

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7-028 改2
提出年月日	2020年5月19日

原子炉建屋の設計体系における補助壁の取扱いについて

2020年5月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 既工認時における考え方	2
2.1 地震応答解析	2
2.2 設計用地震力	2
2.3 耐震評価	2
2.3.1 耐震壁の評価	2
2.3.2 RCCV の評価	3
2.3.3 基礎スラブの評価	3
3. 今回工認における考え方	6
3.1 地震応答解析	6
3.2 設計用地震力	6
3.3 耐震評価	7
3.3.1 耐震壁及び補助壁の評価	7
3.3.2 RCCV の評価	7
3.3.3 基礎スラブの評価	8
4. まとめ	14

別紙 各建屋の設計体系における補助壁の取扱い

1. 概要

本資料は、原子炉建屋の設計体系における補助壁の取扱いについて、既工認時及び今回工認における考え方を整理するものである。

2. 既工認時における考え方

既工認時における原子炉建屋の設計の考え方を以下に示す。また、既工認時における原子炉建屋の設計フローを図 2-1 に示す。

2.1 地震応答解析

原子炉建屋は、既工認時において、外壁及び中間壁（以下これらを「耐震壁」という。）並びに RCCV を耐震要素とし、それ以外の壁を間仕切壁として設計している。

地震応答解析における建屋剛性としては、耐震壁及び RCCV のみを考慮し、間仕切壁は考慮せず、基準地震動 S_1 及び S_2 に対する解析を実施している。

2.2 設計用地震力

既工認時における設計用地震力は、基準地震動 S_1 による動的地震力、並びに層せん断力係数 $3.0C_i$ 及び地下部分の水平震度 K による静的地震力より設定している。

静的地震力は建屋全体で評価されるため、耐震壁及び RCCV の設計用地震荷重は、それぞれの剛性を考慮して配分している。この際、間仕切壁は地震荷重を負担しないものとしている。

なお、基準地震動 S_2 による動的地震力は、設計用地震力を下回ることを確認している。

2.3 耐震評価

2.3.1 耐震壁の評価

既工認時における耐震壁の評価は、耐震壁の地震荷重に対する応力計算及び断面算定を実施し、許容応力度に対する発生応力度の比率（以下「検定比」という。）を確認している。

なお、地震荷重はすべて耐震壁で負担する設計としており、間仕切壁は地震荷重を負担しないものの、耐震壁の地震荷重から、間仕切壁の分類に応じた地震荷重を設定して設計している。間仕切壁は、以下のように分類して設計している。

- ・ A クラス相当の壁
- ・ B クラス相当の壁

A クラス相当の壁としては二次格納施設を構成する壁が該当し、その他の間仕切壁が B クラス相当の壁に該当する。A クラス相当の壁については、耐震壁の設計用せん断力 Q を耐震壁のせん断断面積 A_s で除して求めた設計用せん断応力度を設定し、配筋を決定している。B クラス相当の壁については、A クラス相当の壁の $1/2$ の設計用せん断応力度に対して配筋を決定している。

2.3.2 RCCV の評価

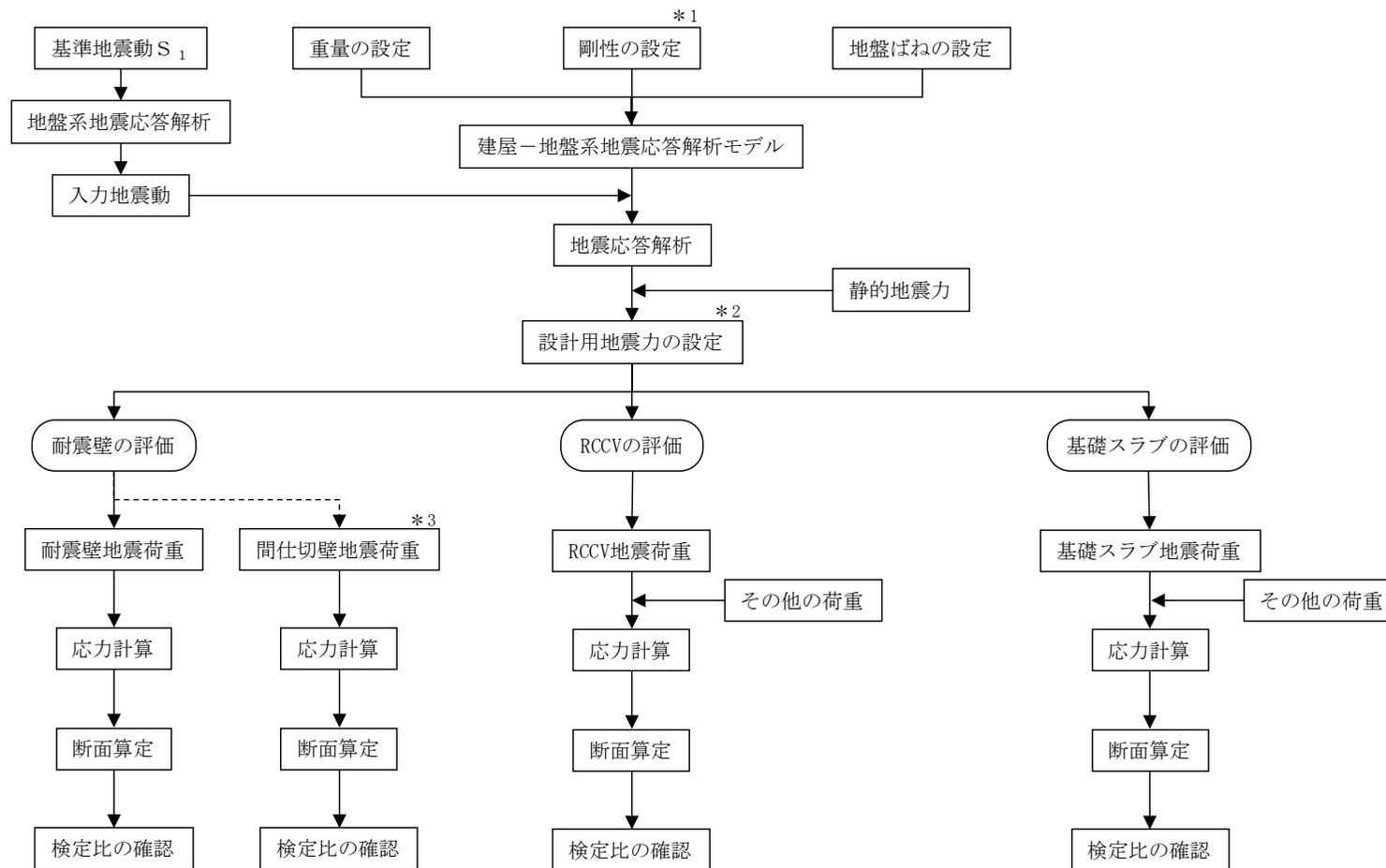
既工認時における RCCV の評価は、RCCV の地震荷重とその他の荷重を組み合わせ、応力計算及び断面算定を実施し、検定比を確認している。

既工認時における RCCV の応力解析モデルを図 2-2 に示す。応力解析モデルは、RCCV 及びプール部をモデル化し、間仕切壁をモデル化せず、地震荷重は、地震応答解析モデルの各質点位置に相当する各節点に節点荷重として入力している。

2.3.3 基礎スラブの評価

既工認時における基礎スラブの評価は、耐震壁及び RCCV の地震荷重とその他の荷重を組み合わせ、応力計算及び断面算定を実施し、検定比を確認している。

既工認時における基礎スラブの応力解析モデルを図 2-3 に示す。応力解析モデルは、基礎スラブに加えて耐震壁及び RCCV の拘束効果をモデル化し、間仕切壁をモデル化せず、地震荷重は、耐震壁及び RCCV の脚部に対応する各節点に節点荷重として入力している。



注記*1：耐震壁及びRCCVの剛性を考慮する。

*2：基準地震動 S_1 による動的地震力，並びに層せん断力係数3.0 C_i 及び地下部分の水平震度 K による静的地震力より設定する。

*3：耐震壁に生じるせん断応力度から設定する。

注：基準地震動 S_2 による動的地震力は，設計用地震力を下回ることを確認している。

図 2-1 原子炉建屋の設計フロー（既工認時）

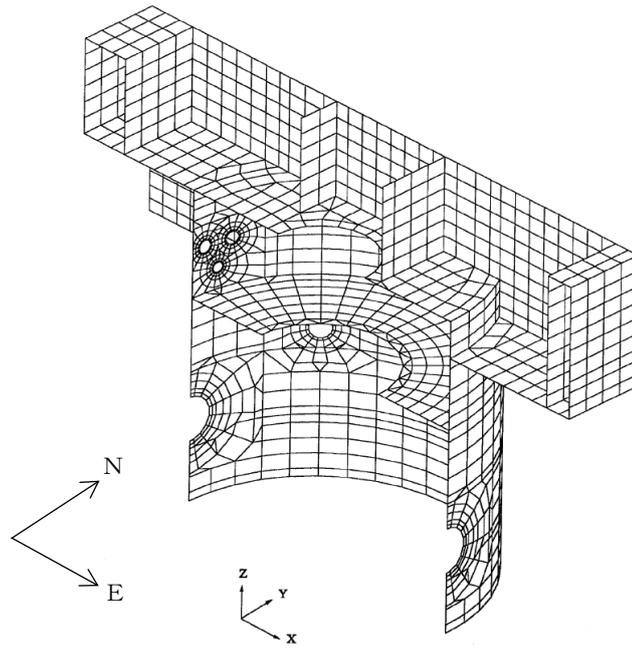


図 2-2 RCCV の応力解析モデル (既工認時)

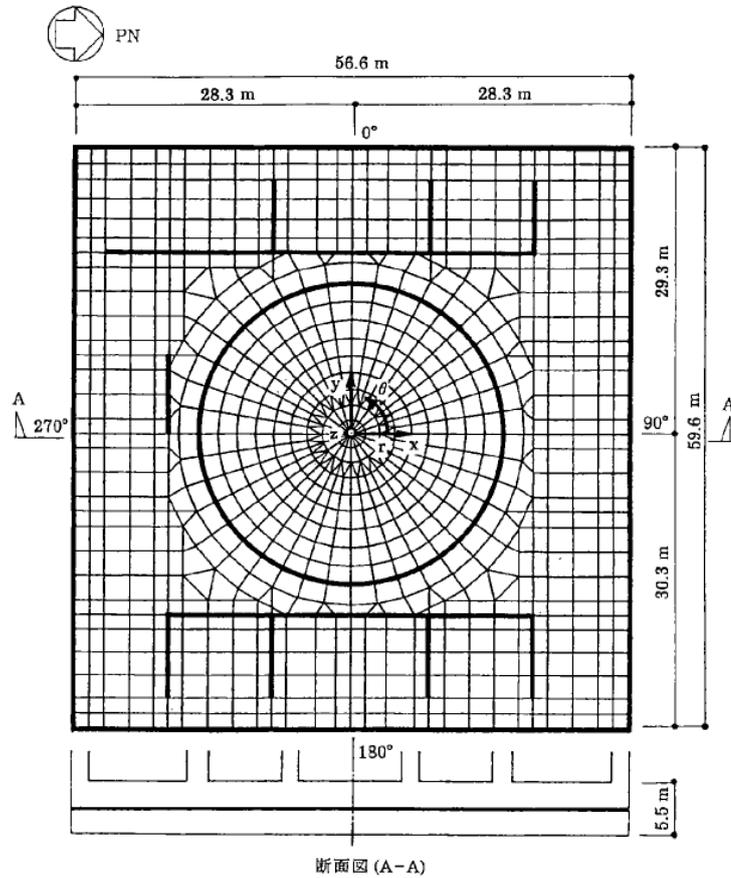


図 2-3 基礎スラブの応力解析モデル (既工認時)

3. 今回工認における考え方

今回工認における原子炉建屋の設計の考え方を以下に示す。また、今回工認における原子炉建屋の耐震評価フローを図 3-1 及び図 3-2 に示す。

3.1 地震応答解析

今回工認においては、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、地震応答解析モデルで考慮する建屋剛性に、既工認時には耐震要素として考慮しなかったが、実際には耐震要素として考慮可能であると考えられる壁を補助壁として考慮し、地震応答解析を実施している。

補助壁の選定に当たっては、「工事計画に係る説明資料（建屋・構築物の地震応答計算書）」のうち「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」の別紙 1-3 「地震応答解析モデルにおける補助壁の評価方法について」に示すとおり、「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）」を参考としている。具体的な選定プロセスを図 3-3 に示す。また、選定した補助壁の例を図 3-4 に示す。

また、今回工認における地震応答解析は、建屋の非線形性を考慮した弾塑性時刻歴応答解析としている。その際に、補助壁については「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）」（以下「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」という。）で評価される第 1 折点で降伏する、完全弾塑性型のせん断スケルトン曲線で評価しており、保守的な設定としている。せん断スケルトン曲線の概念図を図 3-5 に示す。なお、補助壁のせん断終局強度は、第 1 折点のせん断力を上回ることを確認している。

以上より、今回工認の地震応答解析において、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、建屋剛性として補助壁のせん断剛性を考慮しているが、補助壁のせん断耐力については保守的となるように設定している。

3.2 設計用地震力

今回工認における設計用地震力は、弾性設計用地震動 S_d による動的地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力（以下「 S_d 地震時」という。）及び基準地震動 S_s に対する動的地震力（以下「 S_s 地震時」という。）より設定している。この際、静的地震力は既工認時の値を用いており、耐震壁及び RCCV への配分も既工認時と同じとしている。

3.3 耐震評価

3.3.1 耐震壁及び補助壁の評価

S_d地震時に対する評価については、「工事計画に係る説明資料（建屋・構築物の耐震性についての計算書）」のうち「原子炉建屋の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」の別紙 4「原子炉建屋の既工認時の設計用地震力と今回工認における静的地震力及び弾性設計用地震動 S_dによる地震力の比較」に示すとおり、層せん断力について、今回工認における S_d地震時が既工認時の設計用地震力を下回り、耐震壁のみで負担できることを確認している。

なお、「工事計画に係る説明資料（建屋・構築物の地震応答計算書）」のうち「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」の別紙 3-2「材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」に示す弾性設計用地震動 S_dに対する地震応答解析結果において、層に生じるせん断応力度が、J E A G 4 6 0 1-1991 追補版により評価されるせん断スケルトンの第 1 折点のせん断応力度より小さいことが確認できる。

S_s地震時に対する評価については、層としてのせん断ひずみが 2.0×10^{-3} 以下であることを確認している。なお、層のせん断ひずみは、V-2-2-2「原子炉建屋の耐震性についての計算書」に示すとおり、最大で 0.679×10^{-3} となっている。

3.3.2 RCCV の評価

S_d地震時に対する評価については、S_d地震時の RCCV の地震荷重とその他の荷重を組み合わせることで応力計算及び断面算定を実施し、検定比を確認している。この際、弾性設計用地震動 S_dによる動的な地震力について、RCCV に入力するせん断力は、RCCV と補助壁のせん断面積比により算定した補助壁が負担するせん断力を、地震応答解析における RCCV 部の最大応答せん断力から除いて算定している。なお、補助壁にせん断力を負担させることについては、「3.3.1 耐震壁及び補助壁の評価」に示すとおり、弾性設計用地震動 S_dに対する地震応答解析結果において、せん断応力度がせん断スケルトンの第 1 折点のせん断応力度より小さいことにより、健全性を確認している。

S_s地震時に対する評価については、S_s地震時の RCCV の地震荷重とその他の荷重を組み合わせることで応力計算及び断面算定を実施し、検定比を確認している。この際、RCCV に入力するせん断力は、RCCV と補助壁のせん断面積比により算定した補助壁が負担するせん断力と、補助壁のせん断スケルトン曲線における第 1 折点のせん断耐力の 90%のうち、小さい方の値を地震応答解析における RCCV 部の最大応答せん断力から除いて算定している。なお、補助壁にせん断力を負担させることについては、「3.3.1 耐震壁及び補助壁の評価」に示すとおり、基準地震動 S_sに対する地震応答解析結果において、せん断ひずみが 2.0×10^{-3} 以下である

ことにより、健全性を確認している。

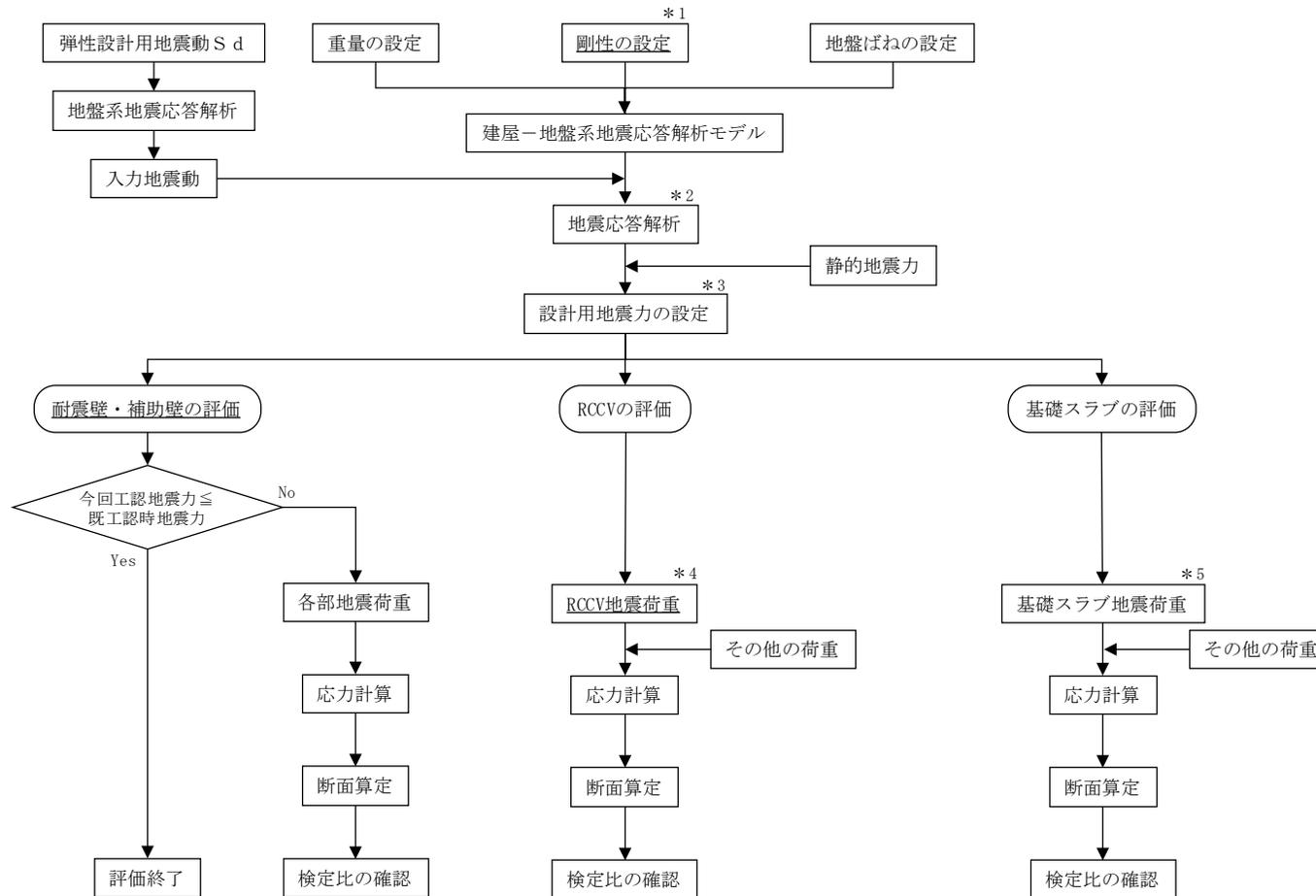
なお、RCCV の評価における地震荷重の算定方法の詳細については、「工事計画に係る説明資料（建屋・構築物の耐震性についての計算書）」のうち「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」の別紙 6「地震荷重の算定方法」に示す。

今回工認における RCCV の応力解析モデルを図 3-6 に示す。今回工認においては、RCCV は基礎スラブと一体でモデル化している。応力解析モデルは、RCCV 及びプール部をモデル化し、補助壁をモデル化せず、地震荷重は、地震応答解析モデルの各質点位置に相当する各節点に節点荷重として入力している。

3.3.3 基礎スラブの評価

S_d地震時及びS_s地震時に対する評価については、S_d地震時及びS_s地震時の耐震壁及びRCCVの地震荷重とその他の荷重を組み合わせることで応力計算及び断面算定を実施し、検定比を確認している。この際、補助壁が負担するせん断力は除かず、耐震壁及びRCCVの地震荷重に含んでいる。なお、基礎スラブの評価における地震荷重の算定方法の詳細については、「工事計画に係る説明資料（建屋・構築物の耐震性についての計算書）」のうち「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」の別紙 6「地震荷重の算定方法」に示す。

今回工認における基礎スラブの応力解析モデルは図 3-6 と同一である。応力解析モデルは、耐震壁の拘束効果をモデル化し、補助壁をモデル化せず、地震荷重は、耐震壁及びRCCVの脚部に対応する各節点に節点荷重として入力している。



注記*1：耐震壁、RCCV及び補助壁の剛性を考慮する。

*2：材料物性の不確かさを考慮する。

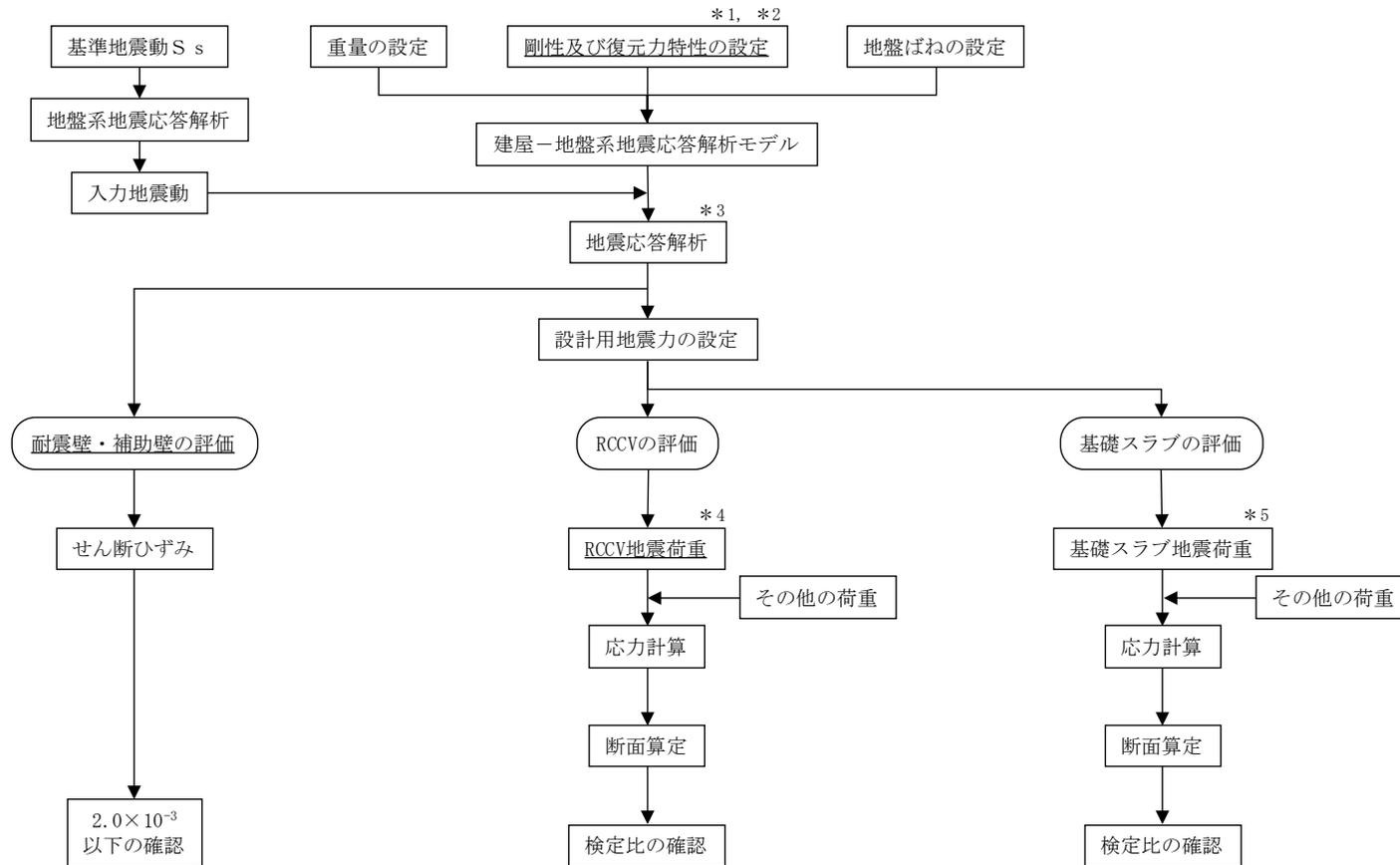
*3：弾性設計用地震動 S d による動的地震力、並びに層せん断力係数 3.0 C i 及び地下部分の水平震度 K による静的地震力より設定する。

*4：弾性設計用地震動 S d による動的地震力について、RCCVにするせん断力は、RCCVと補助壁のせん断断面積比により算定した補助壁が負担するせん断力を地震応答解析におけるRCCV部の最大応答せん断力から除いて算定する。

*5：基礎スラブにするせん断力は、補助壁が負担するせん断力は除かず、すべて耐震壁及びRCCVが負担するものとし、耐震壁及びRCCVの脚部にする。

注：下線は、補助壁に関わる箇所を示す。

図 3-1 原子炉建屋の耐震評価フロー（今回工認，S d 地震時）



注記*1：耐震壁、RCCV及び補助壁の剛性及び復元力特性を考慮する。

*2：補助壁の復元力特性は、J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版のせん断スケルトン曲線の第1折点で降伏する完全弾塑性型とする。
なお、補助壁のせん断終局強度は、第1折点のせん断力を上回ることを確認している。

*3：材料物性の不確かさを考慮する。

*4：RCCVに入力するせん断力は、RCCVと補助壁のせん断断面積比により算定した補助壁が負担するせん断力と、補助壁のせん断スケルトン曲線における第1折点のせん断耐力の90%のうち、小さい方の値を地震応答解析におけるRCCV部の最大応答せん断力から除いて算定する。

*5：基礎スラブに入力するせん断力は、補助壁が負担するせん断力は除かず、すべて耐震壁及びRCCVが負担するものとし、耐震壁及びRCCVの脚部に入力する。

注：下線は、補助壁に関わる箇所を示す。

図 3-2 原子炉建屋の耐震評価フロー（今回工認，S s 地震時）

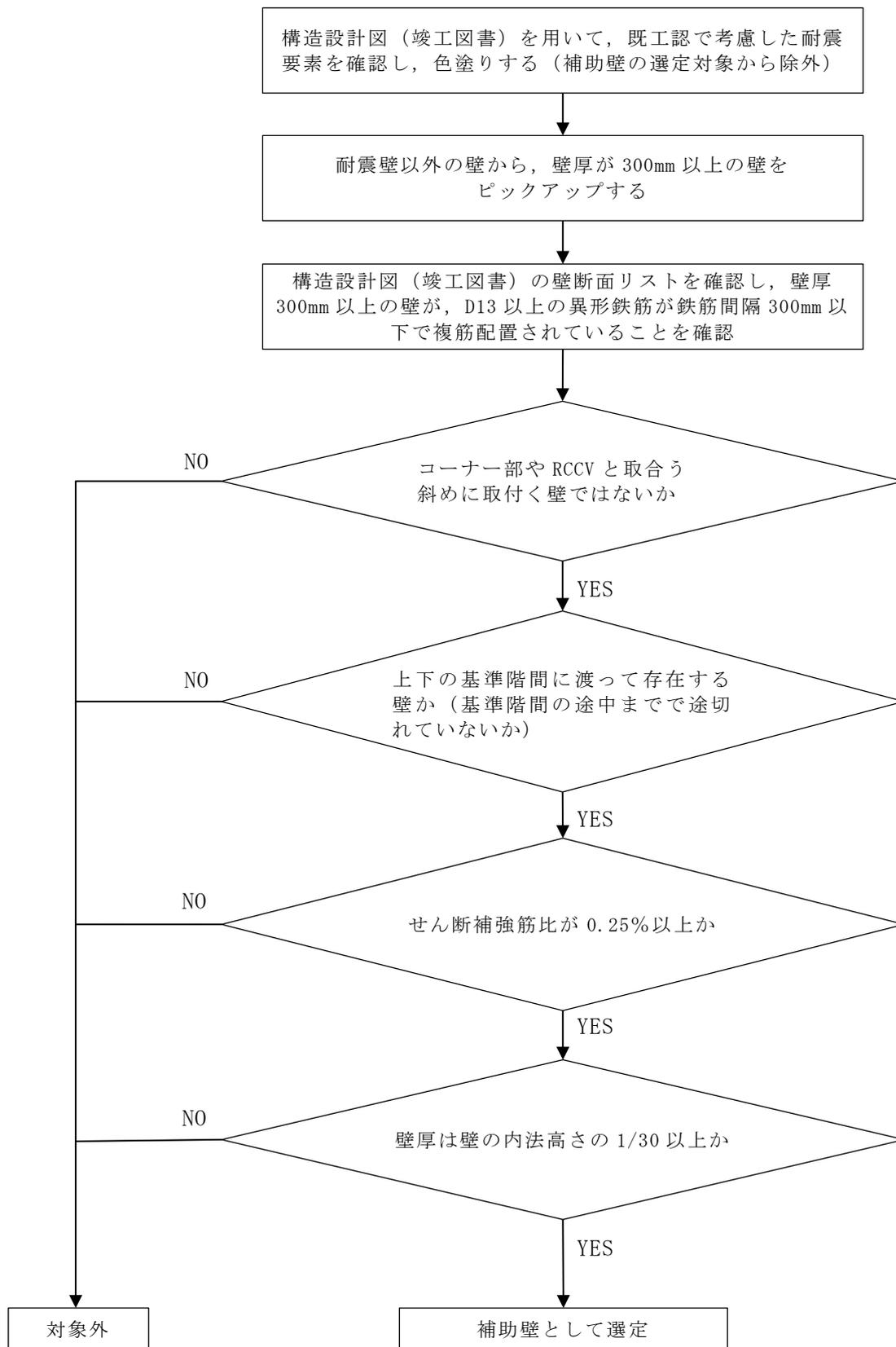


図 3-3 補助壁の選定プロセス

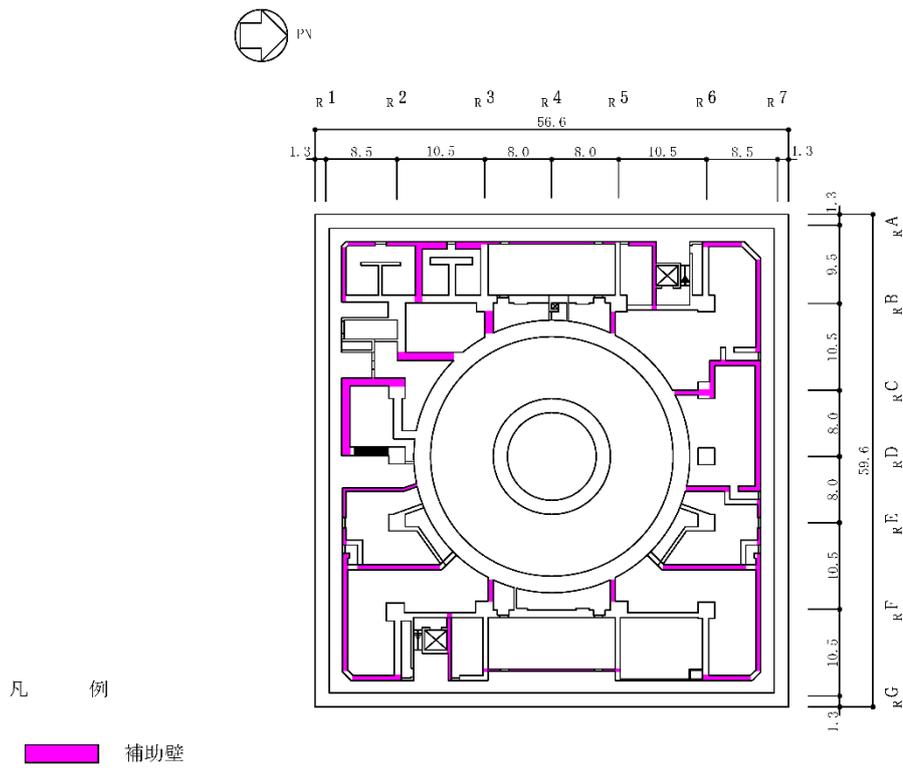


図 3-4 補助壁の考慮範囲の例 (B3F, T. M. S. L. -8.2m) (単位 : m)

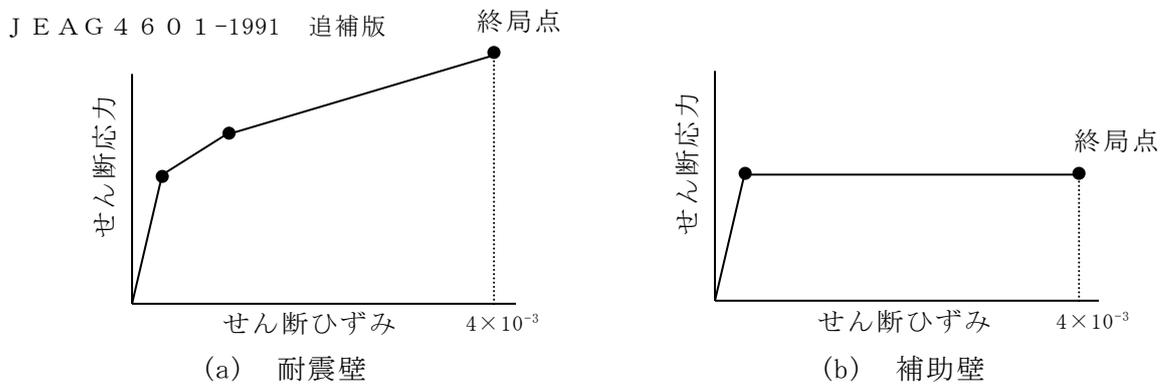
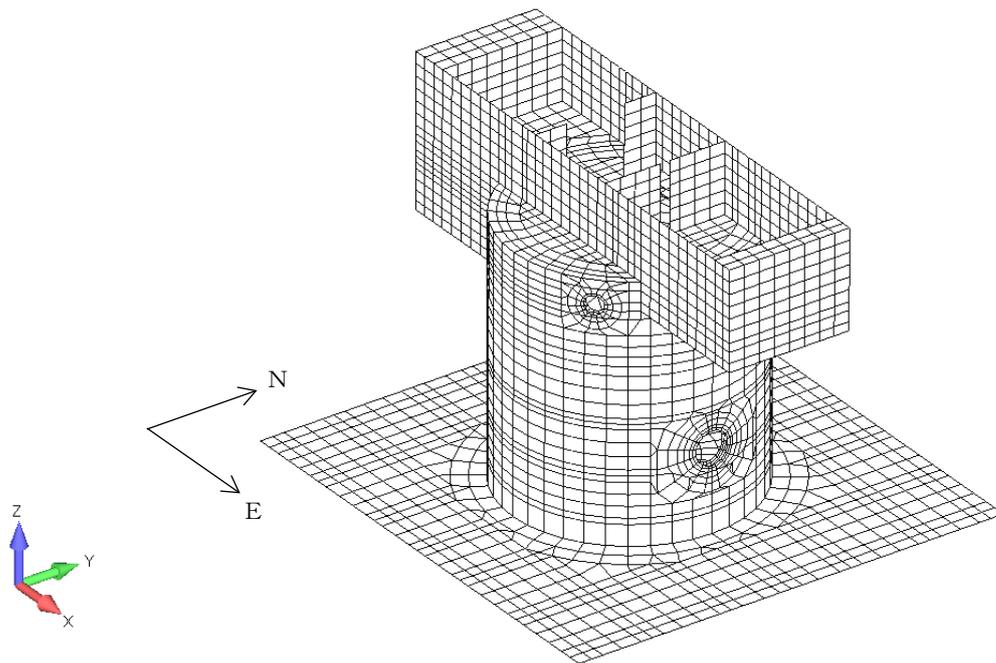
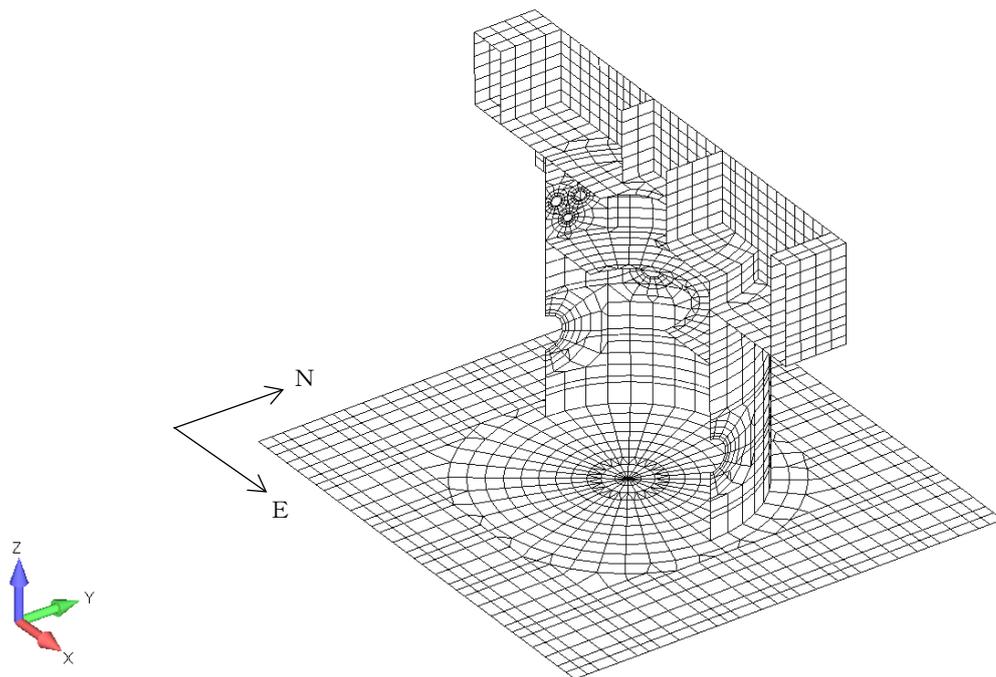


図 3-5 せん断スケルトン曲線の概念図



(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体断面図

図 3-6 RCCV 及び基礎スラブの応力解析モデル (今回工認)

4. まとめ

原子炉建屋の設計体系における補助壁の取扱いについて、既工認時及び今回工認における考え方を整理した。

既工認時は、間仕切壁を建屋剛性として振動諸元には考慮せずに地震応答解析を実施しており、分類に応じた設計用地震力に対して設計していることを確認した。

今回工認では、間仕切壁のうち耐震要素として考慮可能であると考えられる壁を補助壁とし、建屋剛性としてせん断剛性を考慮して地震応答解析を実施しており、S_d地震時に対しては既工認時の設計用地震力を下回り、S_s地震時に対しては耐震壁と同様に評価していることを確認した。また、RCCV 及び基礎スラブの評価において補助壁の取扱いについて確認した。

各建屋の設計体系における補助壁の取扱い

各建屋の設計体系における補助壁の取扱いにおける原子炉建屋との差分について、別表-1に示す。

別表-1 各建屋の設計体系における補助壁の取扱いについての原子炉建屋との差分

項目	内容	既工認時		今回工認				
		原子炉建屋	原子炉建屋	コントロール建屋	緊急時対策所	タービン建屋	廃棄物処理建屋	
地震応答解析	剛性及び復元力特性	間仕切壁を考慮せず	間仕切壁のうち補助壁のせん断剛性を考慮	同左	同左	同左	同左	
設計用地震力	設計用地震力の設定	基準地震動 S_1 による動的地震力及び静的地震力より設定（間仕切壁は地震荷重を負担しない） （基準地震動 S_2 による動的地震力は設計用地震力を下回る）	<ul style="list-style-type: none"> • S_d 地震時（静的地震力は既工認時と同じ） （既工認時の設計用地震力を下回る） • S_s 地震時 	S_s 地震時	S_s 地震時	S_s 地震時	S_s 地震時	
耐震評価	地震応答解析による評価	耐震壁のせん断ひずみが、 2.0×10^{-3} 以下になることを確認	耐震壁及び補助壁のせん断ひずみが、 2×10^{-3} 以下になることを確認	同左	同左	同左	同左	
	応力解析による評価	評価部位	<ul style="list-style-type: none"> • RCCV • 基礎スラブ 	<ul style="list-style-type: none"> • RCCV • 基礎スラブ 	基礎スラブ	基礎スラブ	基礎スラブ	<ul style="list-style-type: none"> • 復水貯蔵槽 • 基礎スラブ
		モデル化	<ul style="list-style-type: none"> • RCCV 補助壁をモデル化せず • 基礎スラブ 補助壁をモデル化せず 	<ul style="list-style-type: none"> • RCCV 補助壁をモデル化せず • 基礎スラブ 補助壁をモデル化せず 	補助壁をモデル化せず	補助壁をモデル化せず	補助壁を含む上部構造を 3 次元 FEM でモデル化	補助壁を含む上部構造を 3 次元 FEM でモデル化
		地震荷重	すべて耐震壁及び RCCV で負担	<ul style="list-style-type: none"> • RCCV 補助壁の負担分を考慮（せん断断面積比より算定） • 基礎スラブ すべて耐震壁及び RCCV で負担 	すべて耐震壁で負担	すべて耐震壁で負担	補助壁の負担分を考慮（モデル化要素で分担）	補助壁の負担分を考慮（モデル化要素で分担）