

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-195 改3
提出年月日	平成30年9月28日

V-2-2-18 格納容器圧力逃がし装置格納槽の地震応答計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 解析方針	6
2.4 適用規格・基準等	8
3. 解析方法	9
3.1 設計用模擬地震波	9
3.2 地震応答解析モデル	10
3.3 入力地震動	24
3.4 解析方法	27
3.5 解析条件	27
4. 解析結果	34
4.1 動的解析	34

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、格納容器圧力逃がし装置格納槽（以下「格納槽」という。）の地震応答解析について説明するものである。

地震応答解析により算出した各種応答値は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に示す建物・構築物及び機器・配管系の設計用地震力として用いる。

2. 基本方針

2.1 位置

格納槽の設置位置を図2-1に示す。



図2-1 格納槽の設置位置

2.2 構造概要

格納槽は、主要構造が鉄筋コンクリート造で地下1階の地中構造物であり、平面が南北方向16.00 m、東西方向11.35 m、高さが23.80 mである。

格納槽の基礎は、厚さ3.0 mであり、砂質泥岩である久米層に岩着している。また、格納槽の外壁は基礎スラブから屋根面まで連続しており、壁厚は1.8 mである。格納槽は全体として非常に剛性が高く、構造物に加わる地震時の水平力はすべてこれらの耐震壁で負担する。

格納槽の屋根面は厚さ1.8 mである。

格納槽の概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に示す。

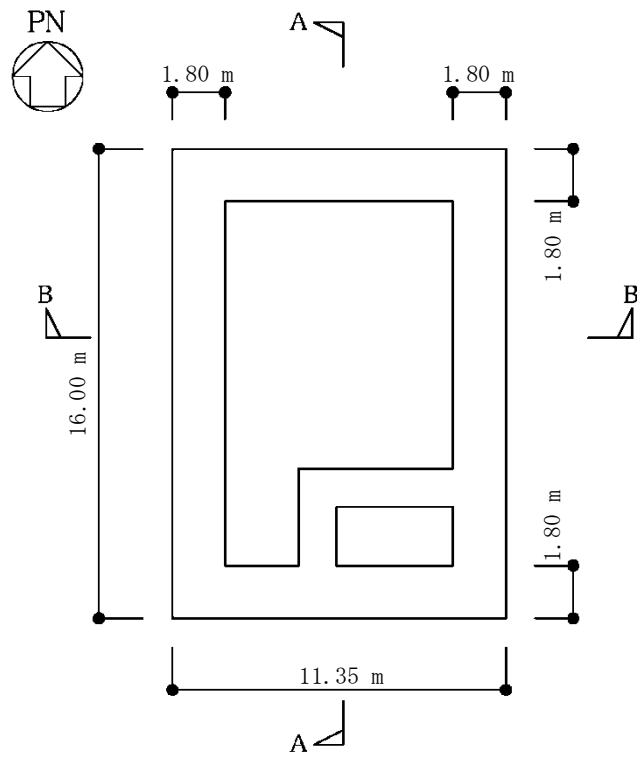


図2-2 格納槽の概略平面図 (EL. -12.8 m)

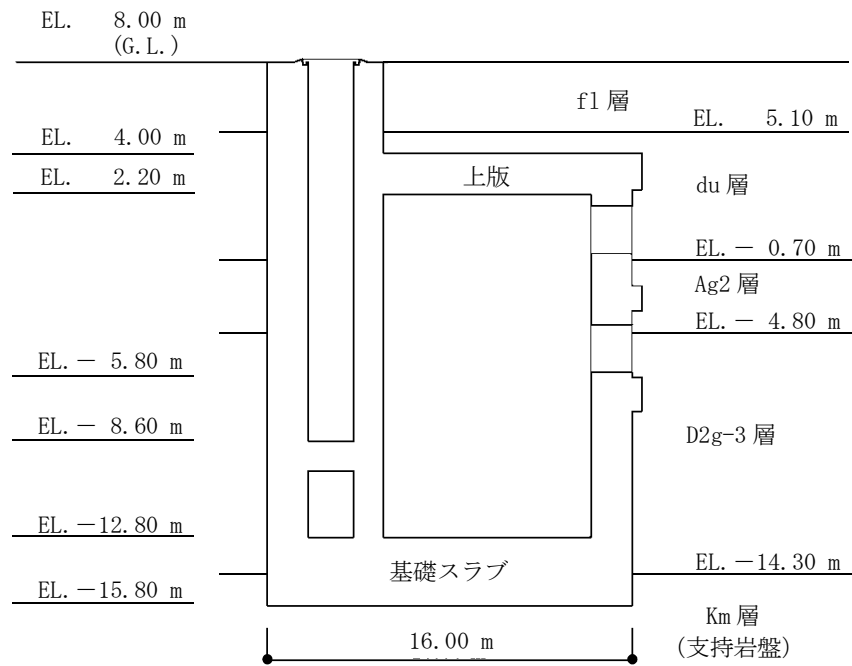


図 2-1 (1/2) 格納槽の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向)

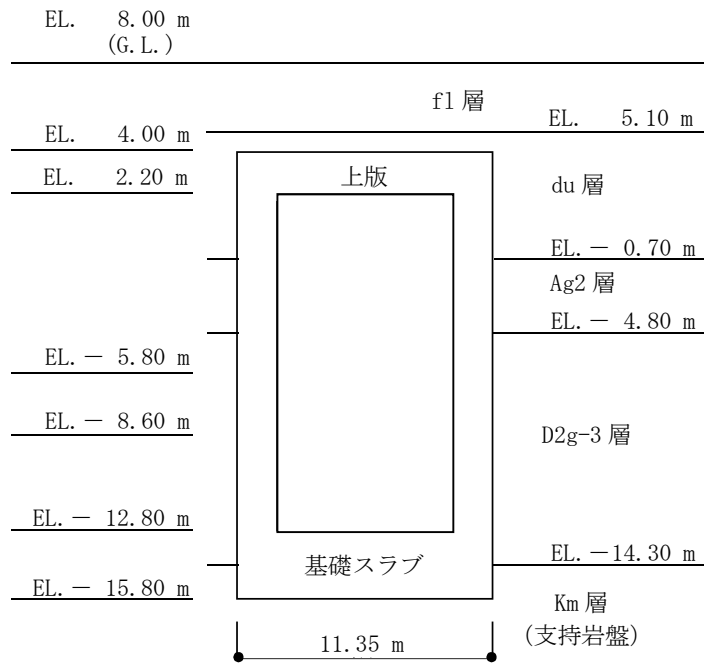


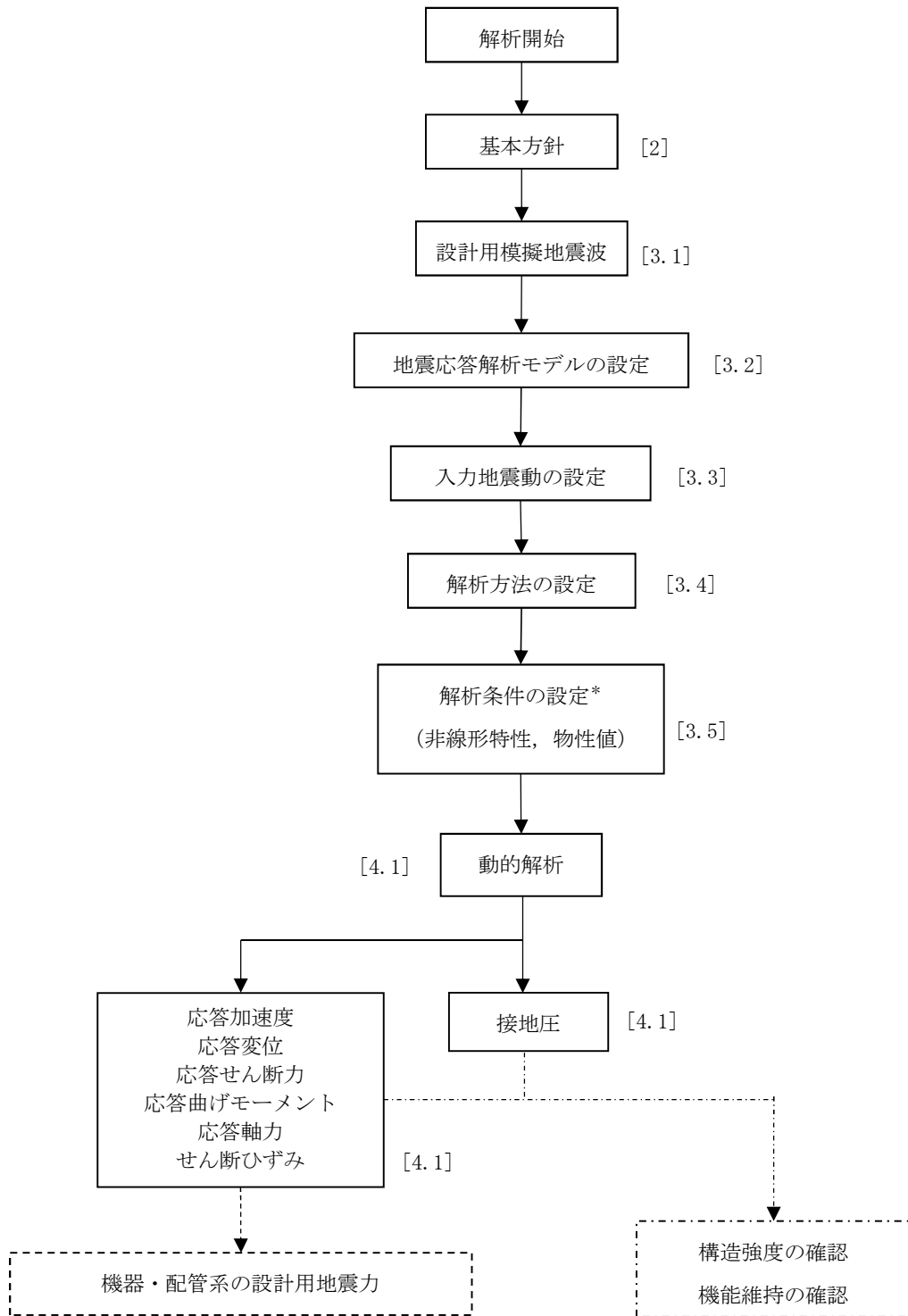
図2-3 (2/2) 格納槽の概略断面図 (B-B断面 EW方向)

2.3 解析方針

格納槽の地震応答解析は、添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

図 2-4 に格納槽の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「3.2 地震応答解析モデル」において設定した地震応答解析モデル及び「3.1 設計用模擬地震波」に基づき「3.3 入力地震動」において設定した入力地震動を用いて実施することとし、「3.4 解析方法」及び「3.5 解析条件」に基づき、「4.1 動的解析」においては材料物性のばらつきを考慮し、せん断ひずみ及び接地圧を含む各種応答値を算出する。



注 : []内は、本資料における章番号を示す。

注記 * : 材料物性のばらつきを考慮する。

図2-4 格納槽の地震応答解析フロー

2.4 適用規格・基準等

格納槽の地震応答解析において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力度編 J E A G 4 6 0 1 ・補一
1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
(以下「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」という。)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－ ((社) 日本建築学会,
1999)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005)

3. 解析方法

3.1 設計用模擬地震波

格納槽の地震応答解析モデルは、格納槽と地盤の相互作用を評価した格納槽－地盤連成モデルとする。この連成モデルへの入力地震動は、添付書類「V-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す解放基盤表面レベルで定義された設計用模擬地震波を用いることとする。

基準地震動 S_s として作成した設計用模擬地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルは、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」と同一である。

3.2 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づき、水平方向及び鉛直方向についてそれぞれ設定する。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を表3-1に示す。

表3-1 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
鉄筋コンクリート コンクリート： Fc=30 (N/mm ²) 鉄筋：SD345, SD390	2.44×10 ⁴	1.02×10 ⁴	5

3.2.1 水平方向

水平方向の地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮した、剛基礎を有する多質点系の曲げせん断棒モデルとする。回転慣性重量は各質点において考慮し、NS方向及びEW方向についてそれぞれ設定する。地盤は2次元FEMモデルとする。地震応答解析モデルを図3-1～図3-3に示す。また、解析モデルの諸元を表3-2に示す。

格納槽の鉄筋コンクリート部については、せん断剛性として地震方向耐震壁のウェブ部分のせん断剛性を考慮し、曲げ剛性として地震方向耐震壁のウェブ部分に加えて、フランジ部分の曲げ剛性を考慮する。

地盤は成層地盤とし、地盤定数は地盤の初期地盤物性値とひずみ依存特性から一次元波動論より求めた等価物性値に基づき、平面ひずみ要素でNS方向及びEW方向についてそれぞれモデル化する。初期地盤の物性値を表3-3に、ひずみ依存特性を図3-4～図3-7に、基準地震動 S_g に対する地盤定数を表3-4～表3-11に示す。解析領域の境界部において、側面はエネルギー逸散効果を、底面は半無限性を考慮するために粘性境界を設ける。

3.2.2 鉛直方向

鉛直（UD）方向の地震応答解析モデルは，耐震壁の軸剛性を評価した質点系モデルとし，地盤は2次元FEMモデルとする。地震応答解析モデルを図3-8及び図3-9に，解析モデルの諸元を表3-12に示す。

格納槽の各部材の剛性は，軸断面積に基づいて評価する。

地盤は成層地盤とし，地盤定数は地盤の初期地盤物性値とひずみ依存特性から一次元波動論より求めた等価物性値に基づき，平面ひずみ要素でモデル化する。初期地盤の物性値を表3-3に，ひずみ依存特性を図3-4～図3-7に，基準地震動 S_s に対する地盤定数を表3-4～表3-11に示す。解析領域の境界部において，側面はエネルギー逸散効果を，底面は半無限性を考慮するために粘性境界を設ける。

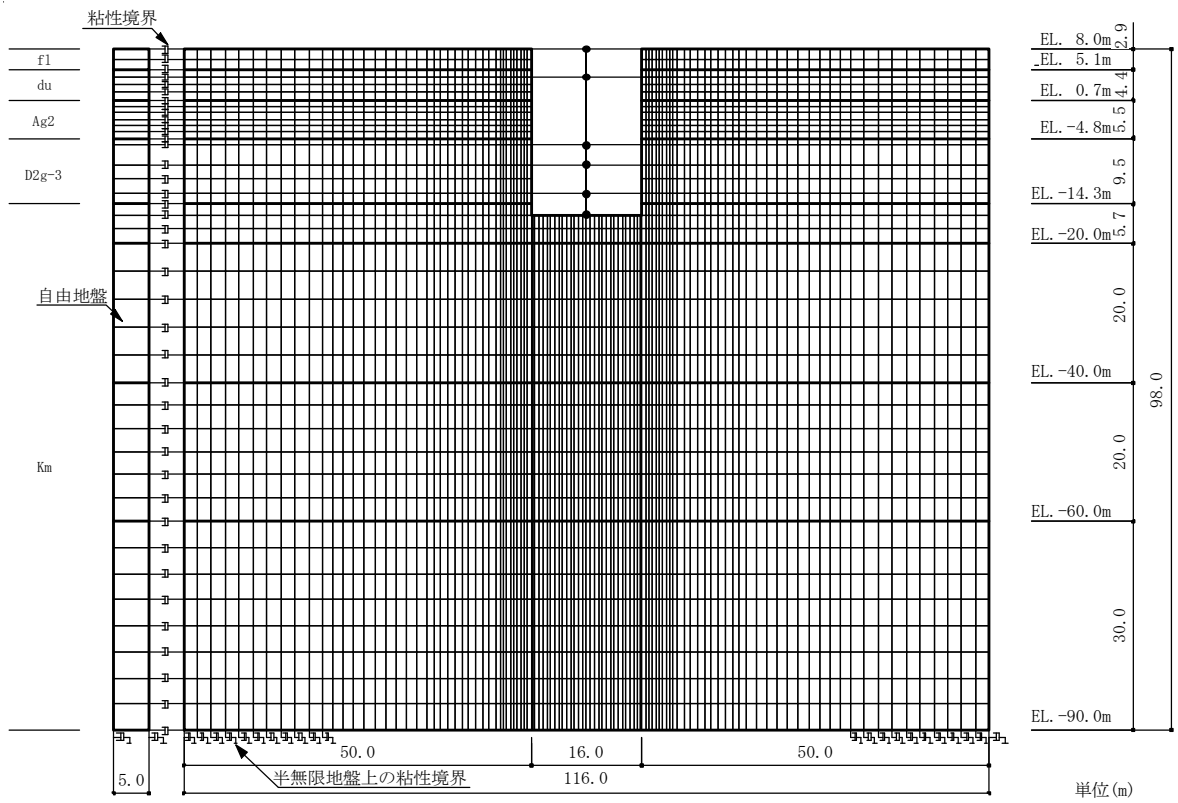


図3-1 地震応答解析モデル (NS方向全体)

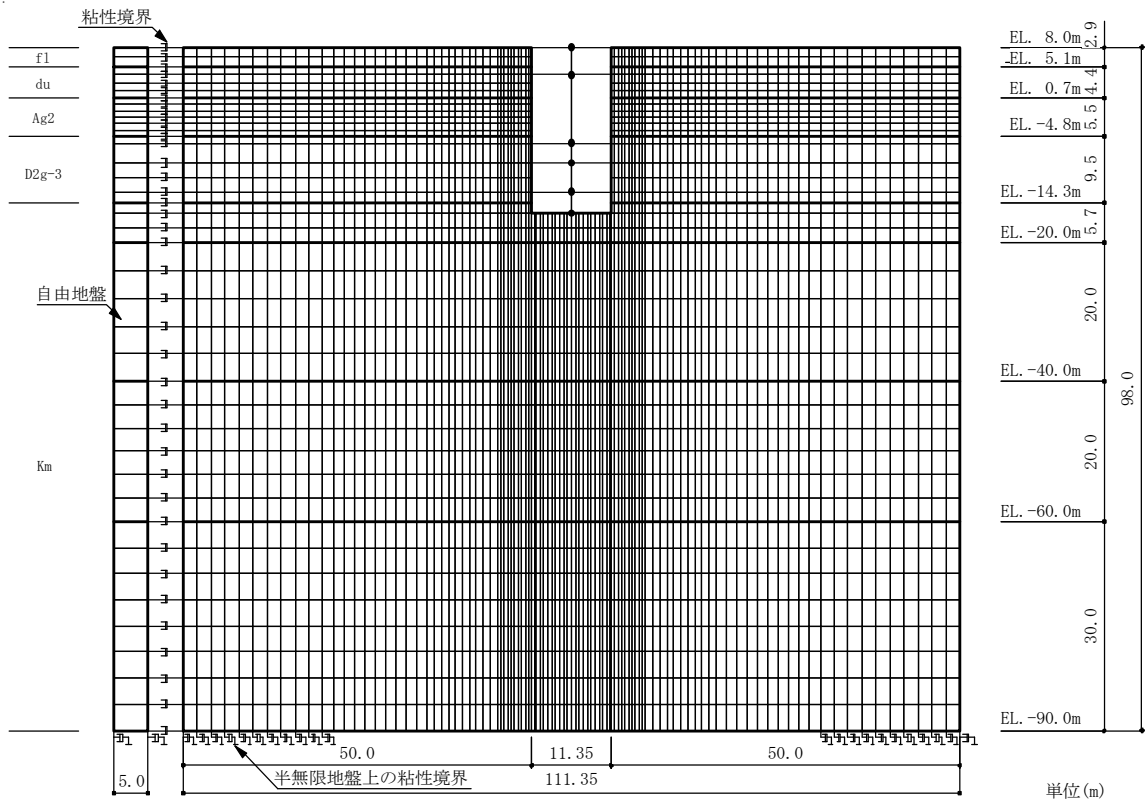


図3-2 地震応答解析モデル (EW方向全体)

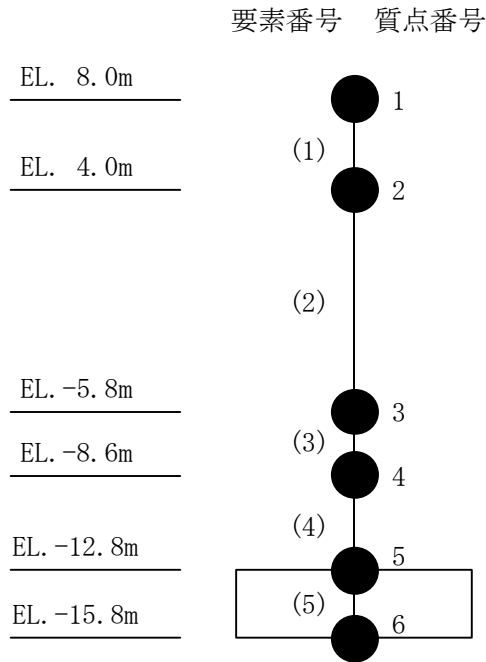


図3-3 地震応答解析モデル（水平方向）

表3-2 地震応答解析モデル諸元（水平方向）

標高 EL. (m)	質点 番号	質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)		要素 番号	せん断断面積 (m^2)		断面2次モーメント (m^4)	
			NS方向	EW方向		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
8.0	1	1490	4.0	3.8					
4.0	2	17160	388.3	206.5	(1)	13.26	15.19	48.00	45.16
-5.8	3	16180	363.8	192.3	(2)	57.60	54.74	2402	1369
-8.6	4	8490	183.9	93.9	(3)	57.60	54.82	2422	1369
-12.8	5	13730	304.3	158.8	(4)	57.60	52.37	2422	1348
-15.8	6	6560	141.2	71.7	(5)	181.6	181.6	3874	1950
総重量		63610							

表3-3 初期地盤の物性値

標高 EL. (m)	地層 区分	層厚 (m)	密度 ρ (t/m^3)	S波速度 V_s (m/s)	ポアソン比 ν
8.0	f1	2.9	1.98	210	0.493
5.1	du	4.4	1.98	210	0.493
0.7	Ag2	5.5	2.01	240	0.491
-4.8	D2g-3	9.5	2.15	500	0.462
-14.3	Km	5.7	1.72	446	0.461
-20.0		20.0	1.72	456	0.460
-40.0		20.0	1.73	472	0.458
-60.0		30.0	1.73	491	0.455
-90.0		30.0	1.73	514	0.452
-120.0		30.0	1.73	537	0.449
-150.0		40.0	1.74	564	0.445
-190.0		40.0	1.74	595	0.441
-230.0		40.0	1.75	626	0.437
-270.0		50.0	1.75	660	0.433
-320.0		50.0	1.76	699	0.427
-370.0	解放基盤	—	1.76	718	0.425

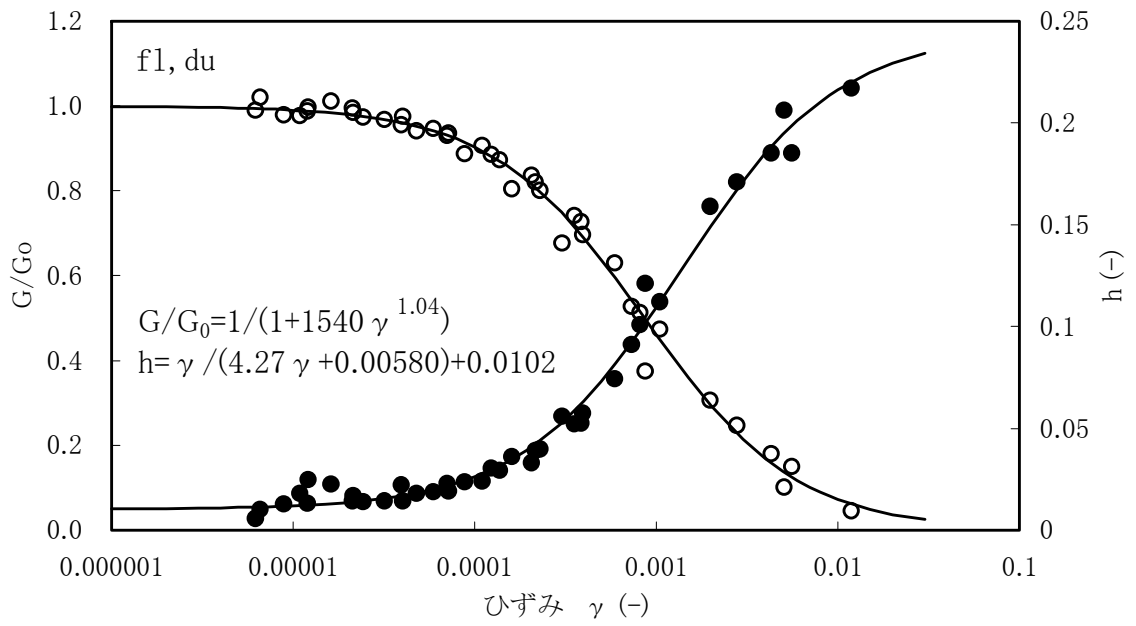


図 3-4 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (f1 層, du 層)

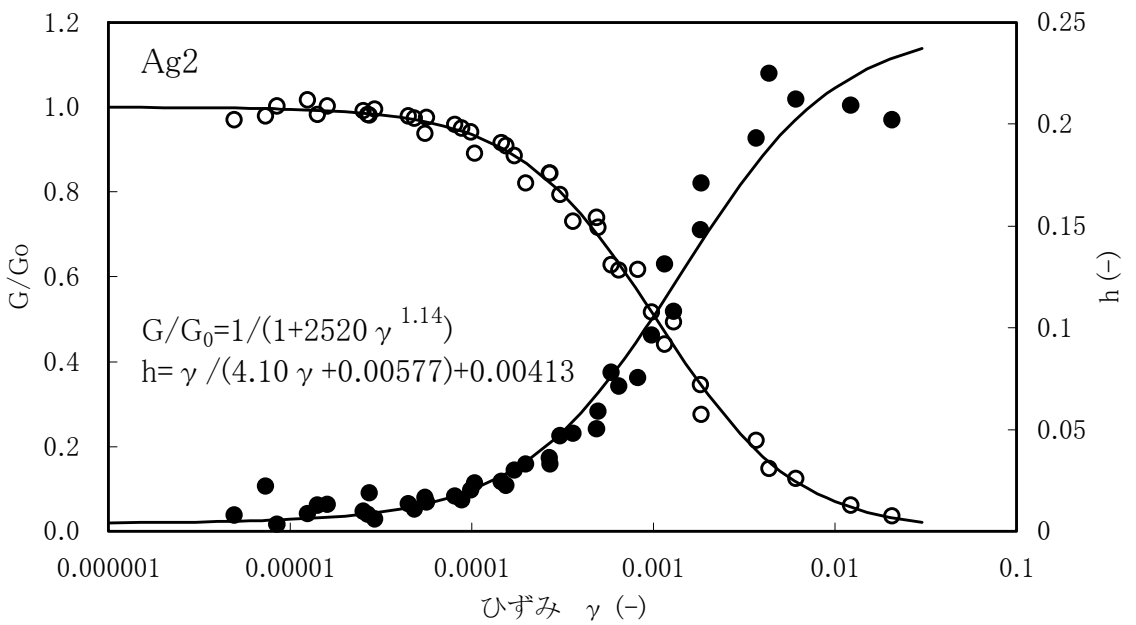


図 3-5 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (Ag2 層)

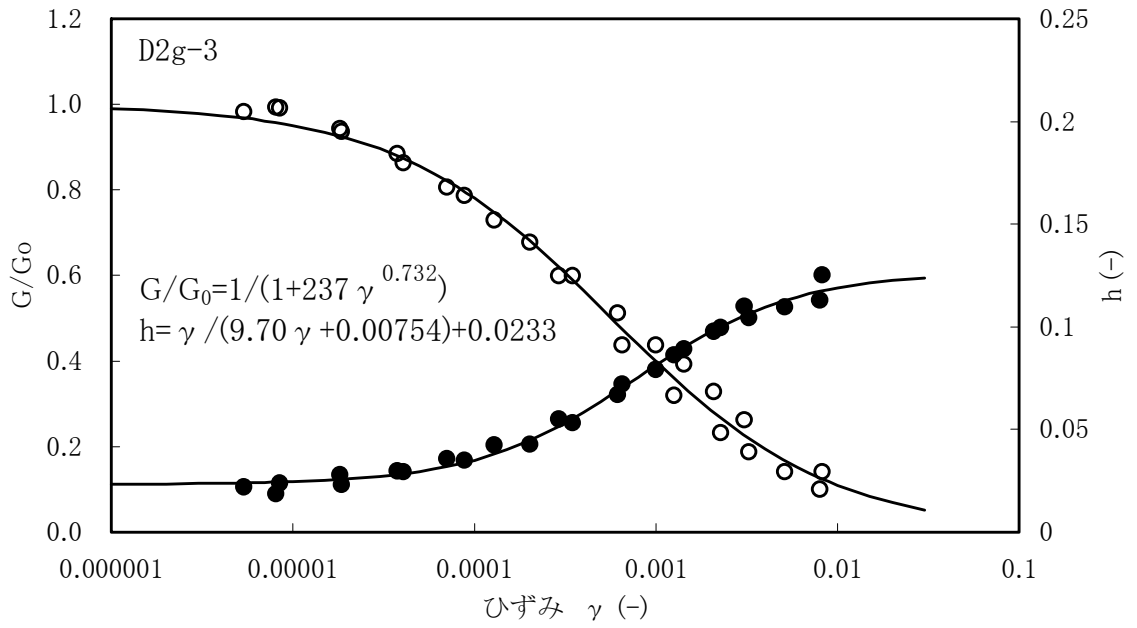


図 3-6 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (D2g-3 層)

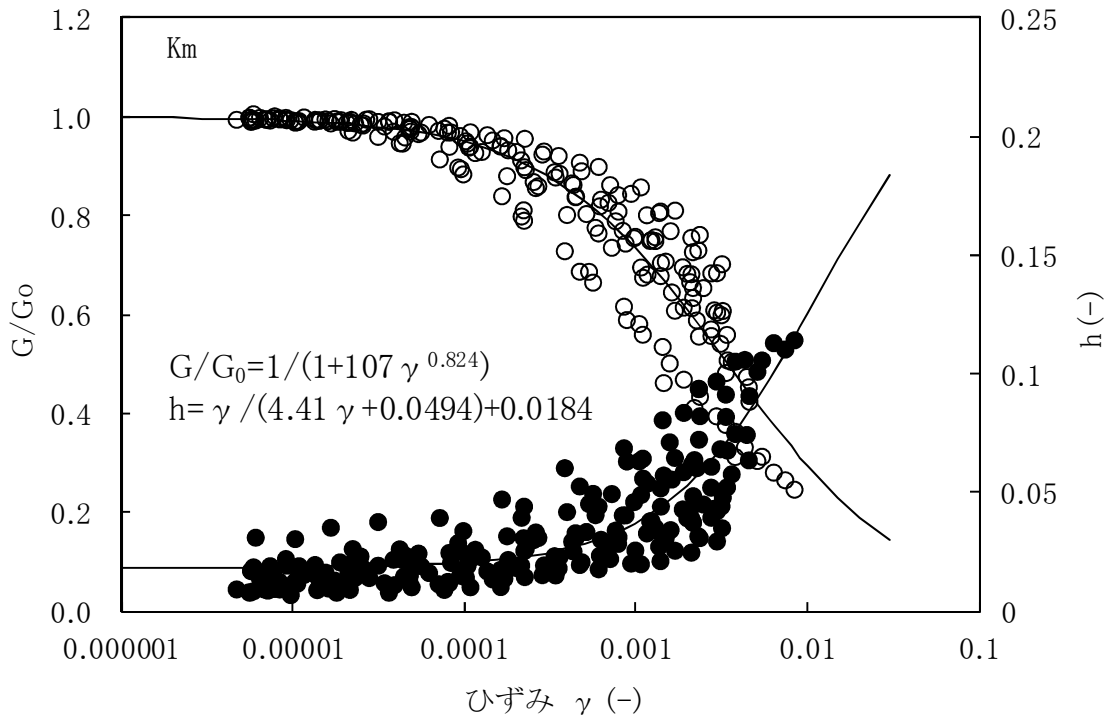


図 3-7 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (Km 層)

表3-4 地盤定数 (S_s-D1)

標高 EL. (m)	地層 区分	層厚 (m)	密度 ρ (t/m ³)	減衰定数 h	等価 S波速度 (m/s)	等価 P波速度 (m/s)	ポアソン比 ν
8.0	f1	2.9	1.98	0.04	192	1784	0.494
5.1	du	4.4	1.98	0.12	139	1778	0.497
0.7	Ag2	5.5	2.01	0.13	150	1794	0.496
-4.8	D2g-3	9.5	2.15	0.05	387	1846	0.477
-14.3	Km	5.7	1.72	0.03	409	1645	0.467
-20.0		20.0	1.72	0.03	410	1661	0.468
-40.0		20.0	1.73	0.03	425	1678	0.466
-60.0		30.0	1.73	0.03	445	1692	0.463
-90.0		30.0	1.73	0.03	468	1719	0.460
-120.0		30.0	1.73	0.03	486	1746	0.458
-150.0		40.0	1.74	0.03	511	1769	0.454
-190.0		40.0	1.74	0.03	542	1809	0.451
-230.0		40.0	1.75	0.03	577	1851	0.446
-270.0		50.0	1.75	0.03	612	1898	0.442
-320.0		50.0	1.76	0.03	652	1937	0.436
-370.0	解放基盤	—	1.76	—	718	1988	0.425

表3-5 地盤定数 (S_s-11)

標高 EL. (m)	地層 区分	層厚 (m)	密度 ρ (t/m ³)	減衰定数 h	等価 S波速度 (m/s)	等価 P波速度 (m/s)	ポアソン比 ν
8.0	f1	2.9	1.98	0.03	199	1785	0.494
5.1	du	4.4	1.98	0.06	178	1782	0.495
0.7	Ag2	5.5	2.01	0.05	212	1802	0.493
-4.8	D2g-3	9.5	2.15	0.04	439	1862	0.471
-14.3	Km	5.7	1.72	0.02	425	1651	0.465
-20.0		20.0	1.72	0.02	433	1668	0.464
-40.0		20.0	1.73	0.02	445	1685	0.463
-60.0		30.0	1.73	0.02	461	1697	0.460
-90.0		30.0	1.73	0.03	479	1723	0.458
-120.0		30.0	1.73	0.03	501	1751	0.455
-150.0		40.0	1.74	0.03	526	1775	0.452
-190.0		40.0	1.74	0.02	558	1816	0.448
-230.0		40.0	1.75	0.02	587	1855	0.444
-270.0		50.0	1.75	0.02	619	1901	0.441
-320.0		50.0	1.76	0.02	656	1938	0.435
-370.0	解放基盤	—	1.76	—	718	1988	0.425

表3-6 地盤定数 (S_s-12)

標高 EL. (m)	地層 区分	層厚 (m)	密度 ρ (t/m ³)	減衰定数 h	等価 S波速度 (m/s)	等価 P波速度 (m/s)	ポアソン比 ν
8.0	f1	2.9	1.98	0.03	199	1785	0.494
5.1	du	4.4	1.98	0.06	176	1782	0.495
0.7	Ag2	5.5	2.01	0.06	204	1801	0.494
-4.8	D2g-3	9.5	2.15	0.04	424	1857	0.473
-14.3	Km	5.7	1.72	0.02	421	1649	0.465
-20.0		20.0	1.72	0.02	428	1666	0.465
-40.0		20.0	1.73	0.03	435	1681	0.464
-60.0		30.0	1.73	0.03	450	1693	0.462
-90.0		30.0	1.73	0.03	468	1719	0.460
-120.0		30.0	1.73	0.03	486	1746	0.458
-150.0		40.0	1.74	0.03	511	1769	0.454
-190.0		40.0	1.74	0.03	539	1808	0.451
-230.0		40.0	1.75	0.03	567	1846	0.448
-270.0		50.0	1.75	0.03	594	1891	0.445
-320.0		50.0	1.76	0.03	633	1928	0.440
-370.0	解放基盤	—	1.76	—	718	1988	0.425

表3-7 地盤定数 (S_s-13)

標高 EL. (m)	地層 区分	層厚 (m)	密度 ρ (t/m ³)	減衰定数 h	等価 S波速度 (m/s)	等価 P波速度 (m/s)	ポアソン比 ν
8.0	f1	2.9	1.98	0.03	199	1785	0.494
5.1	du	4.4	1.98	0.06	176	1782	0.495
0.7	Ag2	5.5	2.01	0.06	205	1801	0.493
-4.8	D2g-3	9.5	2.15	0.04	427	1858	0.472
-14.3	Km	5.7	1.72	0.02	421	1649	0.465
-20.0		20.0	1.72	0.02	428	1666	0.465
-40.0		20.0	1.73	0.03	435	1681	0.464
-60.0		30.0	1.73	0.03	450	1693	0.462
-90.0		30.0	1.73	0.03	468	1719	0.460
-120.0		30.0	1.73	0.03	486	1746	0.458
-150.0		40.0	1.74	0.03	511	1769	0.454
-190.0		40.0	1.74	0.03	539	1808	0.451
-230.0		40.0	1.75	0.03	563	1845	0.449
-270.0		50.0	1.75	0.03	594	1891	0.445
-320.0		50.0	1.76	0.03	629	1927	0.440
-370.0	解放基盤	—	1.76	—	718	1988	0.425

表3-8 地盤定数 (S_s-14)

標高 EL. (m)	地層 区分	層厚 (m)	密度 ρ (t/m ³)	減衰定数 h	等価 S波速度 (m/s)	等価 P波速度 (m/s)	ポアソン比 ν
8.0	f1	2.9	1.98	0.02	203	1786	0.493
5.1	du	4.4	1.98	0.05	182	1783	0.495
0.7	Ag2	5.5	2.01	0.05	211	1802	0.493
-4.8	D2g-3	9.5	2.15	0.04	433	1860	0.471
-14.3	Km	5.7	1.72	0.02	423	1650	0.465
-20.0		20.0	1.72	0.02	430	1667	0.464
-40.0		20.0	1.73	0.03	440	1683	0.463
-60.0		30.0	1.73	0.03	453	1694	0.461
-90.0		30.0	1.73	0.03	471	1720	0.459
-120.0		30.0	1.73	0.03	489	1747	0.457
-150.0		40.0	1.74	0.03	514	1771	0.454
-190.0		40.0	1.74	0.03	542	1809	0.451
-230.0		40.0	1.75	0.03	574	1849	0.447
-270.0		50.0	1.75	0.03	601	1894	0.444
-320.0		50.0	1.76	0.03	641	1932	0.438
-370.0	解放基盤	—	1.76	—	718	1988	0.425

表3-9 地盤定数 (S_s-21)

標高 EL. (m)	地層 区分	層厚 (m)	密度 ρ (t/m ³)	減衰定数 h	等価 S波速度 (m/s)	等価 P波速度 (m/s)	ポアソン比 ν
8.0	f1	2.9	1.98	0.04	194	1785	0.494
5.1	du	4.4	1.98	0.10	151	1779	0.496
0.7	Ag2	5.5	2.01	0.09	183	1798	0.495
-4.8	D2g-3	9.5	2.15	0.04	418	1855	0.473
-14.3	Km	5.7	1.72	0.02	421	1649	0.465
-20.0		20.0	1.72	0.03	425	1666	0.465
-40.0		20.0	1.73	0.03	438	1682	0.464
-60.0		30.0	1.73	0.03	453	1694	0.461
-90.0		30.0	1.73	0.03	477	1722	0.458
-120.0		30.0	1.73	0.03	501	1751	0.455
-150.0		40.0	1.74	0.02	532	1778	0.451
-190.0		40.0	1.74	0.02	561	1817	0.447
-230.0		40.0	1.75	0.02	591	1856	0.444
-270.0		50.0	1.75	0.02	619	1901	0.441
-320.0		50.0	1.76	0.02	656	1938	0.435
-370.0	解放基盤	—	1.76	—	718	1988	0.425

表3-10 地盤定数 (S_s-22)

標高 EL. (m)	地層 区分	層厚 (m)	密度 ρ (t/m ³)	減衰定数 h	等価 S波速度 (m/s)	等価 P波速度 (m/s)	ポアソン比 ν
8.0	f1	2.9	1.98	0.04	192	1784	0.494
5.1	du	4.4	1.98	0.11	144	1778	0.497
0.7	Ag2	5.5	2.01	0.11	168	1796	0.496
-4.8	D2g-3	9.5	2.15	0.05	409	1853	0.474
-14.3	Km	5.7	1.72	0.02	418	1648	0.466
-20.0		20.0	1.72	0.02	425	1666	0.465
-40.0		20.0	1.73	0.03	438	1682	0.464
-60.0		30.0	1.73	0.03	455	1695	0.461
-90.0		30.0	1.73	0.03	477	1722	0.458
-120.0		30.0	1.73	0.03	501	1751	0.455
-150.0		40.0	1.74	0.03	526	1775	0.452
-190.0		40.0	1.74	0.02	558	1816	0.448
-230.0		40.0	1.75	0.02	587	1855	0.444
-270.0		50.0	1.75	0.02	619	1901	0.441
-320.0		50.0	1.76	0.02	659	1940	0.435
-370.0	解放基盤	—	1.76	—	718	1988	0.425

表3-11 地盤定数 (S_s-31)

標高 EL. (m)	地層 区分	層厚 (m)	密度 ρ (t/m ³)	減衰定数 h	等価 S波速度 (m/s)	等価 P波速度 (m/s)	ポアソン比 ν
8.0	f1	2.9	1.98	0.04	194	1785	0.494
5.1	du	4.4	1.98	0.11	141	1778	0.497
0.7	Ag2	5.5	2.01	0.16	127	1791	0.497
-4.8	D2g-3	9.5	2.15	0.05	391	1847	0.477
-14.3	Km	5.7	1.72	0.03	411	1646	0.467
-20.0		20.0	1.72	0.03	418	1663	0.466
-40.0		20.0	1.73	0.03	425	1678	0.466
-60.0		30.0	1.73	0.03	436	1689	0.464
-90.0		30.0	1.73	0.03	463	1717	0.461
-120.0		30.0	1.73	0.03	492	1748	0.457
-150.0		40.0	1.74	0.03	517	1772	0.453
-190.0		40.0	1.74	0.03	545	1811	0.450
-230.0		40.0	1.75	0.03	577	1851	0.446
-270.0		50.0	1.75	0.03	612	1898	0.442
-320.0		50.0	1.76	0.03	652	1937	0.436
-370.0	解放基盤	—	1.76	—	718	1988	0.425

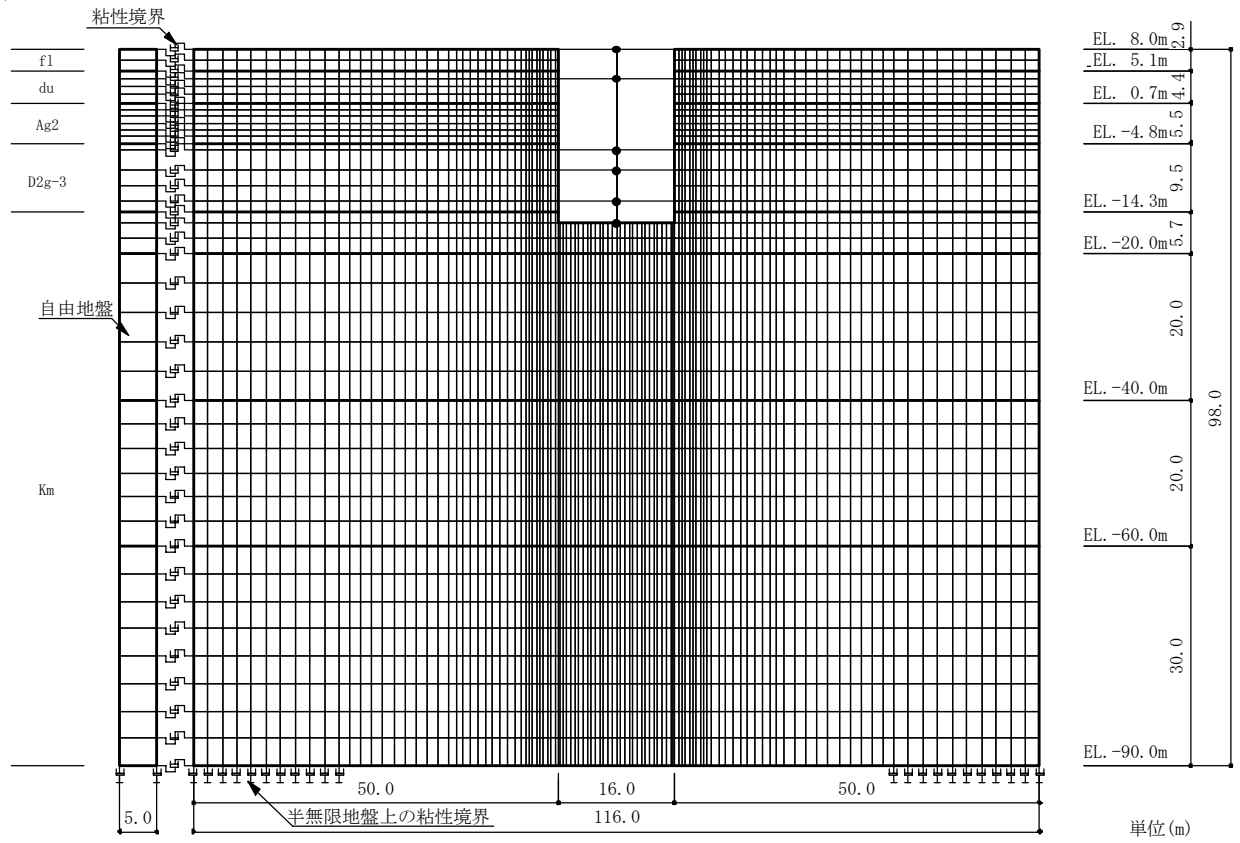


図3-8 地震応答解析モデル (UD方向全体)

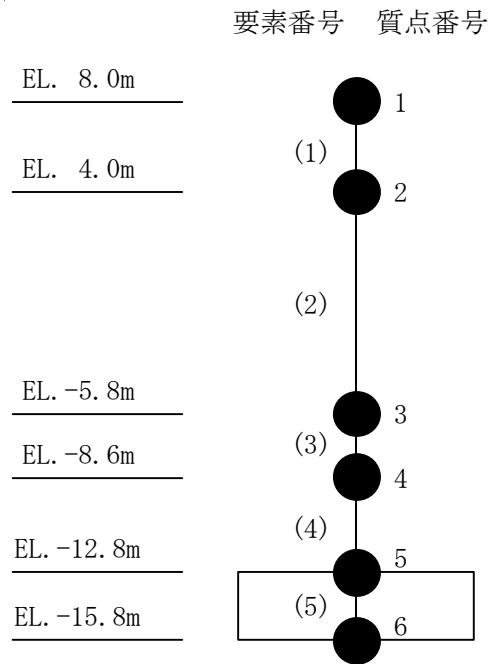


図3-9 地震応答解析モデル (UD方向構造物)

表3-12 地震応答解析モデル諸元 (UD方向)

標高 EL. (m)	質点 番号	質点重量 (kN)	要素 番号	軸断面積 (m ²)
8.0	1	1490		
			(1)	20.39
4.0	2	29080		
			(2)	92.20
-5.8	3	16180		
			(3)	94.54
-8.6	4	8490		
			(4)	92.33
-12.8	5	13730		
			(5)	181.6
-15.8	6	6560		
総重量		75530		

3.3 入力地震動

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 及び表3-4～表3-11に示す等価線形地盤を用いた一次元波動論によって地震応答解析モデルの底面位置 (EL. -90 m) で評価したものをを用いる。入力地震動算定の概念図を図3-10に示す。入力地震動の算定には、解析コード「KSHAKE ver.2」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-17 計算機プログラム (解析コード) の概要・KSHAKE」に示す。設定した地盤定数に基づき算定した解析モデル下端レベル (EL. -90 m) における入力地震動の加速度応答スペクトルを図3-11に示す。

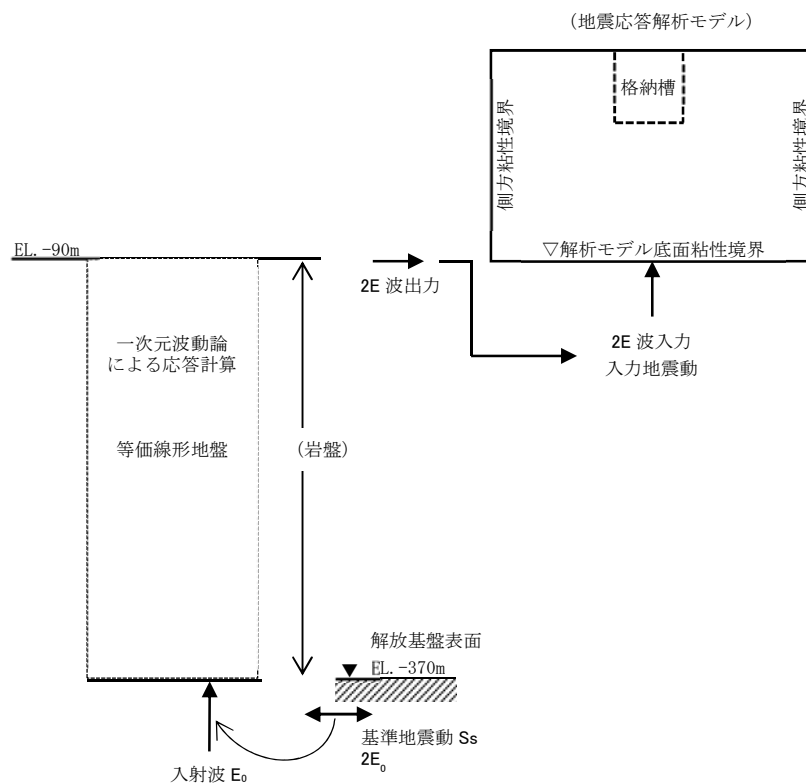


図3-10 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図

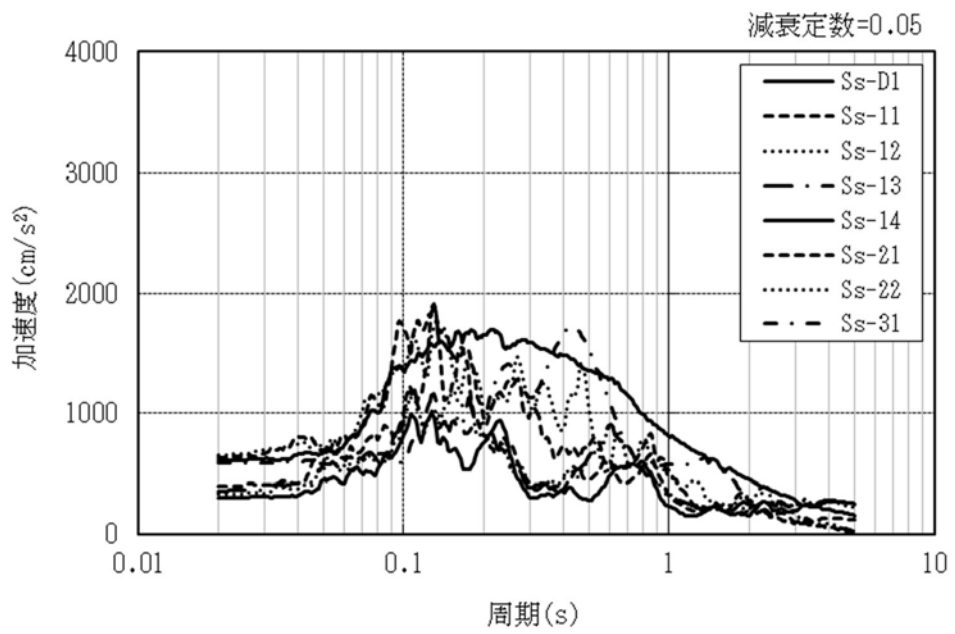
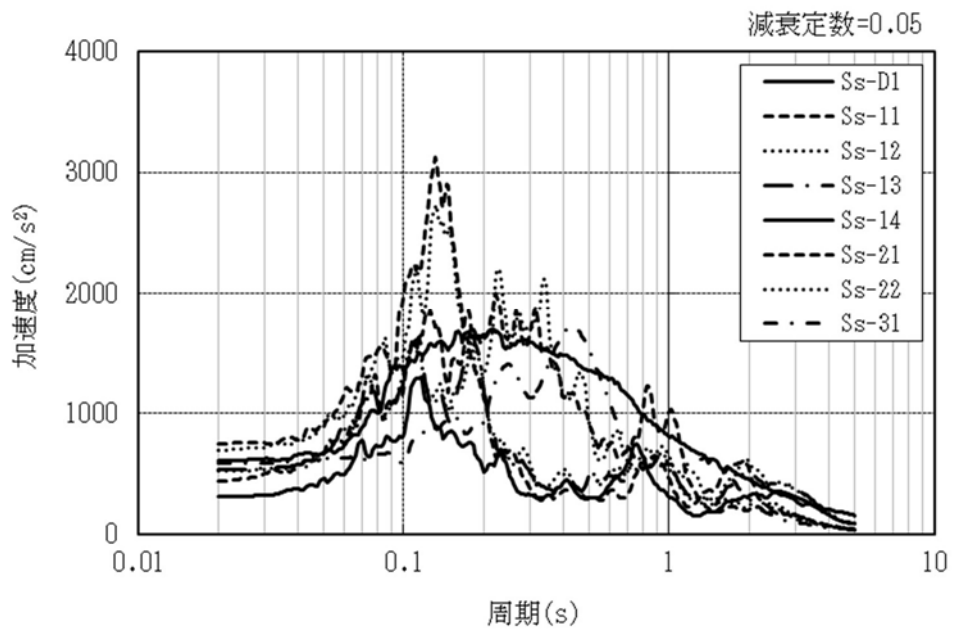
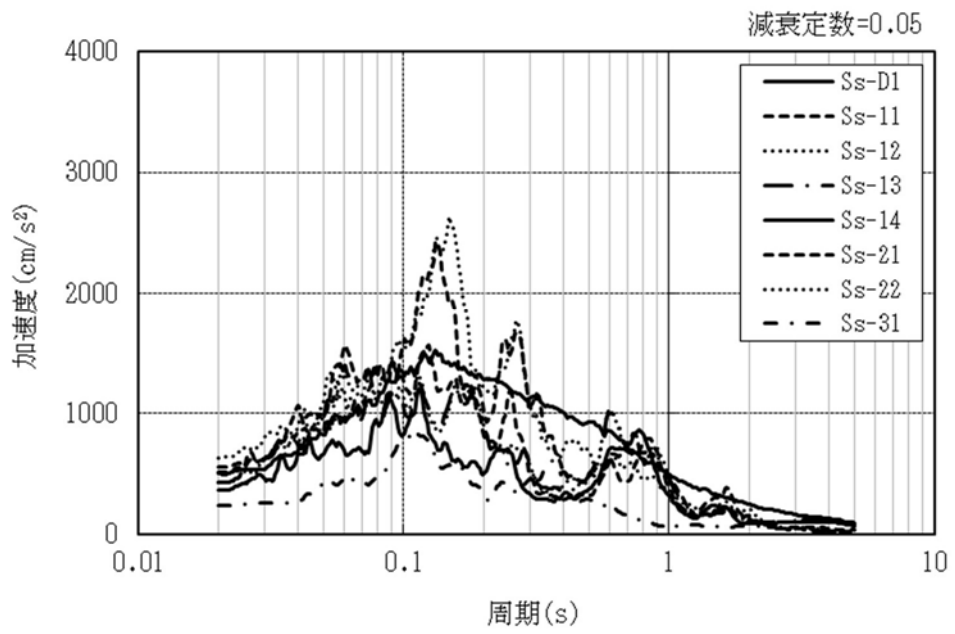


図3-11 (1/2) 入力地震動の加速度応答スペクトル (S_s, EL. -90.0 m)



(c) UD方向

図3-11 (2/2) 入力地震動の加速度応答スペクトル (S_s, EL. -90.0 m)

3.4 解析方法

格納槽について、動的解析により応答加速度、応答変位、応答せん断力、応答曲げモーメント、応答軸力、せん断ひずみ及び接地圧を算出する。

格納槽の地震応答解析には、解析コード「Soil Plus Ver.2015 Build3」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-59 計算機プログラム（解析コード）の概要・Soil Plus」に示す。

3.4.1 動的解析

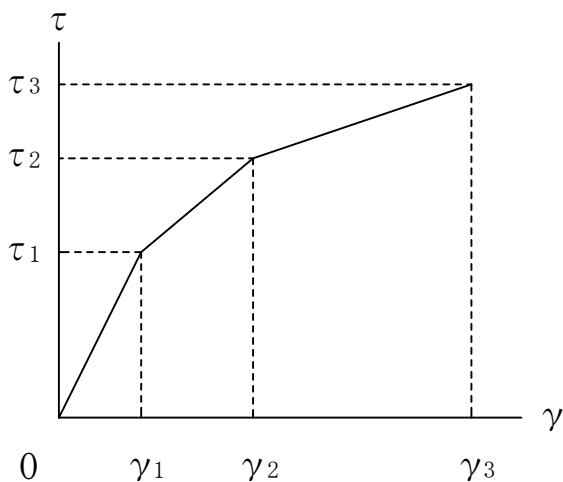
建物・構築物の動的解析は、添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の解析方法に基づき、時刻歴応答解析により実施する。

3.5 解析条件

3.5.1 建物・構築物の復元力特性

(1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）は「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に基づき、トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図3-12に示す。

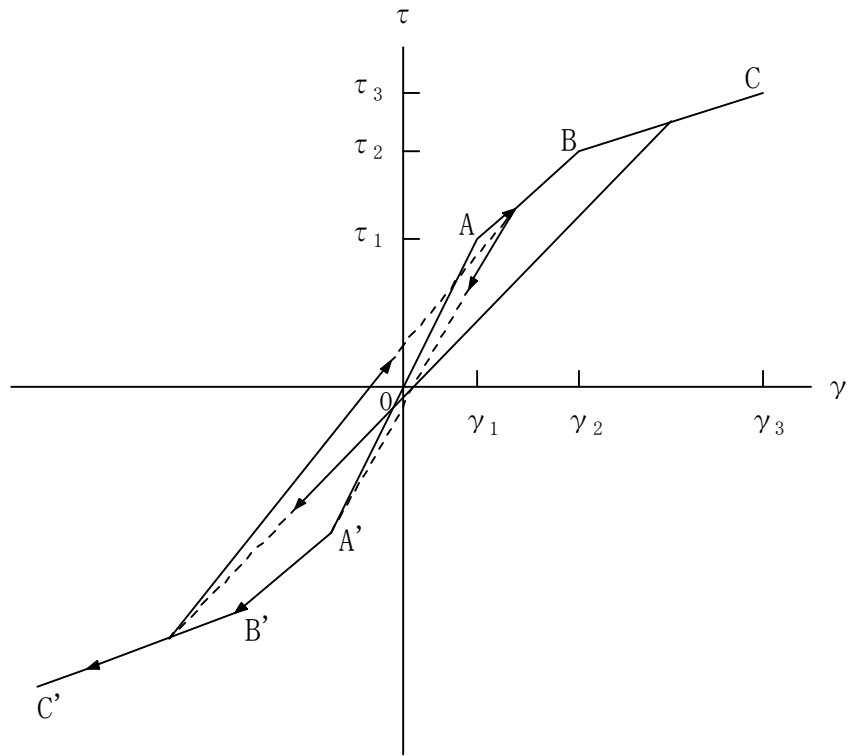


- τ_1 : 第1折点のせん断応力度
- τ_2 : 第2折点のせん断応力度
- τ_3 : 終局点のせん断応力度
- γ_1 : 第1折点のせん断ひずみ
- γ_2 : 第2折点のせん断ひずみ
- γ_3 : 終局点のせん断ひずみ (4.0×10^{-3})

図3-12 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

(2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1－1991 追補版」に基づき、最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図3-13に示す。

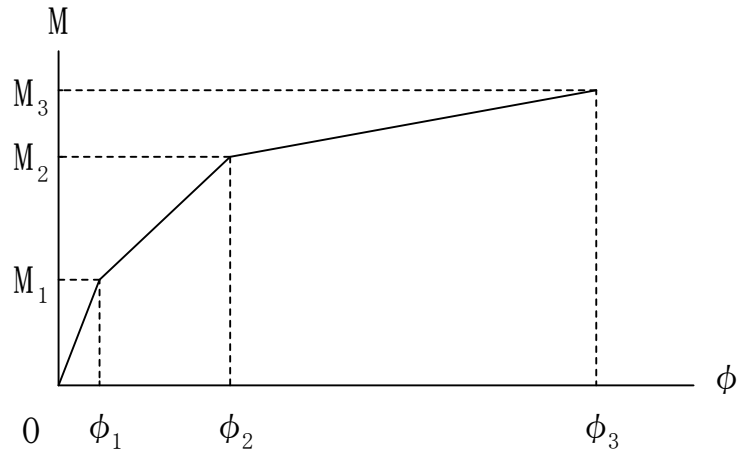


- a. 0-A間 : 弾性範囲。
- b. A-B間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向う。ただし、負側最大点が第1折点を越えていなければ、負側第1折点に向う。
- c. B-C間 : 負側最大点指向。
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図3-13 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図3-14に示す。



M_1 : 第1折点の曲げモーメント

M_2 : 第2折点の曲げモーメント

M_3 : 終局点の曲げモーメント

ϕ_1 : 第1折点の曲率

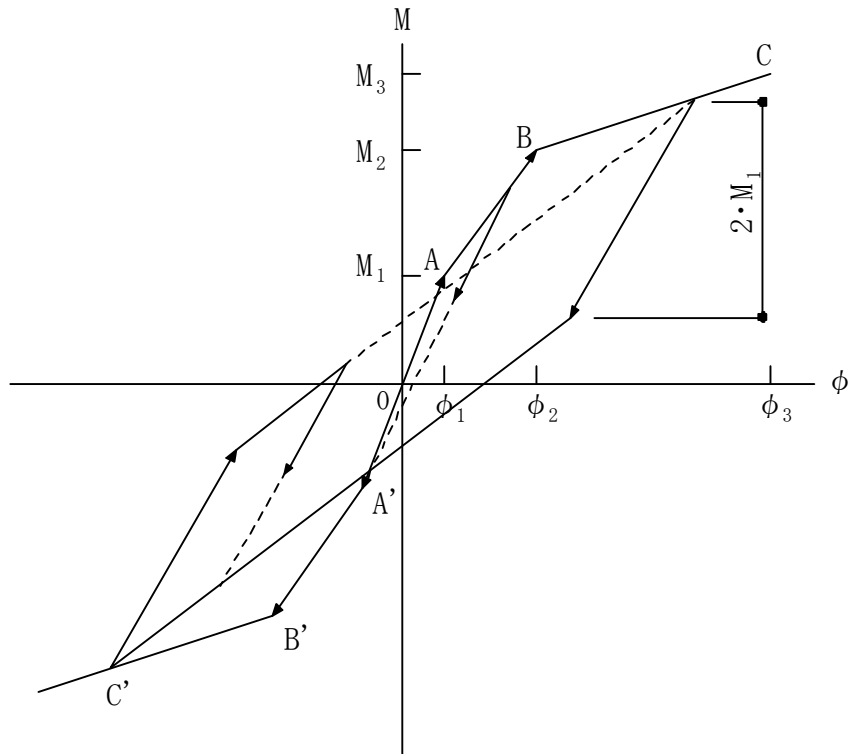
ϕ_2 : 第2折点の曲率

ϕ_3 : 終局点の曲率

図3-14 曲げモーメントー曲率関係

(4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図3-15に示す。



- a. 0-A間 : 弾性範囲。
- b. A-B間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向う。ただし、負側最大点が第1折点を超えていなければ、負側第1折点に向う。
- c. B-C間 : 負側最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は、最大値から $2 \cdot M_1$ を減じた点とする。ただし、負側最大点が第2折点を超えていなければ、負側第2折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。

図3-15 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

(5) スケルトンカーブの諸数値

格納槽の各耐震壁について算出したせん断及び曲げスケルトンカーブの諸数値を表3-13及び表3-14に示す。

表3-13 せん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係)

(a) NS方向

EL. (m)	要素 番号	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
4.0 ~ 8.0	(1)	1.75	2.36	7.10	0.172	0.517	4.0
-5.8 ~ 4.0	(2)	1.84	2.48	5.78	0.181	0.542	4.0
-8.6 ~ -5.8	(3)	1.92	2.59	5.84	0.188	0.565	4.0
-12.8 ~ -8.6	(4)	1.96	2.65	5.88	0.193	0.579	4.0

(b) EW方向

EL. (m)	要素 番号	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
4.0 ~ 8.0	(1)	1.75	2.36	6.29	0.172	0.517	4.0
-5.8 ~ 4.0	(2)	1.84	2.48	6.14	0.180	0.541	4.0
-8.6 ~ -5.8	(3)	1.91	2.58	6.19	0.188	0.564	4.0
-12.8 ~ -8.6	(4)	1.96	2.64	6.18	0.192	0.577	4.0

表3-14 曲げスケルトンカーブ (M-φ関係)

(a) NS方向

EL. (m)	要素 番号	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁵ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁵ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁵ /m)
4.0 ~ 8.0	(1)	0.450	1.89	2.98	3.85	54.6	510
-5.8 ~ 4.0	(2)	7.60	23.3	33.8	1.30	16.4	315
-8.6 ~ -5.8	(3)	8.22	24.3	34.9	1.39	16.6	307
-12.8 ~ -8.6	(4)	8.58	24.9	35.5	1.45	16.6	302

(b) EW方向

EL. (m)	要素 番号	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁵ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁵ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁵ /m)
4.0 ~ 8.0	(1)	0.438	1.74	2.73	3.98	56.3	571
-5.8 ~ 4.0	(2)	6.14	18.7	26.7	1.84	23.2	408
-8.6 ~ -5.8	(3)	6.59	19.6	28.0	1.97	23.4	385
-12.8 ~ -8.6	(4)	6.77	19.6	27.6	2.06	23.4	392

3.5.2 材料物性のばらつき

解析においては、「3.2 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性のばらつきを考慮する。材料物性のばらつきを考慮した地震応答解析は、格納槽の応答への影響の大きい地震動に対して実施することとし、基本ケースの地震応答解析において応答値（加速度，変位，せん断力，曲げモーメント及び軸力）が、各層において最大となっている地震動（ S_s-D1 ， S_s-21 ， S_s-22 及び S_s-31 ）に対して実施することとする。

材料物性のばらつきのうち、地盤物性については、地盤調査結果の平均値をもとに設定した数値を基本ケースとし、支持地盤のせん断波速度のばらつきは、 $\pm\sigma$ 相当として、変動係数10%を考慮する。表層地盤についても同様に $\pm\sigma$ 相当としてf1層及びdu層は5%、Ag2層は10%、D2g-3層は15%の変動係数を考慮する。なお、格納槽の剛性のばらつきについては、コンクリートの実強度は設計基準強度よりも大きくなることから、保守的に考慮しない。

材料物性のばらつきを考慮する地震応答解析ケースを表3-15に示す。

表3-15 地盤物性のばらつきを考慮する地震応答解析ケース

高さ EL. (m)	地層 区分	地盤のせん断波速度 (m/s)		
		基本ケース	+ σ 相当	- σ 相当
8.0 ~ 5.1	f1	210	221	199
5.1 ~ 0.7	du	210	221	199
0.7 ~ -4.8	Ag2	240	264	216
-4.8 ~ -14.3	D2g-3	500	575	425
-14.3 ~ -20.0	Km	446	491	401
-20.0 ~ -40.0		456	502	410
-40.0 ~ -60.0		472	520	424
-60.0 ~ -90.0		491	541	441
-90.0 ~ -120.0		514	566	462
-120.0 ~ -150.0		537	591	483
-150.0 ~ -190.0		564	621	507
-190.0 ~ -230.0		595	655	535
-230.0 ~ -270.0		626	689	563
-270.0 ~ -320.0		660	726	594
-320.0 ~ -370.0		699	769	629

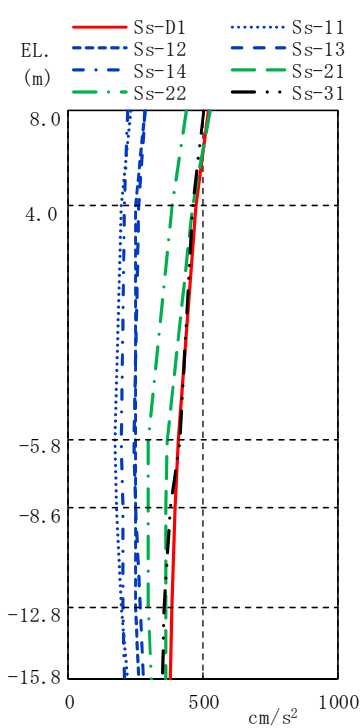
4. 解析結果

4.1 動的解析

本資料においては、代表として基本ケースの地震応答解析結果を示す。

基準地震動 S_s による最大応答値を図4-1～図4-11、表4-1及び表4-2に示す。また、基準地震動 S_s に対する最大応答値を図4-12～図4-15の耐震壁のスケルトンカーブ上にプロットして示す。

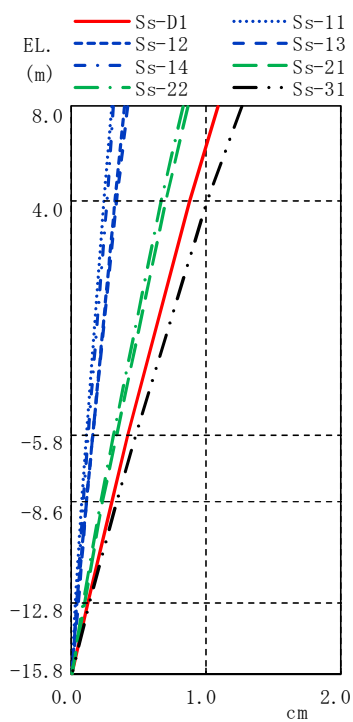
最大接地圧及び最小接地率を表4-3に示す。



(単位: cm/s²)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31
520	229	287	286	219	527	437	500
472	196	250	262	205	461	385	463
409	171	249	241	196	365	298	415
397	177	249	251	199	362	296	376
381	198	248	264	202	361	294	356
376	216	263	277	205	363	306	350

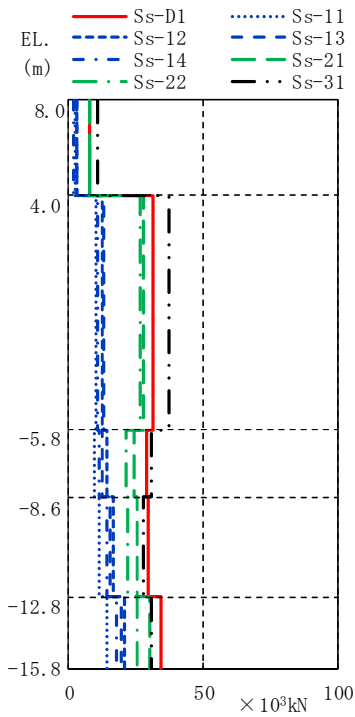
図4-1 最大応答加速度 (S_s, NS方向)



(単位: cm)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31
1.09	0.30	0.40	0.41	0.32	0.87	0.83	1.26
0.88	0.24	0.32	0.33	0.26	0.70	0.67	1.01
0.42	0.12	0.16	0.16	0.13	0.33	0.31	0.48
0.30	0.08	0.11	0.12	0.09	0.23	0.22	0.34
0.12	0.04	0.05	0.05	0.04	0.09	0.09	0.14
—	—	—	—	—	—	—	—

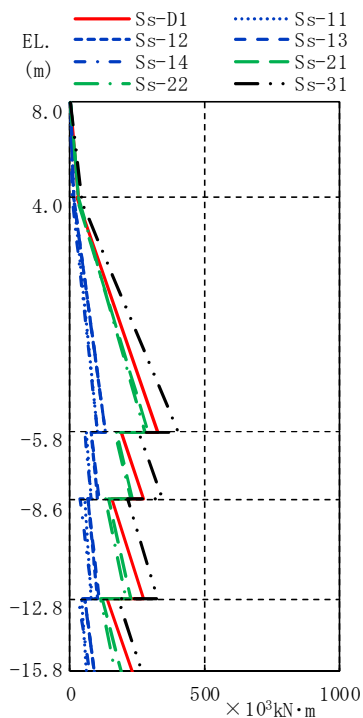
図4-2 最大応答変位 (S_s, NS方向)



(単位 : $\times 10^3 \text{kN}$)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31
7.73	2.51	3.22	3.14	2.09	7.46	7.54	10.7
31.1	10.1	12.4	12.9	10.5	27.5	26.5	37.2
29.1	9.24	14.2	12.8	11.2	24.3	21.4	30.7
29.5	11.1	16.8	15.2	14.0	25.4	21.7	27.6
34.3	14.2	20.6	19.4	17.6	30.2	25.4	30.6

図4-3 最大応答せん断力 (S_s , NS方向)



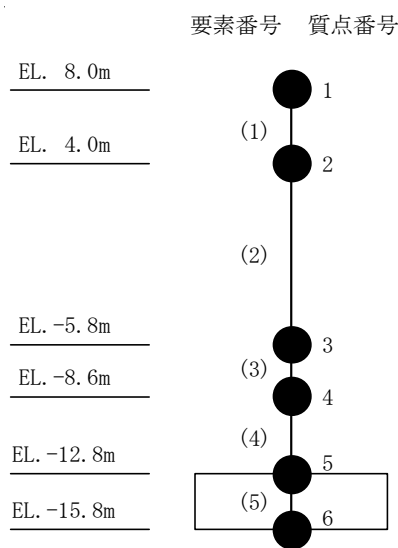
(単位 : $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}$)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31
0.0746	0.0578	0.0583	0.0551	0.0309	0.0848	0.0840	0.0491
31.0	10.1	13.0	12.6	8.36	30.0	30.2	42.8
26.1	14.6	12.8	13.7	8.27	21.9	28.9	38.3
324	102	130	131	102	289	280	402
192	58.4	76.9	74.7	52.5	170	167	256
273	79.8	103	107	79.5	232	225	342
157	50.9	65.0	62.7	38.2	142	133	211
275	75.1	103	108	84.8	224	207	326
135	39.2	53.1	51.3	32.0	122	110	175
230	60.5	88.7	89.5	73.9	189	166	267

図4-4 最大応答曲げモーメント (S_s , NS方向)

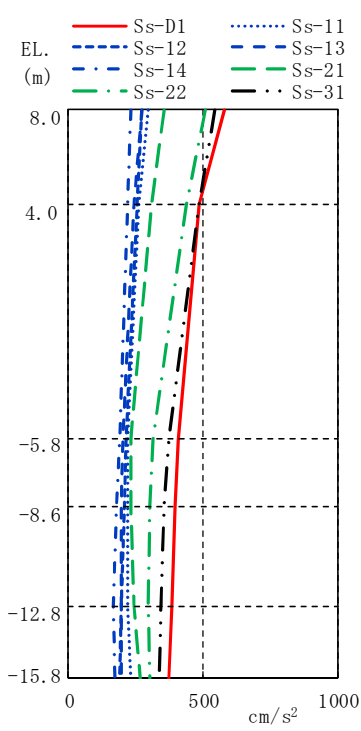
表 4-1 最大応答せん断ひずみ一覧 (S_s, NS 方向)

要素 番号	最大応答せん断ひずみ (×10 ⁻³)								第1 折点	第2 折点
	S _s -D1	S _s -11	S _s -12	S _s -13	S _s -14	S _s -21	S _s -22	S _s -31	γ ₁ (×10 ⁻³)	γ ₂ (×10 ⁻³)
(1)	0.0573	0.0187	0.0239	0.0233	0.0155	0.0554	0.0559	0.0792	0.172	0.517
(2)	0.0531	0.0172	0.0212	0.0220	0.0179	0.0470	0.0452	0.0634	0.181	0.542
(3)	0.0496	0.0158	0.0242	0.0218	0.0191	0.0414	0.0366	0.0523	0.188	0.565
(4)	0.0503	0.0190	0.0287	0.0260	0.0239	0.0433	0.0369	0.0471	0.193	0.579



注1 : 数字は質点番号を示す。

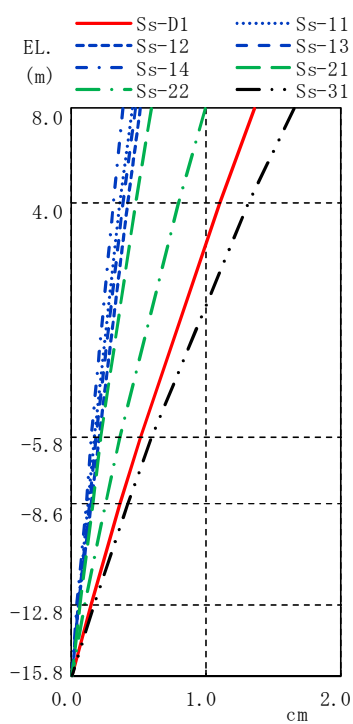
注2 : () 内は要素番号を示す。



(単位: cm/s²)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31
577	297	275	269	232	355	509	541
485	258	255	241	219	307	436	484
409	219	215	203	187	231	315	371
397	217	207	195	180	233	302	352
381	221	194	193	167	242	294	341
374	230	191	198	170	265	299	339

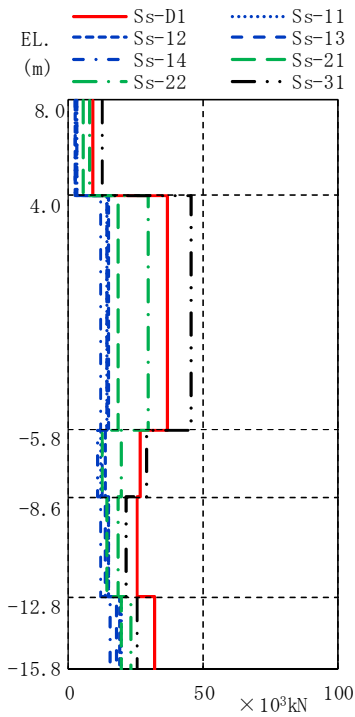
図4-5 最大応答加速度 (S_s, EW方向)



(単位: cm)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31
1.37	0.45	0.52	0.48	0.39	0.60	0.99	1.65
1.10	0.36	0.42	0.39	0.32	0.48	0.80	1.32
0.51	0.17	0.20	0.19	0.15	0.22	0.36	0.60
0.36	0.12	0.14	0.13	0.11	0.16	0.25	0.42
0.14	0.05	0.06	0.05	0.04	0.06	0.10	0.17
—	—	—	—	—	—	—	—

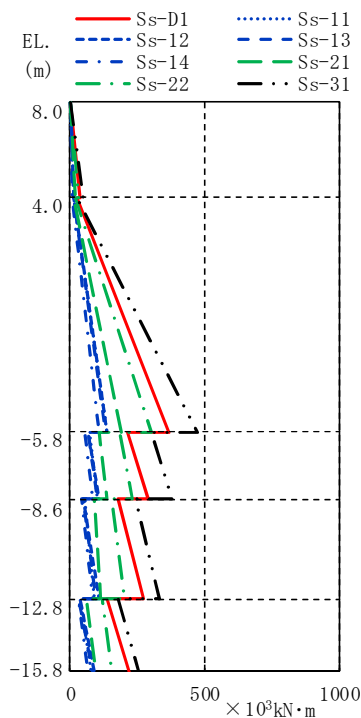
図4-6 最大応答変位 (S_s, EW方向)



(単位 : $\times 10^3 \text{kN}$)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31
8.78	3.02	2.60	2.81	2.18	5.25	7.99	12.4
36.7	14.5	15.1	14.3	11.9	18.5	29.9	45.5
26.9	12.1	13.8	12.6	11.0	12.3	19.3	28.7
25.3	14.8	15.1	13.7	12.1	14.5	18.5	21.3
31.8	19.7	19.2	17.5	15.4	19.3	23.3	25.2

図4-7 最大応答せん断力 (S_s , EW方向)



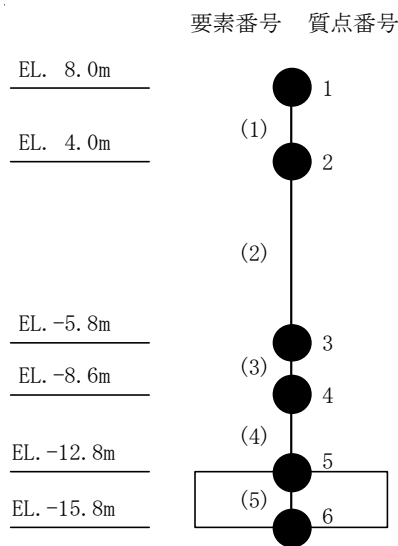
(単位 : $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}$)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31
0.0874	0.0556	0.0415	0.0388	0.0356	0.0733	0.0912	0.240
35.2	12.2	10.5	11.3	8.74	21.1	32.1	49.4
24.9	12.0	10.8	11.5	9.39	15.2	19.0	25.0
365	136	137	134	107	187	300	470
215	72.4	67.3	64.9	53.8	110	184	300
290	99.6	106	98.1	80.9	138	231	380
176	55.8	46.2	47.0	40.2	87.2	153	241
272	90.9	106	96.8	80.8	115	199	330
138	38.8	34.3	32.8	27.7	60.6	117	177
218	74.6	88.4	80.6	67.0	92.5	154	252

図4-8 最大応答曲げモーメント (S_s , EW方向)

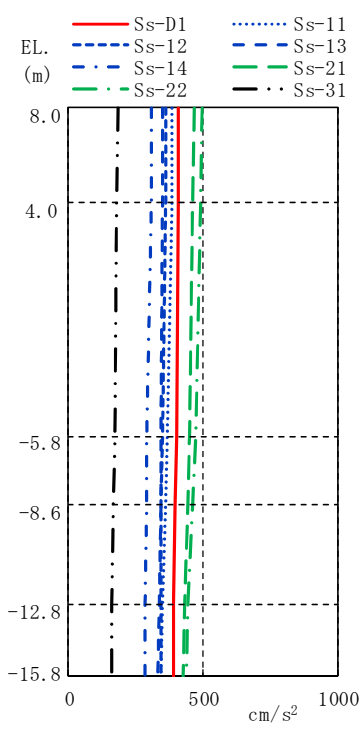
表 4-2 最大応答せん断ひずみ一覧 (S_s, EW 方向)

要素 番号	最大応答せん断ひずみ (×10 ⁻³)								第 1 折点	第 2 折点
	Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31	γ ₁ (×10 ⁻³)	γ ₂ (×10 ⁻³)
(1)	0.0568	0.0195	0.0169	0.0182	0.0141	0.0340	0.0518	0.0798	0.172	0.517
(2)	0.0658	0.0261	0.0271	0.0257	0.0213	0.0331	0.0536	0.0817	0.180	0.541
(3)	0.0482	0.0216	0.0248	0.0225	0.0197	0.0221	0.0346	0.0515	0.188	0.564
(4)	0.0475	0.0277	0.0282	0.0257	0.0227	0.0271	0.0346	0.0400	0.192	0.577



注 1 : 数字は質点番号を示す。

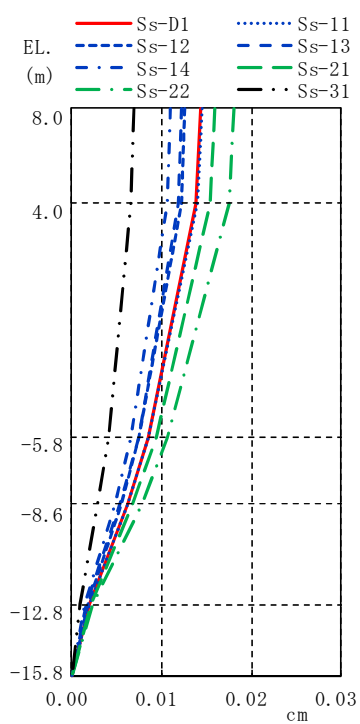
注 2 : () 内は要素番号を示す。



(単位: cm/s²)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31
410	386	363	350	306	464	495	181
409	385	362	349	305	463	493	181
401	369	350	344	291	450	470	172
398	361	345	342	288	444	460	168
392	347	342	337	284	432	443	161
390	341	341	334	282	425	437	159

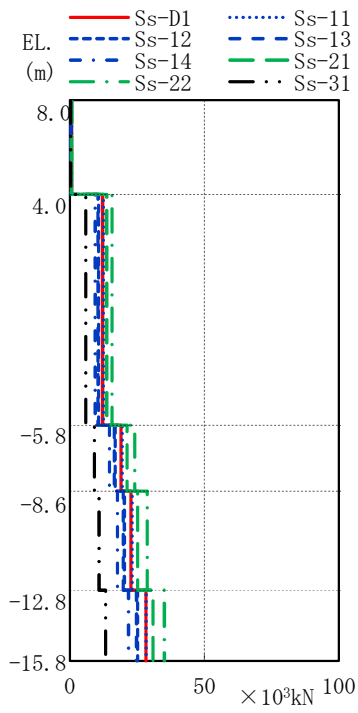
図4-9 最大応答加速度 (S_s, UD方向)



(単位: cm)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31
0.015	0.015	0.013	0.013	0.012	0.016	0.019	0.007
0.014	0.015	0.013	0.012	0.011	0.016	0.018	0.007
0.009	0.009	0.008	0.008	0.007	0.010	0.011	0.005
0.007	0.007	0.006	0.006	0.005	0.007	0.008	0.003
0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.001
—	—	—	—	—	—	—	—

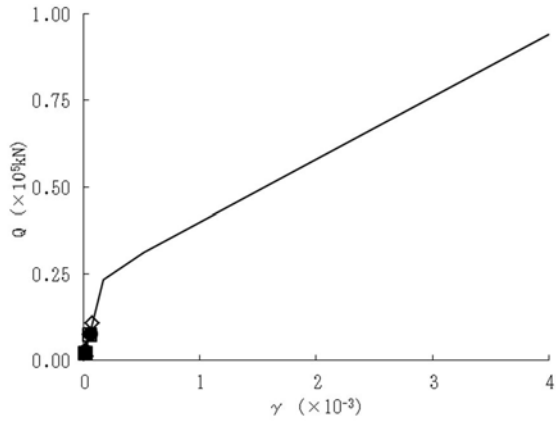
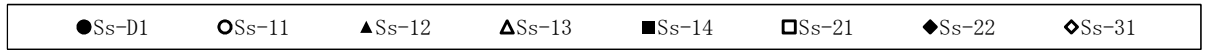
図4-10 最大応答変位 (S_s, UD方向)



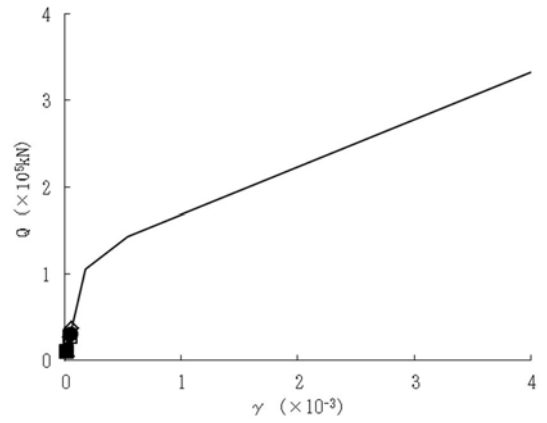
(単位 : $\times 10^3$ kN)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31
0.580	0.574	0.496	0.482	0.435	0.642	0.739	0.279
12.3	12.5	10.7	10.4	9.41	13.8	15.7	5.93
19.1	19.5	16.9	16.5	14.8	21.3	24.2	9.12
22.8	23.2	20.3	19.9	17.7	25.2	28.8	10.9
28.3	28.4	25.2	24.8	21.9	30.9	35.2	13.4

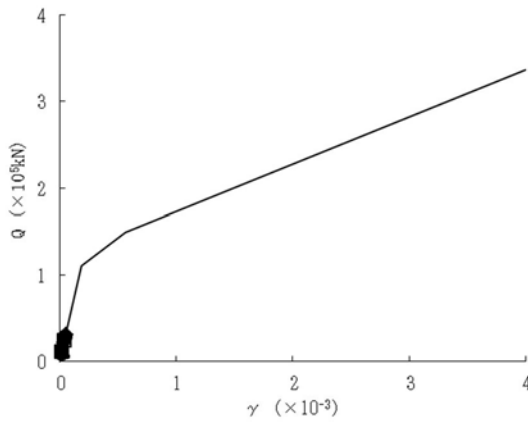
図4-11 最大応答軸力 (S_s , UD方向)



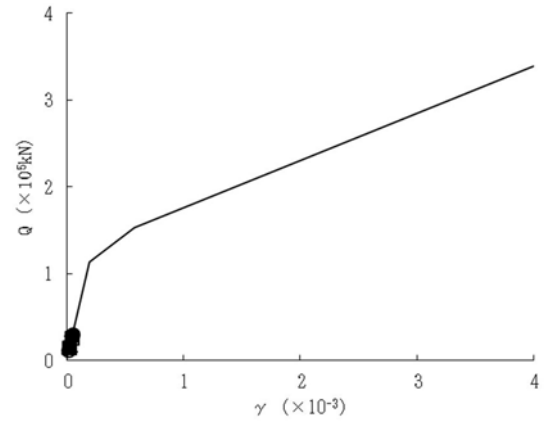
要素番号 (1)



要素番号 (2)

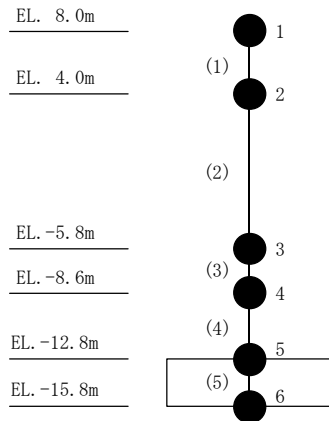


要素番号 (3)



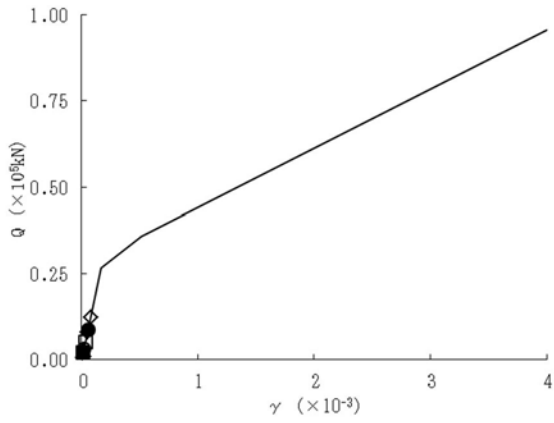
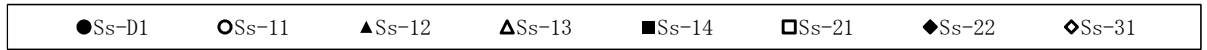
要素番号 (4)

要素番号 質点番号

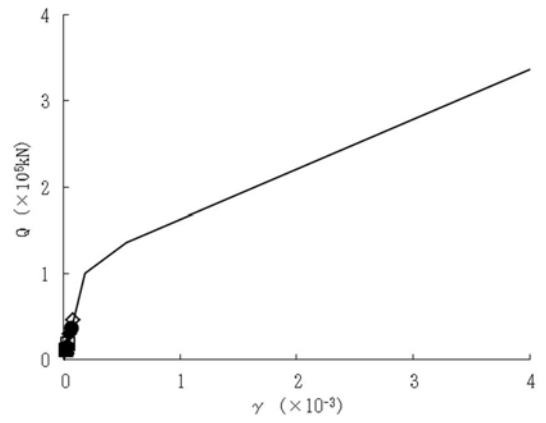


- ・数字は質点番号を示す。
- ・() 内は要素番号を示す。

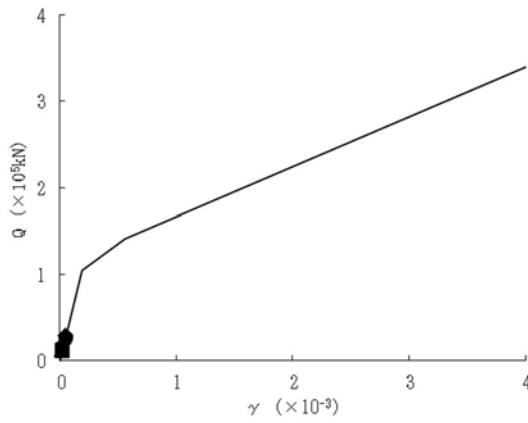
図4-12 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (S_s, NS方向)



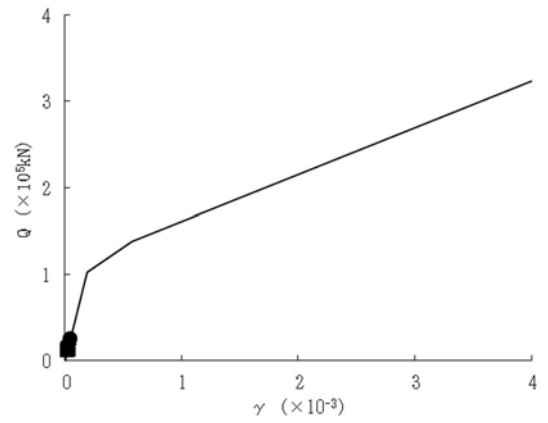
要素番号 (1)



要素番号 (2)

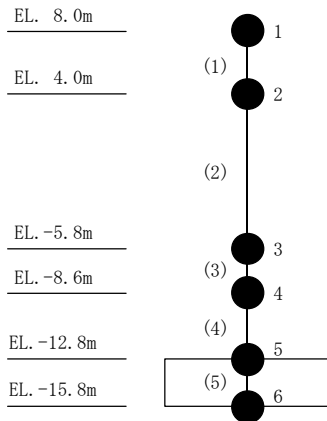


要素番号 (3)



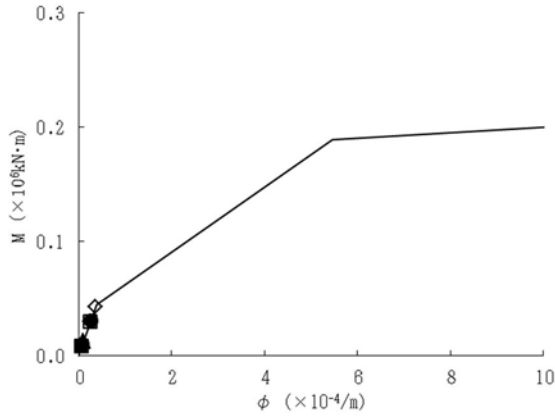
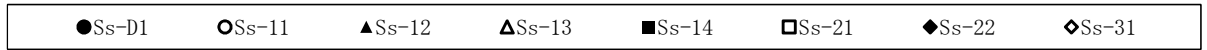
要素番号 (4)

要素番号 質点番号

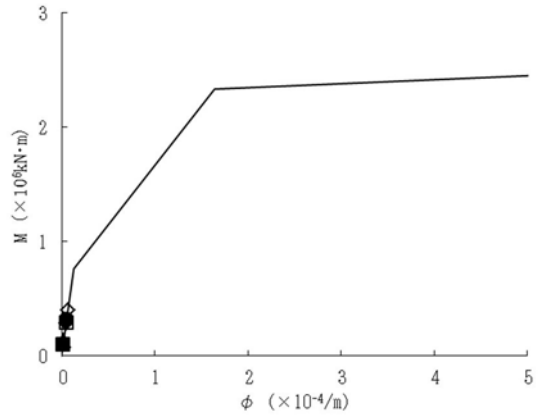


- ・数字は質点番号を示す。
- ・() 内は要素番号を示す。

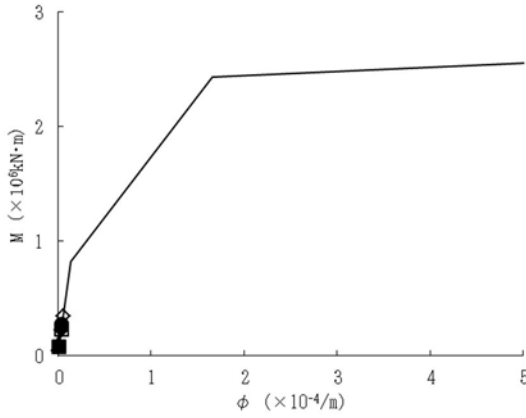
図4-13 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (S_s, EW方向)



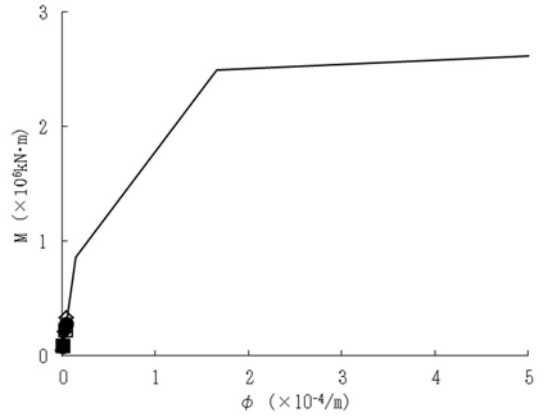
要素番号 (1)



要素番号 (2)

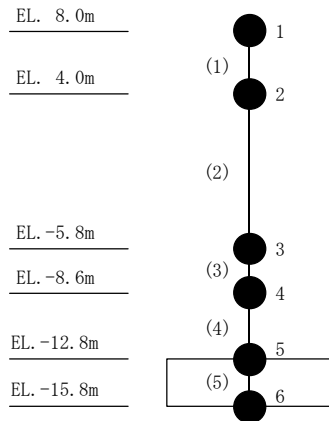


要素番号 (3)



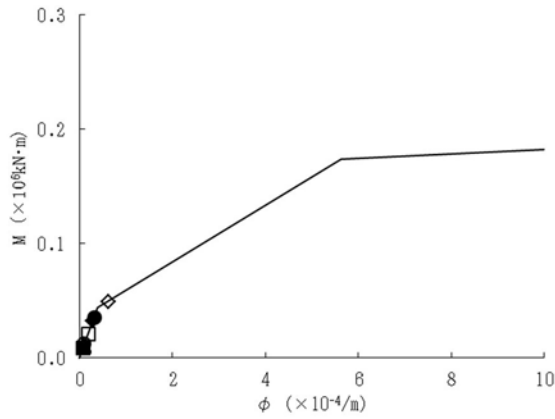
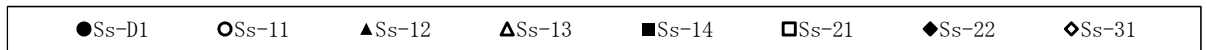
要素番号 (4)

要素番号 質点番号

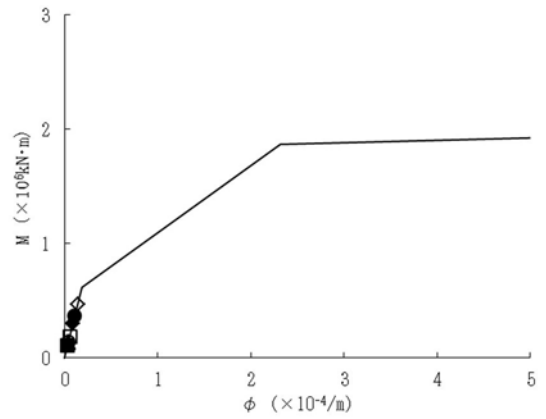


- ・ 数字は質点番号を示す。
- ・ () 内は要素番号を示す。

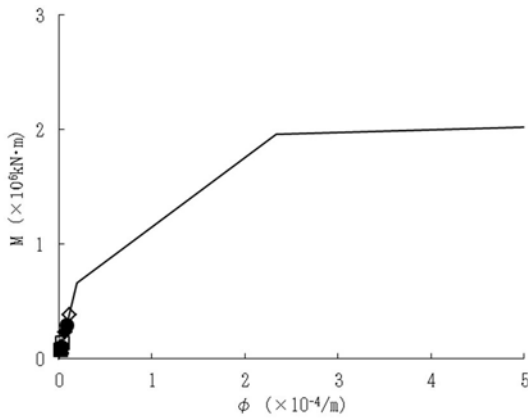
図4-14 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値 (S_s, NS方向)



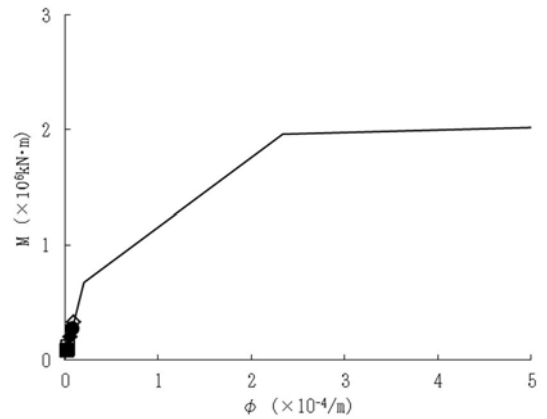
要素番号 (1)



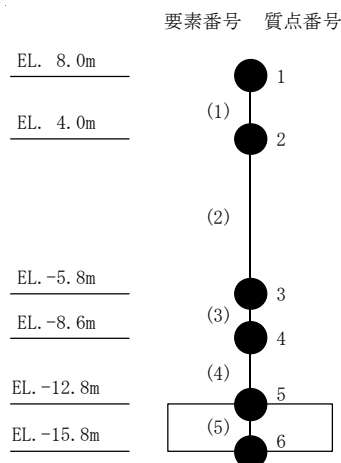
要素番号 (2)



要素番号 (3)



要素番号 (4)



- ・ 数字は質点番号を示す。
- ・ () 内は要素番号を示す。

図4-15 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値 (S_s, EW方向)

表4-3 (1/2) 最大接地圧及び最小接地率
(a) S_s , NS方向

	NS方向	
	最大接地圧 (kN/m ²)	最小接地率 (%)
$S_s - D 1$	824	77.5
$S_s - 1 1$	530	100.0
$S_s - 1 2$	535	100.0
$S_s - 1 3$	538	100.0
$S_s - 1 4$	490	100.0
$S_s - 2 1$	741	93.7
$S_s - 2 2$	709	93.7
$S_s - 3 1$	872	77.5
最大値	872	77.5

表4-3 (2/2) 最大接地圧及び最小接地率
(b) S_s , EW方向

	EW方向	
	最大接地圧 (kN/m ²)	最小接地率 (%)
$S_s - D 1$	862	73.7
$S_s - 1 1$	545	100.0
$S_s - 1 2$	550	100.0
$S_s - 1 3$	533	100.0
$S_s - 1 4$	494	100.0
$S_s - 2 1$	594	100.0
$S_s - 2 2$	727	88.7
$S_s - 3 1$	914	67.5
最大値	914	67.5