

1. 液状化の判定方法

液状化の判定は、「建築基礎構造設計指針（日本建築学会）」に準拠して実施する。

(1) 液状化判定フロー

液状化判定フローを図-6.1 に示す

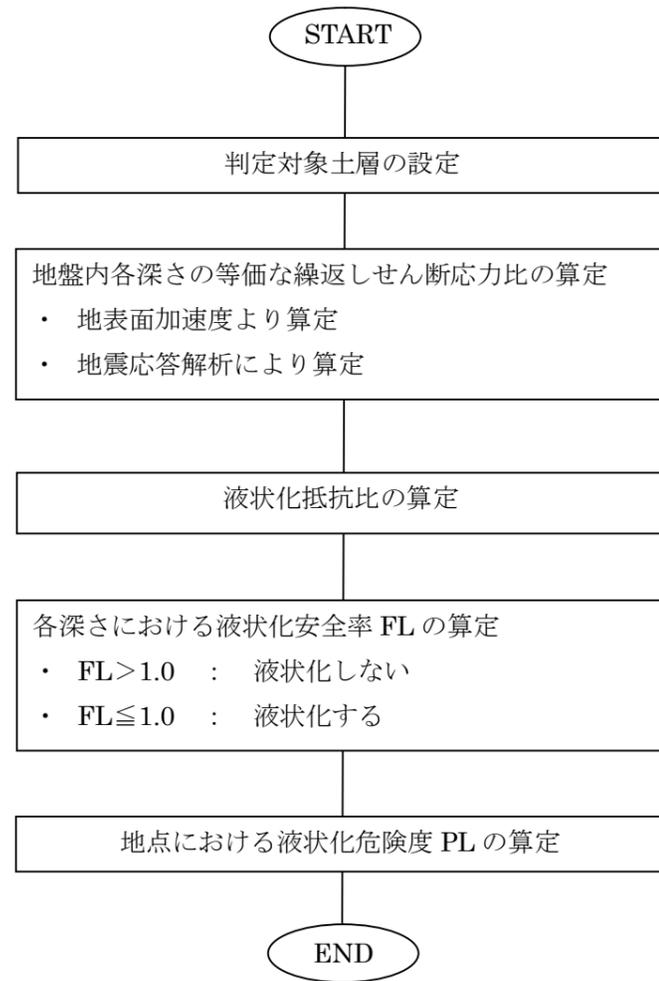


図-6.1 液状化判定フロー

(2) 判定対象土層

液状化の判定を行う必要がある飽和土層は、一般に地表面から 20m 程度以浅の沖積層で、考慮すべき土の種類は、細粒分含有率が 35%以下の土とする。ただし、埋立地盤など人工造成地盤では、細粒分含有率が 35%以上の低塑性シルト、液性限界に近い含水比を持ったシルトなどが液状化した事例も報告されているので、粘土分(0.005 mm以下の粒径を持つ土粒子)含有率が 10%以下、または塑性指数が 15%以下の埋立あるいは盛土地盤については液状化の検討を行う。細粒土を含む礫や透水性の低い土層に囲まれた礫は液状化の可能性が否定できないので、そのような場合にも液状化の検討を行う。

(3) 検討地点の地盤内の各深さに発生する等価な繰返しせん断応力比の算定

1) 地表面加速度より算定

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = r_n \frac{\alpha_{max}}{g} \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} r_d$$

- ここに、 τ_d : 水平面に生じる等価な一定繰返しせん断応力振幅 (kN/m²)
- γ_n : 等価な繰返し回数に関する補正係数で $\gamma_n=0.1*(M-1)$
M は地震のマグニチュード
- σ'_z : 検討深さにおける有効土被り圧 (鉛直有効応力) (kN/m²)
- σ_z : 検討深さにおける全土被り圧 (鉛直全応力) (kN/m²)
- α_{max} : 地表面における設計用水平加速度(gal)
- g : 重力加速度 (980gal)
- r_d : 地盤が剛体でないことによる低減係数で (1-0.015z)
z は、メートル単位で表した地表面からの検討深さ

2) 地震応答解析により算定

$$\tau_d / \sigma'_z = \gamma_n * \tau_{max} / \sigma'_z$$

- ここに、 τ_d : 水平面に生じる等価な一定繰返しせん断応力振幅 (kN/m²)
- γ_n : 等価な繰返し回数に関する補正係数で $\gamma_n=0.1*(M-1)$
M は地震のマグニチュード
- τ_{max} : 地震応答解析により算定した最大せん断応力(kN/m²)
- σ'_z : 地震応答解析で用いた有効土被り圧 (鉛直有効応力) (kN/m²)

(4) 液状化抵抗比の算定

1) 対応する深度の補正 N 値 (Na) を次式から算定

$$Nl = CN * N$$

$$CN = \sqrt{98 / \sigma z'}$$

$$Na = Nl + \Delta Nf$$

- ここに、Na : 補正 N 値
 Nl : 換算 N 値
 ΔNf : 細粒分含有率 Fc に応じた補正 N 値増分で図-6.1.1 による
 CN : 拘束圧に関する換算係数

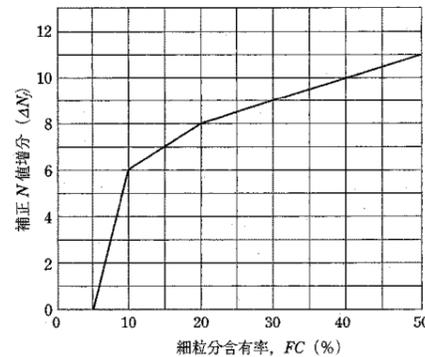


図-6.1.1 細粒分含有率と N 値の補正係数

2) 液状化抵抗比 R の算定

図-6.1.2 の限界せん断ひずみ振幅曲線 5% を用いて、補正 N 値 (Na) に対する飽和土層の液状化抵抗比 R をもとめる。

$$R = \tau l / \sigma z'$$

- ここに、R : 液状化抵抗比
 τl : 水平面における液状化抵抗
 $\sigma z'$: 検討深さにおける有効土被り圧 (kN/m²)

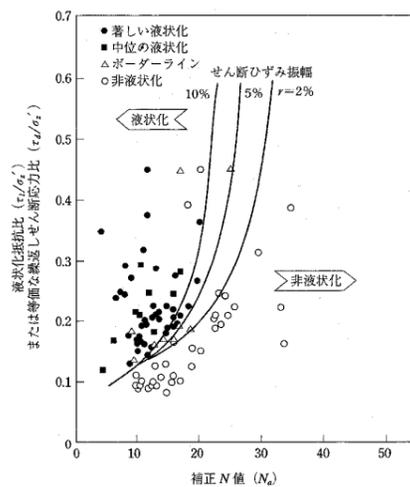


図-6.1.2 補正 N 値と液状化抵抗、動的せん断ひずみの関係

(5) 液状化安全率 FL の算定

各深さにおける液状化発生に対する安全率 FL を次式により算定する。

$$F_L = \frac{\tau_l / \sigma'_v}{\tau_d / \sigma'_v}$$

ここに、 $F_L > 1.0$: 液状化しない

$F_L \leq 1.0$: 液状化する

(6) 地点における液状化危険度 PL の算定

一般的に PL 値の算出方法については、式-2 に基づき図-1 のように深度 20m が用いられている。

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot W(z) dz \quad \dots \text{式-2}$$

- ここに、PL : 液状化指数
 $F=0.0$ ($F_L > 1.0$ の場合)
 $F=1-F_L$ ($F_L \leq 1.0$ の場合)
 $W(z)=10-0.5z$
 Z : 深度 (m)

なお、橋梁等の大規模土木工作物等と比較して、戸建て住宅の荷重は小さいことから、即地的には深度 20m とした場合に、被害実態と必ずしも整合が図れない場合が生じる。この場合は例えば、式-3 に基づき深度 10m を用いる等の現地の実態に即した検討を行うことも想定される。

$$P_L = \int_0^{10} F \cdot W(z) dz \quad \dots \text{式-3}$$

- ここに、PL : 液状化指数
 $F=0.0$ ($F_L > 1.0$ の場合)
 $F=1-F_L$ ($F_L \leq 1.0$ の場合)
 $W(z)=20-2z$
 Z : 深度 (m)

PL による液状化判定区分については、表-1 のような目安が考えられる。

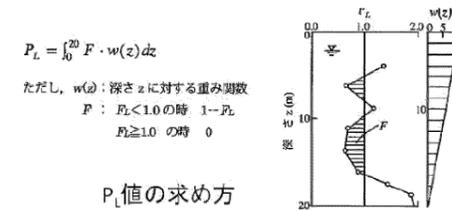


図-1 PL 値の算定方法について

表-1 PL 値と液状化による影響の関係

$P_L = 0$	液状化発生の可能性はない
$0 < P_L \leq 5$	液状化発生の可能性が低い
$5 < P_L \leq 15$	液状化発生の可能性がある
$15 < P_L$	液状化発生の可能性が高い

※ 中央防災会議による直近の大規模地震の被害想定手法 (中央防災会議事務局「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定手法について～基本被害～」平成19年11月)より

2. 液状化に伴う地盤変形量の予測

液状化に伴う地盤変形量の予測は、以下の2つの方法について実施する。

- ①「建築基礎構造設計指針」による方法
- ②「石原・吉嶺」の方法

(1) 建築基礎構造設計指針による地盤変形量の算定

地表変位を D_{cy} とし液状化程度の指標とする。液状化の程度は、 D_{cy} の値により表-6.1.1 のように設定する。

表-6.1.1 D_{cy} と液状化程度の関係

D_{cy} (cm)	液状化の程度
0	なし
0.5	軽微
0.5 - 1.0	小
1.0 - 2.0	中
2.0 - 4.0	大
4.0 -	甚大

同様に、沈下量 S を求めたい場合、図-6.1.2 をそのまま使い γ_{cy} を体積ひずみと読み替えればよい。

(2) 「石原・吉嶺」の方法による地盤沈下量の算定

「地震時の液状化に伴う砂地盤の沈下量予測」(第26回土質工学研究発表会、石原研而、吉嶺充俊) による地震による砂の液状化安全率と液状化後の排水に伴う体積ひずみの関係より沈下量を算定する。

1) 砂の液状化安全率と体積ひずみの関係

図-6.4 に砂の体積ひずみと最大せん断ひずみの関係を、図-6.5 に砂の液状化安全率と最大せん断ひずみの関係を示す。また、これらを組み合わせた砂の液状化安全率と体積ひずみの関係を図-6.6 に示す。

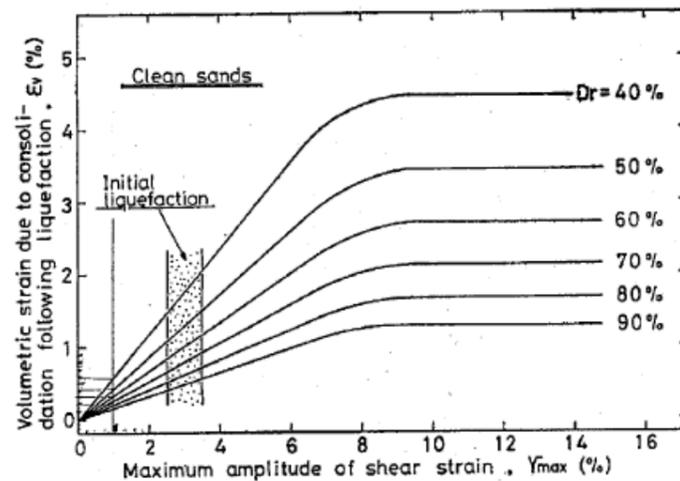


図-6.4 砂の体積ひずみ—最大せん断ひずみ関係

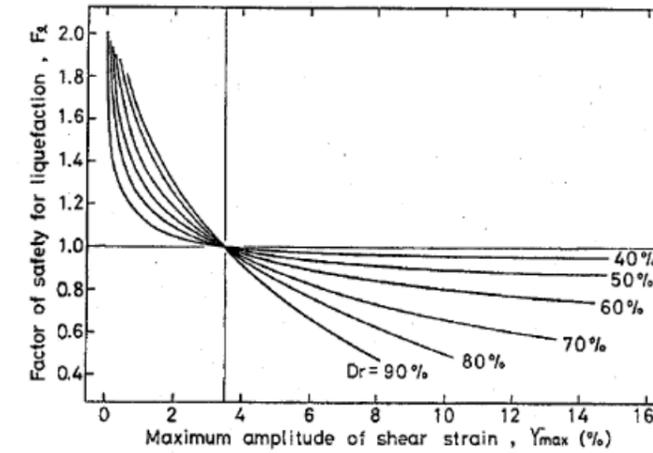


図-6.5 砂の液状化安全率—最大せん断ひずみ関係

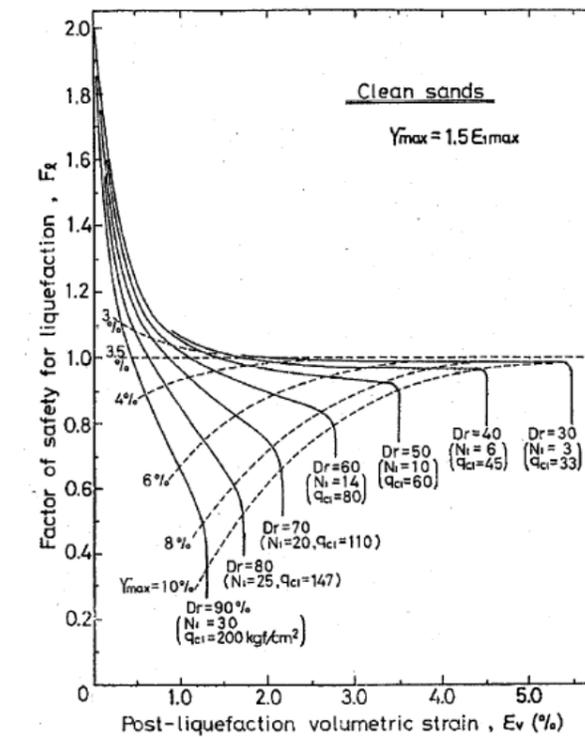


図-6.6 砂の液状化安全率—体積ひずみ関係

2) 地盤沈下量の算定

相対密度は、以下の示すマイヤホッフの式により算定する。液状化安全率は建築基礎構造設計指針の方法により算定する。

$$Dr = 21 (Nl/1.7)^{0.5}$$

$$Nl = 1.7N / (\sigma v' + 0.7)$$

ここに、 Dr : 相対密度 (%)

Nl : 正規化 N 値

N : 実測 N 値

$\sigma v'$: 有効上載圧 (kg/cm^2)

3. 検討に用いる地震動

液状化の検証に用いる地震動は、東日本大震災（既往最大値）で実際に発生したマグニチュードおよび加速度の地震動波形を用いる。

(1) 簡易法に用いる地震動

液状化被害の大きかった地点の近傍で観測された地震動は、KNetChiba（千葉県環境研究センター）観測の、

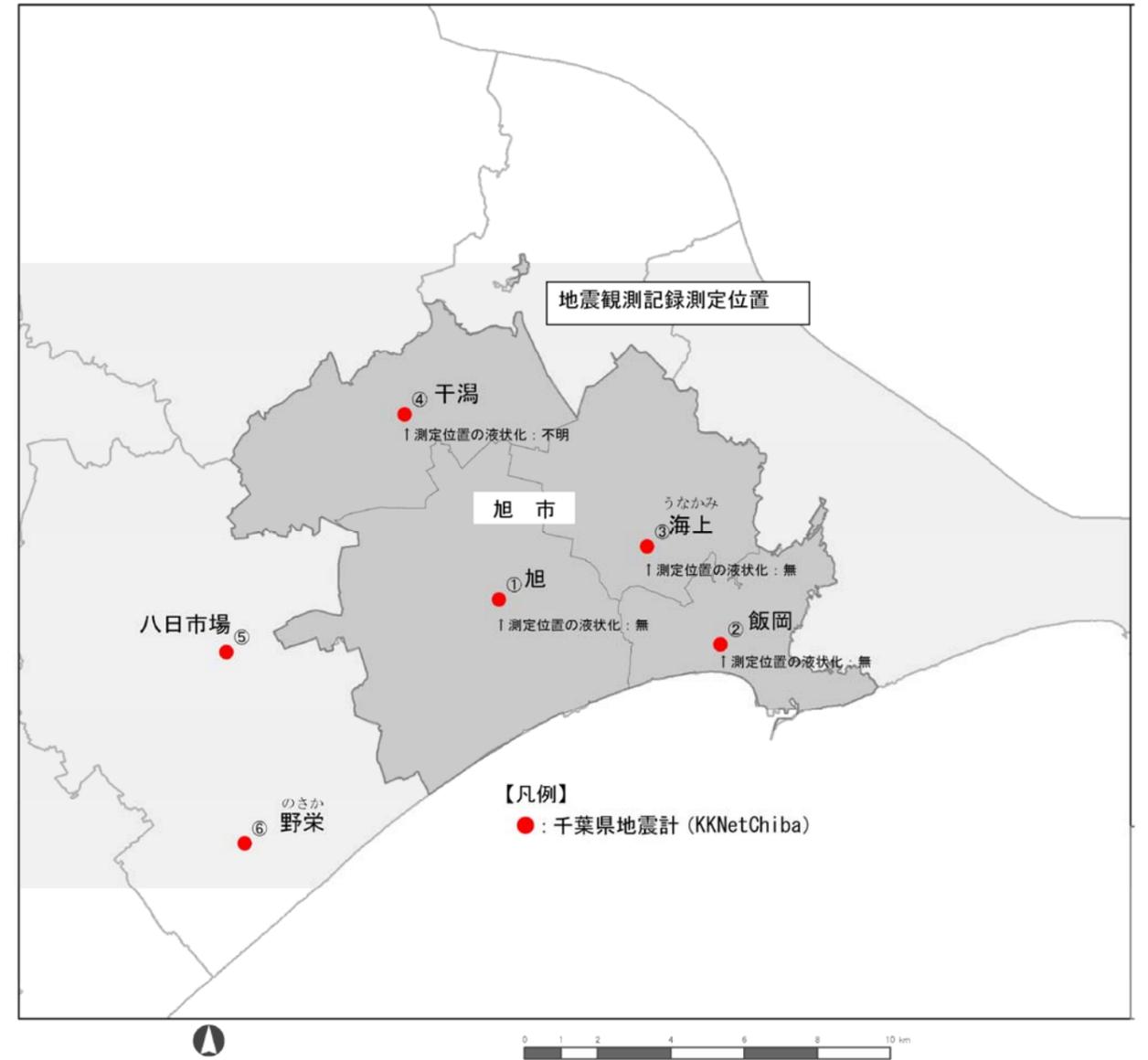
「旭」(旭市役所)

「飯岡」(飯岡支所)

「海上」(海上支所)

「干潟」(干潟支所)

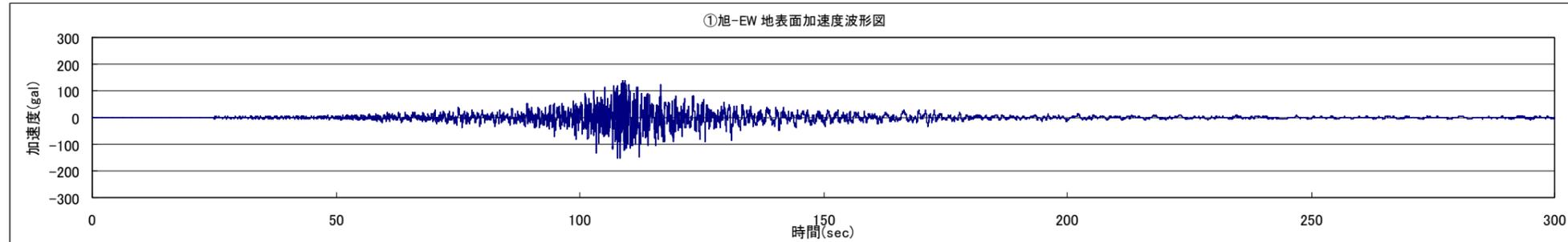
の観測波形を使用する。次頁より各波形の最大加速度から求めた、等価加速度を示す。



1) 旭地区

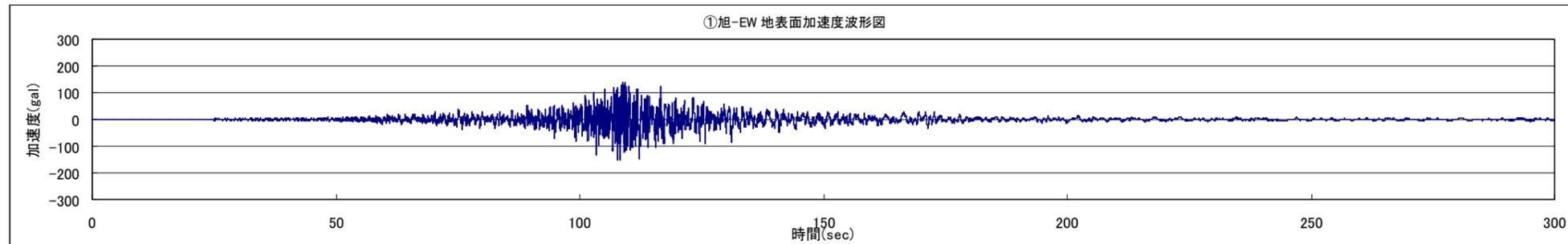
観測日	観測者	地震計位置	波形	地表面加速度 最大値 (gal)	0.65 × 地表面加速度 最大値 (gal)	
2011/3/11	KKNetChiba	旭市役所	本震 14:47頃	EW	153	99
				NS	157	102
			余震 15:15頃	EW	204	133
				NS	221 ^{※max}	143

本震 EW

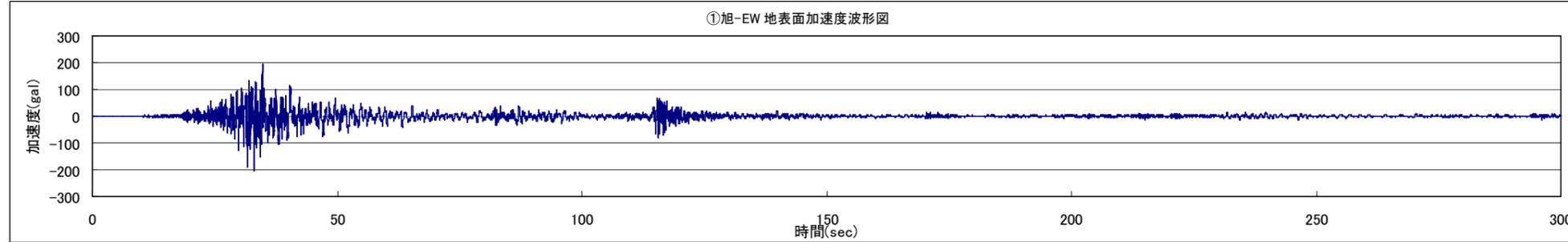


(記録開始時刻 14:47:10)

本震 NS

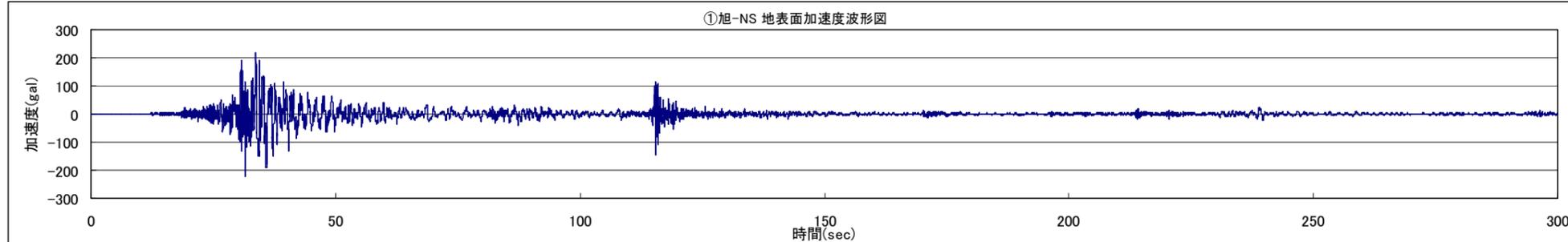


余震 EW



(記録開始時刻 15:15:40)

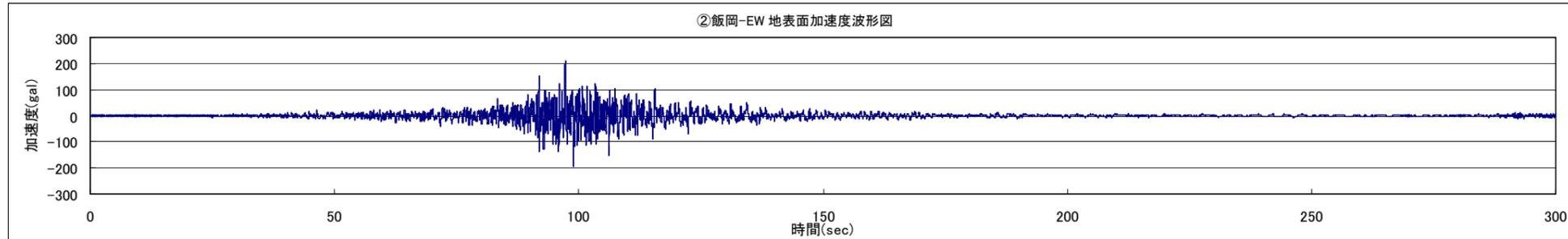
余震 NS



2) 飯岡地区

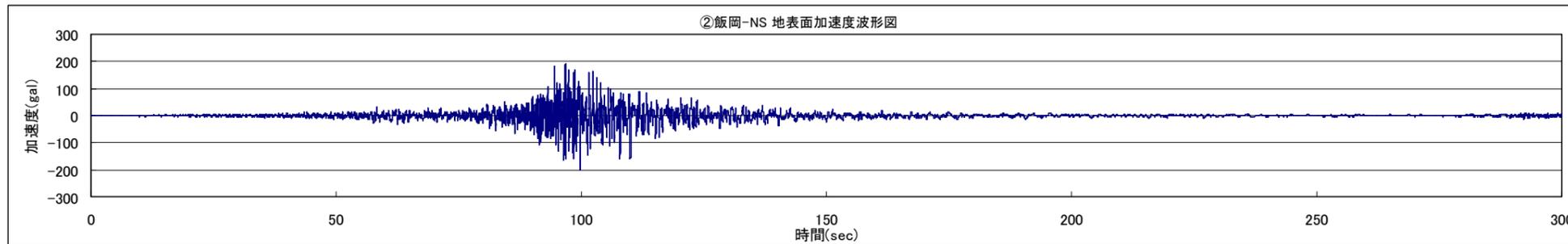
観測日	観測者	地震計位置	波形	地表面加速度 最大値 (gal)	0.65 × 地表面加速度 最大値 (gal)	
2011/3/11	KKNetChiba	飯岡支所	本震 14:47頃	EW	206	134
				NS	203	132
			余震 15:15頃	EW	211	137
				NS	265 ※max	172

本震 EW

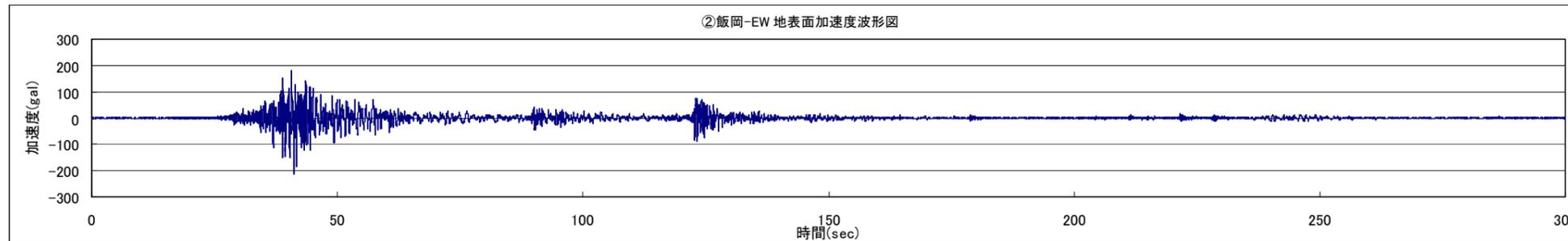


(記録開始時刻 14:47:20)

本震 NS

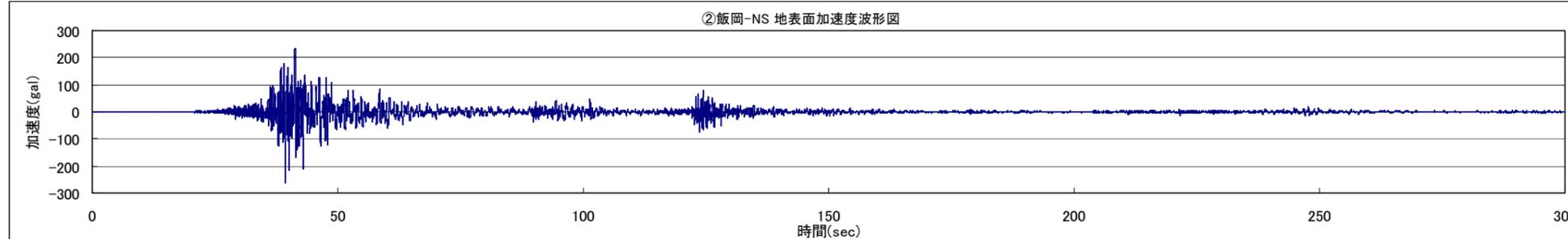


余震 EW



(記録開始時刻 15:15:30)

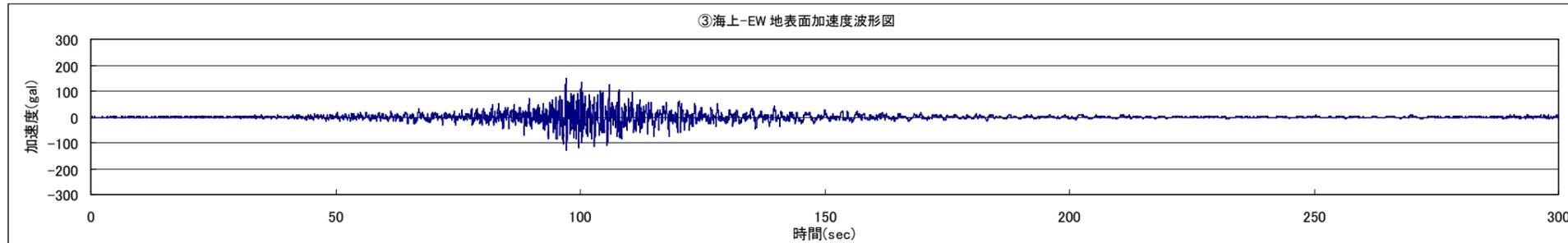
余震 NS



3) 海上地区

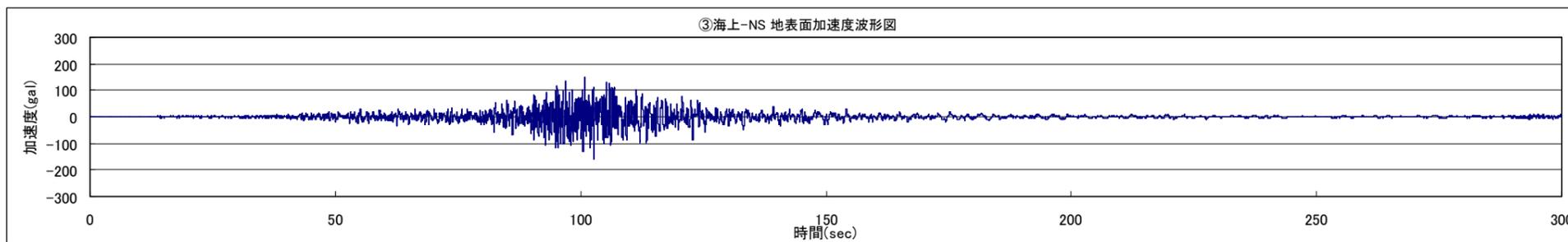
観測日	観測者	地震計位置	波形	地表面加速度 最大値 (gal)	0.65 × 地表面加速度 最大値 (gal)	
2011/3/11	KKNetChiba	海上支所	本震 14:47頃	EW	147	95
				NS	159	103
			余震 15:15頃	EW	206 ※max	134
				NS	174	113

本震 EW

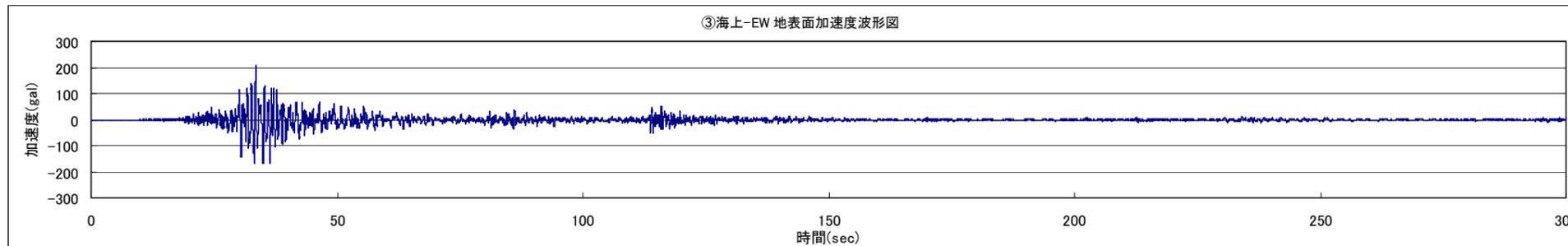


(記録開始時刻 14:47:20)

本震 NS

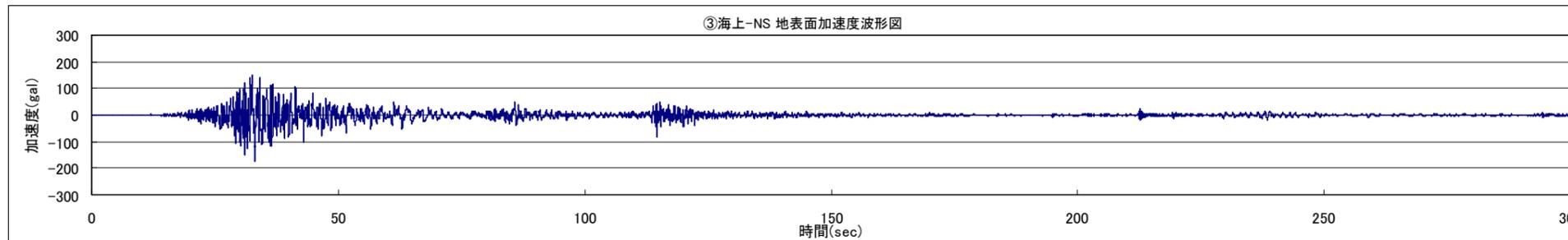


余震 EW



(記録開始時刻 15:15:40)

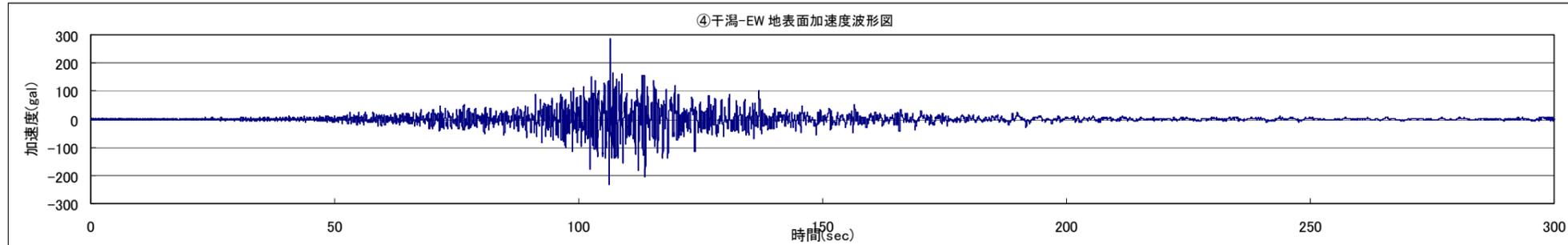
余震 NS



4) 干潟地区

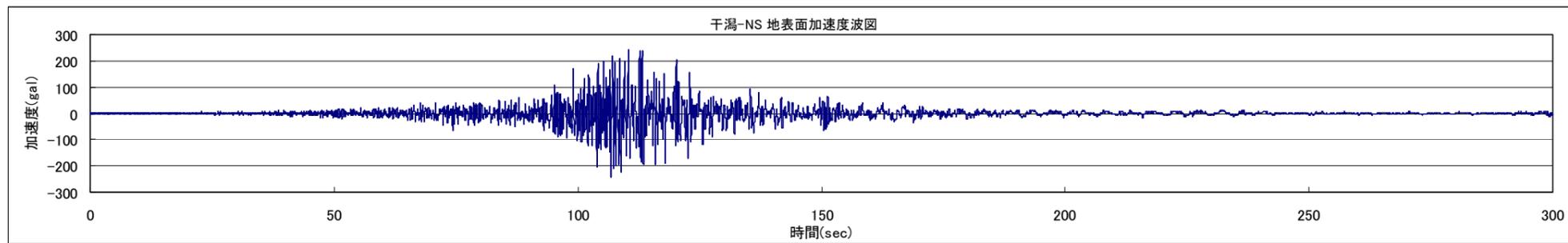
観測日	観測者	地震計位置	波形	地表面加速度 最大値 (gal)	0.65× 地表面加速度 最大値 (gal)	
2011/3/11	KKNet Chiba	干潟支所	本震 14:47頃	EW	287※max	186
				NS	243	158
			余震 15:15頃	EW	192	125
				NS	262	170

本震 EW

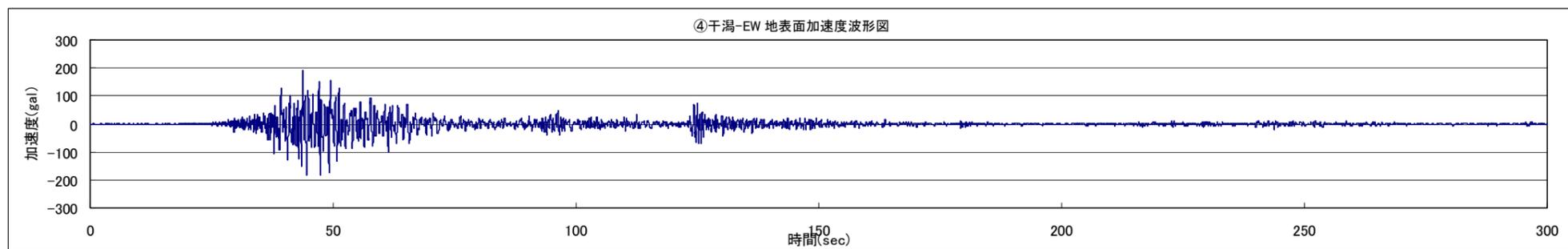


(記録開始時刻 14:47:10)

本震 NS

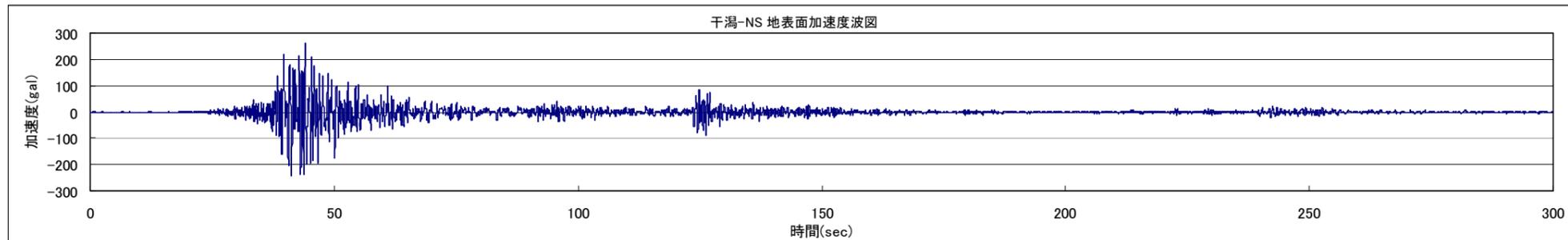


余震 EW



(記録開始時刻 15:15:30)

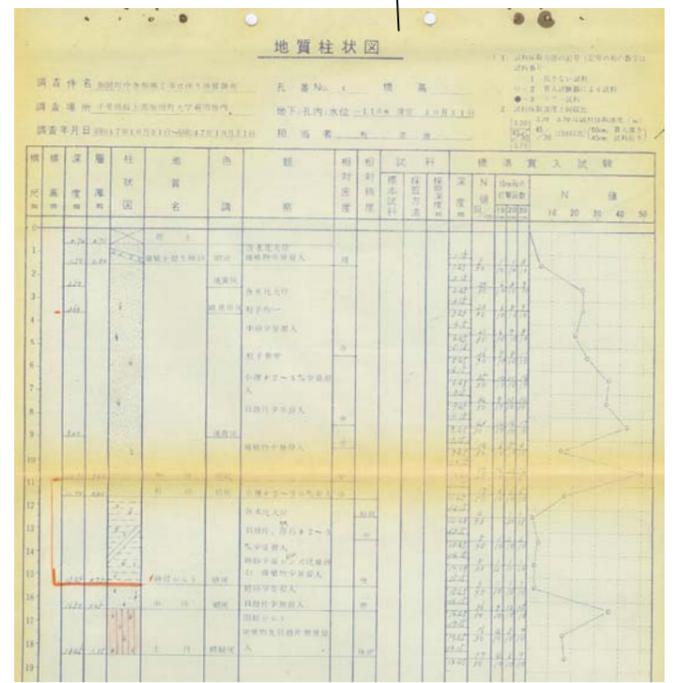
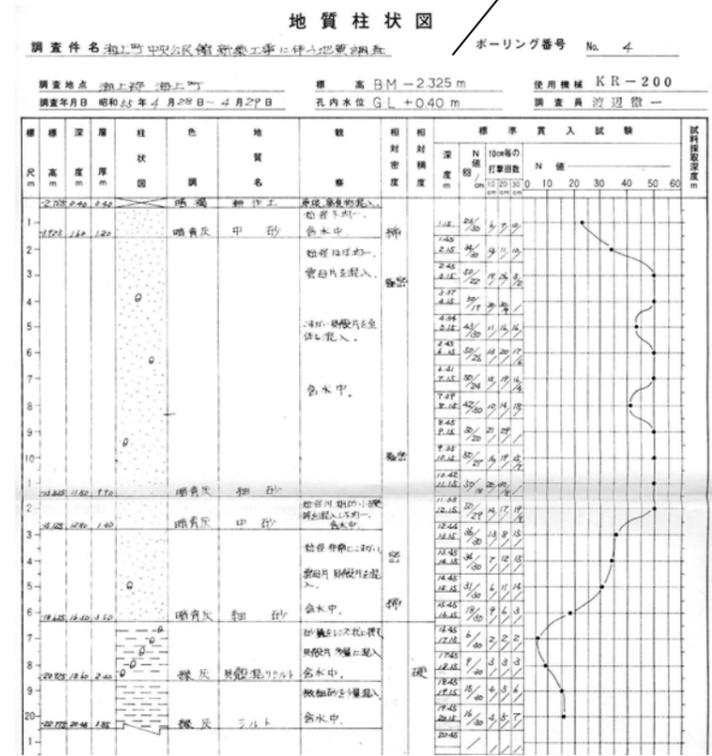
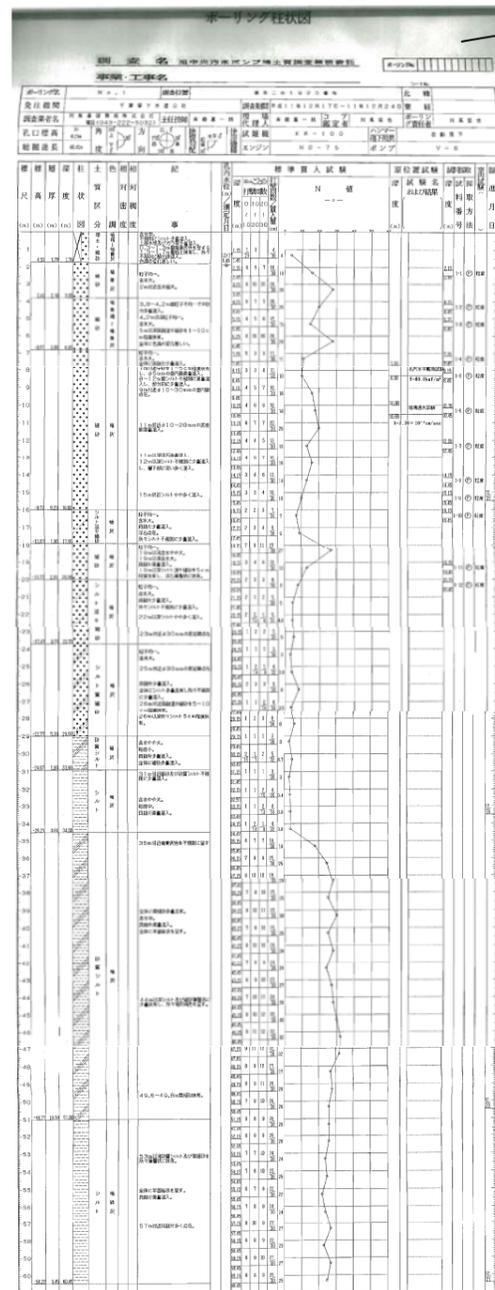
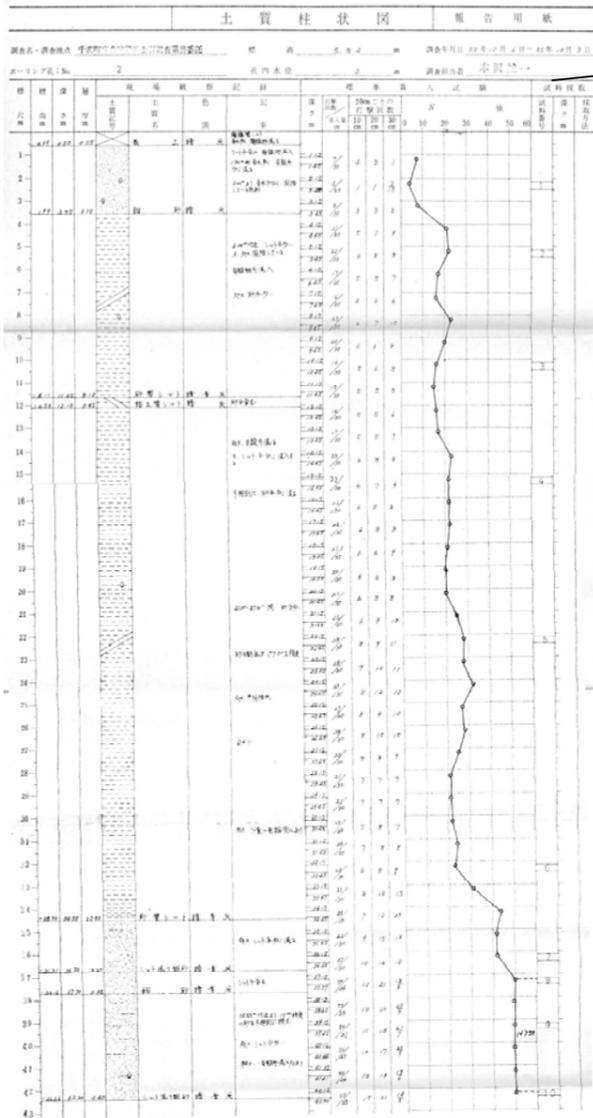
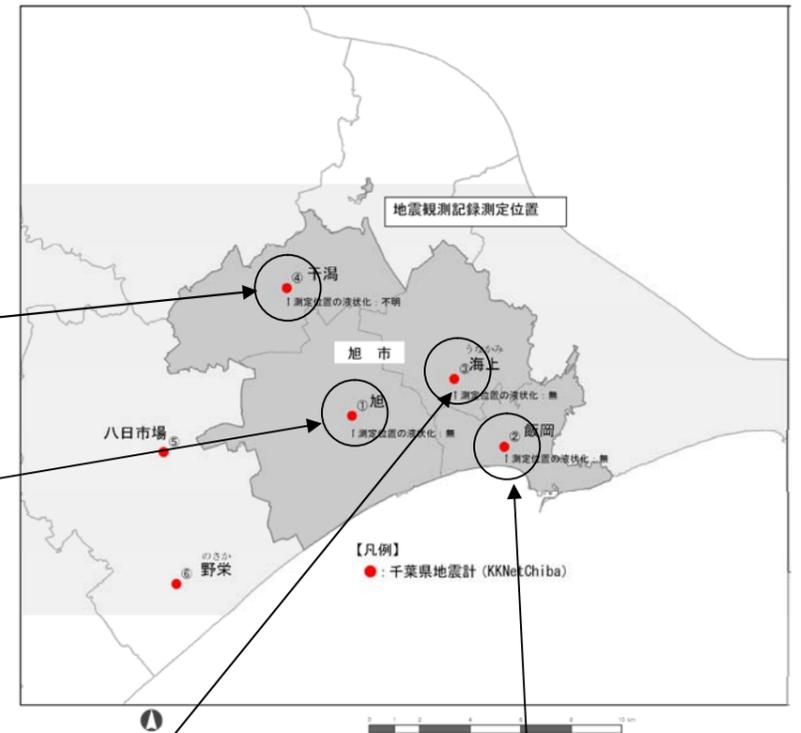
余震 NS



(2) 地震応答解析に用いる地震動

地震応答解析に用いる地震動は、基盤面での加速度時刻歴として設定する。本検討対象地区においては基盤面での地震観測記録は得られていないことから、地表面での観測記録を地震応答解析により引き戻し計算を行い算定する。

本検討では、市内4ヶ所の観測点で得られた地震記録を対象に引き戻し計算を実施した。

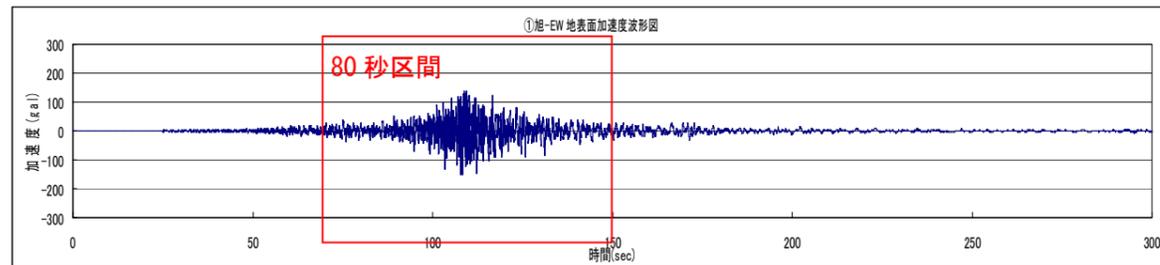


ここでは地表面での観測波形（旭市役所）を、地震応答解析により、基盤相当まで引き戻し計算を行った波形を示す。地震応答解析には、地震応答解析プログラム「FDEL」を用いた。「FDEL」では扱える波形データ長に制限があるため、全波形 300 秒のうち、主要部分と考えられる 80 秒分を取り出して計算を行った。

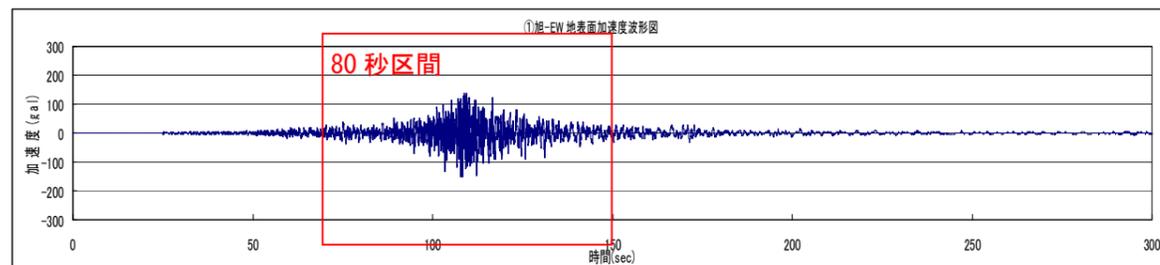
次頁に引き戻し計算後の波形のフーリエスペクトル及び加速度応答スペクトルを示す。フーリエスペクトルでは各波ともあまり差がないが、加速度応答スペクトル $H=0.10$ のピークでは「旭余震 NS」が最も大きくなる。これにより、基盤に与える地震動は、「旭余震 NS」の引き戻し計算後の波形とした。

■旭市役所における地表面の地震観測記録

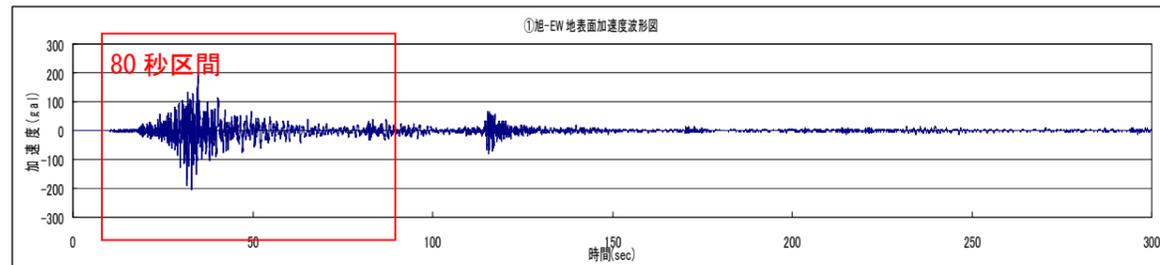
旭本震 EW



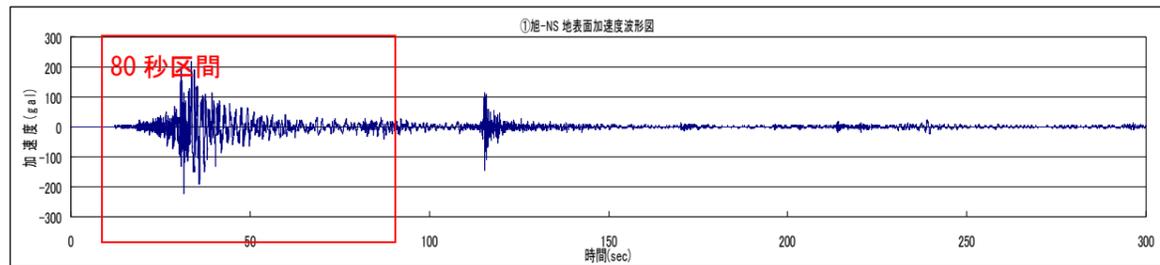
旭本震 NS



旭余震 EW

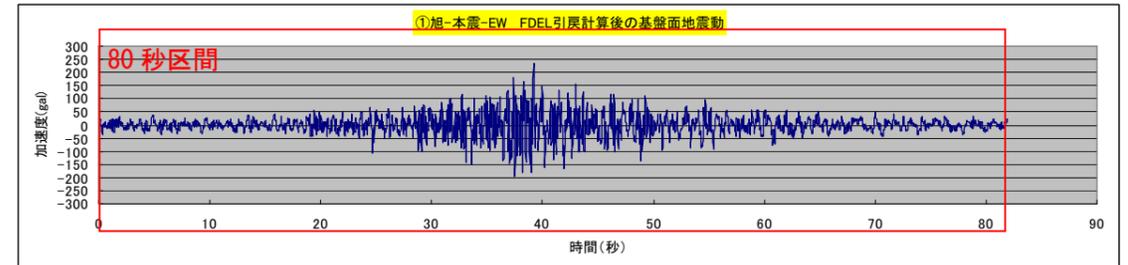


余震 NS

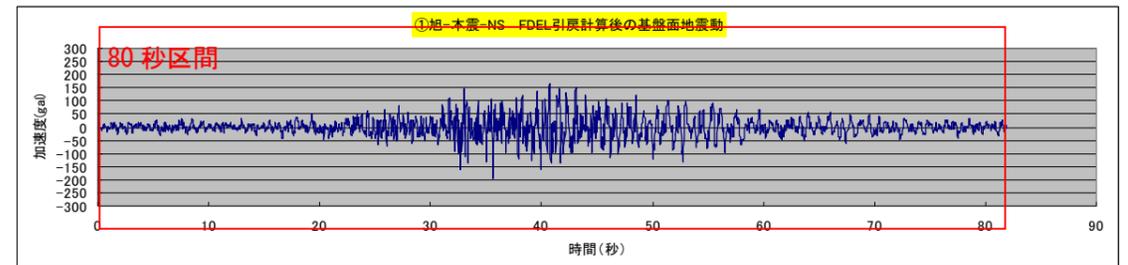


■旭市役所における引き戻し計算後の基盤面地震動

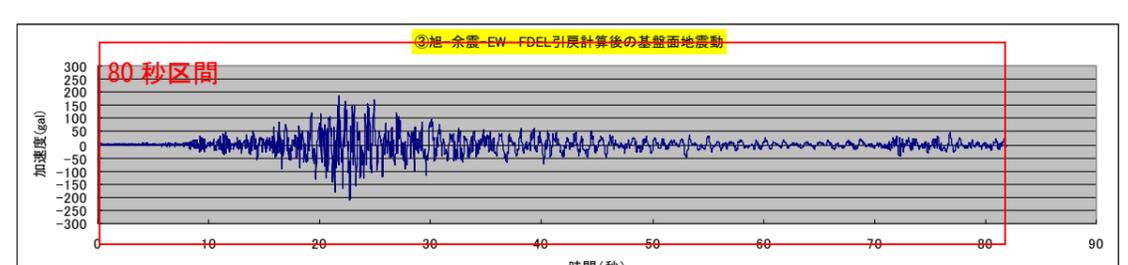
旭本震 EW



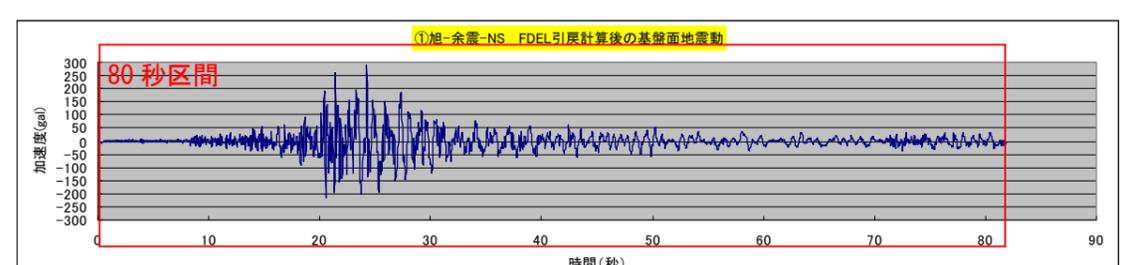
旭本震 NS



旭余震 EW



旭余震 NS



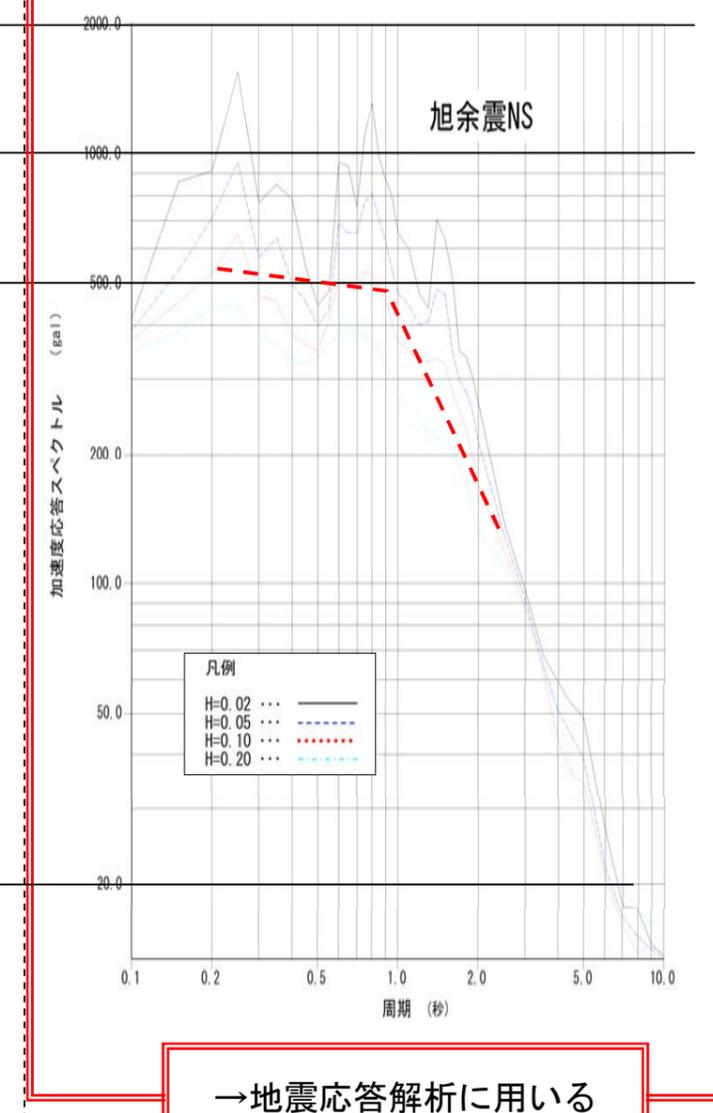
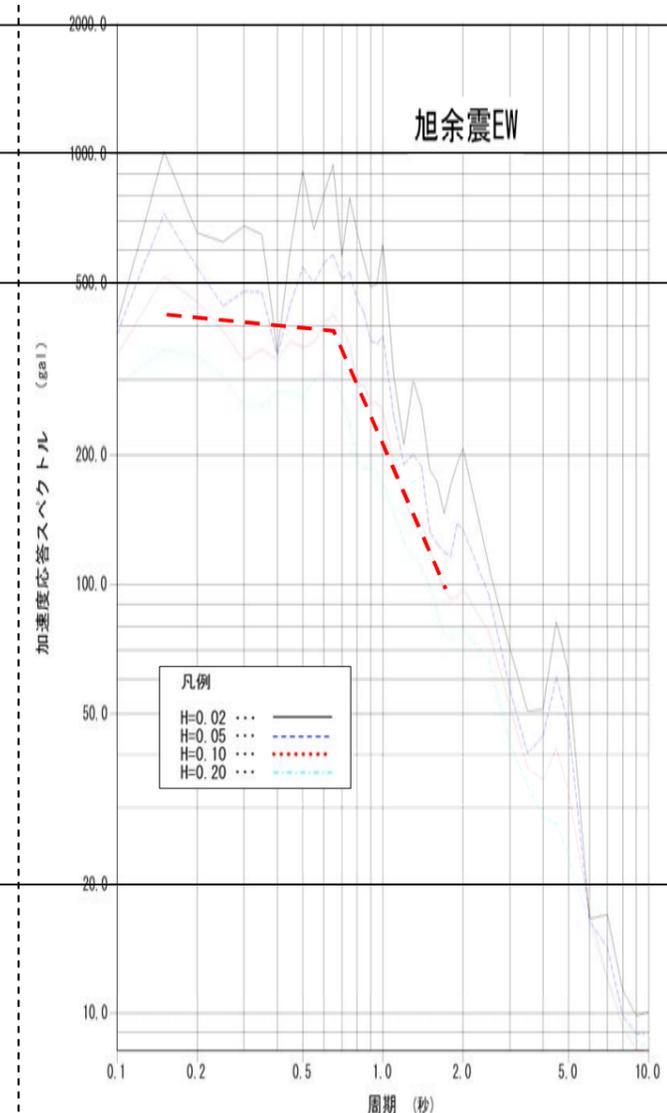
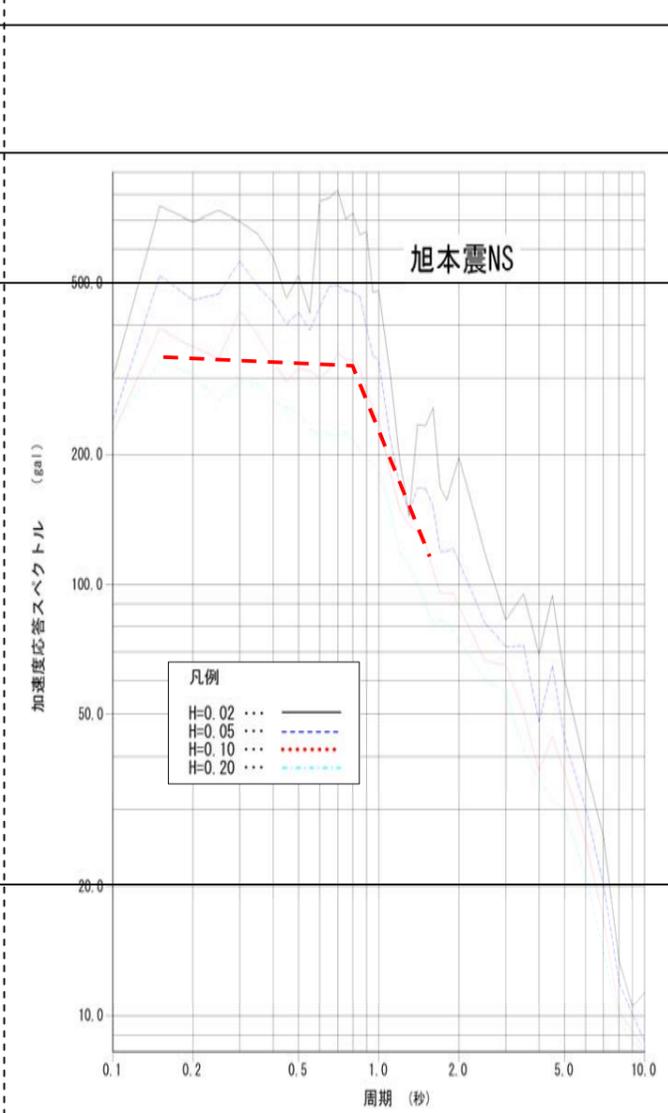
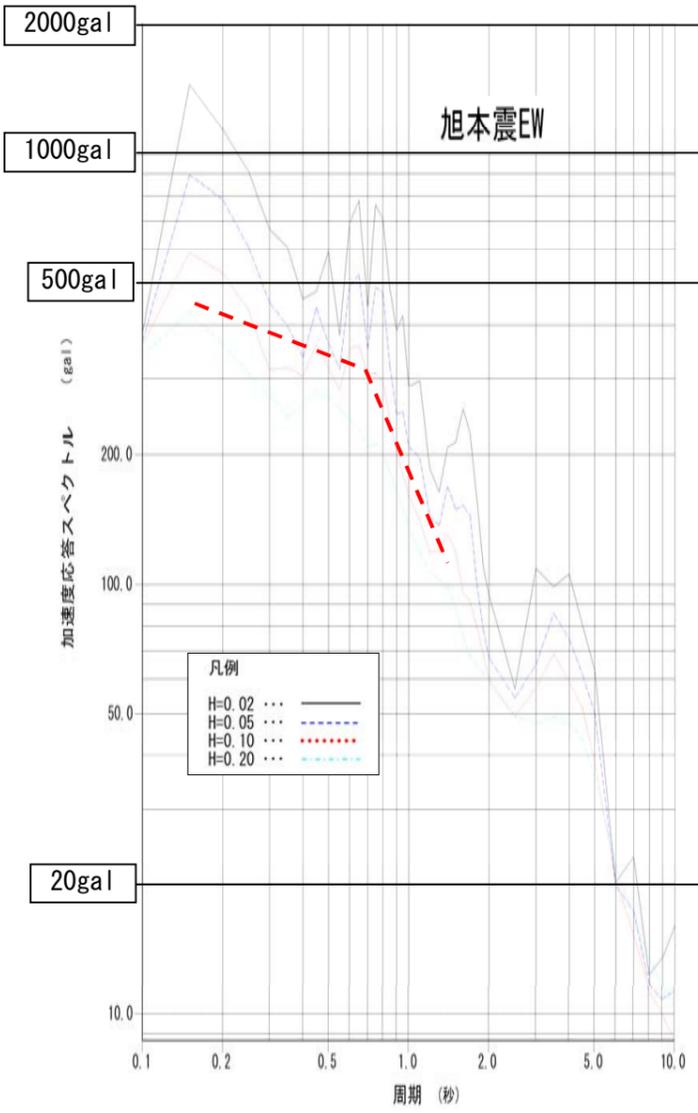
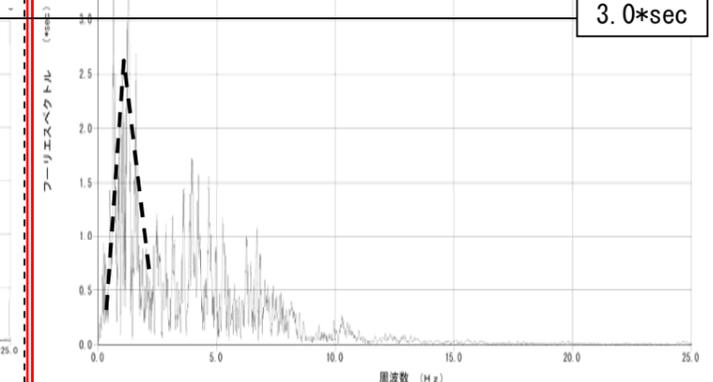
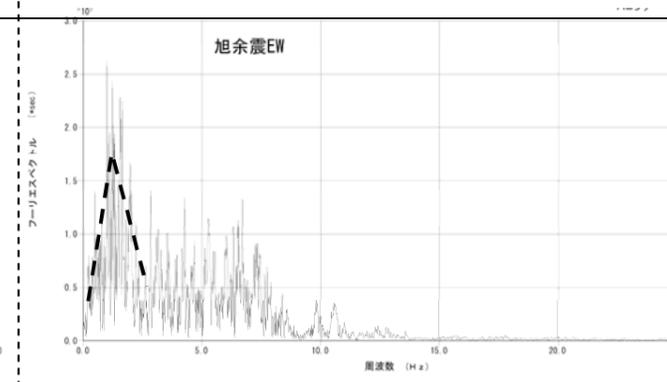
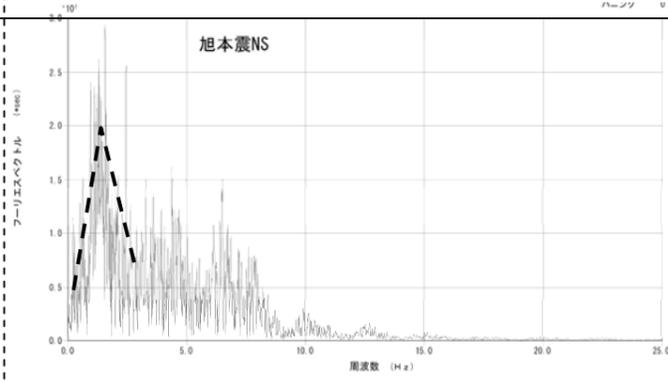
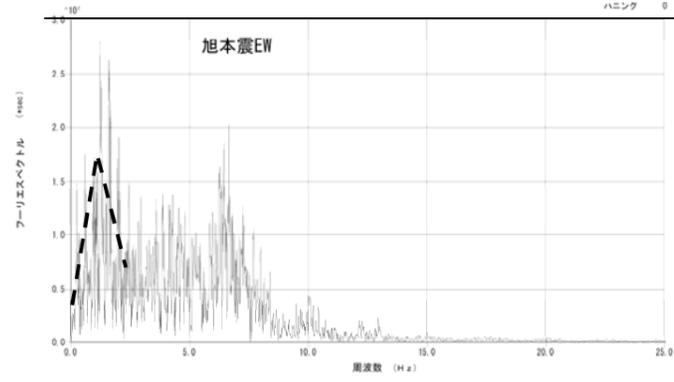
引き戻し計算後の波形分析

旭本震EW

旭本震NS

旭余震EW

旭余震NS



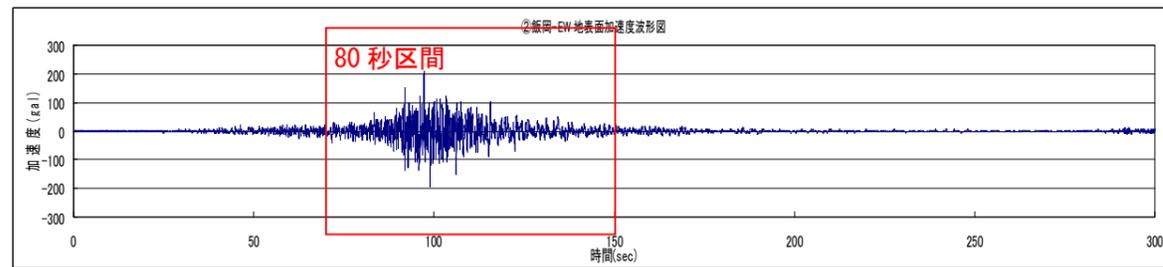
→地震応答解析に用いる

ここでは地表面での観測波形（飯岡支所）を、地震応答解析により、基盤相当まで引き戻し計算を行った波形を示す。地震応答解析には、地震応答解析プログラム「FDEL」を用いた。「FDEL」では扱える波形データ長に制限があるため、全波形 300 秒のうち、主要部分と考えられる 80 秒分を取り出して計算を行った。

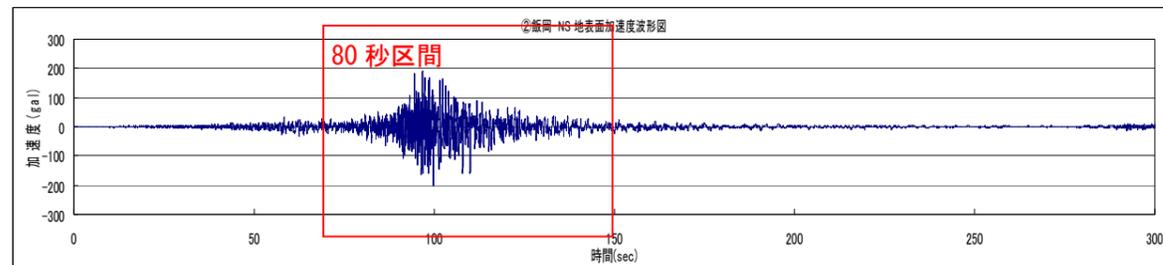
次頁に引き戻し計算後の波形のフーリエスペクトル及び加速度応答スペクトルを示す。フーリエスペクトルでは各波ともあまり差がないが、加速度応答スペクトル $H=0.10$ のピークでは「飯岡余震 NS」が最も大きくなる。これにより、基盤に与える地震動は、「飯岡余震 NS」の引き戻し計算後の波形とした。

■飯岡支所における地表面の地震観測記録

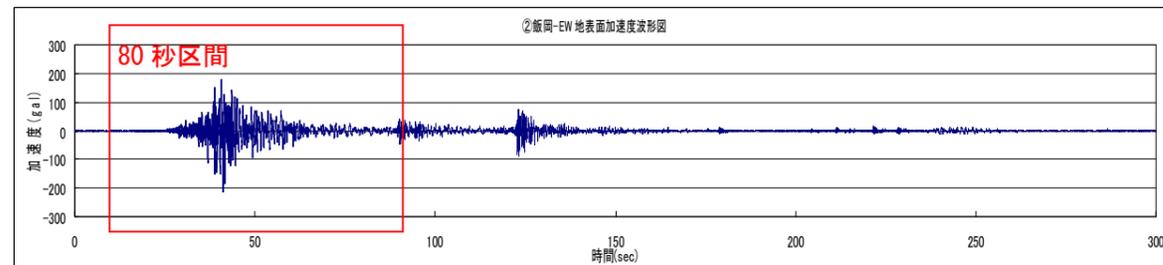
飯岡本震 EW



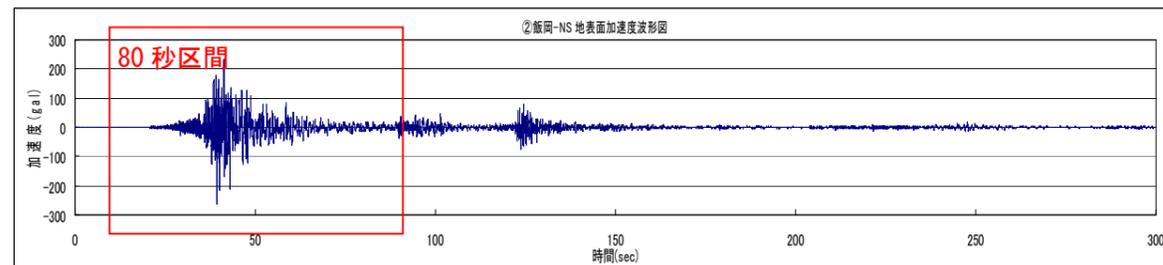
飯岡本震 NS



飯岡余震 EW

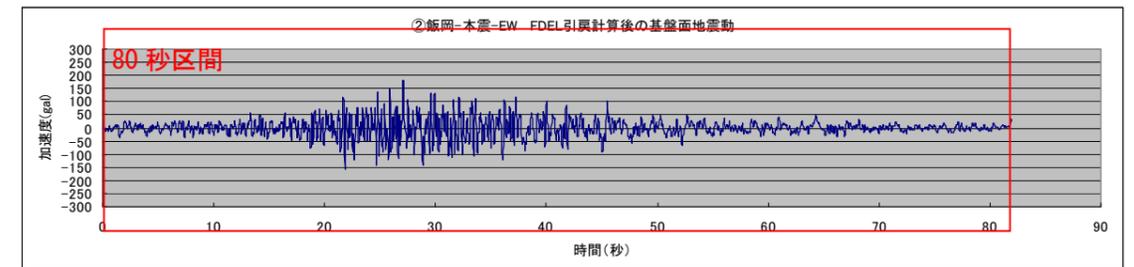


飯岡余震 NS

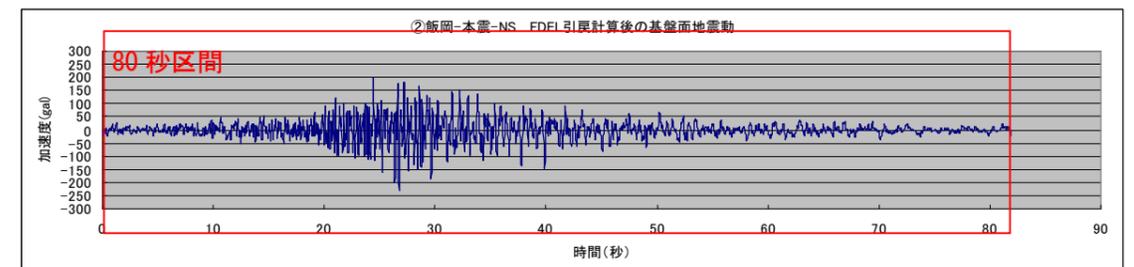


■飯岡支所における引き戻し計算後の基盤面地震動

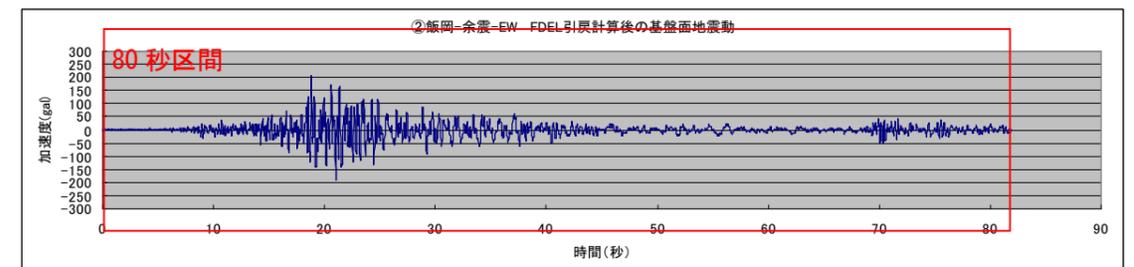
飯岡本震 EW



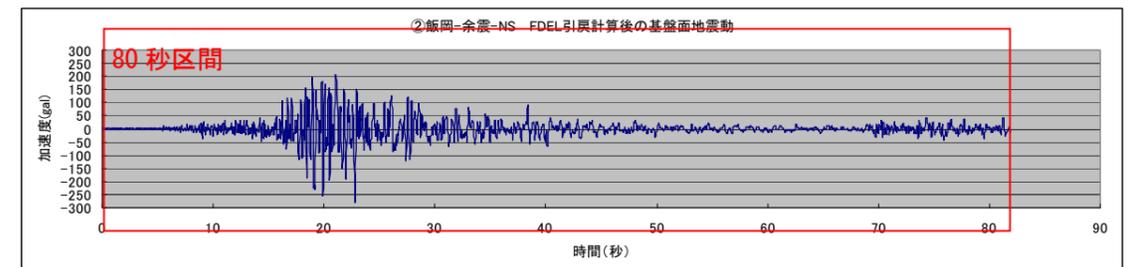
飯岡本震 NS



飯岡余震 EW



飯岡余震 NS



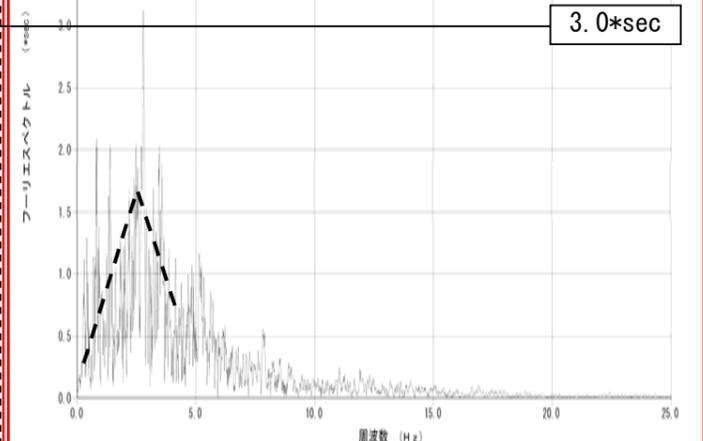
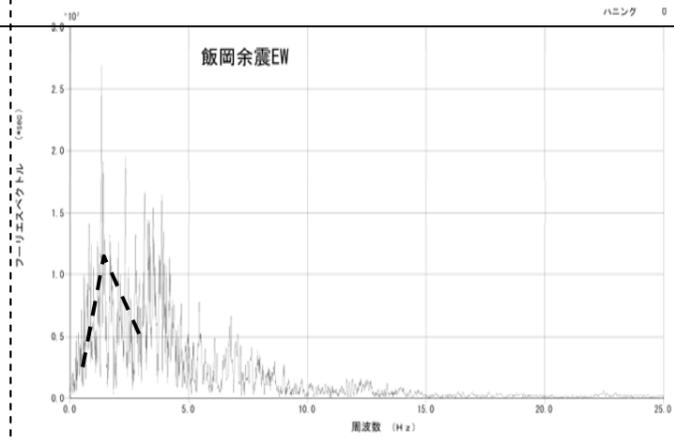
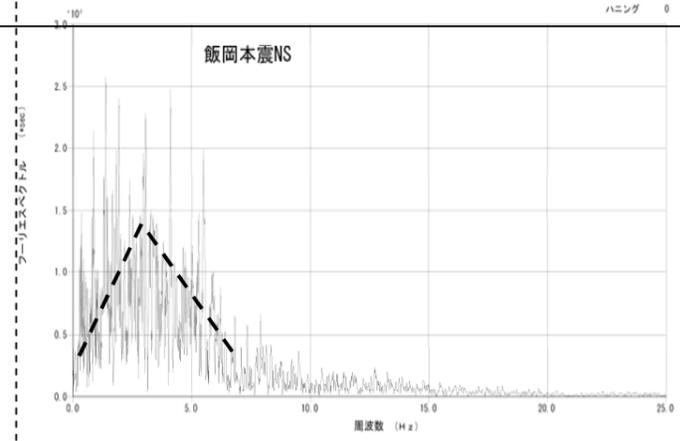
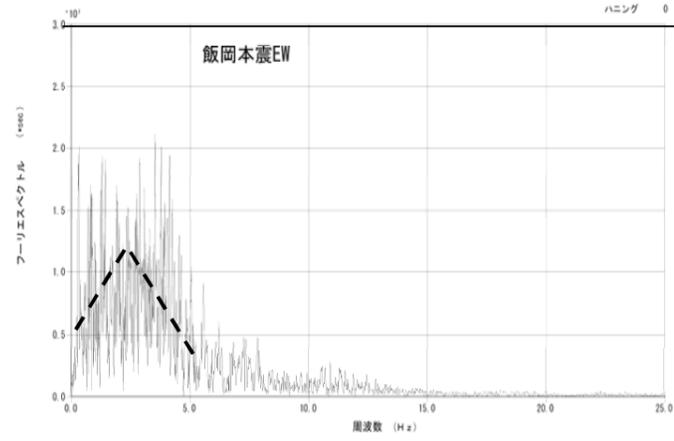
引き戻し計算後の波形分析

飯岡本震EW

飯岡本震NS

飯岡余震EW

飯岡余震NS

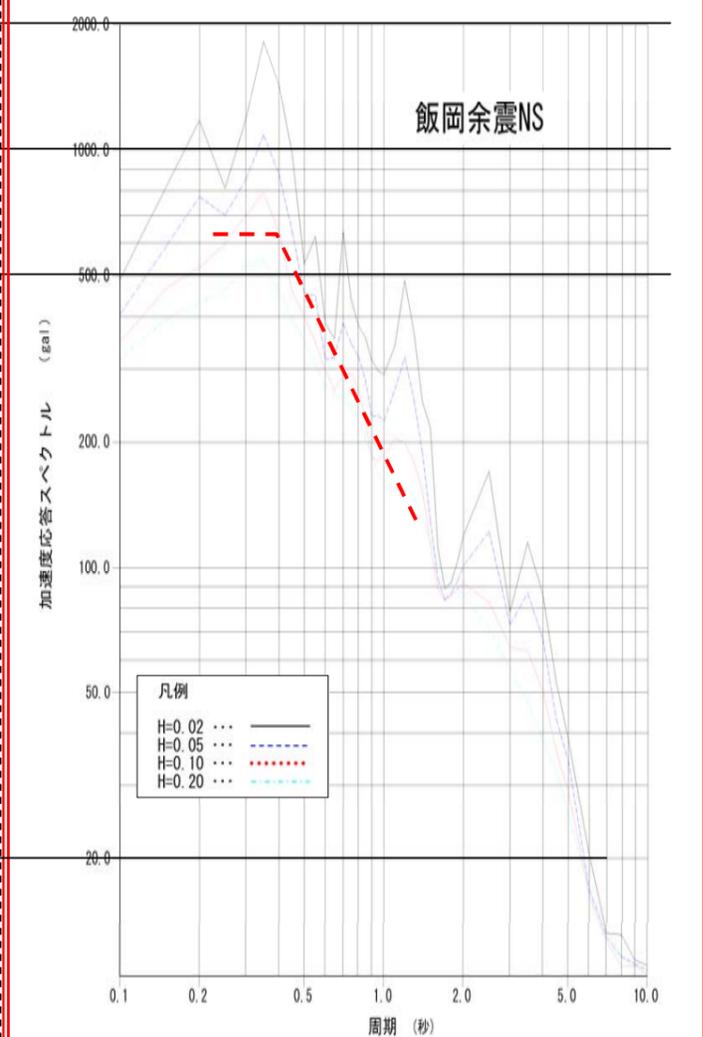
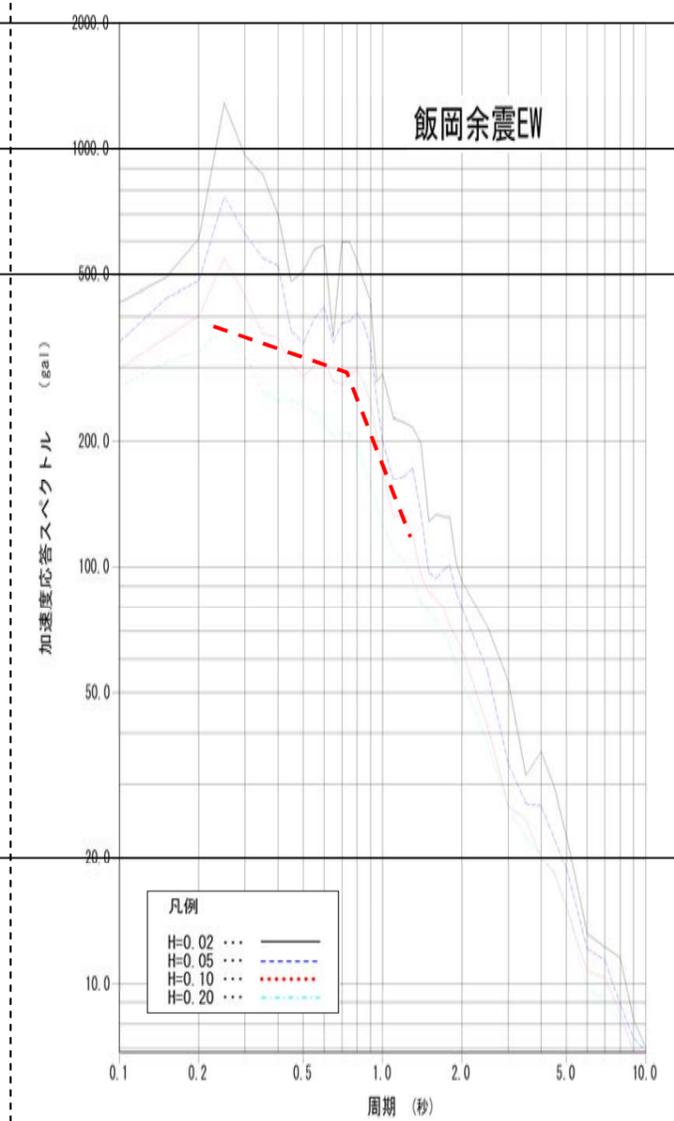
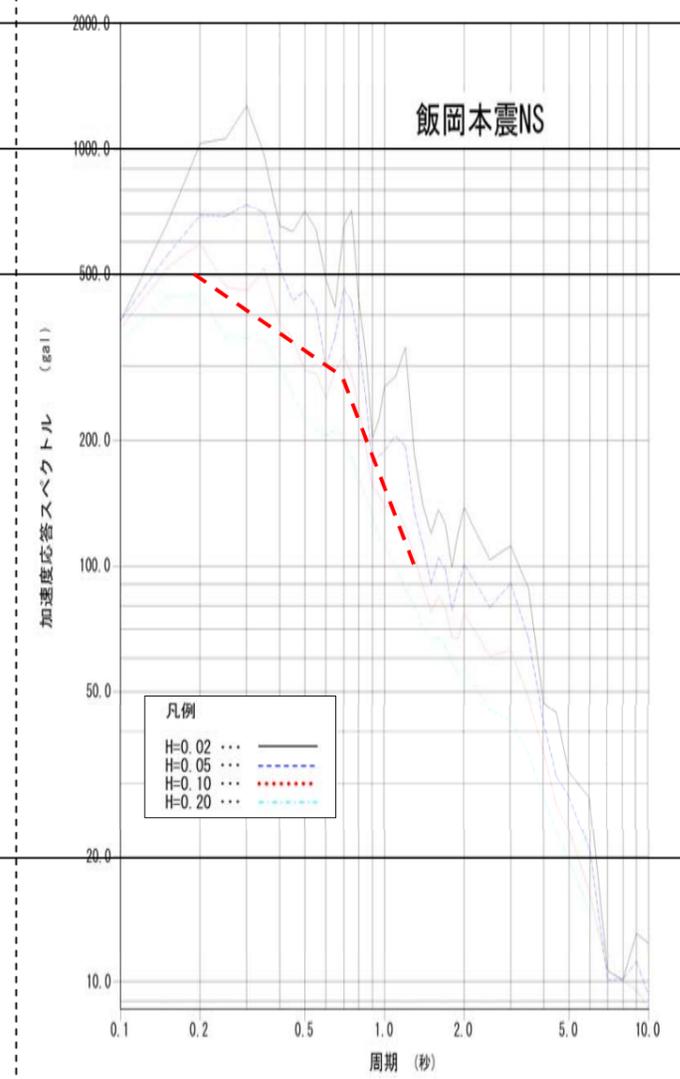
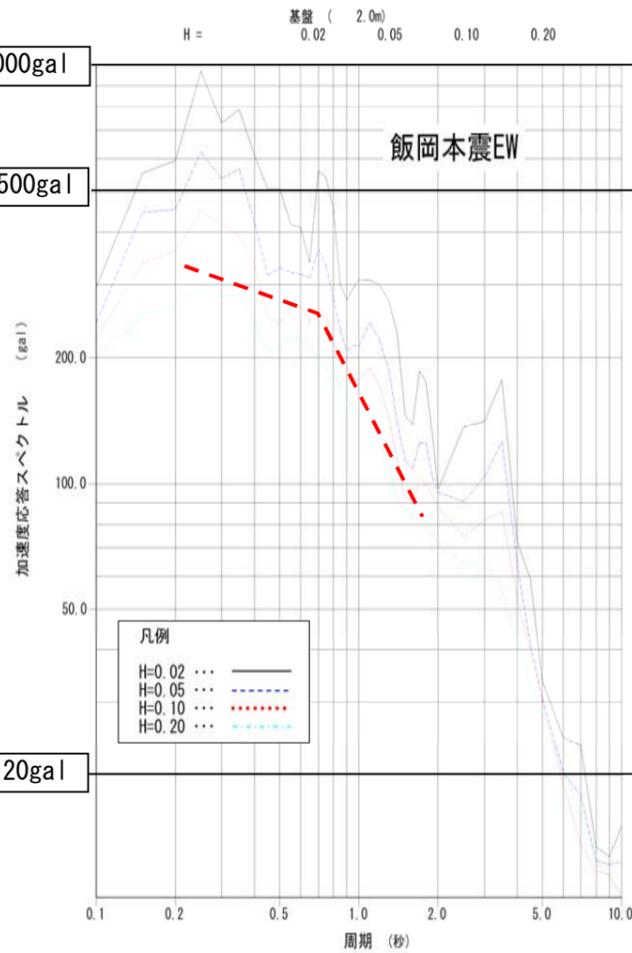


2000gal

1000gal

500gal

20gal



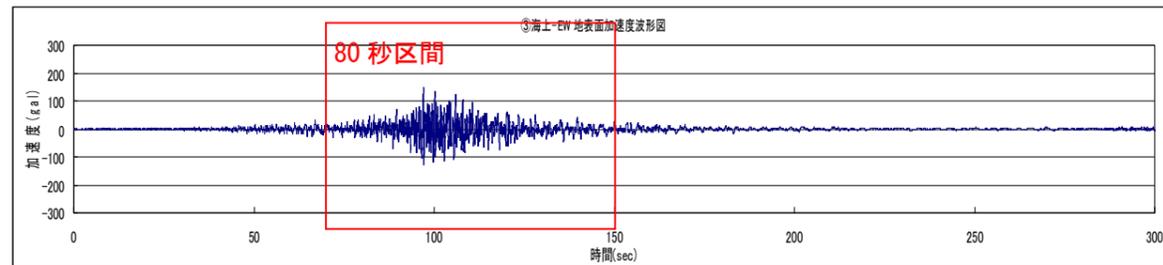
→地震応答解析に用いる

ここでは地表面での観測波形（海上支所）を、地震応答解析により、基盤相当まで引き戻し計算を行った波形を示す。地震応答解析には、地震応答解析プログラム「FDEL」を用いた。「FDEL」では扱える波形データ長に制限があるため、全波形 300 秒のうち、主要部分と考えられる 80 秒分を取り出して計算を行った。

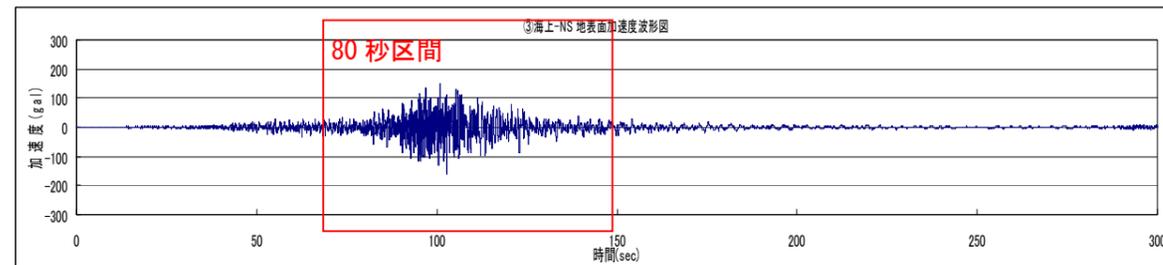
次頁に引き戻し計算後の波形のフーリエスペクトル及び加速度応答スペクトルを示す。フーリエスペクトルでは各波ともあまり差がないが、加速度応答スペクトル $H=0.10$ のピークでは「海上余震 NS」が最も大きくなる。これにより、基盤に与える地震動は、「海上余震 NS」の引き戻し計算後の波形とした。

■海上支所における地表面の地震観測記録

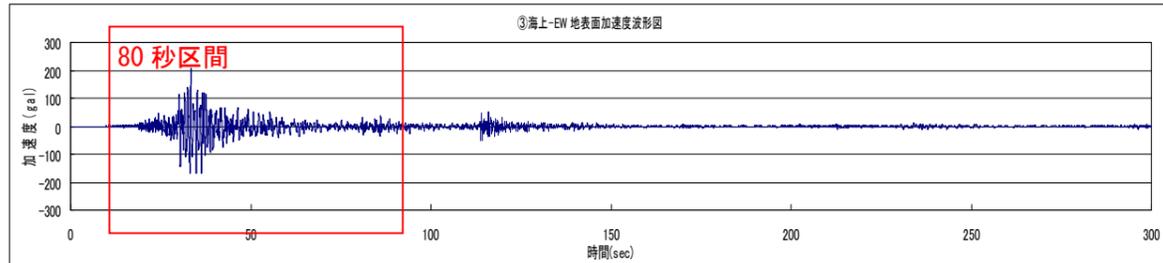
海上本震 EW



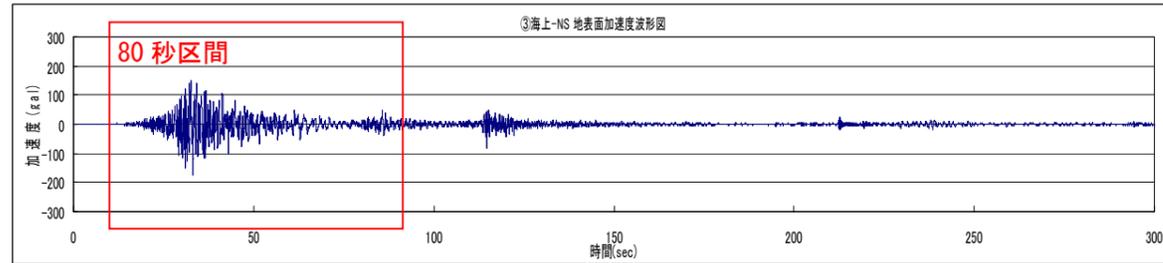
海上本震 NS



海上余震 EW

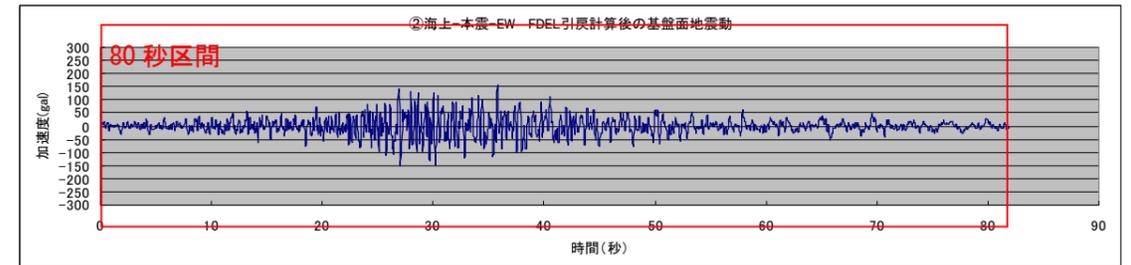


海上余震 NS

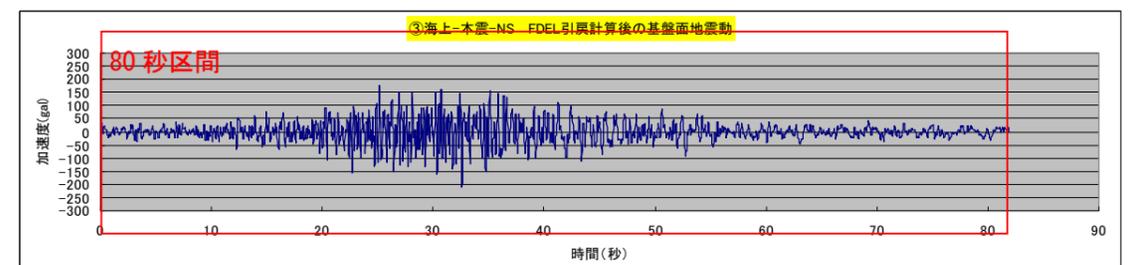


■海上飯岡支所における引き戻し計算後の基盤面地震動

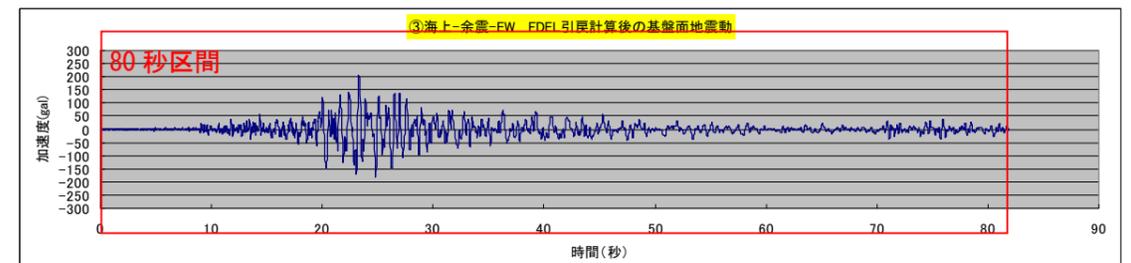
海上本震 EW



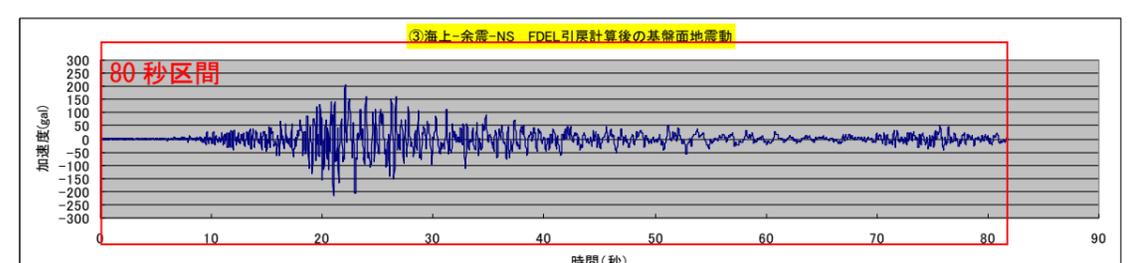
海上本震 NS



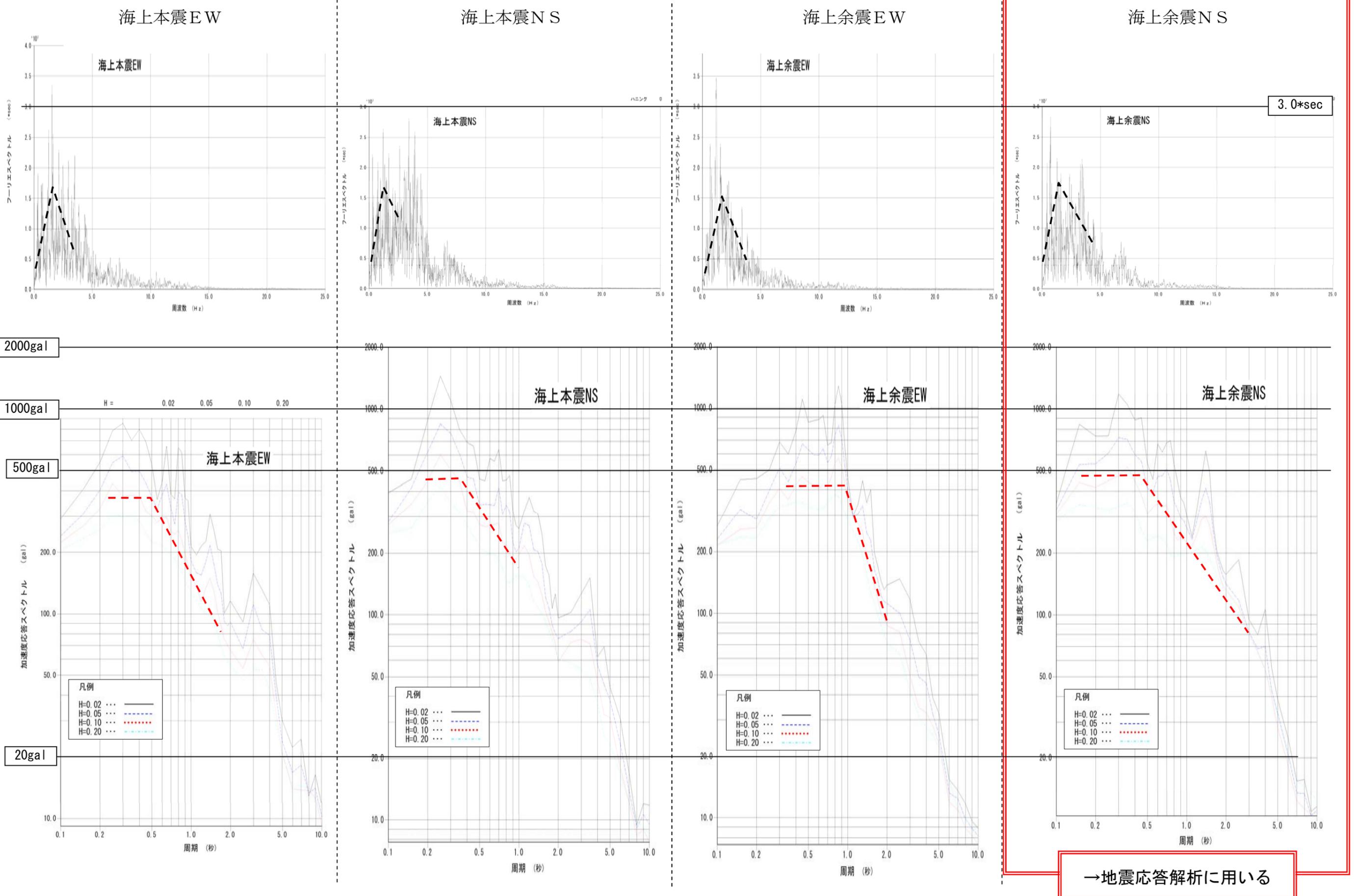
海上余震 EW



海上余震 NS



引き戻し計算後の波形分析

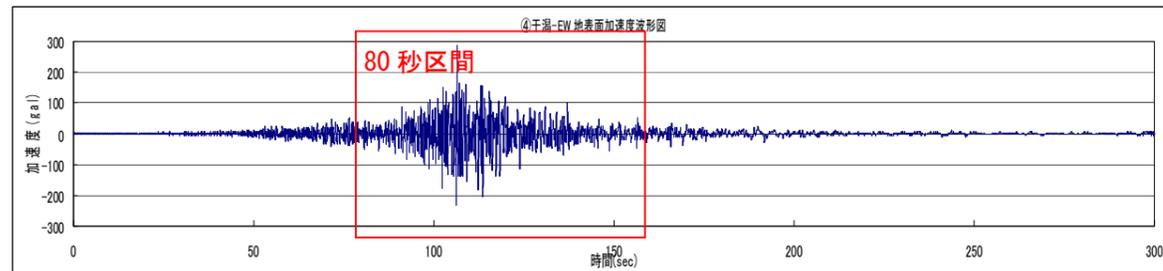


ここでは地表面での観測波形（干潟支所）を、地震応答解析により、基盤相当まで引き戻し計算を行った波形を示す。地震応答解析には、地震応答解析プログラム「FDEL」を用いた。「FDEL」では扱える波形データ長に制限があるため、全波形 300 秒のうち、主要部分と考えられる 80 秒分を取り出して計算を行った。

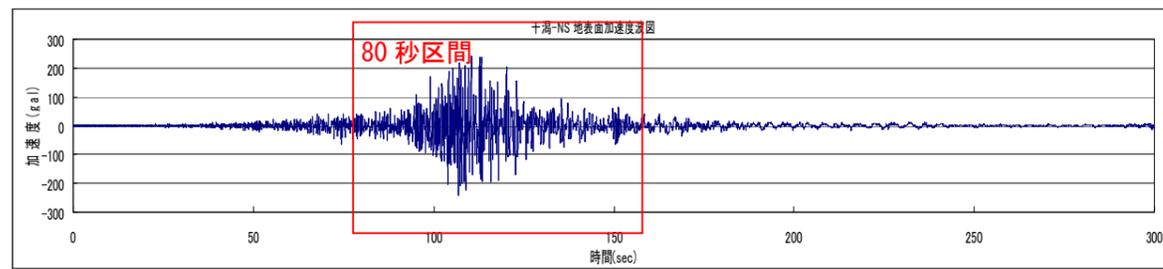
次頁に引き戻し計算後の波形のフーリエスペクトル及び加速度応答スペクトルを示す。フーリエスペクトルでは各波ともあまり差がないが、加速度応答スペクトル $H=0.10$ のピークでは「干潟余震 NS」が最も大きくなる。これにより、基盤に与える地震動は、「干潟余震 NS」の引き戻し計算後の波形とした。

■干潟支所における地表面の地震観測記録

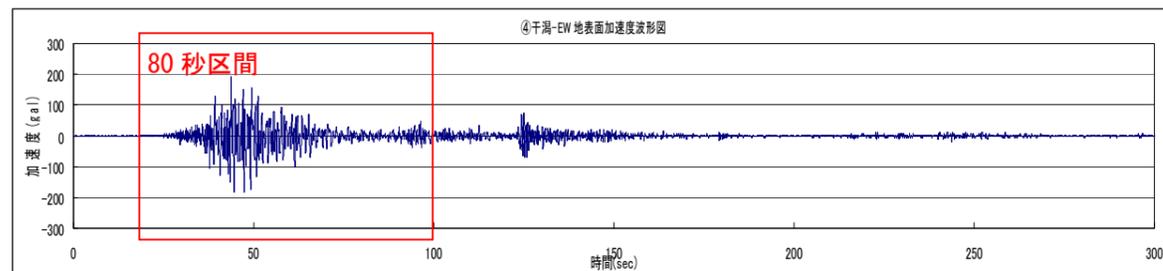
干潟本震 EW



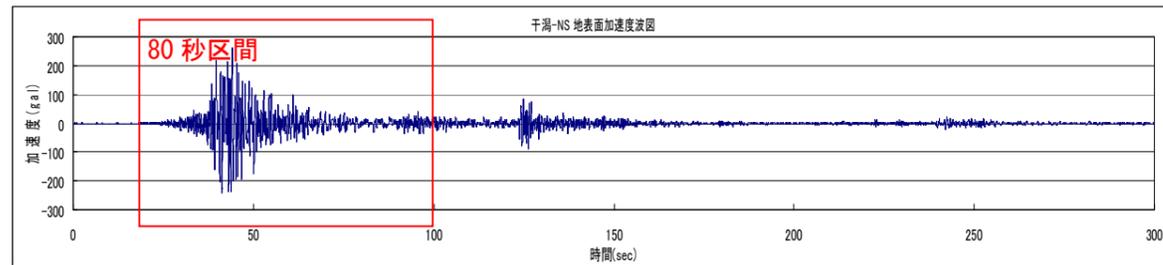
干潟本震 NS



干潟余震 EW

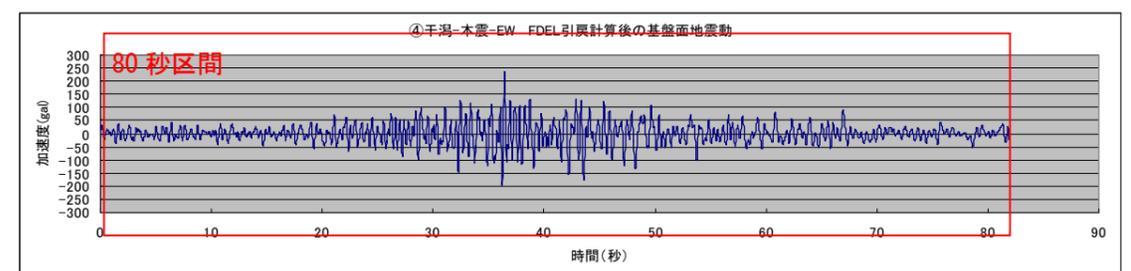


干潟余震 NS

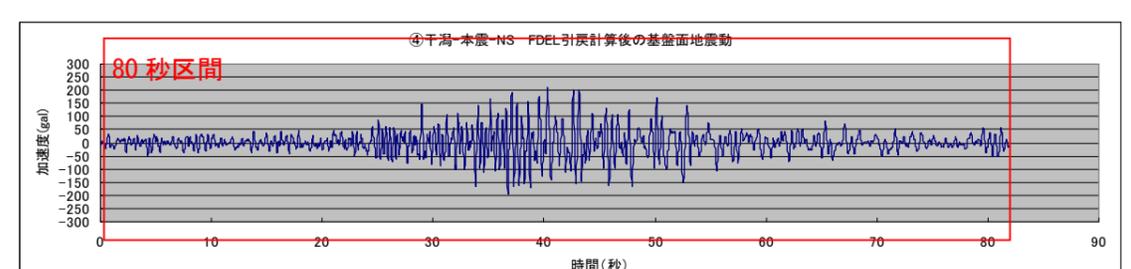


■干潟支所における引き戻し計算後の基盤面地震動

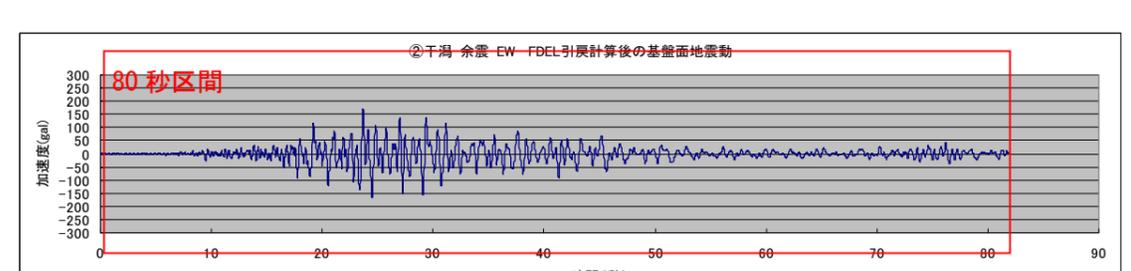
干潟本震 EW



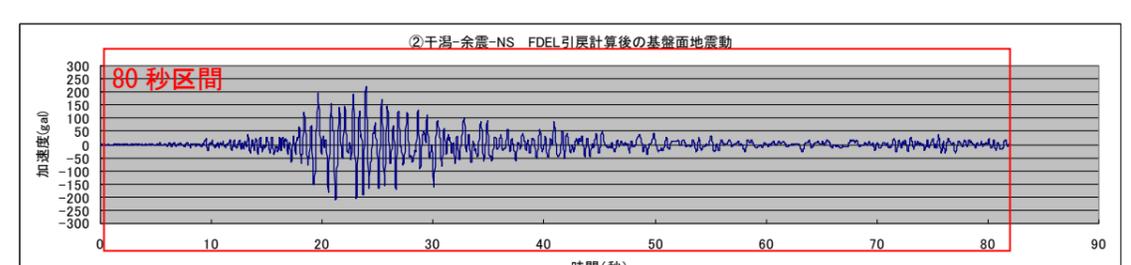
干潟本震 NS



干潟余震 EW



干潟余震 NS



引き戻し計算後の波形分析

