

電源開発株式会社
大間原子力発電所

基準地震動の設定及び建屋入力地震動の考え方について

平成18年11月
原子力発電安全審査課

検討概要

(Ⅰ) 解放基盤表面位置の設定

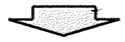
◆ 指針改訂に伴う解放基盤表面設定位置の妥当性の検討



大間層のT.P.-260mの位置に解放基盤表面を設定

(Ⅱ) 基準地震動の設定

◆ 指針改訂に伴う「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」の設定について



T.P.-260mの解放基盤表面において基準地震動 S_s を設定

(Ⅲ) 原子炉建屋等への設計用入力地震動

◆ 観測記録に基づく地盤増幅特性を踏まえた設計用入力地震動算定の考え方について



解放基盤表面に対して、建屋設置レベルでは地震動は減衰するものの、より耐震安全性を高めた設計とするために、基準地震動 S_s と同じ大きさの地震動を建屋設置レベルに埋込効果を考慮して入力

(I) 解放基盤表面位置の設定(指針改訂に伴う解放基盤表面設定位置の妥当性の検討)

■旧指針における解放基盤表面の定義

基盤(概ね第三紀層及びそれ以前の堅牢な岩盤であって、著しい風化を受けていないもの)面上の表層や構造物がないものと仮定した上で、基盤面に著しい高低差がなく、ほぼ水平であって相当の拡がりのある基盤の表面

■JEAG4601-1987における解放基盤表面の定義

基盤(概ね第三紀層及びそれ以前の堅牢な岩盤であって、著しい風化を受けていないもの)面上の表層や構造物がないものと仮定した上で、基盤面に著しい高低差がなく、ほぼ水平であって相当の拡がりのある基盤(S波の速度 $V_s=0.7\text{km/s}$ 相当以上の値を有する硬質地盤)の表面

■新指針における解放基盤表面の定義

基準地震動を策定するために、基盤面上の表層や構造物が無いものとして仮想的に設定する自由表面であって、著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な拡がりを持って想定される基盤の表面をいう。ここでいう「基盤」とは、概ねせん断波速度 $V_s=700\text{m/s}$ 以上の硬質地盤であって、著しい風化を受けていないものとする。

「解放基盤表面」の定義そのものは変わっていない。

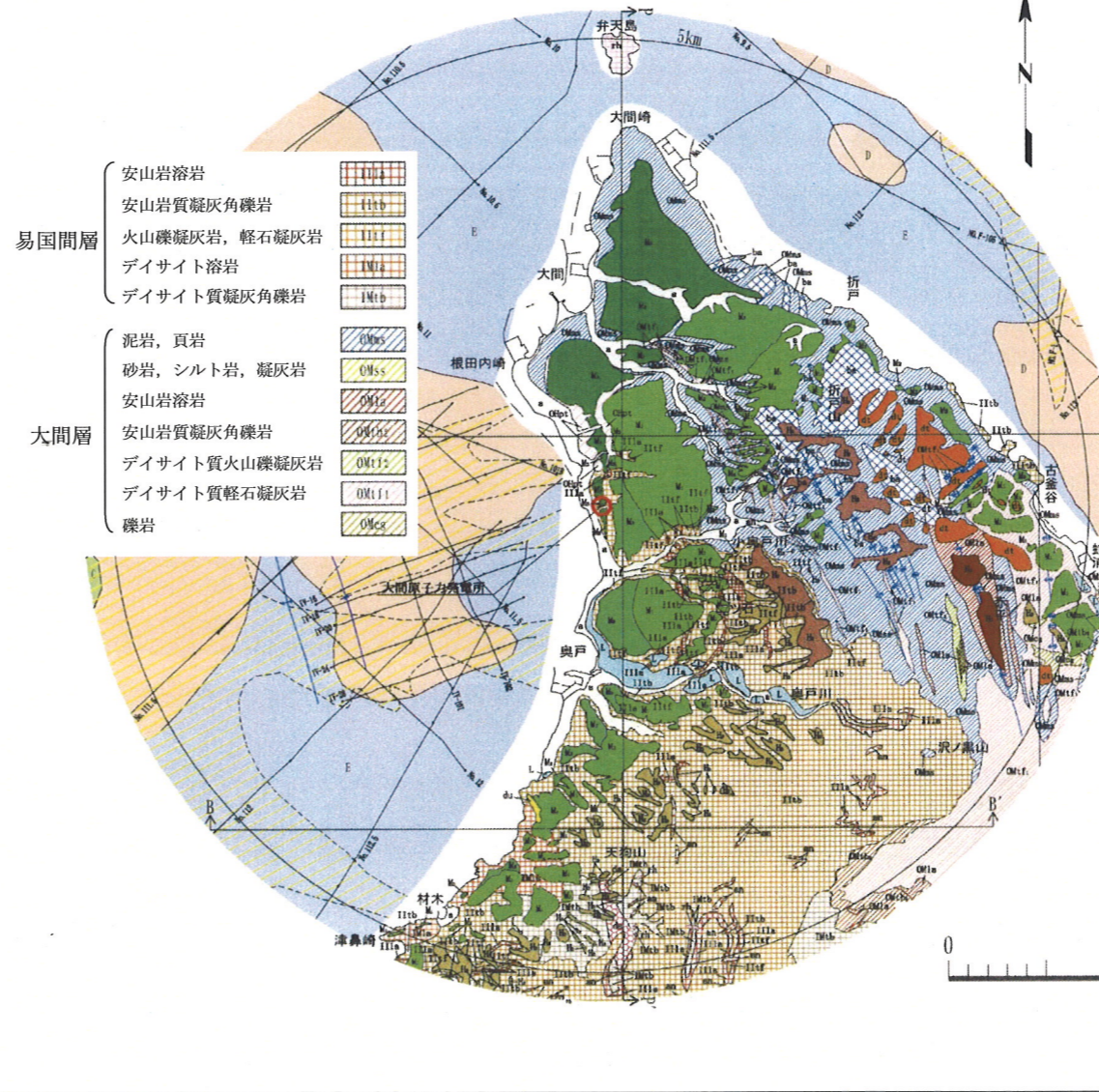
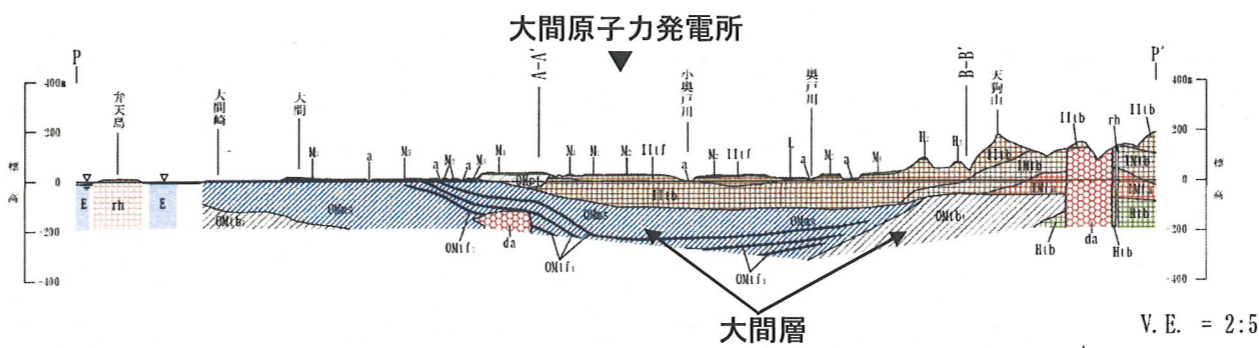
■波動伝播の観点からの「解放基盤」の考え方

- 震源からの距離があまり変わらない地域に対して、入射する地震波としてどこでもほぼ同じ波形が与えられるような基盤が露出していると考えた場合、その基盤の表面を「解放基盤表面」と考えるとしている。
- 解放基盤以深に低速度層が厚く存在すると、入射波自体に低速度層の影響が含まれてしまうため、解放基盤表面以深にそのような低速度層が存在しないことも必要な条件の一つであるとしている。

- 参考文献
- 大崎順彦(1984):「原子力発電所設計用の基準地震動評価に関するガイドライン—主として大崎スペクトルについて—」, 大崎総合研究所
 - 太田裕(1967):地震第2輯20巻記念特集号 第5篇地震工学 §3.3, 地震学会
 - 嶋悦二(1989):「わかりやすい地震学」, 鹿島出版
 - 土田肇・井合進(1991):「建設技術者のための耐震工学」, 山海堂

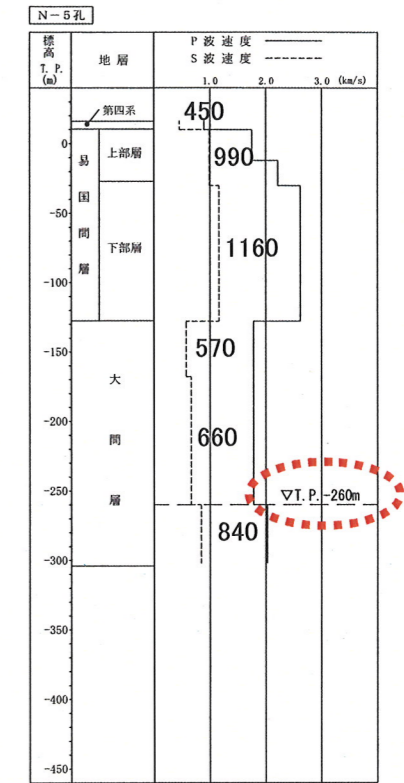
解放基盤表面の設定
大間層のT.P.-260mの位置に設定

地質調査

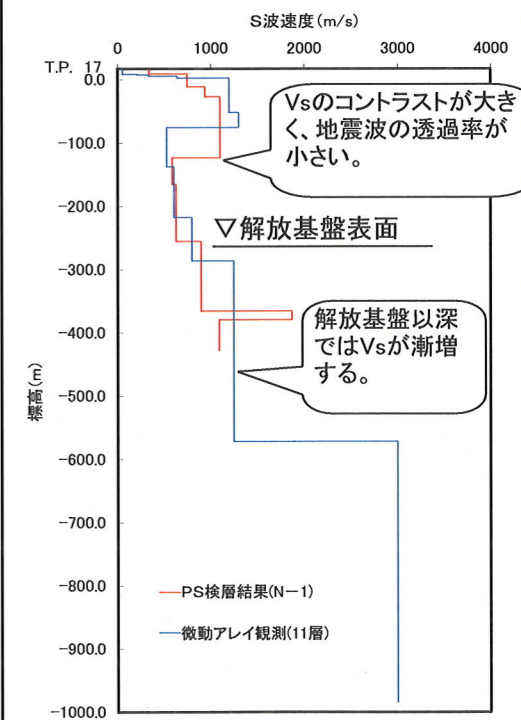


- 大間層は敷地を中心に相当な拡がりを持っているとしている。
- ボーリング調査により大間層で $V_s \geq 700\text{m/s}$ となる深さはT.P.-260mであることを確認している。
- 微動アレイ観測による深部地盤構造の推定によれば、T.P.-260m以深で V_s は漸増するとしている。
- 大間地点の地盤構造は、「硬-軟-硬」の特殊な地盤構造であり、波動伝播の観点からは、軟らかい中間層の影響を受けない大間層が「解放基盤表面」の定義に合致するとしている。

物理探査



PS検層結果



微動アレイ観測に基づく
深部地盤のS波速度構造

(Ⅱ) 基準地震動の設定(指針改訂に伴う「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」の設定について)

新指針 基準地震動の設定位置
 基準地震動 S_s は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、敷地における解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定することとする。

基準地震動は解放基盤表面において設定する。

旧指針 基準地震動の設定位置
 原子炉施設の耐震設計に用いる地震動は、敷地の解放基盤表面における地震動に基づいて評価しなければならない。
 敷地の解放基盤表面において考慮する地震動(以下「基準地震動」という。)は、次の各号に定める考え方により策定されていなければならない。

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

検討用の地震動評価

検討用地震の地震動は、解放基盤表面における地震動として設定する。地震観測記録に基づいて地震動を評価する場合は、解放基盤表面に相当するT.P.-207.5mにおける観測記録を用いて行うものとしている。地震タイプにより観測記録が得られていない場合は、解放基盤表面の地盤条件を考慮して地震動を評価するものとしている。

○応答スペクトルに基づく地震動評価

解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動の応答スペクトルを予測し、敷地における地震観測記録に基づいた補正を行うことのできるNoda et al(2002)の方法を用いている。

「(前略)In the above observation points, the S-wave velocity V_s ranged from 0.5 to 2.7km/s and the P-wave velocity V_p ranged from 1.7 to 5.5km/s. These values closely correspond to those of the free rock surface (approximately V_s of 0.7km/s or larger[2]) and the seismic bedrock (with V_s of about 3.0km/s[6])」
 (中略)

We proposed a method for empirically evaluating response spectra and time-dependent features of horizontal and vertical earthquake ground motions on a free rock surface, based on analysis of observation records on rock. This method should be useful for calculating design-basis earthquake ground motion used for seismic design of nuclear power facilities. (後略)」

(Noda et al.(2002)より抜粋、下線は加筆)
 ((前略)上述の観測点は、S波速度 V_s が0.5~2.7km/sで、P波速度が1.7~5.5km/sの範囲内にある。これらの値は解放基盤表面(概ね V_s が0.7km/sまたはそれ以上[2])及び地震基盤(V_s が約3.0km/s[6])の値に極めて近い。)

(中略)
 岩盤上の観測記録の分析に基づき、解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動の応答スペクトル及び経時特性について経験的な評価方法を提案した。本方法は、原子炉施設の耐震設計に用いる基準地震動の設定において有用である。(後略)

○断層モデルを用いた地震動評価

断層モデルを用いた方法としては、要素地震として用いることができる観測記録が敷地で得られている場合は経験的グリーン関数法を用いている。要素地震が得られていない場合は、解放基盤表面の地盤条件を考慮して統計的グリーン関数法を用いている。

震源を特定せず策定する地震動

敷地においては、震源近傍の地震観測記録は得られていないとしている。

新指針 震源を特定せず策定する地震動
 「震源を特定せず策定する地震動」は、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収集し、これらを基に敷地の地盤物性を加味した応答スペクトルを設定し、これに地震動の継続時間、振幅包絡線の経時変化等の地震動特性を適切に考慮して基準地震動 S_s を策定することとする。

加藤ほか(2004):「震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル」(日本地震工学会論文集)

「 $V_s=700\text{m/s}$ 相当の岩盤上における水平方向の地震動の上限レベルとして、最大加速度 450cm/s/s 、加速度応答値 1200cm/s/s 、速度応答値 100cm/s が得られた。」(要旨より抜粋)

「震源を事前に特定できない地震による震源近傍の地震動レベルは、図8に示した観測スペクトルの上限値を考慮することとした。(中略)

図8の太線は、最大加速度値： 450cm/s/s 、加速度応答値： 1200cm/s/s 、速度応答値： 100cm/s のレベルであり、このレベルによりスペクトルがほぼ包絡され、震源近傍の観測スペクトルの上限に相当すると考えられる。」(本文より抜粋)

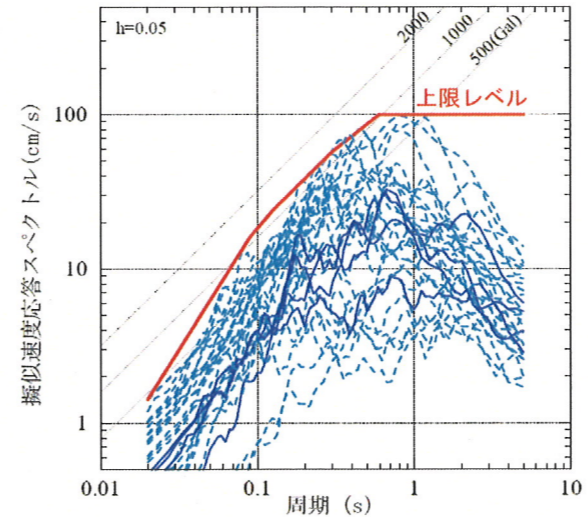


図8 震源を事前に特定できない地震による震源近傍の観測記録の水平動応答スペクトルとその上限レベル
 (実線は1997年鹿児島県北西部地震の鶴田ダムのスペクトル、破線はスケーリングの観点から確実に事前に震源を特定できるとは断定できないと判断したMj6.5(Mw6.2)以下の7地震のスペクトル)

「4-2 強震観測点の地盤構造
 前節で選択した12地点に対して地盤データを収集し、地盤のS波速度について整理した。速度構造の地盤データが収集できたのは、12地点中、6地点^{53), 54)}であり、各サイトの速度構造を表3に示す。ここでは、岩盤のS波速度 V_s が約 500m/s 以上で上層との V_s の差が比較的大きい層の上端を解放基盤表面に相当する岩盤位置(以後、岩盤表面と記す)とし、表3の中に斜線で示している。岩盤以浅の層厚は0~8mと極薄い状態である。なお、解放基盤表面とは構造物を耐震設計する際に、入力地震動を設定する位置を表し、ほぼ水平であって相当な拡がりをもつ硬質地盤を意味する^{55), 56)}。」(本文より抜粋、下線は加筆)

表3 強震観測点の V_s 構造 [Funai et al.(1987), Kinoshita (1998)に基づき作成]

深さ (m)	SBC		G1		G6		ADD		C/A		AKT022	
	層厚 (深さ) (m)	V_s (m/s)	層厚 (深さ) (m)	V_s (m/s)	層厚 (深さ) (m)	V_s (m/s)	層厚 (深さ) (m)	V_s (m/s)	層厚 (深さ) (m)	V_s (m/s)	層厚 (深さ) (m)	V_s (m/s)
0												
5	5.0 (-5.0)	260	7.0 (-7.0)	781	2.5 (-2.5)	312	2.5 (-2.5)	363	8.0 (-8.0)	290	2.0 (-2.0)	170
10					12.5	625					11.0 (-11.0)	500
15	21.0 (-21.0)	630			12.0 (-12.0)	2230	23.1 (-23.1)	543			16.0 (-16.0)	500
20												
25												
30							10.6 (-10.6)	386				
35												
岩盤表面		630		781		625		543		500		500
T_g (s)		0.08				0.03		0.03		0.11		0.05
観測最大加速度 (cm/s/s)		230		119		446		446		177		73

検討用地震の解放基盤表面における地震動の応答スペクトルを包絡するように、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の設計用応答スペクトルを設定するとしている。

T.P.-260mの解放基盤表面において基準地震動 S_s を設定する

加藤ほか(2004)の震源を事前に特定できない地震による地震動は、 $V_s \geq 700\text{m/s}$ である解放基盤表面における地震動として設定されている。

(Ⅲ)原子炉建屋等への設計用入力地震動(観測記録に基づく地盤増幅特性を踏まえた設計用入力地震動算定の考え方について)

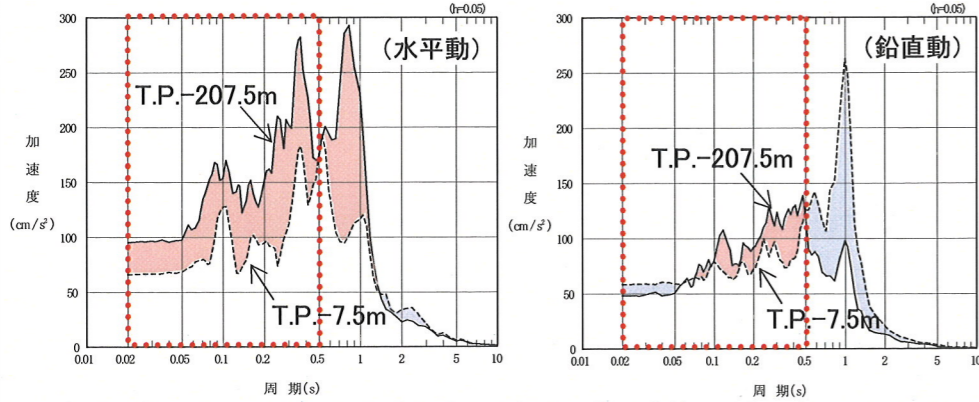
新指針 解放基盤表面が施設を設置する地盤に比して相対的に深い場合解放基盤表面より上部の地盤における地震動の増幅特性を十分に調査、必要に応じて地震応答評価等に反映させる

①観測記録に基づく地震動の増幅特性の把握
観測記録によれば、解放基盤相当位置に対して建屋設置レベル相当位置における地震動は、(水平動)0.6~0.8程度、(鉛直動)0.7~1.0程度に減衰するとしている。

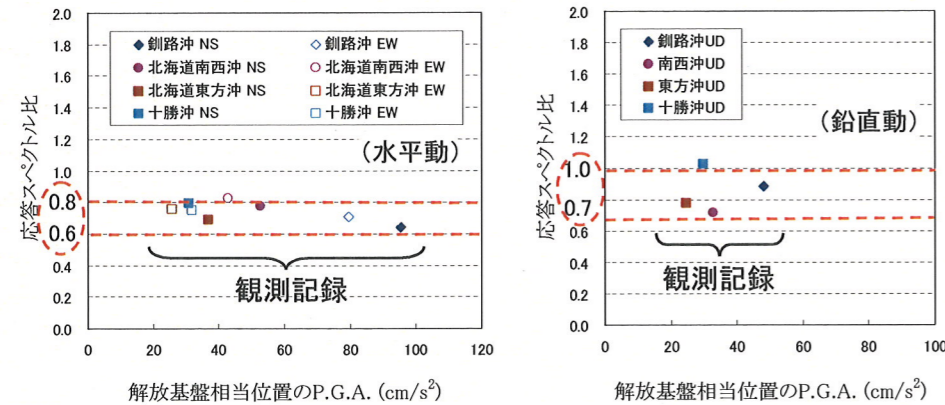
②解析による地震動の増幅特性の検討
一次元波動論に基づく解析においても、左記①の地震動の減衰効果を表現できている。

③設計用入力地震動の考え方
左記①、②から、解放基盤表面に対して、建屋設置レベルでは地震動は減衰するものの、より耐震安全性を高めた設計とするために、基準地震動と同じ大きさの地震動を建屋設置レベルに埋込効果を考慮して入力するとしている。

①観測記録に基づく地震動の増幅特性の把握



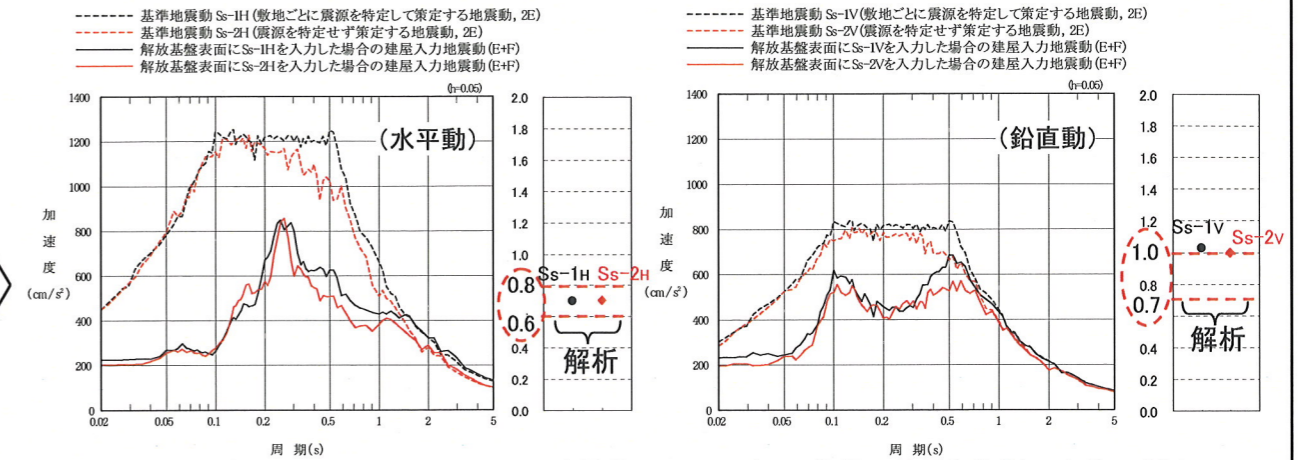
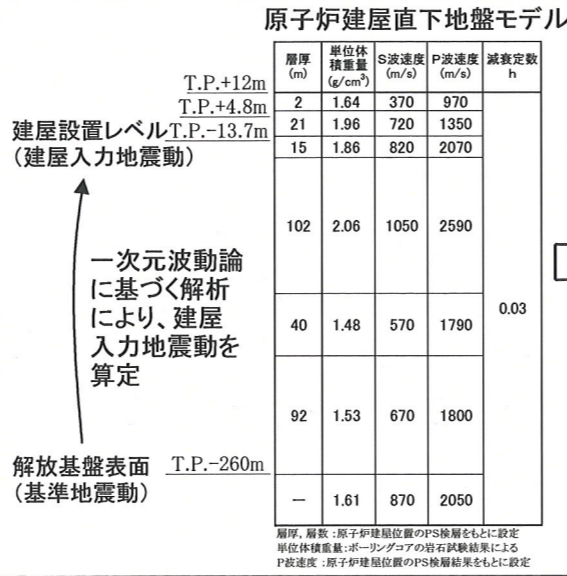
1993年釧路沖地震の観測記録の応答スペクトル



観測記録の応答スペクトル比の平均 (建屋設置レベル相当(E+F)/解放基盤相当(E+F), 周期0.5秒以下)

・建屋設置レベル相当/解放基盤相当位置≒0.6~0.8(水平動), 0.7~1.0(鉛直動) (T.P.-7.5m) (T.P.-207.5m)

②解析による地震動の増幅特性の検討

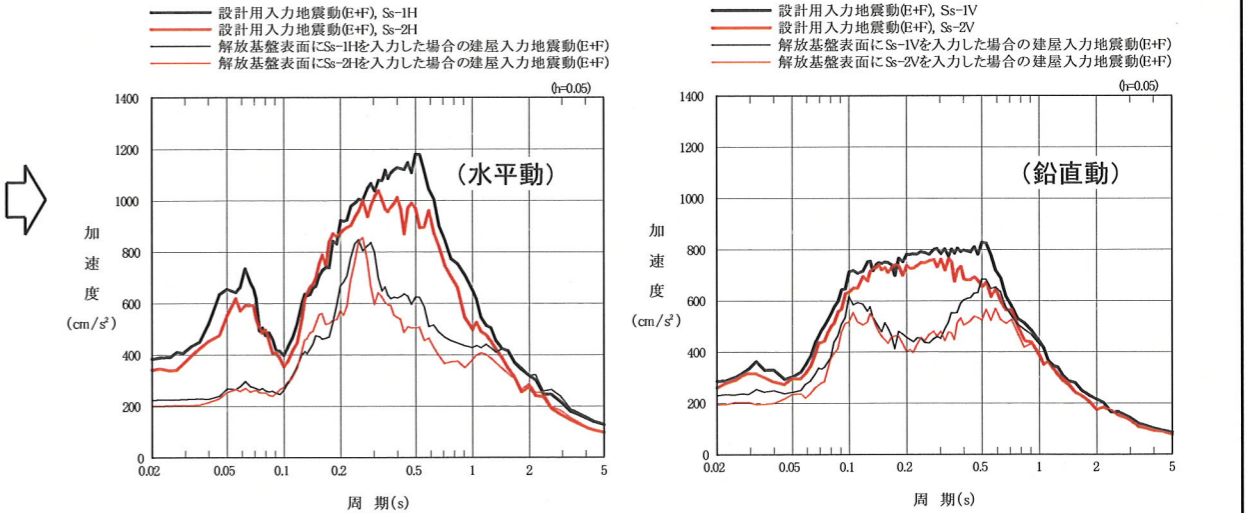


基準地震動と建屋設置レベル(T.P.-13.7m)の地震動(T.P.+4.8mまでの埋込み効果を考慮)の応答スペクトル及び応答スペクトル比(建屋設置レベル(E+F)/解放基盤表面(E+F), 周期0.5秒以下)の平均

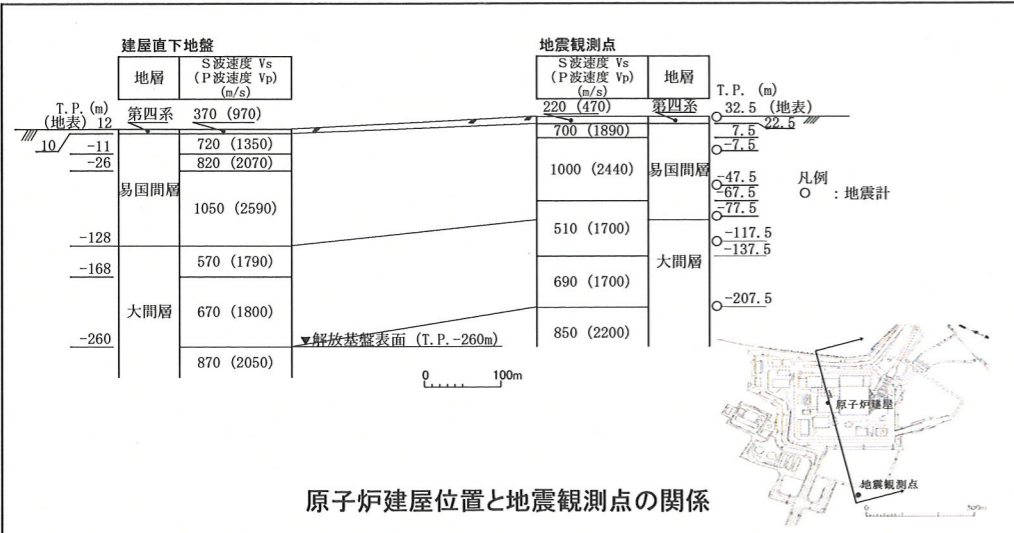
一次元波動論に基づく解析においても、観測記録にみられる地震動の減衰効果を表現できている。

③設計用入力地震動の考え方

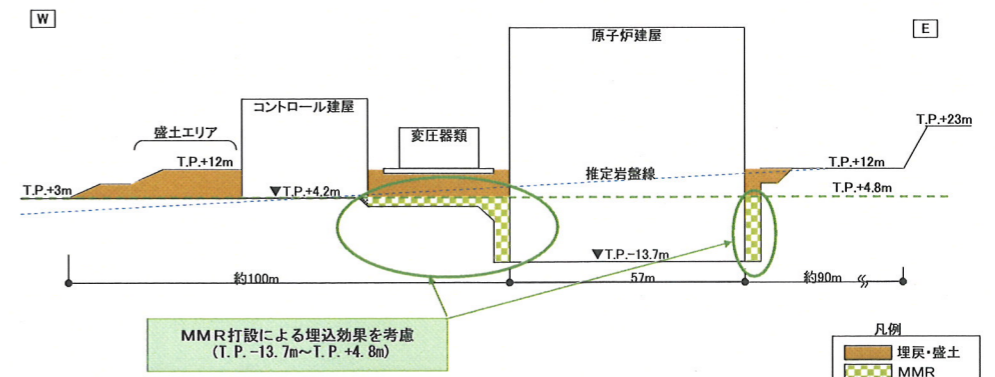
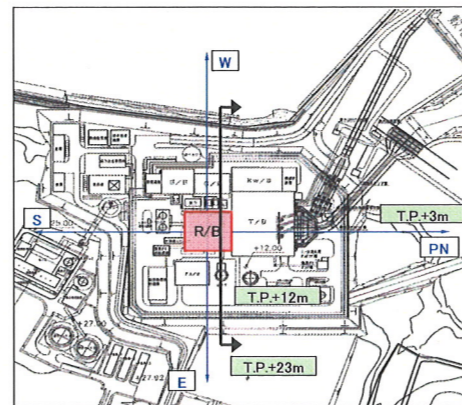
①及び②を踏まえ、解放基盤表面より上部における地震動の減衰効果は認められるものの、より耐震安全性を高めた設計とするために、設計用入力地震動は、工学的判断として、上述の減衰効果を反映せず、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」と同じ大きさの地震動を建屋設置レベルに埋込み効果を考慮して入力するとしている。



設計用入力地震動の応答スペクトル(T.P.+4.8mまでの埋込み効果を考慮)



原子炉建屋位置と地震観測点の関係



MMR打設による埋込効果を考慮 (T.P.-13.7m~T.P.+4.8m)