

習志野市新庁舎等
建設基本設計業務に伴う地盤調査
【模擬地震動作成編】
報 告 書

平成 26 年 3 月

株 式 会 社 佐 藤 総 合 計 画
株 式 会 社 東 京 ソ イ ル リ サ ー チ

株式会社 佐藤総合計画 殿

調 査 名：習志野市新庁舎等建設基本設計業務に伴う地盤盤調査
【模擬地震動作成編】

この度は上記業務のご用命を賜りまして誠に有り難う存じました。

調査結果を別紙の通りご報告いたします。内容に関するご質問等は、下記担当技術員に調査名と識別コード(右下に記載)でお申し付け下さいますようお願い申し上げます。

本業務に関しまして、ご協力を賜りました関係各位に感謝の意を表しますとともに、併せて今後ともよろしくご指導、ご鞭撻のほどお願い申し上げます。

平成 26 年 3 月

株式会社 東京ソイルリサーチ

【調査担当】

東京支店：〒153-0042 東京都目黒区青葉台 3-6-16 HF 青葉台ビル

TEL 03(3463)2281(代表) FAX 03(3463)2286

支 店 長 木 村 茂

主任技術者 仲田 寛雄

営業担当者 上 教 一

【本業務担当】

解析技術室：〒152-0021 東京都目黒区東ヶ丘 2-11-16

TEL 03(3410)6776(代表) FAX 03(3418)0127

報告書作成 田 中 均

江 藤 公 信

東京ソイルリサーチ
識 別 コ ー ド

No.144910004

目 次

	頁
第1章 検討の概要-----	1
1.1 業務概要-----	1
1.2 模擬地震動波形作成の概要-----	3
第2章 調査地の地盤構造モデルの作成-----	4
2.1 調査地の地盤構造モデル-----	4
2.2 深い地盤構造の設定と常時微動測定結果-----	7
第3章 調査地周辺の地震活動度と想定される地震動-----	9
3.1 過去に発生した地震の調査地への影響度-----	9
3.2 調査地周辺の活断層-----	15
3.3 調査地における想定地震-----	17
第4章 翠川・小林の応答スペクトルによる想定地震の地震動評価-----	18
4.1 翠川・小林の方法の概要-----	18
4.2 想定地震の断層モデルの設定-----	20
4.3 応答スペクトル計算結果と想定地震の評価-----	26
第5章 解放工学的基盤面におけるサイト波の作成-----	29
5.1 元禄型関東地震および東京湾北部地震の作成-----	29
5.2 長周期地震動「東海・東南海・南海三連動地震」の作成-----	70
第6章 解放工学的基盤面における告示波および上下動の作成-----	80
6.1 作成方法-----	80
6.2 目標スペクトルの設定-----	83
6.3 解放工学的基盤面における告示波および上下動-----	85
第7章 地盤の地震応答解析による基礎床付け面波形の作成-----	93
7.1 解析方法-----	93
7.2 基礎床付け面における模擬地震動波形-----	98

巻 末 資 料

資料-1 等価線形解析による最大応答値の深度分布と伝達関数-----	128
資料-2 線形解析による最大応答値の深度分布と伝達関数-----	148

第1章 検討の概要

1.1 業務概要

(1) 調査件名：習志野市新庁舎等建設基本設計業務に伴う地盤調査

(2) 調査場所：千葉県習志野市鷺沼2丁目(図-1.1 参照)

(北緯 35.6816° 東経 140.0276°)

(3) 調査監理者：株式会社 佐藤総合計画

(4) 調査実施者：株式会社 東京ソイルリサーチ

(5) 目的：本業務は、計画構造物の耐震設計に反映する設計用入力地震動を作成するために行ったものである。入力地震動の評価方法としては、近年の研究動向に沿うべく、計画地の地震環境を考慮した想定地震の断層モデルなどから解放工学的基盤での地震動レベルを検討した。

(6) 解析数量：① 調査地の速度構造の推定 1 式

② 調査地の地震環境調査 1 式

③ 翠川・小林の方法による応答スペクトルを用いた想定地震の評価 1 式

④ 解放工学的基盤面における模擬地震動波形の作成

・一次元ハイブリッド法を用いたサイト波の作成 計 6 波

「元禄型関東地震」「東京湾北部地震」各 3 成分

・国土交通省の方法による長周期地震動「三連動地震」の作成 1 波

・告示「極めて稀に発生する地震動」の作成 3 波

(位相：Hachinohe-NS, JMAKobe-NS, Random)

・上下動(告示「極めて稀に発生する地震動」相当)の作成 3 波

(位相：Hachinohe-UD, JMAKobe-UD, Random)

⑤ 地盤の地震応答解析による

基礎床付け面(GL-4.15m, GL-9.15m)における模擬地震動波形の作成

・サイト波「元禄型関東地震(NS, EW)」各 2 深度 計 4 波

・サイト波「東京湾北部地震(NS, EW)」各 2 深度 計 4 波

・長周期地震動「三連動地震」2 深度 計 2 波

・告示「極めて稀に発生する地震動」各 2 深度 計 6 波

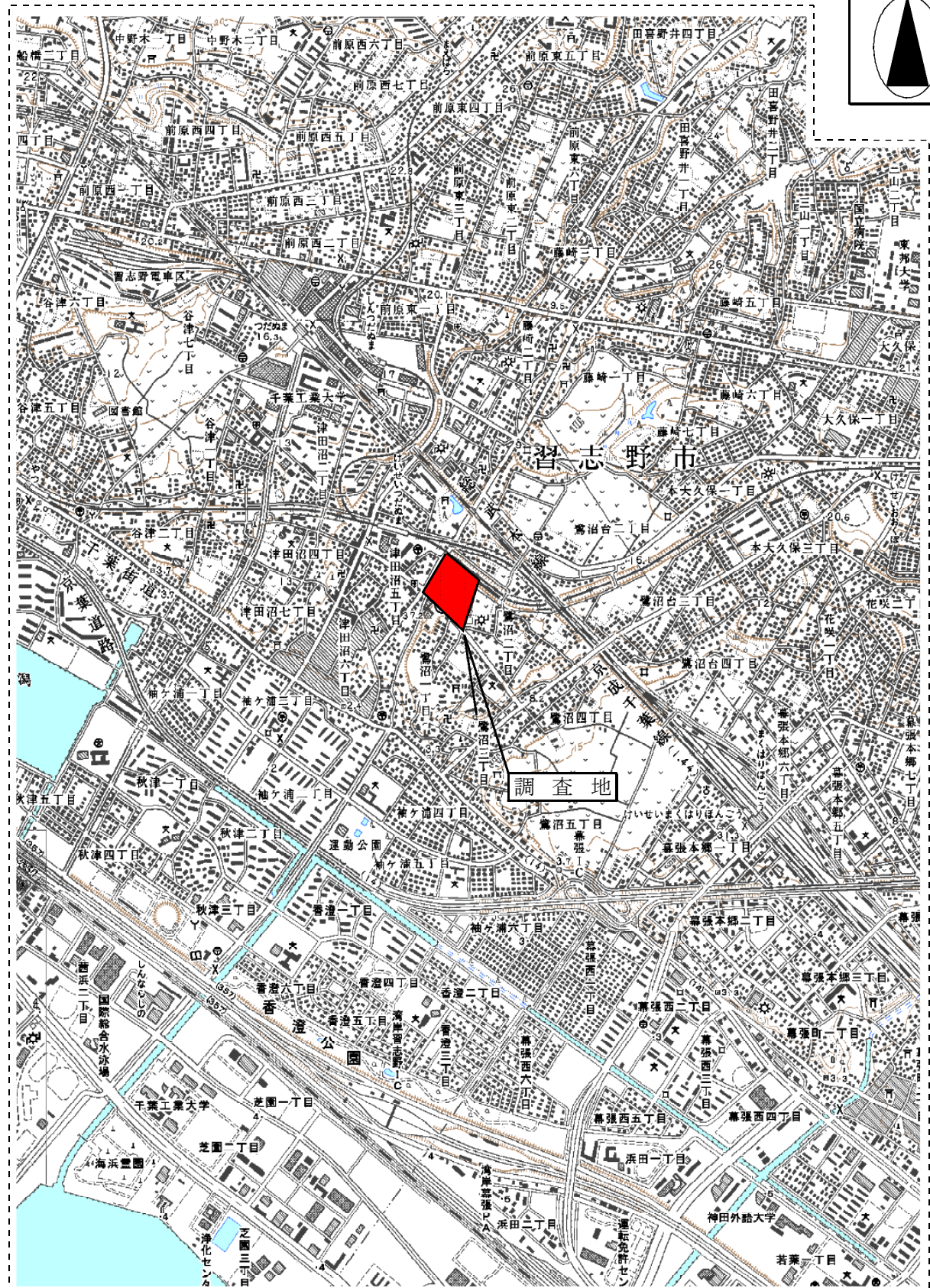
(位相：Hachinohe-NS, JMAKobe-NS, Random)

・告示「稀に発生する地震動」各 2 深度 計 6 波

(位相：Hachinohe-NS, JMAKobe-NS, Random)

・上下動(告示「極めて稀に発生する地震動」相当)各 2 深度 計 6 波

(位相：Hachinohe-NS, JMAKobe-NS, Random)



0 500 1000 m

縮尺: 1/25000

出典: 国土地理院数値地図25000 (地図画像)
「習志野」「千葉西部」使用
平成20年4月1日発行

図-1.1 調査地案内図

1.2 模擬地震動波形作成の概要

調査地における設計用模擬地震動波形の検討は、図-1.2 のフロー図に沿って行った。

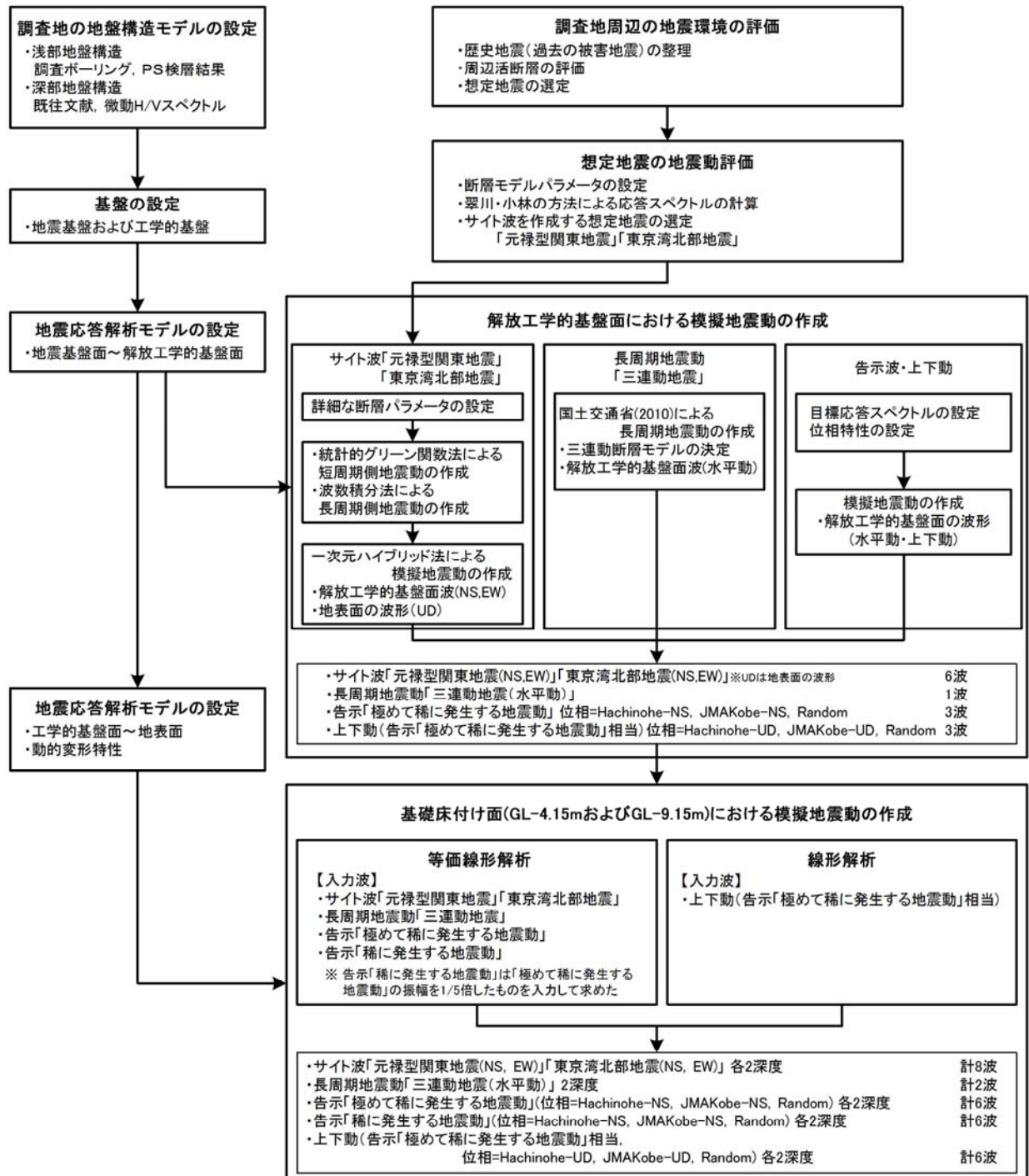


図-1.2 模擬地震動波形作成のフロー

第2章 調査地の地盤構造モデルの作成

2.1 調査地の地盤構造モデル

調査地の地盤構造モデルを設定し、表-2.1 に示す。地表から GL-55.0mまでの速度構造は図-2.1 に示す No.1 地点で実施したP S検層結果を用いた。また、GL-55mから地震基盤までの深い地盤構造は、図-2.2 に示す千葉県(H16)による地下構造調査成果報告書(NRC 地点:習志野)²⁻¹⁾を参考に、調査地で実施した常時微動測定結果を考慮して設定した。

工学的基盤面は GL-47.7m($V_s=430\text{m/s}$)に、地震基盤面は GL-2350m($V_s=3050\text{m/s}$)に設定した。地盤の減衰効果を表すQ値は既往の文献²⁻²⁾に V_s との関係が示されているが(図-2.3 参照)、 $Q \approx V_s/15$ として設定した。

表-2.1 調査地の地盤構造モデル

深 度 (m)	層 厚 (m)	S 波速度 V_s (m/s)	P 波速度 V_p (m/s)	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	Q値	備 考
0.00 ~ 5.85	5.85	160	820	1.34	10	P S 検 層
5.85 ~ 13.75	7.90	250	1600	1.78	15	
13.75 ~ 16.50	2.75	300	1640	1.78	20	
16.50 ~ 19.45	2.95	370	1720	1.85	25	
19.45 ~ 22.80	3.35	390	1780	1.90	25	
22.80 ~ 31.50	8.70	370	1690	1.85	25	
31.50 ~ 37.60	6.10	430	1810	2.00	30	
37.60 ~ 38.80	1.20	350	1640	1.90	25	
38.80 ~ 44.70	5.90	400	1730	2.00	25	
44.70 ~ 47.70	3.00	370	1640	1.95	25	
47.70 ~ 55.00	7.30	430	1690	2.00	30	
55 ~ 440	385	450	1800	2.00	30	推 定
440 ~ 1000	560	1000	2050	1.80	65	
1000 ~ 2170	1170	1000	2500	1.80	65	
2170 ~ 2350	180	1370	3000	2.40	90	
2350 ~	—	3050	5200	2.65	200	

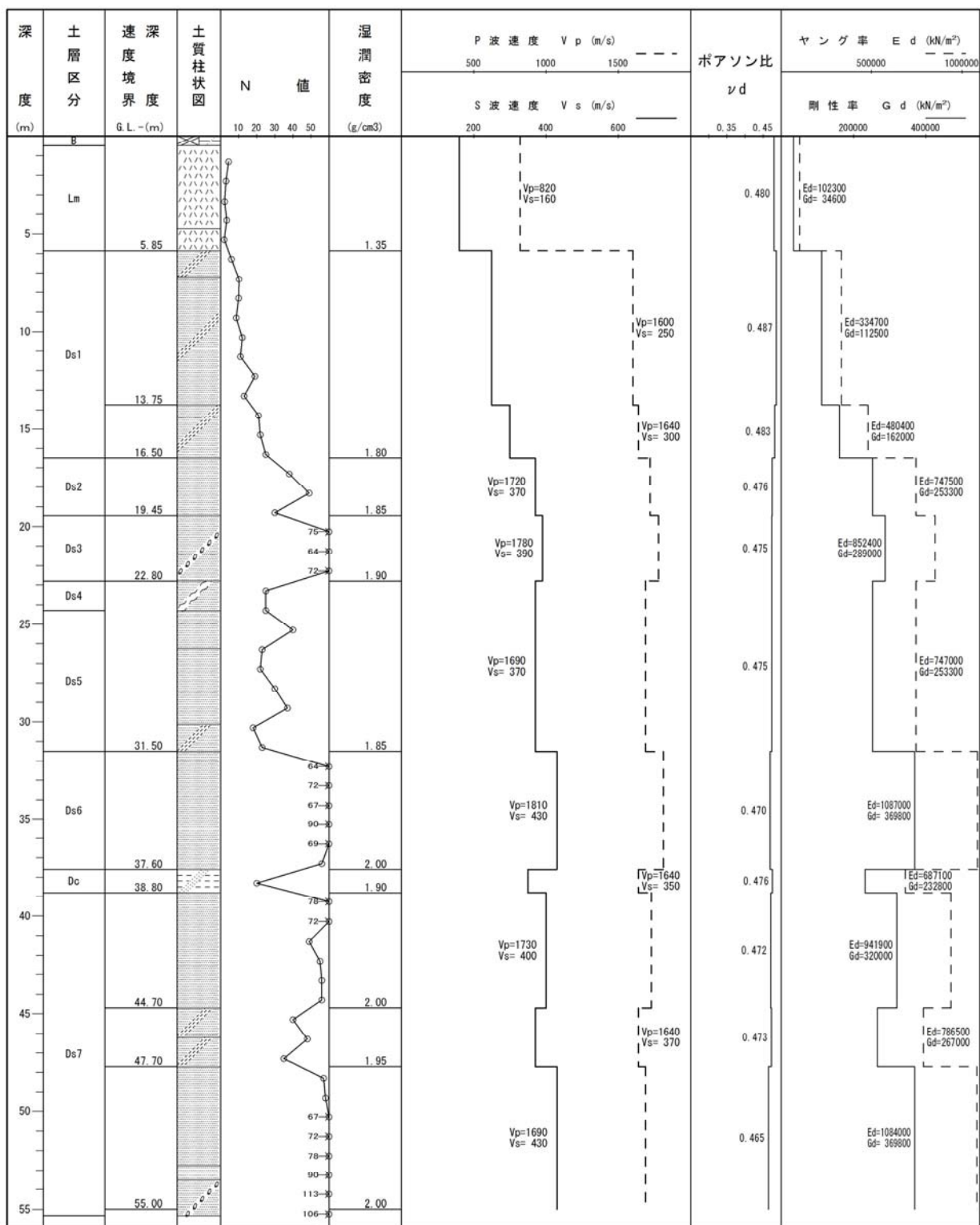


図-2.1 P S検層結果 (No. 1 地点)

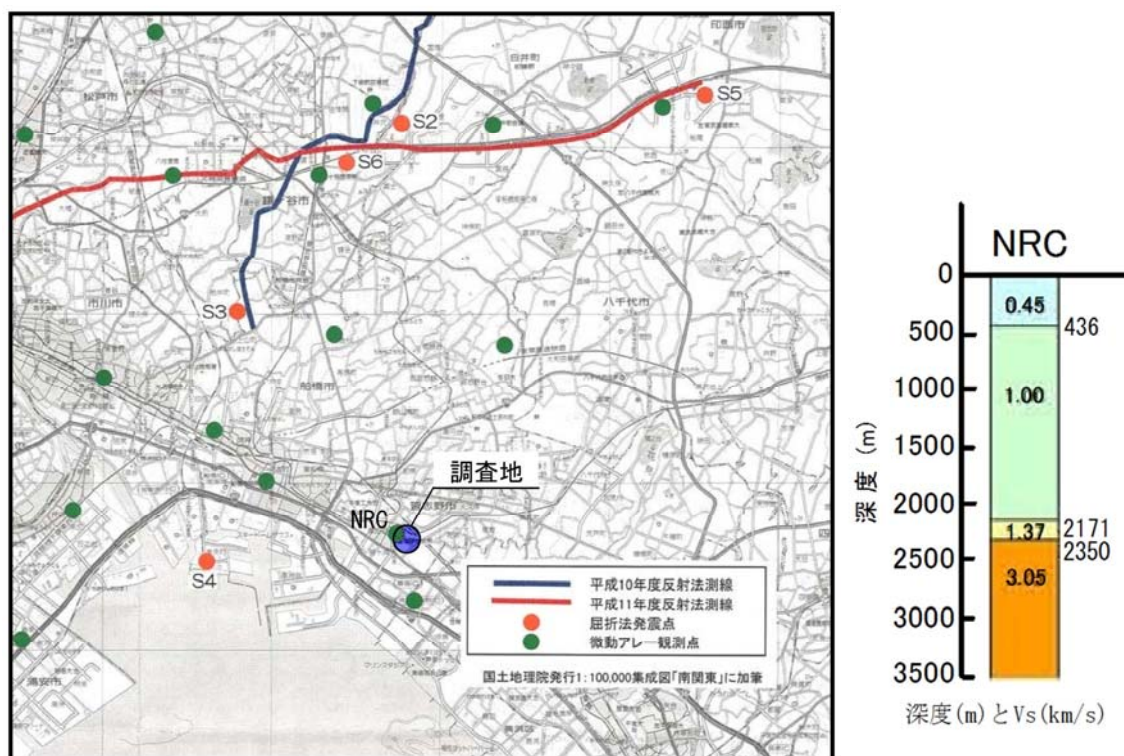


図-2.2 千葉県による調査地付近の微動アレー探査位置と速度構造(千葉県(H16)²⁻¹⁾を利用)

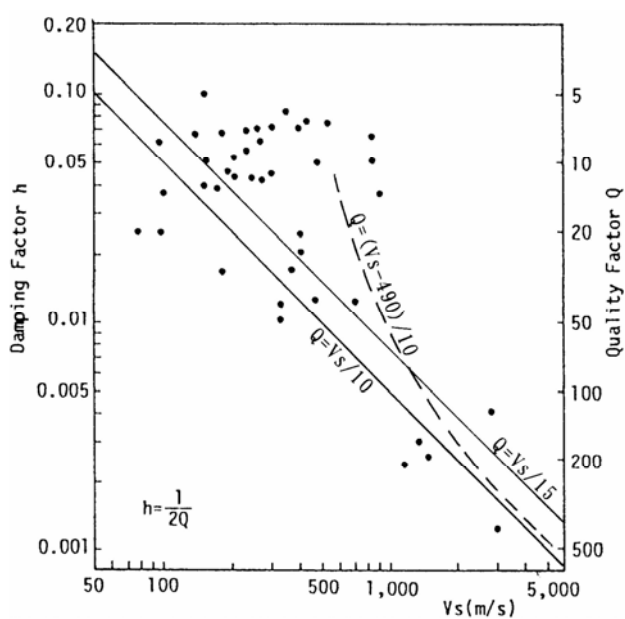


図-2.3 Q 値と V_s との関係 (日本建築学会(1983)²⁻²⁾に加筆)

参考文献

- 2-1) 千葉県：「平成 16 年度千葉県地下構造調査」，平成 16 年度
(<http://www.hp1039.jishin.go.jp/kozo/Chiba9frm.htm>)
2-2) 日本建築学会：地震動と地盤，p. 118，1983.

2.2 深い地盤構造の設定と常時微動測定結果

調査地で実施した常時微動測定結果を用いて、P S 検層調査深度から地震基盤までの地盤構造を推定した。

常時微動測定は、速度計(周期 5 秒)を用いてサンプリング 0.01 秒で約 30 分間行った。記録波形からノイズレベルが小さい時間帯を解析区間に設定した。フーリエ解析は、163.84 秒を 1 ブロックとし、約 80 秒間ずつオーバーラップさせながら、解析区間内で順次計算させ、その平均スペクトルを代表値とした。求めた水平成分のフーリエスペクトル(NS, EW の二乗和の平方根)を上下成分(UD)のフーリエスペクトルで除することで、水平鉛直スペクトル比(以下、微動の H/V スペクトル)を求めた。微動の H/V スペクトルを図-2.4 に示す。

時松・宮寺(1992)²⁻³⁾によると、短周期微動の H/V スペクトルは、地盤構造から計算されるレイリー波の基本モードの水平鉛直スペクトル比(以下、レイリー波の理論 H/V スペクトルと省略)の周期特性とよく対応することが報告されている。また、佐藤・他(1998)²⁻⁴⁾では、地震基盤から地表までの深部地盤構造を用いたレイリー波の理論 H/V スペクトルは、微動の H/V スペクトルをよく説明できることを指摘している。このような考えを基に、地震調査研究推進本部(H21)²⁻⁵⁾による強震動予測手法でも深部地盤構造推定の際、微動の H/V スペクトルを用いる方法が採用されている。

これらの文献に倣い、地震基盤までの推定地盤構造モデルから計算されるレイリー波の理論 H/V スペクトルが、調査地の微動 H/V スペクトルに調和的になるように、地盤構造を設定した。その際、調査地の微動の H/V スペクトルにみられる約 9 秒の卓越周期が、地震基盤とその上位の地層のコントラストにより励起されていると考え、理論 H/V スペクトルの卓越が一致するように層厚を設定した。常時微動の H/V スペクトルと設定した地盤構造による理論 H/V スペクトルを図-2.4 に重ねて示す。

参考までに S 波速度構造から計算される S H 波の増幅特性を図-2.4 に示した。若松・安井(1995)²⁻⁶⁾は、ある程度のコントラストを有する地層境界から上位層の S 波増幅特性の一次周期は、微動の H/V スペクトルとおおよそ調和的であると述べている。S 波の増幅特性の地震基盤からの一次の周期は約 9 秒に計算され、微動の H/V スペクトルと概ね一致する。

参考文献

- 2-3) 時松孝次・宮寺泰生：短周期微動に含まれるレイリー波の特性と地盤構造の関係，日本建築学会構造計論文集，第 439 号，pp. 81-87, 1992.
- 2-4) 佐藤智美・川瀬博・松島信一：微動と S 波，P 波， coda から求められる地盤特性の違いとその理論的解釈，地震，第 2 輯，第 51 巻，pp. 291-318, 1998.
- 2-5) 地震調査研究推進本部：付録 3 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)，平成 21 年 12 月。
(http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/g_furoku3.pdf)
- 2-6) 若松邦夫・安井譲：短周期微動の水平上下スペクトル比による地盤増幅特性評価の可能性に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第 471 号，pp. 61-70, 1995.

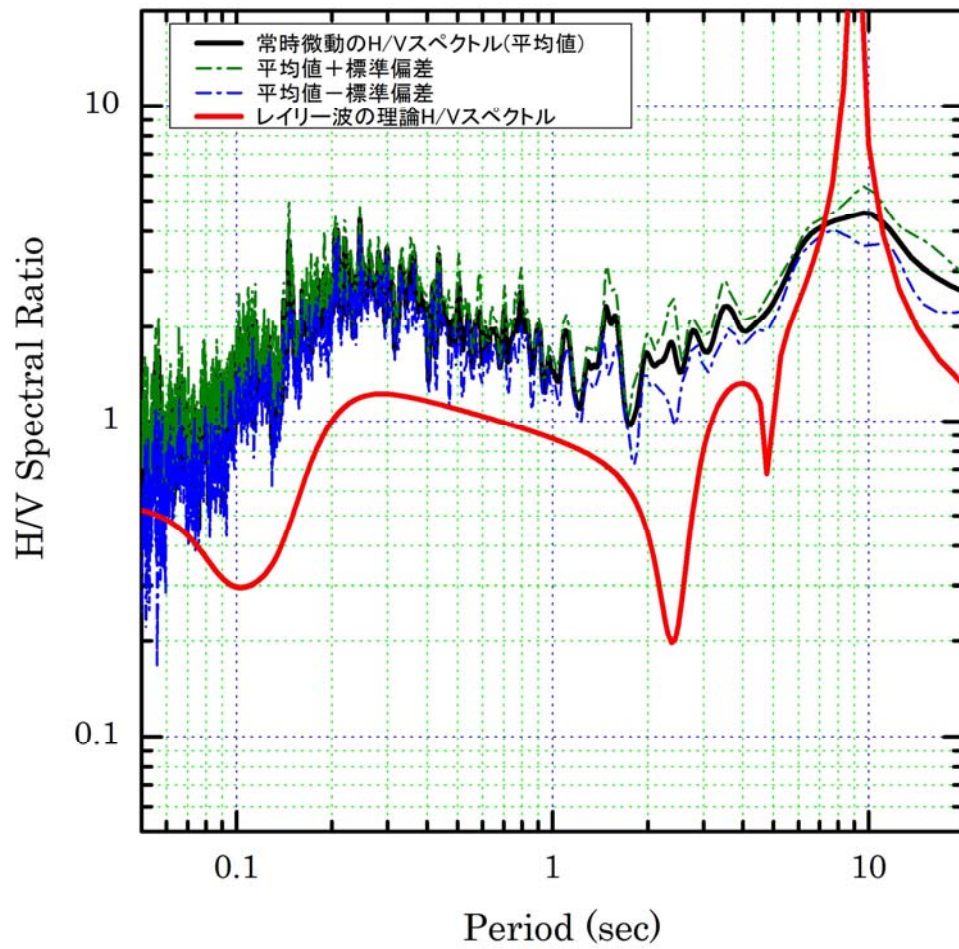


図-2.4 常時微動の H/V スペクトルとレイリー波の理論 H/V スペクトル

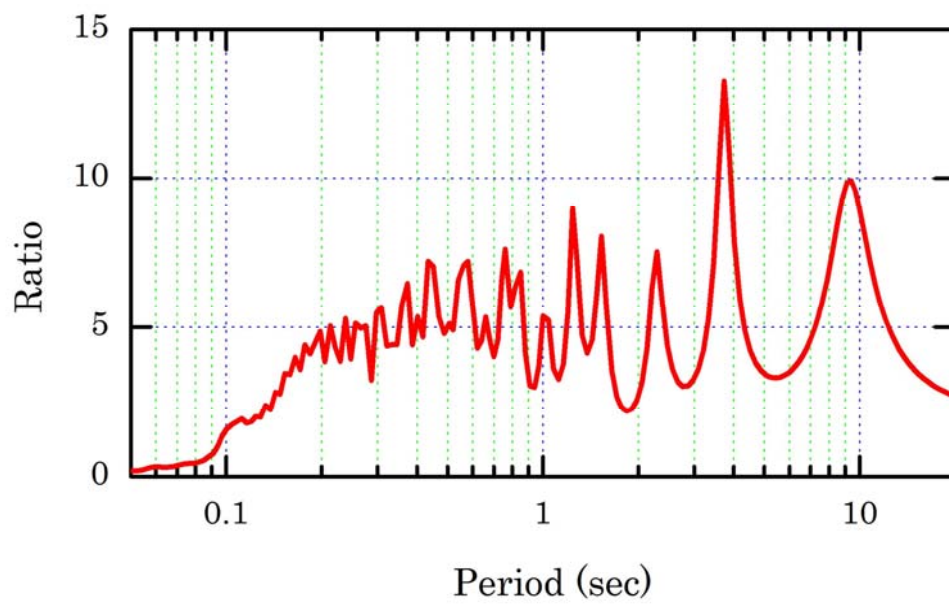


図-2.5 S H波の増幅特性(地震基盤面～地表面)

第3章 調査地周辺の地震活動度と想定される地震動

3.1 過去に発生した地震の調査地への影響度

(1) 調査地周辺の震央分布

過去に発生した歴史地震についてまとめられた調査資料として、宇佐美他(2013)³⁻¹⁾が著名である。ここでは、宇佐美他(2013)に掲載されている日本およびその近海における地震のリストから、調査地における最大速度を金井式³⁻²⁾により計算した。

計算に使用した式は次の通りである。

$$\log V_{\max} = 0.61M - (1.66 + \frac{3.6}{X}) \log X - (0.631 + \frac{1.83}{X})$$

M : マグニチュード

X : 震源距離(km) $X = (\Delta^2 + d^2)^{0.5}$

Δ : 震央距離(km)

d : 震源深さ(km) (d がない場合には、 $d = 10^{(0.353M - 1.435)}$ ³⁻³⁾)

図-3.1 に調査地における最大速度が 0.5cm/s 以上の地震の震央位置を、表-3.1 に最大速度が大きく評価された地震を示す。リストには震源深さが近年の地震についてしか記載されていないため、データのないものについては上述のようにマグニチュードから相関式を用いて計算した。実際の震源深さとは大きく異なって計算される場合もあり、計算された最大速度の値は概算値である。

最大速度が大きく計算されたのは 1855 年(安政)江戸地震(M7.1)であり、1894 年(明治)東京地震(M7.0)、1894 年東京湾北部(M6.7)がそれに続く。

参考文献

- 3-1) 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子：日本被害地震総覧 599-2012，東京大学出版会，2013.
- 3-2) 金井清：地震工学，共立出版，1969.
- 3-3) 大崎順彦：新地震動のスペクトル解析入門，鹿島出版会，1994.

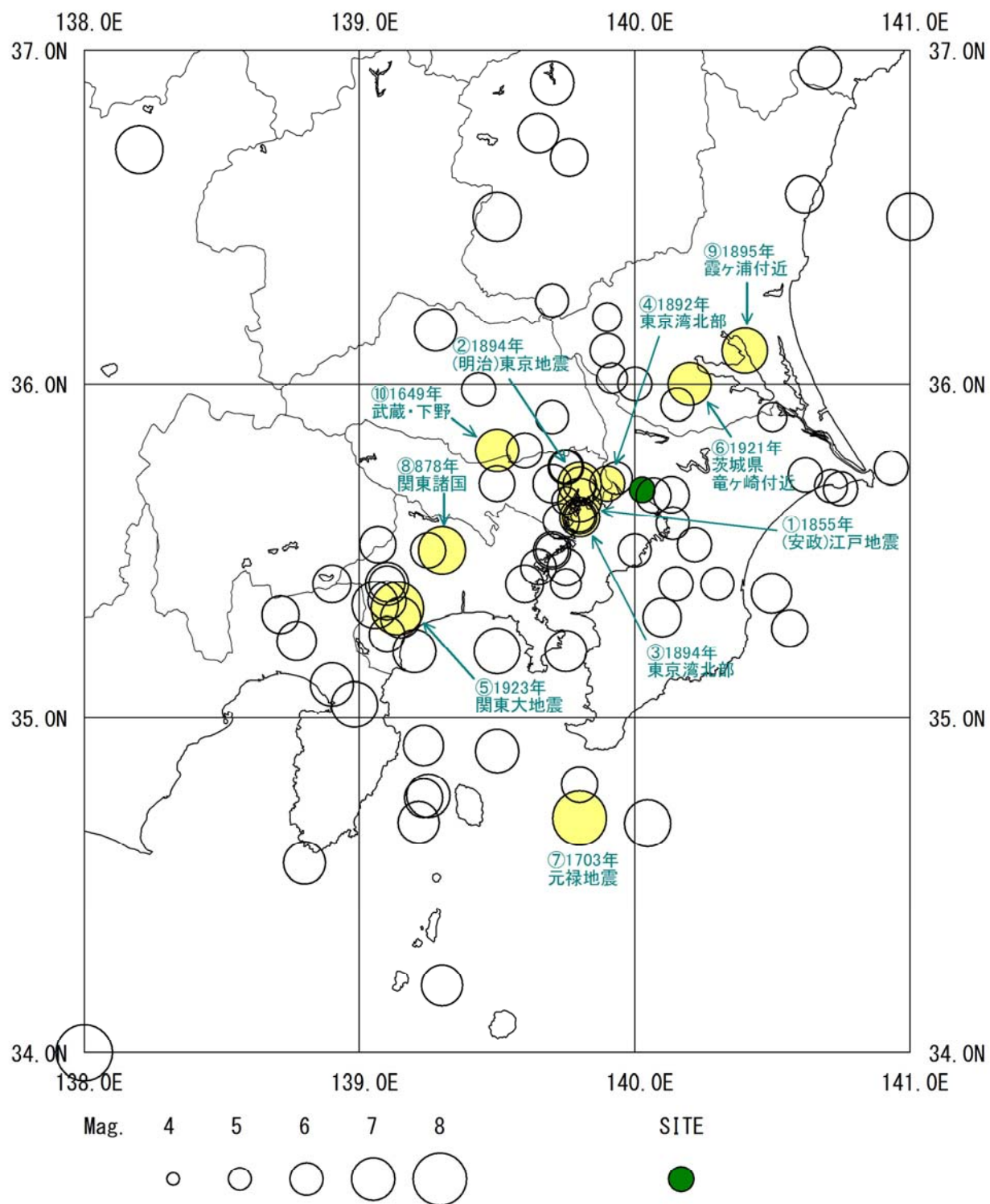


図-3.1 過去の地震記録に基づく震央分布図

(調査地の基盤速度で 0.5cm/s 以上の地震)

※表-3.1 で No. 1～No. 10 の地震を色付けして示す

表-3.1 調査地基盤における最大速度(金井式)が大きく計算された歴史地震

No.	年	月	日	緯度	経度	深度 (km)	マグニ チュード M	震央 距離 (km)	震源 距離 (km)	Vmax (cm/s)	地震の名称 または震央地
1	1855	11	11	35.65	139.80	—	7.1	20.90	23.75	12.60	(安政)江戸地震
2	1894	6	20	35.70	139.80	—	7.0	20.70	23.37	11.96	(明治)東京地震
3	1894	10	7	35.60	139.80	—	6.7	22.51	24.06	7.59	東京湾北部
4	1892	6	3	35.70	139.90	—	6.2	11.73	13.02	7.11	東京湾北部
5	1923	9	1	35.33	139.14	23	7.9	89.78	92.53	6.73	関東大地震
6	1921	12	8	36.00	140.20	—	7.0	38.61	40.08	6.14	茨城県竜ヶ崎付近
7	1703	12	31	34.70	139.80	—	8.1	110.85	113.53	6.12	元禄地震
8	878	11	1	35.50	139.30	—	7.4	68.95	70.49	4.95	関東諸国
9	1895	1	18	36.10	140.40	—	7.2	57.32	58.67	4.85	霞ヶ浦付近
10	1649	7	30	35.80	139.50	—	7.0	49.50	50.64	4.49	武蔵・下野
11	1615	6	26	35.70	139.70	—	6.5	29.72	30.58	4.30	江戸
12	1257	10	9	35.20	139.50	—	7.3	71.76	72.91	3.82	関東南部
13	2011	3	11	38.10	142.86	24	9.0	368.63	368.71	3.70	2011年東北地方太平洋沖地震
14	1630	8	2	35.75	139.75	—	6.3	26.24	26.89	3.54	江戸
15	1909	7	3	35.60	139.80	—	6.1	22.51	23.10	3.43	東京湾西部
16	1913	12	15	35.50	140.00	—	6.0	20.30	20.86	3.34	東京湾
17	1767	10	22	35.70	139.80	—	6.0	20.70	21.25	3.27	江戸
18	818	0	0	36.50	139.50	—	7.5	102.49	103.65	3.24	関東諸国
19	1649	9	1	35.50	139.70	—	6.4	35.88	36.48	2.99	江戸・川崎
20	1906	2	24	35.45	139.75	—	6.4	35.96	36.56	2.98	東京湾

(2) 関東地方で発生する地震の特徴

調査地の所在する関東地方の地震の特徴を地震調査研究推進本部(2009)³⁻⁴⁾を参考にまとめる。関東地方の地震は、次の3タイプに分類される。

- i) 相模湾から房総半島南東沖合にかけてのフィリピン海プレートと陸側のプレート境界付近で発生する地震
- ii) 関東東方沖合の太平洋プレートと陸側のプレート境界付近で発生する地震
- iii) 陸域で発生する地震

i)の地震は、プレート間地震(プレートが境界でずれ動くことにより発生する地震)に分類される関東地震(1923)、元禄地震(1703)などのM8程度の地震が知られている。

ii)の地震は、プレート間地震として房総半島南西沖地震(1909, 1916)、福島県東方沖地震(1938)、太平洋プレート内の地震として房総沖地震(1953)が知られている。

iii)の陸域で発生するタイプの地震は、図-3.2 に示すように活断層などで発生する深さ 0～20kmの浅い地震(図中①)、フィリピン海プレート上面および内部で発生する深さ 20～50kmのやや深い地震(図中②, ③)、太平洋プレート上面及び内部で発生する深さ 50～100kmの深い地震(図中④, ⑤)として分類できる。浅い地震としては、西埼玉地震(1931)、相模・武蔵の地震(878)などが知られている。やや深い地震としては、埼玉県中部の地震(1968)が知られている。なお、安政江戸地震(1855)の発生場所は、地表近くの活断層の活動とする考えと、フィリピン海プレートの上面とする考え、太平洋プレート上面とする考えなどがある。深い地震としては、茨城県南西部や千葉県北西部に定常的で活発な地震活動が知られている。明治東京地震(1894)についても沈み込む太平洋プレートの内部で発生したと考えられている。

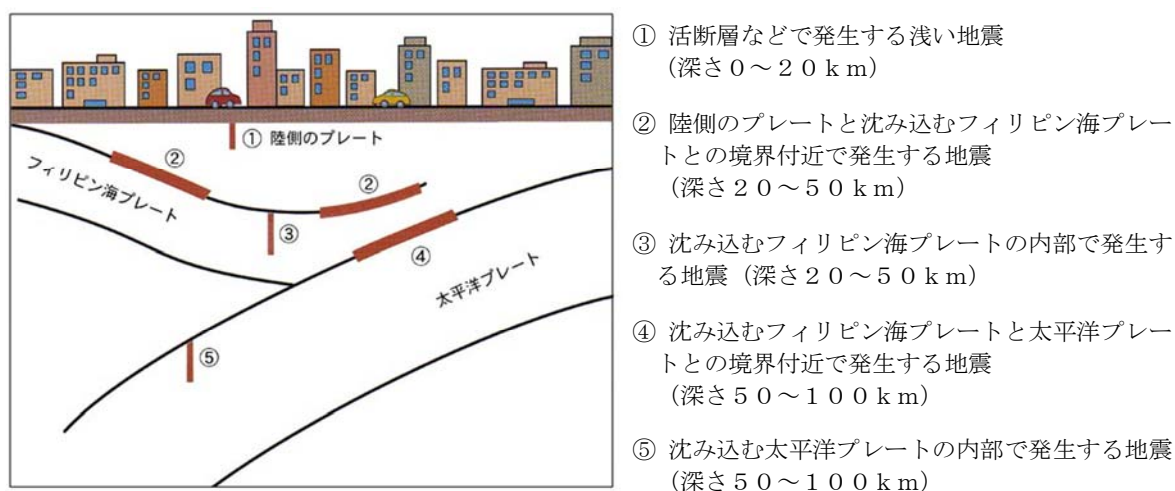


図-3.2 関東地方の陸域で発生する地震の模式図

参考文献

3-4) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：日本の地震活動-被害地震からみた地域別の特徴-〈第2版〉，地震予知総合研究振興会地震調査研究センター，2009。

(3) 千葉県に被害を及ぼした主な地震

地震調査研究推進本部によるウェブサイト³⁻⁵⁾を参考に、千葉県の被害地震について記述する。

千葉県に被害を及ぼす地震は、主に相模湾から房総半島南東沖にかけてのプレート境界付近で発生する地震、関東地方東方沖合のプレート境界付近で発生する地震と、陸域の様々な深さの場所で発生する地震である。

代表例として、相模湾から房総半島南東沖にかけてのプレート境界付近で発生する地震は、1703 年の元禄地震(M7.9～8.2) および 1923 年の関東地震(M7.9)のM8 程度の巨大地震が挙げられる。関東地方東方沖合から福島県沖にかけてのプレート境界付近で発生した地震は、1909 年の房総半島南東沖の地震(M6.9 とM7.5)、1938 年の福島県東方沖地震(M7.5)、1953 年の房総沖地震(M7.4)が挙げられるが、これらの地震による大きな被害は知られていない。陸域で発生した地震は、1987 年の千葉県東方沖の地震(M6.7)や 1989 年の千葉県北部の地震(M6.0)、2005 年の千葉県北西部の地震(M6.0)が挙げられる。また 1855 年の安政江戸地震(M6.9)や茨城県南西部で発生する地震のように周辺地域で発生する地震や三陸沖や東海沖・南海沖などの太平洋沖合で発生するプレート境界付近の地震によっても被害を受けたことがある。

千葉県の主な地震の被害状況を表-3.2 に示す。元禄地震では、地震動と津波により甚大な被害があり、房総半島では津波による死者が 6,500 名以上と考えられている。また、家屋全壊 9,610 棟などの被害が生じた。関東地震では、地震動と津波による被害を合わせて県内の死者・行方不明者 1,346 名、住家全壊 13,767 棟などの被害が生じた。安政江戸地震では下総地方を中心に、死者 20 名、住家全壊 82 棟などの被害が生じた。2011 年の東北地方太平洋沖地震では、県内では死者 22 名、行方不明者 2 名、負傷者 256 名、住家全壊 801 棟などの被害が生じた。

参考文献

3-5) 地震調査研究推進本部：地震動予測地図ウェブサイト全国版
(http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/kanto/p12_chiba.htm)

表-3.2 千葉県に被害を及ぼした主な地震

西暦(和暦)	地域(名称)	M	県内の主な被害(カッコは全国での被害)
818.. (弘仁9)	関東諸国	7.5以上	(相模, 武蔵, 下総, 常陸, 上野, 下野などで被害。 圧死者多数。)
1605.2.3 (慶長9)	(慶長地震)	7.9	山崩れ, 津波により, 死者多数
1677.11.4 (延宝5)	磐城・常陸・安房・上総・ 下総	8.0	磐城から房総にかけて津波。房総で溺死者246人余, 家屋全壊223棟余
1703.12.31 (元禄16)	(元禄地震)	7.9~8.2	地震動, 津波により甚大な被害。県南部を中心に死者6,534人, 家屋全壊9,610棟
1801.5.27 (享和1)	上総	不明	久留里城内で堀などの破損が多く民家も多く倒れた
1854.12.23 (安政1)	(安政東海地震)	8.4	安房地方, 銚子で津波があり, 名洗で漁船が転覆し, 死者3人
1855.11.11 (安政2)	((安政)江戸地震)	6.9	下総地方を中心に, 死者20人, 家屋全壊82棟
1922.4.26 (大正11)	浦賀水道	6.8	住家全壊8棟
1923.9.1 (大正12)	(関東地震)	7.9	死者・行方不明者1,346人, 住家全壊13,767棟, 住家焼失431棟, 住家流出埋没71棟
1987.12.17 (昭和62)	千葉県東方沖	6.7	山武郡, 長生郡, 市原市を中心に被害。 死者2人, 負傷者144人, 住家全壊16棟
2005.2.16 (平成17)	茨城県南部	5.4	負傷者7人
2005.7.23 (平成17)	千葉県北西部	6.0	負傷者8人
2008.7.24 (平成20)	岩手県中部 〔岩手県沿岸北部〕	6.8	負傷者1人
2008.5.8 (平成20)	茨城県沖	7.0	負傷者2人
2011.3.11 (平成23)	(平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震)	9.0	死者22人, 行方不明2人, 負傷者256人, 建物全壊801棟, 建物半壊10,117棟(2013年9月1日現在, 消防庁調べ)

3.2 調査地周辺の活断層

調査地周辺の活断層の分布を図-3.3³⁻⁶⁾に示す。調査地の南～南西方向には鴨川低地断層帯、三浦断層群主部(衣笠・北武断層帯および武山断層帯)が位置している。また北西方には関東平野北西縁断層帯主部が分布している。地震調査研究推進本部による各活断層の長期評価^{3-7) 3-8) 3-9)}から各活断層の特徴を抜粋し次に述べる他、長期評価の概要³⁻¹⁰⁾をまとめて表-3.3に示す。

① 三浦半島断層群主部

三浦半島断層群主部は、三浦半島の中・南部および浦賀水道に分布しており、神奈川県三浦郡葉山町から横須賀市を経て浦賀水道に至る断層である。過去の活動時期の違いから、北側の衣笠・北武断層帯と南側の武山断層帯の二つに分かれる。

衣笠・北武断層帯は西北西－東南東方向に延び、長さは約14kmと推定されるが、さらに両側の海域に延びて約22km以上の可能性もあると推定されている。武山断層帯の長さは約11kmと推定されるが、さらに延びている可能性がある。いずれも右横ずれが卓越する断層帯から構成されている。活動した場合の地震規模はM6.7程度と推定されるが、M7.0以上になる可能性もある。本断層帯は、今後30年の間に地震が発生する可能性が、我が国の主な活断層の中では高いグループに属すると評価されている。

② 関東平野北西縁断層帯主部

関東平野北西縁断層帯主部は、群馬県群馬郡榛名町から埼玉県本庄市、桶川市などを経て北足立群伊奈町に至る、約82kmの断層帯である。概ね北西－南東方向に延び、南西側が北東側に対して相対的に隆起する逆断層である。活動した場合の地震規模はM8.0程度と推定されている。

③ 鴨川低地断層帯

鴨川低地断層帯は、千葉県鴨川市から安房郡富山町に至る鴨川地溝帯南断層と併走する複数の小断層からなる。長さは概ね25kmで東西方向に延びており、断層の南側が北側に対して相対的に隆起する断層帯である。ただし鴨川低地断層帯に関しては、千葉県³⁻¹¹⁾および宮内他³⁻¹²⁾では、横断河川沿いの完新世段丘の累積変位などが確認できなかったなどから、活断層が存在する可能性は低いとしている。

表-3.3 活断層の長期評価

断層帯名 (起振断層/活動区間)	予想 マグニチュード	地震発生確率			地震後 経過率	平均活動間隔
		30年以内	50年以内	100年以内		最新活動区間
三浦半島断層群 (主部/衣笠・北武断層帯)	6.7程度 もしくはそれ以上	ほぼ0%～3%	ほぼ0%～5%	ほぼ0%～10%	0.3-0.8	1,900年-4,900年程度
						6-7世紀
三浦半島断層群 (主部/武山断層帯)	6.6程度 もしくはそれ以上	6%～11%	10%～20%	20%～30%	1.0-1.4	1,600年-1,900年程度
						約2,300年前-1,900年前
関東平野北西縁断層帯 (主部)	8.0程度	ほぼ0%～0.008%	ほぼ0%～0.01%	ほぼ0%～0.03%	0.08-0.5	約13,000年-30,000年程度
						約6,200年前-2,500年前
鴨川低地断層帯	7.2程度	不明	不明	不明	不明	不明
						不明

算定基準日：平成26年1月1日



図-3.3 周辺活断層の活断層分布（地震ハザードステーション³⁻⁶⁾を利用)

参考文献

- 3-6) 防災科学技術研究所：地震ハザードステーション(J-SHIS)
(<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>)
- 3-7) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：三浦半島断層群の長期評価，平成 14 年 10 月 9 日.
(http://www.jishin.go.jp/main/chousa/02oct_miura/index.htm)
- 3-8) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：関東平野北西縁断層帯の長期評価，平成 17 年 3 月 9 日.
(http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05mar_kanto/index.htm)
- 3-9) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：鴨川低地断層帯の長期評価，平成 16 年 6 月 9 日.
(http://www.jishin.go.jp/main/chousa/04jun_kamogawa/index.htm)
- 3-10) 地震調査研究推進本部：今までに公表した活断層および海溝型地震の長期評価一覧，平成 26 年 1 月現在
(http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02_chouki.htm)
- 3-11) 千葉県：平成 12 年度地震関係基礎調査交付金 鴨川低地断層帯に関する成果報告書，2001.
- 3-12) 宮内崇裕・三縄岳大・伊藤谷生・加藤一・河村知徳・井川猛：反射法地震探査からみた鴨川地溝帯の地下構造と組織地形としての成立過程，2003 年地球惑星科学関連学会合同大会予稿集，Q042-006.，2003.

3.3 調査地における想定地震

前節までで述べた歴史地震と調査地周辺の活断層から、調査地において地震動レベルを評価する想定地震を検討する。被害規模を考慮すると、海溝型地震である「関東地震」、「元禄地震」が挙げられる。これらの地震は、それぞれ大正型関東地震、元禄型関東地震として主に規模からタイプ分けされている。地震調査研究推進本部(2014)³⁻⁷⁾によるこれらの地震の長期評価を表-3.4に示す。地震規模を考慮し、調査地においては元禄型関東地震を想定地震とする。

調査地周辺に分布する活断層としては、地震発生確率が高い「三浦半島断層群」が考えられる。また、千葉県(H20)³⁻¹³⁾では、直下型地震としての「東京湾北部地震」と「千葉県東方沖地震」を検討しており、これらの地震も検討対象とした。

表-3.4 海溝型地震の長期評価

領域または地震名	予想 マグニチュード	地震発生確率			地震後 経過率	平均活動間隔
		30年以内	50年以内	100年以内		最新活動区間
大正型関東地震	7.9程度	ほぼ0%～ 0.2%	ほぼ0%～2%	ほぼ0%～8%	0.23-0.45	200～400年
						90.3年前
元禄型関東地震	8.1程度	ほぼ0%	ほぼ0%	ほぼ0%	0.13	2,300年程度
						310.0年前

算定基準日：平成26年1月1日

参考文献

- 3-13) 千葉県：平成19年度千葉県地震被害想定調査報告書，平成20年3月。
(<http://www.pref.chiba.lg.jp/bousai/jishin/higaichousa/houkokusho.html>)

第4章 翠川・小林の応答スペクトルによる想定地震の地震動評価

4.1 翠川・小林の方法の概要

第3章で述べた調査地周辺における想定地震の中から、サイト波を作成する地震を選定するため、翠川・小林の方法による地震動評価を行った。

翠川・小林の方法⁴⁻¹⁾⁴⁻²⁾は、距離減衰式に震源の広がりと破壊の移動の効果を加味した地震動速度応答スペクトルの推定手法である。想定断層面を単純な矩形でモデル化し、少ない断層パラメータを設定し、地震動レベルの目安を簡便に確認できる。

翠川・小林の方法の概要図を図-4.1に示す。翠川・小林の方法による解放工学的基盤面における応答スペクトル計算の流れを文献⁴⁻³⁾を参考にして、以下に示す。

- ① 解放工学的基盤面の地震動スペクトルを $S_v(T)$ 、地震基盤入射波スペクトルを $I(T)$ 、地震基盤から工学的基盤までの地盤増幅特性を $G(T)$ とする。
- ② 地震基盤入射波スペクトル $I(T)$ の計算は、震源断層の広がりとその破壊伝搬の効果を考慮する。すなわち、震源断層を小要素に分割し、各小要素から射出され観測点に到達する地震波の包絡波形を強震記録の統計解析による経験式等から定める。これらを重ね合わせることで断層全体から地震波の包絡波形を求め、その最大値から入射波の強さ $I(T)$ を求める。(図-4.1を参照)
- ③ 解放工学的基盤における地震動スペクトル $S_v(T)$ は、②で求めた地震基盤入射波スペクトル $I(T)$ に、地震基盤から工学的基盤までの地盤増幅特性 $G(T)$ を乗ずることで求められる。

参考文献

- 4-1) 翠川三郎，小林啓美：地震断層を考慮した地震動スペクトルの推定，日本建築学会論文報告集，第282号，pp.71-81，1979.
- 4-2) Kobayashi, H and S, Midorikawa : A semi-empirical method for estimating response spectra of near-field ground motions with regard to fault rupture, Proc. of 7th European Conf. on Earthquake Eng., Vol.2, pp.161-168, 1982.
- 4-3) 日本建築学会：地震荷重-地震動の予測と建築物の応答，1992.

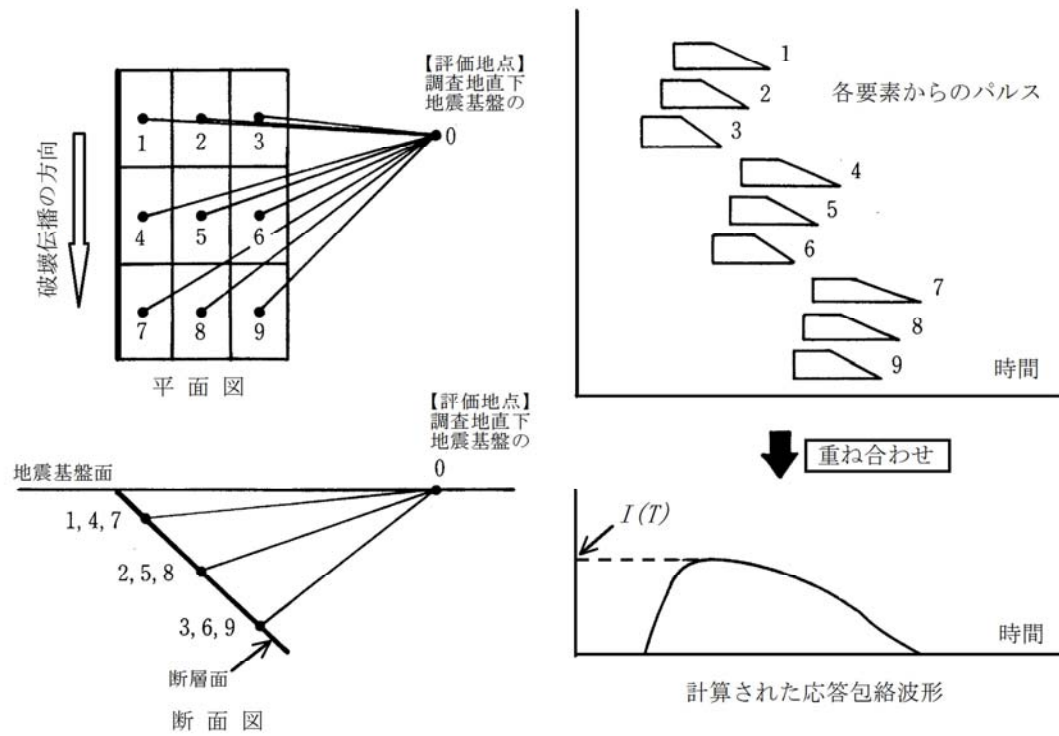


図-4.1 翠川・小林の方法の計算概要図（文献 4-3 に加筆）

4.2 想定地震の断層モデルの設定

第3章で述べた調査地周辺の想定地震を対象に、翠川・小林の方法で地震動評価を行った。検討する想定地震は「元禄型関東地震」「東京湾北部地震」「千葉県東方沖地震」「三浦半島断層群による地震」の4断層である。

翠川・小林の方法計算用に設定した想定地震の断層パラメータを表-4.1に、断層モデル図を図-4.2(1)～(4)に示す。断層パラメータは、「元禄型関東地震」は東京都防災会議(H24)⁴⁻⁴⁾、「東京湾北部地震」「千葉県東方沖地震」「三浦半島断層群による地震」については、千葉県(H20)⁴⁻⁵⁾を参考にした。

各断層モデルの破壊開始の位置は、予測が困難であることから、断層面の四隅とし、断層基準点から右回りにNo.1～4と設定した。

参考文献

4-4) 東京都防災会議：「首都直下地震等による東京の被害想定報告書」，平成24年4月。

(<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/tmg/assumption.html>)

4-5) 千葉県：平成19年度千葉県地震被害想定調査報告書，平成20年3月。

4-6) 地震調査研究推進本部：付録3 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)，平成21年12月。

表-4.1 翠川・小林の方法の地震動評価に用いた断層パラメータ

断層モデル	注1) 元禄型関東地震	注2) 東京湾北部地震	注2) 千葉県 東方沖地震	注2) 三浦半島断層群 による地震
マグニチュード M_j	8.1	7.3	6.8	7.2
モーメント マグニチュード M_w	8.2	7.3	6.8	6.9
断層基準点の緯度 ($^{\circ}$)	34.709	35.32	35.37	35.1741
断層基準点の経度 ($^{\circ}$)	140.344	140.14	140.44	139.7725
断層長さ L (km)	151	63.64	20	28
断層幅 W (km)	70	31.82	20	16
走向 θ ($^{\circ}$)	294	296	349	300
傾斜角 δ ($^{\circ}$)	16	23	69	45
すべり量 D (m)	6.67	1.6	1.5	1.6
立上がり時間 τ (s)	13.5 ※1	6.4 ※1	4.0 ※1	3.2 ※1
断層最浅部の深さ d (km)	3.76	17	29	5
破壊伝播速度 V_R (km/s)	2.6	2.5	2.5	2.5
伝播経路の速度 V_S (km/s)	3.7	3.5	3.5	3.5
剛性率 μ (N/m^2)	3.00E+10	3.40E+10	3.40E+10	3.40E+10
地震モーメント M_0 ($N \cdot m$)	2.12E+21	1.12E+20	2.00E+19	2.50E+19

注1) 東京都防災会議(2012)⁴⁻⁴⁾

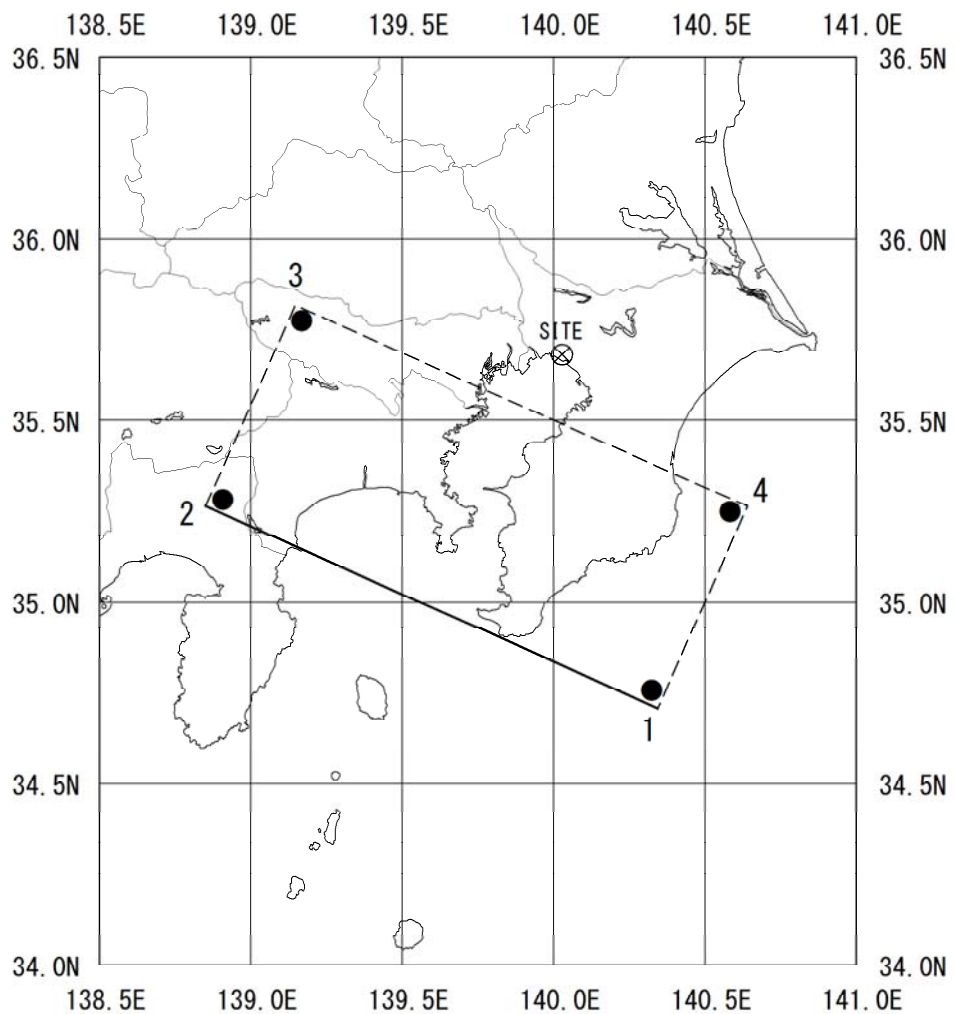
: 「首都直下地震等による東京の被害想定報告書」

注2) 千葉県 (H20)⁴⁻⁵⁾

: 「平成19年度千葉県地震被害想定調査結果報告書」

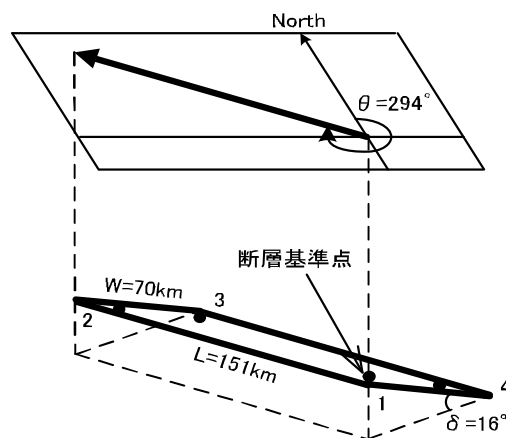
※1 地震調査研究推進本部 (H21)⁴⁻⁶⁾

: 「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」より, $\tau = W / (2VR)$



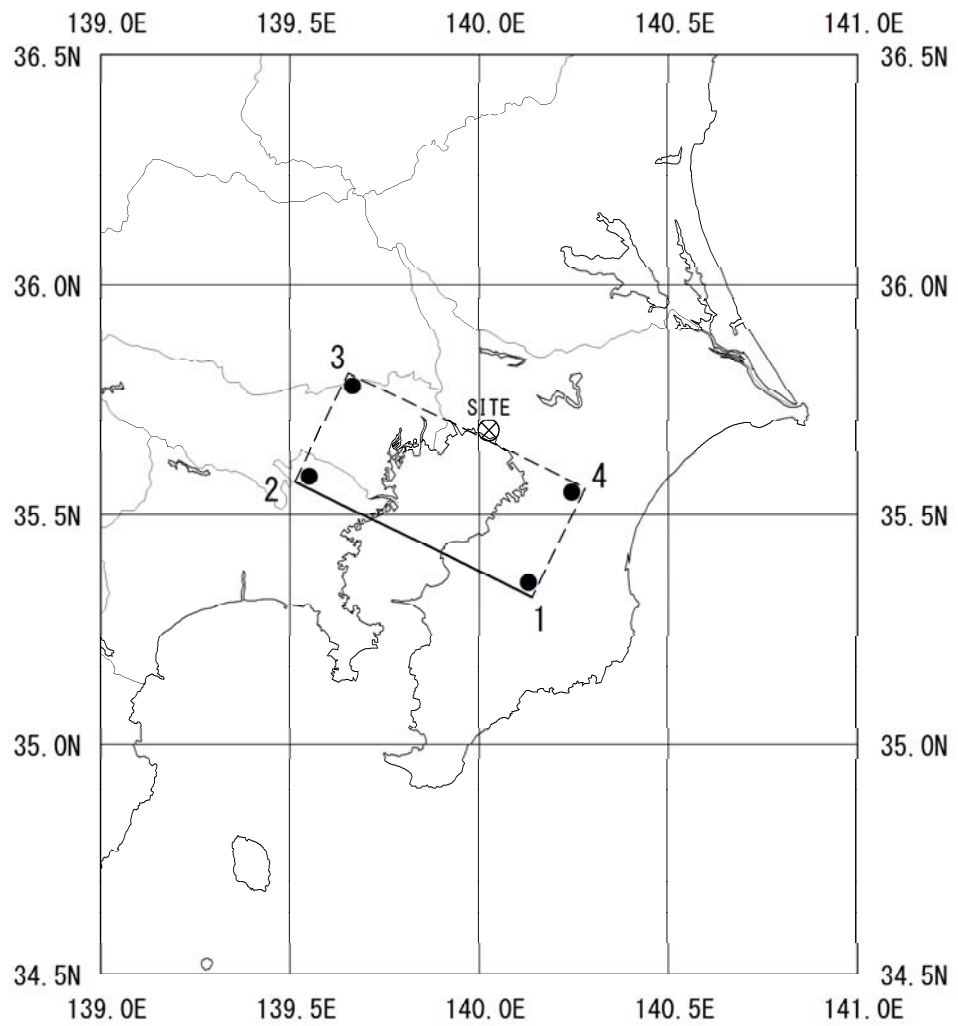
断層位置平面図

パラメータリスト



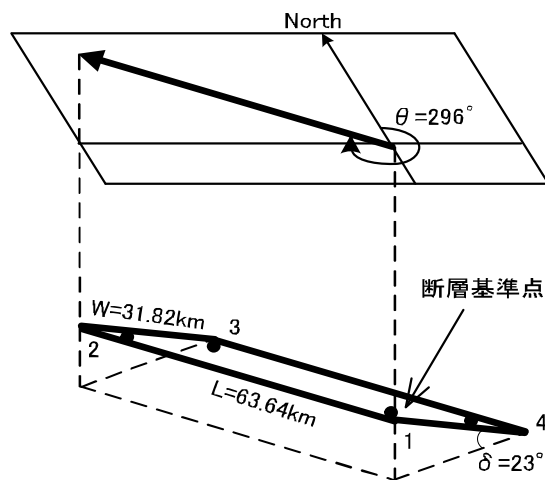
断層面基準点 : 35.709° N
 " : 139.344° E
 " : d=3.76km
 断層長さ : L= 151km
 断層幅 : W= 70km
 断層走向 : $\theta = 294^\circ$
 傾斜角 : $\delta = 16^\circ$
 すべり量 : D= 6.67m
 マグニチュード : $M_j = 8.2$
 破壊開始点 : ●

図-4.2(1) 断層モデル図【元禄型関東地震】



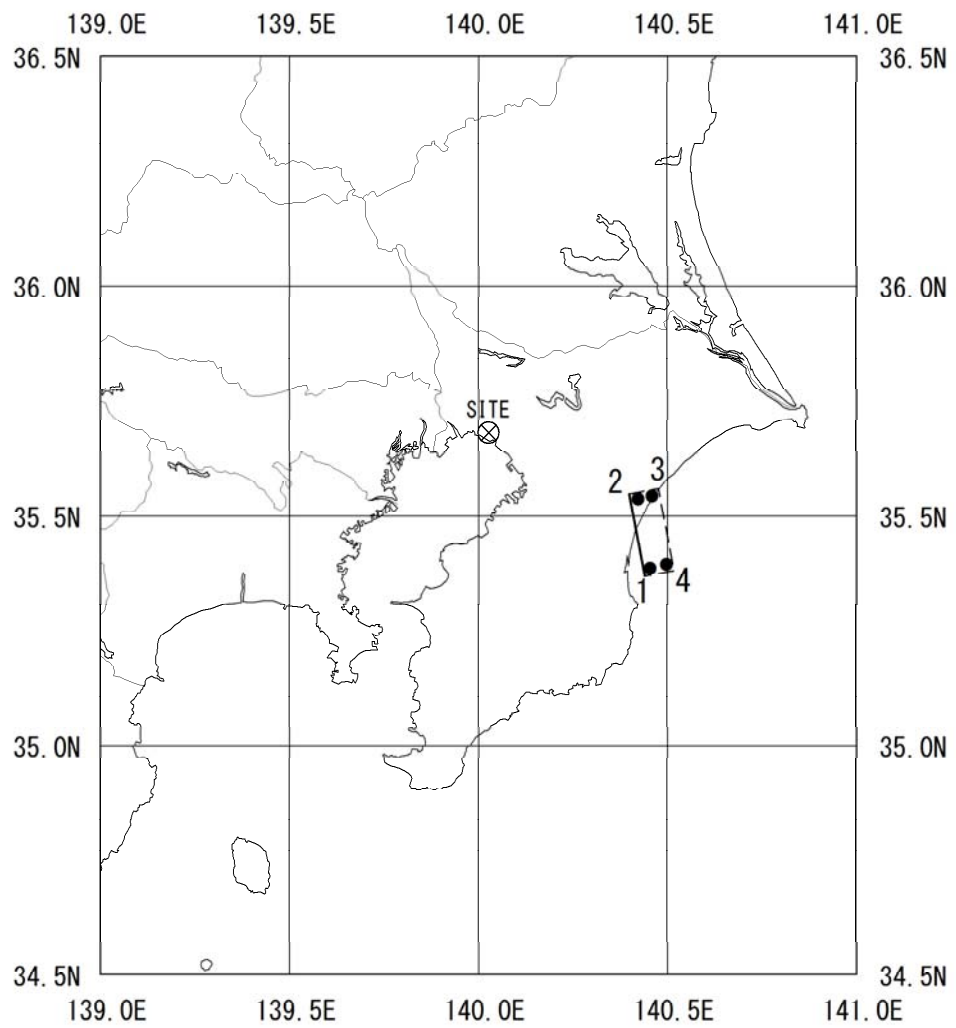
断層位置平面図

パラメータリスト

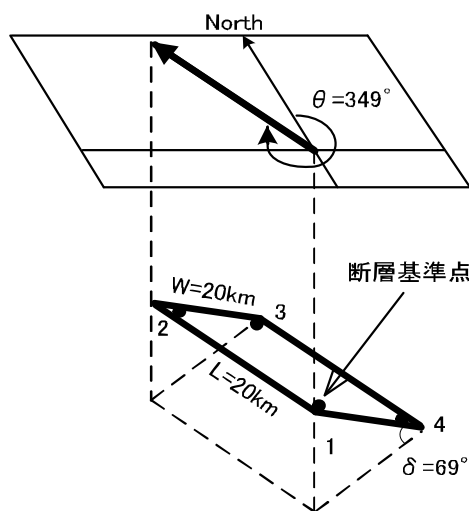


断層面基準点 : 35.32° N
 " : 140.14° E
 " : d = 17km
 断層長さ : L = 63.64km
 断層幅 : W = 31.82km
 断層走向 : $\theta = 296^\circ$
 傾斜角 : $\delta = 23^\circ$
 すべり量 : D = 1.6m
 マグニチュード : $M_j = 7.3$
 破壊開始点 : ●

図-4.2(2) 断層モデル図【東京湾北部地震】



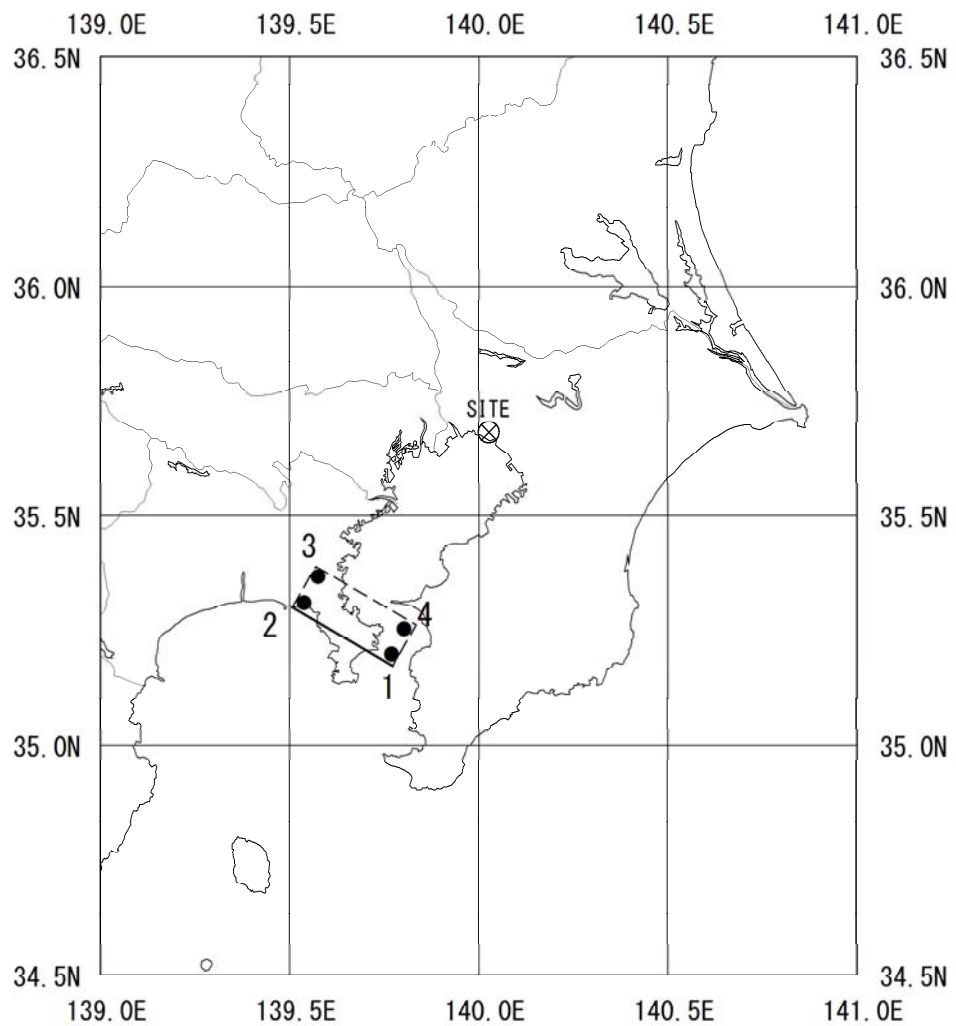
断層位置平面図



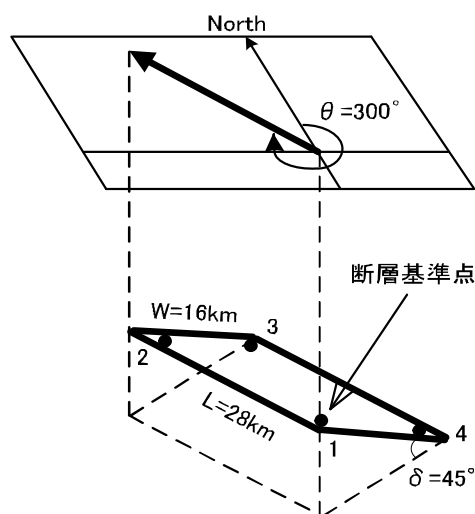
パラメータリスト

断層面基準点 : 35.37° N
 " : 140.44° E
 " : d = 29km
 断層長さ : L = 20km
 断層幅 : W = 20km
 断層走向 : $\theta = 349^\circ$
 傾斜角 : $\delta = 69^\circ$
 すべり量 : D = 1.5m
 マグニチュード : $M_j = 6.8$
 破壊開始点 : ●

図-4.2(3) 断層モデル図【千葉県東方沖地震】



断層位置平面図



パラメータリスト

断層面基準点 : 35.1741° N
 " : 139.7725° E
 " : d = 5km
 断層長さ : L = 28km
 断層幅 : W = 16km
 断層走向 : $\theta = 300^\circ$
 傾斜角 : $\delta = 45^\circ$
 すべり量 : D = 1.6m
 マグニチュード : $M_j = 7.2$
 破壊開始点 : ●

図-4.2(4) 断層モデル図【三浦半島断層群による地震】

4.3 応答スペクトル計算結果と想定地震の評価

翠川・小林の方法により求めた地震基盤および工学的基盤における応答スペクトルを図-4.3 に示す。

翠川・小林の方法による応答スペクトルは、断層面四隅に設定した破壊開始点(図-4.2 参照)により大きさが異なる。各想定地震で最大となった破壊開始点は、以下の通りである。

- ・元禄型関東地震 : 破壊開始点 2
- ・東京湾北部地震 : 破壊開始点 2
- ・千葉県東方沖地震 : 破壊開始点 4
- ・三浦半島断層群による地震 : 破壊開始点 2

これらの工学的基盤面における最大応答スペクトルを図-4.4 に示す。最大応答スペクトルを比較すると、周期約 0.4 秒より長周期側で「元禄型関東地震」が大きく、短周期側では「東京湾北部地震」が大きくなっている。

同図には、告示「極めて稀に発生する地震動」の応答スペクトルを参考に示した。「元禄型関東地震」の応答スペクトルは、一部の周期帯で告示「極めて稀に発生する地震動」のスペクトルよりも大きくなった。告示よりも大きくなった周期帯は、周期 3~4 秒と 6.5 秒より長周期側の範囲である。

以上の結果から、調査地においてサイト波を作成する地震は、告示のスペクトルを部分的に上回った「元禄型関東地震」と短周期側で最大となった「東京湾北部地震」とした。

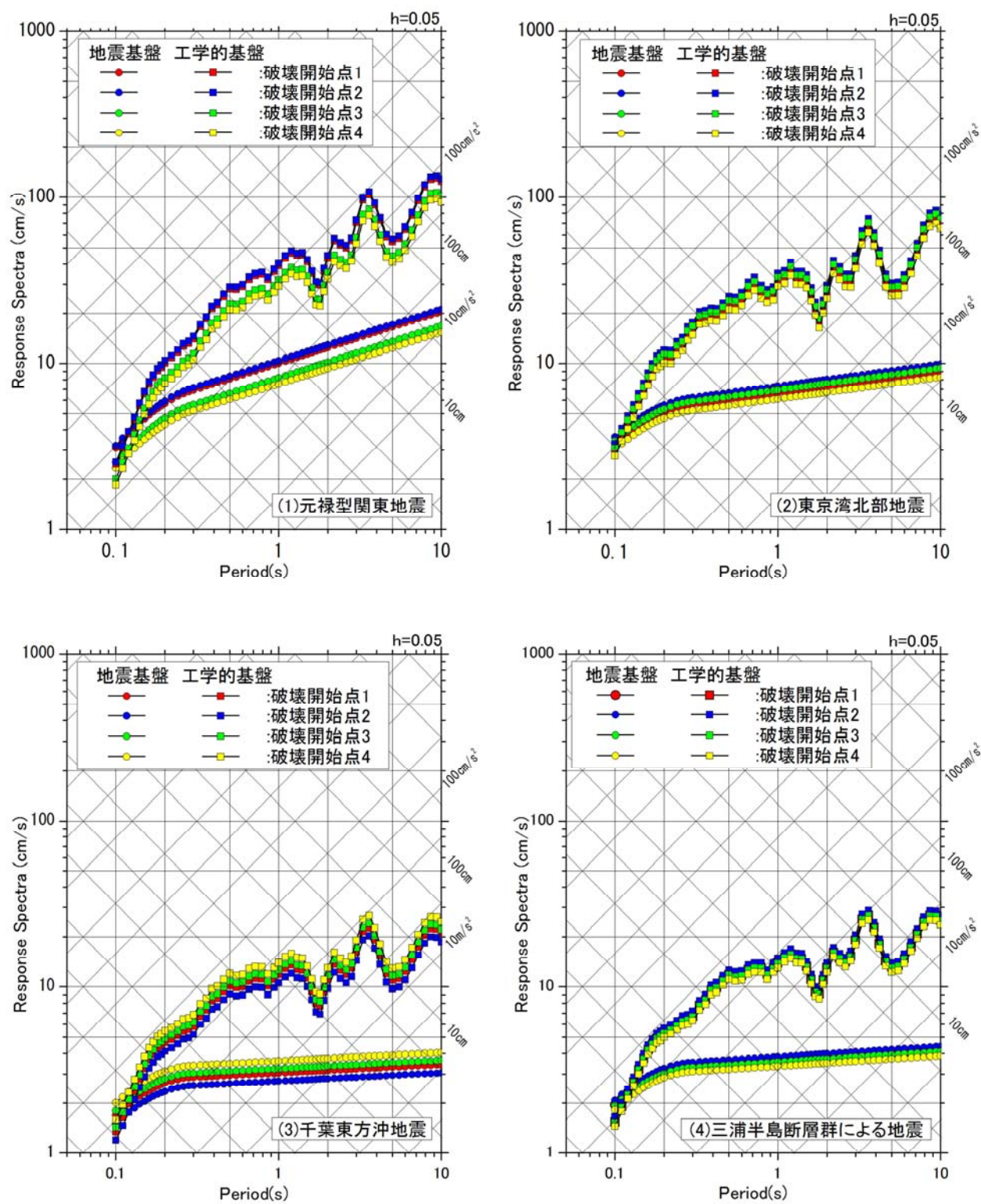


図-4.3 翠川・小林の方法による応答スペクトル

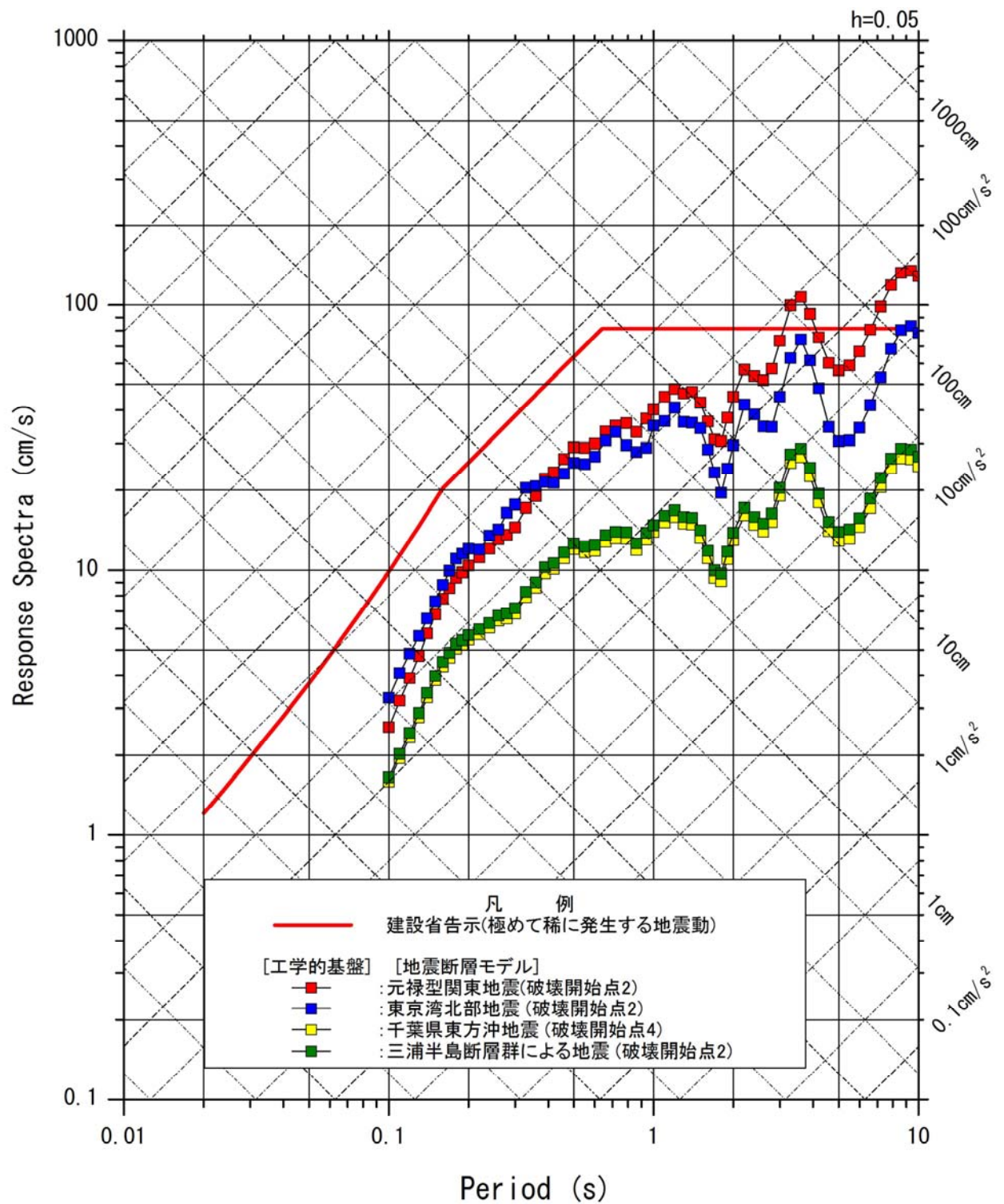


図-4.4 翠川・小林の方法による最大応答スペクトルの比較（工学的基盤面）

第5章 解放工学的基盤面におけるサイト波の作成

5.1 元禄型関東地震および東京湾北部地震の作成

5.1.1 作成方法

(1) 作成概要

サイト波として、元禄型関東地震と東京湾北部地震を作成した。作成手法は、長周期地震波を理論的方法、短周期地震波を経験的方法によりそれぞれ作成し、両波形を時間領域で重ね合わせるハイブリッド法とした。

長周期地震波を作成する理論的計算法には、一次元地盤構造による波数積分法 (Saikia, 1994)⁵⁻¹⁾を用い、地表面における理論波形を作成した。

短周期地震波の計算には統計的なシミュレーション法 (Boore, 1983)⁵⁻²⁾で作成した小地震波形をグリーン関数とし、入倉の方法 (Irikura, 1986)⁵⁻³⁾により大地震の波形を合成するいわゆる統計的グリーン関数法⁵⁻⁴⁾を用いた。地震基盤における波形を作成した後、これらの波形に SH の増幅関数を乗じて地表面の水平動、斜め入射を考慮した SV の増幅関数を乗じて地表面の上下動を作成した。

地表面における理論波形と統計的グリーン関数法で作成した波形を、ハイブリッド合成した。また、規模の大きい元禄型関東地震については、分割片を作成する際にハイブリッド法を用いて作成し、それを要素地震として合成するハイブリッドグリーン関数法を用いて作成した。水平動については、合成した波形を線形で逆増幅させて工学的基盤面の波形を作成した。上下動については一般に工学的基盤面から地表において大きく増幅しないことから地表面の波形をそのまま設計用入力地震動とする。

サイト波作成の流れを図-5.1 に示す。

参考文献

- 5-1) Saikia, C. K.: Modified frequency-wavenumber algorithm for regional seismograms using Filon's quadrature: modeling of Lg waves in eastern North America, *Geophys. J. Int.*, Vol. 118, pp. 142-158, 1994
- 5-2) Boore, D. M.: Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 73, No. 6, pp. 1965-1994, 1983
- 5-3) Irikura, K.: Prediction of strong acceleration motions using empirical Green's function, *Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp.*, pp. 151-156, 1986
- 5-4) 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長: 地震のスケーリング則に基づいた大地震時の強震動予測—統計的波形合成法による予測, *日本建築学会構造系論文報告集*, 第 430 号, pp. 1-9, 1991

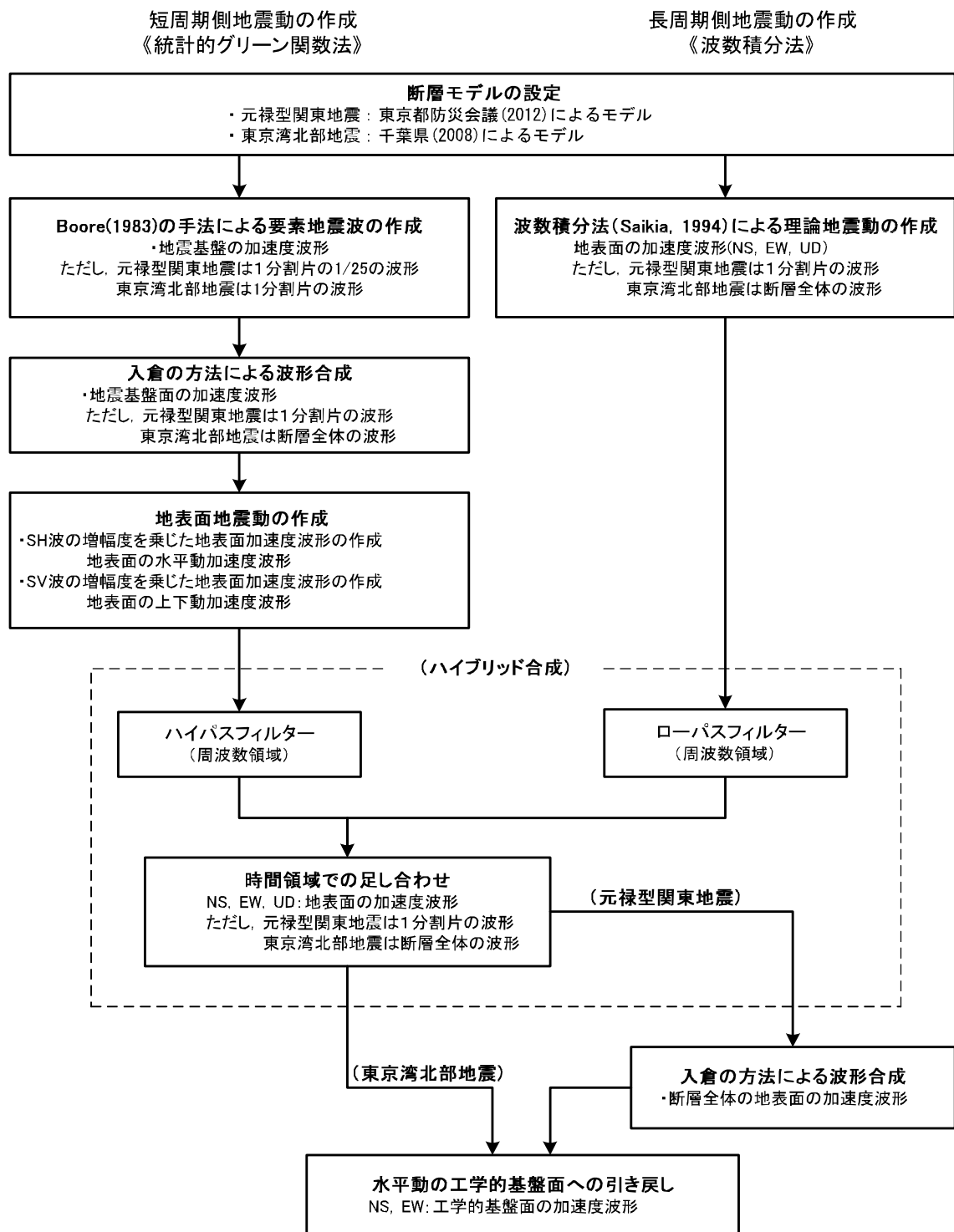


図-5.1 ハイブリッド法を用いたサイト波作成の流れ

(2) 入倉の方法について

入倉の方法は、想定する巨大地震と中小地震間の震源パラメータの相似則と震源スペクトル (ω^{-2} モデル) のスケーリング則を満足するように中小地震記録(要素地震波)をグリーン関数として重ね合わせを行い、巨大地震時の地震波を作成する。よって、この手法は、適切な断層モデルの設定と調査地における中小地震記録が得られていれば、理論的手法のみで説明が困難な短周期成分までの評価が可能である。

基本とする波形合成法は Irikura (1986)⁵⁻³⁾ および入倉・他 (1997)⁵⁻⁵⁾ により下式で表現される。

$$g_m(t) = C \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{r_s}{r_{ij}} F(t-t_{ij}) * g_s(t) \quad (1)$$

$$F(t) = \delta(t) + \frac{1}{n'(1-e^{-1})} \sum_{k=1}^{(N-1)n'} e^{\frac{(k-1)}{(N-1)n'}} \delta\left[t - \frac{(k-1)\tau}{(N-1)n'}\right] \quad (2)$$

$$t_{ij} = \frac{r_{ij} - r_o}{V_s} + \frac{\xi_{ij}}{V_R} + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

ここで、 $g_m(t)$ は大地震動、 $g_s(t)$ は小地震動、 r_s 、 r_{ij} はそれぞれ小地震および断層面上の ij から観測点までの距離である。また、 ξ_{ij} は破壊開始点から ij 要素までの距離、 r_o は観測点から断層面上の破壊開始点までの距離、 V_s 、 V_R はそれぞれ S 波速度、破壊伝播速度である。 τ は大地震の立ち上り時間、 n' は足し合わせの際に生じる人為的な周期性を高周波数領域に移すための数、 ε_{ij} は小断層サイズと破壊速度により生じる周期性を防ぐためのランダム数である。

なお、 $\delta(t)$ はデルタ関数、(1) 式の*はコンボリューションを表す。断層分割のためのスケーリングパラメータ N は(4) 式から得られる。

$$CN^3 = Mo / Moe \quad (4)$$

M_o 、 M_{oe} は大地震および小地震の地震モーメント、 C は両者の応力降下量の比 ($c = \Delta \sigma / \Delta \sigma_e$) である。

本手法では、想定地震の断層面を複数の要素断層に分割し、各要素断層から放出される要素地震波を多数合成させることによって大地震の地震波形を作成する。

本検討では、分割要素断層サイズと破壊速度により生じる周期性を防ぐためのランダム数を用いて、30 パターンの地震波を求めた。

参考文献

- 5-5) 入倉孝次郎・香川敬生・関口春子：経験的グリーン関数を用いた強震動予測方法の改良，日本地震学会講演予稿集，B25，1997
- 5-6) 釜江克宏：経験的 Green 関数法による強震動予測，月刊地球号外 No. 37，128-137，2002
- 5-7) 日本建築学会：最新の地盤震動研究を活かした強震波形の作成法，日本建築学会編，63，2009

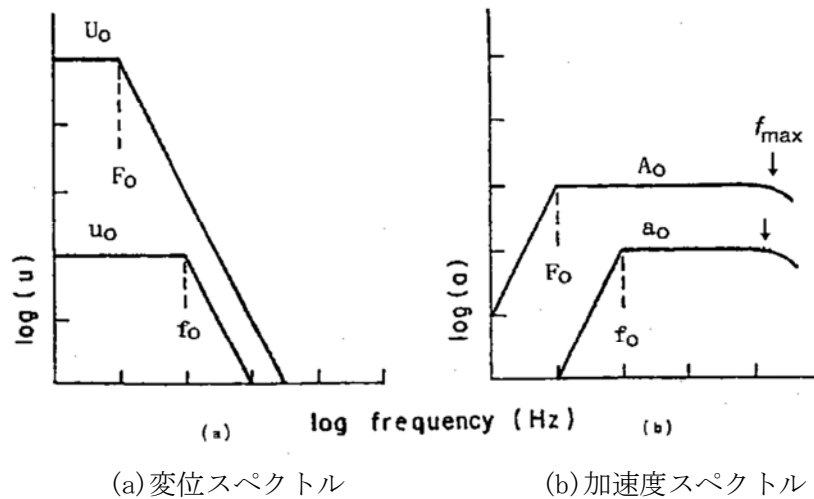


図-5.2 応力降下量一定の基礎の ω^{-2} スペクトルモデルのスケーリング則⁵⁻⁶⁾
 $(F_0, f_0$ はコーナー周波数, f_{\max} は高周波限界)

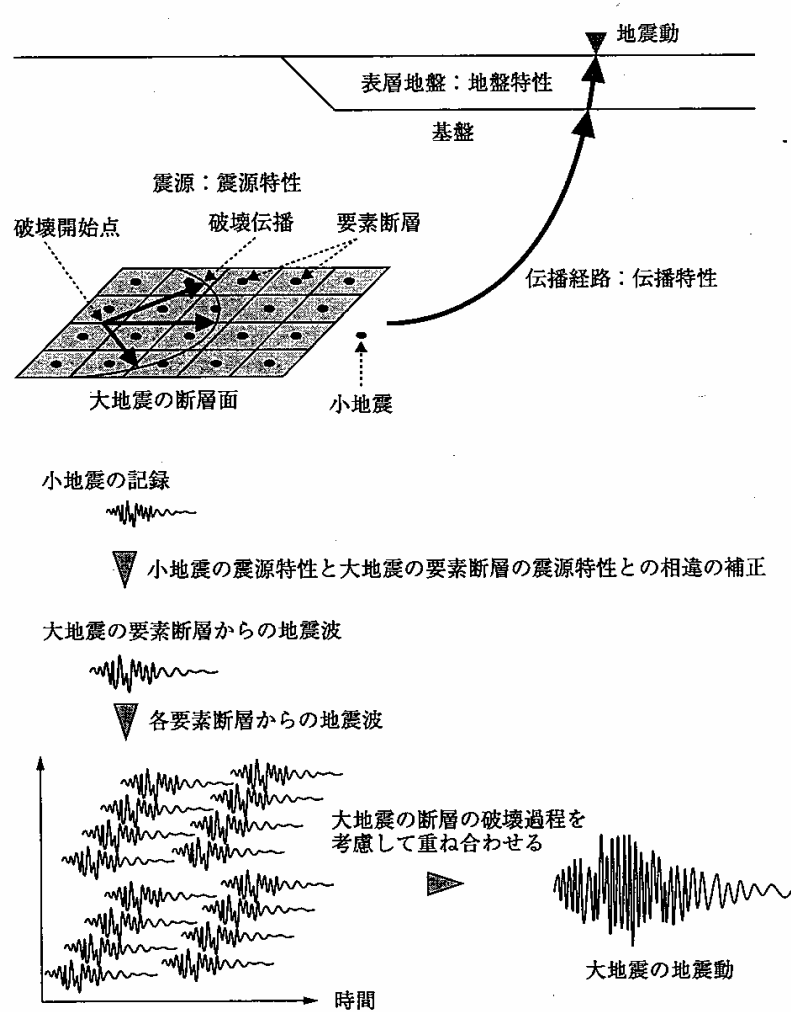


図-5.3 小地震の重ね合わせにより大地震を作成する手法の模式図⁵⁻⁷⁾

5.1.2 元禄型関東地震の作成

(1) 断層モデルの設定

元禄型関東地震の断層モデルは東京都(2012)⁵⁻⁸⁾によるモデルを参考に設定した。断層パラメータを表-5.1に、断層モデル図を図-5.4に示す。

表-5.1 元禄型関東地震の断層パラメータ

項 目		単位	断層パラメータ				
巨視的震源特性	断層基準点北緯	deg.	34.7861				34.711
	断層基準点東経	deg.	140.1360				140.716
	上端深さ	km	3.76				1.30
	走向	deg.	294				290
	傾斜角	deg.	16				45
	すべり角	deg.	143				125
	断層長さ	km	130				50
	断層幅	km	70				30
	断層面積	km ²	10600				
	平均すべり量	m	6.67				
	地震モーメント	N・m	2.12E+21				
	剛性率	N/m ²	3.00E+10				3.43E+10
	平均密度	g/cm ³	2.9				2.8
	S波速度	km/s	3.7				3.5
破壊伝播速度	km/s	2.6					
区分領域の震源特性	区分領域名	－	第17スベリィ	第27スベリィ	第37スベリィ	背景	第47スベリィ
	地震モーメント	N・m	4.39E+20	1.90E+20	1.36E+20	7.36E+20	6.17E+20
	総面積	km ²	1137.5	650	520	6792.5	1500
	平均すべり量	m	12.87	9.73	8.70	3.61	12.00
	応力降下量	MPa	27.9	27.9	27.9	3.2	26.0
	立ち上がり時間	s	6.73	4.81	3.85	13.46	5.77

参考文献

5-8) 東京都：首都直下地震等による東京の被害想定，平成24年(2012年)4月18日公表

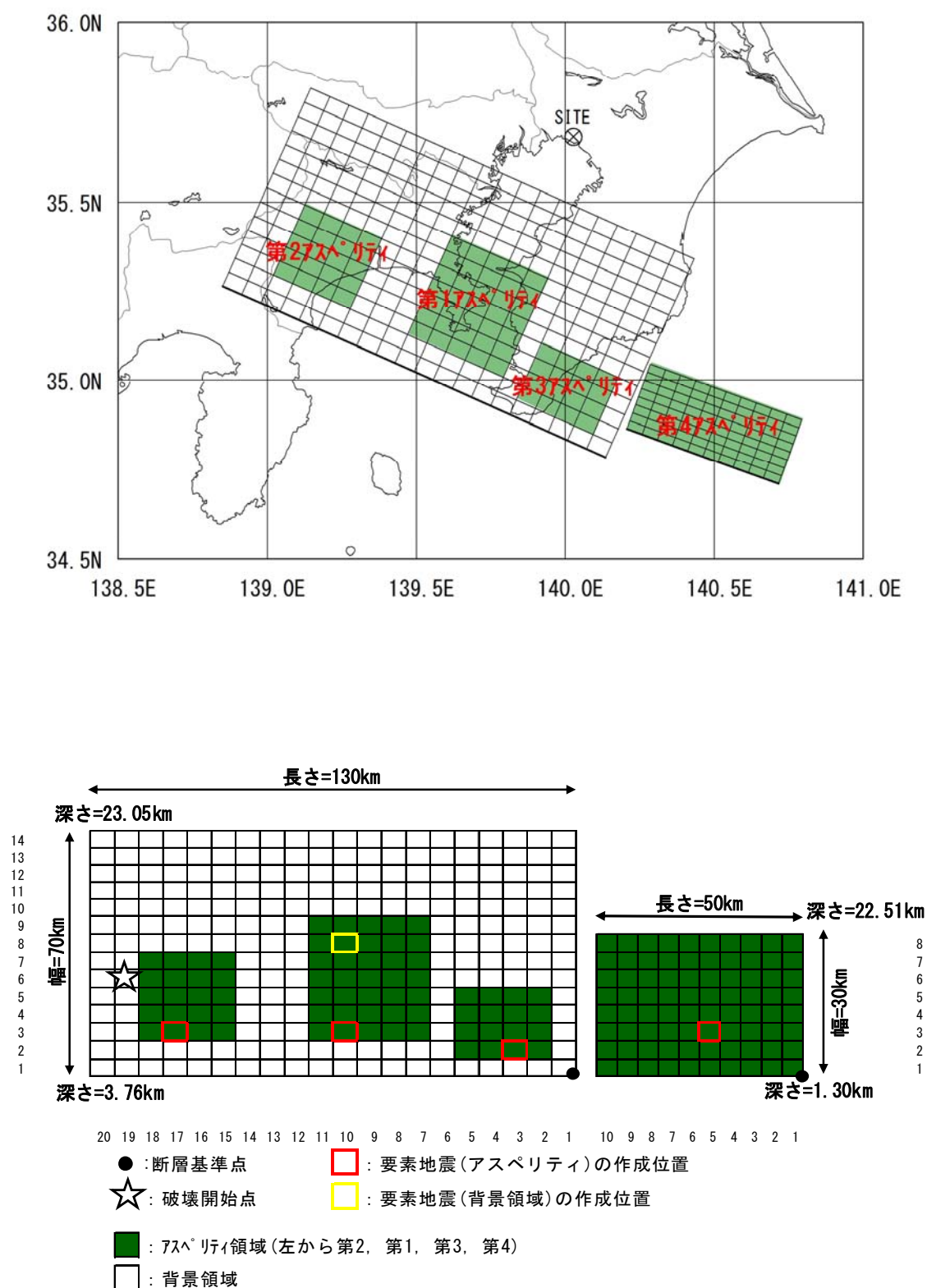


図-5.4 元禄型関東地震の断層モデル図

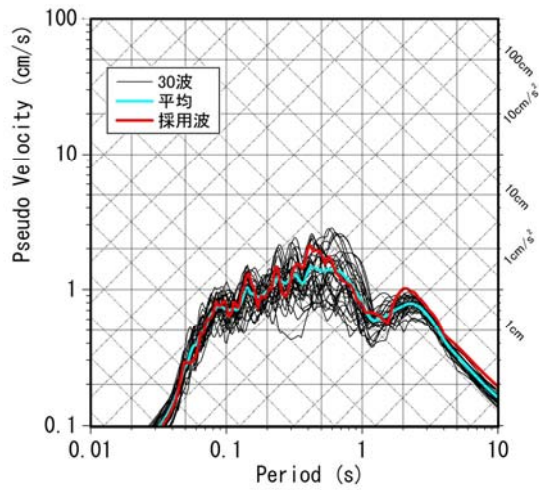
(2) ハイブリッド法による要素地震の作成

①統計的グリーン関数法による短周期側地震の作成

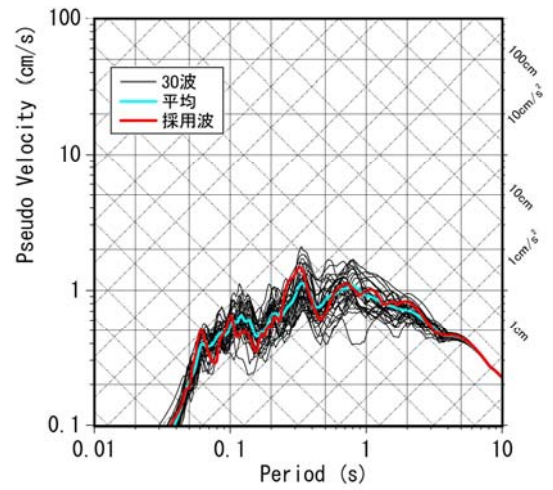
要素地震波の振幅特性は Boore (1983) の手法に基づき、震源特性と伝播経路特性から求めた。

元禄型関東地震については、図-5.4 に示す作成位置の要素地震(分割片)をさらに 5×5 に分割し、それらのうちの中心の分割片にて Boore の方法で小地震を作成して、入倉の方法で要素地震の短周期側地震動を作成した。作成に当たって、分割要素断層サイズと破壊速度により生じる周期性を防ぐためのランダム数を用いて、30 波の地震波を求めた。地震基盤で作成した短周期側地震動の応答スペクトルを図-5.5 に示す。図には 30 波の応答スペクトルと平均および採用波の応答スペクトルを示した。

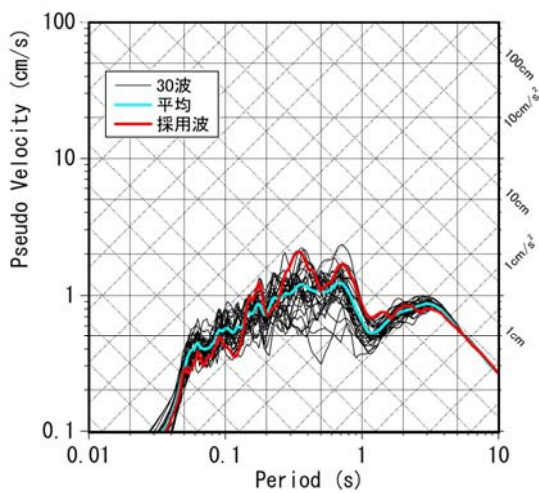
これらの採用波に地震基盤から地表面の増幅計算により地表面の水平動波形を作成した。また、上下動については斜め入射による SV 波の増幅計算により地表面の上下動波形を作成した。作成した地表面における波形と応答スペクトルを図-5.6～図-5.7 に示す。



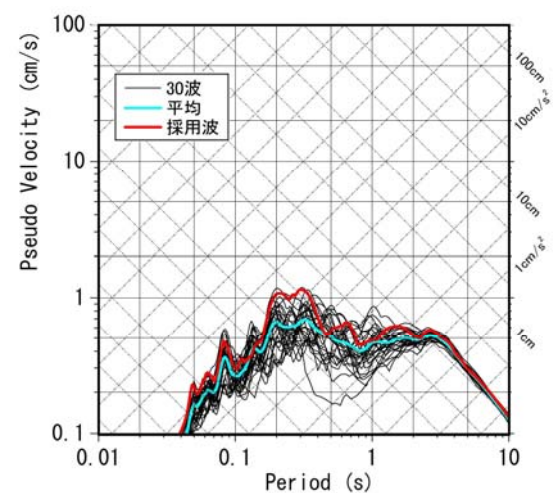
①第1アスペリティ



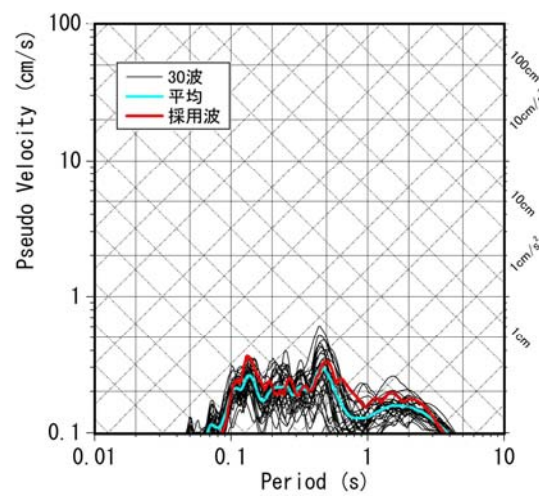
②第2アスペリティ



③第3アスペリティ



④第4アスペリティ



⑤背景領域

図-5.5 元禄型関東地震の短周期側要素地震の応答スペクトル(地震基盤入射波)

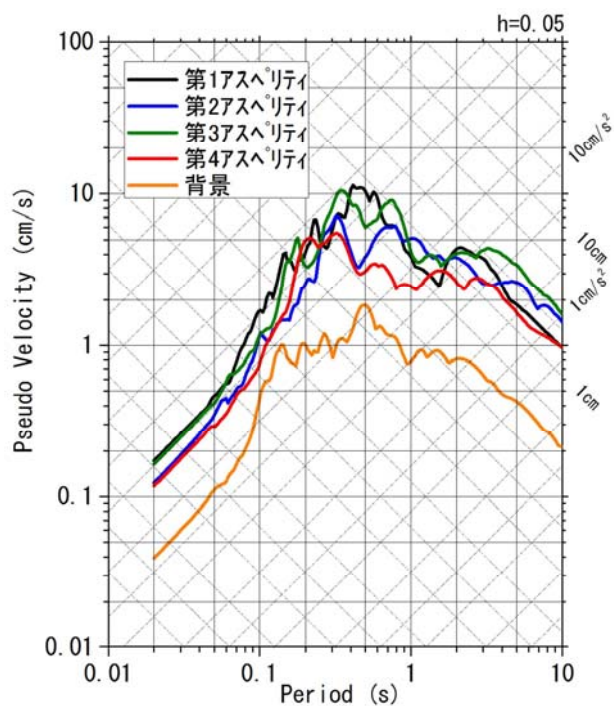
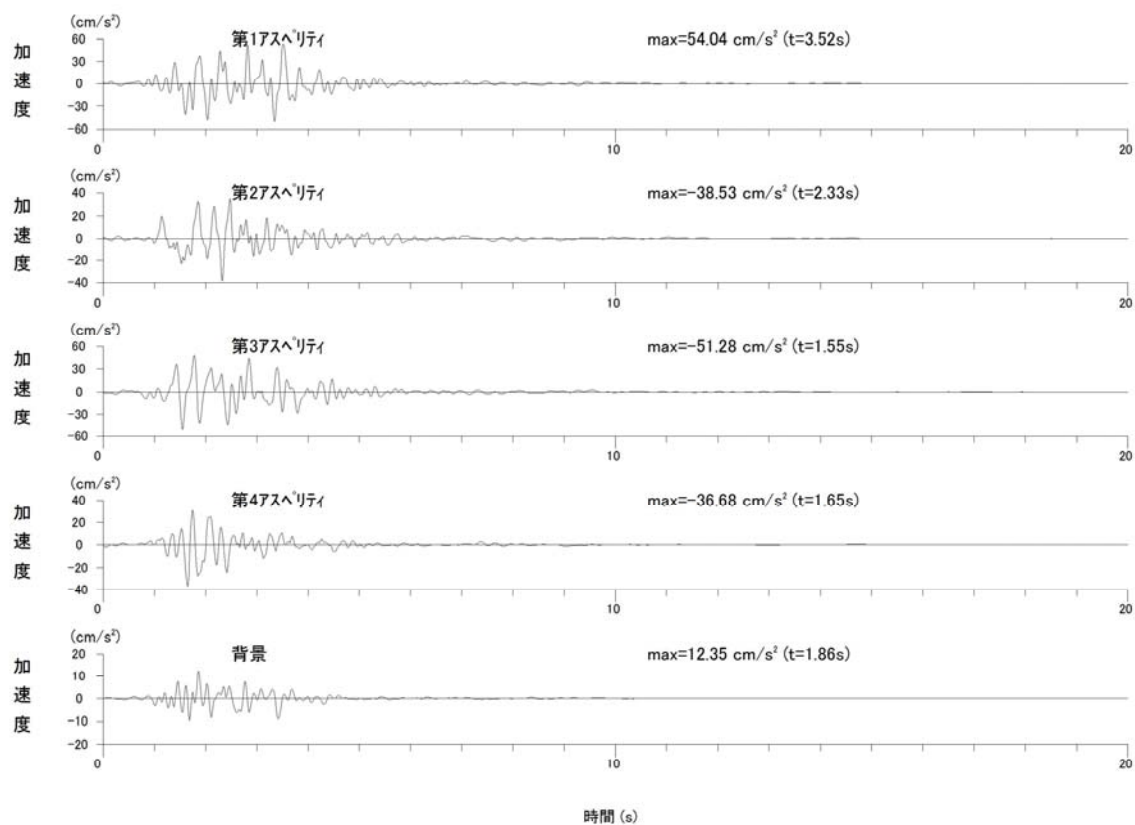


図-5.6 元禄型関東地震の短周期側要素地震の波形と応答スペクトル(地表面，水平動)

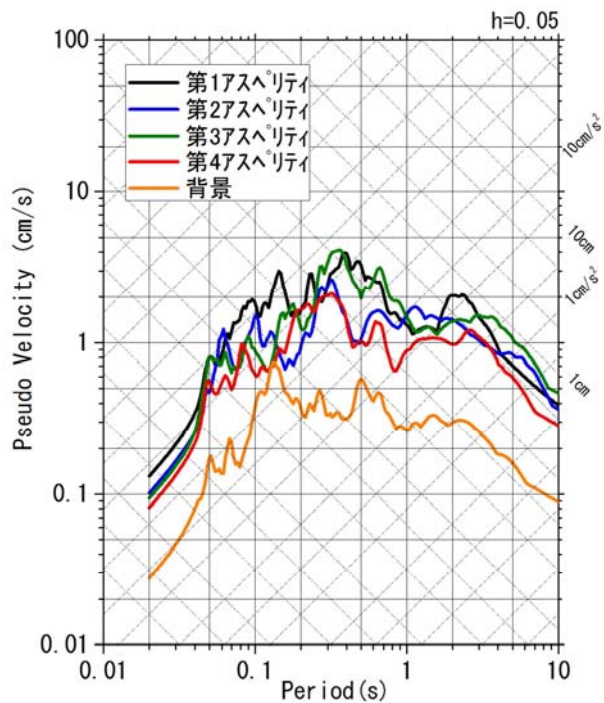
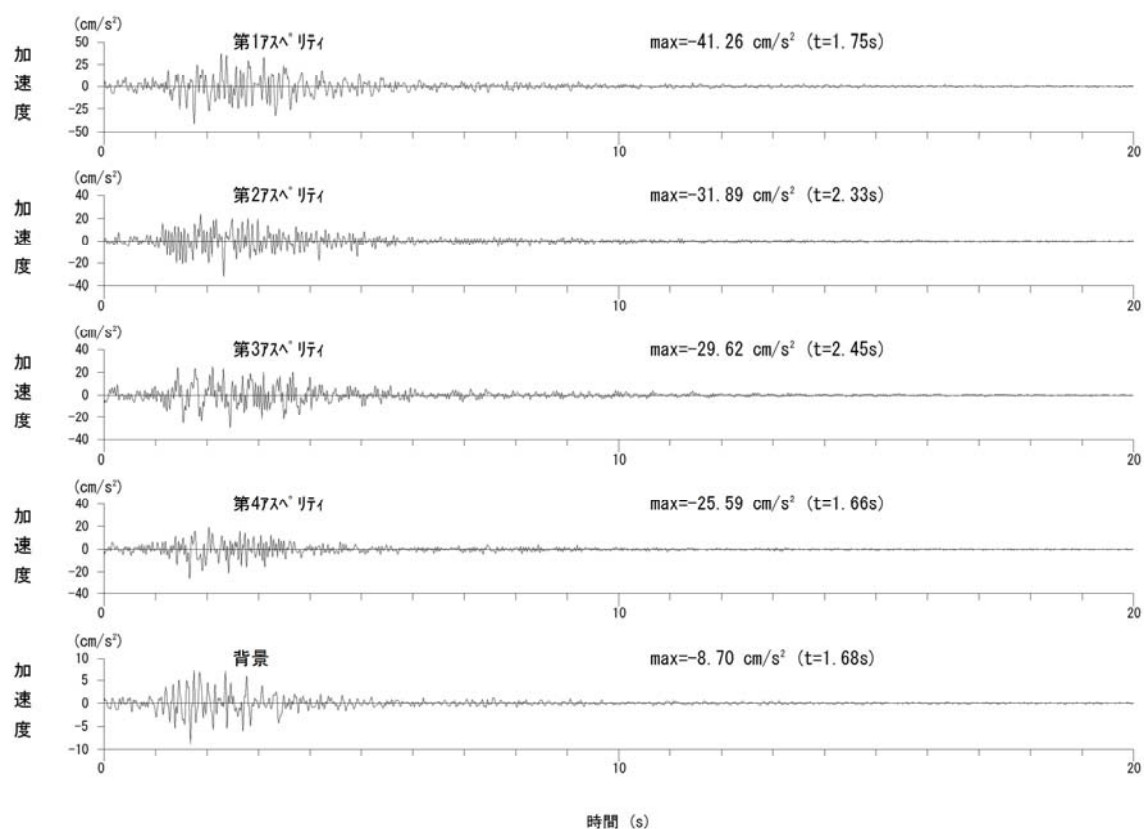


図-5.7 元禄型関東地震の短周期側要素地震の波形と応答スペクトル(地表面，上下動)

②波数積分法による長周期側地震動の作成

a. すべり速度時間関数

波数積分法の計算に用いたすべり速度時間関数を図-5.8に示す。すべり速度時間関数の作成は中村・宮武(2000)⁵⁻⁹⁾を用いた。

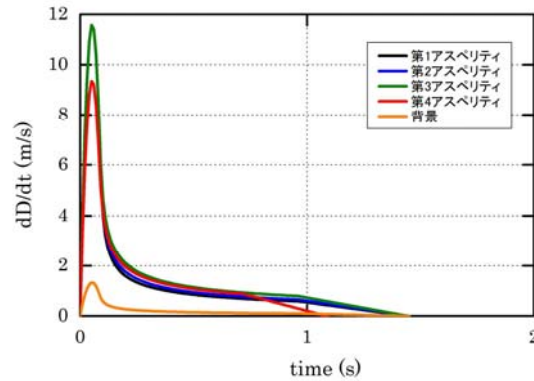


図-5.8 要素地震のすべり速度時間関数

b. 深い速度構造の設定

波数積分法による理論計算に必要な地震基盤より深い地殻等の速度構造は、地震調査研究推進本部(平成15年)⁵⁻¹⁰⁾を参考に設定し、表-5.2に示す。

表-5.2 理論計算に用いた伝播経路の地下構造モデル

層番号	深度 GL-(m)	層厚 (m)	P波速度 Vp(m/s)	S波速度 Vs(m/s)	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	Qp	Qs
1	2350 ~ 4200	1850	5200	3050	2.65	400	200
2	4200 ~ 12000	7800	5500	3200	2.65	420	210
3	12000 ~ 25000	13000	6150	3400	2.70	460	230
4	25000 ~ 35000	10000	6700	3700	2.90	500	250
5	35000 ~ 42000	7000	7500	4300	3.20	580	290
6	42000 ~ 49000	7000	6800	3930	2.90	520	260
7	49000 ~ -	-	7800	4470	3.20	600	300

c. 波数積分法による長周期側理論波形

波数積分法による要素地震の波形および応答スペクトルは次項の図-5.9(1)～(5), 図-5.10に示す。

参考文献

- 5-9) 中村洋光・宮武隆:断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式, 地震 2, 53, pp. 1-9, 2000
 5-10) 地震調査研究推進本部:三浦半島断層群の地震を想定した強震動評価について, 平成15年10月
 (<http://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/pdf/20031028miura.pdf>)

③ハイブリッド合成

各手法により求めたハイブリッド合成前の波形を図-5.9(1)～(5)，応答スペクトルを図-5.10に示す。これらの波形をハイブリッド合成した。元禄型関東地震の要素地震の接合周期は3秒とした。

ハイブリッド合成後の波形図と応答スペクトルを図-5.11(1)～(5)に示す。なお，速度波形はTrifunac(1973)⁵⁻¹¹⁾の方法で求めた。

参考文献

- 5-11)M.D.Trifunac et al.: Recent Development in Data Processing and Accuracy Evaluations of Strong Motion Acceleration Measurements”, 5th WCEE., 1973

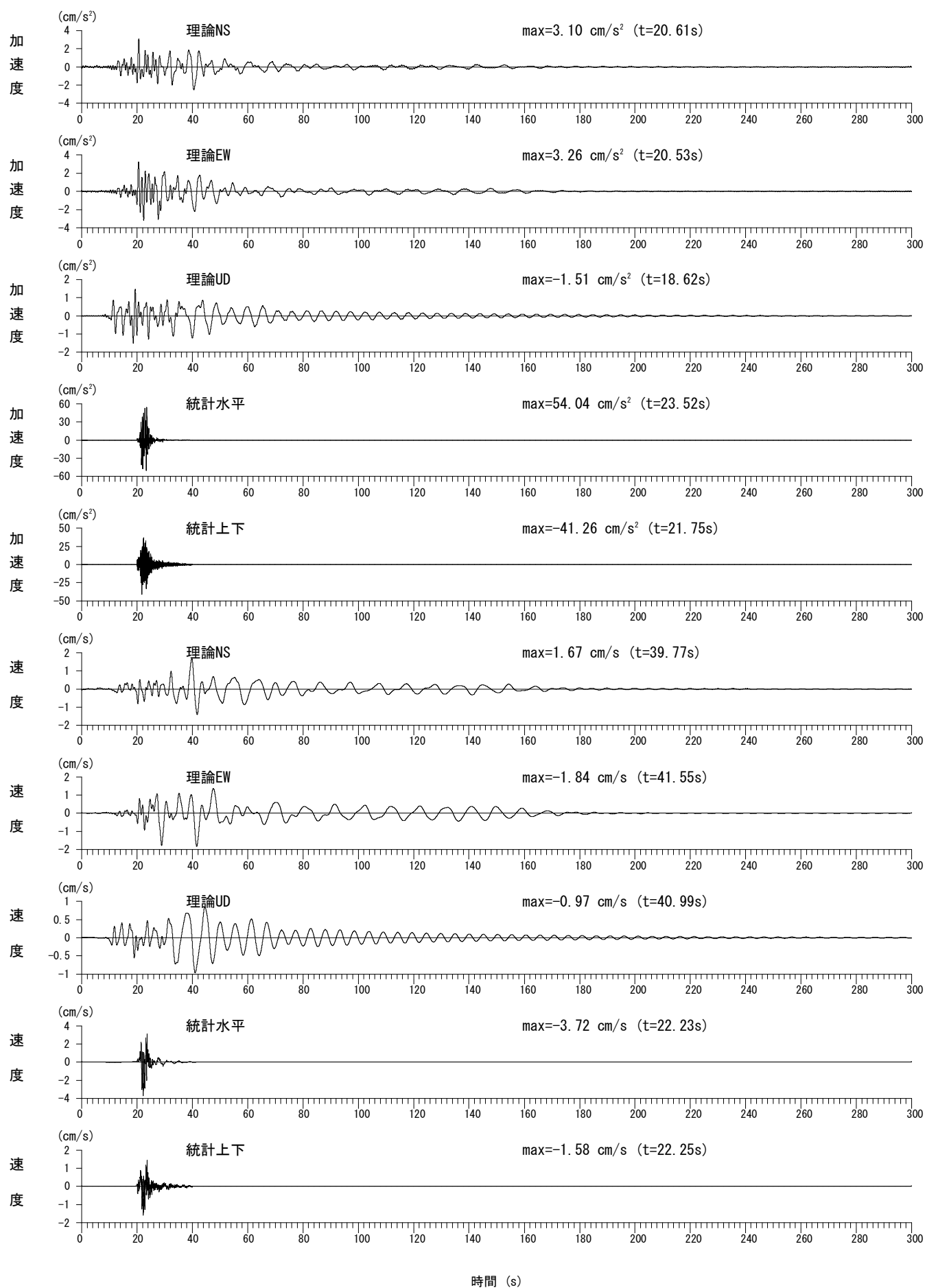


図-5.9(1) 各手法により作成した元禄型関東地震の要素地震(第1アスペリティ)

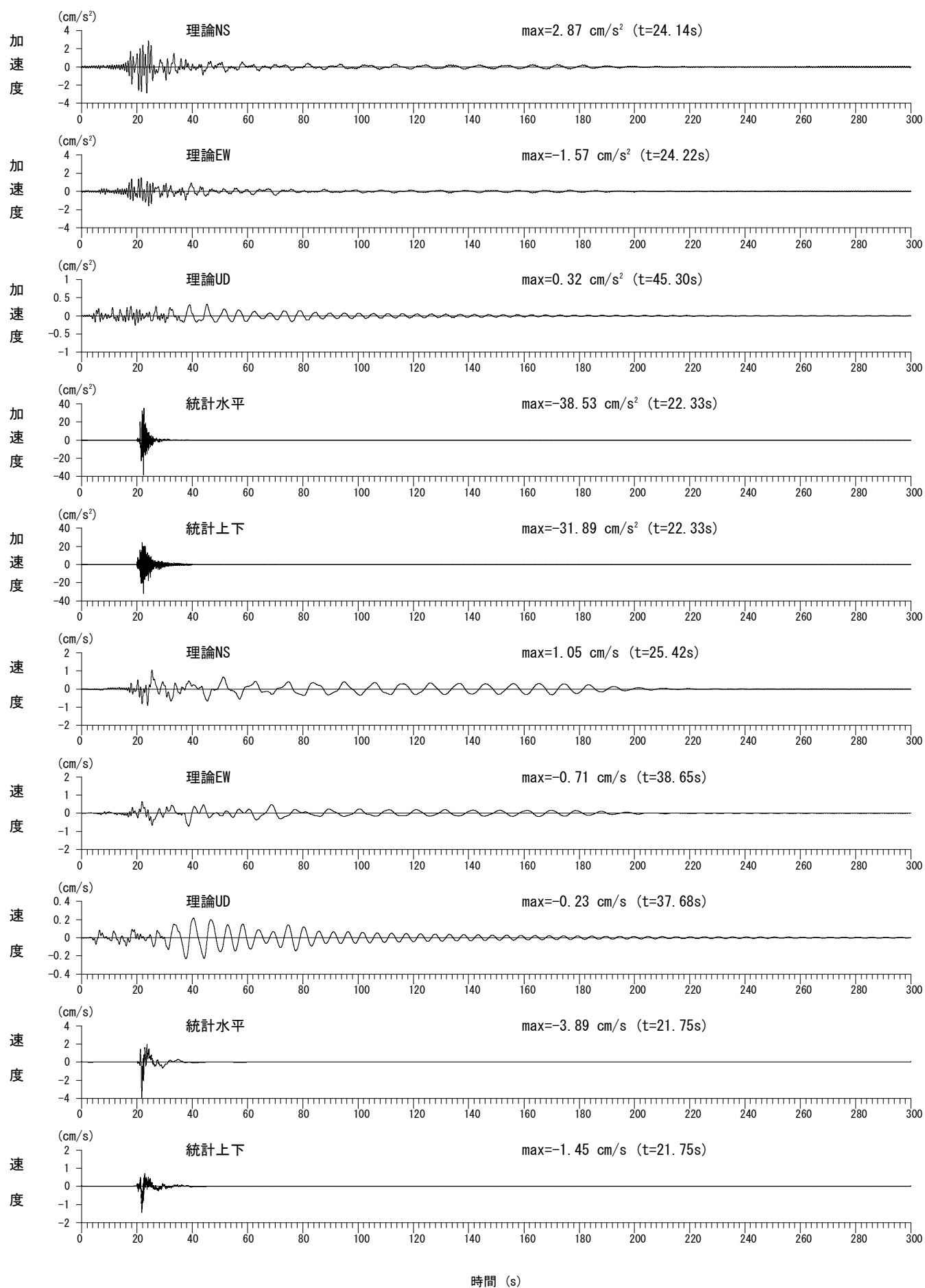


図-5.9(2) 各手法により作成した元禄型関東地震の要素地震(第2アスペリティ)

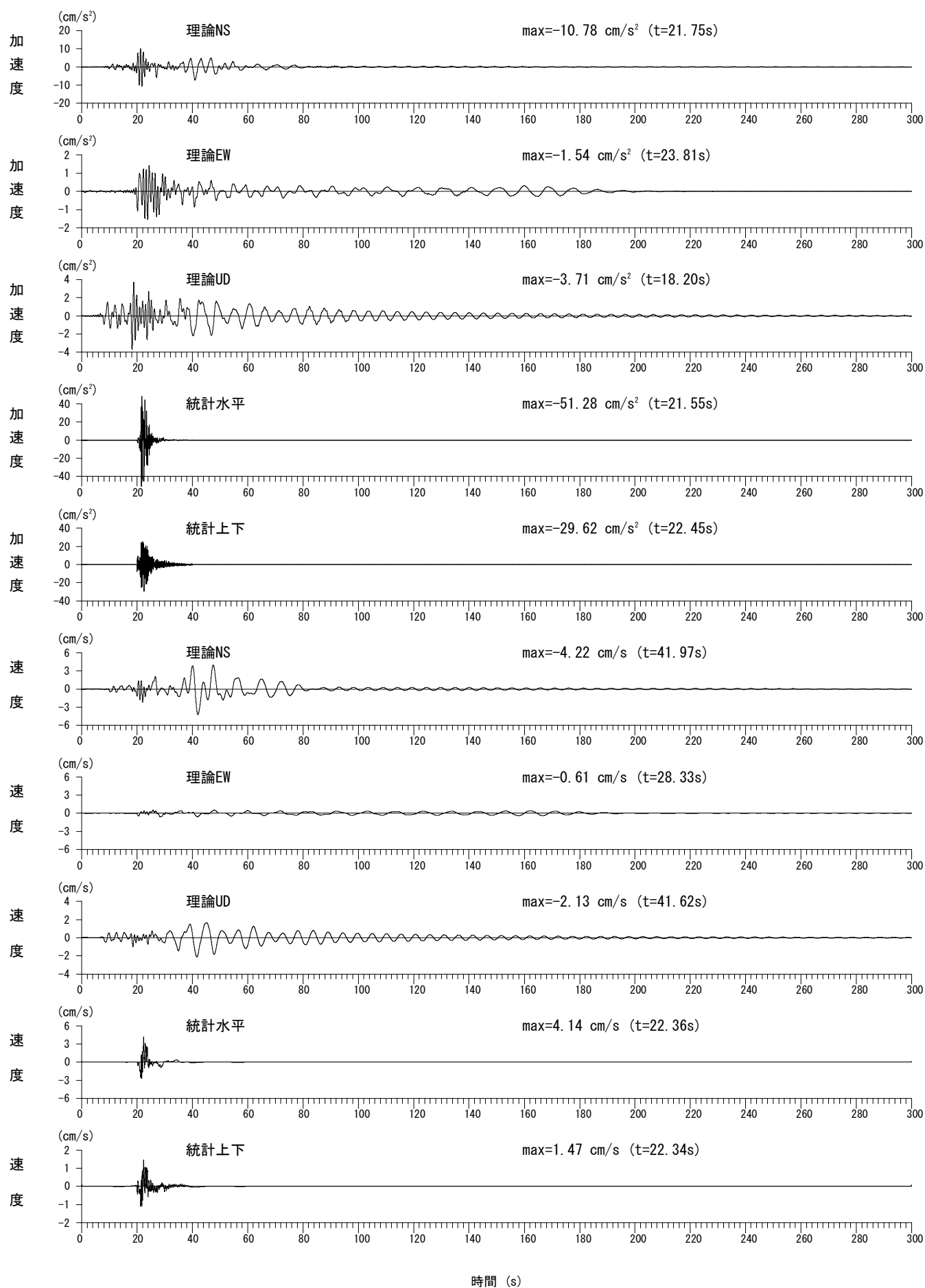


図-5.9(3) 各手法により作成した元禄型関東地震の要素地震(第3アスペリティ)

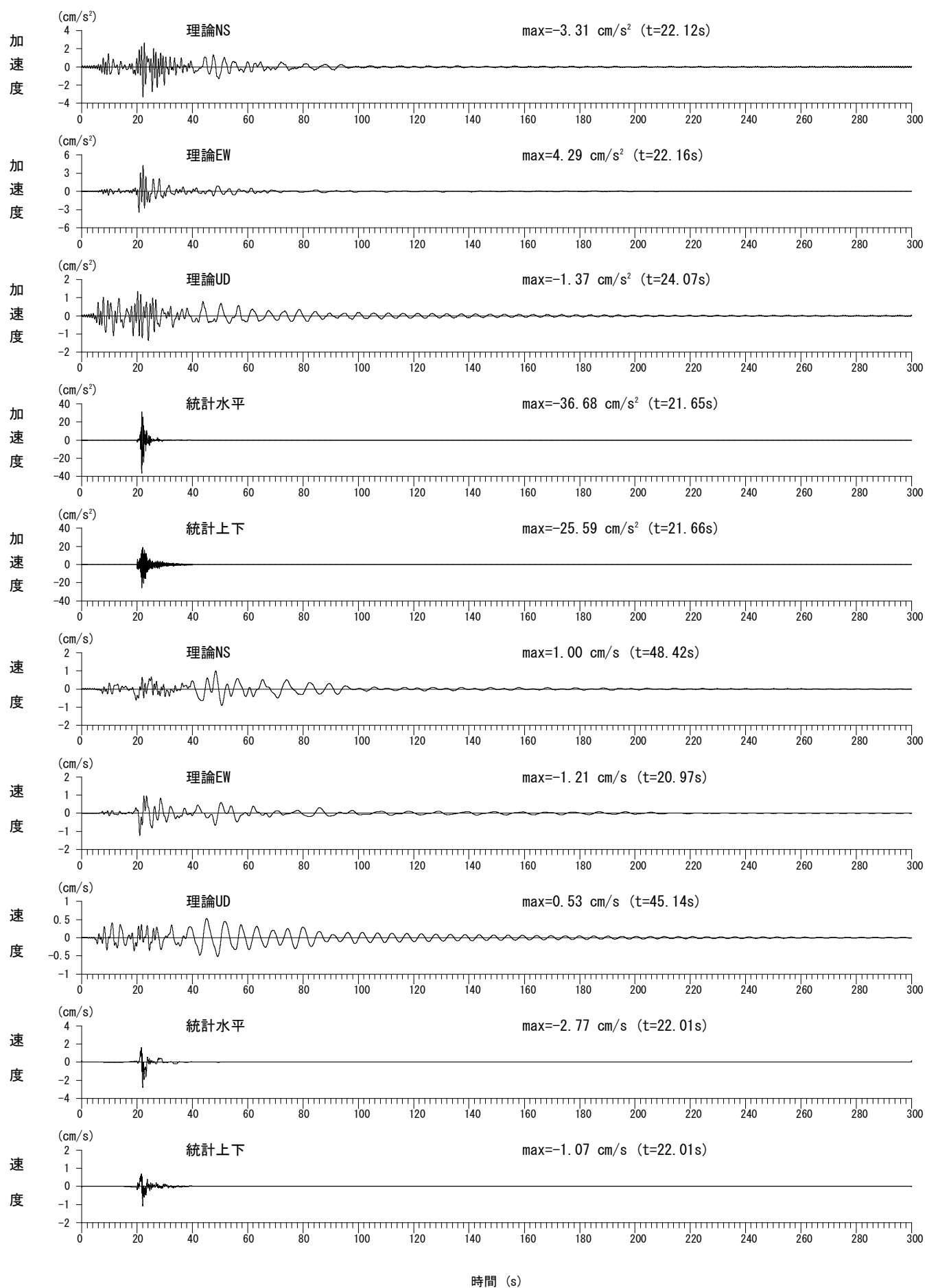


図-5.9(4) 各手法により作成した元禄型関東地震の要素地震(第4アスペリティ)

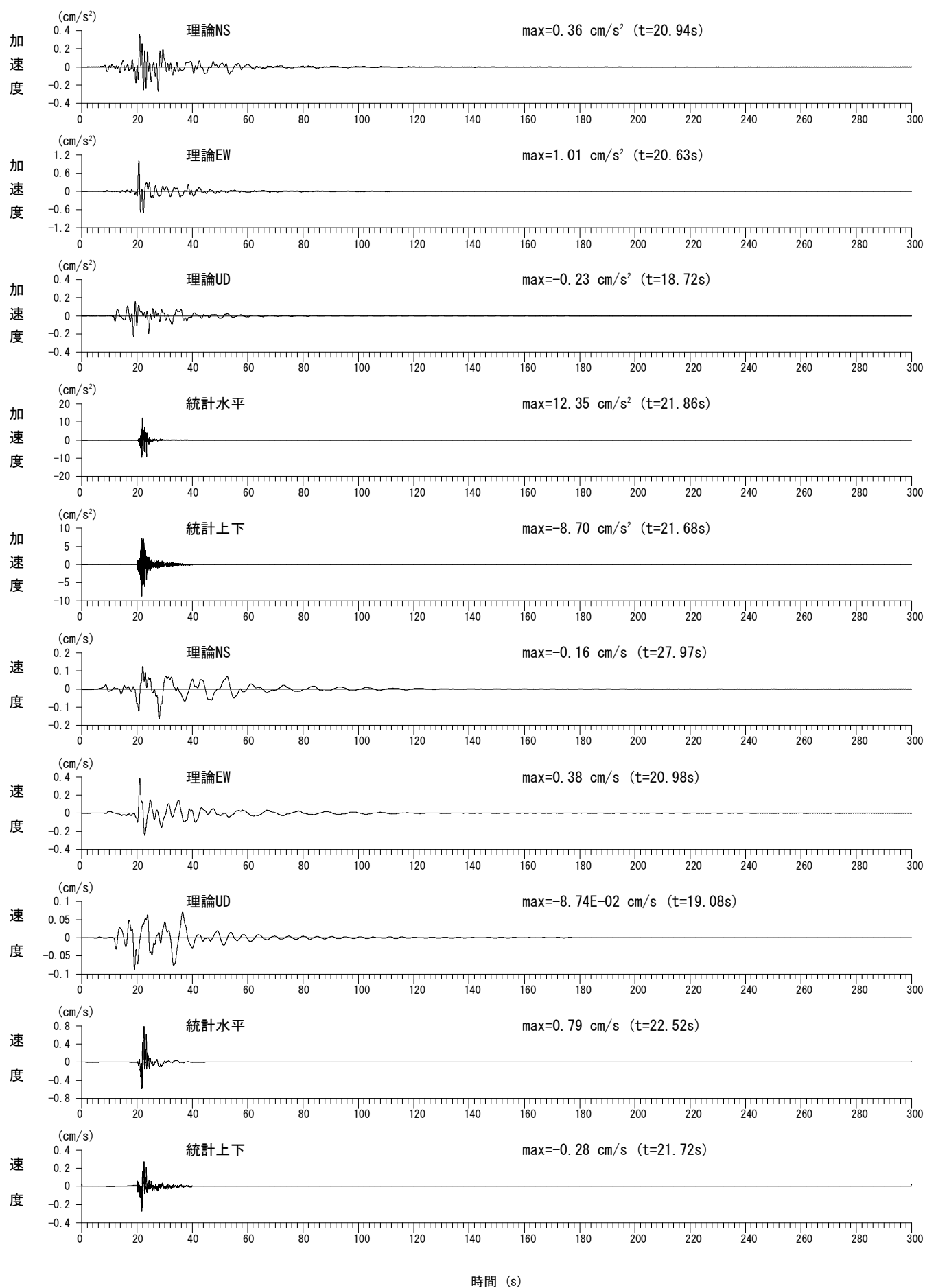
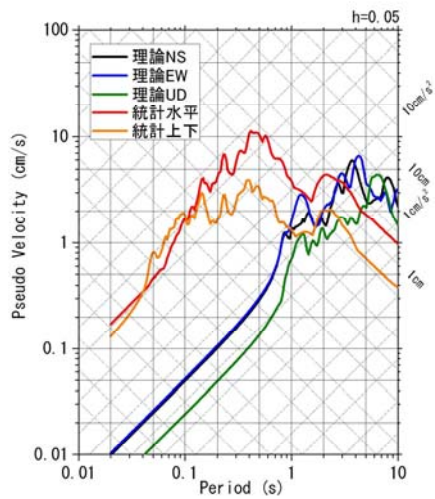
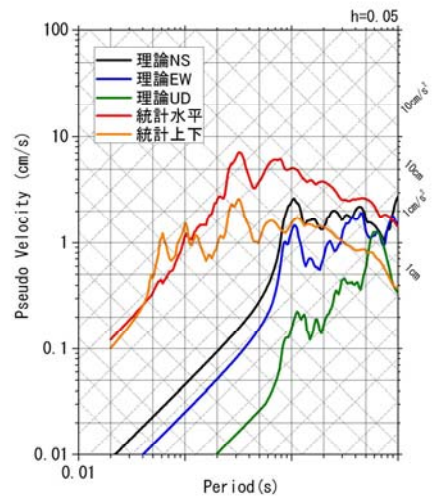


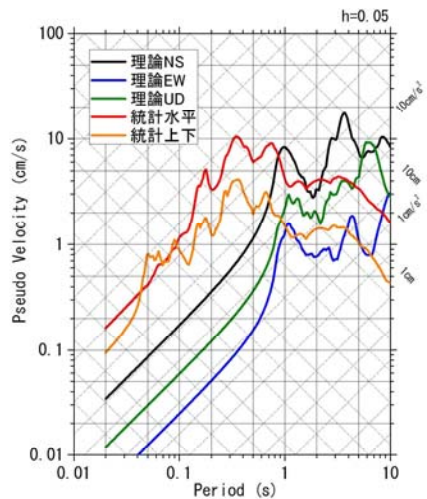
図-5.9(5) 各手法により作成した元禄型関東地震の要素地震(背景)



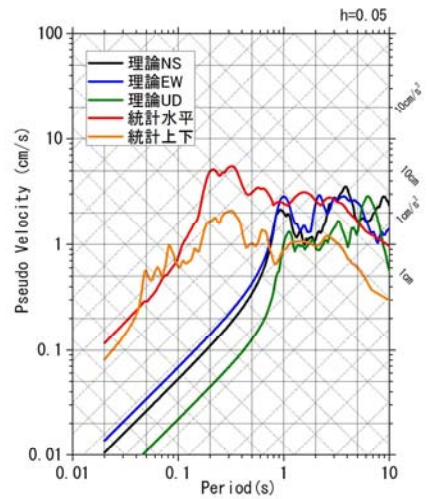
第17ス^ リティ



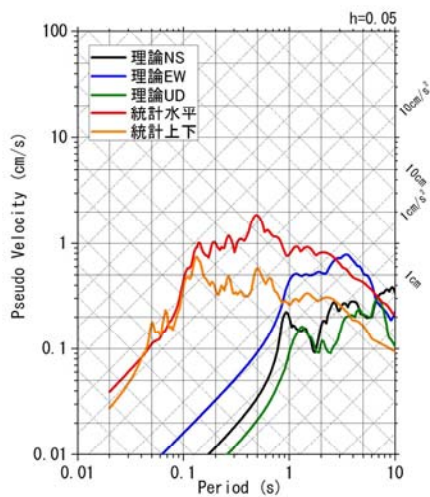
第27ス^ リティ



第37ス^ リティ



第47ス^ リティ



背景

理論：波数積分法

統計：統計的グリーン関数法

図-5.10 各手法で作成した元禄型関東地震の要素地震の応答スペクトル

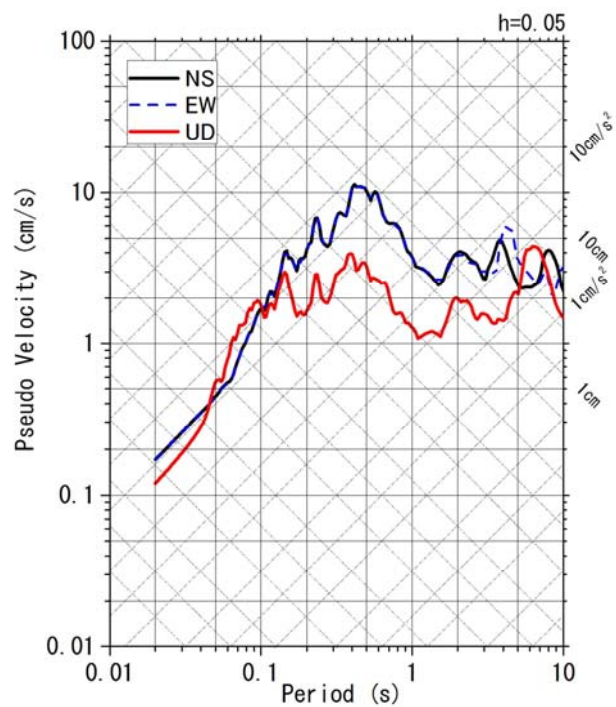
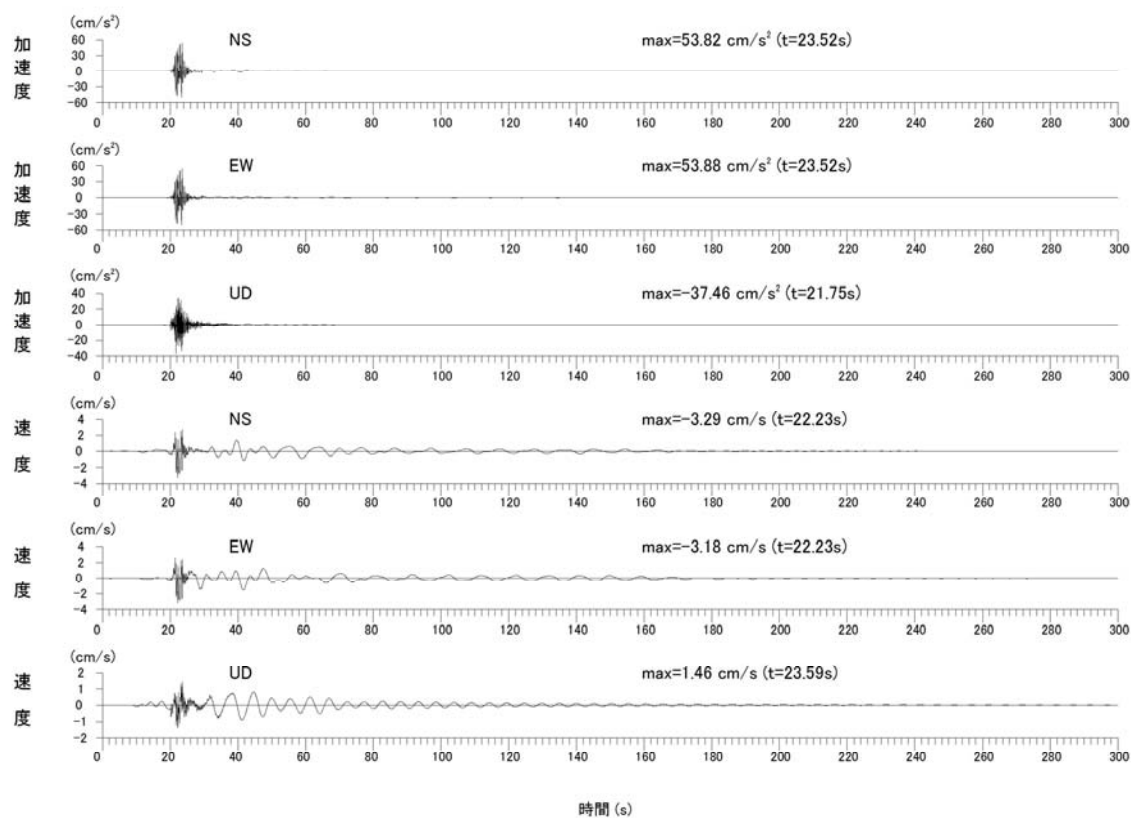


図-5.11(1) ハイブリッド合成した元緑型関東地震の要素地震(第1アスペリティ, 地表)

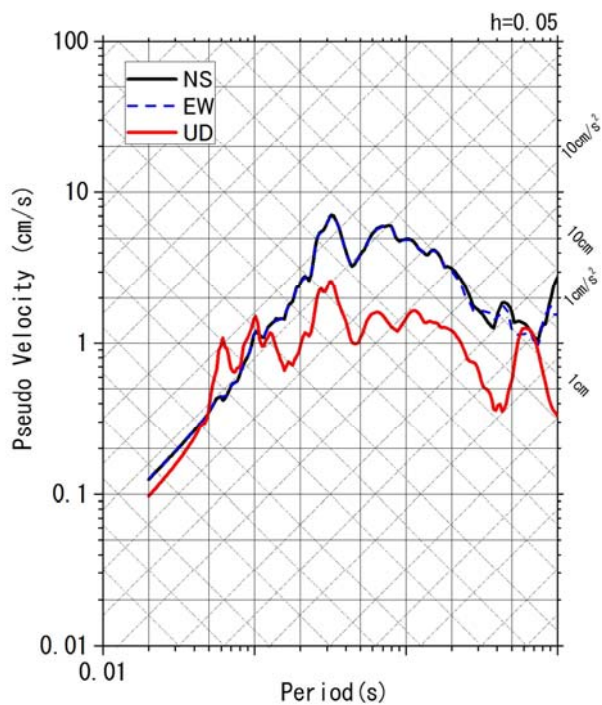
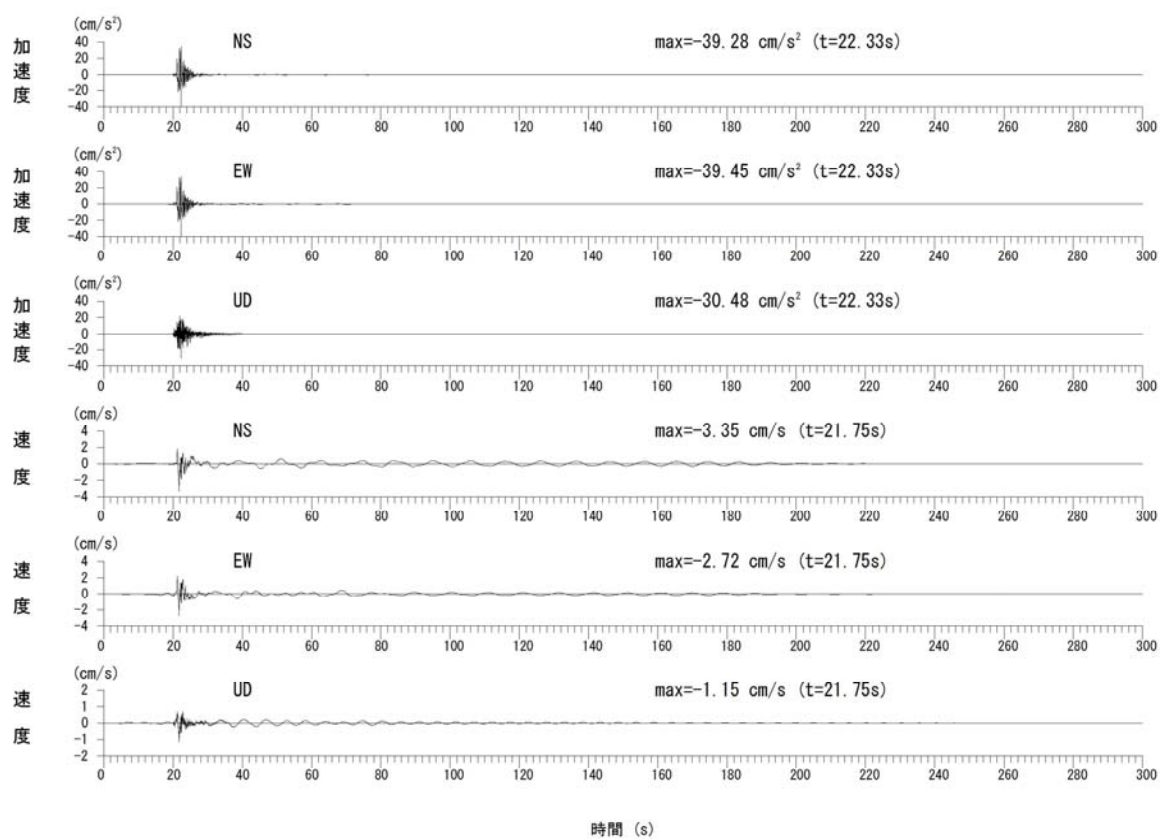


図-5.11(2) ハイブリッド合成した元禄型関東地震の要素地震(第2アスペリティ, 地表)

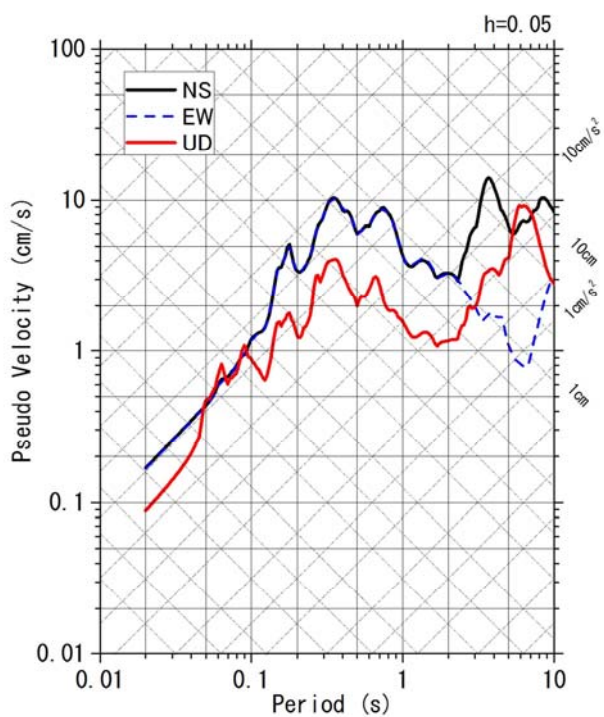
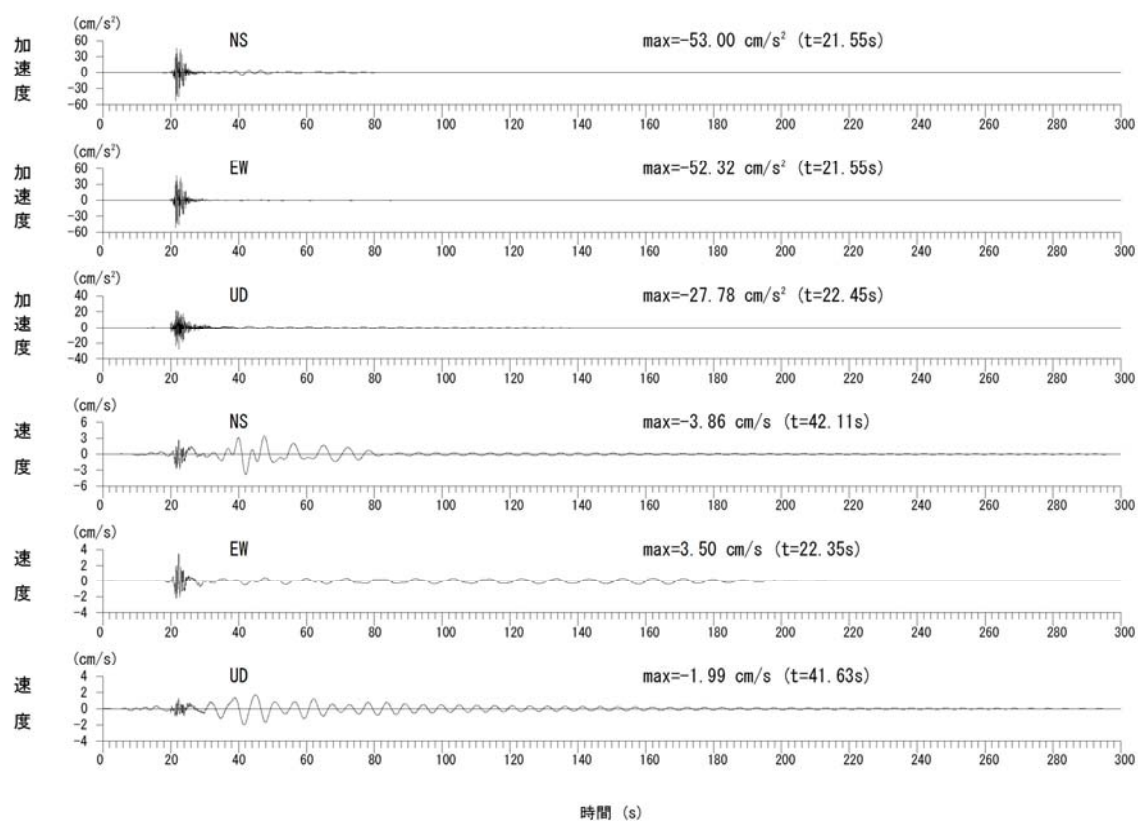


図-5.11(3) ハイブリッド合成した元緑型関東地震の要素地震(第3アスペリティ, 地表)

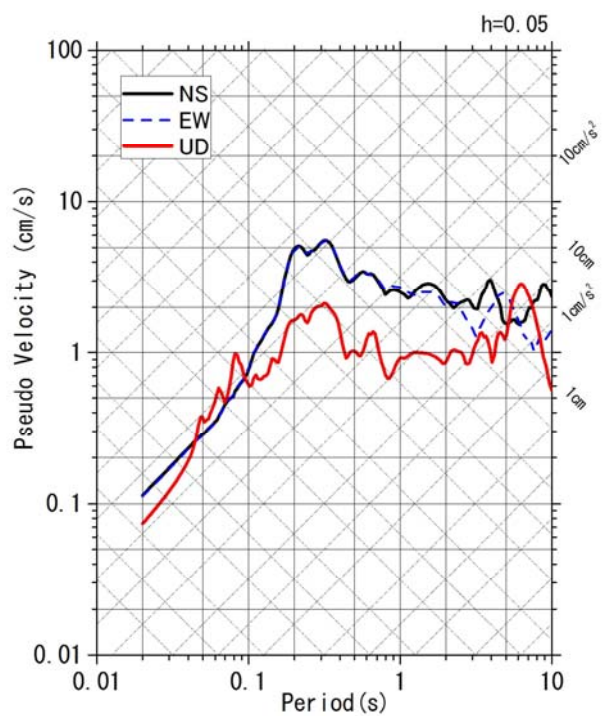
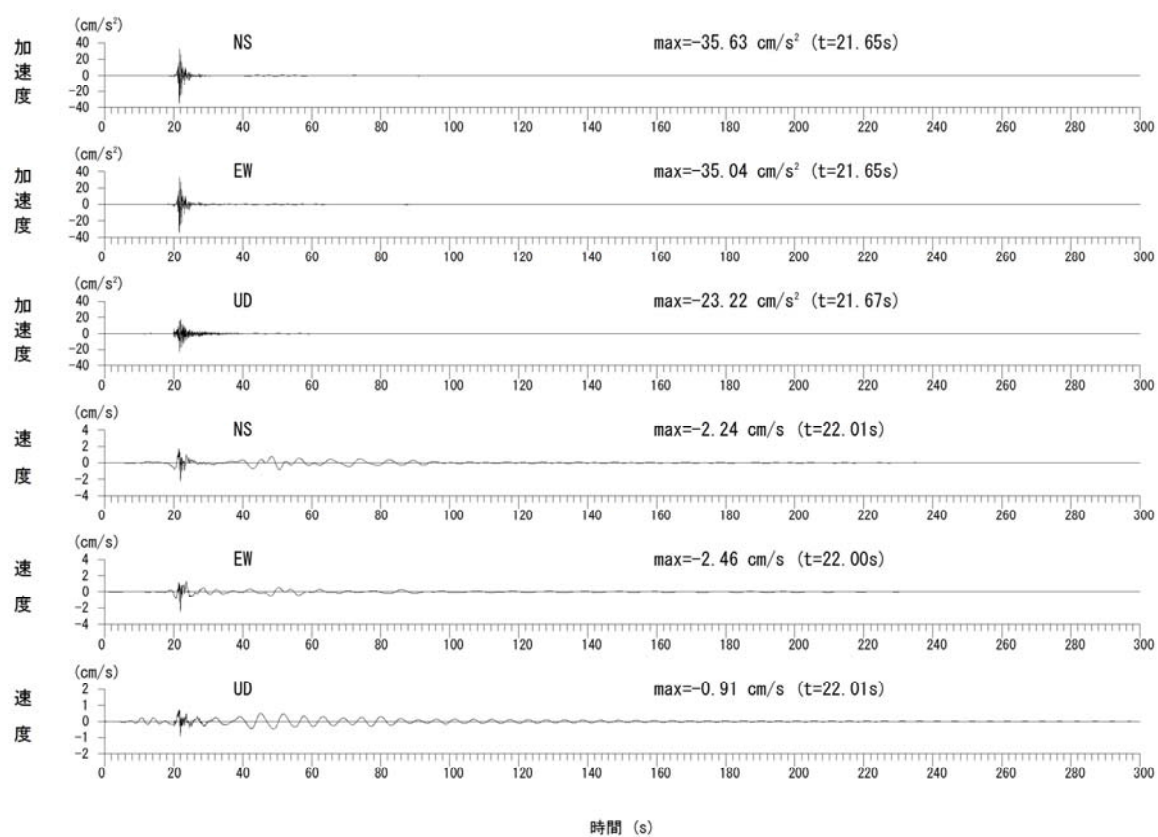


図-5.11(4) ハイブリッド合成した元禄型関東地震の要素地震(第4アスペリティ, 地表)

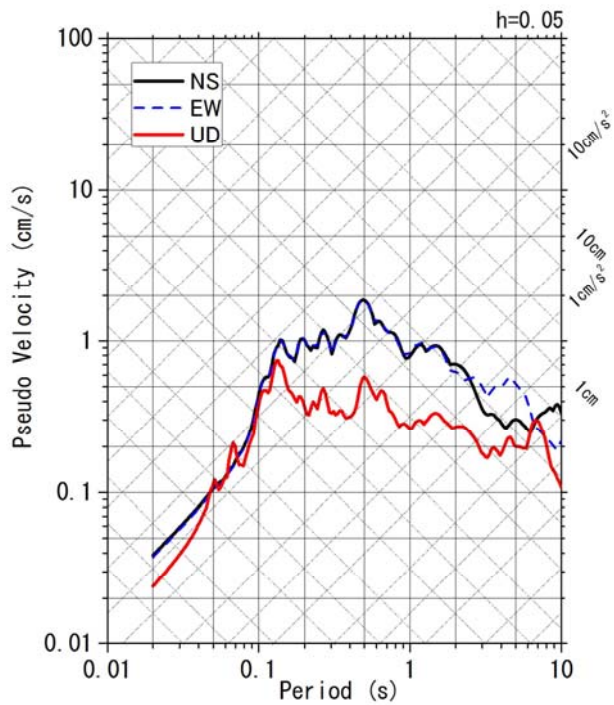
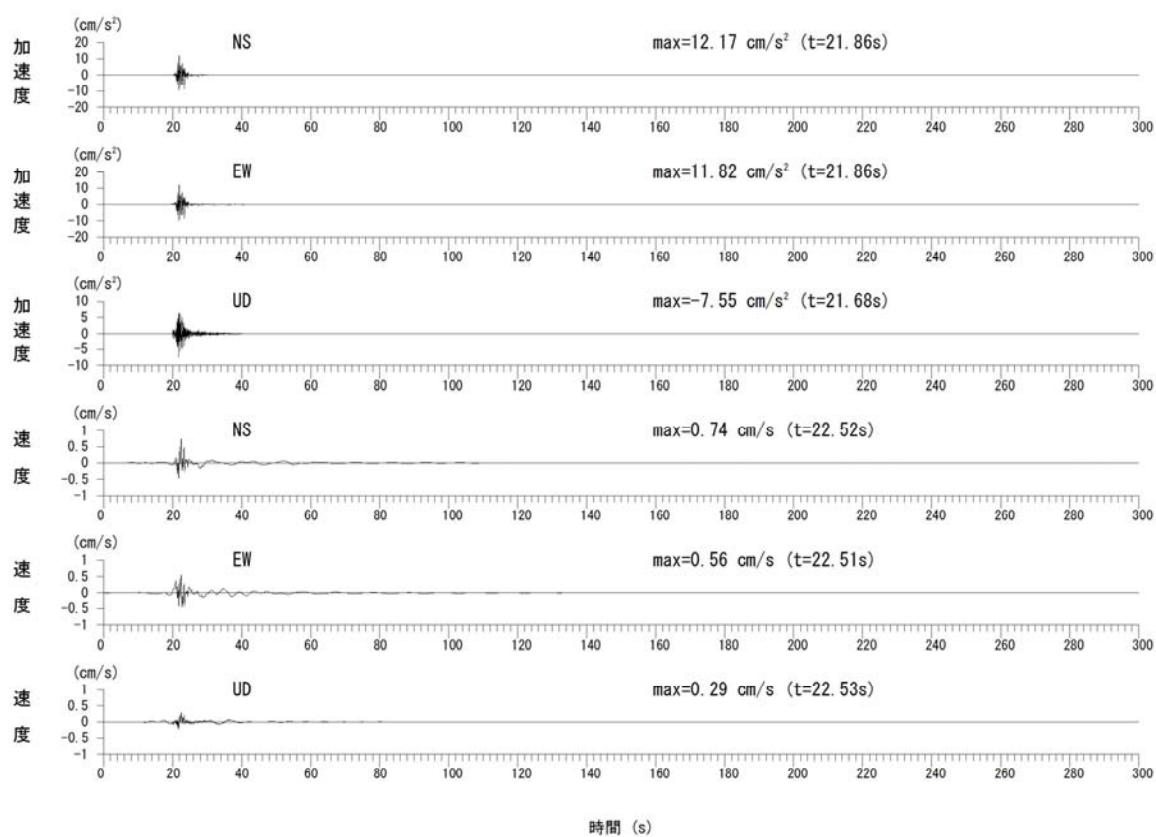


図-5.11(5) ハイブリッド合成した元禄型関東地震の要素地震（背景，地表）

(3) ハイブリッドグリーン関数による元禄型関東地震の作成

ハイブリッド法で求めた要素地震を用いて、グリーン関数法により元禄型関東地震全体の波形を作成した。作成した 30 波の応答スペクトルを図-5.12 に示す。同図には 30 波の平均と採用波の応答スペクトルを示した。採用波には、全体的に平均に近い応答スペクトルで、かつ水平動については長周期側が比較的大きい波形を選定した。

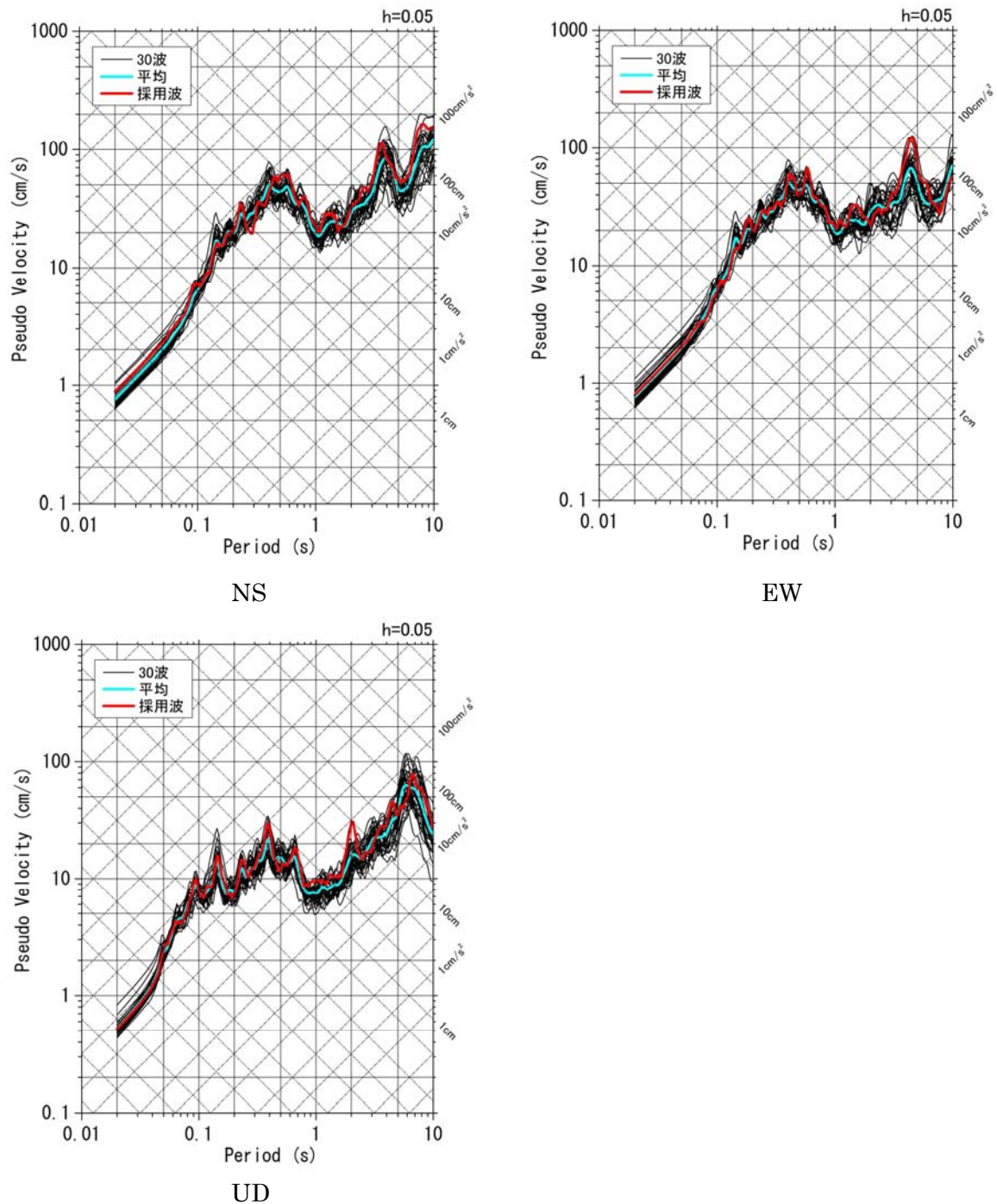


図-5.12 元禄型関東地震の応答スペクトル(地表)

(4) 水平動の工学的基盤面への引き戻し

ここまで作成したサイト波のうち、水平動については表層の非線形性を考慮していないので線形で工学的基盤面に引き戻した。上下動は引き戻しができないことと、一般に工学的基盤面から地表でそれほど増幅がないことから、地表の波形を設計用入力地震動として提供する。水平動の工学的基盤面の波形および上下動の地表の波形の波形図と応答スペクトルを図-5.13(1)～(3)に示すほか、波形の諸元を表-5.3に示す。

表-5.3 サイト波「元禄型関東地震」の波形諸元

地震名	成分(作成位置)	データ数	時間刻み dt (s)	最大加速度 A max (cm/s ²) (発生時刻 (s))	最大速度 ^{注)} V max (cm/s) (発生時刻 (s))	波形名
元禄型関東地震	NS (工学的基盤面)	32000	0.01	166.24 (36.05)	42.38 (79.88)	genroku-ns-k. acc
	EW (工学的基盤面)	32000	0.01	145.47 (57.02)	25.25 (58.51)	genroku-ew-k. acc
	UD (地表面)	32000	0.01	161.29 (38.04)	15.16 (41.01)	genroku-ud-c. acc

注) 積分はTrifunacの方法による

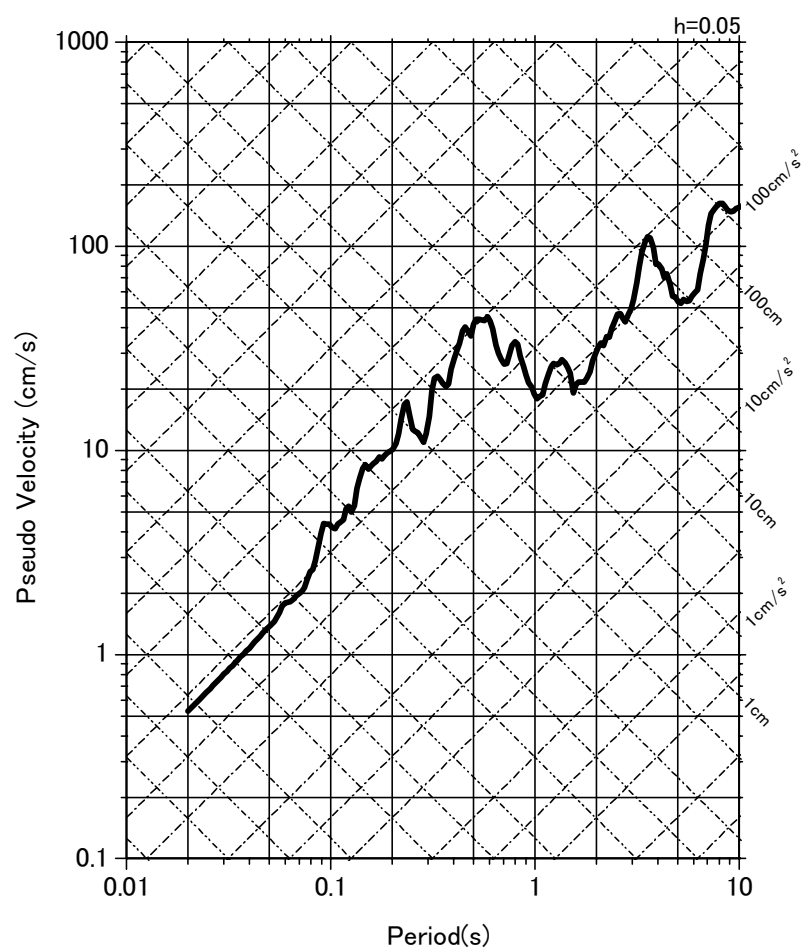
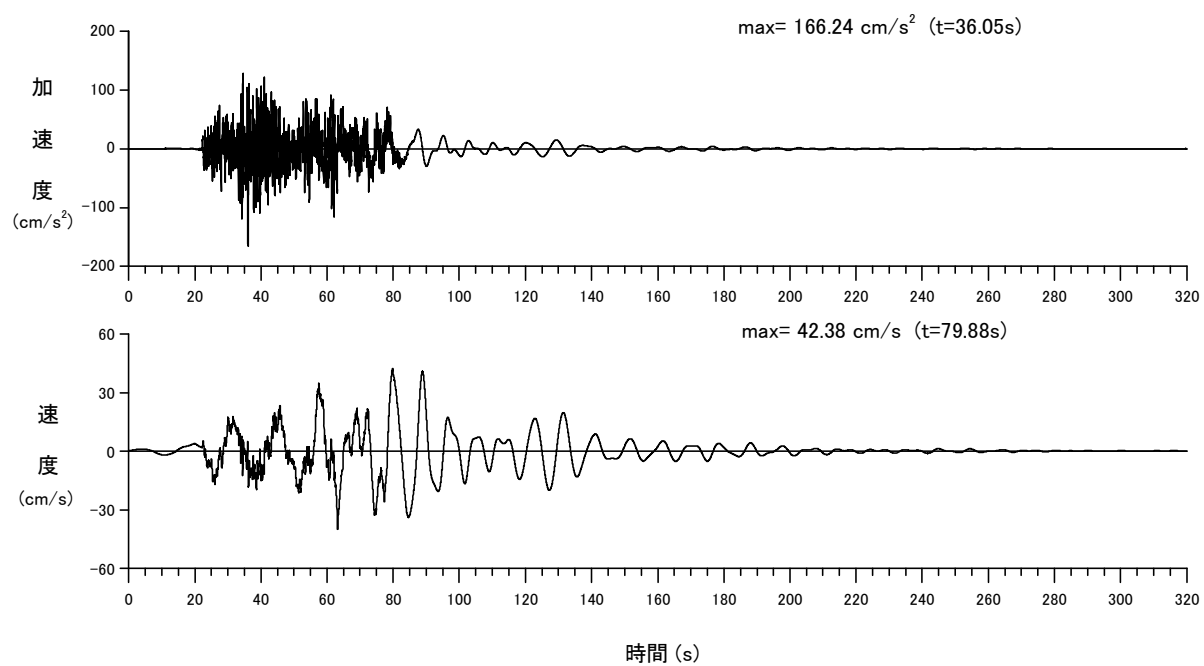


図-5.13(1) 工学的基盤面における模擬地震動の波形と応答スペクトル
【サイト波「元禄型関東地震NS」】

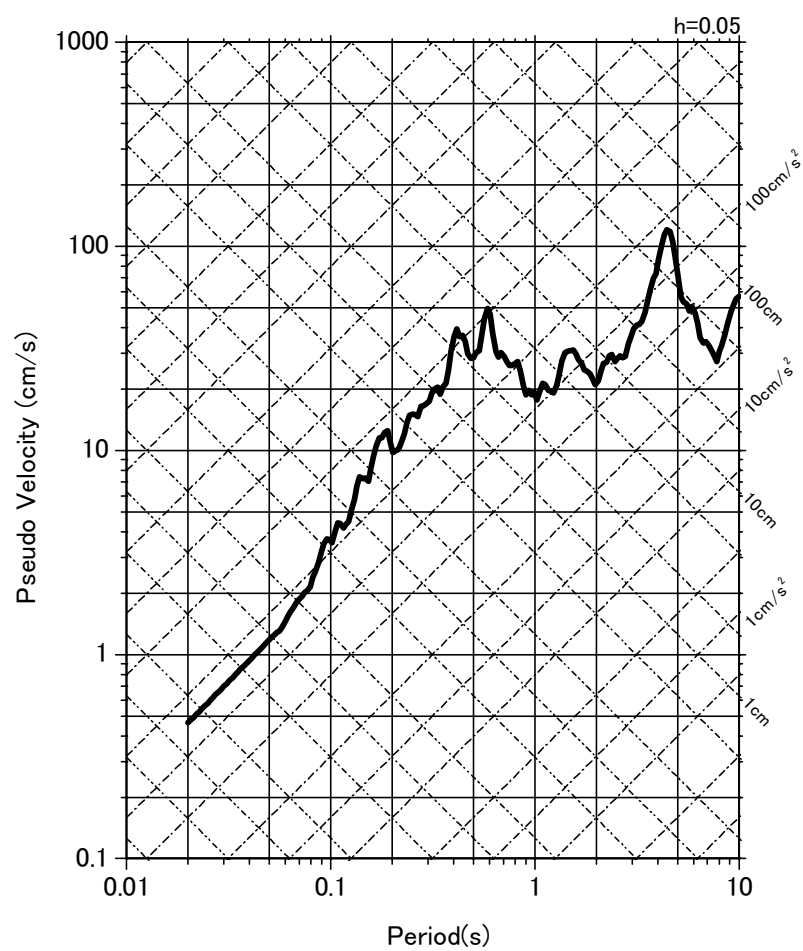
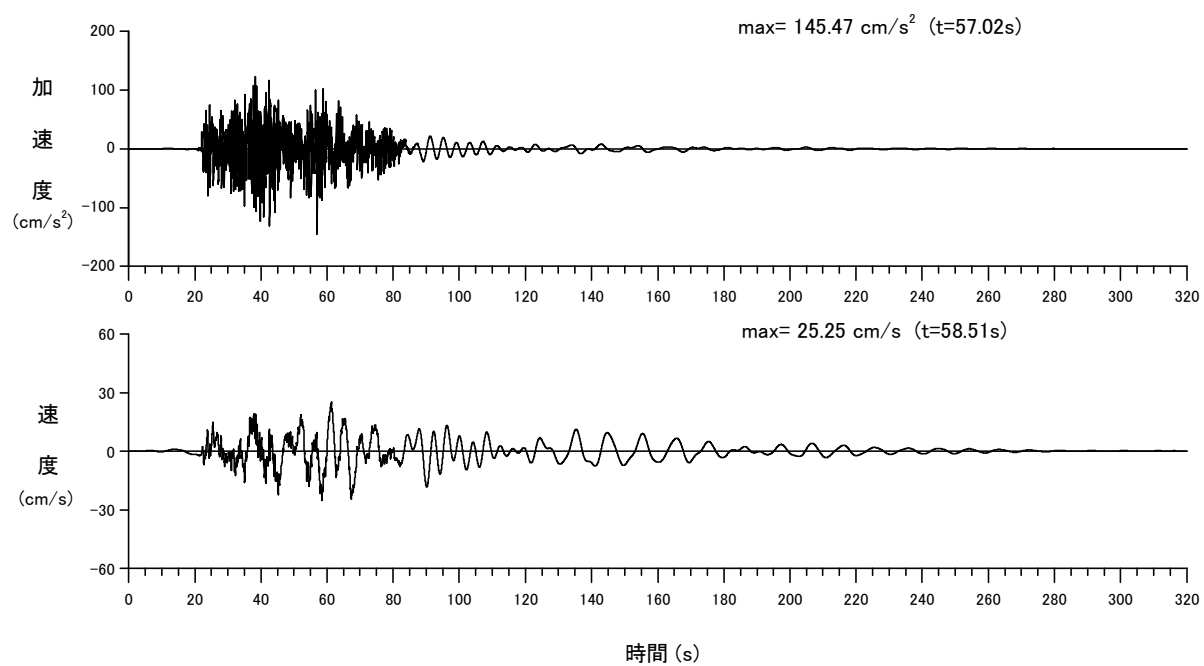


図-5.13(2) 工学的基盤面における模擬地震動の波形と応答スペクトル
【サイト波「元禄型関東地震EW」】

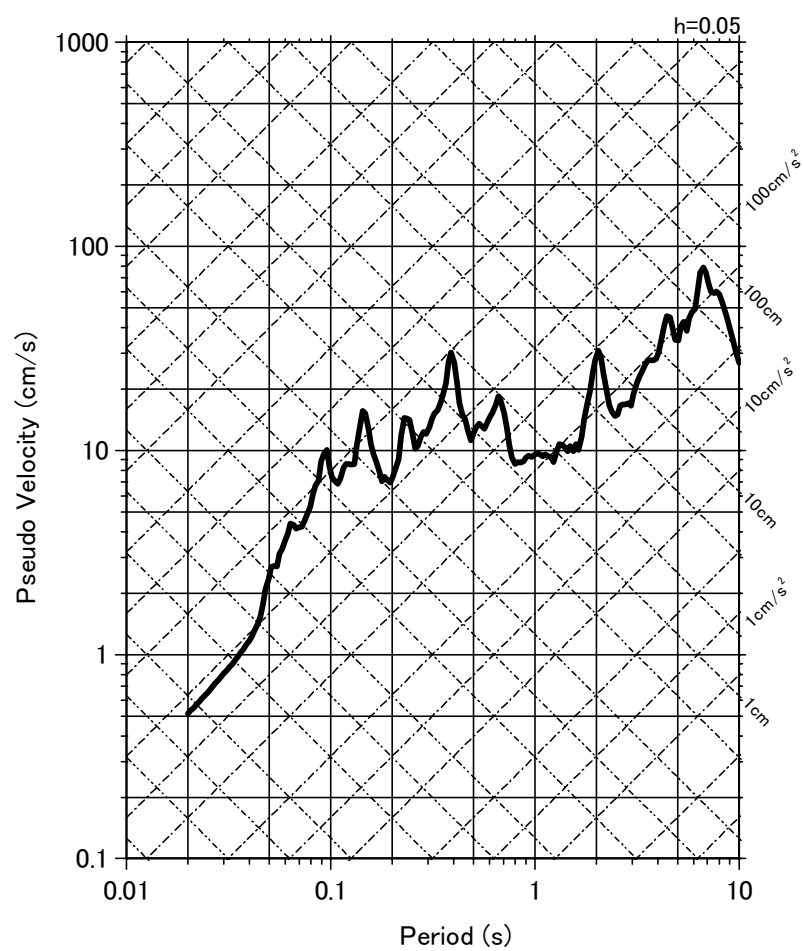
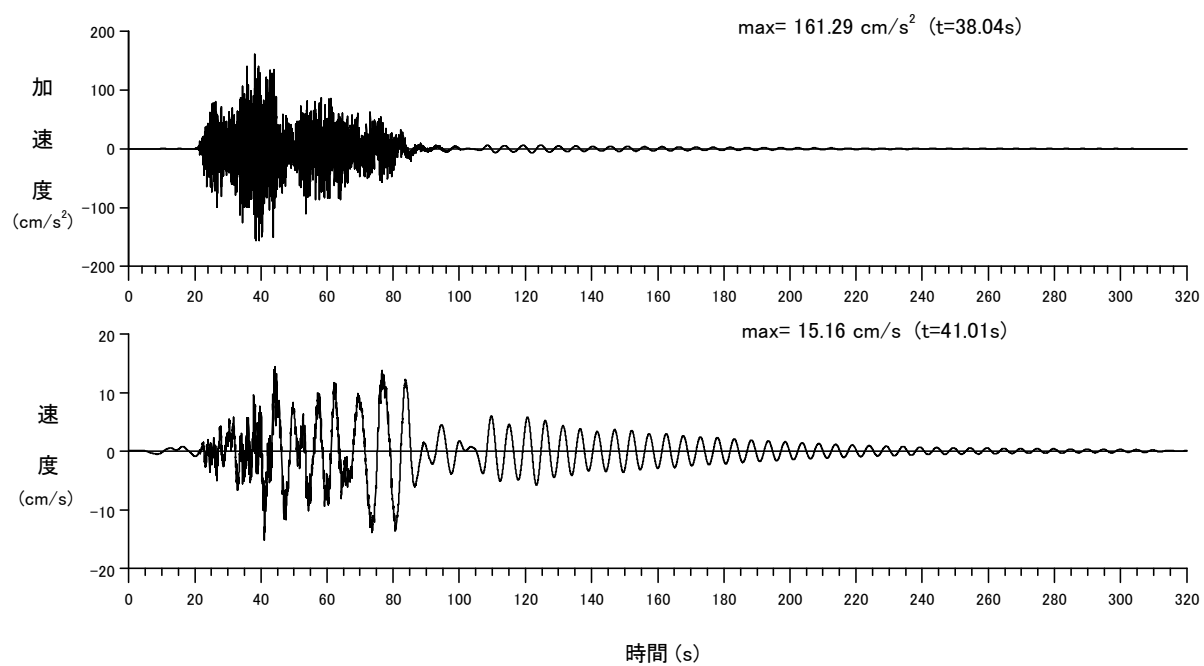


図-5.13(3) 地表面における模擬地震動の波形と応答スペクトル
【サイト波「元禄型関東地震UD」】

5.1.3 東京湾北部地震の作成

(1) 断層モデルの設定

東京湾北部地震の断層モデルは千葉県(2008)⁵⁻¹²⁾参考に設定した。表-5.4 に断層パラメータ、図-5.14 に断層モデル図を示す。

表-5.4 東京湾北部地震の断層パラメータ

項 目		単位	断層パラメータ		
巨視的震源特性	断層基準点北緯	deg.	35.32		
	断層基準点東経	deg.	140.14		
	上端深さ	km	20.0		
	走向	deg.	296		
	傾斜角	deg.	23		
	すべり角	deg.	138		
	断層長さ	km	63.64		
	断層幅	km	31.82		
	断層面積	km ²	2025		
	平均すべり量	m	1.62		
	地震モーメント	N・m	1.12E+20		
	剛性率	N/m ²	3.43E+10		
	平均密度	g/cm ³	2.8		
	S波速度	km/s	3.5		
	破壊伝播速度	km/s	2.5		
区分領域の震源特性	区分領域名	-	第17スベリ域	第27スベリ域	背景
	地震モーメント	N・m	4.01E+19	9.72E+18	6.22E+19
	総面積	km ²	324	126	1576
	平均すべり量	m	3.61	2.25	1.15
	応力降下量	MPa	16.7	16.7	2.4
	立ち上がり時間	s	2.94	1.47	6.36

参考文献

5-12) 千葉県：平成19年度千葉県地震被害想定調査報告書，平成20年(2008年)3月

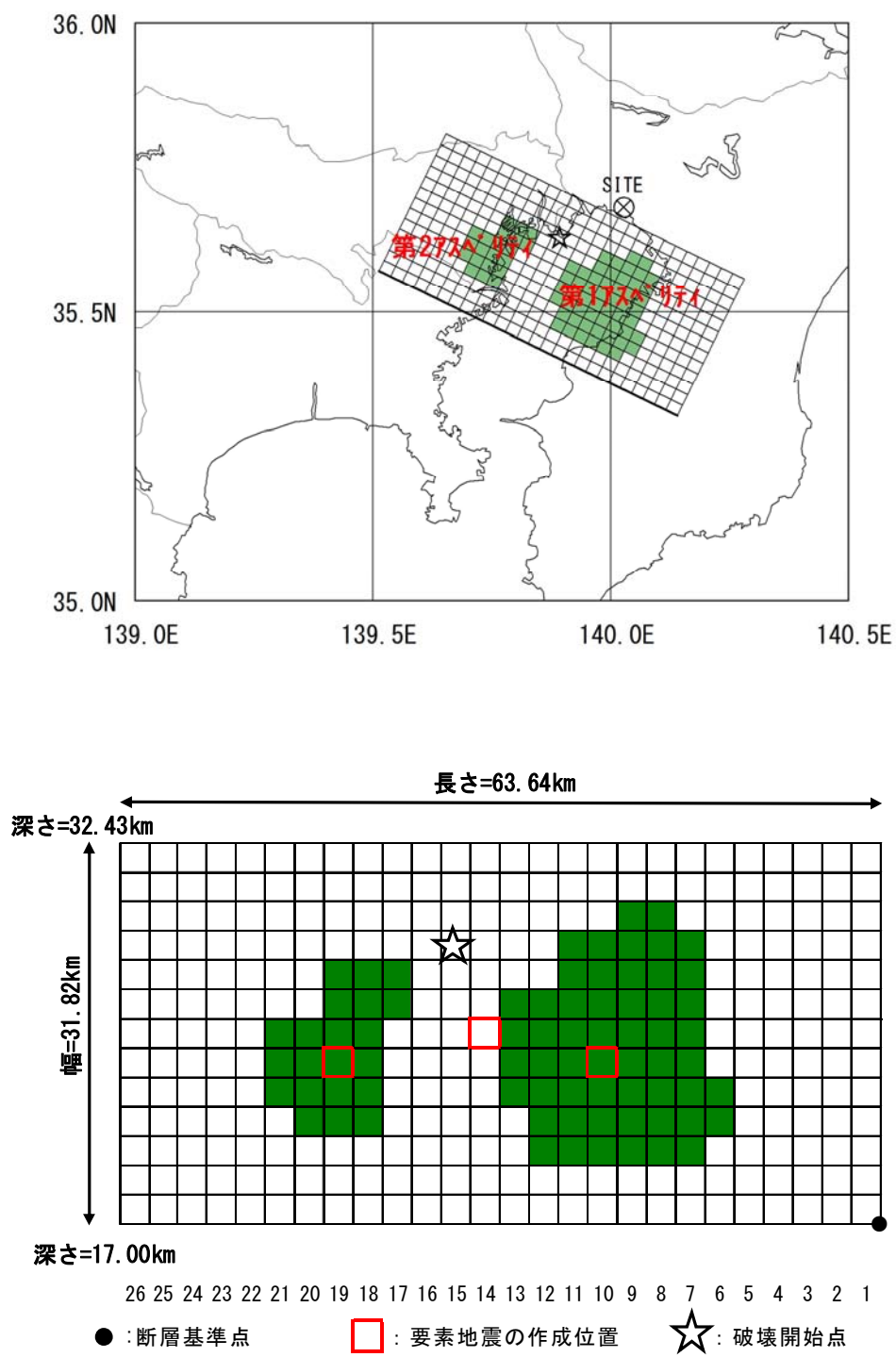


図-5.14 東京湾北部地震の断層モデル図

(2) 統計的グリーン関数法による短周期側地震の作成

要素地震波の振幅特性は Boore (1983) の手法を用いて求めた。

東京湾北部地震については、図-5.14 に示す要素地震作成位置の分割片を作成し、入倉の方法で断層全体の短周期側地震動を作成した。作成に当たって、分割要素断層サイズと破壊速度により生じる周期性を防ぐためのランダム数を用いて、30 波の地震波を求めた。地震基盤で作成した短周期側地震動の応答スペクトルを図-5.15 に示す。図には 30 波の応答スペクトルと平均および採用波の応答スペクトルを示した。

これらの採用波に地震基盤から地表面の増幅計算により地表面の水平動波形を作成した。また、上下動については斜め入射による SV 波の増幅計算により地表面の上下動波形を作成した。作成した地表面における波形と応答スペクトルを図-5.16 に示す。

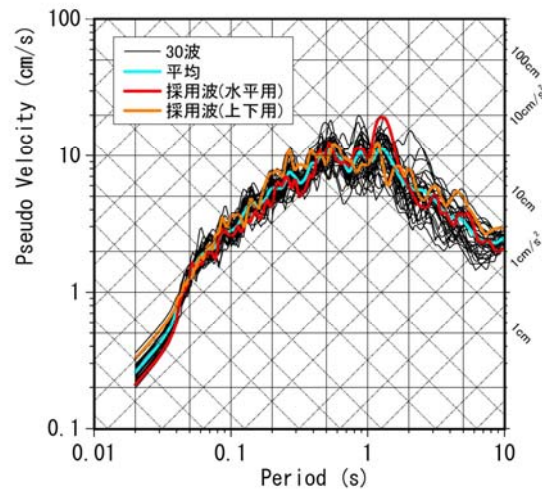


図-5.15 東京湾北部地震の短周期側地震動の応答スペクトル(地震基盤入射波)

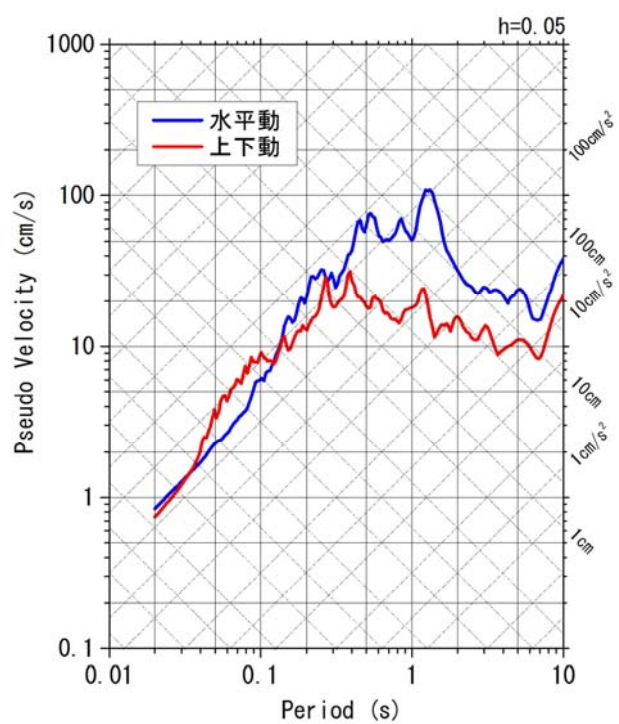
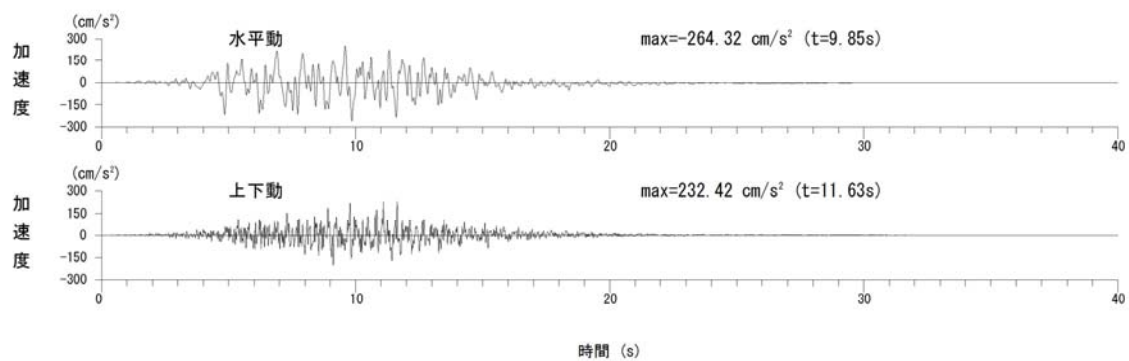


図-5.16 東京湾北部地震の短周期側地震の波形と応答スペクトル(地表面)

(3) 波数積分法による長周期側地震動の作成

①すべり速度時間関数

波数積分法の計算に用いたすべり速度時間関数を図-5.17 に示す。すべり速度時間関数の作成は中村・宮武(2000)を用いた。

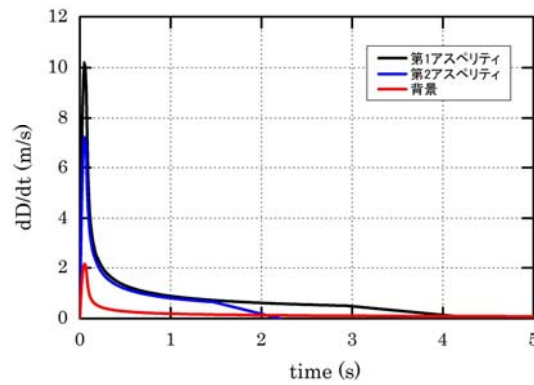


図-5.17 東京湾北部地震のすべり速度時間関数

②深い速度構造の設定

波数積分法による理論計算に必要な地震基盤より深い地殻等の速度構造は、元禄型関東地震計算時と同じモデルを用いた(表-5.2 参照)。

③波数積分法による長周期側理論波形

波数積分法による波形および応答スペクトルは次項の図-5.18～図-5.19 に示す。

(4) ハイブリッド合成

各手法により求めたハイブリッド合成前の波形を図-5.18, 応答スペクトルを図-5.19 に示す。
これらの波形をハイブリッド合成した。東京湾北部地震の接合周期は1秒とした。

ハイブリッド合成後の波形図と応答スペクトルを図-5.20 に示す。

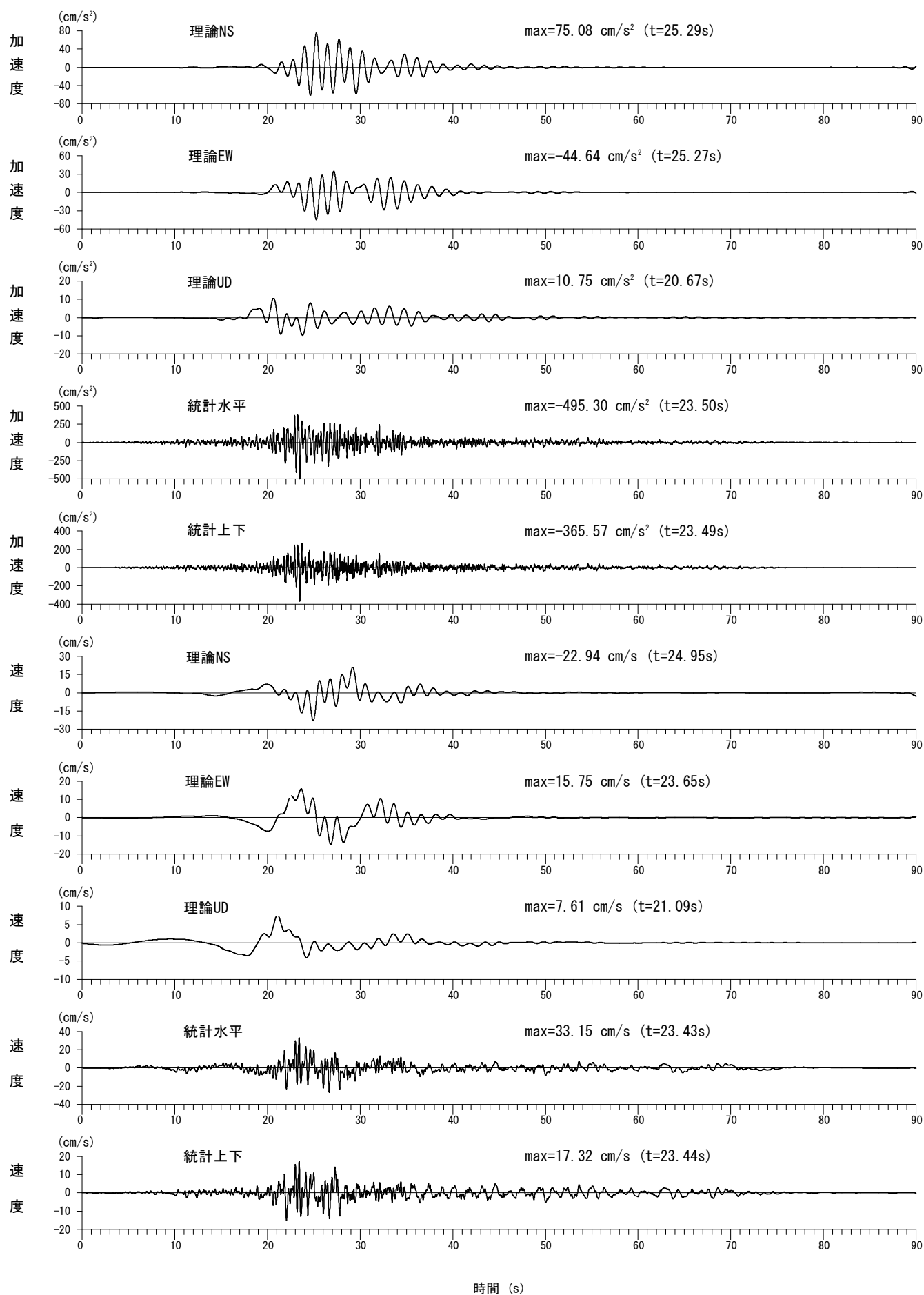
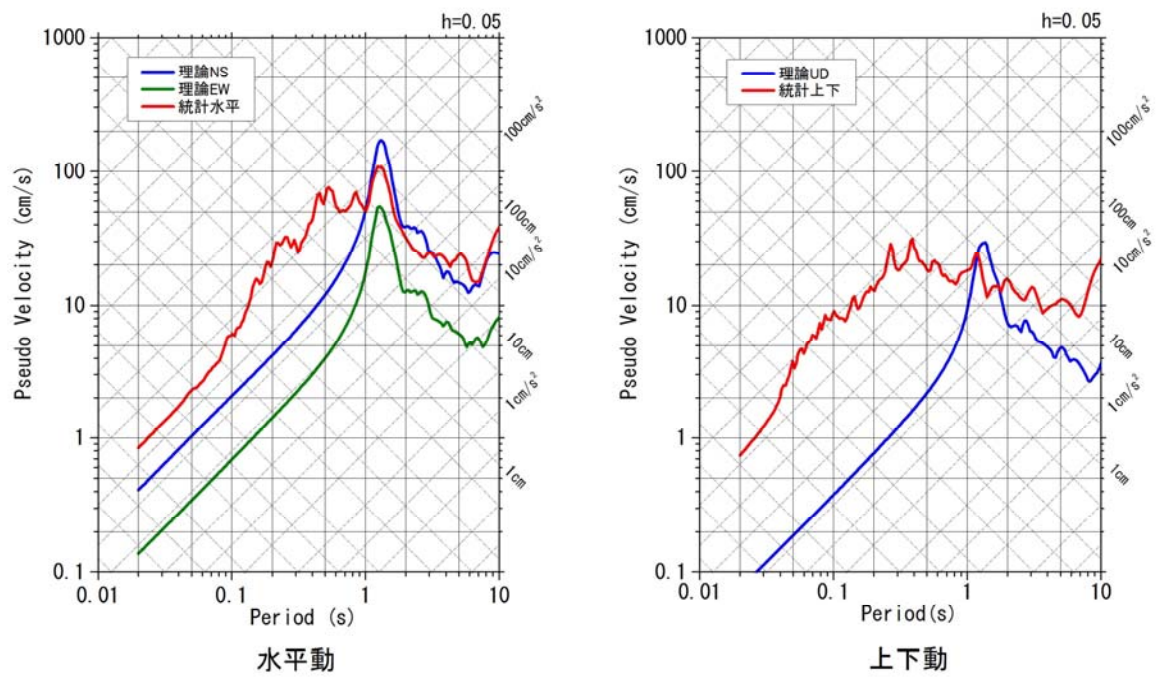


図-5.18 各手法で作成した東京湾北部地震の波形



理論：波数積分法，統計：統計的グリーン関数法

図-5.19 各手法で作成した東京湾北部地震の応答スペクトル

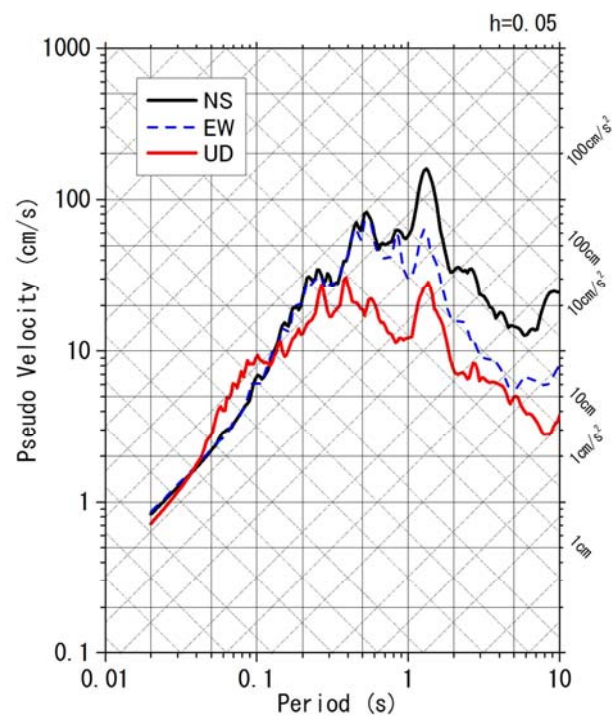
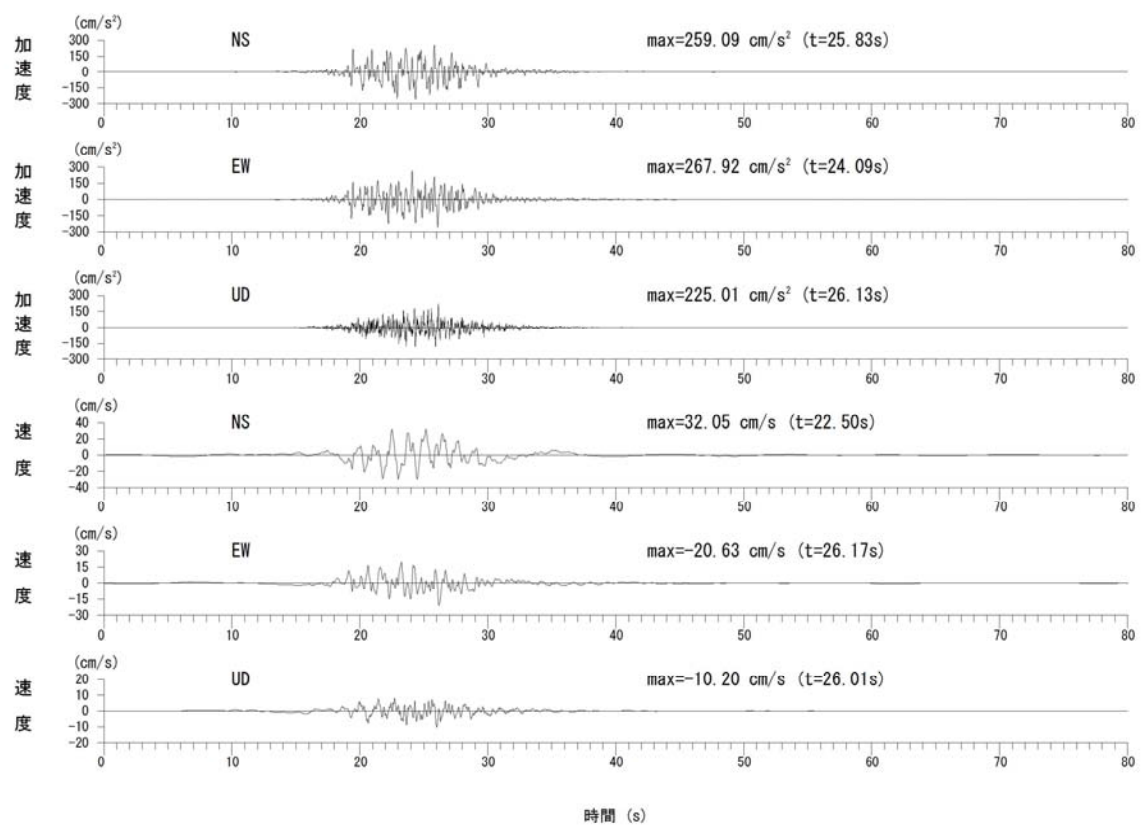


図-5.20 ハイブリッド合成した東京湾北部地震（地表）

(5) 水平動の工学的基盤面への引き戻し

ここまで作成したサイト波のうち、水平動については表層の非線形性を考慮していないので線形で工学的基盤面に引き戻した。上下動は引き戻しができないことと、一般に工学的基盤面から地表でそれほど増幅がないことから、地表の波形を設計用入力地震動として提供する。水平動の工学的基盤面の波形および上下動の地表の波形の波形図と応答スペクトルを図-5.21(1)～(3)に示すほか、波形の諸元を表-5.5に示す。

表-5.5 サイト波の波形諸元

地震名	成分(作成位置)	データ数	時間刻み dt(s)	最大加速度 A _{max} (cm/s ²) (発生時刻(s))	最大速度 ^{注)} V _{max} (cm/s) (発生時刻(s))	波形名
東京湾北部地震	NS(工学的基盤面)	8000	0.01	194.45 (24.20)	28.79 (25.03)	hokubu-ns-k.acc
	EW(工学的基盤面)	8000	0.01	184.07 (25.94)	17.40 (23.10)	hokubu-ew-k.acc
	UD(地表面)	8000	0.01	225.01 (26.13)	10.20 (26.01)	hokubu-ud-c.acc

注) 積分はTrifunacの方法による

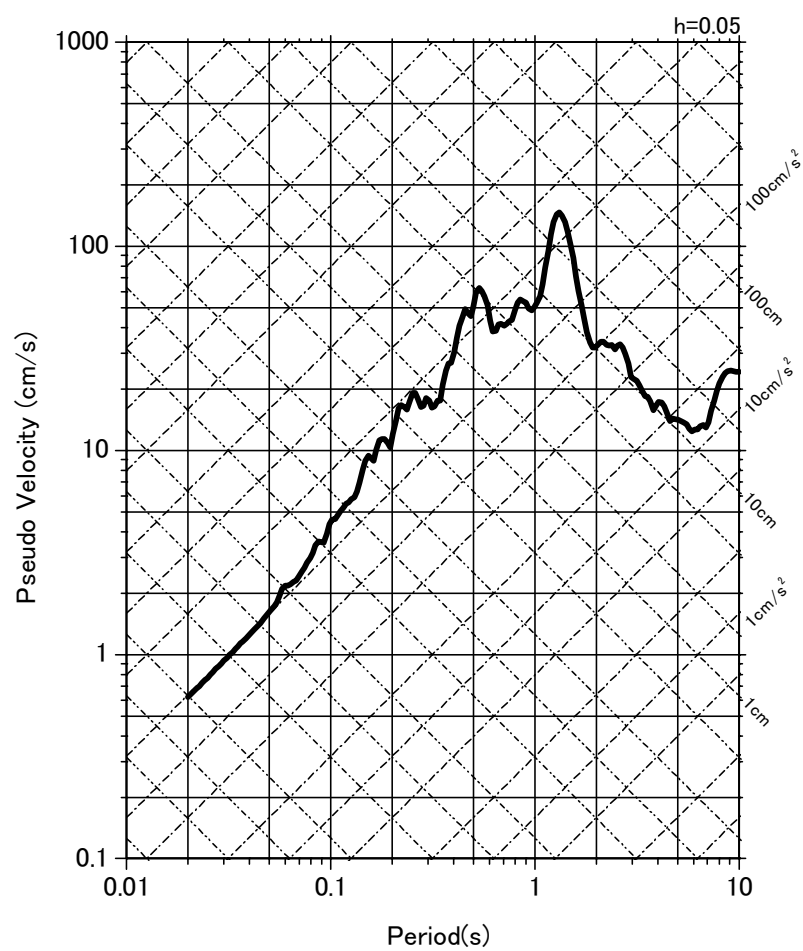
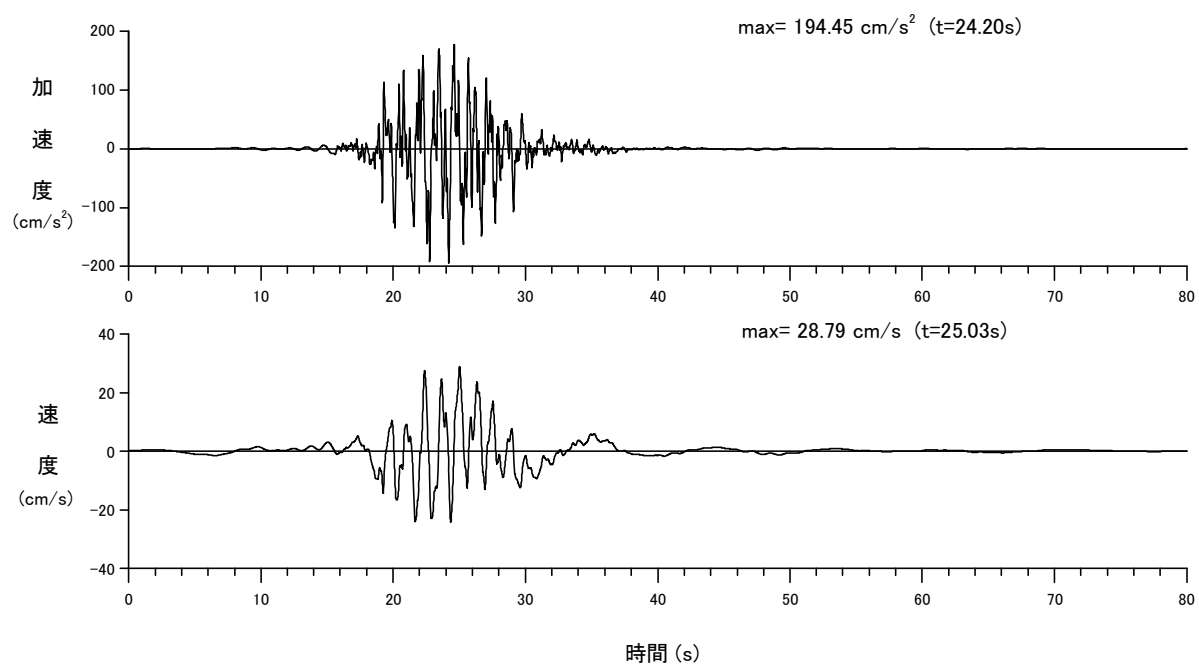


図-5. 21(1) 工学的基盤面における模擬地震動の波形と応答スペクトル
【サイト波「東京湾北部地震NS」】

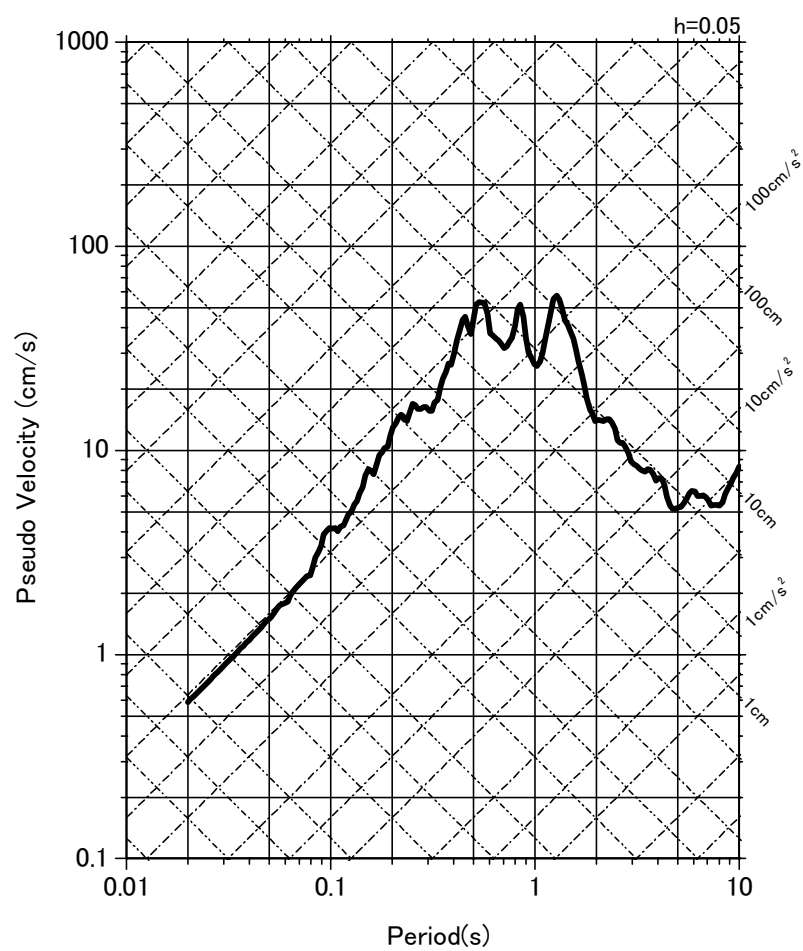
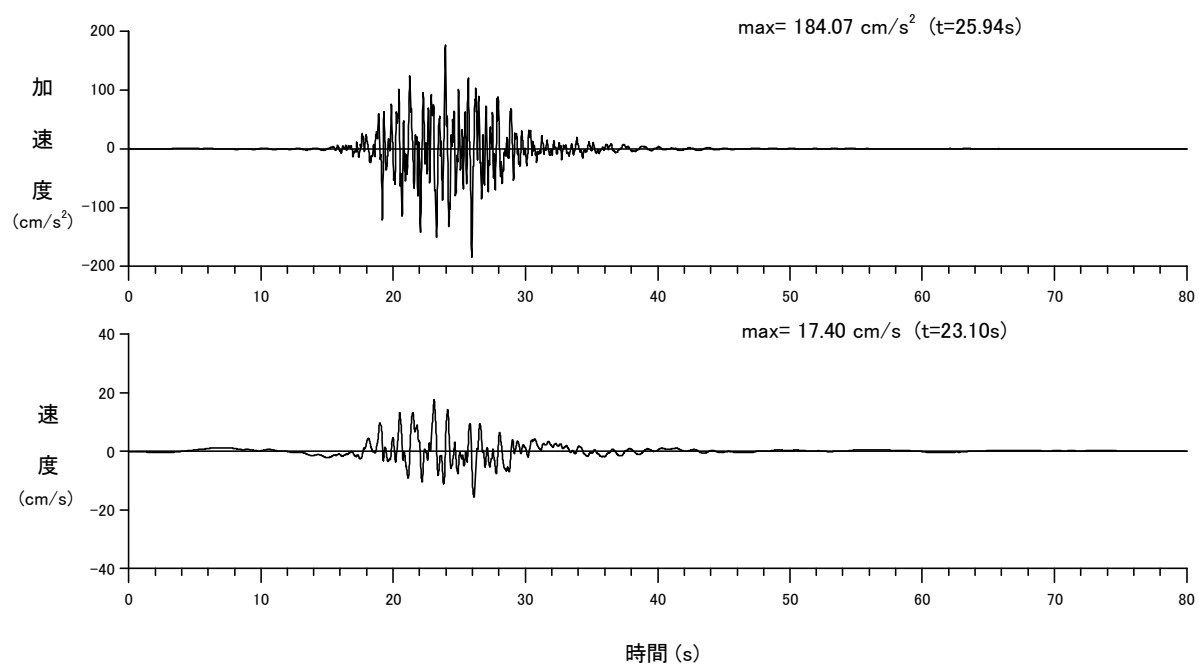


図-5.21(2) 工学的基盤面における模擬地震動の波形と応答スペクトル
【サイト波「東京湾北部地震EW」】

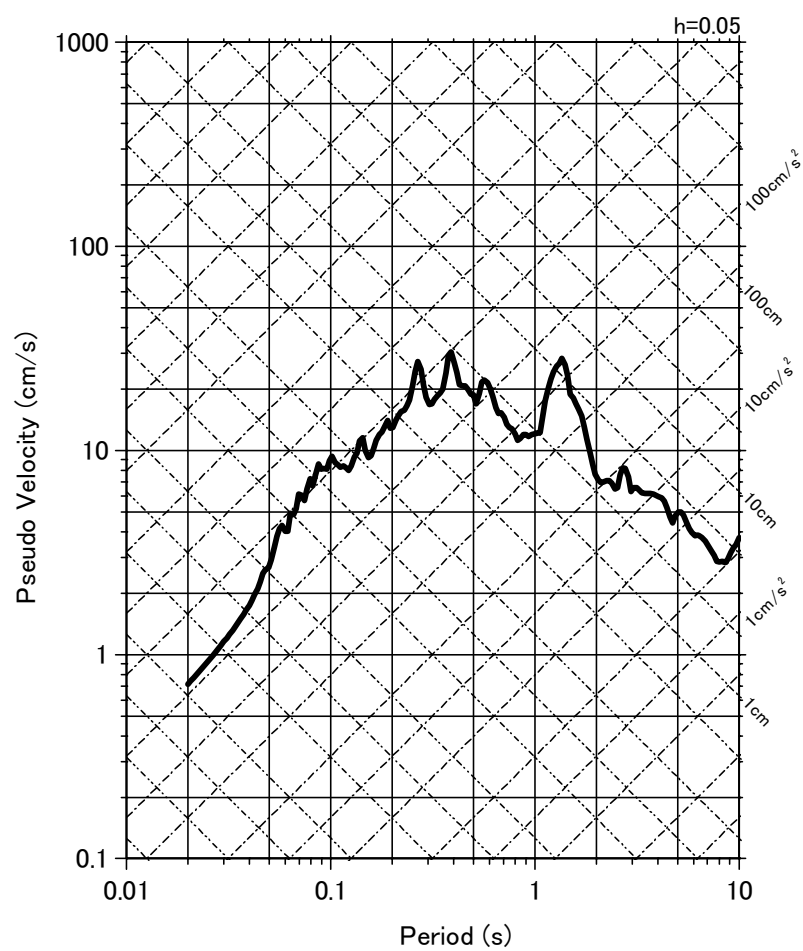
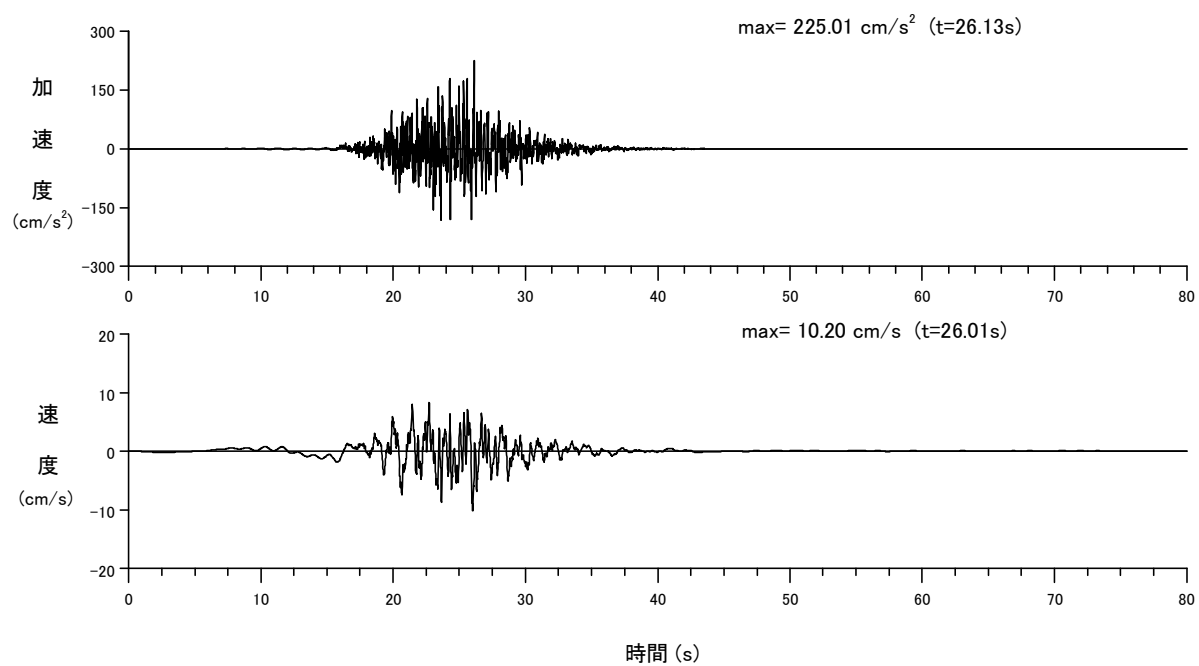


図-5.21(3) 地表面における模擬地震動の波形と応答スペクトル
【サイト波「東京湾北部地震UD」】

5.2 長周期地震動「東海・東南海・南海三連動地震」の作成

(1) 作成方法

① 作成手法の概要

国土交通省より平成 22 年 12 月 21 日に公示された「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案について」⁵⁻¹³⁾には、時刻歴応答解析が必要な大臣認定を受ける建築物を対象に、0.1～10 秒の幅広い周期成分を含む設計用長周期地震動作成手法が述べられている。

この手法では、関東、東海、関西地域の平野部を 9 つの区域に分類し、海溝型地震のうちの一つ及び連動型地震を考慮して、設計用長周期地震動を作成することになっている。

国交省(2010)による関東平野の区域分け、及び調査地の位置を図-5.22 に示す。調査地は区域 4 に位置する。

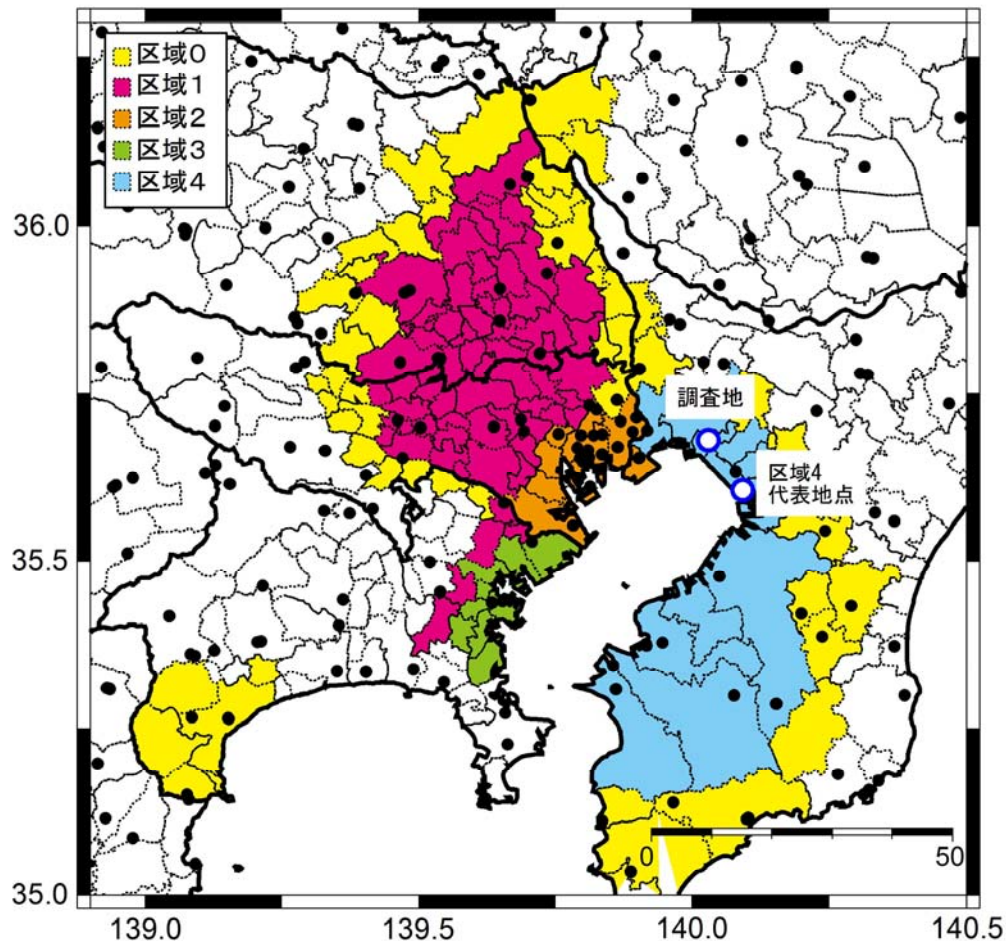


図-5.22 国交省(2010)による関東平野の区域分けと調査地位置

東海・東南海・南海三連動地震の断層パラメータとして、東海地震(Mw8.0)と東南海地震(Mw8.1)については、国交省(2010)を使用し、南海地震は、中央防災会議(2003)⁵⁻¹⁴⁾のモデルを参考に断層面の大きさを設定し Mw=8.6 とした。

三連動地震の地震波は、東海地震、東南海地震、南海地震を別々に計算させた後、破壊遅れ時間を考慮して時間領域で波形合成させた。図-5.23 に、国交省(2010)に基づく長周期地震動作成フローを示す。

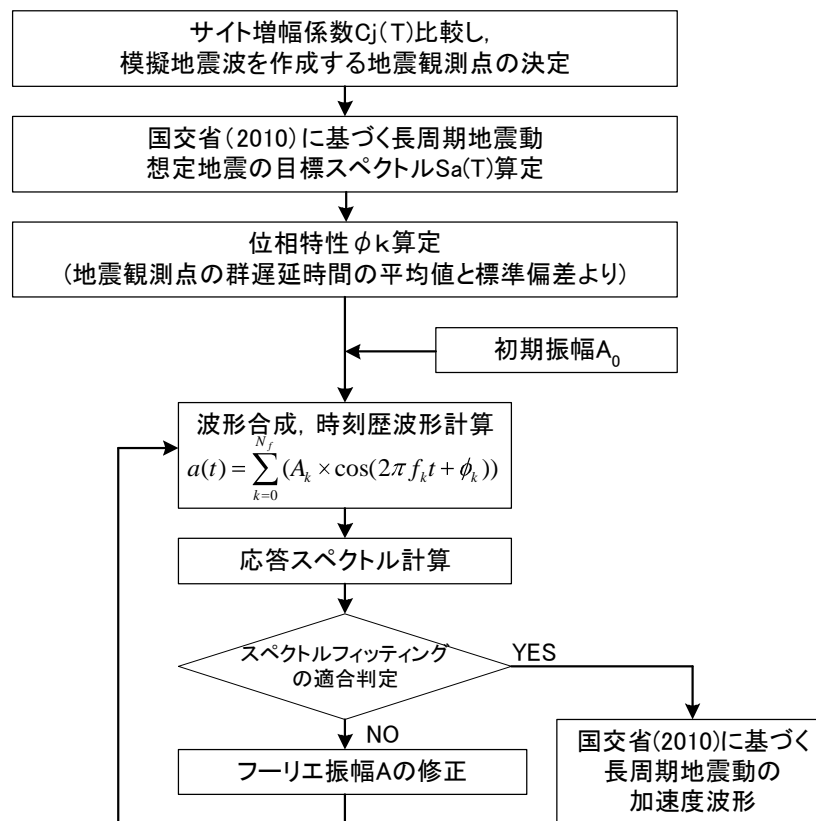


図-5.23 国交省(2010)の長周期地震波作成フロー

参考文献

- 5-13) 国土交通省：超高層建築物等における長周期地震動への対策試案について、平成22年12月21日(平成23年2月7日訂正)，http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000218.html.
 5-14) 中央防災会議：東南海、南海地震等に関する専門調査会(第16回)東南海、南海地震の強震動と津波の高さ(案)図表集，2003.

② 解放工学的基盤における加速度応答スペクトル $Sa(T)$ 工学的基盤

各地震動観測地点における解放工学的基盤の加速度応答スペクトル $Sa(T)$ 工学的基盤 (減衰定数 5% : cm/s^2) は、次式で求められる。

$$\log_{10}(Sa(T)_{\text{工学的基盤}}) = a(T) \times Mw + b(T) \times R - \log_{10}(R^{p(T)} + d(T) \times 10^{0.5Mw}) + c(T) + c_j(T) \quad \text{---(1)}$$

Mw : 地震のモーメントマグニチュード (断層運動としての地震の規模を表す指標)

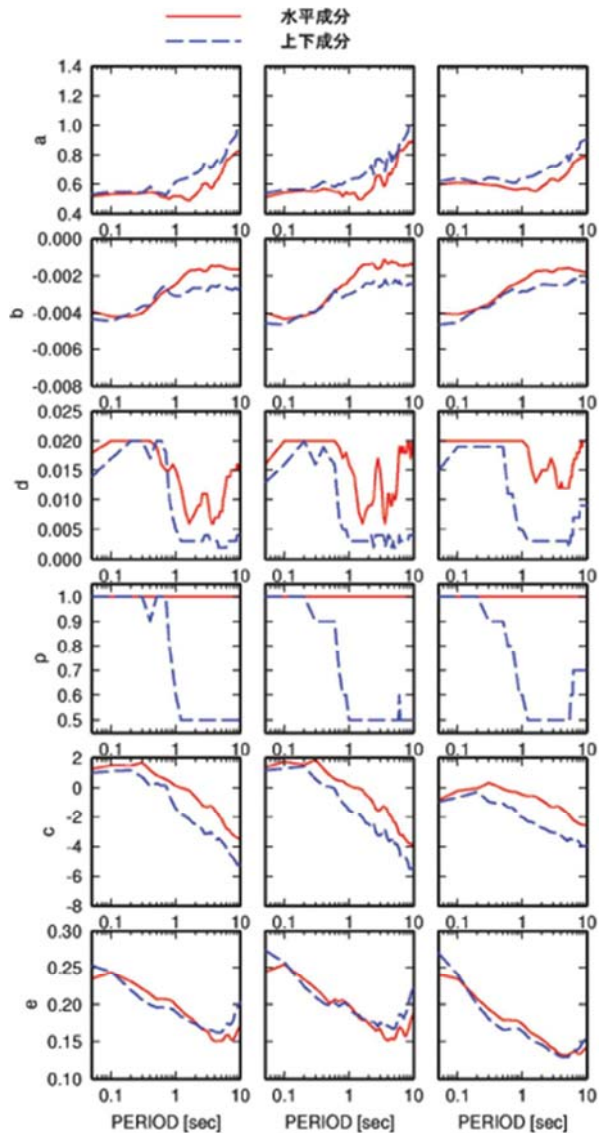
R : 地震動観測地点 j から想定震源断層までの最短距離 (km)

$a(T)$, $b(T)$, $p(T)$, $d(T)$, $c(T)$: 回帰係数 (表-5.5, 図-5.24 参照)

$c_j(T)$: 地震動観測点 j における地震基盤から建設地点 (サイト) の地表までのサイト増幅係数

表-5.5 $a(T)$, $b(T)$, $p(T)$, $d(T)$, $c(T)$ の値

$T(\text{sec})$	$a(T)$	$b(T)$	$p(T)$	$d(T)$	$c(T)$
0.1	0.533	-0.00420	1	0.020	1.516
0.2	0.536	-0.00418	1	0.020	1.472
0.3	0.537	-0.00401	1	0.020	1.667
0.4	0.547	-0.00362	1	0.020	1.179
0.5	0.539	-0.00326	1	0.019	0.838
0.6	0.517	-0.00293	1	0.016	0.689
0.7	0.511	-0.00279	1	0.015	0.541
0.8	0.503	-0.00270	1	0.015	0.448
0.9	0.519	-0.00259	1	0.016	0.272
1.0	0.519	-0.00243	1	0.015	0.124
1.2	0.519	-0.00216	1	0.012	-0.025
1.4	0.498	-0.00189	1	0.008	-0.105
1.6	0.492	-0.00172	1	0.006	-0.190
1.8	0.509	-0.00167	1	0.007	-0.411
2.0	0.526	-0.00169	1	0.008	-0.620
2.2	0.546	-0.00166	1	0.009	-0.835
2.4	0.567	-0.00164	1	0.009	-1.001
2.6	0.596	-0.00173	1	0.011	-1.187
2.8	0.604	-0.00174	1	0.011	-1.261
3.0	0.606	-0.00172	1	0.011	-1.310
3.2	0.589	-0.00161	1	0.009	-1.260
3.4	0.575	-0.00149	1	0.007	-1.237
3.6	0.573	-0.00145	1	0.006	-1.252
3.8	0.585	-0.00147	1	0.006	-1.361
4.0	0.607	-0.00150	1	0.007	-1.501
4.2	0.619	-0.00148	1	0.007	-1.617
4.4	0.628	-0.00148	1	0.007	-1.747
4.6	0.639	-0.00146	1	0.007	-1.867
4.8	0.659	-0.00148	1	0.008	-2.016
5.0	0.669	-0.00148	1	0.008	-2.103
5.2	0.679	-0.00148	1	0.008	-2.189
5.4	0.706	-0.00153	1	0.010	-2.364
5.6	0.726	-0.00155	1	0.011	-2.504
5.8	0.744	-0.00157	1	0.012	-2.636
6.0	0.758	-0.00159	1	0.013	-2.744
6.2	0.768	-0.00161	1	0.014	-2.828
6.4	0.772	-0.00161	1	0.014	-2.870
6.6	0.774	-0.00162	1	0.014	-2.904
6.8	0.778	-0.00163	1	0.014	-2.944
7.0	0.781	-0.00163	1	0.014	-2.997
7.2	0.790	-0.00165	1	0.015	-3.079
7.4	0.795	-0.00164	1	0.015	-3.136
7.6	0.799	-0.00164	1	0.015	-3.184
7.8	0.802	-0.00164	1	0.015	-3.221
8.0	0.806	-0.00163	1	0.015	-3.263
8.2	0.810	-0.00163	1	0.015	-3.301
8.4	0.814	-0.00163	1	0.015	-3.336
8.6	0.817	-0.00162	1	0.015	-3.371
8.8	0.825	-0.00165	1	0.016	-3.425
9.0	0.827	-0.00165	1	0.016	-3.447
9.2	0.823	-0.00163	1	0.015	-3.442
9.4	0.823	-0.00163	1	0.015	-3.454
9.6	0.829	-0.00166	1	0.016	-3.492
9.8	0.824	-0.00165	1	0.015	-3.477
10.0	0.829	-0.00168	1	0.016	-3.510



Sa(5%)

Sa(1%)

エネルギー
スペクトル

図-5.24 海溝型地震の回帰係数

③ 群遅延時間の平均値と分散

群遅延時間の微小帯域(中心振動数 f)における平均値と分散(標準偏差の2乗)は以下の回帰式で与えられる。群遅延時間の平均値 $\mu_{igr}(f)$, 群遅延時間の分散 $\sigma_{igr}(f)$, f : 振動数 (Hz) とすると,

$$\mu_{igr}(f) = A_1(f) \times M_0^{1/3} + B_1(f) \times X + C_{1j}(f) \quad \text{--- (2)}$$

$$\sigma_{igr}(f) = \sqrt{A_2(f) \times M_0^{1/3} + B_2(f) \times X + C_{2j}^2(f)} \quad \text{--- (3)}$$

$A_1(f)$, $B_1(f)$, $A_2(f)$, $B_2(f)$: 振動数 f 毎の海溝型地震に対する係数

(地震動観測地点によらない共通の係数)

$C_{1j}(f)$, $C_{2j}(f)$: 地震動観測地点 j における係数

M_0 : 地震モーメント (dyne・cm) ※ $\log M_0 = 1.5 Mw + 16.1$ (M_0 : 単位 dyne・cm)

X : 地震動観測点 j から想定震源断層の破壊開始地点までの距離 (km)

④ 時刻歴波形の算定

対象地震の時刻歴波形は、観測地点の解放工学的基盤での減衰定数 5%の加速度応答スペクトルと、群遅延時間の平均値と標準偏差に基づく位相特性を用いて、高速フーリエ(逆)変換で求められる。時刻歴波形の継続時間 T_d は、与えられる位相特性の周波数間隔に従い、1310.72 秒である(時間刻み $\Delta t = 0.02$ 秒, データ個数 $N = 65536$)。

加速度時刻歴波形を $a(t)$ とすると、次式のような表現となる。

$$a(t) = \sum_{k=0}^{N_f} (A_k \times \cos(2\pi f_k t + \phi_k)) \quad \text{--- (4)}$$

A_k : 振動数 f_k におけるフーリエ係数

f_k : k 番目の成分振動数で, $f_k = k / T_d$ (Hz)

N_f : 成分振動数の個数 $N_f = N / 2 = 32768$

ϕ_k : k 番目の位相角 (rad)

フーリエ係数 A_k は、対象地震について観測地点で求められる加速度応答スペクトル(式(1)参照)を目標スペクトルとして、繰り返し計算を行い、修正しながら求められる。

位相角 ϕ_k は、まず、振動数に関する傾きを群遅延時間 $\overline{TGR_k}$ として以下で定義する。

$$\overline{TGR_k} = (\phi_{k+1} - \phi_k) / (2\pi\Delta f) = \Delta\phi_k / (2\pi\Delta f) \quad \text{--- (5)}$$

この群遅延時間は、 $\overline{TGR_k}$ が正規分布に従うものとして、0~10Hz までの 206 個の等間隔の帯域について、その平均値 $\mu_{tgr}(f)$ と標準偏差 $\sigma_{tgr}(f)$ が、式(2)と(3)で求められる。

波形合成時の各振動数における位相差分 $\Delta\phi$ は、観測地点の群遅延時間の平均値 $\mu_{tgr}(f)$ と、標準偏差 $\sigma_{tgr}(f)$ を式(6)に代入することで求められる。

$$\Delta\phi(f) = -(\mu_{tgr}(f) + \sigma_{tgr}(f) \times s) \times df \times 2\pi \quad \text{--- (6)}$$

ここで s : 平均値 0, 標準偏差 1 の正規乱数

df : 振動数刻み (継続時間の逆数)

群遅延時間の平均値 $\mu_{tgr}(f)$ と、標準偏差 $\sigma_{tgr}(f)$ を用いて、各位相角における位相角 ϕ_k は、式(7)で逐次求められる。

$$\phi_{k+1} = \phi_k + \Delta\phi_k \quad \text{--- (7)}$$

この位相角 ϕ_k を(4)式に代入し、フーリエ係数 A_k が目標スペクトルに適合するまで、繰り返し計算すれば、長周期地震動の加速度波形が求められる。

(2) 断層パラメータとサイト係数の設定

① 断層パラメータの設定

国交省(2010)の地震波の計算に用いた断層モデルを図-5.25 に、断層パラメータを表-5.6 に示す。東海地震と東南海地震は国土交通省(2010)の公開データを使用し、南海地震は中央防災会議(2003)を参考に設定した。また、三連動地震全体の破壊開始点は、中央防災会議(2003)に基づき南海地震の断層面の東端(紀伊半島沖)とした。この場合、南海地震と東南海地震で同時に破壊が始まり、遅れて東海地震が破壊する。

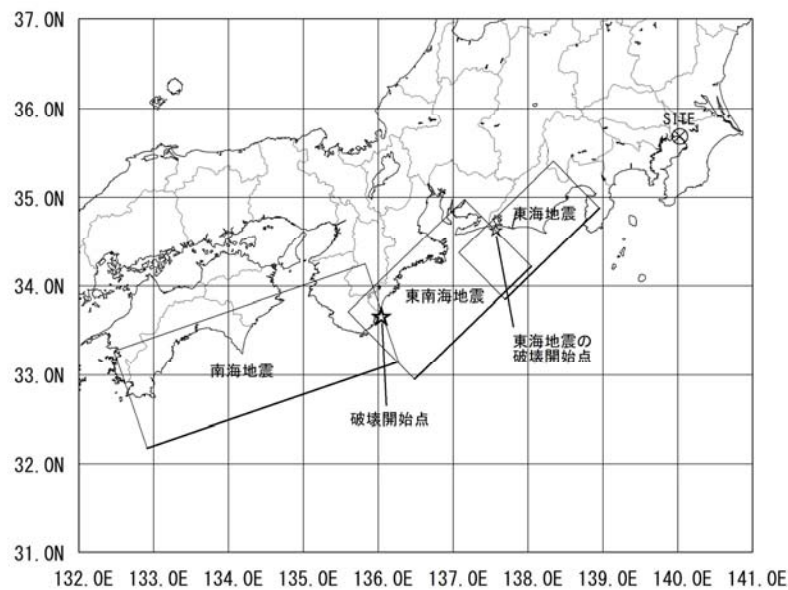


図-5.25 東海・東南海・南海三連動地震の断層モデル

表-5.6 東海・東南海・南海三連動地震の計算用パラメータ

東海地震※ ¹			
Mw	8.0		
Mo(dyne cm)	1.12E+28		
	緯度(°)	経度(°)	深さ(km)
断層四隅1	34.877	138.955	2
断層四隅2	33.840	137.697	2
断層四隅3	34.363	137.069	24
断層四隅4	35.399	138.327	24
破壊開始点	34.636	137.610	20.3

南海地震			
Mw※ ²	8.6		
Mo(dyne cm)※ ³	1.00E+29		
	緯度(°)	経度(°)	深さ(km)
断層四隅1※ ³	33.150	136.270	10
断層四隅2※ ³	32.132	132.949	10
断層四隅3※ ³	33.220	132.478	29.9
断層四隅4※ ³	34.238	135.799	29.9
破壊開始点※ ⁴	33.700	136.060	17.3

東南海地震※ ¹			
Mw	8.1		
Mo(dyne cm)	1.48E+28		
	緯度(°)	経度(°)	深さ(km)
断層四隅1	34.217	138.042	3.2
断層四隅2	32.942	136.505	3.2
断層四隅3	33.698	135.605	22
断層四隅4	34.973	137.142	22
破壊開始点	33.700	136.060	17.3

※¹ 国交省(2010)によるモデル

※² 金森式 $\log Mo = 1.5Mw + 16.1$

※³ 中央防災会議(2003)に基づき設定

※⁴ 東南海地震と同座標とする

② サイト係数の設定

長周期地震動作成のための区域分けによると，調査地は区域 4 に位置する。この区域の長周期地震動は，代表観測点である千葉市中央区中央港(E62)のサイト係数を用いて作成した(図-5.26 参照)。観測点の位置は図-5.22 に併記した。

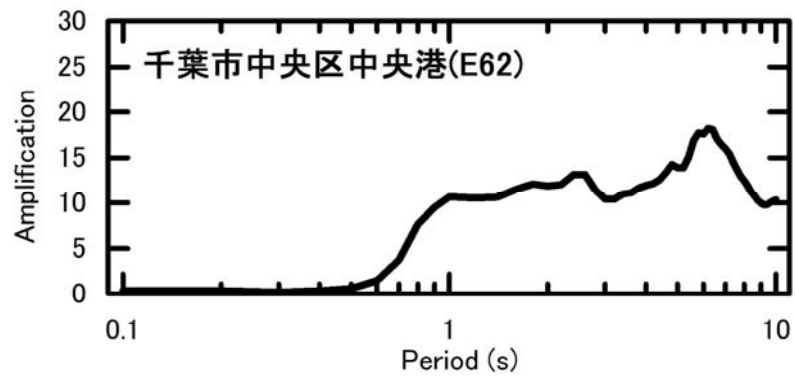


図-5.26 代表観測点のサイト増幅係数 $C_j(T)$

(3) 解放工学的基盤面における「東海・東南海・南海三連動地震」

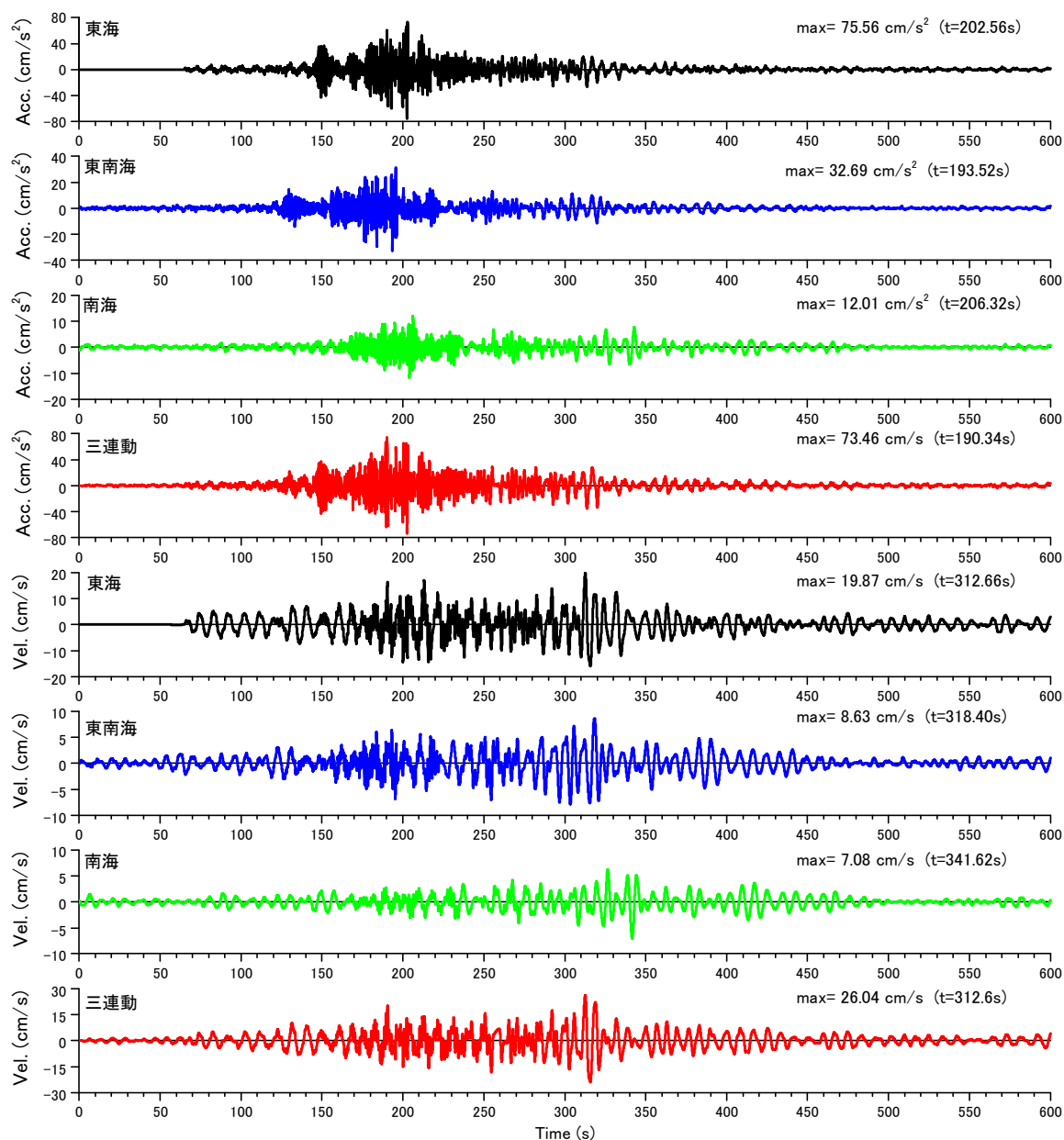
三連動地震波は、東海地震、東南海地震、南海地震を別々に計算させた後、破壊遅れ時間を考慮して時間領域で波形合成させた。東海地震は、国土交通省による公開データの区域 4 代表波を使用し、東南海地震と南海地震は前述の作成手法により、地震動波形を作成した。

区域 4 の東海地震、東南海地震、南海地震および三連動地震の加速度・速度波形、疑似速度応答スペクトル ($h=0.05$)、エネルギースペクトル ($h=0.10$) を図-5.27 に示す。また、三連動地震の波形と応答スペクトルを図-5.28 に、波形の諸元を表-5.7 に示す。

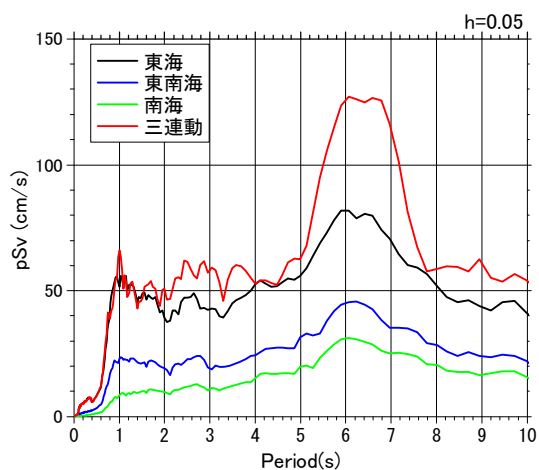
表-5.7 解放工学的基盤面における模擬地震動の諸元

地震名	成分及び深度	データ数	時間刻み dt (s)	最大加速度 A max (cm/s ²) (発生時刻 (s))	最大速度 ^{注)} V max (cm/s) (発生時刻 (s))	波形名
長周期地震動 「三連動地震」 (東海・東南海・南海)	水平動(工学的基盤)	65536	0.02	73.46 (190.34)	26.04 (312.60)	3rendo-k. acc

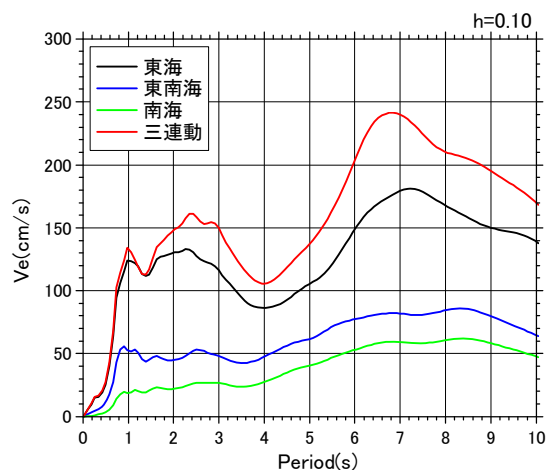
注) 積分はTrifunacの方法による



(a) 加速度，速度波形図



(b) 疑似速度応答スペクトル ($h=5\%$)



(c) エネルギースペクトル ($h=10\%$)

図-5.27 国交省(2010)の長周期地震動作成手法による工学的基盤面における模擬地震動の波形図と応答スペクトルおよびエネルギースペクトル(区域4)

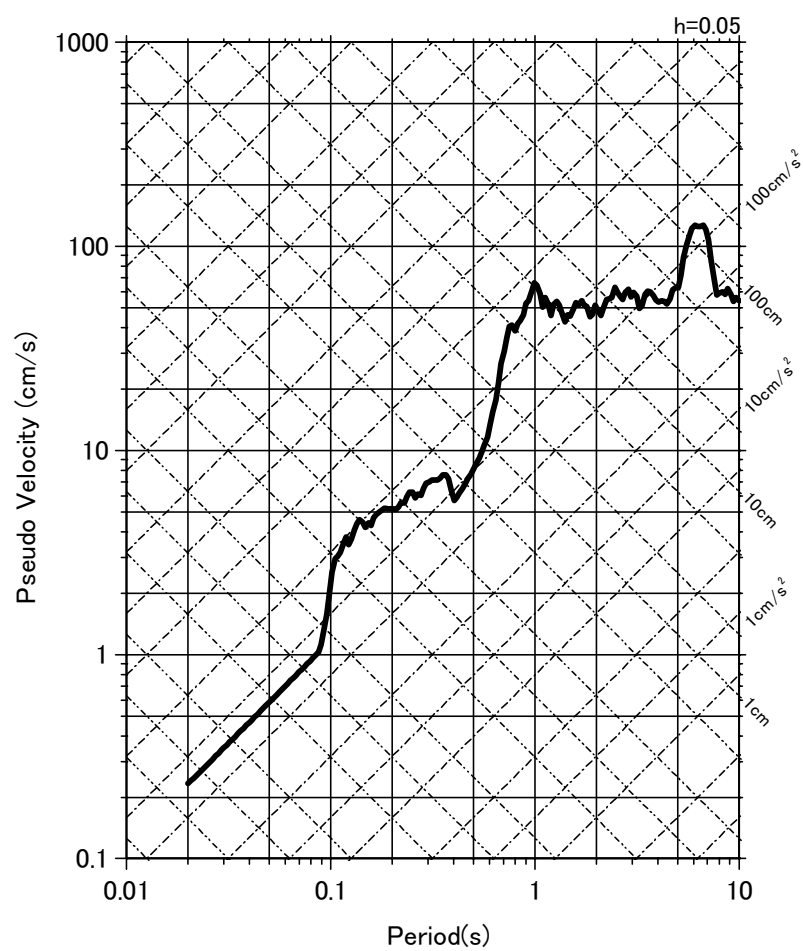
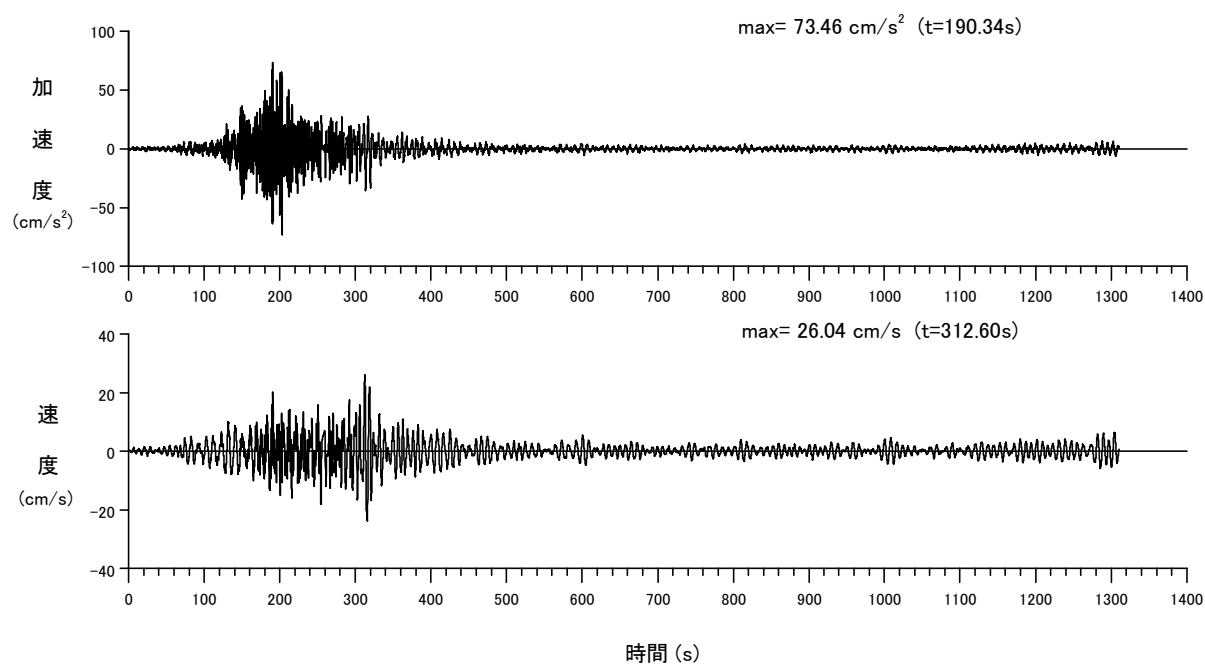


図-5.28 解放工学的基盤面における模擬地震動の波形と応答スペクトル
【長周期地震動「三連動地震」】

第6章 解放工学的基盤面における告示波および上下動の作成

6.1 作成方法

調査地の設計用入力地震動として、告示「極めて稀に発生する地震動」および上下動（告示「極めて稀に発生する地震動」相当）を作成する。

設計用応答スペクトルを目標応答スペクトルとして波形を作成する方法としては、一般には次の2方法がある。

- 1) ランダム位相，振幅包絡曲線，継続時間で作成する方法
- 2) 既往の波形（観測波，模擬地震波）の位相特性を採用する方法

各模擬地震動への位相の適用は，次の通りである。

告 示 波：Hachinohe-NS(1968 年十勝沖地震)⁶⁻¹⁾

JMAKobe-NS(1995 年兵庫県南部地震)

ランダム位相

上 下 動：Hachinohe-UD⁶⁻¹⁾，JMAKobe-UD，ランダム位相

具体的には，以下の手順とした。

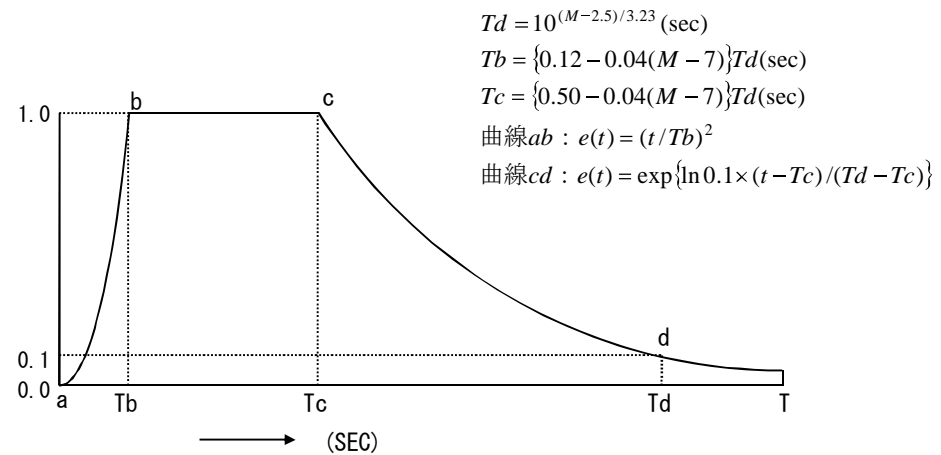
(1) ランダム位相を用いる場合

- ① $0 \sim 2\pi$ の一様乱数を作成する
- ② 第1近似として目標スペクトルをフーリエ振幅とみなし，①で作成した位相を用い，これをフーリエ逆変換して時刻歴波形を求める。
- ③ ②で得られた波形は，振幅の経時変化がない定常な波形が合成されるので，振幅の非定常性を与えるために包絡関数を乗じる。包絡関数は，図-6.1 に示す Jennings 型⁶⁻²⁾を用いた。
- ④ ③で得られた波形により応答スペクトルを計算する。応答スペクトルと目標スペクトルとの比率を求め，近傍の周期での比率も考慮してフーリエ振幅値を修正し時刻歴波形を求め直す。
- ⑤ ③～④を繰り返して応答スペクトルが目標スペクトルに適合する時刻歴波形を求める。

(2) 既往波の位相を用いる場合

- ① 観測地震動波形をフーリエ変換し，位相スペクトルを作成する。
- ② 第1近似として前節で提案した目標スペクトルをフーリエ振幅とみなし，①で作成した位相を用い，これをフーリエ逆変換して時刻歴波形を求める。
- ③ ②で得られた波形により応答スペクトルを計算する。
- ④ 応答スペクトルと目標スペクトルとの比率を求め，近傍の周期での比率も考慮してフーリエ振幅値を修正し時刻歴波形を再度求める。
- ⑤ ②～④を繰り返して応答スペクトルが目標スペクトルに適合する時刻歴波形を求める。

応答スペクトルと目標スペクトルの比較は, 周期 0.02～10.0sec 間の 200 点で行っており, 収束条件を最小スペクトル比 ≥ 0.85 , スペクトル強度比 ≥ 1.0 とした。ランダム位相を用いる場合は波形を複数作成し, 応答スペクトルと目標スペクトルのフィッティングが良いものを選定した。また, 求めた時刻歴波形には中立軸の補正と 0.04～25Hz のバンドパスフィルター処理を行った。



想定地震	M	Tb(sec)	Tc(sec)	Td(sec)	T(sec)
告示(極めて稀) および上下動	8.5	4.32	31.70	72.04	120

図-6.1 乱数位相を用いた場合の包絡関数

(3) 告示波のスペクトルフィッティングの適合条件

告示波のスペクトルフィッティングの適合条件は、国土交通省建築研究所(2001)⁶⁻³⁾を参考に下記の①～⑤とした。ただし観測波については位相が決まっているため、必ずしも以下の条件をすべて満足しているものではない。適合させる周期範囲は②を除き $0.02 \leq T \leq 5\text{sec}$ である。

① 最小スペクトル比 ε_{\min}

各周期における $h=0.05$ の加速度応答スペクトルの最小が目標スペクトルの 85%以上

$$\varepsilon_{\min} = \left\{ \frac{S_a(T_i, h)}{DS_a(T_i, h)} \right\}_{\min} \geq 0.85$$

② スペクトル強度比 (SI 比) $SIratio$

速度応答スペクトルと周期軸(1.0～5.0 秒)に囲まれた面積 (SI) の計算と目標の比率

$$SIratio = \frac{\int_1^5 pS_v(T) dT}{\int_1^5 DpS_v(T) dT} \geq 1.0$$

③ 変動係数 (目標値 1.0 からの変動係数) ν

各周期のスペクトル比 (計算/目標) が 1 を境にどの程度変動しているかを示す係数

$$\nu = \sqrt{\frac{\sum (\varepsilon_i - 1.0)^2}{N}} \leq 0.05$$

④ 平均値の誤差 $|1 - \varepsilon_{ave}|$

スペクトル比の平均値の誤差が 2%以内

$$|1 - \varepsilon_{ave}| \leq 0.02$$

$$\text{ただし, } \varepsilon_{ave} = \frac{\sum \varepsilon_i}{N}, \quad \varepsilon_i = \frac{S_a(T_i, h)}{DS_a(T_i, h)}$$

N : 誤差を判定する周期ポイント数

T_i : 誤差を判定する周期

$S_a(T)$: 加速度応答スペクトル ($h=0.05$)

$DS_a(T)$: 設計用応答スペクトル ($h=0.05$)

⑤ スペクトルの適合条件における周期ポイント数 N

上記で誤差を判定する周期ポイント数は設計用スペクトルの設定周期範囲内で 250 点とし、誤差を判定する周期ポイントは模擬地震動作成時の重ね合わせ周期ポイントと一致しないように取った。またそのピッチは、構造物の共振域が ω_o/ω の比で与えられることを考慮して等比で与えた。

参考文献

- 6-1) 翠川三郎・三浦弘之：1968 年十勝沖地震の八戸港湾での強震記録の再数値化，日本地震工学会論文集，第 10 巻，第 2 号，pp.12-21，2010
- 6-2) 大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門，鹿島出版会，p.200，1994
- 6-3) 国土交通省建築研究所：改正建築基準法の構造関係規定の技術的背景，pp.145-146，2001

6.2 目標スペクトルの設定

(1) 告示「極めて稀に発生する地震動」

告示第 1461 号「極めて稀に発生する地震動」による目標スペクトル(解放工学的基盤面, 2E)を図-6.2 および表-6.1 に示す。

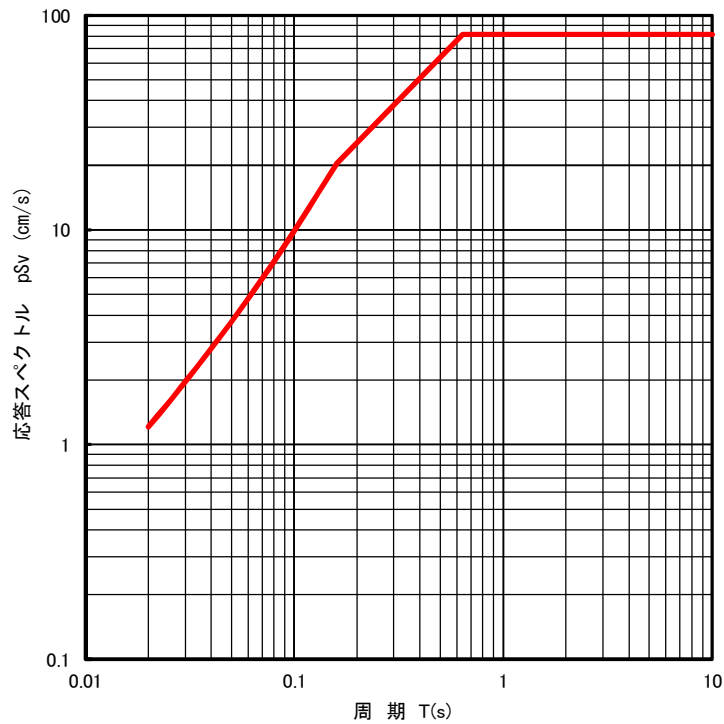


表-6.1 告示「極めて稀に発生する地震動」の目標スペクトル

周 期 T (s)	応答スペクトル (cm/s)
0.020	1.210
0.022	1.352
0.024	1.497
0.026	1.647
0.028	1.800
0.030	1.958
0.034	2.284
0.040	2.801
0.050	3.740
0.060	4.775
0.080	7.130
0.100	9.868
0.130	14.690
0.160	20.372
0.640	81.487
10.000	81.487

図-6.2 告示「極めて稀に発生する地震動」の目標スペクトル

(2) 上下動

上下動の目標スペクトルは、日本建築学会(2006)⁶⁻⁴⁾の作成手法に従い、告示「極めて稀に発生する地震動」の応答スペクトルに、図-6.4に示す上下/水平スペクトル比を乗じて求めた応答スペクトルを目標スペクトルとした。設定した目標スペクトル(解放工学的基盤面, 2E)を図-6.3および表-6.2に示す。

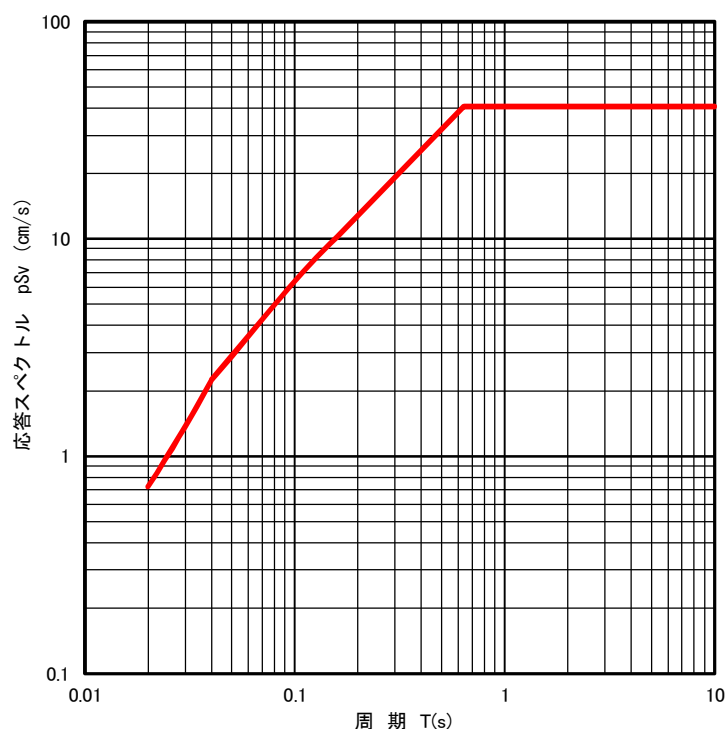


図-6.3 上下動の目標スペクトル

表-6.2 上下動の目標スペクトル

周 期 T (s)	応答スペクトル (cm/s)
0.020	0.726
0.022	0.838
0.024	0.958
0.026	1.087
0.028	1.224
0.030	1.370
0.034	1.690
0.040	2.241
0.050	2.896
0.060	3.573
0.080	4.968
0.100	6.366
0.130	8.411
0.160	10.186
0.640	40.744
10.000	40.744

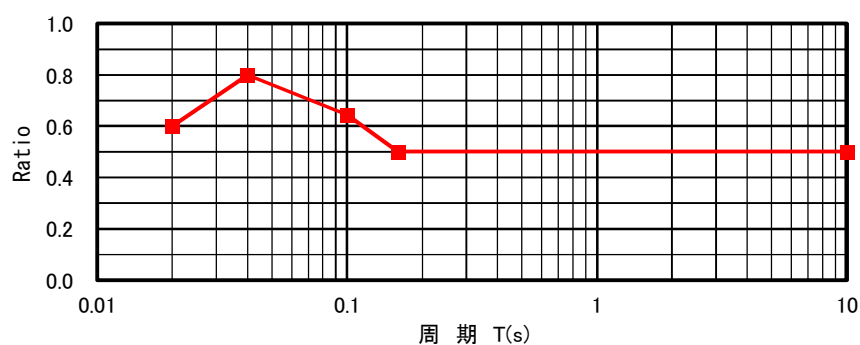


図-6.4 上下動の目標スペクトル作成に用いた
上下/水平スペクトル比

参考文献

6-4) 日本建築学会：建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計，2006.

6.3 解放工学的基盤面における告示波および上下動

(1) 告示「極めて稀に発生する地震動」

解放工学的基盤面において作成した告示「極めて稀に発生する地震動」の諸元を表-6.3に、加速度，速度の波形図と応答スペクトル(三軸図)を図-6.5 (1)～(3)に示す。速度波形はTrifunac⁶⁻⁵⁾の方法で求めた。また，スペクトルフィッティングの適合検定結果を表-6.4に示す。作成した告示波は，検定条件を全て満足している。

表-6.3 告示「極めて稀に発生する地震動」(解放工学的基盤面)の諸元

地震名	位相波	データ数	時間刻み dt(s)	最大加速度 Amax(cm/s ²) (発生時刻(s))	最大速度 ^{注)} Vmax(cm/s) (発生時刻(s))	波形名
建設省告示1461号 「極めて稀に 発生する地震動」	Hachinohe-NS (1968年十勝沖地震)	23400	0.01	378.74 (55.43)	58.69 (32.60)	kok-hac-k.acc
	JMAKobe-NS (1995年兵庫県南部地震)	12000	0.01	389.09 (33.54)	52.14 (34.17)	kok-jma-k.acc
	Random	12000	0.01	376.52 (26.29)	48.10 (19.36)	kok-ran-k.acc

注) 積分はTrifunacの方法による。

表-6.4 告示「極めて稀に発生する地震動」の目標スペクトルに対する適合状況

適合条件 位相	最小スペクトル比 ε_{\min} ≥ 0.85	スペクトル強度比 SI比 ≥ 1.0	変動係数 $\nu \leq 0.05$	平均値の誤差 $ 1 - \varepsilon_{\text{ave}} \leq 0.02$
Hachinohe-NS	0.919	1.003	0.024	0.008
JMAKobe-NS	0.886	1.012	0.042	0.003
Random	0.857	1.004	0.041	0.011

参考文献

- 6-5) M. D. Trifunac et al. : "Recent Development in Data Processing and Accuracy Evaluations of Strong Motion Acceleration Measurements", 5th WCEE., 1973

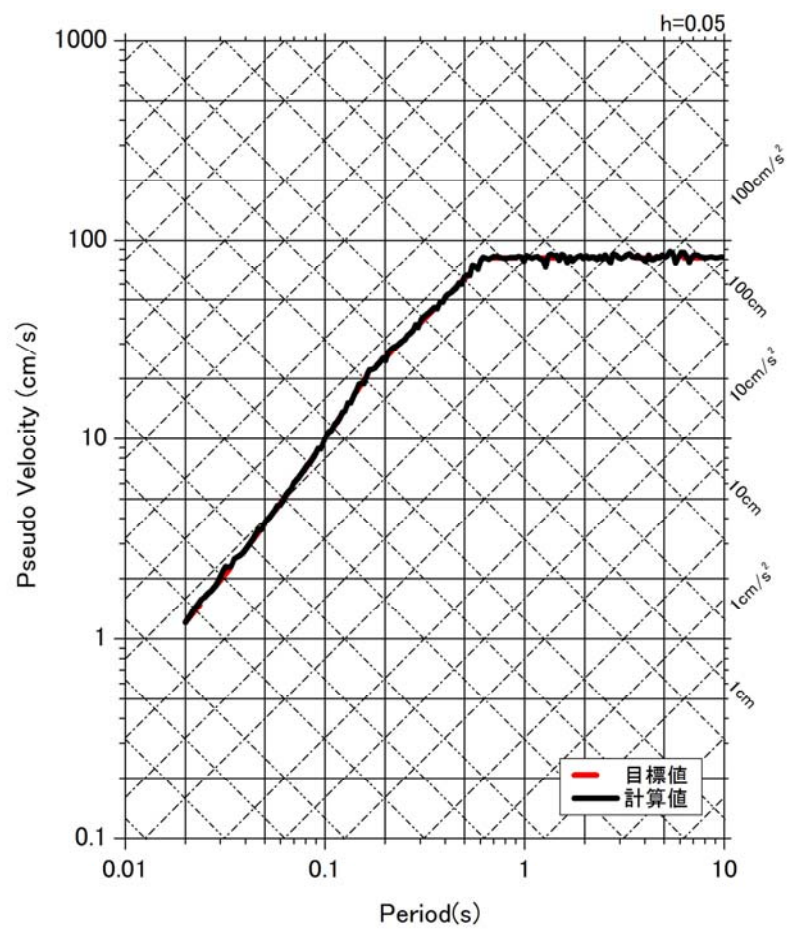
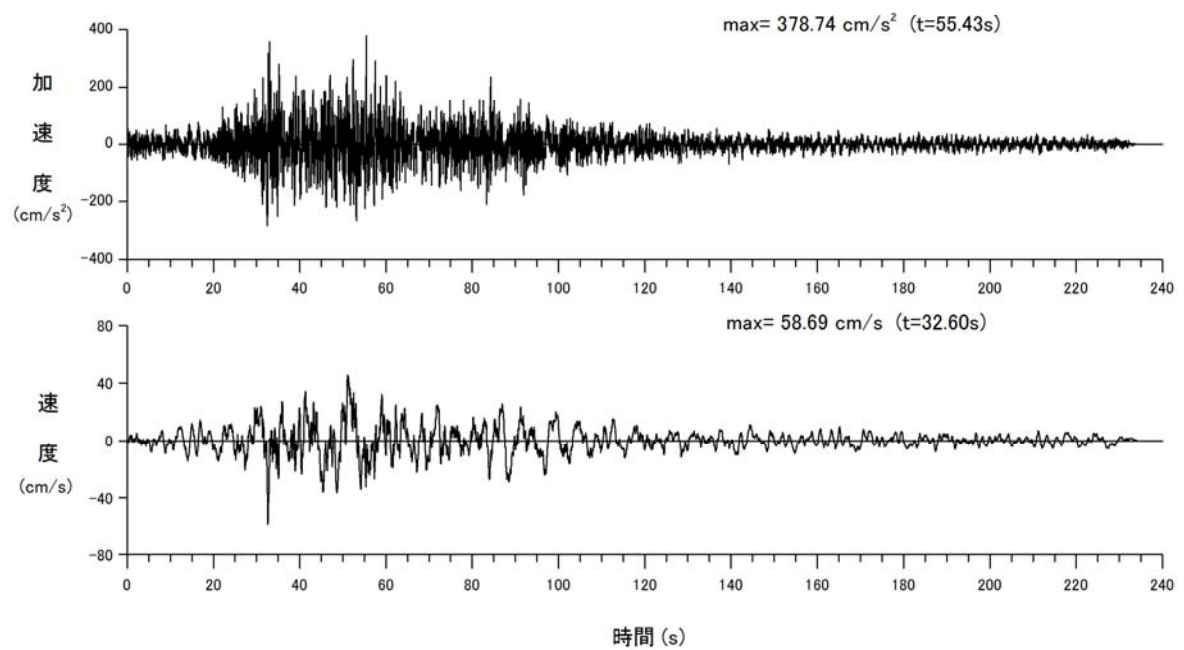


図-6.5(1) 解放工学的基盤面における模擬地震動の波形と応答スペクトル
 【告示「極めて稀に発生する地震動」，位相=Hachinohe-NS】

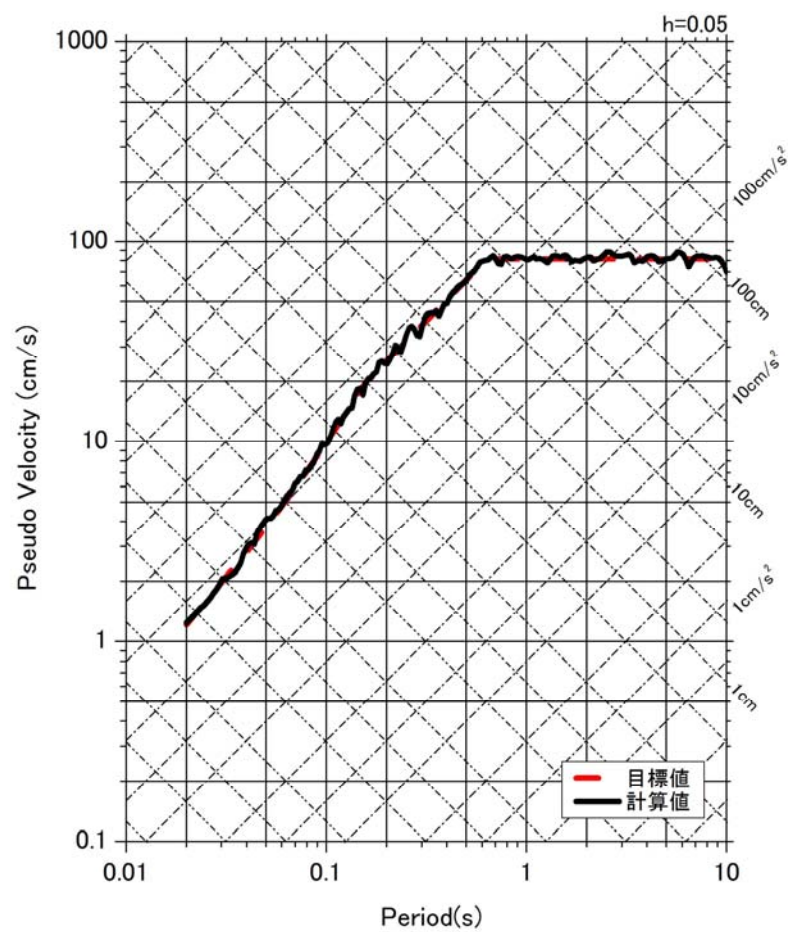
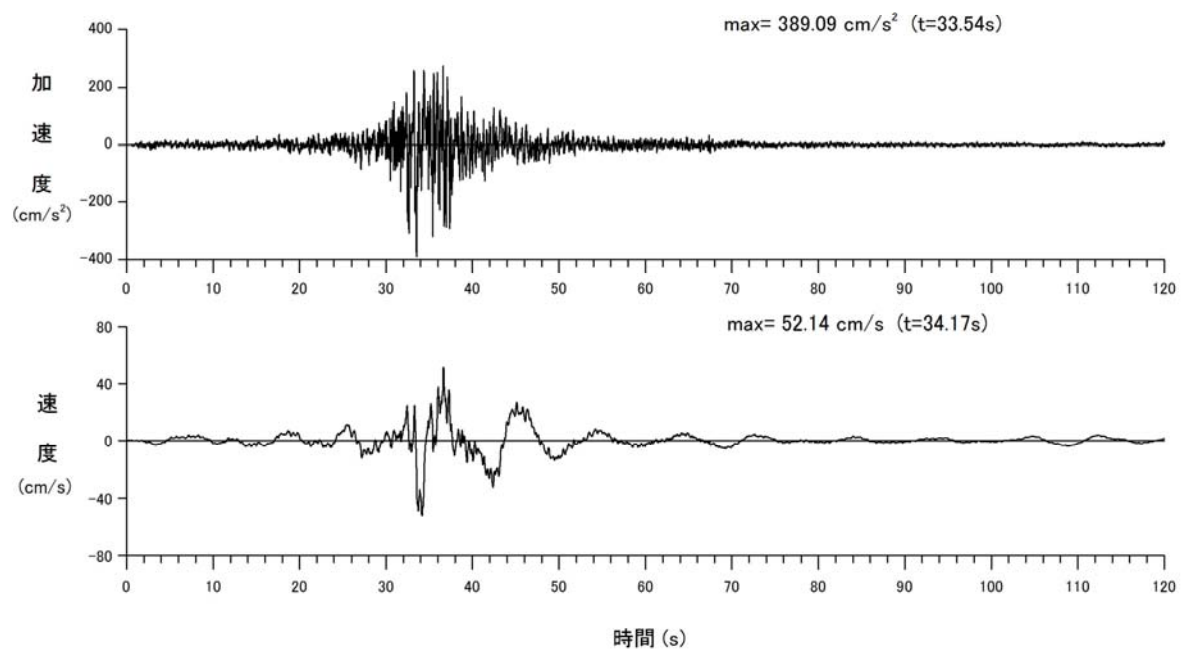


図-6.5(2) 解放工学的基盤面における模擬地震動の波形と応答スペクトル
【告示「極めて稀に発生する地震動」，位相=JMAKobe-NS】

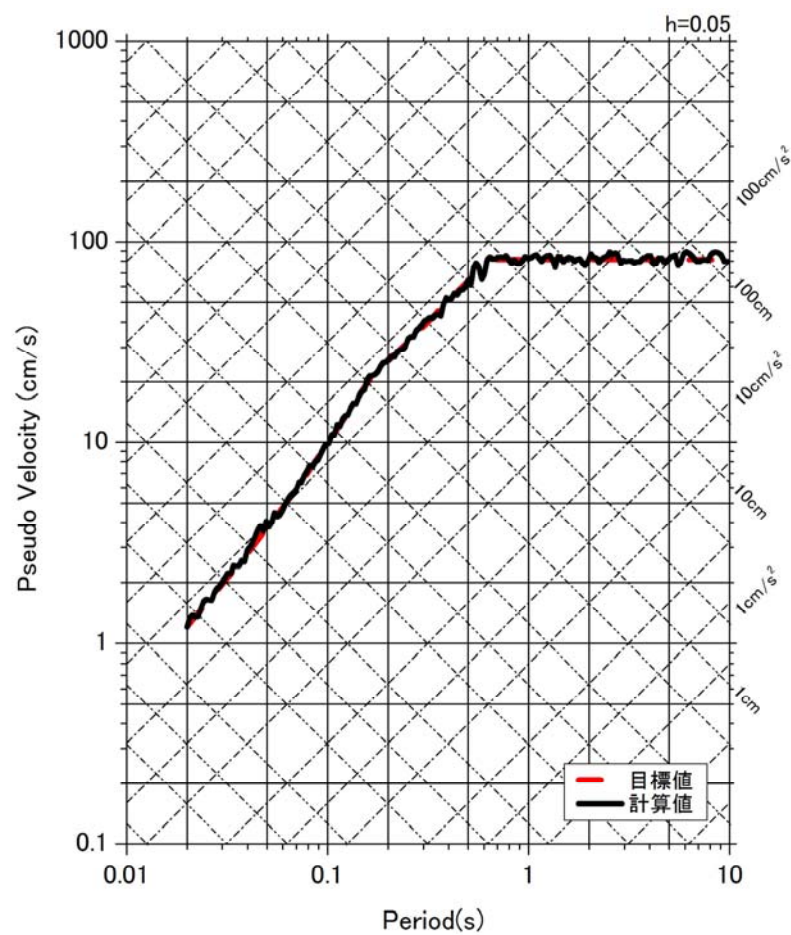
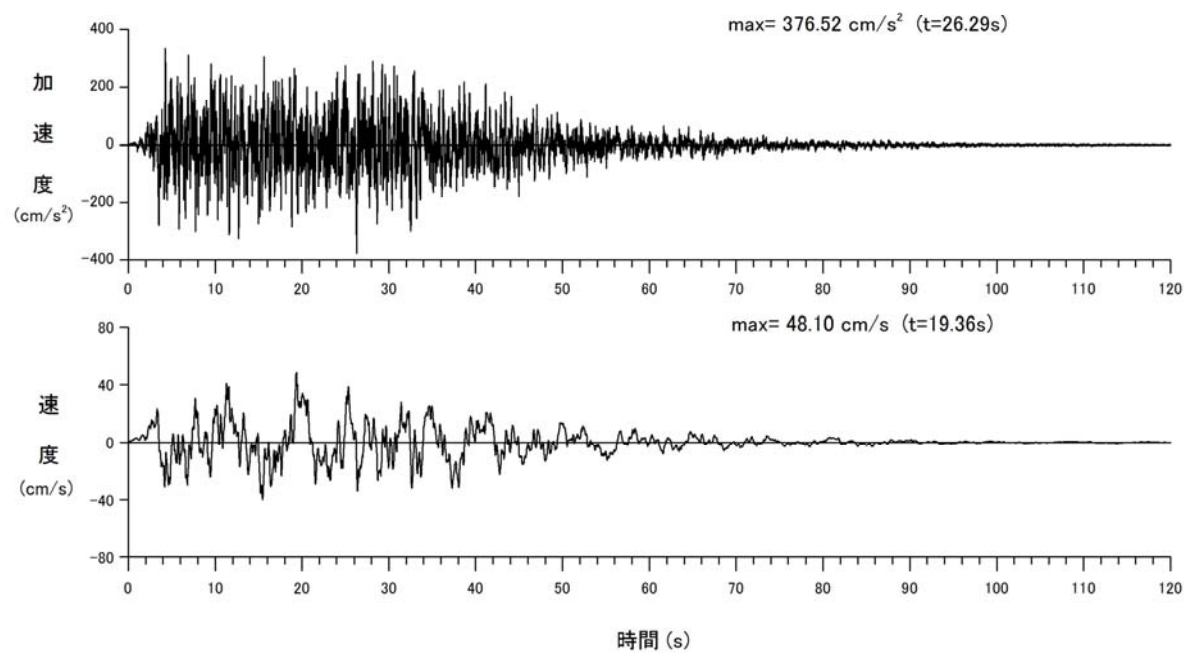


図-6.5(3) 解放工学的基盤面における模擬地震動の波形と応答スペクトル
【告示「極めて稀に発生する地震動」，位相=Random】

(2) 上下動

解放工学的基盤面において作成した上下動の諸元を表-6.5に、加速度、速度の波形図と応答スペクトル(三軸図)を図-6.6 (1)～(3)に示す。速度波形は Trifunac の方法で求めた。また、スペクトルフィッティングの適合検定結果を表-6.6に示す。作成した上下動は、検定条件を全て満足している。

表-6.5 上下動(解放工学的基盤面)の諸元

地震名	位相波	データ数	時間刻み dt(s)	最大加速度 Amax(cm/s ²) (発生時刻(s))	最大速度 ^{注)} Vmax(cm/s) (発生時刻(s))	波形名
上下動 (告示「極めて稀に発生する地震動」相当)	Hachinohe-UD (1968年十勝沖地震)	23400	0.01	247.58 (53.81)	24.66 (31.94)	ud-hac-k.acc
	JMAKobe-UD (1995年兵庫県南部地震)	12000	0.01	228.13 (36.16)	26.07 (33.96)	ud-jma-k.acc
	Random	12000	0.01	167.49 (16.51)	25.30 (30.37)	ud-ran-k.acc

注) 積分はTrifunacの方法による。

表-6.6 上下動の目標スペクトルに対する適合状況

位相 \ 適合条件	最小スペクトル比 $\varepsilon_{\min} \geq 0.85$	スペクトル強度比 SI比 ≥ 1.0	変動係数 $\nu \leq 0.05$	平均値の誤差 $ 1 - \varepsilon_{\text{ave}} \leq 0.02$
Hachinohe-UD	0.965	1.006	0.023	0.005
JMAKobe-UD	0.887	1.008	0.013	0.009
Random	0.893	1.010	0.045	0.008

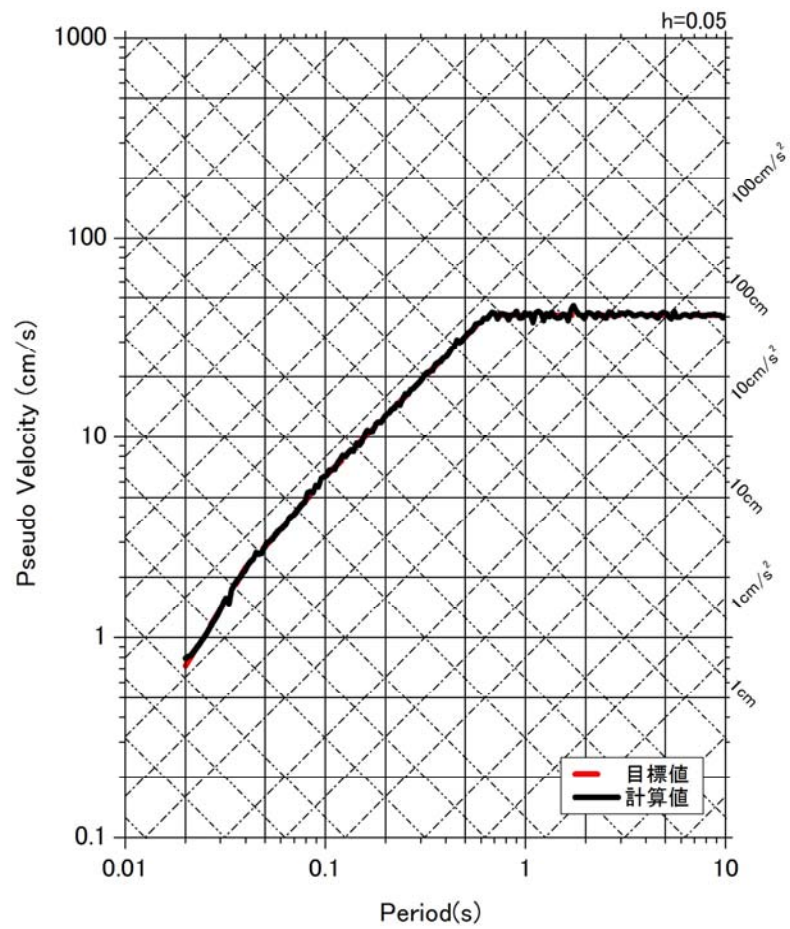
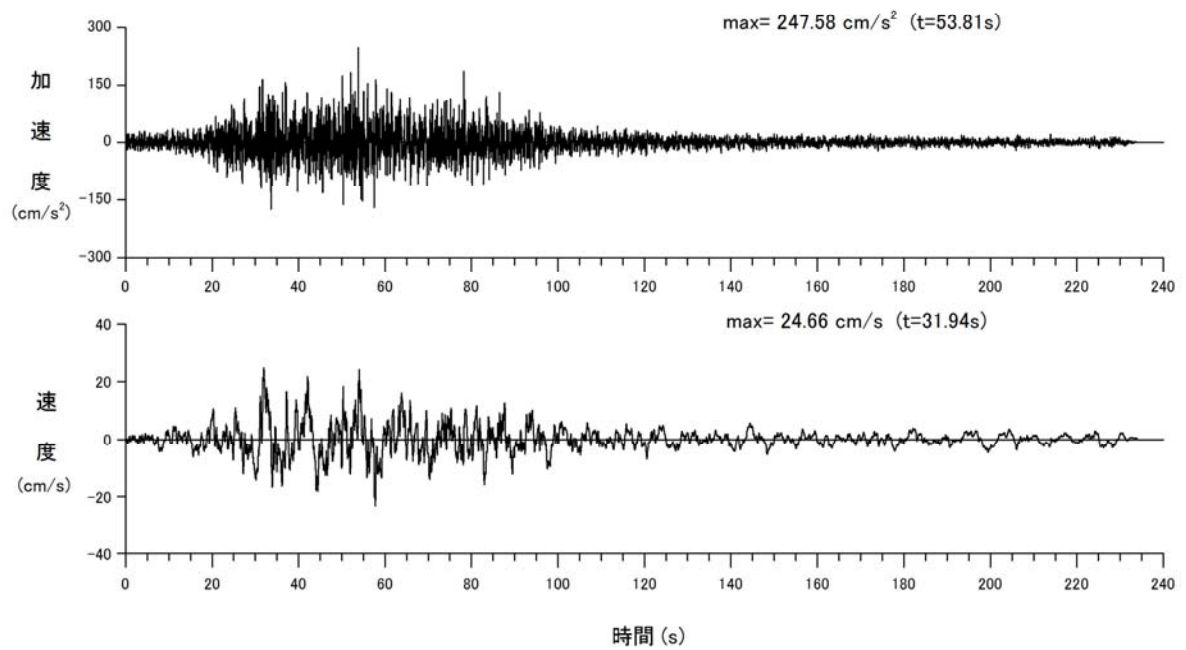


図-6.6(1) 解放工学的基盤面における模擬地震動の波形と応答スペクトル
【上下動（告示「極めて稀に発生する地震動」相当），位相=Hachinohe-UD】

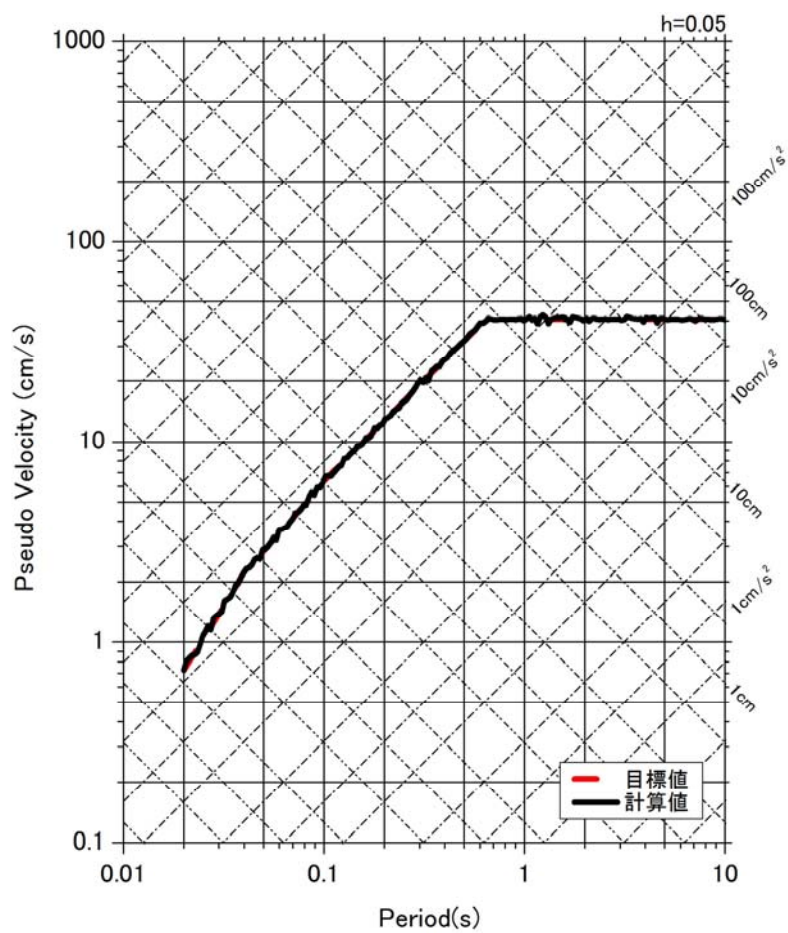
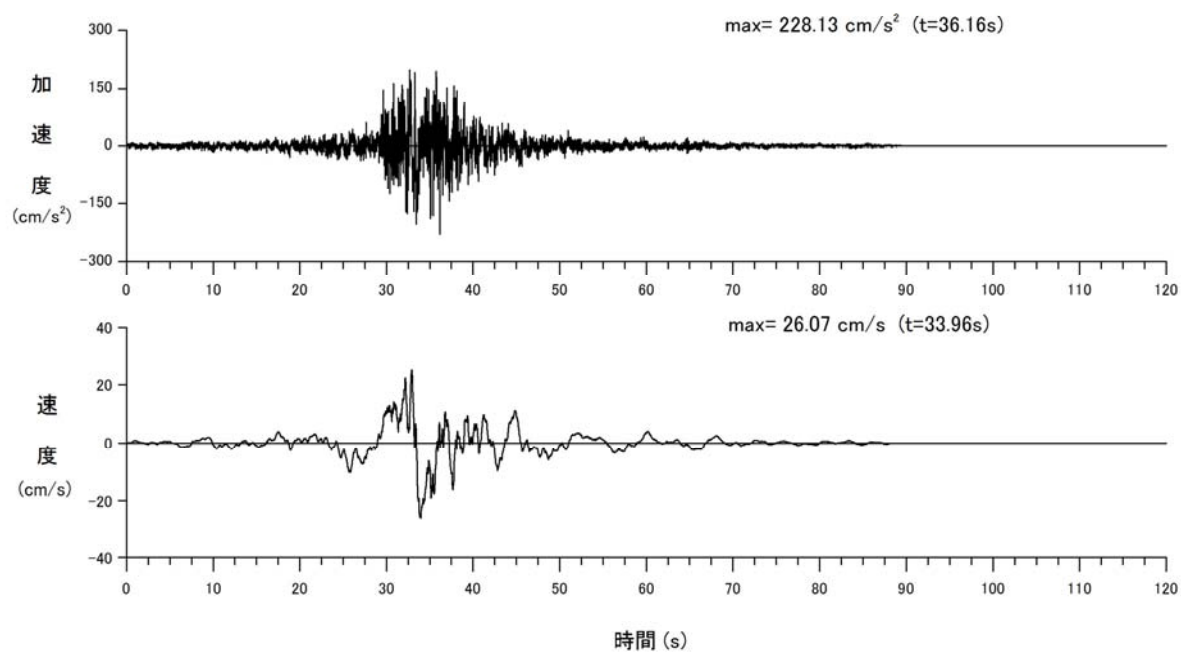


図-6.6(2) 解放工学的基盤面における模擬地震動の波形と応答スペクトル
【上下動（告示「極めて稀に発生する地震動」相当），位相=JMAKobe-UD】

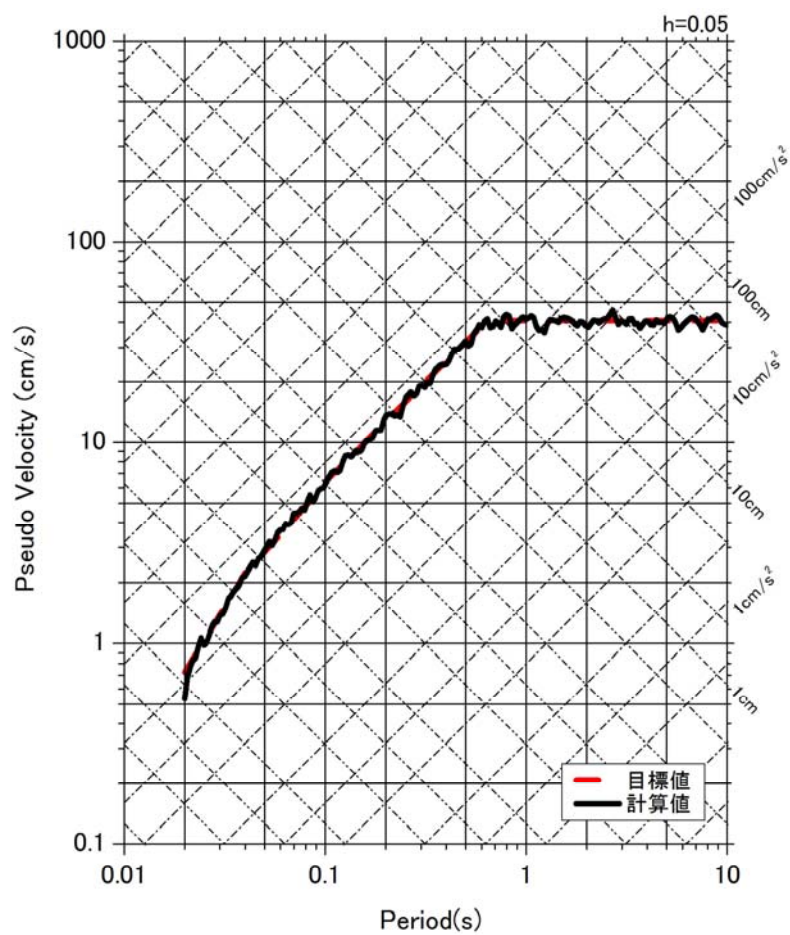
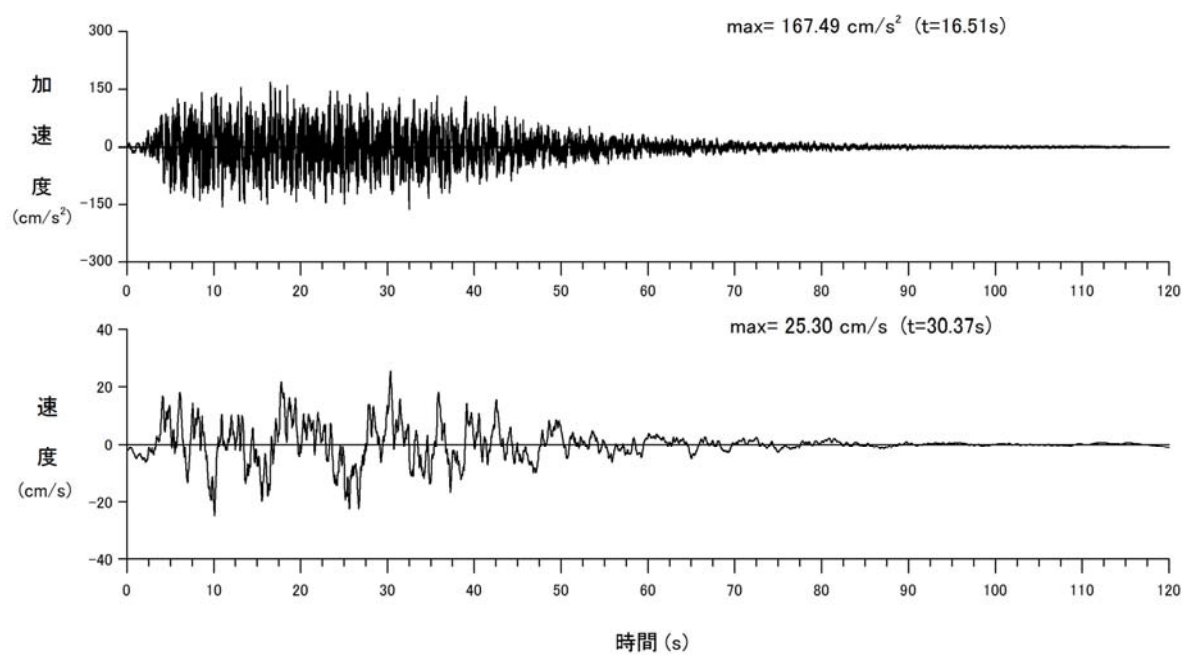


図-6.6(3) 解放工学的基盤面における模擬地震動の波形と応答スペクトル
【上下動（告示「極めて稀に発生する地震動」相当），位相=Random】

第7章 地盤の地震応答解析による基礎床付け面波形の作成

7.1 解析方法

基礎床付け面 (GL-4.15m および GL-9.15m) の波形を求めるため、地盤の地震応答解析を行った。

水平動については、SHAKE を用いた等価線形解析を行った。等価線形解析モデルを表-7.1 に示す。モデルはボーリング No.1 地点で実施した P S 検層結果 (図-7.1 参照) を基に作成した。動的変形特性は、ボーリング No.2 および No.3 地点で採取した試料で実施した動的変形試験結果を適用した。用いたせん断剛性比 G/G_0 および減衰定数 h のひずみ依存曲線を図-7.2 および表-7.2 に示す。

上下動については、日本建築学会 (2006)⁷⁻¹⁾ を参考に、地盤モデルの速度構造に P 波速度を使用し、減衰定数 2% の線形解析とした。表-7.3 に地震応答解析モデル (線形解析) を示す。

入力地震動を次に示す。

水平動

- ・サイト波「元禄型関東地震 (NS, EW)」「東京湾北部地震 (NS, EW)」
- ・長周期地震動「三連動地震」
- ・告示「極めて稀に発生する地震動」
- ・「稀に発生する地震動」ただし、極めて稀に発生する地震動」を 1/5 倍して入力

上下動

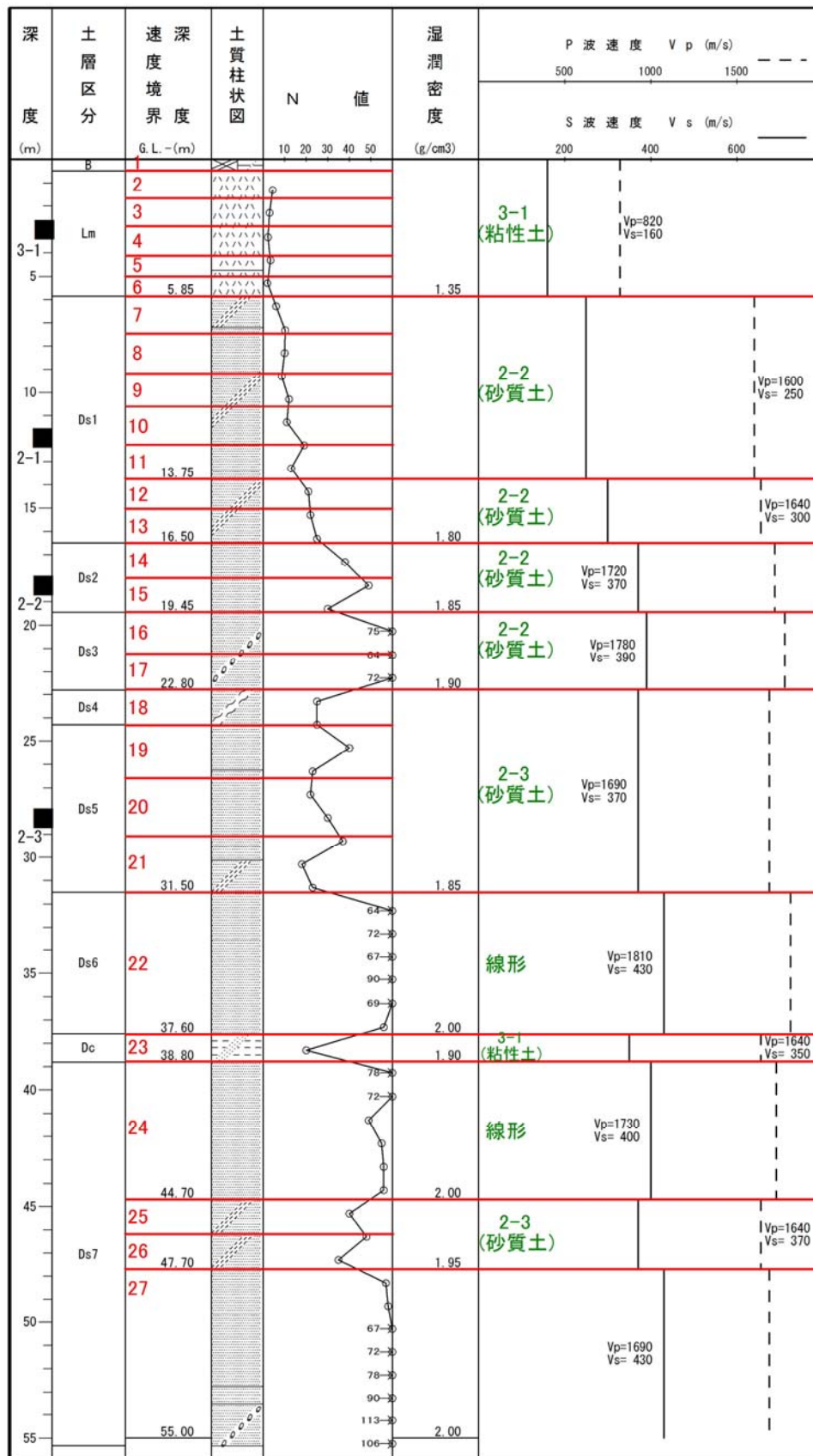
- ・上下動 (告示「極めて稀に発生する地震動」相当)

参考文献

- 7-1) 日本建築学会：建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計，p73，2005

表-7.1 水平動の地盤地震応答解析モデル（等価線形解析）

層 番号	土層 区分	深 度 (m)	層 厚 (m)	S波速度 Vs (m/s)	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	動的変形特性 (G/Go, h ~ γ 曲線)	備 考
1	B	0.00 ~ 0.50	0.50	160	1.35	3-1 (粘性土)	
2	Lm	0.50 ~ 1.70	1.20				
3		1.70 ~ 2.90	1.20				
4		2.90 ~ 4.15	1.25				
5		4.15 ~ 5.00	0.85				基礎床付面 (GL-4.15m)
6		5.00 ~ 5.85	0.85				
7	Ds1	5.85 ~ 7.50	1.65	250	1.80	2-2 (砂質土)	
8		7.50 ~ 9.15	1.65				
9		9.15 ~ 10.70	1.55				基礎床付面 (GL-9.15m)
10		10.70 ~ 12.25	1.55	300	1.80	2-2 (砂質土)	
11		12.25 ~ 13.75	1.50				
12		13.75 ~ 15.05	1.30				
13	Ds2	15.05 ~ 16.50	1.45	370	1.85	2-2 (砂質土)	
14		16.50 ~ 18.00	1.50				
15	Ds3	18.00 ~ 19.45	1.45	390	1.90	2-2 (砂質土)	
16		19.45 ~ 21.20	1.75				
17	Ds4	21.20 ~ 22.80	1.60	370	1.85	2-3 (砂質土)	
18		22.80 ~ 24.30	1.50				
19		24.30 ~ 26.70	2.40				
20		26.70 ~ 29.10	2.40				
21	Ds5	29.10 ~ 31.50	2.40	430	2.00	線 形	
22		31.50 ~ 37.60	6.10				
23		37.60 ~ 38.80	1.20				
24		38.80 ~ 44.70	5.90				
25	Ds7	44.70 ~ 46.20	1.50	370	1.95	2-3 (砂質土)	
26		46.20 ~ 47.70	1.50				
27	Ds7	47.70 ~ —	—	430	2.00	—	工学的基盤面



■ : No. 2, 3地点で実施した動的変形試験の相当位置と試料番号

図-7.1 等価線形解析への動的変形特性の適用
(モデル化は No. 1 地点の P S 検層結果を用いた)

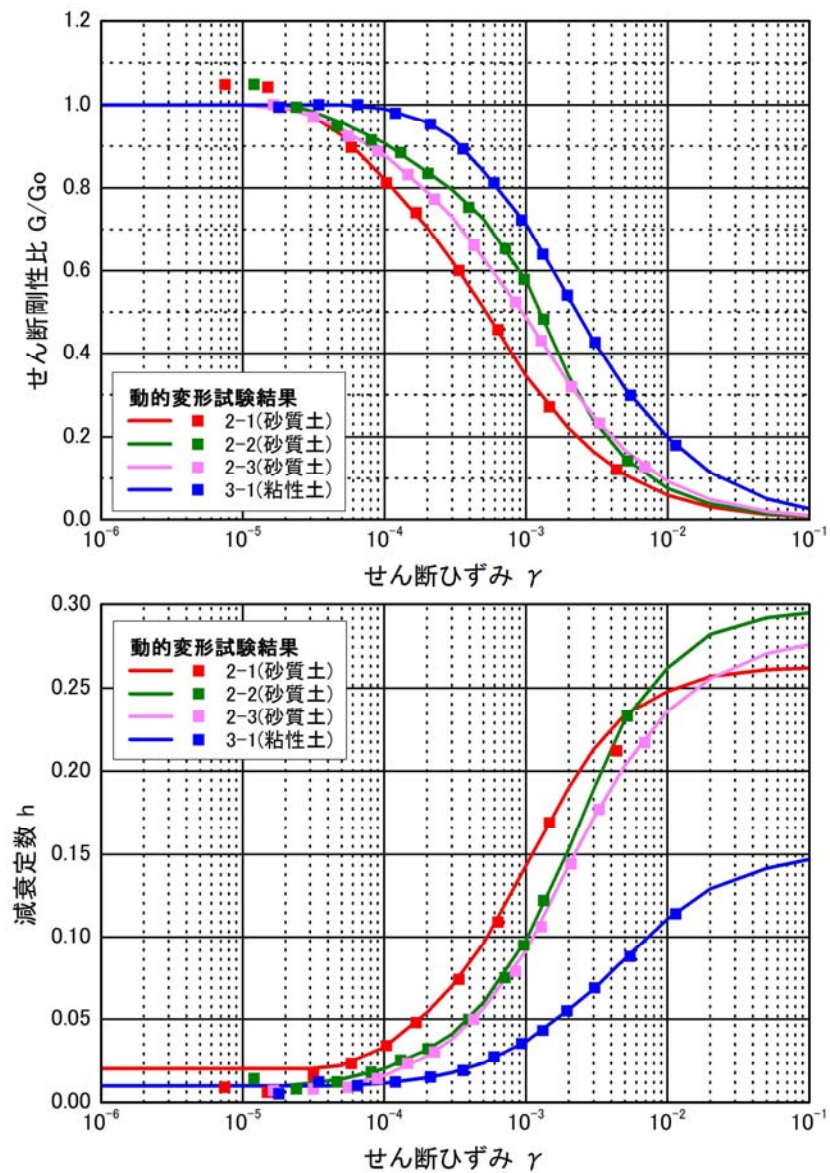


図-7.2 等価線形解析に用いた動的変形特性

表-7.2 等価線形解析用のひずみ依存曲線データ

γ	G/Go				h			
	2-1 (砂質土)	2-2 (砂質土)	2-3 (砂質土)	3-1 (粘性土)	2-1 (砂質土)	2-2 (砂質土)	2-3 (砂質土)	3-1 (粘性土)
1.00E-06	1.000	1.000	1.000	1.000	0.020	0.010	0.010	0.010
2.00E-06	1.000	1.000	1.000	1.000	0.020	0.010	0.010	0.010
3.00E-06	1.000	1.000	1.000	1.000	0.020	0.010	0.010	0.010
5.00E-06	1.000	1.000	1.000	1.000	0.020	0.010	0.010	0.010
1.00E-05	1.000	1.000	1.000	1.000	0.020	0.010	0.010	0.010
2.00E-05	0.990	1.000	0.990	1.000	0.020	0.010	0.010	0.010
3.00E-05	0.975	0.985	0.975	1.000	0.020	0.011	0.010	0.010
5.00E-05	0.925	0.956	0.940	1.000	0.022	0.014	0.010	0.010
1.00E-04	0.820	0.907	0.879	0.990	0.033	0.020	0.016	0.011
2.00E-04	0.705	0.838	0.790	0.957	0.054	0.032	0.028	0.015
3.00E-04	0.623	0.795	0.730	0.920	0.070	0.041	0.038	0.018
5.00E-04	0.510	0.726	0.630	0.840	0.096	0.060	0.057	0.023
1.00E-03	0.345	0.576	0.487	0.713	0.143	0.098	0.092	0.036
2.00E-03	0.220	0.345	0.328	0.535	0.190	0.153	0.143	0.056
3.00E-03	0.164	0.239	0.248	0.430	0.213	0.189	0.172	0.068
5.00E-03	0.108	0.147	0.167	0.315	0.234	0.231	0.204	0.087
1.00E-02	0.059	0.075	0.092	0.198	0.248	0.262	0.236	0.111
2.00E-02	0.031	0.038	0.048	0.114	0.257	0.282	0.256	0.129
5.00E-02	0.013	0.015	0.020	0.050	0.261	0.292	0.271	0.141
1.00E-01	0.006	0.008	0.010	0.026	0.262	0.295	0.276	0.147

表-7.3 上下動の地盤地震応答解析モデル（線形解析，h=0.02）

層 番号	土層 区分	深 度 (m)	層 厚 (m)	P波速度 Vp (m/s)	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	備 考
1	B	0.00 ~ 0.50	0.50	820	1.35	
2	Lm	0.50 ~ 1.70	1.20			
3		1.70 ~ 2.90	1.20			
4		2.90 ~ 4.15	1.25			
5		4.15 ~ 5.00	0.85			基礎床付面 (GL-4.15m)
6		5.00 ~ 5.85	0.85			
7	Ds1	5.85 ~ 7.50	1.65	1600	1.80	
8		7.50 ~ 9.15	1.65			
9		9.15 ~ 10.70	1.55			基礎床付面 (GL-9.15m)
10		10.70 ~ 12.25	1.55			
11		12.25 ~ 13.75	1.50			
12		13.75 ~ 15.05	1.30	1640	1.80	
13		15.05 ~ 16.50	1.45			
14	Ds2	16.50 ~ 18.00	1.50	1720	1.85	
15		18.00 ~ 19.45	1.45			
16	Ds3	19.45 ~ 21.20	1.75	1780	1.90	
17		21.20 ~ 22.80	1.60			
18	Ds4	22.80 ~ 24.30	1.50	1690	1.85	
19	Ds5	24.30 ~ 26.70	2.40			
20		26.70 ~ 29.10	2.40			
21		29.10 ~ 31.50	2.40			
22	Ds6	31.50 ~ 37.60	6.10	1810	2.00	
23	Dc	37.60 ~ 38.80	1.20	1640	1.90	
24	Ds7	38.80 ~ 44.70	5.90	1730	2.00	
25		44.70 ~ 46.20	1.50	1640	1.95	
26		46.20 ~ 47.70	1.50			
27	Ds7	47.70 ~ —	—	1690	2.00	工学的基盤面

7.2 基礎床付け面における模擬地震動波形

地震応答解析により求めた基礎床付け面(GL-4.15m および GL-9.15m)における模擬地震波(E+F)の諸元を表-7.4(1)～(2)に示す。また、基礎床付け面における波形と応答スペクトルを図-7.3(1)～(14)、図-7.4(1)～(14)に示す。速度波形は Trifunac の方法で求め、波形には中立軸の補正とバンドパスフィルター処理(0.04Hz～25.0Hz)を行った。なお、地震応答解析による最大応答値の深度分布と伝達関数は、巻末資料に添付する。

表-7.4(1) 基礎床付け面(GL-4.15m)における模擬地震動波形の諸元 (E+F)

地震名	位相波 または成分	データ数	時間刻み dt(s)	最大加速度 A max (cm/s ²) (発生時刻(s))	最大速度 ^{注)} V max (cm/s) (発生時刻(s))	波形名
元禄型関東地震	NS	32000	0.01	255.76 (36.19)	42.58 (63.36)	genroku-ns-4.15m.acc
	EW	32000	0.01	198.12 (57.17)	27.64 (58.66)	genroku-ew-4.15m.acc
東京湾北部地震	NS	8000	0.01	230.62 (24.36)	32.55 (22.52)	hokubu-ns-4.15m.acc
	EW	8000	0.01	244.64 (24.10)	21.25 (26.20)	hokubu-ew-4.15m.acc
長周期地震動 「三連動地震」	水平動	65536	0.02	81.37 (190.46)	25.71 (312.70)	3rendo-4.15m.acc
建設省告示1461号 「極めて稀に 発生する地震動」	Hachinohe-NS (1968年十勝沖地震)	23400	0.01	427.90 (55.59)	67.00 (32.77)	kok-hac-4.15m.acc
	JMAKobe-NS (1995年兵庫県南部地震)	12000	0.01	411.76 (33.70)	60.18 (33.79)	kok-jma-4.15m.acc
	Random	12000	0.01	403.53 (26.45)	55.37 (19.51)	kok-ran-4.15m.acc
建設省告示1461号 「稀に発生する 地震動」	Hachinohe-NS (1968年十勝沖地震)	23400	0.01	93.62 (55.57)	12.84 (32.75)	kom-hac-4.15m.acc
	JMAKobe-NS (1995年兵庫県南部地震)	12000	0.01	84.11 (33.68)	11.56 (36.80)	kom-jma-4.15m.acc
	Random	12000	0.01	85.79 (26.43)	10.75 (19.49)	kom-ran-4.15m.acc
上下動 (告示「極めて稀 に発生する地震 動」相当)	Hachinohe-UD (1968年十勝沖地震)	23400	0.01	249.30 (53.83)	24.52 (31.97)	UD-hac-4.15m.acc
	JMAKobe-UD (1995年兵庫県南部地震)	12000	0.01	165.48 (32.73)	26.11 (33.98)	UD-jma-4.15m.acc
	Random	12000	0.01	165.35 (32.54)	25.38 (30.39)	UD-ran-4.15m.acc

注)積分はTrifunacの方法による

表-7.4(2) 基礎床付け面 (GL-9.15m) における模擬地震動波形の諸元 (E+F)

地震名	位相波 または成分	データ数	時間刻み dt (s)	最大加速度 A max (cm/s ²) (発生時刻 (s))	最大速度 ^{注)} V max (cm/s) (発生時刻 (s))	波形名
元禄型関東地震	NS	32000	0.01	172.67 (34.70)	42.13 (80.03)	genroku-ns-9.15m.acc
	EW	32000	0.01	137.33 (42.72)	25.39 (58.65)	genroku-ew-9.15m.acc
東京湾北部地震	NS	8000	0.01	199.06 (23.62)	30.40 (22.52)	hokubu-ns-9.15m.acc
	EW	8000	0.01	190.90 (24.07)	20.31 (26.22)	hokubu-ew-9.15m.acc
長周期地震動 「三連動地震」	水平動	65536	0.02	79.28 (190.44)	25.69 (312.70)	3rendo-9.15m.acc
建設省告示1461号 「極めて稀に 発生する地震動」	Hachinohe-NS (1968年十勝沖地震)	23400	0.01	318.23 (55.56)	64.40 (32.74)	kok-hac-9.15m.acc
	JMAKobe-NS (1995年兵庫県南部地震)	12000	0.01	358.88 (33.67)	57.71 (33.84)	kok-jma-9.15m.acc
	Random	12000	0.01	325.13 (26.43)	51.76 (19.49)	kok-ran-9.15m.acc
建設省告示1461号 「稀に発生する 地震動」	Hachinohe-NS (1968年十勝沖地震)	23400	0.01	71.77 (33.07)	12.42 (32.72)	kom-hac-9.15m.acc
	JMAKobe-NS (1995年兵庫県南部地震)	12000	0.01	70.34 (33.66)	10.71 (34.30)	kom-jma-9.15m.acc
	Random	12000	0.01	69.10 (26.41)	10.04 (19.49)	kom-ran-9.15m.acc
上下動 (告示「極めて稀 に発生する地震 動」相当)	Hachinohe-UD (1968年十勝沖地震)	23400	0.01	240.22 (53.83)	24.44 (31.97)	UD-hac-9.15m.acc
	JMAKobe-UD (1995年兵庫県南部地震)	12000	0.01	160.54 (33.59)	26.02 (33.98)	UD-jma-9.15m.acc
	Random	12000	0.01	156.70 (32.53)	25.37 (30.39)	UD-ran-9.15m.acc

注) 積分はTrifunacの方法による

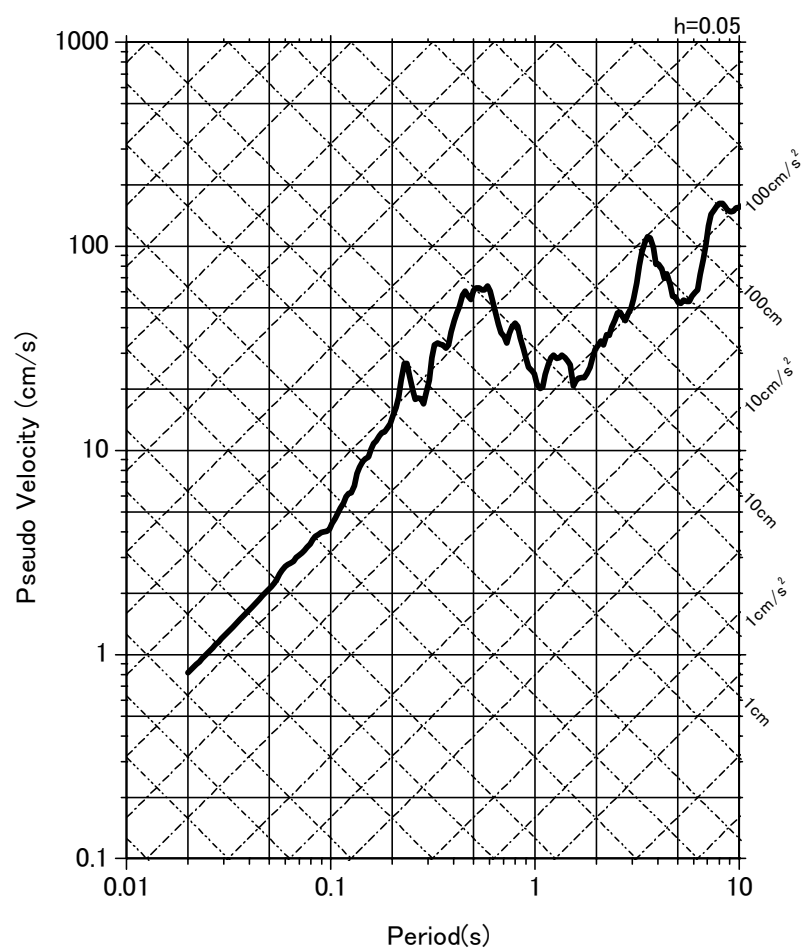
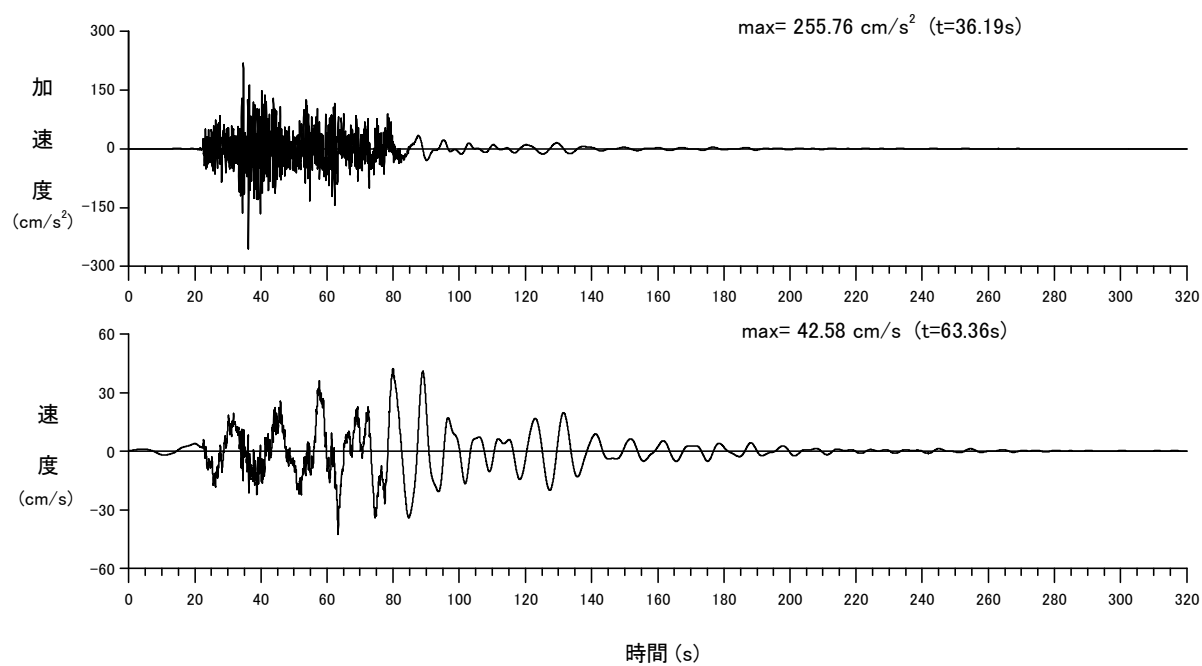


図-7.3(1) 基礎床付け面(GL-4.15m)における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【サイト波「元禄型関東地震NS」】

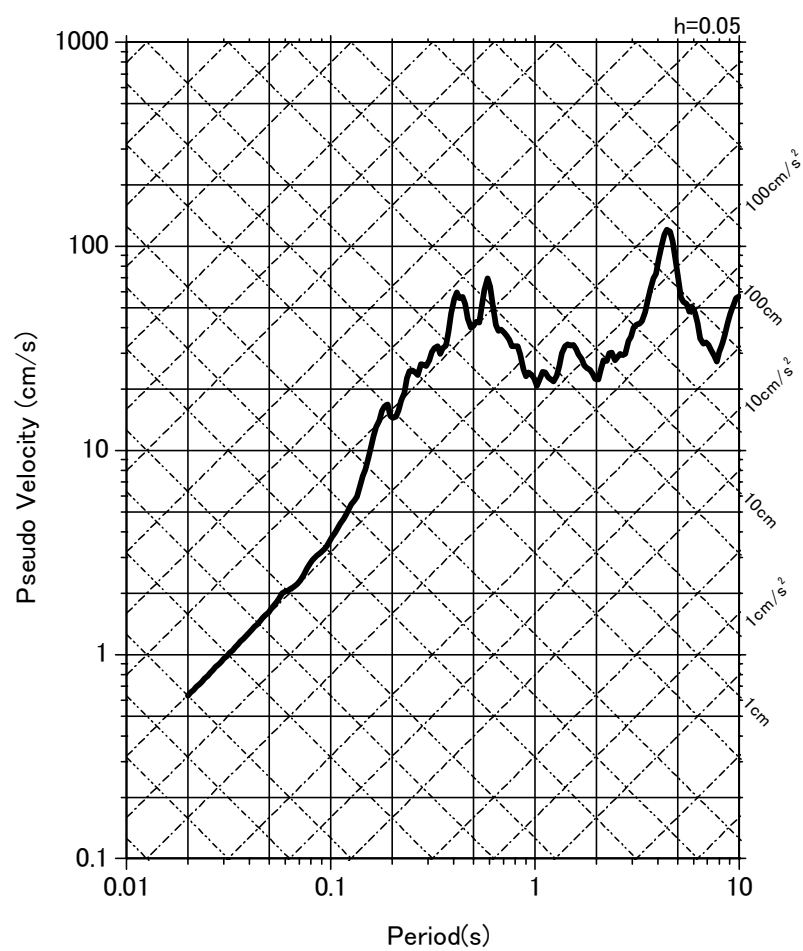
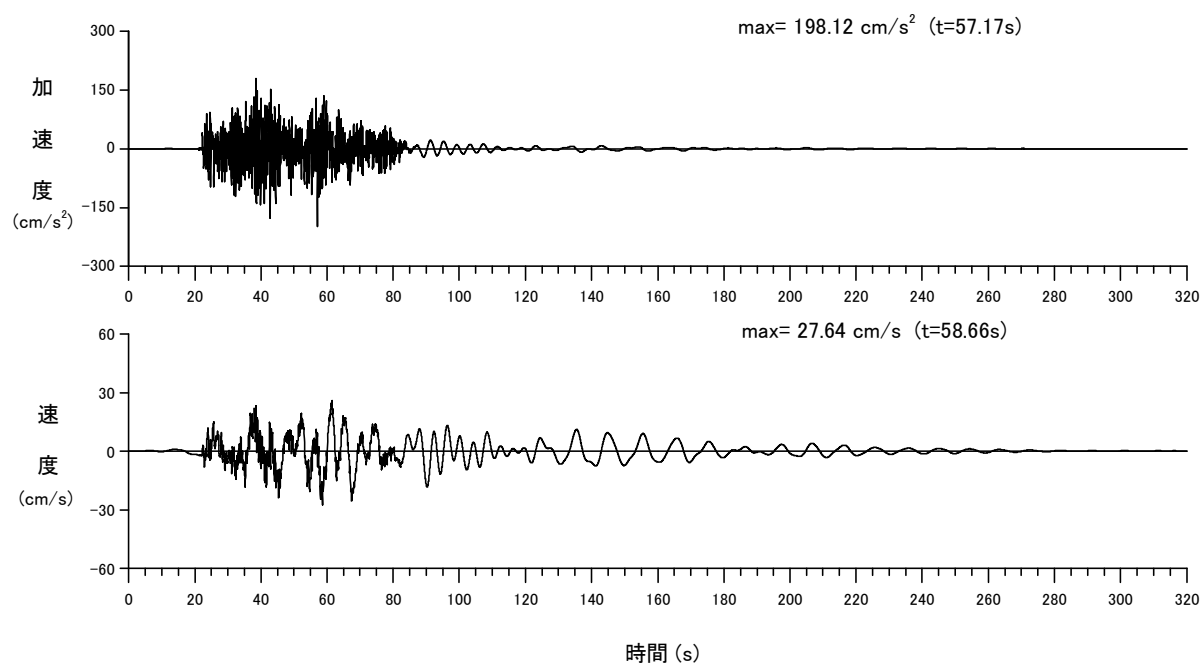


図-7.3(2) 基礎床付け面 (GL-4.15m) における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【サイト波「元禄型関東地震EW」】

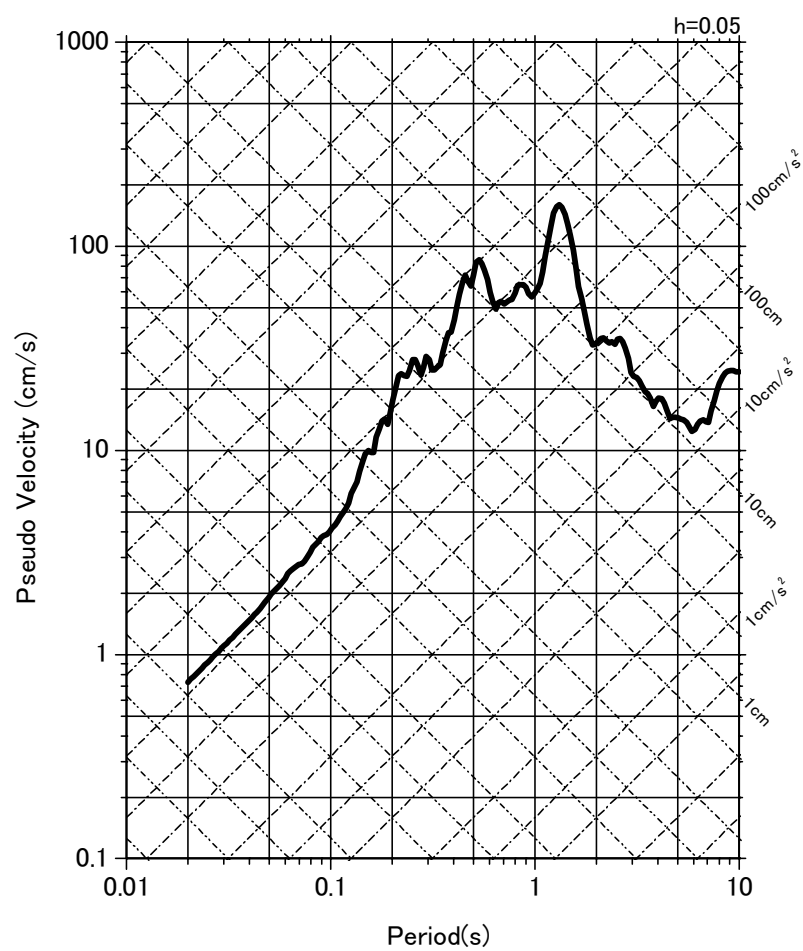
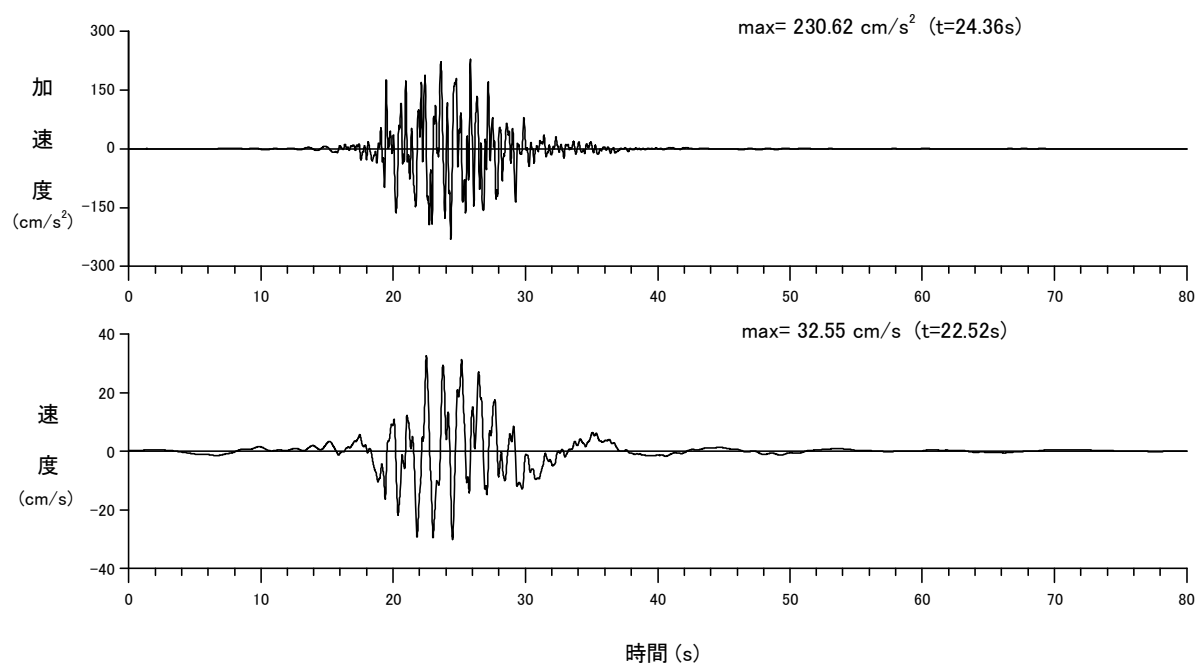


図-7.3(3) 基礎床付け面 (GL-4.15m) における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【サイト波「東京湾北部地震NS」】

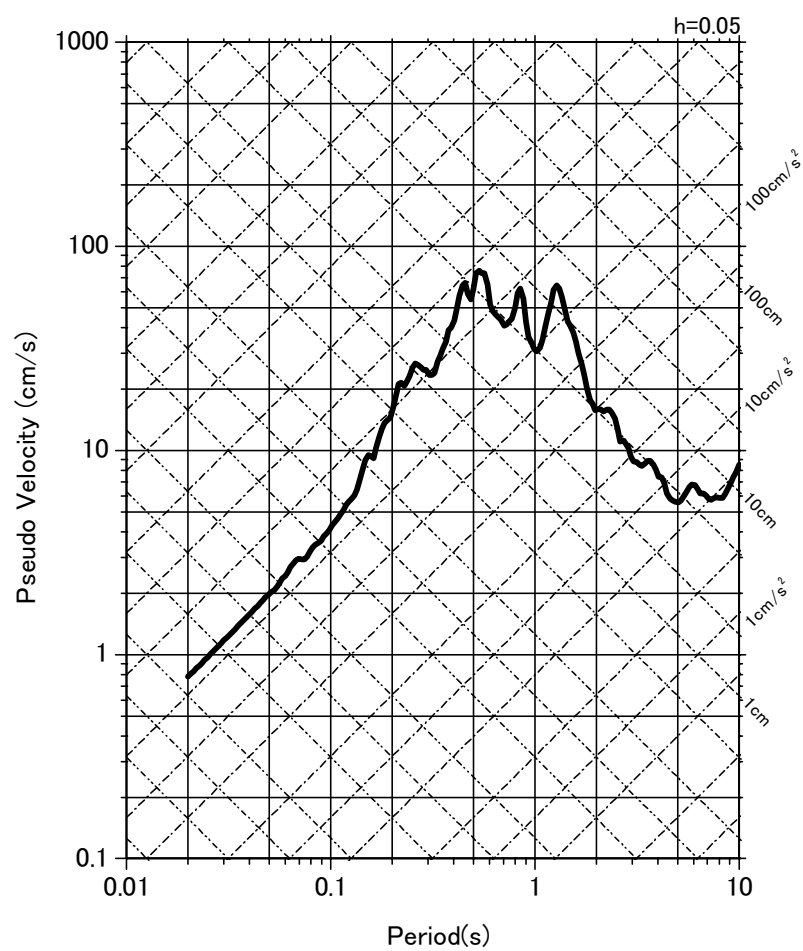
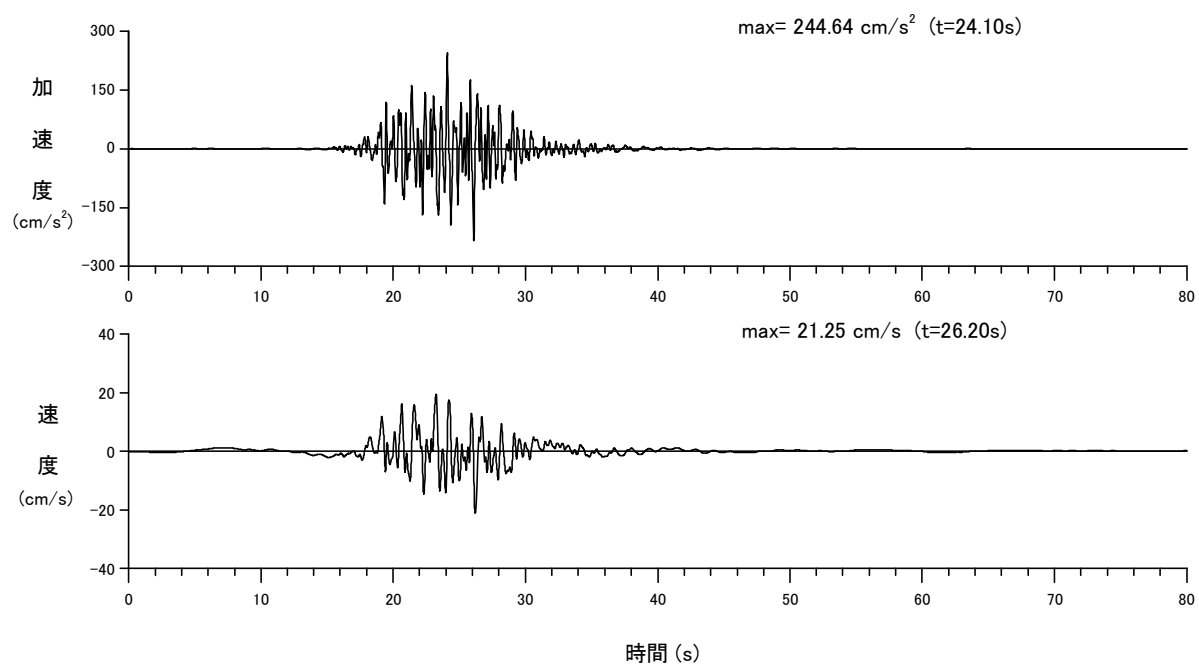


図-7.3(4) 基礎床付け面(GL-4.15m)における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【サイト波「東京湾北部地震EW」】

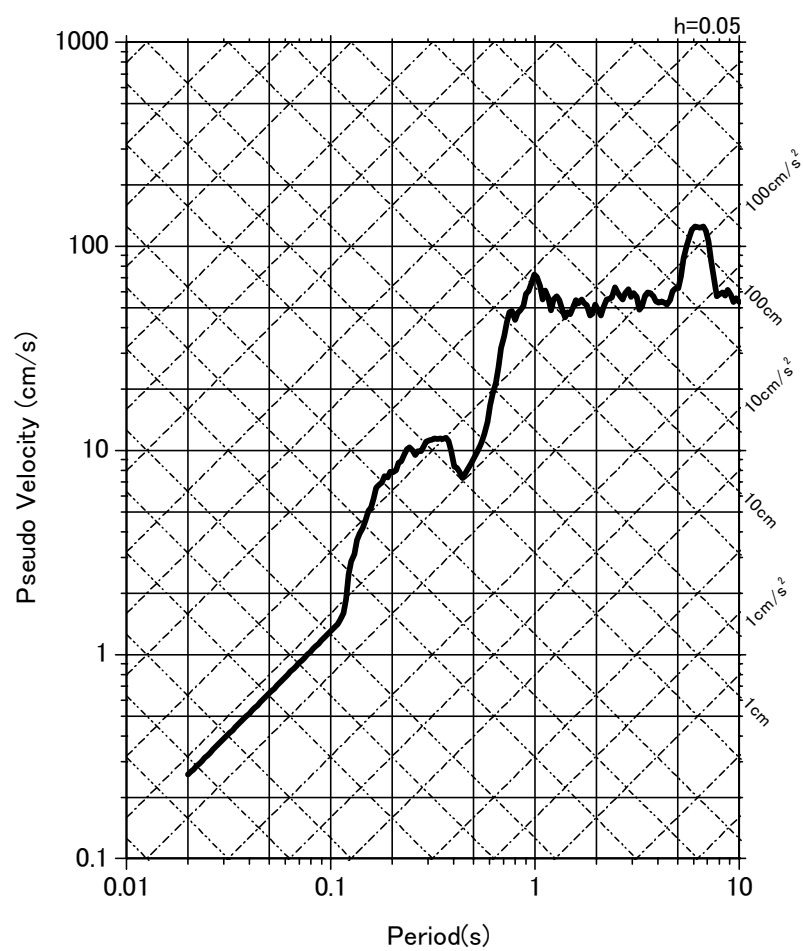
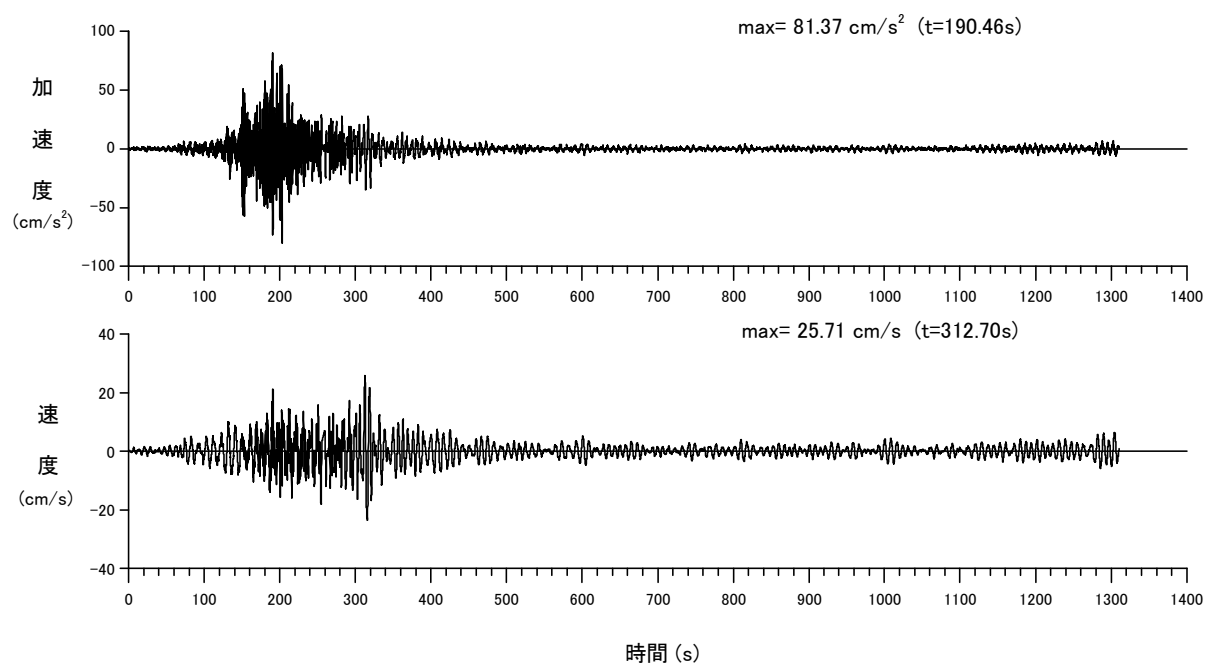


図-7.3(5) 基礎床付け面(GL-4.15m)における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【長周期地震動「三連動地震」】

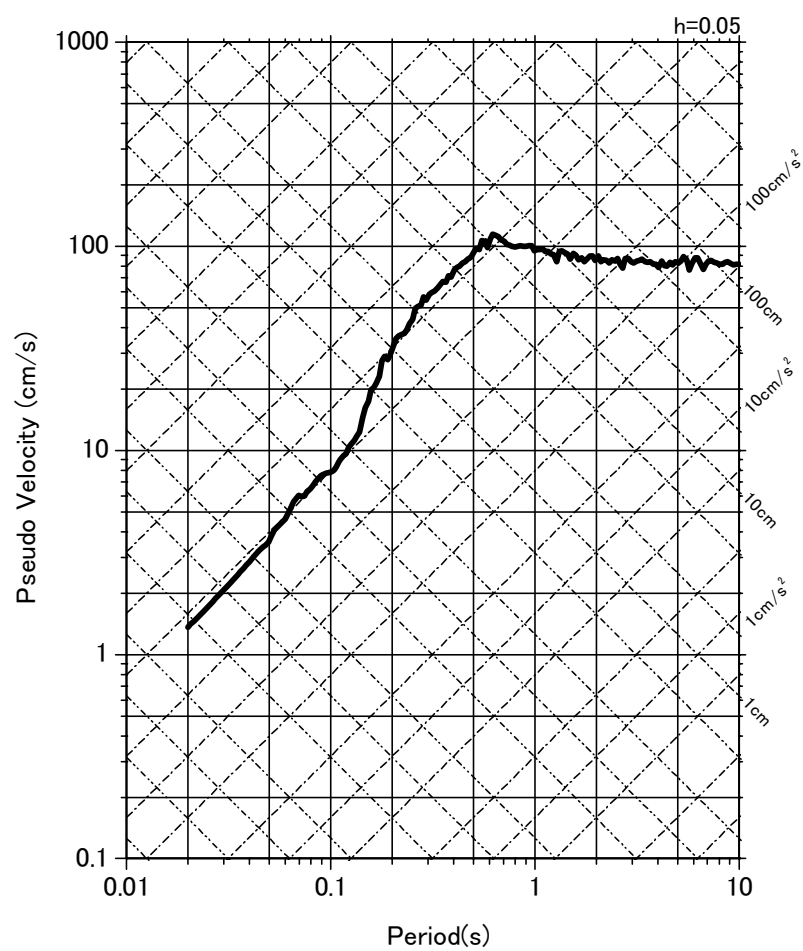
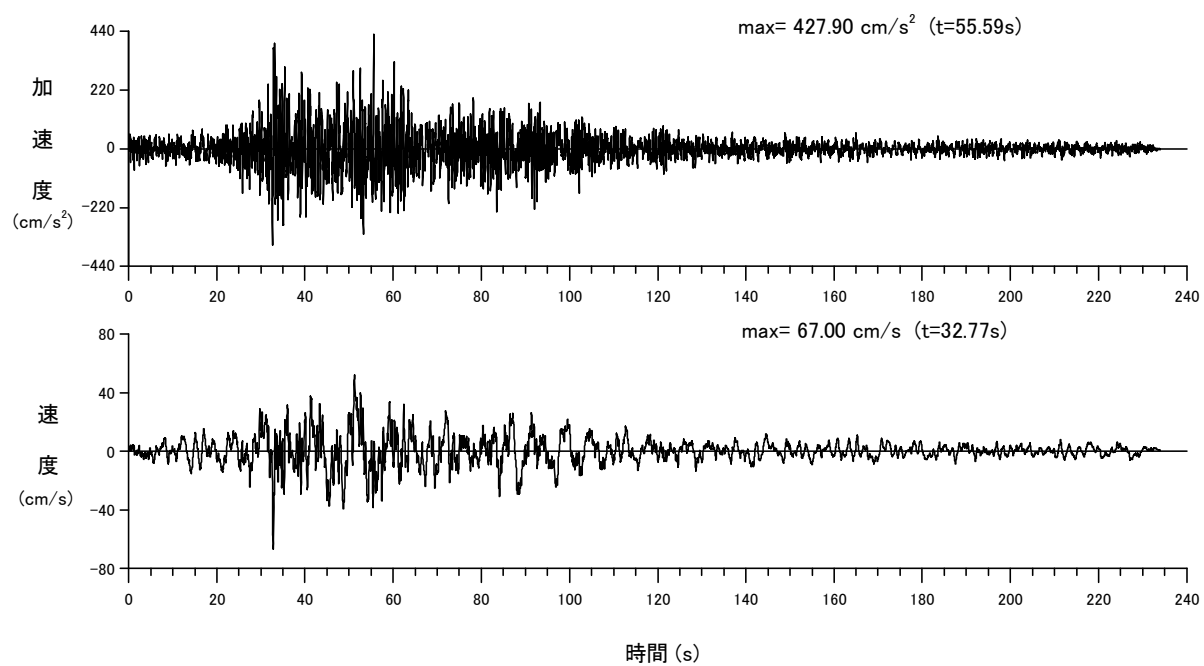


図-7.3(6) 基礎床付け面(GL-4.15m)における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【告示「極めて稀に発生する地震動」, 位相=Hachinohe-NS】

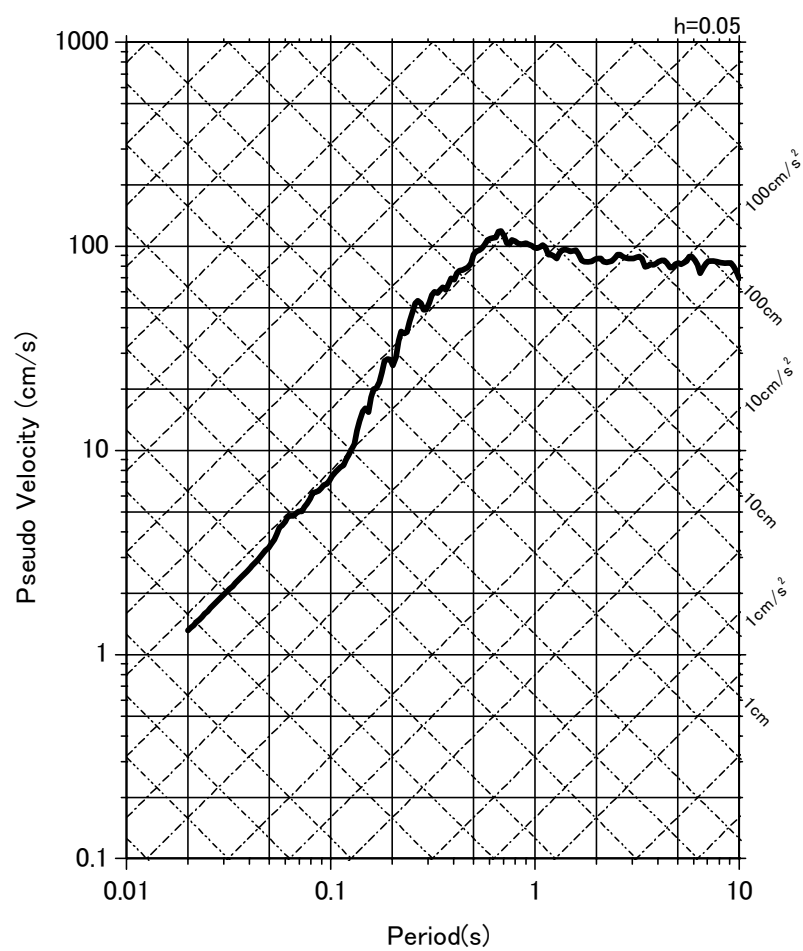
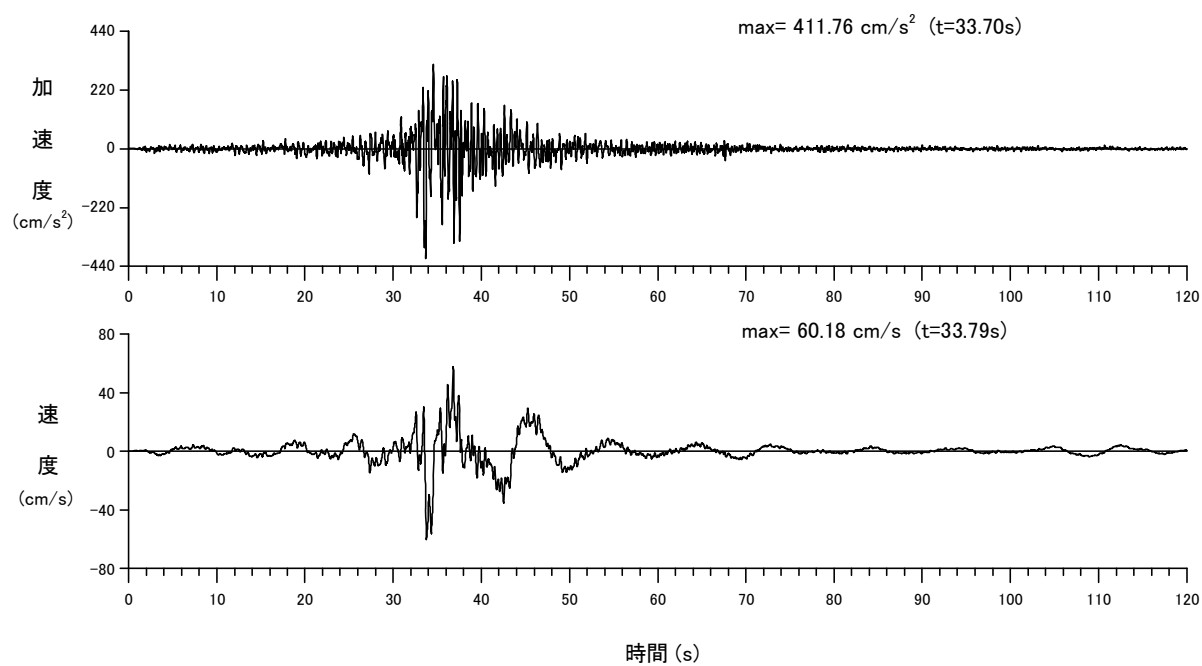


図-7.3(7) 基礎床付け面 (GL-4.15m) における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【告示「極めて稀に発生する地震動」，位相=JMAKobe-NS】

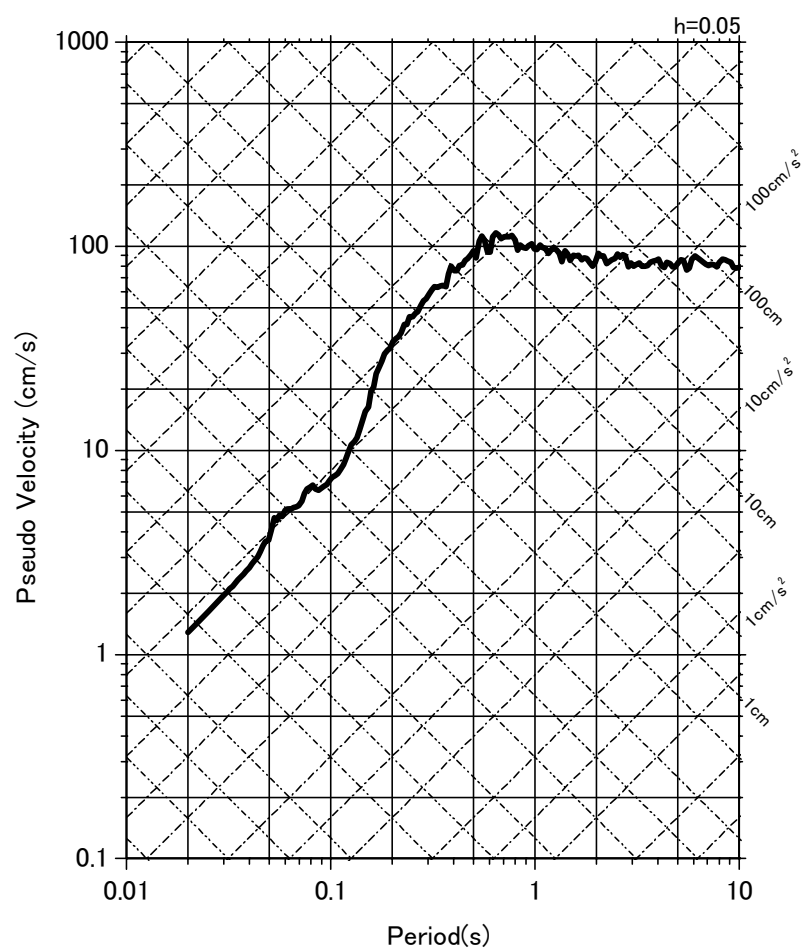
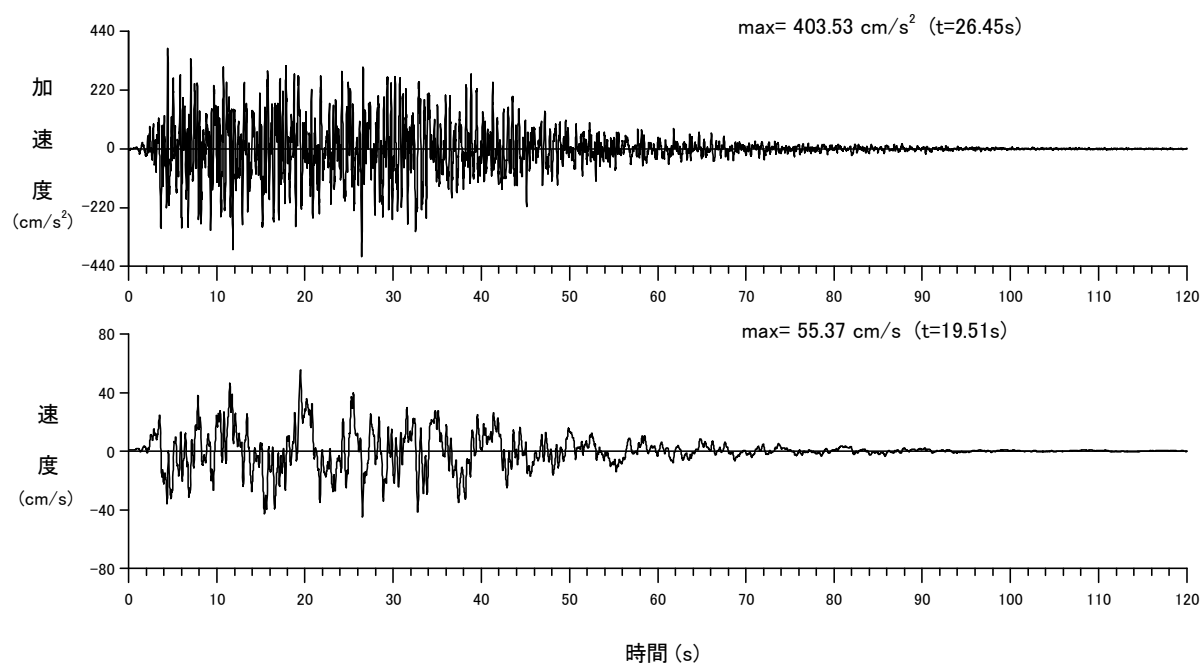


図-7.3(8) 基礎床付け面(GL-4.15m)における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【告示「極めて稀に発生する地震動」，位相=Random】

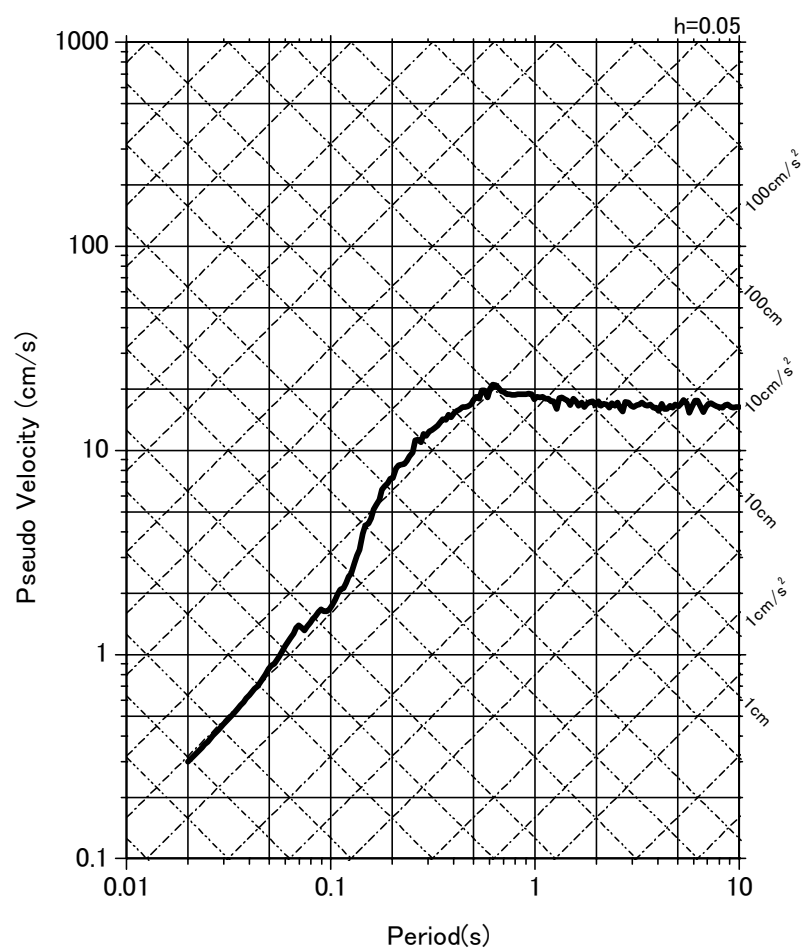
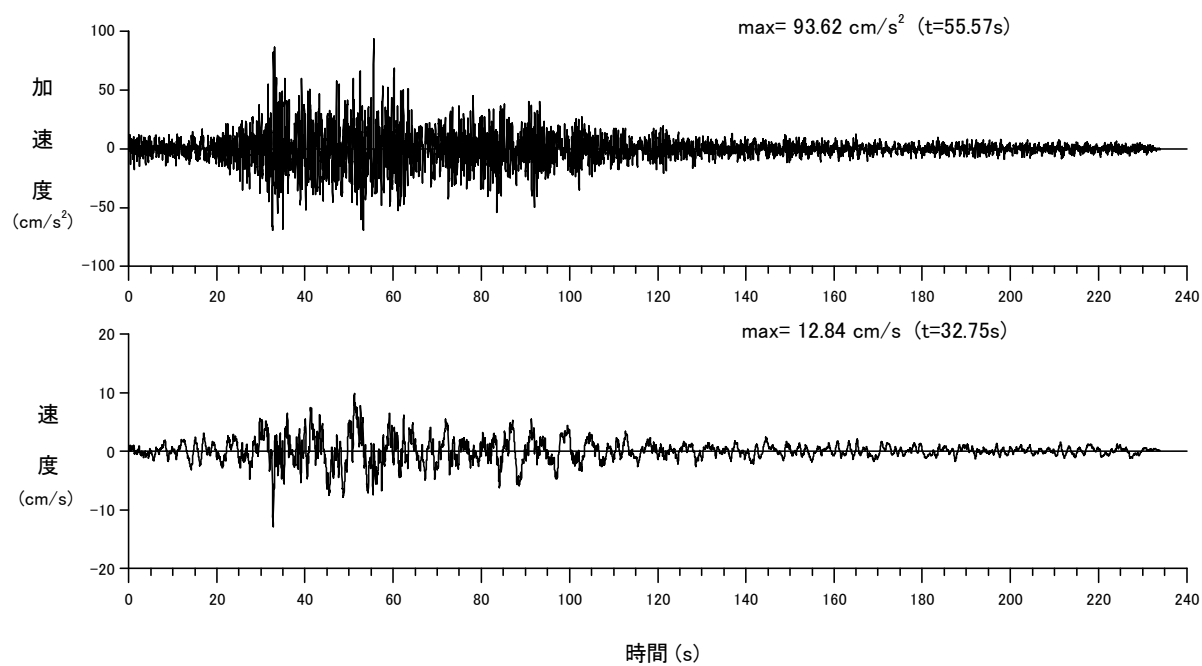


図-7.3(9) 基礎床付け面(GL-4.15m)における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【告示「稀に発生する地震動」, 位相=Hachinohe-NS】

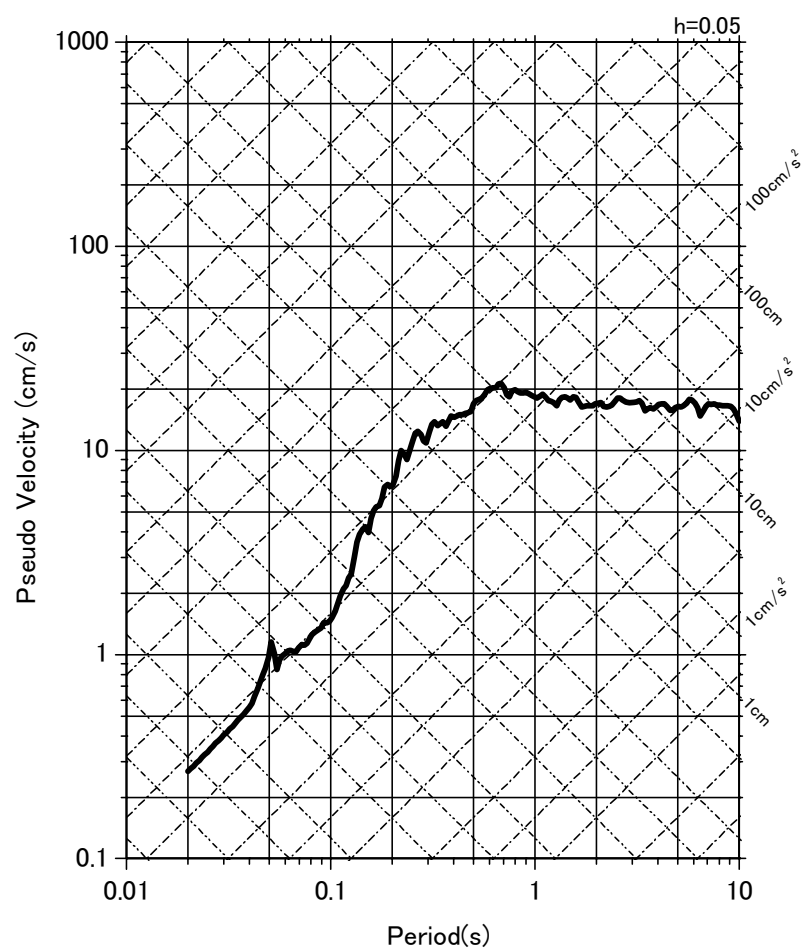
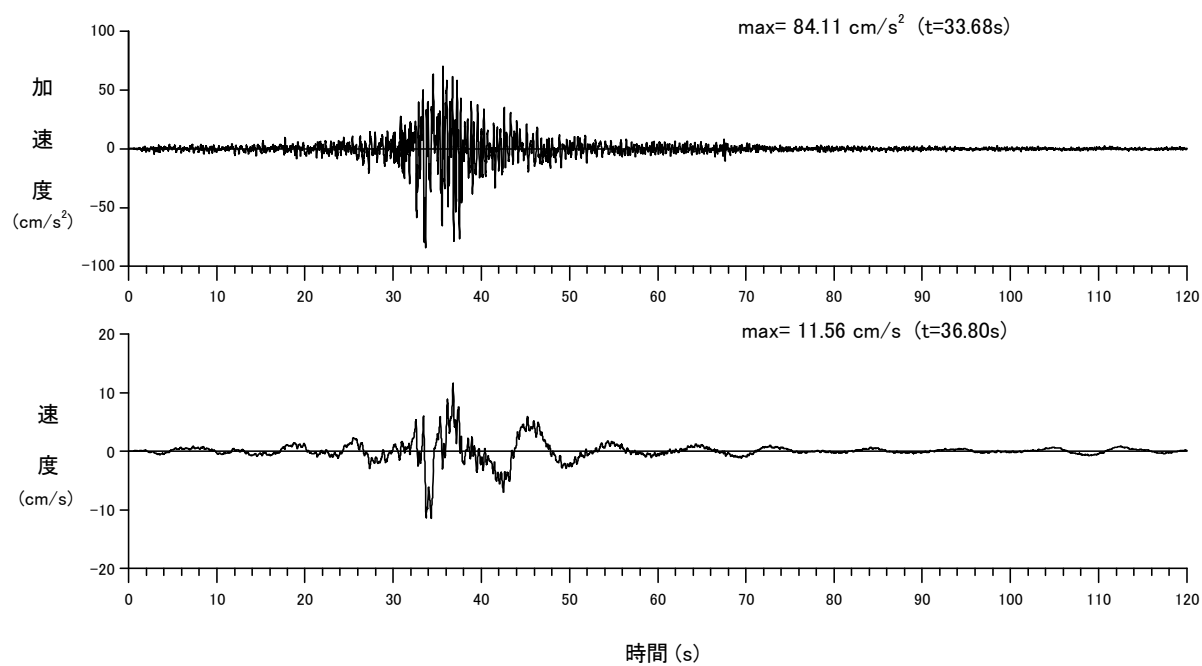


図-7.3(10) 基礎床付け面(GL-4.15m)における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【告示「稀に発生する地震動」,位相JMAKobe-NS】

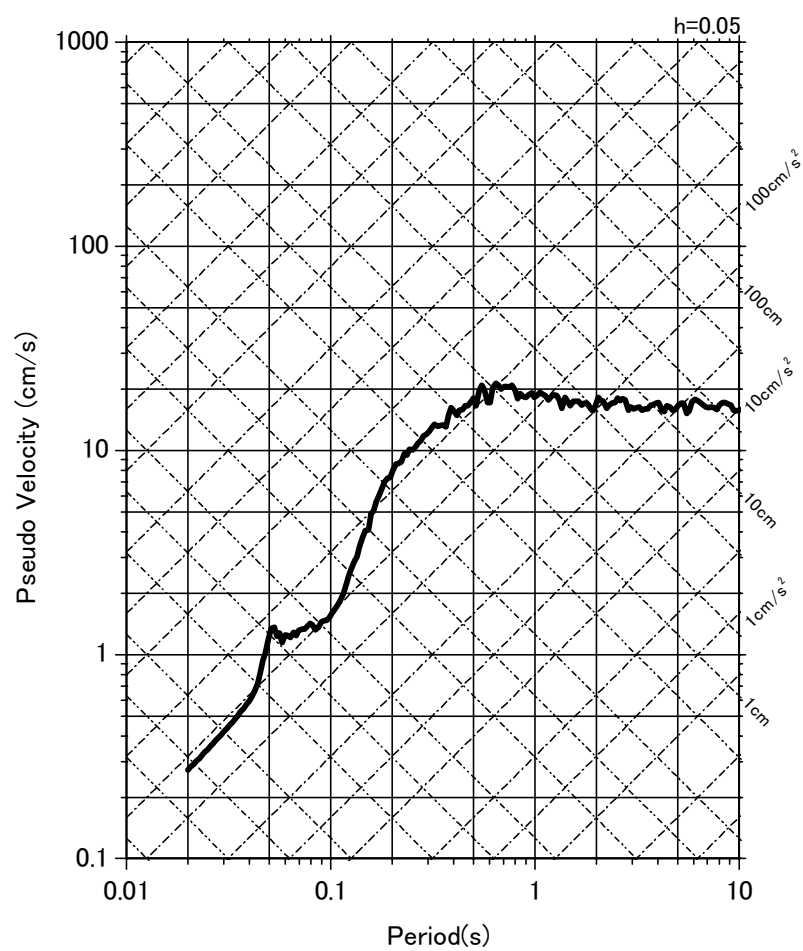
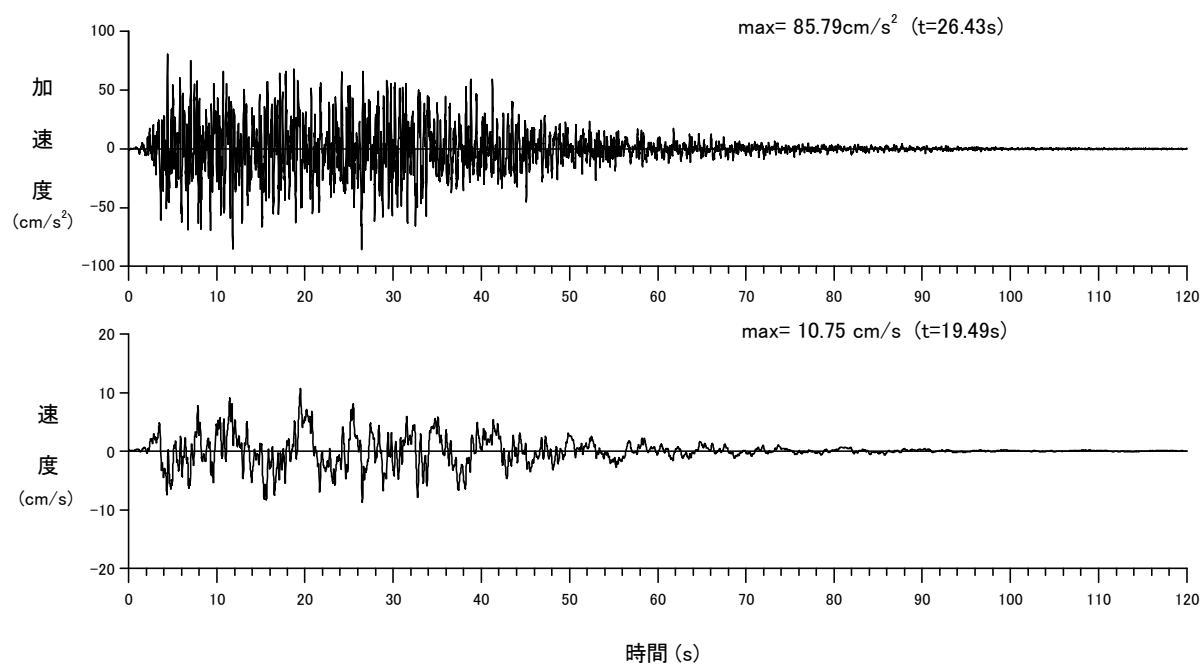


図-7.3(11) 基礎床付け面(GL-4.15m)における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【告示「稀に発生する地震動」, 位相=Random】

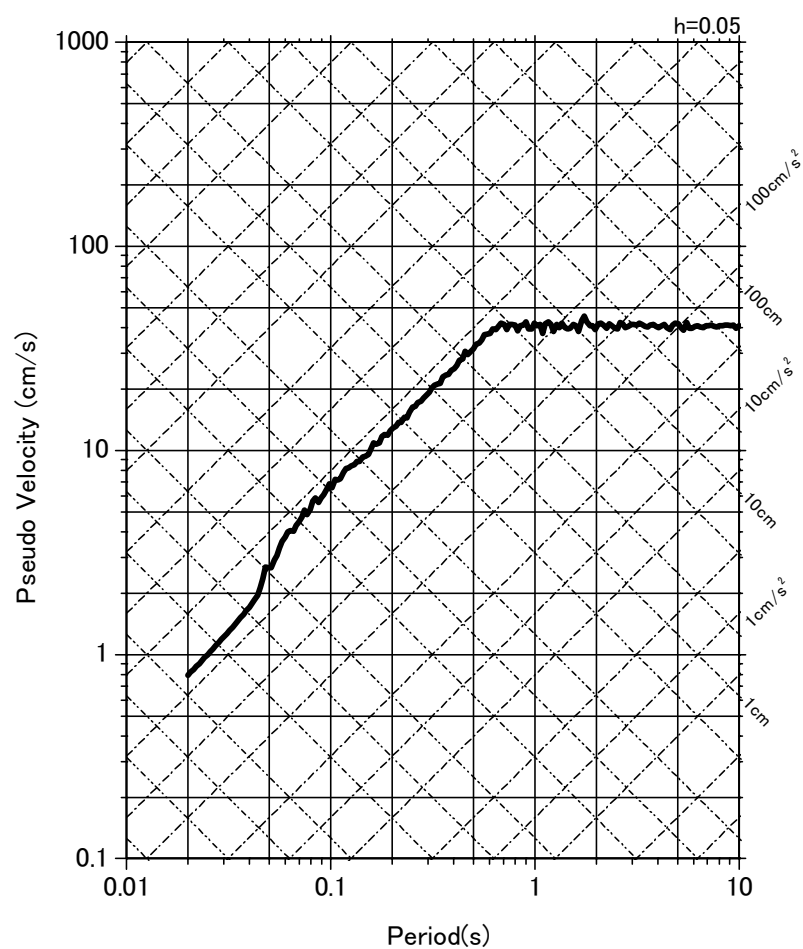
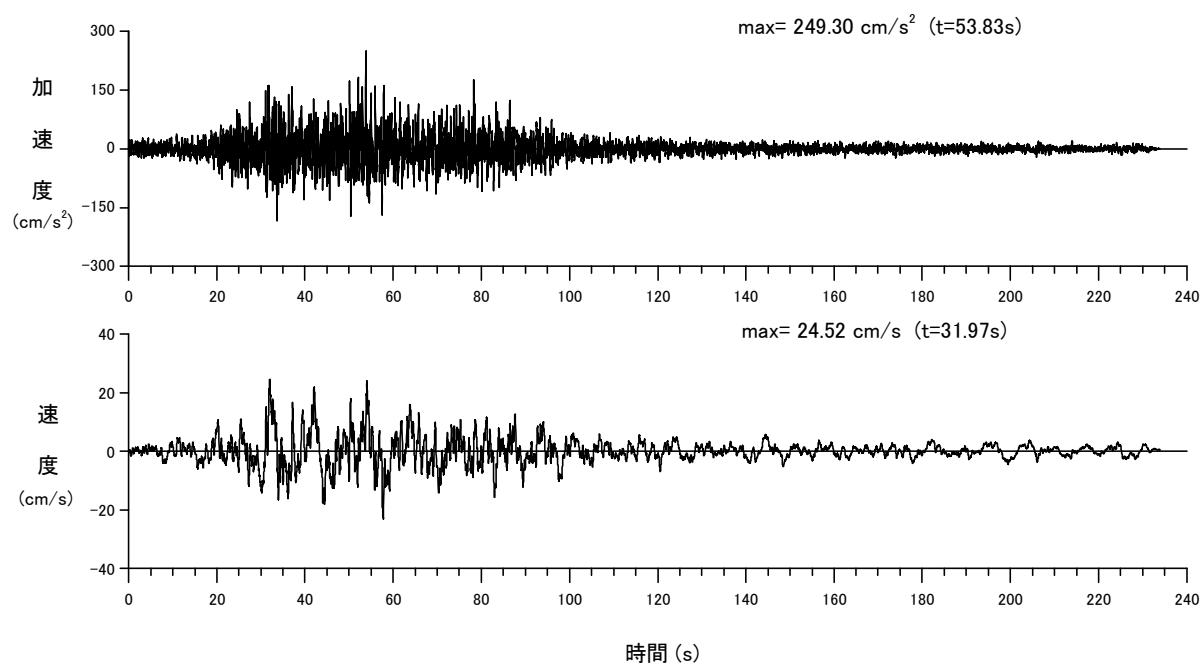


図-7.3(12) 基礎床付け面 (GL-4.15m) における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【上下動(告示「極めて稀に発生する地震動」相当), 位相=Hachinohe-UD】

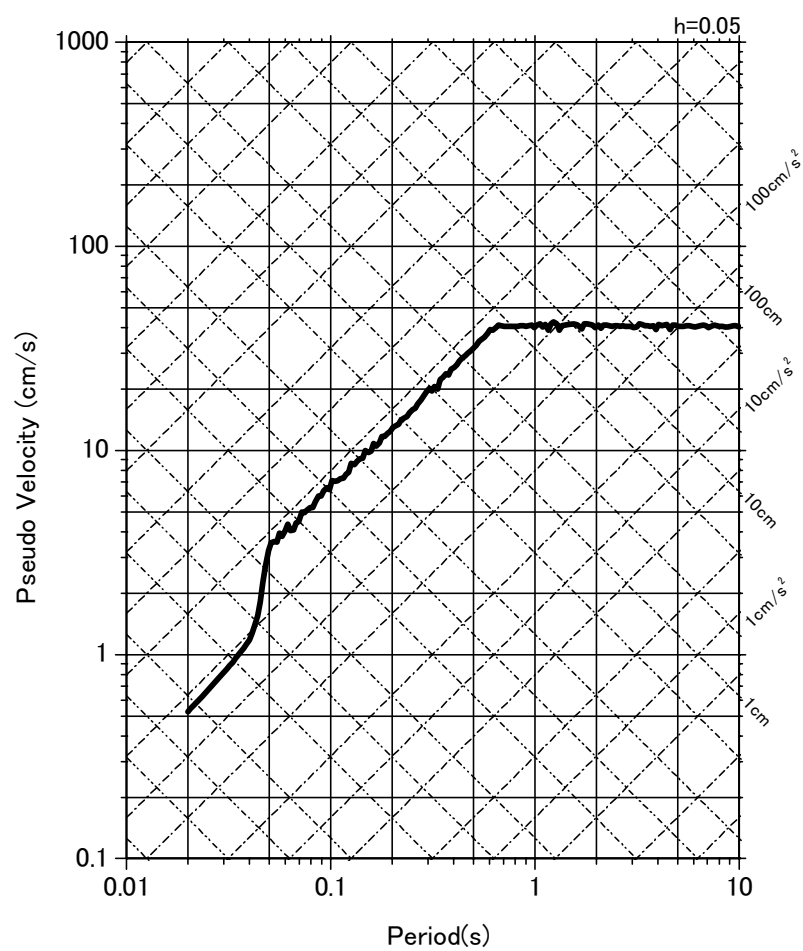
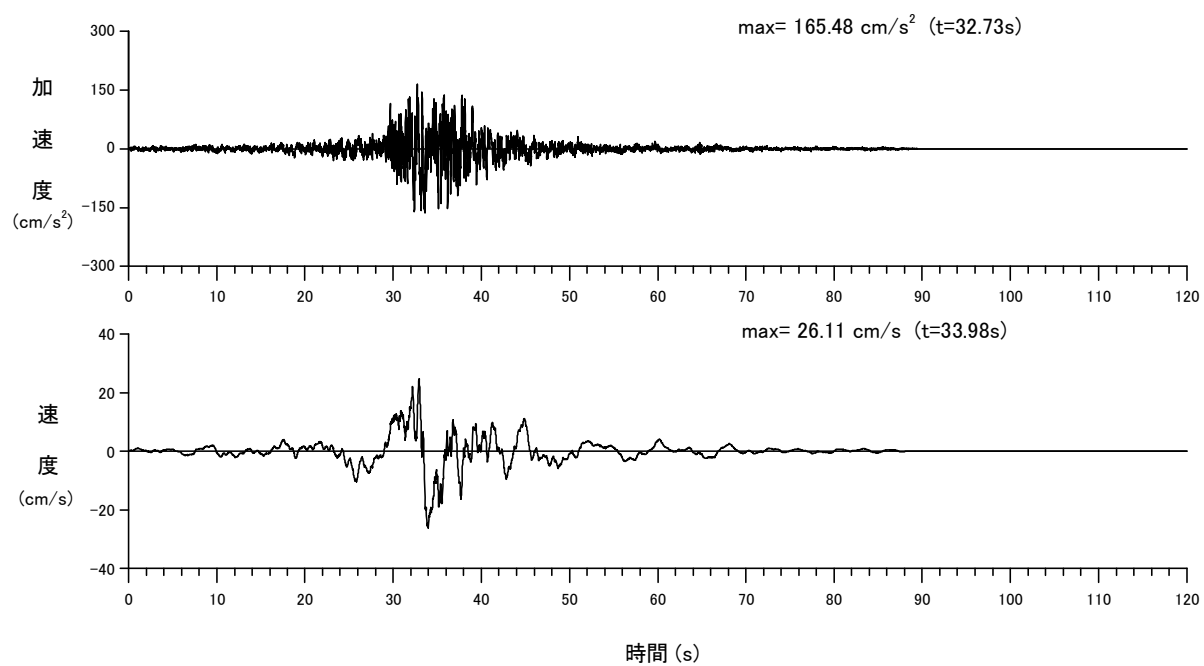


図-7.3(13) 基礎床付け面 (GL-4.15m) における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【上下動(告示「極めて稀に発生する地震動」相当), 位相=JMAKobe-UD】

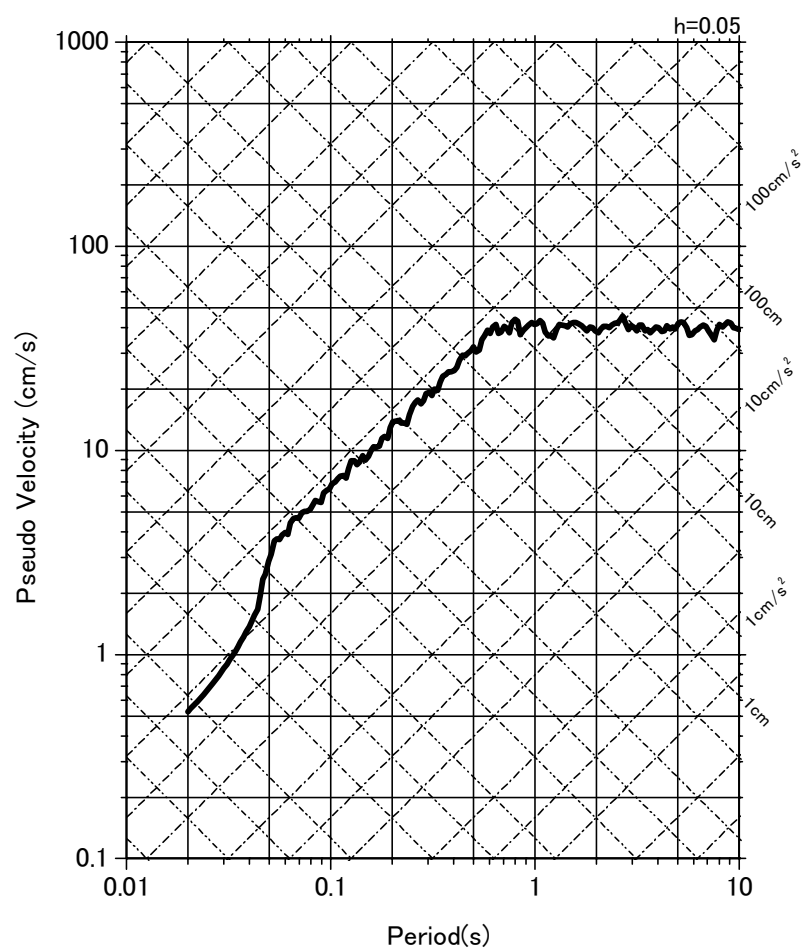
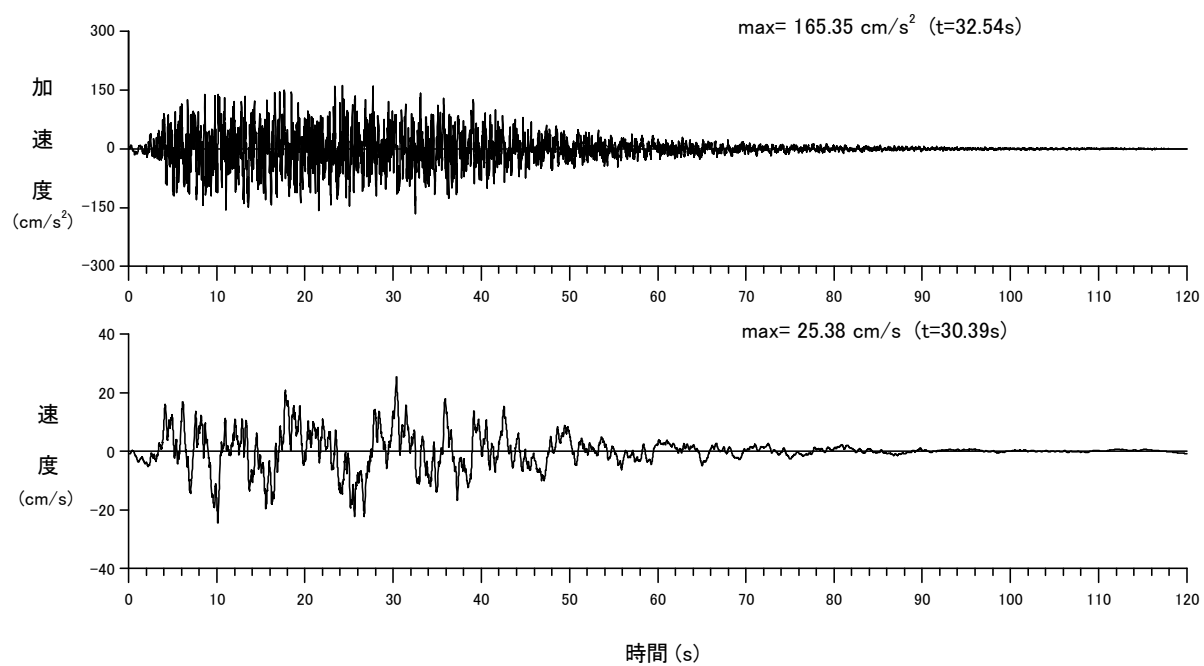


図-7.3(14) 基礎床付け面 (GL-4.15m) における模擬地震動の波形および応答スペクトル
 【上下動 (告示「極めて稀に発生する地震動」相当), 位相=Random】

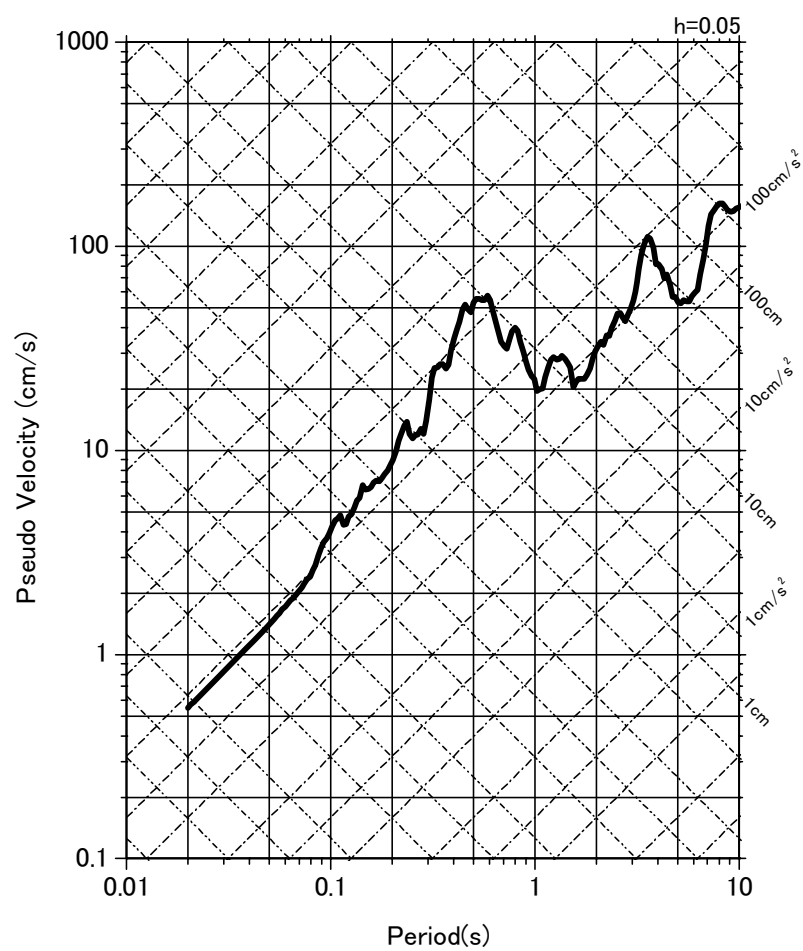
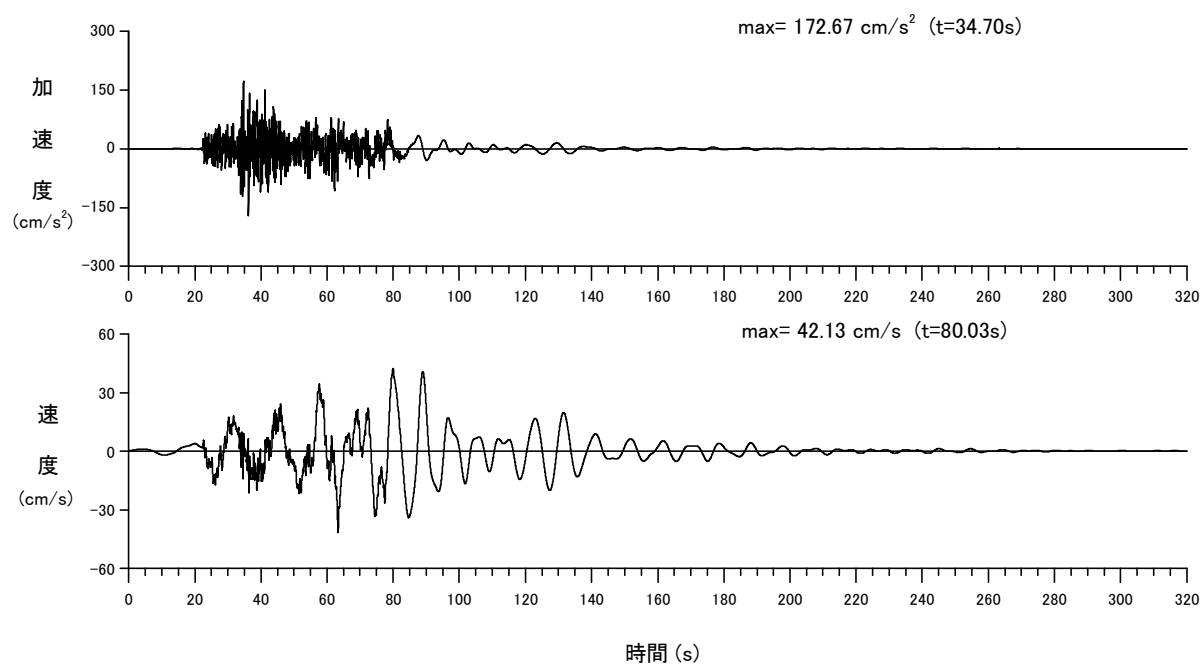


図-7.4(1) 基礎床付け面 (GL-9.15m) における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【サイト波「元禄型関東地震NS」】

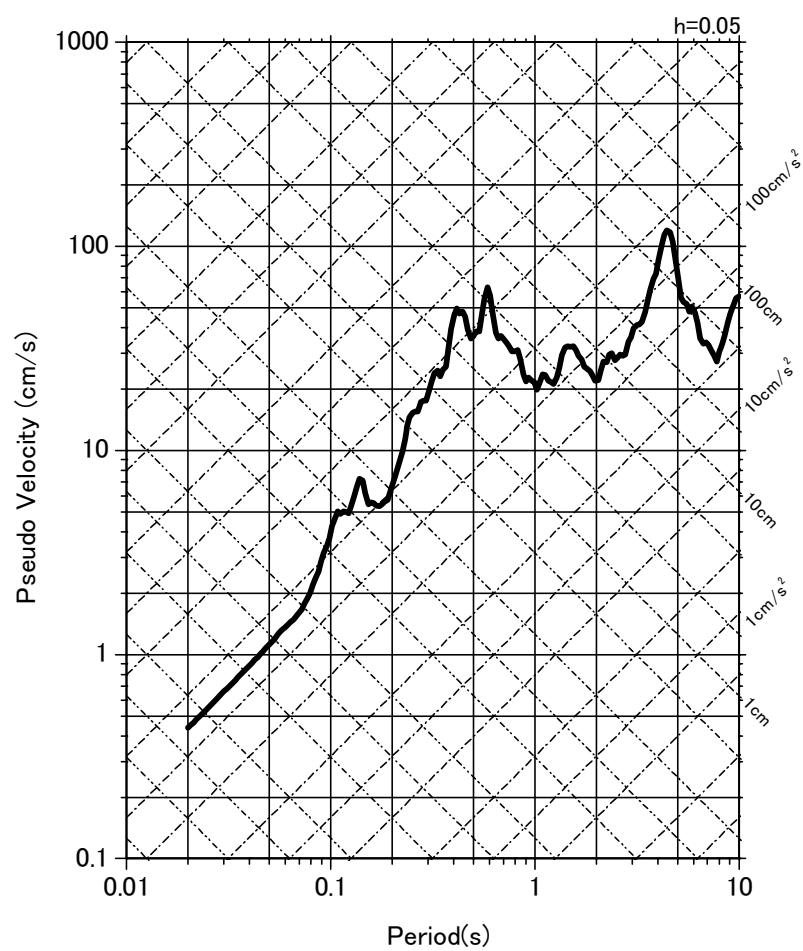
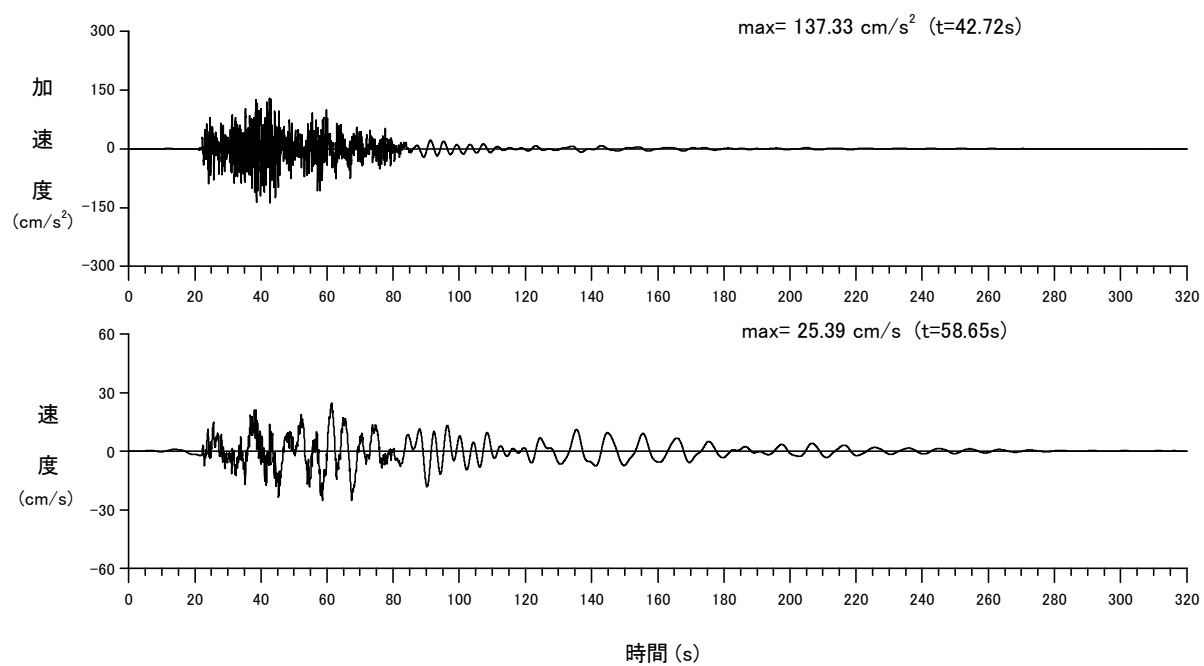


図-7.4(2) 基礎床付け面 (GL-9.15m) における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【サイト波「元禄型関東地震EW」】

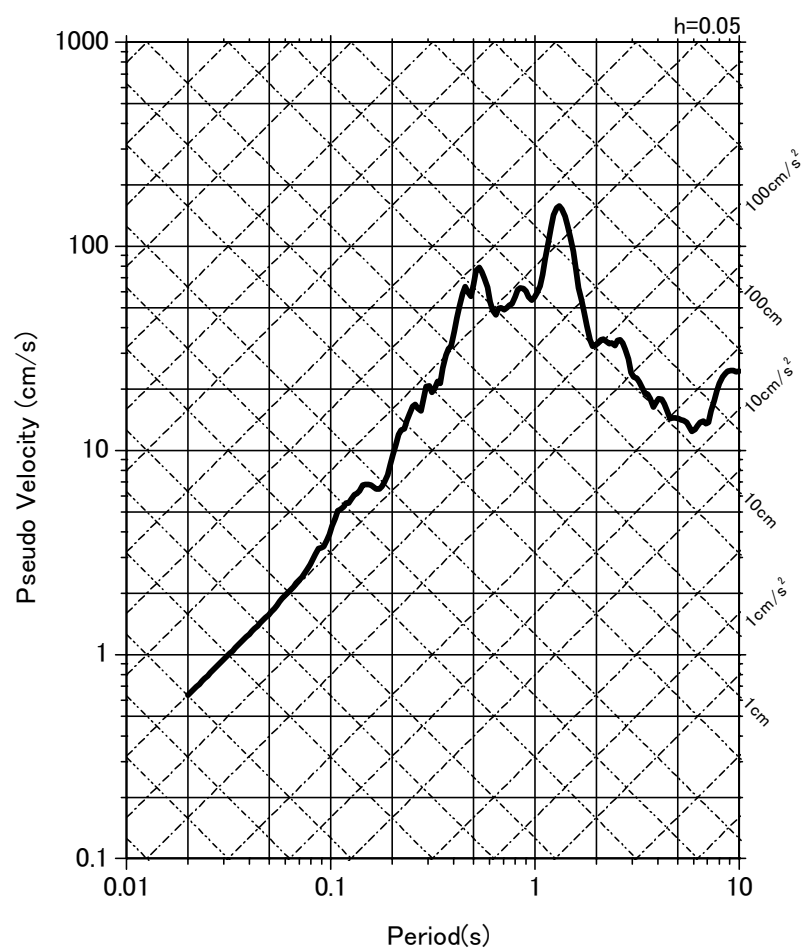
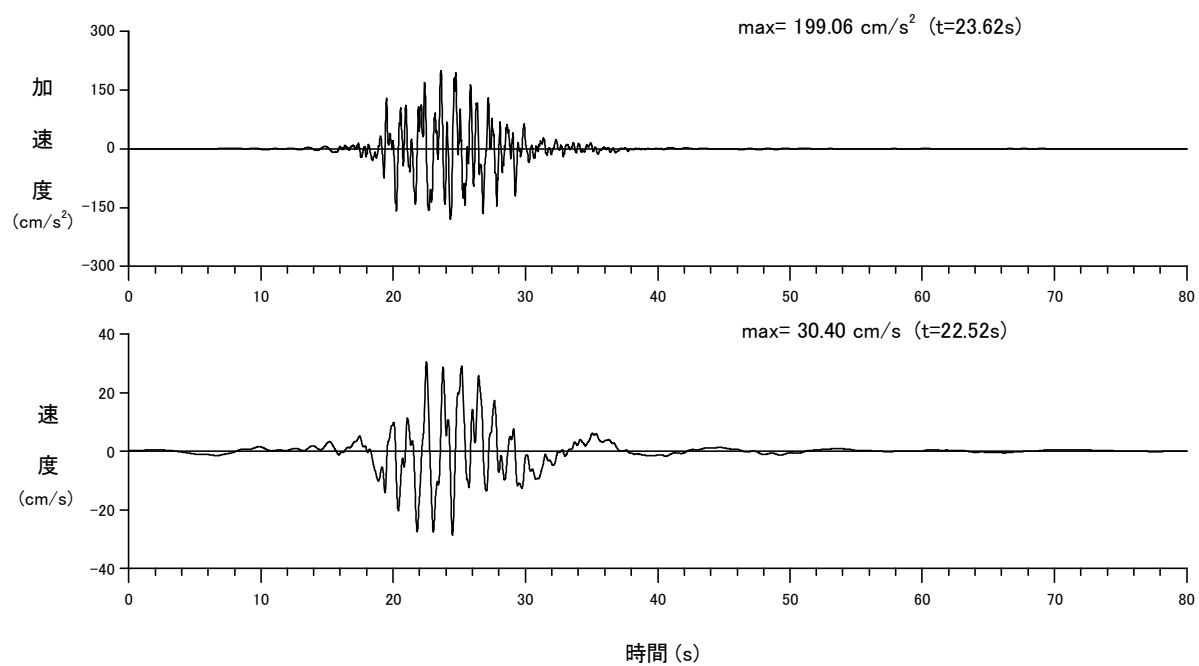


図-7.4(3) 基礎床付け面 (GL-9.15m) における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【サイト波「東京湾北部地震NS」】

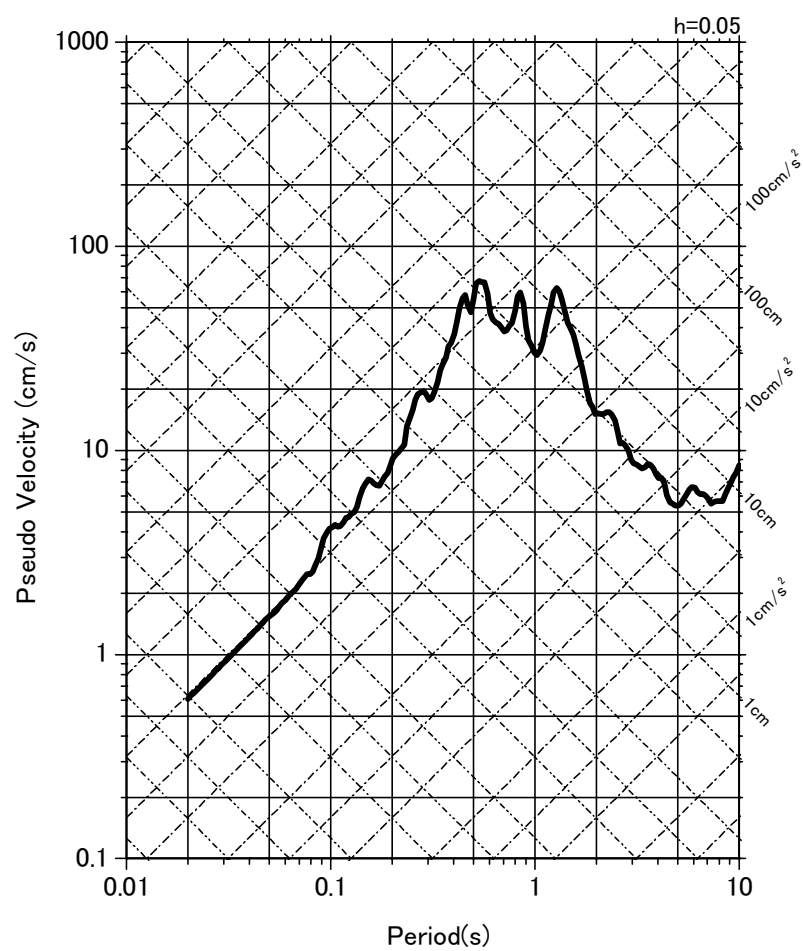
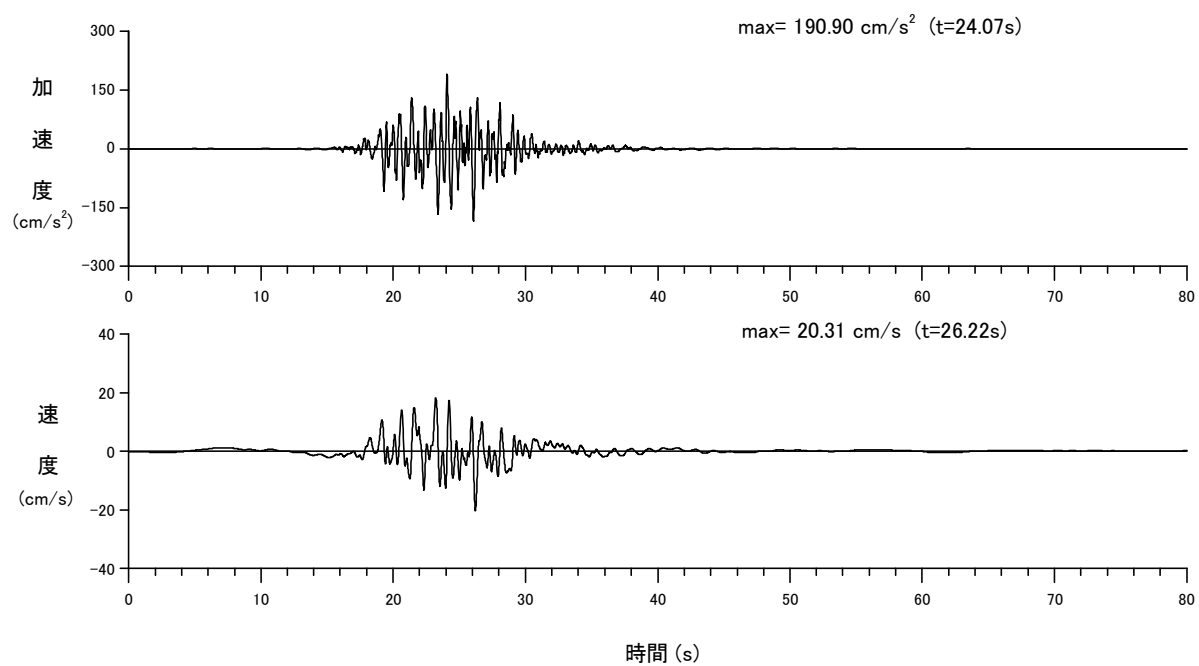


図-7.4(4) 基礎床付け面 (GL-9.15m) における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【サイト波「東京湾北部地震EW」】

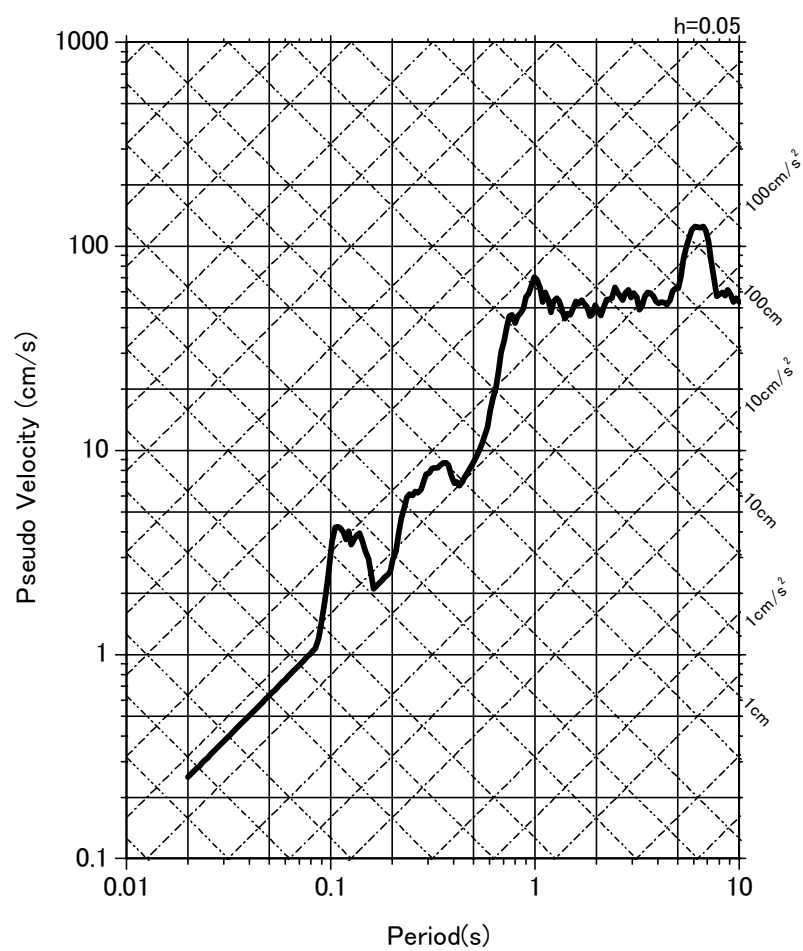
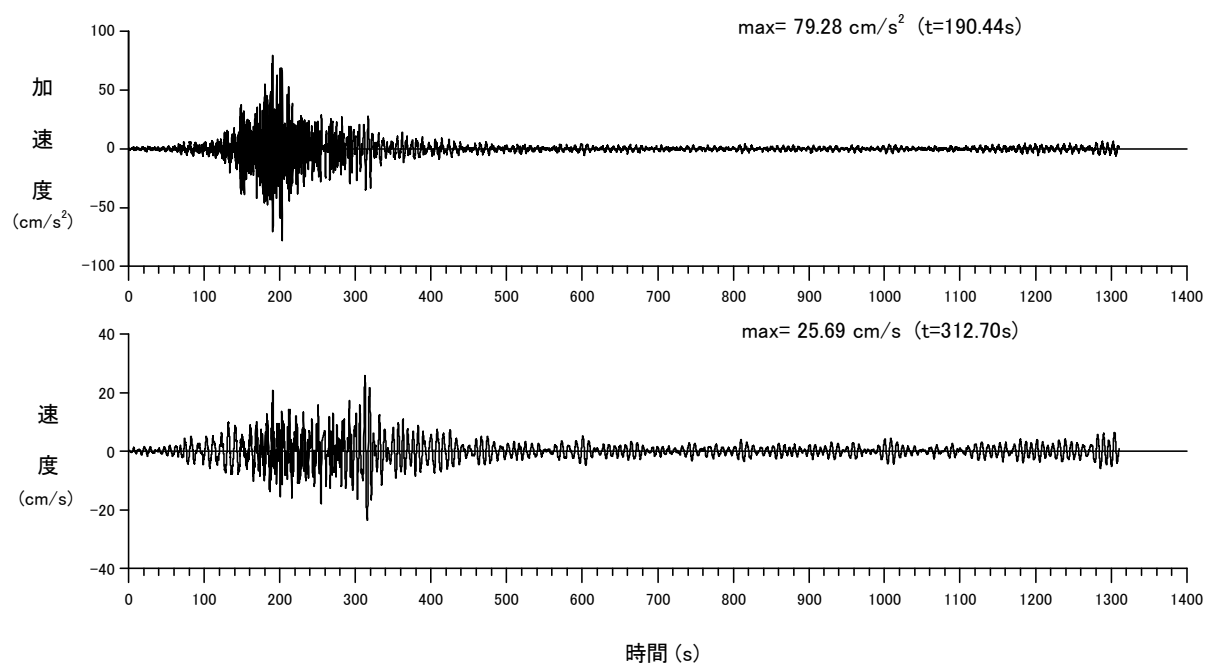


図-7.4(5) 基礎床付け面 (GL-9.15m)における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【長周期地震動「三連動地震」】

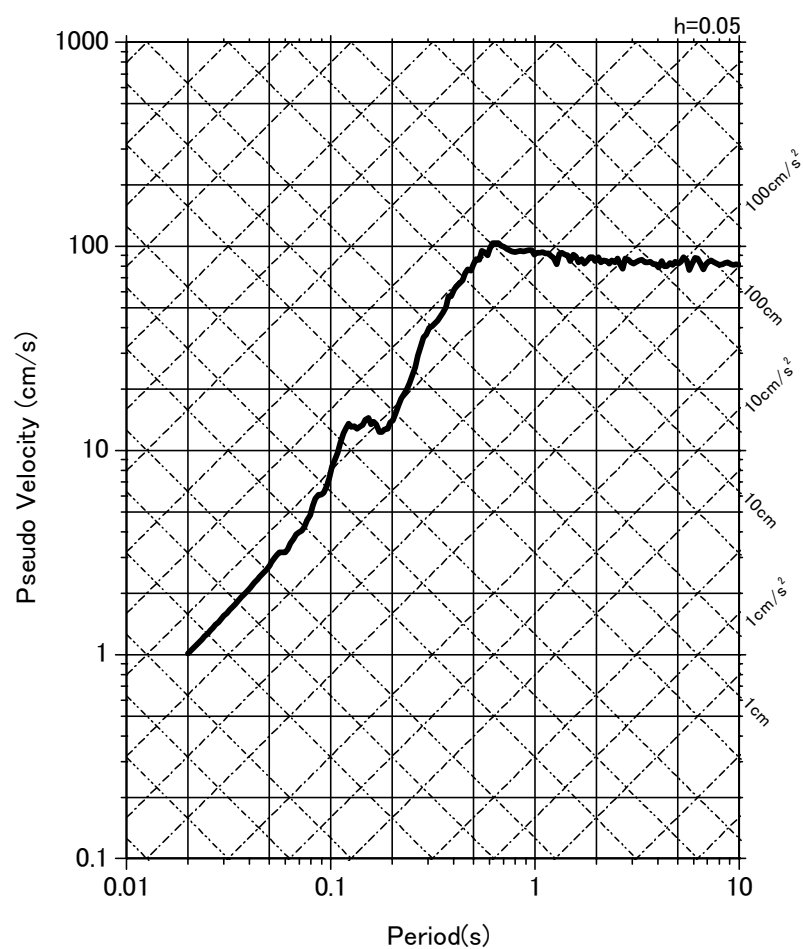
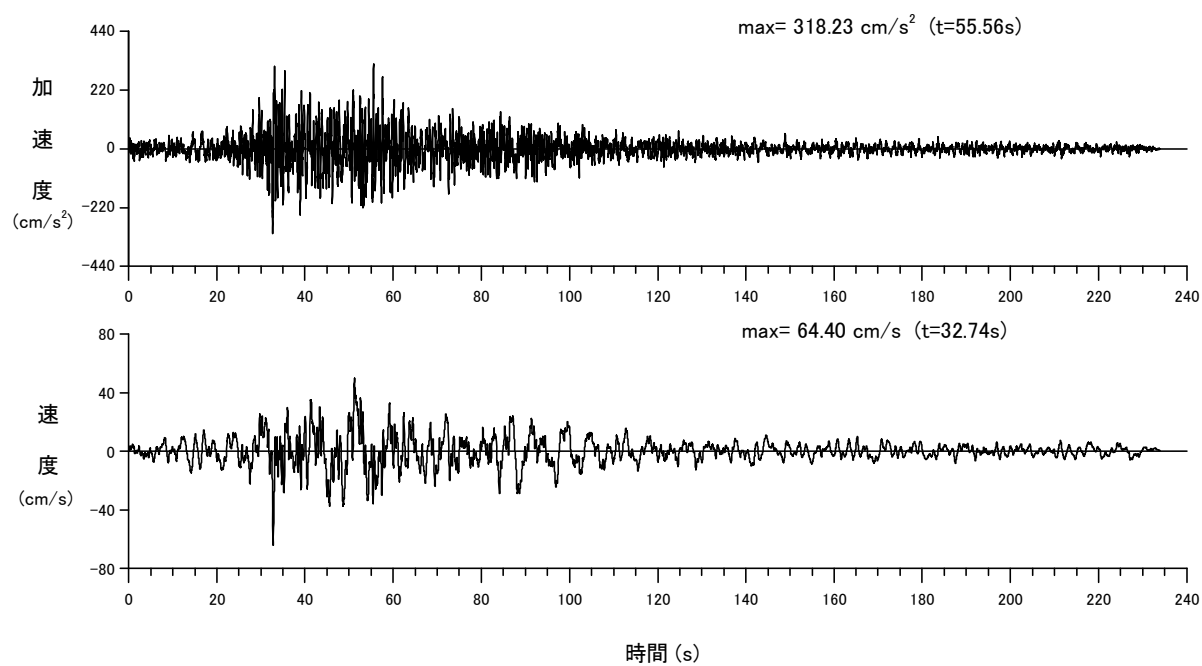


図-7.4(6) 基礎床付け面 (GL-9.15m) における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【告示「極めて稀に発生する地震動」, 位相=Hachinohe-NS】

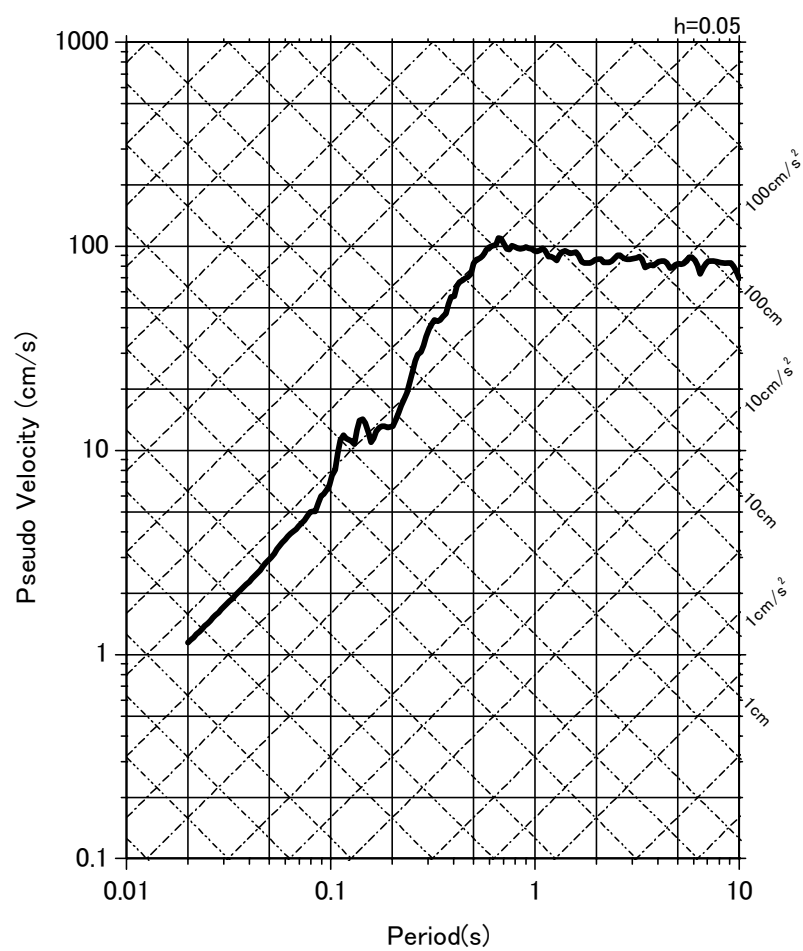
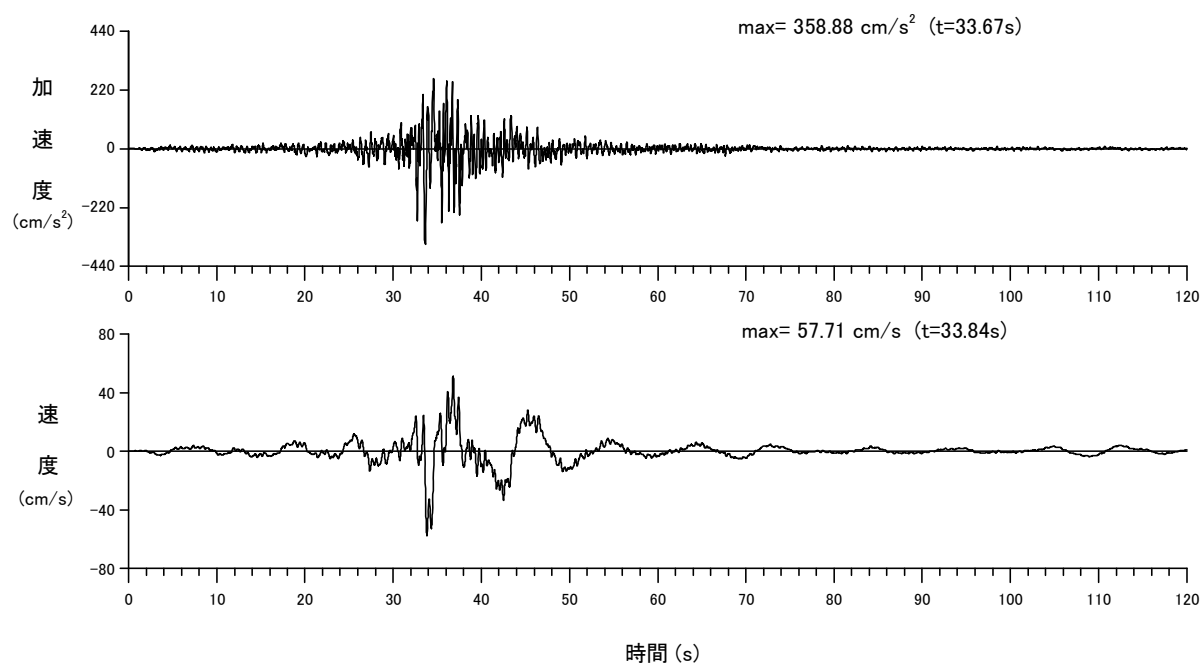


図-7.4(7) 基礎床付け面 (GL-9.15m) における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【告示「極めて稀に発生する地震動」, 位相=JMAKobe-NS】

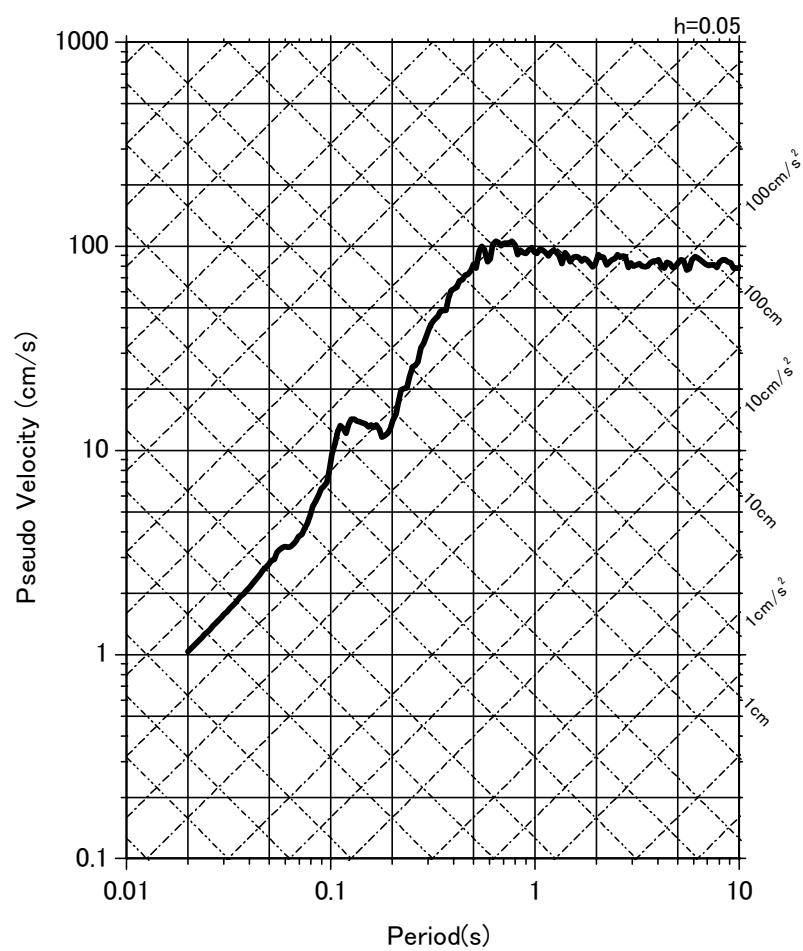
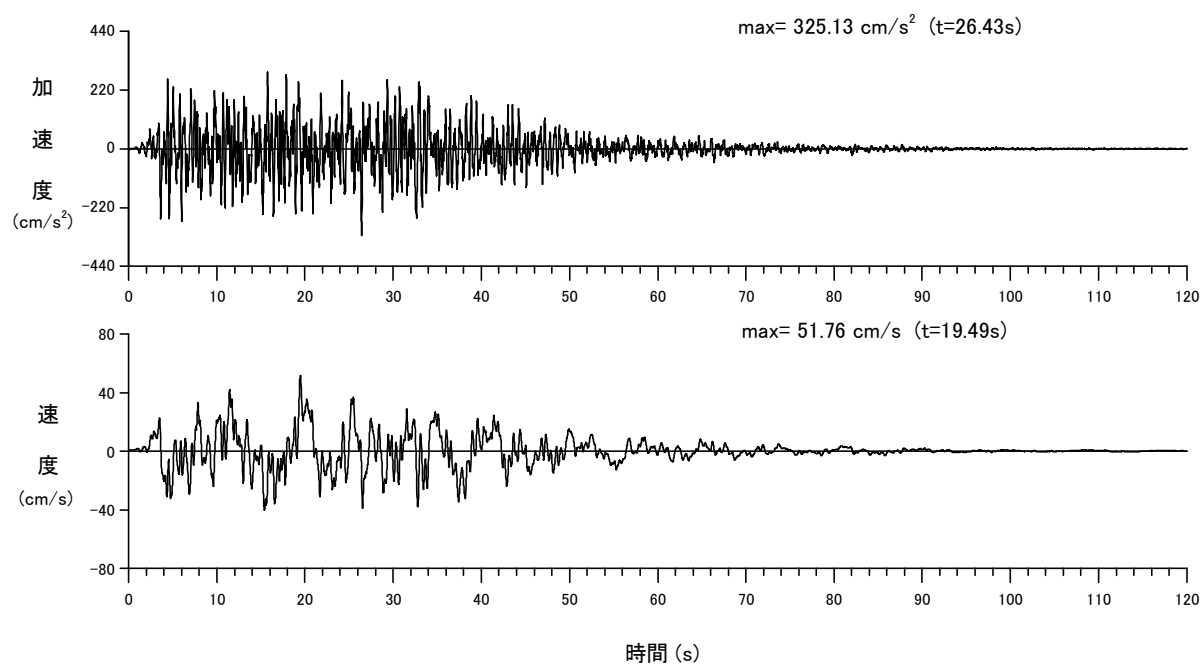


図-7.4(8) 基礎床付け面 (GL-9.15m) における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【告示「極めて稀に発生する地震動」, 位相=Random】

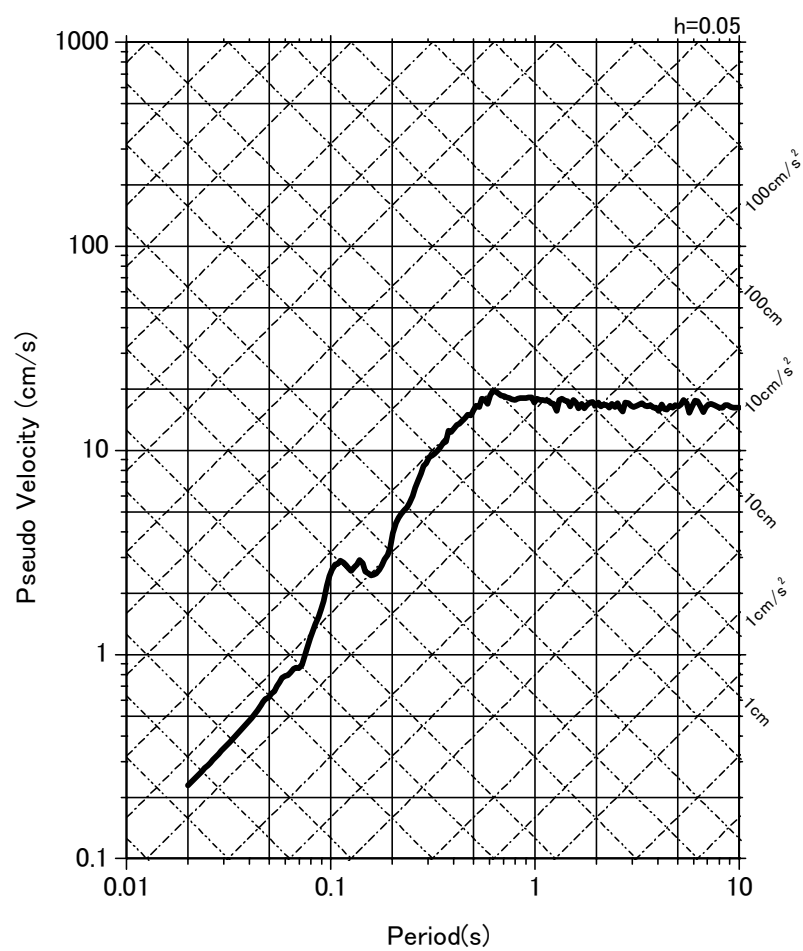
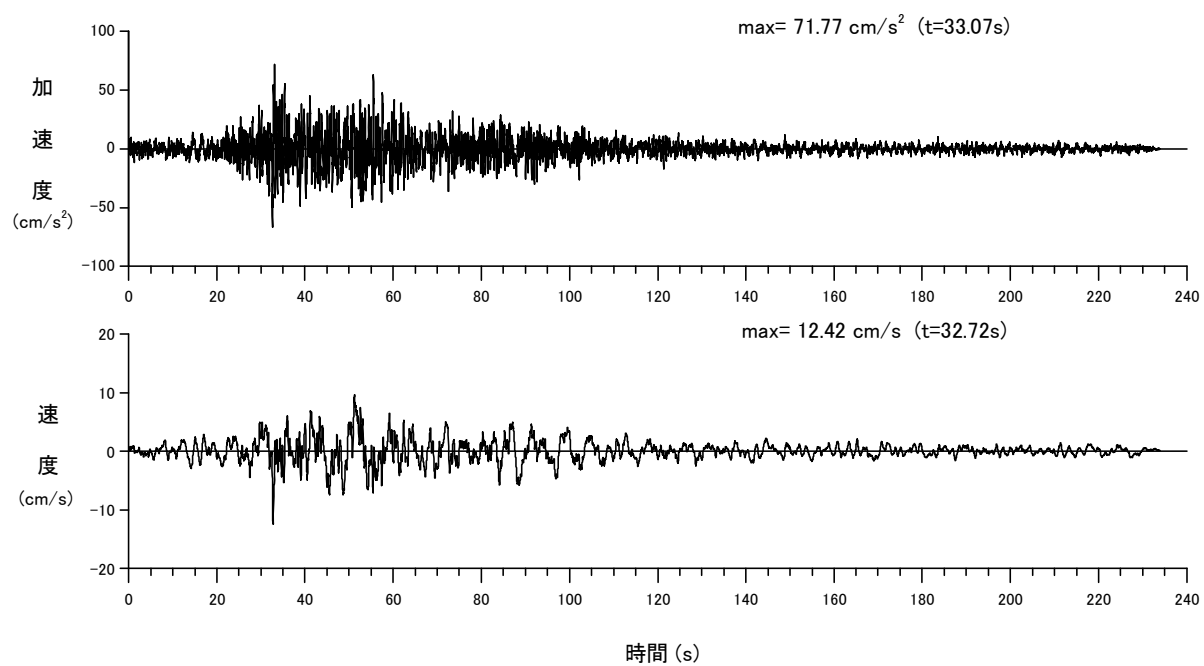


図-7.4(9) 基礎床付け面 (GL-9.15m)における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【告示「稀に発生する地震動」,位相=Hachinohe-NS】

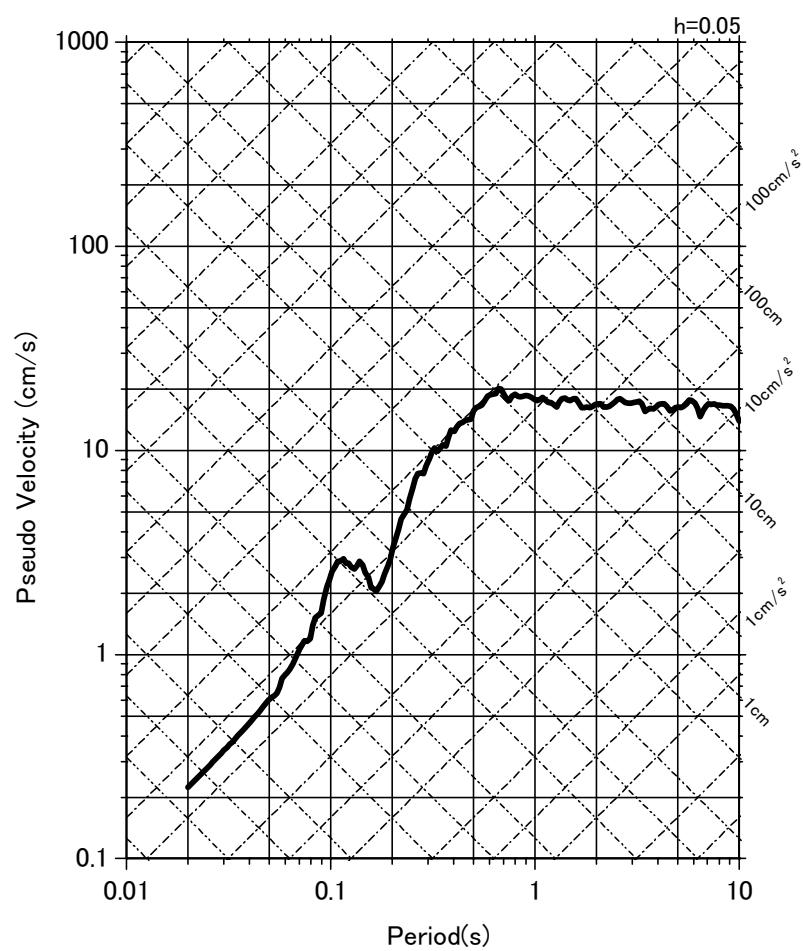
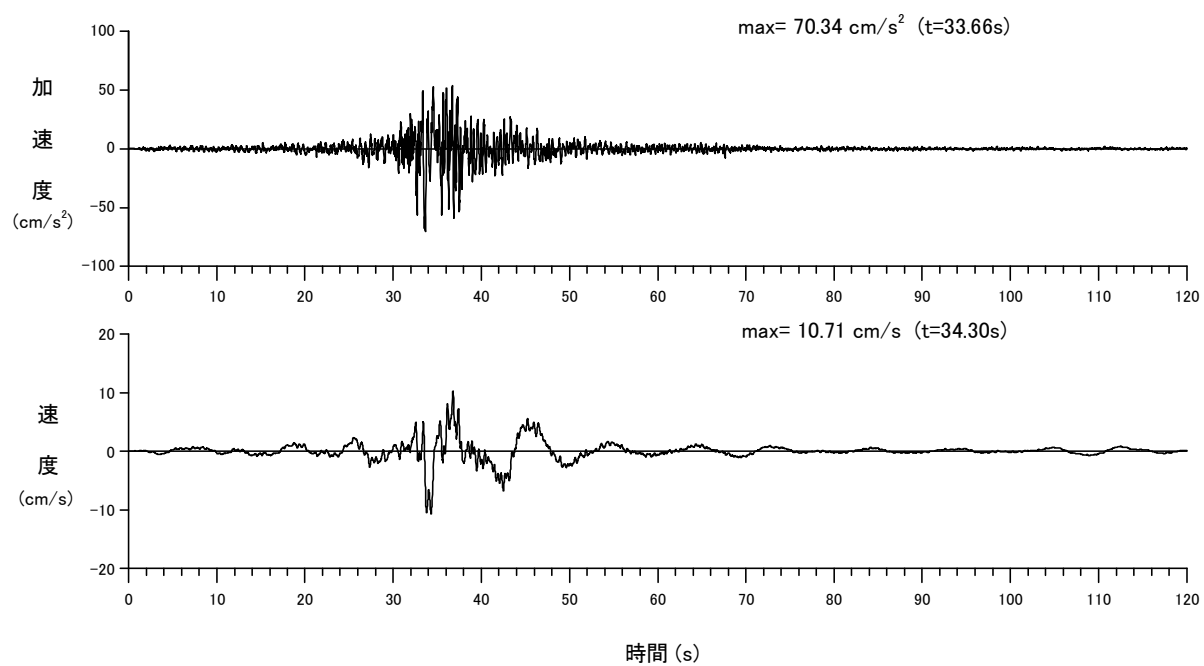


図-7.4(10) 基礎床付け面(GL-9.15m)における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【告示「稀に発生する地震動」, 位相=JMAKobe=NS】

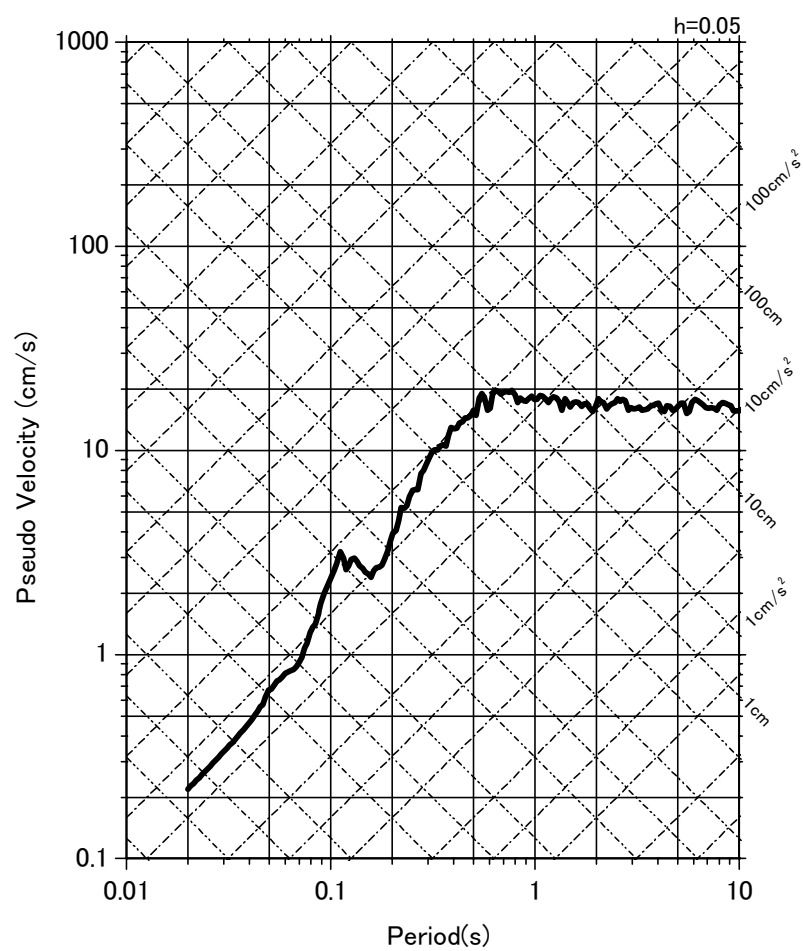
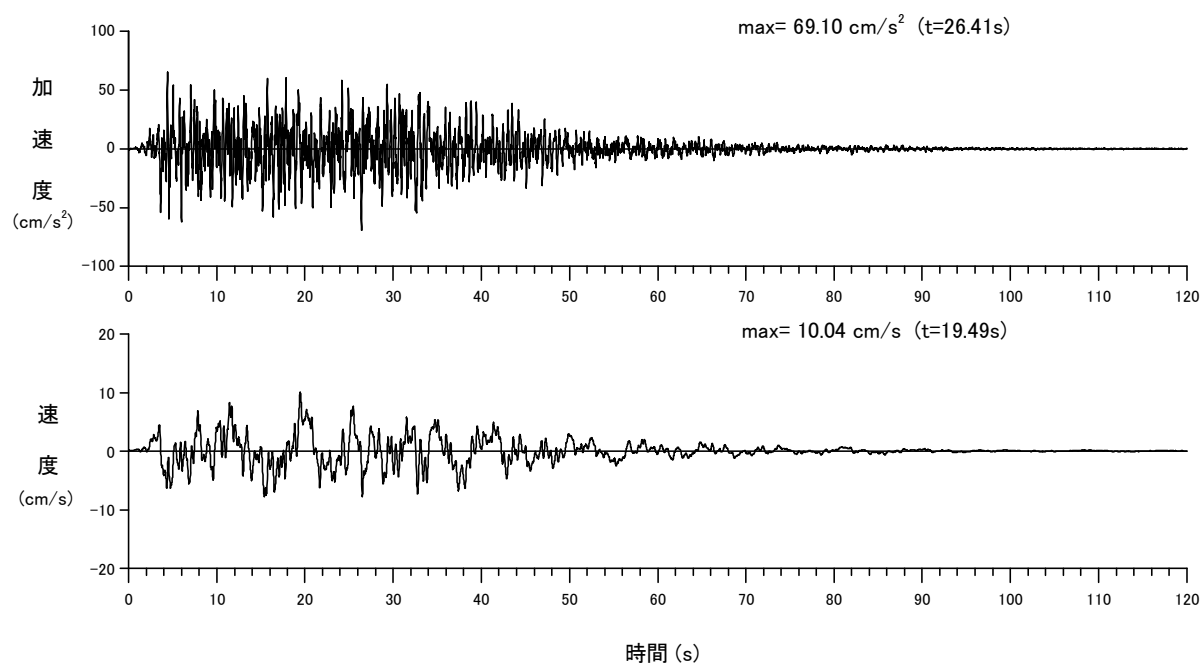


図-7.4(11) 基礎床付け面 (GL-9.15m) における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【告示「稀に発生する地震動」, 位相=Random】

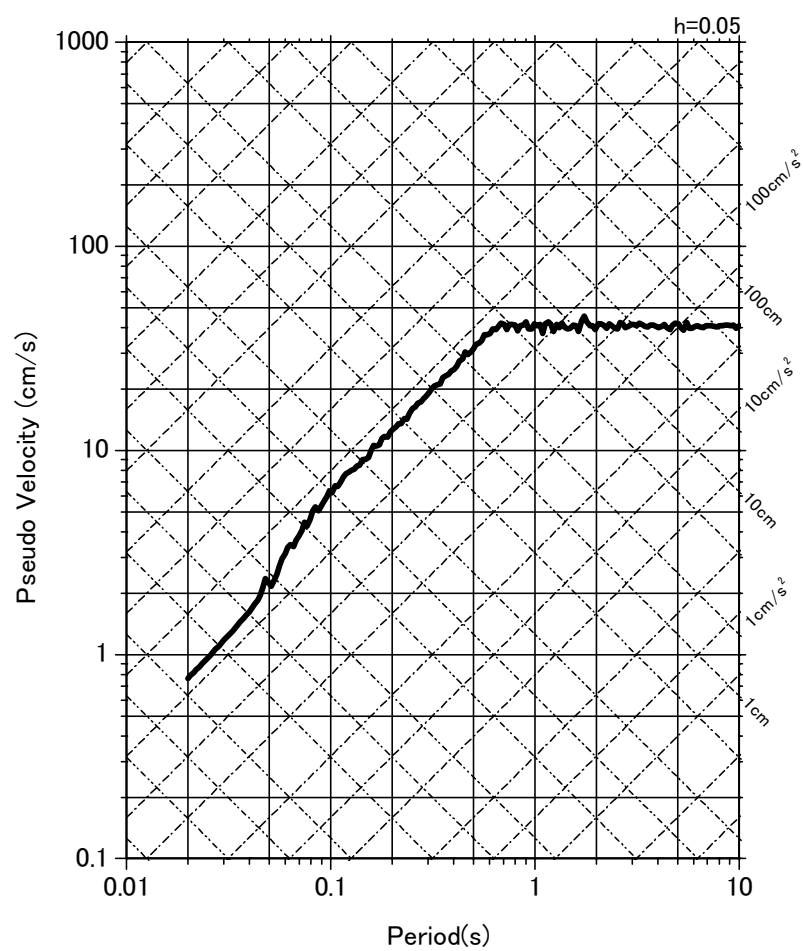
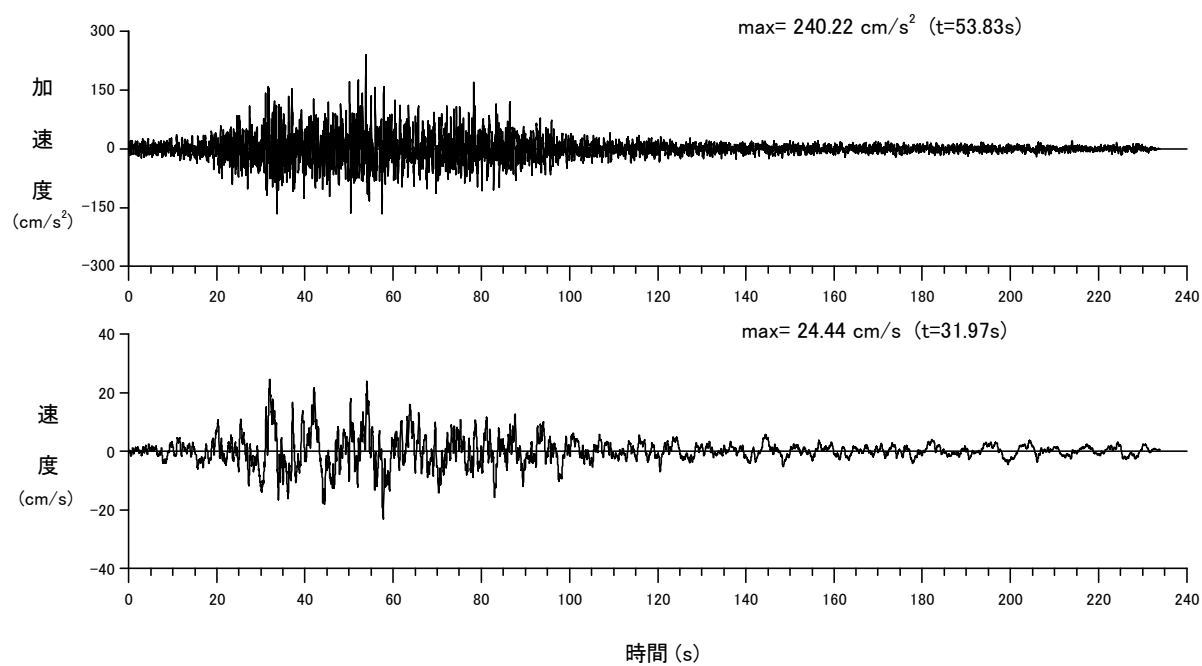


図-7.4(12) 基礎床付け面 (GL-9.15m)における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【上下動(告示「極めて稀に発生する地震動」相当), 位相=Hachinohe-UD】

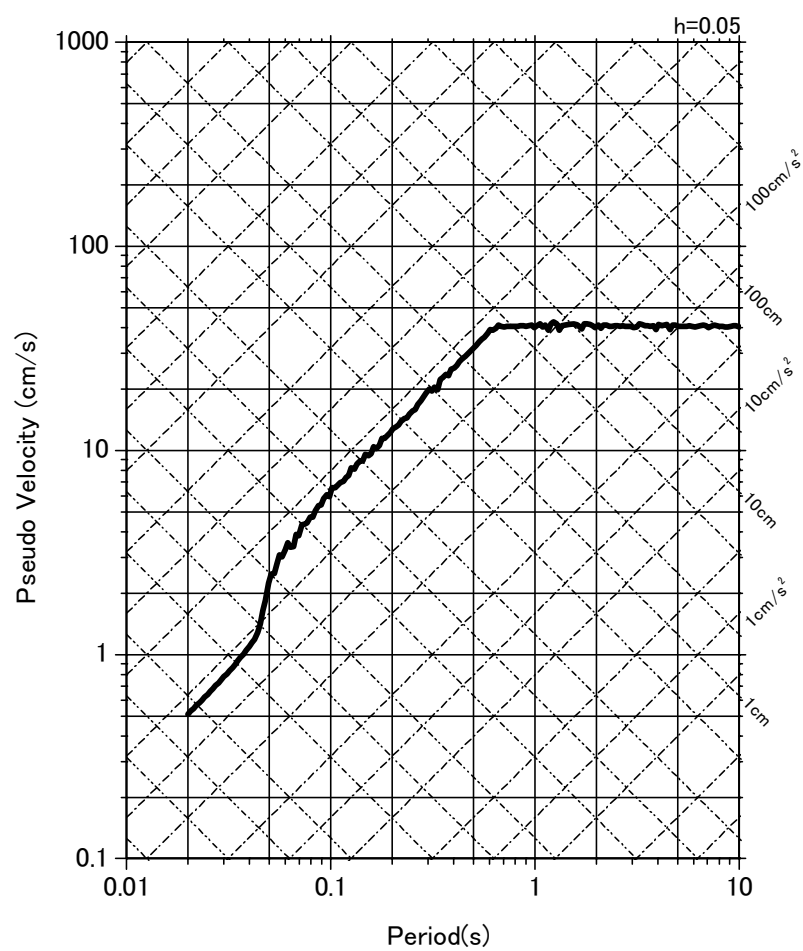
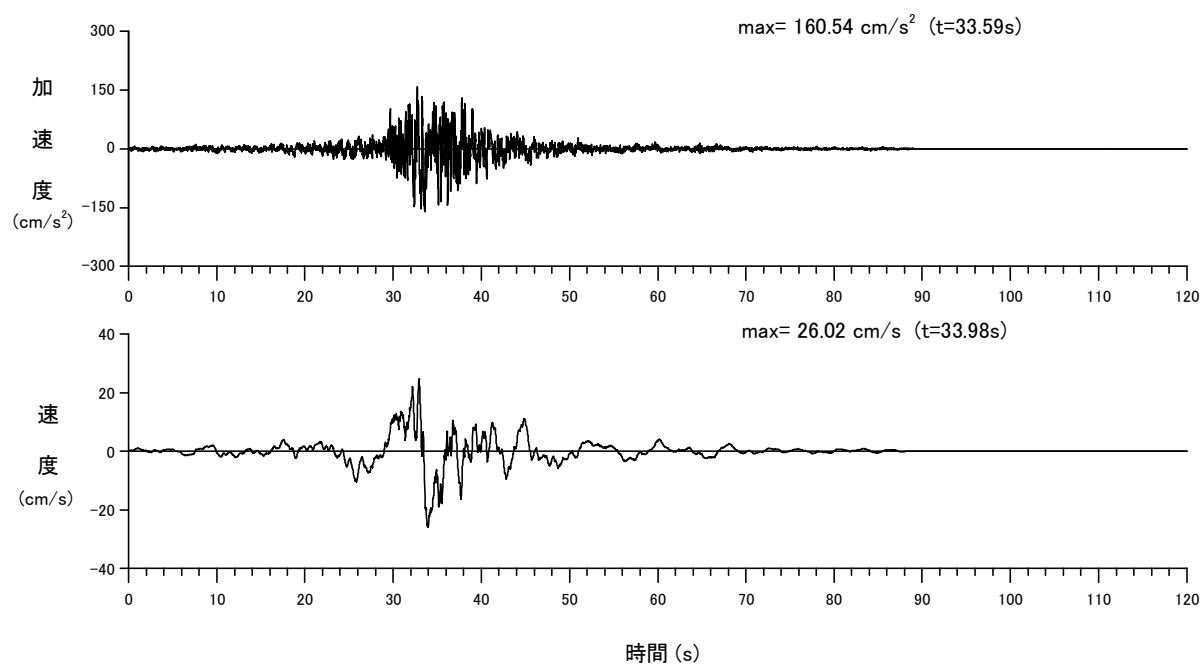


図-7.4(13) 基礎床付け面 (GL-9.15m)における模擬地震動の波形および応答スペクトル
【上下動(告示「極めて稀に発生する地震動」相当), 位相=JMAKobe-UD】

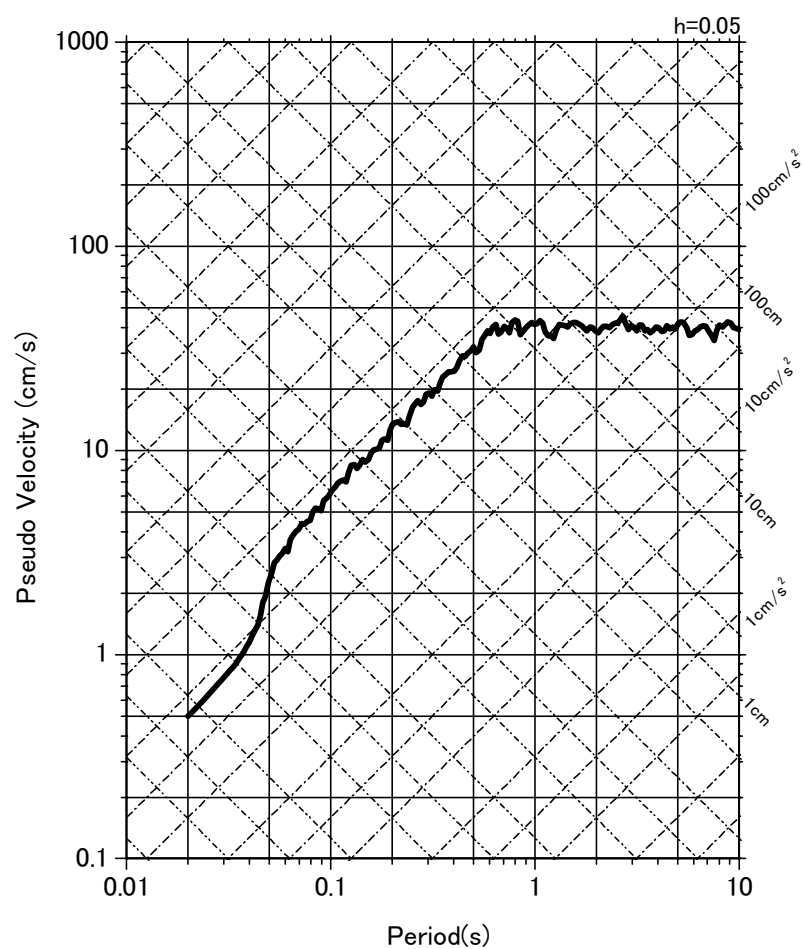
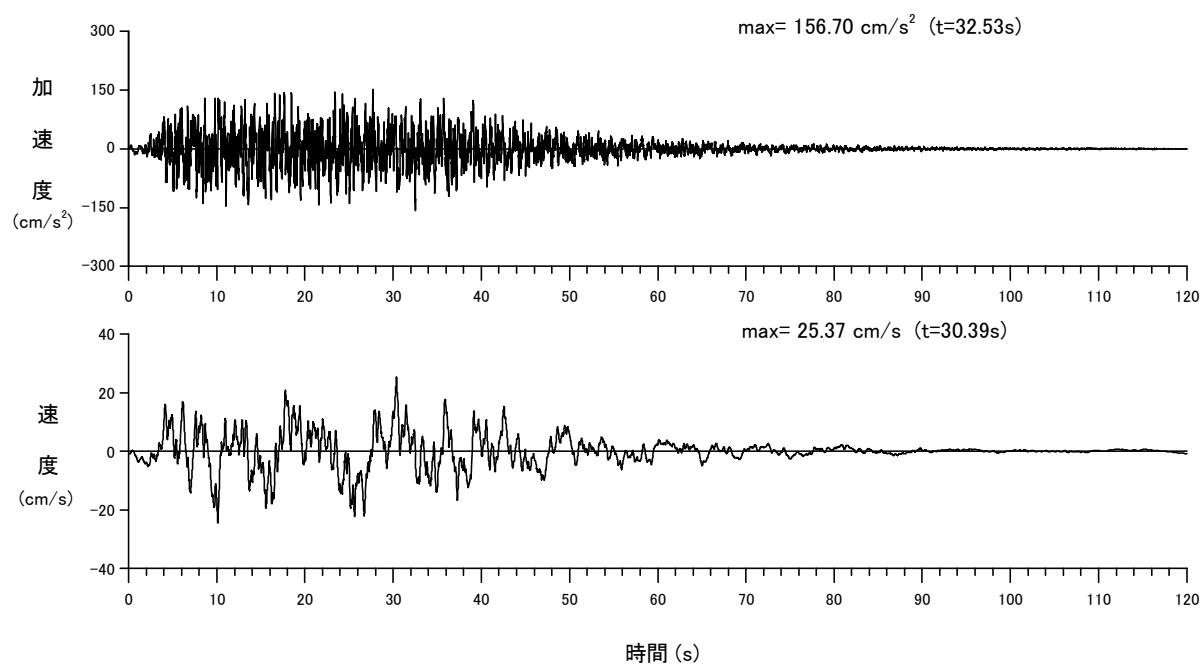
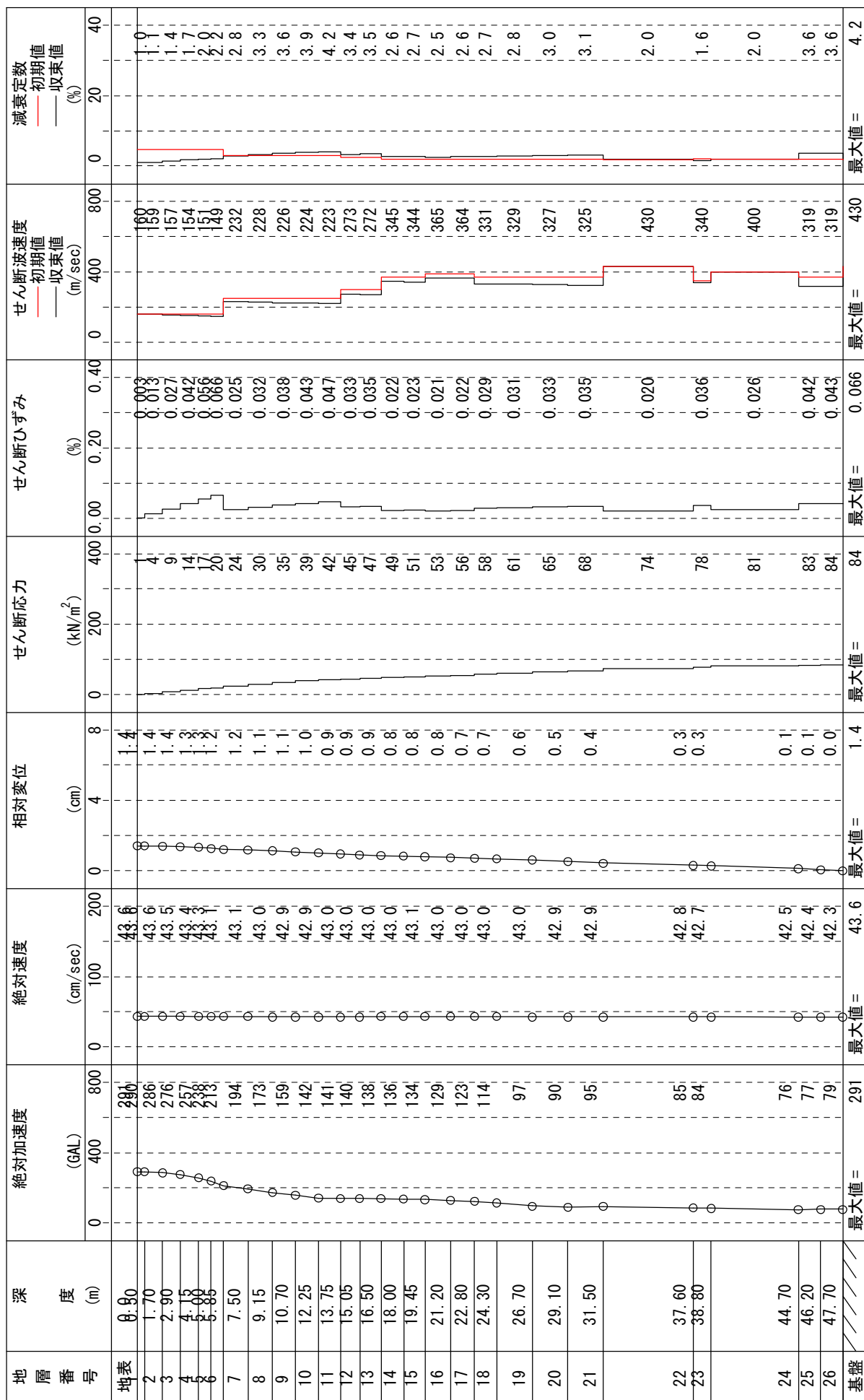


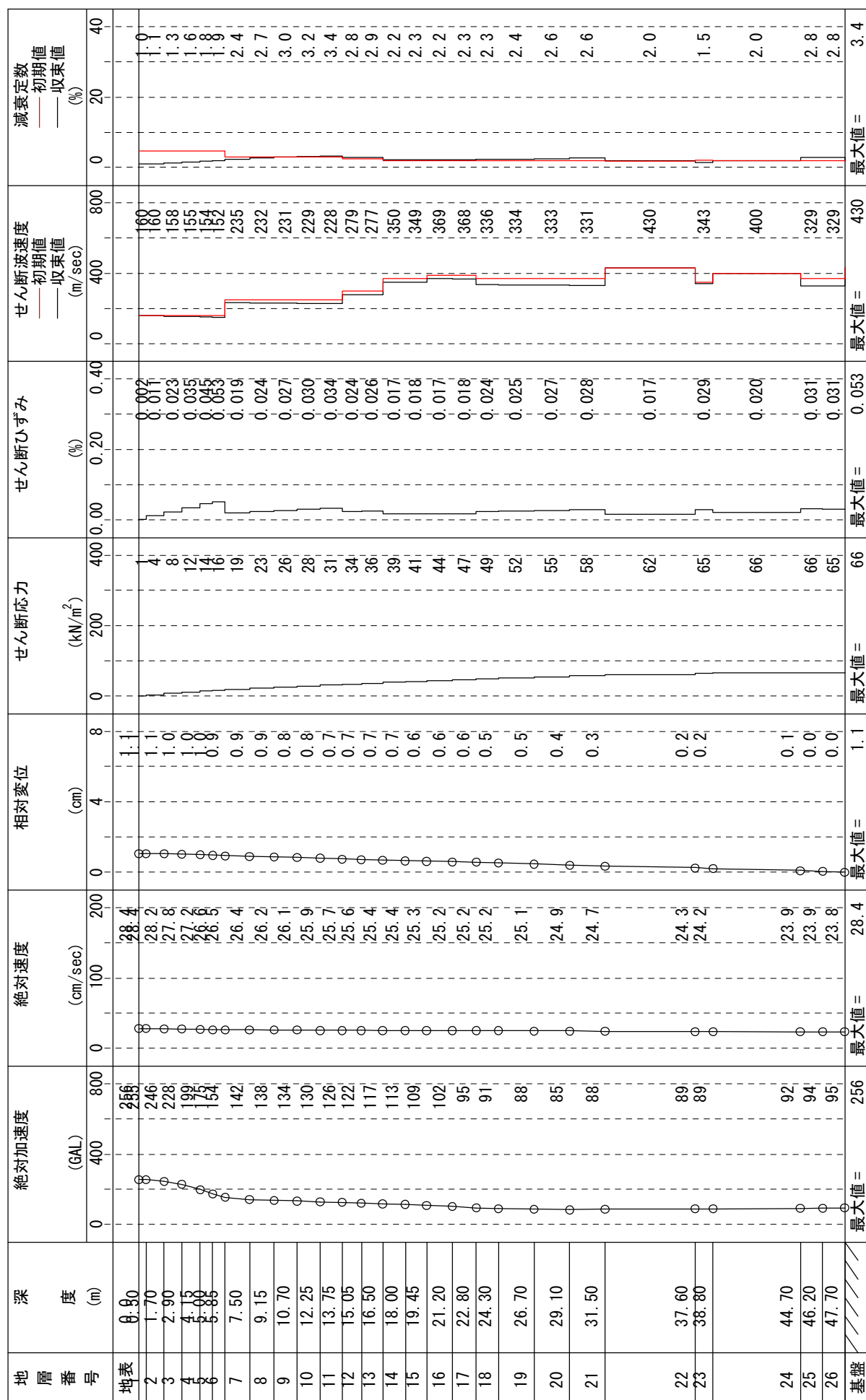
図-7.4(14) 基礎床付け面 (GL-9.15m)における模擬地震動の波形および応答スペクトル
 【上下動(告示「極めて稀に発生する地震動」相当), 位相=Random】

巻 末 資 料

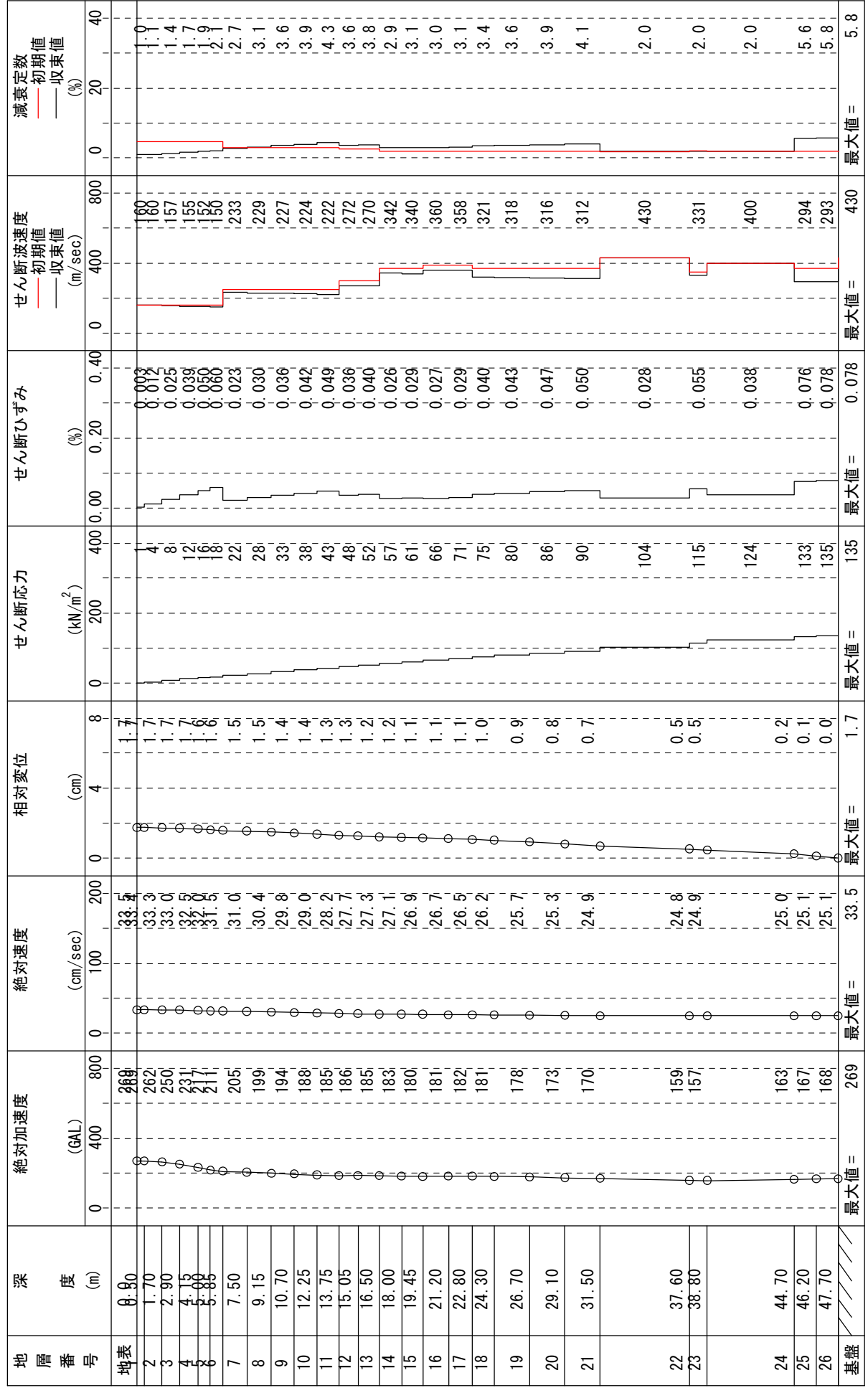
資料-1 等価線形解析による最大応答値の深度分布と伝達関数



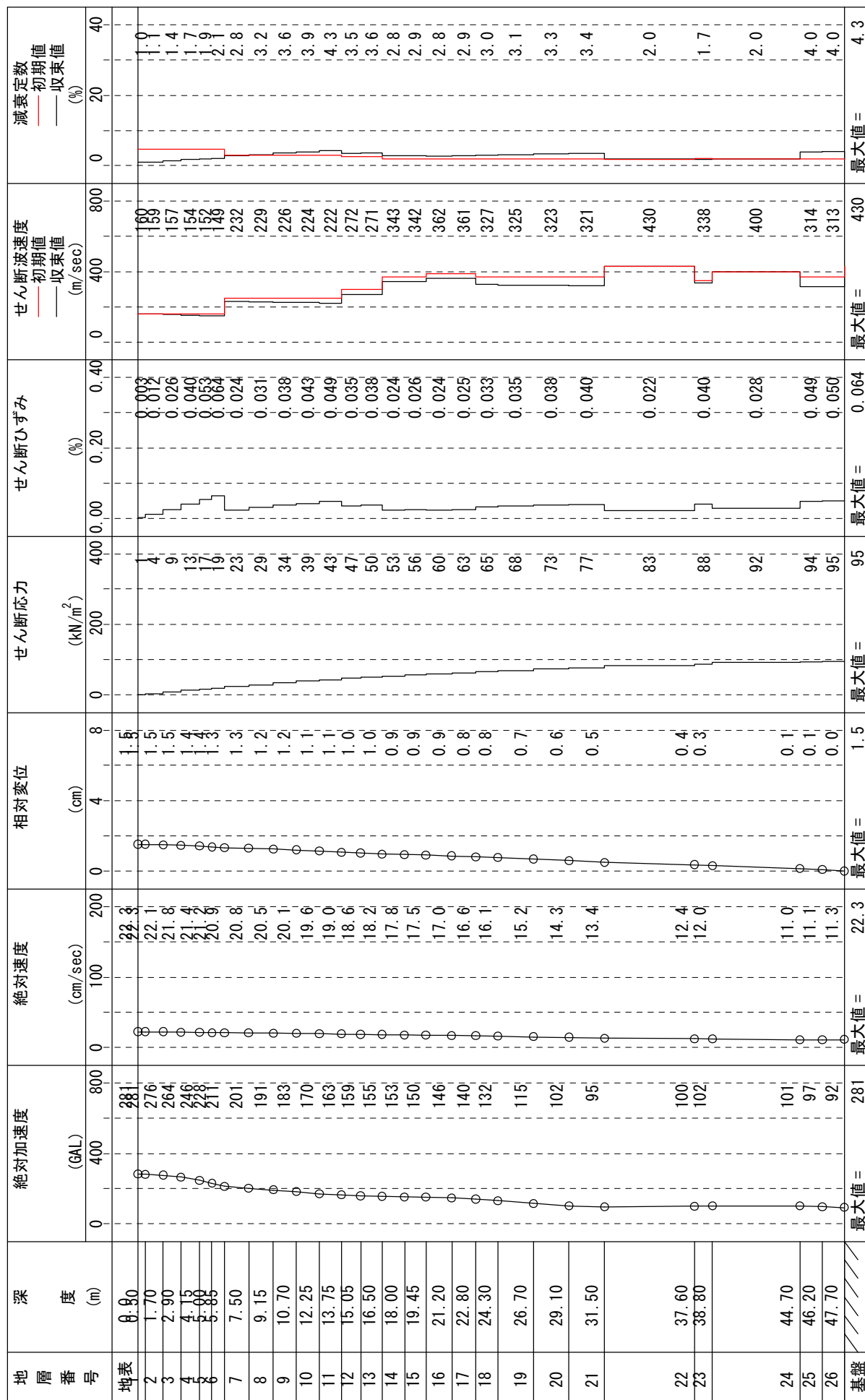
付図-1.1(1) 等価線形解析による最大応答値の深度分布図【サイト波「元禄型関東地震NS」】



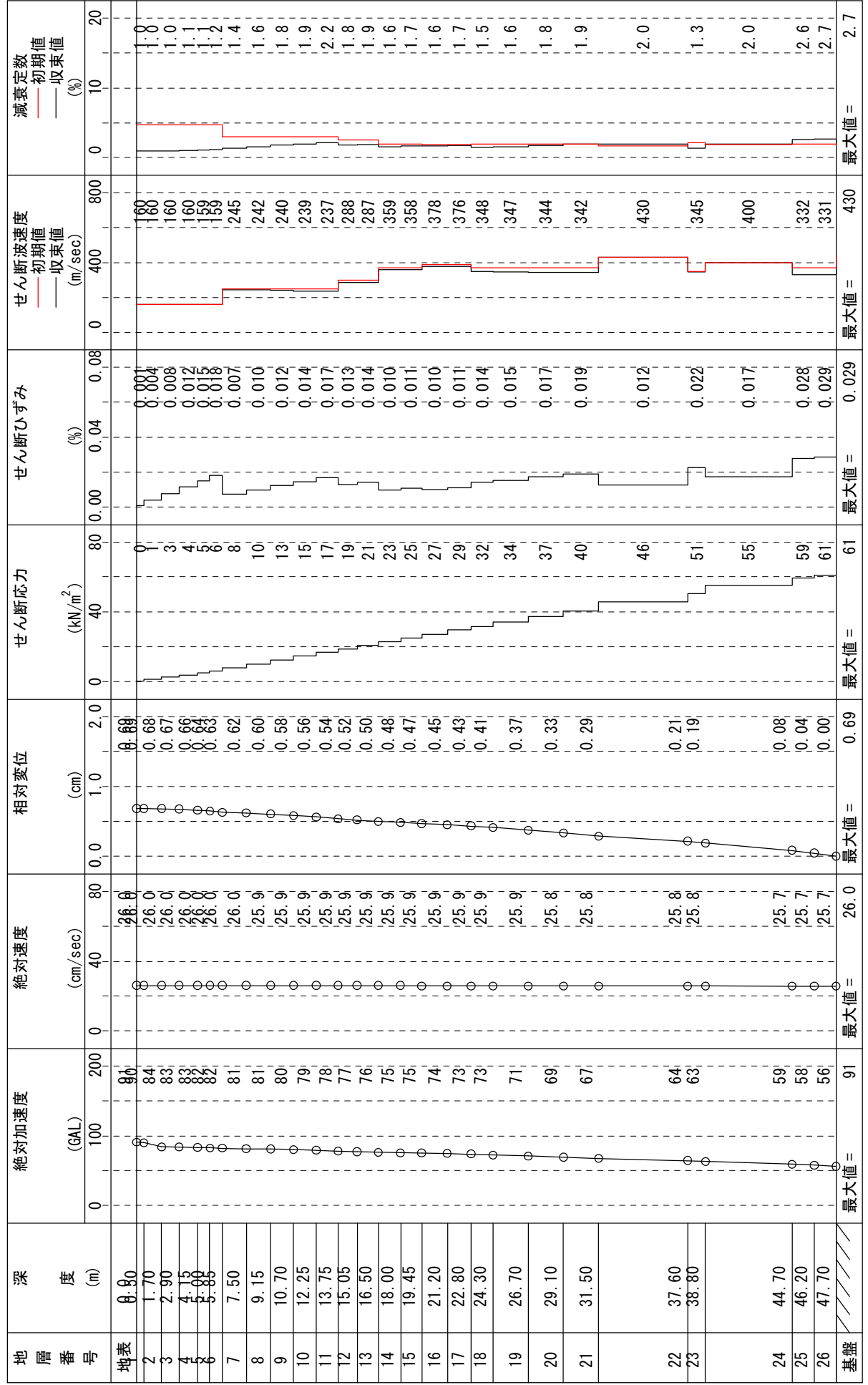
付図-1.1(2) 等価線形解析による最大応答値の深度分布図【サイト波「元禄型関東地震EW」】



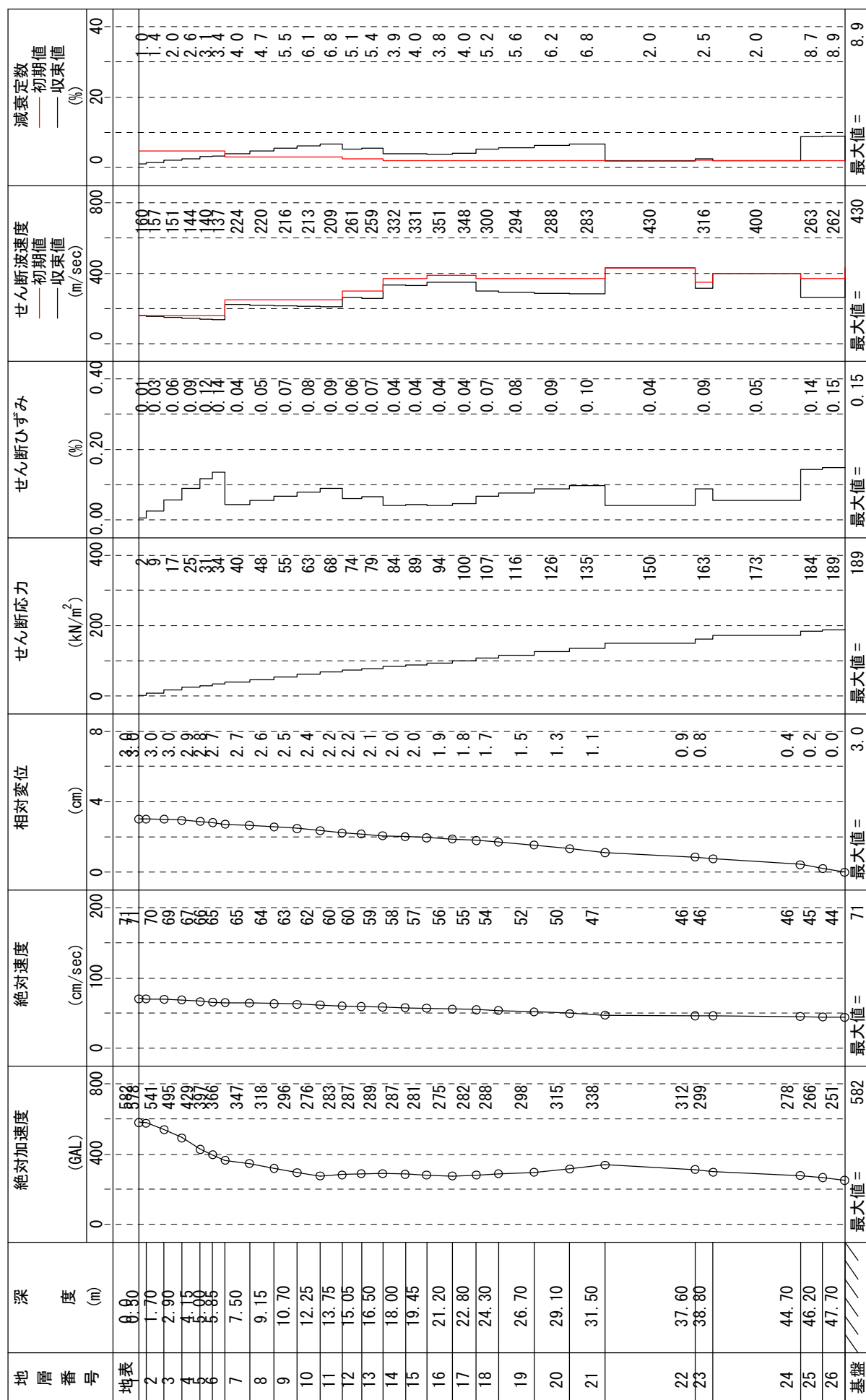
付図-1.1(3) 等価線形解析による最大応答値の深度分布図【サイト波「東京湾北部地震NS」】



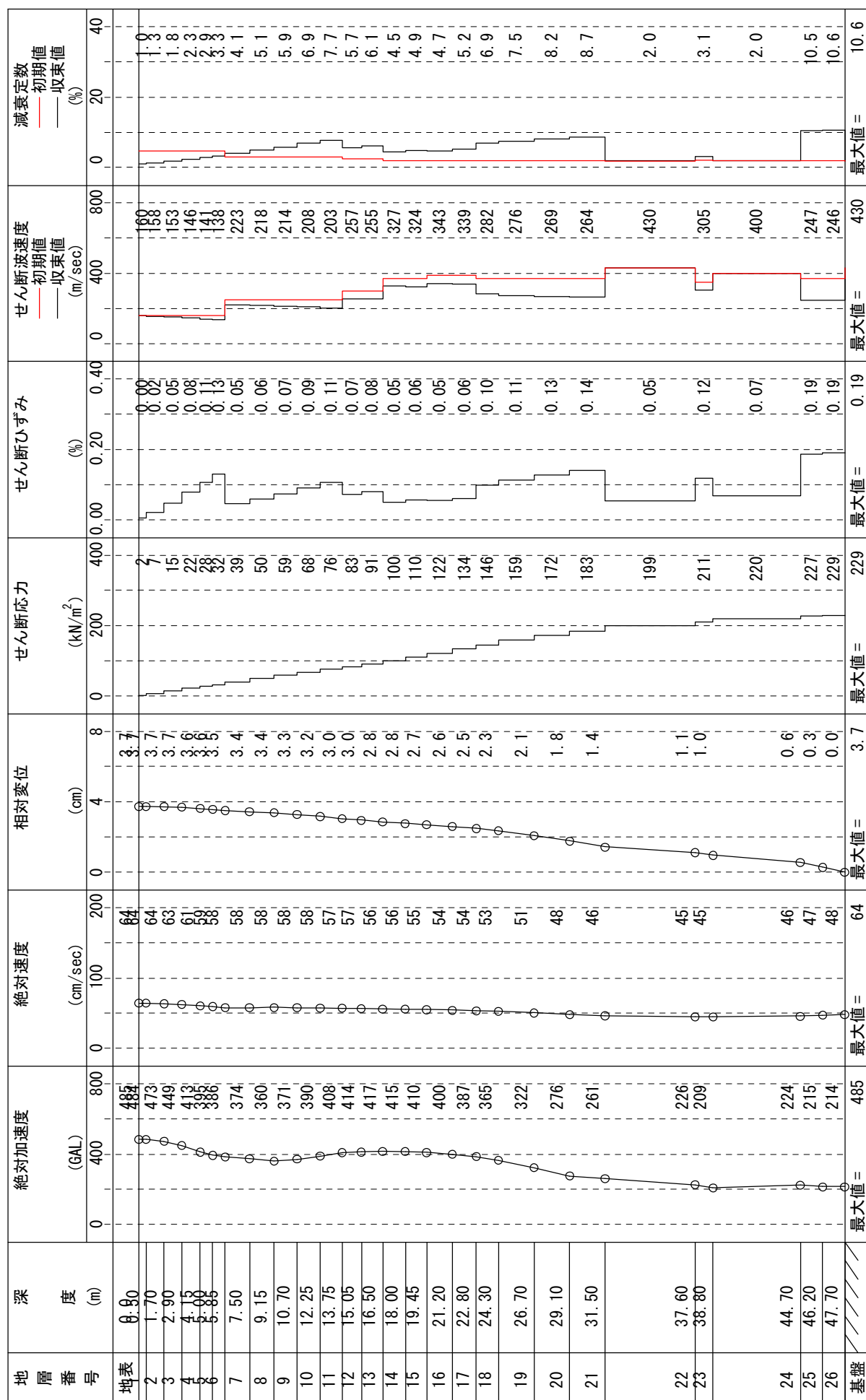
付図-1.1(4) 等価線形解析による最大応答値の深度分布図【サイト波「東京湾北部地震EW」】



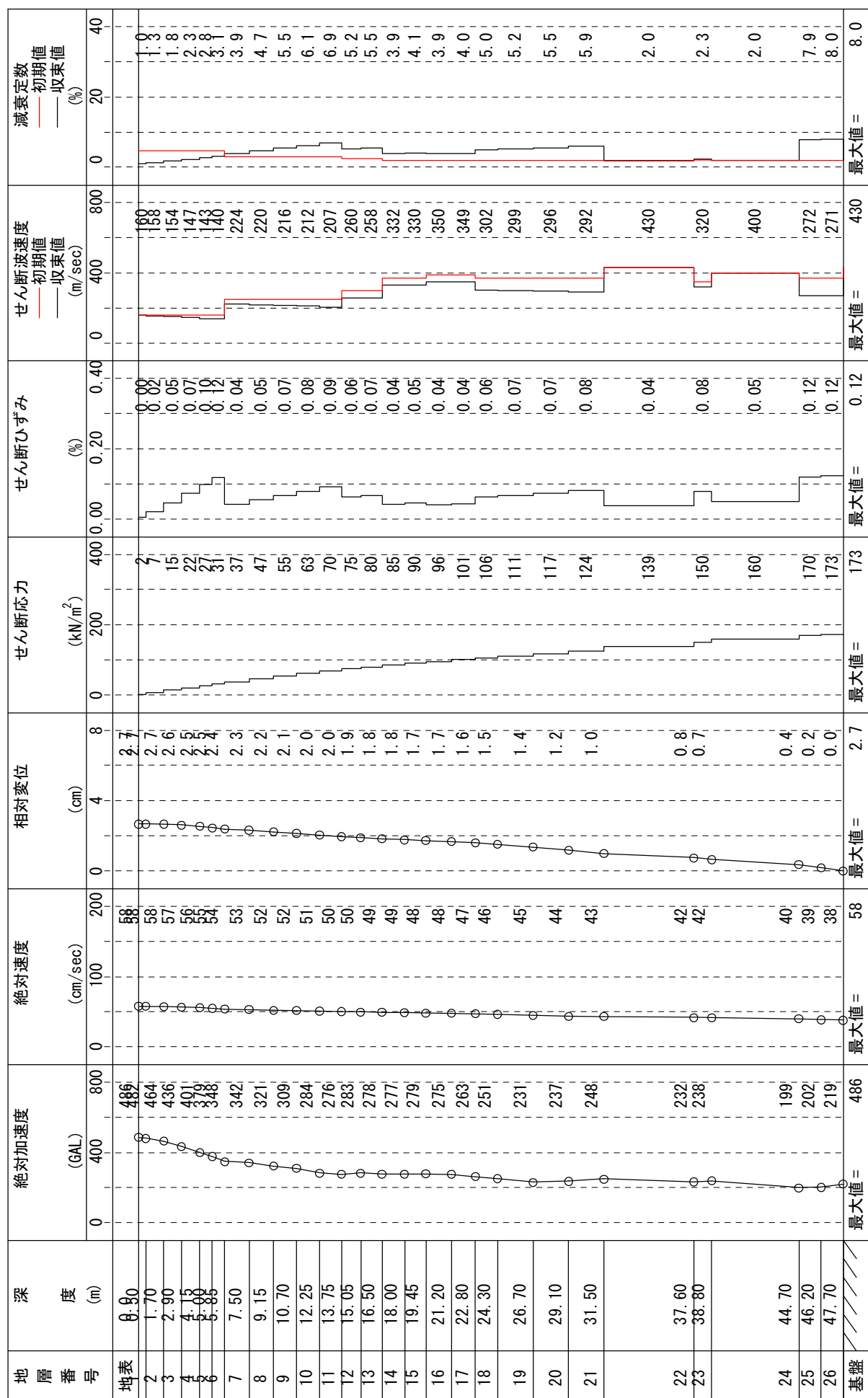
付図-1.1 (5) 等価線形解析による最大応答値の深度分布図【長周期地震動「三連動地震」】



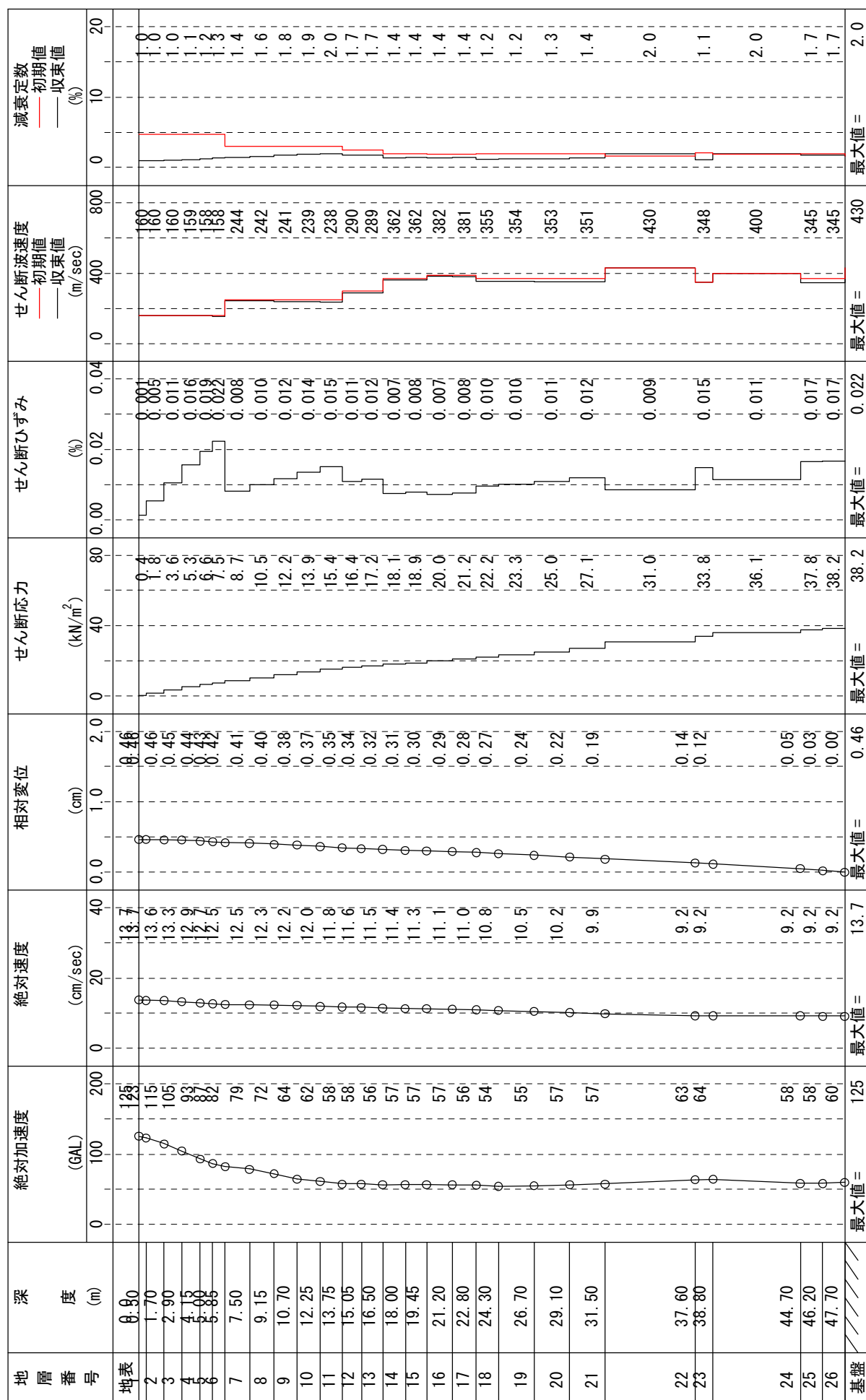
付図-1.1(6) 等価線形解析による最大応答値の深度分布図【告示「極めて稀に発生する地震動」，位相=Hachinohe-NS】



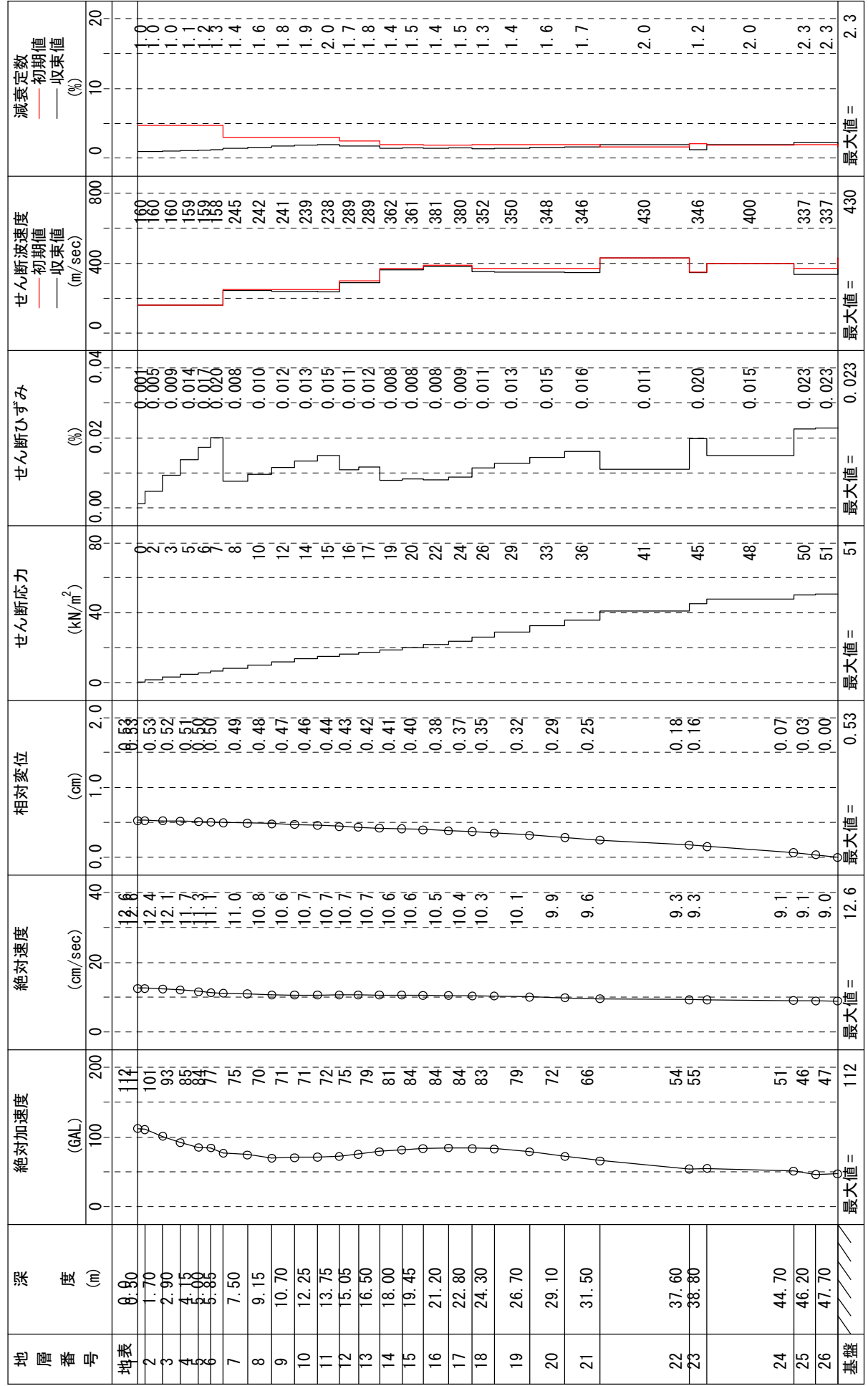
付図-1.1(7) 等価線形解析による最大応答値の深度分布図【告示「極めて稀に発生する地震動」,位相=JMAKobe-NS】



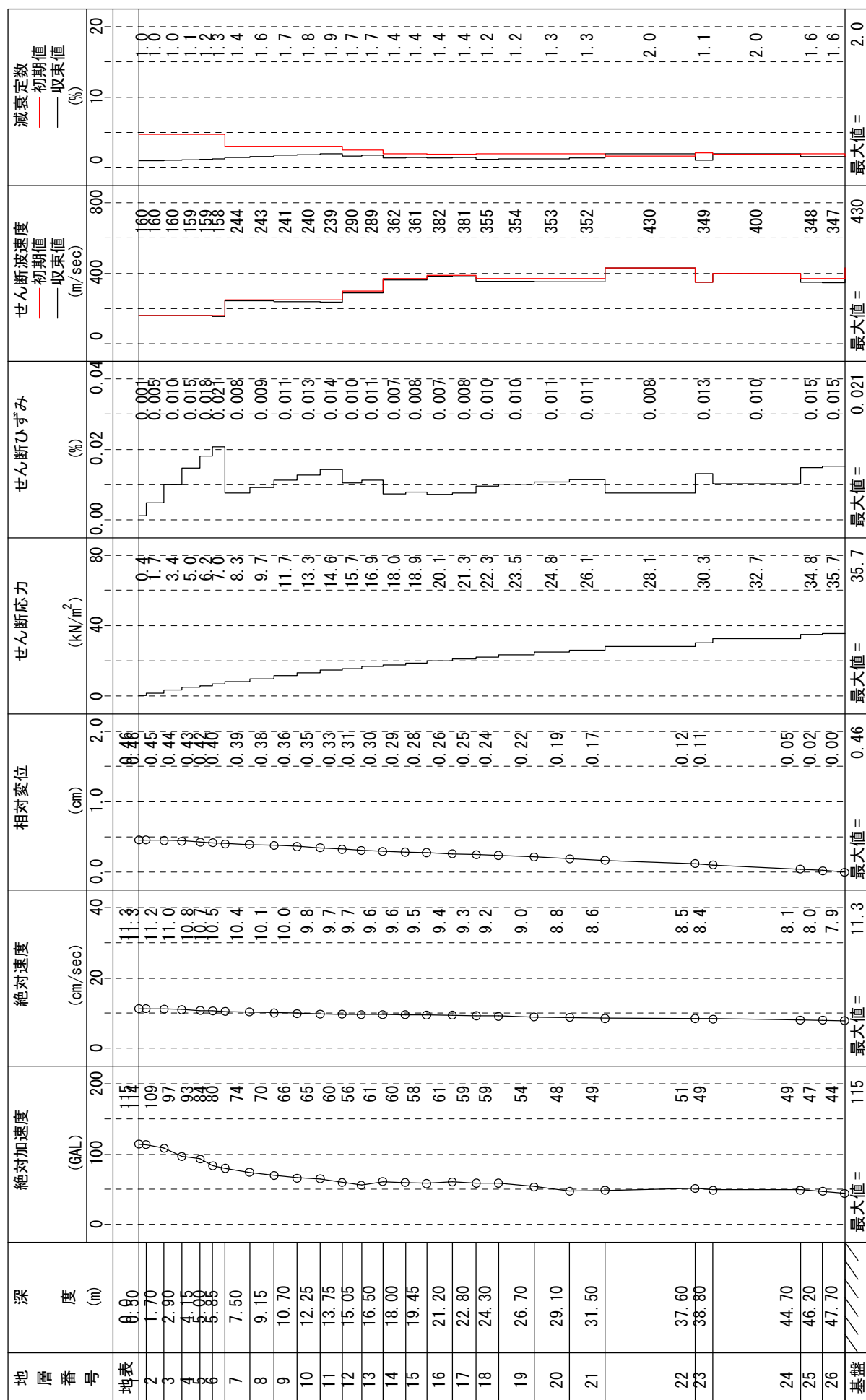
付図-1.1(8) 等価線形解析による最大応答値の深度分布図【告示「極めて稀に発生する地震動」，位相=Random】



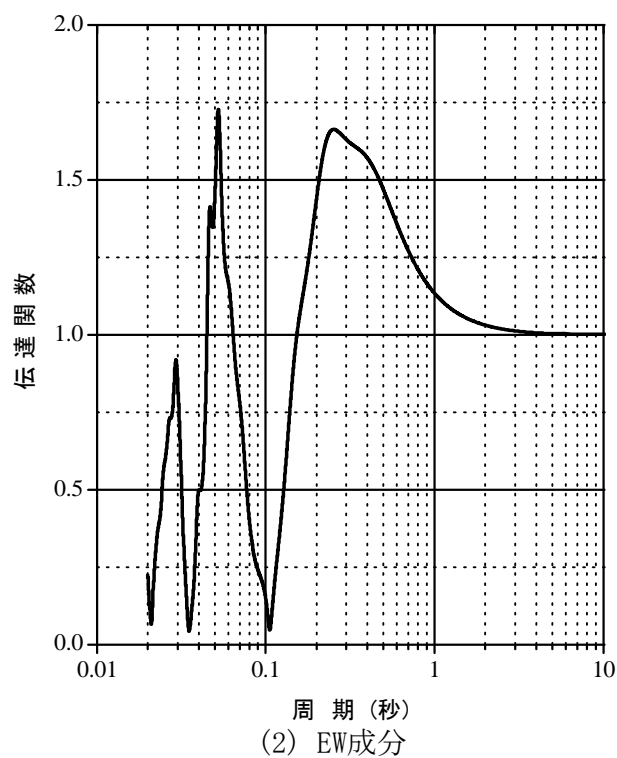
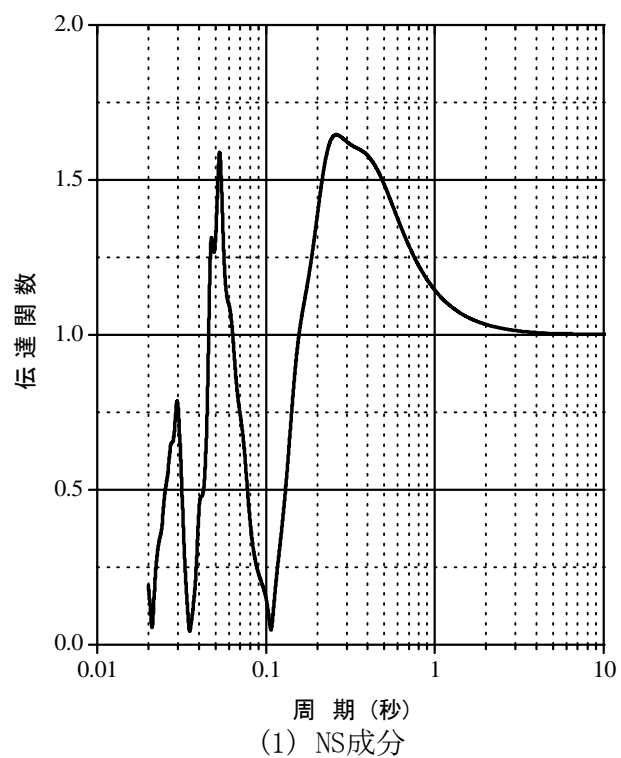
付図-1.1(9) 等価線形解析による最大応答値の深度分布図【告示「稀に発生する地震動」,位相=Hachinohe-NS】



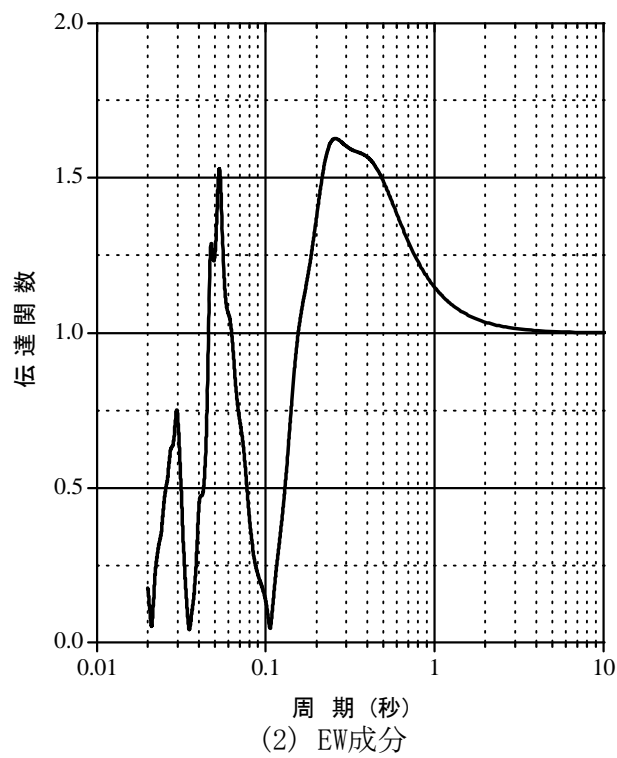
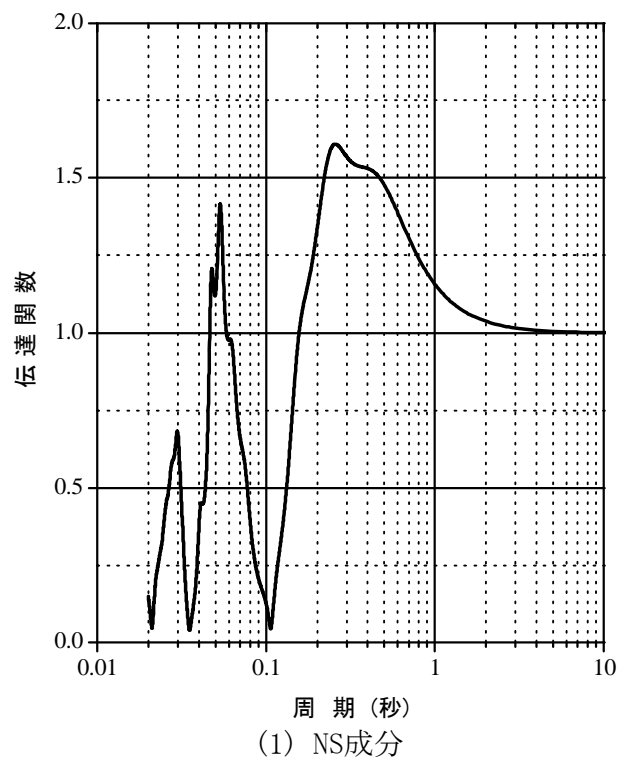
付図-1.1(10) 等価線形解析による最大応答値の深度分布図【告示「稀に発生する地震動」,位相=JMAKobe-NS】



付図-1.1(11) 等価線形解析による最大応答値の深度分布図【告示「稀に発生する地震動」，位相=Random】

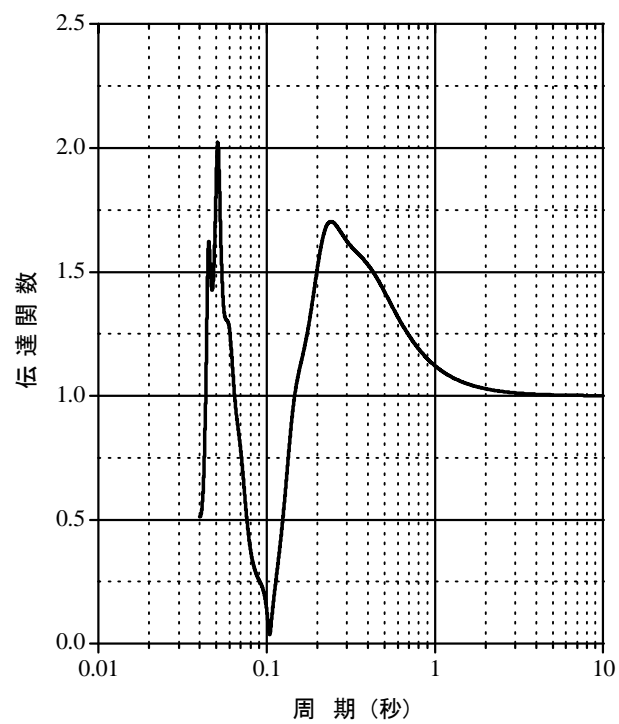


【元禄型関東地震】

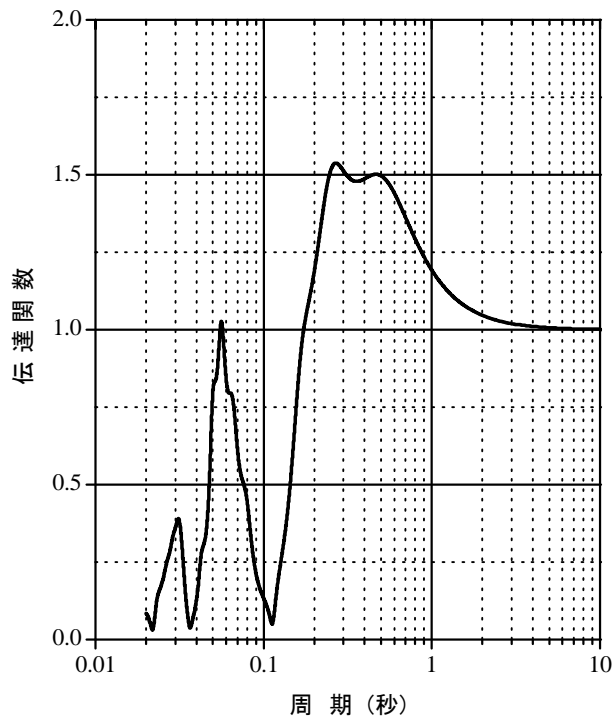


【東京湾北部地震】

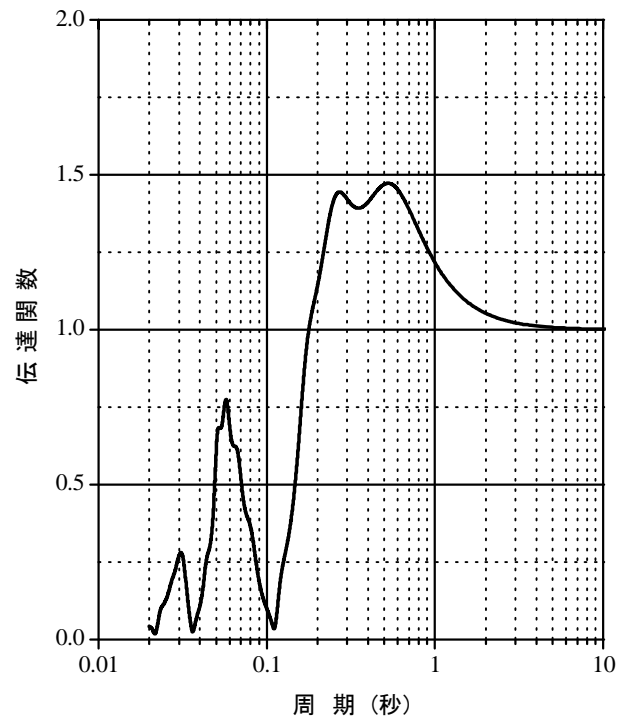
付図-1.2(1) 工学的基盤面から基礎床付け面 (GL-4.15m) の伝達関数 【サイト波】



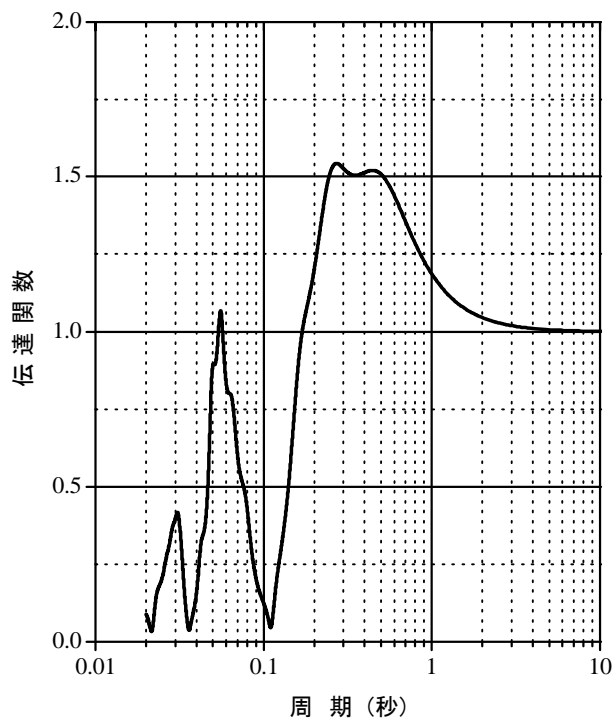
付図-1.2(2) 工学的基盤面から基礎床付け面 (GL-4.15m) の伝達関数
【長周期地震動「三連動地震」】



(1) 位相=Hachinohe-NS

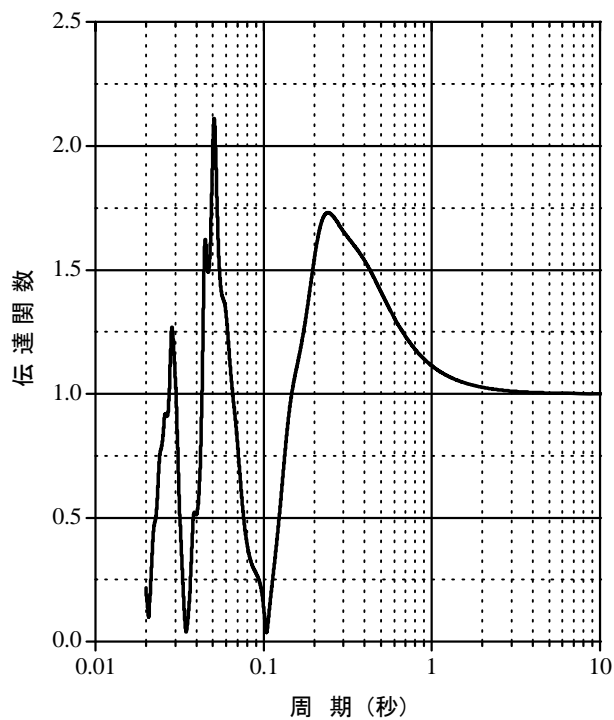


(2) 位相=JMAKobe-NS

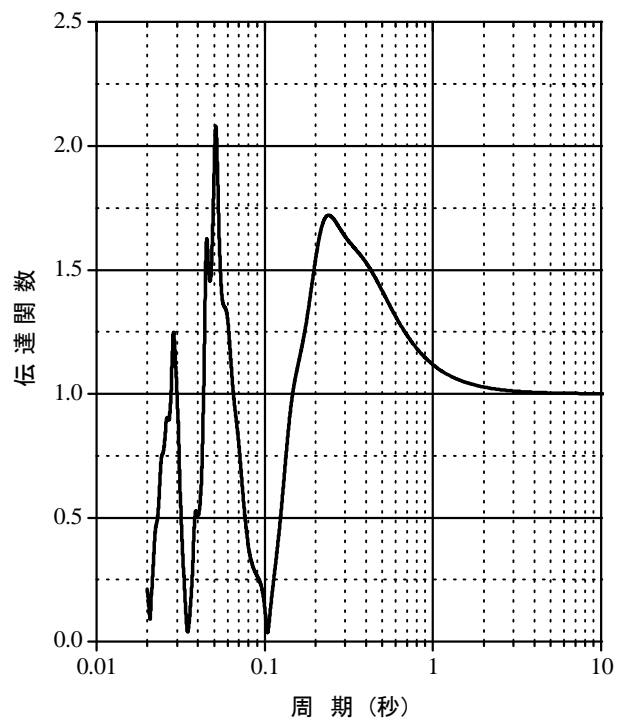


(3) 位相=Random

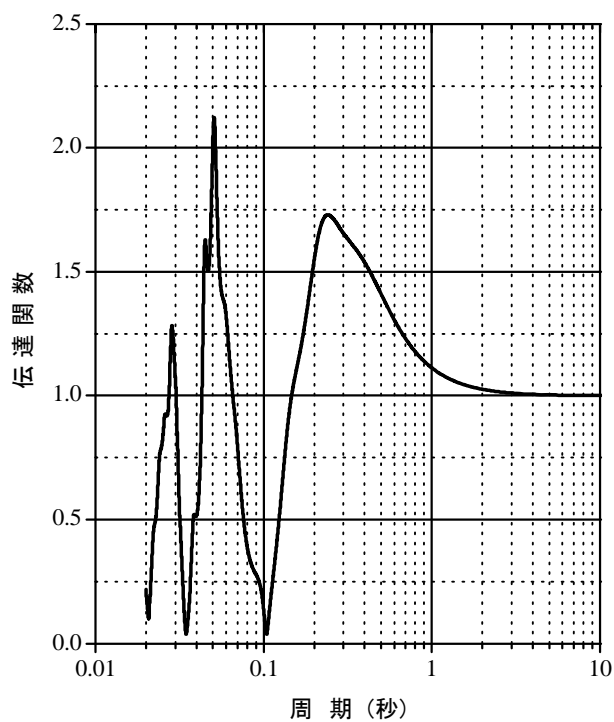
付図-1.2(3) 工学的基盤面から基礎床付け面 (GL-4.15m) の伝達関数
【告示「極めて稀に発生する地震動」】



(1) 位相=Hachinohe-NS

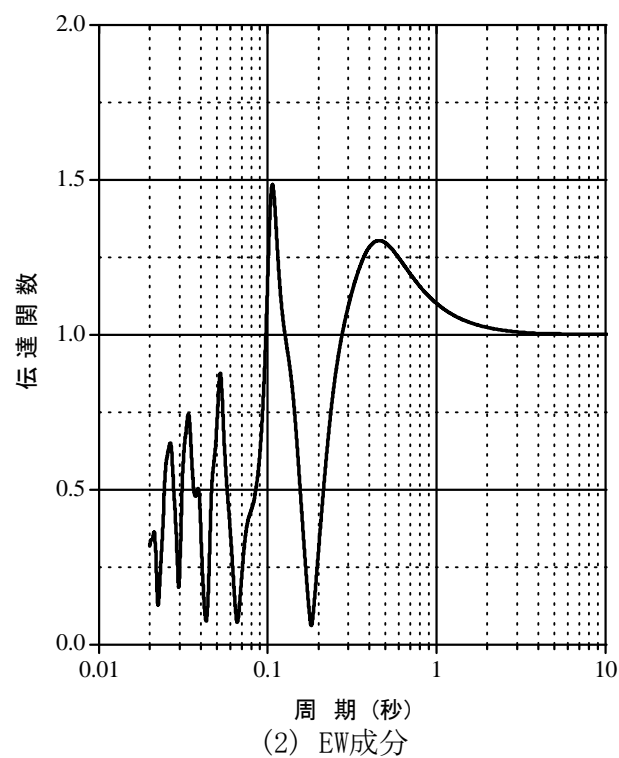
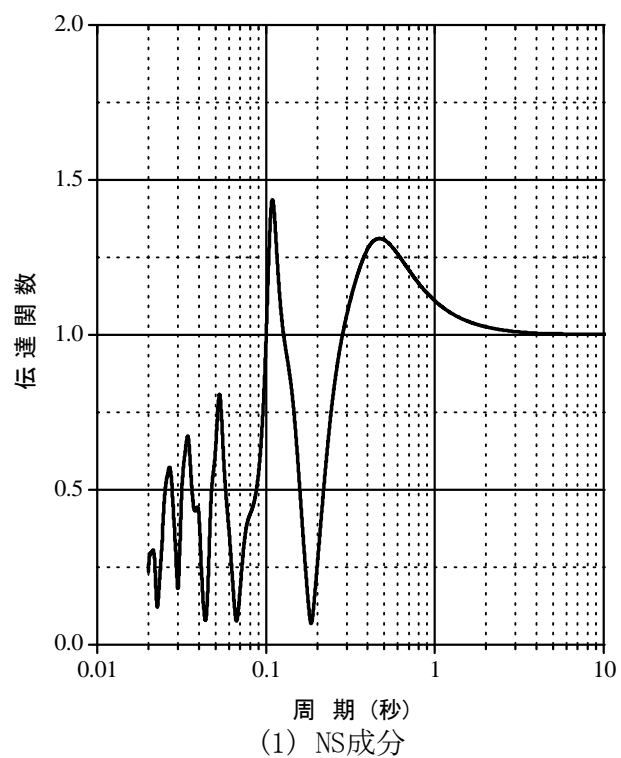


(2) 位相=JMAKobe-NS

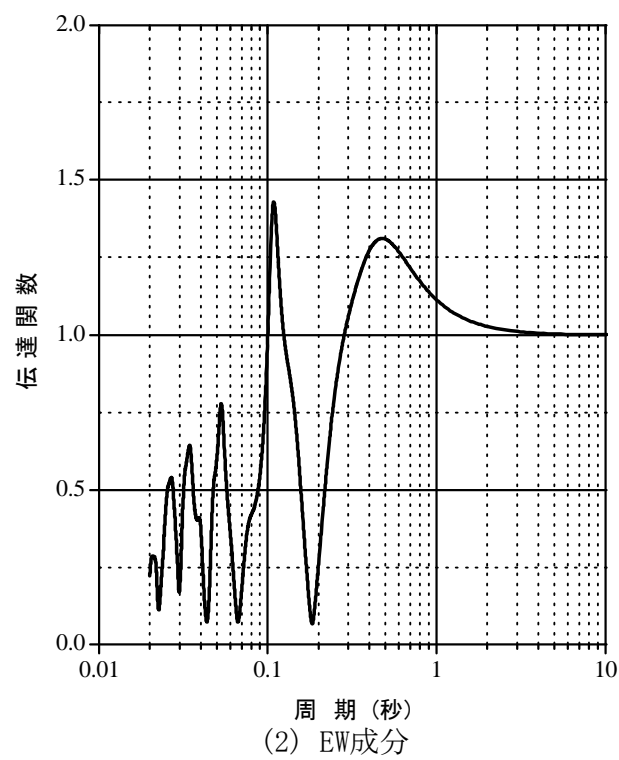
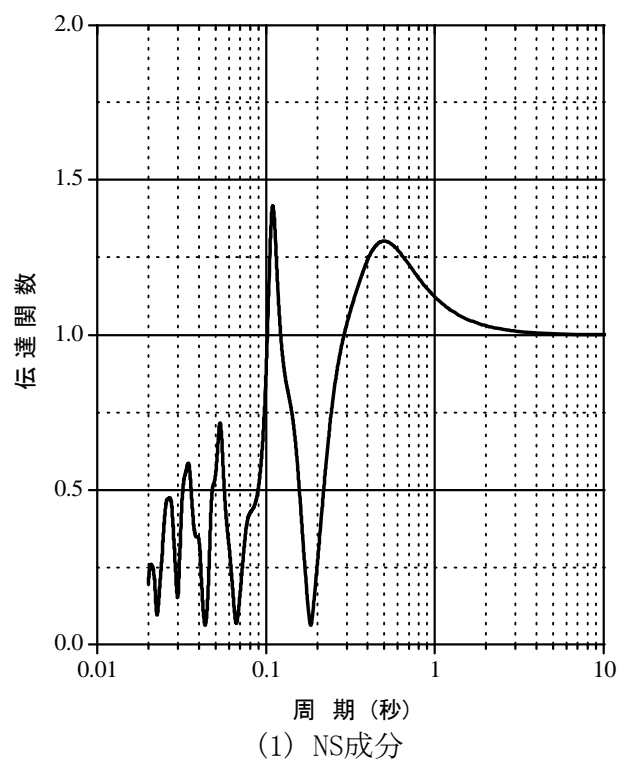


(3) 位相=Random

付図-1.2(4) 工学的基盤面から基礎床付け面 (GL-4.15m) の伝達関数
【告示「稀に発生する地震動」】

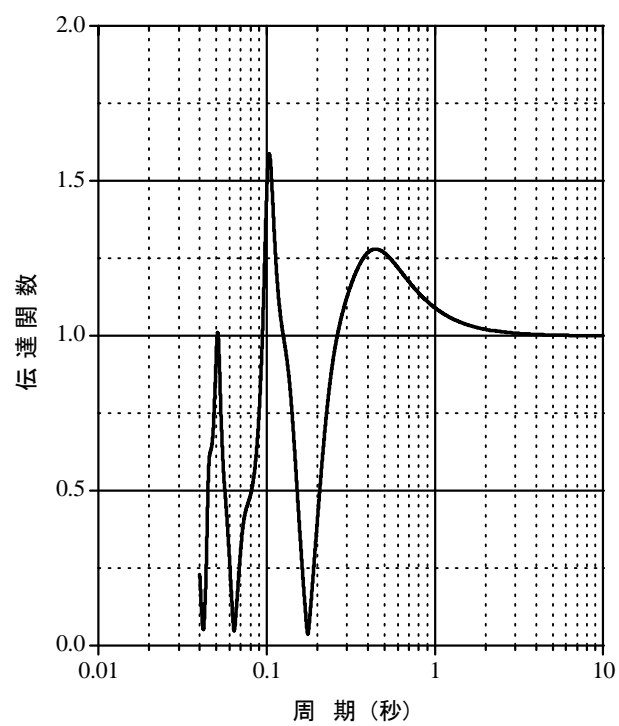


【元禄型関東地震】

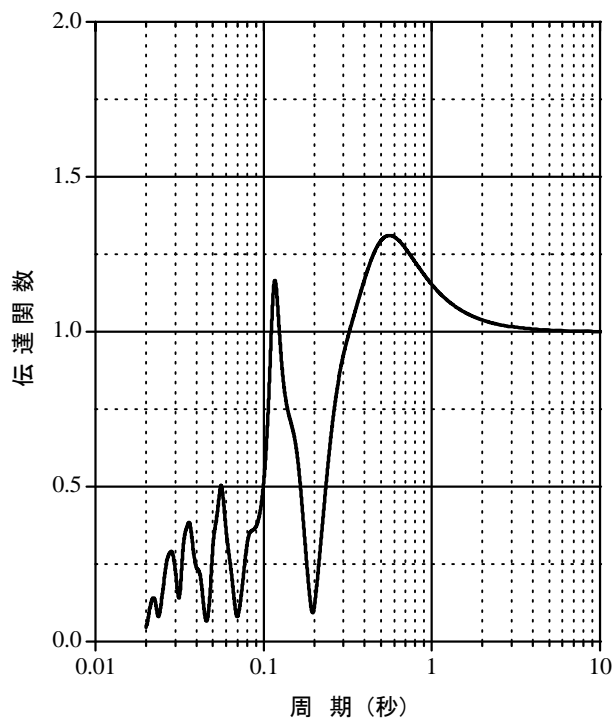


【東京湾北部地震】

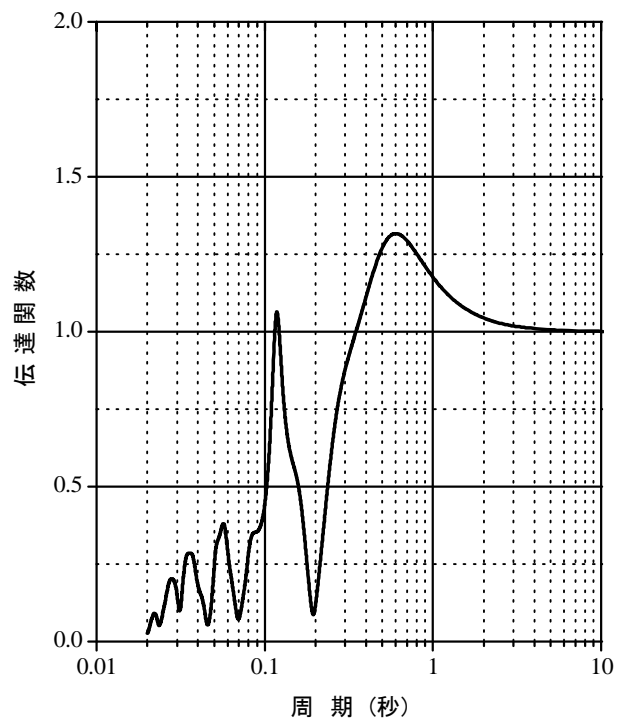
付図-1.2(5) 工学的基盤面から基礎床付け面 (GL-9.15m) の伝達関数 【サイト波】



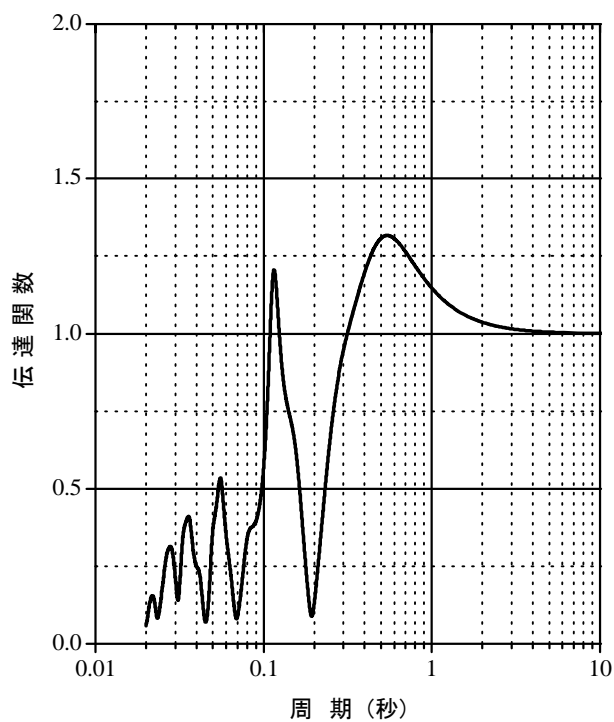
付図-1.2(6) 工学的基盤面から基礎床付け面 (GL-9.15m) の伝達関数
【長周期地震動「三連動地震」】



(1) 位相=Hachinohe-NS

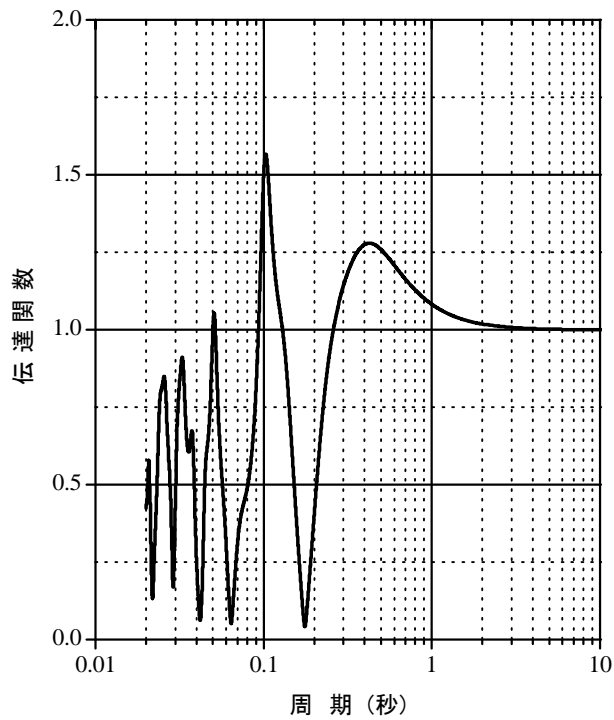


(2) 位相=JMAKobe-NS

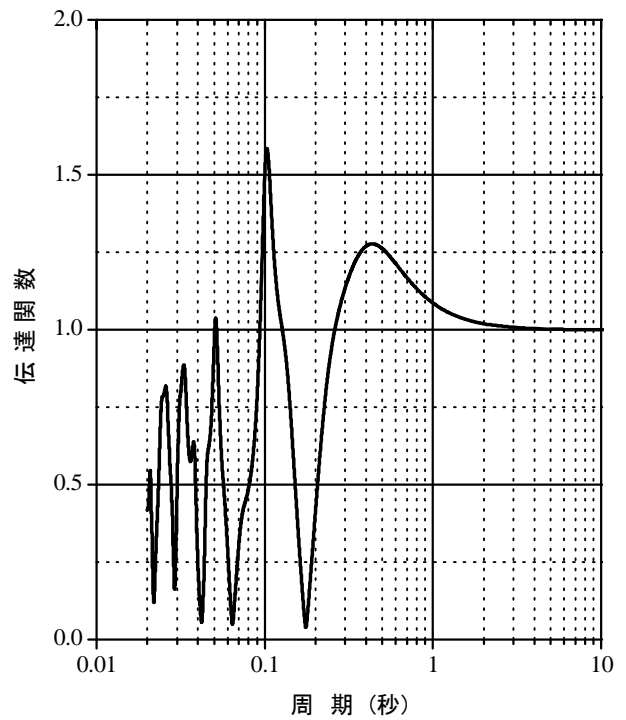


(3) 位相=Random

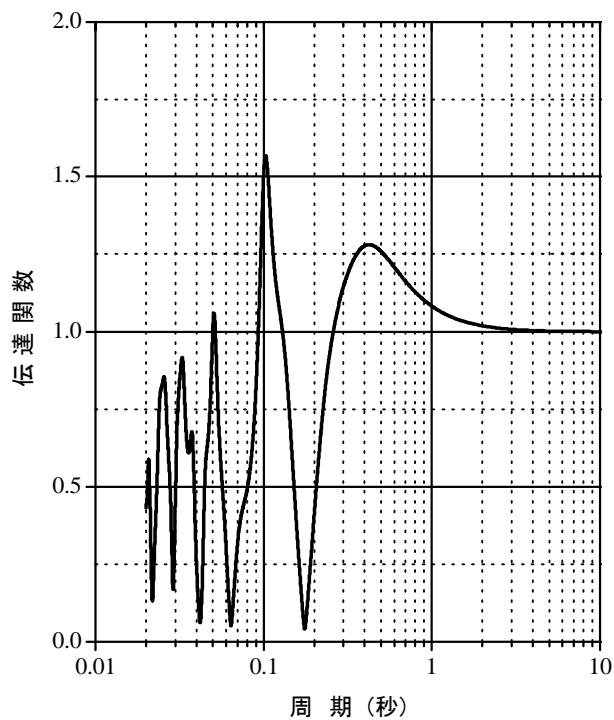
付図-1.2(7) 工学的基盤面から基礎床付け面 (GL-9.15m) の伝達関数
【告示「極めて稀に発生する地震動」】



(1) 位相=Hachinohe-NS



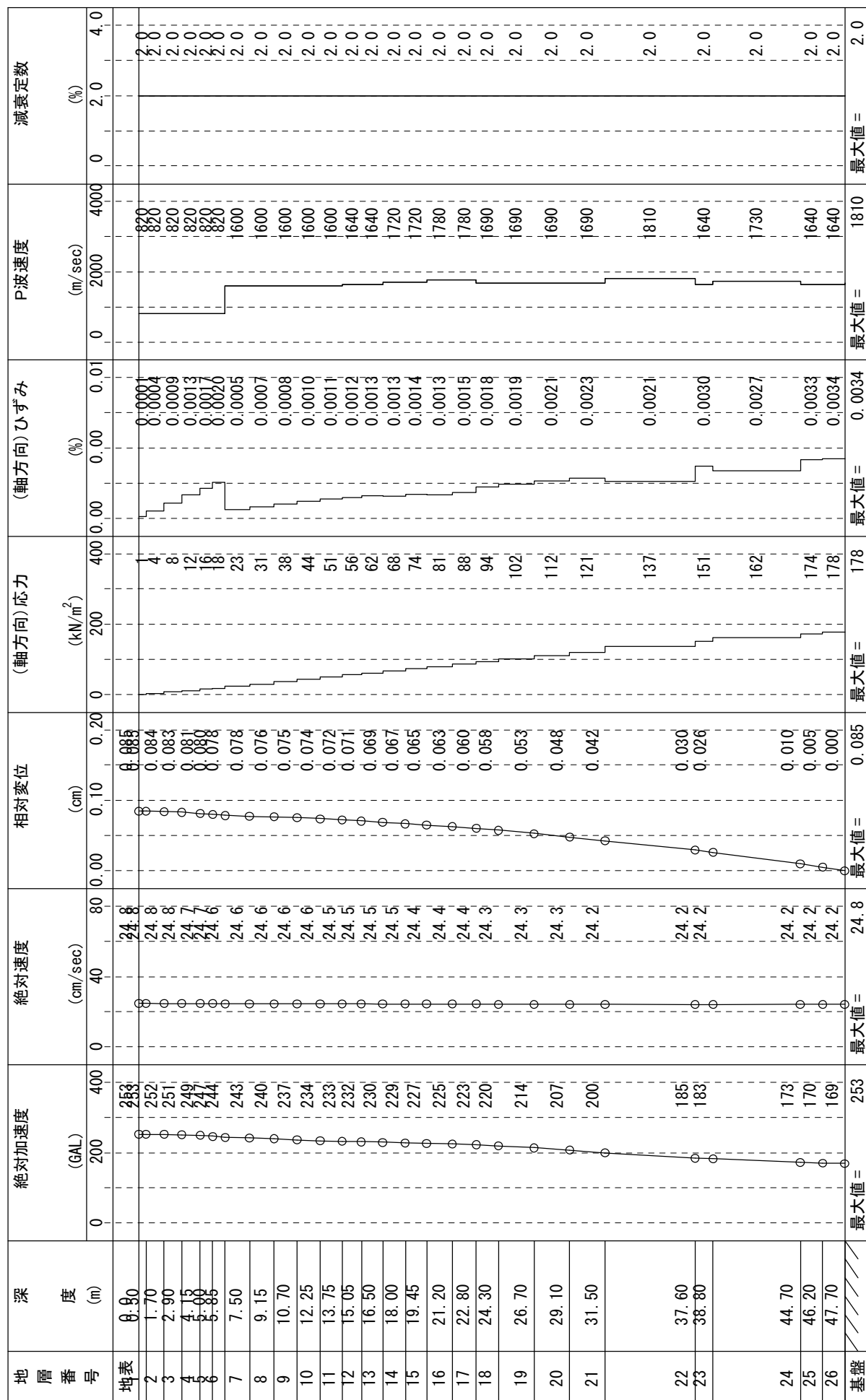
(2) 位相=JMAKobe-NS



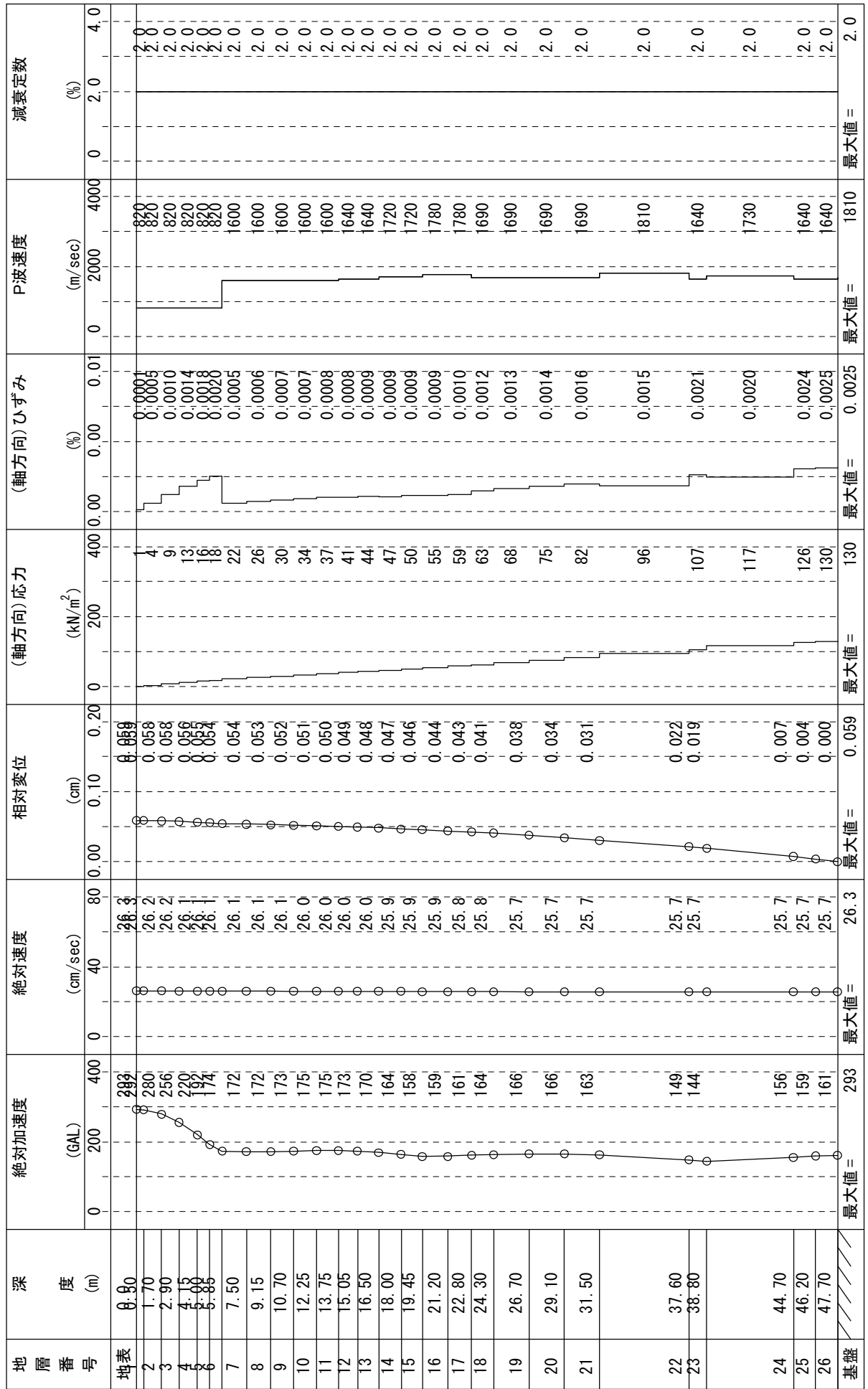
(3) 位相=Random

付図-1.2(8) 工学的基盤面から基礎床付け面(GL-9.15m)の伝達関数
【告示「稀に発生する地震動」】

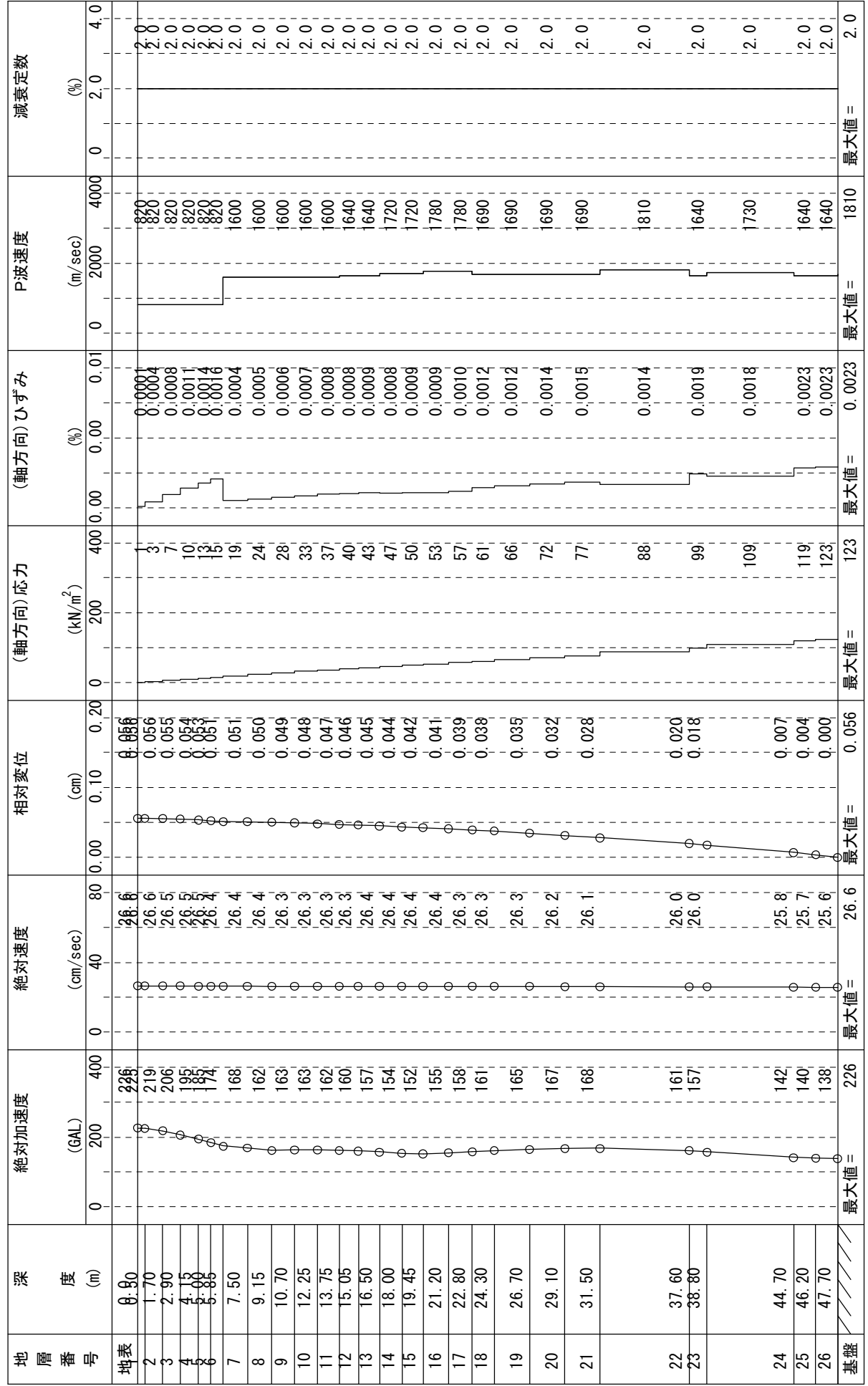
資料-2 線形解析による最大応答値の深度分布と伝達関数



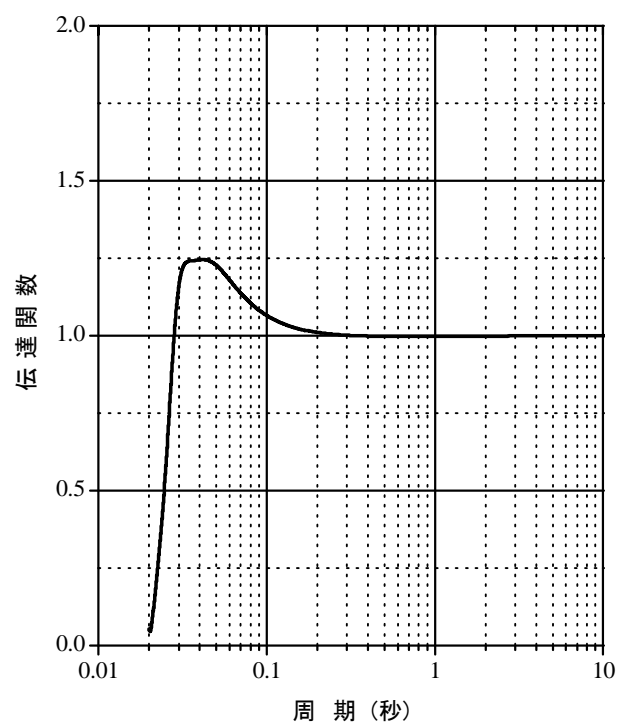
付図-2.1(1) 線形解析による最大応答値の深度分布【上下動(告示「極めて稀に発生する地震動」相当),位相=Hachinohe-UD】



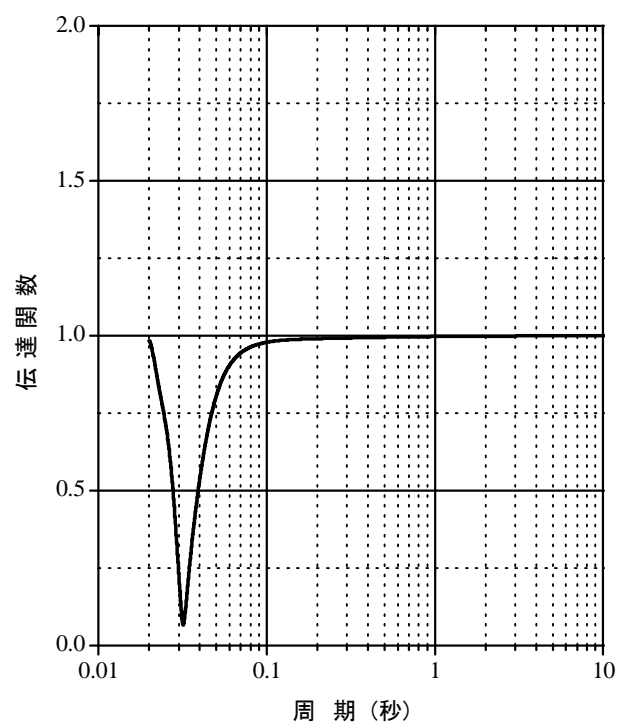
付図-2.1(2) 線形解析による最大応答値の深度分布【上下動(告示「極めて稀に発生する地震動」相当), 位相=JMAKobe-UD】



付図-2.1(3) 線形解析による最大応答値の深度分布【上下動(告示「極めて稀に発生する地震動」相当),位相=Random】



付図-2.2(1) 工学的基盤面から基礎床付け面 (GL-4.15m) の伝達関数
上下動 (告示「極めて稀に発生する地震動」相当)



付図-2.2(2) 工学的基盤面から基礎床付け面(GL-9.15m)の伝達関数
上下動（告示「極めて稀に発生する地震動」相当）