

資料 1



美浜発電所の基準地震動に対する 標準応答スペクトルの影響検討（コメント回答）

関西電力株式会社

2021年7月8日



0. コメント整理	P. 2
1. Ss-1以外の基準地震動を用いた応答スペクトル比の検討	P. 3 ~ 7
2. 地震観測記録による応答スペクトル比の検討	P. 8 ~ 14
3. まとめ	P. 15

0. コメント整理

No.	コメント受領日	内容	回答方針
1	2020年6月18日	Ss-1以外のいくつかの基準地震動で応答スペクトル比を算定した際に、Ss-1で算定した場合と同じような応答スペクトル比となるのか確認すること。	本日回答
2	2020年6月18日	応答スペクトル比の分析に適切な地震観測記録があるのかを確認すること。また、分析可能な地震観測記録があれば、分析結果を示すこと。	本日回答

1. Ss-1以外の基準地震動を用いた応答スペクトル比の検討

No.	コメント受領日	内容	回答方針
1	2020年6月18日	Ss-1以外のいくつかの基準地震動で応答スペクトル比を算定した際に、Ss-1で算定した場合と同じような応答スペクトル比となるのか確認すること。	本日回答
2	2020年6月18日	応答スペクトル比の分析に適切な地震観測記録があるのかを確認すること。また、分析可能な地震観測記録があれば、分析結果を示すこと。	本日回答

1. Ss-1以外の基準地震動を用いた応答スペクトル比の検討

■ 検討に用いる地震動

- ・美浜発電所の基準地震動のうち、断層モデルを用いた手法による基準地震動から代表して、Ss-3、Ss-11、Ss-16、Ss-19を用いて検討を行う。
- ・代表にあたっては、美浜発電所の主な検討用地震（C断層、白木-丹生断層、大陸棚～B～野坂断層、安島岬沖～和布～干飯崎沖～甲楽城断層）のうち、水平方向の最大加速度が大きい地震動を選定した。

美浜発電所の基準地震動

単位: cm/s²

基準地震動		NS方向	EW方向	UD方向
Ss-1	設計用模擬地震波	750		500
Ss-2	C断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点1)	910	978	373
Ss-3	C断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点2)	960	993	385
Ss-4	C断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点3)	912	862	296
Ss-5	C断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点4)	668	867	339
Ss-6	C断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点5)	799	680	340
Ss-7	C断層(傾斜角55° ケース、破壊開始点3)	620	611	337
Ss-8	白木-丹生断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点1)	541	781	577
Ss-9	白木-丹生断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点2)	787	598	467
Ss-10	白木-丹生断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点3)	669	562	411
Ss-11	白木-丹生断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点5)	806	623	502
Ss-12	大陸棚外縁～B～野坂断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点2)	708	620	402
Ss-13	大陸棚外縁～B～野坂断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点3)	746	545	508
Ss-14	大陸棚外縁～B～野坂断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点4)	680	761	536
Ss-15	大陸棚外縁～B～野坂断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点6)	506	661	476
Ss-16	大陸棚外縁～B～野坂断層(短周期の地震動1.5倍ケース、破壊開始点7)	802	815	535
Ss-17	大陸棚外縁～B～野坂断層(Vr=0.87βケース、破壊開始点1)	492	613	348
Ss-18	大陸棚外縁～B～野坂断層(Vr=0.87βケース、破壊開始点4)	518	609	445
Ss-19	安島岬沖～和布～干飯崎沖～甲楽城断層(Vr=0.87βケース、破壊開始点2)	239	279	232
Ss-20	安島岬沖～和布～干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層(破壊開始点2)	441	584	402
Ss-21	安島岬沖～和布～干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層(破壊開始点6)	603	451	436
Ss-22	安島岬沖～和布～干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層(破壊開始点9)	433	407	270
Ss-23	2000年鳥取県西部地震の賀祥ダムの観測記録	528	531	485
Ss-24	2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動	620		320

(補足) 朱記部分は水平方向及び鉛直方向における最大値を表す。

1. Ss-1以外の基準地震動を用いた応答スペクトル比の検討

■検討方法

- 解放基盤表面 ($V_s=1.65\text{km/s}^*$) で策定された基準地震動Ss-3、Ss-11、Ss-16、Ss-19と、
 地下構造モデルによる地震基盤相当面 ($V_s=2.2\text{km/s}$ 層^{*}上面) での基準地震動Ss-3、Ss-11、Ss-16、Ss-19の引戻し波
 との応答スペクトル比を確認する。

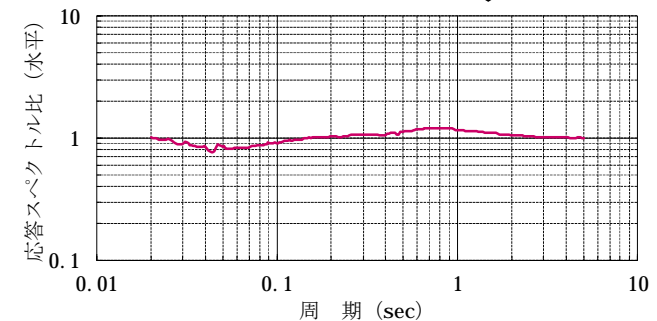
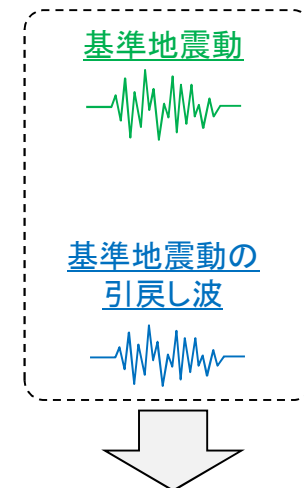
※鉛直方向については、水平方向のそれぞれの V_s に対応する V_p を有する層を対象に、同様の計算を行う。

第 4.4.3 表 地震動評価に用いる地下構造モデル

No.	P 波速度 (km/s)	S 波速度 (km/s)	密度 (g/cm^3)	層厚 (km)	上面深度 (km)	Q_s	減衰定数 (%)
1	4.0	1.65	2.6	0.06	0.00	16.67	3.0
2	4.1	1.7	2.6	0.11	0.06	16.67	3.0
3	4.2	1.8	2.6	0.03	0.17	16.67	3.0
3'	4.2	1.8	2.6	0.06	0.20	100.00	0.5
4	4.4	1.9	2.6	0.09	0.26	100.00	0.5
5	4.5	2.0	2.6	0.02	0.35	100.00	0.5
6	4.6	2.1	2.6	0.08	0.37	100.00	0.5
7	4.7	2.2	2.6	0.07	0.45	100.00	0.5
8	4.8	2.3	2.6	0.05	0.52	100.00	0.5
9	4.9	2.4	2.6	0.01	0.56	100.00	0.5
10	5.0	2.5	2.6	0.07	0.57	100.00	0.5
11	5.1	2.6	2.6	0.08	0.64	100.00	0.5
12	5.2	2.7	2.6	0.21	0.72	100.00	0.5
13	5.3	2.8	2.6	0.21	0.93	100.00	0.5
14	5.4	2.9	2.6	0.08	1.13	100.00	0.5
15	5.4	3.0	2.6	0.16	1.21	100.00	0.5
16	5.5	3.1	2.6	0.02	1.37	100.00	0.5
17	5.6	3.2	2.6	0.47	1.40	100.00	0.5
18	5.7	3.3	2.6	1.13	1.87	100.00	0.5
19	5.9	3.6	2.7	—	3.00	100.00	0.5

▽解放基盤表面
($V_s=1.65\text{km/s}$, $V_p=4.0\text{km/s}$)

▽地震基盤相当面
($V_s=2.2\text{km/s}$, $V_p=4.7\text{km/s}$)



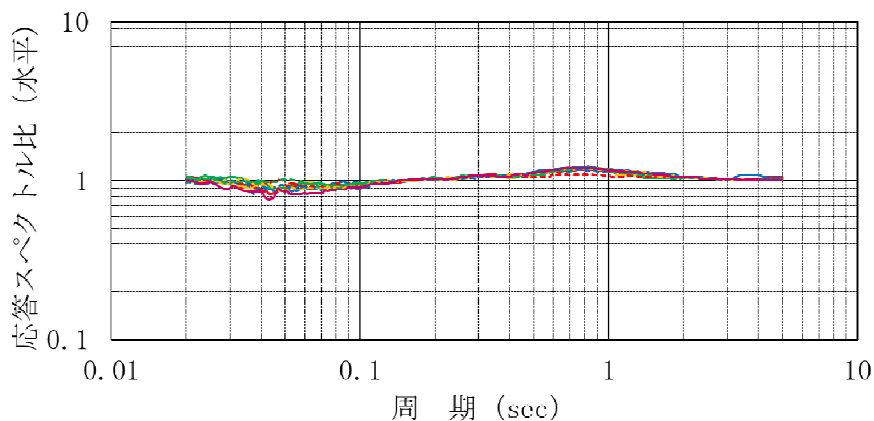
応答スペクトル比
(基準地震動 / 基準地震動の引戻し波)

(「美浜発電所3号炉 原子炉設置許可申請書
 添付六 第4.4.3表 地震動評価に用いる地下構造モデル」に追記)

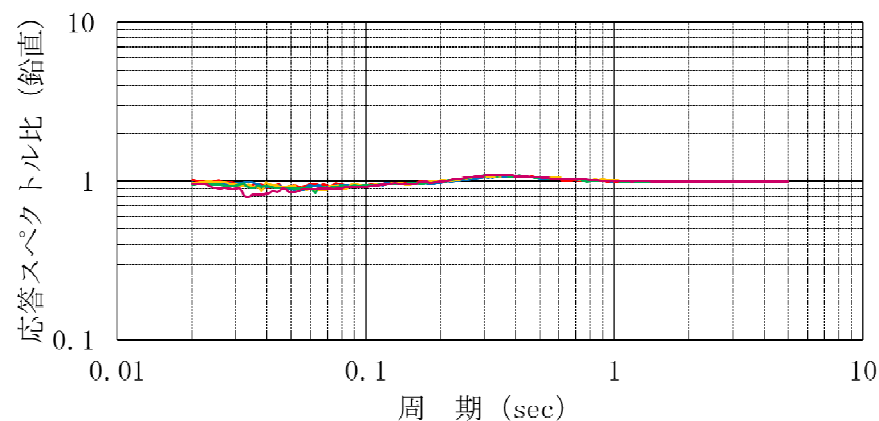
1. Ss-1以外の基準地震動を用いた応答スペクトル比の検討

■ 応答スペクトル比

- ・各基準地震動と、それに対応する基準地震動の引き戻し波により得られた応答スペクトル比を示す。
- ・断層モデルを用いた手法による基準地震動の引き戻し波による応答スペクトル比は、Ss-1の引き戻し波による応答スペクトル比と同程度であることを確認した。



応答スペクトル比(水平方向)



応答スペクトル比(鉛直方向)

[凡例]

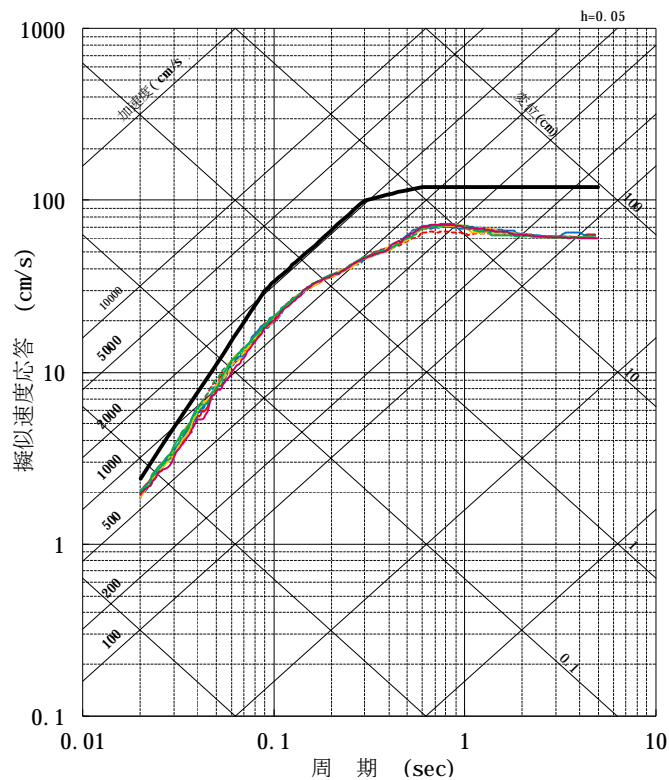
- | | |
|---------------------|-----------------------|
| — 基準地震動 Ss-1(水平方向) | --- 基準地震動 Ss-3(EW方向) |
| — 基準地震動 Ss-3(NS方向) | --- 基準地震動 Ss-11(EW方向) |
| — 基準地震動 Ss-11(NS方向) | --- 基準地震動 Ss-16(EW方向) |
| — 基準地震動 Ss-16(NS方向) | --- 基準地震動 Ss-19(EW方向) |
| — 基準地震動 Ss-19(NS方向) | |

[凡例]

- | |
|---------------------|
| — 基準地震動 Ss-1(鉛直方向) |
| — 基準地震動 Ss-3(鉛直方向) |
| — 基準地震動 Ss-11(鉛直方向) |
| — 基準地震動 Ss-16(鉛直方向) |
| — 基準地震動 Ss-19(鉛直方向) |

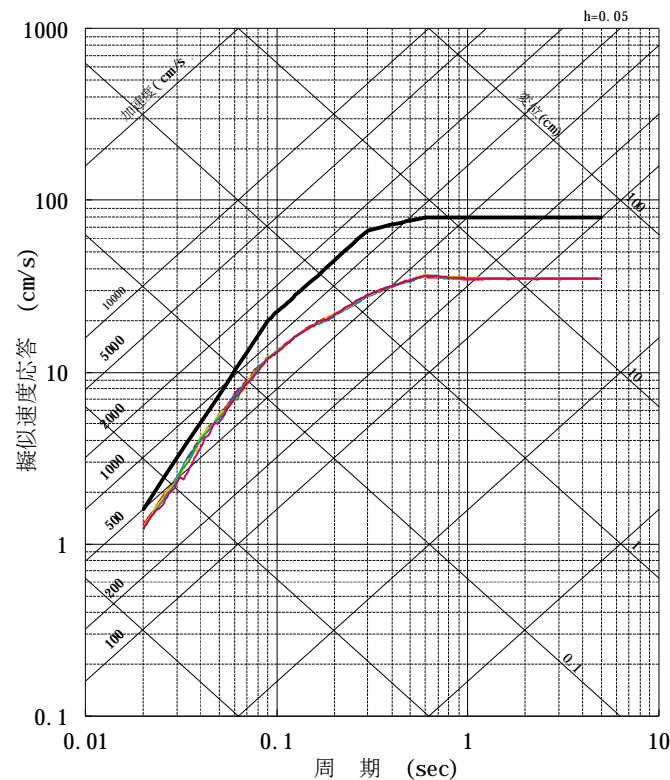
1. Ss-1以外の基準地震動を用いた応答スペクトル比の検討

■ 標準応答スペクトル(地盤増幅特性考慮)と美浜発電所の基準地震動Ss-1との比較



水平方向

- [凡例]
- 基準地震動 Ss-1
 - 標準応答スペクトル(Ss-1による地盤増幅特性考慮)
 - 標準応答スペクトル(Ss-3(NS方向)による地盤増幅特性考慮)
 - - - 標準応答スペクトル(Ss-3(EW方向)による地盤増幅特性考慮)
 - 標準応答スペクトル(Ss-11(NS方向)による地盤増幅特性考慮)
 - - - 標準応答スペクトル(Ss-11(EW方向)による地盤増幅特性考慮)
 - 標準応答スペクトル(Ss-16(NS方向)による地盤増幅特性考慮)
 - - - 標準応答スペクトル(Ss-16(EW方向)による地盤増幅特性考慮)
 - 標準応答スペクトル(Ss-19(NS方向)による地盤増幅特性考慮)
 - - - 標準応答スペクトル(Ss-19(EW方向)による地盤増幅特性考慮)



鉛直方向

- [凡例]
- 基準地震動 Ss-1
 - 標準応答スペクトル(Ss-1による地盤増幅特性考慮)
 - 標準応答スペクトル(Ss-3による地盤増幅特性考慮)
 - 標準応答スペクトル(Ss-11による地盤増幅特性考慮)
 - 標準応答スペクトル(Ss-16による地盤増幅特性考慮)
 - 標準応答スペクトル(Ss-19による地盤増幅特性考慮)

2. 地震観測記録による応答スペクトル比の検討

No.	コメント受領日	内容	回答方針
1	2020年6月18日	Ss-1以外のいくつかの基準地震動で応答スペクトル比を算定した際に、Ss-1で算定した場合と同じような応答スペクトル比となるのか確認すること。	本日回答
2	2020年6月18日	応答スペクトル比の分析に適切な地震観測記録があるのかを確認すること。また、分析可能な地震観測記録があれば、分析結果を示すこと。	本日回答

2. 地震観測記録による応答スペクトル比の検討

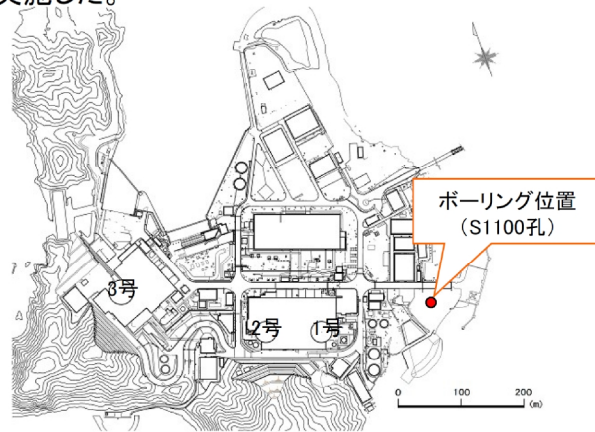
■美浜発電所の地震観測体制

・2014年4月より、発電所敷地内で大深度地震観測を実施している。

5. 地下構造モデルの策定 (S1100孔ボーリング調査結果)

第257回審査会合
資料再掲

■地震計の設置とともに地下深部までの地質及び地盤物性を把握するため、ボーリング調査(S1100孔)を実施した。

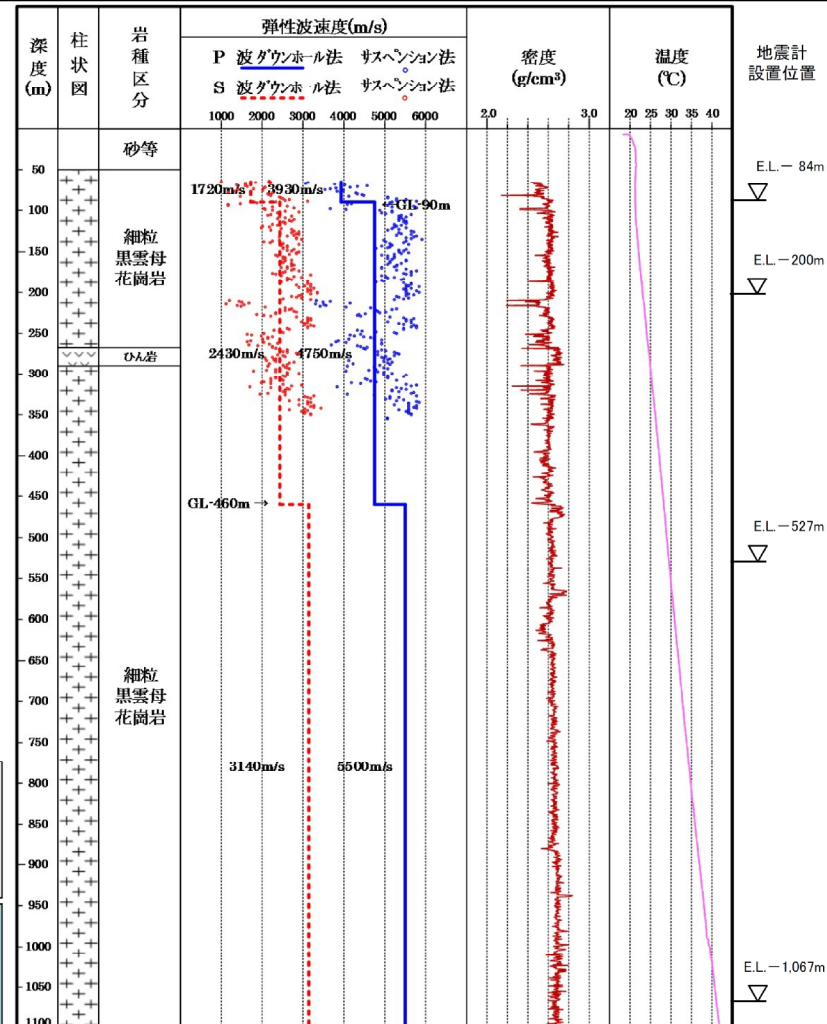


PS検層結果(ダウンホール法)

深度	P波速度	S波速度
50~90m	3,930m/s	1,720m/s
90~460m	4,750m/s	2,430m/s
460~1,100m	5,500m/s	3,140m/s

ダウンホール法が平均的な速度構造を示しているのに対し、サスペンション法は1m区間の局所的な速度を計測している。従って、サスペンション法で測定された速度の最大値は、ダウンホール法の速度よりも大きくなる傾向がある。

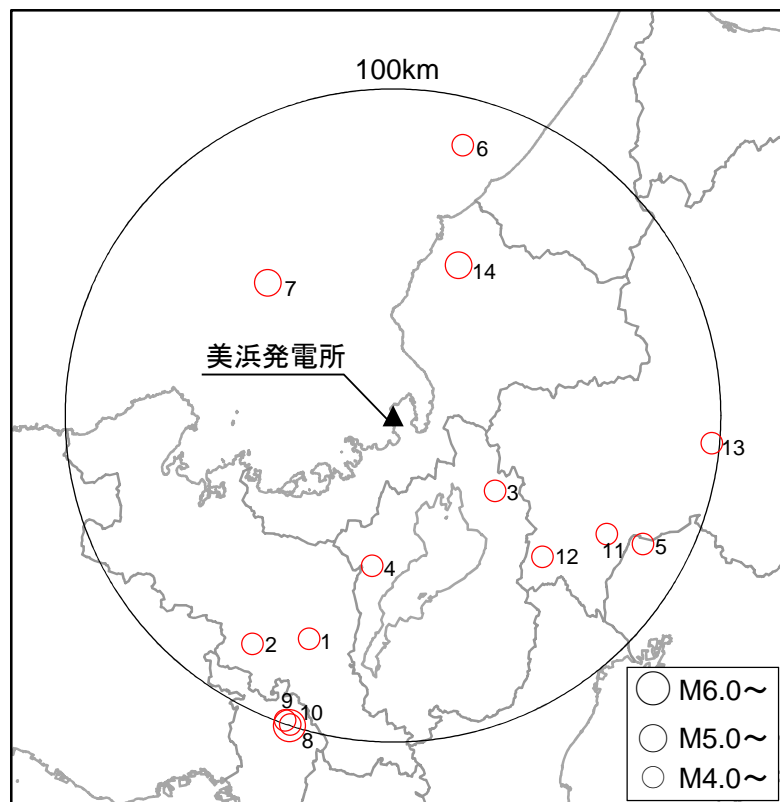
ボーリング調査地点(S1100孔)においては、深度50m程度までは砂等であり、それ以深については、主に花崗岩が分布する。



2. 地震観測記録による応答スペクトル比の検討

■地震観測記録

・美浜発電所で観測された主な地震記録(M4.0以上、震央距離100km以内)を示す。



抽出条件

期間 : 2014年4月～2020年9月

M : 4.0以上

震央距離 : 100km以内

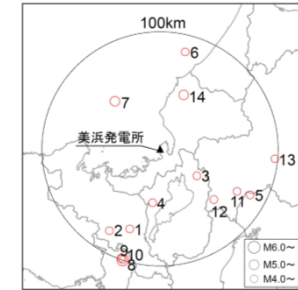
No.	発生日時	震央地名	M	震源深さ [km]	震央距離 [km]
1	2014-06-11 19:52:28.70	MID KYOTO PREF	4.0	10.1	72.8
2	2014-08-06 01:17:23.36	MID KYOTO PREF	4.3	13.6	81.9
3	2014-09-14 15:57:40.01	SHIGA GIFU BORDER REG	4.1	37.8	38.6
4	2014-12-26 22:30:34.80	NW SHIGA PREF	4.2	14.5	46.4
5	2015-03-04 00:04:20.86	CENTRAL AICHI PREF	4.6	40.2	85.7
6	2015-09-06 11:04:28.15	NW OFF HOKURIKU DISTRICT	4.3	16.7	85.6
7	2017-05-27 22:50:03.95	NW OFF KINKI DISTRICT	5.1	17.2	55.8
8	2018-06-18 07:58:34.14	KYOTO OSAKA BORDER REG	6.1	13.0	100.0
9	2018-06-19 00:31:25.09	KYOTO OSAKA BORDER REG	4.1	10.3	98.9
10	2018-08-28 19:53:15.76	KYOTO OSAKA BORDER REG	4.0	11.5	99.5
11	2019-03-09 01:08:03.58	SW GIFU PREF	4.4	42.1	74.5
12	2020-06-17 15:03:03.16	SHIGA GIFU BORDER REG	4.4	6.5	62.8
13	2020-08-27 08:55:09.21	SE GIFU PREF	4.0	9.4	97.6
14	2020-09-04 09:10:53.30	CENTRAL FUKUI PREF	5.0	7.1	50.2

地震情報の諸元は、2019年までは気象庁の地震月報(カタログ編)、
2020年以降はHi-netの気象庁一元化処理震源リストによる。

2. 地震観測記録による応答スペクトル比の検討

■地震観測記録

- ・岩盤内であるEL-84m、EL-200mにおける最大加速度を示す。
- ・最大加速度は最大でも水平4ガル程度であり、詳細な分析・評価は難しい。



No.	発生日時	震央地名	M	震源 深さ [km]	震央 距離 [km]	最大加速度(cm/s ²)					
						EL-84m			EL-200m		
						NS	EW	UD	NS	EW	UD
1	2014-06-11 19:52:28.70	MID KYOTO PREF	4.0	10.1	72.8	0.29	0.25	0.20	0.31	0.25	0.18
2	2014-08-06 01:17:23.36	MID KYOTO PREF	4.3	13.6	81.9	0.58	0.73	0.41	0.51	0.70	0.48
3	2014-09-14 15:57:40.01	SHIGA GIFU BORDER REG	4.1	37.8	38.6	3.45	4.20	1.85	3.16	3.75	1.78
4	2014-12-26 22:30:34.80	NW SHIGA PREF	4.2	14.5	46.4	0.83	1.05	0.65	0.91	0.99	0.53
5	2015-03-04 00:04:20.86	CENTRAL AICHI PREF	4.6	40.2	85.7	1.43	3.25	1.01	0.98	1.67	1.04
6	2015-09-06 11:04:28.15	NW OFF HOKURIKU DISTRICT	4.3	16.7	85.6	0.22	0.37	0.22	0.23	0.25	0.19
7	2017-05-27 22:50:03.95	NW OFF KINKI DISTRICT	5.1	17.2	55.8	1.99	1.70	0.98	1.38	1.63	0.85
8	2018-06-18 07:58:34.14	KYOTO OSAKA BORDER REG	6.1	13.0	100.0	2.84	3.45	3.51	2.38	2.53	2.65
9	2018-06-19 00:31:25.09	KYOTO OSAKA BORDER REG	4.1	10.3	98.9	0.22	0.28	0.16	0.24	0.18	0.10
10	2018-08-28 19:53:15.76	KYOTO OSAKA BORDER REG	4.0	11.5	99.5	0.12	0.15	0.13	0.11	0.15	0.11
11	2019-03-09 01:08:03.58	SW GIFU PREF	4.4	42.1	74.5	1.12	0.99	0.90	0.88	0.86	0.80
12	2020-06-17 15:03:03.16	SHIGA GIFU BORDER REG	4.4	6.5	62.8	0.25	0.23	0.17	0.21	0.20	0.11
13	2020-08-27 08:55:09.21	SE GIFU PREF	4.0	9.4	97.6	0.15	0.21	0.14	0.17	0.15	0.10
14	2020-09-04 09:10:53.30	CENTRAL FUKUI PREF	5.0	7.1	50.2	0.44	0.66	0.47	0.54	0.82	0.41

2. 地震観測記録による応答スペクトル比の検討

■ 地震観測記録を用いた検討

- ・地震観測記録の最大加速度は最大でも水平4ガル程度であり、詳細な分析・評価は難しいと考えられるが、参考として、観測記録を用いた応答スペクトル比の確認を行う。
- ・地震計は岩盤中に埋設されていることから、観測記録には反射波(F)の影響が含まれるが、本検討では簡易的に、反射波(F)の影響を無視し、観測記録を入射波(E)のみとみなす。
- ・検討対象地震は、美浜発電所で観測された地震記録のうち、Mおよび最大加速度が比較的大きく、内陸地殻内地震である「No.8 大阪府北部の地震(M6.1)」とし、Vs=2.2km/s程度の岩盤中に設置されているEL-200mの観測記録を地下構造モデルの地震基盤相当面に2E波として入力し、解放基盤表面で出力した場合の、応答スペクトル比を確認する。

観測記録を地下構造モデルを介して解放基盤表面で出力。



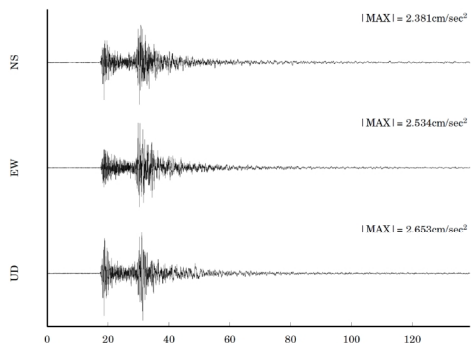
▽解放基盤表面
(Vs=1.65km/s, Vp=4.0km/s)

↑
応答スペクトル比を確認。
↓

観測記録を地震基盤相当面に入力。



▽地震基盤相当面
(Vs=2.2km/s, Vp=4.7km/s)



No.8 大阪府北部の地震 (M6.1)
地震観測記録(美浜発電所 EL-200m)

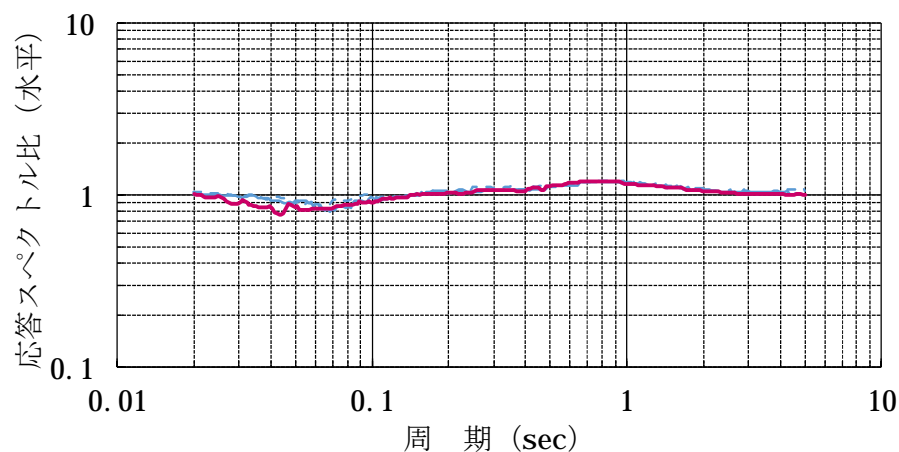
No.	P 波速度 (km/s)	S 波速度 (km/s)	密度 (g/cm³)	層厚 (km)	上面深度 (km)	Qs	減衰定数 (%)
1	4.0	1.65	2.6	0.06	0.00	16.67	3.0
2	4.1	1.7	2.6	0.11	0.06	16.67	3.0
3	4.2	1.8	2.6	0.03	0.17	16.67	3.0
3'	4.2	1.8	2.6	0.06	0.20	100.00	0.5
4	4.4	1.9	2.6	0.09	0.26	100.00	0.5
5	4.5	2.0	2.6	0.02	0.35	100.00	0.5
6	4.6	2.1	2.6	0.08	0.37	100.00	0.5
7	4.7	2.2	2.6	0.07	0.45	100.00	0.5
8	4.8	2.3	2.6	0.05	0.52	100.00	0.5
9	4.9	2.4	2.6	0.01	0.56	100.00	0.5
10	5.0	2.5	2.6	0.07	0.57	100.00	0.5
11	5.1	2.6	2.6	0.08	0.64	100.00	0.5
12	5.2	2.7	2.6	0.21	0.72	100.00	0.5
13	5.3	2.8	2.6	0.21	0.93	100.00	0.5
14	5.4	2.9	2.6	0.08	1.13	100.00	0.5
15	5.4	3.0	2.6	0.16	1.21	100.00	0.5
16	5.5	3.1	2.6	0.02	1.37	100.00	0.5
17	5.6	3.2	2.6	0.47	1.40	100.00	0.5
18	5.7	3.3	2.6	1.13	1.87	100.00	0.5
19	5.9	3.6	2.7	—	3.00	100.00	0.5

(「美浜発電所3号炉 原子炉設置許可申請書 添付六 第4.4.3表 地震動評価に用いる地下構造モデル」に追記)

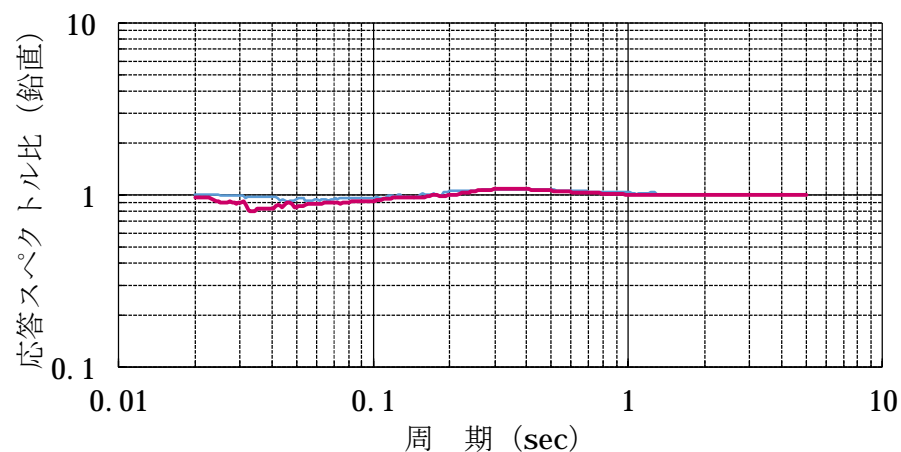
2. 地震観測記録による応答スペクトル比の検討

■ 応答スペクトル比

- ・観測記録による応答スペクトル比を示す。
- ・観測記録による応答スペクトル比は、Ss-1の引き戻し波による応答スペクトル比と同程度であることを確認した。



応答スペクトル比(水平方向)
(実線: NS方向、破線: EW方向)

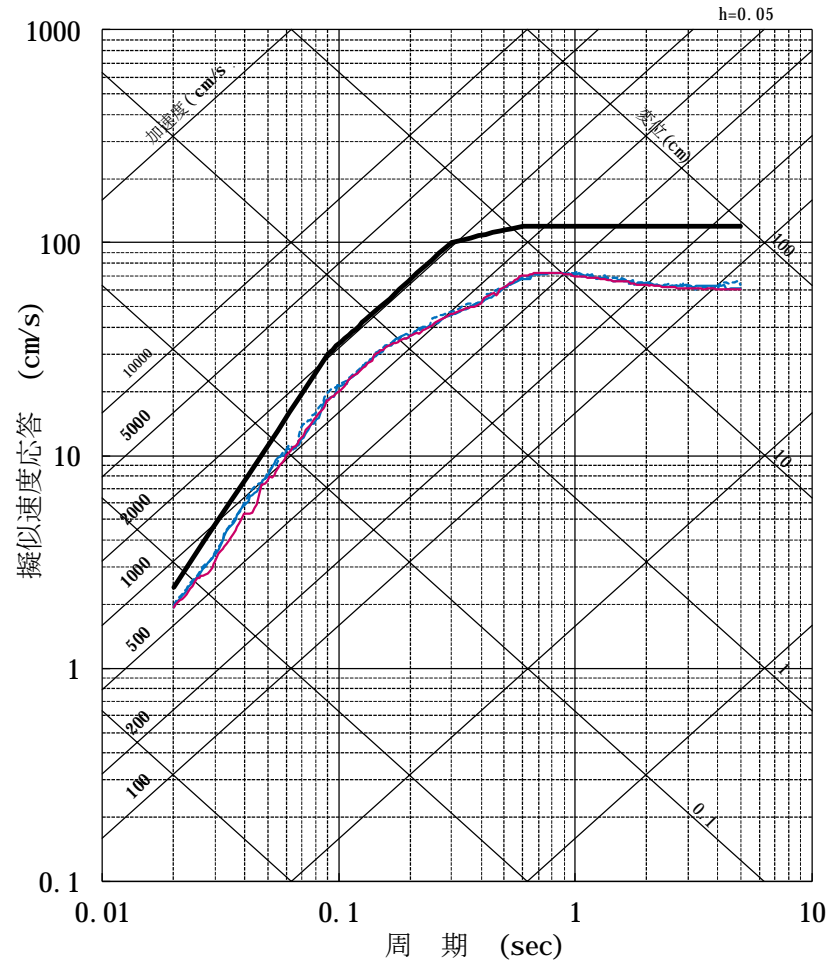


応答スペクトル比(鉛直方向)

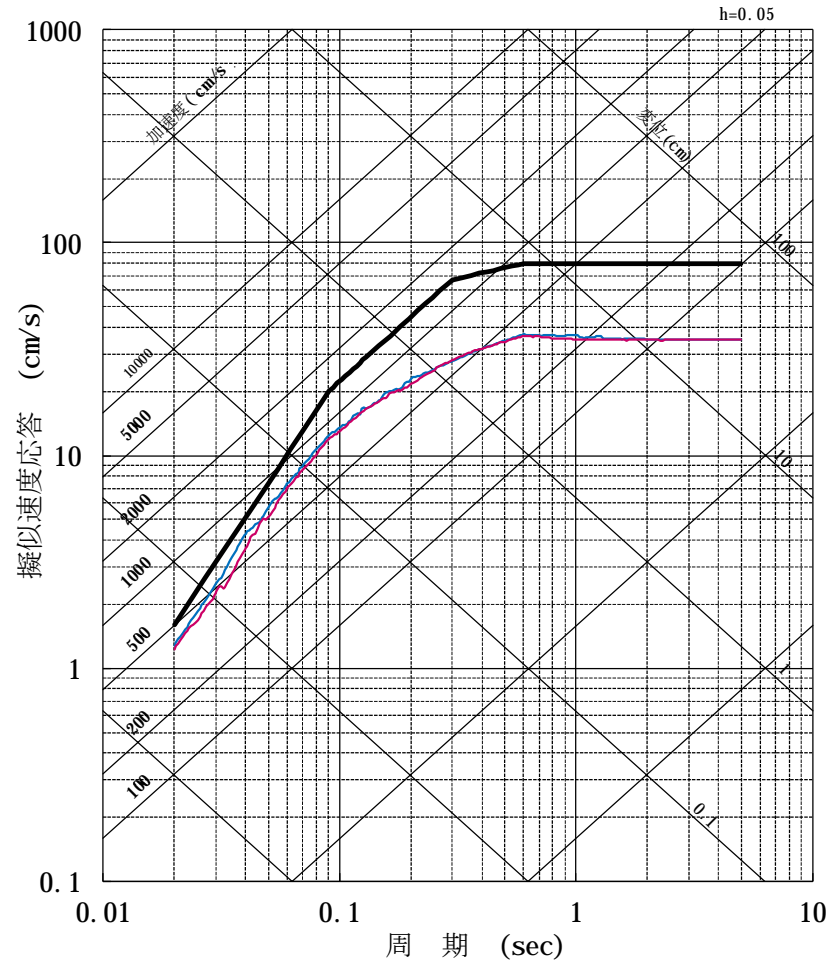
[凡例] — : Ss-1の引き戻し波による応答スペクトル比 , — : 観測記録による応答スペクトル比

2. 地震観測記録による応答スペクトル比の検討

■ 標準応答スペクトル(地盤増幅特性考慮)と美浜発電所の基準地震動Ss-1との比較



水平方向



鉛直方向

- [凡例] — : 標準応答スペクトル(Ss-1による地盤増幅特性考慮) , — : 基準地震動Ss-1
— : 標準応答スペクトル(観測記録による地盤増幅特性考慮)

- ・標準応答スペクトルに乗じた応答スペクトル比の妥当性について、2021年6月18日の会合でのコメントを踏まえ、Ss-1以外の基準地震動による検討と、地震観測記録を用いた検討を行った。
- ・Ss-1以外の基準地震動による検討については、断層モデルを用いた手法による基準地震動から各断層を代表して、Ss-3（C断層）、Ss-11（白木-丹生断層）、Ss-16（大陸棚～B～野坂断層）、Ss-19（安島岬沖～和布～干飯崎沖～甲楽城断層）を用いて検討を行った。
検討の結果、Ss-1以外の基準地震動による応答スペクトル比は、Ss-1で算定した応答スペクトル比と同程度となることを確認した。
- ・地震観測記録を用いた検討については、美浜発電所における地震観測記録の最大加速度は最大でも水平4ガル程度であり、詳細な分析・評価は難しいと考えられるものの、参考として観測記録を用いた応答スペクトル比の確認を行った。
「大阪府北部の地震」の観測記録のうち、 $V_s=2.2\text{km/s}$ 程度の岩盤中（EL-200m）の観測記録を地下構造モデルの地震基盤相当面に入力し、解放基盤表面で出力した場合の応答スペクトル比を確認した。
検討の結果、観測記録による応答スペクトル比は、Ss-1で算定した応答スペクトル比と同程度となることを確認した。
- ・以上より、地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性の考慮方法として用いた、基準地震動Ss-1と、基準地震動Ss-1の地下構造モデルによる地震基盤相当面での引戻し波との応答スペクトル比は、妥当であると考えられる。