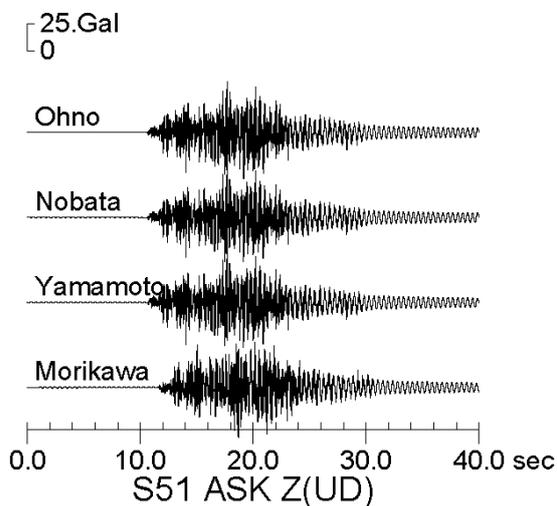
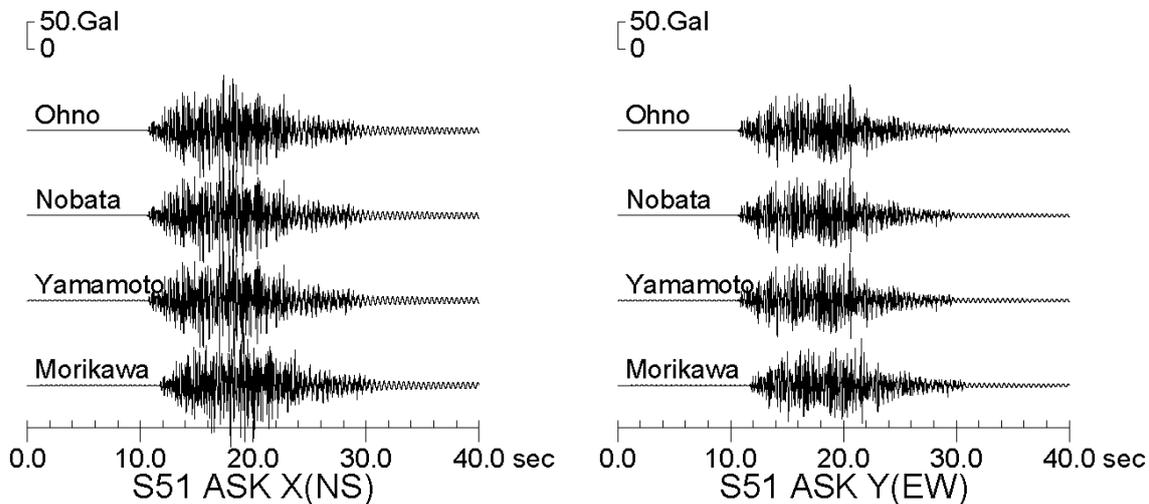


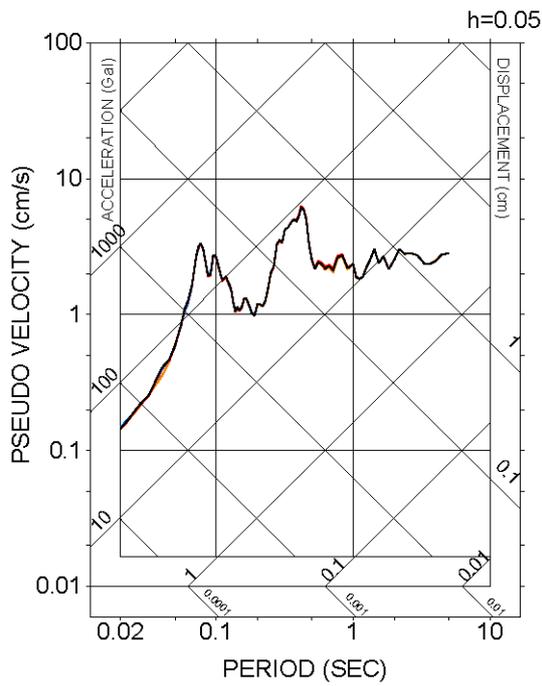
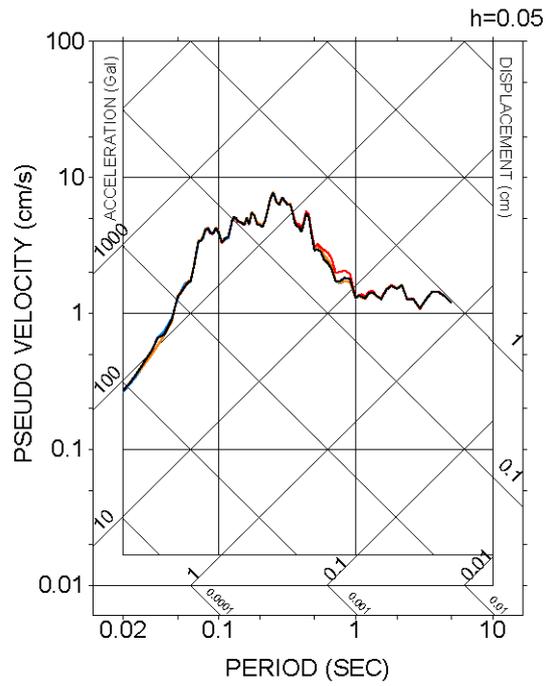
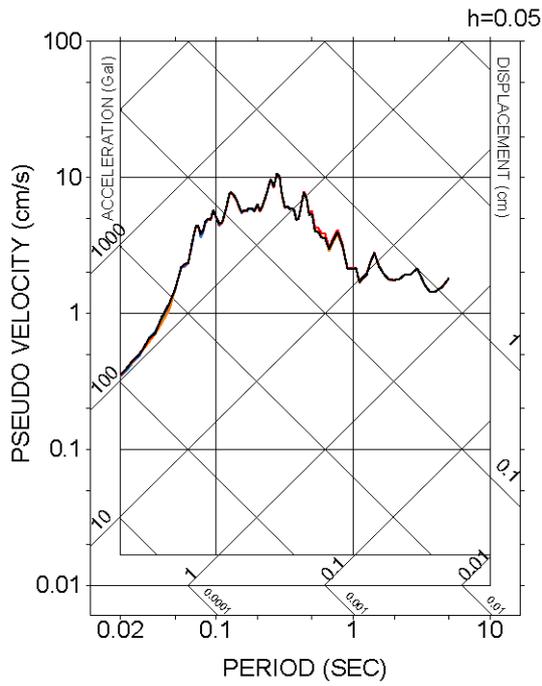
統計的グリーン関数法のベンチマークテスト:S51 の結果

- 4名の参加者の加速度波形と pSv は実用的使用の観点からは一致
- 細かい相違を各ページに示す



【最大値の符号】
NS : Morikawa のみ逆

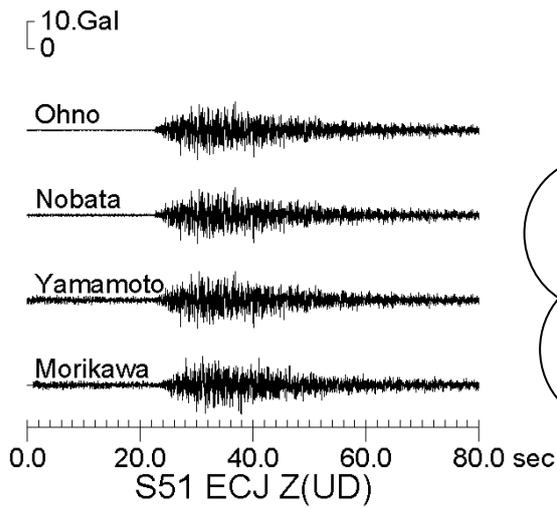
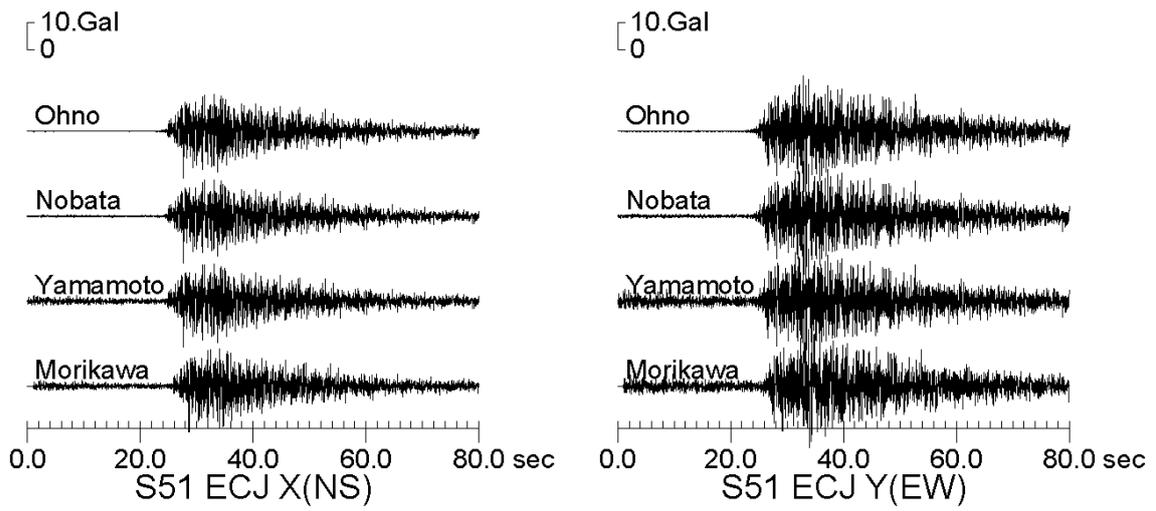
図 1 S51 : ASK の加速度波形



EW : T=0.3~1sに見られる相違はラディエーションの平滑化の遷移領域に対応。各自の考え方の相違によるもの

S51_ASK_NS S51_ASK_EW S51_ASK_UD

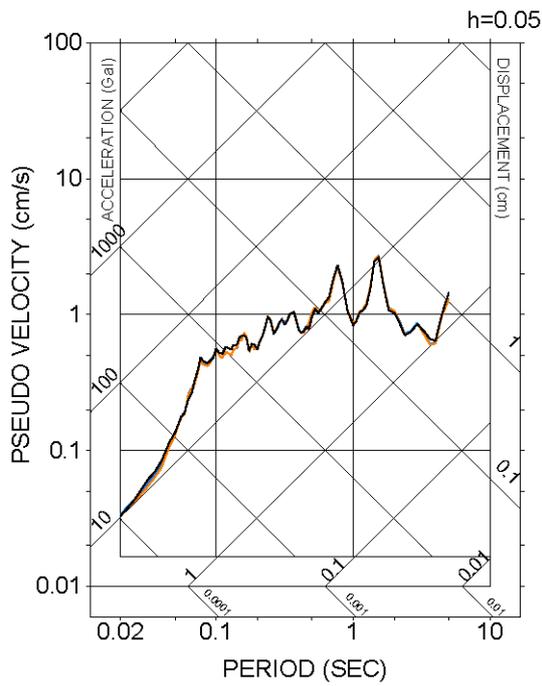
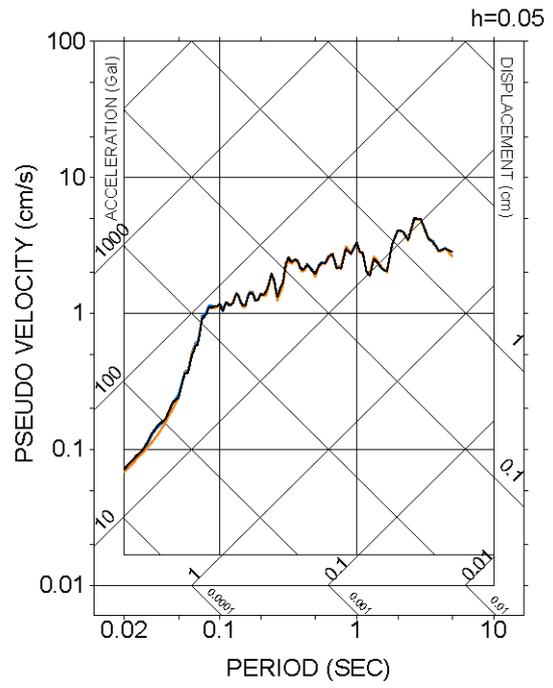
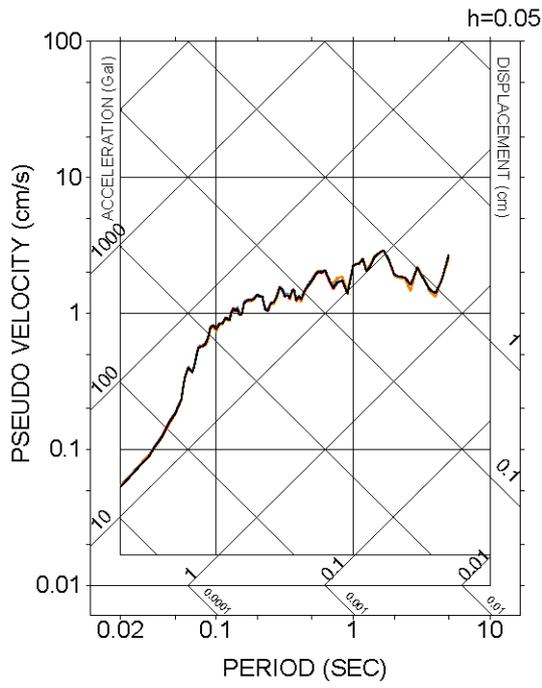
図 2 S51 : ASK の擬似速度応答スペクトル
(左上 : NS、右上 : EW、下 : UD)



【最大値の符号】
 Ohno & Nobata は一致。Morikawa は Ohno & Nobata と逆。Yamamoto は Ohno & Nobata と上下のみ逆

【S波到達以前の波形】
 Yamamoto と Morikawa は因果性が乱れたような波形

図 3 S51 : ECJ の加速度波形



全成分が概ね一致！

S51_ECJ_NS S51_ECJ_EW S51_ECJ_UD

図 4 S51 : ECJ の擬似速度応答スペクトル
(左上 : NS、右上 : EW、下 : UD)

【参考】統計的グリーン関数法のベンチマークテスト:S51&S52 の計算条件の抜粋

表 1 本ベンチマークテストで対象とする観測点直下の地下構造モデル

No	$\rho(t/m^3)$	$Vp(m/s)$	$Vs(m/s)$	$Qs=Qp$	浅川(ASK)		清瀬(KYS)		越中島(ECJ)		地震研(JSK)	
					H(m)	D(m)	H(m)	D(m)	H(m)	D(m)	H(m)	D(m)
1	1.95	1800	500	500f	6	0	555	0	392	0	406	0
2	2.10	2300	900	900f	46	6	925	555	1308	392	1331	406
3	2.25	3000	1500	1500f	150	51	1119	1480	1308	1700	1331	1736
4	2.65	5500	3200	2000f	∞	201	∞	2600	∞	3008	∞	3067

H: 各層の厚さ(m), D: 上端までの深さ(m)

(3) 計算地点

表 2、図 2 に示す 4 点を計算地点とする。

表 2 計算地点 (北緯・東経は新測地系)

計算点	出力点 略号	東経			北緯			E(°)	N(°)	X(km)	Y(km)
		度	分	秒	度	分	秒				
浅川	ASK	139	16	48	35	38	19	139.2800	35.6386	159.614	57.159
清瀬	KYS	139	32	5	35	47	24	139.5347	35.7900	176.411	80.270
越中島	ECJ	139	47	50	35	39	44	139.7972	35.6622	162.234	104.086
地震研	JSK	139	45	34	35	43	7	139.7594	35.7186	168.490	100.659

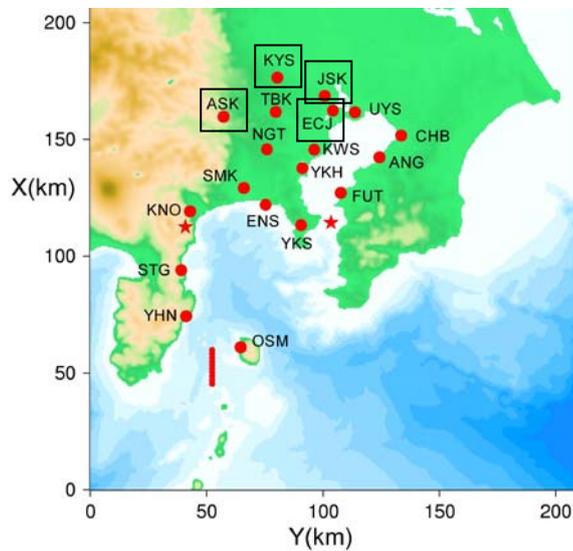


図 5 計算地点 (図中の ASK, KYS, ECJ, JSK)

(6) ステップ5：点震源モデル

ステップ5はステップ6の計算に用いるグリーン関数を確認することを目的とした。

i) 対象の点震源

アスペリティ2（小田原付近の）内に位置する破壊開始点(表3参照)を含む要素内に設定した。断層長さ $L=13\text{km}$ 、断層幅 $W=10\text{km}$ 、 $\text{strike}=294^\circ$ 、 $\text{dip}=16^\circ$ 、 $\text{rake}=90^\circ$ とし、点震源位置を $X=131.44\text{km}$ 、 $Y=42.139\text{km}$ 、 $Z=10.651\text{km}$ とする。

ii) 計算対象地点

表2に示した浅川(ASK)と越中島(ECJ)の2地点とする。各々の地点の地盤物性値は表1を用いる。

iii) 震源パラメータ

計算点の加速度フーリエスペクトル $F(\omega)$ は、Boore(1983)に従い下式で評価した。

$$F(\omega) = S(\omega) \cdot Z(\omega) \quad (16)$$

$$S(\omega) = \frac{F_s \cdot R_k^s \cdot P_{RITN}}{4\pi\rho V_s^3} \{\omega^2 \dot{M}(\omega)\} \quad (17)$$

$$Z(\omega) = \frac{1}{r} \exp\left(-\frac{\omega \cdot r}{2V_s Q_s}\right) \quad (18)$$

$S(\omega)$ は震源項、 $Z(\omega)$ は伝播経路による減衰項である。また ω は円振動数、 r は震源距離、 ρ は密度(震源では 2.7t/m^3 、地震基盤では 2.65t/m^3)、 Q_s は伝播経路のS波のQ値である。 V_s はS波速度を表し、震源(17式)では 3.53km/s 、伝播経路(18式)では 3.2km/s を用いる。 F_s は観測点の地盤増幅係数であり表1の地盤モデルから重複反射理論により評価する。その際、ステップ3~4と同様に斜め入射を考慮する。 P_{RITN} は波動エネルギーを水平2成分に分割するための係数であり、SH波とSV波の振幅から評価する。 R_k^s はS波の放射係数であり、ステップ3、4と同様にPitarka *et al.*(2000)による振動数依存の値を用いる。具体的には震源から計算点直下の地震基盤を結ぶ波線方向に対し、0~1HzはSH波とSV波の理論値の R_k^s を、3Hz以上は射出角方向に ± 30 度、方位角方向に ± 60 度の範囲の R_k^s を平滑化した値を、1~3Hzは理論値の R_k^s から平滑化した R_k^s への遷移帯域とした。詳細は付録1に記載した。地震基盤のスペクトルを求める際は、(16)式に震源から地震基盤までの増幅として、インピーダンスの比 $[(3.53 \times 2.7)/(3.2 \times 2.65)]^{0.5}$ を考慮する。

$\dot{M}(\omega)$ はMoment Rate関数であり、振幅スペクトルは下式で表示される(f は振動数、 $\omega=2\pi f$)。

$$\left| \omega^2 \dot{M}(f) \right| = \frac{\omega^2 M_0}{1+(f/f_c)^2} P(f, f_{\max}) \quad (19)$$

(4)式の地震モーメント M_0 はステップ6の要素地震として用いる関係から、 $M_0=8.0E18(\text{Nm})$ とした。これは気象庁マグニチュード6.5相当の規模に相当する。コーナー振動数 f_c は、Brune(1970)を用いて下式から $f_c=0.15(\text{Hz})$ に設定した。

$$fc = 4.9 \cdot 10^6 V_s \left(\frac{\Delta\sigma}{M_0} \right)^{1/3} \quad (20)$$

ここで、 V_s は震源層のせん断波速度(=3.53)で単位は km/s、 M_0 の単位は dyne-cm を用いる。 $\Delta\sigma$ は応力降下量(=51)であり、単位は bar である (1 bar=0.1 MPa)。

(19)式の P は f_{max} によって高振動数成分の振幅を減少させるためのフィルター関数であり、下式が与えられている。ここで、佐藤・他(1994b)に従い $f_{max}=13.5\text{Hz}$ 、 $n=4.2$ とした。

$$P(f, f_{max}) = \frac{1}{\sqrt{1 + (f/f_{max})^{2n}}} \quad (21)$$

iv) 経時特性

時刻歴波形の経時特性関数は佐藤・他(1994a)に従い、気象庁マグニチュード M と震源距離 X により下式で与える。

$$\begin{aligned} E(t) &= [(t-t_a)/(t_b-t_a)]^2 & (t_a \leq t \leq t_b) \\ E(t) &= 1 & (t_b \leq t \leq t_c) \\ E(t) &= \exp[-(\ln 10)(t-t_c)/(t_d-t_c)] & (t_c \leq t \leq t_d) \end{aligned} \quad (22)$$

ここで

$$\begin{aligned} \log[t_b(s) - t_a(s)] &= 0.229M - 1.112 \\ \log[t_c(s) - t_b(s)] &= 0.433M - 1.936 \\ \log[t_d(s) - t_c(s)] &= 0.778 \log X (km) - 0.340 \end{aligned} \quad (23)$$

v) 位相乱数の設定

p.1 の表に示すモデル S51 は、SH 波・SV 波とも添付ファイル”S51rand.csv”に与えられた時刻歴波形を用い、斜め入射により地表面の加速度波形を評価する。詳細は”S51_乱数位相の説明.doc”を参照のこと。

モデル S52 の位相乱数の設定は、(22)式の経時特性を満足し、有効周波数の帯域で(16)式の震源スペクトルに最もよくフィットするものから 3 ケース選択する。なお、SH 波と SV 波の変位波形の最大値は同符号とすることを基本とする。加速度スペクトルのフィッティング方法は提出する「補足説明資料」に記載すること。SH 波と SV 波は異なる位相乱数を用いて生成する。

vi) 計算波形の出力

- ・ 時間刻み 0.01 秒、継続時間 81.92 秒の水平 2 成分(X, Y)の加速度の時刻歴波形 (単位 m/s^2) を提出する。波形には震源から計算点までの S 波の到達時間による開始時間の遅れを考慮すること。
- ・ 波形計算の際のデータ数は 8192 個とする。
- ・ 提出データは csv 形式で、1 行目は time(s), X(NS: m/s^2), Y(EW: m/s^2), Z(UD: m/s^2)とし、2 行目以降に対応する時間・加速度 (3 成分) のデータを、各モデル・観測点ごとに乱数を変えて 3 ケース分作成する。