

199

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第3124号

土 木 研 究 所 資 料

不整形地盤の二次元地震応答解析

平成4年7月

建設省土木研究所
地震防災部振動研究室

「Copyright © (1992) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

不整形地盤の二次元地震応答解析

Two Dimensional Seismic Response Analysis of Irregularly Layered Media

振動研究室 室長 常田 賢一
主任研究員 田村 敬一
深田 秀実

要 旨 不整形地盤の二次元地震応答解析

地震被害が地盤条件もしくは地形条件の変化する不整形地盤に集中しやすいことは既往の震害事例から明らかである。不整形地盤の地震応答特性については種々の検討がなされてきたが、多数の地点について実測値と解析値を相互に比較検討した事例は必ずしも多くない。本研究では、高密度強震観測が実施されている沼津地区の地盤条件変化部および松崎地区の斜面部を対象として二次元地震応答解析を行い、解析結果の実測値との整合性並びに地盤の不整形性が地震動特性に及ぼす影響について検討した。本研究により地盤条件変化部および斜面部における地震動の最大加速度、最大変位、加速度応答スペクトルおよびスペクトル強度の変動特性について種々の知見が得られた。

キーワード：不整形地盤，地震応答解析，高密度強震観測，地震動，耐震設計

ま え が き

表層地盤並びに地形条件が地震動特性、ひいては地震被害の程度に大きな影響を及ぼすことは既往の震害事例から明らかである。中でも地盤条件もしくは地形条件の変化する不整形地盤に被害が集中しやすいことが報告されている¹⁾。不整形地盤における地震動特性については従来より種々の検討がなされているが²⁾、多数の地点について実測値と解析値を相互に比較・検討した事例は必ずしも多くはない。

このような観点から、本研究では、建設省土木研究所が高密度強震観測を実施している沼津地区の地盤条件変化部および松崎地区の斜面部を対象として二次元地震応答解析を行い、解析結果と実測値の整合性並びに地盤の不整形性が地震動特性に及ぼす影響について検討した。ここで、地震動特性としては、最大加速度、最大変位、加速度応答スペクトルおよびスペクトル強度を解析対象とした。

平成4年7月

建設省土木研究所地震防災部振動研究室

室 長 常田 賢一

主任研究員 田村 敬一

深田 秀実

目 次

まえがき	
1. 解析対象地区	1
1.1 沼津地区高密度強震観測場	1
1.2 松崎地区高密度強震観測場	1
2. 解析対象地震	3
3. 地震応答解析手法	5
4. 沼津地区地震応答解析	7
4.1 解析モデル	7
4.2 最大地震動の分布	7
4.3 加速度応答スペクトルおよびスペクトル強度	8
5. 松崎地区地震応答解析	16
5.1 解析モデル	16
5.2 最大地震動の分布	16
5.3 加速度応答スペクトルおよびスペクトル強度	17
6. 結 論	31
謝 辞	32
参 考 文 献	33
付 属 資 料	
1. 加速度波形の一覧	35
2. 変位波形の一覧	41
3. 加速度応答スペクトルの一覧	47

1. 解析対象地区

解析対象地区は、建設省土木研究所により高密度強震観測が実施されている沼津地区および松崎地区である。ここで沼津地区については地盤条件の変化部、また、松崎地区については斜面上の地震動特性に着目した。両地区の概要は以下のとおりである。

1.1 沼津地区高密度強震観測場³⁾

沼津地区高密度強震観測場は沼津市の西部に位置し、愛鷹山の山裾から浮島ヶ原の低地を横断し、千本松原の砂丘に至る一帯に展開されている。浮島ヶ原は海岸砂州の背後に閉じ込められた入海の跡であるとされており、近年に至るまで沼沢地が残存していた。浮島ヶ原の表層部は、一般に、厚さ10～15mの有機質土で覆われており、その下には砂礫、海成砂およびシルトの互層、さらにその下には海成砂層が厚く堆積している。このような地形条件および地盤条件を考慮して、強震計は、図1.1に示すように、愛鷹山の山裾から海岸砂丘に至るNo5, No14, No13, No3, No10, No2, No6およびNo1地点とこれに直交するNo7, No8, No2およびNo9地点を中心とし、さらにNo11およびNo12地点を加えた合計14箇所に配置した。このうち、No14地点では愛鷹山の岩盤線に連なると考えられる地表面下11mの砂礫層中に地中地震計を設置した。またNo3地点では地表の他に地表面下10mおよび32mの2箇所に、No10地点およびNo11地点では地表の他に地表面下32mに地中地震計を配している。なお、No1～No5地点は、高密度強震観測のパイロットステーションとして昭和55年度より観測を実施してきた観測点であり、沼津地区はこの5地点に9地点を増設したものである。本地区では昭和59年3月より観測を開始した。

1.2 松崎地区高密度強震観測場⁴⁾

松崎地区高密度強震観測場は、静岡県賀茂郡松崎町南部の牛原山の山腹から松崎町の中心部に至る地域に展開されている。松崎は、伊豆半島西海岸沿いの地域の中では数少ない平地の開けた地域の一つであり、那賀川沿いに東西約3km、南北約1kmの広がりを持つ沖積平野が発達している。また、沖積平野の周囲には標高200m前後の山地が急迫している。駿河湾沿岸の他の3地区（相良、焼津、沼津地区）では、地盤条件の変化部もしくは軟弱地盤地帯における高密度強震観測を目的としているのに対して、松崎地区では地形条件の変化部における観測を主たる目的としているところに特徴がある。すなわち、本地区では、図1.2に示すように、松崎町南部の牛原山の山腹から松崎町中心部に至る地形条件の変化する方向の測線（No1～No10地点）を中心とし、これにNo11地点を加えた合計11箇所に強震計を配置した。このうち、No5およびNo6地点では、地表の他に、牛原山の岩盤線に連なると考えられる、それぞれ、地表面下5mおよび40mの岩盤中に地中地震計を設置した。また、No8およびNo9地点においても、地表の他に、それぞれ、地表面下52mおよび38mに地中地震計を配した。本地区では昭和60年3月より観測を開始した。

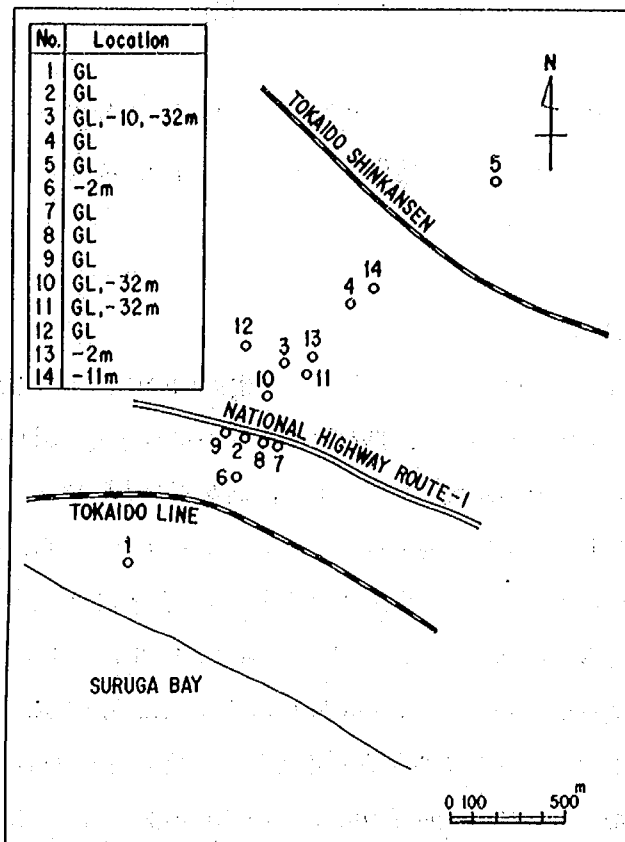


図1.1 沼津地区高密度強震観測場の配置

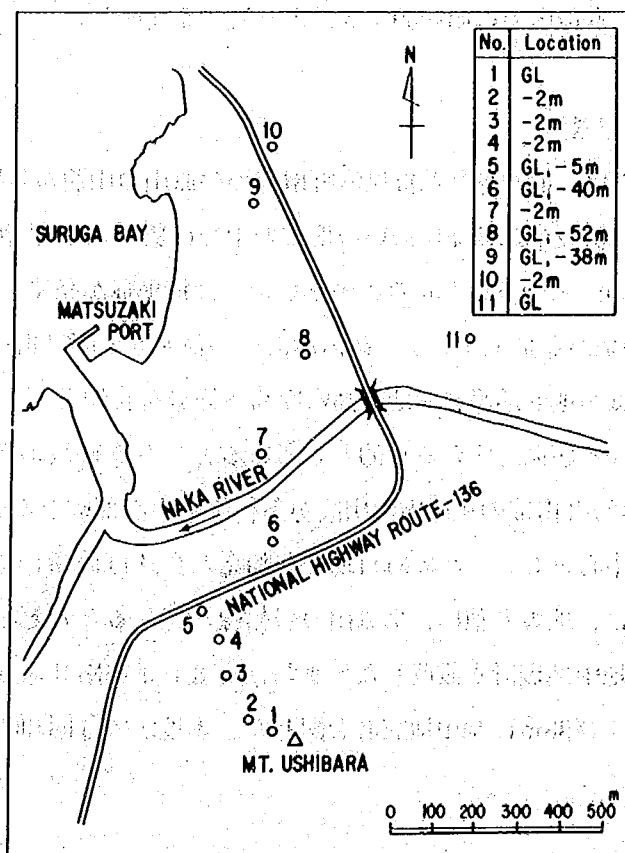


図1.2 松崎地区高密度強震観測場の配置

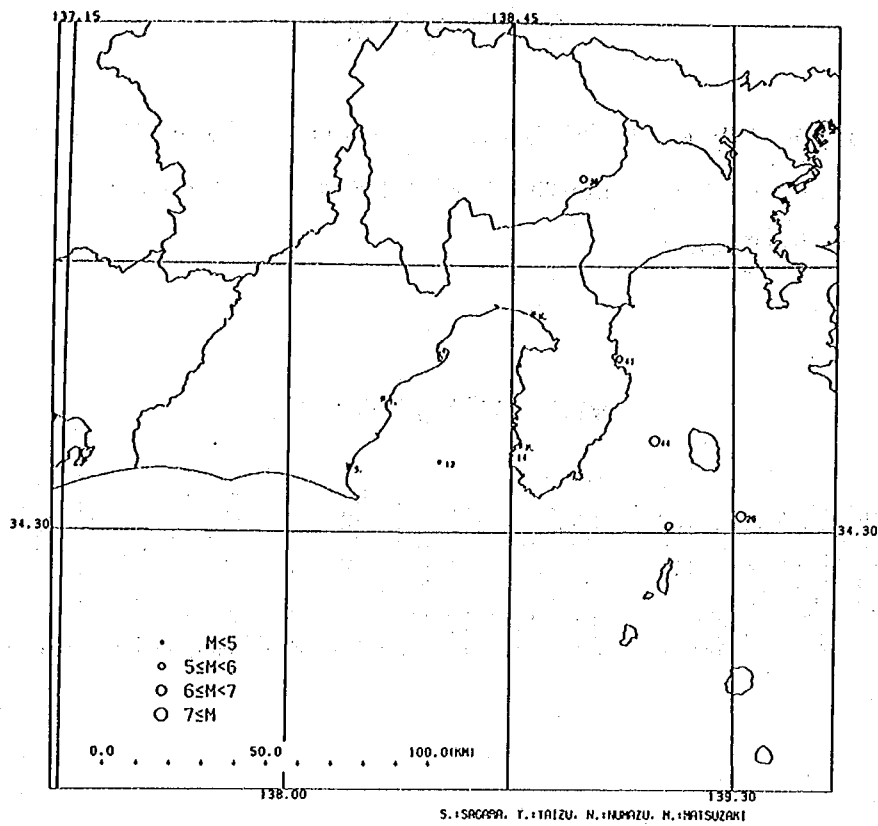
2. 解析対象地震

地震応答解析の対象とした地震は、沼津地区についてはEQ-27, EQ-29, EQ-36およびEQ-41の4地震, 松崎地区についてはEQ-12, EQ-14, EQ-20およびEQ-44の4地震である。表2.1および図2.1に, これらの地震の諸元および震央位置を示す。

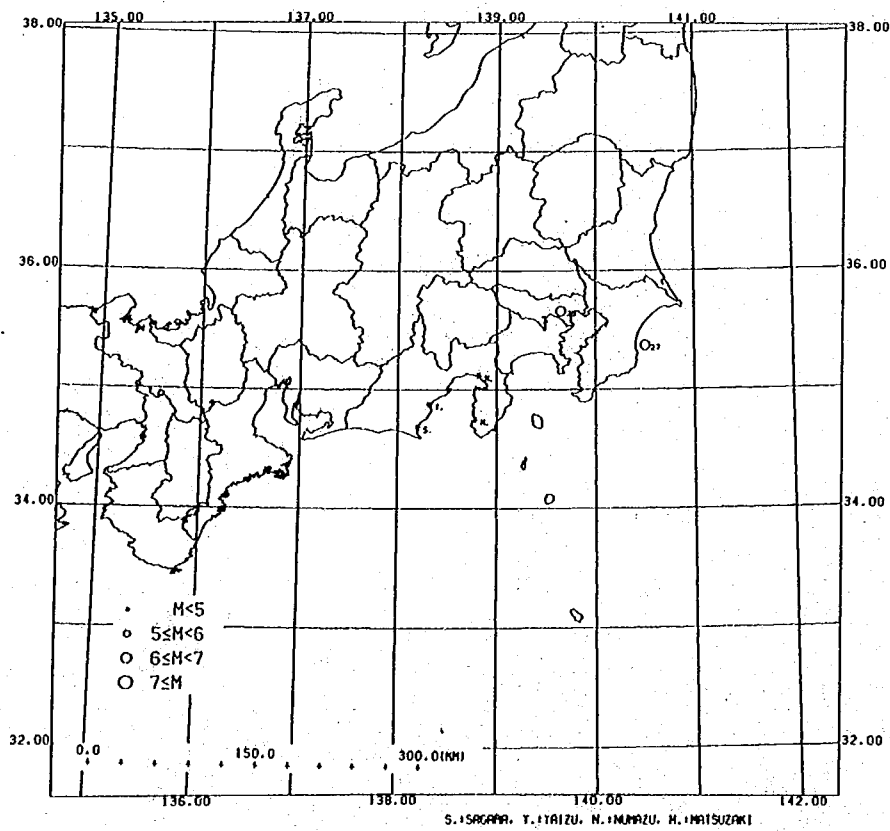
表2.1 解析対象地震の諸元

NO.	DATE TIME	REGION	EPICENTER			JMA MAG.	EPICENTRAL DISTANCE (KM)			
			LONG.	LAT.	DEPTH (KM)		SAGAMI	TAIZU	IZUMIZU	HATSUZAKI
12	1985.09.13 07:58:11	SOUTHERN SURUGA BAY REG	138° 30' 30"	34° 41' 54"	28	3.9	28	26	55	26
14	1985.10.18 03:58:17	SOUTHERN IZU PENINSULA	138° 45' 0"	34° 43' 6"	18	3.4	50	43	45	5
20	1986.11.22 09:41:45	NEPA IZU-OSHIMA ISLAND	139° 31' 30"	34° 32' 48"	15	6.0	122	116	90	72
27	1987.12.17 11:08:17	KUJAKUJI COAST OISO PEN	140° 29' 48"	35° 22' 18"	58	6.7	223	206	155	171
29	1988.03.18 05:34:29	TOKYO PREF	139° 38' 48"	35° 39' 42"	96	6.0	171	149	96	129
36	1988.09.05 00:49:22	EASTERN YAMANASHI PREF	138° 59' 12"	35° 29' 48"	30	5.6	115	92	45	86
41	1989.07.09 11:09:12	E OFF IZU PENINSULA	139° 6' 42"	34° 59' 30"	3	5.5	90	74	30	41
44	1990.02.20 15:53:40	NEPA IZU-OSHIMA ISLAND	139° 14' 0"	34° 45' 36"	6	6.5	95	85	55	41

NOTE: LOCATION OF EACH SITE ARE AS FOLLOWS. SAGAMI: 138° 12.1'E, 34° 41.0'N TAIZU: 138° 19.0'E, 34° 52.5'N IZUMIZU: 138° 49.2'E, 35° 7.0'N HATSUZAKI: 138° 46.0'E, 34° 44.0'N



(a) EQ-12, EQ-14, EQ-20, EQ-36, EQ-41, EQ-44

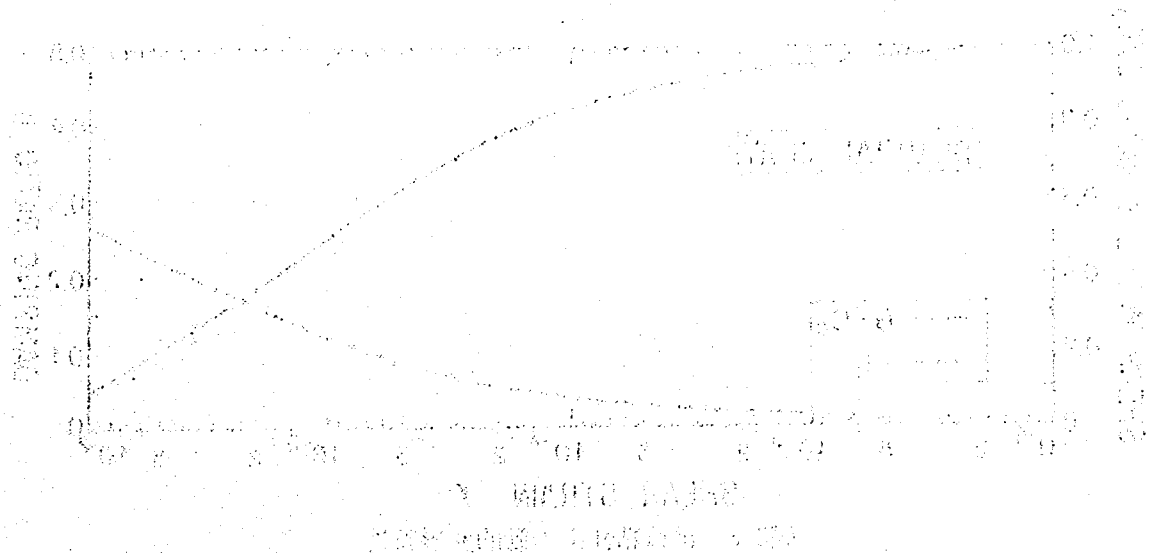


(b) EQ-27, EQ-29

図2.1 解析対象地震の震央位置

3. 地震応答解析手法

地震応答解析には、二次元の有限要素法地震応答解析プログラムFLUSH^{5),6)}を用いた、地盤の非線形性は等価線形化手法により考慮し、土の動的変形特性は、砂質土については参考文献7)、沖積粘性土については8)、洪積粘性土については9)によるものとした。図3.1～図3.3に動的変形曲線の例を示す。



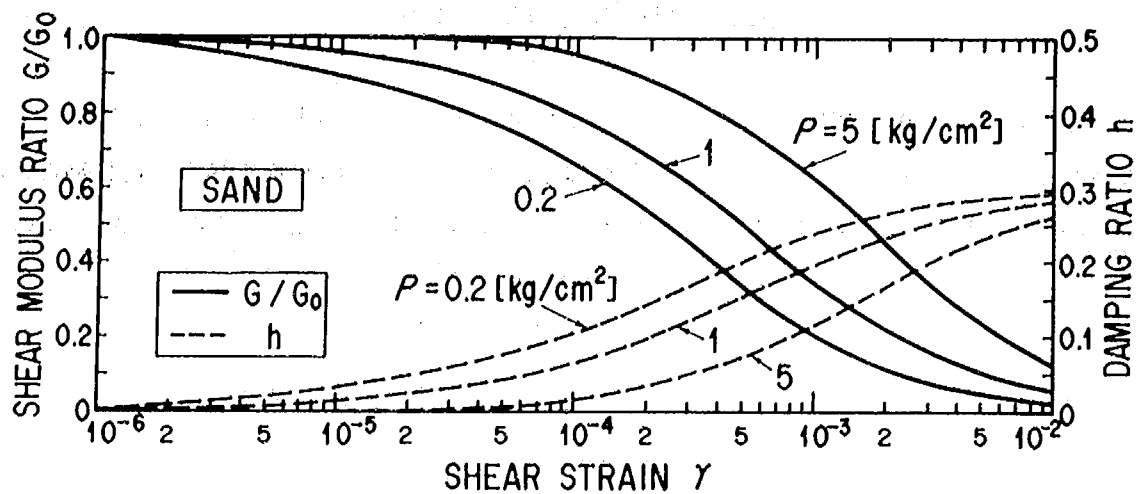


図3.1 砂質土の動的変形特性

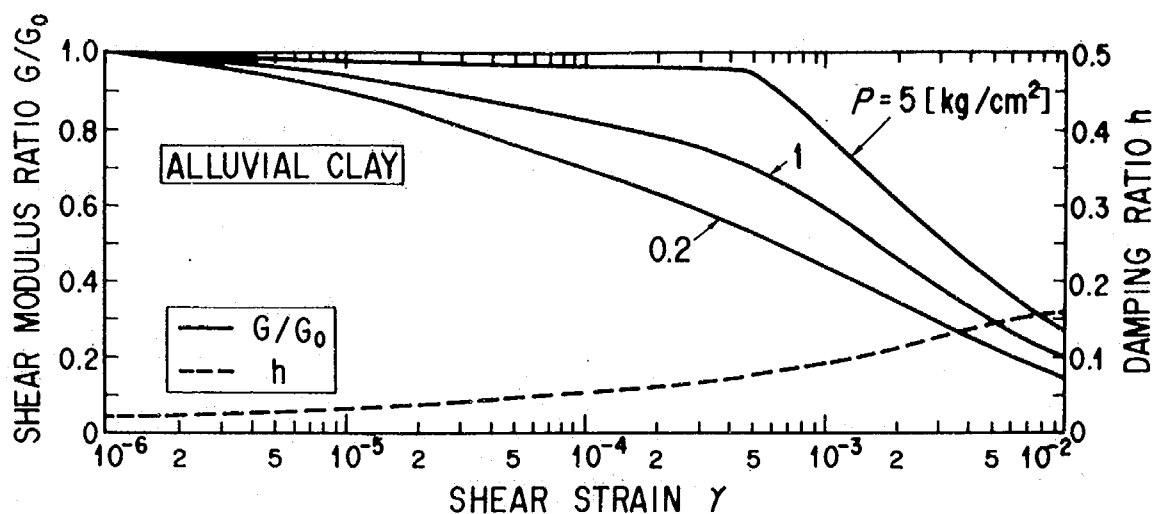


図3.2 沖積粘性土の動的変形特性

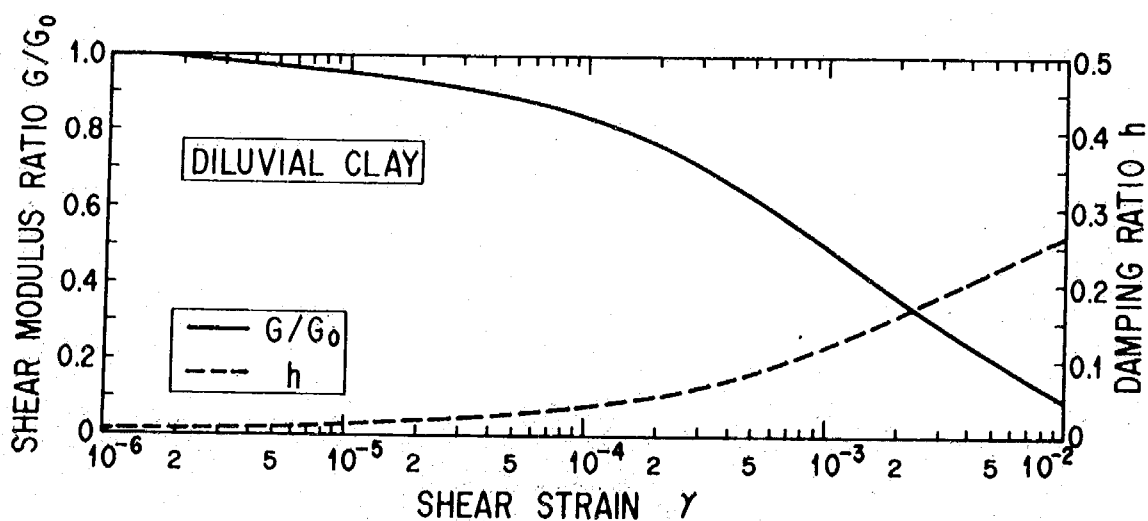


図3.3 洪積粘性土の動的変形特性

4. 沼津地区地震応答解析

4.1 解析モデル

地震応答解析で対象とした範囲は、図1.1に示した概ねNo.6地点からNo.4地点に至る浮島ヶ原の軟弱層の層厚変化部分を含む区間である。当該区間周辺ではNo.6地点からNo.4地点を含む海岸線に直交する方向に地盤条件が変化し、一方、海岸線方向にはNo.6-No.4地点間の距離に比べて十分長い範囲にわたって地盤条件は一様とみなせる。したがって、本解析で対象とした範囲を二次元モデルでモデル化することは妥当であると考えられる。図4.1に解析対象区間の推定土質断面図を、また、図4.2に地震応答解析用にモデル化した断面図を示す。これらの図中の土層番号は、表4.1に示す土質区分と対応する。各土層の土質定数は既往のボーリング資料³⁾をもとに設定した。地盤のモデル化には長方形要素を用い、水平方向には各要素の長さを20mに固定し、60分割とした。また、鉛直方向には図4.2に示すように要素の寸法を2.5mから10mまで変化させ、7分割とした。したがって、要素数の合計は $60 \times 7 = 420$ 要素である。また、節点数は488である。解析モデルの境界条件は、底面については固定とし、左右側面については上下動を拘束した。また、表4.2に各観測点の座標および直近の節点の番号を示す。

地震応答解析の入力地震動としてはNo.11地点の地表面下32mの砂礫層中で観測された地中地震記録を用い、図4.2の解析モデル底面に作用させた。ただし、EQ-27についてはNo.3地点の地表面下32mの地中地震記録を使用した。また、解析対象断面が概ね南北方向に延伸していることを考慮して地震動の南北方向成分を解析対象とし、入力地震動としては観測記録の主要動部分のみを用いることとした。図4.3に入力地震動波形を示す。

4.2 最大地震動の分布

地震応答解析結果の一例として、地震動レベルの最も高いEQ-29の場合について観測された加速度波形と観測点直近の節点における計算波形との比較を図4.4に示す。同様に変位波形の比較例を図4.5に示す。ここで、観測および計算のいずれについても、変位波形は振動数領域で加速度波形にバンドパスフィルターをかけ、数値積分することにより算出した^{10), 11)}。記録の継続時間が短いことを考慮して、長周期側の遮断周期は5秒とした¹²⁾。なお、全解析対象地震に対する実測波形と計算波形の比較を付属資料1および2に示す。図4.4よりNo.4地点、No.10地点およびNo.11地点については計算加速度波形は実測波形の特徴を比較的よく再現しているのに対して、No.6地点およびNo.8地点については両者の一致の度合いが低いことがわかる。変位波形の場合には、全般に計算波形は実測波形の特徴をよく捉えている。ただし、最大振幅に注目すると計算値は実測値を下回っている。

図4.6は地表面上の各節点における最大加速度と実測の最大加速度の比較を示したものである。地震応答解析から求められた最大加速度の分布は、概ね実測最大加速度と対応しているが、個々の観測点で比較すると解析値と実測値が離隔している場合もある。両者が離隔している場合には解析値が実測値を下回る場合が多く認められる。また、図4.6の結果によれば、地盤条件と最大加速度の分布には明確な関係は見出し難い。なお、EQ-41の場合に $x=200 \sim 400$ mの軟弱層の厚い区間で隣接部に比較して最大加速度が若

干低くなっているが、これは図4.3に示したようにEQ-41は短周期成分が卓越する記録であり周期の長い軟弱層部での増幅が小さかったことによるものと考えられる。

図4.6と同様に、応答解析結果から求めた最大変位の分布と観測加速度から求めた最大変位との比較を図4.7に示す。最大変位の分布は最大加速度の分布に比較して局所的な変動が小さい。解析値と実測値を比較すると、解析値が実測値よりも小さい場合が多い。またEQ-29およびEQ-36の場合に顕著のように、最大変位は軟弱層の厚い $x=200\sim 400\text{m}$ の区間で大きくなる傾向が認められる。

4.3 加速度応答スペクトルおよびスペクトル強度

図4.8に地盤条件が種々異なる地点（地表面上）における加速度応答スペクトルの例として、 $x=120\text{m}$ （No.4地点直近）、 $x=280\text{m}$ 、 $x=440\text{m}$ （No.13地点直近）、 $x=700\text{m}$ （No.10地点）および $x=1100\text{m}$ （No.6地点）における加速度応答スペクトルを示す。ここで、減衰定数は0.05とした。図4.8よりいずれの地震についても $x=120\text{m}$ における加速度応答スペクトルは短周期領域でピークを示し、固有周期が長くなるのにしたがって低下していることがわかる。これは同地点が岩までの軟弱層厚が薄い場所に位置していることによるものと考えられる。一方、軟弱層の最も厚い $x=280\text{m}$ における加速度応答スペクトルは固有周期0.7~0.85秒付近においてピークを有するのが特徴的である。なお、付属資料3に観測記録および解析結果から求めた加速度応答スペクトルの比較を示す。

地震動の特性を表す指標としては最大加速度、加速度応答スペクトル等の他にスペクトル強度が用いられる^{13), 14)}。スペクトル強度の概念はHousner¹⁵⁾によって提案されたものであり、減衰定数0.2の速度応答スペクトルにおける固有周期0.1秒から2.5秒までの範囲の平均振幅として定義される。物理的には、スペクトル強度は地震動の有するエネルギーを示す指標である¹⁶⁾。図4.9に地震応答解析結果から求めたスペクトル強度の分布を示す。図中には実測記録から算出したスペクトル強度も合わせて示している。スペクトル強度の分布は、いずれの地震についても、図4.7に示した最大変位の分布と類似している。EQ-29およびEQ-36の場合にはスペクトル強度は軟弱層の厚い $x=200\sim 400\text{m}$ の範囲でピークを示す。特に、この傾向はEQ-29の場合に顕著である。

表4.1 沼津地区地震応答解析で設定した土質定数

土質番号	土質名	ポアソン比	単位体積重量 [g/cm ³]	せん断波速度 [m/s]	せん断弾性係数 [kg/cm ²]
①	角礫凝灰岩 ^(注)	0.40	2.30	500	5867
②	砂礫(洪積)	0.45	2.10	435	4055
③	ローム	0.49	1.75	140	350
④	腐植土	0.49	1.70	100	173
⑤	砂礫(沖積)	0.49	2.00	200	816
⑥	粘性土(沖積)	0.49	1.80	190	663
⑦	砂礫(沖積)	0.49	2.00	250	1276
⑧	砂質土	0.49	1.95	335	2233
⑨	砂礫	0.45	2.10	435	4055

注) 動的変形特性のひずみ依存性は考慮せず、減衰定数は0.02一定とした。

表4.2 強震観測点および直近の節点

強震観測点		解析モデル	
番号	座標[m]	節点番号	座標[m]
4	127	43	120
6	1096	386	1100
8	895	316	900
10	707	246	700
11	515	183	520
13	432	155	440

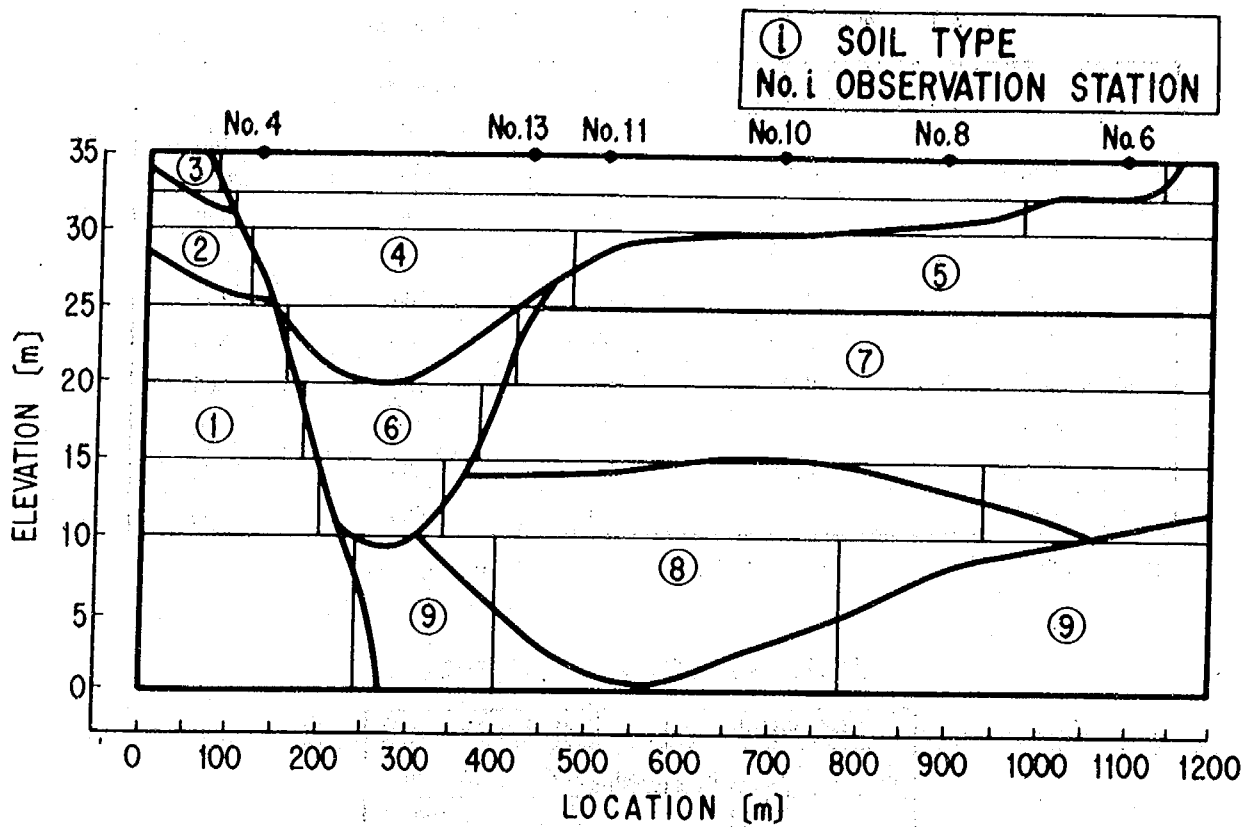


図4.1 沼津地区土質断面図

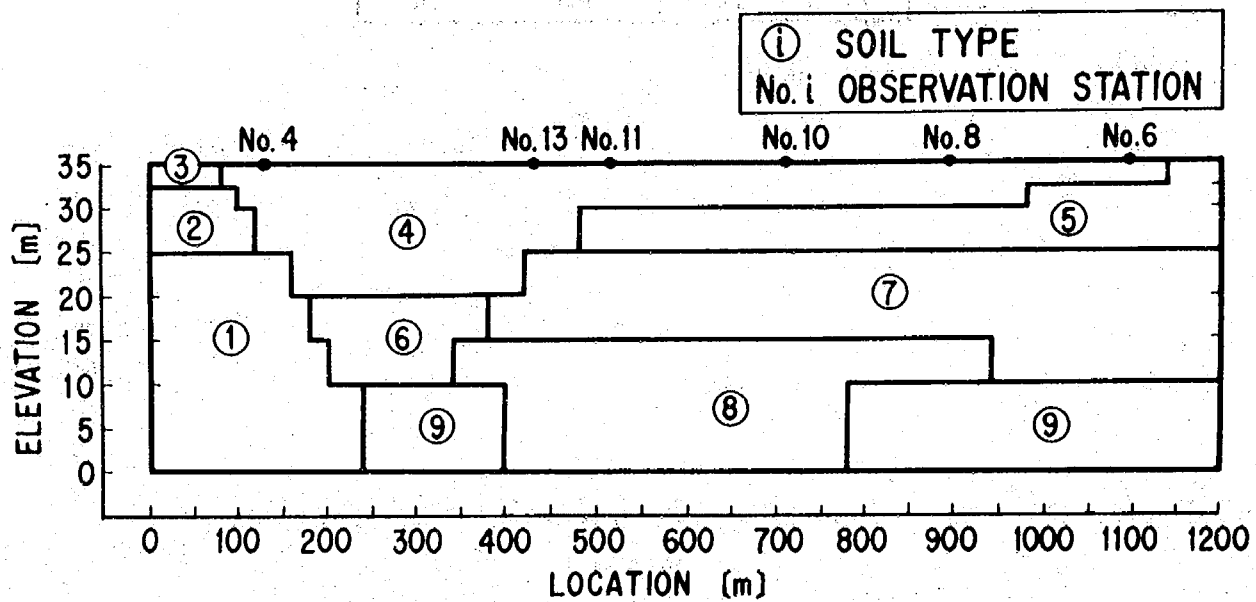
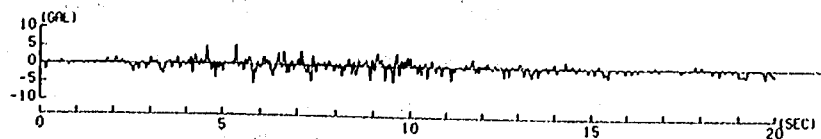


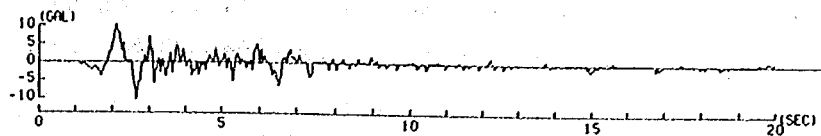
図4.2 沼津地区二次元地震応答解析モデル

INDEX NO. 40
55121711 855 N-S
APPANCDACC.
MAX. = 5.2(GAL)
E.O. NO. 871217



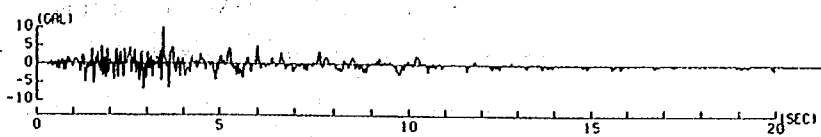
(a) EQ-27

INDEX NO. 97
58 318 53446 N-S
APPANCDACC.
MAX. = 10.7(GAL)
E.O. NO. 880318



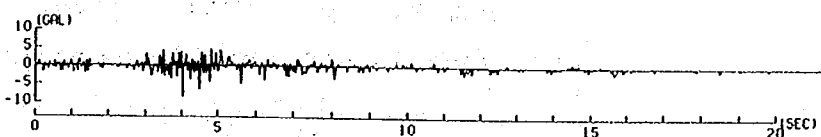
(b) EQ-29

INDEX NO. 133
58 9 5 01937 N-S
APPANCDACC.
MAX. = 10.1(GAL)
E.O. NO. 880305



(c) EQ-36

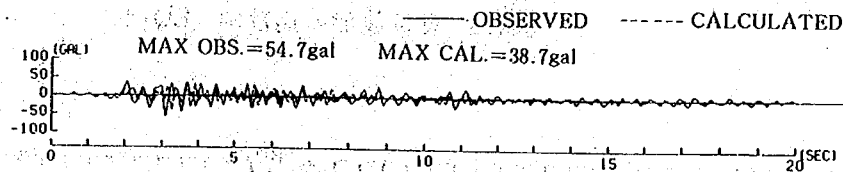
INDEX NO. 163
58 7 911 919 N-S
APPANCDACC.
MAX. = 8.5(GAL)
E.O. NO. 890709



(d) EQ-41

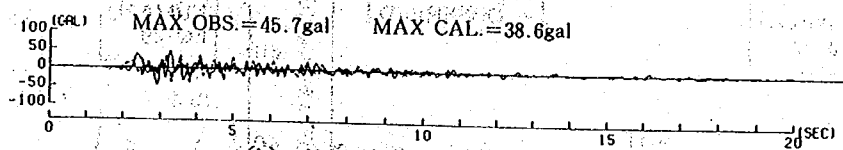
図4.3 入力地震動波形

ASHI.04.0014 < N-S > NO.13
MURZIEQ-58 < 43 > NO.14



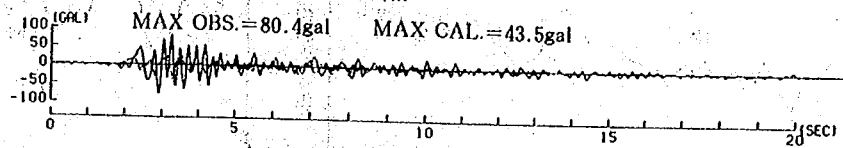
(a) No.4地点

46 318 53446 < N-S > NO.15
MURZIEQ-58 < 306 > NO.16



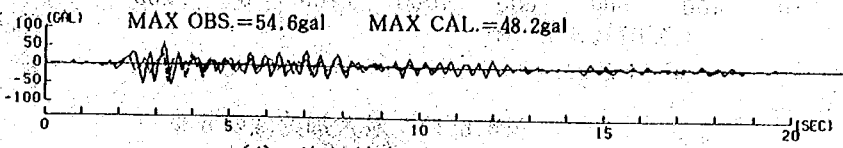
(b) No.6地点

48 318 53446 < N-S > NO.17
MURZIEQ-58 < 316 > NO.18



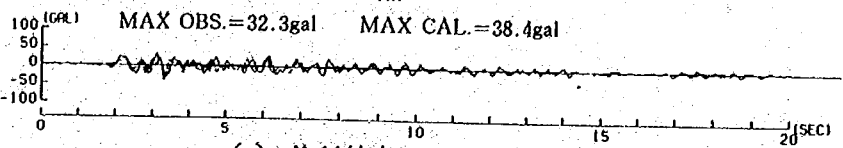
(c) No.8地点

50 318 53446 < N-S > NO.19
MURZIEQ-58 < 246 > NO.20



(d) No.10地点

51 318 53446 < N-S > NO.21
MURZIEQ-58 < 183 > NO.22



(e) No.11地点

図4.4 加速度波形の比較例 (EQ-29)

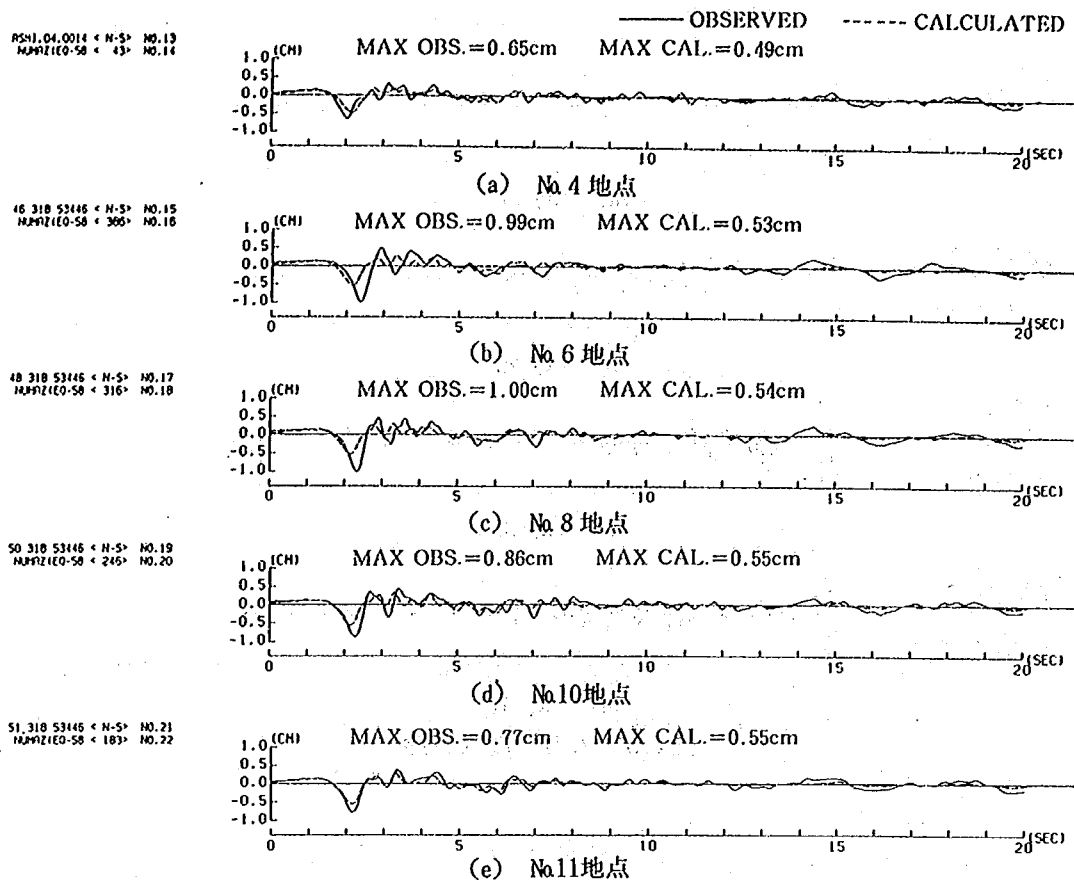


図4.5 変位波形の比較例 (EQ-29)

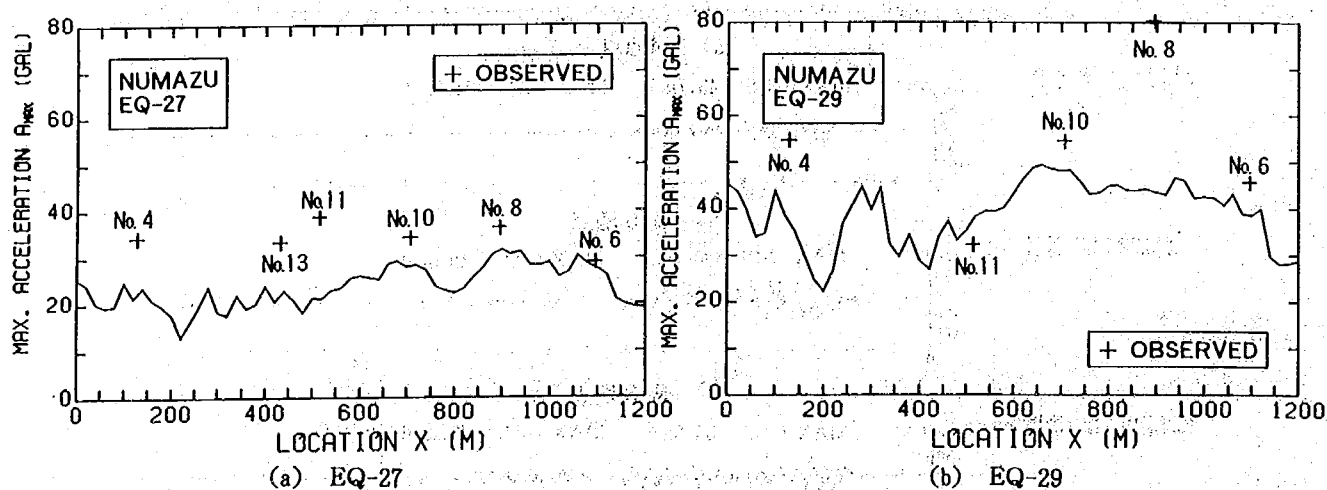
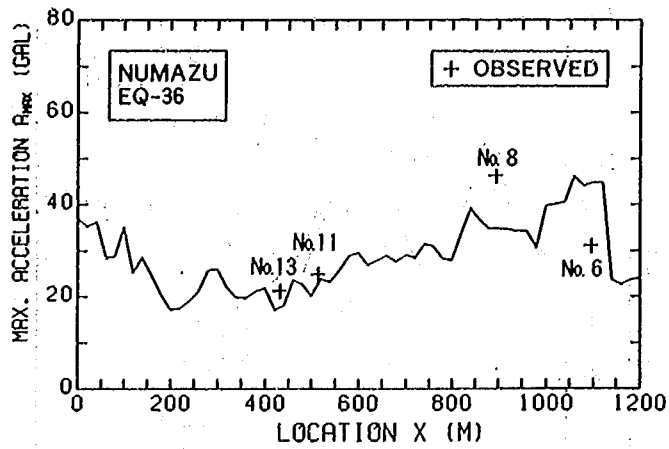
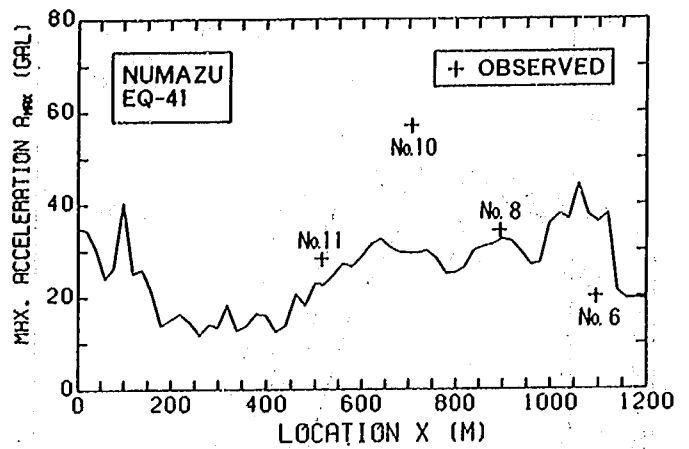


図4.6(1) 最大加速度の分布

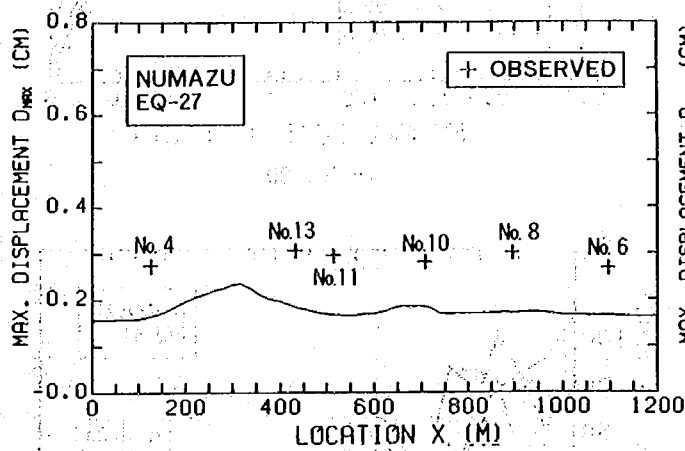


(c) EQ-36

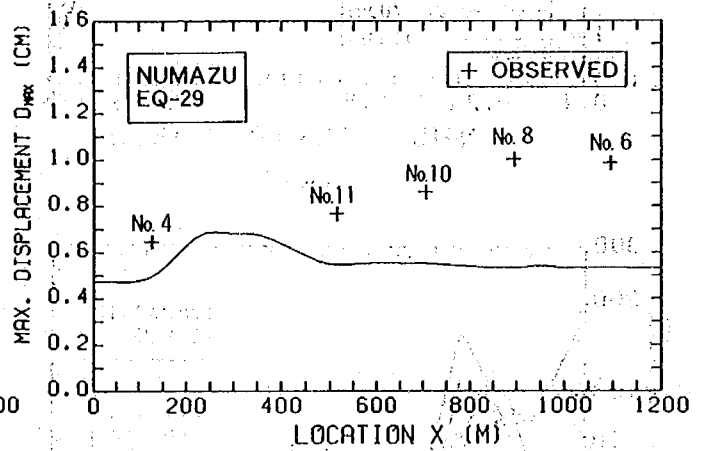


(d) EQ-41

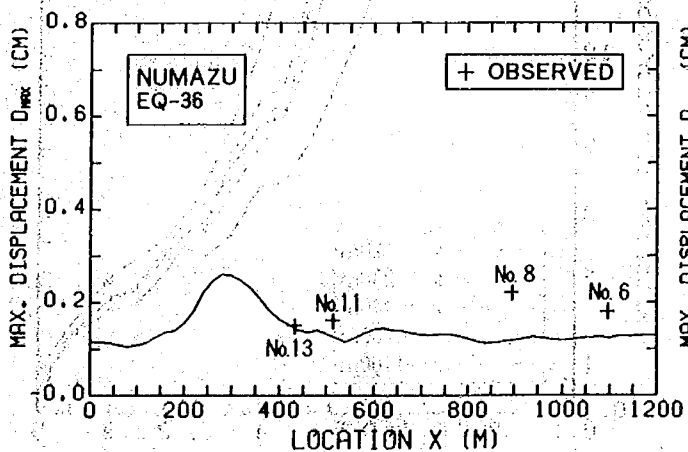
図4.6(2) 最大加速度の分布



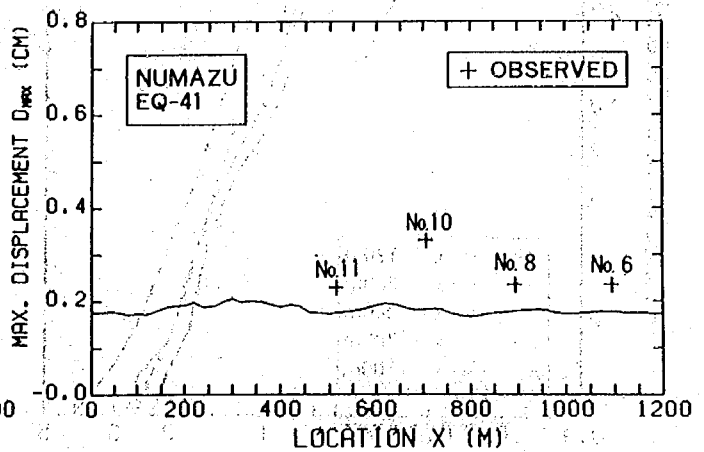
(a) EQ-27



(b) EQ-29

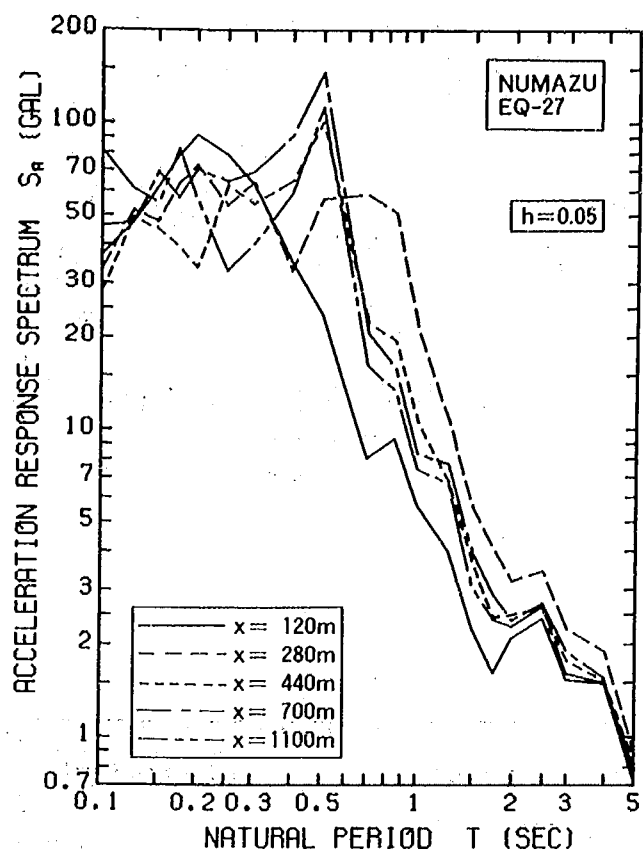


(c) EQ-36

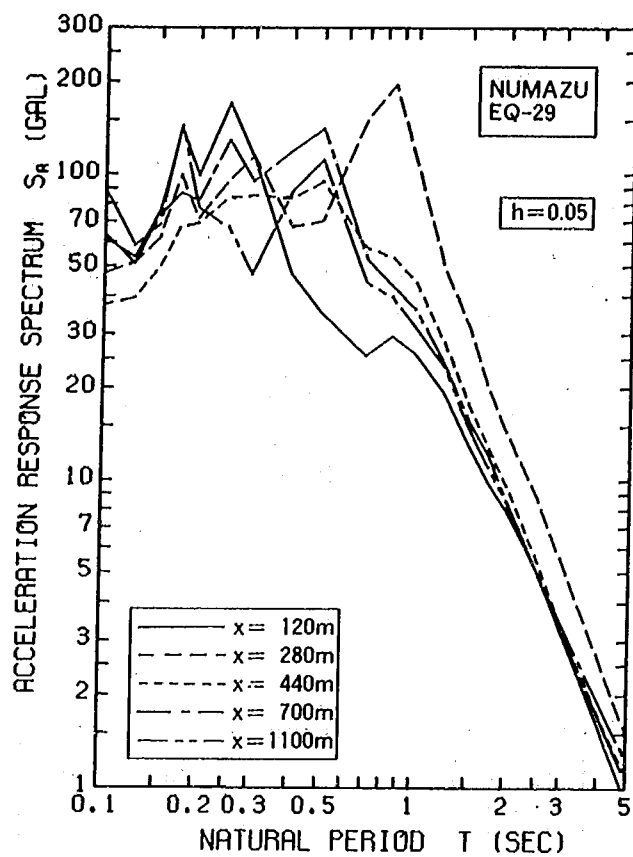


(d) EQ-41

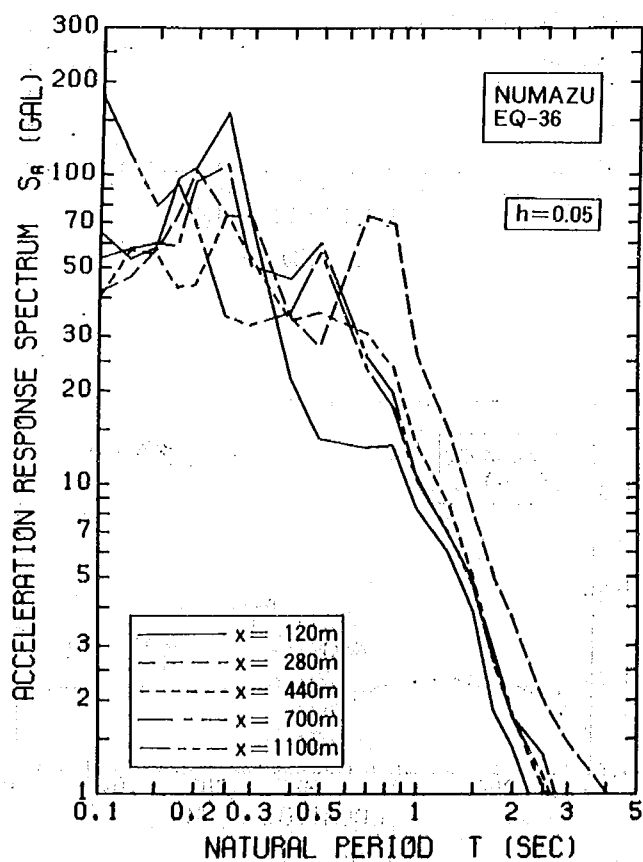
図4.7 最大変位の分布



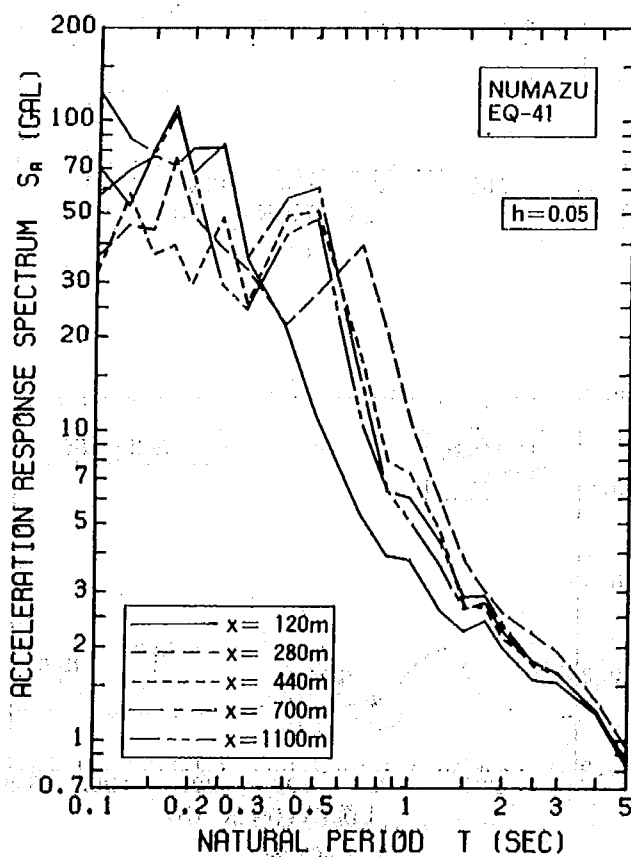
(a) EQ-27



(b) EQ-29

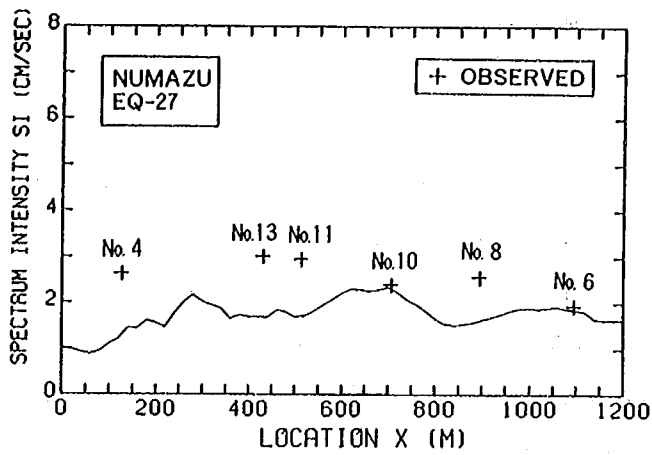


(c) EQ-36

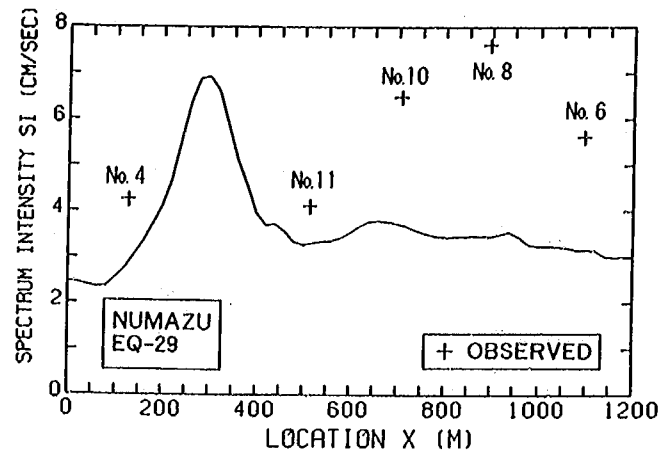


(d) EQ-41

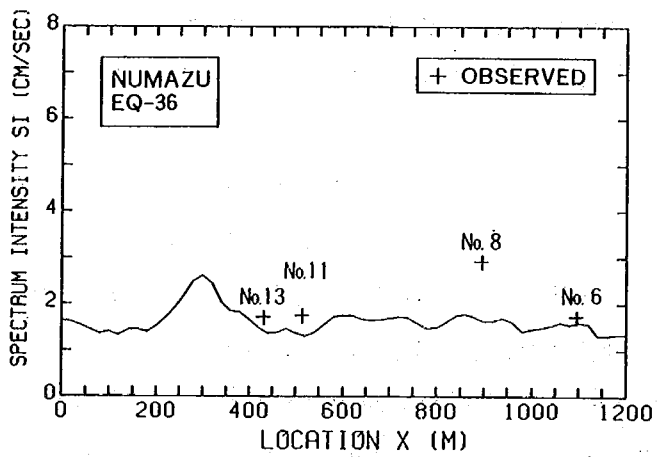
図4.8 地表面における加速度応答スペクトル



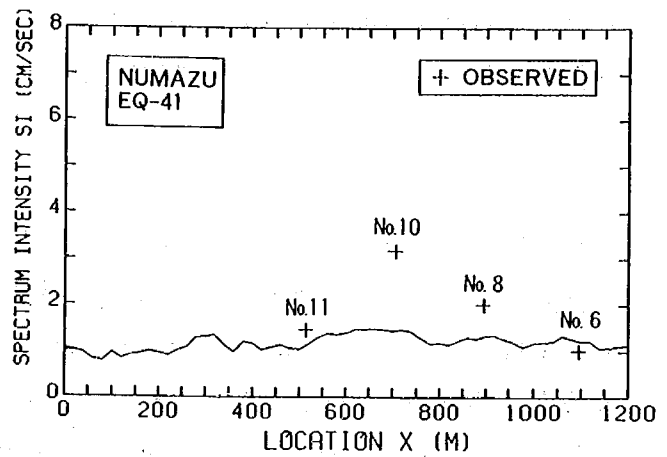
(a) EQ-27



(b) EQ-29



(c) EQ-36



(d) EQ-41

図4.9 スペクトル強度の分布

5. 松崎地区地震応答解析

5.1 解析モデル

地震応答解析の範囲は、図1.2に示したNo.1地点からNo.5地点を含む牛原山の斜面部である。当該斜面は山の尾根に位置し、その地震応答特性には三次元的な地形の影響もあると考えられるが、本解析では尾根部の断面形状が地震動特性に及ぼす影響について検討することを目的として二次元解析を行った。地形図から判読した解析対象断面図を図5.1に示す。地震応答解析では図5.1をもとに図5.2に示す有限要素モデルを用いた。斜面のモデル化に当っては要素の水平方向の長さを20mに固定し、地表面付近で要素分割を細くするように配慮した。解析モデルの要素数および節点数は、それぞれ、161および187である。モデルの境界条件は、底面については固定、平地側に当る左側面については上下動を拘束し、山頂側に当る右側面には伝達境界を適用した。表5.1に各強震観測地点の座標および直近の節点の番号を示す。また、図5.2の解析モデル（基本モデル）に加えて、山頂側の境界が解析結果に及ぼす影響について補足するために、解析対象断面におけるピークを含むように山頂側を40m拡張した図5.3に示すモデル（拡張モデル）を想定した。本モデルの要素数および節点数は、それぞれ、187および215である。なお、モデルの境界条件は図5.2のモデルと同一とした。

牛原山の斜面部については土質資料が得られていないため、No.5地点およびNo.6地点のボーリング資料並びに既往の解析事例^{17), 18)}等を参考にして、解析モデル全体を一様として表5.2に示す土質定数を仮定した。なお、土の動的変形特性のひずみ依存性は考慮せず、弾性体として扱うこととした。また、参考のためにせん断波速度については500m/sから1500m/sまで変化させた解析を合わせて行った。

地震応答解析の入力地震動としてはNo.5地点の地表面下5mの岩盤中で観測された地中地震記録を用い、解析モデルの底面に作用させた。図5.2もしくは図5.3に示したように解析モデルの底面は地表面下約20mに相当するが、No.5地点の地表面下5mおよびNo.6地点の地表面下40mのいずれも岩盤中の地中地震記録の波形特性には大きな差異は認められなかったため、地震応答解析ではNo.5地点の地中地震記録をそのまま入力することとした。また、解析対象断面が概ね南北方向に延伸していることを考慮して地震動の南北方向成分を解析対象とした。図5.4に入力地震動波形を示す。

5.2 最大地震動の分布

解析結果の一例として、地震動レベルが最も高く、かつ斜面上の5観測点すべてで記録が得られているEQ-44の場合について実測加速度波形と観測点直近の節点における計算波形との比較を図5.5に示す。また、同じ地震について変位波形の比較を図5.6に示す。なお、全解析対象地震に対する実測波形と計算波形の比較を付属資料1および2に示す。加速度波形の場合には平地側のNo.4地点およびNo.5地点では計算波形は実測波形と概ね一致しているのに対して、山頂側のNo.1地点およびNo.2地点では両者の一致度が低下している。また、変位波形の場合にはいずれの観測点についても計算波形は実測波形とよく一致している。

図5.7は図5.2に示した基本モデルと図5.3に示した拡張モデルによる地表面上の最大加速度分布の解析結果を比較したものである。比較は地震動レベルが比較的高いEQ-12およびEQ-44について行った。EQ-

12の場合には両モデルによる差異が生ずるのは斜面の中腹から山頂部に限られているが、EQ-44の場合には斜面全体について差異が生じている。いずれの地震についても山頂側を拡張することにより山頂付近での最大加速度の増加が緩やかになる点が特徴的である。実測強震記録の最大加速度の増加は斜面の裾部で緩やかであるのに対して、山頂部では急であることを考慮すると、図5.2に示した地盤モデルの方が本解析の目的には適切であると考えられる。したがって、以下では図5.2のモデルを用いることとする。図5.8はせん断波速度を500m/sから1500m/sまで種々変化させて求めた最大加速度の分布を示したものである。せん断波速度が500m/sもしくは700m/sの場合には、いずれも斜面下部の平地部において最大加速度が過大になっていることがわかる。せん断波速度1100m/sと1500m/sの場合には顕著な違いは認められないが、前者の場合の方が山頂部で最大加速度の増加が若干大きく実測値の傾向との整合がよい。このような観点から以下の解析ではせん断波速度を1100m/sとする。

図5.9に全解析対象地震について応答解析結果から求めた地表面上の各節点における最大加速度と実測値との比較を示す。解析値は実測値を若干下回る傾向も見受けられるが、全般的には解析値は斜面に沿った地震動の増幅の状況を表しているものと考えられる。図5.9より斜面上に沿う最大加速度の値は単調に増加するのではなく多少の変動が認められること、また、増加の度合いは斜面の山頂に近い部分で大きいことがわかる。斜面部における地震動の増幅特性について実測強震記録から検討するために、最上部のNo. 1地点における最大加速度に対する他の観測地点における最大加速度の比を最大加速度比と定義した。地震応答解析で対象とした4地震を含む9地震について最大加速度比の平均値および標準偏差を求めると、表5.3および図5.10に示すようになる。地震応答解析結果と直接的に比較できるのは尾根方向成分に相当する南北成分のみであるが、参考のため東西成分および上下成分についても最大加速度比を算出した。南北成分の最大加速度比の平均値はNo. 5地点で0.48であり、斜面の上部に至るにつれて漸増はするもののNo. 2地点でも0.54であり、No. 2地点からNo. 1地点までの間で最大加速度は $1/0.54=1.85$ 倍に増幅されることになる。地震数が少なく最大加速度比の標準偏差が大きい点に注意する必要があるが、実測強震記録からも斜面上の最大加速度は頂上付近で大きく増幅されることがわかる。

図5.11は地震応答解析および実測強震記録から求めた最大変位の分布を示したものである。両者の最大変位はよく一致していることがわかる。また、斜面上の最大変位は平地部から頂上部まで単調に増加していることがわかる。最大加速度の場合と同様に、No. 1地点における最大変位に対する他の地点における最大変位の比を最大変位比と定義し、最大変位比の平均値および標準偏差を求めると、表5.4および図5.12に示すようになる。最大変位比は斜面上のある特定の区間で大きく変化するのではなく、斜面全体にわたりほぼ一様に変化する。すなわち、最大変位は斜面上全体にわたり徐々に増幅されることになる。この結果は図5.11に示した地震応答解析結果と整合するものである。

5.3 加速度応答スペクトルおよびスペクトル強度

斜面上の各観測点直近の節点である $x=80\text{m}$ (No. 5地点)、 $x=160\text{m}$ (No. 4地点)、 $x=240\text{m}$ (No. 3地点)、 $x=340\text{m}$ (No. 2地点) および $x=400\text{m}$ (No. 1地点) における減衰定数0.05の加速度応答スペクトルを図5.13に示す。EQ-12およびEQ-14の場合については地点の違いによる加速度応答スペクトルの差異はあ

より顕著ではなく、加速度応答スペクトルは、その形状を保ちつつ斜面の上部の地点では相似形的にレベルが多少増加する程度である。ただし、EQ-14については、斜面上部の地点で固有周期0.7秒付近のスペクトル値が他の固有周期帯域に比較して大きく増幅している。一方、EQ-20およびEQ-44の場合には地点により加速度応答スペクトル特性が変化する。変化が大きい固有周期範囲は0.4～1秒の範囲である。なお、付属資料3に実測値および解析値から求めた加速度応答スペクトルの一覧を示す。

斜面部における加速度応答スペクトルの増幅特性について検討するために、名固有周期ごとに平地部に位置するNo.5地点における加速度応答スペクトル振幅に対するNo.1地点における加速度応答スペクトル振幅の比を加速度応答スペクトル比と定義した。地震応答解析結果および実測強震記録から求めた加速度応答スペクトル比を図5.14に示す。同図からわかるように、解析値の場合にはいずれの固有周期についても加速度応答スペクトル比は、地震によらず概ね同程度の値をとり、EQ-12を除いて、他の3地震については固有周期0.7秒を中心とした周期0.5～1秒の範囲で加速度応答スペクトル比が大きくなっている。この周期帯域が斜面の固有周期に合致し、当該周期帯域における地震動が大きく増幅されるものと考えられる。一方、実測値から求めた加速度応答スペクトル比は、解析値に基づく場合に比較して地震の違いによる変動が大きい。固有周期0.3～0.4秒付近でピークを示す。ただし、大局的には実測値による加速度応答スペクトル比は固有周期0.2～1秒の範囲で大きな値をとるとも見なせる。したがって、応答解析結果に基づく加速度応答スペクトル比は、実測値による応答スペクトル比に比べて狭帯域においてピークを示すものの、両者は整合していると考えられよう。

図5.15はスペクトル強度の分布を示したものである。最大変位の場合と同様に、スペクトル強度は斜面の下部から上部へ概ね単調に増加する。応答解析結果から求めたスペクトル強度は全般的には実測値から求めたスペクトル強度と一致するが、EQ-12、EQ-20およびEQ-44の場合に見られるように斜面の頂上付近の観測点で解析結果から求めたスペクトル強度は実測値によるスペクトル強度を下回る傾向が認められる。なお、この傾向は最大加速度の分布と共通するものである。

表5.1 強震観測点および直近の節点

強震観測点		解析モデル	
番号	座標〔m〕	節点番号	座標〔m〕
1	409	126	400
2	344	90	340
3	244	49	240
4	160	27	160
5	75	13	80

表5.2 松崎地区地震応答解析で仮定した土質定数

ポアソン比	0.4
単位体積重量〔g/cm ³ 〕	2.5
せん断波速度〔m/s〕	1100
せん断弾性係数〔kg/cm ² 〕	30870
減衰定数 ^(注)	0.02

注) 地震動レベルの低いEQ-14およびEQ-20については0.01とした。

表5.3(1) 最大加速度比
(a) 南北成分

地震番号	№ 5 地点	№ 4 地点	№ 3 地点	№ 2 地点	№ 1 地点
E Q-12	76.01 0.71	76.98 0.72	—	86.97 0.82	106.38 1.00
E Q-14	—	29.68 0.69	—	20.91 0.49	42.99 1.00
E Q-15	—	6.68 0.30	8.71 0.39	10.43 0.47	22.36 1.00
E Q-19	—	13.63 0.61	12.11 0.55	6.35 0.29	22.20 1.00
E Q-20	20.26 0.41	—	—	30.71 0.62	49.28 1.00
E Q-27	—	11.20 0.51	10.16 0.46	14.89 0.67	22.07 1.00
E Q-41	—	16.62 0.68	11.54 0.47	11.48 0.47	24.54 1.00
E Q-43	—	24.46 0.60	24.92 0.61	—	40.64 1.00
E Q-44	48.22 0.32	62.37 0.42	80.53 0.54	67.21 0.45	148.86 1.00
記録数	3	8	6	8	9
平均値	0.48	0.57	0.50	0.54	1.00
標準偏差	0.17	0.14	0.07	0.15	0.00

注) 上段は最大加速度 [gal]

下段は最大加速度比

(b) 東西成分

地震番号	№ 5 地点	№ 4 地点	№ 3 地点	№ 2 地点	№ 1 地点
E Q-12	87.26 0.85	45.97 0.45	—	69.31 0.68	102.45 1.00
E Q-14	—	14.42 0.42	—	21.48 0.62	34.59 1.00
E Q-15	—	6.72 0.37	9.82 0.55	10.79 0.60	17.99 1.00
E Q-19	—	7.83 0.53	7.09 0.48	7.06 0.48	14.75 1.00
E Q-20	16.17 0.51	—	—	24.13 0.76	31.86 1.00
E Q-27	—	10.62 0.45	13.15 0.56	14.16 0.61	23.37 1.00
E Q-41	—	10.58 0.38	7.85 0.28	10.63 0.38	28.15 1.00
E Q-43	—	14.70 0.34	26.89 0.63	—	42.86 1.00
E Q-44	56.21 0.66	49.60 0.59	77.82 0.92	56.97 0.67	84.59 1.00
記録数	3	8	6	8	9
平均値	0.67	0.44	0.57	0.60	1.00
標準偏差	0.14	0.08	0.19	0.11	0.00

表5.3(2) 最大加速度比
(c) 上下成分

地震番号	No.5 地点	No.4 地点	No.3 地点	No.2 地点	No.1 地点
EQ-12	22.09 0.34	23.61 0.37	—	24.41 0.38	64.19 1.00
EQ-14	—	7.96 0.30	—	13.07 0.49	26.58 1.00
EQ-15	—	5.90 0.52	5.51 0.48	9.89 0.87	11.43 1.00
EQ-19	—	4.68 0.60	5.36 0.68	6.66 0.85	7.86 1.00
EQ-20	5.84 0.30	—	—	12.15 0.62	19.69 1.00
EQ-27	—	4.98 0.54	4.77 0.51	8.29 0.89	9.29 1.00
EQ-41	—	6.34 0.75	8.31 0.99	7.63 0.91	8.40 1.00
EQ-43	—	8.49 0.37	11.56 0.50	—	23.13 1.00
EQ-44	24.79 0.39	35.75 0.57	35.43 0.56	51.41 0.81	63.18 1.00
記録数	3	8	6	8	9
平均値	0.34	0.50	0.62	0.73	1.00
標準偏差	0.04	0.14	0.18	0.19	0.00

表5.4(1) 最大変位比
(a) 南北成分

地震番号	No.5 地点	No.4 地点	No.3 地点	No.2 地点	No.1 地点
EQ-12	0.057 0.39	0.116 0.78	—	(0.172) (1.16)	0.148 1.00
EQ-14	—	0.039 0.70	—	(0.154) (2.75)	0.056 1.00
EQ-15	—	0.060 0.51	0.117 1.00	0.148 1.26	0.117 1.00
EQ-19	—	0.030 0.60	0.029 0.58	0.036 0.72	0.050 1.00
EQ-20	0.149 0.55	—	—	0.201 0.74	0.270 1.00
EQ-27	—	0.105 0.65	0.153 0.94	0.156 0.96	0.162 1.00
EQ-41	—	0.040 0.61	0.062 0.94	0.060 0.91	0.066 1.00
EQ-43	—	0.230 0.57	0.270 0.67	—	0.403 1.00
EQ-44	0.878 0.63	0.901 0.65	1.072 0.77	1.180 0.85	1.386 1.00
記録数	3	8	6	6	9
平均値	0.52	0.63	0.82	0.91	1.00
標準偏差	0.10	0.08	0.15	0.18	0.00

注) 上段は最大変位 [cm]

下段は最大変位比

() 付きのデータは波形に異常が認められるため、解析には使用しない。

表5.4(2) 最大変位比
(b) 東西成分

地震番号	№ 5 地点	№ 4 地点	№ 3 地点	№ 2 地点	№ 1 地点
E Q - 12	0.059 0.38	0.096 0.62	—	(0.181) (1.18)	0.154 1.00
E Q - 14	—	0.031 0.66	—	(0.180) (3.83)	0.047 1.00
E Q - 15	—	0.063 0.56	0.098 0.88	0.106 0.95	0.112 1.00
E Q - 19	—	0.031 1.03	0.020 0.67	0.022 0.73	0.030 1.00
E Q - 20	0.121 0.59	—	—	0.194 0.95	0.204 1.00
E Q - 27	—	0.095 0.61	0.115 0.74	0.132 0.85	0.156 1.00
E Q - 41	—	0.075 0.64	0.090 0.77	0.089 0.76	0.117 1.00
E Q - 43	—	0.101 0.41	0.162 0.65	—	0.248 1.00
E Q - 44	0.387 0.57	0.390 0.57	0.757 1.11	0.622 0.91	0.680 1.00
記録数	3	8	6	6	9
平均値	0.51	0.64	0.80	0.86	1.00
標準偏差	0.09	0.17	0.16	0.09	0.00

(c) 上下成分

地震番号	№ 5 地点	№ 4 地点	№ 3 地点	№ 2 地点	№ 1 地点
E Q - 12	0.016 0.26	0.026 0.42	—	(0.078) (1.26)	0.062 1.00
E Q - 14	—	0.013 0.52	—	(0.145) (5.80)	0.025 1.00
E Q - 15	—	0.067 0.82	0.074 0.90	0.074 0.90	0.082 1.00
E Q - 19	—	0.008 0.50	0.009 0.56	0.010 0.63	0.016 1.00
E Q - 20	0.062 0.67	—	—	(0.123) (1.32)	0.093 1.00
E Q - 27	—	0.029 0.60	0.054 1.13	0.042 0.88	0.048 1.00
E Q - 41	—	0.047 0.73	0.064 1.00	0.052 0.81	0.064 1.00
E Q - 43	—	0.066 0.42	0.092 0.58	—	0.158 1.00
E Q - 44	0.328 0.83	0.304 0.77	0.382 0.96	0.340 0.86	0.396 1.00
記録数	3	8	6	5	9
平均値	0.59	0.60	0.86	0.82	1.00
標準偏差	0.24	0.15	0.21	0.10	0.00

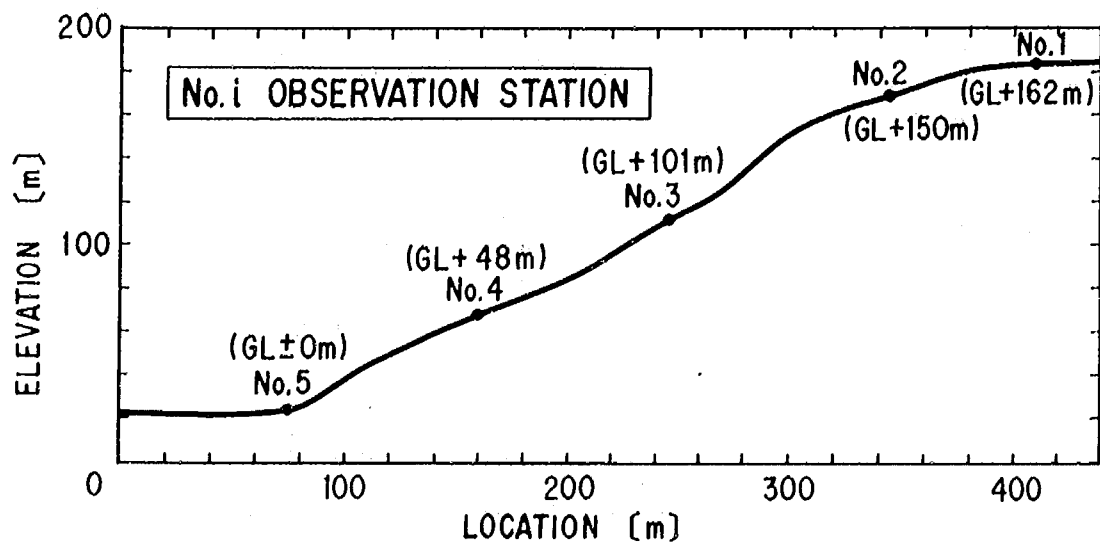


図5.1 牛原山断面図

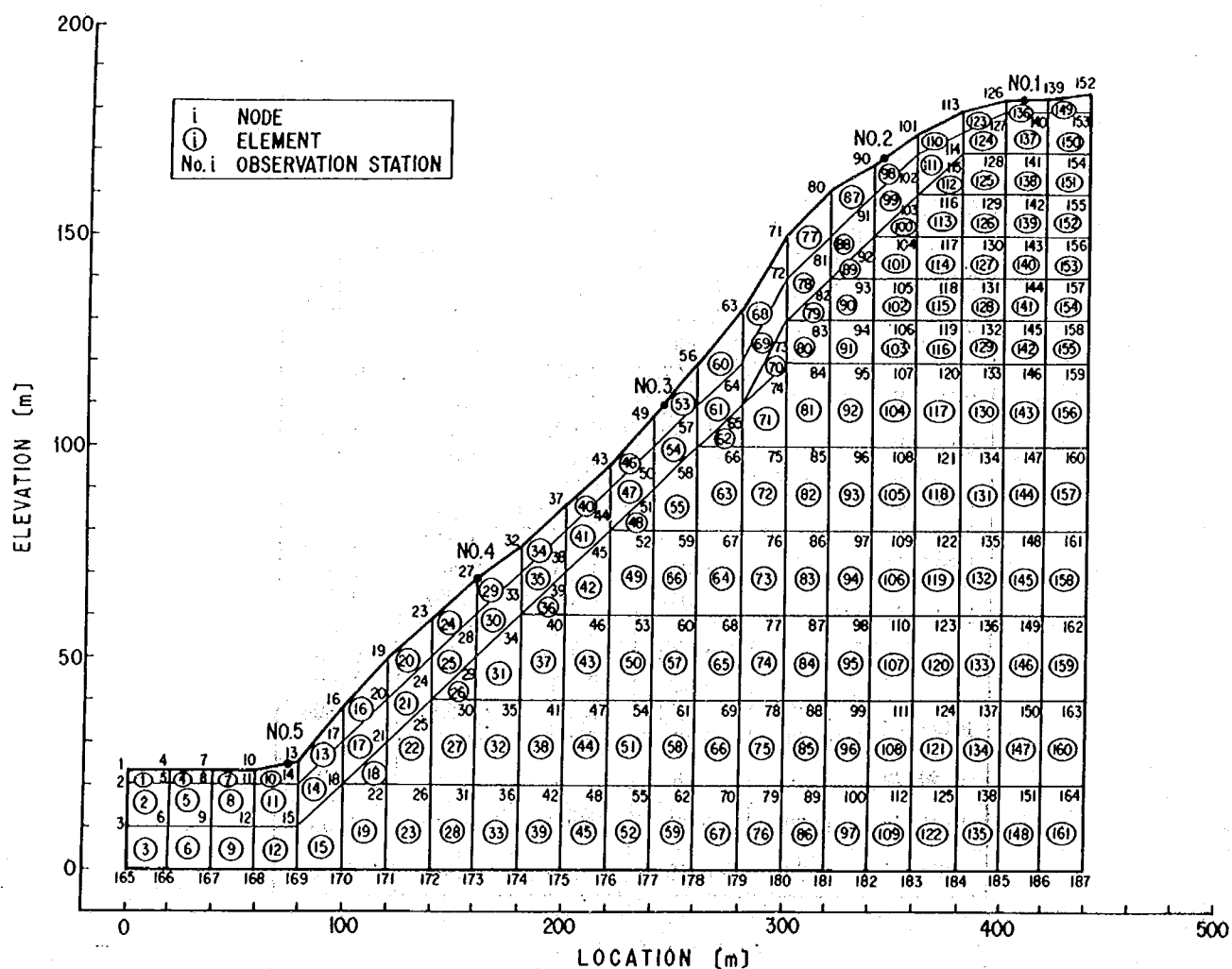


図5.2 松崎地区二次元地震応答解析モデル (基本モデル)

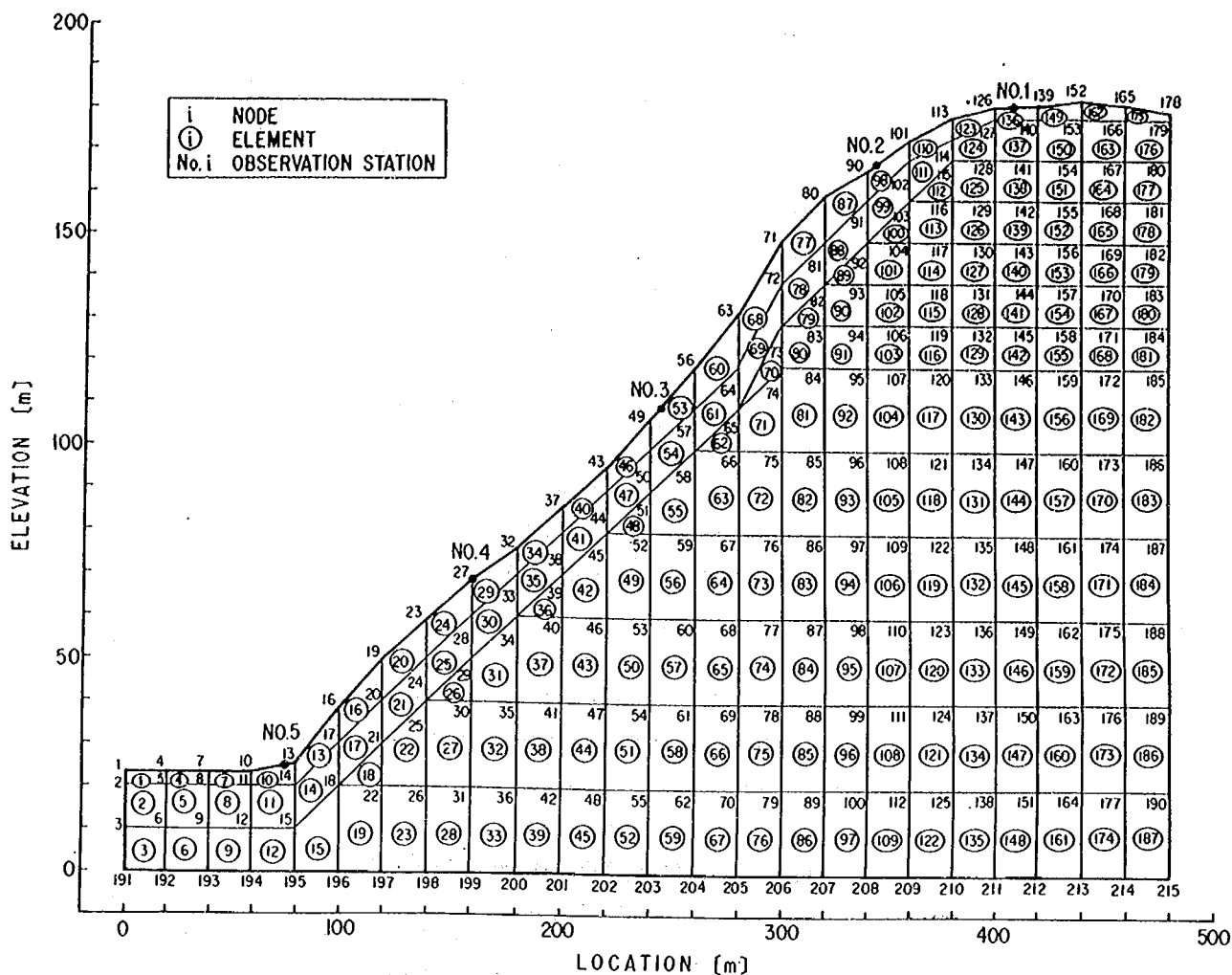


図5.3 松崎地区二次元地震応答解析モデル (拡張モデル)

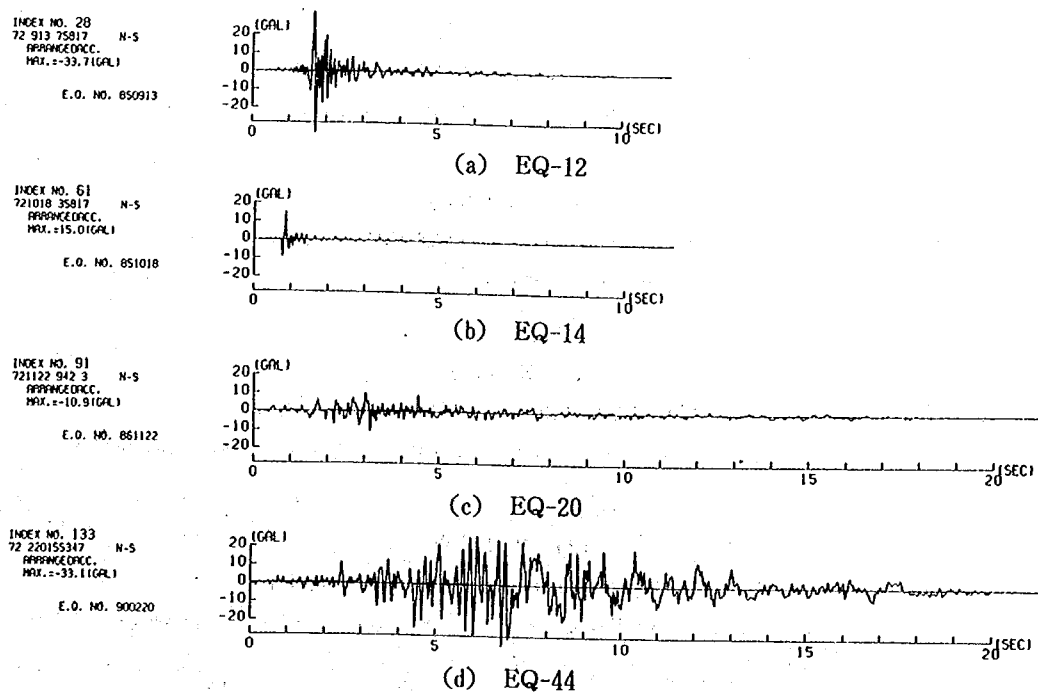
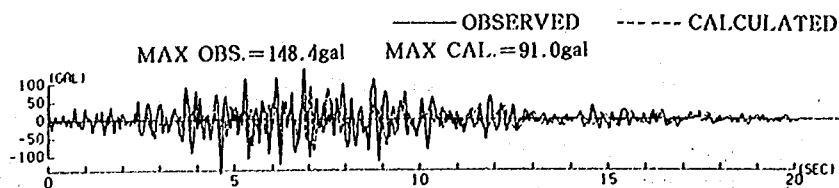


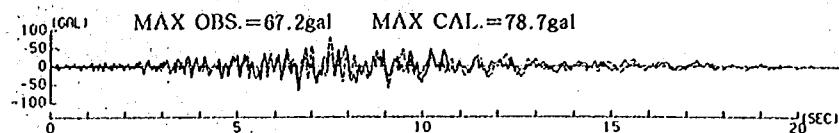
図5.4 入力地震動波形

61 220155347 < N-S> NO.21
HITSUKI 172 < 126> NO.22



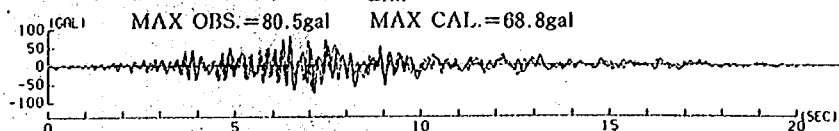
(a) No.1 地点

62 220155347 < N-S> NO.23
HITSUKI 172 < 90> NO.24



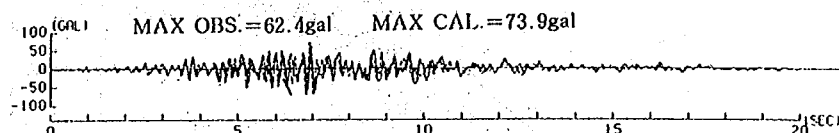
(b) No.2 地点

63 220155347 < N-S> NO.25
HITSUKI 172 < 49> NO.26



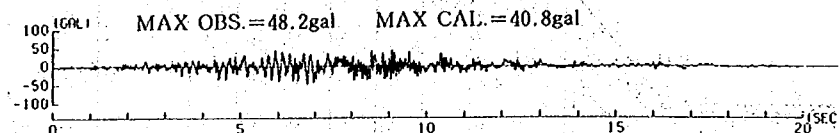
(c) No.3 地点

64 220155347 < N-S> NO.27
HITSUKI 172 < 27> NO.28



(d) No.4 地点

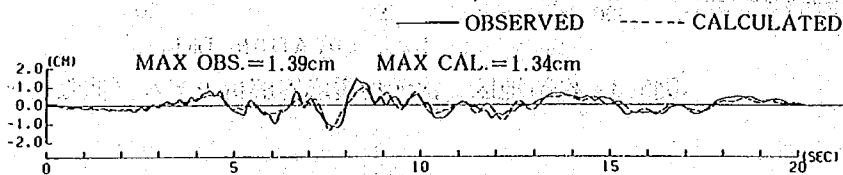
65 220155347 < N-S> NO.29
HITSUKI 172 < 13> NO.30



(e) No.5 地点

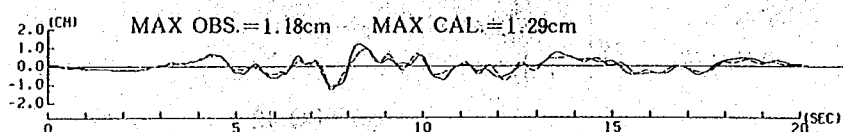
図5.5 加速度波形の比較例 (EQ-44)

61 220155347 < N-S> NO.21
HITSUKI 172 < 126> NO.22



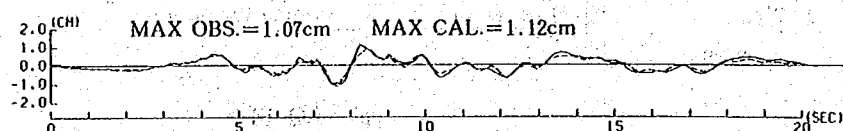
(a) No.1 地点

62 220155347 < N-S> NO.23
HITSUKI 172 < 90> NO.24



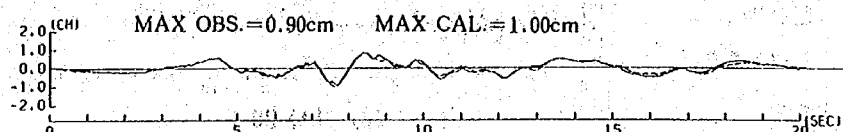
(b) No.2 地点

63 220155347 < N-S> NO.25
HITSUKI 172 < 49> NO.26



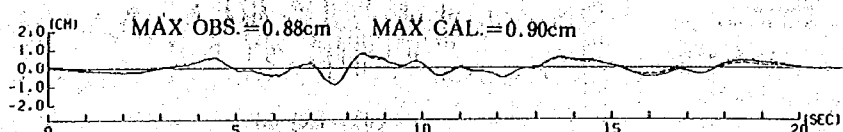
(c) No.3 地点

64 220155347 < N-S> NO.27
HITSUKI 172 < 27> NO.28



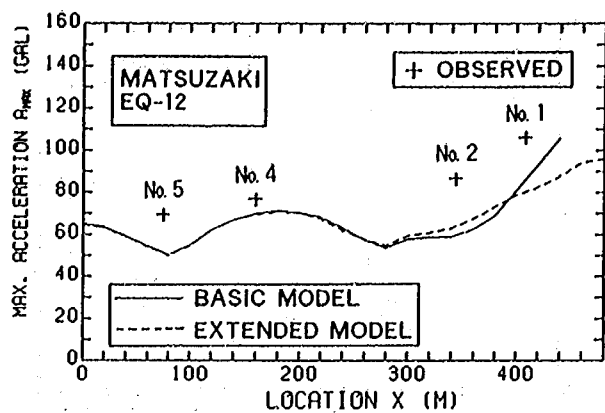
(d) No.4 地点

65 220155347 < N-S> NO.29
HITSUKI 172 < 13> NO.30

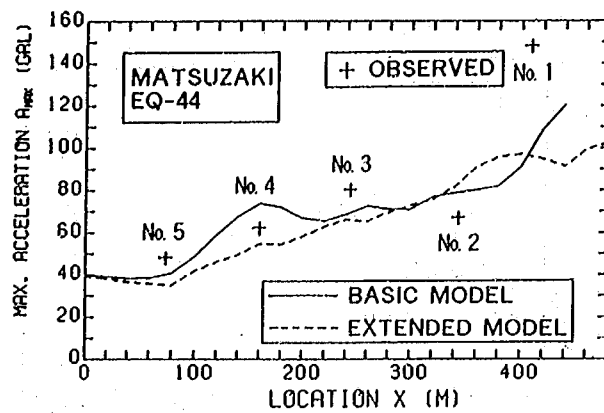


(e) No.5 地点

図5.6 変位波形の比較例 (EQ-44)

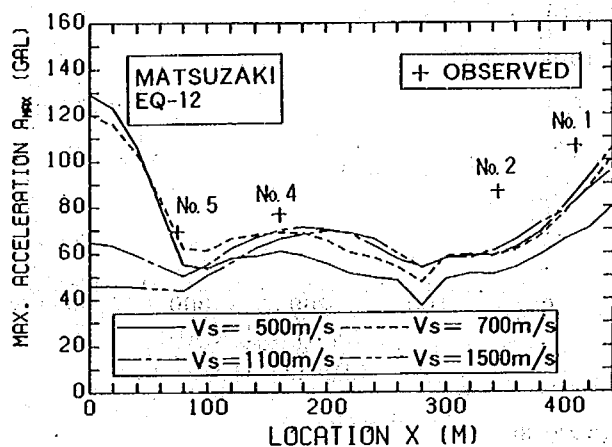


(a) EQ-12

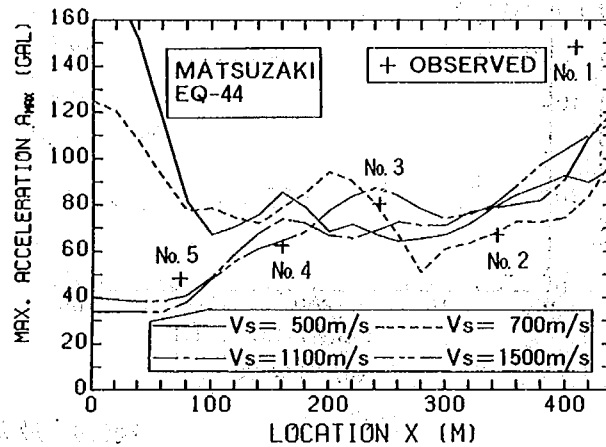


(b) EQ-44

図5.7 基本モデルと拡張モデルによる最大加速度の分布 ($V_s=1100\text{m/s}$)

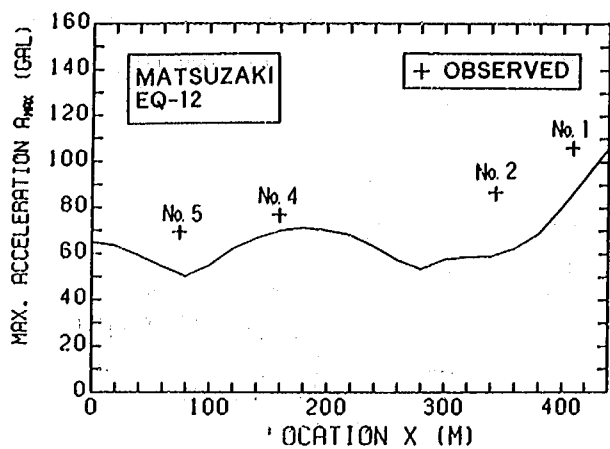


(a) EQ-12

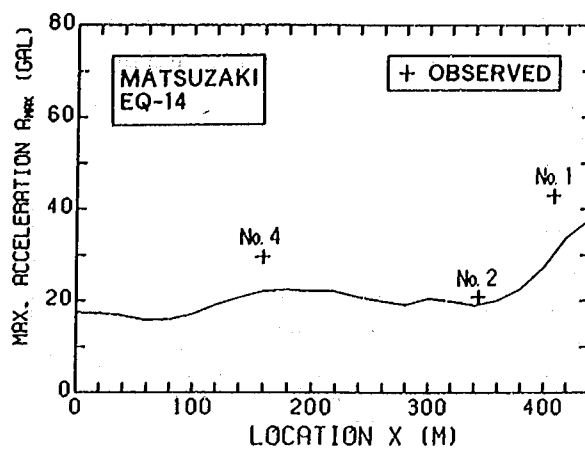


(b) EQ-44

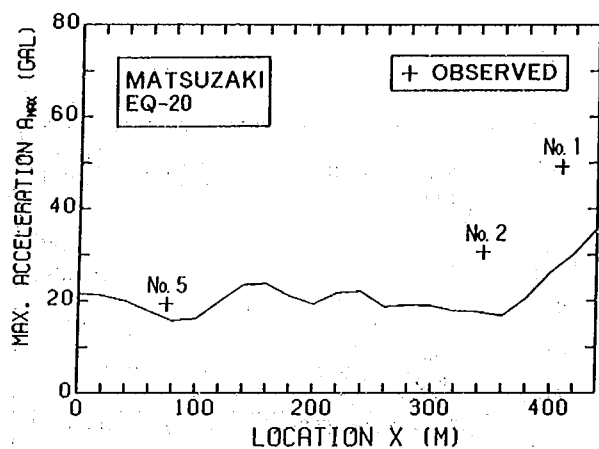
図5.8 種々のせん断波速度に対する最大加速度の分布 (基本モデル)



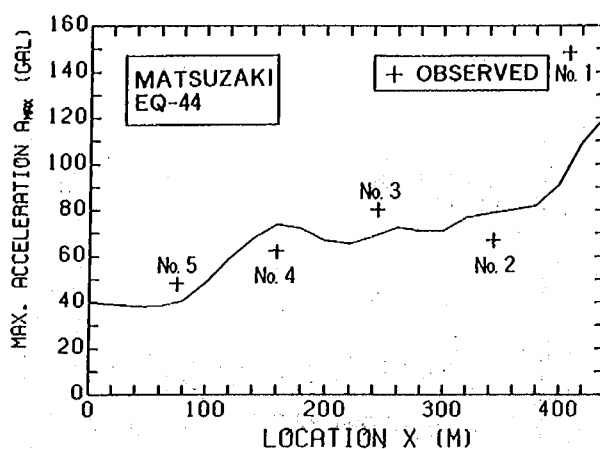
(a) EQ-12



(b) EQ-14

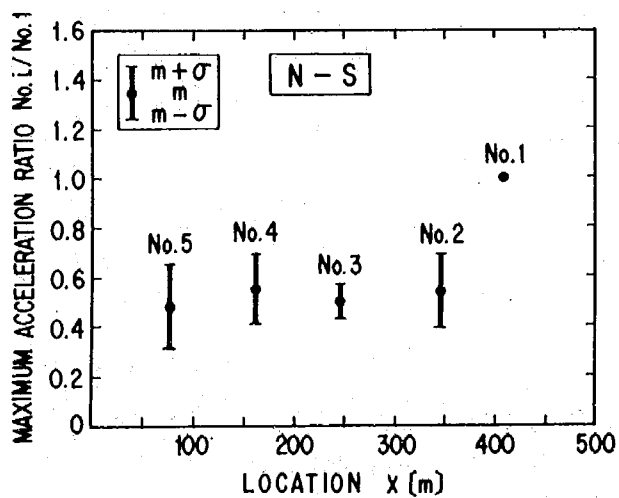


(c) EQ-20

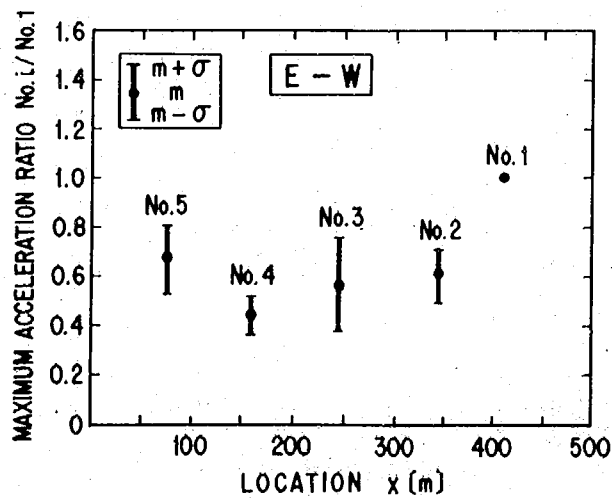


(d) EQ-44

図5.9 最大加速度の分布



(a) 南北成分



(b) 東西成分

図5.10(I) 最大加速度比

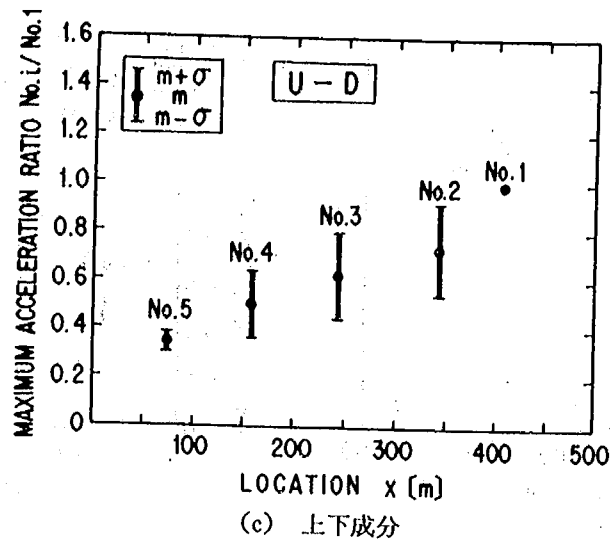
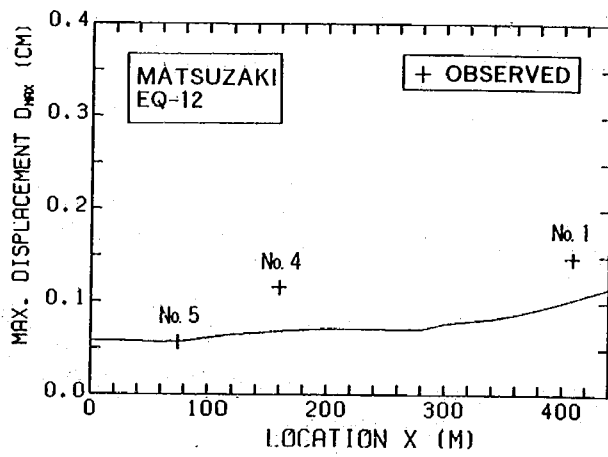
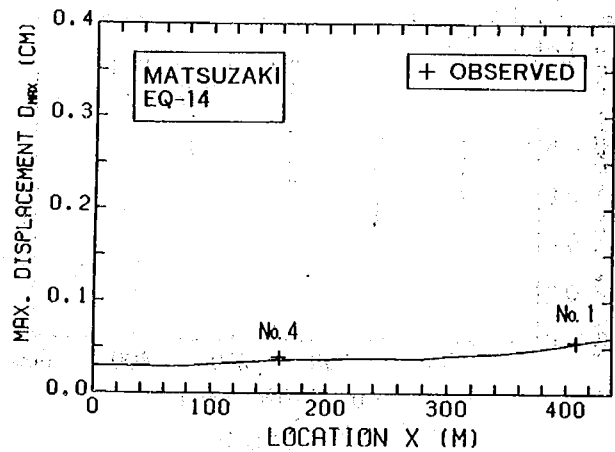


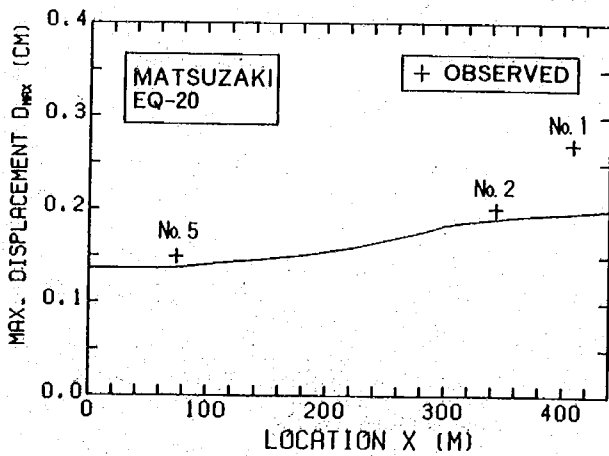
図5.10(2) 最大加速度比



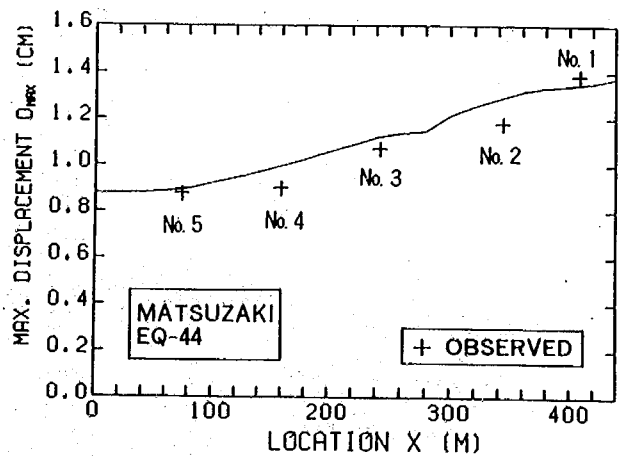
(a) EQ-12



(b) EQ-14

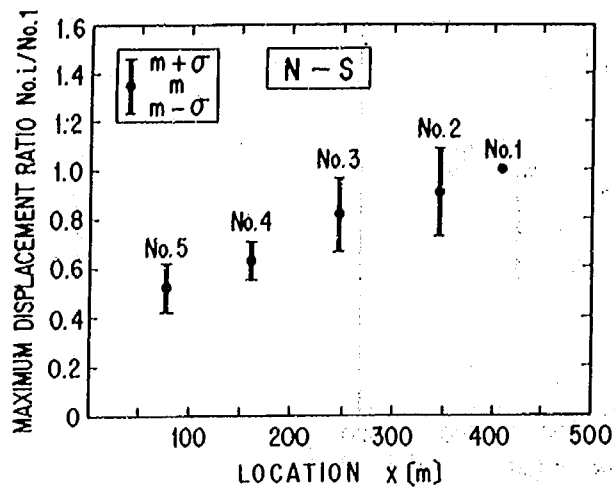


(c) EQ-20

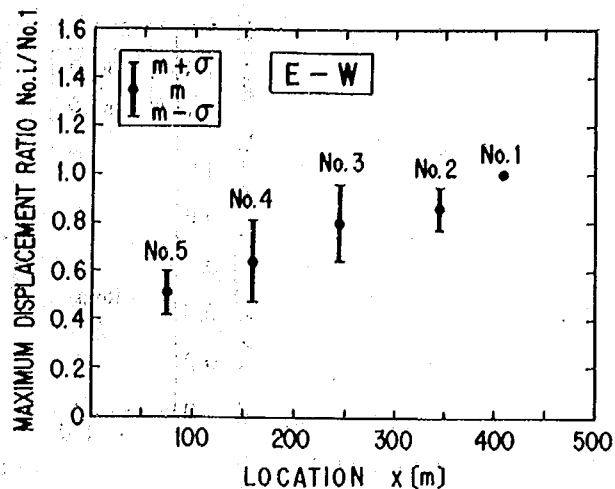


(d) EQ-44

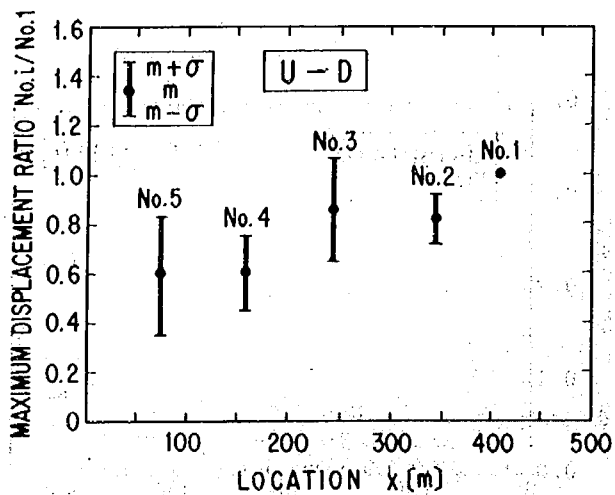
図5.11 最大変位の分布



(a) 南北成分

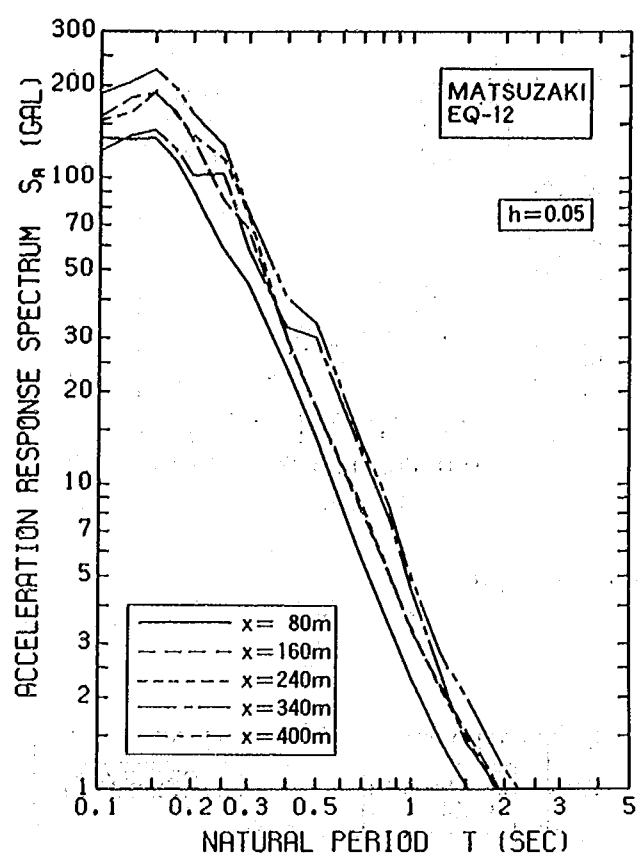


(b) 東西成分

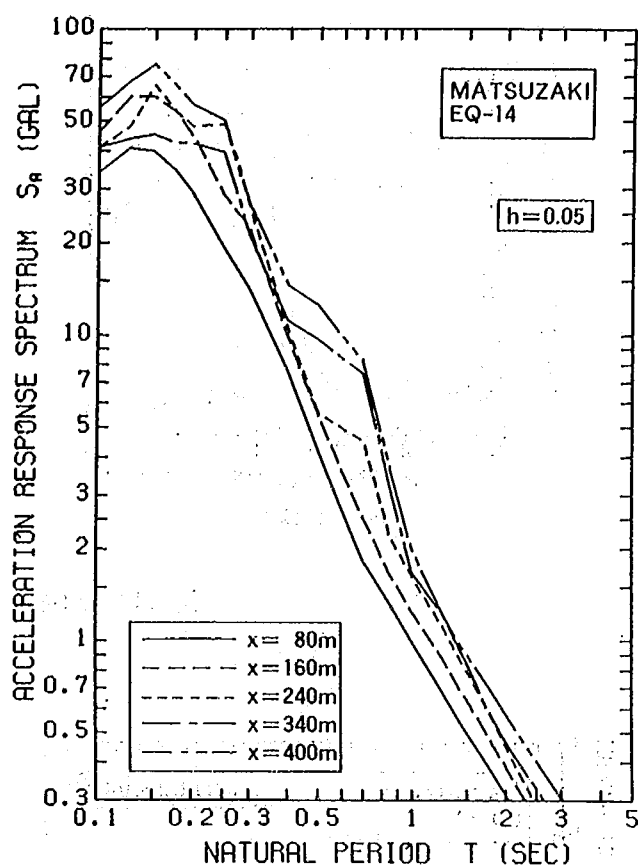


(c) 上下成分

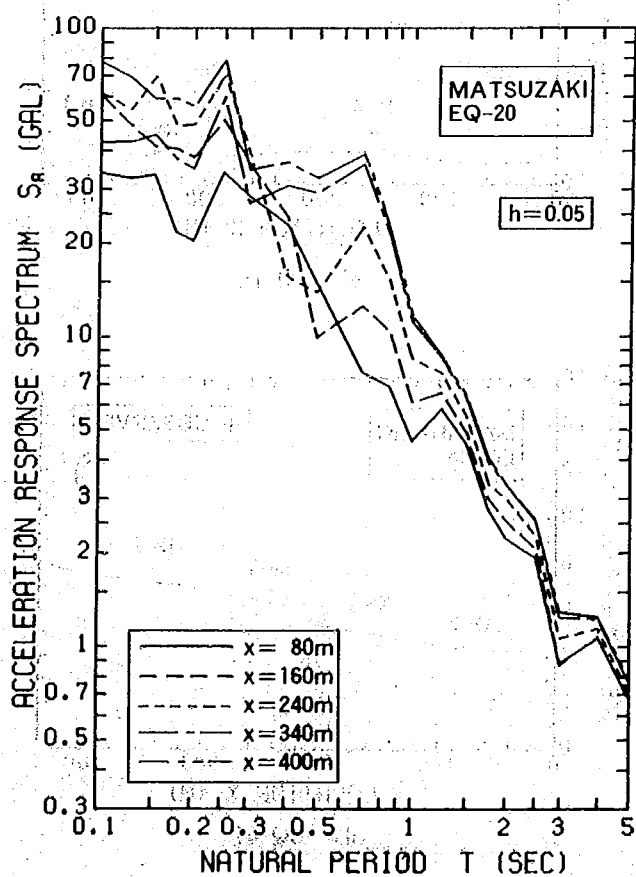
図5.12 最大変位比



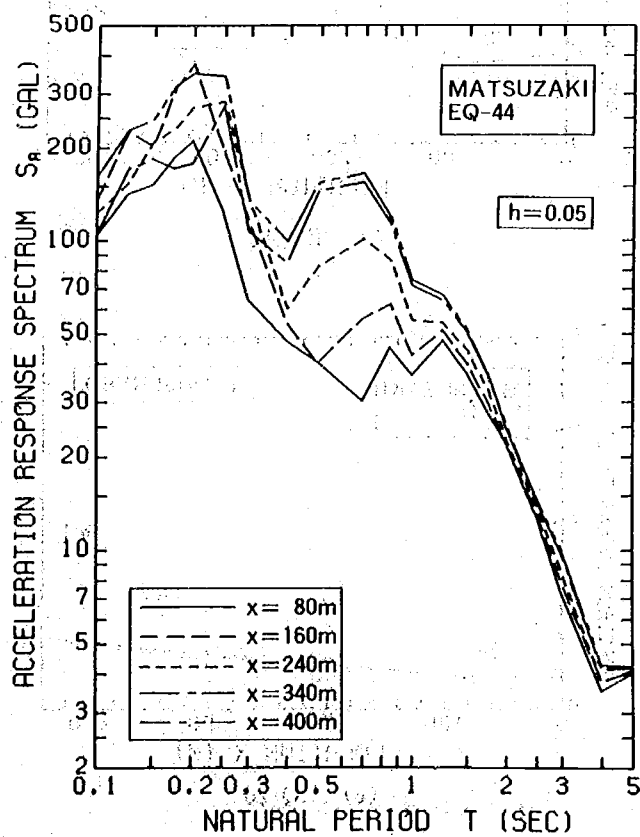
(a) EQ-12



(b) EQ-14

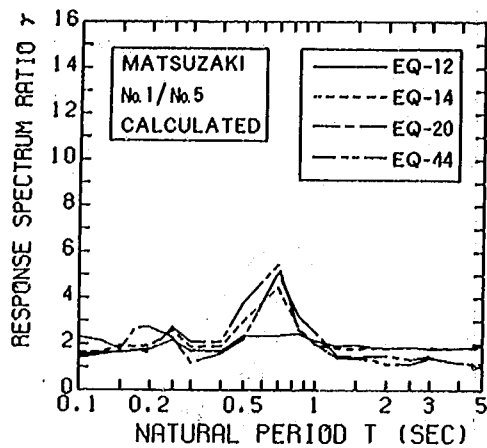


(c) EQ-20

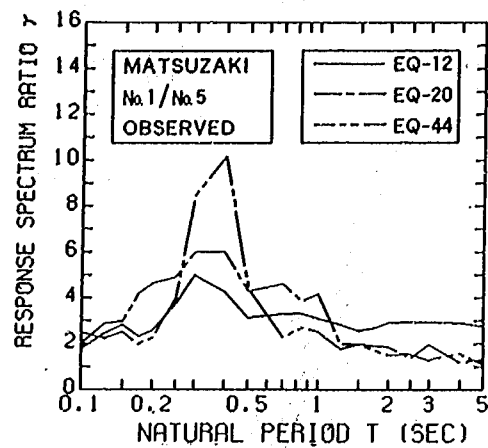


(d) EQ-44

図5.13 地表面における加速度応答スペクトル

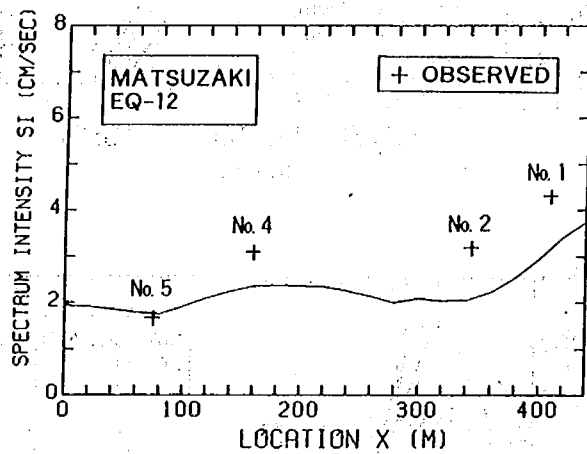


(a) 計算値

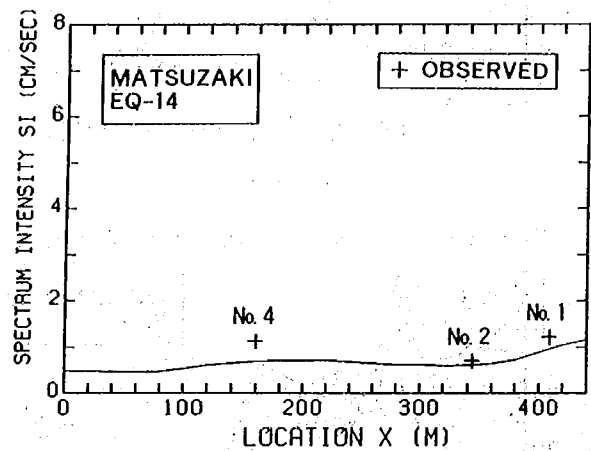


(b) 実測値

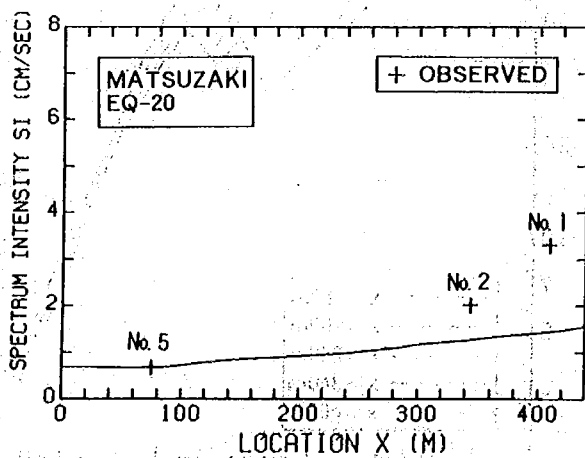
図5.14 加速度応答スペクトル比



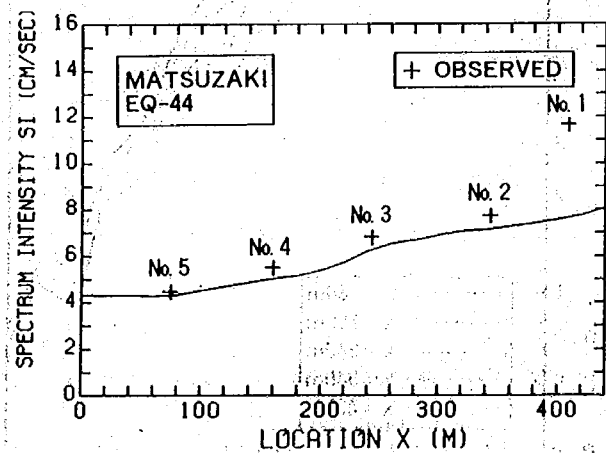
(a) EQ-12



(b) EQ-14



(c) EQ-20



(d) EQ-44

図5.15 スペクトル強度の分布

6. 結 論

建設省土木研究所により高密度強震観測が実施されている沼津地区の地盤条件変化部および松崎地区の斜面部を対象として二次元地震応答解析を行い、解析結果と実測値の整合性並びに地盤の不整形性が地震動特性に及ぼす影響について検討した。

本解析の結果により、種々の定性的な地震動の変動特性、例えば、最大加速度よりもスペクトル強度の方が地盤条件により系統的に変化し、軟弱層の厚い箇所ではスペクトル強度が大きくなること、また、斜面上において最大加速度は山頂付近で急激に増幅するのに対して、最大変位は斜面全体にわたって徐々に増幅すること、等が明らかになった。

しかしながら、定量的にはまだ解明すべき問題が残されている。沼津地区および松崎地区のいずれについても解析結果が実測値を下回る場合が認められた。この原因としては1200mもしくは440mという延長を有する解析モデル全体について共通の入力地震動を与える地震応答解析上の基盤面の位置および基盤面上における入力地震動の設定の問題、また、地盤条件および土質定数の設定の問題が考えられる。地盤条件がある程度知られている沼津地区でもボーリング資料が得られている地点は限られている。地震動特性が局所的な地盤条件に強く影響されることに鑑み、より多くの地点での地盤条件の解明、また、入力基盤を設定するための地中深部までの土質資料の調査が必要とされる。松崎地区の斜面部については上記の問題に加えて、尾根地形という三次元的な地形の影響に関する検討も必要とされよう。

謝 辞

本解析の数値計算においては、北畑雅義君（豊橋技術科学大学平成3年度実務訓練生）の手を煩わせた。
末筆ながら、深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

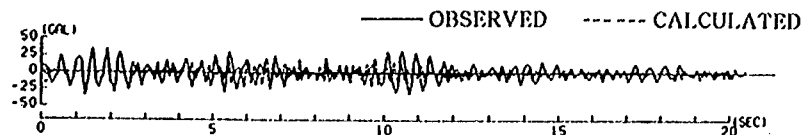
- 1) 例えば, 土木学会編: 動的解析と耐震設計, 第2巻, 動的解析の方法, 技報堂出版, 平成元年
- 2) 例えば, 額額一起: 不整形地盤における地震動, 土木学会論文集, 第437号/I-17, 平成3年10月
IASPEI/IAEE Joint Working Group on ESG: Proc. of the International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, March 1992
- 3) 建設省土木研究所: 土木研究所における高密度強震観測システム——(3)沼津地区の観測システム——, 土木研究所資料, 第2140号, 昭和59年9月。
- 4) 建設省土木研究所: 土木研究所における高密度強震観測システム——(4)松崎地区の観測システム——, 土木研究所資料, 第2238号, 昭和60年5月。
- 5) Lysmer, J., Udaka, T., Tsai, C. and Seed, H. B.: FLUSH, A Computer Program for Approximate 3-D Analysis of Soil-Structure Interaction Problems, Earthquake Engineering Research Center Report No. EERC 75-30, University of California, Berkeley, November, 1975
- 6) 建設省土木研究所: 道路交通振動の軽減対策に関する研究, 土木研究所資料, 第1736号, 昭和56年10月
- 7) 岩崎敏男, 龍岡文夫, 高木義和: 地盤の動的変形特性に関する実験的研究(Ⅱ), 土木研究所報告, 第153号の2, 昭和55年3月
- 8) 岩崎敏男, 常田賢一, 吉田精一: 沖積粘性土の動的変形・強度特性について, 第15回土質工学研究発表会, 昭和55年6月
- 9) 横田耕一郎, 龍岡文夫: 不攪乱洪積粘土のせん断変形係数について, 土木学会第32回年次学術講演会講演概要集第3部, 昭和52年10月
- 10) 後藤尚男, 亀田弘行, 杉戸真太, 今西直人: デジタルフィルターによるSMAC-B₂加速度計記録の補正について, 土木学会論文報告集, 第277号, 昭和53年9月
- 11) 川島一彦, 高木義和, 相沢 興: 数値化精度を考慮したSMAC-B₂型強震計記録の計器補正法および変位計算法, 土木学会論文報告集, 第325号, 昭和57年9月
- 12) 田村敬一, 川島一彦, 相沢 興, 高橋和之: 地震時地盤ひずみの解析を目的とした個別記録方式によるデジタル強震計の記録精度, 土木学会論文集, 第392号/I-9, 昭和63年4月
- 13) Katayama, T., Sato, N., Ohbo, N., Kawasaki, M. and Saito, K.: Ground Shaking Severity Detector by Use of Spectrum Intensity (SI), Proc. of 7th Japan Earthquake Engineering Symposium, December, 1986
- 14) 田村敬一: ロマ・プリエータ地震によるサイプレス通りの地震動特性, 土木技術資料, 第33巻, 第7号, 平成3年7月
- 15) Housner, G. W.: Behavior of Structures during Earthquakes, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 85, No. 4, October, 1959
- 16) 大崎順彦: 地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, 昭和58年

- 17) 建設省土木研究所：地震応答解析による沿道斜面の耐震性の検討，土木研究所資料，第1600号，昭和55年7月
- 18) 谷口栄一，久保田哲也，乗原徹郎：長野県西部地震による松越地区の斜面崩壊，土と基礎，第33巻，第11号，昭和60年11月

付属資料 1 加速度波形の一覧

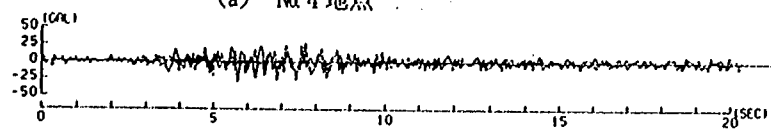
27-023-1315 (144-100)

ASH1.04.0018 < N-S> NO.1
MUPRZ1EQ-55 < 43> NO.2



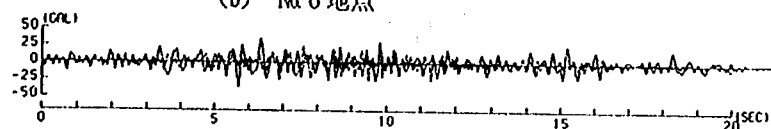
(a) No.4 地点

46121711 855 < N-S> NO.3
MUPRZ1EQ-55 < 306> NO.4



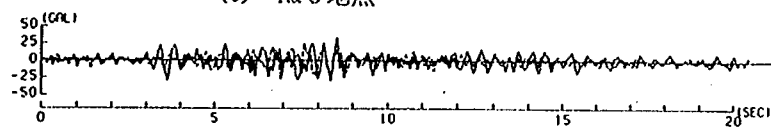
(b) No.6 地点

48121711 855 < N-S> NO.5
MUPRZ1EQ-55 < 316> NO.6



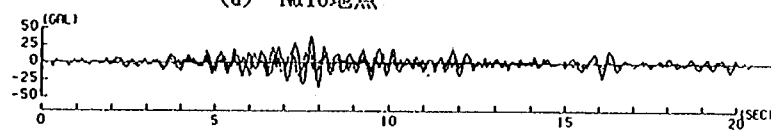
(c) No.8 地点

50121711 855 < N-S> NO.7
MUPRZ1EQ-55 < 246> NO.8



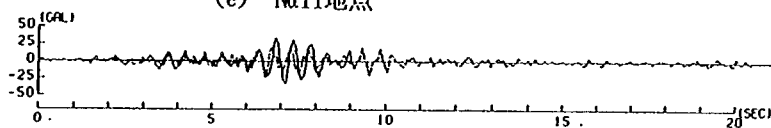
(d) No.10地点

51121711 855 < N-S> NO.9
MUPRZ1EQ-55 < 183> NO.10



(e) No.11地点

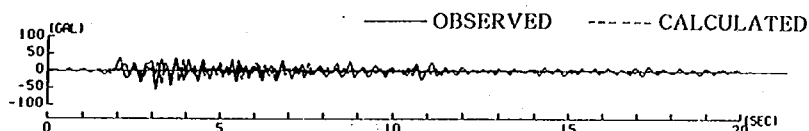
53121711 855 < N-S> NO.11
MUPRZ1EQ-55 < 155> NO.12



(f) No.13地点

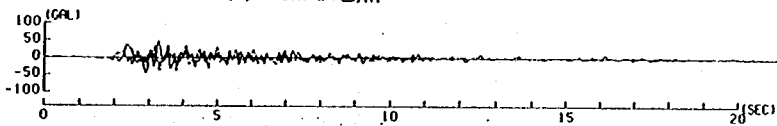
付図1.1 沼津, EQ-27

ASH1.04.0018 < N-S> NO.13
MUPRZ1EQ-58 < 43> NO.14



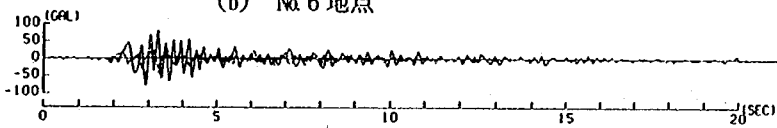
(a) No.4 地点

46 318 53446 < N-S> NO.15
MUPRZ1EQ-58 < 306> NO.16



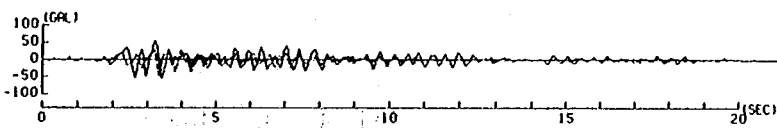
(b) No.6 地点

48 318 53446 < N-S> NO.17
MUPRZ1EQ-58 < 316> NO.18



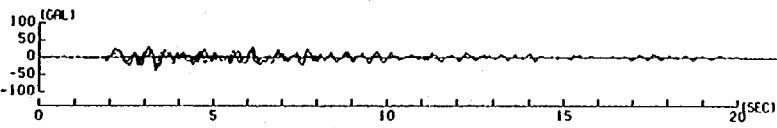
(c) No.8 地点

50 318 53446 < N-S> NO.19
MUPRZ1EQ-58 < 246> NO.20



(d) No.10地点

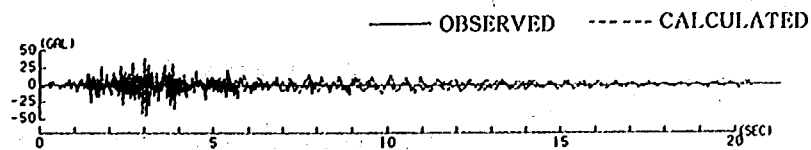
51 318 53446 < N-S> NO.21
MUPRZ1EQ-58 < 183> NO.22



(e) No.11地点

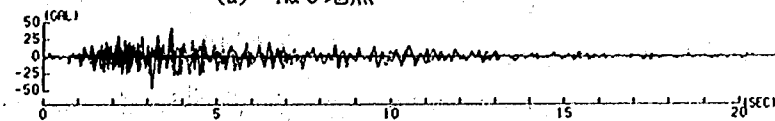
付図1.2 沼津, EQ-29

46 9 5 04937 < N-S> NO.23
MURZ(EQ-56 < 306> NO.24



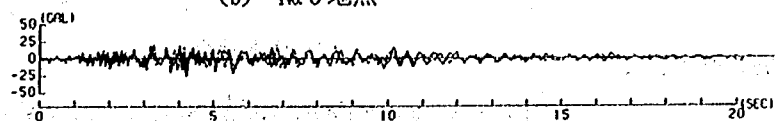
(a) No.6 地点

48 9 5 04937 < N-S> NO.25
MURZ(EQ-56 < 316> NO.26



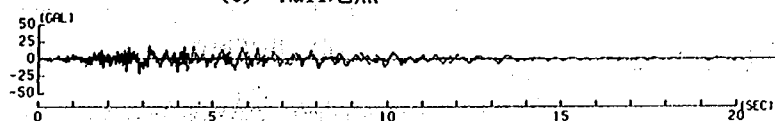
(b) No.8 地点

51 9 5 04937 < N-S> NO.27
MURZ(EQ-56 < 103> NO.28



(c) No.11 地点

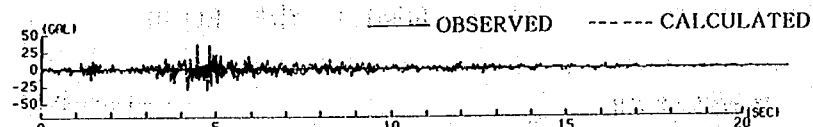
53 9 5 04937 < N-S> NO.29
MURZ(EQ-56 < 155> NO.30



(d) No.13 地点

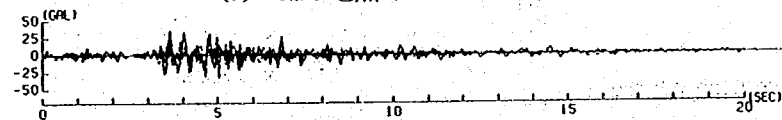
付図1.3 沼津, EQ-36

46 7 911 919 < N-S> NO.31
MURZ(EQ-56 < 306> NO.32



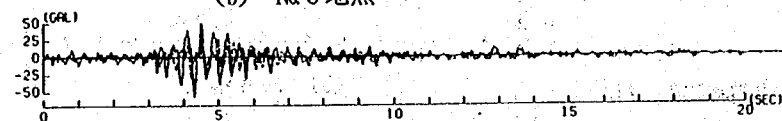
(a) No.6 地点

48 7 911 919 < N-S> NO.33
MURZ(EQ-56 < 316> NO.34



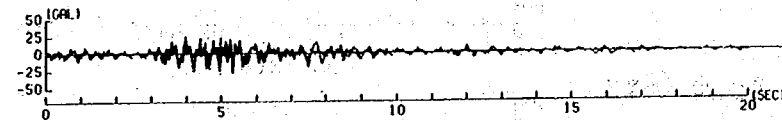
(b) No.8 地点

50 7 911 919 < N-S> NO.35
MURZ(EQ-56 < 246> NO.36



(c) No.10 地点

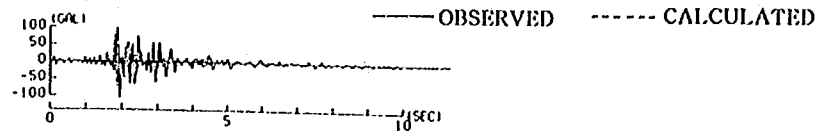
51 7 911 919 < N-S> NO.37
MURZ(EQ-56 < 103> NO.38



(d) No.11 地点

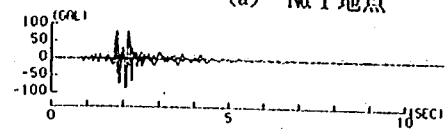
付図1.4 沼津, EQ-41

61 913 75817 < N-S> NO.1
MITSUKI 172 < 120> NO.2



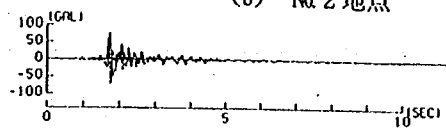
(a) No. 1 地点

62 913 75817 < N-S> NO.3
MITSUKI 172 < 90> NO.4



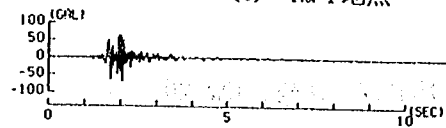
(b) No. 2 地点

64 913 75817 < N-S> NO.5
MITSUKI 172 < 27> NO.6



(c) No. 4 地点

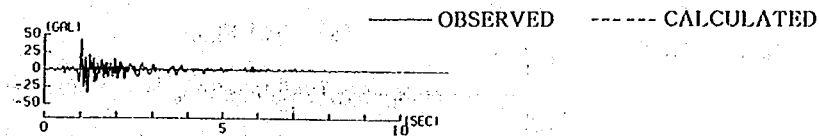
65 913 75817 < N-S> NO.7
MITSUKI 172 < 13> NO.8



(d) No. 5 地点

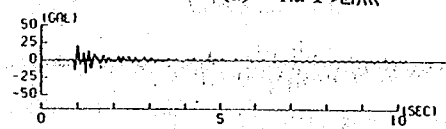
付図1.5 松崎, EQ-12

611018 35817 < N-S> NO.9
MITSUKI 172 < 120> NO.10



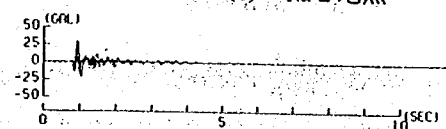
(a) No. 1 地点

621018 35817 < N-S> NO.11
MITSUKI 172 < 90> NO.12



(b) No. 2 地点

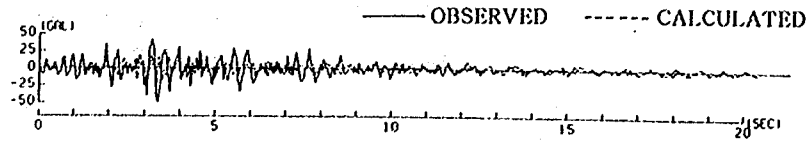
641018 35817 < N-S> NO.13
MITSUKI 172 < 27> NO.14



(c) No. 4 地点

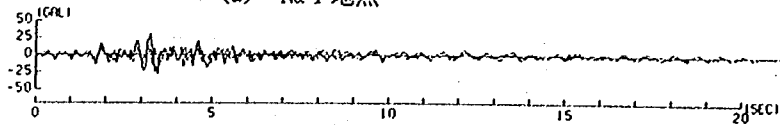
付図1.6 松崎, EQ-14

611122 942.3 < N-S> NO.15
MITSUKI 172 < 126> NO.16



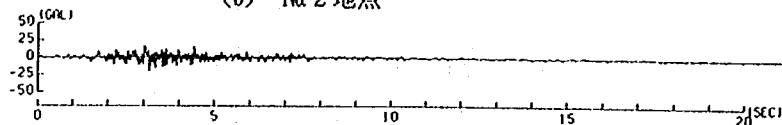
(a) No. 1 地点

621122 942.3 < N-S> NO.17
MITSUKI 172 < 90> NO.18



(b) No. 2 地点

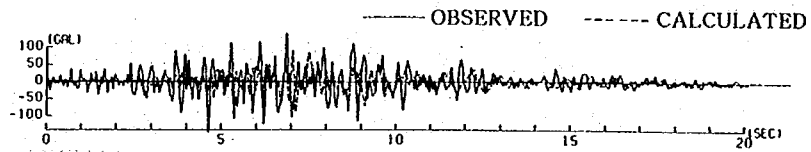
651122 942.3 < N-S> NO.19
MITSUKI 172 < 13> NO.20



(c) No. 5 地点

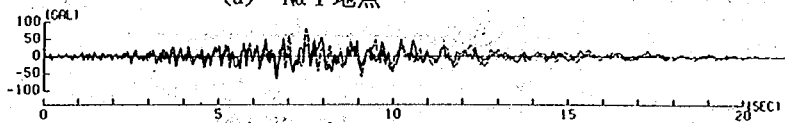
付図1.7 松崎, EQ-20

61 220155347 < N-S> NO.21
MITSUKI 172 < 126> NO.22



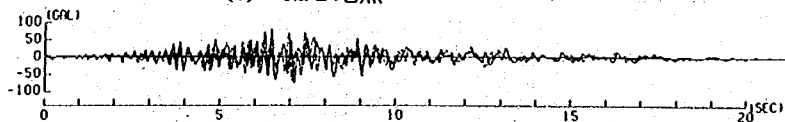
(a) No. 1 地点

62 220155347 < N-S> NO.23
MITSUKI 172 < 90> NO.24



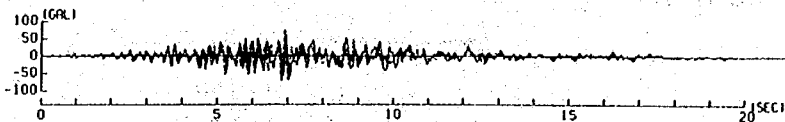
(b) No. 2 地点

63 220155347 < N-S> NO.25
MITSUKI 172 < 49> NO.26



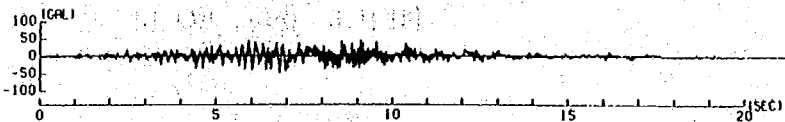
(c) No. 3 地点

64 220155347 < N-S> NO.27
MITSUKI 172 < 27> NO.28



(d) No. 4 地点

65 220155347 < N-S> NO.29
MITSUKI 172 < 13> NO.30



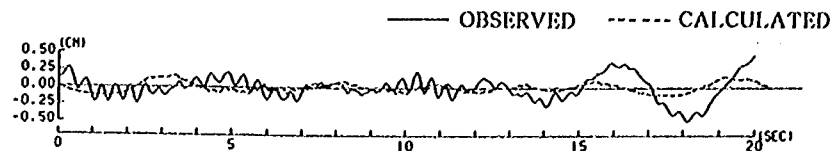
(e) No. 5 地点

付図1.8 松崎, EQ-44

付属資料 2 変位波形の一覧

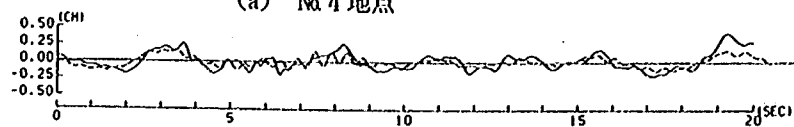
4-10000-11000

RSN1-04-0013 < N-S> NO.1
MMPZ1EQ-55 < 43> NO.2



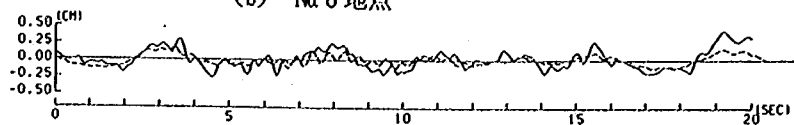
(a) No. 4地点

48121711 855 < N-S> NO.3
MMPZ1EQ-55 < 306> NO.4



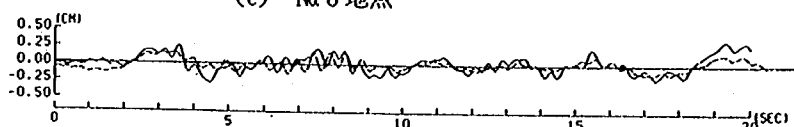
(b) No. 6地点

48121711 855 < N-S> NO.5
MMPZ1EQ-55 < 316> NO.6



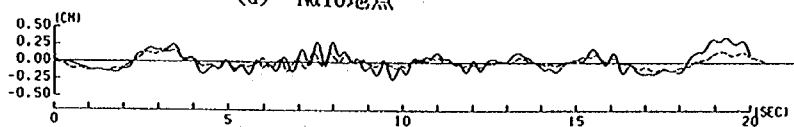
(c) No. 8地点

50121711 855 < N-S> NO.7
MMPZ1EQ-55 < 246> NO.8



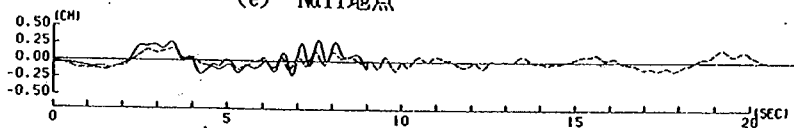
(d) No. 10地点

51121711 855 < N-S> NO.9
MMPZ1EQ-55 < 183> NO.10



(e) No. 11地点

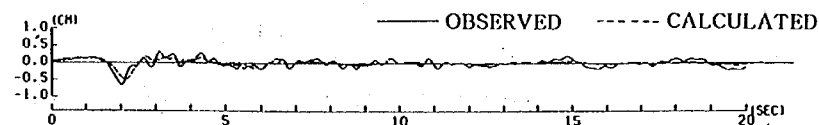
53121711 855 < N-S> NO.11
MMPZ1EQ-55 < 155> NO.12



(f) No. 13地点

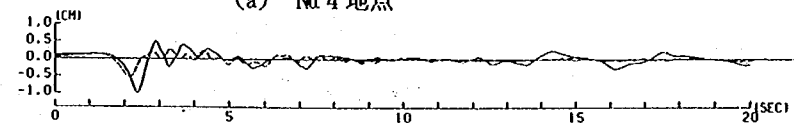
付図2.1 沼津, EQ-27

RSN1-04-0014 < N-S> NO.13
MMPZ1EQ-58 < 43> NO.14



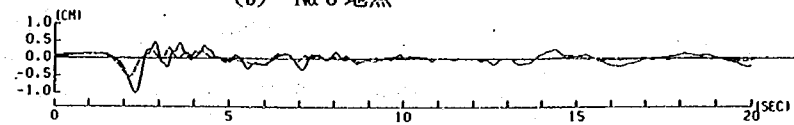
(a) No. 4地点

46 318 53446 < N-S> NO.15
MMPZ1EQ-58 < 306> NO.16



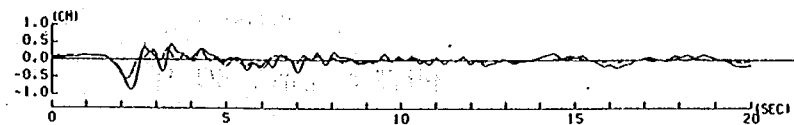
(b) No. 6地点

48 318 53446 < N-S> NO.17
MMPZ1EQ-58 < 316> NO.18



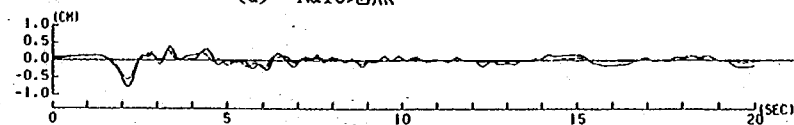
(c) No. 8地点

50 318 53446 < N-S> NO.19
MMPZ1EQ-58 < 246> NO.20



(d) No. 10地点

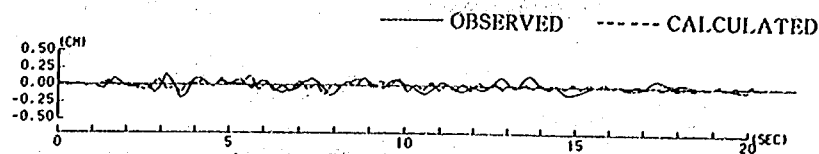
51 318 53446 < N-S> NO.21
MMPZ1EQ-58 < 183> NO.22



(e) No. 11地点

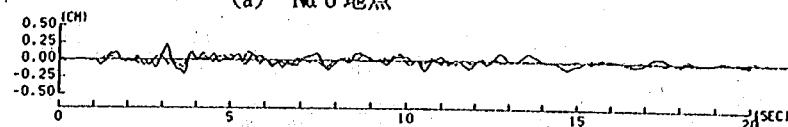
付図2.2 沼津, EQ-29

46 9 5 04937 < N-S> NO.23
MMPZ(EQ-58 < 306> NO.24



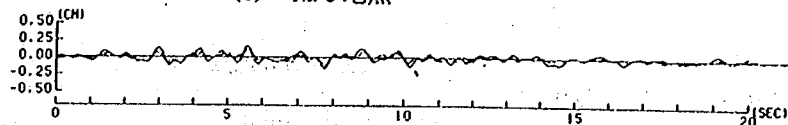
(a) No. 6地点

48 9 5 04937 < N-S> NO.25
MMPZ(EQ-58 < 310> NO.20



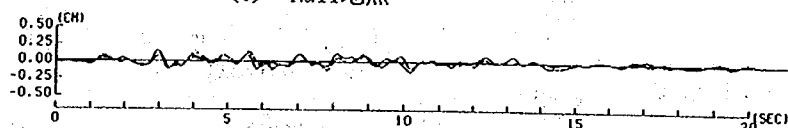
(b) No. 8地点

51 9 5 04937 < N-S> NO.27
MMPZ(EQ-58 < 183> NO.28



(c) No. 11地点

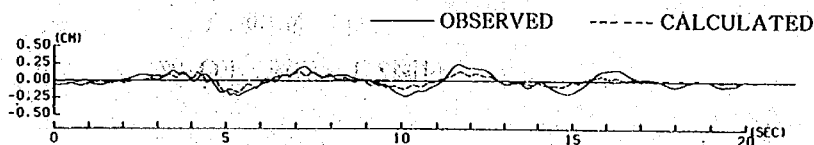
53 9 5 04937 < N-S> NO.29
MMPZ(EQ-58 < 155> NO.30



(d) No. 13地点

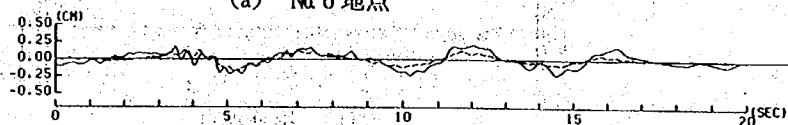
付図2.3 沼津, EQ-36

46 7 911 919 < N-S> NO.31
MMPZ(EQ-58 < 306> NO.32



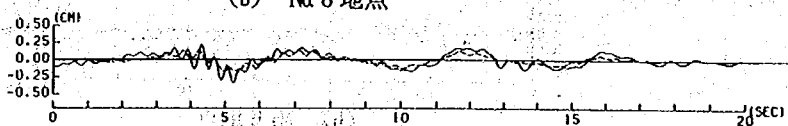
(a) No. 6地点

48 7 911 919 < N-S> NO.33
MMPZ(EQ-58 < 310> NO.34



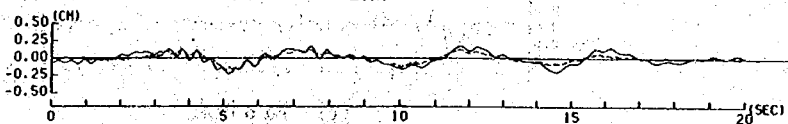
(b) No. 8地点

50 7 911 919 < N-S> NO.35
MMPZ(EQ-58 < 246> NO.36



(c) No. 10地点

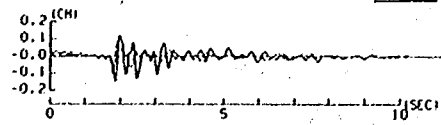
51 7 911 919 < N-S> NO.37
MMPZ(EQ-58 < 183> NO.38



(d) No. 11地点

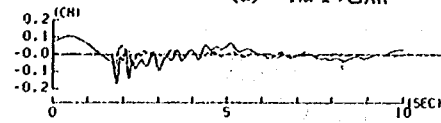
付図2.4 沼津, EQ-41

61 913 75817 < N-S> NO.1
MITSUKI 172 < 126> NO.2



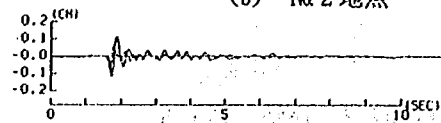
(a) No. 1 地点

62 913 75817 < N-S> NO.3
MITSUKI 172 < 50> NO.4



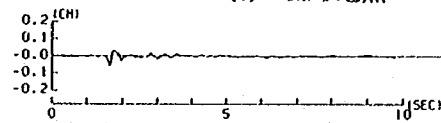
(b) No. 2 地点

64 913 75817 < N-S> NO.5
MITSUKI 172 < 27> NO.6



(c) No. 4 地点

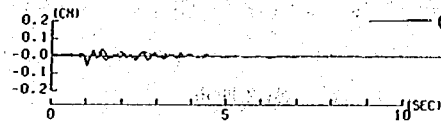
65 913 75817 < N-S> NO.7
MITSUKI 172 < 13> NO.8



(d) No. 5 地点

付図2.5 松崎, EQ-12

611018 35817 < N-S> NO.9
MITSUKI 172 < 126> NO.10



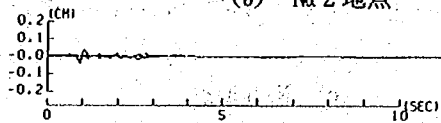
(a) No. 1 地点

621018 35817 < N-S> NO.11
MITSUKI 172 < 50> NO.12



(b) No. 2 地点

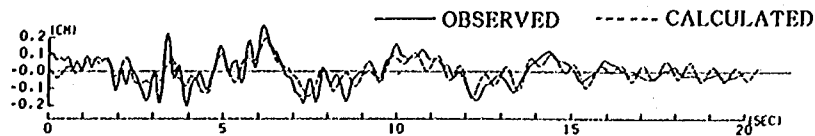
641018 35817 < N-S> NO.13
MITSUKI 172 < 27> NO.14



(c) No. 4 地点

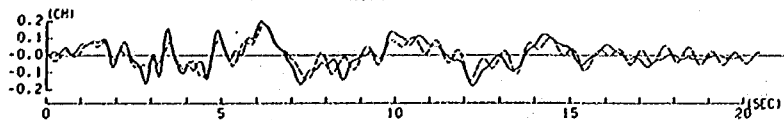
付図2.6 松崎, EQ-14

611122 942 3 < N-S> NO.15
MITSUKI 172 < 126> NO.16



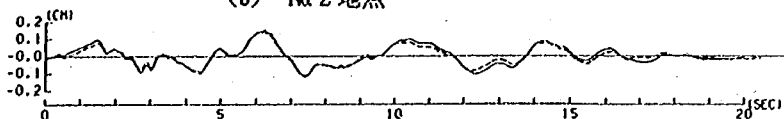
(a) No. 1 地点

621122 942 3 < N-S> NO.17
MITSUKI 172 < 90> NO.18



(b) No. 2 地点

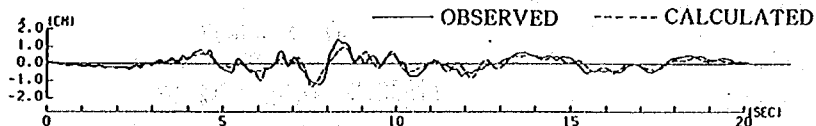
651122 942 3 < N-S> NO.19
MITSUKI 172 < 13> NO.20



(c) No. 5 地点

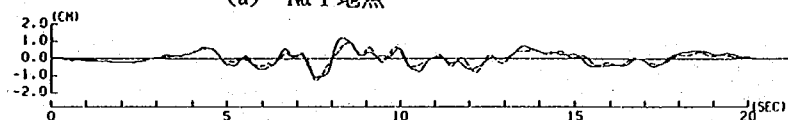
付図2.7 松崎, EQ-20

61 220155347 < N-S> NO.21
MITSUKI 172 < 126> NO.22



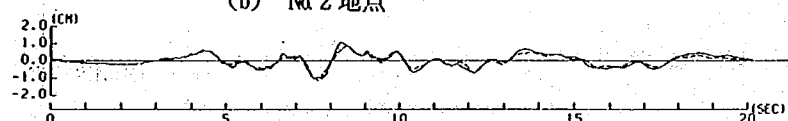
(a) No. 1 地点

62 220155347 < N-S> NO.23
MITSUKI 172 < 90> NO.24



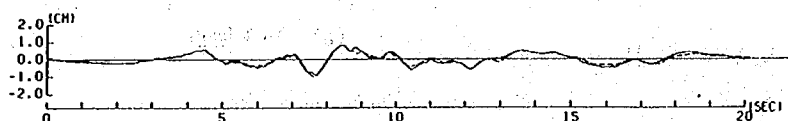
(b) No. 2 地点

63 220155347 < N-S> NO.25
MITSUKI 172 < 13> NO.26



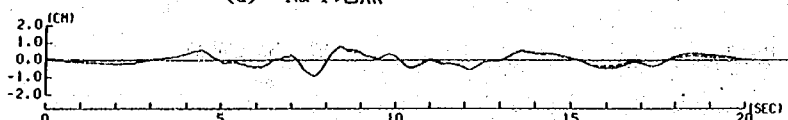
(c) No. 3 地点

64 220155347 < N-S> NO.27
MITSUKI 172 < 27> NO.28



(d) No. 4 地点

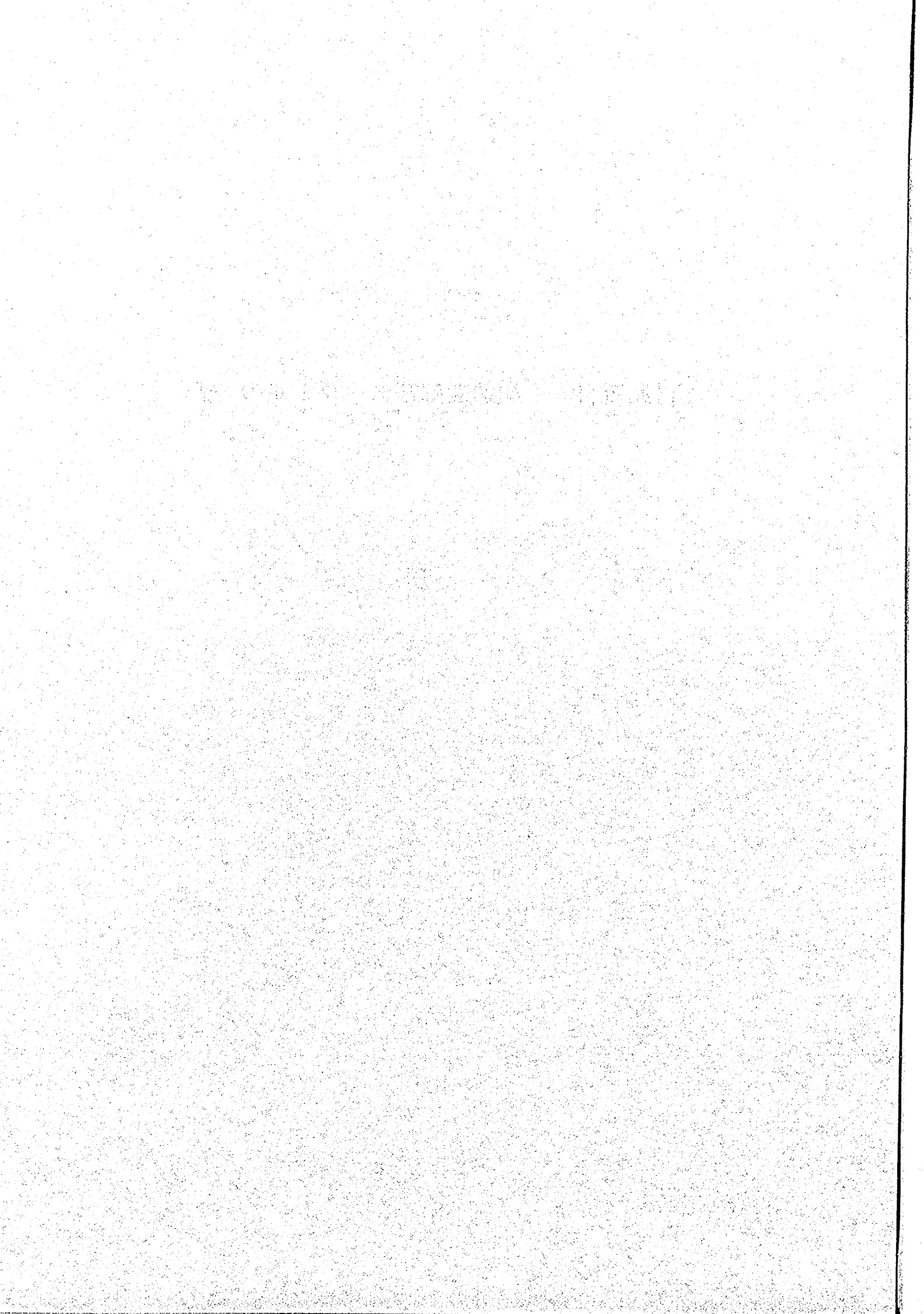
65 220155347 < N-S> NO.29
MITSUKI 172 < 13> NO.30

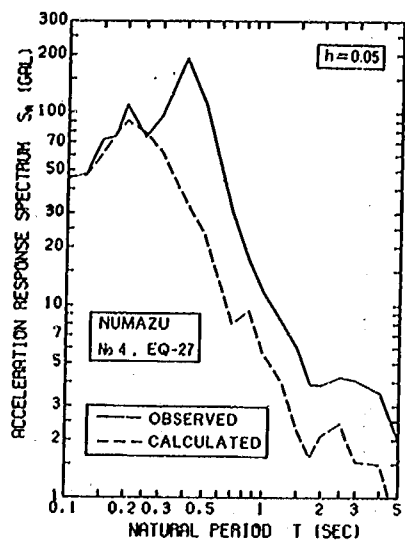


(e) No. 5 地点

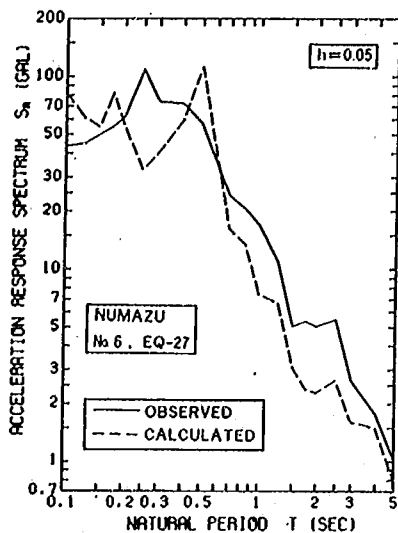
付図2.8 松崎, EQ-44

付属資料 3 加速度応答スペクトルの一覧

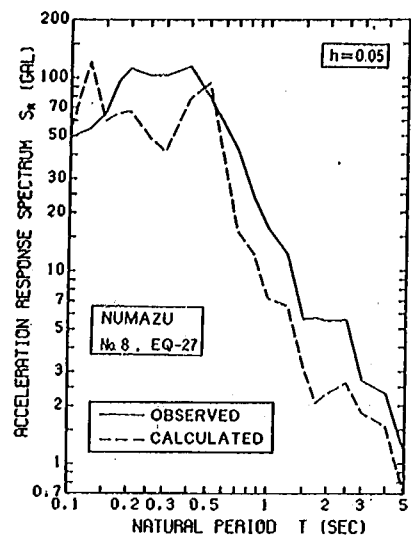




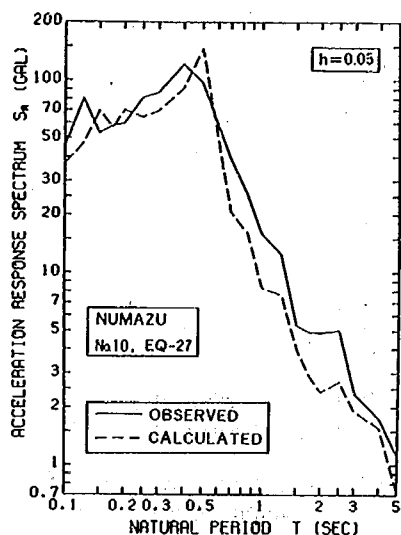
付図3.1 沼津, No. 4, EQ-27



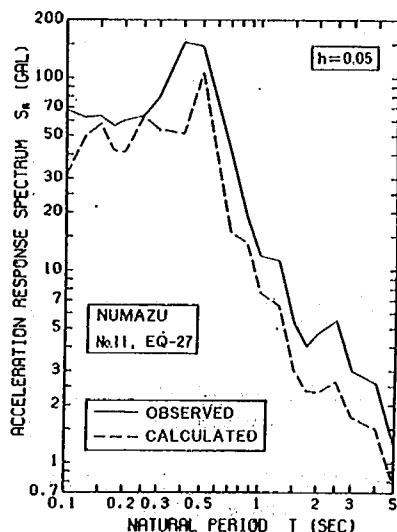
付図3.2 沼津, No. 6, EQ-27



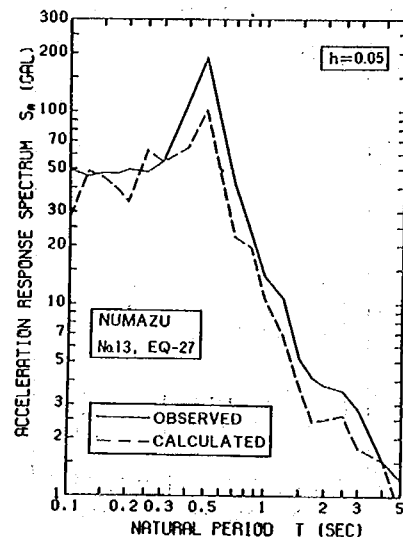
付図3.3 沼津, No. 8, EQ-27



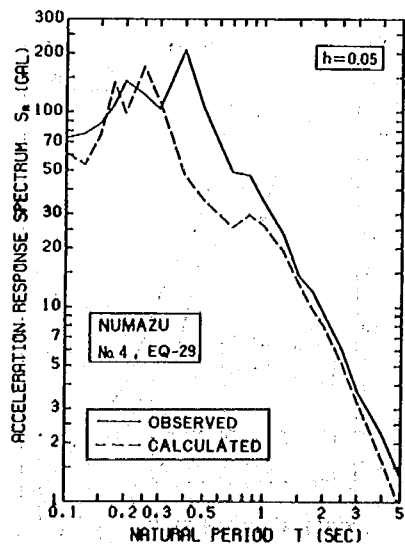
付図3.4 沼津, No. 10, EQ-27



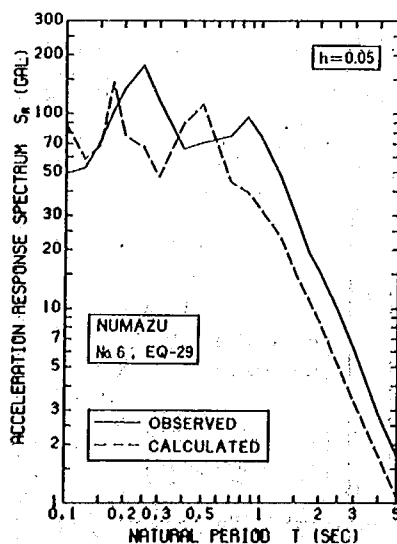
付図3.5 沼津, No. 11, EQ-27



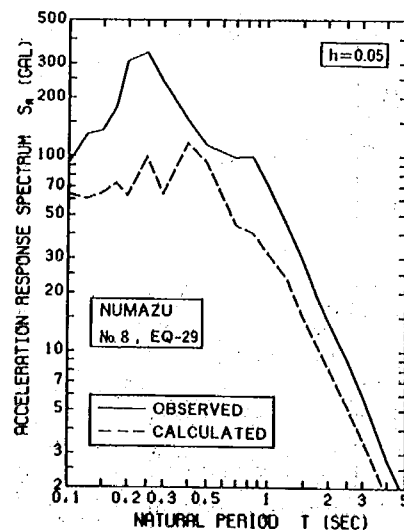
付図3.6 沼津, No. 13, EQ-27



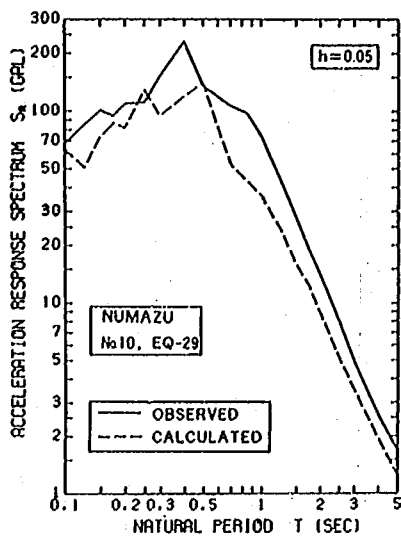
付図3.7 沼津, No. 4, EQ-29



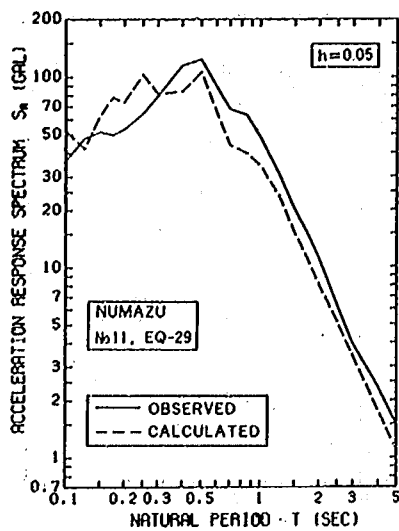
付図3.8 沼津, No. 6, EQ-29



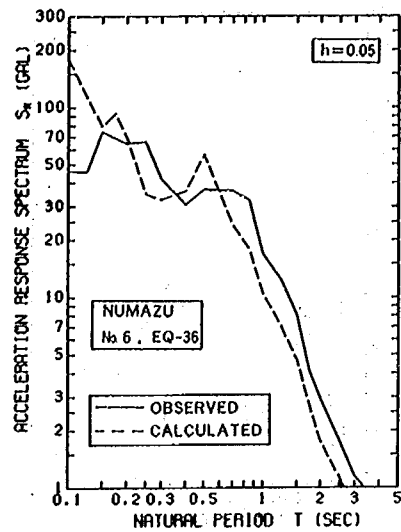
付図3.9 沼津, No. 8, EQ-29



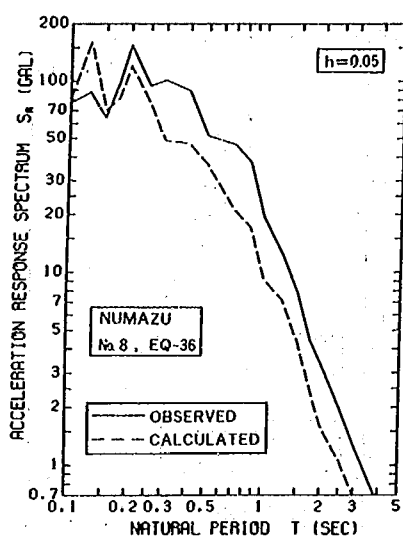
付図3.10 沼津, No.10, EQ-29



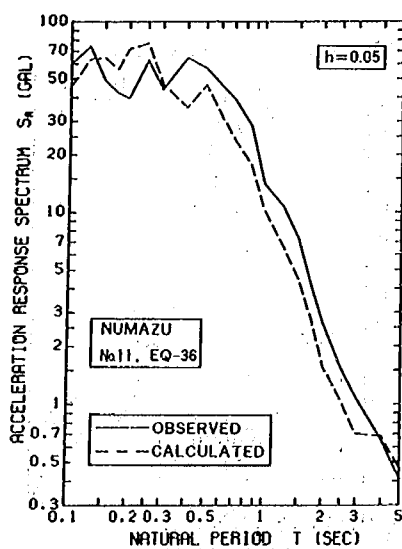
付図3.11 沼津, No.11, EQ-29



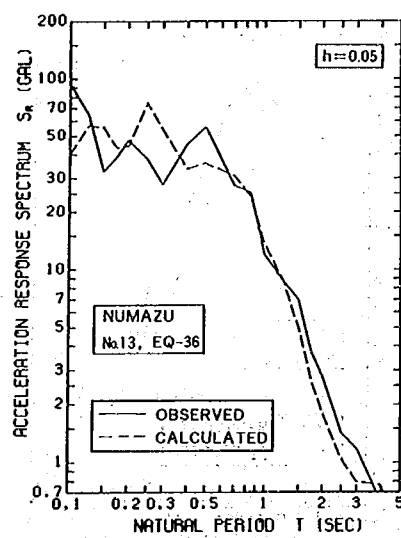
付図3.12 沼津, No.6, EQ-36



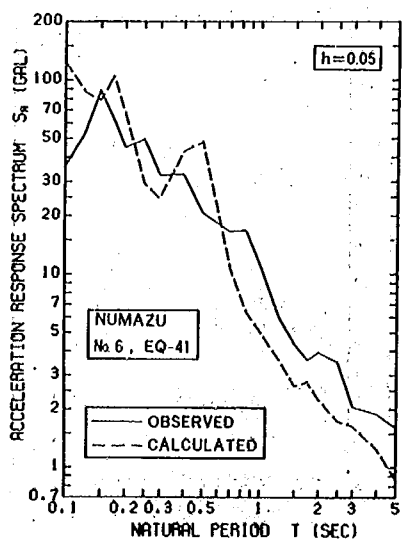
付図3.13 沼津, No.8, EQ-36



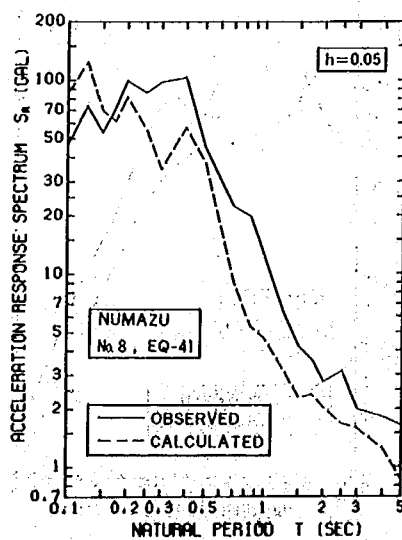
付図3.14 沼津, No.11, EQ-36



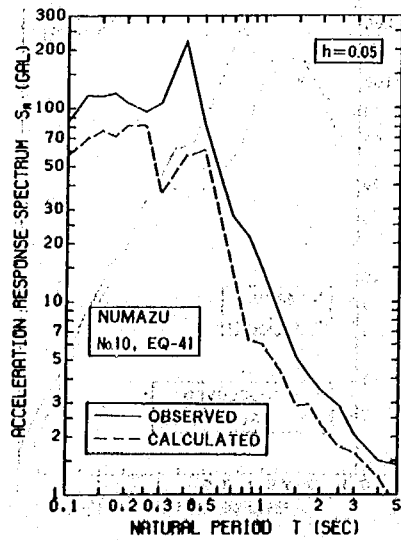
付図3.15 沼津, No.13, EQ-36



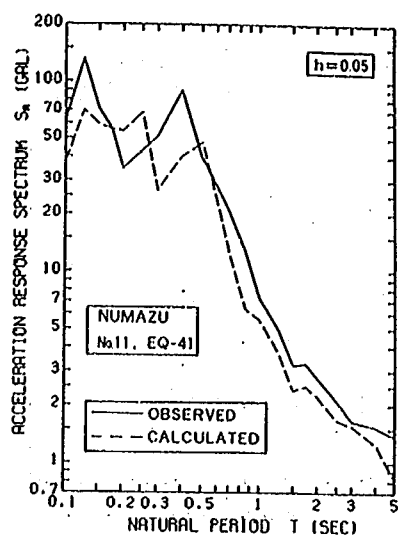
付図3.16 沼津, No.6, EQ-41



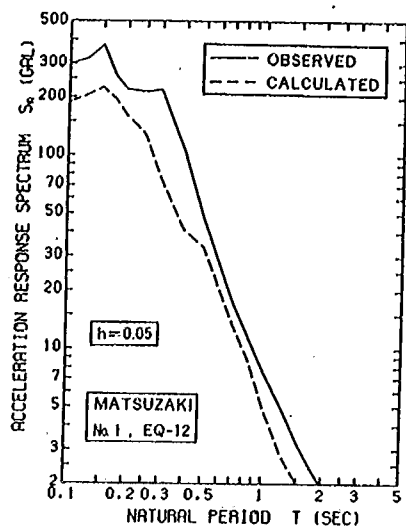
付図3.17 沼津, No.8, EQ-41



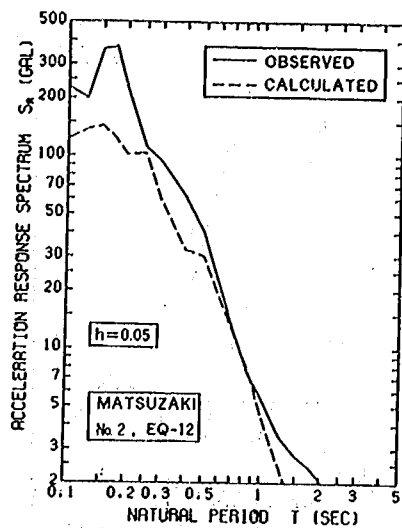
付図3.18 沼津, No.10, EQ-41



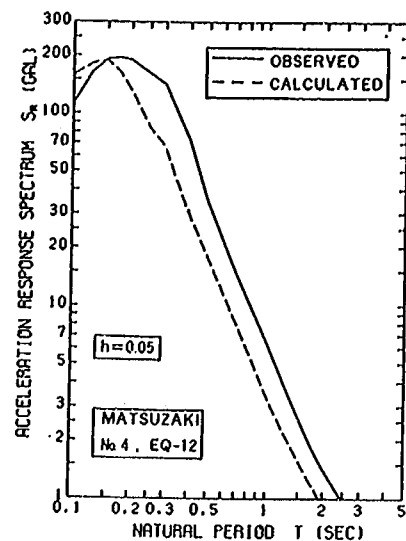
付図3.19 沼津, No.11, EQ-41



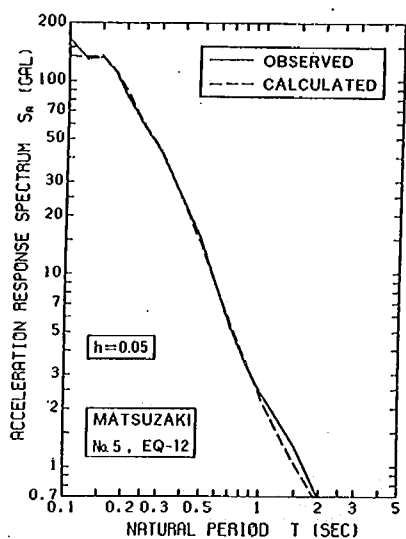
付図3.20 松崎, No. 1, EQ-12



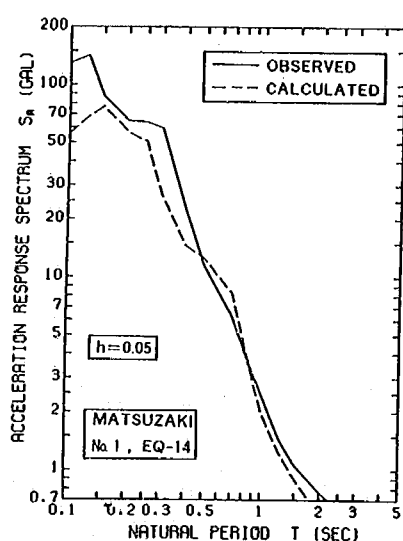
付図3.21 松崎, No. 2, EQ-12



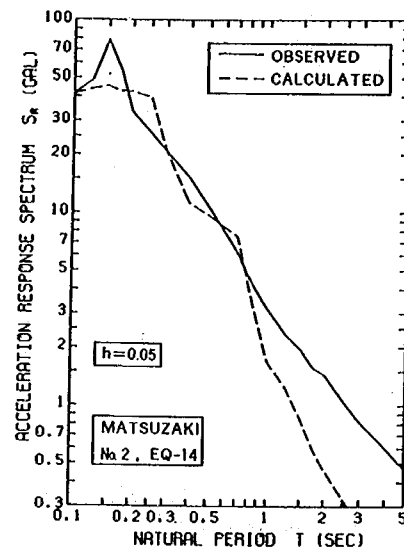
付図3.22 松崎, No. 4, EQ-12



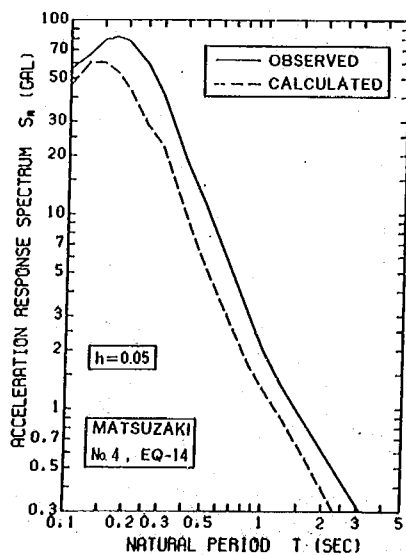
付図3.23 松崎, No. 5, EQ-12



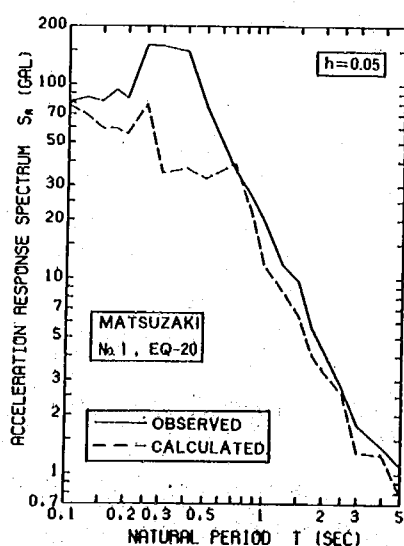
付図3.24 松崎, No. 1, EQ-14



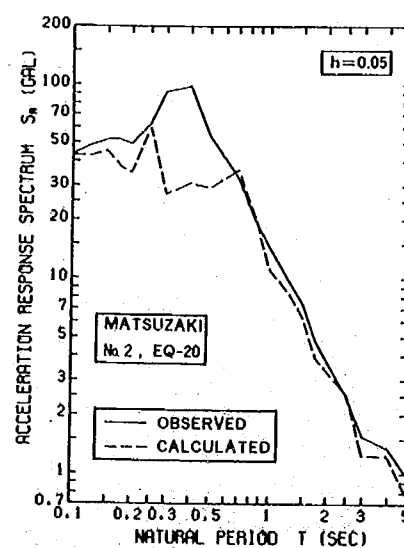
付図3.25 松崎, No. 2, EQ-14



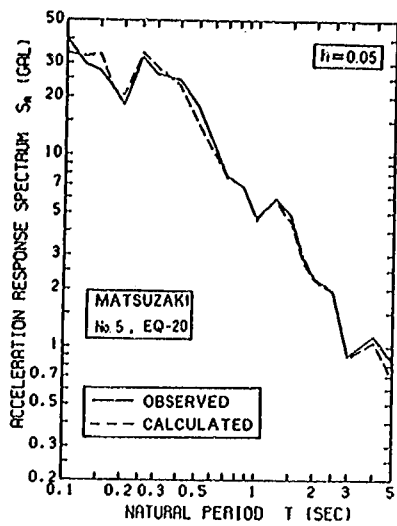
付図3.26 松崎, No. 4, EQ-14



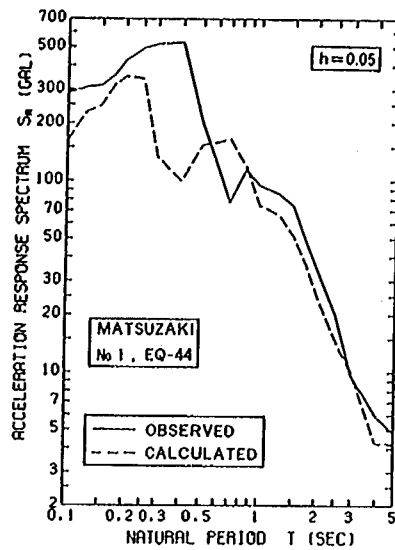
付図3.27 松崎, No. 1, EQ-20



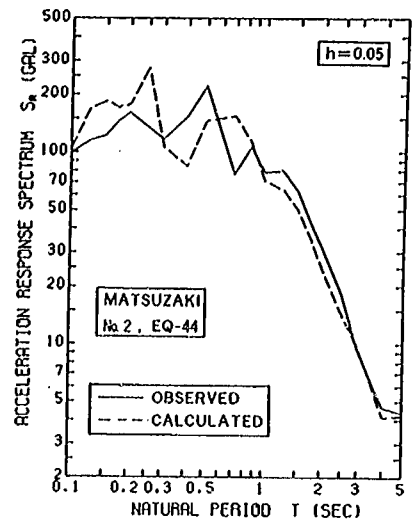
付図3.28 松崎, No. 2, EQ-20



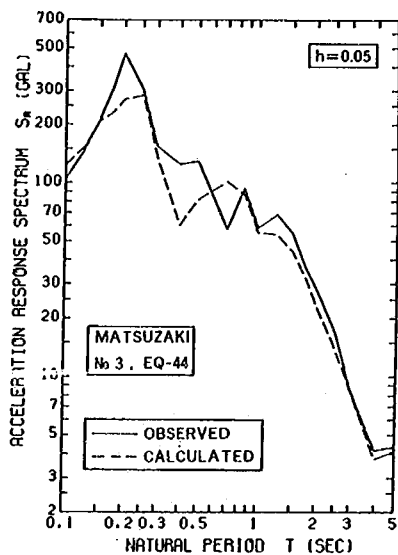
付図3.29 松崎, No. 5, EQ-20



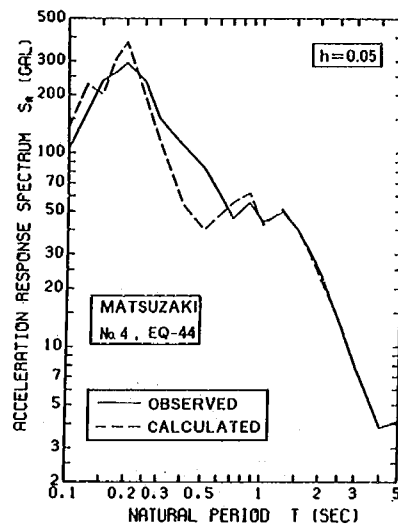
付図3.30 松崎, No. 1, EQ-44



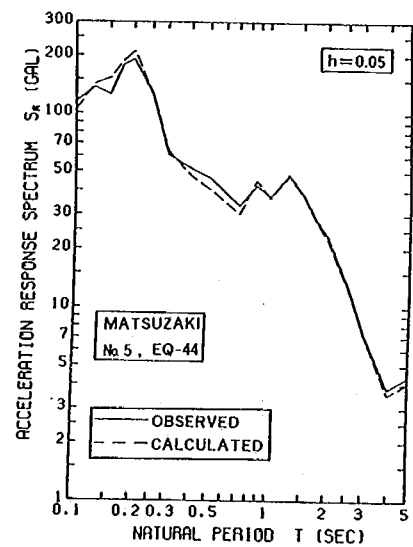
付図3.31 松崎, No. 2, EQ-44



付図3.32 松崎, No. 3, EQ-44



付図3.33 松崎, No. 4, EQ-44



付図3.34 松崎, No. 5, EQ-44

不整形地盤の二次元地震応答解析

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第3124号

平成4年7月(1992年)

常田 賢一, 田村 敬一

深田 秀実

要 旨 不整形地盤の二次元地震応答解析

本資料は、高密度強震観測が実施されている沼津地区の地盤条件変化部および松崎地区の斜面部を対象として二次元地震応答解析を行い、解析結果と実測値の整合性並びに地盤の不整形性が地震動特性に及ぼす影響について検討したものである。

キーワード：不整形地盤，地震応答解析，高密度強震観測，地震動，耐震設計



郵便はがき

41円切手
をはって
下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

振動研究室 御中

No. 199

No. 199

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料 第3124号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏名



土木研究所資料第3124号



不整形地盤の二次元地震応答解析