

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
大洗研究所（南地区）高速実験炉原子炉施設（「常陽」）

第4条（地震による損傷の防止）に係る説明書

（その1：第4条第1、2項）

2020年10月20日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

大洗研究所高速実験炉部

1. 要求事項の整理
2. 要求事項への適合性
 - 2.1 耐震設計の基本方針
 - 2.2 耐震重要度分類
 - 2.3 要求事項（試験炉設置許可基準規則第4条第1、2項）への適合性説明

(別紙)

別紙1： 「炉心の変更」に関する基本方針

別紙2： 耐震重要度分類の考え方と耐震Sクラス施設及び耐震Bクラス施設の構造概要

別紙3： 「1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵しうる施設で、Sクラス以外の施設」に
基準地震動による地震力が作用した場合の影響

別紙4： 「2次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵しうる施設で、Sクラス以外の施設」に
基準地震動による地震力が作用した場合の影響

別紙5： 「原子炉カバーガス等のバウンダリを構成する機器・配管系」に基準地震動による
地震力が作用した場合の影響

別紙6： Sクラス施設への波及的影響を考慮すべき設備の検討

「1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵しうる施設で、
Sクラス以外の施設」に
基準地震動による地震力が作用した場合の影響

「1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵しうる施設で、Sクラス以外の施設」には、以下の設備が該当する。

- ・ 1次ナトリウム純化系のうち、1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・ポンプ・弁（ただし、計装等の小口径のものを除く。）
- ・ 1次オーバフロー系のうち、1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・ポンプ・弁（ただし、計装等の小口径のものを除く。）
- ・ 1次ナトリウム充填・ドレン系のうち、1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・弁（Sクラスに属するもの及び計装等の小口径のものを除く。）

上記設備は、設置許可基準規則の第8条（火災による損傷の防止）に関し、基準地震動による地震力に対して、ナトリウムが漏えいすることがないように設計するものとしており、当該地震力により破損することはない。

なお、添付書類10においては、設計基準事故の一つとして想定した「1次冷却材漏えい事故」において、1次主冷却系又は1次補助冷却系の配管の破損を想定し、炉心冷却能力の観点で、当該配管の破損に伴う原子炉容器のナトリウム液位の低下により原子炉が自動停止、崩壊熱除去運転に移行し、十分な冷却が可能であることを確認している。また、放射性物質の閉じ込めの観点で、原子炉停止後に格納容器（床下）を空気雰囲気置換した状態におけるナトリウムの燃焼を想定し、格納容器の健全性が確保されること及び周辺の公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えないこと（実効線量：5mSv以下）を確認している。

以下に、耐震重要度分類の分類に当たって、「1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵しうる施設で、Sクラス以外の施設」が破損した場合の影響を示す。

（1）炉心冷却能力

1次ナトリウム純化系は、オーバフロータンクから1次冷却材を汲み出し、コールドトラップ等を経由して、当該冷却材をオーバフロータンクに還流する回路を構成する。1次ナトリウム純化系は、原子炉冷却材バウンダリに接続されていないため、当該系統が破損し、1次冷却材が漏えいした場合にあっても、原子炉容器のナトリウム液位が低下することはない、炉心流量が減少することもない。

1次オーバフロー系は、オーバフロータンクから1次冷却材を原子炉容器に汲み上げ、原子炉容器から所定の液位（以下「運転時液位」という。）を超える1次冷却材をオーバフロータンクに還流する回路を構成する。原子炉容器からオーバフロータンクへの還流側における原子炉容器内の開口部は、原子炉容器のナトリウム液位を運転時液位に維持する箇所に設置しており、当該範囲の配管等が破損し、1次冷却材が漏えいした場合にあっても、原子炉容器のナトリウム液位が低下することはない、炉心流量が減少することもない。また、原子炉容器への汲上げ側における原子炉容器内の開口部は、1次主冷却系による冷却材の循環を確保するために必要な液位よりも上方に設置しており、当該範囲の配管等が破損し、1次冷却材が漏えいした場合には、原子炉容器のナトリウム液位が低下するものの、1次主冷却系による冷却材の循環に必要な液位を下回ることはなく、事象

進展は、添付書類 10 において、設計基準事故の一つとして想定した「1次冷却材漏えい事故」に包絡される。

1次ナトリウム充填・ドレン系について、原子炉冷却材バウンダリを構成する弁までがSクラスの施設であり、当該弁は原子炉運転中において「閉」である。Sクラス以外の1次ナトリウム充填・ドレン系の配管等が破損した場合にあっても、原子炉容器のナトリウム液位が低下することはなく、炉心流量が減少することもない。

なお、1次冷却材の漏えいを確認した場合、運転員は、手動スクラムにより、原子炉を停止するものとする。

以上より、「1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵しうる施設で、Sクラス以外の施設」の破損を想定し、1次冷却材が漏えいしたとしても、炉心冷却能力は確保される。

(2) 放射性物質の閉じ込め

原子炉運転中、格納容器（床下）は窒素雰囲気維持するため、「1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵しうる施設で、Sクラス以外の施設」が破損し、1次冷却材が漏えいした場合にあっても、ナトリウムの燃焼は防止される。また、原子炉停止後に格納容器（床下）を空気雰囲気に置換し、ナトリウムの燃焼により格納容器内の温度及び圧力が上昇し、格納容器内に放出された核分裂生成物の一部が格納容器外へ漏えいすることを想定した場合にあっても、実効線量は約2.2mSv(5mSv以下)であり、周辺の公衆に対して著しい放射線被ばくリスクを与えることはない。なお、当該評価における主要な条件を以下に示す。

(i) 全ての燃料集合体の燃焼度が一様に最高燃焼度に達した場合に炉心に蓄積される希ガス及びよう素の1%に相当する量が1次冷却材中に放出されているものとする。

(ii) 原子炉停止後14*1日間の冷却を考慮するものとする。

*1: 原子炉停止後に格納容器（床下）を空気置換する際には、1次冷却材を1次冷却材ダンプタンクへドレンするものとしている。当該ドレンに当たっては、崩壊熱が減衰(200kW以下)している必要があるため、原子炉停止後に格納容器（床下）を空気置換するまでには、14日以上の減衰期間を要する。

(iii) 1次冷却材中の希ガスの100%、よう素の20%*2が格納容器内に放出されるものとする。

*2: 格納容器内へのよう素の放出割合は、1次オーバフロー系、1次純化系及び1次ナトリウム充填・ドレン系（Sクラスに属するものを除く。）の配管等が破損し、約15tのナトリウムが燃焼すること（ナトリウムの燃焼は、格納容器内の酸素がナトリウムとの反応により消費され、酸素濃度の低下により収束するまで継続すると仮定し、格納容器内の酸素量より設定）、並びに、1次純化系のコールドトラップに付着したよう素（付着割合10%：コールドトラップのメッシュ表面積等を踏まえ設定）を考慮し、設定した。

(iv) 核分裂生成物の放出経路は、非常用換気設備、主排気筒を経由せず、全て格納容器から直接大気中に放出されるものとする。

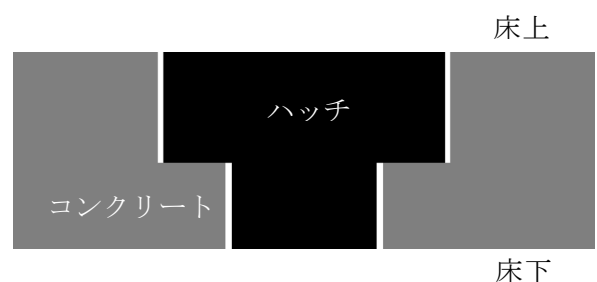
以上より、「1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵しうる施設で、Sクラス以外の施設」の破損

を想定しても、原子炉停止後、炉心から崩壊熱が除去され、燃料体の健全性が確保されること、また、過度の放射線被ばくを及ぼすおそれはないことから、新分類Bクラスの施設に該当する。

地震時における格納容器（床下）窒素雰囲気維持

原子炉運転時にあっては、格納容器（床上）を空気雰囲気（酸素濃度 19%以上／約 0.1kPa[gage]）に、格納容器（床下）を窒素雰囲気（酸素濃度 4%以下／約 0.1kPa[gage]）に維持する。基準地震動に相応する地震時における格納容器（床下）窒素雰囲気の維持状況を以下に示す。

- 地震の発生により、「地震（水平加速度：150gal）」が作動し、原子炉は自動停止する。なお、格納容器（床下）に設置される、1次冷却材又は2次冷却材を内包するもののうち、Bクラスの施設にあっても、設置許可基準規則の第8条（火災による損傷の防止）に関し、基準地震動による地震力に対して、ナトリウムが漏えいすることがないように設計するものとしており、当該地震力によりナトリウムが漏えいすることはない。
- 仮に、格納容器（床下）に冷却材が漏えいしたとした場合、冷却材の漏えいにより、格納容器（床下）の圧力及び温度が上昇する。原子炉保護系（アイソレーション）の設定点（圧力高：29kPa[gage]、温度高：60℃）に到達した場合、工学的安全施設が自動的に作動し、格納容器は隔離される（格納容器バウンダリを構成する隔離弁が自動的に閉止）。隔離弁「閉」により、格納容器（床上）は空気雰囲気に、格納容器（床下）は窒素雰囲気に維持される。格納容器及び格納容器バウンダリを構成する隔離弁は、Sクラスに属するため、基準地震動に相応する地震時にあっても、当該機能は健全に作動する。なお、原子炉保護系（アイソレーション）の設定点に到達しない場合でも工学的安全施設は運転員の手動操作によっても作動できるものとしている。
- 格納容器内の圧力は、当該雰囲気の温度に依存して増減する。格納容器（床下）にあつては、冷却材の漏えいにより、温度がわずかに上昇するため、当該雰囲気の圧力がわずかに増加する。一方、冷却材漏えいは、格納容器（床上）の雰囲気に影響を及ぼさないため、当該圧力に変化が生じることはない。格納容器（床下）圧力は、格納容器（床上）圧力を上回るため、格納容器（床下）に空気が混入することなく、窒素雰囲気は維持される。
- 格納容器（床下）に漏えいしたナトリウムは、原子炉の停止及び構造物や雰囲気への熱移行に伴う温度低下により、凝固（固化）する。雰囲気温度の低下により、格納容器（床下）の圧力はわずかに減少する。格納容器（床上）と格納容器（床下）のバウンダリは、下図の構造を有する。格納容器（床下）圧力が、格納容器（床上）圧力を上回る場合には、格納容器（床下）に空気が混入することなく、窒素雰囲気は維持される。格納容器（床下）圧力が、格納容器（床上）圧力を下回る場合には、圧力差によりハッチの密閉性が向上するため、格納容器（床下）に多量の空気が短時間で混入することなく、窒素雰囲気は維持される。



「2次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵しうる施設で、
Sクラス以外の施設」に
基準地震動による地震力が作用した場合の影響

「2次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵しうる施設で、Sクラス以外の施設」には、以下の設備が該当する。

- ・ 2次ナトリウム純化系のうち、2次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・ポンプ・弁（Sクラスに属するもの及び計装等の小口径のものを除く。）
- ・ 2次補助冷却系のうち、2次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・ポンプ・弁（Sクラスに属するもの及び計装等の小口径のものを除く。）
- ・ 2次ナトリウム充填・ドレン系のうち、2次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・弁（Sクラスに属するもの及び計装等の小口径のものを除く。）

上記設備は、設置許可基準規則の第8条（火災による損傷の防止）に関し、基準地震動による地震力に対して、ナトリウムが漏えいすることがないように設計するものとしており、当該地震力により破損することはない。

なお、添付書類10においては、設計基準事故の一つとして想定した「2次冷却材漏えい事故」において、2次主冷却系の配管の破損を想定し、炉心冷却能力の観点で、当該配管の破損に伴う除熱能力の低下により、原子炉容器入口冷却材温度が上昇し、原子炉が自動停止、崩壊熱除去運転に移行し、十分な冷却能力が可能であることを確認している。

以下に、耐震重要度の分類に当たって、「2次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵しうる施設で、Sクラス以外の施設」が破損した場合の影響を示す。

（1）炉心冷却能力

2次ナトリウム純化系は、ダンプタンクから2次冷却材を汲み出し、コールドトラップ等を経由して、当該冷却材を2次主冷却系に供給する回路を構成する。2次ナトリウム純化系のうち、2次主冷却系の配管の接続部から第2元弁までは、冷却材バウンダリの一部に該当し、Sクラス施設に属する。2次ナトリウム純化系の配管等（Sクラスに属するものを除く。）に破損が生じた場合にあっても、冷却材バウンダリを構成する弁の健全性が確保されるため、除熱能力が低下することはない。

補助冷却設備は、主冷却系を使用できない場合に、原子炉停止時に原子炉容器内において発生した崩壊熱その他の残留熱を除去するために使用する。設計基準事故では、Sクラス施設に属する1次主冷却系及び2次主冷却系により、除熱機能を確保しており、これらの設備と独立している2次補助冷却系において、配管等の破損が生じた場合にあっても、主冷却系による除熱能力に影響を与えない。なお、2次主冷却系と2次補助冷却系は一部で連通しているが、接続する弁は、冷却材バウンダリの一部に該当し、Sクラスに属する。配管等の破損が生じた場合にあっても、当該弁の健全性が確保されるため、主冷却系による除熱能力に影響を与えない。

2次ナトリウム充填・ドレン系のうち、2次主冷却系及び2次補助冷却系の配管の接続部から第1止弁までは、冷却材バウンダリの一部であり、Sクラスの施設に該当する。また、当該弁は原子炉運転中において「閉」である。2次ナトリウム充填・ドレン系の配管等（Sクラスに属するものを除く。）の破損が生じた場合にあっても、主冷却系による除熱能力に影響を与えない。

なお、2次冷却材の漏えいを確認した場合、運転員は、手動スクラムにより原子炉を停止するものとしており、当該事象にあつては、原子炉を停止し、崩壊熱除去運転に移行する措置を講じる。

以上より、「2次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵しうる施設で、Sクラス以外の施設」が破損し、2次冷却材が漏えいしたとしても、炉心冷却能力は確保される。

(2) 放射性物質の閉じ込め

「2次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵しうる施設で、Sクラス以外の施設」は、放射性物質を有しないため、当該施設が破損した場合にあつても、周辺の公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない（実効線量：5mSv以下）。

以上より、「2次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵しうる施設で、Sクラス以外の施設」は、破損を想定しても、原子炉停止後、炉心から崩壊熱が除去され、燃料体の健全性が確保されること、また、過度の放射線被ばくを及ぼすおそれはないことから、新分類Bクラスの施設に該当する。

「原子炉カバーガス等のバウンダリを構成する機器・配管系」に
基準地震動による地震力が作用した場合の影響

「原子炉カバーガス等のバウンダリを構成する機器・配管系」には、以下の設備が該当する。

- ・ 1次アルゴンガス系のうち、原子炉カバーガスのバウンダリに属する容器・配管・弁（ただし、計装等の小口径のものを除く。）*1
- ・ 回転プラグ（ただし、計装等の小口径のものを除く。）

*1： アルゴンガス系は、既許可において、Bクラスの施設に該当。

上記設備は、多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止のための資機材に該当し、基準地震動による地震力により破損しないものとする。

なお、「原子炉カバーガス等のバウンダリを構成する機器・配管系」は、格納容器内に設置されており、破損した場合には、1次アルゴンガスの漏えいが生じ、添付書類 10 において、設計基準事故の一つとして想定した「1次アルゴンガス漏えい事故」に至る。

「1次アルゴンガス漏えい事故」では、1次アルゴンガス系の破損を想定し、格納容器内への核分裂生成物の放出を想定しても、周辺の公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えないこと（実効線量：5mSv 以下）を確認している。

また、「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、Sクラス以外の施設」の機能喪失を想定しても、敷地境界外における実効線量は 5mSv 以下である（別紙 2 参照）。

以上より、「原子炉カバーガス等のバウンダリを構成する機器・配管系」は、過度の放射線被ばくを及ぼすおそれはないことから、新分類Bクラスの施設に該当する。

Sクラス施設への波及的影響を考慮すべき設備の検討

1. 概要

耐震重要施設（以下「Sクラス施設」という。）が、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、以下の項目について、耐震重要施設への影響がないことを確認する。なお、これらの項目は、「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の解釈別記2」（以下「別記2」という。）を準用したものである。

- (i) 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響
- (ii) 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
- (iii) 建物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
- (iv) 建物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

2. 波及的影響の設計対象施設の耐震設計方針

2.1 耐震評価部位

不等沈下、相対変位、損傷、転倒及び落下等を防止するよう、主要構造部材、支持部及び固定部等を耐震評価部位に選定する。また、不等沈下又は転倒を想定する場合には、Sクラス施設の機能が影響しないように耐震評価部位を選定する。

2.2 地震応答解析

地震応答解析は、時刻歴応答解析法、スペクトルモーダル解析法、FEM等を用いた応力解析法等により原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601）に基づき実施することを基本とする。

2.3 設計用地震動又は地震力

Sクラス施設の設計に用いる地震動又は地震力を適用する。

2.4 荷重の種類及び荷重の組合せ

波及的影響を及ぼすおそれのあるSクラス施設と同じ運転状態において、下位のクラスの施設に発生する荷重を組み合わせる。また、不等沈下又は転倒を想定し、Sクラス施設の機能に影響がないように設計する場合には、転倒等に伴い発生する荷重を組み合わせる。なお、荷重の設定においては、想定する原子炉の運転状態から定まる範囲を考慮する。

2.5 許容限界

(i) 建物・構築物

建物・構築物について、施設の構造を保つことで、下位のクラスの施設の相対変位による波及的影響を防止する場合は、終局耐力を許容限界として設定する。

(ii) 機器・配管系

機器・配管系について、施設の構造を保つことで、下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等を防止する場合は、許容限界として評価部位に塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さいレベルに留まって延性破断の限界に十分な余裕を有していることに相当する値を許容限界として設定する。

3. 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響

原子炉建物及び原子炉附属建物は、1次主冷却系及び2次主冷却系の一部等のSクラス施設を有する。主冷却機建物は、2次主冷却系等のSクラス施設を有する。原子炉建物及び原子炉附属建物、主冷却機建物は、どちらもSクラス施設の間接支持構造物に該当する。ただし、「原子炉建物及び原子炉附属建物」と「主冷却機建物」は、隣接する独立した建物であるため、設置地盤の相違に起因する相対変位又は不等沈下を考慮するものとし、主冷却機建物を波及的影響に係る評価の対象とする。原子炉建物及び原子炉附属建物に対する主冷却機建物の相対変位又は不等沈下による影響評価の考え方を以下に示す。

- ・ Sクラス施設的设计に用いる地震動又は地震力に伴う下位のクラスの施設とSクラス施設の相対変位又は不等沈下により、Sクラス施設の安全機能を損なわないように設計する。
- ・ 下位のクラスの施設とSクラス施設との相対変位又は不等沈下を想定しても、下位のクラスの施設がSクラス施設に衝突しない程度に十分な距離をとって配置する設計とする。

また、Sクラス施設の間接支持構造物である主冷却機建物の支持地盤の安定性の裕度向上を図るために設置する主冷却機建物抑止杭は、上記において評価対象とした「主冷却機建物の波及的影響に係る評価」に間接的に影響を及ぼすため、以下の考え方で影響評価する。

- ・ Sクラス施設的设计に用いる地震動又は地震力に伴い主冷却機建物抑止杭に発生するせん断力が必要せん断力を上回る設計とする。

4. Sクラス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

Sクラス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の評価に係る基本的な考え方を以下に示す。また、波及的影響に係る評価の対象を第4.1表に示す。

- ・ Sクラス施設の設計に用いる地震動又は地震力に伴うSクラス施設に接続する下位のクラスの施設の損傷により、Sクラス施設の安全機能を損なわないように設計する。
- ・ Sクラス施設と下位のクラスの施設との接続部には、原則、Sクラスの隔離弁を設置することにより分離し、事故時等に隔離されるように設計する。
- ・ 隔離されない接続部以降の下位のクラスの施設については、下位のクラスの施設がSクラス施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、内部流体の内包機能、構造強度等を確保するように設計する。

第 4.1 表 波及的影響評価対象（Sクラス施設と下位のクラスの施設との接続部）

評価対象施設	波及的影響を受けるおそれがある Sクラス施設	選定理由
<p>1次ナトリウム純化系の一部 1次ナトリウム充填・ドレン系の一部 1次アルゴンガス系の一部 窒素ガス予熱系の一部 2次ナトリウム充填・ドレン系の一部 核燃料物質取扱設備の一部 格納容器雰囲気調整系の一部 安全容器の呼吸系の一部 アルゴンガス供給設備の一部 窒素ガス供給設備の一部</p>	<p>原子炉格納容器 バウンダリ (格納容器他)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ Bクラス施設又はCクラス施設である評価対象施設は、Sクラス施設である原子炉格納容器バウンダリに接続されている。 ・ 損傷により、原子炉格納容器バウンダリの閉じ込め機能に波及的影響を及ぼすおそれがある。
<p>1次オーバフロー系の一部 1次ナトリウム充填・ドレン系の一部 1次アルゴンガス系の一部 窒素ガス予熱系の一部 カバーガス法燃料破損検出設備の一部</p>	<p>原子炉冷却材 バウンダリ (1次主冷却系他)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ Bクラス施設又はCクラス施設である評価対象施設は、Sクラス施設である1次主冷却系等に接続されている。 ・ 損傷により、原子炉停止後の崩壊熱除去機能や原子炉冷却材バウンダリの閉じ込め機能に波及的影響を及ぼすおそれがある。
<p>2次ナトリウム純化系の一部 2次ナトリウム充填・ドレン系の一部 2次アルゴンガス系の一部配管</p>	<p>冷却材 バウンダリ (2次主冷却系他)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ Bクラス施設又はCクラス施設である評価対象施設は、Sクラス施設である2次主冷却系等に接続されている。 ・ 損傷により、原子炉停止後の崩壊熱除去機能に波及的影響を及ぼすおそれがある。

5. 建物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Sクラス施設への影響

建物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Sクラス施設への影響の評価に係る基本的な考え方を以下に示す。また、波及的影響に係る評価の対象を第5.1表に示す。

- ・ Sクラス施設の設計に用いる地震動又は地震力に伴う建物内の下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等により、Sクラス施設の安全機能を損なわないように設計する。
- ・ 下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等を想定してもSクラス施設に衝突しない程度に十分な距離をとって配置する設計とする。
- ・ 下位のクラスの施設をSクラス施設への波及的影響を及ぼす可能性がある位置に設置する場合には、下位のクラスの施設がSクラス施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、下位のクラスの施設が損傷、転倒及び落下等に至らないように構造強度設計する。

第 5.1 表 波及的影響評価対象（建物内の施設の損傷、転倒及び落下等）

評価対象施設	波及的影響を受けるおそれがある S クラス施設	選定理由
原子炉格納容器内 旋回式天井クレーン	原子炉容器（本体）	<ul style="list-style-type: none"> ・ C クラス施設である原子炉格納容器内旋回クレーンは、S クラス施設である原子炉容器の上方に設置されている。 ・ 落下により、原子炉容器に波及的影響を及ぼすおそれがある。
燃料出入機	原子炉容器（本体）	<ul style="list-style-type: none"> ・ B クラス施設である燃料出入機は、当該機器使用時に、S クラス施設である原子炉容器の上方に設置されている。 ・ 落下により、原子炉容器に波及的影響を及ぼすおそれがある。
原子炉附属建物 使用済燃料貯蔵設備 キャスククレーン	原子炉附属建物 使用済燃料貯蔵設備 (貯蔵ラック、水冷却池)	<ul style="list-style-type: none"> ・ B クラス施設である原子炉附属建物使用済燃料貯蔵設備キャスククレーンは、S クラス施設である原子炉附属建物使用済燃料貯蔵設備の上方に設置されている。 ・ 落下により、原子炉附属建物使用済燃料貯蔵設備に波及的影響を及ぼすおそれがある。
原子炉附属建物 使用済燃料貯蔵設備 燃料移送機	原子炉附属建物 使用済燃料貯蔵設備 (貯蔵ラック)	<ul style="list-style-type: none"> ・ B クラス施設である原子炉附属建物使用済燃料貯蔵設備燃料移送機は、S クラス施設である原子炉附属建物使用済燃料貯蔵設備の上方に設置されている。 ・ 落下により、原子炉附属建物使用済燃料貯蔵設備に波及的影響を及ぼすおそれがある。
燃料交換機	原子炉格納容器	<ul style="list-style-type: none"> ・ B クラス施設である燃料交換機は、S クラス施設である格納容器の内部に設置されている。 ・ 転倒により、格納容器に波及的影響を及ぼすおそれがある。
燃料取扱用キャスクカー (キャスクを除く。)	燃料取扱用キャスクカー (キャスク)	<ul style="list-style-type: none"> ・ B クラス施設である燃料取扱用キャスクカー（キャスクを除く。）は、S クラス施設であるキャスクを搭載している。 ・ 転倒により、キャスクに波及的影響を及ぼすおそれがある。

6. 建物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Sクラス施設への影響

建物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Sクラス施設への影響の評価に係る基本的な考え方を以下に示す。また、波及的影響に係る評価の対象を第6.1表に示す。

- ・ Sクラス施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、建物外の下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等により、Sクラス施設の安全機能を損なわないように設計する。
- ・ 下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等を想定してもSクラス施設に衝突しない程度に十分な距離をとって配置する設計とする。
- ・ 下位のクラスの施設をSクラス施設への波及的影響を及ぼす可能性がある位置に設置する場合には、下位のクラスの施設がSクラス施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、下位のクラスの施設が損傷、転倒及び落下等に至らないように構造強度設計する。

第 6.1 表 波及的影響評価対象（建物外の施設の損傷、転倒及び落下等）

評価対象施設	波及的影響を受ける おそれがある Sクラス施設	選定理由
主冷却機建物 抑止杭	主冷却機建物 ※ Sクラス施設である 2次主冷却系等の間接 支持構造物に該当	<ul style="list-style-type: none"> ・ 抑止杭は、Sクラス施設である2次主冷却系等の間接支持構造物である主冷却機建物の地盤に設置されている。 ・ 損傷により、主冷却機建物に波及的影響を及ぼすおそれがある。
主排気筒	格納容器	<ul style="list-style-type: none"> ・ Bクラス施設である主排気筒は、Sクラス施設である格納容器の近傍に設置されている。 ・ 転倒により、格納容器に波及的影響を及ぼすおそれがある。

主冷却機建物抑止杭に係る波及的影響の評価結果

1. 概要

主冷却機建物の支持地盤には、東西方向の地盤安定性の裕度向上を図るため抑止杭を設置する。ここでは、Sクラス施設的设计に用いる基準地震動 S_s により主冷却機建物抑止杭に発生するせん断力が必要せん断力を上回ることを確認する。

2. 主冷却機建物抑止杭の構造

主冷却機建物抑止杭は、鋼管杭（ $\phi 800\text{mm}$ 、板厚 16mm、材質 SKK490）と、H形鋼（寸法 H-428mm \times 407mm \times 20mm \times 35mm、材質 SM490）を組み合わせたもので、隙間にモルタルを充填する。主冷却機建物抑止杭は、主冷却機建物の東側に 24 本、西側に 25 本（計 49 本）を施工する。主冷却機建物の抑止杭の配置計画を第 2.1 図に示す。

3. 地震応答解析モデル

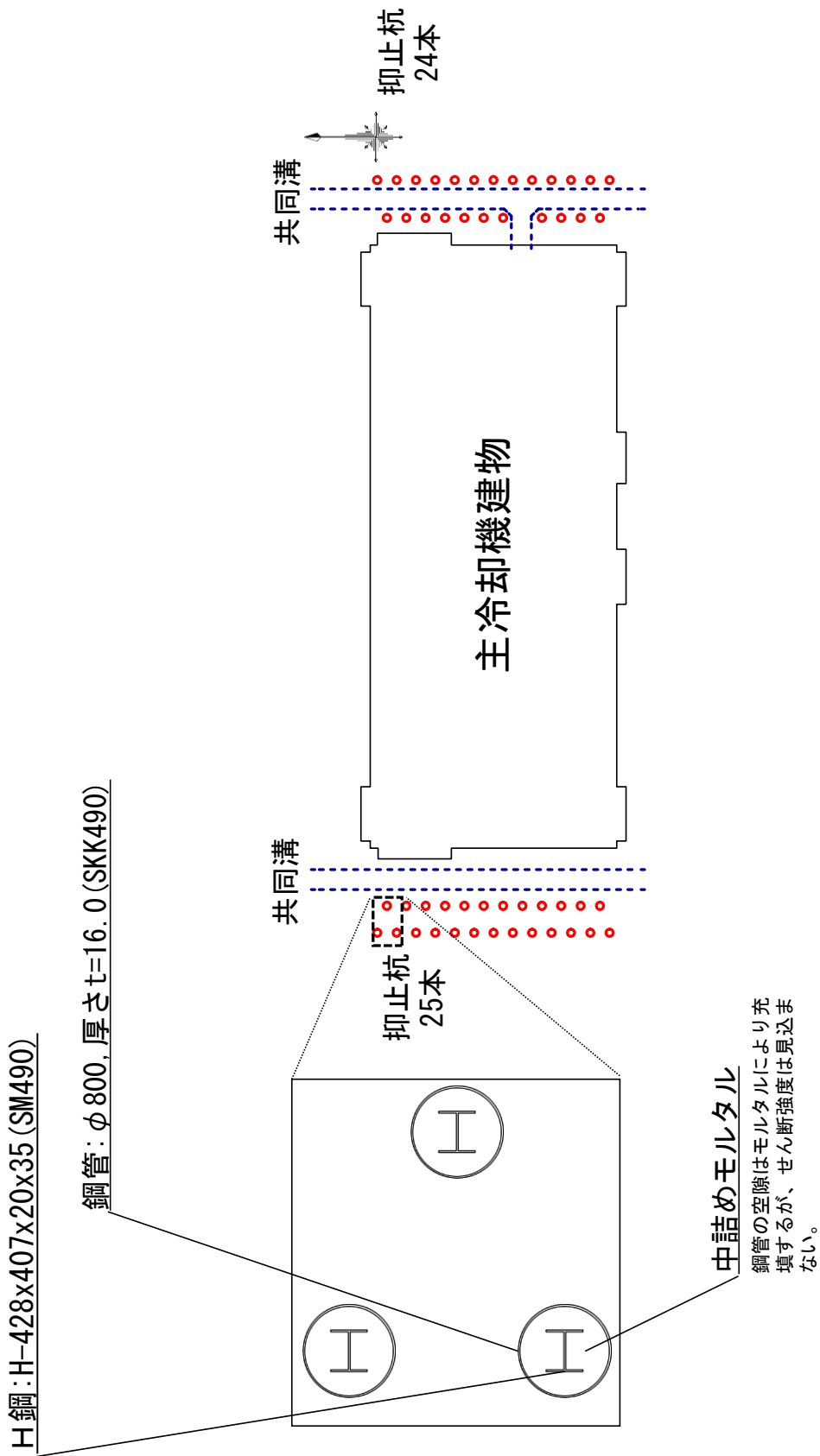
地震応答解析モデルについて、モデル下端は解放基盤表面 T.P. -135.4m とし、モデル上端は基準位置を T.P. +38.5m、主冷却機建物の底面位置は T.P. +18.5m とする。地震応答解析モデルを第 3.1 図に示す。

4. 地震応答解析・評価結果

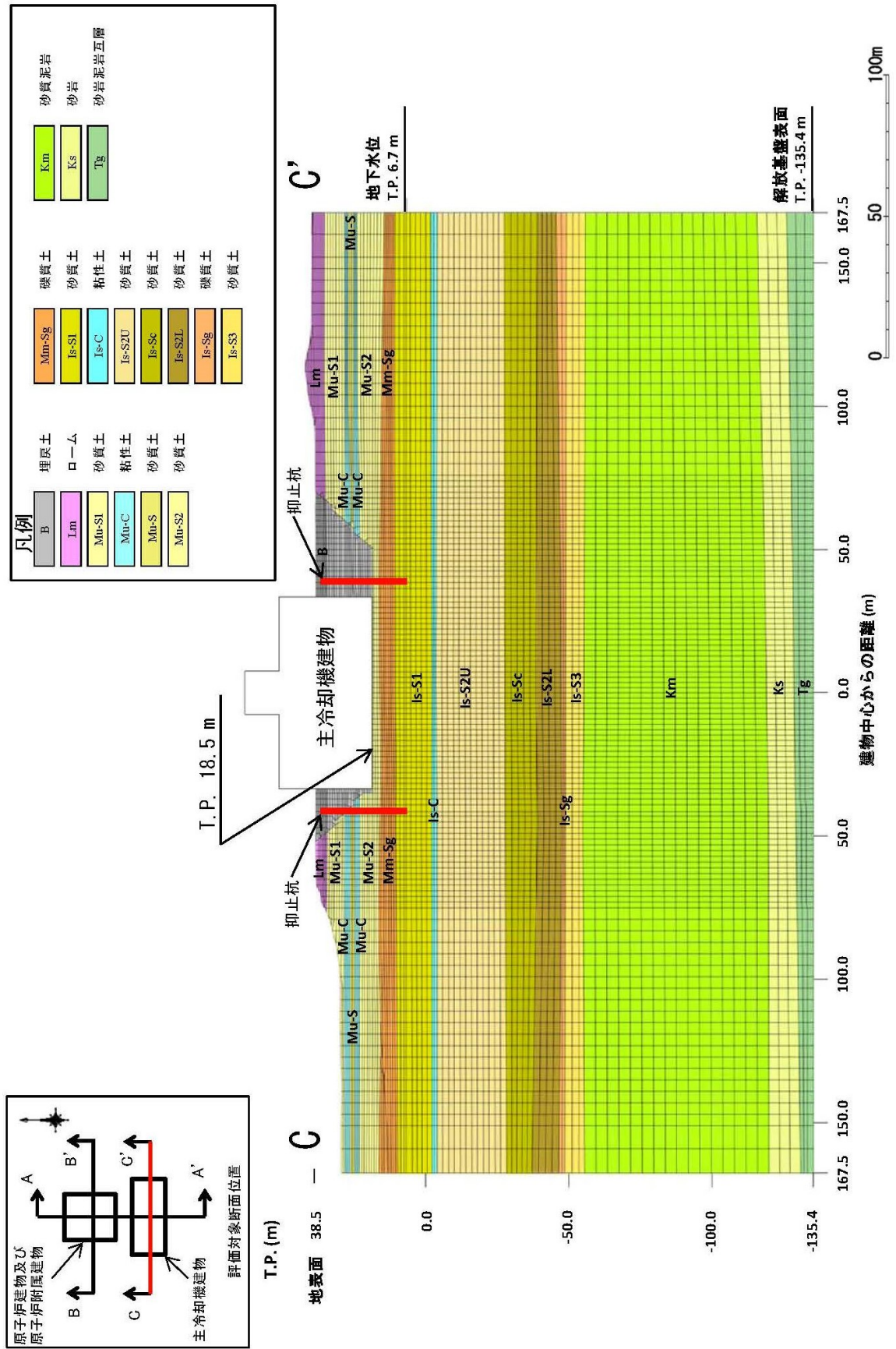
基準地震動 S_s における主冷却機建物抑止杭に発生するせん断力の評価結果を第 4.1 表に示す。主冷却機建物抑止杭に発生するせん断力は、269kN であり、短期許容せん断力である 8,500kN を下回る。

第 4.1 表 主冷却機建物抑止杭 1 本当たりのせん断力

入力地震動	主冷却機建物抑止杭 1 本の発生せん断力 (kN)	主冷却機建物抑止杭 1 本の許容せん断力 (kN)
$S_s\text{-D} (+, +)$	269	8,500
$S_s\text{-D} (-, -)$		



第 2.1 図 主冷却機建物抑止杭の配置計画



第3.1図 主冷却機建物基礎地盤の地震応答解析モデル (C-C' 断面)

1次ナトリウム充填・ドレン系配管に係る波及的影響の評価結果

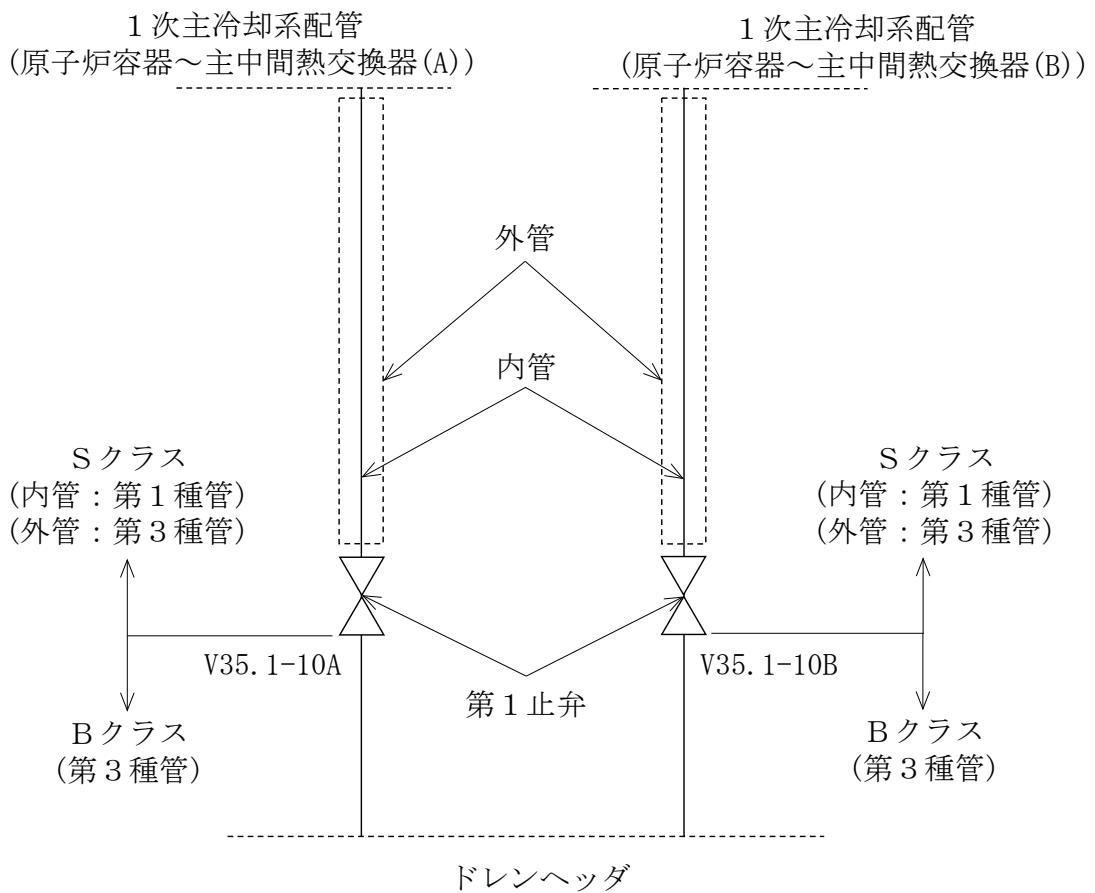
1. 概要

1次ナトリウム充填・ドレン系の配管のうち、1次主冷却系の配管の接続部から第1止弁までの配管は、原子炉冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁の一部であり、Sクラス施設に該当する。1次ナトリウム充填・ドレン系の配管のうち、第1止弁以降のBクラスの配管にあつては、原子炉冷却材バウンダリの機能に影響を及ぼさないことを確認する必要がある。

1次ナトリウム充填・ドレン系の配管に係る波及的影響の評価にあつては、基準地震動 S_s を用いて許容応力状態 IV_{AS} に対する応力評価を行い、Sクラス施設に波及的影響を及ぼさないことを確認する。ここでは、代表例として1次主冷却系の配管(原子炉容器～主中間熱交換器(A)、原子炉容器～主中間熱交換器(B))に接続される1次ナトリウム充填・ドレン系の配管の評価結果を示す。

2. 領域区分図

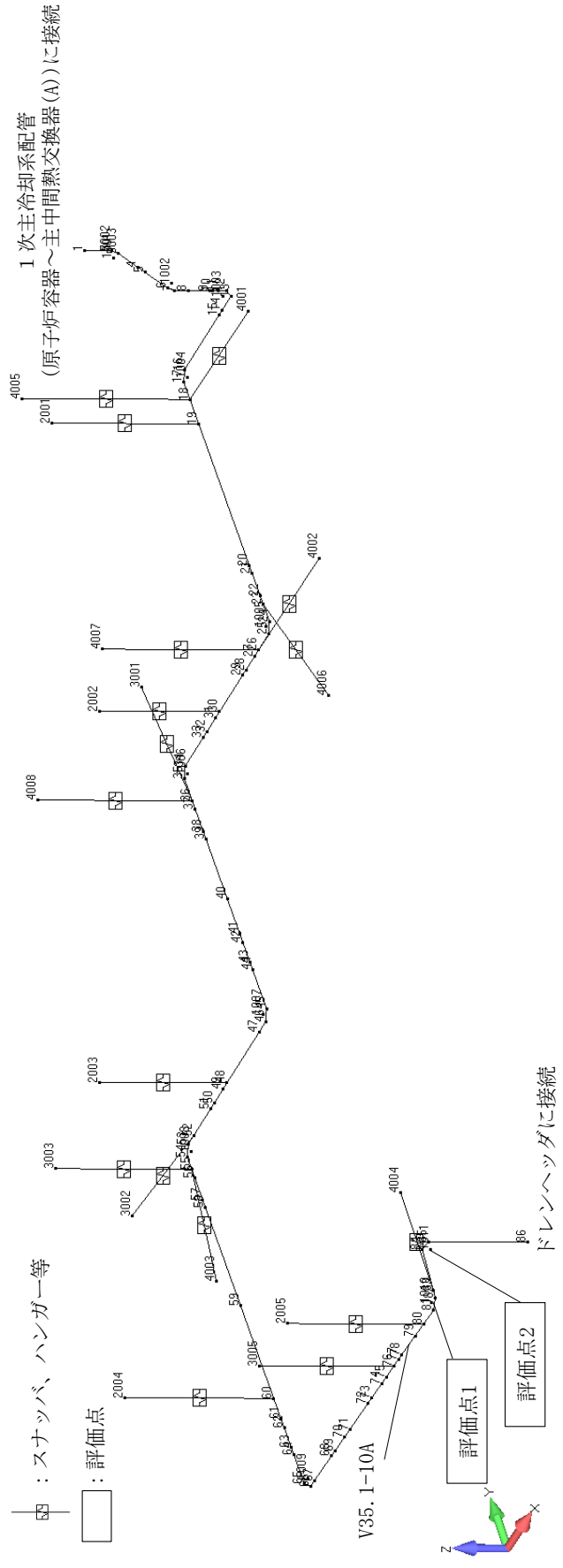
1次主冷却系配管(原子炉容器～主中間熱交換器(A)、原子炉容器～主中間熱交換器(B))に接続される1次ナトリウム充填・ドレン系の配管の領域区分図を第2.1図に示す。



第2.1図 領域区分図

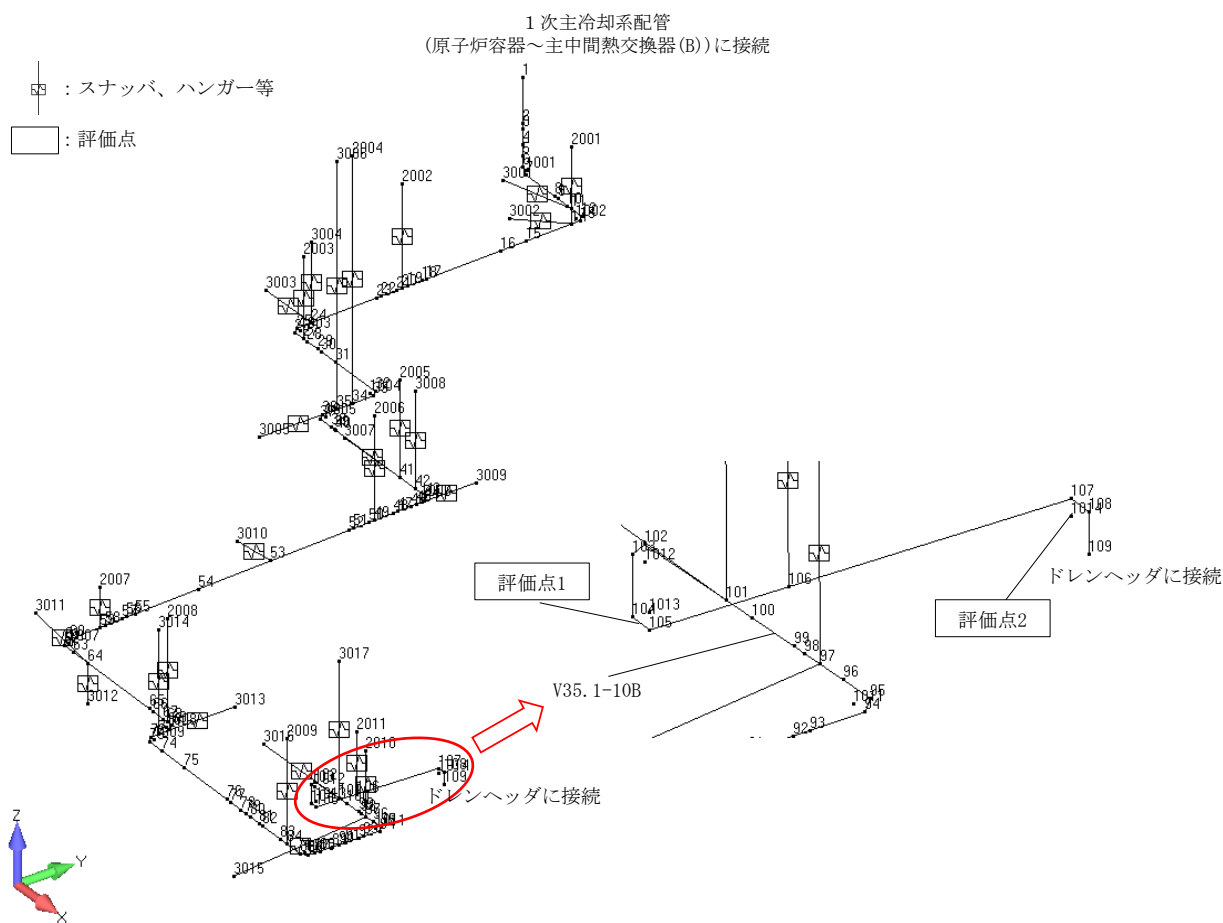
3. 解析条件

- (1) 床応答スペクトルは、基準地震動 S_s ごとに配管の配置されている各フロアでの床応答スペクトルを包絡したものをを用いる。なお、基準地震動 S_s は S_s-1 から S_s-5 と S_s-D を包絡したものをを用いる。
- (2) 解析モデルは、内管と外管を組み合わせたモデルとする。
- (3) 配管支持装置については、鳥瞰図④-2 及び鳥瞰図④-3 (第 3.1 図参照) に対して一部の装置をメカニカル防振器又はロッドレストレイントに交換する。
- (4) 解析コードは、汎用非線形構造解析システム FINAS コードを用いる。



4条(1)-別紙6-別添2-4

第3.1図(1) 鳥瞰図④-2



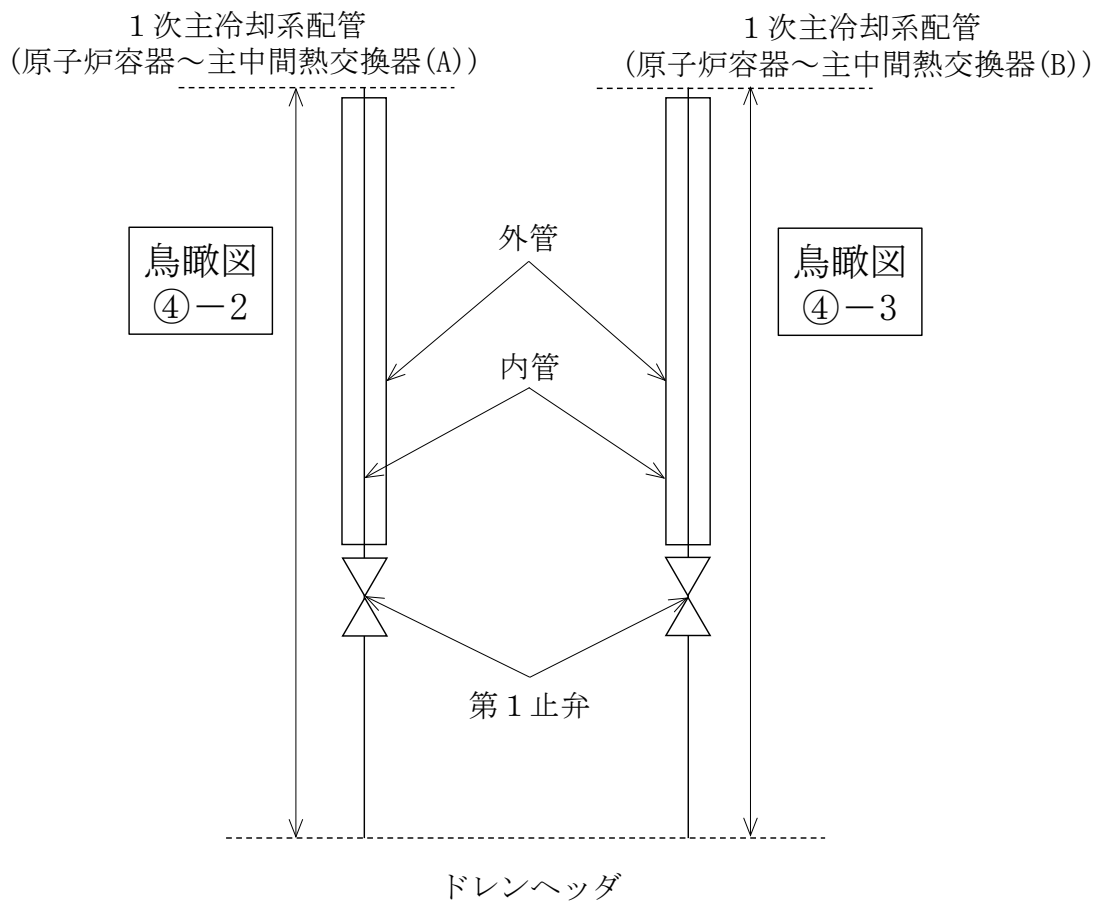
第 3.1 図 (2) 鳥瞰図④-3

4. 解析対象箇所

4.1 鳥瞰図の対応表

鳥瞰図	内 容	耐震クラス
④-2	ドレンヘッド～1次主冷却系配管 (原子炉容器～主中間熱交換器(A))	S, B (Ss)
④-3	ドレンヘッド～1次主冷却系配管 (原子炉容器～主中間熱交換器(B))	S, B (Ss)

4.2 応力解析用系統図



4.3 鳥瞰図 (解析モデル)

鳥瞰図の配管仕様、寸法等は既設工認計算書※1に従うものとする。

※1：既設工認計算書

- ・添付書類(2) 1次ナトリウム充填ドレン系配管 強度計算書 (設計及び工事の方法の認可 (昭和50年2月7日付け 50原第999号))

5. 評価結果

1次ナトリウム充填・ドレン系の配管における各評価点の応力は、許容応力を十分に下回っている(第5.1表参照)。

1次ナトリウム充填・ドレン系の配管は、Sクラスの施設である1次主冷却系の配管に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

第5.1表 (1) 評価結果 (鳥瞰図④-2)

評価点	許容応力状態	一次及び二次応力 (N/mm ²)				二次応力*		一次応力評価 (N/mm ²)		一次+二次応力評価 (N/mm ²)		疲労評価 疲れ累積係数
		内圧応力 ① SP	自重応力 ② SMa	短期的機械荷重応力及び地震応力 ③ SMb	④ SMc	計算応力	許容応力	計算応力	許容応力	計算応力	許容応力	
1	設計条件 (I _A , II _A) B _A S IV _A S	1	20	—	—	21	165	—	—	—	—	— — — — USB US2
		1	11	—	62	—	—	74	315	—	—	
		1	11	13	1	25	175	28	350	—	—	
		1	11	38	1	50	405	78	350	—	—	
2	設計条件 (I _A , II _A) B _A S IV _A S	1	13	—	—	14	165	—	—	—	—	— — — —
		1	7	—	14	—	—	22	315	—	—	
		1	7	18	1	26	175	38	350	—	—	
		1	7	51	1	59	405	104	350	—	—	

* (I_A, II_A)は熱による支持点変位及び熱膨張応力、B_AS、IV_ASは地震相対変位応力を記す。

** オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、1.0Syと1.2Sのうち大きい方の値とする。

第5.1表 (2) 評価結果 (鳥瞰図④-3)

評価点	許容応力状態	一次及び二次応力 (N/mm ²)				一次応力評価 (N/mm ²)		一次+二次応力評価 (N/mm ²)		疲労評価 疲れ累積係数
		内圧応力 ① SP	自重応力 ② SMa	短期的機械荷重応力及び地震応力 ③ Smb	二次応力* ④ SMc	計算応力 ①+② ①+②+③ ①+②+③	許容応力 1.5S — 1.0Sy** 1.5(0.6Su)	計算応力 — 15 34 100	許容応力 — Sa (ハ) 2.0Sy 2.0Sy	
1	設計条件 (I _A , II _A) B _A S IV _A S	1	10	—	—	11	165	—	—	—
		1	5	—	9	—	—	15	315	—
		1	5	16	1	22	175	22	350	—
		1	5	49	1	55	405	55	350	—
2	設計条件 (I _A , II _A) B _A S IV _A S	1	6	—	—	7	165	—	—	—
		1	3	—	43	—	—	47	315	—
		1	3	19	1	23	175	23	350	—
		1	3	62	1	66	405	66	350	—

* (I_A, II_A)は熱による支持点変位及び熱膨張応力、B_AS、IV_ASは地震相対変位応力を記す。

** オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、1.0Syと1.2Sのうち大きい方の値とする。

2次ナトリウム充填・ドレン系配管に係る波及的影響の評価結果

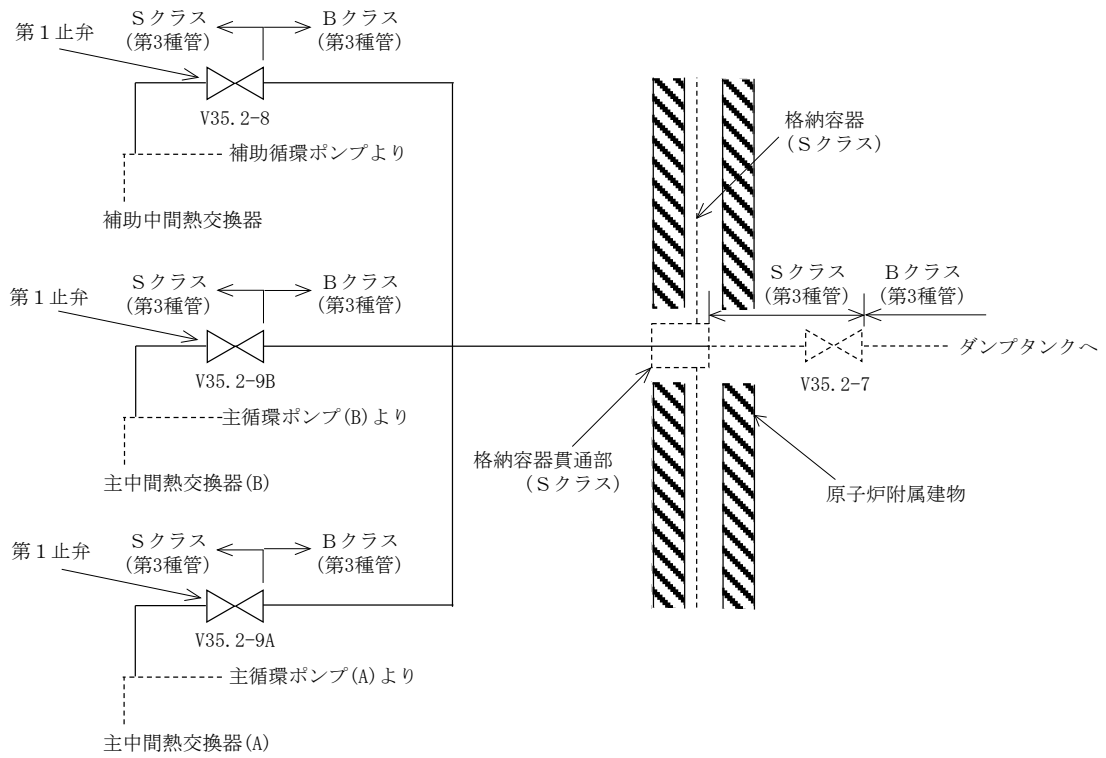
1. 概要

2次ナトリウム充填・ドレン系の配管のうち、2次主冷却系及び2次補助冷却系の配管の接続部から第1止弁までの配管は、冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁の一部であり、Sクラス施設に該当する。2次ナトリウム充填・ドレン系の配管のうち、第1止弁以降のBクラスの配管にあつては、原子炉停止後の崩壊熱除去機能に波及的影響を及ぼさないことを確認する必要がある。また、2次ナトリウム充填・ドレン系の配管は、Sクラス施設である格納容器のバウンダリに接続される。Bクラスの2次ナトリウム充填・ドレン系の配管にあつては、格納容器のバウンダリの閉じ込め機能に波及的影響を及ぼさないことを確認する必要がある。

2次ナトリウム充填・ドレン系の配管に係る波及的影響の評価にあつては、基準地震動 S_s を用いて許容応力状態IV_AS に対する応力評価を行い、Sクラス施設に波及的影響を及ぼさないことを確認する。ここでは、代表例として、格納容器内の2次主冷却系等の配管に接続され、格納容器のバウンダリの貫通部に至る配管の評価結果を示す。

2. 領域区分図

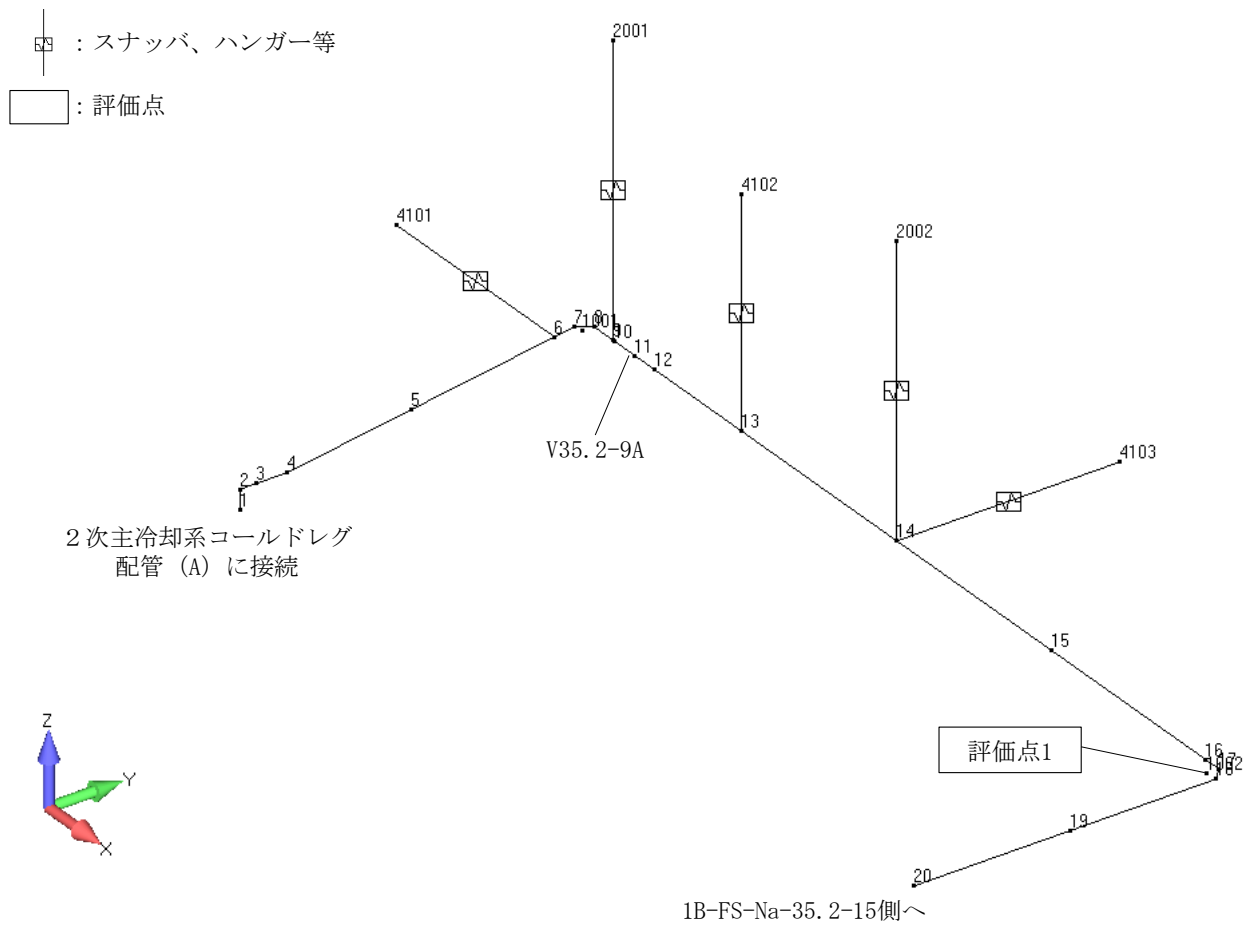
2次主冷却系及び2次補助冷却系配管の接続部から格納容器のバウンダリの貫通部に至る配管の領域区分図を第2.1図に示す。



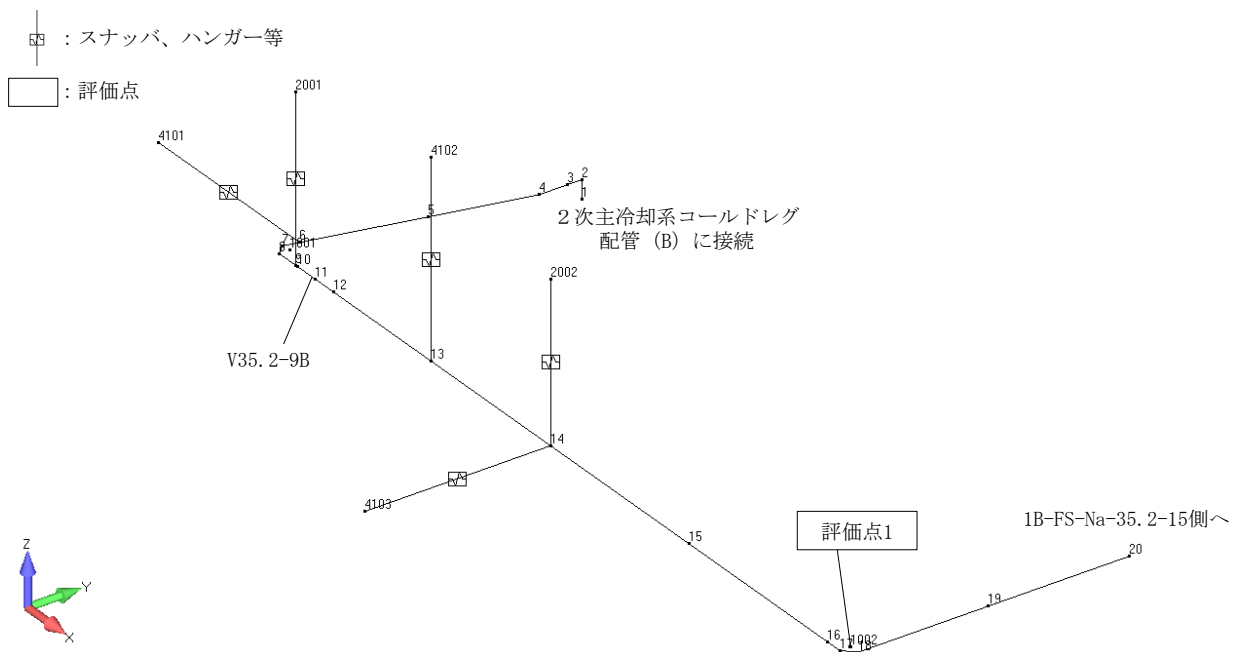
第2.1図 領域区分図

3. 解析条件

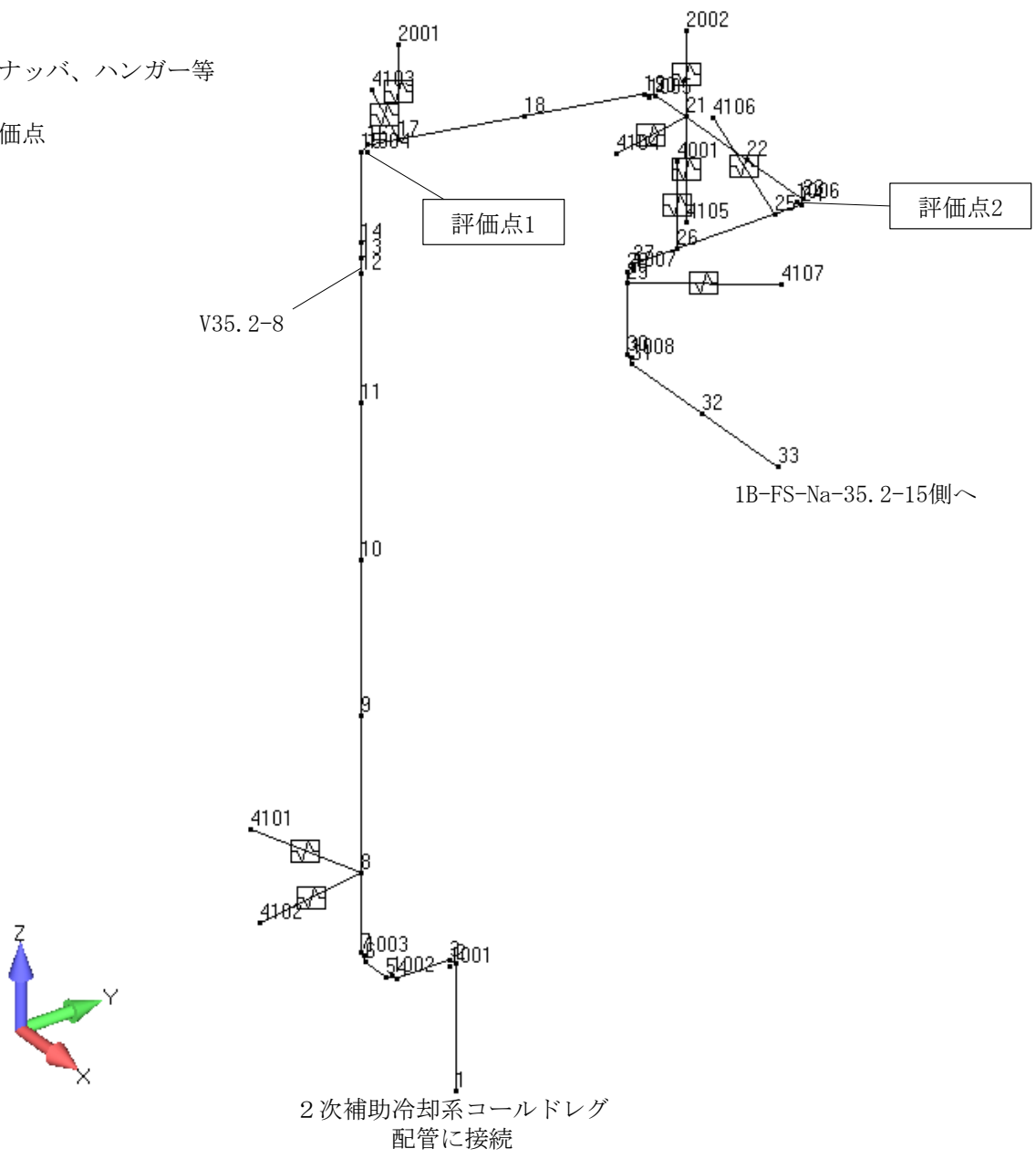
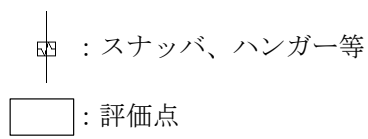
- (1) 床応答スペクトルは、基準地震動 S_s ごとに配管の配置されている各フロアでの床応答スペクトルを包絡したものをを用いる。なお、基準地震動 S_s は S_s-1 から S_s-5 と S_s-D を包絡したものをを用いる。
- (2) 配管支持装置については、鳥瞰図 1B-FS-Na-35.2-9, 11（第 3.1 図参照）に対して一部の油圧防振器をメカニカル防振器に交換する。
- (3) 解析コードは、汎用非線形構造解析システム FINAS コードを用いる。



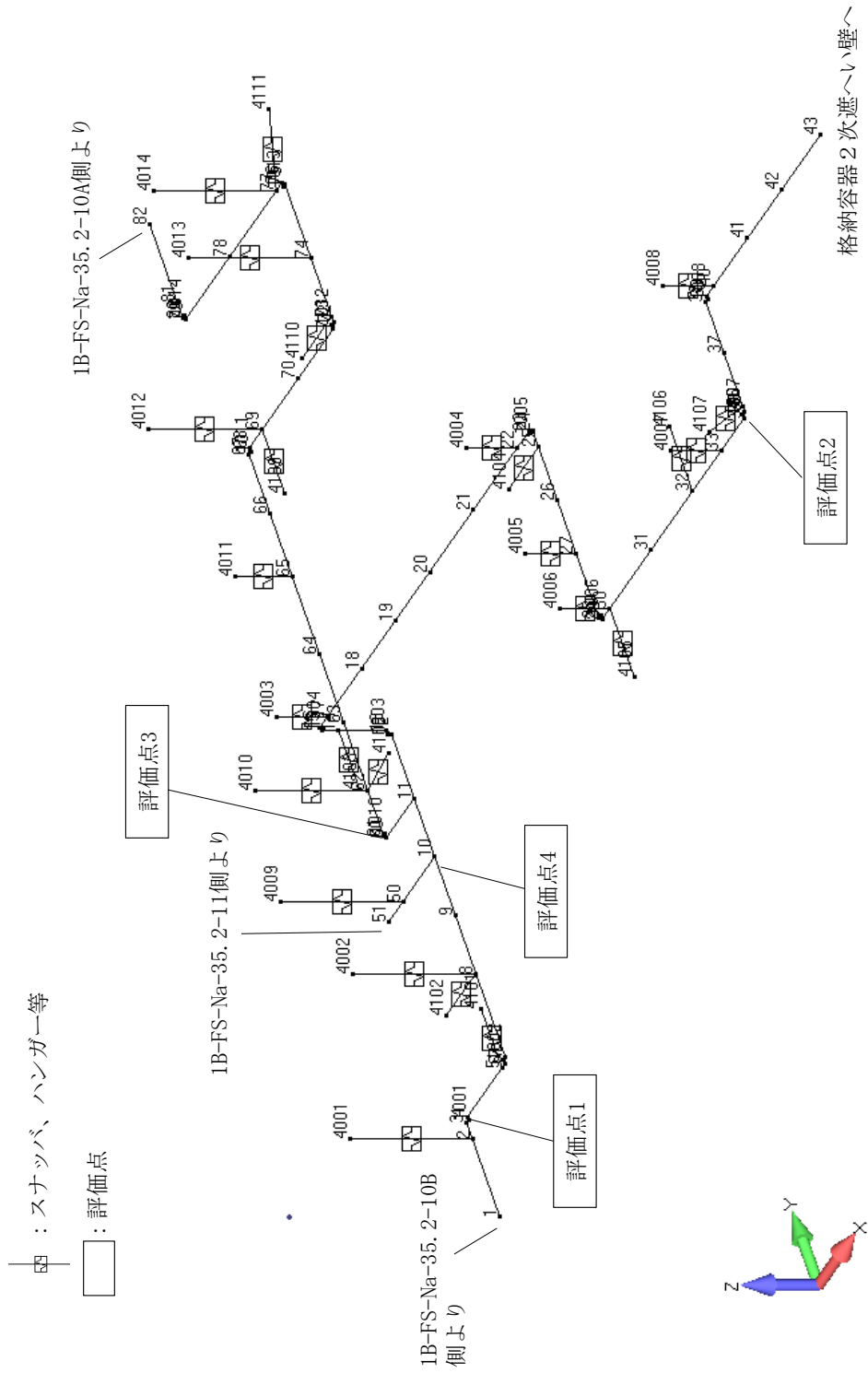
第 3.1 図 (1) 鳥瞰図 (1B-FS-Na-35.2-10A, 12A)



第 3.1 図 (2) 鳥瞰図 (1B-FS-Na-35.2-10B, 12B)



第 3.1 図 (3) 鳥瞰図 (1B-FS-Na-35.2-9, 11)



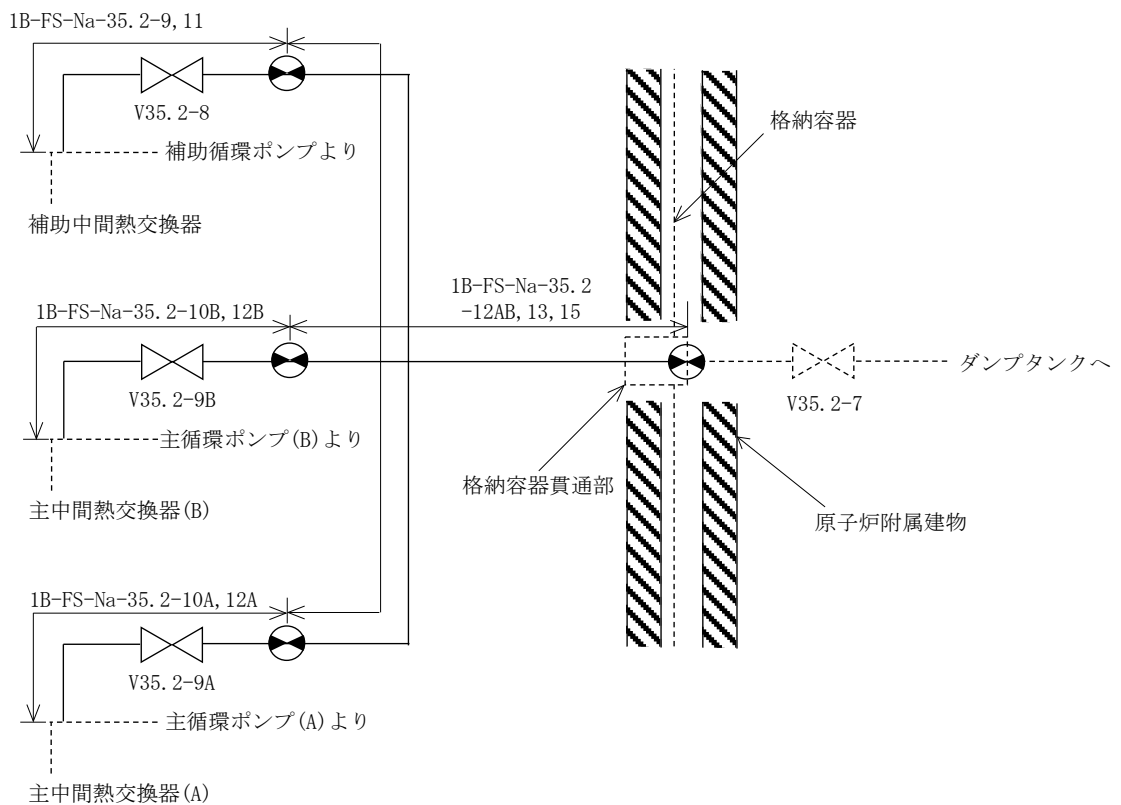
第3.1図(4) 鳥瞰図 (1B-FS-Na-35.2-12AB, 13, 15)

4. 解析対象箇所

4.1 鳥瞰図の対応表

鳥瞰図	内容	耐震クラス
1B-FS-Na-35.2-10A, 12A	2次主冷却系コールドレグ配管(A)からアンカー点まで	S, B (Ss)
1B-FS-Na-35.2-10B, 12B	2次主冷却系コールドレグ配管(B)からアンカー点まで	S, B (Ss)
1B-FS-Na-35.2-9, 11	2次補助冷却系コールドレグ配管(B)からアンカー点まで	S, B (Ss)
1B-FS-Na-35.2-12AB, 13, 15	主・補助中間熱交ドレン管継続部から格納容器のバウンダリに至る配管	B (Ss)

4.2 応力解析用系統図



4.3 鳥瞰図（解析モデル）

鳥瞰図の配管仕様、寸法等は既設工認計算書^{※1}に従うものとする。

※1：既設工認計算書

- ・添付書類(4) 2次ナトリウム充填ドレン系配管 強度計算書（設計及び工事の方法の認可（昭和47年11月6日付け 47原第9572号））
- ・添付資料-I（接続用2次ナトリウム充填及びドレン系配管の強度計算書）（設計及び

工事の方法の認可

140MW 出力上昇に係る第 2 回申請（主中間熱交換器の交換）（平成 7 年 11 月 20 日付け
7 安(原規)第 321 号

5. 評価結果

2次ナトリウム充填・ドレン系の配管における各評価点の応力は、基本的に、許容応力を十分に下回っている。また、一次+二次応力評価において、計算応力が許容応力を上回る場合にあっては、疲労評価において、疲れ累積係数は1を十分に下回る。(第5.1表参照)

2次ナトリウム充填・ドレン系の配管は、Sクラス施設である2次主冷却系等の配管や格納容器のバウンダリに対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

第 5.1 表 (1) 評価結果 (1B-FS-Na-35.2-10A, 12A)

評価点	許容応力状態		一次及び二次応力 (N/mm ²)				一次応力評価 (N/mm ²)		一次+二次応力評価 (N/mm ²)		疲労評価 疲れ累積係数
	内圧応力 ① SP	自重応力 ② SMa	短期的機械 荷重応力及 び地震応力 ③ SMB	二次応力* ④ SMC	計算応力 ①+② ①+②+③ ①+②+③	許容応力 1.5S — 1.0Sy** 1.5(0.6Su)	計算応力 — ①+②+④ SS (1/2Sd) SS (Ss)	許容応力 — Sa (ハ) 2.0Sy 2.0Sy	計算応力 — 13 8 22	許容応力 — 253 368 368	
1	1	2	—	—	3	150	—	—	—	—	—
	1	1	—	11	—	—	—	253	13	—	—
	1	1	3	1	5	184	1	368	8	—	—
	1	1	8	3	10	352	3	368	22	—	—

* (I_A, II_A)は熱による支持点変位及び熱膨張応力、III_AS、IV_ASは地震相対変位応力を記す。

** オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、1.0Syと1.2Sのうち大きい方の値とする。

第 5.1 表 (2) 評価結果 (1B-FS-Na-35.2-10B, 12B)

評価点	許容応力状態	一次及び二次応力 (N/mm ²)				一次応力評価 (N/mm ²)		一次+二次応力評価 (N/mm ²)		疲労評価 疲れ累積係数
		内圧応力 ① SP	自重応力 ② SMa	短期的機械 荷重応力及 び地震応力 ③ SMB	二次応力* ④ SMC	計算応力 ①+②	許容応力 1.5S	計算応力 ①+②+④ SS (1/2Sd) SS (Ss)	許容応力 Sa (ハ) 2.0Sy 2.0Sy	
1	設計条件 (I _A , II _A)	1	2	—	—	3	150	—	—	—
	B _A S	1	1	—	11	—	—	13	253	—
	IV _A S	1	1	4	1	6	184	10	368	—
		1	1	10	2	12	352	24	368	—

* (I_A, II_A)は熱による支持点変位及び熱膨張応力、III_AS、IV_ASは地震相対変位応力を記す。

** オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、1.0Syと1.2Sのうち大きい方の値とする。

第 5.1 表 (3) 評価結果 (1B-FS-Na-35. 2-9, 11)

評価点	許容応力状態	一次及び二次応力 (N/mm ²)				一次応力評価 (N/mm ²)		一次+二次応力評価 (N/mm ²)		疲労評価 疲れ累積係数
		内圧応力 ① SP	自重応力 ② SMa	短期的機械荷重応力及び地震応力 ③ Smb	二次応力* ④ SMc	計算応力 ①+② ①+②+③ ①+②+③	許容応力 1.5S — 1.0Sy** 1.5(0.6Su)	計算応力 — 44 14 52	許容応力 — Sa (ハ) 2.0Sy 2.0Sy	
1	設計条件 (I _A , II _A)	3	18	—	—	21	150	—	—	—
	B _A S	3	10	—	31	—	—	44	253	—
	IV _A S	3	10	6	1	19	184	14	368	—
	IV _A S	3	10	25	1	38	352	52	368	—
2	設計条件 (I _A , II _A)	3	6	—	—	9	150	—	—	—
	B _A S	3	8	—	22	—	—	33	253	—
	IV _A S	3	8	20	1	31	184	42	368	—
	IV _A S	3	8	62	1	73	352	126	368	—

* (I_A, II_A)は熱による支持点変位及び熱膨張応力、III_AS、IV_ASは地震相対変位応力を記す。

** オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、1.0Syと1.2Sのうち大きい方の値とする。

第5.1表 (4) 評価結果 (1B-FS-Na-35.2-12AB, 13, 15)

評価点	許容応力状態	一次及び二次応力 (N/mm ²)				一次応力評価 (N/mm ²)		一次+二次応力評価 (N/mm ²)		疲労評価 疲れ累積係数
		内圧応力 ① SP	自重応力 ② SMa	短期的機械荷重応力及び地震応力 ③ Smb	二次応力* ④ SMc	計算応力 ①+② ①+②+③ ①+②+③	許容応力 1.5S — 1.0Sy** 1.5(0.6Su)	計算応力 — ①+②+④ SS (1/2Sd) SS (Ss)	許容応力 — Sa (ハ) 2.0Sy 2.0Sy	
1	設計条件 (I _A , II _A)	1	24	—	—	25	150	—	—	—
	B _A S	1	13	—	43	—	—	57	253	—
	IV _{AS}	1	13	5	1	19	184	12	368	—
		1	13	17	1	31	352	36	368	—
2	設計条件 (I _A , II _A)	1	5	—	—	6	150	—	—	—
	B _A S	1	3	—	7	—	—	11	253	—
	IV _{AS}	1	3	2	48	6	184	100	368	—
		1	3	4	212	8	352	432	368	0.04483
3	設計条件 (I _A , II _A)	1	38	—	—	39	150	—	—	—
	B _A S	1	20	—	43	—	—	64	253	—
	IV _{AS}	1	20	4	1	25	184	10	368	—
		1	20	7	1	28	352	16	368	—
4	設計条件 (I _A , II _A)	1	50	—	—	51	150	—	—	—
	B _A S	1	39	—	28	—	—	68	253	—
	IV _{AS}	1	39	4	1	44	120	9	368	—
		1	39	10	2	49	352	23	368	—

主排気筒に係る波及的影響の評価結果

1. 概要

主排気筒は、Sクラス施設である格納容器の近傍に設置されており、その転倒により格納容器が損傷し、閉じ込め機能が損なわれないようにする必要がある。ここでは、下位の系統の主排気筒に対してSクラス施設の設計に用いる基準地震動 S_s による耐震安全性を確認する。

2. 主排気筒の概要

主排気筒は、原子炉附属建物の屋上に設置され、地上面からの高さ 80m、主排気筒自体の高さ 65.55m、底部外径 5.55m、頂部外径 2.55m、底部から 1.95mまでの厚さ 28mm、それより上部の厚さ 25mm の円錐状の鋼製煙突である。なお、主排気筒周りには、補強架構を設置する。

3. 地震応答解析モデル

主排気筒の地震応答解析モデルは、多質点系の曲げせん断ビームモデルとし、主排気筒は、原子炉附属建物屋上の主排気筒用躯体で支持されていることから、主排気筒最下部を拘束とする。

解析モデルは、主排気筒を質点数21、要素数20に分割したモデルとし、断面形状は主排気筒が円錐状であることから、要素を構成する上下質点間の断面形状の中間を各要素の断面形状とする。

主排気筒は、主排気筒底部から高さ1.95mまでは肉厚28mm、それ以上は肉厚25mmとなっていることから、これらの値を用いて、断面形状係数を算出する。

主排気筒の地震応答解析モデルを第 3.1 図に示す。

4. 地震応答解析・評価結果

(1) 主排気筒筒身部分の耐震安全性評価（第 4.1 表参照）

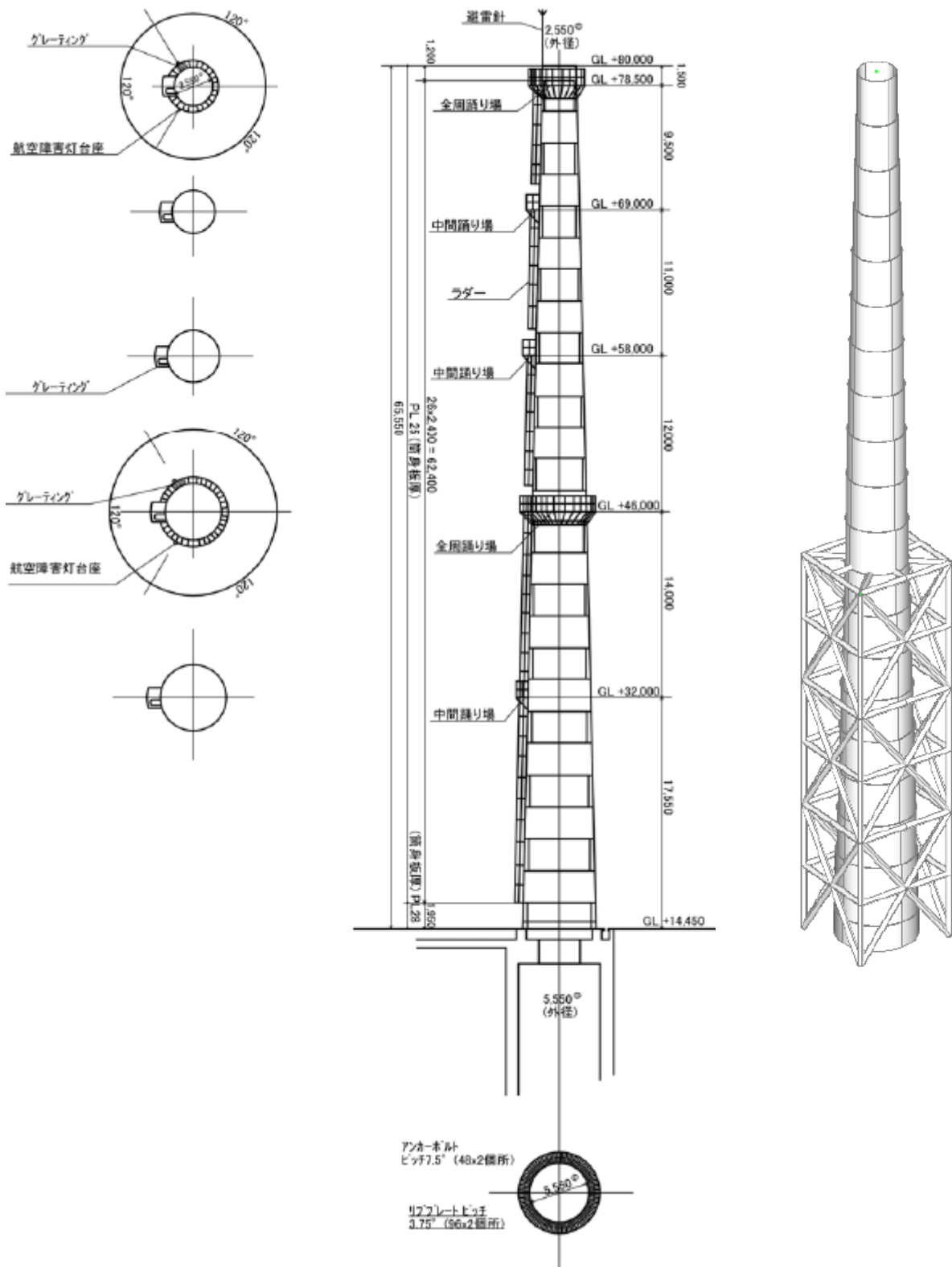
主排気筒の筒身部分は、圧縮+曲げ、せん断のそれぞれの検定を行った結果、いずれも 0.86、0.11 と検定比 1.0 を満足していることを確認した。

また、主排気筒の筒身支持部についても、アンカーボルト、ベースプレート、フランジプレート、リブプレートとも許容値を満足していることを確認した。

(2) 主排気筒周りの補強架構の耐震安全性評価（第 4.1 表参照）

主排気筒の筒身補強架構は、圧縮+曲げ、せん断のそれぞれの検定を行った結果、いずれも 0.98、0.02 と検定比 1.0 を満足していることを確認した。

また、主排気筒の筒身補強架構支持部についても、アンカーボルト、ベースプレート、フランジプレート、リブプレートとも許容値を満足していることを確認した。



第 3.1 図 主排気筒の地震応答解析モデル

第 4.1 表 主排気筒の耐震安全性評価結果

部位		評価項目		単位	許容値	評価結果					
主排気筒	筒身	検定比		圧縮+曲げ	-	1.00	0.86				
		ELM最大値						せん断	-	1.00	0.11
	筒身支持部	アンカーボルト	ボルト本体	引張応力		N/mm ²	177.3				
				せん断応力		N/mm ²	136.5	2.2			
		定着	コーン破壊耐力 (1組あたり)		主筋考慮の場合	N	1.13595E+06	1.02780E+06			
			付着応力						N/mm ²	1.989	1.364
			支圧応力						N/mm ²	37.4	5.7
			せん断力 (側面コーン耐力)						N	1.76742E+05	9.22210E+03
	ベースプレート	コンクリートの圧縮応力			N/mm ²	14.7	6.7				
		3辺固定の固定板評価	曲げ応力	短辺lx側	N/mm ²	298.2	142.3				
				長辺ly側	N/mm ²	298.2	162.8				
		フランジプレート	3辺固定の固定板評価	曲げ応力	短辺lx側	N/mm ²	298.2	256.0			
	長辺ly側				N/mm ²	298.2	292.8				
	塑性モーメント		N・mm	4.29141E+06	3.82566E+04						
	リッププレート	圧縮応力		N/mm ²	615.0	67.6					
	筒身補強架構	補強架構筒身	検定比		圧縮+曲げ	-	1.00	0.98			
			ELM最大値						せん断	-	1.00
		筒身補強支持部	アンカーボルト	ボルト本体	引張力		N	3.64000E+05			
引張応力					N/mm ²	268.1	236.2				
せん断応力					N/mm ²	206.4	0.8				
定着			コーン破壊耐力 (1組あたり)		主筋考慮の場合	N	2.01350E+06	1.67230E+06			
			付着応力						N/mm ²	3.315	2.515
			支圧応力						N/mm ²	116.9	14.4
		せん断力 (側面コーン耐力)		N					6.11563E+04	8.10052E+02	
ベースプレート		コンクリートの圧縮応力			N/mm ²	14.7	8.4				
		3辺固定の固定板評価	曲げ応力	短辺lx側	N/mm ²	412.5	65.6				
				長辺ly側	N/mm ²	412.5	53.5				
		フランジプレート	3辺固定の固定板評価	曲げ応力	短辺lx側	N/mm ²	412.5	143.2			
長辺ly側					N/mm ²	412.5	116.8				
塑性モーメント			N・mm								
リッププレート		圧縮応力		N/mm ²	354.5	44.5					

燃料取扱用キャスクカーの波及的影響の評価結果

1. 概要

燃料取扱用キャスクカーは、Sクラス施設であるキャスクを支持しており、キャスクカーの転倒、損傷等によりキャスクに波及的影響を与えて、閉じ込め機能が損なわれないようにする必要があり、ここでは、Bクラスである燃料取扱用キャスクカーをSクラス施設の設計に用いる基準地震動 S_s による耐震安全性評価を確認する。

2. 燃料取扱用キャスクカーの概要

燃料取扱用キャスクカーは、原子炉附属建物において新燃料を取り扱う装填燃料貯蔵室の新燃料移送台車とトランスファロータ間を、また、使用済燃料を取り扱うトランスファロータと燃料洗浄設備間を移送するための自走式運搬車であり、キャスク本体及び走行台車等から構成されている。なお、燃料取扱用キャスクカーの主要寸法は、全長：約 10m、全幅：約 3m、全高：約 7.2m である。

燃料取扱用キャスクカーの構造図を第 2.1 図に示す。

3. 地震応答解析モデル

燃料取扱用キャスクカーの地震応答解析モデルは、キャスク本体及び走行台車等から構成されている燃料取扱用キャスクカーを、梁要素にてモデル化した多質点系の曲げせん断ビームモデルである。

燃料取扱用キャスクカーの地震応答解析モデルを第 3.1 図に示す。

4. 地震応答解析・評価結果

燃料取扱用キャスクカーに対して、Sクラス施設であるキャスクを支持するキャスク本体脚部、車輪、転倒防止装置、台車台わく、レールについて評価した。

4.1 キャスク本体脚部

キャスク本体脚部は、据付ボルト及びキャスクベースについて評価を実施し、許容値を満足していることを確認した。

キャスク本体脚部の据付ボルトの評価結果を第 4.1.1 表、キャスクベースの評価結果を第 4.1.2 表に示す。

4.2 車輪

車輪は、車軸、車輪及び取付ボルトについて評価を実施し、許容値を満足していることを確認した。

車輪の評価結果を第 4.2.1 表に示す。

4.3 転倒防止装置

転倒防止装置は、ツメ、本体及び固定用ボルトについて評価を実施し、許容値を満足していることを確認した。

転倒防止装置の評価結果を第 4.3.1 表に示す。

4.4 台車台わく

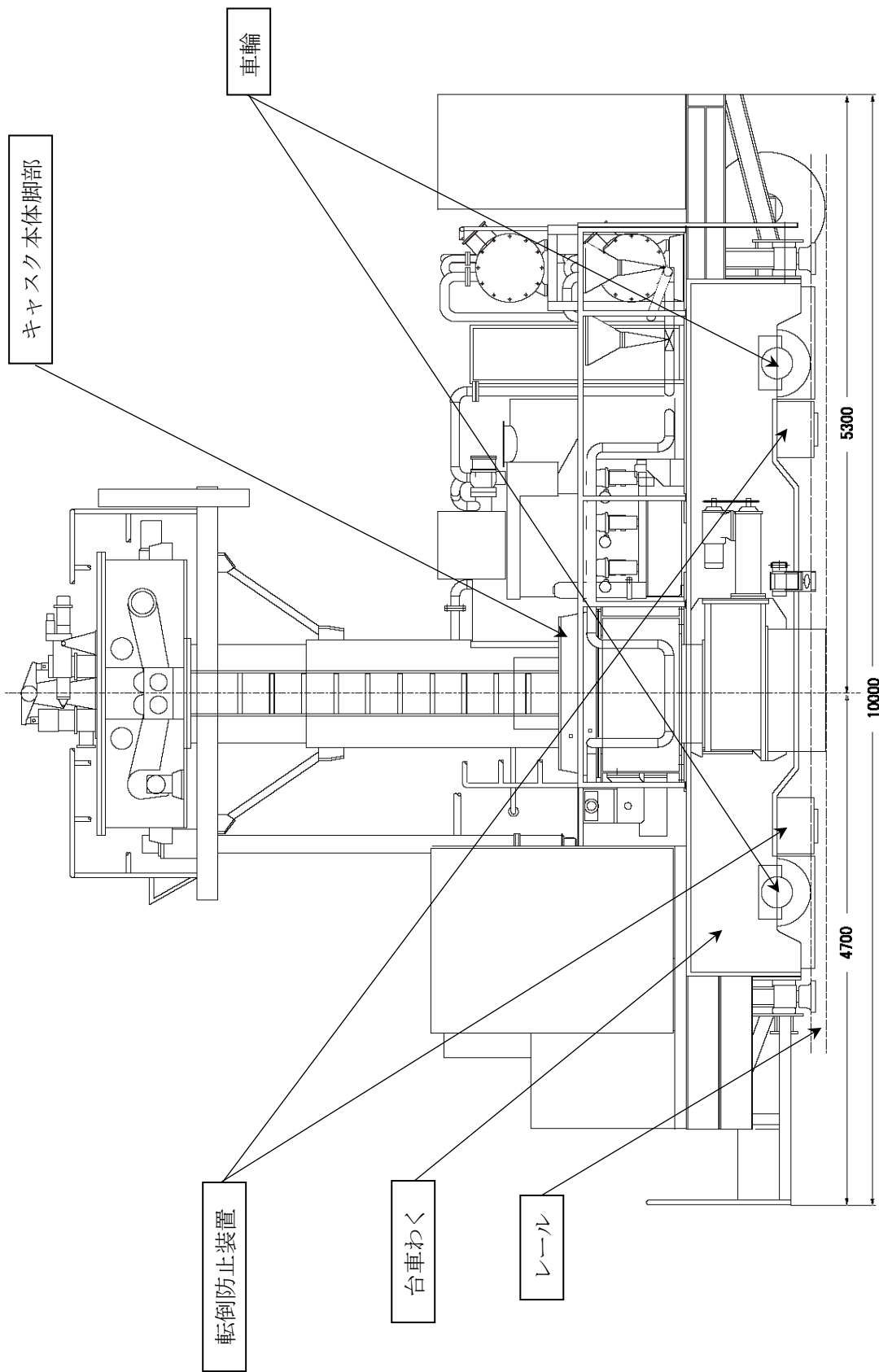
台車わくは、中央断面 AA、前後断面 BB、車軸を受けるウェブについて評価を実施し、許容値を満足していることを確認した。

台車わくの評価結果を第 4.4.1 表及び第 4.4.2 表に示す。

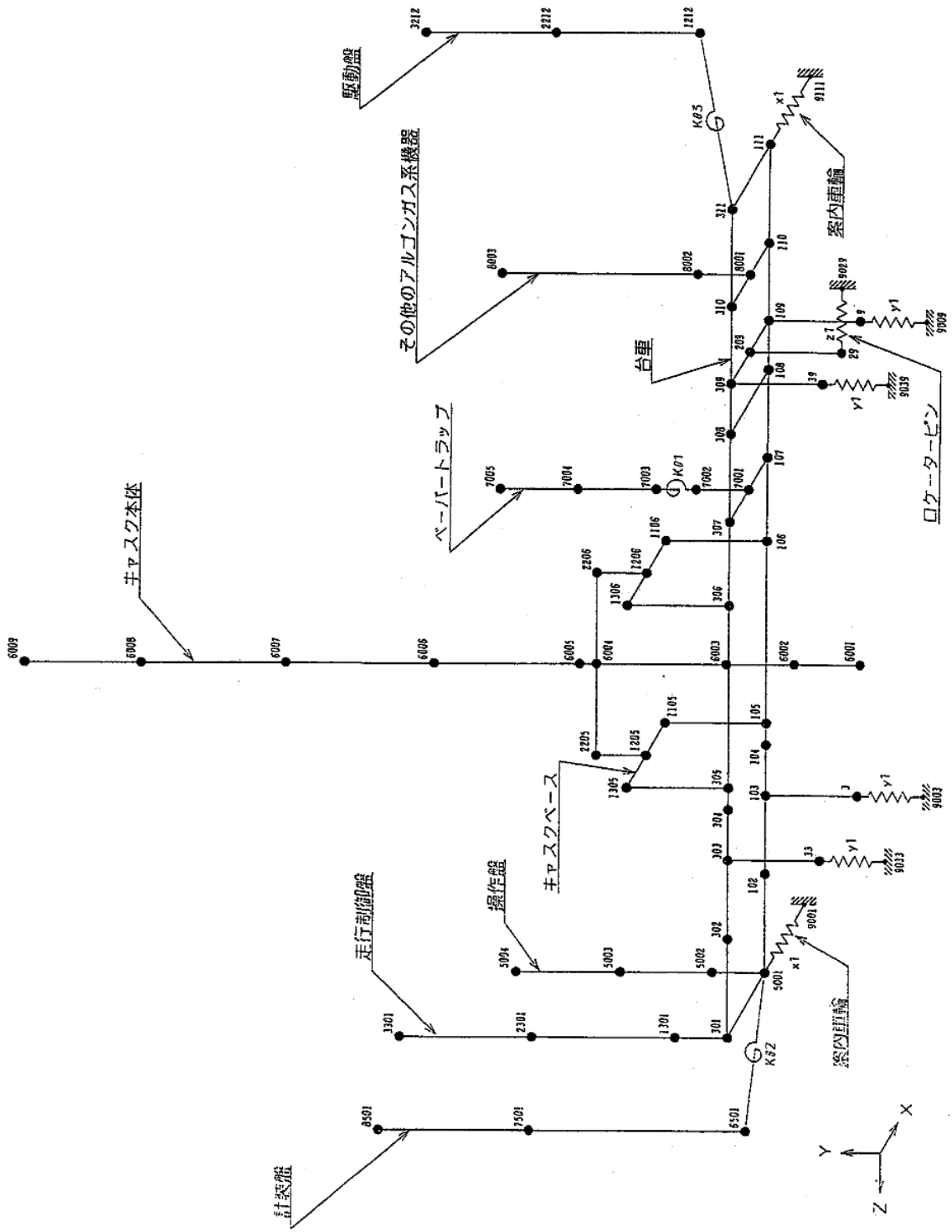
4.5 レール

レールは、レールクリップ、クリップ締付ボルト、レール横圧受プレート、レール及びレールの取付基礎ボルトについて評価を実施し、許容値を満足していることを確認した。

レールの評価結果を第 4.5.1 表に示す。



第 2.1 図 燃料取扱用キャスクカーの構造図



第 3.1 図 燃料取扱用キヤスクカーの地震応答解析モデル

4 条(1)-別紙 6-別添 5-4

第 4.1.1 表 キャスク本体脚部（据付ボルト）の評価結果

項目	記号	単位	数値
自重荷重 ※1	F_D	N	241,146
地震時鉛直荷重 ※1	F_S	N	139,709
地震時水平荷重 ※1	Q_y	N	171,069
地震水平モーメント ※1	M_z	N・mm	4.8248×10^8
ボルトに生じる引張荷重	F_t	N	307,027
ボルト孔中心径	D_c	mm	1,400
ボルトの本数	n	本	32
ボルトの外径	d	Mm	30
ボルト 1 本の断面積	A_b	mm ²	706.9
ボルト面積相当幅	t_1	mm	5.14
ボルト計算における係数	C_t	—	2.93
ボルトに生じる引張応力	σ_b	N/mm ²	29.1
ボルトのせん断応力	τ_b	N/mm ²	7.6
ボルトの短期許容引張応力（せん断を同時に受けるの許容応力） ※2	1.5fts*	N/mm ²	488
ボルトの短期許容せん断応力 ※2	1.5fs*	N/mm ²	375

※1：キャスク本体脚部荷重は、要素番号：24 の節点番号：6004 の解析結果より

※2：据付ボルト材質は SCM435

第 4.1.2 表 キャスク本体脚部（キャスクベース）の評価結果

項目	記号	単位	数値	
			前	後
自重荷重 ※1	F_D	N	115,038	107,125
地震時鉛直荷重 ※1	F_S	N	164,839	155,016
地震時水平荷重 ※1	Q_y	N	58,194	48,921
地震水平モーメント ※1	M_z	N・mm	1.6152×10^8	1.5767×10^8
キャスクベースの断面係数	Z	mm ³	5.64×10^6	
キャスクベースの据付ボルト本数	n	本	16	
キャスクベースの据付ボルト外径	d	mm	24	
キャスクベースの曲げ応力	σ	N/mm ²	28.6	28.0
キャスクベースの短期許容曲げ応力 ※2	1.5fb*	N/mm ²	207	
ボルト 1 本に作用する引張荷重	F_t	N	6225	5986
ボルト 1 本の断面積	A_b		452.4	
ボルトに生じる引張応力	σ_b	N/mm ²	13.8	13.2
ボルトのせん断応力	τ_b	N/mm ²	16.1	13.5
ボルトの短期許容引張応力（せん断を同時に受けるの許容応力） ※2	1.5fts*	N/mm ²	210	
ボルトの短期許容せん断応力 ※2	1.5fs*	N/mm ²	162	

※1：キャスクベース荷重は、要素番号 30、32 の節点番号：1205、1206 の解析結果より

※2：キャスクベース H 形鋼材質は SN400、据付ボルト材質は SS400

第4.2.1表 車輪の評価結果

項目	記号	単位	数値					
			前			後		
			左	右	右	左	左	右
自重荷重 ^{※1}	F _D	N	230,953	227,645	221,696	223,881		
地震時鉛直荷重 ^{※1}	F _S	N	236,627	231,708	238,711	245,231		
地震時水平荷重 ^{※1}	Q _y	N	337,014	309,896	228,794	123,664		
車輪踏面に働く荷重 (鉛直方向)	F _w	N	467,580	459,353	460,407	469,112		
車輪の摩擦係数	μ	-	0.4					
横行方向に働く荷重	Fμ ₁	N	134,805	123,959	91,518	49,466		
車軸の曲げモーメント	M _A	N・mm	2.3324×10 ⁷	2.2358×10 ⁷	2.0266×10 ⁷	1.7782×10 ⁷		
車軸の断面係数	Z _A	mm ³	1.9175×10 ⁵					
車軸の断面積	A _A	mm ²	1.2272×10 ⁴					
車軸の曲げ応力	σ _A	N/mm ²	121.6	116.6	105.7	92.7		
車軸のせん断応力	τ _A	N/mm ²	38.1	37.4	37.5	38.2		
車軸の組合せ応力	σ _A '	N/mm ²	138.4	133.4	124.1	113.9		
車軸の短期許容引張応力 ^{※2}	1.5ft*	N/mm ²	399					
車輪踏面の支圧応力	σ _p	N/mm ²	813.1	805.9	806.9	814.4		
車輪踏面の短期許容支圧応力 ^{※2}	1.5fp ₂ *	N/mm ²	1556					
軸受箱取付ボルトの引張応力	σ _t	N/mm ²	71.5	65.8	48.6	26.2		
軸受箱取付ボルトの短期許容引張応力 ^{※2}	1.5ft*	N/mm ²	488					

※1：車輪荷重は、要素番号110、111、112、114の節点番号3、33、9、39の解析結果より

※2：車輪材質は、車軸がS45C、車輪がCR73K、軸受箱取付ボルトがSCM435

第 4.3.1 表 転倒防止装置の評価結果

項目	記号	単位	数値					
			前			後		
			左	右	右	左	左	右
自重荷重 ※1	F _D	N	230,953	227,645	221,696	223,881		
地震時鉛直荷重 ※1	F _S	N	236,627	231,708	238,711	245,231		
地震時水平荷重 ※1	Q _y	N	337,014	309,896	228,794	123,664		
転倒防止装置をレールに押し付ける荷重	F _{a1}	N	467,580	459,353	460,407	469,112		
転倒防止装置をレールから引き離すように働く力	F _{a2}	N	5,674	4,063	17,015	21,350		
転倒防止装置に働く水平荷重	F μ a ₁	N	187,032	183,741	184,163	187,645		
ツメに働く水平荷重	F μ a ₂	N	2,270	1,625	6,806	8,540		
摩擦係数	μ	-	0.4					
ツメに発生する曲げ応力	σ _b	N/mm ²	1.8	1.3	5.4	6.7		
ツメに発生する引張応力	σ _t	N/mm ²	0.2	0.1	0.5	0.7		
ツメに発生するせん断応力	τ	N/mm ²	0.1	0.1	0.4	0.5		
ツメの組合せ応力	σ	N/mm ²	2.0	1.4	5.9	7.4		
ツメの短期許容引張応力 ※2	1.5ft*	N/mm ²	378					
本体に発生する圧縮応力	σ _c	N/mm ²	-102.3	-100.5	-100.8	-102.7		
本体に発生する引張応力	σ _t	N/mm ²	68.4	67.2	67.3	68.6		
本体の短期許容引張・圧縮応力 ※2	1.5ft*	N/mm ²	378					

項目	記号	単位	数値			
			前		後	
			左	右	左	右
ツメ固定用ボルトの本数	n	本	10			
ツメ固定用ボルトの外径	d	mm	20			
ツメ固定用ボルトの引張応力	σ	N/mm ²	1.9	1.4	5.7	7.1
ツメ固定用ボルトの短期許容引張応力 ※2	1.5ft*	N/mm ²	488			
本体固定用ボルトの本数	n	本	10			
本体固定用ボルトの外径	d	mm	24			
本体固定用ボルトの引張応力	σ	N/mm ²	2.2	1.6	6.5	8.1
本体固定用ボルトの短期許容引張応力 ※2	1.5ft*	N/mm ²	210	210	210	210

※1：転倒防止装置荷重は、要素番号 110、111、112、114 の節点番号 3、33、9、39 の解析結果より

※2：転倒防止装置材質は、ツメ、本体が S40C、ツメ固定用ボルトが SCM435、本体固定用ボルトが SS400

第 4.4.1 表 台車わく (断面 AA、車軸を受けるウェーブ) の評価結果

項目	記号	単位	数値					
			前			後		
			左	右	左	右	左	右
自重時横行方向モーメント※1	M_{wx}	N・mm	3.6885×10^7	3.2757×10^7	1.0881×10^6	1.0881×10^6	1.0881×10^6	
自重時前後方向モーメント※1	M_{wy}	N・mm	9.0206×10^7	9.5598×10^7	1.0726×10^8	1.0454×10^8	1.0454×10^8	
地震時横行方向モーメント※1	M_x	N・mm	6.3088×10^7	6.4062×10^7	2.1366×10^7	2.1366×10^7	2.1366×10^7	
地震時前後方向モーメント※1	M_y	N・mm	1.4743×10^8	1.5239×10^8	1.5834×10^8	1.5840×10^8	1.5840×10^8	
地震時車軸荷重	Pb	N	376,190	360,619	326,877	286,808	286,808	
断面 AA の X 軸廻り断面係数	Z_{x1}	mm ³	2.381 × 10 ⁷					
断面 AA の X 軸廻り断面係数	Z_{x2}	mm ³	2.309 × 10 ⁷					
断面 AA の Y 軸廻り断面係数	Z_{y1}	mm ³	4.791 × 10 ⁶					
断面 AA の Y 軸廻り断面係数	Z_{y2}	mm ³	7.010 × 10 ⁶					
断面 AA に発生する応力	σ_{A4}	N/mm ²	30.8	30.6	15.8	15.7	15.7	
車軸を受けるウェーブの有効幅	be	mm	210					
車軸を受けるウェーブの厚さ	t	mm	28					
車軸を受ける台車わくウェーブに発生する応力	σ	N/mm ²	64.0	61.3	55.6	48.8	48.8	
台車わくの短期許容応力 ※2	1.5ft*	N/mm ²	280					

※1：台車わく (断面 AA) の荷重は、要素番号 3、13、8、18 の節点番号 104、304、108、308 の解析結果より

※2：台車わく (断面 Aa) の材質は SS400

第 4.4.2 表 台車わく (断面 BB) の評価結果

項目	記号	単位	数値	
			北側	南側
自重時横行方向モーメント※1	M_{wx}	N・mm	1.5187×10^6	3.1454×10^6
自重時前後方向モーメント※1	M_{wy}	N・mm	8.9913×10^6	1.8020×10^6
地震時横行方向モーメント※1	M_x	N・mm	2.2154×10^7	2.2858×10^7
地震時前後方向モーメント※1	M_y	N・mm	9.3126×10^7	8.9528×10^7
断面 AA の X 軸廻り断面係数	Z_{x1}	mm ³	1.737×10^7	
断面 AA の X 軸廻り断面係数	Z_{x2}	mm ³	1.675×10^7	
断面 AA の Y 軸廻り断面係数	Z_{y1}	mm ³	4.271×10^6	
断面 AA の Y 軸廻り断面係数	Z_{y2}	mm ³	6.160×10^6	
断面 AA に発生する応力	σ_{A4}	N/mm ²	11.4	11.3
台車わくの短期許容応力 ※2	1.5ft*	N/mm ²	280	

※1：台車わく断面 AA の荷重は、要素番号 5、15 の節点番号 105、305 の解析結果より

※2：台車ワクの材質は SS400

第4.5.1表 レールの評価結果

項目	記号	単位	数値					
			前			後		
			左	右	右	左	左	右
自重荷重 ※1	F _D	N	230,953	227,645	221,696	223,881		
地震時鉛直荷重 ※1	F _S	N	236,627	231,708	238,711	245,231		
地震時水平荷重 ※1	Q _y	N	337,014	309,896	228,794	123,664		
転倒防止装置をレールに押し付ける荷重	F _{a1}	N	467,580	459,353	460,407	469,112		
転倒防止装置をレールから引き離すように働く力	F _{a2}	N	5,674	4,063	17,015	21,350		
転倒防止装置に働く水平荷重	P ₂	N	187,032	183,741	184,163	187,645		
ツメに働く水平荷重	P ₁	N	2,270	1,625	6,806	8,540		
摩擦係数	μ	-	0.4					
クリップの初期締付力	F ₁	N	78,453					
クリップの先端長さ	a ₁	mm	10					
クリップの初期締付応力	σ ₁	N/mm ²	104.8					
地震によりクリップに働く上向き荷重	P _c	N	34,933	34,115	35,936	37,155		
地震によりクリップ先端に生じる応力	σ _e	N/mm ²	22.8	22.3	23.5	24.3		
クリップ先端に生じる合計応力	σ _s	N/mm ²	127.6	127.1	128.3	129.1		
クリップの短期許容応力※2	1.5ft*	N/mm ²	246					
クリップ締付ボルトの本数	n	本	6					
クリップ締付ボルトの外径	d	mm	24					

項目	記号	単位	数値			
			前		後	
			左	右	左	右
地震によりクリップ締付ボルトに作用する荷重	Fe	N	17,078	16,679	17,569	18,165
クリップ締付ボルトに作用する荷重	Fs	N	95,532	95,132	96,022	96,618
クリップ締付ボルトの引張応力	σ_s	N/mm ²	211.2	210.3	212.3	213.6
クリップ締付ボルトの短期許容引張応力 ^{※2}	1.5ft*	N/mm ²	488			
レール横圧受プレートの溶接脚長	w ₁	mm	14			
レール横圧受プレートの奥行	W	mm	75			
レール横圧受プレートの幅	D	mm	60			
荷重を受けるプレート枚数	n	枚	4			
溶接有効断面積	A	mm ²	8316			
溶接部に生じるせん断応力	τ	N/mm ²	22.5	22.1	22.1	22.6
レール横圧受プレートの短期許容せん断応力 ^{※2}	1.5fs*	N/mm ²	73			
レールに作用する上向きモーメント	M	N・mm	8.9372×10 ⁵	6.3998×10 ⁵	2.6798×10 ⁶	3.3626×10 ⁶
レールの断面係数	Z	mm ³	2.940×10 ⁵			
レールに作用する上向き荷重による曲げ応力	σ_{b1}	N/mm ²	3.0	2.2	9.1	11.4
レールに作用する水平荷重による曲げ応力	σ_{b2}	N/mm ²	85.9	84.4	84.6	86.2
レールに発生する合計応力	σ_b	N/mm ²	85.9	84.4	85.1	86.9
レールの短期許容曲げ応力 ^{※2}	1.5fs*	N/mm ²	630			
レールの初期締付力	F ₀	N	41,188			
レール取付基礎ボルト1本に加わる荷重	F ₁	N	46,862	45,251	58,203	62,538

項目	記号	単位	数値			
			前		後	
			左	右	左	右
レール取付基礎ボルトの外径	d	mm	30			
レール取付基礎ボルトに発生する引張応力	σ_t	N/mm ²	66.3	64.0	82.3	88.5
レール取付基礎ボルトの短期許容引張応力 ^{※2}	1.5ft*	N/mm ²	280			

※1：レール荷重は、要素番号110、111、112、114の節点番号3、33、9、39の解析結果より

※2：レール材質は、クリップがSC45、クリップ締付ボルトがSCM435、レール横圧受プレートがSS400、レールがCR73K