

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7 補足-025-1 改2
提出年月日	2020年4月16日

原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料

2020年4月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。なお、他建物・構築物の地震応答計算書の記載内容を共通的に補足する内容についても、本資料で代表し説明する。

別紙 1 地震応答解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

別紙 2 地震応答解析における耐震壁のせん断スケルトン曲線の設定

別紙 3 地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討

別紙 4 地震応答解析に用いる鉄筋コンクリート造部の減衰定数に関する検討

別紙 5 地震応答解析における原子炉建屋の重大事故等時の高温による影響

別紙 6 原子炉建屋のコンクリート剛性に対する地震観測記録による傾向分析

下線：今回ご提示資料

別紙6 原子炉建屋のコンクリート剛性に対する地震観測記録による
傾向分析

目 次

1. 検討の概要	別紙 6-1
2. 解析手法の概要	別紙 6-2
3. 評価結果	別紙 6-4
3.1 評価対象地震	別紙 6-4
3.2 伝達関数の算定条件	別紙 6-6
3.3 評価結果	別紙 6-8
4. まとめ	別紙 6-11

別紙6-1 コンクリートの経年劣化の影響について

1. 検討の概要

原子炉建屋のコンクリート剛性に対する地震観測記録による傾向分析について、6号機原子炉建屋と7号機原子炉建屋の高さ及び平面形状が共通であることを踏まえ、代表として6号機原子炉建屋で地震観測を行ってきたことから、6号機原子炉建屋の観測記録を用いて、建屋を等価1質点系モデルに置換した場合の1次固有振動数を算定し、経年及び地震による建屋全体系の剛性（コンクリート剛性）への影響という観点で分析を行った。1次固有振動数の変化から、6号機原子炉建屋全体の平均的な剛性の変化を評価することができる。

2. 解析手法の概要

6号機原子炉建屋の1次固有振動数を評価するための伝達関数の概念図を図2-1に示す。

基礎スラブ上の水平動の加速度記録に加えて、基礎スラブ両端部の鉛直動の加速度記録を用いることにより、基礎スラブを剛体とみなして基礎スラブの回転動を評価することにより基礎固定条件の伝達関数を評価することができる。また、基礎スラブ上の水平動の加速度記録のみを用いる場合には基礎スラブの水平方向のみを固定条件としたスウェイ固定条件の伝達関数を評価することができる。

図2-2にスウェイ固定の場合の固有振動数評価の概念を示す。

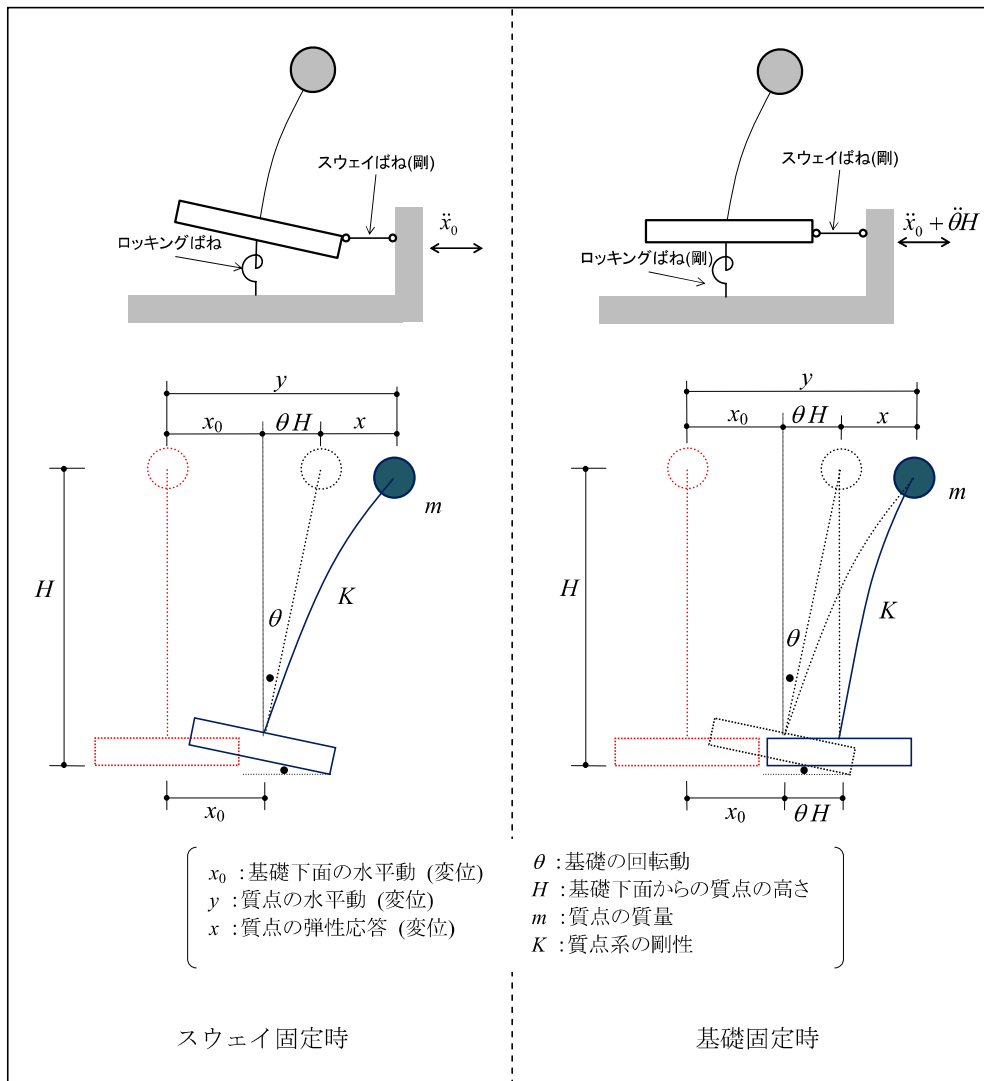
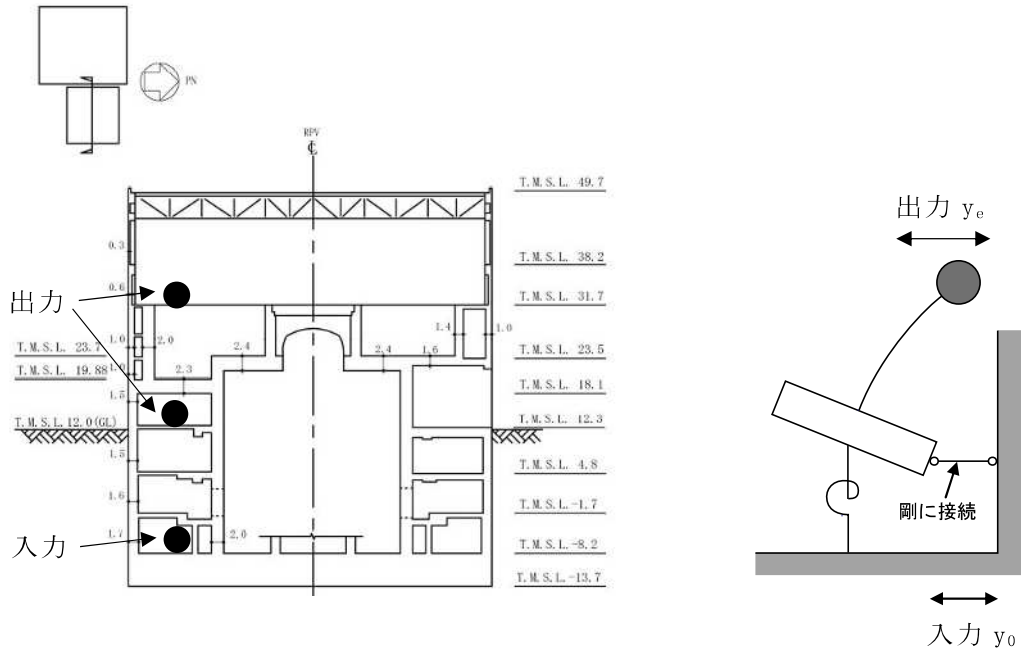


図2-1 伝達関数の概念図



- ① 質点系の等価高さ位置に隣接する上下階の観測波形を線形補間して等価高さ位置の波形を算定する。
- ② 観測記録による伝達関数に対して固有振動数を同定して求める。

図 2-2 固有振動数評価の概念図 (スウェイ固定)

3. 評価結果

3.1 評価対象地震

6号機原子炉建屋では多数の地震が観測されている。基礎スラブ上のNS方向またはEW方向の最大加速度が 3cm/s^2 以上である82地震記録を評価対象として選定した。評価対象地震を表3-1に示す。

表 3-1 ARX 法による伝達関数の評価対象地震

No.	地震名	規模 M	深さ (km)	震央 距離 (km)	震源 距離 (km)	加速度最大値 (Gal)			
						4F 計測点		B3F 計測点	
						NS	EW	NS	EW
001	1995.08.09 04:27 新潟県南部沖	4.6	24	27	36	7.07	7.02	3.12	5.00
002	1996.08.31 10:43 新潟県南部沖	3.0	19	6	20	12.44	16.97	6.79	8.91
003	1998.02.21 09:55 新潟県中部	5.2	19	25	31	16.11	11.80	8.36	6.32
004	1998.04.04 01:40 新潟県南部沖	4.6	26	23	35	39.18	34.08	16.74	19.60
005	1998.11.16 08:08 能登半島沖	4.8	12	108	108	11.01	7.15	3.99	3.64
006	1999.11.14 06:57 新潟県中部	4.0	13	16	20	9.26	9.05	4.49	4.27
007	2000.03.25 22:02 新潟県中部	4.1	11	18	21	11.43	6.97	6.28	4.54
008	2001.01.02 19:53 新潟県中部	4.5	12	19	22	7.90	7.64	4.05	3.83
009	2001.01.04 13:18 新潟県中部	5.3	11	54	55	15.71	11.74	4.54	7.67
010	2003.12.22 21:07 佐渡島近海	4.7	16	60	62	2.54	5.66	1.28	3.18
011	2004.03.15 07:38 新潟県南部沖	4.7	24	31	39	26.17	13.25	8.43	8.14
012	平成16年(2004年)新潟県中越地震	6.8	13	28	31	74.02	94.62	34.20	59.71
013	2004.10.23 17:59 新潟県中部	5.3	16	26	30	13.90	13.37	7.23	9.60
014	2004.10.23 18:03 新潟県中部	6.3	9	35	36	51.45	55.83	27.05	24.92
015	2004.10.23 18:07 新潟県中部	5.7	15	25	29	25.74	18.27	9.10	13.10
016	2004.10.23 18:11 新潟県中部	6.0	12	28	30	35.52	48.63	16.42	34.44
017	2004.10.23 18:14 新潟県中部	4.5	14	28	31	8.61	5.79	4.17	5.10
018	2004.10.23 18:34 新潟県中部	6.5	14	32	35	101.09	93.39	41.93	52.41
019	2004.10.23 18:36 新潟県中部	5.1	7	36	37	8.89	16.98	3.49	9.76
020	2004.10.23 18:57 新潟県中部	5.3	8	34	35	8.97	5.65	6.65	4.59
021	2004.10.23 19:36 新潟県中部	5.3	11	31	33	6.77	12.48	4.74	8.82
022	2004.10.23 19:45 新潟県中部	5.7	12	29	31	27.53	20.71	11.74	15.31
023	2004.10.23 19:46 新潟県中部	4.7	15	29	33	8.13	8.70	3.21	8.17
024	2004.10.23 23:34 新潟県中部	5.3	20	30	36	13.86	17.34	7.40	7.32
025	2004.10.24 16:06 新潟県中部	4.6	12	30	32	5.50	7.01	2.57	5.13
026	2004.10.25 00:28 新潟県中部	5.3	10	35	36	11.09	9.53	6.06	7.85
027	2004.10.25 06:04 新潟県中部	5.8	15	33	36	35.36	46.28	19.60	33.82
028	2004.10.25 06:32 新潟県中部	4.3	15	32	35	5.78	6.75	2.69	3.56
029	2004.10.27 10:40 新潟県中部	6.1	12	41	43	41.72	50.27	27.04	34.51
030	2004.11.01 04:35 新潟県中部	5.0	8	36	37	7.11	9.96	4.19	5.66
031	2004.11.04 08:57 新潟県中部	5.2	18	28	34	112.42	115.76	46.55	84.07
032	2004.11.08 11:15 新潟県中部	5.9	0	39	39	17.58	16.78	6.49	8.27
033	2004.11.08 11:27 新潟県中部	5.0	0	38	38	7.58	8.00	4.14	4.62
034	2004.11.10 03:43 新潟県中部	5.3	5	36	37	9.55	8.87	4.75	4.83
035	2004.12.23 21:03 新潟県中部	4.5	11	32	33	8.49	13.10	2.92	5.63
036	2004.12.25 10:23 新潟県中部	4.4	10	32	34	7.17	15.85	3.50	6.19
037	2005.06.20 13:03 新潟県中部	5.0	15	22	26	43.57	56.54	23.34	28.11
038	2005.08.21 11:29 新潟県中部	5.0	17	17	24	13.07	19.85	6.78	11.22
039	2005.11.04 01:01 新潟県南部沖	4.8	28	11	30	47.02	42.96	25.51	30.80
040	2006.12.26 05:17 佐渡島近海	4.9	14	63	65	10.41	9.37	5.52	5.66
041	2007.01.08 18:59 新潟県中部	4.8	13	34	36	5.18	6.26	2.99	3.46
042	2007.03.25 09:41 能登半島沖	6.9	11	171	171	47.91	26.00	20.93	16.87
043	平成19年(2007年)新潟県中越沖地震	6.8	17	15	22	(544.41)	(544.99)	(271.01)	(321.68)
044	2007.07.16 11:00 新潟県南部沖	3.7	22	5	23	41.70	40.69	24.17	20.72
045	2007.07.16 11:05 新潟県南部沖	3.9	23	13	26	10.36	9.21	4.26	3.49
046	2007.07.16 11:12 新潟県南部沖	3.3	24	12	27	6.31	3.67	3.07	2.74
047	2007.07.16 11:15 新潟県南部沖	2.5	17	5	18	6.28	5.83	3.81	3.83
048	2007.07.16 11:20 新潟県南部沖	3.1	20	9	22	7.82	16.84	5.00	6.72
049	2007.07.16 11:47 新潟県南部沖	3.4	18	6	19	4.50	4.75	1.96	3.28
050	2007.07.16 11:50 新潟県南部沖	3.5	19	6	20	11.08	11.85	5.57	6.58
051	2007.07.16 11:56 新潟県南部沖	3.5	17	8	18	13.28	21.85	5.48	10.21
052	2007.07.16 12:20 新潟県南部沖	3.4	20	11	23	6.34	5.52	2.99	3.01
053	2007.07.16 12:34 新潟県南部沖	2.9	18	15	24	6.36	7.74	2.65	4.04
054	2007.07.18 11:47 新潟県南部沖	3.7	18	6	19	37.39	24.52	19.53	15.71
055	2007.07.18 16:53 新潟県中部	4.3	23	3	23	16.82	22.49	6.34	11.59
056	2007.07.20 01:52 新潟県南部沖	4.2	19	5	20	39.55	59.49	24.58	25.79
057	2007.07.25 06:52 新潟県中部	4.8	24	16	29	75.06	41.84	41.70	35.18
058	2008.03.12 17:59 新潟県南部沖	4.1	20	4	20	22.05	23.62	11.98	14.94
059	2008.05.12 01:53 新潟県南部沖	2.6	19	7	20	6.41	6.66	3.25	4.32
060	2008.07.05 08:30 新潟県南部沖	3.3	17	16	24	4.25	6.21	2.13	3.16
061	2008.12.30 23:25 新潟県中部	3.9	17	4	18	24.08	25.46	12.30	11.36
062	2009.08.24 13:30 新潟県南部沖	3.6	19	3	19	17.27	23.47	9.22	10.23
063	2010.10.02 12:35 新潟県中部	4.0	22	35	42	11.24	14.87	4.75	6.38
064	2010.10.03 06:37 新潟県中部	4.5	23	35	42	25.52	12.14	10.05	5.98
065	2010.10.03 06:52 新潟県中部	4.6	24	36	43	11.74	12.48	8.01	4.13
066	2010.10.03 09:26 新潟県中部	4.7	22	35	42	8.07	7.32	3.60	4.16
067	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震	9.0	24	383	383	12.47	13.24	12.27	11.64
068	2011.03.11 15:15 茨城県東方はるか沖	7.6	43	278	280	4.32	4.37	4.24	3.90
069	2011.03.12 03:59 新潟県中部	6.7	8	49	49	31.13	32.02	15.39	19.67
070	2011.03.12 04:31 新潟県中部	5.9	1	53	53	8.73	5.96	4.19	3.40
071	2011.04.07 23:32 宮城県東方沖	7.2	66	305	311	3.11	4.92	2.67	4.03
072	2011.04.11 17:16 福島県東部	7.0	6	192	192	5.72	5.26	5.09	4.80
073	2011.04.12 07:26 長野県北部	5.6	0	67	67	14.63	11.40	6.48	7.02
074	2011.04.12 16:14 長野県北部	4.6	1	66	66	7.34	7.28	4.07	4.49
075	2011.07.27 01:49 新潟県中部	3.7	18	4	19	16.88	18.42	10.12	8.28
076	2011.11.26 09:05 佐渡島近海	4.3	24	45	50	5.44	7.43	2.33	3.47
077	2012.02.08 21:01 佐渡島近海	5.7	14	62	63	17.76	8.40	7.38	4.48
078	2012.07.10 12:48 長野県北部	5.2	9	68	69	5.30	5.02	2.04	3.29
079	2014.04.08 05:07 新潟県中部	4.4	9	32	33	5.52	7.40	3.36	2.16
080	2014.11.22 22:08 長野県北部	6.7	5	103	103	6.76	13.77	5.22	9.61
081	2015.06.16 13:42 新潟県南部沖	3.8	18	11	21	5.60	5.66	3.10	3.37
082	2016.11.22 05:59 福島県東方沖	7.4	25	266	266	3.85	4.72	3.11	4.25

3.2 伝達関数の算定条件

表 3-2 及び図 3-1 に伝達関数の算定に用いた地震計を示す。等価高さ位置の波形は T. M. S. L. +31.7m と T. M. S. L. +12.3m の記録を用いて線形補間により算定した。なお、平成 19 年新潟県中越沖地震については、6-R1 および 6-R2 における観測記録を用いてスウェイ固定の伝達関数を算定した。

表 3-2 伝達関数の算定に用いた地震計

観測点名・成分・高さ位置		備考
NS 成分	EW 成分	
R62 NS (TMSL+31.7m) R66 NS (TMSL+31.7m) R63 NS (TMSL+12.3m) 6-R1 NS (TMSL+23.5m)*	R62 EW (TMSL+31.7m) R66 EW (TMSL+31.7m) R63 EW (TMSL+12.3m) 6-R1 EW (TMSL+23.5m)*	y_e 算定用 TMSL+31.7m の記録の平均値 と TMSL+12.3m の線形補間 により算定
R64 NS (TMSL- 8.2m) R67 NS (TMSL- 8.2m) R69 NS (TMSL- 8.2m) 6-R2 NS (TMSL- 8.2m)*	R64 EW (TMSL- 8.2m) R67 EW (TMSL- 8.2m) R68 EW (TMSL- 8.2m) 6-R2 EW (TMSL- 8.2m)*	y_0 算定用 記録の平均化により算定
R64 UD (TMSL- 8.2m) R68 UD (TMSL- 8.2m)	R67 UD (TMSL- 8.2m) R69 UD (TMSL- 8.2m)	回転動算定用

*平成 19 年新潟県中越沖地震では 6-R1, 6-R2 のみを使用 (スウェイ固定)

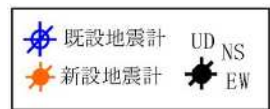
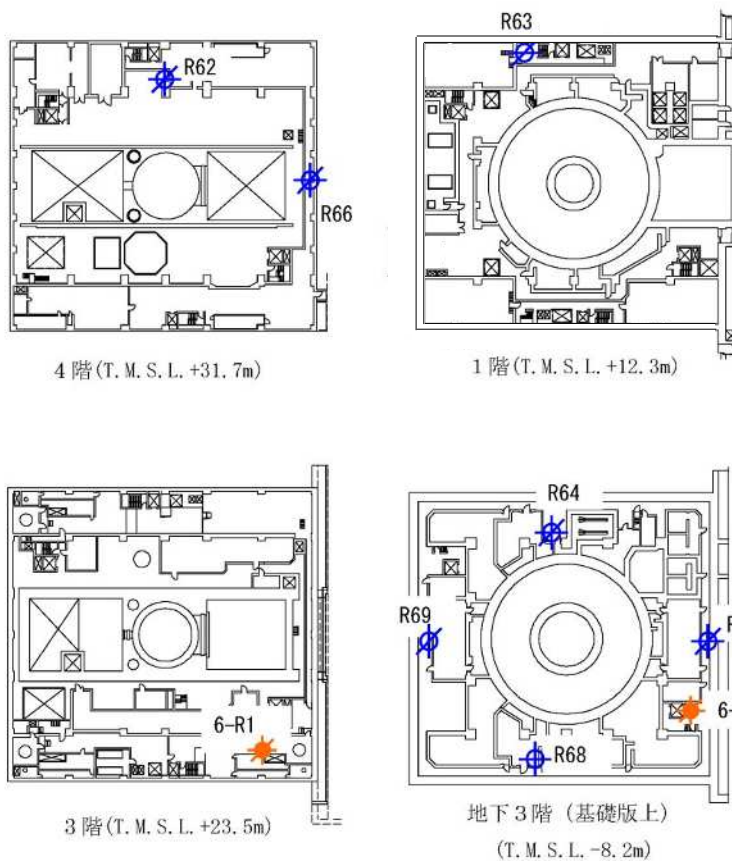
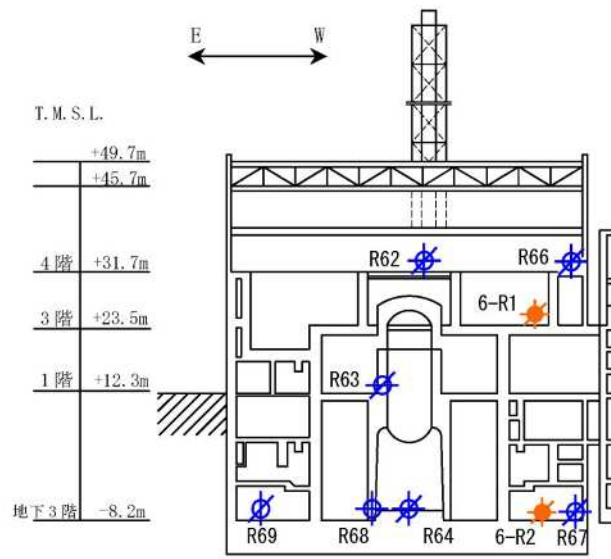


図 3-1 6号機原子炉建屋の地震計位置

3.3 評価結果

1次固有振動数の地震時系列上の変化を図3-2に、時間軸上の変化を図3-3に示す。これらの図には、スウェイ固定条件及び基礎固定条件における1次固有振動数の変化を重ねて表示した。地盤の影響を除去した基礎固定時のほうが1次固有振動数は高く評価されていることが確認できる。また、図には基礎スラブの水平最大加速度も併記している。

図3-2によれば、加速度の大きい地震記録に対しては1次固有振動数が一時的に変化する傾向が見られるが、その他殆どの地震では概ね同程度の1次固有振動数になっている。

図3-3の時間軸上での変化をみると、2007年新潟県中越沖地震時を除くと、1次固有振動数は長期間に渡ってほぼ一定になっており、経年による剛性低下はみられない。コンクリートの乾燥収縮と剛性の関係については別紙6-1に示す。

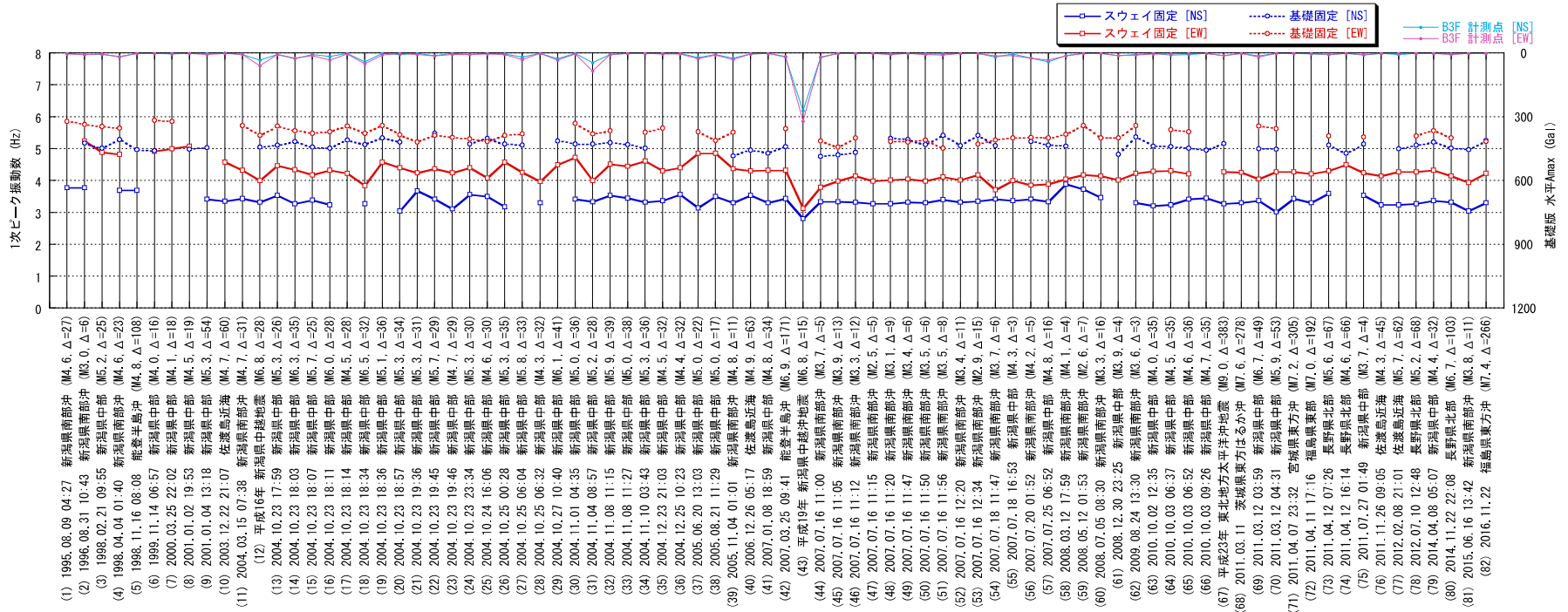


図 3-2 1 次固有振動数の評価結果 (地震時系列)

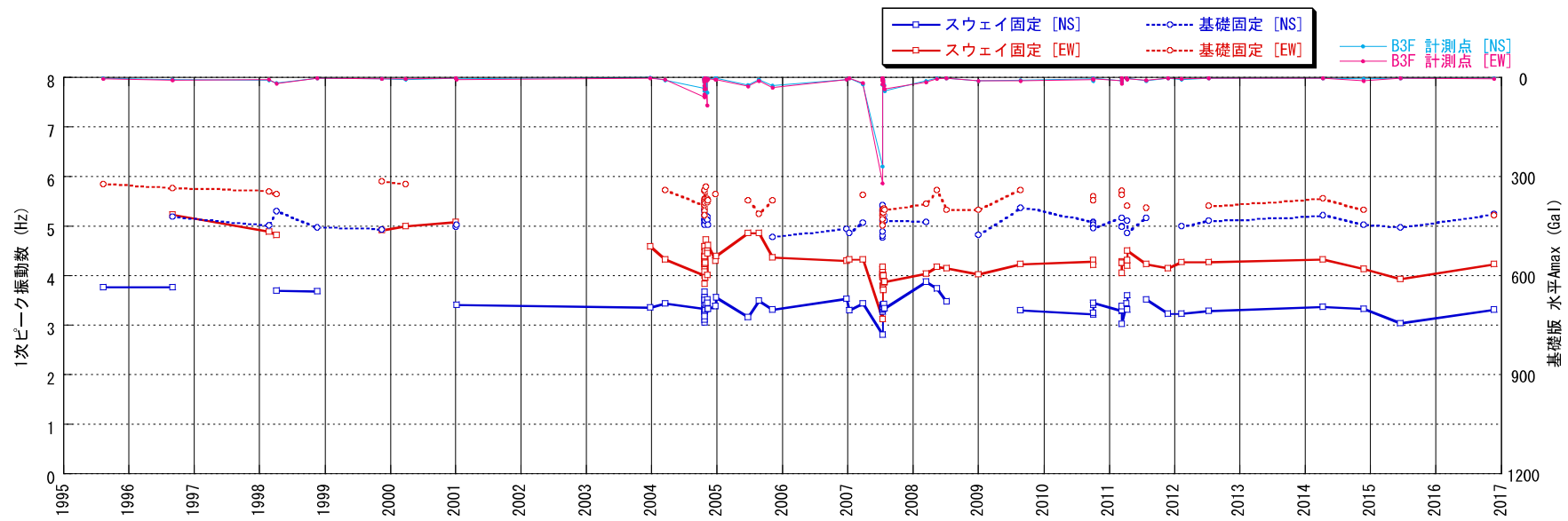


図 3-3 1次固有振動数の評価結果 (時間軸)

4. まとめ

6号機原子炉建屋を対象に、地震観測記録を用いて1次固有振動数を算定し、その経年変化の分析を行った。その結果、2007年新潟県中越沖地震時では1次固有振動数が一時的に変化したものの、その他の地震では長期間に渡りほぼ一定の1次固有振動数となっており、経年による変化は殆ど認められなかった。

別紙6-1 コンクリートの経年劣化の影響について

目 次

1. はじめに	別紙 6-1-1
2. 柏崎刈羽原子力発電所におけるひび割れ点検	別紙 6-1-2
2-1. 点検の概要	別紙 6-1-2
2-2. 点検結果	別紙 6-1-2

1. はじめに

柏崎刈羽原子力発電所では，建築物に要求される機能を供用期間にわたって維持するため，定期的な点検に基づく維持管理を実施している。

維持管理においては，コンクリート構造物の性能を低下させるような劣化事象が生じているか否かを確認する各種点検に加え，日常的に劣化の兆候を確認するための外観目視点検およびひび割れ点検を実施している。

ひび割れは，「進行性のないもの」および「進行性のもの」の大きく二つに分類でき，進行性のないものは，乾燥収縮によるもの，セメントの水和熱によるもの，施工にかかわるものなどがある。また，進行性のものは，アルカリ骨材反応，凍結融解，コンクリートの中酸化，塩分浸透，疲労によるものなどがある。

以上により，劣化の兆候を確認しているひび割れ点検結果を用いて，経年的なひび割れの進展がないことを確認した。

2. 柏崎刈羽原子力発電所におけるひび割れ点検

2.1 点検の概要

柏崎刈羽原子力発電所においては鉄筋コンクリート構造物を対象に定期的にひび割れ点検を実施している。ひび割れ点検・管理については、日本建築学会：原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説を参考に表1、2のとおり実施している。

表1 ひび割れ点検調査内容

調査項目	調査内容
パターン 幅 長さ	規則性，形態，発生部位（分布），進行性，漏水の有無 最大幅の測定（クラックスケールによる），可視範囲の記録

表2 ひび割れ点検管理内容

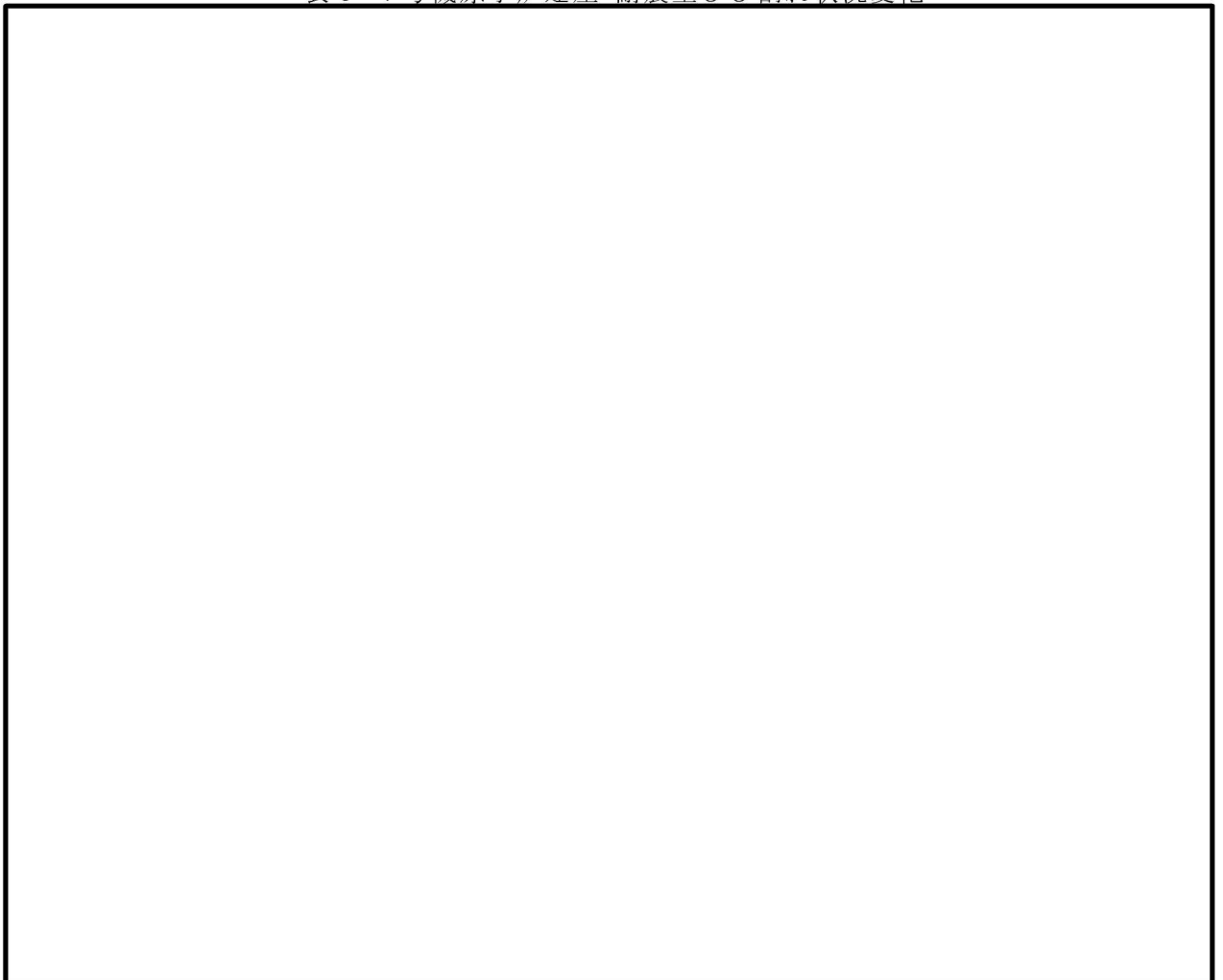
--

2.2 点検結果

既往の点検・評価報告書*1 およびひび割れ補修報告書*2 によると，2007 年の新潟県中越沖地震において，7 号機原子炉建屋に地震により発生したことが否定できない耐震壁のひび割れが 11 箇所確認されたが，全て補修が完了している。

また，それ以外について 2007 年と 2017 年の点検結果を比較すると，耐震壁のひび割れに大きな変化はなく，経年による進展は認められていない。

表 3 7 号機原子炉建屋 耐震壁ひび割れ状況変化



() は中越沖地震後の点検結果の中で，地震の影響により発生したことが否定できないものの

- 注記*1 : 平成 20 年 9 月 25 日に経済産業省原子力安全・保安院報告済
「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機に関する新潟県中越沖地震後の設備健全性に
係る点検・評価報告書（建物・構築物編）（改訂 1）」
- *2 : 平成 21 年 2 月 18 日に経済産業省原子力安全・保安院報告済
「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機原子炉建屋・タービン建屋およびコントロー
ル建屋におけるひび割れ補修報告書」