

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密または防護上の機密に属しますので公開できません。

資料 1 - 3

伊方発電所 3 号炉
設置許可基準規則等への適合性について
(使用済燃料乾式貯蔵施設)
〈補足説明資料〉

令和元年 1 1 月
四国電力株式会社

目 次

4条 地震による損傷の防止

今回説明範囲

5条 津波による損傷の防止

6条 外部からの衝撃による損傷の防止

－外部事象

－竜巻

－外部火災

－火山

7条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

8条 火災による損傷の防止

9条 溢水による損傷の防止

11条 安全避難通路等

今回説明範囲

12条 安全施設

16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

29条 工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護

今回説明範囲

30条 放射線からの放射線業務従事者の防護

今回説明範囲

4 条

地震による損傷の防止

<目 次>

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置, 構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

1.4 手順等

2. 地震による損傷の防止

(別添1) 使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震設計方針

(別添2) 使用済燃料乾式貯蔵容器及び貯蔵架台の耐震評価について

(別添3) 使用済燃料乾式貯蔵施設に対する波及的影響の検討について

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(1) 耐震構造

本発電用原子炉施設は、次の方針に基づき耐震設計を行い、設置許可基準規則に適合するように設計する。

(i) 設計基準対象施設の耐震設計

設計基準対象施設については、耐震重要度分類に応じて、適用する地震力に対して、以下の項目に従って耐震設計を行う。

a. 耐震重要施設は、基準地震動による地震力に対して、安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。

b. 設計基準対象施設は、地震により発生するおそれがある安全機能の喪失及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて、耐震重要度分類を以下のとおり、Sクラス、Bクラス及びCクラスに分類し、それぞれに応じた地震力に十分に耐えられるように設計する。

Sクラス 地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの

Bクラス 安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラスの施設と比べ小さい施設

Cクラス Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設

c. Sクラスの施設（e.に記載のものを除く。）、Bクラス及びCクラスの施設は、建物・構築物については、地震層せん断力係数 C_i に、それぞれ3.0、1.5及び1.0を乗じて求められる水平地震力、機器・配管系については、それぞれ3.6、1.8及び1.2を乗じた水平震度から求められる水平地震力に十分に耐えられるように設計する。建物・構築物及び機器・配管系ともに、おおむね弾性状

態に留まる範囲で耐えられるように設計する。

ここで、地震層せん断力係数 C_1 は、標準せん断力係数 C_0 を0.2以上とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

ただし、土木構造物の静的地震力は、Cクラスに適用される静的地震力を適用する。

Sクラスの施設（e.に記載のものを除く。）については、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する。鉛直地震力は、建物・構築物については、震度0.3以上を基準とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる鉛直震度、機器・配管系については、これを1.2倍した鉛直震度より算定する。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

- d. Sクラスの施設（e.に記載のものを除く。）は、基準地震動による地震力に対して安全機能が保持できるように設計する。建物・構築物については、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妥当な安全余裕を有するように設計する。機器・配管系については、その施設に要求される機能を保持するように設計し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないように、また、動的機器等については、基準地震動による応答に対して、その設備に要求される機能を保持するように設計する。

また、弾性設計用地震動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に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。建物・構築物については、発生する応力に対して、建築基準法等の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。機器・配管系については、応答が全体的におおむね弾性状態に留まるように設計する。

なお、基準地震動及び弾性設計用地震動による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定するものとする。

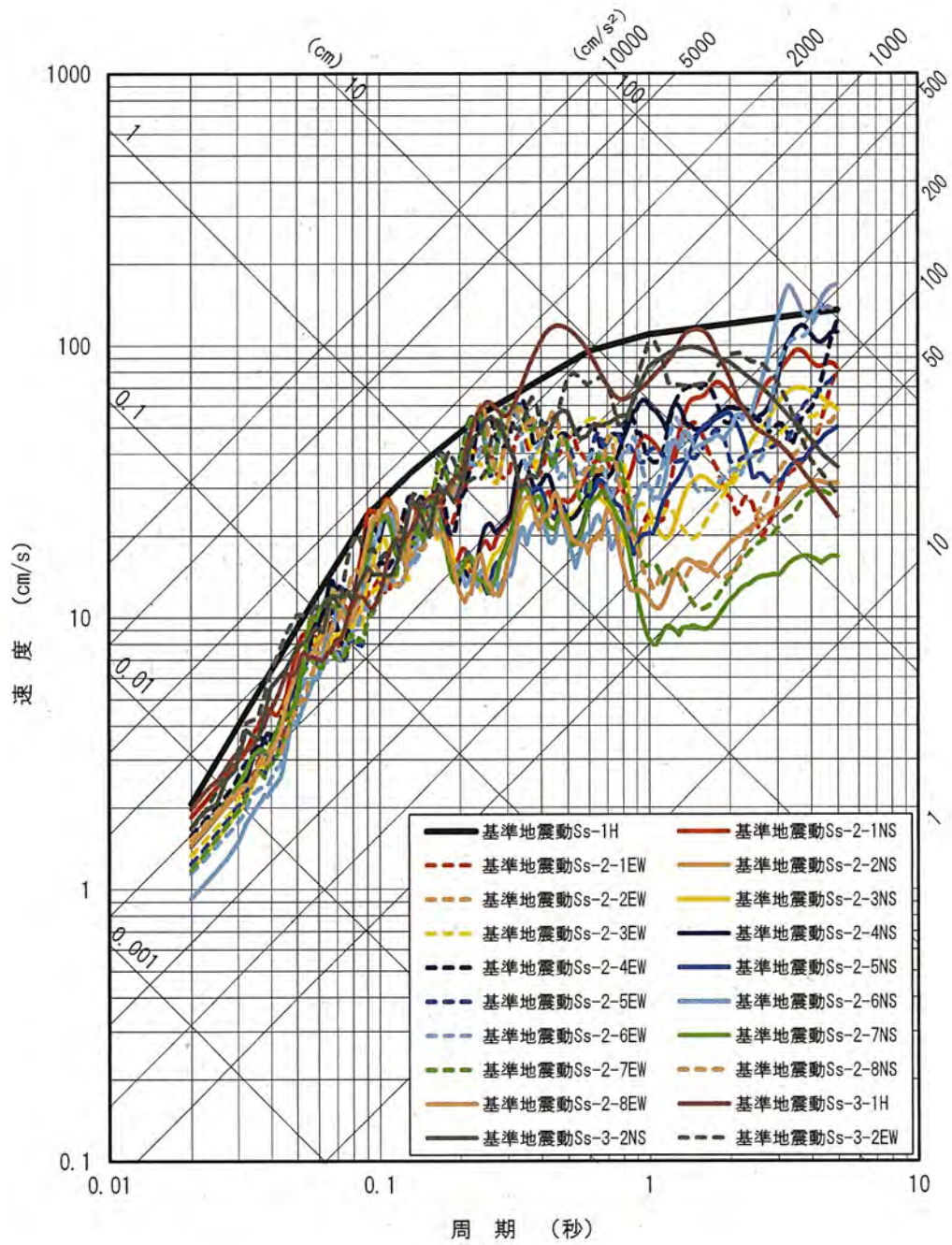
基準地震動は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動及び震源を特定せず策定する地震動について、敷地の解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定する。策定した基準地震動の応答スペクトルを第1図及び第2図に、時刻歴波形を第3図～第13図に示す。解放基盤表面は、地盤調査の結果から、0.7km/s以上のS波速度（2.6km/s）を持つ堅固な岩盤が十分な拡がりを持つていることが確認されているため、敷地標高を考慮してEL. +10mとする。

また、弾性設計用地震動は、基準地震動との応答スペクトルの比率が目安として0.5を下回らないような値に余裕を持たせ、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和56年7月20日原子力安全委員会決定、平成13年3月29日一

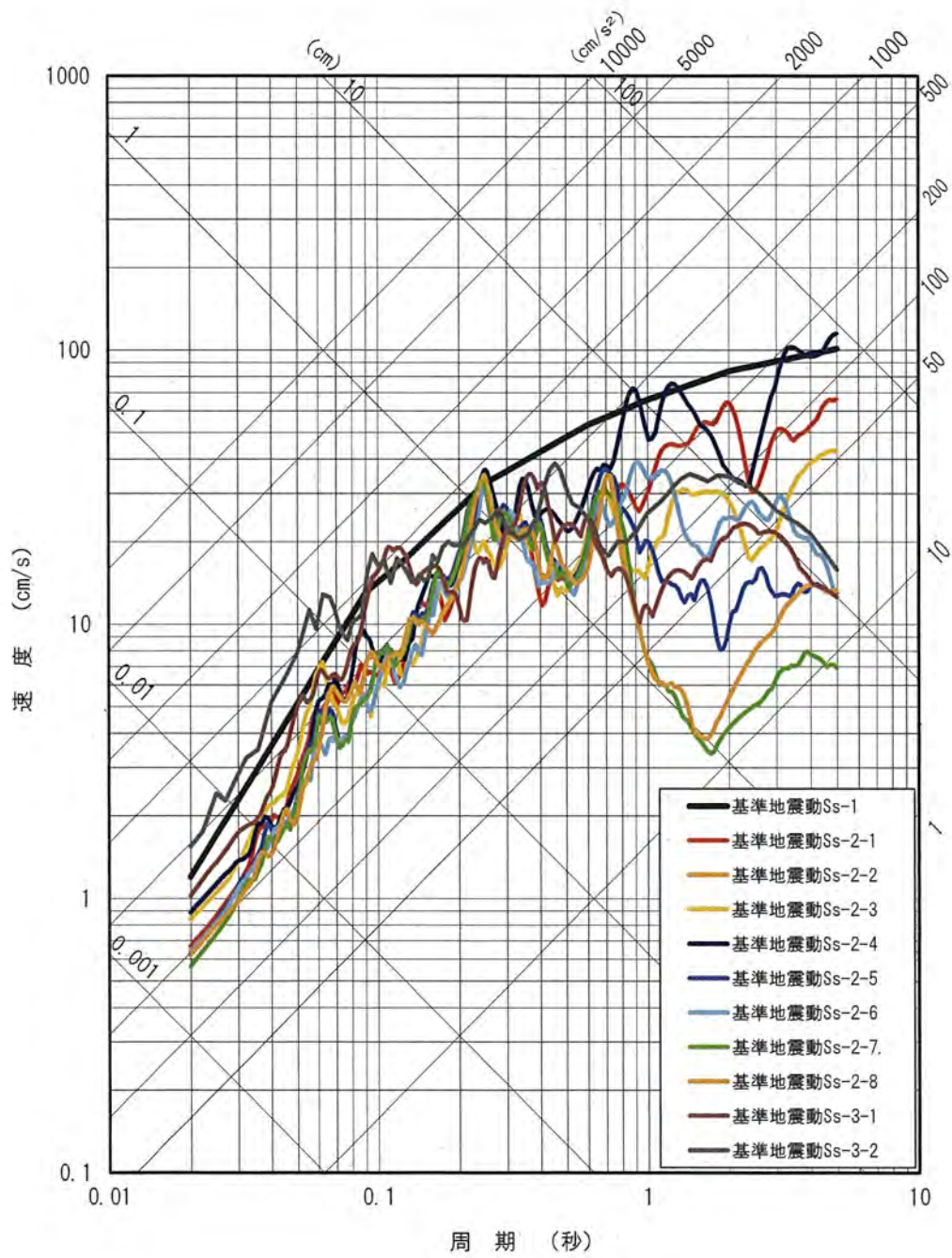
部改訂)」における基準地震動 S_1 を踏まえ、工学的判断から基準地震動に係数0.53を乗じて設定する。

なお、Bクラスの施設のうち、共振のおそれのある施設については、弾性設計用地震動に2分の1を乗じた地震動によりその影響についての検討を行う。建物・構築物及び機器・配管系ともに、おおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。

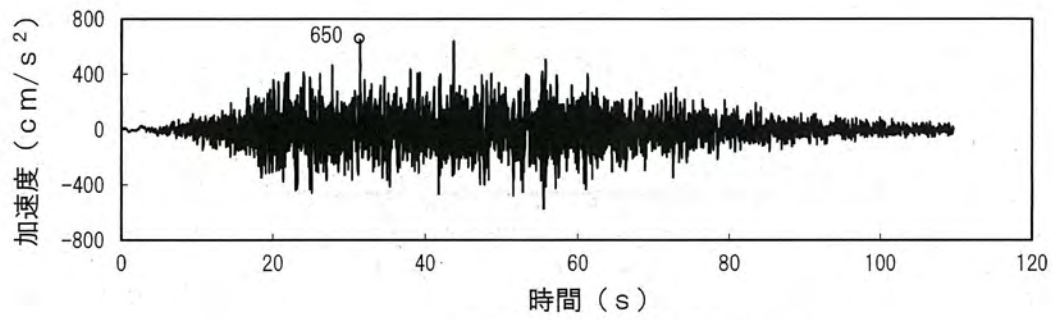
- e. 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備、浸水防止設備が設置された建物・構築物並びに使用済燃料乾式貯蔵容器は、基準地震動による地震力に対して、それぞれの施設及び設備に要求される機能が保持できるように設計する。
- f. 耐震重要施設は、耐震重要度分類の下位のクラスに属する施設の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。また、使用済燃料乾式貯蔵容器は、周辺施設等の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。波及的影響の評価に当たっては、敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、事象選定及び影響評価を行う。なお、影響評価においては、耐震重要施設又は使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力を適用する。
- g. 炉心内の燃料被覆材の放射性物質の閉じ込めの機能については、以下のとおり設計する。
- 弾性設計用地震動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に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まるように設計する。
- 基準地震動による地震力に対して、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないように設計する。



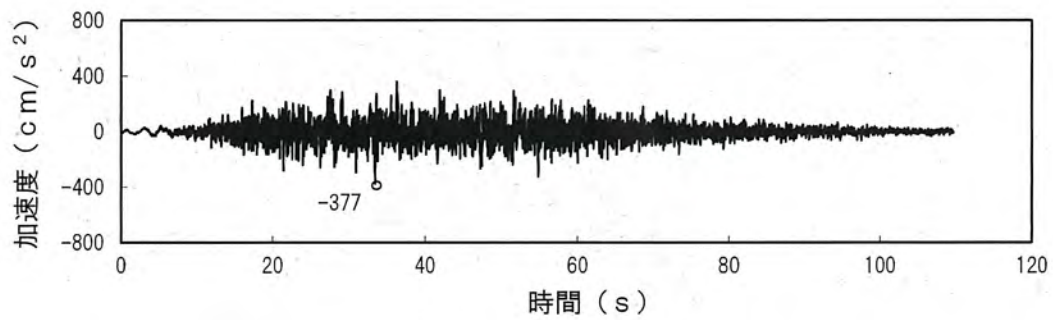
第1図 基準地震動Ssの応答スペクトル (水平方向)



第2図 基準地震動Ssの応答スペクトル (鉛直方向)

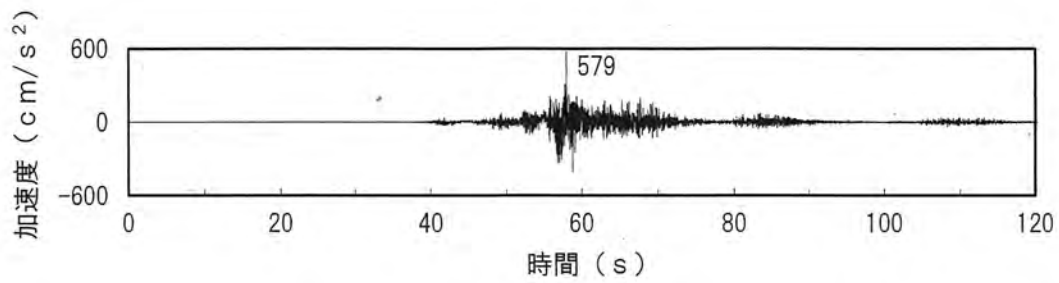


加速度（水平方向：Ss-1H）

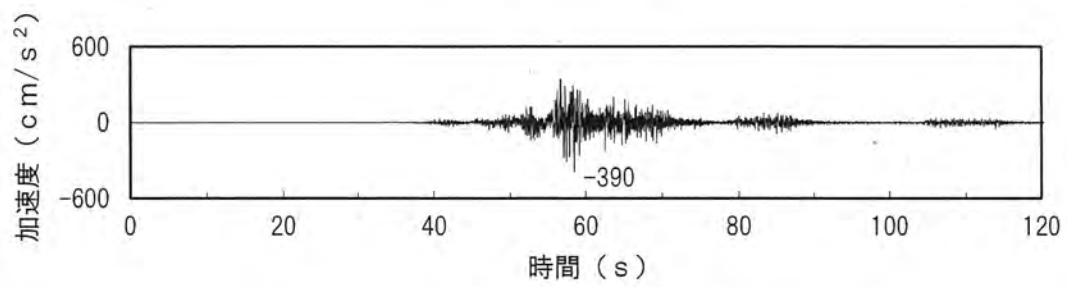


加速度（鉛直方向：Ss-1V）

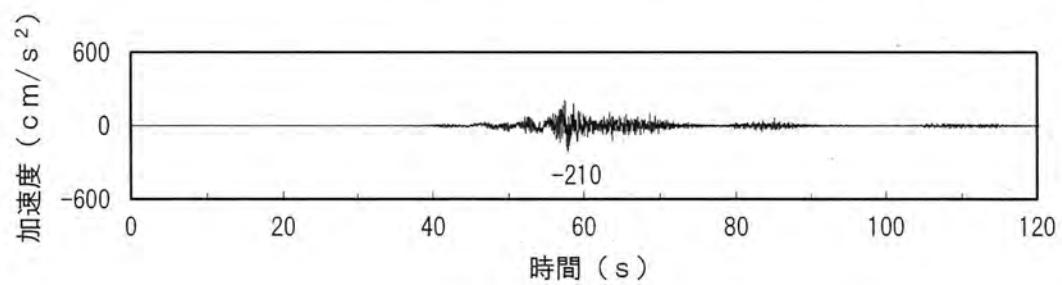
第3図 基準地震動Ss-1の設計用模擬地震波の時刻歴波形



加速度 (水平方向 : Ss-2-1(NS))

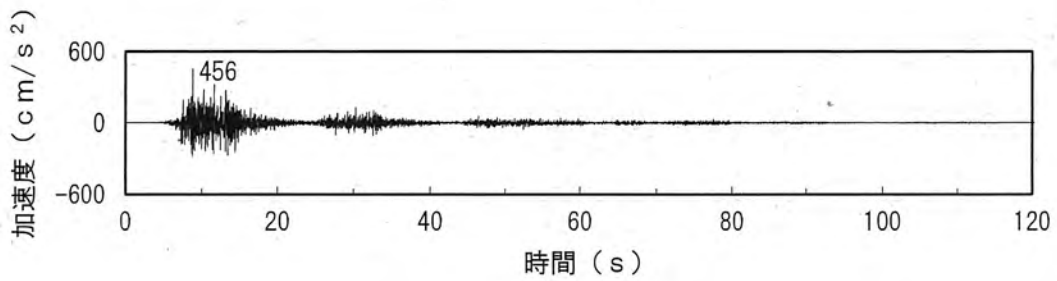


加速度 (水平方向 : Ss-2-1(EW))

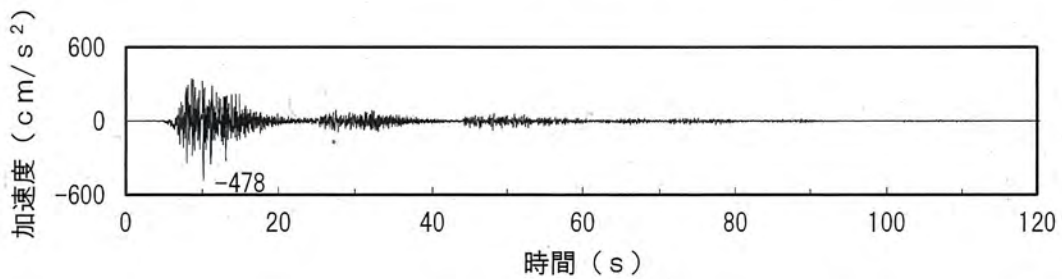


加速度 (鉛直方向 : Ss-2-1(UD))

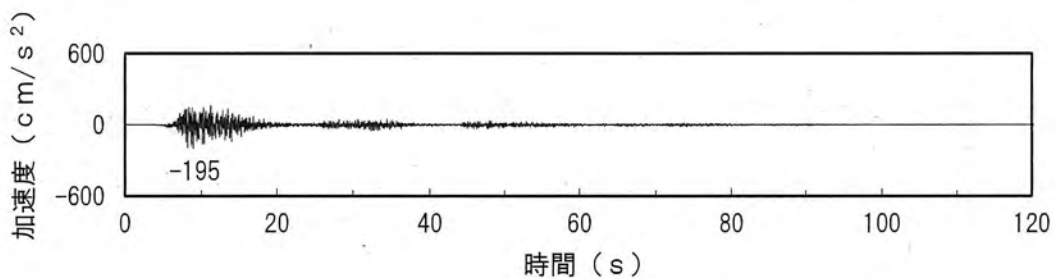
第4図 基準地震動Ss-2-1の時刻歴波形



加速度 (水平方向 : Ss-2-2 (NS))

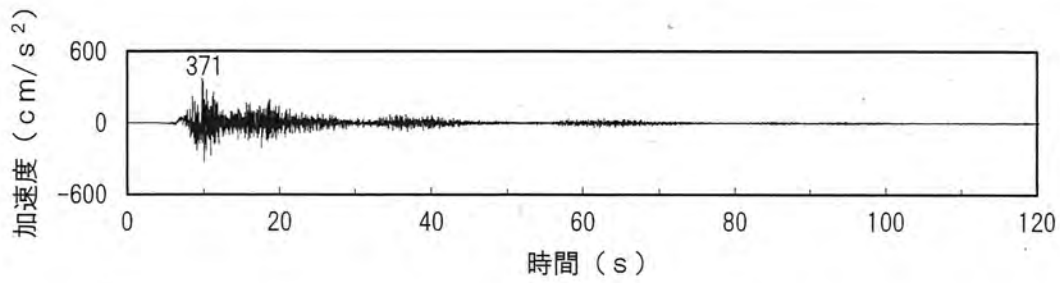


加速度 (水平方向 : Ss-2-2 (EW))

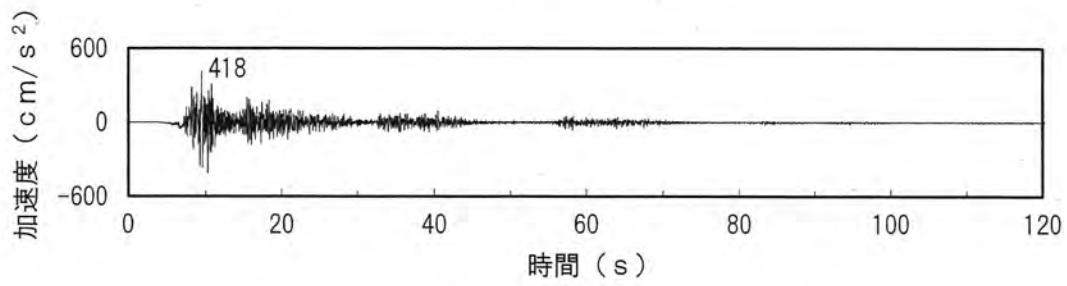


加速度 (鉛直方向 : Ss-2-2 (UD))

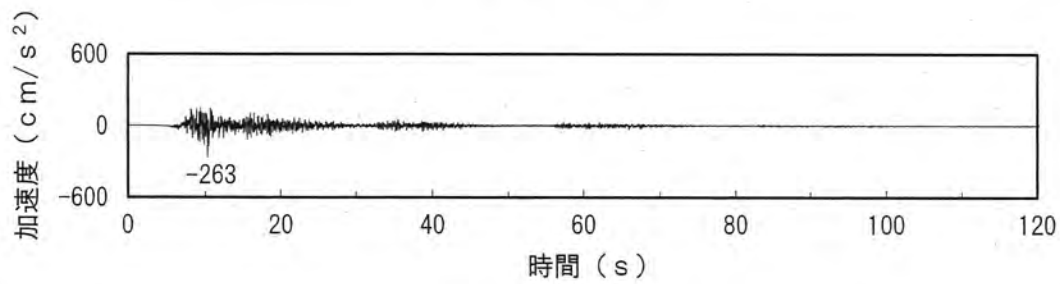
第5図 基準地震動Ss-2-2の時刻歴波形



加速度 (水平方向 : Ss-2-3(NS))

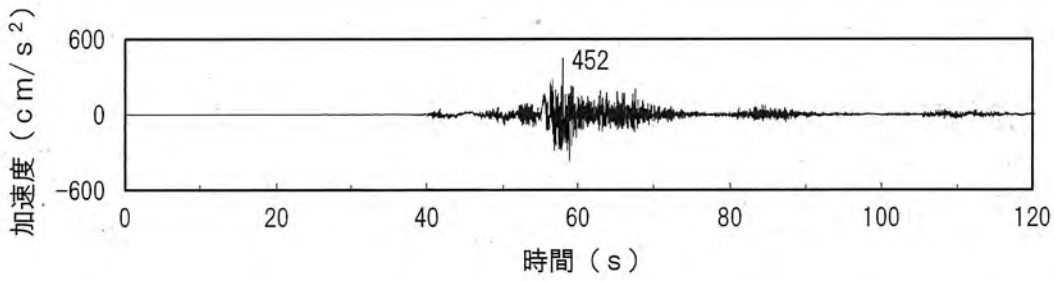


加速度 (水平方向 : Ss-2-3(EW))

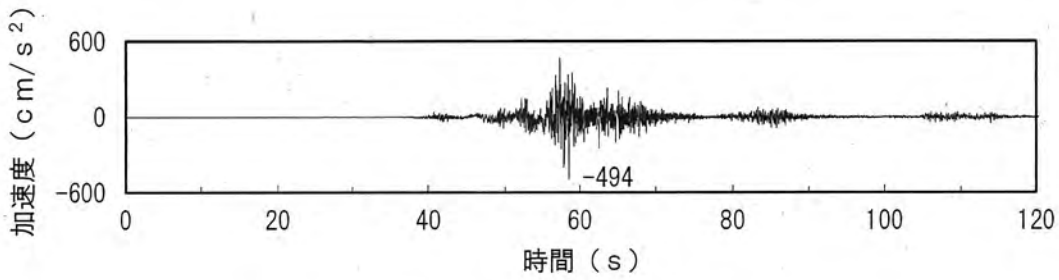


加速度 (鉛直方向 : Ss-2-3(UD))

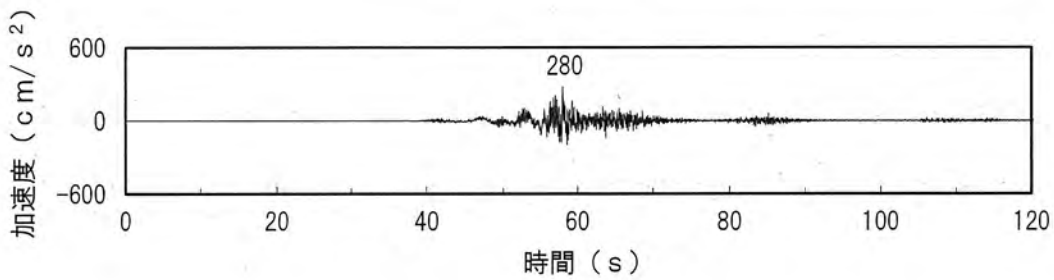
第6図 基準地震動Ss-2-3の時刻歴波形



加速度（水平方向：Ss-2-4(NS)）

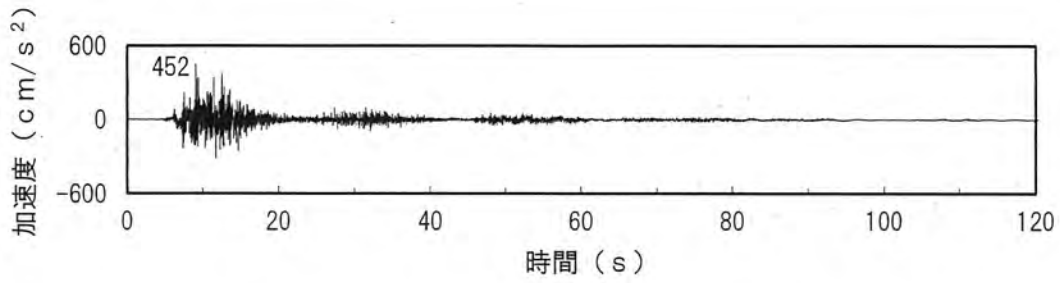


加速度（水平方向：Ss-2-4(EW)）

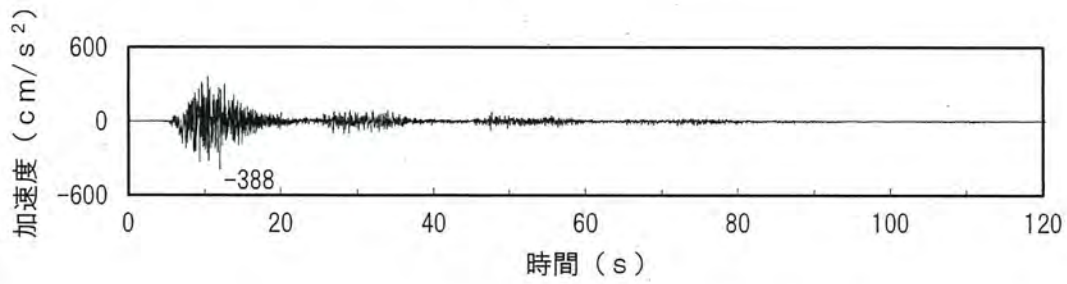


加速度（鉛直方向：Ss-2-4(UD)）

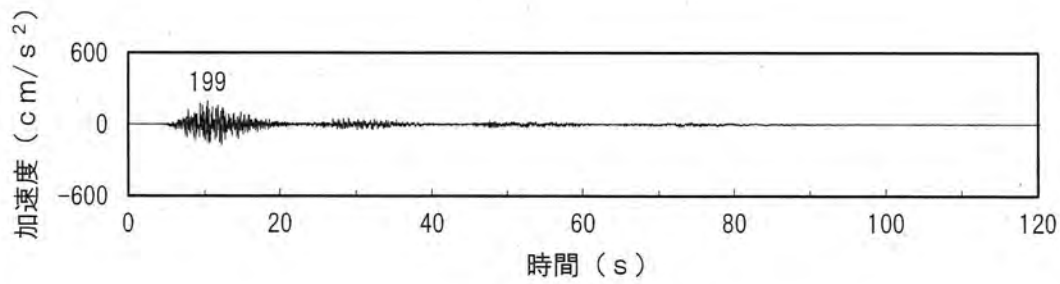
第7図 基準地震動Ss-2-4の時刻歴波形



加速度 (水平方向 : Ss-2-5(NS))

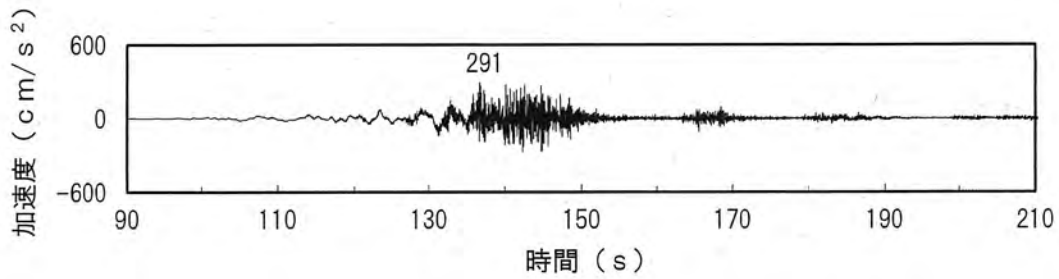


加速度 (水平方向 : Ss-2-5(EW))

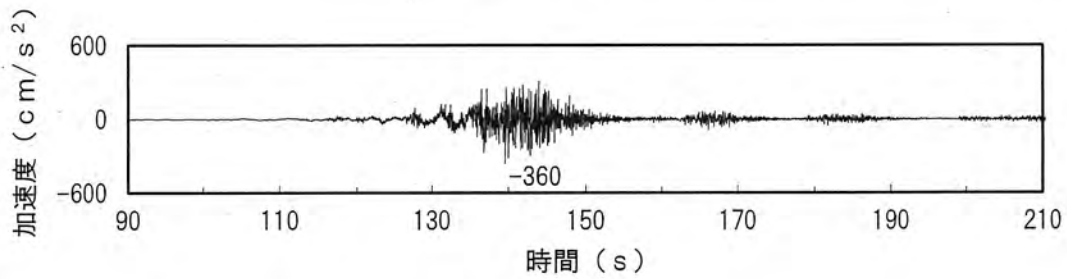


加速度 (鉛直方向 : Ss-2-5(UD))

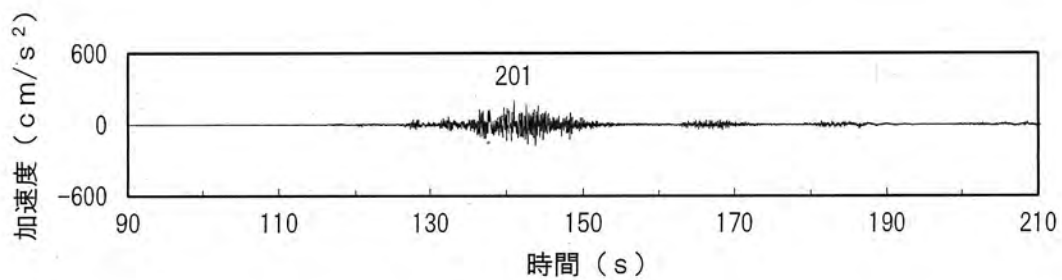
第 8 図 基準地震動Ss-2-5の時刻歴波形



加速度 (水平方向 : Ss-2-6 (NS))

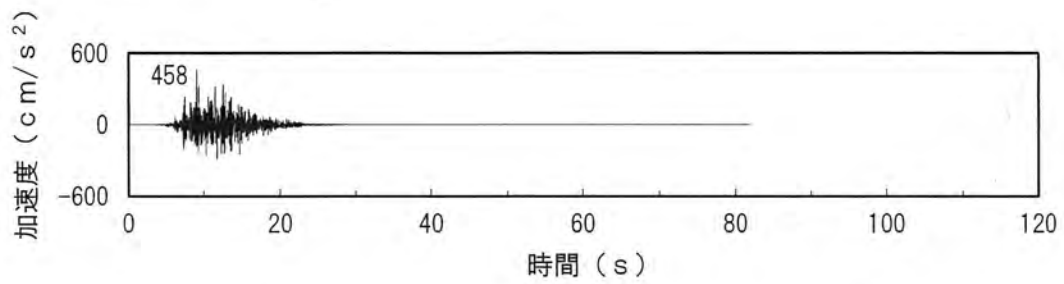


加速度 (水平方向 : Ss-2-6 (EW))

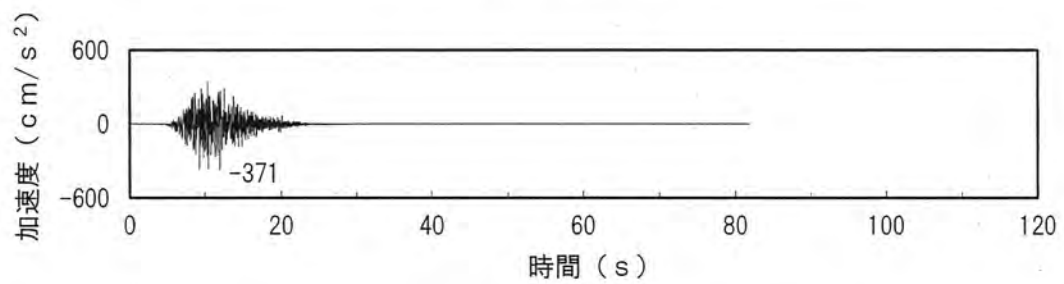


加速度 (鉛直方向 : Ss-2-6 (UD))

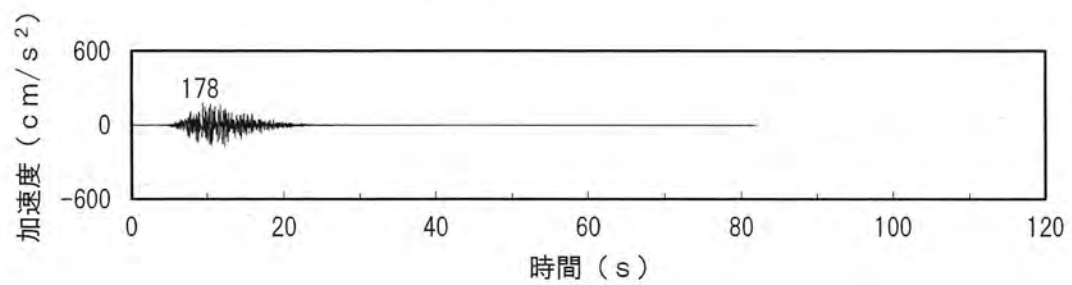
第9図 基準地震動Ss-2-6の時刻歴波形



加速度 (水平方向 : Ss-2-7(NS))

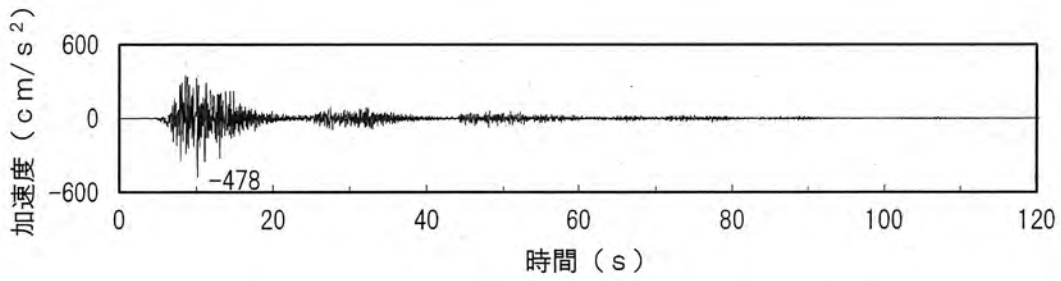


加速度 (水平方向 : Ss-2-7(EW))

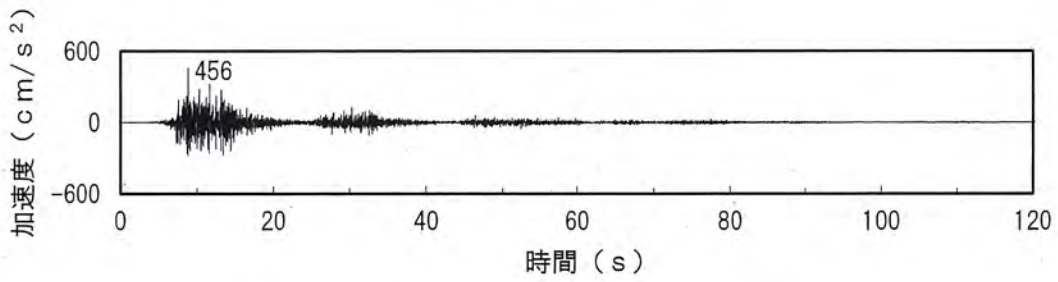


加速度 (鉛直方向 : Ss-2-7(UD))

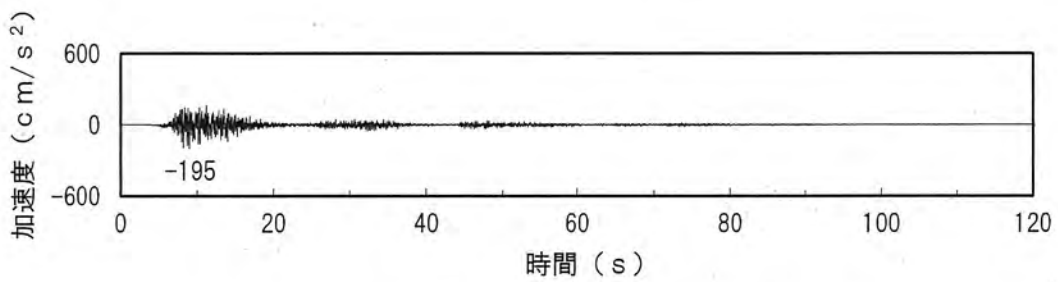
第 10 図 基準地震動Ss-2-7の時刻歴波形



加速度 (水平方向 : Ss-2-8 (NS))

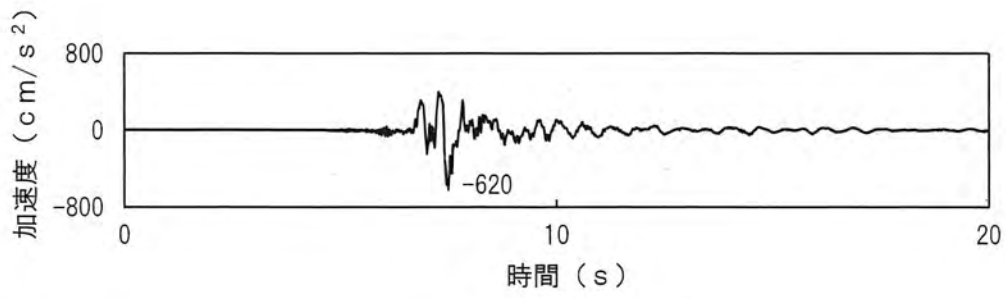


加速度 (水平方向 : Ss-2-8 (EW))

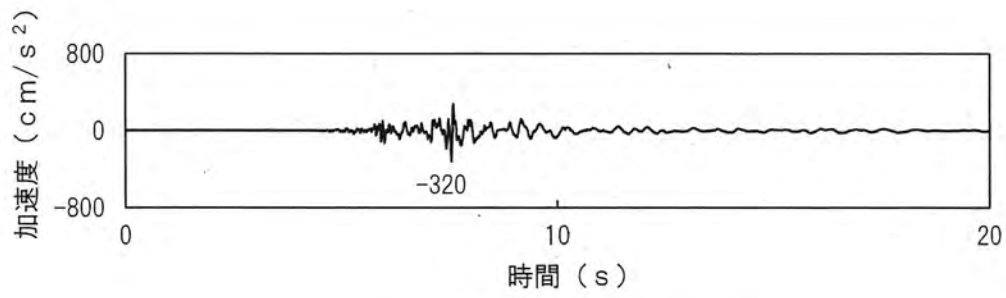


加速度 (鉛直方向 : Ss-2-8 (UD))

第 1 1 図 基準地震動Ss-2-8の時刻歴波形

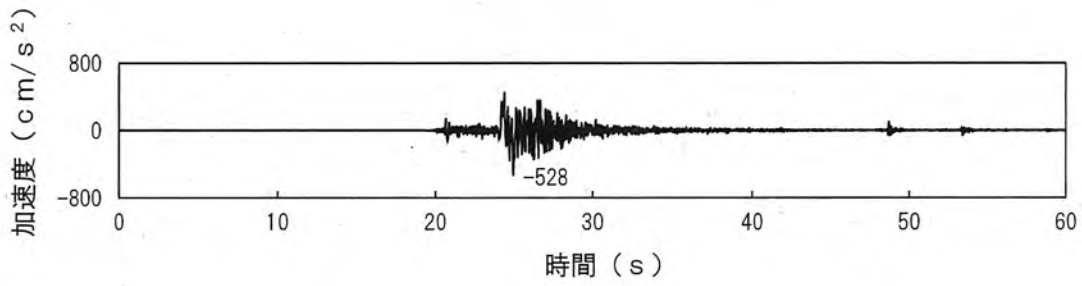


加速度 (水平方向 : Ss-3-1)

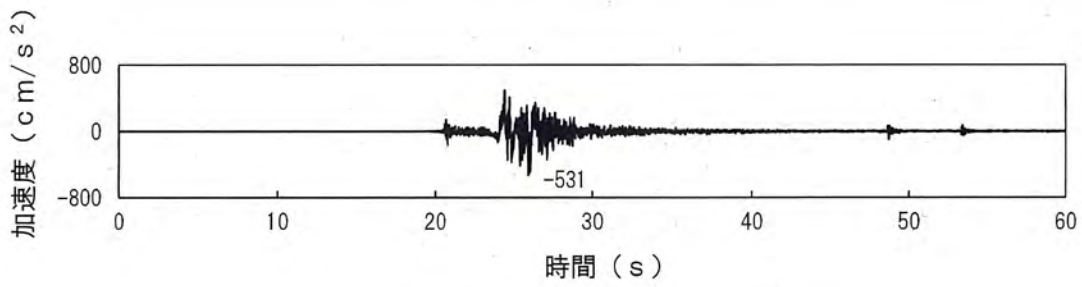


加速度 (鉛直方向 : Ss-3-1)

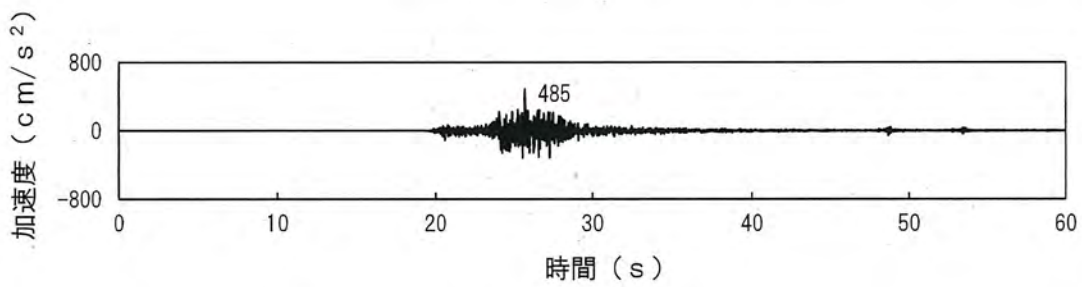
第 1 2 図 基準地震動Ss-3-1の時刻歴波形



加速度 (水平方向 : Ss-3-2(NS))



加速度 (水平方向 : Ss-3-2(EW))



加速度 (鉛直方向 : Ss-3-2(UD))

第 1 3 図 基準地震動Ss-3-2の時刻歴波形

(2) 安全設計方針

1.4 耐震設計

1.4.1 設計基準対象施設の耐震設計

1.4.1.1 設計基準対象施設の耐震設計の基本方針

設計基準対象施設の耐震設計は、以下の項目に従って行う。

- (1) 地震により生じるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの(以下「耐震重要施設」という。)及び使用済燃料乾式貯蔵容器は、基準地震動による地震力に対して、その安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。
- (2) 設計基準対象施設は、地震により発生するおそれがある安全機能の喪失(地震に伴って発生するおそれがある津波及び周辺斜面の崩壊等による安全機能の喪失を含む。)及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度(以下「耐震重要度」という。)に応じて、耐震重要度分類をSクラス、Bクラス及びCクラスに分類し、それぞれに応じた地震力に十分耐えられるように設計する。
- (3) 建物・構築物については、耐震重要度分類の各クラスに応じて算定する地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する地盤に設置する。
なお、建物・構築物とは、建物、構築物及び土木構造物(屋外重要土木構造物及びその他の土木構造物)の総称とする。
また、屋外重要土木構造物とは、耐震安全上重要な機器・配管系の間接支持機能、若しくは非常時における海水の通水機能を求められる土木構造物をいう。
- (4) Sクラスの施設((6)に記載のものを除く。)は、基準地震動による地震力に対してその安全機能が保持できる設計とする。
また、弾性設計用地震動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に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられる設計とする。
- (5) Sクラスの施設((6)に記載のものを除く。)について、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する。
また、基準地震動及び弾性設計用地震動による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定するものとする。なお、水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用し、影響が考えられる施設、設備については許容限界の範囲内に留まることを確認する。
- (6) 屋外重要土木構造物、津波防護機能を有する設備(以下「津波防護施設」という。)、浸水防止機能を有する設備(以下「浸水防止設備」という。)及び敷地における津波監視機能を有する施設(以下「津波監視設備」という。)、浸水防止設備が設置された建物・構築物並びに使用済燃料乾式貯蔵容器は、基準地震動による地震力に対して、それぞれの施設及び設備に要求される機能が保持できるように設計する。
なお、基準地震動の水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せについては、Sクラ

ス施設と同様とする。

また、重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を含む。）を津波から防護するための津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物についても同様の設計方針とする。

- (7) Bクラスの施設は、静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。

また、共振のおそれのある施設については、その影響についての検討を行う。その場合、検討に用いる地震動は、弾性設計用地震動に2分の1を乗じたものとする。なお、当該地震動による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせるものとし、Sクラス施設と同様に許容限界の範囲内に留まることを確認する。

- (8) Cクラスの施設は、静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。

- (9) 耐震重要施設は、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。また、**使用済燃料乾式貯蔵容器は、周辺施設等の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。**

- (10) 設計基準対象施設の構造計画及び配置計画に際しては、地震の影響が低減されるように考慮する。

- (11) 炉心内の燃料被覆材の放射性物質の閉じ込めの機能については、以下のとおり設計する。

弾性設計用地震動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に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まるように設計する。

基準地震動による地震力に対して、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないように設計する。

1.4.1.2 耐震重要度分類

設計基準対象施設の耐震重要度を、次のように分類する。

- (1) Sクラスの施設

地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいものであり、次の施設を含む。

- ・原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系
- ・使用済燃料を貯蔵するための施設
- ・原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設及び原子炉の停止状態を維持するための施設
- ・原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
- ・原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
- ・原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設
- ・放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設であり、上記の「放射性物質の放散を直接防ぐための施設」以外の施設
- ・津波防護施設及び浸水防止設備
- ・津波監視設備

(2) Bクラスの施設

安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラスの施設と比べ小さい施設であり、次の施設を含む。

- ・原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、1次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設
- ・放射性廃棄物を内蔵している施設（ただし、内蔵量が少ないか又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和53年通商産業省令第77号）」第2条第2項第6号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。）
- ・放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設
- ・使用済燃料を冷却するための施設
- ・放射性物質の放出を伴う場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設

(3) Cクラスの施設

Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設である。

上記に基づくクラス別施設を第1.4.1表に示す。

なお、同表には当該施設を支持する構造物の支持機能が維持されることを確認する地震動及び波及的影響を考慮すべき施設に適用する地震動についても併記する。

1.4.1.3 地震力の算定方法

設計基準対象施設の耐震設計に用いる地震力の算定は以下の方法による。

(1) 静的地震力

静的地震力は、Sクラスの施設（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備、浸水防止設備が設置された建物・構築物並びに使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）、Bクラス及びCクラスの施設に適用することとし、それぞれ耐震重要度分類に応じて次の地震層せん断力係数 C_i 及び震度に基づき算定する。

a. 建物・構築物

水平地震力は、地震層せん断力係数 C_i に、次に示す施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じ、さらに当該層以上の重量を乗じて算定するものとする。

Sクラス 3.0

Bクラス 1.5

Cクラス 1.0

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以上とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値とする。また、必要保有水平耐力の算定においては、地震層せん断力係数 C_i に乘じる施設の耐震重要度分類に応じた係数は、Sクラス、Bクラス及びCクラスともに1.0とし、その際に用いる標準せん断力係数 C_0 は1.0以上とする。Sクラスの施設については、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する。鉛直地震力は、震度0.3以上を基準とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮し、高さ方向に一定として求めた鉛直震度より算定するものとする。

ただし、土木構造物の静的地震力は、安全上適切と認められる規格及び基準を参考に、Cクラスに適用される静的地震力を適用する。

b. 機器・配管系

静的地震力は、上記a. に示す地震層せん断力係数 C_i に施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じたものを水平震度として、当該水平震度及び上記a. 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する。

なお、Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力は同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

上記a. 及びb. の標準せん断力係数 C_0 等の割増し係数の適用については、耐震性向上の観点から、一般産業施設及び公共施設等の耐震基準との関係を考慮して設定する。

(2) 動的地震力

動的地震力は、Sクラスの施設、屋外重要土木構造物及びBクラスの施設のうち共振のおそれのあるものに適用することとし、基準地震動及び弾性設計用地震動から定める入力地震動を入力として、動的解析により水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。なお、地震力の組合せについては水平2方向及び

鉛直方向の地震力が同時に作用するものとし、影響が考えられる施設、設備に対して許容限界の範囲内に留まることを確認する。

Bクラスの施設のうち共振のおそれのあるものについては、弾性設計用地震動から定める入力地震動の振幅を2分の1にしたものによる地震力を適用する。

屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備、浸水防止設備が設置された建物・構築物並びに使用済燃料乾式貯蔵容器については、基準地震動による地震力を適用する。

「添付書類六 5. 地震」に示す基準地震動は、「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、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し、年超過確率は、 10^{-4} ～ 10^{-6} 程度である。

また、弾性設計用地震動は、基準地震動との応答スペクトルの比率が目安として0.5を下回らないよう基準地震動に係数0.53を乗じて設定する。ここで、係数0.53は工学的判断として、原子炉施設の安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率が0.5程度であるという知見⁽¹⁰⁾を踏まえ、さらに「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和56年7月20日原子力安全委員会決定、平成13年3月29日一部改訂）」における基準地震動 S_1 の応答スペクトルをおおむね下回らないよう配慮した値とする。また、建物・構築物及び機器・配管系ともに0.53を採用することで、弾性設計用地震動に対する設計に一貫性をとる。なお、弾性設計用地震動の年超過確率は、 10^{-3} ～ 10^{-5} 程度である。弾性設計用地震動の応答スペクトルを第1.4.1図及び第1.4.2図に、弾性設計用地震動の時刻歴波形を第1.4.3図～第1.4.13図に、弾性設計用地震動と基準地震動 S_1 の応答スペクトルの比較を第1.4.14図に、弾性設計用地震動と解放基盤表面における地震動の一樣ハザードスペクトルの比較を第1.4.15図及び第1.4.16図に示す。

a. 入力地震動

解放基盤表面は、地盤調査の結果から、0.7km/s以上のS波速度（2.6km/s）を持つ堅固な岩盤が十分な広がりを持つ深さを持っていることが確認されているため、敷地標高を考慮してEL. +10mとしている。

建物・構築物の地震応答解析における入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動及び弾性設計用地震動を基に、対象建物・構築物の地盤条件を適切に考慮したうえで、必要に応じ2次元FEM解析又は1次元波動論により、地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定する。地盤条件を考慮する場合には、地震動評価で考慮した敷地全体の地下構造との関係にも留意し、地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する。また、必要に応じ敷地における観測記録による検証や最新の科学的・技術的知見を踏まえ設定する。

b. 地震応答解析

(a) 動的解析法

i. 建物・構築物

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性、適用限界等を考慮のうえ、適切な解析法を選定するとともに、建物・構築物に応じた適切な解析条件を設定する。建物・構築物の地震応答解析及び床応答曲線の策定に用いる動的解析は、原則として、線形解析及び非線形解析に適用可能な時刻歴応答解析法による。また、3次元応答性状等の評価は、線形解析に適用可能な周波数応答解析法による。

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みレベルを考慮して定める。

基準地震動及び弾性設計用地震動に対する応答解析において、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、Sクラスの施設を支持する建物・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、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。

応答解析に用いる材料定数については、地盤の諸定数も含めて不確かさによる変動幅を適切に考慮する。また、必要に応じて建物・構築物及び機器・配管系の設計用地震力に及ぼす影響を検討する。

原子炉建屋及び原子炉補助建屋については、3次元FEM解析等から、建物・構築物の3次元応答性状及び機器・配管系への影響を評価する。

屋外重要土木建造物の動的解析は、建造物と地盤の相互作用を考慮できる連成系の地震応答解析手法とし、地盤及び建造物の地震時における非線形挙動の有無や程度に応じて、線形、等価線形、非線形解析のいずれかに行う。

なお、地震力については、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせる。

ii. 機器・配管系

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性、適用

限界等を考慮のうえ、適切な解析法を選定するとともに、解析条件として考慮すべき減衰定数、剛性等の各種物性値は、適切な規格及び基準、あるいは実験等の結果に基づき設定する。

機器の解析に当たっては、形状、構造特性等を考慮して、代表的な振動モードを適切に表現できるよう1質点系、多質点系モデル等に置換し、設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法、時刻歴応答解析法又はエネルギー保存則等により応答を求める。配管系については、熱的条件及び口径から高温配管又は低温配管に分類し、その仕様に応じて適切なモデルに置換し、設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法又は時刻歴応答解析法により応答を求める。解析法の選択に当たっては、衝突・すべり等の非線形現象を模擬する場合等には時刻歴応答解析法を用いる等、解析対象とする現象、対象設備の振動特性・構造特性等を考慮し適切に選定する。

また、設備の3次元的な広がりをつまみ、適切に応答を評価できるモデルを用い、水平2方向及び鉛直方向の応答成分について適切に組み合わせるものとする。

なお、剛性の高い機器は、その機器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。

(3) 設計用減衰定数

応答解析に用いる減衰定数は、安全上適切と認められる規格及び基準、既往の振動実験、地震観測の調査結果等を考慮して適切な値を定める。

なお、建物・構築物の応答解析に用いる鉄筋コンクリートの減衰定数の設定については、既往の知見に加え、既設施設の地震観測記録等により、その妥当性を検討する。

また、屋外重要土木構造物の地震応答解析に用いる鉄筋コンクリートの減衰定数については、地盤と構造物の連成系解析モデルにおける工学的な判断を踏まえて妥当性を検討する。

1.4.1.4 荷重の組合せと許容限界

設計基準対象施設の耐震設計における荷重の組合せと許容限界は以下による。

(1) 耐震設計上考慮する状態

地震以外に設計上考慮する状態を次に示す。

a. 建物・構築物

(a) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の状態に置かれている状態。ただし、運転状態には通常運転時、運転時の異常な過渡変化時を含むものとする。

(b) 設計基準事故時の状態

発電用原子炉施設が設計基準事故時にある状態

(c) 設計用自然条件

設計上基本的に考慮しなければならない自然条件（積雪，風等）

b. 機器・配管系

(a) 通常運転時の状態

発電用原子炉の起動，停止，出力運転，高温待機及び燃料取替等が計画的又は頻繁に行われた場合であって運転条件が所定の制限値以内にある運転状態

(b) 運転時の異常な過渡変化時の状態

通常運転時に予想される機器の単一の故障若しくはその誤作動又は運転員の単一の誤操作及びこれらと類似の頻度で発生すると予想される外乱によって発生する異常な状態であって，当該状態が継続した場合には炉心又は原子炉冷却材圧力バウンダリの著しい損傷が生じるおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象が発生した状態

(c) 設計基準事故時の状態

発生頻度が運転時の異常な過渡変化より低い異常な状態であって，当該状態が発生した場合には発電用原子炉施設から多量の放射性物質が放出するおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象が発生した状態

(d) 設計用自然条件

設計上基本的に考慮しなければならない自然条件（積雪，風等）

(2) 荷重の種類

a. 建物・構築物

(a) 発電用原子炉のおかれている状態にかかわらず常時作用している荷重，すなわち固定荷重，積載荷重，土圧，水圧及び通常の気象条件による荷重

(b) 運転時の状態で施設に作用する荷重

(c) 設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重

(d) 地震力，風荷重，積雪荷重等

ただし，運転時及び設計基準事故時の荷重には，機器・配管系から作用する荷重が含まれるものとし，地震力には，地震時土圧，機器・配管系からの反力，スロッシング等による荷重が含まれるものとする。

b. 機器・配管系

(a) 通常運転時の状態で作用する荷重

(b) 運転時の異常な過渡変化時の状態で作用する荷重

(c) 設計基準事故時の状態で作用する荷重

(d) 地震力，風荷重，積雪荷重等

(3) 荷重の組合せ

地震力と他の荷重との組合せは次による。

a. 建物・構築物 (c. に記載のものを除く。)

- (a) 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の状態で施設に作用する荷重と地震力とを組み合わせる。
- (b) 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設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重のうち長時間その作用が続く荷重と弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力とを組み合わせる。
- (c) Bクラス及び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の状態で施設に作用する荷重と、動的地震力又は静的地震力とを組み合わせる。

b. 機器・配管系 (c. に記載のものを除く。)

- (a) Sクラスの機器・配管系については、通常運転時の状態で作用する荷重と地震力とを組み合わせる。
- (b) Sクラスの機器・配管系については、運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態のうち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と地震力とを組み合わせる。
- (c) Sクラスの機器・配管系については、運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態で作用する荷重のうち地震によって引き起こされるおそれのない事象であっても、いったん事故が発生した場合、長時間継続する事象による荷重は、その事故事象の発生確率、継続時間及び地震動の超過確率の関係を踏まえ、適切な地震力と組み合わせる。
- (d) Bクラス及びCクラスの機器・配管系については、通常運転時の状態で作用する荷重及び運転時の異常な過渡変化時の状態で作用する荷重と、動的地震力又は静的地震力とを組み合わせる。

c. 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物

- (a) 津波防護施設及び浸水防止設備が設置された建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時の状態で作用する荷重と基準地震動による地震力とを組み合わせる。
- (b) 浸水防止設備及び津波監視設備については、常時作用している荷重及び運転時の状態で作用する荷重等と基準地震動による地震力とを組み合わせる。
なお、上記 (a) , (b) については、地震と津波が同時に作用する可能性について検討し、必要に応じて基準地震動による地震力と津波による荷重の組合せを考慮する。また、津波以外による荷重については、「(2) 荷重の種類」に準じるものとする。

d. 荷重の組合せ上の留意事項

- (a) Sクラスの施設に作用する地震力のうち動的地震力については、水平2方向

と鉛直方向の地震力とを適切に組み合わせ算定するものとする。

(b) ある荷重の組合せ状態での評価が明らかに厳しいことが判明している場合には、その他の荷重の組合せ状態での評価は行わないことがある。

(c) 複数の荷重が同時に作用する場合、それらの荷重による応力の各ピークの生起時刻に明らかなずれがあることが判明しているならば、必ずしもそれぞれの応力のピーク値を重ねなくてもよいものとする。

(d) 上位の耐震クラスの施設を支持する建物・構築物の当該部分の支持機能を確認する場合においては、支持される施設の耐震クラスに応じた地震力と常時作用している荷重、運転時の状態で施設に作用する荷重及びその他必要な荷重とを組み合わせる。

なお、第1.4.1表に対象となる建物・構築物及びその支持機能が維持されていることを検討すべき地震動等について記載する。

(e) 地震と組み合わせる自然現象として、風及び積雪を考慮し、風荷重及び積雪荷重については、施設の設置場所、構造等を考慮して、地震荷重と組み合わせる。

(4) 許容限界

各施設の地震力と他の荷重とを組み合わせた状態に対する許容限界は次のとおりとし、安全上適切と認められる規格及び基準又は試験等で妥当性が確認されている許容応力等を用いる。

a. 建物・構築物 (c. に記載のものを除く。)

(a) Sクラスの建物・構築物

i. 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

建築基準法などの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。

ii. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

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妥当な安全余裕を持たせることとする。

なお、終局耐力は、建物・構築物に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又は歪みが著しく増加するに至る限界の最大耐力とし、既往の実験式等に基づき適切に定めるものとする。

(b) Bクラス及びCクラスの建物・構築物 (e), (f) に記載のものを除く。) 上記 (a) i. による許容応力度を許容限界とする。

(c) 耐震クラスの異なる施設を支持する建物・構築物 (e), (f) に記載のものを除く。)

上記 (a) ii. を適用するほか、耐震クラスの異なる施設がそれを支持する建物・構築物の変形等に対して、その支持機能を損なわないものとする。

なお、当該施設を支持する建物・構築物の支持機能が維持されることを確認する際の地震動は、支持される施設に適用される地震動とする。

(d) 建物・構築物の保有水平耐力 ((e) , (f) に記載のものを除く。)

建物・構築物については、当該建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して耐震重要度に応じた安全余裕を有していることを確認する。

(e) 屋外重要土木構造物

i. 静的地震力との組合せに対する許容限界

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。

ii. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

構造部材の曲げについては、曲げ耐力、限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみに対して妥当な安全余裕を持たせることとし、構造部材のせん断については、せん断耐力に対して妥当な安全余裕を持たせることとする。ただし、構造部材の曲げ、せん断に対して、許容応力度を適用することで、安全余裕を持たせることもある。

なお、それぞれの安全余裕については、各施設の機能要求等を踏まえ設定する。

(f) その他の土木構造物

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。

b. 機器・配管系 (c. に記載のものを除く。)

(a) Sクラスの機器・配管系 ((c) , (d) , (e) に記載のものを除く。)

i. 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

応答が全体的におおむね弾性状態に留まることとする。

ただし、1次冷却材喪失事故時に作用する荷重との組合せ (原子炉格納容器及び非常用炉心冷却設備等における長期的荷重との組合せを除く。) に対しては、下記 ii. に示す許容限界を適用する。

ii. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼすことがないように応力、荷重等を制限する。

また、地震時又は地震後に動的機能が要求される機器等については、基準地震動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確認済加速度等を許容限界とする。

(b) Bクラス及びCクラスの機器・配管系

応答が全体的におおむね弾性状態に留まることとする。

(c) 燃料集合体

地震時に作用する荷重に対して、燃料集合体の1次冷却材流路を維持できること及び過大な変形や破損を生じることにより制御棒の挿入が阻害されないことを確認する。

(d) 燃料被覆材

炉心内の燃料被覆材の放射性物質の閉じ込めの機能については、以下のとおり確認する。

通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動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を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まることを確認する。

通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件によりひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないことを確認する。

(e) 使用済燃料乾式貯蔵容器

自重その他の貯蔵時に想定される荷重と、基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件に対して、当該使用済燃料乾式貯蔵容器に要求される機能を保持することを以下のとおり確認する。

密封境界部については、おおむね弾性状態に留まることを確認する。

使用済燃料乾式貯蔵容器の臨界防止機能を担保しているバスケットについては、臨界防止上有意な変形を起こさないことを確認する。

密封境界部以外の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを確認する。

c. 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物

津波防護施設及び浸水防止設備が設置された建物・構築物については、当該施設及び建物・構築物が構造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するとともに、その施設に要求される機能（津波防護機能及び浸水防止機能）が保持できることを確認する。

浸水防止設備及び津波監視設備については、その設備に要求される機能（浸水防止機能及び津波監視機能）が保持できることを確認する。

d. 基礎地盤の支持性能

(a) Sクラスの建物・構築物、Sクラスの機器・配管系、屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置され

た建物・構築物の基礎地盤

i. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

接地圧が、安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の極限支持力度に対して妥当な余裕を有することを確認する。

ii. 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界（屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備、使用済燃料乾式貯蔵施設及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物の基礎地盤を除く。）

接地圧に対して、安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の短期許容支持力度を許容限界とする。

(b) B, Cクラスの建物・構築物、機器・配管系及びその他の土木構造物の基礎地盤

上記 (a) ii. による許容支持力度を許容限界とする。

1.4.1.5 設計における留意事項

(1) 耐震重要施設

耐震重要施設は、耐震重要度分類の下位のクラスに属する施設（以下「下位クラス施設」という。）の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。

波及的影響の評価に当たっては、以下の4つの観点をもとに、敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、耐震重要施設の安全機能を損なわないことを確認する。なお、原子力発電所の地震被害情報をもとに、4つの観点以外に検討すべき事項がないか確認し、新たな検討事項が抽出された場合には、その観点を追加する。

影響評価には、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力を適用して評価を行うこととし、地震動又は地震力の選定に当たっては、施設の配置状況、使用時間等を踏まえて適切に設定する。また、水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用する場合の影響も考慮して評価する。

a. 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響

(a) 不等沈下

耐震重要施設は、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力による下位クラス施設の設置地盤の不等沈下により、その安全機能を損なわないように設計する。

(b) 相対変位

耐震重要施設は、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力による下位クラス施設との相対変位により、その安全機能を損なわないように設計する。

b. 耐震重要施設と下位クラス施設との接続部における相互影響

耐震重要施設は、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、接続

する下位クラス施設が損傷することにより、その安全機能を損なわないように設計する。

- c. 建屋内における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

耐震重要施設は、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力による建屋内の下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等により、その安全機能を損なわないように設計する。

- d. 建屋外における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

- (a) 施設の損傷、転倒及び落下等

耐震重要施設は、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力による建屋外の下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等により、その安全機能を損なわないように設計する。

- (b) 周辺斜面の崩壊

耐震重要施設は、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力によって生じるおそれがある周辺の斜面の崩壊に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない場所に設置する。

(2) 使用済燃料乾式貯蔵容器

使用済燃料乾式貯蔵容器は、周辺施設等の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。

波及的影響の評価に当たっては、以下の3つの観点をもとに、敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を損なわないことを確認する。なお、原子力発電所の地震被害情報をもとに、3つの観点以外に検討すべき事項がないか確認し、新たな検討事項が抽出された場合には、その観点を追加する。

影響評価には、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力を適用して評価を行うこととし、地震動又は地震力の選定に当たっては、施設の配置状況、使用時間等を踏まえて適切に設定する。また、水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用する場合の影響も考慮して評価する。

- a. 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響

- (a) 不等沈下

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力による周辺施設等の設置地盤の不等沈下により、その安全機能を損なわないように設計する。

- (b) 相対変位

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又

は地震力による周辺施設等との相対変位により、その安全機能を損なわないように設計する。

b. 使用済燃料乾式貯蔵容器間の相互影響

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力による隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器との相互影響により、その安全機能を損なわないように設計する。

c. 使用済燃料乾式貯蔵容器と周辺施設等との相互影響

(a) 周辺施設等の損傷、転倒及び落下等による使用済燃料乾式貯蔵容器への影響

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力による周辺施設等の損傷、転倒及び落下等により、その安全機能を損なわないように設計する。

(b) 周辺斜面の崩壊

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力によって生じるおそれがある周辺の斜面の崩壊に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない場所に設置する。

なお、上記(1)及び(2)の検討に当たっては、地震に起因する溢水及び火災の観点からも波及的影響がないことを確認する。

上記の観点で検討した波及的影響を考慮する施設を、第1.4.1表中に「波及的影響を考慮すべき施設」として記載する。

1.4.1.6 構造計画と配置計画

設計基準対象施設の構造計画及び配置計画に際しては、地震の影響が低減されるように考慮する。

建物・構築物は、原則として剛構造とし、重要な建物・構築物は、地震力に対し十分な支持性能を有する地盤に支持させる。

機器・配管系は、応答性状を適切に評価し、適用する地震力に対して構造強度を有する設計とする。配置に自由度のあるものは、耐震上の観点からできる限り重心位置を低くし、かつ、安定性のよい据付け状態になるよう配置する。

下位クラス施設は原則、耐震重要施設に対して離隔をとり配置するか、若しくは基準地震動に対し構造強度を保つようにし、耐震重要施設の安全機能を損なわない設計とする。

1.4.4 主要施設の耐震構造

1.4.4.1 原子炉建屋

原子炉建屋は、原子炉格納施設、原子炉周辺補機棟及び燃料取扱棟からなり、

各棟は岩盤上に設置される鉄筋コンクリート造の基礎版（約62m×約80m）上に設けられる。原子炉建屋の主体構造は鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）である。

原子炉格納施設は原子炉格納容器、外周コンクリート壁、内部コンクリート等で構成される。

原子炉格納容器は内径約40m、全高約77mで、上部に半球ドーム、下部にさら形鏡を持つ円筒形の鋼板シェル構造である。

外周コンクリート壁は外径約47m、全高約83mで、上部に半球ドームを持つ円筒形の鉄筋コンクリート造シェル構造である。

また、内部コンクリートは原子炉格納容器内部に設け、その主要構造は剛な壁式鉄筋コンクリート造である。

1.4.4.2 原子炉補助建屋

原子炉補助建屋は、地上3階、地下2階であり、平面が約72m×約79mの鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造）の建物で、基礎は岩盤上に設置される。

原子炉建屋と原子炉補助建屋との間は、適切な間げきを設け建物相互の干渉を防ぐようにする。

1.4.4.3 タービン建屋

タービン建屋は、地上2階、地下1階であり、平面が約95m×約46mの鉄骨造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造）である。

1.4.4.4

1.4.4.5 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、地上4階であり、平面が約59m×約42mの鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造）の建物で、基礎は岩盤上に設置される。

1.4.4.6 原子炉容器

原子炉容器は、上部及び底部が半球状のたて置円筒形で、原子炉容器ふたはフランジで容器胴にボルト締めされており、それ自体肉厚の剛な構造である。

原子炉容器は、原子炉容器入口及び出口ノズルに溶接した鋼製のパッドを介して、内部コンクリートに固定する鋼製構造物に支持させる。なお、容器の熱膨張を拘束しないよう半径方向はフリーとし、下方及び周方向を拘束する構造にして地震力に対しても支持する。

1.4.4.7 制御棒クラスタ駆動装置

制御棒クラスタ駆動装置は、原子炉容器ふたに取付けられた磁気ジャック式駆動装置である。

制御棒クラスタ駆動装置は、上部端を耐震サポートにより内部コンクリートに支持し、下部を原子炉容器ふたに固定し、それ自体も剛性を持つので、地震力に対しても必要な強度を有する。

1.4.4.8 燃料集合体及び炉内構造物

燃料集合体は、燃料棒、制御棒案内シムル、支持格子、上部ノズル、下部ノズル等により構成される。燃料集合体は制御棒案内シムルとそれに接合した支持格子とによって骨格を形成し、燃料棒を正方格子状の配列で支持格子のばねに支持させるため燃料棒の熱膨張を拘束しない構造となっている。また、燃料集合体に作用する地震力は、上部ノズル及び下部ノズルを介して炉内構造物の上部炉心板及び下部炉心板に伝達される。

炉内構造物は、上部炉心構造物及び下部炉心構造物から構成される。

上部炉心構造物は、上部炉心支持板、上部炉心支持柱、上部炉心板、制御棒クラスタ案内管等から構成され、下部炉心構造物は、炉心槽、下部炉心支持柱、下部炉心支持板、下部炉心板、炉心バップル等から構成されている。燃料集合体及び炉内構造物に作用する水平地震力は、炉心槽上部フランジ部を介して原子炉容器フランジ部に、また炉心槽下端を介して原子炉容器胴内壁に取り付けた炉心支持金物にそれぞれ伝達される。さらに、炉内構造物に作用する鉛直地震力は、上部炉心支持板及び炉心槽上部フランジを介して原子炉容器フランジ部に伝達される。

1.4.4.9 1次冷却設備

1次冷却設備は、1次冷却材管、蒸気発生器、1次冷却材ポンプ、加圧器等で構成される。

1次冷却材管は、配管口径及び肉厚が大きく剛性が高いので熱膨張に対する考慮から配管の途中には支持構造物を設けない構造としている。

蒸気発生器は、水平方向を上部胴支持構造物、中間胴支持構造物及び下部支持構造物により、また、鉛直方向を支持脚により支持する。支持構造物は、1次冷却系の熱膨張を拘束しない構造となっており、水平地震力及び鉛直地震力は、各方向の支持構造物を介して内部コンクリートに伝達される。

1次冷却材ポンプは、水平方向を上部支持構造物及び下部支持構造物により、また、鉛直方向を支持脚により支持する。支持構造物は、1次冷却系の熱膨張を拘束しない構造となっており、水平地震力及び鉛直地震力は、各方向の支持構造物を介して内部コンクリートに伝達される。

加圧器は、支持スカート及び上部支持構造物により支持されており、地震力はこれらの支持構造物により内部コンクリートに伝達される。また、上部支持構造物は、加圧器の熱膨張を拘束しない構造となっている。

1.4.4.10 その他

その他の機器・配管については、運転荷重、地震荷重、熱膨張による荷重のも

とで不都合な応力が生じないように、必要に応じてスナバ、リジット・ハンガ、その他の支持装置を使用して耐震的にも熱的にも安全な設計とする。

第 1.4.1 表 クラス別施設 (1 / 6)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 ^(E1)		補助設備 ^(E2)		直接支持構造物 ^(E3)		間接支持構造物 ^(E4)		波及的影響を 考慮すべき施設 ^(E5)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	(注6) 検討用 地震動	適用範囲	(注6) 検討用 地震動
S	a. 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系	①原子炉容器 ②原子炉冷却材圧力バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁	S S	①隔離弁を閉とすることに必要な電気及び計装設備	S	①原子炉容器・蒸気発生器・1次冷却材ポンプ・加圧器の支持構造物 ②機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S S	①内部コンクリート ②原子炉建屋 ③原子炉補助建屋	S s S s S s	①格納容器ポーラックレーン ②タービン建屋 ③その他	S s S s S s
	b. 使用済燃料を貯蔵するための施設	①使用済燃料ピット ②使用済燃料ラック ③使用済燃料乾式貯蔵容器 ^(E7)	S S S	-	-	①機器等の支持構造物 ②使用済燃料乾式貯蔵架台 ^(E7)	S S	①原子炉建屋 ②使用済燃料乾式貯蔵建屋	S s S s	①使用済燃料ピットクレーン ②燃料取扱棟 ③使用済燃料乾式貯蔵建屋 ④その他	S s S s S s S s
	c. 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設	①制御棒クラスタ及び制御棒クラスタ駆動装置（原子炉トリップ機能に関する部分） ②化学体積制御設備のうちほう酸注入系	S S	①炉心支持構造物及び制御棒クラスタ案内管 ②非常用電源（燃料油系含む）及び計装設備	S S	①機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	①内部コンクリート ②原子炉建屋 ③原子炉補助建屋 ④非常用電源の燃料油系を支持する構造物	S s S s S s S s	①格納容器ポーラックレーン ②タービン建屋 ③その他	S s S s S s
	d. 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	①主蒸気・主給水系（主給水逆止弁より蒸気発生器2次側を経て、主蒸気隔離弁まで） ②補助給水系 ③補助給水タンク ④余熱除去設備	S S S S	①原子炉補機冷却水設備（当該主要設備に係るもの） ②原子炉補機冷却海水設備 ③燃料取替用水タンク ④炉心支持構造物（炉心冷却に直接影響するもの） ⑤非常用電源（燃料油系含む）及び計装設備	S S S S S	①機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	①内部コンクリート ②原子炉建屋 ③原子炉補助建屋 ④海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 ⑤非常用電源の燃料油系を支持する構造物	S s S s S s S s S s	①格納容器ポーラックレーン ②海水ピットクレーン ③タービン建屋 ④その他	S s S s S s S s

第 1.4.1 表 クラス別施設 (2 / 6)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 ^(E1)		補助設備 ^(E2)		直接支持構造物 ^(E3)		間接支持構造物 ^(E4)		波的影響を 考慮すべき施設 ^(E5)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	(注6) 検討用 地震動	適用範囲	(注6) 検討用 地震動
S	e. 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	①安全注入設備 ②余熱除去設備(再循環用) ③燃料取替用水タンク	S S S	①原子炉補機冷却水設備(当該主要設備に係るもの) ②原子炉補機冷却海水設備 ③中央制御室の遮蔽と空調設備 ④非常用電源(燃料油系含む)及び計装設備	S S S S	①機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	①内部コンクリート ②原子炉建屋 ③原子炉補助建屋 ④海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 ⑤非常用電源の燃料油系を支持する構造物	S s S s S s S s S s	①格納容器ポーラクレーン ②海水ピットクレーン ③タービン建屋 ④その他	S s S s S s S s
	f. 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設	①原子炉格納容器 ②原子炉格納容器バウンダリに属する配管・弁	S S	①隔離弁を閉とするに必要な電気及び計装設備	S	①機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	①原子炉建屋 ②原子炉補助建屋	S s S s	①タービン建屋 ②その他	S s S s
	g. 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設であり、f. 以外の施設	①格納容器スプレイ設備 ②燃料取替用水タンク ③アニュラスシール ④アニュラス空気再循環設備 ⑤格納容器排気筒 ⑥安全補機室空気浄化設備	S S S S S S	①原子炉補機冷却水設備 ②原子炉補機冷却海水設備 ③非常用電源(燃料油系含む)及び計装設備	S S S	①機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	①原子炉建屋 ②原子炉補助建屋 ③原子炉格納容器 ④外周コンクリート壁 ⑤海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 ⑥非常用電源の燃料油系を支持する構造物	S s S s S s S s S s S s	①海水ピットクレーン ②タービン建屋 ③その他	S s S s S s
	h. 津波防護機能を有する施設及び浸水防止機能を有する施設(注7)	①海水ピット堰 ②水密ハッチ ③水密扉 ④床ドレンライン逆止弁 ⑤貫通部止水処置	S S S S S	-	-	①機器等の支持構造物	S	①原子炉建屋 ②原子炉補助建屋 ③海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物	S s S s S s	①海水ピットクレーン ②タービン建屋 ③その他	S s S s S s

第 1.4.1 表 クラス別施設 (3 / 6)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 ^(注1)		補助設備 ^(注2)		直接支持構造物 ^(注3)		間接支持構造物 ^(注4)		波及的影響を 考慮すべき施設 ^(注5)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	(注6) 検討用 地震動	適用範囲	(注6) 検討用 地震動
S	i. 敷地における津波監視 機能を有する施設 ^(注7)	①海面監視カメラ ②耐震型海水ピット水 位計	S S	①非常用電源（燃料油 系含む）及び計装設 備	S	①電気計装設備等の支 持構造物	S	①原子炉建屋 ②原子炉補助建屋 ③海水ポンプ基礎等 の海水系を支持す る構造物 ④非常用電源の燃料 油系を支持する構 造物	S s S s S s S s	①海水ピットクレ ーン ②タービン建屋 ③その他	S s S s S s
	j. その他	①使用済燃料ピット水 補給設備（非常用）	S	①非常用電源（燃料油 系含む）及び計装設 備	S	①機器・配管，電気計 装設備等の支持構造 物	S	①原子炉建屋 ②原子炉補助建屋 ③非常用電源の燃料 油系を支持する構 造物	S s S s S s	①タービン建屋 ②その他	S s S s
		②炉内構造物	S	—	—	—	—	—	—	—	—

第 1.4.1 表 クラス別施設 (4 / 6)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 ^(E1)		補助設備 ^(E2)		直接支持構造物 ^(E3)		間接支持構造物 ^(E4)		波及的影響を 考慮すべき施設 ^(E5)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	(注6) 検討用 地震動	適用範囲	(注6) 検討用 地震動
B	k. 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、1次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設	①化学体積制御系のうち抽出系と余剰抽出系	B	-	-	①機器・配管等の支持構造物	B	①内部コンクリート ②原子炉建屋 ③原子炉補助建屋	S _B S _B S _B	-	-
	l. 放射性廃棄物を内蔵している施設(ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が周辺監視区域外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く)	①放射性廃棄物処理設備、ただし、Cクラスに属するものは除く	B	-	-	①機器・配管等の支持構造物	B	①原子炉建屋 ②原子炉補助建屋	S _B S _B	-	-
	m. 放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設	①使用済燃料ピット水浄化系 ②化学体積制御設備のうちSクラス及びCクラスに属する以外のもの ③放射線低減効果の大きい遮蔽 ④燃料取扱棟クレーン ⑤使用済燃料ピットクレーン ⑥燃料取替クレーン ⑦燃料移送装置	B B B B B B	-	-	①機器・配管等の支持構造物	B	①内部コンクリート ②原子炉建屋 ③原子炉補助建屋	S _B S _B S _B	-	-
	n. 使用済燃料を冷却するための施設	①使用済燃料ピット水冷却系	B	①原子炉補機冷却水設備(当該主要設備に係るもの) ②原子炉補機冷却海水設備 ③電気計装設備	B B B	①機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	B	①原子炉建屋 ②原子炉補助建屋 ③海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物	S _B S _B S _B	-	-

第 1.4.1 表 クラス別施設 (5 / 6)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 ^(注1)		補助設備 ^(注2)		直接支持構造物 ^(注3)		間接支持構造物 ^(注4)		波及的影響を 考慮すべき施設 ^(注5)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	(注6) 検討用 地震動	適用範囲	(注6) 検討用 地震動
B	o. 放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	p. 原子炉の反応度を制御するための施設でSクラス及びBクラスに属さない施設	①制御棒クラスタ駆動装置 (原子炉トリップ機能に関する部分を除く)	C	-	-	①電気計装設備の支持構造物	C	①内部コンクリート ②原子炉建屋 ③原子炉補助建屋	S _c S _c S _c	-	-
	q. 放射性物質を内蔵しているか、又はこれに関連した施設でSクラス及びBクラスに属さない施設	①試料採取設備 ②床ドレン設備 ③洗浄排水処理設備 ④ドラム詰装置より下流の固体廃棄物処理設備 (固体廃棄物貯蔵庫を含む) ⑤ペイラ ⑥化学体積制御系のうちほう酸回収装置蒸留水側及びほう酸補給タンク回り ⑦液体廃棄物処理設備のうち、廃液蒸発装置蒸留水側 ⑧原子炉補給水設備 ⑨新燃料貯蔵庫 ⑩使用済燃料乾式貯蔵施設のうち周辺施設 (特段の機能を要求することがない周辺施設を除く) ⑪その他	C C C C C C C C C C C	-	-	①機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	C	①内部コンクリート ②原子炉建屋 ③原子炉補助建屋 ④固体廃棄物貯蔵庫 ⑤使用済燃料乾式貯蔵建屋	S _c S _c S _c S _c S _c	-	-

第 1.4.1 表 クラス別施設 (6 / 6)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 ^(注1)		補助設備 ^(注2)		直接支持構造物 ^(注3)		間接支持構造物 ^(注4)		波及的影響を 考慮すべき施設 ^(注5)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	(注6) 検討用 地震動	適用範囲	(注6) 検討用 地震動
C	r. 原子炉施設ではあるが、 放射線安全に関係しない施設	①タービン設備 ②原子炉補機冷却水設備 ③補助ボイラ及び補助蒸気設備 ④消火設備 ^(注8) ⑤主発電機・変圧器 ⑥換気空調設備 ⑦蒸気発生器ブローダウン設備 ⑧所内用空気圧縮設備 ⑨格納容器ポーラクレーン ⑩緊急時対策所 ⑪その他	C C C C C C C C C C C	①緊急時対策所計装設備・通信連絡設備	C	①機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	C	①タービン建屋 ②内部コンクリート ③原子炉建屋 ④原子炉補助建屋 ⑤補助ボイラ建屋 ⑥緊急時対策所	S _c S _c S _c S _c S _c S _c	-	-

(注1) 主要設備とは、当該機能に直接的に関連する設備をいう。

(注2) 補助設備とは、当該機能に間接的に関連し、主要設備の補助的役割を持つ設備をいう。

(注3) 直接支持構造物とは、主要設備、補助設備に直接取り付けられる支持構造物、若しくはこれらの設備の荷重を直接的に受ける支持構造物をいう。

(注4) 間接支持構造物とは、直接支持構造物から伝達される荷重を受ける構造物（建物、構築物）をいう。

(注5) 波及的影響を考慮すべき施設とは、下位クラスに属する施設の破損等によって上位クラスに属する施設に波及的影響を及ぼすおそれのある施設をいう。

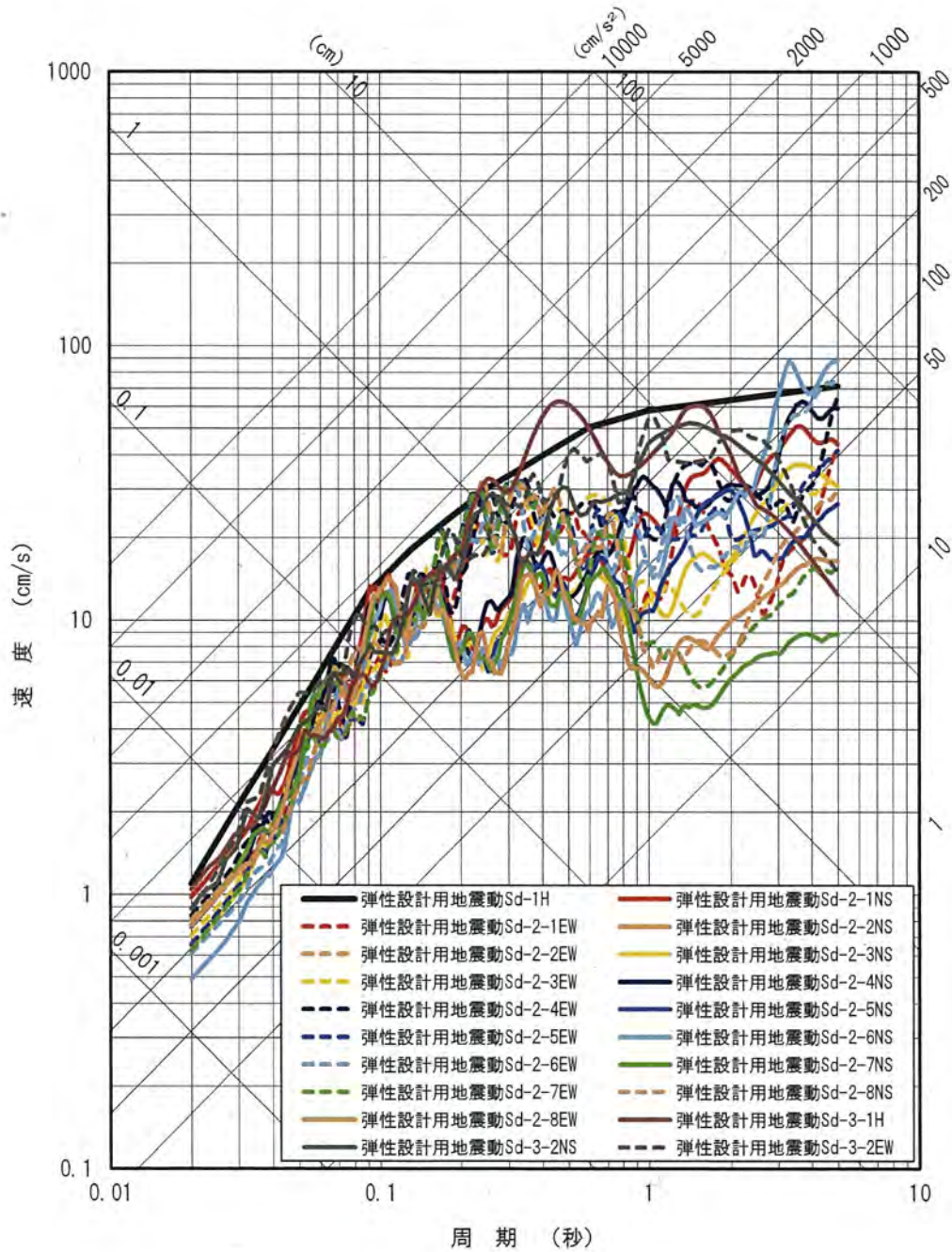
(注6) S_s : 基準地震動S_sにより定まる地震力

S_B : 耐震Bクラス施設に適用される地震力

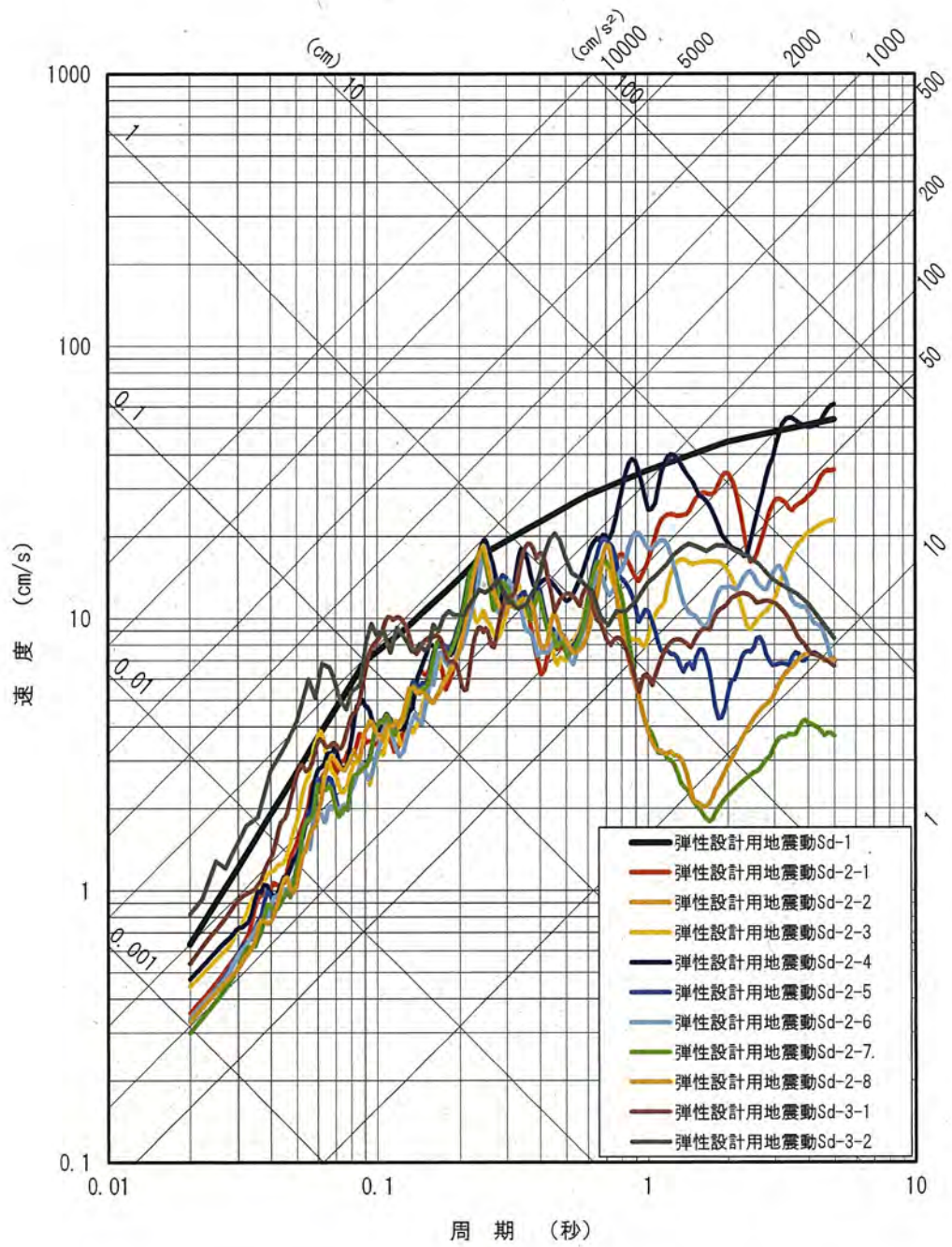
S_c : 耐震Cクラス施設に適用される静的地震力

(注7) 基準地震動S_sによる地震力に対して、機能を保持できるものとする。

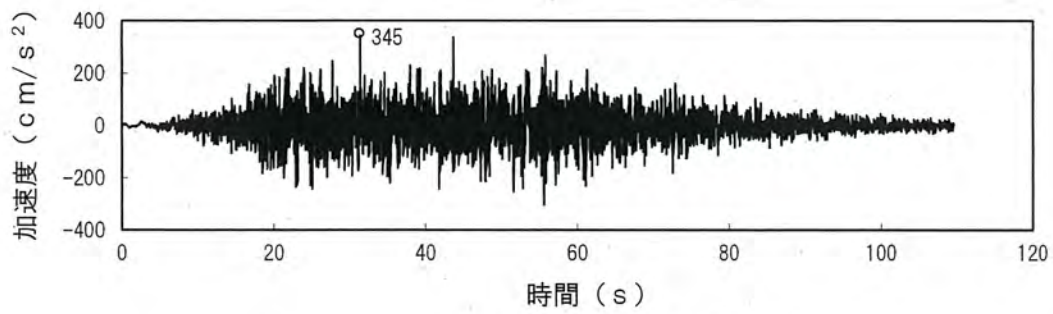
(注8) 耐震Sクラス施設、Bクラス施設を防護対象とする消火設備（火災感知設備を含む。）については、それぞれS_s、S_Bに対して機能が維持されることを確認する。



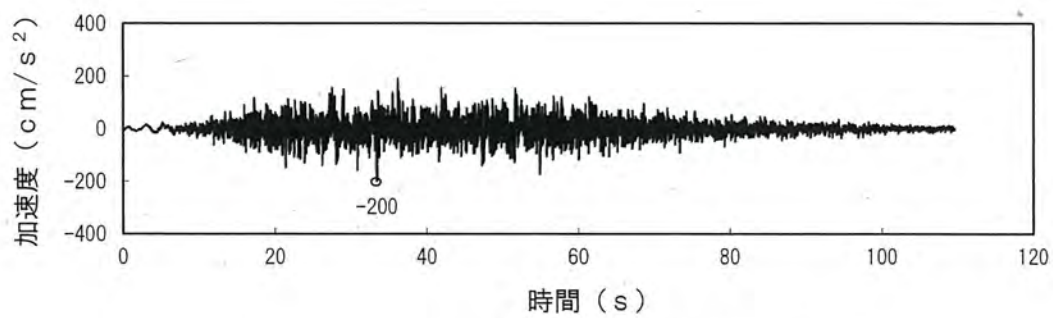
第1.4.1図 弾性設計用地震動の応答スペクトル (水平方向)



第1.4.2図 弾性設計用地震動の応答スペクトル (鉛直方向)

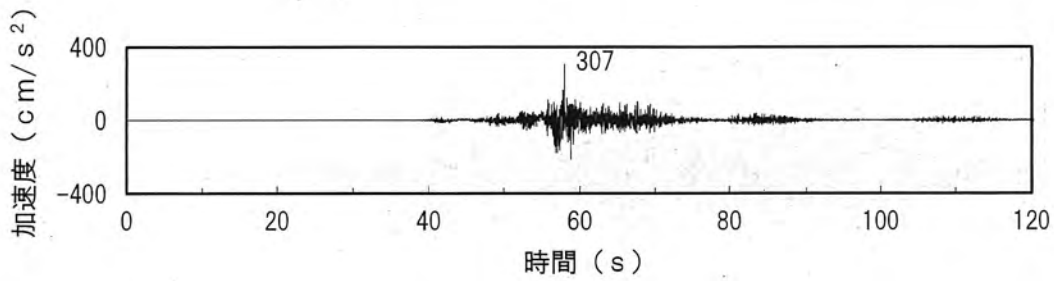


加速度 (水平方向 : Sd-1H)

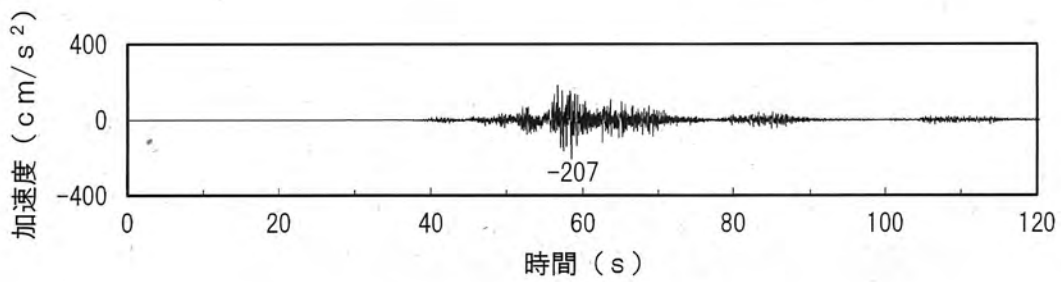


加速度 (鉛直方向 : Sd-1V)

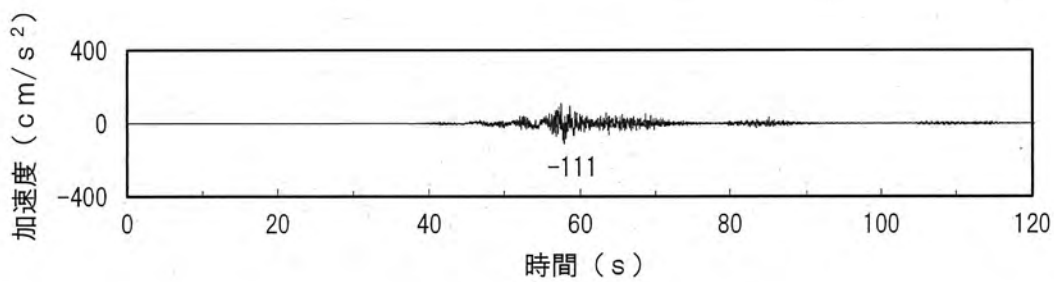
第1.4.3図 弾性設計用地震動Sd-1の設計用模擬地震波の時刻歴波形



加速度 (水平方向 : Sd-2-1(NS))

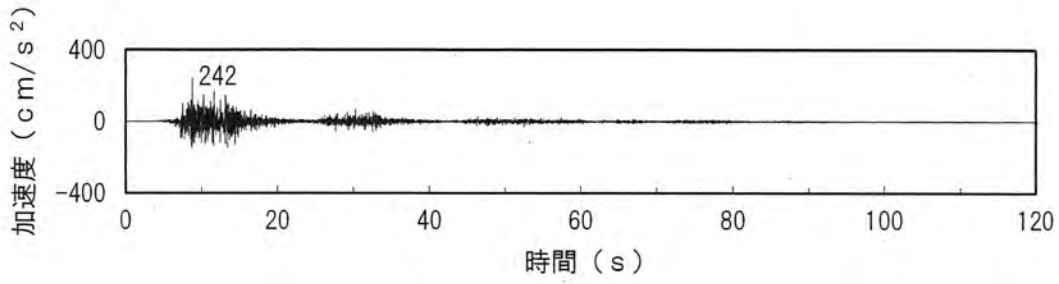


加速度 (水平方向 : Sd-2-1(EW))

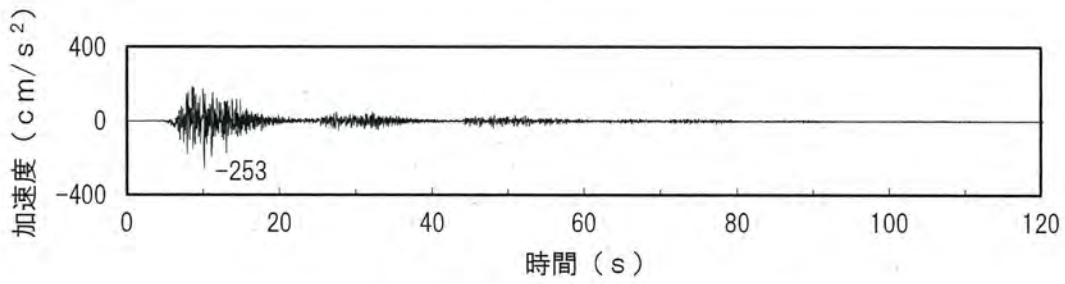


加速度 (鉛直方向 : Sd-2-1(UD))

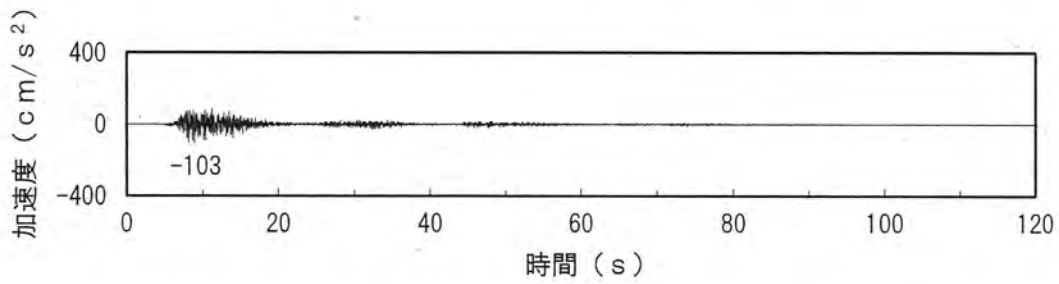
第1.4.4図 弾性設計用地震動Sd-2-1の時刻歴波形



加速度 (水平方向 : Sd-2-2(NS))

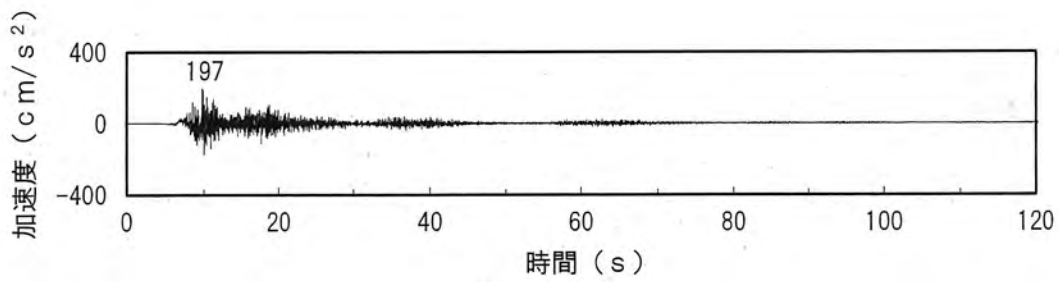


加速度 (水平方向 : Sd-2-2(EW))

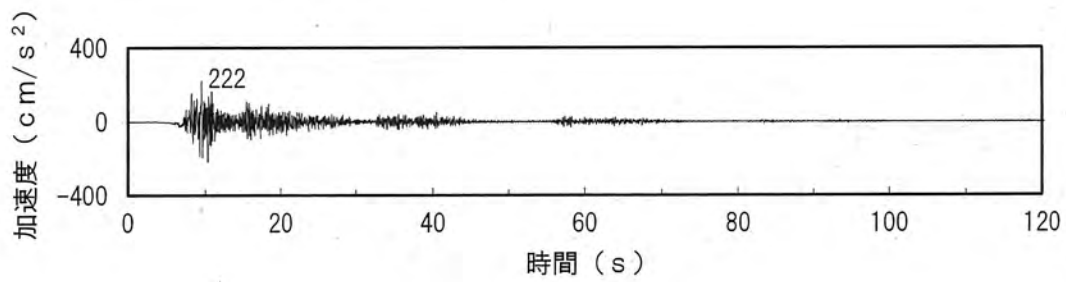


加速度 (鉛直方向 : Sd-2-2(UD))

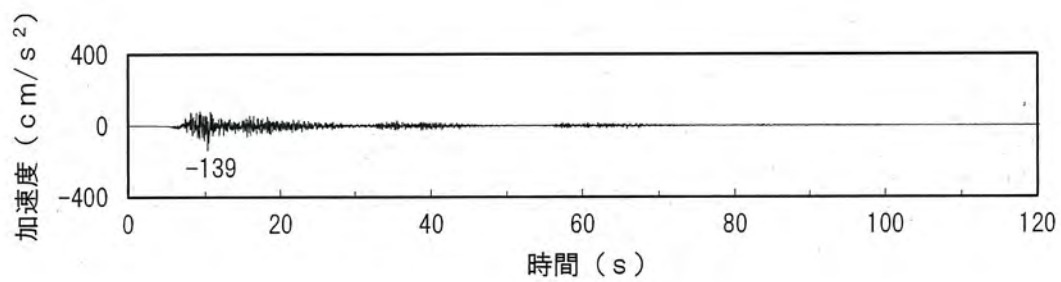
第1.4.5図 弾性設計用地震動Sd-2-2の時刻歴波形



加速度 (水平方向 : Sd-2-3(NS))

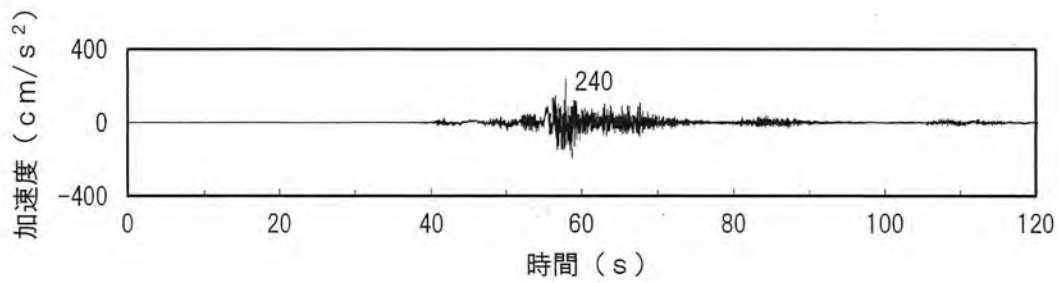


加速度 (水平方向 : Sd-2-3(EW))

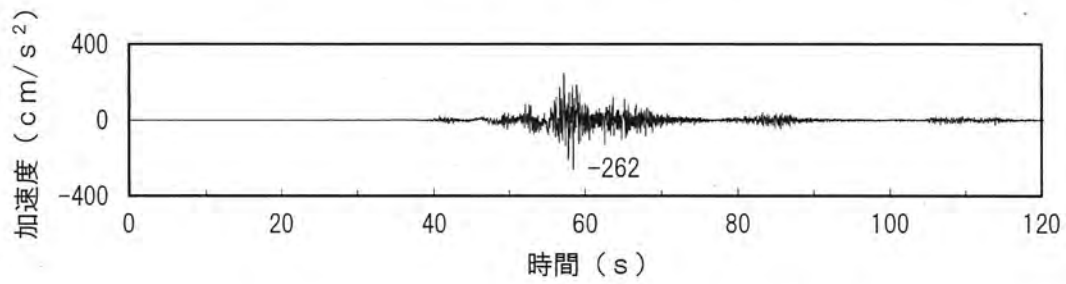


加速度 (鉛直方向 : Sd-2-3(UD))

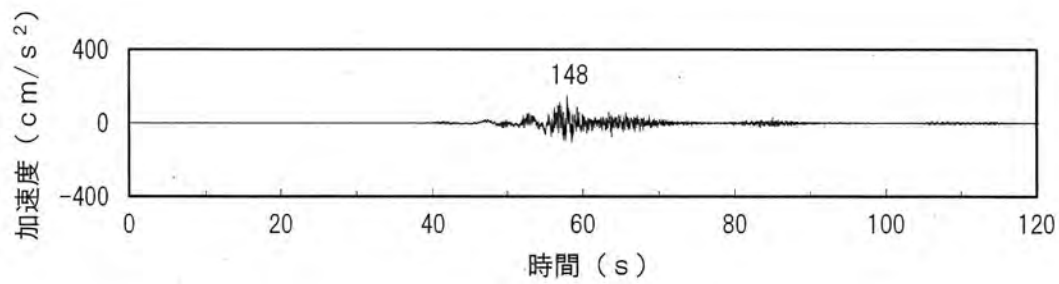
第1.4.6図 弾性設計用地震動Sd-2-3の時刻歴波形



加速度 (水平方向 : Sd-2-4(NS))

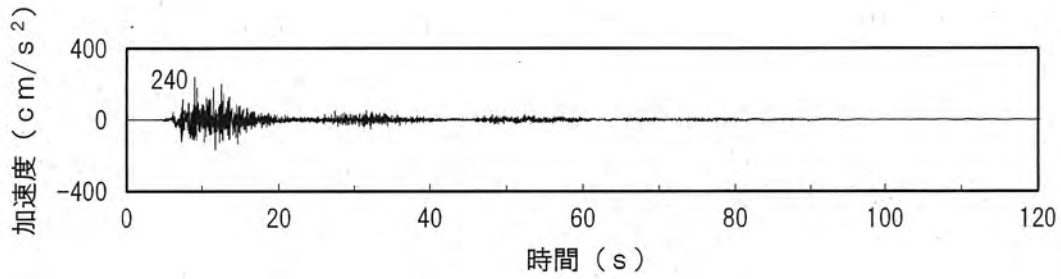


加速度 (水平方向 : Sd-2-4(EW))

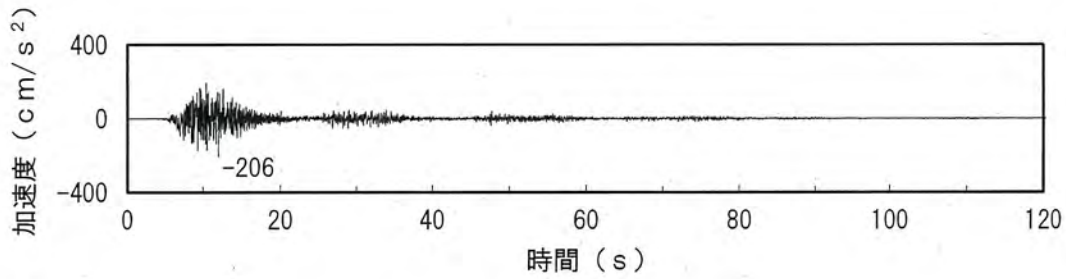


加速度 (鉛直方向 : Sd-2-4(UD))

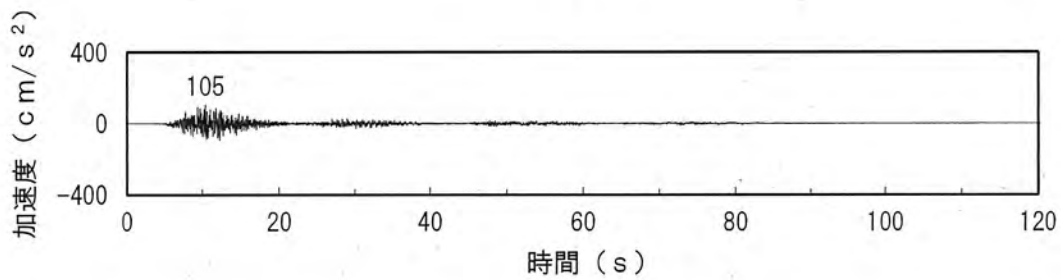
第1.4.7図 弾性設計用地震動Sd-2-4の時刻歴波形



加速度 (水平方向 : Sd-2-5(NS))

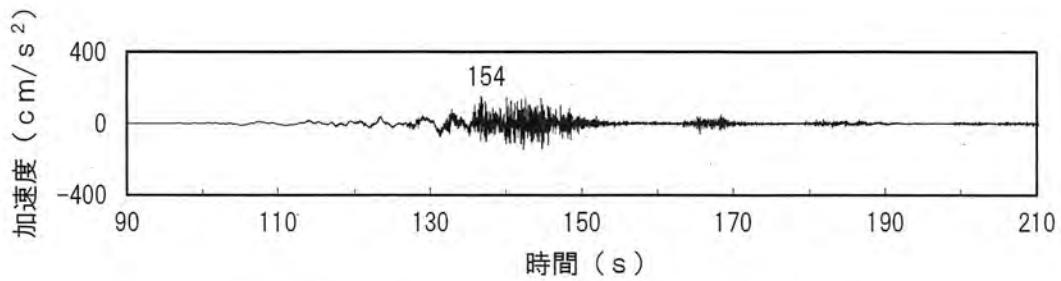


加速度 (水平方向 : Sd-2-5(EW))

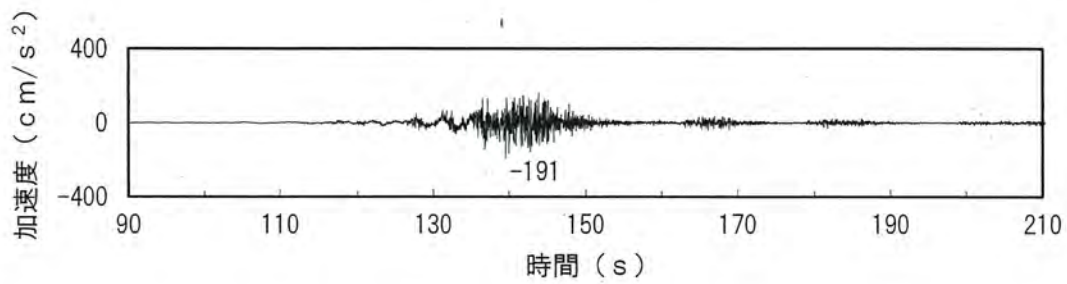


加速度 (鉛直方向 : Sd-2-5(UD))

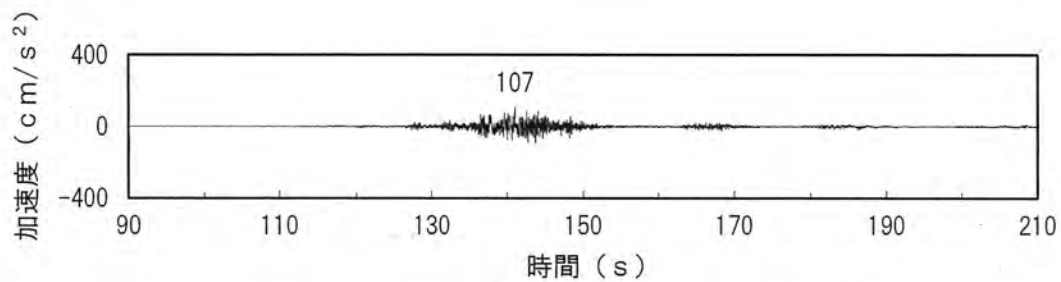
第1.4.8図 弾性設計用地震動Sd-2-5の時刻歴波形



加速度 (水平方向 : Sd-2-6(NS))

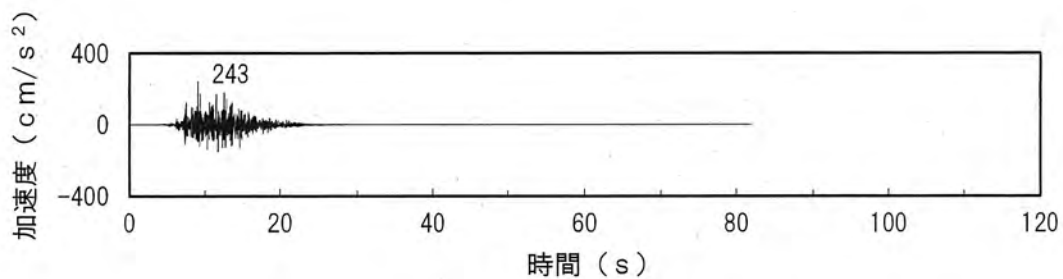


加速度 (水平方向 : Sd-2-6(EW))

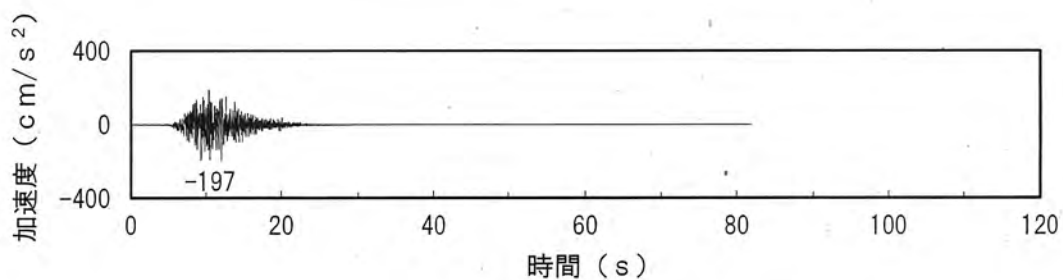


加速度 (鉛直方向 : Sd-2-6(UD))

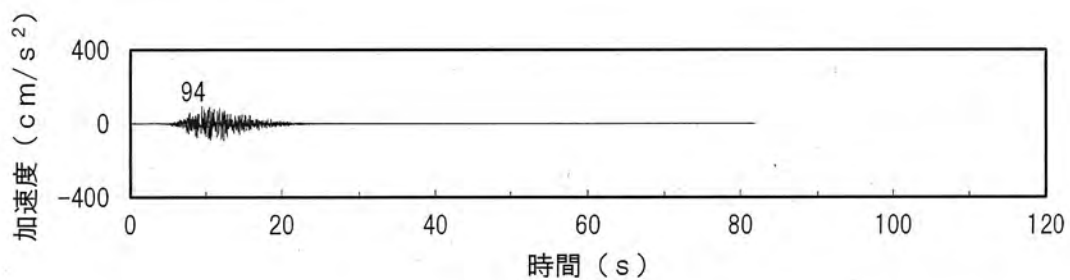
第1.4.9図 弾性設計用地震動Sd-2-6の時刻歴波形



加速度 (水平方向 : Sd-2-7 (NS))

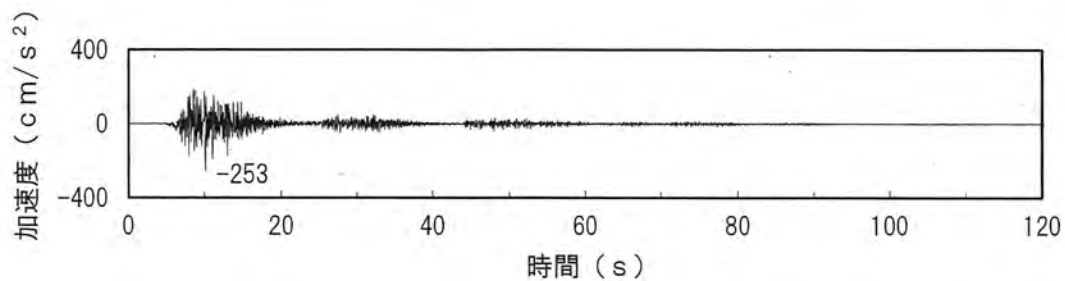


加速度 (水平方向 : Sd-2-7 (EW))

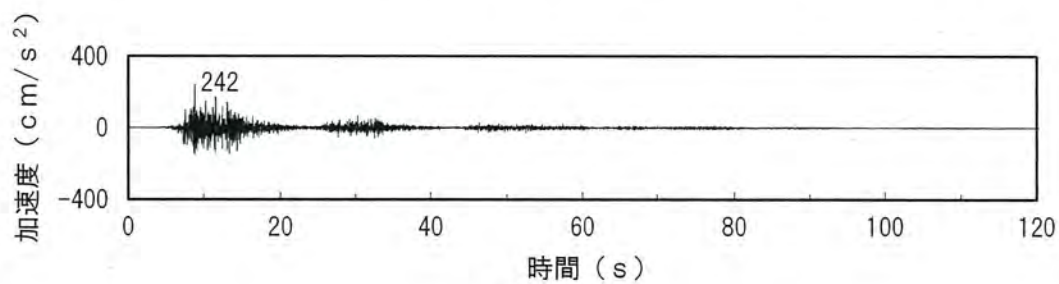


加速度 (鉛直方向 : Sd-2-7 (UD))

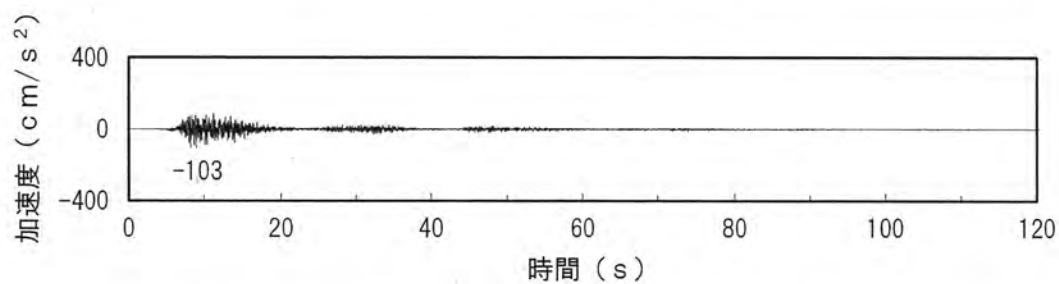
第1.4.10図 弾性設計用地震動Sd-2-7の時刻歴波形



加速度 (水平方向 : Sd-2-8(NS))

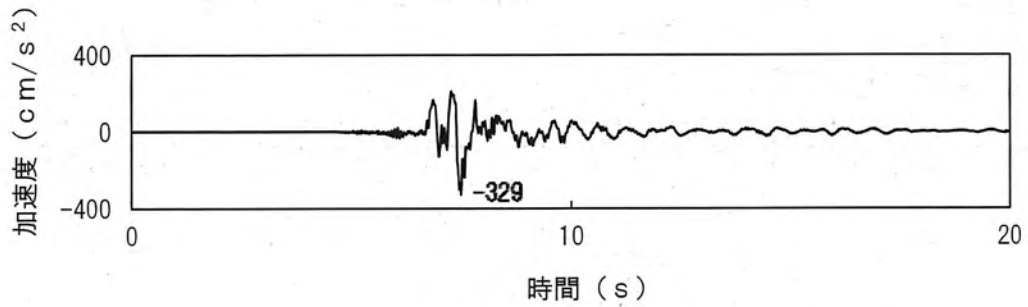


加速度 (水平方向 : Sd-2-8(EW))

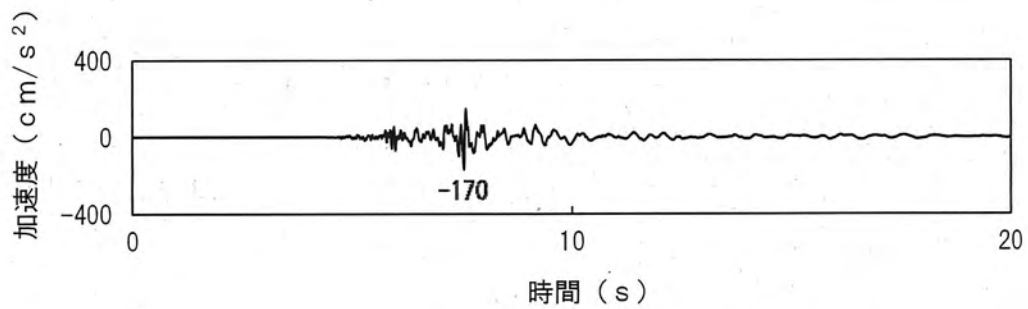


加速度 (鉛直方向 : Sd-2-8(UD))

第1.4.11図 弾性設計用地震動Sd-2-8の時刻歴波形

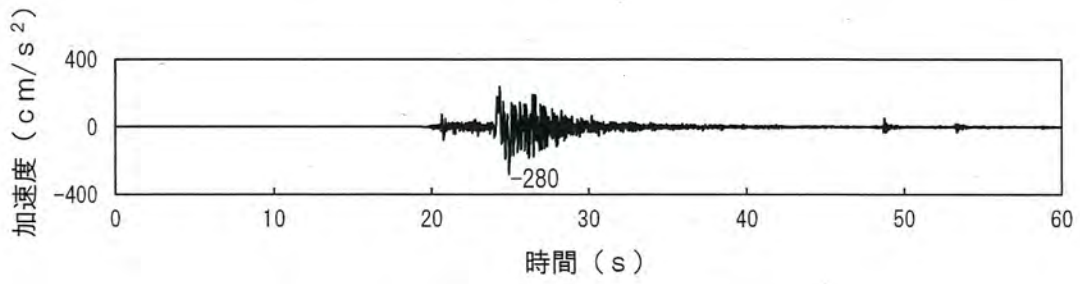


加速度 (水平方向 : Sd-3-1H)

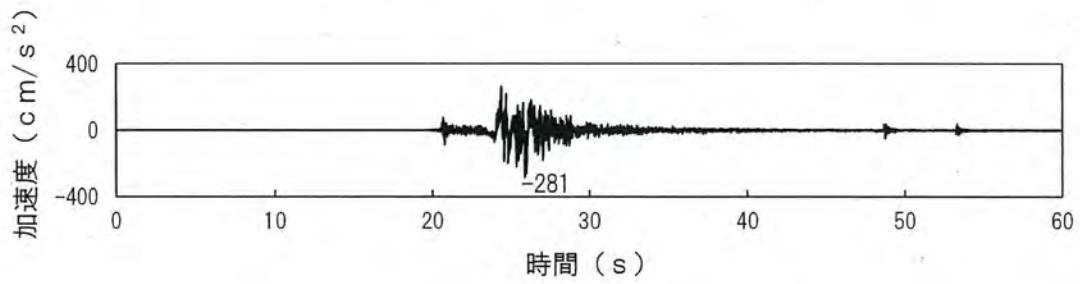


加速度 (鉛直方向 : Sd-3-1V)

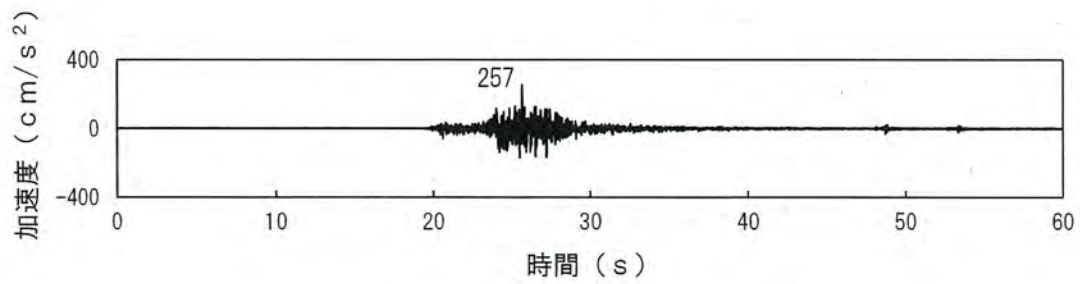
第1.4.12図 弾性設計用地震動Sd-3-1の時刻歴波形



加速度（水平方向：Sd-3-2(NS)）

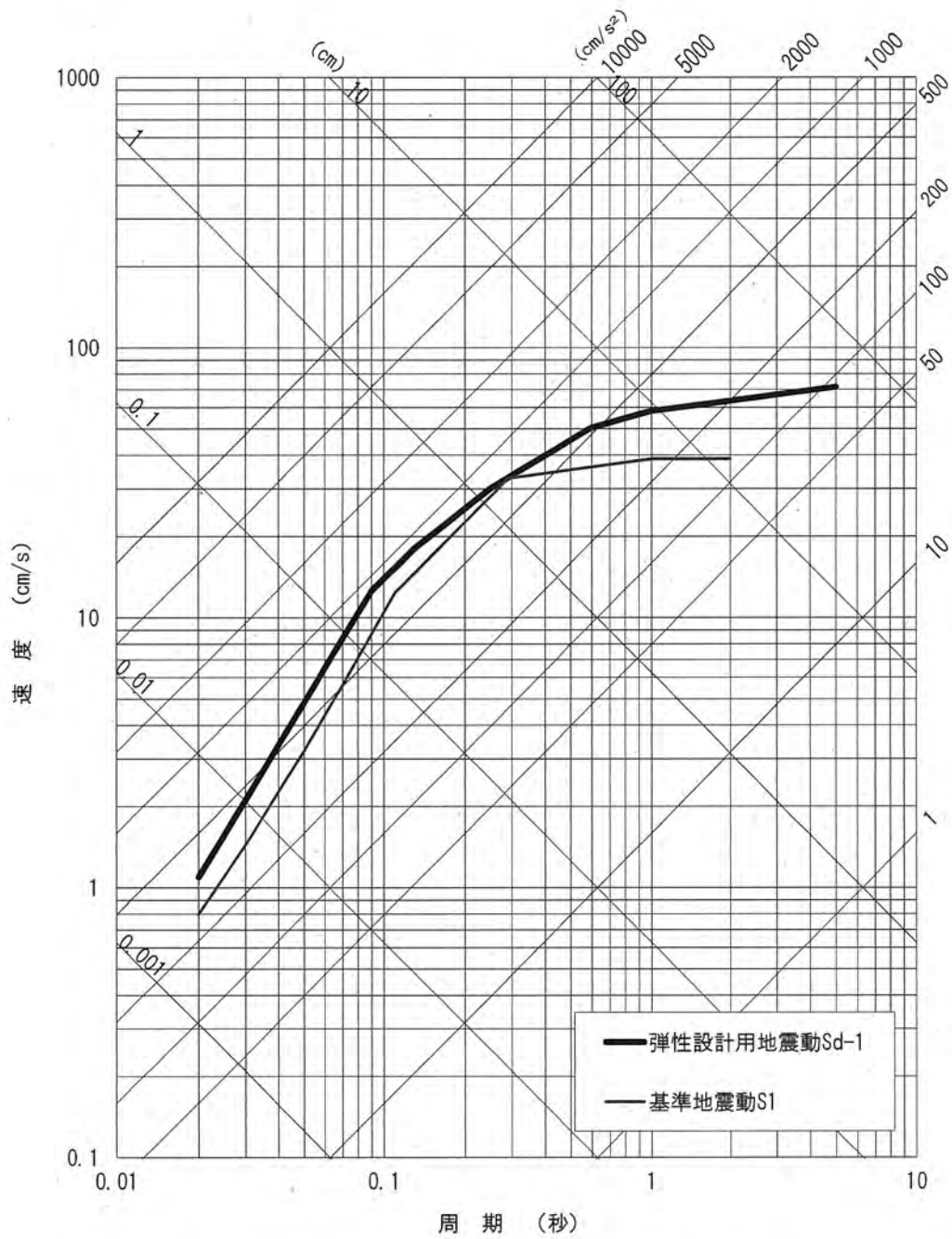


加速度（水平方向：Sd-3-2(EW)）

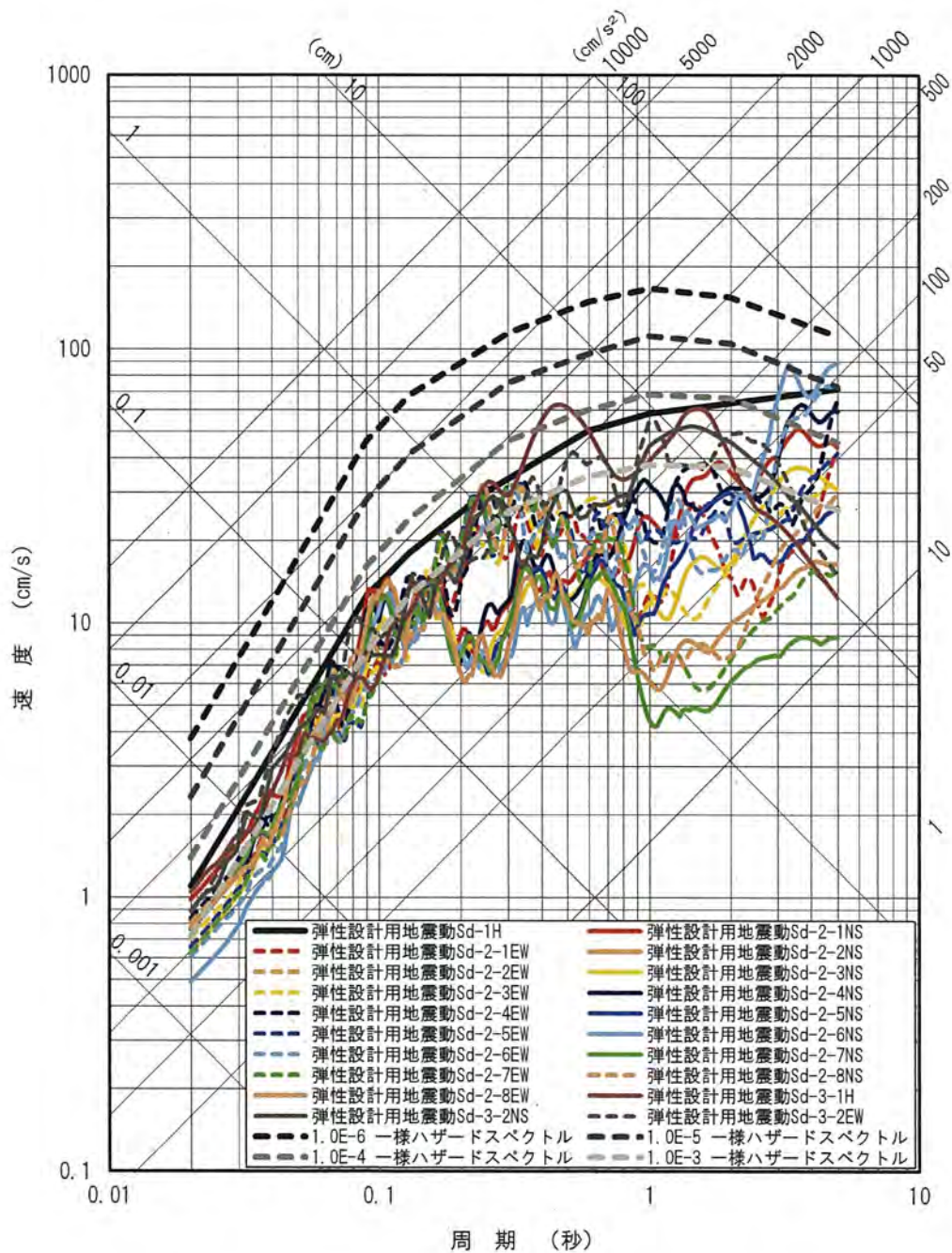


加速度（鉛直方向：Sd-3-2(UD)）

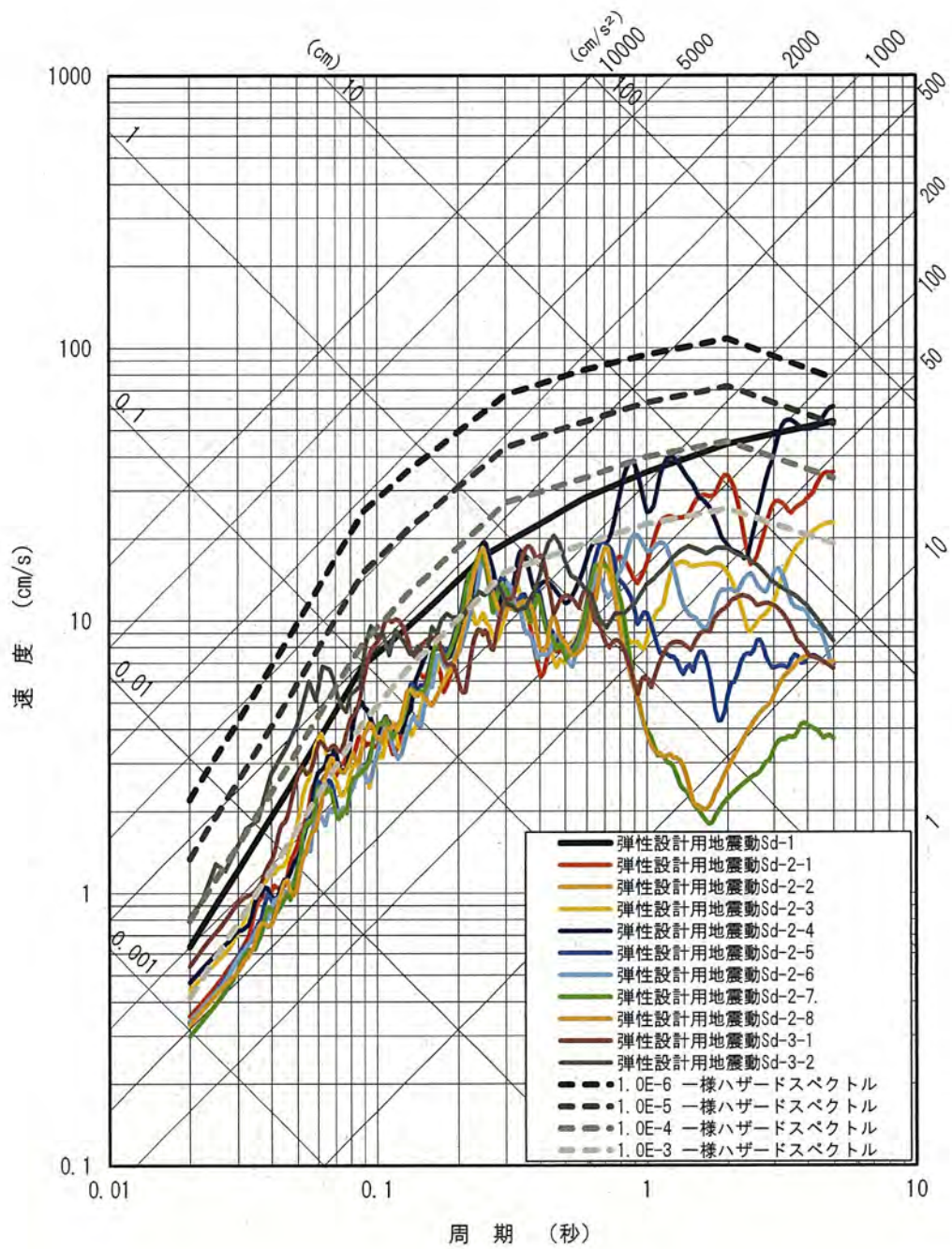
第1.4.13図 弾性設計用地震動Sd-3-2の時刻歴波形



第1.4.14図 弾性設計用地震動Sd-1と基準地震動S₁の応答スペクトルの比較
(水平方向)



第1.4.15図 弾性設計用地震動の応答スペクトル及び解放基盤表面における地震動の一様ハザードスペクトル（水平方向）



第1.4.16図 弾性設計用地震動の応答スペクトル及び解放基盤表面における地震動の一様ハザードスペクトル（鉛直方向）

1.13 参考文献

(10) 「静的地震力の見直し（建築編）に関する調査報告書（概要）」

（社）日本電気協会 電気技術調査委員会原子力発電耐震設計特別調査委員会建築部
会 平成6年3月

(3) 適合性説明

(地震による損傷の防止)

第四条 設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならぬ。

2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。

6 兼用キャスクは、次のいずれかの地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

一 兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかににかかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定めるもの

二 基準地震動による地震力

7 兼用キャスクは、地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

適合のための設計方針

1 について

設計基準対象施設は、耐震重要度分類をSクラス、Bクラス及びCクラスに分類し、それぞれに応じた地震力に対しておおむね弾性範囲の設計を行う。

なお、耐震重要度分類及び地震力については、「2 について」に示すとおりである。

2 について

設計基準対象施設は、地震により発生するおそれがある安全機能の喪失（地震に伴って発生するおそれがある津波及び周辺斜面の崩壊等による安全機能の喪失を含む。）及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて、以下のとおり、耐震重要度分類をSクラス、Bクラス及びCクラスに分類し、それぞれに応じた地震力を算定する。

(1) 耐震重要度分類

Sクラス：地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を

軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの

Bクラス：安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラスの施設と比べ小さい施設

Cクラス：Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設

(2) 地震力

上記(1)のSクラスの施設(津波防護施設、浸水防止設備、使用済燃料乾式貯蔵施設及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物を除く。)、Bクラス及びCクラスの施設に適用する地震力は以下のとおり算定する。

なお、Sクラスの施設については、弾性設計用地震動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を適用する。

a. 静的地震力

静的地震力は、Sクラス、Bクラス及びCクラスの施設に適用することとし、それぞれ耐震重要度分類に応じて次の地震層せん断力係数 C_i 及び震度に基づき算定する。

(a) 建物・構築物

水平地震力は、地震層せん断力係数 C_i に、次に示す施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じ、さらに当該層以上の重量を乗じて算定するものとする。

Sクラス 3.0

Bクラス 1.5

Cクラス 1.0

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以上とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値とする。Sクラスの施設については、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する。鉛直地震力は、震度0.3以上を基準とし、建物・構築物の振動特性及び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。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

(b) 機器・配管系

耐震重要度分類の各クラスの地震力は、上記(a)に示す地震層せん断力係数 C_i に施設の耐震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(a)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する。

なお、Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力は同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

b. 弾性設計用地震動による地震力

弾性設計用地震動による地震力は、Sクラスの施設に適用する。

弾性設計用地震動は、「添付書類六 5. 地震」に示す基準地震動に工学的判断から求められる係数 0.53 を乗じて設定する。また、弾性設計用地震動による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせたものとして算定する。

なお、Bクラスの施設のうち、共振のおそれのある施設については、弾性設計用地震動に2分の1を乗じた地震動によりその影響についての検討を行う。当該地震動による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定するものとする。

6 について

a. 使用済燃料乾式貯蔵容器

使用済燃料乾式貯蔵容器は、基準地震動による地震力に対して、安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。

基準地震動による地震力は、基準地震動を用いて、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせたものとして算定する。

なお、使用済燃料乾式貯蔵容器については、周辺施設等の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。

b. 周辺施設

周辺施設（使用済燃料乾式貯蔵容器支持部、基礎を除く。）は、耐震重要度Cクラスに準じた地震力に対しておおむね弾性範囲の設計を行う。

7 について

使用済燃料乾式貯蔵容器については、基準地震動による地震力によって生じるおそれがある周辺の斜面の崩壊に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない場所に設置する。

1.2 気象等

該当なし

1.3 設備等

該当なし

1.4 手順等

該当なし

2. 地震による損傷の防止

(別添 1) 使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震設計方針

(別添 2) 使用済燃料乾式貯蔵容器及び貯蔵架台の耐震評価について

(別添 3) 使用済燃料乾式貯蔵施設に対する波及的影響の検討について

別添 1

使用済燃料乾式貯蔵施設の
耐震設計方針

1. 耐震設計の基本方針

設計基準対象施設である使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震設計は、以下の項目に従って行う。

(1) 使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震設計

使用済燃料乾式貯蔵施設については、耐震重要度分類に応じて、適用する地震力に対して、以下の項目に従って耐震設計を行う。

- a. 使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器（支持部含む。）は、Sクラスの施設に分類し、基準地震震動による地震力に対して、設備に要求される機能が保持できるように設計する。
- b. 使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、特段の機能を要求する周辺施設は、設備に要求される機能が保持できるように設計する。
- c. 使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、特段の機能を要求しない周辺施設は、Cクラスの施設に準拠し、建物・構築物については、地震層せん断力係数 C_1 に、1.0を乗じて求められる水平地震力、機器・配管系については、1.2を乗じた水平震度から求められる水平地震力に十分に耐えられるように設計する。建物・構築物及び機器・配管系ともに、おおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。
ここで、地震層せん断力係数 C_1 は、標準せん断力係数 C_0 を0.2以上とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値とする。
- d. 使用済燃料乾式貯蔵施設のうち 使用済燃料乾式貯蔵容器は、周辺施設等の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。波及的影響の評価に当たっては、敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、事象選定及び影響評価を行う。なお、影響評価においては使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力を適用する。

(2) 適用規格

適用する規格としては、既往工認で適用実績がある規格のほか、最新の規格基準についても技術的妥当性及び適用性を示した上で適用可能とする。

既往工認で実績のある適用規格を以下に示す。

- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」（社）日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・

補-1984」(社)日本電気協会

- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」(社)日本電気協会
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((一社)日本機械学会, 2012年版)
- ・発電用原子力設備規格 材料規格 ((一社)日本機械学会, 2012年版)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法— ((社)日本建築学会, 1999改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社)日本建築学会, 2005制定)
- ・鋼構造設計規準—許容応力度設計法— ((社)日本建築学会, 2005改定)
- ・鉄骨鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説 —許容応力度設計と保有水平耐力— ((社)日本建築学会, 2001改定)
- ・建築耐震設計における保有耐力と変形性能 ((社)日本建築学会, 1990改定)
- ・建築基礎構造設計指針 ((社)日本建築学会, 2001改定)
- ・発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 (社)日本機械学会, 2003)

2. 耐震重要度分類

使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震重要度分類について、第1表に示す。

3. 地震力の算定方法

使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震設計に用いる地震力の算定方法は、以下のとおりとする。

(1) 静的地震力

静的地震力は、耐震重要度分類に応じて、施設に適用する静的地震力を適用する。なお、水平地震力と鉛直地震力は同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。

(2) 動的地震力

動的地震力は、基準地震動から定める入力地震動を入力として、動的解析により水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定す

る。なお、地震力の組合せについては水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用するものとし、影響が考えられる場合には許容限界の範囲内に留まることを確認する。

また、使用済燃料乾式貯蔵施設について、適用する地震力に対して、要求される機能及び構造健全性が維持されることを確認するため、当該施設の構造を適切にモデル化した上での地震応答解析若しくは加振試験、又はその両方を実施する。

(3) 設計用減衰定数

使用済燃料乾式貯蔵施設の応答解析に用いる設計用減衰定数は、安全上適切と認められる規格及び基準、既往の振動実験、地震観測の調査結果等を考慮して適切な値を定める。

4. 荷重の組合せと許容限界

使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震設計における荷重の組合せと許容限界は以下による。

(1) 耐震設計上考慮する状態

地震以外に設計上考慮する状態を次に示す。

- a. 使用済燃料乾式貯蔵建屋
 - ・ 通常 of 自然条件下におかれている状態
 - ・ 設計上基本的に考慮しなければならない自然条件（積雪，風等）
- b. 使用済燃料乾式貯蔵容器
 - ・ 使用済燃料乾式貯蔵容器が貯蔵されている状態
 - ・ 設計上基本的に考慮しなければならない自然条件（積雪，風等）

(2) 荷重の種類

- a. 使用済燃料乾式貯蔵建屋
 - ・ 使用済燃料乾式貯蔵容器が貯蔵されている状態で常時作用している荷重，すなわち固定荷重，積載荷重，土圧，水圧及び通常の気象条件による荷重
 - ・ 使用済燃料乾式貯蔵容器が貯蔵されている状態で作用する荷重
 - ・ 地震力，風荷重，積雪荷重等
- b. 使用済燃料乾式貯蔵容器
 - ・ 使用済燃料乾式貯蔵容器が貯蔵されている状態で作用する荷重
 - ・ 地震力，風荷重，積雪荷重等

(3) 荷重の組合せ

地震力と他の荷重との組合せは次による。

a. 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵時に常時作用している荷重及び、使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵時の状態で作用する荷重と静的地震力とを組み合わせる。

b. 使用済燃料乾式貯蔵容器

使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵時の状態で作用する荷重と地震力とを組み合わせる。

c. Cクラスの機器・配管系

使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵時の状態で作用する荷重と、静的地震力とを組み合わせる。

d. 荷重の組合せ上の留意事項

- (a) 使用済燃料乾式貯蔵容器に作用する地震力のうち動的地震力については、水平2方向と鉛直方向の地震力とを適切に組み合わせ算定するものとする。
- (b) ある荷重の組合せ状態での評価が明らかに厳しいことが判明している場合には、その他の荷重の組合せ状態での評価は行わないことがある。
- (c) 複数の荷重が同時に作用する場合、それらの荷重による応力の各ピークの生起時刻に明らかになぜがあることが判明しているならば、必ずしもそれぞれの応力のピーク値を重ねなくてもよいものとする。
- (d) 使用済燃料乾式貯蔵容器を支持する使用済燃料乾式貯蔵建屋の当該部分の支持機能を確認する場合においては、基準地震動と常時作用している荷重及びその他必要な荷重とを組み合わせる。
- (e) 地震と組み合わせる自然現象として、風及び積雪を考慮し、風荷重及び積雪荷重については、施設の設置場所、構造等を考慮して、地震荷重と組み合わせる。

(4) 許容限界

使用済燃料乾式貯蔵施設の地震力と他の荷重とを組み合わせた状態に対する許容限界は次のとおりとし、安全上適切と認められる規格及び基

準又は試験等で妥当性が確認されている許容応力等を用いる。

a. 使用済燃料乾式貯蔵建屋

(a) Cクラス施設としての許容限界

建築基準法などの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。

(b) 使用済燃料乾式貯蔵容器を支持する施設としての許容限界

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、使用済燃料乾式貯蔵建屋の終局耐力に対して妥当な安全余裕を持たせることとする。なお、終局耐力は、使用済燃料乾式貯蔵建屋に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又は歪みが著しく増加するに至る限界の最大耐力とし、既往の実験式等に基づき適切に定めるものとする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器がそれを支持する使用済燃料乾式貯蔵建屋の変形等に対して、その支持機能を損なわないものとする。

(c) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の保有水平耐力

必要保有水平耐力に対して耐震重要度に応じた安全余裕を有していることを確認する。

b. 使用済燃料乾式貯蔵容器

自重その他の貯蔵時に想定される荷重と、基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件に対して、当該使用済燃料乾式貯蔵容器に要求される機能を保持することを以下のとおり確認する。

密封境界部については、おおむね弾性状態に留まることを確認する。

使用済燃料乾式貯蔵容器の臨界防止機能を担保しているバスケットについては、臨界防止上有意な変形を起こさないことを確認する。

密封境界部以外の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを確認する。

c. Cクラスの機器・配管系

応答が全体的におおむね弾性状態に留まることとする。

d. 基礎地盤の支持性能

基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界は、接地圧が、安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の極限支持力度に対して妥当な余裕を有することを確認する。

静的地震力との組合せに対する許容限界は、接地圧に対して、安全上

適切と認められる規格及び基準等による地盤の短期許容支持力度を許容限界とする。

5. 設計における留意事項

使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器は周辺施設等の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。

波及的影響の評価に当たっては、以下の3つの観点をもとに、敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を損なわないことを確認する。なお、原子力発電所の地震被害情報をもとに、3つの観点以外に検討すべき事項がないか確認し、新たな検討事項が抽出された場合には、その観点を追加する。

影響評価には、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力を適用して評価を行うこととし、地震動又は地震力の選定に当たっては、施設の配置状況、使用時間等を踏まえて適切に設定する。また、水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用する場合の影響も考慮して評価する。

(1) 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響

a. 不等沈下

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力による周辺施設等の設置地盤の不等沈下により、その安全機能を損なわないように設計する。

b. 相対変位

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力による周辺施設等との相対変位により、その安全機能を損なわないように設計する。

(2) 使用済燃料乾式貯蔵容器間の相互影響

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力による隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器との相互影響により、その安全機能を損なわないように設計する。

(3) 使用済燃料乾式貯蔵容器と周辺施設等との相互影響

a. 周辺施設等の損傷、転倒及び落下等による衝突

影響使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力による周辺施設等の損傷、転倒及び落下等により、その安全機能を損なわないように設計する。

b. 周辺斜面の崩壊

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力によって生じるおそれがある周辺の斜面の崩壊に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない場所に設置する。

なお、上記検討に当たっては、地震に起因する溢水及び火災の観点からも波及的影響がないことを確認する。

6. 構造計画と配置計画

使用済燃料乾式貯蔵施設の構造計画に際しては、地震の影響が低減されるように考慮する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、原則として剛構造とし、重要な建物・構築物は、地震力に対し十分な支持性能を有する地盤に支持させる。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、貯蔵時の応答性状を適切に評価し、適用する地震力に対して転倒しない設計とする。

周辺施設等は、原則、使用済燃料乾式貯蔵容器に対して離隔をとり配置するか、若しくは基準地震動に対し構造強度を確保することにより、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を損なわない設計とする。

第1表 耐震重要度分類

【 】内は、検討用地震動を示す。

耐震クラス 設備名称	S	C	間接支持構造物
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設 3 使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料乾式貯蔵容器 <small>(注1)</small>		使用済燃料乾式貯蔵建屋【Ss】
放射線管理施設 3 生体遮蔽装置		補助遮へい（使用済燃料乾式貯蔵建屋）	使用済燃料乾式貯蔵建屋【Sc】
その他発電用原子炉の附属施設 4 火災防護設備 1 火災区域構造物及び火災区画構造物 2 消火設備		使用済燃料乾式貯蔵建屋 消火設備配管	使用済燃料乾式貯蔵建屋【Sc】 使用済燃料乾式貯蔵建屋【Sc】

(注1) 基準地震動Ssによる地震力に対して、機能を保持できるものとする。

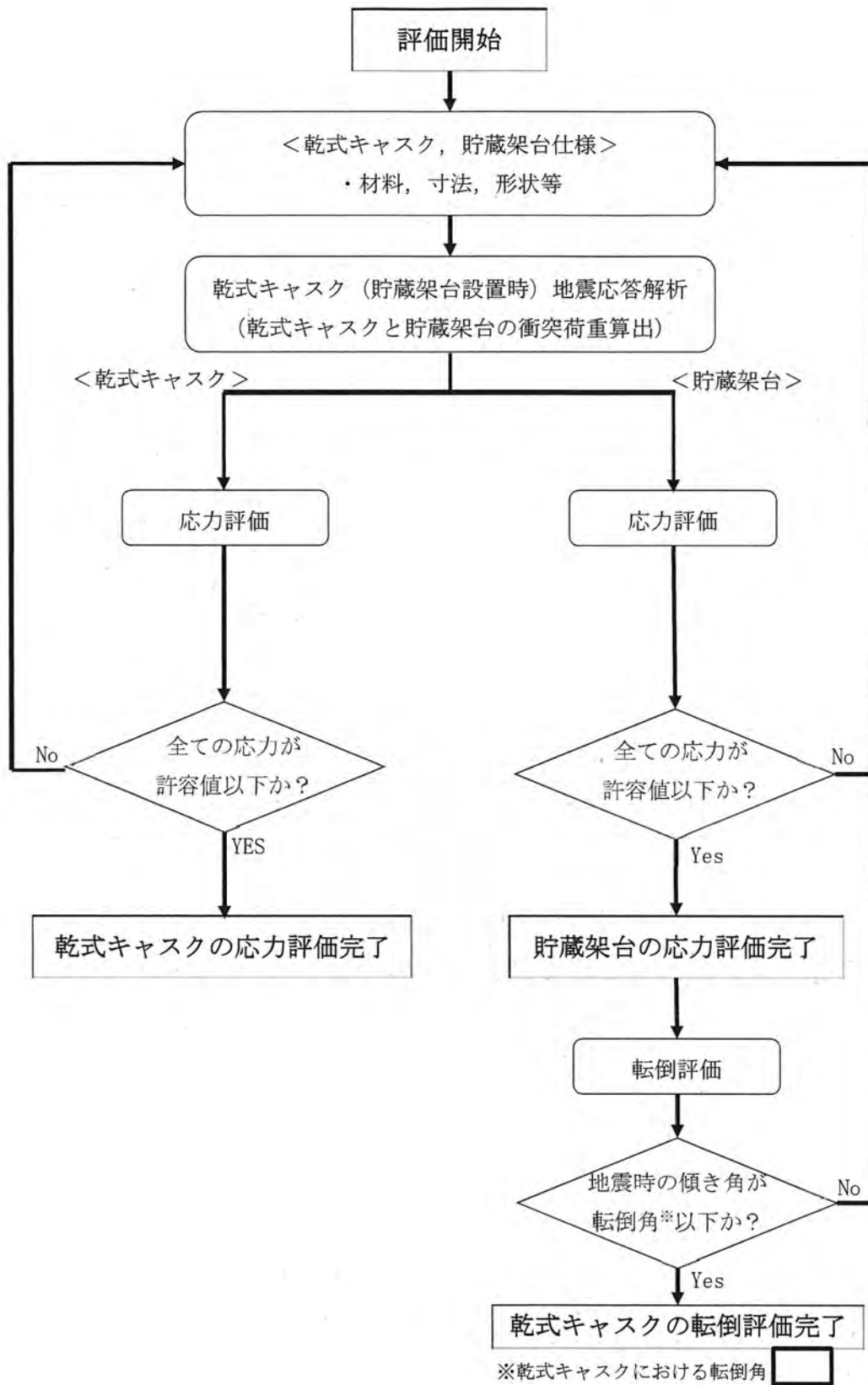
別添 2

使用済燃料乾式貯蔵容器及び貯蔵架台の
耐震評価について

1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵容器（以下「乾式キャスク」という。）及び貯蔵架台の耐震評価は、以下に示す規格及びガイドに従い応力評価にて行い、貯蔵架台に発生する応力が許容値以下となることの確認をもって、地震時に貯蔵架台の乾式キャスクに対する支持機能が失われることなく、乾式キャスクが傾く時の角度（以下「傾き角」という。）が転倒する角度（以下「転倒角」という。）に至らないことを評価する。耐震評価フローを第1-1図に示す。

- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1987) (日本電気協会 1987年8月)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1991 追補版) (日本電気協会 1991年12月)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編(JEAG 4601・補-1984) (日本電気協会 1984年9月)
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2012年版) (JSME S NC1-2012) (日本機械学会 2012年12月)
- ・ 発電用原子力設備規格 材料規格(2012年版) (JSME S NJ1-2012) (日本機械学会 2012年12月)
- ・ 使用済燃料貯蔵施設規格・金属キャスク構造規格(2007年版) (JSME S FA1-2007) (日本機械学会 2007年12月)
- ・ 原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド (原子力規制委員会 2019年3月)



第1-1図 乾式キャスク及び貯蔵架台の耐震評価フロー

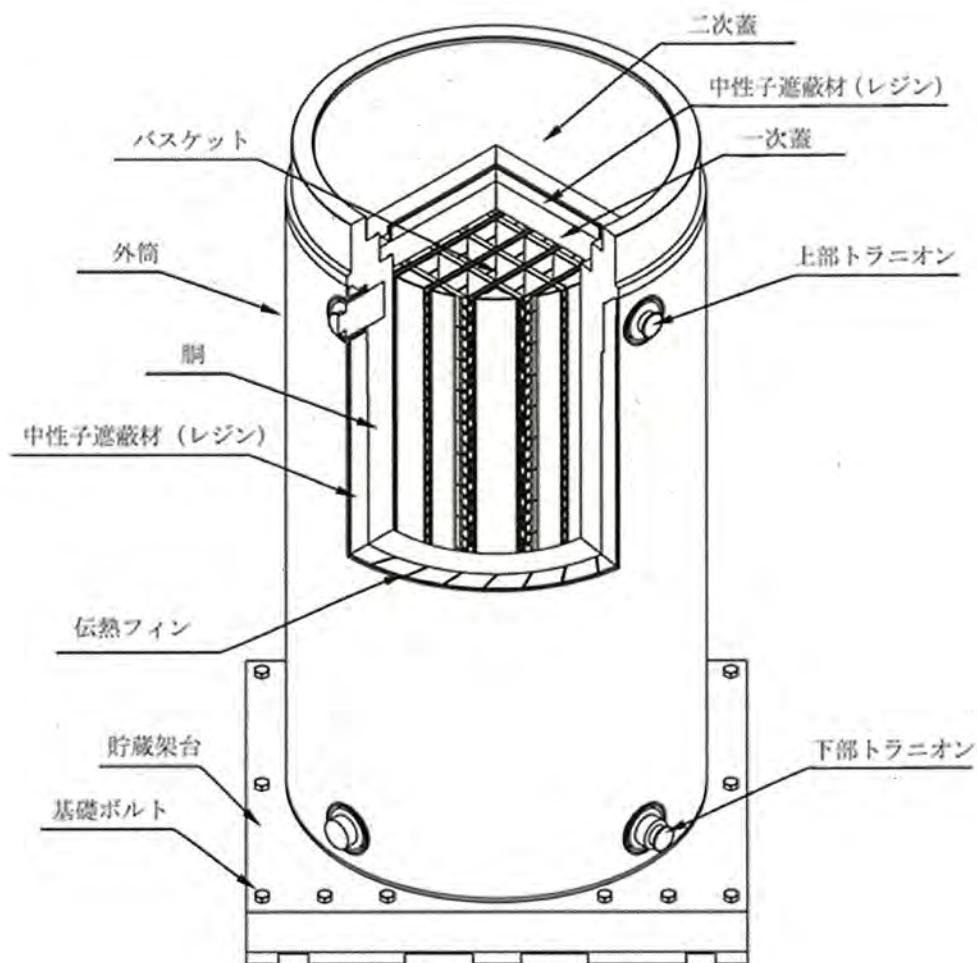
2. 乾式キャスク及び貯蔵架台の構造について

伊方発電所の乾式キャスクは、基礎に固定した貯蔵架台に設置することで、横滑りを制限する方式としている。これは第 2-1 表に示すとおり、乾式キャスクを基礎等に固定する場合としない場合の有利な点を兼ね備えた貯蔵方式であるためである。

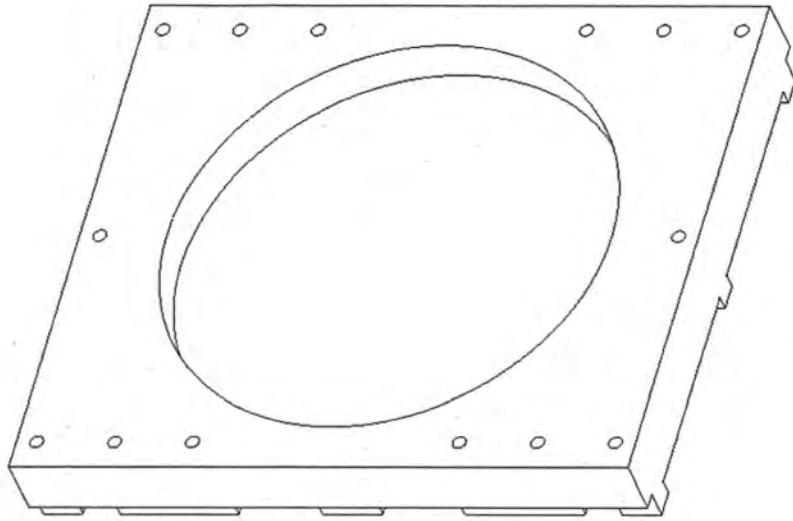
伊方発電所に設置する乾式キャスクの構造を第 2-1 図に、今回の貯蔵方式における貯蔵架台の構造を第 2-2 図に、貯蔵時の寸法を第 2-3 図に示す。また、乾式キャスクと貯蔵架台の隙間の寸法は製造公差等を考慮しても□(ノミナル値)以下となるよう設定している。隙間設定の考え方について別紙-1に示す。

乾式キャスク及び貯蔵架台は、基準地震動 S_s による地震力に対してその安全機能が損なわれるおそれがないように、以下の構造としている。

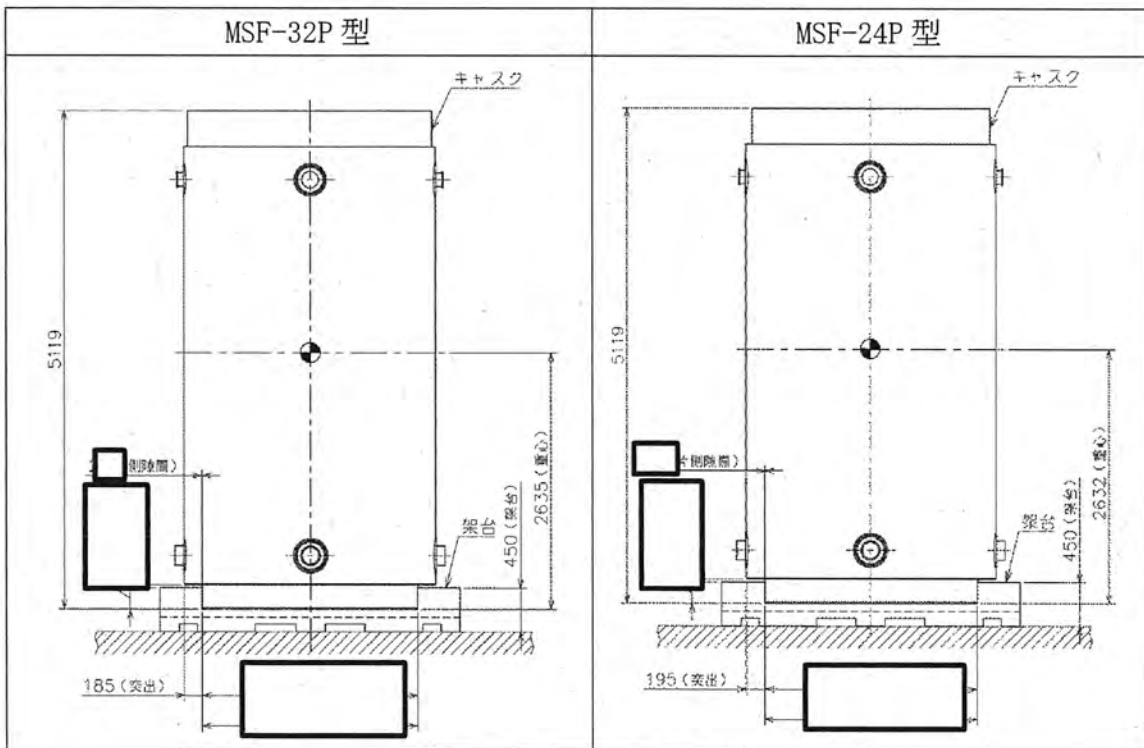
- ・貯蔵架台に乾式キャスク底部と嵌め合う凹部を設けることで、固定せず乾式キャスクが転倒しない構造とする。
- ・貯蔵架台は、使用済燃料乾式貯蔵建屋（以下「貯蔵建屋」という。）床面に埋め込まれた支持金物に対して、基礎ボルトで固定される構造とする。



第2-1図 乾式キャスクの構造

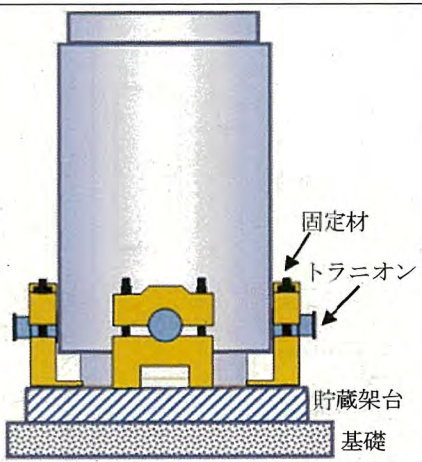

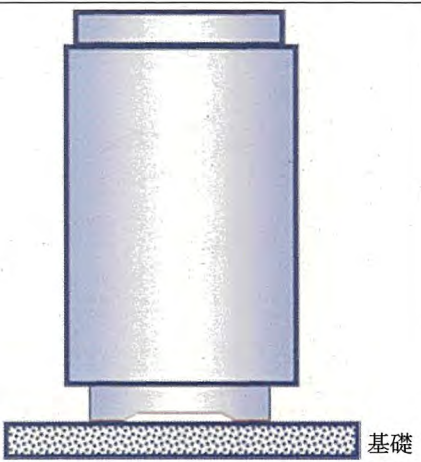


第2-2図 貯蔵架台の構造



第 2-3 図 乾式キャスク貯蔵時の寸法

第2-1表 乾式キャスクの貯蔵方式の比較

		固定する場合	今回の貯蔵方式	固定しない場合
評価項目				
管理		固定材の固縛力の管理を考慮する必要がある。	固定材がないため、固縛力の管理を必要としない。	
被ばく量		乾式キャスクと貯蔵架台との連結や解除作業時の固定材取付・取外及び基礎への固定を行うため、他の方式に比べ被ばくへの配慮が必要。	貯蔵架台と基礎の固定作業が必要だが、固定材の脱着が必要ないため、固定式に比べ被ばく量は少ない。	固定作業がないため、固定式に比べ被ばく量は少ない。
地震時の発生荷重	支持構造物	地震荷重が固定材に集中する。	乾式キャスクと貯蔵架台との摩擦等により、地震力が減衰し、貯蔵架台に大きな荷重は発生しない。	—
	乾式キャスク地震荷重作用部	乾式キャスクに作用する地震荷重がトラニオン等の作用部に集中する。	乾式キャスクに作用する地震荷重が貯蔵架台との摩擦等により減衰した上で、作用部に作用する。	乾式キャスクに作用する地震荷重が、摩擦等により減衰した上で、作用部に作用する
	乾式キャスク鉛直	浮き上がらないため荷重はほとんど発生しない。	貯蔵架台により浮き上がりが制限されており、大きな荷重は発生しない。	浮き上がりが制限されていないため、大きな荷重が発生するおそれがある。
	乾式キャスク水平	移動しないため荷重はほとんど発生しない。	貯蔵架台により移動量が制限されており、大きな荷重は発生しない。	移動量に制限がないため、隣接する乾式キャスクや周辺施設との相互影響により、大きな荷重が発生するおそれがある。
相互影響		貯蔵架台により位置固定されており、隣接する乾式キャスク周辺施設等との相互影響はない。	貯蔵架台により位置固定されており、隣接する乾式キャスクや周辺施設等との相互影響はない。	貯蔵架台による位置固定（移動制限）がないため、隣接する乾式キャスクや周辺施設等との相互影響が発生するおそれがある。

□：他の方式に比べ有利な項目

3. 地震応答解析

3.1 評価条件

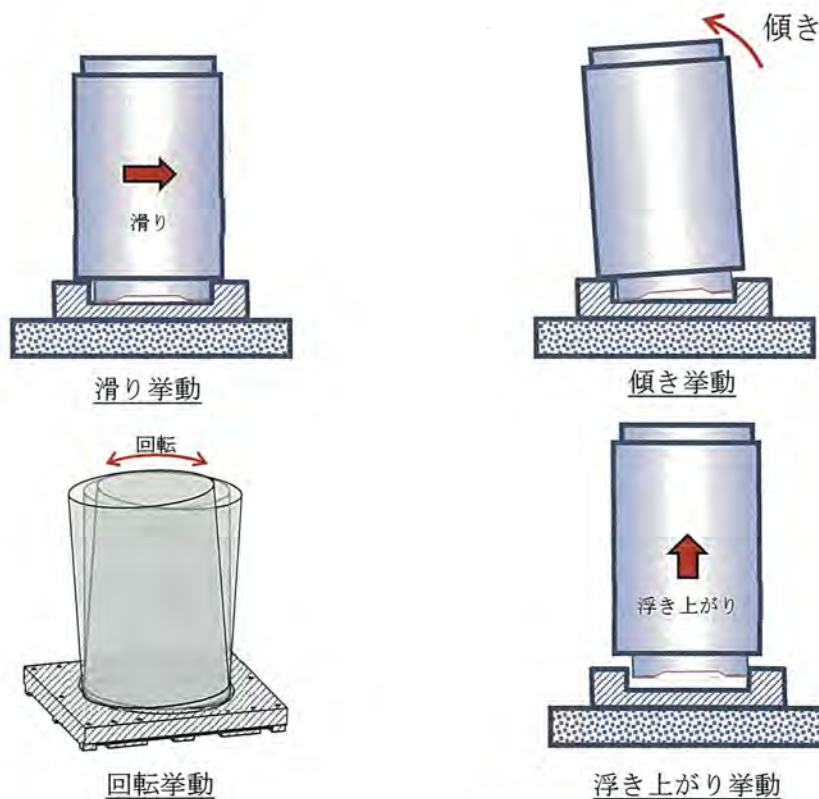
(1) 地震時に貯蔵架台に設置した乾式キャスクに発生する挙動を第 3-1 図に示す。これらの挙動のうち、浮き上がり挙動は地震による鉛直方向の加速度が 1G を超える場合に発生するが、今回乾式キャスクを設置する地点の鉛直方向加速度は 1G を超えないため、滑り、回転、傾きの 3 つの挙動が発生する。

これらの挙動のうち、傾き挙動は、ある一方向（径方向）へ乾式キャスクが傾く挙動であり、乾式キャスクの運動エネルギーが、ある一方向へ集中し貯蔵架台と衝突する。そのため、乾式キャスクの運動エネルギーの全てが荷重として、乾式キャスクおよび貯蔵架台に生じる。

滑り挙動は、貯蔵架台と乾式キャスク底面との摩擦力を介して地震力が乾式キャスクに伝播して発生するものであり、乾式キャスクの運動エネルギーは減衰するため、傾き挙動に比べて荷重は小さくなる。

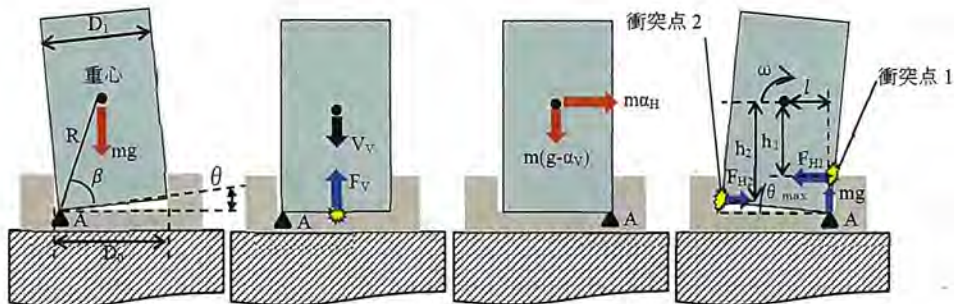
回転挙動は、貯蔵架台に沿って乾式キャスクが回転する運動であり、乾式キャスクの運動エネルギーは回転エネルギーとして消散されるため、乾式キャスクおよび貯蔵架台に発生する荷重は傾き挙動に比べて小さくなる。

以上より、乾式キャスクの挙動のうち、乾式キャスクおよび貯蔵架台へ最も厳しい荷重が生じる傾き挙動時の応答をエネルギー保存則を用いて解く。



第 3-1 図 地震時における乾式キャスクの挙動

- (2) 傾き挙動の1サイクルを第3-2図と定義する。傾き支点であるA点は、傾き挙動の進展により時々刻々移動する。このA点及び乾式キャスクと貯蔵架台の接触箇所には、動摩擦力が発生し、運動エネルギーが消費されるが、本評価では、保守的にこの運動エネルギーの消費を無視する。
- (3) 鉛直方向の応答荷重は、乾式キャスクが貯蔵架台嵌め合い部底面に衝突した時の貯蔵架台の変位をエネルギーのつり合い((1)式)から算出し、その変位を(2)式に代入することで算出される。なお、衝突後も傾き挙動が継続することから、運動エネルギーの鉛直成分が貯蔵架台との衝突で消費され、水平成分が傾き挙動の継続に使われると仮定する。
- (4) 水平方向の応答荷重は、乾式キャスクが貯蔵架台嵌め合い部の二側面と接触した時の変位をエネルギーのつり合い((3)式)及びモーメントのつり合い((4)式)の連立方程式から算出し、その変位を(5)式に代入することで算出される。
- なお、衝突時の角速度 ω は地震による水平加速度 α_H 及び鉛直加速度 α_V を考慮して設定する。
- (5) 乾式キャスクの耐震計算には、第3-1表に示す設計用地震力を用いる。なお、評価にあたっては、嵌め合い部の発生応力が大きいMSF-32P型を代表として示す。



第3-2図 傾き挙動の1サイクル

第3-1表 設計用地震力

地震動	方向	備考
基準地震動 S_s-1 (注)	水平	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した評価を行う。
	鉛直	

(注)本資料に示す耐震評価では、暫定的にEL. 21mにおける地震波による応答加速度を2割増しした値(1.2ZPA)を用いる。乾式キャスクは今回評価に用いている地盤上の基礎に設置されるものであり、建屋構造による増幅は小さい見込みである。

$$\frac{1}{2}mV_V^2 = \frac{1}{2}k_Vx_V^2 \quad (1)$$

$$F_V = k_Vx_V \quad (2)$$

$$\frac{1}{2}I_A\omega^2 = \frac{1}{2}k_1x_1^2 + \frac{1}{2}k_2x_2^2 + mgR(\sin(\theta_{max} + \beta) - \sin(\theta_0 + \beta)) \quad (3)$$

$$h_1k_1x_1 = h_2k_2x_2 + mgl \quad (4)$$

$$F_{H1} = k_1x_1, F_{H2} = k_2x_2 \quad (5)$$

ここで、

m : 乾式キャスク質量 (kg)

V_V : 貯蔵架台嵌め合い部底面との衝突直前の乾式キャスクの鉛直方向速度 (m/s)

k_V : 3次元 FEM 解析モデルより求めた貯蔵架台の鉛直剛性 (6.7×10^{10} N/m)

x_V : 貯蔵架台の鉛直変位 (m)

F_V : 鉛直方向の応答荷重 (N)

F_{H1} : 衝突点 1 の水平方向の応答荷重 (N)

F_{H2} : 衝突点 2 の水平方向の応答荷重 (N)

I_A : A 点まわりの慣性モーメント ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

ω : 貯蔵架台嵌め合い部二側面との衝突直前の乾式キャスクの角速度 (rad/s)

k_1, k_2 : 3次元 FEM 解析モデルより求めた衝突点 1 及び 2 の水平剛性 ($k_1=9.6 \times 10^9$ N/m, $k_2=1.7 \times 10^{10}$ N/m)

x_1, x_2 : 衝突点 1 及び 2 の水平変位 (m)

h_1, h_2 : 衝突点 1 及び 2 と重心との鉛直距離 (m)

R : A 点と重心位置との距離 (m)

l : A 点と重心位置との水平距離 (m)

g : 重力加速度 (9.80665m/s^2)

このうち、乾式貯蔵キャスクの貯蔵架台嵌め合い部底面との衝突直前の乾式キャスクの鉛直方向速度 V_V と貯蔵架台嵌め合い部二側面との衝突直前の乾式キャスクの角速度 ω の算出過程を以下に示す。

a. 貯蔵架台嵌め合い部底面との衝突直前の乾式キャスクの鉛直方向速度 V_V

乾式キャスク重心に重力が作用することで、乾式キャスク底面が貯蔵架台嵌め合い部底面に衝突する直前の乾式キャスクの鉛直方向速度 V_V を算出する。

(以下で、 $t, \theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$ の添え字 0 は初期状態である幾何学的な 3 点支持を、添え字 1 は底面衝突直前を意味する)

この時の A 点回りの回転の運動方程式は、以下の通りである。

$$I_A \cdot \ddot{\theta} = -mgR \cdot \cos(\beta + \theta) \quad (6)$$

I_A は乾式キャスクの質量及び幾何形状から一義的に定まる。
これより、角加速度

$$\ddot{\theta}_0 = -\frac{mR}{I_A} g \cdot \cos(\beta + \theta_0) \quad (7)$$

を、角速度の初期値がゼロ、角度の初期値が θ_0 であることを考慮し時間積分し、底面衝突時の関係

$$\frac{1}{2} \ddot{\theta}_0 t_1^2 + \theta_0 = 0 \quad (8)$$

から、底面衝突までの時間 t_1 が得られる。

$$t_1 = \sqrt{\frac{2\theta_0}{(-\ddot{\theta}_0)}} \quad (9)$$

したがって、底面衝突時の角速度 $\dot{\theta}_1$ は、

$$\dot{\theta}_1 = \ddot{\theta}_0 \cdot t_1 = -\sqrt{2(-\ddot{\theta}_0) \cdot \theta_0} \quad (10)$$

であり、以下の通り、乾式キャスクの鉛直方向速度を得る。

$$V_V = R \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \cos\beta \quad (11)$$

なお、角度 θ_0 は傾き挙動による回転角であり、乾式キャスクと貯蔵架台嵌め合い部の幾何学的な関係を示す次式から定まる。

$$D_0 = d \cdot \tan\theta_0 + D_1 \cdot \cos\theta_0 \quad (12)$$

ここで、

D_0 : 貯蔵架台嵌め合い部の内径 (m)

D_1 : 乾式キャスク底部の外径 (m)

d : 貯蔵架台嵌め合い部の高さ (m)

b. 貯蔵架台嵌め合い部二側面との衝突直前の乾式キャスクの角速度 ω

乾式キャスク底面が貯蔵架台嵌め合い部底面に衝突後、A点を回転中心として重心が持ち上がる方向に回転する。この時、地震による水平方向加速度、鉛直方向加速度を回転が促進される方向に常に作用すると仮定し、貯蔵架台嵌め合い部二側面との衝突直前の乾式キャスクの角速度 ω を算出する。

(以下で、 t , θ , $\dot{\theta}$, $\ddot{\theta}$ の添え字0は初期状態である幾何学的な3点支持を、添え字1は底面衝突直前を、添え字2は底面衝突直後を、添え字3は二側面との衝突直前を意味する。)

この時の、A点回りの回転の運動方程式は、以下の通りである。

$$I_A \cdot \ddot{\theta} = -m(g - \alpha_V)R \cdot \cos(\beta + \theta) + m\alpha_H R \sin(\beta + \theta) \quad (13)$$

ここで、

α_H : 地震の水平加速度 (m/s²)

α_V : 地震の鉛直加速度 (m/s²)

これより、角加速度 $\ddot{\theta}_3$ は

$$\ddot{\theta}_3 = \frac{m \cdot R}{I_A} (-(g - \alpha_V) \cdot \cos(\beta + \theta_0) + \alpha_H \cdot \sin(\beta + \theta_0)) \quad (14)$$

となる。

角加速度 $\ddot{\theta}_3$ について、角速度の初期値が $\dot{\theta}_2$ 、角度の初期値がゼロであることを考慮し時間積分した以下の二側面との衝突直前の関係

$$\frac{1}{2} \ddot{\theta}_3 t_3^2 + \dot{\theta}_2 t_3 = \theta_0 \quad (15)$$

から、底面衝突から二側面との衝突までの時間 t_3 が得られる。二側面との衝突の角速度 $\omega (= \dot{\theta}_3)$ は、 t_3 を $\omega = \ddot{\theta}_3 t_3 + \dot{\theta}_2$ に代入することで、

$$\omega = \sqrt{\dot{\theta}_2^2 + 2\ddot{\theta}_3 \cdot \theta_0} \quad (16)$$

なお、底面衝突直後の角速度 $\dot{\theta}_2$ については、エネルギー保存則より、底面衝突前の乾式キャスク重心の水平方向速度

$$V_H = R \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \sin\beta \quad (17)$$

による乾式キャスクの運動エネルギーが、底面衝突直後の A 点回りの回転エネルギーに移行していると仮定し、以下の関係より得ることができる

$$\frac{1}{2} I_A \cdot \dot{\theta}_2^2 = \frac{1}{2} m \cdot V_H^2 \quad (18)$$

3.2 評価結果

乾式キャスク及び貯蔵架台に作用する地震応答荷重を第 3-2 表に示す。

第 3-2 表 乾式キャスク及び貯蔵架台に作用する荷重

荷重の種類		荷重 (N)
鉛直方向荷重 (F_V)		2.0×10^7
水平方向荷重	乾式キャスクの傾き方向側 (F_{H1})	2.6×10^7
	乾式キャスクの傾き方向と逆側 (F_{H2})	2.4×10^7

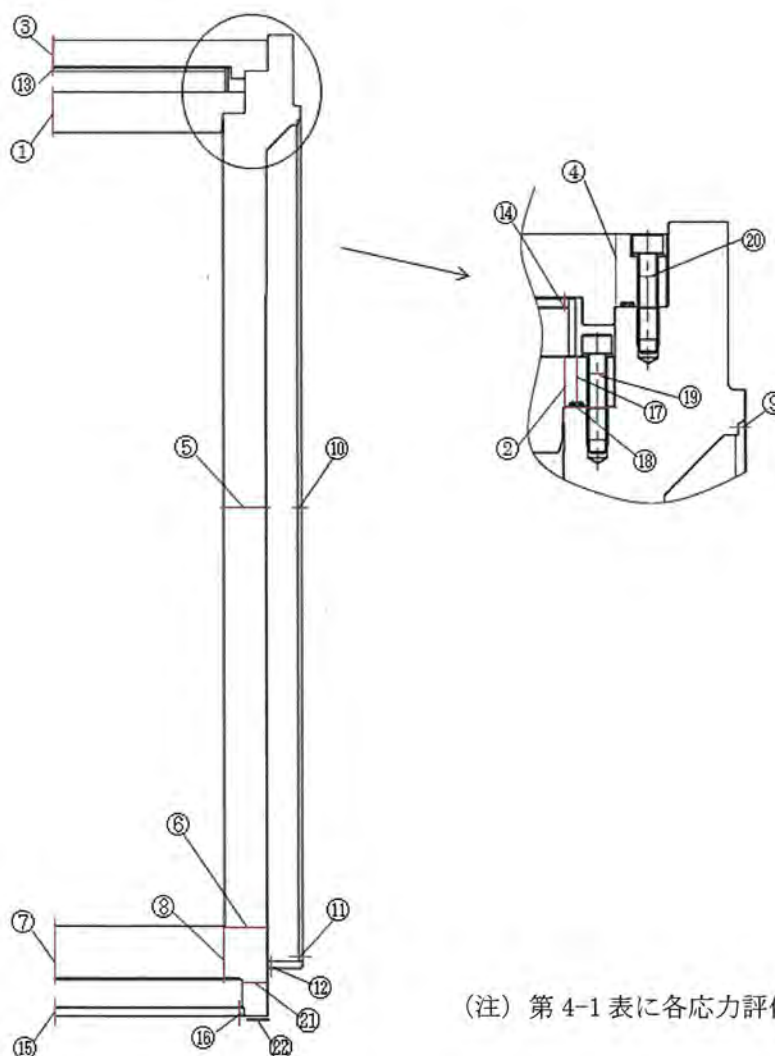
4. 乾式キャスクの応力評価

4.1 評価条件

乾式キャスクは、第 4-1 図に示す安全機能を維持するための部位について、第 4-2 図の乾式キャスクの応力評価フローに基づいて傾き衝突時及び底面衝突時の応力評価を行う。

バスケット、伝熱フィン及び胴（脚部）の衝突部を除く箇所に発生する応力は、第 4-3 図に示す 3 次元 FEM 応力解析モデルと「3. 地震応答解析」で算出した荷重より求める。また、乾式キャスクと貯蔵架台の嵌め合い部を境界条件として考慮する。また、胴、一次蓋、二次蓋、一次蓋ボルト及び二次蓋ボルトについては発生する応力を基に疲労評価を行う。

バスケット、伝熱フィン及び胴（脚部）の衝突部の発生応力は、「3. 地震応答解析」で算出した荷重より、構造公式を用いて求める。応力算出式を a. ～e. に示す。なお、評価にあたっては、嵌め合い部の発生応力が大きい MSF-32P 型を代表として示す。



(注) 第 4-1 表に各応力評価位置の評価内容等を示す。

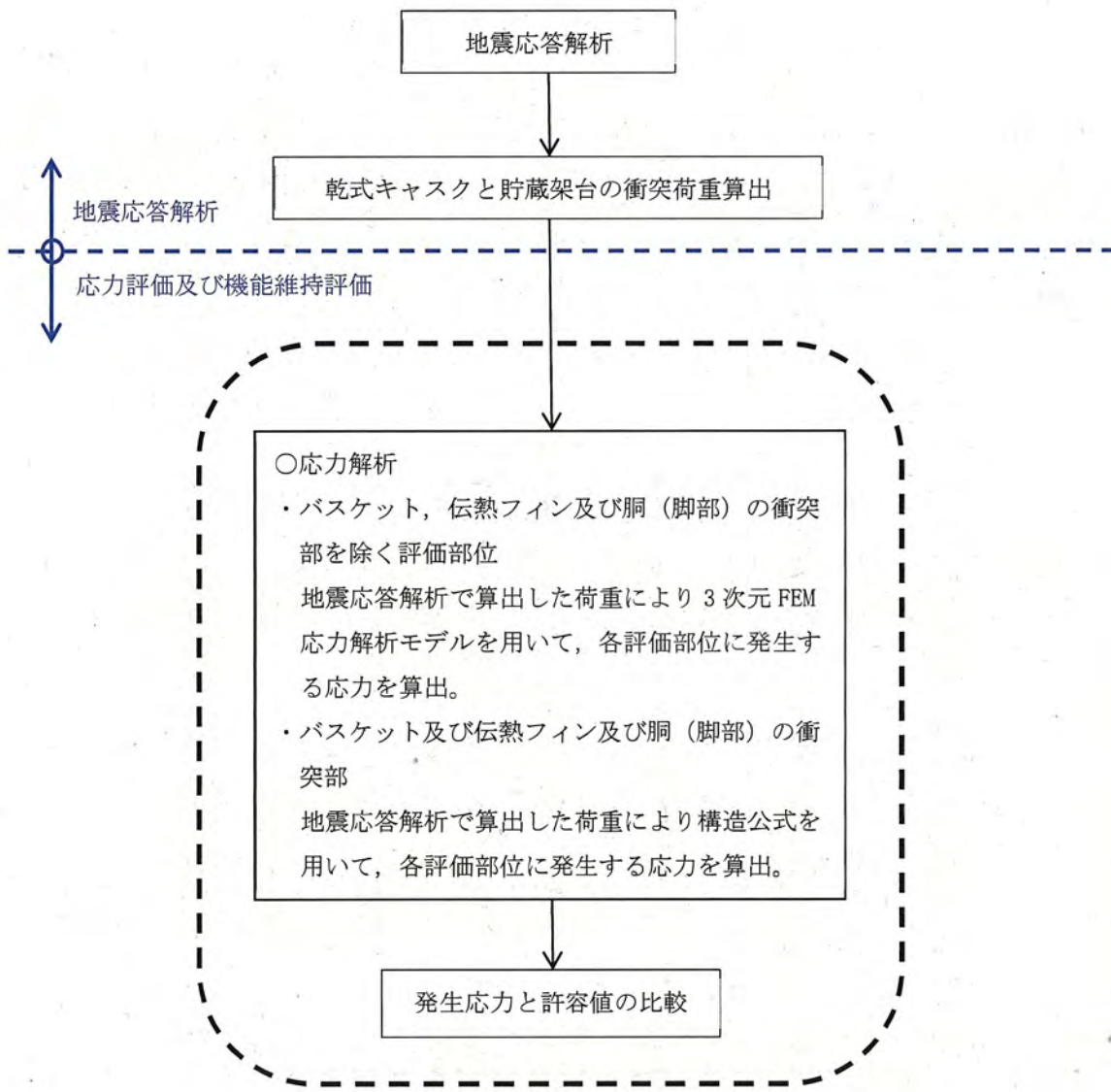
第 4-1 図 乾式キャスクの応力評価位置

第 4-1 表 乾式キャスクの応力評価位置，評価部位及び評価内容 (1/2)

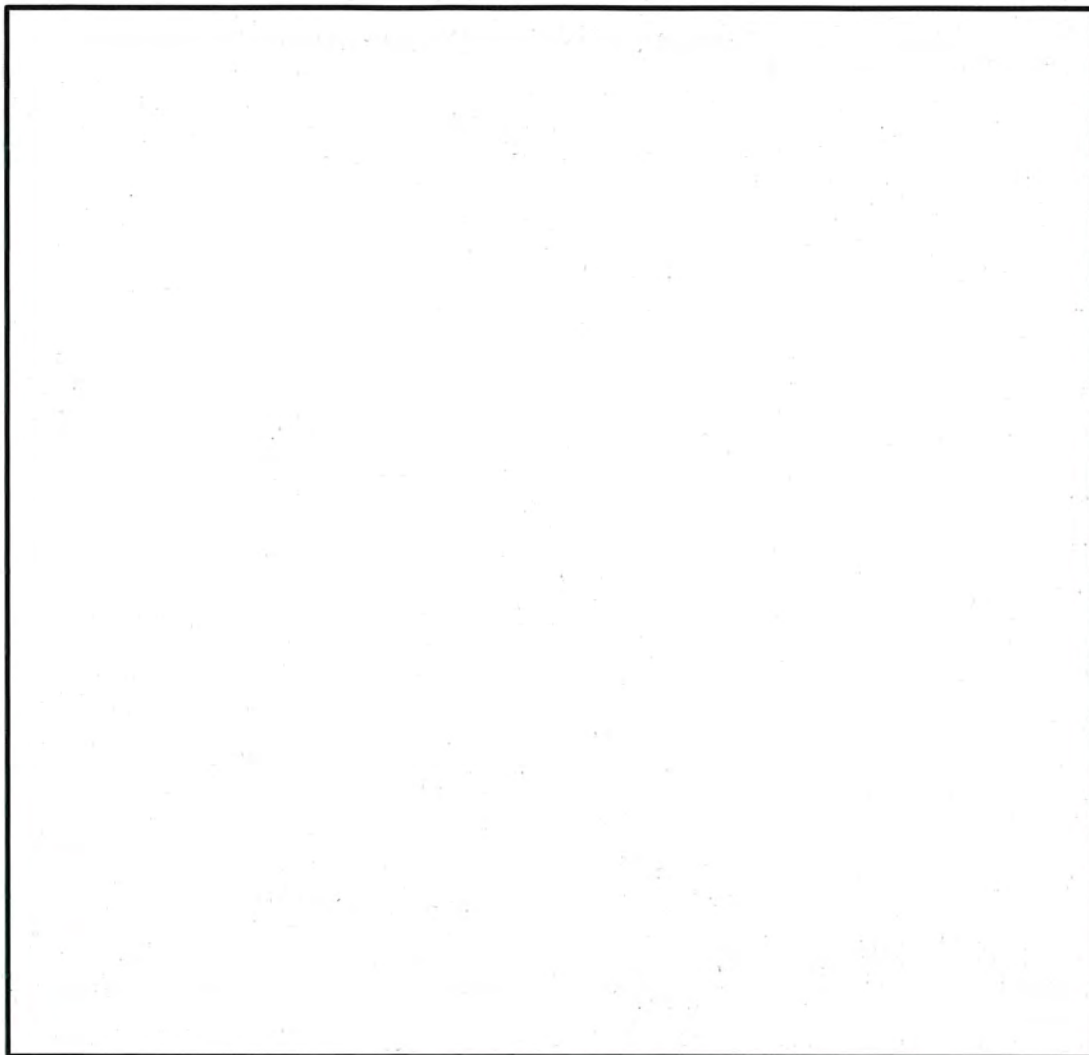
応力評価位置	評価部位	評価内容
①	一次蓋	地震時に構造健全性を維持し，除熱，遮蔽，閉じ込め機能を維持できることを評価
②		
③	二次蓋	地震時に構造健全性を維持し，除熱，遮蔽機能を維持できることを評価
④		
⑤	胴	地震時に構造健全性を維持し，除熱，遮蔽，閉じ込め機能を維持できることを評価
⑥		
⑦	胴（底板）	
⑧		
⑨	外筒	地震時に構造健全性を維持し，除熱，遮蔽機能を維持できることを評価
⑩		
⑪		
⑫	下部端板	地震時に構造健全性を維持し，遮蔽機能を維持できることを評価

第 4-1 表 乾式キャスクの応力評価位置，評価部位及び評価内容 (2/2)

応力評価位置	評価部位	評価内容
⑬	蓋部中性子遮蔽材カバー	地震時に構造健全性を維持し，遮蔽機能を維持できることを評価
⑭		
⑮	底部中性子遮蔽材カバー	地震時に構造健全性を維持し，遮蔽機能を維持できることを評価
⑯		
⑰	一次蓋シール部（蓋側）	地震時に構造健全性を維持し，閉じ込め機能を維持できることを評価
⑱	一次蓋シール部（胴側）	
⑲	一次蓋ボルト	地震時に構造健全性を維持し，閉じ込め機能を維持できることを評価
⑳	二次蓋ボルト	地震時に構造健全性を維持できることを評価
㉑	胴（脚部）	地震時に構造健全性を維持できることを評価
㉒		
—	バスケット	地震時に構造健全性を維持し，除熱，未臨界機能を維持できることを評価
—	伝熱フィン	地震時に構造健全性を維持し，除熱機能を維持できることを評価



第 4-2 図 乾式キャスクの応力評価フロー



第 4-3 図 乾式キャスク応力評価用 3 次元 FEM モデル

a. バスケットプレートの圧縮応力の算出式

底面衝突時において、最下段のバスケットプレート（第 4-4 図参照）には、それより上部にあるバスケットプレート等の自重及び鉛直方向の慣性力が作用し、圧縮による膜応力

σ_c (MPa)が生じる。

$$\sigma_c = \frac{W_b \times G_v}{A_1} \quad (1)$$

ここで、

W_b : バスケットプレート、バスケットサポート、中性子吸収材の合計質量 (kg)

G_v : 自重及び鉛直方向の加速度 (m/s^2)

(第 3-2 表に示す鉛直方向荷重(F_v)を乾式キャスク質量で除して算出)

A_1 : バスケットプレートと胴の接触面積 (mm^2)

バスケットプレートと胴の接触面積 A_1 は、以下の式で与えられる。計算に用いた寸法を第 4-4 図に示す。

$$A_1 = (b_1 - b_2) \times L_1 \times n \quad (2)$$

ここで、

b_1 : バスケットプレート幅 1 (mm)

b_2 : バスケットプレート幅 2 (mm)

L_1 : バスケットプレート長さ (mm)

n : 胴に接触するバスケットプレート L_1 部の個数 (-)

b. バスケットプレート縦板の圧縮応力の算出式

傾き衝突時において、バスケットプレート縦板切欠部には、第 4-5 図に示すように、領域 I の範囲にあるバスケットプレート、バスケットサポート及び燃料集合体に生じる水平方向の慣性力並びに、領域 II のバスケットプレートに生じる水平方向の慣性力により、圧縮による膜応力 σ_c (MPa)が生じる。

$$\sigma_c = \frac{W_I + W_{II}}{A \times N} G_H \quad (3)$$

ここで、

W_I : 領域 I のバスケットプレート、中性子吸収材、バスケットサポート及び燃料集合体の質量 (kg)

W_{II} : 領域 II のバスケットプレート及び中性子吸収材の質量 (kg)

G_H : 水平方向の加速度 (m/s^2)

(第 3-2 表に示す水平方向荷重(F_{H1} と F_{H2} の差分)を乾式キャスク質量で除して算出)

N : バスケットプレート縦板の数 (枚)

A : バスケットプレート縦板の断面積 (mm^2)

バスケットプレート縦板の断面積Aは、以下の式で与えられる。計算に用いた寸法を第 4-6 図に示す。

$$A = (b_1 + b_2 \times 2) \times h_1 - (b_3 + b_4 \times 2) \times h_2 \quad (4)$$

ここで、

- b_1 : バスケットプレート縦板の幅 1 (mm)
- b_2 : バスケットプレート縦板の幅 2 (mm)
- h_1 : バスケットプレート縦板の高さ 1 (mm)
- b_3 : バスケットプレート縦板の幅 3 (mm)
- b_4 : バスケットプレート縦板の幅 4 (mm)
- h_2 : バスケットプレート縦板の高さ 2 (mm)

c. バスケットプレート横板の曲げ応力及びせん断応力の算出式

傾き衝突時において、バスケットプレート横板切欠部には、第 4-7 図に示すようにバスケットプレート、中性子吸収材及び燃料集合体に生じる慣性力により曲げ応力 σ_b 及びせん断応力 τ が生じる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad (5)$$

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (6)$$

ここで、

- M : 曲げモーメント (N・mm)
- Z : バスケットプレート横板の断面係数 (mm³)
- F : せん断荷重 (N)
- A : バスケットプレート横板の断面積 (mm²)

曲げモーメントMは、以下の式で与えられる。

$$M = \frac{w \times \ell^2}{12} G_H \quad (7)$$

ここで、

- w : 分布荷重 (kg/mm)
- ℓ : バスケットセルの内幅 (mm)
- G_H : 水平方向の加速度 (m/s²)

分布荷重wは、以下の式で与えられる。

$$w = \frac{W_f + W_b \times N}{\ell \times N} \quad (8)$$

ここで、

- W_f : 燃料集合体の質量 (kg)
- W_b : バスケットプレート及び中性子吸収材の質量 (kg)

N : バスケットプレート横板の数 (段)

断面係数Zは、以下の式で与えられる。計算に用いた寸法を第4-8図に示す。

$$Z = \frac{h_1^3 \times b_1 - h_2^3 \times (b_2 + b_3 \times 2)}{6h_1} \quad (9)$$

ここで、

h_1 : バスケットプレート横板の高さ1 (mm)

b_1 : バスケットプレート横板の幅1 (mm)

b_2 : バスケットプレート横板の幅2 (mm)

h_2 : バスケットプレート横板の高さ2 (mm)

b_3 : バスケットプレート横板の幅3 (mm)

断面積Aは、以下の式で与えられる。計算に用いた寸法を4-8図に示す。

$$A = b_1 \times h_1 - h_2 \times (b_2 + b_3 \times 2) \quad (10)$$

せん断荷重Fは、以下の式で与えられる。

$$F = \frac{w \times l}{2} G_H \quad (11)$$

d. 伝熱フィンのせん断応力の算出式

底面衝突時において、伝熱フィン溶接部には、伝熱フィン及び中性子遮蔽材に生じる慣性力によりせん断応力 τ が生じる。なお、第4-9図に示すとおり、伝熱フィン溶接部は伝熱フィンに対して両側に隅肉溶接を施すが、保守側の評価として伝熱フィン溶接部のど部の面積は片側の隅肉のみを考慮して評価する。

$$\tau = \frac{(W_1 + W_2)G_V}{A} \quad (12)$$

ここで、

τ : せん断応力 (MPa)

W_1 : 伝熱フィンの軸方向単位長さ当たり重量 (kg/mm)

W_2 : 中性子遮蔽材の軸方向単位長さ当たり重量 (kg/mm)

G_V : 鉛直方向の加速度 (m/s^2)

A : フィン溶接部のど部の軸方向単位長さ当たりの面積 (mm^2/mm)

e. 胴 (脚部) の圧縮応力の算出式

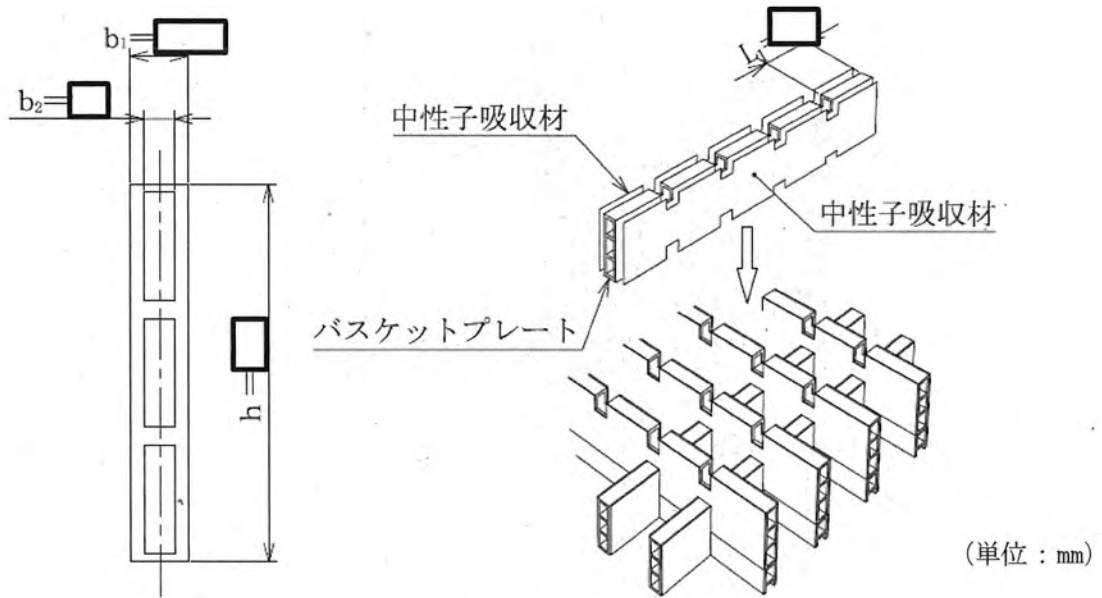
底面衝突時において、胴 (脚部) には、乾式キャスクの慣性力が作用し、衝突部近傍に圧縮応力 σ_c が生じる。

$$\sigma_c = \frac{F_V}{A_c} \quad (13)$$

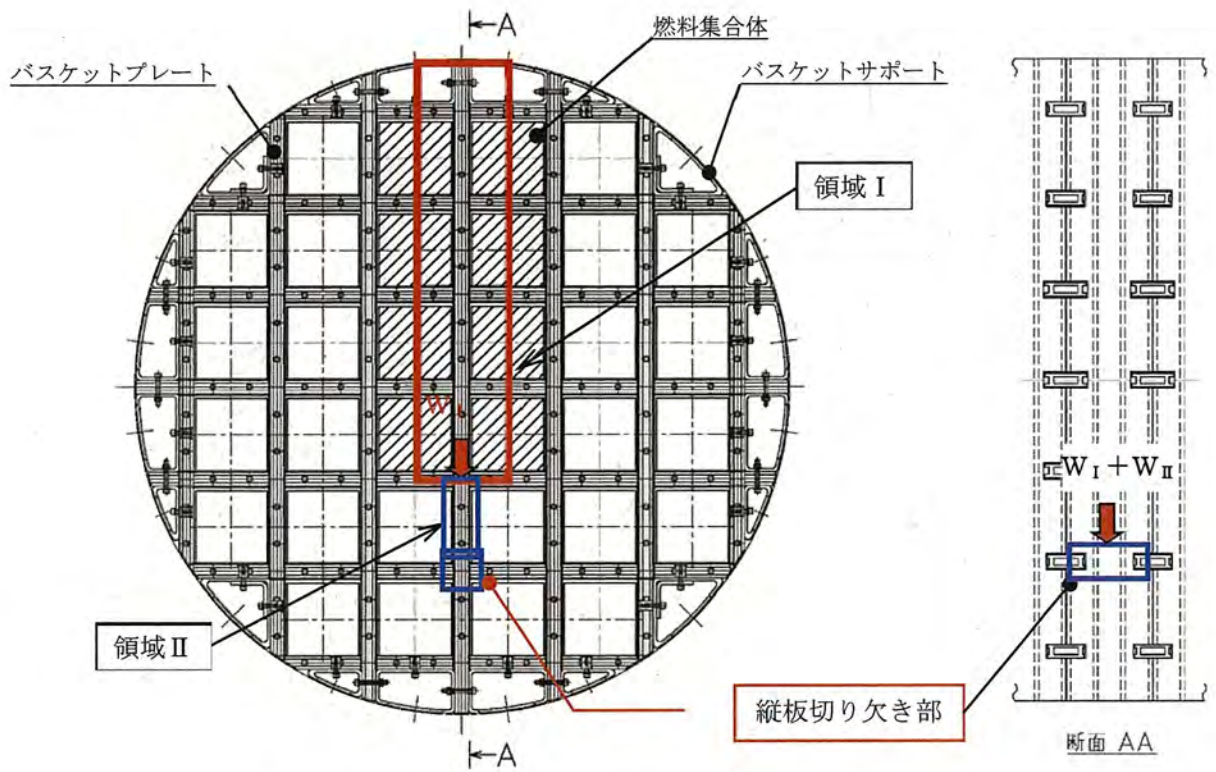
ここで、

F_V : 乾式キャスクに作用する鉛直方向荷重 (N)

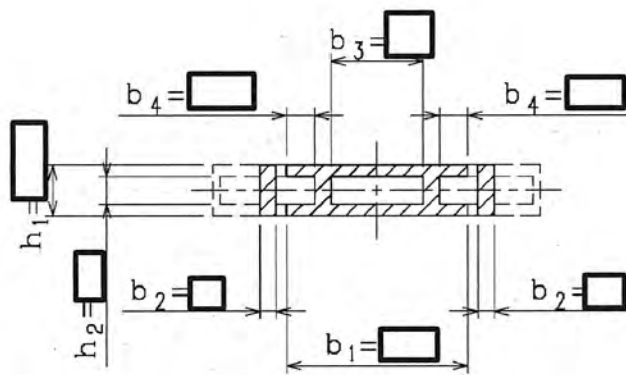
A_c : 胴 (脚部) の断面積 (mm^2)



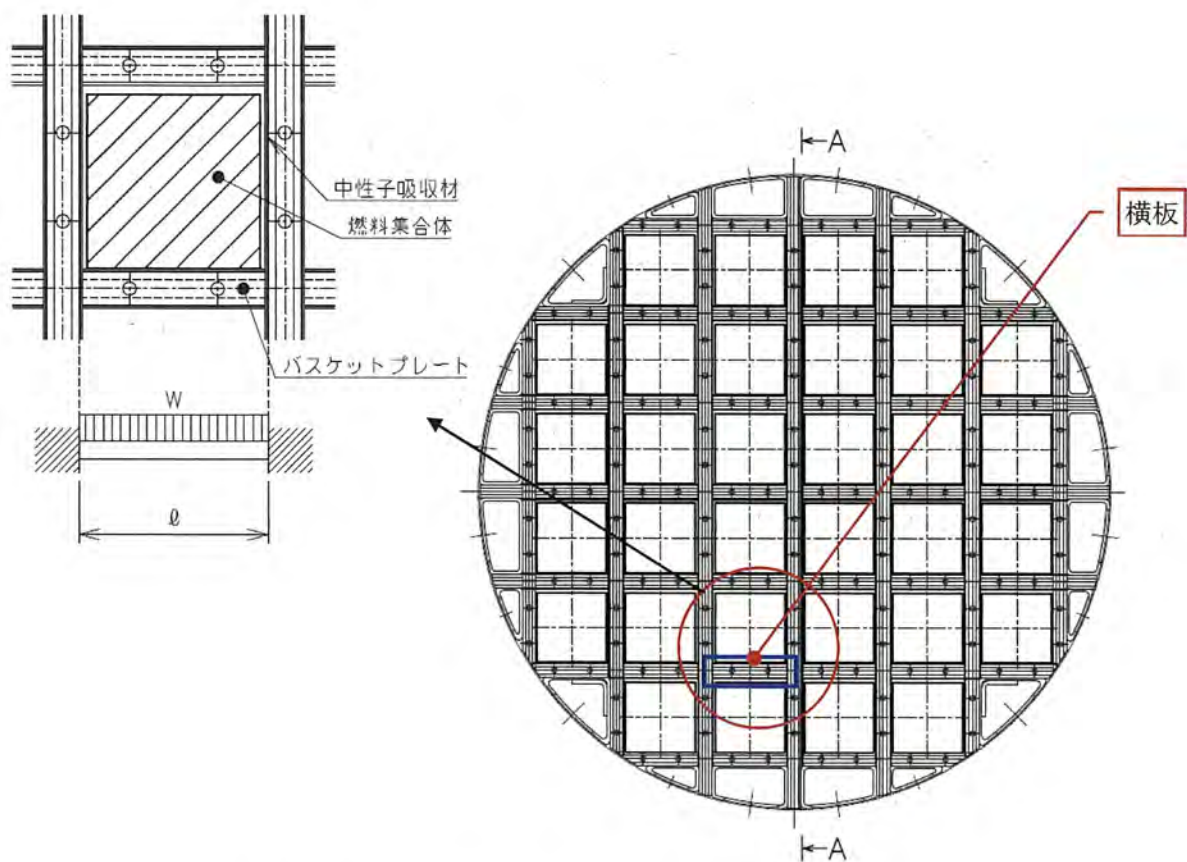
第 4-4 図 バスケットプレートのモデル図



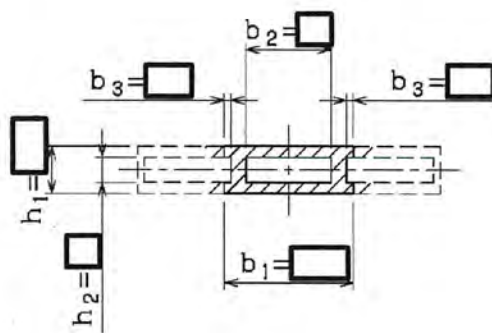
第 4-5 図 バスケットプレート縦板のモデル図



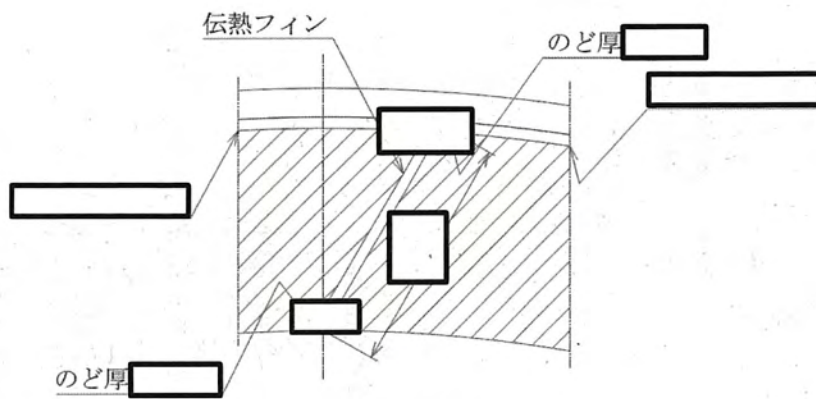
第 4-6 図 バスケットプレート縦板の断面



第 4-7 図 バスケットプレート横板のモデル図



第 4-8 図 バスケットプレート横板の断面



第4-9図 伝熱フィン溶接部のモデル図

4.2 評価結果

乾式キャスクの応力評価結果及び疲労評価結果を第4-2表に示す。一次蓋シール部及びバスケットを除く評価部位について、「4.1 評価条件」にて求めた発生応力は許容応力状態IV_ASの許容限界（「原子力発電所耐震設計技術指針」，「発電用原子力設備規格設計・建設規格(2012年版)」及び「発電用原子力設備規格材料規格(2012年版)」を基に設定)を満足しており，また，胴，一次蓋，二次蓋，一次蓋ボルト及び二次蓋ボルトの疲労累積係数は許容応力状態IV_ASの許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

また，一次蓋シール部及びバスケットについて，「4.1 評価条件」にて求めた発生応力は許容応力状態III_ASの許容限界（「原子力発電所耐震設計技術指針」，「発電用原子力設備規格設計・建設規格(2012年版)」，「発電用原子力設備規格・材料規格(2012年版)」及び「使用済燃料貯蔵施設規格・金属キャスク構造規格(2007年版)」を基に設定)を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

さらに，乾式キャスクの伝熱フィンの機能維持評価結果を第4-3表に示す。「4.1 評価条件」にて求めた発生応力は，伝熱フィンの破断に対する許容限界を満足しており，設計用地震力に対して機能を維持することを確認した。

第4-2表 基準地震動 S_b に対する応力評価及び疲労評価の結果 (1/7)

評価対象設備			評価部位	応力評価			疲労評価			
				応力分類	発生値 (MPa)		許容限界 (MPa)	累積疲労係数		許容限界 (-)
					傾き衝突時	底面衝突時		傾き衝突時	底面衝突時	
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵施設	乾式キャスク	一次蓋	一次一般膜応力	7	2	251 ^(注1)	—	—	—
				一次局部膜+一次曲げ応力	12	15	377 ^(注1)	—	—	—
				一次応力+二次応力	9	11	372 ^(注1)	0.0004	0.0004	1
			二次蓋	一次一般膜応力	9	3	251 ^(注2)	—	—	—
				一次局部膜+一次曲げ応力	32	17	377 ^(注2)	—	—	—
				一次応力+二次応力	11	12	372 ^(注2)	0.0004	0.0004	1

(注1) 本許容限界は、貯蔵時の乾式キャスクの熱解析結果から設定した一次蓋の設計温度 (115℃) における値である。

(注2) 本許容限界は、貯蔵時の乾式キャスクの熱解析結果から設定した二次蓋の設計温度 (105℃) における値である。

第4-2表 基準地震動S₀に対する応力評価及び疲労評価の結果 (2/7)

評価対象設備			評価部位	応力評価			疲労評価			
				応力分類	発生値 (MPa)		許容限界 (MPa)	累積疲労係数		許容限界 (—)
					傾き衝突時	底面衝突時		傾き衝突時	底面衝突時	
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵施設	乾式キャスク	胴	一次一般膜応力	11	6	251 ^(注1)	—	—	—
				一次局部膜+一次曲げ応力	12	7	377 ^(注1)	—	—	—
				一次応力+二次応力	69	25	366 ^(注1)	0.013	0.0004	1
			胴(底板)	一次一般膜応力	39	3	251 ^(注2)	—	—	—
				一次局部膜+一次曲げ応力	45	21	377 ^(注2)	—	—	—
				一次応力+二次応力	96	21	366 ^(注2)	0.02	0.0002	1
			胴(脚部)	一次局部膜応力	104	22	377 ^(注2)	—	—	—
				(衝突部) 一次局部膜応力	—	24	377 ^(注2)	—	—	—
				一次応力+二次応力	284	33	366 ^(注2)	0.45	0.00025	1

(注1) 本許容限界は、貯蔵時の乾式キャスクの熱解析結果から設定した胴の設計温度 (140℃) における値である。

(注2) 本許容限界は、貯蔵時の乾式キャスクの熱解析結果から設定した胴 (底板) 及び胴 (脚部) の設計温度 (150℃) における値である。

第4-2表 基準地震動 S_b に対する応力評価及び疲労評価の結果 (3/7)

評価対象設備			評価部位	応力評価			疲労評価			
				応力分類	発生値 (MPa)		許容限界 (MPa)	累積疲労係数		許容限界 (—)
					傾き衝突時	底面衝突時		傾き衝突時	傾き衝突時	
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵施設	乾式キャスク	外筒	引張応力	25	25	279 ^(注1)			
				圧縮応力	42	2	279 ^(注1)			
				せん断応力	19	9	161 ^(注1)			
				曲げ応力	93	40	279 ^(注1)			
				組合せ応力	105	42	279 ^(注1)			
	下部端板	引張応力	11	4	214 ^(注2)					
		圧縮応力	28	2	214 ^(注2)					
		せん断応力	20	5	123 ^(注2)					
		曲げ応力	129	31	214 ^(注2)					
		組合せ応力	129	30	214 ^(注2)					

(注1) 本許容限界は、貯蔵時の乾式キャスクの熱解析結果から設定した外筒の設計温度 (135℃) における値である。

(注2) 本許容限界は、貯蔵時の乾式キャスクの熱解析結果から設定した下部端板の設計温度 (130℃) における値である。

第4-2表 基準地震動 S_0 に対する応力評価及び疲労評価の結果 (4/7)

評価対象設備			評価部位	応力評価			疲労評価			
				応力分類	発生値 (MPa)		許容限界 (MPa)	累積疲労係数		許容限界 (-)
					傾き衝突時	底面衝突時		傾き衝突時	傾き衝突時	
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵施設	乾式キャスク	蓋部 中性子遮蔽材カバー	引張応力	—	—	284 ^(注1)			
				圧縮応力	3	3	284 ^(注1)			
				せん断応力	2	2	164 ^(注1)			
				曲げ応力	6	9	284 ^(注1)			
				組合せ応力	13	13	284 ^(注1)			
	乾式キャスク	底部 中性子遮蔽材カバー	引張応力	13	10	214 ^(注2)				
			圧縮応力	101	1	214 ^(注2)				
			せん断応力	53	11	123 ^(注2)				
			曲げ応力	109	43	214 ^(注2)				
			組合せ応力	195	55	214 ^(注2)				

(注1) 本許容限界は貯蔵時の乾式キャスクの熱解析結果から設定した蓋部中性子遮蔽材カバーの設計温度(110℃)における値である。

(注2) 本許容限界は貯蔵時の乾式キャスクの熱解析結果から設定した底部中性子遮蔽材カバーの設計温度(130℃)における値である。

第4-2表 基準地震動 S_s に対する応力評価及び疲労評価の結果 (5/7)

評価対象設備			評価部位	応力評価			疲労評価			
				応力分類	発生値 (MPa)		許容限界 (MPa)	累積疲労係数		許容限界 (—)
					傾き衝突時	底面衝突時		傾き衝突時	傾き衝突時	
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵施設	乾式キャスク	一次蓋シール部 (蓋側)	一次応力+二次応力	66	63	185 ^(注1)			
			一次蓋シール部 (胴側)	一次応力+二次応力	17	19	185 ^(注2)			
			一次蓋ボルト	平均引張応力	260	248	846 ^(注3)	—	—	—
				平均引張応力+曲げ応力	281	250	846 ^(注3)	0.0002	0.0002	1

(注1) 本許容限界は、貯蔵時の乾式キャスクの熱解析結果から設定した一次蓋の設計温度 (115℃) における値である。

(注2) 本許容限界は、貯蔵時の乾式キャスクの熱解析結果から設定した胴 (フランジ部) の設計温度 (120℃) における値である。

(注3) 本許容限界は、貯蔵時の乾式キャスクの熱解析結果から設定した一次蓋ボルトの設計温度 (115℃) における値である。

第4-2表 基準地震動 S_0 に対する応力評価及び疲労評価の結果 (6/7)

評価対象設備			評価部位	応力評価			疲労評価			
				応力分類	発生値 (MPa)		許容限界 (MPa)	累積疲労係数		許容限界 (-)
					傾き衝突時	底面衝突時		傾き衝突時	傾き衝突時	
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵施設	乾式キャスク	二次蓋ボルト	平均引張応力	235	213	618 ^(注1)	—	—	—
				平均引張応力+曲げ応力	296	246	927 ^(注1)	0.0002	0.0002	1

(注1) 本許容限界は、貯蔵時の乾式キャスクの熱解析結果から設定した二次蓋ボルトの設計温度 (105°C) における値である。

第4-2表 基準地震動 S_s に対する応力評価及び疲労評価の結果 (7/7)

評価対象設備			評価部位	応力評価			疲労評価				
				応力分類	発生値 (MPa)		許容限界 (MPa)	累積疲労係数		許容限界 (一)	
					傾き衝突時	底面衝突時		傾き衝突時	傾き衝突時		
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵施設	乾式キャスク	バスケット	バスケットプレート (最下段)	圧縮応力	-	5	67 ^(注1)			
				バスケットプレート (縦板)	圧縮応力	1	-	77 ^(注1)			
				バスケットプレート (横板)	曲げ応力	1	-	100 ^(注1)			
					せん断応力	1	-	43 ^(注1)			

(注1) 本許容限界は、貯蔵時の乾式キャスクの熱解析結果から設定したバスケットの設計温度 (190℃) における値である。

第4-3表 基準地震動S_gに対する機能維持評価結果

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値	許容限界	備考	
				MPa	MPa		
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵施設	乾式キャスク	伝熱フィン	せん断応力	2	106 ^(注1)	—

(注1) 本許容限界は、貯蔵時の乾式キャスクの熱解析結果から設定した伝熱フィンの設計温度（135℃）における値である。

5. 貯蔵架台の応力評価

5.1 評価条件

貯蔵架台は、溶接部のない一体構造物であり、嵌め合い部で乾式キャスクを支持し、乾式キャスクの傾きを抑制している。また、基礎ボルトで貯蔵建屋床面と固定し、乾式キャスクを設置した貯蔵架台の横ずれを防止している。

以上のことから、第 5-1 図に示す貯蔵架台の嵌め合い部及び基礎ボルトについて、第 5-2 図の貯蔵架台の応力評価フローに基づいて応力評価を行う。なお、本評価は、嵌め合い部の発生応力が大きい MSF-32P 用の貯蔵架台で代表する。

貯蔵架台本体の嵌め合い部の発生応力は、第 5-3 図に示す 3 次元 FEM 応力解析モデルと「3. 地震応答解析」で算出した荷重より求める。3 次元 FEM 応力解析モデルの拘束条件として、基礎ボルト点をピン結合とする。

基礎ボルトの発生応力は、第 5-4 図に示すように「3. 地震応答解析」で算出した荷重より、構造公式を用いて求める。応力算出式を以下に示す。

$$M = F_{H1}h_{H1} - F_{H2}h_{H2} \quad (1)$$

$$F_V = M \div \left(\frac{l_1^2}{I_0} \times 2 + I_0 \times 6 \right) \quad (2)$$

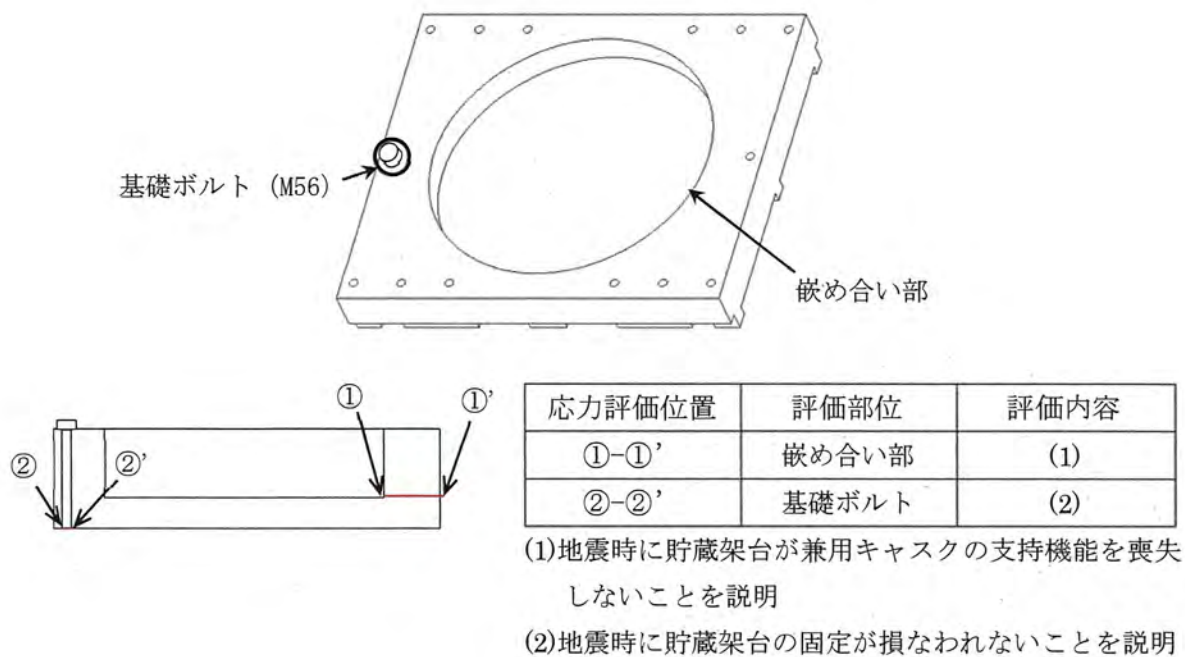
$$\sigma_t = \frac{F_V}{A_b \times 0.75} \quad (3)$$

$$F_\tau = \frac{(F_{H1} - F_{H2})}{N} \quad (4)$$

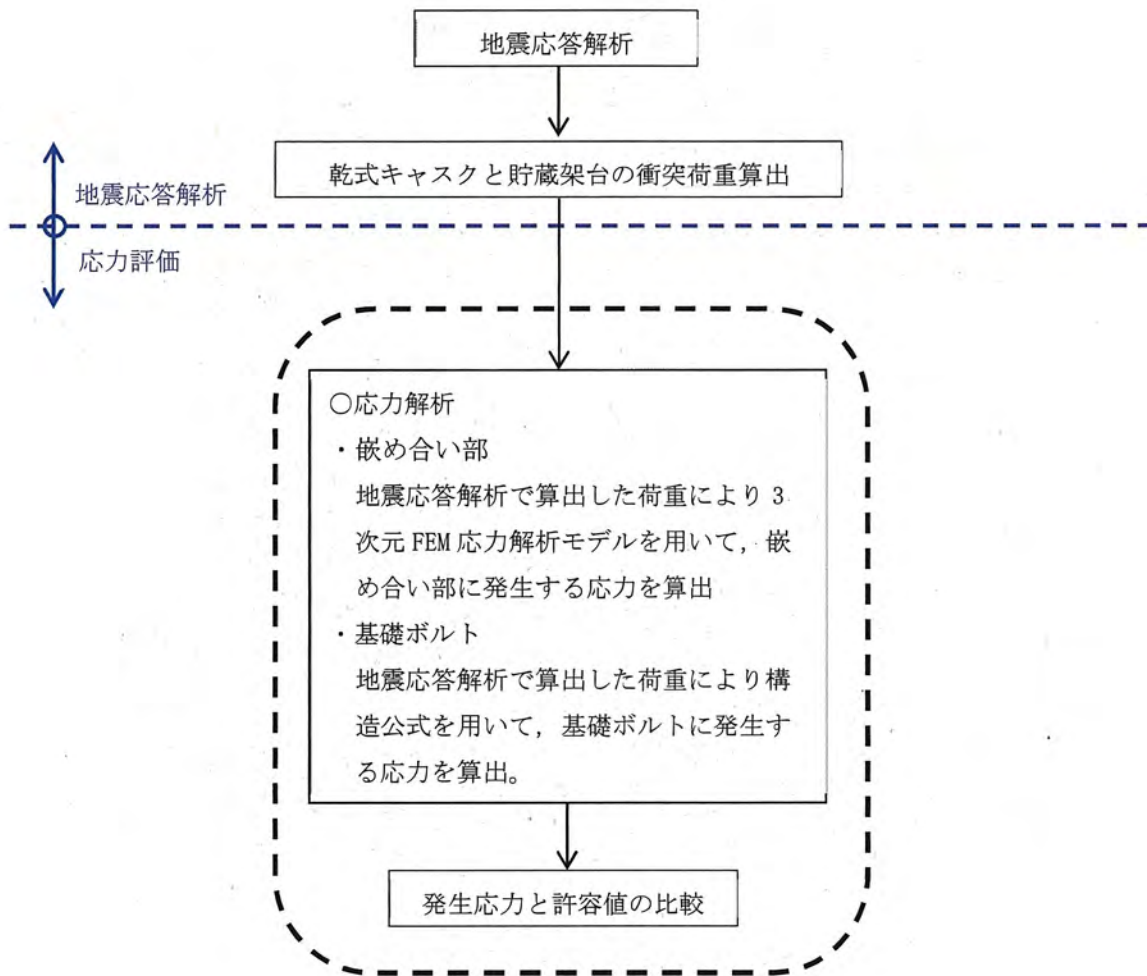
$$\sigma_\tau = \frac{F_\tau}{A_b \times 0.75} \quad (5)$$

ここで、

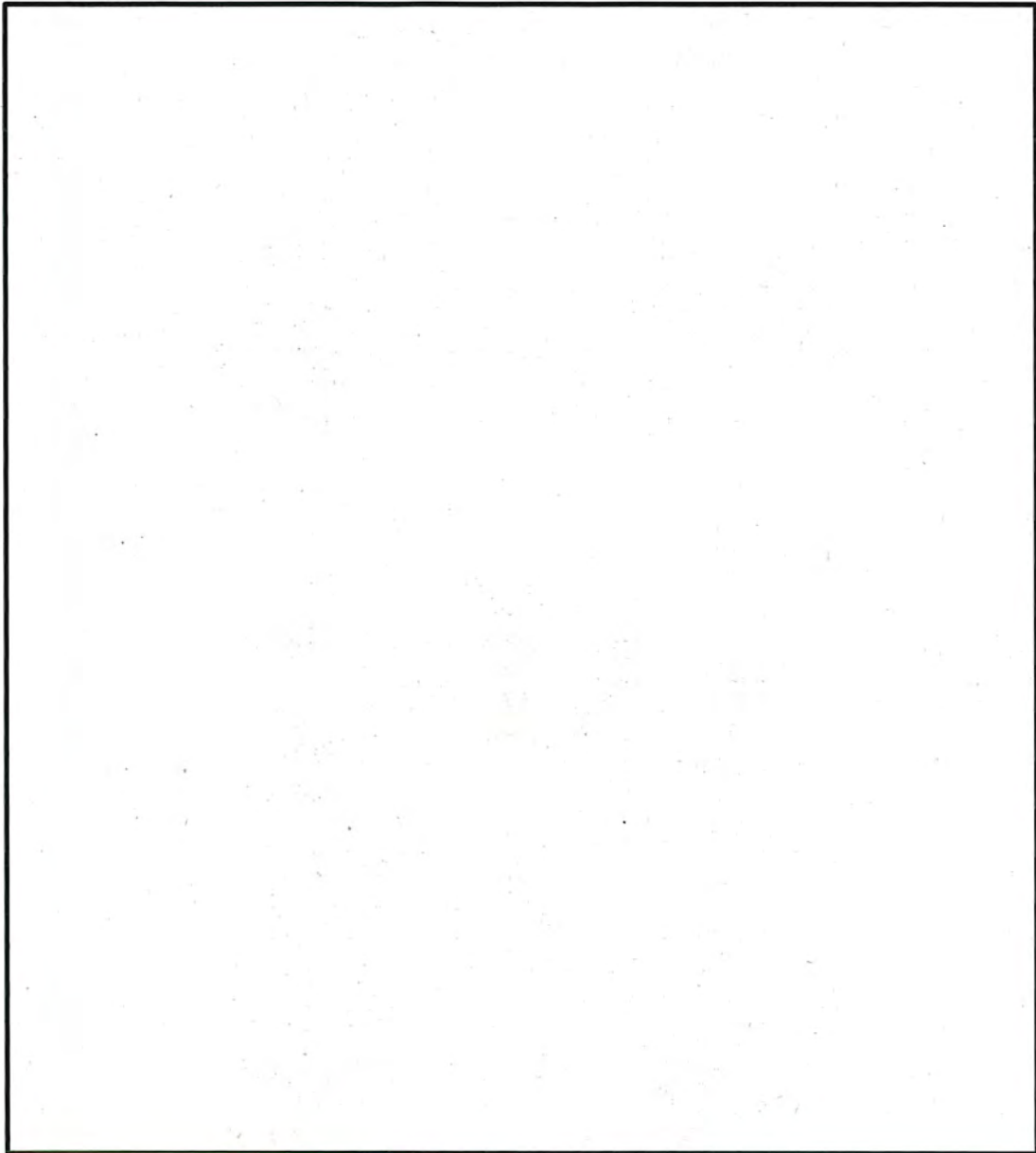
- M : 貯蔵架台に生じる回転モーメント (N・m)
- F_{H1} : 衝突点 1 の水平方向の応答荷重 (N)
- F_{H2} : 衝突点 2 の水平方向の応答荷重 (N)
- h_{H1}, h_{H2} : 支点から衝突点 1 及び 2 までの距離 (m)
- F_V : 基礎ボルト 1 本あたりの引張荷重 (N)
- σ_t : 基礎ボルト 1 本あたりの引張応力 (MPa)
- I_0, I_1 : 支点から基礎ボルトまでの距離 (m)
- A_b : 基礎ボルトの軸部断面積 (mm²)
- F_τ : 基礎ボルト 1 本あたりのせん断荷重 (N)
- N : 基礎ボルトの本数 (本)
- σ_τ : 基礎ボルト 1 本あたりのせん断応力 (MPa)



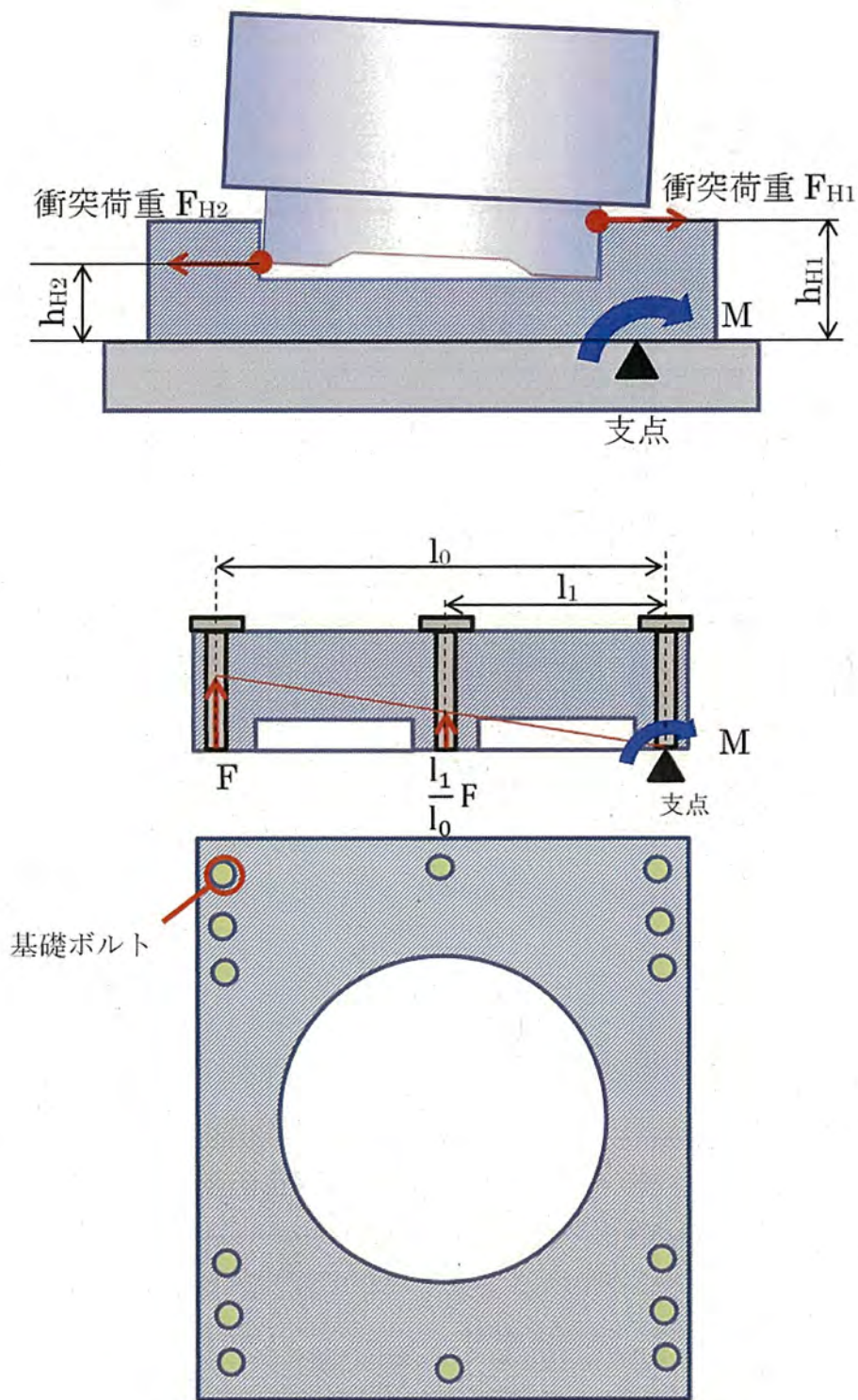
第 5-1 図 貯蔵架台嵌め合い部及び基礎ボルトの応力評価位置



第 5-2 図 貯蔵架台の応力評価フロー



第 5-3 図 貯蔵架台応力評価用 3 次元 FEM モデル



第 5-4 図 基礎ボルトの応力算出に用いる諸元

5.2 評価結果

貯蔵架台の耐震評価結果を第5-1表に示す。「5.1 評価条件」にて求めた発生応力は許容応力状態Ⅳ_ASの許容限界（「原子力発電所耐震設計技術指針」，「発電用原子力設備規格設計・建設規格(2012年版)」及び「発電用原子力設備規格材料規格(2012年版)」を基に設定)を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

なお，架台の定着部は，原則としてボルトの限界引き抜き力に対して，コンクリート設計基準強度及びせん断力算定断面積による引き抜き耐力が上回るよう埋込深さを算定することで，基礎ボルトに対して十分な余裕を持つように設計する。

第5-1表 基準地震動S₀に対する応力評価結果

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値 ^(注1)	許容限界	備考
				MPa	MPa	
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵施設	貯蔵架台 嵌め合い部	曲げ応力	98	322 ^(注2)	—
			せん断応力	27	161 ^(注2)	—
		貯蔵架台 基礎ボルト	引張応力	124	687 ^(注3)	—
			せん断応力	78	396 ^(注3)	—
			組み合わせ応力	124	687 ^(注3)	—

(注1) 本応力はEL. 21mにおける地震波から暫定的に算出したものであり、工認では、建屋応答解析結果で得た床応答から応力を算出し直す予定である。

(注2) 本許容限界は、貯蔵架台と接する貯蔵建屋コンクリート床面の制限温度（65℃）における値である。

(注3) 本許容限界は、乾式キャスクの除熱評価に設定している乾式キャスクの周囲温度（50℃）における値である。

6. 転倒評価

6.1 評価条件

地震時に乾式キャスクが傾き、貯蔵架台に衝突した時の傾き角が、乾式キャスクの転倒角 に至ることがないことを確認する。

6.2 評価結果

乾式キャスクの傾き角は転倒角以下であり、基準地震動 S_s に対して乾式キャスクが転倒しないことを確認した。

第6-1表 基準地震動 S_s による転倒評価結果

評価対象設備	傾き角	転倒角
乾式キャスク		

7. 加振試験による耐震評価手法の検証

7.1 概要

前項までにおいて、傾き挙動に注目した地震応答解析に基づく乾式キャスク及び貯蔵架台の耐震評価を実施し、十分な裕度を有することを確認した。本項では、前項までに実施した耐震評価手法が十分な保守性を有することを加振試験結果と比較することで検証する。

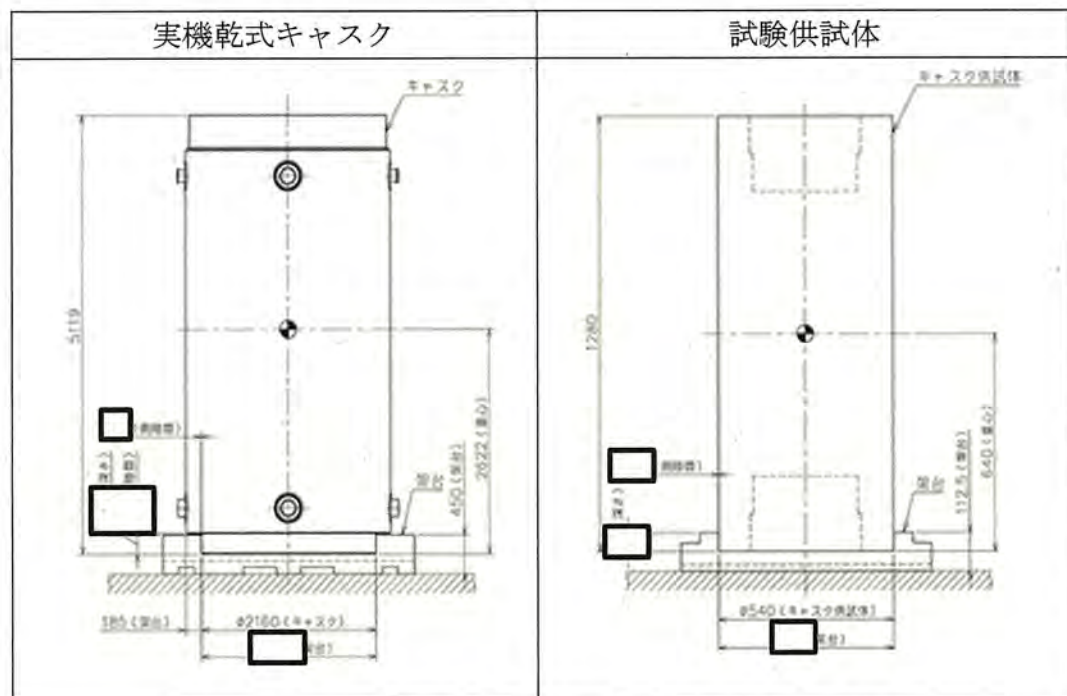
7.2 加振試験

7.2.1 試験計画

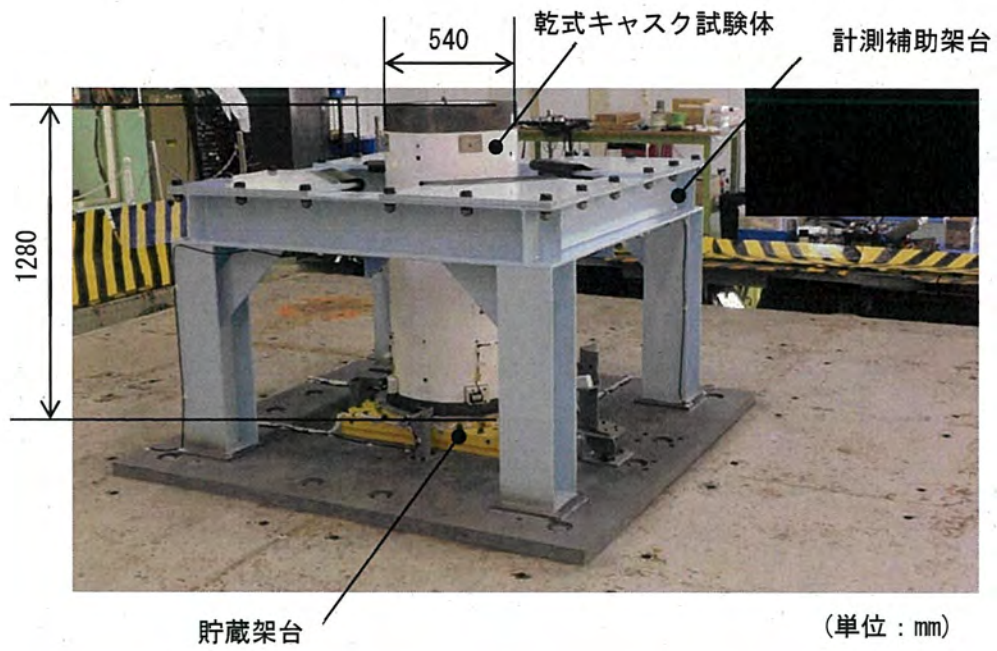
試験供試体には、実機乾式キャスクの1/4スケール模擬体を使用した。第7-1図に、実機乾式キャスク及び試験供試体の構造比較を、第7-2図に、加振試験台上に設置された試験供試体を示す。

第7-1表に示す通り、試験体の長さを1/4とし、それに伴い質量を1/64 ($(1/4)^3$) とする一方、時間を1/2とすることで、実機乾式キャスクと発生する加速度を合わせている。回転モーメントに対して、慣性モーメントのスケールが小さく、実機に対して、より傾きやすい設定を用いた。

また、試験供試体では、貯蔵架台嵌め合い部と乾式キャスク底部の直径のクリアランスもその他の寸法と同じく、実機クリアランスに対して1/4とした。この際、実機クリアランスには、製造公差や熱膨張で想定される最大値を想定しており、慣性モーメントの設定と合わせて、より乾式キャスクが傾きやすい条件での試験実施を意図した。



第7-1図 実機乾式キャスク及び試験供試体の構造比較



第7-2 図 加振試験台上に設置された試験供試体

第7-1表 試験のスケール設定方針

物理量	単位	次元	スケール
長さ	[m]	L	1/4
質量	[kg]	M	1/64
時間	[s]	T	1/2
加速度	[m/s ²]	LT^{-2}	1
慣性モーメント	[kg・m ²]	ML^2	1/1024 ^(*)
荷重	[N]	MLT^{-2}	1/64
回転モーメント	[N・m]	ML^2T^{-2}	1/256
角度	[rad]	—	1

(*) キャスク試験体の実際の慣性モーメントはさらに小さく、実機に対して、より傾きやすい設定で試験を実施した。

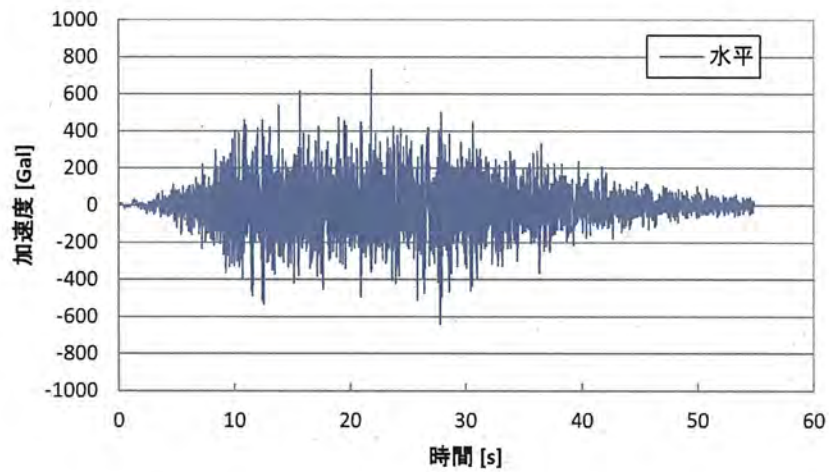
7.2.2 加振波

第7-2表に、本試験に適用した加振波及び加振方向を示す。また、第7-3図に時刻歴波形を示す。

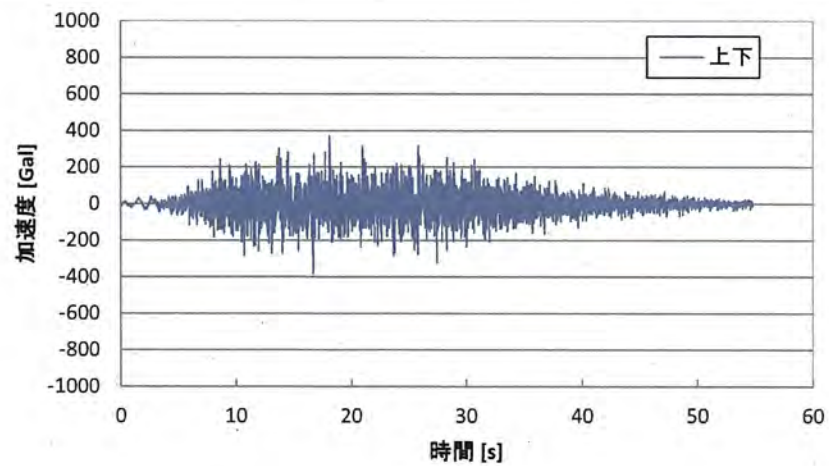
加振試験は、試験体を設置した加振試験台（第7-2図）にて、同じ波で4回繰り返し実施した。

第7-2表 加振波及び加振方向

加振波	加振方向	備考
基準地震動 Ss-1	水平2方向及び鉛直方向	21m盤の地震応答を用いる



水平方向

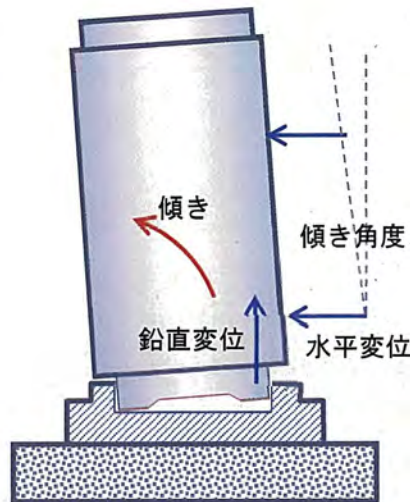


鉛直方向

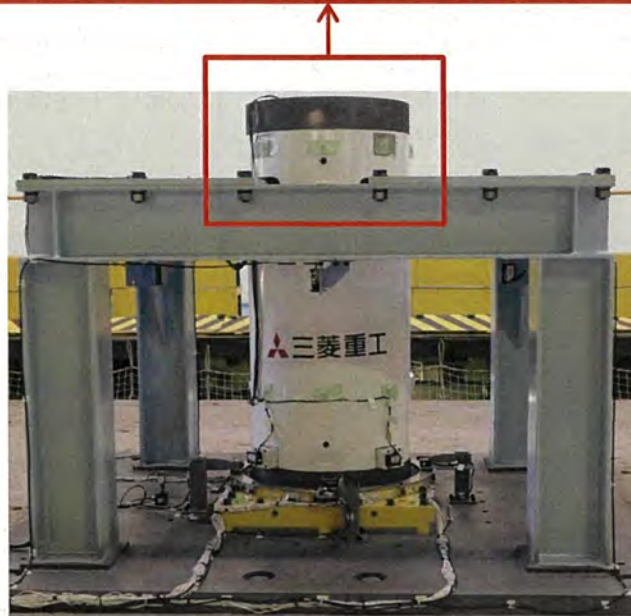
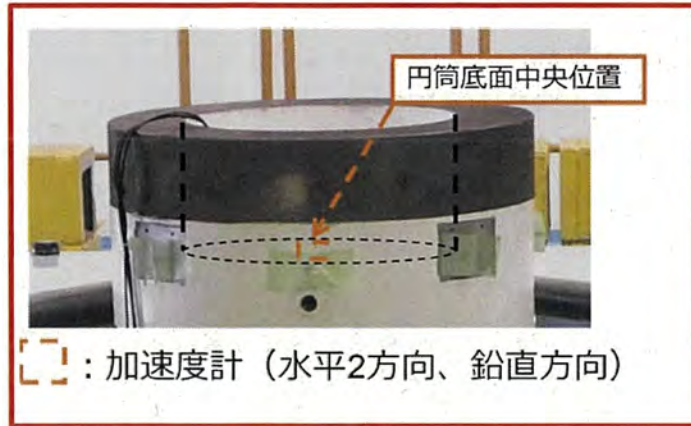
第7-3図 伊方地震波 時刻歴波形

7.2.3 計測データ

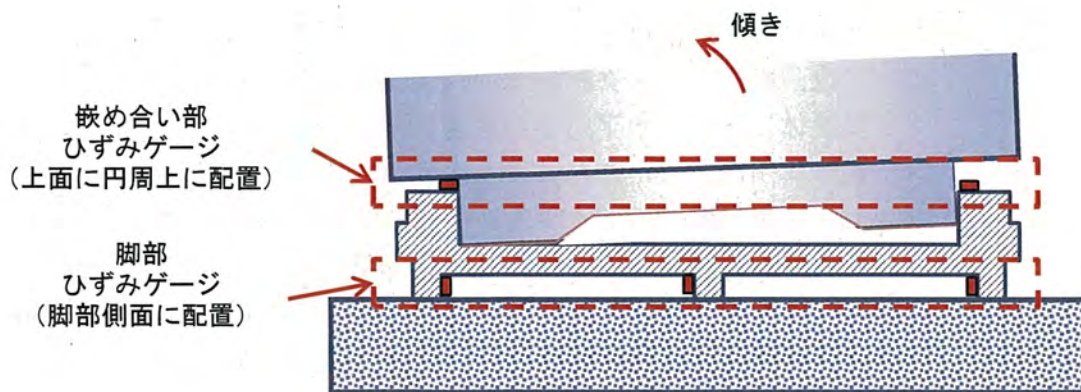
試験では、乾式キャスク試験体の水平／鉛直変位（第7-4図）、乾式キャスク試験体の応答加速度（第7-5図）を計測することにより、加振時の乾式キャスク試験体の挙動を確認した。また、貯蔵架台嵌め合い部上面及び脚部の側面にひずみゲージを設置し（第7-6図）加振時のひずみを計測することで貯蔵架台への荷重の入力状況について確認した。



第7-4図 乾式キャスク試験体水平／鉛直変位計測



第7-5 図 乾式キャスク試験体応答加速度の計測



第7-6 図 貯蔵架台嵌め合い部のひずみ計測

7.3 検証結果

7.3.1 乾式キャスクの挙動

第 7-7 図に、加振試験の計測結果（1 回目の例）として、乾式キャスク試験体の水平方向変位及び鉛直方向変位（出力位置は第 7-8 図参照）、貯蔵架台に生じた径方向圧縮ひずみ（嵌め合い部に複数設置したひずみゲージにより計測した値のうち最大値）、鉛直方向圧縮ひずみ（脚部に複数設置したひずみゲージにより計測した値のうち最大値）を示す。図中で分類したように、乾式キャスクの挙動は、滑り挙動、回転挙動、傾き挙動であることを確認した。

変位に見られる各挙動の特徴は以下の通りである。

滑り挙動：鉛直方向変位がゼロ付近を維持

回転挙動：鉛直方向変位がゼロに戻らず維持

水平方向変位の X, Y 方向に 1/4 波長程度の位相差

傾き挙動：鉛直方向変位がゼロ近くから上下に大きく変動

水平方向変位の X, Y 方向に位相差なし、または 1/2 波長程度の位相差

各挙動に対して、代表時刻における、水平面での乾式キャスク試験体の変位を示すリサージュ図を第 7-9 図～第 7-11 図に示す。

ここで、乾式キャスク試験体及び貯蔵架台に発生する荷重が最も厳しい挙動について、水平方向の衝突で発生する「貯蔵架台嵌め合い部径方向ひずみ」及び鉛直方向の衝突で発生する「貯蔵架台の鉛直方向ひずみ」を基に検証する。

(1) 貯蔵架台嵌め合い部径方向ひずみ

径方向圧縮ひずみは、第 7-7 図(c) に示す通り、滑り挙動では大きなピークが見られず、回転挙動での最大値は 579μ 、傾き挙動での最大値は 804μ であり、傾き挙動の値が支配的であった。

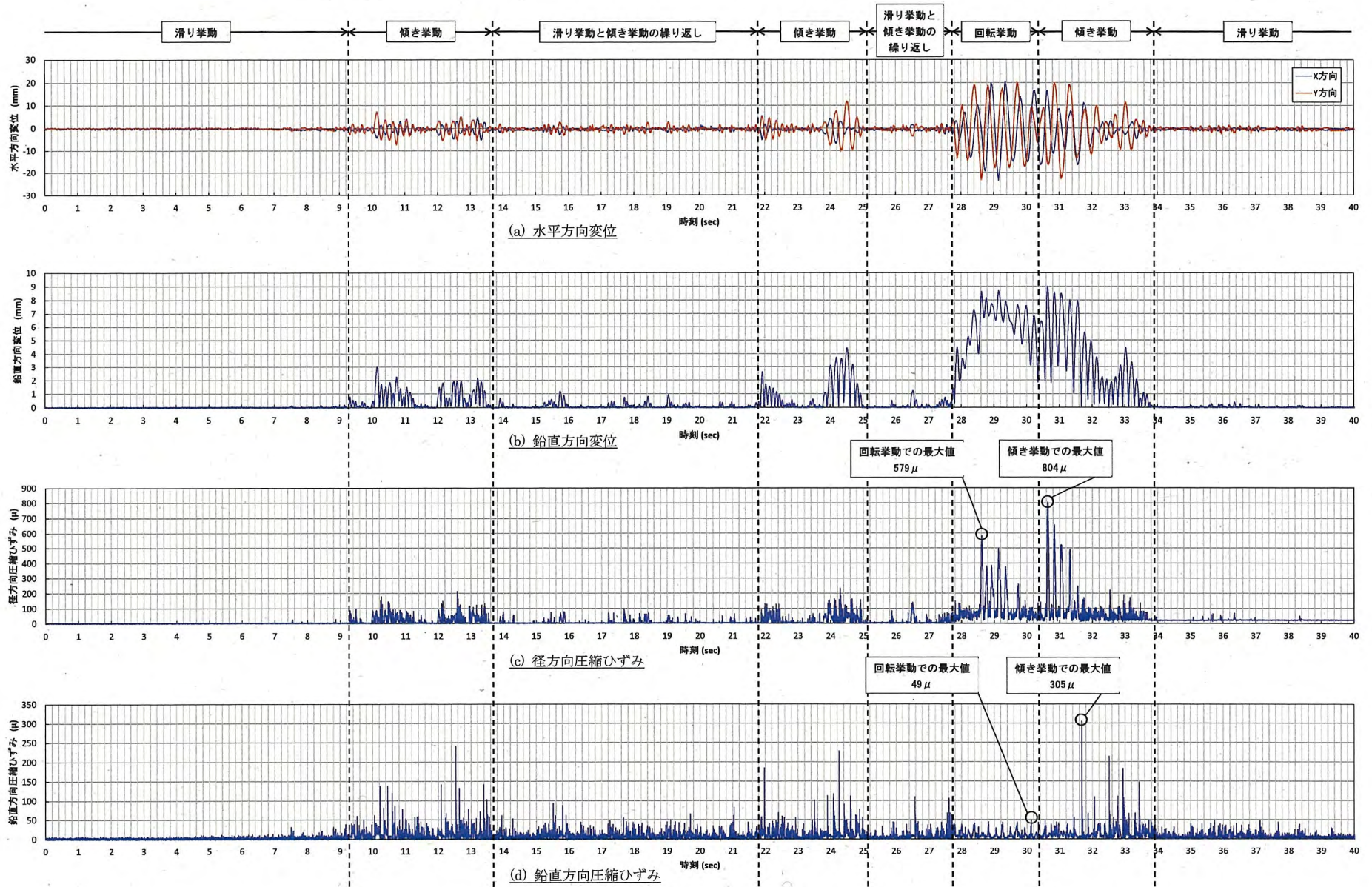
第 7-7 図から、31sec 付近のデータを第 7-12 図、第 7-13 図に示す。貯蔵架台嵌め合い部径方向ひずみが最大となるタイミング（30.6sec 付近）では、乾式キャスク試験体の片側浮き上がり量が大きく、乾式キャスク試験体に大きな水平応答加速度が発生していることから、乾式キャスク試験体が衝突したことにより貯蔵架台嵌め合い部に大きなひずみが発生したことがわかる。水平面における乾式キャスク試験体の挙動を追ったリサージュ図も、このタイミングで乾式キャスク試験体が傾き挙動にあったことを示しており、傾き挙動において乾式キャスク試験体の衝突により貯蔵架台に最大のひずみが生じたことを確認した。

(2) 貯蔵架台の鉛直方向ひずみ

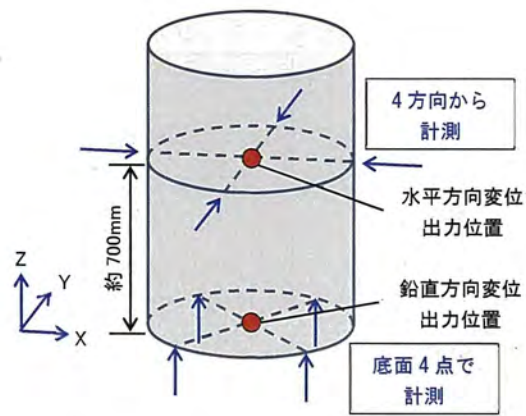
鉛直方向圧縮ひずみは、第 7-7 図(d) に示す通り、滑り挙動では明瞭なピークが少なく、回転挙動での最大値は 49μ 、傾き挙動での最大値は 305μ であり、傾き挙動において貯蔵架台に対して最大の鉛直方向荷重が

作用していることがわかる。

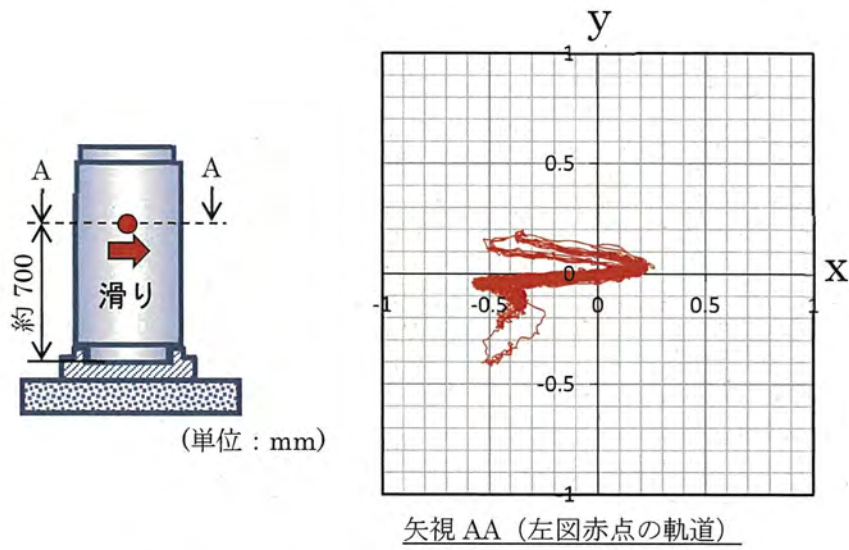
加振試験を通じて、貯蔵架台上に設置された乾式キャスクの地震時の挙動が、滑り挙動、回転挙動、傾き挙動であることが確認された。合わせて、傾き挙動において、乾式キャスクの衝突により貯蔵架台に大きなひずみが生じることを確認したことから、傾き挙動に注目した地震応答解析に基づく乾式キャスク及び貯蔵架台の耐震評価を実施することは、妥当であると判断する。



第7-7図 加振試験の計測結果 (1回目の例)

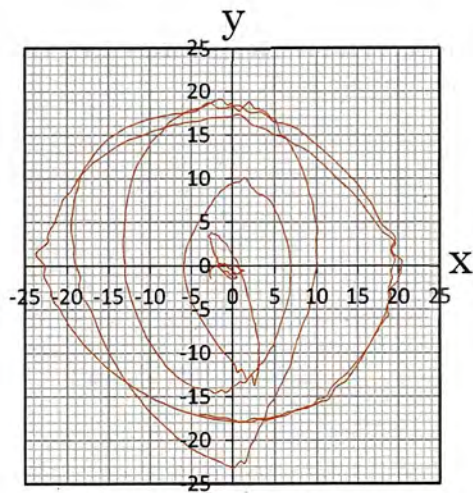
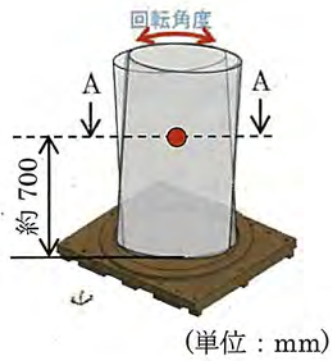


第7-8図 変位の出力位置



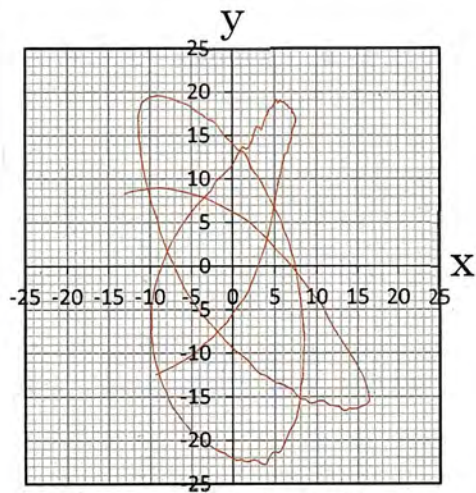
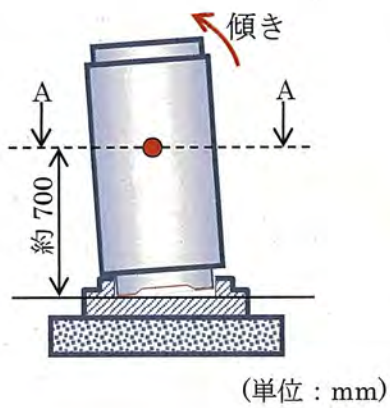
矢視AA (左図赤点の軌道)

第7-9図 滑り挙動 (時刻0.5~5.5secの例)



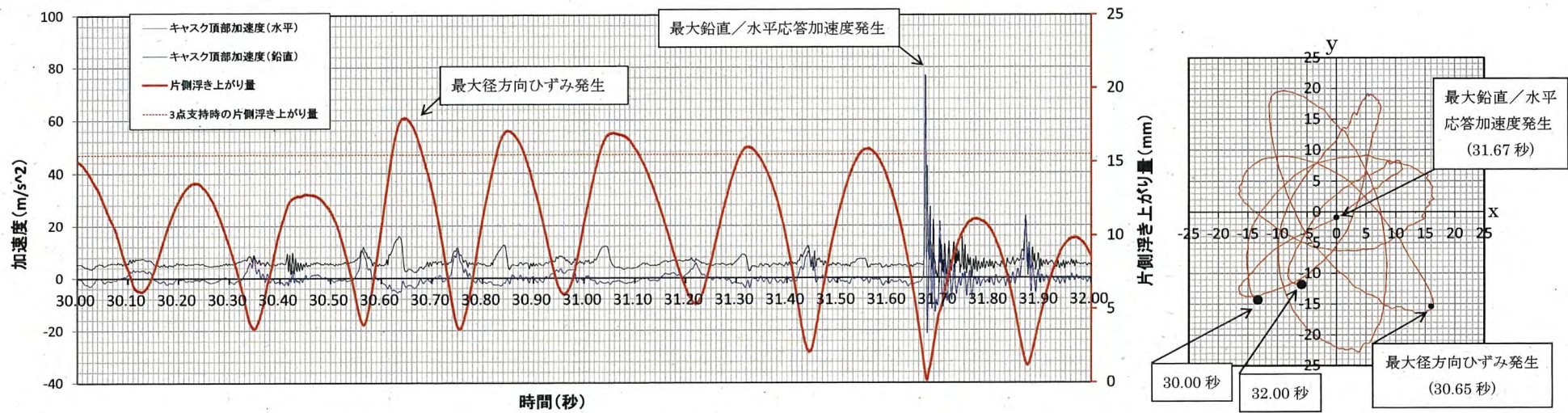
矢視 AA (左図赤点の軌道)

第 7-10 図 回転挙動 (時刻 27.5~29.5sec の例)

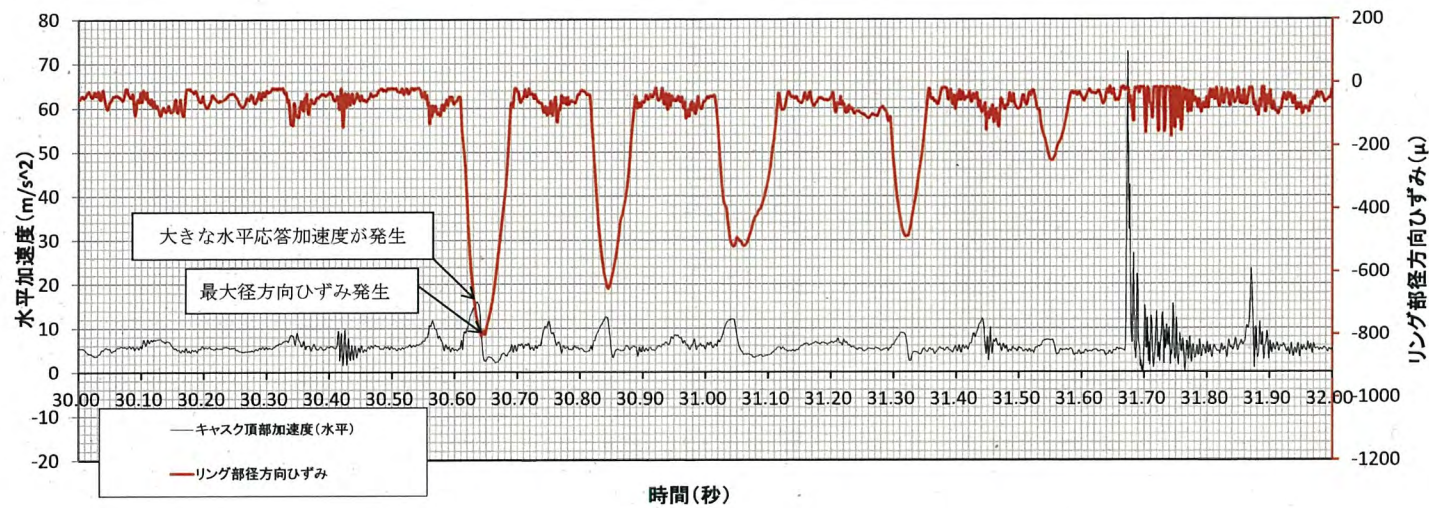


矢視 AA (左図赤点の軌道)

第 7-11 図 傾き挙動 (時刻 30.5~31.5sec の例)



第7-12図 キャスク水平/鉛直応答加速度と片側浮き上がり量の関係 (径方向最大ひずみ発生時間近傍)

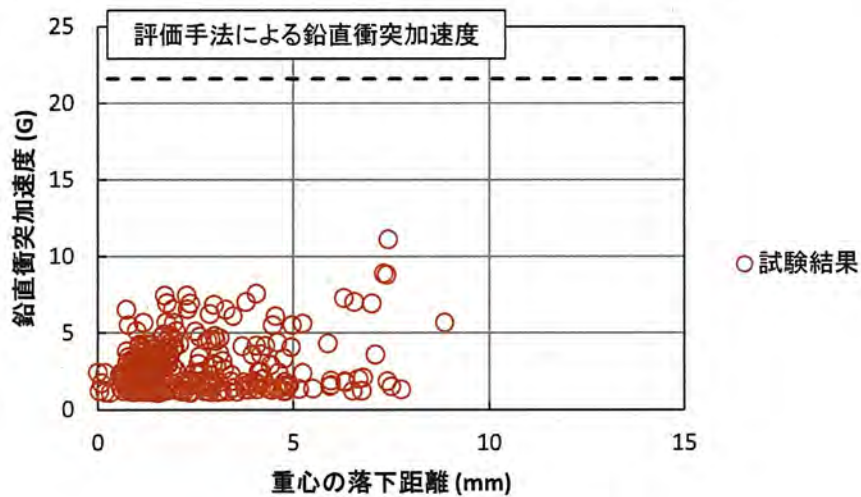


第7-13図 キャスク水平応答加速度とリング部径方向最大ひずみの関係

7.3.2 乾式キャスク及び貯蔵架台に生じる鉛直方向荷重の算出方法の妥当性

地震応答解析のうち、乾式キャスク及び貯蔵架台に生じる鉛直方向荷重の算出にあたっては、第3-2図に示すとおり、幾何学的な3点接触の状態にある乾式キャスクが傾き、貯蔵架台底部に至る挙動を考慮し、エネルギーのつり合い式より乾式キャスクが貯蔵架台に衝突した時の荷重を算出している。

加振試験で観察された乾式キャスク試験体の各落下挙動に対し、頂部加速度計のデータから算出した鉛直方向荷重（衝突荷重）と、その荷重（加速度）が発生するまでの重心の落下距離を整理した結果を第7-14図に示す。加振試験で生じた鉛直方向荷重（加速度）は、11G程度であるのに対して、試験供試体諸元及び幾何学的に決まる初期傾き角 θ_0 を用いて、3.1項に示した評価式により算出した鉛直方向荷重は、22Gと大きな保守性を有している。



(*) 落下開始～衝突荷重が最大となる地点までの落下距離をプロットしている。

第7-14図 加振試験で観察された鉛直衝突荷重とその重心の落下距離

7.3.3 乾式キャスク及び貯蔵架台に生じる水平方向荷重の算出方法の妥当性

地震応答解析のうち、乾式キャスク及び貯蔵架台に生じる水平方向荷重の算出にあたっては、第3-2図に示すとおり、底面衝突前の乾式キャスク運動エネルギーの水平成分に相当する角速度で底面衝突後に乾式キャスクが上昇をはじめ、地震力を定常的に負荷しながら、嵌め合い部の二側面への衝突に至る挙動を考慮し、エネルギーのつり合い式及びモーメントのつり合い式より乾式キャスクが貯蔵架台に衝突した時の荷重を算出している。

加振試験にて計測された貯蔵架台嵌め合い部のひずみに対して、試験供試体諸元を用いて、3.1項に示した評価式により算出したひずみを比較した結果を、第7-3表に示す。

耐震評価手法により算出したひずみは、大きく加振試験の結果を上回っており、乾式キャスク及び貯蔵架台に生じる水平方向荷重は、十分な保守性が確保されている。

第7-3表 貯蔵架台のひずみの比較結果

項目	キャスク加振試験	本評価手法
径方向最大圧縮ひずみ (μ)	934 ^(*)	2700

(*) 計4回の試験を通じての最大値

乾式キャスク試験体から貯蔵架台に地震時に入力される水平方向荷重の立ち上り時間は、加振試験では0.04sec程度（径方向ひずみが0.04sec程度で1000 μ 程度に上昇する過程を想定）であり、スケール則から、実機乾式キャスクでは更に長い値が想定される。一方、入力を受ける底面固定した実機の貯蔵架台は、1次モードの固有周期が0.005sec程度であり、入力荷重の立ち上がり時間はこれに対して十分に長い。このことから、5項の貯蔵架台の応力評価では、上記のとおり保守性が確保された水平方向荷重を3次元FEM応力解析モデルに静的に付与している。

7.3.4 まとめ

加振試験を通じて、貯蔵架台上に設置された乾式キャスクの地震時の挙動が、滑り挙動、回転挙動、傾き挙動であり、そのうち傾き挙動が耐震評価上、代表性があることが確認された。

また、傾き挙動に注目した地震応答解析により算出した乾式キャスク及び貯蔵架台に生じる荷重は、十分な保守性を確保していることを確認したことから、今回用いた耐震評価手法は、妥当である。

乾式キャスク底部と貯蔵架台の隙間設定の考え方について

乾式キャスク底部の直径は、 mm, 貯蔵架台の直径は、
 mm であり、隙間量は mm (ノミナル値) となる。(図1参照)

ここで、乾式キャスク底部外径の製造公差は , 貯蔵架台の製造公差は と定めていることから、隙間量が mm を超えることはない。

なお、乾式キャスク底部外径の熱膨張量は貯蔵開始時が最も大きいため、乾式キャスクと貯蔵架台の隙間は、図2に示すとおり貯蔵開始時が最も小さく、時間経過とともに mm (ノミナル値) に近づく。

※1 : MSF-32P 型, ※2 : MSF-24P 型

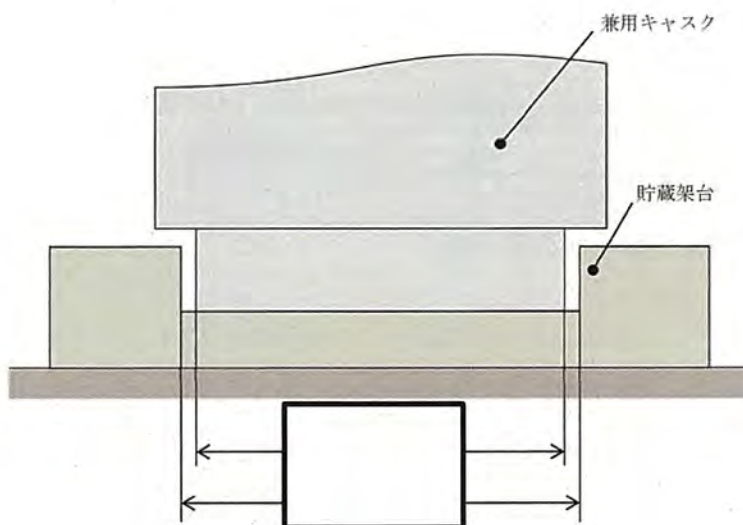


図1. 乾式キャスク底部と貯蔵架台の隙間量

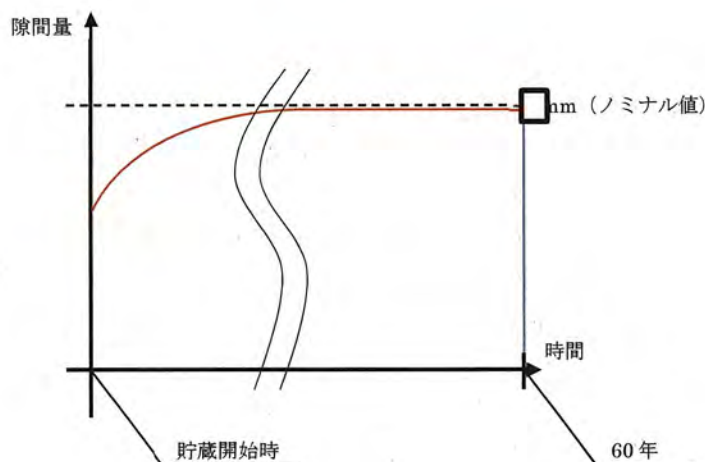


図2. 時間経過による乾式キャスクと貯蔵架台の隙間量の変化

別添 3

使用済燃料乾式貯蔵施設に対する
波及的影響の検討について

1. 概要

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」（以下「設置許可基準規則」という。）の解釈の別記4第4条において，兼用キャスクが，周辺施設からの波及的影響によって，その安全機能を損なわないように設計するよう要求されている。

伊方発電所の使用済燃料乾式貯蔵施設（以下，「乾式貯蔵施設」という。）において，兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器（以下，「乾式キャスク」という。）が，周辺施設等からの波及的影響によって安全機能を損なわないように設計することとし，ここではその設計方針について示す。

2. 波及的影響の検討方針

波及的影響の検討は以下に示す方針に基づき実施する。

- (1) 設置許可基準規則の解釈の別記4第4条に記載された3つの事項をもとに，検討すべき事象を整理する。
- (2) (1)で整理した検討事象をもとに，乾式キャスクに対して波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等^{*}を抽出する。

※ 使用済燃料乾式貯蔵建屋（以下，「貯蔵建屋」という。）内に設置する周辺施設及び乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な機能を有していない設備，並びに貯蔵建屋周辺に位置する施設を対象とする。また，乾式キャスク間の相互影響を考慮し，隣接する乾式キャスクも対象とする。

- (3) (2)で抽出された周辺施設等について，配置，設計，運用上の観点から乾式キャスクの安全機能への影響評価を実施する。

3. 事象検討

設置許可基準規則の解釈の別記4第4条に記載された3つの事項をもとに、以下に具体的な検討事象を整理する。

- ① 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響
 - (1) 不等沈下に伴う周辺施設等の傾きや倒壊による貯蔵建屋との衝突
 - (2) 地震時の建屋間相対変位による貯蔵建屋との衝突
 - (3) 不等沈下や相対変位による建屋間渡り配管等の損傷
- ② 乾式キャスク間の相互影響
 - (1) 隣接する乾式キャスク同士の衝突
- ③ 乾式キャスクと周辺施設等との相互影響（周辺施設の損傷、転倒、落下等による乾式キャスクへの影響を含む。）
 - (1) 貯蔵建屋外の周辺施設等の損傷、転倒、落下等による貯蔵建屋との衝突
 - (2) 貯蔵建屋内の周辺施設等の損傷、転倒、落下等による乾式キャスクとの衝突
 - (3) 乾式キャスクに接続する周辺施設等の損傷による相互影響
 - (4) 油又は水等を内包する周辺施設等の損傷による火災・溢水

ここで、溢水・火災については、第8条及び第9条への適合性説明資料において乾式キャスクの安全機能に影響がない設計とすることを説明しているため、本資料における以降の検討では対象外とする。

4. 防護対象

波及的影響による防護対象は、貯蔵中の乾式キャスク（支持部及び基礎を含む。）とする。

5. 波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出方法及び影響評価方法

3項で整理した各検討事象に基づき、波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出及び影響評価フローを作成し、当該フローに基づき検討を行う。検討事象とフローの整理を第5-1表に示す。

第5-1表 検討事象とフローの整理

検討事象		フロー
①不等沈下又は相対変位による影響	(1) 不等沈下による衝突	第5-2表
	(2) 相対変位による衝突	第5-3表
	(3) 渡り配管等の損傷	第5-4表
②乾式キャスク間の相互影響	(1) 乾式キャスク同士の衝突	第5-5表
③乾式キャスクと周辺施設等との相互影響	(1) 損傷、転倒、落下等による衝突（建屋外）	第5-6表
	(2) 損傷、転倒、落下等による衝突（建屋内）	第5-7表
	(3) 接続部の影響	第5-8表

第 5-2 表 検討フロー (不等沈下による衝突)

フロー	説明
<p>貯蔵建屋の周辺に位置する施設</p> <p>..... a</p>	
<p>YES</p> <p>不等沈下に伴う当該施設の傾きや倒壊に対して、貯蔵建屋との離隔距離が十分に確保されているか</p> <p>..... b</p>	<p>a. 貯蔵建屋の周辺に位置する施設を検討対象とする。</p> <p>b. 地盤の不等沈下に伴う当該施設の傾きや倒壊に対して、貯蔵建屋に衝突しない程度に十分な離隔距離をとって配置されているかを確認する。</p>
<p>NO</p> <p>当該施設の設置地盤は基準地震動に対して不等沈下が発生するか</p> <p>..... c</p>	<p>c. 当該施設の設置地盤は、基準地震動に対して十分な支持性能を持つ岩盤であるかを確認する。</p>
<p>NO</p> <p>当該施設の構造や重量等から判断し、衝突時に貯蔵建屋の構造強度に影響を及ぼすおそれがあるか^{※1}</p> <p>..... d</p>	<p>d. 当該施設の構造や重量等から判断し、傾きや倒壊により貯蔵建屋に衝突した場合に、貯蔵建屋の構造強度に影響を及ぼすおそれがあるかを確認する。</p> <p>e. 貯蔵建屋の構造強度に影響を及ぼすおそれがある施設に対して、十分な離隔距離の確保や基礎地盤の改良工事等を行い、不等沈下による波及的影響を防止する。</p>
<p>YES</p> <p>評価終了</p> <p>..... e</p>	
<p>YES</p> <p>対策検討・実施</p> <p>..... e</p>	

※1 防護対象は乾式キャスクであるが、貯蔵建屋が倒壊すれば乾式キャスクに影響を及ぼすことを考慮し、ここでは貯蔵建屋の構造強度への影響を確認する。

第5-3表 検討フロー（相対変位による衝突）

フロー	説明
<p>貯蔵建屋の周辺に位置する施設</p> <p>..... a</p>	<p>a. 貯蔵建屋の周辺に位置する施設を検討対象とする。</p>
<p>基準地震動による相対変位量 に対して、貯蔵建屋との離隔距離が 十分に確保されているか</p> <p>YES</p> <p>..... b</p>	<p>b. 基準地震動による相対変位量に対して、貯蔵建屋に衝突しない程度に十分な離隔距離をとって配置されているかを確認する。</p>
<p>当該施設の構造や重量等から 判断し、衝突時に貯蔵建屋の構造強度 に影響を及ぼすおそれがあるか^{※1}</p> <p>NO</p> <p>..... c</p> <p>※1 防護対象は乾式キャスクであるが、貯蔵建屋が倒壊すれば乾式キャスクに影響を及ぼすことを考慮し、ここでは貯蔵建屋の構造強度への影響を確認する。</p>	<p>c. 当該施設の構造や重量等から判断し、相対変位により貯蔵建屋に衝突した場合に、貯蔵建屋の構造強度に影響を及ぼすおそれがあるかを確認する。</p>
<p>評価終了</p> <p>対策検討・実施</p> <p>..... d</p>	<p>d. 貯蔵建屋の構造強度に影響を及ぼすおそれがある施設に対して、十分な離隔距離の確保等を行い、相対変位による波及的影響を防止する。</p>

第 5-4 表 検討フロー（渡り配管等の損傷）

フロー	説明
<pre> graph TD A[貯蔵建屋と他施設間の渡り配管等] --> B{渡り配管等の損傷により 乾式キャスクの安全機能※1を損なう ことがあるか} B -- NO --> C[評価終了] B -- YES --> D{基準地震動による不等沈下や 相対変位に対して、渡り配管等の 構造健全性を維持できるか} D -- YES --> C D -- NO --> E[対策検討・実施] </pre>	<p>a. 貯蔵建屋と他施設間の渡り配管や電路を検討対象とする。</p> <p>b. 不等沈下や相対変位が生じた場合には渡り配管や電路が損傷することが考えられるため、これらが損傷した場合に、乾式キャスクの安全機能を損なうことがあるかを確認する。</p> <p>c. 基準地震動による不等沈下や相対変位に対して、渡り配管や電路の構造健全性を維持できるかを確認する。</p> <p>d. 乾式キャスクの安全機能を担保するため必要な渡り配管や電路に対して、不等沈下や相対変位を考慮した設計を行い、波及的影響を防止する。</p>

第 5-5 表 検討フロー（乾式キャスク同士の衝突）

フロー	説明
<pre> graph TD A[隣接する乾式キャスク] --> B{基準地震動による変位量※1に対して 乾式キャスク同士の離隔距離が 十分に確保されているか} B -- YES --> D[評価終了] B -- NO --> C{乾式キャスク同士の衝突により 乾式キャスクの安全機能※2が損なわれるか} C -- YES --> E[対策検討・実施] C -- NO --> D </pre> <p>隣接する乾式キャスク a</p> <p>基準地震動による変位量※1に対して 乾式キャスク同士の離隔距離が 十分に確保されているか b</p> <p>乾式キャスク同士の衝突により 乾式キャスクの安全機能※2が損なわれるか c</p> <p>評価終了</p> <p>対策検討・実施 d</p> <p>※1 乾式キャスクは基準地震動に対して転倒しない設計とするため、転倒による衝突は考慮しない</p> <p>※2 乾式キャスクの安全機能 ・臨界防止機能 ・遮蔽機能 ・除熱機能 ・閉じ込め機能</p>	<p>a. 隣接する乾式キャスクを検討対象とする。</p> <p>b. 基準地震動による乾式キャスクの変位量（振れ幅）に対して，乾式キャスク同士が衝突しない程度に十分な離隔距離をとって配置されているかを確認する。</p> <p>c. 乾式キャスク同士の衝突により，安全機能を損なうことがあるかを確認する。</p> <p>d. 乾式キャスク間の離隔距離を十分に確保する等の対策を行い，乾式キャスク間の相互影響による波及的影響を防止する。</p>

第 5-6 表 検討フロー（損傷、転倒、落下等による衝突（建屋外））

フロー	説明
<p>貯蔵建屋の周辺に位置する施設 …… a</p>	<p>a. 貯蔵建屋の周辺に位置する施設を検討対象とする。</p>
<p>当該施設の損傷、転倒、落下等 に対して、貯蔵建屋との離隔距離が 十分に確保されているか …… b</p>	<p>b. 当該施設の損傷、転倒、落下等に対して、貯蔵建屋に衝突しない程度に十分な離隔距離をとって配置されているかを確認する。</p>
<p>当該施設の構造や重量等から 判断し、衝突時に貯蔵建屋の構造強度 に影響を及ぼすおそれがあるか※1 …… c</p>	<p>c. 当該施設の構造や重量等から判断し、損傷、転倒、落下等により貯蔵建屋に衝突した場合、貯蔵建屋の構造強度に影響を及ぼすおそれがあるかを確認する。</p>
<p>※1 防護対象は乾式キャスクであるが、貯蔵建屋が倒壊すれば乾式キャスクに影響を及ぼすため、ここでは貯蔵建屋の構造強度への影響を確認する。</p>	
<p>当該施設は基準地震動に対して 構造健全性を維持できるか …… d</p>	<p>d. 当該施設が、地震時に損傷、転倒、落下等が生じないことを確認するため、基準地震動に対して構造健全性を維持できるかを確認する。</p>
<p>評価終了 …… e</p> <p>対策検討・実施 …… e</p>	<p>e. 基準地震動に対して構造健全性を維持できない施設に対して、十分な離隔距離の確保や耐震補強工事等を行い、損傷、転倒、落下等による波及的影響を防止する。</p>

第5-7表 検討フロー（損傷、転倒、落下等による衝突（建屋内））

フロー	説明
<pre> graph TD A[貯蔵建屋内に設置する周辺施設等] --> B{当該施設の損傷、転倒、落下等 に対して、乾式キヤスクとの離隔距離が 十分に確保されているか} B -- YES --> E[評価終了] B -- NO --> C{当該施設の構造や重量等から 判断し、衝突時に乾式キヤスクの構造 強度に影響を及ぼすおそれがあるか} C -- NO --> E C -- YES --> D{当該施設は基準地震動に対して 構造健全性を維持できるか} D -- YES --> E D -- NO --> F[対策検討・実施] </pre>	<p>..... a</p> <p>a. 貯蔵建屋内に設置する周辺施設及び乾式キヤスクの安全機能を維持するために必要な機能を有していない設備を検討対象とする。</p> <p>..... b</p> <p>b. 当該施設の損傷、転倒、落下等に対して、乾式キヤスクに衝突しない程度に十分な離隔距離をとって配置されているかを確認する。</p> <p>..... c</p> <p>c. 当該施設の構造や重量等から判断し、損傷、転倒、落下等により乾式キヤスクに衝突した場合、乾式キヤスクの構造強度に影響を及ぼすおそれがあるかを確認する。</p> <p>..... d</p> <p>d. 当該施設が、地震時に損傷、転倒、落下等が生じないことを確認するため、基準地震動に対して構造健全性を維持できるかを確認する。</p> <p>..... e</p> <p>e. 基準地震動に対して構造健全性を維持できない施設に対して、十分な離隔距離の確保や耐震補強工事等を行い、損傷、転倒、落下等による波及的影響を防止する。</p>

第 5-8 表 検討フロー (接続部の影響)

フロー	説明
<p>乾式キャスクに接続される周辺施設 a</p>	<p>a. 乾式キャスクに接続される周辺施設を検討対象とする。</p>
<p>当該施設の損傷により、乾式キャスクの安全機能^{※1}を損なうおそれがあるか b</p>	<p>b. 当該施設の損傷により、乾式キャスクの安全機能を損なうおそれがあるかを確認する。</p>
<p>NO</p> <p>YES</p> <p>当該施設は基準地震動に対して構造健全性を維持できるか c</p> <p>NO</p> <p>YES</p>	<p>c. 当該施設が、地震時に損傷しないことを確認するため、基準地震動に対して構造健全性を維持できるかを確認する。</p> <p>d. 基準地震動に対して構造健全性を維持できない施設に対して、耐震補強工事等を行い、損傷による波及的影響を防止する。</p>
<p>評価終了</p> <p>対策検討・実施 d</p>	

※1 乾式キャスクの安全機能
 ・臨界防止機能
 ・遮蔽機能
 ・除熱機能
 ・閉じ込め機能

6. 周辺施設等の抽出結果

波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出は、屋外施設、屋内施設に分けて実施する。

6.1 屋外施設

第 6-1 図に示す構内配置図より、以下に示す貯蔵建屋の周辺に位置する既設施設を抽出し、5 項に示す①及び③の観点の検討フローに基づき、貯蔵建屋及び乾式キヤスクに対して波及的影響を及ぼすことがないことを確認する。

(1) 2-固体廃棄物貯蔵庫

2-固体廃棄物貯蔵庫は、貯蔵建屋東側 EL. 84m 盤に設置された耐震 C クラスの建物であるが、貯蔵建屋に対して十分な離隔距離を有していることから、①及び③の観点で波及的影響を及ぼすおそれはない。

(2) 送電鉄塔

送電鉄塔（伊方北幹線 No. 1 及び伊方南幹線 No. 1）は、貯蔵建屋南側 EL. 20m 盤に設置された構造物であるが、貯蔵建屋に対して十分な離隔距離を有していることから、①及び③の観点で波及的影響を及ぼすおそれはない。

(3) ろ過水タンク

ろ過水タンクは、貯蔵建屋南側 EL. 20m 盤に設置された耐震 C クラスの屋外タンクであるが、貯蔵建屋に対して十分な離隔距離を有していることから、①及び③の観点で波及的影響を及ぼすおそれはない。

(4) 非常用開閉所

非常用開閉所は、貯蔵建屋西側 EL. 10m 盤に設置された建物であるが、貯蔵建屋に対して十分な離隔距離を有していることから、①及び③の観点で波及的影響を及ぼすおそれはない。

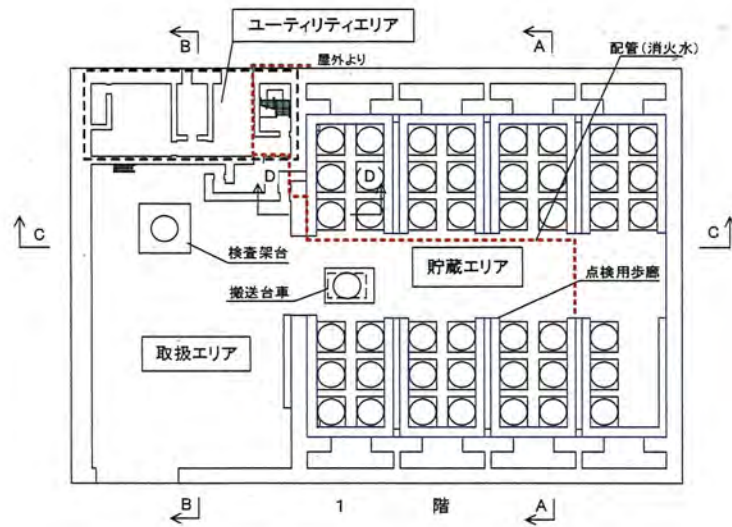
6.2 屋内施設

第 6-2 図及び第 6-3 図に示す貯蔵建屋内配置図より、第 6-1 表に示す貯蔵建屋内に設置する周辺施設等を抽出し、5 項に示す①及び③の観点の検討フローに基づき、乾式キャスクに対して波及的影響を及ぼさない設計とする。

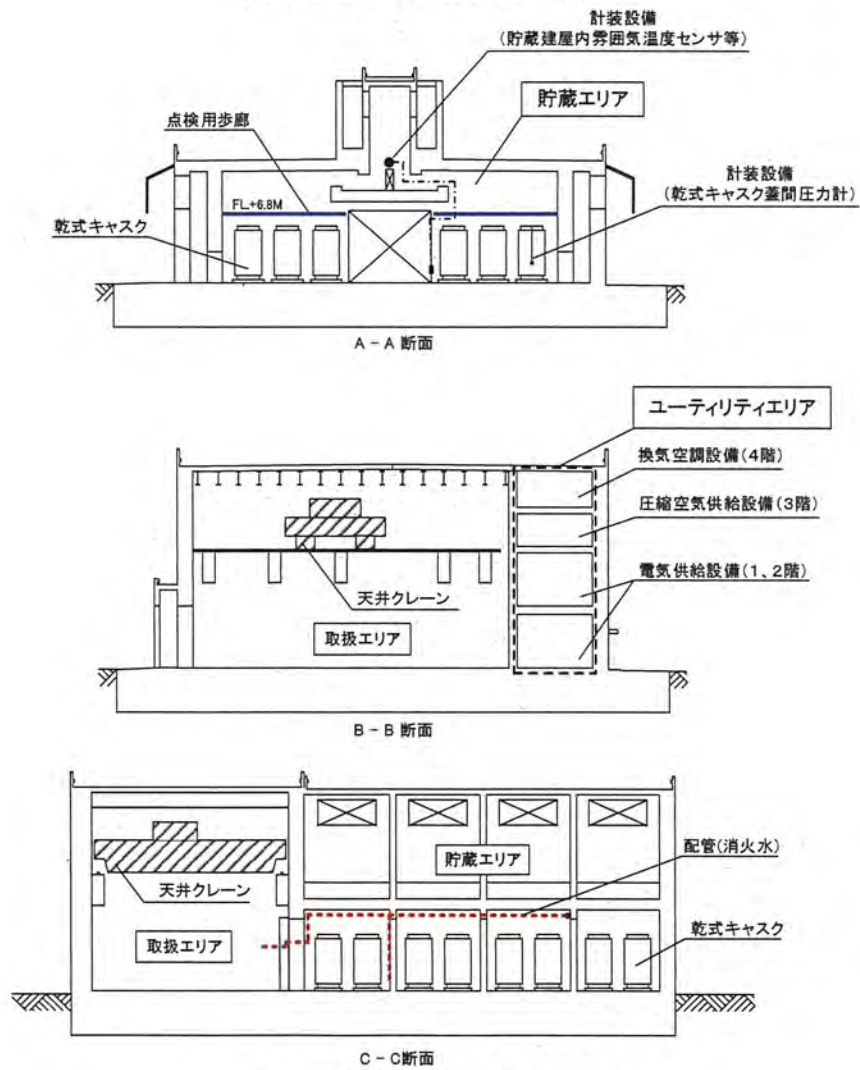
また、隣接する乾式キャスクを対象とし、5 項に示す②の観点の検討フローに基づき、乾式キャスクに対して波及的影響を及ぼさない設計とする。

第 6-1 表 貯蔵建屋内に設置する周辺施設等

検討対象の設備	配置	対象とする 検討事象
貯蔵建屋	ー (全体)	③(2)
天井クレーン	取扱エリア	③(2)
搬送台車 (エアパレット)	取扱エリア, 貯蔵エ リア	③(2)
検査架台	取扱エリア	③(2)
点検用歩廊	貯蔵エリア	③(2)
計装設備	貯蔵エリア	③(2), ③(3)
周辺施設へのユーティリティ設備 (電気供給, 圧縮空気供給, 換気空調)	ユーティリティエリア	③(2)
渡り配管 (消火水) 及び渡り電路	屋外～取扱エリア	①(3)
配管 (消火水) 及び電路	取扱エリア, 貯蔵エ リア	③(2)
隣接する乾式キャスク	貯蔵エリア	②(1)



第 6-2 図 貯蔵建屋 平面図



第 6-3 図 貯蔵建屋 断面図

抽出した周辺施設等が乾式キャスクに対して波及的影響を及ぼさないように、以下のとおり設計する。

(1) 貯蔵建屋

貯蔵建屋は、離隔距離を確保するなどの配置上の対策は困難であり、地震により損壊した場合に、壁及び天井部が乾式キャスクに衝突することにより、乾式キャスクの安全機能に波及的影響を及ぼすおそれがある。このため、貯蔵建屋は基準地震動 S_s に対して損壊しない設計とする。(第 6-3 図)

(2) 天井クレーン

天井クレーンは、貯蔵中の乾式キャスクへの波及的影響を及ぼさないように、貯蔵エリアには走行レールを敷設せず、貯蔵エリア上を走行することができない構造とする。(第 6-3 図 C-C 断面)

(3) 搬送台車 (エアパレット)

搬送台車は、乾式キャスクを取扱エリアから貯蔵エリアに搬送するものであり、乾式キャスクは貯蔵架台に載せた状態で搬送される。仮に搬送台車が搬送中に逸走した場合には、貯蔵中の乾式キャスクの貯蔵架台と搬送台車または搬送中の貯蔵架台が衝突するおそれがあるが、その際に乾式キャスク同士が衝突しないように、衝突時の乾式キャスクの揺れ幅に対して貯蔵架台端部と乾式キャスク間の水平距離を十分に確保する設計とする。(第 6-2 図)

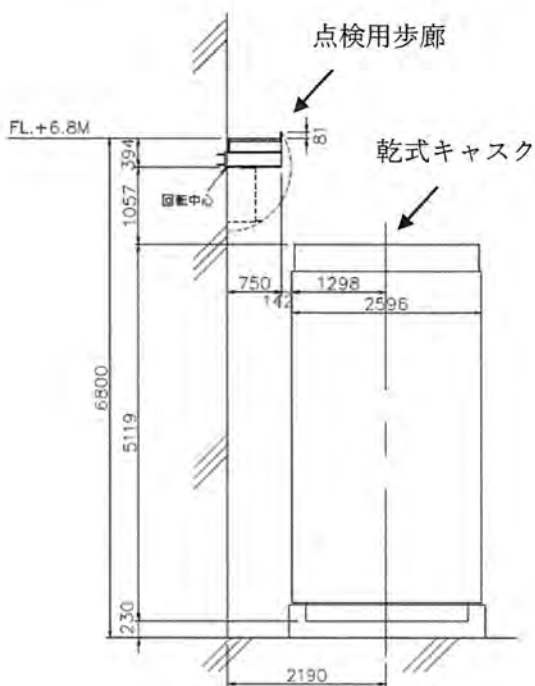
(4) 検査架台

検査架台は、乾式キャスクの検査等のため、一時的に乾式キャスクの周囲に配置されるものである。貯蔵中の乾式キャスクへの波及的影響を及ぼさないように、検査架台は取扱エリアに設置することとし、貯蔵中の乾式キャスクとの離隔距離を十分に確保する設計とする。(第 6-2 図)

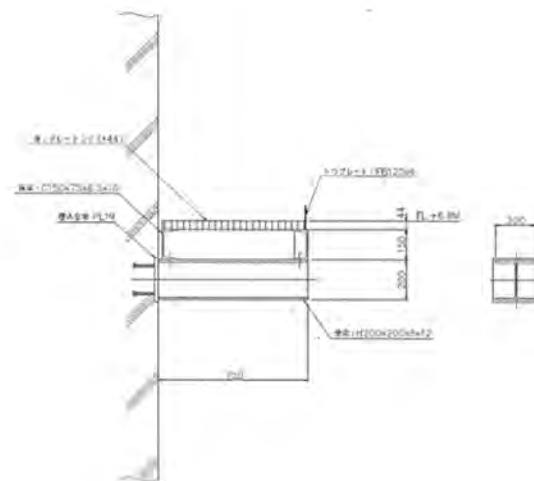
(5) 点検用歩廊

点検用歩廊は、貯蔵状態の乾式キャスクの点検等のため、貯蔵中の乾式キャスクの周囲に設置される。点検用歩廊は、貯蔵中の乾式キャスクへの波及的影響を及ぼさないように、乾式キャスクに衝突しない配置とする。

具体的には、点検用歩廊は、第 6-4 図に示すとおり設置することとしており、構造上最も弱い付け根部が損傷すると、乾式キャスクから遠ざかる方向に破壊が進むよう配置する。(第 6-2 図, 第 6-3 図 A-A 断面, 第 6-4 図)



キャスクと点検用歩廊の位置関係
(第 6-2 図 D-D 断面)



点検用歩廊拡大図

第 6-4 図 点検用歩廊詳細図

(6) 計装設備

a. 乾式キャスク蓋間圧力計

乾式キャスク蓋間圧力計は、貯蔵状態の乾式キャスクの一次蓋と二次蓋間の圧力を監視するため、乾式キャスク蓋部及び胴部に設置される。乾式キャスク蓋間圧力計又はその計装配管が損傷した場合においても、乾式キャスクのバウンダリは維持される設計とする。(第 6-3 図 A-A 断面)

b. 貯蔵建屋内雰囲気温度計

貯蔵建屋内雰囲気温度計を構成する設備は、建屋内の雰囲気温度を監視するため、建屋排気口付近に設置される。温度計を構成する設備は軽量であり、乾式キャスク内部との接続はないため、損傷した場合にも乾式キャスクの安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。(第 6-3 図 A-A 断面)

(7) 周辺施設へのユーティリティ設備

周辺施設へのユーティリティ設備は、主に天井クレーン、エアパレット等への電気・圧縮空気供給設備、作業用の給排気ファンが該当し、主にユーティリティエリアに設置され、貯蔵状態の乾式キャスクに衝突しない配置としていること

から、ユーティリティ設備の転倒及び落下等を想定しても、乾式キャスクの安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。(第 6-2 図, 第 6-3 図 B-B 断面)

(8) 渡り配管 (消火水) 及び渡り電路

乾式貯蔵施設への消火水の給水又は給電のため、貯蔵建屋外から貯蔵建屋内へ渡り配管 (消火水) 及び渡り電路を設置する。乾式キャスクは自然循環による空冷式であるため、渡り配管 (消火水) 及び渡り電路が損傷した場合にも乾式キャスクの安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。

(9) 配管 (消火水) 及び電路

乾式貯蔵施設への消火水の給水又は給電のため、取扱エリア及び貯蔵エリア内に配管 (消火水) 及び電路を設置する。配管 (消火水) 及び電路は貯蔵状態の乾式キャスクに衝突しない程度に、十分離隔距離を確保する設計方針としていることから、配管、電路の転倒及び落下等を想定しても乾式キャスクの安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。

配管 (消火水) 及び電路のうち、設計が確定している配管 (消火水) の配置を第 6-2 図, 第 6-3 図に示す。

(第 6-2 図, 第 6-3 図 C-C 断面)

(10) 隣接する乾式キャスク

乾式キャスク貯蔵時に、地震が発生した場合に、隣接する乾式キャスク同士が衝突しないように、衝突時の乾式キャスクの揺れ幅に対して乾式キャスク間の水平距離を十分に確保する設計とする。

(第 6-2 図, 第 6-3 図 A-A 断面, 第 6-3 図 C-C 断面)

7. 検討結果

乾式貯蔵施設の設置にあたって、乾式キャスクが、周辺施設等からの波及的影響によって安全機能を損なわないように設計することとする。

波及的影響として検討すべき事象に基づき、波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出した結果、6項に示す施設又は設備が抽出されたため、当該施設又は設備の設計にあたっては必要な設計上の配慮を行うこととする。このうち、貯蔵建屋については、基準地震動 S_s に対して損壊しない設計とすることで、乾式キャスクへの波及的影響を及ぼさない設計とすることから、工事計画認可申請においてその耐震計算書を示す。

以上

11 条

安全避難通路等

<目 次>

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

2. 安全避難通路等

(別添資料)

安全避難通路等について (使用済燃料乾式貯蔵施設)

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(i) 本発電用原子炉施設は、「(1)耐震構造」, 「(2)耐津波構造」に加え, 以下の基本方針のもとに安全設計を行う。

a. 設計基準対象施設

(f) 安全避難通路等

発電用原子炉施設には, その位置を明確かつ恒久的に表示することにより容易に識別できる安全避難通路及び照明用の電源が喪失した場合においても機能を損なわない避難用照明を設ける。

設計基準事故が発生した場合に用いる照明として, 運転保安灯又は無停電運転保安灯を設置する。運転保安灯及び無停電運転保安灯は非常用母線に接続し, ディーゼル発電機からも電力を供給できる設計とするとともに, 無停電運転保安灯は内蔵電池を備える設計とする。また, 作業場所までの移動に必要な照明として内蔵電池を備える可搬型照明を配備する。

(2) 安全設計方針

1. 安全設計

1.1 安全設計の方針

1.1.1 安全設計の基本方針

1.1.1.11 避難通路, 照明, 通信連絡設備

発電用原子炉施設には, 標識を設置した安全避難通路, 避難用及び設計基準事故対策用照明, 通信連絡設備等を設ける。

(3) 適合性説明

(安全避難通路等)

第十一条 発電用原子炉施設には, 次に掲げる設備を設けなければならない。
一 その位置を明確かつ恒久的に表示することにより容易に識別できる安全避難通路
二 照明用の電源が喪失した場合においても機能を損なわない避難用の照明

適合のための設計方針

一 発電用原子炉施設である使用済燃料乾式貯蔵施設内には避難階段を設置し, それに通じる避難通路を設ける。また, 避難通路には必要に応じて, 標識並びに非常灯

及び誘導灯を設け、その位置を明確かつ恒久的に表示することにより容易に識別できる設計とする。

二 非常灯及び誘導灯は、灯具に蓄電池を内蔵し、照明用の電源が喪失した場合においても機能を損なわない設計とする。

1.2 気象等

該当なし

1.3 設備等

10.11 安全避難通路等

10.11.1 概要

照明用電源は、電気施設のうち所内低圧系統より、原子炉建屋内（原子炉格容器内及びアニュラス部を含む。）、原子炉補助建屋内及びタービン建屋内の照明設備へ給電する。

中央制御室及びその他必要な場所の非常灯及び誘導灯は、非常用母線から給電するとともに、照明用の電源が喪失した場合に内蔵の蓄電池から給電する。

設計基準事故が発生した場合に用いる照明として、運転保安灯又は無停電運転保安灯を設置する。運転保安灯及び無停電運転保安灯は非常用母線に接続し、ディーゼル発電機からも電力を供給できる設計とするとともに、無停電運転保安灯は内蔵電池を備える設計とする。また、作業場所までの移動に必要な照明として内蔵電池を備える可搬型照明を配備する。

10.11.2 設計方針

安全避難通路は、その位置を明確かつ恒久的に表示することにより、容易に識別できるように避難用照明を設置する。また、避難用照明は、照明用の電源が喪失した場合においても機能を損なうおそれがないようにする。さらに、設計基準事故が発生した場合に用いる照明（避難用の照明を除く。）及びその専用の電源を設ける。

10.11.3 主要設備

10.11.3.1 照明設備

照明用電源は、パワーセンタ、原子炉コントロールセンタ及びタービンコント

ロールセンタ等の所内低圧系統から原子炉建屋内（原子炉格容器内及びアニュラス部を含む。）、原子炉補助建屋内及びタービン建屋内の照明設備へ給電する。

中央制御室及びその他必要な場所の非常灯及び誘導灯は、非常用母線から給電するとともに、照明用の電源が喪失した場合に内蔵の蓄電池から給電する。

設計基準事故が発生した場合に用いる照明として、避難用の照明とは別に運転保安灯及び無停電運転保安灯を設置する。

運転保安灯は外部電源喪失時にも必要な照明を確保できるよう、非常用母線に接続し、ディーゼル発電機からも電力を供給できる設計とする。無停電運転保安灯は全交流動力電源喪失時に、重大事故等に対処するために必要な電力の供給が空冷式非常用発電装置から開始されるまでの間、内蔵電池からの給電により点灯を継続する。無停電運転保安灯の内蔵電池は非常用母線からの給電により充電状態で待機する設計とする。

可搬型照明は、全交流動力電源喪失時に作業場所までの移動に必要な照明を確保できるよう内蔵電池を備える設計とし、現場での主蒸気逃がし弁操作が必要となる時間（事象発生から約30分）までに十分準備可能なよう、初動操作に対応する運転員が常時滞在している中央制御室に配備する。

10.11.4 手順等

安全避難通路等は、以下の内容を含む手順を定め、適切な管理を行う。

- (1) 可搬型照明は、必要時に迅速に使用できるよう、必要数及び保管場所を定める。

2. 安全避難通路等

(別添資料)

安全避難通路等について（使用済燃料乾式貯蔵施設）

別 添

安全避難通路等について
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

目 次

1. 概要
2. 使用済燃料乾式貯蔵施設における設計方針

1. 概要

発電用原子炉施設の建屋内には、「建築基準法」（制定昭和25年5月24日法律第201号）（以下「建築基準法」という。）及び「建築基準法施行令」（制定昭和25年11月16日政令第338号）（以下「建築基準法施行令」という。）に準拠し、安全避難通路を構成する避難階段及び地上へ通じる通路を設ける設計とする。

安全避難通路には、建築基準法及び建築基準法施行令に準拠し、非常用の照明装置である非常灯を設置する。非常灯は、施設内従事者等が常時滞在する場合、居室、居室から地上へ通じる廊下及び階段その他の通路に設置する設計とする。

また、安全避難通路には、「消防法」（制定昭和23年7月24日法律第186号）（以下「消防法」という。）、「消防法施行令」（制定昭和36年3月25日政令第37号）（以下「消防法施行令」という。）及び「消防法施行規則」（制定昭和36年4月1日自治省令第6号）（以下「消防法施行規則」という。）に準拠し、誘導灯を設置する。誘導灯は、避難口である旨及び避難の方向を明示する設計とする。

2. 使用済燃料乾式貯蔵施設における設計方針

安全避難通路については、建築基準法及び建築基準法施行令に準拠し、使用済燃料乾式貯蔵施設内に安全避難通路を構成する避難階段及び地上へ通じる通路を設置する。

ここで、使用済燃料乾式貯蔵施設の安全避難通路等を図1に示す。

非常灯は、建築基準法及び建築基準法施行令に準拠すると、施設内に従事者等が常時滞在する場合に設置が要求されており、使用済乾式貯蔵施設においては、従事者が常時滞在しないため、設置を要しない。

一方、誘導灯は、消防法、消防法施行令及び消防法施行規則に準拠し、屋内から直接地上へ通じる通路、出入口、避難階段等に設置する。また、全交流動力電源喪失により誘導灯への電力の供給が停止した場合においても、避難口及び避難の方向を明示するため、誘導灯は20分間有効に点灯できる容量を有した内蔵電池を備える設計とする。

ここで、表1に上記要求を満たす使用済燃料乾式貯蔵施設の照明種類を示す。

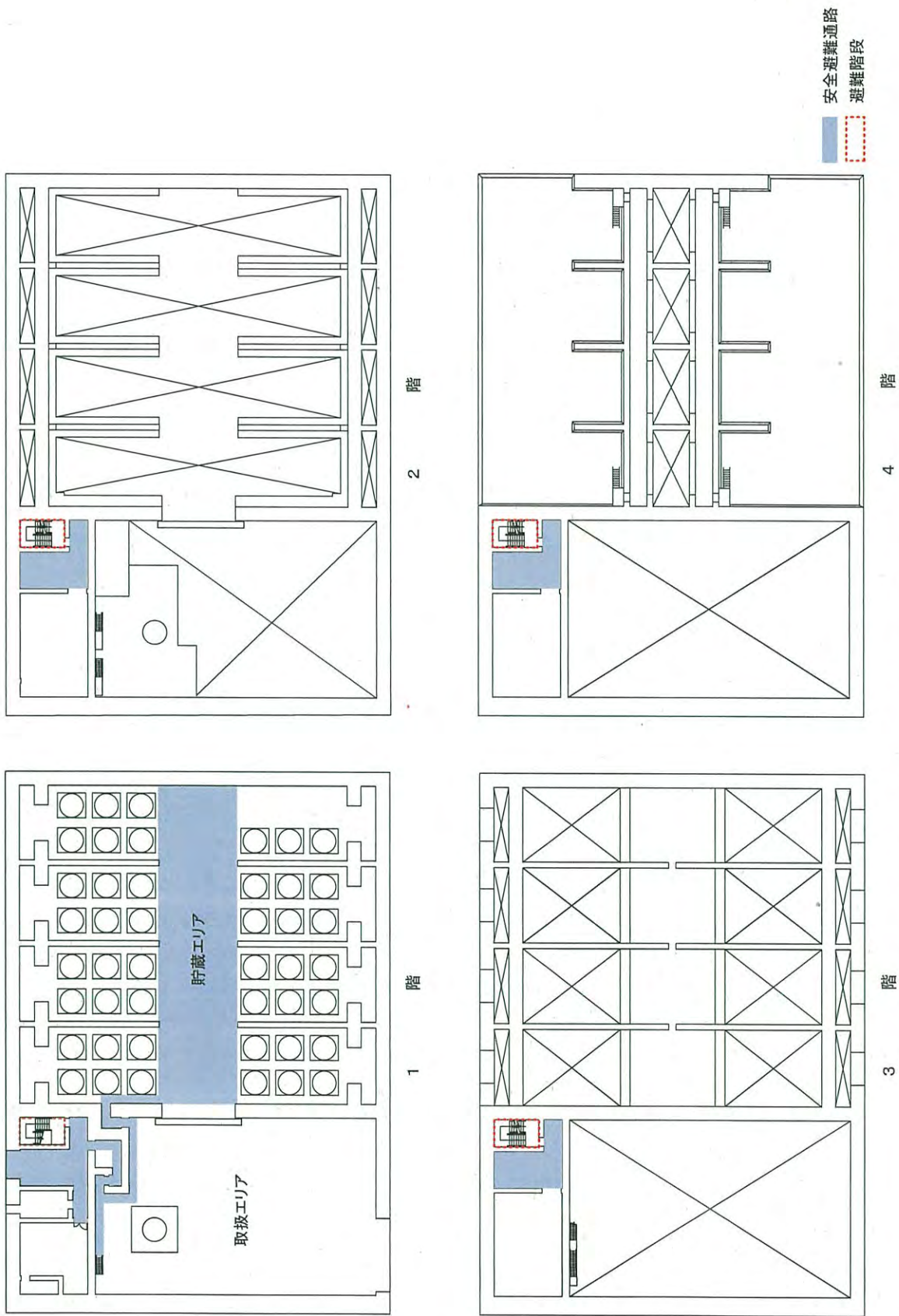


図1 使用済燃料乾式貯蔵施設の安全避難通路等（イメージ図）

表 1 使用済燃料乾式貯蔵施設の照明種類

種類	用途	蓄電池	仕様
誘導灯	【設置許可基準規則第 11 条 1 号へ適合】 使用済燃料乾式貯蔵施設から屋外へ避難 するたための安全避難通路を容易に識別で きるよう、消防法に基づき設置している。	内蔵 (20 分定格以上)	電圧：交流 100V 種類：蛍光灯または LED

29 条

工場等周辺における直接線等からの防護

<目 次>

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置, 構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

2. 工場等周辺における直接線等からの防護

(別添資料)

工場等周辺における直接線等からの防護について

(使用済燃料乾式貯蔵施設)

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置, 構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(i) 本発電用原子炉施設は、「(1)耐震構造」, 「(2)耐津波構造」に加え, 以下の基本方針のもとに安全設計を行う。

a. 設計基準対象施設

(x) 発電所周辺における直接線等からの防護

設計基準対象施設は, 通常運転時において発電用原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による敷地周辺の空間線量率が, 十分に低減(発電所内の使用済燃料乾式貯蔵施設を除く他の施設からのガンマ線と使用済燃料乾式貯蔵施設からの中性子及びガンマ線とを合算し, 実効線量で1年間当たり50マイクロシーベルト以下となるように)できる設計とする。

(2) 安全設計方針

1.1 安全設計の方針

1.1.1 安全設計の基本方針

1.1.1.1 放射線被ばく

平常運転時, 発電所周辺の一般公衆および放射線業務従事者等に対し, 「原子炉等規制法」に基づき定められている線量限度を超える放射線被ばくを与えないように設計する。さらに, 設計にあたっては発電所周辺の一般公衆に対し, 「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」に定められている線量目標値を超える放射線被ばくを与えないように努める。

(3) 適合性説明

(工場等周辺における直接線等からの防護)

第二十九条 設計基準対象施設は, 通常運転時において発電用原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による工場等周辺の空間線量率が十分に低減できるものでなければならない。

設計基準対象施設である使用済燃料乾式貯蔵施設は, 既設を含めた原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による敷地周辺の空間線量率を合理的に達成できる限り小さい値となるように設計する。具体的には, 年間50マイクロシーベルトを超えない設計とする。

1.2 気象等

該当なし

1.3 設備等

8.3 遮蔽設備

8.3.1 概要

遮蔽設備は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時において、発電所周辺の一般公衆、従事者等の被ばく線量を低減するもので、次のものから構成される。

- (1) 原子炉1次遮へい
- (2) 原子炉2次遮へい
- (3) 外部遮へい
- (4) 補助遮へい
- (5) 燃料取扱遮へい
- (6) 中央制御室遮へい
- (7) 一時的遮へい
- (8) 緊急時対策所遮へい

8.3.2 設計方針

- (1) 発電所周辺の一般公衆が受ける被ばく線量については、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」（以下「線量限度等を定める告示」という。）に定められた周辺監視区域外の値より十分小さくなるようにするとともに、通常運転時における直接線量及びスカイシャイン線量については、人の居住の可能性のある敷地境界外において年間50マイクロシーベルトを超えないような遮蔽設計とする。
- (2) 燃料取替え時、補修時等を含む通常運転時において、従事者等が受ける被ばく線量が、「線量限度等を定める告示」に定められた限度を超えないようにするのはもちろん、不必要な放射線被ばくを防止するような遮蔽設計とする。

遮蔽設計に関しては、関係各場所への立入頻度、滞在時間等を考慮した上で、従事者等の放射線被ばく線量が十分安全に管理できるように、放射線量率が下記の遮蔽設計基準（1）を満足するように設計する。

遮蔽設計基準（1）

区分		外部放射線に係る 設計基準線量率	代表箇所
管理区域外	第Ⅰ区分	≤ 0.00625 mSv/h	
	第Ⅱ区分	≤ 0.01 mSv/h	一般通路等
管理区域内*1	第Ⅲ区分	≤ 0.15 mSv/h	操作用通路等
	第Ⅳ区分	> 0.15 mSv/h	機器室等

*1 「線量限度等を定める告示」に基づき、1.3mSv/3月を超えるか又は

超えるおそれのある区域を管理区域に設定する。

機器の配置に当たっては、高放射性物質を内蔵する機器は原則として独立した区画内に配置し、操作又は監視頻度の高い制御盤等は管理区域内の低放射線区域又は管理区域外に配置する。

なお、雑固体処理建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋については、下記の遮蔽設計基準（２）を満足するように設計する。

遮蔽設計基準（２）

区分		外部放射線に係る 設計基準線量率	代表箇所
管理区域外	第Ⅰ区分	≤ 1.3 mSv/3月	
管理区域内	第Ⅱ区分	≤ 0.01 mSv/h	一般通路等
	第Ⅲ区分	≤ 0.15 mSv/h	操作用通路等
	第Ⅳ区分	> 0.15 mSv/h	機器室等

これら区分概略を、第8.3.1図～第8.3.10図に示す。

- (3) 発電所周辺の一般公衆の受ける被ばく線量が、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」及び「原子炉立地審査指針」を十分満足する遮蔽設計とする。

また、事故時に中央制御室内の従事者等に対し、過度の放射線被ばくがないように考慮し、運転員が中央制御室内にとどまり事故対策に必要な各種の操作を行うことができるような遮蔽設計とする。

8.3.4 主要設備

8.3.4.1 原子炉1次遮へい

原子炉1次遮へいは、原子炉容器を直接取り囲む厚さ約2.8mの鉄筋コンクリート造の構造物で、通常運転時の原子炉からの放射線を減衰させる。

原子炉1次遮へいは、原子炉容器からの熱伝達及びコンクリート内部で吸収される放射線による過熱脱水を防止するため、原子炉容器冷却ファンにより空気で冷却する。

8.3.4.2 2次遮へい

2次遮へいは、原子炉格納容器内の1次冷却系機器配管を取り囲む構造物で、内部コンクリート及び原子炉格納容器で構成する。

1次冷却系機器配管を取り囲む構造物のうち、主要なものは厚さ約1.1mの鉄筋コンクリート造の蒸気発生器側壁と円筒部厚さ約45mm、ドーム部厚さ約23mmの原子炉格納容器鋼板である。

2次遮へいは、1次遮へいと外部遮へいとの組合せにより、通常運転

時に原子炉格納施設外側での外部放射線に係る線量当量率を第Ⅰ区分に減衰させる。

8.3.4.3 外部遮へい

外部遮へいは、円筒部厚さ約1.4m～約1.1m、ドーム部厚さ約1.0～約0.3mの鉄筋コンクリート造で、原子炉1次遮へいと原子炉2次遮へいとの組合せにより、通常運転時に原子炉格納施設外側での放射線量率を第Ⅰ区分に減衰させる。

また、外部遮へい及び原子炉格納容器鋼板は、その組合せにより、発電所周辺の一般公衆が受ける被ばく線量が、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」及び「原子炉立地審査指針」を十分満足する厚さである。

8.3.4.4 補助遮へい

補助遮へいは、原子炉建屋及び原子炉補助建屋内の放射性廃棄物廃棄施設、化学体積制御設備、試料採取設備等の放射性物質を内蔵する機器及び配管、並びに使用済燃料乾式貯蔵建屋内の使用済燃料乾式貯蔵容器を取り囲む構造物である。

補助遮へいは、建屋内の通路の線量当量率を第Ⅱ区分に減衰させるとともに、原則として隣接した機器室からの線量当量率を第Ⅲ区分に減衰させ、隣接設備の停止あるいは除染を行わずに、各機器室における補修を可能にする。

ただし、バルブエリアにおいては、隣接した機器室からの線量当量率が1 mSv/h以下になるように遮へいする。

8.3.4.5 燃料取扱遮へい

燃料取扱遮へいは、燃料取替え時に原子炉キャビティ、チャンネル及び使用済燃料ピットに張る水等からなり、燃料取替え時、燃料移送時、使用済燃料貯蔵時及びウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料貯蔵時に放射線業務従事者等が安全に作業できるようにする。

燃料取替え時の原子炉キャビティに張る水は、ほう酸水で、燃料集合体の頂部までの水深は約11m、また、使用済燃料ピットに張る水もほう酸水で、燃料集合体の頂部までの水深は約8mである。

さらに、原子炉キャビティ、チャンネル及び使用済燃料ピットにおいて燃料集合体を取り扱う場合でも、燃料集合体の頂部までの水深を3m以上確保する。

8.3.4.6 中央制御室遮へい

(1) 通常運転時等

中央制御室遮へいは、原子炉補助建屋内に設置し、原子炉冷却材喪失等の設計基準事故時に、中央制御室内にとどまり必要な操作、措置を行う運転員が過度の被ばくを受けないよう施設する。また、運転員の勤務形態を考慮し、事故後 30 日間において、運転員が中央制御室に入り、とどまっても、中央制御室遮へいを透過する放射線による線量、中央制御室に侵入した外気による線量及び入退域時の線量が、中央制御室換気空調設備等の機能とあいまって、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に示される 100mSv を下回る遮蔽とする。

8.3.4.7 一時的遮へい

一時的遮へいは、放射性物質を内蔵する機器及び設備の補修時あるいは事故時の保守等のために一時的に使用するもので、コンクリートブロック、鉛、鉄板等でできた可搬式遮へい構造物であり、必要に応じて設置する。

工場等周辺における
直接線等からの防護について
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

目 次

1. 遮蔽設計
2. 評価条件
3. 評価結果

添付1：工場等周辺における直接線等からの防護について（使用済燃料乾式貯蔵施設）補足説明資料

1. 遮蔽設計

使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮蔽設計については、管理区域境界（外壁）において1.3mSv/3月を超えないように設計する必要があり、周辺での作業等者の滞在時間（3月で500時間）を考慮し管理区域外の設計基準線量率を2.6 μ Sv/h以下とすることとしている。さらに、工場等周辺（以下、敷地境界外という）における直接線及びスカイシャイン線量が、使用済燃料乾式貯蔵建屋からの寄与を加えても発電所として年間50 μ Svを超えないよう設計することとしている。

以下に、使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮蔽機能について評価条件、方法及び結果を示す。

2. 評価条件

2.1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮蔽厚^{※1}

(1) 貯蔵エリア

壁 厚：
天井厚：

(2) 取扱エリア

壁 厚：
天井厚：

※1：遮蔽計算に用いる遮蔽厚は、公称値からマイナス側許容誤差（5mm）を引いた値とする。

2.2 線源

使用済燃料乾式貯蔵容器の線源は、第2-1表のとおりとする。使用済燃料貯蔵容器の線源強度は、管理区域境界や敷地境界外における線量が保守的な評価結果となるように、コンクリートの透過率を考慮してエネルギースペクトルを保守側に設定するとともに、容器表面から1mの位置における線量率が100 μ Sv/hとなるように規格化している。また、使用済燃料乾式貯蔵容器からの放射線の線質を全て中性子または全てガンマ線とした条件においてそれぞれ線量評価し、保守的な評価結果を求める。

第2-1表 線源条件

線源	基数	線源強度	スペクトル
使用済燃料乾式貯蔵容器	貯蔵エリア：48基 取扱エリア：2基	容器表面1mの線量率が100 μ Sv/hとなるように規格化	包絡スペクトル ^(注)

(注)「使用済燃料中間貯蔵施設の直接・スカイシャイン線量の評価手法について〔金属キャスク方式〕（平成12年3月）」

2.3 評価モデル

ガンマ線と中性子線の両方について線量評価を行い、最終的な評価値としては、両者のうちより保守的な線量評価を採用する。

管理区域境界におけるガンマ線評価及び敷地境界外における直接ガンマ線評価では、使用済燃料乾式貯蔵容器を円筒形の線源で模擬して評価する。貯蔵エリアにおける線量評価では、キャスクの配置を考慮し 48 基のキャスクを考慮する。取扱エリアにおける線量評価では、キャスク 1 基の線量率を算出し、結果を 2 倍することでキャスク 2 基分の線量率を計算する。(第 2-1 図及び第 2-2 図参照)

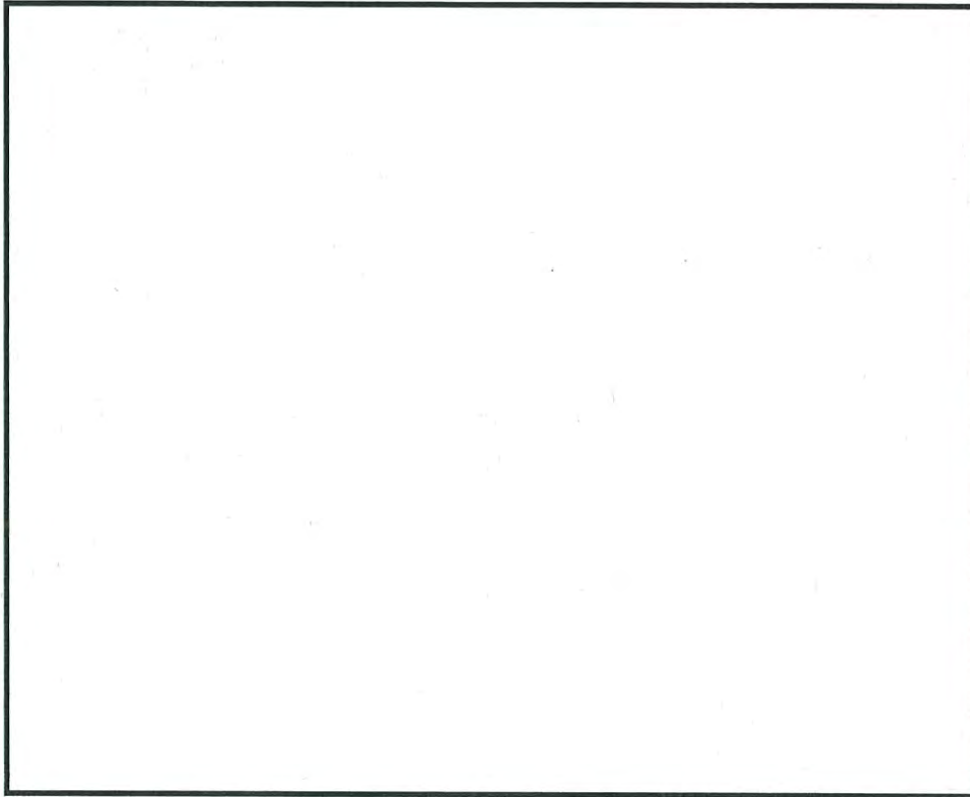
敷地境界外におけるスカイシャインガンマ線評価では、容器の最大高さに 48 基分の線源強度の点線源があるものとして評価する。(第 2-3 図参照)

管理区域境界における中性子線評価では、使用済燃料乾式貯蔵容器を球形の線源で模擬して評価する。キャスク 1 基の線量率を算出し、貯蔵エリアにおける線量評価では 48 倍、取扱エリアにおける線量評価では 2 倍し、それぞれ 48 基及び 2 基分の線量率を計算する。(第 2-4 図及び第 2-5 図参照)

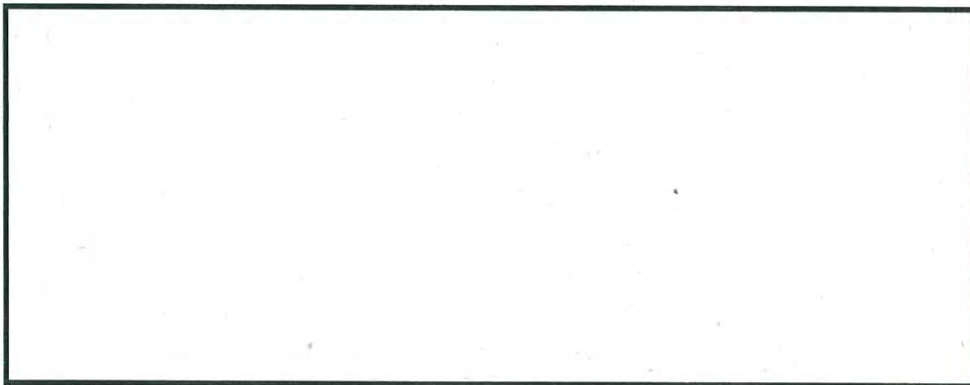
敷地境界外における直接・スカイシャイン中性子線評価では、容器の最大高さに 48 基分の線源強度の点線源があるものとして評価する。(第 2-6 図参照)

2.4 敷地境界外線量評価地点

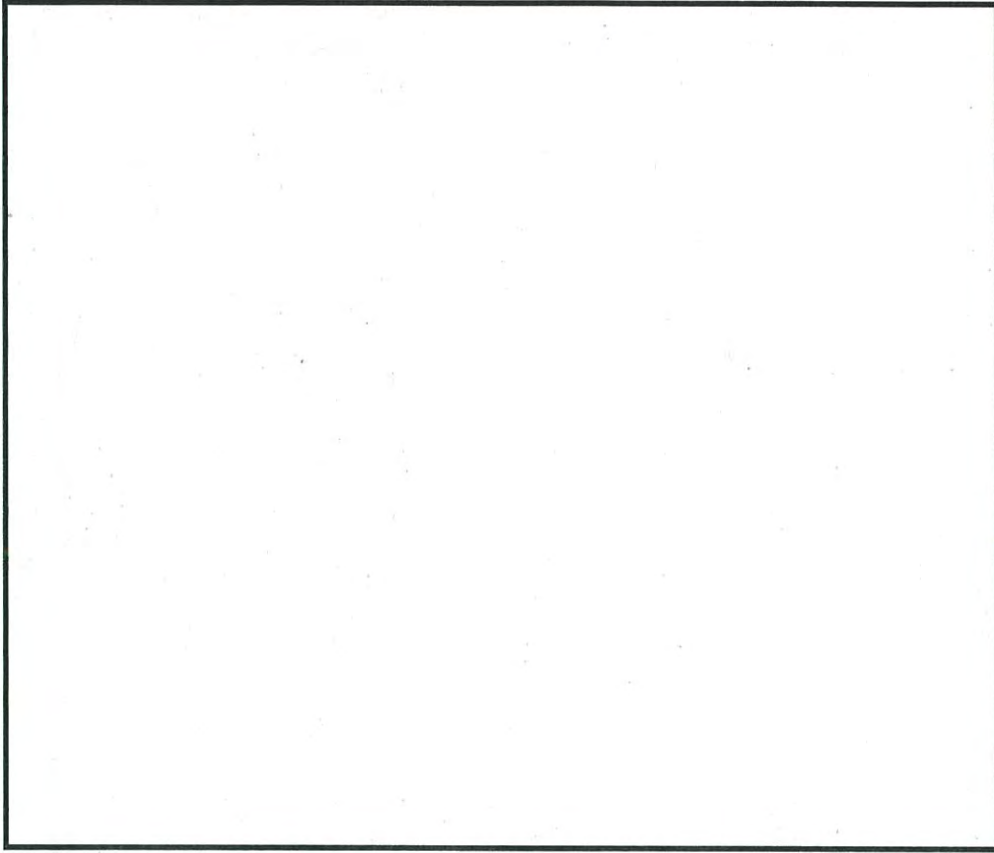
評価地点は、3号原子炉を中心として 16 方位に分割したうちの陸側 9 方位の敷地境界地点のうち、既設建屋からの寄与を含めた直接線及びスカイシャイン線量が最大となる地点とする。(第 2-7 図参照)



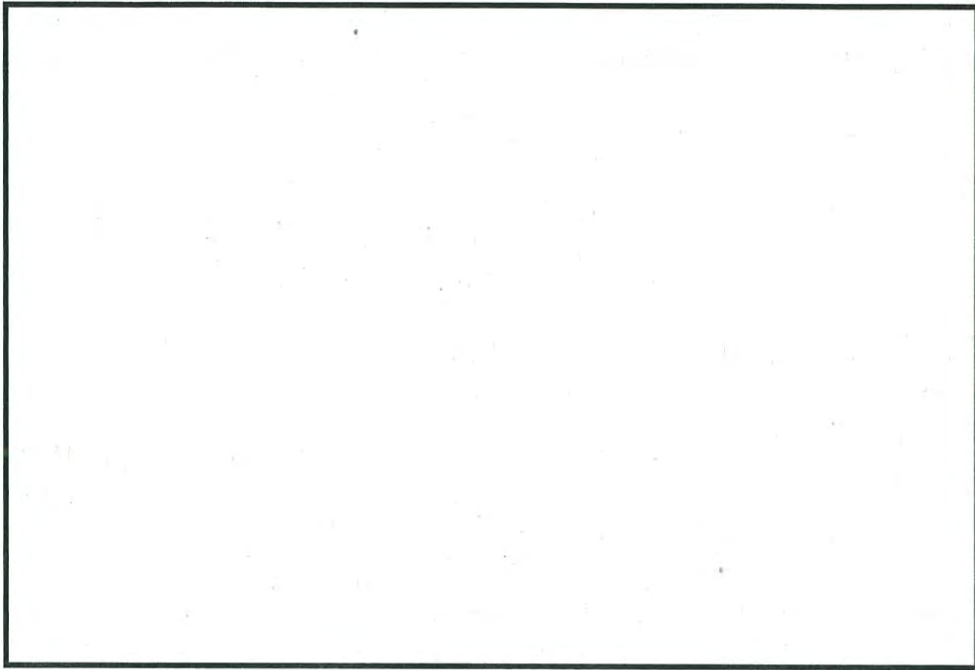
第2-1図 貯蔵エリア周辺の管理区域境界および
敷地境界外における直接ガンマ線評価モデル



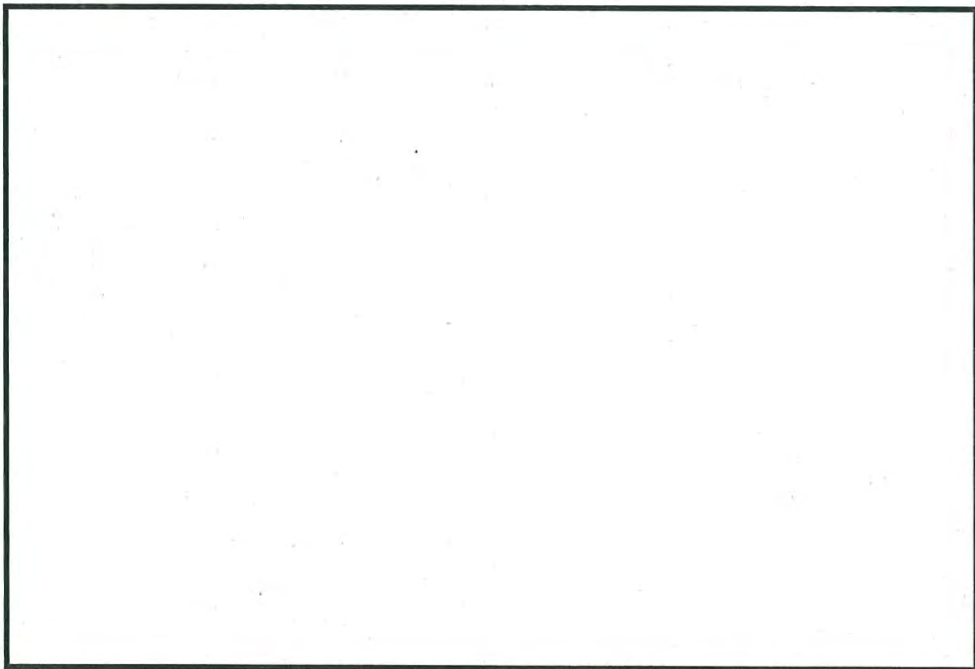
第2-2図 取扱エリア周辺の管理区域境界における直接ガンマ線評価モデル



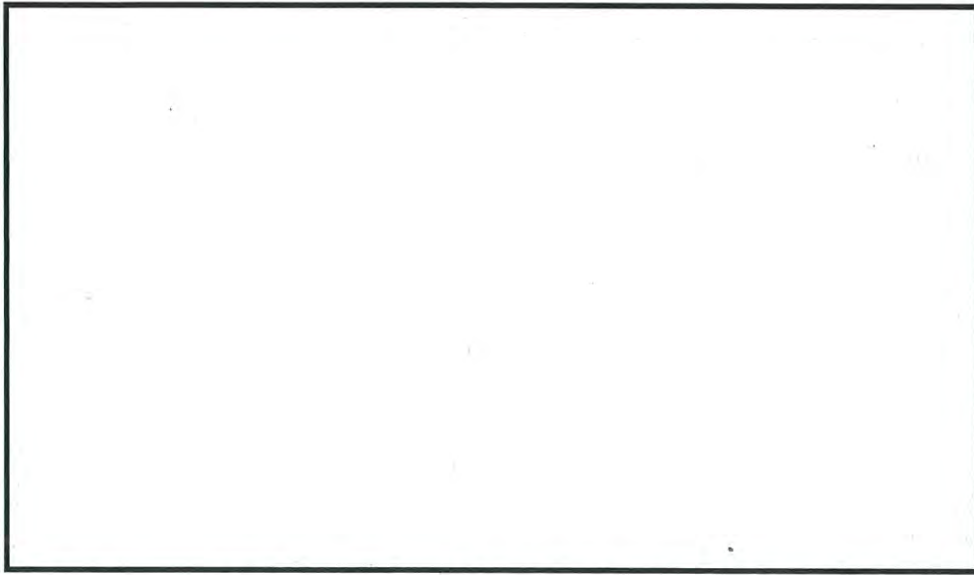
第2-3図 敷地境界外におけるスカイシャインガンマ線評価



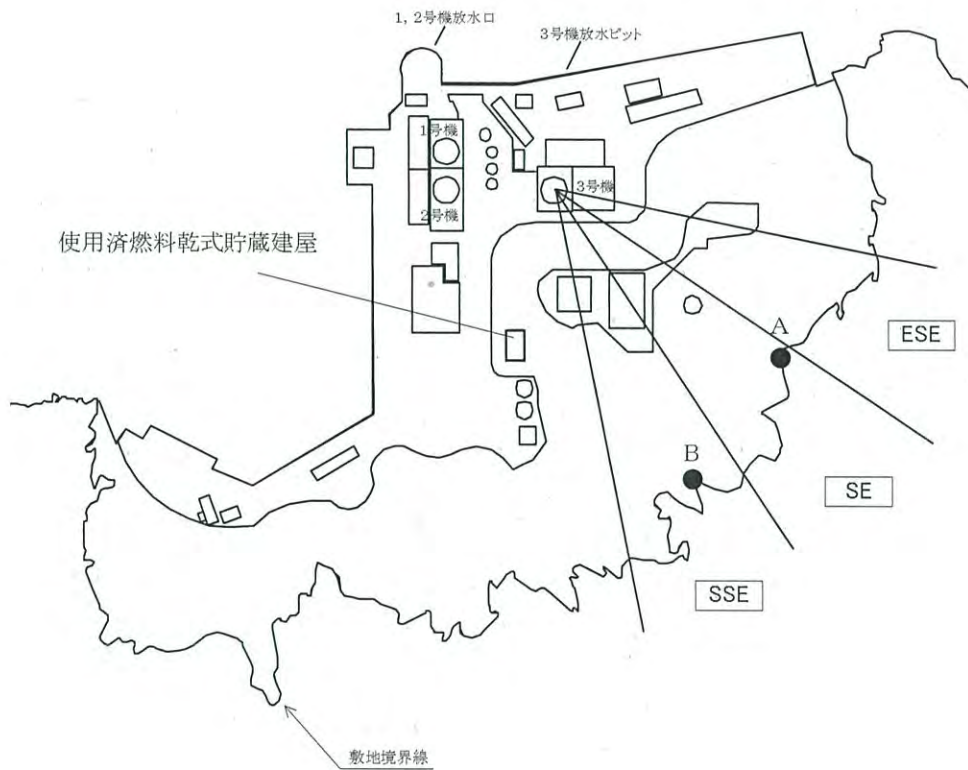
第2-4図 貯蔵エリア周辺の管理区域境界における中性子線評価



第2-5図 取扱エリア周辺の管理区域境界における中性子線評価



第2-6図 敷地境界外における直接・スカイシャイン中性子線評価



評価地点	使用済燃料乾式貯蔵建屋からの距離(m)	標高(m)	備考
A	500	170	伊方発電所敷地境界での最大評価地点
B	420	90	伊方発電所敷地境界での評価地点のうち、使用済燃料乾式貯蔵建屋からの最短地点

第2-7図 使用済燃料乾式貯蔵建屋と評価地点

3. 評価結果

3.1 管理区域境界

前記条件を用いて、使用済燃料乾式貯蔵容器からのガンマ線はQAD-CGGP2Rコード、中性子線はANISNコードにより評価した。

評価の結果、第3-1表に示すとおり、管理区域境界における線量率は基準値である $2.6\mu\text{Sv/h}$ 以下を満足することができる結果となった。

第3-1表 管理区域境界における線量率

評価点	壁外線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		基準値
	全てガンマ線 とした場合	全て中性子線 とした場合	
貯蔵エリア	0.044	0.17	$\leq 2.6\mu\text{Sv/h}$
取扱エリア	1.7	1.2	

3.2 敷地境界外

前記条件を用いて、使用済燃料乾式貯蔵容器からのガンマ線はQAD-CGGP2Rコード（直接線）およびSCATTERINGコード（スカイシャイン線）、中性子線はDORTコードにより評価した。

評価結果を第3-2表に示す。また、既設建屋を含めた敷地境界外における年間線量は第3-3表に示すとおり、最大線量地点に変更無く、年間 $50\mu\text{Sv}$ 以下を満足できることが分かった。

第3-2表 敷地境界外における年間線量

評価地点	EL (m)	使用済燃料 乾式貯蔵建屋 からの距離 (m)	年間線量 (μSv)	
			全てガンマ線 とした場合 ^(注1)	全て中性子線 とした場合 ^(注2)
A	170	500	0.16	0.058
B	90	420	0.27	0.11

(注1) 空気カーマから実効線量への換算は保守的に $1\text{Gy}=1\text{Sv}$ とした。

(注2) フルエンスから実効線量への換算はICRP Publication 74「外部放射線に対する放射線防護に用いるための換算係数」表A.41の換算係数を使用した。

第3-3表 既設建屋を含めた敷地境界外における年間線量

評価地点	年間線量 (μSv)			
	既設建屋	使用済燃料 乾式貯蔵建屋 ^(注)	合算	基準値
A	5.1	0.16	5.2	≤ 50
B	3.9	0.27	4.2	

(注) 第3-2表のとおり線量の大きいガンマ線による線量で代表した。

なお、評価地点Aにおける各建屋からの線量寄与は第3-4表のとおり。

第3-4表 評価地点Aにおける各建屋からの線量寄与

建屋名		線量寄与	
既設建屋	原子炉格納容器	2号炉	$1.1 \times 10^0 \mu\text{Sv}/\text{y}$
		3号炉	$4.0 \times 10^{-1} \mu\text{Sv}/\text{y}$
	原子炉補助建屋	1、2号炉	$8.4 \times 10^{-1} \mu\text{Sv}/\text{y}$
		3号炉	$2.0 \times 10^0 \mu\text{Sv}/\text{y}$
	1-固体廃棄物貯蔵庫		$9.1 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}/\text{y}$
	2-固体廃棄物貯蔵庫		$6.3 \times 10^{-1} \mu\text{Sv}/\text{y}$
	雑固体処理建屋		$6.4 \times 10^{-5} \mu\text{Sv}/\text{y}$
	蒸気発生器保管庫		$6.4 \times 10^{-2} \mu\text{Sv}/\text{y}$
使用済燃料乾式貯蔵施設		$1.6 \times 10^{-1} \mu\text{Sv}/\text{y}$	
合計		$5.2 \mu\text{Sv}/\text{y}$	

以上の結果より、2. 評価条件に示した使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮蔽厚を満足することで、敷地境界外における直接線及びスカイシャイン線量が、使用済燃料乾式貯蔵建屋からの寄与を加えても発電所として年間 $50 \mu\text{Sv}$ 以下を満足することができる結果となる。

(添付1)

工場等周辺における
直接線等からの防護について
(使用済燃料乾式貯蔵施設)
補足説明資料

目 次

1. 開口部に関する遮蔽設計について
2. 評価コードの概要
3. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮蔽設計で使用するスペクトルの保守性について
4. 敷地境界外における線量の実効線量への換算について

1. 開口部に関する遮蔽設計について

管理区域境界における設計基準線量率 $2.6 \mu\text{Sv/h}$ 以下を満足するため、第1-1図中のD地点の開口部、区画B-C間、および第1-2図中の給排気口については、以下の壁厚等を満足することで、局所的な最短透過距離部においても必要遮蔽厚さを確保できる。なお、給排気口については、高所設置とし、人が容易に接近しない設計とする。

(1) 貯蔵エリア

壁厚：

天井厚：

(2) 取扱エリア

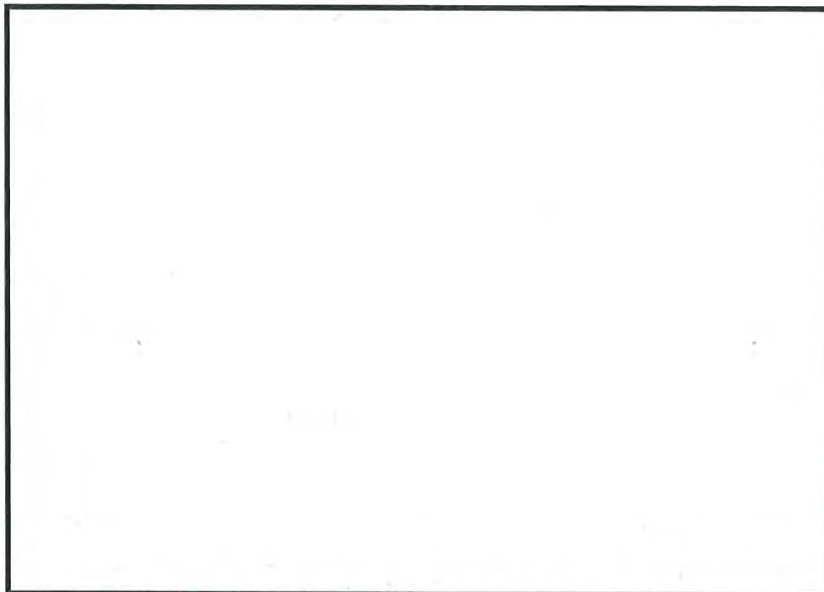
壁厚：

天井厚：

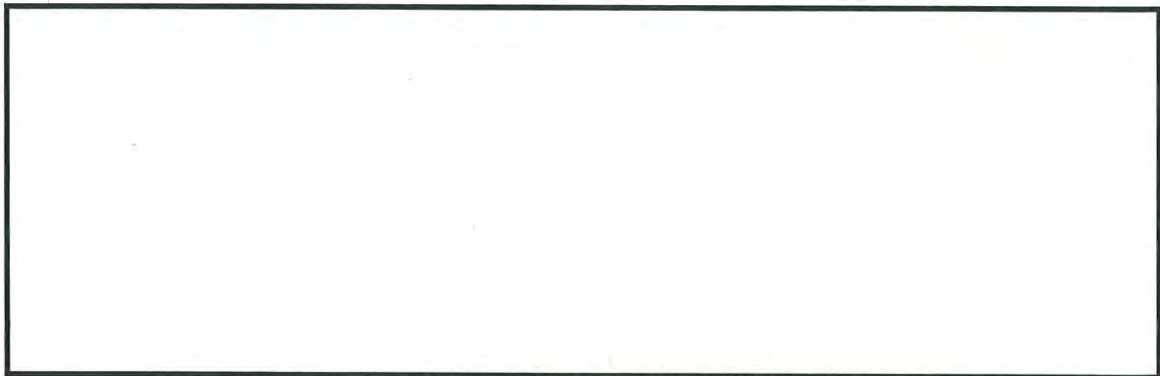
(3) その他

水平遮蔽板厚：

遮蔽扉厚：



第1-1図 管理区域境界の開口部に対する遮蔽設計概要図



第1-2図 給排気口部に対する遮蔽設計概要図

2. 評価コードの概要

今回の変更申請においては、直接ガンマ線の評価にはQAD-CGGP2Rコード、スカイシャインガンマ線の評価にはSCATTERINGコード、中性子線の評価にはANISNコードおよびDORTコードを用いている。

これら評価コードの概要を第2-1～2-4表に示す。なお、いずれも許認可での使用実績があるコードである。

第2-1表 QAD-CGGP2Rコードの概要

項目	コード名	QAD-CGGP2R
開発機関		米国ロスアラモス国立研究所及び日本原子力研究開発機構
開発時期		1967年
使用したバージョン		Ver. 1.04
使用目的		遮蔽計算（使用済燃料乾式貯蔵建屋内のキャスクからの直接ガンマ線計算）
コードの概要		<p>本解析コードは、米国ロスアラモス国立研究所で開発されたガンマ線の物質透過を計算するための点減衰核積分法解析コード「QAD」をベースとし、旧日本原子力研究所がICRP1990年勧告の国内関連法令・規則への取り入れに合わせて、実効線量率等を計算できるように改良したバージョンである。</p> <p>本解析コードは、線源及び遮蔽体を直方体、円筒、球などの三次元形状で模擬した計算体系でガンマ線の実効線量率及び空気カーマ率等を点減衰核積分法により計算することができる。</p>

第2-2表 SCATTERINGコードの概要

項目	コード名	SCATTERING
開発機関		米国ロスアラモス国立研究所及び三菱重工業（株）
開発時期		1974年
使用したバージョン		Ver. 90m
使用目的		遮蔽計算（使用済燃料乾式貯蔵建屋内のキャスクからのスカイシャインガンマ線計算）
コードの概要		<p>点減衰核積分法を使用した1回散乱近似法によるスカイシャインガンマ線量の解析コードであり、ガンマ線が空気中で散乱を受けた後、観測点に到達する散乱線量（スカイシャインガンマ線量）を計算する。</p>

第2-3表 ANISNコードの概要

項目 \ コード名	ANISN
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	1967年
使用したバージョン	ANISN-W
使用目的	遮蔽計算 (使用済燃料乾式貯蔵建屋内のキャスクからの中性子線計算)
コードの概要	本解析コードは、米国オークリッジ国立研究所にて中性子の遮蔽計算を目的として開発されたコードであり、1次元ボルツマン輸送計算式による中性子及びガンマ線の放射線束分布の算出が可能である。

第2-4表 DORTコードの概要

項目 \ コード名	DORT
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	1987年
使用したバージョン	Ver. 3.2
使用目的	遮蔽計算 (使用済燃料乾式貯蔵建屋内のキャスクからの中性子線計算)
コードの概要	本解析コードは、米国オークリッジ国立研究所にて中性子の遮蔽計算を目的として開発されたコードであり、2次元ボルツマン輸送計算式による中性子及びガンマ線の放射線束分布の算出が可能であり、DOTコードの後継コードである。

3. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮蔽設計で使用するスペクトルの保守性について

3.1 基本的考え方

使用済燃料乾式貯蔵施設では、専用の使用済燃料乾式貯蔵容器を使用し、鉄筋コンクリート造の貯蔵建屋内で貯蔵することから、それぞれの使用済燃料乾式貯蔵容器表面のエネルギースペクトルによるコンクリートの透過率を考慮する必要がある。

このため、使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮蔽設計で使用する使用済燃料乾式貯蔵容器表面のエネルギースペクトルは、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計から得られた使用済燃料乾式貯蔵容器表面でのエネルギースペクトル（以下、「設計スペクトル」という。）と比べて、コンクリート透過率が高くなるように設定する。

3.2 設定した線源スペクトル

本評価では、原子力安全研究協会「使用済燃料中間貯蔵施設の直接線・スカイシャイン線量の評価手法について [金属キャスク方式]」¹⁾における線量評価用の表面エネルギースペクトル（以下、「包絡スペクトル」という。）を採用した。設定結果は以下のとおりである。

- ・ガンマ線の包絡スペクトル

使用済燃料乾式貯蔵容器表面での線量当量率が、事業所外運搬に係る法令要求を満足するように、使用済燃料乾式貯蔵容器形状を仮想的に設定して得られたエネルギースペクトル

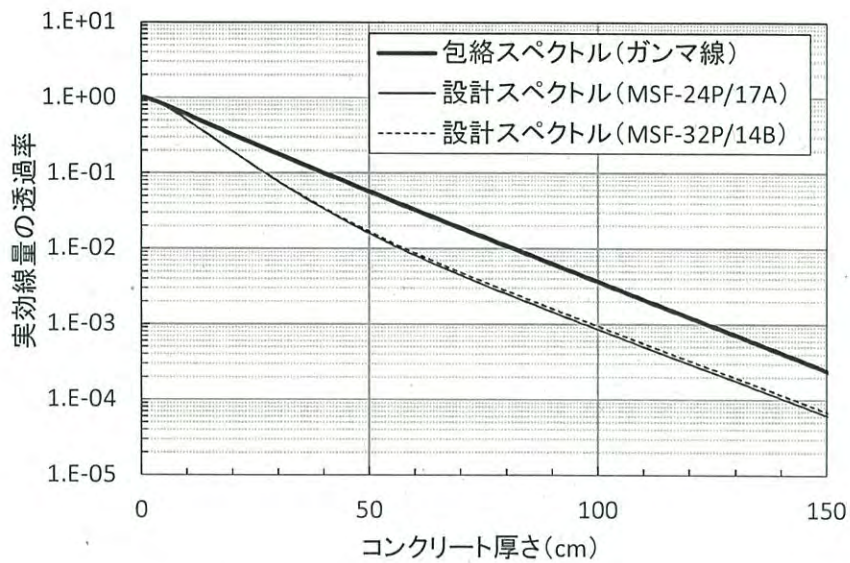
- ・中性子の包絡スペクトル

使用済燃料の中性子源として支配的な²⁴²Cm(α , n)反応のエネルギースペクトル

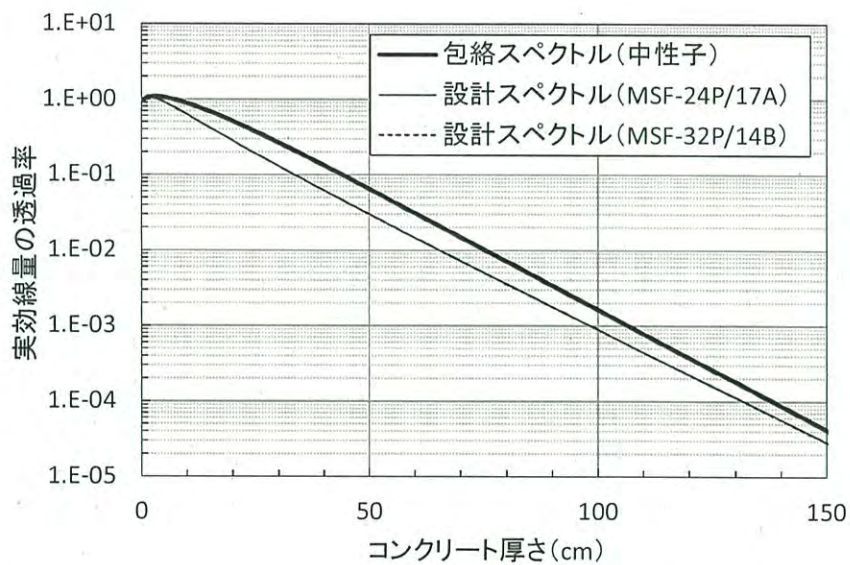
3.3 線源スペクトルの保守性

保守性の確認のため、包絡スペクトルと設計スペクトルに対するコンクリート中での実効線量率の減衰率を比較した。1次元輸送計算コードANISNで計算した結果を第3-1図（ガンマ線）及び第3-2図（中性子線）に示す。

包絡スペクトルは、設計スペクトルに比べ、コンクリートの透過性が高く、保守的であることがわかる。



第3-1図 コンクリート中での実効線量の減衰率（ガンマ線）



第3-2図 コンクリート中での実効線量の減衰率（中性子線）

1) 財団法人 原子力安全研究協会, 「使用済燃料中間貯蔵施設の直接線・スカイシャイン線量の評価手法について」[金属キャスク方式], 平成12年3月

4. 敷地境界外における線量の実効線量への換算について

敷地境界外のガンマ線評価については、空気カーマを評価し、敷地境界外における公衆の照射形態を考慮して、保守側に事故時評価と同様、換算係数 1 Sv/Gy として実効線量を計算している。

敷地境界外の中性子線評価については、同様に敷地境界外における公衆の照射形態を考慮し、ICRP Publication 74「外部放射線に対する放射線防護に用いるための換算係数」に示される ROT ジオメトリーとして実効線量を計算している。

表 A.41. 成人人体形状計算モデルにいろいろなジオメトリーで入射する単一エネルギー中性子に対する、単位中性子フルエンスあたりの実効線量 E/Φ (単位 pSv cm²)。これらのデータは図 22 と図 A.35 (付属書 1) に図示されている。

エネルギー (MeV)	AP	PA	RLAT	LLAT	ROT	ISO
1.0 × 10 ⁻⁹	5.24	3.52	1.36	1.68	2.99	2.40
1.0 × 10 ⁻⁸	6.55	4.39	1.70	2.04	3.72	2.89
2.5 × 10 ⁻⁸	7.60	5.16	1.99	2.31	4.40	3.30
1.0 × 10 ⁻⁷	9.95	6.77	2.58	2.86	5.75	4.13
2.0 × 10 ⁻⁷	11.2	7.63	2.92	3.21	6.43	4.59
5.0 × 10 ⁻⁷	12.8	8.76	3.35	3.72	7.27	5.20
1.0 × 10 ⁻⁶	13.8	9.55	3.67	4.12	7.84	5.63
2.0 × 10 ⁻⁶	14.5	10.2	3.89	4.39	8.31	5.96
5.0 × 10 ⁻⁶	15.0	10.7	4.08	4.66	8.72	6.28
1.0 × 10 ⁻⁵	15.1	11.0	4.16	4.80	8.90	6.44
2.0 × 10 ⁻⁵	15.1	11.1	4.20	4.89	8.92	6.51
5.0 × 10 ⁻⁵	14.8	11.1	4.19	4.95	8.82	6.51
1.0 × 10 ⁻⁴	14.6	11.0	4.15	4.95	8.69	6.45
2.0 × 10 ⁻⁴	14.4	10.9	4.10	4.92	8.56	6.32
5.0 × 10 ⁻⁴	14.2	10.7	4.03	4.86	8.40	6.14
1.0 × 10 ⁻³	14.2	10.7	4.00	4.84	8.34	6.04
2.0 × 10 ⁻³	14.4	10.8	4.00	4.87	8.39	6.05
5.0 × 10 ⁻³	15.7	11.6	4.29	5.25	9.06	6.52
1.0 × 10 ⁻²	18.3	13.5	5.02	6.14	10.6	7.70
2.0 × 10 ⁻²	23.8	17.3	6.48	7.95	13.8	10.2
3.0 × 10 ⁻²	29.0	21.0	7.93	9.74	16.9	12.7
5.0 × 10 ⁻²	38.5	27.6	10.6	13.1	22.7	17.3
7.0 × 10 ⁻²	47.2	33.5	13.1	16.1	27.8	21.5
1.0 × 10 ⁻¹	59.8	41.3	16.4	20.1	34.8	27.2
1.5 × 10 ⁻¹	80.2	52.2	21.2	25.5	45.4	35.2
2.0 × 10 ⁻¹	99.0	61.5	25.6	30.3	54.8	42.4
3.0 × 10 ⁻¹	133	77.1	33.4	38.6	71.6	54.7
5.0 × 10 ⁻¹	188	103	46.8	53.2	99.4	75.0
7.0 × 10 ⁻¹	231	124	58.3	66.6	123	92.8
9.0 × 10 ⁻¹	267	144	69.1	79.6	144	108
1.0 × 10 ⁰	282	154	74.5	86.0	154	116
1.2 × 10 ⁰	310	175	85.8	99.8	173	130
2.0 × 10 ⁰	383	247	129	153	234	178
3.0 × 10 ⁰	432	308	171	195	283	220
4.0 × 10 ⁰	458	345	198	224	315	250
5.0 × 10 ⁰	474	366	217	244	335	272
6.0 × 10 ⁰	483	380	232	261	348	282
7.0 × 10 ⁰	490	391	244	274	358	290
8.0 × 10 ⁰	494	399	253	285	366	297
9.0 × 10 ⁰	497	406	261	294	373	303
1.0 × 10 ¹	499	412	268	302	378	309
1.2 × 10 ¹	499	422	278	315	385	322
1.4 × 10 ¹	496	429	286	324	390	333
1.5 × 10 ¹	494	431	290	328	391	338
1.6 × 10 ¹	491	433	293	331	393	342
1.8 × 10 ¹	486	435	299	335	394	345
2.0 × 10 ¹	480	436	305	338	395	343
3.0 × 10 ¹	458	437	324	na ^a	395	na ^a
5.0 × 10 ¹	437	444	358	na	404	na
7.5 × 10 ¹	429	459	397	na	422	na
1.0 × 10 ²	429	477	433	na	443	na
1.3 × 10 ²	432	495	467	na	465	na
1.5 × 10 ²	438	514	501	na	489	na
1.8 × 10 ²	445	535	542	na	517	na

^a データなし。

30 条

放射線からの放射線業務従事者の防護

<目 次>

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

- (1) 位置, 構造及び設備
- (2) 安全設計方針
- (3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

2. 放射線からの放射線業務従事者の防護

(別添資料)

放射線からの放射線業務従事者の防護について
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置, 構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(i) 本発電用原子炉施設は、「(1)耐震構造」、「(2)耐津波構造」に加え、以下の基本的方針のもとに安全設計を行う。

a. 設計基準対象施設

(y) 放射線からの放射線業務従事者の防護

設計基準対象施設は、外部放射線による放射線障害を防止する必要がある場合には、放射線業務従事者が業務に従事する場所における放射線量を低減でき、放射線業務従事者が運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、迅速な対応をするために必要な操作ができる設計とする。

発電用原子炉施設には、放射線から放射線業務従事者を防護するため放射線管理施設を設け、放射線管理に必要な情報を中央制御室及びその他当該情報を伝達する必要がある場所に表示できる設備（安全施設に係るものに限る。）を設ける設計とする。

(2) 安全設計方針

1.1 安全設計の方針

1.1.1 安全設計の基本方針

1.1.1.1 放射線被ばく

平常運転時、発電所周辺の一般公衆および放射線業務従事者等に対し、「原子炉等規制法」に基づき定められている線量限度を超える放射線被ばくを与えないように設計する。さらに、設計にあたっては発電所周辺の一般公衆に対し、「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」に定められている線量目標値を超える放射線被ばくを与えないように努める。

(3) 適合性説明

(放射線からの放射線業務従事者の防護)

第三十条 設計基準対象施設は、外部放射線による放射線障害を防止する必要がある場合には、次に掲げるものでなければならない。

一 放射線業務従事者（実用炉規則第二条第二項第七号に規定する放射線業務従事者をいう。以下同じ。）が業務に従事する場所における放射線量を低減できるものとする。

2 工場等には、放射線から放射線業務従事者を防護するため、放射線管理施設を設けなければならない。

3 放射線管理施設には、放射線管理に必要な情報を原子炉制御室その他当該情報を伝達する必要がある場所に表示できる設備（安全施設に属するものに限る。）を設けなければならない。

1 について

一 設計基準対象施設である使用済燃料乾式貯蔵施設は、放射線業務従事者の受ける放射線量を低減できるよう、遮蔽、使用済燃料乾式貯蔵容器の配置等放射線防護上の措置を講じた設計とする。

2 について

使用済燃料乾式貯蔵施設は、放射線管理区域を設定し、使用済燃料乾式貯蔵施設への放射線業務従事者等の出入管理には、既設の出入管理設備を使用する設計とする。また、放射線業務従事者等の個人被ばく管理のため、個人管理関係設備（蛍光ガラス線量計、警報付ポケット線量計等）を設ける。

3 について

使用済燃料乾式貯蔵施設は、放射線管理区域を設定し、放射線業務従事者が立ち入る場所については、定期的及び必要の都度、サーベイメータによる外部放射線に係る線量当量率の測定を行うとともに、作業場所の入口付近等に線量当量率を表示する。

1.2 気象等

該当なし

1.3 設備等

8.1 放射線管理設備

8.1.1 通常運転時等

8.1.1.1 概要

放射線管理設備は、発電所周辺の一般公衆、従事者等の安全管理を確実にを行うためのもので、放射線管理関係設備、放射線監視設備及び放射線防護設備からなる。

8.1.1.2 設計方針

通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、敷地周辺の一般公衆、従事者等の放射線被ばくを实用可能な限り低くすることとし、次の設計方針に基づき、放射線管理設備を設ける。

(1) 従事者等の出入管理、個人被ばく管理及び汚染管理ができる設計とする。

また、物品の搬出に対しても線量率管理及び汚染管理ができる設計とする。

(2) 通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、放射性物質の放出、発電所内外の外部放射線量率、放射性物質の濃度等を測定及び監視できる設計とする。

(3) 万一の事故に備えて、必要な放射線計測器及び防護作業器材を備える。

(4) 中央制御室及び緊急時対策所（EL. 32m）に必要な情報の通報が可能である設計とする。

(5) 放射線監視設備は、測定対象核種、測定下限濃度、測定頻度、試料採取方法等を適切に定め管理すること等で、通常運転時、発電所外へ放出される放射性物質の放射エネルギーを監視できる設計とする。

なお、放射線監視設備は、「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」に適合する設計とする。

(6) 設計基準事故時に監視が必要な放射線監視設備は、「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」に適合する設計とする。

(7) モニタリングステーション及びモニタリングポストは、非常用所内電源に接続し、電源復旧までの期間、電源を供給できる設計とする。さらに、モニタリングステーション及びモニタリングポストは、専用の無停電電源装置を有し、電源切替時の短時間の停電時に電源を供給できる設計とする。また、モニタリングステーション及びモニタリングポストから中央制御室及び緊急時対策所（EL. 32m）までのデータの伝送系は、有線及び無線により多様性を有し、指示値は中央制御室及び緊急時対策所（EL. 32m）で監視できる設計とする。モニタリングステーション及びモニタリングポストは、その測定値が設定値以上に上昇した場合、直ちに中央制御室に警報を発信する設計とする。

(8) 放射性気体廃棄物の放出管理及び発電所周辺の被ばく線量評価並びに一般気象データ収集のため、発電所敷地内で気象観測設備により風向、風速その他の気象条件を測定及び記録できる設計とする。

8.1.1.4 主要設備

(1) 放射線管理関係設備

出入管理，個人被ばく管理，汚染管理，化学分析，放射性物質の濃度の測定等のために，次の設備を設ける。

a. 出入管理設備

原子炉建屋，原子炉補助建屋等の管理区域への人の入退域を管理するために出入管理設備を設ける。この設備には，チェッカールーム，放射線管理室等がある。

焼却炉建家内及び雑固体処理建屋内管理区域への立入りは，専用の出入管理室（1号，2号及び3号炉共用）を通る設計とし，ここで出入管理を行う。

b. 個人管理関係設備（1号，2号及び3号炉共用）

放射線業務従事者等の外部被ばくによる線量管理のために，蛍光ガラス線量計及び警報付ポケット線量計等を備える。また，内部被ばくによる線量管理のため，体内の放射能を測定するホールボディカウンタを設ける。

c. 汚染管理設備

人の退出及び物品の搬出に伴う汚染の管理を行うために，汚染管理設備を設ける。この設備には更衣室，シャワー室，手洗い場，モニタリングエリア，汚染衣類の洗たく室，機器除染室及び退出モニタ等の機器がある。

また，焼却炉建家内管理区域の汚染管理設備（1号，2号及び3号炉共用）には，雑固体処理建屋と共用の更衣室，シャワー室及び退出モニタを備える。

ただし，燃料及び大型機器の搬出に際しては，原子炉建屋，原子炉補助建屋等の機器搬入口に臨時のモニタリングエリアを設けて汚染管理に必要な各種サーベイメータ等を備える。

d. 試料分析関係設備

1次冷却設備，放射性廃棄物廃棄施設等からの試料及び環境試料の一般化学分析，放射化学分析，放射能測定等を行うために，次のようなものを設ける。

(a) 原子炉系試料採取室

各種系統からの試料を採取するために，原子炉系試料採取室を設ける。

(b) 放射化学室

管理区域内の液体及び気体試料の分析を行うために，放射化学室を設ける。

また，この室には放射能測定器を校正するための非密封放射性同位元素の貯蔵庫を備える。

(c) 一般化学室

管理区域外の液体及び気体試料の分析を行うために、一般化学室を設ける。

(d) 放射能測定室

各種系統及び作業環境試料中の放射性物質の濃度を測定するために、放射能測定室を設ける。

また、焼却炉建家内には、雑固体処理建屋と共用の放射能測定室（1号、2号及び3号炉共用）を設け、放射性試料の放射能を測定する。

(e) 環境放射能測定室（1，2，3号炉共用，既設）

海水，海底土，海洋生物，陸土，陸上生物等の環境試料中の放射性物質の濃度を測定するために、環境放射能測定室を設けている。

(f) 校正線源室

サーベイメータ等の放射線量（率）計の校正，校正用密封線源の保管，放射線測定器の点検等を行うために，校正線源室を設ける。

(2) 放射線監視設備

放射線監視設備は，プロセスモニタリング設備，エリアモニタリング設備，周辺モニタリング設備及び放射線サーベイ設備から構成する。

また，事故時に必要な放射線監視設備は，非常用電源に接続するとともに，事故時の圧力，温度等の環境条件によってその機能を損なうことのないように設計する。更に，格納容器エリアモニタについては，多重性を有するとともにその系を構成するチャンネル間の独立性を有する設計とする。

b. エリアモニタリング設備

中央制御室及び管理区域内の主要箇所的外部放射線に係る線量当量率を連続的に測定するために，エリアモニタを設ける。

この設備は，中央制御室で指示又は記録を行い，放射線レベルが設定値以上になると，現場及び中央制御室に警報を発する。焼却炉建家内のエリアモニタは，焼却炉建家内制御室で指示又は記録を行い，放射線レベルが設定値以上になると，現場及び中央制御室に警報を発する。

エリアモニタを設ける区域は，次のとおりである。

(a) 中央制御室

(b) 放射化学室

(c) 充てんポンプ室

(d) 燃料取扱棟内（使用済燃料ピット付近）

(e) 原子炉系試料採取室

(f) 原子炉格納容器内（エアロック付近）

(g) 原子炉格納容器内（炉内核計装付近）

また、よう素用フィルタには、温度感知設備を設ける。

- (5) 中央制御室換気空調設備は、事故時には外気との連絡口を遮断し、よう素用フィルタを通る閉回路循環方式とし、運転員等を放射線被ばくから防護するように設計する。
- (6) 重要度が特に高い安全機能を有する換気空調設備においては、単一故障を仮定しても、その安全機能を失うことのないよう原則として多重性を備える設計とする。また、中央制御室換気空調設備のうち単一設計とする中央制御室非常用給気系統のフィルタユニット及びダクトの一部については、劣化モードに対する適切な保守、管理を実施し、故障の発生を低く抑えるとともに、想定される故障の除去又は修復のためのアクセスが可能であり、かつ、補修作業が容易となる設計とする。
- (7) 火災の延焼防止が必要な換気ダクトには防火ダンパを設置する。

8.2.4 主要設備

(1) 格納容器換気空調設備

格納容器換気空調設備は、格納容器空調装置、格納容器再循環装置、格納容器空気浄化装置、制御棒クラスタ駆動装置冷却装置、原子炉容器冷却装置、格納容器減圧装置等で構成する。

格納容器換気空調設備の系統構成を第 8.2.1 図に、主要設備の仕様を第 8.2.1 表に示す。

a. 格納容器空調装置

原子炉停止中、従事者等が原子炉格納容器内に立ち入る場合の換気を行うために、格納容器空調装置を設ける。

格納容器空調装置は、格納容器給気系統及び格納容器排気系統で構成する。

また、格納容器空調装置は、アニュラス部の換気にも使用する。

(a) 格納容器給気系統

原子炉格納容器内及びアニュラス部に新鮮な外気を供給するために、格納容器給気ユニット及び格納容器給気ファンを設ける。

格納容器給気ユニットには、冬季の原子炉停止時に原子炉格納容器内の平均温度を 10℃以上に保つために、給気を暖める蒸気加熱コイルを内蔵し、補助蒸気で加熱する。

空気供給ダクトの格納容器貫通部には、無漏えい型のバタフライ弁（隔離弁）を直列に 2 個設ける。原子炉運転中、この弁は全閉して原子炉格納容器内空気の外部への漏出を防ぐ。

(b) 格納容器排気系統

原子炉格納容器内及びアニュラス部の空気の排出のために、格納容器排気ファンと粒子用フィルタを内蔵した格納容器排気フィルタユニットを設ける。

排気ダクトの格納容器貫通部には、無漏えい型のバタフライ弁（隔離弁）を直列に2個設ける。原子炉運転中、この弁は全閉して原子炉格納容器内空気の外部への漏出を防ぐ。

格納容器排気ファンを出た排気は、格納容器排気筒へ導く。

b. 格納容器再循環装置

原子炉運転中、原子炉格納容器内の機器及び配管類からの放散熱を除去し、原子炉格納容器内の平均温度を50℃以下に保つための装置であり、粗フィルタ及び冷却コイルを内蔵した格納容器再循環ユニットと格納容器再循環ファンを設ける。

c. 格納容器空気浄化装置

原子炉運転中、従事者等が原子炉格納容器内に立ち入る場合、原子炉格納容器内の空気を浄化し、放射性物質を除去低減させる設備であり、粒子用フィルタ及びよう素用フィルタを内蔵した格納容器空気浄化フィルタユニットと格納容器空気浄化ファンを設ける。

d. 制御棒クラスタ駆動装置冷却装置

制御棒クラスタ駆動装置から発生する熱を除去するために、制御棒クラスタ駆動装置冷却ユニット及び制御棒クラスタ駆動装置冷却ファンを設ける。吸引した空気は粗フィルタを通し冷却コイルで冷却する。

e. 原子炉容器冷却装置

原子炉容器冷却装置は、原子炉容器からの放散熱を除去するとともに、原子炉容器支持構造物を冷却して原子炉容器の熱がコンクリート部に伝わるのを制限する。また、炉外核計装装置も冷却する。

原子炉容器冷却ファンは、格納容器再循環装置を通過した冷却空気を原子炉容器下部に給気する。

f. 格納容器減圧装置

格納容器減圧装置は、配管、弁及び排気フィルタユニットで構成し、原子炉格納容器圧力が一定圧に上昇した際に弁を開き、粒子用フィルタ及びよう素用フィルタを通して補助建屋排気筒に導くことにより、原子炉格納容器圧力を下げる。

(2) 補助建屋換気空調設備

補助建屋換気空調設備は、補助建屋空調装置、放射線管理室空調装置、廃棄物処理室空調装置等で構成する。

補助建屋換気空調設備の系統構成を第8.2.2図～第8.2.4図に、主要設備の仕様を第8.2.2表に示す。

a. 補助建屋空調装置

補助建屋空調装置は、補助建屋給気系統、補助建屋排気系統及び補助建屋非管理区域排気系統で構成する。

(a) 補助建屋給気系統

原子炉補助建屋内、原子炉周辺補機棟内等に外気を供給するため

に、補助建屋給気ユニット及び補助建屋給気ファンを設ける。

補助建屋給気ユニットは、冬季に原子炉補助建屋内、原子炉周辺補機棟内等の平均温度を 10℃以上に保つために、給気を暖める蒸気加熱コイルを内蔵し、補助蒸気で加熱する。

(b) 補助建屋排気系統

非管理区域を除く一般補機室、安全補機室等からの排気を集合して、補助建屋排気筒へ導くため補助建屋排気ファンを設ける。排気系統には粒子用フィルタを内蔵した補助建屋排気フィルタユニットを設け、排気中の微粒子を除去する。

安全補機室の排気系統は、事故時に安全補機室空気浄化設備に自動的に切り替える。

また、燃料取扱棟の排気系統は、燃料取扱事故時にアニュラス空気再循環設備に自動的に切り替える。

(c) 補助建屋非管理区域排気系統

非管理区域からの排気を大気へ排出するために非管理区域排気ファンを設ける。

b. 放射線管理室空調装置

放射線管理室空調装置は、放射線管理室給気系統及び放射線管理室排気系統で構成する。

(a) 放射線管理室給気系統

放射線管理室、原子炉系試料採取室等の換気及び冷暖房のために、冷却コイル及び蒸気加熱コイルを内蔵した放射線管理室給気ユニットと放射線管理室給気ファンを設ける。

(b) 放射線管理室排気系統

放射線管理室、原子炉系試料採取室等からの排気中の微粒子又は放射性物質を除去低減するために、粒子用フィルタを内蔵した放射線管理室排気フィルタユニットA並びに粒子用フィルタ及びよう素用フィルタを内蔵した放射線管理室排気フィルタユニットBと放射線管理室排気ファンを設ける。

また、復水器真空ポンプの排気は、放射能レベルが設定値に達した場合、放射線管理室排気系統に導く。

c. 廃棄物処理室空調装置

廃棄物処理室空調装置は、廃棄物処理室給気系統及び廃棄物処理室排気系統で構成する。

(a) 廃棄物処理室給気系統

廃棄物処理室内の換気及び暖房のために、廃棄物処理室給気ユニット及び廃棄物処理室給気ファンを設ける。

(b) 廃棄物処理室排気系統

廃棄物処理室内の排気を集合して、廃棄物処理室排気ファンによ

り、補助建屋排気筒から排出する。排気系統には、粒子用フィルタを内蔵した廃棄物処理室排気フィルタユニットを設け、排気中の微粒子を除去する。

d. 空調用冷水設備

中央制御室空調ユニット，放射線管理室給気ユニット等の冷却コイルに冷水を供給するために空調用冷凍機，空調用冷水ポンプ等を設ける。

(3) 中央制御室換気空調設備

a. 通常運転時等

中央制御室等の換気及び冷暖房は，冷却コイルを内蔵した中央制御室空調ユニット，中央制御室空調ファン，中央制御室再循環ファン，中央制御室非常用給気フィルタユニット，中央制御室非常用給気ファン等から構成する中央制御室換気空調設備により行う。

中央制御室換気空調設備には，通常のラインの他，粒子用フィルタ及びよう素用フィルタを内蔵した中央制御室非常用給気フィルタユニット並びに中央制御室非常用給気ファンからなる非常用ラインを設け，事故時には外部との連絡口を遮断し，中央制御室非常用給気フィルタユニットを通る閉回路循環方式とし，運転員を過度の放射線被ばくから防護する設計とする。外部との遮断が長期にわたり，室内の雰囲気が悪くなった場合には，外気を中央制御室非常用給気フィルタユニットで浄化しながら取り入れることも可能な設計とする。

中央制御室外の火災等により発生する燃焼ガスやばい煙，有毒ガス及び降下火災物に対し，中央制御室換気空調設備の外気取入れを手動で遮断し，閉回路循環方式に切り換えることが可能な設計とする。

中央制御室換気空調設備の設備仕様の概略を第 8.2.3 表に示す。

(4) 排気筒

排気筒は，格納容器排気筒と補助建屋排気筒に区分し，外周コンクリート壁に沿わせて設け，格納容器排気筒には格納容器排気系統，アニュラス空気再循環設備及び安全補機室空気浄化設備からの排気を，また，補助建屋排気筒には補助建屋排気系統，放射線管理室排気系統，廃棄物処理室排気系統及び格納容器減圧装置からの排気を導き，地上高さ約 73 m の排気口から大気に排出する。

排気中の放射能レベルは，格納容器排気筒モニタ及び補助建屋排気筒モニタで連続監視する。

格納容器排気筒及び補助建屋排気筒の設備仕様を第 8.2.5 表に示す。

(5) 焼却炉建家換気空調設備（1号，2号及び3号炉共用）

焼却炉建家換気空調設備は，給気系統及び排気系統で構成する。焼却炉建家換気空調設備の系統構成を第 8.2.6 図に，主要設備の仕様を第 8.2.6 表に示す。

a. 焼却炉建家給気系統

焼却炉建家に外気を供給するために、焼却炉建家給気ファン及び焼却炉建家給気フィルタユニットを設ける。

焼却炉建家給気フィルタユニットは、ラフフィルタを備え、取り入れた空気のろ過を行う。

b. 焼却炉建家排気系統

焼却炉建家の排気は、ラフフィルタ及び粒子用フィルタからなる焼却炉建家排気フィルタユニットを経て、焼却炉建家排気ファンにより建家上部の排気口から排出する。

(6) 雑固体処理建屋換気空調設備（1号、2号及び3号炉共用）

雑固体処理建屋換気空調設備は、給気系統及び排気系統で構成する。雑固体処理建屋換気空調設備の系統構成を第8.2.6図に、主要設備の仕様を第8.2.7表に示す。

a. 雑固体処理建屋給気系統

雑固体処理建屋に外気を供給するために、雑固体処理建屋給気ファン及び雑固体処理建屋給気フィルタユニットを設ける。

雑固体処理建屋給気フィルタユニットは、ラフフィルタを備え、取り入れた空気のろ過を行う。

b. 雑固体処理建屋排気系統

雑固体処理建屋の排気は、ラフフィルタ及び粒子用フィルタからなる雑固体処理建屋排気フィルタユニットを経て、雑固体処理建屋排気ファンにより、焼却炉建家排気口から排出する。

8.3 遮蔽設備

8.3.1 概要

遮蔽設備は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時において、発電所周辺の一般公衆、従事者等の被ばく線量を低減するもので、次のものから構成される。

- (1) 原子炉1次遮へい
- (2) 原子炉2次遮へい
- (3) 外部遮へい
- (4) 補助遮へい
- (5) 燃料取扱遮へい
- (6) 中央制御室遮へい
- (7) 一時的遮へい
- (8) 緊急時対策所遮へい

8.3.2 設計方針

- (1) 発電所周辺の一般公衆が受ける被ばく線量については、「核原料物

質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」（以下「線量限度等を定める告示」という。）に定められた周辺監視区域外の値より十分小さくなるようにするとともに、通常運転時における直接線量及びスカイシャイン線量については、人の居住の可能性のある敷地境界外において年間50マイクログレイを超えないような遮蔽設計とする。

- (2) 燃料取替え時、補修時等を含む通常運転時において、**従事者等が受ける被ばく線量が、「線量限度等を定める告示」に定められた限度を超えないようにするのはもちろん、不必要な放射線被ばくを防止するような遮蔽設計とする。**

遮蔽設計に関しては、関係各場所への立入頻度、滞在時間等を考慮した上で、従事者等の放射線被ばく線量が十分安全に管理できるように、放射線量率が下記の遮蔽設計基準（1）を満足するように設計する。

遮蔽設計基準（1）

区分		外部放射線に係る 設計基準線量率	代表箇所
管理区域外	第Ⅰ区分	≤ 0.00625 mSv/h	
管理区域内*1	第Ⅱ区分	≤ 0.01 mSv/h	一般通路等
	第Ⅲ区分	≤ 0.15 mSv/h	操作用通路等
	第Ⅳ区分	> 0.15 mSv/h	機器室等

*1 「線量限度等を定める告示」に基づき、1.3mSv/3月を超えるか又は超えるおそれのある区域を管理区域に設定する。

機器の配置に当たっては、高放射性物質を内蔵する機器は原則として独立した区画内に配置し、操作又は監視頻度の高い制御盤等は管理区域内の低放射線区域又は管理区域外に配置する。

なお、雑固体処理建屋及び**使用済燃料乾式貯蔵建屋**については、下記の遮蔽設計基準（2）を満足するように設計する。

遮蔽設計基準（2）

区分		外部放射線に係る 設計基準線量率	代表箇所
管理区域外	第Ⅰ区分	≤ 1.3 mSv/3月	
管理区域内	第Ⅱ区分	≤ 0.01 mSv/h	一般通路等
	第Ⅲ区分	≤ 0.15 mSv/h	操作用通路等
	第Ⅳ区分	> 0.15 mSv/h	機器室等

これら区分概略を、第8.3.1図～第8.3.10図に示す。

(3) 発電所周辺の一般公衆の受ける被ばく線量が、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」及び「原子炉立地審査指針」を十分満足する遮蔽設計とする。

また、事故時に中央制御室内の従事者等に対し、過度の放射線被ばくがないように考慮し、運転員が中央制御室内にとどまり事故対策に必要な各種の操作を行うことができるような遮蔽設計とする。

8.3.4 主要設備

8.3.4.1 原子炉1次遮へい

原子炉1次遮へいは、原子炉容器を直接取り囲む厚さ約2.8mの鉄筋コンクリート造の構造物で、通常運転時の原子炉からの放射線を減衰させる。

原子炉1次遮へいは、原子炉容器からの熱伝達及びコンクリート内部で吸収される放射線による過熱脱水を防止するため、原子炉容器冷却ファンにより空気で冷却する。

8.3.4.2 2次遮へい

2次遮へいは、原子炉格納容器内の1次冷却系機器配管を取り囲む構造物で、内部コンクリート及び原子炉格納容器で構成する。

1次冷却系機器配管を取り囲む構造物のうち、主要なものは厚さ約1.1mの鉄筋コンクリート造の蒸気発生器側壁と円筒部厚さ約45mm、ドーム部厚さ約23mmの原子炉格納容器鋼板である。

2次遮へいは、1次遮へいと外部遮へいとの組合せにより、通常運転時に原子炉格納施設外側での外部放射線に係る線量当量率を第I区分に減衰させる。

8.3.4.3 外部遮へい

外部遮へいは、円筒部厚さ約1.4m～約1.1m、ドーム部厚さ約1.0～約0.3mの鉄筋コンクリート造で、原子炉1次遮へいと原子炉2次遮へいとの組合せにより、通常運転時に原子炉格納施設外側での放射線量率を第I区分に減衰させる。

また、外部遮へい及び原子炉格納容器鋼板は、その組合せにより、発電所周辺の一般公衆が受ける被ばく線量が、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」及び「原子炉立地審査指針」を十分満足する厚さである。

8.3.4.4 補助遮へい

補助遮へいは、原子炉建屋及び原子炉補助建屋内の放射性廃棄物廃棄施設、化学体積制御設備、試料採取設備等の放射性物質を内蔵する機器

及び配管，並びに使用済燃料乾式貯蔵建屋内の使用済燃料乾式貯蔵容器を取り囲む構造物である。

補助遮へいは，建屋内の通路の線量当量率を第Ⅱ区分に減衰させるとともに，原則として隣接した機器室からの線量当量率を第Ⅲ区分に減衰させ，隣接設備の停止あるいは除染を行わずに，各機器室における補修を可能にする。

ただし，バルブエリアにおいては，隣接した機器室からの線量当量率が1mSv/h以下になるように遮へいする。

8.3.4.5 燃料取扱遮へい

燃料取扱遮へいは，燃料取替え時に原子炉キャビティ，チャンネル及び使用済燃料ピットに張る水等からなり，燃料取替え時，燃料移送時，使用済燃料貯蔵時及びウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料貯蔵時に放射線業務従事者等が安全に作業できるようにする。

燃料取替え時の原子炉キャビティに張る水は，ほう酸水で，燃料集合体の頂部までの水深は約11m，また，使用済燃料ピットに張る水もほう酸水で，燃料集合体の頂部までの水深は約8mである。

さらに，原子炉キャビティ，チャンネル及び使用済燃料ピットにおいて燃料集合体を取り扱う場合でも，燃料集合体の頂部までの水深を3m以上確保する。

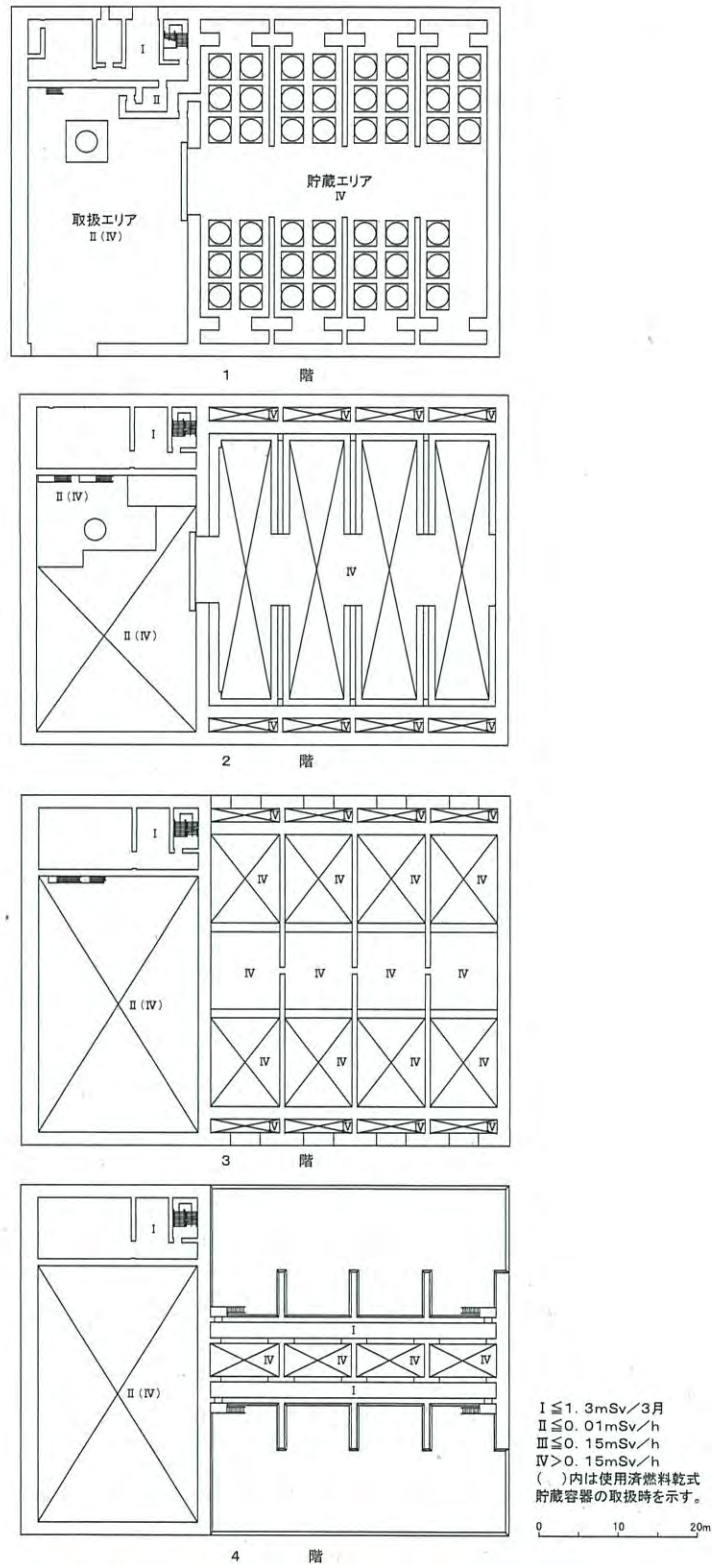
8.3.4.6 中央制御室遮へい

(1) 通常運転時等

中央制御室遮へいは，原子炉補助建屋内に設置し，原子炉冷却材喪失等の設計基準事故時に，中央制御室内にとどまり必要な操作，措置を行う運転員が過度の被ばくを受けないよう施設する。また，運転員の勤務形態を考慮し，事故後30日間において，運転員が中央制御室に入り，とどまっても，中央制御室遮へいを透過する放射線による線量，中央制御室に侵入した外気による線量及び入退域時の線量が，中央制御室換気空調設備等の機能とあいまって，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に示される100mSvを下回る遮蔽とする。

8.3.4.7 一時的遮へい

一時的遮へいは，放射性物質を内蔵する機器及び設備の補修時あるいは事故時の保守等のために一時的に使用するもので，コンクリートブロック，鉛，鉄板等でできた可搬式遮へい構造物であり，必要に応じて設置する。



第8.3.10図 使用済燃料乾式貯蔵建屋遮蔽設計区分図

2. 放射線からの放射線業務従事者の防護

(別添資料)

放射線からの放射線業務従事者の防護について

(使用済燃料乾式貯蔵施設)

別添

放射線からの放射線業務従事者の防護について
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

目 次

1. 放射線防護上の措置

2. 放射線管理施設

添付 1 : 放射線からの放射線業務従事者の防護について (使用済燃料乾式貯蔵施設)
補足説明資料

1. 放射線防護上の措置

1.1 遮蔽

使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮蔽設計については、関係区域への立入りの頻度、滞在時間等を考慮して管理区域を3区分に分け、各区分毎に設計基準線量率を設けてこれらの基準に適合するよう維持管理する。具体的な基準は第1-1表に示すとおりである。また、この設計区分に基づく管理区域内の概略を第1-1図に示す。

第1-1表 遮蔽設計基準

区分		外部放射線に係る 設計基準線量率	代表箇所
管理区域外	第I区分	$\leq 1.3 \text{ mSv/3月}$	
管理区域内	第II区分	$\leq 0.01 \text{ mSv/h}$	取扱エリア※
	第III区分	$\leq 0.15 \text{ mSv/h}$	
	第IV区分	$> 0.15 \text{ mSv/h}$	貯蔵エリア 取扱エリア※

※通常時は線源がないため区分II，使用済燃料乾式貯蔵容器取扱時は区分IVとする。

貯蔵エリアは使用済燃料乾式貯蔵容器を貯蔵することで線量率が上昇する可能性があるが、当該エリアに隣接している取扱エリアは、立ち入り頻度等を考慮して第II区分とするため、遮蔽壁（100cm以上で計画）および遮蔽扉（80cm以上で計画）を設け、第II区分の設計基準線量率である0.01mSv/h以下を満足させることで設計する。

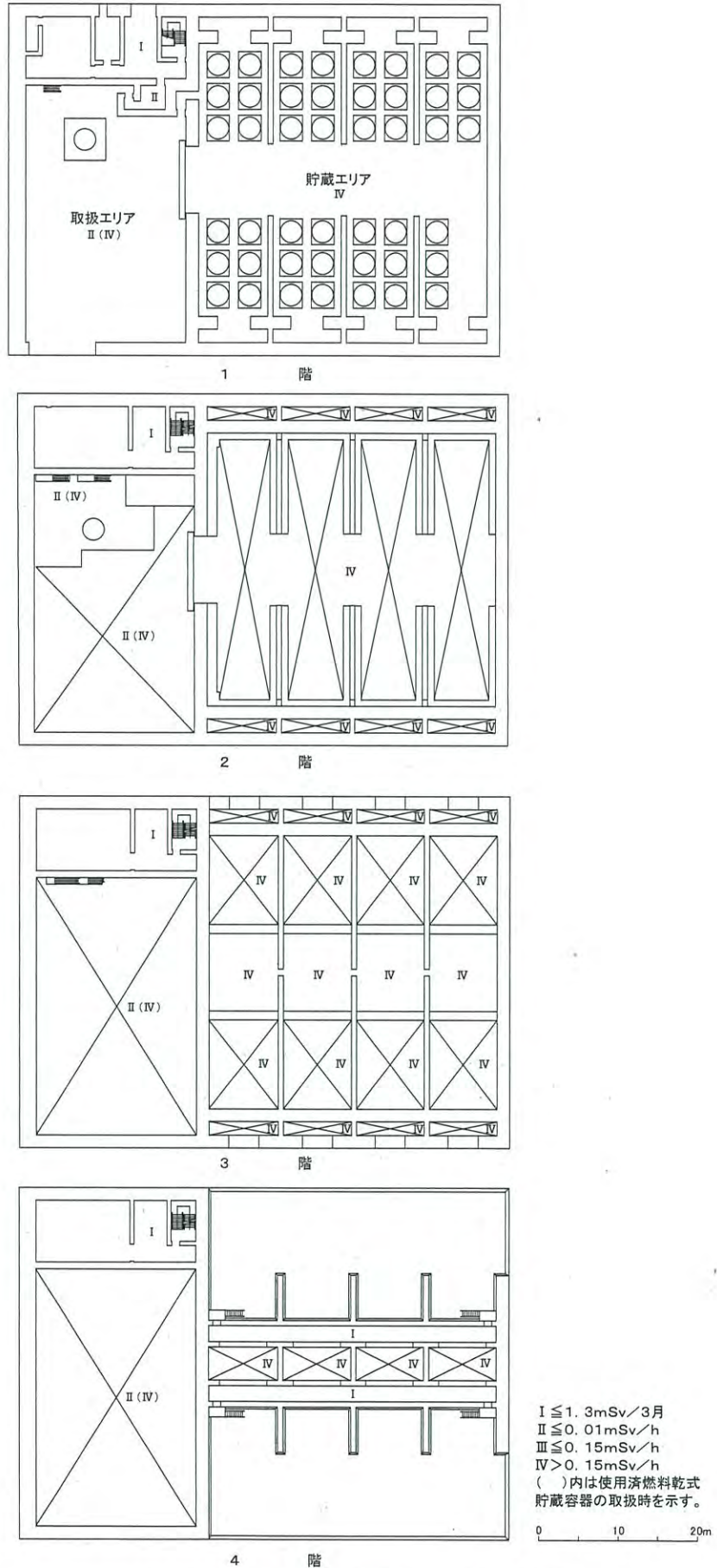
1.2 使用済燃料乾式貯蔵容器等の配置

線源からの離隔のため、取扱エリアと貯蔵エリアを設け、使用済燃料乾式貯蔵容器は全て貯蔵エリアに貯蔵する設計とする。また、制御盤等は管理区域外に配置する設計とする。

1.3 その他

作業の開始前後、また作業環境が著しく変動するおそれがある場合は、放射線管理員が作業に立ち会い、作業場所の線量当量率等の作業環境を把握するとともに、被ばく低減のための作業方法等を指導する。

なお、使用済燃料乾式貯蔵建屋は汚染のおそれのない管理区域であり、また液体状の廃棄物を持ち込むことはなく、日常的に発生する排水（液体廃棄物）はない。



第1-1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋遮蔽設計区分図

2. 放射線管理施設

2.1 出入管理

放射線業務従事者、一時立入者の出入管理には、既設の出入管理設備を使用する設計とする。

2.2 線量管理

放射線業務従事者、一時立入者の個人被ばく管理のため、蛍光ガラス線量計、警報付ポケット線量計等を備える。

2.3 線量当量率の測定・表示

放射線業務従事者が立ち入る場所については、定期的及び必要の都度、サーベイメータによる外部放射線に係る線量当量率の測定を行い、出入口付近にそれら必要な情報を表示する。

(1) 定期的測定

管理区域内は、人の立ち入り頻度等を考慮して、被ばく管理上重要な項目について測定することが保安規定において定められている。使用済燃料乾式貯蔵建屋では、1週間に1回、外部放射線に係る線量当量を測定する。

また、労働安全衛生法に基づき、作業環境測定のため、一ヶ月に1回、外部放射線に係る線量当量率を測定する。

エリアモニタについては、以下の理由から設置しない。

- ・使用済燃料乾式貯蔵容器は、線量当量率をあらかじめ測定しており、変動は前もって把握できること
- ・制御室等のように常時作業する場所はないこと

(2) 必要の都度測定

貯蔵エリア、取扱エリアにおいては、使用済燃料乾式貯蔵容器取扱作業等の開始前後及び作業環境が著しく変動するおそれがある場合、線量当量率を測定する。

(添付1)

放射線からの放射線業務従事者の防護について
(使用済燃料乾式貯蔵施設)
補足説明資料

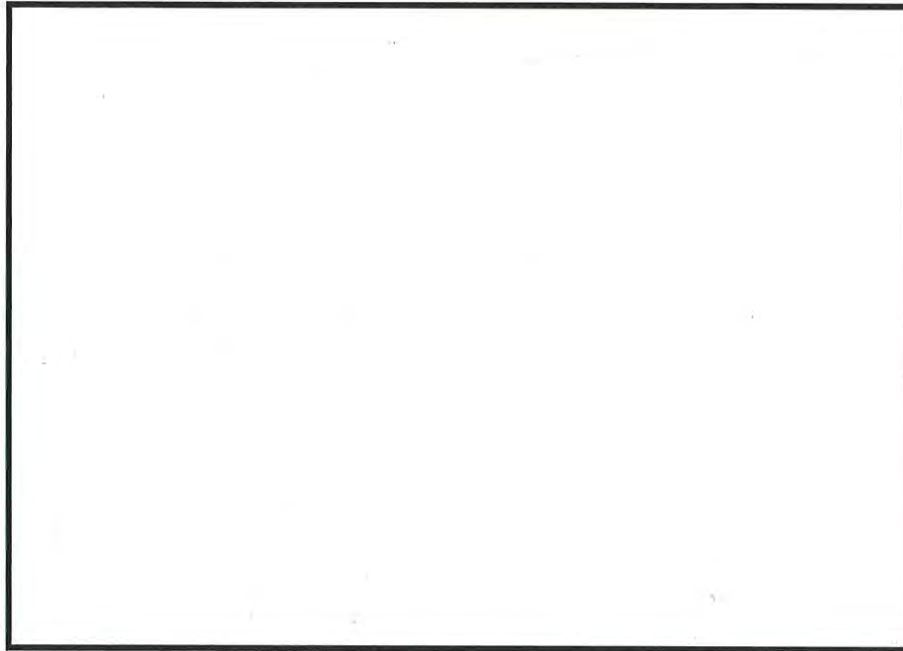
目 次

1. 遮蔽設計について
2. 開口部に関する遮蔽設計について
3. 管理区域の設定について

1. 遮蔽設計について

1.1 遮蔽設計

遮蔽設計区分は、第1-1図に示すとおり、キャスク貯蔵時には貯蔵エリアが第IV区分、取扱エリアが第II区分とする。



第1-1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋遮蔽設計区分図

1.2 評価条件

1.2.1 遮蔽厚^{※1}

(1) 貯蔵エリア～取扱エリア間の遮蔽厚 :

(2) 遮蔽扉の遮蔽厚 :

※1 : 遮蔽計算に用いる遮蔽厚は、公称値からマイナス側許容誤差 (5 mm) を引いた値とする。

1.2.2 評価点

評価点は、の遮蔽壁表面 (評価点 A) および の遮蔽扉表面 (評価点 B) とする。(第1-1図参照)

1.2.3 線源

使用済燃料乾式貯蔵容器の線源は、第1-1表のとおりとする。使用済燃料貯蔵容器の線源強度は、遮蔽設計区分境界における線量が保守的な評価結果となるように、コンクリートの透過率を考慮してエネルギースペクトルを保守側に設定するとともに、容器表面から1 mの位置における線量率が $100 \mu\text{Sv/h}$ となるように規格化している。また、使用済燃料貯蔵容器からの放射線の線質を

全て中性子または全てガンマ線とした条件においてそれぞれ線量評価し、保守的な評価結果を求める。

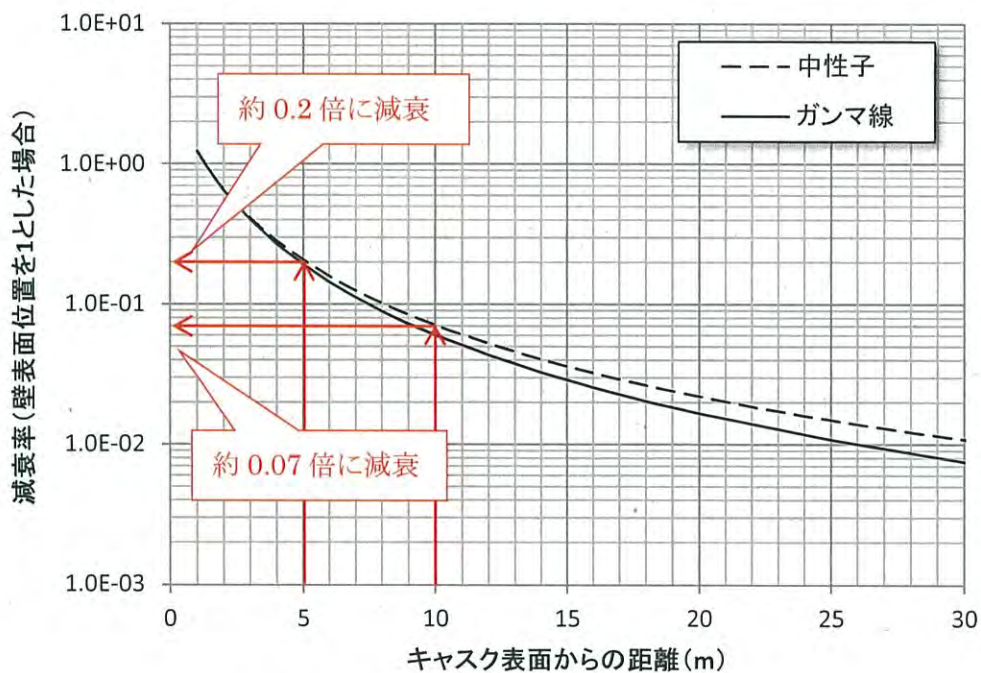
第1-1表 線源条件

線源	基数	線源強度	スペクトル
使用済燃料 乾式容器	A : 48 基 B : 4 基 (注2)	容器表面 1 m の 線量率が $100 \mu\text{Sv/h}$ となるように規格化	包絡スペクトル (注1)

(注1) 「使用済燃料中間貯蔵施設の直接・スカイシャイン線量の評価手法について〔金属キャスク方式〕(平成12年3月)」

(注2) 評価点Bは、貯蔵エリアのキャスクのうち、遮蔽扉近傍の4基分を考慮する(第1-1図参照)。キャスク表面からの距離を考慮すると、線量の減衰率は5mで約0.2倍、10mで約0.07倍となる(第1-2図参照)。

貯蔵エリアのキャスクの配置(第1-1図参照)から、5mの減衰率が見込めるキャスクが2基、残り46基を10mの減衰率とした場合も、合計で4基以下($2 \text{基} \times 0.2 + 46 \text{基} \times 0.07 = 3.62$)となり、4基分の評価で妥当である。



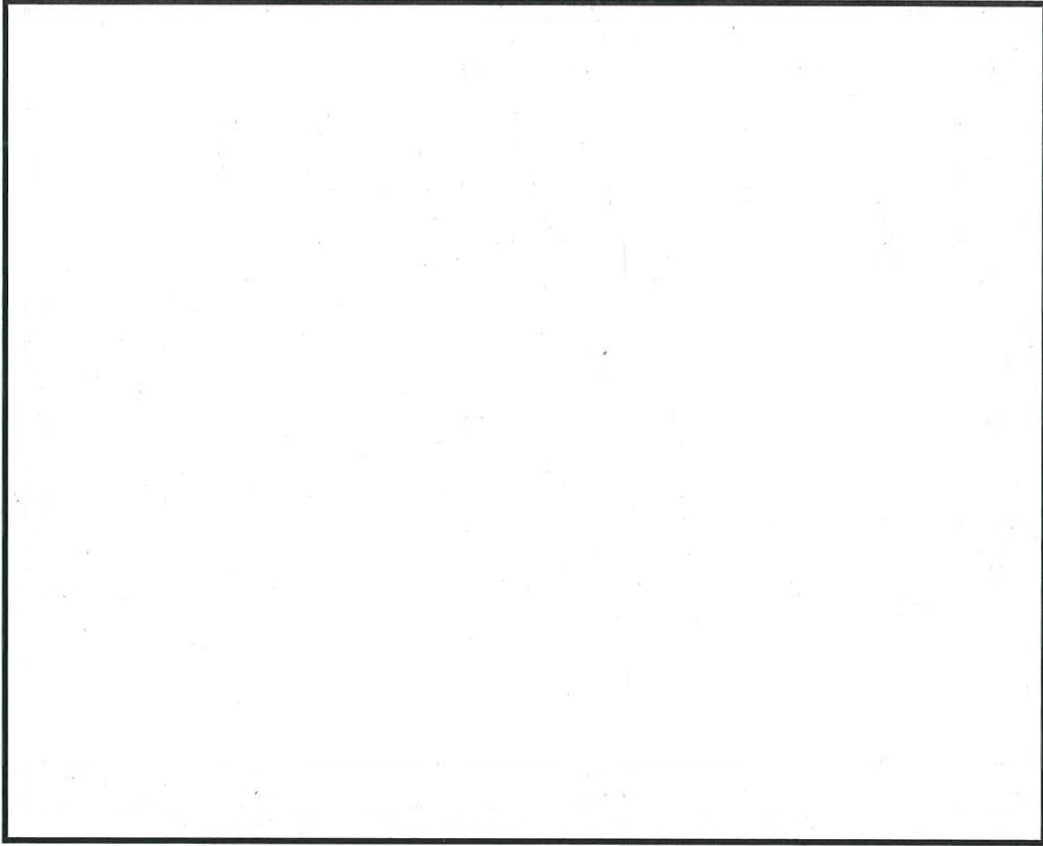
第1-2図 キャスク表面からの減衰率

1.2.4 評価モデル

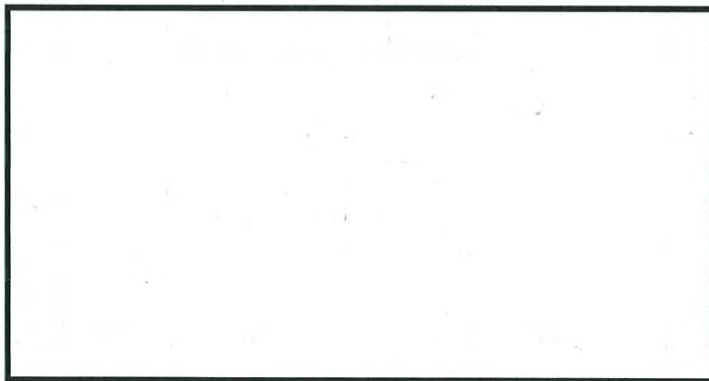
ガンマ線と中性子線の両方について線量評価を行い、最終的な評価値としては、両者のうちより保守的な線量評価を採用する。

遮蔽設計区分境界におけるガンマ線評価では、使用済燃料乾式貯蔵容器を円筒形の線源で模擬して評価する。評価点 A における線量評価では、遮蔽厚を [] また 48 基のキャスクを考慮する。評価点 B における線量評価では、遮蔽厚を [] , またキャスク 1 基の線量率を算出し、結果を 4 倍することで、評価点 B において寄与を考慮すべきキャスク 4 基分の線量率を計算する。(第 1-3 図及び第 1-4 図参照)

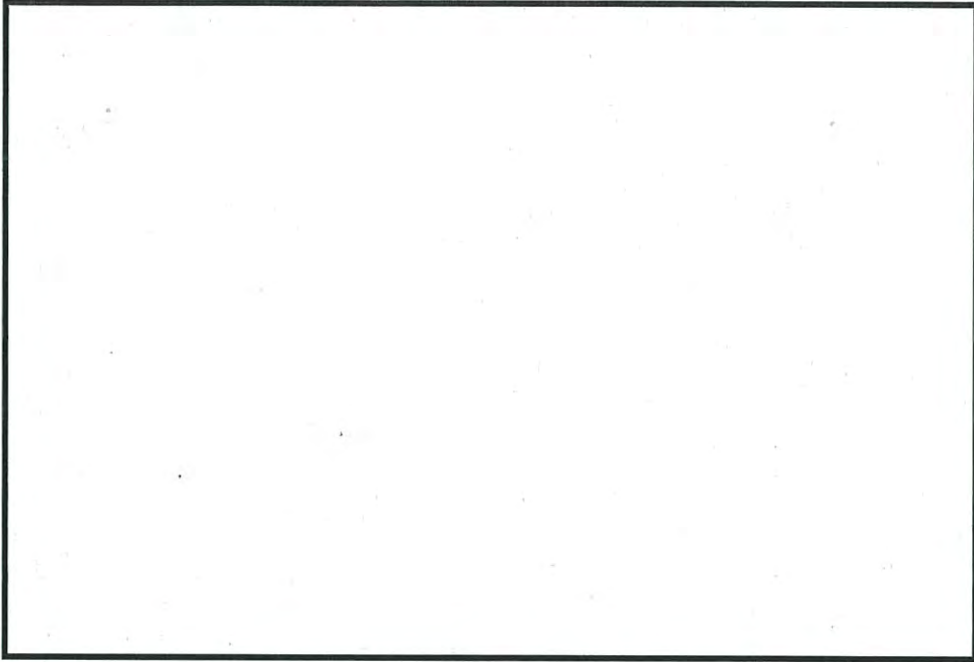
中性子線評価では、使用済燃料乾式貯蔵容器を球形の線源で模擬して評価する。キャスク 1 基の線量率を算出し、評価点 A における線量評価では 48 倍、評価点 B における線量評価では 4 倍し、それぞれ 48 基及び 4 基分の線量率を計算する。(第 1-5 図及び第 1-6 図参照)



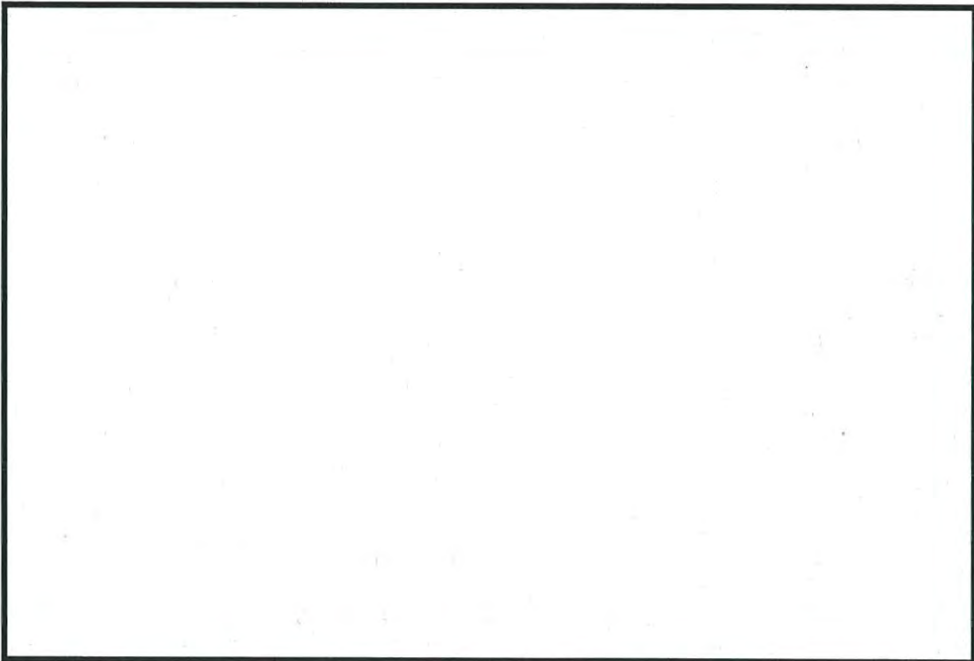
第1-3図 評価点Aにおけるガンマ線評価モデル



第1-4図 評価点Bにおけるガンマ線評価モデル



第 1 - 5 図 評価点 A における中性子線評価モデル



第 1 - 6 図 評価点 B における中性子線評価モデル

1.3 評価結果

評価点 A および評価点 B での実効線量率の評価結果を第 1 - 2 表に示す。評価の結果、第 II 区分の設計基準線量率である 0.01mSv/h を十分満たしている。

第 1 - 2 表 評価結果

評価点	壁外線量率 (μ Sv/h)		基準値
	全てガンマ線 とした場合	全て中性子線 とした場合	
評価点 A	0.044	0.17	≤ 0.01 mSv/h
評価点 B	3.3	2.4	(10 μ Sv/h)

2. 開口部に関する遮蔽設計について

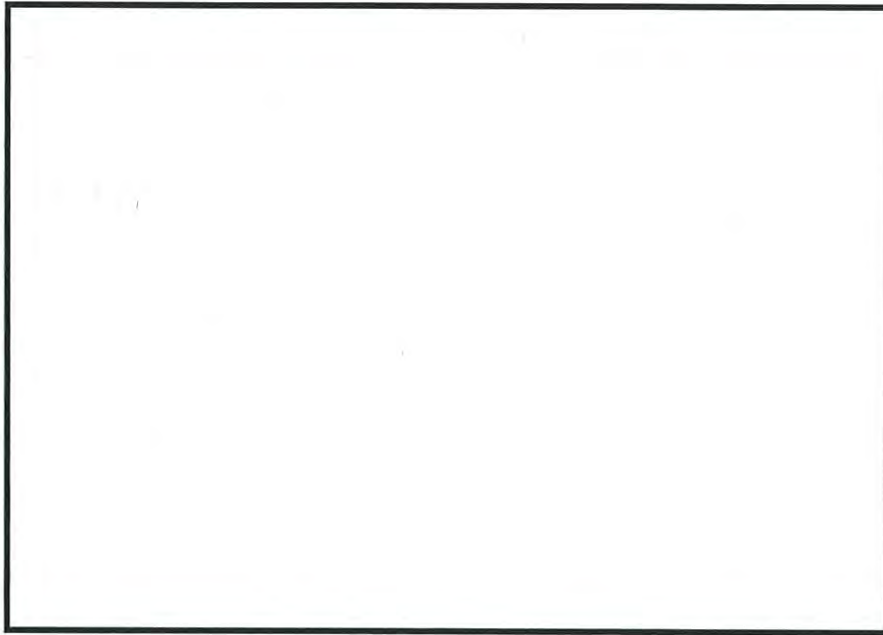
遮蔽設計区分について、貯蔵エリアの第Ⅳ区分、取扱エリアの第Ⅱ区分を満足するため、開口部は迷路構造とし、建屋内部の放射線源に対して、放射線作業従事者への被ばく低減を目的として、以下の壁厚等を満足することで、局所的な最短透過距離部においても必要遮蔽厚さを確保できる（第2-1図）。

- ・ 貯蔵エリア～取扱エリア間

壁 厚：

遮蔽扉厚：

--



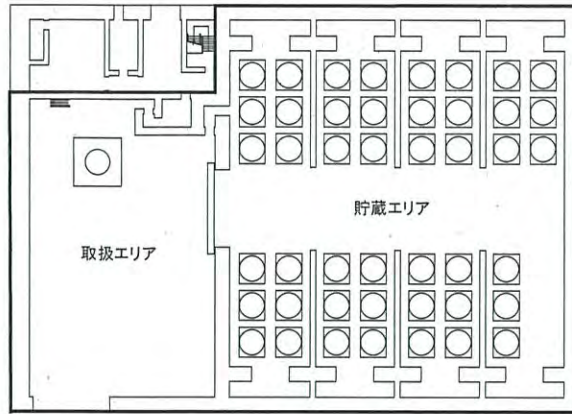
第2-1図 管理区域内の開口部に対する遮蔽設計概要図

3. 管理区域の設定について

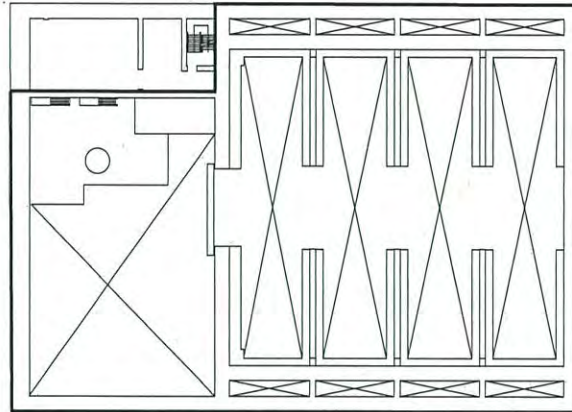
外部放射線に係る線量等が「線量限度等を定める告示」に定められた値を超えるか又は超えるおそれのある区域は、すべて管理区域とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、容器に閉じ込め機能を有していることから、汚染のおそれのない管理区域とする。使用済燃料乾式貯蔵建屋の管理区域の範囲を第3-1図に示す。

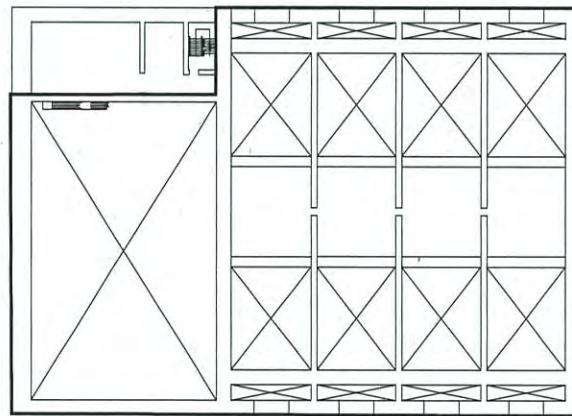
また、運用段階で、一時的に上記管理区域に係る値を超えるか又は超えるおそれのある区域が生じた場合は、一時的な管理区域を設定する。



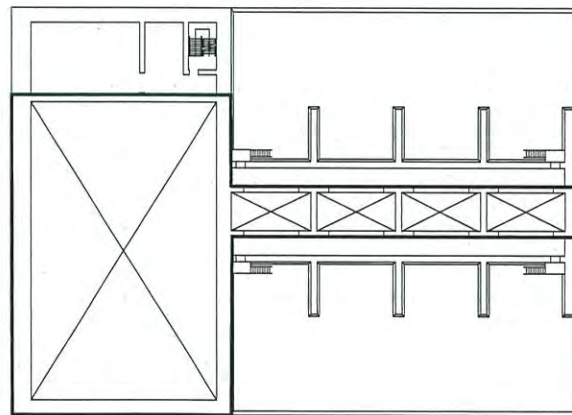
1 階



2 階



3 階



4 階

0 10 20m

— : 管理区域境界

第3-1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋管理区域図