

4. 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の耐震安全性評価

#### 4.1 評価方法

常設代替高圧電源装置置場（以下、「電源装置置場」という。）は、軽油貯蔵タンク等を間接支持する機能を求められる土木構造物である。また、EL. -21.0 m 階は西側淡水貯水設備として使用する。電源装置置場について基準地震動  $S_s$  による耐震安全性評価として、構造部材の曲げ、せん断評価及び地盤の支持性能評価を実施する。

構造部材の曲げ、せん断評価については地震応答解析に基づく発生応力度又は発生せん断力が許容限界を超えないことを確認する。基礎地盤の支持性能評価については、地震応答解析に基づく最大接地圧が許容限界以下であることを確認する。

#### 4.2 評価条件

##### 4.2.1 適用基準

電源装置置場の耐震評価に当たっては、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987（（社）日本電気協会）、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会、2002年制定）等に準拠するが、鉄筋コンクリートの曲げ及びせん断の許容限界については、道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成 24 年 3 月）及び、電源装置置場が地中に埋設された鉄筋コンクリート構造であることを考慮して、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（（社）土木学会、2005 年）（以下、「土木学会マニュアル」という。）を参考とする。

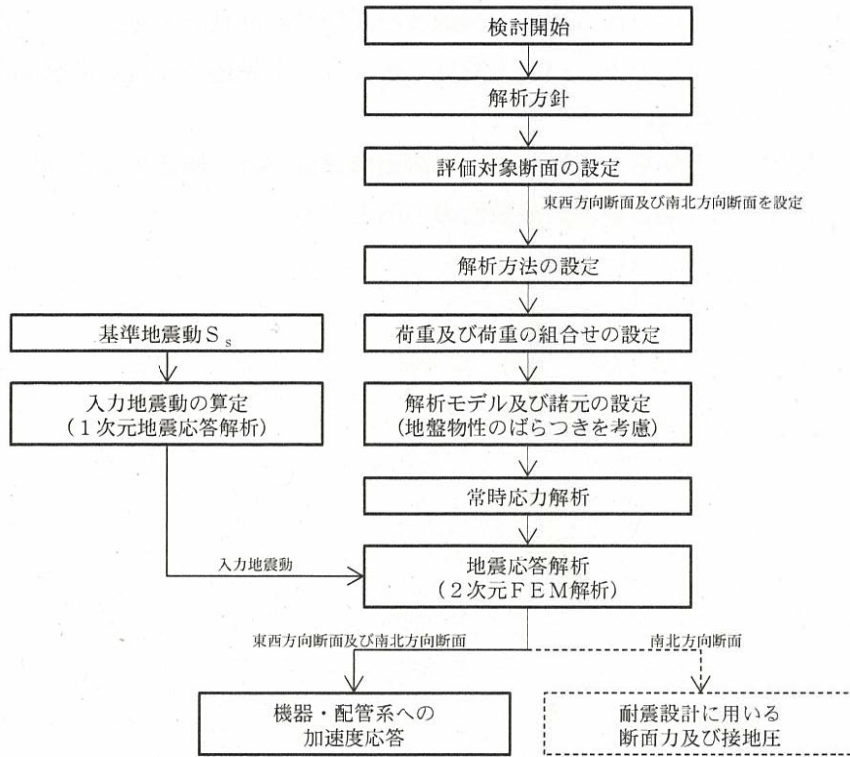
表 4.2-1 に参考とする主な基準を示す。

表 4.2-1 参考とする主な基準等

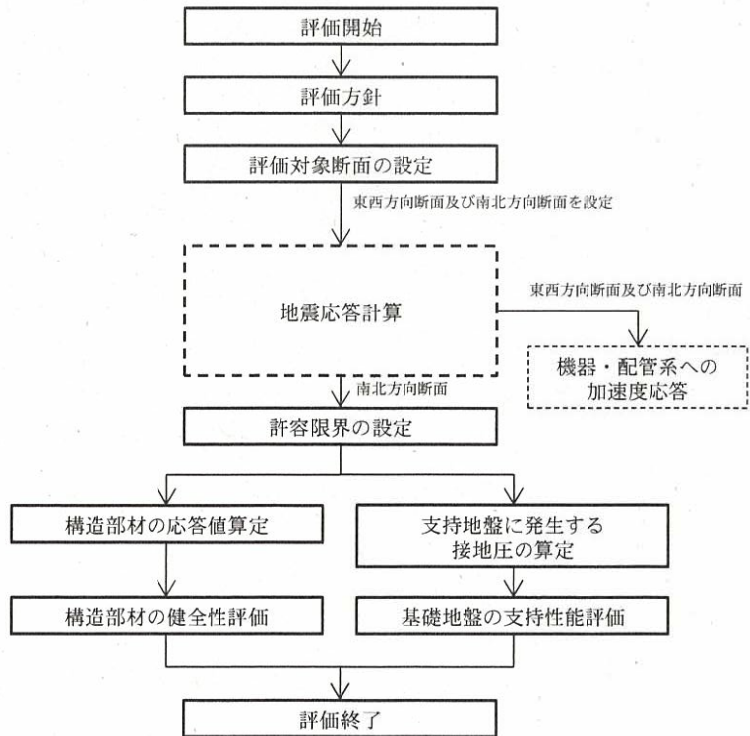
項目	参考とする主な基準	備考
使用材料及び材料定数	・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年制定）	—
荷重及び荷重の組み合わせ	・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年制定）	・永久荷重＋偶発荷重＋従たる変動荷重の適切な組合せを検討
許容限界	・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年制定） ・道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（平成 24 年 3 月） ・ J E A G 4 6 0 1 - 1987	・曲げに対する照査は、発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。 ・せん断に対する照査は、発生応力度又は発生せん断力が、許容応力度又は許容せん断力以下であることを確認する。
地震応答解析	・ J E A G 4 6 0 1 - 1987	・有限要素法による 2 次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

4.2.2 耐震安全性評価フロー

図 4.2-1 に電源装置置場の耐震安全性評価フローを示す。



<地震応答計算>



<耐震性評価>

図 4.2-1 電源装置置場の耐震安全性評価フロー

#### 4.2.3 評価対象断面の方向

電源装置置場の位置を図 4.2-2 及び図 4.2-3 に示す。

電源装置置場は、延長 56.5 m の鉄筋コンクリート造である。表 4.2-2 に示すとおり、電源装置置場の東西方向は、側壁及び隔壁を耐震設計上見込むことができるため、強軸断面方向となる。一方、南北方向は、耐震設計上見込める構造部材が少ないことから、弱軸断面方向となる。

以上のことから、電源装置置場の耐震評価では、構造の安定性に支配的な弱軸断面方向である南北方向を評価対象断面の方向とする。

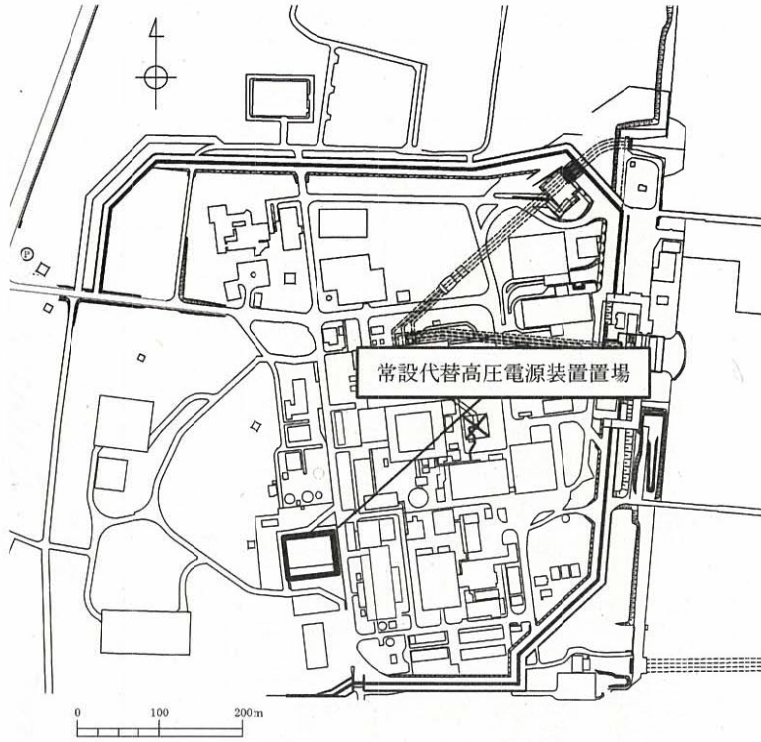


図 4.2-2 電源装置置場の位置図（全体平面図）

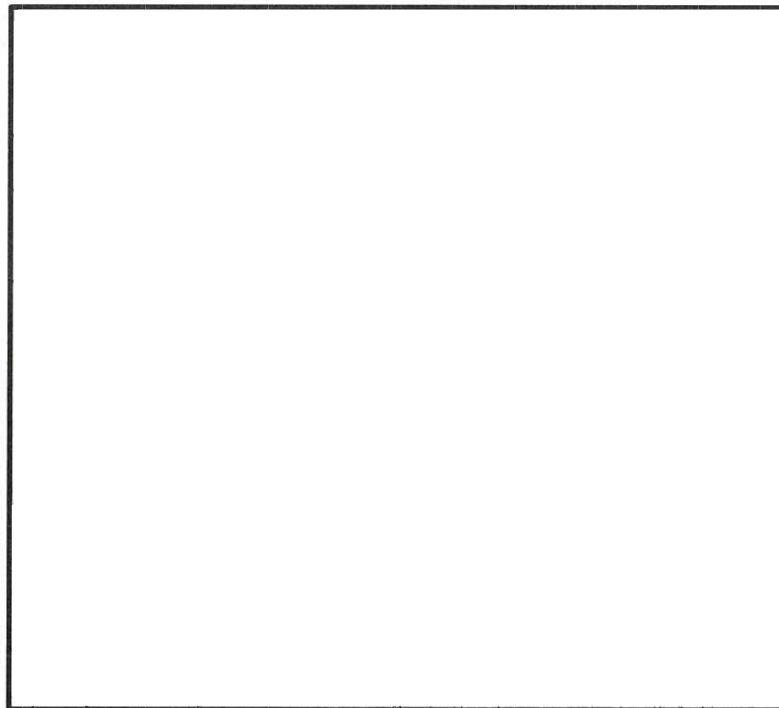

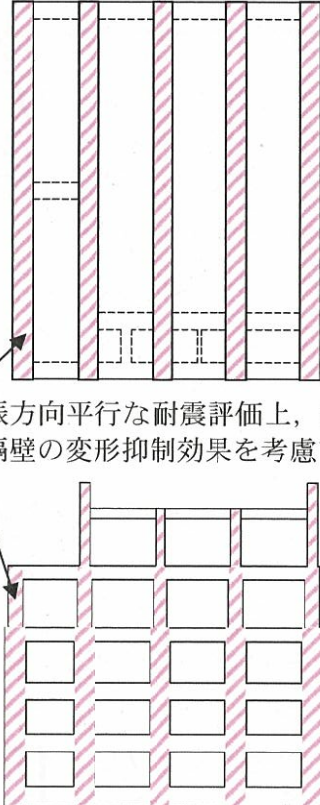


図 4.2-3 電源装置置場の位置図（拡大図）

表 4.2-2 電源装置置場の評価対象断面の方向の選定

	南北方向の加振	東西方向の加振
電源装置置場	<p data-bbox="687 338 799 367">加振方向</p>  <p data-bbox="531 801 954 831">加振方向に平行な壁部材が少ない</p> <p data-bbox="778 1234 978 1263">⇒弱軸断面方向</p>	 <p data-bbox="1026 790 1481 857">加振方向平行な耐震評価上、側壁及び隔壁の変形抑制効果を考慮できる</p> <p data-bbox="1278 1234 1477 1263">⇒強軸断面方向</p>

#### 4.2.4 評価対象断面の選定

図 4.2-4 及び図 4.2-5 に電源装置置場の平面図及び断面図を示す。

電源装置置場は、延長 56.5m の鉄筋コンクリート造である。東西方向に対して複数の断面形状を示すが、基本的には多層多連ボックスカルバート状のラーメン構造にて構成されている。

評価対象断面は、「1.4.4 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の断面選定の考え方」で記載したとおり、常設代替高圧電源装置、軽油貯蔵タンク及び西側淡水貯水設備が上載しており、地震荷重による影響が大きく、構造的にも弱軸断面方向となる⑤-⑤断面を代表として耐震評価を実施する。なお、①-①断面、②-②断面、③-③断面及び④-④断面に側壁及び隔壁の耐震壁として効果を見込んだ 1 断面（東西方向断面）についても、設備の床応答算出の観点から地震応答解析を実施する。

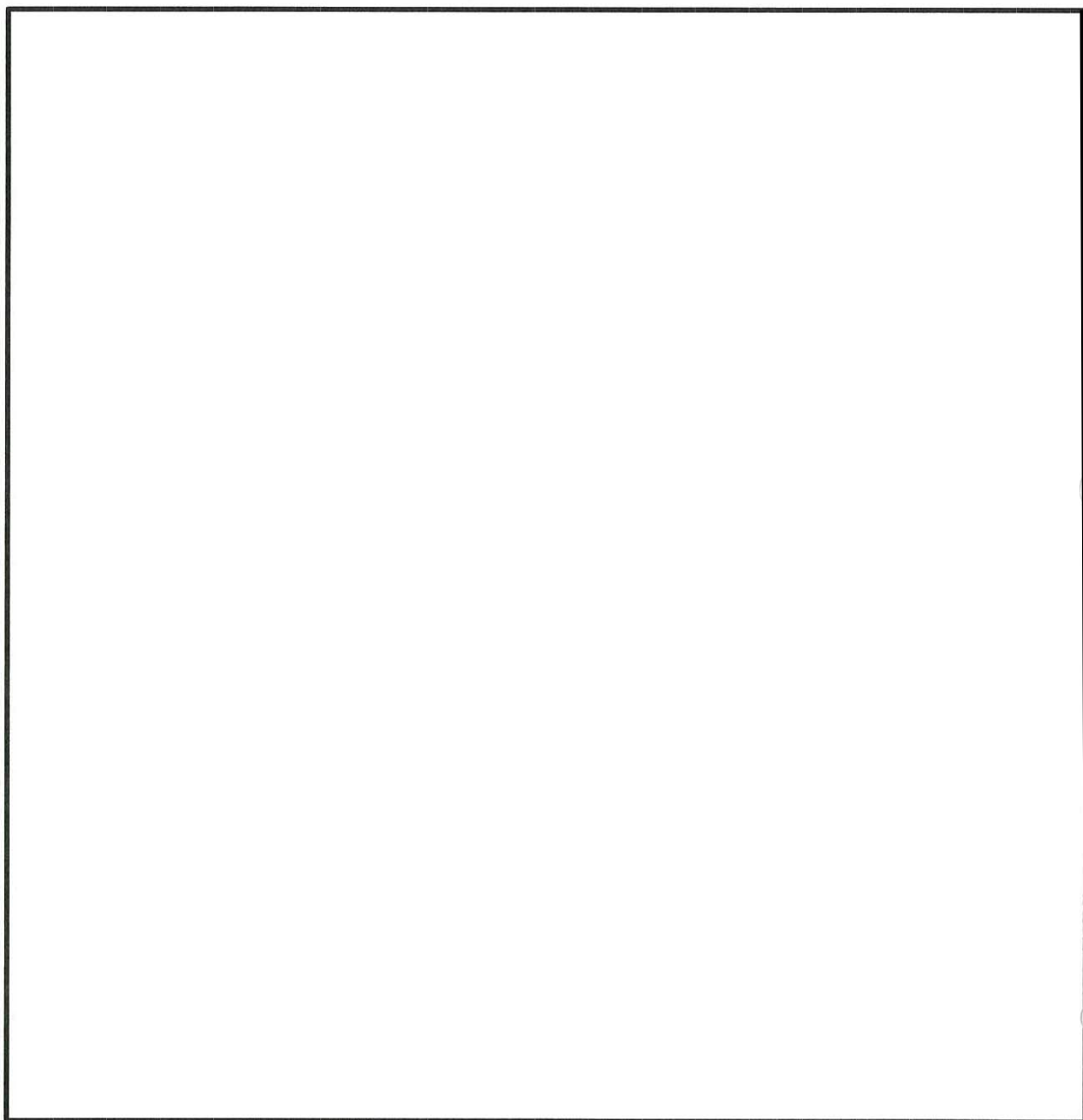


図 4.2-4 (1) 電源装置置場の設備概略位置図  
(EL. +11.0 m, 常設代替高圧電源装置及び水密扉)



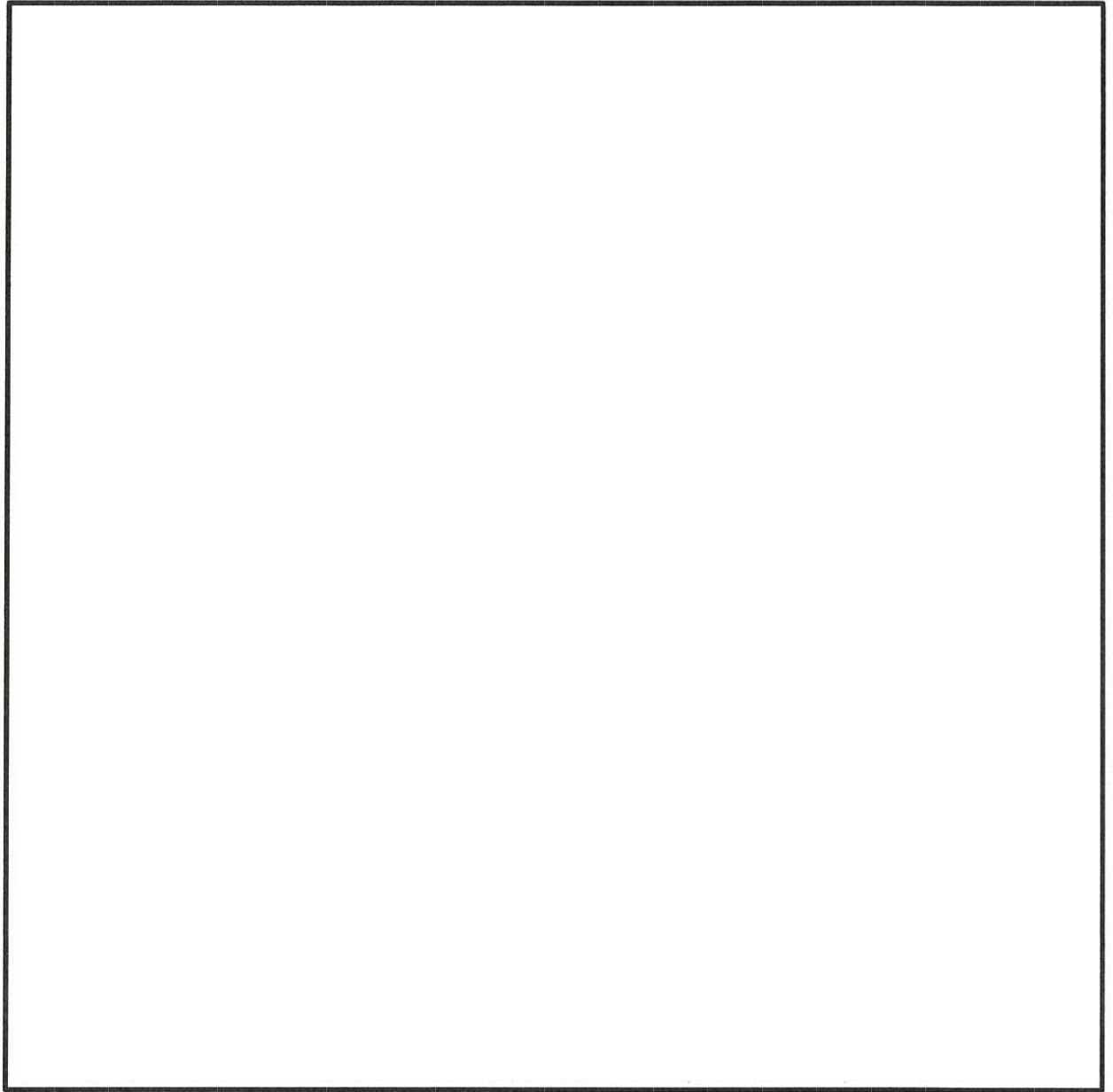


図 4.2-4 (2) 電源装置置場の設備概略位置図  
(EL. +2.0 m, 軽油貯蔵タンク)

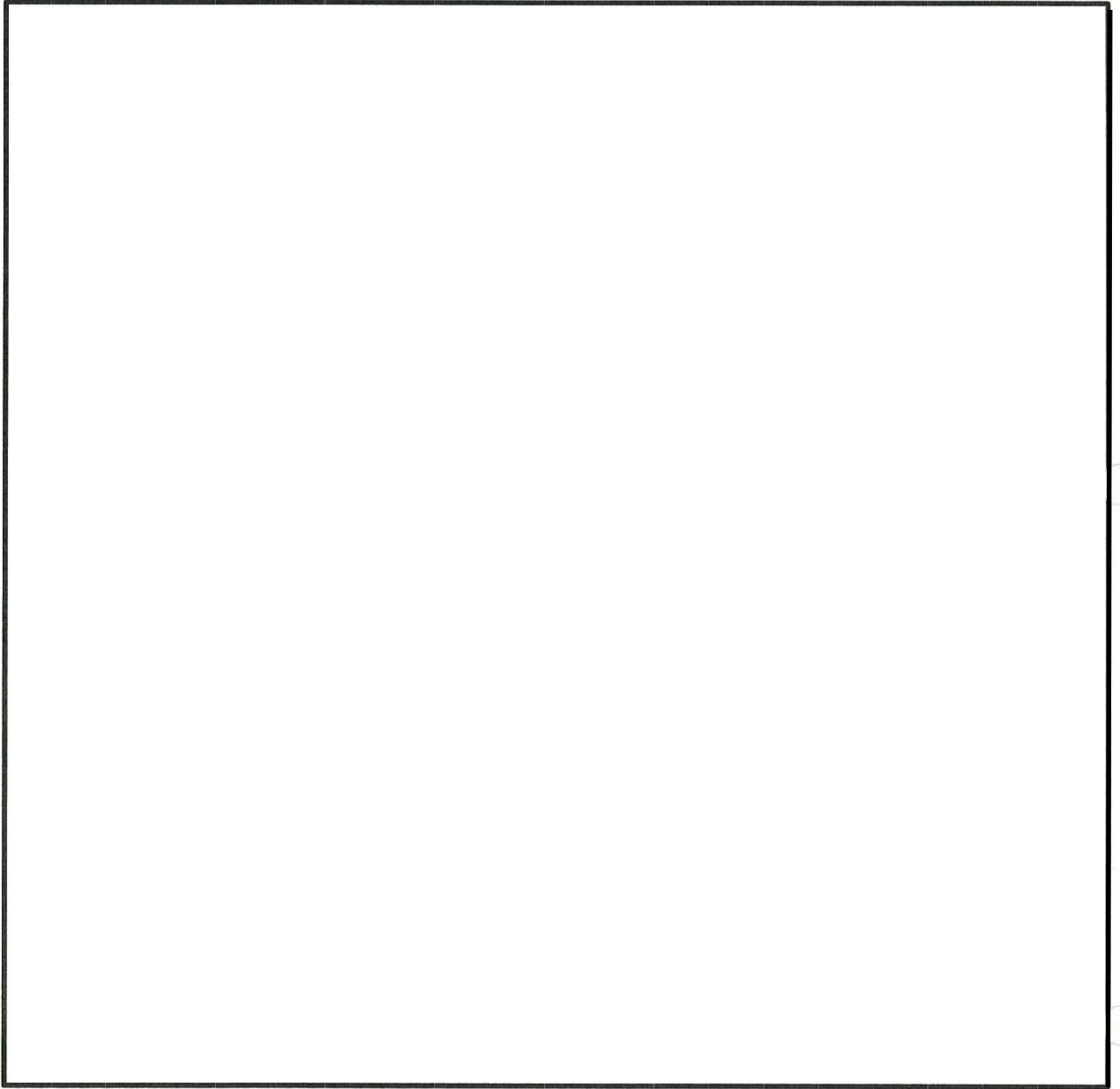


図 4.2-4 (3) 電源装置置場の設備概略位置図  
(EL. -21.0 m, 西側淡水貯水設備)

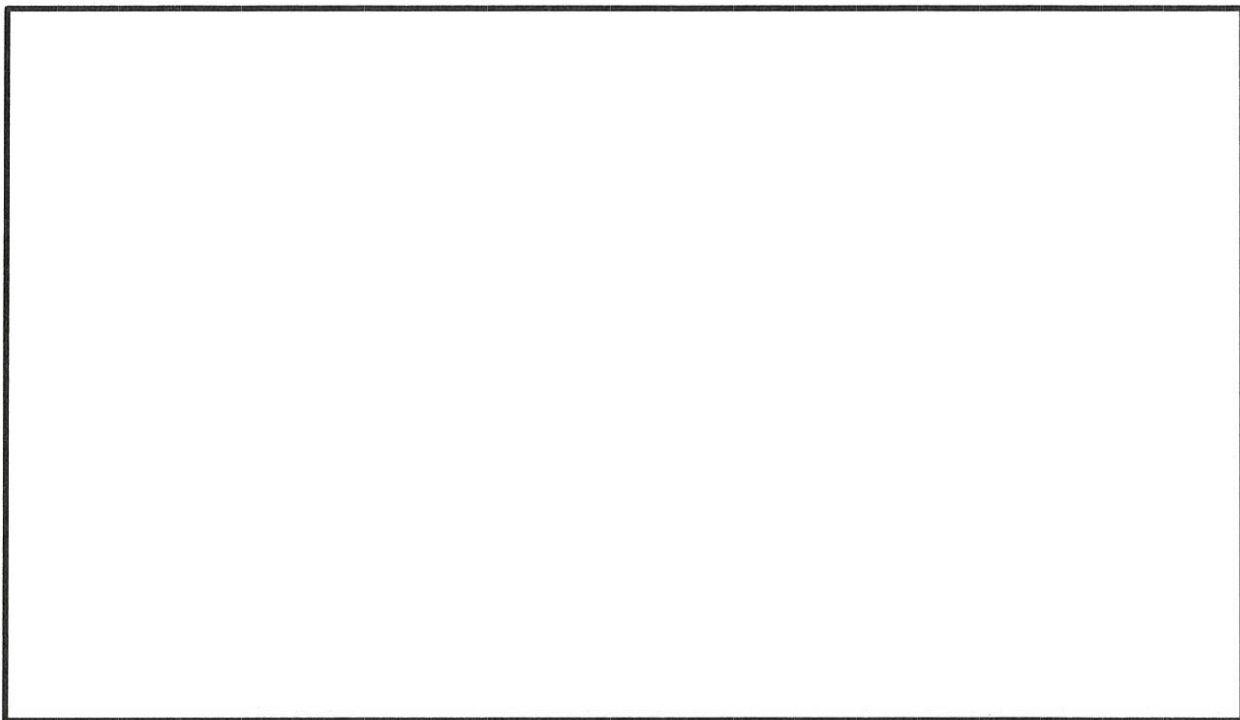


図 4.2-5 (1) 電源装置置場の断面図 (①-①断面)

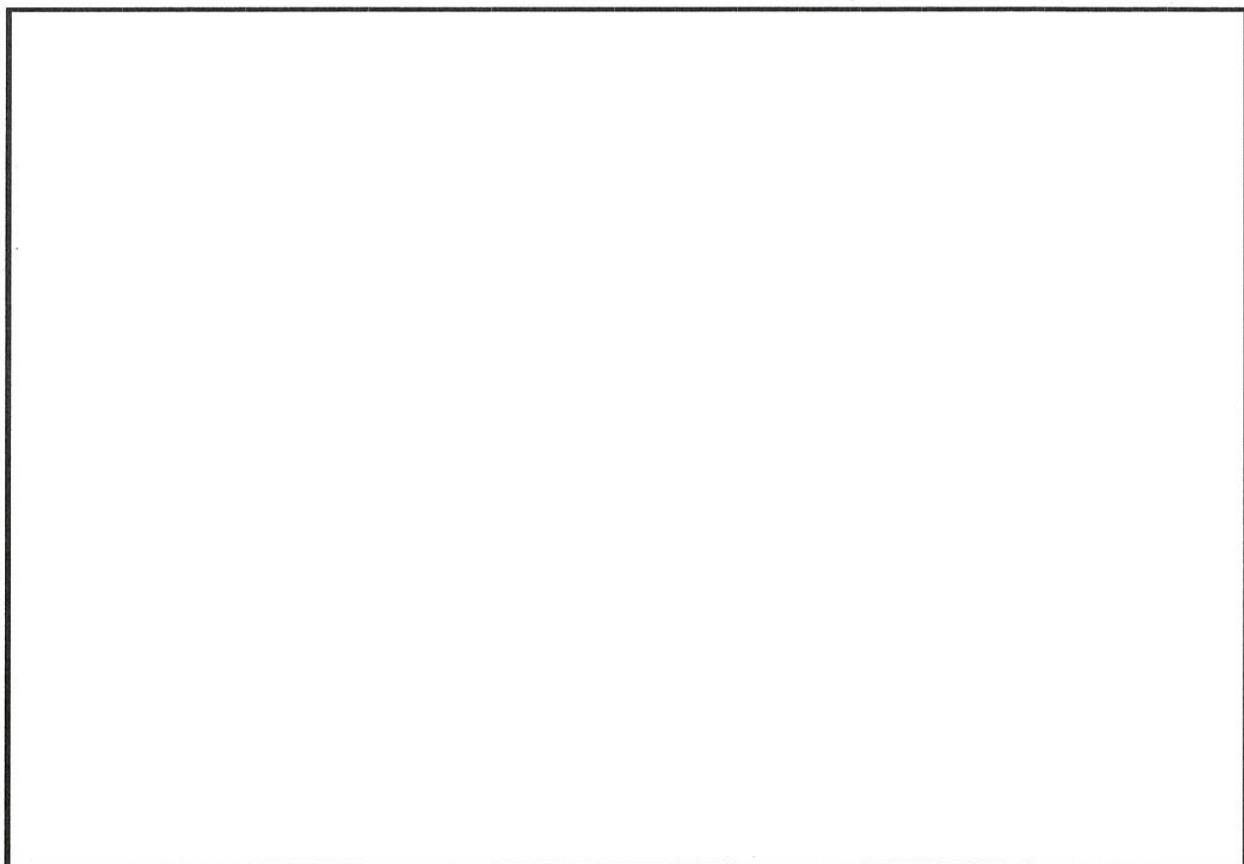


図 4.2-5 (2) 電源装置置場の断面図 (②-②断面)

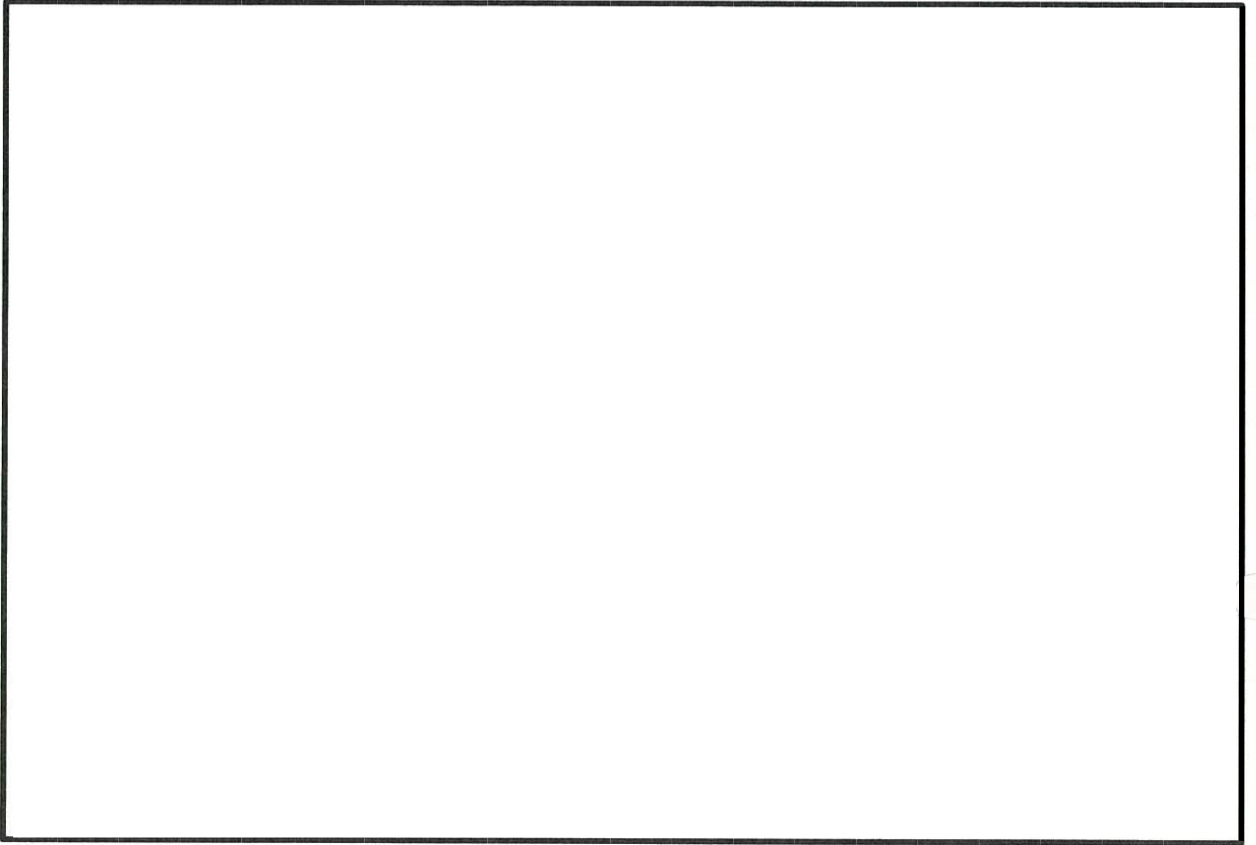


図 4.2-5 (3) 電源装置置場の断面図 (③-③断面)

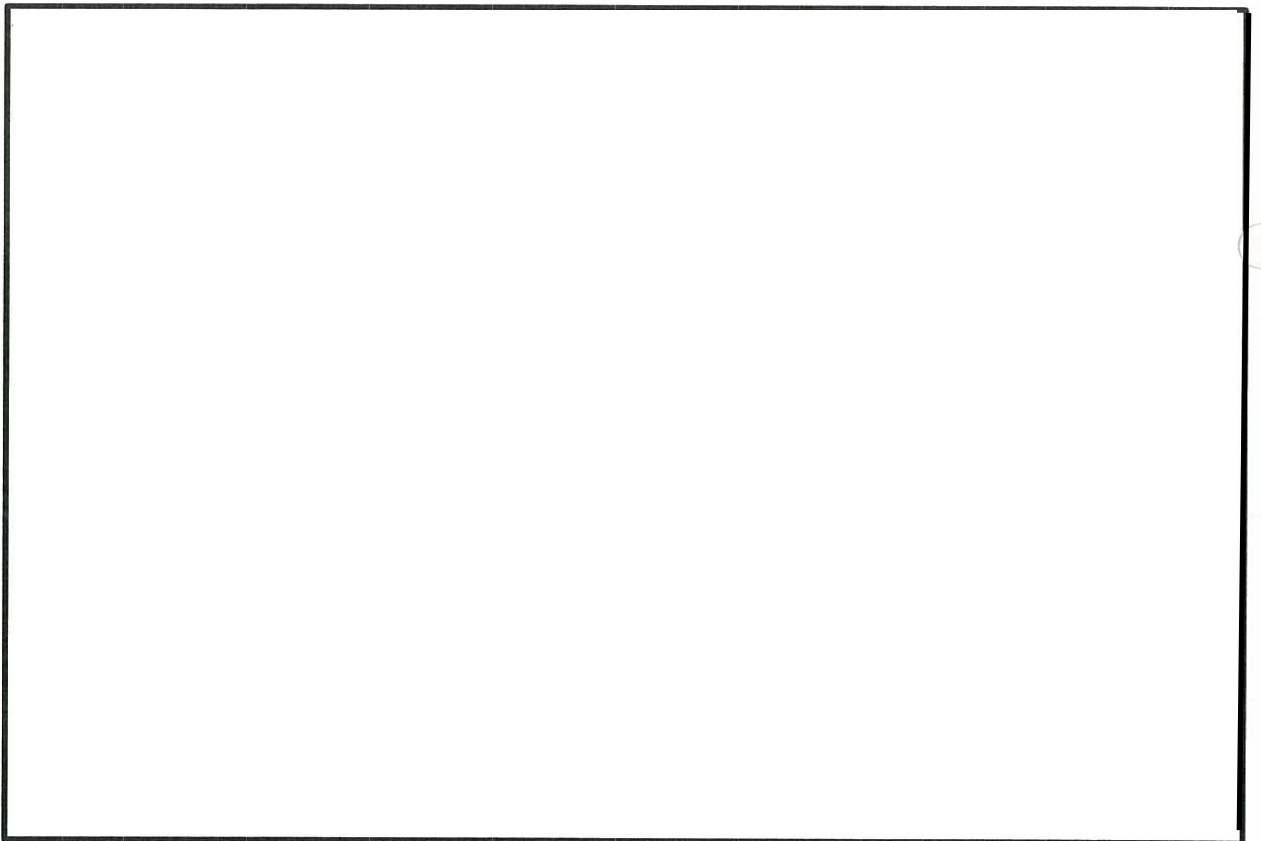


図 4.2-5 (4) 電源装置置場の断面図 (④-④断面)

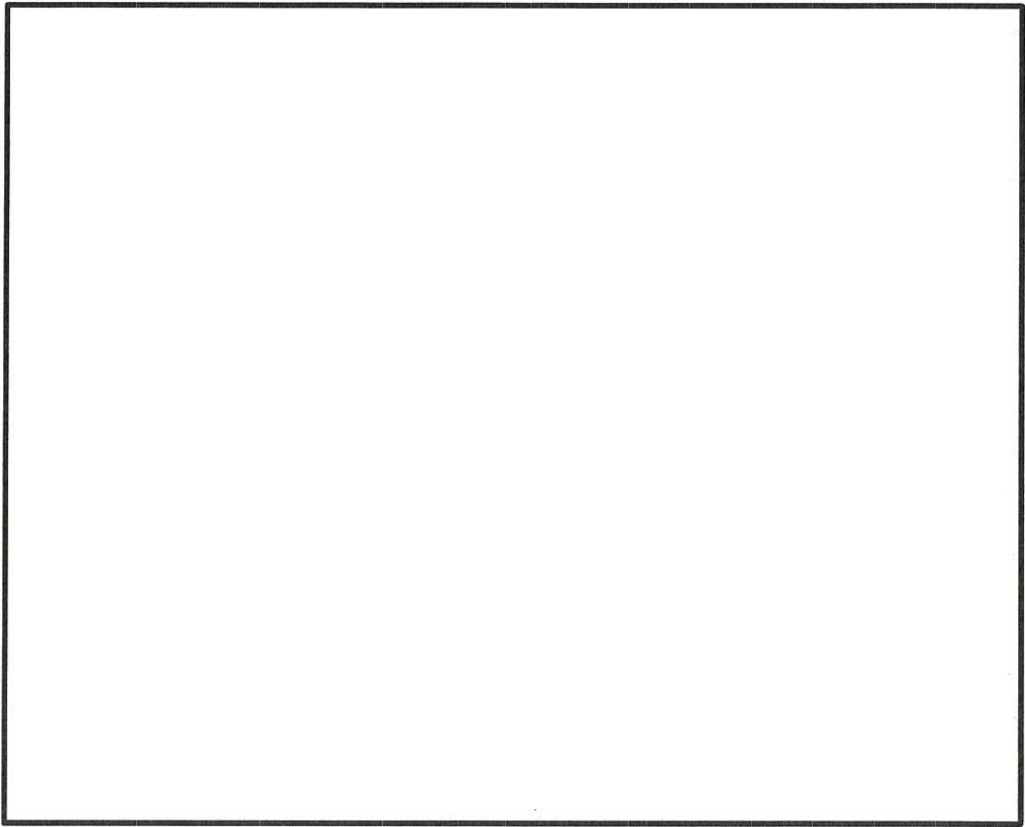


図 4.2-5 (5) 電源装置置場の断面図 (⑤-⑤断面)

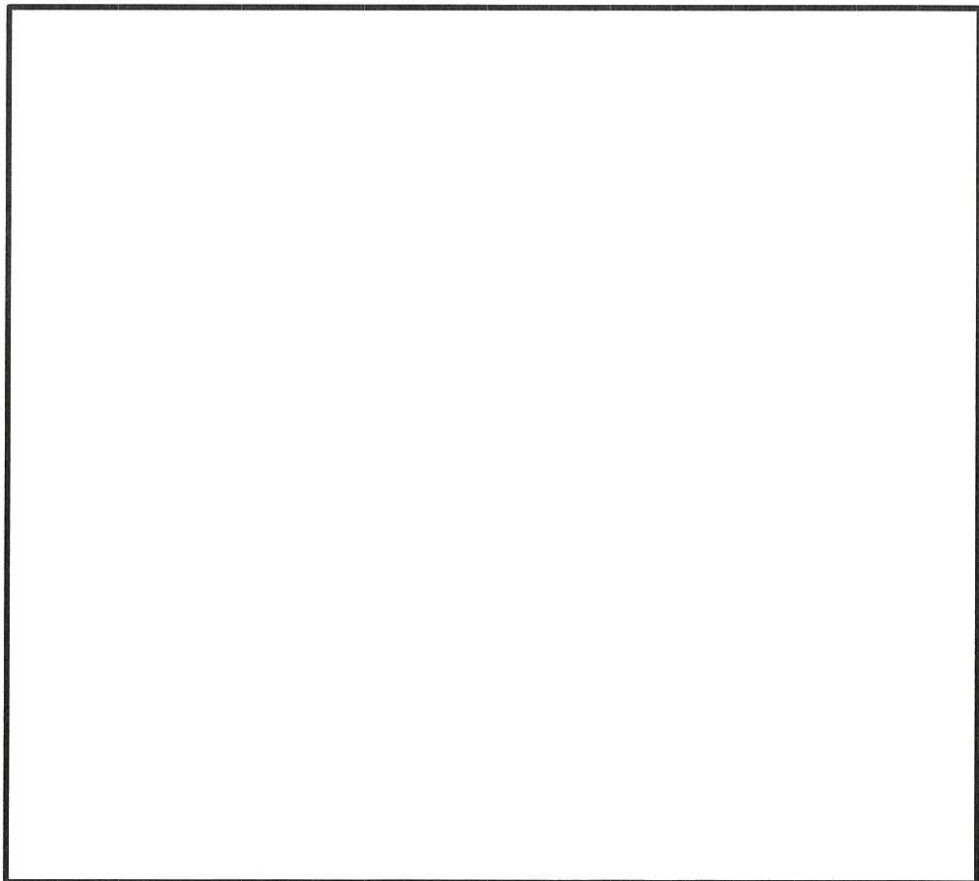


図 4.2-5 (6) 電源装置置場の断面図 (⑥-⑥断面)

#### 4.2.5 使用材料及び材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、設計図書及び文献等を基に設定する。構造物の使用材料を表 4.2-3 に、材料物性値を表 4.2-4 に示す。

地盤の諸定数は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。なお、地盤については、液状化検討対象層における有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切にモデル化する。地盤の物性値を表 4.2-5 に示す。

表 4.2-3 使用材料

諸元	
コンクリート	設計基準強度 40 N/mm <sup>2</sup>
鉄筋	SD390, SD490

表 4.2-4 材料物性値

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.5	3.1×10 <sup>4</sup>	0.2

表 4.2-5(1) 地盤の解析用物性値一覧 (液状化検討対象層)

パラメータ				原地盤								豊浦標準砂
				埋戻土	第四系 (液状化検討対象層)							
					f1	du	Ag2	As	Ag1	D2s-3	D2g-3	
物理特性	密度 ( ) は地下水位以浅	$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	1.98 (1.82)	1.98 (1.82)	2.01 (1.89)	1.74	2.01 (1.89)	1.92	2.15 (2.11)	2.01 (1.89)	1.958
	間隙比	e	-	0.75	0.75	0.67	1.2	0.67	0.79	0.43	0.67	0.702
変形特性	ポアソン比	$\nu_{CD}$	-	0.26	0.26	0.25	0.26	0.25	0.19	0.26	0.25	0.333
	基準平均有効主応力 ( ) は地下水位以浅	$\sigma'_{na}$	kN/m <sup>2</sup>	358 (312)	358 (312)	497 (299)	378	814 (814)	966	1167 (1167)	1695 (1710)	12.6
	基準初期せん断剛性 ( ) は地下水位以浅	$G_{na}$	kN/m <sup>2</sup>	253529 (220739)	253529 (220739)	278087 (167137)	143284	392073 (392073)	650611	1362035 (1362035)	947946 (956776)	18975
	最大履歴減衰率	$h_{max}$	-	0.220	0.220	0.233	0.216	0.221	0.192	0.130	0.233	0.287
強度特性	粘着力	$C_{CD}$	N/mm <sup>2</sup>	0	0	0	0.012	0	0.01	0	0	0
	内部摩擦角	$\phi_{CD}$	度	37.3	37.3	37.4	41	37.4	35.8	44.4	37.4	30
液状化特性	液状化パラメータ	$\phi_p$	-	34.8	34.8	34.9	38.3	34.9	33.4	41.4	34.9	28
	液状化パラメータ	$S_1$	-	0.047	0.047	0.028	0.046	0.029	0.048	0.030	0.020	0.005
	液状化パラメータ	$W_1$	-	6.5	6.5	56.5	6.9	51.6	17.6	45.2	10.5	5.06
	液状化パラメータ	$P_1$	-	1.26	1.26	9.00	1.00	12.00	4.80	8.00	7.00	0.57
	液状化パラメータ	$P_2$	-	0.80	0.80	0.60	0.75	0.60	0.96	0.60	0.50	0.80
	液状化パラメータ	$C_1$	-	2.00	2.00	3.40	2.27	3.35	3.15	3.82	2.88	1.44

表 4.2-5(2) 地盤の解析用物性値一覧 (非液状化層)

パラメータ				原地盤				
				第四系 (非液状化層)				新第三系
				Ac	D2c-3	Im	D1c-1	$K_m$
物理特性	密度 ( ) は地下水位以浅	$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	1.65	1.77	1.47 (1.43)	1.77	$1.72-1.03 \times 10^{-4} \cdot z$
	間隙比	e	-	1.59	1.09	2.8	1.09	1.16
変形特性	ポアソン比	$\nu_{CD}$	-	0.10	0.22	0.14	0.22	$0.16+0.00025 \cdot z$
	基準平均有効主応力 ( ) は地下水位以浅	$\sigma'_{na}$	kN/m <sup>2</sup>	480	696	249 (223)	696	動的変形特性に基づき z (標高) 毎に物性値を 設定
	基準初期せん断剛性 ( ) は地下水位以浅	$G_{na}$	kN/m <sup>2</sup>	121829	285223	38926 (35783)	285223	
	最大履歴減衰率	$h_{max}$	-	0.200	0.186	0.151	0.186	
強度特性	粘着力	$C_{CD}$	N/mm <sup>2</sup>	0.025	0.026	0.042	0.026	
	内部摩擦角	$\phi_{CD}$	度	29.1	35.6	27.3	35.6	$23.2+0.0990 \cdot z$

z : 標高 (m)

表 4.2-5 (3) 地盤の解析用物性値一覧 (新第三系 Km 層)

区分 番号	設定深度 TP (m)	適用深度 TP (m)	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	粘着力 $C_{cp}$ (kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 $\phi$ (°)	せん断波 速度Vs (m/s)	基準初期 せん断剛性 G <sub>ns</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	基準体積 弾性係数 Km <sub>c</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	基準平均有効 主応力 $\sigma'_{ma}$ (kN/m <sup>2</sup> )	拘束圧 依存係数 m <sub>c</sub> , m <sub>k</sub>	最大履歴 減衰率 h <sub>max</sub> (-)	動ポアソン比 $\nu_d$	疎密波 速度Vp (m/s)	1000*Vp
1	10	9.5 ~ 10.5	1.72	0.16	298	24.2	425	310, 975	353, 917	504	0.0	0.105	0.464	1.640	1,640,000
2	9	8.5 ~ 9.5	1.72	0.16	304	24.1	426	312, 139	354, 982	504	0.0	0.105	0.464	1.644	1,644,000
3	8	7.5 ~ 8.5	1.72	0.16	310	24.0	427	313, 606	356, 650	504	0.0	0.105	0.464	1.648	1,648,000
4	7	6.5 ~ 7.5	1.72	0.16	316	23.9	428	315, 976	358, 322	504	0.0	0.105	0.464	1.651	1,651,000
5	6	5.5 ~ 6.5	1.72	0.16	322	23.8	428	315, 976	358, 322	504	0.0	0.106	0.464	1.651	1,651,000
6	5	4.5 ~ 5.5	1.72	0.16	328	23.7	429	316, 551	359, 999	504	0.0	0.106	0.464	1.655	1,655,000
7	4	3.5 ~ 4.5	1.72	0.16	334	23.6	430	318, 928	361, 679	504	0.0	0.106	0.463	1.638	1,638,000
8	3	2.5 ~ 3.5	1.72	0.16	340	23.5	431	319, 509	363, 363	504	0.0	0.107	0.463	1.642	1,642,000
9	2	1.5 ~ 2.5	1.72	0.16	346	23.4	431	319, 509	363, 363	504	0.0	0.107	0.463	1.642	1,642,000
10	1	0.5 ~ 1.5	1.72	0.16	352	23.3	432	320, 993	365, 051	504	0.0	0.107	0.463	1.646	1,646,000
11	0	-0.5 ~ 0.5	1.72	0.16	358	23.2	433	322, 461	366, 743	504	0.0	0.107	0.463	1.650	1,650,000
12	-1	-1.5 ~ -0.5	1.72	0.16	364	23.1	434	323, 972	368, 439	504	0.0	0.108	0.463	1.653	1,653,000
13	-2	-2.5 ~ -1.5	1.72	0.16	370	23.0	435	325, 467	370, 139	504	0.0	0.108	0.463	1.657	1,657,000
14	-3	-3.5 ~ -2.5	1.72	0.16	376	22.9	435	325, 467	370, 139	504	0.0	0.108	0.463	1.657	1,657,000
15	-4	-4.5 ~ -3.5	1.72	0.16	382	22.8	436	326, 965	371, 843	504	0.0	0.108	0.463	1.661	1,661,000
16	-5	-5.5 ~ -4.5	1.72	0.16	388	22.7	437	328, 467	373, 551	504	0.0	0.109	0.462	1.644	1,644,000
17	-6	-6.5 ~ -5.5	1.72	0.16	394	22.6	438	329, 972	375, 262	504	0.0	0.109	0.462	1.648	1,648,000
18	-7	-7.5 ~ -6.5	1.72	0.16	400	22.5	438	329, 972	375, 262	504	0.0	0.109	0.462	1.648	1,648,000
19	-8	-8.5 ~ -7.5	1.72	0.16	406	22.4	439	331, 480	376, 977	504	0.0	0.109	0.462	1.652	1,652,000
20	-9	-9.5 ~ -8.5	1.72	0.16	412	22.3	440	332, 992	378, 697	504	0.0	0.110	0.462	1.656	1,656,000
21	-10	-11 ~ -9.5	1.72	0.16	418	22.2	441	334, 507	380, 420	504	0.0	0.110	0.462	1.659	1,659,000
22	-12	-13 ~ -11	1.72	0.16	430	22.0	442	336, 826	382, 147	504	0.0	0.110	0.462	1.663	1,663,000
23	-14	-15 ~ -13	1.72	0.16	442	21.8	444	339, 974	385, 614	504	0.0	0.111	0.462	1.671	1,671,000
24	-16	-17 ~ -15	1.72	0.16	454	21.6	445	340, 603	387, 352	504	0.0	0.111	0.461	1.654	1,654,000
25	-18	-19 ~ -17	1.72	0.16	467	21.4	447	343, 671	390, 842	504	0.0	0.112	0.461	1.662	1,662,000
26	-20	-21 ~ -19	1.72	0.16	479	21.2	448	345, 711	392, 593	504	0.0	0.112	0.461	1.665	1,665,000
27	-22	-23 ~ -21	1.72	0.15	491	21.0	450	348, 300	391, 471	498	0.0	0.112	0.461	1.673	1,673,000
28	-24	-25 ~ -23	1.72	0.15	503	20.8	452	351, 403	394, 670	498	0.0	0.113	0.461	1.680	1,680,000
29	-26	-27 ~ -25	1.72	0.15	515	20.6	453	352, 959	396, 574	498	0.0	0.113	0.460	1.664	1,664,000
30	-28	-29 ~ -27	1.72	0.15	527	20.4	455	356, 883	399, 996	498	0.0	0.114	0.460	1.672	1,672,000
31	-30	-31 ~ -29	1.72	0.15	539	20.2	456	357, 650	391, 712	498	0.0	0.114	0.460	1.675	1,675,000
32	-32	-33 ~ -31	1.72	0.15	551	20.0	456	360, 794	395, 155	498	0.0	0.115	0.460	1.683	1,683,000
33	-34	-35 ~ -33	1.72	0.15	563	19.8	459	362, 371	396, 883	498	0.0	0.115	0.459	1.667	1,667,000
34	-36	-37 ~ -35	1.72	0.15	575	19.6	461	365, 536	400, 349	498	0.0	0.115	0.459	1.675	1,675,000
35	-38	-39 ~ -37	1.72	0.15	587	19.4	462	367, 24	402, 088	498	0.0	0.116	0.459	1.678	1,678,000
36	-40	-41 ~ -39	1.72	0.15	599	19.2	464	370, 309	405, 577	498	0.0	0.116	0.459	1.685	1,685,000
37	-42	-43 ~ -41	1.72	0.15	611	19.0	465	371, 907	407, 327	498	0.0	0.117	0.459	1.689	1,689,000
38	-44	-45 ~ -43	1.72	0.15	623	18.8	467	375, 113	410, 838	498	0.0	0.117	0.458	1.678	1,678,000
39	-46	-47 ~ -45	1.72	0.15	635	18.6	468	376, 721	412, 599	498	0.0	0.117	0.458	1.681	1,681,000
40	-48	-49 ~ -47	1.72	0.15	647	18.4	470	379, 946	416, 184	498	0.0	0.118	0.458	1.688	1,688,000
41	-50	-51 ~ -49	1.73	0.15	660	18.3	472	385, 416	422, 122	498	0.0	0.118	0.458	1.696	1,696,000
42	-52	-53 ~ -51	1.73	0.15	672	18.1	473	387, 651	423, 913	498	0.0	0.118	0.458	1.699	1,699,000
43	-54	-55 ~ -53	1.73	0.15	684	17.9	475	390, 331	427, 505	498	0.0	0.118	0.457	1.688	1,688,000
44	-56	-57 ~ -55	1.73	0.15	696	17.7	476	391, 976	429, 307	498	0.0	0.119	0.457	1.692	1,692,000
45	-58	-59 ~ -57	1.73	0.15	708	17.5	478	395, 277	432, 922	498	0.0	0.119	0.457	1.699	1,699,000
46	-60	-61 ~ -59	1.73	0.15	720	17.3	479	396, 933	434, 736	498	0.0	0.120	0.457	1.702	1,702,000
47	-62	-63 ~ -61	1.73	0.14	732	17.1	481	400, 255	437, 491	492	0.0	0.120	0.457	1.709	1,709,000
48	-64	-65 ~ -63	1.73	0.14	744	16.9	482	401, 921	439, 250	492	0.0	0.120	0.456	1.695	1,695,000
49	-66	-67 ~ -65	1.73	0.14	756	16.7	484	405, 363	442, 778	492	0.0	0.120	0.456	1.702	1,702,000
50	-68	-69 ~ -67	1.73	0.14	768	16.5	485	406, 939	445, 547	492	0.0	0.121	0.456	1.705	1,705,000
51	-70	-71 ~ -69	1.73	0.14	780	16.3	487	410, 502	448, 097	492	0.0	0.121	0.456	1.712	1,712,000
52	-72	-73 ~ -71	1.73	0.14	792	16.1	489	413, 679	451, 661	492	0.0	0.121	0.456	1.719	1,719,000
53	-74	-75 ~ -73	1.73	0.14	804	15.9	490	415, 373	454, 449	492	0.0	0.122	0.455	1.705	1,705,000
54	-76	-77 ~ -75	1.73	0.14	816	15.7	492	418, 171	457, 036	492	0.0	0.122	0.455	1.712	1,712,000
55	-78	-79 ~ -77	1.73	0.14	828	15.5	493	420, 475	459, 835	492	0.0	0.122	0.455	1.716	1,716,000
56	-80	-81 ~ -79	1.73	0.14	840	15.3	495	423, 193	462, 443	492	0.0	0.122	0.455	1.723	1,723,000
57	-82	-83 ~ -81	1.73	0.14	852	15.1	496	425, 608	465, 253	492	0.0	0.123	0.455	1.726	1,726,000
58	-88	-89 ~ -85	1.73	0.14	889	14.5	501	434, 132	468, 356	492	0.0	0.124	0.454	1.726	1,726,000
59	-92	-93 ~ -89	1.73	0.14	913	14.1	504	439, 446	473, 862	492	0.0	0.124	0.454	1.736	1,736,000
60	-96	-97 ~ -95	1.73	0.14	949	13.5	509	446, 210	473, 111	492	0.0	0.125	0.453	1.736	1,736,000
61	-104	-105 ~ -101	1.73	0.13	965	12.9	513	455, 382	463, 465	466	0.0	0.126	0.452	1.733	1,733,000
62	-112	-113 ~ -108	1.73	0.13	1,033	12.1	519	465, 595	474, 391	466	0.0	0.127	0.451	1.737	1,737,000
63	-118	-122 ~ -115	1.73	0.13	1,070	11.5	524	475, 616	483, 575	466	0.0	0.127	0.451	1.754	1,754,000
64	-126	-130 ~ -122	1.73	0.13	1,118	10.7	530	485, 557	494, 713	466	0.0	0.128	0.450	1.758	1,758,000



#### 4.2.6 地下水位

地下水位は地表面として設定する。

#### 4.2.7 地震応答解析手法

電源装置置場の地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。部材については、はり要素及び平面ひずみ要素を用いることとする。また、地盤については、液状化検討対象層における有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。地震応答解析については、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0\_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、付録24「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地震応答解析手法の選定フローを図4.2-6に示す。

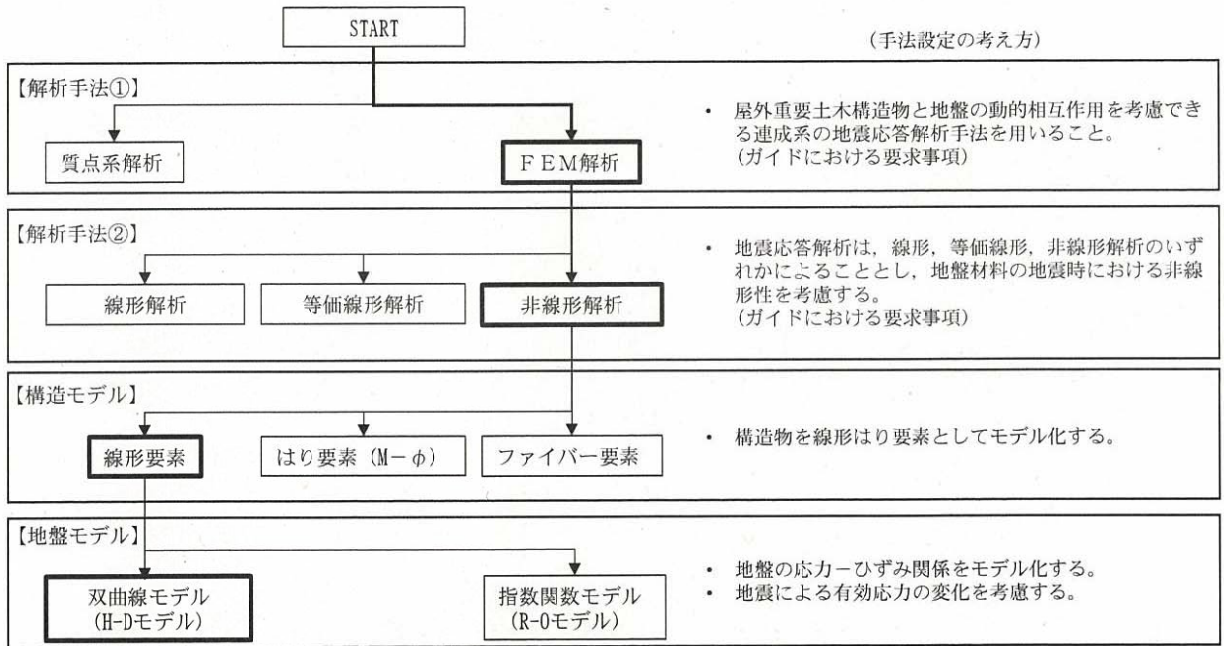


図 4.2-6 地震応答解析手法の選定フロー

##### (1) 双曲線モデル (H-Dモデル) の選定について

地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則を有効応力解析へ適用する際は、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できるモデルを用いる必要がある。一般に、地盤は荷重を与えることによりせん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。また、地盤のせん断応力の上限値は有効応力に応じて変化する特徴がある。有効応力解析に適用する繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則には、これら2つの特徴を表現できるモデルを採用する方針とする。

繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線を表現する代表的な構成則には、双曲線モデル（H-D モデル）と指数関数モデル（R-0 モデル）がある。双曲線モデル（H-D モデル）は、せん断ひずみの増加に対して、せん断応力が漸近していくせん断応力の上限値をパラメータとして有していることから、上記の地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の上限値に係る特徴を表現でき、かつ、上限値を有効応力の関数とすることができる。一方、指数関数モデル（R-0 モデル）は、せん断ひずみの増加に対して、せん断応力の上限値をパラメータとして有していないことから、上記の地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の上限値に係る特徴を表現するためにモデルの改良を行う必要がある。

以上のことから、耐震評価における有効応力解析では、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則として、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた上記の2つの特徴を適切に表現できる双曲線モデル（H-D モデル）を選定する。

#### 4.2.8 解析モデルの設定

##### (1) 解析モデル領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、J E A G 4 6 0 1 - 1 9 8 7 を参考に、図 4. 2 - 7 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、モデル高さを構造物幅の 2 倍以上確保する。

電源装置置場周辺の地質断面図を図 4. 2 - 8 に示す。

なお、解析モデルの境界条件は、側面及び底面ともに粘性境界とする。

要素分割については、土木学会マニュアルに基づき設定する。地盤については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長に対して 5 分割以上になるように要素高さを設定している。構造物の要素分割は、過度に粗くすると、地震応答挙動を適切に評価できなくなり解析精度の低下を招くため、要素長さを部材の断面厚さの 2.0 倍以下になるように設定するよう土木学会マニュアルには記載しているが、構造物のモデル化については 1 倍程度以下になるように設定している。

電源装置置場の地震応答解析モデルを図 4. 2 - 9 に示す。

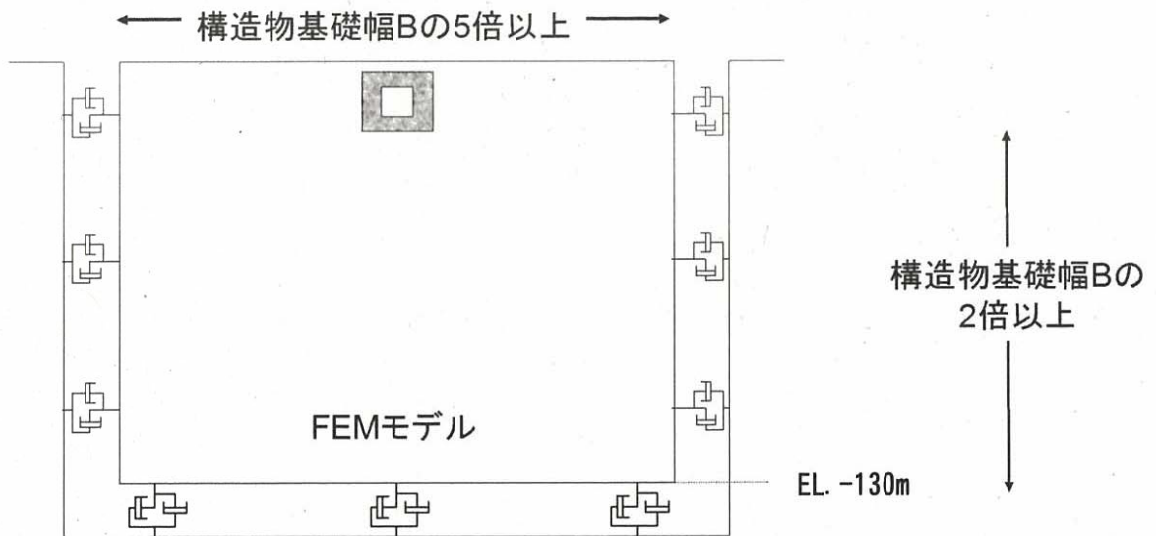


図 4. 2 - 7 モデル範囲の考え方



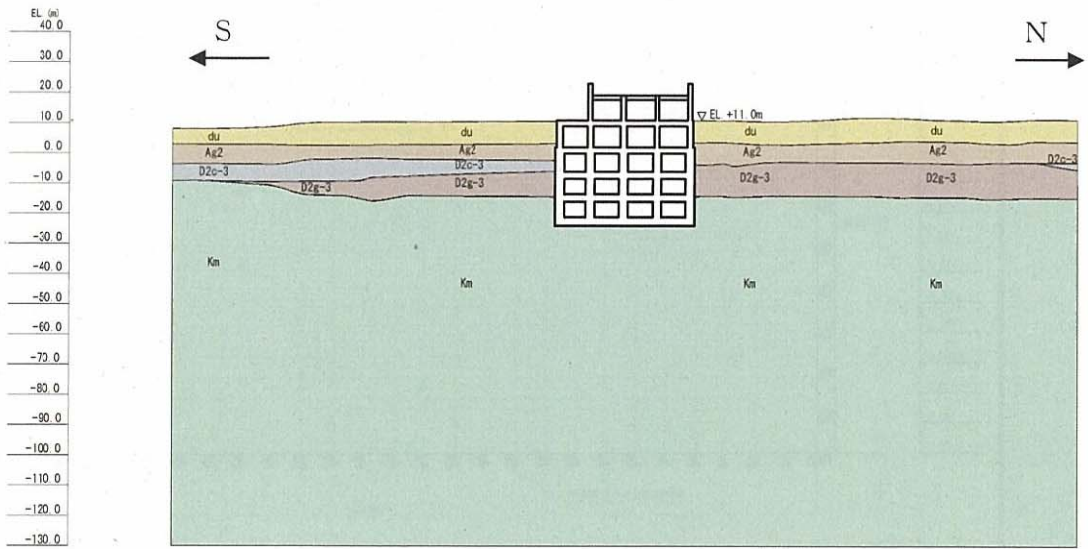


图 4.2-8 (1) 地質断面图 (南北方向⑤-⑤断面)

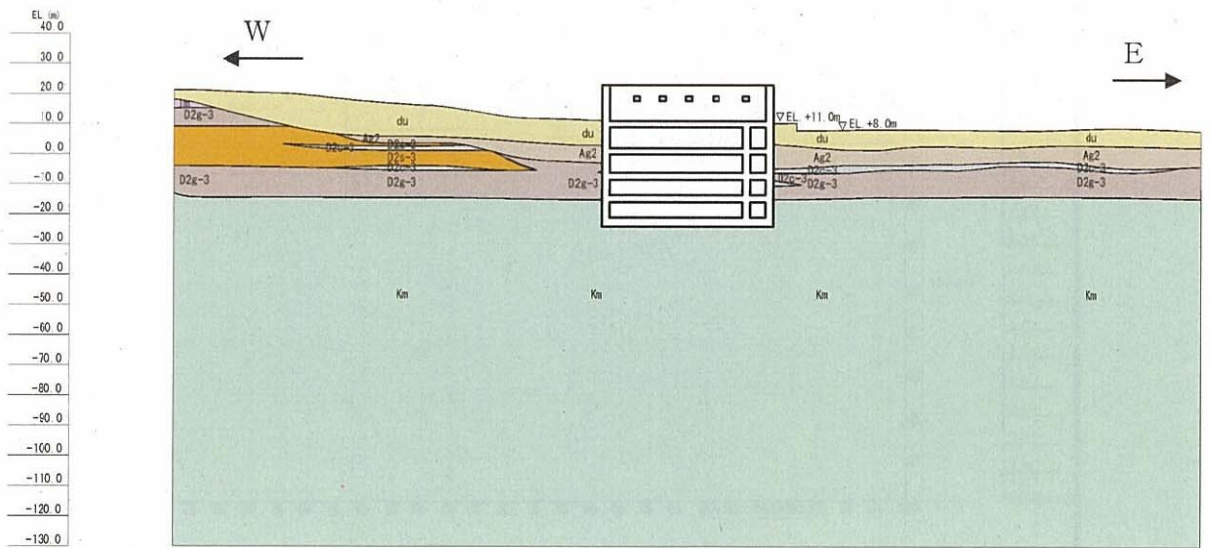


图 4.2-8 (2) 地質断面图 (東西方向断面)

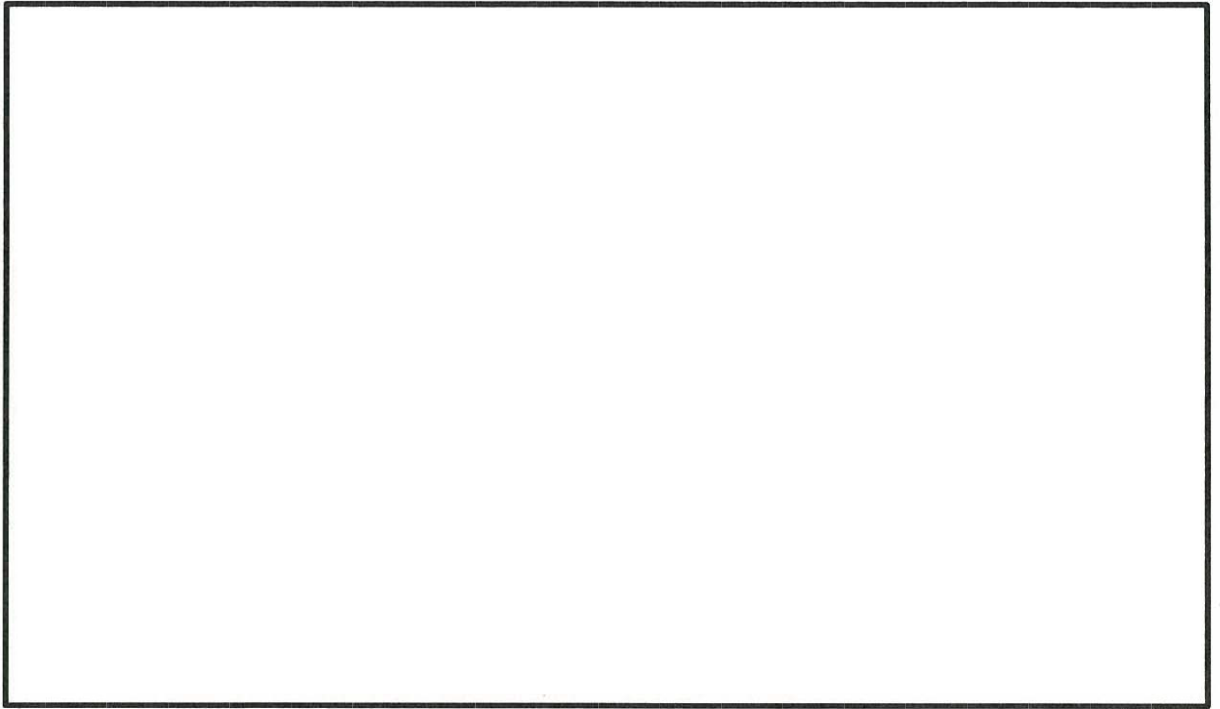


図 4.2-9 (1) 電源装置置場の地震応答解析モデル (南北方向⑤-⑤断面)

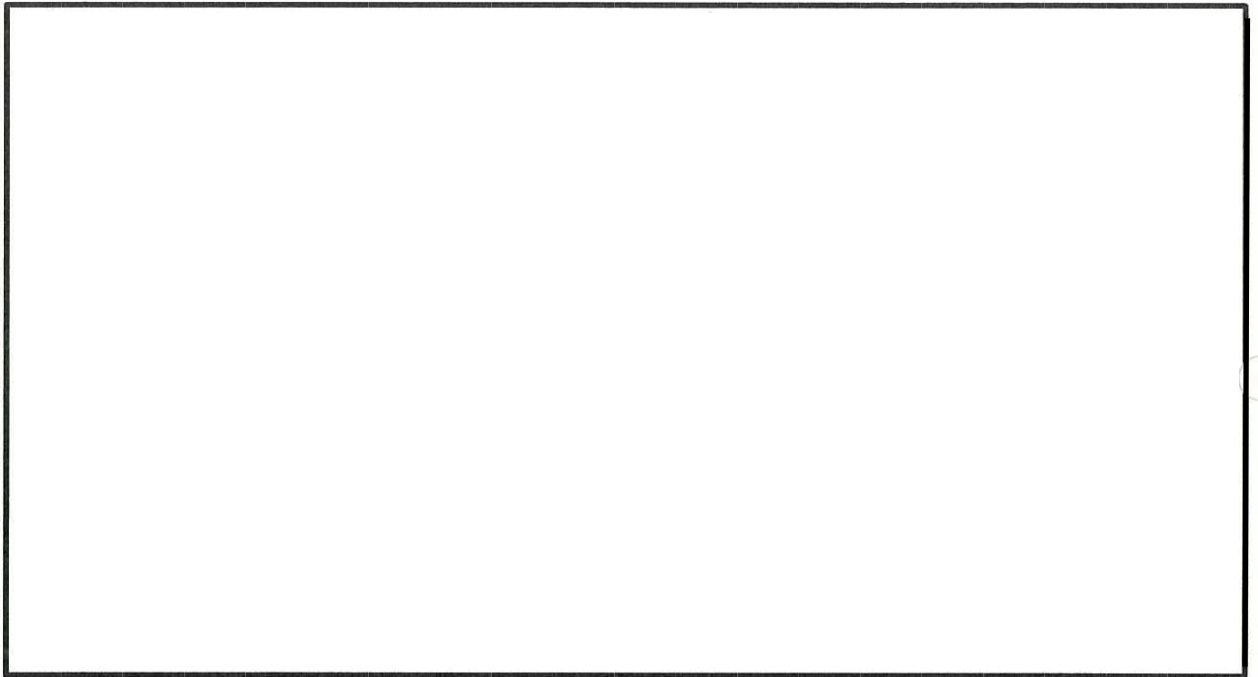


図 4.2-9 (2) 電源装置置場の地震応答解析モデル (東西方向断面)

(2) ジョイント要素の設定

構造物と地盤の境界部にジョイント要素を設けることにより、構造物と地盤の剥離・すべりを考慮する。

ジョイント要素は法線方向、接線方向に分けて二重節点として設定する。法線方向では、常時状態以上の引張が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。接線方向では、構造物と地盤のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合、剛性をゼロとし、すべりを考慮する。せん断強度  $\tau_f$  は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。c、 $\phi$  は周辺地盤の c、 $\phi$  とする。(表 4.2-6 参照)

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

$\tau_f$  : せん断強度

c : 付着力

$\phi$  : 内部摩擦角

表 4.2-6 周辺地盤及び隣接構造物との境界に用いる強度特性

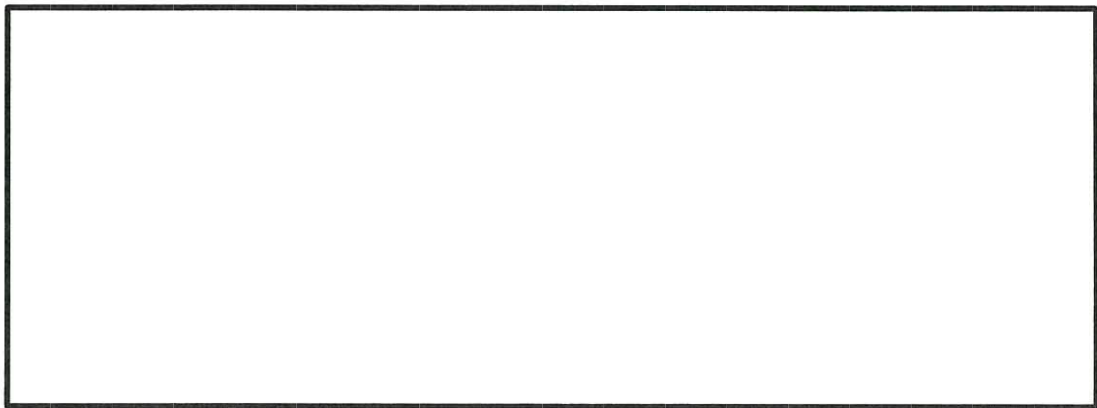
周辺の状況		粘着力 c (N/mm <sup>2</sup> )	内部摩擦角 (度)	備考
第四紀層	du 層	0	37.3	—
	Ag2 層	0	37.4	—
	D2c-3 層	0.026	35.6	—
	D2g-3 層	0	44.4	—
新第三系	Km 層	$c = 0.358 - 0.00603 \cdot z$	$\phi = 23.2 + 0.0990 \cdot z$	—

z : 標高 (m)

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分に大きな値として、港湾構造物設計事例集(沿岸開発技術センター)に従い、表 4.2-7 のとおり設定する。図 4.2-10 にジョイント要素設定の考え方を示す。

表 4.2-7 ジョイント要素のばね定数

	せん断剛性 $k_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	圧縮剛性 $k_n$ (kN/m <sup>3</sup> )
側方及び底面	$1.0 \times 10^6$	$1.0 \times 10^6$



(南北方向⑤-⑤断面)

(東西方向断面)

— : ジョイント要素

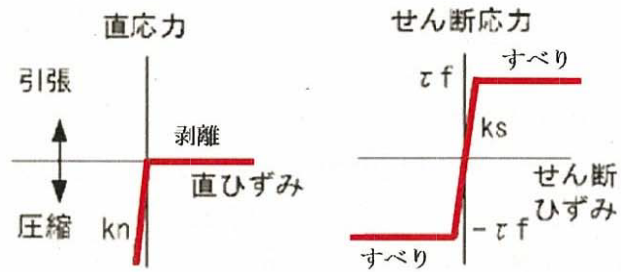


図 4.2-10 ジョイント要素の考え方

(3) 材料特性の設定

南北方向⑤-⑤断面については、鉄筋コンクリートの部材は線形はり要素を用いてモデル化する。

東西方向断面については、鉄筋コンクリートのスラブ部材等は線形はり要素を用いてモデル化し、耐震壁の効果を見込む側壁及び隔壁は平面ひずみ要素を用いてモデル化する。

地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。



#### 4.2.9 減衰定数

動的解析における地盤及び構造物の減衰については、固有値解析にて求まる固有周期及び減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下のRayleigh減衰にて与える。なお、Rayleigh減衰を $\alpha=0$ となる剛性比例型減衰とする。材料ごとに減衰を設定するために要素剛性比例型としている。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

ここで、

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

$\alpha, \beta$  : 係数

係数 $\alpha, \beta$ は以下のように求めている。

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \frac{h}{\pi f}$$

ここで、

f : 固有値解析により求められた1次固有振動数

h : 各材料の減衰定数

減衰定数については、コンクリート5%（JEAG4601-1987記載）、地盤1%（解析における減衰は、ひずみが多い領域では履歴減衰が支配的となる。このため、解析上の安定のためになるべく小さい値として1%を採用している。）とする。

図4.2-11にRayleigh減衰の設定フローを、表4.2-8に固有値解析結果を示す。

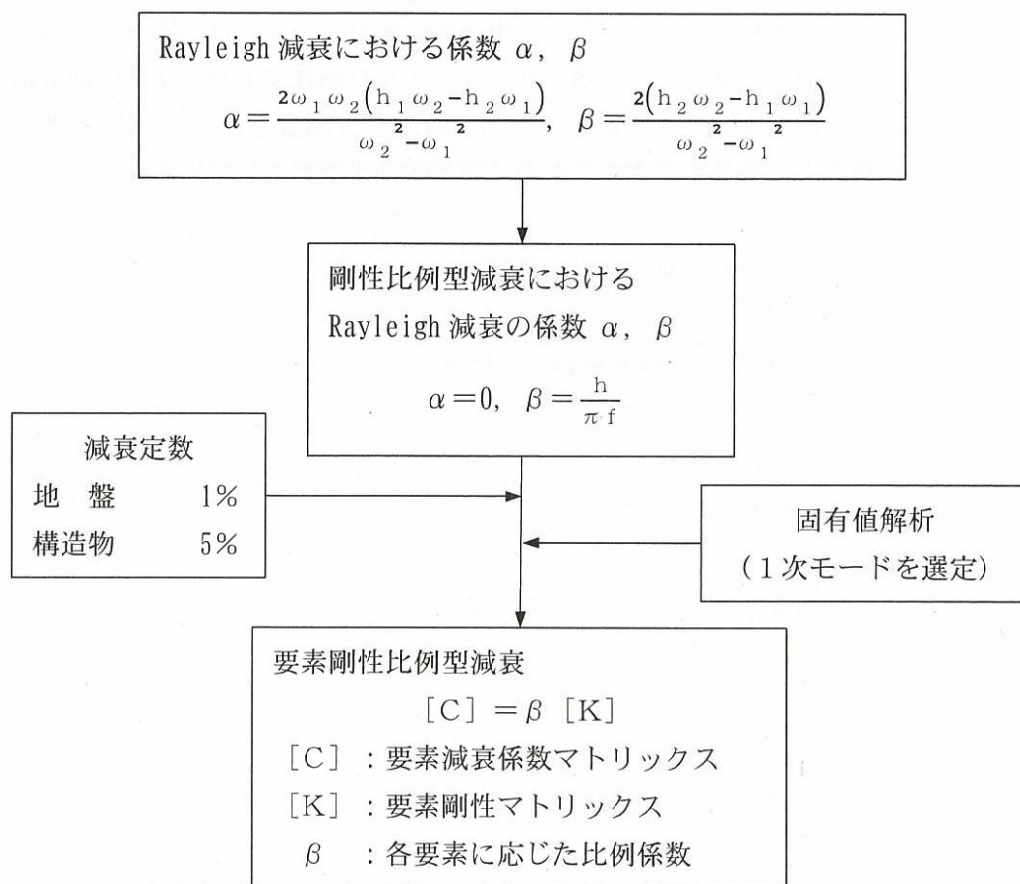


図 4.2-11 Rayleigh 減衰の設定フロー

表 4.2-8 固有値解析結果 (追而)

#### 4.2.10 荷重の組合せ

耐震性能照査にて考慮する荷重は、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震荷重を抽出し、それぞれを組み合わせ設定する。地震荷重には、地震時土圧、動水圧、機器・配管系からの反力による荷重が含まれるものとする。

風荷重以外の変動荷重（温度荷重）については、発電所の立地特性を考慮すると、構造物に与える影響は軽微であると判断し、地震力と組み合わせる荷重としては除外した。

なお、電源装置置場は、地盤内に埋設されている構造物であることから運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態の影響を受けないと考えられるため当該状態についての組合せは考慮しないものとする。また重大事故等対処時においても、地盤内で設計基準事故時の条件を上回るような事象は発生しないため、設計基準事故時の条件を上回る荷重はない。

荷重の組合せを表 4.2-9 に示す。

地震時に電源装置置場に作用する機器・配管系からの反力については、機器・配管系を、解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

表 4.2-9 荷重の組合せ

種別		荷重		算定方法
永久荷重	常時考慮荷重	躯体自重	○	・設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定
		機器・配管自重	○	・機器・配管の重さに基づいて設定
		土被り荷重	○	・常時応力解析により設定
		永久上載荷重	—	・恒常的に配置された設備等はないことから、考慮しない
	静止土圧		○	・常時応力解析により設定
	外水圧		○	・地下水位に応じた静水圧として設定 ・地下水の密度を考慮
	内水圧		○	・貯水槽の水位に応じた静水圧として考慮 ・淡水の密度を考慮
変動荷重	雪荷重		○	・雪荷重を考慮
	風荷重		○	・風荷重を考慮*
偶発荷重 (地震荷重)	水平地震動		○	・基準地震動 $S_s$ による水平・鉛直同時加振
	鉛直地震動		○	・躯体、機器・配管の慣性力、動土圧を考慮
	動水圧		○	・水位条件、密度は、永久荷重と同様

\*： 風荷重の影響は最も厳しい照査結果の地震波に対して別途検討する。

(1) 機器・配管荷重

a. 南北方向⑤-⑤断面

図 4.2-12 に⑤-⑤断面における機器・配管荷重図を示す。

機器・配管荷重は解析の単位奥行き (1 m) あたりの付加質量として考慮する。

EL. +11.0 m レベルには、常設代替高圧電源装置及びシンダーコンクリート荷重として 17.13 t/m を考慮する。

地下 1F の区画 1 の床面については、単位奥行き当たりで最も重い機器・配管荷重 4.00 t/m を考慮する。

地下 1F の区画 2 及び区画 3 の床面については、単位奥行き当たりで最も重い機器・配管荷重及び仕切壁の質量としてそれぞれ 3.50 t/m<sup>2</sup> 及び 3.92 t/m<sup>2</sup> を考慮する。

地下 1F の区画 4 には軽油貯蔵タンクが設置される。軽油貯蔵タンク及び中詰砂については、鉛直動による単位奥行き当たり質量として床面に 10.46 t/m<sup>2</sup> を、水平動による単位奥行き当たり質量として左右の壁に 5.98 t/m<sup>2</sup> ずつを作用させる。

地下 3F の床面については、単位奥行き当たりで最も重い機器・配管荷重として 0.10 t/m を考慮する。

その他、配管等が設置される壁及び天井については、単位奥行き当たりの配管荷重を作用させる。

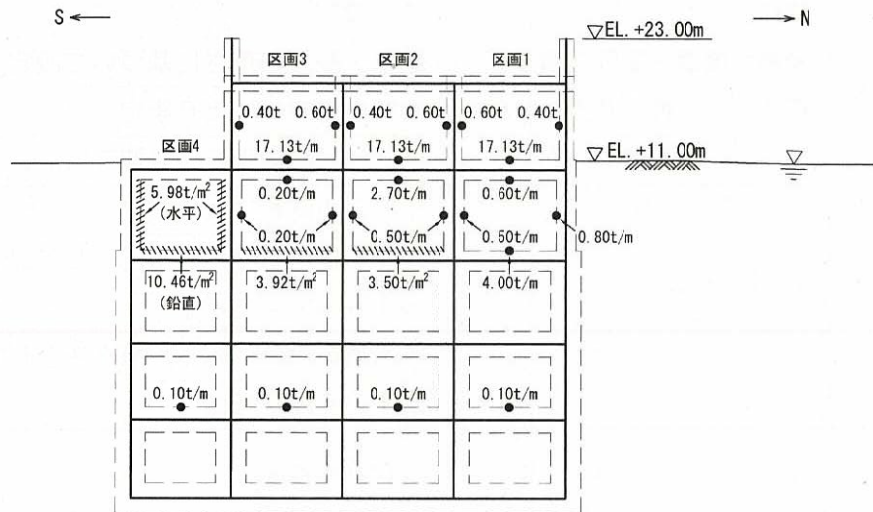


図 4.2-12 機器・配管荷重図 (南北方向⑤-⑤断面)

b. 東西方向断面

図 4.2-13 に東西方向断面における機器・配管荷重図を示す。

機器・配管荷重は解析の単位奥行き (1 m) あたりの付加質量として考慮する。

EL. +11.0 m レベルには、常設代替高圧電源装置、シンダーコンクリート荷重及び全機器・配管荷重として  $0.66 \text{ t/m}^2$  を考慮する。

地下 1F の床面については、単位奥行き当たりの軽油貯蔵タンク、仕切壁及び全機器・配管荷重として  $2.20 \text{ t/m}^2$  を考慮する。

最下階の床面については、単位奥行き当たりの全機器・配管荷重として  $0.35 \text{ t/m}$  を考慮する。

縦穴の壁については、単位奥行き当たりの仕切壁及び全機器・配管荷重を考慮する。

その他、配管等が設置される壁及び天井については、単位奥行き当たりの配管荷重を作用させる。

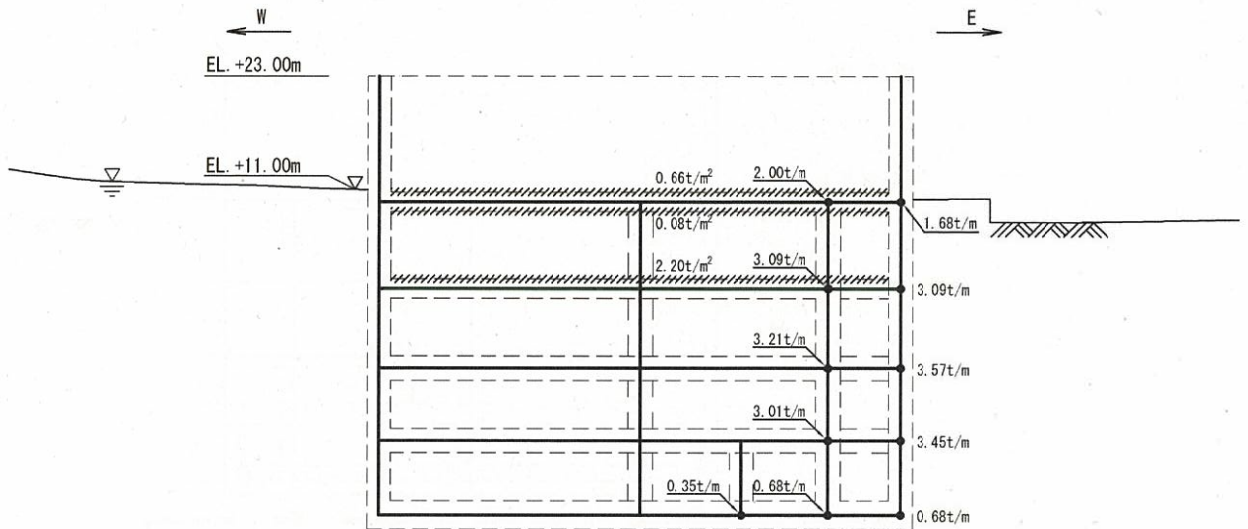


図 4.2-13 機器・配管荷重図 (東西方向断面)

(2) 外水圧

地下水位は地表面として設定する。設定の際は、地下水の密度として、 $1.00 \text{ g/cm}^3$  を考慮する。

(3) 内水圧

電源装置場の最下階には西側淡水貯水設備が設置されるため、EL. -16.00 m を静水面とした静水圧を内水圧として設定する。設定の際は淡水の密度として、 $1.00 \text{ g/cm}^3$  を考慮する。

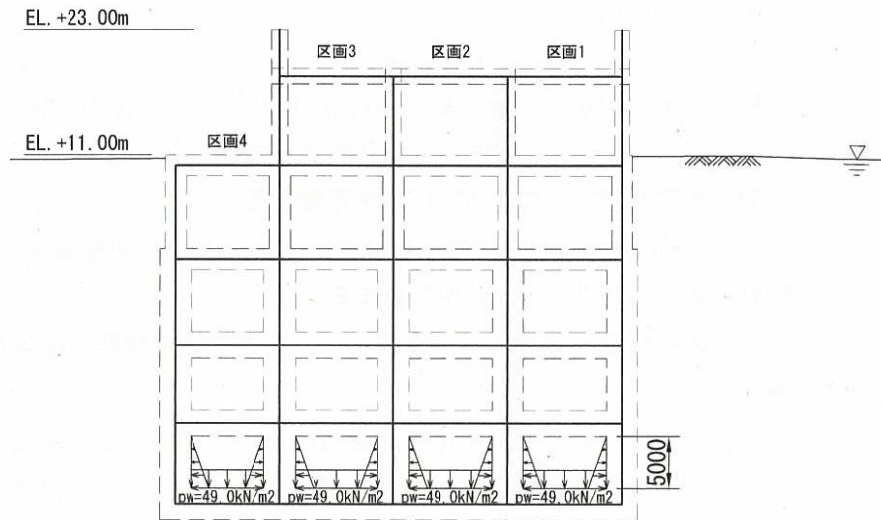


図 4.2-14 (1) 内水圧図 (南北方向⑤-⑤断面)

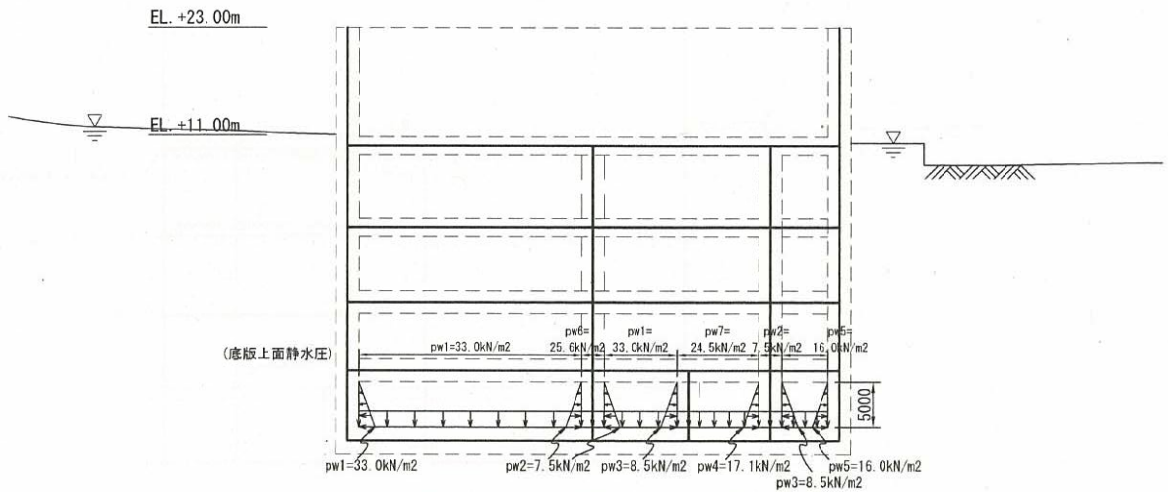


図 4.2-14 (2) 内水圧図 (東西方向断面)

(4) 雪荷重

雪荷重については、「建築基準法施行令第 86 条」及び「茨城県建築基準法施行細則 第 16 条の 4」に従って設定する。積雪の厚さ 1 cm あたりの荷重を  $20 \text{ N/m}^2/\text{cm}$  とし、積雪量は 30 cm としていることから積雪荷重は  $600 \text{ N/m}^2$  であるが、地震時短期荷重として積雪荷重の 0.35 倍である  $0.21 \text{ kN/m}^2$  を考慮する。

積雪荷重は構造物上面に付加質量として考慮する。

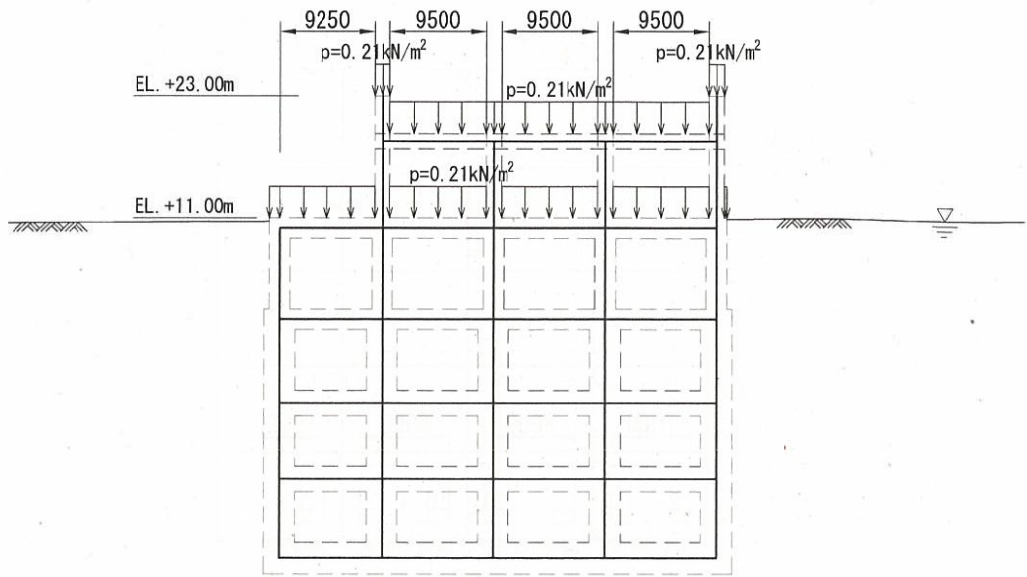


図 4.2-15 (1) 雪荷重図 (南北方向⑤-⑤断面)

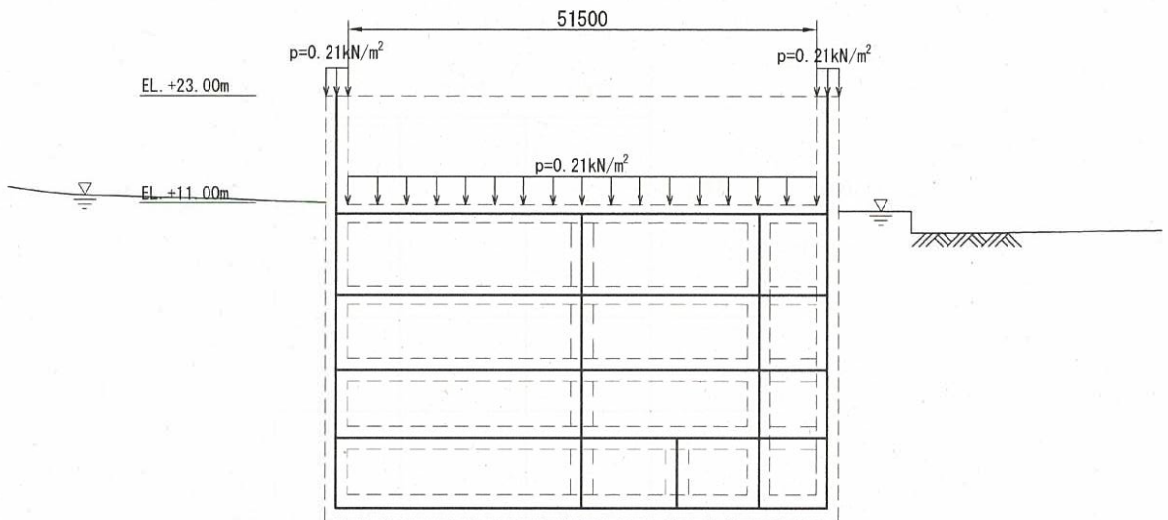


図 4.2-15 (2) 雪荷重図 (東西方向断面)

(5) 動水圧

電源装置置場の最下階には西側淡水貯水設備が設置されるため、EL. -16.00 m を水面とした動水圧を付加質量として設定し、地震時の影響を考慮する。設定の際は淡水の密度として、 $1.00 \text{ g/cm}^3$  を考慮する。

なお、付加質量を設定する際は、水平動による動水圧は左右の壁に半分ずつ等しく作用させ、鉛直動による動水圧は上下のスラブに半分ずつ等しく作用させるものとする。

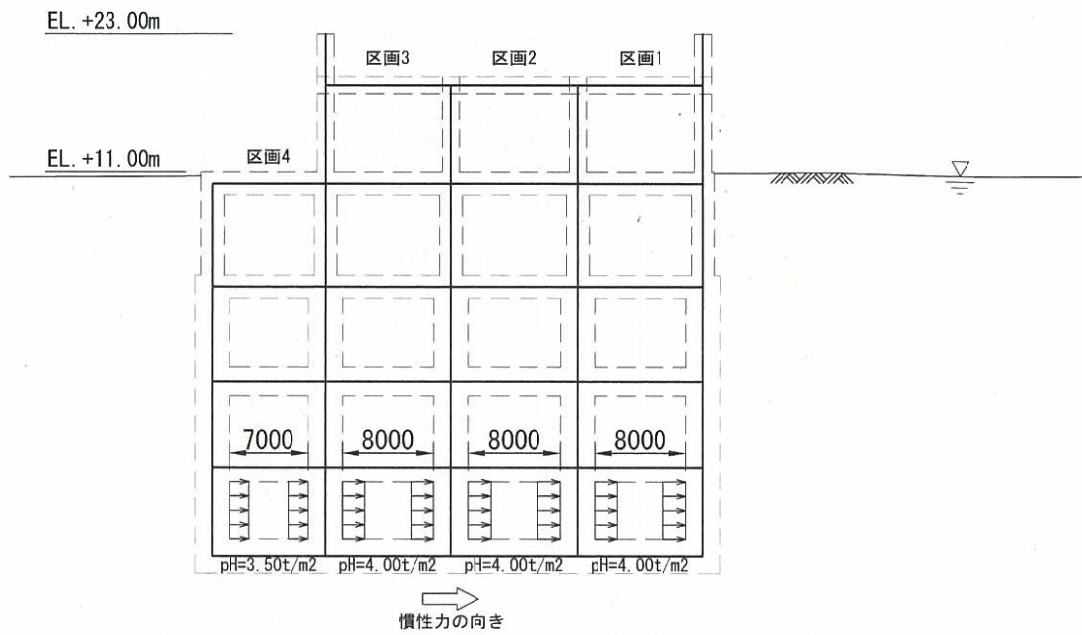


図 4. 2-16 (1) 水平動による動水圧図 (南北方向⑤-⑤断面)

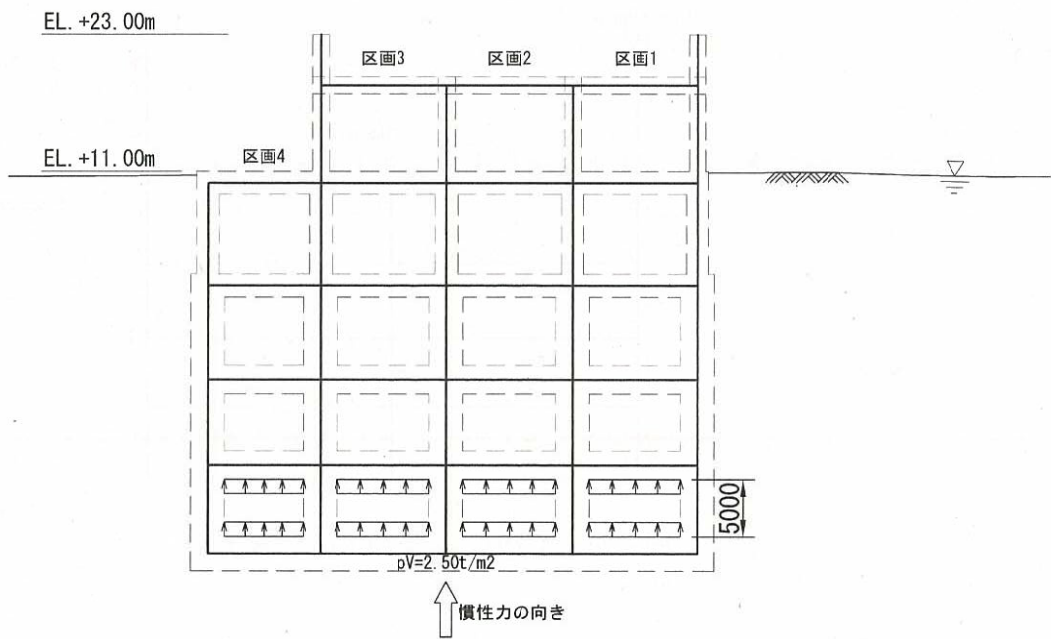


図 4. 2-16 (2) 鉛直動による動水圧図 (南北方向⑤-⑤断面)



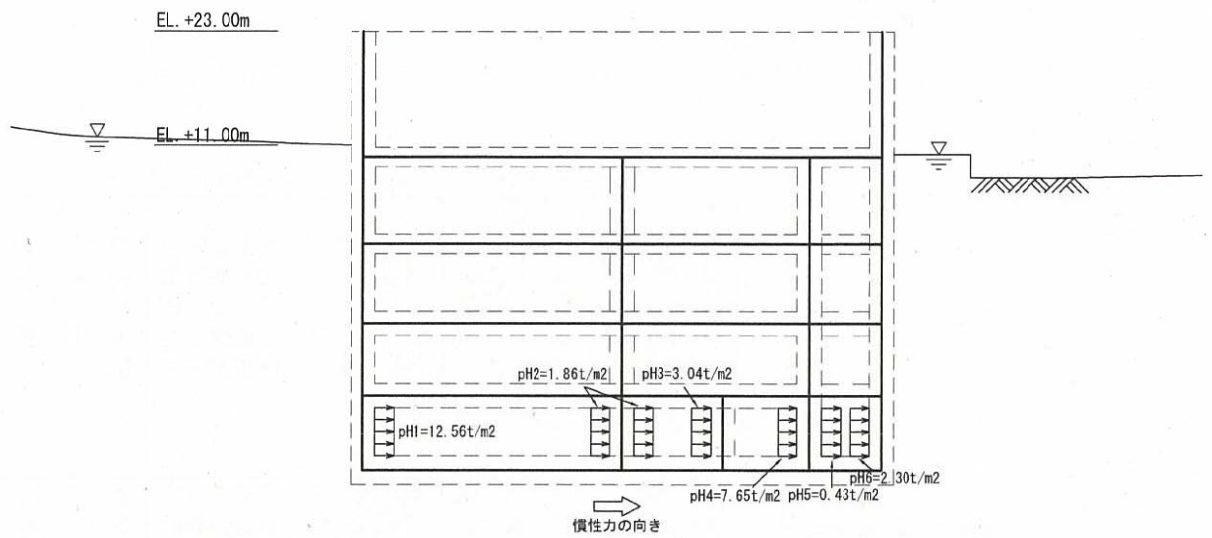


図 4.2-16 (3) 水平動による動水圧図 (東西方向断面)

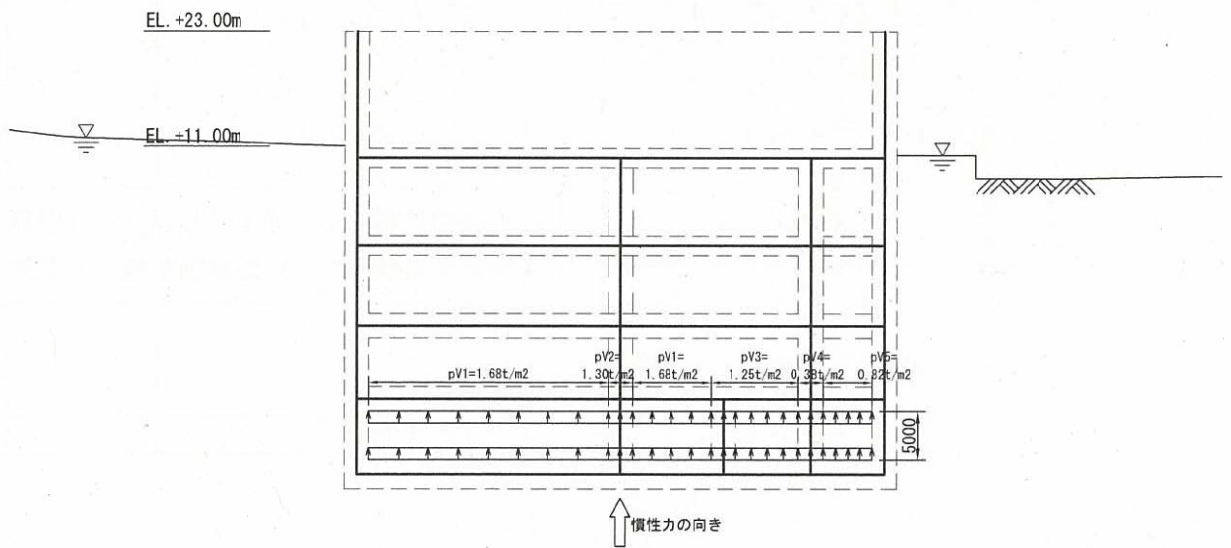


図 4.2-16 (4) 鉛直動による動水圧図 (東西方向断面)

4.2.11 地震応答解析の検討ケース

(1) 耐震設計における検討ケース

電源装置置場の耐震設計における検討ケースを表 4.2-10 に示す。

表 4.2-10 電源装置置場の耐震設計における検討ケース

検討ケース			① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	② 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定			原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用
地震波(位相)	S <sub>s</sub> -D 1	(++)	1	1	1	1	1	1
		(+-)	1					
		(-+)	1					
		(--)	1					
	S <sub>s</sub> -1 1	(++)	1					
		(+-)	1					
	S <sub>s</sub> -1 2	(++)	1					
		(+-)	1					
	S <sub>s</sub> -1 3	(++)	1					
		(+-)	1					
	S <sub>s</sub> -1 4	(++)	1					
		(+-)	1					
S <sub>s</sub> -2 1	(++)	1						
	(+-)	1						
S <sub>s</sub> -2 2	(++)	1						
	(+-)	1						
S <sub>s</sub> -3 1	(++)	1						
	(+-)	1						
計			12	1	1	1	1	1

①の検討において、最も厳しい(許容限界に対する余裕が最も小さい)地震動を用いて実施

(2) 機器・配管系に対する加速度応答抽出のための検討ケース

機器・配管系に対する加速度応答の抽出における検討ケースを表 4.2-11 に示す。

表 4.2-11 機器・配管系への加速度応答の抽出における検討ケース

検討ケース			④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定			敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用
地震波 (位相)	S <sub>s</sub> -D 1	(++)	2	1	2
		(+-)		1	
		(-+)		1	
		(--)		1	
	S <sub>s</sub> -1 1	(++)	⑤において機器の周 期帯で加速度応答が 最も大きい地震波 1 波と変位量が最も大 きくなる地震波 1 波 の計 2 波分で実施	1	⑤において機器の周 期帯で加速度応答が 最も大きい地震波 1 波と変位量が最も大 きくなる地震波 1 波 の計 2 波分で実施
	S <sub>s</sub> -1 2	(++)		1	
	S <sub>s</sub> -1 3	(++)		1	
	S <sub>s</sub> -1 4	(++)		1	
	S <sub>s</sub> -2 1	(++)		1	
	S <sub>s</sub> -2 2	(++)		1	
	S <sub>s</sub> -3 1	(++)		1	
		(-+)		1	
計			2	12	2

#### 4.3 評価内容

##### 4.3.1 入力地震動の設定

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  を 1 次元波動論によって、地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。

図 4.3-1 に入力地震動算定の概念図を、図 4.3-2 に入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には解析コード「microSHAKE/3D Ver. 2.2.3.311」を使用する。

なお、特定の方向性を有しない地震動については、位相を反転させた場合の影響も確認する。断層モデル波である  $S_s - 11 \sim S_s - 22$  については、特定の方向性を有することから、構造物の評価対象断面方向を考慮し、方位補正を行う。具体的には NS 方向及び EW 方向の地震動について構造物の評価断面方向の成分を求め、各々を足し合わせることで方位補正した地震動を設定する。

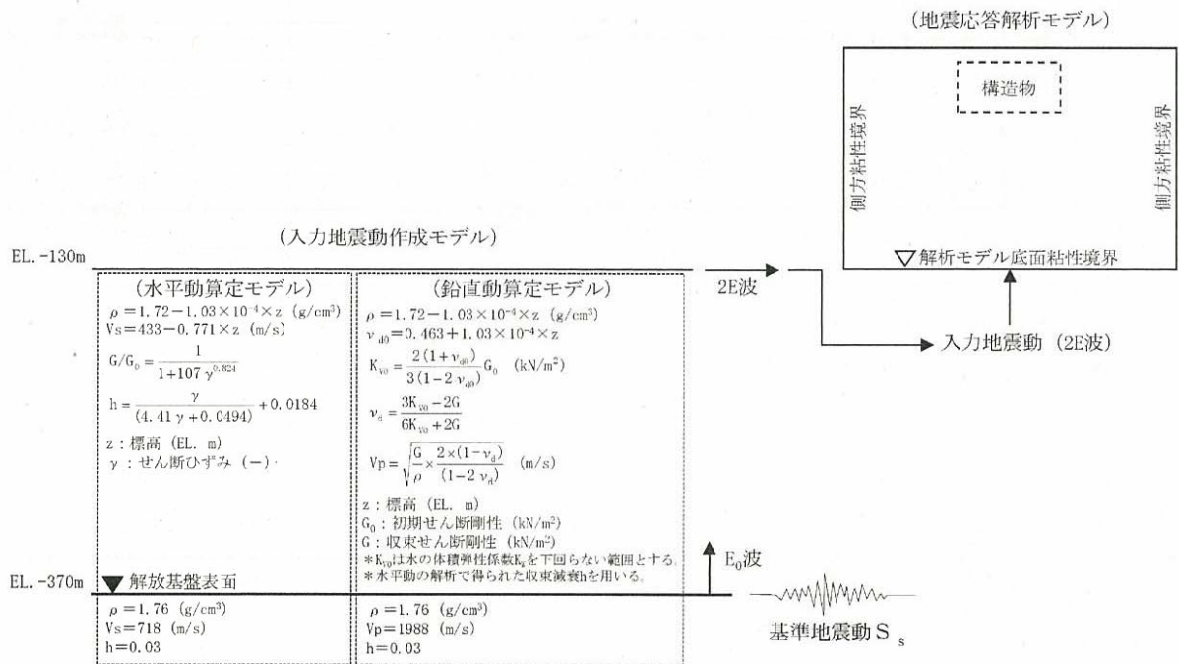
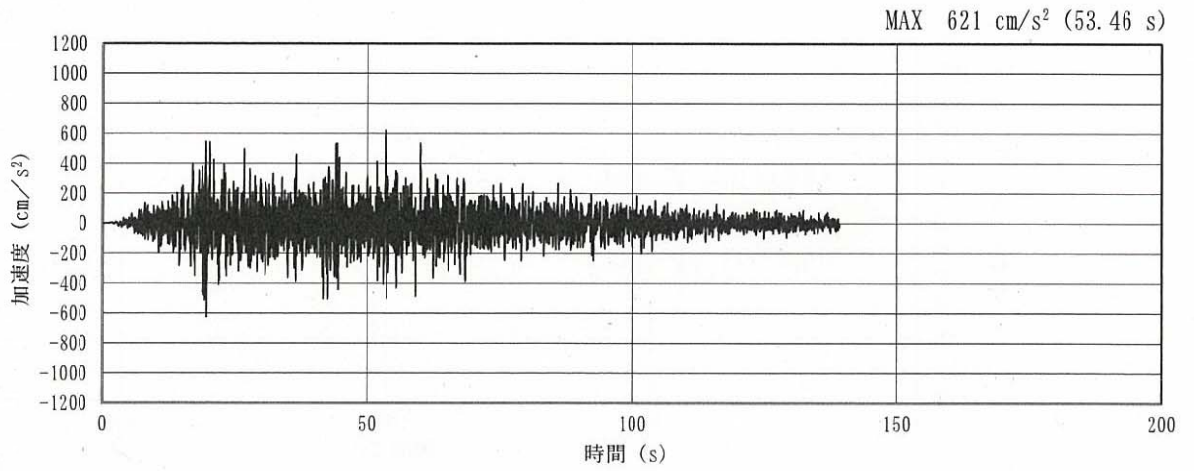
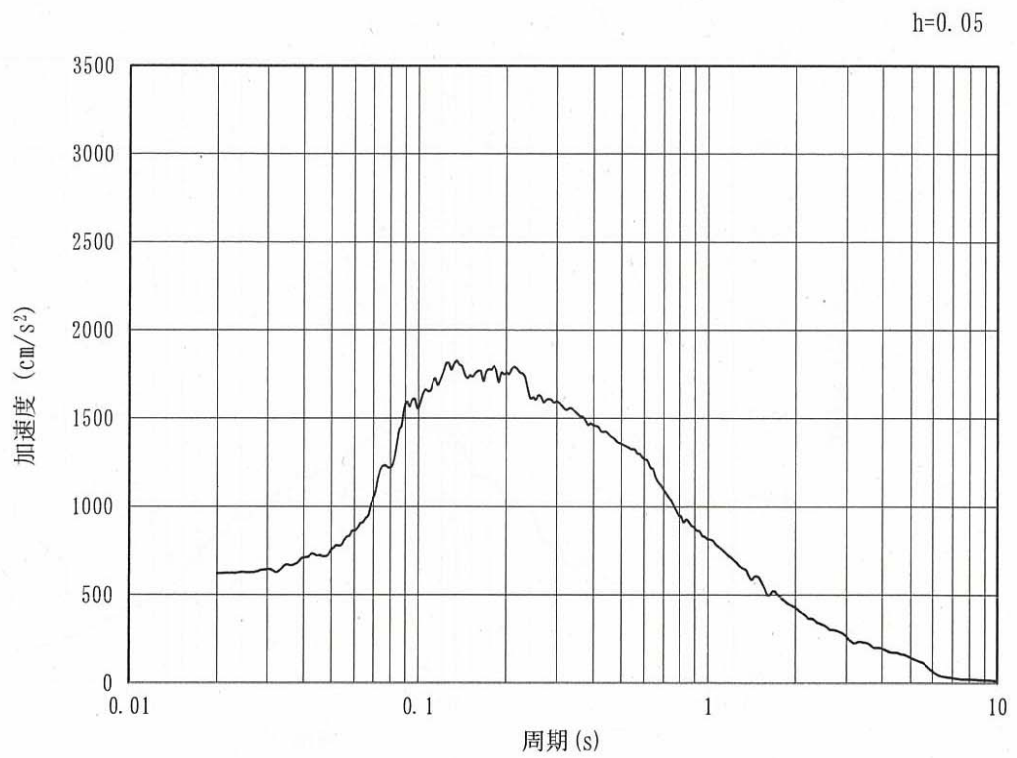


図 4.3-1 入力地震動算定の概念図

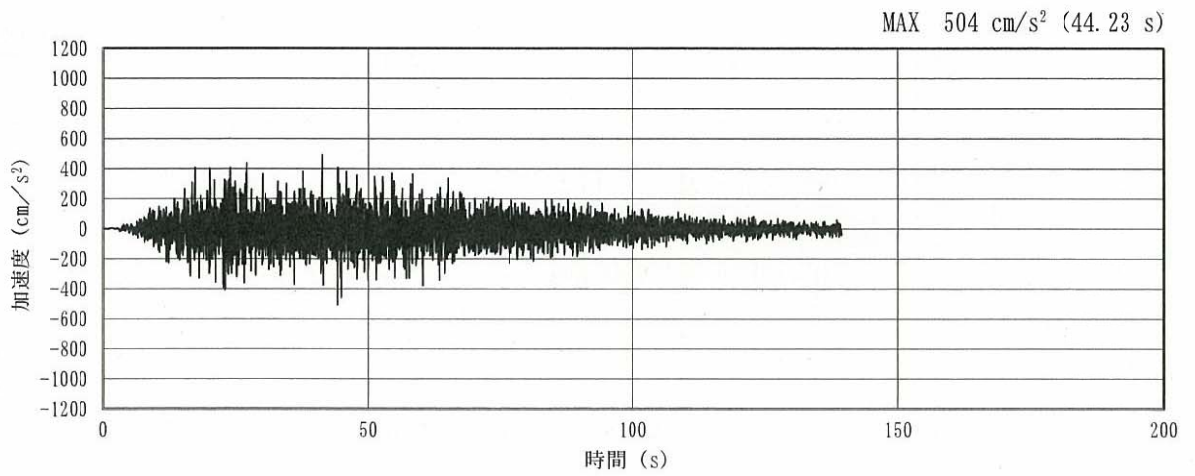


(a) 加速度時刻歴波形

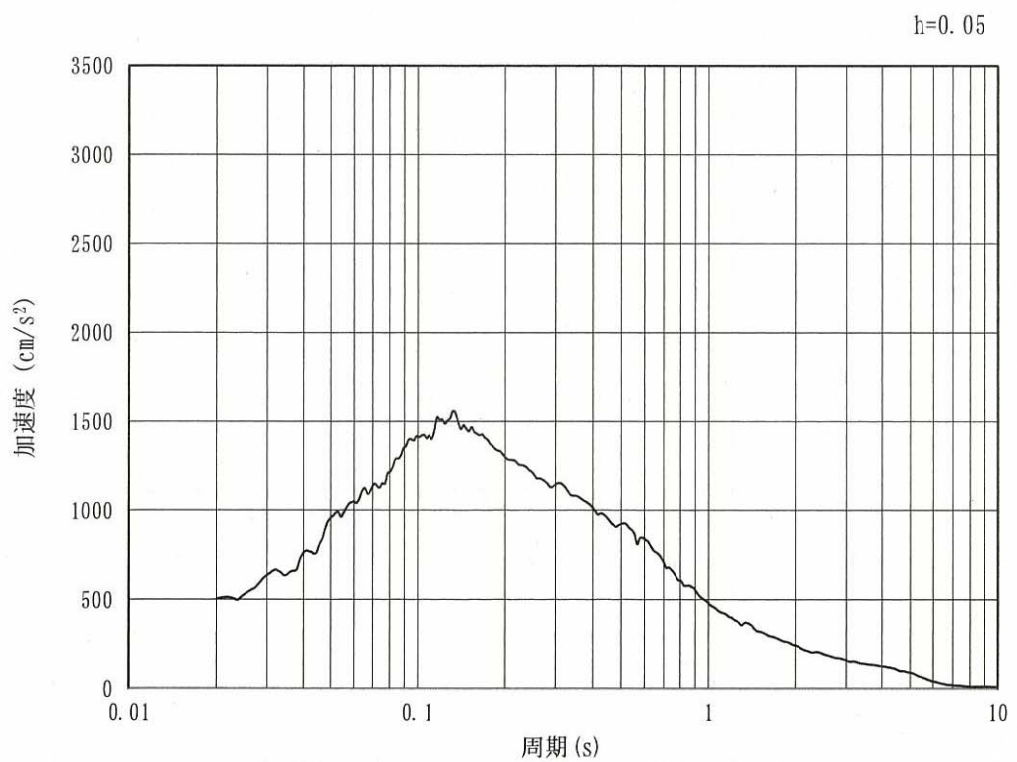


(b) 加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (1) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 :  $S_s - D 1$ )

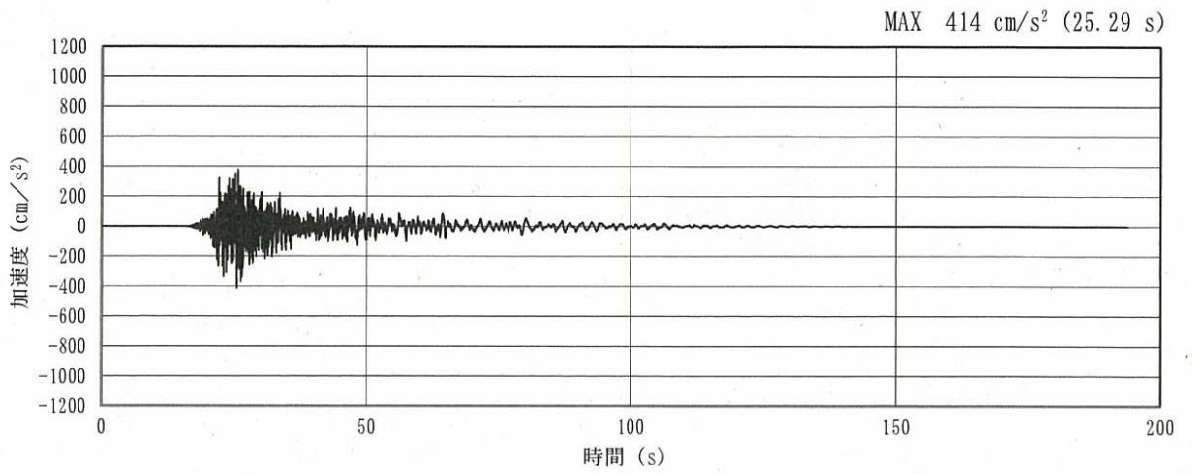


(a) 加速度時刻歴波形

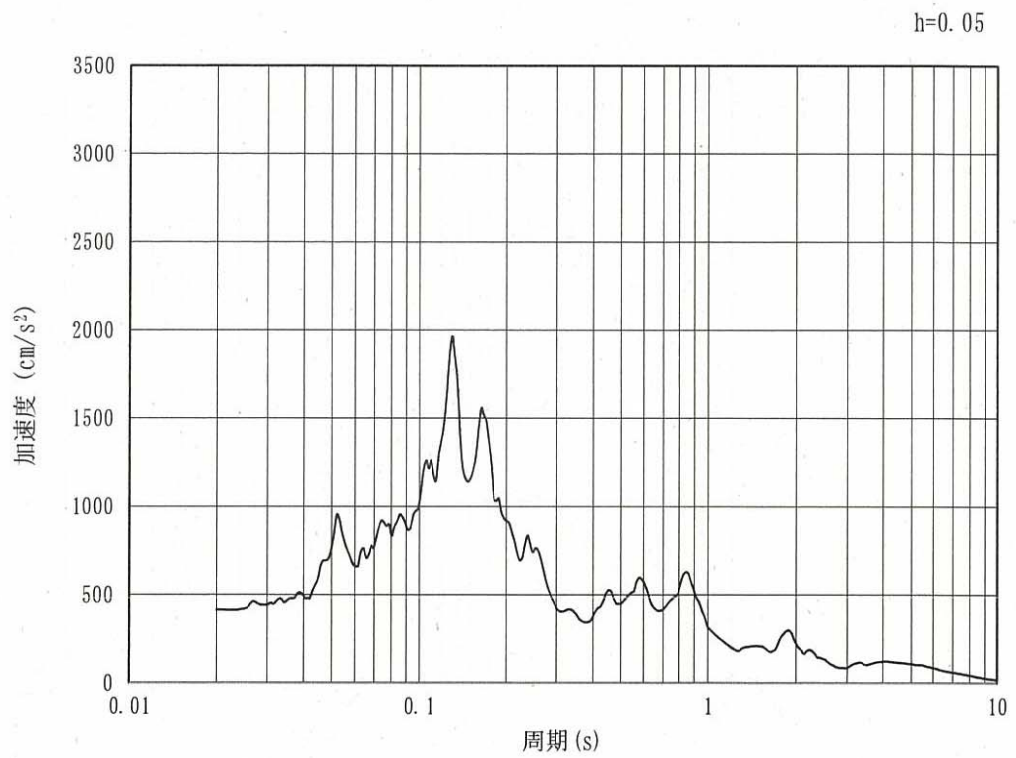


(b) 加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (2) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 :  $S_s - D 1$ )

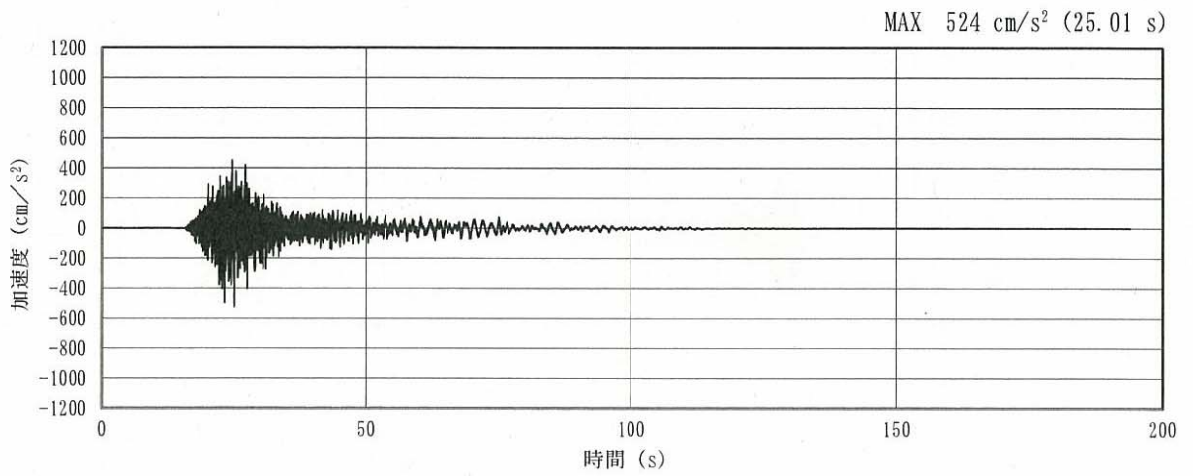


(a) 加速度時刻歴波形

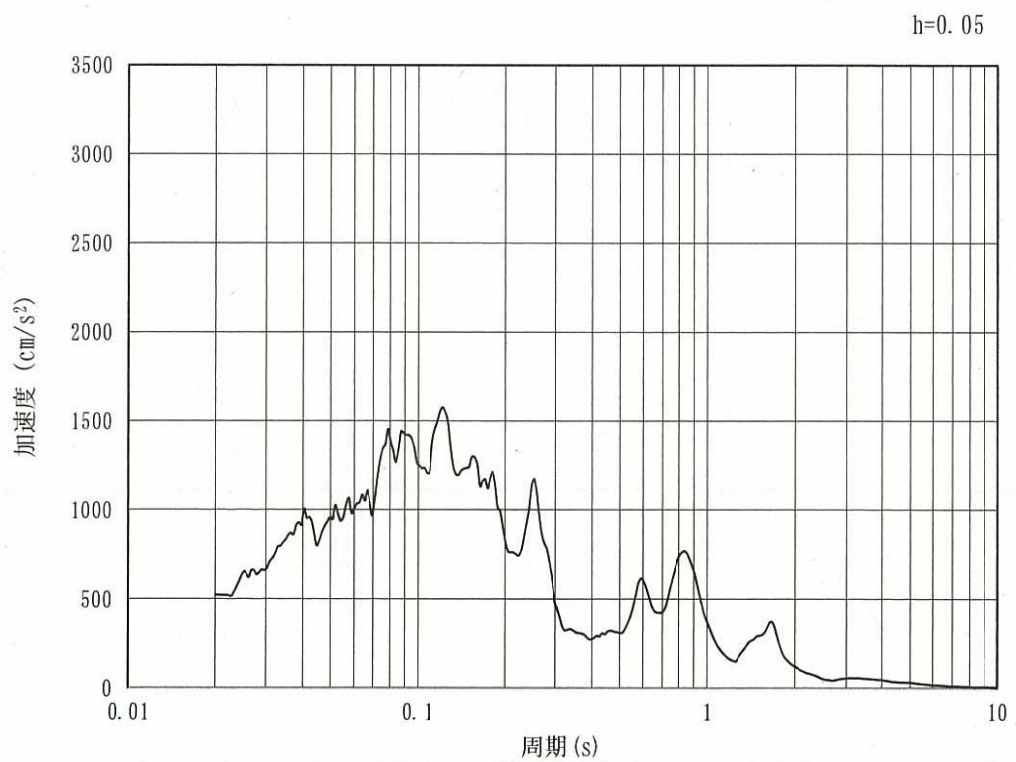


(b) 加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (3) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向:  $S_s - 11$ )



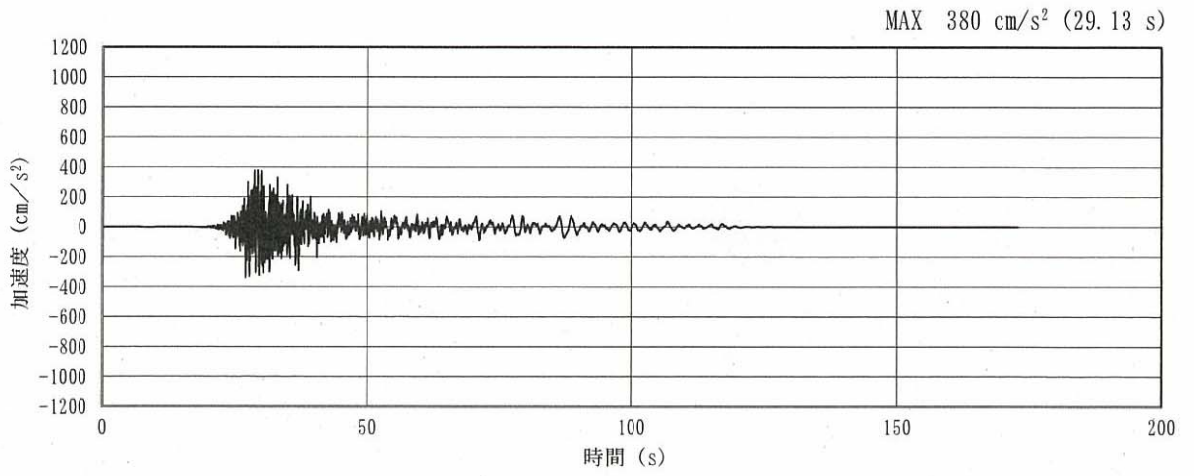
(a) 加速度時刻歴波形



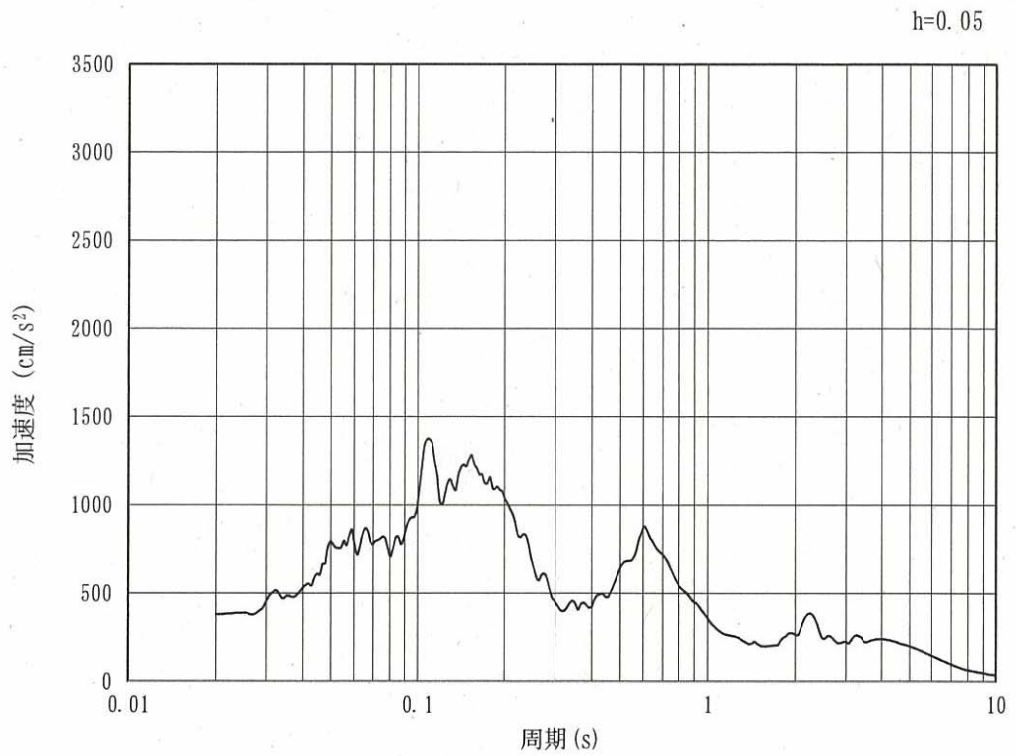
(b) 加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (4) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 :  $S_s - 11$ )



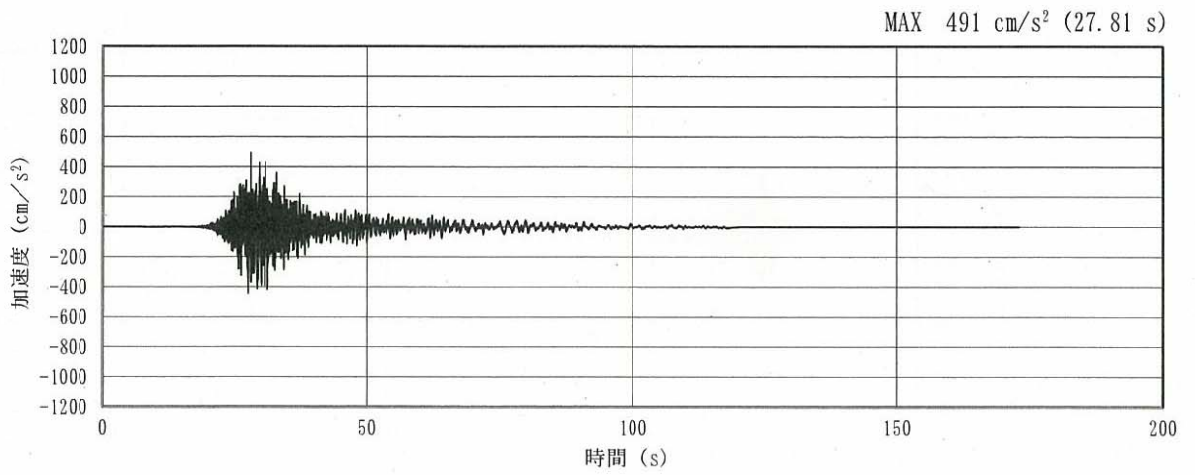


(a) 加速度時刻歴波形

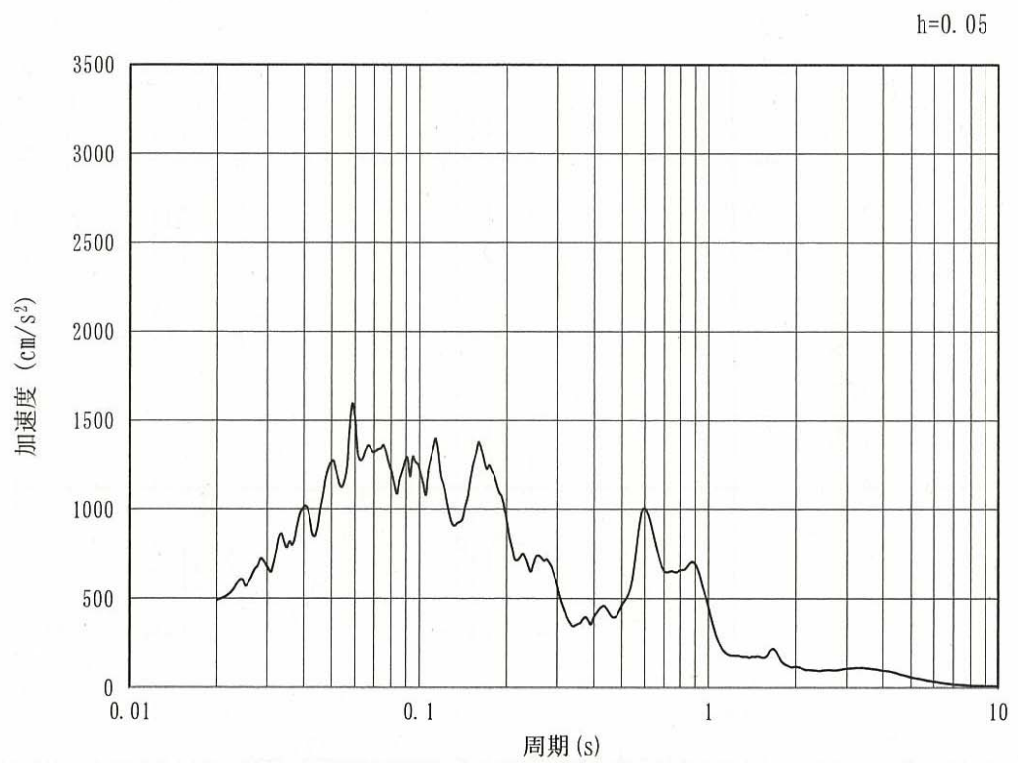


(b) 加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (5) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 :  $S_s - 12$ )

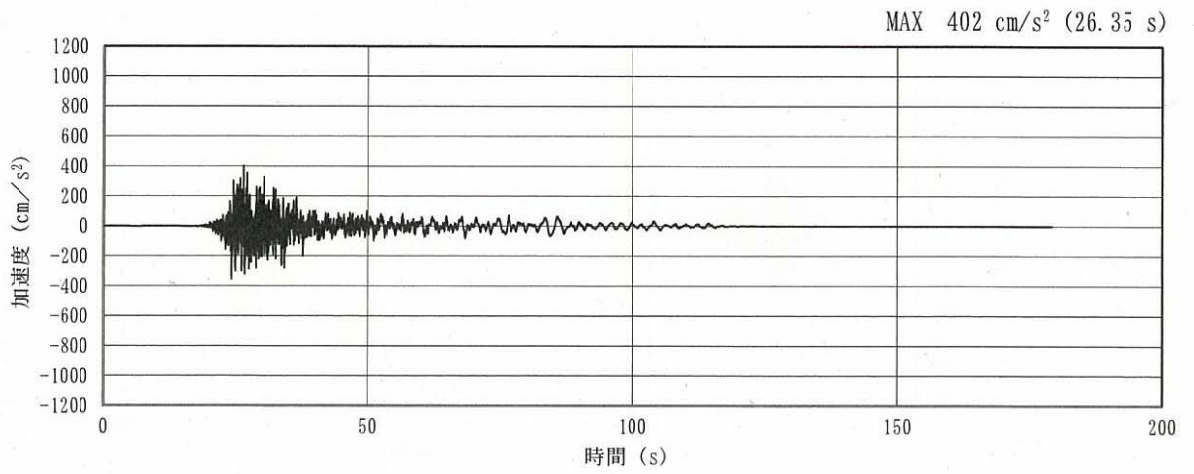


(a) 加速度時刻歴波形

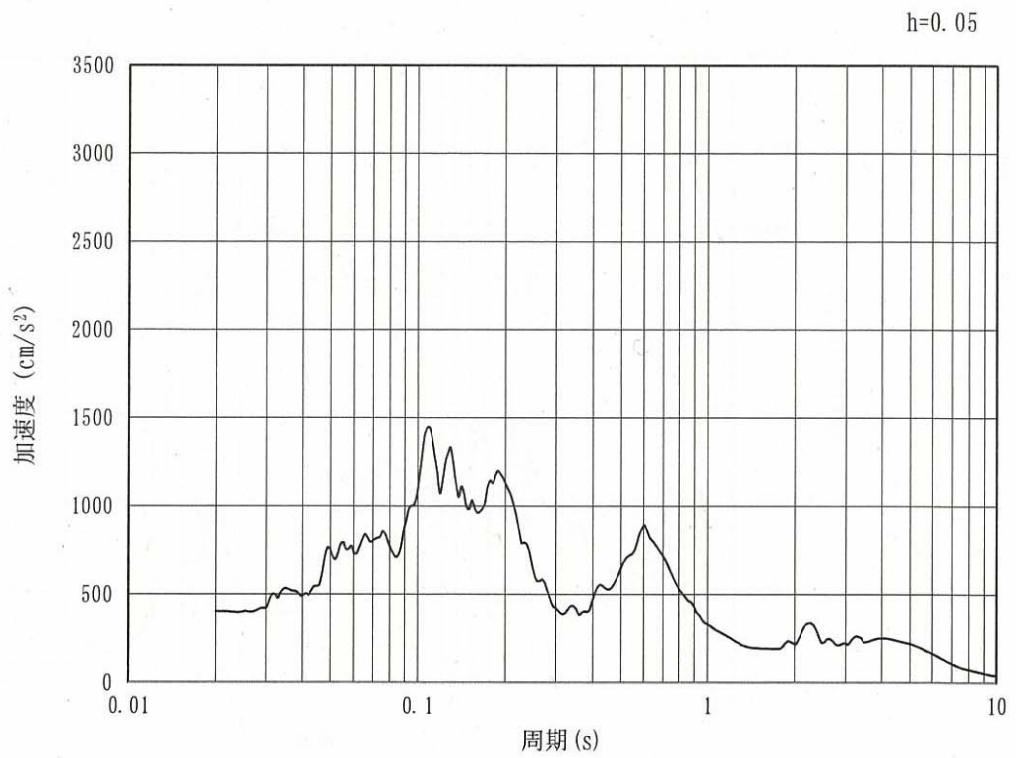


(b) 加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (6) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 :  $S_s - 1.2$ )

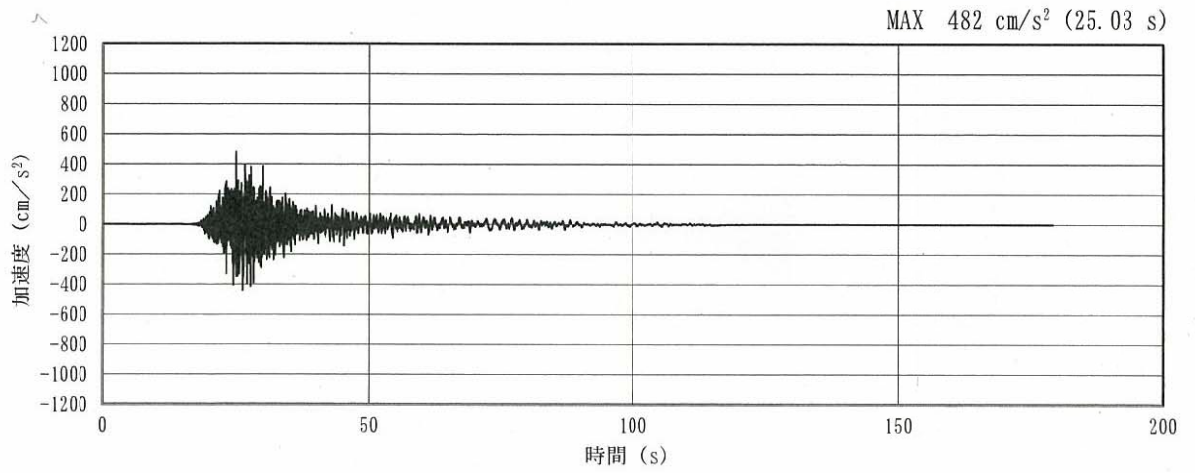


(a) 加速度時刻歴波形

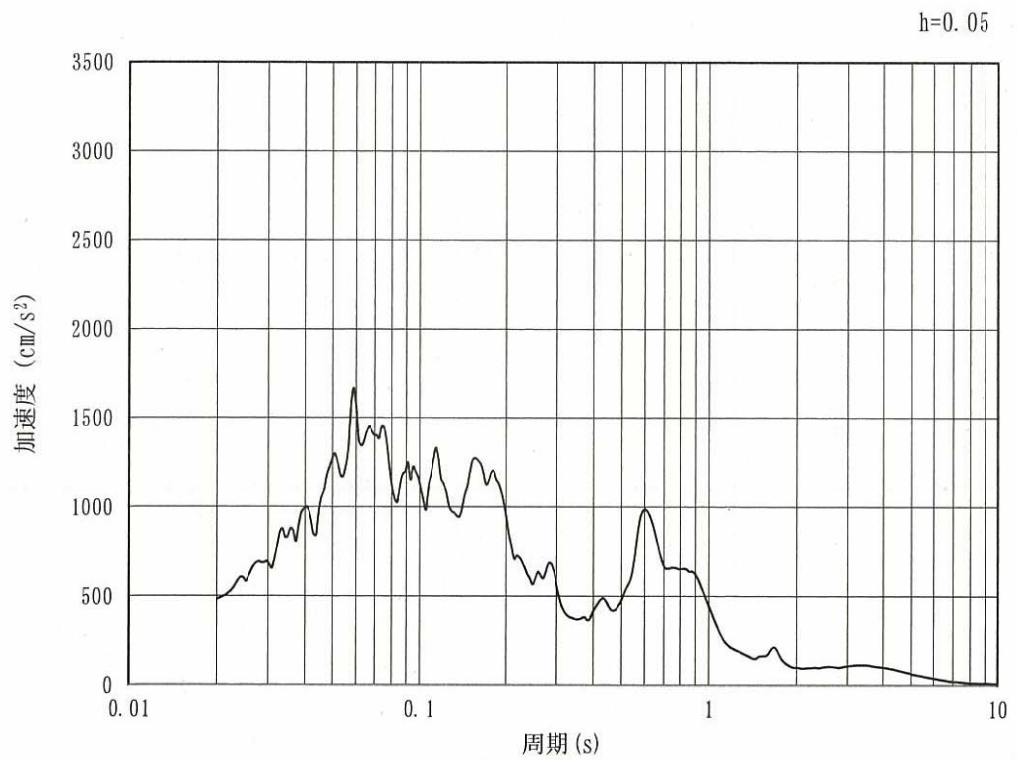


(b) 加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (7) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向:  $S_s - 13$ )

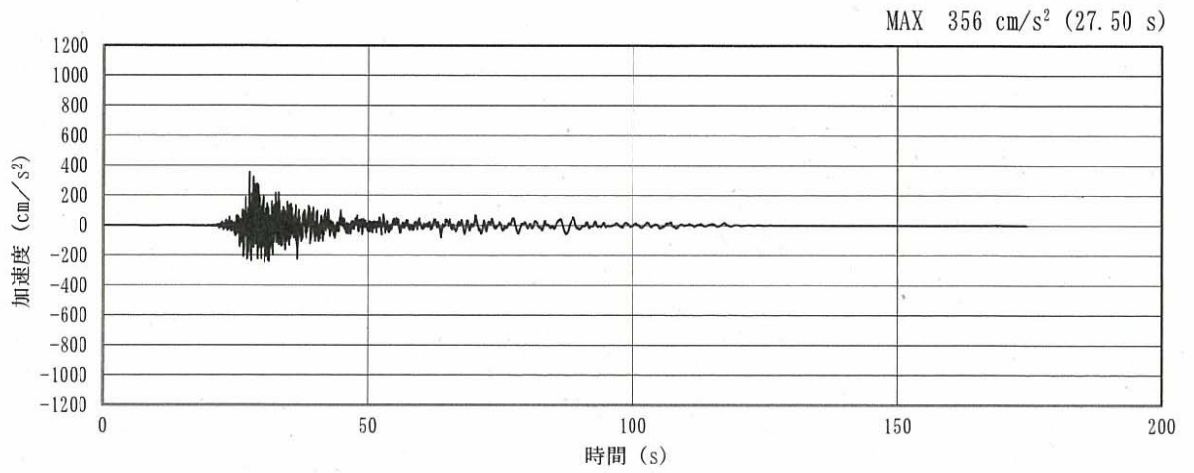


(a) 加速度時刻歴波形

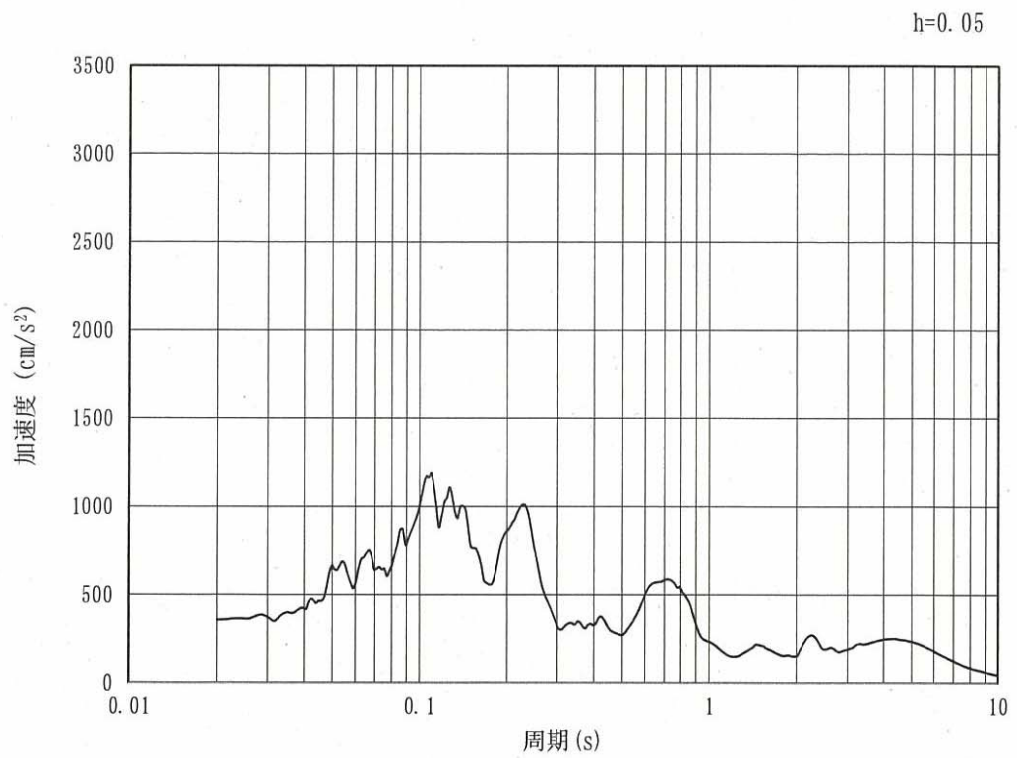


(b) 加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (8) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 :  $S_s - 1.3$ )

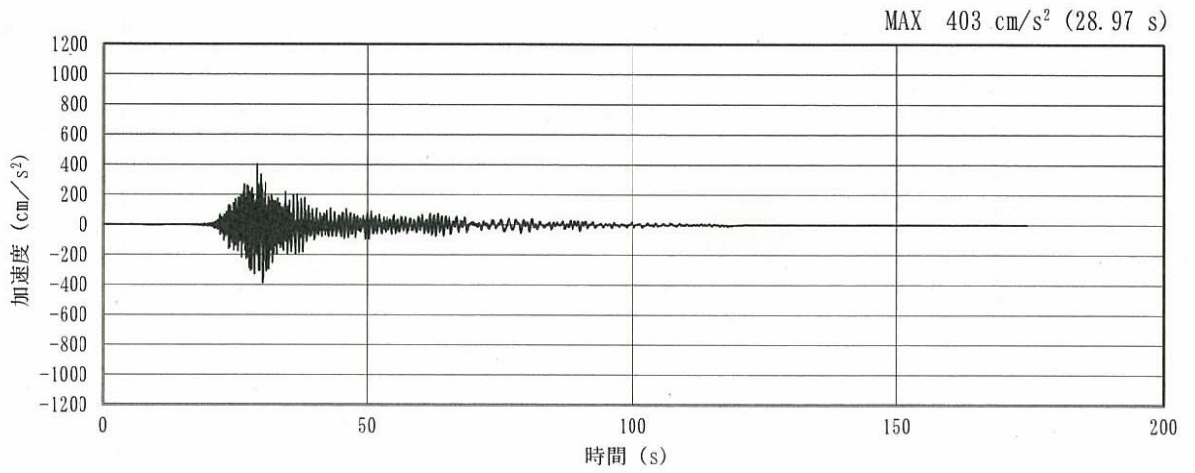


(a) 加速度時刻歴波形

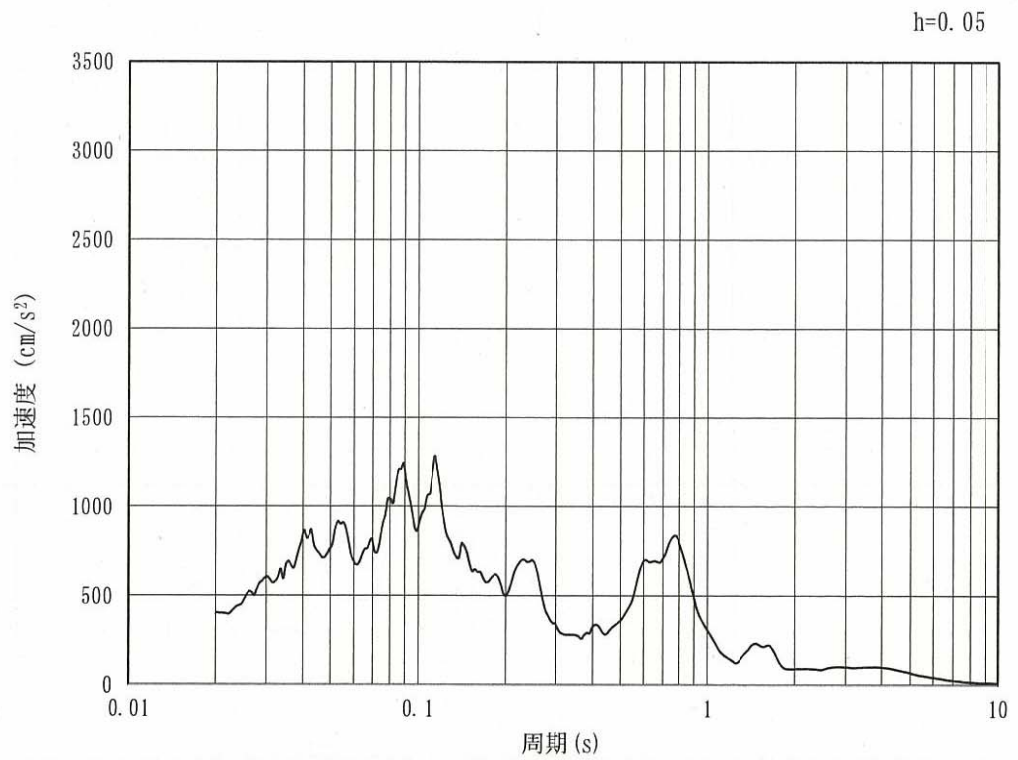


(b) 加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (9) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向:  $S_s - 1.4$ )

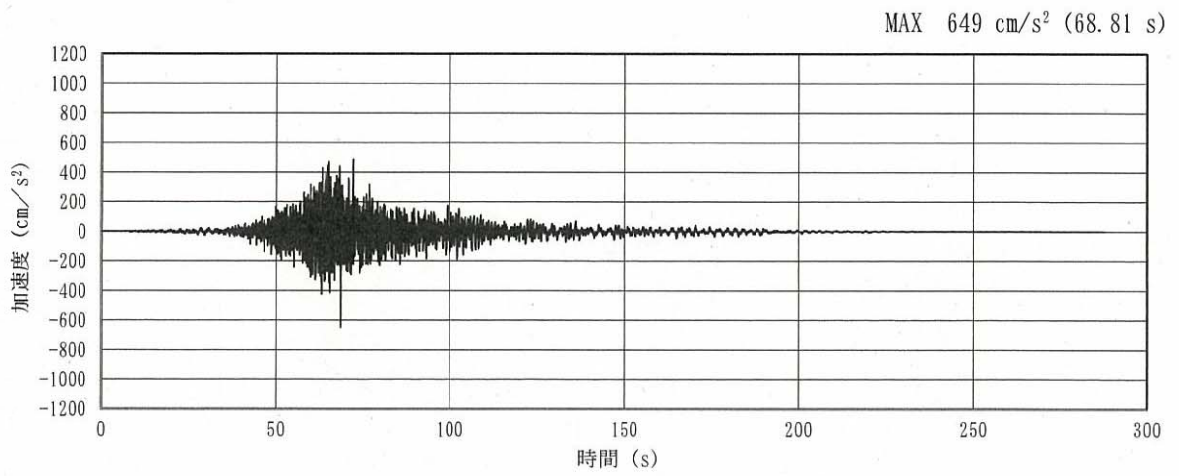


(a) 加速度時刻歴波形

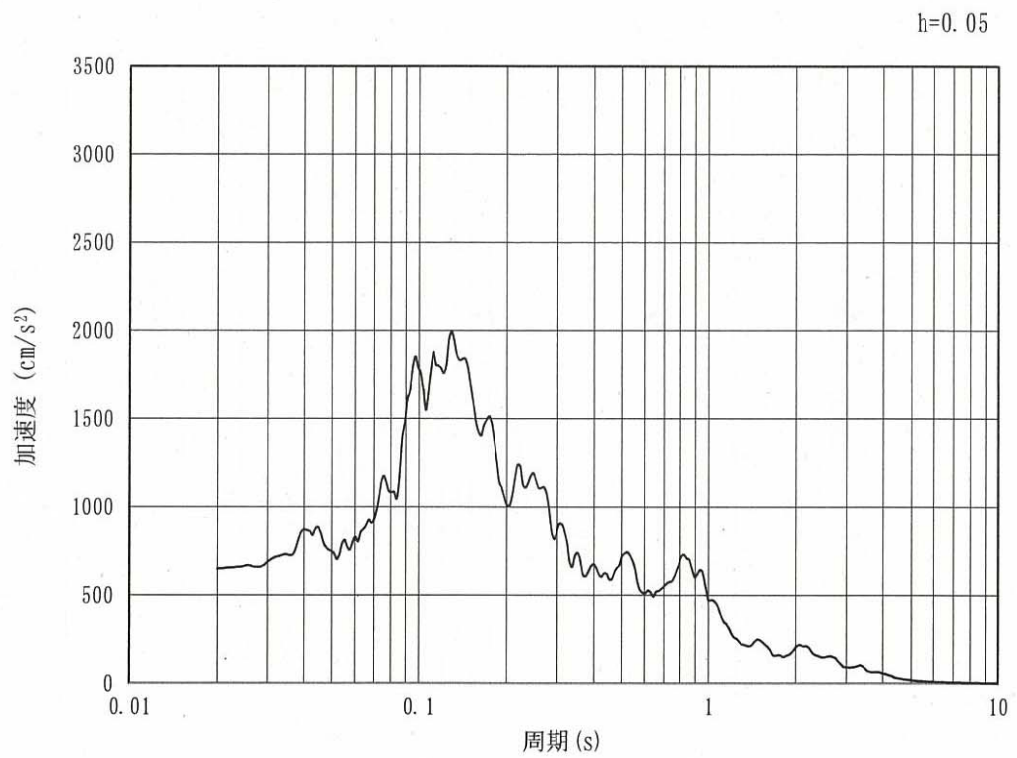


(b) 加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (10) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 :  $S_s - 1.4$ )

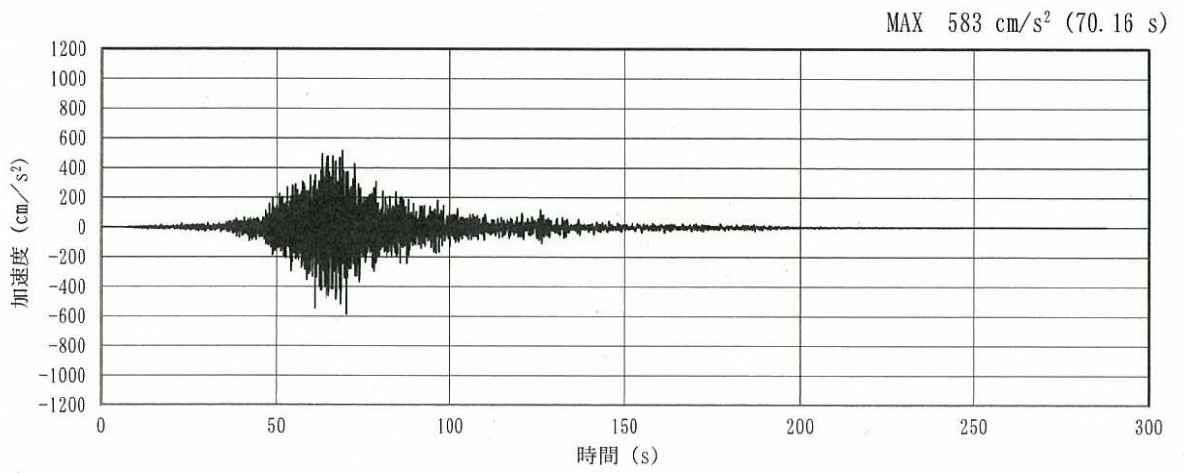


(a) 加加速度時刻歴波形

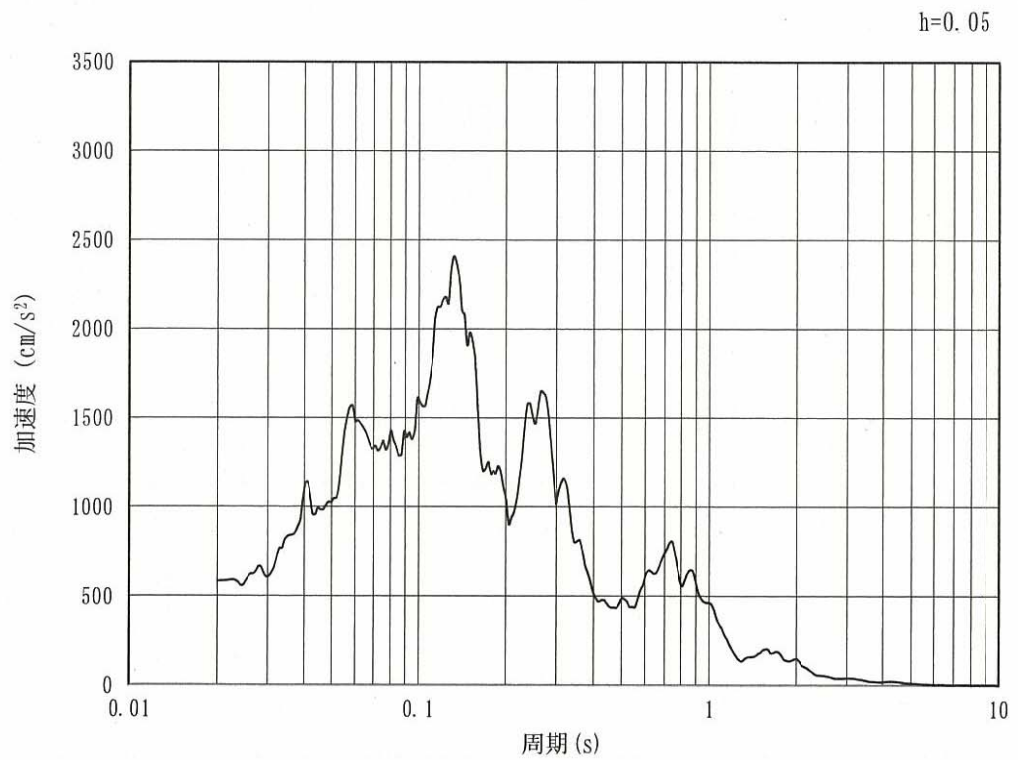


(b) 加加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (11) 東西方向断面の入力地震動の加加速度時刻歴波形及び加加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S<sub>s</sub>-2 1)



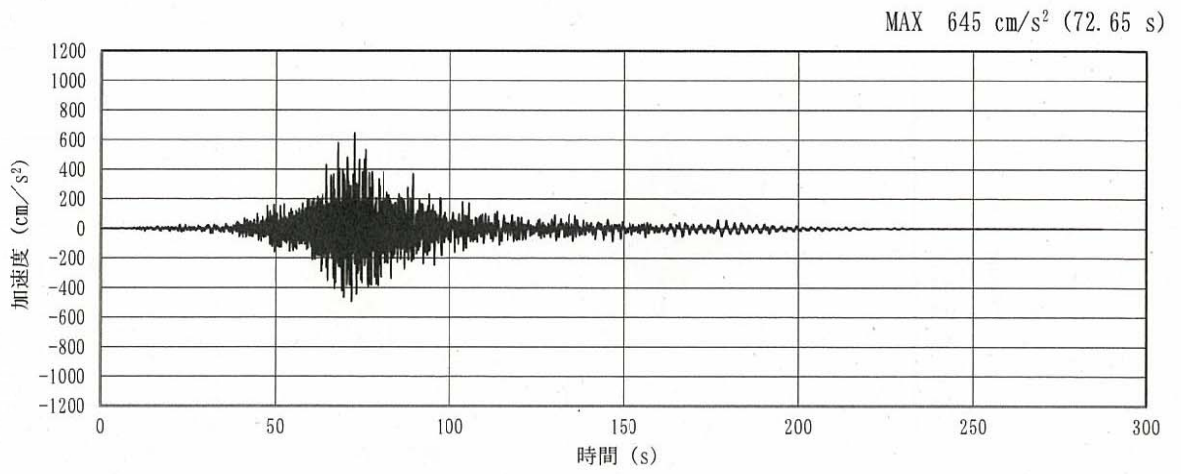
(a) 加速度時刻歴波形



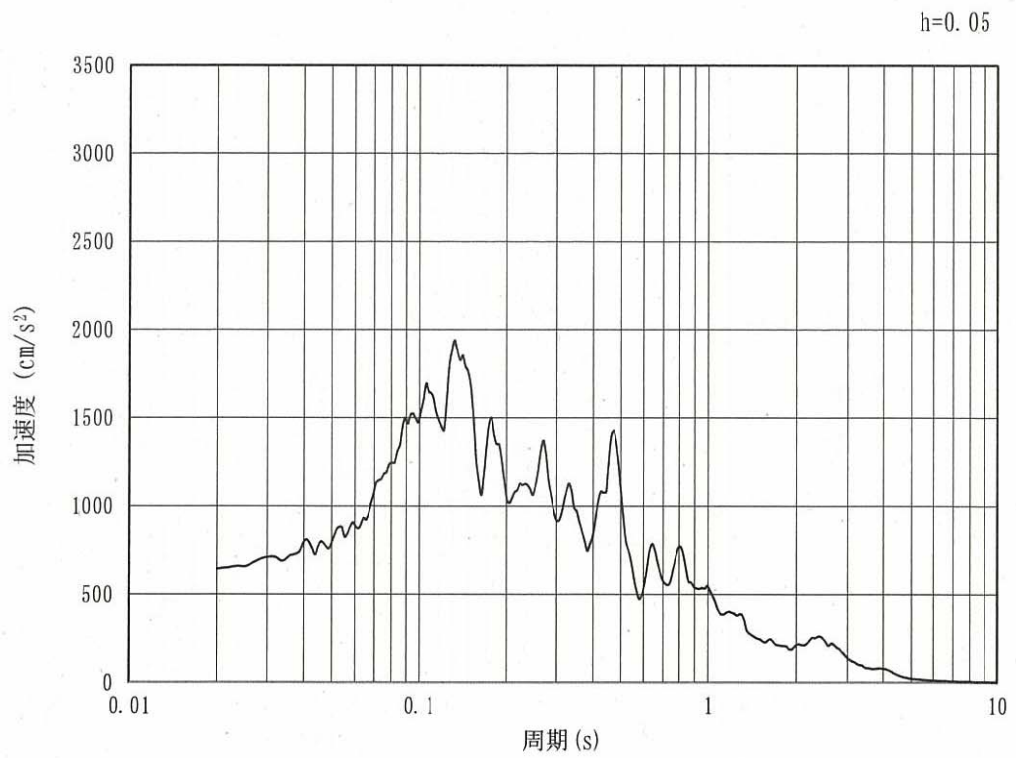
(b) 加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (12) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 :  $S_s - 21$ )



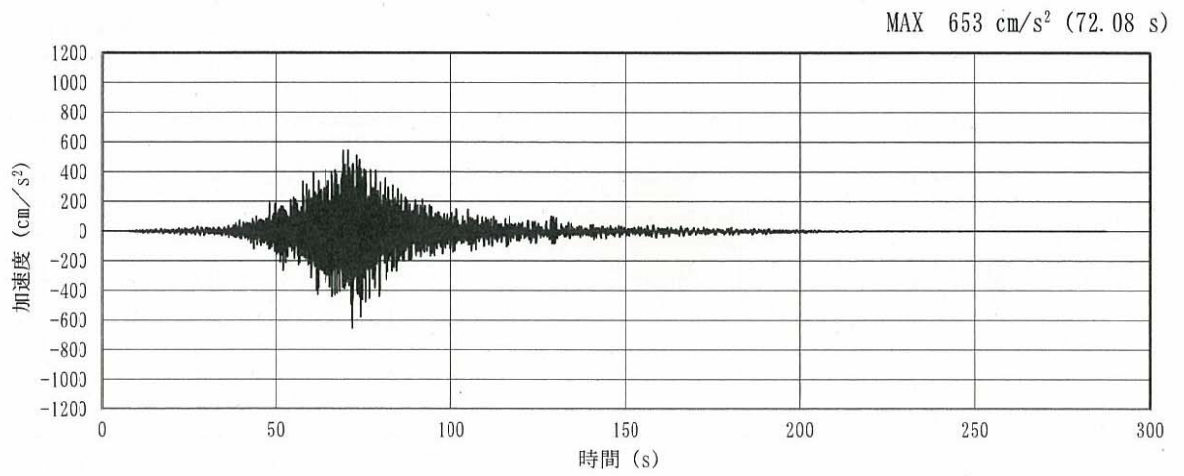


(a) 加速度時刻歴波形

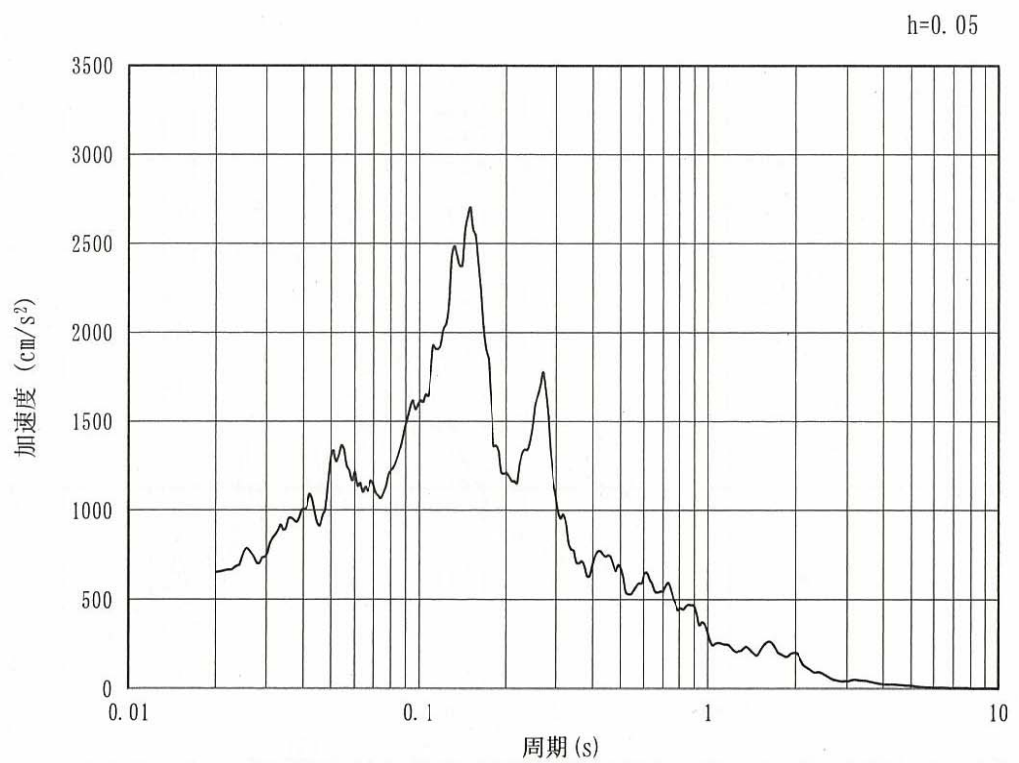


(b) 加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (13) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向: S<sub>s</sub>-22)

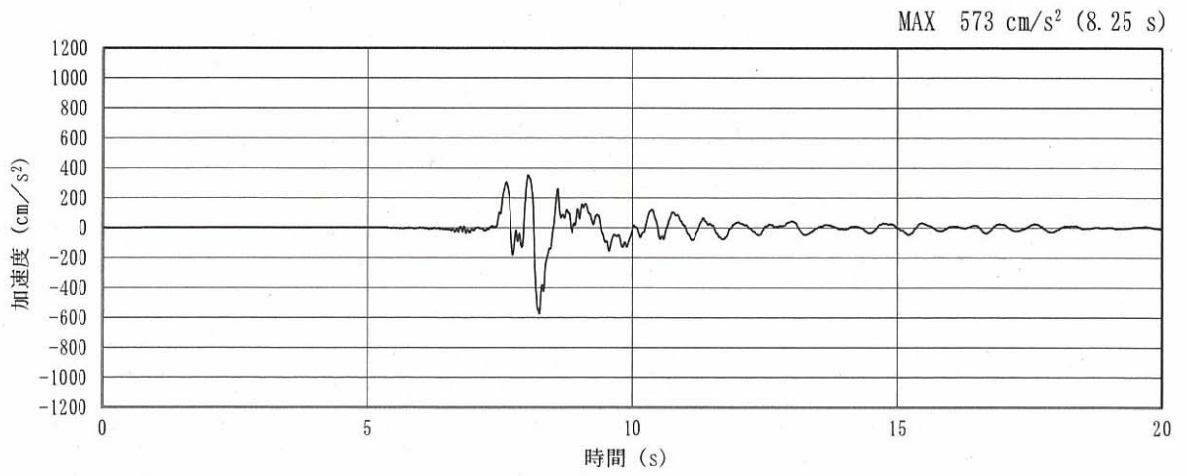


(a) 加速度時刻歴波形

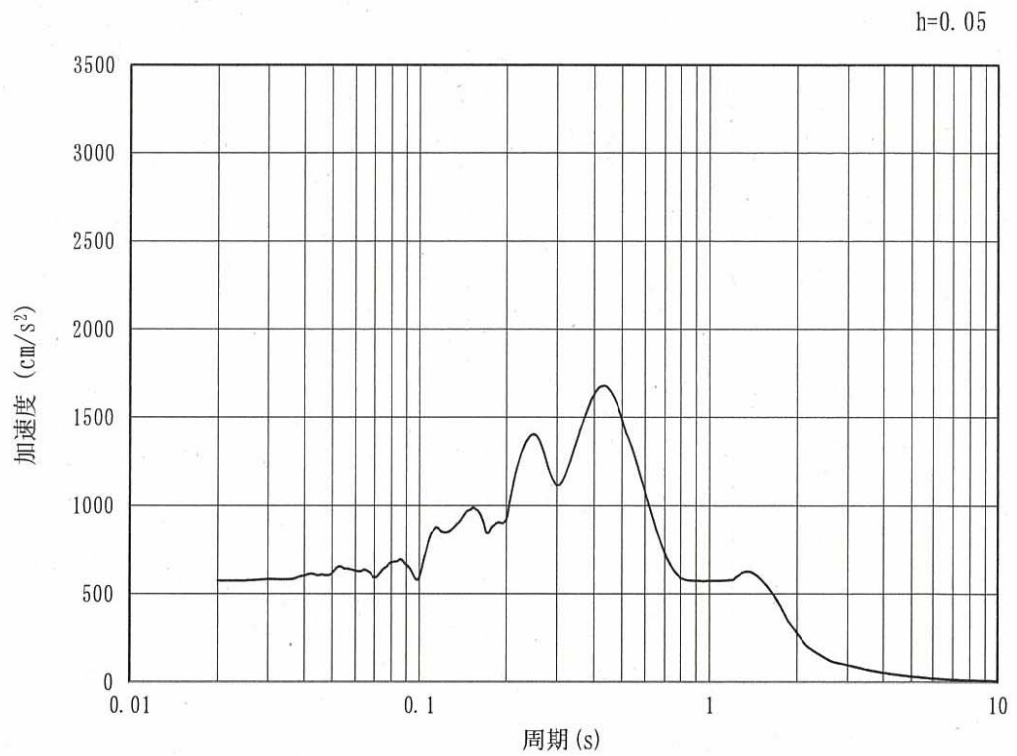


(b) 加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (14) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 :  $S_s - 22$ )

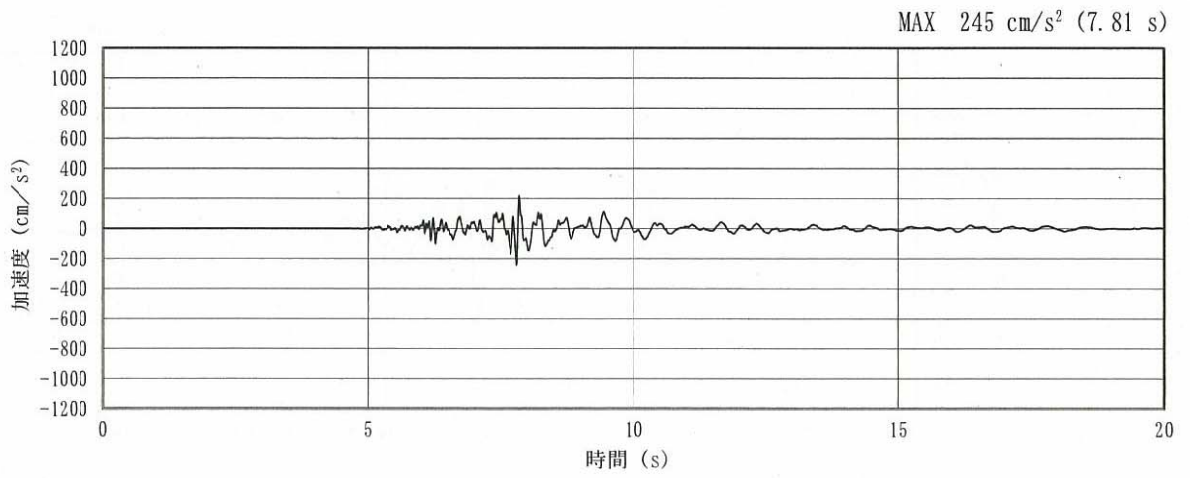


(a) 加速度時刻歴波形

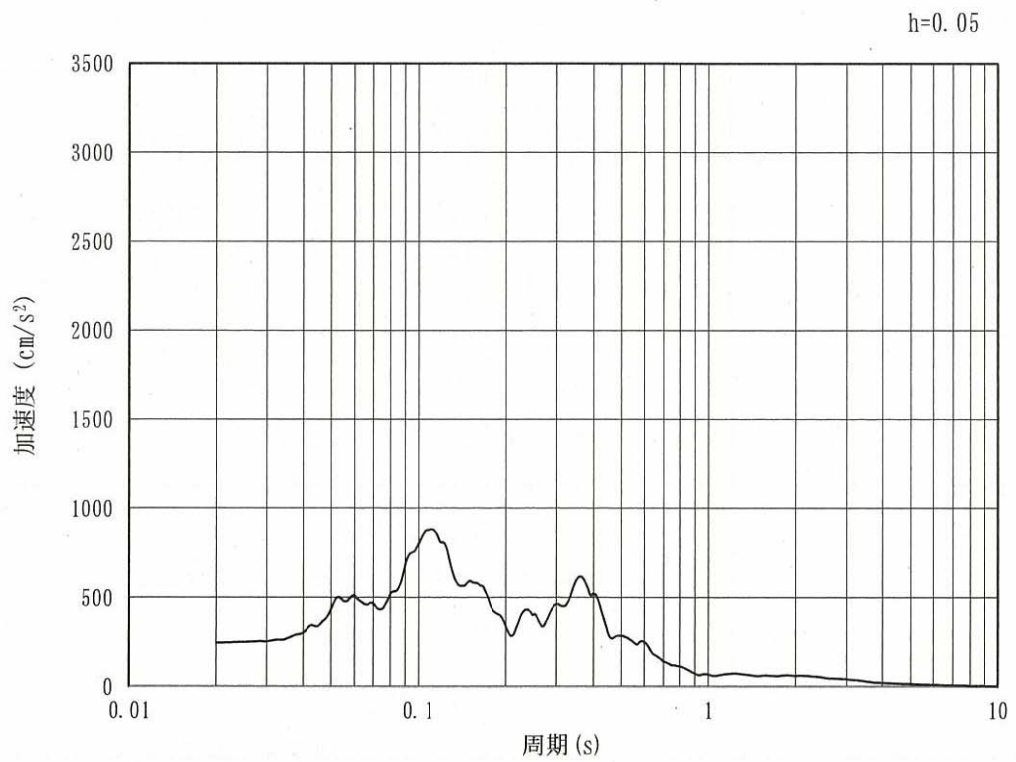


(b) 加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (15) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向:  $S_s - 31$ )

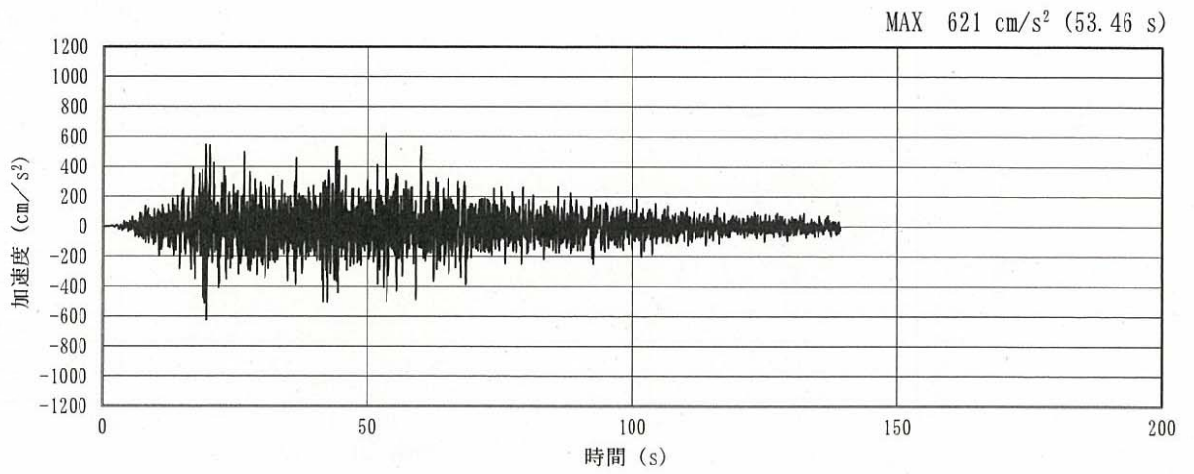


(a) 加速度時刻歴波形

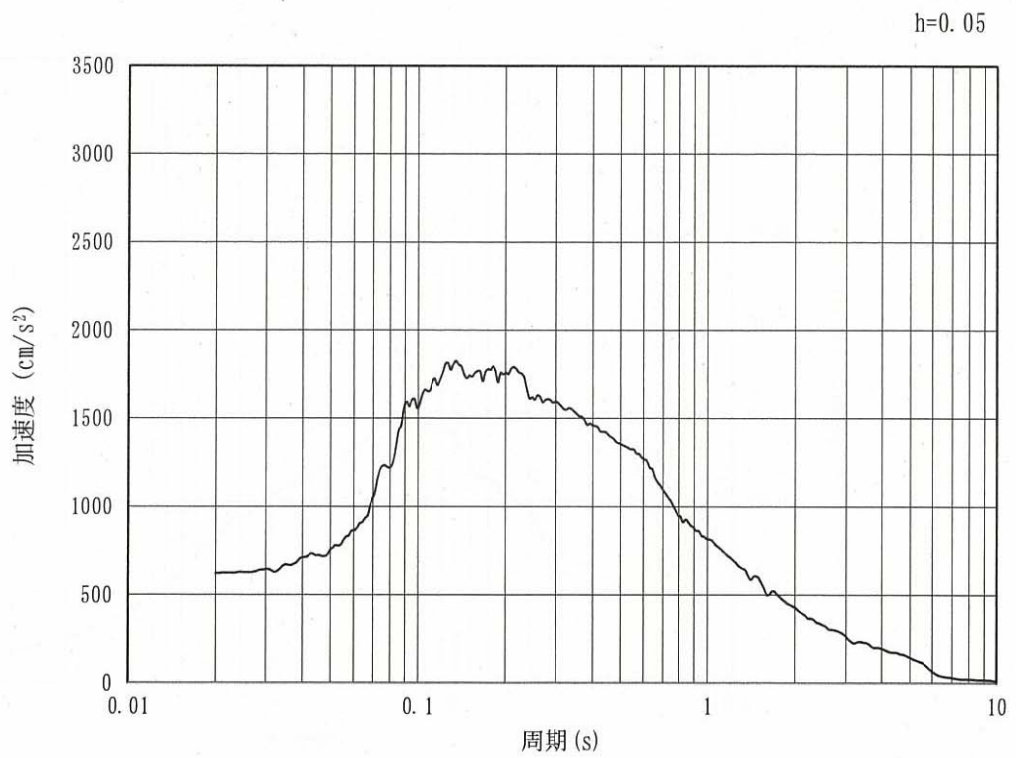


(b) 加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (16) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向:  $S_s - 31$ )



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4.3-2 (17) 南北方向⑤-⑤断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び  
加速度応答スペクトル (水平方向:  $S_s - D1$ )