

第7回特定原子力施設の実施計画の審査等に 係る技術会合におけるご質問へのご回答

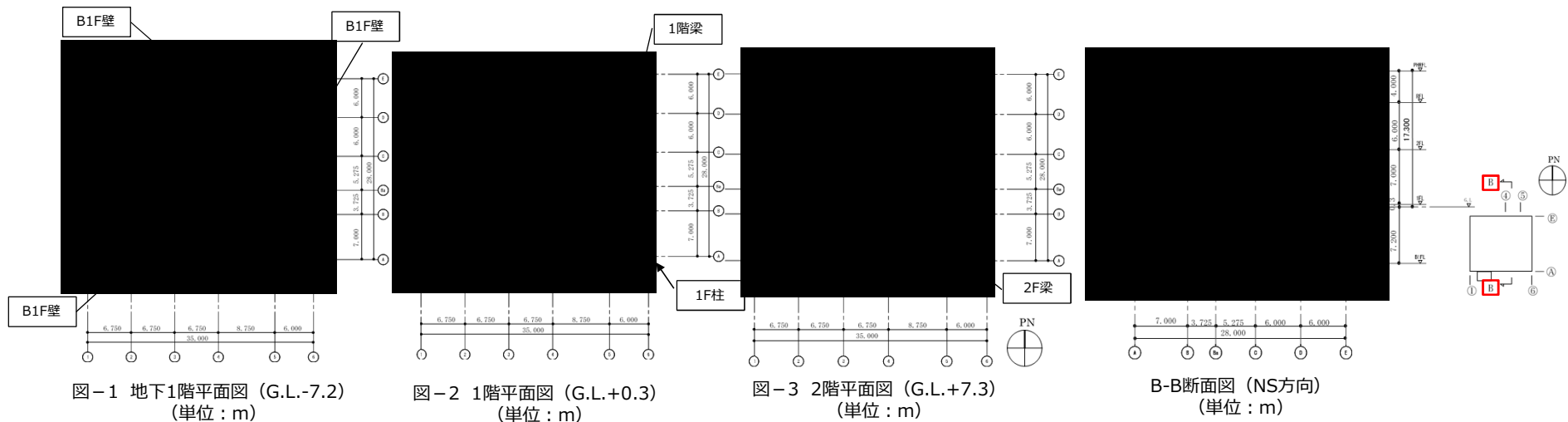
2023年4月11日

東京電力ホールディングス株式会社
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

技術会合における宿題

静的地震力3.0Ciによる解析の結果、検定比1.0を上回る部位が、コンクリートセル部に波及的影響を及ぼさないことを説明すること。

- ・コンクリートセル部はSクラスとなることから、静的地震力3.0Ciによる解析の結果、コンクリートセル部（間接支持機能部も含む）は検定比1.0以下を満足することを確認したが、コンクリートセル部以外の部位（柱で1箇所、梁で2箇所、耐震壁で3箇所）で検定比1.0を上回った。
- ・このため、建屋の各部位がコンクリートセル部に波及的影響を及ぼさないことを、Sクラス設備の耐震評価で用いられる動的地震力Ss900と保有水平耐力を比較して確認する。



波及的影響の確認結果（1/2）

- 波及的影響の確認は、原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）を参考に、動的地震力Ss900による地震力（層せん断力）と建屋の部位が終局ひずみに到達する時の耐力（保有水平耐力）を比較して、各層（各階）の層せん断力が保有水平耐力に至らないことを確認※する。
- 第2棟建屋の各階の保有水平耐力とSs900による層せん断力を表1に示す。
- **保有水平耐力はSs900による層せん断力及び3.0Ciより十分大きいことから、建屋の一部の部位が短期許容応力度を超過していても破壊には至らず、コンクリートセル部への波及的影響防止の機能は確保されていると判断する。**
- なお、必要保有水平耐力 Q_{un} に対しても、 $Q_u/Q_{un} = 3.64$ （EW方向）、 3.45 （NS方向）であり、Sクラス要求（安全率 $Q_u/Q_{un} = 1.5$ ）に対して2倍以上裕度があり、Sクラスに求められる建屋の耐震性は十分に確保できているものと判断する。

(単位：kN)

(単位：kN)

EW方向					NS方向						
	保有水平耐力		Ss900		3.0Ci		保有水平耐力		Ss900		3.0Ci
R階	27262	>	8630	>	8178	R階	25899	>	10367	>	8178
2階	113617	>	56108	>	34086	2階	107936	>	72505	>	34086
1階	200089	>	127938	>	60026	1階	190084	>	155283	>	60026
B1階	369953	>	201506	>	110986	B1階	351456	>	240473	>	110986

表1 保有水平耐力とSs900、3.0Ciの層せん断力（水平方向）の比較

※3.6.4 機能保持及び波及的影響防止の検討（原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601)）

3.6.4.2 波及的影響防止の検討

波及的影響を考慮すべき建物・構築物を構成する部位は、対象とする上位の耐震クラスに分類される施設の確認用地震動から求まる地震力によって生じる**当該部位が属する層の最大せん断力が、保有水平耐力に至らないことを確認する。**

b. 波及的影響防止の検討における許容限界

当該設備の耐震重要度に応じた地震力（Sクラス設備であれば基準地震動に対する層せん断力）が当該層の保有水平耐力を超えない場合は、建物・構築物の部位の波及的影響の防止は確保されていると考えられる。

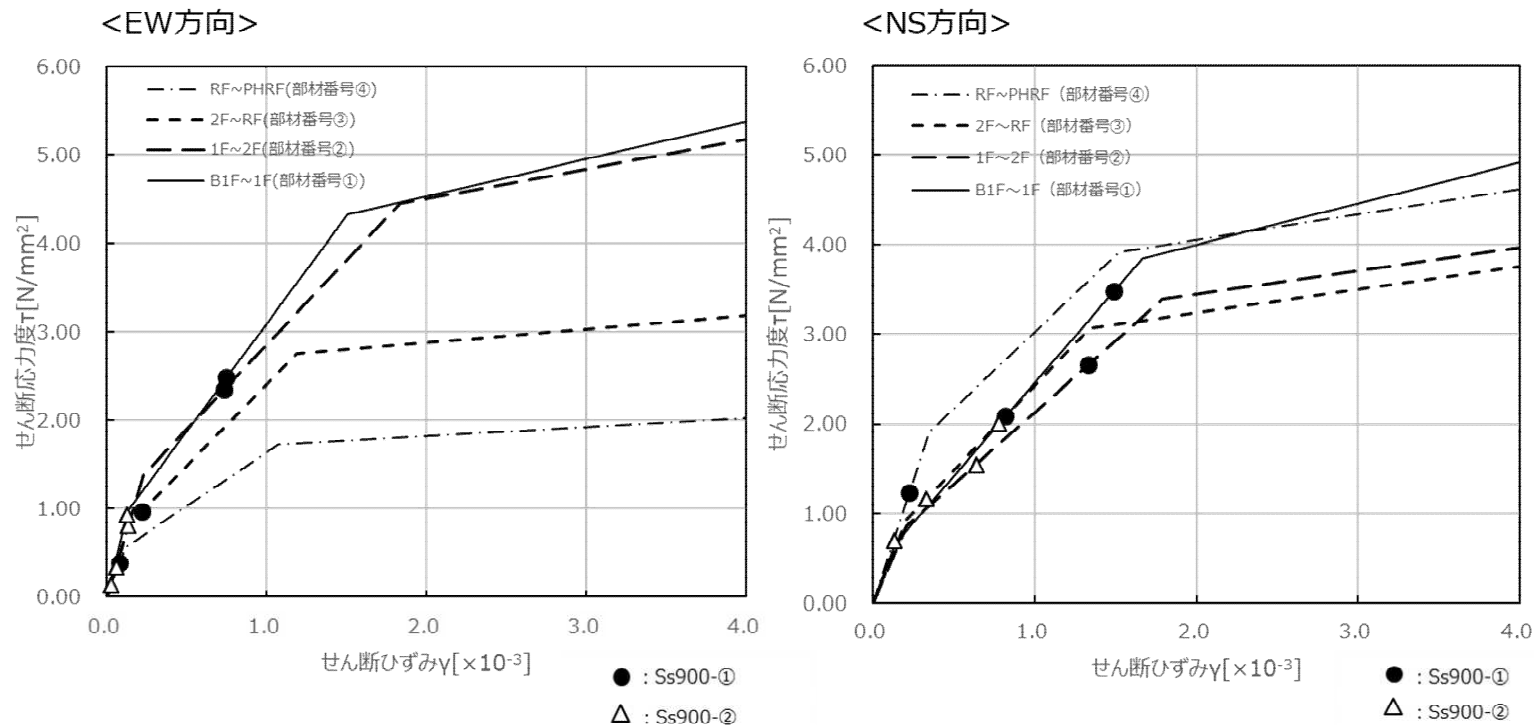
波及的影響の確認結果 (2/2)

- 保有水平耐力はSs900の地震力より十分大きいことを確認したことから、原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601) を参考に、**波及的影響防止は確保されていると判断する。(p2)**
- 建屋は動的地震力Ss900を用いた耐震性評価において、せん断ひずみは 2.0×10^{-3} 以下であり、概ね弾性範囲に収まることが確認できていることから、3.0Ciで検定比1.0以上となる部位についても、著しい変形が発生することはないため、波及的影響を及ぼさないと判断する。(p4)
- 以上より、コンクリートセル部に影響を与えず、コンクリートセル部は安全機能を確保できると判断する。

<参考> 動的地震力Ss900による確認結果

① : 動的地震力Ss900による確認結果

- Ss900※1における建屋各層のせん断応力度－せん断ひずみ関係は、下記のスケルトンカーブ（ τ － γ ）関係となる。
- 各層に発生するせん断応力度におけるせん断ひずみは、**Ss900※1に対しいずれも 2.0×10^{-3} 以下**であり、また、第2折れ点を超過しないことから、**建屋はおおむね弾性範囲**にとどまり、コンクリートセル部はクラス相当の耐震性を有することを確認した。



※1 Ss900-①及びSs900-②は第27回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2「東京電力福島第一原子力発電所の外部事象に対する防護の検討について」で示された地震動

＜参考＞ 静的地震力3.0Ciによる確認結果

静的地震力3.0Ciによる確認結果（コンクリートセル部以外について）

参考値

- 静的地震力3.0Ciによる解析の結果、**コンクリートセル部以外の部材では、柱で1箇所、梁で2箇所、耐震壁で3箇所**が検定比1.0を上回ることを確認した。**これらの部材については、鉄筋の強度を建築基準法に基づき、基準強度の1.1倍とした場合においても検定比が1.0を上回る。**
- 検定比が1.0を上回る箇所があるが、Ss900では、第2棟の建屋はおおむね弾性範囲にある。

No	部材	階	対象範囲	荷重ケース	評価基準	検定比	
						曲げ	せん断
①-1	柱	1	A通り - 6通り	EW方向	≤1.00	1.15	0.42
②-1	梁	2	5通り A-B間	NS方向		1.13	0.60
②-2		1	5通り Ba-C間	NS方向		1.32	1.48

No	部材	階	対象範囲	荷重ケース	評価基準	検定比	
						曲げ	せん断
③-1	耐震壁	B1	E通り 3-4間	EW方向	≤1.00	1.17	
③-2		B1	3通り A-B間	NS方向		1.15	
③-3		B1	6通り C-D間	NS方向		1.20	

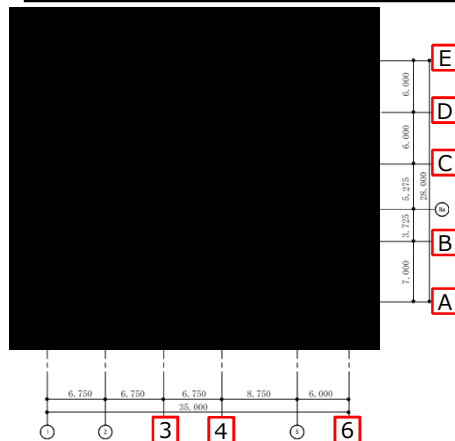


図-1 地下1階平面図 (G.L.-7.2)
(単位 : m)

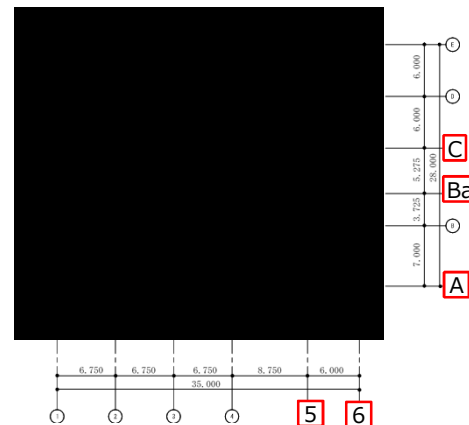


図-2 1階平面図 (G.L.+0.3)
(単位 : m)

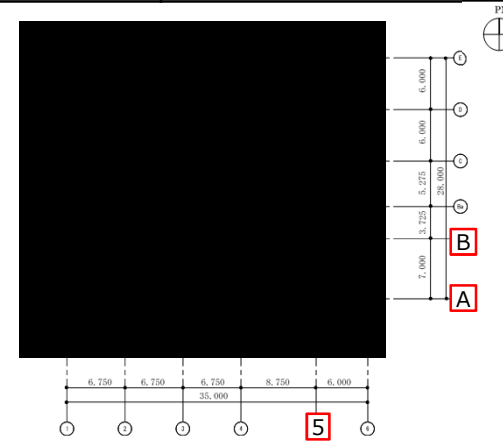


図-3 2階平面図 (G.L.+7.3)
(単位 : m)

凡例

	: 耐震壁
	: 柱
	: 梁
	: コンクリートセル部

技術会合におけるご質問②（1/3）

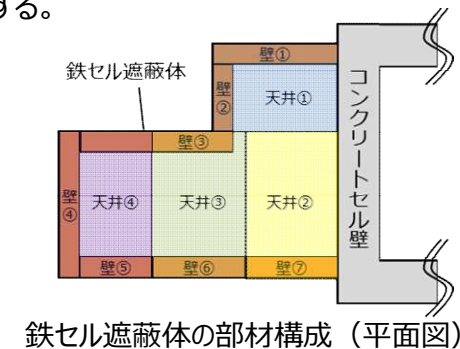
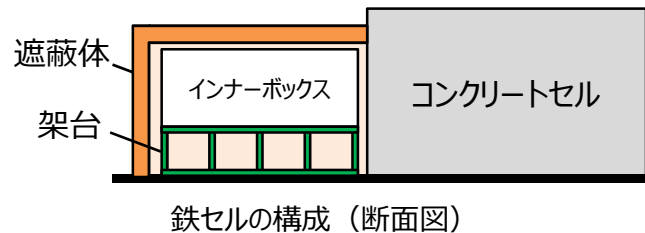
- 鉄セル遮蔽体の上位クラスへの波及的影響について説明すること。

鉄セル遮蔽体（B+クラス）が地震等で損傷した場合のコンクリートセル（Sクラス）への波及的影響を評価した。

Ss900地震発生時に想定される事象

地震によって鉄セル遮蔽体が損傷し、遮蔽体が転倒・落下する可能性がある。遮蔽体が外側に転倒する場合はコンクリートセルへ波及的影響を及ぼす可能性は低いと考える。遮蔽体のインナーボックス側への転倒又は落下する場合は、インナーボックスが変形等し、遮蔽体自体がインナーボックスにとどまるため、コンクリートセルへ波及的影響を及ぼす可能性は低いと考える。しかしながら、以下のような事象を想定する。

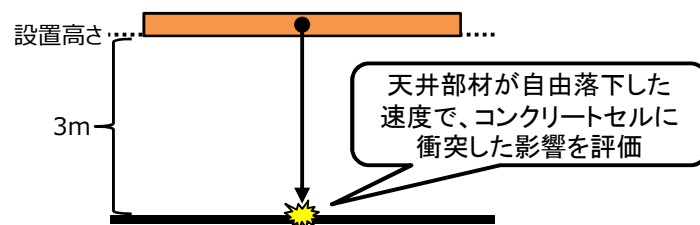
- インナーボックスでとどまった天井部材又は壁部材が地震の力で振動し、コンクリートセルに衝突する。
- 天井部材が落下し、インナーボックスに衝突し、跳ね返り、コンクリートセルに衝突する。
- 壁部材が地震により転倒し、インナーボックスに衝突し、跳ね返り、コンクリートセルに衝突する。



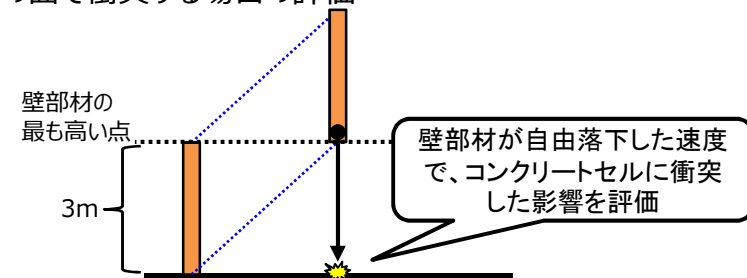
評価モデル

実際には、インナーボックスとの衝突で落下のエネルギーの一部が吸収されるが、本評価モデルでは**落下のエネルギーがすべてコンクリートセルに加わるものとして保守的に評価を行う。**

- 天井部材が設置高さから自由落下し、部材の最小面積の面で衝突する場合の評価



- 壁部材の最も高い点から自由落下し、部材の最小面積の面で衝突する場合の評価



技術会合におけるご質問② (2/3)

衝突評価は貫通評価（修正NDRC式及びDegen式）及び裏面剥離評価（Chang式）を用いて、評価を行う。
なお、衝突評価では飛翔体の角で衝突することを考慮して、先端の形状を鋭い（円錐型）として評価を行う。

貫通評価

修正NDRC式及びDegen式を用いて、貫通限界厚さを算出し、貫通限界厚さ※1がコンクリートセルの壁厚を下回ることを確認する。

※1 貫通を防止するために必要な限界の厚さ

•貫通限界厚さ*1, 2

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left(\frac{X_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left(\frac{X_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\}$$

$$X_c = \alpha_c \sqrt{4kWN_p D \left(\frac{V}{1000D} \right)^{1.8}}$$

$$k = \frac{180}{\sqrt{F_c}}$$

低減係数 $\alpha_p = 1.0$

形状係数 $N_p = 1.14$ (鋭い (円錐型))

裏面剥離評価

Chang式を用いて、裏面剥離限界厚さを算出し、裏面剥離限界厚さ※2がコンクリートセルの壁厚を下回ることを確認する。

※2 裏面剥離を防止するために必要な限界の厚さ

•裏面剥離限界厚さ*3, 4

$$t_s = \frac{1.84 \alpha_s N_s \left(\frac{200}{V} \right)^{0.13} (MV^2)^{0.4}}{\left(\frac{D}{12} \right)^{0.2} (144 F_c)^{0.4}}$$

低減係数 $\alpha_s = 1.0$

形状係数 $N_s = 1.18$ (鋭い (円錐型))

凡例

t_p :	貫通限界厚さ(in)
α_c :	貫入深さ飛翔体低減係数(-)
k :	コンクリート強度から定まる係数(-)
X_c :	貫入深さ(in)
N_p :	貫入深さ形状係数(-)
F_c :	コンクリート強度(psi)
α_p :	貫通限界厚さ低減係数(-)
D :	飛翔体直径(in)
W :	飛翔体重量(lb)
V :	衝突速度(ft/s)
t_s :	裏面剥離限界厚さ(ft)
α_s :	裏面剥離限界厚さ低減係数(-)
N_s :	裏面剥離形状係数(-)
M :	質量(lb/(ft/s ²))

*1 R. P. Kennedy, "A review of procedures for the analysis and design of concrete structures to resist missile impact effects", Nuclear Engineering and Design, 37, (1976).

*2 P. P. Degen, "Perforation of reinforced concrete slabs by rigid missiles", Journal of the Structural Division, Proceeding of ASCE, vol.106, No.ST7, (1980).

*3 W. S. Chang, "Impact of solid missiles on concrete barriers", Journal of the Structural Division, Proceeding of ASCE, Vol.107, No.ST2, (1981).

*4 伊藤千浩他, 「剛飛翔体の衝突に対する鉄筋コンクリート構造物の設計評価式」, 土木学会論文集No.507/1-30, 201-208, 1995.1.

技術会合におけるご質問② (3/3)

天井部材の衝突評価結果

部材No.	衝突距離(m)	衝突速度(m/s)	貫通限界厚さ※ ¹ (m)	裏面剥離限界厚さ※ ² (m)	コンクリートセル壁厚(m)
天井①	3.0	7.7	0.15	0.38	■
天井②			0.20	0.50	
天井③			0.20	0.50	
天井④			0.20	0.50	

壁部材の衝突評価結果

部材No.	衝突距離(m)	衝突速度(m/s)	貫通限界厚さ※ ¹ (m)	裏面剥離限界厚さ※ ² (m)	コンクリートセル壁厚(m)
壁①	3.0	7.7	0.18	0.47	■
壁②			0.17	0.41	
壁③			0.23	0.59	
壁④			0.22	0.56	
壁⑤			0.23	0.54	
壁⑥			0.26	0.56	
壁⑦			0.24	0.56	

※1 貫通を防止するために必要な限界の厚さ

※2 裏面剥離を防止するために必要な限界の厚さ

結果まとめ

天井部材の落下及び壁部材の転倒を想定した評価を行った結果は、いずれの部材に対しても貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さがコンクリートセルの壁厚■mを下回るため、貫通及び裏面剥離は発生しない。

技術会合におけるご質問③

- 衝突評価で使用した修正NDRC式、Degen式及びChang式の適用性を説明すること。

貫入深さを求める修正NDRC式は、飛翔体の先端形状としてOgive（オージャイブ）型形状を想定した評価式である。



Ogive（オージャイブ）型形状

修正NDRC式のパラメータである先端の形状係数Nは、鋭い（円錐型）1.14、Ogive型形状1.00、半球0.84、平坦0.72のうち、飛翔体の角が衝突することを想定し、鋭い（円錐型）1.14を設定している。

修正NDRC式で求めた貫入深さを代入して、貫通限界厚さを求めるDegen式は修正NDRC式において、先端の形状を考慮しているため、鋭い先端形状で評価していることになる。

Chang式による裏面剥離の評価では、飛翔体の先端の形状係数を1.18 ※とし、先端形状が鋭い（円錐型）ことを考慮する。

➡ 面的に衝突する評価ではなく、先端が鋭い（円錐型）飛翔体を考慮した評価を行っているため、適用性を有している。

※「剛飛翔体の衝突に対する鉄筋コンクリート構造物の設計評価式」, 伊藤千浩他, 土木学会論文集No.507/I-30, 201-208, 1995.1.

番号	審査項目	指摘内容	指摘日	事業者回答	回答日	状況	指摘手段	備考
66	耐震設計	引き抜きによるアンカー部評価の結果について説明すること。	2020/7/30	補足説明資料2.14.2.1-54頁から、基礎ボルトの評価を記載した。	2023/4/11			・2021/6/9まとめ資料P.224, 255に記載あり
67	耐震設計	断面図だけでなく平面図にもコンクリートセルの場所を記載すること。	2020/7/30	補足説明資料2.14.2.1-1頁に、コンクリートセルを構成する壁等を赤枠で記すことで回答した。	2023/4/11			・申請書添付-2, 11等の平面図には記載あり ・2021/6/9まとめ資料P.199に記載はあるが、申請書添付-20耐震性等の平面図では明確な記載はなし
68	耐震設計	建屋に要求される機能のうち、遮蔽機能が求められる建屋の部位を明確にすること。また、密封機能についても、どの部位に求められるかのように確保されるか説明すること。	2020/7/30	補足説明資料2.14.2.1-5頁に、遮へい機能の部位を示し、2.14.2.7頁以降に弾性範囲内であることを示した。	2023/4/11			・2021/6/9まとめ資料P.335, 336に記載あり ・これで全部か要確認)
161	耐震設計	公衆への被ばく影響の評価について、これまで示された評価は、使用施設等の基準において示されている評価方法、具体的には閉じ込め機能の喪失と遮へい機能の喪失及び1事故当たりの喪失の組み合わせを十分に考慮していないと考えるところ、設備毎に求められる安全機能を整理した上で、改めて耐震クラス分類の際の影響評価として検討し説明すること。	2021/11/11	補足説明資料2.14.2.1-2頁に各設備の安全機能について示し、2.14.2.1-14頁に、各設備の公衆への被ばく影響を示した。	2021/1/14			
163	耐震設計	今回示された公衆への被ばく影響の評価の中で、遮へいがない場合が耐震クラス分類を行う際の評価に相当する。その上で、昨年9月8日に原子力規制委員会で「東京電力福島第一原子力発電所の耐震設計における地震動とその適用の考え方」を示す以前に申請され設計が進んでいた本件については、Ss900による耐震性の評価を確認した上で耐震クラス分類を確認することとするため、当該評価が終了し次第説明すること。	2022/1/14	補足説明資料2.14.2.1-1以降に記載した。	2022/11/25			
175	耐震設計	進め方として、Ss900体系による建屋の耐震性の評価を実施した後、建屋の地震影響を踏まえて敷地境界線量を評価し、その結果に応じて耐震クラス分類を決定することとしているが、最初に当該施設を構成する設備毎に安全機能及び単一で安全機能を喪失した場合の敷地境界線量への影響について整理し、耐震クラス設定についての考え方を示すこと。	2022/6/8	補足説明資料2.14.2.1-1頁以降に記載した。	2022/8/24 2022/11/25			
176	耐震設計	イベントリに応じ安全機能が喪失した状態で線量を評価した上で耐震クラス分類を設定し、その後設計の進捗状況等を勘案して適用する地震動を決定するという流れは、大筋で規制委員会の了承した流れに沿っているものの、スライド8ページの記載は耐震クラス分類を2度行うとの誤解を招く表現であり、表現の修正とともに耐震クラス分類した各設備に適用する地震動と応力評価基準等を整理し直して説明すること。	2022/8/24	補足説明資料2.14.2.1-1頁に、第51回規制委員会で示された新たな耐震クラスの設定フローに基づき実施することを記載した。	2022/11/25			
177	耐震設計	建屋、コンクリートセル等についてSs900に対して設計裕度を考慮した耐震評価結果となっていることを説明すること。	2022/8/24	補足説明資料2.14.2.1-4頁以降に、Ss900の耐震評価結果を示す。	2022/11/25			
178	耐震設計	線量評価の条件として、「試料ピットは堅牢な構造であり形状は維持されるため、臨界に達するおそれはない」としていることについて、耐震性の観点から根拠を説明すること。	2022/8/24	補足説明資料2.14.2.1-4頁以降に、コンクリートセルと試料ピットの耐震評価内容を示し、補足説明資料2.14.2.1-12頁に形状が変化した場合の確認結果を示した。	2022/11/25			
179	耐震設計	線量評価の条件として、「※1 遮蔽機能は1か月(30日)で復旧できると想定」、「※4 液体状の放射性物質の漏れい時の気相への移行率0.02%」としている根拠を説明すること。	2022/8/24	補足説明資料2.14.2.1-73頁に移行率0.02%の根拠を示す。 遮へい機能については、安全機能の喪失が継続する期間は、第103回特定原子力施設監視・評価検討会で示された7日間とし、敷地境界線量を評価した。 (2022/11/25面談資料1)	2022/11/25			
180	耐震設計	セル・グローブボックス用換気空調設備の線量評価の条件として、排気配管内の放射性物質の放出のみを考慮していることは換気空調設備がセル・グローブボックスと接続していることから適切でなく、セル・グローブボックス内からの放射性物質の放出を考慮すること。	2022/8/24	補足説明資料2.14.2.1-18頁に、コンクリートセルから気相に移行し放射性物質が放出される旨を記載した。	2022/11/25			
182	耐震設計	暫定的な耐震クラスに係る安全機能を失った際の公衆被ばく影響評価に関して、臨界量以上の燃料デブリを扱う設備については臨界防止機能が喪失した場合の影響も考慮すること。	2022/11/25	補足説明資料2.14.2.1-3頁に以下の内容を記す。 ―― 臨界量以上の燃料デブリを扱う試料ピットについて、臨界に達した場合を想定し、公衆の被ばく影響を評価した結果、 $1.9 \times 10^2 \text{ mSv}$ となる。	2023/4/11			
183	耐震設計	建屋の耐震をSクラスとしているため、その遮へい効果に期待して設備はB+として評価しているが、冒頭でこの考え方のロジックの説明を記載すること。	2022/11/25	補足説明資料2.14.2.1-1頁以降に、以下の内容を記す。 ―― 建屋のSs900による耐震性評価の結果、建屋耐震壁及びコンクリートセル壁のせん断ひずみが許容限界(2.0×10^{-3})を超えないことを確認した。 さらにJEAC4601を参考すると、「せん断ひずみの許容限界を満足している場合は、遮へい機能は保持されている」との記載があるため、遮蔽機能は維持されるものとして公衆被ばく影響を評価している。	2023/4/11			
184	耐震設計	消火設備等は放射性物質を内包する設備ではないが、地震により他設備の安全機能に影響を与える場合(例えば消火できずにセルの排気フィルタが消失等)は、安全機能の重要度に応じて当該設備と同じ耐震性を確保すること。	2022/11/25	補足説明資料2.14.2.1-75頁にて、地震時に消火機能を喪失しても、コンクリートセル、鉄セル及びグローブボックスの耐震クラス分類に影響を与えるような公衆被ばく線量の増加はないため、消火設備は耐震クラスCと分類する旨を記載した。	2023/4/11			

番号	審査項目	指摘内容	指摘日	事業者回答	回答日	状況	指摘手段	備考
185	耐震設計	建屋、コンクリートセルの除染係数として10という値を用いているが、一律にこの値を用いる根拠について説明すること。	2022/11/25	補足説明資料2.14.2.1-74頁に、以下の内容を記す。 建屋のSs900による耐震性評価の結果、建屋耐震壁及びコンクリートセル壁のせん断ひずみが許容限界(2.0×10 ⁻³)を超えないことから、以下の文献「Elizabeth M.Flew.et al.”Assessment of the Potential Release of Radioactivity from Installations at AERE, Harwell. Implications for Emergency Planning”.Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna. 1969. IAEA-SM-119/7」に基づき、建屋及びコンクリートセルの除染係数をそれぞれ10としている。	2023/4/11			
187	耐震設計	資料1の耐震評価の考え方において、「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601)」を引用しているが、当該規程は原子力規制委員会としてエンドースしていないものであり、元の論文を引用する等、適切な形で評価すること。	2022/11/25	補足説明資料2.14.2.1-5、55、56、58、62、63頁に、JEAC4601の元文献を調査したが、入手が難しい文献が多数あり、元文献にたどりつけなかった。そのため、「JEAC4601に基づき」という記載を「JEAC4601を参考に」という記載に修正した。	2023/4/11			
188	耐震設計	資料1の耐震評価の考え方における耐震上の具体的な要求事項について、全体的に定性的な表現ではなく、評価結果の実態も考慮して、評価結果との関係で理解しやすいような表現に改めること。	2022/11/25	補足説明資料2.14.2.1-15頁で、「遮へい機能、閉じ込め機能、臨界防止機能が維持できることを確認した。」に示した。	2023/4/11			
190	耐震設計	資料2及び資料3の地盤モデルの設定根拠に関して、地盤調査の内容等を資料に明示すること、また使用済燃料乾式キャスク仮保管設備の地盤物性を用いることとした根拠等についても明示すること。	2022/11/25	補足説明資料2.14.2.1-27頁以降に以下の内容を記す。 地盤調査の内容等を資料に明示した。 また、1F敷地内の西側に位置し、第2棟(T.P.+約40m)と同様な敷地高さ(T.P.+約38m)に設置されている使用済燃料乾式キャスク仮保管設備では、地層の連続性を確認した上で、福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書より地盤物性値を適用しており、第2棟においても同様にボーリング調査により確認のうえ、地盤物性値を適用している。	2023/4/11			
191	耐震設計	コンクリートセルについて、現在の評価結果は建屋壁を含めた平均値を用いているが、コンクリートセル壁は建屋壁と厚さなどが異なることから、建屋とコンクリートセルを分離して評価すること。また、許容限界の考え方について、建屋の間接支持機能だけでなく、コンクリートセルの遮蔽機能及び閉じ込め機能に対しても整理すること。	2022/11/25	補足説明資料2.14.2.1-4頁以降に、コンクリートセル及び試料ピットに要求される機能について評価し、評価項目が許容限界であることを示した。	2023/4/11			
192	耐震設計	耐震評価の対象とする設備について、対象設備を類型化した上で、床応答加速度、評価対象部位や許容応力の設定の考え方を含めそれぞれどのような評価を行うのか説明すること。また、今回の評価結果については、剛構造であることを前提とした評価を行っているが、その根拠となる固有値解析結果等を示すとともに、剛構造以外の設備(例えば評価対象となっていない設備としてマニピュレータ等)はどのように評価しているのか説明すること。	2022/11/25	補足説明資料2.14.2.1-54頁以降に、以下の内容を示す。 ・耐震評価の対象設備を類型化し、固有周期について設備ごとにまとめた。 ・評価対象部位が基礎ボルトであることを明確化した。 剛構造以外の設備(マニプレータ等)について、補足説明資料2.14.2.1-75頁の表2.14.2.1-61 パウダリ取り方列のその他の欄に示した。	2023/4/11			
193	耐震設計	耐震クラスの見直しによる耐震評価において、耐震Bクラス設備に適用される静的震度(1.8G)を用いた加速度の応答比倍率による評価を示しているが、措置を講ずべき事項では、適切な耐震上の区分の設定とそれに応じた設計用地震力に十分耐えることを要求していることから、変更申請においては適用する地震動による評価内容を提示すること。	2022/11/25	補足説明資料2.14.2.1-54頁以降に、内装設備の1/2Ss450機能維持について、応答倍率法ではなく、JEAC4601を参考にした評価を実施し、耐震性を有していることを確認する。一例として鉄セル遮へい体の評価結果を示す。				
追-18	耐震設計	変更認可申請書及び説明資料においては、ローディングドック等で使用するクレーンに係る記載がないが、クレーンの重量等について説明するとともに、耐震に係る評価上クレーンの荷重等の考慮が不要であることを説明すること。		補足説明資料2.14.2-4頁に、第2棟には定格荷重(20t、5t)の計2基のクレーンの配置を計画しております。また、定格荷重20tのクレーンは、「クレーン機器重量約16t、吊荷重20t」、定格荷重5tのクレーンは、「クレーン機器重量約2.4t、吊荷重5t」であることを記載した。加えて、建屋の耐震設計では、クレーン構造規格や建築物荷重指針・同解説により、吊荷重量を除きクレーン機器重量を考慮して評価しており、耐震性に問題ないことを確認したことを記載した。	2023/4/11			
追-19	耐震設計	塩酸含有廃液保管ラック及び有機廃液保管ラックに関して耐震設計の考え方を説明すること。		補足説明資料2.14.2-4頁に、塩酸含有廃液保管ラック及び有機廃液保管ラックは、取り扱う燃料デブリが少量であり、被ばく線量が極めて小さいことから、耐震Cクラスとしている。	2023/4/11			

番号	審査項目	指摘内容	指摘日	事業者回答	回答日	状況	指摘手段	備考
85	閉じ込め機能／耐震設計	閉じ込め機能の確保の考え方に基づいて、電気系や弁等を含む設備全体の耐震クラスの整理をするとともに、異常時の弁の操作について説明すること。	2020/9/16	補足説明資料2.14.2.1-15頁に、各設備の耐震クラスを記載した。 閉じ込め機能の確保の考え方及び異常時の操作は、2.10放射性気体廃棄物の処理・管理に記載した。	2023/4/11			・耐震クラスについては別途確認中 ・2021/6/9まとめ資料P.393-400に自動閉止等の記載あり ・ただし設備の機能喪失+火災発生時等の弁の開閉操作については今後マニュアルを定める予定(要確認?) 【参考・東電関連説明 2021.2.3面談時】コンクリートセルの給排気弁(停電時に自動で閉止する弁)は、給電時であれば制御室にて開閉操作を行うことが可能である。
①	耐震設計	「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方」のフローに基づき暫定でSクラスであるものの、現実的な緩和対策を勘案してB+クラスとしている点について、Sクラスが担保できない点を含めて耐震に係る評価結果を網羅的かつ具体的に説明すること。	2023/1/24	補足説明資料2.14.2.1-1~77頁にて、試料ピット、コンクリートセルはSクラスと分類することを記載した。	2023/4/11			
②	耐震設計	Ss900による建屋の耐震性評価において、閉じ込め及び遮蔽機能の評価基準に、「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601)」で定めているせん断ひずみの値(2.0×10^{-3})を用いているが、前回は指摘したとおりJEAC4601は原子力規制委員会でエンドースしておらず、また実用炉の審査ではその値を用いることの妥当性も含めて評価していることから、評価結果の記載については上記の耐震クラスの議論を踏まえた上で適切な内容に見直すこと。	2023/1/24	補足説明資料2.14.2.1-1~77頁にて、「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601)」を参考にして、評価を実施したことを記載した。	2023/4/11			
③	耐震設計	上記の耐震クラスの議論を踏まえ、必要に応じて耐震性評価を見直すこと、また下位クラス設備の破損等による上位クラス設備に対する波及的影響についても検討する必要があること。	2023/1/24	補足説明資料2.14.2.1-67~71頁にて、上位クラス設備に対する波及的影響を記載した。	2023/4/11			
④	耐震設計	マニプレータに係る説明に関連して、セル等の全ての貫通部や鉛ガラス部等について耐震、火災、負圧維持等の観点から、いずれの場合においても影響がないことを網羅的に説明すること。	2023/1/24	補足説明資料2.14.2.1-76~77頁にて、貫通部における鉛ガラス部等について耐震、火災、負圧維持等の観点から、いずれの場合においても影響がないことを記載した。	2023/4/11			
⑤	耐震設計	Ss900の評価結果等の「概ね弾性状態(スケルトンカーブの第2折れ点以下)」と記載している点について、どのような状態(例:鉄筋降伏には至らない状態等)を意味しているのか具体的に記載すること。	2023/2/13	補足説明資料2.14.2.1-6~7頁にて、スケルトンカーブの第2折れ点以下がどのような状態か具体的に記載した。	2023/4/11			
⑥	耐震設計	3.0Ciの耐震評価結果(検定比等)について、検定比が1.0を超過している部材の損傷程度を説明するとともに、各部材の機能維持に必要な強度との関係性や耐震上重要なセルやピットの機能への影響等について説明すること。	2023/2/13	補足説明資料2.14.2.1-9~10頁にて、検定比が1.0を超過している部材の損傷程度を記載した。また、2.14.2.1-44~48頁にて、ピットの機能への影響がないことを記載した。	2023/4/11			
⑦	耐震設計	耐震クラスについて、Ss900の解析・評価した結果等から実質上安全機能が喪失しないことからB+クラスにしたいとするならば、その考え方やロジック構築の経緯、昨年11月16日の原子力規制委員会で示した耐震クラスの設定の考え方のフローとの関係を整理して説明すること。	2023/2/13	補足説明資料2.14.2.1-1~77頁にて、試料ピット、コンクリートセルはSクラスと分類することを記載した。	2023/4/11			
⑧	耐震設計	暫定Sクラスとなるコンクリートセルや燃料ピット(以下「セル等」という。)の静的解析3.0Ciによる確認結果に関して、セル等及びその他部材の設置位置や役割(機能)を明確にした上で、検定比が1.0を上回る部材によるセル等への影響の有無について、断面図等を用いて各部材の設置位置及び役割の関係を踏まえて具体的に説明すること。その上で、当該部材が間接支持等でありセル等には波及的影響を及ぼさないのであればその根拠を説明すること。	2023/2/24	補足説明資料2.14.2.1-9~10頁にて、セル等及びその他部材の設置位置や役割(機能)を明確にした上で、検定比が1.0を上回る部材によるセル等への影響がないことを記載した。	2023/4/11			
⑨	耐震設計	地震時の破損・転倒等による上位クラス設備への波及的影響検討について、鉄セル遮へい体がセル等に波及的影響を及ぼす可能性がある事象を網羅的に検討した上で全体が分かるよう記載すること。	2023/2/24	補足説明資料2.14.2.1-67~71頁にて、上位クラス設備に対する波及的影響を記載した。	2023/4/11			

2.14.2 自然現象に対する設計上の考慮への 適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計、設備について措置を講ずべき事項

1 4. 設計上の配慮

○施設の設計については、安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

②自然現象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物、系統及び機器は、その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して、耐震設計上の区分がなされるとともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること。
- ・安全機能を有する構築物、系統及び機器は、地震以外の想定される自然現象（津波、豪雨、台風、竜巻等）によって施設の安全性が損なわれない設計であること。重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。

2.14.2.1 措置を講ずべき事項への適合方針

(1)地震に対する設計上の考慮

第2棟の建屋及び設備の耐震設計は、「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方」（第51回原子力規制委員会資料、令和4年11月16日）に基づき、クラス別分類して設計する。

また、その耐震性を評価するに当たっては、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」を準用する。

地震による機能喪失を想定した場合の影響を評価し、「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方」に基づき定めた耐震クラスが「使用施設等の位置、構造及び設備の基準に関する規則」を考慮した設計とする。

(2)津波、台風、積雪等に対する設計上の考慮

①津波

第2棟は、アウターライズ津波が到達しないと考えられる T.P. +約 40m の場所に設置するため、津波の影響は受けない。

②台風、積雪等

台風など暴風時に係る建屋の設計は、建築基準法及び関係法令に基づく風圧力に対して耐えられるようにする。

なお、その風圧力は、その地方における観測記録に基づくものとする。豪雨に対しては、構造設計上考慮することはないが、屋根面の排水等、適切な排水を行うものとする。

その他自然現象として、積雪時に係る建屋の設計は、建築基準法及び関係法令、福島県建築基準法施行細則第19条に基づく積雪荷重に耐えられるようにする。

なお、その積雪荷重は、その地方における垂直積雪量を考慮したものとする。

(実施計画：II-2-48-7, 8)

2.14.2.2 対応方針

(1) 設計、設備について考慮する事項

○ 施設の設計については、安全上の重要度を考慮して以下について適切に考慮したものとする。

(2) 自然現象に対する設計上の考慮

- ・ 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、その安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で、核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。また、確保できない場合は必要に応じて多様性を考慮した設計とする。
- ・ 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、地震以外の想定される自然現象（津波、豪雨、台風、竜巻等）によって施設の安全性が損なわれないものとする。その際、必要に応じて多様性も考慮する。重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮したものとする。

(実施計画：II-1-14)

(3) 措置を講ずべき事項への具体的な対応方針

具体的な対応方針を以下に示す。

① 地震

i) 建屋

第2棟は、「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方」（第51回原子力規制委員会資料、令和4年11月16日）に基づき、耐震設計上の重要度に応じてクラス別分類を行うとともに、耐震性評価を行う。

なお、設計は建築基準法に準拠し、積雪荷重及び風圧についても評価する。

第2棟は、鉄筋コンクリート造の地上2階、地下1階、平面寸法35.0m（EW方向）×28.0m（NS方向）、地上高さ17.3mの建物である。基礎は直接基礎で、人工岩盤を介して富岡層に支持させる。

建屋に加わる地震時の水平力は、主に外周部及び建物内部に設けた耐震壁にて負担する。

ii) 設備

第2棟の設備に係る耐震設計は、「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方」（第51回原子力規制委員会資料、令和4年

11月16日)に基づき、耐震設計上の重要度に応じてクラス別分類を行うとともに、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」等に基づき耐震性評価を行う。また、耐震B+クラスの各設備は、剛構造(固有周期:0.05s以下)とする。

(実施計画:II-2-48-添21-1, II-2-48-添23-1)

② 地震以外の想定される自然現象

i) 津波

第2棟は、アウターライズ津波が到達しないと考えられるT.P.+約40mの場所に設置するため、津波の影響は受けない。

ii) 豪雨

豪雨に対しては、構造設計上考慮することはないが、屋根面の排水等、適切な排水を行うものとする。

(実施計画:II-2-48-7)

iii) 積雪

積雪時に係る建屋の設計は、建築基準法及び関係法令、福島県建築基準法施行細則第19条に基づく積雪荷重(積雪量:30cm,単位荷重20N/m²/cm)に耐えられるようにする。

なお、その積雪荷重は、その地方における垂直積雪量を考慮したものとする。

(実施計画:II-2-48-7)

iv) 台風(強風・高潮)

台風など暴風時に係る建屋の設計は、建築基準法及び関係法令に基づく風圧力(基準風速:30m/s)に対して耐えられるようにする。

なお、その風圧力は、その地方における観測記録に基づくものとする。

高潮は、T.P.+約40mの場所に設置するため、影響は受けない。

(実施計画:II-2-48-7)

(4) 措置を講ずべき事項へのその他対応方針

その他対応方針を以下に示す。

① クレーンの重量及び耐震上の考慮について

第2棟には、定格荷重(20t, 5t)の計2基のクレーンの配置を計画している。定格荷重20tは、「クレーン機器重量約16t, 吊荷荷重20t」、定格荷重5tは、「クレーン機器重量約2.4t, 吊荷荷重5t」となる。

建屋の耐震設計では、クレーン構造規格や建築物荷重指針・同解説により、吊荷重量を除きクレーン機器重量を考慮して評価をしており、耐震性に問題ないことを確認した。

② 塩酸含有廃液保管ラック、有機廃液保管ラックの耐震設計の考え方について

塩酸含有廃液保管ラック及び有機廃液保管ラックは、取り扱う燃料デブリが少量であり、被ばく線量が極めて小さいことから、耐震Cクラスとする。

③地震以外の想定される自然現象

i) 落雷

第2棟建屋に避雷針の設置，機器接地等により落雷による損傷を防止する設計とする。

ii) 竜巻（飛来物含む）

竜巻注意報が発生した場合，竜巻による設備損傷の恐れを考慮して，運転員が手動により第2棟制御室から設備を停止できる設計とする。

iii) 凍結

第2棟は鉄筋コンクリート造であるため，凍結により建屋が損傷するおそれはない。

なお，屋内は空調管理されているため，凍結することはない。

iv) 紫外線

第2棟は鉄筋コンクリート造であるため，紫外線による影響は受けない。

v) 高温

福島県の小名浜気象台の気象観測記録で過去に計測された気温は，最高で37.7℃であり，第2棟の屋外に設置される設備で機能喪失するものはない。

なお，屋内は空調管理されているため，高温になることはない。

vi) 生物学的事象

小動物等の襲来により，建屋貫通孔等からの小動物の侵入が想定されるため，建屋貫通孔や電路端部等に対してシール材を施工することにより，侵入を防止する設計とすることで対策を行う。

vii) その他（上記以外・火災・森林火災等）

・ 森林火災

第2棟は，周囲の森林から20m可燃物のない帯状の離隔幅を確保する。

第2棟の耐震評価について

1. 耐震クラス設定のフローと考え方

第2棟の耐震クラスは、第51回原子力規制委員会で示された文書「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方(2022年11月16日)」のフローに従い設定しており、以下に概要を示す。

1.1 「1-①：地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響に基づき暫定的に耐震クラスを設定」

- ◆燃料デブリ等の受入、加工、保管等を行うコンクリートセル、試料ピットについては、安全機能（遮へい、閉じ込め）を失った場合、敷地境界の実効線量が5mSvを超える（他の設備は5mSv未満）
- ◆また、試料ピットにおいては臨界量以上の燃料デブリを取り扱うため形状を管理

以上から、コンクリートセル、試料ピットは暫定Sクラス、これ以外の設備は暫定Bクラス又は暫定Cクラスと分類

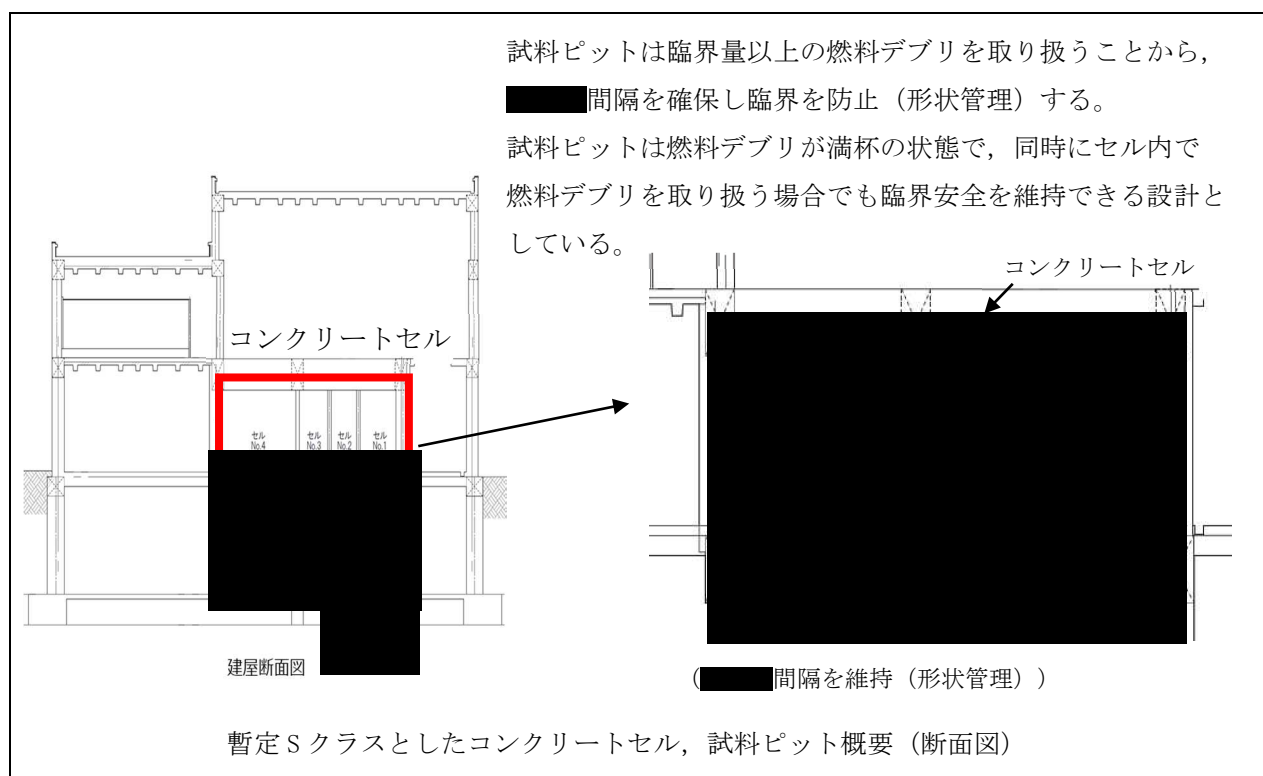


図 2.14.2.1-1 建屋断面図・部分拡大図

1.2 「1-②：現実的な緩和対策を考慮（被ばく評価期間，放射線防護対策，建屋耐震設計など）」
暫定Sクラスとした「コンクリートセル」及び「試料ピット」について耐震Sクラス相当の実力を有していることを評価

- ◆ 建屋（コンクリートセル含む）について，動的地震力 Ss900 を用いて耐震性（復元力特性）を評価した結果，おおむね弾性範囲に納まることを確認できたため，Sクラス相当の耐震性を有すると判断
- ◆ 同様に動的地震力 Sd450 を用いて耐震性（復元力特性）を評価した結果においても，おおむね弾性範囲に納まることを確認できたため，Sクラス相当の耐震性を有すると判断
- ◆ 静的地震力 3.0Ci と動的地震力 Ss900 の地震力（層せん断力）を比較すると，動的地震力 Ss900 が静的地震力 3.0Ci を上回ることを確認しているため，Ss900 でおおむね弾性範囲に納まることからSクラス相当の実力があると判断
- ◆ また，静的地震力 3.0Ci を用いて耐震性（部材毎の短期許容応力）を評価した結果，コンクリートセル及び試料ピットについては，許容応力を満たすことを確認した。

コンクリートセル及び試料ピットの耐震クラスをSクラスとする。

2. 地震により安全機能を失った際の耐震クラス分類

地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響を評価し，耐震クラスを分類する。

(1) 要求される安全機能

設計においては，既存ホットラボを参考に各設備での燃料デブリの取り扱い量を考慮して，以下の安全機能を要求している

表 2.14.2.1-1 各設備の安全機能

設備名称	安全機能
建屋	遮へい（一部の壁，天井等 ^{※1} ），間接支持機能
コンクリートセル	閉じ込め，遮へい機能
試料ピット	遮へい，臨界防止機能
鉄セル	閉じ込め，遮へい機能
グローブボックス	閉じ込め機能 ^{※2}
フード	閉じ込め機能 ^{※2}
液体廃棄物一時貯留設備	閉じ込め機能 ^{※2}
セル・グローブボックス用換気空調設備	閉じ込め機能 ^{※2}
フード用換気空調設備	閉じ込め機能 ^{※2}

※1 液体廃棄物一時貯留室の天井の一部，固体廃棄物準備室の天井及び一部の壁に遮へい機能を要求する。

※2 取り扱う燃料デブリが少量であり，被ばく線量が極めて小さいため，遮へい機能は要求しない。

(2) 第2棟の暫定耐震クラス

コンクリートセル，試料ピットは暫定Sクラス，これ以外は暫定B又はCクラスとなることから，第2棟は暫定Sクラスに分類される。

2.1 地震により安全機能を失った際の耐震クラス分類

地震により安全機能を失った際（建屋，コンクリートセルの壁・天井等が無い場合）の公衆への被ばく影響を評価し，耐震クラスを分類した。結果を以下に示す。

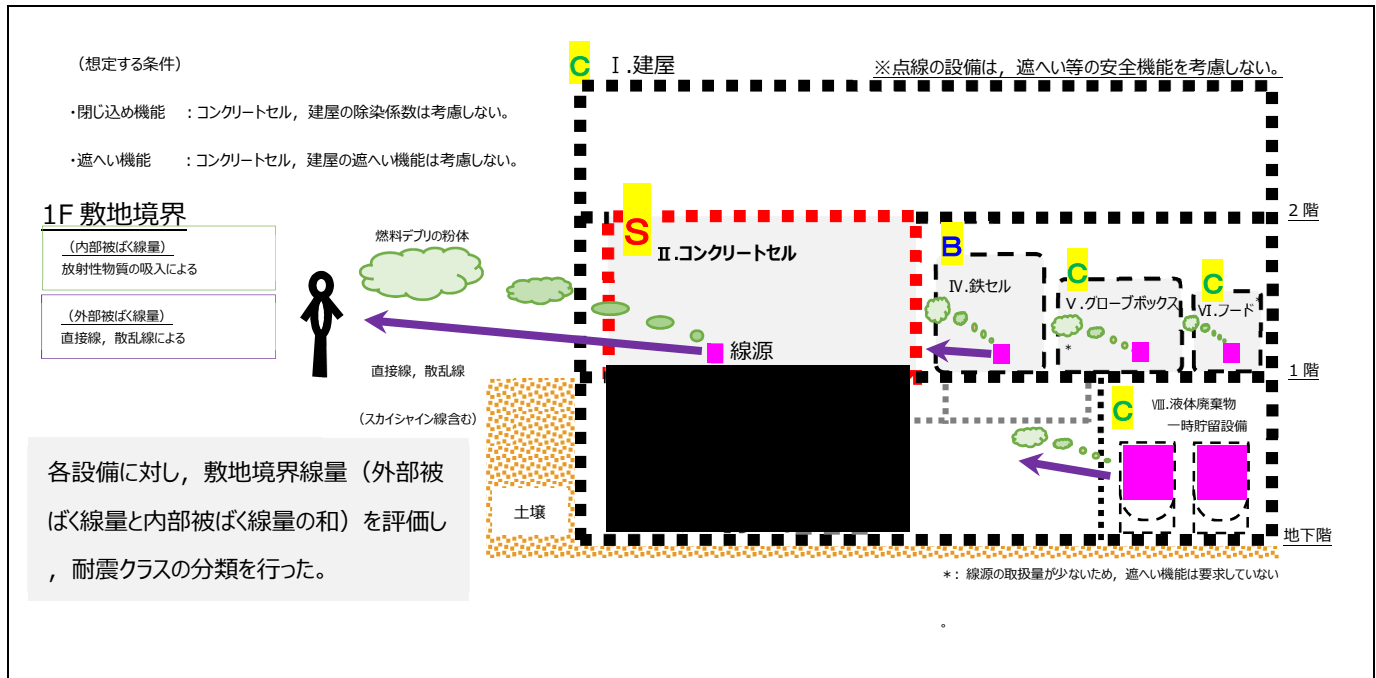


図 2.14.2.1-2 第2棟断面図(イメージ図)

「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方（2022年11月16日）」のフローに従い耐震クラスを分類した。

表 2.14.2.1-2 各設備の暫定耐震クラス

No.	設備名称 ^{※1}	敷地境界線量 (mSv)	暫定耐震クラス
I	建屋	6.5×10^{-4}	暫定Cクラス
II	コンクリートセル	1.4×10^2	暫定Sクラス
III	試料ピット	$> 1.9 \times 10^2$	暫定Sクラス
IV	鉄セル	2.8	暫定Bクラス
V	グローブボックス	2.7×10^{-4}	暫定Cクラス
VI	フード	2.7×10^{-4}	暫定Cクラス
VII	セル・グローブボックス用換気空調設備	2.0	暫定Bクラス
VIII	液体廃棄物一時貯留設備	7.2×10^{-5}	暫定Cクラス

※1：上記の設備の他，フード用換気空調設備，管理区域用換気空調設備，消火設備，固体廃棄物払出準備設備についても評価を

行い，耐震クラスを分類した。

地震により安全機能を失った際の被ばく評価を行った結果、コンクリートセル、試料ピットは暫定 S クラス、これ以外の設備は暫定 B 又は暫定 C クラスと分類した。

2.2 現実的な緩和対策の考慮について

(1) 暫定 S クラス設備に要求される安全機能

表 2.14.2.1-3 暫定 S クラス設備に要求される安全機能

設備名称	要求される安全機能
コンクリートセル	壁、天井等による遮へい機能
	壁、天井等による閉じ込め機能
試料ピット	コンクリート躯体による遮へい機能
	試料ピットの形状維持による臨界防止機能

(2) 上記の暫定 S クラス設備が S クラスの実力があるか確認するため、下記の耐震評価を行う

表 2.14.2.1-4 各評価項目における耐震評価

No.	項目	地震力	評価項目	許容限界
①	コンクリートセル, 試料ピット	Ss900	耐震壁のせん断ひずみ	おおむね弾性範囲にとどまること (※ 2.0×10^{-3} 以下)
②		Sd450	耐震壁のせん断ひずみ	おおむね弾性範囲にとどまること
③		3.0Ci	柱・梁・壁部材の応力	短期許容応力度以下
④	地盤	Ss900	接地圧	極限支持力度以下

※ せん断ひずみに関する許容限界（原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601））

なお、Ss900 による耐震評価の結果を基に、地震により試料ピットが変形した場合の臨界安全についても評価を行う。

2.2.1 第 2 棟の建屋構成部材に要求される S クラス相当の機能について

- ・コンクリートセル部を間接支持する部分は、Ss900 に対して間接支持機能が要求される。
- ・S クラス相当の耐震性が要求される範囲は、コンクリートセル、試料ピット

■となる。

・第2棟の各部位に求められる機能要求は、以下の図 2.14.2.1-3 に示す。

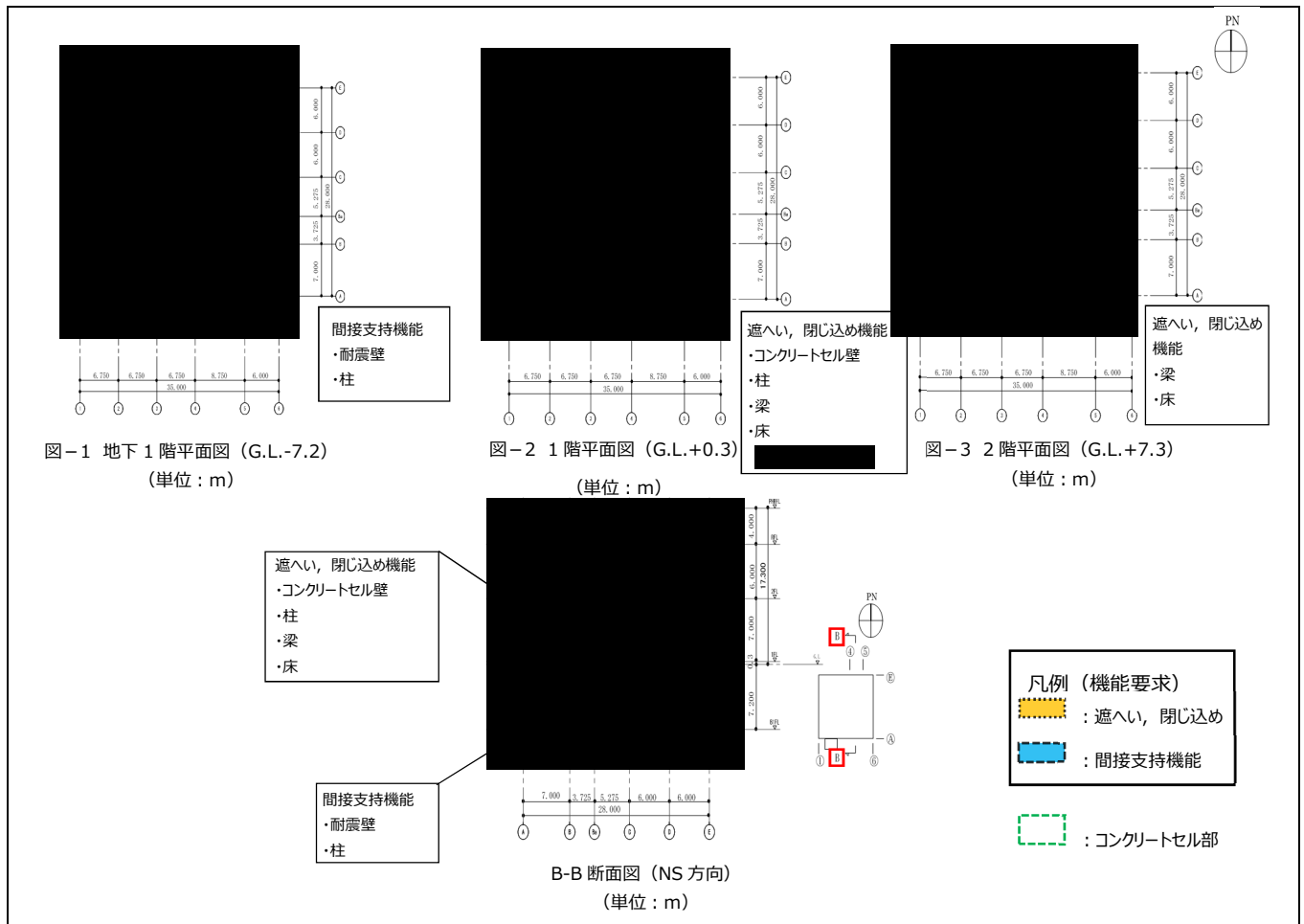


図 2.14.2.1-3 Sクラス相当に求められる機能要求と範囲

2.2.2 解析モデルの概要

(1) 建屋概要

- ・構造：鉄筋コンクリート造
- ・階数：地上2階，地下1階
- ・基礎：直接基礎で人工岩盤（MMR）を介して富岡層（砂質泥岩～泥岩）に支持
- ・平面寸法：35.0m(EW方向)×28.0m(NS方向)
- ・基礎形状：40.0m(EW方向)×37.6m(NS方向)
- ・地上高さ：17.3m

(2) 建屋解析モデル（質点系モデル）概要

原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601）に基づくとともに、原子力施設の設計で参照される原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）を参考にして、建屋解析モデル（質点系モデル）

を作成し、地震応答解析を実施する。

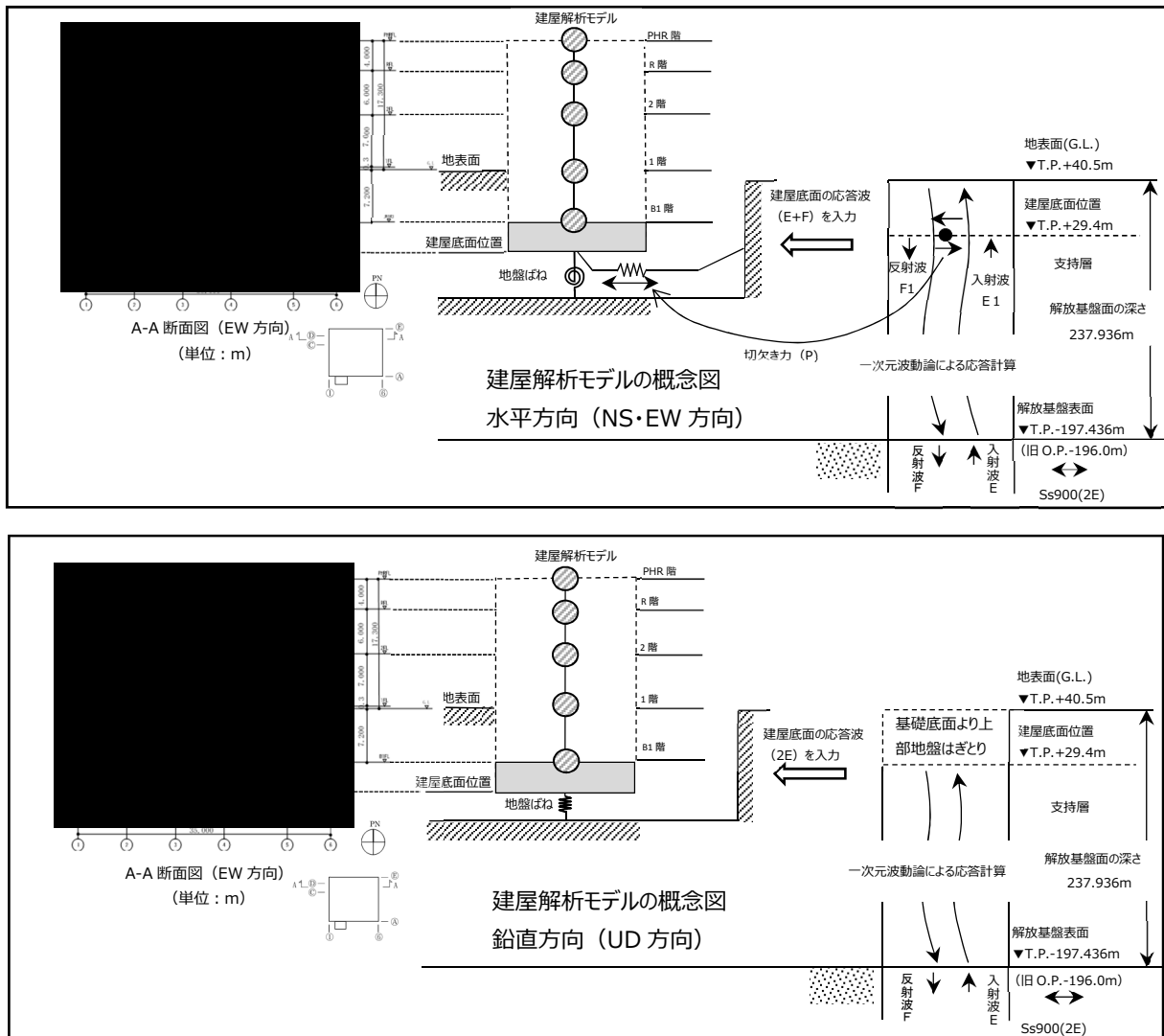


図 2.14.2.1-4 建屋解析モデル概念図

2.2.3 鉄筋コンクリート造耐震壁の復元力特性の評価法

- 原子力施設のような耐震壁を主体とした建屋では塑性変形を考慮し、耐震壁に生じるせん断応力度とせん断ひずみの関係（スケルトンカーブ（ $\tau - \gamma$ ）※1）において、評価する。
- 一般的には、スケルトンカーブ（ $\tau - \gamma$ ）関係は、第1折れ点付近でコンクリートにひび割れが生じ、第2折れ点付近で鉄筋が降伏するとされている。そのため、第2折れ点付近にとどまると、おおむね弾性状態であると考えられ、変形は著しく発生せず、地震後の残留ひずみは小さいことから、遮へい、閉じ込め機能を有するものと考えられる。
- このため、第2棟の建屋の地震応答解析は、おおむね弾性状態であることを確認する。

※1 鉄筋コンクリート造耐震壁の復元力特性の評価法（原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601)）

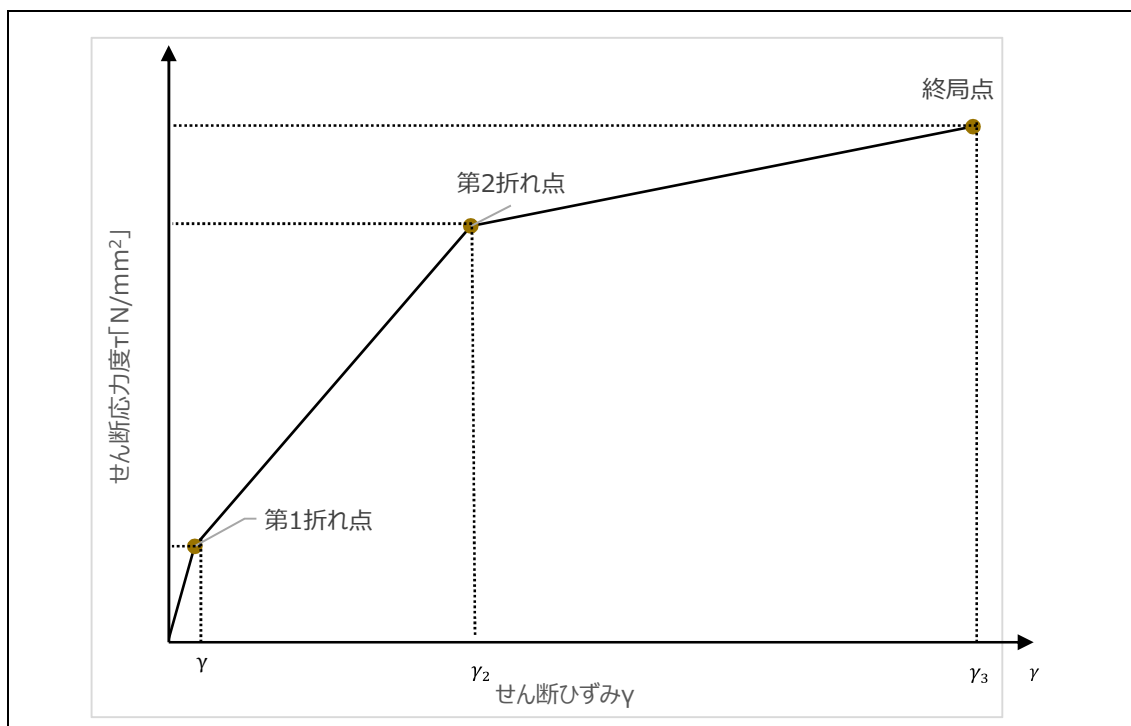


図 2.14.2.1-5 スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係)

- 第1折れ点
一般的に第1折れ点付近でコンクリートにひび割れが生じるとされている点
- 第2折れ点
一般的に第2折れ点付近で鉄筋が降伏するとされている点
- 終局点
終局せん断ひずみとされている点 ($\gamma = 4.0 \times 10^{-3}$)

2.2.4 ①：動的地震力 Ss900 による確認結果

Ss900^{*1} における建屋各層のせん断応力度-せん断ひずみ関係は、下記のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$) 関係となる。

各層に発生するせん断応力度におけるせん断ひずみは、Ss900^{*1} に対しいずれも 2.0×10^{-3} 以下であり、また、第2折れ点を超過しないことから、建屋はおおむね弾性範囲にとどまり、コンクリートセル部はSクラス相当の耐震性を有することを確認した。

※1 Ss900-①及びSs900-②は第27回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2「東京電力福島第一原子力発電所の外部事象に対する防護の検討について」で示された地震動

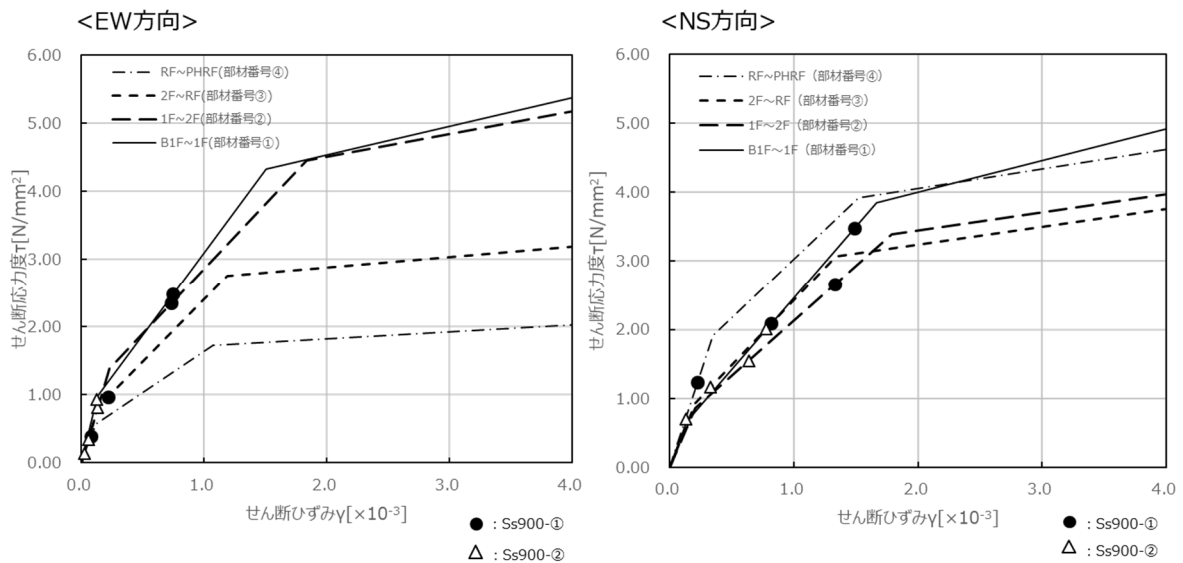


図 2.14.2.1-6 スケルトンカーブ

2.2.5 ②：動的地震力 Sd450 による確認結果

Sd450^{*1}における建屋各層のせん断応力度-せん断ひずみ関係は、図 2.14.2.1-7 のスケルトンカーブ（ $\tau - \gamma$ ）関係となる。

各層に発生するせん断応力度におけるせん断ひずみは Sd450^{*1} に対しいずれも第 1 折れ点付近であり、また、第 2 折れ点を超過しないことから、建屋はおおむね弾性範囲にとどまり、コンクリートセル部は S クラス相当の耐震性を有することを確認した。

※1 Sd450-①及び Sd450-②は検討用地震動（Ss900）に係数 0.5 を乗じて設定した地震動

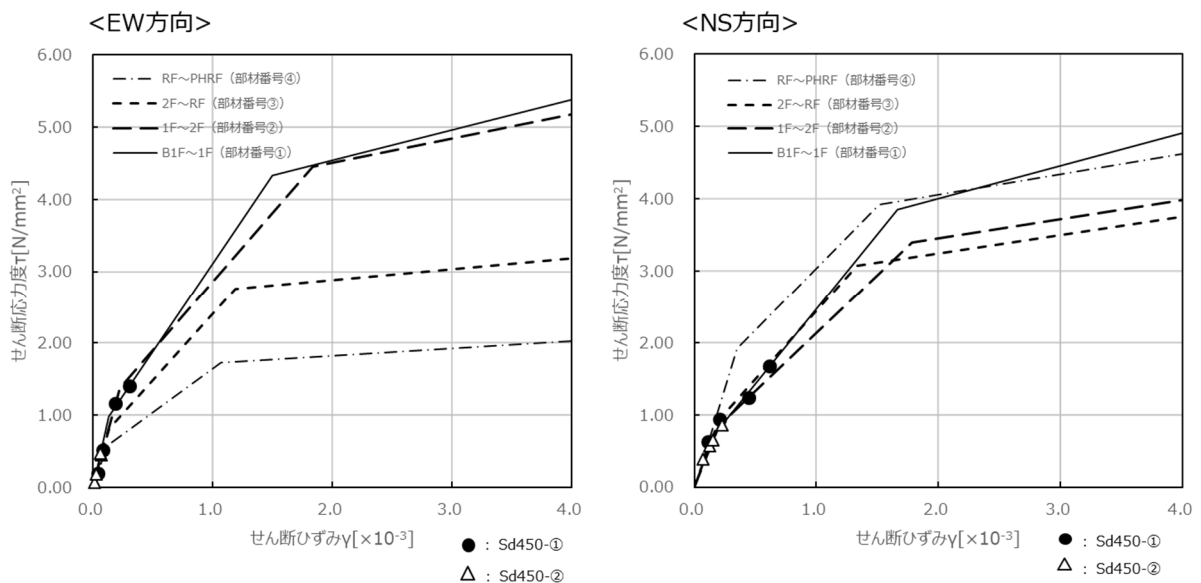


図 2.14.2.1-7 スケルトンカーブ

2.2.6 ③-1：静的地震力（3.0Ci）に対する評価の考え方

- ・暫定 S クラスとなるコンクリートセル部は、静的地震力（3.0Ci）に対して短期許容応力度以下であることが求められる。
- ・第 2 棟の建屋は、Ss900 における地震応答解析を実施しており、各階に発生する水平方向の地震力が算定できている。
- ・表 2.14.2.1-5 に、各階ごとの水平方向の地震力（層せん断力）について、Ss900 と静的地震力（3.0Ci）を示す。

表 2.14.2.1-5 建屋各層における地震力（層せん断力）の比較

単位 (kN)

地震力	Ss900		3.0Ci
R 階	8630	>	8178
2 階	56108	>	34086
1 階	127938	>	60026
B 1 階	201506	>	110986

- ・第 2 棟の建屋に発生する水平方向の地震力は、各階において Ss900 の方が大きいことが確認された。
- ・Ss900 では、第 2 棟の建屋はおおむね弾性範囲にあることから、要求される静的地震力（3.0Ci）においても安全機能を確保できると考えられる。

以上のことから、コンクリートセル部については、耐震 S クラス相当の実力を有していると判断する。

2.2.7 ③-2：静的地震力（3.0Ci）による確認結果（コンクリートセル部について）

- ・暫定 S クラス設備の安全機能が維持されることを確認するため、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づき、建屋の柱、梁、壁をモデル化し、静的地震力 3.0Ci を入力して短期許容応力度計算を実施した。
- ・暫定 S クラスに分類したコンクリートセル部について、短期許容応力度に対する部材の検定比は、柱 1 箇所を除き 1.00 以下である。
- ・柱（B 通り-3 通り）1 箇所で検定比 1.00 をわずかに上回るものの、柱に用いる鉄筋 SD390 は JIS 適合品として降伏点が 390~510N/mm² と規定され、解析に用いた基準強度（390N/mm²）に対し強度に余裕を有している。

- ・JIS 適合品の降伏点を考慮し、鉄筋の強度を建築基準法に基づき、基準強度の 1.1 倍とした場合、検定比 1.00 以下であり、実力としては鉄筋は降伏せず S クラス相当の耐震性を有している。

表 2.14.2.1-6 静的地震力 (3.0Ci) により短期許容応力度計算結果

部材	階	対象範囲	荷重ケース	評価基準	検定比	
					曲げ	せん断
柱	1	B 通り - 3 通り	EW 方向	≤ 1.00	1.02 (※0.93)	0.19

※鉄筋の強度を基準強度×1.1 倍とした場合の検定比

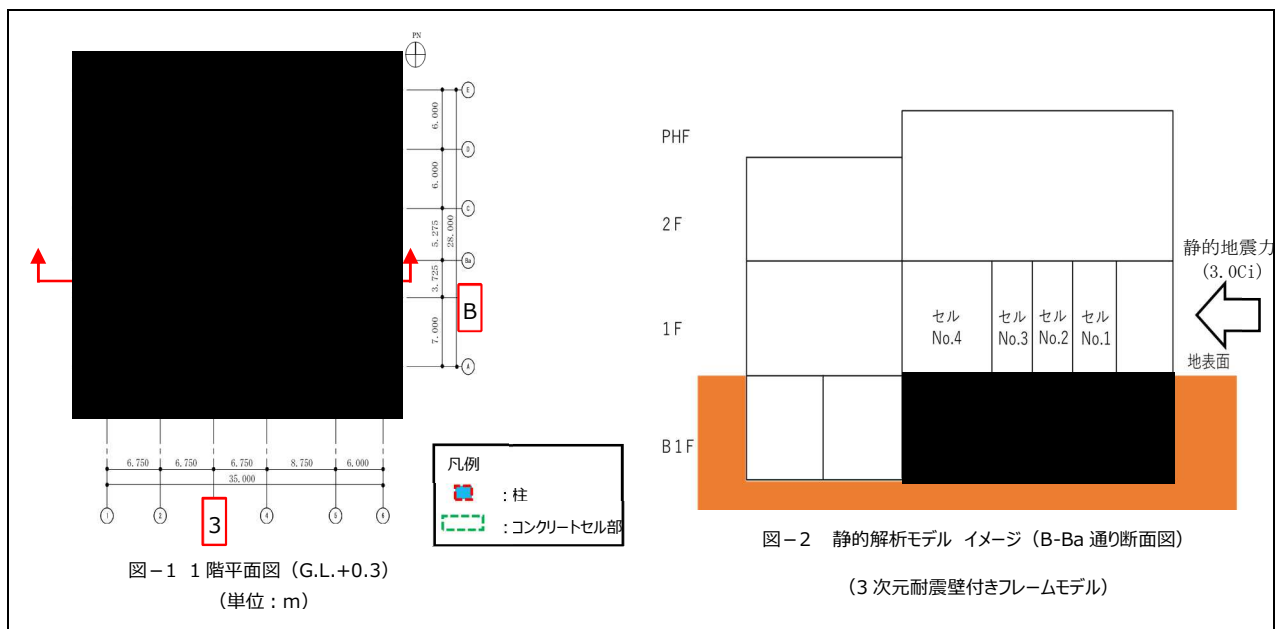


図 2.14.2.1-8 1階平面図・静的解析モデルイメージ

2.2.8 ④：地盤の動的地震力 Ss900 による確認結果

- ・地震時の最大接地圧は、動的解析の応答解析結果から水平地震動による応力と鉛直地震動による応力を組み合わせ係数法 (係数 0.4) を考慮して算出する。
- ・接地圧は、最大で 1697kN/m^2 (上向き, NS 方向) であり、評価基準値 (極限鉛直支持力度 3000kN/m^2 ※1) を超えないことから、Ss900 に対し第 2 棟の基礎地盤の支持性能は十分な余裕を有していることを確認した。

表 2.14.2.1-7 Ss900-①^{※2} 接地圧 (kN/m²)

評価項目	上下動	評価基準	接地圧	
			EW 方向	NS 方向
最大 接地圧	上向き	$q_u \leq 3000$	650	1697
	下向き		722	839

表 2.14.2.1-8 Ss900-②^{※2} 接地圧 (kN/m²)

評価項目	上下動	評価基準	接地圧	
			EW 方向	NS 方向
最大 接地圧	上向き	$q_u \leq 3000$	353	335
	下向き		521	526

※1 極限鉛直支持力度は、建築基準法施行令の地盤の許容応力度より設定

※2 Ss900-①及び Ss900-②は第 27 回特定原子力施設監視・評価検討会 資料 2「東京電力福島第一原子力発電所の外部事象に対する防護の検討について」で示された地震動

2.2.9 その他：Ss900により試料ピットが一時的に変形した場合の臨界防止の確認結果

(1) 間隔を狭めたときの中性子実効増倍率 ($K_{eff}+3\sigma$)

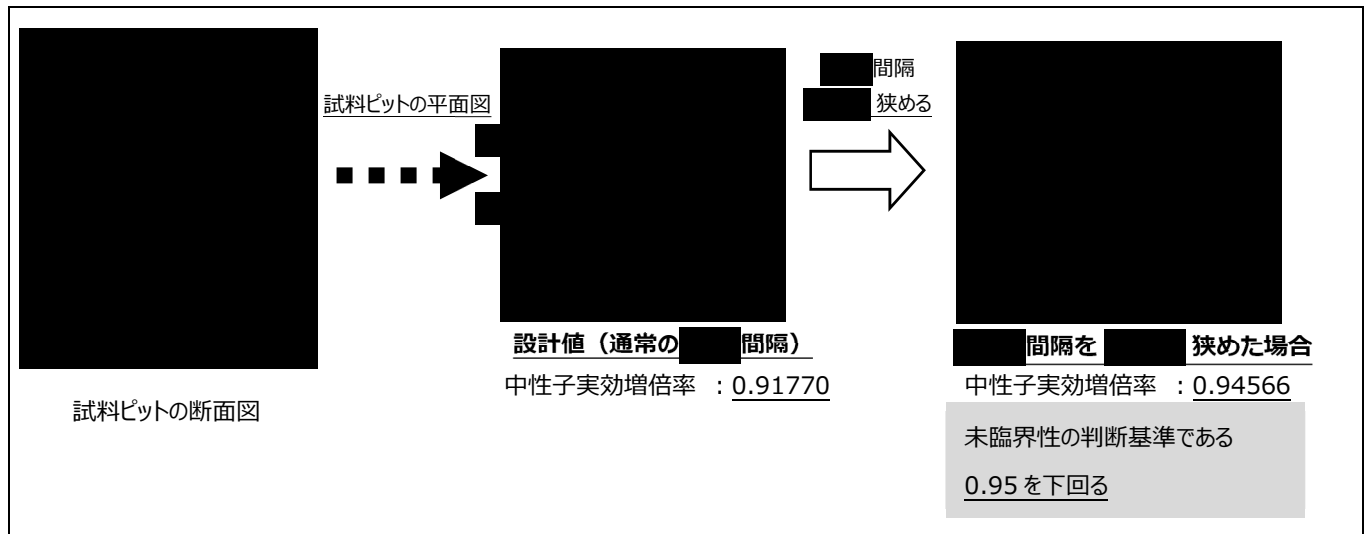


図 2.14.2.1-9 試料ピット 間隔

間隔が 狭まったとしても臨界にはならない。(の余裕)

(2) 地震による 間隔の変位量

Ss900による 間隔の一時的な変位量 :

⇒ 間隔の余裕 \gg 地震時の一時的な変位量 であり、臨界防止において十分な余裕を有している

2.2.10 公衆被ばく影響評価において考慮する安全機能

暫定 S クラス設備について現実的な緩和対策の評価結果を表 2.14.2.1-9 にまとめる。

表 2.14.2.1-9 評価結果

No.	項目	地震力	評価結果
①	コンクリートセル, 試料ピット	Ss900	建屋全体としてせん断ひずみが 2.0×10^{-3} 以下であり, おおむね弾性範囲にとどまるため, コンクリートセル部は S クラス相当の耐震性を有することを確認した。
②		Sd450	建屋全体としておおむね弾性範囲にとどまるため, コンクリートセル部は S クラス相当の耐震性を有することを確認した。
③		3.0Ci	コンクリートセル部について S クラス相当の耐震性を有することを確認した。
④	地盤	Ss900	基礎地盤の支持性能は十分な余裕を有していることを確認した。

現実的な緩和対策の評価結果から, 安全機能について以下のとおり判断する。

- ・コンクリートセルについて, Ss900 及び Sd450 に対しおおむね弾性範囲にとどまり, 3.0Ci 評価においても S クラス相当の耐震性を有することから, 遮へい機能及び閉じ込め機能は維持されると判断する。
- ・試料ピットについて, Ss900 及び Sd450 に対しおおむね弾性範囲にとどまり, 地震による 間隔の変位も小さいため, 遮へい機能及び臨界防止機能は維持されると判断する。
- ・なお, 建屋全体として Ss900 に対し耐震性を有することから, 建屋についても遮へい機能, 閉じ込め機能及び間接支持機能を有していると判断する。

2.3 現実的な緩和対策を考慮した際の耐震クラス分類

耐震性の評価結果に基づき、現実的な緩和対策（建屋、コンクリートセルの壁・天井等がある場合）を考慮して公衆の被ばく影響を評価し、耐震クラスを分類した。

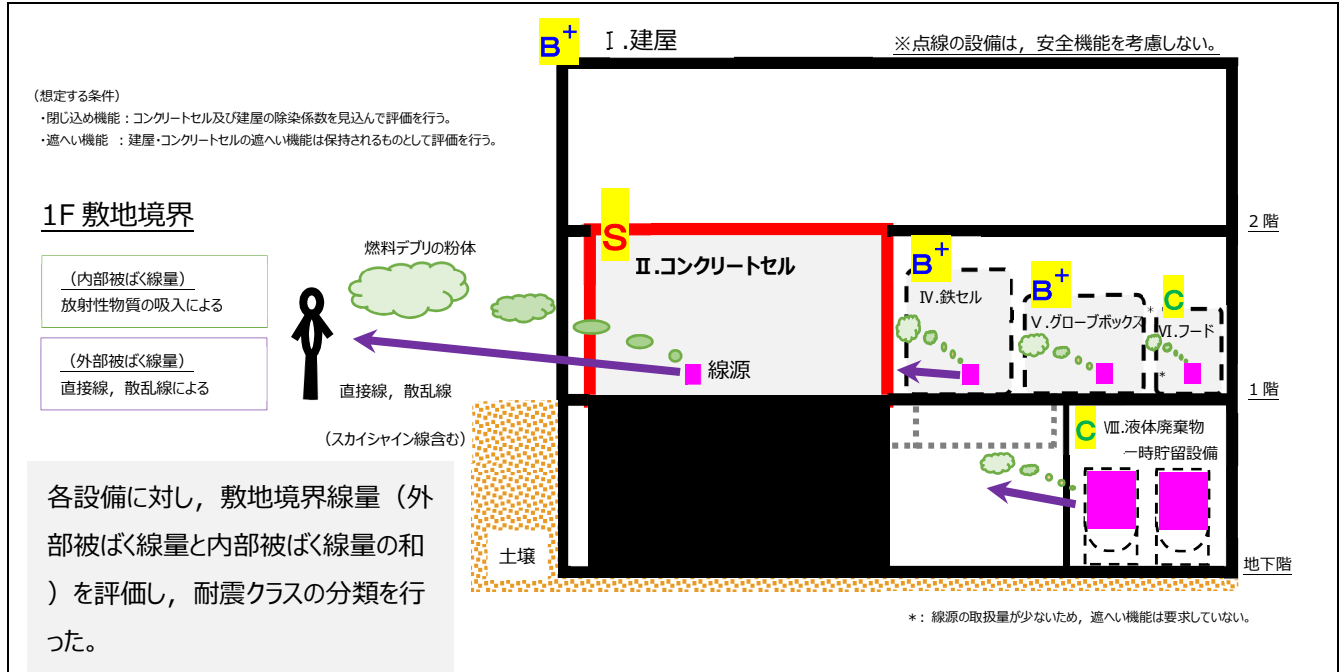


図 2.14.2.1-10 第2棟の断面図(イメージ図)

「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方（2022年11月16日）」のフローに従い耐震クラスを分類した。

表 2.14.2.1-10 各設備の耐震クラス

No.	設備名称 ^{※1}	敷地境界線量 (mSv)	耐震クラス
I	建屋	1.5×10^{-11}	B ⁺ クラス
II	コンクリートセル	1.2	Sクラス
III	試料ピット	2.6×10^{-4}	Sクラス
IV	鉄セル	2.8×10^{-1}	B ⁺ クラス
V	グローブボックス	2.7×10^{-5}	B ⁺ クラス ^{※2}
VI	フード	2.7×10^{-5}	Cクラス
VII	セル・グローブボックス用換気空調設備	2.0×10^{-1}	B ⁺ クラス
VIII	液体廃棄物一時貯留設備	7.2×10^{-6}	Cクラス

※1：上記の設備の他、フード用換気空調設備、管理区域用換気空調設備、消火設備、固体廃棄物払出準備設備についても評価を行った。

※2：敷地境界線量が $50 \mu\text{Sv}$ 以下となるためCクラスとなるが、将来の機能拡張を考慮するとともに長期的に使用するため、B⁺クラスと分類した。

3. 第2棟の耐震クラスに係るまとめ

耐震性の評価結果、コンクリートセル、試料ピットはSクラスの実力があることを確認できた。耐震クラスはSクラスと分類した。これ以外の設備はB+又はCクラスと分類した。

- Ss900 等による耐震性の評価結果から、建屋、コンクリートセル、試料ピットに要求する遮へい機能、閉じ込め機能、臨界防止機能が維持できることを確認した。
- コンクリートセル、試料ピットの耐震クラスはSクラス（Ss900, Sd450 及び 3.0Ci でSクラス相当の耐震性を有している。）
- また、耐震性の評価結果から、建屋・コンクリートセルの遮へい機能、放射性物質の除染係数を考慮し、公衆の被ばく影響を再評価した結果、他設備の耐震クラスは以下のとおり分類した。
- さらに、各設備の耐震クラスに応じた地震力に対する耐震性を有することを確認している。

表 2.14.2.1-11 耐震クラス分類

設備名称	耐震クラス	動的地震力		静的地震力	説明
		機能維持	弾性範囲		
コンクリートセル	S	Ss900	Sd450	水平：3.0Ci (0.6G)	• コンクリートセル、試料ピットは Ss900 及び Sd450 に対しおおむね弾性範囲にとどまることを確認。また、3.0Ci 評価においても S クラス相当の耐震性を有することを確認。
試料ピット					
建屋	B+	1/2Ss450	1/2Sd225* (共振時のみ)	水平：1.5Ci (0.3G)	• 建屋の公衆被ばく線量は 50 μ Sv 以下であるが、長期的に使用することから、B+クラスの地震力を適用する。
鉄セル	B+	1/2Ss450	1/2Sd225* (共振時のみ)	水平：1.8Ci (0.36G)	• 公衆被ばく線量評価を実施した結果 50 μ Sv を超え、5mSv 以下となり、長期間使用する設備であることを考慮し、B+クラスの地震力を適用する。 • グローブボックスについて、敷地境界線量が 50 μ Sv 以下となるため C クラスとなるが、将来の機能拡張を考慮するとともに長期的に使用するため、B+クラスと分類した。
グローブボックス					
セル・グローブボックス用換気空調設備					
フード、液体廃棄物一時貯留設備、フード用換気空調設備、電気設備	C	—	—	水平：1.2Ci (0.24G)	• 公衆被ばく線量評価を実施した結果、50 μ Sv 以下となるため、Cクラスの地震力を適用する。

地震により安全機能を失った際の線量評価

第2棟の耐震評価の考え方は、第51回原子力規制委員会で示された文書「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方」に従うと以下のとおりとなる。

1-①：地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響により、暫定的に耐震クラスをS、B及びCに分類

安全機能を失った際（建屋、コンクリートセルの壁・天井等が無いとした場合）の公衆被ばく線量は下表のとおり 5mSv を超過する。

- ・ 閉じ込め機能：コンクリートセル、建屋の除染係数は考慮しない。
- ・ 遮へい機能：コンクリートセル、建屋の遮へい機能は考慮しない。

表 2.14.2.1-12(1/3) 公衆被ばく線量

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく ^{※1}	敷地境界線量
建屋	遮へい	<p>【外部被ばく】建屋の遮へい機能が喪失し、地下階に存在する固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物払出準備設備に含まれる放射性物質の放射能（それぞれ 2.3×10^{10}Bq 及び 2.4×10^8Bq）から燃料デブリ重量に換算し、その直接線、スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 建屋の遮へいを考慮しない。 ・ 固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物一時貯留設備は地下階に存在するため、土壌による遮へいを考慮する。 	—	6.5×10^{-4} mSv	6.5×10^{-4} mSv
コンクリートセル	閉じ込め	<p>【内部被ばく】コンクリートセル内の試料調製時に発生する燃料デブリからの粉体の発生量を安全側に見積もり、粉体中の放射性物質がセル内の気相に移行^{※2}し、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ コンクリートセル及び建屋の除染係数を考慮しない。 	1.1×10^2 mSv	2.2×10^1 mSv	1.4×10^2 mSv
	遮へい	<p>【外部被ばく】コンクリートセルの遮へい機能が喪失し、燃料デブリ\blacksquareからの直接線、スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ コンクリートセル及び建屋による遮 			

		へいを考慮しない。			
試料 ピット	遮へい	<p>【外部被ばく】試料ピットの遮へい機能が喪失し、燃料デブリ からの直接線、スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 建屋の遮へいを考慮しない。 試料ピットは ため、土壌による遮へいを考慮する。 	—	$\geq 1.9 \times 10^2$ mSv	$\geq 1.9 \times 10^2$ mSv
	(臨界防止)	<ul style="list-style-type: none"> 試料ピットの臨界防止機能が喪失することを想定する。 			

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※2 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率 1% (日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」)。Kr 等の気体状の放射性物質は 100% 移行。

表 2.14.2.1-12(2/3) 公衆被ばく線量

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく ^{※1}	敷地境界線量
鉄セル	閉じ込め	<p>【内部被ばく】</p> <p>鉄セル内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がセル内の気相に移行^{※3}し、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 建屋の除染係数を考慮しない。 	2.7 mSv	5.3×10^{-2} mSv	2.8 mSv
	遮へい	<p>【外部被ばく】</p> <p>鉄セルの遮へい機能が喪失し、燃料デブリ からの直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 建屋の遮へいを考慮しない。 			
グローブボックス	閉じ込め	<p>【内部被ばく】</p> <p>グローブボックス内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がグローブボックス内の気相に移行^{※3}し、排気系統を通じてではなく、直接、グローブボックス周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 建屋の除染係数を考慮しない。 	2.7×10^{-4} mSv	—	2.7×10^{-4} mSv
フード	閉じ込め	<p>【内部被ばく】</p> <p>フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行^{※3}し、排気系統を通じてではなく、直接、フード周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 建屋の除染係数を考慮しない。 	2.7×10^{-4} mSv	—	2.7×10^{-4} mSv
液体廃棄物一時貯	閉じ込め	<p>【内部被ばく】</p> <p>液体廃棄物一時貯留設備のうち分析廃液</p>	7.2×10^{-5} mSv	—	7.2×10^{-5} mSv

留設備		受槽が破損し、内蔵している放射性の液体廃棄物が堰内に漏えいし、漏えいに伴い液体廃棄物中の放射性物質の一部が室内の気相に移行 ^{※4} し、排気系統を通じてではなく、直接、建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。			
-----	--	---	--	--	--

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※2 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率 1%（日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」）。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

※3 鉄セル、グローブボックス、フードでは、燃料デブリの切断は行わないが、取り扱う燃料デブリ全量が粉体化するものとし、※2の移行率を用いた。

※4 液体状の放射性物質の漏えい時の気相への移行率 0.02%（“Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook”，NUREG/CR-6410）

表 2.14.2.1-12(3/3) 公衆被ばく線量

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく ^{※1}	敷地境界線量
セル・グローブボックス用換気空調設備	閉じ込め	【内部被ばく】 コンクリートセル内の試料調製時に発生する燃料デブリからの粉体の発生量を安全側に見積もり、粉体中の放射性物質がセル内の気相に移行 ^{※2} し、コンクリートセルの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	2.0 mSv	—	2.0 mSv
フード用換気空調設備	閉じ込め	【内部被ばく】 フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行 ^{※3} し、フードの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接フード周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	2.7×10^{-4} mSv	—	2.7×10^{-4} mSv
管理区域用換気空調設備	—	設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。	—	—	—
消火設備	—	設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。	—	—	—
固体廃棄物払出準備設備	—	固定して使用する設備がないため、耐震上の安全機能はない。	—	—	—
		合計	1.2×10^2 mSv	$>2.2 \times 10^2$ mSv	$>3.4 \times 10^2$ mSv

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※2 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率 1%（日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」）。Kr 等の気体状の放射性物質は 100%移行。

※3 鉄セル、グローブボックス、フードでは、燃料デブリの切断は行わないが、取り扱う燃料デブリ全量が粉体化するものとし、※2 の移行率を用いた。

建屋 Ss900 による評価結果

1. 耐震性の確認

- ・敷地境界の実効線量評価で考慮すべき「放射性物質の施設外漏えい率」や「遮へい性の低下度合い」係数を決定するため、Ss900 による建屋の耐震性の確認（Ss900 チェック）を行うことを目的に実施する。
- ・Ss900 チェックは図 2.14.2.1-11 の評価方針に基づき実施する。

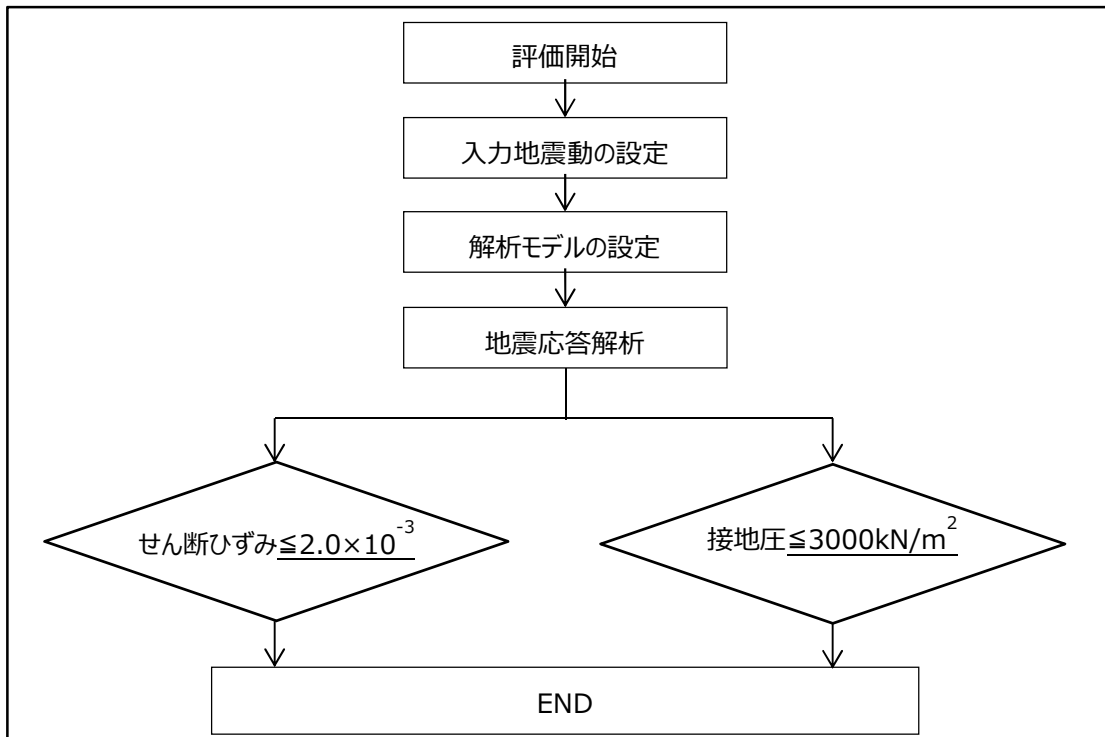


図 2.14.2.1-11 耐震評価概略フロー

1-1. 検討に用いる地震動

- ・地震動は、検討用地震動（以下「Ss900」という）とする。
- ・解放基盤表面を T.P. 約-197m に設定する。

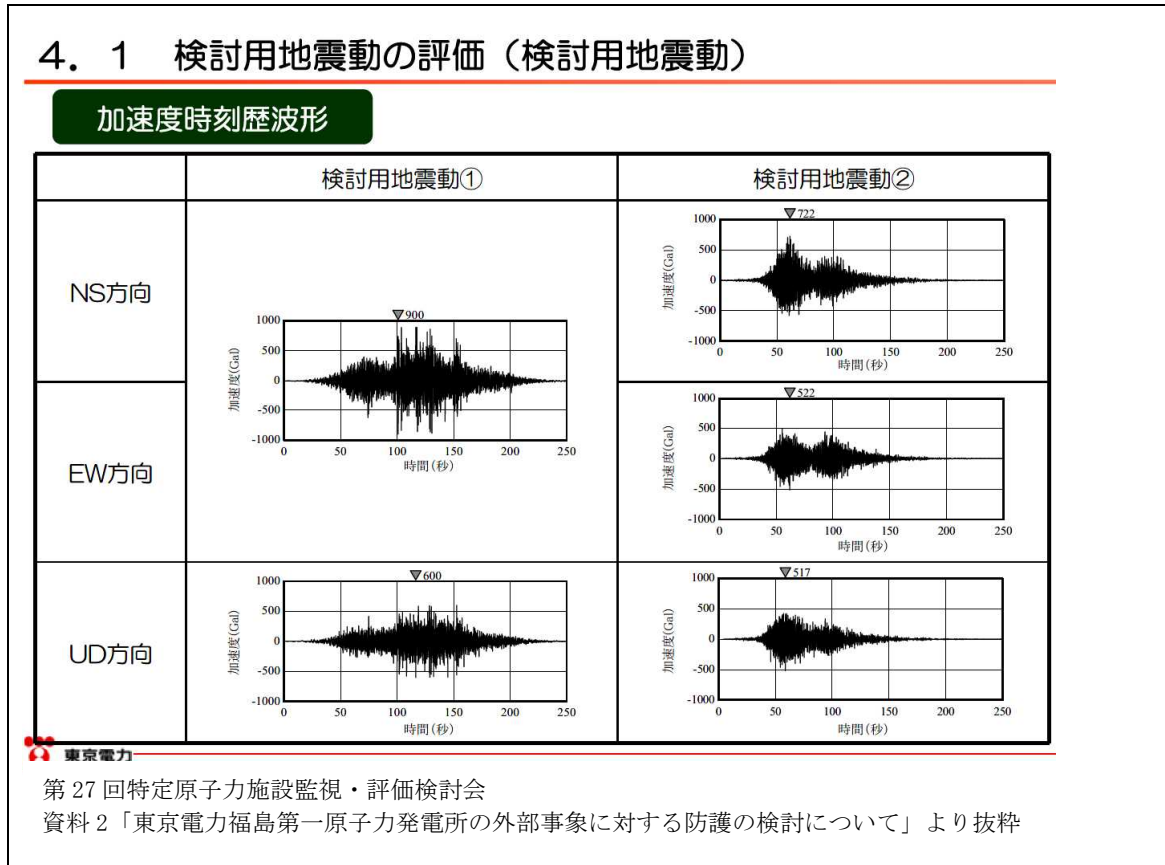


図 2. 14. 2. 1-12 検討に用いる地震動

1-2. 建屋概要

- ・構造：鉄筋コンクリート造
- ・階数：地上2階，地下1階
- ・基礎：直接基礎で人工岩盤を介して富岡層に支持
- ・平面寸法：35.0m(EW方向)×28.0m(NS方向)
- ・基礎形状：40.0m(EW方向)×37.6m(NS方向)
- ・地上高さ：17.3m

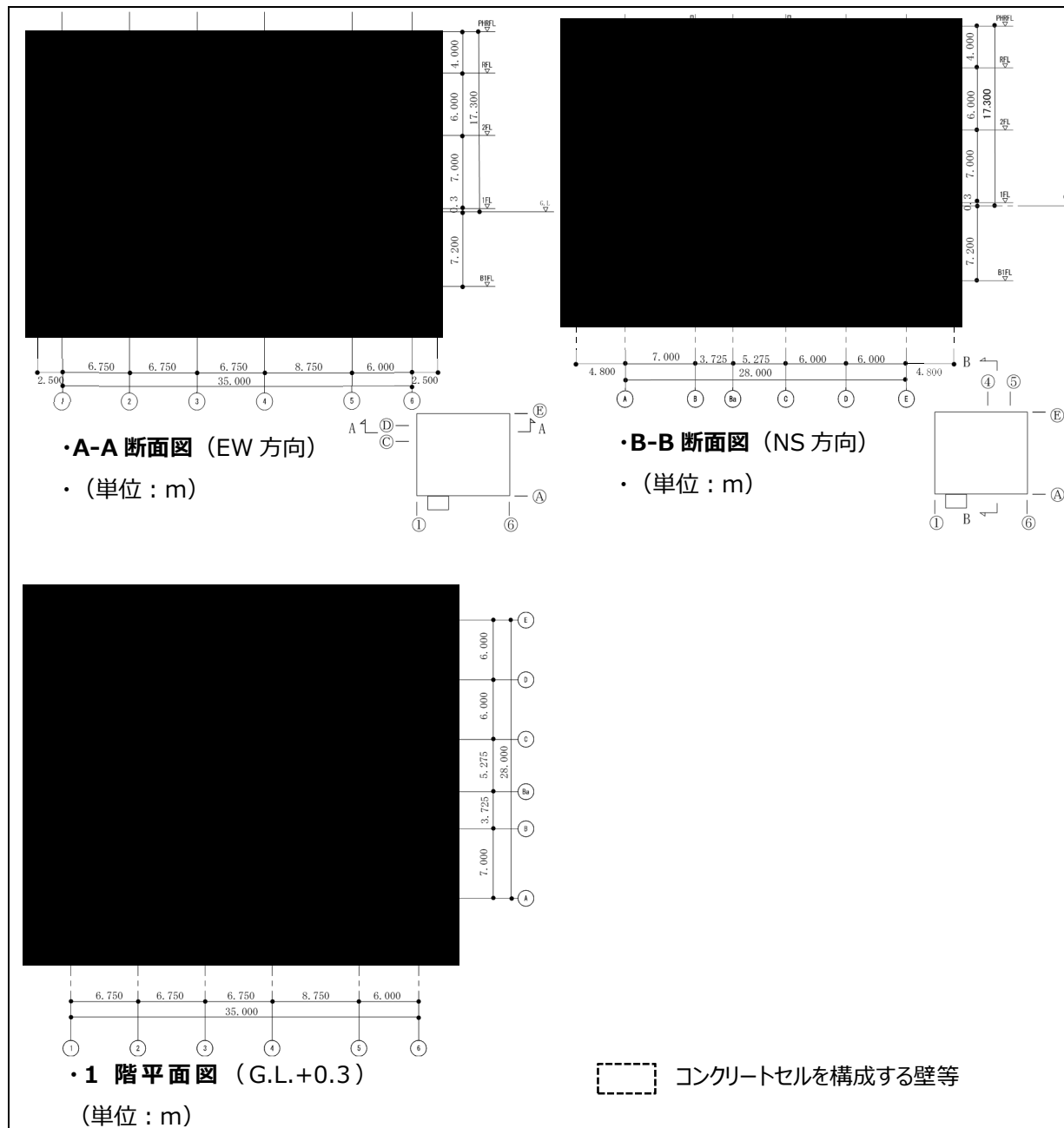


図 2. 14. 2. 1-13 建屋断面図・平面図(抜粋)

1-3. 解析方法

- Ss900 チェックの地震応答解析は、誘発上下動を考慮できる浮き上がり非線形地震応答解析にて実施する。
- 動的解析に用いる建屋－地盤連成地震応答解析モデルは、水平動は建屋と地盤相互作用を評価したスウェイ・ロッキングモデルとし、鉛直動は上下バネマスモデルを使用する。
- 建屋は、形状及び構造特性等を考慮し、水平モデルは質点とはり要素からなる集中質点系に置換した弾塑性等価せん断解析モデルとし、鉛直モデルは質点とばね要素とした集中質点系解析モデルを設定する。
- 地盤は、建屋の埋込み効果は無視し、建屋底面位置の地盤をばねによってモデル化する。
- 水平方向の入力地震動は、地表面までモデル化した自由地盤の次元等価線形解析結果により求められる建屋底面位置での応答波(E+F)に、建屋基礎底面レベルにおけるせん断力(切欠き力 P^{*}) を付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。
- 鉛直方向の入力地震動は、基礎底面位置より上部を剥ぎ取った地盤モデルにより求められる建屋底面位置での応答波(2E)とする。
- 地盤解析の解析プログラムは「SoilPlus」、建屋解析の解析プログラムは「DYNA2E」を使用する。

※P：補正水平力（切欠き力）＝建屋底面位置の地盤のせん断応力度×建屋底面積

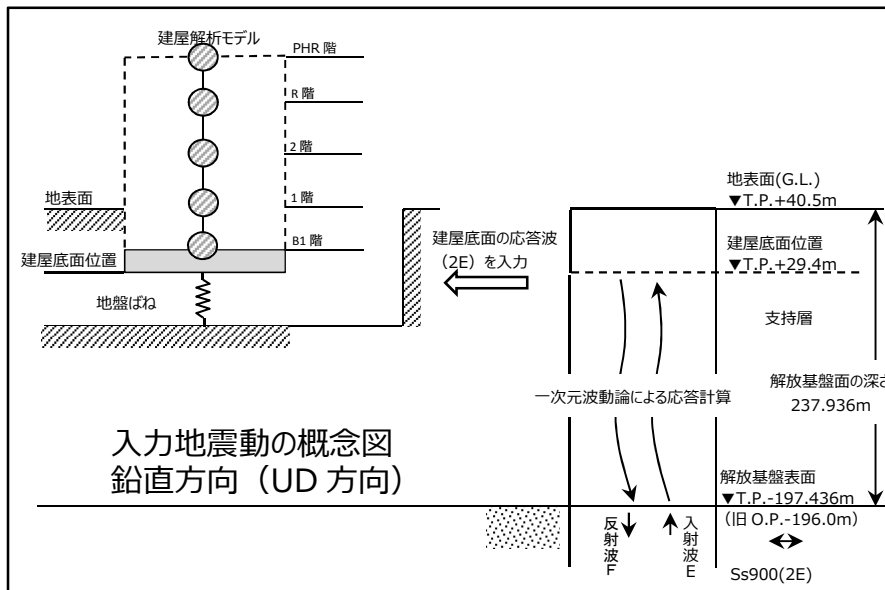
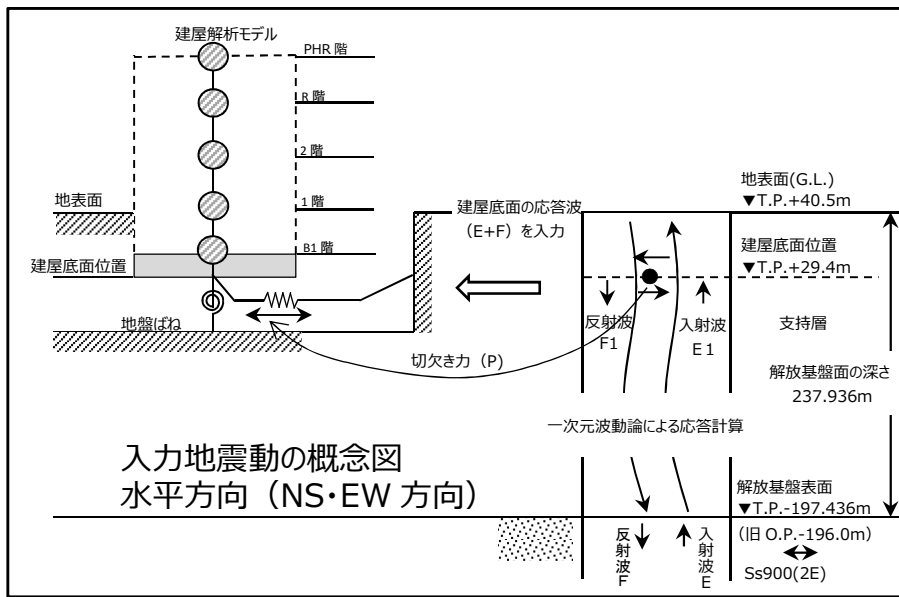


図 2.14.2.1-14 入力地震動の概念図

1-4. 建屋解析モデルの諸元(水平方向)

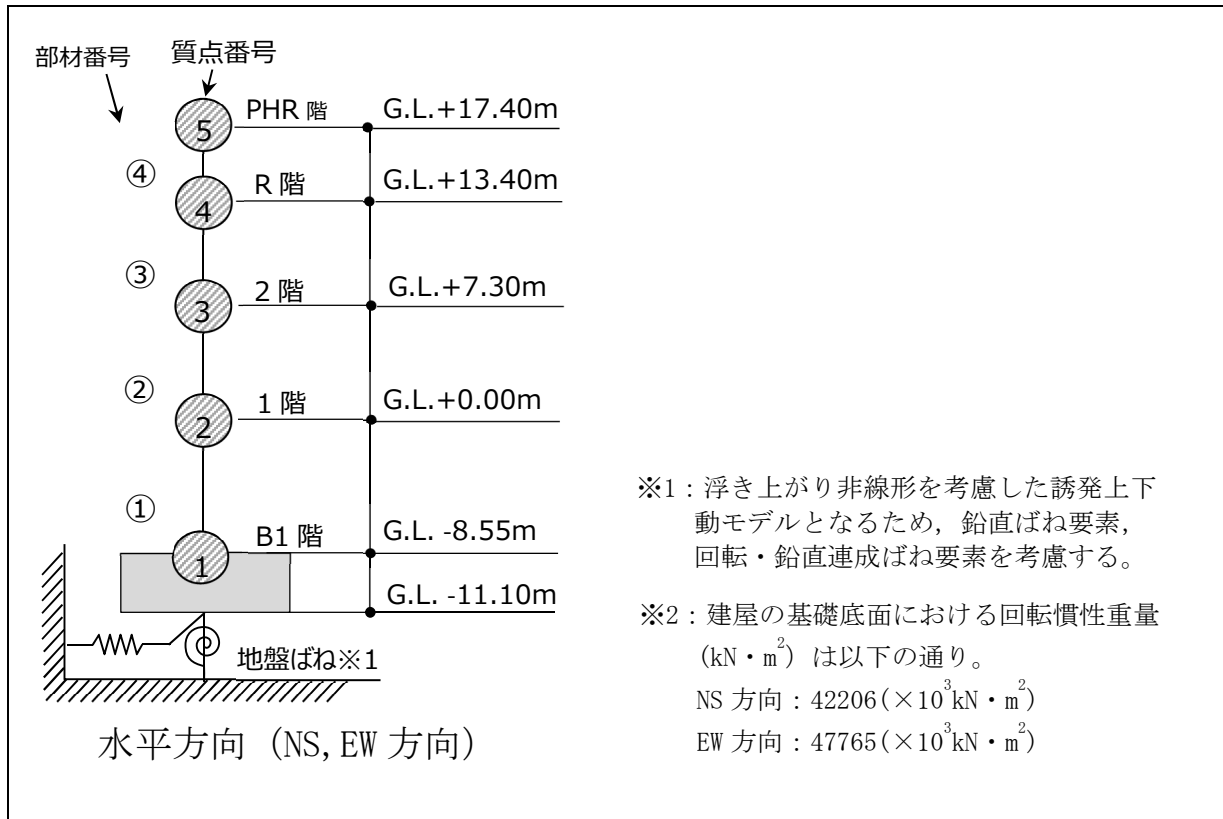


図 2.14.2.1-15 水平方向モデル

表 2.14.2.1-13 (NS 方向)

質点番号	質点重量 (kN)	部材番号	せん断断面積 (m^2)
5	5660		
4	35104	④	4.274
3	59280	③	14.57
2	84932	②	22.88
1	173265	①	32.01

表 2.14.2.1-14 (EW 方向)

質点番号	質点重量 (kN)	部材番号	せん断断面積 (m ²)
5	5660		
4	35104	④	9.681
3	59280	③	31.81
2	84932	②	30.63
1	173265	①	56.38

表 2.14.2.1-15 コンクリートの材料定数

設計基準強度 Fc(N/mm ²)	ヤング係数 E(kN/m ²)	せん断弾性係数 G (kN/m ²)	減衰定数 h (%)
36	2.595×10 ⁷	1.081×10 ⁷	3.0

1-5. 建屋解析モデルの諸元(鉛直方向)

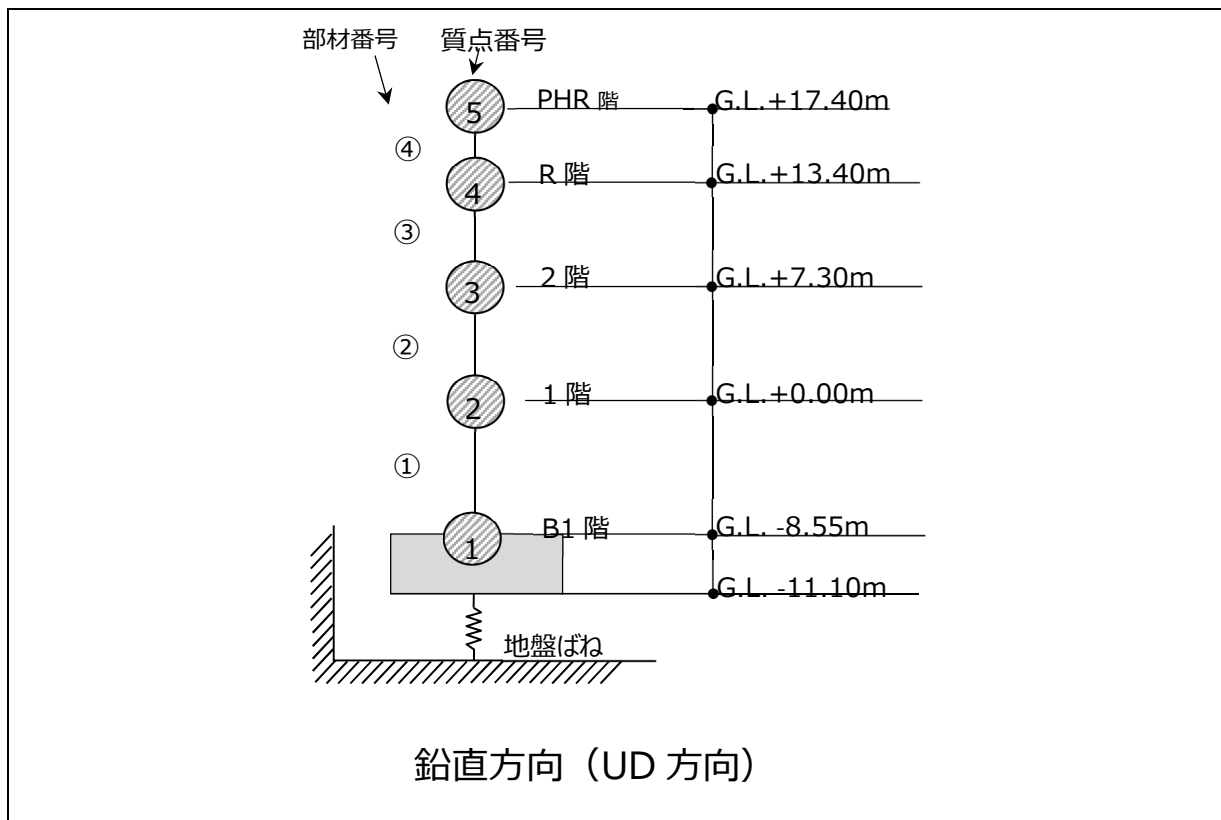


図 2.14.2.1-16 鉛直方向モデル

表 2.14.2.1-16 (UD 方向)

質点番号	質点重量 (kN)	部材番号	軸断面積 (m ²)	鉛直剛性 (kN/m)
5	5660	—		
4	35104	④	43.51	2.823×10 ⁸
3	59280	③	145.4	6.187×10 ⁸
2	84932	②	172.8	6.142×10 ⁸
		①	225.4	6.840×10 ⁸
1	173265	—		

表 2.14.2.1-17 コンクリートの材料定数

設計基準強度 Fc(N/mm ²)	ヤング係数 E(kN/m ²)	せん断弾性係数 G (kN/m ²)	減衰定数 h (%)
36	2.595×10 ⁷	1.081×10 ⁷	3.0

1-6. 地盤モデルの設定

- ・地層構成は、第2棟建屋中央部付近で実施したボーリングの結果に基づいて水平成層地盤としてモデル化する。
- ・物性値については、福島第一原子力発電所の地盤物性※を用いることとし、地盤物性が示されていない地層（ローム層）については第2棟地盤調査結果にもとづいて設定する。

※ 福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書(平成5年4月)等から設定した使用済燃料乾式キャスク仮保管設備の地盤物性

表 2. 14. 2. 1-18 物性値

地層名	標高		湿潤密度 ρ (t/m^3)	単位体積重量 γ (kN/m^3)	せん断波速度 V_s (m/s)	動的変形特性		動的変形特性	
	上端 T.P. (m)	下端 T.P. (m)				せん断弾性係数 G_0 (kN/m^2)	動ポアソン比 ν_d	$G/G_0 \sim \gamma$ (%)	$h(\%) \sim \gamma$ (%)
	埋戻土	40.500	37.930	1.80	17.65	201	72600	0.350	$1/(1+10.65\gamma^{0.778})$
0-1層	37.930	35.930	1.74	17.06	164	46700	0.410	$1/(1+11.00\gamma^{0.802})$	$17.80\gamma^{0.277}$
段丘堆積物	35.930	33.370	1.59	15.59	315	158000	0.480	$1/(1+6.872\gamma^{0.614})$	$14.79/(1+0.036/\gamma)$
T3 部層 互層部	33.370	18.450	1.76	17.26	414	302000	0.460	$1/(1+3.257\gamma^{0.688})$	$17.57/(1+0.084/\gamma)$
T3 部層 泥質部	18.450	16.230	1.71	16.77	500	427000	0.450	$1/(1+3.600\gamma^{0.962})$	$11.90\gamma^{1.086}+1.617$
T3 部層 細粒砂岩	16.230	14.470	1.84	18.04	338	210000	0.480	$1/(1+3.009\gamma^{0.604})$	$21.80/(1+0.122/\gamma)$
T3 部層 泥質部	14.470	12.220	1.71	16.77	500	427000	0.450	$1/(1+3.600\gamma^{0.962})$	$11.90\gamma^{1.086}+1.617$
T3 部層 粗粒砂岩	12.220	11.400	1.84	18.04	338	210000	0.480	$1/(1+3.009\gamma^{0.604})$	$21.80/(1+0.122/\gamma)$
T3 部層 泥質部	11.400	-18.070	1.71	16.77	500	427000	0.450	$1/(1+3.600\gamma^{0.962})$	$11.90\gamma^{1.086}+1.617$
T2 部層	-18.070	-110.470	1.75- 0.000417Z	17.16- 0.004089Z	深度依存	254000- 3220Z	0.467+ 0.000222Z	$1/(1+2.845\gamma^{0.918})$	$10.54\gamma^{0.865}+0.903$
T1 部層	-110.470	-183.180	1.79	17.55	610	667000	0.440	$1/(1+2.586\gamma^{0.722})$	$15.04\gamma^{0.517}$
先富岡層	-183.180	-197.436	1.88	18.44	712	954000	0.420	$1/(1+2.714\gamma^{0.920})$	$14.69\gamma^{0.583}$
解放基盤表面	-197.436	-	1.88	18.44	712	-	-	-	-

注) Z: 標高 O. P. (m)

O. P. は震災前の「旧 O. P.」を指す。O. P. $\pm 0m = T. P. -1.436m$

1-7. 入力地震動

- ・建屋基礎底面位置における入力地震動（水平方向，鉛直方向）の加速度時刻歴波形は以下の通り。

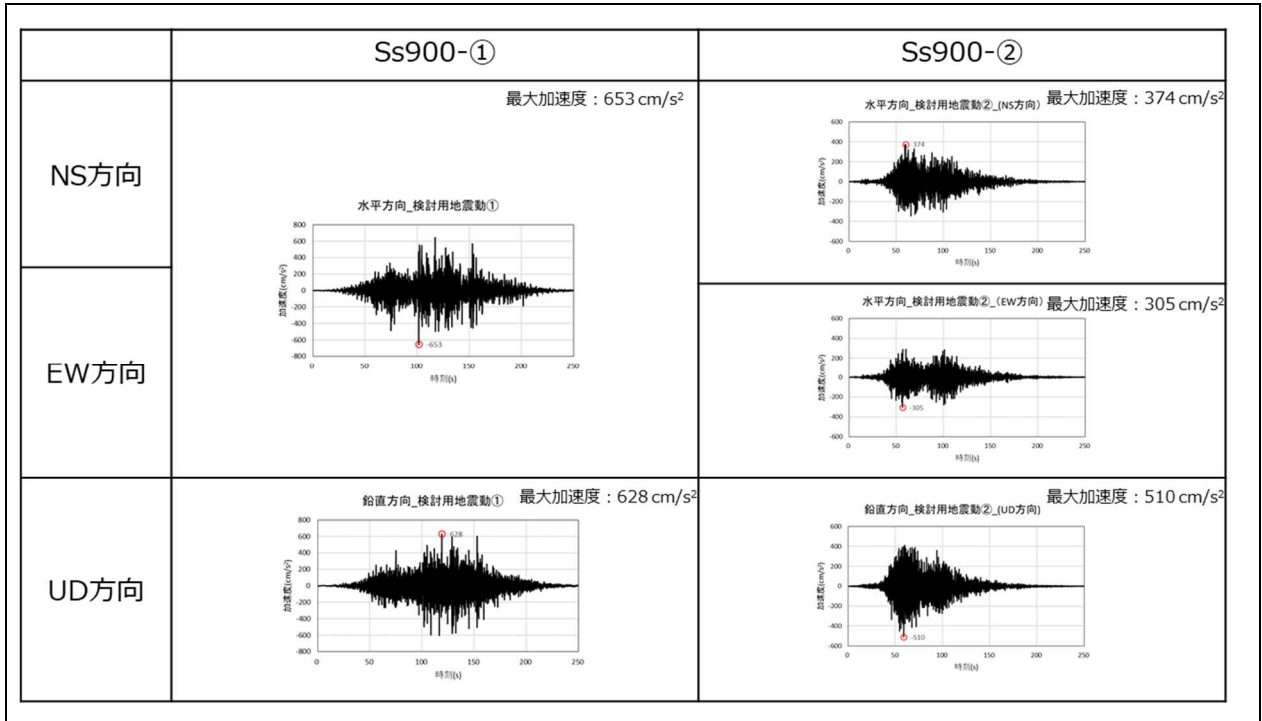


図 2. 14. 2. 1-17 入力地震動

1-8. 地盤ばねの算定

- ・矩形基礎の算定式にて地盤ばねを設定する。
- ・一次元波動論による解析に用いた地盤モデルを用いて成層補正を行い、小堀の方法により地盤ばねを算定する。

表 2.14.2.1-19 地盤ばね定数<Ss900-①>

	水平		回転	
	地盤ばね定数K (kN/m)	減衰係数C (kN・s/m)	地盤ばね定数K (kN・m/rad)	減衰係数C (kN・m・s/rad)
NS方向	2.97×10^7	1.01×10^6	1.31×10^{10}	1.68×10^8
EW方向	2.94×10^7	1.03×10^6	1.43×10^{10}	2.12×10^8

	鉛直	
	地盤ばね定数K (kN/m)	減衰係数C (kN・s/m)
UD方向	5.76×10^7	2.47×10^6

表 2.14.2.1-20 地盤ばね定数<Ss900-②>

	水平		回転	
	地盤ばね定数K (kN/m)	減衰係数C (kN・s/m)	地盤ばね定数K (kN・m/rad)	減衰係数C (kN・m・s/rad)
NS方向	3.33×10^7	1.06×10^6	1.47×10^{10}	1.74×10^8
EW方向	3.36×10^7	1.12×10^6	1.63×10^{10}	2.27×10^8

	鉛直	
	地盤ばね定数K (kN/m)	減衰係数C (kN・s/m)
UD方向	6.53×10^7	2.62×10^6

1-9. 固有値解析結果

表 2. 14. 2. 1-21 固有値<Ss900-①>

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)
NS	1	0.279	3.58
	2	0.161	6.22
	3	0.139	7.20

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)
EW	1	0.262	3.81
	2	0.161	6.22
	3	0.136	7.36

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)
UD	1	0.161	6.22
	2	0.029	34.18
	3	0.016	64.36

表 2. 14. 2. 1-22<Ss900-②>

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)
NS	1	0.269	3.72
	2	0.132	7.56
	3	0.082	12.19

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)
EW	1	0.249	4.02
	2	0.128	7.82
	3	0.073	13.77

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)
UD	1	0.151	6.61
	2	0.029	34.25
	3	0.016	64.37

1-10. 地震応答解析結果（最大応答せん断力）

〈EW 方向〉

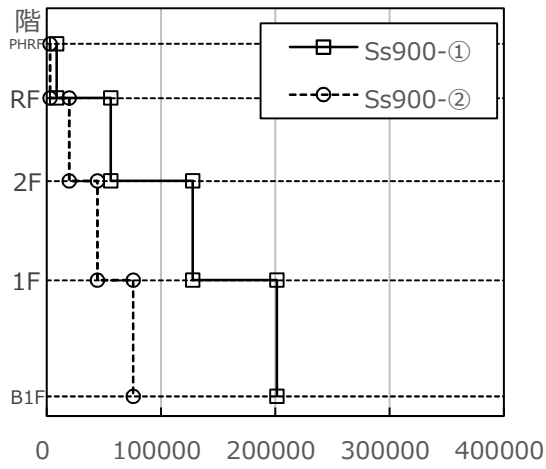


図 2.14.2.1-18 せん断力 EW 方向[kN]

〈NS 方向〉

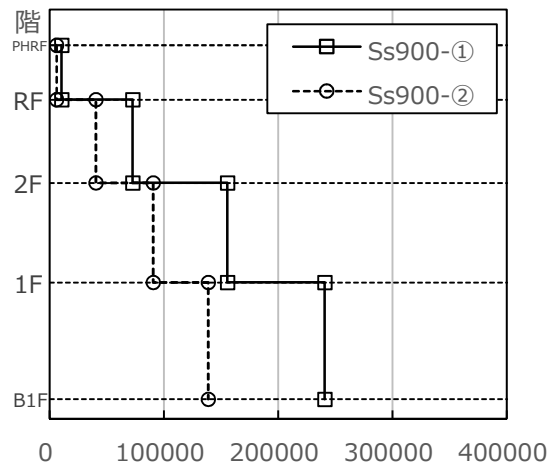


図 2.14.2.1-19 せん断力 NS 方向[kN]

表 2.14.2.1-23 最大応答せん断力

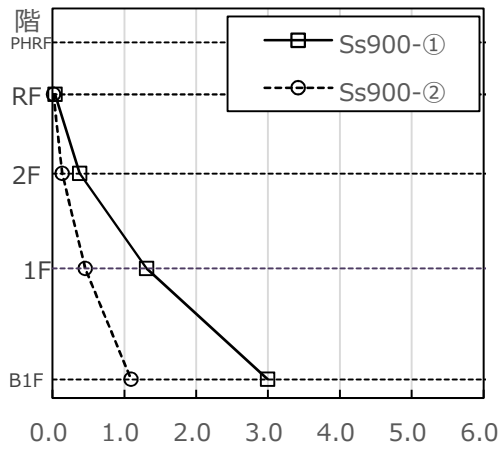
	Ss900-①	Ss900-②
PHR階	8630	2898
R階	56108	19699
2階	127938	44427
1階	201506	75637
B1階	201506	75637

表 2.14.2.1-24 最大応答せん断力

	Ss900-①	Ss900-②
PHR階	10367	5890
R階	72505	40370
2階	155283	90443
1階	240473	138575
B1階	240473	138575

1-11. 地震応答解析結果（曲げモーメント）

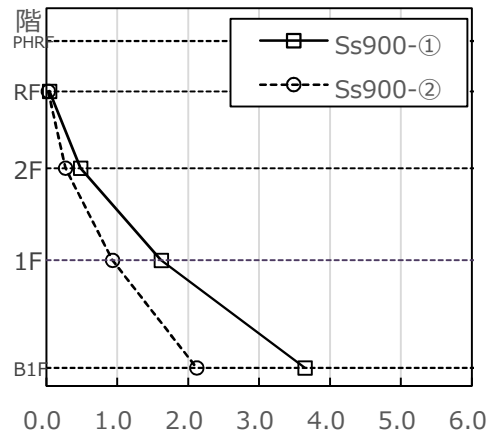
〈EW 方向〉



曲げモーメント EW 方向 [$\times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}$]

図 2.14.2.1-20

〈NS 方向〉



曲げモーメント NS 方向 [$\times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}$]

図 2.14.2.1-21

表 2.14.2.1-25 最大応答曲げモーメント

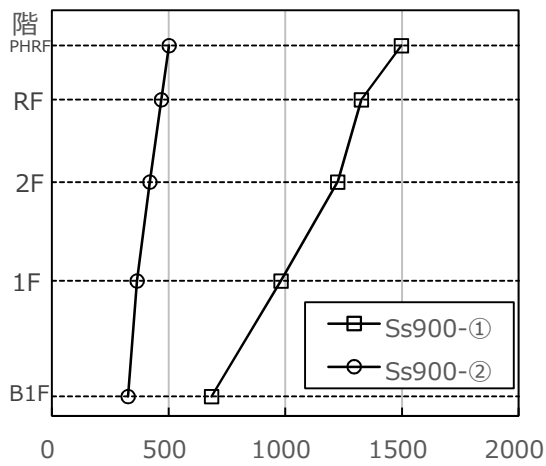
	Ss900-①	Ss900-②
PHR階	0.035	0.012
R階	0.379	0.132
2階	1.311	0.455
1階	2.994	1.092
B1階	3.646	2.116

表 2.14.2.1-26 最大応答曲げモーメント

	Ss900-①	Ss900-②
PHR階	0.041	0.024
R階	0.481	0.268
2階	1.617	0.929
1階	3.646	2.116
B1階	3.646	2.116

1-12. 最大応答加速度

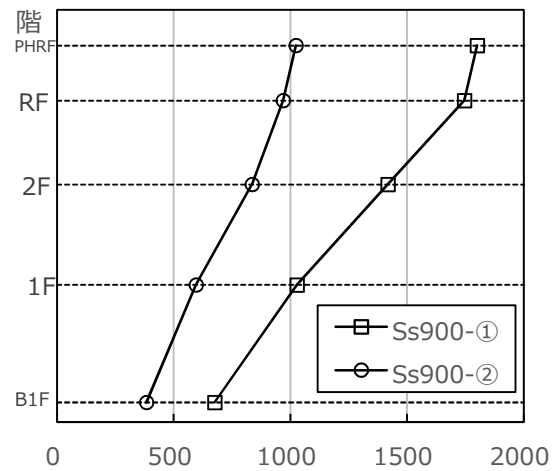
<EW 方向>



最大応答加速度 EW 方向 [cm/s²]

図 2.14.2.1-22

<NS 方向>



最大応答加速度 NS 方向 [cm/s²]

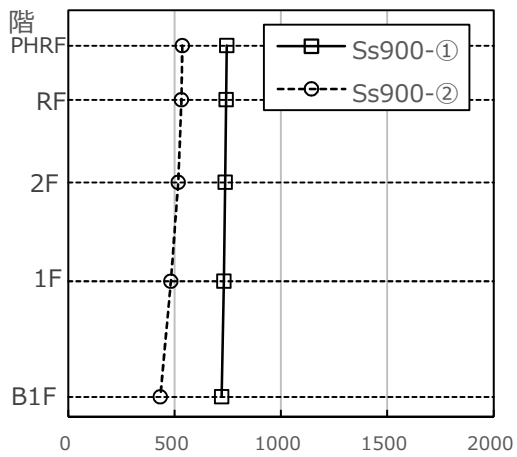
図 2.14.2.1-23

表 2.14.2.1-27 最大応答加速度

	Ss900-①	Ss900-②
PHR階	1498	502
R階	1326	469
2階	1225	420
1階	982	365
B1階	685	326

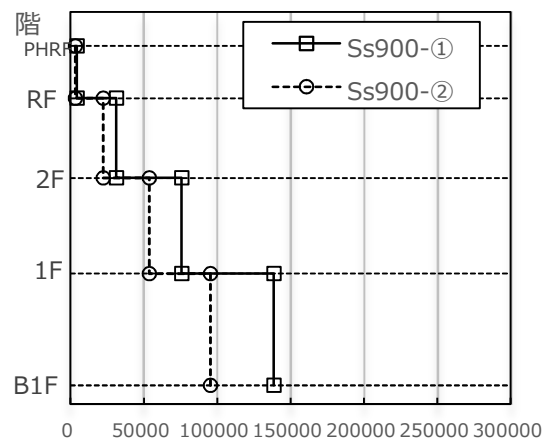
表 2.14.2.1-28 最大応答加速度

	Ss900-①	Ss900-②
PHR階	1801	1024
R階	1746	969
2階	1417	836
1階	1028	596
B1階	675	382



最大応答加速度[cm/s²]

図 2.14.2.1-24



最大応答軸力[kN]

図 2.14.2.1-25

表 2.14.2.1-29 最大応答加速度

	Ss900-①	Ss900-②
PHRF階	745	536
R階	743	531
2階	737	517
1階	732	482
B1階	721	433

表 2.14.2.1-30 最大応答軸力

	Ss900-①	Ss900-②
R階	4318	3104
2階	30993	22190
1階	75676	53489
B1階	138415	95241

1-13. せん断ひずみの評価結果

表 2.14.2.1-31 せん断ひずみ (Ss900-①)

評価項目		評価基準	EW 方向	NS 方向
せん断ひずみ	R 階	$\gamma \leq 2.0 \times 10^{-3}$	0.08×10^{-3}	0.22×10^{-3}
	2 階		0.22×10^{-3}	0.82×10^{-3}
	1 階		0.74×10^{-3}	1.33×10^{-3}
	B1 階		0.75×10^{-3}	1.48×10^{-3}

表 2.14.2.1-32 せん断ひずみ (Ss900-②)

評価項目		評価基準	EW 方向	NS 方向
せん断ひずみ	R 階	$\gamma \leq 2.0 \times 10^{-3}$	0.03×10^{-3}	0.13×10^{-3}
	2 階		0.06×10^{-3}	0.33×10^{-3}
	1 階		0.13×10^{-3}	0.64×10^{-3}
	B1 階		0.12×10^{-3}	0.78×10^{-3}

1-14. 復元力特性

・ 建屋各層のせん断応力度-せん断ひずみ関係は図 2. 14. 2. 1-34 のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$) 関係となる。

・ 各層に発生するせん断応力度におけるせん断ひずみは 2.0×10^{-3} 以下であり、応答値はいずれも第 2 折れ点以下である。

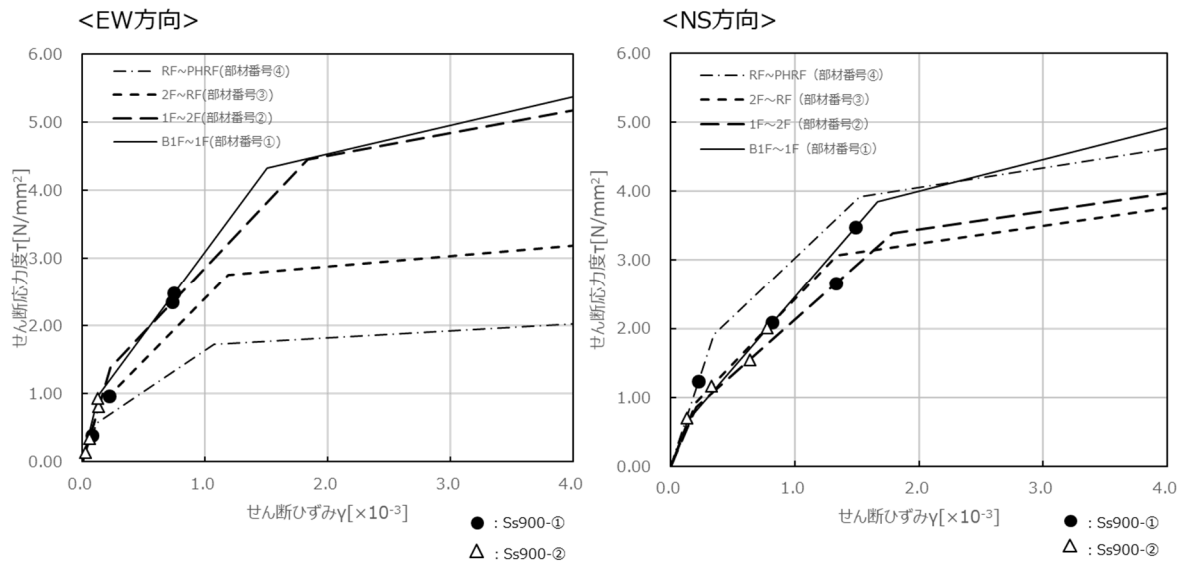


図 2. 14. 2. 1-26 スケルトンカーブ

1-15. コンクリートセル壁のせん断ひずみ

(1) 評価方法

動的解析（等価せん断モデル）では、各階の層間変形から階高を除して、耐震壁のせん断ひずみを算出している（表 1）。同一階でも、建屋外壁とコンクリートセル壁では、耐震壁の剛性比や全体のねじれ等により、層間変形に差が生じることから、各フレーム毎の層間変形を求める。

静的解析で使用した解析モデル（3次元耐震壁付きフレームモデル）に Ss900-① の評価時の外力を入力することで、各フレーム毎の層間変形を求め、せん断ひずみを算出する。

(2) 評価結果

下表(2)、(3)のとおり、建屋外壁とコンクリートセル壁のせん断ひずみは、動的解析結果と同程度となっている。建屋外壁、コンクリートセル壁は、閉じ込め及び遮へい機能の評価基準値（せん断ひずみ： 2.0×10^{-3} ）を下回っていることを確認した。

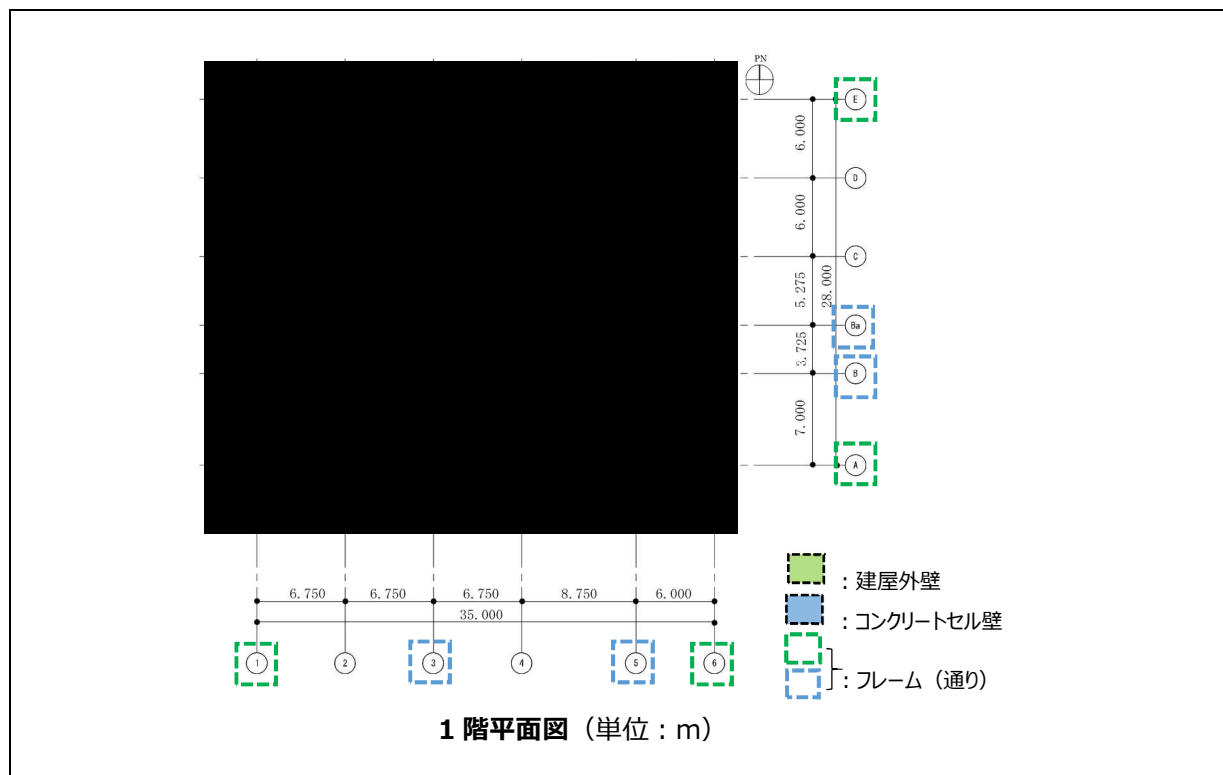


図 2.14.2.1-27 1階平面図

表 2. 14. 2. 1-33 動的解析結果 (Ss900-①)

	NS 方向	EW 方向
1 階	1.33×10^{-3}	0.74×10^{-3}

表 2. 14. 2. 1-34 建屋外壁

	NS 方向	EW 方向
1 通り	1.30×10^{-3}	
6 通り	1.35×10^{-3}	
A 通り		0.72×10^{-3}
E 通り		0.76×10^{-3}

表 2. 14. 2. 1-35 コンクリートセル壁

	NS 方向	EW 方向
3 通り	1.32×10^{-3}	
5 通り	1.34×10^{-3}	
B 通り		0.73×10^{-3}
Ba 通り		0.73×10^{-3}

1-16. 接地圧の評価結果

- ・地震時の最大接地圧は、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力を組み合わせ係数法（係数 0.4）にて考慮して算出する。
- ・接地圧は、最大で 1697kN/m²（NS 方向）であり、評価基準値（極限鉛直支持力度 3000kN/m²**）を超えないことを確認した。

表 2.14.2.1-36 Ss900-①最大接地圧

評価項目	上下動	評価基準	EW方向	NS方向
最大接地圧	上向き	$q_u \leq 3000$	650	1697
	下向き		722	839

表 2.14.2.1-37 Ss900-②最大接地圧

評価項目	上下動	評価基準)	EW方向	NS方向
最大接地圧	上向き	$q_u \leq 3000$	353	335
	下向き		521	526

※極限鉛直支持力度は、建築基準法施行令の地盤の許容応力度より設定

1-17. 評価結果まとめ

- ・第 2 棟建屋の耐震性評価として、Ss900 による地震応答解析を行い、耐震壁に生じるせん断ひずみ及び接地圧が評価基準値を超えないことを確認した。
- ・以上により、第 2 棟建屋は Ss900 に対して耐震裕度を有しており、建屋及びコンクリートセルの安全機能は維持できると評価する。

建屋 Sd450 による評価結果

評価結果

耐震壁のせん断ひずみは，最大で 0.62×10^{-3} (NS 方向) であり，評価基準 (2.0×10^{-3}) を超えず，十分な裕度を確保していることを確認した。

表 2.14.2.1-38 Sd450-①せん断ひずみ

評価項目		評価基準	EW 方向	NS 方向
せん断ひずみ	R 階	$\gamma \leq 2.0 \times 10^{-3}$	0.04×10^{-3}	0.11×10^{-3}
	2 階		0.09×10^{-3}	0.21×10^{-3}
	1 階		0.19×10^{-3}	0.44×10^{-3}
	B1 階		0.31×10^{-3}	0.62×10^{-3}

表 2.14.2.1-39 Sd450-②せん断ひずみ

評価項目		評価基準	EW 方向	NS 方向
せん断ひずみ	R 階	$\gamma \leq 2.0 \times 10^{-3}$	0.02×10^{-3}	0.07×10^{-3}
	2 階		0.03×10^{-3}	0.13×10^{-3}
	1 階		0.07×10^{-3}	0.15×10^{-3}
	B1 階		0.06×10^{-3}	0.23×10^{-3}

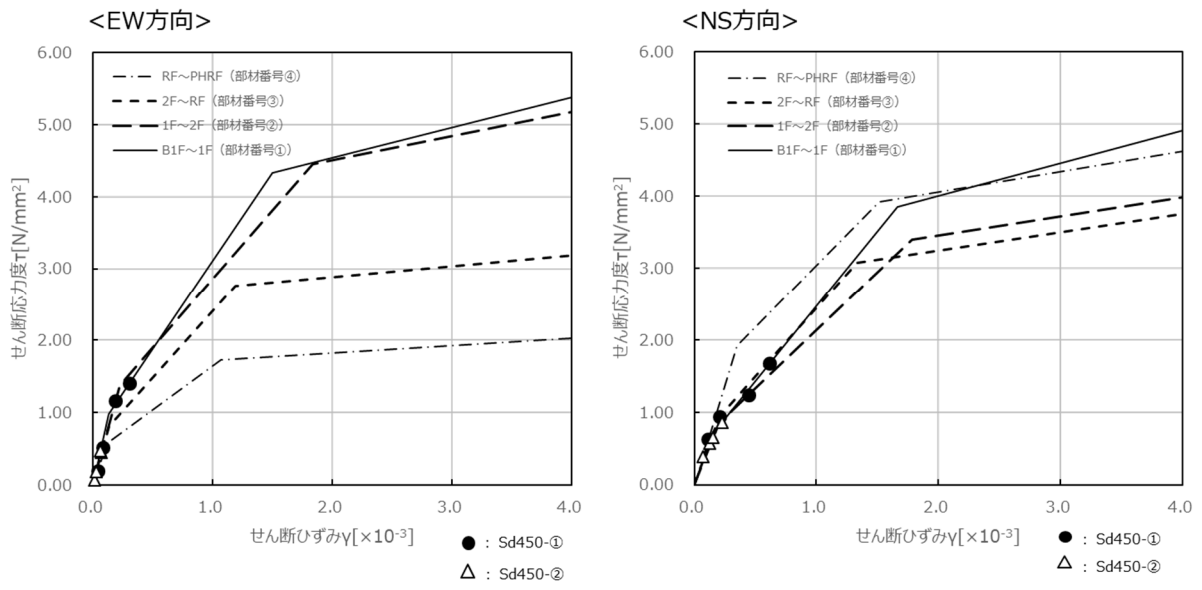


図 2. 14. 2. 1-28 スケルトンカーブ

静的地震力 (3.0Ci) による確認結果

静的地震力 (3.0Ci) による確認結果 (コンクリートセル部以外について)

静的地震力 3.0Ci による解析の結果, コンクリートセル部以外の部材では, 柱で1箇所, 梁で2箇所, 耐震壁で3箇所が検定比 1.0 を上回ることを確認した。これらの部材については, 鉄筋の強度を建築基準法に基づき, 基準強度の 1.1 倍とした場合においても検定比が 1.0 を上回る。

検定比が 1.0 を上回る箇所があるが, Ss900 では, 第 2 棟の建屋はおおむね弾性範囲にある。

表 2.14.2.1-40 検定比

No	部材	階	対象範囲	荷重ケース	評価基準	検定比	
						曲げ	せん断
①-1	柱	1	A 通り-6 通り	EW 方向	≤1.00	1.15	0.42
②-1	梁	2	5 通り A-B 間	NS 方向		1.13	0.60
②-2		1	5 通り Ba-C 間	NS 方向		1.32	1.48

表 2.14.2.1-41 検定比

No	部材	階	対象範囲	荷重ケース	評価基準	検定比
③-1	耐震壁	B1	E 通り 3-4 間	EW 方向	≤1.00	1.17
③-2		B1	3 通り A-B 間	NS 方向		1.15
③-3		B1	6 通り C-D 間	NS 方向		1.20

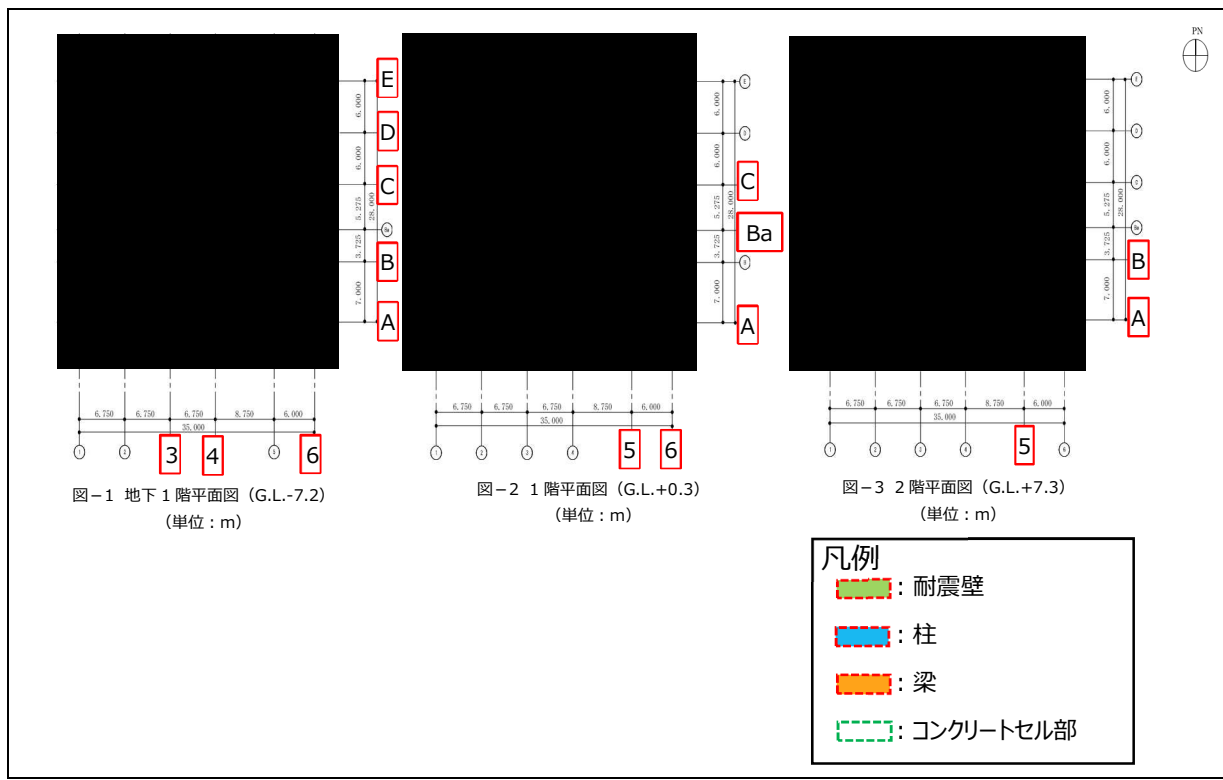


図 2.14.2.1-29 各階平面図

試料ピットの未臨界性評価結果

■■■■間隔についての臨界安全評価の詳細

1. 試料ピットの変位量の評価

試料ピットは、建屋■■■■と一体的に設置されることから、地震時の変形は建屋の変形に追従するものとする。■■■■最大せん断ひずみは 1.48×10^{-3} であり、試料ピットも同一のひずみと想定し、試料ピットの■■■■間隔の変位量を検討した。

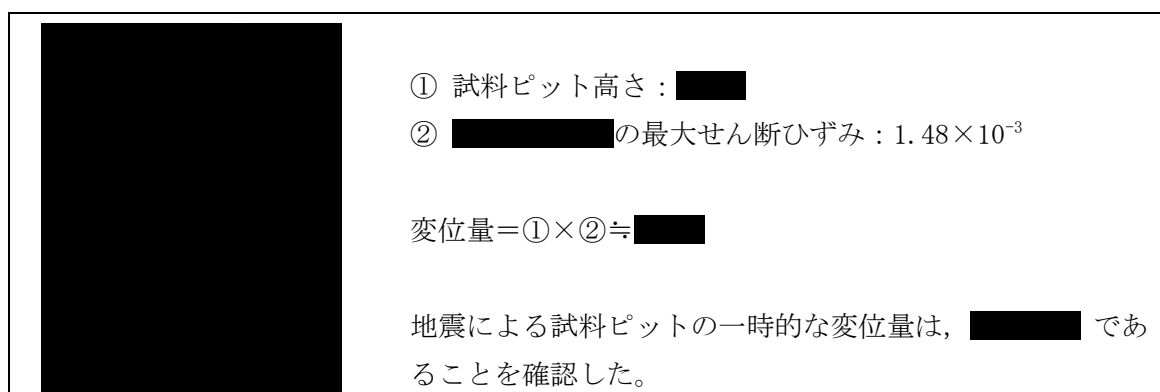


図 2.14.2.1-30 試料ピット断面図

2. 間隔を狭めた場合の中性子実効増倍率^{※1}

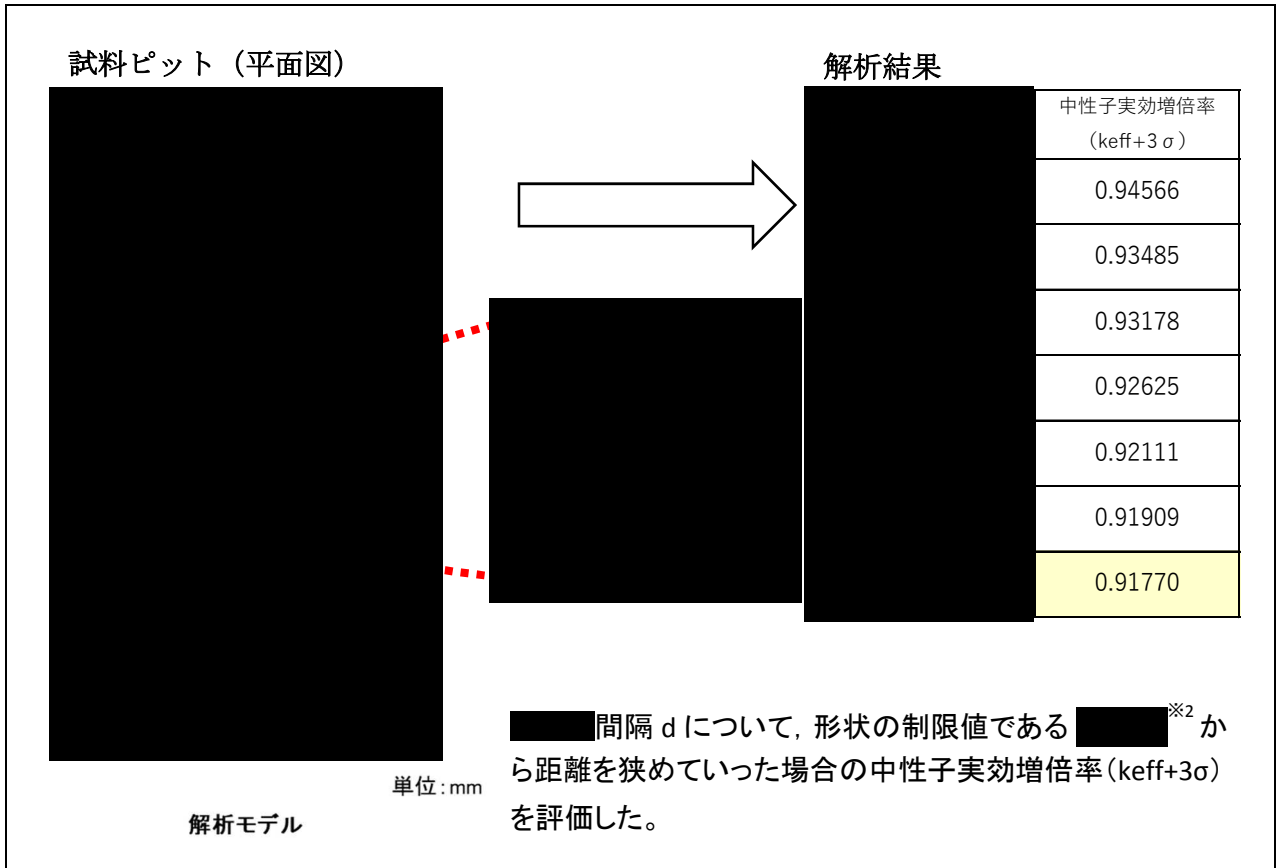


図 2. 14. 2. 1-31 試料ピット解析モデルと結果

※1 試料ピット Δ の Δ に燃料デブリ等 Δ を収納した容器を Δ 積み上げて保管した状態を想定している。

※2 試料ピットにおける Δ 間隔の設計寸法は Δ であるが、施工誤差を考慮し、安全側の評価となるよう設計寸法から Δ として評価した。

Δ 間隔の形状の制限値 Δ から Δ 狭めた Δ としても中性子実効増倍率は 0.94566 であり、未臨界性の判断基準である 0.95 を下回るため、地震により試料ピットの Δ 間隔が Δ 程度一時的に変形しても十分な余裕を有している。

試料ピットの形状維持について

1. 試料ピットの概要は以下のとおり。

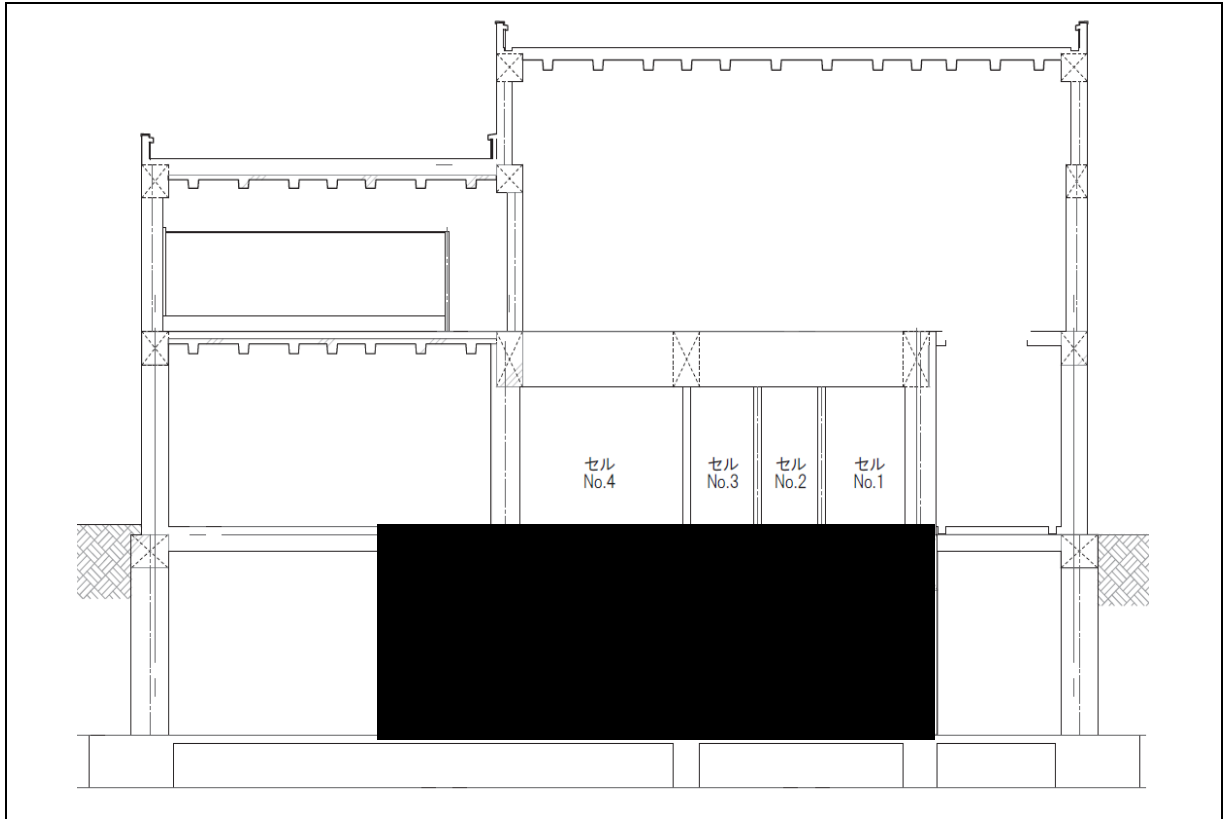


図 2.14.2.1-32 建屋断面図



図 2.14.2.1-33 試料ピット平面図



図 2.14.2.1-34 建屋断面図(コンクリートセル周辺)



図 2.14.2.1-35 試料ピット断面図

コンクリートセルと [REDACTED] でライニング (内張鋼板) によって閉じ込め機能を果たす構造となっている。

2. 試料ピットの形状維持評価

試料ピットは [REDACTED] であり建屋と一体な構造であることから、建屋の Ss900 の評価結果より、試料ピットの形状維持について評価する。

試料ピットは、建屋 [REDACTED] と一体的に設置されることから地震時の変形 (形状維持) は建屋の変形に追従するものとする。

解析の結果、第2棟はおおむね弾性状態 (スケルトンカーブの第2折れ点以下) にとどまり、[REDACTED] 最大せん断ひずみは 1.48×10^{-3} であるため、試料ピットは形状維持できると考え

る。

現実的な緩和対策を考慮した際の線量評価

現実的な緩和策を考慮した線量評価

Ss900 等による耐震性の評価結果に基づき、以下の安全機能を考慮して公衆の被ばく影響を評価した。

- ・閉じ込め機能：換気空調設備による負圧維持機能が喪失されるため、放射性物質が外部に放出することを想定する。なお、おおむね弾性状態（スケルトンカーブの第2折れ点以下）にとどまることから、コンクリートセル及び建屋の除染係数として気体状の放射性物質を除き、各々 10^{*1} を見込めるものとして評価を行う。
- ・遮へい機能：おおむね弾性状態（スケルトンカーブの第2折れ点以下）にとどまることから、建屋・コンクリートセルの遮へい機能は保持されるものとして評価を行う。

表 2.14.2.1-42(1/3) 公衆被ばく影響

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく ^{*2}	敷地境界線量
建屋	遮へい	<p>【外部被ばく】</p> <p>建屋の遮へい機能が見込め、地下階に存在する固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物払出準備設備に含まれる放射性物質の放射能（それぞれ 2.3×10^{10}Bq 及び 2.4×10^8Bq）から燃料デブリ重量に換算し、その直接線、スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・建屋の遮へいを考慮する。 ・固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物一時貯留設備は地下階に存在するため、土壌による遮へいを考慮する。 	—	1.5×10^{-11} mSv	1.5×10^{-11} mSv
コンクリートセル	閉じ込め	<p>【内部被ばく】</p> <p>コンクリートセル内の試料調製時に発生する燃料デブリからの粉体の発生量を安全側に見積もり、粉体中の放射性物質がセル内の気相に移行^{*3}し、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・建屋、コンクリートセルの除染係数各々10^{*1}を考慮 	1.1 mSv	2.4×10^{-4} mSv	1.2 mSv

		する。			
	遮へい	<p>【外部被ばく】</p> <p>コンクリートセルの遮へい機能が喪失し、燃料デブリから直接線、スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートセル及び建屋による遮へいを考慮する。 			
試料ピット	遮へい	<p>【外部被ばく】</p> <p>試料ピットの遮へい機能が見込め、燃料デブリから直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・建屋による遮へいを考慮する。 ・試料ピットはため、土壌による遮へいを考慮する。 	—	2.6×10^{-4} mSv	2.6×10^{-4} mSv
	(臨界防 止)	<ul style="list-style-type: none"> ・試料ピットは臨界に達するおそれはない。 			

※1 コンクリートセル、建屋の除染係数として気体状の放射性物質を除き、各々10を考慮。鉄セル、グローブボックス、フード、廃液受槽については建屋の除染係数のみ考慮

Elizabeth M. Flew, et al.” Assessment of the Potential Release of Radioactivity from Installations at AERE, Harwell. Implications for Emergency Planning “. Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7

※2 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※3 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率1% (日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」)。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

表 2.14.2.1-42(2/3) 公衆被ばく影響

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく※2	敷地境界線量
鉄セル	閉じ込め	<p>【内部被ばく】</p> <p>鉄セル内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がセル内の気相に移行※4し、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ</p>	2.7×10^{-1} mSv	3.1×10^{-7} mSv	2.8×10^{-1} mSv

		地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数 $10^{※1}$ を考慮する。			
	遮へい	【外部被ばく】 鉄セルの遮へい機能が喪失し、燃料デブリから直接線、スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮へいを考慮する。			
グローブボックス	閉じ込め	【内部被ばく】 グローブボックス内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がグローブボックス内の気相に移行 ^{※4} し、排気系統を通じてではなく、直接、グローブボックス周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数 $10^{※1}$ を考慮	2.7×10^{-5} mSv	—	2.7×10^{-5} mSv
フード	閉じ込め	【内部被ばく】 フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行 ^{※4} し、排気系統を通じてではなく、直接、フード周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数 $10^{※1}$ を考慮する。	2.7×10^{-5} mSv	—	2.7×10^{-5} mSv
液体廃棄物一時貯留設備	閉じ込め	【内部被ばく】 液体廃棄物一時貯留設備のうち分析廃液受槽が破損し、内蔵している放射性の液体廃棄物が堰内に漏えいし、漏えいに伴い液体廃棄物中の放射性物質の一部が室内の気相に移行 ^{※5} し、排気系統を通じてではなく、直接、建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定 ・建屋の除染係数 $10^{※1}$ を考慮する。	7.2×10^{-6} mSv	—	7.2×10^{-6} mSv

※1 コンクリートセル、建屋の除染係数として気体状の放射性物質を除き、各々10を考慮。鉄セル、グローブボックス、フード、廃液受槽については建屋の除染係数のみ考慮

Elizabeth M. Flew, et al.” Assessment of the Potential Release of Radioactivity from Installations at AERE, Harwell. Implications for Emergency Planning “.Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7

※2 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※3 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率1%（日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」）。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

※4 鉄セル、グローブボックス、フードでは、燃料デブリの切断は行わないが、取り扱う燃料デブリ全量が粉体化するものとし、※3の移行率を用いた。

※5 液体状の放射性物質の漏れい時の気相への移行率0.02%（“Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook”，NUREG/CR-6410）

表 2.14.2.1-42(3/3) 公衆被ばく影響

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく ^{※2}	敷地境界線量
セル・グローブボックス用換気空調設備	閉じ込め	<p>【内部被ばく】</p> <p>コンクリートセル内の試料調製時に発生する燃料デブリからの粉体の発生量を安全側に見積もり、粉体中の放射性物質がセル内の気相に移行^{※3}し、コンクリートセルの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。</p> <p>・建屋の除染係数$10^{※1}$を考慮する。</p>	2.0×10^{-1} mSv	—	2.0×10^{-1} mSv
フード用換気空調設備	閉じ込め	<p>【内部被ばく】</p> <p>フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行^{※4}し、フードの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接フード周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。</p> <p>・建屋の除染係数$10^{※1}$を考慮する。</p>	2.7×10^{-5} mSv	—	2.7×10^{-5} mSv
管理区域用換気空調設備	—	設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。	—	—	—
消火設備	—	設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。	—	—	—
固体廃棄物払出準備設備	—	固定して使用する設備がないため、耐震上の安全機能はない。	—	—	—

	合計	1.6 mSv	5.1×10^{-4} mSv	1.7 mSv
--	----	------------	-----------------------------	------------

※1 コンクリートセル，建屋の除染係数として気体状の放射性物質を除き，各々10を考慮。鉄セル，グローブボックス，フード，廃液受槽については建屋の除染係数のみ考慮

Elizabeth M.Flew, et al.” Assessment of the Potential Release of Radioactivity from Installations at AERE, Harwell. Implications for Emergency Planning “.Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7

※2 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※3 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率1%（日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」）。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

※4 鉄セル，グローブボックス，フードでは，燃料デブリの切断は行わないが，取り扱う燃料デブリ全量が粉体化するものとし，※3の移行率を用いた。

B+クラスの機器・配管系の耐震評価結果

1. B+クラスの機器・配管系の耐震評価項目

B+クラスの機器・配管系に対して、以下の設計用地震力で耐震評価を行う。

表 2. 14. 2. 1-43 耐震 B+クラスの設計用地震力

耐震クラス	動的地震力		静的地震力
	機能維持	弾性範囲 (共振時のみ)	
B+	1/2Ss450	1/2Sd225*	水平：1.8Ci (0.36G) 鉛直：—

※ 現設計において固有値解析を行った結果、固有周期は 0.003～0.048 秒であり、剛構造 (0.05 秒以下) であるため共振のおそれはない。

表 2. 14. 2. 1-44 各設備の固有周期

大分類	中分類	設備名称	固有周期 (s) ^{※1}
機器	分析設備	鉄セル遮へい体	0.048
		鉄セルインナーボックス	0.048
		グローブボックス (No.1, 2, 4)	0.046
		グローブボックス (No.3)	0.048
	換気空調設備	セル・グローブボックス用排風機	— ^{※2}
		セル・グローブボックス用排気フィルタユニット A, B	0.014
		セル・グローブボックス用排気フィルタユニット C, D	0.013
		コンクリートセル用給気フィルタユニット A, B	0.008
		鉄セル用給気フィルタユニット A, B	0.003
		鉄セル用給気フィルタユニット C, D	0.003
		グローブボックス用給気フィルタユニット A～F	0.003
		グローブボックス用給気フィルタユニット G, H	0.003
	配管系	鋼管	主要排気管 (鋼管)

		主要給気管（鋼管）	0.05 ^{※3}
	ダクト	主要排気管（ダクト）	0.05 ^{※3}

※1 0.05s 以下であれば剛構造である。

※2 排風機（ブロア含む）の本体は、十分に剛であるため固有周期の算定は省略できる。（JEAG4601-1987を参考）

※3 固有周期が0.05となるように配管の支持間隔を設定している。

2. 機器の静的地震力 1.8Ci に対する耐震評価

原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）を参考に発生応力を計算し、許容応力との比較により、基礎ボルトの耐震性を評価する。

2.1 評価結果

すべての機器について、発生応力が許容応力を下回るため、1.8Ci に対して耐震性を有することを確認した。

表 2.14.2.1-45 1.8Ci の耐震評価

設備名		設置床面	1.8Ci での発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
鉄セル	遮へい体	1 階	引張	—	362
			せん断	60	278
	インナーボックス	1 階	引張	—	183
			せん断	5	141
グローブボックス (GB-No. 1, 2, 4)		1 階	引張	—	183
			せん断	1	141
グローブボックス (GB-No. 3)		1 階	引張	—	183
			せん断	2	141
セル・グローブボックス用排風機		地下 1 階	引張	—	170
			せん断	4	131
セル・グローブボックス用排気フィルタユニット A, B		地下 1 階	引張	1	170
			せん断	6	131
セル・グローブボックス用排気フィルタユニット C, D		地下 1 階	引張	3	170
			せん断	6	131
コンクリートセル用給気フィルタユニット A, B		2 階	引張	—	170
			せん断	2	131
鉄セル用給気フィルタユニット A, B		1 階歩廊(2 階)	引張	1	153
			せん断	1	118
鉄セル用給気フィルタユニット C, D		1 階歩廊(2 階)	引張	1	153
			せん断	1	118
グローブボックス用給気フィルタユニット A~F		1 階歩廊(2 階)	引張	1	153
			せん断	1	118
グローブボックス用給気フィルタユニット G, H		1 階歩廊(2 階)	引張	1	153
			せん断	1	118

3. 配管系の静的地震力 1.8Ci に対する耐震評価

原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601) を参考に以下のとおり、評価を行う。

- ・鋼管については、固有振動数を 20Hz とした場合の支持間隔から発生応力を計算し、許容応力と比較する。
- ・ダクト系については、許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔を計算する。

3.1 評価結果 (応力評価)

すべての配管系について、発生応力が許容応力を下回るため、1.8Ci に対して耐震性を有することを確認した。

表 2.14.2.1-46 主要排気管（鋼管）

配管材料	SUS304							
配管口径	100A	125A	150A	200A	250A	350A	450A	600A
Sch	10S/20S	10S	10S/20S	10S/20S	10S	40		
設計圧力 (MPa)	0.0095							
1.8Ci での発生応力 (MPa)	8	8	8	8	8	8	8	8
許容応力 (MPa)	1.0Sy=153							

表 2.14.2.1-47 主要給気管（鋼管）

配管材料	SUS304				
配管口径	80A	150A	200A	250A	300A
Sch	20S			10S	
設計圧力 (MPa)	0.001			0.0005	
1.8Ci での発生応力 (MPa)	8	8	8	8	8
許容応力 (MPa)	1.0Sy=153				

4. 計算結果（ダクトの支持間隔評価）

ダクトの支持間隔を計算した結果、ダクト系の固有振動数から定まる支持間隔の方が許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔よりも短いことを確認した。

第 2 棟の主要排気管（ダクト）の支持間隔は、固有振動数から定まる支持間隔以下とすることで、剛構造かつ 1.8Ci に対して耐震性を有するものとする。

表 2.14.2.1-48 主要排気管（ダクト）

材料	SS400		
設計温度 (°C)	60		
寸法 (mm)	559.0× 559.0	659.0× 659.0	φ 706.4 ※1
板厚 (mm)	4.5	4.5	3.2
①ダクト系の固有振動数から定まる支持間隔 (m)	6.6	7.1	7.0
②許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔 (m) (設計震度 1G の場合)	57.8	55.3	42.2
耐震支持間隔 (=Min [①, ②]) (m)	6.6	7.1	7.0

※1 寸法 706.4mm×706.4mm, 板厚 3.2mm の矩形ダクトとして代表した支持間隔を示す。

5. 機器の 1/2Ss450 に対する耐震評価

原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601) を参考に発生応力を計算し, 許容応力との比較により, 基礎ボルトの耐震性を評価する。鉄セル遮へい体の評価を以下に示す。

(1) 評価方法

算出応力と許容応力の比較により, 基礎ボルトを評価する。

○応力計算モデルは 1 質点系とし, 重心位置に地震荷重が作用する。

○基礎ボルトに対する引張力は, 片側の列のボルトを支点とする転倒を考え, これを他方の列のボルトで受けるものとして計算する。

○基礎ボルトに対するせん断力は, 基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

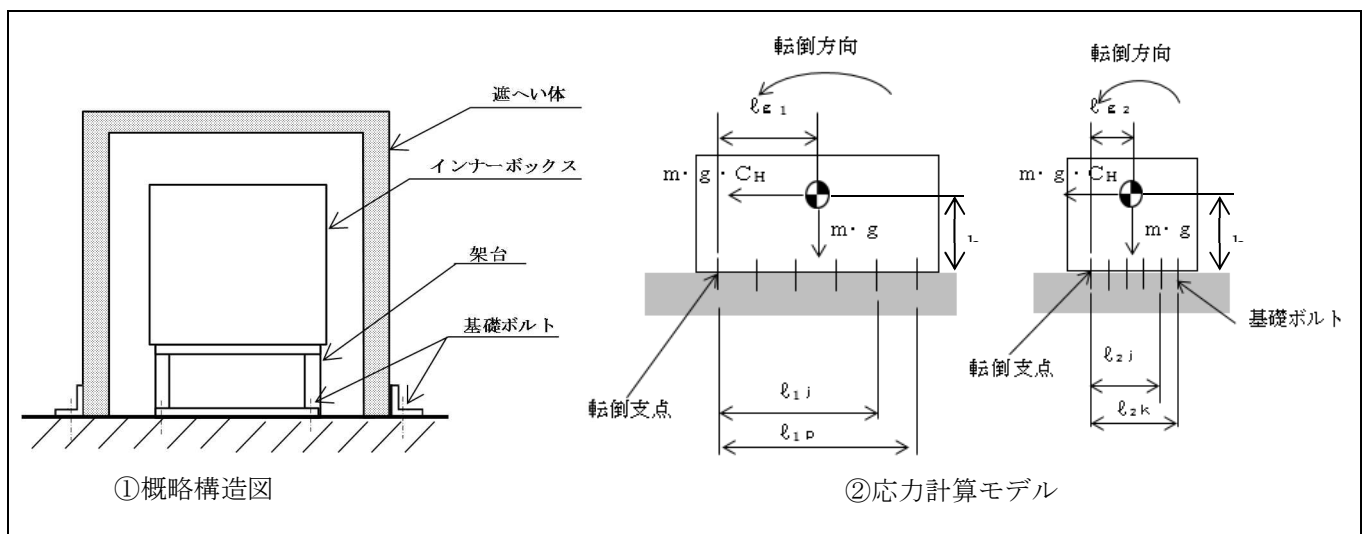


図 2.14.2.1-36 概略構造図・応力計算モデル

(2) 評価式

引張応力

① 引張力

$$F_{b1} = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h \cdot l_{1p}}{\sum_{j=1}^p n_{f1j} \cdot l_{1j}^2}$$

$$F_{b2} = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h \cdot l_{2k}}{\sum_{j=1}^k n_{f2j} \cdot l_{2j}^2}$$

$$F_{bz} = \frac{m \cdot g \cdot (1 - C_V)}{n}$$

② 引張応力

$$\sigma_b = \frac{\sqrt{F_{b1}^2 + F_{b2}^2} - F_{bz}}{A_b}$$

[ボルトの断面積]

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

b. せん断応力

① せん断力

$$Q_b = m \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + C_H^2}$$

② せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b \cdot n}$$

凡例

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向の設計用震度	—
C_V	鉛直方向の設計用震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F_{b1}	基礎ボルトに作用する引張力（1本あたり）（長辺方向）	N
F_{b2}	基礎ボルトに作用する引張力（1本あたり）（短辺方向）	N
F_{bz}	基礎ボルトに作用する引張力（1本あたり）（鉛直方向）	N
g	重力加速度	m/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
l_{1j}	転倒支点と各基礎ボルトとの距離（長辺方向）	mm
l_{2j}	転倒支点と各基礎ボルトとの距離（短辺方向）	mm
p	転倒支点から最も離れた基礎ボルト番号（長辺方向）	—
k	転倒支点から最も離れた基礎ボルト番号（短編方向）	—
m	機器の質量	kg
n	基礎ボルトの全本数	—
n_{f1j}	転倒支点から l_{1j} の距離にある基礎ボルトの本数（長辺方向）	—
n_{f2j}	転倒支点から l_{2j} の距離にある基礎ボルトの本数（短辺方向）	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

3) 基礎ボルトの応力評価

基礎ボルトの引張応力 σ_b は、次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \tau_b, f_{to}]$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

表 2.14.2.1-52

	許容引張応力 f_{t0}	許容せん断応力 f_{sb}
計算式	$\left[\frac{F}{2} \right] 1.5$	$\left[\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right] 1.5$

凡例

記号	記号の説明	単位
F	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
f_{sb}	許容せん断応力	MPa
f_{t0}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

4) 評価条件

表 2.14.2.1-49

機器名称	耐震設計上の重要度分類	固有周期 (s)		据付場所	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
		水平方向	鉛直方向			
鉄セル遮へい体	B ⁺	0.048	—	地上1階	C _H =0.75	C _V =0.48

⇒ 固有周期は 0.05 s 以下であり、鉄セル遮へい体は剛構造である。

5) 評価結果

表 2.14.2.1-50 (単位: MPa)

機器名称	部材	材料	応力	算出応力	許容応力
鉄セル遮へい体	基礎ボルト	S45C	引張	$\sigma_b=127$	$f_{ts}=225$
			せん断	$\tau_b=176$	$f_{sb}=278$

⇒ 算出応力が許容応力以下であり、十分な構造強度を有していることを確認した。

5.1 評価結果

すべての機器について、発生応力が許容応力を下回るため、1/2Ss450 に対して耐震性を有することを確認した。

表 2.14.2.1-51 1/2Ss450 の耐震評価

設備名		設置床面	1/2Ss450 での発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
鉄セル	遮へい体	1 階	引張	127	225
			せん断	176	278
	インナーボックス	1 階	引張	21	183
			せん断	15	141
グローブボックス (GB-No. 1, 2, 4)		1 階	引張	6	183
			せん断	3	141
グローブボックス (GB-No. 3)		1 階	引張	7	183
			せん断	4	141
セル・グローブボックス用排風機		地下 1 階	引張	4	170
			せん断	6	131
セル・グローブボックス用排気フィルタユニット A, B		地下 1 階	引張	18	170
			せん断	12	131
セル・グローブボックス用排気フィルタユニット C, D		地下 1 階	引張	26	170
			せん断	12	131
コンクリートセル用給気フィルタユニット A, B		2 階	引張	9	170
			せん断	5	131
鉄セル用給気フィルタユニット A, B		1 階歩廊 (2 階)	引張	4	153
			せん断	2	118
鉄セル用給気フィルタユニット C, D		1 階歩廊 (2 階)	引張	4	153
			せん断	2	118
グローブボックス用給気フィルタユニット A~F		1 階歩廊 (2 階)	引張	4	153
			せん断	2	118
グローブボックス用給気フィルタユニット G, H		1 階歩廊 (2 階)	引張	4	153
			せん断	2	118

6. 配管系の 1/2Ss450 に対する耐震評価

原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601) を参考に以下のとおり、評価を行う。

- ・鋼管については、固有振動数を 20Hz とした場合の支持間隔から発生応力を計算し、許容応力と比較する。
- ・ダクト系については、許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔を計算する。

(1) 鋼管の評価方法

対象の主要排気管は、クラス 4 配管の規定を準用する。

原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601) を参考に応力算定式については下式で表される。

$$S = \frac{P D_0}{4 t} + \frac{M_a + M_b}{Z}$$

Ma : 自重によるモーメント $M_a = \frac{w \cdot g \cdot L^2}{8}$

Mb : 地震によるモーメント $M_b = \frac{C_h w \cdot g \cdot L^2}{8}$

凡例

S	: 発生応力	[MPa]
P	: 設計圧力	[MPa]
D ₀	: 外径	[mm]
t	: 板厚	[mm]
Z	: 断面係数	[mm ³]
C _h	: 水平震度	—
C _v	: 鉛直震度	—
L	: 支持間隔	[mm]
w	: 主要給気管の単位長さ当たりの質量	[kg/mm]
g	: 重力加速度 (=9.80665)	[m/s ²]

(2) ダクト 評価方法

② 許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔 : L_{R2}

$$L_{R2} = \sqrt{\frac{8 \cdot M}{w \cdot g \cdot \alpha}}$$

○ 許容座屈曲げモーメント : M

$$M = S \cdot M_t$$

$$M_t = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot t \cdot I}{\sqrt{1 - \nu^2} \cdot b^2} \cdot \sqrt{E \cdot \sigma_y \cdot \gamma}$$

$$I = \frac{t \cdot b^3}{6} + a e \cdot t \cdot \frac{b^2}{2}$$

○ 設計震度 : α

$$\alpha = 1 + \sqrt{C_H^2 + C_H^2 + C_v^2}$$

凡例

L_{R2}	: 許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔	(mm)
M	: 許容座屈曲げモーメント	(N・mm)
w	: ダクト単位長さ質量	(kg/mm)
g	: 重力加速度 (=9.80665)	(m/s ²)
α	: 設計震度	(-)
S	: 許容座屈曲げモーメントの安全係数	0.7
C_H	: 水平震度	(-)
C_v	: 水平震度	(-)
M_t	: 座屈限界曲げモーメント	(N・mm)
λ	: 座屈限界曲げモーメントの補正係数	(-)
π	: 円周率	(-)
t	: ダクト板厚	(mm)
b	: ダクト短辺寸法	(mm)
I	: 断面二次モーメント	(mm ⁴)
E	: 縦弾性係数	(N/mm ²)
ae	: ダクトフランジの有効幅	(mm)
γ	: 座屈限界曲げモーメントの安全係数	0.6
ν	: ポアソン比	0.3
σ_y	: 降伏点	(N/mm ²)

6.1 評価結果（応力評価）

すべての配管系について、発生応力が許容応力を下回るため、1/2Ss450 に対して耐震性を有することを確認した。

表 2. 14. 2. 1-52 主要排気管

配管材料	SUS304							
配管口径	100A	125A	150A	200A	250A	350A	450A	600A
Sch	10S/20S	10S	10S/20S	10S/20S	10S	40		
設計圧力 (MPa)	0.0095							
1/2Ss450 での発生応力 (MPa)	14	14	14	14	14	14	14	14
許容応力 (MPa)	1.0Sy=153							

表 2. 14. 2. 1-53 主要給気管

配管材料	SUS304				
配管口径	80A	150A	200A	250A	300A
Sch	20S			10S	
設計圧力 (MPa)	0.001			0.0005	
1/2Ss450 での発生応力 (MPa)	14	14	14	13	13
許容応力 (MPa)	1.0Sy=153				

6.2 評価結果（支持間隔評価）

ダクトの支持間隔を計算した結果、ダクト系の固有振動数から定まる支持間隔が最も短いことを確認した。

第 2 棟の主要排気管（ダクト）の支持間隔は、固有振動数から定まる支持間隔以下とすることで、剛構造かつ 1/2Ss450 に対して耐震性を有するものとする。

表 2.14.2.1-54 主要排気管（ダクト）

材料	SS400		
設計温度（℃）	60		
寸法（mm）	559.0×559.0	659.0×659.0	φ706.4 ^{※1}
板厚（mm）	4.5	4.5	3.2
①ダクト系の固有振動数から定まる支持間隔（m）	6.6	7.1	7.0
②許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔（m） （設計震度 1G の場合）	57.8	55.3	42.2
③許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔（m） （1/2Ss450 の場合）	37.3	35.7	27.2
耐震支持間隔（=Min [①, ②, ③]）（m）	6.6	7.1	7.0

※1 寸法 706.4mm×706.4mm、板厚 3.2mm の矩形ダクトとして代表した支持間隔を示す。

上位クラス設備に対する波及的影響

1. 機器転倒時のセルライニングの健全性確認

上位クラス設備に対する波及的影響として、コンクリートセルに設置されることが想定される機器（前処理又は分析に使用する装置等）が転倒した場合のセルライニングの健全性評価を行った。

(1) 評価方法

機器の転倒の想定として、機器の重量を持つ質点が機器の高さから落下したとみなし、そのときのエネルギーすべてがセルライニングに与えられるものとする。機器の位置エネルギーとセルライニングを破損させるために必要なエネルギー（破損限界エネルギー）を比較することにより、セルライニングの健全性を確認する。

機器の位置エネルギーと破損限界エネルギーの算出式は以下のとおり。

- ・ 機器の位置エネルギー

$$E_p = mgh$$

- ・ 破損限界エネルギー*1

$$E_f = 3.0 \times 10^8 \cdot D_e^{1.5} T^{1.5}$$

$$D_e = D_m$$

*1 飛来物体に対する鋼板の耐衝撃性（第4報, 破損限界エネルギーに対する材質の影響）, 日本機械学会論文集（A編）49巻444号, 昭和58年8月.

凡例

E_f	: 破損限界エネルギー (kgf・m)	E_p	: 装置の位置エネルギー
D_e	: 相当直径 (m)	m	: 装置の質量 (kg)
T	: 鋼板板厚 (m)	G	: 重力加速度 (m/s ²)
D_m	: 飛翔体直径 (m)	H	: 装置の高さ (m)

上記の算出式から、機器の重量 (m) 及び高さ (h) が大きく、かつ、機器の直径*2 (Dm) が小さい条件が評価上厳しくなる。

*2 各機器の最小面積の円相当直径

(2) コンクリートセルで使用を想定している機器

コンクリートセルで使用する主な機器を以下に示す。コンクリートセルで使用する各機器は、それぞれの重量が 700kg 以下、高さが 1.8m 以下、直径*2 が 50mm 以上を想定している。

*2 各機器の最小面積の円相当直径

- ・ 蛍光 X 線分析装置 (XRF)
- ・ 切断機
- ・ 電気炉
- ・ 研磨機
- ・ スタンプミル
- ・ ホットプレート 等

(3) 評価結果

最も保守的な条件として、重量が 700kg、高さが 1.8m 及び直径*2 が 50mm である機器を仮想的に想定して評価したところ、下記のとおり機器の位置エネルギーが破損限界エネルギーを下回る結果が得られた。このことから、機器の転倒によりセルライニングの破損は生じない。

表 2.14.2.1-55 仮想機器の位置エネルギーとライニングの破損限界エネルギー

転倒する仮想的な機器	機器の位置エネルギー(J)	破損限界エネルギー(J)
重量 : 700kg 高さ : 1.8m 相当直径 : 50mm	1.24×10^4	■■■■■ (セルライニング厚 ■■■ の場合)

2. 鉄セル遮へい体衝突時のコンクリートセル等の健全性確認

(1) 想定事象

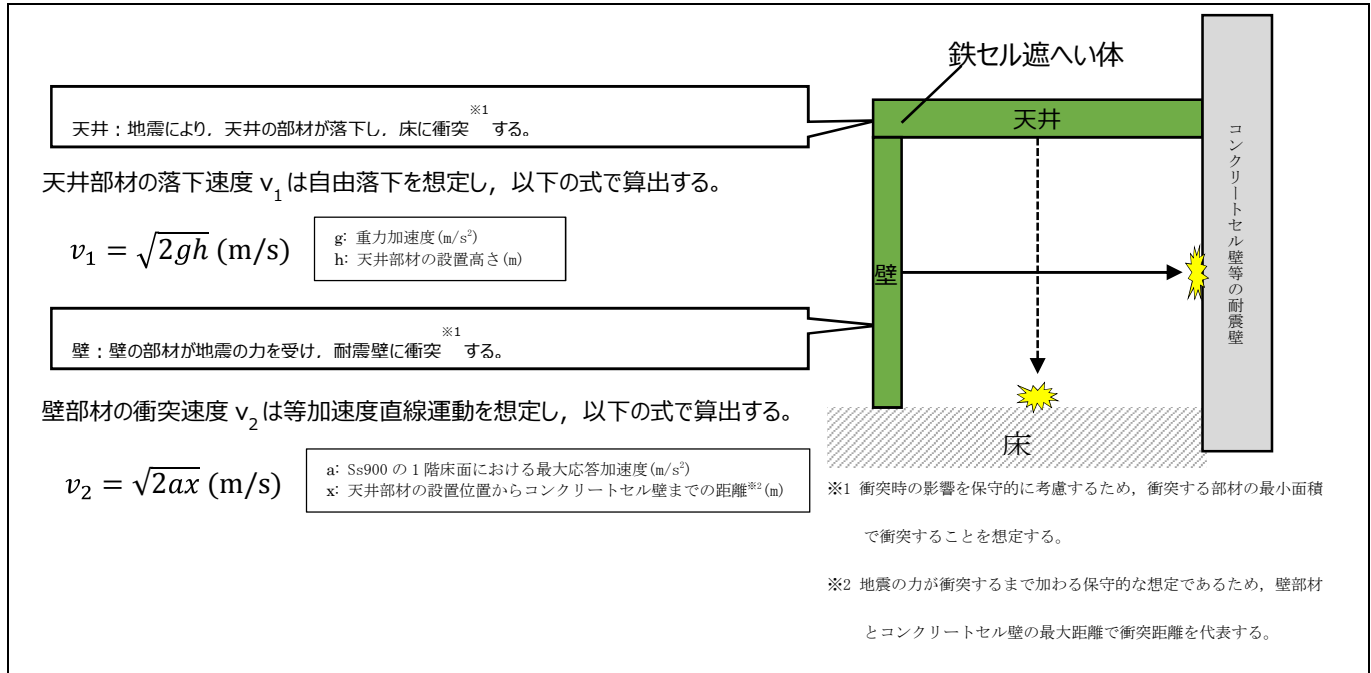


図 2.14.2.1-37 鉄セル遮へい体衝突時のコンクリートセル等の健全性

(2) 評価方法

上記の想定事象に基づいて、貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さを算出し、鉄セル遮へい体が衝突する耐震壁及び床の厚さと比較することで健全性を確認する。

以下に貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さの算出式を示す。

・貫通限界厚さ^{*1, 2}

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left(\frac{X_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left(\frac{X_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\}$$

$$X_c = \alpha_c \sqrt{4kWND \left(\frac{V}{1000D} \right)^{1.8}}$$

$$k = \frac{180}{\sqrt{F_c}}$$

・裏面剥離限界厚さ^{*3}

$$t_s = \frac{1.84 \alpha_s \left(\frac{200}{V} \right)^{0.13} (MV^2)^{0.4}}{\left(\frac{D}{12} \right)^{0.2} (144F_c)^{0.4}}$$

凡例

t_p : 貫通限界厚さ (in)	W : 飛来物重量 (lb)
α_c : 貫入深さ飛来物低減係数 (-)	V : 衝突速度 (ft/s)
X_c : 貫入深さ (in)	t_s : 裏面剥離限界厚さ (ft)
N : 形状係数 (-)	g : 重力加速度 (ft/s ²)
F_c : コンクリート強度 (psi)	α_s : 裏面剥離限界厚さ低減係数 (-)
α_p : 貫通限界厚さ低減係数 (-)	M : 質量 (lb/(ft/s ²))
D : 飛来物直径 (in)	

低減係数は、剛飛来物=1.0, 柔飛来物=0.65 ⇒低減係数=1.0 とした。

形状係数は、剛飛来物=1.14, 柔飛来物=0.72 ⇒形状係数=1.14 とした。

*1 R. P. Kennedy, "A review of procedures for the analysis and design of concrete structures to resist missile impact effects", Nuclear Engineering and Design, 37, (1976).

*2 P. P. Degen, "Perforation of reinforced concrete slabs by rigid missiles", Journal of the Structural Division, Proceeding of ASCE, vol.106, No.ST7, (1980).

*3 W. S. Chang, "Impact of solid missiles on concrete barriers", Journal of the Structural Division, Proceeding of ASCE, Vol.107, No.ST2, (1981).

(3) 鉄セル遮へい体の配置図及び寸法等

鉄セル遮へい体は下図に示すとおり配置される。また、寸法等を下表に示す。

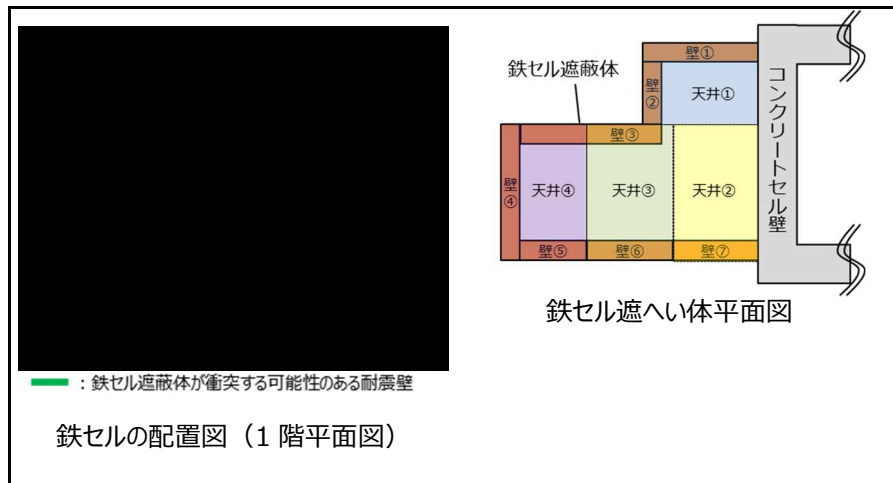


図 2.14.2.1-38 鉄セルの平面図

・壁①～⑦

→ 壁③が最大寸法であり，コンクリートセル壁衝突時の影響が最大

表 2.14.2.1-56 各種情報

部材No.	重量(t)	寸法 W(m)	寸法 D(m)	寸法 H(m)	衝突距離(m)	衝突速度(m/s)
壁③	16.5	3.0	0.24	2.9	5.3	10.5

・天井①～④（天井②～④は同寸法）

→ 天井②が最大寸法であり，床落下時の影響が最大

表 2.14.2.1-57 各種情報

部材No.	重量(t)	寸法 W(m)	寸法 D(m)	寸法 H(m)	落下距離(m)	衝突速度(m/s)
天井②	8.6	1.8	2.6	0.24	3.0	7.7

(4) 評価結果

衝突時の影響が最も大きい部材に対し，貫通限界厚さ及び裏面剝離限界厚さを求め，衝突する可能性のある耐震壁の壁厚及び床厚と比較した結果，耐震壁の壁厚及び床厚の方が大きいことから，貫通及び裏面剝離は発生しない。

表 2.14.2.1-58 評価結果

部材No.	貫通限界厚さ(m)	裏面剝離限界厚さ(m)	耐震壁の壁厚(m)	
			建屋外壁	コンクリートセル壁
壁③	0.30	0.61	■	■

表 2.14.2.1-59 評価結果

部材No.	貫通限界厚さ(m)	裏面剝離限界厚さ(m)	床厚(m)
天井②	0.20	0.42	0.6 (床厚)

線量評価に用いた移行率及び除染係数について

地震により安全機能を失った際の線量評価，現実的な緩和策を考慮した線量評価において用いた移行率及び除染係数は，以下の文献に基づき設定した。

1. 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率：1%

「ホットラボの設計と管理（日本原子力学会）」において，以下の通り記載されている。

放射性物質がセルから排気系へ放出される可能性の大きいのは，主として照射燃料切断の場合である。第 3-III-6 表は，照射燃料切断時に粒子状および揮発性放射性物質がどの程度セルから排気系へ飛散するか（飛散度）の測定結果を示したものである。この表から通常の飛散度は，粒子状の場合 10^{-2} ，揮発性の場合 10^{-1} と考えてよい。

【ホットラボの設計と管理，社団法人 日本原子力学会，1976 年 9 月，5. 排出廃棄物のモニタリング，5.1 排気（p100）より抜粋】

表 2.14.2.1-60 「第 3-III-6 表 照射燃料切断時における放射性物質の飛散度」

第 3-III-6 表 照射燃料切断時における放射性物質の飛散度¹⁵⁾

核種 実験番号	¹⁴⁴ Ce - ¹⁴⁴ Pr ⁺⁺	¹³⁴ Cs ⁺⁺	¹³⁷ Cs ⁺⁺	¹²⁵ Sb ⁺⁺⁺
1	4.3×10^{-5}	2.2×10^{-4}	1.4×10^{-4}	2.3×10^{-2}
2	1.2×10^{-4}	4.5×10^{-4}	4.0×10^{-4}	3.7×10^{-2}
3	1.3×10^{-4}	6.3×10^{-4}	4.2×10^{-4}	5.8×10^{-3}
4	1.6×10^{-4}	2.0×10^{-3}	1.6×10^{-3}	4.1×10^{-2}
5	1.1×10^{-4}	9.8×10^{-4}	8.4×10^{-4}	1.4×10^{-2}
6	2.9×10^{-4}	4.0×10^{-3}	3.8×10^{-3}	5.0×10^{-2}
7	3.1×10^{-4}	6.6×10^{-3}	4.7×10^{-3}	3.9×10^{-2}
8	2.7×10^{-4}	4.9×10^{-3}	3.4×10^{-3}	2.6×10^{-2}
平均値	1.8×10^{-4}	2.5×10^{-3}	1.9×10^{-3}	3.0×10^{-2}

+ 飛散度 = $\frac{\text{排気系へ飛散した全放射能}}{\text{照射燃料の切削の全放射能}}$
 ++ 粒子状
 +++ 揮発性（化学的性状）

地震により安全機能を失った際の線量評価，現実的な緩和策を考慮した線量評価では，照射燃料の切断時を想定したため，上記の文献に基づき，燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率を 1% とした。

2. 液体状の放射性物質の漏えい時の気相への移行率：0.02%

「Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook (NUREG)」に基づき、液体状の放射性物質の漏えい時の気相への移行率を設定した。

Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook, NUREG/CR-6410, 3.3.3 Aerodynamic Entrainment/Resuspension, 3.3.4.2 Free-Fall Spill - Aqueous Liquids, Bounding Values (下記：p3-81 より抜粋)

3.3.4.2 Free-Fall Spill - Aqueous Liquids, Bounding Values

a. Aqueous solutions (experiments performed using acidic UNH and sodium fluorocein), spill distance up to 3 m (~ 10 ft)

ARF 2E-4
RF 0.4

b. Aqueous slurries, < 40 percent solids, spill distance < 3 m (~ 10 ft)

ARF 5E-5
RF 0.8

c. Aqueous viscous solutions, spill distance < 3 m (~ 10 ft)

ARF 7E-6
RF 0.8

ARF：物理的刺激による気相への移行率

UNH(Uranyl nitrate hexahydrate)：硝酸ウラニル六水和物

上記の赤実線部に、液体（水溶液、スラリー、粘性液）が落下した場合における放射性物質の気相への移行率（ARF）が示されている。

【気相への移行率】

- a. 水溶液 : 2E-4 (0.02%)
- b. スラリー : 5E-5 (0.005%)
- c. 粘性液 : 7E-6 (0.0007%)

以上を踏まえ、第2棟の液体廃棄物一時貯留設備において漏えいが発生した場合の線量評価における放射性物質の気相への移行率は、最も高い移行率である 2E-4(0.02%)を設定した。

3. 除染係数 (DF) : 10

Ss900 による建屋の耐震性の評価結果から、建屋及びコンクリートセルは閉じ込め機能を維持できるため、以下の文献に基づき除染係数 (DF) を設定した。

Elizabeth M. Flew, et al. " Assessment of the Potential Release of Radioactivity from Installations at AERE, Harwell. Implications for Emergency Planning ". Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7
(下表 : p664 より抜粋)

<u>Modifying Factors</u>	
<u>Factor 3. Fraction of Aerosol released from primary containment into building.</u>	
<u>Primary Containment</u>	<u>Factor</u>
<u>Gases & Vapours</u>	
Whatever the containment (except elemental iodine released under water).	1.0
Elemental iodine released under water.	0.01
<u>All other forms</u>	
Fibre drums, glove boxes, cells, reactor structures etc., which are so seriously damaged that containment is virtually nil.	1.0
Storage blocks and pits, seriously damaged glove boxes, cells, flasks, reactor structures, etc.	0.1
Safes, undamaged or slightly damaged glove-boxes ⁽¹²⁾ , cells, flasks, reactor structures, etc., under water storage, particulate release into building via filtered extract, single metal containment.	0.01
Concreted steel drums, double metal containment.	0.001
<u>Factor 4. Fraction of Airborne Material released from Building</u>	
<u>Condition of Building</u>	<u>Factor</u>
Gases in damaged or undamaged buildings.	1.0
Volatile and particulate aerosols in buildings so seriously damaged that containment is virtually nil.	
(a) by explosion	1.0
(b) by fire (factor allowed for thermal lift)	0.1
Volatile and particulate aerosols in building containments undamaged or slightly damaged.	0.1
Particulate release from building via filtered extract.	0.01

上表の赤破線部に、各設備における気体状を除く放射性物質の除染係数が示されているが、保守的な評価を行うため、赤実線部に基づき除染係数を設定した。

上記のことから、建屋及びコンクリートセルの DF は、気体状の放射性物質に対して 1 (Factor: 1.0)、それ以外の放射性物質に対してそれぞれ 10 (Factor: 0.1) とした。

消火設備の耐震クラスについて

地震により消火機能を喪失した状況で、更に以下の火災が発生した場合における「現実的な緩和策を考慮した線量評価」を実施した。

- ・コンクリート内火災
- ・鉄セル内火災
- ・グローブボックス内火災

燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率 1%^{※1} に、火災に伴う燃料デブリの粉体から気相への放射性物質の移行率 0.6%^{※2} を加え、合計で 1.6% の燃料デブリの粉体が気相へ移行すると想定した。また、気相へ移行した放射性物質は、設備周辺の室に直接放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定した。Ss900 による建屋の耐震性の評価結果に基づき、コンクリートセル及び建屋の除染係数として気体状の放射性物質を除き、各々 10^{※3} を見込めるものとして評価を行った。

表 2.14.2.1-61 現実的な緩和策を考慮した線量評価

設備名称	内部被ばく	外部被ばく ^{※4}	敷地境界線量 (地震+火災)	【参考】 敷地境界線量 (地震のみ)
コンクリートセル	1.8mSv	2.4×10^{-4} mSv	1.9mSv	1.2mSv
鉄セル	4.4×10^{-1} mSv	3.1×10^{-7} mSv	4.5×10^{-1}mSv	2.8×10^{-1} mSv
グローブボックス	4.4×10^{-5} mSv	—	4.4×10^{-5}mSv	2.7×10^{-5} mSv

※1 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率 1% (日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」)。Kr 等の気体状の放射性物質は 100% 移行。

※2 火災に伴う粉体から気相への放射性物質の移行率 0.6% (“Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook”, NUREG/CR-6410)

※3 コンクリートセル、建屋の除染係数として気体状の放射性物質を除き、各々 10 を考慮。鉄セル、グローブボックスについては建屋の除染係数のみ考慮

Elizabeth M. Flew, et al. "Assessment of the Potential Release of Radioactivity from Installations at AERE, Harwell. Implications for Emergency Planning ". Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7

※4 安全機能の喪失が継続する期間を 7 日間として評価した。

地震時に消火機能を喪失しても、コンクリートセル、鉄セル及びグローブボックスの耐震クラス分類に影響を与えるような公衆被ばく線量の増加はないため、消火設備は耐震クラス C と分類する。

コンクリートセル貫通部について

コンクリートセルに設ける貫通部のバウンダリが、地震時及び火災時においても負圧維持に問題が無いか確認した一覧を以下に示す。

表 2. 14. 2. 1-62 コンクリートセル貫通部一覧

バウンダリの取り方	開口部名称	開口寸法 (mm)*1	主要材質	地震時の影響	火災時の影響	負圧維持
設備本体 (次ページ①)	遮へい窓	W1360×H1360 ×1 基	ガラス・鉄・ ステンレス・ アクリル	設備はコンクリートセル壁に埋め込まれており、さらに固定しているため、地震発生時においても、セル壁と一体で揺れるため、脱落することはない。	バウンダリの構成部材には、不燃性又は難燃性の部材を使用するため、火災発生時においても、閉じ込め機能は維持される。	地震時及び火災時においても、閉じ込め機能は維持されるため、負圧維持については問題ない。
	背面遮へい扉	W800×H2000	鉄・ポリエチレン			
セル内の気密ボックス (次ページ②)	電線管 (コンジット管)	φ 53.5 (50A. S20) ×5 本	鉄・ステンレス・ 樹脂	気密ボックス及びコンジット管は、コンクリートの壁に固定又は埋め込まれ、壁に追従して動くため、地震発生時においても、セル壁と一体で揺れるため、脱落することはない。		
	γ線モニタ (コンジット管)	φ 28 (25A. S20)	ステンレス			
	プラグ類 (インセルモニタ等)	最大 φ 400×3	鉄・コンクリート			
計器本体 (次ページ③)	差圧導管	φ 14.3 (10A. S20) ×2 本	ステンレス	計器は、コンクリートの壁に固定又は埋め込まれ、壁に追従して動くため、地震発生時においても、セル壁と一体で揺れるため、脱落することはない。		
	温度計 (案内管)	φ 7.5 (6A. S20)	ステンレス			
その他	給気配管 (スクリューダクト)	φ 398	ステンレス	配管等は、コンクリートの壁に埋め込まれ、壁等に追従して動くため、地震発生時においても、壁等と一体で揺れるため、脱落することはない。		
	排気配管 (スクリューダクト)	φ 248	ステンレス			
	消火設備配管	φ 22.2 (20A. S20) ×2 本	ステンレス			
	トボガン (シームレス管)	φ 155.2 (150A. S20)	ステンレス			
	マニプレータ (スルーウォール チューブ)	φ 279.4 ×2 本	鉄・鉛・ステンレス			
	ポート類 (非破壊検査装置用, 天井, ダブルカバー)	φ 409.6 (450A. S80) ×3	鉄・ステンレス・ ポリエチレン			

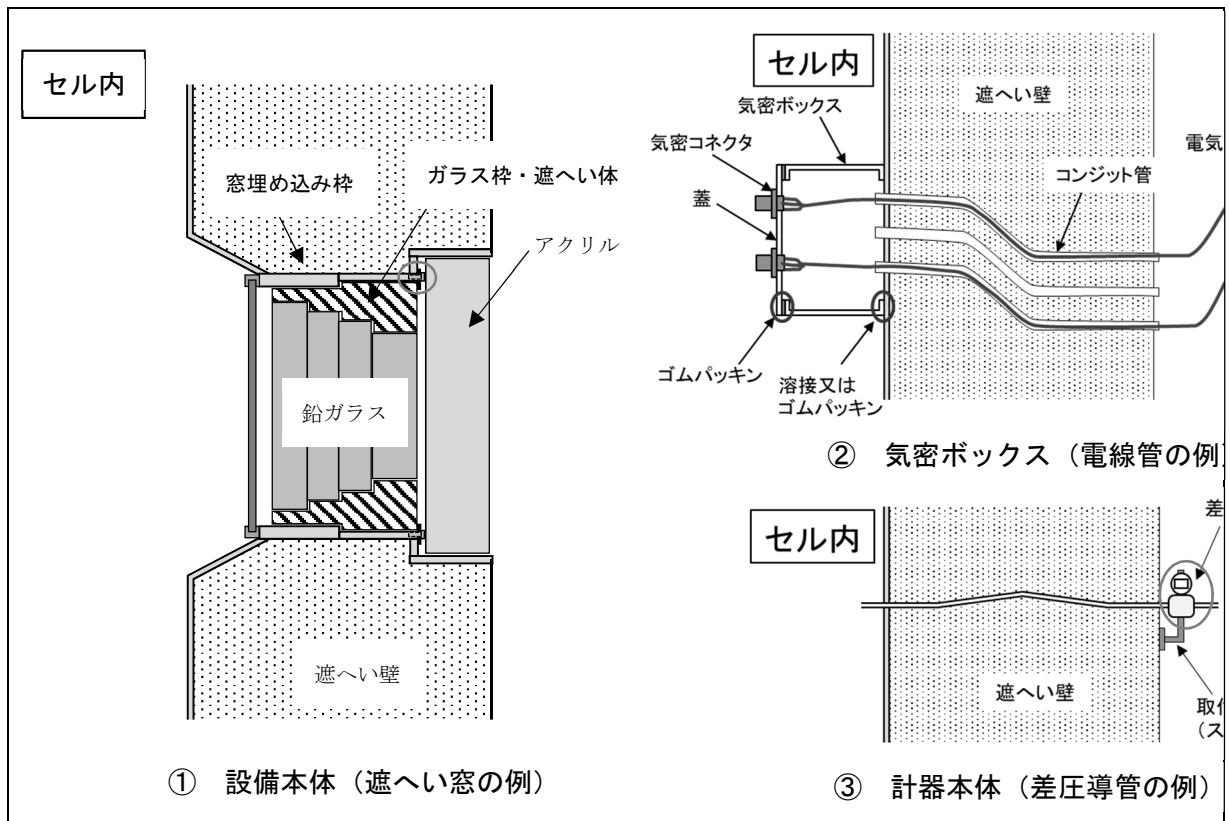


図 2.14.2.1-39 イメージ図

研究2棟に関する確認事項

大項目	小項目		通し 番号	確認事項	措置を講ずべき事項にて記載する内容
2. 要求別確認事項	(5) 設計上の考慮	② 自然現象に対する設計上の考慮	14	b. 地震 ●令和3年9月8日や令和4年11月26日の原子力規制委員会で示した福島第一原子力発電所の耐震設計における地震動とその適用の考え方にに基づき、耐震クラスを設定すること。	補足説明資料2.13.2.1-1頁以降に、「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方（2022年11月16日）」のフローに従い、耐震クラスの設定について記載した。
			15	●上記の耐震クラスを設定した上で、上位クラス設備への波及的影響等を考慮する場合等を考慮して、Ss900を適用する旨を示すこと。	次回面談説明予定。 鉄セルにSs900を適用した場合の影響について記載する。