

日本原子力発電株式会社 東海第二発電所 発電用原子炉設置変更許可申請 に関する審査の概要

原子力規制庁

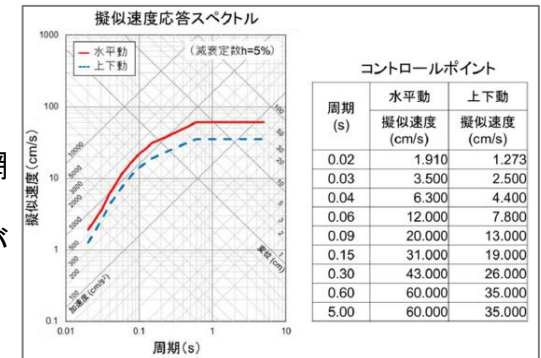
※ 本資料は、審査結果の概要を分かりやすく表現することを目的としているため、技術的な厳密性よりもできる限り平易な記載としています。正確な審査内容及び審査結果については、審査書案をご参照ください。

東海第二発電所の審査の経緯

2018年 9月26日※¹ 日本原子力発電株式会社東海第二発電所原子炉施設原子炉設置変更許可※²

2021年 4月21日 設置許可基準規則解釈※³の一部改正を施行

- ①上記の「震源を特定せず策定する地震動※⁴」の策定に当たっては、「全国共通に考慮すべき地震動」及び「地域性を考慮する地震動」の2種類を検討対象とすること。
- ②上記の「全国共通に考慮すべき地震動」の策定に当たっては、震源近傍における観測記録を基に得られた次の知見をすべて用いること。
 - ・2004年北海道留萌支庁南部の地震において、防災科学技術研究所が運用する全国強震観測網の港町観測点における観測記録から推定した基盤地震動
 - ・震源近傍の多数の地震動記録に基づいて策定した地震基盤相当面（地震基盤からの地盤増幅率が小さく地震動としては地震基盤面と同等とみなすことができる地盤の解放面で、せん断波速度 $V_s = 2200 \text{ m/s}$ 以上の地層をいう。）における標準的な応答スペクトル（以下「標準応答スペクトル」という。）として次の図に示すもの



2021年 4月26日 原子力規制委員会から各事業者へ指示文書を発出

2021年 6月25日 日本原子力発電株式会社から原子炉設置変更許可申請書を受理

2021年 7月30日～ 計9回の審査会合※⁵を実施

2023年 6月23日、
10月20日 日本原子力発電株式会社から原子炉設置変更許可申請書の補正を受理

※¹ 新規基準適合性審査による東海第二発電所の発電用原子炉設置変更許可。

※² 直近の許可は2023年1月25日(有毒ガスの発生に対する防護方針)であるが、基準地震動による評価を伴う直近の許可は、2021年12月22日(特定重大事故等対処施設等の設置)である。

※³ 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈(原規技発第1306193号(平成25年6月19日原子力規制委員会決定))

※⁴ 震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を基に、各種の不確かさを考慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定した地震動をいう。

※⁵ 原子力発電所の新規基準適合性に係る審査会合のうち、2021年7月30日(第994回)、同年12月17日(第1020回)、2022年6月10日(第1053回)、同年10月7日(第1080回)、同年12月2日(第1097回)、2023年4月7日(第1134回)、同年9月7日(第1183回)、同年9月22日(第1186回)、同年10月13日(第1197回)の計9回。

標準応答スペクトルを考慮した地震動評価(概要)

EL. (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	減衰定数 h(f)	
					水平	鉛直
-370.0						
-476.0	106.0	790	2000	1.85	0.061f ^{-1.05} (f≤6.78) 0.008 (f>6.78)	0.264f ^{-1.05} (f≤31.74) 0.007 (f>31.74)
-566.0	90.0	835	2124	1.89	0.058f ^{-1.05} (f≤6.78) 0.008 (f>6.78)	0.249f ^{-1.05} (f≤31.74) 0.007 (f>31.74)
-655.0	89.0	904	2205	2.00	0.054f ^{-1.05} (f≤6.78) 0.007 (f>6.78)	0.240f ^{-1.05} (f≤31.74) 0.006 (f>31.74)
-679.0	24.0	947	2256	2.07	0.051f ^{-1.05} (f≤6.78) 0.007 (f>6.78)	0.234f ^{-1.05} (f≤31.74) 0.006 (f>31.74)
-734.0	55.0	2200	4800	2.65	0.013f ^{-0.21} (f≤1.31) 0.012 (f>1.31)	0.004f ^{-0.23} (f≤16.46) 0.002 (f>16.46)
-992.0	258.0	2800	5300	2.78	0.010f ^{-0.21} (f≤1.31) 0.010 (f>1.31)	0.004f ^{-0.23} (f≤16.46) 0.002 (f>16.46)
	-	2800	5300	2.78		

▼ 解放基盤表面

地震波の伝播特性の反映

▼ 地震基盤相当面

図 標準応答スペクトル用地盤モデル

(出典:第1197回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合資料(2023年10月13日)から抜粋
<<https://www2.nra.go.jp/data/000453399.pdf>>)

表 東海第二発電所における標準応答スペクトルを考慮した地震動評価

標準応答スペクトルを考慮した地震動 評価の手順	東海第二発電所
地震基盤相当面 (Vs≥2, 200m/s) の設定	Vs=2, 200m/sの層上面 (EL. -679m) に設定
地震基盤相当面における標準応答スペクトルに基づく模擬地震波の作成 (複数の手法により検討)	地震基盤相当面における標準応答スペクトルに基づく模擬地震波の作成 (一様乱数を用いる方法)
地盤構造モデルを設定	標準応答スペクトル用地盤モデル※を新たに設定
解放基盤表面における地震動の算出	解放基盤表面 (EL. -370m) における地震動の算出
既許可申請書の基準地震動と比較、上回る場合基準地震動の変更 (追加)	既許可申請書の基準地震動Ss-D1と比較した結果、一部周期帯で上回るため、基準地震動Ss-32を策定

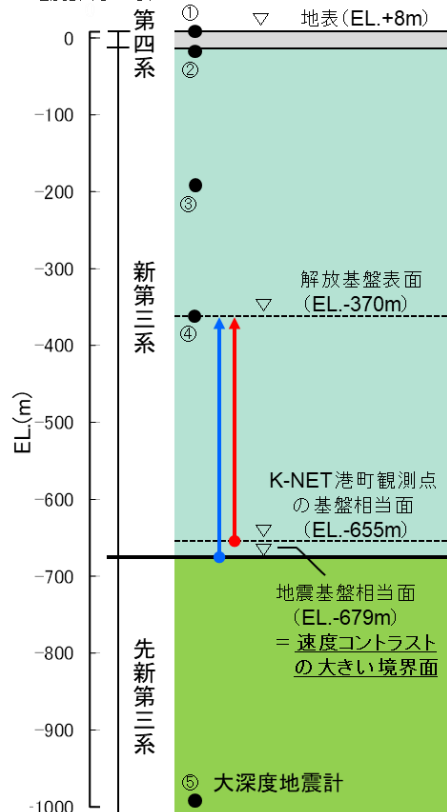
<審査結果の概要>

- 標準応答スペクトルに適合する模擬地震波の作成にあたり、位相特性については、一様乱数の位相を有する正弦波の重ね合わせによる位相を用いる方法及び実観測記録の位相を用いる方法の複数の方法を検討。
- その結果、両者の応答スペクトルに差異はないものの、強震動領域の継続時間の長い方が施設への影響が大きくなることから、一様乱数を用いる方法による模擬地震波を採用していることを確認。

※本地盤構造モデルは、大深度ボーリング孔から得られたPS検層結果、地震の観測記録等により、速度構造等を設定。

標準応答スペクトルを考慮した地震動評価(評価に用いる地盤モデルの設定)

- ↑ : 地震動評価に用いる範囲(始点:入力位置, 終点:出力位置)
 (赤: 留萌波の地震動評価,
 青: 標準応答スペクトルに基づく地震動評価)
 ● : 地震計(①～⑤)



・評価対象となる地震動に応じた地盤モデルを設定。

【標準応答スペクトルに基づく地震動評価】

速度構造及び密度については、既許可申請書における解放基盤表面であるEL.-370m(S波速度790m/s)からEL.-679m(S波速度2,200m/s)までは、標高依存式に基づき設定し、EL.-679m(S波速度2,200m/s)以深は大深度ボーリング調査結果を含めた地下構造調査結果から設定。

減衰定数については、佐藤他(2006)等による下限の存在に関する知見を踏まえ、大深度地震計(EL.-992m)の地震観測記録を用いた伝達関数の逆解析結果から設定。

【留萌波の地震動評価】

既許可申請書において、「標準応答スペクトル用地盤構造モデル」とは異なり、地震基盤相当面を含まない同一の層区分(新第三系)内で地盤構造モデルを設定。

速度構造、密度及び減衰定数については、港町観測点の基盤相当面(S波速度938m/s、EL.-655m)から解放基盤表面(S波速度790m/s、EL.-370m)までの地震波の伝播特性に着目して設定していることから、変更不要。

表 地震動評価とその評価に用いる地盤モデルの関係

評価対象	評価に用いる地盤増幅特性の検討範囲	評価に用いる地盤モデル
標準応答スペクトルに基づく地震動評価	先新第三系～新第三系	標準応答スペクトル用地盤モデル (本モデルを用いて断層モデル法による地震動評価結果を検証した場合でも、既許可申請の評価に影響がないことを確認)
断層モデル手法による地震動評価のうち統計的グリーン関数法を用いた地震動評価		
留萌波の地震動評価	新第三系内	留萌用地盤モデル

標準応答スペクトル用地盤モデル

統計的グリーン関数法用地盤モデル
(左記モデルに更新)

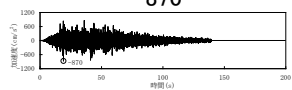
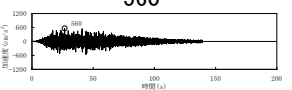
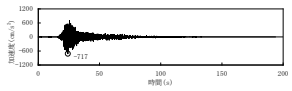
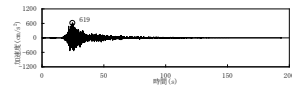
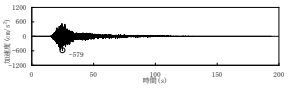
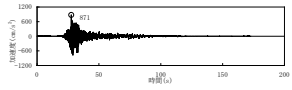
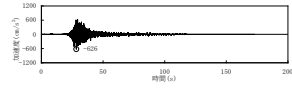
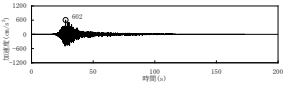
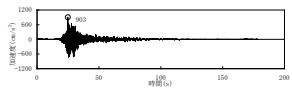
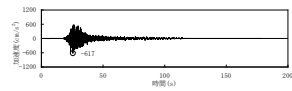
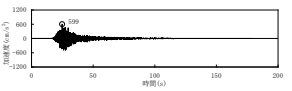
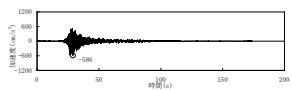
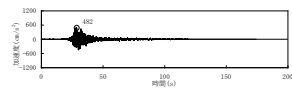
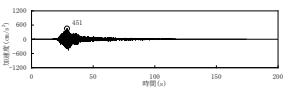
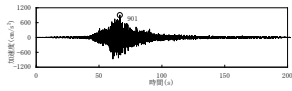
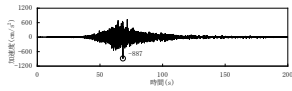
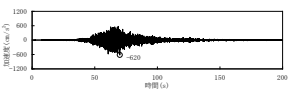
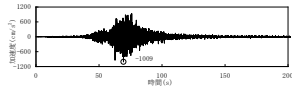
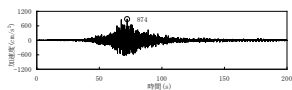
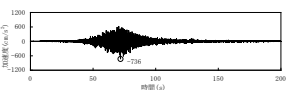
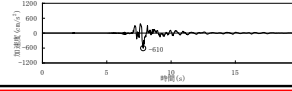
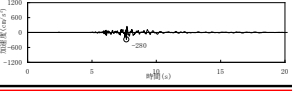
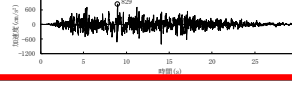
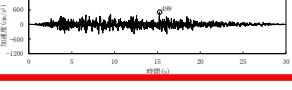
留萌用地盤モデル
(留萌波の検討専用のモデル)

	上端標高 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm^3)	減衰定数h(f)		上端標高 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm^3)	減衰定数		上端標高 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm^3)	減衰定数h(f)	
					水平	鉛直					水平	鉛直					水平	鉛直
解放基盤 表面	-370.0	790	2000	1.85	$0.061f^{1.05}$ ($f \leq 6.78$) 0.008 ($f > 6.78$)	$0.264f^{1.05}$ ($f \leq 31.74$) 0.007 ($f > 31.74$)	-370.0	790	2000	1.85	h=0.02 h=0.01	K-NET 港町観測点の 基盤相当面	-370.0	790	2000	1.85	$0.072f^{0.93}$ $0.203f^{0.93}$	
	-476.0	835	2124	1.89	$0.058f^{1.05}$ ($f \leq 6.78$) 0.008 ($f > 6.78$)	$0.249f^{1.05}$ ($f \leq 31.74$) 0.007 ($f > 31.74$)							-476.0	835	2124	1.89		
	-566.0	904	2205	2.00	$0.054f^{1.05}$ ($f \leq 6.78$) 0.007 ($f > 6.78$)	$0.240f^{1.05}$ ($f \leq 31.74$) 0.006 ($f > 31.74$)	-477.0	840	2110	1.96			-566.0	904	2205	2.00		
	-655.0	947	2256	2.07	$0.051f^{1.05}$ ($f \leq 6.78$) 0.007 ($f > 6.78$)	$0.234f^{1.05}$ ($f \leq 31.74$) 0.006 ($f > 31.74$)							-655.0	938	2245	2.05		
地震基盤 相当面	-679.0	2200	4800	2.65	$0.013f^{0.21}$ ($f \leq 1.31$) 0.012 ($f > 1.31$)	$0.004f^{0.22}$ ($f \leq 16.46$) 0.002 ($f > 16.46$)	-677.0	2750	4740	2.63	Q=110f ^{0.89}							

(出典: 第1197回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合資料(2023年10月13日)から抜粋 <<https://www2.nra.go.jp/data/000453399.pdf>>)

基準地震動(第4条)<基準地震動の変更>

表 東海第二発電所の基準地震動及び最大加速度

基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)		
		NS方向	EW方向	UD方向
Ss-D1	応答スペクトル手法による基準地震動	870 		560 
Ss-11	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)	717 	619 	579 
Ss-12	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)	871 	626 	602 
Ss-13	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)	903 	617 	599 
Ss-14	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)	586 	482 	451 
Ss-21	2011年東北地方太平洋沖型地震 (短周期レベルの不確かさ)	901 	887 	620 
	2011年東北地方太平洋沖型地震 MCA位置と短周期レベルの不確かさの	1009 	874 	736 
Ss-31	2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動	610 		280 
Ss-32	標準応答スペクトルに基づき策定した地震動	829 		499 

追加した
基準地震動

(出典: 第1197回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合資料(2023年10月13日)から抜粋 <<https://www2.nra.go.jp/data/000453399.pdf>>)

基準地震動(第4条) <基準地震動の変更>

— Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
 — Ss-11 ~Ss-31 (7波)
 — Ss-32 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動

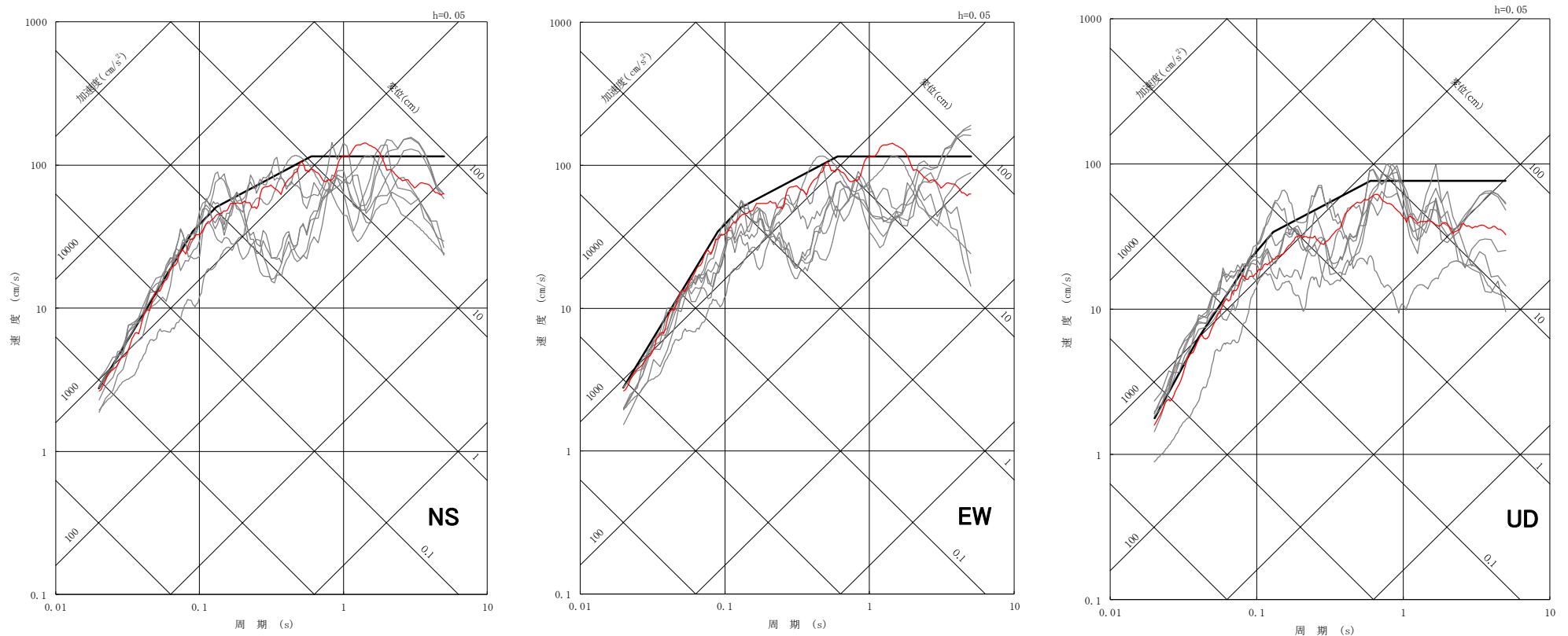


図 基準地震動Ss-D1と標準応答スペクトルの比較

(出典: 第1197回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合資料(2023年10月13日)を一部修正 <<https://www2.nra.go.jp/data/000453399.pdf>>)

<審査結果の概要>

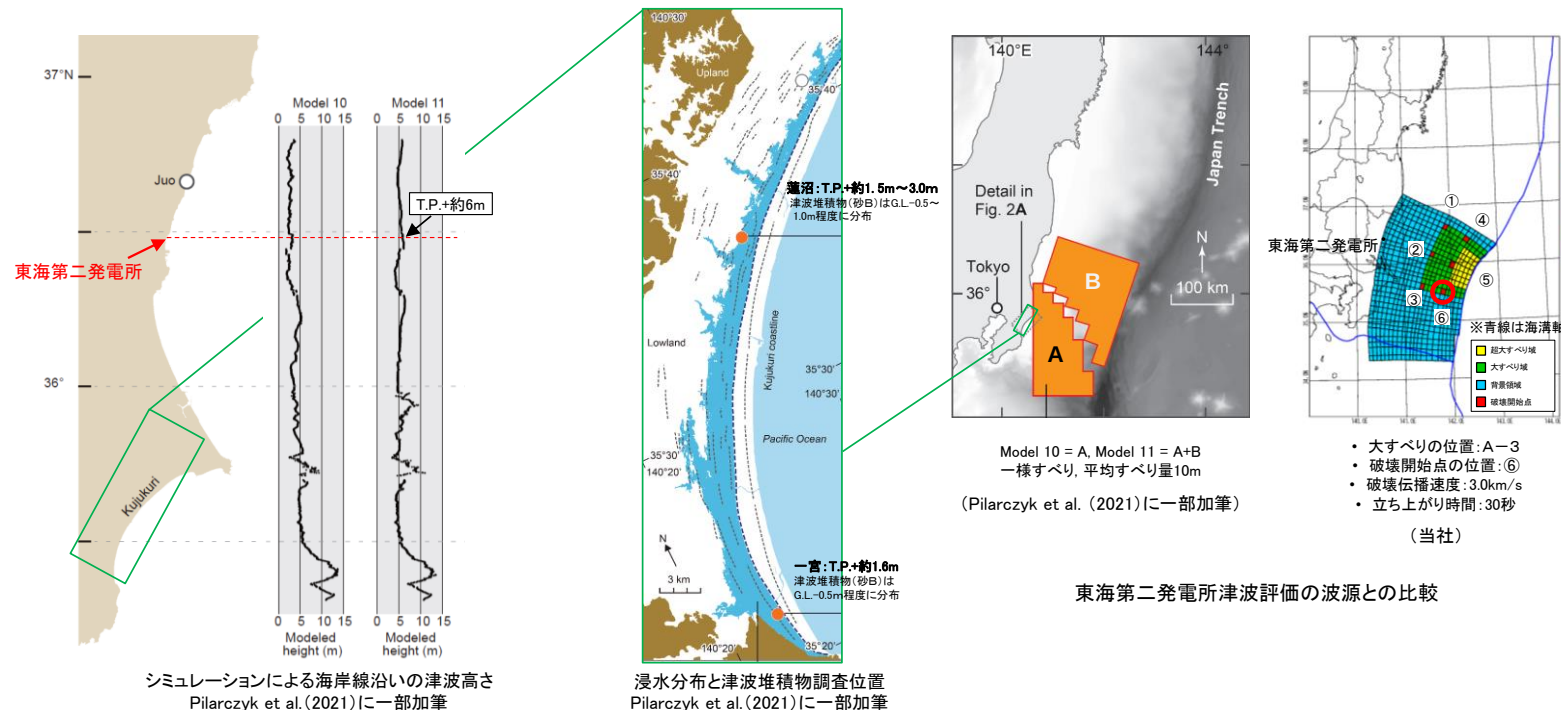
- 標準応答スペクトルに基づく地震動評価結果が一部周期帯でSs-D1を上回るため、基準地震動Ss-32として策定していることを確認。

新基準許可日以降に公表された知見の反映について

【房総半島沖の巨大地震に関する知見について（第5条関係）】

<新知見の概要>

- 国立研究開発法人産業技術総合研究所（2021）等によれば、千葉県九十九里浜地域における津波堆積物調査から、歴史記録にない津波の痕跡が確認されたとしている。
- 津波堆積物は二層の砂層で、うち一方は約1,000年前（西暦800~1,300年）に堆積しており、未知の津波によるとされている。
- 国立研究開発法人産業技術総合研究所（2021）では、この堆積物の分布を再現する津波シミュレーションによりM8クラスの地震が房総半島沖で発生したことが明らかになり、房総半島沖に沈むフィリピン海プレートと太平洋プレートの境界も津波の波源として注意が必要とされている。
- また、津波堆積物位置までの浸水域を再現する茨城県沖から房総沖の波源モデルが設定されるとともに、当該波源モデルによる評価結果（津波高さ）として、敷地前面海岸において約T.P. +6mが示されている。



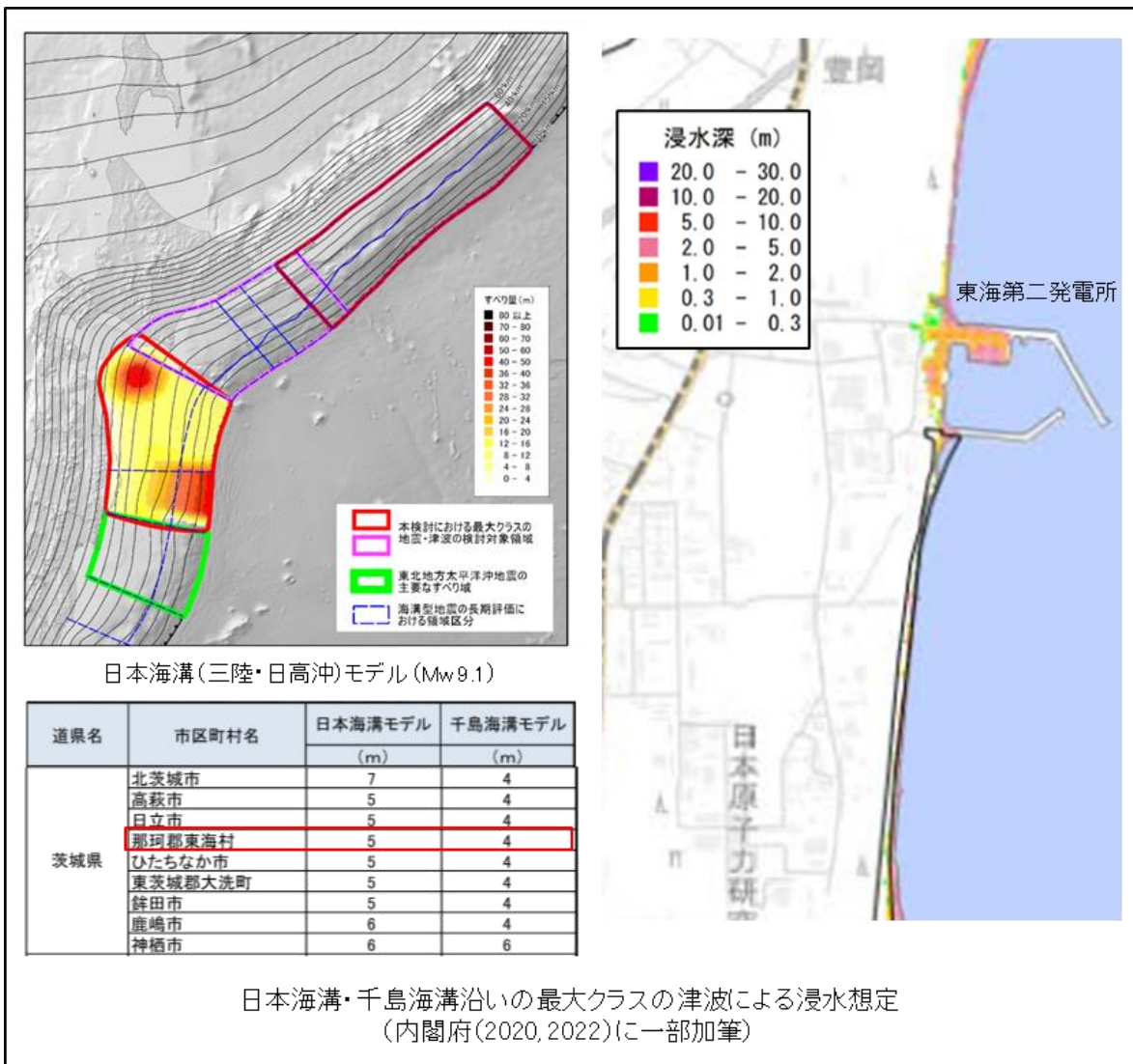
(出典: 第1197回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合資料(2023年10月13日)から抜粋 <<https://www2.nra.go.jp/data/000453400.pdf>>)

<審査結果の概要>

- 既許可申請書では、より規模の大きいプレート間地震によるMw8.7の特性化波源モデル（茨城県沖から房総沖に想定する津波）を設定しており、その評価結果は、防潮堤前面においてT.P. +17.1mであり、国立研究開発法人産業技術総合研究所等による知見を踏まえた津波高さを上回ることから、既許可申請書における津波評価に影響がないことを確認。

新基準許可日以降に公表された知見の反映について

【日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の対策について（第5条関係）】



＜新知見の概要＞

- 内閣府（2020）及び内閣府（2022）では、千島海溝から日本海溝の北部の領域において、過去6千年間の津波堆積物から想定されるMw9クラスの津波断層モデルを想定し、津波高さ、浸水地域の推計を行っており、敷地周辺の津波高さを約5mとしている。

＜審査結果の概要＞

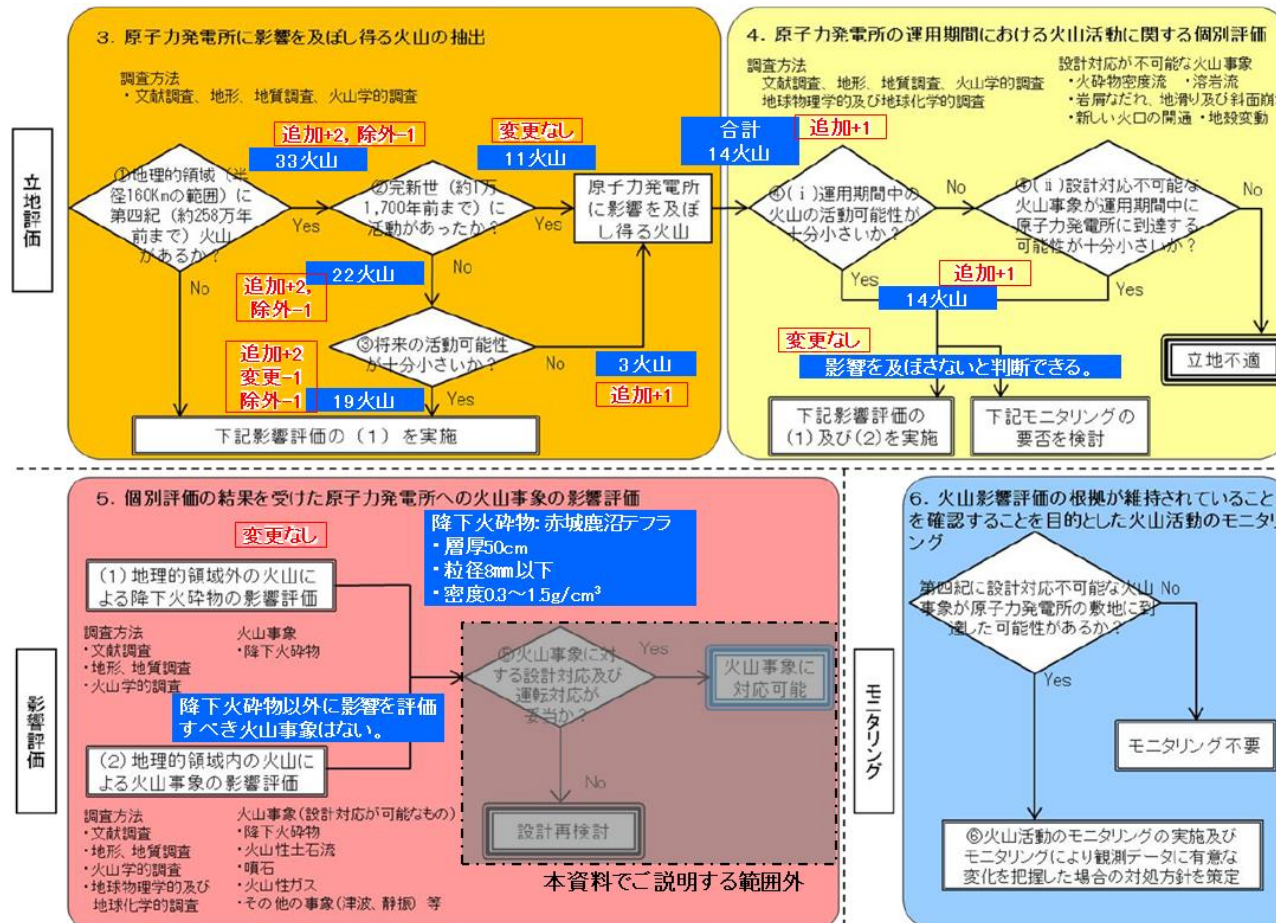
- 既許可申請書では、プレート間地震を踏まえた茨城県沖から房総沖に想定する津波による最大津波高さを防潮堤前面においてT. P. + 17.1mとしており、これらの知見による敷地周辺の津波高さ約5mを上回ることから、既許可申請書における津波評価に影響がないことを確認。

新基準許可日以降に公表された知見の反映について

【「日本の火山（第3版）」データベースについて（第6条関係）】

<新知見の概要>

- 中野ほか（2013）による「日本の火山（第3版）」データベースが更新され、既許可申請書における地理的領域内にある第四紀火山及び施設に影響を及ぼし得る火山に関する変更がなされた。



【既許可からの変更点】

- ・地理的領域の第四紀火山についてデータベース（中野他（2013）WEB版）の令和5年7月末までの更新情報の反映

火山数の変更：32→33
→追加：+2火山 甲子 西鴉川
第四紀から除外：-1火山 桧和田カルデラ

- ・甲子、西鴉川ともに、将来の活動可能性が十分小さい火山と評価される。

- ・中野他(2013)WEB版によれば、桧和田カルデラから噴出した火砕流の年代測定値は 2.64 ± 0.20 , 2.94 ± 0.15 Ma（山元(1992)）であり、カルデラ埋積堆積物に貫入した岩体は第四紀ジェラシアン（鮮新世）と考えられることから、第四紀火山から除外したとされる。

- ・二岐山の評価を、将来の活動可能性が否定できない火山に変更
→個別評価の結果、影響は及ぼさない

- ・影響評価に変更はない。

（出典：第1197回原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合資料（2023年10月13日）から抜粋 <<https://www2.nra.go.jp/data/000453400.pdf>>）

<審査結果の概要>

- ・「日本の火山（第3版）」データベースの更新内容に基づく火山の影響に対する設計方針の評価については、火山ガイドを踏まえた個別評価及び影響評価が適切に実施されていることを確認。
- ・想定する降下火砕物については、既許可で評価した赤城鹿沼テフラ（層厚50cm, 密度1.5g/cm³）を変更する必要がないことを確認。

基準地震動の追加に伴う耐震設計方針等

<審査結果の概要>

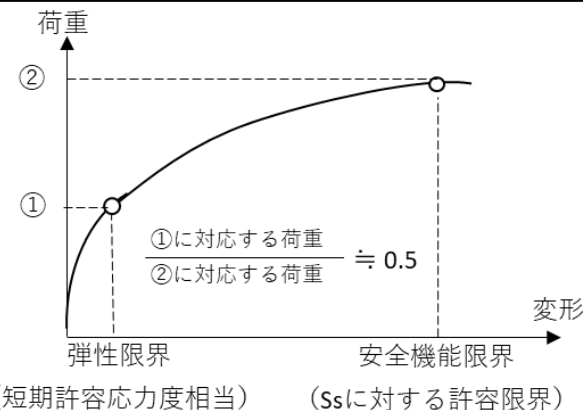
- ① 基準地震動の追加に伴い、第4条及び第39条(地震による損傷の防止)の耐震設計方針については、下記の事項を確認
- 第4条の弾性設計用地震動の設定方針については、既許可申請書で示した地震動設定の条件を用いて適切に設定する方針であること
 - 上記以外の耐震設計方針については、既許可申請書の内容から変更する必要がないこと
- ② なお、関連する下記の項目については、既許可申請書の内容から変更する必要がないことを確認
- 火災による損傷の防止(第8条関係)
 - 溢水による損傷の防止(第9条関係)
 - 火災による損傷の防止(第41条関係)
 - 特定重大事故等対処施設(第42条関係)
 - 重大事故等対処設備(第43条関係)
 - 電源設備(第57条関係)
 - 緊急時対策所(第61条関係)

また、重大事故等対処に係る技術的能力については、手順に変更はなく、既許可申請書の内容から変更する必要がないことを確認

注:

弾性設計用地震動は、許可基準規則解釈において、基準地震動との応答スペクトルの比率の値が、目安として0.5を下回らないような値で、工学的判断に基づいて設定することとしており、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」で引用している「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針(平成18年9月19日原子力安全委員会決定)」では、施設、もしくはその構成単位ごとに安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率[#]を考慮などとしている。

[#] 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の改訂についての技術的解説の作成と今後の研究課題等の調査(平成18年度報告書)」に添付されている分科会資料(震分第30-4号)で、安全機能限界と弾性限界に対応する入力荷重の比率は0.5程度(右図参照)とされている。



<参考>令和5年9月7日第1183回審査会合資料の抜粋

- 追加するSs-32は、鉛直方向において既許可Ssに包絡されており、水平方向においては、既許可Ssを上回っている周期帯があるものの、周期約1～2秒(以下「超過周期」という。)において超過している割合は25%未満(以下「最大超過率」という。)である。既許可施設の大部分は、短周期側に固有周期を有しておりSs-32の超過周期から外れていること、一部の長周期側に固有周期を有する施設については、現時点での耐震評価結果からSs-32に対する耐震性を確認している若しくは既許可Ssの設計裕度と最大超過率の関係から耐震性を確認しており、設計及び工事計画への見通しを得ている。
- Ss-32に対する設計及び工事計画への見通しが得られていることから、設計及び工事計画認可申請においては、認可実績のある評価手法を採用し、設置変更許可申請書の設計方針に基づいた申請を行う。なお、必要に応じて支持構造物の追設等の耐震工事等を実施する。