

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	PD-1-14 改0
提出年月日	平成29年5月9日

東海第二発電所

地震による損傷の防止

平成29年5月
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

第4条：地震による損傷の防止

目 次

第1部

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

下線部：今回提出範囲

1.2 追加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

1.3 気象等

1.4 設備等

1.5 手順等

第2部

1. 耐震設計の基本方針

1.1 基本方針

1.2 適用規格

2. 耐震設計上の重要度分類

2.1 重要度分類の基本方針

2.2 耐震重要度分類

3. 設計用地震力

3.1 地震力の算定法

3.2 設計用地震力

4. 荷重の組合せと許容限界

4.1 基本方針

5. 地震応答解析の方針

5.1 建物・構築物

5.2 機器・配管系

5.3 屋外重要土木構築物

5.4 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

又は津波監視設備が設置された建物・構築物

6. 設計用減衰定数

7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響

8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針

9. 構造計画と配置計画

(別 添)

別添－1 設計用地震力

別添－2 動的機能維持の評価

別添－3 弾性設計用地震動 S_d ・静的地震力による評価

別添－4 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の
検討について

別添－5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針

別添－6 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方

別添－7 主要建屋の構造概要及び解析モデルについて

(別 紙)

別紙－1 既工認との手法の相違点の整理について（設置変更許可申請段階
での整理）

別紙－2 原子炉建屋の地震応答解析モデルについて

別紙－3 応力解析における弾塑性解析の適用

別紙－4 液状化影響の検討方針について

別紙－5 土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について

別紙－6 機器・配管系における手法の変更点について

別紙－7 下位クラス施設の波及的影響の検討について

別紙－8 水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について

別紙－9 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方

< 概 要 >

第1部において、設計基準対象施設の設置許可基準規則、技術基準規則の追加要求事項を明確化するとともに、それら要求に対する東海第二発電所における適合性を示す。

第2部において、設計基準対象施設について、追加要求事項に適合するために必要となる機能を達成するための設備または運用等について説明する。

第 1 部

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

地震による損傷の防止について，設置許可基準規則第 4 条及び技術基準規則第 5 条において，追加要求事項を明確化する（表 1）。

表1 設置許可基準規則第4条及び技術基準規則第5条 要求事項

設置許可基準規則 第4条（地震による損傷の防止）	技術基準規則 第5条（地震による損傷の防止）	備考
<p><u>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ない。</u></p> <p><u>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。</u></p> <p><u>3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）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。</u></p> <p><u>4 耐震重要施設は、前項の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。</u></p>	<p><u>設計基準対象施設は、これに作用する地震力（設置許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。）による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないように施設しなければならない。</u></p> <p><u>2 耐震重要施設（設置許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。）は、基準地震動による地震力（設置許可基準規則第四条第三項に規定する基準地震動による地震力をいう。以下同じ。）に対してその安全性が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。</u></p> <p><u>3 耐震重要施設が設置許可基準規則第四条第三項の地震により生ずる斜面の崩壊によりその安全性が損なわれるおそれがないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。</u></p>	<p>追加要求事項</p>

1.2 追加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

(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，「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」に適合する構造とする。

(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 S_s 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クラス又は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，発電用原子炉（以下「原子炉」という。）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

【説明資料（1.1(2)：P4条-69）（2.1：P4条-73）】

- c. Sクラス（e.に記載のもののうち，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。）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_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，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.に記載のもののうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）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、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.に記載のものうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）は、基準地震動 S_s 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 S_s 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 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力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 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d 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 S_s は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動及び震源を特定せず策定する地震動について、敷地の解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定する。策定した基準地震動 S_s の設計用応答スペクトルを第 1 図及び第 2 図に、基準地震動 S_s の時刻歴波形を第 3 図から第 10 図に示す。

原子炉建屋設置位置付近は、地盤調査の結果、新第三紀の砂質泥岩からなる久米層が分布し、EL. -370m 以深では S 波速度が 0.7km/s 以上であることが確認されている。したがって、EL. -370m の位置を解放基盤表面として設定する。

また、弾性設計用地震動 S_d は、基準地震動 S_s との応答スペクトルの比率が目安として 0.5 を下回らない値とし、「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 S_s に係数 0.5 を乗じて設定する。

【説明資料（3.1(2)：P4 条-76)】

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 S_d 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。

【説明資料（3.1(2)：P4 条-76)】

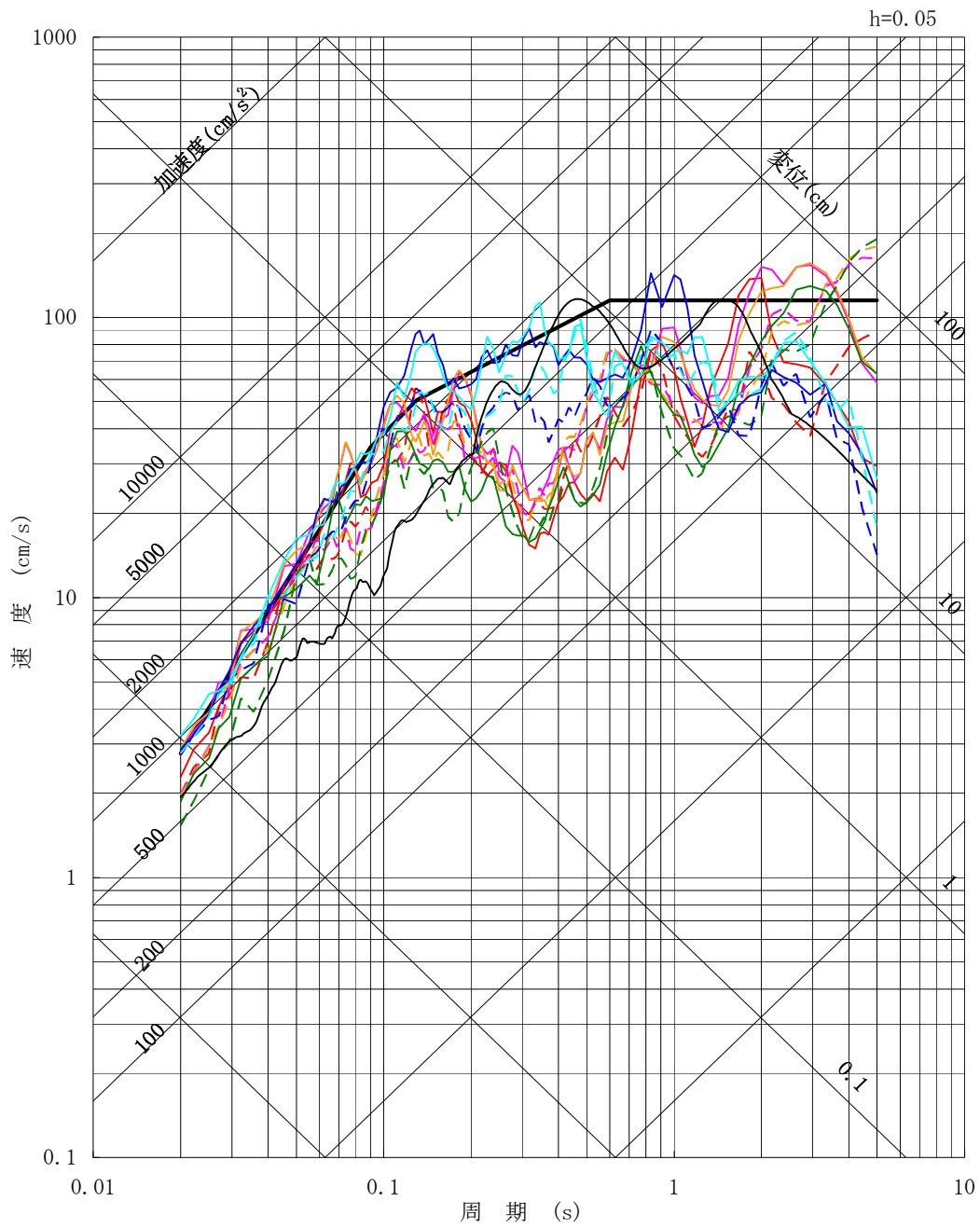
- e. 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物は，基準地震動 S_s による地震力に対して，それぞれの施設及び設備に要求される機能が保持できるように設計する。

【説明資料 (1.1(6) : P 4 条-70) (4.1(3) : P 4 条-80)

(4.1(4) : P 4 条-82)】

- 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。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，耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力を適用する。

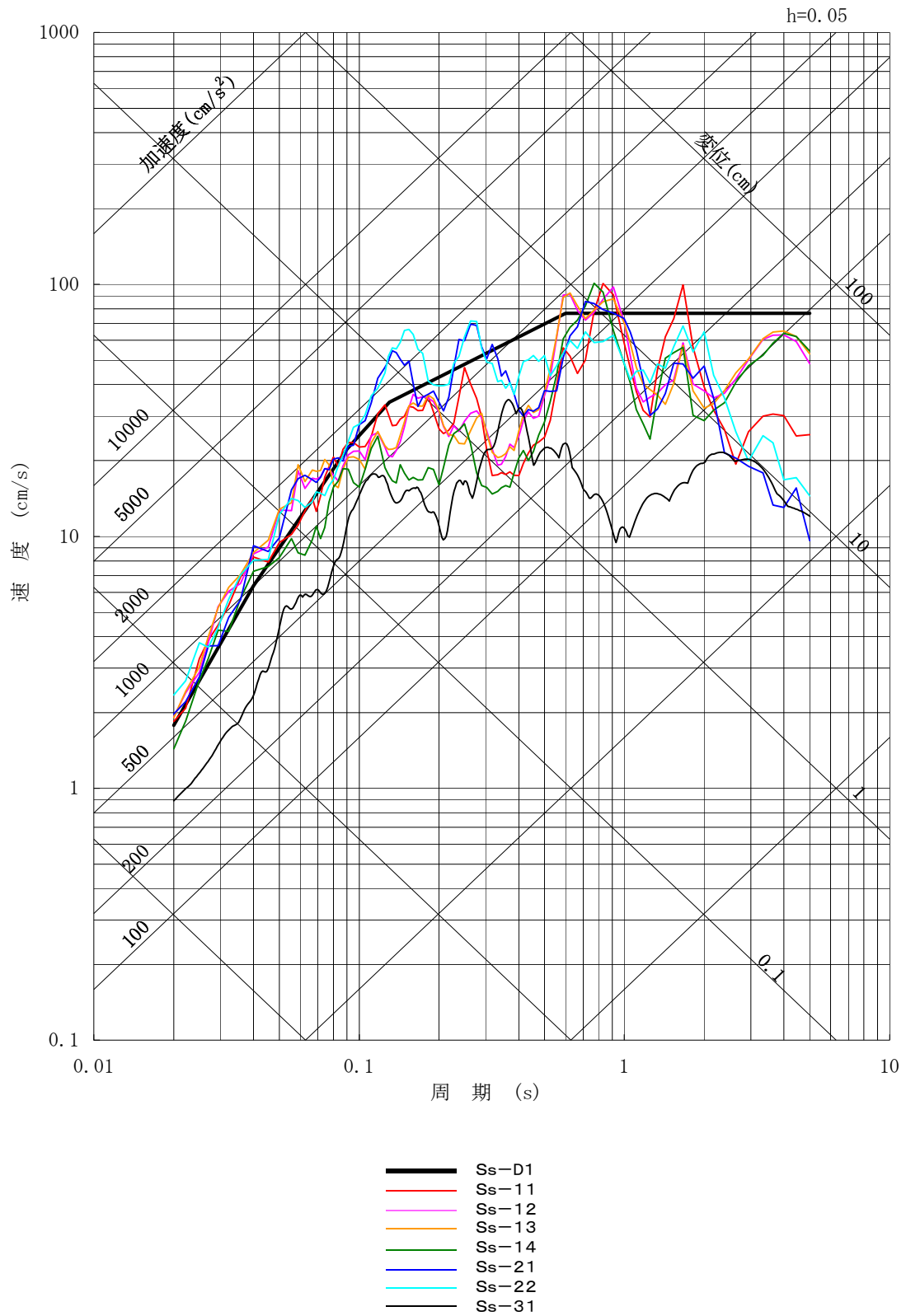
【説明資料 (1.1(9) : P 4 条-71) (7 : P 4 条-92)】



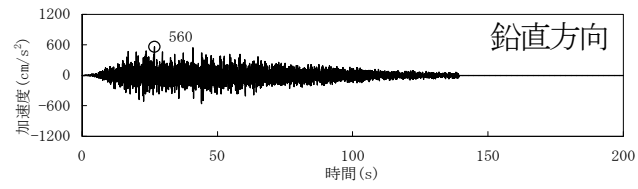
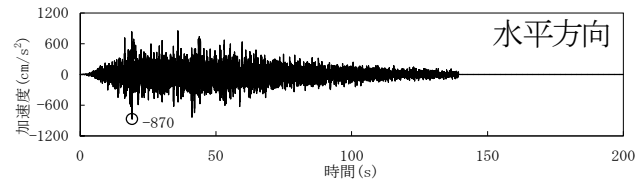
実線は NS 成分，破線は EW 成分を示す。

- Ss-D1
- Ss-11
- Ss-12
- Ss-13
- Ss-14
- Ss-21
- Ss-22
- Ss-31

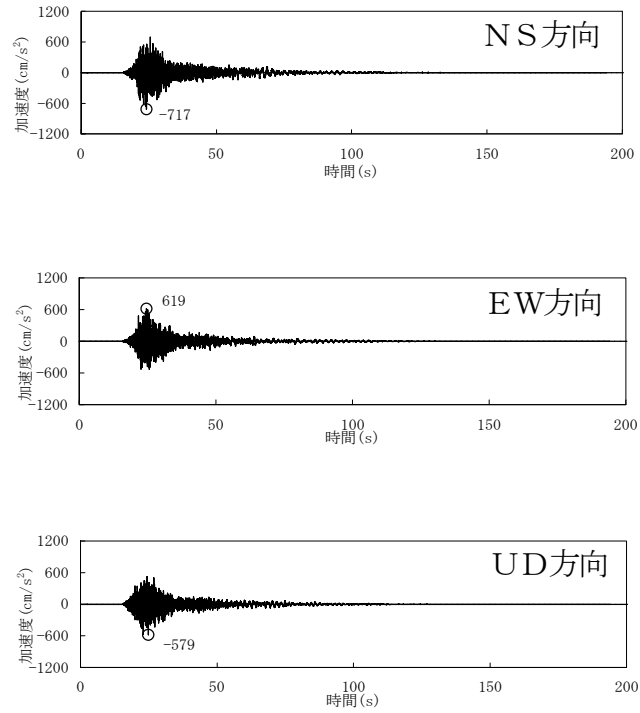
第 1 図 基準地震動 S_s の応答スペクトル (水平方向)



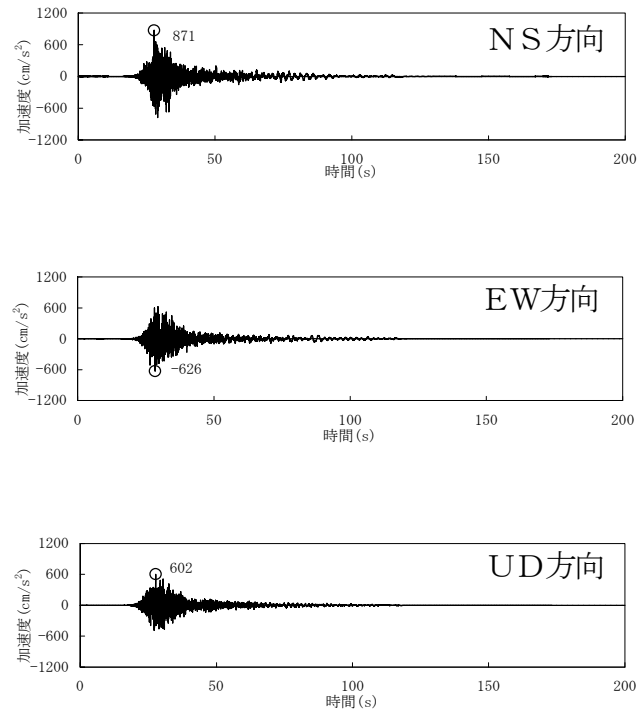
第2図 基準地震動 S_s の応答スペクトル (鉛直方向)



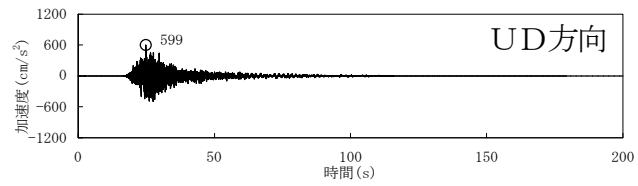
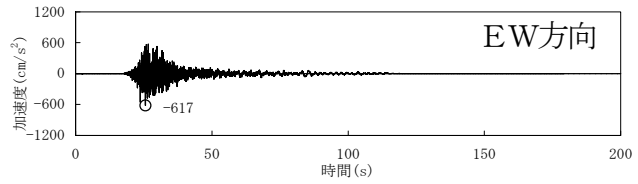
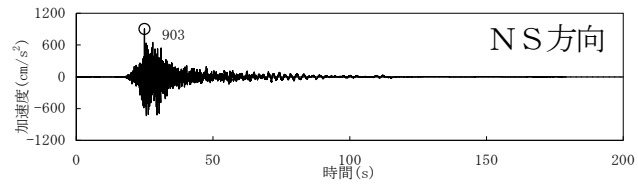
第3図 基準地震動 S_s の時刻歴波形 (S_s -D1)



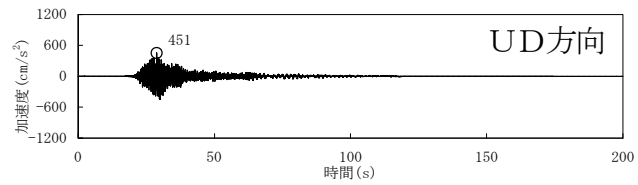
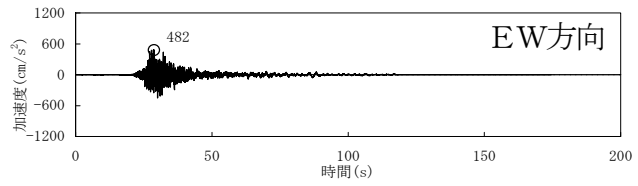
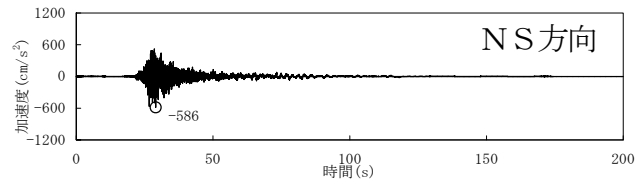
第4図 基準地震動 S_s の時刻歴波形 (S_s-11)



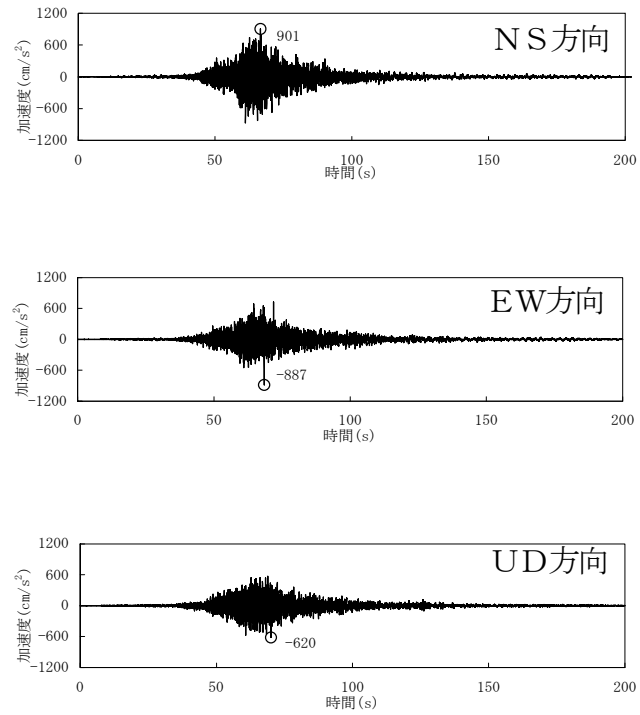
第5図 基準地震動 S_s の時刻歴波形 (S_s-12)



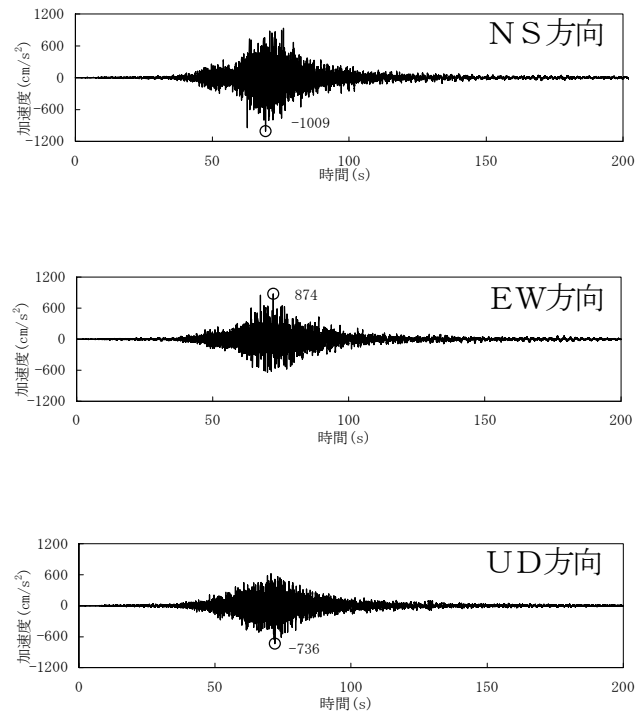
第6図 基準地震動 S_s の時刻歴波形 (S_s-13)



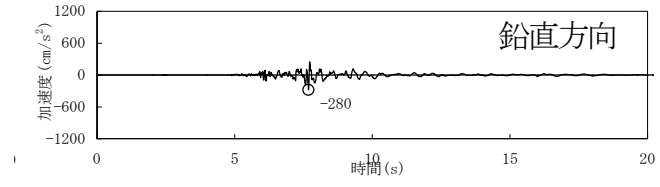
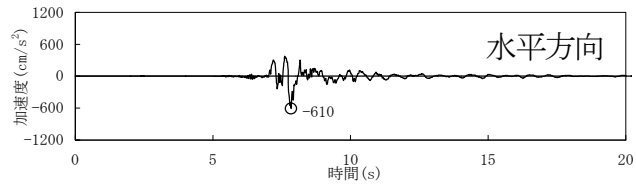
第7図 基準地震動 S_s の時刻歴波形 (S_s-14)



第8図 基準地震動 S_s の時刻歴波形 (S_s-21)



第9図 基準地震動 S_s の時刻歴波形 (S_s-22)



第 10 図 基準地震動 S_S の時刻歴波形 ($S_S - 31$)

(2) 安全設計方針

1.10.4 耐震設計

原子炉施設の耐震設計は、「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」に適合するように、「1.10.4.1 設計基準対象施設の耐震設計」、「1.10.4.2 重大事故等対処施設の耐震設計」、「1.10.4.3 主要施設の耐震構造」及び「1.10.4.4 地震検知による耐震安全性の確保」に従って行う。

1.10.4.1 設計基準対象施設の耐震設計

1.10.4.1.1 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) 地震により生ず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。）は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して、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クラス又は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)に記載のもののうち、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。）を除く。）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保持できるように設計する。

また、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力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)に記載のもののうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）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 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d 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・構築物は、基準地震動 S_s

による地震力に対して、構造全体として変形能力(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 S_s 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、上記(5)と同様とする。

また、重大事故等対処施設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 S_d 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て算定するものとし、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。

(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。

1.10.4.1.2 耐震設計上の重要度分類

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

【説明資料（2.1(1)：P4条－73)】

(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

【説明資料 (2.1(2) : P4条-74)】

(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。

【説明資料 (2.1(3) : P4条-74)】

上記に基づくクラス別施設を第1.10.4.1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設備に適用する地震

動についても併記する。

1.10.4.1.3 地震力の算定法

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（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）、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、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、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、公共施設等の耐震基準との関係を考慮して設定する。

【説明資料 (3.1(1) : P4 条-75)】

(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 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d から定める入力地震動を入力として、動的解析により水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせさせて算定する。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 S_d 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並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物については、基準地震動 S_s による地震力を適用する。

添付書類六「6.4 地震」に示す基準地震動 S_s は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、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} から 10^{-6} 程度である。

また、弾性設計用地震動 S_d は、基準地震動 S_s 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 S_s に係数0.5を乗じて設定する。ここで、係数0.5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⁽¹⁾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0.5を採用することで、弾性設計用地震動 S_d に対する設計に一貫性をとる。なお、弾性設計用地震動 S_d の年超過確率は、 10^{-3} から 10^{-5} 程度である。弾性設計用地震動 S_d の応答スペクトルを第1.10.4.1図及び第1.10.4.2図に、弾性設計用地震動 S_d の時刻歴波形を第1.10.4.3図から第1.10.4.10図に、弾性設計用地震動 S_d と基準地震動 S_1 の比較を第1.10.4.11図に、弾性設計用地震動 S_d 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 1.10.4.12 図から第 1.10.4.15 図に示す。

【説明資料 (3.1(2) : P4 条-76)】

a. 入力地震動

原子炉建屋設置位置付近は、地盤調査の結果、新第三紀の砂質泥岩からなる久米層が分布し、EL. -370m 以深では S 波速度が 0.7km/s 以上であることが確認されている。したがって、EL. -370m の位置を解放基盤表面として設定する。

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 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d 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。動的解析は、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

これらの形状，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レベルを考慮して定める。

基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d 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ばらつき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。

屋外重要土木構造物の動的解析は，構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，地盤及び構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て行う。液状化の可能性を検討する場合には，

有効応力解析を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、
代表性及び網羅性を踏まえた保守性を考慮して設定する。

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
に組み合わせて算定する。

【説明資料（5.1：P4条－86）（5.3：P4条－90）】

ii 機器・配管系

動的解析による地震力の算定にあたっては、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
な規格及び基準又は実験等の結果に基づき設定する。

機器の解析にあたっては、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質点系モデル、有限要素モデル
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
又は時刻歴応答解析法により応答を求める。配管系については、適
切なモデルを作成し、設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダ
ル解析法等により応答を求める。スペクトルモーダル解析法及び時
刻歴応答解析法の選択にあたっては、衝突・すべり等の非線形現象
を模擬する観点又は既往研究の知見を取り入れ実機の挙動を模擬す
る観点で、建物・構築物の剛性及び地盤物性等の不確かさへの配慮
をしつつ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次元的な広がりを踏まえ、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。

【説明資料（5.2：P4 条－88）】

(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、必要に応じて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、地盤と屋外重要土木構造物の連成系地震応答解析モデルの減衰定数については、地中構造物としての特徴、同モデルの振動特性を考慮して適切に設定する。

【説明資料（6：P4 条－91）】

1.10.4.1.4 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

原子炉施設が運転状態にあり、通常 of 自然条件下におかれている状態。

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

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

原子炉の起動，停止，出力運転，高温待機，燃料取替え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械又は器具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）

【説明資料（4.1(1)：P4条-77）】

(2) 荷重の種類

a. 建物・構築物

- (a) 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，運転時の状態及び設計基準事故時の状態での荷重には，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施設に作用する荷重
- (b) 運転時の異常な過渡変化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

【説明資料（4.1(2)：P4条－79）】

(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. に記載のもののうち，津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）

- (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（通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時）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の長時間その作用が続く荷重と弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力とを組み合わせる。

(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施設に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施設に作用する荷重及び運転時の異常な過渡変化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。

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施設に作用する荷重と基準地震動 S_s 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施設に作用する荷重と基準地震動 S_s による地震力とを組み合わせる

なお、上記 c. (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 S_s 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に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) 上位の耐震重要度分類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は、支持される施設の耐震重要度分類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 1.10.4.1 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。

【説明資料（4.1(3)：P4 条－80）】

(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. に記載のもののうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）

(a) Sクラスの建物・構築物

i) 弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

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。

ただし、冷却材喪失事故時に作用する荷重との組合せ（原子炉格納容器バウンダリ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 S_s 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)及び(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) 耐震重要度分類の異なる施設を支持する建物・構築物（(e)及び(f)に記載のものを除く。）

上記(a) ii) を適用するほか、耐震重要度分類の異なる施設を支持する建物・構築物が、変形等に対してその支持機能を損なわれないものとする。

なお、当該施設を支持する建物・構築物の支持機能を損なわない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)及び(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分類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 S_s 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、圧縮縁コンクリート限界ひずみ又は終局曲率に対して妥当な安

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又は終局せん断強度に対して妥当な安全余裕をもたせることを基本とする。ただし、構造部材の曲げ、せん断に対する上記の許容限界に代わり、許容応力度を適用することで、安全余裕を考慮する場合もある。

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

i) 弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

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、冷却材喪失時の作用する荷重との組合せ（格納容器、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(a) ii) に示す許容限界を適用する。

ii) 基準地震動 S_s 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さないように応力、荷重等を制限する値を許容限界とする。

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 S_s による応答に対して、実証試験等により確

認めら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) チャンネル・ボックス

地震時に作用する荷重に対して、燃料集合体の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ずることにより制御棒の挿入が阻害されることがないことを確認する。

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・構築物及びSクラスの機器・配管系（(b)に記載のもののうち，津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）の基礎地盤

i) 弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

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。

- ii) 基準地震動 S_s 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。
- (b) 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 S_s 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。
 - (c) Bクラス及びCクラスの建物・構築物，Bクラス及びCクラスの機器・配管系並びにその他の土木構造物の基礎地盤
上記(a) i) による許容支持力度を許容限界とする。

【説明資料 (4.1(4) : P4条-82)】

1.10.4.1.5 設計における留意事項

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。

波及的影響については、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。なお、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、波及的影響においては水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用する場合に影響を及ぼす可能性のある施設、設備を選定し評価する。

波及的影響の評価に当たっては、以下(1)から(4)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への影響が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、以下(1)から(4)以外に検討すべき事項がないかを確認し、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。

(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

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不等沈下により耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。

b. 相対変位

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耐震重要施設の相対変位により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。

(2) 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

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、耐震重要施設に接続する下位クラス施設の損傷により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。

(3) 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

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、建屋内の下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。

(4) 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. 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、建屋外の下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等により、耐震重要施設の安

全機能へ影響がないことを確認する。

b. 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、耐震重要施設の周辺斜面が崩壊しないことを確認する。

なお、上記(1)～(4)の検討に当たっては、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。(火災については「東海第二発電所設計基準対象施設について」のうち「第8条火災による損傷の防止」に、溢水については「東海第二発電所設計基準対象施設について」のうち「第9条溢水による損傷の防止等」に記載)

上記の観点で検討した耐震重要施設に対して、波及的影響を考慮する施設を、第1.10.4.1表中に「波及的影響を考慮すべき施設」として記載する。

【説明資料(7:P4条-92)】

1. 10. 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。剛構造としない建物・構築物は、剛構造と同等又はそれを上回る耐震安全性を確保する。

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。

また、建物・構築物の建屋間相対変位を考慮しても、建物・構築物及び機器・配管系の耐震安全性を確保する設計とする。

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若しくは、基準地震動 S_s 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。

【説明資料（9：P4条－95）】

1. 10. 4. 3 主要施設の耐震構造

1. 10. 4. 3. 1 原子炉建屋

原子炉建屋は、地上 6 階、地下 2 階建で、平面が約 67m(南北方向)×約 67m(東西方向)の鉄筋コンクリート造(一部鉄骨造)の建物である。

最下階床面からの高さは約68mで地上高さは約56mである。

建物中央部には原子炉圧力容器および原子炉格納容器を囲むコンクリート生体遮蔽壁があり、その外側に外壁である原子炉建屋側壁がある。

これらは、原子炉建屋の主要な耐震壁を構成している。

これらの生体遮蔽壁と外壁の間を地下2階から地上6階までの床が一体に連絡し、全体として剛な構造としている。

1.10.4.3.2 タービン建屋

タービン建屋は、地上2階、地下1階建で平面が約105m(南北方向)×約70m(東西方向)の鉄筋コンクリート造(一部鉄骨造)の建物であり、適切に配置された耐震壁で構成された剛な構造としている。

1.10.4.3.3 廃棄物処理建屋

廃棄物処理建屋は、地上4階、地下3階建で平面は、約41m(東西方向)×約69m(南北方向)の鉄筋コンクリート造の建物であり、適切に配置された耐震壁で構成された剛な構造としている。

1.10.4.3.4 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式建屋は、地上1階建で平面が約52m(南北方向)×約24m(東西方向)の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)の建物であり、適切に配置された耐震壁で構成された剛な構造としている。

1.10.4.3.5 格納容器

格納容器は、内径約26m、高さ約16m、厚さ約3.2cmの鋼製円筒殻と底部内径約26m、頂部内径約12m、高さ約24m、厚さ約2.8～約3.8cmの鋼製円錐殻、底部内径約12m、頂部内径約9.7m、高さ約2mの鋼製円錐殻、その上に載る格納容器ヘッドおよび底部コンクリートスラブより構成され全体の高さは約48mである。

円筒殻と底部コンクリートスラブの接続にはアンカーボルトを用いる。

円筒殻と円錐殻の接続部の高さに、格納容器を上下に分けるダイヤフラムがあり、下部はサブレーションプールになっている。

円錐殻頂部附近にはラジアルキーがあり，原子炉圧力容器より格納容器に伝えられる水平力および格納容器にかかる水平力の一部を周囲の生体しゃへい壁に伝える構造となっている。

1.10.4.3.6 原子炉圧力容器

原子炉圧力容器は内径約 6.4m，高さ約 23m，重量は炉心水を含めて約 1,600 トンである。

この容器は底部の鋼製スカートで支持され，スカートは鉄筋コンクリート造円筒部に固定されたベヤリングプレートにボルトで止められている。

原子炉圧力容器は，さらにその外周の円筒壁頂部でスタビライザによって水平方向に支持されて，円筒壁の頂部は鋼製フレームによって格納容器シェルに結合されている。スタビライザはブリテンションによって原子炉圧力容器を締めつけており，原子炉圧力容器の熱膨脹によってこのブリテンションが弛緩して締めつけ力がゼロにならないようにしてある。

したがって，水平力に対して原子炉圧力容器はスカートで下端固定，スタビライザで上部ピン支持となっているので，きわめて剛な構造である。

1.10.4.3.7 圧力容器内構造物

炉心に作用する水平力はステンレス鋼のシュラウドによって支持されている。シュラウドは円筒形をした構造で原子炉圧力容器の下部に溶接されている。

燃料集合体に作用する水平力は上部炉心板および炉心支持板を通してシュラウドに伝えられ，燃料棒はジルカロイ製の細長い箱形チャンネル・ボックスに納められている。燃料棒はチャンネル・ボックス頂部

と底部の燃料支持金具で止められ、中間もスペーサによっておさえられている。

このため、燃料棒は過度の変形を生ずることはない。スタンド・パイプと気水分離器は溶接によって一体となっている。乾燥器は原子炉圧力容器につけたリングによって支持されているジェットポンプは炉心シュラウドの外周に配置されている。ライザは圧力容器を貫通して立上り、上部において圧力容器に支持され、ジェット・ポンプは上部においてライザに結合されている。

ジェット・ポンプの下部はバッフル・プレートに溶接されている。この機構によってジェットポンプは熱膨脹を拘束されずに振動を防止できる構造となっている。制御棒駆動機構シンブルは、上部は原子炉圧力容器底部に溶接されており、地震荷重に対しても十分な強度をもつように設計されている。

1.10.4.3.8 再循環系

再循環回路は2ループあって、外径約610mmのステンレス鋼管で原子炉圧力容器から下方にのびその最下部に再循環ポンプを持ち再び立ち上がって、管寄せに入りそこから5本の外径約320mmのステンレス鋼管に別れ、原子炉圧力容器に接続される。この系の支持方法は、熱膨脹による動きを拘束せず、できる限り剛な系になるように、適当なスプリングアンカあるいはダンパを採用する。再循環ポンプはケーシングに取り付けられたコンスタント・ハンガによって支持される。

1.10.4.3.9 その他

その他の機器・配管系については、運転荷重、地震荷重、熱膨脹による荷重を考慮して、必要に応じてスナッパ、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。

1.10.4.4 地震検知による耐震安全性の確保

(1) 地震検出計

安全保護系の一つとして地震検出計を設け、ある程度以上の地震が起こった場合に原子炉を自動的に停止させる。スクラム設定値は弾性設計用地震動 S_d の加速度レベルに余裕を持たせた値とする。安全保護系は、フェイル・セーフ設備とするが、地震以外のショックによって原子炉をスクラムさせないように配慮する。

地震検出計は、基盤の地震動をできるだけ直接的に検出するため建屋基礎版の位置、また主要な機器が配置されている代表的な床面に設置する。なお、設置に当たっては試験及び保守が可能な原子炉建屋の適切な場所に設置する。

(2) 地震観測等による耐震性の確認

原子炉施設のうち安全上特に重要なものに対しては、地震観測網を適切に設置し、地震観測等により振動性状の把握を行い、それらの測定結果に基づく解析等により施設の機能に支障のないことを確認していくものとする。

地震観測を継続して実施するために、地震観測網の適切な維持管理を行う。

第 1.10.4.1 表 耐震重要度分類表

耐震重要度 分類	クラス別施設	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	検討用 地震動 (注6)	適用範囲	検討用 地震動 (注6)
Sクラス	(i) 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉圧力容器 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	<ul style="list-style-type: none"> 隔離弁を閉とするために必要な電気計装設備 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉圧力容器スカート 機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 	S S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉本体の基礎 原子炉建屋 	S _s S _s	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉遮蔽壁 その他 	S _s S _s
	(ii) 使用済燃料を貯蔵するための施設	<ul style="list-style-type: none"> 使用済燃料プール 使用済燃料貯蔵ラック 使用済燃料乾式貯蔵容器 	S S S	<ul style="list-style-type: none"> 使用済燃料プール水補給設備 (残留熱除去系) 非常用電源及び計装設備 (非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 	S S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 軽油貯蔵タンクの基礎 	S _s S _s S _s	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋クレーン 燃料取替機 使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン その他 	S _s S _s S _s S _s
	(iii) 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 (注7)	<ul style="list-style-type: none"> 制御棒, 制御棒駆動機構及び制御棒駆動水圧系 (スクラム機能に関する部分) 	S	<ul style="list-style-type: none"> 炉心支持構造物 電気計装設備 チャンネル・ボックス 	S S S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 	S _s	<ul style="list-style-type: none"> その他 	S _s
	(iv) 原子炉停止後, 炉心から崩壊熱を除去するための施設	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉隔離時冷却系 高圧炉心スプレイ系 残留熱除去系 (原子炉停止時冷却モード運転に必要な設備) 冷却水源としてのサブプレッション・プール 	S S S S	<ul style="list-style-type: none"> 残留熱除去系海水系 炉心支持構造物 高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設 非常用電源及び計装設備 (非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 	S S S S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 軽油貯蔵タンクの基礎 	S _s S _s S _s	<ul style="list-style-type: none"> その他 	S _s
	(v) 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	<ul style="list-style-type: none"> 非常用炉心冷却系 1) 高圧炉心スプレイ系 2) 低圧炉心スプレイ系 3) 残留熱除去系 (低圧注入モード運転に必要な設備) 4) 自動減圧系 冷却水源としてのサブプレッション・プール 	S S S S S	<ul style="list-style-type: none"> 残留熱除去系海水系 高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設 中央制御室の遮蔽と空調設備 非常用電源及び計装設備 (非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 	S S S S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 軽油貯蔵タンクの基礎 	S _s S _s S _s	<ul style="list-style-type: none"> その他 	S _s

(つづき)

耐震重要度 分類	クラス別施設	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	検討用 地震動 (注6)	適用範囲	検討用 地震動 (注6)
Sクラス	(vi) 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	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納容器 原子炉格納容器バウンダリに属する配管・弁 	S	-	-	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 	S _s	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉ウエル用遮蔽ブロック その他 	S _s
			S				<ul style="list-style-type: none"> 隔離弁を閉とするために必要な電気計装設備 				S
	(vii) 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設備であり、(vi)以外の施設	<ul style="list-style-type: none"> 残留熱除去系(格納容器スプレイ冷却モード運転に必要な設備) 可燃性ガス濃度制御系 原子炉建屋 非常用ガス処理系 非常用ガス再循環系 原子炉格納容器圧力低減装置(ダイヤフラムフロア、ベント管) 冷却水源としてのサブプレッション・プール 	S	<ul style="list-style-type: none"> 残留熱除去系海水系 非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 排気筒 軽油貯蔵タンクの基礎 	S _s S _s	<ul style="list-style-type: none"> その他 	S _s
			S		S		S _s S _s				
(viii) 津波防護機能を有する設備及び浸水防止機能を有する設備	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤 防潮扉 放水路ゲート 構内排水路逆流防止設備 貯留堰 浸水防止蓋 貫通部止水処置 	S	-	-	<ul style="list-style-type: none"> 機器等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 当該の屋外設備を支持する構造物 	S _s S _s	<ul style="list-style-type: none"> その他 	S _s	
		S				S		S			
(ix) 敷地における津波監視機能を有する施設	<ul style="list-style-type: none"> 取水ピット水位計 潮位計 津波監視カメラ 	S	<ul style="list-style-type: none"> 非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 当該の屋外設備を支持する構造物 	S _s S _s	<ul style="list-style-type: none"> その他 	S _s	

※ 炉内構造物は、炉内にあることの重要性からSクラスに準ずる。

(つづき)

耐震重要度 分類	クラス別施設	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	検討用 地震動 (注6)	適用範囲	検討用 地震動 (注6)
Bクラス	(i) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設	・主蒸気系(外側主蒸気隔離弁より主塞止弁まで) ・主蒸気逃がし安全弁排気管	B (注8) B (注9)	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B	・原子炉建屋 ・タービン建屋(外側主蒸気隔離弁より主塞止弁までの配管・弁を支持する部分)	S _d S _d	—	—
		・主蒸気系及び給水系 ・原子炉冷却材浄化系	B B	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B	・原子炉建屋 ・タービン建屋	S _B S _B	—	—
	(ii) 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、その破損による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。)	・放射性廃棄物処理施設(Cクラスに属するものは除く)	B	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B	・原子炉建屋 ・廃棄物処理建屋	S _B S _B	—	—
	(iii) 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	・タービン、復水器、給水加熱器及びその主要配管 ・復水脱塩装置 ・復水貯蔵タンク ・燃料プール冷却浄化系 ・放射線低減効果の大きい遮蔽 ・制御棒駆動水圧系(放射性流体を内蔵する部分) ・原子炉建屋クレーン ・燃料取替機 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン ・制御棒貯蔵ラック	B B B B B B B B B B	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B	・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋	S _B S _B S _B	—	—
(iv) 使用済燃料を冷却するための施設	・燃料プール冷却浄化系	B	・原子炉補機冷却系 ・補機冷却海水系 ・電気計装設備	B B B	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	B	・原子炉建屋 ・海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物	S _B S _B	—	—	

(つづき)

耐震重要度 分類	クラス別施設	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	検討用 地震動 (注6)	適用範囲	検討用 地震動 (注6)
Bクラス	(v) 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クラス	(i) 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	<ul style="list-style-type: none"> 再循環流量制御系 制御棒駆動水圧系 (Sクラス及びBクラスに属さない部分)	C C	—	—	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 	S _C	—	—
	(ii) 放射線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	<ul style="list-style-type: none"> 試料採取系 洗濯廃液処理系 固化装置より下流の固体廃棄物処理系(貯蔵庫を含む) 雑固体減溶処理設備 放射性廃棄物処理施設のうち濃縮装置の凝縮水側 新燃料貯蔵庫 その他 	C C C C C C	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	C	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 タービン建屋 廃棄物処理建屋 固体廃棄物貯蔵庫 給水加熱器保管庫 固体廃棄物作業建屋 	S _C S _C S _C S _C S _C S _C	—	—

(つづき)

耐震重要度 分類	クラス別施設	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	検討用 地震動 (注6)	適用範囲	検討用 地震動 (注6)
Cクラス	(iii) 原子炉施設ではあるが、放射線安全に関係しない施設	<ul style="list-style-type: none"> ・循環水系 ・タービン補機冷却系 ・所内ボイラ及び所内蒸気系 ・消火系 ・主発電機・変圧器 ・空調設備 ・タービン建屋クレーン ・所内用空気系及び計器用空気系 ・その他 	C C C C C C C C C	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	C	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 	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設備とは、下位の耐震クラスに属する設備の破損によって上位クラスに属する設備に波及的影響を及ぼすおそれのある設備をいう。

(注6) S_s : 基準地震動 S_sにより定まる地震力

S_d : 弾性設計用地震動 S_dにより定まる地震力

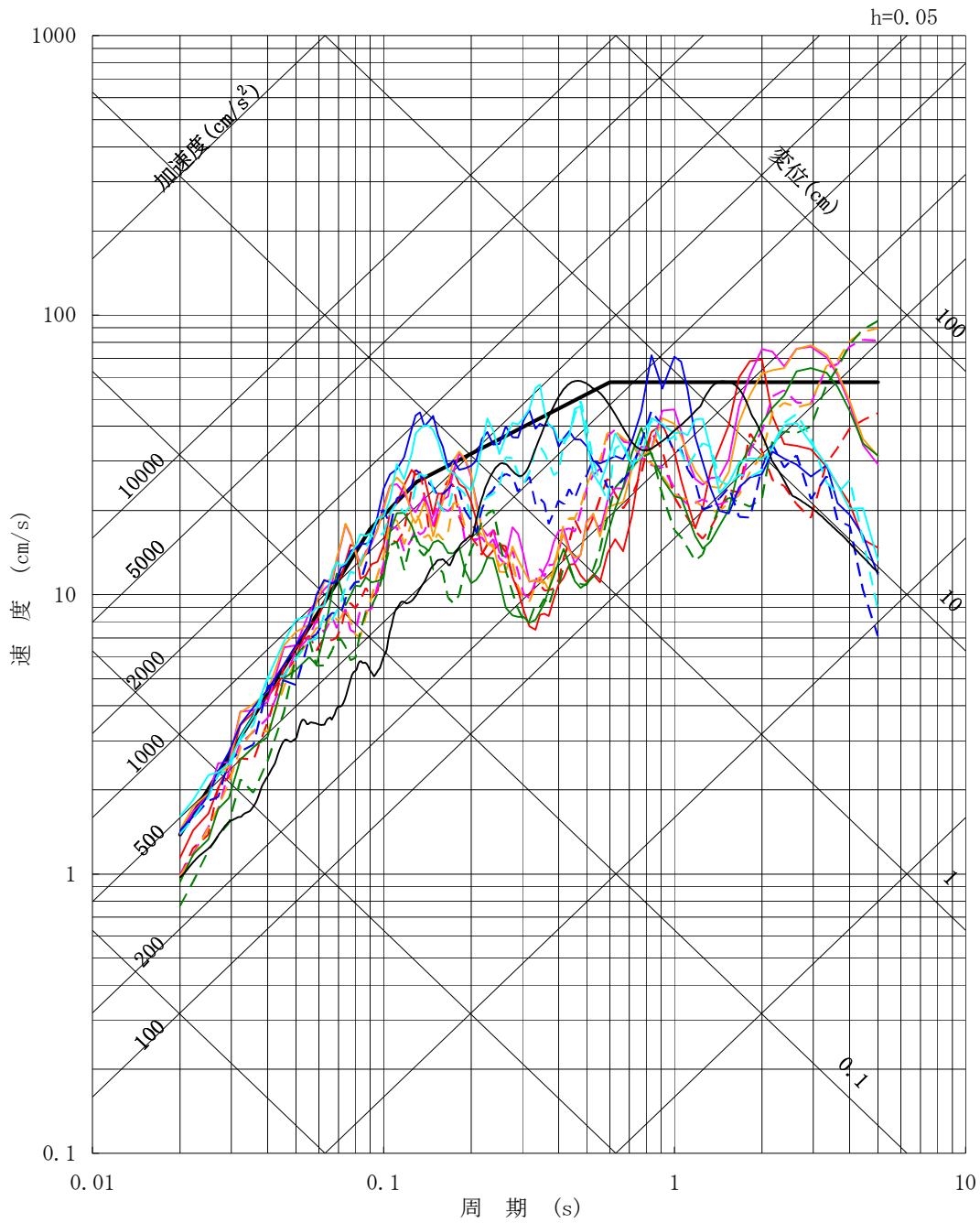
S_B : 耐震Bクラス施設に適用される地震力

S_C : 耐震Cクラス施設に適用される静的地震力

(注7) ほう酸水注入系は、安全機能の重要度を考慮して、構造強度についてはSクラスに準じて取り扱う。

(注8) Bクラスではあるが、弾性設計用地震動 S_d に対して破損しないことの検討を行うものとする。

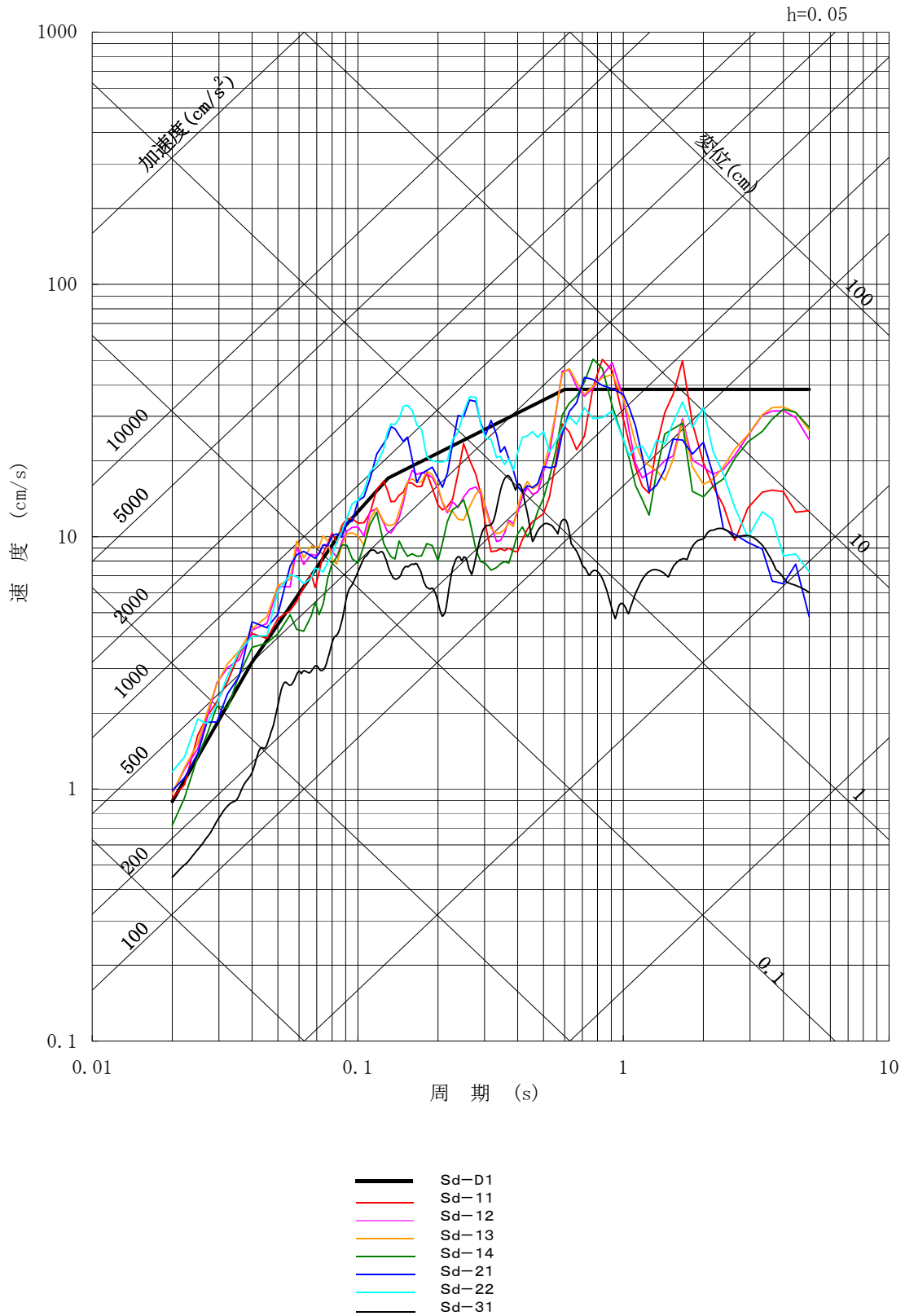
(注9) 地震により主蒸気逃がし安全弁排気管が破損したとしても、ドライウェル内に放出された蒸気はベント管を通してサブプレッション・チェンバのプール水中に導かれて凝縮するため、格納容器の内圧が有意に上昇することはないと考えられるが、基準地震動 S_s に対し破損しないことを確認する。



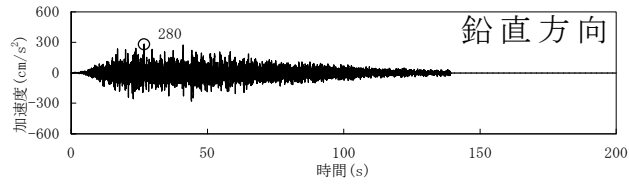
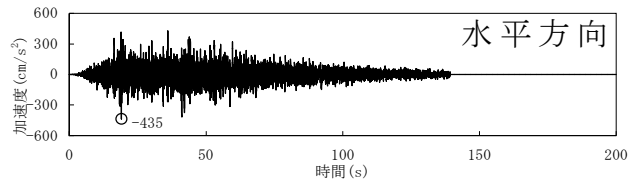
実線は NS 成分，破線は EW 成分を示す。

- Sd-D1
- Sd-11
- Sd-12
- Sd-13
- Sd-14
- Sd-21
- Sd-22
- Sd-31

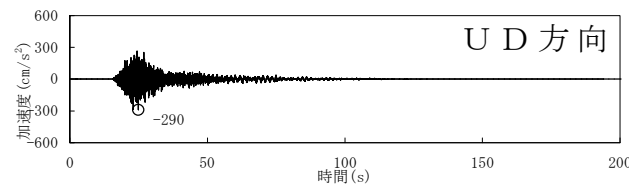
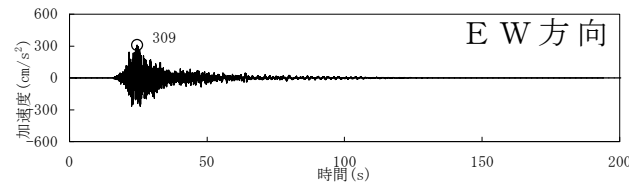
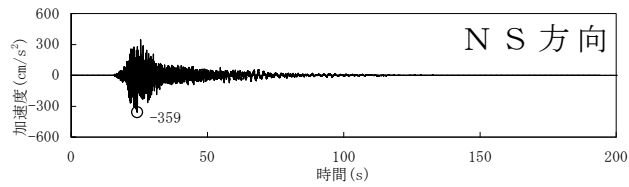
第 1.10.4.1 図 弾性設計用地震動 S_d の応答スペクトル (水平方向)



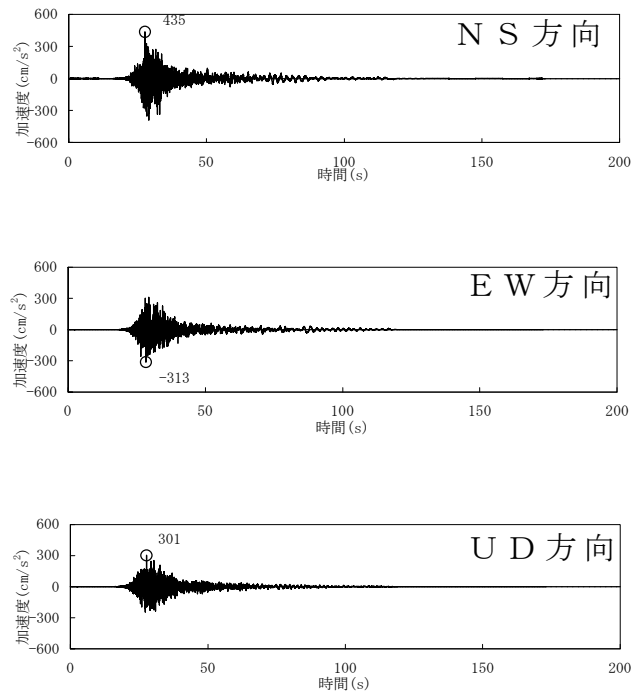
第 1.10.4.2 図 弾性設計用地震動 S_d の応答スペクトル (鉛直方向)



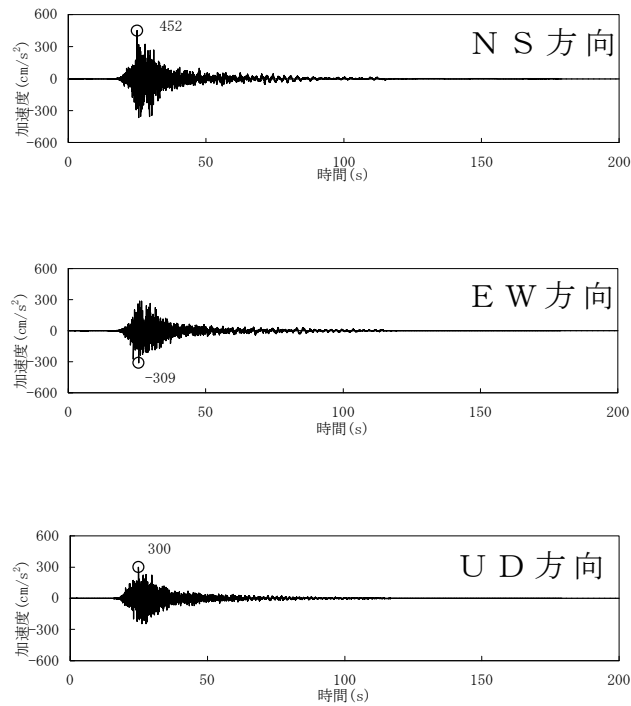
第 1.10.4.3 図 弾性設計用地震動 S_d の時刻歴波形 ($S_d - D 1$)



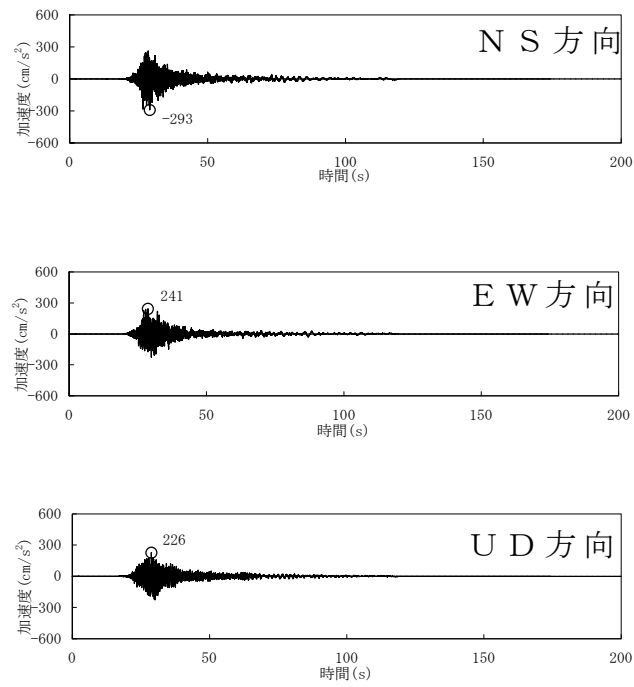
第 1.10.4.4 図 弾性設計用地震動 S_d の時刻歴波形 ($S_d - 1 1$)



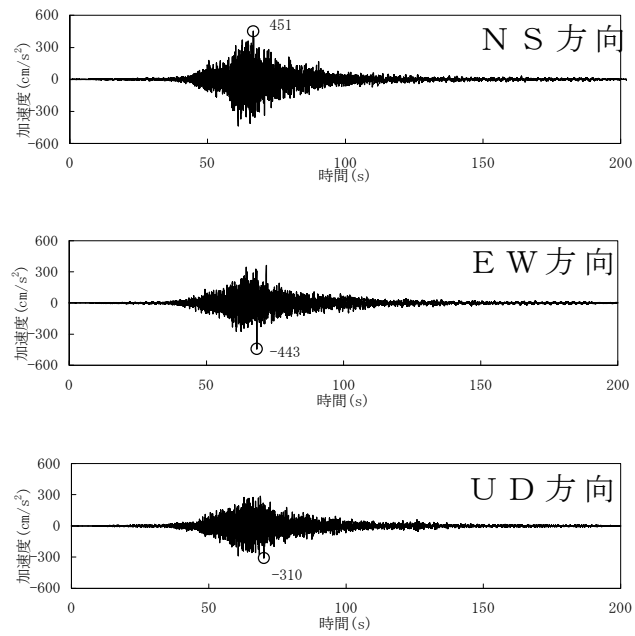
第 1.10.4.5 図 弾性設計用地震動 S_d の時刻歴波形 ($S_d - 12$)



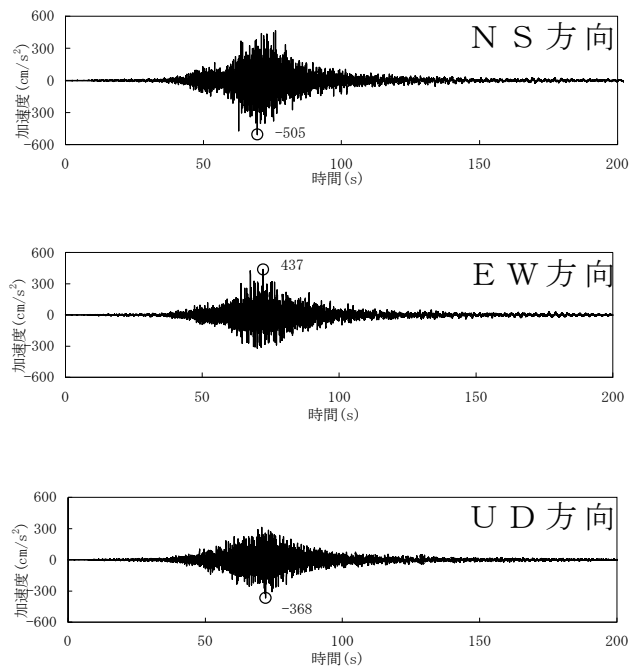
第 1.10.4.6 図 弾性設計用地震動 S_d の時刻歴波形 ($S_d - 13$)



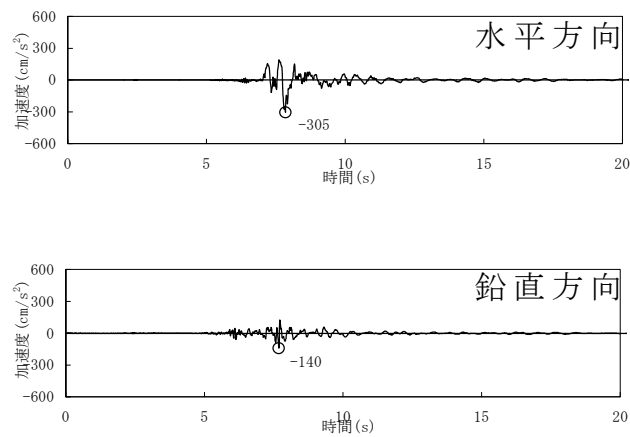
第 1.10.4.7 図 弾性設計用地震動 S_d の時刻歴波形 ($S_d - 14$)



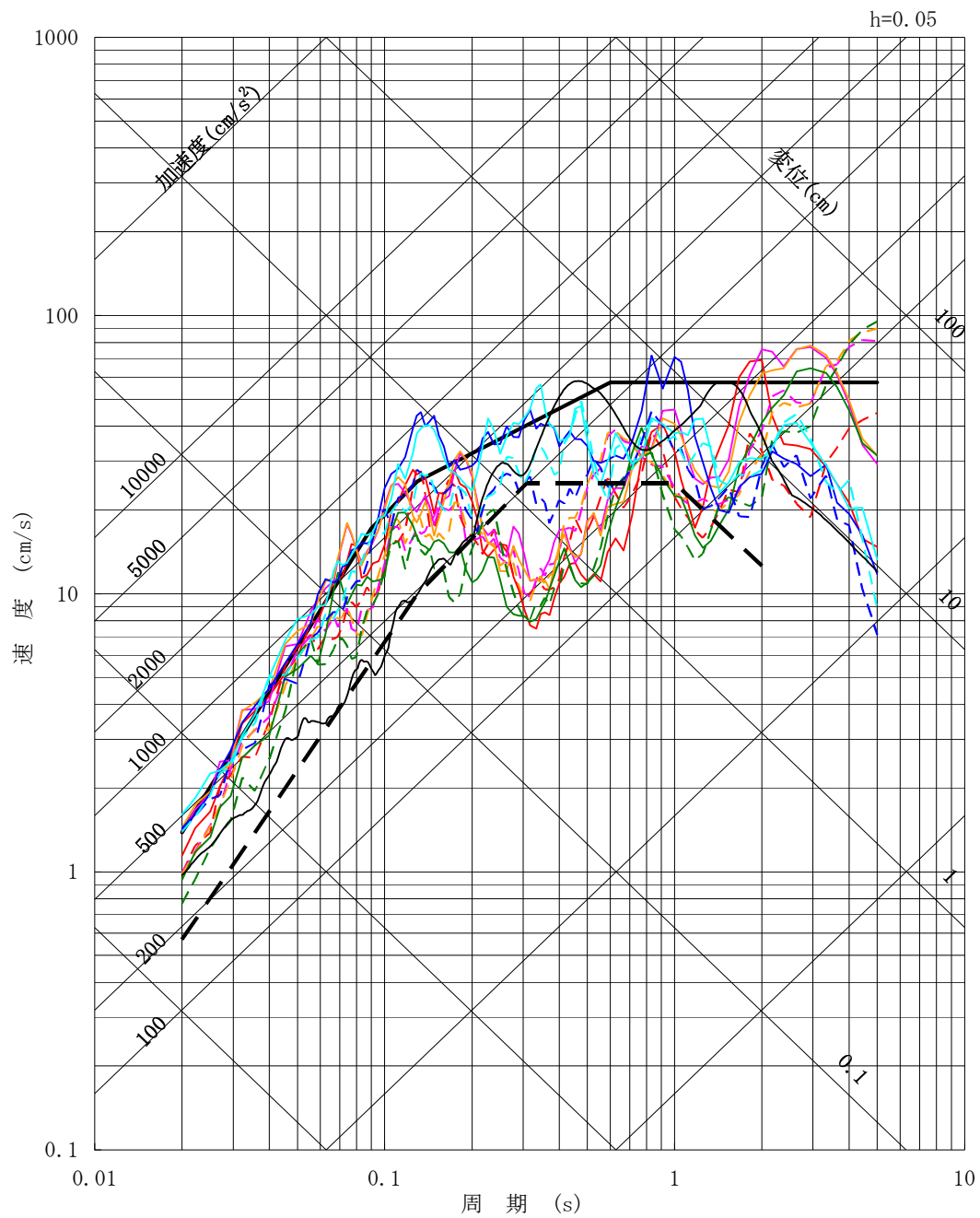
第 1.10.4.8 図 弾性設計用地震動 S_d の時刻歴波形 ($S_d - 21$)



第 1.10.4.9 図 弾性設計用地震動 S_d の時刻歴波形 ($S_d - 2 2$)



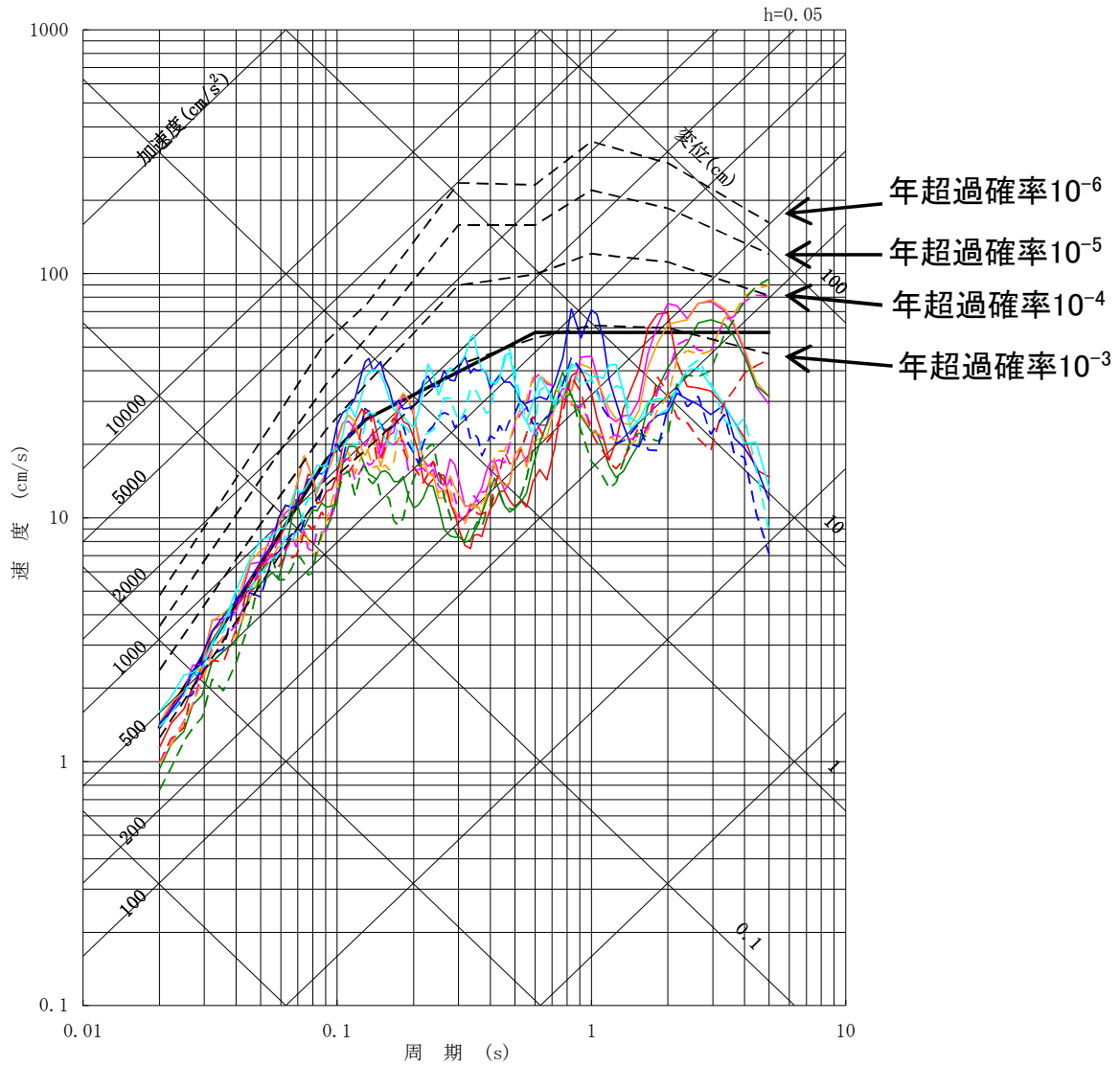
第 1.10.4.10 図 弾性設計用地震動 S_d の時刻歴波形 ($S_d - 3 1$)



実線は NS 成分，破線は EW 成分を示す。

- S1
- Sd-D1
- Sd-11
- Sd-12
- Sd-13
- Sd-14
- Sd-21
- Sd-22
- Sd-31

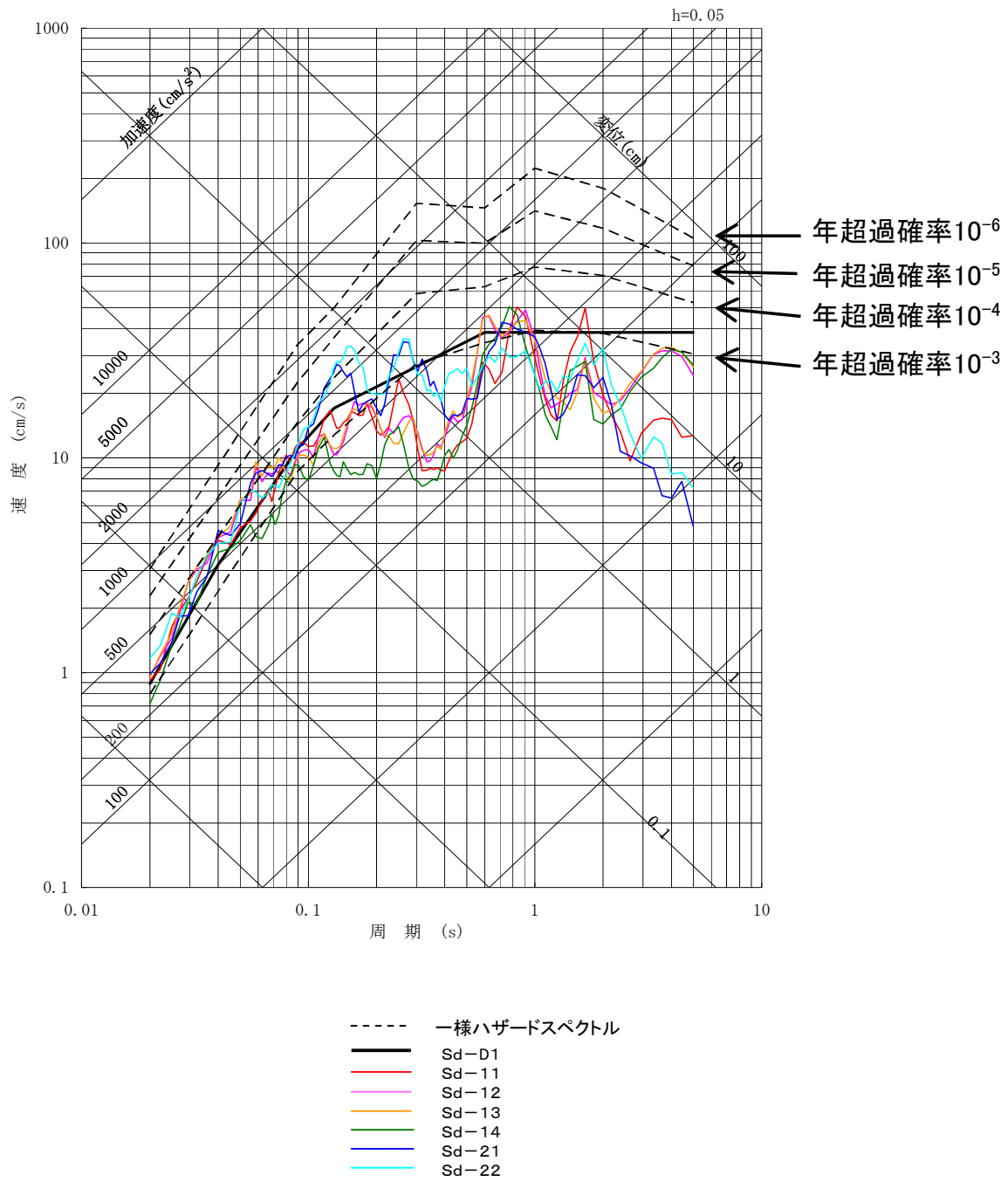
第 1.10.4.11 図 弾性設計用地震動 S_d と基準地震動 S_1 の
応答スペクトル (水平方向)



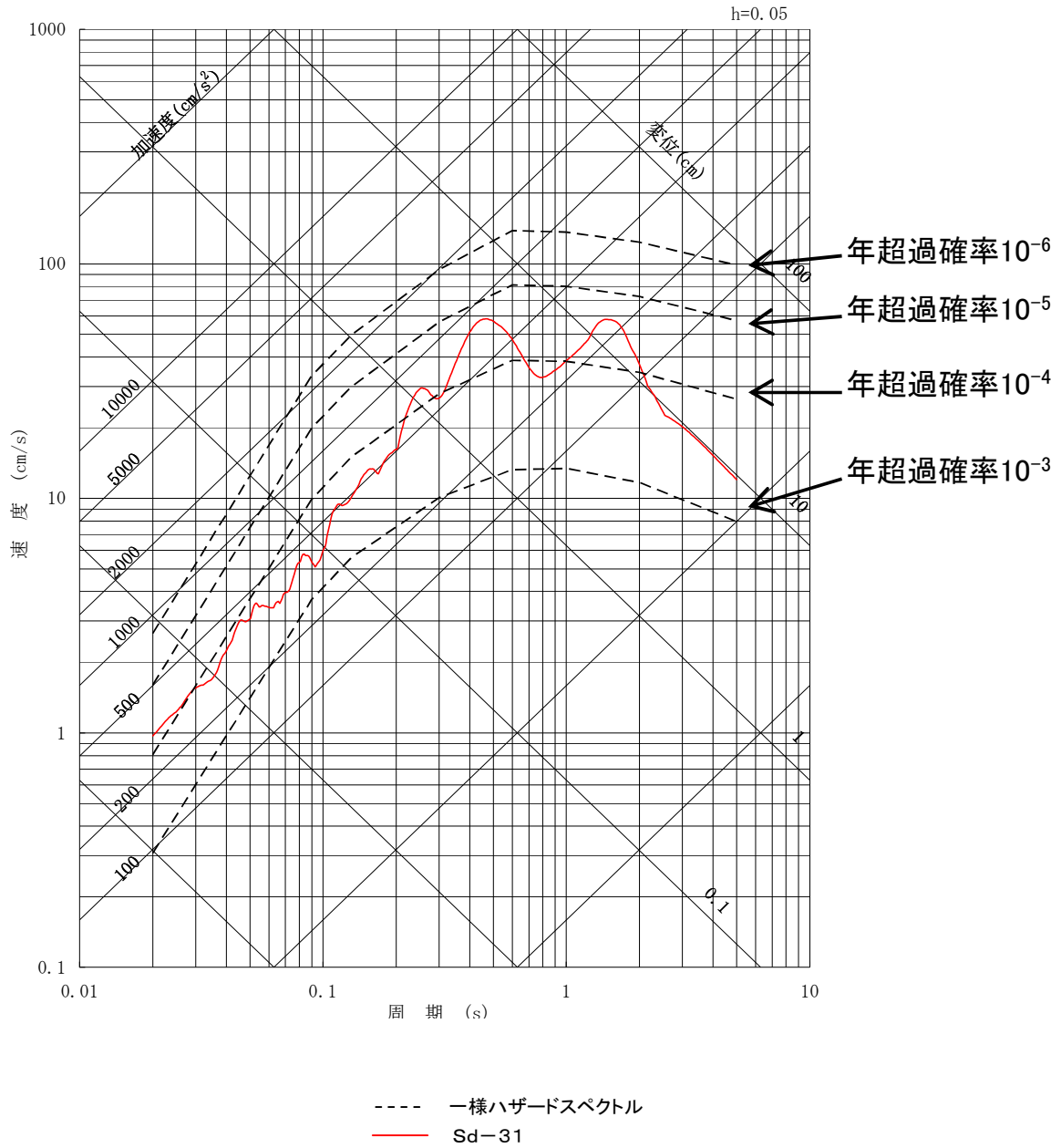
実線は NS 成分，破線は EW 成分を示す。

- 一様ハザードスペクトル
- Sd-D1
- Sd-11
- Sd-12
- Sd-13
- Sd-14
- Sd-21
- Sd-22

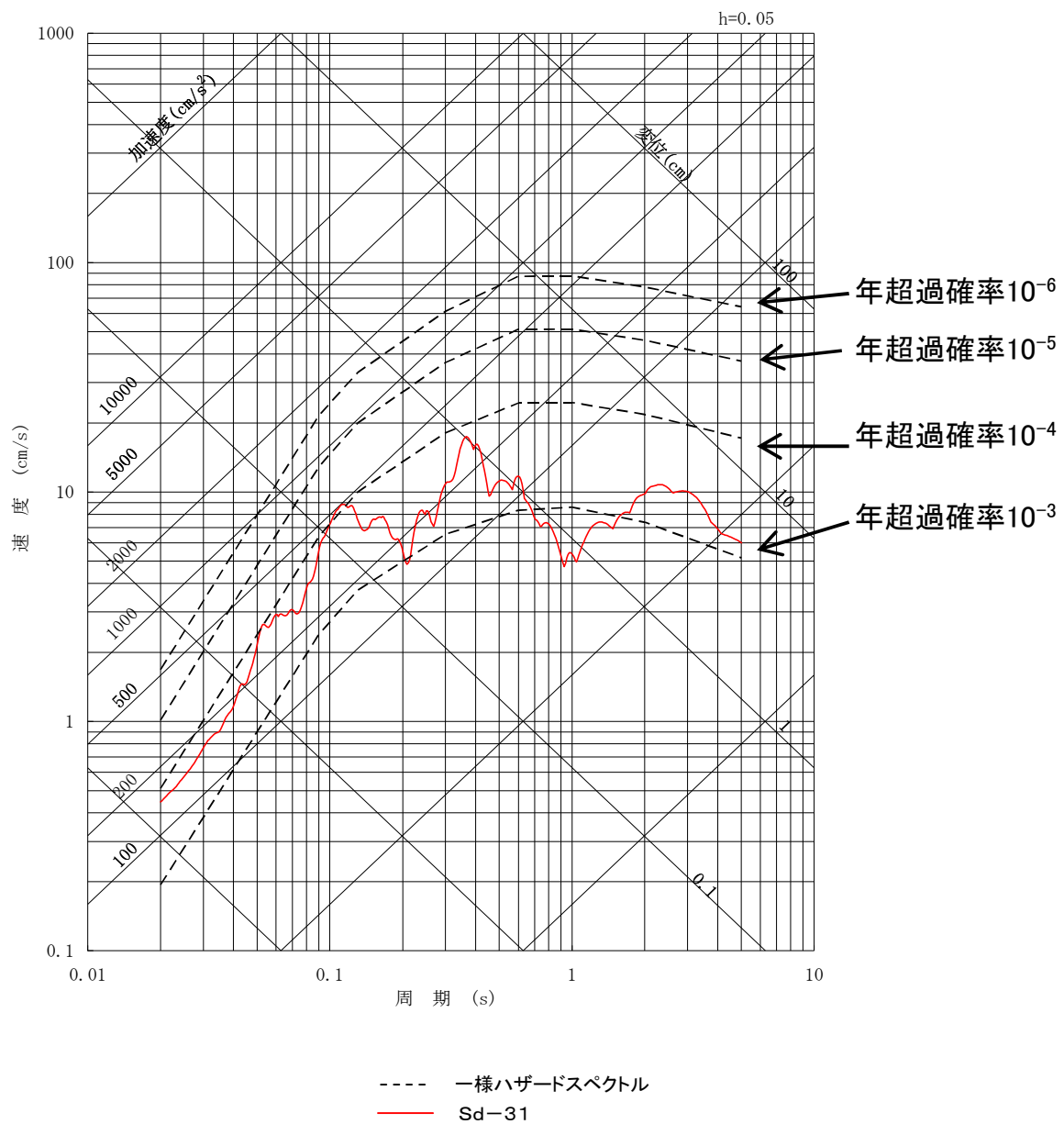
第 1.10.4.12 図 弾性設計用地震動 S_d の応答スペクトルと一様ハザードスペクトル（水平方向）



第 1.10.4.13 図 弾性設計用地震動 S_d の応答スペクトルと一様ハザードスペクトル（鉛直方向）



第 1.10.4.14 図 弾性設計用地震動 S_d の応答スペクトルと一様ハザードスペクトル (水平方向)



第 1.10.4.15 図 弾性設計用地震動 S_d の応答スペクトルと一様ハザードスペクトル（鉛直方向）

1.10.4.5 参考文献

- (1) 「静的地震力の見直し（建築編）に関する調査報告書（概要）」
社団法人日本電気協会電気技術基準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

第四条 地震による損傷の防止

- 1 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ない。
- 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。
- 3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）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。
- 4 耐震重要施設は、前項の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

第1項について

設計基準対象施設は、耐震重要度分類をSクラス、Bクラス又はCクラスに分類し、それぞれに応じて設定し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、「第2項について」に示すとおりである。

【説明資料 (1.1(2) : P4条-69)】

第2項について

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クラス又はCクラスに分類し、それぞれに応じた地震力を算定する。

【説明資料（1.1(1)：P4条-69）（1.1(2)：P4条-69）】

(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の

【説明資料（2.1(1)：P4条-74）】

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

【説明資料（2.1(2)：P4条-74）】

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

【説明資料（2.1(3)：P4条-74)】

(2) 地震力

上記(1)のSクラスの施設（津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備を除く。），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 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力を適用する。

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，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、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。

【説明資料 (3.1(1) : P4条-75)】

b. 弾性設計用地震動 S_d による地震力

弾性設計用地震動 S_d 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 S_d は、「添付書類六 6.4 地震」に示す基準地震動 S_s に工学的判断から求められる係数0.5を乗じて設定する。

また、弾性設計用地震動 S_d 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 S_d 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。

【説明資料 (3.1(2) : P4条-76)】

第3項について

耐震重要施設（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）

については、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切な地震動、すなわち「添付書類六 6.4 地震」に示す基準地震動 S_s 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。

【説明資料 (1.1(5) : P4 条-70)】

また、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・構築物については、基準地震動 S_s 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。

【説明資料 (1.1(6) : P4 条-70)】

基準地震動 S_s による地震力は、基準地震動 S_s 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。

【説明資料 (1.1(5) : P4 条-70) (1.1(6) : P4 条-70)】

なお、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。

【説明資料 (1.1(9) : P4 条-71)】

第 4 項について

耐震重要施設については、基準地震動 S_s 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。

【説明資料 (7(4) : P4 条-93)】

1.3 気象等

該当なし

1.4 設備等

該当なし

1.5 手順等

該当なし

第4条：地震による損傷の防止

<目次>

第2部

1. 耐震設計の基本方針
 - 1.1 基本方針
 - 1.2 適用規格
2. 耐震設計上の重要度分類
 - 2.1 重要度分類の基本方針
 - 2.2 耐震重要度分類
3. 設計用地震力
 - 3.1 地震力の算定法
 - 3.2 設計用地震力
4. 荷重の組合せと許容限界
 - 4.1 基本方針
5. 地震応答解析の方針
 - 5.1 建物・構築物
 - 5.2 機器・配管系
 - 5.3 屋外重要土木構造物
 - 5.4 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
又は津波監視設備が設置された建物・構築物
6. 設計用減衰定数
7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響
8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針
9. 構造計画と配置計画

(別 添)

別添－1 設計用地震力

別添－2 動的機能維持の評価

別添－3 弾性設計用地震動 S_d ・静的地震力による評価

別添－4 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の
検討について

別添－5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針

別添－6 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方

別添－7 主要建屋の構造概要及び解析モデルについて

第2部

1. 耐震設計の基本方針

東海第二発電所の設計基準対象施設の耐震設計方針について説明する。

1.1 基本方針

発電用原子炉施設（以下「原子炉施設」という。）の耐震設計は、「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（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第5号）」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（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号）」に適合するよう以下の項目に従って行う。

- (1) 地震により生ず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。）は，その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して，その安全機能が損なわれるおそれがない設計する。
- (2) 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クラス又は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設計する。
- (3) 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）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。

(4) Sクラスの施設（(6)に記載のもののうち、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。）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。

(5) Sクラス（(6)に記載のものうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）の施設は、基準地震動 S_s による地震力に対してその安全機能が保持できる設計とする。建物・構築物は、基準地震動 S_s による地震力に対して、構造全体として変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有するように、機器・配管系については、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し、その施設の機能を保持できるように設計する。

また、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力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。

(6) 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又は津波監視設備が設置された建物・構築物は、基準地震動 S_s による地震力に対して、構造全体として変形能力(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、それぞれの施設に要求される機能が保持できる設計とする。

屋外重要土木構造物は、構造部材の曲げについては、曲げ耐力、限界層間変形角、圧縮縁コンクリート限界ひずみ又は終局曲率に対して妥当な安全裕度を持たせることとし、構造部材のせん断に

については、せん断耐力又は終局せん断強度に対して妥当な安全余裕を持たせることを基本とする。ただし、構造部材の曲げ、せん断に対する上記の許容限界に変わり、許容応力度を適用することで、安全余裕を考慮する場合もある。

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。

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又は津波監視設備が設置された建物・構築物については、(5)に示す基準地震動 S_s に対する設計方針を適用する。基準地震動 S_s 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する。

また、重大事故等対処施設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又は津波監視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設計とする。

また、共振のおそれのあるものについては、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 S_d に2分の1を乗じたものとする。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設計とする。

(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（資機材等含む）の波及的影響によって、その安全機能を損なわない設計

とする。

(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。

1.2 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うえで適用可能とする。

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 (以降、「JEAG4601」と記載しているものは上記3指針を指す。)
- ・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)

- ・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会 2010）
- ・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）
- ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年制定）
- ・道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）
- ・道路橋示方書（Ⅴ 耐震設計編）・同解説（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）
- ・水道施設耐震工法指針・解説（（社）日本水道協会，1997 年版）
- ・地盤工学会基準（JGS1521－2003）地盤の平板載荷試験方法
- ・地盤工学会基準（JGS3521－2004）剛体載荷板による岩盤の平板載荷試験方法

ただし，JEAG4601 に記載されている A_s クラスを含む A クラスの施設を S クラスの施設とした上で，基準地震動 S_2 ， S_1 をそれぞれ基準地震動 S_s ，弾性設計用地震動 S_d と読み替える。

また，「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和 55 年通商産業省告示第 501 号，最終改正平成 15 年 7 月 29 日経済産業省告示第 277 号）に関する内容については，「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版を含む）〈第Ⅰ編 軽水炉規格〉 JSME S NC1-2005/2007」（日本機械学会）に従うものとする。

2. 耐震設計上の重要度分類

2.1 重要度分類の基本方針

設計基準対象施設の耐震設計上の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、その影響が大きい施設

(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

(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

2.2 耐震重要度分類

耐震重要度分類について第1部第1.10.4.1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。

3. 設計用地震力

3.1 地震力の算定法

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、以下の地震層せん断力係数 C_i 及び震度に基づき算定するものとする。

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、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、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。

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。

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。

c. 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）

土木構造物の静的地震力は、JEAG4601 の規定を参考に、C クラスの建物・構築物に適用される静的地震力を考慮する。

上記 a. 及び b. 並びに c. 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決定する。

(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。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を除く。）については、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d から定める入力地震動を適用する。

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 S_d 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並びに浸水防止設備又は津波監視設備が設置された建物・構築物については、基準地震動 S_s による地震力を適用する。

動的解析においては、地盤の諸定数も含めて材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮する。

3.2 設計用地震力

設計用地震力については別添－1に示す。

4. 荷重の組合せと許容限界

4.1 基本方針

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以下に示す。

a. 建物・構築物

以下の(a)から(c)の状態を考慮する。

(a) 運転時の状態

原子炉施設が運転状態にあり、通常自然条件下におかれている状態。

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

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（風、積雪等）。

b. 機器・配管系

以下の(a)から(c)の状態を考慮する。

(a) 通常運転時の状態

原子炉の起動，停止，出力運転，高温待機及び燃料取替え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械又は器具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ず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（風，積雪等）。

c. 土木構造物

以下の(a)から(c)の状態を考慮する。

(a) 運転時の状態

原子炉施設が運転状態にあり，通常 of 自然条件下におかれている状態。

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

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（風，積雪等）。

(2) 荷重の種類

a. 建物・構築物

以下の(a)から(d)の荷重とする。

(a) 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，水圧及び通常的气象条件による荷重

(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，運転時の状態及び設計基準事故時の状態での荷重には，機器・配管系から作用する荷重が含まれるものとし，地震力には地震時の土圧，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

以下の(a)から(d)の荷重とする。

(a) 通常運転時の状態で施設に作用する荷重。

(b) 運転時の異常な過渡変化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。

c. 土木構造物

以下の(a)から(d)の荷重と考慮する。

(a) 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，運転時の状態及び設計基準事故時の状態での荷重には，機器・配管系から作用する荷重が含まれるものとし，地震力には地震時の土圧，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。

(3) 荷重の組合せ

(2)で定めた地震力と他の荷重との組合せは以下による。

- a. 建物・構築物（d.に記載のもののうち，津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）

- (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（通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時）に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 S_d 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（d.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年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施設に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を組み合わせる。

c. 土木構造物

(a) 屋外重要土木構造物については、常時作用している荷重及び運転時（通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時）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) その他の土木構造物については、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、静的地震力を組み合わせる。

d. 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又は津波監視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又は津波監視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施設に作用する荷重と基準地震動 S_s 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施設に作用する荷重等と基準地震動 S_s による地震力とを組み合わせる。

なお、上記 d. (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 S_s 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。

e. 荷重の組合せ上の留意事項

(a) 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場合には、その妥当性を示した上で、その他の荷重の組合せ状態での評価は行わないものとする。

(c) 複数の荷重が同時に作用し、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場合には、その妥当性を示した上で、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重要度分類に応じた地震力と、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。

第 1 部第 1.10.4.1 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。

(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以下のとおりとし、JEAG4601 等の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値を用いる。

a. 建物・構築物（d. に記載のもののうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）

(a) Sクラスの建物・構築物

イ. 弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

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。

ただし、冷却材喪失事故時に作用する荷重との組合せ（格納容器における長期的荷重との組合せを除く。）に対しては、下記ロ. に示す許容限界を適用する。

ロ. 基準地震動 S_s による地震力との組合せに対する許容限界

建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し、終局耐力に対して妥当な安全余裕をもたせることとする。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

上記(a)イ. による許容応力度を許容限界とする。

(c) 耐震重要度の異なる施設を支持する建物・構築物

上記(a)ロ. の項を適用するほか、耐震重要度の異なる施設がそれを支持する建物・構築物が、変形等に対して、その支持機能が損なわれないものとする。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

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分類に応じた安全余裕を有していることを確認する。

b. 機器・配管系 (d. に記載のものを除く)

(a) Sクラスの機器・配管系

イ. 弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

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、冷却材喪失事故時に作用する荷重との組合せ（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(a)ロ. に示す許容限界を適用する。

ロ. 基準地震動 S_s 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、その量が微小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限度に応力、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 S_s に対する応答に対して、実証試験等により確認されている機能維持加速度等を許容限界とする。動的機能維持の評価については別添-2に示す。

(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) チャンネル・ボックス

地震時に作用する荷重に対して、燃料集合体の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ずることにより制御棒の挿入が

阻害されることがないこととする。

c. 土木構造物

(a) 屋外重要土木構造物

イ. 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。

ロ. 基準地震動 S_s 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、圧縮縁コンクリート限界ひずみ又は終局曲率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、せん断耐力及び終局せん断強度に対して妥当な安全余裕を持たせることを基本とする。ただし、構造部材の曲げ、せん断に対する上記の許容限界に代わり、許容応力度を適用することで、安全余裕を考慮する場合もある。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。

(b) 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。

d. 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又は津波監視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又は津波監視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変形能力（終局耐力時の変形）及び安定性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）が保持できるものとする。

浸水防止設備及び津波監視設備については、その施設に要求される機能（浸水防止機能及び津波監視機能）が保持できるものとする。

e. 基礎地盤の支持性能

(a) Sクラスの建物・構築物及びSクラスの機器・配管系（(b)に記載のもののうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）の基礎地盤

イ. 弾性設計用地震動 s_d による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

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。

ロ. 基準地震動 S_s 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。

(b) 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又は津波監視設備が設置された建物・構築物の基礎地盤

イ. 基準地震動 S_s による地震力との組合せに対する許容限界

上記(a)イ. による許容支持力度を許容限界とする。

(c) Bクラス及びCクラスの建物・構築物、Bクラス及びCクラスの機器・配管系及びその他の土木構造物を支持する基礎地盤

上記(a)ロ. による許容支持力度を許容限界とする。

5. 地震応答解析の方針

5.1 建物・構築物

(1) 入力地震動

原子炉建屋設置位置付近は、地盤調査の結果、新第三紀の砂質泥岩からなる久米層が分布し、EL. -370m 以深ではS波速度が 0.7km/s 以上であることが確認されている。したがって、EL. -370m の位置を解放基盤表面として設定する。

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 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d 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解析または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や対象建物・構築物位置と炉心位置での地質・速度構造の違いにも留意し、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。弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力による評価については別添-3に示す。

また、耐震Bクラスの建物・構築物のうち共振のおそれがあり、動的解析が必要なものに対しては、弾性設計用地震動 S_d を 1/2 倍したものをを用いる。

(2) 解析方法及び解析モデル

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及び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。また、原則として、建物・構築物の地震応答解析及び床応答曲線の策定は、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。

建物・構築物の地震応答解析に当たっては、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，基礎側面と地盤の接触状況及び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。

地震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材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮する。また，材料のばらつきによる変動のうち建物・構築物の振動性状や応答性状に及ぼす影響として考慮すべき要因を選定した上で，選定された要因を考慮した動的解析により設計用地震力を設定する。

建物・構築物の3次元応答性状及び機器・配管系への影響については，建物・構築物の3次元FEMモデルによる解析に基づき，施設の重要性，建屋規模，構造特性を考慮して評価する。3次元応答性状等の評価は，周波数応答解析法による。

5.2 機器・配管系

(1) 入力地震動又は入力地震力

機器・配管系の地震応答解析における入力地震動又は入力地震力は，基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d ，又は当該機器・配管系の設置床における設計用床応答曲線又は時刻歴応答波とする。弾性設計用地震動 S_d による評価については別添-3に示す

また，耐震Bクラスの機器・配管系のうち共振のおそれがあり，動的解析が必要なものに対しては，弾性設計用地震動 S_d を基に作成した設計用床応答曲線の応答加速度を1/2倍したものを用いる。

(2) 解析方法及び解析モデル

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及び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、剛性等の各物性値は適切な規格・基準、あるいは実験等の結果に基づき設定する。

また、評価にあたっては建物・構築物の剛性及び地盤物性等の不確かさを適切に考慮する。

機器の解析にあたっては、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質点系モデル、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又は時刻歴応答解析法により応答を求める。

配管系については、適切なモデルを作成し、設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法等により応答を求める。

スペクトルモーダル解析法及び時刻歴応答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、応答解析モデルは設備の3次元的な広がり及び当該設備の対称性を踏まえ、応答を適切に評価できる場合は1次元モデルや2次元モデルを用い、3次元的な応答性状を把握する必要がある場合は3次元的な配置をモデル化する等、その応答を適切に評価できるモデルを用いることとし、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構造強度評価に用いる地震力を算定

する。

5.3 屋外重要土木構造物

(1) 入力地震動

屋外重要土木構造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 S_s を基に、対象構造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 解析または 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。静的地震力による評価については別添-3 を参照。

(2) 解析方法及び解析モデル

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及び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、各構造物に応じた適切な解析条件を設定する。地震応答解析は、構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、地盤及び構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て行う。液状化の可能性を検討する場合には、有効応力解析を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた保守性を考慮して設定する。なお、地震応答解析では、水平地震動と鉛直地震動の同時加振を基本とするが、構造物の応答特性により水平 2 方向の同時性を考慮する必要がある場合は、水平 2 方向の組合せについて適切に評価する。

(3) 評価対象断面

屋外重要土木構造物の評価対象断面については、構造物の形状・配置等により耐震上の弱軸，強軸が明確である場合，構造の安定性に支配的である弱軸方向を対象とする。

また，評価対象断面位置については，構造物の配置や荷重条件等を考慮し，耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象とする。

屋外重要土木構造物の耐震評価における評価断面選定の考え方を別添一6に示す。

5.4 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又は津波監視設備が設置された建物・構築物

(1) 入力地震動

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又は津波監視設備が設置された建物・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 S_s を基に，構造物の基礎地盤条件等を考慮し設定する。なお，敷地内の詳細な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する。

(2) 解析方法及び解析モデル

動的解析による地震力の算定については，5.1(2)，5.2(2)及び5.3(2)によるものとする。

6. 設計用減衰定数

応答解析に用いる減衰定数は，JEAG4601に記載されている減衰定数を設備の種類，構造等により適切に選定するとともに，試験等で妥当性が確認された値も用いる。

なお，建物・構築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

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、その妥当性について検討する。

地盤と屋外重要土木構造物の連成系地震応答解析モデルの減衰定数については、地中構造物としての特徴、同モデルの振動特性を考慮して適切に設定する。

7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響

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。

波及的影響については、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。なお、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、波及的影響においては水平 2 方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用する場合に影響を及ぼす可能性のある施設を選定し評価する。

波及的影響については、以下に示す(1)から(4)の4つの事項について検討を行う。

また、原子力発電所の地震被害情報等から新たに検討すべき事項が抽出された場合は、これを追加する。

(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

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に伴う不等沈下による耐震重要施設の安全機能への影響

b. 相対変位

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に伴う下位クラス施設と耐震重要施設の相対変位による耐震重要施設の安全機能への影響

(2) 耐震重要施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に伴う耐震重要施設に接続する下位クラス施設の損傷による耐震重要施設の安全機能への影響

(3) 建屋内における下位のクラスの施設の損傷，転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に伴う建屋内の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の安全機能への影響

(4) 建屋外における下位のクラスの施設の損傷，転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に伴う建屋外の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の安全機能への影響

なお，上記(1)から(4)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。

上記観点で抽出した下位クラス施設について，抽出した過程と結果を別添－4に示す。

8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針

水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せについて，従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算に対して，施設の構造特性から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性があるものを抽出し，施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

評価に当たっては，施設の構造特性から水平2方向及び鉛直方向地震力の

組合せの影響を受ける部位を抽出し、その部位について水平2方向及び鉛直方向の荷重や応力を算出し、施設が有する耐震性への影響を確認する。なお、本方針の詳細を別添－5に示す。

(1) 建物・構築物

- ・建物・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し、各建屋において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。
- ・建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性を整理する。
- ・整理した耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性のうち、荷重の組合せによる応答特性を検討する。水平2方向及び鉛直方向地震力に対し、荷重の組合せによる応答特性により、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。
- ・3次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位について、3次元FEMモデルを用いた精査を実施し、水平2方向及び鉛直方向地震力により、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。
- ・上記で抽出されなかった部位についても、局所応答の観点から、3次元FEMモデルによる精査を実施し、水平2方向及び鉛直方向地震力により、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。
- ・評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで、各部位の設計上の許容値に対する評価を実施し、各部位が有する耐震性への影響を評価する。

(2) 機器・配管系

- ・基準地震動 S_s で評価を行う各設備を代表的な機種ごとに分類し、構造上の特徴から水平2方向の地震力が重複する観点、若しくは応答軸方向

以外の振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点にて検討を行い、水平2方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出する。

- ・抽出された設備に対して、水平2方向及び鉛直方向に地震力が入力された場合の荷重や応力等を求め、従来の設計手法による設計上の配慮を踏まえて影響を検討する。

(3) 屋外重要土木構造物

- ・屋外重要土木構造物について、各構造物の構造上の特徴を踏まえ、構造形式ごとに大別する。
- ・従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を抽出する。
- ・屋外重要土木構造物は、地中に埋設された構造であり、周辺地盤からの土圧が耐震上支配的な荷重となることから、評価対象断面に対して直交方向に作用する土圧により水平2方向及び鉛直方向の地震力による影響程度が決定される。したがって、地盤からの土圧が直接作用する部材について影響検討を行う。
- ・影響検討にあたっては、評価対象断面(弱軸方向)と評価対象断面に直交する縦断方向(強軸方向)の部材照査に与える影響を検討する。

9. 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。剛構造としない建物・構築物は、剛構造と同等又はそれを上回る耐震安全性を確保する。主要建屋の平面図、断面図を別添-7に示す。

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、耐震上の観点から出来る限り重心位置を低くし、かつ、安定性のよい据え付け状態になるよう配置する。

また、建物・構築物の建屋間相対変位を考慮しても、建物・構築物及び機器・配管系の耐震安全性を確保する設計とする。

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、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耐震性を保持するか若しくは、下位クラス施設の波及的影響を想定しても耐震重要施設の有する機能を保持する設計とする。

東海第二発電所

設計用地震力 (耐震)

設計用地震力

1. 静的地震力

静的地震力は、以下の地震層せん断力係数及び震度に基づき算定する。

種 別	耐震クラス	地震層せん断力係数 及び水平震度 ^(注1)	鉛直震度 ^(注2)
建物・構築物	S	$3.0 C_i$	$1.0 C_v$
	B	$1.5 C_i$	—
	C	$1.0 C_i$	—
機器・配管系	S	$3.6 C_i$	$1.2 C_v$
	B	$1.8 C_i$	—
	C	$1.2 C_i$	—
土木構造物	C	$1.0 C_i$	—

(注1) C_i : 標準せん断力係数を 0.2 とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値で次式に基づく。

$$C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_o$$

R_t : 振動特性係数 0.8

A_i : C_i の分布係数

C_o : 標準せん断力係数 0.2

(注2) C_v : 震度 0.3 を基準とし、建物・構築物の振動特性、地震の種類等を考慮し、高さ方向に一定として求める。

2. 動的地震力

動的地震力は、以下の入力地震動に基づき算定する。

種 別		耐震クラス	入力地震動 ^(注1)	
			水 平	鉛 直
建物・構築物		S	弾性設計用地震動 S_d	弾性設計用地震動 S_d
			基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
		B	弾性設計用地震動 $S_d^{(注2)} \times 1/2$	弾性設計用地震動 $S_d^{(注2)} \times 1/2$
津波防護施設 浸水防止設備 津波監視設備		S	設計用床応答曲線 S_s 又は 基準地震動 S_s	設計用床応答曲線 S_s 又は 基準地震動 S_s
機器・配管系		S	設計用床応答曲線 S_d 又は 弾性設計用地震動 S_d	設計用床応答曲線 S_d 又は 弾性設計用地震動 S_d
			設計用床応答曲線 S_s 又は 基準地震動 S_s	設計用床応答曲線 S_s 又は 基準地震動 S_s
		B	設計用床応答曲線 $S_d^{(注2)} \times 1/2$	設計用床応答曲線 $S_d^{(注2)} \times 1/2$
土木 構築物	屋外重要 土木 構築物	C	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s

(注1) 設計用床応答曲線は、弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s に基づき作成した設計用床応答曲線とする。

(注2) 水平及び鉛直方向の地震動に対して共振のおそれのある施設に適用する。

3. 設計用地震力

設計用地震力について、下表に整理した。なお、動的地震力は、地震力算定に用いる地震動を記載した。

種別	耐震クラス	水平	鉛直	摘要
建物・構築物	S	地震層せん断力係数 $3.0C_i$	静的震度 $1.0C_v$	荷重の組合せは、水平方向及び鉛直方向が静的地震力の場合は同時に不利な方向に作用するものとする。 水平方向及び鉛直方向が動的地震力の場合は、組合せ係数法による。
		弾性設計用地震動 S_d	弾性設計用地震動 S_d	
		基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	
	B	地震層せん断力係数 $1.5C_i$	—	静的地震力とする。
		弾性設計用地震動 $S_d \times 1/2$	弾性設計用地震動 $S_d \times 1/2$	(注1) 水平方向及び鉛直方向が動的地震力の場合は組合せ係数法による。
	C	地震層せん断力係数 $1.0C_i$	—	静的地震力とする。
津波防護施設 浸水防止設備 津波監視設備	S	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	荷重の組合せは、組合せ係数法又は二乗和平方根 (SRSS) 法による。

種 別		耐震 クラス	水 平	鉛 直	摘 要
機器・ 配管系		S	静的震度 $3.6C_i$	静的震度 $1.2C_v$	(注2)(注3) 荷重の組合せは、水平方向及び鉛直方向が静的地震力の場合は同時に不利な方向に作用するものとする。 水平方向及び鉛直方向が動的な地震力の場合は二乗和平方根 (SRSS) 法による。
			設計用床応答 曲線 S_d 又は 弾性設計用 地震動 S_d	設計用床応答 曲線 S_d 又は 弾性設計用 地震動 S_d	
			設計用床応答 曲線 S_s 又は 基準地震動 S_s	設計用床応答 曲線 S_s 又は 基準地震動 S_s	(注3) 荷重の組合せは、二乗和平方根 (SRSS) 法による。
		B	静的震度 $1.8C_i$	—	(注3)(注4) 水平方向及び鉛直方向が動的な地震力の場合は、二乗和平方根 (SRSS) 法による。
			弾性設計用 地震動 $S_d \times 1/2$	弾性設計用 地震動 $S_d \times 1/2$	
		C	静的震度 $1.2C_i$	—	静的地震力とする。
土木 構造物	屋外 重要土木 構造物	C	静的震度 $1.0C_i$	—	静的地震力とする。
			基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	動的な地震力とする。
	その他の 土木 構造物	C	静的震度 $1.0C_i$	—	静的地震力とする。

(注1) 水平及び鉛直方向の地震動に対して共振のおそれのある施設に適用する。

(注2) 水平における動的と静的の大きい方の地震力と、鉛直における動的と静的の大きい方の地震力とを、絶対値和法で組み合わせてもよいものとする。

(注3) 絶対値和法で組み合わせてもよいものとする。

(注4) 水平における動的と静的の大きい方の地震力と、鉛直における動的な地震力とを、絶対値和法で組み合わせてもよいものとする。

東海第二発電所

動的機能維持の評価 (耐震)

動的機能維持の評価

動的機能維持に関する評価は、以下に示す機能確認済加速度等との比較により実施する。

動的機能維持評価の手順を第 2-1 図に示す。

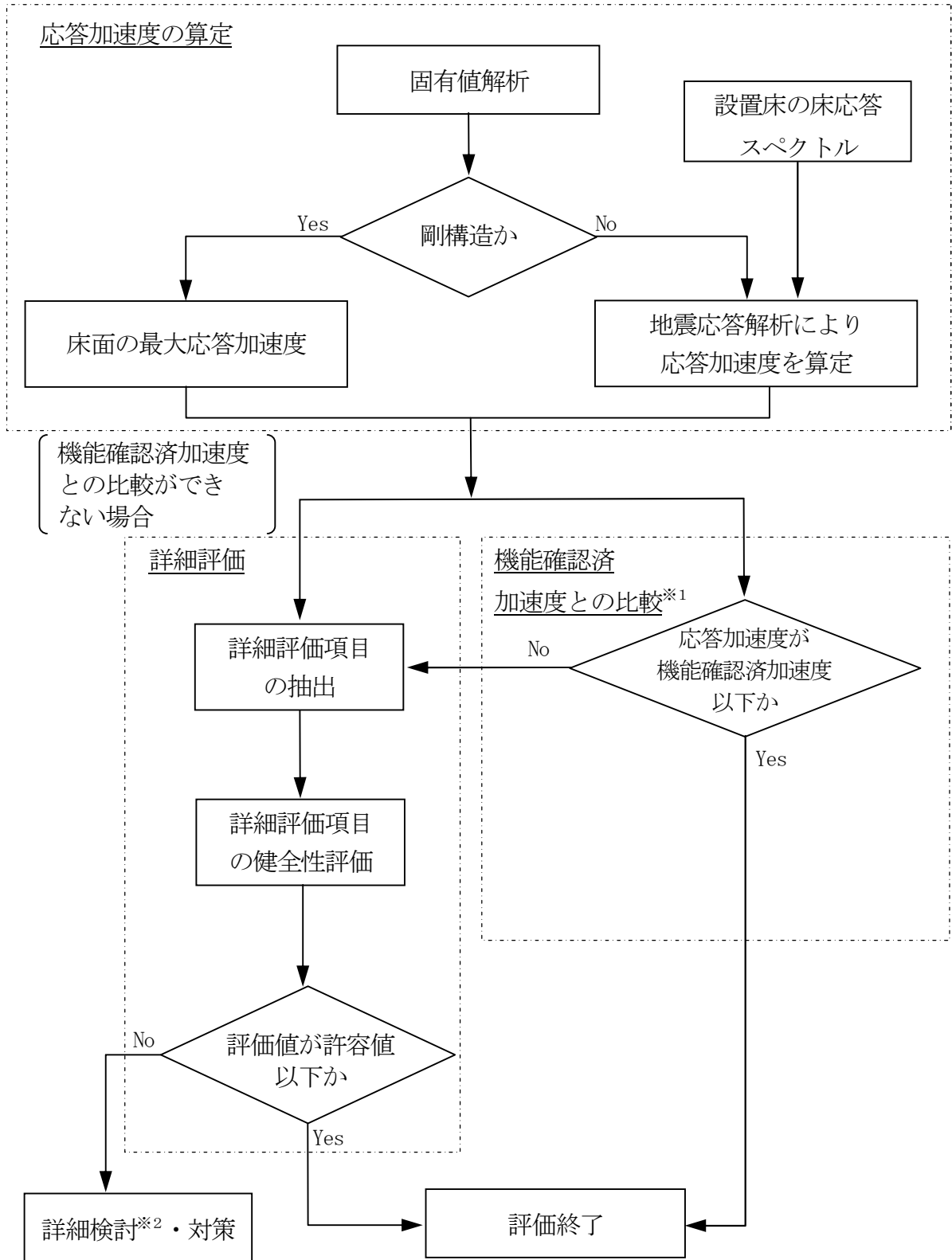
1. 機能確認済加速度との比較

基準地震動 S_s による評価対象機器の応答加速度を求め、その加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。なお、機能確認済加速度とは、立形ポンプ、横型ポンプ及びポンプ駆動用タービン等、機種毎に試験あるいは解析により動的機能維持が確認された加速度である。

制御棒の地震時挿入性の評価については、炉心を模擬した実物大の部分モデルによる加振時制御棒挿入試験結果から挿入機能に支障を与えない最大燃料集合体変位を求め、地震応答解析結果から求めた燃料集合体変位がその最大燃料集合体変位を下回ることを確認する。

2. 詳細評価

機能維持確認済加速度の設定されていない機器、基準地震動 S_s による応答加速度が機能確認済加速度を上回る機器については、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4601-1991 追補版」等を参考に、動的機能維持を確認する上で評価が必要となる項目を抽出し、対象部位ごとの構造強度評価又は動的機能維持評価を行い、発生値が評価基準値を満足していることを確認する。



*1 制御棒の地震時挿入性の評価については、炉心を模擬した実物大の部分モデルによる加振時制御棒挿入試験結果から挿入機能に支障を与えない最大燃料集合体変位を求め、地震応答解析から求めた燃料集合体変位がその最大燃料集合体変位を下回ることを確認する。

*2 解析、試験等による検討。

第2-1図 動的機能維持の評価手順

東海第二発電所

弾性設計用地震動 S_d ・ 静的地震力
による評価
(耐震)

弾性設計用地震動 S_d ・ 静的地震力による評価

1. 建物・構築物

弾性設計用地震動 S_d ・ 静的地震力による評価は、建物・構築物が、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対して評価結果が、概ね弾性状態であること及び地震時の最大接地圧が、基礎地盤の短期許容応力度に対して安全余裕を有することを確認する。

また、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安全余裕を有していることを確認する。

2. 機器・配管

(1) 弾性設計用地震動 S_d による評価

評価対象設備が弾性設計用地震動 S_d に対しておおむね弾性状態にあることを確認するために、以下の手順にて評価を実施する。評価手順を第 3-1 図に示す。

① 基準地震動 S_s による発生値と許容限界 ($III_A S$) の比較

評価対象設備の基準地震動 S_s による発生値が弾性設計用の許容限界 (許容応力状態 $III_A S$) 以下であることを確認する。

弾性設計用地震動 S_d は基準地震動 S_s の係数倍にて定義していることから、設備の基準地震動 S_s による発生値が、許容限界 (許容応力状態 $III_A S$) 以下であれば、弾性設計用地震動 S_d による発生値についても、許容限界 (許容応力状態 $III_A S$) 以下となる。

ただし、基準地震動 S_s 評価では考慮しない事故時荷重 (LOCA 時荷重など) を考慮する必要がある評価ケースは、弾性設計用地震動 S_d と組み合わせるべき事故時荷重を考慮した評価を行い、発生値に考慮する。

② 弾性設計用地震動 S_d による発生値と許容限界 ($\text{III}_A S$) の比較

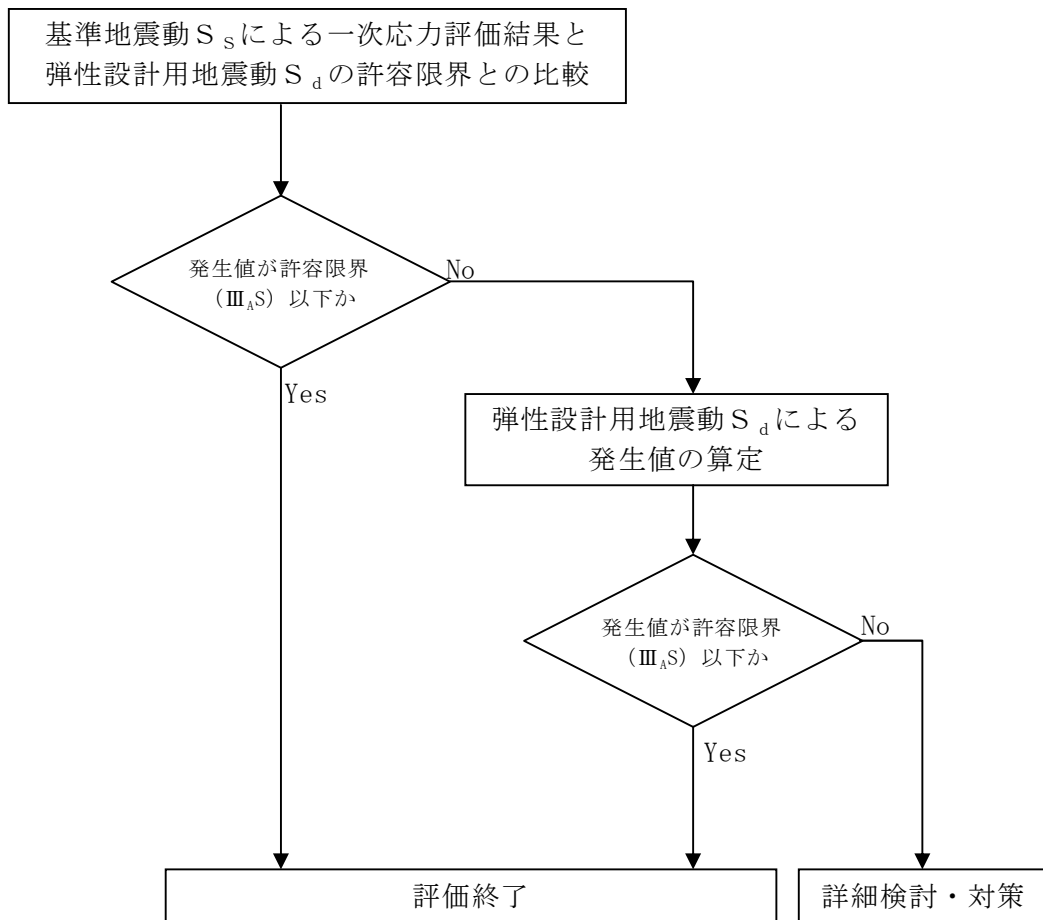
①項にて、評価対象設備の基準地震動 S_s による発生値が、許容限界 (許容応力状態 $\text{III}_A S$) を上回った設備については、弾性設計用地震動 S_d による発生値を詳細評価により算定し、その算定した発生値が許容限界 (許容応力状態 $\text{III}_A S$) 以下であることを確認する。

a. 弾性設計用地震動 S_d による評価において、1次+2次応力評価の省略について

弾性設計用地震動 S_d による評価において、1次+2次応力評価を省略する理由について以下に示す。

1次+2次応力評価については、JEAG4601に規定されている許容応力状態 $\text{IV}_A S$ と $\text{III}_A S$ の許容値は同一となる。許容値が同じであれば、弾性設計用地震動 S_d より大きな地震動である基準地震動 S_s で評価した結果の方が厳しいことは明らかであることから、基準地震動 S_s の評価を実施することで、弾性設計用地震動 S_d による評価は省略した。

ただし、支持構造物 (ボルト以外) のうち、「支圧」に対しては、許容応力状態 $\text{IV}_A S$ と $\text{III}_A S$ で許容値が異なるケースが存在するため、個別確認を実施する。



第 3-1 図 機器・配管の弾性設計用地震動 S_d に対する評価手順

(2) 静的地震力による評価

既設の設備については、旧建築基準法に基づく静的震度 (C_0) により耐震設計を行っており、設備が「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（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第 6 号）」等に規定される静的震度 (C_i) においても影響のないことを確認する。

静的震度 (C_i) に対する評価は、以下の関係を踏まえ、明らかに許容限界を満足する設備を、以下の①～⑤の手順により、既往評価結果に基づき許容限界を満足するとして詳細設計対象から除外し、詳細評価対象設備を絞り込み、⑥にて詳細評価を実施する。なお、耐震裕度を算出する際の応答加速度は、1.2 倍した値を用いる。評価手順を第 3-2 図に示す。

○耐震評価における関係性

- ・ $3.6C_i$, $3.6C_0$ に対する許容限界＝設計用地震, S_d に対する許容限界
- ・ 建設時の $3.6C_H$ による発生値 \leq 許容限界を確認済み
- ・ 今回工認での S_d による発生値 \leq 許容限界を確認済み

○評価手順

- ① 建設工認時の静的震度 C_0 と静的震度 C_i を比較し、 $C_0 \geq C_i$ となる設備は除外。
- ② 基準地震動 S_s による動的地震力と静的震度 $3.6C_i$ による静的地震力を比較し*、 $S_s \geq 3.6C_i$ となる設備は除外。
ただし、弾性設計用地震動 S_d に対する評価において、基準地震動 S_s による発生値を用いている場合のみ適用可能。
- ③ 弾性設計用地震動 S_d による動的地震力と静的震度 $3.6C_i$ による静的地震力を比較し*、 $S_d \geq 3.6C_i$ となる設備を除外
- ④ 弾性設計用地震動 S_d に対する評価結果に基づく耐震裕度 ($\text{III}_A S$ 許容限界値 / 発生値) (以下「 S_d 裕度」という。) と必要裕度 ($3.6C_i / S_d$ 比) を比較し、 S_d 裕度 \geq 必要となる設備は除外
- ⑤ 既工認における $3.6C_0$ 及び設計用地震に対する評価結果に基づく耐震裕

度 ($\text{III}_A S$ 許容限界値/発生値) (以下「既工認における裕度」という。) と C_i/C_H 比を比較し, 既工認における裕度 $\geq C_i/C_H$ 比となる設備は除外

⑥ 3.6 C_i に対する詳細検討を実施

- * 水平と鉛直方向の組合せについては, S_s, S_d は S R S S 法による組み合わせ, 水平方向静的震度 3.6 C_i は鉛直方向静的震度 0.288 と絶対値和による組合せを行っている。

【⑤の補足】

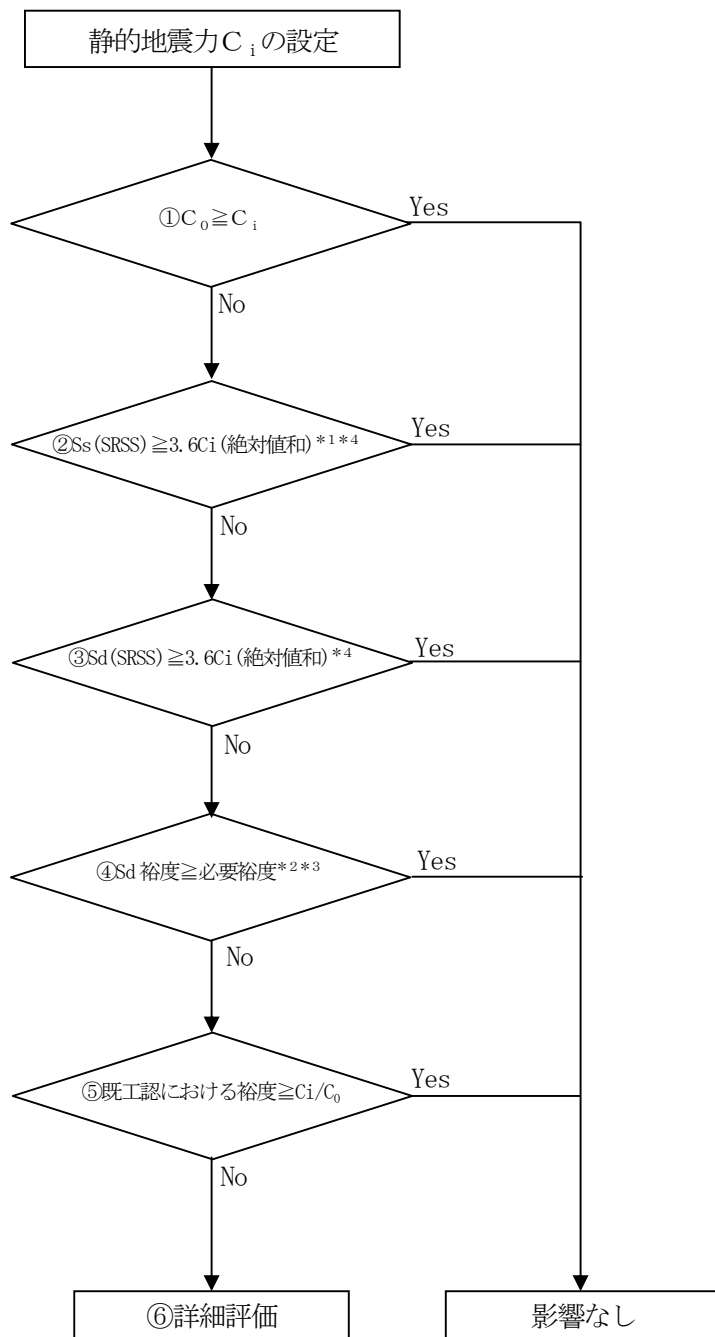
3.6 C_i (3.6 C_0) に対する裕度 = $\text{III}_A S$ 許容限界値/3.6 C_i (3.6 C_0) による発生値であり, 発生値は静的震度に比例することから, 次式のような関係となる。

$$3.6 C_i \text{ に対する裕度} = 3.6 C_0 \text{ に対する裕度} \div (C_i / C_0)$$

また, 既工認における裕度は, 3.6 C_H 及び設計用地震に対する裕度の小さい方であることから, 静的震度比 C_i/C_0 で除したものは, 次式のような関係となる。

$$3.6 C_i \text{ に対する裕度} \geq \text{既工認における裕度} \div (C_i / C_0)$$

よって, 既工認における裕度 $\geq C_i/C_0$ であれば, 3.6 C_i に対する裕度は 1 以上となる。



- * 1 S_d評価において、S_sにおける発生値を用いている場合
- * 2 必要裕度は3.6C_i(絶対和)/S_d(SRSS)の比
- * 3 S_dを用いた動的解析による裕度により判定
- * 4 水平・鉛直方向の組合せについては、S_s、S_dはSRSS法による組合せ、水平方向静的震度3.6C_iは鉛直方向静的震度(0.288)と絶対値和による組合せを行っている。

第3-2 図 静的震度に対する評価手順

3. 屋外重要土木構造物

従前より屋外重要土木構造物として取り扱われている構造物については、既工認において、土木構造物として求められているCクラス相当の静的地震力よりも大きなSクラス相当の静的地震力に対して、許容応力度法による耐震評価を実施している。

したがって、今回工認においては、現在の基準により設定される荷重条件や、許容限界等の諸条件が、既工認における諸条件と同等であることを確認することで、静的地震力に対する耐震評価が今回工認にて満足されることを確認する。

東海第二発電所

機器・配管系における手法の変更点について
(耐震)

1. はじめに

今回工認における機器・配管系の耐震評価において、既工認から評価手法を変更するものについて、「別紙－1 既工認との手法の相違点の整理について（設置変更許可申請段階での整理）」の整理結果を踏まえ、以下に結果を示すものである。

2. 手法の相違点

(1) 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用

原子炉建屋クレーンの解析では、より詳細な手法を用いる観点から、すべり及び浮き上がりの条件を考慮した非線形時刻歴応答解析にて評価を実施する。原子炉建屋クレーンの非線形時刻歴応答解析の適用については、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料 1 参照）。

(2) ポンプ等の解析モデルの精緻化

最新の工認実績等を踏まえ、ポンプ等の一部設備に対して解析モデルの質点数の変更、設備の支持構造に沿った解析モデルの精緻化を行う。多質点モデルによる地震応答解析モデルの適用は、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料 2 参照）。

(3) 容器等の応力解析への F E Mモデルの適用

既工認において、公式等による評価にて耐震計算を実施していた設備について、3次元 F E Mモデル、多質点モデルを適用した耐震評価を実施する。F E Mモデルを用いて応力解析を行う手法は、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料 3 参照）。

(4) 解析コードの変更

今回工認における格納容器、原子炉圧力容器等の主要設備の耐震評価に

適用する解析コードについては、建設時に適用した解析コードから他プラントを含む既工認において適用実績がある解析コードに変更する（詳細は添付資料4参照）。

(5) 最新知見として得られた減衰定数の採用

最新知見として得られた減衰定数を採用する設備は以下のとおりであり、その値は、振動試験結果等を踏まえ、設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用したものである。

また、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数についても新たに設定している。

天井クレーン、燃料取替機及び配管系の減衰定数並びに鉛直方向の設計用減衰定数は他プラントを含む既工認において適用実績がある（詳細は添付資料5参照）。

① 天井クレーンの減衰定数

② 燃料取替機の減衰定数

③ 配管系の減衰定数

(6) 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せ

今回工認の評価では、鉛直方向の動的地震力が導入されたことから、水平方向と鉛直方向の地震力の組み合わせとして、既往の研究等に基づき二乗和平方根（以下「SRSS」という。）法を用いる。SRSS法による荷重の組み合わせは、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料6参照）。

(7) 鉛直方向応答解析モデルの追加

今回工認では、鉛直方向に動的地震動が導入されたことから、原子炉本体及び炉内構造物について、鉛直方向の応答を適切に評価する観点で、水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向応答解析モデルを新たに採用し鉛

直地震動に対する評価を実施する。鉛直方向応答解析モデルは他プラントを含む既工認にて適用実績があるモデルである。(詳細は添付資料7参照)。

3. 添付資料

- (1) 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について
- (2) ポンプ等の解析モデルの精緻化について
- (3) 容器等の応力解析へのFEMモデルの適用について
- (4) 解析コードの変更について
- (5) 最新知見として得られた減衰定数の採用について
- (6) 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せについて
- (7) 鉛直方向応答解析モデルの追加について

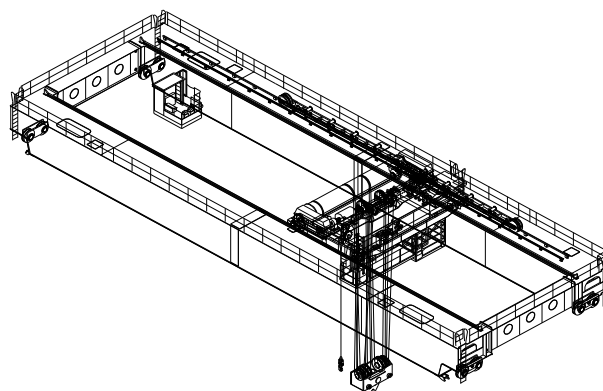
原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について

1. 概要

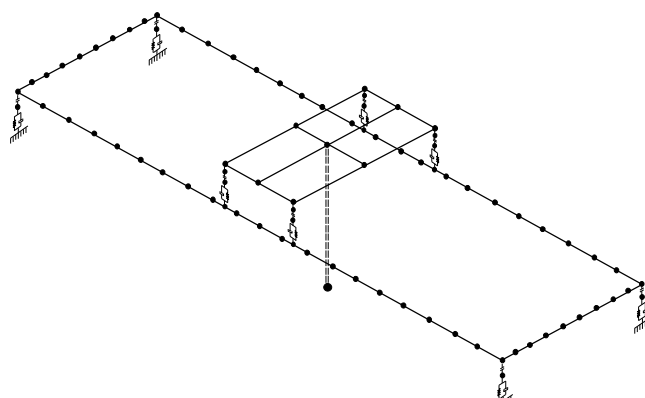
原子炉建屋クレーン（第 1-1 図）の耐震評価は、既工認では鉛直方向は静的地震力のみであったことから簡便に手計算により実施していた。

今回工認では、鉛直方向の動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンの車輪部がレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり挙動を考慮した解析モデル（第 1-2 図）を用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。

なお、本モデル及び評価手法は大間 1 号炉の建設工認にて適用例があり、大間 1 号炉と東海第二発電所の原子炉建屋クレーンは類似構造であることから、東海第二発電所の原子炉建屋クレーンにも適用可能である。



第 1-1 図 原子炉建屋クレーン構造概要図



第 1-2 図 今回工認の解析モデル

2. 原子炉建屋クレーンの構造

大間1号炉と東海第二発電所の原子炉建屋クレーンは、第1-3図に示すとおり原子炉建屋に設置された走行レール上をガーダ及びサドルが走行し、ガーダ上に設置された横行レールをトロリが横行する構造であり、いずれも同様の構造（別紙1参照）となっており、地震力に対し以下の挙動を示す。

(1) 走行方向の水平力

- a. クレーンは走行レール上に乗っているだけで固定されていないため、走行方向の水平力がクレーンに加わっても、クレーンはレール上をすべるだけで、クレーン自身にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- b. クレーンの走行車輪は、駆動輪又は従動輪である。
- c. 駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度が車輪部に加わると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。

(2) 横行方向の水平力

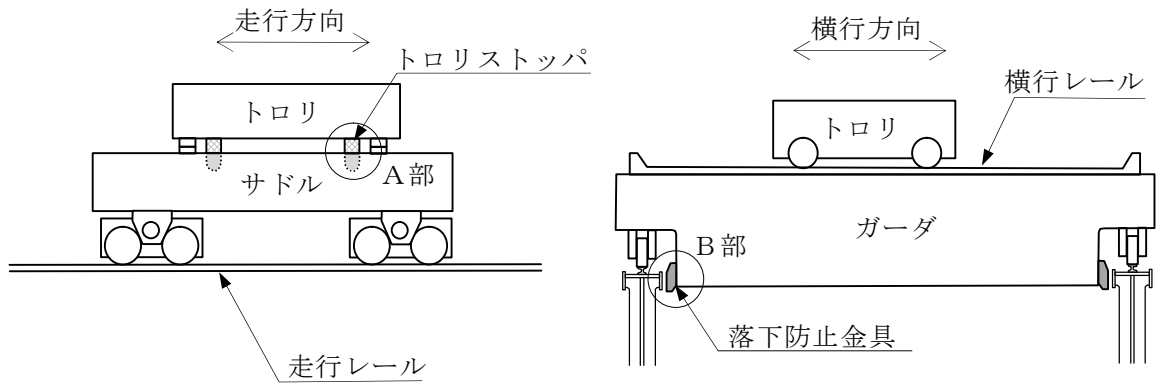
- a. ガーダ関係
 - (a) 横行方向は、走行レールに対して直角方向であるため、ガーダは建屋と固定されているものとし、水平力がそのままガーダに作用する。
- b. トロリ関係
 - (a) トロリはガーダの上に乗っているだけでガーダとは固定されていないため、水平力がトロリに加わっても、トロリはレール上をすべるだけで、トロリ自身にはレールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
 - (b) トロリの横行車輪は、駆動輪又は従動輪である。

(c) トロリの駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度が車輪部に加わると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。

(3) 鉛直力

ガーダ及びトロリは、レールと固定されていないことから、鉛直方向の地震力によってレールから浮き上がる可能性がある。

また、東海第二発電所の原子炉建屋クレーンは、今後実施する耐震補強工事により、大間1号炉のトロリストッパ及び脱線防止ラグと同様な構造変更を行うことにより、車輪まわりのトロリストッパ及び落下防止金具とレールの間を取り合い構造は、認可実績のある大間1号炉の原子炉建屋クレーンと同様の構造となることから、車輪まわりを含めた地震応答解析モデルは大間1号炉と同様にモデル化することができる（構造変更の概要は別紙2参照）。



	大間 1 号炉	東海第二発電所
A 部		
B 部		

第 1-3 図 車輪まわりの構造比較

3. 解析評価方針

(1) 評価方法

既工認と今回工認の評価方法を第 1-1 表に示す。今回工認では、鉛直方向の動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンの車輪部の構造を変更しておりレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり、衝突の挙動を考慮した 3 次元 FEM 解析モデルを用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。

第 1-1 表 既工認と今回工認の評価方法の比較

項 目	東海第二発電所		大間 1 号炉
	既工認	今回工認	
解析手法	公式等による 評価	非線形時刻歴 応答解析	同左
解析モデル	—	3 次元 F E M 解析モデル	同左
車輪－レール間の境界条件	すべり考慮	すべり，浮き上がり，衝突考慮	同左
地震力	水平	動的地震力	同左
	鉛直	静的地震力	同左
減衰定数	水平	—※ ¹	同左
	鉛直	—	同左
解析プログラム	—	Abaqus (Ver. 6. 5-4)	同左

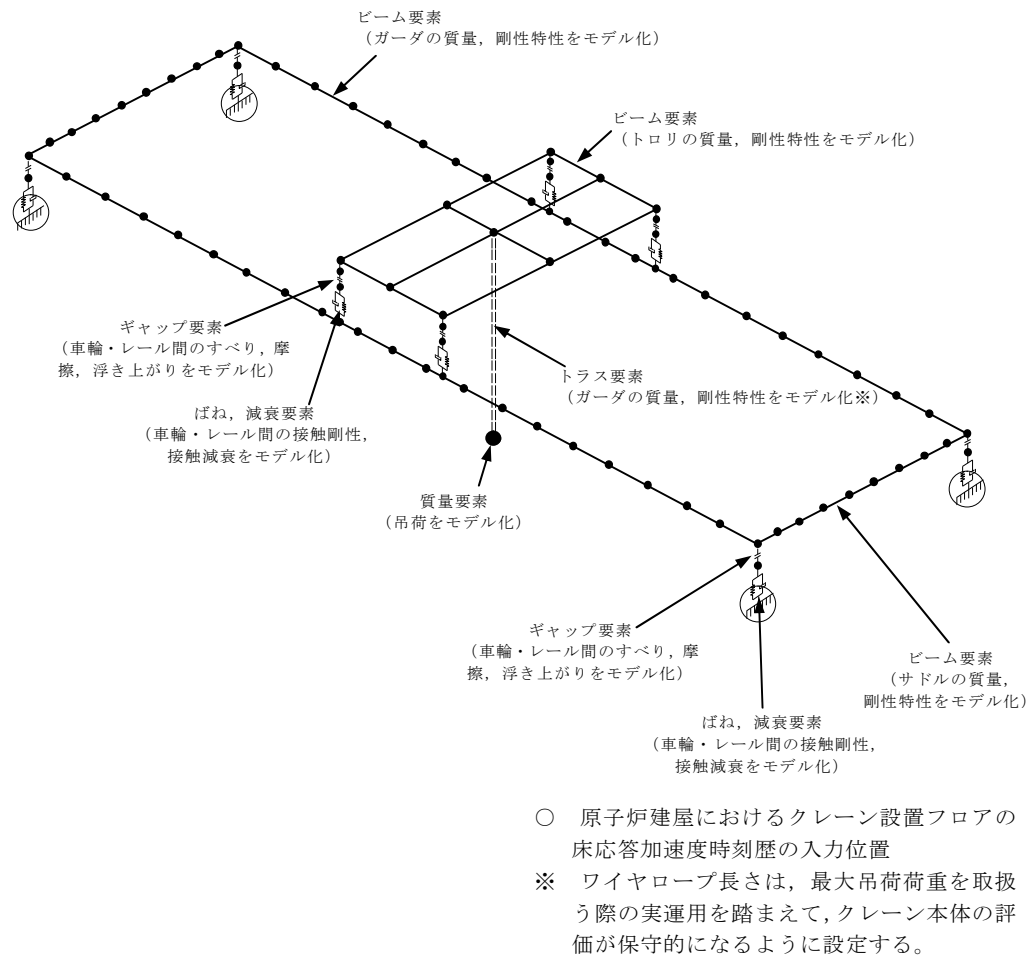
※ 1 : 既工認では剛として耐震評価を実施しているため減衰定数は使用していない。

※ 2 : 添付資料 5 にて適用性を説明。

(2) 地震応答解析モデル

クレーンを構成する主要部材をビーム要素でモデル化し、車輪部はレール上に乗っており固定されておらず、すべり、浮き上がり及び衝突の挙動を示す構造であることから、ギャップ要素、ばね要素及び減衰要素でモデル化する。クレーンの解析モデルを第 1-4 図に示す。

なお、今回工認の原子炉建屋クレーンのモデル化は、大間 1 号炉と同一の設定方法とする（車輪部の非線形要素については別紙 3 参照）。



第 1-4 図 原子炉建屋クレーン地震応答解析モデル

(3) 地盤物性等の不確かさに対する検討方針

スペクトルモーダル解析等では、床応答加速度は地盤物性等の不確かさによる固有周期のシフトを考慮して周期方向に±10%拡幅したものをを用いている。

本評価では設計用床応答スペクトルを用いない時刻歴応答解析を採用することから、今回工認では地盤物性等の不確かさによる建屋固有周期のシフトの影響も考慮し、機器評価への影響が大きい地震動に対し ASME Boiler Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION1-NONMANDATORY APPENDIX N-1222.3 Time History Broadening) に規定された設計用床応答スペクトルで考慮されている拡幅±10%に相当するゆらぎを仮定する手法等による検討を行う予定である。

なお、ゆらぎを考慮した設計用床応答スペクトルの谷間にクレーンの固有周期が存在する場合は、ASME の規程に基づきピーク位置が固有周期にあたるようにゆらぎを考慮した評価も行う。

4. 別紙

- (1) 原子炉建屋クレーンの主要諸元
- (2) 原子炉建屋クレーンの耐震補強工事による構造変更
- (3) クレーン車輪部の非線形要素（摩擦・接触・減衰）
- (4) 原子炉建屋クレーンの地震時挙動に関する補足説明

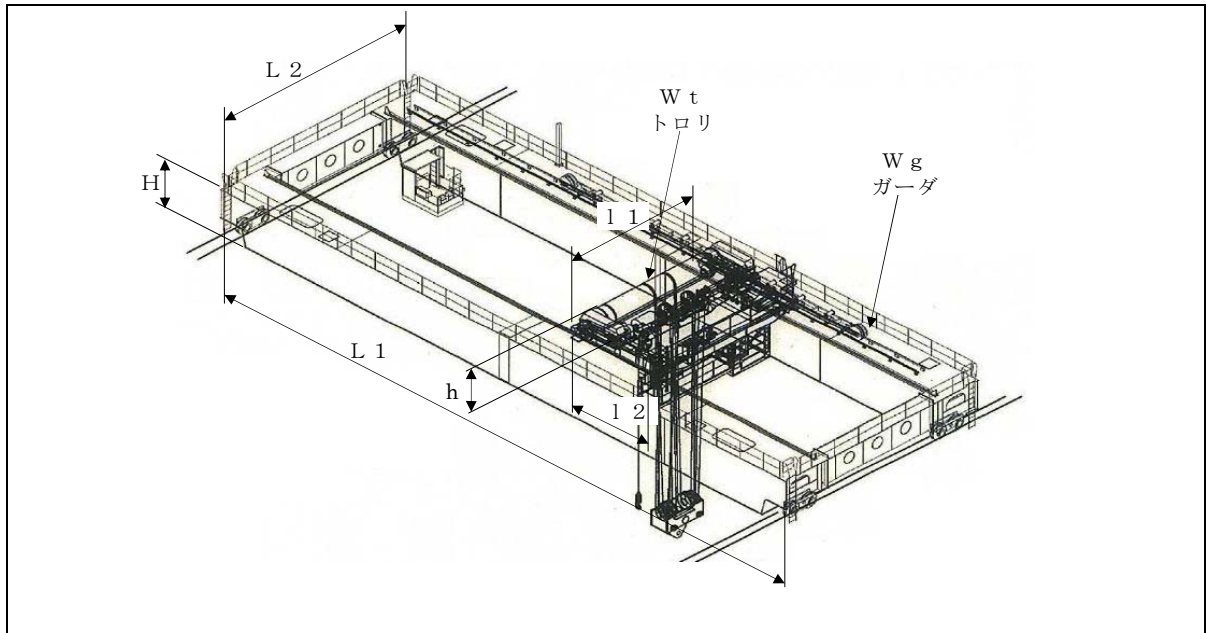
5. 参考文献

- (1) 平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査

動的上下動耐震試験(クレーン類)に関わる報告書(08 耐部報-0021, (独)
原子力安全基盤機構)

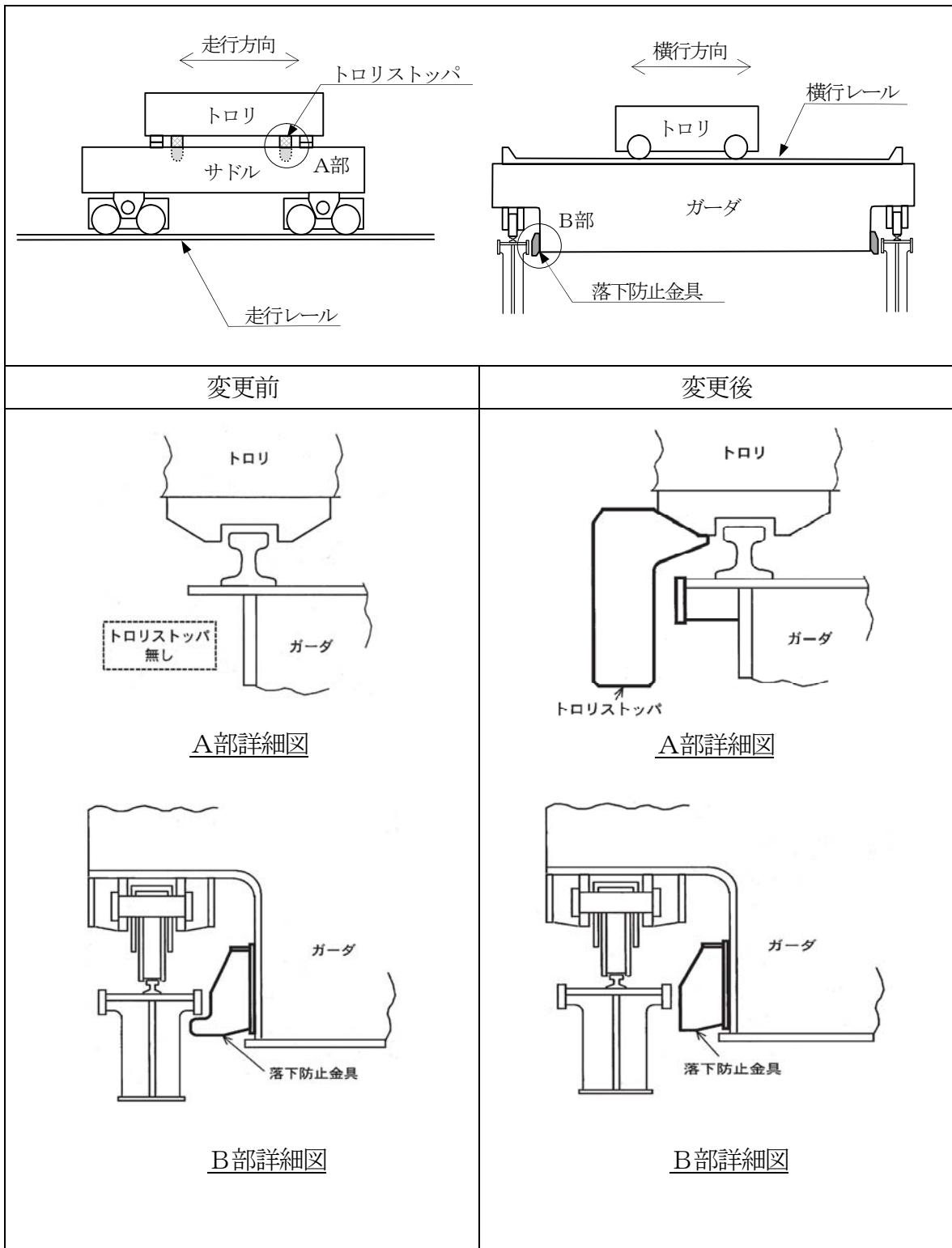
- (2) 平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査
動的上下動耐震試験(クレーン類)に関わる報告書(08 耐部報-0021, (独)
原子力安全基盤機構)

別紙 1 原子炉建屋クレーンの主要諸元



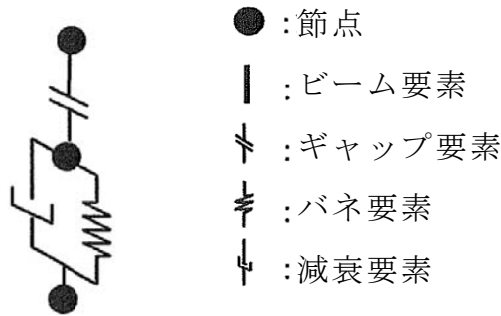
仕様		大間 1 号炉	東海第二発電所
トロリ	質量 W_t (ton)	80.0	48.0
	高さ h (m)	2.815	2.280
	スパン l_1 (m)	7.7	5.6
	スパン l_2 (m)	4.6	4.1
ガーダ	質量 W_g (ton)	190	118.0
	高さ H (m)	2.5	1.915
	スパン L_1 (m)	34.9	39.5
	スパン L_2 (m)	9.38	6.2
総質量	W (ton)	270.0	166.0

別紙2 原子炉建屋クレーンの耐震補強工事による構造変更



別紙 3 クレーン車輪部の非線形要素（摩擦・接触・減衰）

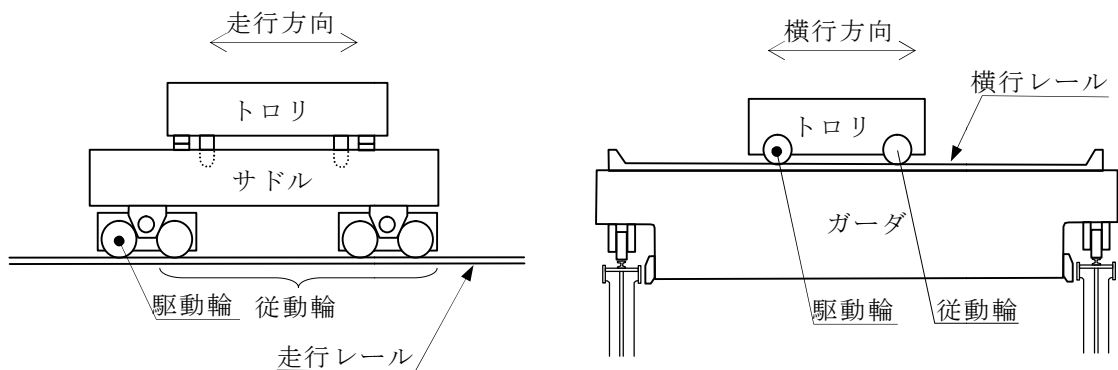
クレーン車輪部のモデル化では、すべり、浮き上がり及び衝突の挙動を模擬するためギャップ要素を用いる。また、接触部位の局所変形による接触剛性をバネ要素で、衝突による減衰効果を減衰要素で模擬し、別図 1-1 に示すように、ギャップ要素と直列に配置する。



別図 1-1 車輪部の非線形要素

1. 車輪とレール間の摩擦特性

クレーンの車輪には電動機、減速機等の回転部分と連結された駆動輪と、回転部分と連結されている従動輪の 2 種類がある。このうち駆動輪は回転が拘束されているため、地震の加速度が車輪部に入力されると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。ここで、摩擦係数は既工認と同様の 0.3 を用いる。



別図 1-2 概要図

2. 車輪とレールの接触剛性

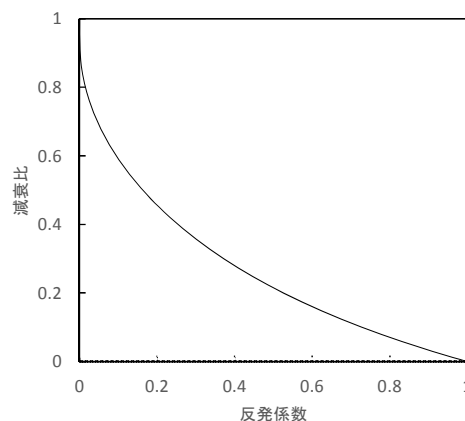
接触剛性は、「平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン試験）に関わる報告書（09 耐部報-0008,（独）原子力安全基盤機構）」^(参2)を参照し、車輪とレールの衝突時の剛性を模擬するものとして接触剛性を考慮したばね要素とクレーン質量で構成される 1 自由度系の固有振動数が 20Hz 相当になるよう設定する。

3. 車輪とレールの衝突による減衰

衝突による減衰は、「平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に関わる報告書（08 耐部報-0021,（独）原子力安全基盤機構）」^(参1)にて実施した要素試験のうちの車輪反発係数試験結果から評価した反発係数から換算する。なお、減衰比と反発係数の関係式には次式を用いる。

$$e = \exp\left(-\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

ここで、 e は反発係数、 h は減衰比である。別図 1-3 に、上記の式で表される反発係数と減衰比の関係を示す。



別図 1-3 反発係数と減衰比の関係

別紙 4 原子炉建屋クレーンの地震時挙動に関する補足説明

1. 車輪とレールとの摩擦力及び落下防止部材との接触による摩擦力の考慮について

クレーンは、レール上を車輪で移動する構造であるため、建屋に固定されておらず、地震時にはレールに沿う方向にはすべりが発生し、摩擦力以上の荷重を受けない構造である。

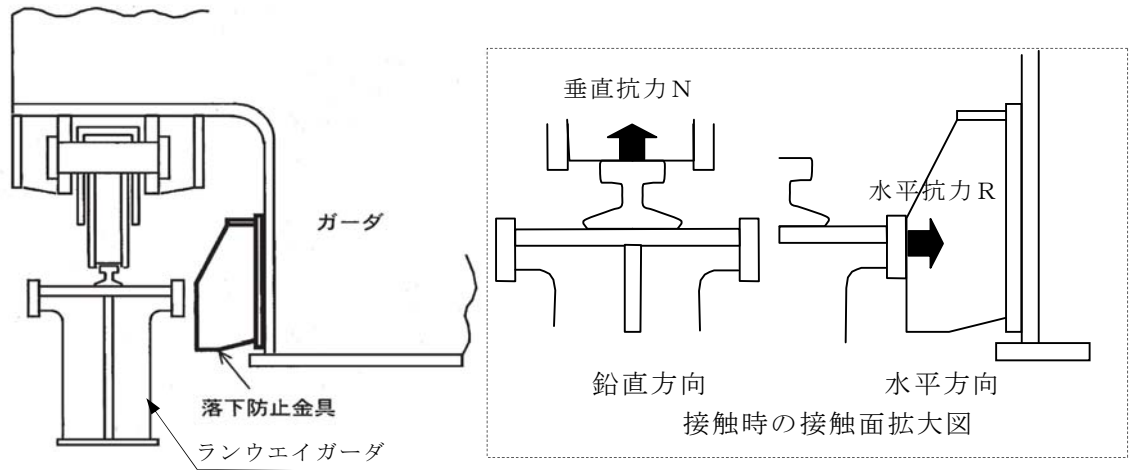
クレーン本体とランウェイガード間の取り合い部を例とすると、すべりを想定する面としては、鉛直方向（車輪からレール間）と水平方向（落下防止金具からランウェイガード間）が挙げられる（別図 1-4）。

鉛直方向には、自重が常時下向きに加わっており、地震による鉛直方向加速度が 1 G を上回りクレーン本体が浮き上がりの挙動を示すごく僅かな時間帯を除き、常に車輪はレール上面に接触し垂直抗力 N が発生する状態であることから、摩擦係数 μ ($=0.30$) 一定の条件の下、垂直抗力 N を時々刻々変化させた摩擦力 f ($=\mu N$) を考慮している。

これに対して、水平方向には常時作用する荷重が無く、水平方向（横行方向）の地震力が作用し落下防止金具がランウェイガード側面に接触する際のみ水平抗力 R が発生する。しかしながら、地震力は交番荷重であること及び、接触後も部材間の跳ね返りが発生することから、側面の接触時間はごく僅かな時間となる。また、大きな摩擦力が発生するためには、横行方向の地震力により瞬間的に水平抗力 R が発生する間に、走行方向の大きな地震力が同時に作用することが必要であることから、各方向地震動の非同時性を考慮し、側面の接触による摩擦力は考慮していない。

なお、基準地震動 S_s による地震力に対して、駆動輪に接続される電動機及び減速機等の回転部分が破損し駆動輪が自由に回転する可能性も考えられ

るが、その場合は駆動輪が回転することにより摩擦力は低減することから、上記のように摩擦力を考慮した評価を行うことで保守的な評価となると言える。



別図 1-4 鉛直方向と水平方向との接触面

2. レール等の破損による解析条件への影響について

クレーンのモデル化にあたっては、車輪がレール上にあり、レール直角方向に対しては落下防止金具又はトロリストッパが接触して機能することを前提としている。

ここでは、地震応答解析モデルの前提としている「レール上に車輪が乗っていること」が落下防止金具又はトロリストッパの健全性を確認することで満足されることを、クレーン本体とランウェイガーダ間の取り合い部を例として示す。

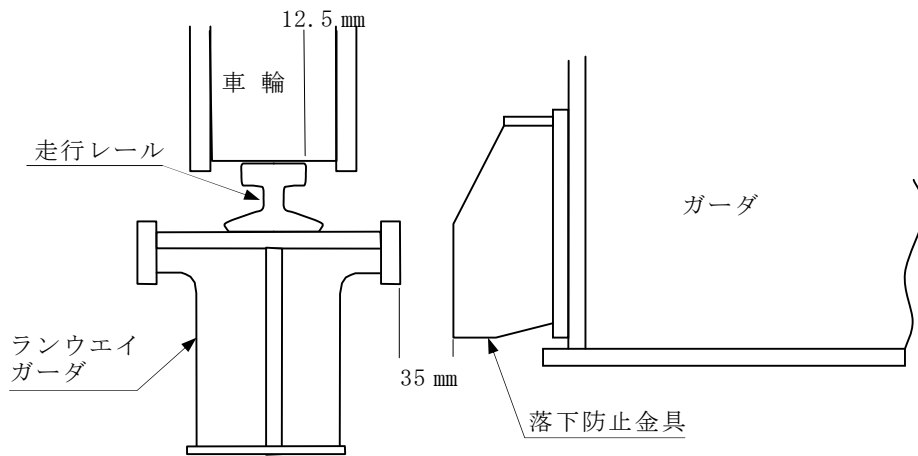
クレーン横行方向に地震力が作用する際は、車輪がレール上に乗り上がる挙動が想定されるが、落下防止金具がランウェイガーダに接触することで、横行方向の移動量は制限される。落下防止金具は構造強度部材として基準地震動 S_s によって生じる地震力に対して、許容応力を満足する設計としており、地震で破損することは無いため、落下防止金具とランウェイガーダ間の

ギャップ量に相当する移動量となった場合であっても、構造上車輪はレール上から落ちることは無い（別図 1-5）。

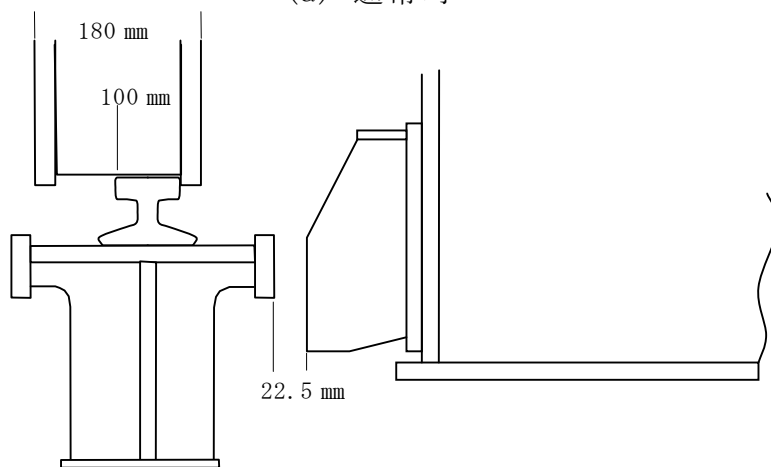
本体ガードとトロリストッパの寸法も同様の関係となっている。

また、落下防止金具とランウェイガードが接触するより前に、車輪からレールに荷重が伝わることとなるが、車輪のつばとレールが接触（移動量 12.5mm）してから落下防止金具とランウェイガードが接触（移動量 35mm）し移動が制限されるまでの移動量は 22.5mm（=35mm-12.5mm）程度であることから、落下防止金具が接触して機能する前に鋼製部材であるレールが大きく破損することは無いと考えられる。このように、車輪のつばの有無によらず構造強度部材である落下防止金具が機能することで車輪がレール上にとどまる設計であることから、車輪のつばは地震応答解析の前提条件に影響するものではない。

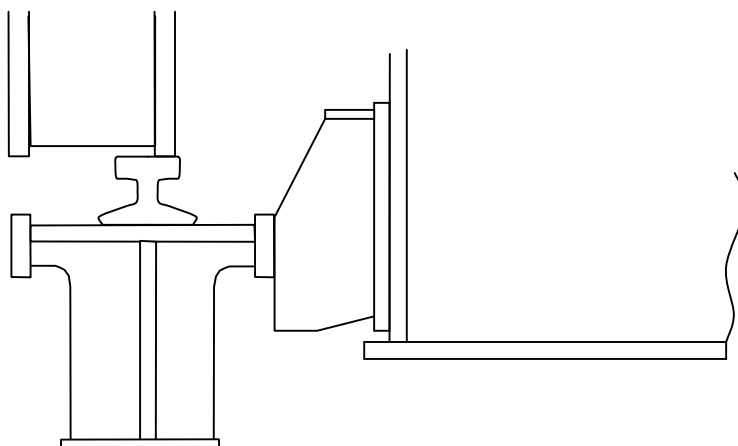
以上より、地震時に落下防止金具がランウェイガードに接触して機能する前に、車輪がすべり面であるレールから落下することや、レールが大きく破損することが無いことから、落下防止金具が機能する前に地震応答解析モデルの前提を満足しなくなるおそれは無いと言える。



(a) 通常時



(b) 水平方向地震力により車輪のつばがレールに接触
(水平移動量 12.5mm)



(c) 水平方向地震力により落下防止金具とランウエイガードが接触
(水平移動量 35mm)

(本図は車輪がレールから外されないことを示すための概念図であり、構造物の大きさや間隙については実物とは異なる。)

別図 1-5 概念図

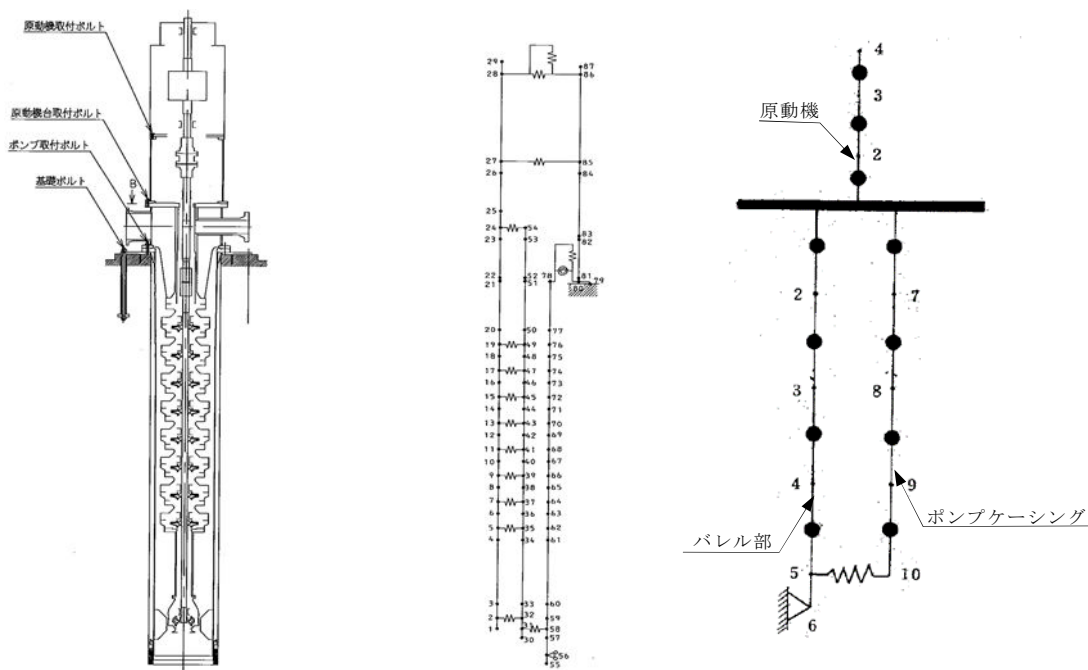
4条-別紙6-20

ポンプ等の解析モデルの精緻化について

1. 立形ポンプの解析モデルの精緻化

既工認における高圧炉心スプレイポンプ、低圧炉心スプレイポンプ及び残留熱除去系ポンプの解析モデルは、立形ポンプの構造を模擬したバレル部及びポンプケーシングによる質点系モデルを構築していた。今回工認では、最新の知見によるモデル化を行う観点から、J E A G 4601-1981 追補版に基づき、モデルの精緻化を行う（第 2-1 図参照）。

なお、本解析モデルは大間 1 号炉の既工認及び東海第二発電所の立形ポンプのうち、非常用ディーゼル発電機海水ポンプ及び残留熱熱除去系海水ポンプの既工認にて適用実績がある（第 2-2 図参照）。



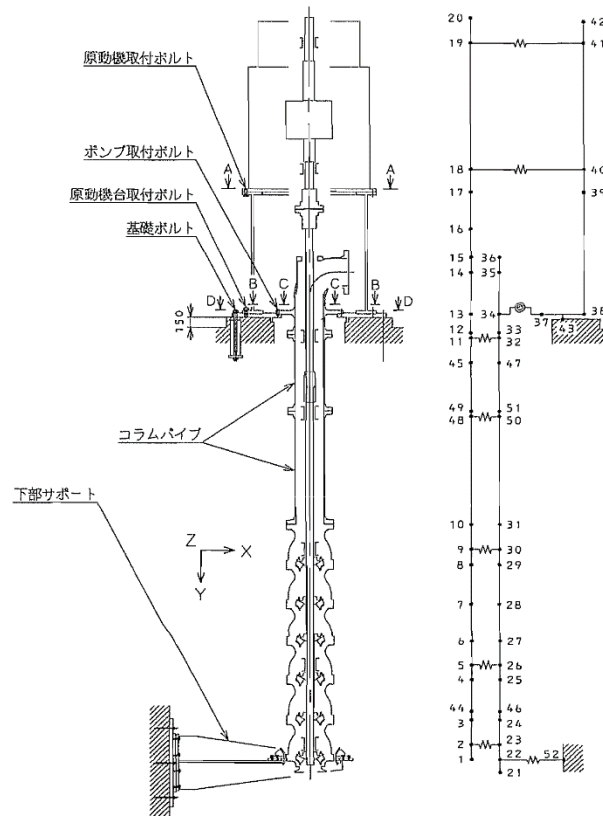
構造概要図

今回工認の解析モデル

既工認の解析モデル

第 2-1 図 立形ポンプの解析モデル図

(高圧炉心スプレイポンプ解析モデルの例)



構造概要図 既工認の解析モデル

第 2-2 図 残留熱除去系海水ポンプ解析モデル

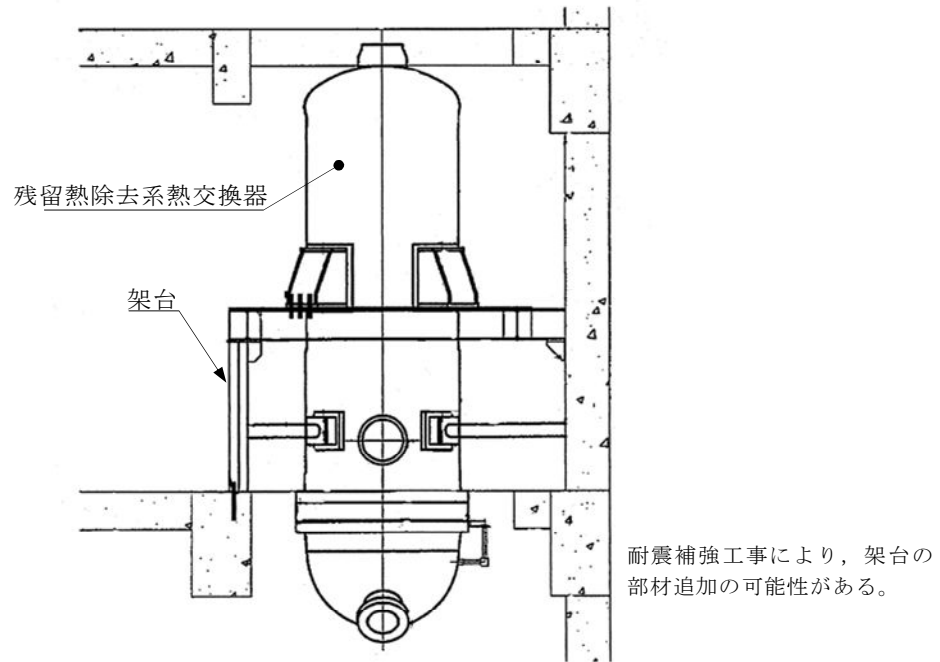
2. 残留熱除去系熱交換器の解析モデルの精緻化

残留熱除去系熱交換器の支持構造概要図を第 2-3 図に示す。残留熱除去系熱交換器は、原子炉建屋床面に設置された架台を介して支持する構造である。既工認における応力評価は、架台部の 1 次固有周期に対して設計用床応答スペクトルから算出される加速度を入力として、規格計算式によって熱交換器本体の評価を実施していた。

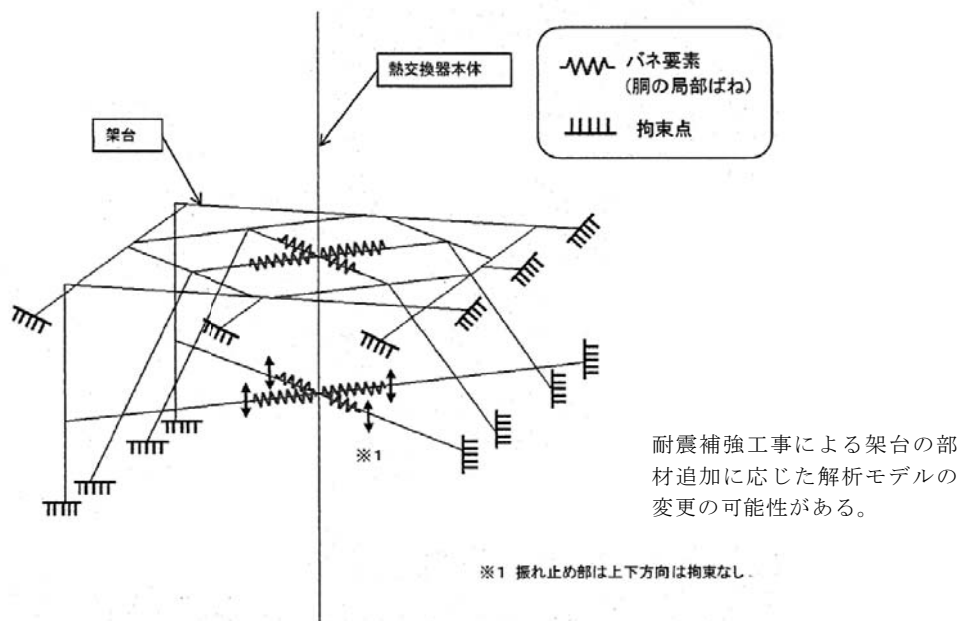
今回工認においては、架台及び熱交換器本体との相互影響を精緻に評価す

る観点から、第 2-4 図に示す多質点系のはりモデルを用いた地震応答解析により評価を行う。

なお、多質点系のはりモデルを用いた地震応答解析については、大間 1 号炉においての既工認にて適用実績がある。



第 2-3 図 残留熱除去系熱交換器支持構造概要図

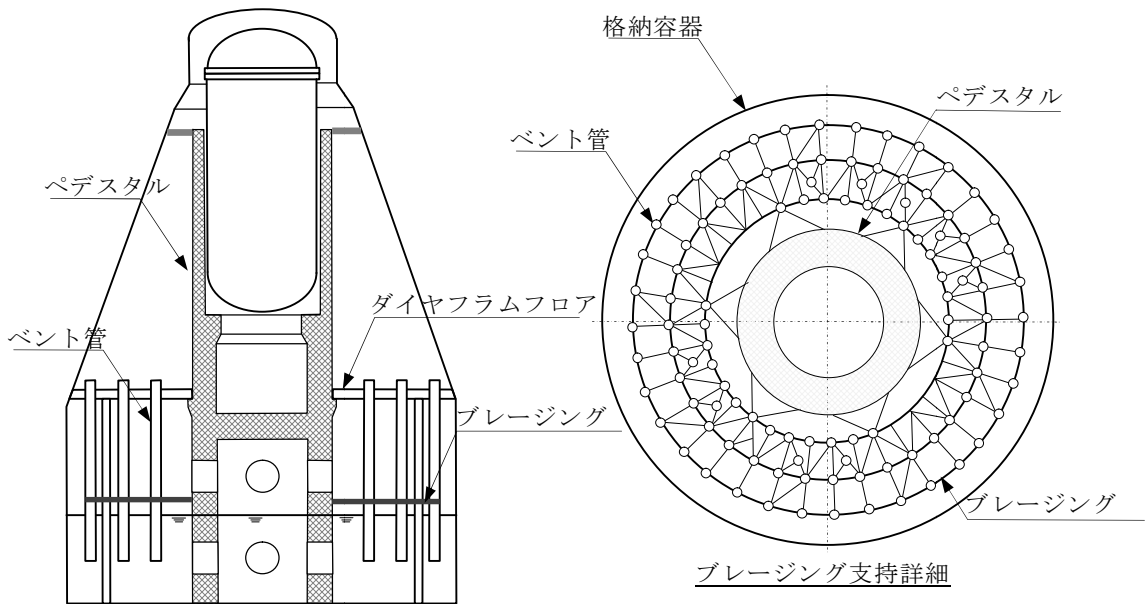


第 2-4 図 残留熱除去系熱交換器解析モデル図

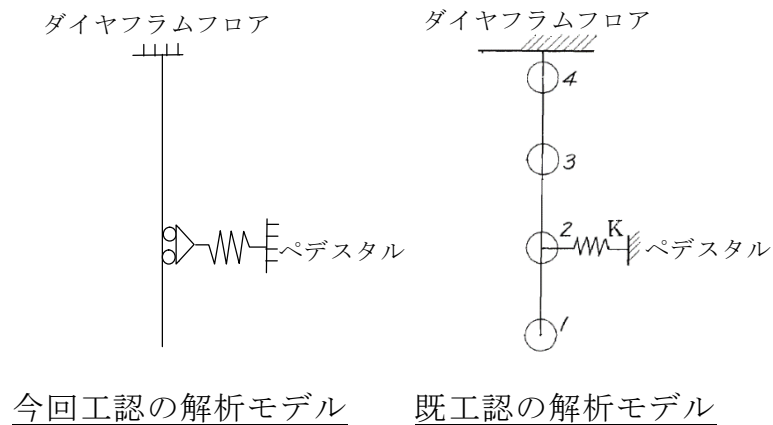
3. 格納容器ベント管の解析モデルの精緻化

格納容器のベント管の支持構造図を第 2-5 図に示す。ベント管はダイヤフラムフロアにより支持され、ブレイジングにて水平方向を拘束されている。

第 2-6 図にベント管の解析モデル図を示す。今回工認においては、大間 1 号炉の既工認実績を踏まえて、質点モデルからビーム要素に変更した解析モデルを用いた地震応答解析により評価を行う。



第 2-5 図 ベント管概要図



第 2-6 図 ベント管解析モデル図

容器等の応力解析への F E Mモデルの適用について

既工認において、公式等による評価にて耐震計算を実施していた設備について、至近の既工認の適用実績を踏まえて、3次元 F E Mモデル、多質点モデルを適用した耐震評価を実施する。F E Mモデルを用いる手法等は、大間 1号炉を含めて他 B W Rでの適用実績がある手法である。

1. 容器への F E Mモデルの適用

パーソナルエアロック、サプレッションチェンバ、アクセスハッチ等の格納容器本体に取付く各構造物並びにディーゼル発電機の付属設備である始動用空気だめ及び燃料油デイトンクについて、実機の形状をシェル要素にて模擬し、J S M E等に基づく材料諸元を与えてモデル化することにより、応答解析を行う。応答解析に用いる解析モデル図の例を第 3-1 図に示すとともに第 3-1 表及び第 3-2 表に解析概要を示す。



第 3-1 図 格納容器の F E Mモデル図
(パーソナルエアロックの F E Mモデルの例)

第 3-1 表 格納容器の F E M解析概要

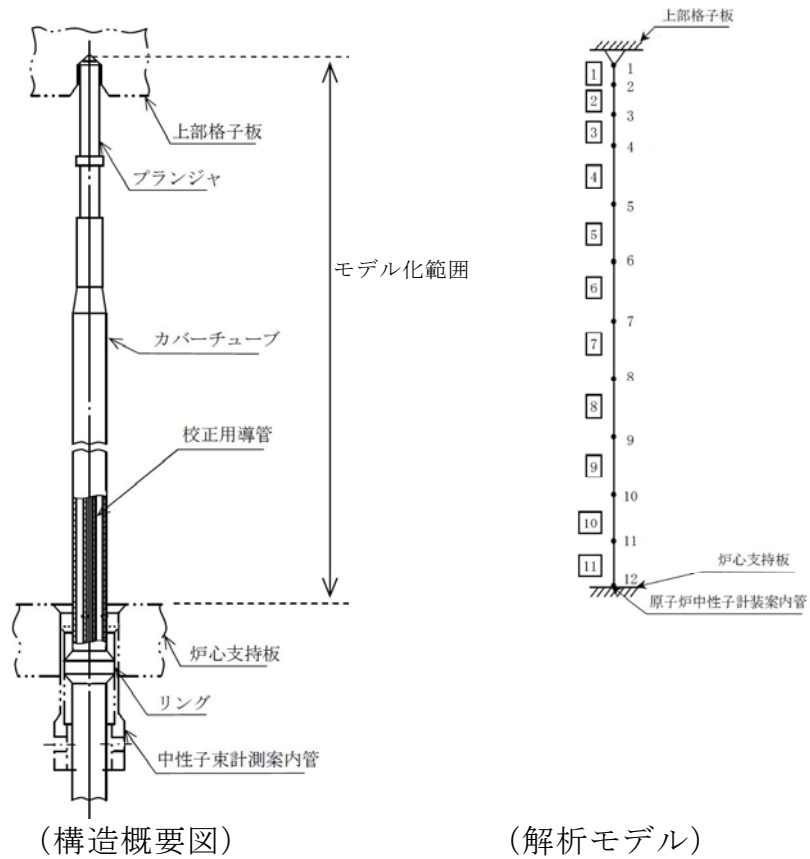
項 目	内 容
適用部位	パーソナルエアロック取付部 サプレッションチェンバアクセスハッチ取付部 イクイプメントハッチ取付部 配管貫通部取付部 電気配線貫通部取付部 上部シアラグ取付部 下部シアラグ取付部
解析コード	NASTRAN
地震条件	別途実施する地震応答解析から得られる地震力（荷重，加速度）を入力とする。

第 3-2 表 D G用補機類容器の F E M解析概要

項 目	内 容
適用部位	非常用ディーゼル発電機用始動空気だめ及び燃料油デイタンク 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用始動空気だめ及び燃料油デイタンク
解析コード	Abaqus
地震条件	別途実施する原子炉建屋地震応答解析から得られる加速度を入力とする。

3. 原子炉圧力容器内構造物への多質点モデルの適用

原子炉圧力容器内構造物であるジェットポンプ、炉心スプレイスパージャ及び出力領域計装検出器（LPRM）について、実機形状を質点とはり要素に置き換えた多質点モデルにて応答解析を行う。応答解析に用いる解析モデル図の例を第 3-2 図に示すとともに第 3-3 表に解析概要を示す。



第 3-2 図 原子炉圧力容器内構造物の多質点モデル図

(出力領域計装検出器の多質点モデルの例)

第 3-3 表 原子炉压力容器内構造物解析概要

項目	内容
適用部位	ジェットポンプ* ¹ 高圧炉心スプレイスパージャ* ¹ 低圧炉心スプレイスパージャ* ¹ 出力領域計装検出器* ²
解析コード	NASTRAN（* 1 に適用） SAP-IV（* 2 に適用）
地震条件	別途実施する地震応答解析から得られる加速度を入力とする。

解析コードの変更について

今回工認における格納容器，原子炉圧力容器等の主要設備の耐震評価に適用する解析コードについては，既工認時に適用した解析コードから第 4-1 表に示す大間 1 号炉の既工認において適用実績がある解析コードに変更する。各評価対象設備の解析モデルの設定の妥当性については，工事計画認可申請の耐震計算書において説明するものとする。

第 4-1 表 格納容器，原子炉圧力容器等の解析コードの変更 (1/2)

評価対象設備		解析コード		適用実績
		既工認	今回工認	
格納容器	<ul style="list-style-type: none"> ・ドライウエル ・サブプレッションチェンバ ・ベント管 ・格納容器スプレイヘッダ 	ASSAL	NASTRAN	大間 1 号炉 既工認
原子炉圧力 容器	<ul style="list-style-type: none"> ・円筒胴 ・下鏡 ・制御棒駆動機構ハウジング 貫通部 ・再循環水出口ノズル ・再循環水入口ノズル ・蒸気出口ノズル ・給水ノズル ・低圧炉心スプレイノズル ・高圧炉心スプレイノズル ・低圧注水ノズル ・上鏡スプレイノズル ・ベントノズル ・ジェットポンプ計測管貫通 部ノズル ・液体ポイズン及び炉心計測 ノズル ・円筒胴計測ノズル ・ドレンノズル ・支持スカート 	ASSAL 及び FEMR	ASHSD2	大間 1 号炉 既工認
	<ul style="list-style-type: none"> ・差圧検出・ほう酸水注入配 管 	EBASCO 社 構造解析コード	NASTRAN	大間 1 号炉 既工認

第 4-1 表 格納容器，原子炉圧力容器等の解析コードの変更 (2/2)

設備名	評価対象項目	解析コード		適用実績
		既工認	今回工認	
炉心支持構造物 (圧力容器内構造物を含む)	・シュラウドサポート	ASSAL	ASHSD2	大間 1 号炉 既工認
	・給水スパージャ ・炉心スプレイ系配管 (原子炉圧力容器内) ・差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉圧力容器内)	EBASCO 社 構造解析コード	NASTRAN	大間 1 号炉 既工認
	・起動領域計装	HISAC	SAP-IV	大間 1 号炉 既工認
その他機器類	・水圧制御ユニット	EBASCO 社 構造解析コード	SAP-IV	大間 1 号炉 既工認

最新知見として得られた減衰定数の採用について

1. 概要

今回工認では、以下の設備について最新知見として得られた減衰定数を採用する。これらの変更は、振動試験結果を踏まえ設計評価用として安全側に設定した減衰定数を最新知見として反映したものであり、大間1号炉の建設工認において適用実績がある。

- ① 原子炉建屋クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーン（以下「建屋クレーン」という。）の減衰定数^{※1}
- ② 燃料取替機の減衰定数^{※1}
- ③ 配管系の減衰定数^{※1, ※2}

※1 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（H7～H10）」

※2 電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価手法に関する研究（H12～H13）」

なお、本資料に記載する①～③の内容については、「大間原子力発電所1号機の工事計画認可申請に関わる意見聴取会」において聴取されたものである。

また、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数についても大間1号炉と同様に新たに設定している。

2. 今回の評価で用いた設計用減衰定数

最新知見として反映した建屋クレーン，燃料取替機及び配管系の設計用減衰定数を第 5-1 表及び第 5-2 表に示す。

第 5-1 表 建屋クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数

設 備	設計用減衰定数(%)			
	水平方向		鉛直方向	
	JEAG4601* ¹	東海第二* ²	JEAG4601* ¹	東海第二* ²
建屋クレーン	1.0	2.0	—	2.0
燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5(2.0)* ³

注記*1：原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（社団法人日本電気協会）に定まる設計用減衰定数

*2：東海第二発電所にて適用する設計用減衰定数

*3：（ ）外は，燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合

（ ）内は，燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合

：新たに設定したもの

：JEAG4601 から見直したもの

第 5-2 表 配管系の設計用減衰定数

		設計用減衰定数* ¹ (%)			
		保温材無		保温材有* ²	
		JEAG 4601* ³	東海 第二* ⁴	JEAG 4601* ³	東海 第二* ⁴
I	スナップ及び架構レストレイント支持主体の配管系で、支持具(スナップ又は架構レストレイント)の数が4個以上のもの	2.0	同左	2.5	3.0
II	スナップ、架構レストレイント、ロッドレストレイント、ハンガ等を有する配管系で、アンカ及びUボルトを除いた支持具の数が4個以上であり、配管区分Iに属さないもの	1.0	同左	1.5	2.0
III	Uボルトを有する配管系で、架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が4個以上のもの* ⁵	—	2.0	—	3.0
IV	配管区分I、II及びIIIに属さないもの	0.5	同左	1.0	1.5

: 新たに設定したもの
 : JEAG4601 から見直したもの

- * 1 : 水平方向及び鉛直方向の設計用減衰定数は同じ値を使用
- * 2 : 保温材による付加減衰定数は、配管全長に対する金属保温材使用割合が 40% 以下の場合 1.0% を適用するが、金属保温材使用割合が 40% を超える場合は、0.5% とする。
- * 3 : 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版(社団法人 日本電気協会)に定まる設計用減衰定数
- * 4 : 東海第二発電所にて適用する設計用減衰定数
- * 5 : 区分III (Uボルトを有する配管系) については、新たに設定したものであり、現状 JEAG4601 では区分IVに含まれる。

(適用条件)

- a. 適用対象がアンカからアンカまでの独立した振動系であること。
大口径管から分岐する小口径管は、その口径が大口径管の口径の 1/2 倍以下である場合、その分岐部をアンカ相当とする独立の振動系とみなしてよい。
- b. 配管系全体として、配管系支持具の位置及び方向が局所的に集中していないこと。
- c. 配管系の支持点間の間隔が次の条件を満たすこと。
配管系全長 / (配管区分ごとに定められた支持具の支持点数) ≤ 15 (m / 支持点)
ここで、支持点とは、支持具が取付けられている配管節点をいい、複数の支持具が取付けられている場合も 1 支持点とする。
- d. 配管と支持構造物との間のガタの状態等が施工管理規程に基づき管理されていること。ここで、施工管理規程とは、支持装置の設計仕様に要求される内容を反映した施工要領等をいう。

3. 設計用減衰定数の考え方

(1) 建屋クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数

a. 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4601-1991 追補版（以下「J E A G 4601」という。）に基づく設計用減衰定数

J E A G 4601 において建屋クレーン及び燃料取替機は溶接構造物として分類されているため、設計用減衰定数は 1.0% が適用される。

b. 設計用減衰定数の見直し

建屋クレーン及び燃料取替機の減衰定数に寄与する要素には、材料減衰と部材間に生じる構造減衰に加え、車輪とレール間のガタや摩擦による減衰があり、溶接構造物としての 1.0% より大きな減衰定数を有すると考えられることから、実機を試験体とした振動試験が実施された。

振動試験の結果、建屋クレーンの減衰定数については水平 2.0%、鉛直 2.0% が得られた。また、燃料取替機の減衰定数については水平 2.0%、鉛直 1.5%（燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合）、2.0%（燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合）が得られた。

c. 東海第二発電所への適用性

振動試験の概要並びに振動試験における試験体、東海第二発電所の実機及び先行認可実績のある大間 1 号炉の実機との仕様の比較を参考資料 1 及び参考資料 2 に示す。

東海第二発電所における建屋クレーン及び燃料取替機については、試験結果の適用性が確認されている大間 1 号炉の原子炉建屋クレーン及び燃料取替機と同等の基本仕様を有する。従って、今回の評価における建屋クレーンの減衰定数については水平 2.0%、鉛直 2.0% を用いる。また、燃料取替機の減衰定数については水平 1.5%（燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合）、2.0%（燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合）

を用いる。

(2) 配管系の設計用減衰定数

a. J E A G 4601 に基づく設計用減衰定数

J E A G 4601 における配管系の設計用減衰定数は、配管支持装置の種類や個数によって 3 区分に分類されており、さらに保温材を設置した場合の設計用減衰定数が規定されている。

b. 今回の評価で用いる設計用減衰定数

以下、(a)、(b) に示す項目については、配管系の振動試験の研究成果に基づき、J E A G 4601 に規定する値を見直し設定する。

(a) Uボルト支持の配管系

J E A G 4601 におけるUボルト支持配管系の設計用減衰定数は、0.5%と規定されている。

Uボルト支持の配管系の減衰に寄与する要素には、主に配管支持部における摩擦があり、架構レストレイントを支持具とする配管系と同程度の減衰定数を有すると考えられることから、振動試験等が実施され、減衰定数 2.0%が得られた。

振動試験で用いられたUボルトについては、原子力発電所で採用されている代表的なものを用いていることから、振動試験等により得られた減衰定数を適用できると判断し、今回の評価におけるUボルト支持配管系の設計用減衰定数は、振動試験結果から得られた減衰定数 2.0%を設定する。

なお、参考として振動試験結果の概略を参考資料 3 に示す。

(b) 保温材を設置した配管系

J E A G 4601 における保温材を設置した設計用減衰定数は、振動試験の結果に基づき、保温材を設置していない配管系に比べ設計用減衰定

数を 0.5%付加できることが規定されている。

その後、保温材の有無に関する減衰定数の試験データが拡充され、保温材を設置した場合に付加できる設計用減衰定数を見直すための検討が行われた。

今回の評価における保温材を設置した場合に付加する設計用付加減衰定数は、振動試験結果から得られた減衰定数 1.0%を、保温材無の場合に比べて付加することとする。

なお、振動試験結果の概略を参考資料 4 に示す。

c. 東海第二発電所への適用性

減衰定数の検討においては、要素試験結果から減衰定数を算出するための評価式を求め、その上で、実機配管系の解析を行い、減衰定数を求めている。

要素試験においては、原子力発電所で採用されている代表的な 4 タイプ(参考資料 3 補足参照)を選定しており、東海第二発電所においても、この 4 タイプの U ボルトを採用している。また、実機配管系の解析対象とした 28 モデルには、BWR プラントの実機配管も含まれており、配管仕様(口径, 肉厚, 材質), 支持間隔・配管ルートについては、様々な配管剛性や振動モードに対応した検討を実施している。(参考資料 3 参照)

従って、今回検討した設計用減衰定数は東海第二発電所へ適用可能であり、東海第二発電所における配管の設計用減衰定数として設定する。

4. 鉛直方向の設計用減衰定数について

今回工認では、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数を新たに設定している。今回工認で適用する設計用減衰定数について、J E A G 4601 に規定されている設計用減衰定数との比較を第 5-3 表に示す。

鉛直方向の設計用減衰定数は、基本的に水平方向と同様とするが電気盤や燃料集合体等の鉛直地震動に対し剛体挙動する設備は 1.0%とする。また、建屋クレーン、燃料取替機及び配管系については、既往の試験等により確認されている値を用いる。

なお、これらの設計用減衰定数は、大間 1 号炉の建設工認にて適用例がある。

第 5-3 表 機器・配管系の設計用減衰定数

設 備	設計用減衰定数 (%)			
	水平方向		鉛直方向	
	J E A G 4601	今回工認	J E A G 4601	今回工認
溶接構造物	1.0	同左	—	1.0
ボルト及びリベット構造物	2.0	同左	—	2.0
ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	同左	—	1.0
燃料集合体	7.0	同左	—	1.0
制御棒駆動機構	3.5	同左	—	1.0
電気盤	4.0	同左	—	1.0
建屋クレーン	1.0	2.0	—	2.0
燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5(2.0)*
配管系	0.5~2.0	0.5~3.0	—	0.5~3.0

注記 * : () 外は、燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合
() 内は、燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合

建屋クレーンの振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

実機を試験体とした振動試験から得られた天井クレーン構造の減衰特性に基づき、設計用減衰定数の検討を行った。


1. 代表試験体の選定

原子炉建屋天井クレーン8タイプ、一般用2タイプの天井クレーンの基本仕様（トロリ及びガーダの重量、高さ、スパン）を調査。各クレーンの、構成要素・基本構造、減衰に影響を与えると考えられるクレーン全重量とトロリ重量の比及び振動特性が同等であることを確認。

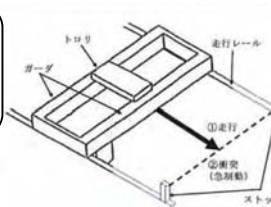
一般用天井クレーンを代表試験体とし、個体差及びガーダ形状の相違の影響を確認するために、ガーダの断面形状が異なるタイプの同一仕様の試験体No.1, No.2及びガーダの断面形状が同じタイプの試験体No.3を使用し、合計3機の試験体で実施。

2. 振動試験

【鉛直方向の加振方法】
吊荷を床から50mm程度まで持ち上げた後、最大速度で下降させて床に着地させ、この時の自由振動を計測する。



【水平方向の加振方法】
クレーンを1m程度走行させ、急停止することにより、自由振動を計測する。



3. 計測データの処理

振動試験で得られた自由振動波形から減衰比を算定

【凡例】
試験体 No.1 (試験体 No.2) <ガーダ形状が異なるタイプ>
(同一タイプ2機で試験を実施)
●(■) トロリ中央, 走行ギヤー側
○(□) トロリ中央, 架線側
▲(◆) トロリ1/4, 走行ギヤー側
△(◇) トロリ1/4, 架線側
試験体 No.3 <ガーダ形状が同一なタイプ>
× トロリ主中補中, A側
⊗ トロリ主中補中, B側
* トロリ主1/4補1/4, A側
⊗ トロリ主1/4補1/4, B側
+ トロリ主端補端, A側
⊕ トロリ主端補端, B側

減衰比の増加傾向 (回帰分析の結果による)

天井クレーンの減衰比と応答振幅の関係 (鉛直方向)

天井クレーンの減衰比と応答振幅の関係 (鉛直方向)

天井クレーンの減衰比と応答振幅の関係 (水平方向)

天井クレーンの減衰比と応答振幅の関係 (水平方向)

4. 設計用減衰定数の設定

【試験結果 (鉛直方向)】
応答振幅に対する減衰比の傾向は、応答振幅が比較的小さい場合には減衰比のばらつきが大きいが、応答振幅が大きくなると、減衰比の発生源となる構造減衰が増加し、減衰比が徐々に増加するとともに、そのばらつきが小さくなる。応答振幅5.0mmで減衰比2.0%以上が得られた。

【試験結果 (水平方向)】
水平方向の減衰比は、応答振幅4.7mmにおいて5.2%という結果が得られた。

【設計用減衰定数 (鉛直方向)】
応答振幅の増加に伴い減衰比は増加傾向にあり、設計応答振幅（トロリ位置中央部12.2mm、端部6.0mm）レベルで減衰比2.0%以上となっていることから、設計用減衰定数2.0%と設定した。

【設計用減衰定数 (水平方向)】
水平方向の減衰比は、応答振幅レベル4.7mmにおいて5%程度の減衰比が得られているが、データ点数が少ない（設計応答振幅8.9mmに達していない）ため、鉛直方向と同じ2.0%を水平方向の設計用減衰定数と設定した。

○ 建屋クレーンの試験体と実機との仕様比較

建屋クレーンは、ガーダ2本上にトロリが設置されている構造である。表2-1に天井クレーン試験体、東海第二発電所及び大間1号炉の建屋クレーンの主要な仕様を示す。

表2-1 天井クレーン試験体、実機建屋クレーン仕様の比較

仕 様		試験体 一般用天井クレーン		実機建屋クレーン			備 考
		試験体 No1, 2	試験体 No3	東海第二		大間1号機	
				原子炉建屋 クレーン	使用済燃料 乾式貯蔵建屋 クレーン	原子炉建屋 クレーン	
トロリ	重量 W_t (ton)	43.5	71.0	48.0	30.0	80.0	
	高さ h (m)	2.265	3.0	2.280	0.975	2.815	
	スパン L_1 (m)	5.8	6.8	5.6	4.0	7.7	
	スパン L_2 (m)	4.1	3(主巻用) 2.5(補助巻用)	4.1	3.6	4.6	
ガーダ	重量 W_g (ton)	104.5	191.5	118.0	67.0	190	
	高さ H (m)	1.32	2.3	2.5	4.42	1.915	
	スパン L_1 (m)	33.0	33.0	39.5	20.4	34.9	
	スパン L_2 (m)	7.06	8.9	6.2	7.6	9.38	
総重量	W_T (ton)	148.0	262.5	166.0	107.0	270.0	
トロリ重量と 総重量の比	W_t/W_T	0.294	0.270	0.289	0.309	0.298	

○ 試験体と実機の比較の考え方

減衰比は、一般的に振動エネルギーと消散エネルギーの比で表される。消散エネルギーはガーダ等の構造部材の材料減衰、トロリ、ガーダ等のガタや摩擦による構造減衰により発生すると考えられ、天井クレーン構造の建屋クレーンにおいては、ガーダ、トロリは固定構造ではなく、レールと車輪間にすべりが発生する構造であることから、トロリとガーダとの微小な相対運動によるエネルギーの消散が減衰特性に最も影響が大きい因子と考えられる。

ここで、トロリの相対運動による消散エネルギーはトロリ質量に比例し、振動エネルギーはクレーンの振動質量に比例する。建屋クレーンは建屋に対して走行車輪部のみで支持された両端支持はりの構造をしており、地震時の振動モードは上下・水平方向共にガーダ中央のたわみが最大となる1次モードが支配的となる。そのため、振動質量はクレーンの総質量に比例し、減衰比はトロリ質量とクレーンの総重量の比に影響を受けることになる。

上表とおり、東海第二発電所の建屋クレーンのトロリ重量と総重量の比は、試験体及び大間1号炉の実機と同程度になることを確認している。

以上から、建屋クレーンの設計用減衰定数として水平2.0%、鉛直2.0%を適用する。

燃料取替機への振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

実機を試験体とした振動試験から得られた燃料取替機の減衰特性に基づき、設計用減衰定数の検討を行った。

1. 代表試験体の選定

燃料取替機5機について、基本仕様（トリ及びガードの重量、高さ、スパン）を調査。各燃料取替機の、構成要素・基本構造・サイズ・重量・振動特性が同等であることを確認。

燃料取替機5機の中から建設中プラントの燃料取替機を代表試験体として選定。

2. 振動試験

【加振方法（鉛直・水平方向）】
 トロリ中央部に設置した加振装置による強制加振（正弦波 5Hz から 20Hz）

3. 計測データの処理

振動試験で得られた周波数応答曲線からハーフパワー法で減衰比を算定

【凡例】
 ■ マスト縮、トリ中央 ▲ マスト縮、トリ中央
 □ マスト縮、トリ端 △ マスト縮、トリ端

燃料取替機の減衰比と応答振幅の関係（鉛直方向）

【凡例】
 □ 水平方向減衰比[トリ中央部] × 鉛直方向減衰比
 ■ 水平方向減衰比[トリ端部] [左図に示した鉛直方向の結果を参考として記載]

燃料取替機の減衰比と応答振幅の関係（水平方向）

4. 設計用減衰定数の設定

【試験結果（鉛直方向）】
 トロリ位置が中央部の場合では、応答振幅の増加に従って減衰比は増加する傾向を示している。応答振幅0.40mmで減衰比2.0%以上が得られている。
 トロリ位置が端部の場合では、応答振幅に係らず1.5%程度の減衰比が得られている。

【試験結果（水平方向）】
 燃料取替機の水平方向の減衰比は、トロリ位置が中央部で応答振幅0.07mmにおいて3.6%、トロリ位置が端部で応答振幅0.07mmにおいて3.1%という結果が得られている。

【設計用減衰定数（鉛直方向）】
 トロリ位置が中央部の場合では、応答振幅の増加に伴い減衰比は増加傾向にあり、応答振幅レベル0.40mmでも減衰比2.0%以上となっていることから、設計用減衰定数2.0%としたとしている。
 トロリ位置が端部の場合では、応答振幅に係らず1.5%程度の減衰比が得られていることから、設計用減衰定数1.5%とした。

【設計用減衰定数（水平方向）】
 水平方向の減衰比は、応答振幅レベル0.07mmで3.6%（トリ中央部）及び3.1%（トリ端部）の減衰比が得られているが、データ点数が少ないため、鉛直方向と同じ2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

○ 燃料取替機の試験体と実機との仕様比較

燃料取替機は、フレーム構造のブリッジ上にトロリが設置されている構造である。表 3-1 に燃料取替機試験体、東海第二発電所及び大間 1 号炉の燃料取替機の主要な仕様を示す。

表 3-1 燃料取替機試験体, 実機燃料取替機仕様の比較

仕様		試験体	実機		備考
			東海第二	大間	
トロリ	質量 W_t (ton)	15.5	15.0	27.0	
	高さ h (m)	4.795	4.533	5.795	
	スパン L_1 (m)	3.0	2.5	3.0	
	スパン L_2 (m)	2.6	2.6	3.0	
ブリッジ	質量 W_g (ton)	23.6	36.0	40.0	
	高さ H (m)	2.005	2.415	2.075	
	スパン L_1 (m)	12.46	13.36	15.16	
	スパン L_2 (m)	4.6	4.6	4.43	
総質量		W_T (ton)	39.1	51.0	67.0

○ 試験体と実機の比較の考え方

燃料取替機については、ブリッジ等の骨組み構造の材料減衰、トロリ、ブリッジ等のガタや摩擦による構造減衰が減衰比に影響を与えと考えられる。トロリの構造減衰はトロリ位置によって異なる。試験で得られた減衰比データとしては、ブリッジ中央にトロリがある場合、ブリッジの端部にトロリがある場合の 2 種類ある。鉛直方向に関しては、ブリッジの中央にトロリがある場合の方が、ブリッジの端部にトロリがある場合に比べて、減衰比は高くなっている。

ブリッジ中央にトロリがある場合、鉛直方向に関しては、応答振幅の増加に伴い減衰比は増加傾向にあり、応答振幅レベル 0.40mm で減衰比 2.0%以上となっていることから、設計用減衰定数を 2.0%とする。水平方向の減衰比は、応答振幅レベル 0.07mm で 3.6%の減衰比が得られているが、データ点数が少ないため、鉛直方向と同じ 2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

ブリッジ端部にトロリがある場合、鉛直方向に関しては、応答振幅に係らず 1.5%程度の減衰比が得られていることから、設計用減衰定数 1.5%とした。水平方向の減衰比は、応答振幅レベル 0.07mm で 3.1%の減衰比が得られているが、データ点数が少ないため、鉛直方向と同じ 2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

実機への適用性の観点では、上表の試験体と東海第二発電所における燃料取替機の構造の比較から、ブリッジスパン、質量は同等以上となっており、振動特性として応答は大きくなる傾向にあると考えられる。また、試験では低加速度レベル（水平約 100Gal、鉛直約 200Gal）にて実施されているが、実際の基準地震動 S_s はそれよりも大きな加速度レベルとなる。試験結果から、応答の増加に伴い減衰比も増加傾向にあるため、上記の試験結果より得られた減衰比は適用可能と考えられる。

以上から、燃料取替機の設計用減衰定数として水平 2.0%、鉛直 1.5%（燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合）、2.0%（燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合）を適用する。

Uボルト支持配管系の振動試験-(1/3):①要素試験～②消散エネルギー評価式の策定～③要素試験結果との比較

Uボルト支持部1箇所での減衰特性を把握するため、最も単純な試験体で振動試験を実施

Uボルト支持配管系の研究の流れ

① 要素試験

Uボルト1個が有する減衰特性を把握



② 消散エネルギー評価式の策定

要素試験結果より、消散エネルギー評価式を策定し、減衰推算法により減衰定数を求める。



③ 要素試験結果との比較

要素試験から策定した消散エネルギー評価式について、実規模配管系で保守性を確認



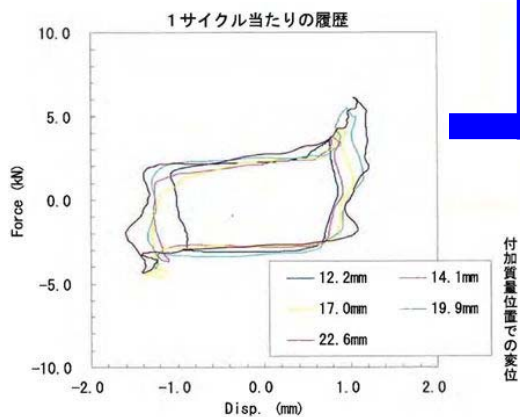
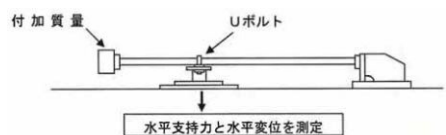
④ 実規模配管系試験

実規模配管系の試験結果と消散エネルギー評価式に基づく減衰定数を比較し、消散エネルギー評価式の保守性を確認

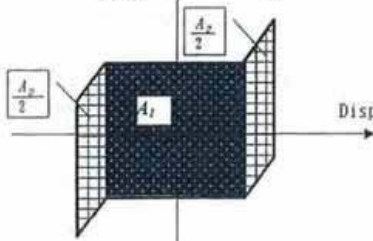
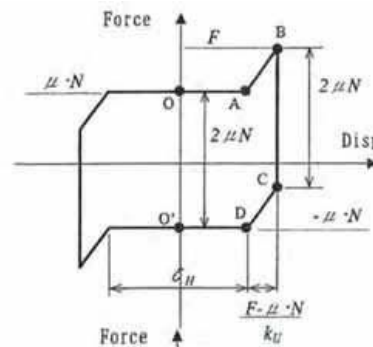


⑤ 配管解析に基づく設計用減衰定数の検討

4条一別紙6-42



変位-荷重履歴のモデル化



(消散エネルギー評価式の策定へ)

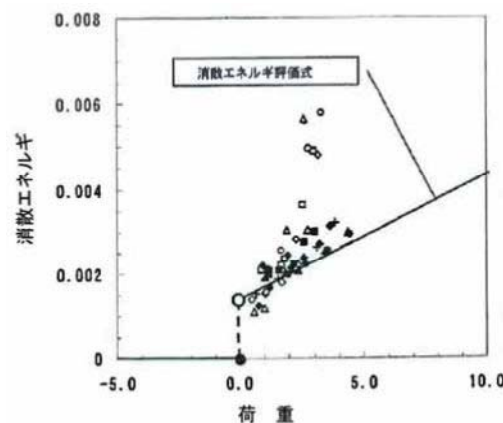
【消散エネルギー評価式の策定】

○モデル内部の面積が消散されるエネルギーであり、この面積を数式化

$$\Delta E = A_1 + A_2$$

$$A_1 = 4 \cdot \mu \cdot N \cdot \frac{\delta_H}{2}$$

$$A_2 = 4 \cdot \mu \cdot N \cdot \frac{F - \mu \cdot N}{k_u}$$



要素試験結果と消散エネルギー評価式の結果の比較

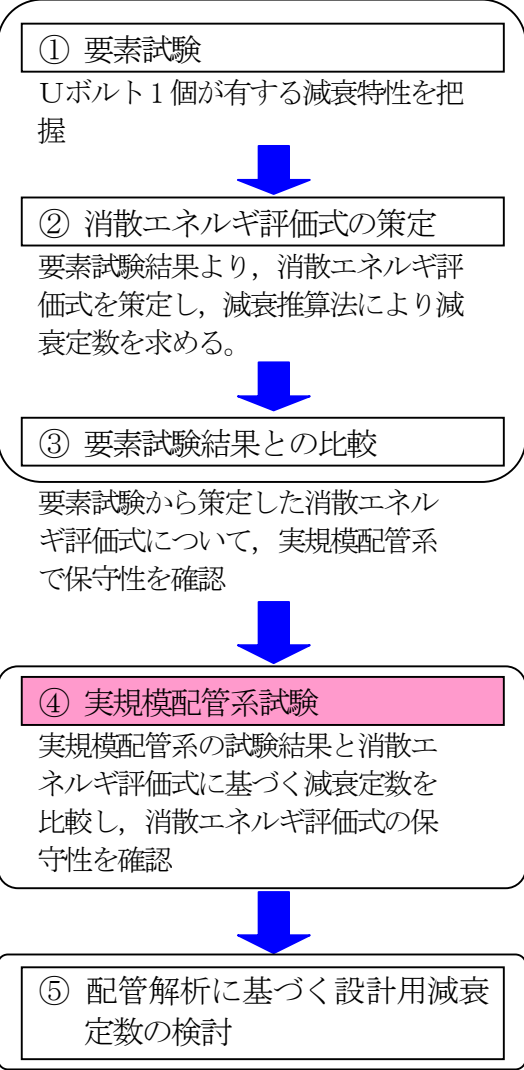


消散エネルギー評価式の保守性の確認

Uボルト支持配管系の振動試験-(2/3):④実規模配管系試験

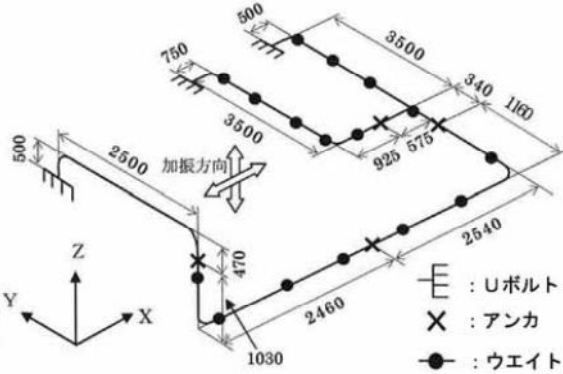
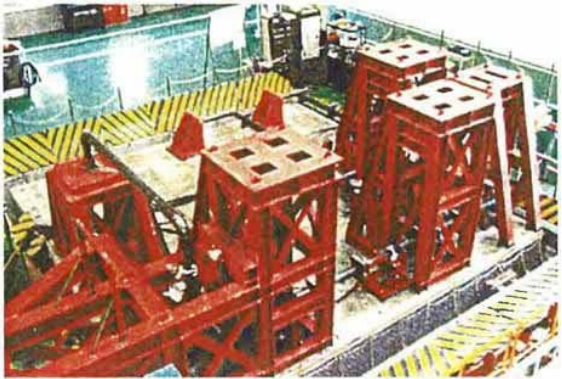
要素試験結果に基づき策定した消散エネルギー評価式の実機への適用性確認のため、実規模配管系試験による振動試験を実施し、試験結果より得られる減衰定数と消散エネルギー評価式より得られる減衰定数の比較検討を行った。

Uボルト支持配管系の研究の流れ

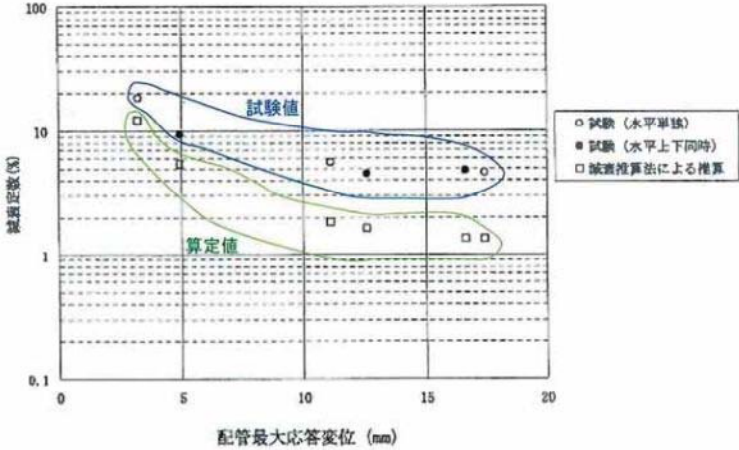


4条一別紙6-43

実規模配管系試験装置



試験結果と消散エネルギー評価式による減衰定数の比較



試験結果と消散エネルギー評価式による減衰定数を比較した結果、消散エネルギー評価式の方が全変位領域で下回っており、消散エネルギー評価式の保守性が確認された。

Uボルト支持配管系の振動試験-(3/3):⑤配管解析に基づく設計用減衰定数の検討

参考資料-3 (3/8)

実機プラントにおいては、配管系の支持箇所やルートは多種多様である。ここでは、実機配管系の計算モデルに対して消散エネルギー評価式を用いて減衰定数を算出し、さらに、Uボルト支持配管系の設計用減衰定数の検討を行った。

Uボルト支持配管系の研究の流れ

① 要素試験

Uボルト1個が有する減衰特性を把握

② 消散エネルギー評価式の策定

要素試験結果より、消散エネルギー評価式を策定し、減衰推算法により減衰定数を求める。

③ 要素試験結果との比較

要素試験から策定した消散エネルギー評価式について、実規模配管系で保守性を確認

④ 実規模配管系試験

実規模配管系の試験結果と消散エネルギー評価式に基づく減衰定数を比較し、消散エネルギー評価式の保守性を確認

⑤ 配管解析に基づく設計用減衰定数の検討

変位仮定減衰定数

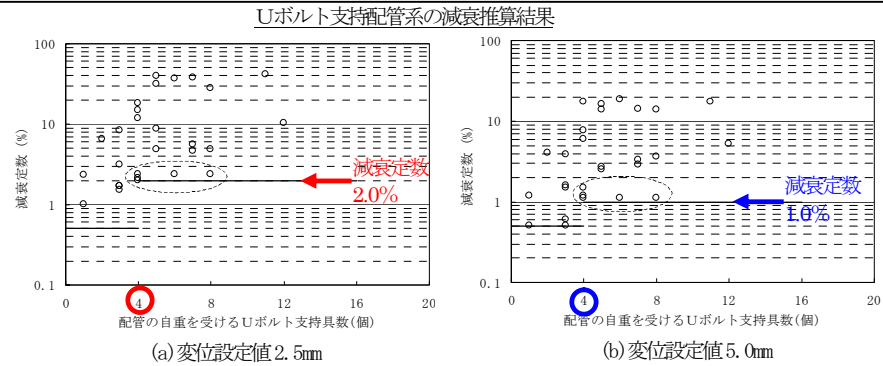
モード別減衰定数

Uボルト支持配管系 (28モデル) に対する解析による検討 (各振動モードが全て一律の変位が生じると仮定)

- 前項までに、実規模配管系試験にて消散エネルギー評価式の保守性を確認
- 設計用減衰定数を設定するにあたっては、Uボルト支持具数や配管ルートなど様々な配管系について検討する必要がある。
- 消散エネルギー評価式による減衰定数が配管変位に依存するため、配管系の振動モード変位を一定と仮定した状態で減衰定数(変位仮定減衰定数)を算出した。
対象はUボルト支持部を有する実機配管系(28モデル)とした。

解析の結果、Uボルト4個以上の配管系において

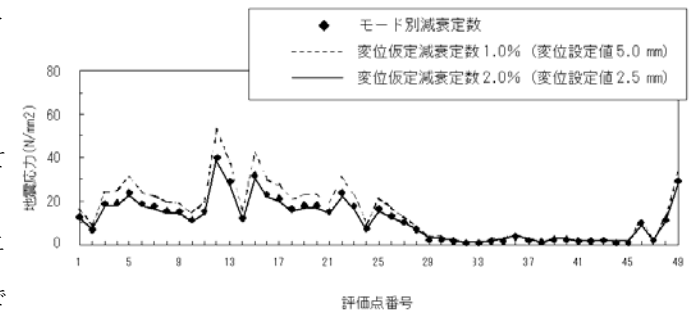
- (a) 仮定変位2.5mmの場合、減衰定数2.0%以上が得られた。
- (b) 仮定変位5.0mmの場合、減衰定数1.0%以上が得られた。



詳細計算による減衰定数の検討 (モード別減衰定数による検討)

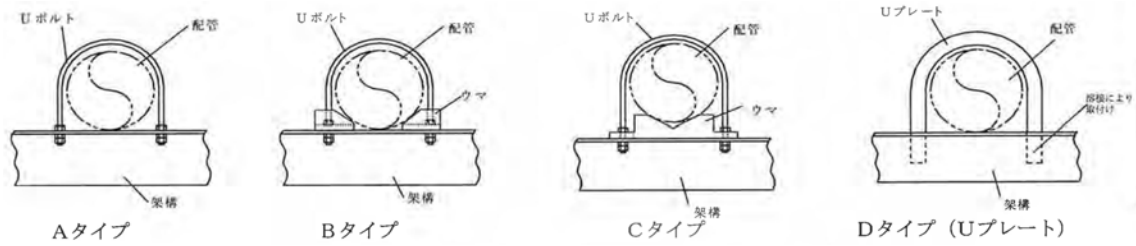
- 変位仮定減衰定数は計算結果からも判るように「仮定する変位」に依存する。
- 変位2.5mmの減衰定数及び変位5.0mmの減衰定数のそれぞれ2.0%及び1.0%を与える下限値を示した配管モデルに対して、より詳細な解析を行い、Uボルト支持配管系の設計用減衰定数を検討した。

- 比較検討の結果、詳細計算結果と変位2.5mmを与えた場合の結果がよく一致していることがわかり、Uボルト支持配管系の設計用減衰定数を2.0%に設定した。なお、2.0%の適用に当たっては、以下の項目を条件としている。
- Uボルトは、運転中に配管とボルト頂部との間に隙間があるよう施工されること。
- 今回、検討対象としたUボルトの据付状態であること(水平配管の自重を架構で受けるUボルト)。



【補足】要素試験に用いたUボルト支持構造物のタイプ

試験に用いたUボルトは、原子力発電所で採用されている代表的な4タイプを選定した。



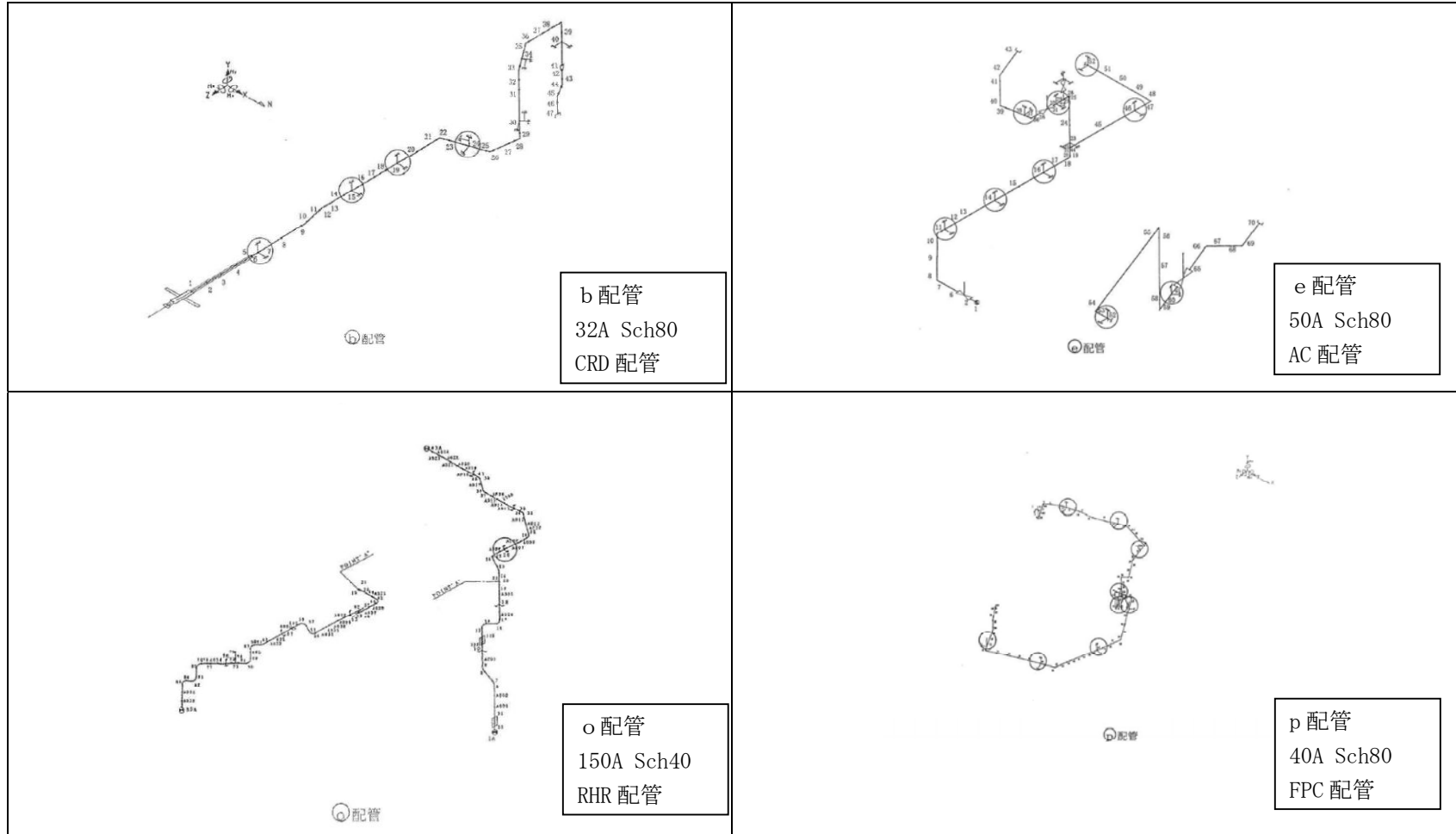
【解析を行った配管仕様】

- ・口径：20A～400A
- ・材質：ステンレス鋼，炭素鋼

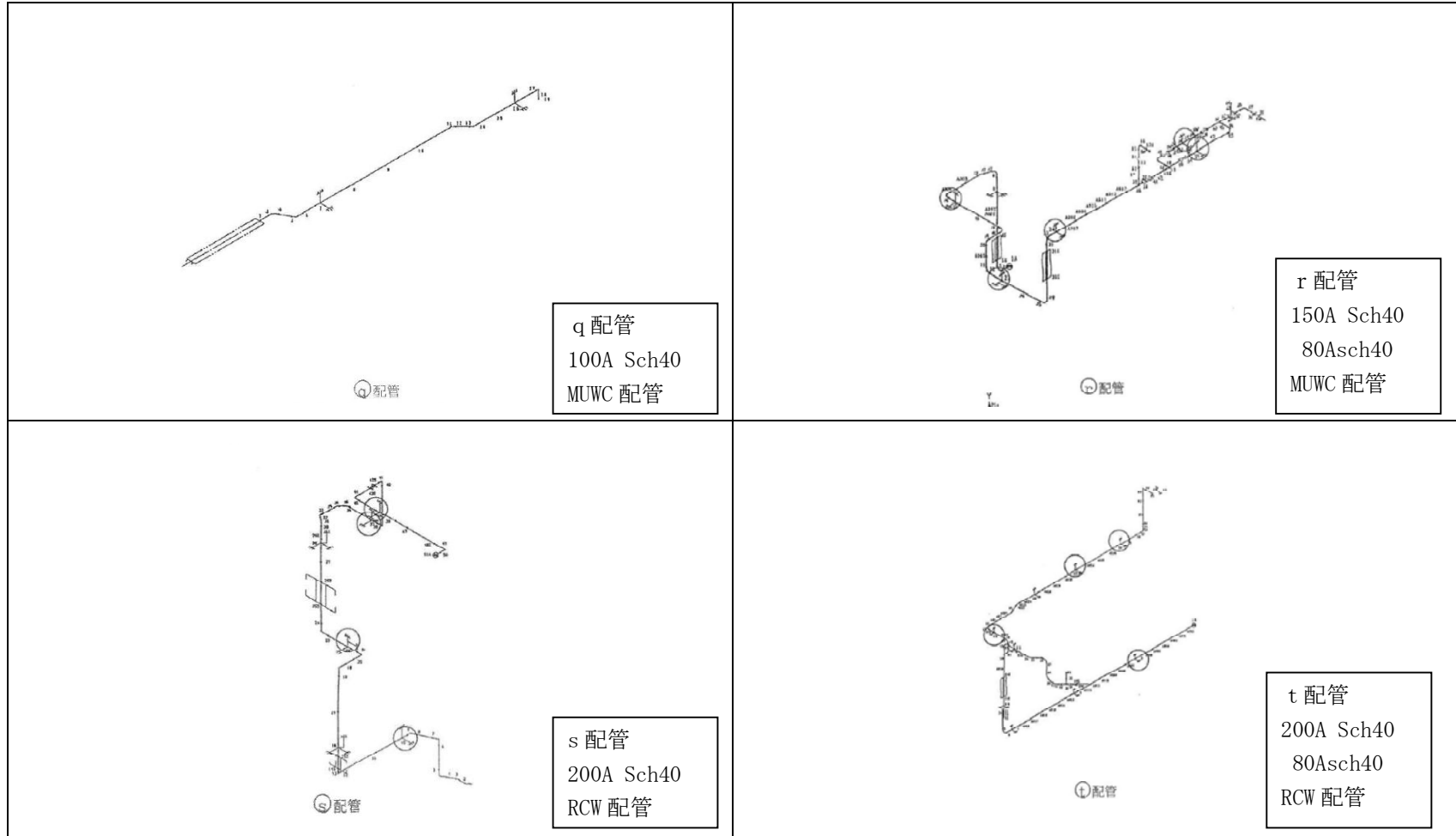
上記のうちBWR実機配管

	系統	口径
b 配管	CRD	32A
e 配管	AC	50A
o 配管	RHR	150A
p 配管	FPC	40A
q 配管	MUWC	100A
r 配管	MUWC	150A, 80A
s 配管	RCW	200A
t 配管	RCW	200A, 80A
u 配管	CRD	32A

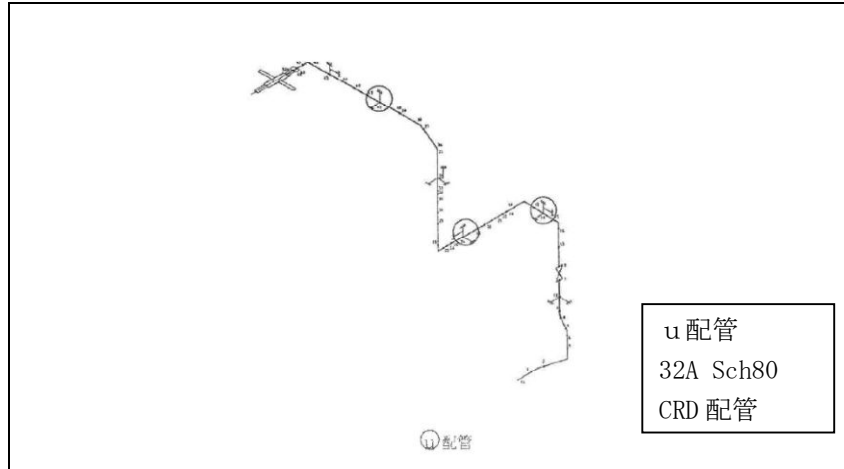
実機配管系の解析モデル図 (b・e・o・p 配管)



実機配管系の解析モデル図 (q・r・s・t 配管)



実機配管系の解析モデル図 (u 配管)



配管系の保温材による付加減衰定数

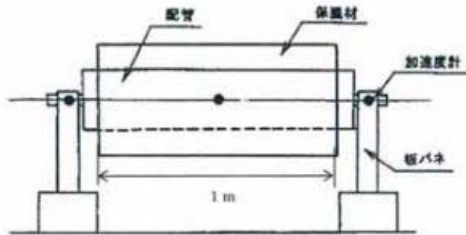
試験体を使用した振動試験から得られた配管系の保温材による付加減衰定数に基づき、設計用減衰定数の検討を行った。

1. 試験体

配管口径の異なる3種類（① 8B(200A), ② 12B(300A), ③ 20B(500A)）の試験体を用いて振動試験を実施

2. 振動試験

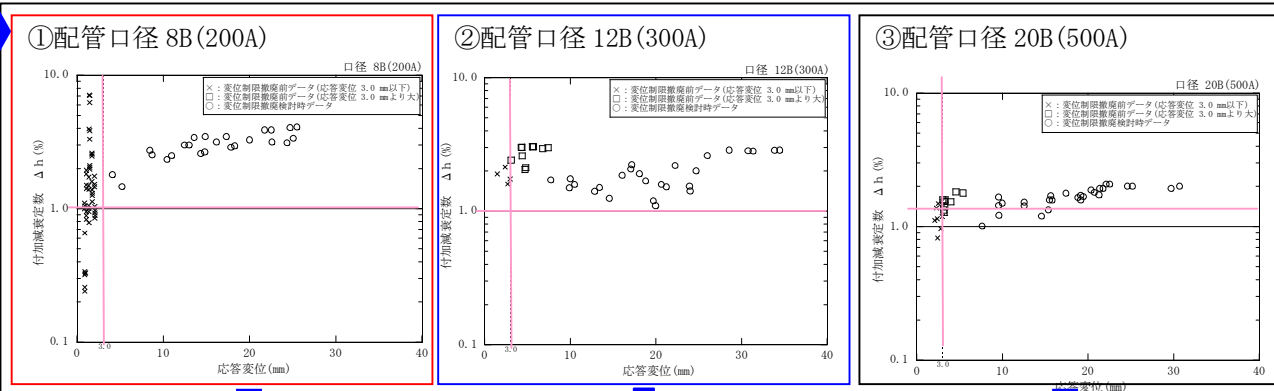
振動試験は保温材有り場合/保温材無しの場合について実施。(保温材厚さ75mm)



試験装置の概略図

3. 試験結果

(保温材有・無の結果を比較し、保温材が有る場合に付加できる減衰定数(以下「付加減衰定数」という。)と変位との関係を示す。)



4. 設計用減衰定数の設定

【試験結果 (8B, 12B, 20B)】

- 応答変位 3mm 以上の領域
保温材による付加減衰定数は1.0%以上、応答変位の漸増または一定の値を示す傾向
- 応答変位 3mm 以下の領域 (小応答領域)
減衰データにばらつきあり、付加減衰定数 1.0%以下の場合もある

【設計用減衰定数の設定】

小応答変位領域については、配管上強度問題とならないことから、保温材による付加減衰定数は1.0%とする。

※ ただし、本試験において金属保温材が施工されている配管長さは配管全長に対し40%を超える割合であったことから、下記の適用条件を設定した。

- ① 金属保温材が施工されている配管長さが配管全長に対して40%以下の場合・・・1.0%を付加する
- ② 金属保温材が施工されている配管長さが配管全長に対して40%を超える場合・・・0.5%を付加する

水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せについて

1. 概要

今回工認の耐震設計では、これまで静的な取扱いのみであった鉛直方向の地震力について、動的な地震力を考慮することとなるとともに、水平方向及び鉛直方向の動的な地震力による荷重を適切に組み合わせることが必要となる。

従来 of 水平方向及び鉛直方向の荷重の組合せは、静的な地震力による鉛直方向の荷重には地震継続時間や最大加速度の生起時刻のような時間の概念がなかったことから、水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の最大値同士の絶対値の和としていた。(以下「絶対値和法」という。)

一方、水平方向及び鉛直方向の両者がともに動的な地震力である場合、両者の最大加速度の生起時刻に差があるという実挙動を踏まえると、従来と同じように絶対値和法を用いるのではなく、時間的な概念を取り入れた荷重の組み合わせ法を検討する必要がある。

本資料では、水平方向及び鉛直方向の動的地震力の組合せに関する既往研究⁽¹⁾をもとに、二乗和平方根法(以下「SRSS法(Square Root of the Sum of the Squares)」という。)による組合せ法のの妥当性を説明するものである。

なお、SRSS法による組合せは、大間1号炉の既工認において適用実績のある手法である。

2. 東海第二発電所で用いる荷重の組合せ法

東海第二発電所では、静的な地震力による荷重の組合せについては、従来

どおり絶対値和法を用いて評価を行う。また、動的な地震力による荷重の組合せについては、既往知見に基づき、S R S S法を用いて評価を行う。

3. 水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の組合せ法に関する研究の成果

3.1 荷重の組合せ法の概要

絶対値和法とS R S S法の概要を以下に示す。

(1) 絶対値和法

本手法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）
※を絶対値和で組み合わせる方法である。

この方法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重が同時刻に同位相で生じることを仮定しており、組合せ法の中で最も大きな荷重を与える。本手法は、主に地震力について時間の概念がない静的地震力による荷重の組合せに使用する。

$$\text{組合せ荷重（又は応力）} = |M_H|_{\max} + |M_V|_{\max}$$

M_H ：水平方向地震力による荷重（又は応力）

M_V ：鉛直方向地震力による荷重（又は応力）

(2) S R S S法

本手法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）
※を二乗和平方根で組み合わせる方法である。

この方法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重の生起時刻に時間的なずれがあるという実挙動を考慮しており、水平方向及び鉛直方向地震動の同時入力による時刻歴応答解析との比較において平均的な荷重を与える。本手法は、動的な地震力による荷重の組合せに使用する。

$$\text{組合せ荷重（又は応力）} = \sqrt{(M_H) \max^2 + (M_V) \max^2}$$

M_H ：水平方向地震力による荷重（又は応力）

M_V ：鉛直方向地震力による荷重（又は応力）

※：荷重の段階で組み合わせる場合と，荷重による発生した応力の段階で組み合わせる場合がある。

(補足) 荷重または応力による組合せについて

水平方向及び鉛直方向の動的地震力をS R S S法で組み合わせる際、評価対象の機器の形状や部位に応じて荷重の段階で組み合わせる場合と、荷重により発生した応力の段階で組み合わせる場合がある。ここでは、その使い分けについて具体例を用いて説明する。

A. 荷重の段階で組合せを行う場合

横形ポンプの基礎ボルトの引張応力の評価を例とすると、以下の式で示すように水平方向地震力と鉛直方向地震力の組合せは、荷重である水平方向地震力によるモーメント ($m \cdot g \cdot C_H \cdot h$) と鉛直方向地震力によるモーメント ($m \cdot g \cdot C_V \cdot l_1$) を組み合わせる。

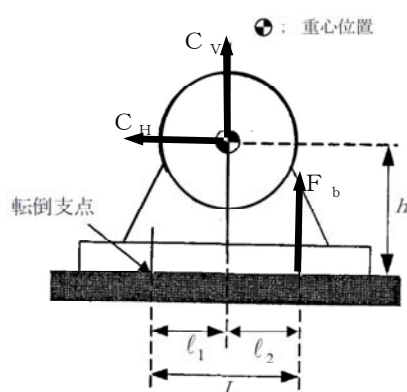
本手法については、非同時性を考慮する地震荷重についてのみS R S Sしており、実績のある妥当な手法である。

【絶対値和法】

$$F_b = \frac{1}{L} \{ m g (C_H h + C_V l_1) + m g C_p (h + l_2) + M_p - m g l_1 \}$$

【S R S S法】

$$F_b = \frac{1}{L} \{ m g \sqrt{ (C_H h) ^ 2 + (C_V l_1) ^ 2 } + m g C_p (h + l_2) + M_p - m g l_1 \}$$



F_b : 基礎ボルトに生じる引張力
 C_H : 水平方向震度
 C_V : 鉛直方向震度
 C_p : ポンプ振動による震度
 g : 重力加速度
 h : 据付面から重心までの距離
 l_1, l_2 : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
 L : 支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる基礎ボルトまでの距離
 m : 機器の運転時質量

B. 応力による組合せを行う場合

横置円筒形容器の脚部の組合せ応力の評価を例とすると、脚部には水平方向地震力による曲げモーメント M_{11} 及び鉛直方向荷重 P_1 、鉛直方向地震力による鉛直荷重 $(R_1 + m_{a1}g) C_V$ が作用する。(図 B-1)

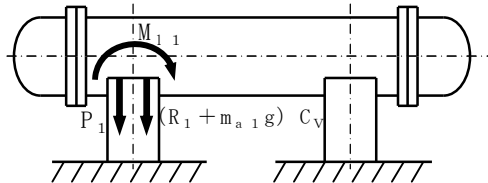


図 B-1 横置円筒系容器の脚部に作用する荷重

水平方向地震力による応力 σ_{s2} 及び鉛直方向地震力による応力 σ_{s4} は式 B-1 及び式 B-2 で表され、脚部の組合せ応力の評価の際は、これらの応力を S R S S 法により組み合わせて式 B-4 を用いて評価を行う。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{11}}{Z_{sy}} + \frac{P_1}{A_s} \quad \dots \text{(式 B-1)}$$

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1}g}{A_s} C_V \quad \dots \text{(式 B-2)}$$

σ_{s2} : 水平方向地震により脚部に生じる曲げ及び圧縮応力の和
 M_{11} : 水平方向地震力により脚底面に作用する曲げモーメント
 P_1 : 水平方向地震力により胴の脚付け根部に作用する鉛直方向荷重
 Z_{sy} : 脚部の断面係数
 A_s : 脚部の断面積

σ_{s4} : 鉛直方向地震力により生じる圧縮応力
 R_1 : 脚部が受ける自重による荷重
 m_{a1} : 脚部の質量

【絶対値和法】

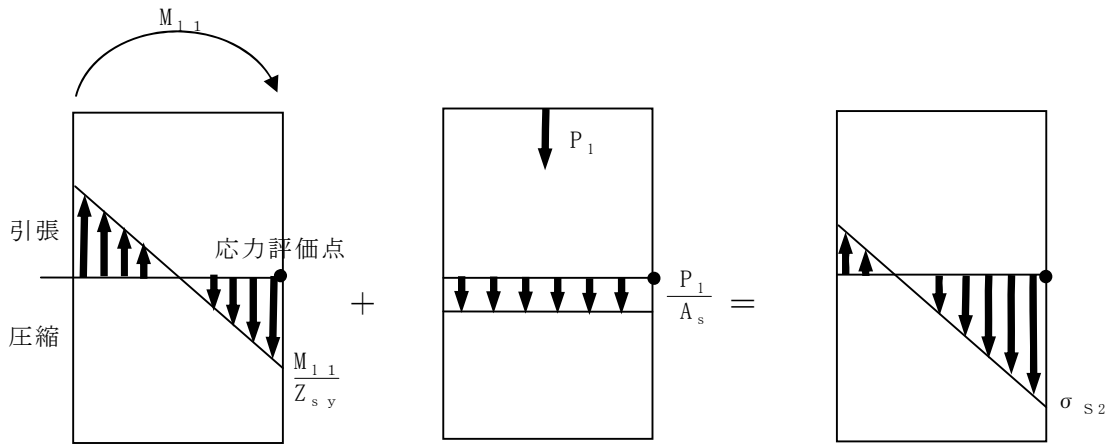
$$\sigma_{s1} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3\tau_{s2}^2} \quad \dots \text{(式 B-3)}$$

【S R S S 法】

$$\sigma_{s1} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{(\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2)})^2 + (3\tau_{s2}^2)} \quad \dots \text{(式 B-4)}$$

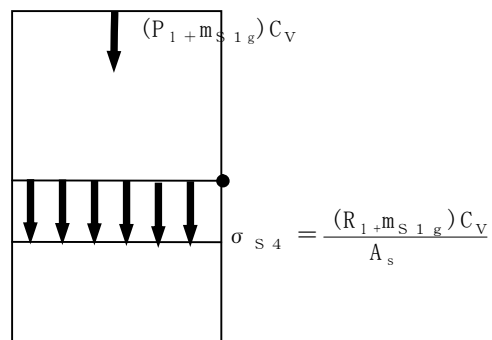
σ_{s1} : 水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の脚部の組合せ応力
 σ_{s1} : 運転時質量により脚部に生じる圧縮応力
 τ_{s2} : 水平方向地震力により脚に生じるせん断応力

ここで、水平方向地震力による応力 σ_{s2} 及び鉛直方向地震力による圧縮応力 σ_{s4} は図 B-2 の示すように、ともに脚部の外表面の応力を表すものであり、脚部の同一評価点、同一応力成分であることから、これらの組合せを SRS 法により行うことは妥当である。



(ア) 曲げによる応力 (イ) 圧縮による応力 (ウ) 曲げ+圧縮による応力

(a) 水平地震力による応力評価点の応力



(b) 鉛直地震力による応力評価点の応力

図 B-2 横置円筒形容器の脚部に作用する地震力による応力概念図

3.2 S R S S 法の妥当性

既往研究では、実機配管系に対して、水平及び鉛直地震動による最大荷重を S R S S 法により組み合わせた場合と水平及び鉛直方向地震動の同時入力による時刻歴応答解析法により組み合わせた場合との比較検討を以下の通り行っている。

(1) 解析対象配管系モデル

解析対象とした配管は、代表プラントにおける格納容器内の配管系で給水系 (FDW) ×2 本、残留熱除去系 (RHR) 及び主蒸気系 (MS) の計 4 本の配管モデルである。当該配管系は、耐震 S クラスに分類されるものである。

(2) 入力地震

解析に用いた入力地震動は、地震動の違いによる影響を確認するため、兵庫県南部地震 (松村組観測波)、人工波及びエルセントロ波の 3 波を用いた。機器・配管系への入力地震動となる原子炉建屋中間階の応答波の例を第 6-1 図から第 6-3 図に示す。

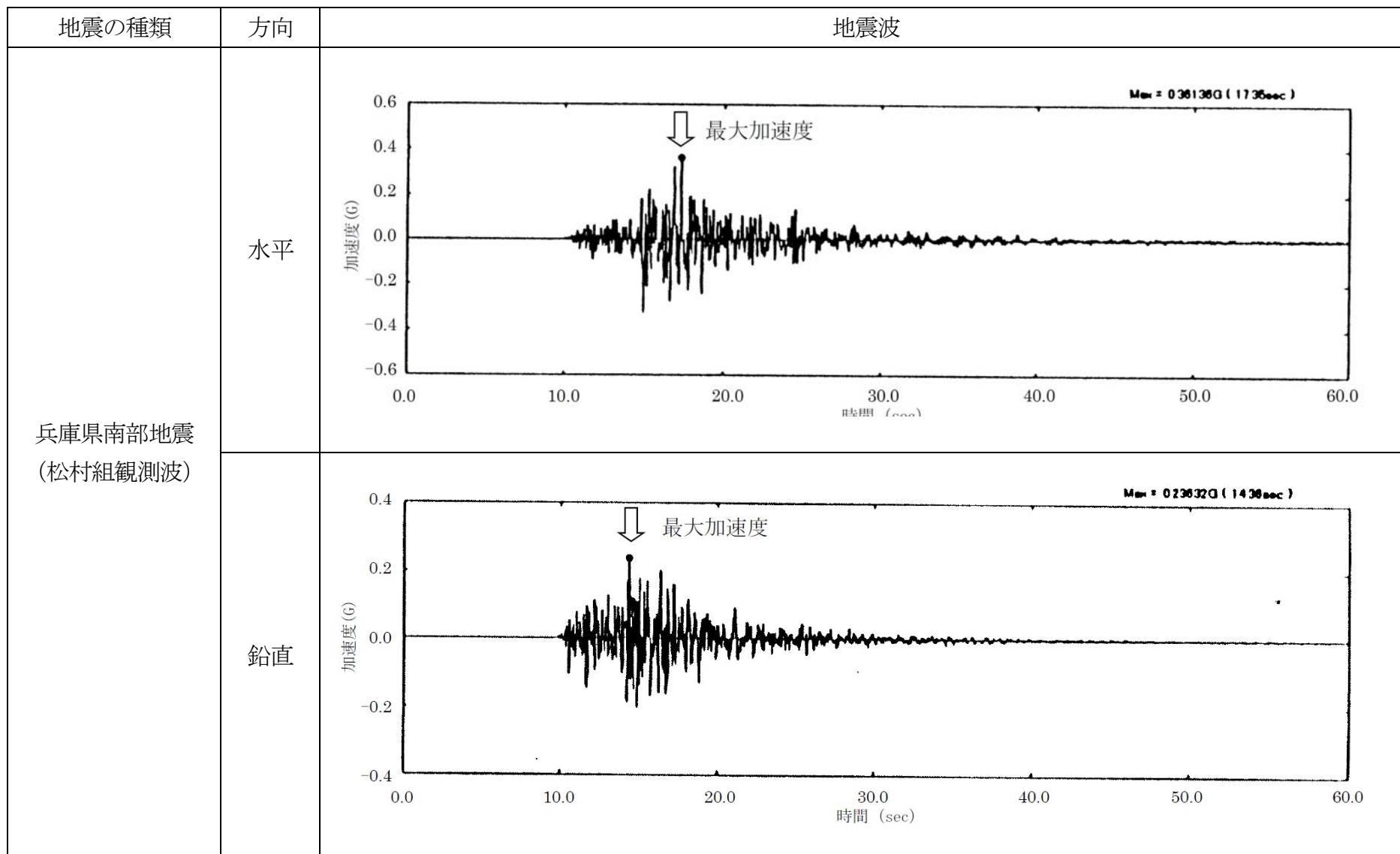
(3) 解析結果

解析結果を第 6-4 図から第 6-7 図に示す。第 6-4 図から第 6-7 図は、水平方向及び鉛直方向の応力に対して、同時入力による時刻歴応答解析法及び S R S S 法により組み合わせた結果をまとめたものであり、参考までに絶対値和法による結果も併記した。

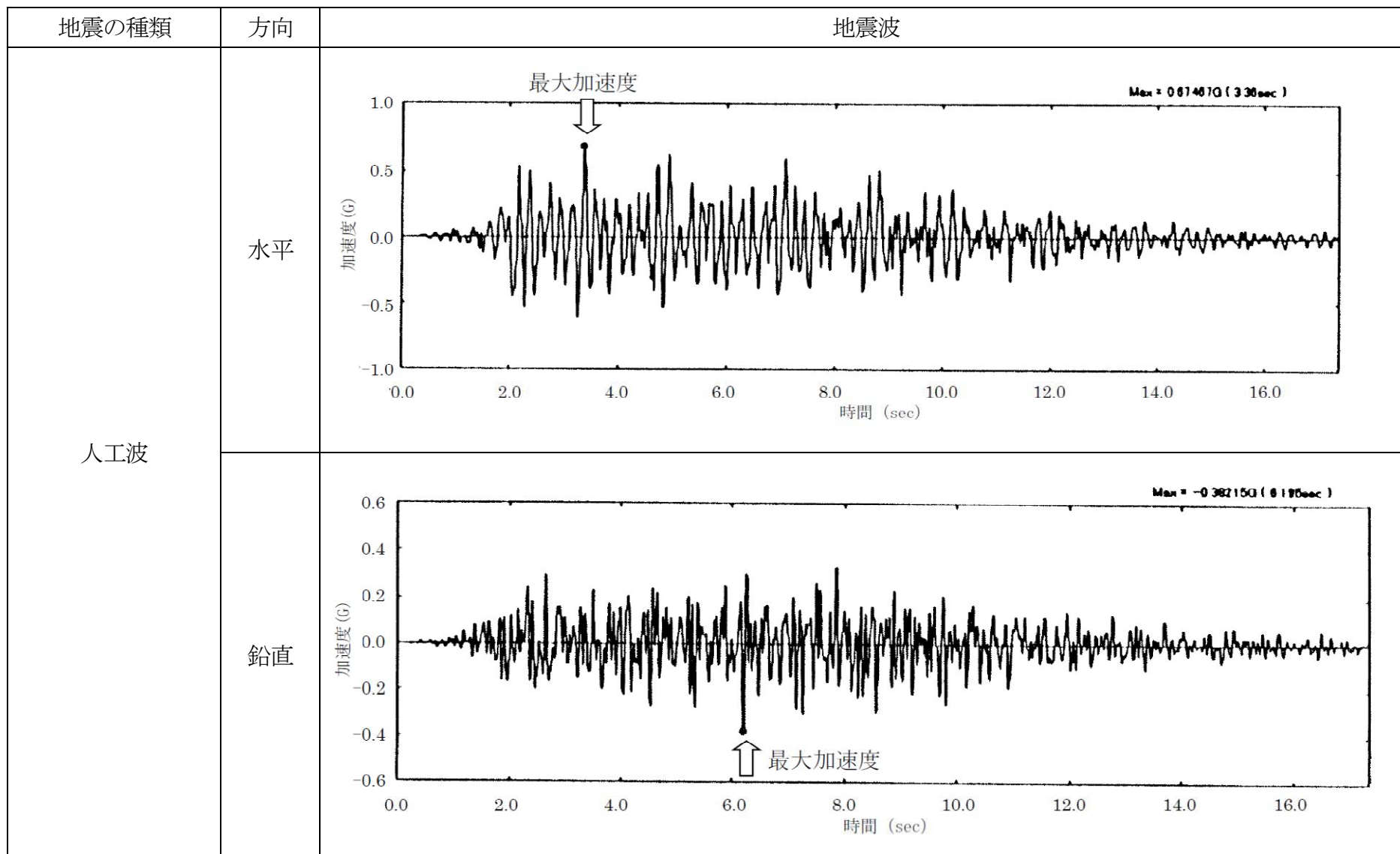
第 6-4 図から第 6-7 図より、いずれの配管系においても最大応力発生点においては、時刻歴応答解析法に対して S R S S 法の方が約 1.1 倍から約 1.4 倍の比率で上回る結果となった。最大応力発生点における S R S S 法と同時入力による時刻歴応答解析との評価結果の比較を第 6-1 表に示す。また、最大応力発生点の部位を第 6-8 図から第 6-11 図に示す。

さらに、配管系全体の傾向を確認するため、配管系の主要な部位におけ

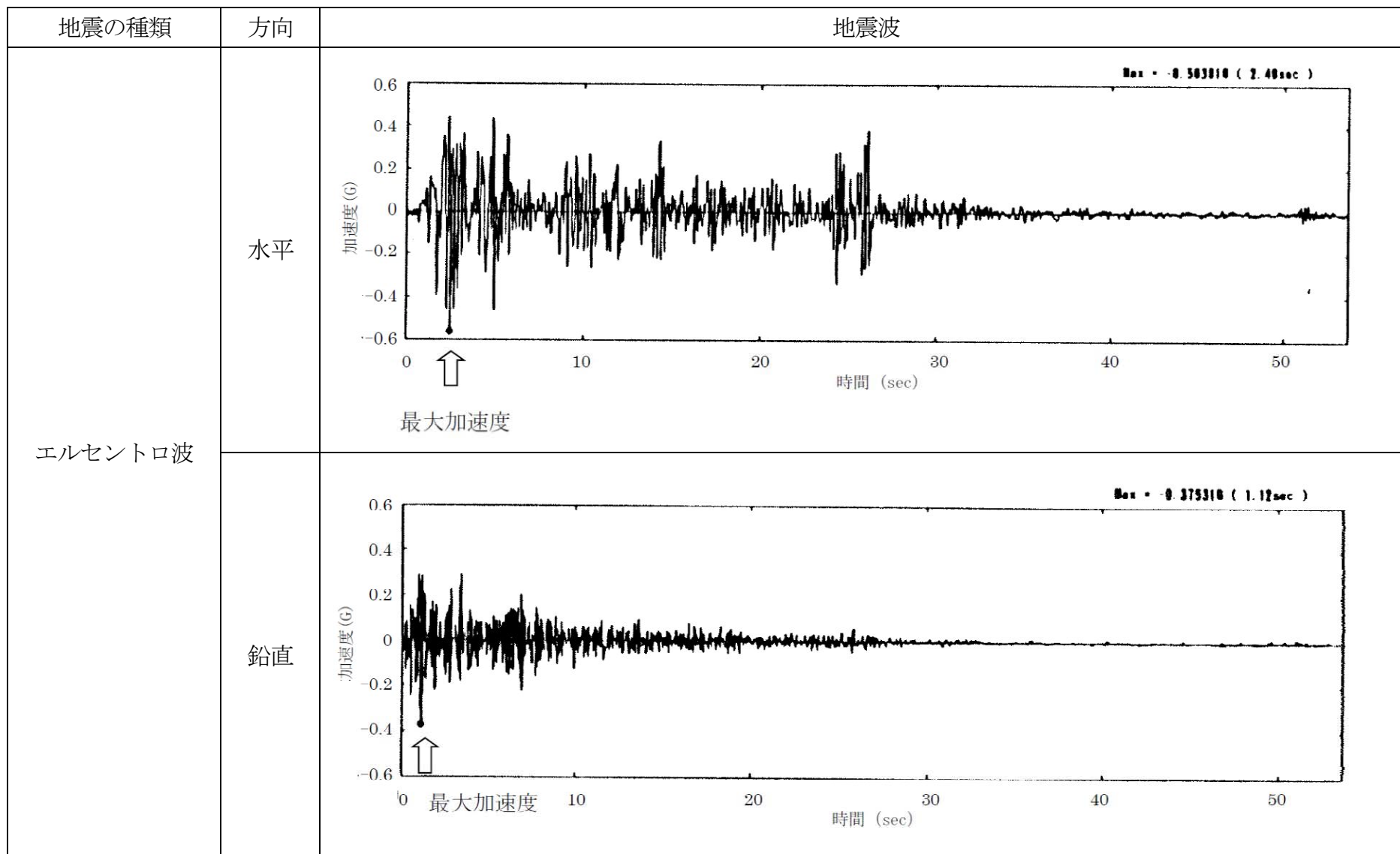
る発生応力の比較を第 6-12 図に示す。第 6-12 図は、第 6-4 図から第 6-7 図に基づき、各配管モデルの節点の応力値をプロットしたものである。第 6-12 図より、S R S S 法は発生応力の低い領域では同時入力による時刻歴応答解析法に対して平均的な結果を与え、発生応力の増加に伴い保守的な結果を与える傾向にあることが確認できる。



第6-1図 機器・配管系への入力地震動（兵庫県南部地震）

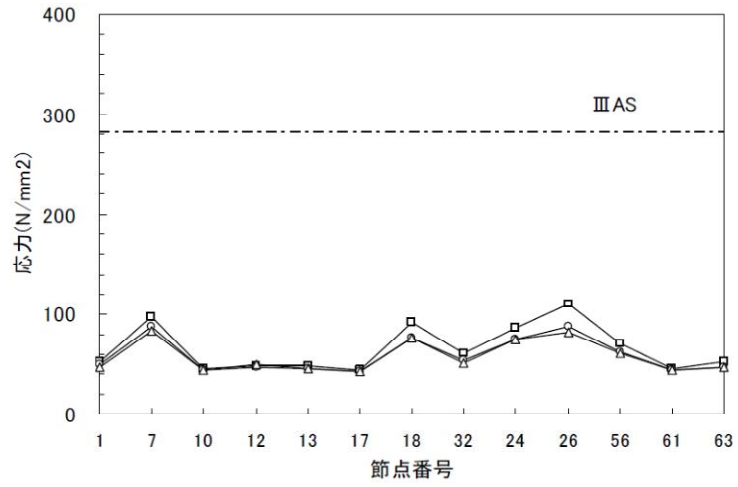


第6-2図 機器・配管系への入力地震動（人工波）

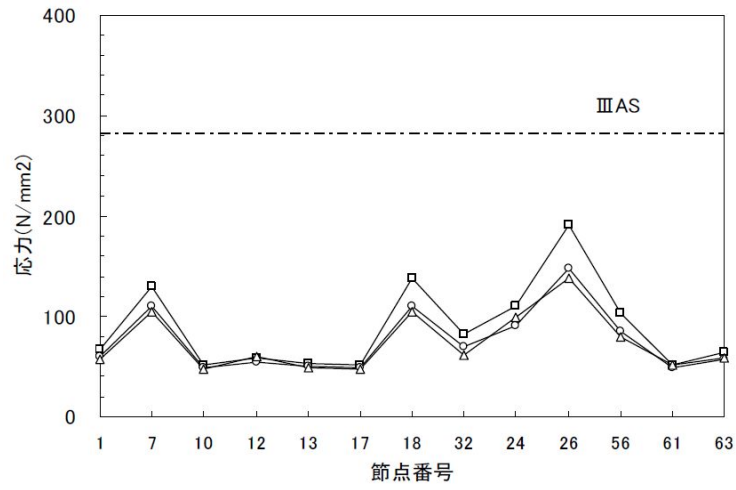


第6-3図 機器・配管系への入力地震動 (エルセントロ波)

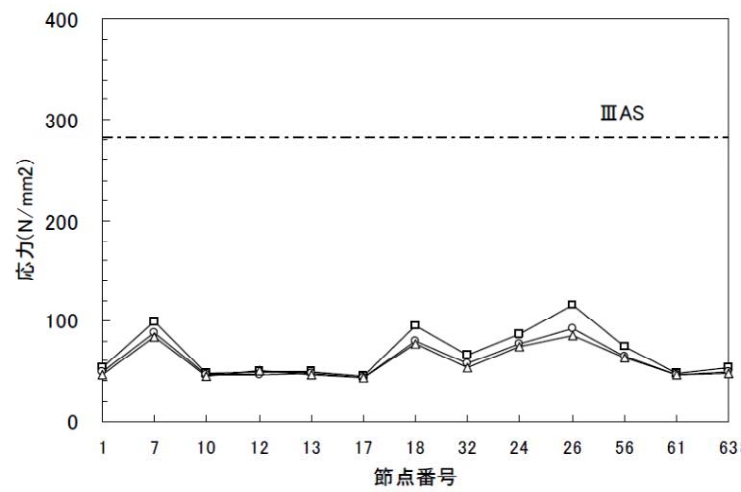
□ 絶対値和法 ○ SRSS法 △ 時刻歴法



兵庫県南部地震 (松村組観測波)



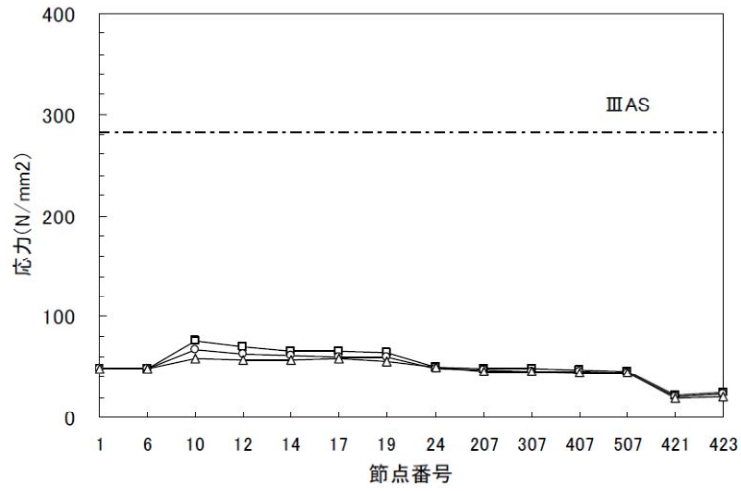
人工波



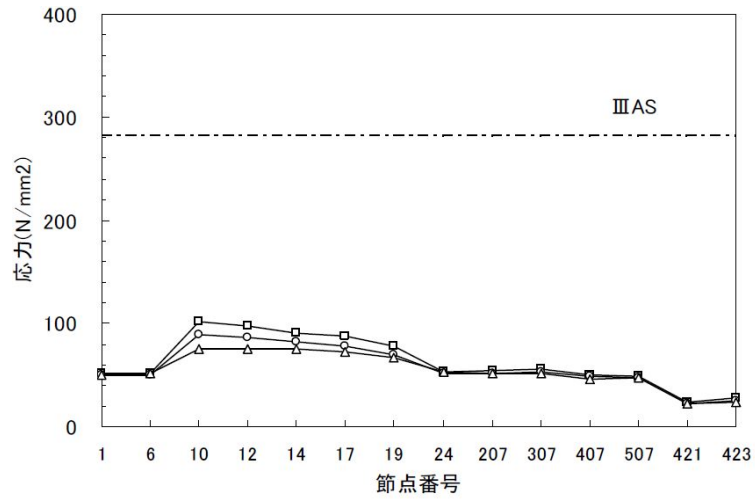
エルセントロ波

第6-4図 主要な部位における発生応力 (FDW-001 Aプラント)

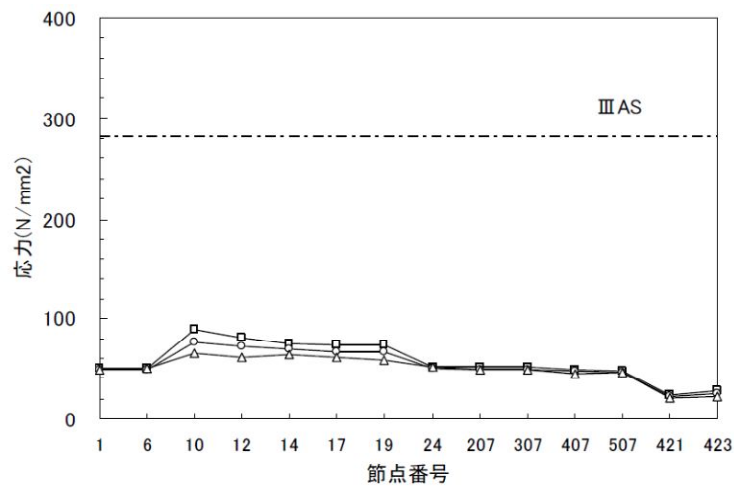
□—絶対値和法 ○—SRSS法 △—時刻歴法



兵庫県南部地震 (松村組観測波)

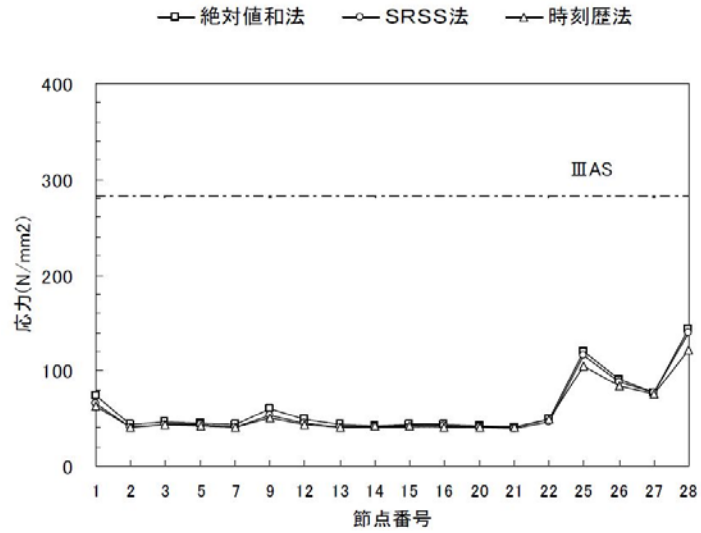


人工波

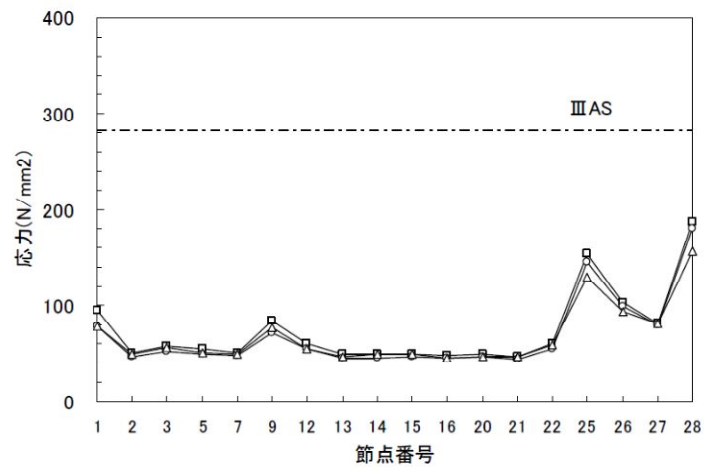


エルセントロ波

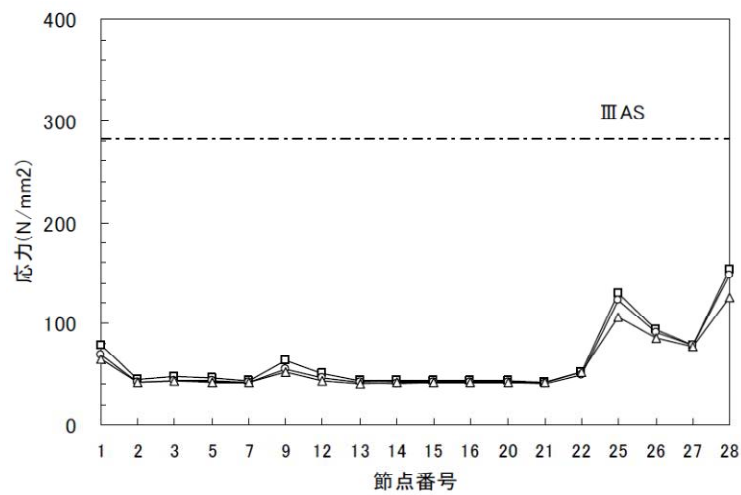
第6-5 図 主要な部位における発生応力 (MS-001 Aプラント)



兵庫県南部地震（松村組観測波）



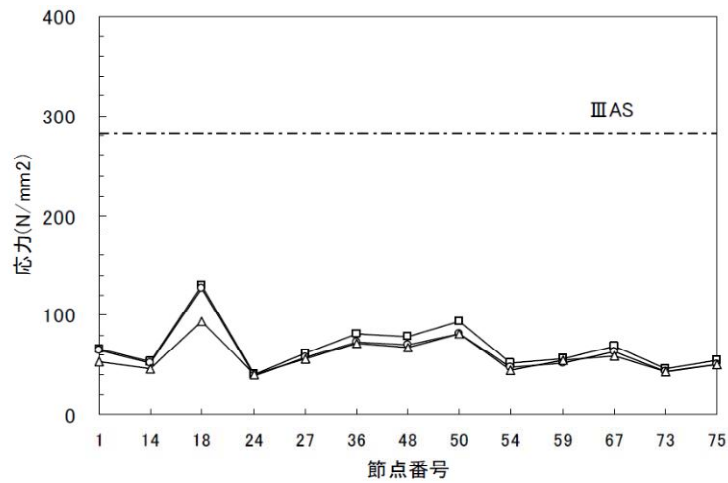
人工波



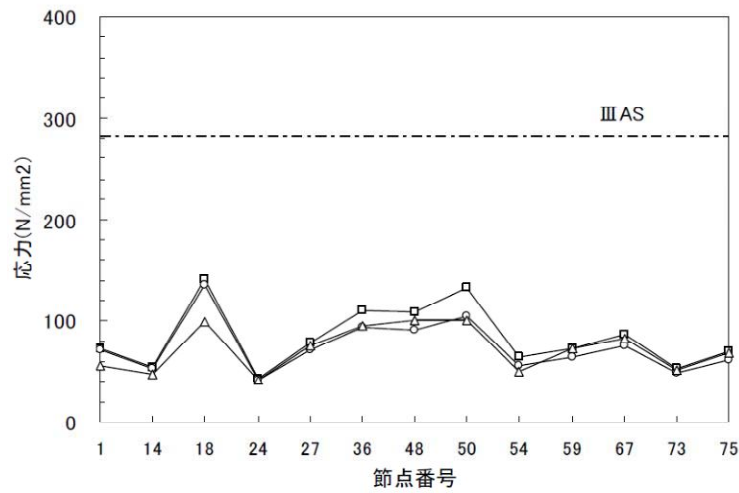
エルセントロ波

第6-6図 主要な部位における発生応力 (RHR-001 Aプラント)

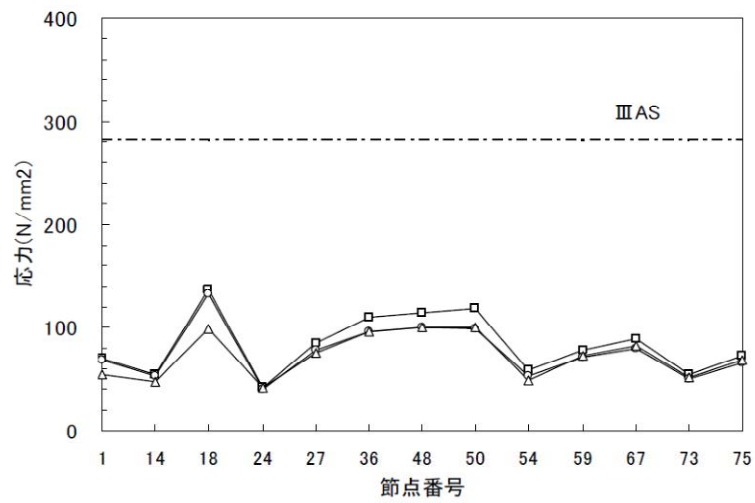
□—絶対値和法 ○—SRSS法 △—時刻歴法



兵庫県南部地震（松村組観測波）



人工波



エルセントロ波

第6-7図 主要な部位における発生応力 (FDW-001 Bプラント)

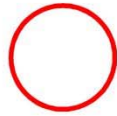
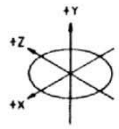
第6-1表 S R S S法と同時入力による時刻歴応答解析法との比較（最大応力発生点）

解析対象配管	入力地震波	最大応力発生点	S R S S/同時入力
FDW-001 (Aプラント)	松村組観測波	分岐部(節点 No26)	1.08
	人工波	分岐部(節点 No26)	1.08
	エルセントロ波	分岐部(節点 No26)	1.08
MS-001 (Aプラント)	松村組観測波	分岐部(節点 No10)	1.15
	人工波	分岐部(節点 No10)	1.20
	エルセントロ波	分岐部(節点 No10)	1.18
RHR-001 (Aプラント)	松村組観測波	拘束点(節点 No28)	1.15
	人工波	拘束点(節点 No28)	1.15
	エルセントロ波	拘束点(節点 No28)	1.18
FDW-001 (Bプラント)	松村組観測波	拘束点(節点 No18)	1.35
	人工波	拘束点(節点 No18)	1.37
	エルセントロ波	拘束点(節点 No18)	1.34

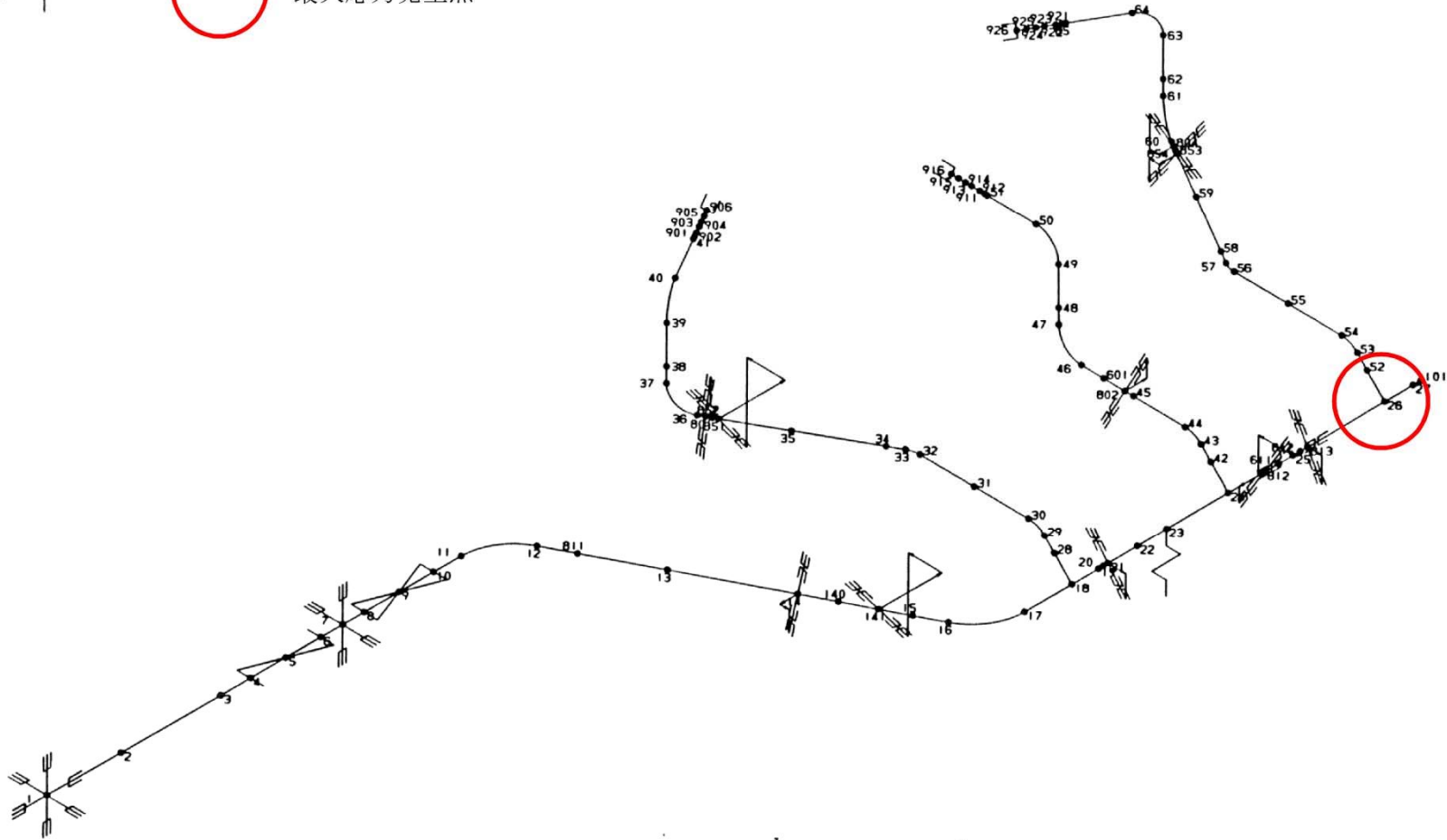
FDW：給水系配管

MS：主蒸気系配管

RHR：残留熱除去系配管

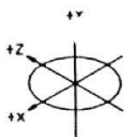


最大応力発生点

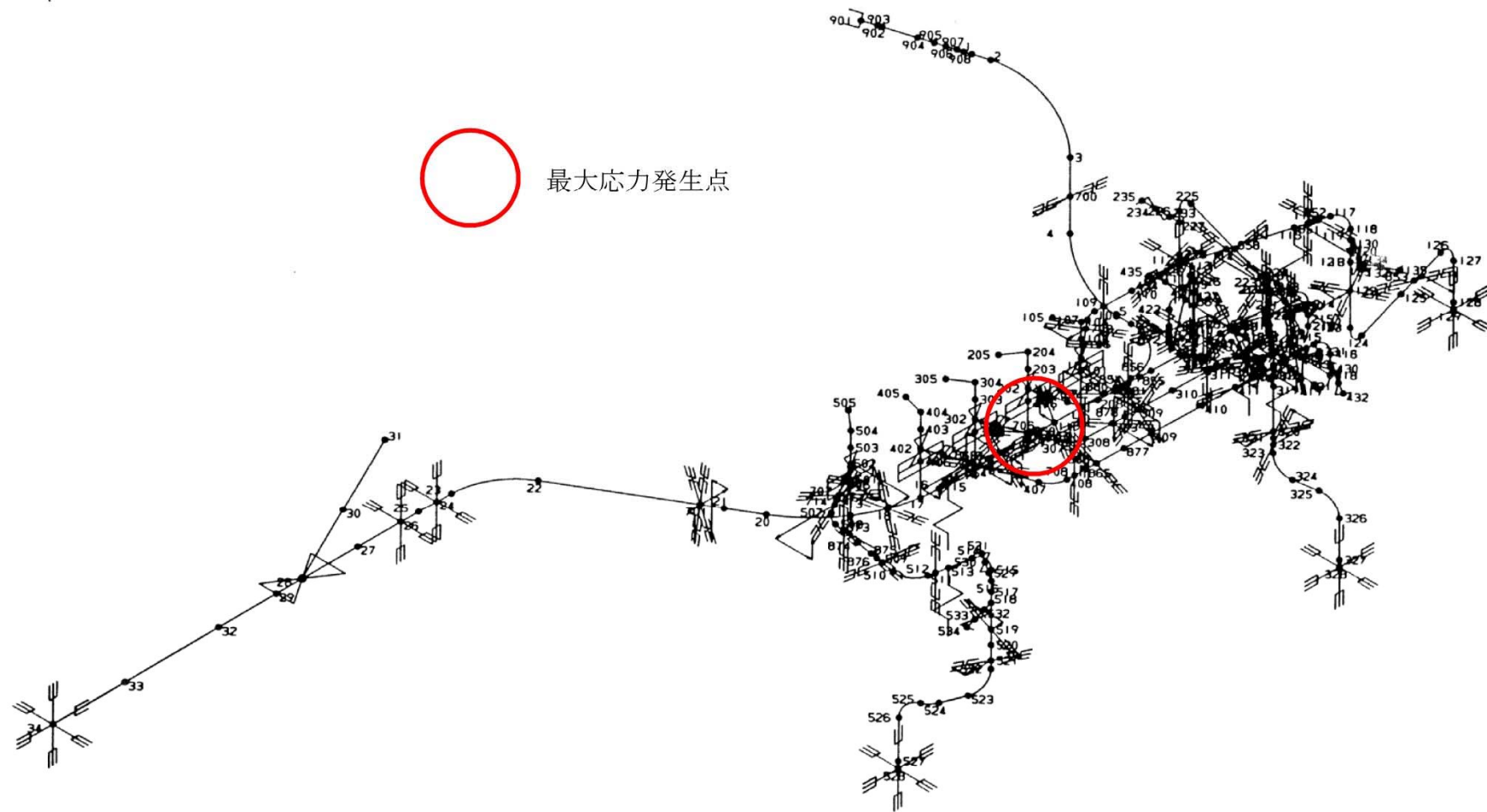


4条一別紙6-67

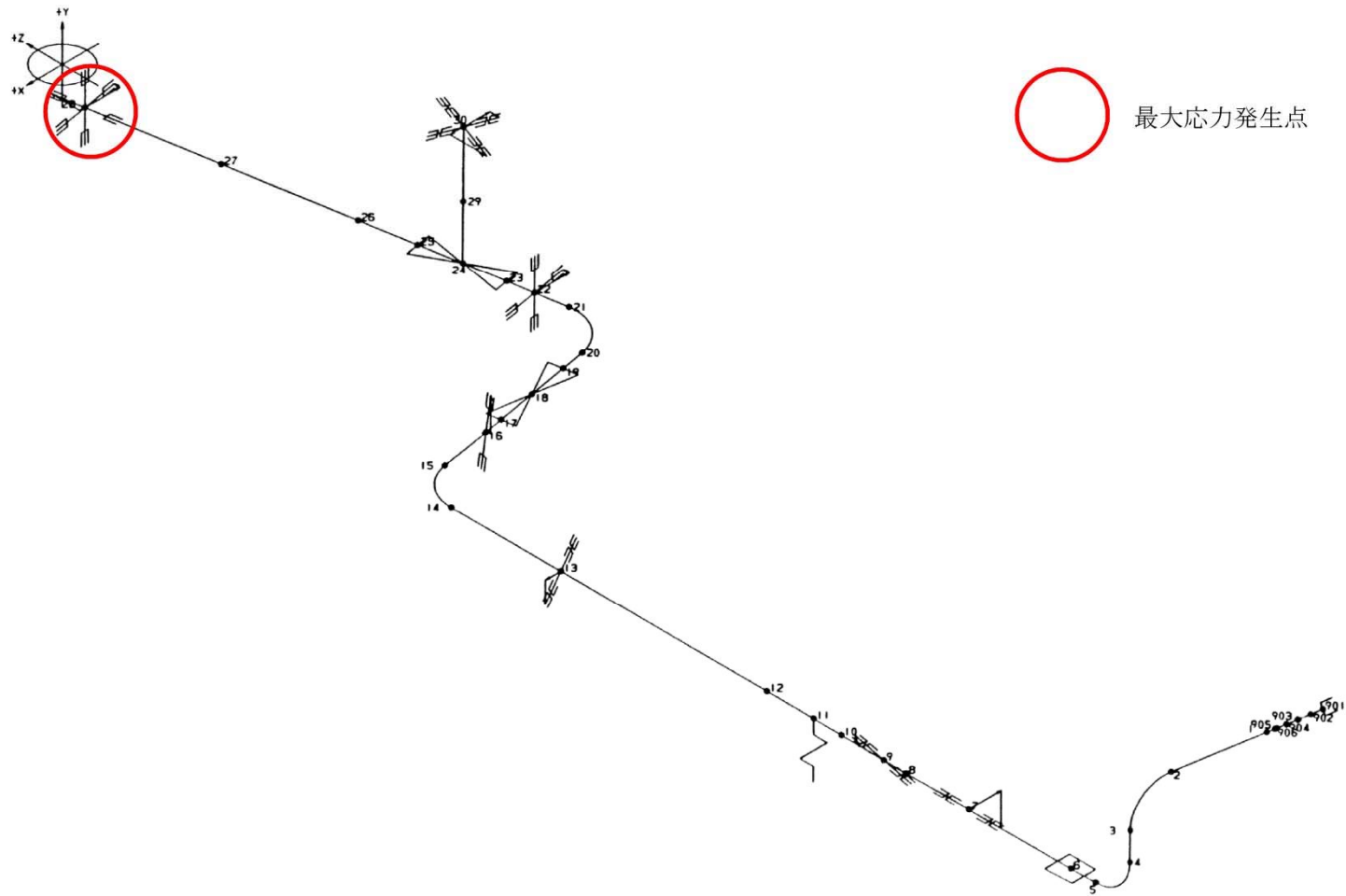
第6-8図 給水系配管 (FDW-001 Aプラント)



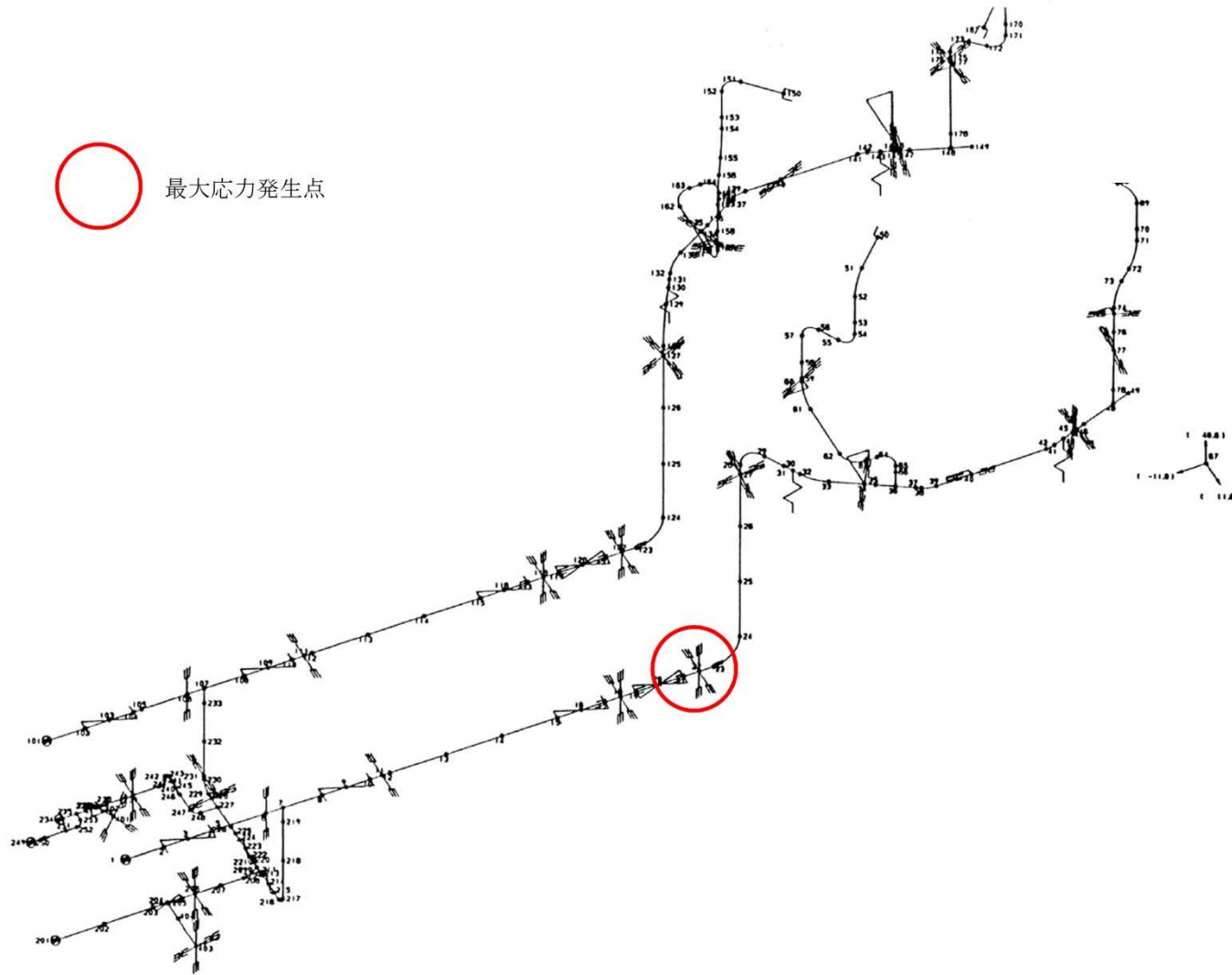
最大応力発生点



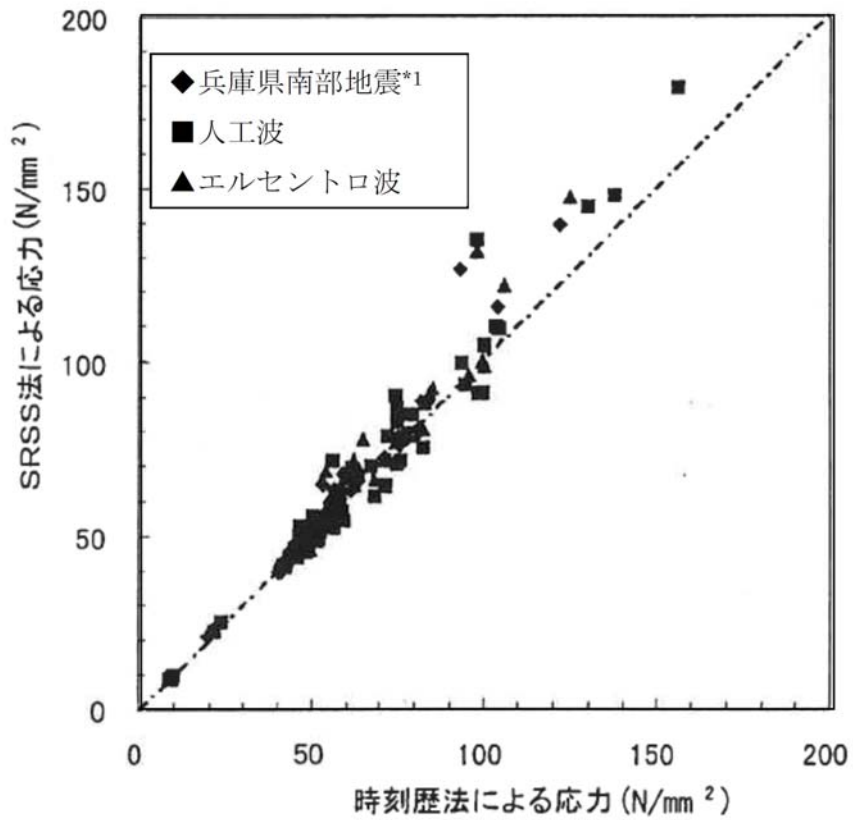
第6-9図 主蒸気系配管 (MS-001 Aプラント)



第 6-10 図 残留熱除去系配管 (RHR-001 Aプラント)



第 6-11 図 給水系配管 (PDW-001 B プラント)



注記

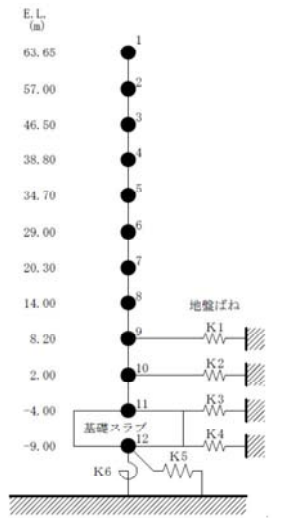
* 1 : 松村組観測波

第 6-12 図 S R S S 法による応力と時刻歴応答解析による応力の比較 (主要部位)

4. 東海第二発電所における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について

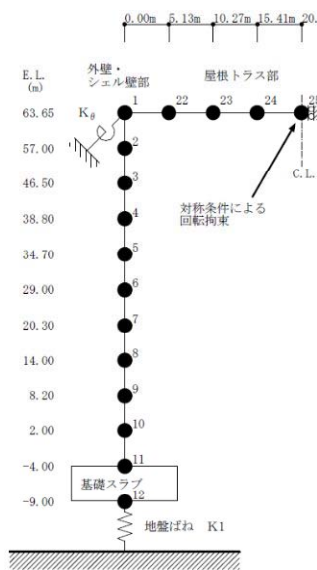
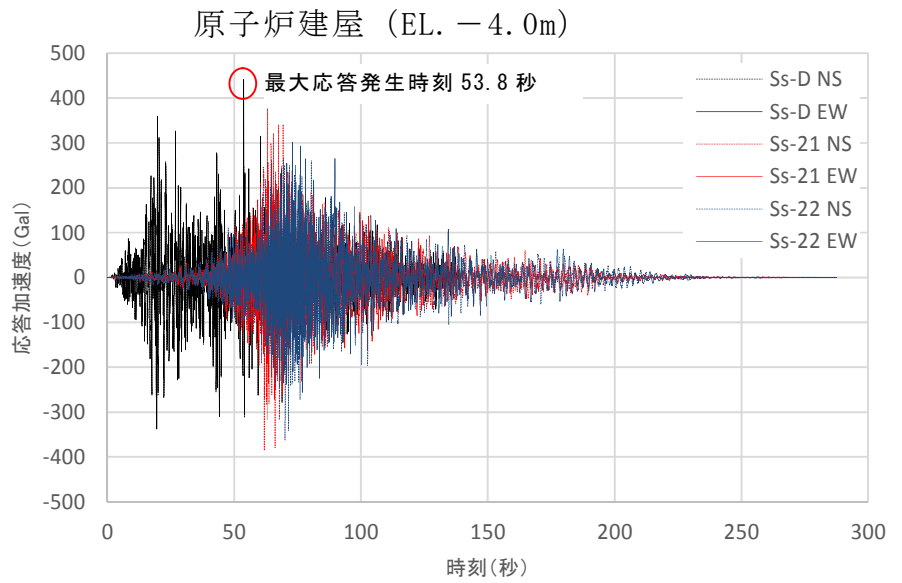
東海第二発電所における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について、原子炉建屋を例に、原子炉建屋の施設の耐震性評価において主要な地震動である基準地震動 S_s-D 、 S_s-21 及び S_s-22 に対する水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差を確認した。ここで、機器・配管系の耐震評価に用いる水平方向の設計用震度は、全ての地震動に対する南北方向と東西方向の最大応答加速度を包絡した値を用いることを踏まえ、水平方向の最大応答値の生起時刻については、基準地震動 S_s-D 、 S_s-21 及び S_s-22 における南北方向及び東西方向を通じた最大応答加速度の生起時刻を用いた。

第 6-13 図及び第 6-2 表に示すように、水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には約 0.9 秒～約 41 秒の差があり、東海第二発電所においても水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には差があることを確認した。



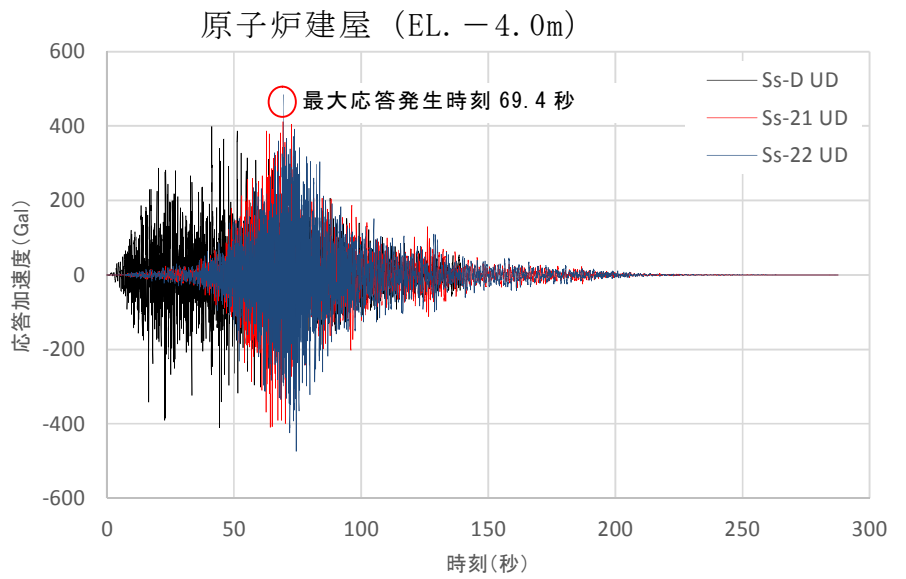
原子炉建屋モデル

(水平方向)



原子炉建屋モデル

(鉛直方向)



第 6-13 図 原子炉建屋の応答値 (EL. -4.0m の例)

第 6-2 表 最大応答値の生起時刻の差

位置 (m)	最大応答値の生起時刻 (秒)		生起時刻の差 (秒)
	水平方向	鉛直方向	
63.65	73.0	68.6	4.4
57.00	61.9	68.6	6.7
46.50	61.9	61.0	0.9
38.80	19.9	61.0	41.1
34.70	73.0	61.0	12.0
29.00	20.0	61.0	41.0
20.30	63.3	68.7	5.4
14.00	63.3	68.7	5.4
8.20	53.8	74.5	20.7
2.00	53.8	74.5	20.7
-4.00	53.8	69.4	15.6
-9.00	53.8	69.4	15.6

5. まとめ

以上から，東海第二発電所では，水平方向及び鉛直方向の動的な地震力の荷重の組合せ法としてS R S S法を用いることとする。

6. 参考文献

- (1) 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究(ステップ2)」(平成7年～平成10年)

7. 別紙

東北地方太平洋沖地震による東海第二発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について

東北地方太平洋沖地震による東海第二発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について

1. はじめに

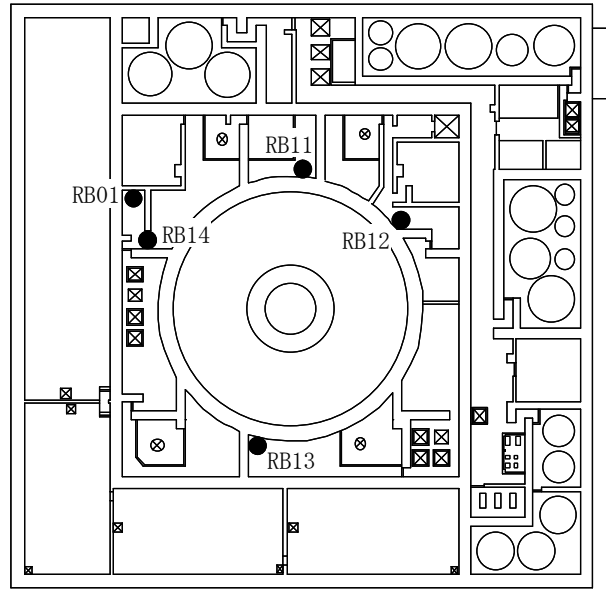
東海第二発電所では、平成 23 年 3 月 11 日に東北地方太平洋沖地震による観測記録が得られている。本資料では、東北地方太平洋沖地震による東海第二発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について参考として確認する。

2. 確認結果

別表 6-1 に示すように、東海第二発電所において観測された実地震についても、水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には 0.6 秒及び 4.2 秒の差があることが確認された。また、最大応答値の生起時刻の差が比較的小さな EW-UD の生起時刻の差 0.6 秒について、別図 6-3 にて水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には差があることを確認した。

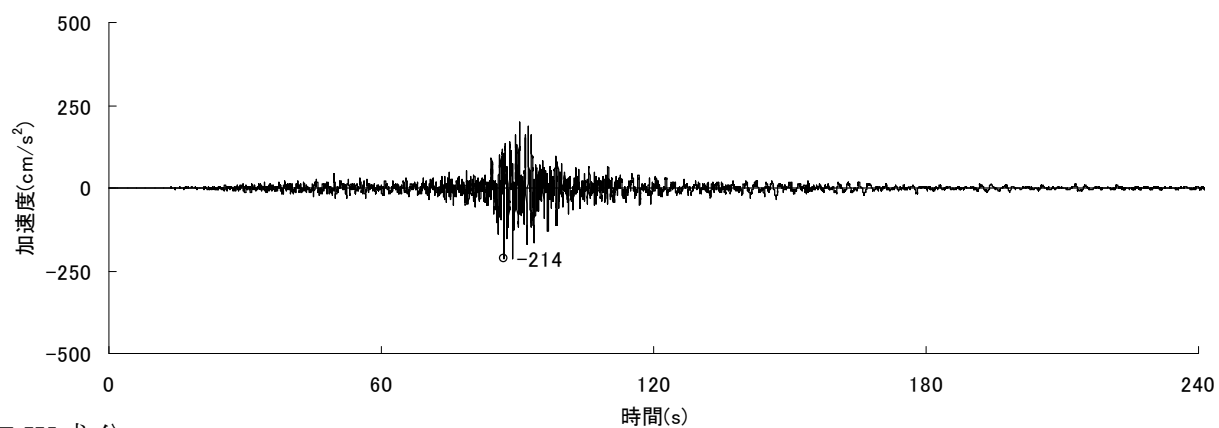
別表 6-1 東北地方太平洋沖地震の観測記録における最大応答値の生起時刻の差

位置 (m)	最大応答値の生起時刻 (秒)			生起時刻の差 (秒)	
	南北方向 (NS)	東西方向 (EW)	鉛直方向 (UD)	NS-UD	EW-UD
-4.0 (RB01)	87.0	91.8	91.2	4.2	0.6

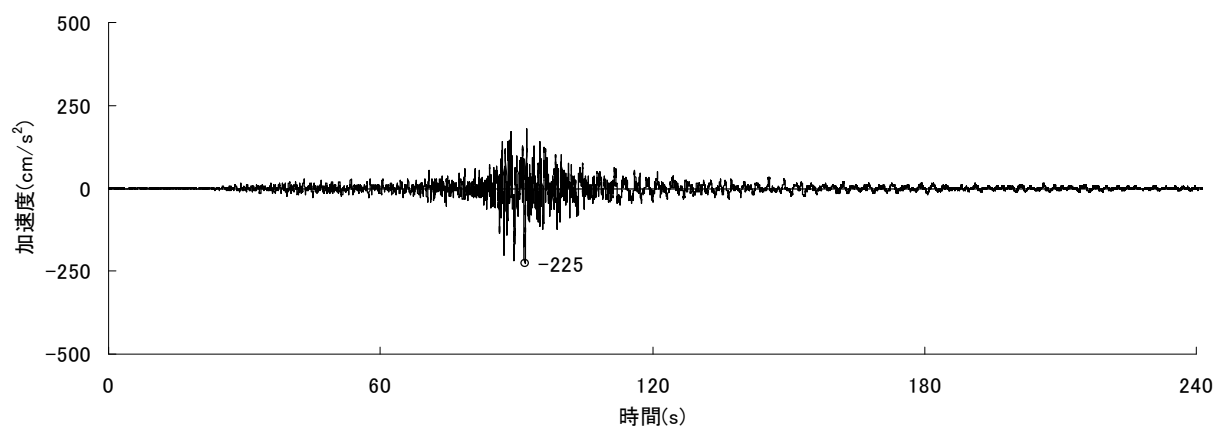


別図 6-1 原子炉建屋基礎上 (EL. -4.0m) 地震計設置位置

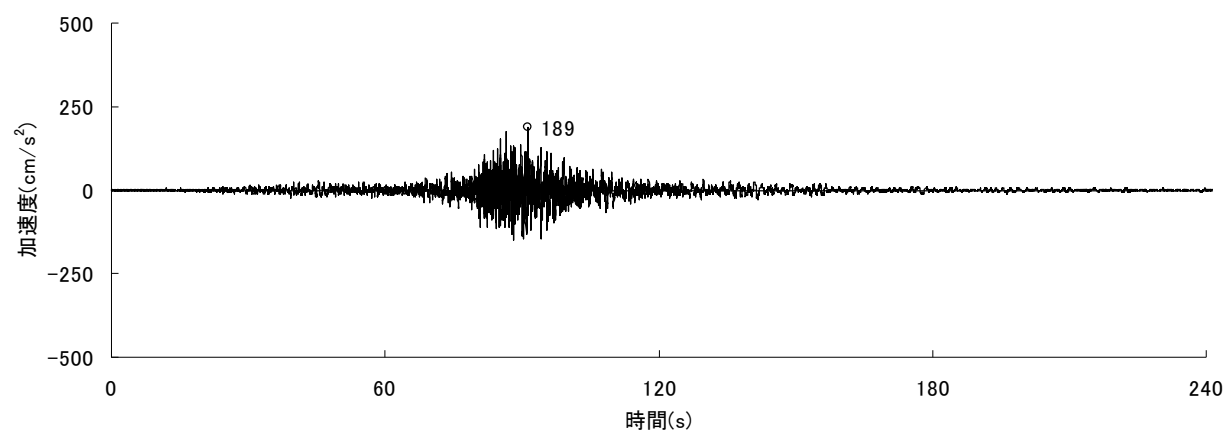
NS成分



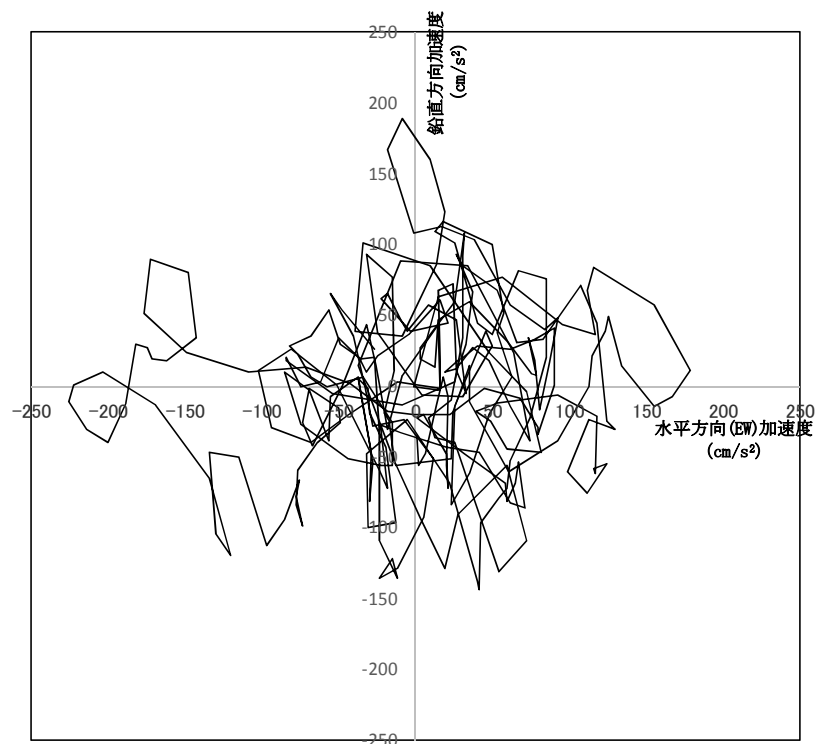
EW成分



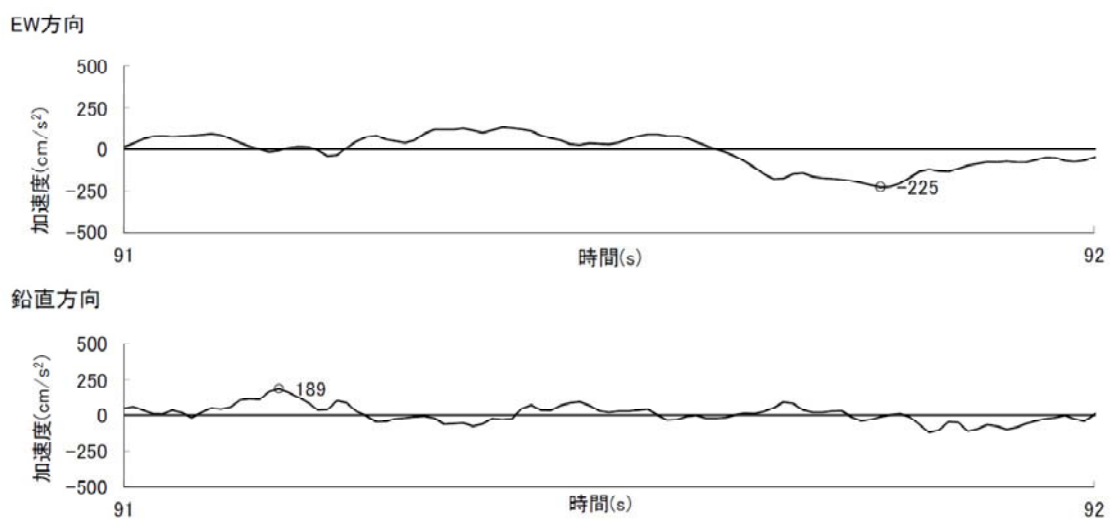
UD成分



別図 6-2 原子炉建屋基礎上 (EL. -4.0m) RB01 の観測記録加速度時刻歴波形



原子炉建屋基礎上 (EL. -4.0m) RB01 のリサーチ波形 (90秒から93秒)



原子炉建屋基礎上 (EL. -4.0m) RB01 の観測記録加速度時刻歴波形 (91秒から92秒)

別図 6-3 最大応答値(EW-UD)における生起時刻の差

鉛直方向応答解析モデルの追加について

1. 概要

格納容器内の原子炉圧力容器等の大型機器は、一般機器や配管等に比べて質量が大きく、原子炉建屋との相互作用を考慮した地震応答の算定が必要である。そのため、既工認において、原子炉圧力容器（炉心支持構造物及び炉内構造物含む）、原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎等の大型機器・構造物の耐震設計では、水平方向の動的地震力については原子炉建屋と大型機器を連成させた多質点モデルによる時刻歴応答解析を行うことで動的地震力を算定し、鉛直方向については静的震度による地震荷重を算定していた。

今回工認においては、新たに鉛直方向の動的地震力に対する考慮が必要となったことから、鉛直方向についても水平方向と同様に動的地震力の算定を行う。鉛直方向の地震応答解析モデルについては、鉛直方向の各応力評価点における軸力を算定するため、従来の水平方向モデルをベースに新たに多質点モデルを作成する。

なお、鉛直方向の地震応答解析モデルは、大間 1 号炉の建設工認において適用例がある。

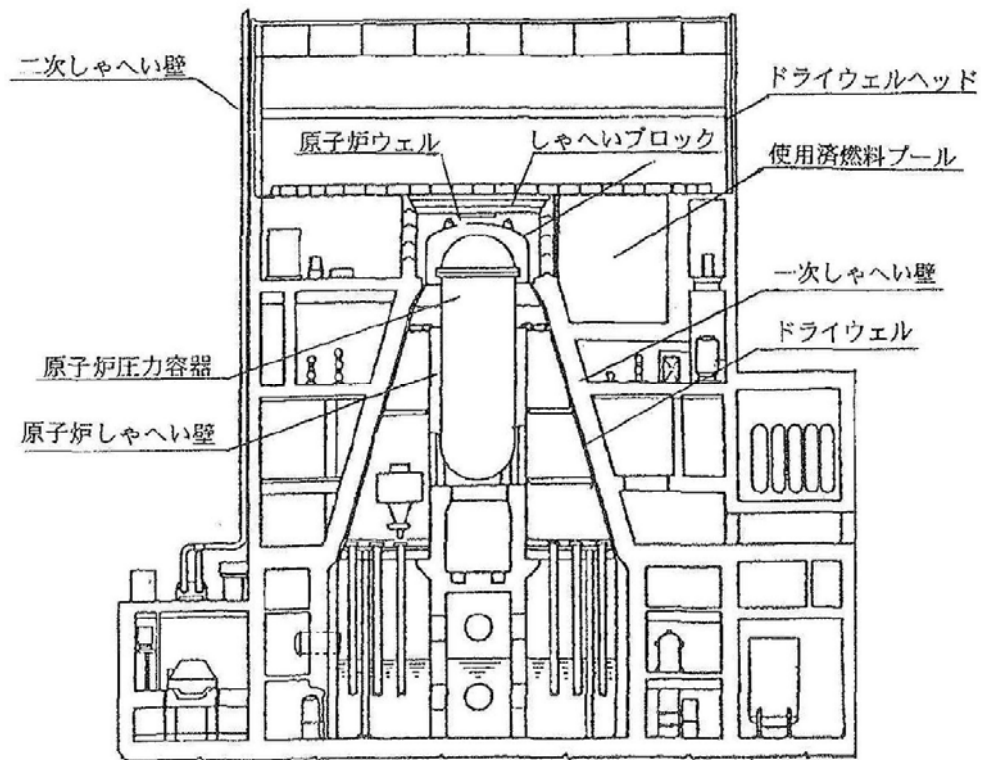
2. 地震応答解析モデルについて

原子炉建屋、格納容器の概略断面図を第 7-1 図、原子炉圧力容器内部構造物の構造図を第 7-2 図に示す。

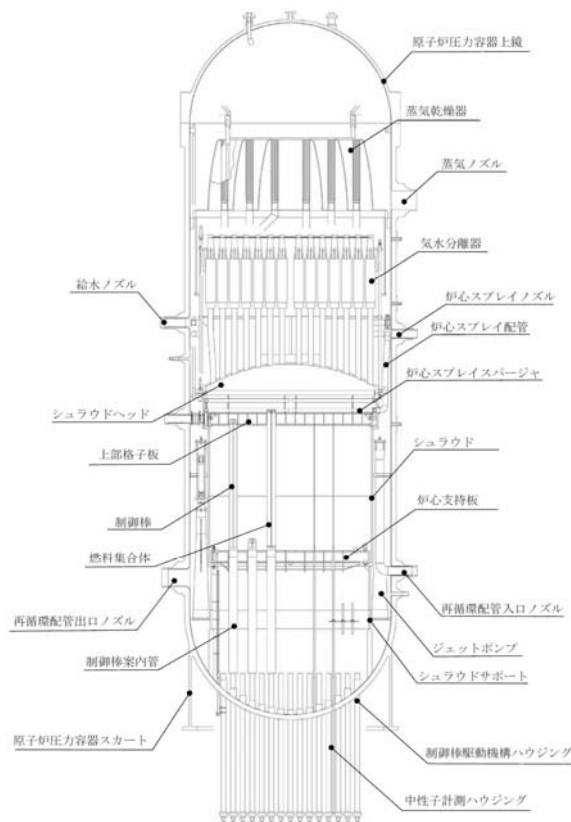
水平方向の解析モデルにおいては、原子炉圧力容器、原子炉遮蔽壁、原子炉本体基礎は第 7-3 図に示すような多質点モデルにてモデル化する。原子炉圧力容器は原子炉圧力容器スタビライザと等価なばねで原子遮蔽壁と結ば

れ，原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎はその下端において原子炉建屋基礎版上端と剛に結合され，さらにダイヤフラムフロアの剛性と等価なばねにより原子炉格納容器を介して原子炉建屋に支持される。

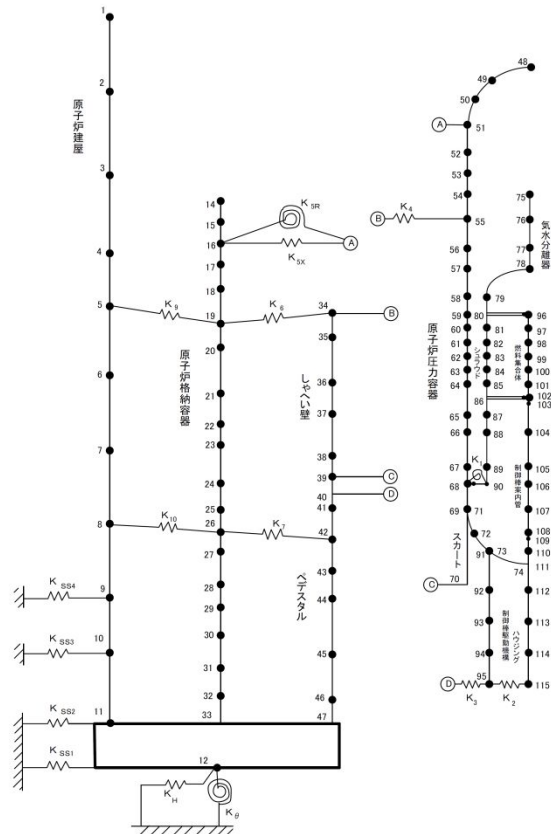
鉛直方向の解析モデルにおいても水平方向の解析モデルと同様に第 7-4 図に示すような多質点モデルにてモデル化する。原子炉压力容器は，原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎は，その下端において原子炉建屋基礎版上端と剛に結合され，原子炉建屋に支持される。



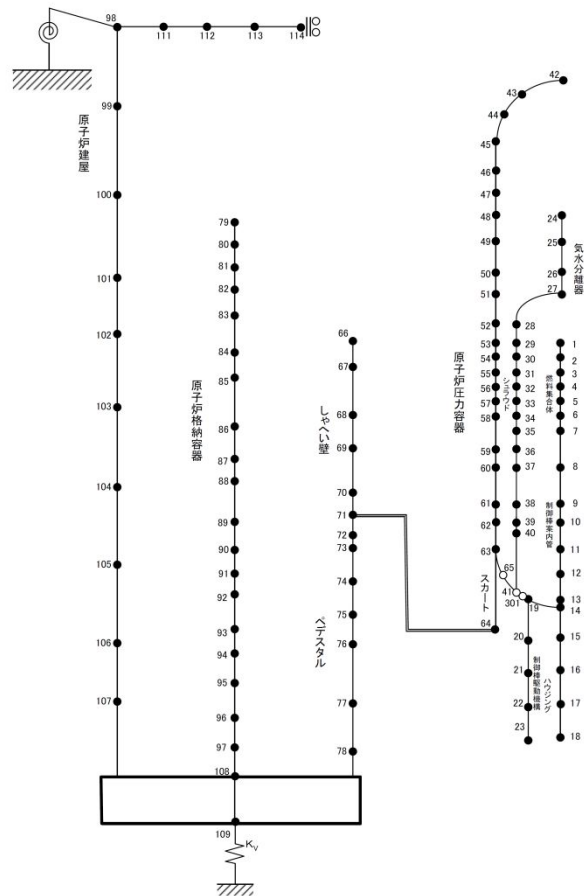
第 7-1 図 原子炉建屋，格納容器 概略断面図



第 7-2 図 原子炉圧力容器内部構造物 構造図



第 7-3 図 原子炉建屋－炉内構造物系連成 地震応答解析モデル（水平方向）



第 7-4 図 原子炉建屋－炉内構造物系連成 地震応答解析モデル（鉛直方向）