体、を想定している。

## 適用範囲(1.6-1.11)

1.6 本安全指針が勧告する手引きと手続きは、あらゆる地震構造の環境において、サイト評価のために、または原子力施設の地震ハザード評価に、適切な利用ができるものである。

1.7 その他の地震ハザード関連現象のうち、恒久的地面変位(例えば液状化、斜面不安定性、陥没、地盤崩落、地震動で誘起された土壌沈下)を伴うもの、および地震で誘起された洪水については、『サイト評価の地盤的側面と基礎に関する安全指針(原子力発電所のためのサイト評価と地盤の地質学的観点)』、および『外部洪水に関する安全指針(海岸域および河川域の原子力発電所における洪水ハザード)』が詳細に扱っている(それぞれ[2]と[3]を参照)。

1.8 本指針が対象としている原子力施設は、参照文献[4]<用語集(安全用語集：核安全および放射線防護で使用される用語)>で規定されている施設である。すなわち、陸上に設置された原子力発電所、研究炉、核燃料製造施設、濃縮施設、再処理施設、および独立の使用済燃料保管施設である。原子力発電所に適用が勧告されている手法は、他の原子力施設であっても段階的アプローチによって適用できる。その場合は、原子炉等施設の種類ごとに地震動をうけて損傷が生じた場合の放射線影響の見込みに応じて異なる要件があるので、それらに合わせて本指針の勧告を個別に適合させてよい。段階的対応として望ましい方向は、まず原子力発電所に関係のある属性から出発し、対象とする施設において予測される放射線影響がより小さい場合は要件を緩和するというものである<sup>1</sup>。段階的アプローチを

---

1 異なる種類の原子炉等施設が含まれるサイトの場合、段階的アプローチの採用にはそれぞれ固有の配慮(particular consideration)が必要である。

採用しない場合、原子力発電所に適用する勧告事項が他の原子力施設においても適用することが可能である。

訳注 <...> は訳者による付加を示す。

1.9 本安全指針では、原子力施設のサイト評価に関する課題を扱っている。原子力発電所の設計に関する耐震安全性の課題は、参照文献[5]で扱われている。

1.10 本安全指針の適用に際して、既設の原子炉等施設とは、次の条件のいずれかに合致するものをいう：

- (a) 運転段階にあるもの(これには長期運転中のものや、一時的な運転停止期間が長引いているものを含む)；
- (b) 運転開始の前段階であって、建屋や構造物の建設、あるいは製造、設置作業、部材やシステムのを組み立て、コミッションニング(試験運転)がかなり進捗しているか完了しているもの；
- (c) 一時的または恒久的停止状態であるが、核燃料が施設(炉心またはプール)の中に存在しているもの

運転中または運転開始の前段階である既設の原子力施設において、当初の基本設計を変更することは、設計と、従って重要な機器への修正となり、著しい影響が発生することがある[6]。このような当初基本設計に関する変更は、当該サイトにおける新たな地震ハザードへの対応、または地震ハザードに関連する規制要件の変更が、施設の耐震設計基準の変更が、あるいはその両方への対応、に伴って実施されることがある。

1.11 本指針で勧告している確率論的地震ハザード解析は同時に原子炉等施設に対して実行される確率論的安全評価(PSA)の要件にも応じるものである。参照文書[7]の規定によって、原子力発電所の地震評価にも地震に関する PSA が要請されている。

## 本書の構成 (1.12)

1.12 一般的性質の勧告は、2章に記載されている。地震に関するあらゆるハザードを評価



し対応するために必要な情報をもつデータベースの取得については、3章で検討する。4章では、データベースを使って地震構造モデルを構成する手法を述べる。5章では、3章で開発したデータベースと4章の地震構造モデルを使用して、振動的地震動ハザードを検討する。6章と7章では、確率論的および決定論的手法による地震動ハザードの評価方法を検討する。8章は、断層変位確率の評価方法について検討する。9章では、地震動と断層変位から設計基礎を構成する手法を説明する。3章から9章は、原子力発電所について詳細な手引きが示される。10章は、原子力発電所以外の原子力施設における地震ハザードの評価を行うための段階的アプローチについて述べる。11章では、事業管理について解説する。ここには、品質保証およびピアレビュー要件が含まれる。別表では、確率論的地震ハザード解析から導かれる典型的な解析結果が例示される。

## 2 一般的要件 (2.1-2.11)

2.1 安全要件公開文書の『原子炉等施設サイト評価(原子炉等施設の立地評価)[1]』で規定されているように：

「対象地域の地震学的・地質的条件、および候補サイトの工学上の地質および地盤工学的側面が評価されなければならない」(参照文献[1], para. 3.1)

「地震に関連するハザードは、対象地域の地震構造評価によって収集された情報を最大限利用することによって決定されなければならない。」(参照文献[1], para. 3.3)

「地震に起因する地震動がもたらすハザードを対象地域の地震構造評価と個別のサイト条件を考慮に入れ、対象サイトについて評価されなければならない。地震ハザード評価の一環として不確定性に関する徹底的な解析も実施されなければならない。」(参照文献[1], para. 3.4.)

「地表断層の可能性がある場合はそのサイトにおいて評価(中略)されなければならない。」(参照文献[1], para. 3.5)

各要件の詳細は、参照文献[1]の para. 3.2、3.6、および 3.7 に記載されている。

2.2 これらの要件に従うとともに、国際慣例に沿った形で、サイト周辺の地質的、地球物理学的、地震学的特性の調査、およびサイトの地盤特性の調査をするべきである。調査は原子力発電所の地震ハザード評価のために、本安全指針の勧告に従って行われるべきである。

2.3 サイト周辺域には必要に応じて、国境を越えた範囲や、沿岸部のサイトの場合、沖合海域を含めるべきである。取得するデータベースは、この範囲全体にわたって最大限均一であるべきで、そうでない場合も、少なくとも地震構造の視点において、他国領土または沖合海域を含む範囲の構造情報が特性評価に十分な程度に完備しているべきである。

2.4 調査対象に含める地域、収集する情報の種類、調査の範囲と精度は地震構造環境の特質と複雑度に応じて決定されるべきである。いかなる場合であっても収集する情報の範囲と精度および実行される調査は、地震動の振動成分と断層変位とによるハザードを確定す

るうえで十分なものとするべきである。サイトがプレート境界や衝上帯/沈み込み帯などの大規模な地質構造の近くにある場合、それらが海底に属する場合も含み、調査範囲に含まれるべきである。調査は地震発生源に限らず、移動ルートや施設の緊急対応へ大きな影響を持ちうる構造もを考慮に含むべきである。

2.5 地震ハザード評価は、明白で詳細な目的記述が設定された具体的なプロジェクトとして、本指針の 11 章で勧告されているような作業計画に沿うべきである。こうした地震ハザード評価プロジェクトの実施は、それぞれの専門をもつ複数の専門家から構成されるチームによって行われるべきである。専門は地質学、地震学、地球物理学、工学などに及び、場合によっては歴史学など他分野の専門家も含まれる。地震ハザード評価事業にかかわるチームの専門家は各人の専門領域における熟練および経験が事業にふさわしいものであることを明示するべきである。

2.6 地震ハザード評価を実施する際には、一般的アプローチとして、評価作業の各段階における不確定性を減少させる方向に向かうべきである。これはデータに基づいた信頼できる結果を得るために必要なことである。経験によると、これを実現するうえでもっとも有効な手法は十分な量の信頼できて目的との関連性の高いデータを収集することである。しかし詳細で信頼でき目的に関連したデータベースを構築するために必要となる時間や労力と、分析者がデータ処理の各段階において考慮すべき不確定性の度合との間には、一般にトレードオフの関係が存在する。

2.7 サイトに特有なデータが集積できると、不確定性は減少する傾向にある。しかし地震ハザード評価へ間接的に使われるデータの一部は必ずしもサイトに特有でなく、例えば距離減衰式を確立するための強振動データは多くの場合がこれに当たる。従ってサイト特有の調査によっては、一部の不確定性を減少させられない場合もある。この状況を認識するべきであり、偶然的不確定性(本質的に内在する任意の不確定性)と、認識論的不確定性(非本質的でモデル化に関連する不確定性)とを地震ハザード評価の枠組みにおいて考慮するべきである。

2.8 全体の不確定性は偶然的不確定性と認識論的不確定性の双方が関与するものであり、特に後者は地震ハザード解析に参加する専門家の間で情報解釈の相違から発生するものがある。地震発生源に関する情報の特定、解析、および特性評価、あるいは地震動の推定には、専門家による主観的解釈が関与すると言えるかもしれない。この状況を考慮したうえで



で、地震ハザード解析においては複数の解釈に対して一貫した取扱いを行うべきであり、最新の考え方が地震源や地震動のモデル化に適切に反映されるべきである。このような解釈においてバイアスを生じないように特に注意するべきである。専門家の見解をもって新しいデータ取得の代用とするべきではない。どのような専門家による仮説やモデルであっても地震ハザード評価事業チームは、それを推進することがあってはならない。逆に集積したデータをあらゆる有効な仮説やモデルに適用してそれらを検証し、知識と不確定性を取り入れた統一性のある評価を構築するべきである。

2.9 科学的な解釈が多様となりうる現実に対応するためには、それぞれの専門分野に認定された複数の専門家をもってチームを編成することが一つの手段である。しかしこの方法が現実的でないときは、別の方法でハザード解析をすることもできる。その場合でも、データに存在している不確定性が同じ程度で評価に採り入れられることを明らかにするべきである。これを可能にする方法として、関連するデータや科学的調査の詳細な解析を展開することや、科学的に妥当と思われる別の過程や不確定性や感度分析をすべて解析に含めるという方法がある。解析モデルに用いた多様なデータのそれぞれがもつ有意性の評価は、この系統的に実行した感度解析をもって裏付けられるべきである。

2.10 サイト調査によっては減少できない不確定性(例えば他地域で導出された地震動の距離減衰式を使用する際の不確定性)がある場合、ハザード値は特定の閾値よりも小さくすることはできない。この理由のために、明らかに地震ハザードが他で低い値が得られていたとしても、ある最小レベルは本指針を適用して実施した特定の原子力発電所への地震ハザード評価の下限として認識するべきである。

2.11 上記の事項を勘案すると、一般に、このレベルは、地震動のピーク加速度を  $0.1g$  に固定した水平自由場の標準化応答スペクトルで表わされるものである。ここで  $g$  は重力による加速度である。また地質的および地震学的データが3章での勧告事項と比較して不足している場合、 $0.1g$  という数値はハザードの十分に保守的な推定値とは考えられないことを認識すべきである。この事実は設計基礎の確定へ適切に表現されているべきであり、再評価パラメータへ適切に表現されているべきであり、[5]と[6]にそれぞれの記載がある。

### 3.データベース

#### 概要 (3.1-3.5)

3.1 地質学的、地球物理学的、地盤工学的、および地震学的情報を包括的に統合したデータベースを取得し、地震に伴うあらゆるハザードに関する課題を評価および解決するために、統一した様式で組み込まれるべきである。

3.2 各データベースにおけるそれぞれの要素について、各種要素の統合を試みる前に可能な限り全面的な調査を行うべきである。統合されたデータベースには関連するすべての情報を含ませるべきである。すなわち、地質学的、地球物理学的、地盤工学的、および地震学的情報だけでなく、サイトにおける地震動、断層、地質的ハザードの情報をも含むべきである。

3.3 調査は対象地域を4種類の空間的スケールに分けるべきである。すなわち、広域(半径300キロ程度)、近接地域(少なくとも半径25キロ)、サイト周辺域(少なくとも半径5キロ)、サイト地域(1平方キロ程度)であり、この順に、より詳細な調査、データ、情報取得が必要である。これらのデータに要請される精密度は、空間的スケールの違いによって規定される。前3者のスケールでは調査が主として詳細度を順次高めた地質学的および地球物理学的データおよび情報の取得が目的となる。サイト地域調査は、地盤工学的データベース構築を目的とする。情報提示に統一性を持たせるために、可能な限り、データは適切なメタデータを備える地理情報システム(GIS)へ集積されるべきである。また全データは比較と統合を可能とするため、統一した方式で保存されるべきである。

3.4 地震学的データベースを集める場合、広域、近接地域、およびサイト周辺域スケールに依存する程度が、他のデータベースとの比較において、普通は少ない。しかし、近接地域およびサイト周辺域における地震発生源の構造は、地震ハザード評価のうえで地盤活動の発生率、予想される最大潜在マグニチュード、地震動の広域距離減衰式に依存しながらも、一般的に重要性が高い。特にプレート内となるいくつかの地質条件下では距離減衰式についてより長距離にある地震源へも注目すべきである。このような地震源は一般的な広域の範囲外となることもある。沖合海域では、広域地質構造の特性が十分に分析されるように、また、地震学的データの欠如または不足が補償されるように、適切な調査を実施するべきである。

3.5 理由を問わず、原子力発電所の運転寿命期間内に地震ハザード解析を実施する場合(例えば定期的安全レビュー、あるいは確率論的耐震評価を目的とする確率論的地震ハザード解析)、統合データベースは、直近のデータ集約以後、現在までの時間経過に適応するように更新されるべきである。同時に、最新の科学的知見もデータベースに取り入れるべきである。



## 地質学的、地球物理学的、および地盤工学的データベース (3.6-3.23)

3.6 参照文献[1]の para. 2.19 において「広域の範囲には、顕著な外部事象に関するハザードを確定させる手法をその範囲に適用する、あらゆる特徴点および地域を含む十分な大きさに設定されるべきである。ここで十分な大きさとは、自然発生または人為発生がありうる対象現象を確定するうえで、また考慮する事象の特性に応じて、意味ある特徴点および地域を含むことをいう」と規定されている。

### 広域調査

3.7 適切な広域の大きさは地質や地質構造の状況によって変動し、遠方にある著しい地震発生源を含めるために非対称な形状となりうる。通常は半径にして 300km の範囲である。プレート内広域の場合、および津波の可能性を調査する特定の場合(参照文献[3])、調査にはサイトから非常に遠くにある地震源を取り入れる必要が生じることがある。ここに示した半径よりもサイトに近い位置に大きい地質構造の存在が容易に証明される場合は、この研究はその広域部分に注目するべきである。

3.8 広域スケールのデータを収集する目的はその広域での一般的な地質力学的状況に関する知識と現在の地質構造上の特性がそこから得られることと、また、サイトにおける地震ハザードに影響が予想されるか、関連する地質特徴点の発見および特性評価である。この中でもっとも関連のある地質特徴点は、変位や変形する可能性がある地表または地表近傍の構造である。これを「将来活動する可能性のある断層」と称する。あらゆる公開および非公開の地質学および地球物理学情報源(例えば既存の坑道、切り土、地球物理学探査、ボーリング探査から抽出したデータ)を、適切な断面図と共に、各地図上へ表示するべきである。

3.9 既存のデータでは地震発生源の範囲をその位置、広がり、進行中の変形速度について確定する上で不適切な場合、地質学的および地球物理学的データを新規に取得してデータベースの検査(verify)および補完が必要となることもある。この処置のためには近接地域とサイト周辺域のスケール(詳細度)での調査が、近接地域外にあって地震発生の可能性がある特徴点を評定するために必要となる場合がある。先史・歴史地震が地面へもたらした地質的および地形学的環境への影響(すなわち古地震学、4.13 を参照)に関する情報も、この目的では有用である。

3.10 データは、一般に縮尺 1:500,000 以上の地図に適切な断面と共に表示される。

#### 近接地域調査

3.11 近接地域の調査において地理的範囲は通常、半径 25km 以上とするべきであるが、この大きさは地域的条件に応じて調整するべきである。この調査の目的は、次の通りである。

- (1) 近接地域の地震構造特性を、広域調査から得られるデータよりさらに詳細なデータベース基礎として確定させる；
- (2) 最新の断層活動について明確にする；
- (3) 変位の規模と性格、活動頻度、断層セグメンテーションに関する証拠を明確にする。

3.12 近接地域における公開および非公開情報を補完するために、特定の調査は、通常、確定された近接地域の層序、構造的地質学、地質構造史を含むべきである。地質構造史は、現在の地質構造上の特性を完全に規定できるものであるべきで、その長さは、地質構造の活動速度に依存して決定される。例えば、断層の活動規模予測研究のためには、後期更新世から完新世(すなわち現代)までの情報がプレート間の広域では適切であり、鮮新世から第四紀(すなわち現代)までの情報がプレート内の広域では適切である。信頼できる適正な年代測定法が、適用されるべきである。現地のマッピングに加えて、必要に応じて、次の例にある情報源も用いられるべきである。

- (a) 地球物理学的探査(地震波の反射、屈折、重力測定、電気・磁気的手法)による地下データ。配置、範囲と変形速度の観点から検討に含まれるべきである構造について、空間的に特性を確定する。熱流データも必要となることがある。このようなデータは、海底域を対象とするとき(海岸または海岸に近接したサイトの場合)、もっとも重要性が高い。
- (b) 第四紀地層または地形の研究、すなわち段丘解析、基礎土壌学、堆積学などで得られた地表面データ。このタスクにおいては、航空または衛星写真、衛星画像、または、それらの組合せが使われるべきである。

- (c) 進行中の変形速度・タイプを理解するために近年利用可能となった技法、例えば GPS データや干渉測位データ、ひずみ速度測定から得られるデータなども使用されるべきである。

3.13 近接地域調査において見出された注目すべき構造について、さらにサイト周辺域スケールでの地質的および地球物理学的調査が必要となることがある。これは特性を十分に詳細に確定させるためのものである(para. 4.13 を参照)。

3.14 調査は十分な詳細に及ぶべきであり、それによって近年(この地域の地質構造環境に対応した期間)の地質的および地形学的な各特徴点のうち、関与あるもの(例えば直線状の地理的または構造特徴点であり、写真、リモートセンシング画像、あるいは地質物理学的データから発見されるもの)が近年におけるこの地域の地質的發展モデルへ調査結果を適切に取り込み可能となる。

3.15 データは、一般に縮尺 1:50,000 以上の地図に適切な断面と共に表示される。

#### サイト周辺域調査

3.16 サイト周辺域の調査において、地理的範囲は通常、半径 5km 以上とするべきである。この調査の目的は、このような比較的小さい地域に対してさらに詳細なデータベースが構成できることになるだけでなく、断層の活構造史の詳細を明らかにし、特に、サイトにおける断層活動の可能性および変位速度(断層活動規模)を評価し、サイトにおける地質的不安定の可能性を規定することである。

3.17 サイト周辺域の調査には、地形学的および地質学的マッピング、地球物理学的調査とプロファイリング、ボーリングとトレンチ(8章を参照)を通常は含めるべきである。また、成果とするデータは地質構造環境および観測される地質特徴点に整合しているべきである。最小でも次のデータセットが成果に含まれるべきである。

(a) 断面を表示した地質図；

(b) 区域内にあるすべての断層の経過年数、タイプ、変位量と変位率；

(c) 自然現象(例えば地すべり、陥没、地面下の空洞、カルスト溶食)や人的活動に起



因したハザードとなりうる地点の特性と位置の同定。

3.18 データは一般に縮尺 1:5000 以上の地図に適切な断面と共に表示される。

### サイト地域調査

3.19 サイト地域調査の対象となる区域は、原子力発電所の全域が含まれるべきであり、通常は 1 平方キロメートルである。この調査の主要な目的は、地震に関連した恒久的地面変位現象(例えば断層活動の可能性、液状化、地面下空洞による沈下または崩落)の可能性についての詳細な知識を得ること、地盤の静的および動的特性(例えば P 波と S 波の速度)についての知識を得ることであり、これらの知識はサイト応答解析(詳細は参照文献[6])で使用される。

3.20 データベースは、詳細な地質学的、地球物理学的、および地質構造的研究成果から構築されるべきである。これら成果には、現場および実験環境での試験結果を含む。

3.21 サイト地域では、フィールドおよび実験環境での手法が適用した以下の調査を行うべきである。

- (a) 地域的層序と構造を決定するための、地質的および地盤工学的調査。ボーリングや試掘(現地試験を含む)、地球物理学的手法、実験施設での試験によって地域的層序と構造を決定し、各地層の厚さ、深さ、傾斜、静的および動的特性を決定するべきである。これらの特性(例えばポアソン比、ヤング率、剛性率、密度、相対密度、せん断強度、圧密特性、粒径分布)は、工学モデルの構築に必要とされることがある。
- (b) 水文地質学的調査。ボーリングその他の手法を用いて、サイト地域の全ての帯水層の形状、物理的および化学的性質、定常状態挙動(例えば帯水層深度、涵養率、透水係数)を確定させるべきである。土壌の安定性と土壌が基礎に与える作用について決定することが目的である。
- (c) 補完的な増幅特性の調査。サイトの動的挙動は、マクロ地震学あるいは計測器による情報で利用できるものを援用して評価するべきである。

3.22 土壌と構造物との動的作用の評価に必要なあらゆるデータは、これらの調査過程で取得すべきである。para. 3.19 および para. 3.20 で規定した調査は、完全性と効率化のために、参考文献[2]に規定された土壌と構造物の動的相互作用に必要な調査と統合されるべきである。

3.23 データは、一般に縮尺 1:500 以上の地図に適切な断面と共に表示される。

### 地震学的データベース(3.24-3.33)

3.24 参考文献[1]の para. 3.2 では、次のように記載されている：「当該広域の地震記録は先史、歴史、および計測器による記録のすべてを収集し記録すべきである」。すなわち、サイト地震カタログを作成し、それには、本事業用に収集したすべての地震関連情報を、それらあらゆる時間スケールにわたって記載するべきである。

#### 先史および歴史地震データ(計測器データ以前)

3.25 計測器データ以前のあらゆる歴史地震データ(すなわち計測器で記録しえなかった事象)を、最大限過去にさかのぼって収集するべきである。先史および歴史地震に関する古地震学および考古学的情報も考慮するべきである。

3.26 個々の地震について、次の情報を可能な限り含めるべきである。

- (a) 事象の日付、時刻、および継続時間；
- (b) マクロ地震的震央位置；
- (c) 震源深度評価推定値；
- (d) マグニチュード推定値、マグニチュードの種類(例えばモーメントマグニチュード、表面波マグニチュード、実体波マグニチュード、ローカルマグニチュード、地震動の継続時間マグニチュード。『用語の定義』を参照)を示し、さらにマクロ地震的震度からマグニチュードを推定した手法の記述；
- (e) 最大強度および、異なる場合にはマクロ地震的震央における強度、さらに局地的状況および観測された被害についての記述を付加する；

- (f) 等震線；
- (g) サイトにおける地震強度、土壌や地形への影響がわかればその詳細；
- (h) 以上のパラメータに関する不確定性の見積り；
- (i) 以上のパラメータを見積もる根拠としたデータの質および量に関する評価；
- (j) 前震および余震に関する情報；
- (k) 起震断層に関する情報

カタログには、用いた地震強度スケールを明記すべきである。これは、スケールによって強度数値が異なるためである。各地震のマグニチュードおよび震源深さ推定は、計測器データとマクロ地震学的情報との間で経験的に確立された関連に基づくべきである。この関連は、本データベースの強度データから直接導出、または等震線を利用して導出される場合がある。

#### 計測器による地震データ

3.27 存在する全ての計測器による地震データを収集するべきである。地殻モデルによる情報が存在していれば震源同定のためにそれを収集するべきである。各発生地震ごとに、次の情報を取得するべきである。

- (a) 日付、継続時間、発生時刻；
- (b) 震央座標；
- (c) 震源深さ；
- (d) すべての決定マグニチュード、スケールが異なるものも含める、地震モーメントに関する情報があればそれも含める；
- (e) 観測された前震と余震に関する情報、これらについても可能であればその範囲と形状；



- (f) この他にもしあれば地震構造特性の理解に資する情報、例えば発震構造、地震モーメント、応力降下量、その他の震源に関するパラメータ；
- (g) para. 3.26 に記載のマクロ地震の詳細；
- (h) アスペリティの位置と大きさ；
- (i) 以上のパラメータ推定における不確定性の見積り；
- (j) 起震断層に関する情報、破壊の指向性と継続時間；
- (k) 広帯域地震計および強震動加速度計の両方の記録。

3.28 有史以前、歴史的、および計測器による地震記録をカタログに集積した後は、その情報の完全性および信頼性の評価を行うべきである。特に、マクロ地震の強度、マグニチュード、日付、位置、震源深さの評価を行うべきである。記録感度の設定閾(しきい)のために低マグニチュード事象についてはカタログは一般的に不完全であり、また高マグニチュード事象では再起間隔が長い(カタログの収録範囲がこれに比較すると短い)ため一般的に不完全である。このような不完全性を考慮するための適切な手法を使用するべきである。

3.29 可能であれば、広域および地域的強振動の情報を収集するべきであり、距離減衰式の適切な導出または選択と 9 章で述べる応答スペクトルの形成とに使用すべきである。

#### 事業に特有の計測データ

3.30 可能性のある地震源に関するより詳細な情報を得るために、微小地震の記録能力のある高感度地震計ネットワークの設置と運用が推奨される。地震構造解釈に有効なデータを取得するために必要な観測期間は、地震活動の多い広域でも少なくとも数年以上、活動が少ないところでは、さらに長期間が必要である。局地的微小地震計測ネットワークは、運用、データ処理、データ解釈、報告を広域あるいは国レベルの地震計ネットワークと関係させることが望まれる。この目的で選定した計測器は、強振動地震を適切に記録できないため、その場合は複数の強振動加速度計をそれぞれ高感度地震計に近接配置することを検討するべきである。

3.31 計測ネットワークの内部または近傍で地震が記録されたときは、近接地域における地震構造研究と関連させてその記録を慎重に解析するべきである。

3.32 強振動加速度計は、小規模および大規模地震を記録するために、サイト地域に恒久的に設置するべきである(参照文献[5])。鉛直および水平アレイを使用した弱震および強震計測器を用いて地下構造およびサイトでの応答に関する理解を精緻化するべきである。ネットワーク計測ステーション下の層序状況と土壌の動的特性を把握するべきである。

3.33 計測器は国際的な最新の運用慣習に照らして妥当な情報を収集するため、適切かつ定期的に更新および校正をするべきである。重大なデータ欠損を防止するため、データ通信面も含めた保守計画を運用するべきである。

## 4. 広域地震構造モデルの構築

### 一般事項(4.1-4.13)

4.1 地質学的、地球物理学的、および地震学的データベース(3章)と地震ハザード計算(5-8章)との間の結節点となるのが、各データベースの統合的な集約の基礎となるべき広域地震構造モデルである。このようなモデルの構築にあたっては、当該広域における地震構造について関連するあらゆる解釈を、利用可能な文献から取り入れるべきである。とりわけ、信頼のおける地震構造モデルの構築には、適切なデータベースが不可欠である。いかなる精緻な手法を用いても、データベースが低品質であったり不完全であれば、適正なモデルは構築できないことを認識するべきである。

4.2 標準的な手法では各データベースから地震学的、地球物理学的、地質学的データ要素を統合し(3章を参照)、それによって統一的な地震構造モデル(および複数の代替モデル)を構成する。各モデルは、個別地震発生源の構造様式を含んでいる。

4.3 検出された地震発生源構造で、観測されたすべての地震活動を説明できるとは限らない。この理由は、地表では認識できないか探査に現れない地下構造が存在する場合や、例えば、断層変位の再起間隔が地震観測期間よりも長いときなど、検討に用いた時間スケールの制約によることもある。

4.4 従って、いかなる地震構造モデルも次の2種類の地震源を、多寡は別として、含むべきである。

(1) 利用可能なデータベースによって識別されうる地震発生源の構造；

(2) 震源不特定の地震動(小規模から中規模の地震が一般的だが必ずしも限定されない)であって、利用可能なデータベースを用いて特定される構造には帰せられないもの。

4.5 両方の類型において、震源の評定および特性評価には不確定性の評価が要求される。しかし後者の類型に属する震源では、広がりをもつ地震活動のため、地震ハザード評価は特に複雑な課題となり、起震断層が十分に理解されていないため、一般的に不確定性の範

囲が大きくなる。

4.6 地震構造モデルの各要素の全パラメータが確定されるように試みられるべきである。モデルの構築は、主としてデータ駆動型となるべきであるが、データは個々の担当者の予測を支持するように解釈してはならない。

4.7 観測された地質学的、地球物理学的、および地震学的データを説明する代替モデルが構築可能であり、さらに合理的な期間で行われる追加調査によっては、モデル間の差異を解消できない場合、このようなモデルは全て正当に割り当てた加重とともに、ハザード評価の結論に記載するべきである。認識上の不確定性(すなわちモデル構築プロセスに付随する不確定性)は適切に評価するべきであり、それによって、地震源特性と発生頻度の同定に関するあらゆる仮説を包含することになる。

4.8. 地震カタログ(para. 3.24 を参照)を用いて地震発生源ごとの規模と回数の関係を推定する前には、徹底したカタログの評価と検討を必要とする。これには次の各項目を含むべきである。

- (a) 地震ハザード解析に使用する一貫したマグニチュードスケールの選択；
- (b) 選択したマグニチュードスケールで表示した各事象について統一のマグニチュードの決定；
- (c) 本震事象の決定(すなわち余震の分離)；
- (d) マグニチュード、広域位置、期間の関数として地震カタログの完全度の推定；
- (e) 導出されるデータの品質評価、すべてのパラメータに対する不確定性の見積り

4.9 選択したマグニチュードスケールは、ハザード計算に用いられる距離減衰式に使用されるマグニチュードスケールと整合しているべきであり、震度データから地震マグニチュードを導出する関係式で使用されるマグニチュードスケールとも整合しているべきである。規模と回数の関係の導出にあたっては、選択するマグニチュードスケールは、モーメントマグニチュード( $M_w$ )との間で問題になっているマグニチュードの範囲にわたり、直線性において十分に近いものであるべきである。これは、マグニチュードの飽和効果を



防ぐためである。この要請は  $M_w$  が地震学や距離減衰式導出での使用において世界標準となりつつある認識に一致するものである。

4.10 規模と回数の関係式は、地震発生源ごとに導出するべきである。それぞれの規模と回数の関係式では、その式を適用できる最大潜在マグニチュードが指定されるべきである。

4.11 規模と回数の関係式のパラメータがもつ不確定性は、パラメータ間の相関を考慮する確率分布として規定するべきである。

4.12 それぞれの地震発生源に結びつけられる最大潜在マグニチュード  $m_{\max}$  が指定されるべきであり、 $m_{\max}$  の不確定性は離散的または連続的な確率分布で表示されるべきである。地震発生源ごとに  $m_{\max}$  が確率論的地震ハザード計算および規模と回数の関係計算の積分上限とされ、決定論的地震ハザード評価ではシナリオマグニチュードに使われる。プレート内のサイトでは、観測された最大の地震は  $m_{\max}$  のよい推定値でないことがある。世界的類型の使用が重要であり、適切な地震構造類型を慎重に選択するべきである。結果として得られるハザードの、 $m_{\max}$  分布の選択による感度を検査するべきである。

4.13 地震は環境へ影響を与え、それはマクロ地震強度スケールで表現することもできる。このような影響(例えば断層、液状化、海岸隆起)の調査から、過去の地震を認識することができる。先史または歴史地震による地質学的証拠の研究は古地震学と称される。古地震学の研究は、歴史的地震記録が欠乏している地域には特に有用となることがある。利用できる状況であれば古地震学研究を、3章に記載したデータベースを用い、次の目的のために行うべきである。

(a) 広域における過去の地震影響の認識を基盤とした地震発生源構造の検出。

(b) 大規模事象について地震カタログの完全度の改善。ここでは地震の化石 ( fossil earthquake ) の発見と年代測定を援用する。例えば、将来活動する可能性のある断層をよぎるトレンチの発見が、変位量の推定に有用なことがある(例えば崩積によるウェッジ厚さをもとに)、発生頻度を推定できることがある(例えば堆積物の年代測定によって)。また広域における古い液状化の研究によって地震の再発頻度や強度の証拠がもたらされることがある。

(c) 与件の地震発生源構造による最大潜在マグニチュードの推定。通常は構造の最大

長さと事象あたりの最大変位(トレンチ)、また累積効果(地震地形)が根拠とされる。

(d) 確率論的地震ハザード解析の校正。大規模地震の再発間隔を用いる。

## 地震発生構造

### 発見

4.14 地震発生源のうちサイトにおける地震動と断層変位ハザードに有意な寄与がありうるものは、すべて地震構造モデルに含めるべきである。

4.15 地震動ハザードに関して、複数の地震発生源構造があり、それらの位置的組合せと地震発生能力によっては、サイトにおいて地震ハザードとなり、注目する地震動周波数範囲へ影響する可能性が懸念される。

4.16 断層の変位ハザードに関して、サイトに近接した地震発生源構造がサイト内あるいは周辺における地表変位を引き起こす可能性が懸念される(すなわち、将来活動する可能性のある断層、8章を参照)。

4.17 地震構造の発見は地質学的、地球物理学的、地質構造的、および地震学的データベース(3章を参照)を利用し、現在の地質構造上の特性に照らして直接または間接的にその地質特徴点が地震発生源となった証拠があるという判断に基づくべきである。地震の地質学的および地球物理学的特徴点について、歴史的記録と計測器記録との間の相関は地震発生源構造の発見において特に重要であるが、相関の欠如は、必ずしもその構造が地震発生源でないことを意味するわけではない。

4.18 本指針の3章で述べた調査によって、地震の震源または震源群と、ある地質特徴点との関係が示唆される場合は、特徴点の特性、形状、地理的広がり、および広域地質構造を踏まえて、この関係の合理的説明を見出すべきである。

4.19 この他の地震学的情報(例えば震源パラメータの不確定性、発震構造、応力状況、前震と余震の分布)が得られているとき、これらの情報を、震源と地質特徴点との関係を考慮する上で利用すべきである。

4.20 特定の地質特徴点においてデータが欠乏または疎である場合、同一の広域における他の類似した地質特徴点と、発生年代、活動センス、あるいは活動履歴とを、特徴点が地震発生源でありうるかの判断を補助するために、詳細に比較するべきである。

4.21 地震発生源の構造を地震構造モデルへ取り込む過程では、利用可能なデータにきちんと基づくべきであり、これらの構造のパラメータがもつ不確定性を採り入れるべきである。地震と地質特徴点との関連において、支持のない前提や意見は不確定性への適切な評価と見なされるべきではない。しかし、地質特徴点に関するデータの欠乏自体をもって、その特徴点が地震発生源でないとする十分な理由であるとは見なされるべきでもない。

## 特性評価

4.22 サイトが地震ハザードに曝されたことを決定する上で関連があると判断された地震発生源構造について、それらの特性を決定するべきである。構造の大きさ(長さ、深さ、幅)、方位(走向、傾斜)、変位の量と方向、変形の数値、歴史的な最大強度およびマグニチュード、古地震学的データ、地質的複雑度(セグメンテーション、分岐、構造関係)、地震データ、類似の構造で利用できる歴史的データがあればそれとの比較、を決定過程で利用すべきである。

4.23 断層または構造の歴史的動態について、地震学的あるいは地質的情報(例えばセグメンテーション、平均応力降下量、断層幅)が十分に得られていて、それによって最大破断寸法が変位または両方を将来の地震について推定できる場合、この情報と経験的関連とを合わせて使用し、最大潜在マグニチュードの評価に適用できる。これ以外にも、熱流、地殻厚さ、ひずみ速度を含む多くの情報を援用してレオロジー像を構築することも、推定において重要である。

4.24 適切な詳細に及ぶデータが存在しないとき、ひとつの地震発生源構造に関する最大潜在マグニチュードはその構造の広がりから推定することができる。発生源が断層であれば、最大マグニチュードは、断層の長さ、深さ、そこに働く応力状態から推定できる。複数の断層セグメントが断層帯を構成している場所では、個々の断層を独立して評価に含めるべきである。複数の断層セグメントが1回の地震事象で同時に破断する可能性についても解析するべきである。 $m$  の不確定性を取り扱うためには、複数の断層破断シナリオを構成するべきであり、その全体に基づいて対象断層に関する最良の  $m_{\max}$  推定値を決定するべきである。

4.25 この他にも、最大潜在マグニチュードの推定手法として、特定の構造に関連した地震における規模と回数の関係の統計解析に基づくものがある。このような手法では、当該



構造とすべての利用される地震データとに関連があることを前提としている。いかなるものであっても、これらの手法による結果がデータと整合することを確認するべきである。

4.26 いかなる手法あるいは手法の組合せを採用しても、評価した最大潜在マグニチュードは不確定性の幅が大きい懸念がある。最大潜在マグニチュードにおいて、その不確実性の幅は地質学のおよび地形学的データと整合するように取り入れられるべきである。

4.27 最大潜在マグニチュードに加えて規模と回数の関係を、地震構造モデルに含まれた各地震発生源構造について導出するべきである。これによって、次の各項目を決定する：(a)地震活動の発生頻度；(b)適切な型の規模と回数の関係(例えば特性的か指数的か)；および(c)この関係式およびこのパラメータの不確定性。

#### 震源不特定の地震活動域(4.28-4.32)

##### 発見

4.28. 地震構造区分をもって、震源不特定地震活動の範囲を指定するべきである。この地震構造区分は、その内部で地震活動可能性が一樣であると想定されるものである(すなわち、地理的に地震活動頻度が一樣)。地震活動の分布が一樣ではない地理域であっても、この認識が利用可能データによって支持される場合は、区分として使用できる。

4.29 地震ハザード評価の実行にあたって震源不特定地震の震源深さについての情報(例えば地震学的データベースから提供される情報)を取り入れるべきである。震源の最大深さ推定は、地震が地殻内の脆性域と延性域の境界部またはそれより上で生じるという既知の事実に依拠できる。

4.30 地震発生率の明白な差は異なる構造状態を示唆するものであり、地震構造区分の境界を設定するために利用できる。明らかな震源深さの差異(例えば地殻内と地殻下)、発生機構の差異、応力状態の差異、地震構造特性の差異、グーテンベルグ・リヒター則の $b$ 値の差異は、いずれも区分またはゾーンを識別するために使用できる。

##### 特性評価

4.31 識別されている地震発生源構造とは結びつかない最大潜在マグニチュードは、歴史

的データとそのゾーンの地震構造特性に基づいて評価すべきである。類似の広域で歴史的データが豊富に存在する場合は比較対象として有用だが、そのような評価手法は慎重な判断を必要とする。得られた最大潜在マグニチュードはしばしば不確定性の範囲が大きいが、これは歴史的データの存在する期間が進行中の変形プロセスよりも相対的に短いことが原因である。この不確定性を、地震構造モデルは適切に表現すべきである。

4.32 ほとんど活動のない地震発生源ではグーテンベルグ・リヒター則の $b$ 値を決定するために、異なった手法を採用できる。そのひとつに、広域地質構造状態の地震源の値、例えば安定な大陸地質構造状態での値、を採用する手法がある。この手法は有効性がある。なぜなら、ひとつの地質構造状態内で $b$ 値の変化が比較的狭い範囲にとどまることが多くの研究で示されているからである。採用したグーテンベルグ・リヒター則の $b$ 値の決定手法にかかわらず、このパラメータの不確定性を適切に評価し、地震ハザード解析に取り込むべきである。

## 5. 地震動ハザードの評価

### 一般事項(5.1-5.4)

5.1 地震動ハザードは、確率論的および決定論的地震ハザード解析手法の両方によって評価することが望ましい。確率論的および決定論的結果が両方得られれば、決定論的結果は確率論的評価の検査基準として役立つ。すなわち、結果の妥当性、特に小さな年間超過率を検討するときに有効である。逆に、確率論的結果を使って確率論的考察の中で決定論的結果を評価し、決定論的結果のスペクトルにおける年間超過率がスペクトルの縦軸値ごとに取得できる。

5.2 地震ハザード評価においては、偶然的不確定性と認識論的不確定性の両方を考慮すべきである。決定論的地震ハザード解析では、本安全指針で推奨するように、評価の各段階において十分に保守的なプロセスで不確定性が取り入れられる。このような各段階は、para. 7.1 に記述されている。確率論的地震ハザード解析は、実際の評価結果を提示すべきであるので、不確定性は明示的に解析に取り込むべきである。

5.3 地震の確率論的安全評価が『原子力発電所の安全：設計[7]』の要請に従って実施される場合、確率論的ハザード解析の実施が必須事項である。同様の要請は、既存の原子力発電所に対する地震安全評価の一部である確率論的地震安全評価を実行するときにも適用される。確率論的地震ハザード解析は、さらに原子力発電所の地震余裕評価の補助情報としても利用しうる。その例として、参照レベル地震の導出がある([6]を参照)。

5.4 地震動ハザードの評価にコンピュータのコードが利用されるときは、それらのコードが多様な代替減衰特性や地震源モデルに対応可能となっているべきである。これらのモデルは、地震ハザード評価プロジェクトチームが計算で使うために定義するものである。さらに、これらのコードが不確定性の取扱いについて正当に対応していることが証明されるべきである。

### 地震動の特性評価 (5.5-5.15)

5.5 地震ハザード解析の目的にもっとも適合するように 1 個以上の地震動パラメータと、適切であれば 1 個以上の地震動成分を選ぶべきである。地震動の特性評価にあたって最も

一般的に使用されるパラメータは、加速度、速度、または変位の、指定された減衰レベルにおける応答スペクトル、地震動継続時間、および振動子の周波数である。その他のパラメータとして、ピーク地面加速度、ピーク地面速度、ピーク地面変位、指定した振動子周波数範囲にわたる応答スペクトル値の平均値、フーリエ振幅スペクトル、およびパワースペクトル密度がある。一般的に使われる地震動成分は、最大水平成分、2 個の水平成分の相乗平均、ランダム水平成分、2 個の水平成分のベクトル和、および鉛直成分である。地震動パラメータと地震動成分の選択は地震ハザード解析を利用する部門の要請に整合しているべきである(11 章を参照)。

#### 地震動予測モデル：距離減衰式

5.6 距離減衰式(場合により複数の)は、地震動をあらゆる関係パラメータの関数として記述すべきである。式は、経験的または理論的に制約された次の形式の関係を使用する。

$$GM = g(m, r, c_i) + \varepsilon_{gm} + \varepsilon_c \quad (1)$$

ただし、

- $GM$  地震動パラメータの推定中央値、および注目する地震動成分 (一般的に対数表示)、
- $g(\dots)$  数学関数、
- $m$  地震のマグニチュード、
- $r$  地震源からサイトまでの距離
- $c_i$  他の関連パラメータ(例えば断層の様式、上盤効果、サイト固有の条件)
- $\varepsilon_{gm}$  偶然的不確定性
- $\varepsilon_c$  成分間のばらつき(すなわち、地震動のランダム水平成分を地震ハザード解析で用いるならば水平成分間のばらつき)。

5.7 計算された地震動は、プロジェクトの求めに応じて、最大地震動またはランダム成分を表すことができる(11 章を参照)。パラメータの  $\varepsilon_c$  は、成分間のばらつきを表示する必要があるときに用いられる。

5.8 状況によっては、偶然的不確定性を次のように分けると有益なことがある。ひとつは、事象間または地震間の成分( $\varepsilon_i$ )であり、他方は、事象内あるいは地震内の成分( $\varepsilon_d$ )である。もし所与の距離減衰式が単独でこのような不確定性を分離できないのであれば、このよう



な分離が可能な複数の距離減衰式から推定することができる。距離減衰式は、地震動予測方程式と称されることもあるので注意を要する。このように称される理由は、式が表現する過程が減衰以外にも及んでいるからである。「距離減衰式」という表記を、これも完全に内容を表すものでないにせよ、慣習と一般的な利用にしたがって、本指針では用いる。鉛直地震動については別の関係式を使うことができる。

5.9 マグニチュード、距離、および他の関連パラメータは、地震源の特性評価で使われるものと整合するように選択すべきである。距離減衰式で選択されるパラメータと地震ハザード解析の他の部分のそれらとが整合しない場合、そのような不整合は、一方のパラメータを他方に変換することで緩和すべきである。変換には、不確定性も含めて経験的に十分確立された関係を用いるべきである。距離減衰式が利用可能なマグニチュードの範囲については、点検すべきである。

5.10 距離減衰式は、基準のサイト条件と整合しているべきである。これらの条件が互いに同じではない場合は、経験的または理論的サイト応答要因と、それに付随する不確定性を用いて調整を行うべきである。

5.11 距離減衰式は、次の一般条件に合致するように選択すべきである：式は現行のものであって、研究時点で十分に確立されたものであること；対象とする広域の地震形式および減衰特性と整合するものであること；対象とする広域の構造環境と最も密に整合していること；および地域の地震動データがあるときはそれを利用できること。選択した距離減衰式を、記録にある地震動のうち小規模の、狭い地域について記録された地震と比較する場合には、注意を払うべきである。このような記録の利用(例えば、選択した距離減衰式のスケーリング)は、それによって推論されるマグニチュードと距離のスケーリング特性が原子力発電所の地震安全に関して最も懸念されるマグニチュード範囲と距離範囲の地震について適正であることを示すことで正当化されるべきである。

5.12 認識論的不確定性を含めるべきである。このためには、複数の距離減衰式をそれぞれ解析の中で表示された構造環境ごとに使用する。これらの距離減衰式は、関連あるモデル特性についての真実性ある解釈の広がりを超正に取り入れられるように、選択すべきである。

5.13 地震強度データも、距離減衰式の推定のために使用できる。ただし、これは対象とする、サイトに特定しない複数の広域において計測器の運転時間が不十分で、強震動デー

タの記録が適正な量に達していない場合に可能な手法である。これらのデータは、地震ハザードの計算に使用する距離減衰式がその広域減衰特性を代表できることを少なくとも定性的に検証するために、使用するべきである。

#### 地震動予測モデル：地震源シミュレーション

5.14 地震活動が活発な広域で、特定されうる断層を原因とする地震動について十分な量の詳細データが使用可能であるとき、断層の破断シミュレーションおよび地震波の伝播経路シミュレーションは、実行されるべきもう一つの後続の手順である。近接した断層がハザードに与える影響が著しい場合、この手順が特に効果的なことがある。必要とされるパラメータの例は、次の通りである。

- (a) 断層の構造に関するパラメータ(位置、長さ、幅、深さ、傾斜、走向)；
- (b) マクロパラメータ(地震モーメント、平均転位、破断速度、平均応力降下量)；
- (c) マイクロパラメータ(立ち上がり時間、転位、有限断層要素における応力パラメータ)；
- (d) 地殻構造パラメータ、例えばS波速度、密度、および伝播の減衰ファクタ(すなわち波の減衰のQ値)

プレート境界付近、あるいは衝上帯や沈み込み帯のように地殻構造環境が複雑な地域、特に海底域では、(a)-(d)に挙げた地震源パラメータに影響を与える特定の地震による地震構造状態を、地震動の特性評価において考慮するべきである。

5.15 距離減衰式の導出に使用したデータベースで表現されているマグニチュードの範囲に留まるために、対応するマグニチュード下限の利用も必要である。現実に行われてきた手法では、この下限の検討と、原子力発電所の安全に関係する構造・システム・要素が損傷されないであろう最大の地震動レベルより上のレベルに関連する工学的概念とを、組み合わせることである。マグニチュード値が単独では、損傷の可能性を表現する上で最良ではないことが明らかである。マグニチュード方式の代替として、下限地震動フィルタを指定することも可能であり、従って、累積絶対速度のような確立された損傷パラメータをそのパラメータの特定の値に連結して指定することが可能である。ここでその特定値は、損

傷への著しい関与がない、またはリスクが発生しないことを明白に証明できる値とする。  
下限地震動フィルタは耐震性設計者または損傷度解析者または両者と協議の上で選択すべきである。

## 6. 確率論的地震ハザード解析

### 一般事項(6.1-6.5)

6.1 確率論的地震ハザード解析では、地震構造モデル(4章参照)のあらゆる要素とパラメータを定量化した不確定性も含めて使用すべきである。代替モデルが確率論的地震ハザード解析チームによって提起されたときは、それらのモデルも確率論的地震ハザードの計算へ正式に取り入れるべきである。

6.2 注目すべき年間超過率の最小値は、確率論的地震ハザード解析の最終的利用に依存するものであり(すなわちそれが設計目的であっても地震に対する確率論的安全評価への入力としてであっても)、その最小値を事業計画に表示するべきである(11章を参照)。この値は非常に小さく、例えば  $10^{-8}$  になることもある。それは、原子力発電所が地震以外の発生因子に比べてかなり低い炉心損傷率となっている場合(例えば先進的炉において)に可能性がある。このようなときは、データベースや地震構造モデルや専門家による意見の基礎などの適用性と有効性を慎重に評価しなければならない。その理由はこれらに付帯する不確定性によってハザード評価が著しいバイアスを含みうるからである。

6.3 確率論的地震ハザード解析には次の各段階を含めるべきである。

- (1) 指定された地震源に関して、その境界や大きさの不確定性も含めて、サイトを含む広域の地震構造モデルの評価。
- (2) 各地震源について、最大潜在マグニチュード、地震発生頻度、規模と回数の関係の型、の評価。これには各評価に付帯する不確定性の評価も含まれる。
- (3) サイトを含む広域における(複数の)距離減衰式の選択、および地震動の平均とばらつきに付帯する、地震のマグニチュードと震源からサイトまでの距離とに依存する関数としての、不確定性の評価。
- (4) ハザード計算の実施(para. 6.6 を参照)。
- (5) サイト応答の組み入れ(para. 9.3 を参照)。



6.4 確率論的地震ハザード解析の結果は、通常であれば年間超過率の平均または中央値で表示される。この年間超過率とは、地震動の水平成分および鉛直成分計測値が指定値を超える率を表わし、構造・システム・要素における重要周期範囲(range of period of importance)の指標である。確率論的地震ハザード解析に認識論的不確定性を伝播させる手法のうち、許容できるものはロジックツリーの構成であり、これは、次のうちどれか1つを用いて評価される：(1) ロジックツリーの完全な列挙；または(2) モンテカルロシミュレーション。平均と、16位と、50位(中央値)と、および84位のフラクタイルハザード曲線が各地震動計測値に付帯する認識論的不確定性の表示として通常は用いられる。これらのハザード曲線を利用し、任意に選んだハザードレベル目標(年間超過率)と信頼区間(フラクタイル)について一様ハザードスペクトル群を作り出すことができる(ここでハザードスペクトル群のスペクトル振幅とは構造・システム・要素に対して対象周期範囲(range of periods of interest)での年間超過率が同一のものである。またここでハザードレベル目標は年間超過率で指定される)。確率論的地震ハザード解析が設計基準レベル決定の一部として利用されるときは、適正な年間超過率を、それと関連した中心傾向(平均または中央値)と合わせて、検討に含めるべきである。

6.5 サイトにおける地震動特性決定を補助するために、再分解処理を使って地震ハザード全体に対する各地震源からの寄与率を求める手法が、しばしば有用である。このような再分解は、目標とする年間超過率に対して実行され、通常、この値は設計基準地震動の決定に選択されたものである。再分解処理は少なくとも2種類の地震動周波数に対して、一般的にはスペクトルの下限と上限に対して実行され、これは、選択された地震動周波数について超過率への寄与が最も大きい(複数の)マグニチュード・距離対の検出に使用できる。

## ハザード積分(6.6)

6.6 地震動がサイトにおける指定レベルを超える頻度である年間超過率を評価するには、一つ以上の地震源が寄与しているため、すべての関連する寄与にわたって積分を実行すべきである。この評価に必要なパラメータは次の通りである。

$S$  地震源の数；

$m_{min}, m_{max}$  地震源  $i$  における最小および最大の潜在マグニチュード(para. 11.17 の  $m_{min}$  に関する考察を参照)；

$d_{min}, d_{max}$  地震源  $i$  における最小および最大の地震破断寸法；

$r_{min}, r_{max}$  地震源  $i$  からサイトまでの最小および最大距離；

$\nu_i$  地震源  $i$  による単位時間あたり、単位地震域あたりの、マグニチュードが  $m_{min}$  を超える想定頻度；このパラメータはポアソン過程、または再生過程で表示される。

## 7. 決定論的地震ハザード解析

7.1 地震ハザードの決定論的評価には、以下が含まれるべきである。

- (1) サイトのある広域の地震構造評価。関連する定義された地震源は地震構造特性、地震発生頻度、および規模と回数の関係の型に基づいて選択される；
- (2) それぞれの地震源に対して、最大潜在マグニチュードの評価；
- (3) サイトのある広域における距離減衰式の選択と、震源マグニチュードおよび地震源とサイトの距離の関数としての地震動の平均およびばらつきの評価；
- (4) ハザード計算は次のように実行する：
  - (i) 地震発生源構造ごとに、最大潜在マグニチュードが、その構造の最も原子力発電所サイト地域に近く、地震源の物理的大きさを考慮した位置で発生すると想定するべきである。サイトが地震発生源構造の範囲内にある場合、最大潜在マグニチュードがサイトの直下で発生するものと考えられるべきである。この場合、将来活動する可能性のある構造でないことを特段の注意をもって証明するべきである(8章を参照)。
  - (ii) 最大潜在マグニチュードが震源不特定帯にあってその中に原子力発電所サイトが存在する場合、震源はサイトからある特定の水平距離にあると想定するべきである。この距離は、詳細な地震学的、地質学的、および地球物理学的

調査研究(陸上および海底の調査)から、決定すべきである。この調査は、サイト内または近傍に断層活動がないことを証明することを目的とするか、または、断層が存在していれば、それらの方向、範囲、歴史、活動の頻度、および最新の活動年代の証明を目的とするべきである。断層活動の不存在が確認されれば、エリア内での地震発生確率は無視できるほど小さいと想定することができる。この調査を行う範囲は、少なくとも数キロメートルから最大では約 10 キロメートルほどである。距離減衰式へ実際に適用される距離は、震源深さの最良推定に依存し、その地震構造区分で発生が予測される震源における破壊の物理的大きさにも依存する。

- (iii) 震源不特定帯が相互に隣接する地震構造区分内にある場合、最大潜在マグニチュードは、サイトにもっとも近い構造区分境界で発生すると想定されるべきである。
  - (iv) 適切な複数の地震動予測式(距離減衰式または条件によっては地震源シミュレーション)を使用してこれらの地震によって起こされるサイトでの地震動を確定させるべきであり、そこでは、関係式のばらつき、震源モデルシミュレーションのばらつき、サイト固有の条件によるばらつき、を考慮すべきである。
  - (v) 地震動特性は、5 章の該当する段落で規定する勧告を適用して取得するべきである。
- (5) 評価の各段階において、偶然的不確定性と認識論的不確定性の両方を適切に取扱い、また(4)で規定した保守的手順が不確定性に対応するためすでに導入されていることをふまえ、不確定性を二重に数えることは避けるべきである。
- (6) サイト応答の取り込み(para. 9.3 を参照)。

## 8. サイトにおける断層変位の可能性

### 一般事項(8.1-8.2)

8.1 本章では、サイトまたはサイト近傍で断層変位の可能性(活動可能性)評価の指針と手順を説明する。既設または新設の原子力発電所サイトが対象である。さらにこの章では、このような評価が可能とするために必要な調査の範囲についても、推奨事項を記述する。

8.2 断層の変位は、地震の結果として直接または間接に起きうる。つまり、変位は原因となる断層に結びつけられる場合と、二次的断層で地震性のすべりが起きる場合とがある。褶曲(向斜と背斜)に関連する地質構造変位も、この「断層変位」に含める。しかし、断層クリープは、そのように証明された場合、本安全指針の対象外である。

### 将来活動する可能性のある断層(8.3-8.7)

#### 定義

8.3 断層変位に関する主要な問題は、それが埋没であれ露出であれ、その断層がサイト内または周辺で将来活動する可能性があるのかという点である。この疑問に答える基本には地震構造モデル(4章を参照)に取り入れているデータベース(3章を参照)をおくべきであり、そこには必要に応じて追加的な個別データも含まれる。

8.4 地質学、地球物理学、測地学、および地震学に関するデータをもとに、次の条件が充足される断層は将来活動する可能性があるとは判断するべきである。

- (a) 繰り返し得る活動が過去の期間に1回以上発生した証拠(例えば著しい変形、転位、またはその両方)があるとき。ここで過去の期間とは、将来サイトまたは周辺で起きると合理的に結論できる範囲をいう。活動がかなり活発なエリアで、地震データと地質学的データの両方が一貫して地震発生間隔の短いことを示しているところでは、数万年のオーダーの期間(例えば後期更新世から完新世(現代))を、将来活動する可能性のある断層の判断に用いることは妥当であろう。これよりも活動が少ないエリアでは、もっと長いオーダーの期間(例えば鮮新世から第四紀(現代))が適切であることが多い。



(b) 将来活動する可能性のある断層と構造的に関係のある断層について、一つの断層の活動が他方の露出または表層近くの断層活動を起こしうることが証明されたとき。

(c) 4章の規定による地震発生源構造に関する最大潜在マグニチュードが十分に大きく、その活動深さが地表または地表近くであろうことを、サイトの現在の地質構造に照らして合理的に結論づけられるとき。

#### 将来活動する可能性判断のための調査

8.5 地表および地表近傍のデータを広域、近接地域、サイト周辺域およびサイト地域の調査によって十分に収集すべきであり(3章を参照)、これによってサイトまたはサイト周辺域には断層がないことを示すか、断層があるならば、それらの方向、範囲、歴史、活動の頻度、および最新の活動年代を記述する。

8.6 断層の存在が知られたとき、または疑われるとき、サイト周辺域スケールの調査を行い、過去の変位量とその年代を明確にするべきである。この調査には、十分に詳細な地質学および地形学的マッピング、地形解析、地球物理学的探査(これには必要に応じて測地学探査を含める)、トレンチ、ボーリング、堆積岩・断層岩の年代測定、地域的地震学調査、その他の適切な手法が含まれる。

8.7 地表近傍の新しい活動歴が証明されていない断層が、貯水池の荷重、液体の注入、液体の排出、その他の現象によって再度活動性を得る可能性について、検討をするべきである。

#### 新規サイトにおける断層活動の可能性の課題(8.8)

8.8 信頼できる証拠によって将来活動する可能性のある断層が存在し、それがサイトの設備の安全性に影響する可能性が示された場合、そのサイトにおける設備の設計、建設、安全な運用についての実現可能性を再評価するべきであり、必要であれば代替サイトも検討するべきである。

## 既設原子力発電所における断層活動の可能性の課題(8.9-8.13)

8.9 原子力発電所の建設前に広範なサイト調査が必要とされることから、一般的に、既設の原子力発電所サイトで断層変位の可能性を改めて検討する必要は生じないはずである。しかし改めて断層変位の可能性について新規の評価をしなければならないような情報が得られることもありうる。

8.10 このような状況では、まず問題となる断層に関して、さらにデータを取得するように努力すべきである。断層が変位しうるものではないことを結論として判断するために、para. 8.3 から para. 8.7 に記述した定義および決定論的手法によっては、十分な根拠が得られないこともありうる。この場合は利用できる全てのデータを用いて、地震動ハザード評価に使用される手法と類似かつ整合性のある確率論的手法を用い、地表または地表近傍の各種変位量に対する年間超過率の推定値を得るべきである。

8.11 ここで確率論的断層変位ハザード解析では、可能性のある次の2種の変位について検討すべきである：(a) 一次変位、これは通常、断層が直接震源となる様式である；(b) 二次変位(間接変位、従属変位とも呼ばれる)、通常は、既存の地震発生源すべり面に沿って変位が誘起される(例えば既存の断層が基底面で他の断層による地震によってすべりが起動される)ものと、地震発生源でないすべり面(例えば限局されたフラクチャや弱い粘土質の挟み層(シーム))に関連する。加えて、変位は一般的に3次元ベクトルとして特性評価されるべきであり、断層走向と断層傾斜の方向へ成分分解されるべきであり、その結果の振幅は(所与の年間超過率および所与のハザードのフラクタイルに対応した)評価されるすべり量全体に等しくなるべきである。この評価によって、認識論的不確定性が適切に対処されるべきである。

8.12 確率論的断層変位ハザード解析は、確率論的地震ハザード解析(6章を参照)と同様の手順で、ただし従属変数を  $D$ (すなわち地表近傍での断層変位)に置き換えて実行するべきであり、次の意味をもつ。

$A(D > d | t)$       サイトにおいて地表または地表近傍の断層変位  $D$  が値  $d$  を時間  $t$  の間に超過する割合の導出値；

$P(D > d | m, r)$       マグニチュード  $m$  の地震源  $i$  がサイトから  $r$  の距離にある条件のもとで、地表または地表近傍の断層変位  $D$  が値  $d$  を超える確

率。

8.13 断層の一次変位は、 $D$ と $m$ の関係を使ってマグニチュードから推定できる。二次変位は、マグニチュードと距離から $D, m, r$ の関係を使って推定できる。関係式の選択と適用は、距離減衰式の場合と同じガイドラインが用いられるべきである。震源モデルが利用できる広域では、震源シミュレーション周波数を0 Hzとして提示されたガイドラインによる関係式を適用すべきである。

## 9. 設計基準地震動、断層変位、その他のハザード

### 地震動ハザードのレベル(9.1-9.2)

9.1 各施設に地震設計基準として2つのレベルの地震動ハザード、SL-1とSL-2が普通は定義される。これらのレベルについて、定義と施設設計への適用方法は参照文献[5]に記載されている<sup>2</sup>。設計においては、SL-2レベルがもっとも厳格な安全要件に対応し、SL-1はそれより厳しさの低い、より発生確率の高い地震レベルに対応するものであり、通常、このレベルは安全面で異なる意味をもつ。確率論的地震ハザード解析が使用されるとき、基準となる年間超過率、例えば経験によるデータに基づいて導出した超過率を必要とするか、あるいはパフォーマンスを基礎とする手法が採用される。

9.2 地震動ハザードの評価方法にかかわらず、SL-1とSL-2の両方を適切なスペクトル表現および時刻歴波形によって規定すべきである。地震動は、地表レベルまたは主要な埋設深さにおいて、いずれの場合もユーザーの提示要件に合わせて、自由場条件で定義すべきである(11章を参照)。参照岩盤条件における地震動は、良質な地盤工学的データベースが利用できる限りにおいて、提示されるべきである。次に、基礎レベルにおける地震動と表面におけるそれとを、覆土層(overlying soil layer)の伝達関数を考慮して、計算する。定義された基準地震動とサイト応答解析とのインタフェースが適切に考慮されるべきである[2]。

---

2 一部の加盟国ではSL-2レベル地震評価のみが規制組織によって必須とされている。

## 設計基準応答スペクトル(9.3-9.6)

### サイト応答解析

9.3 地震動推定の一部として、サイトの地質学的・地質的条件を組み入れるための手法が複数利用できる。その第1は、サイトの条件に適合した地震動減衰(すなわち、サイトにおいて主要な地面下条件の型に合わせて生成された複数の距離減衰式)の使用である。その第2は、サイト地下の土壌と岩層の地質的および力学的特性に整合するサイト応答解析の実行である[2]。これには、サイト応答を地震ハザード解析の計算に組み入れる手法も含まれる(確率論的解析の場合)。いずれの手法でも、不確定性を考慮にいれるべきである。しかし、サイトプロフィールに関連した不確定性のうち、地震ハザード解析に用いられる地震動の距離減衰式に内在するものは識別され、適切に無視されるべきであり、二重に考慮してはならない。

### 一様ハザード応答スペクトル

9.4 一様ハザードの手法は、確率論的地震ハザード解析の結果を応用するものである。一様ハザード応答スペクトルの導出方法は、地震ハザード曲線から年間超過率に対応する応答スペクトル縦軸値を選択するものである。1個以上の一様ハザード応答スペクトルが、確率論的地震ハザード解析の結果から、あるいはその後必要に応じて実施されるサイト応答解析によっても、導出され得る。

### 標準化応答スペクトル

9.5 標準化応答スペクトルは平滑な形になっており、工学的設計に用いられるようにする目的と、適切な低周波および高周波地震動入力を取り入れ、包絡線表現された複数の地震源による寄与に対応する目的で使われる。標準化応答スペクトルの既定の形状は、地震記録と工学的考慮の基礎に立って導出された各種の応答スペクトルから取得される。この標準化応答スペクトルは、低周波および高周波領域において平均的な地震動レベルを包括するように決められる。

9.6 低または中程度のマグニチュードで近くが震源であれば、比較的高周波の成分が多く、継続時間が短くピークの高い加速度をもつ地震が観測されることがある。この形式の地震でピーク加速度を広帯域化した標準化応答スペクトルの作成に用いると、標準化応答ス



クトルが非現実的形状となることがある。この場合、設計目的では応答スペクトルを複数用いることが望まれ、それによって異なる様式の地震源が適切に表現されるようになる。

## 時刻歴波形(9.7-9.15)

9.7 時刻歴波形には、所定の地震動パラメータが十分に反映されているべきである。ここで地震動パラメータは、応答スペクトル、その他のパラメータである継続時間、位相、コヒーレンスを含む別のスペクトル表現である。詳細解析に使用される時刻歴波形の数と、その時刻歴波形を生成する手順は、実行する解析によって異なる。ここでは施設設計者との良好な協調を確立するべきであり、そこで実行される工学的解析の種類に応じた必要事項を理解し利用状況に対応できるようにする。時刻歴波形は施設の安全設計に必要なとなる種類の工学解析が実行できるように整備されているべきである。

### 地震動の継続時間

9.8 地震動の継続時間を決定する要因は多くあり、例えば震源断層の長さや幅(一般的にマグニチュードとして表される)、伝播路における地殻パラメータ(一般的に距離として表される)、サイト直下の条件、および堆積盆地の存在が挙げられる。評価過程を通じて、一貫した継続時間の定義を用いるべきである。継続時間の定義例のうちいくつかを、次に示す。

- (a) 地震動の開始時刻から加速度がピーク値の 5%に減少する時刻までの時間；
- (b) 加速度の 2 乗平均値の積算について、95 パーセンタイルと 5 パーセンタイルの時間間隔；
- (c) 加速度が重力加速度  $g$  の 5%を超えている時間

9.9 時刻歴波形で使われる継続時間を適切に決定するため、広域データベースに含まれる経験的証拠には適切な加重処理を行うべきである。サイトによっては、遠距離で発生した大地震による比較的低振幅の地震動が液状化ハザードとなることがある。この条件がある場合、液状化検討に使用される時刻歴波形は、適正な期間にわたるこのような低振幅時刻歴波形を含むべきである。

## 設計用時刻歴波形の開発手法

9.10 設計用時刻歴波形の開発は、利用可能なデータに依存していくつも存在する。どの手法を採用するにしても、これらの時刻歴波形は想定地震、設計地震動の振幅と応答スペクトルのスペクトル外形および継続時間と適合するべきである。

通常用いられる設計用時刻歴波形の開発手法は、次のものである。

- (a) 記録された時刻歴波形は適正に選択およびスケーリングされ、スケーリングファクタは 0.5-2.0 の範囲であること；
- (b) 適切に選択および記録された時刻歴波形を、地震動の位相特性を考慮したスペクトル照合手法を用いて修正する；
- (c) 人工的時刻歴波形、通常は位相がランダムである；
- (d) 数値モデル法によってシミュレーションされた時刻歴波形

9.11 地震動の数値評価は大幅に進歩しており、それには震源断層破断のシミュレーション、波伝播経路、経験的グリーン関数法などを利用したサイト効果、が含まれる。関連するパラメータが利用できる広域でこのように取得する地震動は従来の手法を補うために使用できる。このような新しい手法は、特に非線型応答が見込まれる土壌について開発された手法では、慎重に適用するべきである。

9.12 設計用時刻歴波形の利用に際して、時刻歴波形が設計地震動として表示される適正なエネルギー成分を確実に含むようにするべきである。そのためには対応するパワースペクトル密度関数を計算する。

## 鉛直地震動

9.13 鉛直設計地震動(応答スペクトルおよび時刻歴波形)の開発は、水平地震動の開発に用いたものと同じ手法によるべきである。しかし、鉛直の距離減衰式が知られていない場合、鉛直と水平地震動間の既定比を利用する方法が合理的でありえる。経験的証拠によれば水平動に対する鉛直動の比は通常半量から 1 を超える程度であり、マグニチュードが大きく、近距離で、高周波において最も大きい。

## 免震および地中構造物における地震動

9.14 SL-1 および SL-2 レベルは、通常の基礎をもつ施設構造に適用する設計地震動を導出する手順として開発されている。耐震性の目的で免震構造をもつ構造物には、さらに検討を付加する必要がある。その中で最重要は長周期による影響であって、これは、免震システムの要素に過大な残留変位を起し得るものである。免震構造が予定される施設については、時刻歴波形を検査し、さらに必要に応じて長周期影響を考慮するように時刻歴波形を補正する([5]を参照)。

9.15 ダクトや配管などの地中構造物に対応する適切な応答スペクトルおよび時刻歴波形を、構造設計者と協調して開発するべきである。同様に、事業計画に貯水槽、貯水池のスロッシング検討が含まれていれば、適切な地震動表示を開発するべきである。

### 断層の変位(9.16)

9.16 既設の原子力発電所で、断層変位解析がすでに para. 8.9 から para. 8.13 に沿って実行済みであれば、調査される各特徴点に依存した断層変位は、断層変位ハザード曲線群を用いて決定するべきである。このとき、事業計画で指定した安全要件に応じた年間超過率を使用する。

### 地震に関連するその他のハザードの評価(9.17)

9.17 地震動および表面断層活動ハザードの評価とは別に、地震ハザード解析の結果を、原子力発電所の安全にとって顕著な恐れがあつて地震に関連した他のハザードに対する評価と緩和とに利用すべきである。これらのハザードとしては津波、液状化、斜面の不安定、沈下、地面下の空洞、カルスト溶食、および地震動や地表断層活動に起因する水保有施設の破損などが含まれる。二次的ハザードが地震ハザード全体に与える影響について予測するために、全面的な評価を行うべきであり([2]、[3]を参照)、原子力発電所に対して地震の確率論的安全評価を実行するときには必ずこれを含める。

## 10. 原子力発電所以外の原子炉等施設における地震ハザード評価 (10.1-10.11)

10.1 前記 para. 1.8 で述べた適応性アプローチの利用について、本章では、地震ハザード評価を原子力発電所以外の広範囲な原子炉等施設へ応用する指針を記述する。このような原子炉等施設の例は、次の通りである[4]：

- (a) 研究炉または核物質を扱う実験施設；
- (b) 使用済核燃料の保管施設(原子力発電所に設置されるもの、または独立のもの)であって、次のものを含む：
  - (i) 強制冷却を必要とする使用済核燃料の保管施設；
  - (ii) 受動的・自然対流冷却のみを必要とする使用済核燃料の保管施設；
- (c) 核燃料サイクル内の核物質処理施設、例として転換施設、ウラン濃縮施設、燃料製造施設、再処理施設がある。

10.2 地震ハザード評価の目的として、これらの施設は、その複雑度、放射線ハザードの可能性、およびその他存在する材料に起因するハザード、に対応してレベル分けされるべきである。地震ハザード評価は、レベル分けに基づいて実行されるべきである。

10.3 段階的アプローチのための施設分類に先立って保守的にスクリーニングを適用するべきであり、その場合は、地震に起因する予測事故で保管されている放射性物質がすべて放出されたとする前提を用いる。もしこのような放射性物質/放射線の放出が所内労働者にも一般公衆にも許容されない帰結をもたらさないものであるとき(すなわち労働者および一般公衆への放射性物質放出による線量が規制当局が確立する認定された線量限度を下回るとき)、かつ環境への帰結も許容できないものではなく、さらにこの種の施設に対して規制当局がその他特定の要件を規定しているのでない限り、その施設は地震安全評価から除外することもできる。スクリーニングの後であっても、あるレベルの地震安全評価が望まれるのであれば、危険施設、または産業施設、または両方を対象とする国レベルの地震規則が適用されるべきである。



10.4 保守的スクリーニングの結果、そのような放出によって「顕著」な帰結となりうることを示している場合は、その施設に対する地震ハザード評価を実施すべきである。

10.5 地震事象が放射線による帰結を引き起こす可能性の程度は、原子力施設の性格 (例えば目的、配置、設計、建設、運転) に依存するものであり、事象自体にも依存する。このような性格には、次の要素を含めるべきである。

- (a) サイトに保管される放射性物質の量、形式、状況(例えば固体であるか液体であるか、処理されるものであるか保管のみであるか)；
- (b) 当該施設における物理的プロセス(例えば核の連鎖反応)に関連する本質的ハザード、当該施設における化学プロセス(例えば燃料処理目的)に関連する本質的ハザード；
- (c) 適用ある場合、当該原子力施設の熱エネルギー；
- (d) 当該施設における別種の事業の配置；
- (e) 当該施設における放射線源の集約状況(例えば研究炉の場合放射性物質はほとんどが炉心と燃料保管プールに集中しているのに対して、燃料処理および保管施設では施設全体に配置されうる)；
- (f) 実験施設では装置や配置の変更が日常的であること(本質的に予測困難なものである)；
- (g) 事故防止または事故の波及軽減のための積極的安全システム、操作員の行動、またはその両方の必要性；  
事故防止または事故の波及軽減のため工学的安全機能の特性(例えば格納および格納システム)；
- (h) 事故事象においてクリフエッジ効果<sup>3</sup>を呈する可能性があるプロセスまたは工学機

---

3 原子力施設にけるクリフエッジ効果とは、システムパラメータが小さな擾乱を受けたことに続いてシステムがある状態から別の状態へ不連続に遷移したことによる著しく異常なシステム挙動の実体をいう；従って入力 of 小さな変化に応答したシステム状態の急激で大きな変動を指す。

能の特性；

(i) 放射性物質が大気または水圏へ分散することによる帰結に関連するサイトの特性(例えば広域の大きさや人口配置)；

(j) サイト内外の汚染可能性

10.6 規制当局の基準に従って、ここに列記した一部または全部の要素を検討すべきである。例えば、燃料破損、放射線/放射性物質の放出、または線量、が検討対象とする条件ないし指標となるであろう。

10.7 レベル分類手続きは、次の情報に依拠すべきである：

(a) 当該サイトに関する既存の安全解析結果、これを主たる情報源とするべきである；

(b) 確率論的安全評価の結果、ただしそれが実施されていた場合；

(c) para. 10.5 で記載されている性格。

10.8 施設のレベル分類判定に基づいて分類が行われる。レベル分類判定は、設計段階またはそれ以降で行われ得る。レベル分類判定が実施されている場合、その根拠とされる前提や結果としての分類は精査および確認されるべきである。一般的に分類の基準は、施設内に保管された放射性物質が放出されたときの範囲は軽度から顕著に及ぶ放射線的帰結を基礎とするべきである。代替方針としては、分類の範囲を狭い方からまず、施設の範囲内における放射線的帰結、次に施設の敷地(サイト)境界内における放射線的帰結、次に公衆および敷地外環境への放射線的帰結、とすることができる。

10.9 当該施設のレベル分類判定を実行した結果、para. 10.8 に示すように、国レベルの通例と基準に基づいた場合に 3 以上の分類を定義できることがある。次の分類が定義され得る例である：

(a) 最も低いハザード分類となる施設には、通常施設(例えば病院などの重要施設)に対する国レベルの建設規則が最低限適用されるべき原子炉等施設、あるいは通常の危険施設(例えば石油化学や化学工場)に対する国レベルの建設規則が最低限適

用されるべき原子炉等施設、が含まれる。

(b) 最も高いハザード分類となる施設には、原子力発電所用の基準と規則が適用されるべき施設、が含まれる。

(c) これらの中間に位置する分類で、危険施設に特有の建設規則が最低限適用されるべき危険施設を対象とする分類が1つ以上規定されることも多い。

10.10 当該地震ハザード評価は次の指針に従って実施するべきである：

(a) 最もハザードの低い施設について、設計上の地震ハザードインプットは国レベルの建設規則と地図から得ることができる。

(b) 最も高いハザード分類となる施設について、地震ハザード評価は本安全指針ですでに記述した手法を用いるべきである(すなわち、原子力発電所に適用される勧告事項)。

(c) 中間的ハザード分類となる施設について、次の記述が適用され得る：

(d) 当該地震ハザード評価が本安全指針で記述した手法によって通常は実行されるのであれば、当該施設の設計において低位の地震インプットを設計段階で、当該施設への安全要件に準拠して、適用する；

(e) 本安全指針が勧告するデータベースおよび手法が当該原子炉等施設においては著しく複雑であって、時間的および労力的に過大な要請と見なされるのであれば、簡素化した地震ハザード評価の手法を適用できる(より限定されたデータセットに基づく評価)。この場合、当該原子炉等施設の設計に最終的に適用される地震資料は縮小したデータベースと簡素化した手法に応じたものとすべきである。ただし、いずれの事項も不確定性を増加させる傾向をもつ事実を考慮すべきである。

原子炉等施設の設計基礎となる地震動レベルの数(例えば原子力発電所の場合の SL-2 と SL-1)はこの文脈において決定するべきである。

10.11 施設およびサイト地域における地震計測に関する勧告事項(para. 3.29 と para. 3.31 を参照)は、para. 10.9 での規定に従って施設の分類に相当するレベル分類を適用する。

## 11. プロジェクトマネジメント

### 実施体制に関するいくつかの側面(11.1-11.14)

11.1 本章では、地震ハザード解析の準備、実行、成果物作成に関する勧告と指針を記述する。

11.2 事業実行計画は、地震ハザード解析に先立って解析実行の基礎とするべく作成されるべきである。この実行計画に事業の一般要件の全てを、適用される規制要件も含めて、記載するべきである。この全要件は、地震ハザード解析の実行前に規制当局の精査を受けることが望ましい。一般要件に加えて、実行計画は次の特定事項を明示するべきである：担当者と任務；業務の内訳とプロジェクトの課題；スケジュールと工程表；成果物と報告書。

11.3 プログラムを確立し運用するべきである。プログラムは管理システムの下で、データ収集、データ処理、現場および実験施設での調査、解析、評価にわたる、本安全指針の適用範囲にあるあらゆる作業を取り扱うものである。(管理システムの要件、勧告事項、指針については[8]、[9]を参照。)

11.4 地震ハザード解析の結果には、本実行計画で規定する成果をすべて含むべきである。付属書に、あらゆる対象において報告されるべき標準的結果事項を挙げてあり、スポンサーが要請する可能性のある結果事項も挙げてある。地震ハザード解析の報告事項は、実行計画で十分詳細に指定するべきである。

11.5 実行する評価が追跡可能であり、かつ透明性を利用者、査読者、ライセンサーおよび規制当局、に対して確保するため、地震ハザード解析に関して次の事項を文書化するべきである：解析手順の全要素、研究参加者と各担当業務；関連する基礎資料（元データおよび処理済みデータ、コンピュータのソフトウェアと入出力ファイル、参考文書、計算経過および感度解析）。

11.6 上記基礎資料は、スポンサーがアクセス可能、利用可能、かつ監査可能な形式で維持するべきである。外部で利用可能な文書や文献は場合によっては引用可能とするべきで



ある。地震ハザード解析のあらゆる要素が文書化されているべきである。

11.7 本件成果文書は、地震ハザード解析に使用された情報の出所をすべて記述しているべきである。これには、入手困難でありえる重要引用文献の所在情報も含まれる。解析に用いられた非公開のデータは成果文書に含められ、適切に取り出し可能かつ利用可能な形式とするべきである。

11.8 本件地震ハザード解析の文書成果は、使用したコンピュータソフトウェアを明示するべきである。このソフトウェアにはデータ(例えば地震カタログ)の処理に用いたプログラム、地震ハザード解析の計算実行に用いたプログラムが含まれるべきである。

11.9 同一エリアを対象とした既存の地震ハザード解析の結果が利用できる場合、手法やデータの違いが結論に与える影響を比較によって示すべきである。この比較は精査可能な様式で文書化するべきである。

11.10 提案する地震源モデルの有効性を、既存の知識に照らして事後的に検査するべきである。その方法として例えば、モデルで予測された長期的ひずみ変化率を測地的および地質的観測と比較する。

11.11 調査が多様に実施されること(現場で、実験施設で、または机上で)をふまえ、かつ意思決定過程で専門的判断が必要であることから、これらのタスクの実行と検証可能とする目的で当該事業に固有の技術的手法を開発するべきであり、また、意思決定過程についてもピアレビューを実施するべきである。

11.12 正式な管理システムプログラムの実施要件については、スポンサーが明確にするべきである。スポンサーは品質保証標準を明示するべきである。管理システムに適用される要件、勧告事項、指針は参照文献[8]、[9]に記載されている。文書管理、解析管理、ソフトウェア、正当性確認と検証、資機材調達と監査、品質不適合と是正措置について、特定の取り決めによって指定するべきである。作業関連指示文書を作成するべきであり、そこで、データ収集とデータ処理、現場および実験施設での調査、解析、評価にわたる、本安全指針の適用範囲にあるあらゆる作業を取り扱う。

11.13 インターフェースにかかわる重要な問題にハザード解析担当による地震源モデル、地震動モデル、サイト応答モデルの運用がある。これらモデルは正式に文書化され精査が

なされるべきである。

11.14 特に、実施計画の中に新規データ取得に関する項目を含めるべきである。これらの項目は、地震ハザード解析を実行するためにも、専門家の要請に応えるためにも、重要なものとなりうるもので、プロジェクトにおいて相反するニーズが出てきたとき、バランスを取るための基盤も含む。

## 設備構築への利用と成果仕様(11.15-11.17)

11.15 地震ハザード解析が実施される目的は、耐震設計または地震への確率論的安全評価、またはその両方であることが通常である。地震ハザード解析の実施計画には、予定している設備構築への利用形態と解析の目的とを明示するべきであり、地震ハザード解析成果の仕様が組み入れられるべきである。成果仕様では、予定される設備構築上の利用で必要とする成果事項すべてと、解析の目的に必要な成果事項をすべて指定し、加えて一般的要件も指定する。

11.16 地震ハザード解析の成果仕様は、可能な限り包括的とするべきである。成果仕様は必要に応じて更新することができ、更新によって解析結果を加える、解析結果の指定を変更する、または解析範囲を縮小する、またはそれらを同時に変更できる。成果仕様として検討すべき要素の例として以下の項目がある(ただし、これらに限定されない)：

- 地震動パラメータ 指定の地震動パラメータは勧告される結果を生成するために十分なものであって設備構築上の使用に必要な成果も生成できるように指定するべきである(確率論的地震ハザード解析の標準的成果については付属書を参照)。
- 振動周波数 利用者側の特定要件に加え、一様ハザードスペクトル群の振動周波数範囲と密度を、あらゆる安全関連の構造物、システム、要素への入力が適切に表現されるうえで十分となるように、指定するべきである。
- 減衰 指定する減衰値は、あらゆる安全関連の構造物、システム、要素の応答の入力を適切に表現し、応答への効果が適切に表現されるために十分となるようにするべきである。
- 地震動成分 鉛直方向と水平方向の両方についてアウトプットを指定するべきで

ある。

- 基準地下岩層条件 サイト応答解析を実行する研究では、成果仕様に岩層条件(通常は 30m より十分に大きい深さを対象とし、指定の S 波速度  $V_s$  に対応し、岩盤に類似する)を含むべきである。生成される岩石ハザード結果は当該基準岩層条件に対応しているべきである。
- コントロール点(1 個以上) 成果仕様ではコントロール点(例えばサイトでの各点の深さ)を指定するべきである。地表近傍ハザードはコントロール点に対して取得される。通常のコントロール点には地表が含まれ、また構造物や要素の主要な埋設深度(例えば基礎のレベル)が含まれる。コントロール点は十分であって、土壌と構造の相互作用解析の入力を適切に生成できるように指定するべきである。

11.17 いかなる地震ハザード解析においても、地震学的データベースの制約から、マグニチュード下限値を考慮する必要がある。このため、設備構築での利用を考慮した成果仕様に加え、実行計画には次のパラメータを、設備構築上の正当性または地震ハザード解析での有用性あるいは両方に関連して、指定するべきである：

- 下限地震動フィルタ 地震ハザード解析の現実的な計算実行には下限値の仕様が必要とされるが、なによりも下限地震動はあらゆる想定被害および顕著なリスク事象を包含するように選択するべきである。下限地震動フィルタは、耐震性設計者または地震確率安全評価を行う fragility 解析者または両者と協議の上で、選択するべきである。あらゆる想定被害および顕著なリスク事象を捕捉できるフィルタ設定であることを協議で合意しているべきである。
- マグニチュード下限 前記の各勧告事項に加え、選択するマグニチュード下限は  $M_w=5.0$  を超えてはならない。
- $M_w$  などのマグニチュード表現を代替するものとして、下限地震動フィルタに確立された被害パラメータを使用することもできる。このような被害パラメータとしては、例えば累積絶対速度を特定の値と関連づけて、その値であれば被害やリスクが発生しないことを明白に証明できる値とする方式がある。

### 第三者によるピアレビュー(11.18-11.20)

11.18 地震ハザード解析の複雑度を考慮し、独立のピアレビューを実施すべきである。査読者(複数のこともある)は当該確率論的地震ハザード解析の他部分に関与した者であってはならず、解析の結果に利害関係のある者であってもならない。ピアレビューの水準や様式は地震ハザード解析の適用様態によって変わりうる。ピアレビューは地震ハザード解析のすべての部分を対象とするべきであり、対象として地震ハザード解析の過程、すべての技術的要素(例えば地震源の特性評価や、地震動の推定)、地震ハザード解析の手法、定量化、および文書化等が含まれる。ピアレビュー団は、解析のあらゆる技術的および実行過程の視点に対応可能とするために、複数の専門分野からの参加者で構成されるべきである。

11.19 ピアレビューの目的は、地震ハザード解析がしかるべきプロセスに沿って適正に行われた確証を、また解析で認識論的不確定性が評価されている確証を、また、成果文書が完備されかつ検証可能である確証を得ることである。

11.20 ピアレビューは以下の2種類の方式を利用できる：(1) 進行段階のピアレビュー；および(2) 最終段階のピアレビュー。前者は研究の実行期間中に行われるもので、査読者による指摘事項を地震ハザード解析の進行中、および技術的疑問が発生したとき、解明することができる。後者は研究の終了段階近くで実施される。進行段階のピアレビューでは後段階になってから研究そのものが否定される可能性が減少する。

### 参照文献

[1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. NS-R-3, IAEA, Vienna (2003).

原子炉等施設の立地評価

<https://www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000016963.pdf>

[2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.6, IAEA, Vienna (2004).

原子力発電所のためのサイト評価と地盤の地質学的観点(NSR/JNES 予定邦題)

[3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Flood Hazard for Nuclear Power Plants on



Coastal and River Sites, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.5, IAEA, Vienna (2003)  
(revision in preparation).

海岸域および河川域の原子力発電所における洪水ハザード(更新中)

[4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Safety Glossary: Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection, 2007 Edition, IAEA, Vienna (2007).

[5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.6, IAEA, Vienna (2003).

[6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Evaluation of Seismic Safety for Existing Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.13, IAEA, Vienna (2009).

既設の原子炉等施設に関する耐震安全性の評価

<https://www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000016962.pdf>

[7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series No. NS-R-1, IAEA, Vienna (2000).

原子力発電所の安全：設計

<https://www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000123919.pdf>

[8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3, IAEA, Vienna (2006).

施設と活動のためのマネジメントシステム

<https://www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000013195.pdf>

[9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1, IAEA, Vienna (2006).

施設と活動のためのマネジメントシステムの適用

<https://www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000013197.pdf>

## 別表

### 確率論的地震ハザード解析における標準的成果項目

表 A-1. 確率論的地震ハザード解析における標準的成果項目

成果	内容	形式
平均ハザード曲線群	確率論的地震動ハザード解析で生成した認識論的ハザード曲線群に関連づけられる、対象とする地震動レベルについての年間超過率の平均値を示す。	平均ハザード曲線群は、対象とする各地震動パラメータごとに、表形式とグラフの両方で報告するべきである。
フラクタイルハザード曲線群	確率論的地震動ハザード解析で生成した認識論的ハザード曲線群に関連づけられる、対象とする地震動レベルについてのフラクタイルの年間超過率を示す。	フラクタイルハザード曲線群は、対象とする各地震動パラメータごとに表形式とグラフの両方で報告するべきである。これと異なる指定が実施計画にある場合を除き、フラクタイルレベル 0.05, 0.16, 0.50, 0.84, 0.95 を報告するべきである。

<p>一様ハザード応答スペクトル</p>	<p>超過確率を縦軸にした応答スペクトル群であって、地震ハザード曲線群から導出するもの。</p>	<p>平均およびフラクタイル一様ハザード応答スペクトルは、表形式とグラフの両方で報告すべきである。これと異なる指定が実施計画にある場合を除き、一様ハザード応答スペクトルは年間超過率 <math>10^{-2}</math>, <math>10^{-3}</math>, <math>10^{-4}</math>, <math>10^{-5}</math>, <math>10^{-6}</math> と、フラクタイルレベル 0.05, 0.16, 0.50, 0.84, 0.95 を報告すべきである。</p>
<p>マグニチュード距離再分解</p>	<p>指定のマグニチュード距離(M-D)範囲(すなわち階級)ごとに、地震の平均ハザード全体に対する寄与率へ分解する。</p>	<p>M-D 再分解は、地震動パラメータごとに選択した年間超過率に対応する地震動レベルに対して表示されるべきである。ここで地震動パラメータは確率論的地震ハザード解析で検討されているものである。再分解処理は、平均ハザードに対して、および評価または設計で使用される年間超過率に対して実行するべきである。</p>

<p>平均とモードマグニチュード、距離</p>	<p>マグニチュード距離(M-D)再分解処理結果から規模の異なる、距離の異なる地震によるサイトへのハザードの寄与率がわかる。その分布によってハザードに寄与する地震マグニチュードの平均またはモード、または両方、および距離の平均またはモード、または両方、が決定される。</p>	<p>M-D 再分解処理結果に含まれる地震動パラメータおよびそのレベルそれぞれについて、平均およびモードマグニチュードと平均およびモード距離を報告すべきである。これと異なる指定が実施計画にある場合を除き、結果は応答スペクトル周波数の 1, 2.5, 5, 10 Hz について報告するべきである。</p>
<p>地震源再分解処理</p>	<p>サイトにおける地震ハザードは、確率論的地震ハザード解析のモデルで示される各地震源からのハザードの合同である。複数地震源を基礎とする再分解は、将来発生する可能性がある地震の位置と形式に関する予測に示唆を与えるものである。</p>	<p>地震源再分解は、確率論的地震ハザード解析で検討されている各地震動パラメータに対応した地震動レベルごとに報告すべきである。再分解処理は、平均ハザードに対して実行されるべきであり、地震ハザード曲線群の系列として表示される。</p>



集約ハザード曲線	<p>確率論的地震ハザード解析では数千本から数百万本のハザード曲線がしばしば生成される。これは 認識論的不確定性への対応によるものである。地震による確率論的安全評価の例を含む特定目的に使用する上では、より少数の取扱い容易な曲線群が必要である。いくつかの集約手法が類似形状の曲線群を組合せるために用いられるが、そこでは元の曲線群がもつ形状の多様性と群として重要な特性(例えば平均ハザード)も保存する手法である。</p>	<p>集約された個別ハザード曲線群のグループを、各曲線に割り当てた確率加重とともに、表およびグラフ形式で報告するべきである。</p>
地震時刻歴波形	<p>設備構築を目的とする解析では確率論的地震ハザード解析の結果と調和する時刻歴波形が必要となることがある。時刻歴波形を選択または生成、または両方を実行する基準を実行計画で指定してもよい。このような基準の例としては、指定の地震動の平均またはモードマグニチュードと距離と調和する時刻歴波形の選択、または年間超過率と調和する時刻歴波形の選択がある。</p>	<p>地震時刻歴波形の表示形式は実施計画で通常は規定される。</p>

## 用語の定義

### 加速度記録

accelerogram

地面における加速度の記録、通常は直交する 3 方向で記録され(成分)、そのうち 2 つは水平面内、他の 1 つは鉛直である。

## 偶然的不確定性

aleatory uncertainty

ある現象に本質的な不確定性。その現象を確率分布モデルで表わすことによって偶然的不確定性が考慮される。

## 将来活動する可能性のある断層

capable fault

地表または地表近傍で変位する可能性が顕著である断層。

## 震央

epicentre

ある地震において震源の直上にある地球表面の点。

## 認識論的不確定性

epistemic uncertainty

ある現象についての知見が不足していることによる不確定性で、モデル形成の可能性に影響する。認識論的不確定性は、有効なモデルの幅のひろがり、専門家による複数の解釈の存在、確率論的信頼度、として顕在化する。

## 断層(地質学)

fault (geological)

地球における平面状またはゆるやかな曲面状のフラクチャ面あるいは帯であって、そこでは相対的変位がある。

## 自由場地震動

free field ground motion

地震によって地面のある 1 点に誘起される振動であって、構造物や設備によって振動的性格が影響されていない場合をいう。

## 超過率

frequency of exceedance

サイトまたは広域において、指定した時間間隔内に、地震ハザードが指定したレベルを超える回数。確率論的地震ハザード解析(PSHA)では、通常この時間間隔として 1 年が想定される(すなわち年間超過率)。回数が非常に小さい数値となって指定の間では 1 を超え得ないとき、この数値は、当該事象のランダム過程がポアソンのと考えられるのであれば、確率に漸近する。

## 震源

hypocentre

地球内で地震が開始される点、focus。

## プレート間

interplate

地質構造的過程において、地球の複数構造プレートが形成する境界。

## プレート内

intraplate

地質構造的過程において、地球の構造プレートの内部。

## マグニチュード(地震の)

magnitude (of an earthquake)

ひとつの地震の規模を表す数値または手段で、地震が地震波の形で放出したエネルギーに関係する。地震のマグニチュードは標準化したスケールの数字のことであって、モーメントマグニチュード、表面波マグニチュード、実体波マグニチュード、ローカルマグニチュード、地震動の継続時間マグニチュードがこの例であるが、これら以外にもある。

## 最大潜在マグニチュード

maximum potential magnitude

地震ハザード解析で使われる参照値で、ある地震源から地震が発生する可能性を特徴づけるものである。これを計算する方法は対象とする地震源の種類と地震ハザード解析で使う手法とに依存する。

## 古地震

palaeoseismicity

有史以前または歴史上の地震の証拠であって、断層変位として、または地形の変形(すなわち液状化、津波、地すべり)などの二次的効果として残されている。

## ピーク地震加速度

peak ground acceleration

加速度記録に残されている地面加速度の絶対値が最大の値。一つの地震でサイトに誘起された加速度の最大値。

## 応答スペクトル

response spectrum

加速度記録から計算されたグラフ曲線で、1自由度線形振子の加速度、速度、変位についての応答最大値を、振子の(指定減衰ファクタにおける)固有周波数または振動周期の関数として、読み取れる。

## 地震構造

seismogenic structure

地震活動を示す構造、または歴史的な地面の破断を示す構造、または古地震の結果が残る構造であって、考慮すべき期間にマクロ地震を発生させる可能性がないとは言えないものをいう。

## 地震構造モデル

seismotectonic model

対象サイト周辺の広域において地震源の特性評価を決定するモデルであり、モデルには地震源の特性評価にかかわる偶然的な不確定性と認識論的な不確定性とが取り入れられる。

## サイト応答

site response

サイトの岩石カラムまたは土壌カラムが指定された地震動負荷を受けた時の挙動。

## 地表断層(～活動、地表破断)

surface faulting

ひとつの地震において、断層をよぎって異なった動きで誘起された恒久的変位または解離。

## 一様ハザード応答スペクトル

uniform hazard response spectrum

等しい超過確率を縦軸にした応答スペクトル。



起草担当、精査担当

Abe, H.	原子力安全基盤機構(JNES)、日本
Aspinall, W.	Aspinall and Associates, イギリス
Belsham, C.	Nuclear Directorate of the Health and Safety Executive, イギリス
Berge-Thierry, C.	Autorité de sûreté nucléaire, フランス
Campbell, K.	ABS Consulting (EQECAT), アメリカ合衆国
Chigama, A.	国際原子力機関(IAEA)
Diburg, S.	Ingenieurgesellschaft Niemann und Partner GbR, ドイツ
Ebisawa, K.	原子力安全基盤機構(JNES)、日本
Fukushima, Y.	島津製作所、日本
Giardini, D.	Swiss Seismological Service, スイス
Godoy, A.	国際原子力機関(IAEA)
Graizer, V.	U.S. Nuclear Regulatory Commission, アメリカ合衆国
Gürpınar, A.	国際原子力機関(IAEA)
Kluegel, J.	Goesgen nuclear power plant, スイス
Mallard, D.	私的コンサルタント, イギリス
Martin, C.A.	GEOTER International, フランス
Romeo, R.	Innovare: Tecnologie, Esperienze e Ricerche (ITER), イタリア

Rosenhauer, W. 私的コンサルタント, ドイツ

Serva, L. 私的コンサルタント, イタリア

Sewell, R. 私的コンサルタント, スイス

Sollogoub, P. 国際原子力機関(IAEA)

Stepp, C. 私的コンサルタント, アメリカ合衆国

Takada, T. 東京大学、工学系大学院、日本

Thomas, B. U.S. Nuclear Regulatory Commission, アメリカ合衆国

Tinic, S. Beznau nuclear power plant, スイス

Woo, G. Risk Management Solutions, イギリス

Zwicky, P. Basler and Hofmann Consulting Engineers, スイス

## IAEA 安全基準を認定する組織

アスタリスクは通信会員を示す。通信会員は意見提出のための原案やその他の文書を受け取るが、普通は会議に出席しない。2 個のアスタリスクは代理を示す。

### 安全基準部\*(CSS)委員

アルゼンチン	González, A.J.
オーストラリア	Loy, J.
ベルギー	Samain, J.-P.
ブラジル	Vinhas, L.A.
カナダ	Jammal, R.
中華人民共和国	Liu Hua
エジプト	Barakat, M.
フィンランド	Laaksonen, J.
フランス	Lacoste, A.-C. (議長)
ドイツ	Majer, D.
インド	Sharma, S.K.
イスラエル	Levanon, I.
日本	Fukushima, A.
大韓民国	Choul-Ho Yun
リトアニア	Maksimovas, G.
パキスタン	Rahman, M.S.
ロシア	Adamchik, S.
南アフリカ	Magugumela, M.T.
スペイン	Barceló Vernet, J.
スウェーデン	Larsson, C.M.

ウクライナ	Mykolaichuk, O.
イギリス	Weightman, M.
アメリカ合衆国	Virgilio, M.
ベトナム	Le-chi Dung
IAEA	Delattre, D. (コーディネータ)
Advisory Group on Nuclear Security	Hashmi, J.A.
欧州共同体	Faross, P.
International Nuclear Safety Group	Meserve, R.
ICRP	Holm, L.-E.
OECD 原子力機関	Yoshimura, U.
各安全基準委員会議長	Brach, E.W. (TRANSSC); Magnusson, S. (RASSC); Pather, T. (WASSC); Vaughan, G.J. (NUSSC)

#### 核安全委員会(NUSSC)

アルジェリア	Merrouche, D.
アルゼンチン	Waldman, R.
オーストラリア	Le Cann, G.
オーストリア	Sholly, S.
ベルギー	De Boeck, B.
ブラジル	Gromann, A.
*ブルガリア	Gledachev, Y.
カナダ	Rzentkowski, G.
中華人民共和国	Jingxi Li
クロアチア	Valčić, I.
*キプロス	Demetriades, P.
チェコ	Šváb, M.
エジプト	Ibrahim, M.

フィンランド	Järvinen, M.-L.
フランス	Feron, F.
ドイツ	Wassilew, C.
ガーナ	Emi-Reynolds, G.
*ギリシャ	Camarinopoulos, L.
ハンガリー	Adorján, F.
インド	Vaze, K.
インドネシア	Antariksawan, A.
イラン	Asgharizadeh, F.
イスラエル	Hirshfeld, H.
イタリア	Bava, G.
日本	Kanda, T.
大韓民国	Hyun-Koon Kim
リビア	Abuzid, O.
リトアニア	Demčenko, M.
マレーシア	Azlina Mohammed Jais
メキシコ	Carrera, A.
モロッコ	Soufi, I.
オランダ	van der Wiel, L.
パキスタン	Habib, M.A.
ポーランド	Jurkowski, M.
ルーマニア	Biro, L.
ロシア	Baranaev, Y.
スロバキア	Uhrik, P.
スロベニア	Vojnovič, D.
南アフリカ	Leotwane, W.



スペイン	Zarzuela, J.
スウェーデン	Hallman, A.
スイス	Flury, P.
チュニジア	Baccouche, S.
トルコ	Bezdegumeli, U.
ウクライナ	Shumkova, N.
イギリス	Vaughan, G.J. (議長)
アメリカ合衆国	Mayfield, M.
ウルグアイ	Nader, A.
欧州共同体	Vigne, S.
FORATOM	Fourest, B.
IAEA	Feige, G. (コーディネータ)
国際電気標準会議(IEC)	Bouard, J.-P.
ISO	Sevestre, B.
OECD 原子力機関	Reig, J.
*World Nuclear Association	Borysova, I.

放射線安全基準委員会(RASSC)

*アルジェリア	Chelbani, S.
アルゼンチン	Massera, G.
オーストラリア	Melbourne, A.
*オーストリア	Karg, V.
ベルギー	van Bladel, L.
ブラジル	Rodriguez Rochedo, E.R.
*ブルガリア	Katzarska, L.
カナダ	Clement, C.
中華人民共和国	Huating Yang

クロアチア	Kralik, I.
*キューバ	Betancourt Hernandez, L.
*キプロス	Demetriades, P.
チェコ	Petrova, K.
デンマーク	Øhlenschläger, M.
エジプト	Hassib, G.M.
エストニア	Lust, M.
フィンランド	Markkanen, M.
フランス	Godet, J.-L.
ドイツ	Helming, M.
ガーナ	Amoako, J.
*ギリシャ	Kamenopoulou, V.
ハンガリー	Koblinger, L.
アイスランド	Magnusson, S. (議長)
インド	Sharma, D.N.
インドネシア	Widodo, S.
イラン	Kardan, M.R.
アイルランド	Colgan, T.
イスラエル	Koch, J.
イタリア	Bologna, L.
日本	Kiryu, Y.
大韓民国	Byung-Soo Lee
*ラトビア	Salmis, A.
リビア	Busitta, M.
リトアニア	Mastauskas, A.
マレーシア	Hamrah, M.A.

メキシコ	Delgado Guardado, J.
モロッコ	Tazi, S.
オランダ	Zuur, C.
ノルウェー	Saxebol, G.
パキスタン	Ali, M.
パラグアイ	Romero de Gonzalez, V.
フィリピン	Valdezco, E.
ポーランド	Merta, A.
ポルトガル	Dias de Oliveira, A.M.
ルーマニア	Rodna, A.
ロシア	Savkin, M.
スロバキア	Jurina, V.
スロベニア	Sutej, T.
南アフリカ	Olivier, J.H.I.
スペイン	Amor Calvo, I.
スウェーデン	Almen, A.
スイス	Piller, G.
*タイ	Suntarapai, P.
チュニジア	Chékir, Z.
トルコ	Okyar, H.B.
ウクライナ	Pavlenko, T.
イギリス	Robinson, I.
アメリカ合衆国	Lewis, R.
*ウルグアイ	Nader, A.
欧州共同体	Janssens, A.
FAO	Byron, D.

フランス	Landier, D.		
ドイツ	Rein, H.	*Nitsche, F.	**Alter, U.
ガーナ	Emi-Reynolds, G.		
*ギリシャ	Vogiatzi, S.		
ハンガリー	Sáfar, J.		
インド	Agarwal, S.P.		
インドネシア	Wisnubroto, D.		
イラン	Eshraghi, A.	*Emamjomeh, A.	
アイルランド	Duffy, J.		
イスラエル	Koch, J.		
イタリア	Trivelloni, S.	**Orsini, A.	
日本	Hanaki, I.		
大韓民国	Dae-Hyung Cho		
リビア	Kekli, A.T.		
リトアニア	Statkus, V.		
マレーシア	Sobari, M.P.M.	**Husain, Z.A.	
メキシコ	Bautista Arteaga, D.M.	**Delgado Guardado, J.L.	
*モロッコ	Allach, A.		
オランダ	Ter Morshuizen, M.		
*ニュージーランド	Ardouin, C.		
ノルウェー	Hornkjøl, S.		
パキスタン	Rashid, M.		
*パラグアイ	More Torres, L.E.		
ポーランド	Dziubiak, T.		
ポルトガル	Buxo da Trindade, R.		
ロシア	Buchelnikov, A.E.		

No. 22

## IAEA 公開文書の入手

次の各国では IAEA 公開文書を表示の販売店または大手書店で購入できる。各国通貨または UNESCO クーポンによる支払いが可能である。

### オーストラリア

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132  
Telephone: +61 3 9210 7777 • Fax: +61 3 9210 7788  
Email: [service@dadirect.com.au](mailto:service@dadirect.com.au) • Web site: <http://www.dadirect.com.au>

### ベルギー

Jean de Lannoy, avenue du Roi 202, B-1190 Brussels  
Telephone: +32 2 538 43 08 • Fax: +32 2 538 08 41  
Email: [jean.de.lannoy@infoboard.be](mailto:jean.de.lannoy@infoboard.be) • Web site: <http://www.jean-de-lannoy.be>

### カナダ

Bernan Associates, 4501 Forbes Blvd, Suite 200, Lanham, MD 20706-4346, USA  
Telephone: 1-800-865-3457 • Fax: 1-800-865-3450  
Email: [customercare@bernan.com](mailto:customercare@bernan.com) • Web site: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 1-5369 Canotek Rd., Ottawa, Ontario, K1J 9J3  
Telephone: +613 745 2665 • Fax: +613 745 7660  
Email: [order.dept@renoufbooks.com](mailto:order.dept@renoufbooks.com) • Web site: <http://www.renoufbooks.com>

### 中華人民共和国

IAEA Publications in Chinese: China Nuclear Energy Industry Corporation, Translation Section,  
P.O. Box 2103, Beijing

### チェコ

Suweco CZ, S.R.O., Klecakova 347, 180 21 Praha 9  
Telephone: +420 26603 5364 • Fax: +420 28482 1646  
Email: [nakup@suweco.cz](mailto:nakup@suweco.cz) • Web site: <http://www.suweco.cz>

### フィンランド



Akateeminen Kirjakauppa, PO BOX 128 (Keskuskatu 1), FIN-00101 Helsinki  
Telephone: +358 9 121 41 • Fax: +358 9 121 4450  
Email: akatilaus@akateeminen.com • Web site: <http://www.akateeminen.com>

## フランス

Form-Edit, 5, rue Janssen, P.O. Box 25, F-75921 Paris Cedex 19  
Telephone: +33 1 42 01 49 49 • Fax: +33 1 42 01 90 90  
Email: [formedit@formedit.fr](mailto:formedit@formedit.fr) • Web site: <http://www.formedit.fr>

Lavoisier SAS, 145 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex  
Telephone: + 33 1 47 40 67 02 • Fax +33 1 47 40 67 02  
Email: [romuald.verrier@lavoisier.fr](mailto:romuald.verrier@lavoisier.fr) • Web site: <http://www.lavoisier.fr>

## ドイツ

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags GmbH, Am Hofgarten 10, D-53113 Bonn  
Telephone: + 49 228 94 90 20 • Fax: +49 228 94 90 20 or +49 228 94 90 222  
Email: [bestellung@uno-verlag.de](mailto:bestellung@uno-verlag.de) • Web site: <http://www.uno-verlag.de>

## ハンガリー

Librotrade Ltd., Book Import, P.O. Box 126, H-1656 Budapest  
Telephone: +36 1 257 7777 • Fax: +36 1 257 7472 • Email: [books@librotrade.hu](mailto:books@librotrade.hu)

## インド

Allied Publishers Group, 1st Floor, Dubash House, 15, J. N. Heredia Marg, Ballard Estate, Mumbai 400 001,  
Telephone: +91 22 22617926/27 • Fax: +91 22 22617928  
Email: [alliedpl@vsnl.com](mailto:alliedpl@vsnl.com) • Web site: <http://www.alliedpublishers.com>

Bookwell, 2/72, Nirankari Colony, Delhi 110009  
Telephone: +91 11 23268786, +91 11 23257264 • Fax: +91 11 23281315  
Email: [bookwell@vsnl.net](mailto:bookwell@vsnl.net)

## イタリア

Libreria Scientifica Dott. Lucio di Biasio "AEIOU", Via Coronelli 6, I-20146 Milan  
Telephone: +39 02 48 95 45 52 or 48 95 45 62 • Fax: +39 02 48 95 45 48  
Email: [info@libreriaaeiou.eu](mailto:info@libreriaaeiou.eu) • Website: [www.libreriaaeiou.eu](http://www.libreriaaeiou.eu)

## 日本

103-0027 東京都中央区日本橋 13-6 丸善株式会社

電話: +81 3 3275 8582 • ファクス: +81 3 3275 9072

Email: [journal@maruzen.co.jp](mailto:journal@maruzen.co.jp) • Web site: <http://www.maruzen.co.jp>

## 大韓民国

KINS Inc., Information Business Dept. Samho Bldg. 2nd Floor, 275-1 Yang Jae-dong SeoCho-G, Seoul 137-130

Telephone: +02 589 1740 • Fax: +02 589 1746 • Web site: <http://www.kins.re.kr>

## オランダ

De Lindeboom Internationale Publicaties B.V., M.A. de Ruyterstraat 20A, NL-7482 BZ Haaksbergen

Telephone: +31 (0) 53 5740004 • Fax: +31 (0) 53 5729296

Email: [books@delindeboom.com](mailto:books@delindeboom.com) • Web site: <http://www.delindeboom.com>

Martinus Nijhoff International, Koraalrood 50, P.O. Box 1853, 2700 CZ Zoetermeer

Telephone: +31 793 684 400 • Fax: +31 793 615 698

Email: [info@nijhoff.nl](mailto:info@nijhoff.nl) • Web site: <http://www.nijhoff.nl>

Swets and Zeitlinger b.v., P.O. Box 830, 2160 SZ Lisse

Telephone: +31 252 435 111 • Fax: +31 252 415 888

Email: [infoho@swets.nl](mailto:infoho@swets.nl) • Web site: <http://www.swets.nl>

## ニュージーランド

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132, Australia

Telephone: +61 3 9210 7777 • Fax: +61 3 9210 7788

Email: [service@dadirect.com.au](mailto:service@dadirect.com.au) • Web site: <http://www.dadirect.com.au>

## スロベニア

Cankarjeva Založba d.d., Kopitarjeva 2, SI-1512 Ljubljana

Telephone: +386 1 432 31 44 • Fax: +386 1 230 14 35

Email: [import.books@cankarjeva-z.si](mailto:import.books@cankarjeva-z.si) • Web site: <http://www.cankarjeva-z.si/uvoz>

## スペイン

Díaz de Santos, S.A., c/ Juan Bravo, 3A, E-28006 Madrid

Telephone: +34 91 781 94 80 • Fax: +34 91 575 55 63

Email: [compras@diazdesantos.es](mailto:compras@diazdesantos.es), [carmela@diazdesantos.es](mailto:carmela@diazdesantos.es), [barcelona@diazdesantos.es](mailto:barcelona@diazdesantos.es), [julio@diazdesantos.es](mailto:julio@diazdesantos.es)

Web site: <http://www.diazdesantos.es>

## イギリス

The Stationery Office Ltd, International Sales Agency, PO Box 29, Norwich, NR3 1 GN  
Telephone (orders): +44 870 600 5552 • (enquiries): +44 207 873 8372 • Fax: +44 207 873 8203  
Email (orders): [book.orders@tso.co.uk](mailto:book.orders@tso.co.uk) • (enquiries): [book.enquiries@tso.co.uk](mailto:book.enquiries@tso.co.uk) • Web site:  
<http://www.tso.co.uk>

### On-line orders

DELTA Int. Book Wholesalers Ltd., 39 Alexandra Road, Addlestone, Surrey, KT15 2PQ  
Email: [info@profbooks.com](mailto:info@profbooks.com) • Web site: <http://www.profbooks.com>

### Books on the Environment

Earthprint Ltd., P.O. Box 119, Stevenage SG1 4TP  
Telephone: +44 1438748111 • Fax: +44 1438748844  
Email: [orders@earthprint.com](mailto:orders@earthprint.com) • Web site: <http://www.earthprint.com>

## 国連

Dept. I004, Room DC2-0853, First Avenue at 46th Street, New York, N.Y. 10017, USA  
(UN) Telephone: +800 253-9646 or +212 963-8302 • Fax: +212 963-3489  
Email: [publications@un.org](mailto:publications@un.org) • Web site: <http://www.un.org>

## アメリカ合衆国

Bernan Associates, 4501 Forbes Blvd., Suite 200, Lanham, MD 20706-4346  
Telephone: 1-800-865-3457 • Fax: 1-800-865-3450  
Email: [customercare@bernan.com](mailto:customercare@bernan.com) • Web site: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 812 Proctor Ave., Ogdensburg, NY, 13669  
Telephone: +888 551 7470 (toll-free) • Fax: +888 568 8546 (toll-free)  
Email: [order.dept@renoufbooks.com](mailto:order.dept@renoufbooks.com) • Web site: <http://www.renoufbooks.com>

注文や問い合わせは下記でも受け付けている。

Marketing and Sales Unit, International Atomic Energy Agency  
Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria  
Telephone: +43 1 2600 22529 (or 22530) • Fax: +43 1 2600 29302  
Email: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org) • Web site: <http://www.iaea.org/books>

## 関連する公開文書

### SITE EVALUATION FOR NUCLEAR INSTALLATIONS, SAFETY REQUIREMENTS

核施設サイト評価(原子炉等施設の立地評価)、安全基準

Safety Requirements

IAEA Safety Standards Series No. NS-R-3

STI/PUB/1177 (28 pp.; 2003)

ISBN 92-0-112403-1 €15.00

### EXTERNAL HUMAN INDUCED EVENTS IN SITE EVALUATION FOR NUCLEAR POWER PLANTS

Safety Guide

原子力発電所サイト評価における外的人為事象、安全ガイド

IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.1

STI/PUB/1126 (49 pp.; 2002)

ISBN 92-0-111202-5 €14.50

### DISPERSION OF RADIOACTIVE MATERIAL IN AIR AND WATER AND CONSIDERATION OF POPULATION DISTRIBUTION IN SITE EVALUATION FOR NUCLEAR POWER PLANTS

Safety Guide

原子力発電所サイト評価における放射性物質の大気および水圏への分散と人口分布の考察、安全ガイド

IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.2

STI/PUB/1122 (32 pp.; 2002)

ISBN 92-0-110102-3 €11.50

### METEOROLOGICAL EVENTS IN SITE EVALUATION FOR NUCLEAR POWER PLANTS

Safety Guide

原子力発電所サイト評価における気象事象、安全ガイド

IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.4

STI/PUB/1148 (34 pp.; 2003)

ISBN 92-0-102103-8 €12.50

### FLOOD HAZARD FOR NUCLEAR POWER PLANTS ON COASTAL AND RIVER SITES

Safety Guide

IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.5

STI/PUB/1170 (83 pp.; 2003)

ISBN 92-0-112803-7 €20.00

### GEOTECHNICAL ASPECTS OF SITE EVALUATION AND FOUNDATIONS FOR NUCLEAR POWER PLANTS

Safety Guide

原子力発電所のためのサイト評価と地盤の地質学的観点(NSR/JNES 予定邦題)、安全ガイ

✦

IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.6  
STI/PUB/1195 (53 pp.; 2005)  
ISBN 92-0-107204-X €19.00

[www.iaea.org/books](http://www.iaea.org/books)