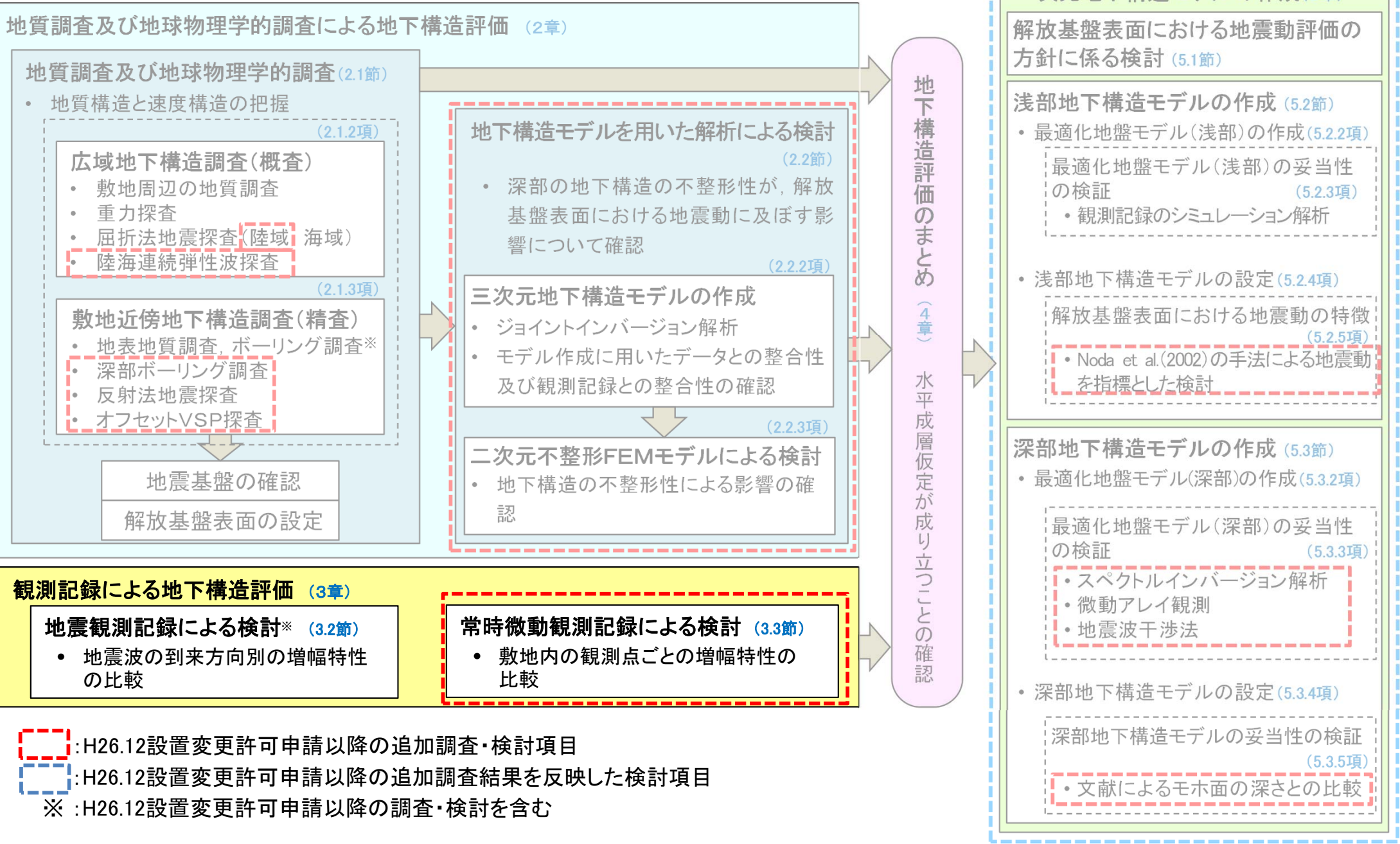


目次

1. 地震動評価に用いる地下構造モデルの作成の流れ
2. 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価
 - 2.1 地質調査及び地球物理学的調査
 - 2.1.1 調査項目
 - 2.1.2 広域地下構造調査(概査)
 - 2.1.2.1 調査の内容
 - 2.1.2.2 敷地周辺の地質調査
 - 2.1.2.3 重力探査
 - 2.1.2.4 屈折法・反射法地震探査
 - 2.1.2.5 広域地下構造調査(概査)のまとめ
 - 2.1.3 敷地近傍地下構造調査(精査)
 - 2.1.3.1 調査の内容
 - 2.1.3.2 敷地及び敷地近傍における深部地下構造調査
 - 2.1.3.3 敷地における浅部地下構造調査
 - 2.1.3.4 敷地近傍地下構造調査(精査)のまとめ
 - 2.1.4 地質調査及び地球物理学的調査のまとめ
 - 2.2 地下構造モデルを用いた解析による検討
 - 2.2.1 検討項目
 - 2.2.2 三次元地下構造モデルの作成
 - 2.2.2.1 三次元地下構造モデルの作成手順
 - 2.2.2.2 三次元地下構造モデルの作成範囲
 - 2.2.2.3 三次元地下構造モデルの作成結果
 - 2.2.2.4 三次元地下構造モデルの妥当性の確認
 - 2.2.2.5 三次元地下構造モデルの作成のまとめ
 - 2.2.3 二次元不整形FEMモデルによる検討
 - 2.2.3.1 検討内容
 - 2.2.3.2 解析内容
 - 2.2.3.3 解析モデル
 - 2.2.3.4 解析結果 スナップショットによる分析
 - 2.2.3.5 解析結果 解放基盤表面における応答波形の分析
 - 2.2.3.6 二次元不整形FEMモデルによる検討のまとめ
 - 2.2.4 地下構造モデルを用いた解析による検討のまとめ
 - 2.3 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価のまとめ
3. 観測記録による地下構造評価
 - 3.1 検討項目
 - 3.2 地震観測記録による検討
 - 3.2.1 地震動のH/Vスペクトル比に基づく検討
 - 3.2.2 基準化スペクトルに基づく検討
 - 3.2.3 異なる深度の応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.2.4 KiK-net観測点との応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.3 常時微動観測記録による検討
 - 3.4 観測記録による地下構造評価のまとめ
4. 地下構造評価のまとめ
5. 一次元地下構造モデルの作成
 - 5.1 解放基盤表面における地震動評価の方針に係る検討
 - 5.2 浅部地下構造モデルの作成
 - 5.2.1 浅部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.2.2 最適化地盤モデル(浅部)の作成
 - 5.2.3 最適化地盤モデル(浅部)の妥当性の検証
 - 5.2.4 浅部地下構造モデルの設定
 - 5.2.5 解放基盤表面における地震動の特徴
 - 5.3 深部地下構造モデルの作成
 - 5.3.1 深部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.3.2 最適化地盤モデル(深部)の作成
 - 5.3.3 最適化地盤モデル(深部)の妥当性の検証
 - 5.3.4 深部地下構造モデルの設定
 - 5.3.5 深部地下構造モデルの妥当性の検証
 - 5.4 一次元地下構造モデルの作成のまとめ
6. まとめ



本章における説明箇所



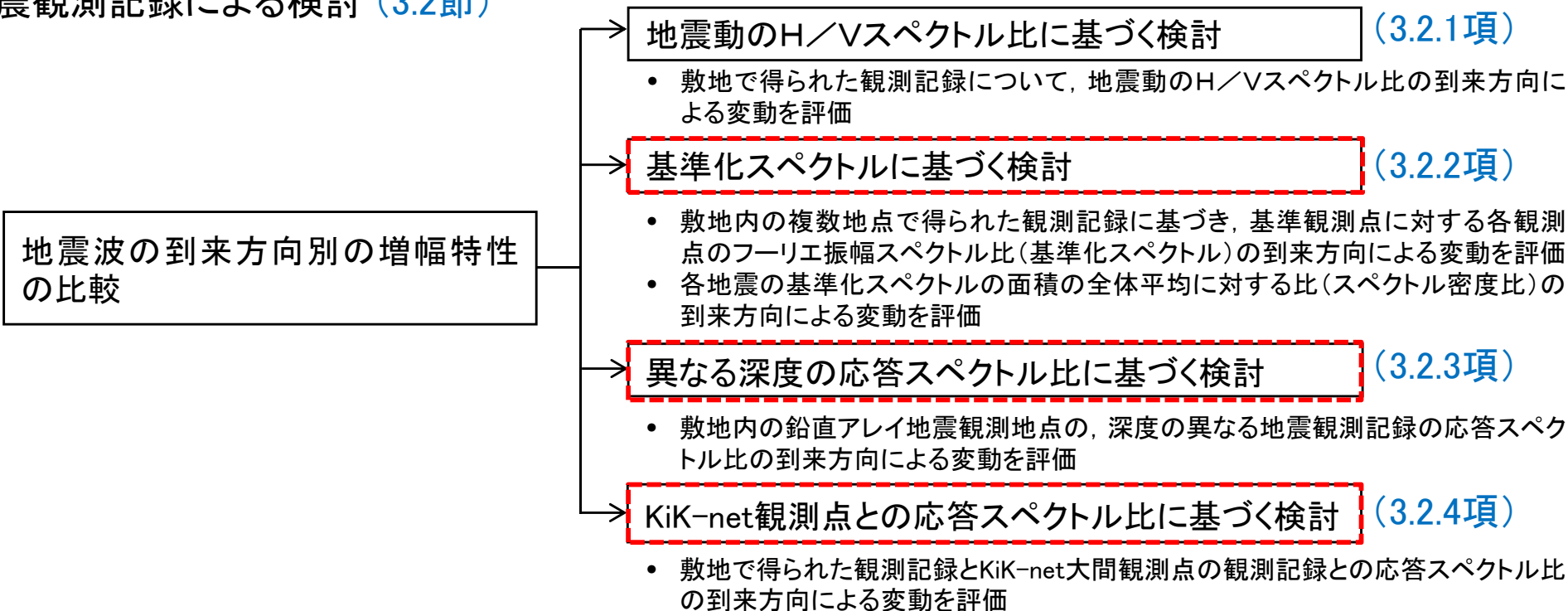
 : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査・検討項目
 : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査結果を反映した検討項目
 ※ : H26.12設置変更許可申請以降の調査・検討を含む



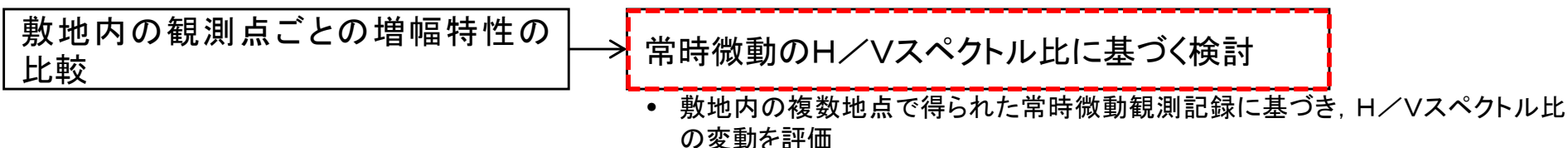
観測記録による地下構造評価における検討項目※

- 敷地の地下構造に、地震動に影響を及ぼすような不整形がないことの確認として、地震波の到来方向の違いや、敷地内に複数配置した観測点の違いによる地盤の増幅特性の変動が小さいことを確認する。

(1) 地震観測記録による検討 (3.2節)



(2) 常時微動観測記録による検討 (3.3節)



☐: H26.12設置変更許可申請以降の追加調査・検討項目

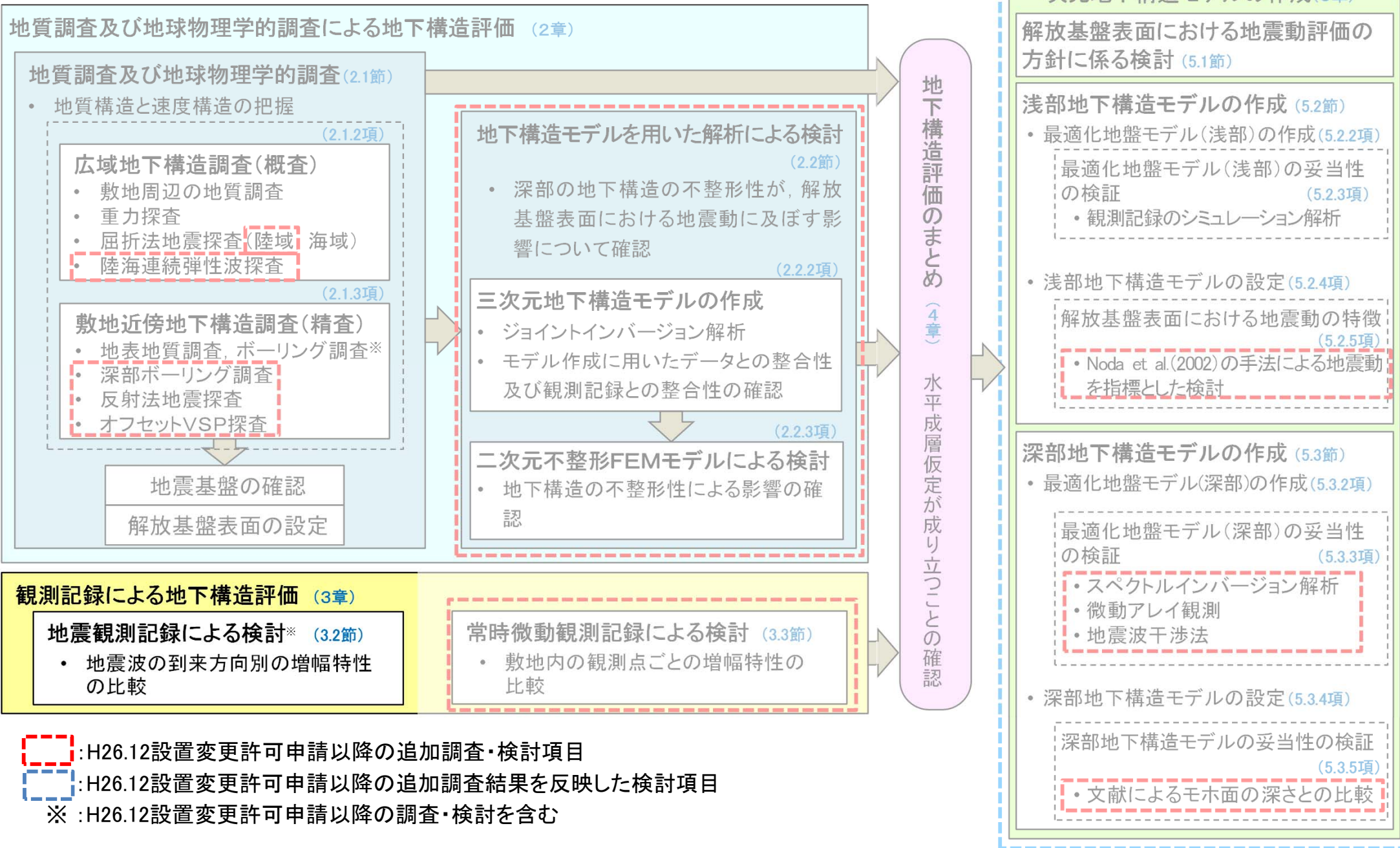
※: 各検討において対象とした周期帯は、補足説明資料の「3-1」を参照。

目次

1. 地震動評価に用いる地下構造モデルの作成の流れ
2. 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価
 - 2.1 地質調査及び地球物理学的調査
 - 2.1.1 調査項目
 - 2.1.2 広域地下構造調査(概査)
 - 2.1.2.1 調査の内容
 - 2.1.2.2 敷地周辺の地質調査
 - 2.1.2.3 重力探査
 - 2.1.2.4 屈折法・反射法地震探査
 - 2.1.2.5 広域地下構造調査(概査)のまとめ
 - 2.1.3 敷地近傍地下構造調査(精査)
 - 2.1.3.1 調査の内容
 - 2.1.3.2 敷地及び敷地近傍における深部地下構造調査
 - 2.1.3.3 敷地における浅部地下構造調査
 - 2.1.3.4 敷地近傍地下構造調査(精査)のまとめ
 - 2.1.4 地質調査及び地球物理学的調査のまとめ
 - 2.2 地下構造モデルを用いた解析による検討
 - 2.2.1 検討項目
 - 2.2.2 三次元地下構造モデルの作成
 - 2.2.2.1 三次元地下構造モデルの作成手順
 - 2.2.2.2 三次元地下構造モデルの作成範囲
 - 2.2.2.3 三次元地下構造モデルの作成結果
 - 2.2.2.4 三次元地下構造モデルの妥当性の確認
 - 2.2.2.5 三次元地下構造モデルの作成のまとめ
 - 2.2.3 二次元不整形FEMモデルによる検討
 - 2.2.3.1 検討内容
 - 2.2.3.2 解析内容
 - 2.2.3.3 解析モデル
 - 2.2.3.4 解析結果 スナップショットによる分析
 - 2.2.3.5 解析結果 解放基盤表面における応答波形の分析
 - 2.2.3.6 二次元不整形FEMモデルによる検討のまとめ
 - 2.2.4 地下構造モデルを用いた解析による検討のまとめ
 - 2.3 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価のまとめ
3. 観測記録による地下構造評価
 - 3.1 検討項目
 - 3.2 地震観測記録による検討
 - 3.2.1 地震動のH/Vスペクトル比に基づく検討
 - 3.2.2 基準化スペクトルに基づく検討
 - 3.2.3 異なる深度の応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.2.4 KiK-net観測点との応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.3 常時微動観測記録による検討
 - 3.4 観測記録による地下構造評価のまとめ
4. 地下構造評価のまとめ
5. 一次元地下構造モデルの作成
 - 5.1 解放基盤表面における地震動評価の方針に係る検討
 - 5.2 浅部地下構造モデルの作成
 - 5.2.1 浅部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.2.2 最適化地盤モデル(浅部)の作成
 - 5.2.3 最適化地盤モデル(浅部)の妥当性の検証
 - 5.2.4 浅部地下構造モデルの設定
 - 5.2.5 解放基盤表面における地震動の特徴
 - 5.3 深部地下構造モデルの作成
 - 5.3.1 深部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.3.2 最適化地盤モデル(深部)の作成
 - 5.3.3 最適化地盤モデル(深部)の妥当性の検証
 - 5.3.4 深部地下構造モデルの設定
 - 5.3.5 深部地下構造モデルの妥当性の検証
 - 5.4 一次元地下構造モデルの作成のまとめ
6. まとめ



本節における説明箇所



 : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査・検討項目
 : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査結果を反映した検討項目
 ※ : H26.12設置変更許可申請以降の調査・検討を含む



地震観測記録による検討の項目

- 敷地の地下構造に、地震動に影響を及ぼすような不整形がないことの確認として、地震波の到来方向の違いや、敷地内に複数配置した観測点の違いによる地盤の増幅特性の変動が小さいことを確認する。

(1) 地震観測記録による検討 (3.2節)

地震波の到来方向別の増幅特性の比較

- 地震動のH/Vスペクトル比に基づく検討 (3.2.1項)
 - 敷地で得られた観測記録について、地震動のH/Vスペクトル比の到来方向による変動を評価
- 基準化スペクトルに基づく検討 (3.2.2項)
 - 敷地内の複数地点で得られた観測記録に基づき、基準観測点に対する各観測点のフーリエ振幅スペクトル比(基準化スペクトル)の到来方向による変動を評価
 - 各地震の基準化スペクトルの面積の全体平均に対する比(スペクトル密度比)の到来方向による変動を評価
- 異なる深度の応答スペクトル比に基づく検討 (3.2.3項)
 - 敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の、深度の異なる地震観測記録の応答スペクトル比の到来方向による変動を評価
- KiK-net観測点との応答スペクトル比に基づく検討 (3.2.4項)
 - 敷地で得られた観測記録とKiK-net大間観測点の観測記録との応答スペクトル比の到来方向による変動を評価

(2) 常時微動観測記録による検討 (3.3節)

敷地内の観測点ごとの増幅特性の比較

- 常時微動のH/Vスペクトル比に基づく検討
 - 敷地内の複数地点で得られた常時微動観測記録に基づき、H/Vスペクトル比の変動を評価

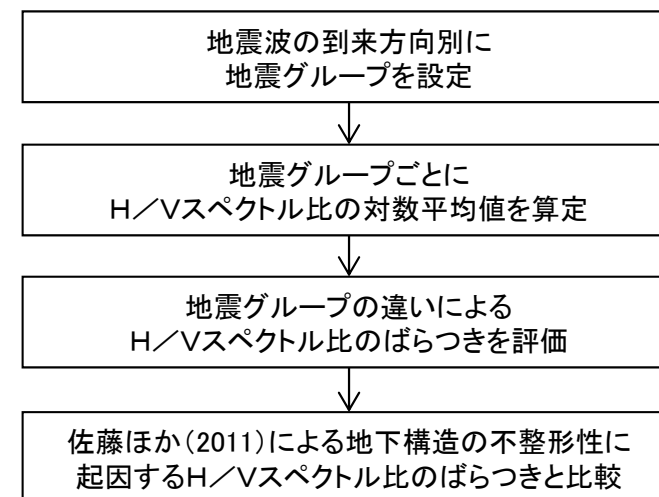
 : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査・検討項目

検討の目的

敷地内の鉛直アレイ地震観測地点^{※1}の地表で得られた観測記録を用いて、地震基盤より浅部の地下構造に、地震動に影響を及ぼすような不整形はないことを確認するため、S波部^{※2}を対象として、地震波の到来方向による水平／上下スペクトル振幅比(以下「H/Vスペクトル比」という。)のばらつきが小さいことを確認する。

検討方法

- 佐藤ほか(2011)³、^{※3}では、S波部のH/Vスペクトル比の地震波の到来方向による変動を地震動の増幅特性の異方性を表す指標として提案し、その有効性が地震観測記録で確認されていることを踏まえ、川端ほか(2013)⁴は、同手法を大間地点に適用して評価を行っている。
- 本検討では、川端ほか(2013)において観測記録が少なく、検討を行っていない大間地点の北方及び南方に対し、データの選定基準を見直して観測記録を追加して検討を行う。
- 佐藤ほか(2011)による地下構造の不整形性に起因するH/Vスペクトル比のばらつきと比較した上で、敷地におけるH/Vスペクトル比のばらつきは小さく、敷地の地下構造に地震動に影響を及ぼすような不整形がないことを確認する。

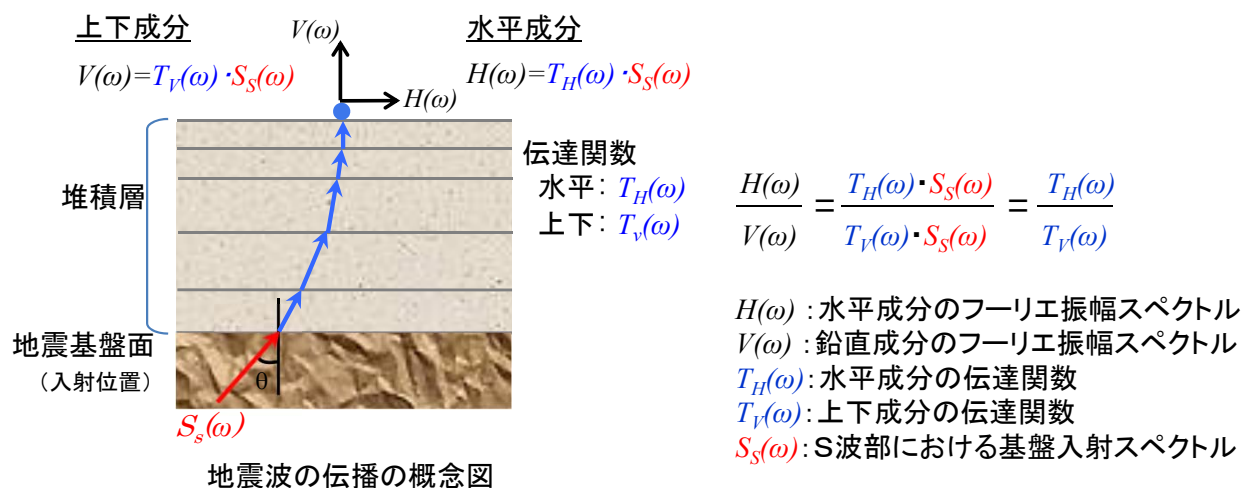


検討フロー

※1：敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の詳細については、P.5-12を参照。

※2：S波部の解析区間は、S波の立上がりの約1秒前から20秒間とした。

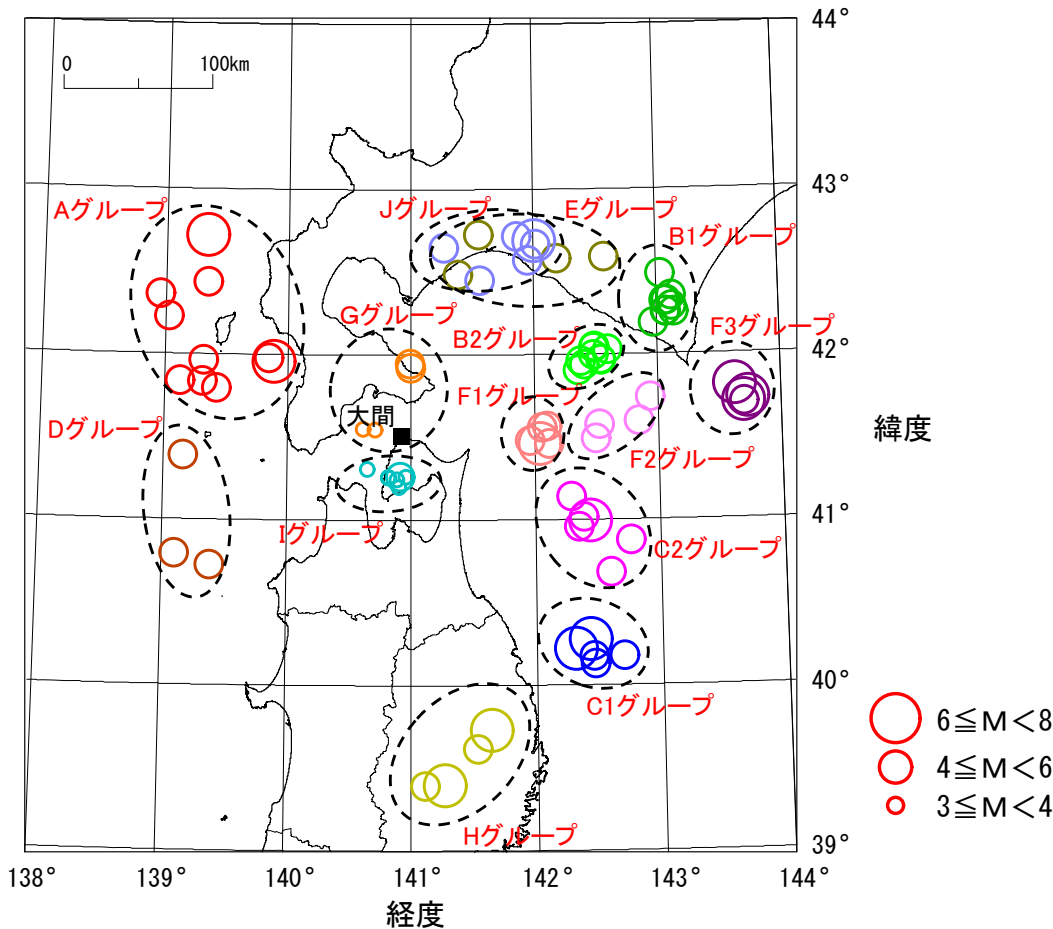
※3：佐藤ほか(2011)の概要は、補足説明資料の「3-2」を参照。





地震波の到来方向別の地震グループの設定 (1/3)

川端ほか(2013)に用いられた地震の諸元



検討に用いた地震の震央分布と地震グループ

(Aグループ)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)	震源距離 (km)	見かけの入射角 (°)
			北緯 (°)	東経 (°)					
1	1993/07/12	23:22	42.437	139.335	40	5.2	166	171	76
2	1993/07/13	00:20	41.967	139.308	11	4.7	143	143	86
3	1993/07/13	01:01	42.723	139.330	29	6.0	188	189	81
4	1993/07/13	03:07	42.230	139.023	39	5.0	176	180	78
5	1993/07/13	08:52	41.840	139.305	28	5.0	139	142	79
6	1993/08/08	04:42	41.958	139.882	24	6.3	99	102	77
7	1993/08/12	10:02	41.980	139.843	15	4.7	103	104	82
8	1993/09/25	09:06	42.365	138.950	29	5.0	188	191	81
9	1993/10/09	14:59	41.798	139.418	22	4.6	128	130	80
10	1994/03/06	19:13	41.840	139.120	22	4.8	154	155	82

(B1グループ)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)	震源距離 (km)	見かけの入射角 (°)
			北緯 (°)	東経 (°)					
1	1991/09/02	12:03	42.290	143.122	67	5.0	203	213	72
2	1992/04/20	05:36	42.257	143.068	67	5.0	197	208	71
3	1993/03/15	12:35	42.257	143.137	64	5.1	202	212	73
4	1994/07/01	14:14	42.255	143.078	67	5.2	198	209	71
5	2003/09/28	07:23	42.191	142.969	51	5.2	187	194	75
6	2003/12/12	10:46	42.485	143.031	59	5.0	206	215	74
7	2004/11/27	07:42	42.326	143.080	51	5.6	201	208	76
8	2008/01/23	04:34	42.322	143.060	50	4.9	200	206	76
9	2010/01/15	03:46	42.353	143.118	51	5.0	205	212	76

- 各地震の諸元は気象庁地震カタログ及び気象庁震源リストに基づく。
- 「見かけの入射角」は、震央距離と震源深さから求めた震源方向の角度を示す。垂直が0°，水平が90°となる。
見かけの入射角 = \tan^{-1} (震央距離 / 震源深さ)

- 川端ほか(2013)では、マグニチュード4以上かつ震源距離250km程度以内の地震を対象に、見かけの入射角の差異が小さく(おおむね30°以内)、また、地震数が3以上となるようにしてA~F3グループの10地震グループ(諸元はP.3-8, P.3-9参照)を用いて検討を実施している。
- 本検討では、川端ほか(2013)に用いられた10地震グループに加え、大間地点の北方及び南方において、マグニチュード3以上かつ震源距離300km程度以内を対象を広げ、G~Jグループの4地震グループ(諸元はP.3-10参照)を追加した。

※ : 検討に用いた地震観測記録は、机上配布資料○の「1.」を参照。



地震波の到来方向別の地震グループの設定 (2/3)

川端ほか(2013)に用いられた地震の諸元

(B2グループ)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)	震源距離 (km)	見かけの 入射角 (°)
			北緯 (°)	東経 (°)					
1	1989/10/22	05:00	41.997	142.477	65	4.2	141	155	65
2	1990/07/30	08:15	41.942	142.402	70	4.8	133	150	62
3	1990/12/25	06:09	41.960	142.373	67	4.9	131	148	63
4	1996/04/15	06:44	42.043	142.478	66	4.9	143	157	65
5	2003/10/07	01:27	41.970	142.539	64	4.5	145	158	66
6	2004/07/04	21:31	42.050	142.485	62	4.9	144	156	67
7	2006/04/26	23:10	42.033	142.593	61	4.6	151	163	68
8	2008/08/09	09:54	41.973	142.537	65	4.5	144	158	66
9	2008/10/04	04:22	41.908	142.349	68	4.0	127	145	62

(C1グループ)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)	震源距離 (km)	見かけの 入射角 (°)
			北緯 (°)	東経 (°)					
1	1989/11/06	17:56	40.177	142.452	39	5.5	197	200	79
2	1990/01/20	11:55	40.130	142.460	33	5.2	201	204	81
3	1994/12/31	22:50	40.180	142.687	24	5.8	210	212	83
4	1995/01/07	07:37	40.223	142.306	48	7.2	185	191	76
5	1995/01/07	11:36	40.280	142.421	38	6.2	187	190	78

(C2グループ)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)	震源距離 (km)	見かけの 入射角 (°)
			北緯 (°)	東経 (°)					
1	1994/07/31	06:21	40.877	142.757	64	5.3	170	182	69
2	2001/08/14	05:11	40.996	142.437	38	6.4	140	145	75
3	2001/08/24	18:48	41.018	142.382	41	5.3	135	141	73
4	2003/04/17	02:59	40.961	142.342	40	5.6	135	140	73
5	2005/02/26	21:37	40.685	142.596	45	5.7	169	174	75
6	2008/08/09	00:53	41.143	142.285	51	5.4	122	132	67

(Dグループ)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)	震源距離 (km)	見かけの 入射角 (°)
			北緯 (°)	東経 (°)					
1	1992/09/11	02:09	40.797	139.102	41	4.0	171	176	77
2	1993/10/25	14:19	41.392	139.157	40	4.6	147	153	75
3	1997/03/06	15:50	40.728	139.380	36	5.1	155	159	77

(Eグループ)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)	震源距離 (km)	見かけの 入射角 (°)
			北緯 (°)	東経 (°)					
1	1993/03/05	15:55	42.730	141.550	142	4.9	145	204	46
2	1994/02/18	20:02	42.593	142.575	107	5.0	183	212	60
3	2009/02/28	09:35	42.584	142.188	113	5.3	159	195	55
4	2009/07/11	00:01	42.488	141.378	134	4.7	115	177	41

(F1グループ)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)	震源距離 (km)	見かけの 入射角 (°)
			北緯 (°)	東経 (°)					
1	1992/07/12	20:08	41.465	142.035	64	6.3	94	114	56
2	1993/12/07	00:37	41.483	141.957	72	5.2	87	113	51
3	2002/04/21	06:30	41.568	142.093	65	4.8	99	118	57
4	2007/05/19	00:59	41.563	142.053	68	5.3	96	117	55
5	2008/04/29	14:26	41.463	142.108	62	5.7	100	118	58

(F2グループ)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)	震源距離 (km)	見かけの 入射角 (°)
			北緯 (°)	東経 (°)					
1	1991/03/03	23:32	41.577	142.523	50	4.8	135	143	70
2	1992/01/11	07:55	41.743	142.933	45	4.9	170	176	75
3	1992/09/05	18:14	41.495	142.490	45	4.7	132	139	71
4	2006/04/09	09:37	41.599	142.839	51	4.6	161	169	73

(F3グループ)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)	震源距離 (km)	見かけの 入射角 (°)
			北緯 (°)	東経 (°)					
1	1993/03/25	16:08	41.703	143.693	60	5.9	233	240	76
2	2003/09/26	06:08	41.710	143.692	21	7.1	233	234	85
3	2007/02/17	09:02	41.732	143.723	40	6.2	235	239	80
4	2009/06/05	12:30	41.812	143.620	31	6.4	228	230	82



地震波の到来方向別の地震グループの設定 (3/3)

追加した4地震グループの諸元

(Gグループ)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)	震源距離 (km)	見かけの 入射角 (°)
			北緯 (°)	東経 (°)					
1	2006/02/24	17:51	41.551	140.705	16	3.6	18	24	49
2	2016/06/16	14:21	41.949	140.987	11	5.3	49	50	78
3	2016/06/21	00:10	41.925	140.995	10	4.2	46	48	78
4	2016/09/25	13:03	41.553	140.608	13	3.7	26	29	63

(Iグループ)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)	震源距離 (km)	見かけの 入射角 (°)
			北緯 (°)	東経 (°)					
1	1990/03/09	20:33	41.250	140.883	13	3.2	29	32	67
2	1993/02/11	03:51	41.263	140.955	13	3.7	28	30	65
3	1994/02/19	11:28	41.203	140.897	12	3.0	34	36	70
4	1994/06/17	04:14	41.313	140.645	13	3.8	31	34	67
5	1998/10/18	01:08	41.266	140.910	12	4.1	27	30	66
6	2004/09/04	11:18	41.262	140.816	14	3.8	29	32	65
7	2004/09/08	20:59	41.261	140.817	12	3.7	29	31	67

(Hグループ)

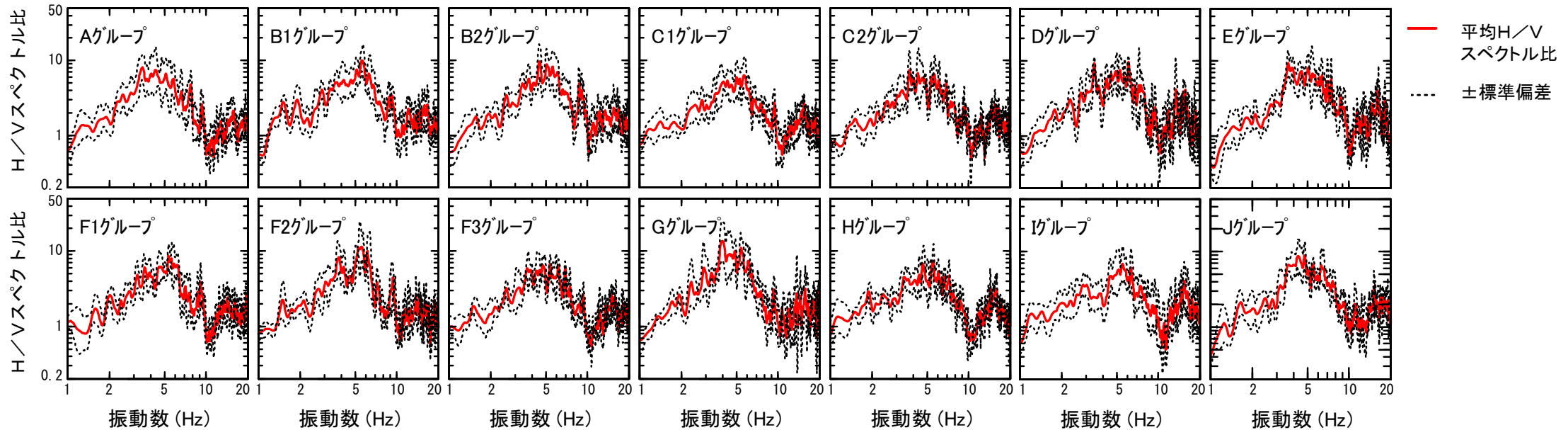
No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)	震源距離 (km)	見かけの 入射角 (°)
			北緯 (°)	東経 (°)					
1	2001/12/02	22:01	39.398	141.263	122	6.4	237	266	63
2	2008/07/24	00:26	39.732	141.635	108	6.8	207	233	62
3	2008/07/24	11:27	39.620	141.522	112	4.8	216	243	63
4	2014/06/15	02:31	39.396	141.108	94	5.5	236	253	68

(Jグループ)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)	震源距離 (km)	見かけの 入射角 (°)
			北緯 (°)	東経 (°)					
1	2009/10/05	09:35	42.454	141.559	20	4.7	117	119	80
2	2014/07/08	18:05	42.650	141.267	3	5.6	130	130	89
3	2018/09/06	03:07	42.690	142.007	37	6.7	159	163	77
4	2018/09/06	03:20	42.572	141.948	36	5.5	146	150	76
5	2018/09/06	06:11	42.670	142.015	38	5.4	158	162	76
6	2018/09/17	02:51	42.717	141.862	28	4.6	155	158	80

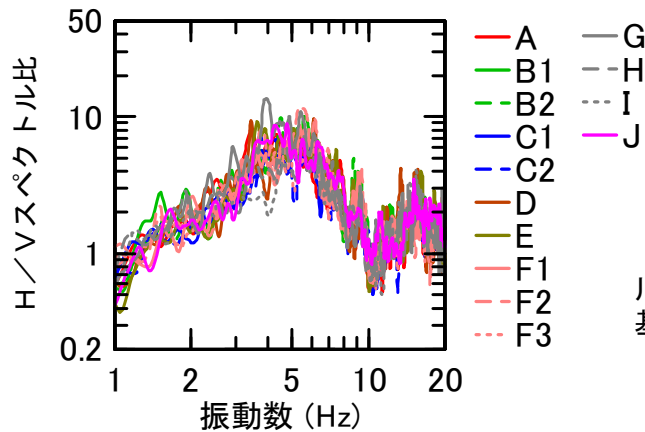


大間地点におけるH/Vスペクトル比のばらつきの評価



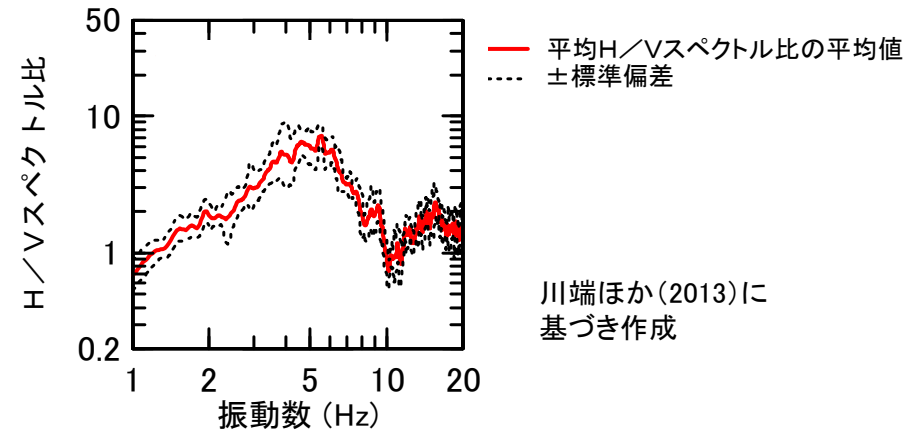
(a) 地震グループごとの平均H/Vスペクトル比と標準偏差

川端ほか(2013)に基づき作成



(b) 平均H/Vスペクトル比の比較

川端ほか(2013)に基づき作成

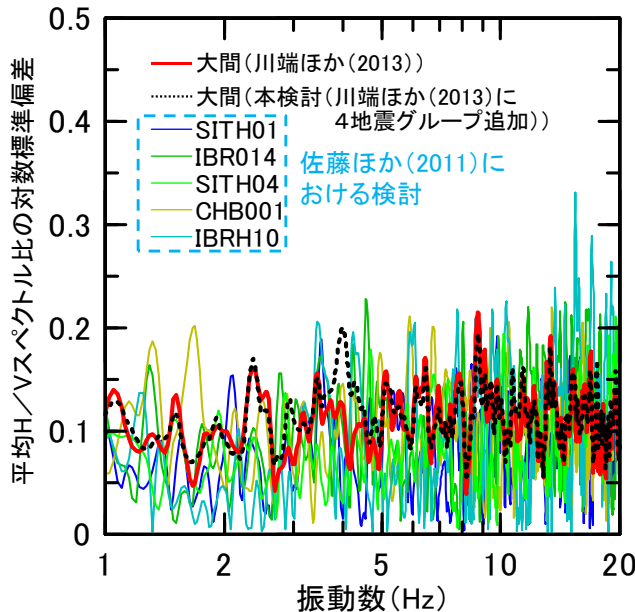


(c) 平均H/Vスペクトル比の平均値と標準偏差

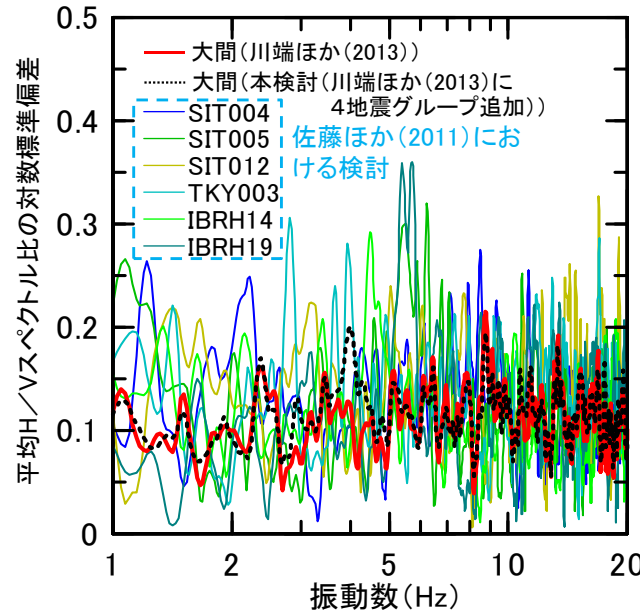
- 図(a)に示すとおり、各地震グループのH/Vスペクトル比のばらつきは小さい。
- 図(b)に示すとおり、各地震グループの平均H/Vスペクトル比の傾向は同様である。
- 図(c)に示す、平均H/Vスペクトル比のばらつきについて、佐藤ほか(2011)による地下構造の不整形性に起因するH/Vスペクトル比のばらつきと比較した結果を次ページに示す。



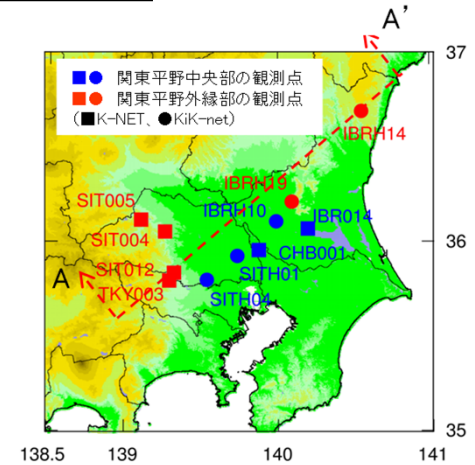
佐藤ほか(2011)との比較による大間地点のH/Vスペクトル比のばらつきの評価



(a) 関東平野中央部の観測点 (■●) との比較
(地下構造の不整形性が小さい観測点)



(b) 関東平野外縁部の観測点 (■●) との比較
(地下構造の不整形性が大きい観測点)



佐藤ほか(2011)の検討に用いられた観測点
(佐藤ほか(2011)に一部加筆・修正)

大間地点と佐藤ほか(2011)における平均H/Vスペクトル比の対数標準偏差の比較
(川端ほか(2013)に基づき作成)

- 佐藤ほか(2011)では、地下構造の不整形性が小さい関東平野中央部の観測点は、不整形性が大きい関東平野外縁部の観測点と比較して、地震波の到来方向による平均H/Vスペクトル比のばらつきが小さいとされている。
- 川端ほか(2013)では、大間地点における平均H/Vスペクトル比のばらつきは、佐藤ほか(2011)による不整形性の小さい関東平野中央部の観測点におけるばらつきと同程度であり、地下深部の不整形性が小さいことが示唆されたとしている。
- 川端ほか(2013)にさらに4地震グループを追加して検討を行った結果においても、川端ほか(2013)による評価と変わらないことを確認した。



- 地震波の到来方向によるH/Vスペクトル比のばらつきは小さいことから、敷地の地下構造に地震動に影響を及ぼすような不整形はないと考えられる。

3.2.2 基準化スペクトルに基づく検討 (1/14)

検討の目的

重要な安全機能を有する施設の配置エリアの、地表に設置した23箇所の地震計で得られた観測記録を用いて、地震基盤より浅部の地下構造に、地震動に影響を及ぼすような不整形はないことを確認するため、S波部を対象として、地震波の到来方向による基準観測点に対する各観測点のフーリエ振幅スペクトル比の変動が小さいことを確認する。

検討方法

■ 地震波の到来方向による基準化スペクトルの変動の評価 [Sawada et al.(2016)⁵⁾]

- Sawada et al.(2016)においては、地震観測記録には、震源特性、地震基盤までの伝播経路特性、地震基盤よりも上層の地盤増幅特性が反映されており、これらのうち、震源特性と伝播経路特性は、地震観測点と震源位置との関係からほとんど共通していると考えられるとされている。
- 敷地内の地表に設置した各観測点について、基準観測点とのS波部のフーリエ振幅スペクトル比(以下「基準化スペクトル」という。)について、下式のとおり定義した上で、到来方向による変動が評価されている。

$$\text{基準化スペクトル} = \frac{\text{各観測点のフーリエ振幅スペクトル}}{\text{基準観測点のフーリエ振幅スペクトル}}$$

- 基準観測点は、表層の影響を受けにくい岩盤上にあるNo.15観測点とされている。
- 基準化スペクトルから計算される、地震ごとのスペクトル密度比について、下式のとおり定義した上で、到来方向による変動も評価されている。

$$\text{スペクトル密度比} = \frac{\text{各地震の基準化スペクトルの面積}}{\text{全地震の平均基準化スペクトルの面積}}$$

(スペクトル密度比は、Radial成分、Transverse成分の平均値で評価)

- 観測記録の解析区間は、S波部を対象とされている。
〔各観測記録のS波部の継続時間に応じて、各々S波到達以降5.12秒、10.24秒及び20.48秒とされている。〕

(補足1) S波の初動部に着目した検討

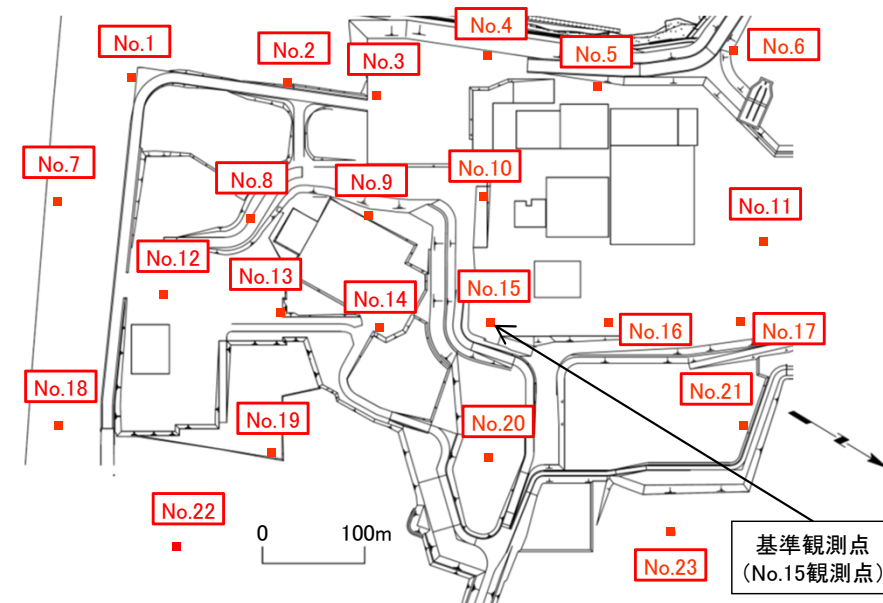
- 解放基盤表面より浅部の地下構造による地震波の散乱や反射の影響を極力排除し、S波の初動部による影響を把握するため、すべての観測記録の解析区間を、解放基盤表面より浅部の地下構造の固有周期に対応する地震波が2波入る程度の5.12秒とした場合についても評価する。

(補足2) 基盤位置における基準化スペクトルの評価

- $V_s \geq 700\text{m/s}$ となる基盤位置でははざと波の平均基準化スペクトルを評価し、観測点による傾向の違いについて考察する。

(補足3) 南側の観測点において高振動数側が持ち上がる要因の分析

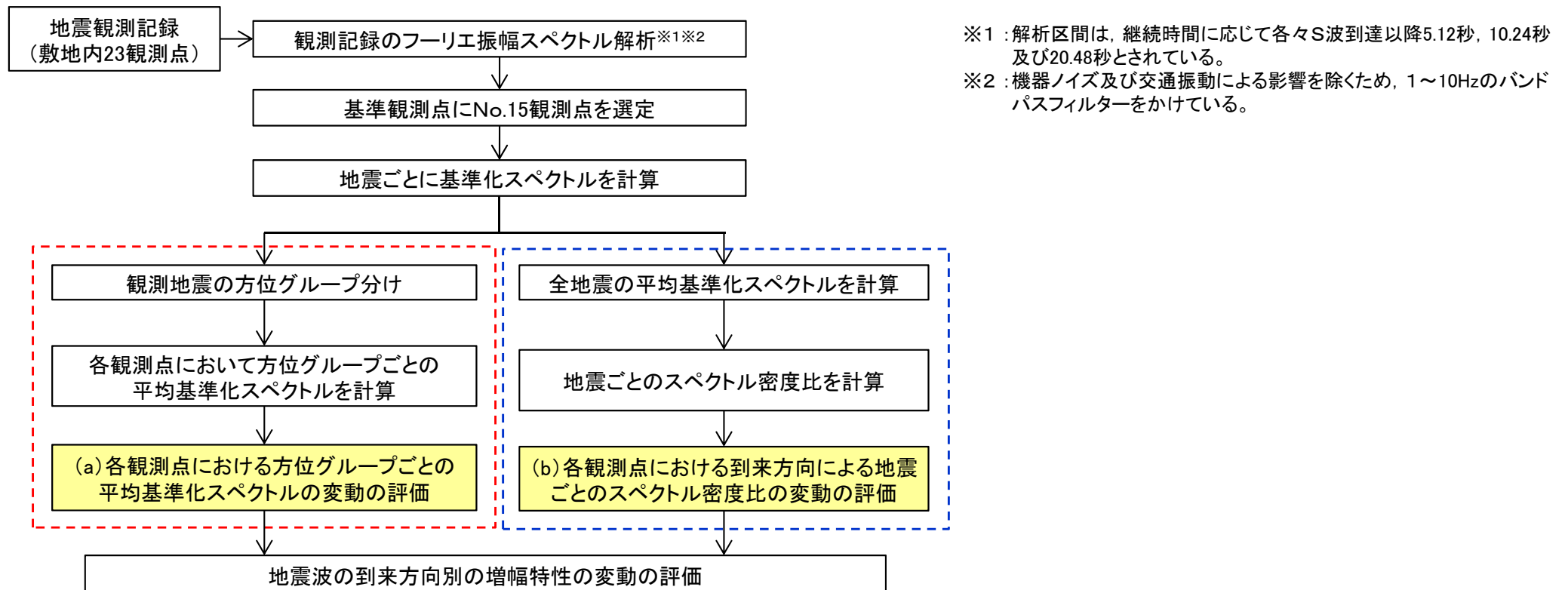
- 地盤との関連性を整理するとともに、表土の卓越振動数との対応について確認する。



検討に用いた地表の地震観測点の配置

地震波の到来方向による基準化スペクトルの変動の評価(1/2) 検討フロー [Sawada et al.(2016)]

- Sawada et al.(2016)においては、敷地内の地表の23観測点において得られた観測記録のS波部を対象に、フーリエ振幅スペクトル解析を行い、基準観測点とのフーリエ振幅スペクトル比(基準化スペクトル)を計算した上で、(a)各観測点における方位グループごとの平均基準化スペクトルの変動の評価及び(b)各観測点における到来方向による地震ごとのスペクトル密度比の変動の評価を行っている。



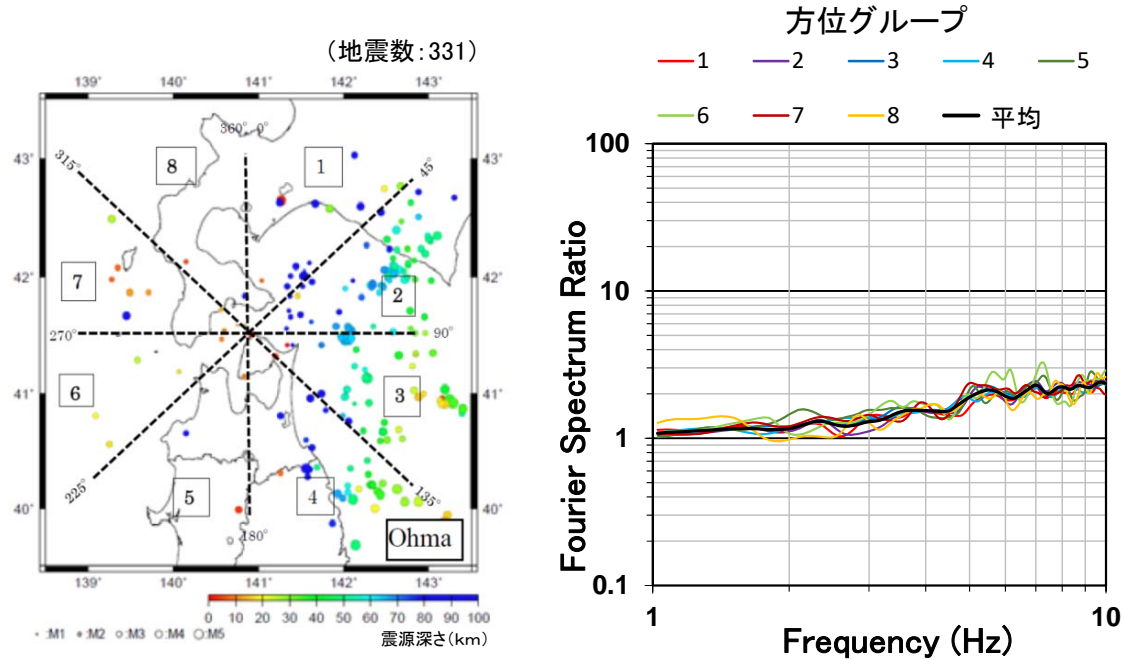
(Sawada et al.(2016)の内容を踏まえ作成)

検討フロー



地震波の到来方向による基準化スペクトルの変動の評価(2/2) 検討結果 [Sawada et al.(2016)]

(a) No.5観測点における方位グループごとの平均基準化スペクトルの変動の評価



観測地震の震央分布及び方位グループ分け

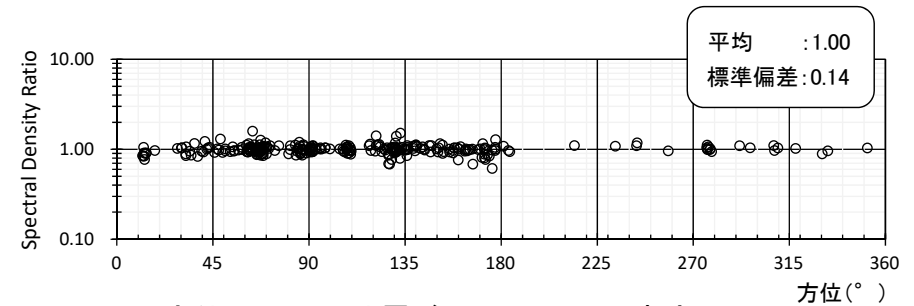
(観測期間:2013年11月7日~2015年11月28日)

方位グループごとの平均基準化スペクトル※1 (P.3-13に示すNo.5観測点における評価※2)

Sawada et al.(2016)に一部加筆・修正

Sawada et al.(2016)において、方位グループごとの平均基準化スペクトルは各振動数で変動が小さいとされている。

(b) No.5観測点における地震ごとのスペクトル密度比の変動の評価



方位別にみた地震ごとのスペクトル密度比※1 (P.3-13に示すNo.5観測点における評価※2)

凡例 ○ :Radial成分とTransverse成分の平均
Sawada et al.(2016)に一部加筆・修正

Sawada et al.(2016)において、各地震のスペクトル密度比の変動は方位によらず小さいとされている。

※1 :解析区間は、各観測記録のS波部の継続時間に応じて、各々S波到達以降5.12秒、10.24秒及び20.48秒とされている。

※2 :すべての観測点の評価結果は、補足説明資料の「3-3」を参照。

各観測点において、地震波の到来方向による方位グループごとの平均基準化スペクトル及び各地震ごとのスペクトル密度比のばらつきは小さい。

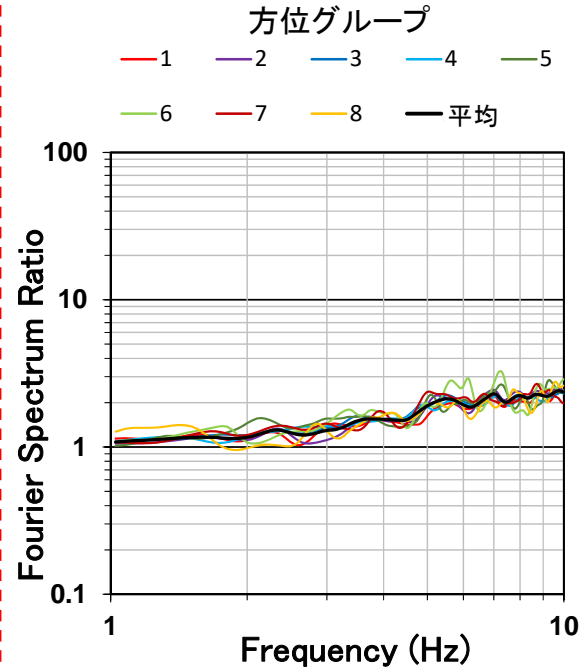


各観測点において、地震基盤より浅部の地下構造に、地震動のS波部に影響を及ぼすような不整形はないと考えられる。

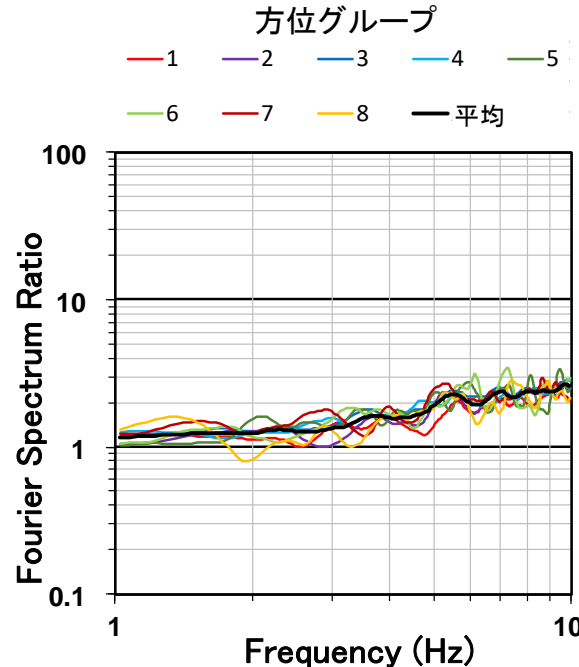


(補足1) S波の初動部に着目した検討

方位グループごとの平均基準化スペクトル
(P.3-13に示すNo.5観測点における評価※)

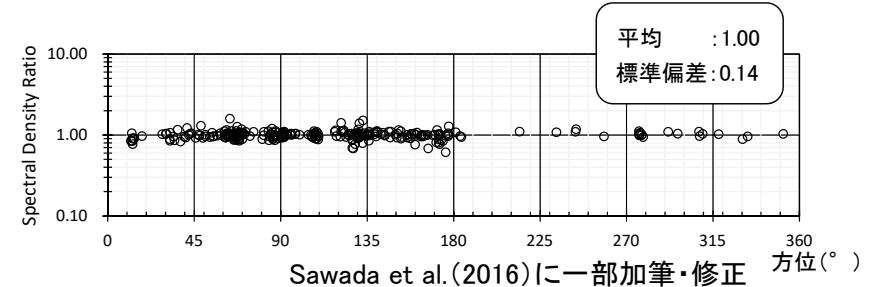


解析区間を各観測記録のS波部の継続時間に応じて各々S波到達以降5.12秒、10.24秒及び20.48秒とした場合

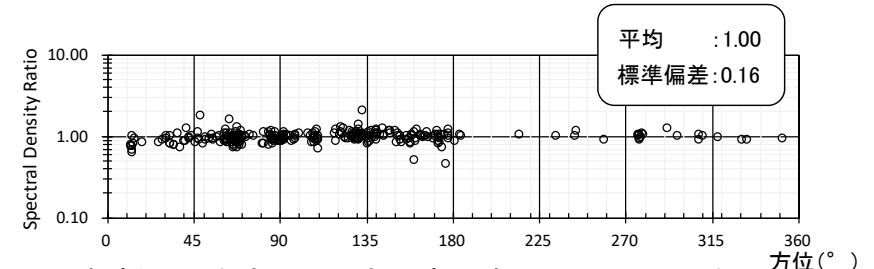


解析区間をすべてS波到達以降5.12秒とした場合

方位別にみた地震ごとのスペクトル密度比
(P.3-13に示すNo.5観測点における評価※)



Sawada et al.(2016)に一部加筆・修正
解析区間を各観測記録のS波部の継続時間に応じて各々S波到達以降5.12秒、10.24秒及び20.48秒とした場合



凡例 ○ : Radial成分とTransverse成分の平均
※ : すべての観測点の評価結果は、補足説明資料の「3-3」を参照。

Sawada et al.(2016)における検討では、解析区間を各観測記録のS波部の継続時間に応じて、各々S波到達以降5.12秒、10.24秒及び20.48秒とされているが、浅部の地下構造による地震波の散乱や反射の影響を極力排除し、S波の初動部による影響を把握するため、すべての観測記録の解析区間を解放基盤表面より浅部の地下構造の固有周期に対応する地震波が2波入る程度の5.12秒とした場合について評価した。



解析区間をすべて5.12秒とした場合でも、地震波の到来方向による方位グループごとの平均基準化スペクトル及び各地震のスペクトル密度比のばらつきが小さいことから、散乱や反射等の影響は小さく、地下構造には地震動に影響を及ぼすような不整形はないと考えられる。

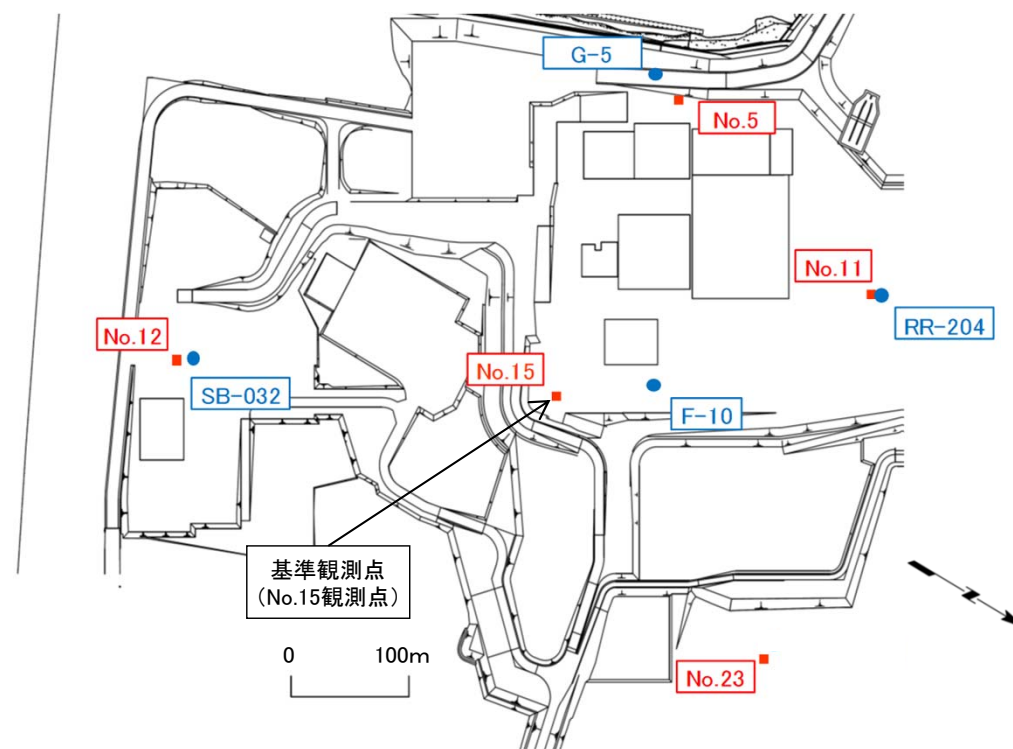
(補足2) 基盤位置における基準化スペクトルの評価(1/5)

補足説明資料3-3(P.3-6)に示すとおり、P.3-13に示す各観測点における平均基準化スペクトルにおいて、到来方向による変動は小さいものの、観測点間で高振動数側の傾向に違いが見られ、この傾向の相違は浅い地盤の影響によるものと考えられることから、大間層中で $V_s \geq 700\text{m/s}$ となる基盤位置(以下「基盤位置」という。)ではざとり波の平均基準化スペクトルを評価する。

検討方法

1. 検討対象とする観測点は、観測点付近において、PS検層等の地下構造に関する情報が得られている地点で、地表の記録による平均基準化スペクトルの高振動数側の傾向が異なる地点として、右図に示す観測点No.5, 11, 12及び23を選定する。
2. 選定した観測点の地下構造モデルは、観測点近傍のPS検層結果、及びP.5-19に示す鉛直アレイ地震観測地点における浅部地下構造モデルの各層のQ値を参照して作成する。観測点No.23の地下構造モデルは、P.5-19に示す鉛直アレイ地震観測地点における浅部地下構造モデルとする。
3. 作成した地下構造モデルを用いて、地表の記録から基盤位置でのざとり波を算定した上で、平均基準化スペクトルを計算し、観測点による傾向の違いについて考察する。

また、観測点No.23(鉛直アレイ地震観測地点)については、最深の地震計の設置位置(T.P.-207.5m)においても、平均基準化スペクトルを計算する。



凡例

- : 検討対象とした地表の地震観測点
- : PS検層を行ったボーリング孔

検討対象とした観測点とPS検層の位置

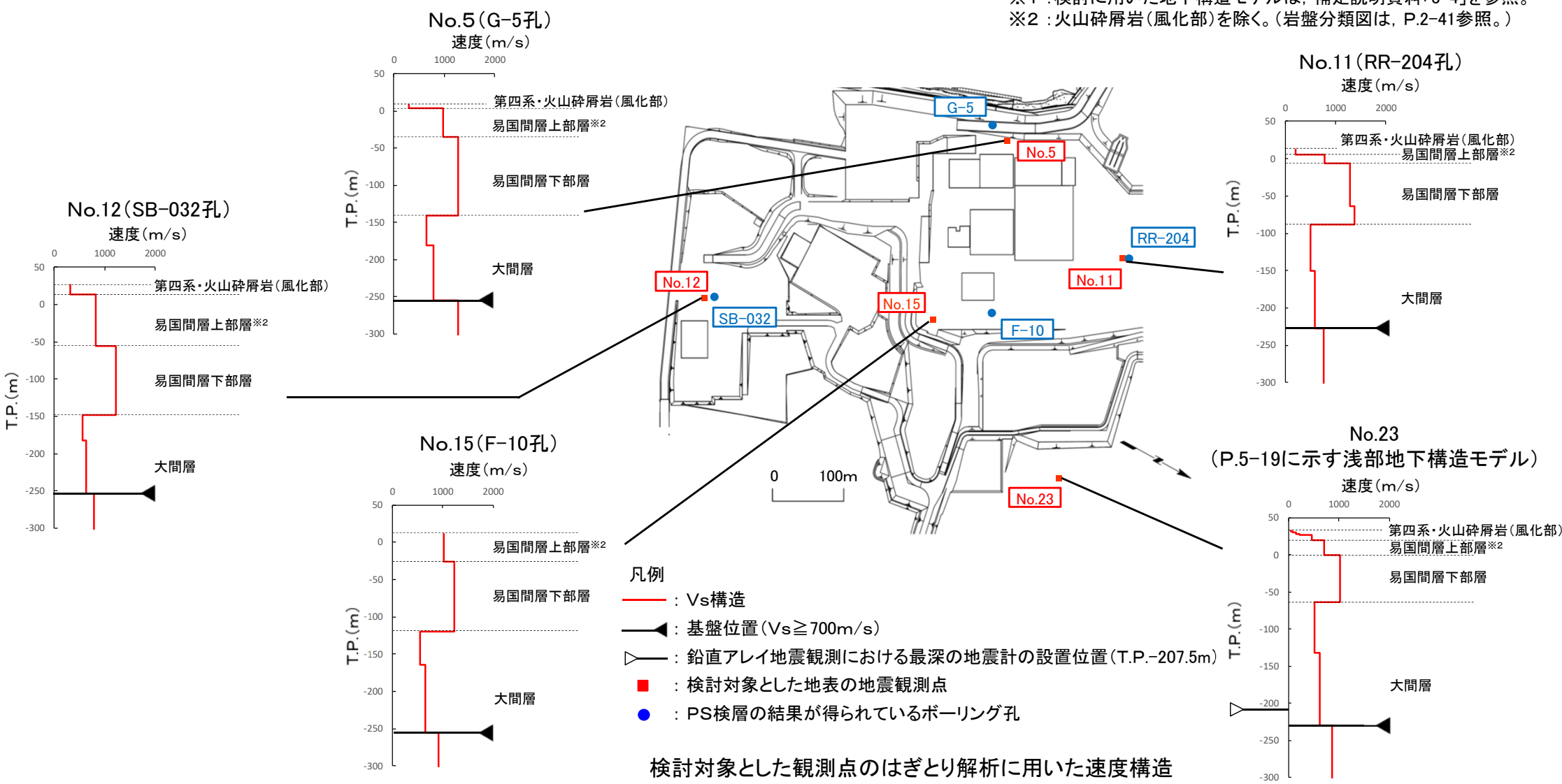


(補足2) 基盤位置における基準化スペクトルの評価(2/5)

検討対象とした観測点のはぎとり解析に用いた速度構造

- No.5, 11, 12, 15観測点の速度構造は、観測点近傍のPS検層結果に基づき設定した。*1
- 鉛直アレイ地震観測地点にあるNo.23観測点の速度構造は、P.5-19に示すはぎとり解析に用いる浅部地下構造モデルに基づき設定した。

*1 : 検討に用いた地下構造モデルは、補足説明資料「3-4」を参照。
*2 : 火山砕屑岩(風化部)を除く。(岩盤分類図は、P.2-41参照。)



検討対象とした観測点のはぎとり解析に用いた速度構造

(補足2) 基盤位置における基準化スペクトルの評価(3/5)

コメントNo.S3-15

基盤位置における基準化スペクトル

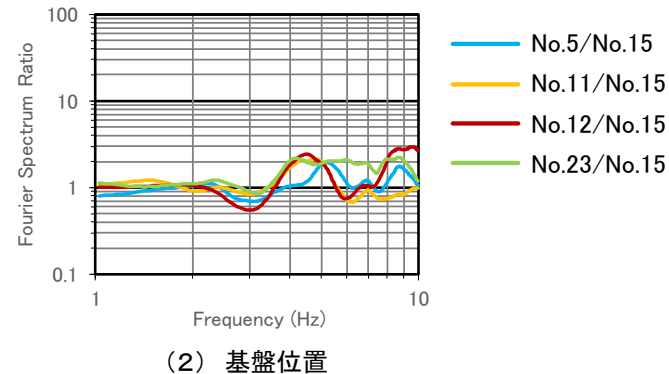
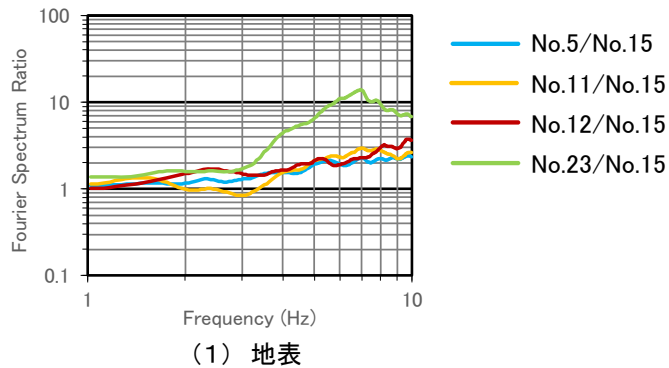


図1 平均基準化スペクトルの比較

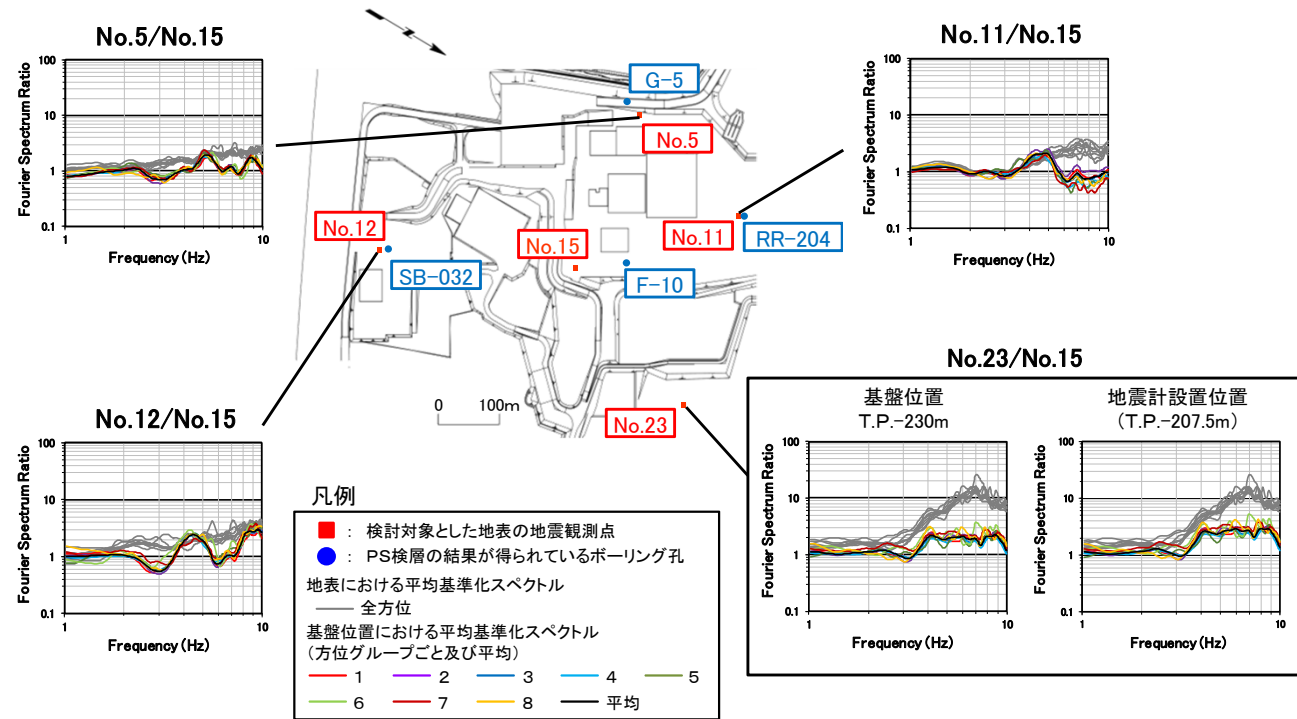


図2 基盤位置 ($V_s \geq 700\text{m/s}$)^{※1}における基準化スペクトル

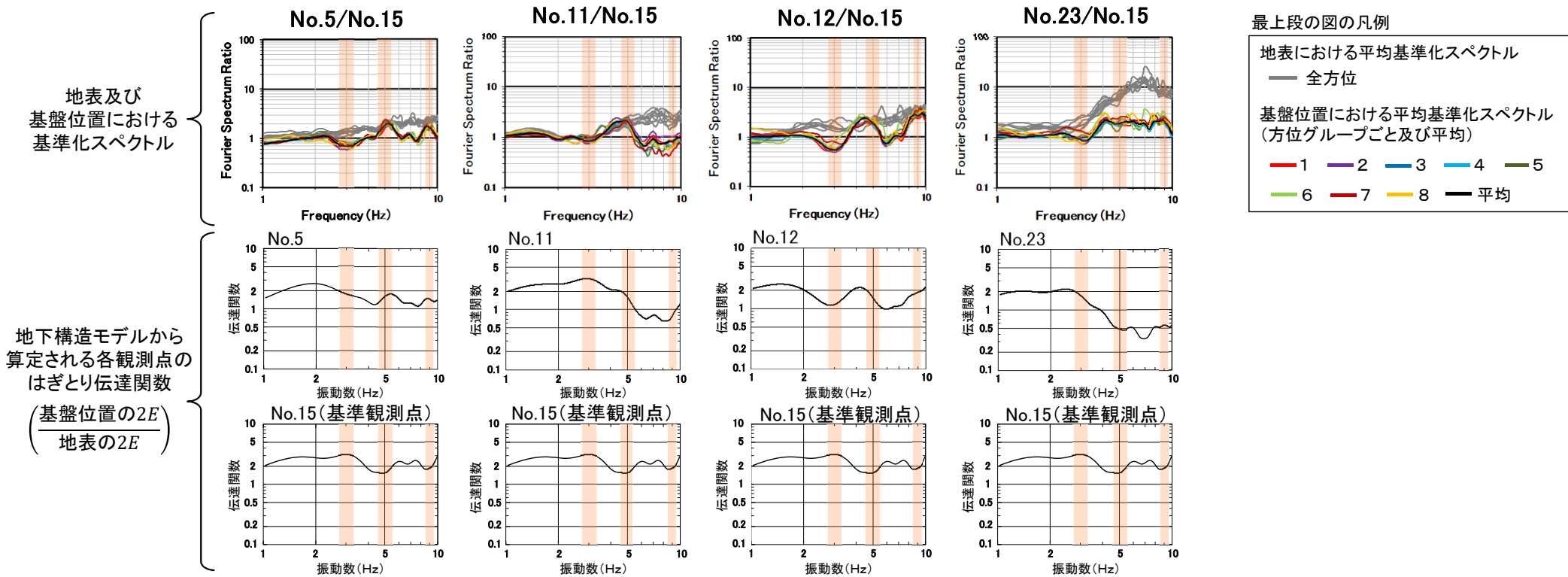
※1 : 鉛直アレイ地震観測地点にあるNo.23観測点は、最深の地震計設置位置(T.P.-207.5m)における評価結果を合わせて示す。

- 地表における地震波の到来方向による基準化スペクトルの変動の評価結果と同様に、基盤位置においても地震波の到来方向の違いによる変動は小さい。(図2参照)
- 地表における平均基準化スペクトルには、No.23観測点のように、高振動数側で振幅比が10以上となる観測点が見られるものの、基盤位置においては、いずれの観測点においても高振動数側の振幅比が2程度以下(平均的には1程度)に小さくなっている。(図1参照)
- なお、3Hz付近が谷に、5Hz及び9Hz付近が山になる傾向が見られることから、この要因について次ページにおいて考察する。
- No.23観測点の基準化スペクトルについて、最深の地震計設置位置(T.P.-207.5m)での評価結果は、 $V_s \geq 700\text{m/s}$ となる基盤位置(T.P.-230m)における評価とほぼ同様の傾向となっている。(図2参照)

(補足2) 基盤位置における基準化スペクトルの評価(4/5)

コメントNo.S3-13

基準化スペクトルの山谷の要因



基準化スペクトルと各観測点のはぎとり伝達関数の関係
(は山谷の見られる位置)

- 検討対象観測点ごとに、基準化スペクトルと地下構造モデルから算定されるはぎとり伝達関数を比較した。
- 基盤位置における基準化スペクトルに見られる3Hz付近の谷, 5Hz及び9Hz付近の山は、主にNo.15基準観測点のはぎとり伝達関数による影響が強調されているものと考えられる。

3.2.2 基準化スペクトルに基づく検討 (9/14)



(補足2) 基盤位置における基準化スペクトルの評価(5/5)

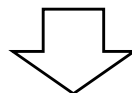
まとめ

■ 基盤位置における基準化スペクトル

- 地表における地震波の到来方向による基準化スペクトルの変動の評価結果と同様に、基盤位置においても地震波の到来方向の違いによる変動は小さい。
- 地表における平均基準化スペクトルには、No.23観測点のように、高振動数側で振幅比が10以上となる観測点が見られるものの、基盤位置においては、いずれの観測点においても高振動数側の振幅比が2程度以下(平均的には1程度)に小さくなっている。

■ 基準化スペクトルの山谷の要因

- 基盤位置における基準化スペクトルに見られる3Hz付近の谷、5Hz及び9Hz付近の山は、主にNo.15基準観測点のはざとり伝達関数による影響が強調されているものと考えられる。



検討対象観測点の基盤位置における基準化スペクトルは、いずれの観測点においても振幅比が平均的には1程度と同様であること、地震波の到来方向の違いによる変動が小さいことから、敷地の地下構造には地震動に影響を及ぼすような不整形はないと考えられる。

(補足3) 南側の観測点において高振動数側が持ち上がる要因の分析(1/5)

- 補足説明資料3-3(P.3-6)に示す各観測点の基準化スペクトルについて、南側の観測点(No.1, No.7, No.8, No.9, No.13, No.18)において、高振動数側が持ち上がる傾向が見られることから、その要因について検討する。

検討内容

1. 地盤との関連性の整理

基準化スペクトルの高振動数側が持ち上がる傾向が、表土(第四系または盛土)の層厚が比較的厚い南側の観測点で認められることから、表土の層厚及び地盤造成状況との関連性について整理する。

2. 表土の卓越振動数との対応の確認

南側の各観測点において、表土(第四系または盛土)の卓越振動数付近の帯域と、基準化スペクトルが持ち上がる傾向の見られる振動数帯との対応について確認する。

3. まとめ

1. 及び2. の検討結果を踏まえ、南側の観測点において、基準化スペクトルの高振動数側が持ち上がる傾向が見られることの要因について考察する。

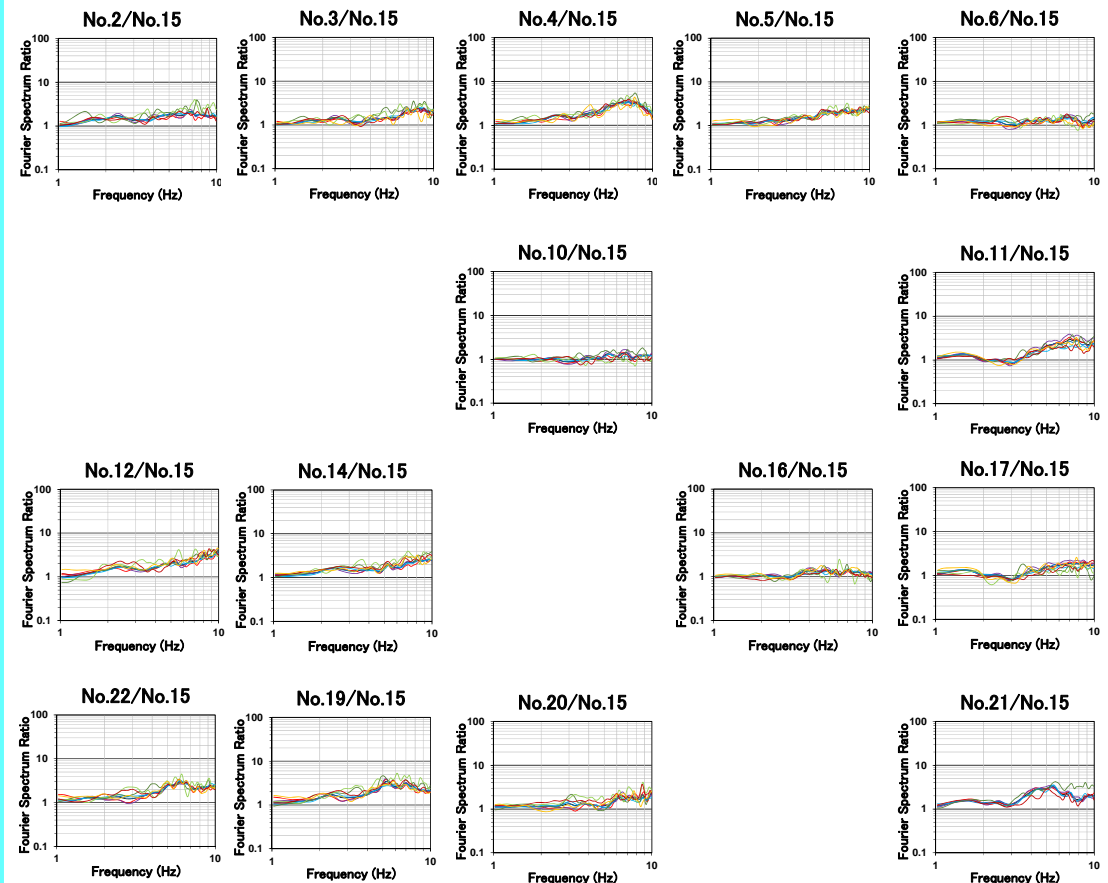
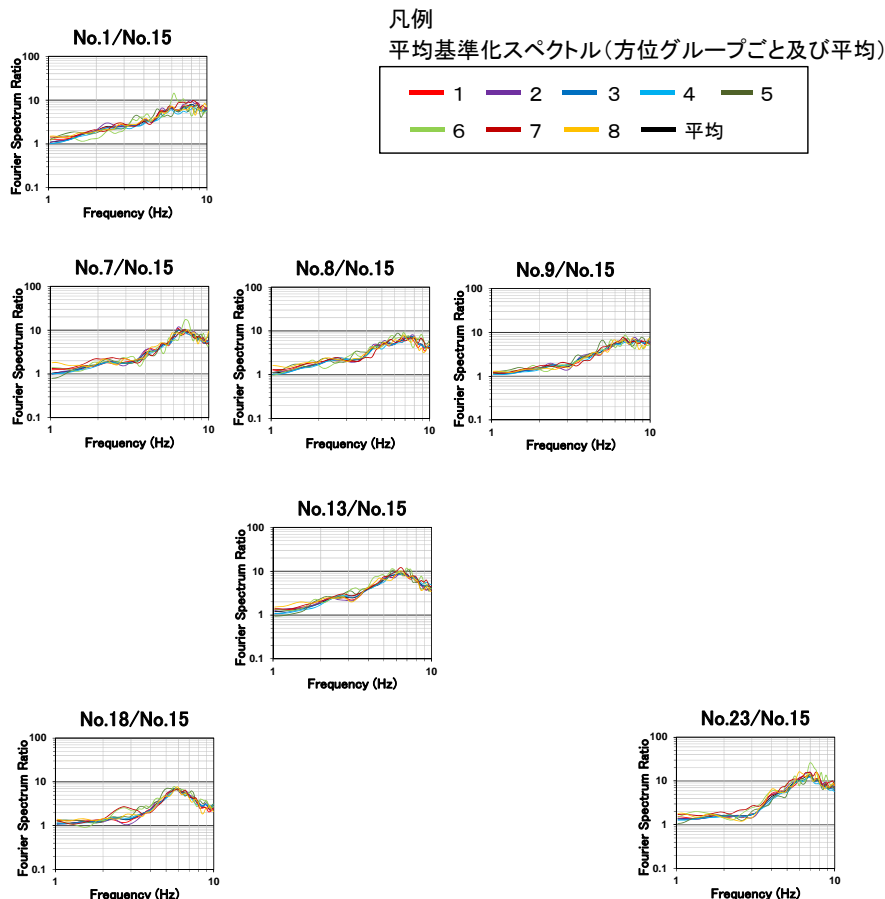
(補足3) 南側の観測点において高振動数側が持ち上がる要因の分析(2/5)

1. 地盤との関連性の整理 (1/2)

- 補足説明資料3-3(P.3-6)に示す各観測点の基準化スペクトルのうち、南側の観測点(No.1, 7, 8, 9, 13, 18)において、基準化スペクトルの高振動数側が持ち上がる傾向が見られることについて、表土(第四系または盛土)の層厚及び地盤造成状況との関連性について整理した。

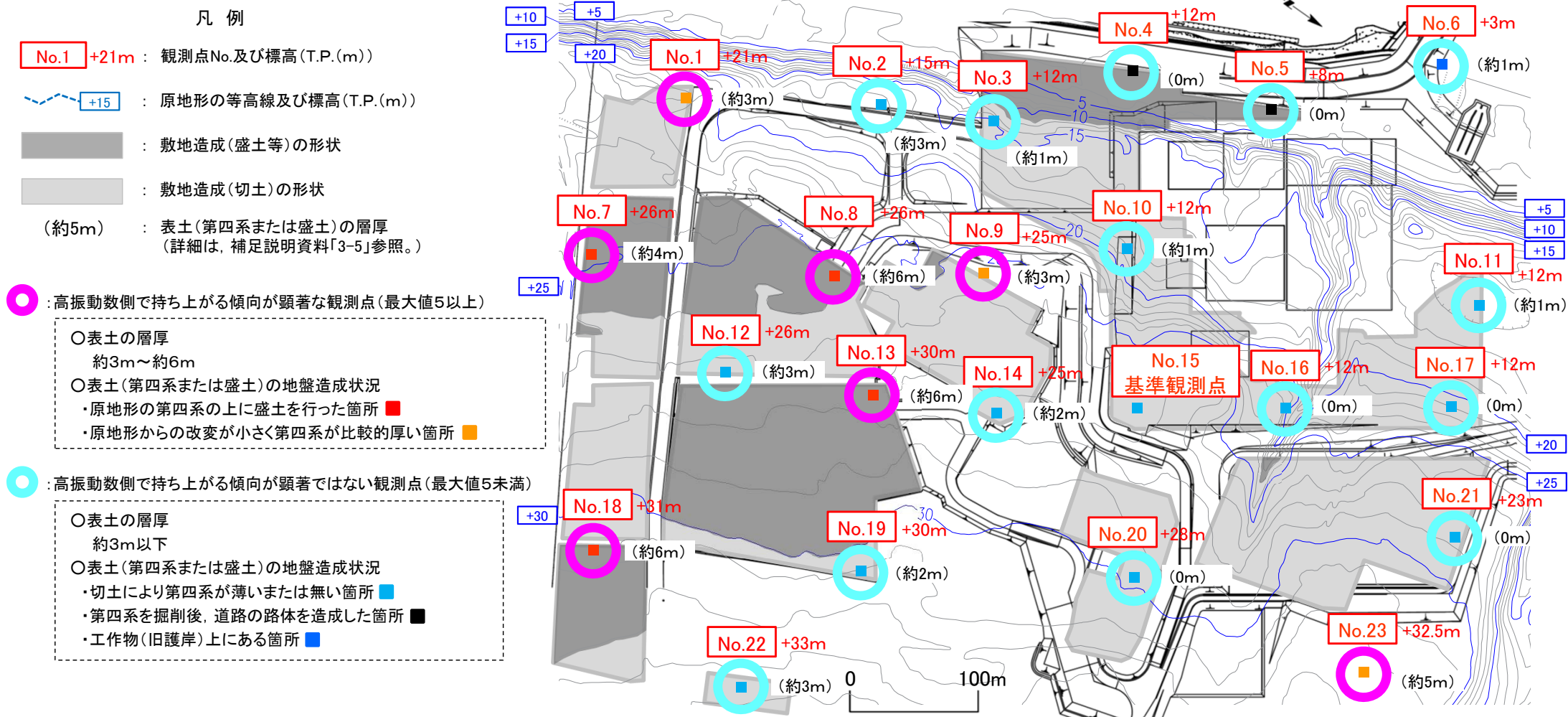
高振動数側で持ち上がる傾向が顕著な観測点(最大値5以上)

高振動数側で持ち上がる傾向が顕著ではない観測点(最大値5未満)



(補足3) 南側の観測点において高振動数側が持ち上がる要因の分析(3/5)

1. 地盤との関連性の整理 (2/2)



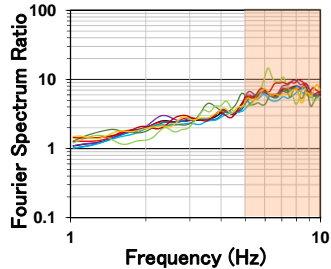
- 高振動数側で持ち上がる傾向が顕著な観測点(○)は、表土(第四系または盛土)の厚さが約3m~約6mあり、原地形の第四系の上に盛土を行った箇所もしくは原地形からの改変が小さく第四系が比較的厚い箇所である。
- 高振動数側で持ち上がる傾向が顕著ではない観測点(○)は、表土(第四系または盛土)の厚さが、切土等により約3m以下しかない箇所である。
- 以上のとおり、基準化スペクトルの高振動数側が持ち上がる傾向は、表土(第四系または盛土)の厚さとの関連性が認められることから、次ページにおいて、表土の卓越振動数付近の帯域と基準化スペクトルが持ち上がる傾向の見られる振動数帯との対応について確認する。



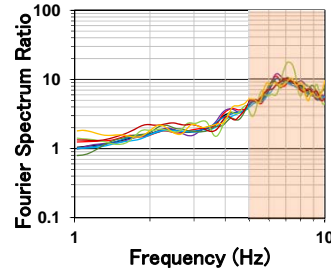
(補足3) 南側の観測点において高振動数側が持ち上がる要因の分析(4/5)

2. 表土の卓越振動数との対応の確認

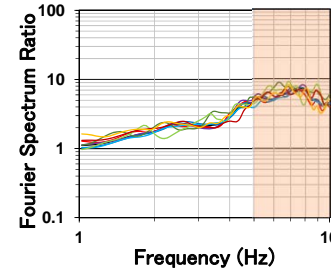
No.1/No.15



No.7/No.15



No.8/No.15



凡例

平均基準化スペクトル(方位グループごと及び平均)



表土の卓越振動数付近の帯域(5~10Hz)^{※1}

※1 : 表土の層厚^{※2}(H)及び速度(V_s)から算定
 H: 約3m~約6m
 (補足説明資料「3-5」参照)
 V_s : 約100m/s~約130m/s
 (第四系(ローム層)の不覚乱試料による室内試験結果に基づく値)

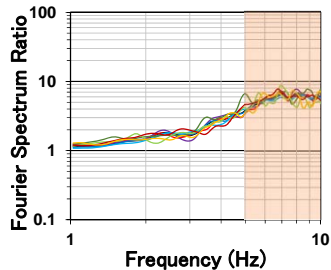
※2 : 表土の下面標高及び層厚の詳細は、補足説明資料「3-5」参照。

表土の地盤造成状況	原地形からの変化が小さく第四系が比較的厚い箇所
地盤標高 (T.P.)	+21m
表土の下面標高 (T.P.)	約+18m
表土の層厚	約 3m

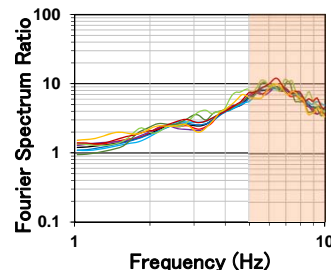
表土の地盤造成状況	原地形の第四系の上に盛土を行った箇所
地盤標高 (T.P.)	+26m
表土の下面標高 (T.P.)	約+22m
表土の層厚	約 4m

表土の地盤造成状況	原地形の第四系の上に盛土を行った箇所
地盤標高 (T.P.)	+26m
表土の下面標高 (T.P.)	約+20m
表土の層厚	約 6m

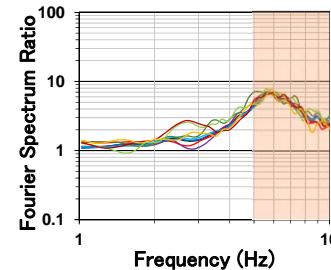
No.9/No.15



No.13/No.15



No.18/No.15



表土の地盤造成状況	原地形からの変化が小さく第四系が比較的厚い箇所
地盤標高 (T.P.)	+25m
表土の下面標高 (T.P.)	約+22m
表土の層厚	約 3m

表土の地盤造成状況	原地形の第四系の上に盛土を行った箇所
地盤標高 (T.P.)	+30m
表土の下面標高 (T.P.)	約+24m
表土の層厚	約 6m

表土の地盤造成状況	原地形の第四系の上に盛土を行った箇所
地盤標高 (T.P.)	+31m
表土の下面標高 (T.P.)	約+25m
表土の層厚	約 6m

表土の卓越振動数付近の帯域と基準化スペクトルが持ち上がる傾向の見られる振動数帯との関係

- 厚さ3m~6m程度の表土(第四系または盛土)の卓越振動数付近の帯域は、基準化スペクトルの高振動数側が持ち上がる傾向の見られる振動数帯に対応している。

(補足3) 南側の観測点において高振動数側が持ち上がる要因の分析(5/5)

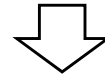
3. まとめ

1. 地盤との関連性の整理

- 高振動数側で持ち上がる傾向が顕著な観測点は、表土(第四系または盛土)の厚さが約3m～約6mあり、原地形の第四系の上に盛土を行った箇所もしくは原地形からの改変が小さく第四系が比較的厚い箇所である。

2. 表土の卓越振動数との対応の確認

- 厚さ3m～6m程度の表土(第四系または盛土)の卓越振動数付近の帯域は、基準化スペクトルの高振動数側が持ち上がる傾向の見られる振動数帯に対応している。



南側の観測点において、基準化スペクトルの高振動数側が持ち上がる傾向が見られるのは、表土(第四系または盛土)による影響と考えられる。



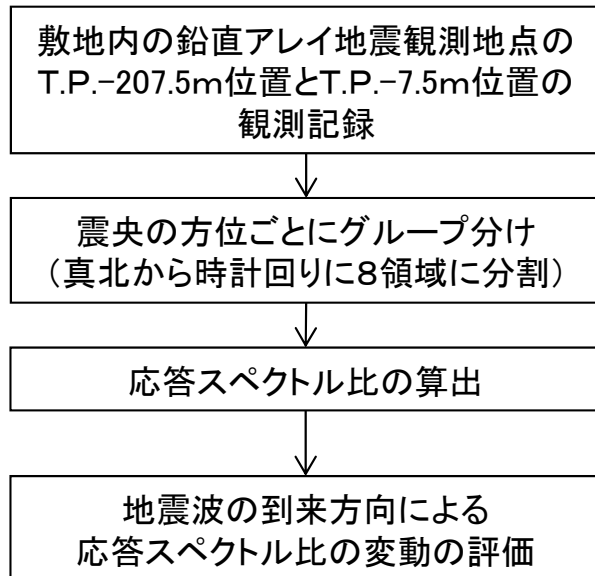
3.2.3 異なる深度の応答スペクトル比に基づく検討 (1/12)

検討の目的

敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の最も深い地震計の位置(T.P.-207.5m)より浅部の地盤について、地震動に影響を及ぼすような不整形はないことを確認するために、鉛直アレイ地震観測地点の異なる深度(T.P.-207.5m, T.P.-7.5m)の観測記録を用いて、地震波の到来方向による応答スペクトル比による変動を評価する。

検討方法

敷地内の鉛直アレイ地震観測地点において、1989年8月から2018年9月までに得られた地震観測記録のうち、マグニチュード3以上かつ震央距離300km以内の276地震の記録を対象に、最深部(T.P.-207.5m)と原子炉建屋の支持地盤に近い位置(T.P.-7.5m)の記録の加速度応答スペクトル比※1を求め、地震波の到来方向による変動を評価する。



検討フロー

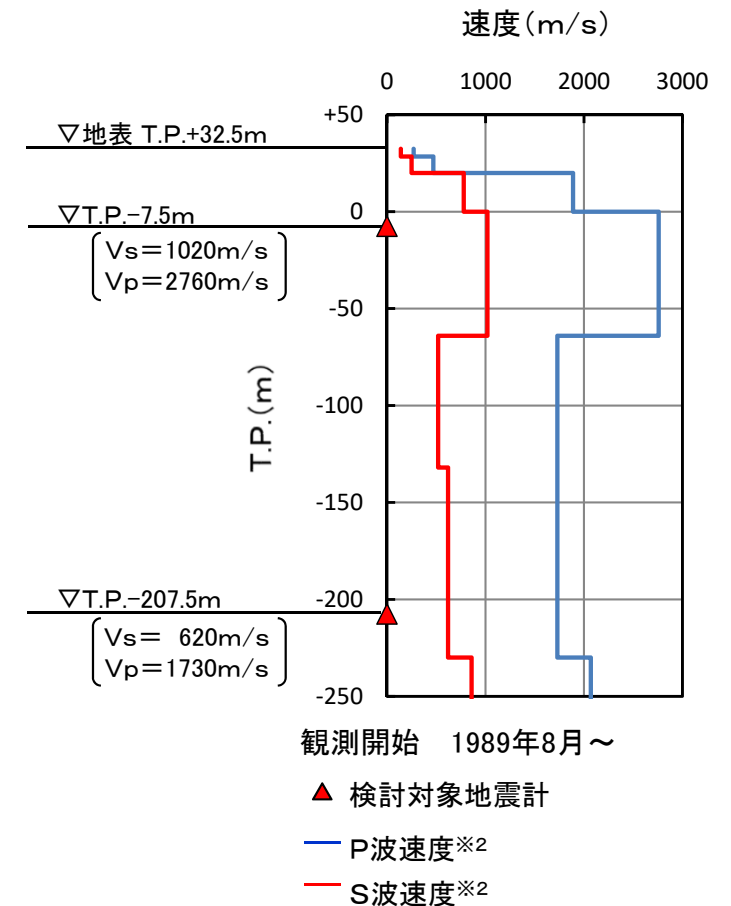
※1 : 応答スペクトル比の評価式

$$R(T) = \frac{S(T.P.-7.5m)(T)}{S(T.P.-207.5m)(T)}$$

- R(T) : 応答スペクトル比
- S(T.P.-7.5m)(T) : 敷地内の鉛直アレイ地震観測点(T.P.-7.5m)の加速度応答スペクトル
- S(T.P.-207.5m)(T) : 敷地内の鉛直アレイ地震観測点(T.P.-207.5m)の加速度応答スペクトル

※2 : SB-042孔におけるPS検層結果

※3 : 敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の詳細についてはP.5-12を参照

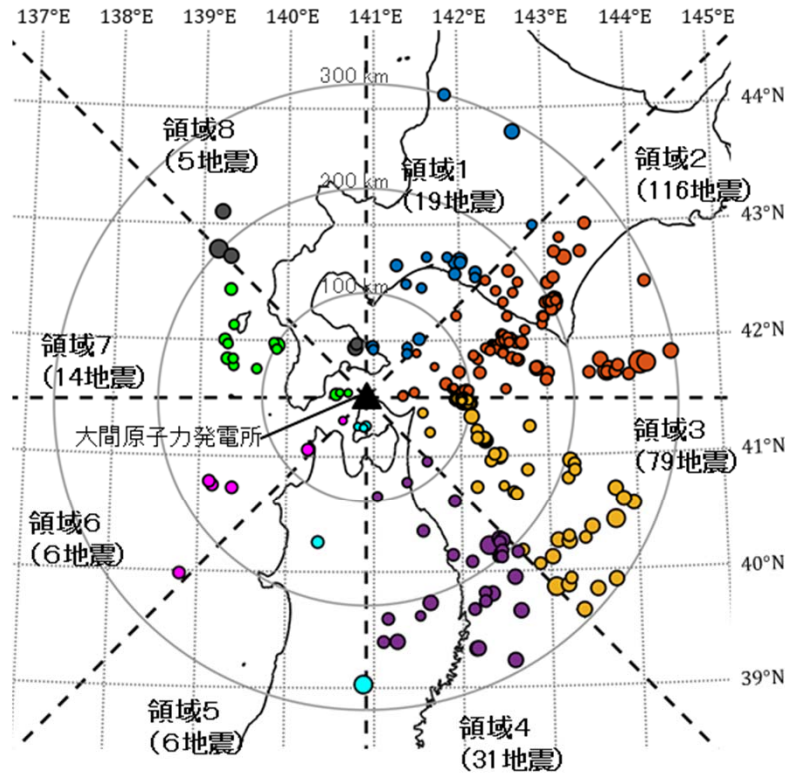


敷地内の鉛直アレイ地震観測地点※3における速度構造と地震計の設置位置



検討に用いた地震 (1/6)

- 検討には下記条件を満たす地震の観測記録を用いた。
 - 鉛直アレイ地震観測地点を基準としてマグニチュード3以上かつ震央距離300km以内の地震
 - 十分なS/N比を有する観測記録



- 凡例
- $7 \leq M$
 - $6 \leq M < 7$
 - $5 \leq M < 6$
 - $4 \leq M < 5$
 - $3 \leq M < 4$
 - 領域1
 - 領域2
 - 領域3
 - 領域4
 - 領域5
 - 領域6
 - 領域7
 - 領域8

検討に用いた地震の震央分布

領域1 (19地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
1	1994/04/29	22:38	42.985	142.865	127	4.8	230
*2	2003/02/19	14:01	44.119	141.847	222	5.9	299
3	2007/03/12	20:32	42.720	141.621	145	4.5	146
4	2007/03/15	14:43	41.942	141.389	123	4.5	62
5	2007/04/19	00:07	42.671	141.947	126	5.6	155
6	2007/06/23	07:20	42.539	142.185	125	4.9	155
7	2007/06/23	16:15	41.887	141.385	126	4.3	57
8	2009/02/28	09:35	42.584	142.188	113	5.3	159
9	2009/07/11	00:01	42.488	141.378	134	4.7	115
10	2009/10/05	09:35	42.454	141.559	20	4.7	117
11	2011/10/21	17:02	43.794	142.653	196	6.3	291
12	2013/11/28	02:45	42.013	141.527	90	5.0	76
13	2014/07/08	18:05	42.650	141.267	3	5.6	130
14	2016/06/16	14:21	41.949	140.987	11	5.3	49
15	2016/06/21	00:10	41.925	140.995	10	4.2	46
16	2018/09/06	03:07	42.690	142.007	37	6.7	159
17	2018/09/06	03:20	42.572	141.948	36	5.5	146
18	2018/09/06	06:11	42.670	142.015	38	5.4	158
19	2018/09/17	02:51	42.717	141.862	28	4.6	155

- 各地震の諸元は気象庁地震カタログ及び気象庁震源リストに基づく。
- 「No.」に*の付く地震は、敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の、T.P.-207.5m位置の地震計の鉛直成分に感度劣化が認められたため、水平成分のみ解析に用いた。



検討に用いた地震 (2/6)

領域2 (116地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
1	1990/01/07	22:28	41.560	142.030	61	5.3	93
2	1990/04/11	16:53	42.480	144.162	69	5.5	290
3	1990/07/30	08:15	41.942	142.402	70	4.8	133
4	1990/12/25	06:09	41.960	142.373	67	4.9	131
5	1991/03/03	23:32	41.577	142.523	50	4.8	135
6	1991/05/14	04:00	41.988	142.473	67	4.4	140
7	1991/06/13	05:11	42.752	143.415	120	5.8	248
8	1991/06/23	20:38	41.865	142.153	66	4.9	110
9	1991/09/02	12:03	42.290	143.122	67	5.0	203
10	1992/01/07	20:10	41.523	141.335	95	4.5	35
11	1992/04/20	05:36	42.257	143.068	67	5.0	197
12	1992/06/29	14:47	41.528	141.340	93	4.9	36
13	1993/03/25	16:08	41.703	143.693	60	5.9	233
14	1993/07/11	09:25	41.913	142.453	65	4.6	136
15	1993/09/11	13:55	41.977	142.657	61	5.4	154
16	1993/10/28	10:52	41.557	142.025	64	5.2	93
17	1993/12/04	18:30	41.727	141.985	80	5.4	92
18	1993/12/11	09:01	41.958	142.393	66	4.9	133
19	1994/01/26	19:03	41.680	143.945	69	5.4	253
20	1994/02/18	20:02	42.593	142.575	107	5.0	183
21	1994/03/18	07:10	41.837	142.660	70	4.8	150
22	1994/07/01	14:14	42.255	143.078	67	5.2	198
23	1994/07/02	07:43	42.128	142.957	64	4.9	183
24	1995/01/11	16:48	41.843	142.597	56	5.4	145
25	1995/03/16	17:11	42.022	142.547	61	4.7	147
26	1995/09/26	16:14	41.706	143.488	38	5.9	216
27	1996/04/15	06:44	42.043	142.478	66	4.9	143
28	1997/02/20	16:55	41.760	142.874	49	5.9	166
29	1997/03/17	18:23	41.854	142.180	66	4.8	112
30	1997/12/23	04:08	42.990	143.481	114	5.2	268
31	1998/02/11	11:25	41.956	142.390	55	4.9	132
32	1998/11/02	04:13	41.892	141.496	94	3.9	64
33	1999/01/19	02:35	41.555	141.467	85	4.4	46
34	1999/02/09	09:19	42.351	143.088	52	4.9	203
35	1999/03/05	15:24	41.996	142.512	58	4.3	143

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
36	2000/08/27	00:30	42.201	142.550	30	4.8	156
*37	2002/04/21	06:30	41.568	142.093	65	4.8	99
38	2003/09/26	04:50	41.779	144.079	45	8.0	266
39	2003/09/26	05:57	41.705	143.790	40	5.6	241
40	2003/09/26	06:08	41.710	143.692	21	7.1	233
41	2003/09/28	07:23	42.191	142.969	51	5.2	187
42	2003/10/07	01:27	41.970	142.539	64	4.5	145
43	2003/10/11	09:08	41.864	144.440	28	6.1	296
44	2003/10/12	03:26	41.760	143.821	48	5.5	244
45	2003/11/14	07:39	41.837	142.198	70	4.8	113
46	2003/11/24	21:18	42.317	143.003	52	5.3	195
47	2003/12/12	10:46	42.485	143.031	59	5.0	206
48	2004/04/23	12:23	41.584	141.914	66	3.8	84
49	2004/06/11	03:12	42.322	143.131	48	5.2	205
50	2004/07/04	21:31	42.050	142.485	62	4.9	144
51	2004/07/20	05:58	42.530	143.097	98	5.0	213
52	2004/09/05	03:25	41.931	142.298	69	4.5	124
53	2004/09/10	13:22	42.357	143.102	51	5.1	204
54	2004/11/27	07:42	42.326	143.080	51	5.6	201
55	2006/03/18	21:19	41.588	141.923	65	3.7	85
56	2006/11/01	23:21	42.330	143.121	49	4.8	204
57	2007/02/17	09:02	41.732	143.723	40	6.2	235
58	2007/05/07	23:09	41.889	142.496	64	4.3	138
59	2007/05/19	00:59	41.563	142.053	68	5.3	96
60	2007/12/28	10:51	42.021	142.555	50	4.3	148
61	2008/01/23	04:34	42.322	143.060	50	4.9	200
62	2008/06/26	08:37	41.826	142.673	55	5.4	151
63	2008/08/09	09:54	41.973	142.537	65	4.5	144
64	2008/09/06	15:20	41.774	141.703	77	3.8	72
65	2008/09/11	09:20	41.776	144.152	31	7.1	272
66	2008/10/04	04:22	41.908	142.349	68	4.0	127
67	2009/05/10	11:30	42.422	142.424	102	4.2	161
68	2009/05/26	19:31	41.929	142.352	70	4.7	128
69	2009/06/05	12:30	41.812	143.620	31	6.4	228
70	2009/06/28	06:55	41.593	141.924	64	3.7	85



検討に用いた地震 (3/6)

つづき

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
71	2009/09/08	01:24	42.193	142.972	51	4.8	187
72	2009/10/10	17:42	41.720	142.225	92	5.1	112
73	2009/12/30	04:23	41.838	142.203	72	4.8	113
74	2010/01/15	03:46	42.353	143.118	51	5.0	205
75	2010/06/28	06:03	41.626	141.833	57	5.1	78
76	2010/07/02	21:30	41.978	142.570	63	4.2	147
77	2010/10/14	22:58	42.313	143.070	53	5.5	200
78	2011/06/25	02:39	41.966	142.720	57	5.4	159
79	2011/07/26	07:58	42.043	142.506	67	4.8	145
80	2011/08/01	02:35	41.710	143.013	37	5.5	176
81	2011/09/18	19:39	41.936	142.441	66	5.0	136
82	2011/10/07	11:51	41.565	142.058	67	5.0	96
83	2011/11/24	19:25	41.750	142.887	43	6.2	167
84	2012/02/18	10:59	41.885	142.498	63	4.2	138
85	2012/04/21	23:29	42.514	142.304	104	4.5	160
86	2012/07/22	13:41	42.489	143.026	61	5.1	206
87	2012/08/25	23:16	42.328	143.111	49	6.1	204
88	2013/01/17	14:13	42.081	142.754	48	4.9	166
89	2013/02/02	23:17	42.702	143.228	102	6.5	233
90	2013/04/23	02:50	41.870	142.154	74	4.3	111
91	2013/08/12	09:51	41.919	142.336	69	4.8	127
92	2013/11/24	01:26	42.324	142.507	45	4.4	160
93	2014/02/11	15:05	41.916	142.330	72	4.6	126
94	2014/05/14	08:03	41.993	142.569	62	4.5	148
95	2014/07/25	13:18	41.543	142.087	66	4.9	98
96	2015/02/13	16:00	41.585	141.907	67	4.0	83
97	2015/02/21	04:28	41.978	142.716	57	5.1	159
98	2015/03/06	08:06	42.405	142.622	57	4.9	173
99	2015/03/25	09:34	42.353	143.096	50	5.0	204
100	2015/07/23	18:43	41.974	142.544	65	4.5	145
101	2015/08/14	13:43	42.753	143.113	80	5.1	228
102	2015/09/12	22:38	41.825	142.670	56	5.4	150
103	2015/09/26	18:49	42.212	141.958	94	4.5	117
104	2015/11/01	12:48	41.568	142.068	65	5.2	97
105	2016/01/12	02:50	41.896	142.501	64	4.4	139

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
106	2016/07/24	11:51	42.874	143.174	96	4.9	240
107	2016/09/07	18:42	42.494	142.681	110	4.7	183
108	2016/09/26	11:24	41.833	142.206	72	4.8	113
109	2016/09/26	14:13	41.652	142.993	29	5.4	174
110	2016/10/03	17:48	41.922	142.438	67	4.5	135
111	2016/10/12	04:02	42.326	143.042	50	5.0	198
112	2017/04/30	23:42	42.323	143.071	53	5.4	200
113	2017/05/02	19:29	41.583	141.918	66	3.8	84
114	2017/09/10	17:44	41.758	142.877	43	5.6	166
115	2017/12/02	05:48	42.037	142.505	67	4.9	145
116	2018/01/31	05:11	42.018	142.590	62	4.7	150



検討に用いた地震 (4/6)

領域3 (79地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
1	1989/11/02	03:25	39.858	143.053	0	7.1	258
2	1989/11/02	03:36	39.655	143.362	29	6.3	292
3	1990/05/21	17:40	41.498	141.958	61	4.3	87
4	1990/07/09	06:13	41.160	142.188	58	5.1	114
5	1990/11/02	21:50	41.223	142.185	72	5.7	111
6	1990/12/28	12:27	41.493	142.003	64	4.9	91
7	1992/01/17	03:46	41.493	141.940	74	5.3	86
8	1992/07/12	20:08	41.465	142.035	64	6.3	94
9	1992/07/13	23:19	41.477	142.077	71	5.2	97
10	1993/06/22	17:37	41.487	142.012	64	4.8	92
11	1993/11/24	05:07	41.253	142.788	48	5.6	160
12	1993/12/07	00:37	41.483	141.957	72	5.2	87
13	1994/04/08	10:10	40.572	143.953	3	6.5	276
14	1994/07/31	06:21	40.877	142.757	64	5.3	170
15	1994/12/28	21:19	40.430	143.745	0	7.6	267
16	1994/12/29	05:52	40.117	143.020	0	6.5	236
17	1994/12/30	00:29	40.733	142.180	53	5.6	137
18	1994/12/31	22:50	40.180	142.687	24	5.8	210
19	1995/01/01	15:59	40.606	143.841	0	6.4	266
20	1995/01/10	20:16	41.484	142.017	70	4.5	92
21	1995/02/06	22:51	41.139	142.269	56	5.6	121
22	1995/09/20	06:05	41.159	142.271	60	5.2	120
23	1995/12/30	21:11	40.701	143.752	0	6.5	255
24	1996/06/10	14:26	41.464	142.003	65	4.7	91
25	1996/07/04	03:59	40.669	142.627	24	5.2	172
26	1998/01/31	00:50	41.463	142.077	62	5.3	97
27	1998/04/08	10:57	41.499	141.998	65	4.3	91
*28	2001/08/14	05:11	40.996	142.437	38	6.4	140
*29	2001/08/24	18:48	41.018	142.382	41	5.3	135
*30	2002/02/14	10:12	41.466	142.063	64	5.1	96
*31	2002/04/04	08:42	41.474	142.009	59	5.4	92
*32	2002/05/30	14:07	41.502	142.047	62	4.8	95
*33	2003/04/17	02:59	40.961	142.342	40	5.6	135
34	2004/04/23	07:16	40.741	142.485	66	4.9	157
35	2004/07/21	09:38	40.867	143.294	30	5.4	212

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
36	2004/09/22	20:03	41.377	141.563	109	4.8	56
37	2004/12/06	04:45	41.491	142.057	65	4.6	96
38	2004/12/13	04:41	41.488	142.021	63	4.2	93
39	2005/01/06	22:00	41.457	142.104	61	5.3	100
40	2005/02/26	21:37	40.685	142.596	45	5.7	169
41	2005/06/03	01:32	41.493	142.003	63	4.3	91
42	2005/09/03	01:24	41.481	141.976	64	4.9	89
43	2008/04/29	14:26	41.463	142.108	62	5.7	100
44	2008/05/10	09:00	41.456	142.083	62	4.8	98
45	2008/05/14	03:00	41.491	142.005	63	4.2	91
46	2008/08/09	00:53	41.143	142.285	51	5.4	122
47	2008/10/11	04:27	41.483	142.013	63	4.4	92
48	2010/01/24	16:19	41.210	141.645	14	4.5	70
49	2010/09/13	14:47	41.456	142.122	63	5.8	101
50	2010/10/06	07:35	41.492	142.010	63	4.1	92
51	2010/12/06	16:30	40.799	143.218	7	5.8	209
52	2011/03/16	00:23	40.371	143.475	18	6.3	250
53	2011/09/17	04:26	40.259	143.086	7	6.6	230
54	2011/09/17	06:08	40.247	143.213	4	6.1	239
55	2011/09/17	07:40	40.276	143.395	15	5.8	250
56	2011/09/17	16:34	40.295	143.209	8	5.8	236
57	2011/09/18	16:04	39.930	143.224	19	5.8	263
58	2012/03/19	11:56	41.502	142.037	63	5.0	94
59	2012/04/27	03:41	41.479	141.980	65	5.0	89
60	2012/05/24	00:02	41.344	142.124	60	6.1	103
61	2012/09/24	07:39	41.479	142.013	64	3.8	92
62	2012/10/02	07:21	39.833	143.521	22	6.3	289
63	2013/06/25	08:12	41.487	142.007	65	4.2	91
64	2013/11/15	11:00	41.460	142.059	63	5.3	96
65	2014/08/10	12:43	41.134	142.279	51	6.1	122
66	2014/10/11	11:35	40.952	143.245	36	6.1	205
67	2014/10/11	14:20	40.921	143.291	34	5.6	210
68	2015/02/17	08:06	39.872	143.193	13	6.9	265
69	2015/02/20	13:25	39.913	143.732	8	6.5	297
70	2015/04/30	01:09	40.059	142.879	24	5.4	231



検討に用いた地震 (5/6)

つづき

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
71	2015/06/08	15:01	41.456	142.020	66	5.6	93
72	2015/06/09	20:08	41.473	142.016	65	3.9	92
73	2015/06/23	00:35	41.485	142.087	63	4.6	98
74	2015/06/26	19:38	41.485	142.008	65	4.4	91
75	2015/10/18	09:47	41.492	142.002	65	4.4	91
76	2017/03/08	01:08	41.482	141.979	65	5.2	89
77	2018/01/24	19:51	41.008	142.447	34	6.3	140
78	2018/07/02	02:27	41.493	142.063	64	4.9	96
79	2018/08/05	17:44	41.497	142.012	62	4.2	92

領域4 (31地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
1	1989/11/06	17:56	40.177	142.452	39	5.5	197
2	1995/01/07	07:37	40.223	142.306	48	7.2	185
3	1995/01/07	11:36	40.280	142.421	38	6.2	187
4	1996/02/17	23:35	40.778	141.380	15	4.3	90
*5	2001/04/03	04:54	40.613	141.921	63	5.6	131
*6	2001/12/02	22:01	39.398	141.263	122	6.4	237
7	2004/02/04	15:08	40.144	141.896	63	5.3	173
8	2004/08/10	15:13	39.674	142.132	48	5.8	229
9	2008/07/24	00:26	39.732	141.635	108	6.8	207
10	2008/07/24	11:27	39.620	141.522	112	4.8	216
11	2009/02/15	18:24	40.250	142.424	36	5.9	189
12	2010/07/05	06:55	39.657	142.653	34	6.4	253
13	2011/03/11	19:10	39.334	142.153	44	6.2	264
14	2011/03/11	20:36	39.230	142.579	24	6.7	290
15	2011/03/17	13:13	40.126	142.412	31	5.9	199
16	2011/04/01	20:57	39.336	142.166	45	6.0	264
17	2011/06/23	06:50	39.948	142.591	36	6.9	224
18	2011/08/01	22:44	39.816	142.254	43	5.8	220
19	2011/08/17	04:35	40.124	142.446	35	5.4	201
20	2012/01/28	09:22	40.153	142.427	36	5.7	198
21	2012/03/27	20:00	39.806	142.334	21	6.6	224
22	2012/04/30	00:02	39.742	142.255	23	5.6	227
23	2014/06/09	07:50	40.957	141.611	82	4.6	85
24	2014/06/15	02:31	39.396	141.108	94	5.5	236
25	2014/07/05	07:42	39.676	142.136	49	5.9	229
26	2014/10/03	09:57	40.165	142.628	28	5.7	208
27	2015/02/17	13:46	40.085	142.112	50	5.7	188
28	2015/07/10	03:32	40.354	141.560	88	5.7	140
29	2017/09/27	05:22	40.267	142.455	35	6.1	190
30	2017/11/05	06:05	40.655	141.040	112	4.3	96
31	2018/05/07	05:00	39.595	141.160	98	5.1	214



検討に用いた地震 (6/6)

領域5 (6地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
1	1990/03/09	20:33	41.250	140.883	13	3.2	29
2	1998/10/18	01:08	41.266	140.910	12	4.1	27
3	2004/09/04	11:18	41.262	140.816	14	3.8	29
4	2004/09/08	20:59	41.261	140.817	12	3.7	29
5	2008/06/14	08:43	39.030	140.881	8	7.2	276
6	2011/04/01	19:49	40.257	140.364	12	5.0	147

領域7 (14地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
1	1993/07/12	23:05	42.002	139.275	13	5.5	147
2	1993/07/12	23:22	42.437	139.335	40	5.2	166
3	1993/07/12	23:29	42.132	139.377	27	4.6	145
4	1993/07/13	00:20	41.967	139.308	11	4.7	143
5	1993/07/13	00:25	41.840	139.372	24	4.7	133
6	1993/07/13	08:52	41.840	139.305	28	5.0	139
7	1993/08/08	04:42	41.958	139.882	24	6.3	99
8	1993/08/12	10:02	41.980	139.843	15	4.7	103
9	1993/08/15	18:18	41.925	139.877	21	4.2	98
10	1993/08/23	22:15	41.755	139.647	1	4.9	109
11	1996/12/01	02:55	41.779	139.379	32	4.9	131
12	2006/02/24	17:51	41.551	140.705	16	3.6	18
13	2008/09/22	16:31	41.538	140.566	152	5.6	29
14	2016/09/25	13:03	41.553	140.608	13	3.7	26

領域6 (6地震)

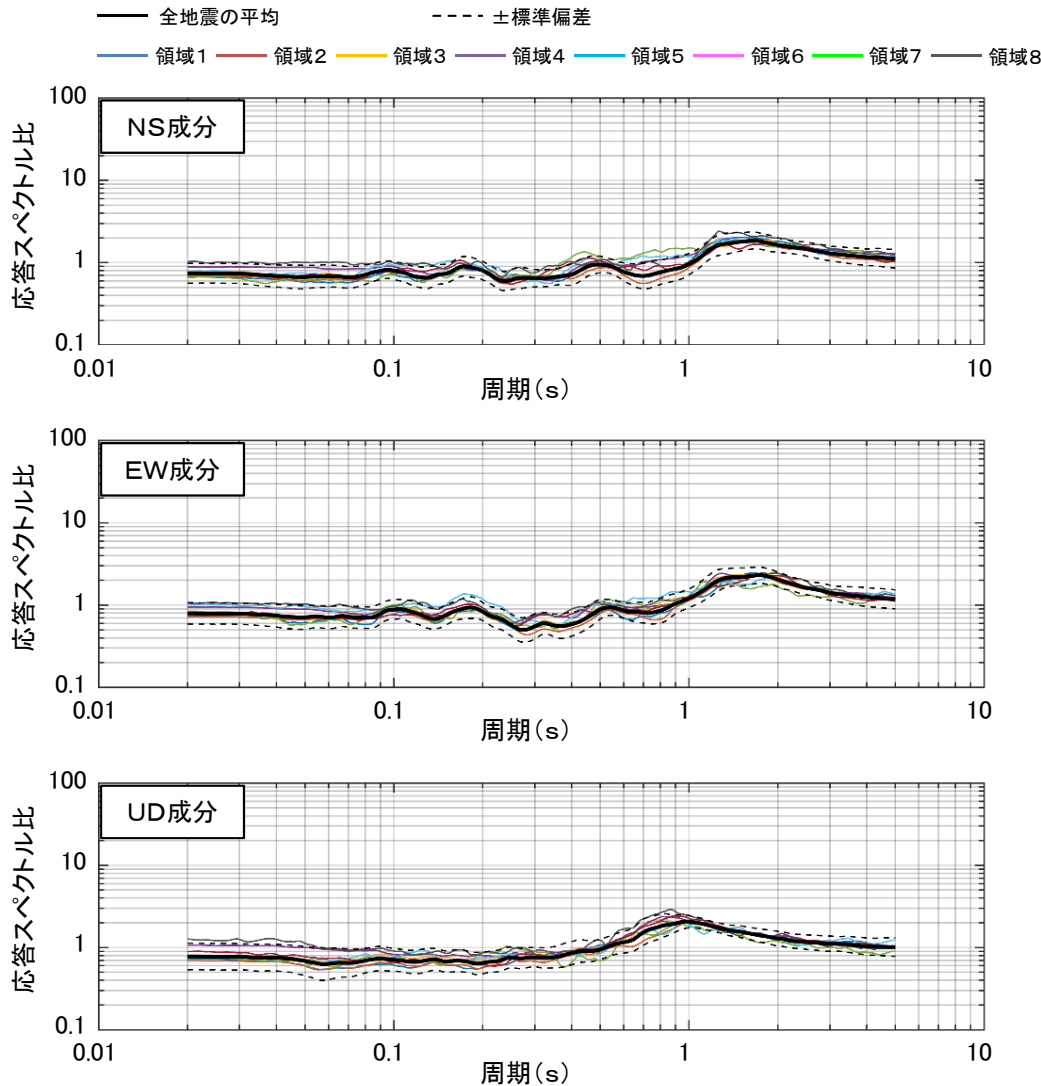
No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
1	1994/06/17	04:14	41.313	140.645	13	3.8	31
2	1997/03/06	15:50	40.728	139.381	36	5.1	155
3	1997/11/23	12:50	39.976	138.806	29	5.8	246
4	2005/10/18	01:13	40.749	139.155	12	5.4	170
5	2005/10/18	01:15	40.781	139.120	14	5.3	171
6	2009/08/24	14:26	41.061	140.244	172	5.4	75

領域8 (5地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
1	1992/08/24	15:59	41.940	140.787	121	6.1	49
2	1993/07/12	22:17	42.782	139.180	35	7.8	201
3	1993/07/12	23:45	43.105	139.222	8	6.0	225
4	1993/07/13	01:01	42.723	139.330	29	6.0	188
5	2007/08/22	16:26	41.974	140.801	122	5.4	52

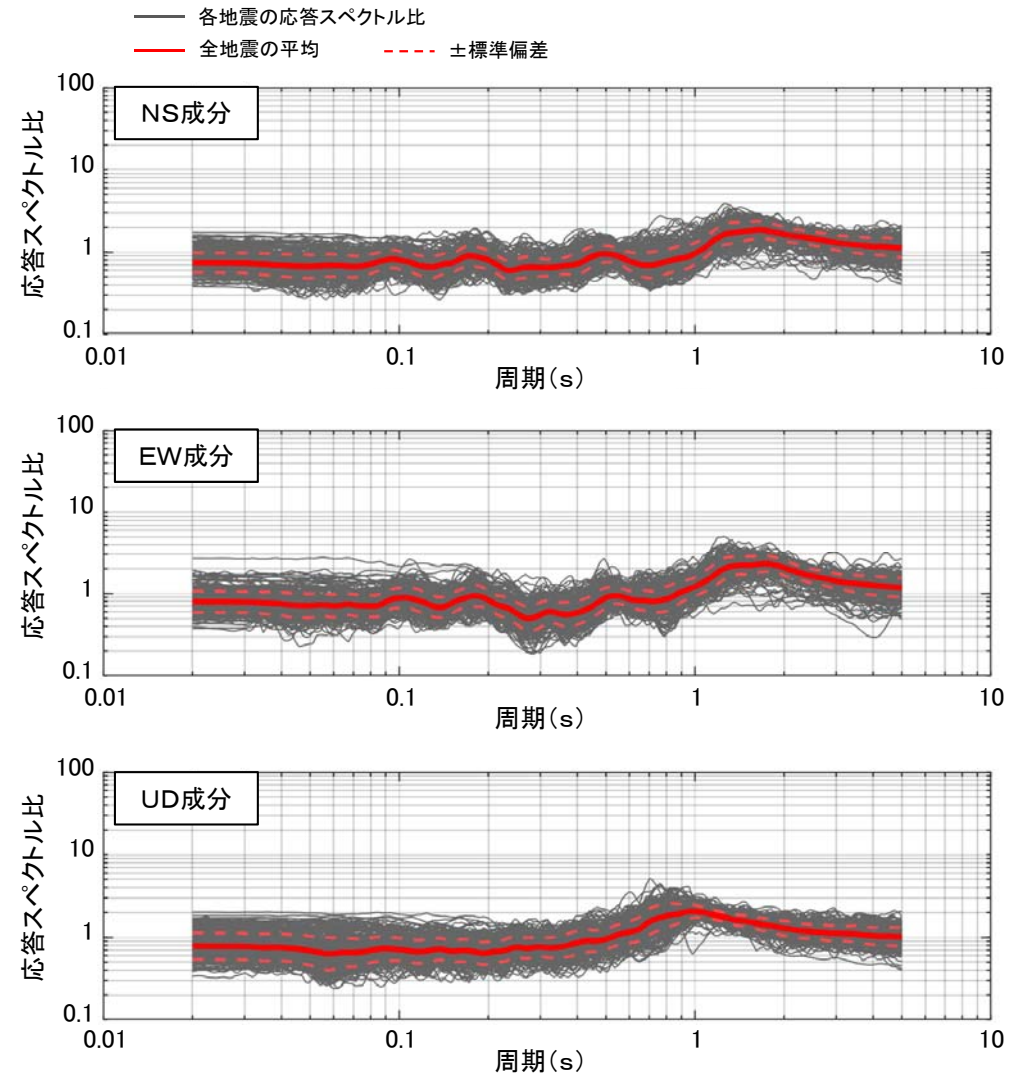


検討結果



領域ごとの平均応答スペクトル比及び標準偏差※

※ : 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比は、補足説明資料の「3-6」を参照。
各観測記録の応答スペクトルは、机上配布資料○の「2.」を参照。



全地震の応答スペクトル比及び平均応答スペクトル比
並びに標準偏差

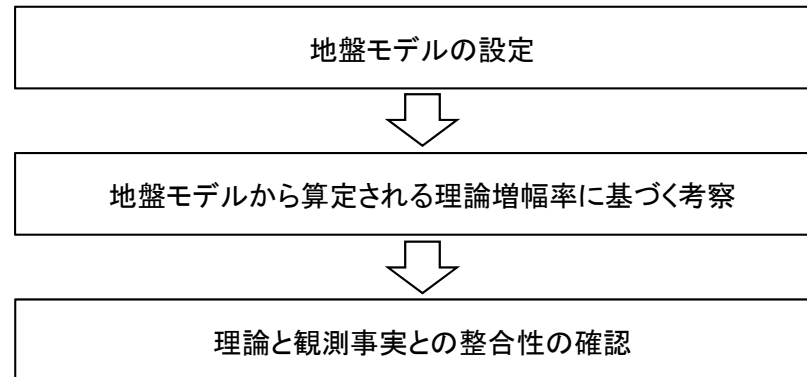
鉛直アレイ地震観測地点の異なる深度 (T.P.-207.5m, T.P.-7.5m) の観測記録の応答スペクトル比について、平均応答スペクトル比の傾向は到来方向によらず同様であり、ばらつきは小さいことから、同地点の最も深い地震計の位置より浅部の地下構造に、地震動に影響を及ぼすような不整形はないと考えられる。(応答スペクトル比が周期1秒~2秒付近で2程度になっていることの要因について、検討した結果を次ページ以降に示す。)

(補足) 応答スペクトル比の周期1秒～2秒付近の増幅特性の要因分析 (1/4)

異なる深度(T.P.-207.5m, T.P.-7.5m)の応答スペクトル比(P.3-34参照)が周期1秒～2秒付近で2程度になっている要因について、第5章に示す最適化地盤モデルに基づき設定した地盤モデルから算定される理論増幅率に基づき検討する。

検討の内容

- 第5章に示す最適化地盤モデルに基づき、検討に用いる地盤モデルを設定する。
- 異なる深度の応答スペクトル比の周期特性について、地盤モデルから算定される理論増幅率に基づき考察する。
- 地盤モデルから算定される理論増幅率の周期特性と、観測記録の応答スペクトルの周期特性との比較により、理論と観測事実との整合性を確認する。



検討フロー

(補足) 応答スペクトル比の周期1~2秒付近の増幅特性の要因分析 (2/4)

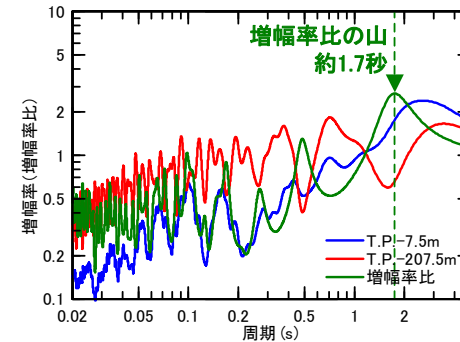
地盤モデルの設定及び地盤モデルから算定される理論増幅率に基づく考察

表1 検討に用いた地盤モデル

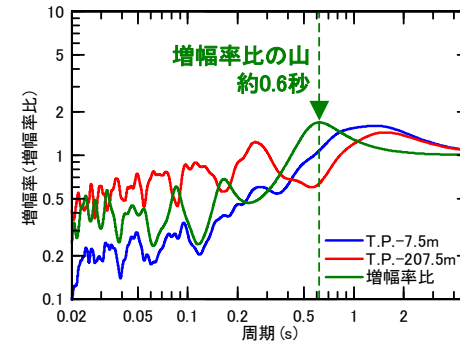
層 No.	下端標高 T.P.(m)	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs			Qp		
						Qo	n	Qi	Qo	n	Qi
1	+31.5	1	1.47	53	180	4.47	0.453	-	1.18	0.350	-
2	+30.5	1		93							
3	+28.5	2		150							
4	+26.5	2	1.63	220	340	4.40	0.175	-	3.07	0.997	-
5	+20	6.5		460							
6	0	20	1.95	720	1700	5.97	0.000	-	0.630	0.641	-
7	-7.5	7.5	2.14	1020	2760	1.00	0.999	-	0.500	0.750	-
8	-64	56.5									
9	-132	68	1.60	520	1730	2.62	1.000	-	0.503	1.000	-
10	-207.5	75.5	1.54	620	1730	11.1	0.997	-	1.12	1.000	-
11	-230	22.5									
12	-330	100	1.60	860	2070	11.2	0.584	75.5	9.64	0.567	139
13	-820	490	2.30	1700	3500	11.4	0.674	150	10.0	0.506	263
14	-1770	950	2.50	2200	4400	81.4	0.981	306	28.2	0.503	523
15	-2210	440	2.70	2700	5200						
16	-	∞	2.70	3200	5400	111	0.996	601	37.7	0.502	924

$$1/Q(f) = 1/(Q_0 \cdot f^n) + 1/Q_i$$

f: 振動数

最適化地盤モデル
(浅部)最適化地盤モデル
(深部)

(1) S波増幅率



(2) P波増幅率

図1 地震基盤から各地震計位置までの理論増幅率及び地震計位置間の理論増幅率比

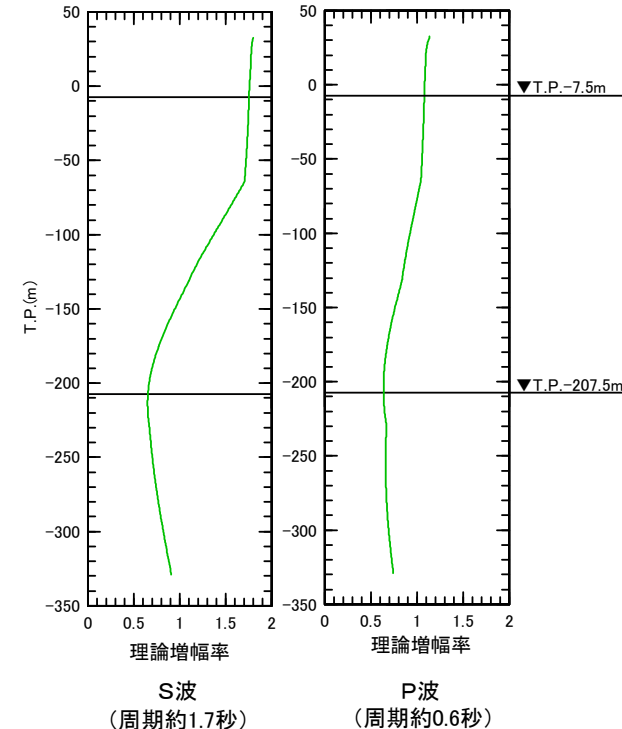
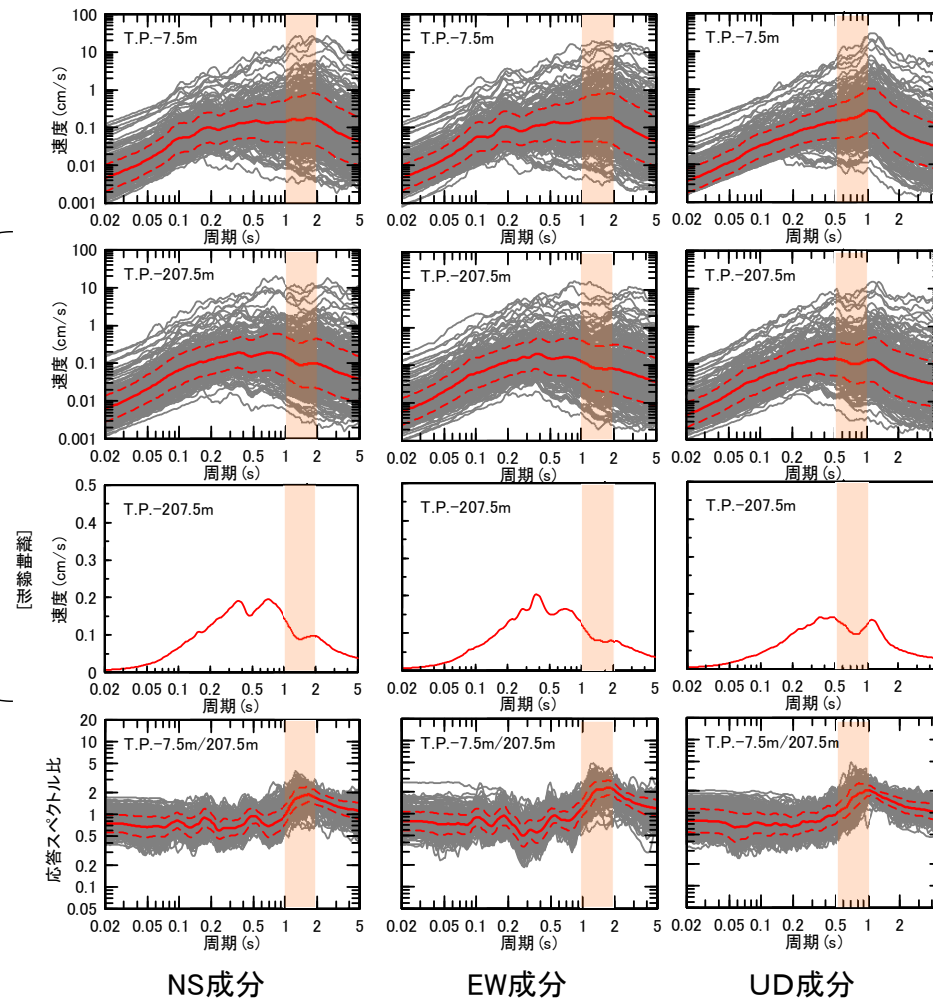


図2 地震基盤からの理論増幅率分布 (T.P.-330m以浅の分布)

- 検討に用いた地盤モデルは、第5章に示す最適化地盤モデルに基づき設定した。(表1参照)
- 地震計位置間の理論増幅率の比(T.P.-7.5m/T.P.-207.5m)において、S波の周期約1.7秒、P波の周期約0.6秒にピークがあり、この位置は地震基盤からT.P.-207.5m位置までの理論増幅率の谷の位置と整合する。(図1参照)
- また、この周期での深さ方向の理論増幅率分布において、S波及びP波増幅率ともにT.P.-207.5m位置付近で小さくなっており、浅部に向かって漸増傾向を示している。(図2参照)
- 以上のことから、T.P.-207.5m位置が地盤応答の節になる周期で、応答スペクトル比の分母であるT.P.-207.5m位置の観測記録の応答スペクトルに谷が生じていることにより、応答スペクトル比が2程度に増幅しているものと考えられる。

(補足) 応答スペクトル比の周期1秒～2秒付近の増幅特性の要因分析 (3/4)

理論と観測事実との整合性の確認

観測記録の応答スペクトル
(T.P.-7.5m)観測記録の応答スペクトル
(T.P.-207.5m)観測記録の応答スペクトル比
 $\left(\frac{T.P.-7.5m}{T.P.-207.5m}\right)$ 

凡例

— 各地震
— 全地震の平均
- - 土標準偏差

□ : 観測記録の応答スペクトル比の平均にピークが見られる周期帯

← 上段のT.P.-207.5m位置の観測記録の全地震の平均応答スペクトルを、縦軸を線形にして表示した図

※ : 領域ごとの評価は、補足説明資料の「3-7」を参照。

- 観測記録の応答スペクトル比の平均において、水平動の周期約1秒～約2秒、鉛直動の周期約0.5秒～約1秒にピークが見られることについて、同周期帯にT.P.-207.5m位置の観測記録の平均応答スペクトルの谷が見られることから、地盤の影響が考えられる。
- 前ページに示す地盤モデルから算定される理論増幅率比のピークの位置(S波約1.7秒, P波約0.6秒)は、観測記録の応答スペクトル比の平均においてピークが見られる周期帯とよい対応を示しており、理論と観測事実は整合的である。

3.2.3 異なる深度の応答スペクトル比に基づく検討 (12/12)

コメントNo.S3-14



(補足) 応答スペクトル比の周期1～2秒付近の増幅特性の要因分析 (4/4)

まとめ

■地盤モデルから算定される理論増幅率に基づく考察

- 地震計位置間の理論増幅率の比(T.P.-7.5m/T.P.-207.5m)において、S波の周期約1.7秒、P波の周期約0.6秒にピークがあり、この位置は地震基盤からT.P.-207.5m位置までの理論増幅率の谷の位置と整合する。
- また、この周期での深さ方向の理論増幅率分布において、S波及びP波増幅率ともにT.P.-207.5m位置付近で小さくなっており、浅部に向かって漸増傾向を示している。
- 以上のことから、T.P.-207.5m位置が地盤応答の節になる周期で、応答スペクトル比の分母であるT.P.-207.5m位置の観測記録の応答スペクトルに谷が生じていることにより、応答スペクトル比が2程度に増幅しているものと考えられる。

■理論と観測事実との整合性の確認

- 観測記録の応答スペクトル比の平均において、水平動の周期約1秒～約2秒、鉛直動の周期約0.5秒～約1秒にピークが見られることについて、同周期帯にT.P.-207.5m位置の観測記録の平均応答スペクトルの谷が見られることから、地盤の影響が考えられる。
- 地盤モデルから算定される理論増幅率比のピークの位置は、観測記録の応答スペクトル比の平均においてピークが見られる周期帯と良い対応を示しており、理論と観測事実は整合的である。



以上のことから、異なる深度(T.P.-207.5m, T.P.-7.5m)の応答スペクトル比が、周期1秒～2秒付近で2程度になっているのは、応答スペクトル比の分母であるT.P.-207.5m位置が地盤応答の節になる周期で、この位置の観測記録の応答スペクトルに谷が生じていることが要因として考えられる。

3.2.4 KiK-net観測点との応答スペクトル比に基づく検討 (1/7)



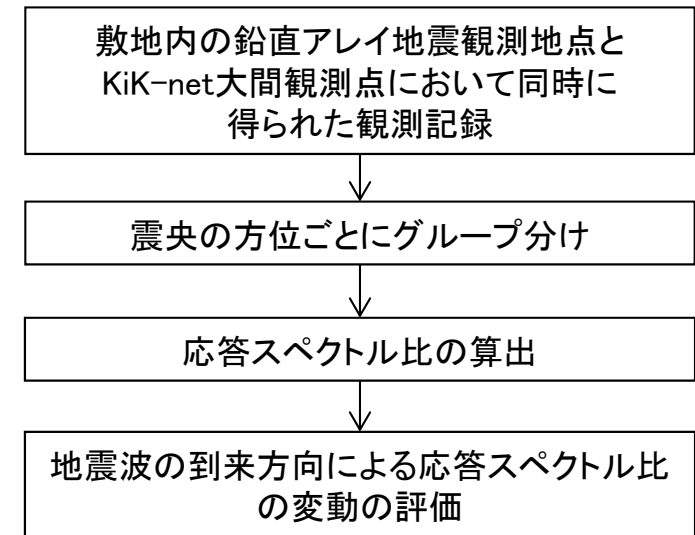
検討の目的

敷地周辺の地下構造に、地震動に影響を及ぼすような不整形はないことを確認するために、敷地内の鉛直アレイ地震観測地点及び敷地周辺のKiK-net観測点において同時に得られた観測記録を対象に、地震波の到来方向による応答スペクトル比の変動を評価する。

検討方法

敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の地中位置(T.P.-207.5m)及びKiK-net大間観測点の地中位置(標高-91.57m)において同時に観測された、2000年7月から2018年9月までの地震観測記録のうち、マグニチュード3以上かつ震央距離300km以内の172地震の記録を対象に、両観測点における観測記録の応答スペクトル比※を求め、地震波の到来方向による変動を評価する。

KiK-net大間観測点と敷地内の鉛直アレイ地震観測地点との離隔距離は2km程度であり、同一の地震に対してほぼ同じ伝播経路を地震波が伝わってくるとみなすことができる。このため、同一の地震の両観測点における観測記録の応答スペクトル比を計算することにより、震源特性および伝播経路特性による影響を除去することが可能となり、地震波の到来方向による応答スペクトル比の変動を評価することにより、敷地周辺の地下構造による影響を確認することが可能となる。



検討フロー

※ : 応答スペクトル比の評価式

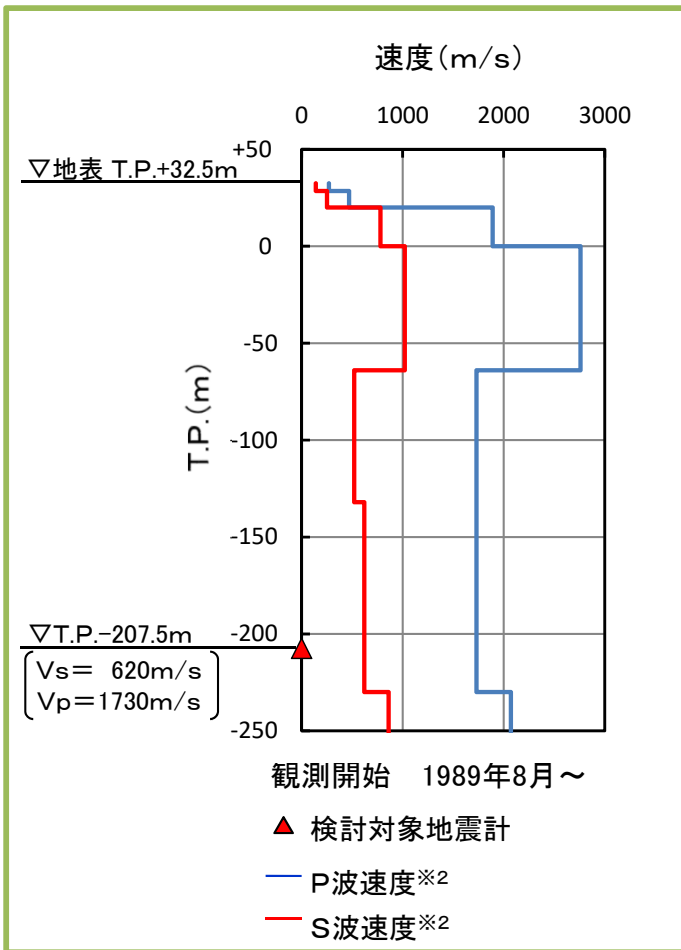
$$R_{\frac{Ohma}{AOMH01}}(T) = \frac{S_{Ohma}(T) \cdot X_{Ohma}}{S_{AOMH01}(T) \cdot X_{AOMH01}}$$

- $R_{\frac{Ohma}{AOMH01}}(T)$: 応答スペクトル比
 $S_{Ohma}(T)$: 敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の加速度応答スペクトル
 (地中位置(T.P.-207.5m))
 $S_{AOMH01}(T)$: KiK-net大間観測点の加速度応答スペクトル
 (地中位置(標高-91.57m))
 X_{Ohma} : 敷地内の鉛直アレイ地震観測地点からの震源距離
 X_{AOMH01} : KiK-net大間観測点からの震源距離

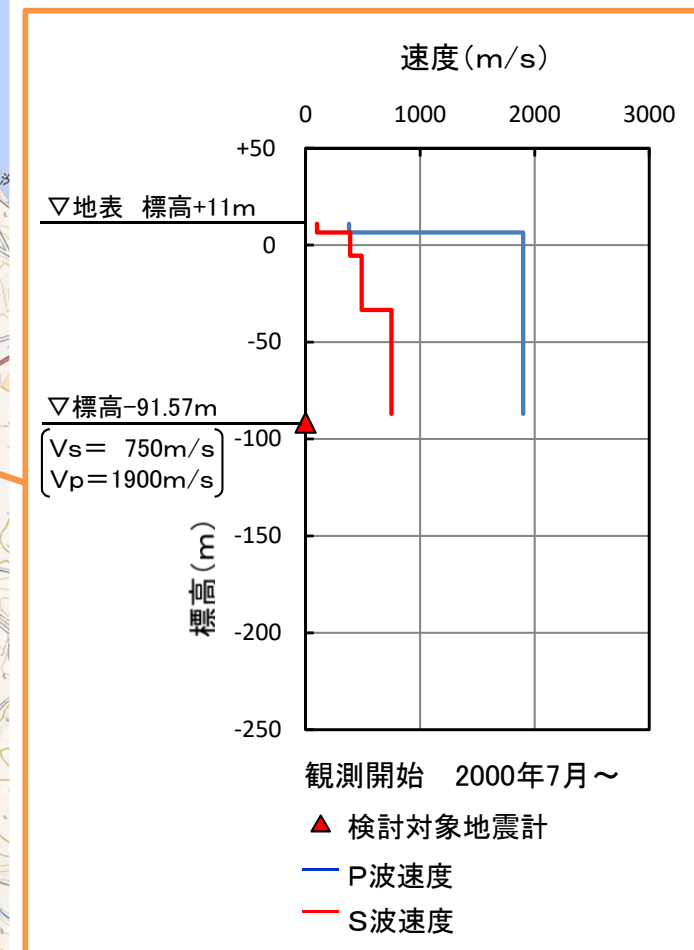


地震観測点の速度構造と地震計設置位置

敷地内の鉛直アレイ地震観測地点^{※1}における速度構造と地震計の設置位置



KiK-net大間観測点における速度構造と地震計の設置位置



※1 :敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の詳細についてはP.5-12を参照

※2 :SB-042孔におけるPS検層結果

上記の速度構造図は、防災科学技術研究所 強震観測網 (<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>)の観測点情報に基づき作成。

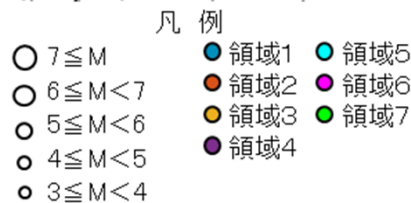
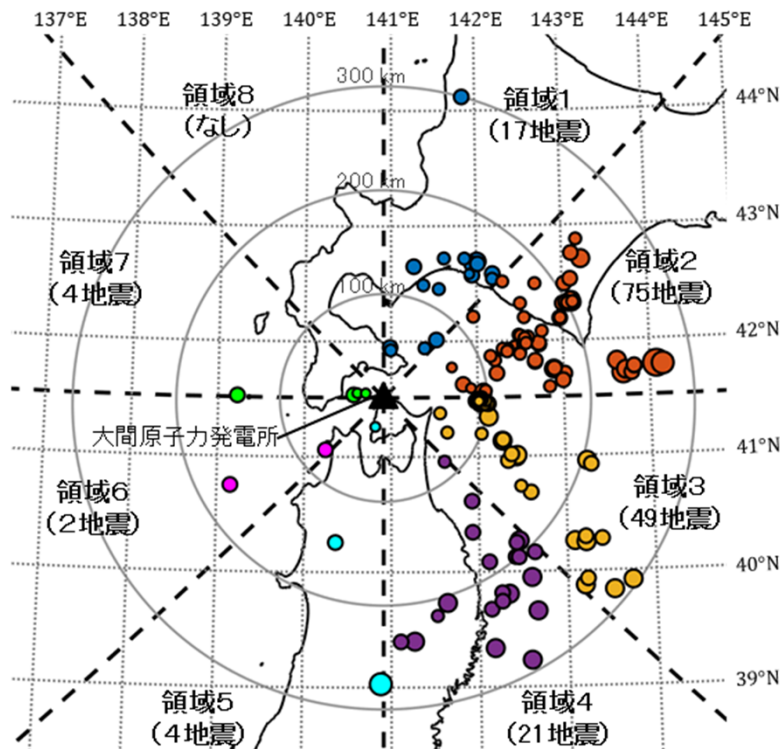
- 本検討においては、敷地内の鉛直アレイ地震観測地点のT.P.-207.5m位置及びKiK-net大間観測点の標高-91.57m位置の地震計において同時に得られた観測記録を用いた。

3.2.4 KiK-net観測点との応答スペクトル比に基づく検討 (3/7)



検討に用いた地震 (1/4)

- 検討には以下の条件を満たす172地震の観測記録を用いた。
 - KiK-net大間観測点の観測開始(2000年7月)から2018年9月までの地震
 - 鉛直アレイ地震観測地点及びKiK-net大間観測点において、同時に観測記録が得られた地震
 - 鉛直アレイ地震観測地点を基準としてマグニチュード3以上かつ震央距離300km以内の地震
 - 十分なS/N比を有する観測記録



検討に用いた地震の震央分布

領域1 (17地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
*1	2003/02/19	14:01	44.119	141.847	222	5.9	299
2	2007/03/12	20:32	42.720	141.621	145	4.5	146
3	2007/03/15	14:43	41.942	141.389	123	4.5	62
4	2007/04/19	00:07	42.671	141.947	126	5.6	155
5	2007/06/23	07:20	42.539	142.185	125	4.9	155
6	2009/02/28	09:35	42.584	142.188	113	5.3	159
7	2009/07/11	00:01	42.488	141.378	134	4.7	115
8	2009/10/05	09:35	42.454	141.559	20	4.7	117
9	2013/11/28	02:45	42.013	141.527	90	5.0	76
10	2014/07/08	18:05	42.650	141.267	3	5.6	130
11	2016/06/16	14:21	41.949	140.987	11	5.3	49
12	2016/06/21	00:10	41.925	140.995	10	4.2	46
13	2017/05/02	19:29	41.583	141.918	66	3.8	84
14	2018/09/06	03:07	42.690	142.007	37	6.7	159
15	2018/09/06	03:20	42.572	141.948	36	5.5	146
16	2018/09/06	06:11	42.670	142.015	38	5.4	158
17	2018/09/17	02:51	42.717	141.862	28	4.6	155

- 各地震の諸元は気象庁地震カタログ及び気象庁震源リストに基づく。
- 「震央距離」は、大間原子力発電所から震央位置までの距離を示す。
- 「No.」に*の付く地震は、敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の、T.P.-207.5m位置の地震計の鉛直成分に感度劣化が認められたため、水平成分のみ解析に用いた。



検討に用いた地震 (2/4)

領域2 (75地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
1	2000/08/27	00:30	42.201	142.550	30	4.8	156
*2	2002/04/21	06:30	41.568	142.093	65	4.8	99
3	2003/08/30	19:06	41.816	142.671	55	5.4	150
4	2003/09/26	04:50	41.779	144.079	45	8.0	266
5	2003/09/26	05:57	41.705	143.790	40	5.6	241
6	2003/09/26	06:08	41.710	143.692	21	7.1	233
7	2003/09/28	07:23	42.191	142.969	51	5.2	187
8	2003/10/07	01:27	41.970	142.539	64	4.5	145
9	2003/10/12	03:26	41.760	143.821	48	5.5	244
10	2003/11/14	07:39	41.837	142.198	70	4.8	113
11	2003/11/24	21:18	42.317	143.003	52	5.3	195
12	2004/06/11	03:12	42.322	143.131	48	5.2	205
13	2004/07/04	21:31	42.050	142.485	62	4.9	144
14	2004/07/20	05:58	42.530	143.097	98	5.0	213
15	2004/09/05	03:25	41.931	142.298	69	4.5	124
16	2004/09/10	13:22	42.357	143.102	51	5.1	204
17	2004/11/27	07:42	42.326	143.080	51	5.6	201
18	2005/01/31	18:39	41.764	143.818	48	5.4	244
19	2006/04/09	09:37	41.599	142.839	51	4.6	161
20	2006/04/13	13:27	41.756	142.894	43	5.3	167
21	2006/04/26	23:10	42.033	142.593	61	4.6	151
22	2006/11/01	23:21	42.330	143.121	49	4.8	204
23	2007/02/17	09:02	41.732	143.723	40	6.2	235
24	2007/05/07	23:09	41.889	142.496	64	4.3	138
25	2007/12/28	10:51	42.021	142.555	50	4.3	148
26	2008/01/23	04:34	42.322	143.060	50	4.9	200
27	2008/06/26	08:37	41.826	142.673	55	5.4	151
28	2008/08/09	09:54	41.973	142.537	65	4.5	144
29	2008/09/06	15:20	41.774	141.703	77	3.8	72
30	2008/09/11	09:20	41.776	144.152	31	7.1	272
31	2008/10/04	04:22	41.908	142.349	68	4.0	127
32	2009/05/26	19:31	41.929	142.352	70	4.7	128
33	2009/06/05	12:30	41.812	143.620	31	6.4	228
34	2009/06/28	06:55	41.593	141.924	64	3.7	85
35	2009/09/08	01:24	42.193	142.972	51	4.8	187

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
36	2009/10/10	17:42	41.720	142.225	92	5.1	112
37	2009/12/30	04:23	41.838	142.203	72	4.8	113
38	2010/01/15	03:46	42.353	143.118	51	5.0	205
39	2010/06/28	06:03	41.626	141.833	57	5.1	78
40	2010/07/02	21:30	41.978	142.570	63	4.2	147
41	2010/10/14	22:58	42.313	143.070	53	5.5	200
42	2011/06/25	02:39	41.966	142.720	57	5.4	159
43	2011/07/26	07:58	42.043	142.506	67	4.8	145
44	2011/08/01	02:35	41.710	143.013	37	5.5	176
45	2011/09/18	19:39	41.936	142.441	66	5.0	136
46	2011/10/07	11:51	41.565	142.058	67	5.0	96
47	2011/11/24	19:25	41.750	142.887	43	6.2	167
48	2012/02/18	10:59	41.885	142.498	63	4.2	138
49	2012/04/21	23:29	42.514	142.304	104	4.5	160
50	2012/07/22	13:41	42.489	143.026	61	5.1	206
51	2012/08/25	23:16	42.328	143.111	49	6.1	204
52	2013/01/17	14:13	42.081	142.754	48	4.9	166
53	2013/02/02	23:17	42.702	143.228	102	6.5	233
54	2013/04/23	02:50	41.870	142.154	74	4.3	111
55	2013/08/12	09:51	41.919	142.336	69	4.8	127
56	2013/11/24	01:26	42.324	142.507	45	4.4	160
57	2014/02/11	15:05	41.916	142.330	72	4.6	126
58	2014/05/14	08:03	41.993	142.569	62	4.5	148
59	2014/07/25	13:18	41.543	142.087	66	4.9	98
60	2015/02/21	04:28	41.978	142.716	57	5.1	159
61	2015/03/25	09:34	42.353	143.096	50	5.0	204
62	2015/07/23	18:43	41.974	142.544	65	4.5	145
63	2015/08/14	13:43	42.753	143.113	80	5.1	228
64	2015/09/26	18:49	42.212	141.958	94	4.5	117
65	2015/11/01	12:48	41.568	142.068	65	5.2	97
66	2016/01/12	02:50	41.896	142.501	64	4.4	139
67	2016/07/24	11:51	42.874	143.174	96	4.9	240
68	2016/09/07	18:42	42.494	142.681	110	4.7	183
69	2016/09/26	11:24	41.833	142.206	72	4.8	113
70	2016/09/26	14:13	41.652	142.993	29	5.4	174

3.2.4 KiK-net観測点との応答スペクトル比に基づく検討 (5/7)



検討に用いた地震 (3/4)

つづき

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
71	2016/10/12	04:02	42.326	143.042	50	5.0	198
72	2017/04/30	23:42	42.323	143.071	53	5.4	200
73	2017/09/10	17:44	41.758	142.877	43	5.6	166
74	2017/12/02	05:48	42.037	142.505	67	4.9	145
75	2018/01/31	05:11	42.018	142.590	62	4.7	150

領域3 (49地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
*1	2001/08/14	05:11	40.996	142.437	38	6.4	140
*2	2001/08/24	18:48	41.018	142.382	41	5.3	135
*3	2002/02/14	10:12	41.466	142.063	64	5.1	96
*4	2002/04/04	08:42	41.474	142.009	59	5.4	92
*5	2002/05/30	14:07	41.502	142.047	62	4.8	95
*6	2003/04/17	02:59	40.961	142.342	40	5.6	135
7	2004/04/23	07:16	40.741	142.485	66	4.9	157
8	2004/09/22	20:03	41.377	141.563	109	4.8	56
9	2004/12/06	04:45	41.491	142.057	65	4.6	96
10	2004/12/13	04:41	41.488	142.021	63	4.2	93
11	2005/01/06	22:00	41.457	142.104	61	5.3	100
12	2005/02/26	21:37	40.685	142.596	45	5.7	169
13	2005/06/03	01:32	41.493	142.003	63	4.3	91
14	2005/09/03	01:24	41.481	141.976	64	4.9	89
15	2006/06/12	08:04	41.499	142.036	72	4.4	94
16	2008/04/29	14:26	41.463	142.108	62	5.7	100
17	2008/05/10	09:00	41.456	142.083	62	4.8	98
18	2008/05/14	03:00	41.491	142.005	63	4.2	91
19	2008/08/09	00:53	41.143	142.285	51	5.4	122
20	2008/10/11	04:27	41.483	142.013	63	4.4	92
21	2010/01/24	16:19	41.210	141.645	14	4.5	70
22	2010/09/13	14:47	41.456	142.122	63	5.8	101
23	2010/10/06	07:35	41.492	142.010	63	4.1	92

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
24	2011/09/17	04:26	40.259	143.086	7	6.6	230
25	2011/09/17	06:08	40.247	143.213	4	6.1	239
26	2011/09/17	07:40	40.276	143.395	15	5.8	250
27	2011/09/17	16:34	40.295	143.209	8	5.8	236
28	2011/09/18	16:04	39.930	143.224	19	5.8	263
29	2012/03/19	11:56	41.502	142.037	63	5.0	94
30	2012/04/27	03:41	41.479	141.980	65	5.0	89
31	2012/05/24	00:02	41.344	142.124	60	6.1	103
32	2012/08/17	16:24	41.197	142.040	58	4.9	101
33	2012/09/24	07:39	41.479	142.013	64	3.8	92
34	2012/10/02	07:21	39.833	143.521	22	6.3	289
35	2013/06/25	08:12	41.487	142.007	65	4.2	91
36	2013/11/15	11:00	41.460	142.059	63	5.3	96
37	2014/08/10	12:43	41.134	142.279	51	6.1	122
38	2014/10/11	11:35	40.952	143.245	36	6.1	205
39	2014/10/11	14:20	40.921	143.291	34	5.6	210
40	2015/02/17	08:06	39.872	143.193	13	6.9	265
41	2015/02/20	13:25	39.913	143.732	8	6.5	297
42	2015/06/08	15:01	41.456	142.020	66	5.6	93
43	2015/06/23	00:35	41.485	142.087	63	4.6	98
44	2015/06/26	19:38	41.485	142.008	65	4.4	91
45	2015/10/18	09:47	41.492	142.002	65	4.4	91
46	2016/07/19	13:11	41.494	142.050	66	4.5	95
47	2017/03/08	01:08	41.482	141.979	65	5.2	89
48	2018/01/24	19:51	41.008	142.447	34	6.3	140
49	2018/07/02	02:27	41.493	142.063	64	4.9	96



検討に用いた地震 (4/4)

領域4 (21地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
*1	2001/04/03	04:54	40.613	141.921	63	5.6	131
*2	2001/12/02	22:01	39.398	141.263	122	6.4	237
3	2004/08/10	15:13	39.674	142.132	48	5.8	229
4	2008/07/24	00:26	39.732	141.635	108	6.8	207
5	2008/07/24	11:27	39.620	141.522	112	4.8	216
6	2009/02/15	18:24	40.250	142.424	36	5.9	189
7	2010/07/05	06:55	39.657	142.653	34	6.4	253
8	2011/03/11	20:36	39.230	142.579	24	6.7	290
9	2011/03/17	13:13	40.126	142.412	31	5.9	199
10	2011/04/01	20:57	39.336	142.166	45	6.0	264
11	2011/06/23	06:50	39.948	142.591	36	6.9	224
12	2011/08/01	22:44	39.816	142.254	43	5.8	220
13	2011/08/17	04:35	40.124	142.446	35	5.4	201
14	2012/03/27	20:00	39.806	142.334	21	6.6	224
15	2012/04/30	00:02	39.742	142.255	23	5.6	227
16	2013/05/16	08:46	40.343	141.925	12	5.0	155
17	2014/06/09	07:50	40.957	141.611	82	4.6	85
18	2014/06/15	02:31	39.396	141.108	94	5.5	236
19	2014/10/03	09:57	40.165	142.628	28	5.7	208
20	2015/02/17	13:46	40.085	142.112	50	5.7	188
21	2017/09/27	05:22	40.267	142.455	35	6.1	190

領域5 (4地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
1	2004/09/04	11:18	41.262	140.816	14	3.8	29
2	2004/09/08	20:59	41.261	140.817	12	3.7	29
3	2008/06/14	08:43	39.030	140.881	8	7.2	276
4	2011/04/01	19:49	40.257	140.364	12	5.0	147

領域6 (2地震)

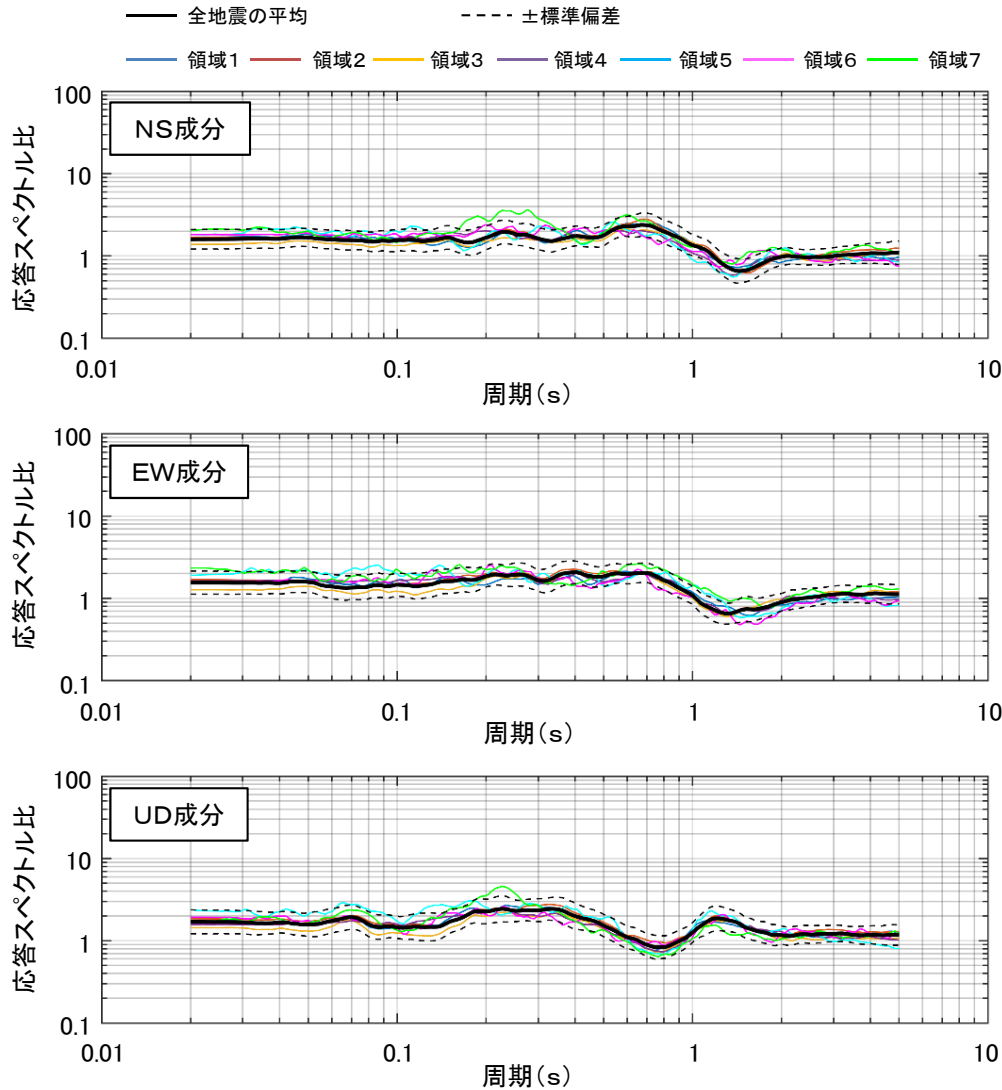
No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
1	2005/10/18	01:13	40.749	139.155	12	5.4	170
2	2009/08/24	14:26	41.061	140.244	172	5.4	75

領域7 (4地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
			北緯(°)	東経(°)			
1	2006/02/24	17:51	41.551	140.705	16	3.6	18
2	2008/06/05	02:03	41.527	139.221	201	5.7	141
3	2008/09/22	16:31	41.538	140.566	152	5.6	29
4	2016/09/25	13:03	41.553	140.608	13	3.7	26

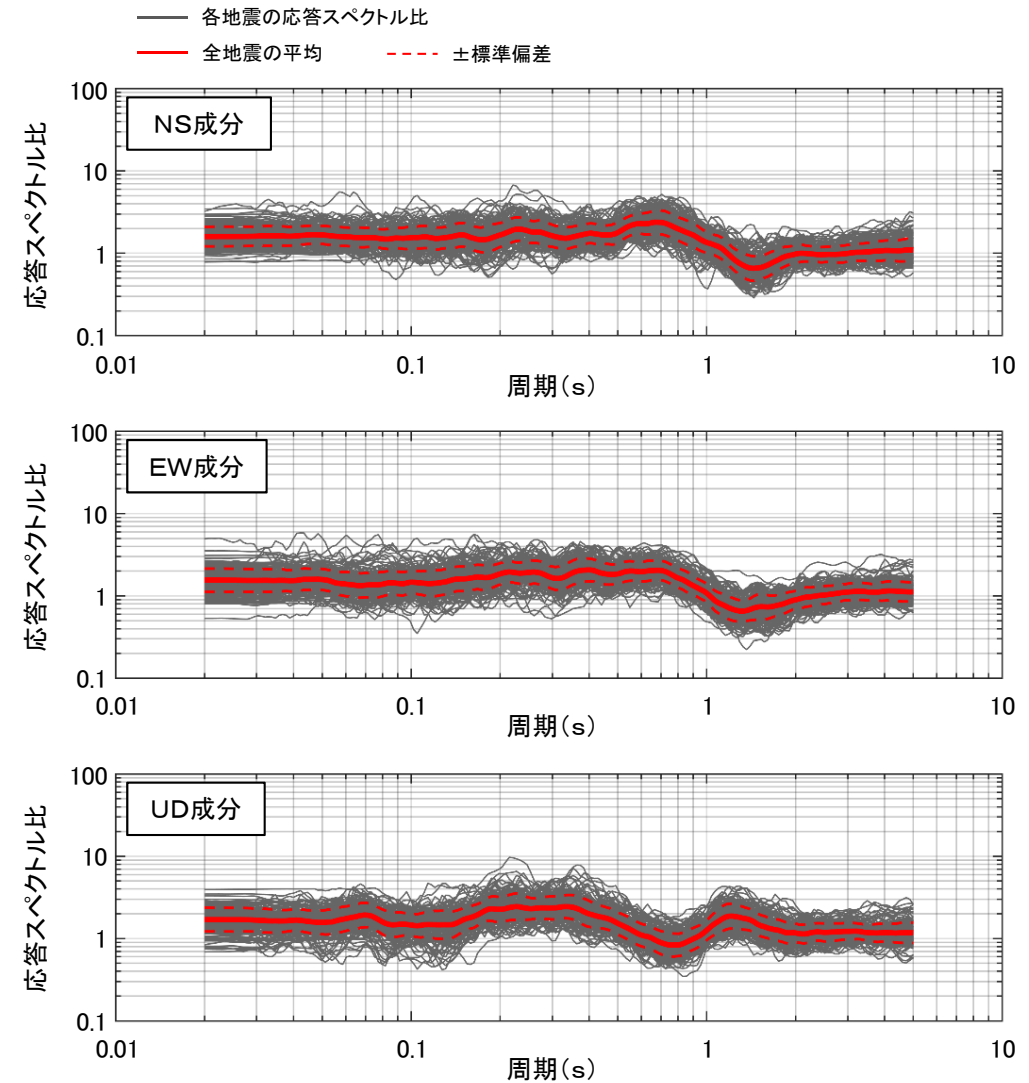


検討結果



領域ごとの平均応答スペクトル比及び標準偏差※

※：領域ごとのKiK-net大間観測点との応答スペクトル比は、補足説明資料の「3-8」を参照。



全地震の応答スペクトル比及び平均応答スペクトル比並びに標準偏差

- 敷地内の鉛直アレイ地震観測地点とKiK-net大間観測点との観測記録の応答スペクトル比について、平均応答スペクトル比の傾向は到来方向によらず同様であり、ばらつきは小さいことから、敷地周辺の地下構造には地震動に影響を及ぼすような不整形はないと考えられる。

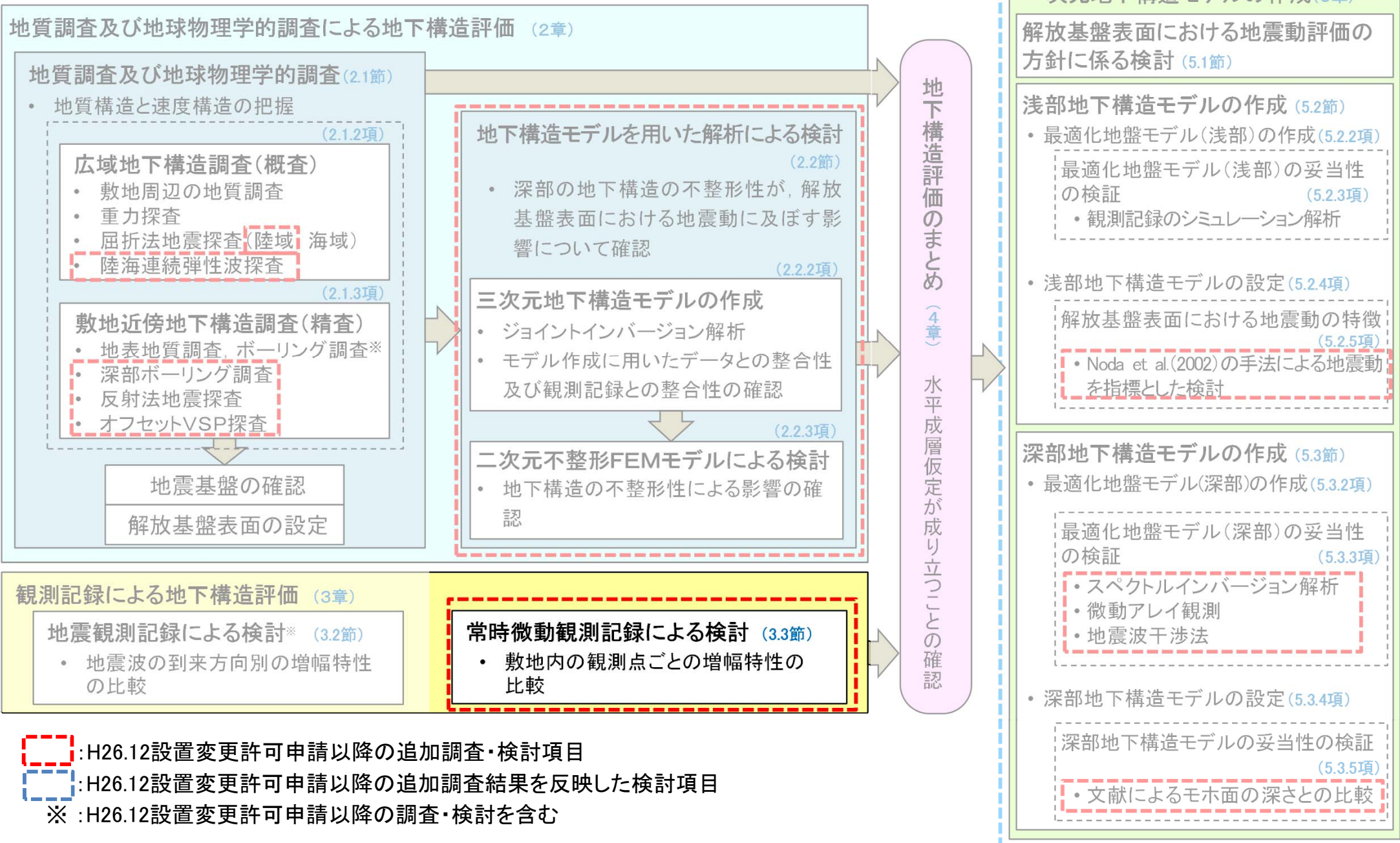
(余白)

目次

1. 地震動評価に用いる地下構造モデルの作成の流れ
2. 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価
 - 2.1 地質調査及び地球物理学的調査
 - 2.1.1 調査項目
 - 2.1.2 広域地下構造調査(概査)
 - 2.1.2.1 調査の内容
 - 2.1.2.2 敷地周辺の地質調査
 - 2.1.2.3 重力探査
 - 2.1.2.4 屈折法・反射法地震探査
 - 2.1.2.5 広域地下構造調査(概査)のまとめ
 - 2.1.3 敷地近傍地下構造調査(精査)
 - 2.1.3.1 調査の内容
 - 2.1.3.2 敷地及び敷地近傍における深部地下構造調査
 - 2.1.3.3 敷地における浅部地下構造調査
 - 2.1.3.4 敷地近傍地下構造調査(精査)のまとめ
 - 2.1.4 地質調査及び地球物理学的調査のまとめ
 - 2.2 地下構造モデルを用いた解析による検討
 - 2.2.1 検討項目
 - 2.2.2 三次元地下構造モデルの作成
 - 2.2.2.1 三次元地下構造モデルの作成手順
 - 2.2.2.2 三次元地下構造モデルの作成範囲
 - 2.2.2.3 三次元地下構造モデルの作成結果
 - 2.2.2.4 三次元地下構造モデルの妥当性の確認
 - 2.2.2.5 三次元地下構造モデルの作成のまとめ
 - 2.2.3 二次元不整形FEMモデルによる検討
 - 2.2.3.1 検討内容
 - 2.2.3.2 解析内容
 - 2.2.3.3 解析モデル
 - 2.2.3.4 解析結果 スナップショットによる分析
 - 2.2.3.5 解析結果 解放基盤表面における応答波形の分析
 - 2.2.3.6 二次元不整形FEMモデルによる検討のまとめ
 - 2.2.4 地下構造モデルを用いた解析による検討のまとめ
 - 2.3 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価のまとめ
3. 観測記録による地下構造評価
 - 3.1 検討項目
 - 3.2 地震観測記録による検討
 - 3.2.1 地震動のH/Vスペクトル比に基づく検討
 - 3.2.2 基準化スペクトルに基づく検討
 - 3.2.3 異なる深度の応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.2.4 KiK-net観測点との応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.3 常時微動観測記録による検討
 - 3.4 観測記録による地下構造評価のまとめ
4. 地下構造評価のまとめ
5. 一次元地下構造モデルの作成
 - 5.1 解放基盤表面における地震動評価の方針に係る検討
 - 5.2 浅部地下構造モデルの作成
 - 5.2.1 浅部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.2.2 最適化地盤モデル(浅部)の作成
 - 5.2.3 最適化地盤モデル(浅部)の妥当性の検証
 - 5.2.4 浅部地下構造モデルの設定
 - 5.2.5 解放基盤表面における地震動の特徴
 - 5.3 深部地下構造モデルの作成
 - 5.3.1 深部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.3.2 最適化地盤モデル(深部)の作成
 - 5.3.3 最適化地盤モデル(深部)の妥当性の検証
 - 5.3.4 深部地下構造モデルの設定
 - 5.3.5 深部地下構造モデルの妥当性の検証
 - 5.4 一次元地下構造モデルの作成のまとめ
6. まとめ



本節における説明箇所



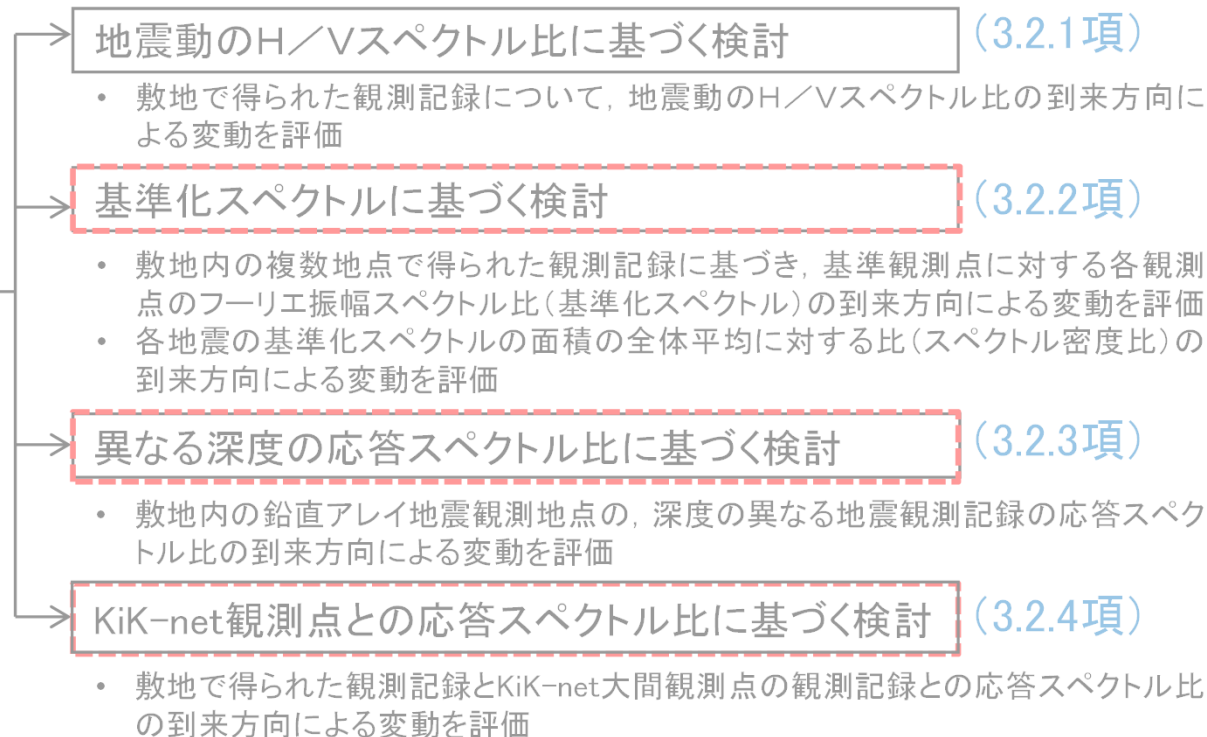
 : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査・検討項目
 : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査結果を反映した検討項目
 ※ : H26.12設置変更許可申請以降の調査・検討を含む

常時微動観測記録による検討の項目

- 敷地の地下構造に、地震動に影響を及ぼすような不整形がないことの確認として、地震波の到来方向の違いや、敷地内に複数配置した観測点の違いによる地盤の増幅特性の変動が小さいことを確認する。

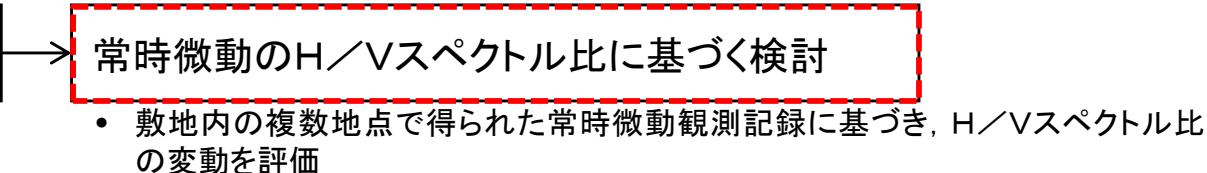
(1) 地震観測記録による検討 (3.2節)

地震波の到来方向別の増幅特性の比較



(2) 常時微動観測記録による検討 (3.3節)

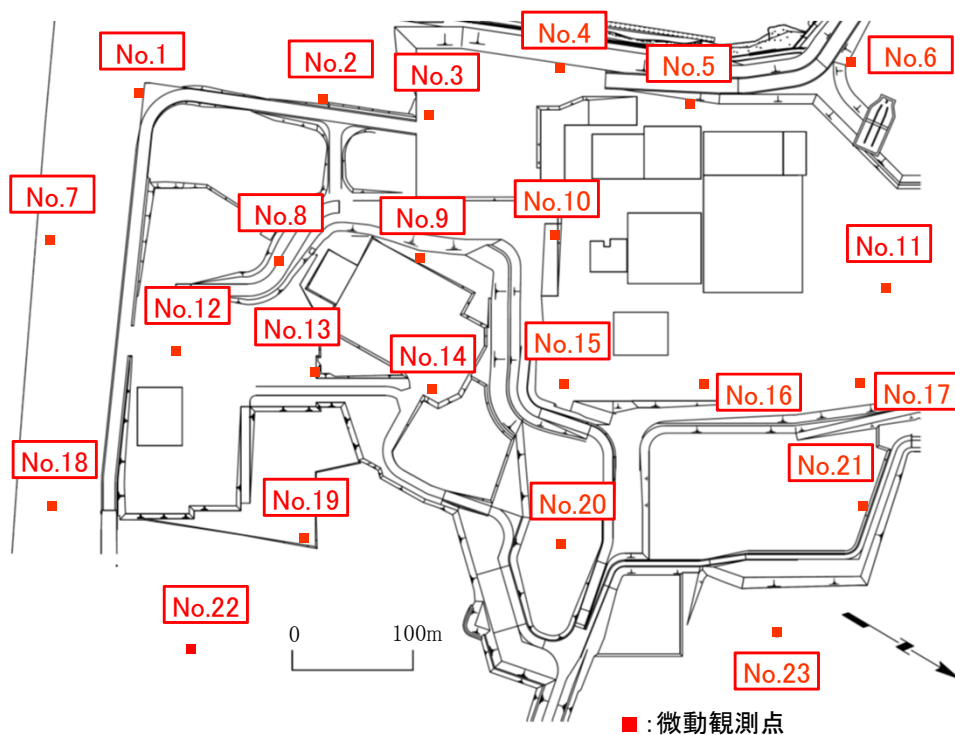
敷地内の観測点ごとの増幅特性の比較



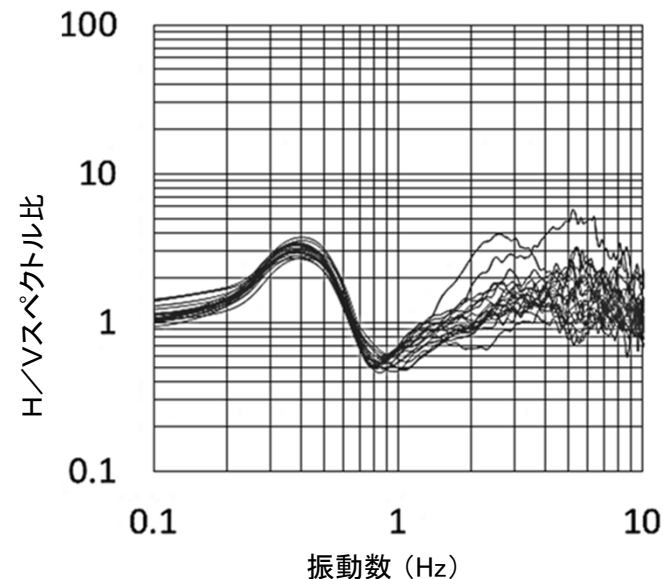
: H26.12設置変更許可申請以降の追加調査・検討項目



敷地内の観測点ごとのH/Vスペクトル比の比較



平面アレイ微動観測点



全観測点のH/Vスペクトル比※2, 3

※1 : No.3は欠測, No.11はノイズの影響がみられるため, 評価に用いていない。

※2 : H/V スペクトル比 = $\frac{\text{NS成分, EW成分のフーリエ振幅スペクトルの幾何平均}}{\text{鉛直成分のフーリエ振幅スペクトル}}$

フーリエ振幅スペクトルの解析区間は1時間とした。

※3 : 各観測点の常時微動のH/Vスペクトル比は, 補足説明資料の「3-9」を参照。

- 敷地内の各地表観測点※1について, 1時間分の常時微動観測記録によるH/Vスペクトル比を比較した。
- 1Hz付近より低振動数側では, H/Vスペクトル比の観測点の位置の違いによる変動は小さく, 深部の地下構造は全観測点でおおむね同様であると考えられる。
- 一方, 1Hz付近より高振動数側ではH/Vスペクトル比の変動が見られるが, P.3-19に示す検討結果を踏まえると, 観測点による浅部の地下構造の違いによるものと考えられる。



- 以上のことから, 常時微動観測記録による検討の結果, 1Hz付近より低振動数側では, H/Vスペクトル比の観測点の位置の違いによる変動は小さく, 深部の地下構造はおおむね同様であると考えられる。

目次

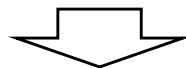
1. 地震動評価に用いる地下構造モデルの作成の流れ
2. 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価
 - 2.1 地質調査及び地球物理学的調査
 - 2.1.1 調査項目
 - 2.1.2 広域地下構造調査(概査)
 - 2.1.2.1 調査の内容
 - 2.1.2.2 敷地周辺の地質調査
 - 2.1.2.3 重力探査
 - 2.1.2.4 屈折法・反射法地震探査
 - 2.1.2.5 広域地下構造調査(概査)のまとめ
 - 2.1.3 敷地近傍地下構造調査(精査)
 - 2.1.3.1 調査の内容
 - 2.1.3.2 敷地及び敷地近傍における深部地下構造調査
 - 2.1.3.3 敷地における浅部地下構造調査
 - 2.1.3.4 敷地近傍地下構造調査(精査)のまとめ
 - 2.1.4 地質調査及び地球物理学的調査のまとめ
 - 2.2 地下構造モデルを用いた解析による検討
 - 2.2.1 検討項目
 - 2.2.2 三次元地下構造モデルの作成
 - 2.2.2.1 三次元地下構造モデルの作成手順
 - 2.2.2.2 三次元地下構造モデルの作成範囲
 - 2.2.2.3 三次元地下構造モデルの作成結果
 - 2.2.2.4 三次元地下構造モデルの妥当性の確認
 - 2.2.2.5 三次元地下構造モデルの作成のまとめ
 - 2.2.3 二次元不整形FEMモデルによる検討
 - 2.2.3.1 検討内容
 - 2.2.3.2 解析内容
 - 2.2.3.3 解析モデル
 - 2.2.3.4 解析結果 スナップショットによる分析
 - 2.2.3.5 解析結果 解放基盤表面における応答波形の分析
 - 2.2.3.6 二次元不整形FEMモデルによる検討のまとめ
 - 2.2.4 地下構造モデルを用いた解析による検討のまとめ
 - 2.3 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価のまとめ
3. 観測記録による地下構造評価
 - 3.1 検討項目
 - 3.2 地震観測記録による検討
 - 3.2.1 地震動のH/Vスペクトル比に基づく検討
 - 3.2.2 基準化スペクトルに基づく検討
 - 3.2.3 異なる深度の応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.2.4 KiK-net観測点との応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.3 常時微動観測記録による検討
 - 3.4 観測記録による地下構造評価のまとめ
4. 地下構造評価のまとめ
5. 一次元地下構造モデルの作成
 - 5.1 解放基盤表面における地震動評価の方針に係る検討
 - 5.2 浅部地下構造モデルの作成
 - 5.2.1 浅部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.2.2 最適化地盤モデル(浅部)の作成
 - 5.2.3 最適化地盤モデル(浅部)の妥当性の検証
 - 5.2.4 浅部地下構造モデルの設定
 - 5.2.5 解放基盤表面における地震動の特徴
 - 5.3 深部地下構造モデルの作成
 - 5.3.1 深部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.3.2 最適化地盤モデル(深部)の作成
 - 5.3.3 最適化地盤モデル(深部)の妥当性の検証
 - 5.3.4 深部地下構造モデルの設定
 - 5.3.5 深部地下構造モデルの妥当性の検証
 - 5.4 一次元地下構造モデルの作成のまとめ
6. まとめ

地震観測記録による検討 (3.2節)

- 地震動のH/Vスペクトル比に基づく検討 (3.2.1項)
 - 地震波の到来方向によるH/Vスペクトル比のばらつきは小さい。(P.3-12参照)
- 基準化スペクトルに基づく検討 (3.2.2項)
 - 各観測点において、地震波の到来方向による平均基準化スペクトル及び各地震のスペクトル密度比のばらつきは小さい。(P.3-15参照)
- 異なる深度の応答スペクトル比に基づく検討 (3.2.3項)
 - 平均応答スペクトル比の傾向は到来方向によらず同様であり、ばらつきは小さい。(P.3-34参照)
- KiK-net観測点との応答スペクトル比に基づく検討 (3.2.4項)
 - 平均応答スペクトル比の傾向は到来方向によらず同様であり、ばらつきは小さい。(P.3-45参照)

常時微動観測記録による検討 (3.3節)

- 常時微動のH/Vスペクトル比に基づく検討
 - 1Hz付近より低振動数側では、H/Vスペクトル比の観測点の位置の違いによる変動は小さく、深部の地下構造はおおむね同様であると考えられる。(P.3-50参照)



敷地の地盤増幅特性について、地震波の到来方向及び観測点位置の違いによるスペクトル比の変動は小さく、敷地の地下構造に地震動に影響を及ぼすような不整形はないとみなすことができ、水平成層仮定が成り立つものと考えられる。

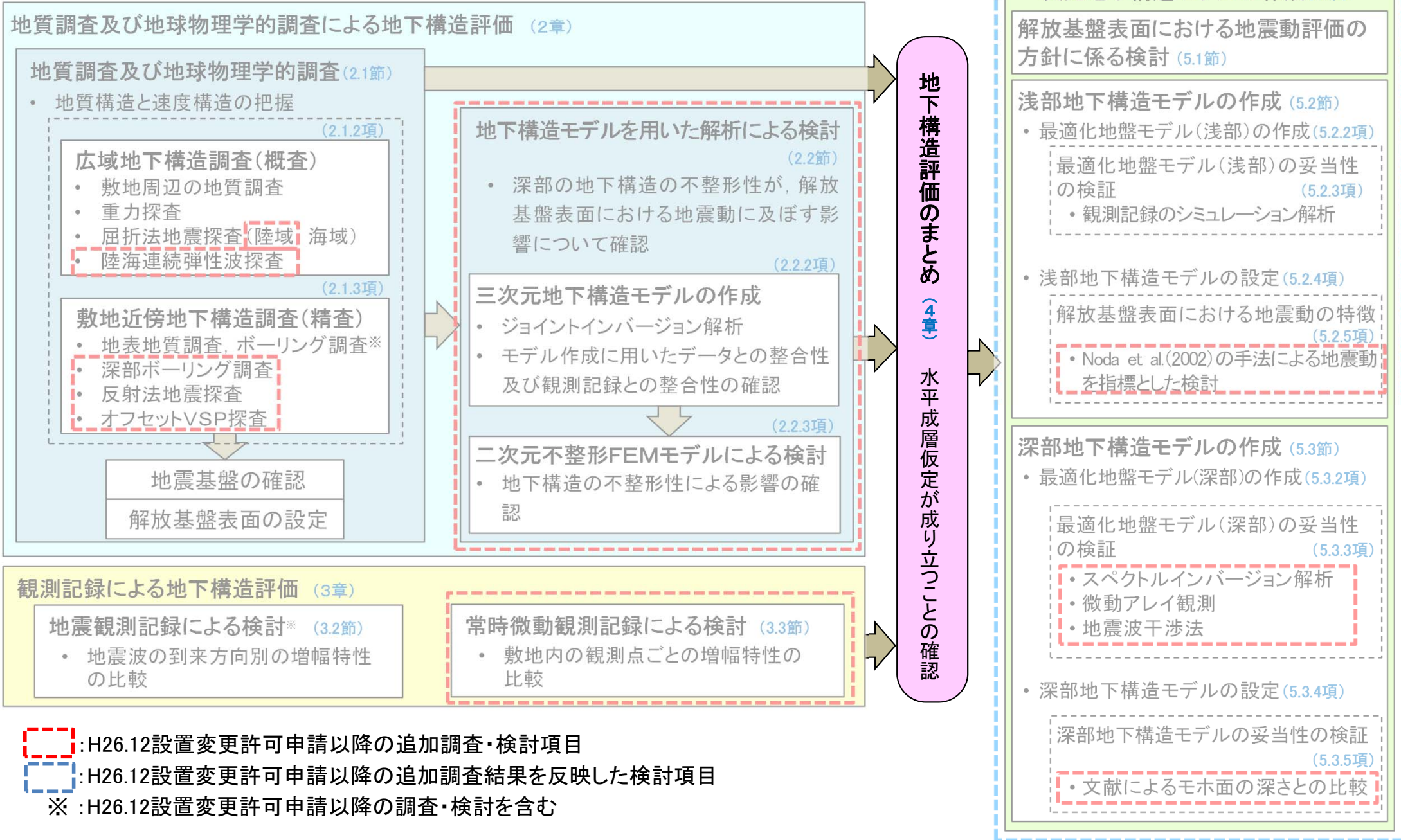
目次

1. 地震動評価に用いる地下構造モデルの作成の流れ
2. 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価
 - 2.1 地質調査及び地球物理学的調査
 - 2.1.1 調査項目
 - 2.1.2 広域地下構造調査(概査)
 - 2.1.2.1 調査の内容
 - 2.1.2.2 敷地周辺の地質調査
 - 2.1.2.3 重力探査
 - 2.1.2.4 屈折法・反射法地震探査
 - 2.1.2.5 広域地下構造調査(概査)のまとめ
 - 2.1.3 敷地近傍地下構造調査(精査)
 - 2.1.3.1 調査の内容
 - 2.1.3.2 敷地及び敷地近傍における深部地下構造調査
 - 2.1.3.3 敷地における浅部地下構造調査
 - 2.1.3.4 敷地近傍地下構造調査(精査)のまとめ
 - 2.1.4 地質調査及び地球物理学的調査のまとめ
 - 2.2 地下構造モデルを用いた解析による検討
 - 2.2.1 検討項目
 - 2.2.2 三次元地下構造モデルの作成
 - 2.2.2.1 三次元地下構造モデルの作成手順
 - 2.2.2.2 三次元地下構造モデルの作成範囲
 - 2.2.2.3 三次元地下構造モデルの作成結果
 - 2.2.2.4 三次元地下構造モデルの妥当性の確認
 - 2.2.2.5 三次元地下構造モデルの作成のまとめ
 - 2.2.3 二次元不整形FEMモデルによる検討
 - 2.2.3.1 検討内容
 - 2.2.3.2 解析内容
 - 2.2.3.3 解析モデル
 - 2.2.3.4 解析結果 スナップショットによる分析
 - 2.2.3.5 解析結果 解放基盤表面における応答波形の分析
 - 2.2.3.6 二次元不整形FEMモデルによる検討のまとめ
 - 2.2.4 地下構造モデルを用いた解析による検討のまとめ
 - 2.3 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価のまとめ
3. 観測記録による地下構造評価
 - 3.1 検討項目
 - 3.2 地震観測記録による検討
 - 3.2.1 地震動のH/Vスペクトル比に基づく検討
 - 3.2.2 基準化スペクトルに基づく検討
 - 3.2.3 異なる深度の応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.2.4 KiK-net観測点との応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.3 常時微動観測記録による検討
 - 3.4 観測記録による地下構造評価のまとめ
4. 地下構造評価のまとめ
5. 一次元地下構造モデルの作成
 - 5.1 解放基盤表面における地震動評価の方針に係る検討
 - 5.2 浅部地下構造モデルの作成
 - 5.2.1 浅部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.2.2 最適化地盤モデル(浅部)の作成
 - 5.2.3 最適化地盤モデル(浅部)の妥当性の検証
 - 5.2.4 浅部地下構造モデルの設定
 - 5.2.5 解放基盤表面における地震動の特徴
 - 5.3 深部地下構造モデルの作成
 - 5.3.1 深部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.3.2 最適化地盤モデル(深部)の作成
 - 5.3.3 最適化地盤モデル(深部)の妥当性の検証
 - 5.3.4 深部地下構造モデルの設定
 - 5.3.5 深部地下構造モデルの妥当性の検証
 - 5.4 一次元地下構造モデルの作成のまとめ
6. まとめ

4. 地下構造評価のまとめ



本章における説明箇所



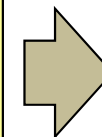
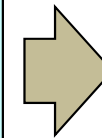
 : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査・検討項目
 : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査結果を反映した検討項目
 ※ : H26.12設置変更許可申請以降の調査・検討を含む

4. 地下構造評価のまとめ

地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価 (2章)

(P.2-130参照)

- 敷地周辺において、地質構造と速度構造とが調和的であり、敷地及び敷地近傍でおおむね水平成層構造である。
- 敷地及び敷地近傍の深部の地下構造について、敷地の解放基盤表面における地震動に影響を及ぼすような不整形はないとみなすことができ、水平成層仮定が成り立つものと考えられる。



観測記録による地下構造評価 (3章)

(P.3-52参照)

- 敷地の地盤増幅特性について、地震波の到来方向及び観測点位置の違いによるスペクトル比の変動は小さく、敷地の地下構造に地震動に影響を及ぼすような不整形はないとみなすことができ、水平成層仮定が成り立つものと考えられる。

地下構造評価のまとめ

敷地の地下構造は水平成層とみなせることから、一次元モデルで地震動の評価が可能であると判断される。

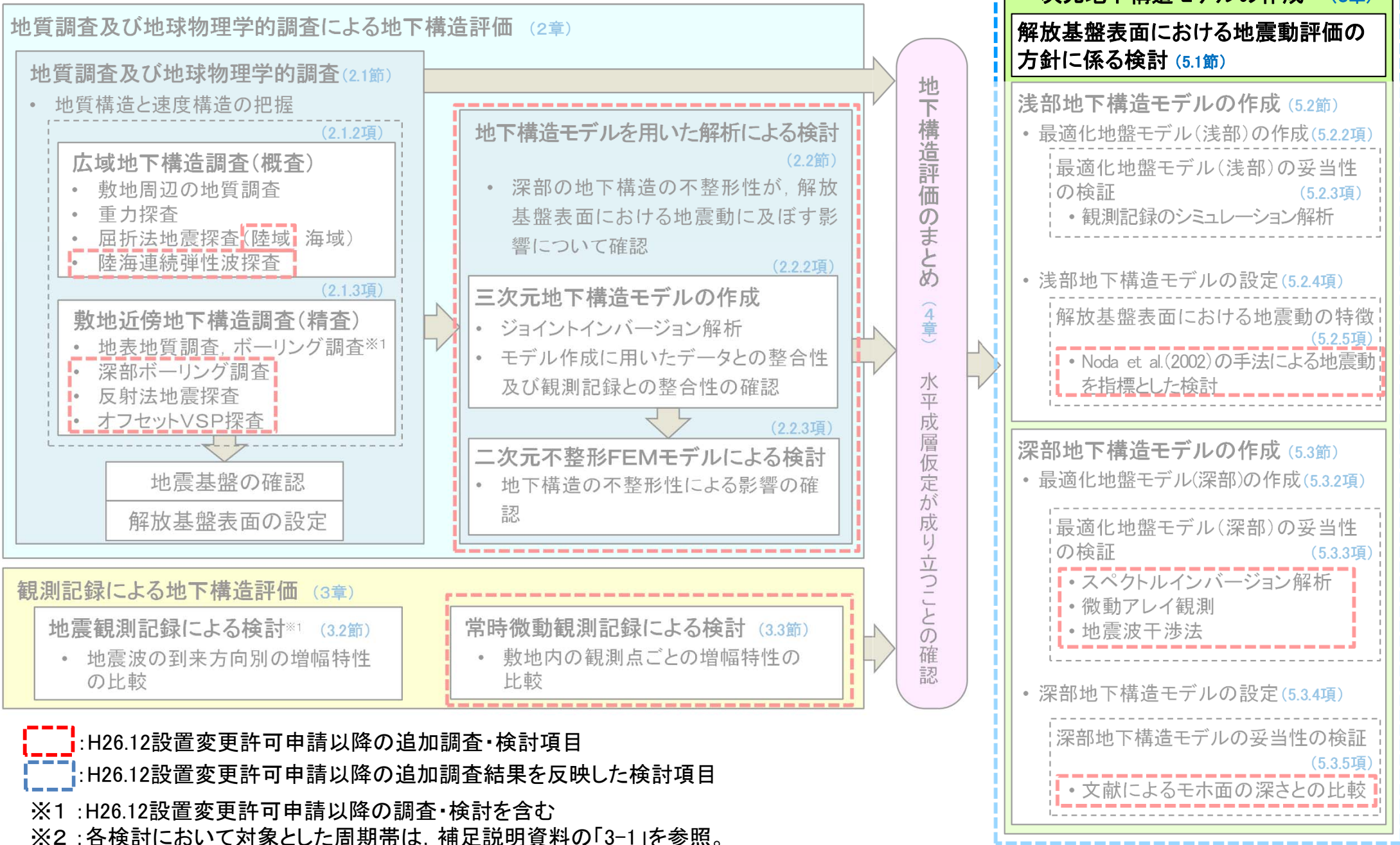
目次

1. 地震動評価に用いる地下構造モデルの作成の流れ
2. 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価
 - 2.1 地質調査及び地球物理学的調査
 - 2.1.1 調査項目
 - 2.1.2 広域地下構造調査(概査)
 - 2.1.2.1 調査の内容
 - 2.1.2.2 敷地周辺の地質調査
 - 2.1.2.3 重力探査
 - 2.1.2.4 屈折法・反射法地震探査
 - 2.1.2.5 広域地下構造調査(概査)のまとめ
 - 2.1.3 敷地近傍地下構造調査(精査)
 - 2.1.3.1 調査の内容
 - 2.1.3.2 敷地及び敷地近傍における深部地下構造調査
 - 2.1.3.3 敷地における浅部地下構造調査
 - 2.1.3.4 敷地近傍地下構造調査(精査)のまとめ
 - 2.1.4 地質調査及び地球物理学的調査のまとめ
 - 2.2 地下構造モデルを用いた解析による検討
 - 2.2.1 検討項目
 - 2.2.2 三次元地下構造モデルの作成
 - 2.2.2.1 三次元地下構造モデルの作成手順
 - 2.2.2.2 三次元地下構造モデルの作成範囲
 - 2.2.2.3 三次元地下構造モデルの作成結果
 - 2.2.2.4 三次元地下構造モデルの妥当性の確認
 - 2.2.2.5 三次元地下構造モデルの作成のまとめ
 - 2.2.3 二次元不整形FEMモデルによる検討
 - 2.2.3.1 検討内容
 - 2.2.3.2 解析内容
 - 2.2.3.3 解析モデル
 - 2.2.3.4 解析結果 スナップショットによる分析
 - 2.2.3.5 解析結果 解放基盤表面における応答波形の分析
 - 2.2.3.6 二次元不整形FEMモデルによる検討のまとめ
 - 2.2.4 地下構造モデルを用いた解析による検討のまとめ
 - 2.3 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価のまとめ
3. 観測記録による地下構造評価
 - 3.1 検討項目
 - 3.2 地震観測記録による検討
 - 3.2.1 地震動のH/Vスペクトル比に基づく検討
 - 3.2.2 基準化スペクトルに基づく検討
 - 3.2.3 異なる深度の応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.2.4 KiK-net観測点との応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.3 常時微動観測記録による検討
 - 3.4 観測記録による地下構造評価のまとめ
4. 地下構造評価のまとめ
5. 一次元地下構造モデルの作成
 - 5.1 解放基盤表面における地震動評価の方針に係る検討
 - 5.2 浅部地下構造モデルの作成
 - 5.2.1 浅部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.2.2 最適化地盤モデル(浅部)の作成
 - 5.2.3 最適化地盤モデル(浅部)の妥当性の検証
 - 5.2.4 浅部地下構造モデルの設定
 - 5.2.5 解放基盤表面における地震動の特徴
 - 5.3 深部地下構造モデルの作成
 - 5.3.1 深部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.3.2 最適化地盤モデル(深部)の作成
 - 5.3.3 最適化地盤モデル(深部)の妥当性の検証
 - 5.3.4 深部地下構造モデルの設定
 - 5.3.5 深部地下構造モデルの妥当性の検証
 - 5.4 一次元地下構造モデルの作成のまとめ
6. まとめ

5. 一次元地下構造モデルの作成



本章における説明箇所



■ : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査・検討項目
□ : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査結果を反映した検討項目

※1 : H26.12設置変更許可申請以降の調査・検討を含む
※2 : 各検討において対象とした周期帯は, 補足説明資料の「3-1」を参照。

5.1 解放基盤表面における地震動評価の方針に係る検討 (1/6)



解放基盤表面における地震動評価の方針 (1/2)

コメントNo.S3-12

○敷地地盤の振動特性

- 敷地の地下構造は、地質調査及び地球物理学的調査、地下構造モデルを用いた解析、観測記録による地下構造評価の結果から、水平成層仮定が成り立つとみなせることから、一次元地下構造モデルによる地震動評価が可能。

○鉛直アレイ地震観測地点における地下構造モデルの作成

- 地震波の伝播特性を適切に評価するために、地震観測記録に基づき一次元の地下構造モデルを作成することとし、地震観測記録の得られた鉛直アレイ地震観測地点において最適化を行う。

○解放基盤表面における地震動評価

➤ 基盤の地震動を評価する位置の設定

下記を踏まえ、鉛直アレイ地震観測地点における基盤の地震動を評価する位置(T.P.-230m)において評価した地震動を、重要な安全機能を有する施設の基礎地盤の解放基盤表面(T.P.-260m)における地震動として適用する。

- 重要な安全機能を有する施設の基礎地盤において、解放基盤表面(T.P.-260m)を設定した地層(原子炉建屋付近では大間層中の酸性凝灰岩層)は、鉛直アレイ地震観測地点まで連続して分布し、また同地点へ緩やかに傾斜しており、鉛直アレイ地震観測地点のT.P.-230m位置に分布している。(P.5-6参照)
- 鉛直アレイ地震観測地点において、T.P.-230m位置の速度($V_s=860\text{m/s}$)は、原子炉建屋設置位置における解放基盤表面の速度($V_s=900\text{m/s}$ 程度)と同等である。(P.5-6参照)
- 原子炉建屋設置位置の解放基盤表面(T.P.-260m)と、鉛直アレイ地震観測地点における基盤の地震動を評価する位置(T.P.-230m)の、地震基盤からの増幅特性は整合的である。(P.5-7参照)

➤ 一次元地下構造モデルの作成

基盤の地震動を評価する位置より浅部の「浅部地下構造モデル」及び深部の「深部地下構造モデル」を作成する。

➤ 地震動評価における地下構造モデルの具体的な取り扱い

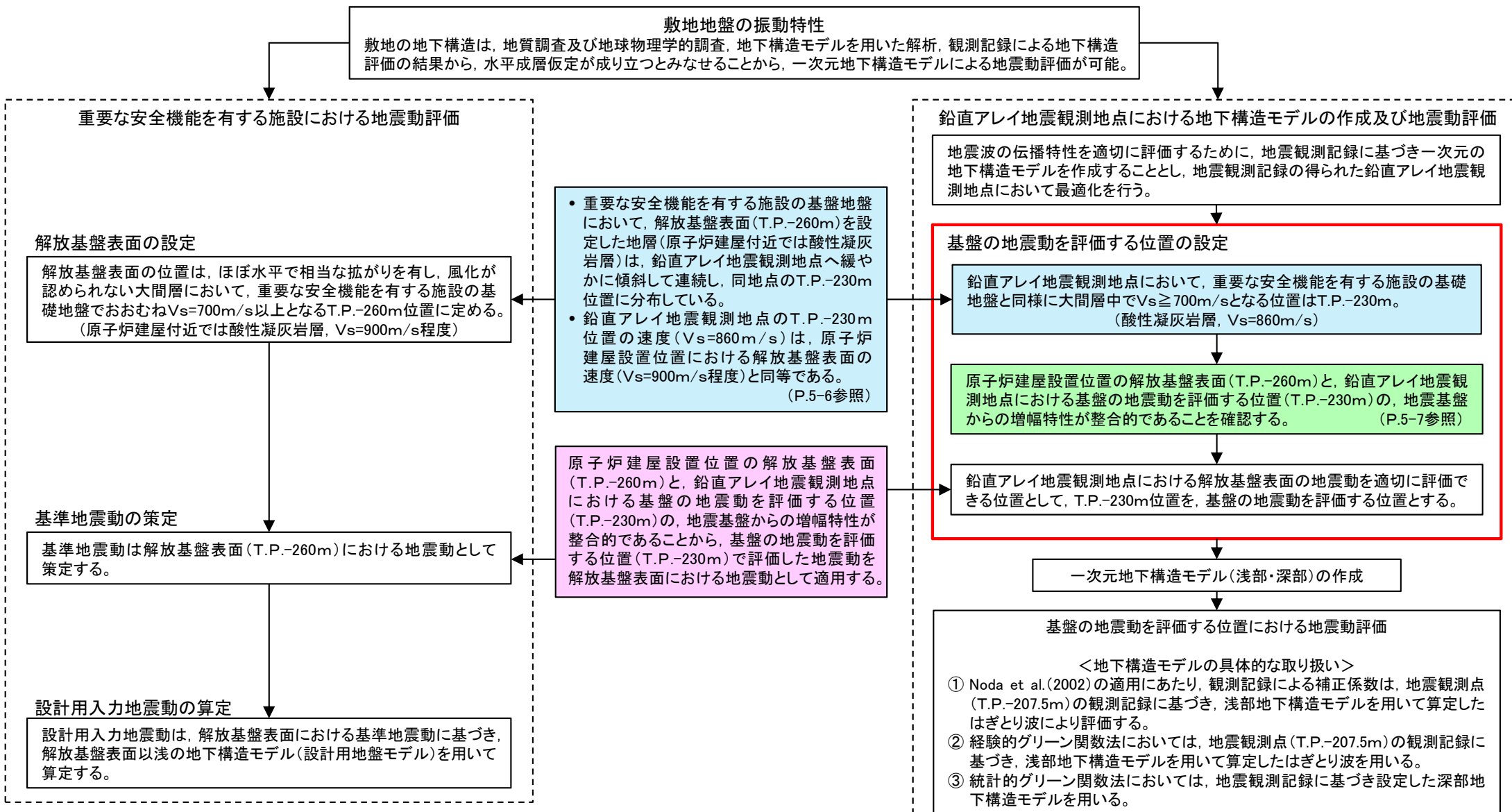
- ①Noda et al.(2002)⁶⁾の適用にあたり、観測記録による補正係数は、地震観測点(T.P.-207.5m)の観測記録に基づき、浅部地下構造モデルを用いて算定したはぎとり波により評価する。
- ②経験的グリーン関数法において、地震観測点(T.P.-207.5m)の観測記録に基づき、浅部地下構造モデルを用いて算定したはぎとり波を用いる。
- ③統計的グリーン関数法において、地震観測記録に基づき設定した深部地下構造モデルを用いる。



解放基盤表面における地震動評価の方針 (2/2)

コメントNo.S3-12

敷地の地下構造評価の結果、敷地の地下構造は水平成層とみなすことができ、一次元モデルで地震動の評価が可能であると判断されることを踏まえ、地震動評価及び地下構造モデルの作成に関する検討方針について、下記フロー※に示す。(※:参考として模式図を次ページに示す。)

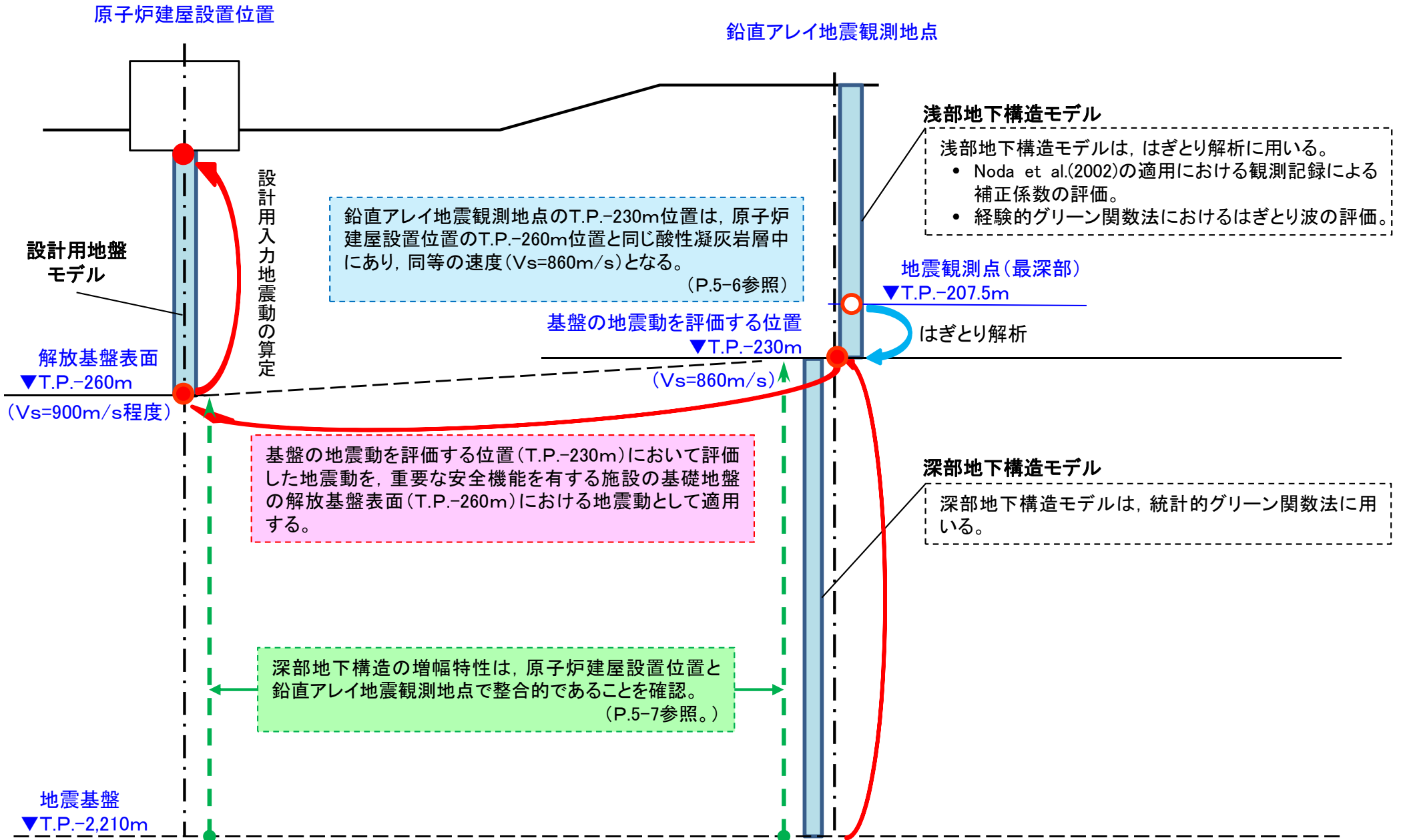


5.1 解放基盤表面における地震動評価の方針に係る検討 (3/6)



(参考)解放基盤表面における地震動評価の方針の模式図

コメントNo.S3-12





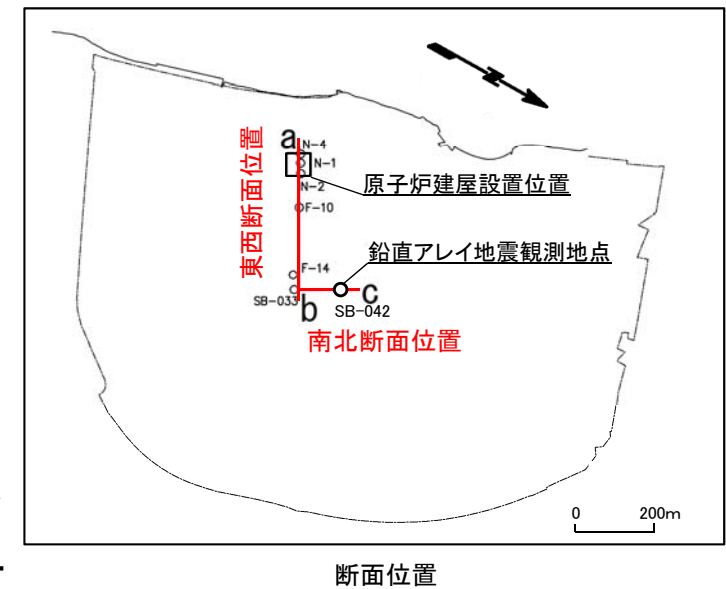
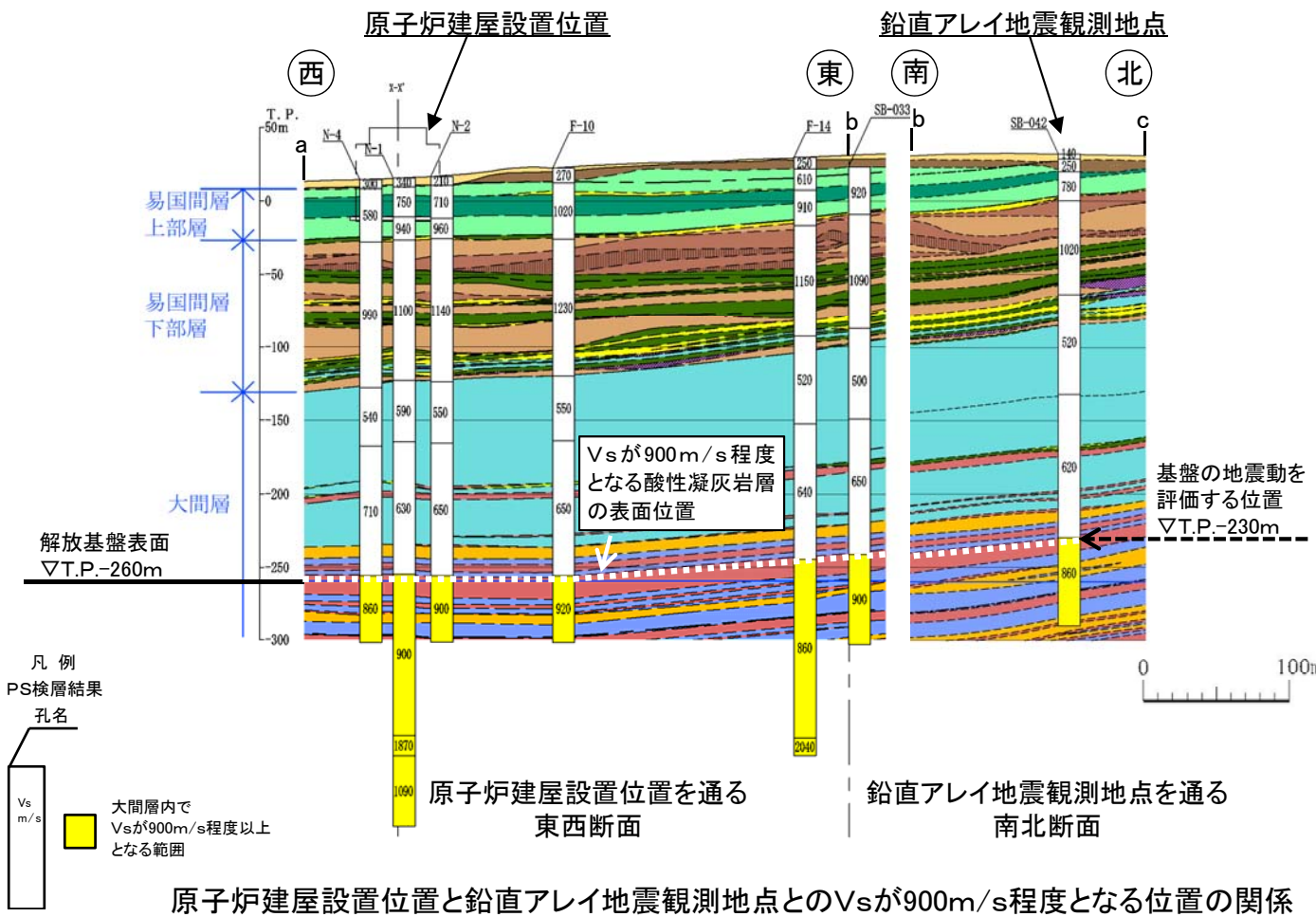
コメントNo.S3-12

基盤の地震動を評価する位置の設定の考え方

規制基準・審査ガイド(以下「規制基準等」という。)の要求事項※1及び敷地の地質構造※2を踏まえ、鉛直アレイ地震観測地点において、解放基盤表面以深の地下構造による増幅特性を反映し、解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置は、原子炉建屋付近の基礎地盤と同様に、大間層中において $V_s=900\text{m/s}$ 程度となる位置(T.P.-230m, 酸性凝灰岩層, $V_s=860\text{m/s}$)と考える。

※1: 規制基準等において、敷地及び敷地周辺の地下構造(深部・浅部地盤構造)が地震波の伝播特性に与える影響を検討するため、敷地及び敷地周辺における地層の傾斜等の地質構造や地盤の減衰特性を適切に評価するとされている。規制基準等における要求事項との関係の詳細については、補足説明資料の「5-1」を参照。

※2: 敷地の地質構造を評価すると、解放基盤表面(T.P.-260m)は、敷地全体でおおむね水平に分布する地層(大間層)にある。なお、原子炉建屋設置位置において、解放基盤表面は $V_s=900\text{m/s}$ 程度となる酸性凝灰岩層の表面付近(下図の白破線)に設定しており、この層は、鉛直アレイ地震観測地点付近へ緩やかに傾斜している。



注) 炉心位置と鉛直アレイ地震観測地点との距離は約340mである。

基盤の地震動を評価する位置の設定の妥当性の確認

コメントNo.S3-12

- 原子炉建屋設置位置における解放基盤表面(T.P.-260m)と、鉛直アレイ地震観測地点における基盤の地震動を評価する位置(T.P.-230m)の、地震基盤からの増幅特性が整合的であることについて、地下構造モデルを用いて確認した。
- 原子炉建屋設置位置の深部地下構造モデルは、三次元地下構造モデル(P.2-61参照)から切り出した原子炉建屋設置位置の一次元地下構造モデル(表1, 図1参照)とした。また、鉛直アレイ地震観測地点の深部地下構造モデルは、当該位置において作成した地震動評価に用いる深部地下構造モデル(表2, 図1参照)とした。
- 鉛直アレイ地震観測地点のT.P.-230m位置における増幅特性は、原子炉建屋設置位置の解放基盤表面(T.P.-260m)における増幅特性と整合的である。(図2参照)
- 以上のことから、鉛直アレイ地震観測地点における解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置として、T.P.-230m位置を基盤の地震動を評価する位置に設定することは妥当であると考えられる。

表1 原子炉建屋設置位置の深部地下構造モデル

上端標高 T.P.(m)	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	V_s (m/s)	Q_s *1
-260	18	1.85	879	50
-278	20	1.86	884	
-298	20	1.86	889	
-318	20	1.87	894	
-339	14	1.88	904	
-353	14	1.89	920	80
-367	87	2.23	1541	
-453	87	2.26	1618	
-540	87	2.30	1695	
-627	87	2.33	1772	
-713	87	2.36	1848	290
-800	944	2.45	2080	
-1744	76	2.58	2534	
-1821	76	2.59	2588	
-1897	76	2.61	2642	
-1973	76	2.62	2696	550
-2050	76	2.63	2750	
-2126	84	2.69	3148	
-2210	-	2.69	3148	

表2 鉛直アレイ地震観測地点の深部地下構造モデル*2

上端標高 T.P.(m)	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	V_s (m/s)	Q_s
-230	100	1.6	860	50
-330	490	2.3	1700	80
-820	950	2.5	2200	290
-1770	-	-	-	
-1770	440	2.7	2700	550
-2210	-	2.7	3200	

*1 : Q_s は表2に示す深部地下構造モデルの値を参照して設定した。

*2 : P.5-39参照

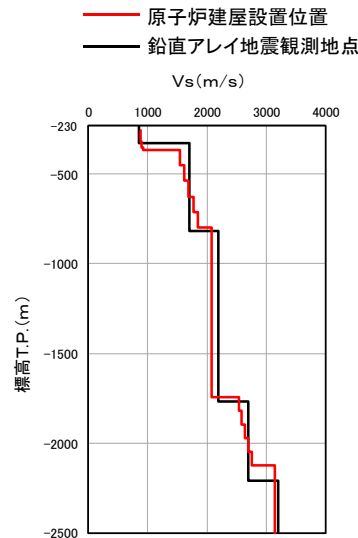


図1 原子炉建屋設置位置及び鉛直アレイ地震観測地点の速度構造(V_s)の比較

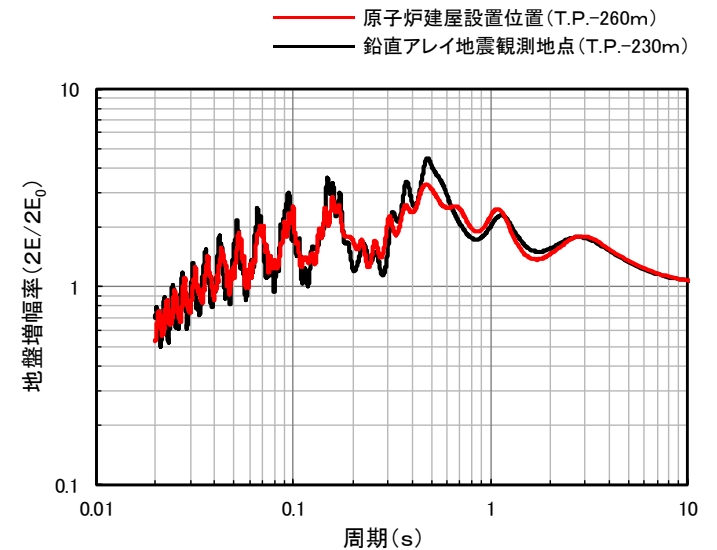


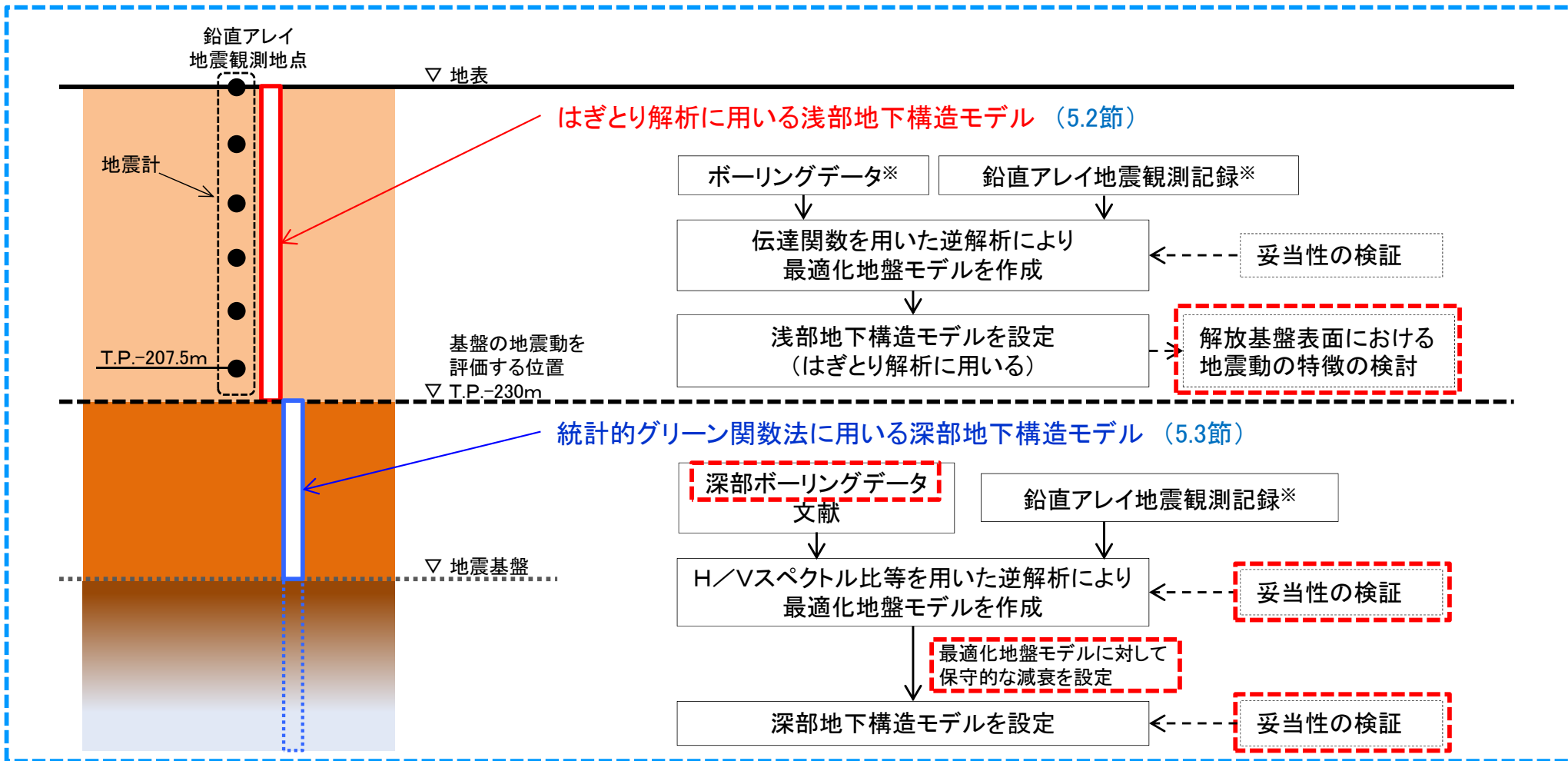
図2 原子炉建屋設置位置及び鉛直アレイ地震観測地点の地盤増幅率の比較*3
(評価位置の $2E$ /地震基盤位置の入力波 $2E_0$)

*3 : 原子炉建屋設置位置(T.P.-260m)と鉛直アレイ地震観測地点(T.P.-260m)の地盤増幅率の比較は補足説明資料の「5-2」を参照。



コメントNo.S3-12

地下構造モデルの設定の概要



 : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査・検討項目

 : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査結果を反映した検討項目

※ : H26.12設置変更許可申請以降の調査・検討を含む

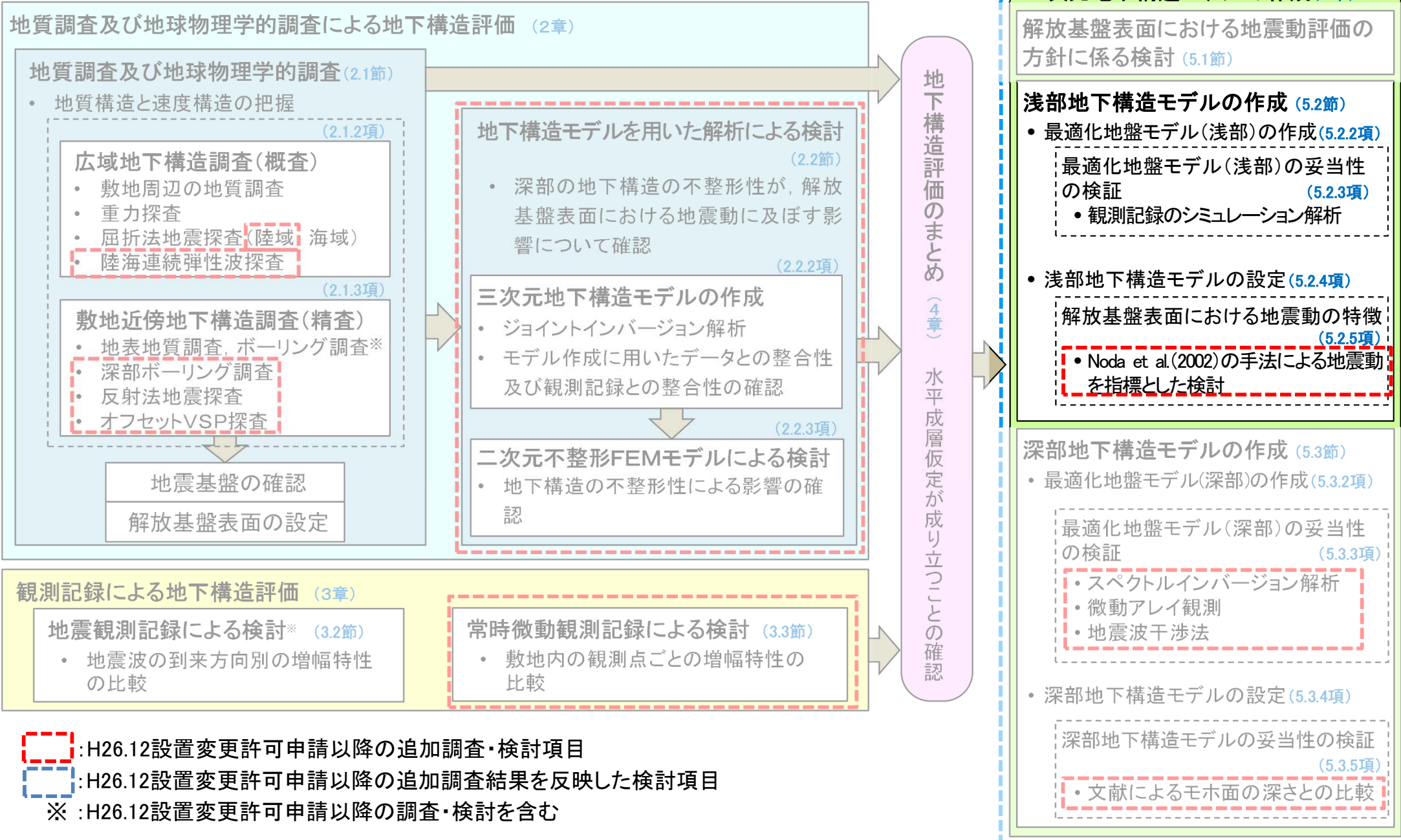
- 一次元地下構造モデルは、地震観測記録に基づく逆解析により、基盤の地震動を評価する位置(T.P.-230m)より浅部のモデル(以下「浅部地下構造モデル」という。)と、深部のモデル(以下「深部地下構造モデル」という。)に分けて設定する。
- 浅部地下構造モデルは、最適化地盤モデルを、経験的グリーン関数法による地震動評価等におけるはざとり解析に用いるモデルとして設定する。
- 深部地下構造モデルは、最適化地盤モデルに対して保守的な減衰を考慮し、統計的グリーン関数法及び理論的手法による地震動評価に用いるモデルとしてそれぞれ設定する。

目次

1. 地震動評価に用いる地下構造モデルの作成の流れ
2. 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価
 - 2.1 地質調査及び地球物理学的調査
 - 2.1.1 調査項目
 - 2.1.2 広域地下構造調査(概査)
 - 2.1.2.1 調査の内容
 - 2.1.2.2 敷地周辺の地質調査
 - 2.1.2.3 重力探査
 - 2.1.2.4 屈折法・反射法地震探査
 - 2.1.2.5 広域地下構造調査(概査)のまとめ
 - 2.1.3 敷地近傍地下構造調査(精査)
 - 2.1.3.1 調査の内容
 - 2.1.3.2 敷地及び敷地近傍における深部地下構造調査
 - 2.1.3.3 敷地における浅部地下構造調査
 - 2.1.3.4 敷地近傍地下構造調査(精査)のまとめ
 - 2.1.4 地質調査及び地球物理学的調査のまとめ
 - 2.2 地下構造モデルを用いた解析による検討
 - 2.2.1 検討項目
 - 2.2.2 三次元地下構造モデルの作成
 - 2.2.2.1 三次元地下構造モデルの作成手順
 - 2.2.2.2 三次元地下構造モデルの作成範囲
 - 2.2.2.3 三次元地下構造モデルの作成結果
 - 2.2.2.4 三次元地下構造モデルの妥当性の確認
 - 2.2.2.5 三次元地下構造モデルの作成のまとめ
 - 2.2.3 二次元不整形FEMモデルによる検討
 - 2.2.3.1 検討内容
 - 2.2.3.2 解析内容
 - 2.2.3.3 解析モデル
 - 2.2.3.4 解析結果 スナップショットによる分析
 - 2.2.3.5 解析結果 解放基盤表面における応答波形の分析
 - 2.2.3.6 二次元不整形FEMモデルによる検討のまとめ
 - 2.2.4 地下構造モデルを用いた解析による検討のまとめ
 - 2.3 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価のまとめ
3. 観測記録による地下構造評価
 - 3.1 検討項目
 - 3.2 地震観測記録による検討
 - 3.2.1 地震動のH/Vスペクトル比に基づく検討
 - 3.2.2 基準化スペクトルに基づく検討
 - 3.2.3 異なる深度の応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.2.4 KiK-net観測点との応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.3 常時微動観測記録による検討
 - 3.4 観測記録による地下構造評価のまとめ
4. 地下構造評価のまとめ
5. 一次元地下構造モデルの作成
 - 5.1 解放基盤表面における地震動評価の方針に係る検討
 - 5.2 浅部地下構造モデルの作成
 - 5.2.1 浅部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.2.2 最適化地盤モデル(浅部)の作成
 - 5.2.3 最適化地盤モデル(浅部)の妥当性の検証
 - 5.2.4 浅部地下構造モデルの設定
 - 5.2.5 解放基盤表面における地震動の特徴
 - 5.3 深部地下構造モデルの作成
 - 5.3.1 深部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.3.2 最適化地盤モデル(深部)の作成
 - 5.3.3 最適化地盤モデル(深部)の妥当性の検証
 - 5.3.4 深部地下構造モデルの設定
 - 5.3.5 深部地下構造モデルの妥当性の検証
 - 5.4 一次元地下構造モデルの作成のまとめ
6. まとめ



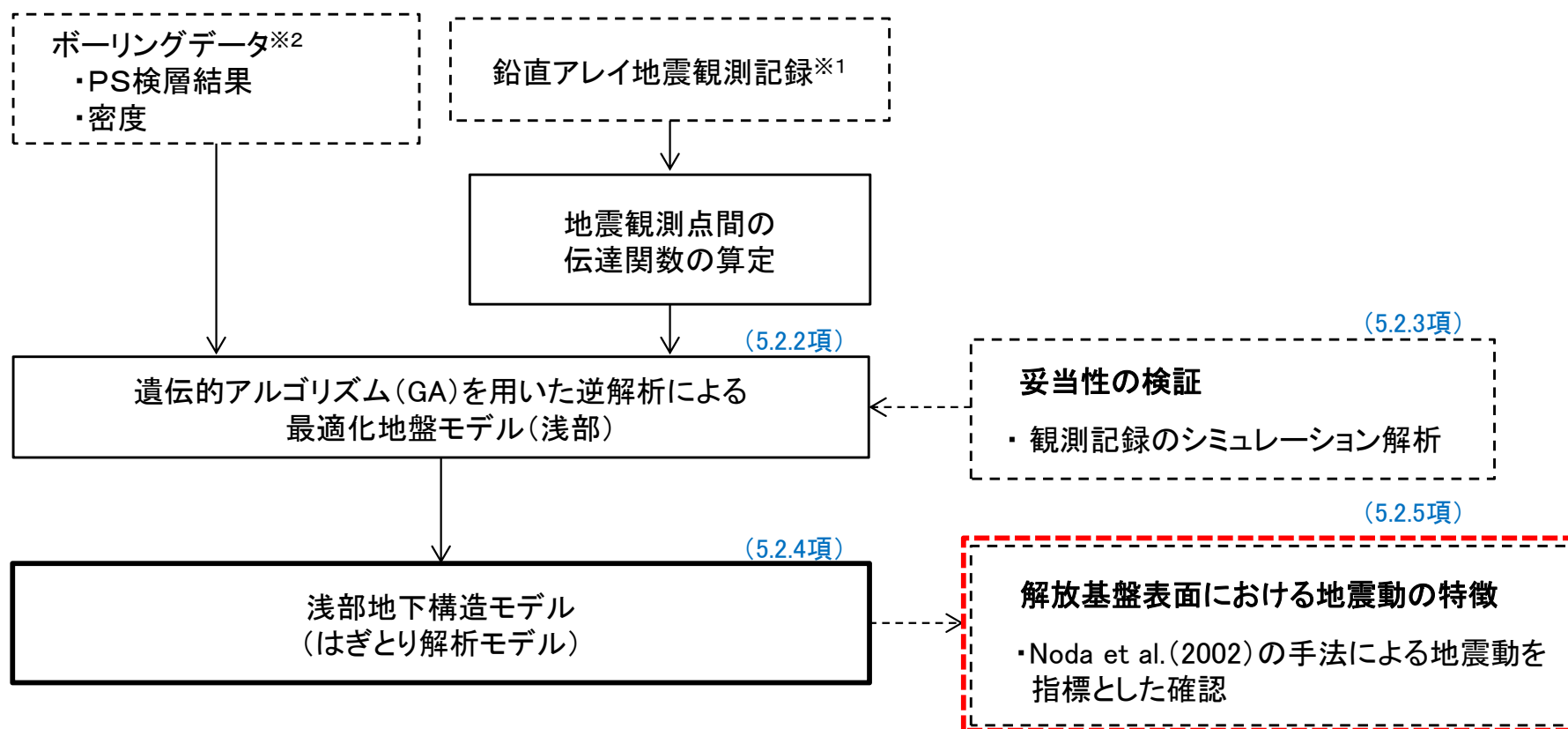
本節における説明箇所



 : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査・検討項目
 : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査結果を反映した検討項目
 ※ : H26.12設置変更許可申請以降の調査・検討を含む

5.2.1 浅部地下構造モデルの作成フロー

- 敷地内の鉛直アレイ地震観測地点^{※1}の任意の2点間による観測記録の伝達関数(フーリエ振幅スペクトル比)を用いた逆解析により, 最適化地盤モデル(浅部)を作成する。
- 逆解析には, 遺伝的アルゴリズム(GA)を用いる。
- 最適化地盤モデル(浅部)を, 浅部地下構造モデル(はぎとり解析モデル)として設定する。



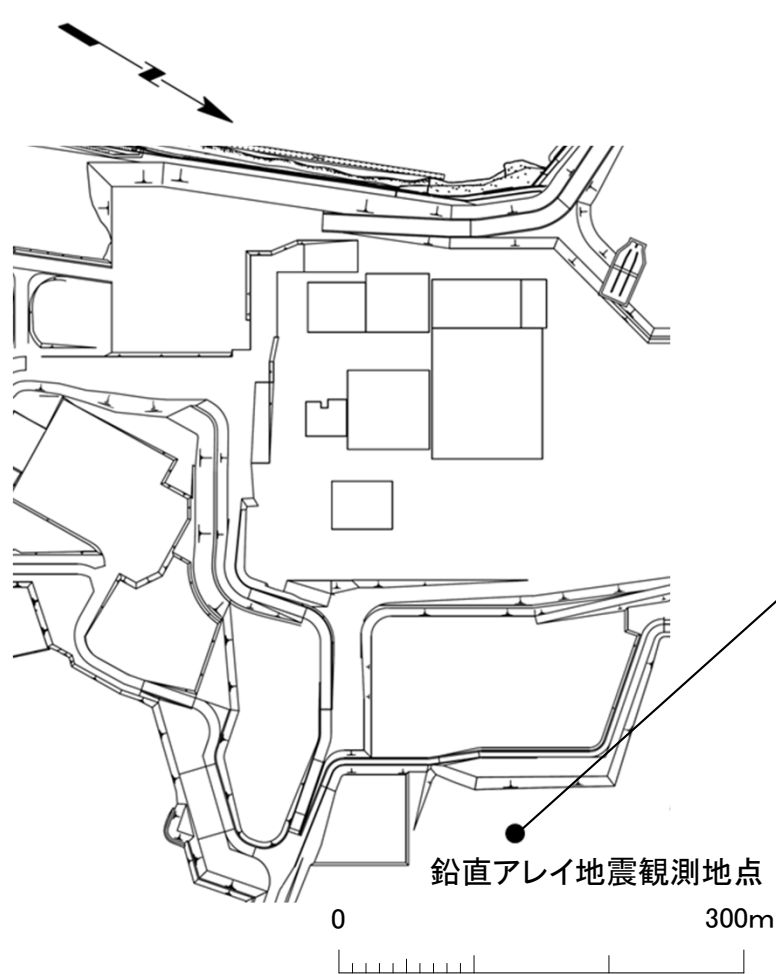
 : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査・検討項目

※1 : 敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の詳細については, P.5-12参照。

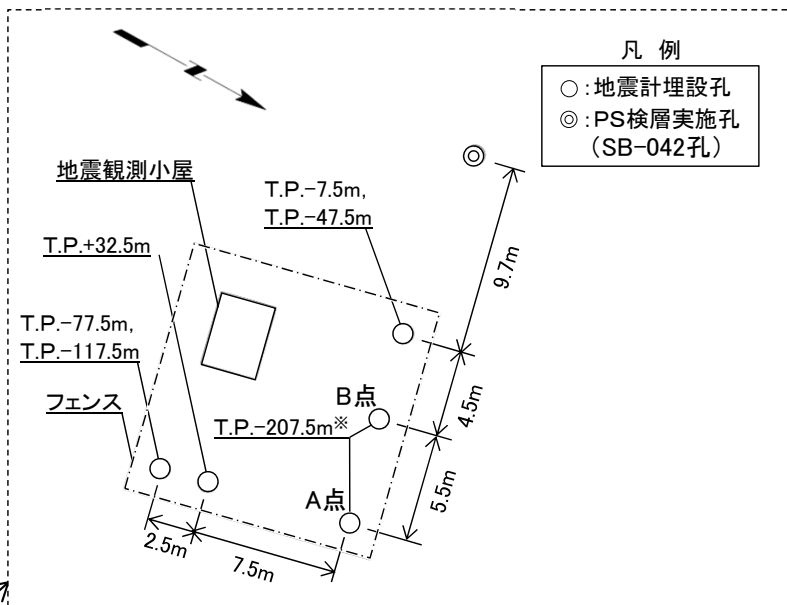
※2 : H26.12設置変更許可申請以降の調査・検討を含む。(P.2-38参照)



敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の詳細



鉛直アレイ地震観測地点の位置



鉛直アレイ地震観測地点の詳細

※ : A点での観測時期
1989年8月1日～2003年7月2日
[1999年9月21日～2003年7月2日の期間は、T.P.-207.5m位置の地震計のUD成分の感度が低下しており、解析に用いていない。]

B点での観測時期
2003年7月3日～現在
[2011年9月28日以降の期間は、T.P.-117.5m位置の地震計のUD成分の感度が低下しており、解析に用いていない。]

基盤の地震動を
評価する位置 ▼

標高 T.P.(m)	地震計	地層
+32.5	GL±0	第四系
		易国間層 上部層
-7.5	○	易国間層 下部層
-47.5	○	
-77.5	○	
-117.5	○	大間層
-207.5	○	
-230		

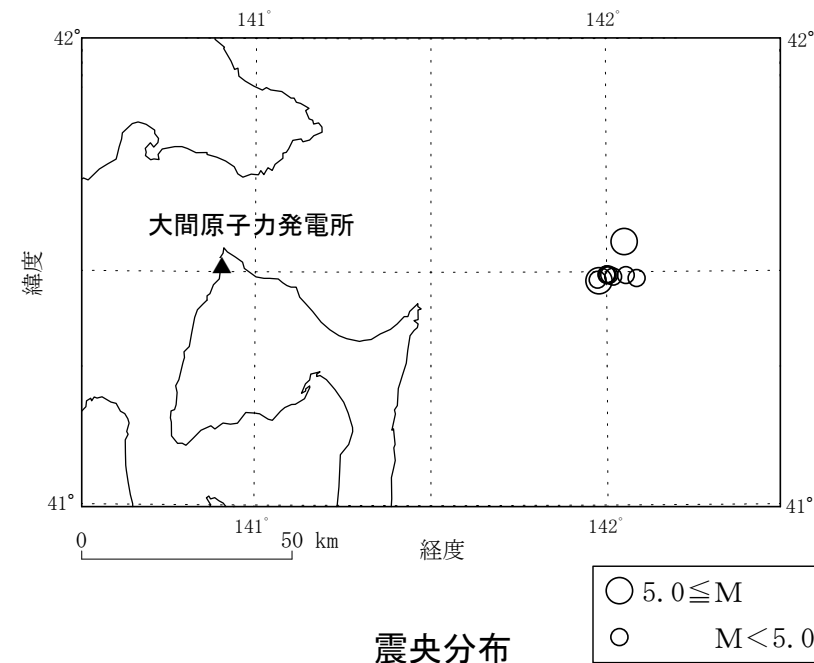
深さ方向の地震計設置位置

- 敷地内の鉛直アレイ地震観測地点において、T.P.-207.5m以浅で地震観測を行っている。

伝達関数の算定に用いた観測記録

検討対象とした地震の諸元

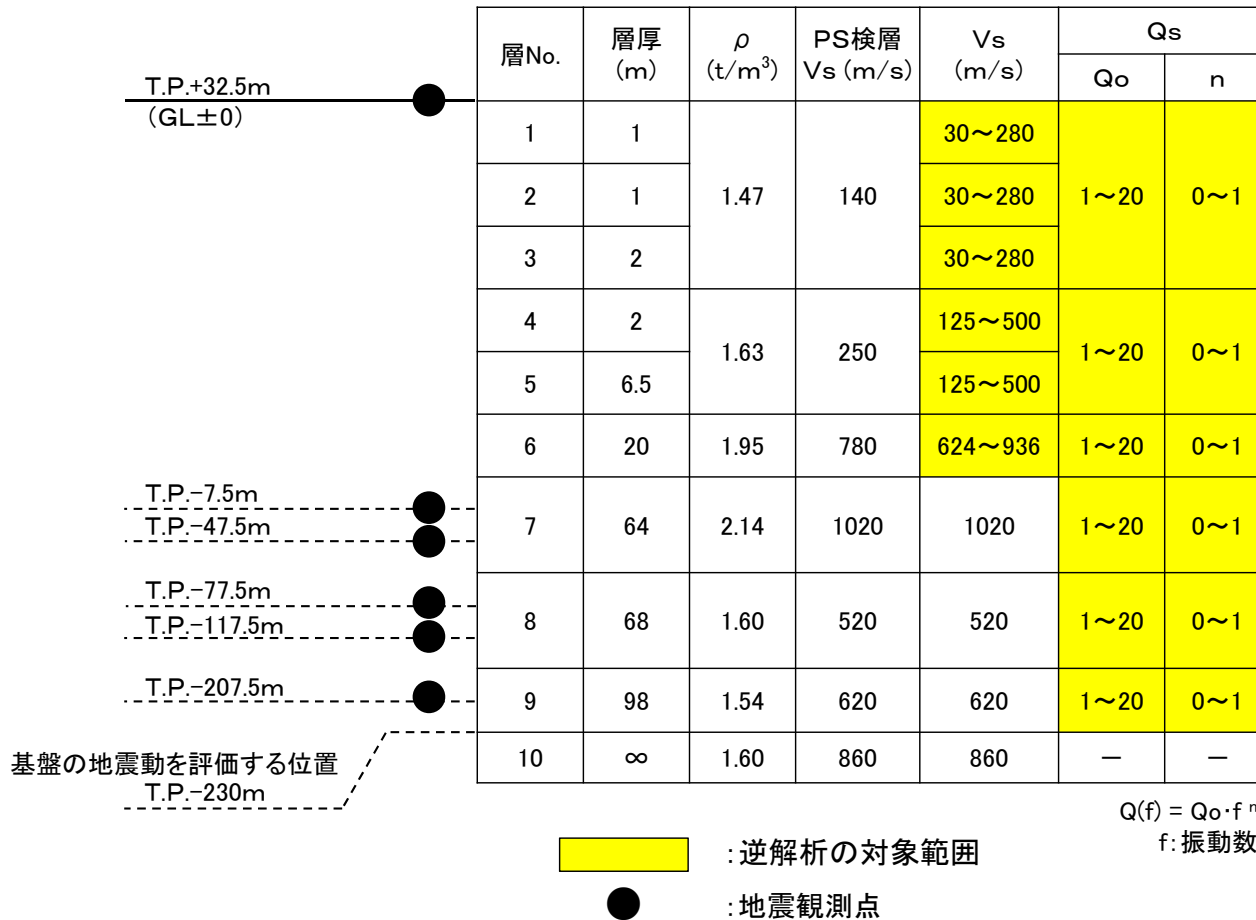
No.	発震時	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央 距離 (km)	見かけの 入射角 (°)
		東経 (°)	北緯 (°)				
1	2004/12/06 04:45	142.057	41.491	65	4.6	96	56
2	2004/12/13 04:41	142.021	41.488	63	4.2	93	56
3	2005/06/03 01:32	142.003	41.493	63	4.3	91	55
4	2005/09/03 01:24	141.976	41.481	64	4.9	89	54
5	2007/05/19 00:59	142.053	41.563	68	5.3	96	55
6	2008/05/14 03:00	142.005	41.491	63	4.2	91	55
7	2010/10/06 07:35	142.010	41.492	63	4.1	92	56
8	2012/04/27 03:41	141.980	41.479	65	5.0	89	54
9	2015/06/23 00:35	142.087	41.485	63	4.6	98	57
10	2015/10/18 09:47	142.002	41.492	65	4.4	91	54



- 伝達関数の算定には、後述する最適化地盤モデル(深部)の作成に用いた10地震(P.5-28参照)とした。

※ :伝達関数の算定に用いた地震観測記録は、机上配布資料○の「4.」を参照。

最適化地盤モデル(浅部)の探索範囲



・ 層厚, ρ (密度), PS検層(Vs)は, SB-042孔の調査結果による。

- 逆解析に当たっては, 速度構造をPS検層値で固定した予備解析により, 伝達関数の観測値と理論値が整合するように, 一部の層について細分化し, 速度構造区分及び探索範囲を決定した。



作成した最適化地盤モデル(浅部)

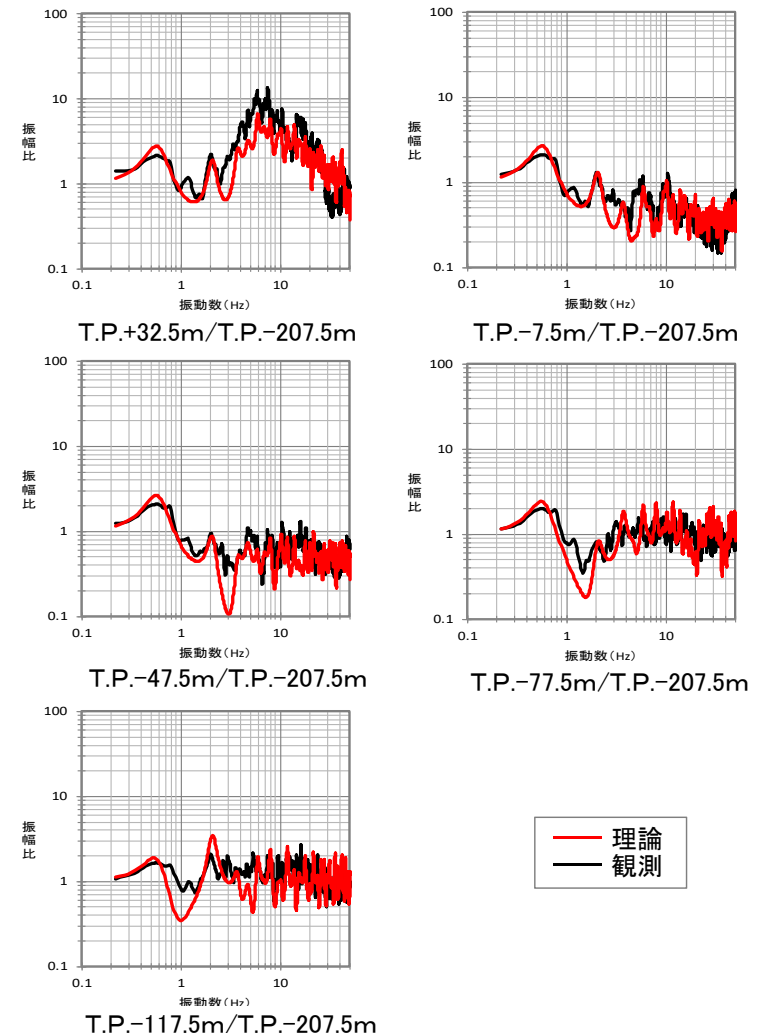
	層No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	PS検層 Vs (m/s)	Vs (m/s)	Qs	
						Qo	n
T.P.+32.5m (GL±0)	1	1	1.47	140	53	4.47	0.453
	2	1			93		
	3	2			150		
	4	2	1.63	250	220	4.40	0.175
	5	6.5			460		
	6	20	1.95	780	720	5.97	0.000
T.P.-7.5m T.P.-47.5m	7	64	2.14	1020	1020	1.00	0.999
T.P.-77.5m T.P.-117.5m	8	68	1.60	520	520	2.62	1.000
T.P.-207.5m	9	98	1.54	620	620	11.1	0.997
基盤の地震動を評価する位置 T.P.-230m	10	∞	1.60	860	860	11.1	0.997

■ : 逆解析結果
● : 地震観測点

$$Q(f) = Q_0 \cdot f^n$$

f: 振動数

- ・第10層のQ値は、第9層のQ値と同じ値とした。
- ・最適化地盤モデル(浅部)のVp・Qp構造の作成については、補足説明資料の「5-3」を参照。



最適化地盤モデルの理論伝達関数と観測記録に基づく伝達関数の比較

- ・ 遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた逆解析により、最適化地盤モデルを作成した。
- ・ 最適化地盤モデルに基づき理論的に算定される伝達関数は、観測記録に基づく伝達関数※とよく整合している。

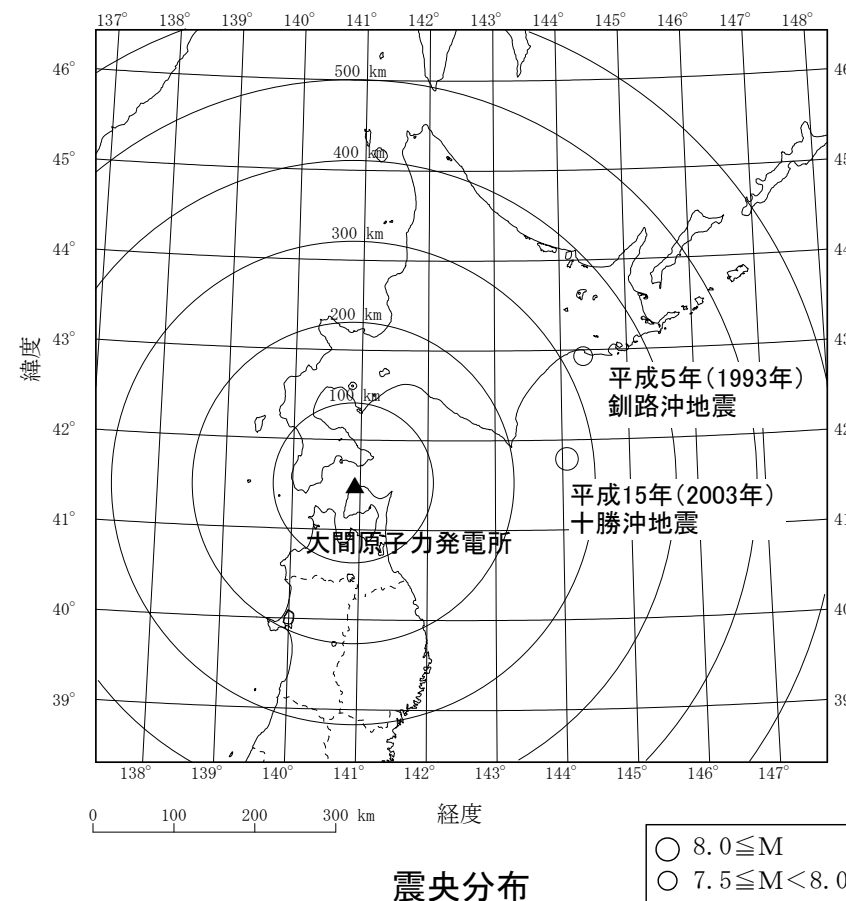
※ : 地震観測記録のS波部のTransverse成分のフーリエ振幅スペクトル比の平均 (観測記録に基づく伝達関数の標準偏差は、補足説明資料の「5-4」を参照。)

観測記録のシミュレーション解析 — 検証に用いた観測記録 —

敷地において比較的大きな記録が得られた主な地震の諸元

	地震名	発震時	規模 M	深さ (km)	震央距離 Δ (km)
①	平成5年(1993年) 釧路沖地震	1993.1.15 20:06	7.5	101	325
②	平成15年(2003年) 十勝沖地震	2003.9.26 4:50	8.0	45	266

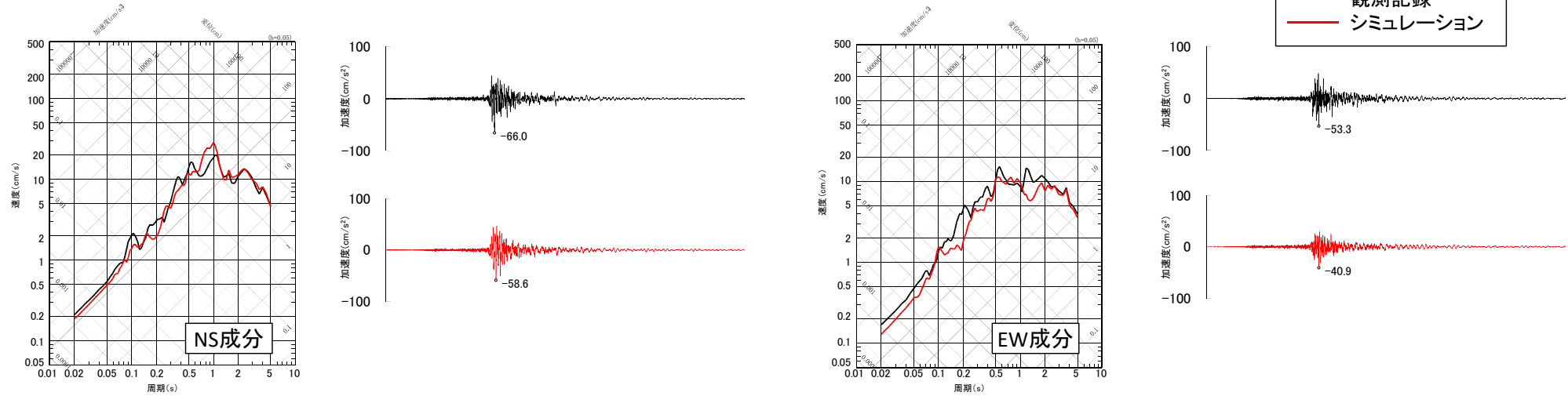
- 各地震の諸元は気象庁地震カタログに基づく。



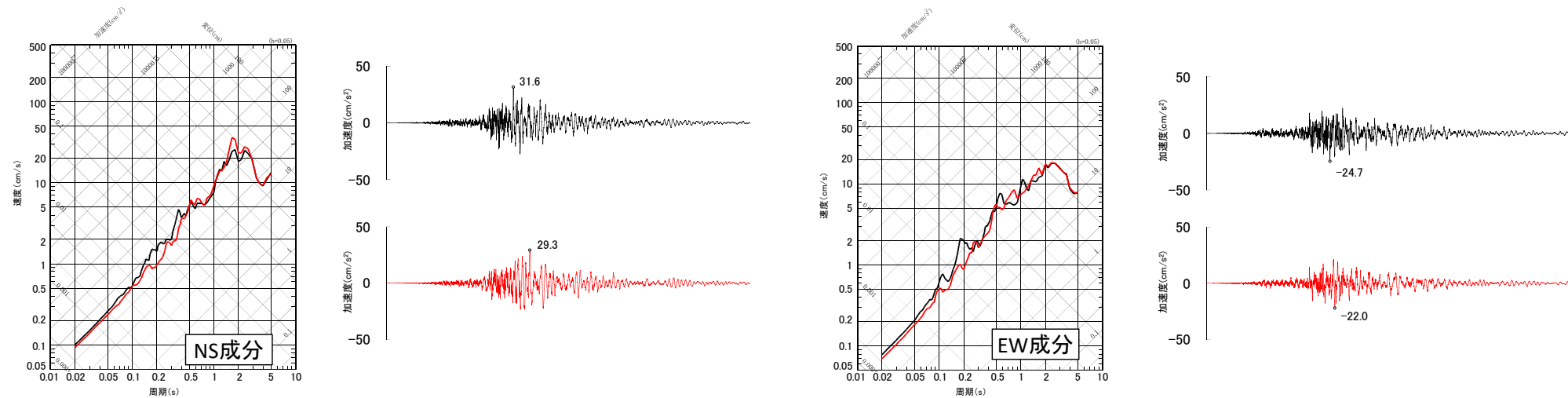
- 最適化地盤モデルの妥当性の検証として、T.P.-207.5mの観測記録を入力として、T.P.-7.5mの観測点における地震動のシミュレーション解析※を行い、観測記録と比較した。
- 検討に用いた地震は、敷地において比較的大きな観測記録が得られた地震とした。

※ : T.P.-7.5m以外の観測点における地震動のシミュレーション解析結果は、補足説明資料の「5-5」を参照。

観測記録のシミュレーション解析による検証結果



①平成5年(1993年)釧路沖地震の観測記録とシミュレーション解析結果の比較 (T.P.-7.5m)

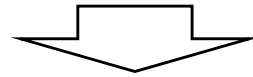


②平成15年(2003年)十勝沖地震の観測記録とシミュレーション解析結果の比較 (T.P.-7.5m)

- 1993年釧路沖地震, 2003年十勝沖地震の観測記録によるシミュレーション解析結果は, 観測記録とよく整合している。

まとめ

- 最適化地盤モデルの妥当性を検証するため、敷地において得られた比較的大きな観測記録について、T.P.-207.5m位置の観測記録を入力としたシミュレーション解析を行った。
- シミュレーション解析結果は、観測記録とよく整合していることを確認した。(P.5-17参照)



- 以上のことから、最適化地盤モデル(浅部)が適切に作成されていることを確認した。

はぎとり解析に用いる浅部地下構造モデルの設定

浅部地下構造モデル

▼ 地表	層 No.	下端標高 T.P. (m)	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Qs		Vp (m/s)	Qp	
						Qo	n		Qo	n
	1	+31.5	1	1.47	53	4.47	0.453	180	1.18	0.350
	2	+30.5	1		93			180		
	3	+28.5	2		150			250		
	4	+26.5	2	1.63	220	4.40	0.175	340	3.07	0.997
	5	+20.0	6.5		460			700		
	6	0.0	20	1.95	720	5.97	0.000	1700	0.630	0.641
	7	-64.0	64	2.14	1020	1.00	0.999	2760	0.500	0.750
	8	-132.0	68	1.60	520	2.62	1.000	1730	0.503	1.000
▼ 基盤の地震動を 評価する位置	9	-230.0	98	1.54	620	11.1	0.997	1730	1.12	1.000
	10	-	∞	1.60	860			2070		

$$Q(f) = Q_0 \cdot f^n$$

f: 振動数

- 観測記録の逆解析による最適化地盤モデルを、観測記録を用いて妥当性を確認した上で、経験的グリーン関数法による地震動評価等におけるはぎとり解析に用いる浅部地下構造モデルとして設定した。

検討の目的

作成した浅部地下構造モデルを用いて、観測記録のはぎとり波を評価した上で、Noda et al.(2002)の手法による地震動を指標として、鉛直アレイ地震観測地点の最深部の地震計設置位置及び解放基盤表面における地震動の特徴を把握する。

検討の方法

1. 敷地内の鉛直アレイ地震観測地点において観測された地震のうち、Noda et al.(2002)による手法の適用範囲内にある地震を対象とする。
2. 作成した浅部地下構造モデルを用いて、鉛直アレイ地震観測地点(P.5-12参照)のT.P.-207.5m位置で得られた観測記録から、基盤の地震動を評価する位置(T.P.-230m)において、はぎとり波を求める。
3. Noda et al.(2002)の手法により、基盤の地震動を評価する位置(T.P.-230m, $V_s=860\text{m/s}$, $V_p=2,070\text{m/s}$)において、それぞれ地震動の応答スペクトルを評価し、上記のはぎとり波の応答スペクトルとの比(残差)について到来方向別に比較を行うことにより、解放基盤表面における地震動の特徴を把握する。
4. 上記2., 3. について、地震計設置位置(T.P.-207.5m, $V_s=620\text{m/s}$, $V_p=1,730\text{m/s}$)におけるはぎとり波についても同様の検討を行い、地震動の特徴が変わらないことを確認する。



検討に用いた地震の諸元

領域① (北側 5地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震源距離 (km)
			北緯 (°)	東経 (°)			
1 ^{※1}	1993/07/12	22:17	42.782	139.180	35	7.8	174 ^{※3}
2 ^{※1}	1993/07/13	01:01	42.723	139.330	29	6.0	189
3	2014/07/08	18:05	42.650	141.267	3	5.6	130
4	2018/09/06	03:07	42.690	142.007	37	6.7	163
5	2018/09/06	03:20	42.572	141.948	36	5.5	150

領域② (東側 14地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震源距離 (km)
			北緯 (°)	東経 (°)			
1	1993/11/24	05:07	41.253	142.788	48	5.6	166
2	1994/12/28	21:19	40.430	143.745	0	7.6	158 ^{※4}
3	1994/12/30	00:29	40.733	142.180	53	5.6	146
4	1995/02/06	22:51	41.139	142.269	56	5.6	133
5	1997/02/20	16:55	41.760	142.874	49	5.9	172
6 ^{※2}	2001/08/14	05:11	40.996	142.437	38	6.4	145
7 ^{※2}	2003/04/17	02:59	40.961	142.342	40	5.6	140
8	2005/02/26	21:37	40.685	142.596	45	5.7	174
9	2011/08/01	02:35	41.710	143.013	37	5.5	180
10	2011/11/24	19:25	41.750	142.887	43	6.2	172
11	2012/05/24	00:02	41.344	142.124	60	6.1	119
12	2014/08/10	12:43	41.134	142.279	51	6.1	132
13	2017/09/10	17:44	41.758	142.877	43	5.6	171
14	2018/01/24	19:51	41.008	142.447	34	6.3	144

領域③ (南側 9地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震源距離 (km)
			北緯 (°)	東経 (°)			
1	1989/11/06	17:56	40.177	142.452	39	5.5	200
2	1993/02/25	18:27	40.238	142.443	28	5.9	193
3	1995/01/07	07:37	40.223	142.306	48	7.2	191
4	1995/01/07	11:36	40.280	142.421	38	6.2	190
5	2009/02/15	18:24	40.250	142.424	36	5.9	192
6	2011/03/17	13:13	40.126	142.412	31	5.9	201
7	2012/01/28	09:22	40.153	142.427	36	5.7	200
8	2015/02/17	13:46	40.085	142.112	50	5.7	194
9	2017/09/27	05:22	40.267	142.455	35	6.1	193

領域④ (西側 4地震)

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 M	震源距離 (km)
			北緯 (°)	東経 (°)			
1 ^{※1}	1993/07/12	22:17	42.782	139.180	35	7.8	174 ^{※3}
2	1993/07/12	23:05	42.002	139.275	13	5.5	147
3 ^{※1}	1993/07/13	01:01	42.723	139.330	29	6.0	189
4	1993/08/08	04:42	41.958	139.882	24	6.3	102

• 各地震の諸元は気象庁地震カタログ及び気象庁震源リストに基づく。

※1 : 領域①と領域④の境界付近に位置しているため、両領域で共通して使用。

※2 : UD成分は、感度劣化による影響が認められたため解析に用いていない。

※3 : Kakehi and Irikura(1997)⁷⁾による震源モデルにより算定した等価震源距離。

※4 : Nakahara et al.(1998)⁸⁾による震源モデルにより算定した等価震源距離。

- 検討に用いた観測記録は、Noda et al.(2002)が回帰に使用したデータセットを踏まえ、以下の条件をすべて満たす地震の観測記録^{※5}とした。

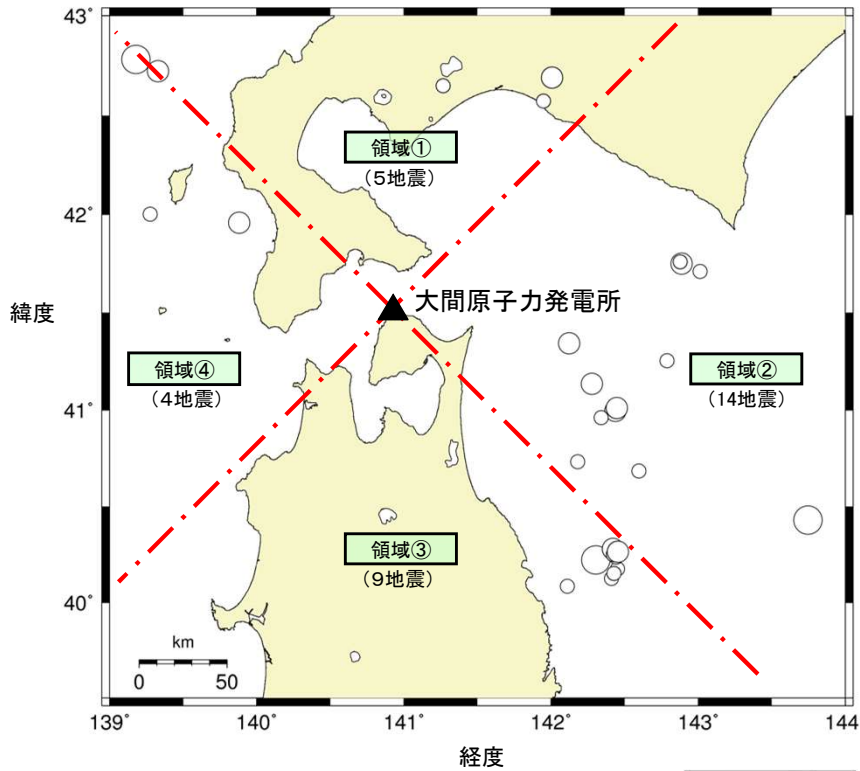
- ① 規模 $M \geq 5.5$
- ② 震源距離 $\leq 202\text{km}$
- ③ 震源深さ $\leq 60\text{km}$

※5 : 検討に用いた地震観測記録は、机上配布資料○の「3.」を参照。



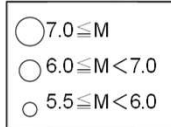
到来方向別の応答スペクトル比(Noda et al.(2002)との残差)の検討(1/3)

基盤の地震動を評価する位置(T.P.-230m)における検討



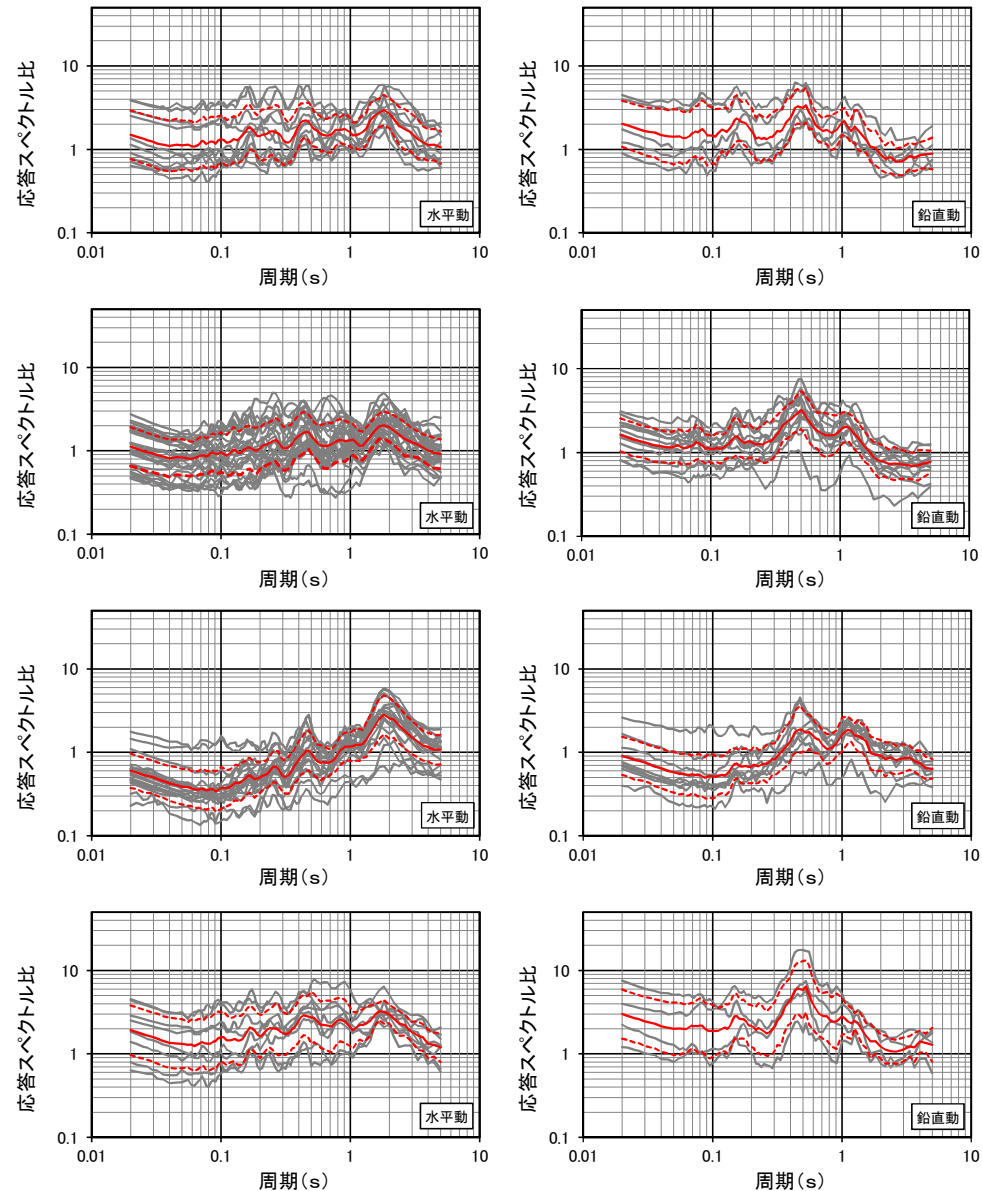
検討対象地震の震央分布

- 規模 $M \geq 5.5$
- 震源距離 $\leq 202\text{km}$
- 震源深さ $\leq 60\text{km}$



- 各地震の応答スペクトル比(残差)の形状について、地震数が少ないこともあり、ばらつきはあるものの、ピークの位置は方位によらずおおむね同様である。

—各地震の残差 —平均 - - -標準偏差

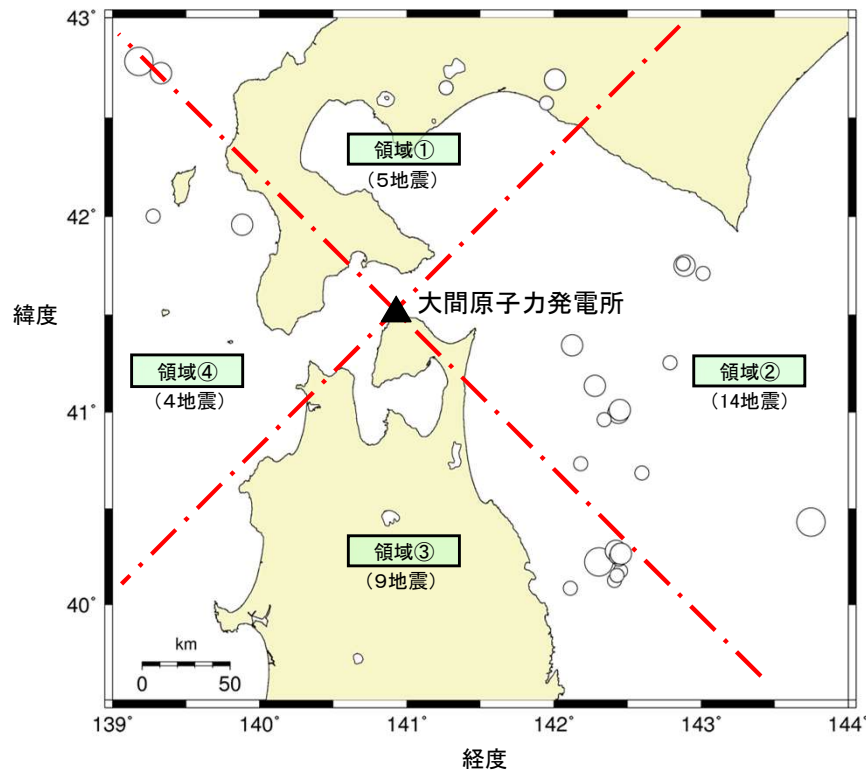


到来方向別の応答スペクトル比(残差)の比較

到来方向別の応答スペクトル比(Noda et al.(2002)との残差)の検討(2/3)

コメントNo.S3-15

地震計設置位置(T.P.-207.5m)における検討

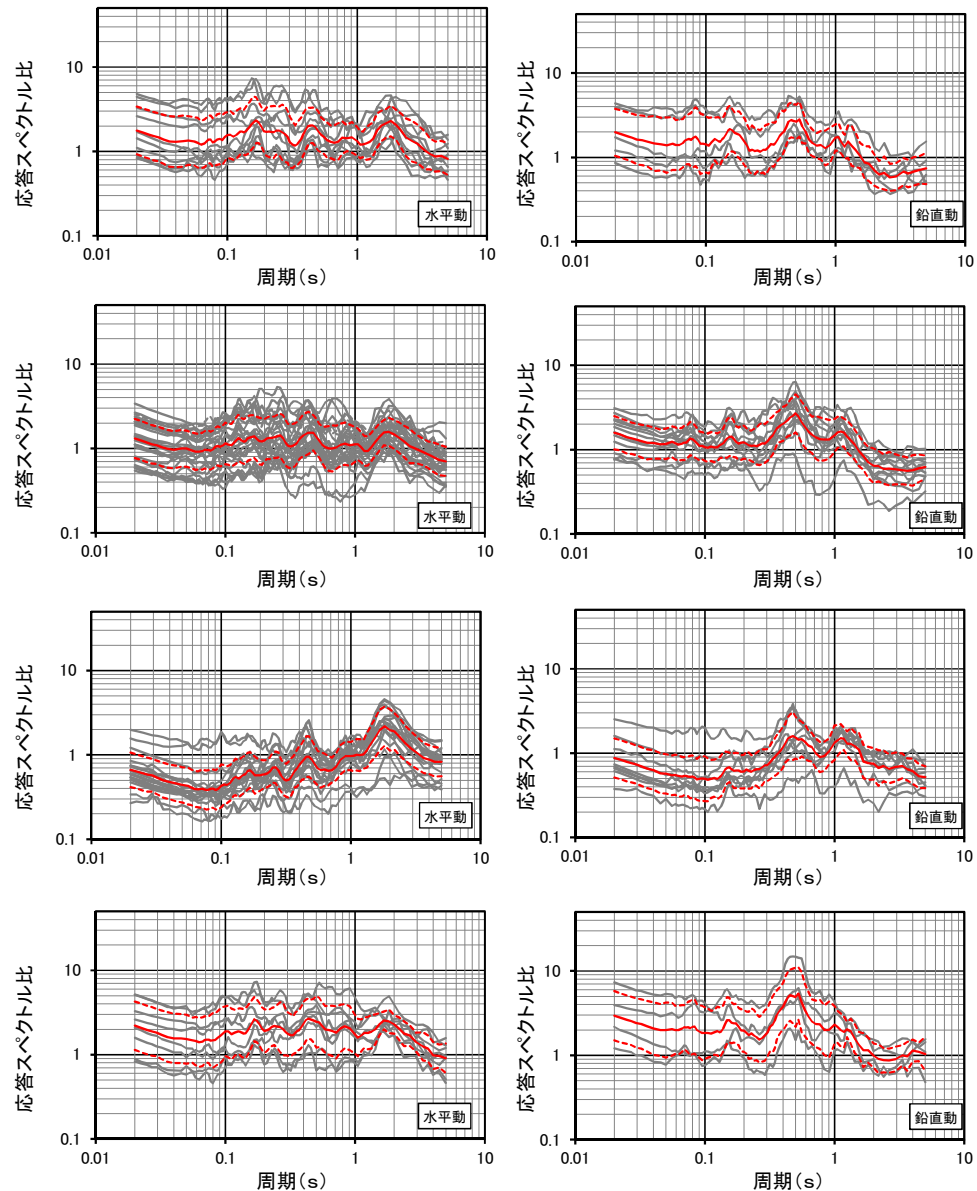


検討対象地震の震央分布

- 規模 $M \geq 5.5$
- 震源距離 $\leq 202\text{km}$
- 震源深さ $\leq 60\text{km}$

各地震の応答スペクトル比(残差)の形状について、地震数が少ないこともあり、ばらつきはあるものの、ピークの位置は方位によらずおおむね同様である。

—各地震の残差 —平均 - - -標準偏差

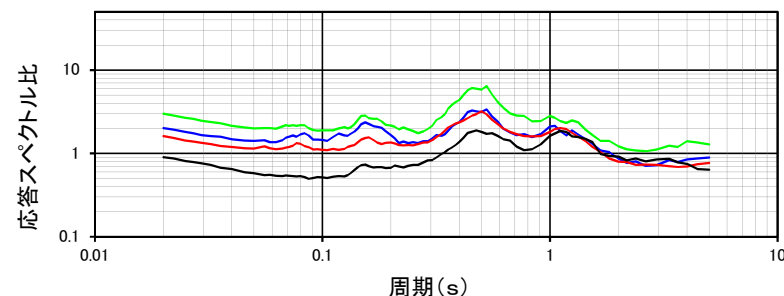
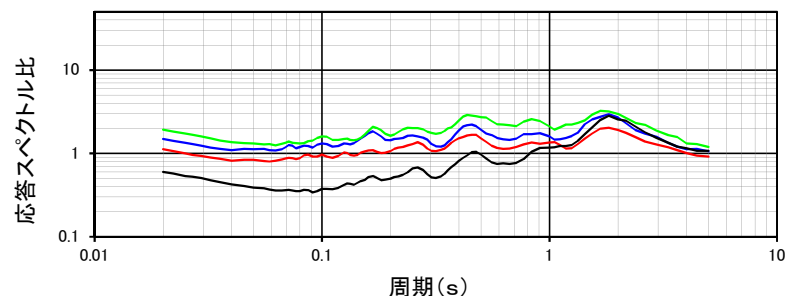


到来方向別の応答スペクトル比(残差)の比較

到来方向別の応答スペクトル比(Noda et al.(2002)との残差)の検討(3/3)

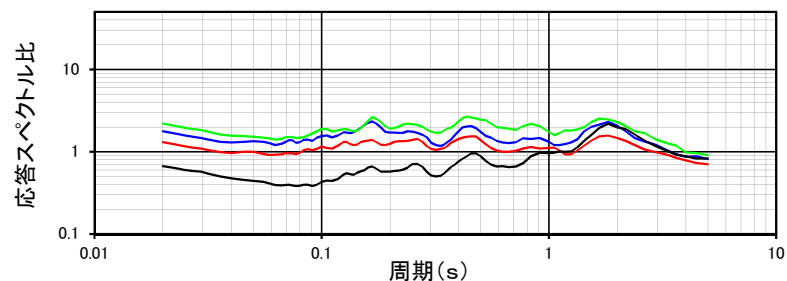
コメントNo.S3-15

基盤の地震動を評価する位置(T.P.-230m)における検討結果

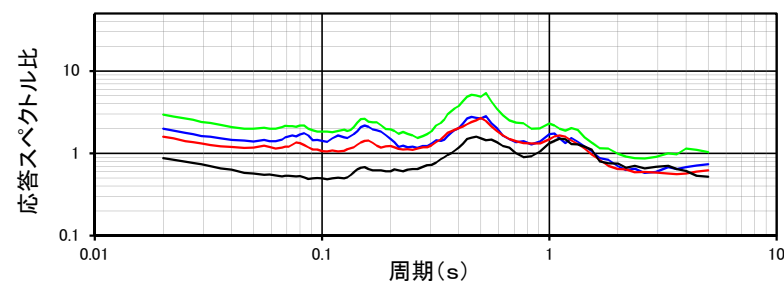


— 領域①の残差の平均
— 領域②の残差の平均
— 領域③の残差の平均
— 領域④の残差の平均

地震計設置位置(T.P.-207.5m)における検討結果



水平動(32地震, 64成分)



鉛直動(30地震, 30成分)

到来方向別の応答スペクトル比(残差)の平均値の比較

- 残差の平均は、北・東・西側の3領域については、おおむね同様の傾向となっている。
- 南側の領域は、短周期側で他の領域と傾向に差がみられるが、第3章(P.3-52参照)に示すとおり、敷地あるいは敷地周辺の地下構造による影響に着目した検討において、サイト特性の到来方向による変動は小さいことから、本検討結果は、震源特性と伝播経路特性の影響である可能性が考えられる。
- 地震計設置位置(T.P.-207.5m)における検討結果は、基盤の地震動を評価する位置(T.P.-230m)における検討結果と、同様の傾向となっている。



- 以上のことから、検討用地震の地震動評価を行う際には、各地震の地震発生様式、震源想定位置等を踏まえ、観測記録の特徴を適切に評価した上で、必要に応じて地震動評価に反映させることとする。

目次

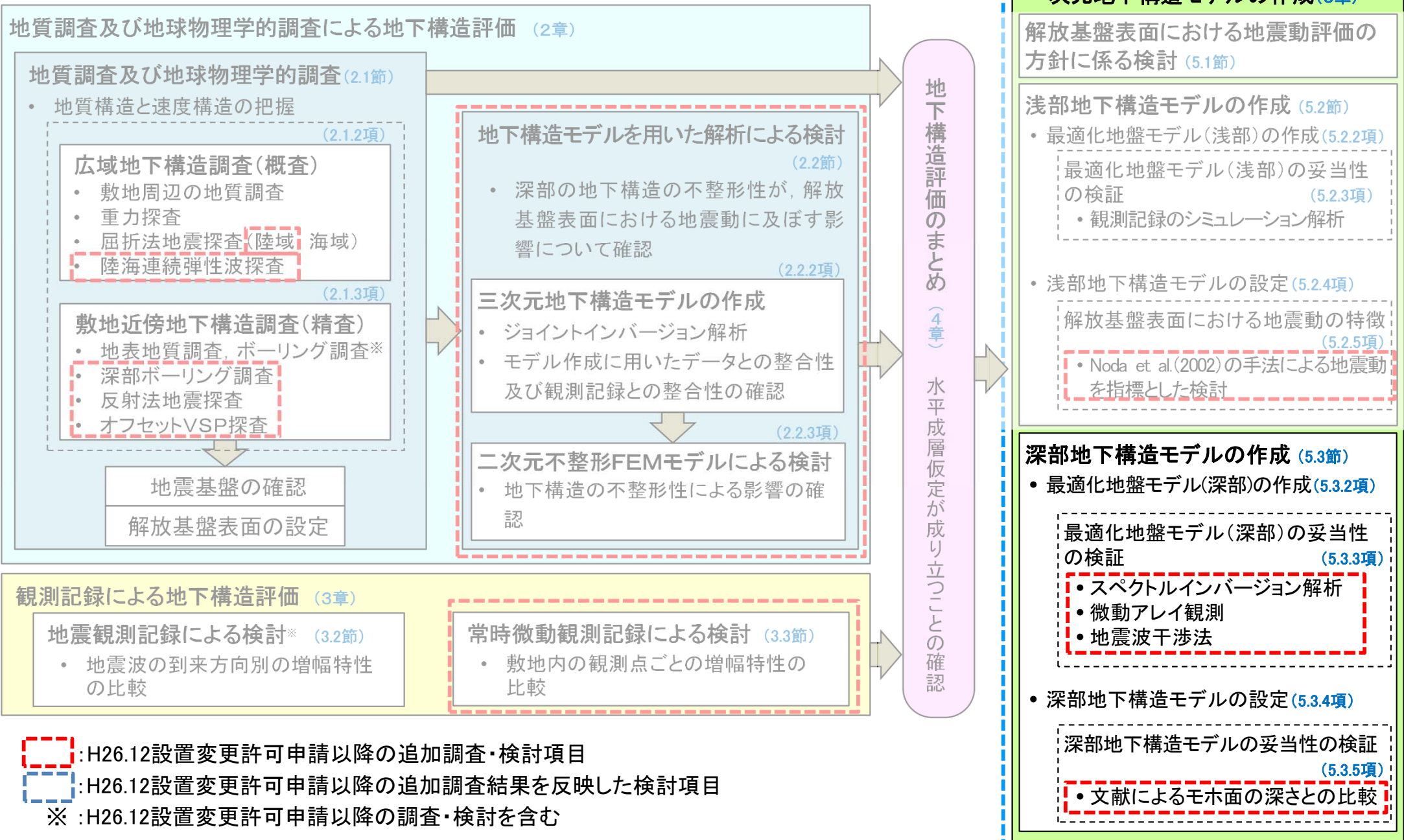
1. 地震動評価に用いる地下構造モデルの作成の流れ
2. 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価
 - 2.1 地質調査及び地球物理学的調査
 - 2.1.1 調査項目
 - 2.1.2 広域地下構造調査(概査)
 - 2.1.2.1 調査の内容
 - 2.1.2.2 敷地周辺の地質調査
 - 2.1.2.3 重力探査
 - 2.1.2.4 屈折法・反射法地震探査
 - 2.1.2.5 広域地下構造調査(概査)のまとめ
 - 2.1.3 敷地近傍地下構造調査(精査)
 - 2.1.3.1 調査の内容
 - 2.1.3.2 敷地及び敷地近傍における深部地下構造調査
 - 2.1.3.3 敷地における浅部地下構造調査
 - 2.1.3.4 敷地近傍地下構造調査(精査)のまとめ
 - 2.1.4 地質調査及び地球物理学的調査のまとめ
 - 2.2 地下構造モデルを用いた解析による検討
 - 2.2.1 検討項目
 - 2.2.2 三次元地下構造モデルの作成
 - 2.2.2.1 三次元地下構造モデルの作成手順
 - 2.2.2.2 三次元地下構造モデルの作成範囲
 - 2.2.2.3 三次元地下構造モデルの作成結果
 - 2.2.2.4 三次元地下構造モデルの妥当性の確認
 - 2.2.2.5 三次元地下構造モデルの作成のまとめ
 - 2.2.3 二次元不整形FEMモデルによる検討
 - 2.2.3.1 検討内容
 - 2.2.3.2 解析内容
 - 2.2.3.3 解析モデル
 - 2.2.3.4 解析結果 スナップショットによる分析
 - 2.2.3.5 解析結果 解放基盤表面における応答波形の分析
 - 2.2.3.6 二次元不整形FEMモデルによる検討のまとめ
 - 2.2.4 地下構造モデルを用いた解析による検討のまとめ
 - 2.3 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価のまとめ
3. 観測記録による地下構造評価
 - 3.1 検討項目
 - 3.2 地震観測記録による検討
 - 3.2.1 地震動のH/Vスペクトル比に基づく検討
 - 3.2.2 基準化スペクトルに基づく検討
 - 3.2.3 異なる深度の応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.2.4 KiK-net観測点との応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.3 常時微動観測記録による検討
 - 3.4 観測記録による地下構造評価のまとめ
4. 地下構造評価のまとめ
5. 一次元地下構造モデルの作成
 - 5.1 解放基盤表面における地震動評価の方針に係る検討
 - 5.2 浅部地下構造モデルの作成
 - 5.2.1 浅部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.2.2 最適化地盤モデル(浅部)の作成
 - 5.2.3 最適化地盤モデル(浅部)の妥当性の検証
 - 5.2.4 浅部地下構造モデルの設定
 - 5.2.5 解放基盤表面における地震動の特徴
 - 5.3 深部地下構造モデルの作成
 - 5.3.1 深部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.3.2 最適化地盤モデル(深部)の作成
 - 5.3.3 最適化地盤モデル(深部)の妥当性の検証
 - 5.3.4 深部地下構造モデルの設定
 - 5.3.5 深部地下構造モデルの妥当性の検証
 - 5.4 一次元地下構造モデルの作成のまとめ
6. まとめ



5. 一次元地下構造モデルの作成

5.3 深部地下構造モデルの作成

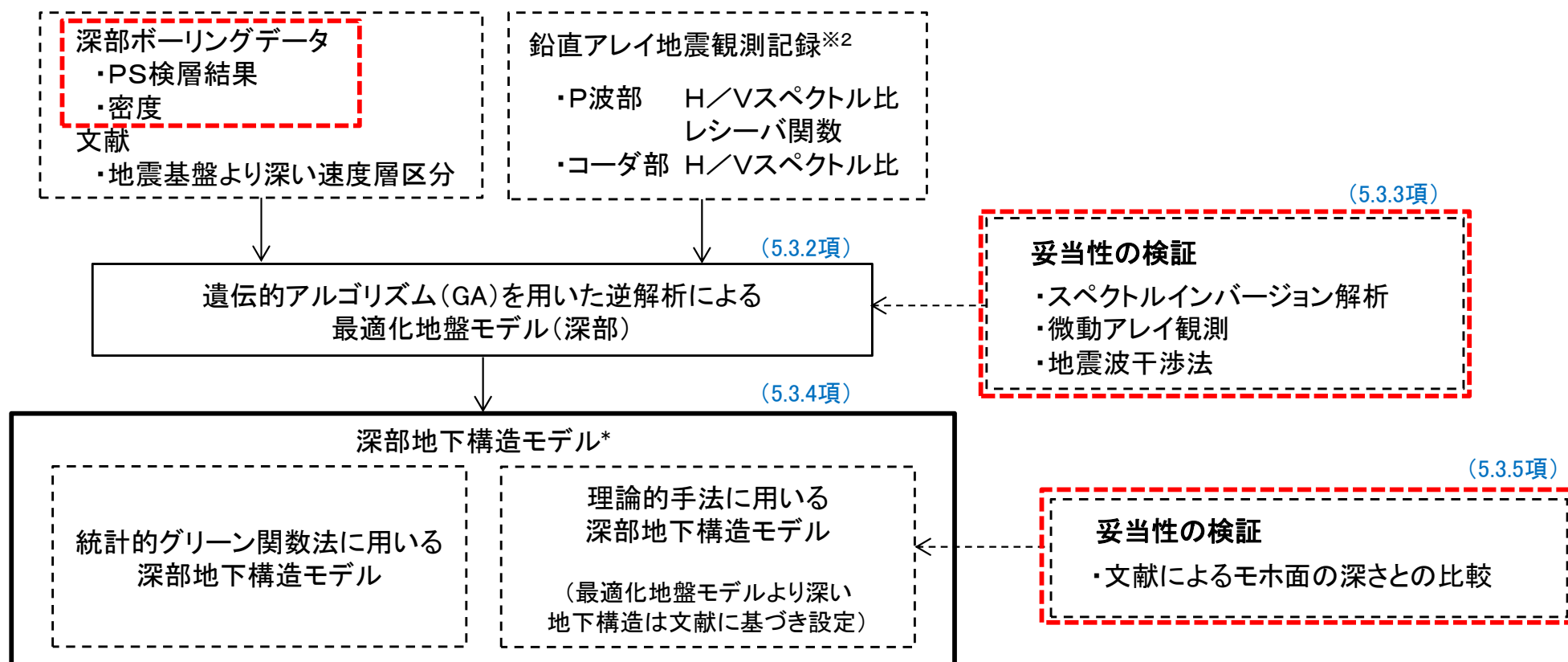
本節における説明箇所



 : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査・検討項目
 : H26.12設置変更許可申請以降の追加調査結果を反映した検討項目
 ※ : H26.12設置変更許可申請以降の調査・検討を含む

5.3.1 深部地下構造モデルの作成フロー

- 最適化地盤モデル(深部)について、敷地内の鉛直アレイ地震観測地点※¹で得られた観測記録によるP波部のH/Vスペクトル比, レシーバ関数及びコーダ部H/Vスペクトル比を用いた逆解析により作成する。
- 逆解析には梅田・小林(2010)⁹⁾の手法を用いる。
- 深部地下構造モデルは, 最適化地盤モデル(深部)に対して減衰を保守的に設定する。



* 最適化地盤モデルに対して保守的な減衰を設定

□: H26.12設置変更許可申請以降の追加調査・検討項目

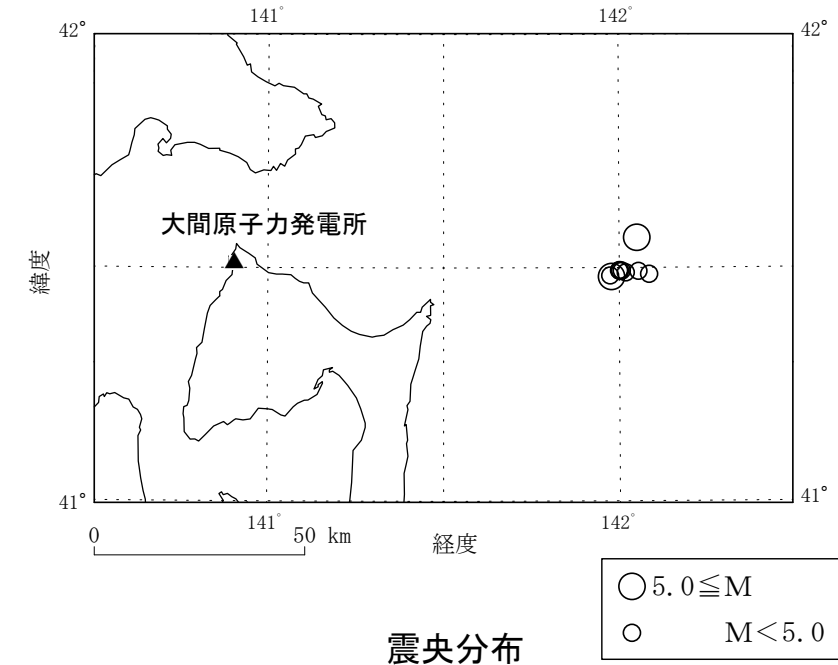
※¹: 敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の詳細については, P.5-12参照。

※²: H26.12設置変更許可申請以降の調査・検討を含む。

P波部H/Vスペクトル比及びレシーバ関数の算定に用いた観測記録

検討対象とした地震の諸元

No.	発震時	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央 距離 (km)	見かけの 入射角 (°)
		東経 (°)	北緯 (°)				
1	2004/12/06 04:45	142.057	41.491	65	4.6	96	56
2	2004/12/13 04:41	142.021	41.488	63	4.2	93	56
3	2005/06/03 01:32	142.003	41.493	63	4.3	91	55
4	2005/09/03 01:24	141.976	41.481	64	4.9	89	54
5	2007/05/19 00:59	142.053	41.563	68	5.3	96	55
6	2008/05/14 03:00	142.005	41.491	63	4.2	91	55
7	2010/10/06 07:35	142.010	41.492	63	4.1	92	56
8	2012/04/27 03:41	141.980	41.479	65	5.0	89	54
9	2015/06/23 00:35	142.087	41.485	63	4.6	98	57
10	2015/10/18 09:47	142.002	41.492	65	4.4	91	54



- 各地震の諸元は気象庁地震カタログに基づく。
- 「見かけの入射角」は、震央距離と震源深さから求めた震源方向の角度を示す。垂直が0°，水平が90°となる。
見かけの入射角 = \tan^{-1} (震央距離 / 震源深さ)

- P波部H/Vスペクトル比及びレシーバ関数の算定には、以下の条件を満たす地震の観測記録※を用いた。
 - 地震波の伝播経路が複雑にならないよう、なるべく敷地に近く、見かけの入射角がほぼ同じ地震。
 - 十分なS/N比を有する観測記録。
- 上記条件を満たす地震として、10地震を選定した。

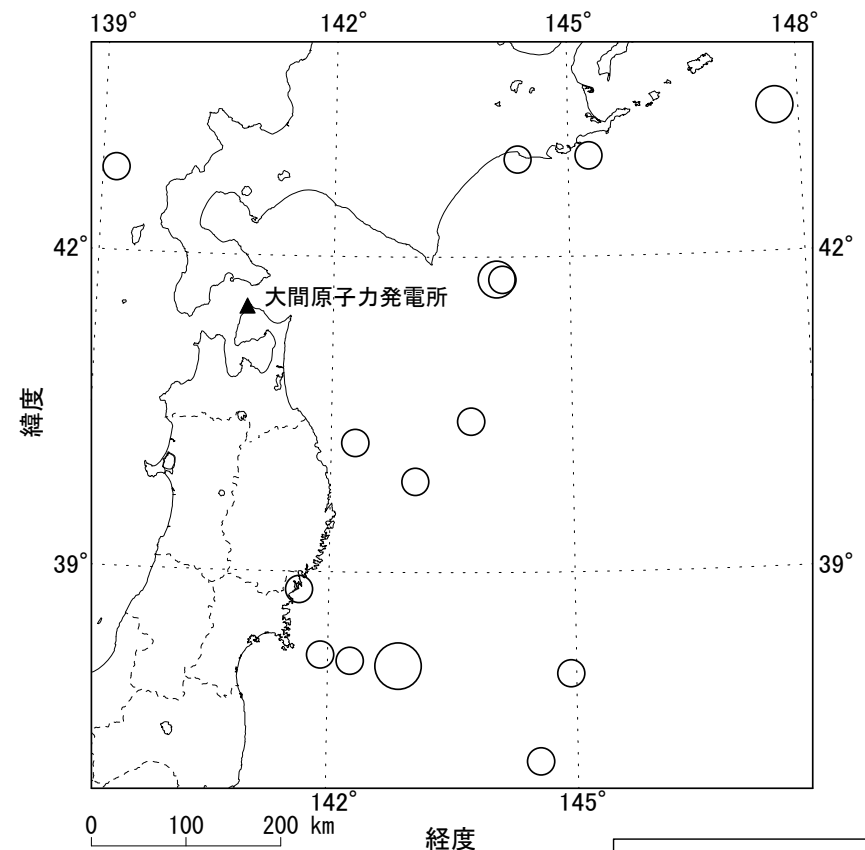
※ : P波部H/Vスペクトル比及びレシーバ関数の算定に用いた地震観測記録は、机上配布資料○の「4.」を参照。

コーダ部H/Vスペクトル比の算定に用いた観測記録

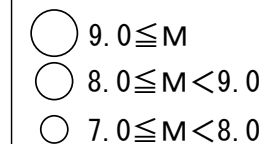
検討対象とした地震の諸元

No.	発震時	震央位置		深さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
		東経 (°)	北緯 (°)			
1	1989/11/02 03:25	143.053	39.858	0	7.1	258
2	1993/01/15 20:06	144.353	42.920	101	7.5	325
3	1993/07/12 22:17	139.180	42.782	35	7.8	201
4	1994/10/04 22:22	147.673	43.375	28	8.2	594
5	1994/12/28 21:19	143.745	40.430	0	7.6	267
6	1995/01/07 07:37	142.306	40.223	48	7.2	185
7	2003/05/26 18:24	141.651	38.821	72	7.1	305
8	2003/09/26 04:50	144.079	41.779	45	8.0	266
9	2004/11/29 03:32	145.276	42.946	48	7.1	394
10	2005/08/16 11:46	142.278	38.150	42	7.2	391
11	2005/11/15 06:38	144.945	38.027	45	7.2	519
12	2008/09/11 09:20	144.152	41.776	31	7.1	272
13	2011/03/11 14:46	142.861	38.104	24	9.0	413
14	2011/04/07 23:32	141.920	38.204	66	7.2	377
15	2013/10/26 02:10	144.569	37.196	56	7.1	573

- 各地震の諸元は気象庁地震カタログに基づく。



震央分布




- コーダ部H/Vスペクトル比の算定には、コーダ部において表面波が励起されやすいM>7の地震の観測記録※を用いた。


※ : コーダ部H/Vスペクトル比の算定に用いた地震観測記録は、机上配布資料○の「5.」を参照。

最適化地盤モデル(深部)の探索範囲


基盤の地震動を ▼ 評価する位置	層No.	下端標高 T.P. (m)	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs			Qp		
							Qo	n	Qi	Qo	n	Qi
▼ 地震基盤	1	-330	100	1.6	860	2070	11.1~50	0.5~1	10~500	9.40~50	0.5~1	10~500
	2	-820	490	2.3	1700	3500	11.1~100	0.5~1	10~500	9.40~100	0.5~1	10~500
	3	-1770	950	2.5	2200	4400	11.1~150	0.5~1	10~1000	9.40~150	0.5~1	10~1000
	4	-2210	440	2.7	2700	5200						
	5	-	1~6000	2.7	3200	5400	11.1~150	0.5~1	10~1000	9.40~150	0.5~1	10~1000
	6	-	1~6000	2.7	3410	5900						
	7	-	∞	2.7	3520	6100						

凡例  : 逆解析の対象範囲

 : SB-042孔の調査結果

 : 深部ボーリングSD-1孔の調査結果に基づき設定。ただし、第2層の上端深さについては、敷地のボーリング調査結果による、鉛直アレイ地震観測地点における玄武岩の上面標高※1に基づき設定した。

※1 : 玄武岩の上面標高は、補足説明資料の「5-6」を参照。

 : 深部ボーリングSD-1孔調査以深の ρ , Vs, Vpは文献に基づき設定

ρ は第5層と同じ値に設定

$V_s = V_p / \sqrt{3}$

Vpは佐藤ほか(1989)¹⁰に基づき設定

• 基盤の地震動を評価する位置より浅部は、鉛直アレイ地震観測記録から算定される伝達関数に基づき逆解析したモデルで固定した。

• 基盤の地震動を評価する位置より深部のQ値は、頭打ちQ値モデル※2とした。 $1/Q(f) = 1/(Q_o \cdot f^n) + 1/Q_i$ f: 振動数

※2 : 頭打ちQ値モデルは、補足説明資料の「5-7」を参照。

- 地震基盤以浅の速度, 層厚, Q値を未知数とした予備解析(逆解析)により, 調査結果に基づく速度構造の妥当性を確認した上で, 各層のQ値及び地震基盤以深の層厚を逆解析の対象範囲とした。

作成した最適化地盤モデル(深部)

▼ 基盤の地震動を 評価する位置	層No.	下端標高 T.P. (m)	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs			Qp		
							Qo	n	Qi	Qo	n	Qi
▼ 地震基盤	1	-330	100	1.6	860	2070	11.2	0.584	75.5	9.64	0.567	139
	2	-820	490	2.3	1700	3500	11.4	0.674	150	10.0	0.506	263
	3	-1770	950	2.5	2200	4400	81.4	0.981	306	28.2	0.503	523
	4	-2210	440	2.7	2700	5200						
	5	-5720	3510	2.7	3200	5400	111	0.996	601	37.7	0.502	924
	6	-8720	3000	2.7	3410	5900						
	7	-	∞	2.7	3520	6100						

凡例 :逆解析結果

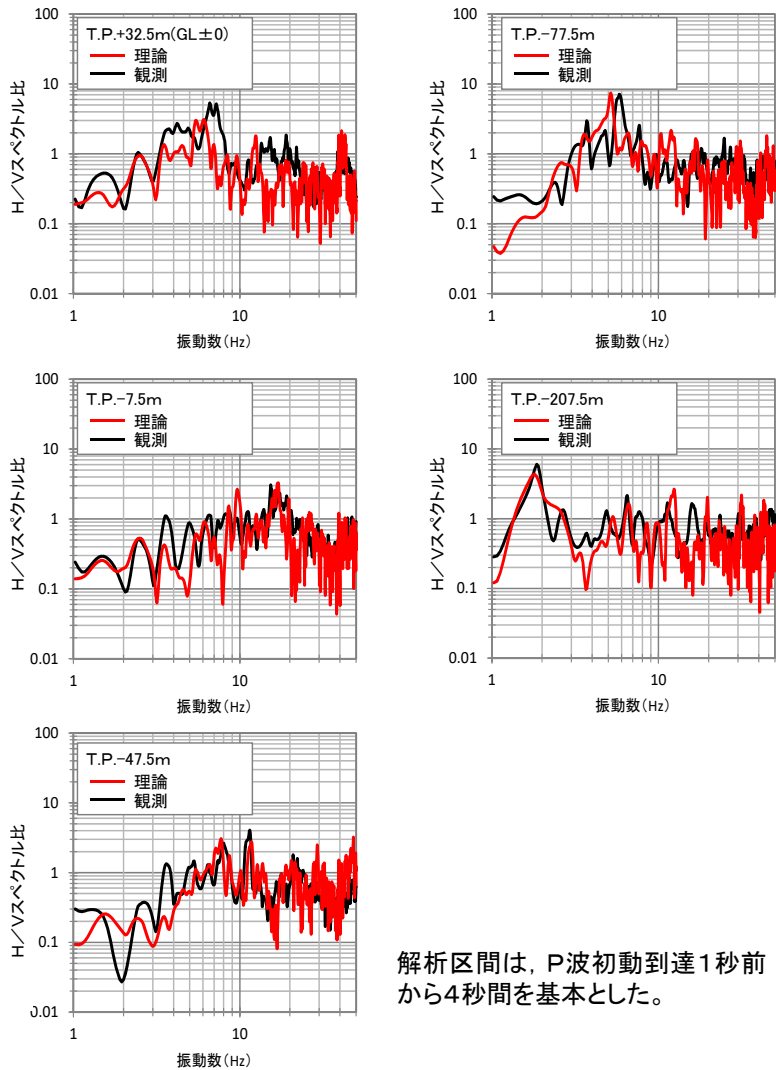
$$1/Q(f) = 1/(Q_o \cdot f^n) + 1/Q_i$$

f: 振動数

- 遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた逆解析により、最適化地盤モデルを作成した。

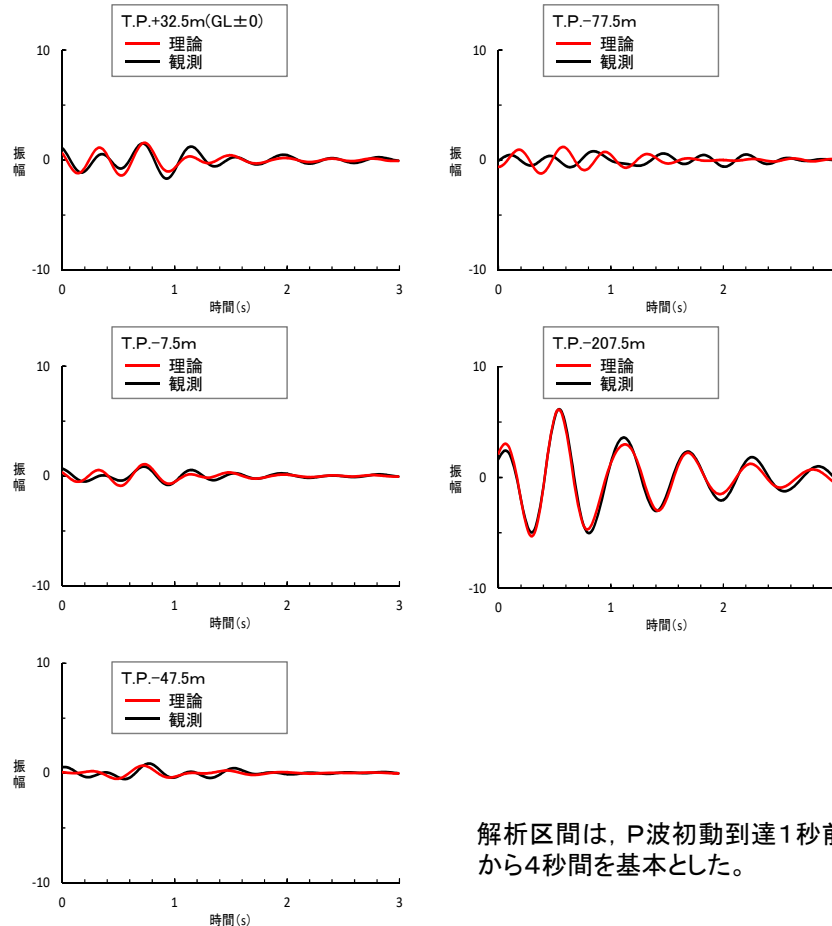


逆解析結果と観測値との比較



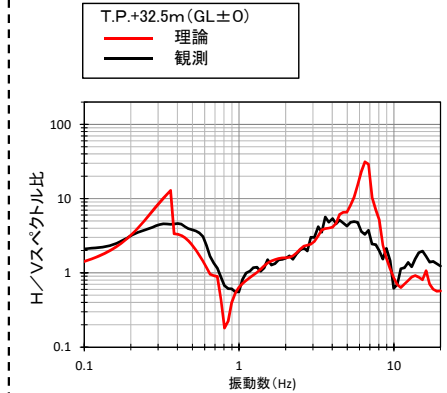
解析区間は、P波初動到達1秒前から4秒間を基本とした。

P波部H/Vスペクトル比の比較※



解析区間は、P波初動到達1秒前から4秒間を基本とした。

P波部レシーバ関数の比較※



Rayleigh波及びLove波の5次モードまで考慮した地下構造モデルの理論的なH/Vスペクトル比は、観測記録とおおむね整合している。

解析区間は、S波が終息したと考えられる時間帯60秒間とした。

コーダ部H/Vスペクトル比の比較

※ : T.P.-117.5mの観測記録は、感度劣化が見られる期間があることから使用していない。観測記録のP波部H/Vスペクトル比等の標準偏差は、補足説明資料の「5-8」を参照。

- 最適化地盤モデルに基づき理論的に算定されるP波部H/Vスペクトル比、P波部レシーバ関数及びコーダ部H/Vスペクトル比は、それぞれ観測値※とよく整合している。

検証の内容

- 最適化地盤モデル(深部)の妥当性を検証するため、スペクトルインバージョン解析、微動アレイ観測及び地震波干渉法による検討結果と、最適化地盤モデル(深部)に基づく理論値がおおむね対応することを確認する。

■スペクトルインバージョン解析

最適化地盤モデルの地盤増幅率が、スペクトルインバージョン解析により推定された大間地点の地盤増幅率と対応することを確認する。

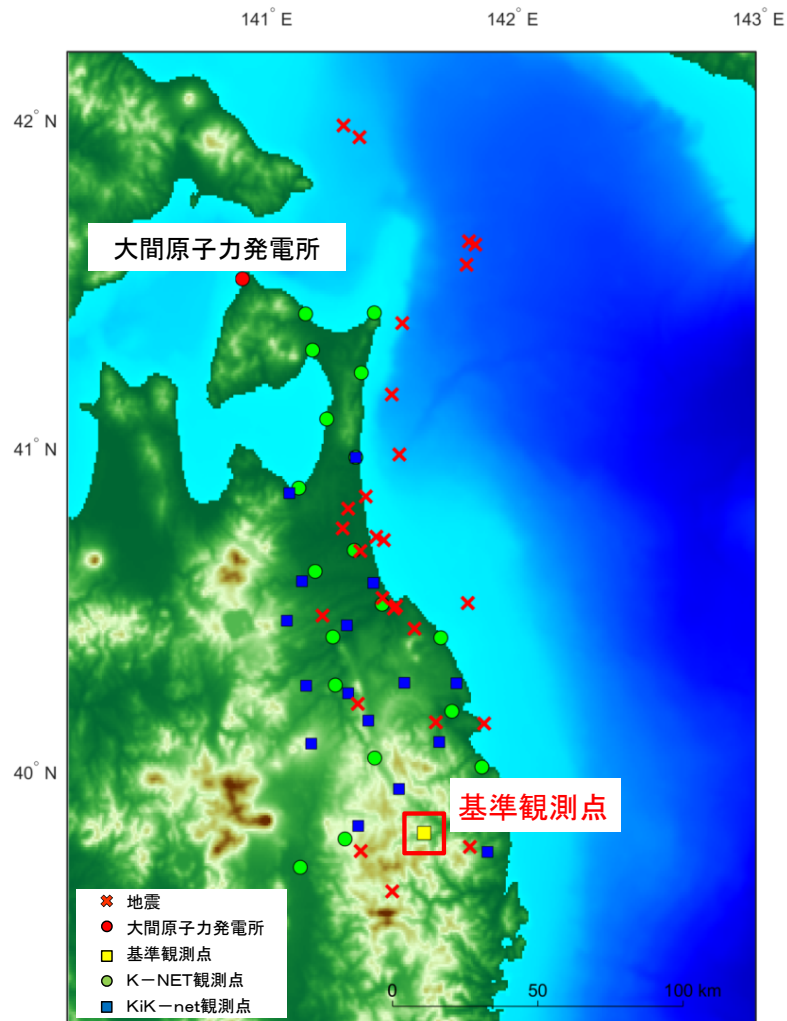
■微動アレイ観測

最適化地盤モデルの理論分散曲線が、敷地及び敷地近傍における微動アレイ観測記録の分散曲線と対応することを確認する。

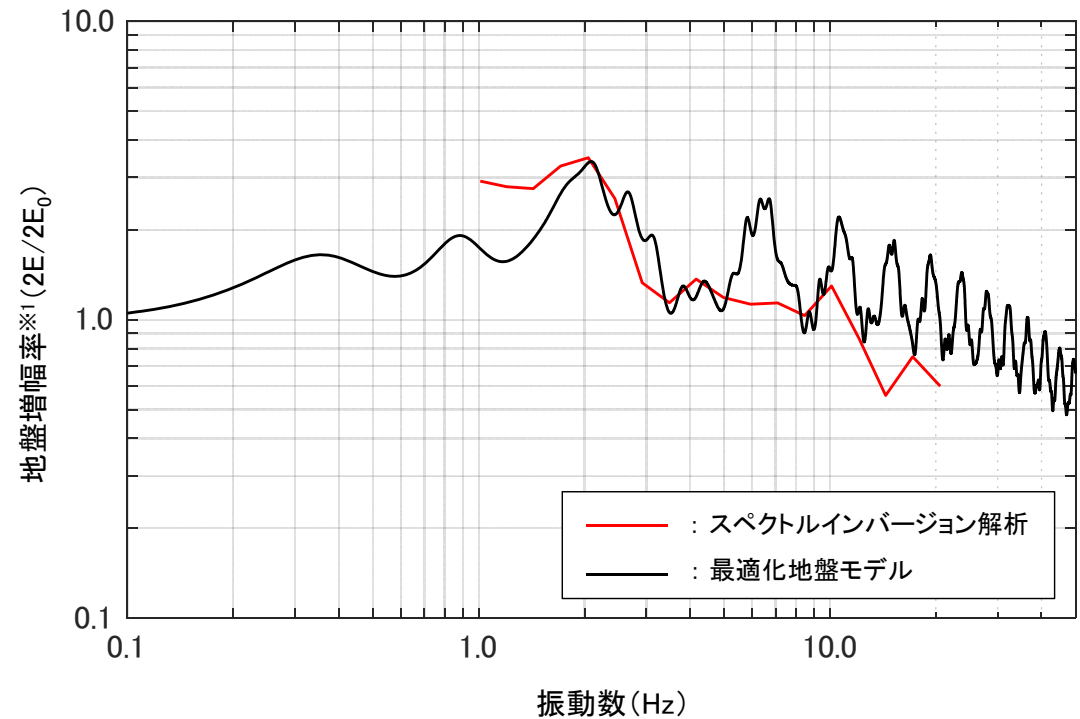
■地震波干渉法

最適化地盤モデルの理論群速度が、大間サイト付近及び函館の2地点間の、常時微動連続観測記録によるRayleigh波の群速度と対応することを確認する。

スペクトルインバージョン解析による検証結果



スペクトルインバージョン解析に使用した観測点と震源の分布

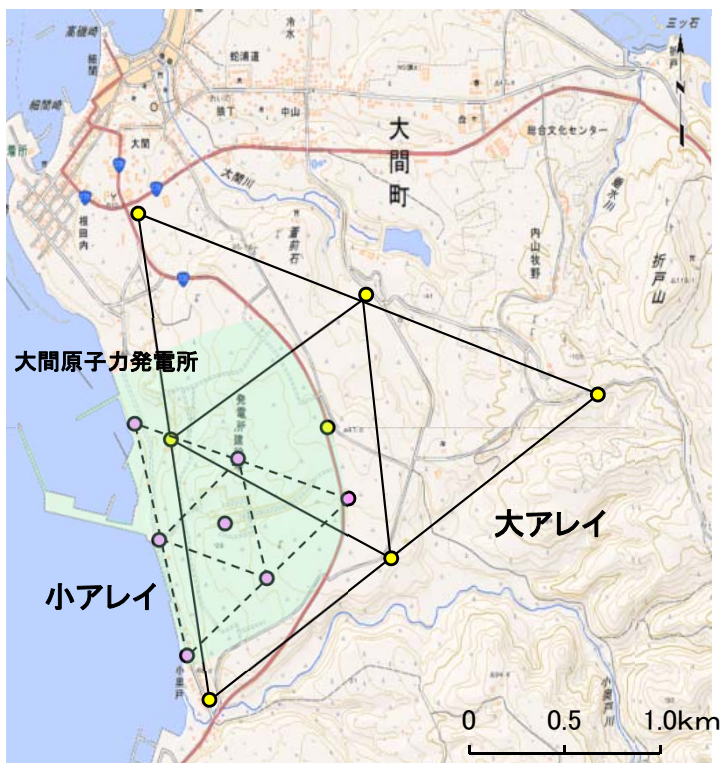


敷地の地盤増幅率の比較

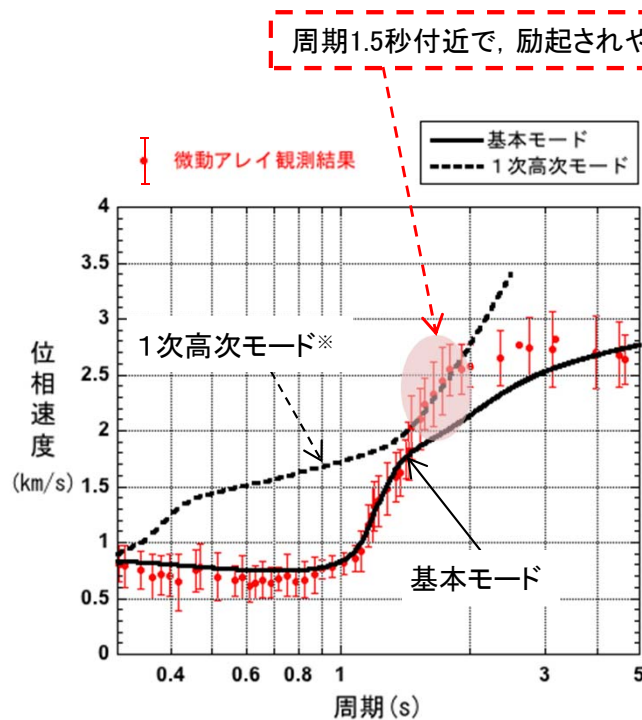
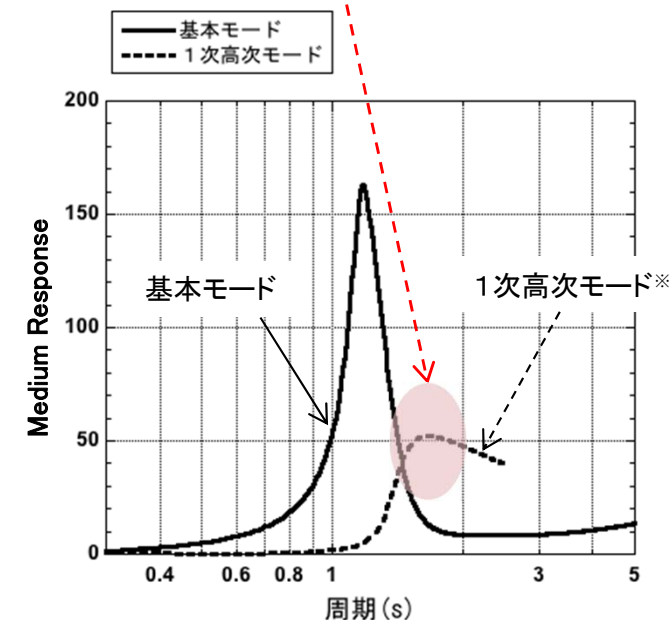
※1 : 地震基盤相当 ($V_s=2,800\text{m/s}$) から基盤の地震動を評価する位置までの増幅率
 ※2 : スペクトルインバージョン解析の概要については、補足説明資料の「5-9」を参照。

- 敷地及びK-NET, KiK-net観測点で得られた観測記録に基づくスペクトルインバージョン解析※2を行った。
- 基準観測点は、地震基盤相当 ($V_s=2,800\text{m/s}$) に地震計が設置されているIWTH03観測点とした。
- 最適化地盤モデルに基づき理論的に算定される地盤増幅率は、スペクトルインバージョン解析により推定された敷地の地盤増幅率と比較して同等若しくは大きく、保守的な評価となっている。

微動アレイ観測による検証結果



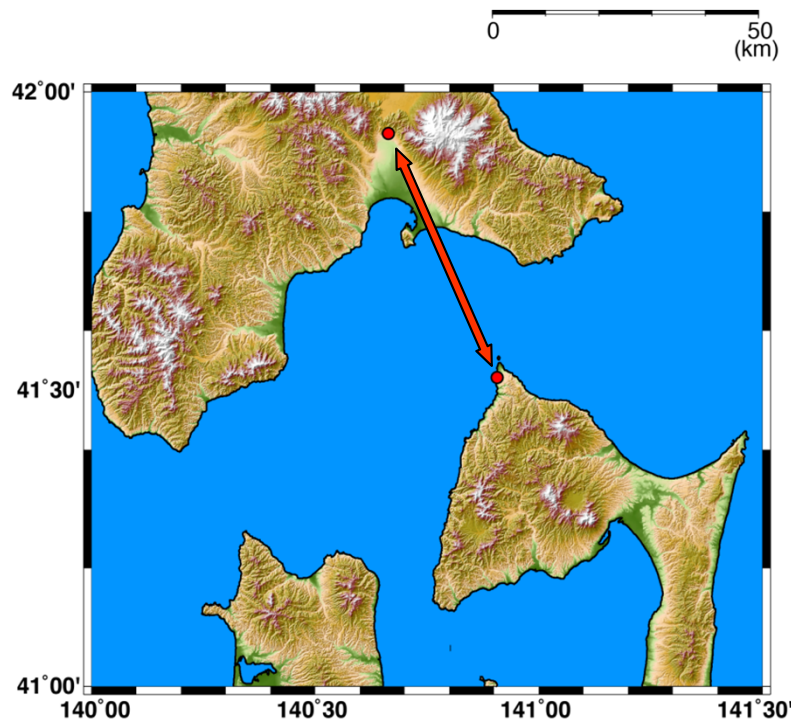
微動アレイ観測点位置

最適化地盤モデルの理論分散曲線
と微動アレイ観測結果との比較最適化地盤モデルの理論的なRayleigh波の
Medium Response(励起特性)

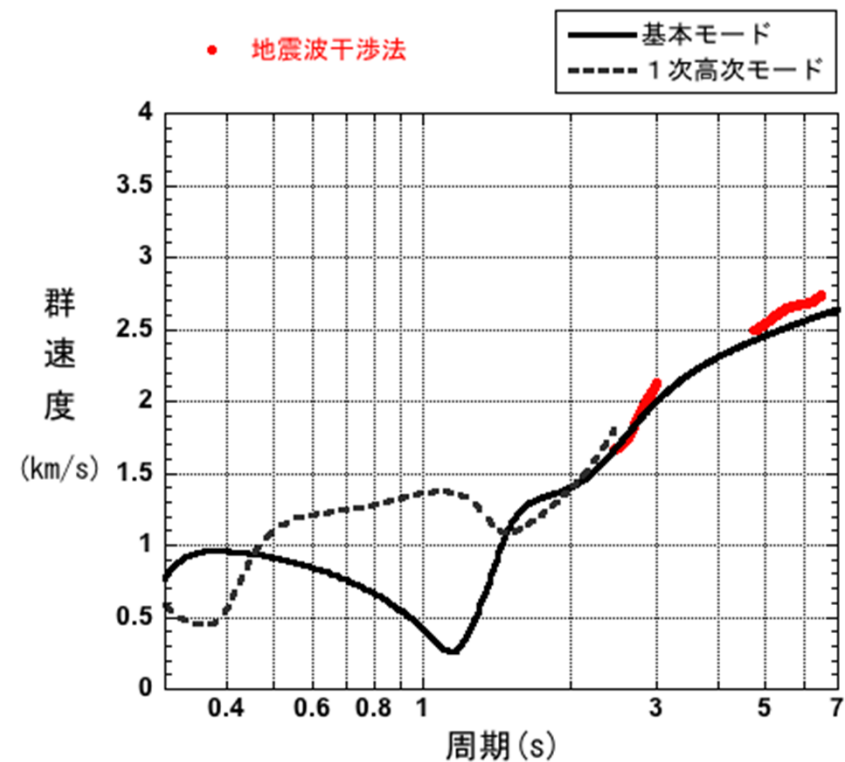
※：微動アレイ観測における1次高次モードの詳細については、
補足説明資料の「5-10」を参照。

- 周期約1.5秒以下において、最適化地盤モデルに基づき理論的に算定される基本モードの分散曲線は、観測記録とよく整合している。
- Medium Responseを見ると、周期約1.5秒から2秒付近において、最適化地盤モデルに基づく理論的な1次高次モードの分散曲線は、基本モードの分散曲線より卓越し、観測記録とよく整合している。

地震波干渉法による検証結果



地震波干渉法※に用いた観測点位置



最適化地盤モデルの理論群速度と観測記録から推定されたRayleigh波の群速度との比較

※ :地震波干渉法による解析の概要については、補足説明資料の「5-11」を参照。

- 大間サイト付近及び函館側の2点間で常時微動連続観測を行い、Rayleigh波の群速度を推定した。
- 最適化地盤モデルに基づき算定される理論的な群速度は、大間サイト付近及び函館側の2地点間の、常時微動連続観測記録によるRayleigh波の群速度とよく整合することを確認した。

まとめ

■スペクトルインバージョン解析

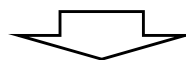
- 最適化地盤モデルに基づき理論的に算定される地盤増幅率は、スペクトルインバージョン解析により推定された敷地の地盤増幅率と比較して同等若しくは大きく、保守的な評価となっている。(P.5-34参照)

■微動アレイ観測

- 微動アレイ観測による分散曲線が、最適化地盤モデルの理論分散曲線とよく対応することを確認した。(P.5-35参照)

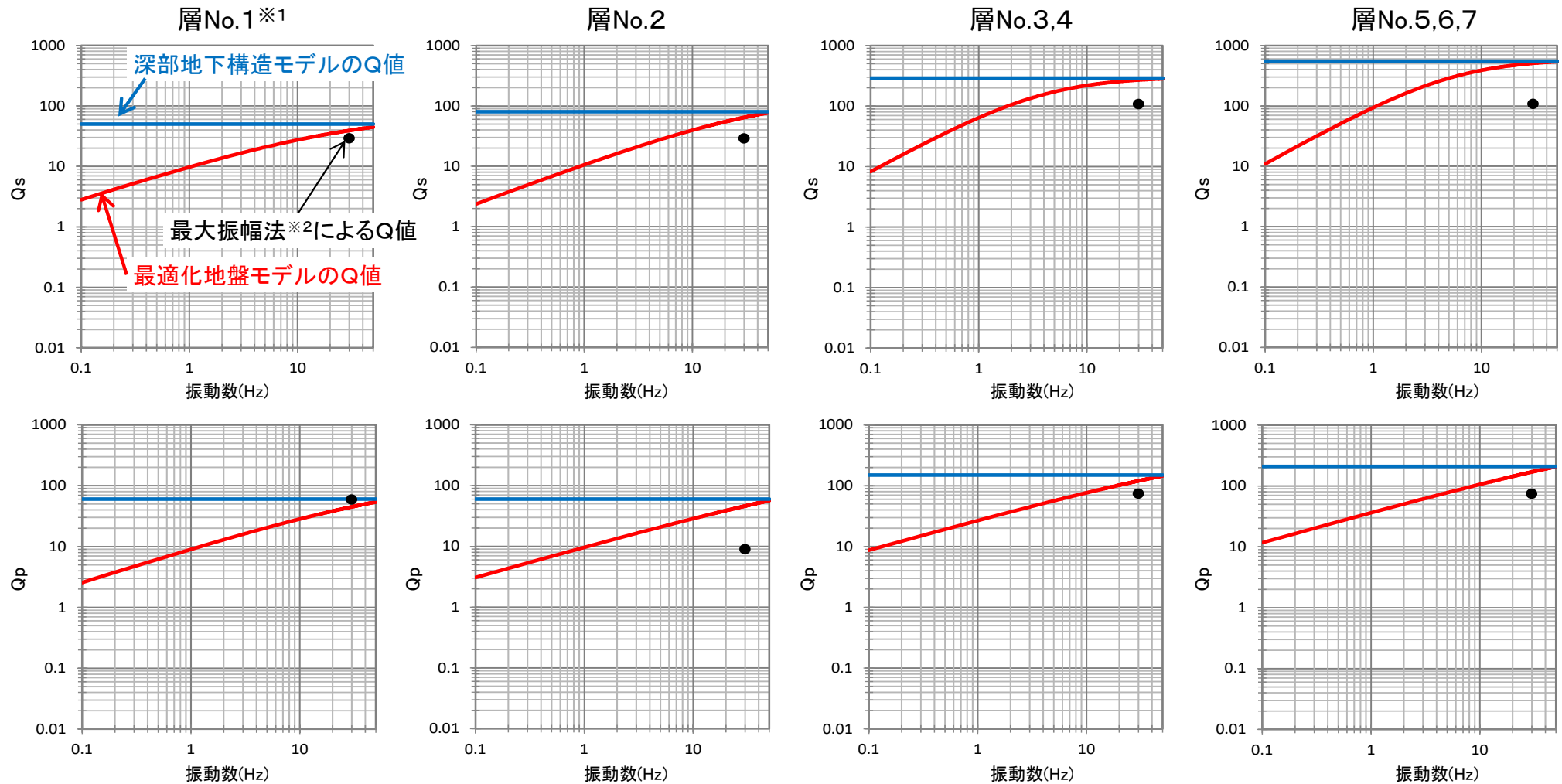
■地震波干渉法

- 地震波干渉法により得られた群速度が、最適化地盤モデルの理論群速度とよく対応することを確認した。(P.5-36参照)



- 以上のことから、最適化地盤モデル(深部)が適切に作成されていることを確認した。

Q値の設定



※1 : 層No.については、P.5-31を参照。

※2 : 最大振幅法によるQ値の測定については、補足説明資料の「5-12」を参照。

- 統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデル及び理論的手法に用いる深部地下構造モデルのQ値は、地震基盤に対する基盤の地震動を評価する位置の増幅率が保守的になるように、最適化地盤モデル(深部)のQ値(赤線)を包絡し、全周期で一定値(青線)として設定した。
- 設定したQ値は、最大振幅法により得られたQ値と同等若しくは大きい値とした。

統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデルの設定

統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデル

	層No.	下端標高 T.P. (m)	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	V _s (m/s)	Q _s	V _p (m/s)	Q _p
▼ 基盤の地震動を 評価する位置	1	-330	100	1.6	860	50	2070	60
	2	-820	490	2.3	1700	80	3500	60
	3	-1770	950	2.5	2200	290	4400	150
	4	-2210	440	2.7	2700		5200	
▼ 地震基盤	5	—	—	2.7	3200	550	5400	210

- 統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデルは、最適化地盤モデル(深部)に対して、地震基盤に対する基盤の地震動を評価する位置の増幅率が保守的になるように設定した。

理論的手法に用いる深部地下構造モデルの設定

理論的手法に用いる深部地下構造モデル

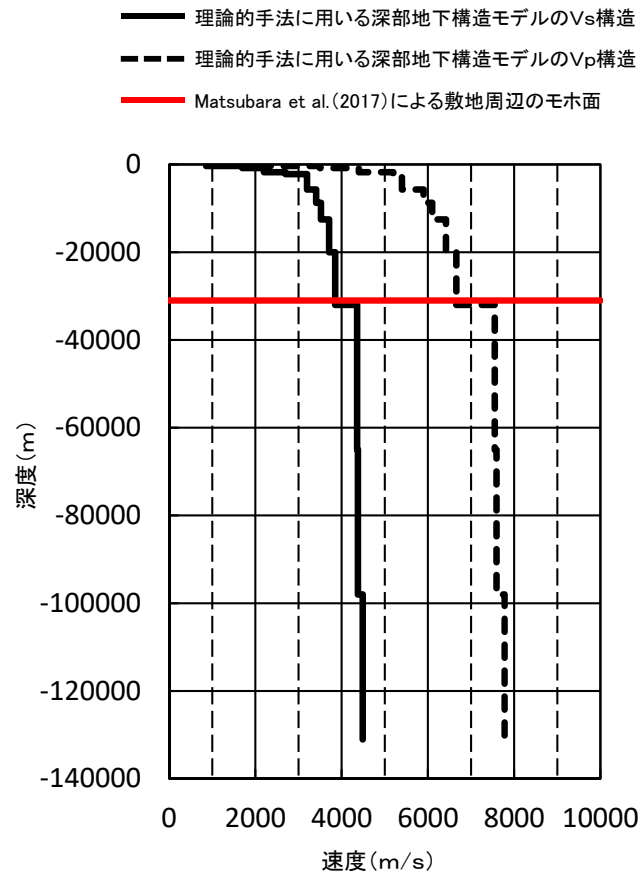
▼ 基盤の地震動を評価する位置	層No.	下端標高 T.P. (m)	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q
▼ 地震基盤	1	-330	100	1.6	860	2070	50
	2	-820	490	2.3	1700	3500	80
	3	-1770	950	2.5	2200	4400	290
	4	-2210	440	2.7	2700	5200	
	5	-5720	3510	2.7	3200	5400	550
	6	-8720	3000	2.7	3410	5900	
	7	-12520	3800	2.7	3520	6100	550
	8	-20020	7500	2.7	3710	6420	550
	9	-32020	12000	2.8	3850	6660	550
	10	-65020	33000	3.2	4360	7550	550
	11	-98020	33000	3.2	4380	7590	550
	12	-131020	33000	3.2	4490	7780	550
	13	-	-	3.2	4490	7780	550

- P.5-31に示す深部地下構造モデルに対して、増幅率が保守的になるようなQ値を考慮して設定した。

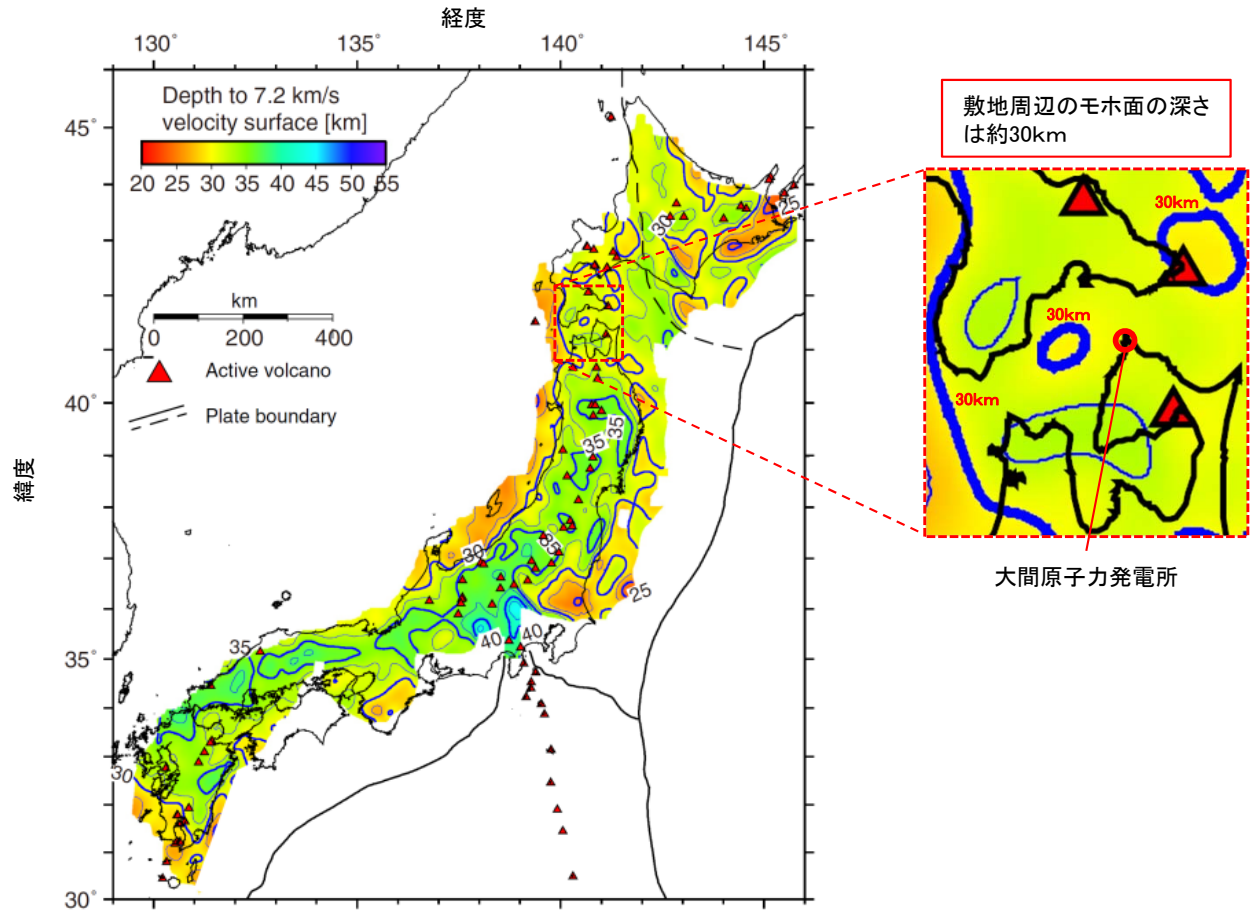
- 速度構造及び密度(ρ)については、佐藤ほか(1989)及び福山ほか(1998)に基づき設定した。
- Q値については、最適化地盤モデルの最下層のQ値と同じ値とした。なお、妥当性の確認結果について、補足説明資料の「5-13」に示す。
- モホ面の深さの妥当性の確認結果については、P.5-41, P.5-42に示す。

- ハイブリッド合成法における理論的手法に用いる深部地下構造モデルは、P.5-39に示す深部地下構造モデルに対して、より深い地下構造に関する知見として、佐藤ほか(1989)及び福山ほか(1998)¹¹⁾に基づき設定した。

モホ面の深さに関する知見 (1/2)



理論的手法に用いる深部地下構造モデルの速度構造と
Matsubara et al.(2017)によるモホ面の深さとの関係



Matsubara et al.(2017)
に一部加筆

Matsubara et al.(2017)によるモホ面の深さ

- モホ面の深さに関する最新の知見である, Matsubara et al.(2017)¹²⁾によると, モホ面 ($V_p=7.2\text{km/s}$) の敷地周辺の深さは約30kmとされている。
- 理論的手法に用いる深部地下構造モデルにおいて, 明瞭な速度構造の不連続面の深さが約32kmであることについて, 上記の知見と調和的である。

モホ面の深さに関する知見 (2/2)

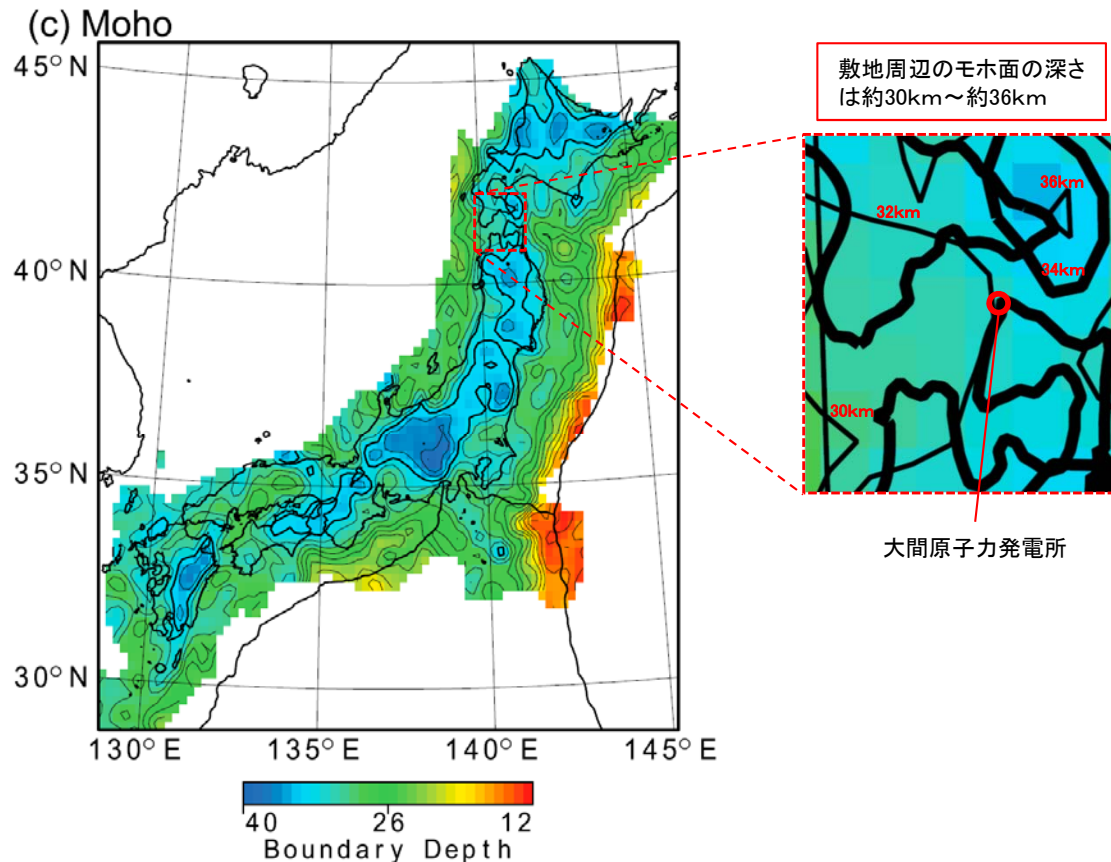


Figure 5. Estimated depth distributions of (a) the Conrad and (c) the Moho and (b and d) their estimation error. Contour intervals are 2 km for Figures 5a and 5c and 0.5 km for Figures 5b and 5d. The thick contours in Figure 5a indicate a depth of 20 km, and those in Figure 5c indicate a depth of 34 km.

Katsumata (2010) に一部加筆修正

Katsumata (2010) によるモホ面の深さ

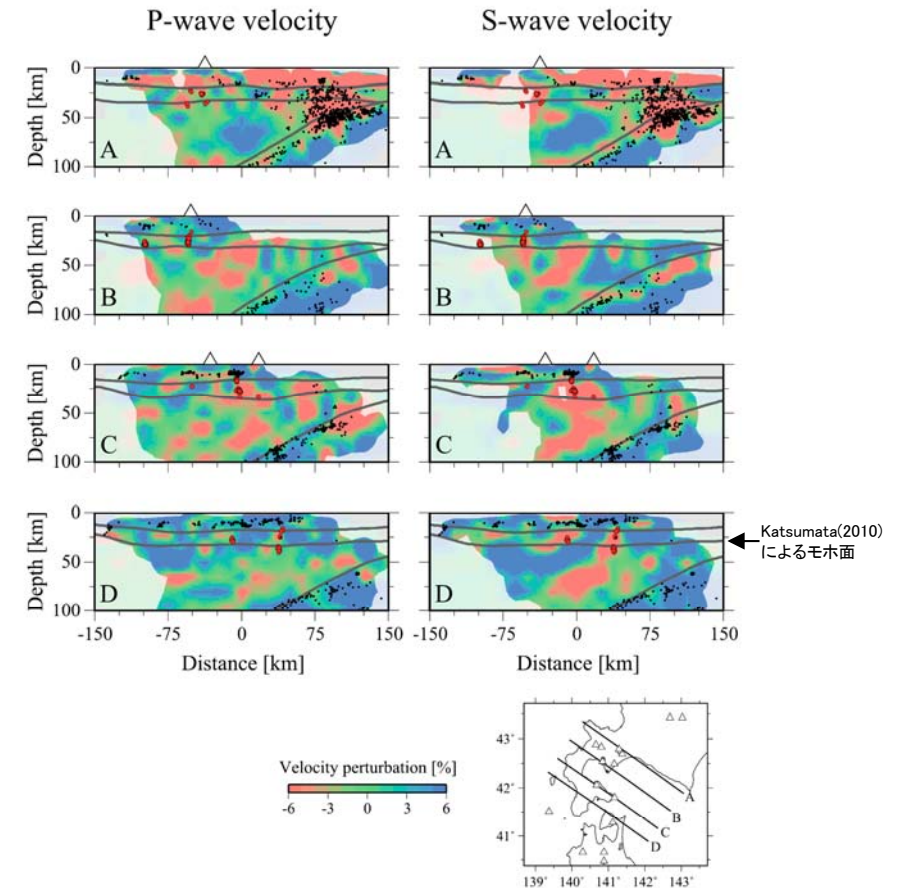


Figure 8. Vertical cross sections of the P and S wave velocity structures in southern Hokkaido. The locations of cross sections are shown in the inset map. The red circles and black dots denote crustal LFEs and regular earthquakes. The thick gray curves represent the Conrad and the Moho discontinuities (Katsumata, 2010) and the upper boundary of the Pacific slab (Nakajima et al., 2009). The area with a derivative weighted sum (Thurber & Eberhart-Phillips, 1999) of <1,000 is white-masked.

Shiina et al. (2018) による北海道南部における速度構造

- Katsumata (2010)¹³⁾によると、モホ面の敷地周辺の深さは約30km～約36kmとなっている。
- Shiina et al. (2018)¹⁴⁾において、北海道南部のマントルウェッジ内の低速度域は、太平洋プレートの高速度域と平行に、またモホ不連続面の近くに分布しているとされており、Katsumata (2010) によるモホ面の深さと合わせて示されている。
- 理論的手法に用いる深部地下構造モデルにおいて、明瞭な速度構造の不連続面の深さが約32kmであることについて、上記の知見とも調和的である。

目次

1. 地震動評価に用いる地下構造モデルの作成の流れ
2. 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価
 - 2.1 地質調査及び地球物理学的調査
 - 2.1.1 調査項目
 - 2.1.2 広域地下構造調査(概査)
 - 2.1.2.1 調査の内容
 - 2.1.2.2 敷地周辺の地質調査
 - 2.1.2.3 重力探査
 - 2.1.2.4 屈折法・反射法地震探査
 - 2.1.2.5 広域地下構造調査(概査)のまとめ
 - 2.1.3 敷地近傍地下構造調査(精査)
 - 2.1.3.1 調査の内容
 - 2.1.3.2 敷地及び敷地近傍における深部地下構造調査
 - 2.1.3.3 敷地における浅部地下構造調査
 - 2.1.3.4 敷地近傍地下構造調査(精査)のまとめ
 - 2.1.4 地質調査及び地球物理学的調査のまとめ
 - 2.2 地下構造モデルを用いた解析による検討
 - 2.2.1 検討項目
 - 2.2.2 三次元地下構造モデルの作成
 - 2.2.2.1 三次元地下構造モデルの作成手順
 - 2.2.2.2 三次元地下構造モデルの作成範囲
 - 2.2.2.3 三次元地下構造モデルの作成結果
 - 2.2.2.4 三次元地下構造モデルの妥当性の確認
 - 2.2.2.5 三次元地下構造モデルの作成のまとめ
 - 2.2.3 二次元不整形FEMモデルによる検討
 - 2.2.3.1 検討内容
 - 2.2.3.2 解析内容
 - 2.2.3.3 解析モデル
 - 2.2.3.4 解析結果 スナップショットによる分析
 - 2.2.3.5 解析結果 解放基盤表面における応答波形の分析
 - 2.2.3.6 二次元不整形FEMモデルによる検討のまとめ
 - 2.2.4 地下構造モデルを用いた解析による検討のまとめ
 - 2.3 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価のまとめ
3. 観測記録による地下構造評価
 - 3.1 検討項目
 - 3.2 地震観測記録による検討
 - 3.2.1 地震動のH/Vスペクトル比に基づく検討
 - 3.2.2 基準化スペクトルに基づく検討
 - 3.2.3 異なる深度の応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.2.4 KiK-net観測点との応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.3 常時微動観測記録による検討
 - 3.4 観測記録による地下構造評価のまとめ
4. 地下構造評価のまとめ
5. 一次元地下構造モデルの作成
 - 5.1 解放基盤表面における地震動評価の方針に係る検討
 - 5.2 浅部地下構造モデルの作成
 - 5.2.1 浅部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.2.2 最適化地盤モデル(浅部)の作成
 - 5.2.3 最適化地盤モデル(浅部)の妥当性の検証
 - 5.2.4 浅部地下構造モデルの設定
 - 5.2.5 解放基盤表面における地震動の特徴
 - 5.3 深部地下構造モデルの作成
 - 5.3.1 深部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.3.2 最適化地盤モデル(深部)の作成
 - 5.3.3 最適化地盤モデル(深部)の妥当性の検証
 - 5.3.4 深部地下構造モデルの設定
 - 5.3.5 深部地下構造モデルの妥当性の検証
 - 5.4 一次元地下構造モデルの作成のまとめ
6. まとめ

5.4 一次元地下構造モデルの作成のまとめ

■ 解放基盤表面における地震動評価の方針

- 一次元地下構造モデルは、観測記録に基づき作成するものとし、観測記録の得られた鉛直アレイ地震観測地点において最適化を行うこととした。
- 鉛直アレイ地震観測地点における基盤の地震動を評価する位置(T.P.-230m)で評価した地震動を、解放基盤表面(T.P.-260m)における地震動として適用することとした。(P.5-3参照)

■ 浅部地下構造モデル

- 観測記録の逆解析による最適化地盤モデルを、観測記録を用いて妥当性を確認した上で、経験的グリーン関数法による地震動評価等におけるはぎとり解析に用いる浅部地下構造モデルとして設定した。(P.5-19参照)

■ 深部地下構造モデル

- 観測記録の逆解析により作成した最適化地盤モデルに対して、保守的な減衰を考慮して、統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデル及び理論的手法に用いる深部地下構造モデルをそれぞれ設定した。(P.5-39, P.5-40参照)

目次

1. 地震動評価に用いる地下構造モデルの作成の流れ
2. 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価
 - 2.1 地質調査及び地球物理学的調査
 - 2.1.1 調査項目
 - 2.1.2 広域地下構造調査(概査)
 - 2.1.2.1 調査の内容
 - 2.1.2.2 敷地周辺の地質調査
 - 2.1.2.3 重力探査
 - 2.1.2.4 屈折法・反射法地震探査
 - 2.1.2.5 広域地下構造調査(概査)のまとめ
 - 2.1.3 敷地近傍地下構造調査(精査)
 - 2.1.3.1 調査の内容
 - 2.1.3.2 敷地及び敷地近傍における深部地下構造調査
 - 2.1.3.3 敷地における浅部地下構造調査
 - 2.1.3.4 敷地近傍地下構造調査(精査)のまとめ
 - 2.1.4 地質調査及び地球物理学的調査のまとめ
 - 2.2 地下構造モデルを用いた解析による検討
 - 2.2.1 検討項目
 - 2.2.2 三次元地下構造モデルの作成
 - 2.2.2.1 三次元地下構造モデルの作成手順
 - 2.2.2.2 三次元地下構造モデルの作成範囲
 - 2.2.2.3 三次元地下構造モデルの作成結果
 - 2.2.2.4 三次元地下構造モデルの妥当性の確認
 - 2.2.2.5 三次元地下構造モデルの作成のまとめ
 - 2.2.3 二次元不整形FEMモデルによる検討
 - 2.2.3.1 検討内容
 - 2.2.3.2 解析内容
 - 2.2.3.3 解析モデル
 - 2.2.3.4 解析結果 スナップショットによる分析
 - 2.2.3.5 解析結果 解放基盤表面における応答波形の分析
 - 2.2.3.6 二次元不整形FEMモデルによる検討のまとめ
 - 2.2.4 地下構造モデルを用いた解析による検討のまとめ
 - 2.3 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価のまとめ
3. 観測記録による地下構造評価
 - 3.1 検討項目
 - 3.2 地震観測記録による検討
 - 3.2.1 地震動のH/Vスペクトル比に基づく検討
 - 3.2.2 基準化スペクトルに基づく検討
 - 3.2.3 異なる深度の応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.2.4 KiK-net観測点との応答スペクトル比に基づく検討
 - 3.3 常時微動観測記録による検討
 - 3.4 観測記録による地下構造評価のまとめ
4. 地下構造評価のまとめ
5. 一次元地下構造モデルの作成
 - 5.1 解放基盤表面における地震動評価の方針に係る検討
 - 5.2 浅部地下構造モデルの作成
 - 5.2.1 浅部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.2.2 最適化地盤モデル(浅部)の作成
 - 5.2.3 最適化地盤モデル(浅部)の妥当性の検証
 - 5.2.4 浅部地下構造モデルの設定
 - 5.2.5 解放基盤表面における地震動の特徴
 - 5.3 深部地下構造モデルの作成
 - 5.3.1 深部地下構造モデルの作成フロー
 - 5.3.2 最適化地盤モデル(深部)の作成
 - 5.3.3 最適化地盤モデル(深部)の妥当性の検証
 - 5.3.4 深部地下構造モデルの設定
 - 5.3.5 深部地下構造モデルの妥当性の検証
 - 5.4 一次元地下構造モデルの作成のまとめ
6. まとめ



地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価 (2章)

(P.2-130参照)

- 敷地周辺において、地質構造と速度構造とが調和的であり、敷地及び敷地近傍でおおむね水平成層構造である。
- 敷地及び敷地近傍の深部の地下構造について、敷地の解放基盤表面における地震動に影響を及ぼすような不整形はないとみなすことができ、水平成層仮定が成り立つものと考えられる。

観測記録による地下構造評価 (3章)

(P.3-52参照)

- 敷地の地盤増幅特性について、地震波の到来方向及び観測点位置の違いによるスペクトル比の変動は小さく、敷地の地下構造に地震動に影響を及ぼすような不整形はないとみなすことができ、水平成層仮定が成り立つものと考えられる。

地下構造評価のまとめ (4章)

(P.4-3参照)

敷地の地下構造は水平成層とみなせることから、一次元モデルで地震動の評価が可能であると判断される。

一次元地下構造モデルの作成 (5章)

【解放基盤表面における地震動評価の方針】

(P.5-3参照)

- 一次元地下構造モデルは、観測記録に基づき作成するものとし、観測記録の得られた鉛直アレイ地震観測地点において最適化を行うこととした。
- 鉛直アレイ地震観測地点における基盤の地震動を評価する位置で評価した地震動を、解放基盤表面における地震動として適用することとした。

【浅部地下構造モデル】(P.5-19参照)

- 観測記録の逆解析による最適化地盤モデルを、観測記録を用いて妥当性を確認した上で、経験的グリーン関数法による地震動評価等におけるはぎとり解析に用いる浅部地下構造モデルとして設定した。

【深部地下構造モデル】(P.5-39, P.5-40参照)

- 観測記録の逆解析により作成した最適化地盤モデルに対して、保守的な減衰を考慮して、統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデル及び理論的手法に用いる深部地下構造モデルをそれぞれ設定した。

- 大間原子力発電所の地下構造について、地質調査、地球物理学的調査及び観測記録による地下構造評価を行うことにより、水平成層仮定が成り立つことを確認した上で、一次元地下構造モデルを作成した。

- 1) 通商産業省:昭和45年度広域調査報告書 下北地域, 1971
- 2) JNES:地震動評価のための三次元地下構造モデルの作成手引き, 2013
- 3) 佐藤吉之・小林喜久二・平原謙司・坂本大輔・横野敬二:S波主要動部の水平/上下スペクトル振幅比による地震動の異方性評価, 日本地震工学会大会梗概集, pp.464-465, 2011
- 4) 川端渉・平原謙司・佐藤吉之・小林喜久二・横野敬二:S波主要動部の水平/上下スペクトル振幅比による大間地点における地震動の異方性評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp.217-218, 2013
- 5) Sawada, Y., Y.Tazawa, H.Yajima, S.Sasaki and S.Noguchi:INVESTIGATION ABOUT DIRECTIONAL DEPENDENCE OF EARTHQUAKE AMPLIFYING CHARACTERISTICS BASED ON HIGH-DENSITY SEISMIC OBSERVATION, 5th IASPEI/IAEE International Symposium, 2016
- 6) Noda, S., K.Yashiro, K.Takahashi, M.Takemura, S.Ohno, M.Tohdo and T.Watanabe:RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD Workshop on the Relations Between Seismological DATA and Seismic Engineering, Istanbul, 16-18 October 2002
- 7) Kakehi, Y. and K.Irikura:High-Frequency Radiation Process during Earthquake Faulting-Envelope Inversion of Acceleration Seismograms from the 1993 Hokkaido-Nansei-Oki, Japan, Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.87, No.4, pp.904-917, August 1997
- 8) Nakahara, H., T.Nishimura, H.Sato and M.Ohtake:Seismogram envelope inversion for the spatial distribution of high-frequency energy radiation from the earthquake fault:Application to the 1994 far east off Sanriku earthquake, Japan, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.103, NO.B1, pp.855-867, JANUARY 10, 1998
- 9) 梅田尚子・小林喜久二:地震記録の逆解析による地下構造推定手法の適用性に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 構造II, pp.813-814, 2010
- 10) 佐藤魂夫・中山耕治・田中和夫・長谷見晶子:東北地方北部の三次元P波速度構造, 地震, 第2輯, 第42巻, pp.419-437, 1989
- 11) 福山英一・石田瑞穂・Douglas S.DREGER・川井啓廉:オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定, 地震, 第2輯, 第51巻, pp.149-156, 1998
- 12) Matsubara, M., H.Sato, T.Ishiyama and A.V.Horne:Configuration of the Moho discontinuity beneath the Japanese Islands derived from three-dimensional seismic tomography, Tectonophysics 710-711, pp.97-107, 2017
- 13) Katsumata, A.:Depth of the Moho discontinuity beneath the Japanese islands estimated by travelttime analysis, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.115, B04303, doi:10.1029/2008JB005864, 2010
- 14) Shiina, T., H.Takhashi, T.Okada and T.Matsuzawa:Implications of Seismic Velocity Structure at the Junction of Kuril-Northeastern Japan Arcs on Active Shallow Seismicity and Deep Low-Frequency Earthquakes, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, doi:10.1029/2018JB015467, 2018