

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第6号機	設計及び工事計画審査資料
資料番号	KK6 補足-028-10-58 改0
提出年月日	2024年1月15日

ダイヤフラムフロアの耐震・強度計算に関する補足説明資料

2024年1月

東京電力ホールディングス株式会社

## 目次

### ダイヤフラムフロアの告示第 452 号及び CCV 規格適用性について

1. 概要	1
2. 建設工認時の経緯	1
3. 告示第 452 号及び CCV 規格の適用性	1
4. 適用実績	1
5. まとめ	1

### ダイヤフラムフロアの鉛直方向固有周期について

1. 概要	2
2. 解析モデル及び諸元	2
3. 固有値解析結果	3

### 主蒸気逃がし安全弁排気管反力について

1. 概要	4
2. 配管反力と設計荷重の比較	4
3. まとめ	5

### ダイヤフラムフロア解析モデルへの荷重等入力方法と境界条件について

1. 概要	6
2. FEM モデルへの荷重等入力方法についてのイメージ図	6
3. 半割部における境界条件設定の理由	10

## ダイヤフラムフロアの告示第 452 号及び CCV 規格適用性について

### 1. 概要

ダイヤフラムフロアは告示第 452 号及びコンクリート製原子炉格納容器規格（以下「CCV 規格」という。）を準用して評価を実施している。しかしながら、ダイヤフラムフロアは告示第 452 号及び CCV 規格の適用範囲には含まれない（例えば、CCV 規格の解説図 CVE-1220-2 鉄筋コンクリート製原子炉格納容器にはダイヤフラムフロアは CCV 規格の適用範囲として示されていない）。そのため、本申請においてダイヤフラムフロアの評価に告示第 452 号及び CCV 規格を準用する経緯及び適用性について示す。

本資料が関連する設工認図書は以下のとおり。

- ・ VI-2-9-4-2 「ダイヤフラムフロアの耐震性についての計算書」
- ・ VI-3-3-6-2-1 「ダイヤフラムフロアの強度計算書」

### 2. 建設工認時の経緯

建設工認時、当初はダイヤフラムフロアを一般建築構造物として扱い、RC 規準を適用する予定であった。しかし、ダイヤフラムフロアが原子力特有の重要構造物であることに鑑み、鉄筋コンクリートスラブの評価に、告示第 452 号を準用することとし、この評価に基づき工事計画の認可を受けた。

### 3. 告示第 452 号及び CCV 規格の適用性

ダイヤフラムフロアは告示第 452 号及び CCV 規格が対象としている格納容器バウンダリを形成する部位ではないが、ドライウェルとサプレッションチェンバのバウンダリを形成している。耐圧及び漏えい防止の機能を有する点で、告示第 452 号及び CCV 規格の適用範囲であるトップスラブ部等と同じである。また、ダイヤフラムフロアは、トップスラブ部と形状、構造が類似している。そのため、ダイヤフラムフロアに対して、告示第 452 号及び CCV 規格は準用可能と考えられる。

### 4. 適用実績

柏崎刈羽原子力発電所 6 号機以降の後続 ABWR プラントにおいてもダイヤフラムフロアの適用規格は告示第 452 号又は CCV 規格を採用している。

### 5. まとめ

以上より、ダイヤフラムフロアに告示第 452 号及び CCV 規格を準用して評価を行うことは妥当と考える。

## ダイヤフラムフロアの鉛直方向固有周期について

### 1. 概要

ダイヤフラムフロアを評価する際に考慮する地震荷重として、水平はばね反力、鉛直は 1.0ZPA を用いている。これは、ダイヤフラムフロアの構造が外周部固定条件、内周部支持条件で厚さが 1.2m であることから、剛構造であるとの判断に基づくものである。

今回、FEM 解析に基づくダイヤフラムフロアの鉛直方向固有周期の確認を行ったことから確認結果を示す。

本資料が関連する設工認図書は以下のとおり。

- ・ VI-2-9-4-2 「ダイヤフラムフロアの耐震性についての計算書」

### 2. 解析モデル及び諸元

ダイヤフラムフロアの固有値解析の解析モデル概要を以下に示す。

- ダイヤフラムフロアは、3次元シェル要素による有限要素解析手法を適用する。ダイヤフラムフロアは平面的にほぼ対称構造のため、構造健全性評価で用いた 1/2 モデルを適用する。なお、鉛直方向の剛柔判定に用いる一次モード（全体変形モード）を求める上で、1/2 モデルでも一次モードに対して適切な評価が可能である。解析モデルを図 2-1 に、解析モデルの諸元について表 2-1 に示す。

- 拘束条件は、



- 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用する。



図 2-1 解析モデル

表 2-1 解析モデル諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	コンクリート
質量面密度	$\rho$	kg/m <sup>2</sup>	
ヤング係数	E	N/mm <sup>2</sup>	
ポアソン比	$\nu$	—	
要素数	—	—	
節点数	—	—	

注記\*：ダイヤフラムフロア本体と積載設備の質量を考慮した密度

### 3. 固有値解析結果

ダイヤフラムフロア的设计基準対象施設としての鉛直方向固有周期は、0.032[s] (=31[Hz]) となったため、ダイヤフラムフロアは鉛直方向に対して剛構造である。振動モード図を図 3-1 に示す。



図 3-1 ダイヤフラムフロアの振動モード図

## 主蒸気逃がし安全弁排気管反力について

### 1. 概要

ダイヤフラムフロアを評価する際に考慮する荷重の 1 つに主蒸気逃がし安全弁排気管反力がある。本申請のダイヤフラムフロアの評価では、主蒸気逃がし安全弁排気管反力として、既工認の設計荷重に基づいた設計荷重を用いて評価している。

ダイヤフラムフロアの評価で用いた設計荷重が、配管解析より得られた主蒸気逃がし安全弁排気管反力（以下「配管反力」という。）を包絡していることを本書に示す。

本資料が関連する設工認図書は以下のとおり。

- ・ VI-2-9-4-2 「ダイヤフラムフロアの耐震性についての計算書」
- ・ VI-3-3-6-2-1 「ダイヤフラムフロアの強度計算書」

### 2. 配管反力と設計荷重の比較

表 1 に設計基準対象施設，表 2 に重大事故等対処設備としての配管反力及び設計荷重を示す。

配管反力はVI-2-5-2-1-2「管の耐震性についての計算書」及びVI-3-3-3-1-1-3-2「管の応力計算書」における解析に基づいている。

表 1 設計基準対象施設としての配管反力と設計荷重

荷重		ダイヤフラムフロアに作用する荷重		
		配管反力	設計荷重	
地震時 荷重	地震時	弾性設計用地震動 $S_d$ により定まる地震荷重又は静的地震荷重	V : 164kN*	V : 490kN*
	地震時 配管荷重		基準地震動 $S_s$ により定まる地震荷重	V : 196kN*

注：Vは鉛直方向を示す（下向きを正とする。）。

注記\*：逃がし安全弁排気管貫通部 1 箇所当たりの荷重を示す。

表2 重大事故等対処設備としての配管反力と設計荷重

荷重			ダイヤフラムフロアに作用する荷重	
			配管反力	設計荷重
地震時 荷重(重大 事故等時)	地震時 配管荷重	弾性設計用地震動 $S_d$ により定 まる地震荷重又は静的地震荷重	V : 165kN*	V : 490kN*
		基準地震動 $S_s$ により定まる 地震荷重	V : 196kN*	V : 539kN*
重大事故 等時荷重	SA時配管荷重		V : 140kN*	V : 344kN*

注：Vは鉛直方向を示す（下向きを正とする。）。

注記\*：逃がし安全弁排気管貫通部1箇所当たりの荷重を示す。

### 3. まとめ

2. で示したとおり，設計荷重は配管反力を包絡しているため，本申請のダイヤフラムフロアの評価で用いている主蒸気逃がし安全弁排気管反力は妥当である。

## ダイヤフラムフロア解析モデルへの荷重等入力方法と境界条件について

### 1. 概要

本申請のダイヤフラムフロア FEM モデルは既工認同様 1/2 モデルを用いており、荷重等の入力方法や境界条件がフルモデルに比べて複雑なため、本資料で荷重等の入力方法をイメージ図で示し、1/2 モデル境界条件の設定についての詳細を示すものとする。

本資料が関連する設工認図書は以下のとおり。

- ・ VI-2-9-4-2 「ダイヤフラムフロアの耐震性についての計算書」
- ・ VI-3-3-6-2-1 「ダイヤフラムフロアの強度計算書」

### 2. FEM モデルへの荷重等入力方法についてのイメージ図

ダイヤフラムフロアの FEM モデルを図 1 に示す。ダイヤフラムフロアの評価では、荷重の種類ごとに図 1 に示す解析モデルを用いて軸力、モーメント及び面外せん断力を算出し、それらを荷重組み合わせに従い足し合わせた後で、鉄筋を考慮して応力などを算出する。

荷重の種類ごとの荷重入力イメージを図 2～図 7 に示す。



図 1 解析モデル



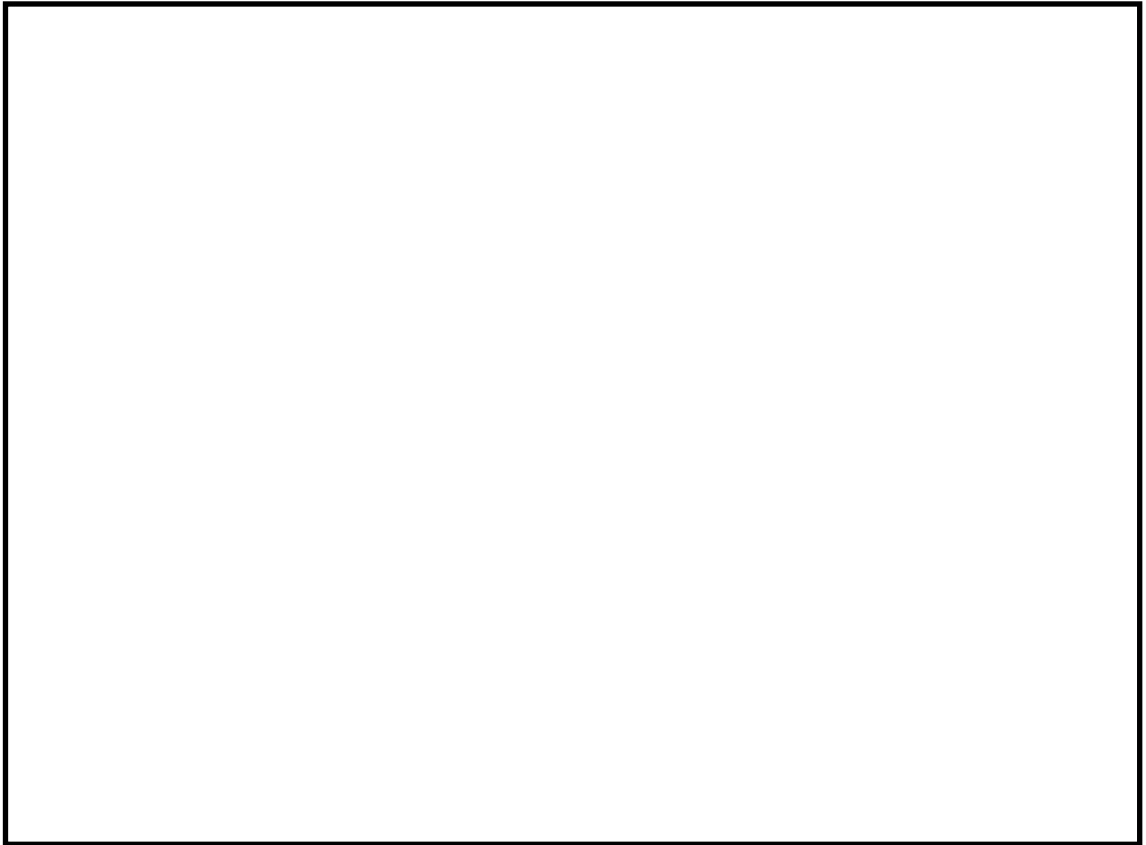


図2 解析モデルのイメージ (死荷重及び鉛直地震荷重)

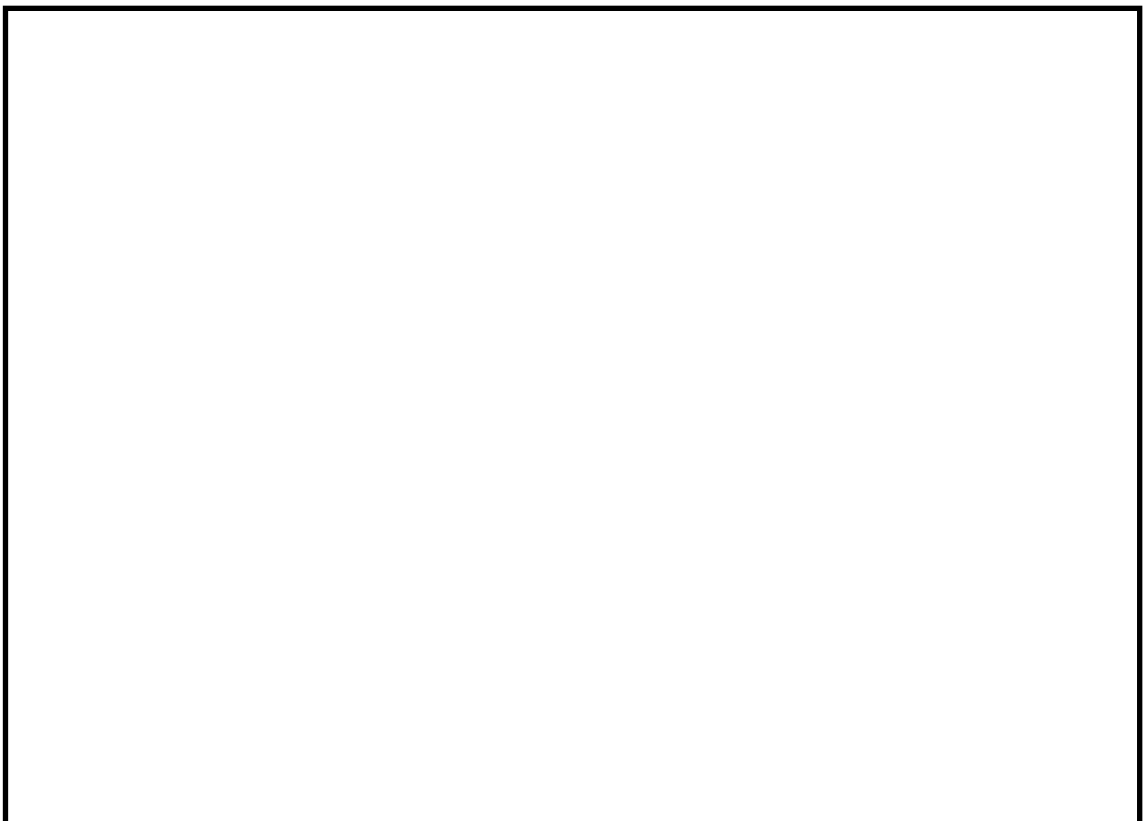


図3 解析モデルのイメージ (圧力荷重)

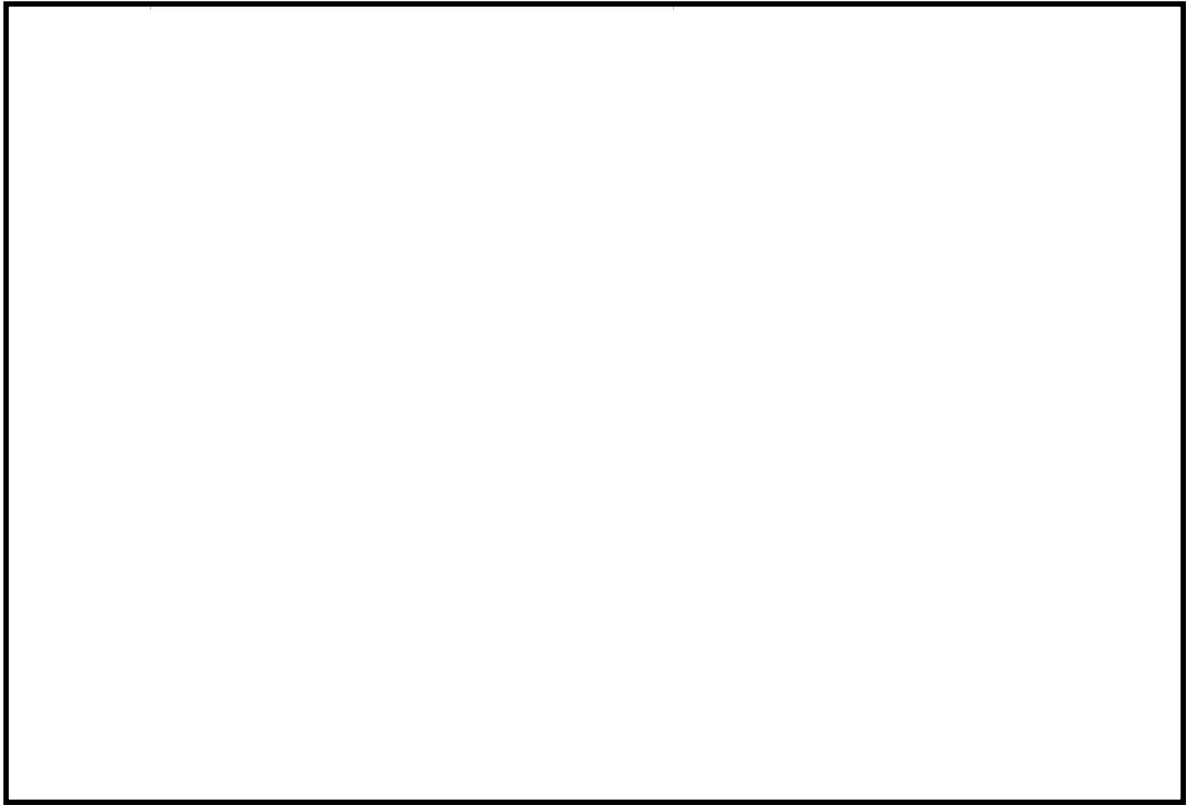


図4 解析モデルのイメージ (温度荷重)

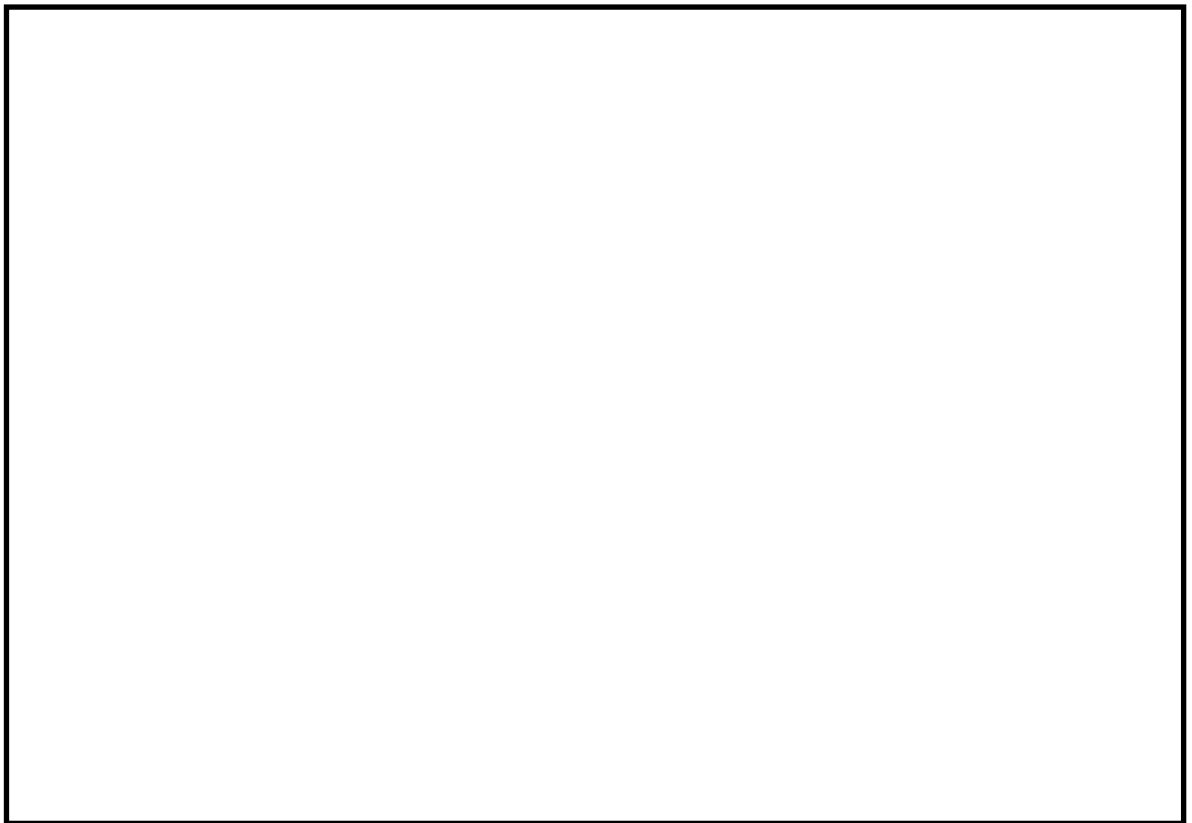


図5 解析モデルのイメージ (SRVDL 荷重)



図 6 解析モデルのイメージ (EW 方向水平地震荷重)

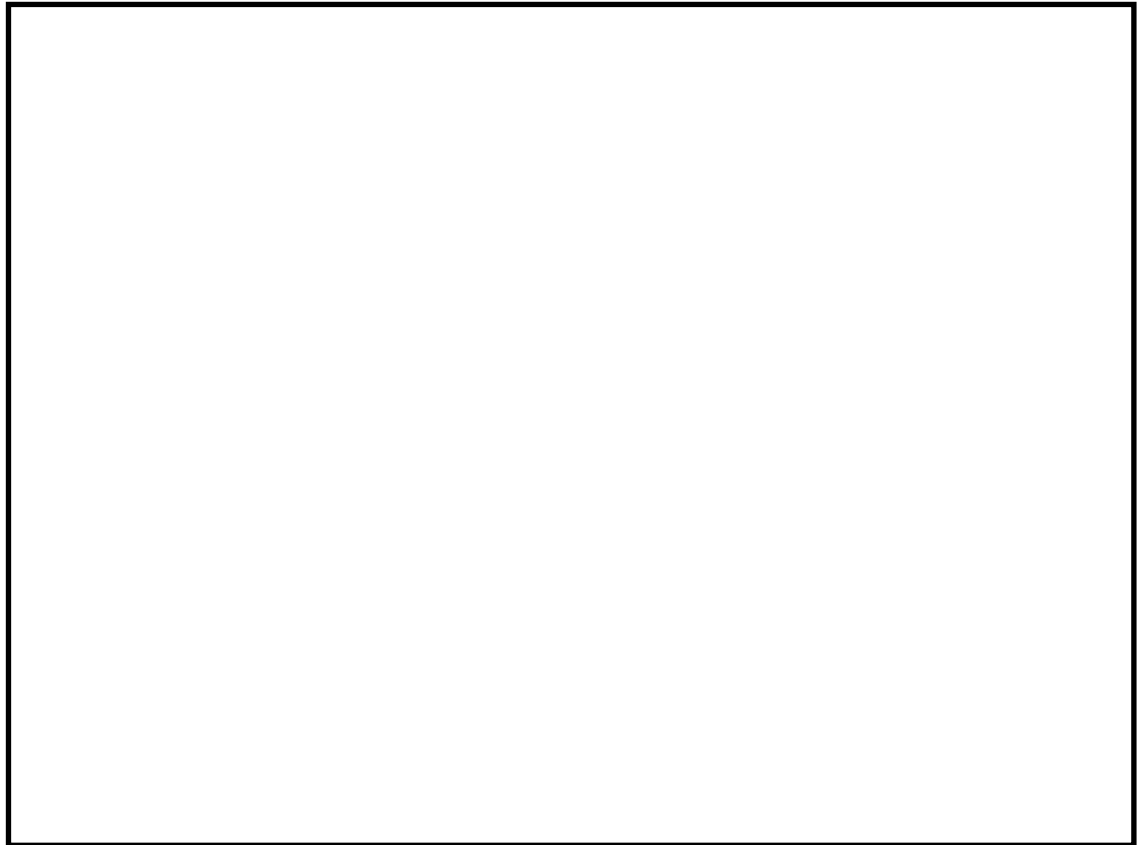


図 7 解析モデルのイメージ (NS 方向水平地震荷重)

### 3. 半割部における境界条件設定の理由

ダイヤフラムフロアの解析モデルは、構造の対称性から1/2モデルとしている(図8)。1/2モデルの境界部における境界条件は、入力する荷重の方向に応じて「対称境界」と「逆対称境界」を使い分けている。境界条件の使い分けを整理した結果を表1に示す。

表1 半割部における境界条件の使い分け

対称境界	構造に対称荷重が作用する場合に適用する。(例：圧力荷重，EW方向水平地震荷重) 解析対象からはずした領域の解析結果は，解析領域と対称となる。イメージ図を図8に示す。
逆対称境界	構造に逆対称荷重が作用する場合に適用する。(例：NS方向水平地震荷重) 解析対象からはずした領域の解析結果は，解析領域と逆対称となる。イメージ図を図8に示す。

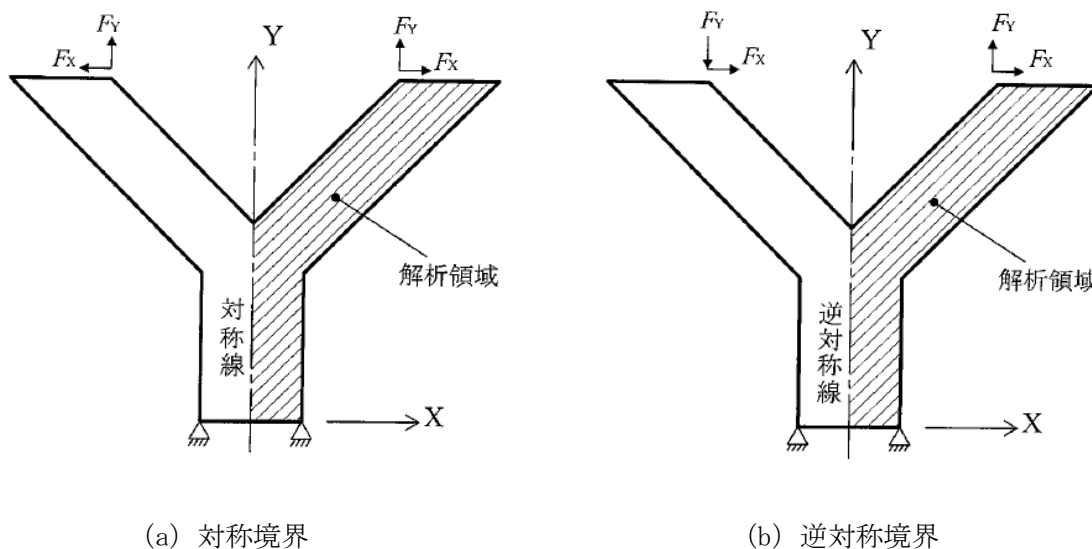


図8 境界条件設定のイメージ図\*

※ 出典：構造解析のための有限要素法実践ハンドブック（発行：森北出版株式会社）