

電源開発株式会社大間原子力発電所の  
原子炉の設置に係る安全性について

—地盤耐震関係—  
(案)

平成19年3月

## 目 次

I	審査結果	1
II	申請の概要	2
1	立地条件	2
1.1	敷地	2
1.2	地震	2
1.3	地質・地盤	2
1.4	地震随件事象	3
1.5	気象	(略)
1.6	水理	(略)
1.7	火山	4
1.8	社会環境	(略)
2	原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の概要	4
2.1	原子炉施設の位置	(略)
2.2	原子炉施設の耐震設計	4
2.3	原子炉本体	(略)
2.4	核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	(略)
2.5	原子炉冷却系統施設	(略)
2.6	計測制御系統施設	(略)
2.7	放射性廃棄物廃棄施設	(略)
2.8	放射線管理施設	(略)
2.9	原子炉格納施設	(略)
2.10	その他原子炉の附属施設	(略)
III	審査方針	5
1	審査の基本方針	5
2	審査方法	6
IV	審査内容	9
1	立地条件	9
1.1	敷地	9
1.2	地震	10
1.2.1	耐震設計において基準とすべき地震動	10
1.2.2	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	10
1.2.3	震源を特定せず策定する地震動	37

1.3	地質・地盤	38
1.3.1	敷地の地質・地質構造	38
1.3.2	原子炉施設設置地盤	40
1.4	地震随件事象	49
1.4.1	周辺斜面	49
1.4.2	津波	50
1.5	気象	(略)
1.6	水理	(略)
1.7	火山	51
1.8	社会環境	(略)
1.8.1	人口分布	(略)
1.8.2	敷地周辺の産業活動	(略)
1.8.3	敷地周辺の交通	(略)
2	原子炉施設の安全設計	53
2.1	原子炉施設全般	53
2.1.1	原子炉施設全般に対する設計上の考慮	53
2.1.2	安全機能の重要度分類	(略)
2.1.3	耐震設計	57
2.2	原子炉及び原子炉停止系	(略)
2.2.1	炉心設計	(略)
2.2.2	反応度制御系	(略)
2.2.3	原子炉停止系	(略)
2.3	原子炉冷却系	(略)
2.3.1	原子炉冷却材圧力バウンダリ	(略)
2.3.2	残留熱を除去する系統	(略)
2.3.3	非常用炉心冷却系	(略)
2.3.4	原子炉補機冷却系	(略)
2.3.5	その他	(略)
2.4	原子炉格納施設	(略)
2.4.1	原子炉格納容器及び原子炉格納容器スプレイ冷却系	(略)
2.4.2	格納容器内ガス濃度制御系（可燃性ガス濃度制御系 及び不活性ガス系）	(略)
2.4.3	非常用ガス処理系	(略)
2.5	安全保護系	(略)

2.6	中央制御室及び緊急時施設	(略)
2.7	計測制御系及び電気系統	(略)
2.7.1	計測制御系	(略)
2.7.2	電気設備	(略)
2.8	燃料取扱系	(略)
2.9	放射性廃棄物処理施設	(略)
2.9.1	気体廃棄物処理系	(略)
2.9.2	液体廃棄物処理系	(略)
2.9.3	固体廃棄物処理系	(略)
2.10	放射線管理	(略)
2.10.1	放射線防護設備	(略)
2.10.2	放射線管理設備	(略)
2.11	その他	(略)
3	原子炉施設周辺の一般公衆の受ける線量評価	(略)
3.1	線量評価の概要	(略)
3.2	大気中に放出される放射性物質の年間放出量	(略)
3.3	海洋中に放出される放射性物質の年間放出量	(略)
3.4	線量の計算	(略)
3.4.1	気体廃棄物中の希ガスのガンマ線に起因する実効線量	(略)
3.4.2	液体廃棄物中に含まれる放射性物質に起因する実効線量	(略)
3.4.3	よう素に起因する実効線量	(略)
3.5	評価	(略)
4	運転時の異常な過渡変化の解析	(略)
4.1	炉心内の反応度又は出力分布の異常な変化	(略)
4.1.1	原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き	(略)
4.1.2	出力運転中の制御棒の異常な引き抜き	(略)
4.2	炉心内の熱発生又は熱除去の異常な変化	(略)
4.2.1	原子炉冷却材流量の部分喪失	(略)
4.2.2	外部電源喪失	(略)
4.2.3	給水加熱喪失	(略)
4.2.4	原子炉冷却材流量制御系の誤動作	(略)
4.3	原子炉冷却材圧力又は原子炉冷却材保有量の異常な変化	(略)
4.3.1	負荷の喪失	(略)
4.3.2	主蒸気隔離弁の誤閉止	(略)

4.3.3	給水制御系の故障 .....	(略)
4.3.4	原子炉圧力制御系の故障 .....	(略)
4.3.5	給水流量の全喪失 .....	(略)
4.4	評    価 .....	(略)
5	事故解析 .....	(略)
5.1	原子炉冷却材の喪失又は炉心冷却状態の著しい変化 .....	(略)
5.1.1	原子炉冷却材喪失 .....	(略)
5.1.2	原子炉冷却材流量の喪失 .....	(略)
5.2	反応度の異常な投入又は原子炉出力の急激な変化 .....	(略)
5.2.1	制御棒落下 .....	(略)
5.3	環境への放射性物質の異常な放出 .....	(略)
5.3.1	放射性気体廃棄物処理施設の破損 .....	(略)
5.3.2	主蒸気管破断 .....	(略)
5.3.3	燃料集合体の落下 .....	(略)
5.3.4	原子炉冷却材喪失 .....	(略)
5.3.5	制御棒落下 .....	(略)
5.4	原子炉格納容器内圧力、雰囲気等の異常な変化 .....	(略)
5.4.1	原子炉冷却材喪失 .....	(略)
5.4.2	可燃性ガスの発生 .....	(略)
5.4.3	動荷重の発生 .....	(略)
5.5	評    価 .....	(略)
6	立地評価のための想定事故の解析 .....	(略)
6.1	重大事故の解析 .....	(略)
6.1.1	原子炉冷却材喪失 .....	(略)
6.1.2	主蒸気管破断 .....	(略)
6.2	仮想事故の解析 .....	(略)
6.2.1	原子炉冷却材喪失 .....	(略)
6.2.2	主蒸気管破断 .....	(略)
6.2.3	全身線量の積算値 .....	(略)
6.3	評    価 .....	(略)

## I 審査結果

電源開発株式会社大間原子力発電所の原子炉の設置に関し、同社が提出した「大間原子力発電所原子炉設置許可申請書及び同添付書類（平成16年3月18日付け申請、平成17年6月3日付け一部補正、平成18年2月17日付け一部補正、平成18年10月24日付け一部補正）」に基づき審査した結果、当該申請は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下「原子炉等規制法」という。）第24条第1項第4号の基準に適合しているものと認められる。

## II 申請の概要

電源開発株式会社大間原子力発電所の原子炉設置許可の申請に関し、同社が提出した「原子炉設置許可申請書及び同添付書類」によれば、この原子炉設置の概要は、次のとおりである。

本申請は、青森県<sup>しもきた</sup>下北郡大間町に濃縮ウラン燃料 ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料、軽水減速、軽水冷却、沸騰水型、熱出力 3,926MW（電気出力約 1,383MW）の原子炉 1 基が設置されるものである。本原子炉は、商業発電用として使用され、基底負荷用として運用する計画としている。

本原子炉の設置に関する「立地条件」及び「原子炉及びその付属施設の位置、構造及び設備の概要」は、次のとおりである。

### 1 立地条件

#### 1.1 敷地

発電所の敷地は、青森県下北郡大間町の西側海岸部に位置する。

敷地の面積は約 130 万 $m^2$ である。敷地は海岸線を長辺としてほぼ長方形の形状となっており、おおむね標高 10～40mのなだらかな海岸段丘と海岸沿いの標高 10m以下の平坦地からなっている。

#### 1.2 地震

敷地周辺においては、太平洋側沖合で地震の発生数が多く、十勝沖から三陸沖にかけては、マグニチュード（以下「M」という。）8程度のプレート間地震が発生している。このような規模の大きいプレート間地震は敷地から 250km程度のところで発生している。敷地からの震央距離が300kmを超えるが、沈み込んだ海洋プレート内の地震として、1993年<sup>くしろ</sup>釧路沖地震（M7.5）及び1994年北海道東方沖地震（M8.2）が発生している。内陸地殻内地震については、敷地の南方約100kmにおいて1766年津軽の地震（M7 $\frac{1}{4}$ ）が発生している。

#### 1.3 地質・地盤

##### (1) 地質

##### a. 敷地の地質

敷地の地質は新第三系中新統の大間層及び<sup>いこくま</sup>易国間層、新第三系鮮新統の<sup>おおはた</sup>大畑層並びにこれらを覆う第四系から成っている。また、大間層には新第三紀中新世のデイサイト及び玄武岩が貫入している。易国間

層は溶岩、火山碎屑岩及び堆積岩、大間層は堆積岩及び火山碎屑岩、大畑層は堆積岩から成り、原子炉施設は易国間層に設置される。

#### b. 敷地の地質構造

敷地の地質構造としては、大間層及び易国間層が南側に緩やかに傾斜した成層構造をなす。敷地の北部では、大畑層が大間層と易国間層を不整合で覆い、大間層中にはデイサイトの貫入岩が分布する。

敷地には8条の断層が分布するとしているが、地質調査の結果、これらの断層には大畑層の堆積より後の活動はない。

#### c. 敷地周辺の主な活断層

敷地を中心とする半径約30kmの範囲及びその周辺並びに敷地を中心とする半径約5kmの範囲には、「清水山南方断層」、「函館平野西縁断層帯」、「根岸西方断層」、「敷地西方沖断層」、「F-14断層」、「恵山岬東方沖断層」、「奥尻海盆東縁断層」等が認められる。

### (2) 地 盤

#### a. 地盤の状況

原子炉施設設置地盤を構成する岩盤については、岩種・岩相、固結度及び風化の程度に基づく岩盤分類が行われ、[火山碎屑岩]、[堆積岩]及び[溶岩・貫入岩]に大区分している。

#### b. 岩石・岩盤物性

岩石・岩盤試験結果によると、密度は[火山碎屑岩]で1.58～2.04g/cm<sup>3</sup>、[堆積岩]で1.45～1.49g/cm<sup>3</sup>、[溶岩・貫入岩]で2.11～2.38g/cm<sup>3</sup>であり、一軸圧縮試験による強度は[火山碎屑岩]で1.89～8.82N/mm<sup>2</sup>、[堆積岩]で5.32～8.88N/mm<sup>2</sup>、[溶岩・貫入岩]で4.78～78.36N/mm<sup>2</sup>である。また、原子炉建屋基礎地盤において実施した支持力試験の結果によると、上限降伏値は4.7N/mm<sup>2</sup>以上であり、極限支持力は13.1N/mm<sup>2</sup>以上である。

## 1.4 地震随件事象

### (1) 周辺斜面

発電所の敷地は、おおむね標高10～40mのなだらかな海岸段丘と海岸沿いの標高10m以下の平坦地からなっており、耐震設計上重要な機器・配管系を内包する建物・構築物の周辺には、安定性評価の対象となる斜面はない。

## (2) 津 波

津波については、文献調査、数値シミュレーション等の結果に基づき、最高水位は朔望平均満潮位を考慮するとT.P.+4.4m程度であり、最低水位は朔望平均干潮位を考慮するとT.P.-3.8m程度と想定される。

## 1.7 火 山

敷地周辺に位置する第四紀に活動した主な火山としては、むつ燧岳火山、恐山火山、於法岳火山、銭亀沢軽石流堆積物噴出源及び恵山火山がある。

## 2 原子炉及びその付属施設の位置、構造及び設備の概要

### 2.2 原子炉施設の耐震設計

原子炉施設の建物・構築物は原則として剛構造として設計され、重要な建物・構築物は岩盤に支持される。

原子炉施設は耐震設計上の重要度によりS、B及びCの3クラスに分類されている。

耐震設計は重要度に応じて次のように行われる。

Sクラスの施設は、常時作用している荷重及び運転時に施設に作用する荷重と、基準地震動 $S_s$ による地震力との組合せに対して、その安全機能が保持できるように設計される。さらに、基準地震動 $S_s$ に対する施設の安全機能の保持をより高い精度で確認するために、弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力に対して概ね弾性限界に留まるよう設計される。また、Sクラスの施設に対し、基準地震動 $S_s$ 及び弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力を、水平方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて作用させる。

また、S、B及びCクラスの各施設は、地震層せん断力係数をそれぞれ $3.0C_i$ 、 $1.5C_i$ 及び $1.0C_i$ として求められる水平地震力を静的地震力とし、これに耐えられるように設計される。また、Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力を同時に不利な方向の組合せで作用させる。ここで、鉛直地震力は、震度0.3を基準とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求めた鉛直震度より算定される。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。機器・配管系については、上記の水平震度及び鉛直震度をそれぞれ20%増しとした値から求められる地震力を静的地震力とする。

### Ⅲ 審査方針

#### 1 審査の基本方針

審査においては、電源開発株式会社が大間原子力発電所として青森県下北郡大間町の敷地に設置する原子炉施設について、原子炉等規制法第24条第1項第4号に定める許可の基準に適合していることを判断するため、通常運転時のもとより、万一の事故を想定した場合にも一般公衆、放射線業務従事者及び放射線業務従事者以外の者であって管理区域に一時的に立ち入る者の安全が確保されるように、所要の安全設計等がなされていることをその基本的事項について確認することとし、そのため、次の事項を基本方針とした。

- (1) 原子炉施設が設置される場所の地震、気象、水理等の自然現象、火災、飛来物等によって、原子炉施設の安全性が損なわれないような安全設計がなされていること。
- (2) 平常運転時に放出される放射性物質による一般公衆の線量については、法令に定める周辺監視区域境界外における線量限度以下に抑えられることはもちろんのこと、さらに、それを合理的に達成できる限り低減されるような安全設計がなされていること。
- (3) 平常運転時においては、放射線業務従事者及び放射線業務従事者以外の者であって管理区域に一時的に立ち入る者（以下「放射線業務従事者等」という。）が線量限度を超える線量を受けないように放射線の防護及び管理ができるような安全設計がなされていること。
- (4) 異常の発生を極力防止するとともに、異常の発生を早期に発見し、その拡大を未然に防止するような安全設計がなされていること。
- (5) 原子炉の運転に際し、単一の機器の故障、誤操作等が生じて、燃料の健全性、原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性が損なわれないような安全設計がなされていること。
- (6) 原子炉冷却材を内包している原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性が損なわれて原子炉冷却材が喪失するような事故、炉心の反応度を制御している制御棒が急速に炉心から落下することにより炉心の反応度が異常に上昇するような事故等の発生を仮定しても、事故の拡大を防止し、放射性物質の放出を抑制できるような安全設計がなされていること。
- (7) 重大事故及び仮想事故を想定しても、公衆の安全を確保し得るように、原子炉施設がその安全防護施設との関連において十分に公衆から離れている等の適切な立地条件を有していること。

## 2 審査方法

- (1) 審査は、申請者が提出した「大間原子力発電所原子炉設置許可申請書及び同添付書類」に基づき行った。
- (2) 立地条件の評価に際しては、敷地の地質、地盤等の自然環境及び社会環境について、書類による審査のほか、現地調査を実施した。
- (3) 炉心及び領域安定性、MOX燃料の機械設計、制御棒落下事象並びに原子炉冷却材喪失事象（仮想事故）については、申請者が行った評価結果を審査するほか、別途に解析評価を行った。
- (4) 審査に当たっては、原子力安全委員会が用いることとした以下の指針のほか、法令で定める基準等を用いて審査を行った。
  - ① 「原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断のめやすについて」  
昭和 39 年 5 月（平成元年 3 月一部改訂）
  - ② 「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」  
昭和 50 年 5 月（平成 13 年 3 月一部改訂）
  - ③ 「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」  
昭和 51 年 9 月（平成 13 年 3 月一部改訂）
  - ④ 「発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針」  
昭和 53 年 9 月（平成 13 年 3 月一部改訂）
  - ⑤ 「『我が国の安全確保対策に反映させるべき事項』について」  
昭和 55 年 6 月（平成 2 年 8 月一部改訂）
  - ⑥ 「発電用軽水型原子炉施設の火災防護に関する審査指針」  
昭和 55 年 11 月（平成 14 年 9 月一部改訂）
  - ⑦ 「軽水型動力炉の非常用炉心冷却系の性能評価指針」  
昭和 56 年 7 月（平成 4 年 6 月一部改訂）
  - ⑧ 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」  
平成 18 年 9 月
  - ⑨ 「発電用軽水型原子炉施設における事故時の放射線計測に関する審査指針」  
昭和 56 年 7 月（平成 18 年 9 月一部改訂）
  - ⑩ 「BWR. MARK II 型格納容器圧力抑制系に加わる動荷重の評価指針」  
昭和 56 年 7 月（平成 2 年 8 月一部改訂）
  - ⑪ 「放射性液体廃棄物処理施設の安全審査に当たり考慮すべき事項ないしは基本的な考え方」 昭和 56 年 9 月
  - ⑫ 「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」  
昭和 57 年 1 月（平成 13 年 3 月一部改訂）

- ⑬「発電用軽水型原子炉施設の反応度投入事象に関する評価指針」  
昭和 59 年 1 月（平成 2 年 8 月一部改訂）
  - ⑭「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」  
平成 2 年 8 月（平成 13 年 3 月一部改訂）
  - ⑮「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」  
平成 2 年 8 月（平成 13 年 3 月一部改訂）
  - ⑯「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」  
平成 2 年 8 月（平成 18 年 9 月一部改訂）
- (5) また、旧原子炉安全専門審査会が取りまとめた以下の報告書も用いた。
- ①「沸騰水型原子炉に用いられる 8 行 8 列型の燃料集合体について」  
昭和 49 年 12 月
  - ②「沸騰水型原子炉の炉心熱設計手法及び熱的運転制限値決定手法について」  
昭和 51 年 2 月
  - ③「沸騰水型原子炉の炉心熱設計手法及び熱的運転制限値決定手法の適用について」  
昭和 52 年 2 月
  - ④「取替炉心検討会報告書」  
昭和 52 年 5 月
  - ⑤「原子力発電所の地質、地盤に関する安全審査の手引き」  
昭和 53 年 8 月
- (6) さらに、旧原子炉安全基準専門部会が取りまとめた以下の報告書も用いた。これらの報告書のうち⑨及び⑩は、本原子炉では全炉心に MOX 燃料を装荷することから用いたものである。
- ①「『燃料被覆管は機械的に破損しないこと』の解釈の明確化について」  
昭和 60 年 7 月（平成 2 年 8 月一部改訂）
  - ②「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について」  
昭和 63 年 5 月
  - ③「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」  
平成元年 3 月（平成 13 年 3 月一部改訂）
  - ④「被ばく計算に用いる放射線エネルギー等について」  
平成元年 3 月（平成 13 年 3 月一部改訂）
  - ⑤「配管の破断に伴う『内部発生飛来物に対する設計上の考慮』について」  
平成 4 年 3 月（平成 18 年 9 月一部改訂）
  - ⑥「沸騰水型原子炉に用いられる 9 行 9 列型の燃料集合体について」  
平成 6 年 3 月

- ⑦「発電用軽水型原子炉施設に用いられる混合酸化物燃料について」  
平成7年6月
  - ⑧「発電用軽水型原子炉施設の反応度投入事象における燃焼の進んだ燃料の取扱いについて」 平成10年4月
  - ⑨「『プルトニウムを燃料とする原子炉の立地評価上必要なプルトニウムに関するめやす線量について』の適用方法などについて」  
平成10年11月（平成13年3月一部改訂）
  - ⑩「改良型沸騰水型原子炉における混合酸化物燃料の全炉心装荷について」  
平成11年6月（平成13年3月一部改訂）
- (7) 加えて、原子力安全・保安院が定めた以下の評価基準も用いた。
- ①「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について（内規）」 平成14年7月
- (8) そのほか、新たな知見、先行炉の審査経験、諸外国の審査基準等をも参考とした。

## IV 審査内容

本原子炉の設置に関する立地条件、安全設計の基本方針、原子炉施設周辺の一般公衆の受ける線量評価、運転時の異常な過渡変化の解析、事故の解析及び立地評価のための想定事故(重大事故及び仮想事故)の解析について検討した結果は、次のとおりである。

### 1 立地条件

本原子炉の立地については、「原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断のめやすについて」(以下「原子炉立地審査指針」という。)等に基づき、原則として、大きな事故の誘因となるような事象があるとは考えられないこと、災害を拡大するような事象が少ないこと、原子炉は、その安全防護施設との関連において十分に公衆から離れていること、また、原子炉の敷地は、必要に応じ公衆に対して適切な措置を講じ得る環境にあることが要求される。

これらの要求事項に対する審査結果は、以下のとおりである。

#### 1.1 敷地

発電所の敷地は、青森県下北郡大間町にあり、おおむね標高 10~40mのなだらかな海岸段丘と海岸沿いの標高 10m以下の平坦地からなり、敷地は海岸線を長辺としてほぼ長方形の形状となっている。敷地の面積は約 130 万 m<sup>2</sup>である。

原子炉本体は、敷地の西側の位置(北緯 41° 30' 37"、東経 140° 54' 34")に設置される。

炉心の中心から敷地境界までの距離は、ほぼ海岸線に沿う北方向で約 880 m、南方向で約 520m、海岸線にほぼ直交する東方向で約 830mであり、最短距離は、北方向で約 300mである。

本敷地は、「3 原子炉施設周辺の一般公衆の受ける線量評価」に示すように法令で規制される周辺監視区域の設定に十分な条件を有しており、また、周辺公衆との離隔の確保については、「1.8 社会環境」及び「6 立地評価のための想定事故の解析」に示すように「原子炉立地審査指針」に適合しており、妥当なものと判断した。

## 1.2 地 震

### 1.2.1 耐震設計において基準とすべき地震動

耐震設計上重要な施設は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（以下「耐震設計審査指針」という。）に基づき、敷地周辺の地質・地質構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な地震動による地震力に対して、その安全機能が損なわれないように設計されなければならない。

このため施設の耐震設計に用いる基準地震動  $S_s$  は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、敷地の解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定することが要求される。

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」については、敷地周辺の活断層の性質、過去及び現在の地震発生状況等を考慮し、地震発生様式等による地震の分類を行ったうえで、敷地に大きな影響を与えると予想される地震（検討用地震）を複数選定し、検討用地震ごとに適切な応答スペクトルに基づく地震動評価手法及び断層モデルを用いた地震動評価手法により策定することが要求される。また、地震動の策定過程に伴う不確かさを考慮して策定されることが要求される。

「震源を特定せず策定する地震動」については、震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に敷地の地盤物性を加味した応答スペクトルを設定して策定することが要求される。

これらの要求事項に対して行った安全評価上の検討は以下のとおりである。

### 1.2.2 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

#### 1) 活断層

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」については、「耐震設計審査指針」において敷地周辺の活断層の性質を考慮し、検討用地震を選定することが要求されている。また、活断層調査については、「敷地からの距離に応じ、既存文献の調査、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物

理学的調査等を適切に組み合わせて十分な調査を実施すること、特に敷地近傍においては、精度の高い詳細な調査を行うことが要求されている。

このため、審査に当たっては、申請者が実施した文献調査、変動地形学的調査、地表地質調査、海上音波探査等の実施状況と、その調査結果について検討を行った。

### (1) 調 査

敷地周辺及び近傍の陸域に関する主な断層分布図及び既往の文献としては、

- ・活断層研究会編(1991)「[新編]日本の活断層」
- ・50万分の1活構造図「青森」(山崎ほか1986)現 独立行政法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター(旧 通商産業省 工業技術院 地質調査所。以下「地質調査所」という。)発行
- ・中田・今泉編(2002)「活断層詳細デジタルマップ」
- ・北海道(1999)「北海道活断層図 No. 2 函館平野西縁断層帯 活断層図とその解説」

等があり、敷地を中心とする半径約30kmの範囲及びその周辺の陸域並びに敷地を中心とする半径約5kmの敷地近傍においては、これらの文献、変動地形学的調査及び地表地質調査の結果により、敷地周辺及び近傍陸域の断層の性状及び後期更新世以降の活動性が検討されている。

変動地形学的調査に当たっては、

- ・縮尺4万分の1の空中写真(米軍撮影)
- ・縮尺2万分の1の空中写真(国土地理院及び社団法人 日本林業技術協会(現 社団法人 日本森林技術協会)撮影)
- ・縮尺1万5千分の1の空中写真(申請者撮影)
- ・縮尺8千分の1の空中写真(申請者撮影)

を用いて、変動地形の可能性のある地形(以下「リニアメント」という。)の判読が行われている。空中写真判読にあたっては、段丘面等の地形要素が抽出され、分類されるとともに、活断層や活褶曲等の地殻変動に起因した地形である変動地形が着目されて、その可能性がある地形が抽出されている。判読にあたっては、社団法人 土木学会 原子力土木委員会(1985)、井上ほか(2002)、中田・今泉(2002)等を参照し、リニアメントをAランク～Eランクの5ランクに分類した判読基準が作成されている。

また、敷地周辺及び近傍の海域に関する主な資料及び既往の文献と

しては、

- ・20万分の1 海洋地質図「下北半島沖海底地質図」(奥田1993) 地質調査所発行
- ・5万分の1 海底地質構造図「恵山岬」(1981) 現 国土交通省 海上保安庁 海洋情報部 (旧 運輸省 海上保安庁 水路部。以下「海上保安庁水路部」という。) 発行
- ・活断層研究会編(1991)「[新編]日本の活断層」
- ・徳山ほか(2001)「日本周辺海域中新世最末期以降の構造発達史」

等があり、これらの文献と、申請者が実施した音波探査等の解析結果及び既往音波探査記録の再解析結果により、敷地周辺及び近傍の断層の性状及び後期更新世以降の活動性が検討されている。

敷地を中心とする半径約30kmの範囲並びにその西方の、サラキ岬、<sup>やこし</sup>矢越岬、<sup>たかの</sup>高野崎及び<sup>ほつかい</sup>北海岬にほぼ囲まれる範囲を含めた海域(以下「敷地前面海域」という。)では音波探査として、浅部から中深部の地質構造を把握するため、原則として水中放電・シングルチャンネル方式の探査が敷地に近い範囲では約1.5km×約3.0km間隔、それ以遠の範囲では約6km×約6km間隔の格子状の測線配置で実施されている。さらに、深部の地質構造を把握するためエアガン・マルチチャンネル方式の探査が実施され、地質調査所、海上保安庁水路部等で実施された音波探査記録とともに検討に用いられている。また、海上ボーリング及び採泥調査が実施され、海域の地層の時代対比の検討に用いられている。

敷地前面海域より外側の周辺海域(以下「外側海域」という。)については、文献により示されている断層等のうち、敷地に与える影響の大きな断層等について、地質調査所、海上保安庁水路部等で実施されている音波探査の記録を基に検討が実施されている。

敷地近傍においては、地球物理学的調査として、重力探査が実施されている。重力探査にあたっては、測点を原則として約500m間隔のグリッドで配置し、敷地内及びそのごく近傍はより高密度に配置し、地質調査所測定とのデータと併せ、計752点の重力データを使用して、敷地近傍の重力異常図が作成されている。

これらの調査結果に基づいて、敷地周辺については原縮尺20万分の1の地質図、変動地形分布図等が、敷地近傍については、精度の高い詳細な原縮尺2万5千分の1の地質図、変動地形分布図等が作成され

ている。

以上のことから、敷地周辺及び敷地近傍において、申請者が実施した調査内容については、妥当なものと判断した。

## (2) 敷地周辺及び近傍の活断層

### a. 敷地周辺及び近傍の地質

敷地周辺陸域の地形は、下北半島西部が、下北山地、<sup>ひうちだけ</sup>燧岳火山地、<sup>おそれやま</sup>恐山火山地及び大間台地に、<sup>かめだ</sup>亀田半島南部が<sup>よこつ</sup>横津山地及び函館台地にそれぞれ大別されている。敷地近傍陸域の地形はそのほとんどが大間台地からなり、海底地形は比較的緩やかな勾配を示す大陸棚から成るとしている。

敷地周辺陸域の先新第三系～新第三系は、下北半島西部には下位より、先新第三系の<sup>ながはま</sup>長浜層、新第三系中新統の<sup>きんぼちざわ</sup>金八沢層、<sup>ひのきがわ</sup>桧川層、大間層及び易国間層並びに新第三系鮮新統の大畑層及び<sup>のだい</sup>野平層が分布するとしている。亀田半島南部には下位より、先新第三系の<sup>とい</sup>戸井層及び新第三系中新統の<sup>しおどまりがわ</sup>汐泊川層が分布するとしている。なお、先新第三系及び新第三系には、貫入岩類が認められるとしている。

第四系は、下北半島西部には、<sup>おほうだけ</sup>於法岳火山噴出物、恐山火山噴出物及び燧岳火山噴出物から成る下部～中部更新統の火山噴出物、中部～上部更新統の段丘堆積物等が分布するとしている。亀田半島南部には、中部～上部更新統の段丘堆積物、<sup>ぜにかめざわ</sup>銭亀沢軽石流堆積物等が分布するとしている。

銭亀沢軽石流堆積物は、<sup>14</sup>C年代測定による年代値として47,220y. B. P. 以上及び49,990y. B. P. 以上が得られ、レスクロノメトリによる年代値として約51kaが得られたことから、その噴出年代は約5万年前の可能性が高いと考えられ、後期更新世のうち最終間氷期より後の時代と判断されるとしている。

下北半島西部及び亀田半島南部に分布する段丘堆積物は、高位段丘面を形成する、主として砂、クサリ礫及び粘土から成るH<sub>1</sub>面堆積物、H<sub>2</sub>面堆積物及びH<sub>3</sub>面堆積物、中位段丘面を形成する、主として砂、礫及び粘土から成るM<sub>1</sub>面堆積物、M<sub>2</sub>面堆積物及びM<sub>3</sub>面堆積物並びに低位段丘面を形成する、主として砂、礫及び粘土から成るL<sub>1</sub>面堆積物、L<sub>2</sub>面堆積物及びL<sub>3</sub>面堆積物に区分されるとしている。

段丘面の時代対比については、高位段丘面は、同面を構成する堆積物のうち基底部の砂礫等から成る堆積物とそれを覆うローム層中の洞爺火山灰層（11.2万年前～11.5万年前）との間に厚くローム層が認められることから、後期更新世よりも前の時代の、南関東の多摩面群又はそれ以前の段丘面とほぼ同時代に形成された段丘面と判断されるとしている。

中位段丘面について、 $M_1$ 面は、同面を構成する堆積物のうち基底部の砂礫等から成る堆積物を覆うローム層下部が洞爺火山灰層を挟むことから、最終間氷期の、南関東のしもすえよし面とほぼ同時代に形成された段丘面と判断されるとしている。 $M_2$ 面は、同面を構成する堆積物のうち基底部の砂礫等から成る堆積物を覆うローム層最下部あるいは基底部の堆積物最上部が洞爺火山灰層を挟むことから、最終間氷期の、南関東のひきはし面とほぼ同時代に形成された段丘面と判断されるとしている。 $M_3$ 面は、同面を構成する堆積物のうち基底部の砂礫等から成る堆積物を覆うローム層下部が阿蘇4火山灰層（8.5万年前～9万年前）を挟むことから、最終間氷期の、南関東のおぼらだい面とほぼ時代に形成された段丘面と判断されるとしている。

低位段丘面について、 $L_1$ 面は、基底部の砂礫等から成る堆積物を覆うローム層下部に、起源が銭亀沢軽石流堆積物と同じである銭亀女那川火山灰層が認められることから、最終間氷期の、南関東のみさき三崎面とほぼ同時代に形成された段丘面と判断されるとしている。

また、敷地周辺及び敷地近傍の海域に分布する地層は、音波探査の解析から得られた不整合関係を含む記録パターンにより、上位からA層、B層、C層、D層及びE層の5層に区分されるとしている。さらに、B層は $B_1$ 層、 $B_2$ 層及び $B_3$ 層に区分されるとしている。

これらの海域の地層の時代対比については、音波探査による地層区分と海上ボーリングにより得られた地質との対比、採泥試料の分析結果、物理探査による陸域の地質と海域の地質との連続性、文献調査による陸域と海域との地質の対比等により、A層は完新統、 $B_1$ 層は上部更新統、 $B_2$ 層及び $B_3$ 層は中部更新統、C層は最上部鮮新統～下部更新統、D層は上部中新統～上部鮮新統、並びにE層は先新第三系～上部中新統にそれぞれ対比されるとしている。なお、これらの地層の地質時代については以下の根拠に基づいているとしている。

A層は、B<sub>1</sub>層以下の下位層の凹部を埋めるように、不整合関係で覆って分布することから、最終氷期以降の地層(概ね完新統)に対比されるとしている。

B<sub>1</sub>層は、平館海峡<sup>たいらだて</sup>における採泥試料で、B<sub>1</sub>層(層厚約16m)の上面から2.25~2.28mに阿蘇4火山灰層が分布すること、阿蘇4火山灰からB<sub>1</sub>層/B<sub>2</sub>層境界までは13m以上の厚さがあること、B<sub>1</sub>層/B<sub>2</sub>層境界は沿岸部で不整合関係であること等から、上部更新統に対比されるとしている。

C層は、大間海脚付近における採泥試料の微化石分析結果、尻屋海脚西縁付近で採取された採泥試料の微化石分析結果等から最上部鮮新統~下部更新統に対比されるとしている。

D層及びE層については、敷地西方での海上ボーリングにより得られた地質との対応、物理探査による陸域の地質構造と海域の地質構造との連続性、青函トンネル地質図との整合性、大間海脚付近における採泥試料の微化石分析結果等から、D層は上部中新統~上部鮮新統に、E層は中部中新統~上部中新統及びそれらより下位の地層にそれぞれ対比されるとしている。

B<sub>2</sub>層及びB<sub>3</sub>層は、B<sub>1</sub>層及びC層に挟まれた地層であることから、中部更新統の地層に対比されるとしている。

敷地近傍においては、これらの敷地周辺に分布する地層のうち、陸域には、桧川層、大間層、易国間層、大畑層、段丘堆積物、砂丘砂層、沖積層、崖錐堆積物及び貫入岩が、海域には、A層、C層、D層及びE層が分布する。

以上のことから、敷地周辺及び敷地近傍に分布する地層の区分及び時代対比については、断層の後期更新世以降の活動性を評価するに当たっては、妥当なものと判断した。

#### b. 敷地周辺及び近傍の活断層

「耐震設計審査指針」では、耐震設計上考慮する活断層として、後期更新世以降の活動が否定できないものとし、その認定に際しては最終間氷期の地層又は地形面に断層による変位・変形が認められるか否かによることができるとされている。また、地震活動に関連した活褶曲、活撓曲等については、活断層と同様に調査の対象とし、その性状に応じて震源として想定する断層の評価に考慮することが

要求されている。

このため、審査に当たっては、敷地周辺及び敷地近傍に分布する地層・活断層に関する調査内容、地層の時代及び活断層の長さの評価、並びに検討用地震の選定にあたり考慮する活断層の選定の妥当性について検討を行った。

敷地周辺の主な活断層のうち陸域の活断層については、活断層研究会(1991)、北海道(1999)等の文献及び申請者が実施した変動地形学的調査によって検討されており、敷地への影響を検討する必要がある活断層及びリニアメントとして、「清水山南方断層」、「函館平野西縁断層帯」、「根岸西方断層」等が挙げられている。なお、北海道(1999)は、「函館平野西縁断層帯」を、活断層研究会(1991)による<sup>おしま</sup>渡島<sup>おおの</sup>大野断層及び函館平野西縁断層と、それらに伴う副次的断層から成るとしている。

敷地周辺の海域の活断層については、活断層研究会(1991)、奥田(1993)、海上保安庁(1981)等の文献及び音波探査の解析によって検討されており、敷地への影響を検討する必要がある活断層として、F-2断層～F-4断層、F-5断層、F-6断層、F-8断層、F-9断層、F-14断層、F-18断層～F-24断層、F-25断層、「恵山岬東方沖断層」、「奥尻海盆東縁断層」等が挙げられている。

敷地近傍については、申請者が実施した変動地形学的調査及び音波探査の解析により、敷地への影響を検討する断層及びリニアメントとして、「材木リニアメント」、「ニツ石リニアメント」及び「F-15断層」が挙げられている。

なお、重力探査の結果、大間崎から風間浦村蛇浦付近にかけて、新第三系中の背斜構造と整合的な、NNW-SSE方向～NW-SE方向の相対的な高重力異常域が認められるが、顕著な線状の重力急変部は認められないとしている。また、微小地震の震央分布によると、微小地震が線状に分布するような傾向は見られないとしている。

### c. 敷地周辺及び近傍の活断層の性質

敷地周辺及び近傍の活断層、リニアメントについて、文献調査、変動地形学的調査、地表地質調査等の結果に基づいて検討した敷地周辺の主な活断層の評価は、次に述べるとおりである。

#### ① 清水山南方断層

「[新編]日本の活断層」には、函館市<sup>まいはら</sup>米原町東方から函館市

汐首町<sup>しおくび</sup>付近にかけて、長さ10km、确实度Ⅲ（活断層の疑いのあるリニアメント）として示されている。

変動地形学的調査によると、山地と台地との境界に当たる地形の傾斜変換部等から成るリニアメントが、NW－SE方向に、函館市米原町東方から函館市汐首町付近にかけて約10kmの区間に認められるとしている。

地表地質調査の結果によると、断続的に判読されるリニアメントを挟んだ両側で、銭亀沢軽石流堆積物の各層及び同堆積物の基底面は連続的に分布し、それらの分布標高の勾配に明瞭な差異は認められず、銭亀沢軽石流堆積物の噴出後の活動はないものの、銭亀沢軽石流堆積物の噴出年代は後期更新世のうち最終間氷期より後の時代と判断されるとしている。

リニアメントの北西方延長に当たる汐泊川付近に分布するH<sub>3</sub>面及びM<sub>2</sub>面堆積物の分布標高には変位は認められないとしている。また、リニアメントの南東方延長に当たる函館市汐首町北東方の山地尾根には、連続した鞍部、高度の不連続等の地形要素は認められないとしている。

以上のことから、「清水山南方断層」については、汐泊川付近から函館市汐首町北東方に至る長さ約11kmの後期更新世以降の活動が否定できない活断層としていることは、妥当なものと判断した。

## ② 函館平野西縁断層帯

「[新編]日本の活断層」には、七飯町<sup>ななえ</sup>峠下<sup>とうげした</sup>付近から北斗市<sup>そえやま</sup>添山付近にかけて長さ12km、确实度Ⅰ、活動度B～C級の渡島大野断層が、北斗市<sup>のざき</sup>野崎付近から同市<sup>なての</sup>館野付近にかけて長さ約7km、确实度Ⅰ、活動度B～C級の函館平野西縁断層が、北斗市<sup>もへじ</sup>茂辺地付近から同市<sup>とうべつ</sup>当別付近にかけて長さ4km、确实度Ⅰの茂辺地断層が示されている。中田・今泉(2002)は、これらの断層とほぼ同じ位置に活断層を図示している。

北海道(1999)は、七飯町峠下<sup>とみかわ</sup>付近から北斗市富川<sup>とみかわ</sup>付近を経て海域の葛登支岬<sup>かつとし</sup>沖付近までに至る長さ約22kmの西側上がりの逆断層を「函館平野西縁断層帯」として示し、北斗市<sup>むかいの</sup>尙野及び<sup>いちのむたり</sup>市渡でのトレンチ調査結果等から、断層帯の最新活動時期は約8,800年前～約7,800年前、再来期間が5,000年～9,000年、平均変位速度は0.2

～0.3m/1,000年程度(上下成分)のB級であるとしている。

また、地震調査研究推進本部地震調査委員会の「函館平野西縁断層帯」の評価結果(以下「地震調査委員会(2001)」という。)によると、断層帯の長さは七飯町峠下付近から北斗市富川付近を経て海域の葛登支岬の南方付近までに至る24kmとされ、最新活動時期は14,000年前～390年前、再来期間が13,000年～17,000年、平均変位速度は0.2～0.4m/1,000年(上下成分)とされている。

変動地形学的調査によると、リニアメントは七飯町峠下付近から北斗市添山付近までの区間及び北斗市野崎付近から同市富川付近までの区間に認められるとしている。また、北斗市<sup>やふらひ</sup>矢不來付近から茂辺地付近を経て同市当別付近までの区間にも断続してリニアメントが認められるとしている。これらは、高位段丘面、中位段丘面、低位段丘面及び崖錐上の撓曲崖又はそれらにほぼ平行な逆向き低崖等として判読されるとしている。

地表地質調査の結果によると、七飯町峠下付近から北斗市富川付近までの区間に認められるリニアメントに対応して、中新統～鮮新統の茂辺地川層及び鮮新統～下部更新統の富川層に西側が相対的に上がっているNNW-SSE～N-S方向の撓曲構造が認められるとしている。

音波探査の解析結果によると、リニアメントの南方延長方向の北斗市富川の沿岸付近から函館湾内には陸域の撓曲構造とほぼ同じ方向で、西側を相対的に隆起させるNNW-SSE方向のF-2断層及びN-S方向のF-3断層が認められるとしている。F-2断層についてはB<sub>1</sub>層以下の地層に変位又は変形が認められ、F-3断層についてはA層以下の地層に変位又は変形が認められるとしている。

さらに、音波探査の解析結果によると、F-3断層の南西方向延長部では、F-3断層による変形構造と同様に、B層以下の地層が沖合南東方向へ向って傾斜して分布しており、その構造は断層運動に起因する可能性があるが、サラキ岬付近においては、断層運動に起因すると考えられる系統的な変形はD層上部までは認められるものの、C層以浅には及んでいないとしている。

また、F-3断層の南端部付近からは、F-3断層の方向と異なるNW-SSE方向にF-4断層が分布し、B<sub>1</sub>層以下の地層

に変位又は変形が認められるとしている。F-4断層については、その方向がF-3断層の方向と異なるものの、F-3断層の南端とF-4断層の北西端とは極めて近接して位置することから、F-3断層と一連の断層帯である可能性は否定できないとしている。

なお、北斗市矢不來付近から同市当別付近までの区間に断続して認められるリニアメントについては、F-2断層及びF-3断層の背後側の逆向き低崖に相当する可能性があるとしている。

以上のことから、陸域の函館平野西縁断層帯、海域のF-2断層、F-3断層及びサラキ岬付近に至るF-3断層の南西延長部を含む長さ約28kmを一連のもの（以下「海域南西延長部を含む函館平野西縁断層帯」という。）として後期更新世以降の活動が認められる活断層としていること、並びに陸域の函館平野西縁断層帯、海域のF-2断層、F-3断層及びF-4断層を含む長さ約26kmについても一連のもの（以下「海域南東延長部を含む函館平野西縁断層帯」という。）として後期更新世以降の活動が認められる活断層としていることは、妥当なものと判断した。

### ③ 根岸西方断層

「[新編]日本の活断層」には、津軽半島外ヶ浜町石崎沢そとがはま いしざきさわ付近から同町尻高しりたか付近にかけて長さ約7km、確実度Ⅱ（活断層であると推定されるもの）及び確実度Ⅲ（活断層の疑いのあるリニアメント）として示されている。中田・今泉(2002)は、ほぼ同じ位置に約7kmの東側落下の活断層を図示している。

変動地形学的調査によると、リニアメントは、ほぼN-S方向に、外ヶ浜町石崎沢付近から同町尻高付近までの約8kmの区間に認められ、Cランクのリニアメントが判読される区間では、段丘面の撓曲が認められるとしている。リニアメントの北端は、外ヶ浜町石崎沢付近において平館海峡の海岸線近くに至っているとしている。リニアメントの南方延長に当たる尻高川右岸の尾根には連続した鞍部、高度の不連続等の地形要素は認められないとしている。

地表地質調査の結果によると、リニアメント付近の山地と丘陵地の境界付近で、中新統～下部更新統に、リニアメントに沿った外ヶ浜町平館燈台西方では、M<sub>2</sub>面堆積物に、西側が相対的に上

がっている撓曲構造が認められるとしている。

また、音波探査の解析結果によると、陸域におけるリニアメントのほぼ北方延長上には、F-25断層が分布し、一部でA層に変位が認められ、落下側がリニアメントと同じ東側であるとしている。

以上のことから、根岸西方断層については、陸域と海域の断層を、一連のものとして、後期更新世以降の活動が認められる活断層とし、その長さを最大約22kmとしていることは、妥当なものと判断した。

#### ④ F-14断層

F-14断層は、敷地の北西方沖約12km付近の、大間海脚の海底に広く露出するE層中に分布する長さ約3.4kmの高角の断層であり、断層が分布する付近の海底はほぼ平坦であるが、更新統及び完新統が欠如しているため断層の活動時期を明確にすることが困難であるとしている。

これらのことから、F-14断層を安全評価上、後期更新世以降の活動が否定できない活断層としていることは、妥当なものと判断した。

#### ⑤ 敷地西方沖断層

音波探査の解析結果によると、敷地の西方沖約20km付近に、方向がいずれもほぼWNW-ESE方向のF-18断層、F-19断層、F-20断層、F-21断層、F-22断層、F-23断層及びF-24断層が認められる。長さは最大のもので約3.8kmであるとしている。

これらの7断層は、海底が極めて平坦な津軽海盆のほぼ中央に分布し、北側に分布するF-18断層～F-21断層は南側落下、南側に分布するF-22断層～F-24断層は北側落下であり、全体的にWNW-ESE方向に延びる地溝状の構造が約7kmにわたって分布し、地下深部で単一の断層となっている可能性を否定できないとしている。

これらの断層中にはその一部の断層で、変位又は変形がB<sub>1</sub>層の露出する海底まで達しているとしている。

以上のことから、これらの断層については、「敷地西方沖断層」として一括し、後期更新世以降の活動が認められる活断層とし、その長さを、C層までに変位や変形が及んでいないことが確認で

きる測線から、 $B_2$ 層までに変位や変形が及んでいないことが確認できる測線までの最大約7.2kmとしていることは、妥当なものと判断した。

⑥ 恵山岬東方沖断層

「下北半島沖海底地質図」によると、恵山岬の東方沖に、長さ約17kmの伏在断層が示されているが、その北部は図示範囲外となっている。

既往音波探査記録の再解析結果によると、同文献が図示する付近及びその北方延長部で、数条の断層が雁行して分布し、それらは中部更新統以上の地層に変位又は変形が認められる。

以上のことから、恵山岬東方沖断層については、後期更新世以降の活動が認められる活断層とし、その長さを中部更新統以上の地層に変位や変形が及んでいないことが確認できる北端及び南端の測線間の長さ最大約42.5kmとしていることは、妥当なものと判断した。

⑦ 奥尻海盆東縁断層

「[新編]日本の活断層」によると、奥尻海盆の東縁において長さ約45kmの断層及び推定断層が示されている。

既往音波探査記録の再解析結果によると、同文献が図示する付近で、中部更新統以上の地層に変位又は変形が認められる。

以上のことから、奥尻海盆東縁断層については、後期更新世以降の活動が認められる活断層とし、その長さを中部更新統以上の地層に変位や変形が及んでいないことが確認できる測線を北端とし、下部更新統以下の地層に変位や変形が及んでいないことが確認できる測線を南端とする区間の長さ最大約50kmとしていることは、妥当なものと判断した。

⑧ 材木リニアメント

材木付近の長さ約0.5kmのリニアメントについては、海岸線とほぼ平行な直線状の谷地形として判読され、その海岸線側の $M_1$ 面上にはふくらみが認められるとしている。オーガポーリング調査を含む地表地質調査の結果、リニアメントを挟んで、 $M_1$ 面堆積物の基底部に位置する砂礫層及び洞爺火山灰層が、緩く海側へ傾斜して分布し、その分布標高に明瞭な差異は認められないとしている。

これらのことから、材木付近のリニアメントについて、後期更新世以降の活動はないものと評価していることは、妥当なものと判断した。

⑨ ニツ石リニアメント

ニツ石付近の長さ約0.4kmのNNE-SW方向のリニアメントについては、M<sub>1</sub>面をNNE-SW方向に開析している小谷の上流部の緩い鞍部状の地形として判読されるとしている。地表地質調査の結果、リニアメントを横断するE-W方向の小谷の、リニアメント直下の上下流約53m間は連続露頭であり、この間には、安山岩質火山礫凝灰岩及び安山岩質凝灰角礫岩が連続的に分布し、断層や地層の不連続、急傾斜等は認められないとしている。また、リニアメント及びそれと同方向の、NNE-SW方向の小谷は、安山岩質凝灰角礫岩に比して、相対的に軟質で浸食抵抗力が小さい安山岩質火山礫凝灰岩の分布と場所及び方向が概ね一致しているとしている。

これらのことから、ニツ石付近のリニアメントについては、相対的に軟質で浸食抵抗力が小さい安山岩質火山礫凝灰岩に沿って浸食された小谷が、M<sub>1</sub>面を開析し、上流部に達した緩い鞍部状の地形である組織地形と推定していることは、妥当なものと判断した。

⑩ F-15断層

F-15断層は、敷地近傍の海域の西部に分布する長さ最大約4.3kmの、N-S方向の断層であり、D層中部以下に変位及び変形が認められるが、D層上部に変位及び変形が認められないとしている。

これらのことから、F-15断層は、少なくとも後期更新世以降の活動はないとしていることは、妥当なものと判断した。

⑪ その他の断層及びリニアメント

文献調査等の結果、敷地周辺における断層及びリニアメントとしては、上述の断層のほか、佐井村福浦ふくうら付近のリニアメント、佐井村野平のだい付近のリニアメント、恐山東山麓付近のリニアメント等がある。

(a) 福浦リニアメント

福浦付近の長さ約2kmのリニアメントについては、地表地質

調査の結果、リニアメントに沿った位置において、大畑層のデイサイト質凝灰岩とデイサイト溶岩との地層境界が確認され、この地層境界とリニアメントとの位置及び方向がほぼ一致している。また、リニアメントに沿う断層は認められないとしている。

これらのことから、福浦付近のリニアメントについては、大畑層のデイサイト質凝灰岩とデイサイト溶岩との地層境界に起因する組織地形と推定していることは、妥当なものと判断した。

(b) 野平リニアメント

野平付近の長さ約4.5kmのリニアメントについては、直線状の谷地形等として判読されるが、断続的に判読されるリニアメントの間に分布する $M_1$ 面及び $M_2$ 面は、いずれも傾斜はほぼ一定であり、かつ明瞭な傾斜変換部等は判読されないとしている。さらに、 $M_2$ 面堆積物基底面及び $M_2$ 面を構成している堆積物中に分布する洞爺火山灰層の堆積面の傾斜は、断続的に判読されるリニアメントの間に、リニアメントの方向を横断して分布する<sup>おりぼど</sup>大利家戸川支流及びトリノ沢の河床断面の傾斜にほぼ調和的であり、堆積面の傾斜と河床断面の傾斜との間に明瞭な差異は認められないとしている。

これらのことから、野平付近のリニアメントについて、後期更新世以降の活動はないものと評価していることは、妥当なものと判断した。

(c) 恐山東山麓リニアメント

恐山東山麓付近のリニアメントについては、2条のほぼ平行するリニアメントが判読され、東側の長さ約6kmのリニアメントは恐山火山噴出物の堆積面の傾斜変換部に対応するとしている。一方、西側の長さ約12kmのリニアメント付近では、崖錐上に小起伏が認められるが、大局的には火山山麓斜面及び崖錐堆積面が恐山火山から山麓へ向かって放射状に緩く傾斜して分布するとしている。地表地質調査の結果、東西いずれのリニアメント付近でも、断層は存在せず、恐山火山噴出物の軽石流堆積物（中部更新統）はリニアメントを挟んだ両側で連続的に分布し、その分布標高の勾配に明瞭な差異は認められないとし

ている。

これらのことから、恐山東山麓付近のリニアメントについては恐山火山噴出物中の軽石流堆積物や崖錐堆積物の堆積面上の浸食による断続的な起伏等に起因すると推定していることは、妥当なものと判断した。

(d) その他

敷地周辺の陸域及び海域においては上述した以外の断層及びリニアメントが認められるが、これらは、後期更新世以降の活動がないか、又はF-5断層、F-6断層、F-8断層、F-9断層等の、敷地からの距離が30km以遠に位置する後期更新世以降の活動が否定できない断層であるとしていることは、妥当なものと判断した。

**(3) 検討用地震の選定にあたり考慮する活断層**

敷地周辺及び近傍に分布する活断層の性質、規模及び敷地からの距離の検討により、検討用地震の選定にあたり考慮する活断層としては、清水山南方断層、海域南西延長部を含む函館平野西縁断層帯、海域南東延長部を含む函館平野西縁断層帯、根岸西方断層、F-14断層、敷地西方沖断層、恵山岬東方沖断層、奥尻海盆東縁断層等があるとしている。

以上のことから、検討用地震の選定にあたり考慮する活断層の選定は妥当なものと判断した。

**2) 過去及び現在の地震発生状況**

**(1) 調 査**

過去及び現在の地震の発生状況については、マグニチュード、震央位置、震源深さ等の情報が可能な限り網羅されている適切な地震資料を用いて調査を行う必要がある。また、地震観測等により現在の地震発生状況を調査する必要がある。

敷地周辺の地震発生状況調査に当たって、地震史料及び明治以降の地震観測記録を基に、主な地震の震央位置、地震規模等を取りまとめた「最新版 日本被害地震総覧 [416] - 2001」、「日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表：1885年～1980年」（以下「宇津カタ

ログ(1982)」という。)、 「地震年報」等(以下「気象庁地震カタログ」という。)、 「理科年表 平成19年」、 「Study of Historical Earthquakes in Japan」 (「宇佐美カタログ(1979)」) 等が用いられている。

また、敷地において1984年から地震観測を実施している。

以上のことから、過去及び現在の地震発生状況に関する調査方法は妥当なものと判断した。

## (2) 敷地周辺の地震発生状況

敷地周辺の現在の地震発生状況については、中・小・微小地震の分布状況を検討し、敷地周辺の地震発生様式等による地震の分類を行い、分類ごとに地震発生状況を整理する必要がある。

中・小・微小地震の分布状況の検討に当たっては、「気象庁地震カタログ」による1983年～2005年の敷地の周辺における地震の震央分布及び震源の鉛直分布について検討を行っている。敷地周辺の地震活動の特徴として、太平洋側の海域で地震が多く発生しており、太平洋側で発生する地震は太平洋プレートの沈み込みに沿って震源が分布しており、陸に近づくにつれてその震源が深くなっているとしている。また、浅い領域では低角逆断層型のプレート間地震、約70km以深では海洋プレート内地震の二重深発地震面がみられるとしている。海野ほか(1983)によれば、太平洋プレートの沈み込みに伴う地震は、東北日本弧では二重深発地震面の上面が優勢でDC (Down Dip Compression) 型の海洋プレート内地震が卓越し、下面はDE (Down Dip Extension) 型の海洋プレート内地震になっているとしている。また、千島弧では下面が優勢でDE型、上面は東北日本弧と違ってDC型は卓越していないとしている。

敷地周辺の陸域においては、内陸地殻内地震が発生しているが、M5未満であるとしている。また、日本海東縁部において1983年日本海中部地震及び1993年北海道南西沖地震の余震がみられるとしている。

なお、敷地から100km程度以内ではM7を越える地震は発生していないとしている。

以上のことから、敷地周辺の地震発生状況の検討は妥当なものと判

断した。

### 3) 検討用地震の選定

検討用地震の選定に当たっては、活断層の性質、過去及び現在の地震発生状況等を考慮し、地震発生様式等による地震の分類を行ったうえで、敷地に大きな影響を与えると予想される地震を複数選定することが要求される。

#### (1) 内陸地殻内地震

敷地周辺で発生した内陸地殻内の地震のうち、地震規模と敷地からの距離の関係から、相対的に敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる地震として1766年津軽<sup>つがる</sup>の地震(M7<sup>1</sup>/<sub>4</sub>、 $\Delta=96\text{km}$ )があるとしている。一方、敷地周辺の主な活断層による地震として「海域南東延長部を含む函館平野西縁断層帯」による地震(M7.2、 $\Delta=39\text{km}$ )、「海域南西延長部を含む函館平野西縁断層帯」による地震(M7.2、 $\Delta=41\text{km}$ )、根岸西方断層による地震(M7.1、 $\Delta=42\text{km}$ )、清水山南方断層による地震(M6.6、 $\Delta=28\text{km}$ )等があるとしている。また、断層長さは短いものの、敷地に近い海域にある活断層としてF-14断層(断層長さ3.4km、敷地からの距離約12km)及び敷地西方沖断層(断層長さ7.2km、敷地からの距離約20km)があるとしている。

F-14断層及び敷地西方沖断層については、断層長さが短く、詳細な活断層調査によっても震源として想定する断層の震源特性パラメータの設定に必要な情報が十分得られないため震源断層の規模を推定することが困難なことから、震源断層を仮想的に設定して敷地に及ぼす影響を検討するとしている。これらの孤立した短い活断層については、仮定した震源規模と敷地からの距離との関係を考慮すると、F-14断層の方が敷地に与える影響が大きいと考えられるとしている。F-14断層による地震は、震源断層が地震発生層の上面から下面まで広がっていると仮定して保守的な設定をし、不確かさを考慮してさらに保守的な設定になるように、活断層調査結果及び断層面積と地震モーメントのスケーリングの関係を踏まえ、傾斜角を60°と仮定し、敷地へ向かう方向へ傾斜した震源断層を想定しており、震源断層面積から地震規模を算定するとM6.8であるとしている。

これらの地震について、地震規模と敷地からの距離の関係から、相対的に敷地に及ぼす影響が大きい海域南東延長部を含む函館平野西縁

断層帯による地震（以下「函館平野西縁断層帯による地震」という。）（M7.2、等価震源距離（以下「Xeq」という。）=44km）を検討用地震として選定している。また、敷地に近い海域にある孤立した短い活断層であるF-14断層による地震（M6.8、Xeq=12km）についても検討用地震として想定している。

## (2) プレート間地震

敷地周辺で発生したプレート間地震のうち、地震規模と敷地からの距離の関係から、相対的に敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる地震として、1763年3月11日陸奥<sup>むつ</sup>八戸<sup>はちのへ</sup>の地震（M7<sup>1</sup>/<sub>4</sub>、 $\Delta=107$ km）、1952年十勝<sup>と</sup>沖<sup>かち</sup>地震（M8.2、 $\Delta=271$ km）、1968年十勝沖地震（M7.9、 $\Delta=241$ km）、2003年十勝沖地震（M8.0、 $\Delta=266$ km）があるとしている。また、地震調査研究推進本部（2004）及び中央防災会議（2005）では、1968年十勝沖地震（M7.9）等が繰り返し発生した三陸<sup>さんりく</sup>沖北部における固有地震として、既往の研究成果と各地の観測記録を基に三陸沖北部の地震（Mw8.3）が想定されているとしている。

これらの地震について、地震規模と敷地からの距離の関係から、相対的に敷地に及ぼす影響が大きい三陸沖北部に想定する地震（以下「想定三陸沖北部の地震」という。）（Mw8.3、Xeq=174km）を検討用地震として選定している。

## (3) 海洋プレート内地震

北海道から東北地方にかけての海洋プレート内地震は、海溝付近ないしそのやや沖合で発生する沈み込む海洋プレート内地震と、海溝付近から陸側で発生する沈み込んだ海洋プレート内地震（以下「スラブ内地震」という。）の2種類に分けられるとしている。

スラブ内地震については、DE型のやや深いスラブ内地震として1993年釧路<sup>くしろ</sup>沖地震（M7.5）、DC型のやや深いスラブ内地震として2003年宮城県沖の地震（M7.1）があるとしている。また、浅いスラブ内地震として1994年北海道東方沖地震（M8.2）があるとしている。

沈み込む海洋プレート内地震としては1933年昭和三陸地震（M8.1）があるとしている。

海洋プレート内地震については、地震調査研究推進本部（2004）によれば、十勝沖から択捉<sup>えとろふ</sup>島沖にかけてM7.5程度のやや深いスラブ内地震及びM8.2前後のやや浅いスラブ内地震が発生するとされており、また、

地震調査研究推進本部(2005)によれば、東北地方ではM7.1のやや深いスラブ内地震が発生するとされているとしている。これらを踏まえ、震源位置の不確かさを考慮して、1993年釧路沖地震や1994年北海道東方沖地震のような地震が敷地の近くで起こり得ると仮定し、やや深いDE型の地震として、千島弧で敷地に最も近い南西端付近の浦河沖に1993年釧路沖地震と同じ規模の地震(M7.5、 $\Delta=140\text{km}$ )を想定し(以下「想定浦河沖スラブ内地震」という。)、DC型の地震として、敷地下方に2003年宮城県沖の地震と同じ規模の地震(M7.1、震源深さH=125km)を想定する(以下「敷地下方の想定スラブ内地震」という。)としている。また、やや浅いスラブ内地震として、千島弧で敷地に最も近い十勝沖に1994年北海道東方沖地震と同じ規模で同じメカニズムの地震(M8.2、 $\Delta=260\text{km}$ )を想定する(以下「想定十勝沖スラブ内地震」という。)としている。

これらの地震について、地震規模と敷地からの距離の関係から、相対的に敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる地震として、想定浦河沖スラブ内地震(M7.5、 $X_{eq}=173\text{km}$ )及び想定十勝沖スラブ内地震(M8.2、 $X_{eq}=253\text{km}$ )を検討用地震として選定している。

なお、沈み込む海洋プレート内地震については、想定十勝沖スラブ内地震に比べて敷地への影響は小さいと考えられることから、検討用地震として選定しないとしている。

#### (4) 日本海東縁部の地震

敷地周辺で発生した日本海東縁部の地震として1983年日本海中部地震(M7.7)及び1993年北海道南西沖地震(M7.8)があるとしている。また、地震調査研究推進本部(2003)により起こり得るとされているM7.7前後の青森県西方沖の地震及びM7.8前後の北海道南西沖の地震は、1983年日本海中部地震(M7.7)及び1993年北海道南西沖地震(M7.8)に相当するとしており、これらの地震による敷地への影響はなかったとしている。これらの日本海東縁部の地震については敷地に及ぼす影響が太平洋側のプレート間地震を上回るものではないと考えられることから、検討用地震として選定しないとしている。

以上のことから、地震の分類ごとに選定された検討用地震は妥当なものと判断した。

#### 4) 基準地震動

##### (1) 敷地の地震動の設定位置

基準地震動  $S_s$  を設定する解放基盤表面は、S波速度が概ね 700m/s 以上の硬質地盤であることが要求される。

易国間層に分類される原子炉建屋支持地盤における地盤の弾性波速度値は、P波速度が平均 2.1km/s、S波速度が平均 0.8km/s であるとしている。また、その下位には主に大間層のシルト岩から構成される S波速度が 0.7km/s を下回る層が存在するとしている。

基準地震動を設定する解放基盤表面については、「1.3 地質・地盤」に基づき、易国間層の下位に分布し、ほぼ水平で相当の拡がりを持つ新第三系中新統の大間層において S波速度が 0.7km/s 以上となる T.P. - 260m の位置に想定するとしている。さらに、敷地及び敷地近傍で実施した微動アレイ観測について行った逆解析によると、T.P. - 260m 以深の地盤の S波速度は 0.7km/s 以上であり、深さとともに漸増すると推定されるとしている。

以上のことから、T.P. - 260m を解放基盤表面として設定することは妥当なものと判断した。

##### (2) 地震動評価手法

地震動評価に当たっては、敷地地盤の地震動特性、地震発生様式、地震波伝播経路等に応じた諸特性を十分に考慮し、応答スペクトルに基づく手法及び断層モデルを用いた手法の双方を用いることが要求される。

###### ① 敷地の地震動特性

敷地地盤における地震観測は 1984 年から実施されており、プレート間地震では 1994 年三陸はるか沖地震及び 2003 年十勝沖地震、海洋プレート内地震ではスラブ内地震である 1993 年釧路沖地震及び 1994 年北海道東方沖地震、日本海東縁部の地震では 1993 年北海道南西沖地震の観測記録が得られているとしている。これらの観測記録のうち、1993 年釧路沖地震の観測記録は、敷地における最大加速度が最も大きな観測記録であるとしている。

1993 年釧路沖地震等の観測記録の応答スペクトルによると、地表では短周期成分が増幅される傾向にあるが、岩盤中では増幅は見ら

れず、地表付近のT.P. - 7.5mではT.P. - 207.5mよりも応答スペクトルの短周期成分は小さくなっているとしている。なお、地震観測点においては、T.P. - 207.5mが解放基盤表面に相当するとしている。

また、後述の「1.3 地質・地盤」において示すように、敷地の北部には貫入岩であるデイサイトが存在し、デイサイトの下位には玄武岩が存在している。このデイサイトによる敷地地盤の振動特性への影響について、1993年釧路沖地震等の観測記録を用いて地震波が敷地地盤へ鉛直入射する場合及び斜め入射する場合について地盤の地震応答解析を行い、デイサイト及び玄武岩がT.P. - 207.5mの地震観測点における地震動へ及ぼす影響は小さいことを確認している。

## ② 地震波伝播経路の特性

スラブ内地震である1993年釧路沖地震及び1994年北海道東方沖地震の観測記録は、震央が遠いにもかかわらず短周期成分において応答スペクトルが大きいという特徴を有しているとしている。この特徴の原因として、短周期成分を強く発生した震源特性の影響及び地震波が減衰しにくい海洋プレート内のHigh-Qゾーンを通過することによる伝播経路の影響が考えられるとしている。このため、スラブ内地震の地震動評価に当たっては、地震波が海洋プレート内のHigh-Qゾーンを伝播する距離の効果を考慮するとしている。

## ③ 地震動評価手法

### i) 応答スペクトルに基づく地震動評価手法

応答スペクトルに基づく地震動評価は、岩盤における観測記録に基づいて提案された距離減衰式であるNoda et al. (2002)の方法を用いるとしている。Noda et al. (2002)の方法は解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動スペクトルを予測する手法であり、震源の拡がりの影響を考慮することができ、敷地における地震観測記録に基づいて補正することにより、地震の分類に従った震源特性、地震波伝播特性及び敷地地盤の振動特性を反映することが可能であるとしている。

### ii) 断層モデルを用いた地震動評価手法

断層モデルを用いた手法による地震動評価は、要素地震として用いることができる観測記録が敷地で得られている場合は経験的グリーン関数法、得られていない場合は統計的グリーン関数法及

び理論的方法を用いたハイブリッド法によるとしている。

以上のことから、敷地地盤の地震動特性の評価、地震波伝播経路の特性の評価及び地震動の評価手法は妥当なものと判断した。

### (3) 検討用地震の地震動評価

検討用地震の地震動評価に当たっては、検討用地震ごとに応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価の双方を実施することが要求される。また、地震動評価に伴う不確かさについて適切な手法を用いて考慮することが要求される。

#### ① 函館平野西縁断層帯による地震の地震動

函館平野西縁断層帯による地震(M7.2、 $X_{eq}=44\text{km}$ )については、活断層調査結果に基づく地震規模を基本として、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた地震動評価を行っている。

##### (a) 応答スペクトルに基づく地震動評価

応答スペクトルに基づく地震動評価はNoda et al. (2002)の方法を用いて行われている。ただし、敷地において内陸地殻内地震の観測記録が得られていないことから、Noda et al. (2002)による内陸地殻内地震の補正係数による低減は考慮しないとしており、Noda et al. (2002)の方法に従い求めた敷地のP波速度及びS波速度に基づく地震基盤から解放基盤表面までの地盤増幅率を用いて応答スペクトルを補正している。さらに、他の経験的な方法として大野ほか(2001)及び翠川・大竹(2002)による方法を用いた地震動評価も行い、Noda et al. (2002)に基づき算定した地震動の妥当性を確認している。

また、地震調査研究推進本部(2001)によると、地震規模がM7.0～7.5程度とされていることから、地震規模の不確かさを考慮し、M7.5とした場合の地震動についても検討を行っている。

##### (b) 断層モデルを用いた手法による地震動評価

断層モデルを用いた手法については、統計的グリーン関数法及び理論的方法を用いたハイブリッド法により評価している。地震モーメント、応力降下量等の断層パラメータは、入倉ほか(2002)及び壇ほか(2002)に基づき設定している。

震源モデルは、2つのセグメントに分けて設定しており、地震

動評価に及ぼす影響が大きいと考えられる面積の大きいセグメントに2つのアスペリティ、小さいセグメントには1つのアスペリティを考慮している。大きいセグメントのアスペリティ位置は敷地寄りに設定し、小さいセグメントのアスペリティは大きいセグメントのアスペリティに隣接して設定している。また、破壊の進行が敷地に向かう方向になるように破壊開始点を設定している。

地震動評価の不確かさとして、応答スペクトルに基づく地震動評価と同様に、地震規模の不確かさを考慮し、M7.5とした場合の検討、及び敷地寄りのセグメントの傾斜角を変えた場合についても検討を行っている。

なお、(a)及び(b)の不確かさ以外に震源要素の不確かさとして、アスペリティ位置、アスペリティ面積、応力降下量及びすべり量の不確かさが考えられるとしているが、これらのうち応力降下量は強震動予測レシピによりアスペリティ面積及びすべり量と相互に関係づけられることから、アスペリティ位置及び応力降下量の不確かさによる影響について検討を行っている。

## ② 想定三陸沖北部の地震による地震動

想定三陸沖北部の地震（M8.3、 $X_{eq}=174\text{km}$ ）については、地震調査研究推進本部（2004）による震源モデルを基本として、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた地震動評価を行っている。

### (a) 応答スペクトルに基づく地震動評価

応答スペクトルに基づく地震動評価はNoda et al. (2002)の方法を用いて行われており、Noda et al. (2002)に基づき算定した応答スペクトルが敷地におけるプレート間地震の観測記録に基づき補正されている。

また、震源位置の不確かさを考慮するに当たっては、永井ほか(2001)によるすべりの大きい領域とアスペリティ位置との対応を踏まえ、震源断層を敷地に近づけた場合について検討を行っている。

### (b) 断層モデルを用いた手法による地震動評価

断層モデルを用いた手法については、想定する地震の震源域で発生したプレート間地震の地震観測記録を要素地震とし、

Irikura(1986)に基づく経験的グリーン関数法により評価している。断層面積、地震モーメント、アスペリティ位置、応力降下量、破壊開始点等の断層パラメータは、地震調査研究推進本部(2004)に基づき設定している。なお、鉛直動については要素地震として適切な観測記録が得られていないことから、水平動の評価結果に敷地におけるプレート間地震の観測記録の水平動のスペクトルにと鉛直動のスペクトルの比の平均値を乗じて算定している。

また、震源位置の不確かさとして、応答スペクトルに基づく地震動評価と同様に、震源断層を敷地に近づけた場合について検討を行っている。

なお、(a)及び(b)の不確かさ以外に、震源要素の不確かさとして、アスペリティ位置及び応力降下量の不確かさによる影響について検討を行っている。

### ③ 想定浦河沖スラブ内地震による地震動

想定浦河沖スラブ内地震(M7.5、 $X_{eq}=173\text{km}$ )は、先述したように震源の設定において震源位置の不確かさを含めて設定した震源を基本として、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた地震動評価等を行っている。

#### (a) 応答スペクトルに基づく地震動評価

応答スペクトルに基づく地震動評価はNoda et al. (2002)の方法を用いて行われており、スラブ内地震の地震波伝播特性等の諸特性を反映するために、Noda et al. (2002)に基づき算定した応答スペクトルが想定する地震と同じメカニズムであるDE型のスラブ内地震の敷地における観測記録に基づき補正されている。

また、先述したように、スラブ内地震は地震波が減衰しにくい海洋プレート内のHigh-Qゾーンを通過することによる伝播経路の影響を受けるとしており、スラブ内地震の地震動評価手法の不確かさとして、地震波が海洋プレート内のHigh-Qゾーンを伝播する距離の効果を考慮した高井ほか(1999)による震度の予測式に基づき、敷地における1993年釧路沖地震の観測記録の応答スペクトルを補正する方法を用いて検討を行っている。

#### (b) 断層モデルを用いた手法による地震動評価

断層モデルを用いた手法については、DE型の地震である1987

年日高<sup>ひだか</sup>山脈北部の地震の観測記録を要素地震として、巨視的断層モデルを用いてTakemura and Ikeura(1988)に基づく経験的グリーン関数法により評価している。断層面積、地震モーメント等の断層パラメータは、Takeo et al.(1993)に基づいている。

また、要素地震の不確かさを考慮し、1987年日高山脈北部の地震の観測記録の他に1984年6月22日の地震の観測記録を用いて検討を行っている。

なお、(a)及び(b)の不確かさ以外に、震源要素の不確かさとして、アスペリティ位置及び応力降下量の不確かさによる影響について検討を行っている。

#### ④ 想定十勝沖スラブ内地震による地震動

想定十勝沖スラブ内地震 (M8.2、 $X_{eq}=253\text{km}$ ) は、先述したように震源の設定において震源位置の不確かさを含めて設定した震源を基本として、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた地震動評価等を行っている。

##### (a) 応答スペクトルに基づく地震動評価

応答スペクトルに基づく地震動評価はNoda et al.(2002)の方法を用いて行われており、スラブ内地震の地震波伝播特性等の諸特性を反映するために、Noda et al.(2002)に基づき算定した応答スペクトルがDC型及びDE型のスラブ内地震の敷地における観測記録に基づき補正されている。

また、想定浦河沖スラブ内地震と同様に、スラブ内地震の地震動評価手法の不確かさとして、地震波が海洋プレート内のHigh-Qゾーンを伝播する距離の効果を考慮した高井ほか(1999)による震度の予測式に基づき、敷地における1994年北海道東方沖地震の観測記録の応答スペクトルを補正する方法を用いて検討を行っている。

##### (b) 断層モデルを用いた手法による地震動評価

断層モデルを用いた手法については、想定する地震の震源域で発生し、震源深さからプレート内地震と推定される地震を要素地震として、Irikura(1986)に基づく経験的グリーン関数法により評価している。断層面積、地震モーメント、アスペリティ位置、応力降下量、破壊開始点等の断層パラメータは、森川ほか(2002)に

に基づき設定している。

なお、(a)以外の不確かさとして、アスペリティ位置及び応力降下量の不確かさによる影響について検討を行っている。

#### ⑤ F-14断層による地震の地震動

孤立した短い活断層であるF-14断層については、詳細な活断層調査によっても、震源として想定する断層の形状評価を含めた震源特性パラメータの設定に必要な情報が十分得られなかったことから、先述したように不確かさを取り込んで十分保守的に設定した震源断層(M6.8、 $X_{eq}=12\text{km}$ )に対して、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた地震動評価を行っている。

##### (a) 応答スペクトルに基づく地震動評価

応答スペクトルに基づく地震動評価はNoda et al. (2002)の方法を用いて行われている。ただし、敷地において内陸地殻内地震の観測記録が得られていないことから、Noda et al. (2002)による内陸地殻内地震の補正係数による低減は考慮しないとしており、Noda et al. (2002)の方法に従い求めた敷地のP波速度及びS波速度に基づく地震基盤から解放基盤表面までの地盤増幅率を用いて応答スペクトルを補正している。

##### (b) 断層モデルを用いた手法による地震動評価

断層モデルを用いた手法については、統計的グリーン関数法及び理論的方法を用いたハイブリッド法により評価している。地震モーメント、応力降下量等の断層パラメータは、入倉ほか(2002)及び壇ほか(2002)に基づき設定している。

震源断層については地震発生層の上限から下限まで広がっているものと仮定しており、アスペリティ位置は地表断層の下方の浅い位置に設定し、背景領域は敷地方向へ伸びるように配置している。また、破壊の進行が敷地に向かう方向になるように破壊開始点を設定している。

以上のことから、検討用地震の地震動評価は妥当なものと判断した。

#### (4) 震源を特定して策定する地震動

① 基準地震動の設計用応答スペクトル

検討用地震ごとに行った応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた地震動評価結果等をもとに、基準地震動  $S_s$  を策定することが要求される。

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の応答スペクトルは、「(3) 検討用地震の地震動評価」において応答スペクトルに基づく方法及び断層モデルを用いた手法により、不確かさも含めて求めた検討用地震による地震動の応答スペクトルの全てを包絡して策定した水平動の設計用応答スペクトル  $S_{s-1_H}$  及び鉛直動の設計用応答スペクトル  $S_{s-1_V}$  として設定している。

② 基準地震動の設計用模擬地震波

設計用応答スペクトルを基に設計用模擬地震波を作成するに当たっては、地震動の継続時間、振幅包絡線の経時的変化等の地震動特性を適切に考慮することが要求される。

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の基準地震動  $S_s$  は、設計用応答スペクトルに適合する設計用模擬地震波で表すとしており、設計用模擬地震波の継続時間及び振幅包絡線の経時的変化は Noda et al. (2002) に基づいて作成するとしている。Noda et al. (2002) による継続時間及び振幅包絡線の経時的変化の設定方法は地震動の観測結果に基づき提案されているとしている。

設計用模擬地震波作成の結果、その最大加速度振幅は水平方向で  $450 \text{ cm/s}^2$ 、鉛直方向で  $301.5 \text{ cm/s}^2$  であるとしている。

作成された設計用模擬地震波の設計用応答スペクトルに対する適合性については、応答スペクトル強さ (S I 比) が 1.0 以上、応答スペクトル比が 0.85 以上であるとしている。

以上のことから、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」として策定された基準地震動  $S_s$  は妥当なものと判断した。

なお、策定された基準地震動の設計用応答スペクトル  $S_{s-1_H}$  及び  $S_{s-1_V}$  の年超過確率は、申請者の評価結果を参照すると、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$  程度となっている。

### 1.2.3 震源を特定せず策定する地震動

「震源を特定せず策定する地震動」については、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に敷地の地盤物性を加味した応答スペクトルを設定し、これに地震動の継続時間、振幅包絡線の経時的変化等の地震動特性を適切に考慮して策定することが要求される。

#### 1) 応答スペクトル

震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内地震について得られた震源近傍の観測記録を収集した文献として加藤ほか(2004)があるとしている。これによれば、震源が事前に特定できない地震及び事前に震源を特定できた可能性があるものの、スケーリングの観点から確実に同程度の規模の震源を事前に特定できるとは断定できない地震による震源近傍の硬質地盤上の強震記録が収集され、これらの応答スペクトルを包絡するような上限レベルの応答スペクトルとして、S波速度が700m/sの解放基盤表面における水平動の応答スペクトルが設定されているとしている。

「震源を特定せず策定する地震動」の応答スペクトルの設定に当たっては、加藤ほか(2004)による水平方向の応答スペクトルを基に Noda et al. (2002)の手法による敷地の解放基盤表面における地盤物性を加味して設定した地盤の増幅率等を考慮して、水平方向の応答スペクトル  $S_s - 2_H$  を設定している。鉛直方向の応答スペクトルについては、水平方向の応答スペクトルを基に Noda et al. (2002)による手法により水平方向から鉛直方向に変換して算定した応答スペクトル  $S_s - 2_V$  として設定している。

なお、加藤ほか(2004)以降発生した主な内陸地殻内地震のうち、2005年福岡県西方沖の地震(M7.0)は活断層が確認されていない場所で発生しているが、2005年福岡県西方沖の地震の震源近傍には短い活断層が認められ、その位置に、孤立した短い活断層による地震と同様に震源断層を想定することで、2005年福岡県西方沖の地震の規模に近い地震を想定し、観測結果と同程度の地震動を評価することができるとしている。このことから、2005年福岡県西方沖地震については、事前に震源を特定して評価することが可能であるとしている。

#### 2) 基準地震動の設計用模擬地震波

「震源を特定せず策定する地震動」の基準地震動  $S_s$  は、設計用応答スペクトルに適合する設計用模擬地震波で表すとしており、地震動の継続時間及び振幅包絡線の経時的变化は加藤ほか(2004)による震源近傍で観測された記録に基づいて作成している。

設計用模擬地震波の作成の結果、その最大加速度振幅は水平方向で  $450 \text{ cm/s}^2$ 、鉛直方向で  $284.5 \text{ cm/s}^2$  であるとしている。

作成された設計用模擬地震波の設計用応答スペクトルに対する適合性については、応答スペクトル強さ (S I 比) が 1.0 以上、応答スペクトル比が 0.85 以上であるとしている。

以上のことから、「震源を特定せず策定する地震動」として策定された基準地震動  $S_s$  は妥当なものと判断した。

なお、策定された基準地震動の設計用応答スペクトル  $S_s - 2_H$  及び  $S_s - 2_V$  の年超過確率は、申請者の評価結果を参照すると、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$  程度となっている。

### 1.3 地質・地盤

「地質、地盤に関する安全審査の手引き」において、原子炉施設の設置される場所の地質、地盤は、原子炉施設の自己荷重のほか、想定される地震その他の荷重をきびしく評価しても、原子炉施設の安全性を十分に確保し得るものでなければならないものと規定されている。

このため審査に当たっては、地表地質調査、ボーリング調査、試掘坑調査、トレンチ調査、重力探査等を実施して作成された地質平面図・断面図等の調査結果が妥当であること、地盤に関する試験結果に基づく強度・変形特性等の評価が妥当であること、並びに支持力、すべり及び沈下に対する安全性の評価が妥当であることを確認するため、関連資料の検討のほか、ボーリングコアの観察、試掘坑調査、トレンチ調査等の現地調査による検討を行った。これらに対する安全評価の結果は以下のとおりである。

#### 1.3.1 敷地の地質・地質構造

地表地質調査及びボーリング調査等の調査結果によると、敷地の地質は、新第三系中新統の大間層及び易国間層、新第三系鮮新統の大畑層並びにこれらを覆う第四系より構成されている。敷地の新第三系は、堆積岩、火山

碎屑岩及び安山岩溶岩から成っている。また、大間層には新第三紀中新世のデイサイト及び玄武岩が貫入している。

敷地の地質構造は、全体として易国間層が大間層に整合に重なり、約 $5^{\circ}$ ～約 $10^{\circ}$ で南傾斜～西傾斜を成している。原子炉建屋の北側では大畑層が分布し、下位の大間層及び易国間層を不整合に覆っている。易国間層及び大間層には層理面に平行するシームが認められる。

敷地の北部ではデイサイトが地表面下約110m～約300mの大間層に、ほぼ水平に貫入し、デイサイトより上部の大間層及び易国間層を押し上げた構造を成すが、大畑層及び第四系には変形を与えていないとしている。このデイサイトは、ボーリング調査及び重力探査の結果により、原子炉建屋の北方約800mの地点を中心に南北1 km程度、東西0.7km程度の拡がりを持って円盤状に分布するとしている。また、デイサイトより下部及び敷地の地下深部には玄武岩の貫入が認められるとしている。

敷地にはF-a断層、F-b断層、F-c断層及びf-1断層～f-5断層の8条の断層が認められ、ボーリング調査の結果、これらの断層は原子炉建屋設置位置より北側のデイサイトの縁辺部に分布し、デイサイトより上部の大間層には変位を与えているが、下部の大間層には変位を与えていないとしている。

これらの断層のうちF-a断層、F-b断層及びF-c断層については、ボーリング調査の結果から大畑層の基底面に変位を与えていないとしている。さらに、f-2断層は試掘坑調査の結果から、f-3断層はトレンチ調査の結果からいずれも大畑層の基底面に変位を与えていないとしている。

また、f-1断層、f-4断層及びf-5断層は、それらの分布、方向性及び変位の向きが上述の断層と同じであることから、主要な断層から派生した断層であるとしている。

これらの調査結果から、敷地の8条の断層はデイサイトの貫入によって形成されたものであり、大畑層の堆積以降の活動はないとしている。

以上のことから、敷地の8条の断層には大畑層の堆積より後の活動はないとしていることは、妥当なものと判断した。

### 1.3.2 原子炉施設設置地盤

#### 1) 調査・試験

原子炉施設設置地盤については、地表地質調査、ボーリング調査、試掘坑調査、岩石・岩盤試験等の各種調査・試験が実施されている。

ボーリング調査としては、原子炉建屋設置位置で実施された炉心ボーリング5本、燃料補助建屋設置位置で実施されたボーリング3本を含め、計265本、総延長約39,630mが実施されている。

試掘坑調査としては、原子炉施設設置地盤について、原子炉建屋基礎底面付近のT.P.-13.1mの位置に総延長約140mの試掘坑が設けられ、原縮尺100分の1の試掘坑地質展開図が作成されている。また、総延長約150mの試験坑が設けられ、岩盤試験等の諸試験が行われている。

これらのボーリング調査、試掘坑調査等の結果に基づいて、原子炉施設設置地盤については原縮尺1,000分の1の地質水平断面図(T.P.-14m)1葉及び地質鉛直断面図2葉が作成されている。

岩石試験については、日本工業規格(JIS)、社団法人地盤工学会「土質試験の方法と解説」(2000)等に準拠し、密度、吸水率、有効間隙率、超音波伝播速度等の測定、一軸圧縮試験、圧裂試験、三軸圧縮試験、三軸クリープ試験等が実施されている。また、動的せん断強度試験についても実施されているが、試験に当たっては試験方法に係る規格等が確立されていないことから既往の研究等を参考に実施されている。

岩盤試験については、試掘坑内等において弾性波試験等や、社団法人土木学会「原位置岩盤試験法の指針」(2000)に準拠した岩盤変形試験、支持力試験、ブロックせん断試験が実施されている。また、ボーリング孔においてはP S検層等が実施されている。

断層内物質及びシームについては、社団法人地盤工学会「土質試験の方法と解説」(2000)等に準拠して、土粒子の密度試験、含水比試験、湿潤密度試験、粒度試験が実施されている。また、断層内物質及びシームについては静的及び動的単純せん断試験が実施され、更に、シームについては動的せん断強度試験が実施されているが、これらの試験に当たっては試験方法に係る規格等が確立されていないことから既往の研究等を参考に実施されている。

以上のように、原子炉施設設置地盤の地質・地質構造、岩石・岩盤物性等に関する調査・試験は、地盤の性状を踏まえて適切に実施されていると

認められることから、原子炉施設設置地盤の安全性の評価を行う上で、妥当なものとして判断した。

## 2) 地盤特性

### (1) 原子炉施設設置地盤の性状

原子炉施設設置地盤は、易国間層の火山碎屑岩、安山岩溶岩及び大間層の堆積岩、火山碎屑岩等で構成されている。

岩盤分類では、岩種・岩相、固結度及び風化の程度に基づく分類が行われ、17種類に岩盤区分されている。具体的には、[火山碎屑岩]、[堆積岩]及び[溶岩・貫入岩]の3種類に大区分され、さらに[火山碎屑岩]は[細粒凝灰岩]、[粗粒凝灰岩]、[淡灰色火山礫凝灰岩]、[暗灰色火山礫凝灰岩]、[凝灰角礫岩]、[酸性凝灰岩]、[軽石凝灰岩]、[火山碎屑岩（クリンカ質部）]及び[火山碎屑岩（風化部）]の9種類、[堆積岩]は[シルト岩]、[シルト岩（硬質部）]及び[堆積岩（風化部）]の3種類、[溶岩・貫入岩]は[安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）]、[安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）]、[安山岩溶岩（角礫状）]、[デイサイト]及び[玄武岩（角礫状）]の5種類に区分されている。

原子炉建屋基礎底面には、[淡灰色火山礫凝灰岩]が分布し、燃料補助建屋基礎底面には、[凝灰角礫岩]が分布している。

原子炉施設設置地盤には、連続性の認められるシームが、地層にほぼ平行に分布し、易国間層にS-1～S-11の11枚、大間層にS-0mの1枚が認められており、X線分析の結果、ほぼ同じ鉱物組成を示すとしている。ボーリング調査及び試掘坑調査の結果によると、これらのシームのうち、S-11以外のシームはデイサイトの岩体上面の縁辺部に存在する断層によって切られているとしている。特に、シームS-10は追加掘削したTs-4トレンチ等の調査結果によれば、原子炉建屋北西方約400mの位置でf-2断層に切られていることが確認されたとしている。したがって、これらのシームには、断層形成時期より後の変位は生じていないとしている。

シームS-11は、原子炉建屋北東の敷地法面調査の結果、最終間氷期の地層であるM<sub>2</sub>面段丘堆積物に覆われており、その堆積構造に乱れは認められないことから、後期更新世以降の活動性は認められないとしている。

これらのことから、原子炉施設設置地盤に認められるシームについては、後期更新世以降の活動はないとしていることは、妥当なものと判断した。

一方、シーム S-10 と上位の第四系の関係を調べた結果、原子炉建屋北方約 200m に位置する Ts-1 トレンチ及びその西側約 14m に位置する Ts-3 トレンチでシーム S-10 の延長方向の後期更新世の段丘堆積物中に変状と呼ばれる変位・変形が認められている。しかしながら、Ts-1 トレンチの東側約 14m の Ts-2 トレンチでは変状そのものが認められないこと、変状の鉛直変位量は Ts-1 トレンチで最大約 35cm となるが、Ts-1 トレンチの西方に隣接する Ts-3 トレンチでは約 2cm と小さくなることから、変状は主として Ts-1 トレンチ付近の局所的な現象であるとしている。なお、Ts-3 トレンチのさらに西側約 300m の Ts-4 トレンチでは上述のようにシーム S-10 が f-2 断層に切られ、断層形成以降のシーム S-10 の活動性が認められず、変状の存在を否定できるとしている。

更に、変状の鉛直変位量とシーム S-10 の上位の風化岩盤(強風化部)の厚さ及び段丘堆積物の厚さとの関係を調べたとしている。その結果、強風化部の厚い所では鉛直変位量が大きく、薄い所では小さい傾向が認められ、両者の間には正の相関性が認められるとしている。また、段丘堆積物が厚く上載圧の大きい所では鉛直変位量は小さく、段丘堆積物が薄く上載圧の小さい所では大きい傾向が認められ、両者の間には負の相関性が認められるとしている。

このことから、変状については地表付近の強風化部に含まれる粘土鉱物の吸水膨張による膨張圧力が上載圧より大きくなった状態で地震動を受けたことなどの要因により形成された可能性があるとしている。

以上のことから、シーム S-10 の延長上の段丘堆積物中に見られる変状については、局所的に限られた現象であること、その成因としては風化岩盤の吸水膨張と地震動を受けたことなどにより形成された可能性があることから、耐震設計上考慮するものではないとしていることは妥当なものと判断した。

## (2) 岩石・岩盤物性

原子炉施設設置地盤の岩石物性については、ボーリングコア及び試

掘坑内等から採取した岩盤分類毎の試料を用いて、その物理特性、強度特性及び変形特性に関する諸試験が実施されている。また、岩盤物性については、原子炉施設設置地盤に分布する岩盤分類を勘案して、試掘坑内及び炉心ボーリング孔等において強度特性及び変形特性に関する諸試験が実施されている。これらの岩石試験、岩盤試験等の結果をもとに原子炉施設設置地盤の安定解析に用いる物性値が設定されている。

岩石試験結果によると、岩石物性は以下のとおりとなっている。

物理特性として密度は、[火山砕屑岩]の各岩盤区分で平均が $1.58 \sim 2.04 \text{g/cm}^3$ 、[堆積岩]の各岩盤区分で平均が $1.45 \sim 1.49 \text{g/cm}^3$ 、[溶岩・貫入岩]の各岩盤区分で平均が $2.11 \sim 2.38 \text{g/cm}^3$ である。

強度特性として一軸圧縮試験による圧縮強さは、[火山砕屑岩]の各岩盤区分で平均が $1.89 \sim 8.82 \text{N/mm}^2$ 、[堆積岩]の各岩盤区分で平均が $5.32 \sim 8.88 \text{N/mm}^2$ 、[溶岩・貫入岩]の各岩盤区分で平均が $4.78 \sim 78.36 \text{N/mm}^2$ である。そのうち原子炉施設基礎底面に分布する[淡灰色火山礫凝灰岩]は平均 $3.02 \text{N/mm}^2$ 、[凝灰角礫岩]は平均 $2.70 \text{N/mm}^2$ である。また、三軸圧縮試験による側圧 $0.49 \sim 3.92 \text{N/mm}^2$ の軸差強度の平均は[淡灰色火山礫凝灰岩]で $3.50 \sim 4.33 \text{N/mm}^2$ 、[凝灰角礫岩]で $3.96 \sim 5.86 \text{N/mm}^2$ である。圧裂試験、一軸圧縮試験及び三軸圧縮試験による破壊時のせん断応力 $\tau$  ( $\text{N/mm}^2$ )と垂直応力 $\sigma$  ( $\text{N/mm}^2$ )の関係は、[淡灰色火山礫凝灰岩]で $(\tau/0.61)^2 = 1 + \sigma/0.21$  ( $-0.21 \text{N/mm}^2 \leq \sigma < 1.21 \text{N/mm}^2$ )、 $\tau = 1.43 + \sigma \tan 8^\circ$  ( $\sigma \geq 1.21 \text{N/mm}^2$ )、[凝灰角礫岩]で $(\tau/0.50)^2 = 1 + \sigma/0.15$  ( $-0.15 \text{N/mm}^2 \leq \sigma < 1.58 \text{N/mm}^2$ )、 $\tau = 1.27 + \sigma \tan 16^\circ$  ( $\sigma \geq 1.58 \text{N/mm}^2$ )である。動的せん断強度試験による[淡灰色火山礫凝灰岩]の動的三軸圧縮強度は、拘束圧 $0.49 \text{N/mm}^2$ で $4.05 \sim 4.20 \text{N/mm}^2$ 、拘束圧 $0.98 \text{N/mm}^2$ で $3.80 \sim 4.44 \text{N/mm}^2$ であり、静的せん断強度試験による静的三軸圧縮強度は、拘束圧 $0.49 \text{N/mm}^2$ で平均 $3.50 \text{N/mm}^2$ 、拘束圧 $0.98 \text{N/mm}^2$ で平均 $3.74 \text{N/mm}^2$ である。

変形特性として一軸圧縮試験による静弾性係数は、[火山砕屑岩]の各岩盤区分で平均が $0.17 \times 10^3 \sim 2.22 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ 、[堆積岩]の各岩盤区分で平均が $0.59 \times 10^3 \sim 0.91 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ 、[溶岩・貫入岩]の各岩盤区分で平均が $1.69 \times 10^3 \sim 13.24 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ である。そのうち[淡灰色火山礫凝灰岩]は平均 $1.02 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ 、[凝灰角礫岩]は平均 $0.67 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ である。また、三軸圧縮試験による静弾性係数 $E$  ( $\text{N/mm}^2$ )と垂直応力 $\sigma$

( $N/mm^2$ )の関係は、[淡灰色火山礫凝灰岩]で $E = 1.36 \sigma^{0.21} \times 10^3$ 、[凝灰角礫岩]で $E = 1.41 \sigma^{0.27} \times 10^3$ である。一軸圧縮試験による静ポアソン比は、[火山碎屑岩]の各岩盤区分で平均が0.44~0.49、[堆積岩]の各岩盤区分で平均が0.43~0.46、[溶岩・貫入岩]の各岩盤区分で平均が0.24~0.48である。そのうち[淡灰色火山礫凝灰岩]は平均0.45、[凝灰角礫岩]は平均0.48である。三軸クリープ試験によるクリープ係数のうち、弾性変形量に対するクリープ沈下量の割合を表す係数 $\alpha$ は、[淡灰色火山礫凝灰岩]で平均0.14、[凝灰角礫岩]で平均0.23である。

また、岩盤試験の結果によると、岩盤物性は以下のとおりとなっている。

ブロックせん断試験によるせん断強度及び内部摩擦角は、それぞれ[淡灰色火山礫凝灰岩]で $0.52N/mm^2$ 及び $35^\circ$ 、[安山岩溶岩(塊状・不規則性節理部)]で $1.53N/mm^2$ 及び $29^\circ$ 、[安山岩溶岩(塊状・規則性節理部)]で $1.32N/mm^2$ 及び $45^\circ$ 、[安山岩溶岩(角礫状)]で $0.75N/mm^2$ 及び $38^\circ$ である。

岩盤変形試験による割線弾性係数は、[淡灰色火山礫凝灰岩]で平均 $1.62 \times 10^3 N/mm^2$ 、[安山岩溶岩(塊状・不規則性節理部)]で平均 $1.63 \times 10^3 N/mm^2$ 、[安山岩溶岩(塊状・規則性節理部)]で平均 $2.18 \times 10^3 N/mm^2$ 、[安山岩溶岩(角礫状)]で平均 $2.47 \times 10^3 N/mm^2$ である。

支持力試験による上限降伏値及び極限支持力は、それぞれ[淡灰色火山礫凝灰岩]で $4.7N/mm^2$ 以上及び $13.1N/mm^2$ 以上、[安山岩溶岩(塊状・不規則性節理部)]で $7.3N/mm^2$ 以上及び $13.7N/mm^2$ 以上、[安山岩溶岩(塊状・規則性節理部)]で $13.7N/mm^2$ 以上及び $13.7N/mm^2$ 以上、[安山岩溶岩(角礫状)]で $6.7N/mm^2$ 以上及び $13.7N/mm^2$ 以上である。

原子炉建屋基礎底面付近の試掘坑内において実施された坑内弾性波試験(屈折法)によると、弾性波速度はP波で平均 $2.1km/s$ 、S波で平均 $0.8km/s$ であり、坑間弾性波試験(平均速度法)によると、全方位での弾性波速度はP波で平均 $1.99km/s$ 、変動係数6.5%、S波で平均 $0.87km/s$ 、変動係数9.2%であり、弾性波速度の方向による違いは認められない。

炉心ボーリング孔において実施されたP S検層によれば、T.P.約+9m~約-27mでP波速度は $1.23 \sim 2.15km/s$ 、S波速度は $0.75 \sim 0.94km/s$ 、T.P.約-27m~約-123mでP波速度は $2.66km/s$ 、S波速度は $1.10km/s$ 、T.P.約-123m~約-255mでP波速度は $1.80km/s$ 、

S波速度は0.59～0.63km/s、T.P.約-255m～約-427mでP波速度は2.10～3.62km/s、S波速度は0.90～1.87km/sである。

シームの強度特性、変形特性等の物性については、物理試験等の結果から粘土及びシルトの細粒分が多いシームS-10及びシームS-8の物性で代表させるものとし、補足調査坑内から緩みを与えないように採取した同シームの試料を用いて諸試験が実施されている。

静的単純せん断試験によると、強度特性についてはせん断強度及び内部摩擦角はそれぞれ0.24N/mm<sup>2</sup>及び19°であり、変形特性についてはせん断弾性係数をG(N/mm<sup>2</sup>)、垂直応力を $\sigma$ (N/mm<sup>2</sup>)とすると $G=41.2\sigma^{0.22}$ の関係がある。

動的単純せん断試験によると、変形特性については初期せん断弾性係数を $G_0$ (N/mm<sup>2</sup>)、垂直応力を $\sigma$ (N/mm<sup>2</sup>)とすると $G_0=116\sigma^{0.39}$ 、動せん断弾性係数比を $G_d/G_0$ 、せん断ひずみを $\gamma$ とすると $G_d/G_0=1/(1+\gamma/0.0039)$ の関係がある。減衰定数をh、せん断ひずみを $\gamma$ とすると $h=0.021(\gamma\leq 9.0\times 10^{-4})$ 、 $h=0.021+0.159(\log\gamma+3.0)$ ( $\gamma>9.0\times 10^{-4}$ )の関係がある。また、動的せん断強度試験によるシームの動的三軸圧縮強度は、拘束圧0.59N/mm<sup>2</sup>で0.74～0.78N/mm<sup>2</sup>であり、静的せん断強度試験による静的三軸圧縮強度は、拘束圧0.59N/mm<sup>2</sup>で平均0.71N/mm<sup>2</sup>である。

また、断層内物質の強度特性、変形特性等の物性については、粘土質物質を多く含むf-3断層の断層内物質の物性で代表させるものとし、補足調査坑内から緩みを与えないように採取した同断層内物質の試料を用いて諸試験が実施されている。

静的単純せん断試験によると、強度特性についてはせん断強度及び内部摩擦角はそれぞれ0.23N/mm<sup>2</sup>及び21°であり、変形特性についてはせん断弾性係数をG(N/mm<sup>2</sup>)、垂直応力を $\sigma$ (N/mm<sup>2</sup>)とすると $G=26.5\sigma^{0.36}$ の関係がある。

動的単純せん断試験によると、変形特性については初期せん断弾性係数を $G_0$ (N/mm<sup>2</sup>)、垂直応力を $\sigma$ (N/mm<sup>2</sup>)とすると $G_0=181\sigma^{0.49}$ 、動せん断弾性係数比を $G_d/G_0$ 、せん断ひずみを $\gamma$ とすると $G_d/G_0=1/(1+\gamma/0.0015)$ の関係がある。減衰定数をh、せん断ひずみを $\gamma$ とすると $h=0.041(\gamma\leq 4.4\times 10^{-4})$ 、 $h=0.041+0.084(\log\gamma+3.4)$ ( $\gamma>4.4\times 10^{-4}$ )の関係がある。

原子炉施設設置地盤の安定解析に当たっては、これらの試験結果等

をもとに各岩盤区分、断層内物質、シーム等の解析用物性値を設定している。そのうち、物理特性については岩石試験等の結果に基づき設定している。基準地震動  $S_s$  に基づく動的解析に用いる各岩盤区分の動せん断弾性係数については P S 検層の結果に基づくとともに、減衰定数は 3 % 一定の保守的な値を用いている。断層内物質、シーム等の動せん断弾性係数及び減衰定数については動的単純せん断試験等に基づきひずみ依存性を考慮して設定している。動的解析に用いる各岩盤区分、断層内物質、シーム等のせん断強度については、既往の試験研究によれば静的せん断強度が動的せん断強度より小さいとされていること、「淡灰色火山礫凝灰岩」及びシームについて動的せん断強度試験を実施した結果、動的せん断強度が静的せん断強度を上回ることが確認されたことから、静的せん断強度試験に基づき設定されている。なお、静的地震力を用いた慣用法による各岩盤区分のせん断強度については静的せん断強度試験に基づき設定されている。

以上のことから、岩盤分類、岩石・岩盤物性及びシーム、断層内物質等の物性の試験並びに安定解析に用いる物性値の評価は、原子炉施設設置地盤の安全性の評価を行う上で、妥当なもの判断した。

### 3) 地盤の安定性

原子炉施設は、十分な支持性能をもつ地盤に設置されなければならないことが要求される。

原子炉施設設置地盤の安定性については、地質調査、岩石試験、岩盤試験等から得られた結果に基づき、慣用法、有限要素法による基準地震動  $S_s$  に基づく動的解析を用いて支持力、すべり及び沈下に対して検討を行っている。

慣用法は、静的地震力として水平方向については建屋に地震層せん断力係数  $3.0 C_1$  に基づく地震力を、鉛直方向については建屋に  $0.24 G$  の地震力を作用させている。

動的解析を用いた原子炉施設設置地盤の安定解析は、鉛直 2 次元断面を基本に建屋を通る南北断面及び東西断面の直交する 2 断面としている。建屋底面幅、基礎岩盤の性状及びデイサイト、断層、シーム等の分布状況を踏まえ、原子炉建屋基礎地盤については、南北断面は幅  $800\text{m}$ 、深さ T.P. -  $300\text{m}$  まで、東西断面は幅  $600\text{m}$ 、深さ T.P. -  $300\text{m}$  まで、燃料

補助建屋基礎地盤については、南北断面は幅550m、深さT.P. - 300mまで、東西断面は幅600m、深さT.P. - 300mまでモデル化されている。解析モデルは、地形、地質構造及び岩盤分類に基づいて作成されており、要素分割に当たっては、地盤のせん断波速度、解析で考慮する最大周波数等を勘案して設定されている。

動的解析は周波数応答解析法を用いた等価線形解析により、基準地震動Ssの水平地震動と鉛直地震動による応答を考慮している。

また、安定性評価に当たっては、断層内物質及びシームの強度・変形特性のバラツキ等を含めた検討も行っている。なお、建屋と地盤間の埋戻し部は、所定の深さまでマンメイドロックによる施工を行う計画であるとしているが、保守的に埋戻し・盛土材の物性値を用いている。

これらの解析内容の妥当性と原子炉施設設置地盤の支持性能に関する検討を行った。

#### (1) 支持力

原子炉建屋基礎地盤の支持力については、支持力試験結果によると、原子炉建屋基礎底面に分布する[淡灰色火山礫凝灰岩]の上限降伏値は $6.1\text{N/mm}^2$ 、極限支持力は $13.1\text{N/mm}^2$ 以上であり、原子炉建屋の常時の接地圧約 $0.6\text{N/mm}^2$ 、地震時の最大接地圧約 $1.6\text{N/mm}^2$ に対して十分な支持力を有していると認められる。

また、燃料補助建屋基礎地盤の支持力については、燃料補助建屋基礎底面に分布する[凝灰角礫岩]の支持力が岩石試験結果からみて[淡灰色火山礫凝灰岩]とほぼ同程度と考えられること、燃料補助建屋の常時の接地圧は約 $0.3\text{N/mm}^2$ 、地震時の最大接地圧は約 $0.7\text{N/mm}^2$ であり、燃料補助建屋の接地圧は原子炉建屋に比べて小さいことから支持力が問題となるものではないと認められる。

さらに、有限要素法による動的解析により検討した結果によると、原子炉施設設置地盤は地震時における応力状態からみて支持力が問題となるものではないと認められる。

以上のことから、原子炉施設設置地盤は、十分な支持力を有しているものと判断した。

#### (2) すべり

原子炉建屋基礎底面のすべりについては、静的地震力を用いて慣用法の平面すべり法により検討した結果によると、地震時における原子

炉建屋基礎底面の地盤のすべり抵抗力は、原子炉建屋基礎底面に分布する[淡灰色火山礫凝灰岩]のブロックせん断試験によって求められた強度定数に基づいて算出すると約 $1.9 \times 10^9 \text{N}$ 以上であり、これに対して原子炉建屋基礎底面に作用する地震力は約 $0.9 \times 10^9 \text{N}$ であるため、すべりに対する安全率は2.1以上となる。

また、燃料補助建屋基礎底面のすべりについては、平面すべり法により検討した結果によると、地震時における燃料補助建屋基礎底面の地盤のすべり抵抗力は、燃料補助建屋基礎底面に分布する[凝灰角礫岩]の強度定数として基礎底面の応力状態を考慮し、[淡灰色火山礫凝灰岩]及び[凝灰角礫岩]の岩石試験結果に基づき、[淡灰色火山礫凝灰岩]のブロックせん断試験結果を低減させて算出すると約 $6.4 \times 10^8 \text{N}$ 以上であり、これに対して燃料補助建屋基礎底面に作用する地震力は約 $1.9 \times 10^8 \text{N}$ であるため、すべりに対する安全率は3.3以上となる。

さらに、動的解析による安定解析結果によれば、原子炉建屋基礎地盤のすべり安全率は3.4以上、燃料補助建屋基礎地盤のすべり安全率は4.2以上となる。これによると、原子炉施設設置地盤は、地震時においてもすべりを生じるものではないと認められる。

以上のことから、原子炉施設設置地盤は、すべりに対して十分な安定性を有しているものと判断した。

### (3) 沈下

原子炉建屋及び燃料補助建屋の沈下については、三軸クリープ試験結果等に基づき、建屋荷重による弾性変位量に、クリープ変位量を加えることで評価している。これによると、原子炉建屋の沈下量は、原子炉建屋基礎底面に分布する[淡灰色火山礫凝灰岩]の岩盤変形試験から求めた割線弾性係数 $1.62 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ 、一軸及び三軸圧縮試験から求めたポアソン比0.44、並びに三軸クリープ試験から求めたクリープ係数0.14を用いて算出すると、約2.3cmとなる。また、隣接するタービン建屋及び廃棄物処理建屋の荷重によって原子炉建屋に生ずる不同沈下量は最大約0.8cmとなり、原子炉建屋の沈下は、そのほとんどが短期間で収束すること、不同沈下は原子炉建屋基礎幅に比較して非常に小さいことから、建屋及び機器に与える影響はないものと認められる。

また、燃料補助建屋の沈下量は、燃料補助建屋基礎底面に分布する[凝灰角礫岩]の変形特性として基礎底面の応力状態を考慮し、[淡灰色

火山礫凝灰岩]及び[凝灰角礫岩]の岩石試験結果に基づき、[淡灰色火山礫凝灰岩]の岩盤変形試験結果を低減させて算出した割線弾性係数 $1.56 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ 、[凝灰角礫岩]の一軸及び三軸圧縮試験から求めたポアソン比0.47、並びに三軸クリープ試験から求めたクリープ係数0.23を用いて算出すると、約0.8cmであり、燃料補助建屋の沈下は、そのほとんどが短期間で収束することから、建屋及び機器に与える影響はないものと認められる。

さらに、動的解析による安定解析結果によれば、原子炉建屋基礎両端の鉛直方向の相対変位は0.48cm以下、原子炉建屋基礎の傾斜は約1/13,000以下となり、燃料補助建屋基礎両端の鉛直方向の相対変位は0.20cm以下、燃料補助建屋基礎の傾斜は約1/18,000以下となる。これらによると、地震時における原子炉建屋基礎及び燃料補助建屋基礎の不同沈下による相対変位及び傾斜は、安全上重要な機器・配管系の機能に支障を与えるものではないと認められる。

以上のことから、原子炉施設設置地盤は、沈下に対して十分な安定性を有しているものと判断した。

以上のように、原子炉施設設置地盤は、原子炉施設に対して十分な支持性能を有しているものと判断した。

#### 1.4 地震随件事象

地震随件事象については、「耐震設計審査指針」に基づき、施設の周辺斜面で地震時に想定しうる崩壊等によっても、施設の安全機能が重大な影響を受けるおそれがないことが要求される。

また、施設の供用期間中に極めてまれであるが発生する可能性がある想定することが適切な津波によっても、施設の安全機能が重大な影響を受けるおそれがないことが要求される。

これらに対する安全評価の結果は以下のとおりである。

##### 1.4.1 周辺斜面

発電所の敷地は、おおむね標高10~40mのなだらかな海岸段丘と海岸沿いの標高10m以下の平坦地からなっているため、耐震設計上重要な機器・配管系を内包する建物・構築物（以下、「対象施設」という。）の周辺斜面は小規模であり、対象施設との離間距離も十分確保されていることから

安全評価の対象となる周辺斜面は存在しない。

以上のことから、対象施設の安全性が周辺の斜面の崩壊によって影響を受けることはないと判断した。

#### 1.4.2 津 波

既往の近地津波及び遠地津波について行った文献調査によれば、津軽海峡沿岸に影響を及ぼした津波のうち比較的規模の大きなものとして、日本海側で発生した1741年（渡島半島西方沖）津波、太平洋側で発生した1856年（青森県東方沖）津波及び遠地津波として1960年チリ地震津波があるとしている。

敷地周辺に影響を及ぼした過去の津波と海域の活断層による地震に伴う津波の予測高について検討した結果によれば、海域の活断層による地震に伴う津波の予測高は、敷地周辺に影響を及ぼした過去の津波の高さを上回るものではないとしている。これらの検討を踏まえて、過去の津波のうち1741年（渡島半島西方沖）津波、1856年（青森県東方沖）津波及び1960年チリ地震津波を対象に、数値シミュレーションによる津波の予測手法に基づき、敷地における津波の水位変動について検討が行われている。さらに、敷地に影響を及ぼした過去の津波が発生した海域である日本海東縁部、日本海溝沿い及びチリ沖の各海域に、将来発生すると想定される地震に伴う津波である想定津波の波源を設定し、数値シミュレーションによる津波の予測手法に基づき敷地における津波の水位変動について検討が行われている。想定津波の検討にあたっては、波源の諸元設定に係る不確実性を合理的な範囲で考慮したパラメータスタディを行い、水位変動が最も大きなケースを選定したとしている。これらの想定津波による水位変動は、過去の津波のうち最大となる1960年チリ地震津波のケースの水位変動を上回ること等を確認したとしている。

これらの数値シミュレーションによる検討の結果、敷地における最高水位は、日本海東縁部に波源を設定したケースで、朔望平均満潮位を考慮するとT. P. +4.4m程度であるとしている。水位上昇に対しては、原子炉建屋等の主要施設がT. P. +12.0mの敷地に設置されることから、原子炉施設の安全性が津波によって影響を受けることはないとしている。さらに、原子炉補機冷却系の海水ポンプ等はタービン建屋内に設置され、これらのポンプが貫通する床とポンプの間には、水圧に十分耐えることので

きるようにシールを施し、建屋内への海水の漏出を防止することとしている。

また、最低水位は、チリ沖に波源を設定したケースで、朔望平均干潮位を考慮するとT.P. -3.8m程度であるとしている。水位低下に対しては原子炉補機冷却系に必要な取水が確保されるよう設計することから、原子炉施設の安全性が津波によって影響を受けることはないとしている。

なお、津波により砂が移動した場合の影響について検討し、原子炉補機冷却系の取水に支障が生じないことを確認している。

以上のことから、原子炉施設の安全性が津波によって影響を受けることはないと判断した。

## 1.7 火 山

敷地周辺の第四紀に活動した主な火山として、下北半島ではむつ燧岳火山、恐山火山及び於法岳火山が、北海道側には銭亀沢軽石流堆積物の噴出源及び恵山火山があるとしている。

これらの火山による敷地への影響について、火山の活動時期、火山噴出物の分布等に係る文献調査、地質調査等の結果をもとに検討が行われている。

検討の結果、下北半島の火山のうち、むつ燧岳火山（標高781m）については、主な活動時期は中期更新世であり少なくとも後期更新世初頭より後に規模の大きい活動はないとしている。むつ燧岳火山起源とされる溶岩、火砕流堆積物等は敷地近傍に達しておらず、火山と敷地との約15kmの間には標高500～600m級の下北山地があるとしている。降下火山灰の広域的な分布も確認されていないとしている。恐山火山（標高879m）については、中期更新世より後の規模の大きい活動はないとしている。恐山火山起源とされる溶岩、火砕流堆積物等は敷地近傍に達しておらず、火山と敷地との間の約26kmの間には下北山地等があるとしている。これらのことから、むつ燧岳火山及び恐山火山については、今後大規模な噴火を起こす可能性は低く、万が一噴火したとしても敷地に及ぼす影響は小さいものと考えられるとしている。

於法岳火山については、その活動は前期更新世であり、今後大規模な噴火を起こす可能性は非常に小さいと考えられるとしている。

北海道側の火山のうち、銭亀沢軽石流堆積物の噴出源については、銭亀沢軽石流堆積物の噴出前後における活動は知られておらず、同堆積物の噴出年

代は約 5 万年前の可能性が高いとしている。また、同堆積物は津軽海峡を挟み約 26km 離れた敷地近傍には分布していないとしている。これらのことから、銭亀沢軽石流堆積物の噴出源が今後大規模な噴火を起こす可能性は低く、万が一噴火したとしても敷地に及ぼす影響は小さいものと考えられるとしている。

恵山火山については、1846 年と 1874 年に水蒸気爆発を起こしているとしている。恵山火山起源とされる溶岩、火砕流堆積物等は津軽海峡を挟み約 39km 離れた敷地近傍には分布せず、降下火山灰の広域的な分布も確認されていないとしている。また、恵山火山では山体崩壊が発生しており、崩壊物が海域に達する場合には津波が発生する可能性があることから、既往最大規模程度の崩壊物が海域に流入し津波が発生することを想定した評価を行っている。その結果、山体崩壊に伴う津波による敷地の水位変動は想定津波による影響を上回るものではないとしている。これらのことから、恵山火山が今後噴火したとしても、敷地に及ぼす影響は小さいものと考えられるとしている。

また、敷地及び敷地周辺に分布する広域火山灰のうち、比較的新しく層厚が最も厚いものとして洞爺火山灰が認められるが、その層厚は 20cm 程度であることから、広域火山灰の噴出源が今後同程度の活動をしたとしても、安全上重要な施設の機能に及ぼす影響は小さいものと考えられるとしている。

なお、中央制御室には外気を遮断して運転可能な換気空調設備が、非常用ディーゼル発電機の建屋の吸気口にはフィルタが、取水設備にはカーテンウォール、スクリーン等が設けられる計画であるとしている。

以上のことから、火山によって安全上重要な施設の機能が損なわれることはないとしていることは妥当なものと判断した。

## 2 原子炉施設の安全設計

### 2.1 原子炉施設全般

#### 2.1.1 原子炉施設全般に対する設計上の考慮

本原子炉施設は、以下に示す事項を満足することが要求される。

① 安全機能を有する建物・構築物、系統及び機器（以下「安全機能を有する構築物等」という。）は、設計、材料の選定、製作及び検査について、それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によるものであること。

② 安全機能を有する構築物等は、その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して、耐震設計上の区分がなされるとともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること。

また、安全機能を有する構築物等は、地震以外の想定される自然現象によって原子炉施設の安全性が損なわれない設計であること。重要度の特に高い安全機能を有する構築物等は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。

③ 安全機能を有する構築物等は、想定される外部人為事象によって、原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であること。

また、原子炉施設は、安全機能を有する構築物等に対する第三者の不法な接近等に対し、これを防御するため、適切な措置を講じた設計であること。

④ 安全機能を有する構築物等は、原子炉施設内部で発生が想定される飛来物に対し、原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であること。

⑤ 原子炉施設は、火災発生防止、火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の3方策を適切に組み合わせて、火災により原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であること。

⑥ 安全機能を有する構築物等は、その安全機能が期待されているすべての環境条件に適合できる設計であること。

⑦ 原子炉施設は、運転員の誤操作を防止するための適切な措置を講じた設計であること。

⑧ 安全機能を有する構築物等は、その安全機能の重要度に応じて、十分に高い信頼性を確保し、かつ、維持し得る設計であること。

また、重要度の特に高い安全機能を有する系統については、その構造、

動作原理、果たすべき安全機能の性質等を考慮して、多重性又は多様性及び独立性を備え、その系統を構成する機器の単一故障の仮定に加え、外部電源が利用できない場合においても、その系統の安全機能が達成できる設計であること。

- ⑨ 安全機能を有する構築物等は、それらの健全性及び能力を確認するために、その安全機能の重要度に応じ、適切な方法により、原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができる設計であること。

これらの要求事項に対して、本申請においては、次のような設計上の考慮を行うとしている。

安全機能を有する構築物等は、それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準に基づくほか、必要に応じて諸外国の規格及び基準に準拠して、設計、材料の選定、製作、建設、試験及び検査が行われる。

安全機能を有する構築物等は、「2.1.3 耐震設計」で示すように、その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して、耐震設計上の区分がなされるとともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられるように設計される。

安全機能を有する構築物等は、風、積雪、凍結、津波、高潮、雷といった自然現象によって原子炉施設の安全性が損なわれないように設計される。なお、風、積雪及び凍結に対する設計には、「1.5 気象」で示した敷地に最も近い気象官署である、むつ特別地域気象観測所及び函館海洋気象台の観測記録が考慮されている。また、洪水、地すべり及び火山に対しては、地形、敷地と火山との位置関係等から考えて安全機能を有する構築物等を設計する上で考慮する必要がないとしている。重要度の特に高い安全機能を有する構築物等は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮して設計される。

社会環境等からみて、外部人為事象に対しては、安全機能を有する構築物等を設計する上で考慮する必要がないとしている。なお、本原子炉施設への航空機の落下確率が、これまでの事故実績等をもとに、民間航空機、自衛隊機及び米軍機を対象として評価されており、その結果は、約  $2.8 \times 10^{-8}$  回/炉・年であり、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について（内規）」に示された  $1.0 \times 10^{-7}$  回/炉・年を

下回っていることから、航空機落下を考慮する必要はないとしている。

安全機能を有する構築物等に対する第三者の不法な接近等の人為事象に対しては、物的障壁を持つ防護された区域を設け、これら区域への接近管理及び入退域管理の徹底を図るとともに、不法な立入を監視するための探知施設、外部との通信連絡設備が設置される。

原子炉格納容器内の配管の破損(破断又は漏えい)を想定した場合でも、その結果生じる可能性が考えられる流出流体のジェット力、配管のむち打ち等に対し、この影響を低減させるため、機器の配置に配慮するとともに、必要に応じて配管の動きを制限する構造物が設置される。

蒸気タービンの損壊を想定した場合、安全機能を有する構築物等のうち、系統の多重性、配置等の関連でタービンミサイルによる原子炉施設の健全性に対する評価の対象となるものは原子炉建屋原子炉区域内の使用済燃料貯蔵プール及び燃料補助建屋内の使用済燃料貯蔵プールであり、これらについて評価した結果、発生する飛来物が到達する確率は極めて小さく、その影響を考慮する必要はないとしている。

安全機能を有する構築物等に対しては、火災発生防止、火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の三つの方策を組み合わせることで火災防護がなされる。

火災発生防止対策としては、発火性又は引火性の液体又は気体を内包する系統の漏えい防止、電気系統の地絡、短絡等に起因する過電流による過熱防止等が考慮され、特に、水素に関連した設備に関しては、蓄積を防止するための配管等の適切な配置、換気設備の設置等の予防措置を講じる設計とされる。また、安全機能を有する構築物等は、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料が使用されるとともに、落雷等の自然事象による火災発生を防止するため避雷設備を設置する等の設計とされる。

火災検知及び消火対策としては、各火災区域における環境条件等を考慮し、安全機能を有する構築物等に適切な火災報知設備及び消火設備が設置される。また、安全機能を有する構築物等は、消火設備の破損、誤動作又は誤操作によりその安全機能が損なわれないように設計される。さらに、消火設備は、火災と同時に有意に起こると考えられる地震等の自然事象によって、その性能が著しく阻害されることのないように設計される。

火災の影響の軽減対策としては、安全機能を有する構築物等を含む区域は、その重要度に応じ、隣接区域の火災による影響も含めて火災の影響を軽減できるように、耐火壁により分離を図り、さらに必要に応じて耐火壁、

隔壁、間隔及び消火設備を組み合わせることで延焼を防止するように設計される。なお、耐火壁を使用する場合の耐火能力は、火災荷重に基づき設計される。

また、原子炉施設において、油等の引火性材料の火災、電気火災等により原子炉に外乱が及び、原子炉を速やかに停止し、かつ、停止状態を維持する必要がある場合、新たに作動が要求される安全保護系及び原子炉停止系の機器に単一故障を仮定しても、原子炉の高温停止に必要な系統は、その機能を果たすことができるように設計される。さらに、低温停止に必要な系統は、原子炉施設内のいかなる場所の想定される火災によっても、その機能を失わないように設計される。

安全機能を有する構築物等は、想定される圧力、温度、放射線等の環境条件を考慮して、その安全機能が維持できるように設計される。

原子炉施設は、運転員の誤操作を防止するため、盤の配置、操作器具等の操作性に留意した設計がなされるとともに、計器表示及び警報表示により原子炉施設の状態が正確、かつ、迅速に把握できるように設計される。また、保守点検において誤りを生じにくいよう留意した設計がなされる。

安全機能を有する構築物等は、「2.1.2 安全機能の重要度分類」に示すようにその安全機能の重要度に応じて、十分に高い信頼性を確保し、かつ、維持し得るように設計される。

重要度の特に高い安全機能を有する系統は、原則として多重性のある独立した系列又は多様性のある独立した系を設け、各系列又は各系相互間は、離隔距離を取るか必要に応じ障壁を設ける等により物理的に分離し、想定される単一故障を仮定しても安全機能が達成できるように設計される。

本原子炉施設の所内電源としては、電力系統に接続された外部電源のほか、非常用所内電源として、非常用ディーゼル発電機3台及び蓄電池を設けて、外部電源が失われた場合にも、重要度の特に高い安全機能を有する系統の安全機能が達成できるように設計される。

安全機能を有する構築物等は、それらの健全性及び能力を確認するために、その安全機能の重要度に応じ、原子炉の運転中又は停止中に漏えい検査、非破壊検査、目視検査、作動試験等ができるように設計される。

これらのことから、本原子炉施設全般に対する設計上の考慮は、要求事項を満足しており、妥当なものと判断した。

### 2.1.3 耐震設計

原子炉施設の耐震設計は、敷地周辺の地質・地質構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な地震動による地震力に対して、その安全機能が損なわれないように設計することが要求される。

また、施設の設計に当たっては、策定された地震動を上回る地震動が生起する可能性に対して適切な考慮を払い、基本設計の段階のみならず、それ以降の段階も含めて、この「残余のリスク」の存在を十分認識しつつ、それを合理的に実行可能な限り小さくするための努力を払う必要がある。

このため、原子炉施設の耐震設計に関し、耐震設計の方針、施設の耐震重要度の分類、地震力の算定、地震力と他の荷重の組合せ及び地震時ににおける応力等の許容限界の考え方に対する妥当性について検討を行った。

審査の結果、以下のとおり、本原子炉施設の耐震設計の基本的方針は妥当であり、また、「1.2 地震」で定めた基準地震動に対して、現在までの原子力発電所の耐震設計の実績及び耐震工学の知見からみて、本原子炉施設の耐震性を十分確保し得るものと判断した。

#### (1) 耐震設計の方針

原子炉施設の耐震設計は、地震により発生する可能性のある環境への放射線による影響の観点から耐震設計上の重要度に応じた適切な方法で地震力を算定し、原子炉施設がこれに耐えるよう行われることが要求される。

このため、審査にあたっては、施設の耐震設計上の重要度に応じて適用する地震力及びその算定方法についての確認を行った。

原子炉施設は、地震時に要求される機能の重要度に応じてS、B及びCの3クラスに分類される。Sクラスの施設については、基準地震動 $S_s$ に基づく動的解析から求められる動的地震力に対して安全機能が保持できるように設計するとしている。また、「(3)弾性設計用地震動 $S_d$ 」で述べる弾性設計用地震動 $S_d$ に基づく動的解析から求められる動的地震力又は「(4) b. 静的地震力」で述べる静的地震力のうちいずれか大きい

方の地震力に耐えるように設計するとしている。

基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  による地震力については、水平方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて作用するものとしている。また、Sクラスの施設に対し、静的地震力は、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとしている。

B及びCクラスの施設は、静的地震力に耐えるように設計されるが、共振するおそれのあるBクラスの施設については、さらに、動的解析から求められる動的地震力をもとに、その影響について検討を行うとしている。

なお、基本設計の段階のみならず、それ以降の段階も含めて「残余のリスク」の存在を合理的に実行可能な限り小さくするための努力を払うとしている。

以上の方針は、「耐震設計審査指針」に適合しており、妥当なものとして判断した。

## (2) 耐震設計の重要度分類

原子炉施設は、安全性に対する機能が異なる種々の施設からなるため、それらの施設の機能に基づいて耐震設計上の重要度を分類する必要がある。すなわち、施設が地震により機能を失うことによって発生する可能性のある放射線による環境への影響の観点から、耐震設計上の重要度分類がなされていることが要求される。

このため、審査に当たっては、当地点における施設の持つ安全機能からみた耐震重要度分類の方針及び各施設の重要度分類の確認を行った。

### a. 耐震重要度分類の方針

Sクラスについては、自ら放射性物質を内蔵しているか又は内蔵している施設に直接関係しており、その機能その失により放射性物質を外部に放散する可能性のあるもの、及びこれらの事態を防止するために必要なもの、並びにこれらの事故発生の際に外部に放散される放射性物質による影響を低減させるために必要なものであって、その影響の大きいものとしている。

Bクラスについては、上記のSクラスの施設に要求される安全機能に比べて、その影響が比較的小さいものとしている。

また、Cクラスは、Sクラス、Bクラス以外のものであって一般産業施設と同等の安全性を保持するものとしている。

この方針は、放射性物質の外部放散による環境への影響を防止するために必要な機能を、その影響の程度の重大性に依じて分類していることから、妥当なものと判断した。

b. 各施設の重要度分類

原子炉施設の重要度については、前項の耐震重要度分類の方針に従い、施設の機能に基づいて分類しており、妥当なものと判断した。

(3) 弾性設計用地震動  $S_d$

弾性設計用地震動  $S_d$  は、基準地震動  $S_s$  に対する施設の安全機能の保持をより高い精度で確認するため、施設、もしくはその構成単位ごとに安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率を考慮して工学的判断から求められる係数を基準地震動  $S_s$  に乗じて設定することが要求される。また、弾性設計用地震動  $S_d$  と基準地震動  $S_s$  の応答スペクトルの比率の値は、めやすとして、0.5を下回らないような値で求められることが望ましいとされている。

このため、審査にあたっては、基準地震動  $S_s$  に乗じる係数の設定方法及び大きさについて検討を行った。

弾性設計用地震動  $S_d$  は基準地震動  $S_s$  の設計用模擬地震波に係数を乗じて設定するとしている。

係数の設定に当たっては、既往の振動試験結果及び解析による検討結果に加え、弾性設計用地震動  $S_d$  が旧指針下における基準地震動  $S_{10}$  の耐震設計上果たしてきた役割の一部を担うものであることなどを踏まえ0.67としており、弾性設計用地震動  $S_d$  と基準地震動  $S_s$  の応答スペクトルの比率は0.5を下回らないとしている。

以上のことから、弾性設計用地震動  $S_d$  を設定するための係数については妥当なものと判断した。

(4) 地震力の算定方法

地震力の算定方法は、施設の重要度に応じた適切な方法によってなされることが要求される。

このため、審査に当たっては、動的地震力の適用方法及び算定方法、

静的地震力の適用方法及びその算定に用いる地震層せん断力係数、震度の算定方法について検討を行った。

a. 動的地震力

動的地震力は、Sクラスの施設及びBクラスの機器・配管系のうち支持構造物の振動と共振のおそれのあるものについて適用することとし、次のとおり定めるとしている。

(a) Sクラスの施設

① 基準地震動  $S_s$  による動的地震力

基準地震動  $S_s$  から定める入力地震動を入力として、動的解析により算定する。

② 弾性設計用地震動  $S_d$  による動的地震力

弾性設計用地震動  $S_d$  から定める入力地震動を入力として、動的解析により算定する。

(b) Bクラスの施設

Bクラスの機器・配管系のうち支持構造物の振動と共振のおそれのあるものについては、上記Sクラスの施設に適用する弾性設計用地震動  $S_d$  から定める入力地震動の振幅を1/2にしたものを入力として動的解析により算定される地震力を適用する。

(c) 入力地震動

建物・構築物の動的解析モデルに対する水平方向及び鉛直方向の入力地震動は、解放基盤表面が建物・構築物を設置する地盤に比して相当に深いことから、解放基盤表面より上部の地盤における地震動の増幅特性を十分に評価したうえ、建物・構築物及び地盤が地震波動に与える影響を適切に考慮して定めることとする。

(d) 動的解析法

① 建物・構築物

動的解析は、原則として、時刻歴応答解析法による。

建物・構築物の動的解析に当たっては、建物・構築物の剛性はそれらの形状、構造特性等を十分考慮して評価し、集中質点系等に置換した解析モデルを設定する。

動的解析には、建物・構築物と地盤及びマンメイドロックとの相互作用を考慮するものとし、解析モデルの地盤のばね定数は、基礎版の平面形状、地盤の剛性等を考慮して定める。設計用地盤定数は、原則として、弾性波試験によるものを用いる。

地盤－建物・構築物連成系の減衰定数は、振動エネルギーの地下逸散及び地震応答における各部の歪レベルを考慮して定める。

基準地震動  $S_s$  に対する S クラスの建物・構築物の応答解析において、主要構造要素がある程度以上弾性範囲を超える場合には、実験等の結果に基づき、該当する建物部分の構造特性に応じて、その弾塑性挙動を適切に模擬した復元力特性を考慮した応答解析を行う。また、弾性設計用地震動  $S_d$  に対しては弾性応答解析を行う。

なお、S クラスの機器・配管系を支持する建物・構築物の支持機能を検討するための動的解析において、施設を支持する建物・構築物等の主要構造要素がある程度以上弾性範囲を超える場合には、実験等の結果に基づき、該当する建物部分の構造特性に応じて、その弾塑性挙動を適切に模擬した復元力特性を考慮した応答解析を行う。

## ② 機器・配管系

機器の動的解析は、原則として、機器の形状を考慮して、1 質点系又は多質点系モデルに置換し、設計用床応答曲線を用いた応答スペクトル・モーダル解析法又は時刻歴応答解析法等により実施する。

配管系については、適切なモデルを作成し、設計用床応答曲線を用いた応答スペクトル・モーダル解析法等により実施する。

なお、剛性の高い機器・配管系は、その設置床面の最大応答加速度の1.2倍の加速度を震度として作用させて地震力を算定する。

動的解析に用いる減衰定数は、既往の振動実験等を考慮して適切な値を定める。

以上のことから、動的地震力の適用方法及び算定方法の考え方は、適切なものと判断した。

## b. 静的地震力

S クラスの建物・構築物では、水平地震力は、地震層せん断力係数  $C_i$  に、施設の重要度分類に応じた係数 (3.0) を乗じ、さらに当該層以上の重量を乗じて算定するものとするとしている。ここで、地震層せん断力係数  $C_i$  は、標準せん断力係数  $C_0$  を0.2とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値とするとしている。

鉛直地震力は、震度0.3を基準とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求めた鉛直震度より算定するものとするとしている。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とするとしている。

Sクラスの機器・配管系では、水平地震力は、上記の地震層せん断力係数 $C_i$ に施設の重要度分類に応じた係数を乗じたものを水平震度とし、当該水平震度及び上記の鉛直震度をそれぞれ20%増しとした震度より求めるものとしている。

B及びCクラスの建物・構築物では、水平地震力は、地震層せん断力係数 $C_i$ に、施設の重要度分類に応じた係数(1.5、1.0)を乗じ、さらに当該層以上の重量を乗じて算定するものとするとしている。B及びCクラスの機器・配管系では、水平地震力は、上記の地震層せん断力係数 $C_i$ に施設の重要度分類に応じた係数を乗じたものを水平震度とし、当該水平震度を20%増しとした震度より求めるものとしている。

以上のことから、静的地震力の算定方法の考え方は、適切なものと判断した。

#### (5) 荷重の組合せと許容限界

原子炉施設の耐震設計においては、常時作用している荷重、運転時に作用する荷重及び事故時に作用する荷重等と地震による荷重とは適切に組み合わせて考慮することが要求される。

許容限界については、荷重の組合せに応じた適切な許容限界等が要求される。

このため、審査に当たっては、地震力と他の荷重との組合せの考え方とその組み合わせた荷重状態で施設に許容される許容限界等の考え方について検討を行った。

Sクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時に施設に作用する荷重と、基準地震動 $S_s$ による地震力との組合せに対して、建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対して安全余裕をもたせるとしている。

また、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と、弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力

とを組み合わせ、その結果発生する応力に対して、安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とするとしている。

B及びCクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と、静的地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とするとしている。

Sクラスの機器・配管系については、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動 $S_s$ による地震力とを組み合わせ、その結果発生する応力に対して、構造物の相当部分が降伏して塑性変形する場合でも、過大な変形、亀裂、破損等が生じ、その施設の機能に影響を及ぼすことがないこととするとしている。また、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重と弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力とを組み合わせ、その結果発生する応力に対して、降伏応力又はこれと同等な安全性を有する応力を許容限界とするとしている。

B及びCクラスの機器・配管系については、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時の荷重と地震力（静的地震力もしくは弾性設計用地震動 $S_d$ から定める入力地震動の振幅を $1/2$ としたものを入力として算定した地震力）とを組み合わせ、その結果発生する応力に対して、降伏応力又はこれと同等の安全性を有する応力を許容限界とするとしている。

また、地震時及び地震後に動作を要求される機器については、基準地震動 $S_s$ による応答に対して、実証試験等により確認されている機能維持加速度等を許容限界とするとしている。

地震力と組み合わせる運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重とは、地震によって引き起こされるおそれのある事象によって作用する荷重であるとしている。

また、地震によって引き起こされるおそれがなくても長期間作用する事故時の荷重については、弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力又は静的地震力との組合せを考慮するとしている。

なお、事故事象の発生確率と継続時間及び地震動の超過確率の関係を踏まえ、両者が同時に発生する可能性が極めて小さい場合には、そのような事象によって発生する荷重を地震力とは組み合わせないとしている。

以上のことから、荷重の組合せと許容限界についての基本的な考え方

は、妥当なものと判断した。

**(6) その他**

以上で述べた耐震設計のほかに、ある程度以上の地震動を検知した場合に原子炉を自動的に停止させるために地震感知器を設置するとしている。

なお、原子炉施設のうち安全上特に重要なものに対しては、必要に応じて据付け後の振動試験、地震観測等により振動性状の測定等を行い、それらの測定結果に基づき解析等を行うことにより、施設の機能に支障のないことを確認するとしている。

これらは地震に対する安全上の配慮として妥当なものと判断した。

## V 審査経過

本審査書は、電源開発株式会社大間原子力発電所の原子炉の設置に関し、同社が提出した「大間原子力発電所原子炉設置許可申請書及び同添付書類（平成16年3月18日付け申請、平成17年6月3日付け一部補正、平成18年2月17日付け一部補正、平成18年10月24日付け一部補正）」に基づき審査を行った結果を取りまとめたものである。

審査の過程において、現地調査を実施したほか、経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会並びに部会に設置された小委員会及びワーキンググループに属する委員の専門的意見を聴取した。また、発電所配置変更に伴い取り下げられた平成11年9月8日付け原子炉設置許可申請に係る審査過程で聴取した専門的意見も参考とした。

なお、平成10年12月17日に開催した、「電源開発株式会社大間原子力発電所の設置に係る公開ヒアリング」における地元意見等のうち、本審査に係るものについては、これを参酌した。

当該原子炉設置許可申請及び平成11年9月8日付け原子炉設置許可申請に係る審査過程で意見を聴取した経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会並びに部会に設置された小委員会及びワーキンググループに属する委員等は、以下のとおりである。

平成19年3月現在

氏名	所属
安達 隆史	山梨大学
安達 俊夫	日本大学
吾妻 崇	独立行政法人 産業技術総合研究所
	(平成19年2月から)
阿部 勝征	東京大学
飯嶋 敏哲	財団法人 原子力発電技術機構(平成11年12月まで)
石塚 信	財団法人 原子力安全技術センター
	(平成15年1月まで)
伊藤 洋	財団法人 電力中央研究所
井上 晃次	財団法人 核物質管理センター
今村 文彦	東北大学
入倉 孝次郎	愛知工業大学
岩下 和義	埼玉大学
岩田 知孝	京都大学
岩渕 洋	海上保安庁
大谷 隆一	財団法人 電力中央研究所
大西 有三	京都大学
岡村 弘之	東京理科大学
	(平成16年2月まで)
岡村 行信	独立行政法人 産業技術総合研究所
片岡 勲	大阪大学
加藤 眞規子	元 気象庁気象研究所
	(平成13年1月まで)
可児 吉男	独立行政法人 日本原子力研究開発機構
川上 泰	財団法人 原子力安全研究協会
神田 順	東京大学
北川 良和	元 慶應義塾大学

衣笠 善博	東京工業大学	
木下 幹康	財団法人 電力中央研究所	
久木田 豊	名古屋大学	
工藤 和彦	九州大学	(平成 12 年 6 月まで)
瀨瀬 一起	東京大学	
小林 昭一	福井工業大学	(平成 15 年 2 月まで)
駒田 広也	財団法人 電力中央研究所	
近藤 駿介	東京大学	(平成 16 年 1 月まで)
代谷 誠治	京都大学	(平成 16 年 2 月まで)
首藤 伸夫	岩手県立大学	(平成 17 年 3 月まで)
杉山 雄一	独立行政法人 産業技術総合研究所	
早田 邦久	日本原子力研究所	(平成 13 年 1 月まで)
高島 賢二	独立行政法人 原子力安全基盤機構	(平成 19 年 2 月から)
高田 毅士	東京大学	
高橋 智幸	秋田大学	(平成 19 年 2 月から)
多田 堯	国土地理院	(平成 11 年 10 月まで)
千葉 長	気象庁気象研究所	
中澤 正治	東京大学	
成田 脩	独立行政法人 日本原子力研究開発機構	
西川 孝夫	元 首都大学東京	(平成 18 年 11 月から)
野口 宏	独立行政法人 日本原子力研究開発機構	
花房 龍男	元 気象庁気象研究所	
日比野 敏	財団法人 電力中央研究所	
藤城 俊夫	財団法人 高度情報科学技術研究機構	
古田 照夫	元 独立行政法人 原子力安全基盤機構	
本間 俊充	独立行政法人 日本原子力研究開発機構	
溝上 恵	元 東京大学	
翠川 三郎	東京工業大学	
南 賢太郎	財団法人 高度情報科学技術研究機構	
村上 亮	国土地理院	
宮崎 慶次	元 大阪大学	
横倉 隆伸	独立行政法人 産業技術総合研究所	
横田 修一郎	島根大学	

吉井 敏尅

日本大学

(平成 19 年 2 月まで)

吉中 龍之進

元 埼玉大学

渡邊 啓行

埼玉大学

(平成 16 年 2 月まで)

(敬称略、50 音順)