

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-10-68 改 03
提出年月日	2023年6月14日

中央制御室待避室遮蔽の耐震性についての計算書に関する  
補足説明資料

2023年6月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

## 目 次

1. 概要	1
2. 設備概要	1
3. 要求機能及び評価対象部位の整理	11
4. 許容限界について	14
5. 評価対象部位ごとの評価方法及び適用規格	15
6. 解析モデル	16

添付資料-1 構造フレーム（鉄骨及び鋼板）の種別，断面サイズ及び解析モデル図

添付資料-2 遮蔽気密扉の重量設定方法

添付資料-3 中央制御室待避室を支持する壁の耐震評価

添付資料-4 遮蔽気密扉の健全性評価

## 1. 概要

本補足説明資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき耐震評価を実施し、VI-2-8-4-4「中央制御室待避室遮蔽の耐震性についての計算書」に評価結果をとりまとめている中央制御室待避室遮蔽の耐震評価について補足するものである。

## 2. 設備概要

### 2.1 中央制御室待避室の概要

中央制御室待避室は、重大事故等が発生した場合における炉心の著しい損傷後の格納容器フィルタベント系を作動させる場合に、運転員の被ばくを低減するため、中央制御室内に設置する。中央制御室待避室は、中央制御室待避室内への放射性物質の流入を防ぐため、設計上の圧力値を中央制御室に対して10Pa[gage]以上に設定する。

中央制御室待避室は、遮蔽性能及び気密性能を有し、その入口には、遮蔽性能及び気密性能を有する扉（以下「遮蔽気密扉」という。）を設置する。

中央制御室待避室へ待避した運転員が、一時的に中央制御室へ出入りする際の遮蔽気密扉開閉時においても中央制御室待避室内の正圧を維持できるよう、隣室を設置する。

中央制御室待避室と隣室は、制御室建物の南面及び東面の耐震壁である中央制御室遮蔽（壁）から支持する一体化構造としており、隣室と中央制御室間には出入り用の扉を設置する。

中央制御室待避室の平面概要図を図2-1に示す。

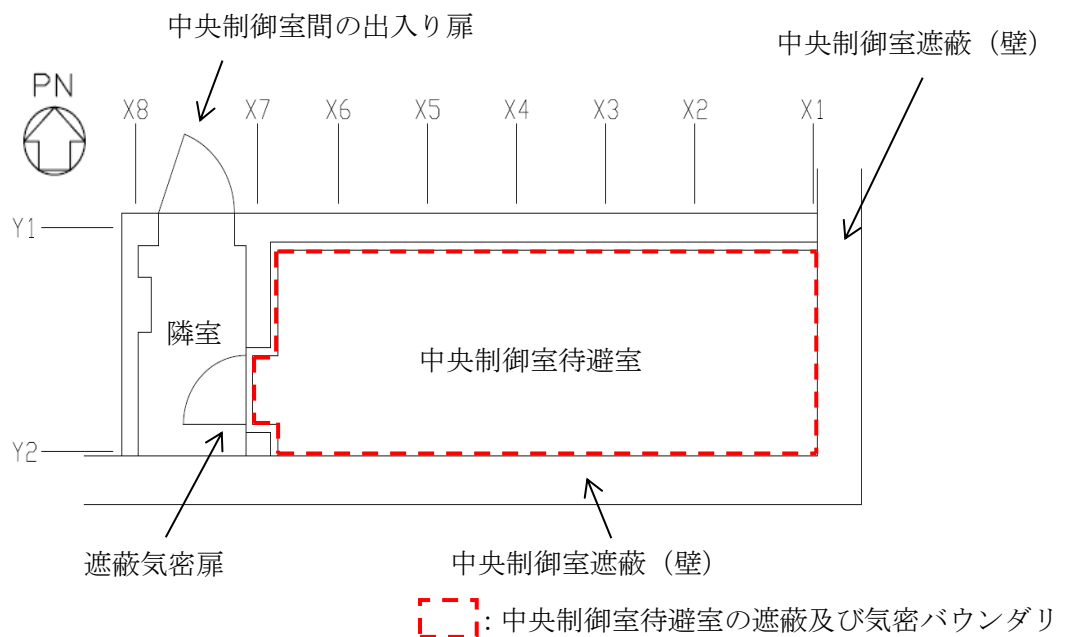


図 2-1 中央制御室待避室平面概要図

## 2.2 中央制御室待避室を構成する部材及び接合条件

中央制御室待避室は、主要な構成部材として、①構造フレーム（鉄骨）、②構造フレーム（鋼板）、③遮蔽パネル及び④気密用鋼板から構成される。

中央制御室待避室は、①構造フレーム（鉄骨）が十分剛性の高い中央制御室遮蔽（壁）に⑤基礎ボルト（ケミカルアンカ）で固定されることにより、制御室建物から支持される。

①構造フレーム（鉄骨）同士は、⑥構造フレーム接合部高力ボルトにて接合される。

②構造フレーム（鋼板）は、①構造フレーム（鉄骨）へ溶接にて接合され、また②構造フレーム（鋼板）同士も溶接にて接合される。

③遮蔽パネルは、①構造フレーム（鉄骨）、②構造フレーム（鋼板）へ、⑦遮蔽パネル接合部ボルトにて接合される。

④気密用鋼板は、②構造フレーム（鋼板）の凸型部へ溶接にて接合される。

中央制御室待避室の入口には⑧遮蔽気密扉が設置される。

各構成部材及びそれらの接合部に用いるボルトの材料・仕様を表 2-1 に示す。

表 2-1 各構成部材及びそれらの接合部に用いるボルトの材料・仕様

No.	構成部材	材料	仕様
①	構造フレーム（鉄骨）	SS400	H形鋼, 溝形鋼
②	構造フレーム（鋼板）	SS400（一部 SN490B）	平鋼
③	遮蔽パネル	鋼板：SS400 鉛	
④	気密用鋼板	SS400	
⑤	基礎ボルト（ケミカルアンカ）	SS400	M24
⑥	構造フレーム接合部高力ボルト	F10T, S10T	M16, M20, M22
⑦	遮蔽パネル接合部ボルト	強度区分 12.9	M8, M12, M16
⑧	遮蔽気密扉	鋼板：SS400 鉛（非構造部材）	

中央制御室待避室の全体概要及び中央制御室遮蔽（壁）との接合イメージを図 2-2 に示す。中央制御室待避室は、X1～X7 通り間が該当する。

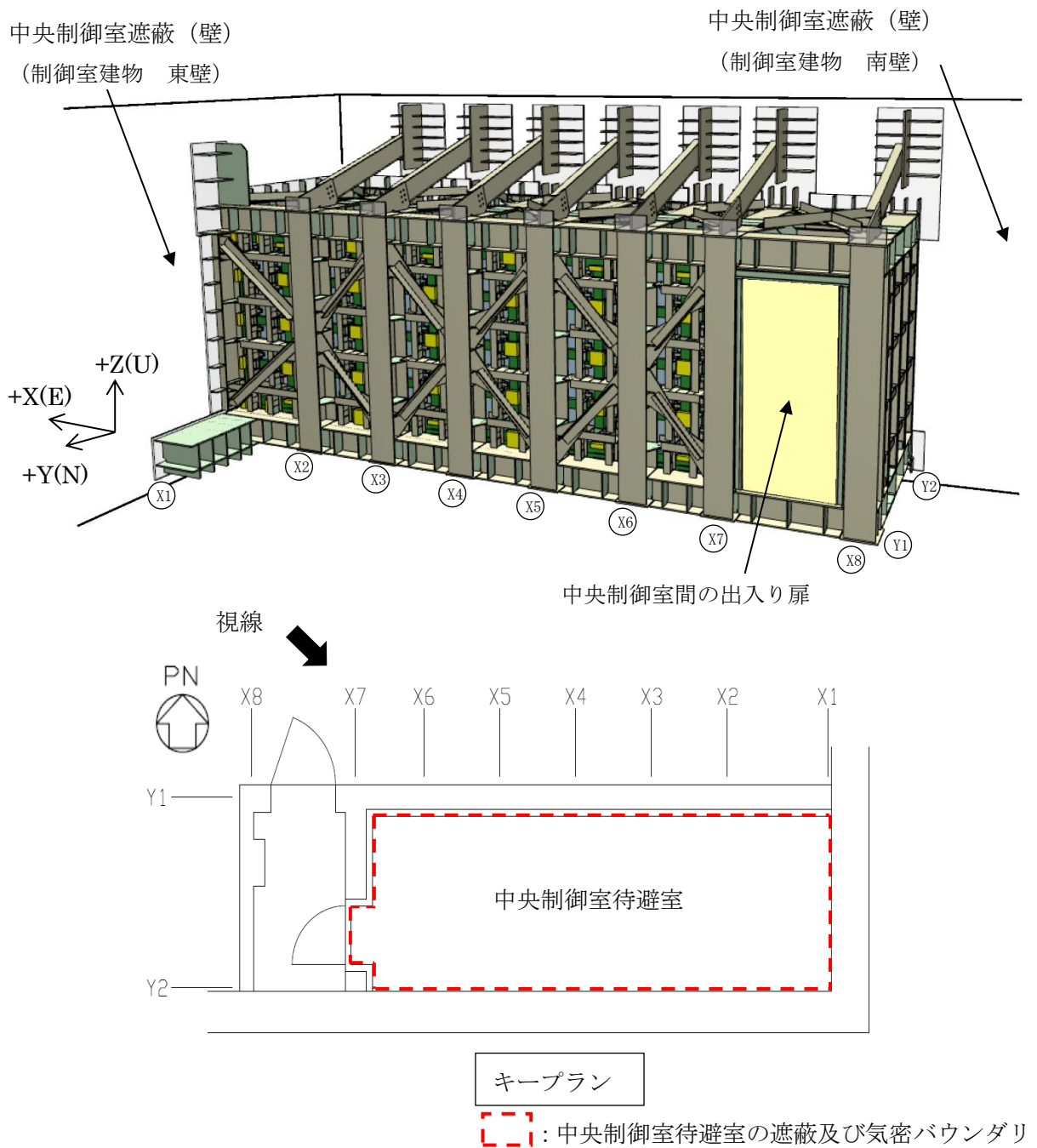


図 2-2 中央制御室待避室の全体概要及び中央制御室遮蔽（壁）との接合イメージ

Y1 通り壁を例に、①構造フレーム（鉄骨），②構造フレーム（鋼板），③遮蔽パネル，④気密用鋼板の接合イメージを図 2-3～2-6 に示す。

中央制御室待避室の基本構成は，床・壁・天井の部位に依らず同一である。

中央制御室待避室の基本構成の詳細について，遮蔽パネル標準納まりのケースを例として，表 2-2 に示す。

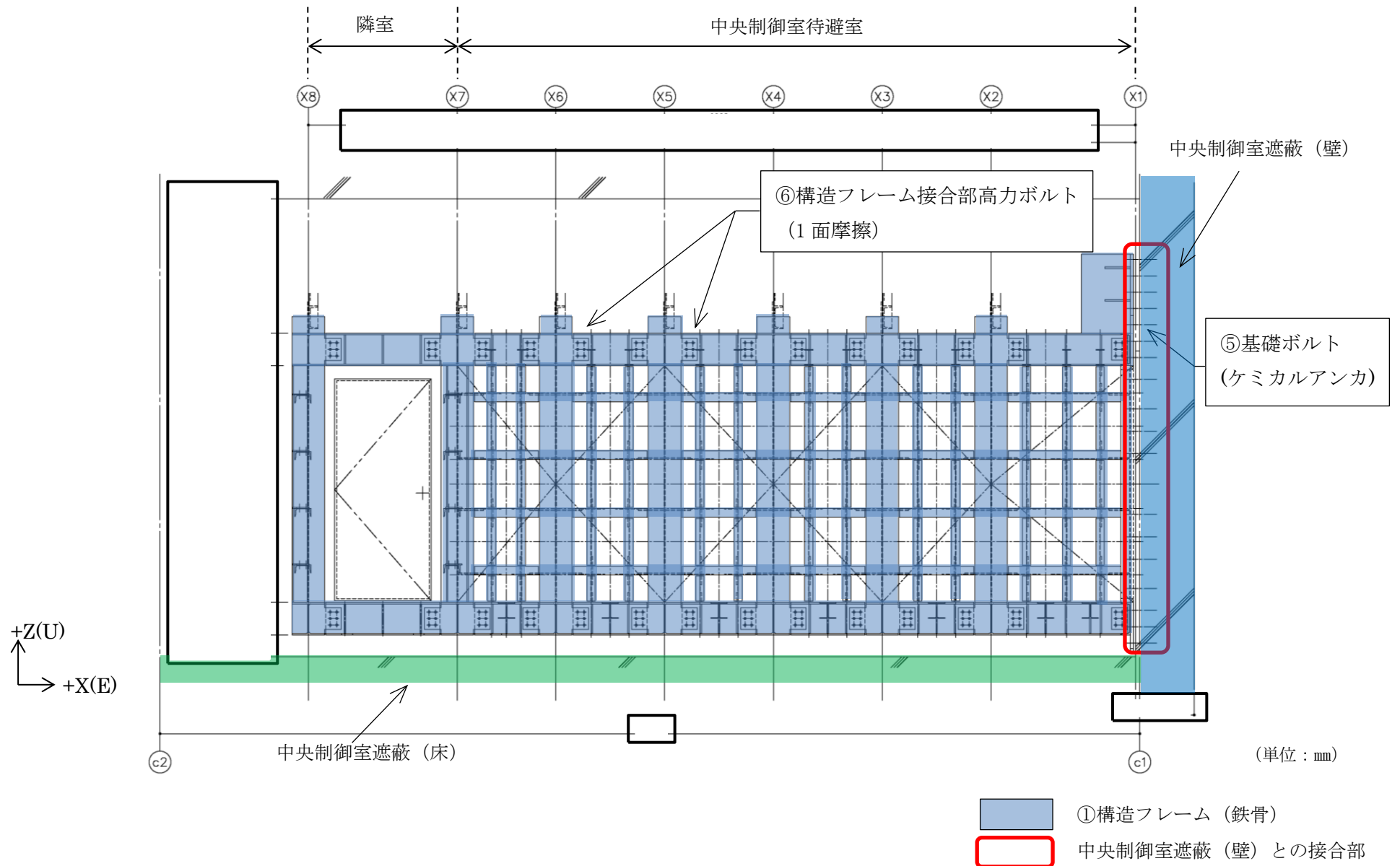


図 2-3 Y1 通り壁部における①構造フレーム (鉄骨) の接合イメージ

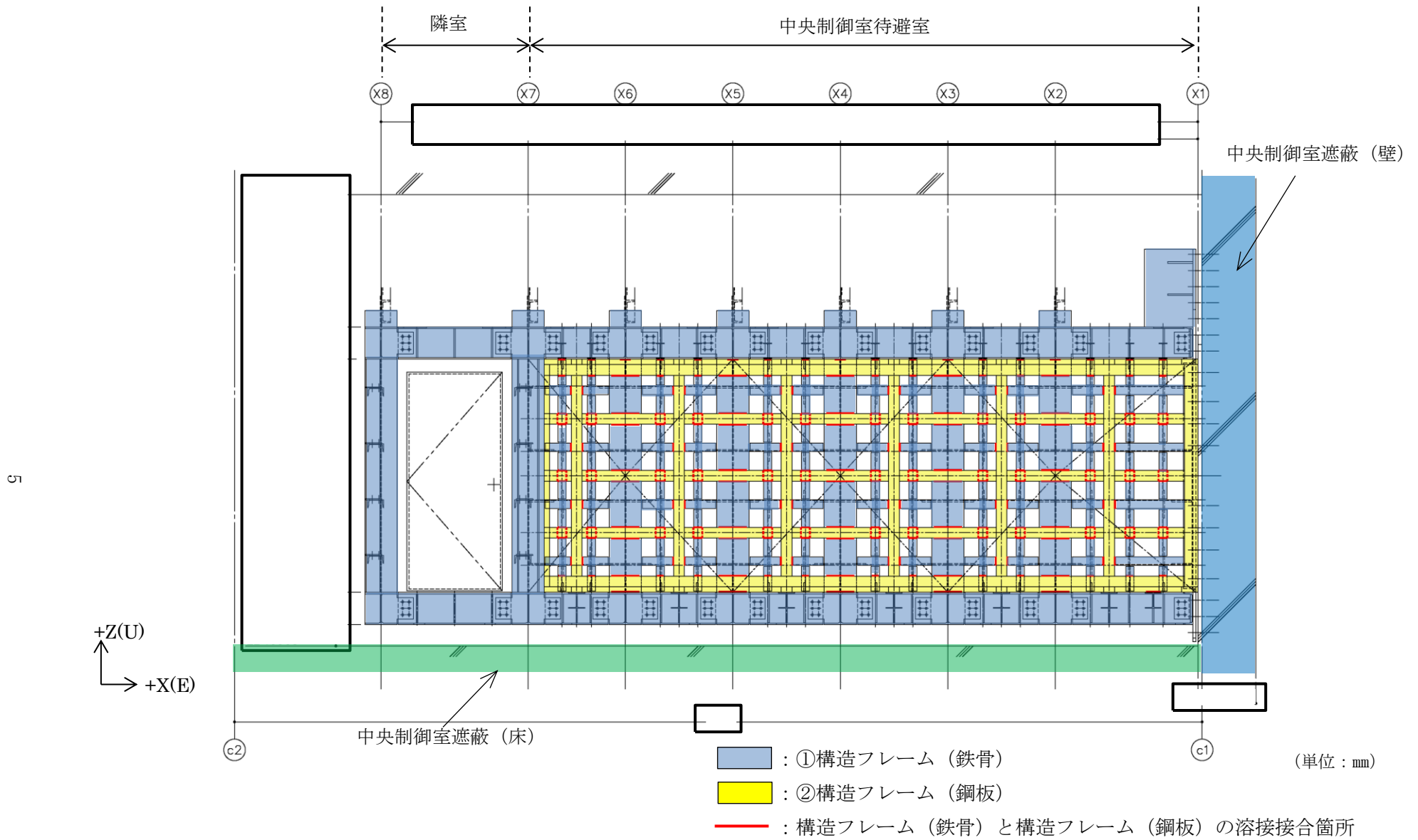


図 2-4 Y1 通り壁部における②構造フレーム (鋼板) の接合イメージ

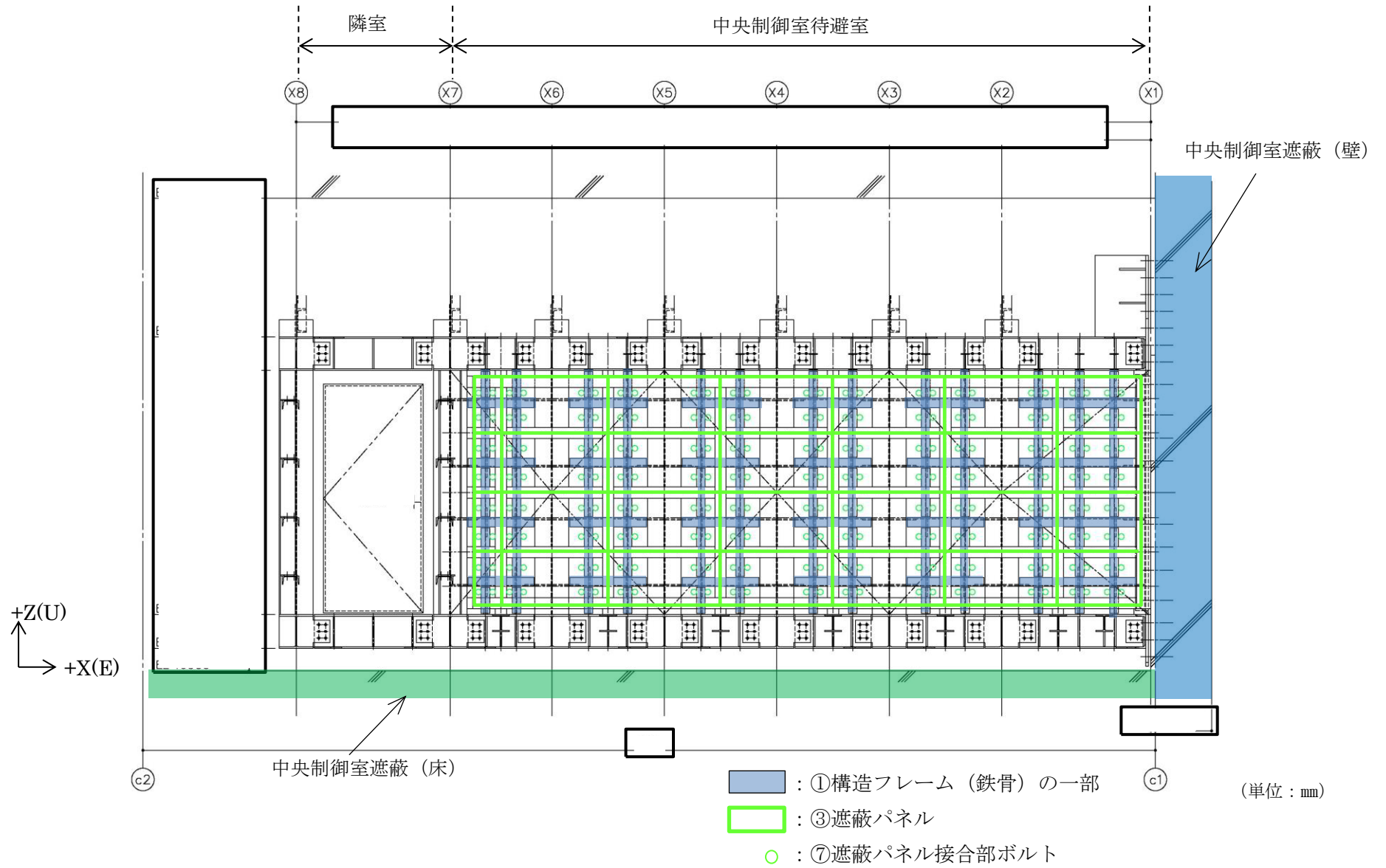


図 2-5 Y1 通り壁部における③遮蔽パネルの接合イメージ



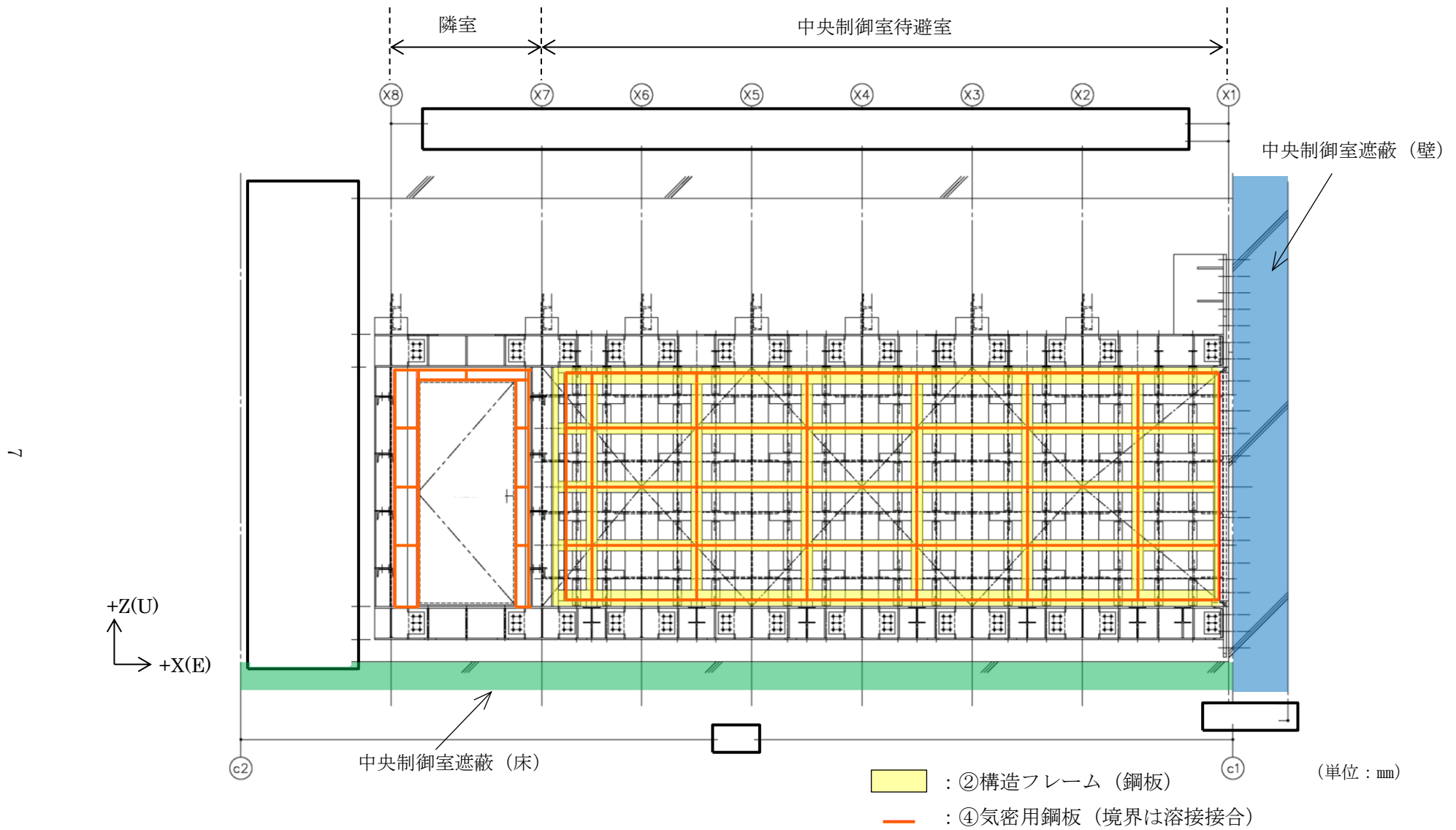
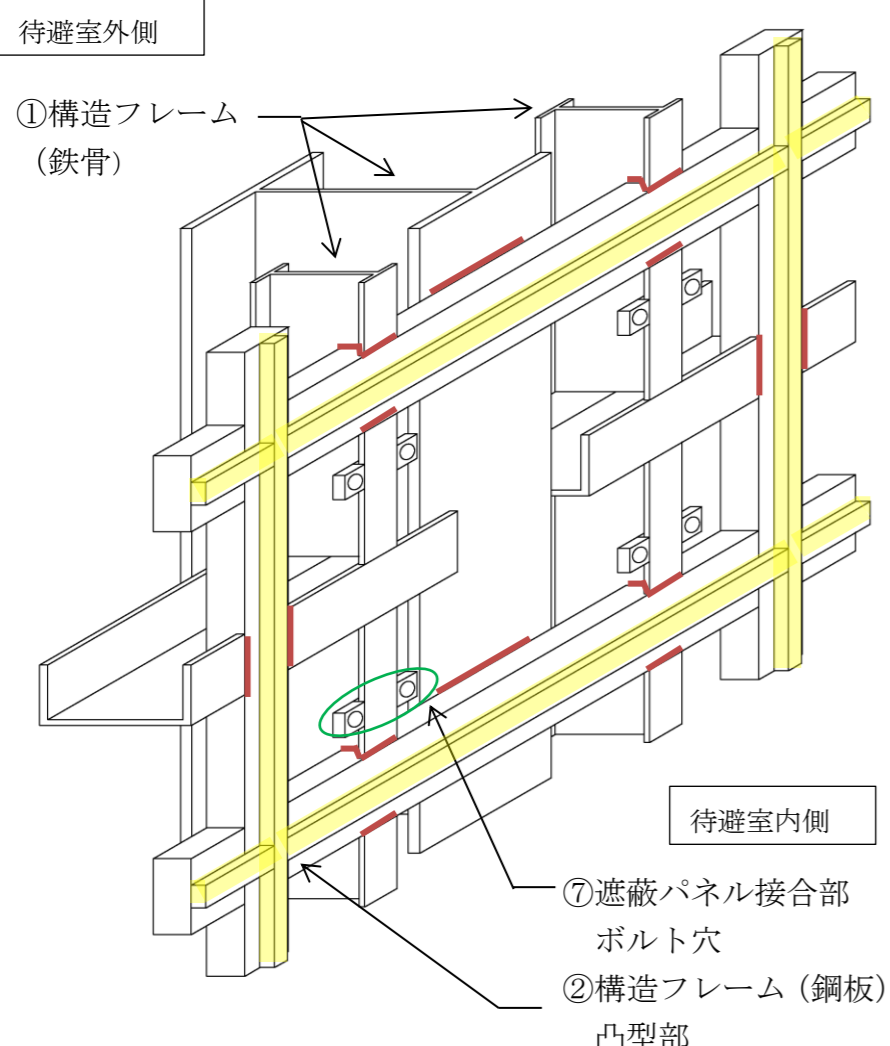
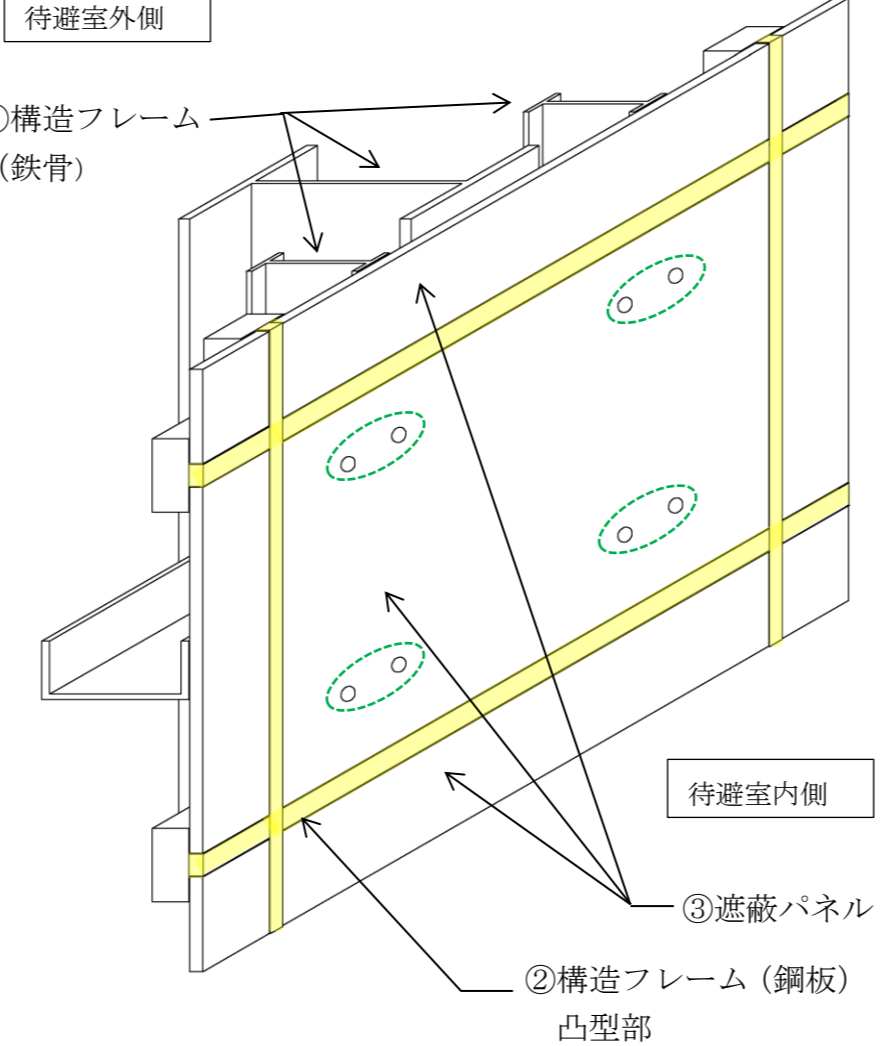
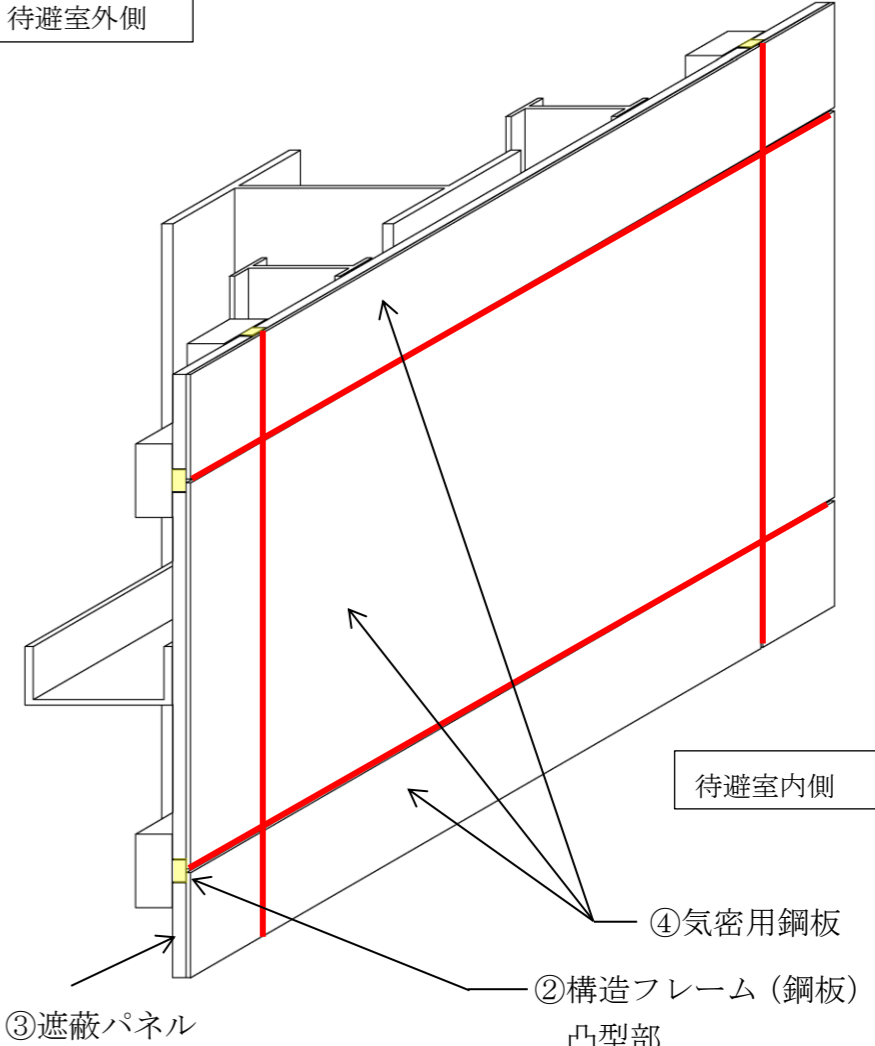


図 2-6 Y1 通り壁部における④気密用鋼板の接合イメージ

表 2-2 中央制御室待避室の基本構成の詳細（遮蔽パネル標準納まりのケース\*）

(1) 構造フレームの接合状態	(2) 遮蔽パネル接合後	(3) 気密用鋼板接合後
<p>待避室外側</p>  <p>①構造フレーム (鉄骨)</p> <p>待避室内側</p> <p>⑦遮蔽パネル接合部 ボルト穴</p> <p>②構造フレーム (鋼板) 凸型部</p>	<p>待避室外側</p>  <p>①構造フレーム (鉄骨)</p> <p>待避室内側</p> <p>③遮蔽パネル</p> <p>②構造フレーム (鋼板) 凸型部</p>	<p>待避室外側</p>  <p>待避室内側</p> <p>④気密用鋼板</p> <p>③遮蔽パネル</p> <p>②構造フレーム (鋼板) 凸型部</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>②構造フレーム (鋼板) は、①構造フレーム (鉄骨) に溶接にて接合する ( — 部)。</li> <li>②構造フレーム (鋼板) は、④気密用鋼板取付けのため凸型形状となっている ( — 部)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>③遮蔽パネルは、②構造フレーム (鋼板) の凸型部 ( — 部) で囲まれる空間に取付く。</li> <li>③遮蔽パネルは、待避室外側から①構造フレーム (鉄骨) にボルトにて接合する ( ○ 部)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>④気密用鋼板は、③遮蔽パネルの待避室内側に取付く。</li> <li>④気密用鋼板同士は、②構造フレーム (鋼板) 凸型部の上部で全周溶接にて接合する ( — 部)。</li> </ul>

注記\* : ③遮蔽パネルは、②構造フレーム (鋼板) からボルト6本で固定される納まりもある。③遮蔽パネルの評価に際しては、両方のケースについて評価を実施している。

### 2.3 遮蔽気密扉

中央制御室待避室の入口には、遮蔽性能及び気密性能を有する扉（以下「遮蔽気密扉」という。）を設置する。遮蔽気密扉は、中央制御室待避室のバウンダリを構成し、扉本体及び扉枠に鉛板 [ ] を使用することで遮蔽性能を、 [ ] の気密仕様とすることで気密性能を担保する。気密性能を担保するため、遮蔽気密扉の、扉枠と接する4辺にわたって気密ゴムを取付ける。概略構造を図2-7に示す。

遮蔽気密扉は、想定する地震動に対し、開閉機能を担保するヒンジ及びカンヌキについて応力評価を行い、構造成立性を確認している。詳細は添付資料-4に示す。

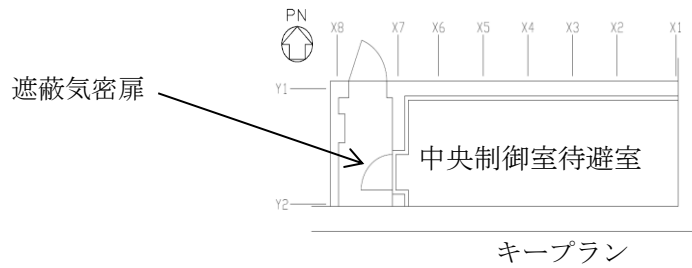


図2-7 遮蔽気密扉の概略構造図

## 2.4 貫通部

中央制御室待避室には、中央制御室待避室への空気の供給、中央制御室待避室からの空気の排出等を目的とした配管布設のための貫通部が、天井部及び壁部に設けられている。貫通部には、鉛板  及び鋼板を使用したスリーブ及びボックスから構成される構造物（以下「貫通部遮蔽体」という。）を設置し、配管経路をクランク構造とすることにより、遮蔽性能を担保している。また、貫通部遮蔽体は溶接接合または耐火シールにより、貫通部遮蔽体と配管との取合い部はシリコンゴム等の充填により、貫通部の気密性能を担保している。

貫通部遮蔽体の概略構造（配管貫通部の例）について図 2-8 に示す。

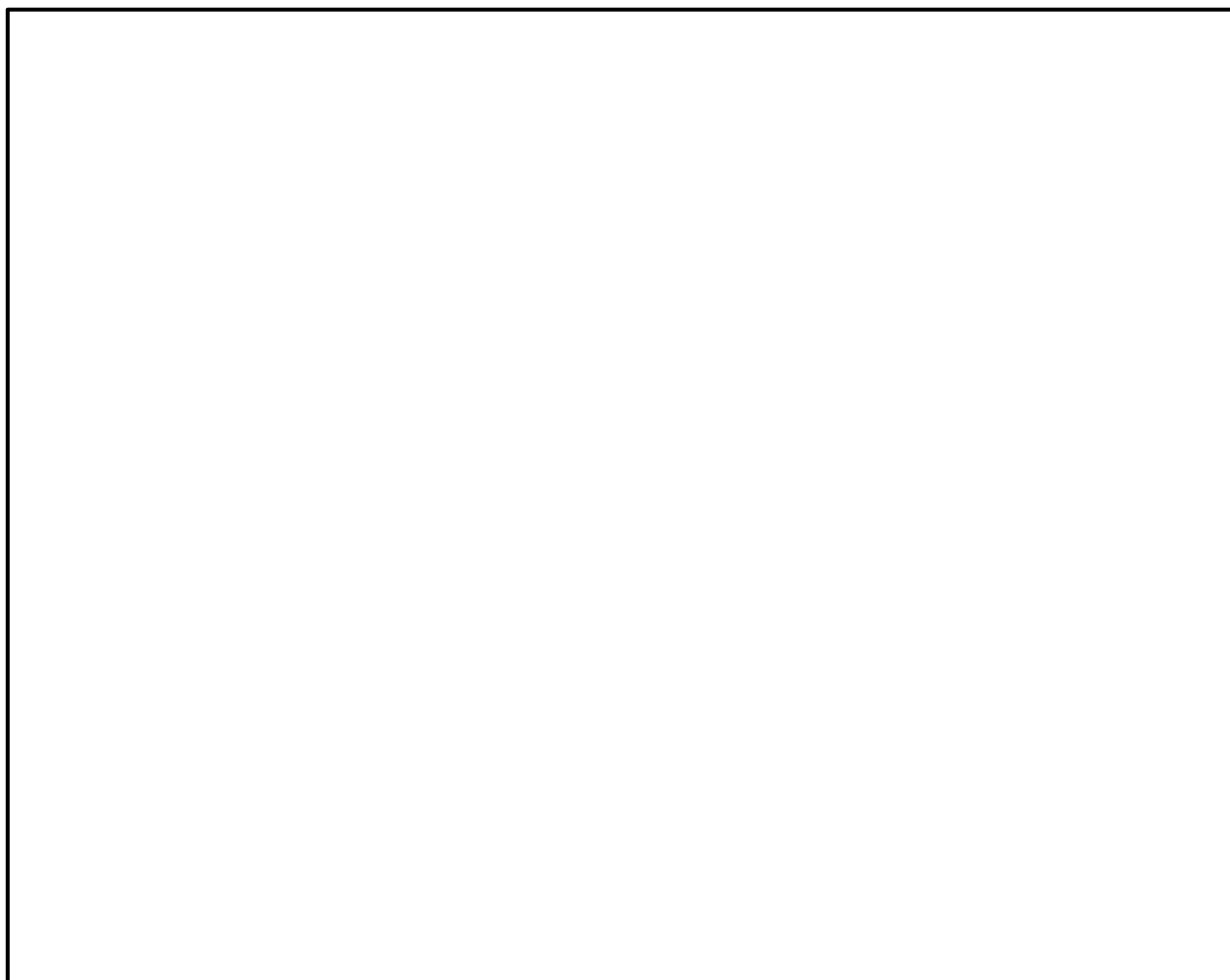


図 2-8 貫通部遮蔽体の概略構造図（配管貫通部の例）

### 3. 要求機能及び評価対象部位の整理

中央制御室待避室遮蔽は構造強度の確保並びに、気密性及び遮蔽性の維持が要求される設備に該当する。

気密性の維持については、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」において「気密性の維持が要求される施設は、(中略)重大事故等対処施設の施設区分に応じた地震動に対して「5.1 構造強度」に基づく構造強度の確保に加えて、構造強度の確保と換気設備の性能があいまって施設の気圧差を確保することで、十分な気密性を確保できる設計とする。」と記載している。

また、遮蔽性の維持については、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」において「遮蔽性の維持が要求される施設については、(中略)重大事故等対処施設の施設区分に応じた地震動に対して、「5.1 構造強度」に基づく構造強度を確保し、遮蔽体の形状及び厚さを確保することで、遮蔽性を維持する設計とする。」と記載している。

したがって、気密性及び遮蔽性の維持については基準地震動 $S_s$ に対する構成部材の構造強度を確保し、更に気密性においては換気設備の性能と合わせて気圧差を確保できることを確認する。

要求機能毎の評価対象部位、機能維持の考え方及び許容限界について、表3-1に示す。

表 3-1 要求機能毎の評価対象部位，機能維持の考え方及び許容限界（1/2）

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	評価対象部位	機能維持のための考え方	許容限界
構造強度	構造強度を有すること。	基準地震動 S <sub>s</sub>	①構造フレーム（鉄骨）	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	Ⅲ <sub>A</sub> S 短期許容応力度
			②構造フレーム（鋼板）	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	Ⅲ <sub>A</sub> S 短期許容応力度
			⑤基礎ボルト（ケミカルアンカ）	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	Ⅳ <sub>A</sub> S, Ⅴ <sub>A</sub> S 短期許容応力度
			⑥構造フレーム接合部高力ボルト	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	Ⅲ <sub>A</sub> S 短期許容応力度
			中央制御室遮蔽（壁）*1, 2	最大応答せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup>
遮蔽性	遮蔽体の形状及び厚さを確保することで，地震後における残留ひずみを小さくし，ひび割れがほぼ閉鎖し，貫通するひび割れが直線的に残留しないこと。	基準地震動 S <sub>s</sub>	②構造フレーム（鋼板）	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	Ⅲ <sub>A</sub> S 短期許容応力度
			③遮蔽パネル	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	Ⅲ <sub>A</sub> S 短期許容応力度
			⑧遮蔽気密扉	扉に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	Ⅲ <sub>A</sub> S 短期許容応力度
			中央制御室遮蔽（壁）*1, 2	最大応答せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup>

注記\*1：中央制御室待避室を支持する制御室建物の南面及び東面の耐震壁を指す。

\*2：VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」にて評価を実施

中央制御室待避室を支持する基礎ボルト（ケミカルアンカ）の反力による影響評価については，添付資料-3に示す。

表 3-1 要求機能毎の評価対象部位，機能維持の考え方及び許容限界 (2/2)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	評価対象部位	機能維持のための考え方	許容限界
気密性	構造強度を有すること。	基準地震動 S s	④気密用鋼板	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	Ⅲ A S 短期許容応力度
			⑧遮蔽気密扉	扉に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	Ⅲ A S 短期許容応力度
	せん断ひずみを用いて空気漏えい量を算定し，設置する換気設備の性能以下であること。		中央制御室遮蔽 (壁) *1, 2	最大応答せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$

注記\*1：中央制御室待避室を支持する制御室建物の南面及び東面の耐震壁を指す。

\*2：VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」にて評価を実施

中央制御室待避室を支持する基礎ボルト（ケミカルアンカ）の反力による影響評価については，添付資料-3に示す。

#### 4. 許容限界について

VI-2-1-9「機能維持の基本方針」において常設重大事故緩和設備の許容応力状態はIV<sub>A</sub>S及びV<sub>A</sub>Sが適用されるが、遮蔽性及び気密性の維持の観点から、当該構造物の変形能力に対して十分な余裕を有するよう、遮蔽及び気密機能に係る部材については、許容応力状態III<sub>A</sub>Sを適用する。

具体的には、基礎ボルト(ケミカルアンカ) (図4-1参照) 以外の部材について許容応力状態III<sub>A</sub>Sを適用する。

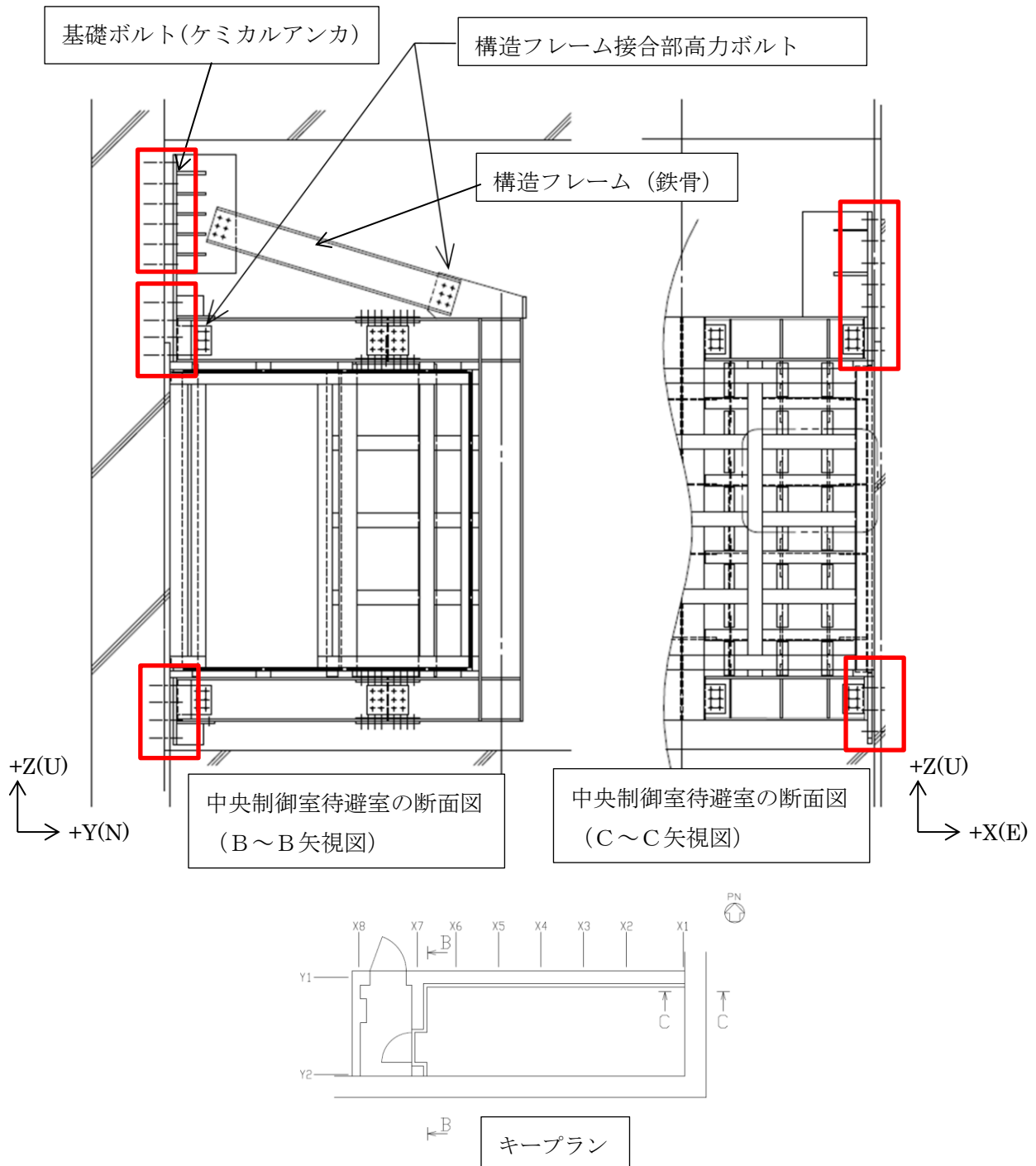


図4-1 許容応力状態III<sub>A</sub>Sを適用しない部位 (赤枠内参照)



5. 評価対象部位ごとの評価方法及び適用規格

表 5-1 評価対象部位ごとの評価方法及び適用規格

No.	評価対象部位	評価対象となる 応力（力）の種類	評価方法	適用規格
①	構造フレーム（鉄骨）	引張，圧縮，せん断， 曲げ，組合せ	発生する各種応力が，鋼構造設計規準にて 算出される許容応力を下回ることを確認	鋼構造設計規準 －許容応力度設計法－
②	構造フレーム（鋼板）	引張，圧縮，せん断， 曲げ，組合せ	発生する各種応力が，鋼構造設計規準にて 算出される許容応力を下回ることを確認	鋼構造設計規準 －許容応力度設計法－
③	遮蔽パネル	組合せ	発生する組合せ応力が，許容引張応力以下 であることを確認	鋼構造設計規準 －許容応力度設計法－
④	気密用鋼板	組合せ	発生する組合せ応力が，許容引張応力以下 であることを確認	鋼構造設計規準 －許容応力度設計法－
⑤	基礎ボルト （ケミカルアンカ）	引張，せん断，組合せ	発生する引張，せん断，組合せ力が，各々 の許容力を下回ることを確認	各種合成構造設計指針・同 解説
⑥	構造フレーム接合部 高力ボルト	せん断*1	発生するせん断力が，許容せん断力を下回 ることを確認	鋼構造設計規準 －許容応力度設計法－
⑦	遮蔽パネル接合部ボルト	引張，せん断，組合せ*2	発生する引張及びせん断力が，JIS B 1051 規定の保証荷重試験力に基づき鋼構造設計 規準にて算出する許容引張力，許容せん断 力を下回ることを確認	鋼構造設計規準 －許容応力度設計法－ JIS B 1051

注記\*1：鋼構造設計規準には，引張り・圧縮各々に対する許容耐力が規定されているが，本高力ボルトは摩擦接合形式のため引張力は発生しない。

したがって，せん断のみを対象とする。

\*2：組合せは，鋼構造設計規準に規定されている許容引張力の算定式に含まれる。

## 6. 解析モデル

中央制御室待避室遮蔽の耐震評価は図 6-1 に示す 3 つの解析モデルを用いて実施した。各解析モデルの目的及び概要を以下に示す。

なお、中央制御室待避室と隣室は一体構造のため、隣室を含めてモデル化の上、解析を実施した。

### (1) モデル 1

#### a. 目的

- ・固有値解析
- ・構造フレームの断面算定
- ・基礎ボルト（ケミカルアンカ）評価用の反力算出
- ・モデル 2 及びモデル 3 の評価対象部位の選定（最大ひずみ発生箇所の抽出）
- ・遮蔽パネル接合部の応力評価

#### b. 概要

- ・構造フレームをはり要素としてモデル化する。構造フレームの種別、断面サイズ及び解析モデル図との対応を添付資料-1 に示す。
- ・上記部材は、原則として部材芯でモデル化する。
- ・遮蔽パネル・気密用鋼板をシェル要素としてモデル化する。
- ・制御室建物壁との取合い点は、剛部材（ピン結合）とする。
- ・構造フレーム（鉄骨）部材同士のウェブとウェブ、フランジとフランジを高力ボルト接合する場合は、剛結合とする。
- ・構造フレーム（鉄骨）部材同士のウェブのみを高力ボルト接合する場合は、剛部材（ピン結合）とする。
- ・モデル化を行っていない部材（扉等）の質量は、近傍の構造フレームやシェル要素の重量を割り増すことにより適切に反映する。扉重量は、扉枠を支持する近傍の構造フレーム（鉄骨、鋼板）へ付加する。積載荷重は、等分布荷重として床のシェル要素に付加する。扉の重量設定に係る具体的なイメージを添付資料-2 に示す。
- ・構造フレーム（鉄骨、鋼板）と遮蔽パネルは、遮蔽パネル接合部ボルトで固定しているため、接合部ボルト位置のはり上の節点とシェル上の節点を同一節点とする。
- ・構造フレーム（鋼板）と気密用鋼板は、溶接で固定しているため、溶接位置のはり上の節点とシェル上の節点を同一節点とする。
- ・モデル 1 の要素数は 4618 要素，節点数は 2646 節点
- ・モデル 1 のシェル要素のメッシュサイズは、22～705 mm

## (2) モデル 2

### a. 目的

- ・遮蔽パネルの応力評価

### b. 概要

- ・モデル 1 で選定した評価対象部位の遮蔽パネル 1 枚をシェル要素として単体でモデル化し、構造フレーム（鉄骨，鋼板）との接合部位置を剛部材（ピン結合）とする。
- ・評価対象部位は，遮蔽パネルの接合条件に応じて，標準納まり及び床納まりの 2 ケースから選定する（それぞれ，モデル 2-1 及びモデル 2-2 という。）。
- ・モデル 1 のモデル化範囲に合わせ，部材芯範囲でモデル化する。
- ・接合部にモデル 1 の変位量を強制変位として与える。
- ・遮蔽パネルの慣性力を考慮する。
- ・モデル 2 のシェル要素の分割は，パネルに生じる応力を適切に表現できるようにする。
- ・シェル要素の要素数は 560～759 要素，節点数は 609～816 節点
- ・シェル要素のメッシュサイズは，21～26 mm

## (3) モデル 3

### a. 目的

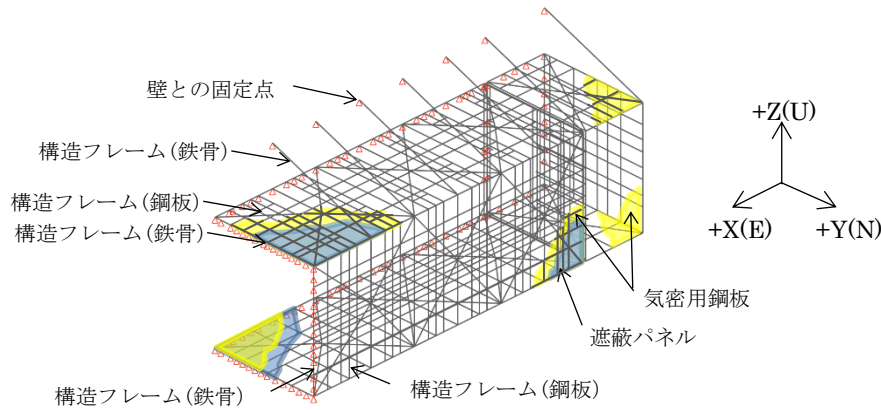
- ・気密用鋼板の応力評価

### b. 概要

- ・モデル 1 で選定した評価対象部位の気密用鋼板 1 枚をシェル要素として単体でモデル化し，構造フレーム（鋼板）との接合部位置を剛結合とする。
- ・モデル 1 のモデル化範囲に合わせ，部材芯範囲でモデル化する。
- ・モデル 1 の接合部には，モデル 1 の変位量を強制変位として与える。その他の気密用鋼板と構造フレーム（鋼板）との接合部には，モデル 1 の接合部変位量を線形補間した変位量を，強制変位として与える。
- ・気密用鋼板の慣性力を考慮する。
- ・モデル 3 のシェル要素の分割は，パネルに生じる応力を適切に表現できるようにする。
- ・シェル要素の要素数は 952 要素，節点数は 1015 節点
- ・シェル要素のメッシュサイズは，21～28 mm

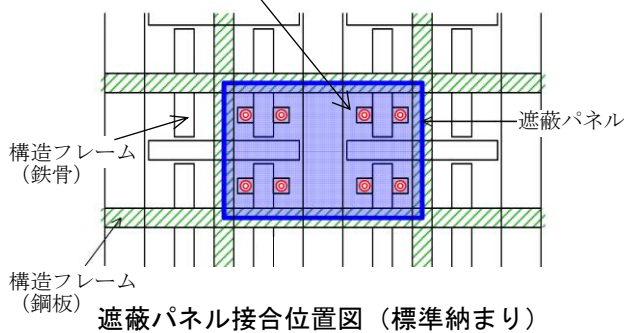
図 6-2 にモデル 1 における遮蔽パネルのひずみ分布図と最大ひずみとなる遮蔽パネル位置及びモデル 2 における遮蔽パネル応力度分布を示す。

図 6-3 にモデル 1 における気密用鋼板のひずみ分布図と最大ひずみとなる気密用鋼板位置及びモデル 3 における気密用鋼板応力度分布を示す。

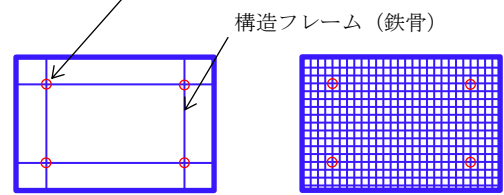


モデル 1

遮蔽パネルは、ボルトにて構造フレーム（鉄骨）と接合



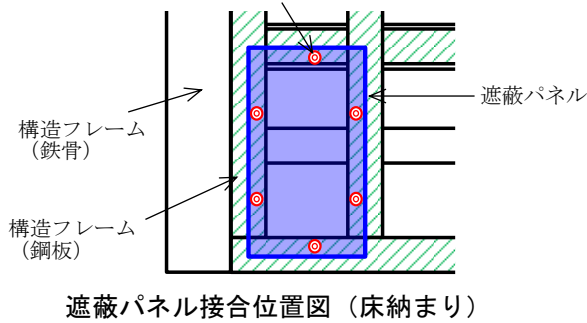
構造フレーム（鉄骨）と遮蔽パネルの接合点：  
剛部材（ピン結合）



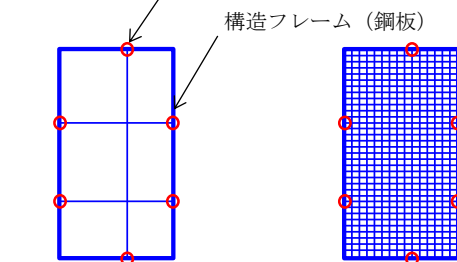
モデル 1  
遮蔽パネル分割例

モデル 2-1  
遮蔽パネル分割例 (\*1)

遮蔽パネルは、ボルトにて構造フレーム（鋼板）と接合



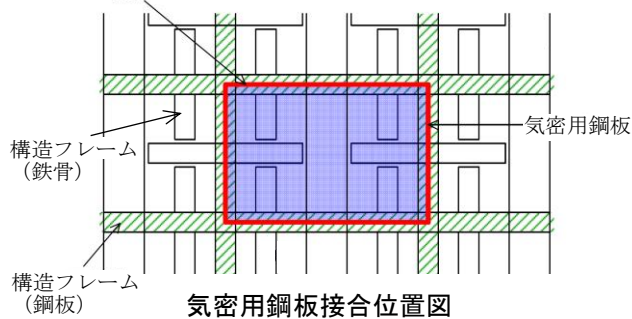
構造フレーム（鋼板）と遮蔽パネルの接合点：  
剛部材（ピン結合）



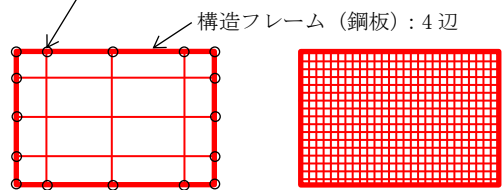
モデル 1  
遮蔽パネル分割例

モデル 2-2  
遮蔽パネル分割例 (\*1)

気密用鋼板は、周囲を溶接にて構造フレーム（鋼板）と接合



構造フレーム（鋼板）と気密用鋼板  
の接合点：剛結合



モデル 1  
気密用鋼板分割例

モデル 3  
気密用鋼板分割例 (\*2)

注記\*1：モデル 1 の接合点を剛部材（ピン結合）とし、モデル 1 の変位量を与える。

\*2：モデル 1 の接合点及びその他の構造フレーム（鋼板）と気密用鋼板の接合点を剛結合とする。

モデル 1 の接合点にはモデル 1 の変位量を与え、その他接合点には線形補間により算出した変位量を与える。

図 6-1 解析モデル概要図

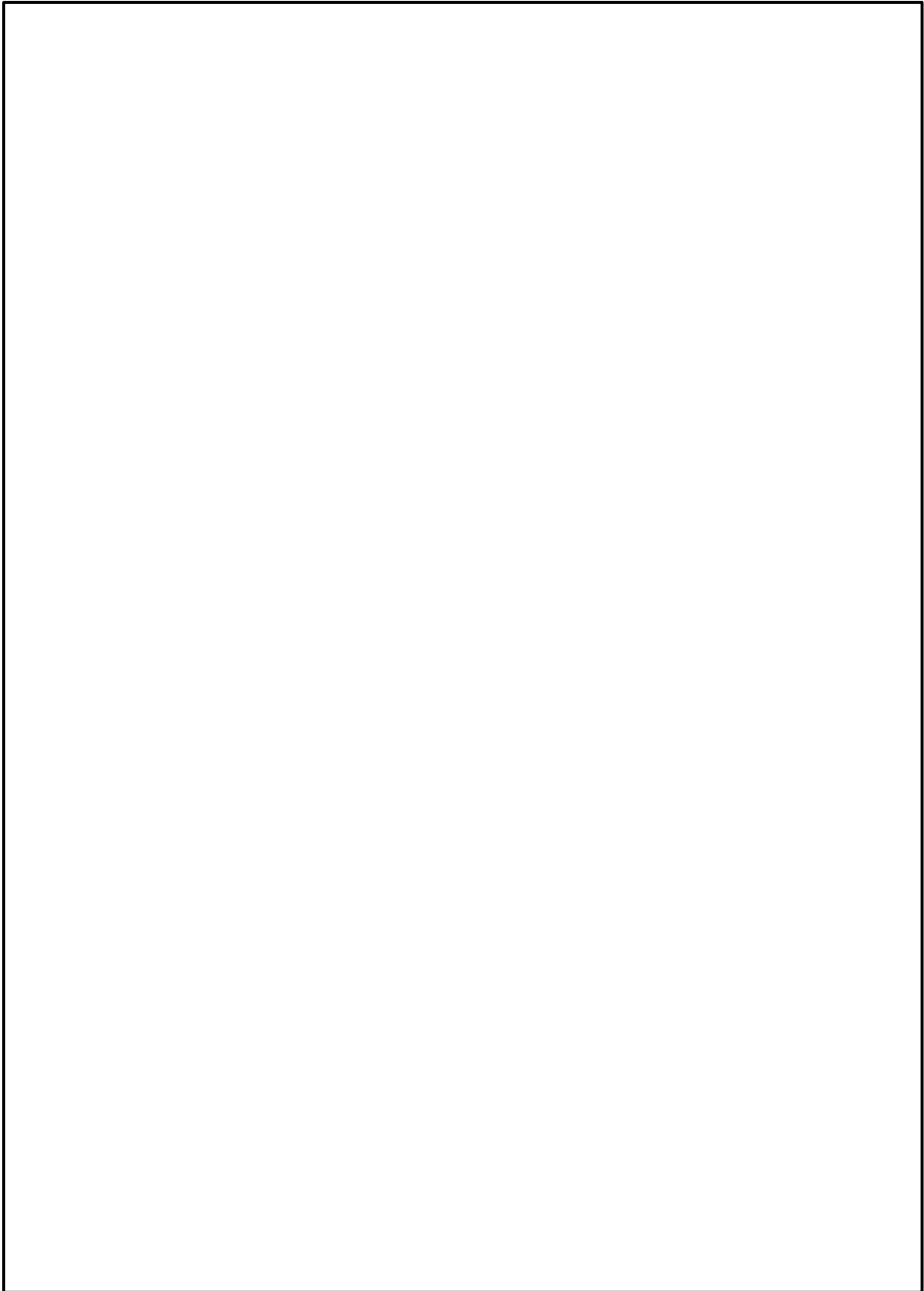


図 6-2 遮蔽パネルひずみ分布 (モデル 1) 及び応力度分布 (モデル 2) (1/2)

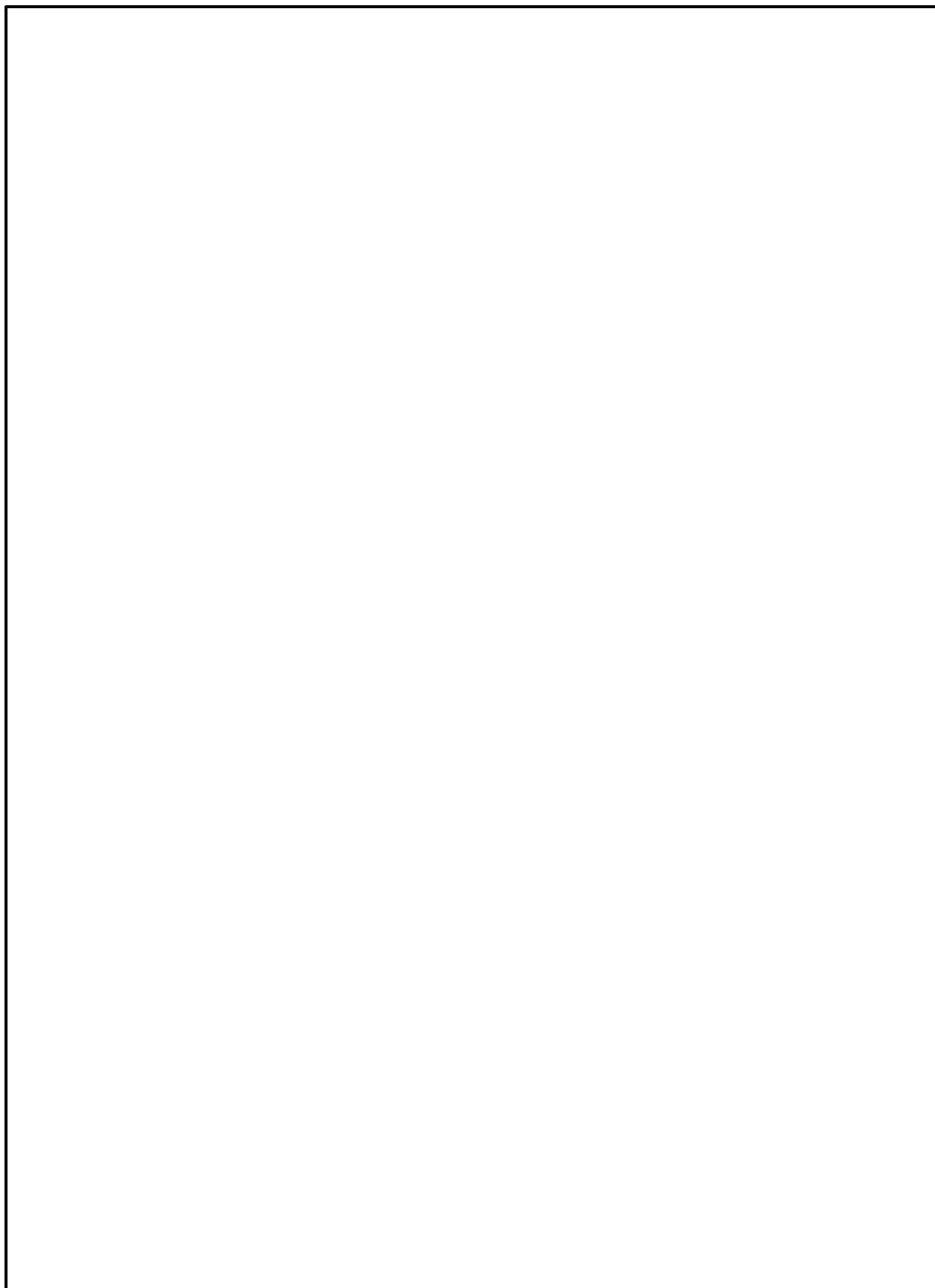


図 6-2 遮蔽パネルひずみ分布 (モデル 1) 及び応力度分布 (モデル 2) (2/2)

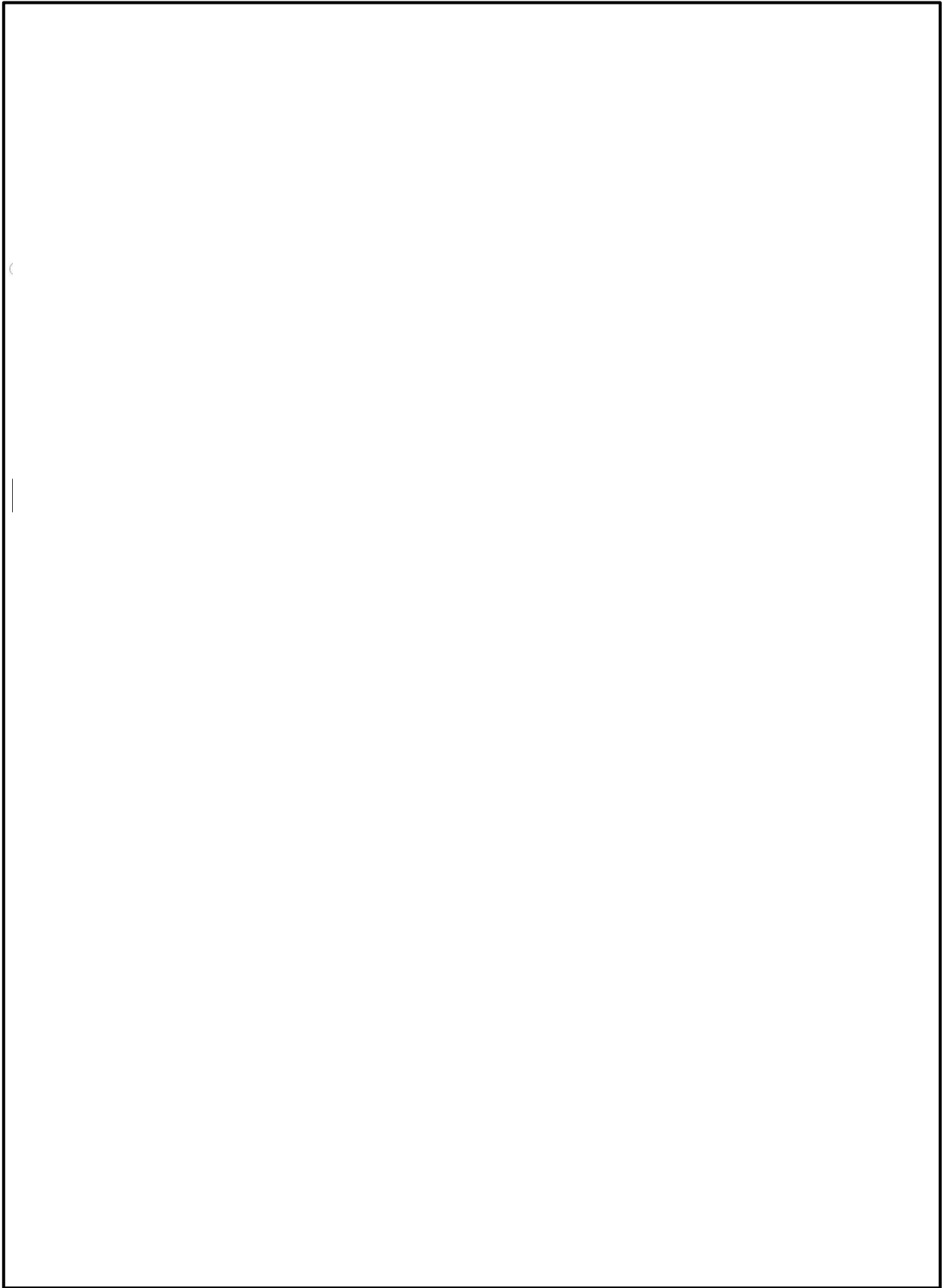
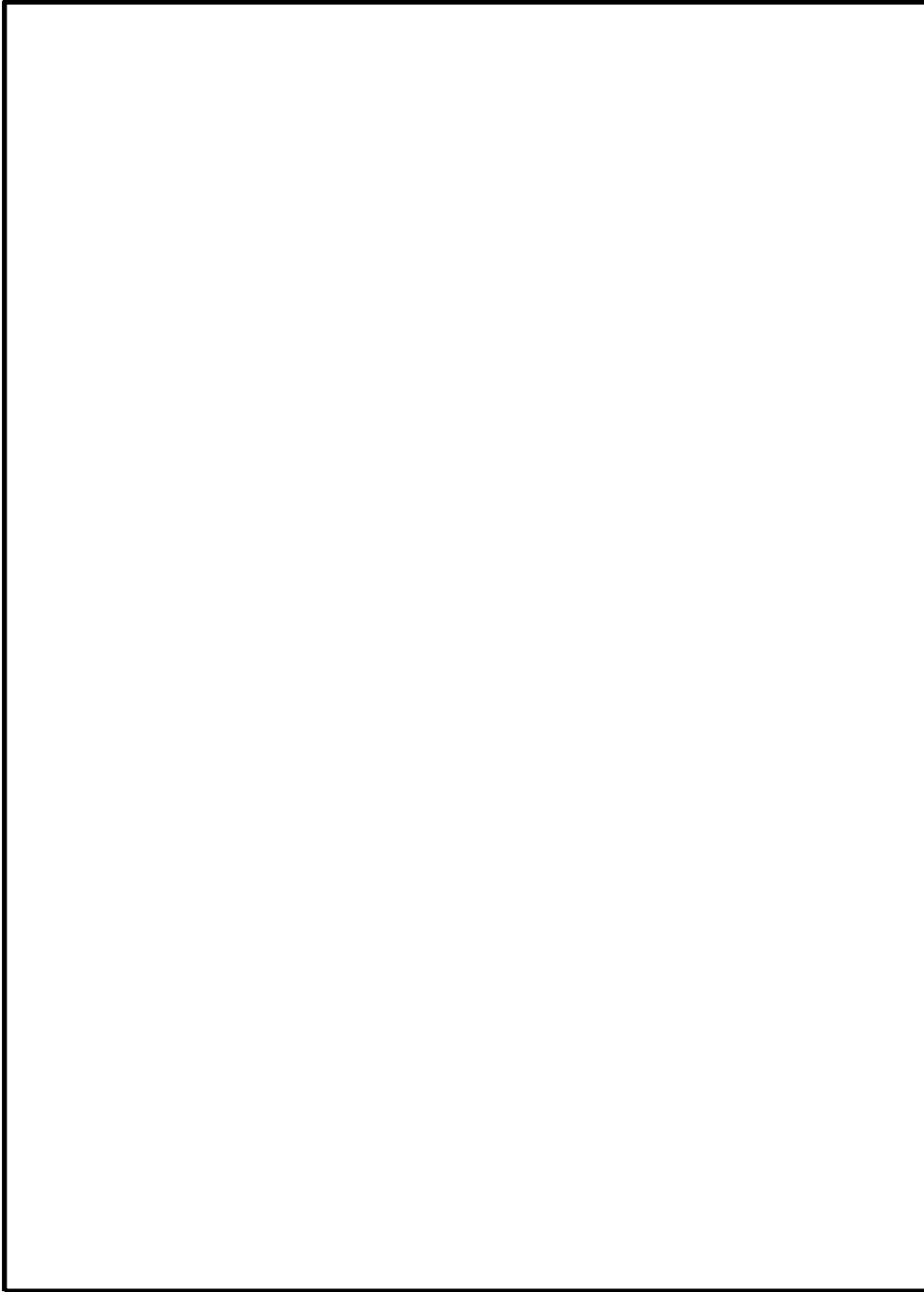


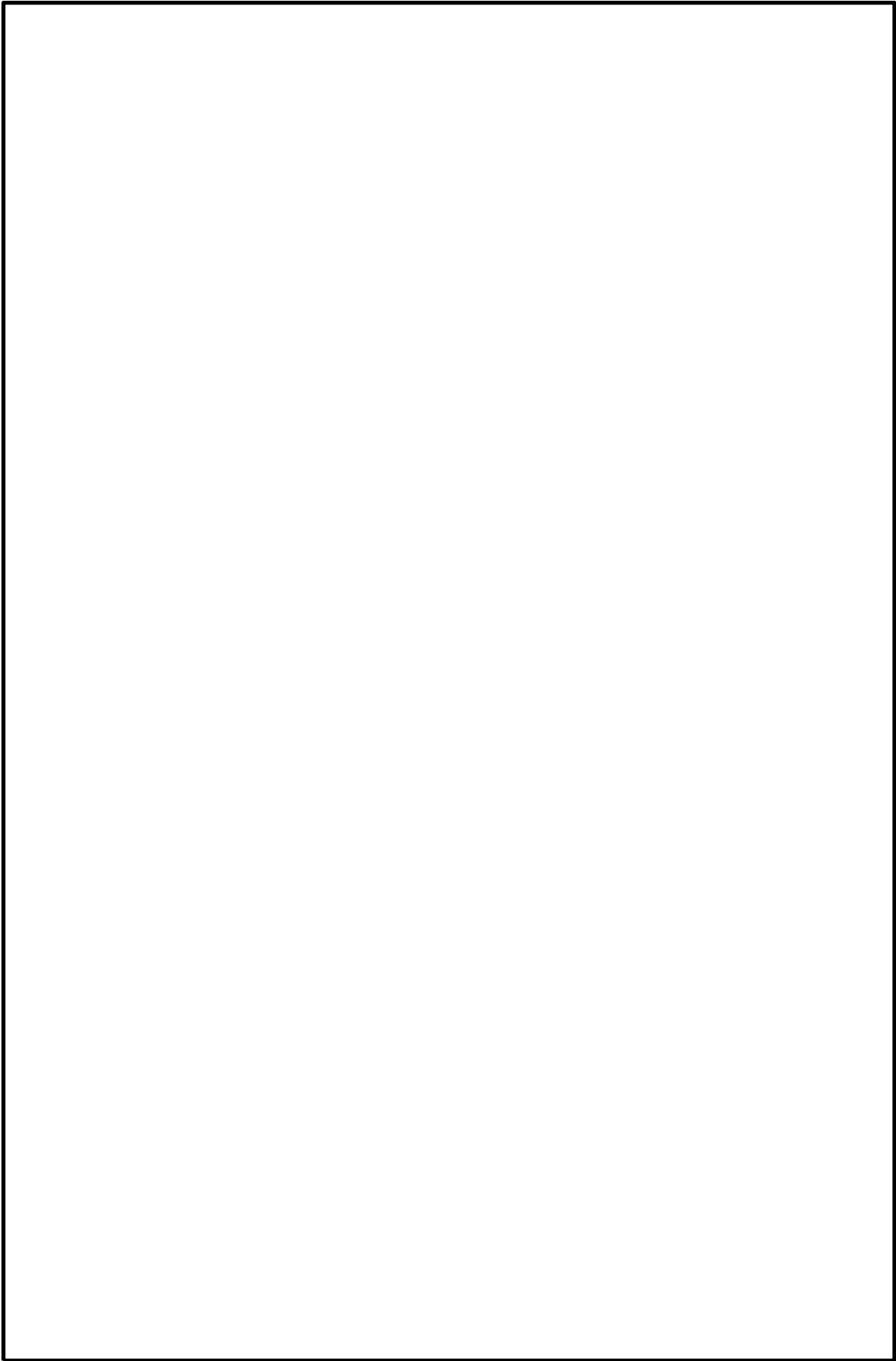
図 6-3 気密用鋼板ひずみ分布 (モデル 1) 及び応力度分布 (モデル 3)

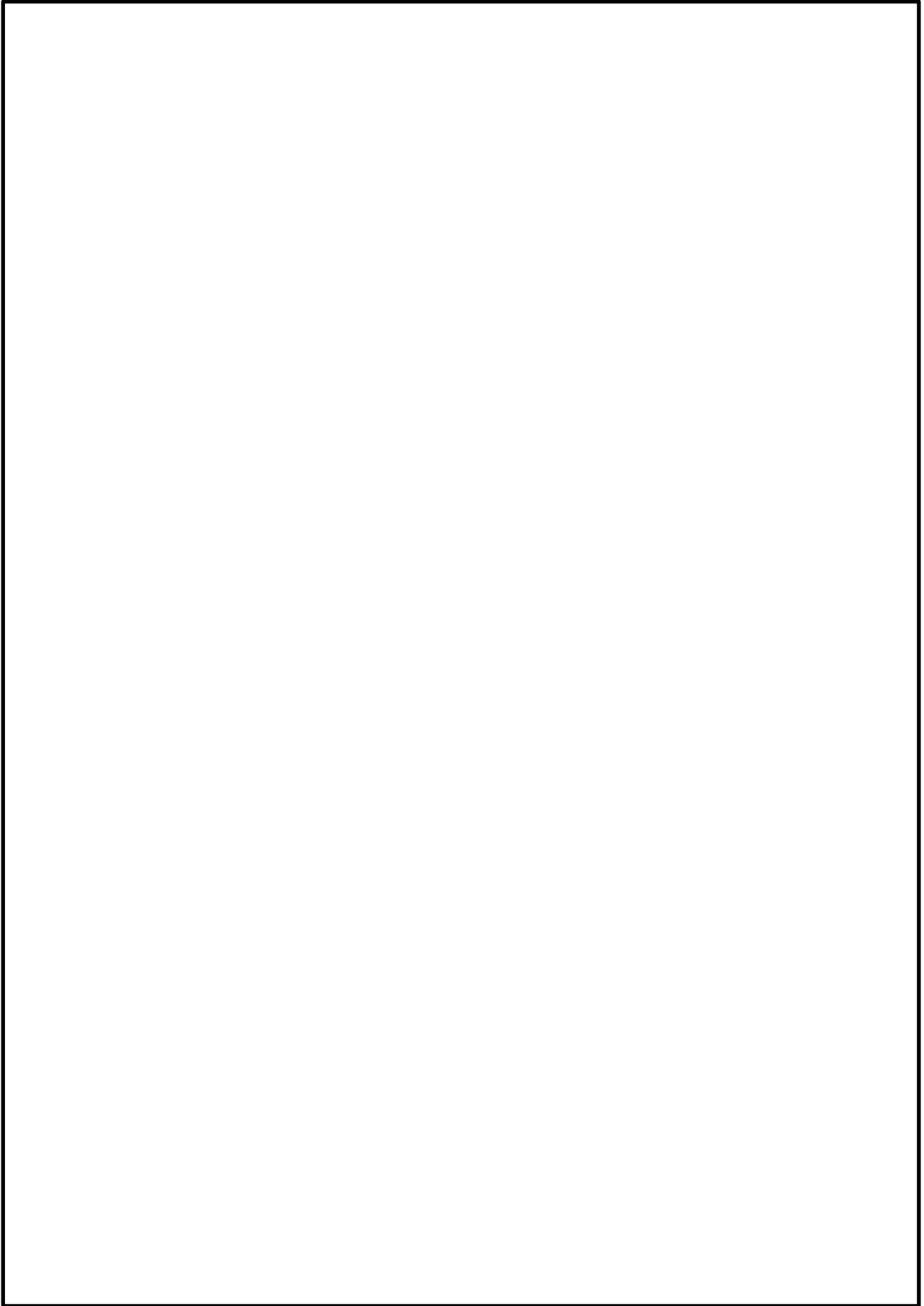


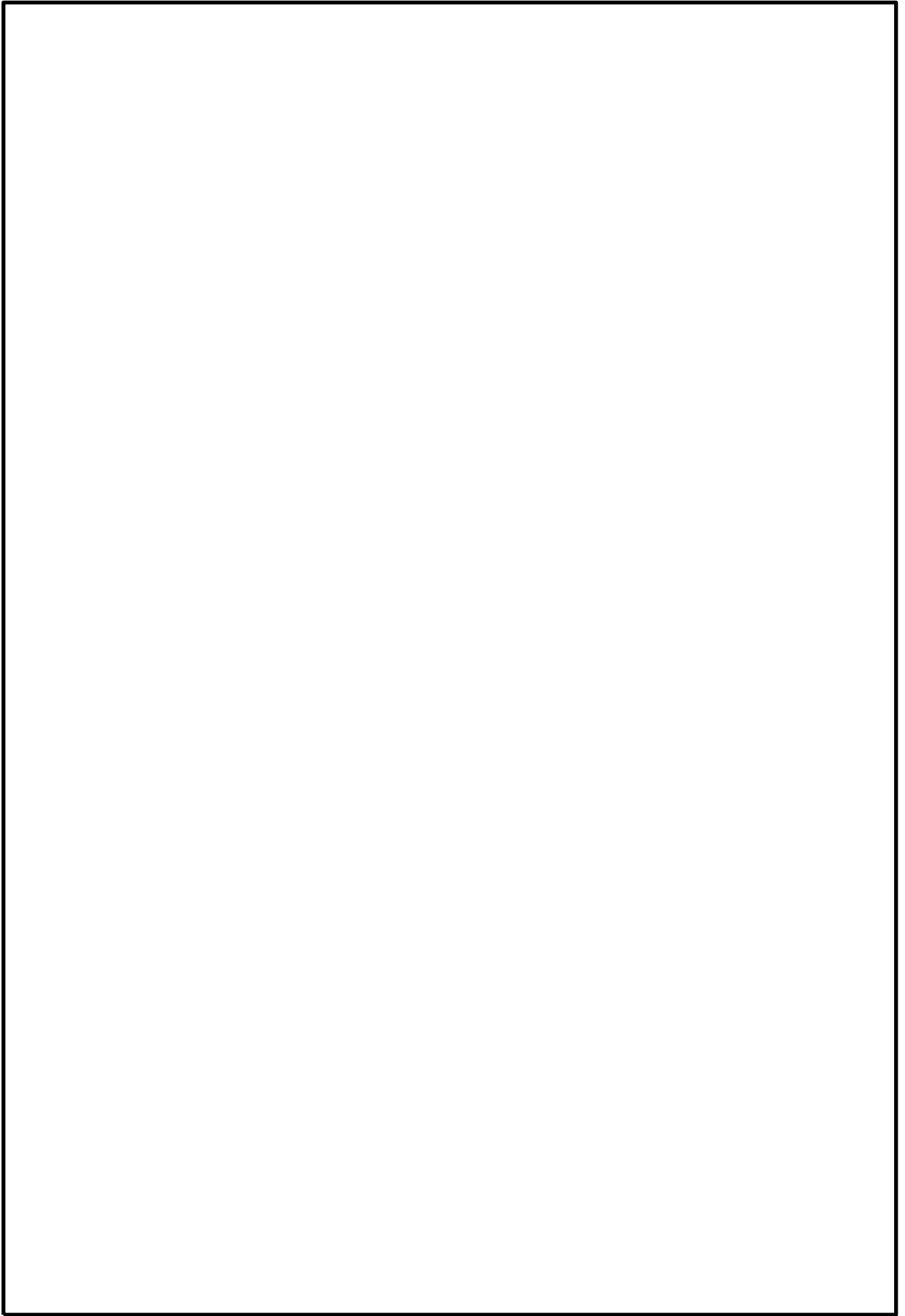
構造フレーム（鉄骨及び鋼板）の種別，断面サイズ及び解析モデル図

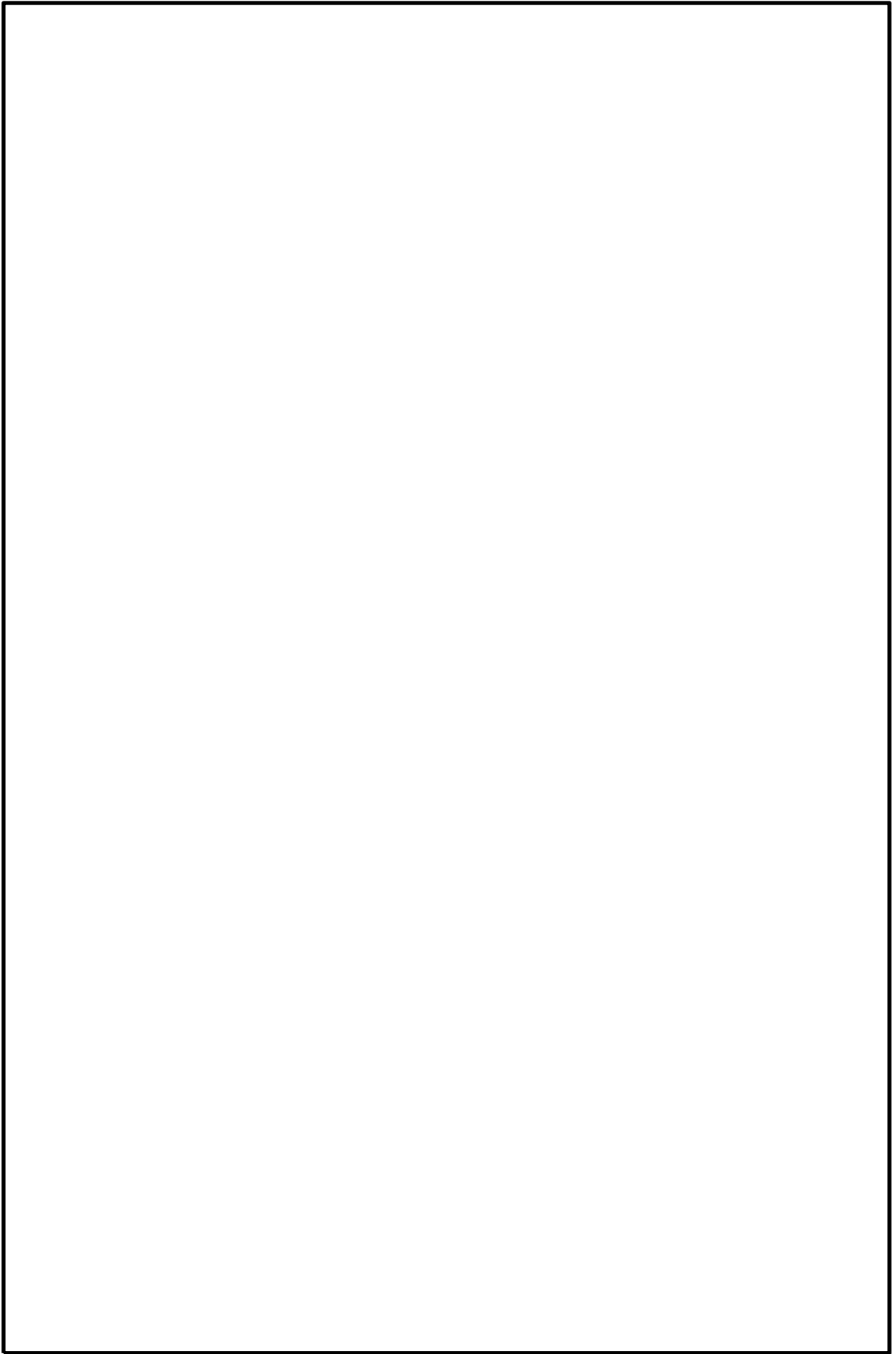


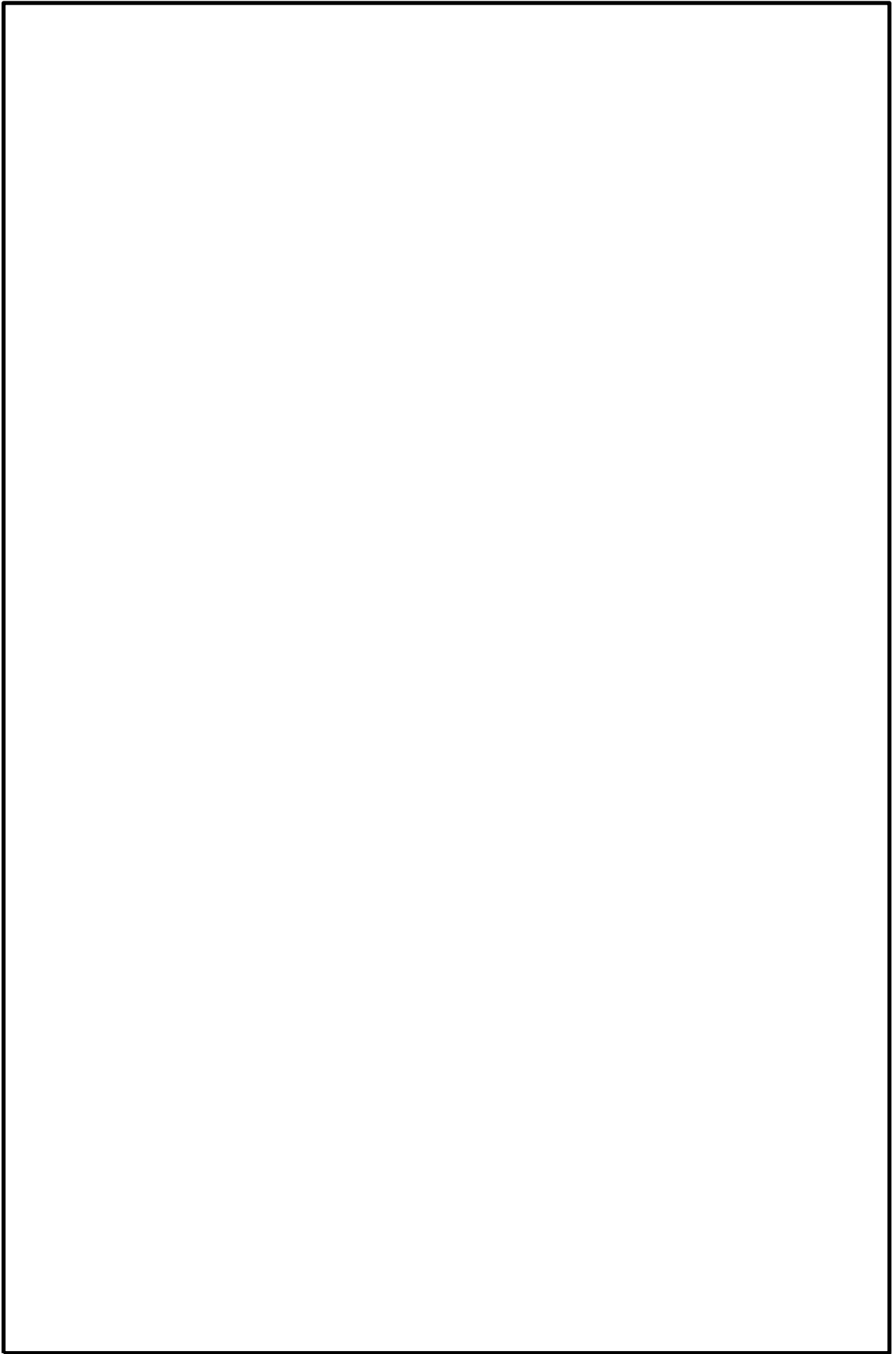
次頁以降に，構造フレーム（鉄骨）と構造フレーム（鋼板）の解析モデル図（凡例の記号は上表内の記号と対応）を示す。

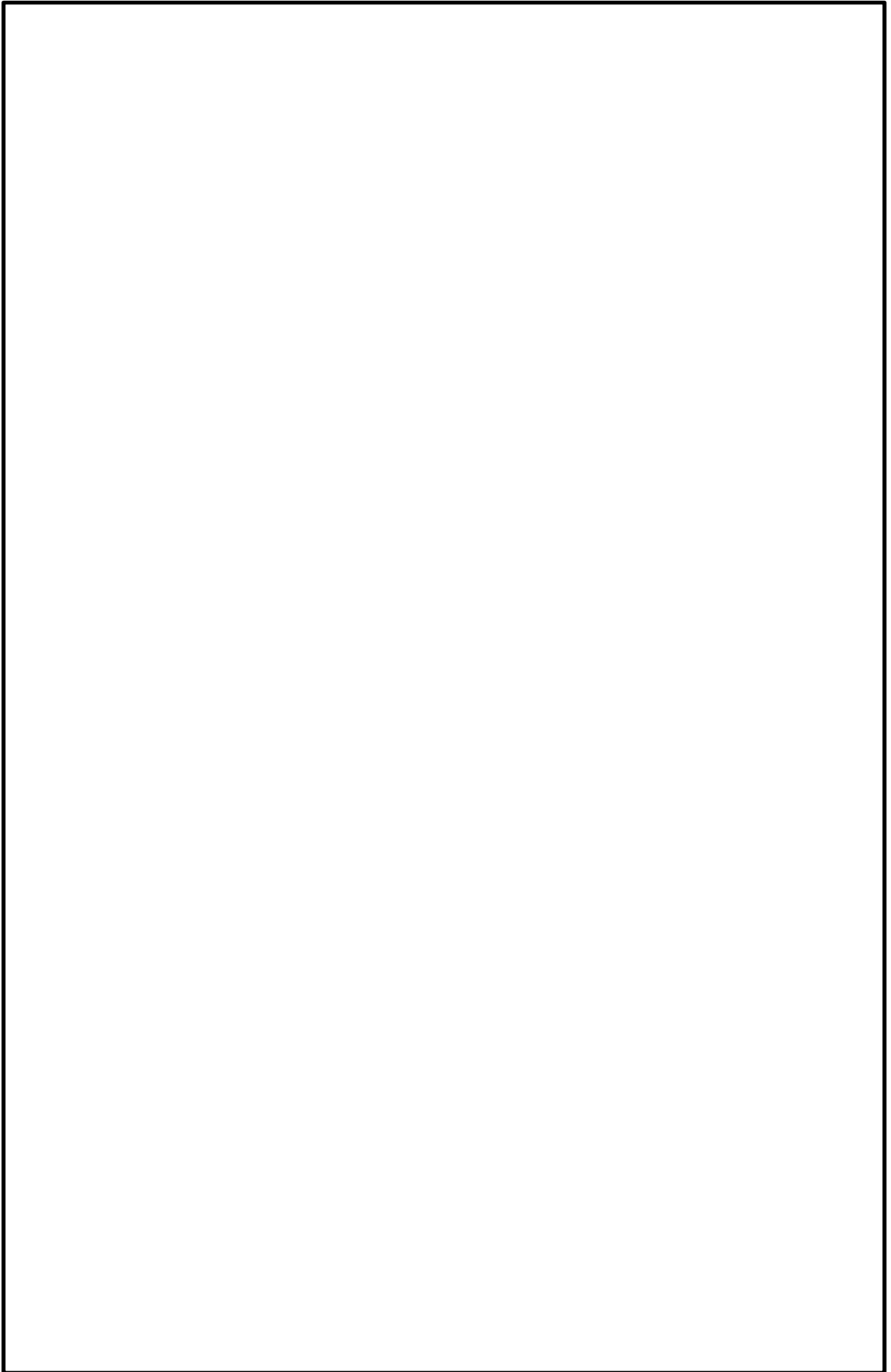
















遮蔽気密扉の重量設定方法



## 中央制御室待避室を支持する壁の耐震評価

## 1. 検討概要

中央制御室待避室は、基礎ボルトを介して制御室建物の南面及び東面の耐震壁で支持する構造となっている。

本資料では、中央制御室待避室を支持する制御室建物の耐震壁（以下「待避室支持壁」という。）について、 $S_s$ 地震時の中央制御室待避室の面外反力及び待避室支持壁の面外慣性力に対して十分な構造強度を有していることを確認する。

## 2. 構造概要

待避室支持壁の構造概要を図 2-1 に示す。

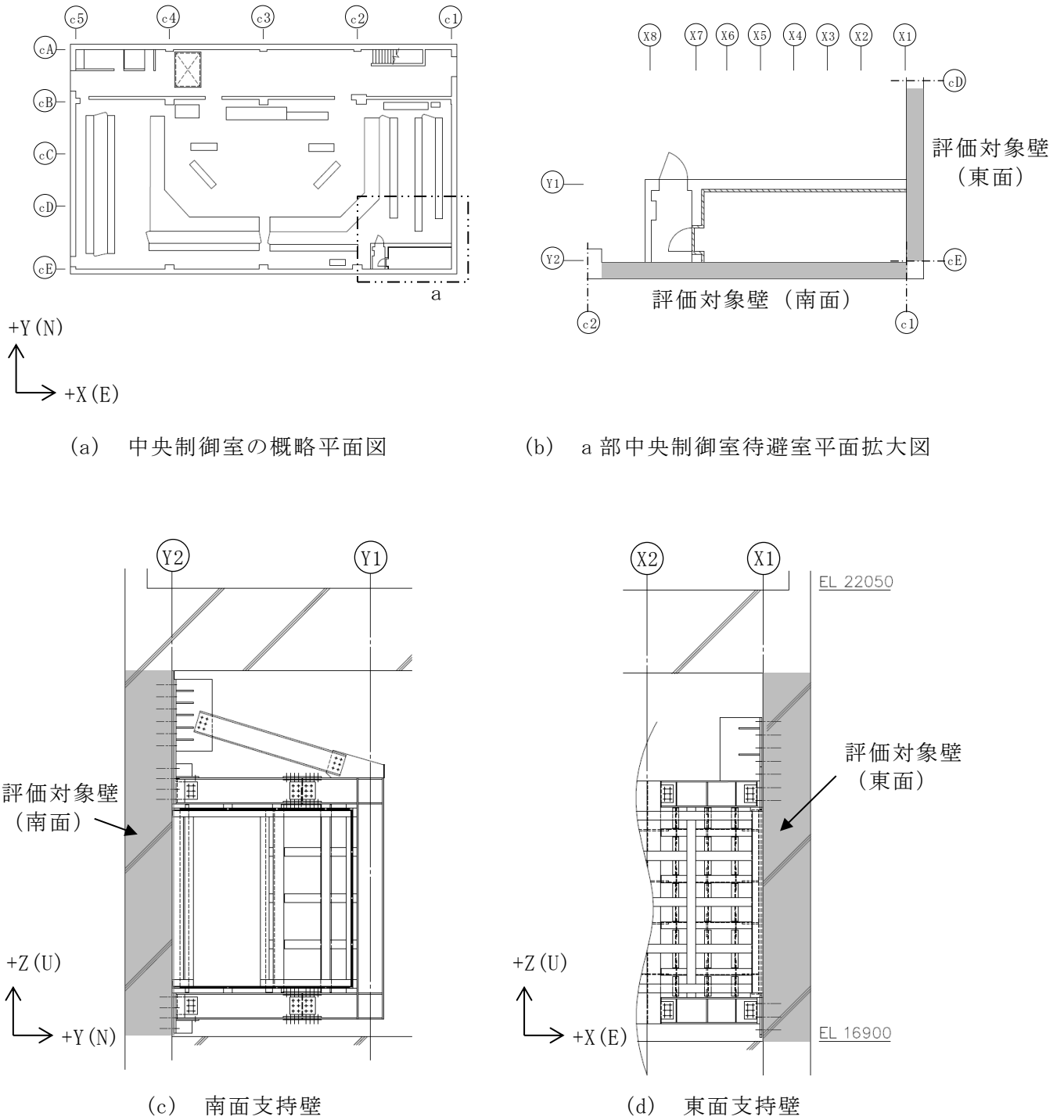


図 2-1 待避室支持壁の構造概要

### 3. 検討方針

待避室支持壁の評価は、FEMモデルを用いた弾性応力解析により行う。

S<sub>s</sub>地震時の中央制御室待避室の面外反力及び待避室支持壁の面外慣性力の組合せにより発生する応力が「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）」（以下「RC-N規準」という。）に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

### 4. 設計用地震力

#### (1) 中央制御室待避室の面外反力

中央制御室待避室の面外反力は、VI-2-8-4-4「中央制御室待避室遮蔽の耐震性についての計算書」による結果に基づく設計用震度Ⅱによる基礎ボルト反力を用いる。

#### (2) 待避室支持壁の面外慣性力

待避室支持壁の面外慣性力は、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」の結果に基づき、材料物性の不確かさを考慮した EL22.05m における S<sub>s</sub>地震時の水平方向最大応答加速度により設定した評価用震度に基づき算定する。

待避室支持壁の評価用震度を表 4-1 に示す。

表 4-1 待避室支持壁の評価用震度

方向	EL (m)	最大応答加速度* (cm/s <sup>2</sup> )	評価用震度
NS (南面支持壁評価用)	22.05	1367 (S <sub>s</sub> -D, ケース 1)	1.40
EW (東面支持壁評価用)		1984 (S <sub>s</sub> -D, ケース 2)	2.03

注記\*：VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」による結果に基づき材料物性の不確かさを考慮した値

## 5. 荷重及び荷重の組合せ

### (1) 荷重

#### a. 固定荷重 (G)

固定荷重として待避室支持壁の自重を考慮する。

#### b. 地震荷重

##### (a) 面外慣性力 ( $S_s$ )

待避室支持壁の面外慣性力は、「4. 設計用地震力」で設定した評価用震度を用いて算定する。

##### (b) 中央制御室待避室の面外反力 ( $U_s$ )

中央制御室待避室の面外反力は、VI-2-8-4-4「中央制御室待避室遮蔽の耐震性についての計算書」の中央制御室待避室遮蔽の解析モデルによる応力解析により、基礎ボルト位置に生じる反力を考慮する。

### (2) 荷重の組合せ

待避室支持壁の評価に用いる荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
$S_s$ 地震時	$G + S_s + U_s$

G : 固定荷重

$S_s$  : 面外慣性力

$U_s$  : 中央制御室待避室の面外反力

## 6. 許容限界

### (1) コンクリート

「RC-N規準」に基づき算定した短期許容応力度を表6-1に示す。

表6-1 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 F <sub>c</sub>	圧縮	せん断
22.1	14.6	1.06

### (2) 鉄筋

「RC-N規準」に基づく短期許容応力度を表6-2に示す。

表6-2 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種別	引張及び 圧縮	せん断
SD35 (SD345相当)	345*	345

注記\*：設計に用いる材料強度は「平12建告第2464号」に基づき、短期許容応力度を1.1倍して算定する。

## 7. 評価方法

### (1) 解析モデル及び諸元

応力解析は、FEMモデルを用いた弾性応力解析とする。解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。

解析モデルの概念図を図7-1に、解析モデル図を図7-2に示す。

解析モデルに使用するFEM要素はシェル要素とし、境界条件は柱及びはりを固定とする。

使用材料の物性値を表7-1に示す。

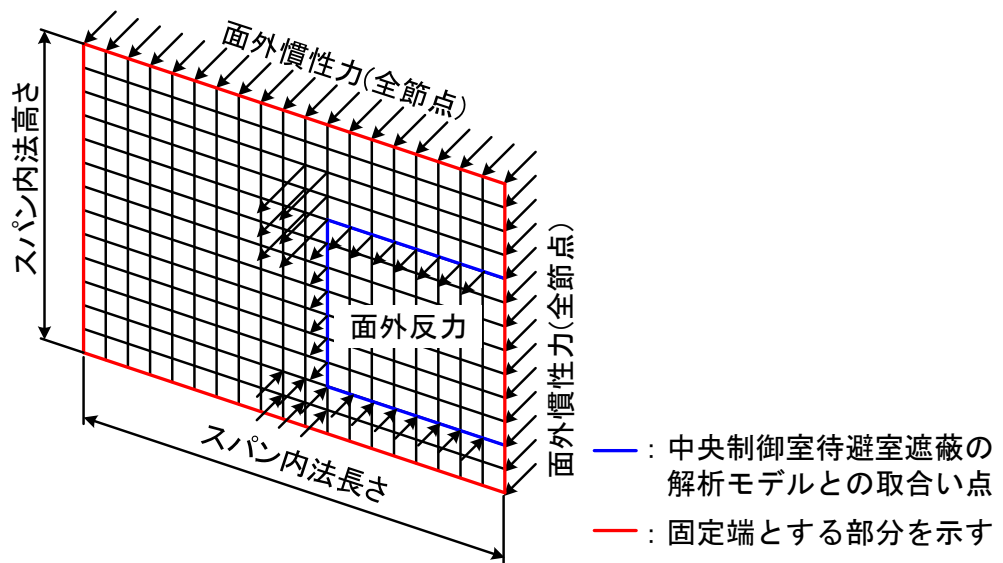


図7-1 解析モデルの概念図

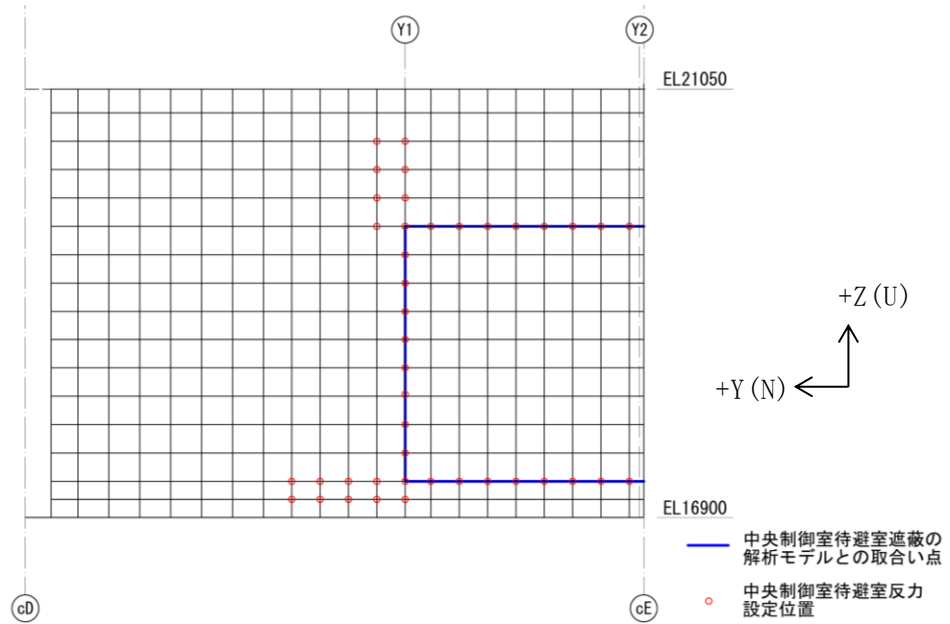
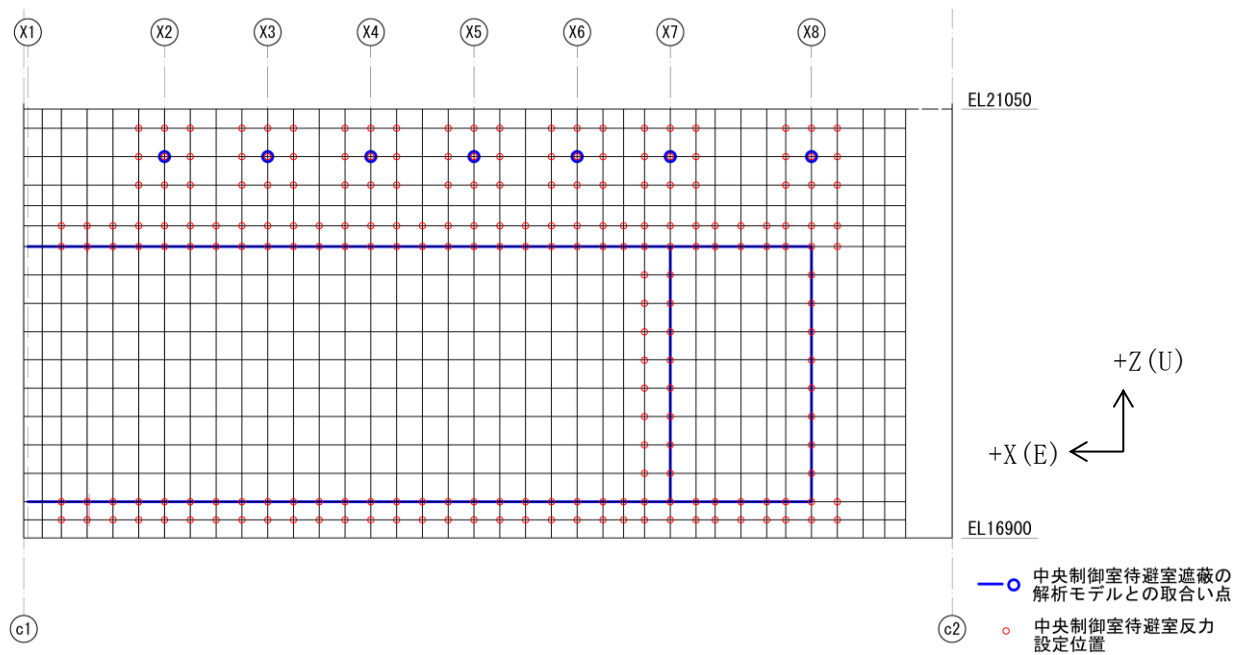


図 7-2 解析モデル

表 7-1 使用材料の物性値

コンクリートの 設計基準強度 $F_c$ ( $N/mm^2$ )	ヤング係数 $E$ ( $N/mm^2$ )	ポアソン比 $\nu$
22.1	$2.20 \times 10^4$	0.2



(2) 荷重ケース

$S_s$  地震時の応力は，次の荷重を組み合わせる。

- $G$  : 固定荷重
- $S_{s\ S\ N}$  : S → N 方向 面外慣性力
- $S_{s\ W\ E}$  : W → E 方向 面外慣性力
- $U_{s\ i}$  : 中央制御室待避室の面外反力

(3) 荷重の組合せケース

VI-2-8-4-4「中央制御室待避室遮蔽の耐震性についての計算書」における中央制御室待避室の解析ケースに対して求まる面外反力と、待避室支持壁の評価用震度による面外慣性力を組み合わせる。

待避室支持壁評価における荷重の組合せケースを表 7-2 に示す。

表 7-2(1) 待避室支持壁評価における荷重の組合せケース

(a) 南面支持壁

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ*
S <sub>s</sub> 地震時	1-1	$G + 1.0 S_s S_N + U_{s1}$
	1-2	$G + 1.0 S_s S_N + U_{s2}$
	1-3	$G + 1.0 S_s S_N + U_{s3}$
	1-4	$G + 1.0 S_s S_N + U_{s4}$
	1-5	$G - 1.0 S_s S_N + U_{s5}$
	1-6	$G - 1.0 S_s S_N + U_{s6}$
	1-7	$G - 1.0 S_s S_N + U_{s7}$
	1-8	$G - 1.0 S_s S_N + U_{s8}$
	1-9	$G + 0.4 S_s S_N + U_{s9}$
	1-10	$G - 0.4 S_s S_N + U_{s10}$
	1-11	$G + 0.4 S_s S_N + U_{s11}$
	1-12	$G - 0.4 S_s S_N + U_{s12}$
	1-13	$G + 0.4 S_s S_N + U_{s13}$
	1-14	$G - 0.4 S_s S_N + U_{s14}$
	1-15	$G + 0.4 S_s S_N + U_{s15}$
	1-16	$G - 0.4 S_s S_N + U_{s16}$
	1-17	$G + 0.4 S_s S_N + U_{s17}$
	1-18	$G + 0.4 S_s S_N + U_{s18}$
	1-19	$G - 0.4 S_s S_N + U_{s19}$
	1-20	$G - 0.4 S_s S_N + U_{s20}$
	1-21	$G + 0.4 S_s S_N + U_{s21}$
	1-22	$G + 0.4 S_s S_N + U_{s22}$
	1-23	$G - 0.4 S_s S_N + U_{s23}$
	1-24	$G - 0.4 S_s S_N + U_{s24}$

注記\*：中央制御室待避室の面外反力 $U_{s1} \sim U_{s24}$ と中央制御室待避室遮蔽の解析ケースの対応は、「参考資料 中央制御室待避室の面外反力及び荷重の組合せ」に示す。

表 7-2(2) 待避室支持壁評価における荷重の組合せケース

(b) 東面支持壁

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ*
S <sub>s</sub> 地震時	2-1	$G + 0.4 S_{sWE} + U_{s1}$
	2-2	$G - 0.4 S_{sWE} + U_{s2}$
	2-3	$G + 0.4 S_{sWE} + U_{s3}$
	2-4	$G - 0.4 S_{sWE} + U_{s4}$
	2-5	$G + 0.4 S_{sWE} + U_{s5}$
	2-6	$G - 0.4 S_{sWE} + U_{s6}$
	2-7	$G + 0.4 S_{sWE} + U_{s7}$
	2-8	$G - 0.4 S_{sWE} + U_{s8}$
	2-9	$G + 1.0 S_{sWE} + U_{s9}$
	2-10	$G + 1.0 S_{sWE} + U_{s10}$
	2-11	$G + 1.0 S_{sWE} + U_{s11}$
	2-12	$G + 1.0 S_{sWE} + U_{s12}$
	2-13	$G - 1.0 S_{sWE} + U_{s13}$
	2-14	$G - 1.0 S_{sWE} + U_{s14}$
	2-15	$G - 1.0 S_{sWE} + U_{s15}$
	2-16	$G - 1.0 S_{sWE} + U_{s16}$
	2-17	$G + 0.4 S_{sWE} + U_{s17}$
	2-18	$G - 0.4 S_{sWE} + U_{s18}$
	2-19	$G + 0.4 S_{sWE} + U_{s19}$
	2-20	$G - 0.4 S_{sWE} + U_{s20}$
	2-21	$G + 0.4 S_{sWE} + U_{s21}$
	2-22	$G - 0.4 S_{sWE} + U_{s22}$
	2-23	$G + 0.4 S_{sWE} + U_{s23}$
	2-24	$G - 0.4 S_{sWE} + U_{s24}$

注記\*：中央制御室待避室の面外反力 $U_{s1} \sim U_{s24}$ と中央制御室待避室遮蔽の解析ケースの対応は、「参考資料 中央制御室待避室の面外反力及び荷重の組合せ」に示す。

(4) 断面の評価方法

待避室支持壁の断面の評価は以下の方法で行う。

曲げモーメント及び面外せん断力を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

断面力成分を図 7-3 に示す。

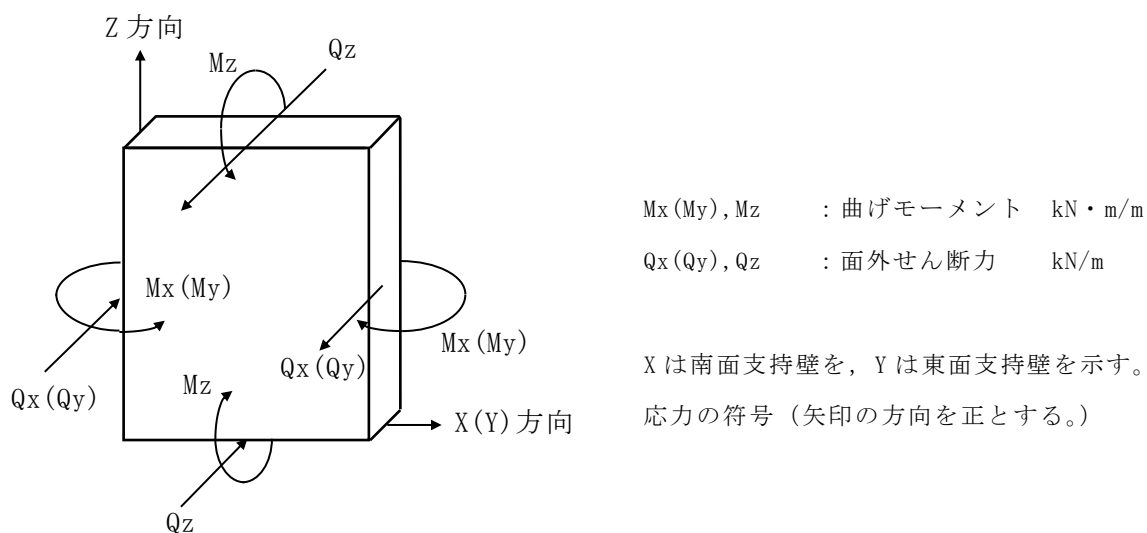


図 7-3 断面力成分

a. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる曲げモーメントが次式をもとに計算した許容曲げモーメントを超えないことを確認する。

$$M_A = a_t \cdot f_t \cdot j$$

ここで、

$M_A$  : 許容曲げモーメント ( $\text{N} \cdot \text{mm}$ )

$a_t$  : 引張鉄筋断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$f_t$  : 鉄筋の許容引張応力度で、表 6-2 に示す値\* ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$j$  : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 ( $\text{mm}$ )

注記\* : 「平 12 建告第 2464 号」に基づく鉄筋の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで、

$Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)

$b$  : 断面の幅 (mm)

$j$  : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

$\alpha$  : 許容せん断力の割増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)

$Q$  : せん断力 (N)

$d$  : 断面の有効せい (mm)

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表 6-1 に示す値 (N/mm<sup>2</sup>)

8. 断面の評価結果

評価結果については、各待避室支持壁について曲げモーメント及び面外せん断力に対する検討において、検定値が最大となる要素をそれぞれ選定する。

待避室支持壁の断面の評価結果を表 8-1 に示す。

発生する曲げモーメント及び面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。

表 8-1 待避室支持壁の断面の評価結果

検討ケース		S s 地震時	
検討位置		南面支持壁	東面支持壁
厚さ t (mm) ×幅 b (mm)		□×1000	□×1000
有効せい d (mm)		□	□
配筋	縦筋 (鉄筋断面積)	D22@200 (1935 mm <sup>2</sup> /m)	D19@200 (1435 mm <sup>2</sup> /m)
	横筋 (鉄筋断面積)	D22@200 (1935 mm <sup>2</sup> /m)	D19@200 (1435 mm <sup>2</sup> /m)
曲げモーメント	方向	Z 方向	Z 方向
	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	65.6	95.9
	許容限界 (kN・m/m)	263.0	197.4
	検定値	0.25	0.49
面外せん断力	方向	Z 方向	Z 方向
	発生せん断力 Q (kN/m)	206.4	270.3
	許容限界 (kN/m)	760.5	769.8
	検定値	0.28	0.36
判定		可	可

中央制御室待避室の面外反力及び荷重の組合せ

VI-2-8-4-4「中央制御室待避室遮蔽の耐震性についての計算書」の中央制御室待避室遮蔽の評価における荷重の組合せと面外反力の対応を表1に示す。

表1 中央制御室待避室遮蔽の評価における荷重の組合せと面外反力の対応

外力の状態	面外反力	中央制御室待避室の荷重の組合せ*1			
		ケース No.	設計用震度*2		
			N S 方向	E W 方向	鉛直方向
S s 地震時	$U_{s1}$	1	$1.0C_H$	$0.4C_H$	$0.4C_V$
	$U_{s2}$	2	$1.0C_H$	$-0.4C_H$	$0.4C_V$
	$U_{s3}$	3	$1.0C_H$	$0.4C_H$	$-0.4C_V$
	$U_{s4}$	4	$1.0C_H$	$-0.4C_H$	$-0.4C_V$
	$U_{s5}$	5	$-1.0C_H$	$0.4C_H$	$0.4C_V$
	$U_{s6}$	6	$-1.0C_H$	$-0.4C_H$	$0.4C_V$
	$U_{s7}$	7	$-1.0C_H$	$0.4C_H$	$-0.4C_V$
	$U_{s8}$	8	$-1.0C_H$	$-0.4C_H$	$-0.4C_V$
	$U_{s9}$	9	$0.4C_H$	$1.0C_H$	$0.4C_V$
	$U_{s10}$	10	$-0.4C_H$	$1.0C_H$	$0.4C_V$
	$U_{s11}$	11	$0.4C_H$	$1.0C_H$	$-0.4C_V$
	$U_{s12}$	12	$-0.4C_H$	$1.0C_H$	$-0.4C_V$
	$U_{s13}$	13	$0.4C_H$	$-1.0C_H$	$0.4C_V$
	$U_{s14}$	14	$-0.4C_H$	$-1.0C_H$	$0.4C_V$
	$U_{s15}$	15	$0.4C_H$	$-1.0C_H$	$-0.4C_V$
	$U_{s16}$	16	$-0.4C_H$	$-1.0C_H$	$-0.4C_V$
	$U_{s17}$	17	$0.4C_H$	$0.4C_H$	$1.0C_V$
	$U_{s18}$	18	$0.4C_H$	$-0.4C_H$	$1.0C_V$
	$U_{s19}$	19	$-0.4C_H$	$0.4C_H$	$1.0C_V$
	$U_{s20}$	20	$-0.4C_H$	$-0.4C_H$	$1.0C_V$
	$U_{s21}$	21	$0.4C_H$	$0.4C_H$	$-1.0C_V$
	$U_{s22}$	22	$0.4C_H$	$-0.4C_H$	$-1.0C_V$
	$U_{s23}$	23	$-0.4C_H$	$0.4C_H$	$-1.0C_V$
	$U_{s24}$	24	$-0.4C_H$	$-0.4C_H$	$-1.0C_V$

注記\*1：  $C_H$ 及び $C_V$ はVI-2-8-4-4「中央制御室待避室遮蔽の耐震性についての計算書」の表4-5  
設計用地震力（重大事故等対処設備）における水平方向及び鉛直方向の設計用震度を示す。

\*2： 荷重の向きは， S→N， W→E， U→Dを正とする。

## 遮蔽気密扉の健全性評価

## 1. 概要

本計算書はVI-2-1-9「機能維持の基本方針」の構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、中央制御室待避室遮蔽の遮蔽気密扉が地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

その耐震評価は、遮蔽気密扉に要求される機能の維持を確認するために、応力評価に基づく、構造部材の健全性評価により行う。

## 2. 一般事項

## 2.1 検討対象扉一覧

検討対象の遮蔽気密扉を表 2-1 に示す。

表 2-1 検討対象遮蔽気密扉

扉名称	設置高さ
	EL
中央制御室待避室遮蔽 遮蔽気密扉	16.900m

## 2.2 配置概要

遮蔽気密扉の設置位置図を図 2-1 に示す。

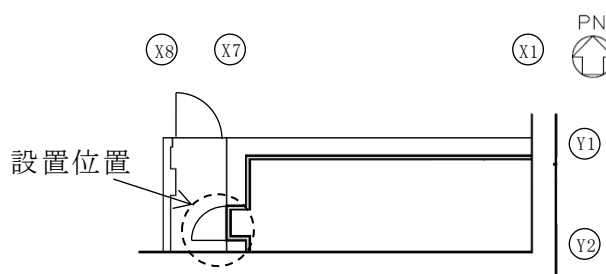


図 2-1 遮蔽気密扉の設置位置図



### 2.3 構造計画

遮蔽気密扉の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2 遮蔽気密扉の構造計画

計画の概要		概略構造図
支持構造	主体構造	
<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキにより扉と扉枠が一体化する構造とする。</p>	<p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と扉枠の接続はヒンジを介する構造とする。</p> <p>扉枠は構造フレーム（鋼板）に溶接で接続する。</p> <p>気密性能を担保するため、遮蔽気密扉の、扉枠と接する 4 辺にわたって気密ゴムを取付ける。</p>	

## 2.4 評価方針

遮蔽気密扉の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.3 構造計画」に示す遮蔽気密扉の構造を踏まえ、「4.1 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「3.固有振動数及び設計用地震力」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「4.4 評価方法」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図 2-2 に示す。遮蔽気密扉の耐震評価においては、その構造を踏まえ基準地震動  $S_s$  による地震荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し、評価対象部位を設定する。

遮蔽気密扉の耐震評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ）の発生応力を算定し、許容限界との比較を行う。

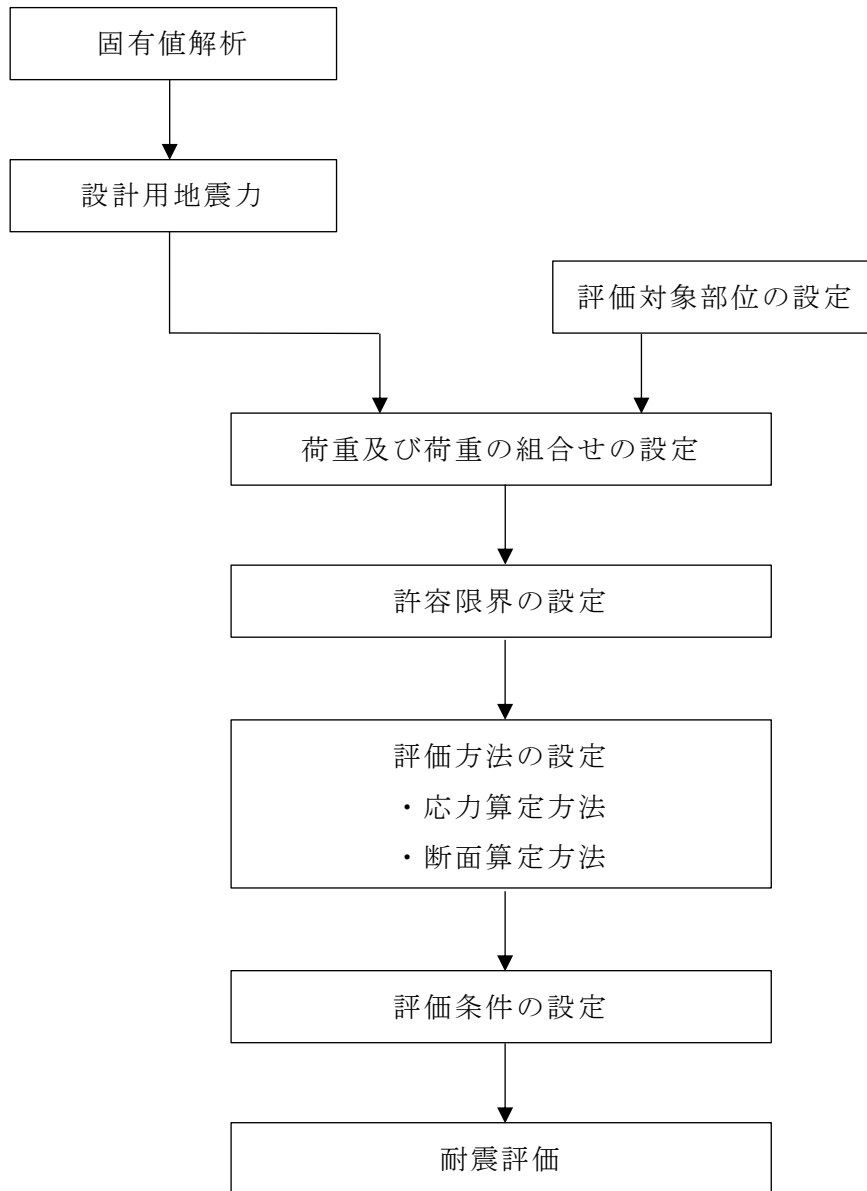


図 2-2 遮蔽気密扉の耐震評価フロー

## 2.5 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令
- (2) 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）
- (3) J I S G 4 3 0 3－2012 ステンレス鋼棒
- (4) J I S G 4 0 5 1－2016 機械構造用炭素鋼鋼材
- (5) J I S G 4 0 5 3－2016 機械構造用合金鋼鋼材
- (6) 構造力学公式集（土木学会）

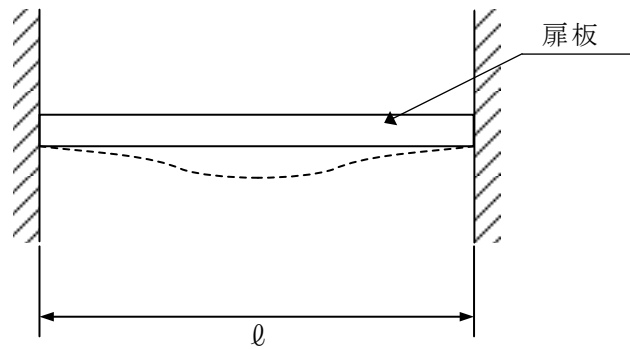
### 3. 固有振動数及び設計用地震力

#### 3.1 固有値計算

遮蔽気密扉の構造に応じて解析モデルを設定し、1次固有振動数を算出する。

遮蔽気密扉は、ヒンジ部及びカンヌキ部により扉と扉枠を固定する構造であることから、扉閉止時については両端固定はり、扉開放時についてはヒンジ、自由端はりに単純化したモデルとし、モデル化に用いる扉板の長さは扉幅とする。解析モデル図を図3-1に示す。

扉閉止時



扉開放時

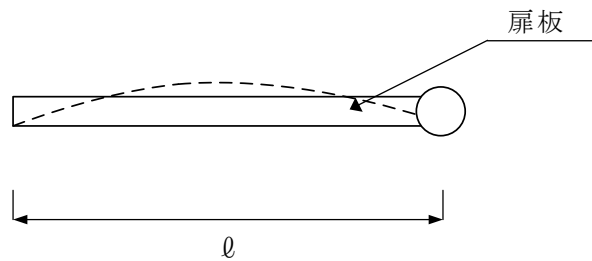


図3-1 固有値解析モデル

### 3.2 固有振動数の算出条件等

#### 3.2.1 記号の説明

遮蔽気密扉の固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	遮蔽気密扉の 1 次固有振動数
$\varrho$	m	モデル化に用いる扉板の長さ
E	N/m <sup>2</sup>	ヤング率
I	m <sup>4</sup>	断面二次モーメント
m	kg/m	質量分布

#### 3.2.2 固有振動数の算出方法

遮蔽気密扉は、1 次固有振動数 f を「構造力学公式集（土木学会）（以下「構造力学公式集」という。）」に基づき以下の式より算出する。ここで、固有振動数は水平方向（扉体面外方向）について算出するものとし、鉛直方向（扉体面内方向）については、扉板の軸剛性が、面外方向の剛性に比べて十分に大きいため、固有振動数の算出を省略する。

##### (1) 扉閉止時

両端固定はりモデル

$$f = \frac{4.7300^2}{2\pi\varrho^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

##### (2) 扉開放時

扉開放時においては、面外方向については剛体モード（固有振動数がほぼゼロ）となり、これに伴う荷重の増幅は生じないが、本評価においては保守的に扉板が自由振動するものとして、下記の評価式にて固有振動数を算出する。

ヒンジ、自由端はりモデル

$$f = \frac{3.9266^2}{2\pi\varrho^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

### 3.2.3 固有振動数の算出条件

遮蔽気密扉の固有振動数の算出条件を表 3-2 に示す。

表 3-2 遮蔽気密扉の固有振動数の算出条件

扉名称	モデル化に用いる芯材の長さ $\ell$ (m)	ヤング率 E (N/m <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (m <sup>4</sup> )	質量分布 m (kg/m)
中央制御室待避室遮蔽 遮蔽気密扉				

### 3.3 固有振動数の算出結果

遮蔽気密扉の固有振動数の算出結果を表 3-3 に示す。固有振動数は、20Hz 以上であり、剛構造であることを確認した。

表 3-3 遮蔽気密扉の固有振動数の算出結果

扉名称	固有振動数 f (Hz)	
	扉開放時	扉閉止時
中央制御室待避室遮蔽 遮蔽気密扉		

### 3.4 設計用地震力

遮蔽気密扉の基準地震動  $S_s$  による設計用地震力は、中央制御室待避室遮蔽で設定している設計震度に基づき設定する。

遮蔽気密扉の設計用地震力を表 3-4 に示す。

表 3-4 遮蔽気密扉の設計用地震力

据付場所及び 床面高さ (m)	基準地震動 $S_s$	
	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
制御室建物 EL 16.900 (EL 22.050 <sup>*1</sup> )	$C_H = 3.65^{*2, *3}$	$C_V = 1.77^{*2}$

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動  $S_s$ ）

\*3：N S 方向及び E W 方向の最大値を用いる。



#### 4. 耐震評価方法

##### 4.1 評価対象部位

評価対象部位は「2.3 構造計画」に示す遮蔽気密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。基準地震動 $S_s$ による地震荷重により遮蔽気密扉に生じる慣性力は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ）から扉枠に伝わることから、評価対象部位をヒンジ部及びカンヌキ部とする。

遮蔽気密扉に作用する荷重の作用図を図4-1に示す。



図 4-1 遮蔽気密扉に作用する荷重の作用図

## 4.2 荷重及び荷重の組合せ

### 4.2.1 荷重の組合せ

遮蔽気密扉の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 $G$  : 固定荷重 (kN)

$S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)

遮蔽気密扉は、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造となっていないことから、積載荷重については考慮しない。

### 4.2.2 荷重

#### (1) 固定荷重 ( $G$ )

固定荷重として遮蔽気密扉の自重を考慮する。自重は「4.5 評価条件」に示す。

#### (2) 地震荷重 ( $S_s$ )

地震荷重は、基準地震動  $S_s$  による荷重を考慮する。「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)

$G$  : 固定荷重 (kN)

$k$  : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

#### 4.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

##### 4.3.1 使用材料

遮蔽気密扉を構成するヒンジ部及びカンヌキ部の使用材料を表4-1に示す。

表4-1 使用材料

評価対象部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジ板		
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト		
カンヌキ部	カンヌキ		

#### 4.3.2 許容限界

##### (1) ヒンジ部及びカンヌキ部

鋼材の許容限界は、「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）（以下「S 規準」という。）」に基づき算定した短期許容応力度とする。表 4-2 に示す。

表 4-2 鋼材の許容限界

材質*2	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )			
	曲げ	引張	圧縮	せん断

注記\*1：t は板厚を示す。

\*2：許容応力度を決定する場合の基準値 F は，日本産業規格（J I S）に基づく。

#### 4.4 評価方法

##### 4.4.1 応力算定

###### (1) ヒンジ部

ヒンジ部は，ヒンジ板，ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており，次式により算定するスラスト荷重（回転軸線方向荷重）及び転倒力から，各部材に発生する応力を算定する。ヒンジ部に生じる荷重を図4-2に示す。

$$W_1 = G_D + k_{UD} \cdot G_D$$

$$F_1 = W_1 \cdot L_1 / L_3 + k_H \cdot G_D / 2$$

$$F_2 = W_1 \cdot L_2 / L_3$$

ここで， $W_1$  : スラスト荷重 (kN)

$G_D$  : 扉重量 (kN)

$k_H$  : 水平震度

$k_{UD}$  : 鉛直震度

$F_1$  : 扉幅方向の転倒力 (kN)

$F_2$  : 扉厚方向の転倒力 (kN)

$L_1$  : 扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

$L_2$  : 扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

$L_3$  : ヒンジ芯間距離 (mm)



図4-2 ヒンジ部に生じる荷重

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ板に生じる荷重を図4-3に示す。

$$M_A = W_1 \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_A = W_1$$

$$T_A = F_1$$

ここで、 $M_A$  : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

$Q_A$  : ヒンジ板のせん断力 (kN)

$T_A$  : ヒンジ板の引張力 (kN)

$W_1$  : スラスト荷重 (kN)

$L_4$  : ヒンジ板の2軸間距離 (mm)

$F_1$  : 扉幅方向の転倒力 (kN)

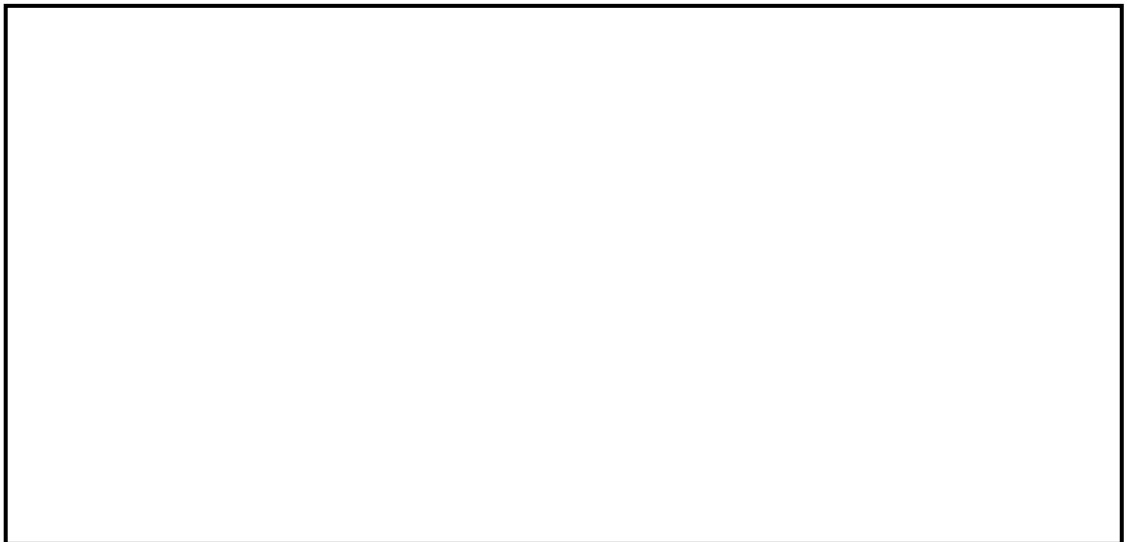


図4-3 ヒンジ板に生じる荷重

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジピンに生じる荷重を図4-4に示す。

$$M_B = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_B = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

$$C_B = W_1$$

ここで、 $M_B$  : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)

$Q_B$  : ヒンジピンのせん断力 (kN)

$C_B$  : ヒンジピンの圧縮力 (kN)

$F_1$  : 扉幅方向の転倒力 (kN)

$F_2$  : 扉厚方向の転倒力 (kN)

$L_5$  : ヒンジ板と受板間距離 (mm)

$W_1$  : スラスト荷重 (kN)

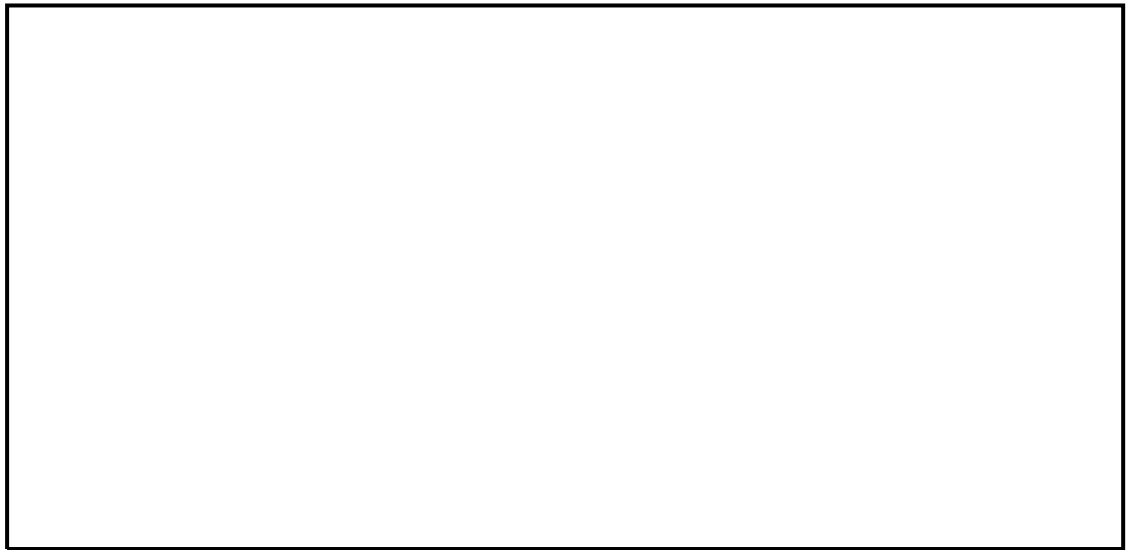


図4-4 ヒンジピンに生じる荷重



c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる応力は，次式により算定する。ヒンジボルトに生じる荷重を図 4-5 に示す。

$$Q_c = \frac{\sqrt{W_1^2 + F_1^2}}{n_1}$$

ここで， $Q_c$  : ヒンジボルトのせん断力 (kN)

$W_1$  : スラスト荷重 (kN)

$F_1$  : 扉幅方向の転倒力 (kN)

$n_1$  : ヒンジボルトの本数 (本)



図 4-5 ヒンジボルトに生じる荷重

(2) カンヌキ部

カンヌキ部に生じる荷重は次式により算定する。カンヌキ部に作用する荷重を図4-6に示す。

$$R_1 = k_H \cdot G_D / n_2$$

ここで、 $R_1$  : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

$k_H$  : 水平震度

$G_D$  : 扉重量 (kN)

$n_2$  : カンヌキの本数 (本)

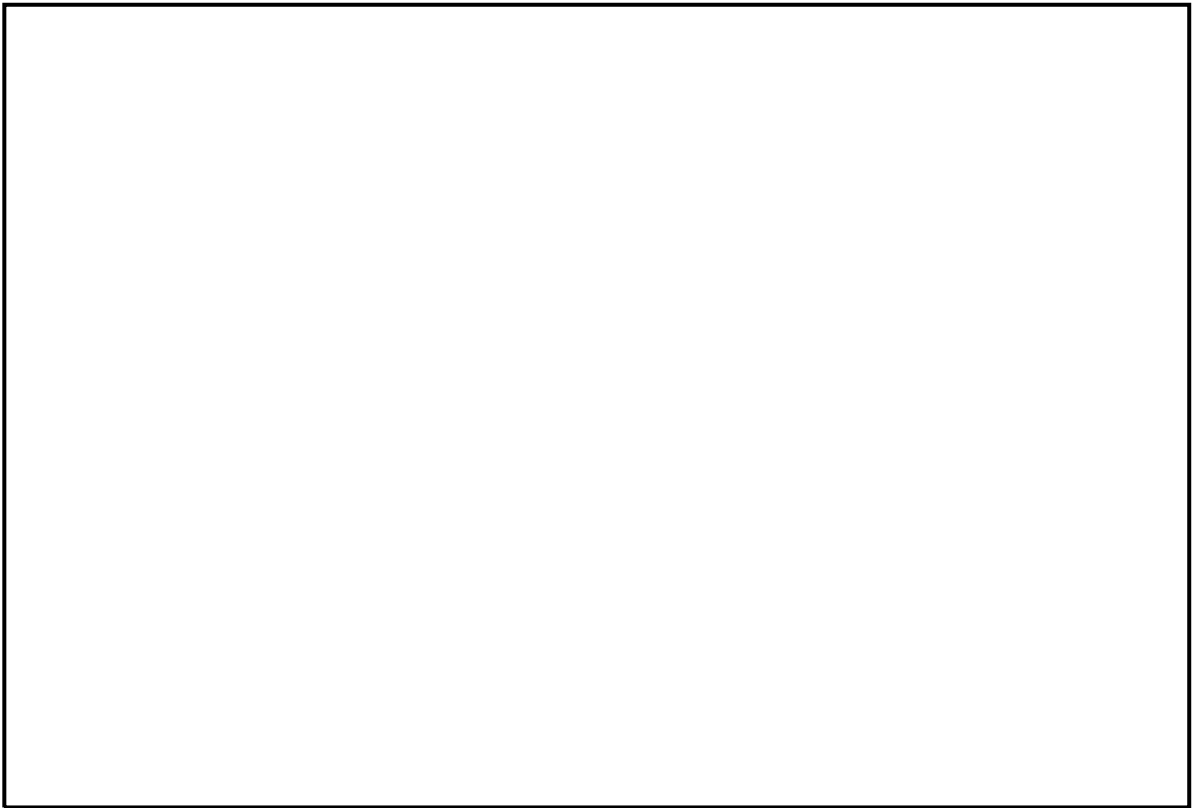


図4-6 カンヌキ部に作用する荷重

a. カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定に当たっては、カンヌキ回転中心位置を固定端とした片持ちはりとして評価し、カンヌキの取付部位に応じて作用する応力を考慮する。カンヌキに生じる荷重の例を図 4-7 に示す。

$$M_D = R_1 \cdot L_6 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_D = R_1$$

ここで、 $M_D$  : カンヌキの曲げモーメント (kN・m)

$Q_D$  : カンヌキのせん断力 (kN)

$R_1$  : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

$L_6$  : カンヌキの突出長さ (mm)

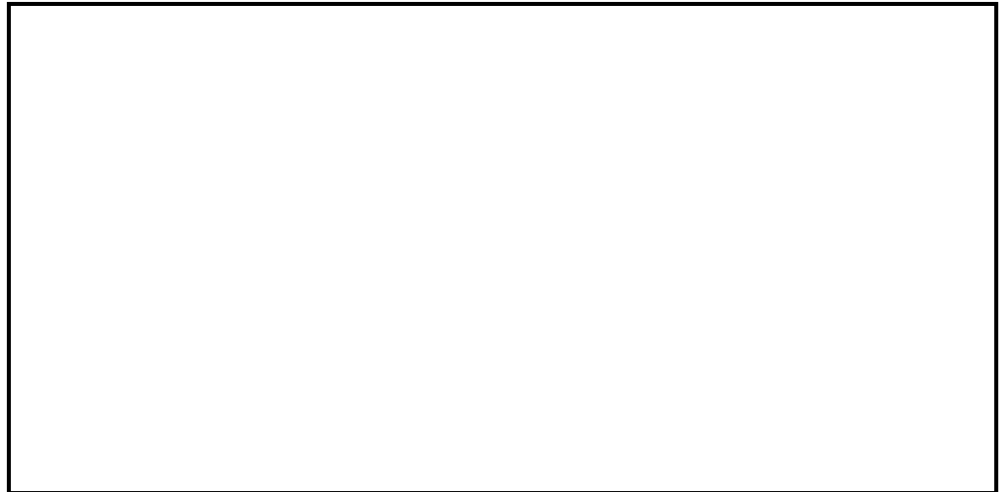


図 4-7 カンヌキに生じる荷重の例

#### 4.4.2 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度等が、許容限界値を下回ることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。

##### (1) ヒンジ

###### a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる曲げ応力度、せん断応力度及び引張応力度を算定し、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

###### (a) ヒンジ板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_A = (M_A \cdot 10^6) / Z_A$$

ここで、 $\sigma_A$  : ヒンジ板の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_A$  : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

$Z_A$  : ヒンジ板の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

###### (b) ヒンジ板に生じるせん断応力度

$$\tau_A = (Q_A \cdot 10^3) / A_A$$

ここで、 $\tau_A$  : ヒンジ板のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_A$  : ヒンジ板のせん断力 (kN)

$A_A$  : ヒンジ板の断面積 (mm<sup>2</sup>)

###### (c) ヒンジ板に生じる引張応力度

$$\sigma_{TA} = (T_A \cdot 10^3) / A_A$$

ここで、 $\sigma_{TA}$  : ヒンジ板の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$T_A$  : ヒンジ板の引張力 (kN)

$A_A$  : ヒンジ板の断面積 (mm<sup>2</sup>)

###### (d) ヒンジ板に生じる組合せ応力度

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x_A = \sqrt{\sigma_A^2 + 3 \cdot \tau_A^2}$$

ここで、 $x_A$  : ヒンジ板の組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_A$  : ヒンジ板の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_A$  : ヒンジ板のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度，せん断応力度及び圧縮応力度を算定し，ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) ヒンジピンに生じる曲げ応力度

$$\sigma_B = (M_B \cdot 10^6) / Z_B$$

ここで， $\sigma_B$  : ヒンジピンの曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_B$  : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)

$Z_B$  : ヒンジピンの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

(b) ヒンジピンに生じるせん断応力度

$$\tau_B = (Q_B \cdot 10^3) / A_B$$

ここで， $\tau_B$  : ヒンジピンのせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_B$  : ヒンジピンのせん断力 (kN)

$A_B$  : ヒンジピンの断面積 (mm<sup>2</sup>)

(c) ヒンジピンに生じる圧縮応力度

$$\sigma_{CB} = (C_B \cdot 10^3) / A_B$$

ここで， $\sigma_{CB}$  : ヒンジピンの圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$C_B$  : ヒンジピンの圧縮力 (kN)

$A_B$  : ヒンジピンの断面積 (mm<sup>2</sup>)

(d) ヒンジピンに生じる組合せ応力度

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x_B = \sqrt{\sigma_B^2 + 3 \cdot \tau_B^2}$$

ここで， $x_B$  : ヒンジピンの組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_B$  : ヒンジピンの曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_B$  : ヒンジピンのせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度を算定し、ヒンジボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau_c = (Q_c \cdot 10^3) / A_c$$

ここで、 $\tau_c$  : ヒンジボルトのせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_c$  : ヒンジボルトのせん断力 (kN)

$A_c$  : ヒンジボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)

(2) カンヌキ部

a. カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、カンヌキの短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) カンヌキに生じる曲げ応力度

$$\sigma_D = (M_D \cdot 10^6) / Z_D$$

ここで、 $\sigma_D$  : カンヌキの曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_D$  : カンヌキの曲げモーメント (kN・m)

$Z_D$  : カンヌキの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

(b) カンヌキに生じるせん断応力度

$$\tau_D = (Q_D \cdot 10^3) / A_D$$

ここで、 $\tau_D$  : カンヌキのせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_D$  : カンヌキのせん断力 (kN)

$A_D$  : カンヌキの断面積 (mm<sup>2</sup>)

(c) カンヌキに生じる組合せ応力度

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、カンヌキの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x_D = \sqrt{\sigma_D^2 + 3 \cdot \tau_D^2}$$

ここで、 $x_D$  : カンヌキの組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_D$  : カンヌキの曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_D$  : カンヌキのせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

#### 4.5 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 4-3 に示す。

表 4-3 耐震評価に用いる条件

対象部位		記号	単位	定義	遮蔽 気密扉
共通		$W_1$	kN	スラスト荷重	
		$G_D$	kN	扉重量	
		$k_H$	—	水平震度	
		$k_{UD}$	—	鉛直震度	
		$L_1$	mm	扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離	
		$L_2$	mm	扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離	
		$L_3$	mm	ヒンジ芯間距離	
ヒンジ部	ヒンジ板	$L_4$	mm	ヒンジ板の 2 軸間距離	
		$Z_A$	mm <sup>3</sup>	ヒンジ板の断面係数	
		$A_A$	mm <sup>2</sup>	ヒンジ板の断面積	
	ヒンジピン	$L_5$	mm	ヒンジ板と受板間距離	
		$Z_B$	mm <sup>3</sup>	ヒンジピンの断面係数	
		$A_B$	mm <sup>2</sup>	ヒンジピンの断面積	
ヒンジボルト	$n_1$	本	ヒンジボルトの本数		
	$A_C$	mm <sup>2</sup>	ヒンジボルトの断面積		
カンヌキ部	カンヌキ	$n_2$	本	カンヌキの本数	
		$L_6$	mm	カンヌキの突出長さ	
		$Z_D$	mm <sup>3</sup>	カンヌキの断面係数	
		$A_D$	mm <sup>2</sup>	カンヌキの断面積	



5. 評価結果

遮蔽気密扉の評価結果を表 5-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、発生値が許容限界値以下であることから、遮蔽気密扉が構造健全性を有することを確認した。

表 5-1 評価結果

対象評価部材		分類	発生値 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界値 (N/mm <sup>2</sup> )	発生値/ 許容限界値
ヒンジ部	ヒンジ板	曲げ			
		せん断			
		引張			
		組合せ			
	ヒンジピン	曲げ			
		せん断			
		圧縮			
組合せ					
	ヒンジボルト	せん断			
カンヌキ部	カンヌキ	曲げ			
		せん断			
		組合せ			