

3. 海洋プレート内地震の地震動評価手法の検討

3.1 スラブ内地震の震源特性等の調査

3.1.1 スラブ内地震の地震動特性の調査

(1) Atkinson and Boore (2003)

Atkinson and Boore (2003) は、世界の沈み込み帯で起こったプレート間地震とスラブ内地震 (M5~M8.3) の強震記録を用いて、最大加速度および減衰定数 5%の擬似加速度応答スペクトルの回帰分析を行った。データベースには、Cascadia 沈み込み帯で発生したスラブ内地震である 2001 年の Nisqually 地震 (M6.8) と 1999 年の Satsop 地震 (M5.9) のほか、日本、メキシコおよび中米の沈み込み帯の多くの地震が含まれている。Atkinson and Boore (2003) がスラブ内地震の検討に用いた地震のモーメントマグニチュードと断層最短距離を図 3.1.1-1 に示す。

回帰モデルは下の(3.1.1-1)式で表される。

$$\log Y = fn(\mathbf{M}) + c_3 h + c_4 R - g \log R + c_5 sl S_C + c_6 sl S_D + c_7 sl S_E \quad (3.1.1-1)$$

ここに、 Y は最大加速度もしくは減衰定数 5%の擬似加速度応答スペクトル(cm/s^2)、 M はモーメントマグニチュード (スラブ内地震の場合 $M \leq 8.0$)、 $fn(\mathbf{M}) = c_1 + c_2 M$ 、 h は震源深さ(km)、 $R = \sqrt{D_{\text{fault}}^2 + \Delta^2}$ 、 D_{fault} は断層のトレースからの最短距離、 Δ は断層近傍の飽和を示す項で、 $\Delta = 0.00724 \times 10^{0.507M}$ 、 $g = 10^{0.301 - 0.01M}$ である。また、 $c_1 \sim c_7$ は回帰係数で、 S_C 、 S_D 、 S_E は地盤種別を表す係数である。 sl は最大加速度の大きさと振動数による係数で、表 3.1.1-1 に示す値である。

Atkinson and Boore (2003) による最大加速度の例を図 3.1.1-2 に、擬似加速度応答スペクトルの例を図 3.1.1-3 に示す。

一方、図 3.1.1-4 に示すように、マグニチュード、距離、地震タイプおよび地盤種別を同一にした場合、高振動数における擬似加速度応答スペクトルが日本の地震では大きく、Cascadia の地震では小さいといった地域性が見られることを指摘している。

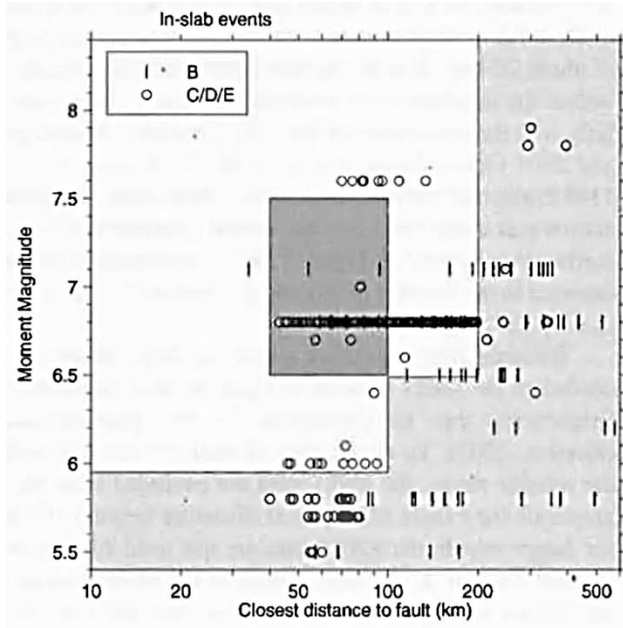


Figure 1. Database for subduction-zone earthquakes. The top frame shows data available for interface events, by NEHRP site class; the lower frame shows data available for in-slab events, by NEHRP site class. Data of $M < 5.4$ are not shown. The magnitude-distance range of most engineering interest is shaded dark gray. Magnitude-distance cutoffs imposed on final regressions are shaded light gray. KNET data that are believed to be unreliable at higher frequencies (moderate magnitudes at large distances; see text) are not included.

図 3.1.1-1 Atkinson and Boore (2003) が検討に用いたスラブ内地震のモーメントマグニチュードと断層最短距離 (工学的に重要なのは、濃い灰色の部分の地震の記録である。モーメントマグニチュードが小さすぎたり、断層最短距離が遠すぎる淡い灰色の部分の地震の記録は回帰分析には用いていない。)

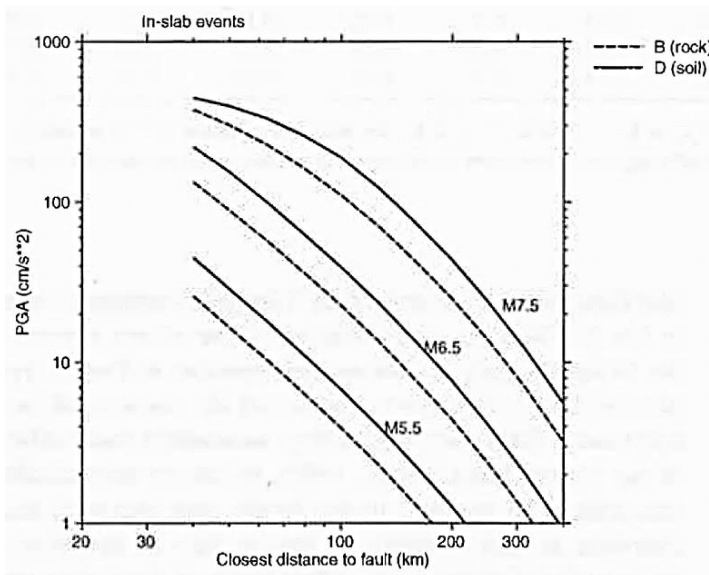


Figure 9. Peak ground acceleration for rock (NEHRP B) and soil (NEHRP D) for interface events (depth = 20 km) of $M 5.5, 6.5, 7.5,$ and 8.5 (top frame) and in-slab events (depth = 50 km) of $M 5.5, 6.5,$ and 7.5 . Nonlinear soil response is assumed for records with $PGA_{rx} > 100 \text{ cm/sec}^2$.

図 3.1.1-2 Atkinson and Boore (2003) によるスラブ内地震の最大加速度の例

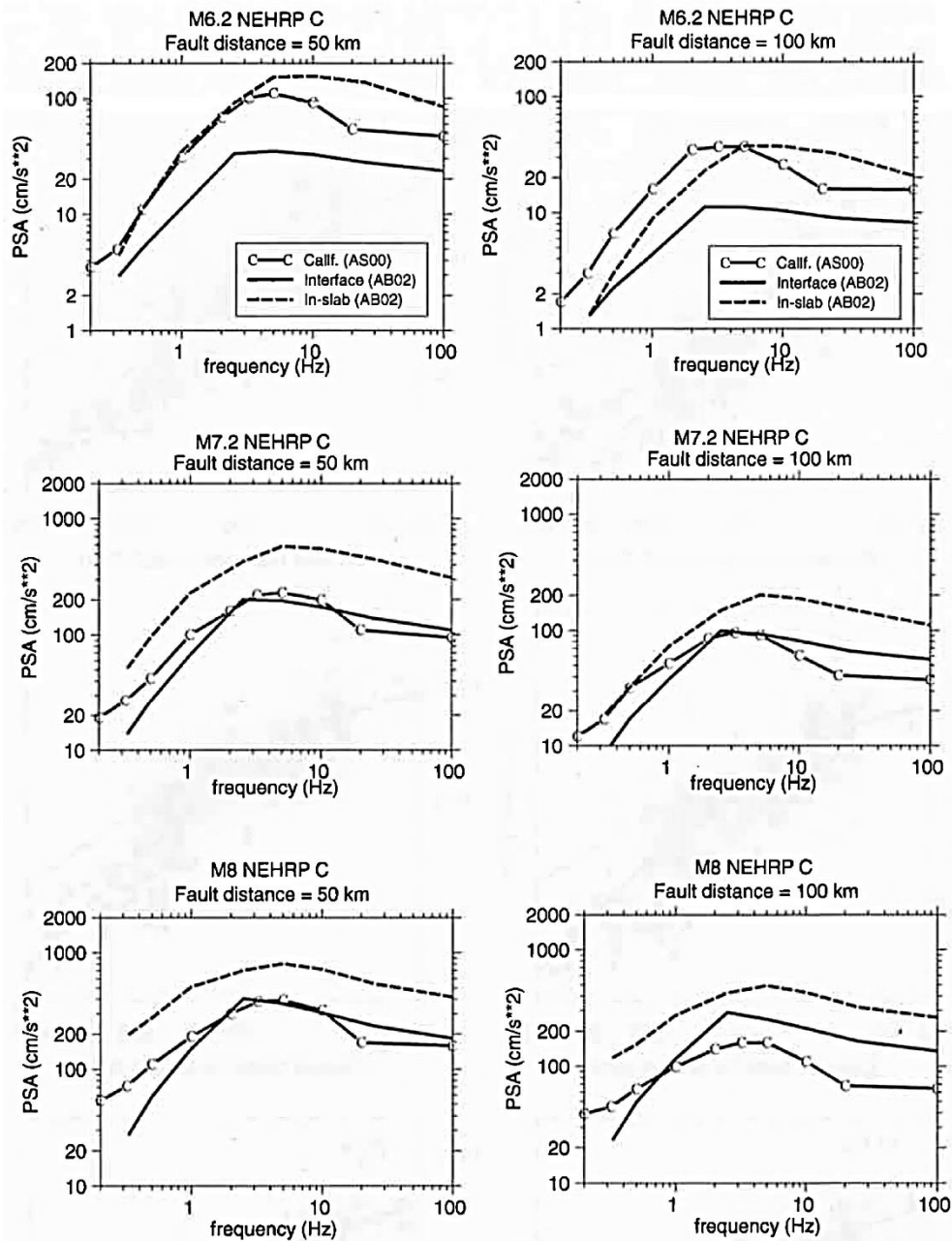


Figure 18. Predicted spectra for earthquakes of M 6.2 (top frames), 7.2 (middle frames), and 8.0 (lower frames), at distances of 50 km (left) and 100 km (right) from the fault, for NEHRP C site conditions, for interface (solid lines) and in-slab (dashed lines) events. Corresponding predictions for shallow California earthquakes (from Atkinson and Silva, 2000) are denoted by lines with "C."

図3.1.1-3 Atkinson and Boore (2003) によるスラブ内地震とプレート間地震の擬似加速度応答スペクトルの例 (スラブ内地震の擬似加速度スペクトルは破線で、プレート間地震の擬似加速度スペクトルは実線で示されている。Cのついた線はカルフォルニアの浅い地震の擬似加速度スペクトルである。)

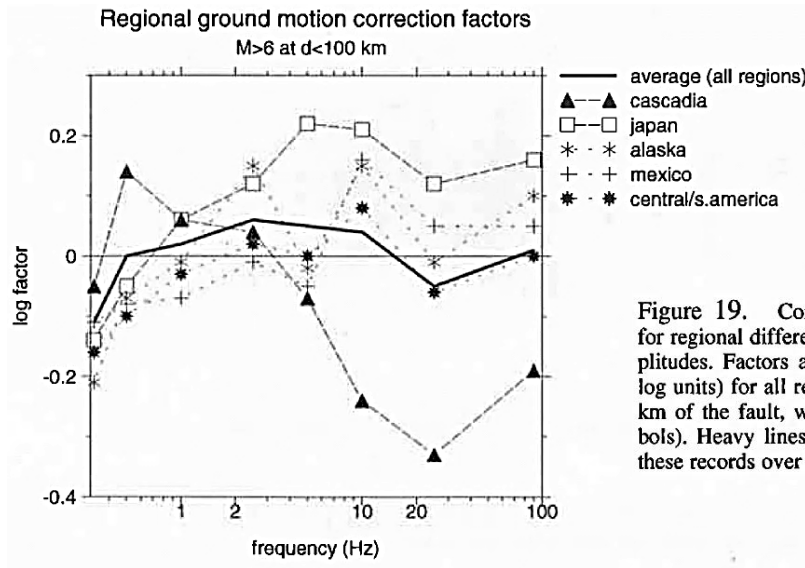


Figure 19. Correction factors to account for regional differences in ground-motion amplitudes. Factors are the average residual (in log units) for all records of $M \geq 6$ within 100 km of the fault, within a given region (symbols). Heavy lines show average residual for these records over all regions.

図3.1.1-4 Atkinson and Boore (2003) による擬似加速度応答スペクトルの地域性

表3.1.1-1 Atkinson and Boore (2003) の地震動予測式の sl

$$sl = 1.$$

for $PGA_{rx} \leq 100 \text{ cm/sec}^2$ or frequencies $\leq 1 \text{ Hz}$

$$sl = 1. - (f - 1) (PGA_{rx} - 100.) / 400.$$

for $100 < PGA_{rx} < 500 \text{ cm/sec}^2$ ($1 \text{ Hz} < f < 2 \text{ Hz}$)

$$sl = 1. - (f - 1)$$

for $PGA_{rx} \geq 500 \text{ cm/sec}^2$ ($1 \text{ Hz} < f < 2 \text{ Hz}$)

$$sl = 1. - (PGA_{rx} - 100.) / 400.$$

for $100 < PGA_{rx} < 500 \text{ cm/sec}^2$ ($f \geq 2 \text{ Hz}$ and PGA)

$$sl = 0.$$

for $PGA_{rx} \geq 500 \text{ cm/sec}^2$ ($f \geq 2 \text{ Hz}$ and PGA);

PGA_{rx} is predicted PGA on rock (NEHRP B)

(2) Lin and Lee (2008)

Lin and Lee (2008) は、台湾北東部の沈み込み帯に起ったスラブ内地震とプレート間地震の記録を用いて、最大加速度と加速度応答スペクトルの地震動予測式を求めた。図 3.1.1-5 は検討に用いたスラブ内地震のモーメントマグニチュードと震源距離との関係である。

回帰分析の結果、岩盤上の最大加速度の式として、

$$\ln(\text{PGA}) = -2.5 + 1.205M - 1.905 \ln(R + 0.516e^{0.6325M}) + 0.0075H + 0.275Z_t \quad (3.1.1-2)$$

を得た。また、地盤上の最大加速度の式として、

$$\ln(\text{PGA}) = -0.9 + 1.00M - 1.90 \ln(R + 0.9918e^{0.5263M}) + 0.004H + 0.31Z_t \quad (3.1.1-3)$$

を得た。ここに、 PGA は水平2成分の幾何平均で単位は重力加速度、 M はモーメントマグニチュード、 R は震源距離、 H は震源深さ(km)、 Z_t はスラブ内地震では1、プレート間地震では0である。

加速度応答スペクトルの場合の回帰係数を表3.1.1-2と表3.1.1-3に示す。また、図3.1.1-6 にスラブ内地震の最大加速度の例を示す。

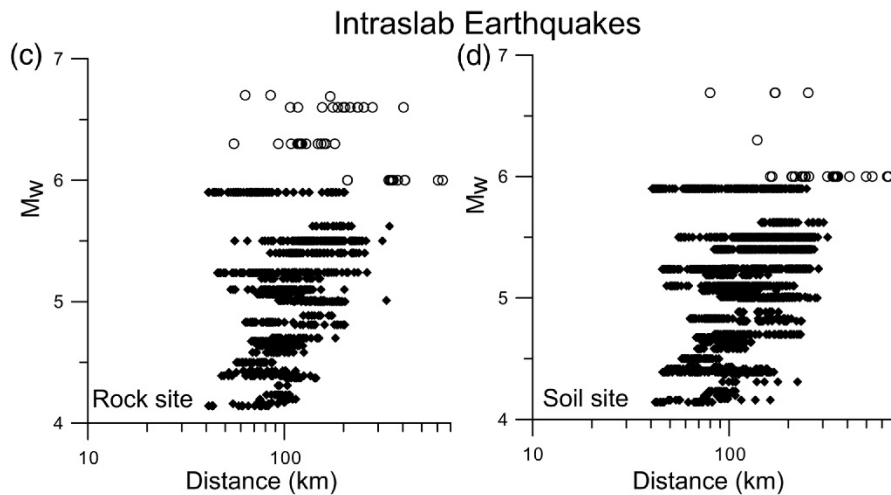


Figure 3. The magnitude and distance distribution of the strong-motion data set used in this study. The solid rhomboids represent data from the Taiwan area; the open circles represent data from other areas.

図3.1.1-5 Lin and Lee (2008) が検討に用いたスラブ内地震のモーメントマグニチュードと震源距離

表3.1.1-1 Lin and Lee (2008) が求めた岩盤サイトにおける回帰係数

Table 3

Regression Coefficients of Attenuations for Rock Sites

Period	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	$\sigma_{\ln y}$
PGA	-2.500	1.205	-1.905	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.5268
0.01	-2.500	1.205	-1.895	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.5218
0.02	-2.490	1.200	-1.880	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.5189
0.03	-2.280	1.155	-1.875	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.5235
0.04	-2.000	1.100	-1.860	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.5352
0.05	-1.900	1.090	-1.855	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.537
0.06	-1.725	1.065	-1.840	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.5544
0.09	-1.265	1.020	-1.815	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.5818
0.10	-1.220	1.000	-1.795	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.5806
0.12	-1.470	1.040	-1.770	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.5748
0.15	-1.675	1.045	-1.730	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.5817
0.17	-1.846	1.065	-1.710	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.5906
0.20	-2.170	1.085	-1.675	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.6059
0.24	-2.585	1.105	-1.630	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.6315
0.30	-3.615	1.215	-1.570	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.6656
0.36	-4.160	1.255	-1.535	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.701
0.40	-4.595	1.285	-1.500	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.7105
0.46	-5.020	1.325	-1.495	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.7148
0.50	-5.470	1.365	-1.465	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.7145
0.60	-6.095	1.420	-1.455	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.7177
0.75	-6.675	1.465	-1.450	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.7689
0.85	-7.320	1.545	-1.450	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.7787
1.0	-8.000	1.620	-1.450	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.7983
1.5	-9.240	1.705	-1.440	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.8411
2.0	-10.200	1.770	-1.430	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.8766
3.0	-11.470	1.830	-1.370	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.859
4.0	-12.550	1.845	-1.260	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.8055
5.0	-13.390	1.805	-1.135	0.51552	0.63255	0.0075	0.275	0.7654

The regression equation is $\ln(y) = C_1 + C_2M + C_3 \ln(R + C_4e^{C_5M}) + C_6H + C_7Z_t$.

表3.1.1-2 Lin and Lee (2008) が求めた地盤サイトにおける回帰係数

Table 4
Regression Coefficients of Attenuations for Soil Sites

Period	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	$\sigma_{\ln y}$
PGA	-0.900	1.000	-1.900	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.6277
0.01	-2.200	1.085	-1.750	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.5800
0.02	-2.290	1.085	-1.730	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.5730
0.03	-2.340	1.095	-1.720	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.5774
0.04	-2.215	1.090	-1.730	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.5808
0.05	-1.895	1.055	-1.755	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.5937
0.06	-1.110	1.010	-1.835	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.6123
0.09	-0.210	0.945	-1.890	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.6481
0.10	-0.055	0.920	-1.880	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.6535
0.12	0.055	0.935	-1.895	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.6585
0.15	-0.040	0.955	-1.880	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.6595
0.17	-0.340	1.020	-1.885	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.6680
0.20	-0.800	1.045	-1.820	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.6565
0.24	-1.575	1.120	-1.755	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.6465
0.30	-3.010	1.315	-1.695	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.6661
0.36	-3.680	1.380	-1.660	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.6876
0.40	-4.250	1.415	-1.600	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.7002
0.46	-4.720	1.430	-1.545	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.7092
0.50	-5.220	1.455	-1.490	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.7122
0.60	-5.700	1.470	-1.445	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.7280
0.75	-6.450	1.500	-1.380	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.7752
0.85	-7.250	1.565	-1.325	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.7931
1.0	-8.150	1.605	-1.235	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.8158
1.5	-10.300	1.800	-1.165	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.8356
2.0	-11.620	1.860	-1.070	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.8474
3.0	-12.630	1.890	-1.060	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.8367
4.0	-13.420	1.870	-0.990	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.7937
5.0	-13.750	1.835	-0.975	0.99178	0.52632	0.004	0.31	0.7468

The regression equation is $\ln(y) = C_1 + C_2M + C_3 \ln(R + C_4e^{C_5M}) + C_6H + C_7Z_r$.

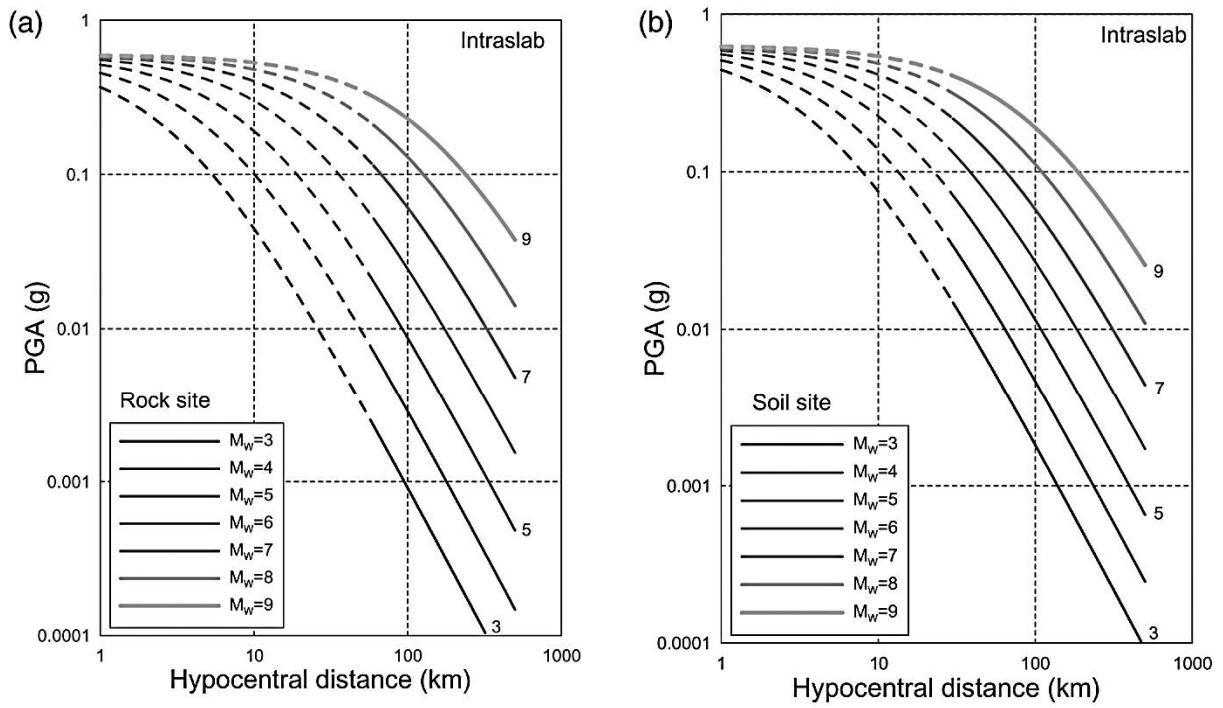


Figure 5. Results of the PGA attenuation curves for intraslab earthquakes at different magnitudes: (a) rock sites and (b) soil sites.

図3.1.1-6 Lin and Lee (2008) によるスラブ内地震の最大加速度の例

(3) Rodriguez-Perez (2014)

Rodriguez-Perez (2014) は、南部メキシコで起った正断層のスラブ内地震 (モーメントマグニチュード5.0~7.2、震源深さ55~198km) および中部メキシコで起った海溝近くの衝上断層によるアウターライズ地震 (モーメントマグニチュード5.1~8.0、震源深さ6~20km) に対して、最大加速度、最大速度、および減衰定数5%の擬似加速度応答スペクトルの回帰モデルを作成した。

検討に用いた正断層のスラブ内地震を表3.1.1-3に示す。また、震央分布を図3.1.1-7に示す。

検討に用いた地震動予測式は、

$$\log Y = c_1 + c_2 M_W + c_3 H + c_4 R - c_5 \log R + \sigma \quad (3.1-4)$$

である。ここに、 Y は最大速度(cm/s)、最大加速度(cm/s²)、もしくは減衰定数5%の擬似加速度応答スペクトル(cm/s²)の水平2成分の二乗和平方根、 $c_1 \sim c_5$ は回帰係数、 M_W はモーメントマグニチュード、 H は震源深さ(km)、 $R = (D_{\text{fault}}^2 + \Delta^2)^{0.5}$ で、 D_{fault} は断層の地表トレースまでの最短距離もしくは震源距離、 $\Delta = 0.00750 \times 10^{0.507} M_W$ である。また、 σ は誤差の標準偏差で、地震内の誤差の標準偏差を σ_r とし、地震間の誤差の標準偏差を σ_e とすると、 $\sigma = (\sigma_r^2 + \sigma_e^2)^{0.5}$ である。

表3.1.1-4にスラブ内地震の回帰係数を示す。また、図3.1.1-8にスラブ内地震の加速度応答スペクトルの例を示す。

南部メキシコのスラブ内地震による最大加速度は、中部メキシコや中部アメリカのスラブ内地震による最大加速度よりも小さいことを指摘している。

表3.1.1-3 Rodriguez-Perez (2014) が検討に用いたスラブ内地震

Table 2
Normal Inslab Events

Event	Date		Longitude* (° E)	Latitude* (° W)	Depth (km)	M_w	Mechanism
	(yyyy/mm/dd)	Time (hh:mm:ss)					(Strike, Dip, Rake) (°)
1 [†]	1995/10/21	02:39:09	-93.42	16.67	163.8	7.2	(313, 90, -104)
2 [‡]	2001/01/19	01:12:55	-92.93	15.33	93.0	6.0	(324, 77, -90)
3 [‡]	2001/11/28	14:32:37	-93.40	15.78	65.0	6.4	(301, 74, -92)
4 [‡]	2001/12/19	10:26:06	-93.87	17.57	177.1	5.2	(300, 74, -114)
5 [‡]	2002/01/16	23:09:57	-93.44	15.69	55.7	6.4	(306, 83, -88)
6 [‡]	2002/01/30	08:42:07	-95.94	18.22	116.0	5.9	(317, 63, -94)
7 [‡]	2002/03/31	23:10:01	-92.95	14.64	32.2	5.5	(287, 34, -110)
8 [‡]	2002/06/11	02:32:35	-94.73	17.49	150.6	5.2	(316, 73, -104)
9 [‡]	2004/01/17	21:13:10	-95.49	17.90	106.4	5.2	(325, 44, -77)
10 [‡]	2004/04/20	17:44:23	-94.63	17.50	146.2	5.4	(310, 61, -132)
11 [‡]	2004/08/07	11:39:13	-95.30	17.25	104.7	5.8	(312, 66, -103)
12 [‡]	2004/08/18	09:03:12	-95.14	16.40	77.6	5.8	(314, 64, -150)
13 [‡]	2005/05/19	07:10:59	-92.36	14.72	74.0	5.3	(306, 74, -101)
14 [‡]	2007/07/06	01:09:21	-93.89	16.48	113.7	6.0	(313, 74, -102)
15 [‡]	2007/11/26	17:41:40	-93.35	15.37	71.3	5.7	(326, 72, -82)
16 [‡]	2008/02/11	22:20:36	-94.10	16.44	91.6	5.1	(320, 72, -108)
17 [‡]	2008/06/05	05:11:28	-93.64	15.79	100.2	5.3	(319, 82, -114)
18 [‡]	2008/11/23	18:06:40	-94.02	17.38	167.4	5.0	(321, 72, -101)
19 [‡]	2009/09/08	05:14:32	-95.68	17.73	103.0	5.1	(319, 59, -57)
20 [‡]	2010/09/15	06:05:47	-93.31	15.73	77.6	5.1	(309, 69, -97)
21 [‡]	2010/11/01	23:16:47	-93.63	16.97	168.7	5.6	(309, 84, -115)
22 [‡]	2011/02/25	13:07:28	-95.20	17.98	128.4	6.0	(318, 52, -109)
23 [‡]	2011/04/07	13:11:27	-94.12	17.28	153.8	6.7	(307, 76, -119)
24 [‡]	2011/06/07	14:55:19	-93.41	15.31	75.6	5.3	(308, 77, -90)
25 [‡]	2011/12/07	05:13:18	-94.10	17.82	198.1	5.1	(305, 69, -130)

*All locations are based on teleseismic data.

[†]Location, focal mechanism, depth, and M_w from the Global CMT catalog.

[‡]Location, focal mechanism, M_w from the Global CMT catalog, and depth from the USGS catalog.

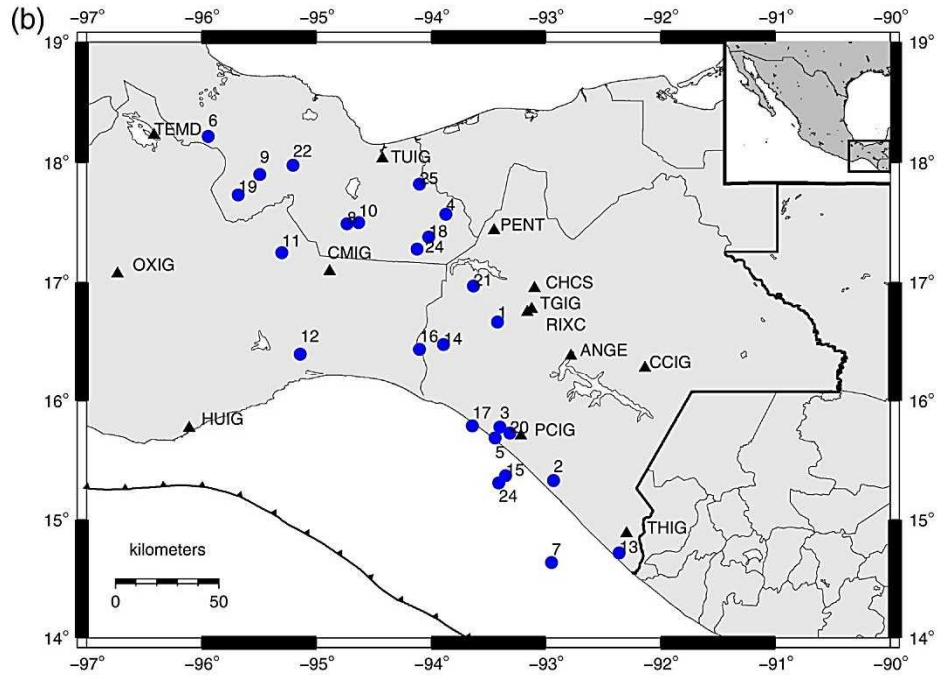


Figure 1. Map of (a) central Mexico region and (b) southern Mexico region showing the stations (triangles) and the epicenters (circles). The color version of this figure is available only in the electronic edition.

図3.1.1-7 Rodriguez-Perez (2014) が検討に用いたスラブ内地震

表3.1.1-4 Rodriguez-Perez (2014) が統計処理で求めたスラブ内地震の回帰係数

Table 4
Regression Coefficients of the Ground-Motion Relations for Inslab Events in Southern Mexico

f (Hz)	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	σ	σ_r	σ_e
0.20	-3.7248	0.9135	0.0015	-0.0014	0.8602	0.32	0.30	0.10
0.25	-4.0569	0.9441	0.0008	-0.0016	0.7009	0.29	0.27	0.09
0.33	-3.9967	0.9555	0.0004	-0.0016	0.6621	0.27	0.26	0.09
0.50	-3.9152	0.9704	0.0001	-0.0016	0.6516	0.28	0.27	0.09
0.67	-3.8089	0.9705	0.0000	-0.0018	0.6019	0.31	0.29	0.10
1.00	-3.4679	0.9651	0.0002	-0.0018	0.6635	0.33	0.31	0.10
1.33	-3.0745	0.9468	0.0006	-0.0018	0.7282	0.34	0.32	0.11
2.00	-2.6383	0.9297	0.0012	-0.0017	0.8359	0.34	0.33	0.11
2.50	-2.2661	0.8973	0.0018	-0.0018	0.8798	0.35	0.33	0.11
3.33	-1.6239	0.8604	0.0026	-0.0016	1.0826	0.37	0.35	0.12
5.00	-1.2955	0.8391	0.0031	-0.0015	1.1995	0.41	0.39	0.13
10.00	-1.0837	0.8253	0.0034	-0.0014	1.2943	0.42	0.40	0.13
13.33	-1.0582	0.8114	0.0036	-0.0015	1.2985	0.40	0.38	0.13
20.00	-1.1939	0.8206	0.0035	-0.0014	1.3095	0.40	0.38	0.13
25.00	-1.2496	0.8103	0.0033	-0.0015	1.2626	0.40	0.37	0.12
PGA	-1.1321	0.8038	0.0033	-0.0014	1.3219	0.39	0.37	0.12
PGV	-3.4130	0.8991	0.0014	-0.0018	0.9895	0.35	0.33	0.11

The regression equation is $\log Y = c_1 + c_2 M_w + c_3 H + c_4 R - c_5 \log R + \sigma$.

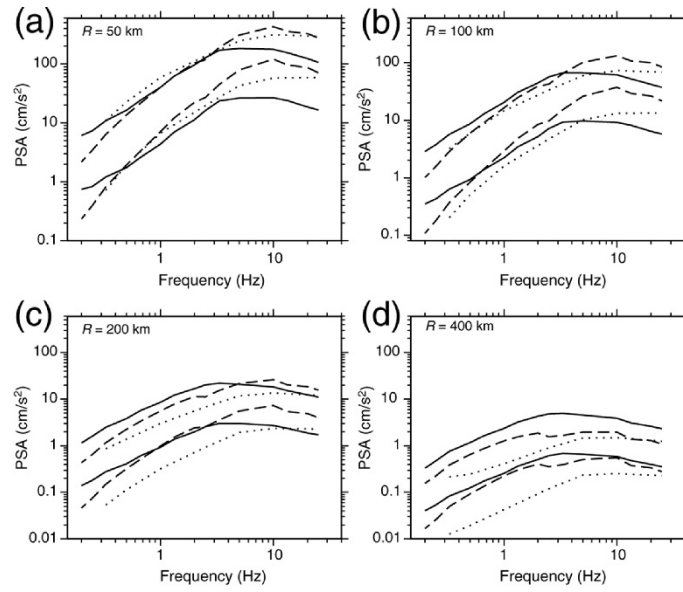


Figure 13. Predicted PSA response spectra for inslab earthquakes of M_w 5.5 and 6.5 with $H = 70$ km, at the distances of 50, 100, 200, and 400 km from this study (continuous curves), and some other studies (Atkinson and Boore, 2003, dotted curves and García *et al.*, 2004, dashed curves).

図3.1.1-8 Rodriguez-Perez (2014) によるスラブ内地震の加速度応答スペクトルの例 (実線)

3.1.2 スラブ内地震のスケーリング則の調査

(1) 加藤・他 (1998)

加藤・他 (1998) は、図3.1.2-1に示す福島県沖のプレート間地震、関東直下のやや深発地震、および南関東の浅い地震の加速度記録からスペクトルインバーションにより震源スペクトルを求め、地震の発生地域により短周期レベルがどの程度異なるかを検討している。使用した強震記録は、40地震に対して27地点で観測された水平方向の計672波である。

インバージョン結果の1Hz～10Hzの加速度震源スペクトルの平均値から評価した短周期レベルは、図3.1.2-2に示すように地震モーメント M_0 の1/3乗に比例している。ただし、同じ M_0 に対する短周期レベルの値は地震の発生地域によって異なった。そこで、その差を定量的に見るために、Brune (1970) のモデルを用いて応力降下量 $\Delta\sigma$ を求めている。結果を、図3.1.2-3に示す。各地域ごとに $\Delta\sigma$ を平均すると、南関東の浅い地震は $\Delta\sigma=100\text{bars}$ 、福島県沖のプレート間地震は $\Delta\sigma=200\text{bars}$ 、関東直下のやや深発地震は $\Delta\sigma=370\text{bars}$ となり、やや深発地震は浅い地震に比べて2.4倍、プレート間地震は1.6倍ほど短周期の励起が強いことを示す結果が得られている。地震の発生地域ごとに短周期レベルは異なるが、震源が深い地震は浅い地震に比べて $\Delta\sigma$ が大きく、震源深さは短周期の励起に対して重要なパラメータであると述べている。

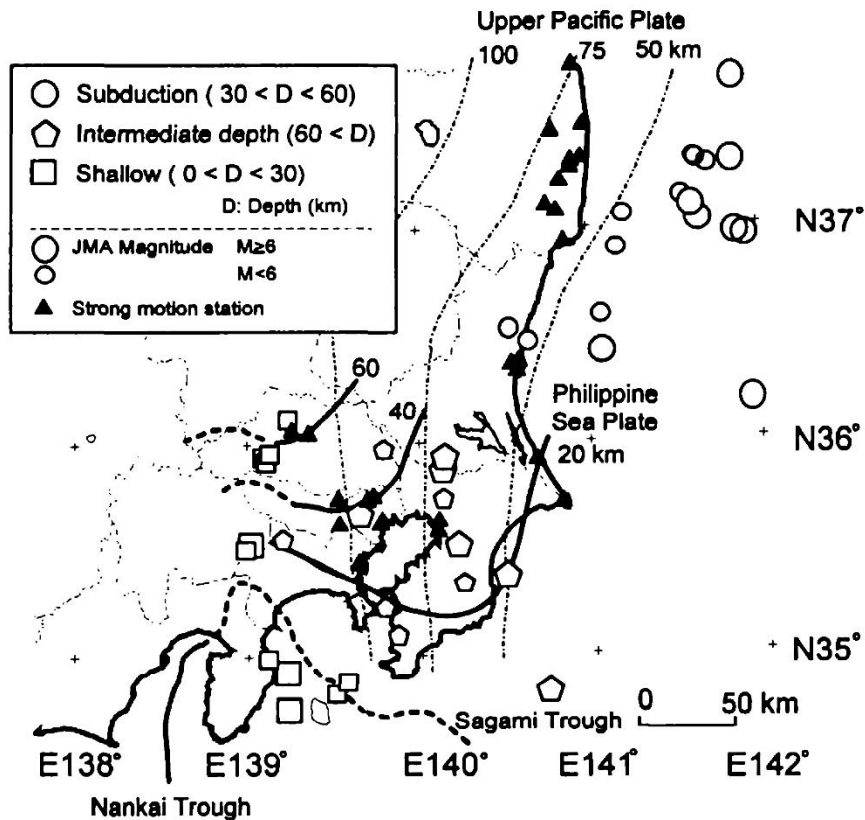


Fig. 1. Strong-motion stations and epicenters of analyzed events. The solid triangles indicate the locations of stations. The open circles, pentagons, and squares indicate the epicenters of subduction earthquakes, intermediate depth earthquakes, and shallow earthquakes, respectively, corresponding to the events listed in Tables 1(a), (b), and (c). Upper boundary of Pacific Plate (UMINO and HASEGAWA, 1982) and Philippine Sea Plate (ISHIDA, 1992) are also depicted.

図3.1.2-1 加藤・他 (1998) が検討に用いた福島県沖のプレート間地震、関東直下のやや深発地震、および南関東の浅い地震の震央

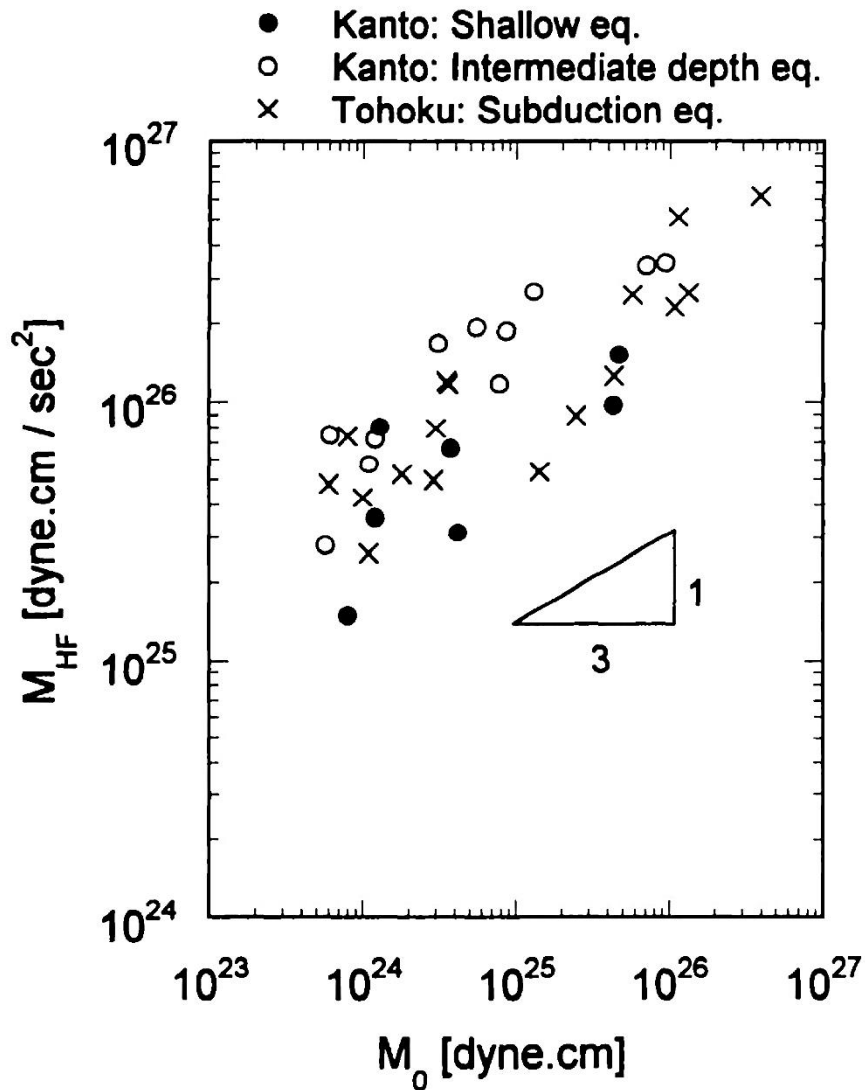


Fig. 11. Amplitude of source spectra in high-frequency range M_{HF} versus seismic moment M_0 . Solid circles, open circles, and crosses indicate shallow earthquakes in the southern Kanto region, intermediate depth earthquakes in the Kanto region, and subduction earthquakes off Fukushima Prefecture, respectively.

図3.1.2-2 加藤・他 (1998) による福島県沖のプレート間地震、関東直下のやや深発地震、および南関東の浅い地震の地震モーメントと短周期レベルとの関係

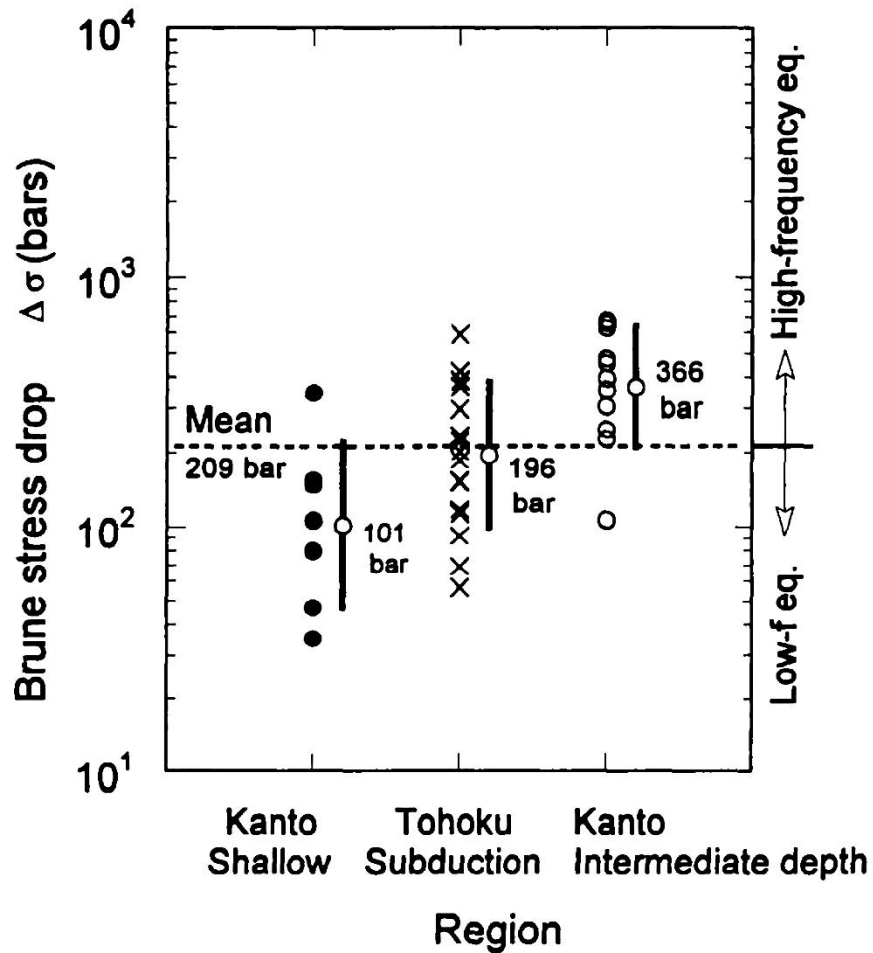


Fig. 12. Brune stress drop $\Delta\sigma$ estimated in each region. Vertical bars indicate the range of $\pm 1\sigma$, and open circles on the bars indicate average of $\Delta\sigma$ in each region. Dotted line shows the average of $\Delta\sigma$ in the three regions. The events of which $\Delta\sigma$ is higher than the average, $\Delta\sigma=209$ bars, are classified into high-frequency earthquakes, while the events with lower than the average are classified into low-frequency earthquakes.

図3.1.2-3 加藤・他 (1998) による福島県沖のプレート間地震、関東直下のやや深発地震、および南関東の浅い地震のBrune (1970) の応力降下量の地域性

(2) 加藤・他 (1999)

加藤・他 (1999) は、図3.1.2-4に示す関東以北で発生した計13のやや深発地震を対象に、短周期レベルを求め、その地域性を調べた。ここに、震源深さは50kmより深い地震とし、それら対象地震を発生位置によりプレート内地震(Inter-plate) とプレート間地震(Inter-plate) に分類し、さらに逆断層 (Reverse fault)、正断層 (Normal fault) 、斜めずれ断層 (Oblique fault)、および二重深発地震面の上面発生し応力場の圧縮軸 (P軸) がプレートのもぐり込み方向を向くDC型と下面で発生し張力軸 (T軸) がプレートのもぐり込み方向を向くDE型に断層タイプを再分類した。結果を表3.1.2-1に示す。

比較のために、関東以北で発生した50kmより浅い13地震も検討対象に加えた。検討の結果は以下のとおりである。

- 1) やや深発地震の発生メカニズムを地域ごとにまとめると、北海道は太平洋プレート内の二重深発地震面の下面で、東北地方は上面で発生するが多い。関東地方は複雑なテクトニクスを反映して太平洋プレート内、フィリピン海プレート内、および両プレートの境界でやや深発地震が発生している。
- 2) これらのやや深発地震は浅発地震に比べて平均的には1.6倍ほど加速度振幅が大きくなる。その度合いを地域ごとに見ると、北海道と関東地方のやや深発地震は東北地方に比べて加速度の励起が強い傾向にあり、この差はプレート内の速度構造に関連している可能性がある。
- 3) 加速度振幅の励起が強くなる条件として、プレート内・プレート境界地震による区分、または正・逆・斜めずれ断層・DC型・DE型の断層運動の型による区分よりも、図3.1.2-5に示すように、むしろ震源深さによる影響が顕著に現れる。
- 4) 例外として、1994年北海道東方沖地震のように震源が浅くてもやや深発地震と同等の加速度振幅を励起する場合がある。この地震はやや深発地震と同様に海洋プレート内で発生しており、今後この種の地震の発生頻度、発生地域を調べ、地震危険度評価に反映させることが地震防災上重要と思われる。

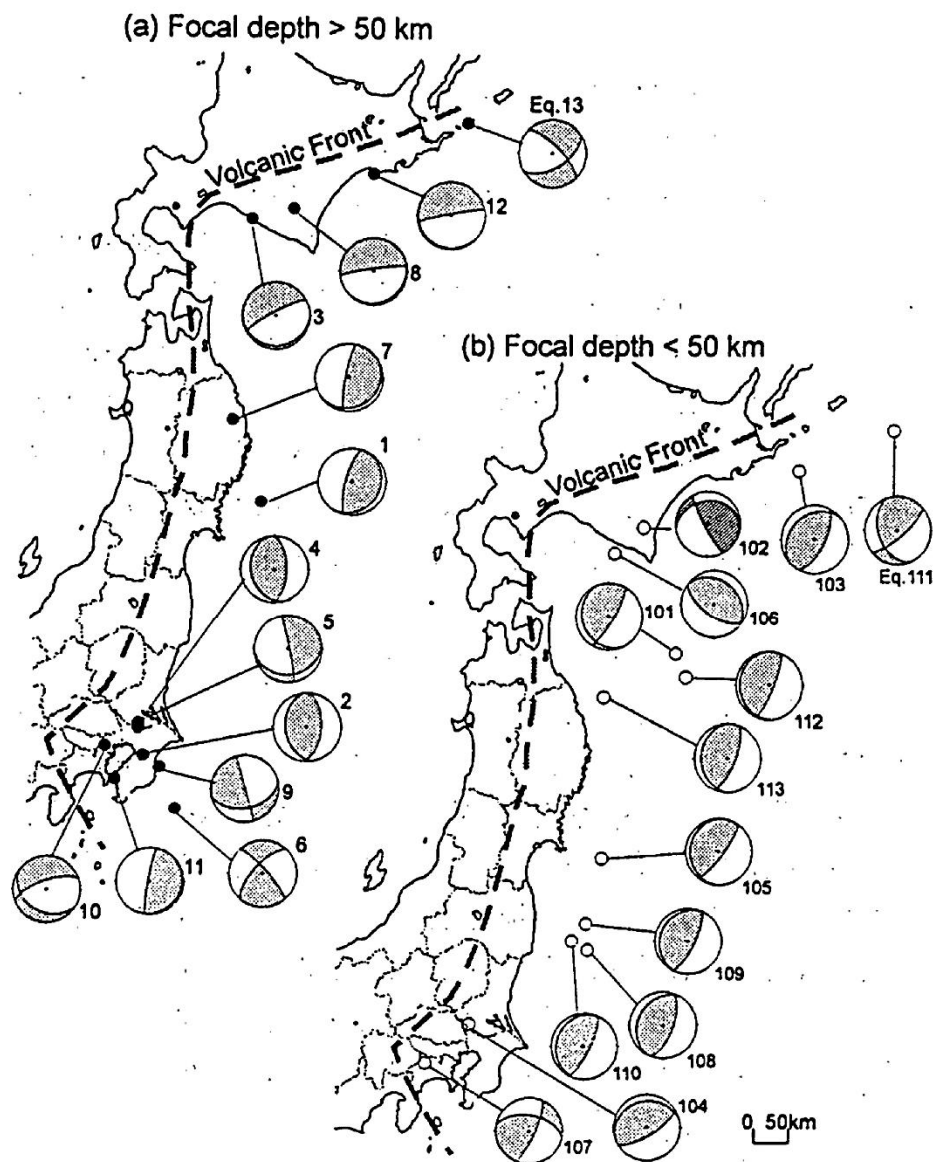


Fig. 1 Locations of events and their focal mechanisms

図3.1.2-4 加藤・他 (1999) が関東以北で発生したやや深発地震の短周期レベルの検討に用いた地震および比較のために用いた浅い地震の震央とメカニズム解

表3.1.2-1 加藤・他 (1999) が関東以北で発生したやや深発地震の短周期レベルの検討に用いた地震および比較のために用いた浅い地震の震央とメカニズム解

(a) 東以北で発生したやや深発地震

Table 1 Intermediate depth earthquakes analyzed in this study

No.	Origin time	Epicenter			Region	M _{JMA}	Mo (E25)	# of data*		Obs		Fault type**		Reference	
		Lon.	Lat.	Depth				E.V	W.V	Cal	Inter.	Intra.			
1	1978.0220 13:37	142.20	38.75	50	Miyagiken-oki	6.7	7.0	24	6	1.1		DC-V	Kosuga et al., 1996 ⁸⁾		
2	1980.0925 02:54	140.22	35.52	80	Chibaken-chubu	6.1	1.3	106	2	1.9	R		Kawasaki & Matsuda, 1987 ⁹⁾		
3	1981.0123 13:58	142.20	42.42	130	Hidaka-scibu	7.1	17.5	34	10	1.5		DE-H	Kosuga et al., 1996 ⁸⁾		
4	1983.0227 21:14	140.15	35.93	72	Ibaragi-nanbu	6.0	0.8	96	4	1.7	R		Hori, 1986 ¹⁰⁾		
5	1985.1004 21:26	140.15	35.87	78	Ibaragi-Chiba	6.1	0.9	166	28	1.5		O	Hori, 1986 ¹⁰⁾		
6	1986.0624 11:53	140.72	34.82	73	Bousou-oki	6.5	9.4	152	16	0.9		O			
7	1987.0109 15:14	141.77	39.83	71	Iwate-chubu	6.6	8.8	58	22	1.2		DC-H	Kosuga et al., 1996 ⁸⁾		
8	1987.0114 20:03	142.93	42.53	119	Hidaka-hokubu	7.0	16.9	30	4	1.5		DE-H	Kosuga et al., 1996 ⁸⁾		
9	1987.1217 11:08	140.48	35.37	57	Chiba-toho-oki	6.7	7.1	180	24	0.9		O	Okada, 1990 ¹¹⁾		
10	1988.0318 05:34	139.63	35.65	96	Tokyo-tobu	6.0	0.3	170	22	1.7	N		Kinoshita, 1992 ¹²⁾		
11	1992.0202 04:04	139.78	35.22	92	Tokyo-wan	5.9	0.5	270	52	2.9		DC	Okada, 1990 ¹¹⁾		
12	1993.0115 20:06	144.35	42.92	100	Kushiro-oki	7.8	272.0	144	46	1.7		DE-H	Kosuga et al., 1996 ⁸⁾		
13	1994.0831 18:07	146.07	43.48	84	Kunashiri	6.5	2.1	24	2	2.7		O			
							Total	1454	238	Ave. 1.6					

* Number of stations located east side [E.V] and west side [W.V] of volcanic front.

** Divided into inter- and intra-plate earthquakes. R: Reverse-, N: Normal-, O: Oblique-fault

DC: Down-dip compression, DE: Down-dip extension with -H: Horizontal and -V: Vertical fault plane

(b) 関東以北で発生した浅い地震

Table 2 Shallow earthquakes analyzed in this study

No.	Origin time	Epicenter			Region	M _{JMA}	Mo (E25)	# of data*		Obs		Fault type**		Reference	
		Lon.	Lat.	Depth				E.V	W.V	Cal	Inter.	Intra.			
101	1968.0516 09:48	143.58	40.73	0	Tokachi-oki	7.9	2800.0	32	22	0.6	R		Kanamori, 1971 ¹⁴⁾		
102	1970.0121 02:33	143.13	42.38	50	Hiroo	6.7	-	9	2	1.3	R		Sasatani, 1987 ¹⁵⁾		
103	1973.0617 12:55	145.95	42.97	40	Nemuro-oki	7.4	670.0	11	1	0.9	R		Shimazaki, 1974 ¹⁶⁾		
104	1974.0804 03:16	139.92	36.02	50	Tonegawa	5.8	0.8	29	0	1.1	R		Takemoto & Kawasaki, 1983 ¹⁷⁾		
105	1978.0612 17:14	142.17	38.15	40	Miyagiken-oki	7.4	337.0	56	16	1.1	R				
106	1982.0321 11:32	142.60	42.07	40	Urakawa-oki	7.1	26.4	22	10	0.7	R		Tada, 1987 ¹⁸⁾		
107	1983.0808 12:47	139.20	35.52	22	Kanagawa	6.0	0.4	76	40	0.8	S		Kinoshita, 1992 ¹²⁾		
108	1987.0206 22:16	141.88	36.95	35	Fukushima-oki	6.7	13.2	78	10	0.8	R		Takemura et al., 1989 ¹⁹⁾		
109	1987.0407 09:40	141.87	37.30	44	"	6.6	11.4	56	16	1.2	R		Takemura et al., 1989 ¹⁹⁾		
110	1987.0423 05:13	141.62	37.08	46	"	6.5	10.8	42	6	1.0	R		Takemura et al., 1989 ¹⁹⁾		
111	1994.1004 22:22	147.70	43.37	23	Hokkaido-toho-oki	8.1	3000.0	60	28	2.0		O	Kikuchi & Kanamori, 1995 ²⁰⁾		
112	1994.1228 21:19	143.73	40.42	0	Sanriku-haruka-oki	7.5	489.0	174	56	1.2	R		Sato et al., 1996 ²²⁾		
113	1995.0107 07:37	142.31	40.22	48	Iwateken-oki	7.2	33.3	118	24	1.0	R				
							Total	763	231	Ave. 1.0					

*,** These notations are the same as Table 1, except for S: Strike slip fault

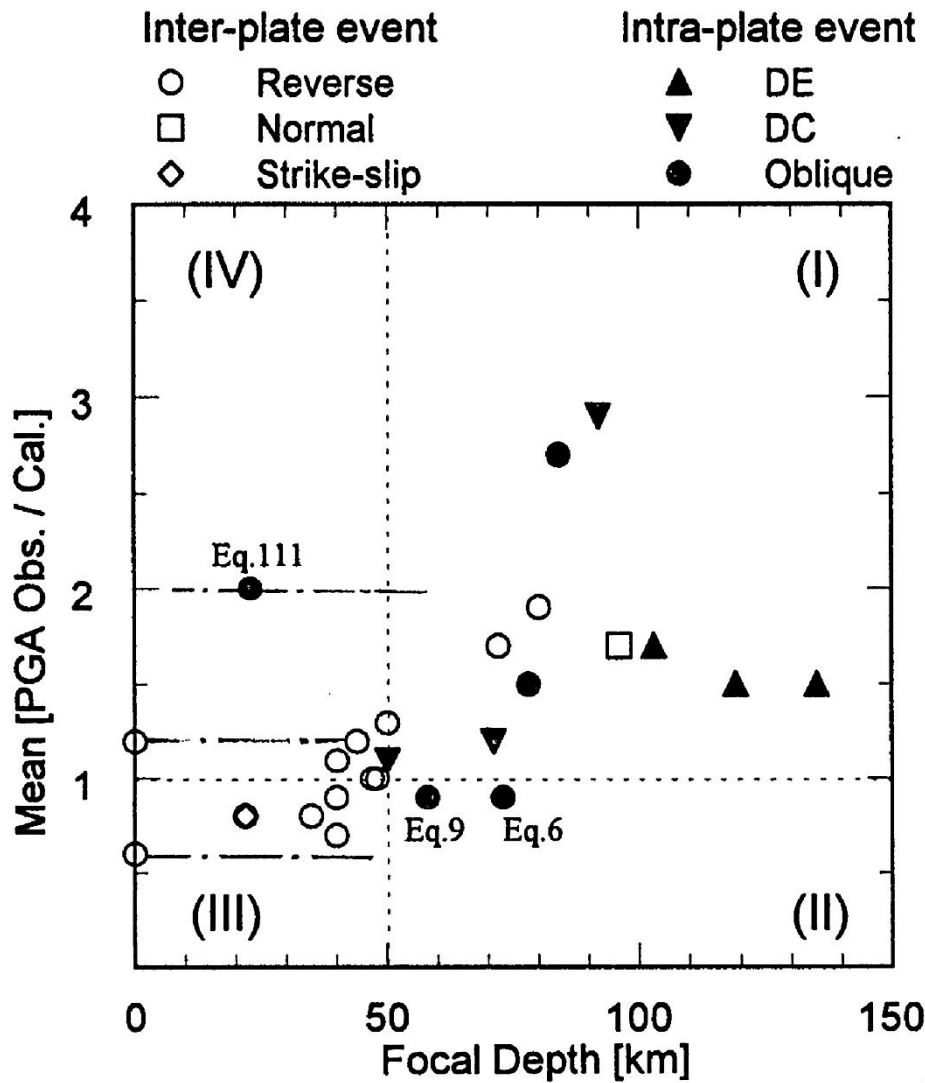


Fig.8 Mean value of obs./cal. versus focal depth
 (----- Depth range for events with $M_{JMA} \geq 7.5$)

図3.1.2-5 加藤・他 (1999) による震源深さと加速振幅の励起との関係

(3) 池田・他 (2002)

池田・他 (2002) は、北海道周辺のやや深発地震の短周期レベルを評価している。また、短周期レベルから円形クラックに置換したときのBrune (1970) の応力降下量を評価し、地震の発生メカニズムと地震規模の影響について検討している。

検討に用いたのは、図3.1.2-6に示す51地震で、下の5つの型に分類している。

DC型 : 二重深発地震面の上面では地震を発生させる応力場の圧縮軸 (P軸) がプレートのもぐり込み方向を向く **down dip compression**型

DE型 : 二重深発地震面の下面では地震を発生させる応力場の張力軸 (T軸) がプレートのもぐり込み方向を向く **down dip extension**型

Hin型 : ヒンジ型地震

Sub型 : プレート境界地震

O型 : 上の4つの型以外の型の地震

図3.1.2-7に短周期レベルの決定の例を示す。

図3.1.2-8に、解析の結果得られた地震モーメントと短周期レベルの関係を示す。図より、**Sub型**地震の $\Delta\sigma$ は約1~80 MPaと大きくばらついていることがわかり、平均値は約8 MPaとなっている。一方、**DE型**地震は比較的ばらつきが小さく、平均値は約30 MPaとなり、**Sub型**地震と比較して有意に大きい。また、**Hin型**地震も**DE型**地震と同様の傾向があり、これらの特性はスラブ内地震共通の特性であると考えられる。**DE型**地震の $\Delta\sigma$ を地震規模別に見ると、大地震はばらつきが小さく平均値は約70 MPaとなる。一方、中小地震は、**Sub型**地震ほどではないが約5~70 MPaの範囲でばらついており、70 MPaが同地域のスラブ内地震の $\Delta\sigma$ の上限である可能性が高いと考えられる。

図3.1.2-9に、震源深さとBruneの応力降下量との関係を示す。図より、Bruneの応力降下量は、震源深さが深くなるとともに大きくなる傾向がみられるが、**Sub型**地震とスラブ内地震の特性の差が明瞭に見られる。

Table 1 Source parameters of analyzed events

Date	Lat. (deg.)	Lon. (deg.)	D (km)	M_J	M_0^* (Nm)	M_{HF} (Nm/s ²)	$\angle\sigma$ (MPa)	Type	No	
78	11	7 42.20	143.13	70	5.5	1.6E+17	5.2E+18	11.4	Sub	1
81	1	23 42.42	142.20	130	7.1	1.8E+19	9.4E+19	81.7	DE	4
85	3	11 43.40	145.90	95	5.3	5.8E+16	7.4E+18	31.0	DE	1
85	3	27 43.98	146.70	157	6.6	1.4E+18	3.3E+19	60.9	O	1
85	4	29 41.46	142.05	59	5.9	6.4E+17	1.8E+19	34.2	Sub	1
86	2	1 42.22	143.01	69	4.9	3.6E+16	5.1E+18	23.0	Sub	1
86	5	31 43.07	145.69	86	5.7	1.2E+17	9.9E+18	33.3	DE	1
86	6	8 43.07	146.36	59	5.9	1.1E+18	1.4E+19	18.8	O	1
87	1	14 42.53	142.93	119	7.0	1.7E+19	8.1E+19	66.2	DE	6
88	5	7 42.48	143.87	93	6.3	8.4E+17	2.1E+19	40.3	DE	2
88	5	9 42.26	143.08	69	5.2	7.1E+16	1.5E+19	82.3	Sub	1
88	10	10 42.63	144.50	71	6.0	5.3E+17	2.1E+19	48.4	DE	4
90	1	7 41.56	142.03	61	5.3	1.5E+17	1.7E+18	2.2	Sub	3
90	4	11 42.48	144.17	69	5.6	2.4E+17	9.2E+18	21.2	DE	4
90	8	16 43.68	143.41	165	5.6	1.0E+17	4.3E+18	10.6	O	3
90	11	2 41.22	142.19	72	5.7	1.4E+17	4.3E+18	9.0	DE	5
+ 91	4	24 42.71	144.85	52	5.4	1.1E+17	6.2E+18	17.6	Sub	4
+ 91	6	13 42.75	143.42	120	6.0	5.2E+17	4.3E+18	4.7	DE	6
91	7	10 43.25	145.71	92	5.5	1.1E+17	9.2E+18	30.9	DE	5
91	8	26 42.16	144.79	56	5.8	4.0E+17	2.4E+18	2.3	O	4
+ 91	10	25 43.20	144.44	105	6.1	1.7E+17	1.4E+19	46.8	Hin	6
+ 91	11	27 42.00	142.67	64	6.4	4.6E+18	1.5E+19	10.6	Sub	8
+ 92	1	17 41.49	141.94	74	5.4	1.6E+17	3.2E+18	5.4	Sub	4
92	5	7 41.15	144.94	73	5.9	1.1E+18	5.1E+18	4.1	O	5
+ 92	7	12 41.46	142.04	64	6.3	2.2E+18	6.4E+18	4.1	Sub	5
+ 92	7	13 41.47	142.08	71	5.3	1.5E+17	3.4E+18	6.0	Sub	4
+ 93	1	15 42.92	144.36	101	7.8	2.7E+20	2.0E+20	63.6	DE	17
93	3	15 42.25	143.14	64	5.1	5.5E+16	2.6E+18	6.8	Sub	6
93	3	25 41.70	143.70	60	5.9	1.1E+18	1.2E+18	0.5	O	5
93	9	11 41.97	142.66	61	5.6	2.0E+17	4.6E+18	8.4	Sub	5
93	10	28 41.55	142.03	64	5.2	1.4E+17	1.3E+18	1.4	Sub	3
93	12	4 41.72	141.99	80	5.4	8.0E+16	6.9E+18	24.2	Hin	5
93	12	7 41.48	141.96	72	5.3	8.2E+16	2.8E+18	6.0	Sub	4
94	1	26 41.68	143.95	69	5.6	1.9E+17	9.8E+17	0.8	O	3
94	8	25 42.75	145.17	65	5.3	8.1E+16	2.7E+18	5.7	Hin	4
94	8	31 43.49	146.07	84	6.5	2.1E+18	3.4E+19	52.6	Hin	7
95	1	11 41.84	142.60	56	5.1	2.6E+17	2.5E+18	2.8	Sub	5
95	1	21 43.15	146.74	60	6.1	2.8E+18	2.0E+19	19.4	O	1
95	2	6 41.14	142.27	56	5.5	3.6E+17	3.0E+18	3.3	Sub	2
95	9	16 43.00	143.86	110	5.2	6.6E+16	9.5E+18	42.9	DE	4
95	9	20 41.16	142.27	60	5.1	1.0E+17	2.0E+18	3.4	Sub	2
95	12	1 44.15	145.78	147	6.0	1.0E+18	1.3E+19	17.5	O	1
97	2	20 41.76	142.87	49	5.7	1.2E+18	1.3E+19	17.1	Sub	1
97	6	15 42.98	144.21	98	5.1	9.3E+16	1.3E+19	58.0	DE	5
97	7	1 42.64	144.66	73	5.1	6.0E+16	6.3E+18	24.0	DE	3
97	10	3 42.51	144.82	50	4.9	7.2E+16	2.9E+18	7.0	Sub	1
97	11	6 43.03	144.43	113	4.9	2.2E+16	3.5E+18	16.9	DE	1
97	11	15 43.65	145.09	153	6.1	1.5E+18	1.9E+19	25.6	DE	5
97	12	23 42.98	143.49	113	5.1	4.6E+16	5.8E+18	24.3	DE	1
98	1	3 42.94	145.41	50	4.8	5.9E+16	2.4E+18	5.8	O	2
99	5	13 42.94	143.91	104	6.4	2.4E+18	2.3E+19	27.2	DE	2

Note: * '97.11.6 and '97.12.23 earthquakes are estimated by FREESIA and others are estimated by Harvard Univ.

**DE:down dip extension, Sub:subduction, Hin:hinge, O:other

*** Number of station for each event

+ M_0 and f_c estimated by Mahdavian and Sasatani⁸⁾.

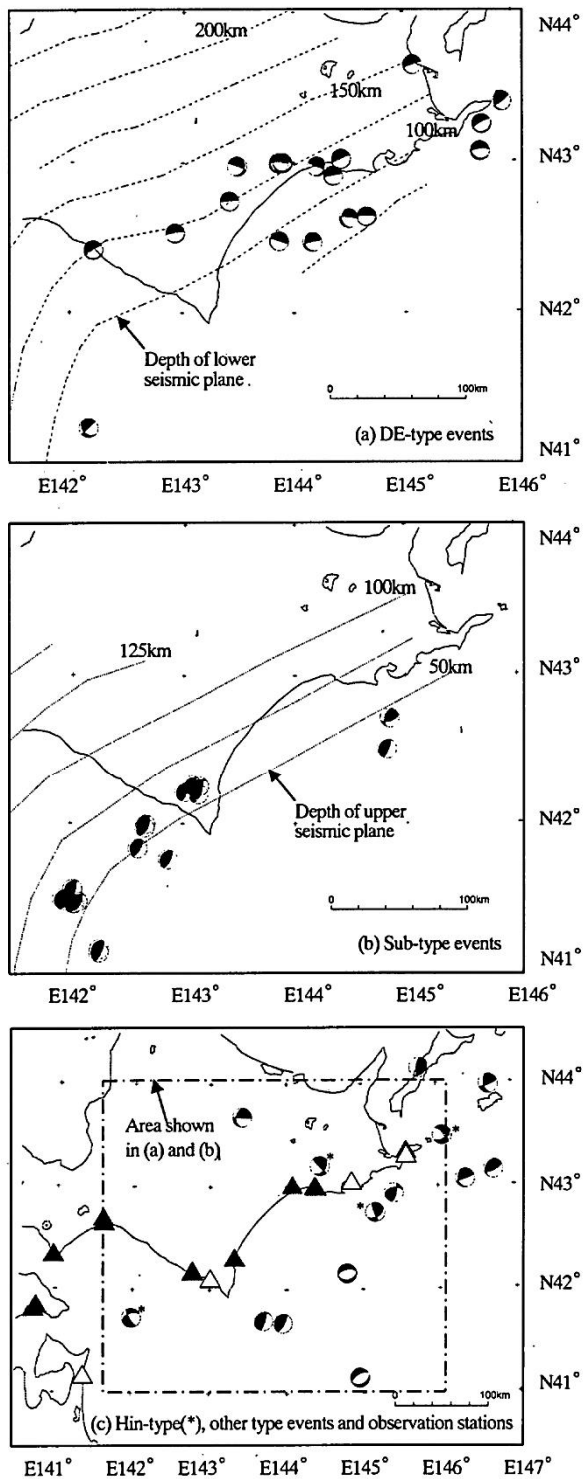


Fig.1 Epicenters of analyzed events and observation stations (Focal mechanism : Equal area projection on the lower hemisphere)

図 3.1.2-6 池田・他 (2002) が検討に用いた北海道周辺のやや深発地震

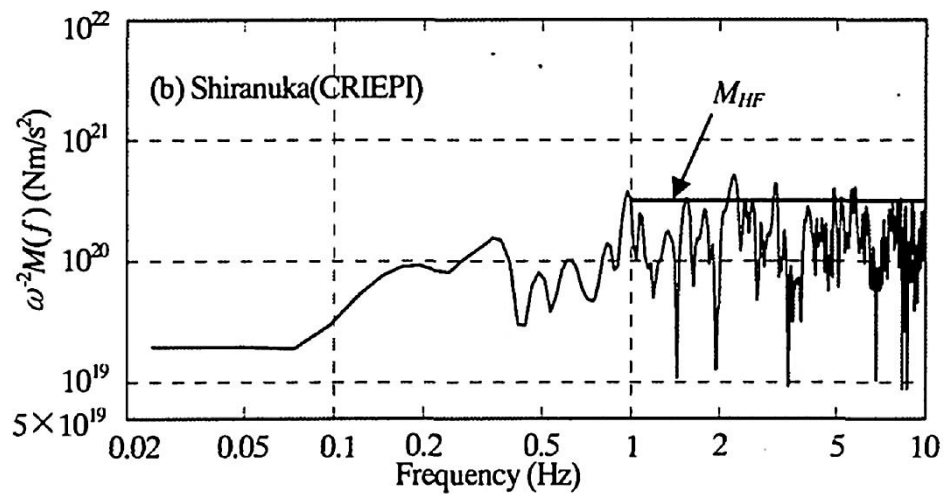


Fig.6 Acceleration source spectra
(Jan. 15,1993(M_j 7.8), NS)

図 3.1.2-7 池田・他 (2002) による短周期レベル決定の例

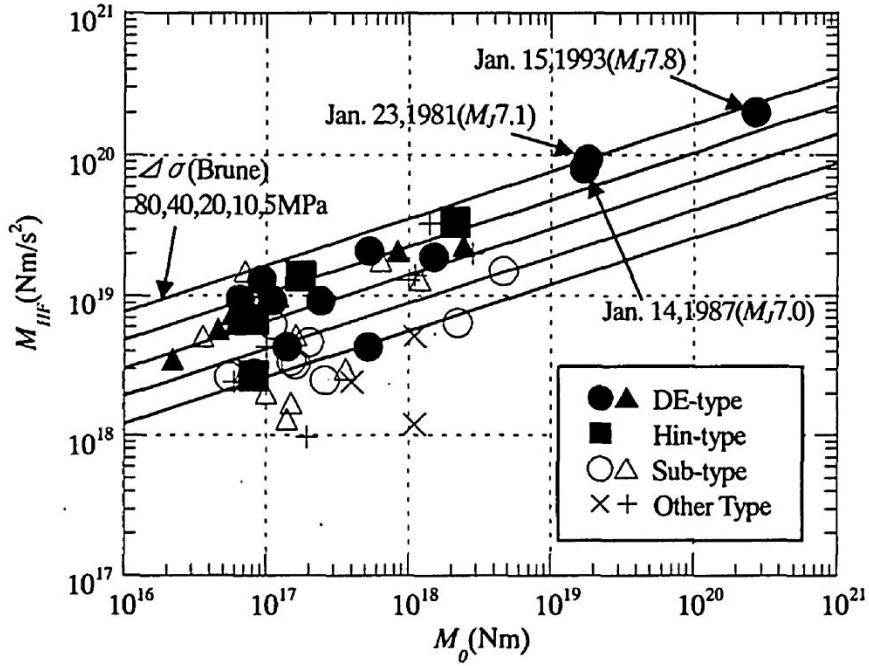


Fig.8 M_{HF} versus M_0 of analyzed events

図 3.1.2-8 池田・他 (2002) による北海道周辺のやや深発地震の地震モーメントと短周期レベ
 ルとの関係

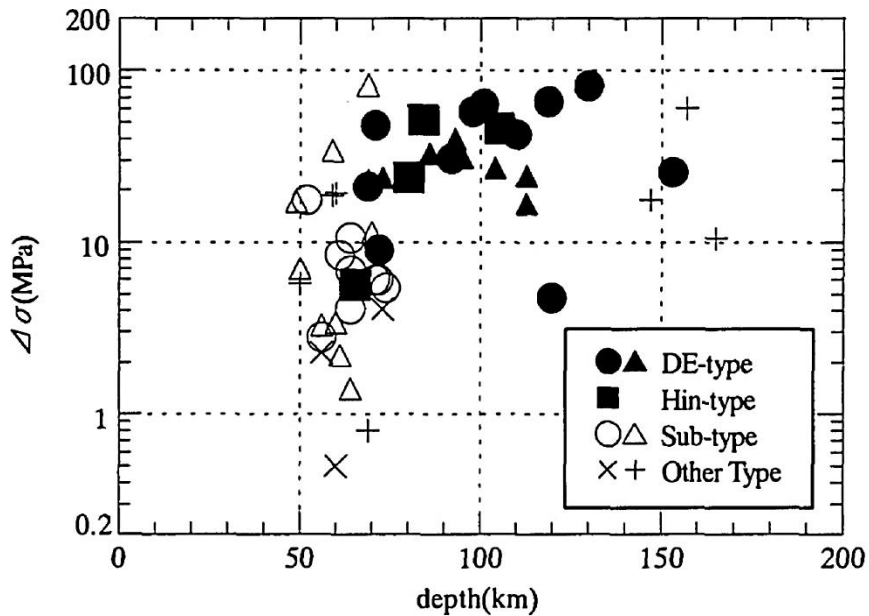


Fig.9 Brune stress drop $\Delta\sigma$ versus focal depth
 of analyzed events

図 3.1.2-9 池田・他 (2002) による北海道周辺のやや深発地震の震源深さと Brune (1970) の
 応力降下量との関係

(4) 池田・他 (2003)

池田・他 (2003) は、東北地方周辺のやや深発地震の短周期レベルを評価している。また、短周期レベルから円形クラックに置換したときのBrune (1970) の応力降下量を評価し、地震の発生メカニズムと地震規模の影響について検討している。

検討に用いたのは、表3.1.2-2と図3.1.2-10に示す21地震で、下の4つの型に分類している。

DC型 : 二重深発地震面の上面では地震を発生させる応力場の圧縮軸 (P軸) がプレートのもぐり込み方向を向く **down dip compression**型

DE型 : 二重深発地震面の下面では地震を発生させる応力場の張力軸 (T軸) がプレートのもぐり込み方向を向く **down dip extension**型

Sub型 : プレート境界地震

O型 : 上の4つの型以外の型の地震

図3.1.2-11に東北地方周辺のやや深発地震の地震モーメントと短周期レベルとの関係を、図3.1.2-12に東北地方周辺のやや深発地震の震源深さとBrune (1970) の応力降下量との関係を示す。これらの図より、東北地方のDE型とDC型地震の $\Delta\sigma$ は同程度の範囲に分布しており、平均値も各々約26 MPa, 22 MPaと同程度であることがわかる。

図3.1.2-13に東北地方周辺のやや深発地震と北海道周辺のやや深発地震の地震モーメントと短周期レベルとの関係を、図3.1.2-14に東北地方周辺のやや深発地震と北海道周辺のやや深発地震の震源深さとBrune (1970) の応力降下量との関係を示す。これらの図より、東北地方と北海道周辺における $M_0 < 1 \times 10^{19} \text{Nm}$ のスラブ内地震の $\Delta\sigma$ は同程度の範囲に分布しており、両地域の平均値も各々約24 MPa, 25 MPaであることがわかる。

また、東北地方と北海道周辺で発生するスラブ内地震の高振動数成分の励起特性は地震規模によって異なり、規模が大きくなるほど励起が強くなる傾向が見られる。

一方、 $M_0 < 5 \times 10^{17} \text{Nm}$ のスラブ内地震の高振動数成分の励起特性には、震源深さに依存する傾向が見られるが、 $M_0 < 5 \times 10^{17} \text{Nm}$ のスラブ内地震には深さに依存する有意な傾向は認められない。

表3.1.2-2 池田・他 (2003) が検討に用いた東北地方周辺のやや深発地震

Table 1 Source parameters of analyzed events

	Date			Lat.	Lon.	D	M_J	M_0^*	M_{HF}	$\Delta\sigma$	Type	No
	y	m	d	(deg.)	(deg.)	(km)		(Nm)	(Nm/s ²)	(MPa)	**	***
a	77	6	8	38.47	141.67	70	5.8	5.9E+17	1.2E+19	20.0	O	2
b	78	2	20	38.75	142.20	50	6.7	7.0E+18	4.2E+19	39.1	DC	4
c	81	12	2	40.88	142.60	60	6.2	3.3E+18	6.5E+18	3.4	O	1
d	82	8	23	37.72	141.53	80	5.3	6.8E+16	5.2E+18	16.9	DE	6
e	85	7	29	37.31	140.69	90	5.5	1.2E+17	1.6E+19	69.1	DC	2
f	87	1	9	39.83	141.78	72	6.6	8.8E+18	3.0E+19	21.0	DC	6
g	87	5	12	38.86	142.14	50	5.7	6.5E+17	6.2E+18	7.2	Sub	3
h	89	2	4	37.31	141.32	61	5.4	6.1E+16	4.5E+18	14.3	DC	1
i	92	4	13	39.12	142.40	51	5.1	6.0E+16	3.1E+18	8.3	DC	7
j	93	5	6	39.13	141.79	106	5.6	1.4E+17	8.5E+18	24.4	DE	6
k	93	11	27	38.58	141.34	112	5.9	5.2E+17	1.9E+19	43.2	O	12
l	93	12	17	39.19	142.27	62	5.3	1.3E+17	3.6E+18	7.2	DE	6
m	94	7	31	40.87	142.76	64	5.4	5.8E+16	1.7E+18	3.4	O	3
n	94	12	30	40.73	142.18	53	5.6	2.0E+17	3.0E+18	4.5	Sub	4
o	96	4	23	39.21	141.50	76	5.2	1.1E+17	6.2E+18	17.2	DC	6
p	97	2	20	37.39	141.16	88	5.3	2.1E+17	1.0E+19	26.7	DE	6
q	97	5	12	37.06	141.25	54	5.5	9.0E+17	6.4E+18	6.4	O	5
r	97	12	7	37.72	141.75	84	5.2	1.2E+17	1.3E+19	50.9	DE	4
s	98	4	9	36.94	141.02	95	5.4	2.2E+17	1.1E+19	30.9	DE	6
t	98	11	24	38.01	141.55	83	5.1	8.4E+16	9.5E+18	38.0	DE	4
u	01	12	2	39.40	141.27	122	6.4	5.5E+18	4.5E+19	48.4	DE	12

Note: * Seismic moment estimated by Harvard Univ.

** DE:down dip extension, DC:down dip compression,
Sub:subduction, O:other

*** Number of station for each event

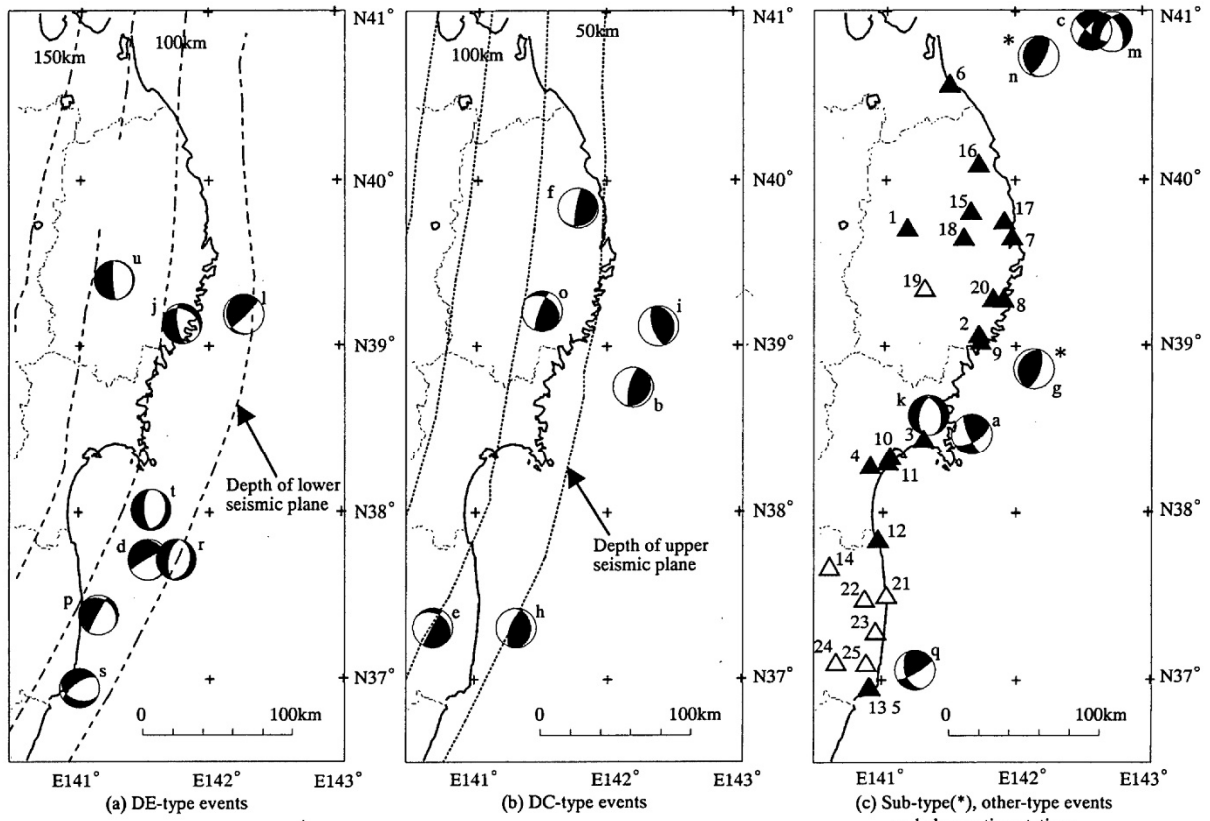


Fig.1 Epicenters of analyzed events and observation stations
 (Focal mechanism : Equal area projection on the lower hemisphere,
 Each mark of event and station corresponds to Table.1 and Table.2)

図 3.1.2-10 池田・他 (2003) が検討に用いた東北地方周辺のやや深発地震の震央

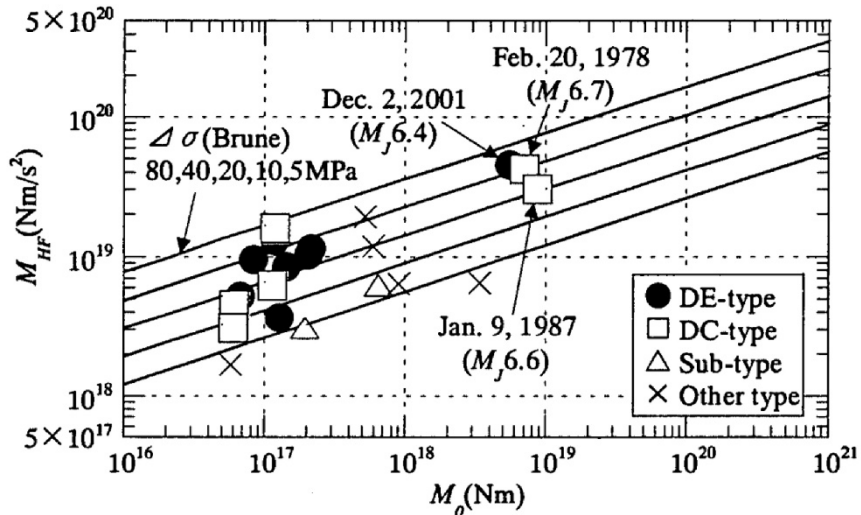


Fig.8 M_{HF} versus M_0 of analyzed events
(Tohoku district)

図 3.1.2-11 池田・他 (2003) による東北地方周辺のやや深発地震の地震モーメントと短周期レベルとの関係

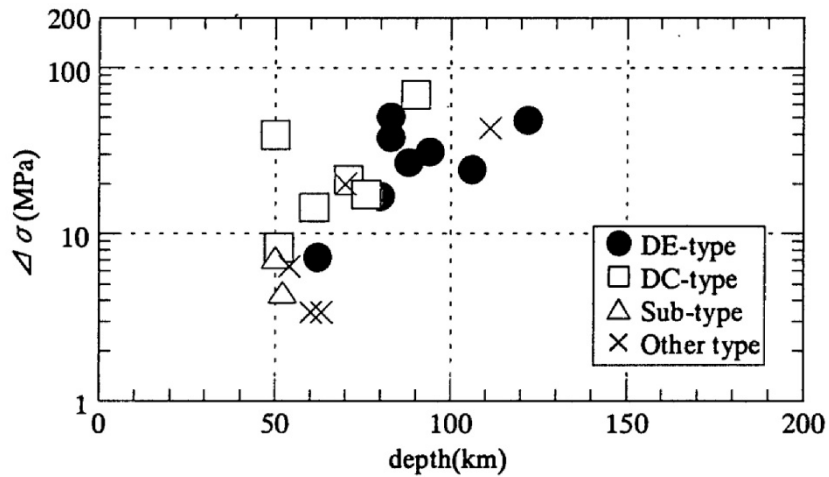


Fig.9 Brune stress drop $\Delta\sigma$ versus focal depth
of analyzed events (Tohoku district)

図 3.1.2-12 池田・他 (2003) による東北地方周辺のやや深発地震の震源深さと Brune (1970) の応力降下量との関係

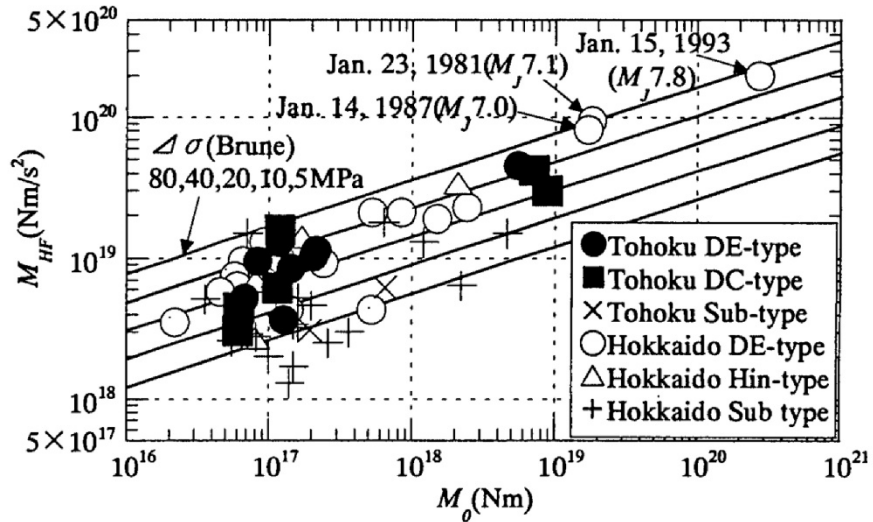


Fig.10 M_{HF} versus M_0 of analyzed events
(Intra-slab earthquakes in Tohoku and Hokkaido district)

図 3.1.2-13 池田・他 (2003) による東北地方周辺のやや深発地震と北海道周辺のやや深発地震の地震モーメントと短周期レベルとの関係

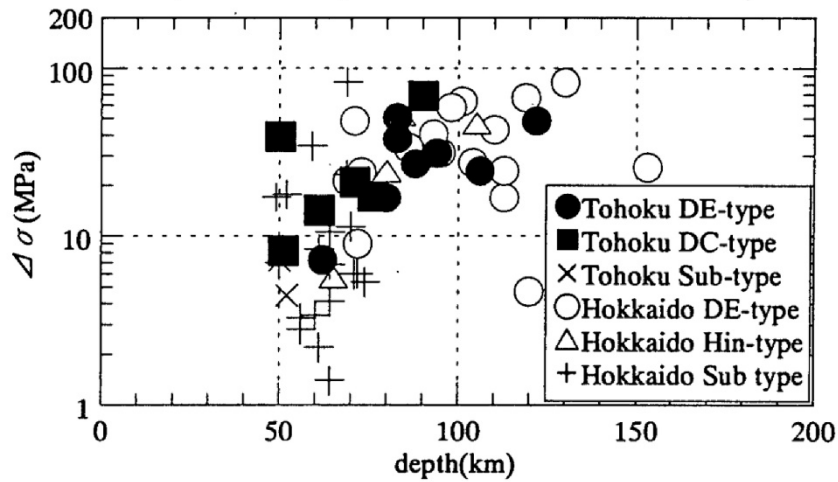


Fig.11 Brune stress drop $\Delta\sigma$ versus focal depth
of analyzed events (Tohoku and Hokkaido districts)

図 3.1.2-14 池田・他 (2003) による東北地方周辺のやや深発地震と北海道周辺のやや深発地震の震源深さと Brune (1970) の応力降下量との関係

3.1.3 スラブ内地震の断層パラメータの調査

本項では、国内外のスラブ内地震の断層パラメータ、特に短周期レベルおよびアスペリティの面積の特徴について調べるために、下記の項目を調査した。調査の対象とした地震は現時点で下記の項目が入手できる地震を中心とした。

- ・ 震源位置
- ・ モーメントマグニチュード
- ・ 地震モーメント
- ・ 短周期レベル
- ・ アスペリティの応力降下量
- ・ アスペリティの面積
- ・ S波速度

調査した国内の主なスラブ内地震の震央と震源メカニズム解を図 3.1.3-1 に、国外のスラブ内地震(M_w 7 以上で、Global CMT Catalog にメカニズム解が載っている地震のみ)の震央と震源メカニズム解を図 3.1.3-2 に示す。また、調査結果を表 3.1.3-1 および表 3.1.3-2 に示す。

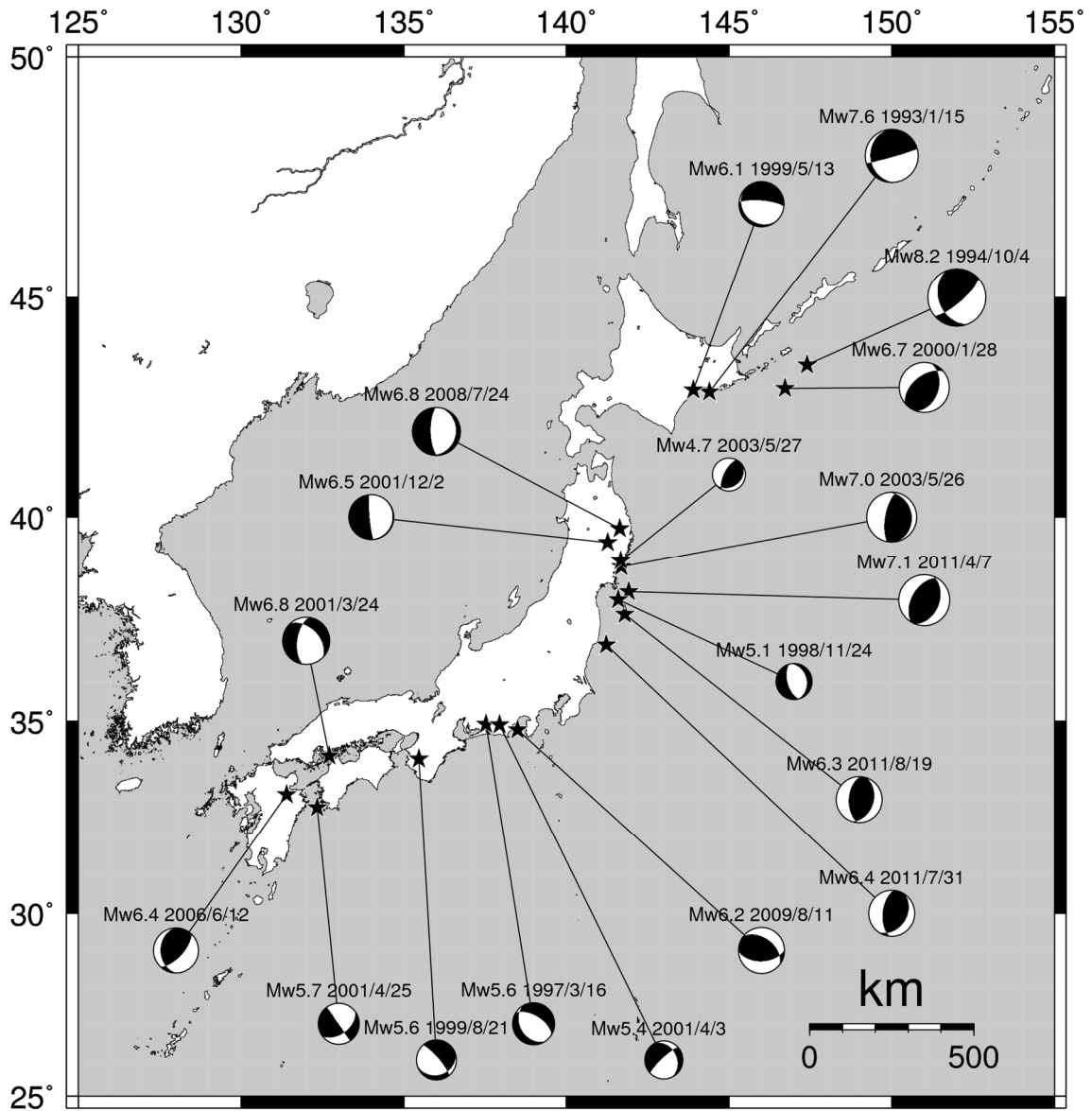


図 3.1.3-1 調査した国内の主なスラブ内地震の震源メカニズム解

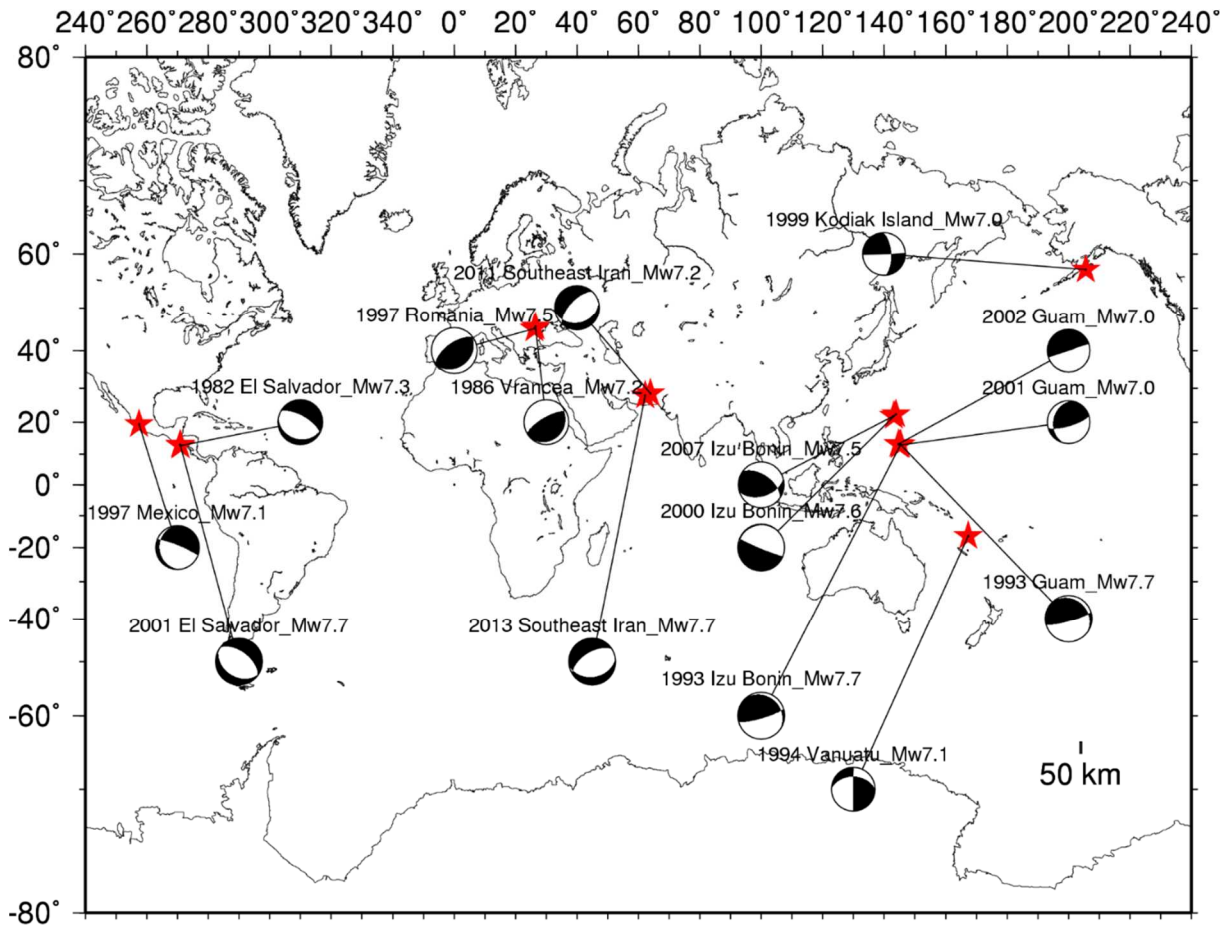


図 3.1.3-2 調査した国外のスラブ内地震の震源メカニズム解

(Mw 7 以上で、Global CMT Catalog にメカニズム解が載っている地震のみ)

表 3.1.3-1 国内のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果

赤字：作図で使用した値

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメントマグニチュード M _w (M ₀ から求めた)	地震モーメント (論文) M ₀ (Nm)	断層面積 S (km ²)	平均応力降下量 Δσ (MPa)	短周期レベル (St. Spectral Inversion) A (N・m/s ²)	短周期レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N・m/s ²)	コーナー振動数 f _c (Hz)	アスペリティの応力降下量 Δσ _a (MPa)	アスペリティの面積 S _a (km ²)	アスペリティの面積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
1	太平洋	宮城県沖	1977/6/8	38.5	141.7	70.0	5.8	5.90E+17	*	20.0	1.20E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●other型 ●logM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
2	太平洋	宮城県沖	1978/2/20	38.8	142.2	50.0	6.5	7.00E+18	*	39.1	4.20E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●down dip extension型 ●M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
3	太平洋	浦河沖	1981/1/23	42.4	142.2	130.0	6.8	1.80E+19	*	81.7	9.40E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●down dip extension型 ●M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
4	太平洋	青森県東方沖	1981/12/2	40.9	142.6	60.0	6.3	3.30E+18	*	3.4	6.50E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●other型 ●M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
5	太平洋	福島県沖	1982/8/23	37.7	141.5	80.0	5.2	6.80E+16	*	16.9	5.20E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●down dip extension型 ●M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
6	太平洋	根室半島南東沖	1985/3/11	43.4	145.9	95.0	5.1	5.80E+16	*	31.0	7.40E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●down dip extension型 ●M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
7	太平洋	国後島付近	1985/3/27	44.0	148.7	157.0	6.0	1.40E+18	*	60.9	3.30E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●other型 ●M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
8	太平洋	福島県中通り	1985/7/29	37.3	140.7	90.0	5.3	1.20E+17	*	69.1	1.60E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●down dip extension型 ●M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
9	太平洋	根室半島南東沖	1986/5/31	43.1	145.7	86.0	5.3	1.20E+17	*	33.3	9.90E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●down dip extension型 ●M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
10	太平洋	根室半島南東沖	1986/6/8	43.1	146.4	59.0	6.0	1.10E+18	*	18.8	1.40E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●other型 ●M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
11	太平洋	岩手県沿岸北部	1987/1/9	39.8	141.8	72.0	6.6	8.80E+18	*	21.0	3.00E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●down dip extension型 ●logM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
12	太平洋	十勝地方南部	1987/1/14	42.5	142.9	119.0	6.8	1.70E+19	*	66.2	8.10E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●down dip extension型 ●logM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
13	太平洋	十勝沖	1988/5/7	42.5	143.9	93.0	5.9	8.40E+17	*	40.3	2.10E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●down dip extension型
14	太平洋	釧路沖	1988/10/10	42.6	144.5	71.0	5.7	5.30E+17	*	48.4	2.10E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●down dip extension型 ●logM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
15	太平洋	福島県沖	1989/2/4	37.3	141.3	61.0	5.1	6.10E+16	*	14.3	4.50E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●down dip extension型 ●logM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
16	太平洋	十勝沖	1990/4/11	42.5	144.2	69.0	5.5	2.40E+17	*	21.2	9.20E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●down dip extension型 ●logM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
17	太平洋	北見地方	1990/8/16	43.7	143.4	165.0	5.3	1.00E+17	*	10.6	4.30E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M ₀ はHarvard ●Aは観測ベクトルによるM _{HIF} ●other型 ●logM ₀ =1.5MW+9.1より求めた

表 3.1.3-1 国内のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメントマグニチュード M _w (M ₀ から求めた)	地震モーメント (論文) M ₀ (Nm)	断層面積 S (km ²)	平均応力 降下量 Δσ (MPa)	短周期レベル (Sl. Spectral Inversion) A (N・m/s ²)	短周期レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N・m/s ²)	コーナー 振動数 f _c (Hz)	アスペリティ の応力降 下量 Δσ _a (MPa)	アスペリティ の面積 S _a (km ²)	アスペリティ の面積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
18	太平洋	青森県東方沖	1990/11/2	41.2	142.2	72.0	5.4	1.40E+17	*	9.0	4.30E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●down dip extension型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた
19	太平洋	十勝地方中部	1991/6/13	42.8	143.4	120.0	5.7	5.20E+17	*	4.7	4.30E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はMahadavian and Sasatani (1994) ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●down dip extension型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた
20	太平洋	根室半島南東沖	1991/7/10	43.3	145.7	92.0	5.3	1.10E+17	*	30.9	9.20E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●down dip extension型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた
21	太平洋	釧路沖	1991/8/26	42.2	144.8	56.0	5.7	4.00E+17	*	2.3	2.40E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●other型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた
22	太平洋	釧路地方中南部	1991/10/25	43.2	144.4	105.0	5.4	1.70E+17	*	46.8	1.40E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はMahadavian and Sasatani (1994) ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●hinge型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた
23	太平洋	岩手県沖	1992/4/13	39.1	142.4	51.0	5.1	6.00E+16	*	8.3	3.10E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●down dip compression型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた
24	太平洋	十勝沖	1992/5/7	41.2	144.9	73.0	6.0	1.10E+18	*	4.1	5.10E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●other型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた
25	太平洋	釧路沖	1993/1/15	42.9	144.4	101.0	7.6	2.70E+20	*	63.6	2.00E+20	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はMahadavian and Sasatani (1994) ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●down dip extension型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	同上	*	*	*	*	3.30E+20	*	*	2.51E+20	*	*	*	*	*	新井・他 (2015)	M0はTakeo et al.(1993), AはMorikawa and Sasatani(2004)のBモデルより
同上	同上	同上	同上	42.9	144.4	100.0	*	2.72E+20	40×20	*	*	*	*	*	*	*	加藤・他 (1999)	●M0はハーバード大学のCMT解 ●平均すべり量5.5m(面積とすべり量は断層パラメータハンドブックを引用)
同上	同上	同上	同上	43.0	144.3	95.0	*	3.3E+20 (T) 2.7E+20 (H)	*	*	*	4.2E+20 (MS) 2.0E+20 (I1)	*	モデルA SMGA1: 51.8 SMGA2: 72.0 SMGA3: 381 total: 156.6 モデルB SMGA1: 82 SMGA2: 190 SMGA3: 109 total: 305	*	菅谷・他 (2006)	MS:Morikawa and Sasatani (2004)のAモデル H:Harvard CMT I1:池田(2002) T:菅谷・他(2006) β=4.6	
同上	同上	同上	同上	42.9	144.4	103.0	*	2.30E+20	*	4.9	*	*	*	*	*	*	菊地(2003)	β=4.6
同上	同上	同上	同上	42.9	144.4	100.6	*	-	*	-	*	*	*	*	*	*	野津(2003)	-
同上	同上	同上	同上	-	-	107.0	*	3.30E+20	*	42.0	*	*	*	*	*	*	Takeo et al. (1993)	-
同上	同上	同上	同上	*	*	*	*	2.70E+20	2400.0	*	*	*	*	*	51.8 72.0 34.6 total:158.	0.066	森川・他 (2002)	M ₀ はHarvard CMT
26	太平洋	十勝沖	1993/3/25	41.7	143.7	60.0	6.0	1.10E+18	*	0.5	1.20E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●other型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた
27	太平洋	岩手県沿岸南部	1993/5/6	39.1	141.8	106.0	5.4	1.40E+17	*	24.4	8.50E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●down dip extension型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた
28	太平洋	宮城県北部	1993/11/27	38.6	141.3	112.0	5.7	5.20E+17	*	43.2	1.90E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●other型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた

表 3.1.3-1 国内のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメント マグニチュード M _w (M0から求めた)	地震 モーメント (論文) M ₀ (Nm)	断層 面積 S (km ²)	平均 応力 降下量 Δσ (MPa)	短周期 レベル (SI. Spectral Inversion) A (N・m/s ²)	短周期 レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N・m/s ²)	コーナー 振動数 f ₀ (Hz)	アスペリ ティの 応力降 下量 Δσ _a (MPa)	アスペリ ティの面 積 S _a (km ²)	アスペリ ティの 面積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
29	太平洋	苫小牧沖	1993/12/4	41.7	142.0	80.0	5.2	8.00E+16	*	24.2	6.90E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HIF} ●hinge型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた
30	太平洋	岩手県沖	1993/12/17	39.2	142.3	62.0	5.3	1.30E+17	*	7.2	3.60E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HIF} ●down dip extension型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた
31	太平洋	十勝沖	1994/1/26	41.7	144.0	69.0	5.5	1.90E+17	*	0.8	9.80E+17	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HIF} ●other型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた
32	太平洋	青森県東方沖	1994/7/31	40.9	142.8	64.0	5.1	5.80E+16	*	3.4	1.70E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HIF} ●other型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた
33	太平洋	釧路沖	1994/8/25	42.8	145.2	65.0	5.2	8.10E+16	*	5.7	2.70E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HIF} ●hinge型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた
34	太平洋	根室半島南東沖	1994/8/31	43.5	146.1	84.0	6.1	2.10E+18	*	52.6	3.40E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HIF} ●hinge型 ●logM0=1.5MW+9.1より求めた
35	太平洋	北海道東方沖地震	1994/10/4	*	*	*	*	2.60E+21	*	*	9.96E+20	*	*	*	*	*	新井・他 (2015)	*M0はKikuchi and Kanamori(1995)、AはMorikawa and Sasatani(2004)による応力降下量を補正した値より決めている。
同上	同上	同上	同上	43.5	147.4	56.0	8.2	2.6E+21 (KK) 3.0E+21 (H)	*	*	*	1.7E+21 (MS)	*	SMGA1: 82 SMGA2: 82 SMGA3: 382 SMGA4: 300 SMGA5: 137 (MS)	SMGA1: 400 SMGA2: 256 SMGA3: 144 SMGA4: 144 SMGA5: 256 total:1200 (MS)	*	笹谷・他 (2006)	KK:Kikuchi&Kanamori(1995) H:Harvard CMT MS:Morikawa&Sasatani(2004) Iz:Ikeda et al.(2004) β=4.6 logM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	同上	*	*	*	8.3	3.00E+21	7200.0	*	*	*	*	82 82 382 300 137	SMGA1: 400 SMGA2: 256 SMGA3: 144 SMGA4: 144 SMGA5: 256 total: 1200	0.167	森川・他 (2002)	M0はHarvard CMT M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	同上	*	*	64.0	*	3.50E+21	*	6.0	*	*	*	28.7	2640.0	*	Iwata and Asano (2011)	Shao et al.(2006)
36	太平洋	根室半島南東沖	1995/1/21	43.2	146.7	60.0	6.2	2.80E+18	*	19.4	2.00E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HIF} ●other型 ●M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
37	太平洋	釧路地方中南部	1995/9/16	43.0	143.9	110.0	5.1	6.60E+16	*	42.9	9.50E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HIF} ●down dip extension型 ●M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
38	太平洋	国後島付近	1995/12/1	44.2	145.8	147.0	5.9	1.00E+18	*	17.5	1.30E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HIF} ●other型 ●M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
39	太平洋	岩手県沿岸南部	1996/4/23	39.2	141.5	76.0	5.3	1.10E+17	*	17.2	6.20E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HIF} ●down dip compression型 ●M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
40	太平洋	福島県沖	1997/2/20	37.4	141.2	86.0	5.5	2.10E+17	*	26.7	1.00E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HIF} ●down dip extension型 ●M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
41	太平洋	福島県沖	1997/5/12	37.1	141.3	54.0	5.9	9.00E+17	*	6.4	6.40E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HIF} ●other型 ●M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
42	太平洋	釧路沖	1997/6/15	43.0	144.2	98.0	5.2	9.30E+16	*	58.0	1.30E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HIF} ●down dip extension型 ●M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた

表 3.1.3-1 国内のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメント モーメント チュード Mw (M0から求めた)	地震 モーメント (論文) M ₀ (Nm)	断層 面積 S (km ²)	平均 応力 降下量 Δσ (MPa)	短周期 レベル (St. Spectral Inversion) A (N・m/s ²)	短周期 レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N・m/s ²)	コーナー 振動数 f _c (Hz)	アスペリ ティの 応力降 下量 Δσ _a (MPa)	アスペリ ティの面 積 S _a (km ²)	アスペリ ティの面 積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
43	太平洋	釧路沖	1997/7/1	42.6	144.7	73.0	5.1	6.00E+16	*	24.0	6.30E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●down dip extension型 ●M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
44	太平洋	釧路地方中南部	1997/11/6	43.0	144.4	113.0	4.8	2.20E+16	*	16.9	3.50E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はF-net ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●down dip extension型 ●M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
45	太平洋	根室地方北部	1997/11/15	43.7	145.1	153.0	6.1	1.50E+18	*	25.6	1.90E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●down dip extension型 ●M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
46	太平洋	福島県沖	1997/12/7	37.7	141.8	84.0	5.3	1.20E+17	*	50.9	1.30E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●down dip extension型 ●M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
47	太平洋	十勝地方中部	1997/12/23	43.0	143.5	113.0	5.0	4.60E+16	*	24.3	5.80E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はF-net ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●down dip extension型 ●M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
48	太平洋	釧路沖	1998/1/3	42.9	145.4	50.0	5.1	5.90E+16	*	5.8	2.40E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●other型 ●M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
49	太平洋	東北地方	1998/4/9	*	*	89.0	*	1.78E+17	*	*	1.34E+19	*	*	*	*	*	佐藤(2013)	表1.c)スラブ内地震—逆断層。 スベクトルインバージョン。
同上	同上	同上	1998/4/9	36.9	141.0	95.0	5.5	2.20E+17	*	30.9	1.10E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●down dip extension型 ●M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
50	太平洋	宮城県沖	1998/5/21	*	*	84.2	4.9	2.60E+16	*	51.3	7.85E+18	*	*	*	*	*	佐藤 (2004b)	表1。スベクトルインバージョン。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	1998/5/21	*	*	84.2	*	2.60E+16	*	*	7.27E+18	*	*	*	*	*	佐藤 (2004a)	表1。スベクトルインバージョン。
51	太平洋	宮城県沖	1998/11/24	38.0	141.6	83.0	5.2	8.40E+16	*	38.0	9.50E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●down dip extension型 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	1998/11/24	*	*	83.1	*	5.73E+16	*	*	1.16E+19	*	*	*	*	*	佐藤 (2004a)	表1。スベクトルインバージョン。
同上	同上	同上	1998/11/24	*	*	83.1	*	5.73E+16	*	61.8	1.16E+19	*	*	*	*	*	佐藤 (2004b)	表1。スベクトルインバージョン。
52	太平洋	釧路地方中南部	1999/5/13	42.9	143.9	104.0	*	2.40E+18	*	27.2	2.30E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2002)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●down dip extension型
同上	同上	同上	1999/5/13	42.94 (I1)	143.91 (I1)	109.0	6.2	2.4E+18(H) 1.72E+18(F)	*	27.2(2)	2.8E+19(TS) 2.3E19(I1)	*	*	asp1.73 asp1.73 (TS)	asp1.3.2 asp1.4.9 (TS)	*	笹谷・他 (2006)	H:Harvard CMT I2:池田(2002) F:F-net M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
53	太平洋	北海道東方沖地震	2000/1/28	*	*	59.0	6.7	2.00E+19 1.21E+19(F)	*	*	5.2E+19 (TS)	*	*	62.4(TS) 261(A1)	56.3(TS) 24.6(A1)	*	笹谷・他 (2006)	H:Harvard A1:Asano et al. (2003) TS:笹谷・他(2006) Satは上にある値を用いた。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
54	太平洋	東北地方	2001/4/3	*	*	59.0	5.4	1.72E+17	*	*	8.76E+18	*	*	*	*	*	佐藤(2013)	表1.c)スラブ内地震—逆断層。 スベクトルインバージョン。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
55	太平洋	岩手県内陸南部	2001/12/2	39.4	141.3	122.0	*	5.50E+18	*	48.4	4.50E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2003)	●M0はHarvard ●Aは観測スベクトルによるM _{HF} ●down dip extension型
同上	同上	同上	2001/12/2	*	*	119.0	*	5.34E+18	*	*	4.21E+19	*	*	*	*	*	佐藤(2013)	表1.c)スラブ内地震—逆断層。 スベクトルインバージョン。
同上	同上	同上	2001/12/2	*	*	122.0	6.4	5.6E+18(H)	*	*	3.9E+19 (MF)	*	*	asp1.87 asp2.116 asp3.116 (MF)	asp1.5.8 asp2.8.6 asp3.5.8 (MF)	*	笹谷・他 (2006)	MF:森川・藤原(2002) H:Harvard CMT M ₀ -A等の図ではこちらをプロットした。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
56	太平洋	宮城県沖	2002/5/12	*	*	96.3	*	9.39E+16	*	*	7.51E+18	*	*	*	*	*	佐藤 (2004a)	表1。スベクトルインバージョン。
同上	同上	同上	2002/5/12	*	*	96.3	5.2	9.39E+16	*	36.0	7.51E+18	*	*	*	*	*	佐藤 (2004b)	表1。スベクトルインバージョン。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
57	同上	同上	2003/5/12	*	*	46.9	5.2	7.07E+16	*	12.5	3.38E+18	*	1.10	*	*	*	佐藤 (2015a)	表1。スベクトルインバージョン。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	2003/5/12	*	*	49.9	*	7.11E+15	*	21.1	2.22E+18	*	2.82	*	*	*	佐藤 (2015b)	表1。スベクトルインバージョン。

表 3.1.3-1 国内のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメント マグニチュード M _w (M ₀ から求めた)	地震 モーメント (論文) M ₀ (Nm)	断層 面積 S (km ²)	平均 応力 降下量 Δσ (MPa)	短周期 レベル (Sl. Spectral Inversion) A (N・m/s ³)	短周期 レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N・m/s ³)	コーナ ー振動数 f _c (Hz)	アスペリ ティの 応力降 下量 Δσ _a (MPa)	アスペリ ティの面 積 S _a (km ²)	アスペリ ティの 面積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
58	太平洋	宮城県沖	2003/5/26	*	*	71.0	7.0	3.87E+19	*	61.0	1.01E+20	*	*	*	*	池田・武村 (2003)	●地震モーメントはHarvard大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた	
同上	同上	同上	2003/5/26	38.8	141.7	72.0	*	3.49E+19	*	*	2.15E+19	*	*	105	61.0 (9.0 16.0 36.0)	*	浅野・他 (2004)	$A=4\pi\beta^2\Delta\sigma_a(S_a/\pi)^{1/2}$ ●M _w 7.0 ●地震モーメントはF-netの値 ●走向は190, 傾斜は90(震源以浅)と69(震源以深) ●二重深発面上面 ●EGF(0.3~10Hz)で3つのSMGAのパラメータを求めて16.0の(東のアスペリティ)はSMGAの値) ●SMGAのM ₀ は1.32E+19(1.16E+18と2.75E+18と9.27E+18) ●V _r は2.75km/sでS波速度の約70%
同上	同上	同上	2003/5/26	38.8	141.7	72.0	*	*	784	*	*	*	*	*	*	*	神田・武村 (2005)	●スラブ内地震を仮定した場合の震度インバージョン結果 ●θ 190, δ 69
同上	同上	同上	2003/5/26	38.8	141.7	72.0	7.0	3.49E+19	*	*	*	1.1E+20 (S) 1.4E+20 (TS)	*	SMGA1: 105 SMGA2: 105 SMGA3: 105 (A2)	SMGA1: 3+3=9 SMGA2: 4+4=16 SMGA3: 9+6=36 total: 61.0(A2)	*	笹谷・他 (2006)	β=3.98 S.Sato(2004) TS:笹谷・他(2006) AZ:浅野・他(2004) M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	2003/5/26	*	*	*	*	3.80E+19	*	*	*	*	*	*	*	*	引間・他 (2003)	-
同上	同上	同上	2003/5/26	38.9	141.8	52.0	*	3.98E+19	*	*	*	*	*	*	*	*	国土地理院 (2003)	logM ₀ =1.5M _w +9.1
同上	同上	同上	2003/5/26	38.8	141.7	75.0	*	3.80E+19	*	28.0	*	*	*	*	*	*	山中・菊地 (2003)	-
同上	同上	同上	2003/5/26	38.8	141.7	72.0	*	7.60E+19	*	*	*	*	*	*	*	*	青井・他 (2003)	2枚断層
同上	同上	同上	2003/5/26	*	*	68.0	*	5.62E+19	*	*	*	*	*	*	*	*	Okada and Hasegawa (2003)	logM ₀ =1.5M _w +9.1
同上	同上	同上	2003/5/26	38.8	141.7	70.0	*	3.00E+19	*	*	*	*	*	*	*	*	八木(2003)	-
同上	同上	同上	2003/5/26	*	*	72.0	*	6.20E+19	*	6.9	*	*	*	49.9	108.0	*	Iwata and Asano (2011)	Aoi et al.(2005)
同上	同上	同上	2003/5/26	*	*	*	*	3.49E+19	*	*	1.20E+20	*	*	*	*	*	佐藤(2013)	-
同上	同上	同上	2003/5/26	*	*	*	*	3.49E+19	128	58.4	1.09E+20	*	*	123	61.0	*	塚・他 (2006)	●走向10傾斜62 ●短周期レベルは佐藤(2004b) ●アスペリティ面積は浅野・他(2004)[ただしSMGA総面積]
同上	同上	同上	2003/5/26	*	*	74.0	*	3.49E+19	*	*	1.20E+20	*	*	*	*	*	佐藤(2013)	表1.c)スラブ内地震—逆断層。スペクトルインバージョン。
同上	同上	同上	2003/5/26	*	*	72.0	*	3.49E+19	*	*	1.09E+20	*	*	*	*	*	佐藤 (2004a)	表1。スペクトルインバージョン。
同上	同上	同上	2003/5/26 18:24	*	*	72.0	*	3.49E+19	*	103.5	1.09E+20	*	*	*	*	*	佐藤 (2004b)	表1。スペクトルインバージョン。
59	太平洋	宮城県北部	2003/5/26 22:34	*	*	73.8	4.5	8.21E+15	*	13.7	1.75E+18	*	*	*	*	*	佐藤 (2004b)	表1。スペクトルインバージョン。 M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
60	太平洋	宮城県沖	2003/5/27 00:44	*	*	67.5	*	1.43E+16	*	*	1.02E+19	*	*	*	*	*	佐藤 (2004a)	表1。スペクトルインバージョン。
同上	同上	同上	2003/5/27 00:44	*	*	67.5	4.7	1.43E+16	*	145.7	1.02E+19	*	*	*	*	*	佐藤 (2004b)	表1。スペクトルインバージョン。 M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
61	太平洋	宮城県沖	2003/5/28	*	*	73.2	4.5	6.45E+15	*	6.5	9.80E+17	*	*	*	*	*	佐藤 (2004b)	表1。スペクトルインバージョン。 M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
62	太平洋	宮城県北部	2003/5/31	*	*	73.8	4.6	1.13E+16	*	*	1.79E+18	*	*	*	*	*	佐藤(2004)	表1。スペクトルインバージョン。 M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	2003/5/31	*	*	73.8	*	1.10E+16	*	12.3	1.79E+18	*	*	*	*	*	佐藤 (2004b)	表1。スペクトルインバージョン。
63	太平洋	宮城県沖	2003/6/10	*	*	66.0	4.8	2.19E+16	*	*	2.60E+18	*	*	*	*	*	佐藤 (2004a)	表1。スペクトルインバージョン。 M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	2003/6/10	*	*	66.0	*	1.61E+16	*	22.2	3.03E+18	*	*	*	*	*	佐藤 (2004b)	表1。スペクトルインバージョン。
64	太平洋	東北地方	2005/2/26	*	*	56.0	5.6	3.74E+17	*	*	9.89E+18	*	*	*	*	*	佐藤(2013)	表1.c)スラブ内地震—逆断層。スペクトルインバージョン。 M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた

表 3.1.3-1 国内のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメントマグニチュード M _w (M ₀ から求めた)	地震モーメント (論文) M ₀ (Nm)	断層面積 S (km ²)	平均応力降下量 Δσ (MPa)	短周期レベル (St. Spectral Inversion) A (N・m/s ²)	短周期レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N・m/s ²)	コーナー振動数 f _c (Hz)	アスペリティの応力降下量 Δσ _a (MPa)	アスペリティの面積 S _a (km ²)	アスペリティの面積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
65	太平洋	岩手県沿岸北部	2008/7/24	*	*	108.0	6.8	1.80E+19	*	69.2	8.50E+19	*	*	*	*	*	池田 (2010b)	●地震モーメントはGlobalCMTカタログの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	2008/7/24	*	*	104.0	*	1.72E+19	*	*	8.96E+19	*	*	*	*	*	佐藤(2013)	表1.c)スラブ内地震—逆断層。スペクトルインバージョン。
同上	同上	同上	2008/7/24	39.7	141.7	115.0	*	2.82E+19	*	2.5	*	3.51E+19	*	23.9	96.0	*	Iwata and Asano (2011)	$A=4\pi\beta^2\Delta\sigma_a(S_a/\pi)^{1/2}$ $\beta=3.8$ $M_0=A\cdot M_0-S_a$ 等の図ではこちらをプロットした。
同上	同上	同上	2008/7/24	39.7	141.7	115.0	*	2.82E+19	*	2.4	*	*	*	24	*	*	Suzuki et al. (2009)	-
66	太平洋	福岡県沖	2010/3/13 21:46	*	*	74.0	5.4	1.88E+17	*	*	1.56E+19	*	*	*	*	*	佐藤(2013)	表1.c)スラブ内地震—逆断層。スペクトルインバージョン。 M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
67	太平洋	宮城県沖	2011/4/7	*	*	68.0	7.1	4.74E+19	*	*	1.49E+20	*	*	*	*	*	佐藤(2012)	表1. スペクトルインバージョン。 M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	2011/4/7	*	*	*	*	4.70E+19	*	*	1.16E+20	*	*	*	*	*	新井・他 (2015)	・M ₀ はF-net, Aは原田・釜江 (2011)による。
同上	同上	同上	2011/4/7	*	*	68.0	*	4.74E+19	*	*	2.17E+20	*	*	*	*	*	佐藤(2013)	表1.c)スラブ内地震—逆断層。スペクトルインバージョン。
同上	同上	同上	2011/4/7	38.1	141.8	59.2	*	3.20E+19 3.20E+19	104.04 104.04	71 71	*	*	*	71 71	104.04 104.04	1 1	Harada (2012)	Mjma=7.1; SMGA model
同上	同上	同上	2011/4/7	38.2	141.9	65.9	*	4.74E+19	*	*	*	*	*	*	*	*	芝・野口 (2012)	$\beta=4.46$
同上	同上	同上	2011/4/7	38.3	141.6	49.0	*	5.54E+19	*	17.0	*	*	*	*	*	*	山中(2011)	-
同上	同上	同上	2011/4/7	38.2	141.8	56.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Ohta et al. (2011)	logM ₀ =1.5M _w +9.1
同上	同上	同上	2011/4/7	*	*	66.0	7.1	4.74E+19	*	*	1.10E+20	*	*	asp1: 70.6 asp2: 70.6	asp1: 10.2+10.2 =104.04 asp2: 10.2+10.2 =104.04	*	原田・釜江 (2011)	$A=4\pi\beta^2\Delta\sigma_a(S_a/\pi)^{1/2}$ $\beta=3.9$ 震源位置 山中(2011)参照 M ₀ はF-net参照 M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	2011/4/7	*	*	*	*	*	*	*	8.01E+19	*	*	SMGA1: 23.7 SMGA2: 70.8 SMGA3: 70.8	SMGA1: 35.6 SMGA2: 80.1 SMGA3: 35.6	*	染井・宮藤 (2012) 建築学会	$\beta=3.82$
同上	同上	同上	2011/4/7	*	*	66.0	*	5.24E+19	*	*	*	*	*	*	*	*	染井・宮藤 (2012) 地震学会	-
68	太平洋	東北地方	2011/7/8	*	*	56.0	5.5	2.08E+17	*	*	1.28E+19	*	*	*	*	*	佐藤(2013)	表1.c)スラブ内地震—逆断層。スペクトルインバージョン。 M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
69	太平洋	東北地方	2011/7/31	*	*	56.0	6.3	4.15E+18	*	*	3.67E+19	*	*	*	*	*	佐藤(2013)	表1.c)スラブ内地震—逆断層。スペクトルインバージョン。 M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
70	太平洋	東北地方	2011/8/19	*	*	56.0	6.3	3.19E+18	*	*	3.05E+19	*	*	*	*	*	佐藤(2013)	表1.c)スラブ内地震—逆断層。スペクトルインバージョン。 M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
1	フィリピン海	1855年安政江戸地震	1855/11/11	35.7	140.1	65.0	7.1	5.82E+19	972.00	*	6.79E+19	*	*	SMGA1: 54.2 SMGA1: 54.2	SMGA1: 40.5 SMGA1: 40.5 total:81	0.083	佐藤 (2016b)	・Table2の050723の場合をリスト化。 ・経験的グリーン関数法による震度の推定。 M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
2	フィリピン海	-	1968/8/6	33.3	132.4	40.0	6.8	2.10E+19	*	11.5	2.70E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはShiono and Mikumo(1975)の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
3	フィリピン海	-	1978/7/4	32.7	131.4	120.0	5.8	6.20E+17	*	85.5	3.20E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはHarvard大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた

表 3.1.3-1 国内のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメント マグニチュード Mw (M0から求めた)	地震 モーメント (論文) M ₀ (Nm)	断層 面積 S (km ²)	平均 応力 降下量 Δσ (MPa)	短周期 レベル (St. Spectral Inversion) A (N・m/s ²)	短周期 レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N・m/s ²)	コーナー 振動数 f _c (Hz)	アスペリ ティの 応力降 下量 Δσ _a (MPa)	アスペリ ティの面 積 S _a (km ²)	アスペリ ティの面 積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
4	フィリピン海	-	1979/7/13	33.9	132.1	70.0	6.1	1.90E+18	*	16.9	1.50E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはHarvard大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
5	フィリピン海	-	1983/8/26	33.6	131.6	116.0	6.5	6.50E+18	*	37.5	4.00E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはHarvard大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
6	フィリピン海	-	1985/1/6	34.2	135.6	70.0	5.7	4.50E+17	*	13.3	8.30E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはHarvard大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた
7	フィリピン海	-	1985/1/27	32.6	131.3	118.0	5.6	3.60E+17	*	72.9	2.40E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはHarvard大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
8	フィリピン海	千葉県東方沖地震	1987/12/17	35.4	140.5	47.3	6.7	1.41E+19	400	4.3	*	2.82E+19	*	*	52.0 (36.0, 16.0)	0.130	佐藤 (2015a)	・統計的グリーン関数法による震源モデルの推定。 ・震源位置、L、Wは、Okada and Kasahara(1990)による。表1。 ・2つのSMGAと青森領域のモデル。パラメータは表3。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた F-netよりM0=1.41E+19
9	フィリピン海	愛知県東部	1997/3/16	34.9	137.5	39.0	5.6	3.3E+17(H) 2.97E+17 (F-net)	*	27.0	1.20E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはHarvard大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	1997/3/16	*	*	39.0	*	3.3E+17(H)	*	*	1.2E+19(2)	*	*	32(A1)	2.7(A1)	*	笹谷・他 (2006)	HHarvard CMT A1:Asano et al.(2003) I2:Ikeda et al.(2004)
10	フィリピン海	相模トラフ	1997/12/6	*	*	47.9	4.7	1.31E+16	*	16.8	2.35E+18	*	2.13	*	*	*	佐藤(2015)	表1。スペクトルインバージョン。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
11	フィリピン海	-	1998/5/23	33.7	131.8	86.0	5.5	1.90E+17	*	9.2	4.80E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはF-netの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
12	フィリピン海	和歌山県北部	1999/8/21	34.0	135.5	66.0	5.6	3.10E+17	*	3.3	2.90E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはHarvard大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	1999/8/21	*	*	66.0	*	3.1E+17(H)	*	*	2.9E+18(2)	*	*	314(A1)	1.4(A1)	*	笹谷・他 (2006)	HHarvard CMT A1:Asano et al.(2003) I2:Ikeda et al.(2004)
13	フィリピン海	-	1999/11/29	35.1	137.0	45.0	4.7	1.60E+16	*	48.1	6.40E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはF-netの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
14	フィリピン海	-	2000/4/2	32.5	131.1	147.0	4.8	2.00E+16	*	2.2	8.80E+17	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはF-netの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
15	フィリピン海	-	2000/4/15	33.6	135.4	42.0	4.9	2.50E+16	*	1.0	5.70E+17	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはF-netの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた
16	フィリピン海	-	2000/9/7	33.5	132.4	45.0	4.1	1.90E+15	*	4.1	6.10E+17	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはF-netの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
17	フィリピン海	-	2000/10/31	34.3	136.3	39.0	5.5	1.90E+17	*	30.7	1.10E+19	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはHarvard大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた

表 3.1.3-1 国内のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメント マグニチュード M _w (M ₀ から求めた)	地震 モーメント (論文) M ₀ (Nm)	断層 面積 S (km ²)	平均 応力 降下量 Δσ (MPa)	短周期 レベル (Sl. Spectral Inversion) A (N・m/s ²)	短周期 レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N・m/s ²)	コーナ ー振動数 f _c (Hz)	アスペリ ティの 応力降 下量 Δσ _s (MPa)	アスペリ ティの面 積 S _a (km ²)	アスペリ ティの 面積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
18	フィリピン海	-	2001/1/6	35.4	137.1	48.0	4.8	1.70E+16	*	0.7	4.00E+17	*	*	*	*	*	池田・他(2004)	●地震モーメントはF-netの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
19	フィリピン海	-	2001/1/9	33.6	132.4	50.0	4.6	1.00E+16	*	2.2	7.10E+17	*	*	*	*	*	池田・他(2004)	●地震モーメントはF-netの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
20	フィリピン海	-	2001/2/23	34.7	137.6	40.0	4.9	2.40E+16	*	3.0	1.20E+18	*	*	*	*	*	池田・他(2004)	●地震モーメントはF-netの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
21	フィリピン海	芸予地震	2001/3/24	*	*	*	6.8	2.10E+19	*	*	5.85E+19	*	*	*	*	*	新井・他(2015)	M ₀ はKakehi(2004)、Aは経験式による M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	2001/3/24	34.1	132.7	51.0	*	2.00E+19	*	39.3	6.00E+19	*	*	*	*	*	池田・他(2004)	●地震モーメントはHarvard大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた
同上	同上	同上	2001/3/24	34.1	132.7	51.0	*	1.50E+19	*	38.5	5.40E+19	*	*	*	*	*	池田・他(2002b)	●地震モーメントはハーバード大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた
同上	同上	同上	2001/3/24	34.12 (YK)	132.708 7 (YK)	50 (YK) 46.46 (TS)	*	1.4E+19 (YK) 2.1E+19 (KH)	*	*	6.0E+19 (I2)	6.2E+19 (M)	*	asp1.47 asp2.41 (A1)	asp1.33.1 asp2.24.8 (A1)	*	菅谷・他(2006)	A1:Asano et al. (2003) M:森川・他(2002) YK:Yagi and Kikuchi (2001) M ₀ =A、M ₀ =S _a 等の図ではこちらをプロットした。 TS:菅谷・他(2006) KH:Kakehi (2004)、 I2:池田・他(2004) 菅谷・他では6.0E+20だが池田・他より6.0E+19とした。
同上	同上	同上	2001/3/24	*	*	46.0	*	1.88E+19	*	3.6	*	*	*	81.0	24.3	*	Iwata and Asano (2011)	Kakehi(2004)
同上	同上	同上	2001/3/24	*	*	46.0	*	3.36E+19	*	5.2	*	*	*	135.0	24.2	*	*	関口・岩田 (2002)
同上	同上	同上	2001/3/24	34.1	132.7	46.5	*	1.51E+19	*	*	*	*	*	*	*	*	Asano et al (2004)	2つのアスペリティ
同上	同上	同上	2001/3/24	*	*	*	*	*	423.2	*	*	*	*	*	74.0	0.175	森川・(2002)	
22	フィリピン海	芸予地震(余震)	2001/3/25	34.0	132.8	51.0	4.4	4.60E+15	*	12.8	1.80E+18	*	*	*	*	*	池田・他(2002b)	●地震モーメントはハーバード大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた
同上	同上	同上	2001/3/25	34.0	132.8	51.0	*	4.60E+15	*	8.3	1.30E+18	*	*	*	*	*	池田・他(2004)	●地震モーメントはF-netの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた
23	フィリピン海	*	2001/3/26	33.9	132.7	48.0	4.0	1.40E+15	*	18.5	1.50E+18	*	*	*	*	*	池田・他(2004)	●地震モーメントはF-netの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
24	フィリピン海	*	2001/3/26	34.1	132.7	49.0	5.2	7.00E+16	*	5.3	2.40E+18	*	*	*	*	*	池田・他(2004)	●地震モーメントはHarvard大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
25	フィリピン海	芸予地震(余震)	2001/3/26 02:16	33.9	132.7	48.0	4.0	1.40E+15	*	20.5	1.60E+18	*	*	*	*	*	池田・他(2002b)	●地震モーメントはハーバード大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
26	フィリピン海	芸予地震(余震)	2001/3/26 05:40	34.1	132.7	49.0	5.1	4.80E+16	*	7.0	2.60E+18	*	*	*	*	*	池田・他(2002b)	●地震モーメントはハーバード大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた
27	フィリピン海	*	2001/4/3	33.8	132.0	67.0	4.7	1.30E+16	*	2.8	9.00E+17	*	*	*	*	*	池田・他(2004)	●地震モーメントはF-netの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求めた

表 3.1.3-1 国内のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメントマグニチュード M _w (Mdから求めた)	地震モーメント (論文) M ₀ (Nm)	断層面積 S (km ²)	平均応力 降下量 Δσ (MPa)	短周期レベル (Sl. Spectral Inversion) A (N・m/s ²)	短周期レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N・m/s ²)	コーナー振動数 f _c (Hz)	アスペリティの応力降下量 Δσ _a (MPa)	アスペリティの面積 S _a (km ²)	アスペリティの面積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
28	フィリピン海	静岡県中部	2001/4/3	35.0	138.1	33.0	5.3	1.20E+17	*	5.6	3.00E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはHarvard大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	2001/4/3	35.039 (H) 35 (F)	138.095 (H) 138.1 (F)	30.11 (H) 35 (F)	*	*	*	*	9.12E+18	*	34	3.2	*	*	森川・笹谷 (2002), 防災科学技術研究所 (2001)	β=4.6 HH-net NIED 走向, 傾斜, すべり角: 311.7, 74.8, 170.2 F-Fresia 走向, 傾斜, すべり角: 341.38, -62 2枚の断層面 logM ₀ =1.5M _w +9.1
同上	同上	同上	2001/4/3	*	*	*	*	8.20E+16	30.24	*	*	*	34	3.2	0.106	*	森川・他 (2002)	F-netよりM0=8.17E+16
29	フィリピン海	日向灘	2001/4/25	32.8	132.4	42.0	5.7	4.00E+17	*	10.5	6.80E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはHarvard大学の値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	日向灘	2001/4/25	32.796 (I2)	132.342 (I2)	39.3 (I2)	*	4.00E+17	*	*	6.8E+18(I2)	*	19(A1)	2.2+3.4 =7.5(A1)	*	*	笹谷・他 (2006)	HHarvard GMT A1:Asano et al.(2003) I2:Ikeda et al.(2004)
30	フィリピン海	-	2001/6/1	35.0	138.1	32.0	4.7	1.40E+16	*	2.3	8.00E+17	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはF-netの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
31	フィリピン海	-	2001/9/6	33.1	132.0	50.0	4.3	3.40E+15	*	3.6	6.80E+17	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはF-netの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
32	フィリピン海	-	2002/3/25	33.8	132.6	46.0	4.7	1.30E+16	*	3.8	1.10E+18	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはF-netの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
33	フィリピン海	-	2002/4/6	33.4	132.5	42.0	4.3	3.80E+15	*	3.7	7.20E+17	*	*	*	*	*	池田・他 (2004)	●地震モーメントはF-netの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
34	フィリピン海	相模トラフ	2004/2/28	*	*	38.7	4.0	1.30E+15	*	47.5	2.17E+18	*	6.50	*	*	*	佐藤(2015)	表1。スペクトルインバージョン。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
35	フィリピン海	相模トラフ	2004/8/25	*	*	50.6	4.3	3.39E+15	*	16.0	1.44E+18	*	3.28	*	*	*	佐藤(2015)	表1。スペクトルインバージョン。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
36	フィリピン海	大分県西部の地震	2006/6/12	*	*	145.0	6.3	4.20E+18	*	24.9	2.70E+19	*	*	*	*	*	池田 (2010b)	●地震モーメントはGlobalCMTカタログの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
37	フィリピン海	伊予灘の地震	2006/9/26	*	*	70.0	5.3	9.80E+16	*	11.5	4.50E+18	*	*	*	*	*	池田 (2010b)	●地震モーメントはGlobalCMTカタログの値 ●短周期レベルは観測記録から推定した震源スペクトルで求めた M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
38	フィリピン海	相模トラフ	2007/6/1	*	*	59.4	4.4	4.43E+15	*	42.1	3.01E+18	*	4.15	*	*	*	佐藤(2015)	表1。スペクトルインバージョン。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
39	フィリピン海	相模トラフ	2008/4/4	*	*	53.5	4.8	2.05E+16	*	35.1	4.45E+18	*	2.34	*	*	*	佐藤(2015)	表1。スペクトルインバージョン。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
40	フィリピン海	相模トラフ	2008/5/1	*	*	35.8	4.4	4.80E+15	*	22.2	2.02E+18	*	3.27	*	*	*	佐藤(2015)	表1。スペクトルインバージョン。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
41	フィリピン海	相模トラフ	2009/2/17	*	*	31.0	4.5	6.74E+15	*	10.6	1.38E+18	*	2.28	*	*	*	佐藤(2015)	表1。スペクトルインバージョン。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた

表 3.1.3-1 国内のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメント マグニチュード M _w (M ₀ から求めた)	地震 モーメント (論文) M ₀ (Nm)	断層 面積 S (km ²)	平均 応力 降下量 Δσ (MPa)	短周期 レベル (St. Spectral Inversion) A (N・m/s ²)	短周期 レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N・m/s ²)	コーナ ー振動数 f _c (Hz)	アスペ リティの 応力降 下量 Δσ _a (MPa)	アスペ リティの面 積 S _a (km ²)	アスペ リティの面 積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
42	フィリピン海	駿河湾の地震(余震)	2009/8/11 18:09	*	*	20.0	4.1	2.10E+15	*	2.1	2.90E+17	*	1.87	*	*	*	池田 (2010a)	●地震モーメントはF-net ●短周期レベルは観測記録の フリーエスペクトル比(余震/本 震)から求めた M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求め た
同上	同上	同上	2009/8/11 18:09	*	*	19.5	*	2.08E+15	*	21.0	1.48E+18	*	4.24	*	*	*	佐藤 (2010b)	*深さ、M ₀ (F-net)は、表1。 *Δσ、A、f _c は、スペクトルイン バージョンによる、表2。
43	フィリピン海	駿河湾沖(本震)	2009/8/11 05:07	*	*	*	6.2	2.25E+18	*	*	*	*	*	(75.1, 75.1)	18 (6, 12)	*	佐藤 (2010b)	*経験的グリーン関数法による 震源モデルの推定 *M ₀ は、F-netによる(表1)。 *震源位置、L、Wは、SMGAのた めに設定した、2枚の断層面。 *2つのSMGAのモデル。 *SMGAのパラメータは表4。 M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求め た
同上	同上	同上	2009/8/11 05:07	*	*	21.6	*	2.25E+18	*	80.6	3.71E+19	*	0.65	*	*	*	佐藤 (2010b)	*深さ、M ₀ (F-net)は、表1。 *Δσ、A、f _c は、スペクトルイン バージョンによる、表2。
同上	同上	同上	2009/8/11 05:07	*	*	23.0	6.2	2.30E+18	*	37.7	2.00E+19	*	0.48	*	*	*	池田 (2010a)	●地震モーメントはF-net ●短周期レベルは観測記録か ら推定した震源スペクトルで求 めた M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求め た
同上	同上	同上	2009/8/11 05:07	-	-	23.0	*	*	*	*	*	*	*	SMGA1:3 5.7 SMGA2:2 7.5	SMGA1: 3.6+3.6 =13 SMGA2: 4.8+4.8 =23	*	浅野・岩田 (2010)	注) 2枚の断層面
同上	同上	同上	2009/8/11 05:07	34.8	138.5	23.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	野津(2010)	2枚の断層面 3つのアスペリティ
同上	同上	同上	2009/8/11 05:07	-	-	-	*	4.80E+18	*	*	*	*	*	*	*	*	上野・他 (2009)	2枚の断層面
同上	同上	同上	2009/8/11 05:07	34.7	138.5	17.1	*	*	*	*	*	*	*	asp1:15 asp2:15	asp1:5.0* 5.0=25 asp2:5.0* 5.0=25 total:50.0	*	川辺・他 (2010)	-
同上	同上	同上	2009/8/11 05:07	-	-	23.0	*	*	*	*	*	*	*	asp1: 16.7 asp2: 17.6	asp1:16.2 asp2:45.0	*	倉橋・他 (2009)	2枚の断層面
44	フィリピン海	駿河湾地震(余震)	2009/8/13 12:42	*	*	19.0	3.8	6.70E+14	*	2.4	2.10E+17	*	2.84	*	*	*	池田 (2010a)	●地震モーメントはF-net ●短周期レベルは観測記録の フリーエスペクトル比(余震/本 震)から求めた M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求め た
同上	同上	同上	2009/8/13 12:42	*	*	19.0	*	6.72E+14	*	36.7	1.47E+18	*	7.44	*	*	*	佐藤 (2010b)	*深さ、M ₀ (F-net)は、表1。 *Δσ、A、f _c は、スペクトルイン バージョンによる、表2。
45	フィリピン海	駿河湾地震(余震)	2009/8/13 18:11	*	*	23.0	4.3	3.90E+15	*	5.3	6.60E+17	*	2.07	*	*	*	池田 (2010a)	●地震モーメントはF-net ●短周期レベルは観測記録の フリーエスペクトル比(余震/本 震)から求めた M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求め た
同上	同上	同上	2009/8/13 18:11	*	*	22.6	*	3.90E+15	*	24.8	2.03E+18	*	3.63	*	*	*	佐藤 (2010b)	*深さ、M ₀ (F-net)は、表1。 *Δσ、A、f _c は、スペクトルイン バージョンによる、表2。
46	フィリピン海	駿河湾沖	2009/9/2 13:04	*	*	22.2	3.5	2.28E+14	*	17.7	6.29E+17	*	8.36	*	*	*	佐藤 (2010b)	*深さ、M ₀ (F-net)は、表1。 *Δσ、A、f _c は、スペクトルイン バージョンによる、表2。 M ₀ はlogM ₀ =1.5MW+9.1より求め た

表 3.1.3-2 国外のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果

赤字：作図で使用した値

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメント マグニチュード M _w (MOから求めた)	地震 モーメント (論文) M ₀ (Nm)	断層 面積 S (km ²)	平均 応力 降下量 Δσ (MPa)	短周期 レベル (St: Spectral Inversion) A (N·m/s ²)	短周期 レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N·m/s ²)	コーナ ー 振動数 f _c (Hz)	アスペリ ティの 応力降 下量 Δσ _a (MPa)	アスペリ ティの 面積 S _a (km ²)	アスペ リティの 面積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
1	Izu-Bonin	-	1993/8/8	13.0	144.8	59.0	*	*	3,990	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	M _w =7.74
2	Izu-Bonin	-	2000/3/28	22.3	143.7	126.5	*	*	963	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	M _w =7.60
3	フィリピン	Izu-Bonin	2007/9/28	22.0	142.7	276.1	*	*	1,260	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	M _w =7.46
4	Pacific Plate(Nor th Island of New Zealand)	-	1973/1/5	-39.1	175.2	173.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Eberhart-Phillips and McVerry (2003)	スラブ内(図から判断)
5	Pacific Plate(Nor th Island of New Zealand)	-	1999/10/25	*	*	161.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Eberhart-Phillips and McVerry (2003)	恐らくスラブ内、M _w =6.0
6	Pacific plate	Guam Earthquake	1993/8/8	12.9	144.8	74.5±1.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Harada and Ishibashi (2008)	within the subducted Pacific plate(スラブ内)、M _w =7.8
同上	同上	同上	1993/8/8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Mallick et al. (2017)	M _w =7.7; strike-slip; tsunami earthquake;
同上	同上	同上	1993/8/8	13.0	144.8	45.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Seno and Yoshida (2004)	
同上	同上	同上	1993/8/8	13.0	144.8	50.0	*	3.50E+20	*	*	*	*	*	*	*	*	Tanioka et al. (1995)	
7	Pacific plate	Guam Earthquake	2001/10/12	12.7	145.0	69.2±3.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Harada and Ishibashi (2008)	within the subducted Pacific plate(スラブ内)、M _w =7.0
8	Pacific plate	Guam Earthquake	2002/4/	13.0	144.7	84.4±2.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Harada and Ishibashi (2008)	within the subducted Pacific plate(スラブ内)、M _w =7.1
9	Aegean Sea	-	1994/5/23	35.5	24.7	68.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Skarlatoudis et al. (2013)	M _w =6.1,in-slab
10	Aegean Sea	-	2003/9/13	36.7	26.8	134.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Skarlatoudis et al. (2013)	M _w =5.2,in-slab
11	Aegean Sea	-	2004/11/4	36.0	23.1	70.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Skarlatoudis et al. (2013)	M _w =5.2,in-slab
12	Aegean Sea	-	2005/8/1	36.6	26.7	127.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Skarlatoudis et al. (2013)	M _w =4.8,in-slab
13	Aegean Sea	-	2006/1/8	36.2	23.4	67.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Skarlatoudis et al. (2013)	M _w =6.7,in-slab
14	Aegean Sea	-	2006/5/11	36.1	23.4	72.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Skarlatoudis et al. (2013)	M _w =4.5,in-slab
15	Aegean Sea	-	2006/5/15	35.7	26.0	68.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Skarlatoudis et al. (2013)	M _w =4.7,in-slab
16	Aegean Sea	-	2006/7/9	36.5	27.2	118.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Skarlatoudis et al. (2013)	M _w =4.6,in-slab
17	Aegean Sea	-	2008/1/6	37.3	22.7	84.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Skarlatoudis et al. (2013)	M _w =6.2,in-slab
18	Aegean Sea	-	2008/6/18	37.7	22.8	83.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Skarlatoudis et al. (2013)	M _w =5.1,in-slab
19	Aegean Sea	-	2008/9/16	36.7	24.0	137.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Skarlatoudis et al. (2013)	M _w =4.5,in-slab
20	Aegean Sea	-	2008/11/4	36.2	23.4	68.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Skarlatoudis et al. (2013)	M _w =4.5,in-slab
21	Aegean Sea	-	2010/7/16	36.8	27.0	163.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Skarlatoudis et al. (2013)	M _w =5.2,in-slab
22	Aegean Sea	-	2011/2/25	36.6	27.0	118.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Skarlatoudis et al. (2013)	M _w =4.4,in-slab
23	Aleutian	-	2014/6/23	51.8	178.8	107.5	*	*	9,430	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	M _w =7.92
24	Arabian plate	-	1983/4/18	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu et al. (2014)	M _w 6.7, Makran subduction zone
25	Arabian plate	-	2011/1/18	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu et al. (2014)	M _w 7.2, Makran subduction zone
26	Arabian plate	Southeast Iran earthquake	2013/4/16	*	*	69.0	7.8	5.89E+20	8400.0	*	*	*	*	*	*	*	Kundu et al. (2014)	M _w 7.8, Makran subduction zone, normal faulting, T.Lay inversion model; MOはlogMO=1.5M _w +9.1より求めた
同上	同上	同上	2013/4/16	*	*	45.0	*	6.31E+20	10500.0	*	*	*	*	*	*	*	Kundu et al. (2014)	M _w 7.8, Makran subduction zone, normal faulting, T.Lay inversion model;
同上	同上	同上	2013/4/16	*	*	83.0	*	4.99E+20	11000.0	*	*	*	*	*	*	*	Kundu et al. (2014)	M _w 7.8, Makran subduction zone, normal faulting, Caltech inversion model;

表 3.1.3-2 国外のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメント マグニチュード M _w (M ₀ から求めた)	地震 モーメント (論文) M ₀ (Nm)	断層 面積 S (km ²)	平均 応力 降下量 Δσ (MPa)	短周期 レベル (St. Spectral Inversion) A (N·m/s ²)	短周期 レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N·m/s ²)	コーナー 振動数 f _c (Hz)	アスペリ ティの 応力降 下量 Δσ _a (MPa)	アスペリ ティの面積 S _a (km ²)	アスペ リティの 面積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
同上	同上	同上	2013/4/16	*	*	82.0	*	4.85.E+20	8232.0	*	*	*	*	*	*	*	Kundu et al. (2014)	M _w 7.8, Makran subduction zone, normal faulting, USGS inversion model;
同上	同上	同上	2013/4/16	*	*	83.0	*	6.99.E+20	11000.0	*	*	*	*	*	*	*	Kundu et al. (2014)	M _w 7.8, Makran subduction zone, normal faulting; coseismic static offset calculation;
27	Cascadia	Olympia	1949/4/13	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	McNeill et al. (2004)	
同上	同上	同上	1949/4/13	47.2	-122.6	54.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Seno and Yoshida (2004)	
同上	同上	同上	1949/4/13	*	*	60.0	6.8	1.91.E+19	*	5.9	*	5.60.E+19	*	65.00	36.0	*	Iwata and Asano (2011)	β=4.5としてAを求めた。M ₀ はlogM ₀ =1.5M _w +9.1より求めた。
同上	同上	同上	1949/4/13	*	*	60.0	*	1.91.E+19	*	*	*	*	*	*	36.0	*	Ichinose et al. (2006).	
同上	同上	同上	1949/4/13	47.1	-123.0	54.0	*	1.50.E+19	*	*	*	*	*	*	*	*	Baker and Langston (1987)	
28	Cascadia	-	1965/4/29	*	*	60.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Atkinson (2005)	in-slab (within the subducting Juan de Fuca slab beneath the continent), M=6.7
29	Cascadia	-	1986/6/16	*	*	35.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Atkinson (2005)	transition (within the subducting Juan de Fuca slab at the edge of the continent) (スラブ内とする), M=5.5
30	Cascadia	-	1989/3/5	*	*	46.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Atkinson (2005)	in-slab (within the subducting Juan de Fuca slab beneath the continent), M=4.6
31	Cascadia	-	1989/6/18	*	*	45.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Atkinson (2005)	in-slab (within the subducting Juan de Fuca slab beneath the continent), M=4.5
32	Cascadia	-	1989/9/12	*	*	34.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Atkinson (2005)	transition (within the subducting Juan de Fuca slab at the edge of the continent) (スラブ内とする), M=4.6
33	Cascadia	-	1994/1/3	*	*	28.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Atkinson (2005)	transition (within the subducting Juan de Fuca slab at the edge of the continent) (スラブ内とする), M=5.7
34	Cascadia	-	1999/7/3	*	*	41.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Atkinson (2005)	in-slab (within the subducting Juan de Fuca slab beneath the continent), M=5.8
35	Cascadia	-	1999/12/11	*	*	53.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Atkinson (2005)	in-slab (within the subducting Juan de Fuca slab beneath the continent), M=4.9
36	Cascadia	-	2000/8/1	*	*	41.3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Atkinson (2005)	transition (within the subducting Juan de Fuca slab at the edge of the continent) (スラブ内とする), M=4.9
37	Cascadia	Nisqually earthquake	2001/2/28	*	*	51.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Atkinson and Casey (2003)	in-slab earthquake, M=6.8
38	Cascadia	Nisqually earthquake	2001/2/28	*	*	52.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Booth et al. (2004)	M _w =6.8
39	Cascadia	-	2001/4/7	*	*	32.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Atkinson (2005)	transition (within the subducting Juan de Fuca slab at the edge of the continent) (スラブ内とする), M=4.2
40	Cascadia	-	2001/6/10	*	*	44.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Atkinson (2005)	in-slab (within the subducting Juan de Fuca slab beneath the continent), M=5.0
41	Cascadia	-	2001/7/22	*	*	50.3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Atkinson (2005)	in-slab (within the subducting Juan de Fuca slab beneath the continent), M=4.1
42	Cascadia	-	2001/10/20	*	*	38.3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Atkinson (2005)	transition (within the subducting Juan de Fuca slab at the edge of the continent) (スラブ内とする), M=4.1
43	Cascadia	-	2003/4/25	*	*	51.3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Atkinson (2005)	in-slab (within the subducting Juan de Fuca slab beneath the continent), M=4.6
同上	同上	同上	2003/4/25	*	*	46.0	*	6.76.E+15	*	*	*	*	*	*	*	*	Ichinose et al. (2006).	
44	Chile	-	1934/3/1	-40.0	-73.0	120.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Astiz and Kanamori (1986)	intraplate earthquake (intra-slabと判断), M=7.1, Ms=7.1
45	Chile	-	1949/4/20	-38.0	-73.5	70.0	*	6.00.E+19	*	*	*	*	*	*	*	*	Astiz and Kanamori (1986)	intraplate earthquake (intra-slabと判断), M=7.3, Ms=7.3, M ₀ は平均M ₀ でratio of observed to synthetic P wavesより詳細
46	Chile	Taltal	1965/2/23	-25.7	-70.8	60.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Seno and Yoshida (2004)	
同上	同上	同上	1965/2/23	-25.7	-70.8	59.0	*	3.50.E+19	*	*	*	*	*	*	*	*	Malgrange and Madariaga (1983)	

表 3.1.3-2 国外のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメントマグニチュード M_w (M0から求めた)	地震モーメント (論文) M_0 (Nm)	断層面積 S (km ²)	平均応力 降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)	短周期 レベル (SI: Spectral Inversion) A (N·m/s ²)	短周期 レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N·m/s ²)	コーナー 振動数 f_c (Hz)	アスペリ ティの 応力降 下量 $\Delta\sigma_a$ (MPa)	アスペリ ティの面積 S_a (km ²)	アスペ リティの 面積比 S_a/S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
47	Chile	-	1965/3/28	*	*	72.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Astiz and Kanamori (1986)	large intermediate-depth earthquake(intra-slabと判断)、 $M_w=7.4$	
48	Chile	-	1971/5/8	*	*	150.0	*	8.00E+19	*	*	*	*	*	*	*	Astiz and Kanamori (1986)	intraplate earthquake(intra-slabと判断)、 $M=7.1$, $M_s=6.8$, $M_w=7.2$, M_0 は平均 M_0 ratio of observed to synthetic P waves alone より評価	
49	Chile	-	1981/11/7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Astiz and Kanamori (1986)	large intermediate-depth earthquake(intra-slabと判断)	
50	Indian plate	-	1908/12/12	26.5	97.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7.5, Sagaing Fault	
51	Indian plate	-	1912/5/23	21.0	97.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M8, Sagaing Fault	
52	Indian plate	-	1918/7/8	24.5	91.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7.6, Srimangal, Bangladesh	
53	Indian plate	-	1923/9/9	25.3	91.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7.1, Shillong Plateaus, Durgapur	
54	Indian plate	-	1929/8/8	19.0	96.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7, Sagaing Fault	
55	Indian plate	-	1930/5/5	17.0	96.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7.3, Sagaing Fault	
56	Indian plate	-	1930/7/2	25.3	90.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7.1, Dhubri, Assam	
57	Indian plate	-	1930/12/3	18.0	96.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7.3, Sagaing Fault	
58	Indian plate	-	1931/1/27	25.6	96.8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7.6, Sagaing Fault	
59	Indian plate	-	1932/8/14	26.0	95.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7, India-Myanmar	
60	Indian plate	-	1938/8/16	23.5	94.3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7.2, Sagaing Fault	
61	Indian plate	-	1941/12/26	21.0	99.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7, Shan Plateau	
62	Indian plate	-	1943/10/23	26.0	93.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7.2, Shillong Plateau Assam	
63	Indian plate	-	1946/9/12	23.5	96.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7.5, Sagaing Fault	
64	Indian plate	-	1954/3/21	24.2	95.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7.1, India-Myanmar	
65	Indian plate	-	1957/7/1	24.4	93.8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7.2, Manipur	
66	Indian Plate(Northern Indoburman Ranges)	-	1968/12/27	24.1	91.6	29±4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Chen and Molnar (1990, JGR)	within the Indian plate, $M=5.1$	
67	Indian plate	-	1970/7/29	26.0	95.4	68.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7.0, Myanmar-Bangladesh	
68	Indian Plate(Northern Indoburman Ranges)	-	1971/2/2	23.7	91.7	46±5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Chen and Molnar (1990, JGR)	within the Indian plate, $mb=5.4$	
69	Indian plate	-	1975/7/8	21.4	94.6	116.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7.0, Indo Burmese wedge	
70	Indian Plate(Northern Indoburman Ranges)	-	1988/8/6	25.0	95.2	90±10	*	9.5±0.6E+19	*	*	*	*	*	*	*	Chen and Molnar (1990, JGR)	occurred in the subducted Indian plate, $mb=6.8$, $M_s=7.2$	
71	Indian plate	-	1991/1/5	23.6	95.9	13.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Kundu and Gahalaut (2012)	M7.0, Sagaing Fault	
72	Indo-Australia n plate	Enggano earthquake	2000/6/4	*	*	50.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Mallick et al. (2017)	$M_w=7.9$: strike-slip;	

表 3.1.3-2 国外のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメント マグニチュード M _w (M ₀ から求めた)	地震 モーメント (論文) M ₀ (Nm)	断層 面積 S (km ²)	平均 応力 降下量 Δσ (MPa)	短周期 レベル (St: Spectral Inversion) A (N·m/s ²)	短周期 レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N·m/s ²)	コーナ ー 振動数 f _c (Hz)	アスペ リティ の 応力降 下量 Δσ _a (MPa)	アスペ リティ の 面積 S _a (km ²)	アスペ リティ の 面積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
73	Indo-Australian plate	-	2000/6/18	*	*	*	*	*	20.0	*	*	*	*	*	*	Mallick et al. (2017)	Mw=7.8;	
74	Indo-Australian plate	Car Nicobar	2005/7/24	*	*	16.0	*	9.10.E+19	5760.0	*	*	*	*	*	*	Mallick et al. (2017)	Mw7.2; left-lateral strike-slip;	
75	Indo-Australian plate	Car Nicobar	2010/6/12	*	*	34.0	*	2.05.E+20	15288.0	*	*	*	*	*	*	Mallick et al. (2017)	Mw7.5; left-lateral strike-slip;	
76	Indo-Australian plate	-	2012/4/11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Mallick et al. (2017)	Mw=8.6; strike-slip;	
77	Indo-Australian plate	-	2012/4/11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Mallick et al. (2017)	Mw=8.2; strike-slip; small tsunami;	
78	Indo-Australian plate	-	2016/3/2	*	*	20.0	*	*	20.0	*	*	*	*	*	*	Mallick et al. (2017)	Mw=7.8; strike-slip;	
79	Indo-Burma	Cachar earthquake	1869/2/11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Parameswaran and Rajendran (2016)	M=7.5	
80	Indo-Burma	-	1931	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Parameswaran and Rajendran (2016)	M7.6	
81	Indo-Burma	-	1946	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Parameswaran and Rajendran (2016)	M8	
82	Indo-Burma	-	1988/8/6	*	*	90±10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Parameswaran and Rajendran (2016)	Mw=7.2; Reverse fault; 傾斜角=49±5°	
83	Indo-Burma	Imphal earthquake	2016/1/3	*	*	55.0	*	1.56.E+19	5824.0	*	*	*	*	*	*	Parameswaran and Rajendran (2016)	Mw=6.7; 傾斜角=51° , すべり角=168° ; Right-lateral strike-slip; Dmax=0.38m; D=0.03m	
84	インドネシア	Padang (Indonesia) earthquake	2009/9/30	*	*	50.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	García et al. (2012)	intraslab earthquake, Mw=7.6	
85	Kermadec-Tonga	-	1997/10/14	-22.1	-176.8	167.0	*	*	2,910	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	Mw=7.69	
86	Kermadec-Tonga	-	2006/5/3	-20.2	-174.1	65.0	*	*	6,000	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	Mw=7.95	
87	Kermadec-Tonga	-	2007/12/9	-26.0	-177.5	152.5	*	*	6,460	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	Mw=7.83	
88	Kermadec-Tonga	-	2009/3/19	-23.0	-174.7	31.0	*	*	2,410	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	Mw=7.69	
89	Kuril	-	1993/1/15	42.9	144.4	107.0	*	*	2,020	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	Mw=7.55	
90	Kuril	-	1994/10/4	43.7	147.3	48.0	*	*	14,300	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	Mw=8.32	
91	Kuril	-	1994	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Mallick et al. (2017)	Mw=8.2; strike-slip; tsunami earthquake;	
92	Cascadia	Nisqually	2001/2/28	47.1	-122.5	47.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Seno and Yoshida (2004)		
同上	同上	同上	2001/2/28	*	*	56.0	6.7	1.66.E+19	*	3.7	*	4.11.E+19	*	4.0E+01	43.0	Iwata and Asano (2011)	M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた。globalGMTよりM0=1.76E+20とした。	
同上	同上	同上	2001/2/28	47.1	-122.7	56.0	*	1.66.E+19	*	*	*	*	*	*	45.0	Ichinose et al. (2004)		
同上	同上	同上	2001/2/28	*	*	60.0	*	1.11.E+19	*	*	*	*	*	*	*	Ichinose et al. (2006)		
93	Mexico	-	1858/6/18	18.0	-100.8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	M7.7	
94	Mexico	-	1864/10/3	18.7	-97.4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	M7.3	
95	Mexico	-	1879/5/17	18.6	-98.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	M7.0	
96	Mexico	-	1903/01/14	15.0	-98.0	S	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Singh et al. (1981)	S=shallow(≤60km) Ms=8.1 intraplate	
97	Mexico	-	1917/12/29	15.0	-97.0	S	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Singh et al. (1981)	S=shallow(≤60km) Ms=7.7 intraplate	

表 3.1.3-2 国外のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメント マグニチュード Mw (M0から求めた)	地震 モーメント (論文) M0 (Nm)	断層 面積 S (km ²)	平均 応力 降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)	短周期 レベル (St. Spectral Inversion) A (N·m/s ²)	短周期 レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N·m/s ²)	コーナ ー 振動数 fc (Hz)	アスペ リティ の 応力降 下量 $\Delta\sigma_a$ (MPa)	アスペ リティ の 面積 S _a (km ²)	アスペ リティ の 面積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
98	Mexico	-	1931/1/15	16.3	-96.9	40.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	M7.8
同上	同上	同上	1931/1/15	16.4	-96.3	40.0	*	4.47E+20	*	*	*	*	*	*	*	*	Seno and Yoshida (2004)	
99	Mexico	-	1937/7/26	18.5	-96.1	85.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	M7.3
100	Mexico	-	1964/7/6	18.3	-100.5	55.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	Mw7.3
101	Mexico	-	1973/8/28	18.0	-96.6	82.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	Mw7.0
102	Mexico	-	1980/10/24	*	*	65.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Furumura and Sing (2002)	inslab normal-faulting, Mw=7.0
103	Mexico	-	1993/8/5	17.4	-98.3	54.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	Mw5.2
104	Mexico	-	1994/2/23	17.8	-97.3	75.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	Mw5.8
同上	同上	同上	同上	17.8	-97.3	75.0	5.8	6.28E+17	*	32.4	1.81E+19	*	0.86	*	*	*	Garcia et al. (2004)	A = (2πfc) ² M0よりAを求めた。 MOはlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	同上	17.8	-97.3	75.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Garcia et al. (2005)	
105	Mexico	-	1994/5/6	18.4	-98.0	57.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	Mw5.2
106	Mexico	-	1994/5/23	18.0	-100.6	50.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	Mw6.2
同上	同上	同上	同上	18.0	-100.6	50.0	6.2	2.77E+18	*	32.4	2.97E+19	*	0.52	*	*	*	Garcia et al. (2004)	A = (2πfc) ² M0よりAを求めた。 MOはlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	同上	18.0	-100.6	50.0	*	2.51E+18	*	*	*	*	*	*	*	*	Garcia et al. (2005)	
107	Mexico	-	1994/12/10	18.0	-101.5	49.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	Mw6.4
同上	同上	同上	同上	18.0	-101.5	50.0	6.4	5.20E+18	*	49.4	4.85E+19	*	0.49	*	*	*	Garcia et al. (2004)	A = (2πfc) ² M0よりAを求めた。 MOはlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	同上	18.0	-101.5	50.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Garcia et al. (2005)	
108	Mexico	Chiapas inslab earthquake	1995/10/21	16.7	-93.4	163.8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Ferez (2011)	Mw=7.2; 傾斜角=90°
109	Mexico	-	1996/7/19	17.2	-100.4	50.0	4.9	2.81E+16	*	31.0	6.25E+18	*	2.37	*	*	*	Garcia et al. (2004)	MOはlogM0=1.5MW+9.1より求めた
110	Mexico (Cocos subductin g plate)	-	1997/1/11	*	*	35.0	*	7.94E+19	1500.0	*	*	*	*	*	*	*	Mikumo et al. (1999)	Mw=7.1; 鉛直正断層; 上端深さ20km、下端深さ50km;
同上	同上	同上	1997/1/11	18.3	-102.6	40.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Seno and Yoshida (2004)	
同上	同上	同上	1997/1/11	18.3	-102.6	40.0	7.1	6.06E+19	*	26.6	7.74E+19	*	0.17	*	*	*	Garcia et al. (2004)	M0-Aの図ではこちらをプロットした。A = (2πfc) ² M0よりAを求めた。 MOはlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	1997/1/11	*	*	35.0	*	4.54E+19	*	2.7	2.59E+19	*	10.1	320.0	*	*	Iwata and Asano (2011)	M0-Saの図ではこちらをプロットした。β=4.5として、A=4πβ ² Δσα(Sa/π) ^{1/2} よりAを求めた。 globalGMTよりM0=6.06E+19
同上	同上	同上	1997/1/11	18.1	102.8	35.0	*	4.90E+19	*	*	*	*	*	300.0	*	*	Santoyo et al. (2005)	
111	Mexico	-	1997/4/3	18.5	-98.1	52.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	Mw5.2
112	Mexico	-	1997/5/19	17.3	-100.5	44.0	4.6	9.41E+15	*	14.3	2.58E+18	*	2.64	*	*	*	Garcia et al. (2004)	MOはlogM0=1.5MW+9.1より求めた
113	Mexico	-	1997/5/22	18.4	-101.8	54.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	Mw6.5
同上	同上	同上	1997/5/22	18.4	-101.8	54.0	6.5	6.53E+18	*	22.1	3.07E+19	*	0.35	*	*	*	Garcia et al. (2004)	MOはlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	1997/5/22	18.4	-101.8	54.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Garcia et al. (2005)	
114	Mexico	-	1998/4/20	18.4	-101.2	64.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	Mw5.9
同上	同上	同上	1998/4/20	18.4	-101.2	64.0	5.9	1.01E+18	*	20.6	1.57E+19	*	0.63	*	*	*	Garcia et al. (2004)	MOはlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	1998/4/20	18.4	-101.2	64.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Garcia et al. (2005)	
115	Mexico	-	1999/6/15	18.2	-97.5	60.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	Mw6.9
同上	同上	同上	1999/6/15	18.1	-97.5	61.0	6.9	3.10E+19	*	73.3	1.15E+20	*	0.31	*	*	*	Garcia et al. (2004)	MOはlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	1999/6/15	18.1	-97.5	61.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Garcia et al. (2005)	

表 3.1.3-2 国外のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメントマグニチュード Mw (M0から求めた)	地震モーメント M0 (Nm)	断層面積 S (km ²)	平均応力 降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)	短周期 レベル (St. Spectral Inversion) A (N·m/s ²)	短周期 レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N·m/s ²)	コーナー 振動数 f _c (Hz)	アスペリティの 応力降下量 $\Delta\sigma_s$ (MPa)	アスペリティの面積 S _a (km ²)	アスペリティの面積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
116	Mexico	-	1999/6/21	18.2	-101.7	53.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	Mw6.3
同上	同上	同上	1999/6/21	18.2	-101.7	53.0	6.3	3.11.E+18	*	30.3	2.95.E+19	*	0.49	*	*	*	Garcia et al. (2004)	M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	1999/6/21	18.2	-101.7	53.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Garcia et al. (2005)	
117	Mexico	-	1999/9/30	16.1	-96.9	40.0	*	*	2.020	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	Mw=7.38
同上	同上	同上	1999/9/30	15.7	-97.0	47.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Seno and Yoshida (2004)	
同上	同上	同上	1999/9/30	16.0	-97.0	47.0	7.4	1.72.E+20	*	66.0	1.89.E+20	*	0.17	*	*	*	Garcia et al. (2004)	M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	1999/9/30	*	*	40.0	*	1.79.E+20	*	1.9	*	4.11.E+19	*	9.8	731.0	*	Iwata and Asano (2011)	globalGMTよりM0=1.72E+20
同上	同上	同上	1999/9/30	16.0	-97.0	39.7	*	1.80.E+20	*	*	*	*	*	*	*	*	Hernandez et al. (2001)	
118	-	-	1999/12/6	57.4	-154.4	36.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Seno and Yoshida (2004)	
119	Mexico	-	1999/12/29	18.0	-101.6	50.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	Mw5.9
同上	同上	同上	1999/12/29	18.0	-101.6	50.0	5.9	8.29.E+17	*	*	1.07.E+19	*	0.57	*	*	*	Garcia et al. (2004)	M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
120	Mexico	Copalillo earhtquake	2000/7/21	18.1	-99.0	50.0	*	6.00.E+17	400.0	36.0	*	*	0.81	*	*	*	Iglesias et al.(2002)	Mw=5.9; epicentral location from regional data; M0 from S-wave spectra of regional data.
同上	同上	同上	2000/7/21	18.1	-99.0	50.0	5.9	8.49.E+17	*	37.7	2.21.E+19	*	0.81	*	*	*	Singh et al. (2014)	A = (2π f _c) ² M0よりAを求めた。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
121	Mexico	-	2001/1/19	15.3	-92.9	93.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=8.0; 傾斜角=77°
122	Mexico	-	2001/11/28	15.8	-93.4	65.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=6.4; 傾斜角=74°
123	Mexico	-	2001/12/19	17.6	-93.9	177.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.2; 傾斜角=74°
124	Mexico	-	2001/3/5	17.2	-100.1	35.0	*	1.00.E+17	*	*	*	*	*	*	*	*	Garcia et al. (2004)	
同上	同上	同上	2001/3/5	17.2	-100.1	35.0	*	1.12.E+17	*	15.1	5.91.E+18	*	1.22	*	*	*	Garcia et al. (2005)	M0はMwより求めた。 logM0=1.5MW+9.1
125	Mexico	-	2001/3/6	17.1	-100.1	38.0	5.2	8.30.E+16	*	23.0	7.35.E+18	*	1.50	*	*	*	Garcia et al. (2004)	M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	2001/3/6	17.1	-100.1	38.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Garcia et al. (2005)	
126	Mexico	-	2002/1/16	15.7	-93.4	55.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=6.4; 傾斜角=83°
127	Mexico	-	2002/1/30	18.2	-95.9	116.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.9; 傾斜角=63°
同上	同上	同上	2002/1/30	18.2	-96.0	118.0	5.9	9.43.E+17	*	198.1	6.94.E+19	*	1.37.E+00	*	*	*	Garcia et al. (2004)	M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	2002/1/30	18.2	-96.0	118.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Garcia et al. (2005)	
128	Mexico	-	2002/3/31	14.6	-93.0	32.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.5; 傾斜角=34°
129	Mexico	-	2002/6/11	17.5	-94.7	150.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.2; 傾斜角=73°
130	Mexico	-	2004/1/17	17.9	-95.5	106.4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.2; 傾斜角=44°
131	Mexico	-	2004/4/20	17.5	-94.6	146.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.4; 傾斜角=61°
132	Mexico	-	2004/8/7	17.3	-95.3	104.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.8; 傾斜角=90°
133	Mexico	-	2004/8/18	16.4	-95.1	77.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.8; 傾斜角=90°
134	Mexico	-	2005/5/19	14.7	-92.4	74.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.3; 傾斜角=74°
135	Mexico	-	2007/7/6	16.5	-93.9	113.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=6.0; 傾斜角=74°
136	Mexico	-	2007/11/26	15.4	-93.4	71.3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.7; 傾斜角=72°
137	Mexico	-	2008/2/11	16.4	-94.1	91.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.1; 傾斜角=72°
138	Mexico	-	2008/6/5	15.8	-93.6	100.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.3; 傾斜角=82°
139	Mexico	-	2008/11/23	17.4	-94.0	167.4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.0; 傾斜角=72°

表 3.1.3-2 国外のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメントマグニチュード M _w (M0から求めた)	地震モーメント (論文) M ₀ (Nm)	断層面積 S (km ²)	平均応力降下量 Δσ (MPa)	短期スペクトル反転 (SI: Spectral Inversion) A (N・m/s ²)	短期スペクトル反転 (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N・m/s ²)	コーナー振動数 f _c (Hz)	アスペリティの応力降下量 Δσ _a (MPa)	アスペリティの面積 S _a (km ²)	アスペリティの面積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
140	Mexico	-	2009/5/22	18.1	-98.4	46.0	5.7	4.60E+17	*	44.7	2.04E+19	*	1.06	*	*	*	Singh et al. (2014)	A = (2π f _c) ² M ₀ よりAを求めた。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた。
141	Mexico	-	2009/9/8	17.7	-95.7	103.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.1; 傾斜角=59°
142	Mexico	-	2010/9/15	15.7	-93.3	77.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.1; 傾斜角=69°
143	Mexico	-	2010/11/1	17.0	-93.6	168.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.6; 傾斜角=84°
144	Mexico	-	2011/2/25	18.0	-95.2	128.4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=6; 傾斜角=52°
145	Mexico	-	2011/4/7	17.3	-94.1	153.8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=6.7; 傾斜角=76°
146	Mexico	-	2011/6/7	15.3	-93.4	75.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.3; 傾斜角=77°
147	Mexico	-	2011/12/7	17.8	-94.1	198.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Rodriguez-Perez (2014)	Mw=5.1; 傾斜角=69°
148	Mexico	-	2011/12/11	17.8	-99.9	57.0	6.5	6.71E+18	*	60.0	6.00E+19	*	0.48	*	*	*	Singh et al. (2014)	A = (2π f _c) ² M ₀ よりAを求めた。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた。
149	Mexico	-	2012/11/15	18.4	-100.4	60.9	*	1.83E+18	*	41.4	3.04E+19	*	0.65	*	*	*	Singh et al. (2014)	A = (2π f _c) ² M ₀ よりAを求めた。 M0はMwより求めた。 logM0=1.5MW+9.1
150	Mexico	-	2013/6/16	18.1	-99.2	55.0	5.9	9.10E+17	*	39.1	2.32E+19	*	0.80	*	*	*	Singh et al. (2014)	A = (2π f _c) ² M ₀ よりAを求めた。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた。
151	Romania	-	1934/3/29	45.656 ± 0.028	26.725 ± 0.028	105.6 ± 4.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Hurukawa et al.(2008)	M _s =6.2, Vrancea region, Romania
152	Romania	-	1940/10/22	45.611 ± 0.028	26.699 ± 0.033	126.4 ± 3.8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Hurukawa et al.(2008)	M _s =6.5, Vrancea region, Romania
153	Romania	-	1940/11/10	45.753 ± 0.028	26.932 ± 0.023	123.8 ± 3.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Hurukawa et al.(2008)	Mw=7.7, Vrancea region, Romania
154	Romania	-	1945/9/7	45.732 ± 0.027	26.738 ± 0.030	88.8 ± 3.8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Hurukawa et al.(2008)	M _s =6.5, Vrancea region, Romania
155	Romania	-	1945/12/9	45.532 ± 0.031	26.935 ± 0.039	89.4 ± 4.3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Hurukawa et al.(2008)	M _s =6.0, Vrancea region, Romania
156	Romania	-	1977/3/4	45.851 ± 0.014	26.969 ± 0.019	98.1 ± 2.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Hurukawa et al.(2008)	Mw=7.5, Vrancea region, Romania
157	Romania	-	1986/8/30	45.554 ± 0.036	26.587 ± 0.011	135.0 ± 1.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Hurukawa et al.(2008)	Mw=7.2, Vrancea region, Romania
158	Romania	-	1990/5/30	45.990 ± 0.009	26.977 ± 0.013	83.8 ± 1.3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Hurukawa et al.(2008)	Mw=6.9, Vrancea region, Romania
159	Romania	-	1990/5/31	45.883 ± 0.013	26.997 ± 0.019	81.8 ± 1.9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Hurukawa et al.(2008)	Mw=6.3, Vrancea region, Romania
160		Satsop	1999/7/3	*	*	40.0	5.7	4.81E+17	*	*	*	*	*	*	*	*	Ichinose et al. (2006)	M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた。
161		-	2001/6/10	*	*	40.0	4.7	1.36E+16	*	*	*	*	*	*	*	*	Ichinose et al. (2006)	M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた。
162	Solomon Islands	-	1990/12/30	-5.1	151.0	177.0	*	*	2,410	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	M _w =7.41
163	Solomon Islands	-	2005/9/9	-4.5	153.5	90.0	*	*	9,840	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	M _w =7.63
164	South-America	-	2005/6/13	-20.0	-69.2	108.0	*	*	1,750	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	M _w =7.74
同上	同上	同上	2005/6/13	*	*	108.0	7.7	3.92E+20	*	14.9	1.71E+20	*	59.7	400.0	*	*	Iwata and Asano (2011)	β=4.5として、A = 4π β Δσ a (Sa/π) / 2よりAを求めた。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた。 globalGMTよりM0=5.32E+20
同上	同上	同上	2005/6/13	-20.0	-69.2	108.0	*	5.47E+20	*	15.0	*	*	*	*	*	*	Delouis and Legrand (2007)	
165	South-America	-	2005/9/26	-5.7	-76.4	115.0	*	*	1,030	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	M _w =7.48
166	Sumatra	-	2000/6/4	-4.7	102.1	41.2	*	*	6,450	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	M _w =7.48
同上	同上	同上	2000/6/4	-4.7	101.9	44.0	*	*	6,450	*	*	*	*	*	*	*	Seno and Yoshida (2004)	M ₀ は計算より求めた。
同上	同上	同上	2000/6/4	-4.7	102.1	33.0	*	1.50E+21	*	90.0	*	*	*	*	*	*	Zhou et al. (2002)	
167	Sumatra	-	2007/8/8	-5.9	107.7	291.2	*	*	1,200	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	M _w =7.53
168	Sumatra	-	2009/9/30	-0.8	99.9	78.0	*	*	835	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	M _w =7.46

表 3.1.3-2 国外のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメントマグニチュード M _w (M0から求めた)	地震モーメント M ₀ (Nm)	断層面積 S (km ²)	平均応力降下量 Δσ (MPa)	短周期レベル (St. Spectral Inversion) A (N·m/s ³)	短周期レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N·m/s ³)	コーナー振動数 f _c (Hz)	アスペリティの応力降下量 Δσ _a (MPa)	アスペリティの面積 S _a (km ²)	アスペリティの面積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
169	Taiwan	-	1965/4/29	47.4	-122.3	59.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =6.7	
同上	同上	同上	1965/4/29	*	*	60.0	6.6	9.43.E+18	*	5.9	*	4.28.E+19	*	52.1	28.0	*	Iwata and Asano (2011)	M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた
同上	同上	同上	1965/4/29	47.4	-122.3	60.0	*	9.43.E+18	*	*	*	*	*	*	28.0	*	Ichinose et al. (2004)	
170	Taiwan	-	1994/1/20	24.1	121.9	49.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =5.5	
171	Taiwan	-	1994/2/1	24.7	122.7	115.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =5.62	
172	Taiwan	-	1994/5/23	18.2	-100.5	55.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =6.3	
同上	同上	同上	1994/5/23	18.0	-100.6	50.0	6.2	2.77.E+18	*	32.4	2.97.E+19	*	0.52	*	*	Garcia et al. (2004)	A = (2π f _c) ² M ₀ よりAを求めた。 M0はlogM0=1.5MW+9.1より求めた	
同上	同上	同上	1994/5/23	18.0	-100.6	50.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Garcia et al. (2005)		
173	Taiwan	-	1994/10/12	24.8	122.0	73.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =5.19	
174	Taiwan	-	1995/3/24	24.6	121.9	76.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =5.10	
175	Taiwan	-	1995/4/24	24.7	121.6	63.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.83	
176	Taiwan	-	1995/6/25	24.6	121.7	39.9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =5.90	
177	Taiwan	-	1995/8/20	24.7	121.6	56.9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.50	
178	Taiwan	-	1995/12/1	24.6	121.6	45.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =5.24	
179	Taiwan	-	1996/1/22	24.9	121.7	66.9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.67	
180	Taiwan	-	1996/7/29	24.5	122.3	65.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =5.40	
181	Taiwan	-	1996/12/15	24.0	121.4	71.4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.40	
182	Taiwan	-	1997/4/13	23.8	121.7	45.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =5.10	
183	Taiwan	-	1997/4/27	24.6	122.0	60.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.43	
184	Taiwan	-	1997/5/22	18.7	-101.6	70.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =6.6	
185	Taiwan	-	1997/7/15	24.6	122.5	86.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =5.5	
186	Taiwan	-	1997/9/28	24.6	121.8	68.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.58	
187	Taiwan	-	1997/10/11	25.0	122.6	146.4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =5.50	
188	Taiwan	-	1998/5/2	24.6	122.6	86.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.81	
189	Taiwan	-	1998/5/9	24.8	121.9	83.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.70	
190	Taiwan	-	1999/4/4	24.9	121.9	89.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =5.01	
191	Taiwan	-	1999/4/30	24.6	121.9	66.8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.39	
192	Taiwan	-	1999/6/3	24.4	122.5	61.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =5.24	
193	Taiwan	-	1999/7/11	24.6	121.8	73.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.64	
194	Taiwan	-	1999/9/30	24.7	122.0	70.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =5.06	
195	Taiwan	-	1999/10/25	-38.6	175.9	161.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =6.0	
196	Taiwan	-	1999/12/6	24.9	122.0	100.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.37	
197	Taiwan	-	2000/4/14	24.2	122.5	48.3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.37	
198	Taiwan	-	2000/6/28	24.6	122.4	90.8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.37	
199	Taiwan	-	2000/7/10	23.7	121.7	43.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.37	
200	Taiwan	-	2000/7/24	24.7	122.5	110.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.37	
201	Taiwan	-	2001/2/16	24.5	122.8	60.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.37	
202	Taiwan	-	2001/4/24	24.8	122.2	82.8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.37	
203	Taiwan	-	2001/6/13	24.4	122.6	64.4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =5.5	
204	Taiwan	-	2001/7/9	24.0	121.8	43.4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2008)	M _w =4.39	

表 3.1.3-2 国外のスラブ内地震の断層パラメータの調査結果 (つづき)

地震番号	地域(プレート)	地震名	発生日 年月日	震源位置			モーメントマグニチュード M _w (M ₀ から求めた)	地震モーメント M ₀ (Nm)	断層面積 S (km ²)	平均応力降下量 Δσ (MPa)	短周期レベル (SI: Spectral Inversion) A (N・m/s ³)	短周期レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area) A (N・m/s ³)	コーナー振動数 f _c (Hz)	アスペリティの応力降下量 Δσ _a (MPa)	アスペリティの面積 S _a (km ²)	アスペリティの面積比 S _a /S	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]												
205	Taiwan	-	2001/7/28	59.0	-155.1	131.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Lin and Lee (2006)	M _w =6.6
206	Vanuatu	Vanuatu	1994/7/13	-16.5	167.4	25.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Seno and Yoshida (2004)	
207	Vanuatu	-	1998/1/4	-22.3	170.9	101.0	*	*	6,500	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	M _w =7.43
208	Vanuatu	-	2010/12/25	-19.7	167.9	16.0	*	*	1,520	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	M _w =7.29
209	Romania	Vrancea	1977/3/4	45.8	26.8	94.0	*	*	1.58E+20	*	*	*	120	65.6	*	*	Oth et al. (2007)	A = 4πβ ² Δσ _a (S _a /π) ^{1/2} より、M ₀ はM _w より求めた。logM ₀ =1.5M _w +9.1
210	Romania	Vrancea	2002/9/6	45.6	26.4	105.0	*	*	1.78E+15	*	*	*	8.30	*	*	*	Oth et al. (2007)	A = (2πf _c) ² M ₀ より、M ₀ はM _w より求めた。logM ₀ =1.5M _w +9.1
211	Romania	Vrancea	2002/11/3	45.7	26.9	90.0	*	*	1.26E+15	*	*	*	10.80	*	*	*	Oth et al. (2007)	A = (2πf _c) ² M ₀ より、M ₀ はM _w より求めた。logM ₀ =1.5M _w +9.1
212	Romania	Vrancea	1999/11/8	45.6	26.4	138.0	*	*	1.00E+16	*	*	*	4.00	*	*	*	Oth et al. (2007)	A = (2πf _c) ² M ₀ より、M ₀ はM _w より求めた。logM ₀ =1.5M _w +9.1
213	Romania	Vrancea	1999/11/14	45.5	26.3	132.0	*	*	1.00E+16	*	*	*	4.90	*	*	*	Oth et al. (2007)	A = (2πf _c) ² M ₀ より、M ₀ はM _w より求めた。logM ₀ =1.5M _w +9.1
214	Romania	Vrancea	2000/4/6	45.8	26.6	143.0	*	*	3.98E+16	*	*	*	3.10	*	*	*	Oth et al. (2007)	A = (2πf _c) ² M ₀ より、M ₀ はM _w より求めた。logM ₀ =1.5M _w +9.1
215	Romania	Vrancea	1986/8/30	45.5	26.5	132.0	*	*	5.62E+19	*	*	*	0.30	30	161.8	*	Oth et al. (2007)	A = (2πf _c) ² M ₀ より、M ₀ はM _w より求めた。logM ₀ =1.5M _w +9.1
216	Romania	Vrancea	2004/10/27	45.8	26.7	99.0	*	*	6.31E+17	*	*	*	1.6-1.7	90-120	2.1	*	Oth et al. (2007)	A = 4πβ ² Δσ _a (S _a /π) ^{1/2} より、M ₀ はM _w より求めた。logM ₀ =1.5M _w +9.1
217	El Salvador	El Salvador	1982/6/19	12.7	-89.0	52.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Seno and Yoshida (2004)	
218	El Salvador	El Salvador	2001/1/13	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Arango et al. (2012)	intraslab, M _w =7.7
同上	同上	同上	2001/1/13	13.0	-89.1	56.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Seno and Yoshida (2004)	
同上	同上	同上	2001/1/13	*	*	54.0	7.7	4.57E+20	*	5.2	*	9.83E+19	*	25.3	733.0	*	Iwata and Asano (2011)	β=4.5として、A = 4πβ ² Δσ _a (S _a /π) ^{1/2} よりAを求めた。M ₀ はlogM ₀ =1.5M _w +9.1より求めた。globalGMTよりM ₀ =4.57E+20
同上	同上	同上	2001/1/13	*	*	54.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Vallee et al. (2003)	
同上	同上	同上	2001/1/13	13.1	-88.7	60.0	*	*	2,340	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	M _w =7.70
219	Pacific Plate	Okhotsk earthquake	2013/5/24	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	intraslab earthquake, M _w =8.3
220	C. Peru	Peru	1970/5/31	-9.2	-78.8	43.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Seno and Yoshida (2004)	
同上	同上	同上	1970/5/31	*	*	*	*	1.00E+21	*	2.3-3.5	*	*	*	*	*	*	Abe (1972)	

3.1.4 スラブ内地震の断層パラメータの分析

a) 国内のスラブ内地震の断層パラメータの分析

図 3.1.4-1 に表 3.1.3-1 に示した国内のスラブ内地震の地震モーメント M_0 と短周期レベル A との関係を、太平洋プレート内の地震については白丸印で、フィリピン海プレート内の地震については黒丸印で示す。図中、赤線は(3.1.4-1)式で表される笹谷・他(2006)によるスラブ内地震の地震モーメント M_0 と短周期レベル $A_{sasatani}$ との経験的關係式で点線部分は外挿である。黒線は、(3.1.4-2)式で表される壇・他(2001)による内陸地震の地震モーメント M_0 と短周期レベル A_{dan} との経験的關係式である。太線は平均値で、細線はその 2 倍と 1/2、点線部分は外挿である。

$$A_{sasatani}[\text{N}\cdot\text{m}/\text{s}^2] = 9.84 \times 10^{10} \times (M_0[\text{N}\cdot\text{m}] \times 10^7)^{1/3} \quad (3.1.4-1)$$

$$A_{dan}[\text{N}\cdot\text{m}/\text{s}^2] = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0[\text{N}\cdot\text{m}] \times 10^7)^{1/3} \quad (3.1.4-2)$$

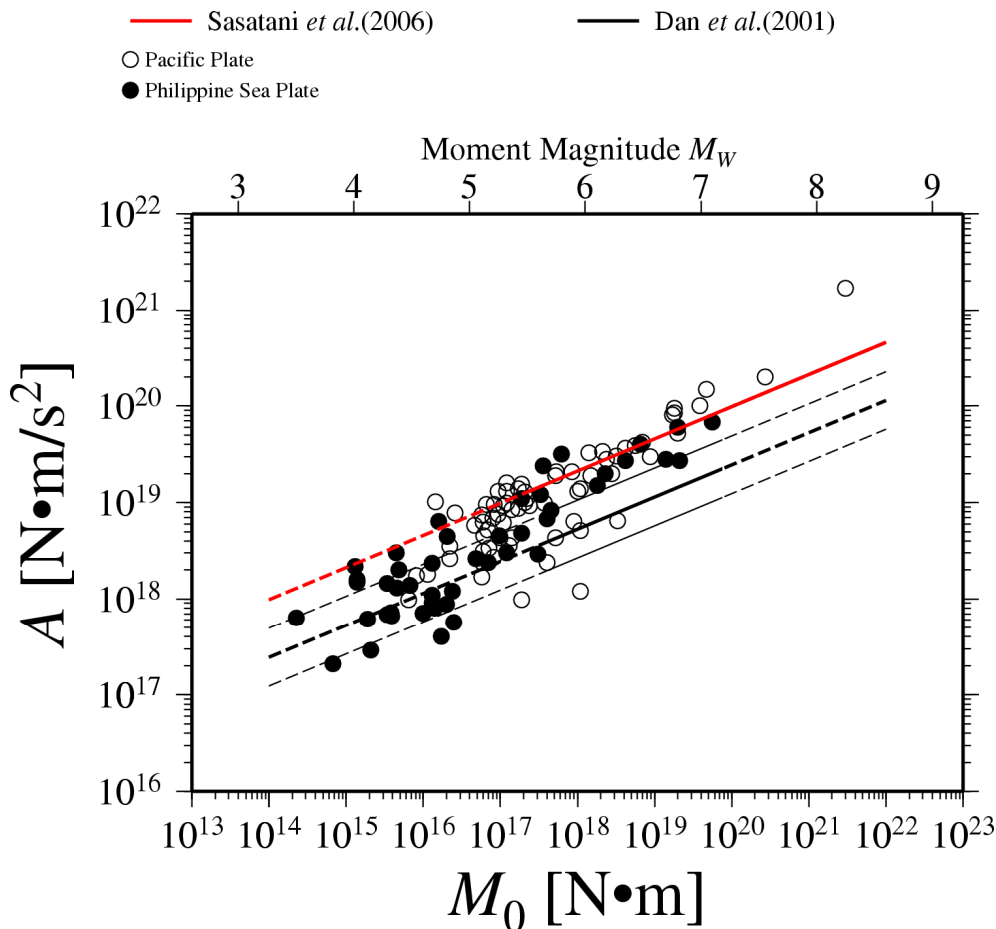


図 3.1.4-1 国内のスラブ内地震の地震モーメント M_0 と短周期レベル A との関係

図より、太平洋プレート内のスラブ内地震の地震モーメントと短周期レベルとの関係は、地震規模が小さいほどばらつきは大きいですが、 M_w 5以上に着目すると、全体的には笹谷・他(2006)によるスラブ内地震の地震モーメントと短周期レベルとの経験的關係式にほぼのっけていることがわかる。1994年の北海道東方沖地震(M_w 8.2)は笹谷・他(2006)に比べて短周期レベルが大きくなっているが、この地震については観測点が北海道の一部に限定されていることと、震源距離が遠いので Q 値の見積りなどが、短周期レベルの評価に影響を与えた可能性とが考えられる。

一方、フィリピン海プレート内のスラブ内地震の地震モーメントと短周期レベルとの関係は、太平洋プレート内のスラブ内地震と同様に、地震規模が小さいほどばらつきは大きいことがわかる。また、 M_w が5.5以下で笹谷・他(2006)によるスラブ内地震の地震モーメントと短周期レベルとの経験的關係式より小さいが、 M_w が5.5以上でこの経験的關係式にほぼのっけている。

図3.1.4-2に表3.1.3-1に示した国内のスラブ内地震の地震モーメント M_0 とアスペリティの面積 Sa との関係を示す。図中、赤線は(3.1.4-3)式で表される笹谷・他(2006)によるスラブ内地震の地震モーメント M_0 とアスペリティの面積 $Sa_{sasatani}$ との経験的關係式で、黒線は(3.1.4-4)式で表されるSomerville *et al.*(1999)による内陸地震の地震モーメント M_0 とアスペリティの面積 $Sa_{somerville}$ との経験的關係式である。

$$Sa_{sasatani}[\text{km}^2] = 1.25 \times 10^{-16} \times (M_0[\text{N} \cdot \text{m}] \times 10^7)^{2/3} \quad (3.1.4-3)$$

$$Sa_{somerville}[\text{km}^2] = 5.00 \times 10^{-16} \times (M_0[\text{N} \cdot \text{m}] \times 10^7)^{2/3} \quad (3.1.4-4)$$

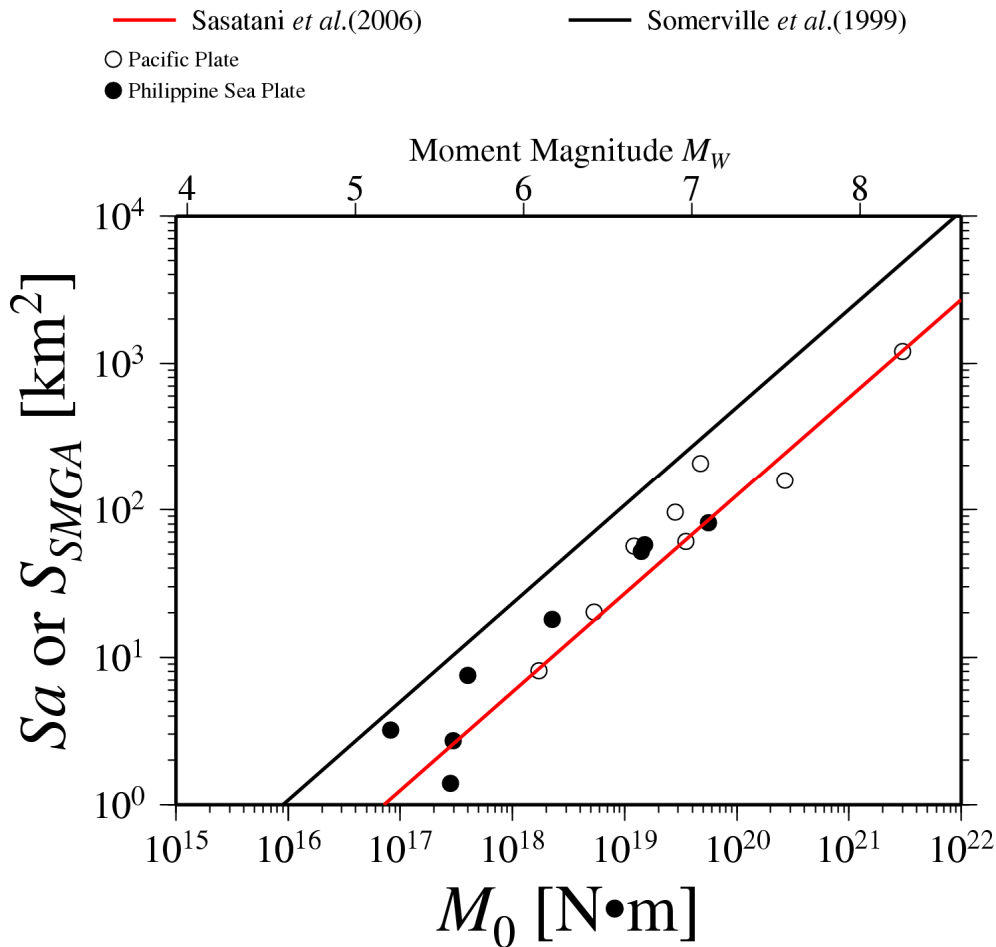


図 3.1.4-2 国内のスラブ内地震の地震モーメント M_0 とアスペリティの面積 S_a との関係

図より、太平洋プレートおよびフィリピン海プレートともに、スラブ内地震の地震モーメントとアスペリティの面積との関係が、笹谷・他(2006)による経験的關係式にほぼのっ
ていることがわかる。

図 3.1.4-3 に国内のスラブ内地震の地震モーメント M_0 とアスペリティの面積比 S_a/S との
關係を示す。図には、(3.1.4-5)式で表される地震本部(2016)によるアスペリティの面積比
 S_a/S の経験的關係の線 ($\beta=4.0\text{km/s}$ と仮定した場合) も示す。

$$S_a / S = (16A_{sasatani}^2 S_{sasatani}^2) / (49\pi^4 \beta^4 M_0^2) \quad (3.1.4-5)$$

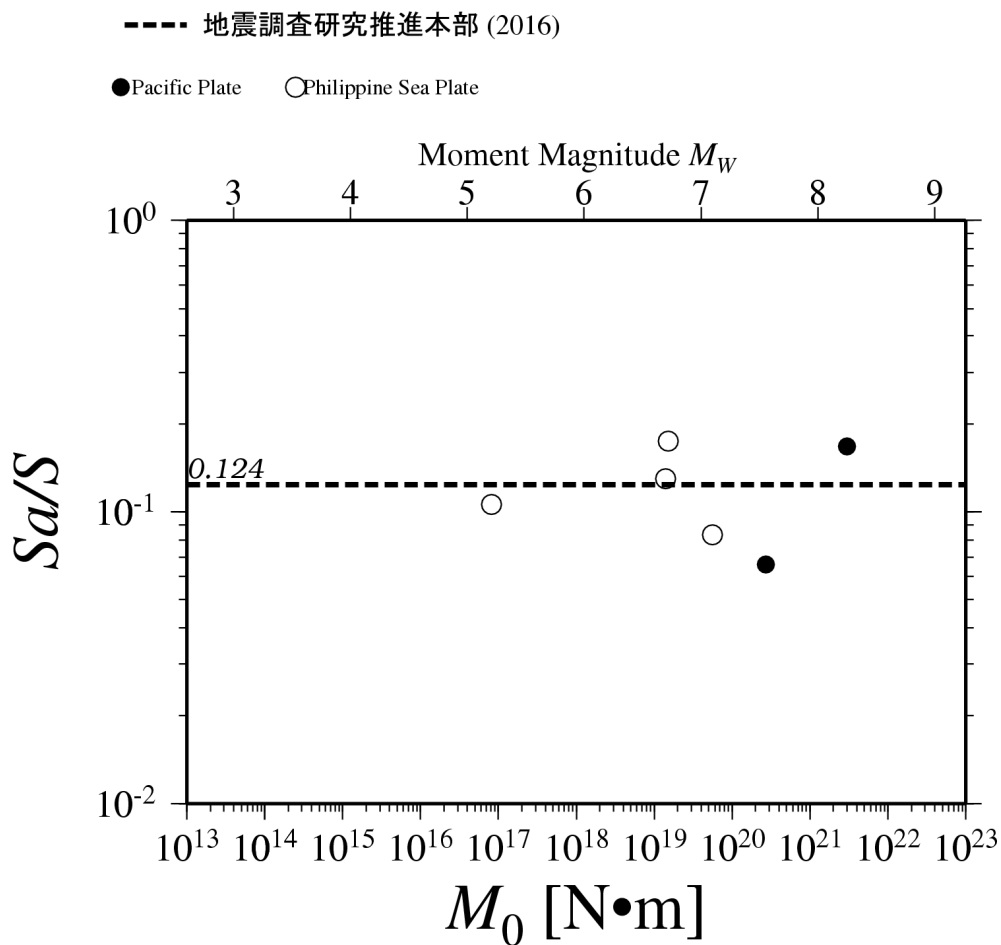


図 3.1.4-3 国内のスラブ内地震の地震モーメント M_0 とアスペリティの面積比 S_a/S との関係

図より、国内のスラブ内地震の地震モーメント M_0 とアスペリティの面積比 S_a/S との関係は、ある程度ばらつきはあるが、平均的に地震本部(2016)によるアスペリティの面積比の経験式と整合していることが分かる。

図 3.1.4-4 に国内のスラブ内地震の震源の深さ D と A/A_{sasatani} との関係を示す。図には、佐藤(2013)による震源深さ D と A/A_{dan} との経験的關係を震源深さ D と A/A_{sasatani} との経験的關係に直した線も示す。

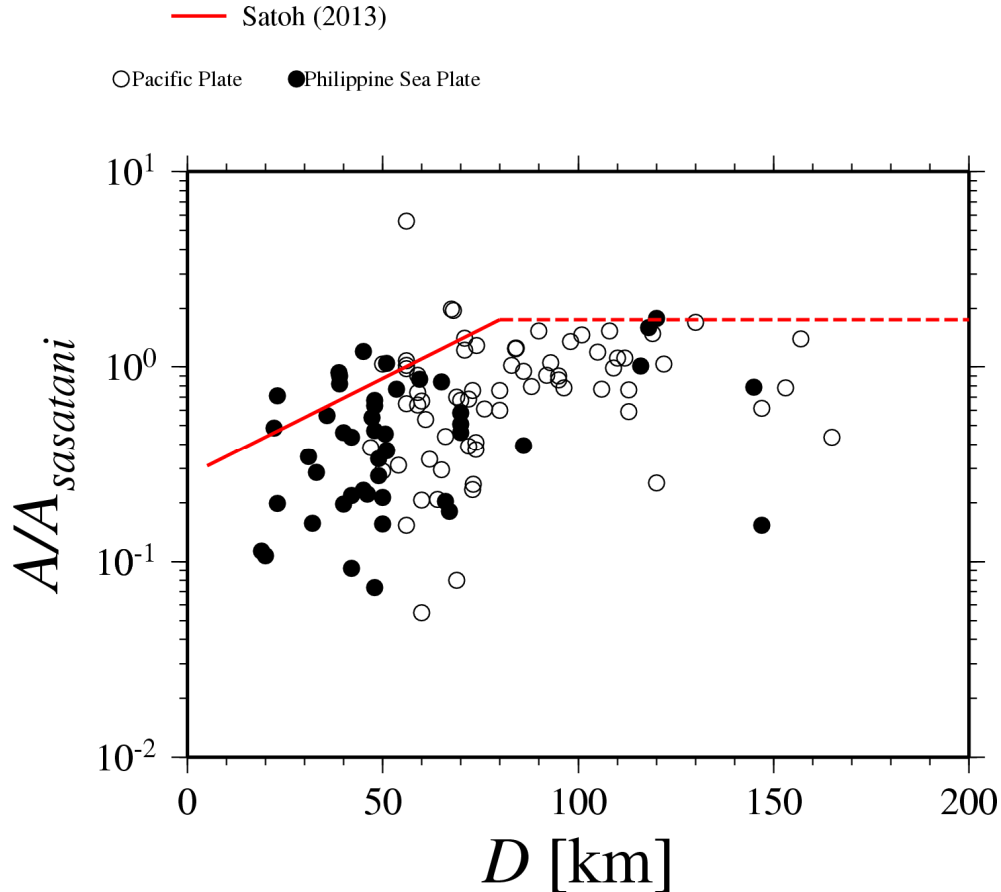


図 3.1.4-4 国内のスラブ内地震の震源の深さ D と $A/A_{sasatani}$ との関係

図より、深さとともに $A/A_{sasatani}$ が若干大きくなっている傾向が見え、佐藤(2013)による経験的關係とほぼ対応しているが、ばらつきが大きいことがわかる。その原因の一つとして、佐藤(2013)の経験式は、 M_w 5 以上の地震データを対象に得られているが、今回のデータには M_w 5 以下の地震も多く含まれており、地震規模の依存性により短周期レベルの値が小さいことが考えられる。また、プレート別にみると、浅い地震の多いフィリピン海プレート内のスラブ内地震で $A/A_{sasatani}$ が 1 程度か 1 より小さく、深い地震の多い太平洋プレート内のスラブ内地震で 1 程度か 1 より大きく見え、プレートの地域性を示唆している。

b) 国外のスラブ内地震の断層パラメータの分析

図 3.1.4-5 に表 3.1.3-2 に示した国外のスラブ内地震の地震モーメント M_0 と短周期レベル A との関係を地域別に示す。図中、赤線は(3.1.4-1)式で示した笹谷・他(2006)によるスラブ内地震の地震モーメント M_0 と短周期レベル $A_{sasatani}$ との経験的關係式で、点線部分は外挿である。黒線は、(3.1.4-2)式で示した壇・他(2001)による内陸地震の地震モーメント M_0 と

短周期レベル A_{dan} との経験的關係式である。太線は平均値で、細線はその 2 倍と 1/2、点線部分は外挿である。

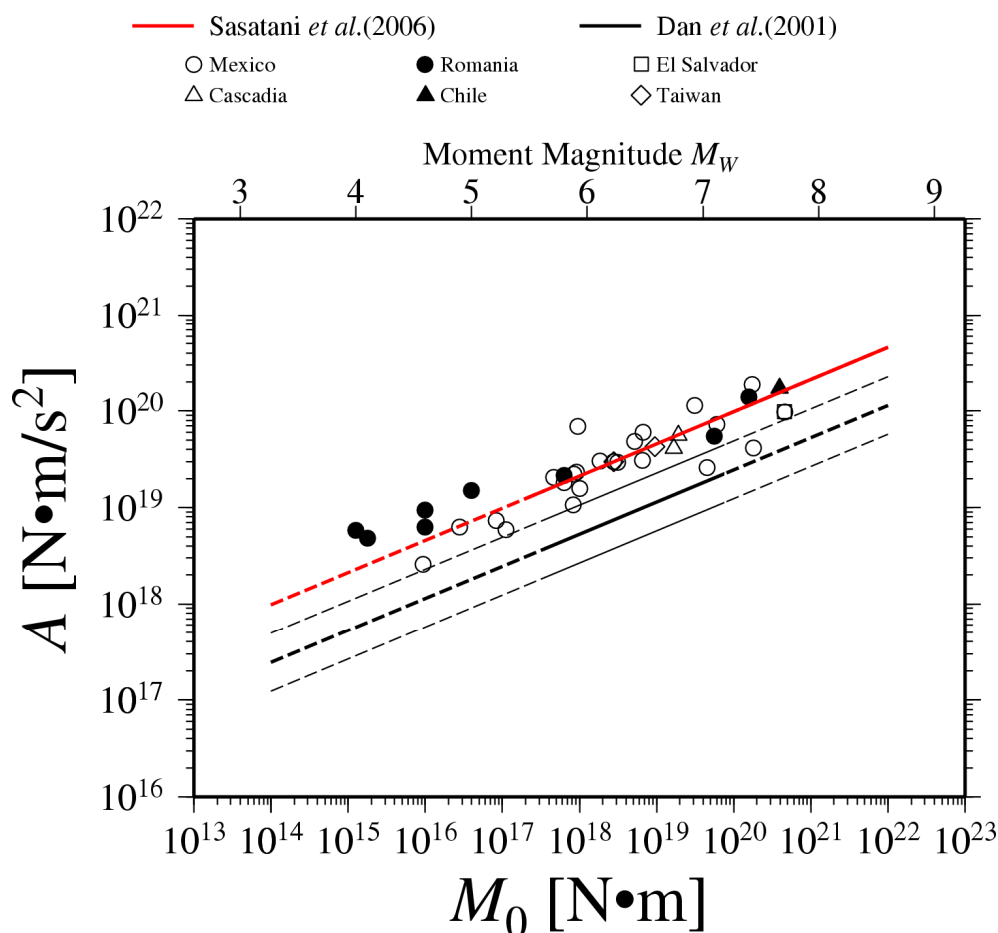


図 3.1.4-5 国外のスラブ内地震の地震モーメント M_0 と短周期レベル A との関係

図より、 M_w が 4~5 で、白丸印で示したメキシコのスラブ内地震の短周期レベルが笹谷・他(2006)による経験的關係式より系統的にやや小さく、黒丸印で示したルーマニアのスラブ内地震の短周期レベルがそれより系統的にやや大きいこと、 M_w が 6~8 では地域によらず、いずれのスラブ内地震の短周期レベルも笹谷・他による経験的關係式にほぼのっていることがわかる。

図 3.1.4-6 に表 3.1.3-2 に示した国外のスラブ内地震の地震モーメント M_0 とアスペリティの面積 S_a との關係を示す。図中、赤線は(3.1.4-3)式で示した笹谷・他(2006)によるスラブ内地震の地震モーメント M_0 とアスペリティの面積 $S_{a_{sasatani}}$ との経験的關係式で、黒線は(3.1.4-4)式で示した Somerville *et al.*(1999)による内陸地震の地震モーメント M_0 とアスペリティの面積 $S_{a_{somerville}}$ との経験的關係式である。

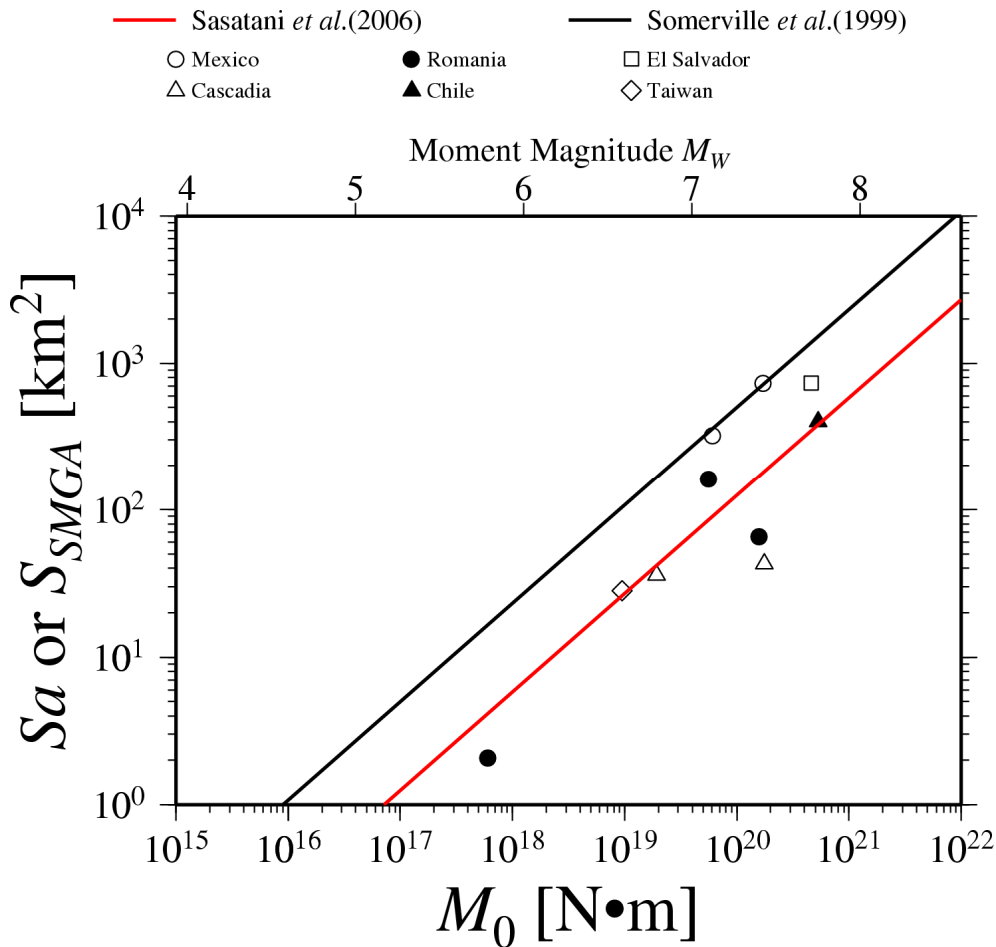


図 3.1.4-6 国外のスラブ内地震の地震モーメント M_0 とアスペリティの面積 S_a との関係

図より、国外のスラブ内地震の地震モーメントとアスペリティの面積との関係は、笹谷・他(2006)によるスラブ内地震の地震モーメントとアスペリティの面積との経験的關係式にほぼのっているが、 M_w が7~8でばらつきが大きいことがわかる。

図 3.1.4-7 に国外のスラブ内地震の震源の深さ D と $A/A_{sasatani}$ との關係を示す。図には、佐藤(2013)による震源深さ D と A/A_{dan} との経験的關係を震源深さ D と $A/A_{sasatani}$ との経験的關係に直した線も示す。

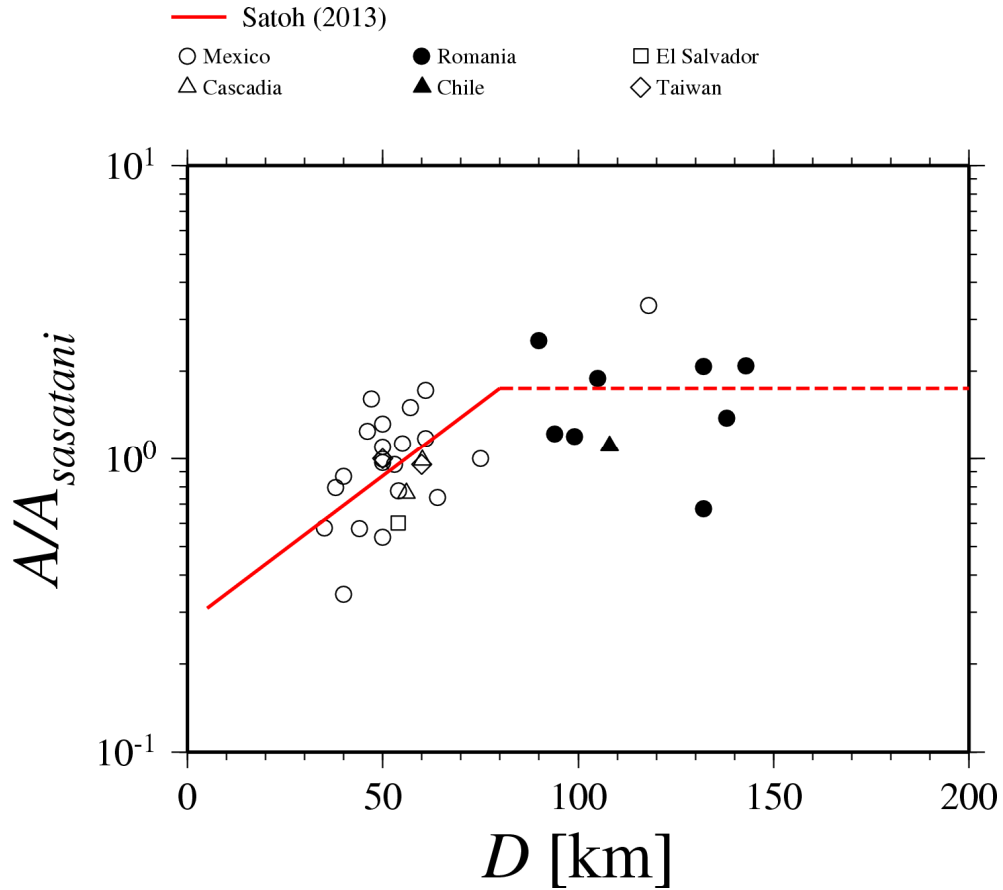


図 3.1.4-7 国外のスラブ内地震の震源の深さ D と $A/A_{sasatani}$ との関係

図より、深さとともに $A/A_{sasatani}$ が若干大きくなっており、佐藤(2013)による経験的關係とほぼ対応しているが、ばらつきが大きいことがわかる。また、地域ごとに深さがかたまっており、スラブを特定すればスラブ内地震が起こる深さもほぼ特定できる可能性があることがわかる。

3.1 節の参考文献

3.1.1

- 1) Atkinson, Gail M. and Raymond Casey (2003): A Comparison of Ground Motions from the 2001 M 6.8 In-Slab Earthquakes in Cascadia and Japan, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 93, No. 4, pp. 1823-1831.
- 2) Lin, Po-Shen and Chyi-Tyi Lee (2008): Ground-Motion Attenuation Relationships for Subduction-Zone Earthquakes in Northeastern Taiwan, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 98, No. 1, pp. 220-240.
- 3) Rodriguez-Perez, Quetzalcoatl (2014): Ground-Motion Prediction Equations for Near-Trench Interplate and Normal-Faulting Inslab Subduction Zone Earthquakes in Mexico, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 104, No. 1, pp. 427-438.

3.1.2

- 4) 池田孝・武村雅之・加藤研一 (2002): 強震記録に基づく北海道周辺のやや深発地震の高振動数成分の励起特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 560 号, pp. 67-73.
- 5) 池田孝・武村雅之 (2003): 2003 年 5 月 26 日宮城県沖の地震の高振動数成分の励起特性 - 過去に発生した北海道・東北地方のやや深発地震との比較-, 日本地震工学会・大会梗概集, pp. 108-109.
- 6) 加藤研一・武村雅之・八代和彦 (1998): 強震記録から評価した短周期震源スペクトルの地域性, 地震, 第 2 輯, 第 51 巻, pp. 123-138.
- 7) 加藤研一・武村雅之・入代和彦 (1999): やや深発地震の短周期地震動の励起強さとその地域性-最大加速度値に基づく検討-, 日本建築学会構造系論文集, 第521号, pp. 33-40.

3.1.3

- 8) Abe, Katsuyuki: Mechanics and tectonic implications of the 1966 and 1970 Peru earthquakes, Physics of the Earth and Planetary Interiors, Vol. 5, pp. 367-379, 1972.
- 9) Abdel-Fattah, A. K., M. Fnais, M. F. Abdelwahed, A. El-Nekhely, and W. Farid (2013): Fault

orientations in the upper crust beneath an intraplate active zone in northern Egypt, *Earth Planets Space*, 65, pp. 739-748.

- 10) Allen, Trevor I. and Gavin P. Hayes (2017): Alternative Rupture-Scaling Relationships for Subduction Interface and Other Offshore Environments, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 107, No. 3, pp. 1240-1253.
- 11) Arango, M. C., F. O. Strasser, J. J. Bommer, J. M. Cepeda, R. Boroschek, D. A. Hernandez, and H. Tavera (2012): An Evaluation of the Applicability of Current Ground-Motion Models to the South and Central American Subduction Zones, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 102, No. 1, pp. 143-168.
- 12) Asano, K., T. Iwata, and K. Irikura (2003): Source characteristics of shallow intraslab earthquakes derived from strong-motion simulations, *Earth, Planets and Space*, Vol. 55, pp. e5-e8.
- 13) Asano, K., T. Iwata, and K. Irikura (2004): Characterization of source models of shallow intraslab earthquakes using strong motion data, *Proceedings of 13th WCEE*, No. 835.
- 14) Astafyeva, Elvira and Kosuke Heki (2009): Dependence of waveform of near-field coseismic ionospheric disturbances on focal mechanisms, *Earth Planets Space*, 61, pp. 939-943.
- 15) Astiz, Luciana and Hiroo Kanamori (1986): INTERPLATE COUPLING AND TEMPORAL VARIATION OF MECHANISMS OF INTERMEDIATE-DEPTH EARTHQUAKES IN CHILE, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 76, No. 6, pp. 1614-1622.
- 16) Atkinson, Gail M. and David M. Boore (2003): Empirical Ground-Motion Relations for Subduction-Zone Earthquakes and Their Application to Cascadia and Other Regions, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 93, No. 4, pp. 1703-1729.
- 17) Atkinson, Gail M. (2005): Ground Motions for Earthquakes in Southwestern British Columbia and Northwestern Washington: Crustal, In-Slab, and Offshore Events, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 95, No. 3, pp. 1027-1044.
- 18) Bai, Ling, Ichiro Kawasaki, Tianzhong Zahng, and Yuzo Ishikawa (2006): An improved double-difference earthquake location algorithm using *sP* phases: application to the foreshock

and aftershock sequences of the 2004 earthquake offshore of the Kii peninsula, Japan ($M_w=7.5$), *Earth Planets Space*, 58, pp. 823-830.

- 19) Baker, Glenn Eli and Charles A. Langston (1987): Source parameters of the 1949 magnitude 7.1 south Puget Sound, Washington, earthquake as determined from long-period body waves and strong ground motions, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 77, No. 5, pp. 1530-1557.
- 20) Booth, Derek B., Ray E. Wells, and Robert W. Givler (2004): Chimney Damage in the Greater Seattle Area from the Nisqually Earthquake of 28 February 2001, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 94, No. 3, pp. 1143-1158.
- 21) Chen, Wang-Ping (1990): Source Parameters of Earthquakes and Intraplate Deformation Beneath the Shillong Plateau and the Northern Indoburman Ranges, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, Vol. 95, No. B8, pp. 12527-12552.
- 22) Delouis, Bertrand and Denis Legrand (2007): M_w 7.8 Tarapaca intermediate depth earthquake of 13 June 2005 (northern Chile): Fault plane identification and slip distribution by waveform inversion, *Geophysical Research Letters*, Vol. 34, L01304.
- 23) Eberhart-Phillips, Donna and Graeme McVerry (2003): Estimating Slab Earthquake Response Spectra from a 3D Q Model, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 93, No. 6, pp. 2649-2663.
- 24) Furumura, T. and S. K. Singh (2002): Regional Wave Propagation from Mexican Subduction Zone Earthquakes: The Attenuation Functions for Interplate and Inslab Events, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 92, No. 6, pp. 2110-2125.
- 25) Garcia, Daniel, Shri Krishna Singh, Miguel Herraiz, Javier Francisco Pacheco, and Mario Ordaz (2004): Inslab Earthquakes of Central Mexico: Q , Source Spectra, and Stress Drop, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 94, No. 3, pp. 789-802.
- 26) Garcia, Daniel, Shri Krishna Singh, Miguel Herraiz, Mario Ordaz, and Javier Francisco Pacheco (2005): Inslab Earthquakes of Central Mexico: Peak Ground-Motion Parameters and Response Spectra, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 95, No. 6, pp. 2272-2282.

- 27) Garcia, Daniel, Shri Krishna Singh, Miguel Herraiz, Mario Ordaz, and Javier Francisco Pacheco (2009): Inslab Earthquakes of Central Mexico: Peak Ground-Motion Parameters and Response Spectra, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 99, No. 4, pp. 2607-2609.
- 28) Garcia, D., D. J. Wald, and M. G. Heame (2012): A Global Earthquake Discrimination Scheme to Optimize Ground-Motion Prediction Equation Selection, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 102, No. 1, pp. 185-203.
- 29) Harada, Tomoya and Katsuhiko Ishibashi (2008): Interpretation of the 1993, 2001, and 2002 Guam Earthquakes as Intraslab Events by a Simultaneous Relocation of the Mainshocks, Aftershocks, and Background Earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 98, No. 3, pp. 1581-1587.
- 30) Harada, Satoshi, Katsuhiro Kamae, Hidenori Kawabe & Hirotohi Uebayashi (2012): Source modeling of the off Miyagi Intraslab Earthquake ($M_{JMA}=7.1$) occurred on April 7, 2011, 15WCEE.
- 31) Hashida, T., G. Stavrakakis and K. Shimazaki (1988): Three-dimensional seismic attenuation structure beneath the Aegean region and its tectonic implication, *Tectonophysics*, 145, pp. 43-54.
- 32) Hernandez, B., N. M. Shapiro, S. K. Singh, J. F. Pacheco, F. Cotton, M. Campillo, A. Iglesias, V. Cruz, J. M. Gomez, and L. Alcantara (2001): Rupture history of September 30, 1999 intraplate earthquake of Oaxaca, Mexico ($M_W=7.5$) from inversion of strong-motion data, *Geophysical Research Letters*, Vol. 28, No. 2, pp. 363-366.
- 33) Hurukawa, Nobuo, Mihaela Popa, and Mircea Radulian (2008): Relocation of large intermediate-depth earthquakes in the Vrancea region, Romania, since 1934 and a seismic gap, *Earth Planets Space*, 60, pp. 565-572.
- 34) Ichinose, Gene A., Hong Kie Thio, and Paul G. Somerville (2004): Rupture process and near-source shaking of the 1965 Seattle-Tacoma and 2001 Nisqually, intraslab earthquakes, *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, L10604.

- 35) Ichinose, Gene A., Hong Kie Thio, and Paul G. Somerville (2006): Moment tensor and rupture model for the 1949 Olympia, Washington, earthquake and scaling relations for Cascadia and global intraslab earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 96, No. 3, pp. 1029-1037.
- 36) Iglesias, A., S. K. Singh, J. F. Pacheco, and M. Ordaz (2002): A Source and Wave Propagation Study of the Copalillo, Mexico, Earthquake of 21 July 2000 (*M*_w 5.9): Implications for Seismic Hazard in Mexico City from Inslab Earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 92, No. 3, pp. 1060-1071.
- 37) Iwata, Tomotaka and Kimiyuki Asano (2011): Characterization of the heterogeneous source model of intraslab earthquakes toward strong ground motion prediction, *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 168, pp. 117-124.
- 38) Kakehi, Y. (2004): Analysis of the 2001 Geiyo, Japan, earthquake using high-density strong ground motion data: Detailed rupture process of a slab earthquake in a medium with a large velocity contrast, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 109, B08306.
- 39) Kanamori, Hiroo and Don L. Anderson (1975): THEORETICAL BASIS OF SOME EMPIRICAL RELATIONS IN SEISMOLOGY, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 65, No. 5, pp. 1073-1095.
- 40) Kanno, T., A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara, and Y. Fukushima (2006): A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Data, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 96, No. 3, pp. 879-897.
- 41) Kikuchi, M., and H. Kanamori (1995): The Shikotan earthquake of October 4, 1994: lithospheric earthquake, *Geophysical Research Letters* 22, pp. 1025-1028.
- 42) Kundu, Bhaskar, V. K. Gahalaut (2012): Earthquake occurrence processes in the Indo-Burmese wedge and Sagaing fault region, *Tectonophysics*, 524-525, pp. 135-146.
- 43) Kundu, Bhaskar, H. Nankali, Punit Malik, R. K. Yadav, and V. K. Gahalaut (2014): Coseismic Offsets due to Intermediate Depth 16 April 2013 Southeast Iran Earthquake (*M*_w 7.8), *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 104, No. 3, pp. 1562-1566.

- 44) Lay, Thorne, Hiroo Kanamori, Charles J. Ammon, Alexander R. Hutko, Kevin Furlong, and Luis Rivera (2009): The 2006-2007 Kuril Islands great earthquake sequence, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, Vol. 114, No. B11308.
- 45) Lin, Po-Shen and Chyi-Tyi Lee (2008): Ground-Motion Attenuation Relationships for Subduction-Zone Earthquakes in Northeastern Taiwan, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 98, No. 1, pp. 220-240.
- 46) Malgrange, M. and R. Madariaga (1983): Complex distribution of large thrust and normal fault earthquakes in the Chilean subduction zone, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, Vol. 73, pp. 489-505.
- 47) Mallick, Rishav, Revathy M. Parameswaran, and Kusala Rajendran (2017): The 2005 and 2010 Earthquakes on the Sumatra-Andaman Trench: Evidence for Post-2004 Megathrust Intraplate Rejuvenation, Bulletin of the Seismological Society of America.
- 48) McNeill, A. F., M. G. Bostock, G. C. Rogers, and J. C. Shragge (2004): The Effect of Forearc Mantle Serpentinization on Ground Motions from Megathrust and Intraslab Events in the Cascadia Subduction Zone, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 94, No. 1, pp. 147-154.
- 49) Mellors, R. J., J. Jackson, S. Myers, R. Gok, K. Priestley, G. Yetirmishli, N. Turkelli, and T. Godoladze (2012): Deep Earthquakes beneath the Northern Caucasus: Evidence of Active or Recent Subduction in Western Asia, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 102, No. 2, pp. 862-866.
- 50) Mikumo, Takashi, Shri Krishna Singh, and Miguel A. Santoyo (1999): A Possible Stress Interaction between Large Thrust and Normal Faulting Earthquakes in the Mexican Subduction Zone, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 89, No. 6, pp. 1418-1427.
- 51) Morikawa, N., and H. Fujiwara (2013): A New Ground Motion Prediction Equation for Japan Applicable up to M9 Mega-Earthquake, Journal of Disaster Research, Vol.8, No.5, pp.878-888.
- 52) Morikawa, N., and T. Sasatani (2004): Source models of two large intraslab earthquakes from broadband strong ground motions, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 94, pp. 803-817.

- 53) Obana, Koichiro, Shuichi Kodaira, Yasuyuki Nakamura, Takeshi Sato, Gou Fujie Tsutomu Takahashi and Yojiro Yamamoto (2014): Aftershocks of the December 7, 2012 intraplate doublet near the Japan Trench axis, *Earth, Planets and Space*.
- 54) Ohta, Yusaku, Satoshi Miura, Mako Ohzono, Saeko Kita, Takeshi Inuma, Tomotsugu Demachi, Kenji Tachibana, Takashi Nakayama, Satoshi Hirahara, Syuichi Suzuki, Toshiya Sato, Naoki Uchida, Akira Hasegawa, and Norihito Umino (2012): Large intraslab earthquake (2011 April 7, M 7.1) after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (M 9.0): Coseismic fault model based on the dense GPS network data, *Earth Planets Space*, 63, pp. 1207-1211.
- 55) Okada, T. and A. Hasegawa (2003): The M 7.1 May 26, 2003 off-shore Miyagi prefecture earthquake in northeast Japan: Source process and aftershock distribution of an intra-slab event, *Earth Planets Space*, Vol. 55, pp. 731-739.
- 56) Parameswaran, Revathy M. and Kusala Rajendran (2016): The 2016 M_w 6.7 Imphal Earthquake in the Indo-Burman Range: A Case of Continuing Intraplate Deformation within the Subducted Slab, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 106, No. 6, pp. 2653-2662.
- 57) Park, Sun-Cheon and Jim Mori (2005): The 2004 sequence of triggered earthquakes off the Kii peninsula, Japan, *Earth Planets Space*, 57, pp. 315-320.
- 58) Park, Sun-Cheon, Min-Kyung Kong, Eun Hee Park, Won Young Yun, and In-Kyeong Hahm (2012): Source parameters of the 2011 Yellow Sea earthquake (M_L 5.3): Different features from earthquakes on the Korean Peninsula, *Earth Planets Space*, 64, pp. 379-388.
- 59) Rodriguez-Perez, Quetzalcoatl (2014): Ground-Motion Prediction Equations for Near-Trench Interplate and Normal-Faulting Inslab Subduction Zone Earthquakes in Mexico, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 104, No. 1, pp. 427-438.
- 60) Santoyo, Miguel A., Shri K. Singh, and Takeshi Mikumo (2005): Source process and stress change associated with the 11 January, 1997 ($M_w=7.1$) Michoacan, Mexico inslab earthquake, *Geofisica Internacional*, Vol. 44, No. 4, pp. 317-330.
- 61) Seno, Tetsuzo and Masaki Yoshida (2004): Where and why do large shallow intraslab earthquakes occur?, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, Vol. 141, pp. 183-206.

- 62) Shimazaki, Kunihiko (1978): CORRELATION BETWEEN INTRAPLATE SEISMICITY AND INTERPLATE EARTHQUKES IN TOHOKU, NORTHEAST JAPAN, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 68, No. 1, pp. 181-192.
- 63) Si, H., S. Midorikawa, H. Tsutsumi, C. Wu, T. Masatsuki, and A. Noda (2013): Preliminary Analysis of Attenuation Relationship for Response Spectra on Bedrock based on Strong Motion Records Including the 2011 Mw 9.0 Tohoku Earthquake, 10CUEE CONFERENCE PROCEEDINGS 10th International Conference on Urban Earthquake Engineering, pp.113-117.
- 64) Singh, S. K., X. Perez-Campos, V. H. Espindola, V. M. Cruz-Atienza, and A. Iglesias (2014): Intraslab earthquake of 16 June 2013 (Mw 5.9), one of the closest such events to Mexico City, Seismological Research Letters, Vol. 85, No. 2, pp. 268-277.
- 65) Skarlatoudis, A. A., C. B. Papazachos, B. N. Margaris, C. Ventouzi, I. Kalogeras, and the EGELADOS Group (2013): Ground-Motion Prediction Equations of Intermediate-Depth Earthquakes in the Hellenic Arc, Southern Aegean Subduction Area, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 103, No. 3, pp. 1952-1968.
- 66) Strasser, F. O., M. C. Arango, and J. J. Bommer (2010): Scaling of the Source Dimensions of Interface and Intraslab Subduction-zone Earthquakes with Moment Magnitude, Seismological Research Letters, Vol. 81.
- 67) Suzuki, Wataru, Tomotaka Iwata, Kimiyuki Asano, and Nobuyuki Yamada (2005): Estimation of the source model for the foreshock of the 2004 off the Kii peninsula earthquakes and strong ground motion simulation of the hypothetical Tonankai earthquake using the empirical Green's function method, Earth Planets Space, 57, pp. 345-350.
- 68) Suzuki, Wataru and Tomotaka Iwata (2007): Source model of the 2005 Miyagi-Oki, Japan, earthquake estimated from broadband strong motions, Earth Planets Space, 59, pp. 1155-1171.
- 69) Suzuki, W., S. Aoi, and H. Sekiguchi (2009): Rupture process of the 2008 northern Iwate, intraslab, earthquake derived from strong motion records, Bull. Seism. Soc. Am. Vol.99, pp. 2825-2835.

- 70) Takeo, M., S. Ide, and Y. Yoshida (1993): The 1993 Kushiro-Oki Japan earthquake A high stress-drop event in a subducting slab, *Geophysical research Letters*, Vol. 20, No. 23, pp. 607-2610.
- 71) Tanioka, Yuichiro, Kenji Satake, and Larry Ruff (1995): Analysis of seismological and tsunami data from the 1993 Guam earthquake, *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 144, pp. 823-837.
- 72) Tsurugi, M., T. Kagawa and K. Irikura (2012): Study on High Frequency Cut-off Characteristics of Ground Motions for Intra-Slab Earthquakes Occurred in Southwest Japan, 15WCEE.
- 73) Ueno, Tomotake, Takuo Shibutani, and Kiyoshi Ito (2008): Configuration of the Continental Moho and Philippine Sea Slab in Southwest Japan Derived from Receiver Function Analysis: Relation to Subcrustal Earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 98, No. 5, pp. 2416-2427.
- 74) Vallee, Martin, Michel Bouchon, and Susan Y. Schwartz (2003): The 13 January 2001 El Salvador earthquake: Amultidata analysis, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, No. B4.
- 75) Wada, Ikuko, Stephane Mazzotti, and Kelin Wang (2010): Intraslab Stresses in the Cascadia Subduction Zone from Inversion of Earthquake Focal Mechanisms, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 100, No. 5A, pp. 2002-2013.
- 76) Walter, Stephen R. (1986): INTERMEDIATE-FOCUS EARTHQUAKES ASSOCIATED WITH GORDA PLATE SUBDUCTION IN NORTHERN CALIFORNIA, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 76, No. 2, pp. 583-588.
- 77) Wong, Ivan G. (2005): Low Potential for Large Intraslab Earthquakes in the Central Cascadia Subduction Zone, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 95, No. 5, pp. 1880-1902.
- 78) Yagi, and Kikuchi (2001): Rupture process of the Geiyo earthquake of March 24, 2001 (Mw 6.7)(Reserved on March 9, 2001) (<http://wwwweic.eri.u-tokyo.ac.jp/yuji/Aki-nada/>).
- 79) Zhao, John X., Fei Jiang, Pan Shi, Hao Xing, Haifeng Huang, Ruibin Hou, Yingbin Zhang, Pengcheng Yu, Xiaowen Lan, David A. Rhoades, Paul G. Somerville, Kojiro Irikura, and

Yoshimitsu Fukushima (2016): Ground-Motion Prediction Equations for Subduction Slab Earthquakes in Japan Using Site Class and Simple Geometric Attenuation Functions, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 106, No. 4, pp. 1535-1551.

- 80) Zhou, Y. H., L. S. Xu, and Y. T. Chen (2002): Source process of the 4 June 2000 southern Sumatra, Indonesia, earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 92, No. 5, pp. 2027-2035.
- 81) 青井真・関口春子・功刀卓・本多亮・藤原広行 (2003): 近地強震動記録による宮城県北部の地震(2003/05/26,18:24)の震源インバージョン, 防災科学研究所(<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/miyagi/toppage.html> 2017/2/16 アクセス).
- 82) 青井真・関口春子・功刀卓・森川信之・本田亮・藤原広行 (2005): 近地強震波形記録を用いた波形インバージョンによる 2003 年宮城県沖地震の震源破壊過程, 月刊地球, pp. 29-34, 2005.
- 83) 浅野公之・岩田知孝・入倉孝次郎 (2004): 2003 年 5 月 26 日に宮城県沖で発生したスラブ内地震の震源モデルと強震動シミュレーション, 地震, 第 2 輯, 第 57 卷, pp. 171-185.
- 84) 浅野公之・岩田知孝 (2010): 経験的グリーン関数法による 2009 年 8 月 11 日駿河湾の地震 (M_{JMA} 6.5) の震源モデルの推定と強震動シミュレーション, 北海道大学地球物理学研究報告, No. 73, pp. 137-147.
- 85) 新井健介・壇一男・石井透・花村正樹・藤原広行・森川信之 (2015): 強震動予測のためのスラブ内地震の断層パラメータ設定方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第 80 卷, 第 716 号, pp. 1537-1547.
- 86) 池田孝 (2010a): 2009 年 8 月に駿河湾で発生したスラブ内地震の高振動数成分の励起特性, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, pp. 289-296.
- 87) 池田孝 (2010b): 観測記録に基づいたスラブ内地震の短周期レベル, 北海道大学地球物理学研究報告, No. 73, pp. 71-85.
- 88) 池田孝・加藤研一・武村雅之 (2002b): 2001 年芸予地震の高振動数成分の励起特性, 第 11 回日本地震工学シンポジウム, pp. 119-124.

- 89) 池田孝・武村雅之・加藤研一 (2002): 強震記録に基づく北海道周辺のやや深発地震の高振動数成分の励起特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 560 号, pp. 67-73.
- 90) 池田孝・武村雅之・加藤研一 (2003): 強震記録に基づく東北地方周辺のやや深発地震の高振動数成分の励起特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 572 号, pp. 39-46.
- 91) 池田孝・武村雅之・加藤研一 (2004): 強震記録に基づくフィリピン海プレート内で発生するスラブ内地震の高振動数成分の励起特性 -北海道・東北地方のスラブ内地震との比較-, 日本建築学会構造系論文集, 第 586 号, pp. 53-61.
- 92) 石橋克彦・原田智也 (2008): 1995 年 4 月 18 日駿河湾北部の地震 (M 4.9) について-プレート間地震か海洋プレート内地震か?-, 地震, 第 2 輯, 第 61 巻, pp. 27-32.
- 93) 伊藤佳洋・山田雅行・岡部登・野津厚・永雄毅・高橋宏彰・水谷亮祐 (2015): 1703 年元禄関東地震の震度分布と整合的な SPGA モデルの作成事例, 土木学会論文集 A1, Vol. 71, No. 4, pp. I401-I407.
- 94) 岩田知孝・浅野公之 (2010): 強震動予測のためのスラブ内地震の特性化震源モデルの構築と検証, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, pp. 1893-1898.
- 95) 植竹富一 (2016): 茨城県沖・福島県沖の地震の深さが東京湾岸の長周期地震動に与える影響, 日本地震工学会論文集, 第 16 巻, 第 1 号, pp. 342-351.
- 96) 上野寛・追田浩司・吉田康宏 (2009): 近地強震波形を用いた駿河湾の地震 (平成 21 年 8 月 11 日; Mj6.5) の震源過程解析, 日本地震学会講演予稿集秋季大会, P1-19, p.160.
- 97) 岡本響・大蔵敬宏・瀬野徹三 (2008): 九州地方中南部におけるフィリピン海スラブ内地震活動, 地震, 第 2 輯, 第 61 巻, pp. 77-90.
- 98) 笥楽磨 (2010): 東北日本弧の構造と強震動: 福島県沖のスラブ内地震とプレート境界地震による強震動, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, PP. 3850-3857.
- 99) 笠谷直矢・笥楽磨 (2014): スペクトルインバージョンに基づく宮城県沖のスラブ内地震とプレート境界地震の震源特性, 地震, 第2輯, 第67巻, pp. 57-79.
- 100) 加藤研一・武村雅之・入代和彦 (1999): やや深発地震の短周期地震動の励起強さとその

地域性-最大加速度値に基づく検討-, 日本建築学会構造系論文集, 第521号, pp. 33-40.

- 101) 川辺秀憲・釜江克宏・上林宏敏 (2010): 2009年駿河湾の地震(Mj6.5)の震源モデル, 日本建築学会大会(北陸), pp.707-708.
- 102) 神田克久・武村雅之 (2005): 震度データから検証する宮城県沖で発生する被害地震の繰り返し, 地震, 第2輯, 第58巻, pp. 177-198.
- 103) 菊地正幸 (2003): リアルタイム地震学, 東京大学出版, pp. 142-143.
- 104) 倉橋奨・入倉孝次郎・宮腰研・正木和明 (2009): 2009年駿河湾を震源とする地震の震源モデルの構築と波形シミュレーション, 日本地震学会講演予稿集秋季大会, P1-20, p.160.
- 105) 国土地理院 (2003): 2003年5月26日宮城県沖の地震に伴う地殻変動について, 地理院報道発表資料 5月26日 (<http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2003-0527.html> 2017/2/16 アクセス).
- 106) 古村孝志・中村操 (2006): 1944年東南海地震記録の復元と関東の長周期地震動, 物理探査, 第59巻, 第4号, pp. 337-351.
- 107) 笹谷努・森川信之・前田宣浩 (2006): スラブ内地震の震源特性, 北海道大学地球物理学研究報告, No. 69, pp. 123-134.
- 108) 佐藤智美 (2004a): 宮城県沖のスラブ内地震とプレート境界地震の短周期レベルの推定, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第1号, pp. 1-4.
- 109) 佐藤智美 (2004b): 強震記録に基づく2003年宮城県沖の地震の大加速度の成因に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第581号, pp.31-38.
- 110) 佐藤智美 (2006): フィリピン海プレートの海溝型地震による短周期地震動の散乱理論に基づく経時特性モデル, 日本建築学会構造系論文集, 第601号, pp.75-82.
- 111) 佐藤智美 (2009): 2009年駿河湾の地震の短周期レベルと距離減衰特性, 日本地震学会大会, p. 161.

- 112) 佐藤智美 (2010a): 日本のスラブ内地震とプレート境界地震の水平・上下動の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 第 75 巻, 第 647 号, pp.67-76.
- 113) 佐藤智美 (2010b): スペクトルインバージョンと経験的グリーン関数法に基づく 2009 年駿河湾の地震の震源モデルの推定, 日本建築学会構造系論文集, 第 75 巻, 第 658 号, pp.2153-2162.
- 114) 佐藤智美 (2012): 経験的グリーン関数法に基づく2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデル-プレート境界地震の短周期レベルに着目して-, 日本建築学会構造系論文集, 第 77 巻, 第 675 号, pp. 695-704.
- 115) 佐藤智美 (2013): 東北地方のアウトラーイズ地震、スラブ内地震、プレート境界地震の短周期レベルと f_{max} 及び距離減衰特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 78 巻, 第 689 号, pp. 1227-1236.
- 116) 佐藤智美 (2015a): 表面波と散乱波を経験的に考慮した統計的グリーン関数生成手法に基づく 1987 年千葉県東方沖地震 (Mj6.7) の強震動シミュレーション, 日本地震工学会論文集, 第 15 巻, 第 7 号, pp. 34-48.
- 117) 佐藤智美 (2015b): 相模トラフ沿いの中規模スラブ内地震記録に基づく表面波と散乱波を考慮した統計的グリーン関数, 日本地震工学会論文集, 第 15 巻, 第 1 号, pp. 116-135.
- 118) 佐藤智美 (2016a): 太平洋プレートの海溝型地震の広帯域震源モデルに基づく微視的断層パラメータの特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 81 巻, 第 724 号, pp. 937-947.
- 119) 佐藤智美 (2016b): 経験的グリーン関数法に基づく 1855 年安政江戸地震の広帯域震源モデルと首都圏及び広域での強震動の推定, 日本建築学会構造系論文集, 第 81 巻, 第 727 号, pp. 1423-1433.
- 120) 佐藤智美・大川出・西川孝夫・佐藤俊明 (2012): 長周期地震動の経験式の改良と 2011 年東北地方太平洋沖地震の長周期地震動シミュレーション, 日本地震工学会論文集, 第 12 巻, 第 4 号, pp. 354-373.
- 121) 司宏俊・翠川三郎 (1999): 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 第 523 号, pp. 63-70.

- 122) 芝良昭・野口科子 (2012): 広帯域地震動を規定する震源パラメータの統計的特性-震源インバージョン解析に基づく検討-, 地球工学研究所 電力中央研究所報告書, N11054, pp.1-28.
- 123) 鈴木亘・青井真・関口春子 (2010): 複雑な断層面形状を考慮した 2009 年駿河湾の地震の震源過程の推定, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, PP. 3565-3571.
- 124) 関口春子・岩田知孝 (2002): 2001 年芸予地震の破壊過程と強震動, 月刊地球, 号外, No. 38, pp. 239-246.
- 125) 瀬野徹三 (2009): スラブ内地震活動とその発生メカニズム, 地震, 第 2 輯, 第 61 巻, pp. S357-S364.
- 126) 染井一寛・宮腰研・入倉孝次郎 (2012): 強震波形インバージョンから推定した 2011 年 4 月 7 日宮城県沖のスラブ内地震の震源過程, 日本地震学会大会, P3-50, p. 251.
- 127) 染井一寛・宮腰研・岡崎敦 (2012): 経験的グリーン関数法から推定した 2011 年 4 月 7 日宮城県沖のスラブ内地震の震源モデル, 日本建築学会大会, pp. 85-86.
- 128) 高田毅士・大淵正博 (2005): 地震動強さと継続時間の同時確率密度関数を用いた地震動の表現とその応用, 日本建築学会構造系論文集, 第 589 号, pp.73-80.
- 129) 谷岡勇市郎 (2004): 津波波形解析から推定される 1971 年 8 月 2 日十勝沖地震 (スラブ内地震) の断層モデルとその解釈, 地震, 第 2 輯, 第 56 巻, pp. 405-411.
- 130) 壇一男・武藤尊彦・宮腰淳一・渡辺基史 (2006): スラブ内地震による強震動を予測するための特性化震源モデルの設定方法, 日本建築学会構造系論文集, 第 600 号, pp. 35-42.
- 131) 鶴来雅人・香川敬生・入倉孝次郎 (2010): 西日本で発生するスラブ内地震の観測記録に見られる高周波数領域におけるスペクトル低減特性に関する検討, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, pp. 3826-3833.
- 132) 仲野健一・川瀬博・松島信一 (2014): スペクトルインバージョン手法に基づく強震動特性の統計的性質に関する研究 その 1 フーリエスペクトル・応答スペクトルから分離した平均特性, 日本地震工学会論文集, 第 14 巻, 第 2 号, pp. 67-83.

- 133) 野津厚 (2003): 表層地盤の非線形挙動を考慮した 1993 年釧路沖地震の強震動シミュレーション, 土木学会地震工学論文集, Vol. 27, No. 0202, pp. 1-8.
- 134) 野津厚 (2010): 2009 年 8 月 11 日駿河湾の地震(Mj6.5)の特性化震源モデル, 日本建築学会大会(北陸), pp.705-706.
- 135) 野津厚 (2014): 1703 年元禄地震の震度分布と整合的な SPGA モデルの作成事例, 土木学会論文集 A1, Vol. 70, No. 4, pp. I1089-I1095.
- 136) 野津厚 (2016): 2004 年紀伊半島南東沖地震の前震の疑似点震源モデルと強震動シミュレーション, 日本地震工学会論文集, 第 16 巻, 第 3 号, PP. 1-16.
- 137) 原田怜・釜江克宏 (2011): 2011 年 4 月 7 日宮城県沖のスラブ内地震の震源のモデル化, 京都大学原子炉実験所 (http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/jishin/eq/tohoku2/20110407_miyagioki_slab.pdf 2017/2/16 アクセス).
- 138) 引間和人・山中佳子・瀨瀬一起・菊地正幸 (2003): 強震動・遠地実体波による 2003 年 5 月 26 日宮城県沖の地震の震源過程, 日本地震学会講演予稿集, p.179.
- 139) 防災科学研究所 (2001): 2001年4月3日静岡県中部の地震活動, 地震予知連絡会会報, 第 66巻, 5-4, pp. 241-244.
- 140) 森川信之・笹谷努 (2000): 1969 年と 1994 年北海道東方沖地震による強震動記録の比較, 地震, 第 2 輯, 第 53 巻, pp. 73-77.
- 141) 森川信之・藤原広行 (2002): スラブ内地震のスケーリング則(2), 地球惑星科学関連学会 2002 年合同大会予稿集, S042-P013.
- 142) 森川信之・笹谷努・藤原広行 (2002): 経験的グリーン関数法によるスラブ内地震の震源モデルの構築, 第 11 回日本地震工学シンポジウム.
- 143) 八木勇治 (2003): 2003 年 5 月 26 日宮城県沖で発生した地震 (M_{jma} 7.0) の震源過程, 建築研究所 (http://iisee.kenken.go.jp/staff/yagi/eq/east_honshu20030526/east_honshu20030526-j.html, 2017/2/16 アクセス).
- 144) 山田雅行・伊藤佳洋・野津厚・長尾毅 (2015): 設計入力地震動作成のためのプレート内

地震の震源のモデル化手法, 土木学会論文集 B3, Vol. 71, No. 2, pp. I718-I723.

- 145) 山中佳子 (2011): 4月7日宮城沖地震 (M7.4), 名古屋大学地震 火山・防災研究センターリアルタイム地震学・NGY 地震学ノート, No. 37, (http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2011/NGY37.html 2017/2/16 アクセス).
- 146) 山中佳子・菊地正幸 (2003): 5月26日宮城県沖地震 (Mj7.0) 東京大学・地震火山情報センター・EIC 地震学ノート (http://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/EIC/EIC_News/030526n.html 2017/2/16 アクセス), No. 135.
- 147) 若井淳・長坂陽介・野津厚 (2014): 疑似点震源モデルによる2003年5月26日宮城県沖スラブ内地震の強震動シミュレーション, 土木学会論文集 A1, Vol. 70, No. 4, pp. I818-I829.

3.1.4

- 148) Somerville, P., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith and A. Kowada (1999): Characterizing crustal earthquake slip models for prediction of strong motion, *Seismological Research Letters*, Vol. 70, pp. 59-80.
- 149) 地震調査研究推進本部 (2016): 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), (http://www.jishin.go.jp/main/chousa/16_yosokuchizu/recipe.pdf 2017/2/22 アクセス).
- 150) 笹谷努・森川信之・前田宣浩 (2006): スラブ内地震の震源特性, 北海道大学地球物理学研究報告, No. 69, pp. 123-134.
- 151) 佐藤智美 (2013): 東北地方のアウトラーイズ地震, スラブ内地震, プレート境界地震の短周期レベルと f_{max} 及び距離減衰特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 87 巻, 第 689 号, pp. 1227-1236.
- 152) 壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・石井透 (2001): 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, No. 545, pp. 51-62.

3.2 アウターライズ地震の地震特性の調査

3.2.1 アウターライズ地震の地震動特性の調査

(1) 佐藤 (2013)

佐藤 (2013) は、東北地方で発生した正断層のアウターライズ地震に対する最大加速度、最大速度、減衰定数5%の加速度応答スペクトルの距離減衰式を作成した。

表3.2.1-1に、距離減衰式の検討に用いた東北地方のアウターライズ地震を、図3.2.1-1に震央位置とメカニズム解を示す。

佐藤 (2013) が用いた距離減衰式は、

$$\log_{10} Y = aM_W + bX - \log_{10} X + c_j \pm e \quad (3.2.1-1)$$

である。ここに、 Y は最大加速度PGA[cm/s²]、最大速度PGV[cm/s]、または減衰定数5%の加速度応答スペクトル[cm/s²]で、 M_W はモーメントマグニチュード、 X [km]は震源距離ある。また、 a 、 b 、 c_j は回帰係数で、 c_j はサイト係数である。全観測点のサイト係数の平均値を c_0 と表し、 V_s 600～800m/sの基盤、I種地盤、II種地盤、III種地盤の観測点のサイト係数の平均値を、 c_{700} 、 c_I 、 c_{II} 、 c_{III} と表している。 e は、 c_{700} 、 c_I 、 c_{II} 、 c_{III} を用いた場合の回帰誤差である。

表3.2.1-2は、最大加速度と最大速度の回帰係数である。ここに、*error*は各観測点での c_j を用いた場合の回帰誤差である。

図3.2.1-2に、2011年3月11日のアウターライズ地震OU1(M_W 7.5)の観測最大加速度および佐藤 (2013) によるアウターライズ地震の距離減衰式と既往研究によるスラブ内地震の距離減衰式の比較を示す。図より、既往の研究によるスラブ内地震の距離減衰式の外挿に比べ、観測の最大加速度は大きい、佐藤 (2013) によるアウターライズ地震の距離減衰式は、観測値をほぼ説明していることがわかる。

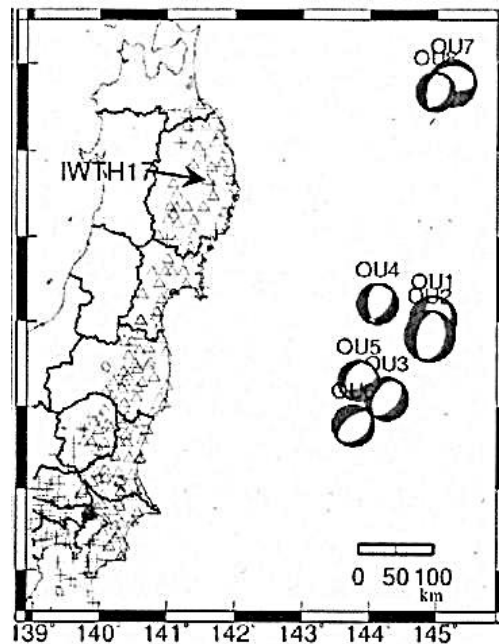
表3.2.1-1 佐藤 (2013) が断層パラメータの相似則の検討に用いた東北地方のアウトターライズ地震

表 1 地震諸元と本研究で推定した A 、 f_{max} 、 n

(e) アウターライズ地震

地震 番号	発震時*			深さ** km	M_J^*	M_0^{**} dyne · cm	M_w^{**}	A dyne · cm/s ²	f_{max} Hz	n
	年	月日	時:分							
OU1	2005	11月15日	6:38	14	7.2	4.06E+26	7.0	3.02E+26	11.9	4.0
OU2	2011	3月11日	15:25	20	7.5	2.46E+27	7.5	9.37E+26	10.1	4.0
OU3	2011	3月22日	16:18	8	6.7	3.43E+25	6.3	1.09E+26	11.8	4.0
OU4	2011	5月5日	23:58	8	6.1	1.09E+25	6.0	6.45E+25	12.7	4.0
OU5	2011	6月3日	9:05	11	6.1	8.76E+24	5.9	5.90E+25	14.0	4.0
OU6	2011	8月17日	20:44	5	6.2	1.50E+25	6.1	5.21E+25	11.7	4.0
OU7	2012	3月14日	18:08	8	6.9	3.54E+26	7.0	2.46E+26	10.7	4.0
OU8	2012	3月14日	19:49	5	6.0	6.86E+24	5.8	7.59E+25	10.1	4.0

*気象庁 **防災科学技術研究所の F-net
 イタリアックの地震番号は f_{max} 推定時の基準地震



(e) アウターライズ地震

図 1 震央位置(気象庁)とメカニズム解(F-net)及び強震観測点位置(△: 2地震以上が観測されている地点 +: 1地震のみが観測されている地点)

図3.2.1-1 佐藤 (2013) が断層パラメータの相似則の検討に用いた東北地方のアウトターライズ地震の震央位置とメカニズム解

表3.2.1-2 佐藤 (2013) が求めた東北地方のアウトライズ地震の距離減衰式の回帰係数

表 3 アウターライズ地震の
距離減衰式の回帰係数

	<i>PGA</i>	<i>PGV</i>
<i>a</i>	0.657	0.733
<i>b</i>	-0.00114	-0.00221
<i>c₀</i>	-0.478	-2.004
<i>c_I</i>	-0.505	-2.072
<i>c_{II}</i>	-0.422	-1.911
<i>c_{III}</i>	-0.481	-1.870
<i>c₁₀₀</i>	-0.562	-2.265
<i>e</i>	0.281	0.382
<i>error</i>	0.078	0.102

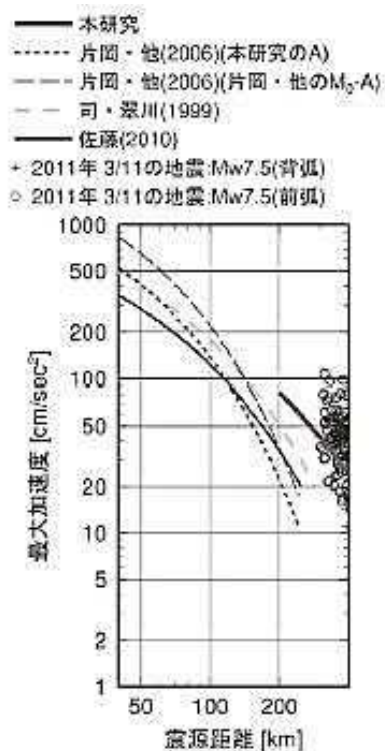


図 15 OU2 の観測最大加速度
と既往のスラブ内地震の距離
減衰式^{47),49),50)}、本研究のアウ
ターライズ地震の距離減衰式の
比較

図3.2.1-2 佐藤 (2013) が求めた東北地方のアウトライズ地震の

最大加速度の距離減衰式の例

(2) Rodriguez-Perez (2014)

Rodriguez-Perez (2014) は、中部メキシコで起った海溝近くの衝上断層によるアウターライズ地震 (モーメントマグニチュード5.1~8.0、震源深さ6~20 km) および南部メキシコで起った正断層のスラブ内地震 (モーメントマグニチュード5.0~7.2、震源深さ55~198 km) に対して、最大加速度、最大速度、および減衰定数5%の擬似加速度応答スペクトルの回帰モデルを作成した。

検討に用いたアウターライズ地震を表3.2.1-3に示す。また、震央分布を図3.2.1-3に示す。

検討に用いた地震動予測式は、

$$\log Y = c_1 + c_2 M_W + c_3 H + c_4 R - c_5 \log R + \sigma$$

である。ここに、 Y は最大速度(cm/s)、最大加速度(cm/s²)、もしくは減衰定数5%の擬似加速度応答スペクトル(cm/s²)の水平2成分の二乗和平方根、 $c_1 \sim c_5$ は回帰係数、 M_W はモーメントマグニチュード、 H は震源深さ(km)、 $R = (D_{\text{fault}}^2 + \Delta^2)^{0.5}$ で、 D_{fault} は断層の地表トレースまでの最短距離もしくは震源距離、 $\Delta = 0.00750 \times 10^{0.507} M_W$ である。また、 σ は誤差の標準偏差で、地震内の誤差の標準偏差を σ_r とし、地震間の誤差の標準偏差を σ_e とすると、 $\sigma = (\sigma_r^2 + \sigma_e^2)^{0.5}$ である。

表3.2.1-4にアウターライズ地震の回帰係数を示す。また、図3.2.1-4にアウターライズ地震の加速度応答スペクトルの例を示す。

中部メキシコの手溝近くのアウターライズ地震の地震動予測式は、スラブ内地震の地震動予測式よりも小さく、かつ中部メキシコの手プレート間地震の地震動予測式よりも小さいことを指摘している。

なお、本論文では、直接アウターライズ地震という言葉は使っていないが、手溝近くの衝上断層による地震を、スラブ内地震やプレート間地震と区別して考察を行っていたため、アウターライズ地震を対象にしていると判断した。

表3.2.1-3 Rodriguez-Perez (2014) が検討に用いたアウターライズ地震

Table 1
Near-Trench Thrust Interplate Events

Event	Date (yyyy/mm/dd)	Time (hh:mm:ss)	Longitude* (° E)	Latitude* (° W)	Depth (km)	M_w	Mechanism (Strike, Dip, Rake) (°)
1 [†]	1995/10/09	15:36:28	-104.50	18.80	15.0	8.0	(302, 9, 92)
2 [†]	1996/02/25	03:08:26	-98.30	15.60	15.0	7.1	(280, 16, 74)
3 [‡]	1996/02/26	01:37:34	-98.20	15.70	13.0	5.5	(253, 16, 56)
4 [‡]	1996/03/19	17:12:45	-97.60	15.50	15.0	5.8	(224, 17, 22)
5 [‡]	1997/07/19	14:22:18	-98.20	16.00	15.0	6.7	(282, 14, 78)
6 [†]	2002/04/18	05:03:15	-101.10	16.80	6.0	6.7	(291, 9, 89)
7 [†]	2002/04/18	17:57:37	-101.40	17.00	20.0	5.9	(273, 17, 81)
8 [‡]	2007/03/30	19:00:42	-99.06	15.87	16.0	5.1	(322, 56, 122)

*All locations are based on local/regional data.

[†]Focal mechanism and M_w from the Global CMT catalog, and location from Iglesias *et al.* (2003).

[‡]Focal mechanism, M_w and location from the National Autonomous University of Mexico, UNAM-Mexican CMT catalog.

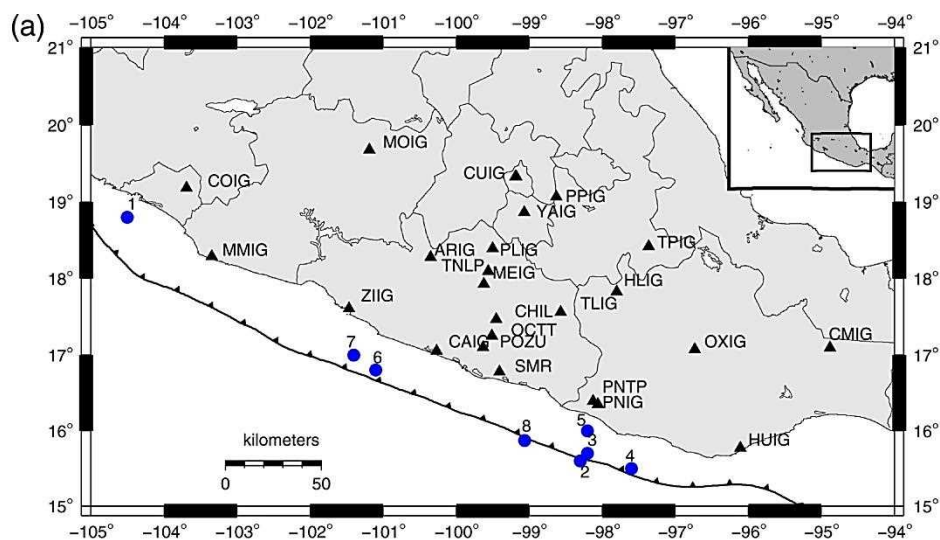


Figure 1. Map of (a) central Mexico region and (b) southern Mexico region showing the stations (triangles) and the epicenters (circles). The color version of this figure is available only in the electronic edition.

図3.2.1-3 Rodriguez-Perez (2014) が検討に用いたアウターライズ地震

表3.2.1-4 Rodriguez-Perez (2014) が統計処理で求めたアウターライズ地震の回帰係数

Table 3

Regression Coefficients of the Ground-Motion Relations for Near-Trench Events in Central Mexico

f (Hz)	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	σ	σ_r	σ_e
0.20	-2.7903	0.5844	-0.0050	0.0008	0.7850	0.34	0.32	0.11
0.25	-2.9584	0.6062	0.0022	0.0006	0.7369	0.32	0.30	0.10
0.33	-2.9877	0.5947	0.0091	0.0006	0.6287	0.33	0.31	0.10
0.50	-2.8916	0.5682	0.0156	0.0006	0.5917	0.39	0.37	0.12
0.67	-2.6288	0.5439	0.0205	0.0005	0.5893	0.43	0.41	0.14
1.00	-2.4817	0.5389	0.0243	0.0002	0.5669	0.43	0.41	0.14
1.33	-2.1798	0.5307	0.0265	-0.0001	0.5815	0.42	0.40	0.13
2.00	-1.6906	0.5171	0.0270	-0.0002	0.7313	0.43	0.42	0.14
2.50	-1.1774	0.5092	0.0263	-0.0001	0.9831	0.43	0.41	0.14
3.33	-0.9550	0.5087	0.0243	-0.0001	1.1475	0.42	0.40	0.13
5.00	-0.7533	0.5129	0.0211	-0.0003	1.2962	0.42	0.40	0.13
10.00	-0.6695	0.5094	0.0178	-0.0005	1.3684	0.42	0.40	0.13
13.33	-0.6695	0.5019	0.0154	-0.0006	1.3555	0.42	0.40	0.13
20.00	-0.9193	0.4987	0.0153	-0.0006	1.2683	0.42	0.40	0.13
25.00	-1.2115	0.5050	0.0161	-0.0005	1.2079	0.41	0.39	0.13
PGA	-1.2324	0.5016	0.0141	-0.0006	0.9432	0.37	0.35	0.12
PGV	-3.3589	0.5817	0.0000	-0.0005	0.3860	0.26	0.24	0.08

The regression equation is $\log Y = c_1 + c_2 M_w + c_3 H + c_4 R - c_5 \log R + \sigma$.

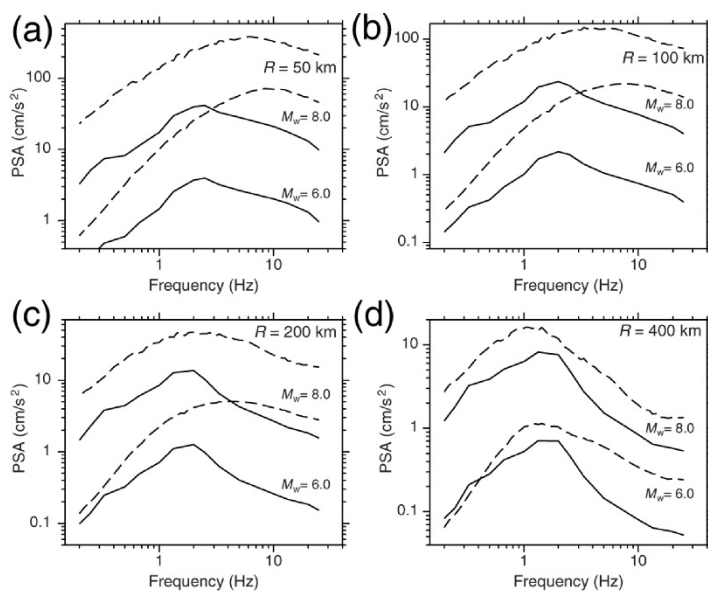


Figure 12. Predicted PSA response spectra for near-trench earthquakes of M_w 6.0 and 8.0 with $H = 15$ km, at the distances of (a) 50, (b) 100, (c) 200, and (d) 400 km. Dashed lines show predicted curves from Arroyo *et al.* (2010) for interplate events in central Mexico.

図3.2.1-4 Rodriguez-Perez (2014) によるアウターライズ地震の擬似加速度応答スペクトルの例 (実線)

3.2.2 アウターライズ地震のスケーリング則の調査

(1) 佐藤 (2013)

佐藤 (2013) は、東北地方で発生した正断層のアウターライズ地震、逆断層のスラブ内地震、正断層のスラブ内地震、プレート境界付近の横ずれ断層の地震、プレート境界付近の正断層の地震の5つのデータセットの強震記録を用いて、短周期レベル A 、 f_{max} 及び伝播経路の平均的 Q 値を推定し、短周期レベルと f_{max} の相似則を求めた。

表3.2.2-1に、断層パラメータの相似則の検討に用いた東北地方のアウターライズ地震を、図3.2.2-1に震央位置とメカニズム解を示す。

図3.2.2-2に、東北地方のアウターライズ地震の地震モーメントと短周期レベルとの関係を示す。図より、正断層のアウターライズ地震の地震モーメントと短周期レベルとの関係は、太平洋プレート間のプレート間地震の地震モーメントと短周期レベルとの関係と同レベルで、スラブ内地震より短周期レベルが小さいこと、既往の逆断層のアウターライズ地震である千島列島中部の2つの地震や紀伊半島付近の地震に比べても、短周期レベルが小さいことがわかる。

図3.2.2-3左に東北地方の地震の短周期レベルの深さ依存性を示す。また、壇・他 (2001) による短周期レベル A_{dan} に対する各地震の短周期レベルの比 A/A_{dan} は、深さ約80km以浅では、深いほど大きいことがわかる。図3.2.2-3右には、北海道のスラブ内地震や芸予地震の A/A_{dan} と震源深さとの関係を重ねて示しているが、この図からも、深さ約80km以浅では、深いほど大きいことがわかる。

図3.2.2-4には、東北地方の地震の地震モーメントと f_{max} との関係を示す。図より、 f_{max} は地震モーメントによらず一定であることがわかる。また、 f_{max} は、地震タイプ、応力降下量、震源深さにもよらず平均値は11.0Hzとなった。さらに、 f_{max} より高周波数領域での加速度震源スペクトルの傾きを表すパラメータ n は4.0と推定され、これは、 f^2 に反比例してスペクトルが減衰することを意味している。

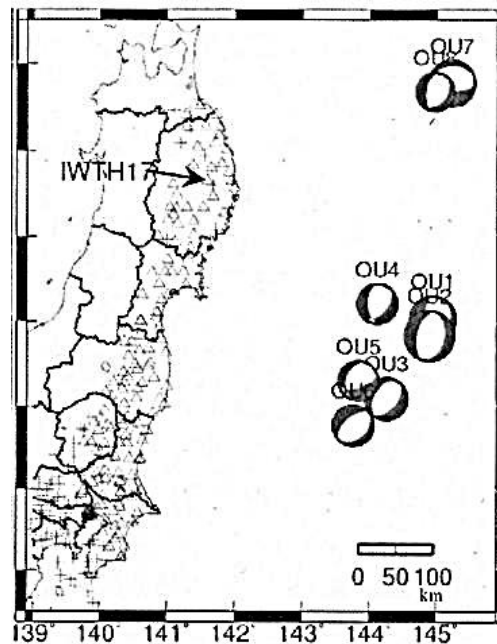
表3.2.2-1 佐藤 (2013) が断層パラメータの相似則の検討に用いた東北地方のアウトターライズ地震

表 1 地震諸元と本研究で推定した A 、 f_{max} 、 n

(e) アウターライズ地震

地震 番号	発震時*			深さ** km	M_J^*	M_0^{**} dyne · cm	M_w^{**}	A dyne · cm/s ²	f_{max} Hz	n
	年	月日	時:分							
OU1	2005	11月15日	6:38	14	7.2	4.06E+26	7.0	3.02E+26	11.9	4.0
OU2	2011	3月11日	15:25	20	7.5	2.46E+27	7.5	9.37E+26	10.1	4.0
OU3	2011	3月22日	16:18	8	6.7	3.43E+25	6.3	1.09E+26	11.8	4.0
OU4	2011	5月5日	23:58	8	6.1	1.09E+25	6.0	6.45E+25	12.7	4.0
OU5	2011	6月3日	9:05	11	6.1	8.76E+24	5.9	5.90E+25	14.0	4.0
OU6	2011	8月17日	20:44	5	6.2	1.50E+25	6.1	5.21E+25	11.7	4.0
OU7	2012	3月14日	18:08	8	6.9	3.54E+26	7.0	2.46E+26	10.7	4.0
OU8	2012	3月14日	19:49	5	6.0	6.86E+24	5.8	7.59E+25	10.1	4.0

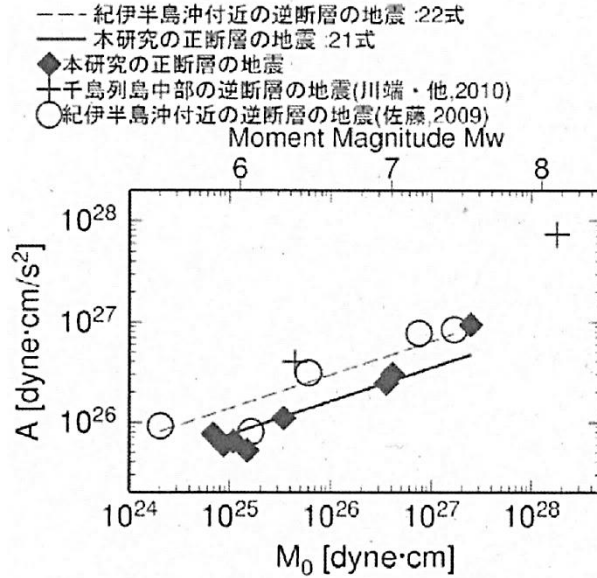
*気象庁 **防災科学技術研究所の F-net
 イタリアックの地震番号は f_{max} 推定時の基準地震



(e) アウターライズ地震

図 1 震央位置(気象庁)とメカニズム解(F-net)及び強震観測点位置(△: 2地震以上が観測されている地点 + : 1地震のみが観測されている地点)

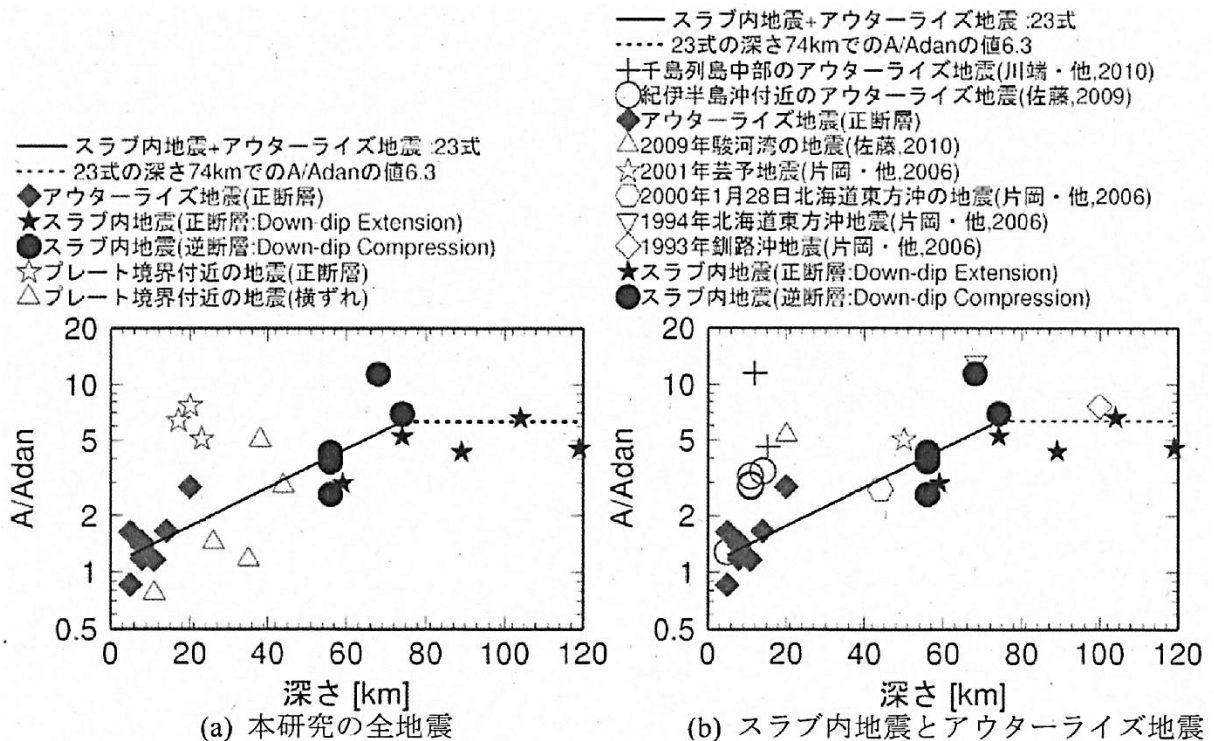
図3.2.2-1 佐藤 (2013) が断層パラメータの相似則の検討に用いた東北地方のアウトターライズ地震の震央位置とメカニズム解



(b) アウターライズ地震

図 11 M_0 と A の関係

図3.2.2-2 佐藤 (2013) が求めた東北地方のアウターライズ地震の地震モーメントと短周期レベルとの関係



(a) 本研究の全地震

(b) スラブ内地震とアウターライズ地震

図 12 震源深さ H と A/A_{dan} の関係

図3.2.2-3 佐藤 (2013) が求めた東北地方の地震の短周期レベルと深さとの関係

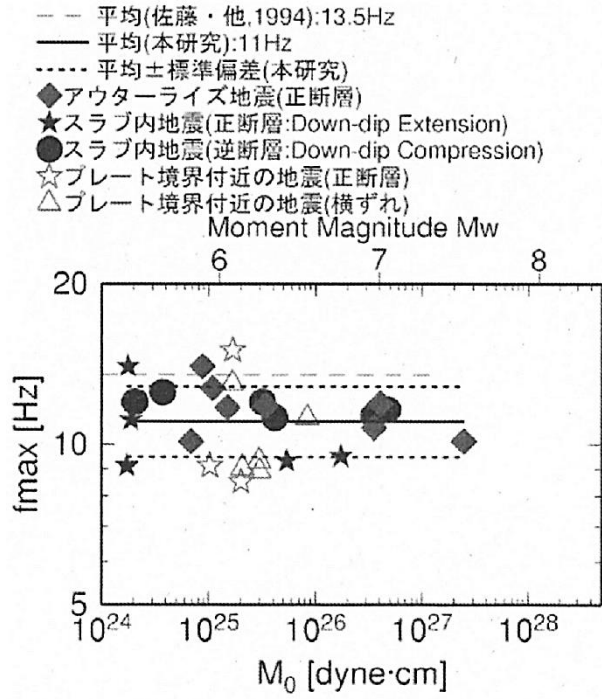


図 13 M_0 と f_{max} の関係

図3.2.2-4 佐藤 (2013) が求めた東北地方の地震の地震モーメントと f_{max} との関係

3.2.3 アウターライズ地震の断層パラメータの調査

本項では、国内外のアウターライズ地震の断層パラメータ、特に短周期レベルおよびアスペリティの面積の特徴について調べるために、下記の項目を調査した。調査の対象とした地震は現時点で下記の項目が入手できる地震を中心とした。

- ・ 震源位置
- ・ モーメントマグニチュード
- ・ 地震モーメント
- ・ 短周期レベル
- ・ アスペリティの応力降下量
- ・ アスペリティの面積
- ・ S 波速度

調査した国内の主なアウターライズ地震の震央と震源メカニズム解を図 3.2.3-1 に、国外のアウターライズ地震の(Global CMT Catalog にメカニズム解が載っている地震のみ)の震央と震源メカニズム解を図 3.2.3-2 に示す。また、調査結果を表 3.2.3-1 および表 3.2.3-2 に示す。

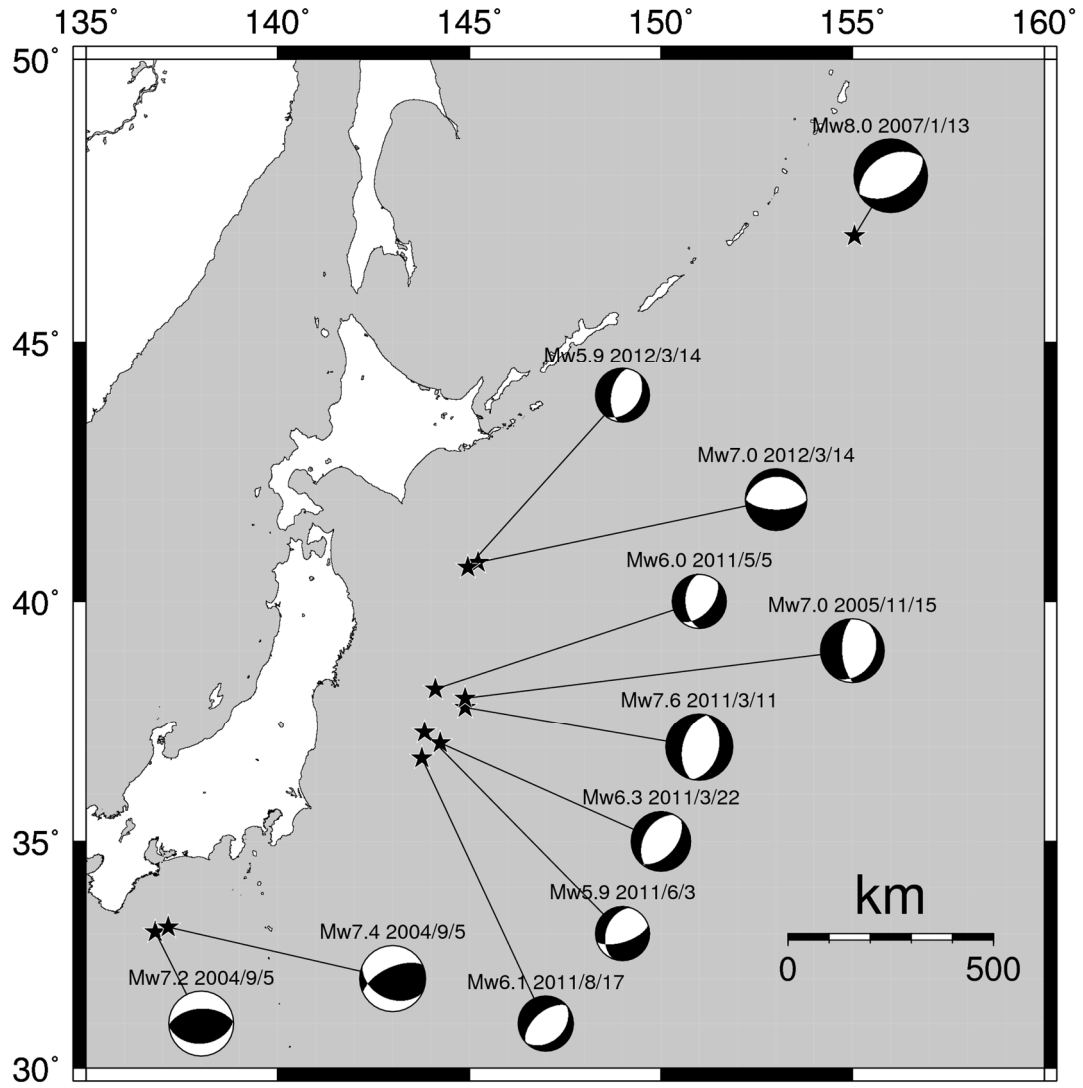


図 3.2.3-1 調査した国内の OUTER-RAISE 地震の震源メカニズム解

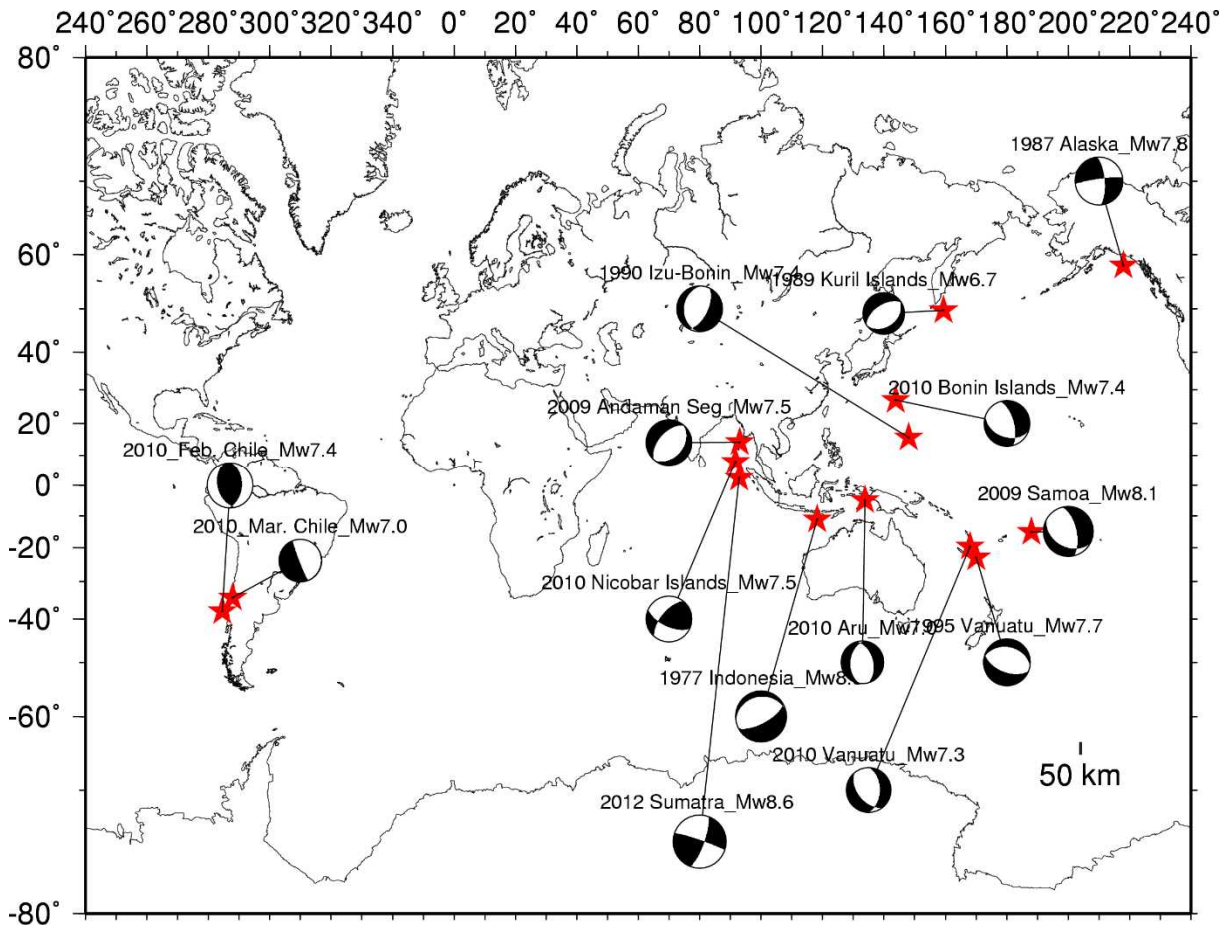


図 3.2.3-2 調査した国外のアウトーライズ地震の震源メカニズム解

(Global CMT Catalog にメカニズム解が載っている地震のみ)

表 3.2.3-1 国内のアウトライズ地震の断層パラメータの調査結果

赤字：作図で使用した値

地震番号	地域 (プレート)	地震名	発生日	震源位置			モーメントマグニチュード (M _w (M0から求めた))	地震モーメント (M ₀ (Nm))	短周期レベル (SMGA: Strong Motion Generation Area)		コーナー振動数	アスペリティの応力降下量	アスペリティの面積	S波速度	参考文献	備考
				緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]			A (N・m/s ²)	A (N・m/s ²)						
1	太平洋	三陸はるか沖	1933/3/3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	小山・都筑(2014)	●Mw8.4 ●正断層	
2	太平洋	千島列島	1963/3/16	46.8	154.8	*	*	*	*	*	*	*	*	Lay et al. (2009)	M _s =7.2; intraplate; the outer trench region; shallow compressional event; 2006/11/15と関連の可能性;	
3	太平洋	東北地方	2005/11/15	*	*	14	7.0	4.06E+19	3.02E+19	*	*	*	4.0	佐藤(2013)	表1.e)アウトライズ地震。スペクトルインバージョン。	
同上	同上	同上	同上	*	*	18	7.0	3.70E+19	*	1.93E+20	*	236.0	51.8	Sasatani et al. (2012)	β=4.0としてAを求めた	
同上	同上	同上	同上	38.2	144.8	12.9	7.0	3.70E+19	*	*	*	*	*	岡崎・他(2011)		
4	太平洋	千島列島中部	2007/1/13	46.2	154.8	12	8.1	1.78E+21	*	7.41E+20	*	SMGA1: 98 SMGA2: 107 SMGA3: 103 SMGA4: 125	SMGA1: 18*18 SMGA2: 18*18 SMGA3: 48*18 SMGA4: 30*18 total:2052	4.6	川端・他(2010)	
同上	同上	同上	同上	*	*	12	8.1	1.78E+21	*	7.38E+20	*	SMGA1: 107 SMGA2: 98 SMGA3: 98 SMGA4: 107 SMGA5: 130 SMGA6: 125	SMGA1: 324 SMGA2: 324 SMGA3: 324 SMGA4: 324 SMGA5: 324 SMGA6: 324 total: 1944	*	Sasatani et al. (2012)	β=4.6としてAを求めた
5	太平洋	東北地方	2011/3/11	*	*	20	7.5	2.46E+20	9.37E+19	*	*	*	4.0	佐藤(2013)	表1.e)アウトライズ地震。スペクトルインバージョン。	
同上	同上	同上	同上	*	*	21.1	7.6	3.10E+20	*	*	*	506.25	*	宮原・他(2013)		
同上	同上	同上	同上	*	*	21.1	7.6	3.10E+20	*	3.82E+20	*	SMGA1: 248 SMGA1: 98	SMGA1: 86.5 SMGA: 153.8 total: 240.3	*	Sasatani et al. (2012)	β=4.0としてAを求めた
6	太平洋	東北地方	2011/3/22	*	*	8	6.3	3.43E+18	1.09E+19	*	*	*	4.0	佐藤(2013)	表1.e)アウトライズ地震。スペクトルインバージョン。	
7	太平洋	東北地方	2011/5/5	*	*	8	6.0	1.09E+18	6.45E+18	*	*	*	4.0	佐藤(2013)	表1.e)アウトライズ地震。スペクトルインバージョン。	
8	太平洋	東北地方	2011/6/3	*	*	11	5.9	8.76E+17	5.90E+18	*	*	*	4.0	佐藤(2013)	表1.e)アウトライズ地震。スペクトルインバージョン。	
9	太平洋	東北地方	2011/8/17	*	*	5	6.1	1.50E+18	5.21E+18	*	*	*	4.0	佐藤(2013)	表1.e)アウトライズ地震。スペクトルインバージョン。	
10	太平洋	東北地方	2012/3/14 18:08	*	*	8	7.0	3.54E+19	2.46E+19	*	*	*	4.0	佐藤(2013)	表1.e)アウトライズ地震。スペクトルインバージョン。	
11	太平洋	東北地方	2012/3/14 19:49	*	*	5	5.8	6.86E+17	7.59E+18	*	*	*	4.0	佐藤(2013)	表1.e)アウトライズ地震。スペクトルインバージョン。	
12	太平洋	三陸沖	2012/12/7	*	*	57.8	*	*	*	*	*	*	*	Obana et al. (2014)	M _w =7.2: reverse fault;	
13	太平洋	福島県沖	2013/10/26	37.2	144.6	56	*	*	*	*	*	*	*	榎竹(2016)	●Mw7.1 (F-net) ●正断層	
14	フィリピン海	紀伊半島沖地震(前震)	2004/9/5	33.0	136.8	38.0	7.2	7.54E+19	7.70E+19	*	*	*	*	佐藤(2009)		
同上	同上	同上	同上	*	*	38.0	7.2	9.19E+19	*	6.97E+19 (1.42E+19 6.82E+19)	0.15 1.20	*	*	4.7	野津(2016)	M _j =7.1 EGFシミュレーションより2つのサブイベント(SMGA?)を想定サブイベントのM ₀ の合計は1.72E+19(1.0E+19と0.12E+19)
同上	同上	同上	同上	*	*	*	7.2	7.54E+19	*	*	*	30*15=450	*	Suzuki et al.(2005)	MJMA=7.1スラブ内地震、SMGAサイズ30*15、ライズタイム0.9sec、SMGAの応力は8.3Mpa、intraolate MOはF-netの値で作図した。asp面積は、Fig.1よりMOは、F-netより	
15	フィリピン海	紀伊半島沖地震(本震)	2004/9/5	33	137	44.0	7.4	1.69E+20	8.38E+19	*	*	*	*	佐藤(2009)		

表 3.2.3-2 国外のアウトサイズ地震の断層パラメータの調査結果

赤字：作図で使用した値

地震番号	地域 (プレート)	地震名	発生日		震源位置			モーメント マグニチュード Mw (M0から 求めた)	地震 モーメント (論文) M0 (Nm)	短周期レ ベル(SI: Spectral Inversion) A (N・m/s ²)	短周期レ ベル (SMGA: Strong Motion Generatio n Area) A (N・m/s ²)	コーナー 振動数 fc (Hz)	アスペリ ティの 応力降下 量 △σz (MPa)	アスペリ ティの 面積 Sz (km ²)	S波速 度 β (km/s)	参考文献1	備考
			年月日	緯度 [N]	経度 [E]	深さ [km]											
1	Chile	*	1964/8/5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Astiz and Kanamori (1986)	outer-rise event, mb=6.1	
2	Chile	*	1965/10/3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Astiz and Kanamori (1986)	outer-rise event, mb=6.0	
3	ナスカ	チリ地震余震	1967	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	小山・都筑(2014)	●M7.3 (Engdahl and Villasenor, 2002) ●正断層	
4	Chile	The October 1981 Chile earthquake	1981/10/16	-33.2	-73.1	18	*	*	*	*	*	*	*	*	Honda et al. (1990)	M _s =7.2; M _b =6.2; reported by ISC	
5	ナスカ	(チリ)マウレ地震余震	2010/2/27	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	小山・都筑(2014)	●M7.4 ●正断層	
6	ナスカ	(チリ)マウレ地震余震	2010/3/11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	小山・都筑(2014)	●M7.0 ●正断層	
7	Indonesia	Great 1977 Sumba earthquake	1977/8/19	-11.2	118.4	*	*	2.5E+21~ 2.9E+21	*	*	*	*	*	*	Gusman et al. (2009)	Mw=8.3; 剛性率6.0~ 6.8e10N/m ² ;	
8	Kermadec-Tonga	*	2009/9/29	-15.6	-172.3	18.0	*	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	Mw=8.06	
9	太平洋	アリューシャン諸島	1929	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	小山・都筑(2014)	●Mw7.8 ●正断層	
10	太平洋	(アリューシャン諸島)ラット島地震余震	1965/3/30	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	小山・都筑(2014)	●Mw7.6 ●正断層	
11	*	Peru	1970/*/*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Fujii and Satake津波(2008)	outer-rise normal fault, Mw=7.9	
12	太平洋	アラスカ	1987/11/30	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	小山・都筑(2014)	●Mw7.8 ●正断層成分を持つ横ずれ型	
13	太平洋	カムチャッカ地震余震	1989/4/11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	小山・都筑(2014)	●Mw6.7 ●正断層	
14	Izu-Bonin	*	1990/4/5	15.2	147.5	11.0	*	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	Mw=7.37	
15	Vanuatu	*	1995/5/16	-23.0	169.9	20.0	*	*	*	*	*	*	*	*	Allen and Hayes (2017)	Mw=7.65	
16	Andaman Seg.	*	2009/8/10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Andrade and Rajendran (2011)	outer-rise event, Mw=7.5	
18	Nicobar Islands	*	2010/6/12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	García et al. (2012)	outer-rise event, Mw=7.5	
17	Aru	*	2010/9/29	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	García et al. (2012)	outer-rise event, Mw=7.2	
19	Bonin Islands	*	2010/12/21	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	García et al. (2012)	outer-rise event, Mw=7.4	
21	Vanuatu	*	2010/12/25	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	García et al. (2012)	outer-rise event, Mw=7.3	
22	インド・オーストラリア	スマトラ島沖	2012/4/11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	小山・都筑(2014)	●Mw8.6 ●正断層成分を持つ横ずれ型	

3.2.4 アウターライズ地震の断層パラメータの分析

図 3.2.4-1 に表 3.2.3-1 に示した国内のアウターライズ地震の地震モーメント M_0 と短周期レベル A との関係を示す。図中、白丸印はスペクトルインバージョン(SI: Spectral Inversion)で短周期レベルを求めた太平洋プレート内のアウターライズ地震、白抜き星印は強震動生成域(SMGA: Strong Motion Generation Area)のインバージョン結果から短周期レベルを求めた太平洋プレート内のアウターライズ地震、黒丸印はスペクトルインバージョンで短周期レベルを求めたフィリピン海プレート内のアウターライズ地震で、黒の星印は擬似点震源モデルから短周期レベルを求めたフィリピン海プレートのアウターライズ地震である。

赤線は(3.1.4-1)式で示される笹谷・他(2006)によるスラブ内地震の地震モーメント M_0 と短周期レベル $A_{sasatani}$ との経験的關係式で点線部分は外挿である。黒線は、(3.1.4-2)式で示される壇・他(2001)による内陸地震の地震モーメント M_0 と短周期レベル A_{dan} との経験的關係式である。太線は平均値で、細線はその 2 倍と 1/2、点線部分は外挿である。

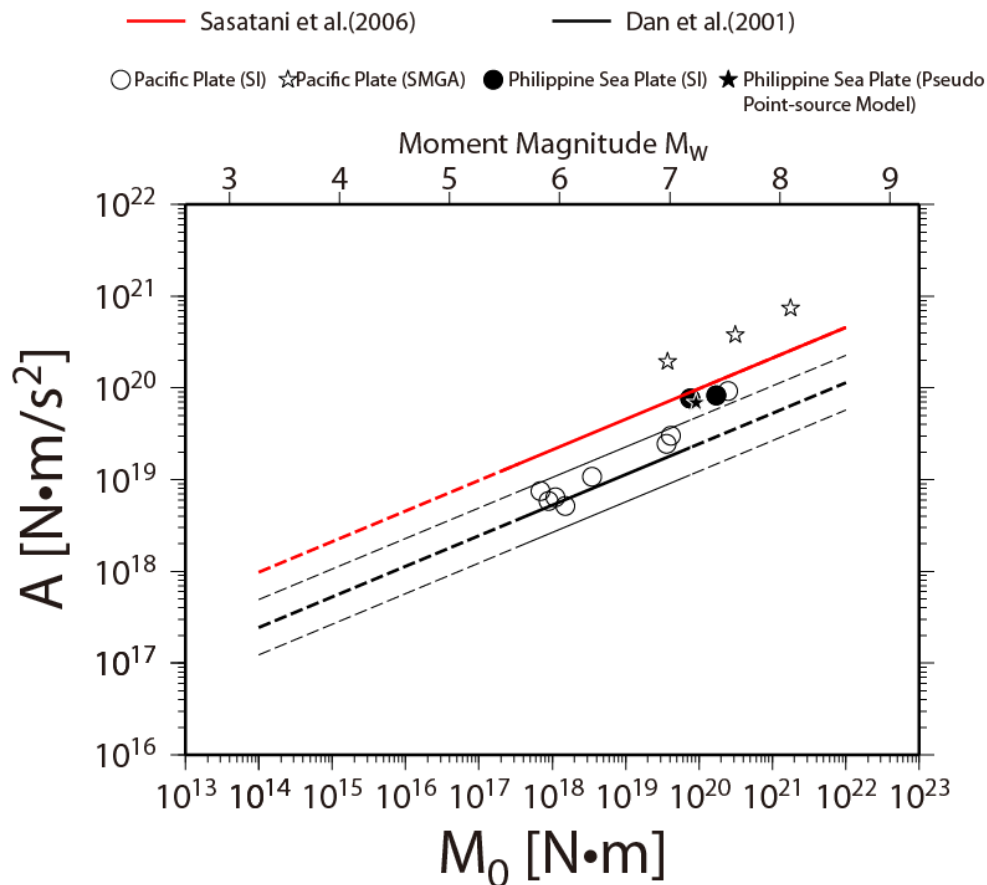


図 3.2.4-1 国内のアウターライズ地震の地震モーメント M_0 と短周期レベル A との関係

図より、全体的にみると、 M_W が 6~7 ではアウターライズの地震の短周期レベルは内陸地震の平均的な値 A_{dan} と対応するものの、 M_W が 7 を超え、8 クラスとなると大きくなって、スラブ内地震の平均的な値 $A_{sasatani}$ よりも大きくなることがわかる。一方、短周期レベルの求め方の違い、すなわち白丸印と黒丸印はスペクトルインバージョンで求めた短周期レベル、白抜きの星印は強震動生成域から求めた短周期レベルといった違いでみると、同じ M_W 7 クラスで強震動生成域から求めた短周期レベルの方が 2~3 倍大きいといった系統的な差がみられる。この系統的な差は計算に用いられた Q 値の差と考えられ、今後、海底地震計の観測記録を用いた Q 値の検討が望まれる。

図 3.2.4-2 に表 3.2.3-1 に示した国内のアウターライズ地震の地震モーメント M_0 とアスペリティの面積 Sa との関係を示す。白抜きの星印は太平洋プレート内のアウターライズ地震、黒の星印はフィリピン海プレートのアウターライズ地震である。図中、赤線は(3.1.4-3)式で示される 笹谷・他(2006)によるスラブ内地震の地震モーメント M_0 とアスペリティの面積 $Sa_{sasatani}$ との経験的關係式で、黒線は(3.1.4-4)式で示される Somerville *et al.*(1999)による内陸地震の地震モーメント M_0 とアスペリティの面積 $Sa_{somerville}$ との経験的關係式である。

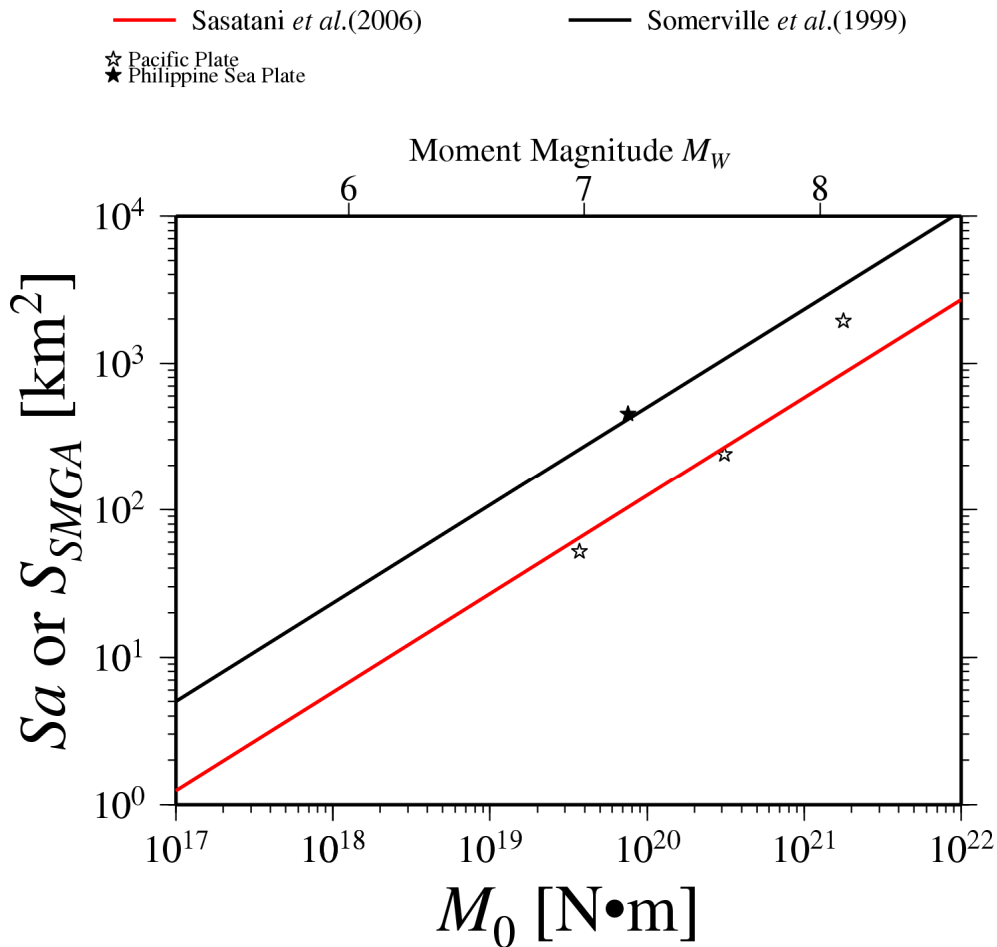


図 3.2.4-2 国内のアウトライズ地震の地震モーメント M_0 とアスペリティの面積 S_a との関係

図より、太平洋プレートのアウターライズ地震の地震モーメントとアスペリティの面積との関係は、数が3つと少ないものの、笹谷・他(2006)によるスラブ内地震の地震モーメントとアスペリティの面積との経験的關係式にほぼのっていることがわかる。一方、フィリピン海プレートのアウターライズ地震の地震モーメントとアスペリティの面積との関係は、1つのデータしかないが、Somerville et al.(1999)によるスラブ内地震の地震モーメントとアスペリティの面積との経験的關係式にほぼのっていることがわかる。

図 3.2.4-3 に国内のアウトライズ地震の震源の深さ D と A/A_{sasatani} との関係を示す。図中、白丸印はスペクトルインバージョン(SI: Spectral Inversion)で短周期レベルを求めた太平洋プレート内のアウトライズ地震、白抜き星印は強震動生成域(SMGA: Strong Motion Generation Area)のインバージョン結果から短周期レベルを求めた太平洋プレート内のアウトライズ地震、黒丸印はスペクトルインバージョンで短周期レベルを求めたフィリピン海プレート内のアウトライズ地震で、黒の星印は擬似点震源モデルから短周期レベルを求めたフィリピン海プレートのアウトライズ地震である。図には、佐藤(2013)による震源深さ D と A/A_{dan} との経験的関係を震源深さ D と A/A_{sasatani} との経験的関係に直した線も示す。

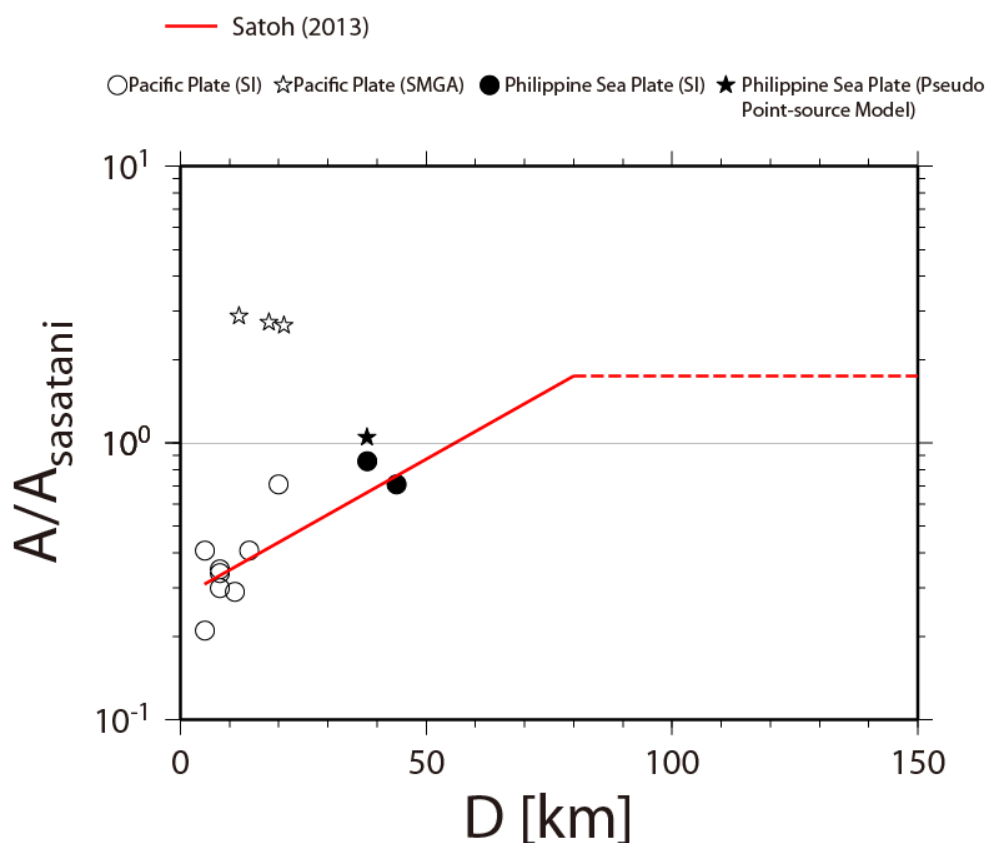


図 3.2.4-3 国内のアウトライズ地震の震源の深さ D と A/A_{sasatani} との関係

図より、スペクトルインバージョンによる白丸印と黒丸印は深さとともに A/A_{sasatani} が大きくなっている傾向がはっきりと見え、佐藤(2013)による経験的関係と対応していることがわかる。しかし、白丸印で示したスペクトルインバージョンによる太平洋プレート内のアウトライズ地震の A/A_{sasatani} と白抜き星印で示した強震動生成域から求めた太平洋プレー

ト内のアウターライズ地震の A/A_{sasatani} は、10~20km と同じ程度の深さにも関わらず 10 倍弱異なっており、図 3.2.4-1 の説明で述べたように、これは短周期レベルを求めたときの Q 値の違いによるものと考えられる。

アウターライズ地震の短周期レベルを精度良く調べるには、今後、海底地震計の観測記録を用いた Q 値の検討が必要である。現在、海底地震計の運用状況として、DONET (南海トラフに構築された地震・津波観測監視システム)は、気象庁にリアルタイムでデータが伝送され、津波警報・注意報や一部は緊急地震速報に利用されており、S-net (千葉県沖から北海道沖の日本海溝から千島海溝沿いに構築された日本海溝海底地震観測網)は、データの品質確認中であるが、地震計と水圧計データは気象庁にデータが伝送され、津波警報・注意報発令に使用されている (高橋, 2017)。

3.2 節の参考文献

3.2.1

- 1) Rodriguez-Perez, Quetzalcoatl (2014): Ground-Motion Prediction Equations for Near-Trench Interplate and Normal-Faulting Inslab Subduction Zone Earthquakes in Mexico, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 104, No. 1, pp. 427-438.
- 2) 佐藤智美 (2013): 東北地方のアウトターライズ地震、スラブ内地震、プレート境界地震の短周期レベルと f_{max} 及び距離減衰特性, 日本建築学会構造系論文集, 第78巻, 第689号, pp. 1227-1236.

3.2.2

- 3) 佐藤智美 (2013): 東北地方のアウトターライズ地震、スラブ内地震、プレート境界地震の短周期レベルと f_{max} 及び距離減衰特性, 日本建築学会構造系論文集, 第78巻, 第689号, pp. 1227-1236.

3.2.3

- 4) Allen, Trevor I. and Gavin P. Hayes (2017): Alternative Rupture-Scaling Relationships for Subduction Interface and Other Offshore Environments, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 107, No. 3, pp. 1240-1253.
- 5) Ammon Charles, J. Thorne Lay, Hiroo Kanamori, and Michael Cleveland (2011): A rupture model of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets Space, 63, pp. 693-696.
- 6) Andrade, Vanessa and Kusala Rajendran (2011): Intraplate Response to the Great 2004 Sumatra-Andaman Earthquake: A Study from the Andaman Segment, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 101, No. 2, pp. 506-514.
- 7) Asano, Youichi, Tatsuhiko Saito, Yoshihiro Ito, Katsuhiko Shiomi, Hitoshi Hirose, Takumi Matsumoto, Shin Aoi, Sadaki Hori, and Shoji Sekiguchi (2011): Spatial distribution and focal mechanisms of aftershocks of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets Space, 63, pp. 669-673.

- 8) Astafyeva, Elvira and Kosuke Heki (2009): Dependence of waveform of near-field coseismic ionospheric disturbances on focal mechanisms, *Earth Planets Space*, 61, pp. 939-943.
- 9) Astiz, Luciana and Hiroo Kanamori (1986): INTERPLATE COUPLING AND TEMPORAL VARIATION OF MECHANISMS OF INTERMEDIATE-DEPTH EARTHQUAKES IN CHILE, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 76, No. 6, pp. 1614-1622.
- 10) Bai, Ling, Ichiro Kawasaki, Tianzhong Zahng, and Yuzo Ishikawa (2006): An improved double-difference earthquake location algorithm using *sP* phases: application to the foreshock and aftershock sequences of the 2004 earthquake offshore of the Kii peninsula, Japan ($M_w=7.5$), *Earth Planets Space*, 58, pp. 823-830.
- 11) Boston, Brian, Gregory F. Moore, Yasuyuki Nakamura, and Shuichi Kodaira (2014): Outer-rise normal fault development and influence on near-trench décollement propagation along the Japan Trench, off Tohoku, *Earth, Planets and Space*.
- 12) Chiba, Keita, Yoshihisa Iio, and Yukitoshi Fukahata (2012): Detailed stress fields in the focal region of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake -Implication for the distribution of moment release-, *Earth Planets Space*, 64, pp. 1157-1165.
- 13) Christensen, Douglas H. and Larry J. Ruff (1985): ANALYSIS OF THE TRADE-OFF BETWEEN HYPOCENTRAL DEPTH AND SOURCE TIME FUNCTION, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 75, No. 6, pp. 1637-1656.
- 14) Engdahl, E. R. and Selena Billington (1986): FOCAL DEPTH DETERMINATION OF CENTRAL ALEUTIAN EARTHQUAKES, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 76, No. 1, pp. 77-93.
- 15) Engdahl, E. Rovert, Antonio Villasenor, Heather R. DeShon, and Clifford H. Thurber (2007): Teleseismic Relocation and Assessment of Seismicity (1918-2005) in the Region of the 2004 M_w 9.0 Sumatra-Andaman and 2005 M_w 8.6 Nias Island Great Earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 97, No. 1A, pp. S43-S61.
- 16) Fujii, Yushiro and Kenji Satake (2008): Tsunami Sources of the November 2006 and January 2007 Great Kuril Earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 98, No. 3, pp. 1559-1571.

- 17) Garcia, D., D. J. Wald, and M. G. Heame (2012): A Global Earthquake Discrimination Scheme to Optimize Ground-Motion Prediction Equation Selection, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 102, No. 1, pp. 185-203.
- 18) Garcia-Soto, A. D. and Miguel A. Jaimes (2017): Ground-Motion Prediction Model for Vertical Response Spectra from Mexican Interplate Earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 107, No. 2, pp. 887-900.
- 19) Gusman, Aditya R., Yuichiro Tanioka, Hiroyuki Matsumoto, and Sin-Iti Iwasaki (2009): Analysis of the Tsunami Generated by the Great 1977 Sumba Earthquake that Occurred in Indonesia, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 99, No. 4, pp. 2169-2179.
- 20) Hirose, Fuyuki, Kazuki Miyaoka, Naoki Hayashimoto, Takayuki Yamazaki, and Masaki Nakamura (2011): Outline of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (M_w 9.0) -Seismicity: foreshocks, mainshock, aftershocks, and induced activity-, *Earth Planets Space*, 63, pp. 513-518.
- 21) Honda, Satoru, Hitoshi Kawakatsu, and Tetsuzo Seno (1990): THE DEPTH OF THE OCTOBER 1981 OFF CHILE OUTER-RISE EARTHQUAKE ($M_s=7.2$) ESTIMATED BY A COMPARISON OF SEVERAL WAVEFORM INVERSION METHODS, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 80, No. 1, pp. 69-87.
- 22) Hurokawa, Nobuo (2011): Relocation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake sequence and fault planes of $M \geq 7$ earthquakes, *Earth Planets Space*, 63, pp. 659-662.
- 23) Ito, Yoshihiro, Takumi Matsumoto, Hisanori Kimura, Hirotoshi Matsubayashi, Kazushige Obara, and Shoji Sekiguchi (2005): Spatial distribution of centroid moment tensor solutions for the 2004 off Kii peninsula earthquakes, *Earth Planets Space*, 57, pp. 351-356.
- 24) Kato, Naoyuki (2004): A possible effect of an intermediate depth intraslab earthquake on seismic cycles of interplate earthquakes at a subduction zone, *Earth Planets Space*, 56, pp. 553-561.
- 25) Kuroki, Hidekuni, Hidemi M. Ito, and Akio Yoshida (2004): Effects of nearby large earthquakes on the occurrence time of the Tokai earthquake -An estimation based on a 3-D

simulation of plate subduction-, Earth Planets Space, 56, pp. 169-178.

- 26) Lay, Thome, Hiroo Kanamori, Charles J. Ammon, Alexander R. Hutko, Kevin Furlong, and Luis Rivera (2009): The 2006-2007 Kuril Islands great earthquake sequence, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 114.
- 27) Lay, Thorne, Charles J. Ammon, Hiroo Kanamori, Marina J. Kim, and Lian Xue (2011): Outer trench-slope faulting and the 2011 *M_w* 9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets Space, 63, pp. 713-718.
- 28) Lay, Thorne, Charles J. Ammon, Hiroo Kanamori, Lian Xue, and Marina J. Kim (2011): Possible large near-trench slip during the 2011 *M_w* 9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets Space, 63, pp. 687-692.
- 29) Miyake, Hiroe and Kazuki Koketsu (2005): Long-period ground motions from a large offshore earthquake: The case of the 2004 off the Kii peninsula earthquake, Japan, Earth Planets Space, 57, pp. 203-207.
- 30) Munekane, Hiroshi (2012): Coseismic and early postseismic slips associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake sequence: EOF analysis of GPS kinematic time series, Earth Planets Space, 64, pp. 1071-1091.
- 31) Nettles, Meredith, Goran Ekstrom, and Howard C. Koss (2011): Centroid-moment-tensor analysis of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and its larger foreshocks and aftershocks, Earth Planets Space, 63, pp. 519-523.
- 32) Obana, Koichiro, Shuichi Kodaira, Yasuyuki Nakamura, Takeshi Sato, Gou Fujie Tsutomu Takahashi and Yojiro Yamamoto (2014): Aftershocks of the December 7, 2012 intraplate doublet near the Japan Trench axis, Earth, Planets and Space.
- 33) Ohta, Yusaku, Satoshi Miura, Mako Ohzono, Saeko Kita, Takeshi Inuma, Tomotsugu Demachi, Kenji Tachibana, Takashi Nakayama, Satoshi Hirahara, Syuichi Suzuki, Toshiya Sato, Naoki Uchida, Akira Hasegawa, and Norihito Umino (2011): Large intraslab earthquake (2011 April 7, *M* 7.1) after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (*M* 9.0): Coseismic fault model based on the dense GPS network data, Earth Planets Space, 63, pp. 1207-1211.

- 34) Park, Sun-Cheon and Jim Mori (2005): The 2004 sequence of triggered earthquakes off the Kii peninsula, Japan, *Earth Planets Space*, 57, pp. 315-320.
- 35) Rajendran, K., V. Andrade, and C. P. Rajendran (2011): The June 2010 Nicobar Earthquake: Fault Reactivation on the Subducting Oceanic Plate, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 101, No. 5, pp. 2568-2577.
- 36) Rodriguez-Perez, Quetzalcoatl (2014): Ground-Motion Prediction Equations for Near-Trench Interplate and Normal-Faulting Inslab Subduction Zone Earthquakes in Mexico, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 104, No. 1, pp. 427-438.
- 37) Sasatani, T., N. Takai, M. Shigefuji, Y. Miyahara, W. Kawabata, and Y. Okazaki (2012): Source characteristics of large outer rise earthquakes in the Pacific Plate, *Proceedings of 15th WCEE*.
- 38) Sato, Tamao, Shinya Hiratsuka, and Jim Mori (2012): Coulomb stress change for the normal-fault aftershocks triggered near the Japan Trench by the 2011 M_w 9.0 Tohoku-Oki earthquake, *Earth Planets Space*, 64, pp. 1239-1243.
- 39) Seno, Tetsuzo (2005): The September 5, 2004 off the Kii Peninsula earthquakes as a composition of bending and collision, *Earth Planets Space*, 57, pp. 327-332.
- 40) Sleep, Norman H. (2012): Constraint on the recurrence of great outer-rise earthquakes from seafloor bathymetry, *Earth Planets Space*, 64, pp. 1245-1246.
- 41) Tichelaar, Bart W., Douglas H. Christensen, and Larry J. Ruff (1992): DEPTH EXTENT OF RUPTURE OF THE 1981 CHILEAN OUTER-RISE EARTHQUAKE AS INFERRED FROM LONG-PERIOD BODY WAVES, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 82, No. 3, pp. 1236-1252.
- 42) Toda, Shinji, Jian Lin, and Ross S. Stein (2011): Using the 2011 M_w 9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake to test the Coulomb stress triggering hypothesis and to calculate faults brought closer to failure, *Earth Planets Space*, 63, pp. 725-730.
- 43) Xu, Shiqing, Eiichi Fukuyama, Han Yue, and Jean-Paul Ampuero (2016): Simple Crack Models Explain Deformation Induced by Subduction Zone Megathrust Earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 106, No. 5, pp. 2275-2289.

- 44) Yagi, Yuji, Ryo Okuwaki, Bogdan Enescu and Yukitoshi Fukahata (2015): Unusual low-angle normal fault earthquakes after the 2011 Tohoku-oki megathrust earthquake, *Earth, Planets and Space*.
- 45) Yoshioka, Shoichi and Yoshihiro Ito (2001): Lateral variations of effective elastic thickness of the subducting Philippine Sea plate along the Nankai trough, *Earth Planets Space*, 53, pp. 261-273.
- 46) 植竹富一 (2016): 茨城県沖・福島県沖の地震の深さが東京湾岸の長周期地震動に与える影響, *日本地震工学会論文集*, 第16巻、第1号, pp. 342-351.
- 47) 岡崎由佳・笹谷努・高井伸雄・Yadab P. Dhakal (2010): 2005 年三陸沖アウターライズ地震 (Mw7.0) による強震動特性, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, pp. 281-288.
- 48) 岡崎由佳・笹谷努・高井伸雄 (2011): 2005 年三陸沖アウターライズ地震 (Mw7.0) の震源のモデル化, *日本建築学会大会学術講演梗概集*, B-2, 構造 II, pp. 109-110.
- 49) 川端渉・笹谷努・高井伸雄・前田宣浩 (2010): 2007 年千島列島中部巨大アウターライズ地震の震源特性, *日本地震工学シンポジウム論文集(CD-ROM)*, pp. 275-280.
- 50) 小山順二・都筑基博 (2014): 超巨大地震発生前後の顕著な地震活動, *地震*, 第2輯, 第66巻, pp. 83-95.
- 51) 佐藤智美 (2013): 東北地方のアウターライズ地震、スラブ内地震、プレート境界地震の短周期レベルと f_{max} 及び距離減衰特性, *日本建築学会構造系論文集*, 第78巻, 第689号, pp. 1227-1236.
- 52) 佐藤智美・大川出・西川孝夫・佐藤俊明 (2012): 長周期地震動の経験式の改良と 2011 年東北地方太平洋沖地震の長周期地震動シミュレーション, *日本地震工学会論文集*, 第 12 巻, 第 4 号, pp. 354-373.
- 53) 宮原有史・笹谷努・高井伸雄・重藤迪子 (2013): 経験的グリーン関数法を用いた 2011 年 3 月 11 日三陸沖アウターライズ地震 (Mw7.6) の震源モデルの再検討, *日本建築学会大会学術講演梗概集*, B-2, 構造 II, pp. 319-320.

3.2.4

- 54) Somerville, P., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith and A. Kowada (1999): Characterizing crustal earthquake slip models for prediction of strong motion, *Seismological Research Letters*, Vol. 70, pp. 59-80.
- 55) 笹谷努・森川信之・前田宣浩 (2006): スラブ内地震の震源特性, 北海道大学地球物理学研究報告, No. 69, pp. 123-134.
- 56) 佐藤智美 (2013): 東北地方のアウトライズ地震, スラブ内地震, プレート境界地震の短周期レベルと f_{max} 及び距離減衰特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 87 巻, 第 689 号, pp. 1227-1236.
- 57) 壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・石井透 (2001): 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, No. 545, pp. 51-62.
- 58) 高橋成実 (2017): 防災科学技術研究所が運用する地震津波海域観測網 -DONET & S-net-, 地震予知連絡会会報, Vol. 98, 12_08, http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou98/12_08.pdf (2018 年 10 月 2 日参照).

3.3 スラブ内地震の地震動解析

3.3.1 2005年チリ Tarapaca 地震による地震観測記録の収集及び波形処理

2005年チリ Tarapaca地震の際に、図3.3.1-1に示す強震観測点で観測記録が得られている。同図には本震の震央位置もプロットしている。これらの観測点で得られた観測記録をチリ大学のウェブサイト (<http://terremotos.ing.uchile.cl/>) より収集して、加速度波形を積分することによって速度波形に変換した。また、加速度波形を用いて、フーリエスペクトル、速度応答スペクトルを計算した。波形処理により得られた加速度波形、速度波形、速度応答スペクトル及びフーリエスペクトルを図3.3.1-2～図 3.3.1-15に示す。

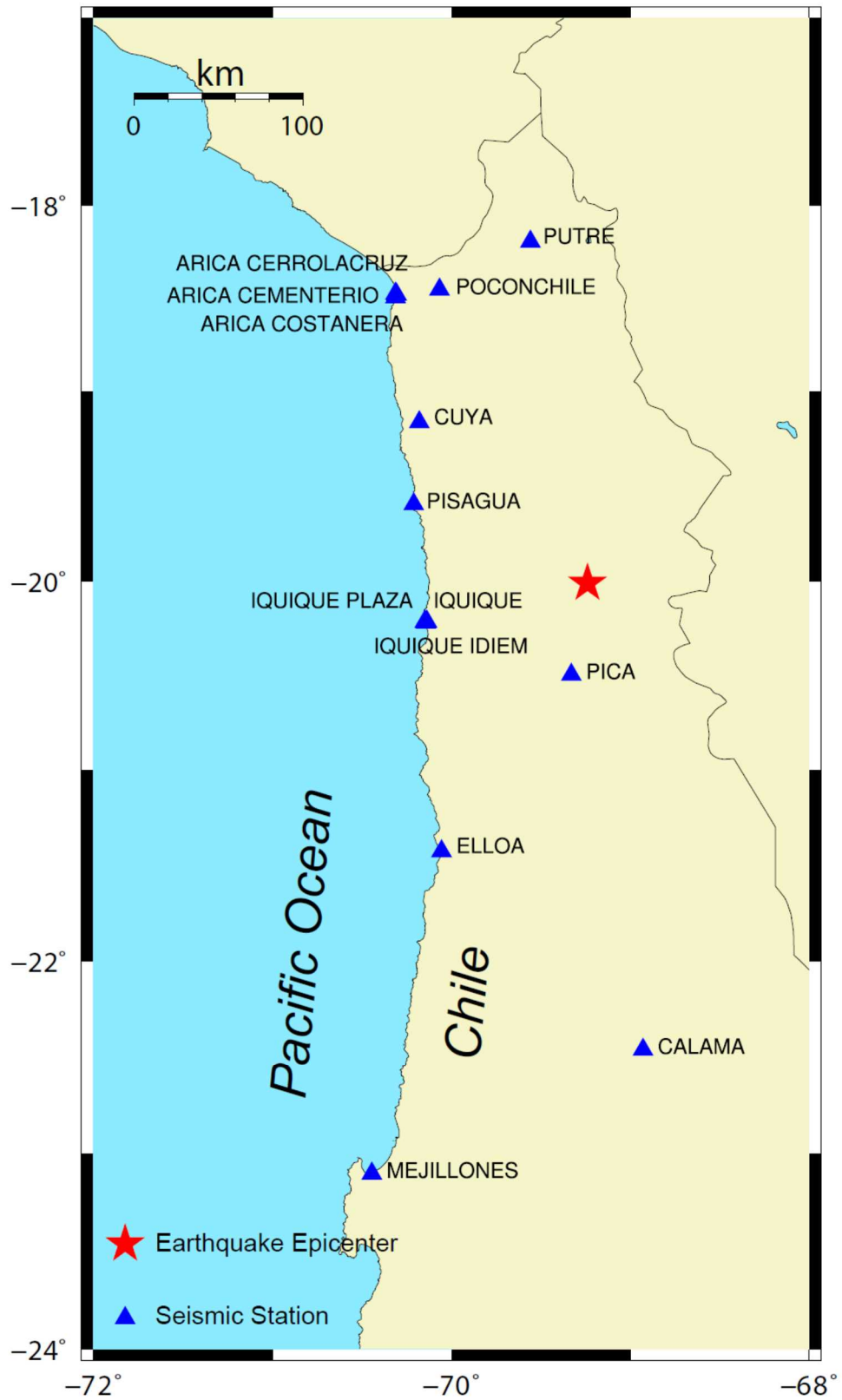


図3.3.1-1 2005年Tarapaca地震の震央位置と観測記録の得られている観測点の位置

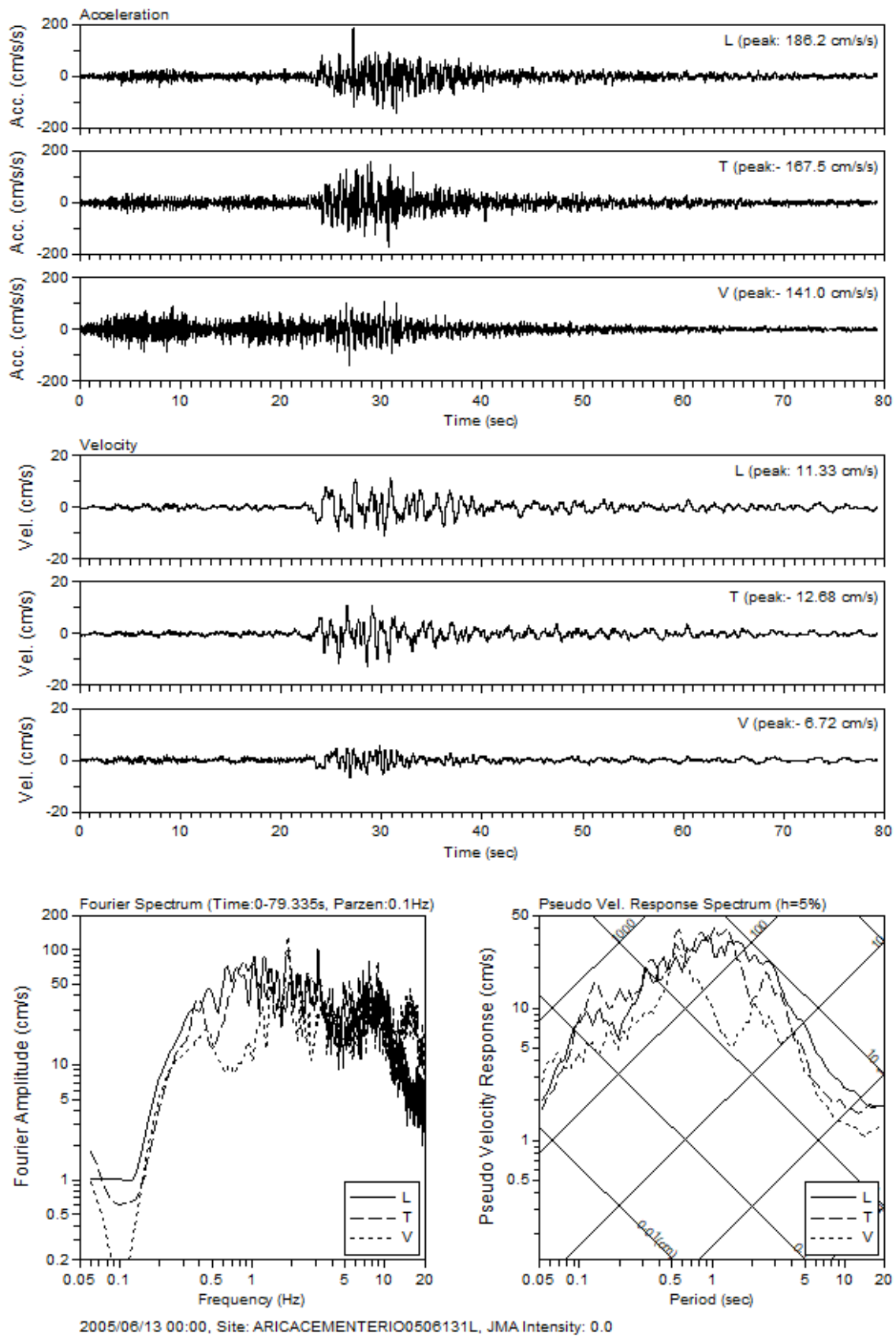


図 3.3.1-2 観測点 Aricacementerio における加速度、速度波形とフーリエ・速度応答スペクトル

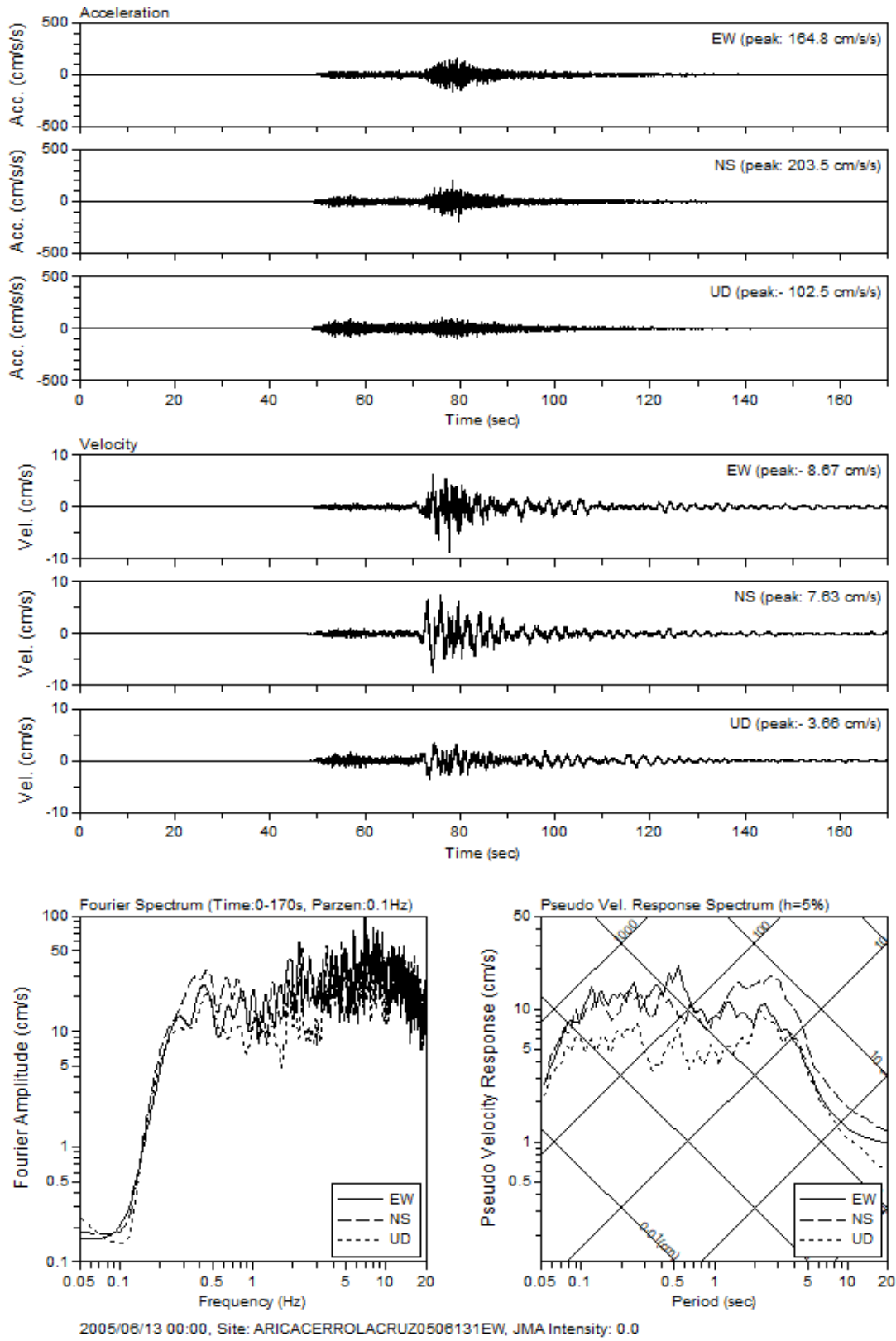


図 3.3.1-3 観測点 Aricacerrolacruz における加速度、速度波形とフーリエ・速度応答スペクトル

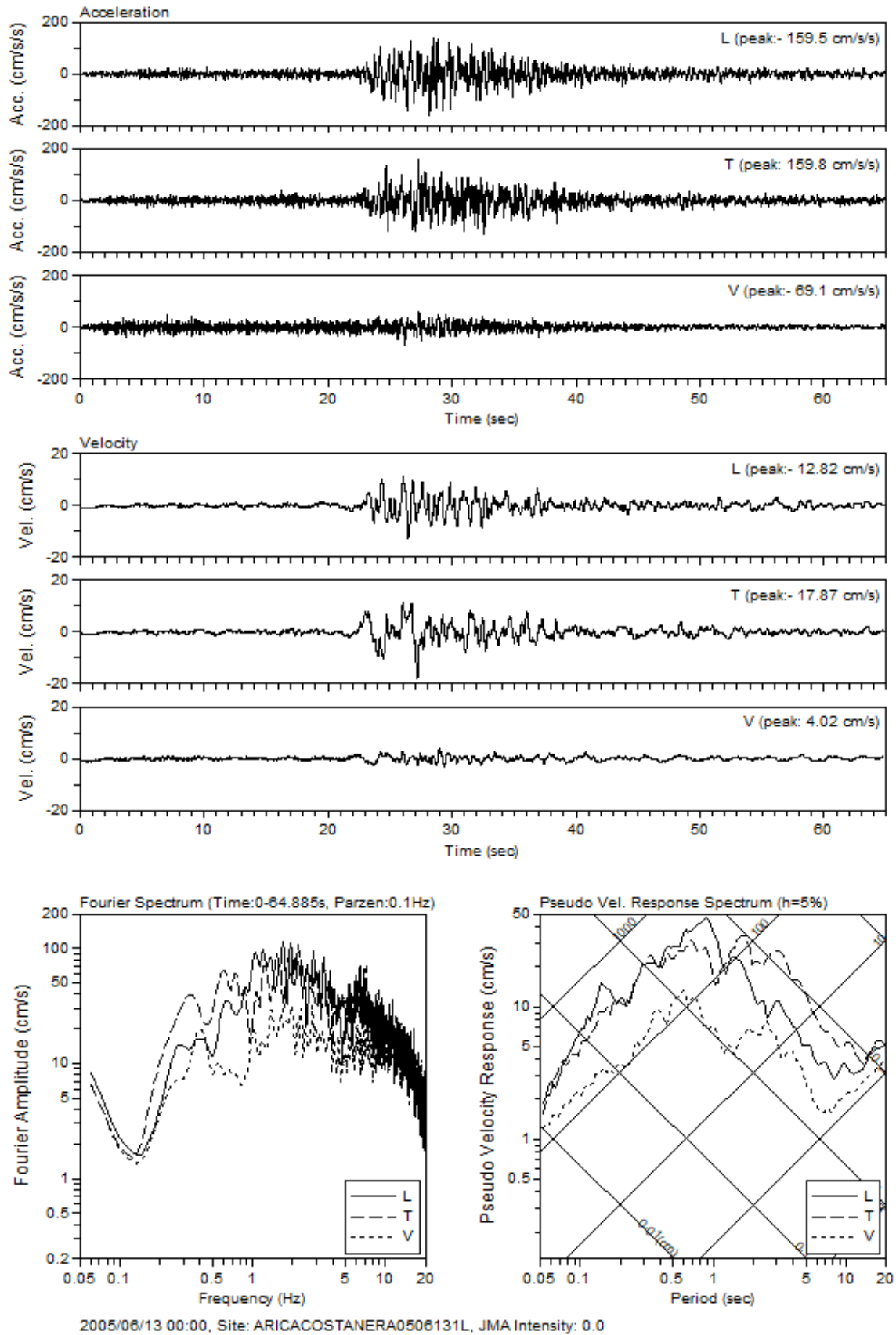


図 3.3.1-4 観測点 Aricacostanera における加速度、速度波形とフーリエ・速度応答スペクトル

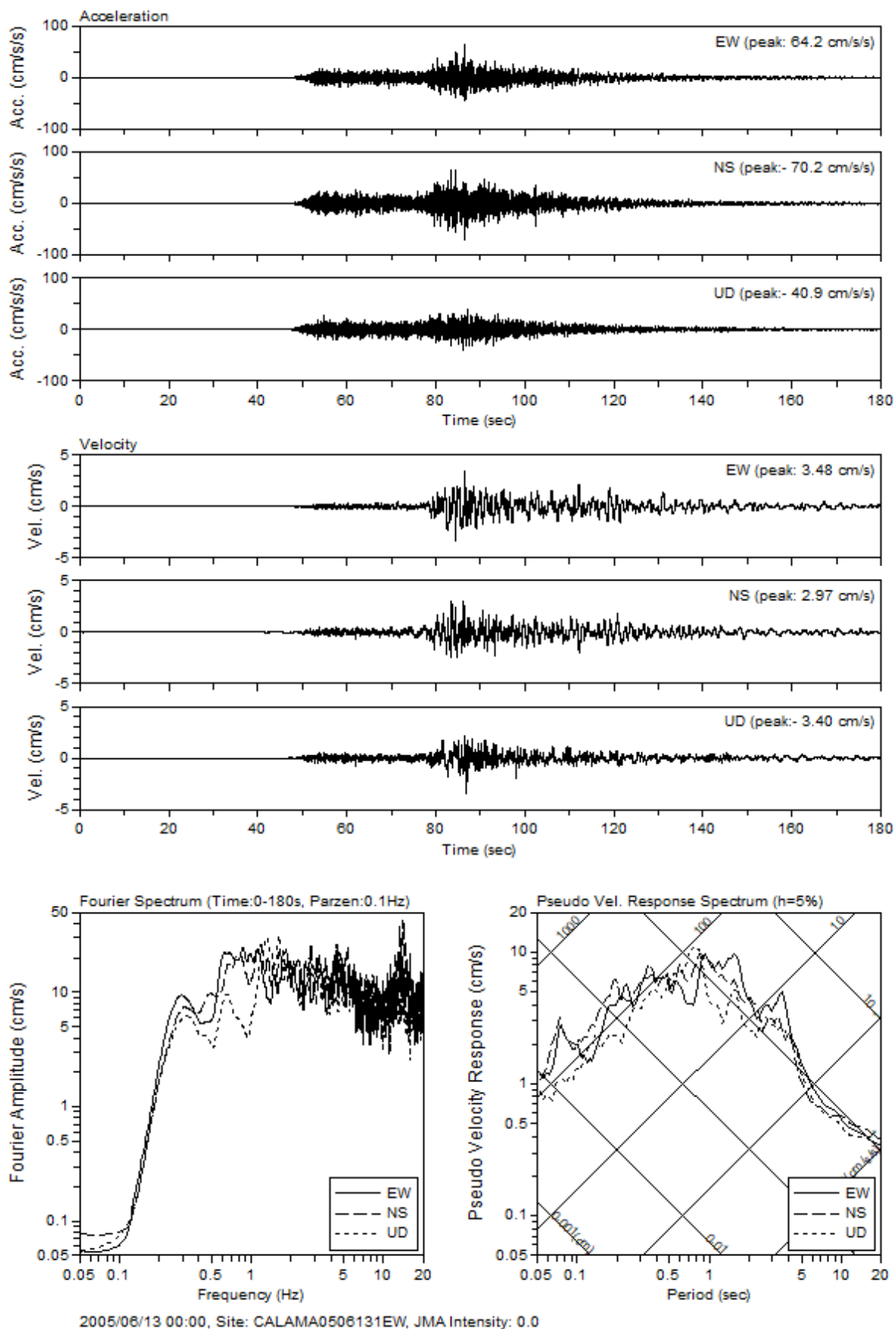


図 3.3.1-5 観測点 Calama における加速度、速度波形とフーリエ・速度応答スペクトル
3.3.1-6

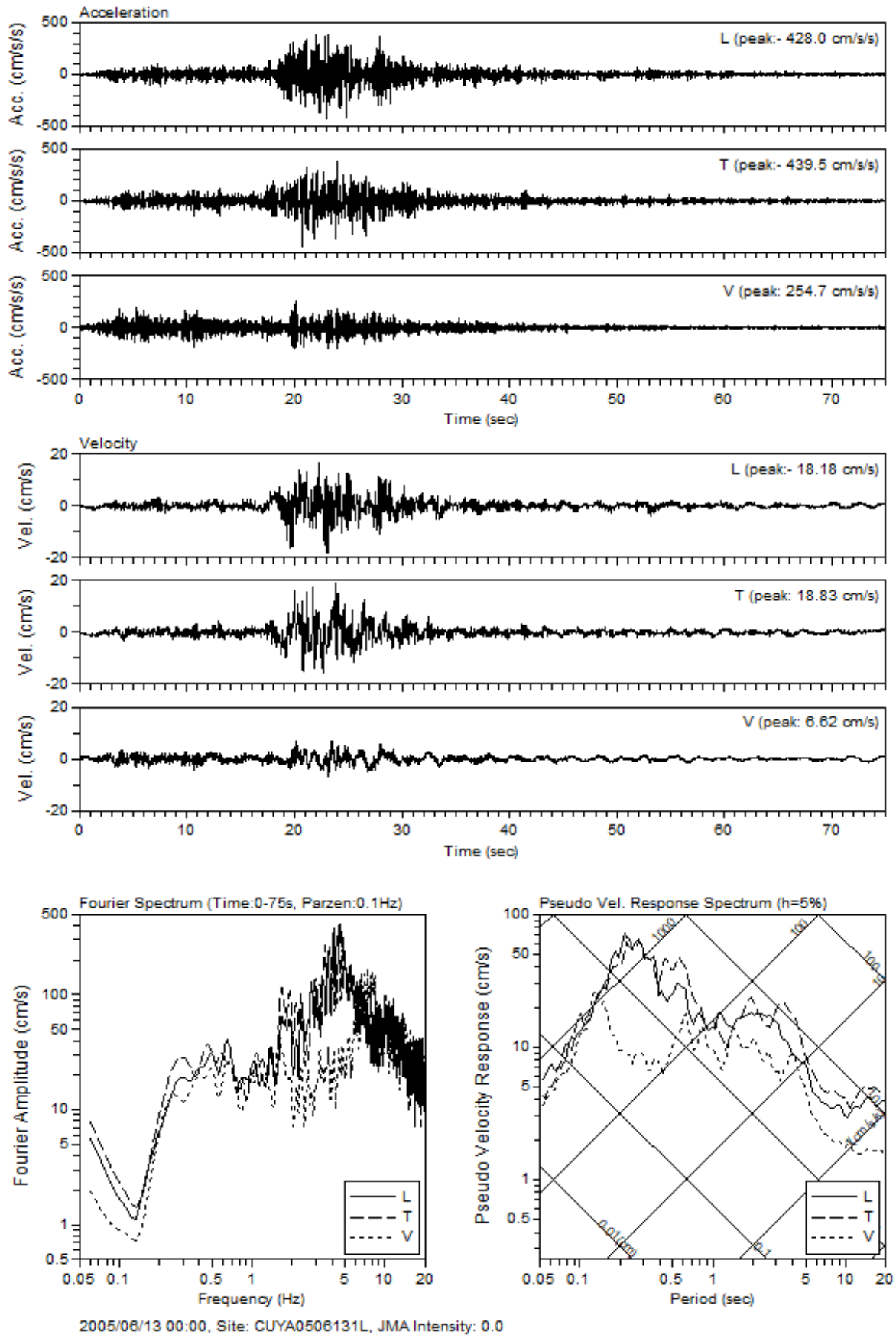


図 3.3.1-6 観測点 Cuya における加速度、速度波形とフーリエ・速度応答スペクトル
3.3.1-7

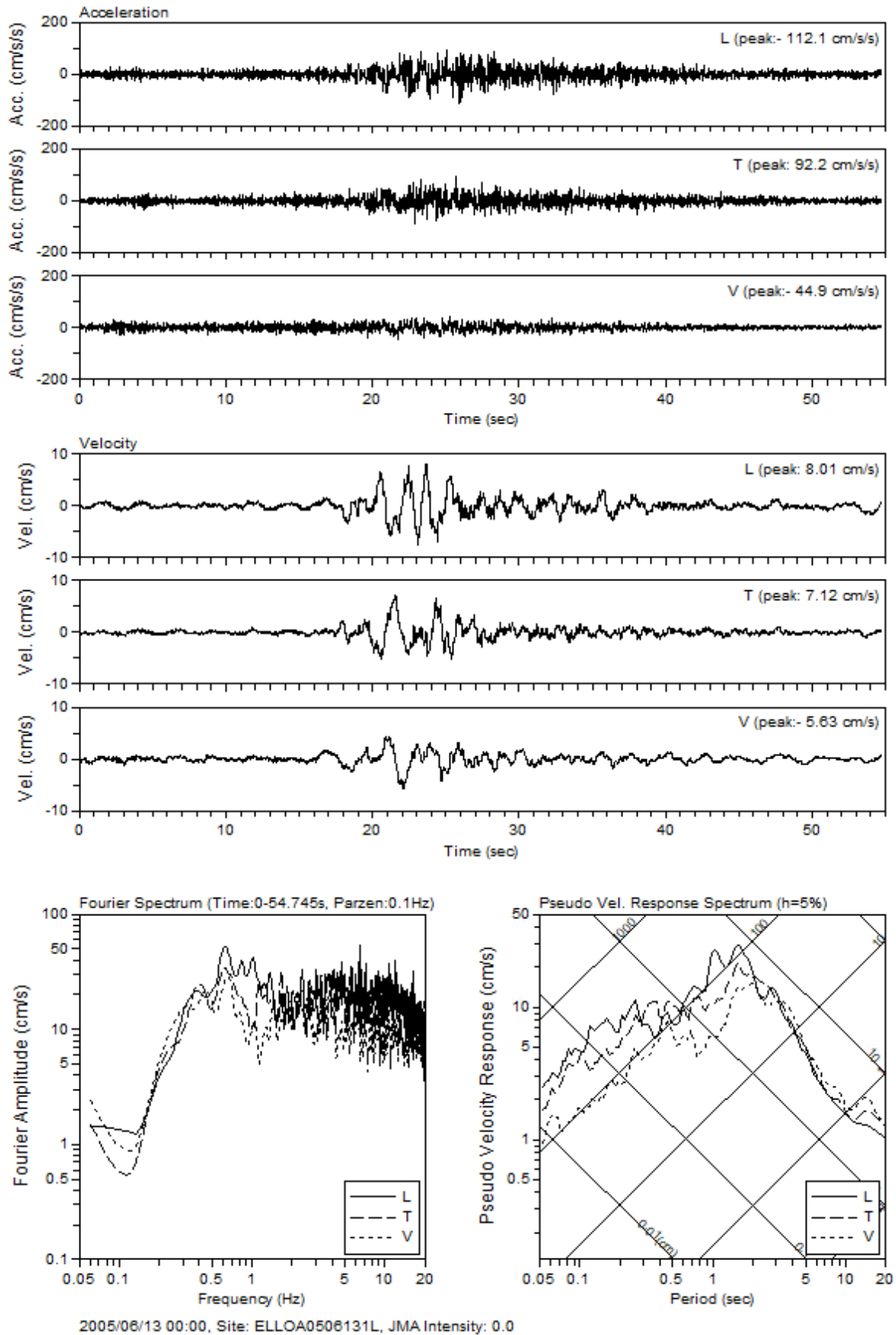


図 3.3.1-7 観測点 Elloa における加速度、速度波形とフーリエ・速度応答スペクトル
3.3.1-8

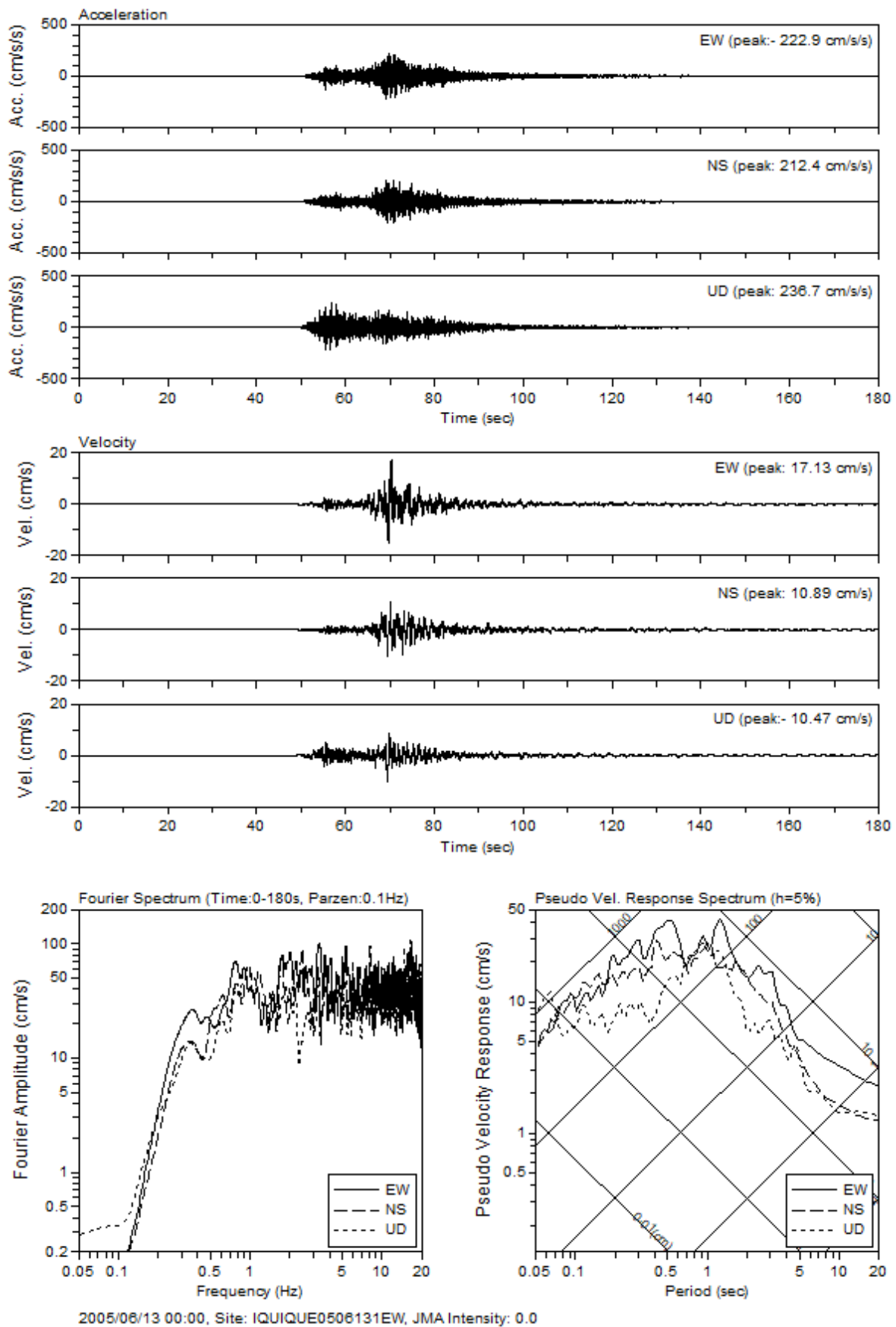


図 3.3.1-8 観測点 Iquique における加速度、速度波形とフーリエ・速度応答スペクトル
3.3.1-9

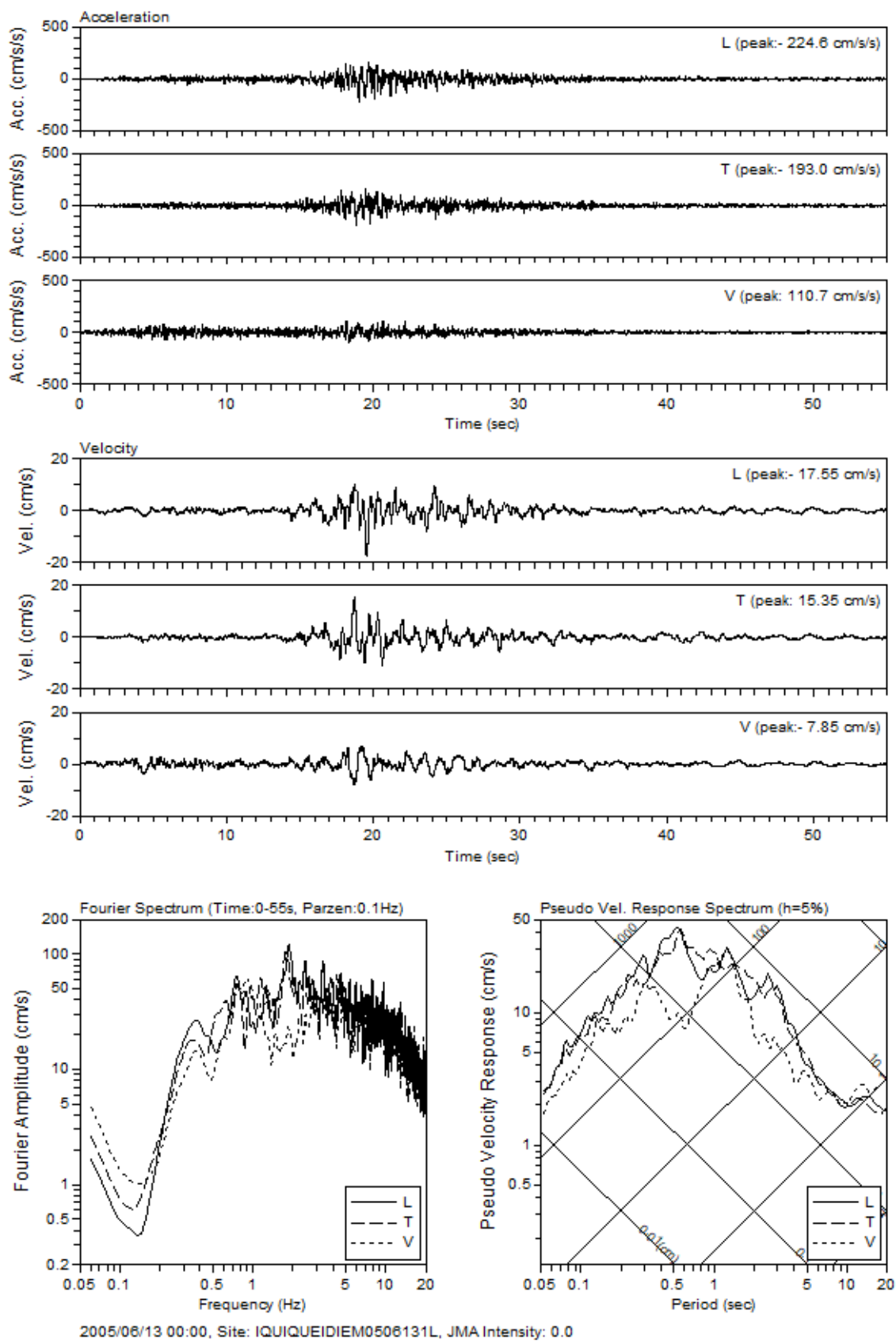


図 3.3.1-9 観測点 Iquiqueidiem における加速度、速度波形とフーリエ・速度応答スペクトル

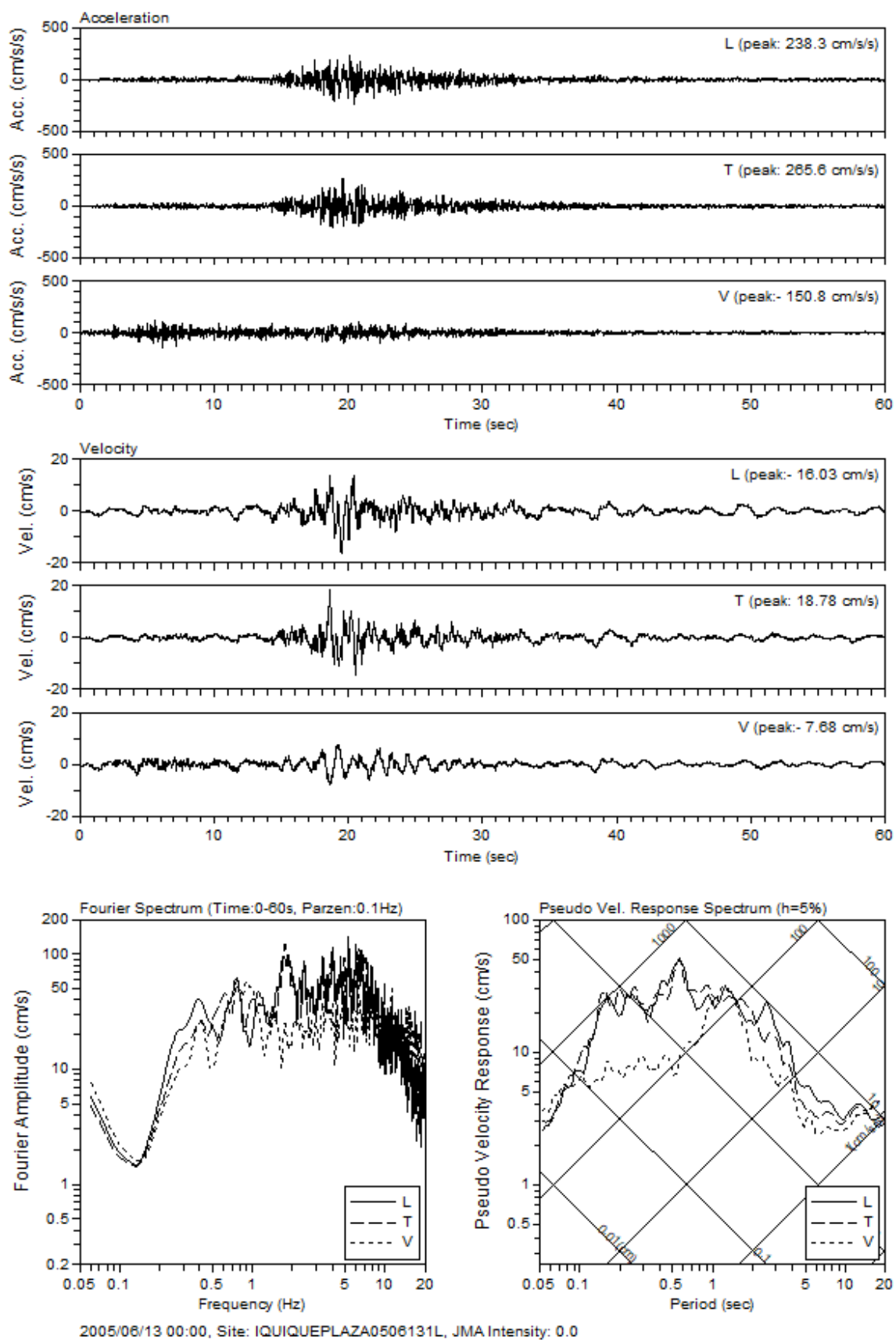


図 3.3.1-10 観測点 Iquiqueplaza における加速度、速度波形とフーリエ・速度応答スペクトル

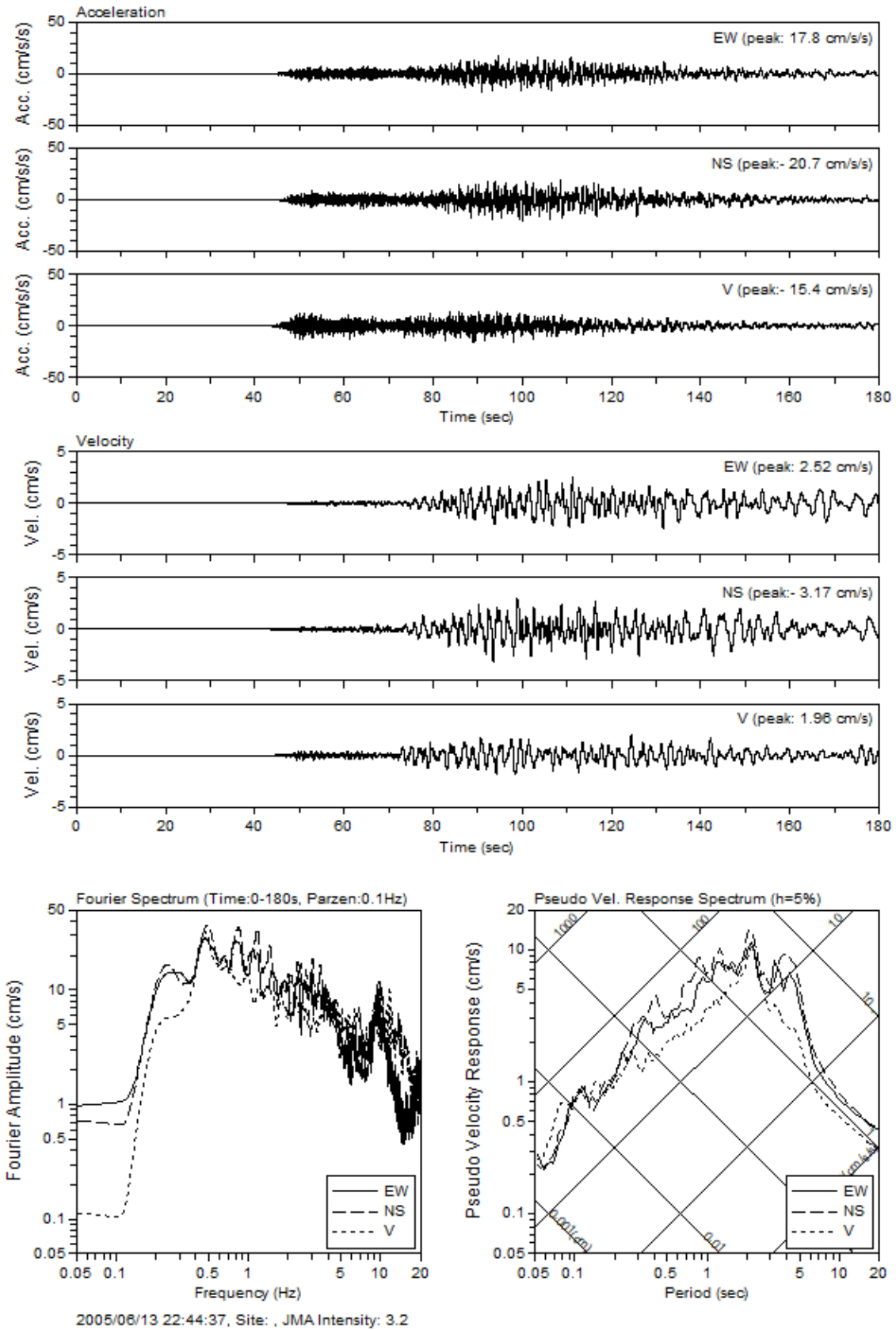


図 3.3.1-11 観測点 Mejillones における加速度、速度波形とフーリエ・速度応答スペクトル

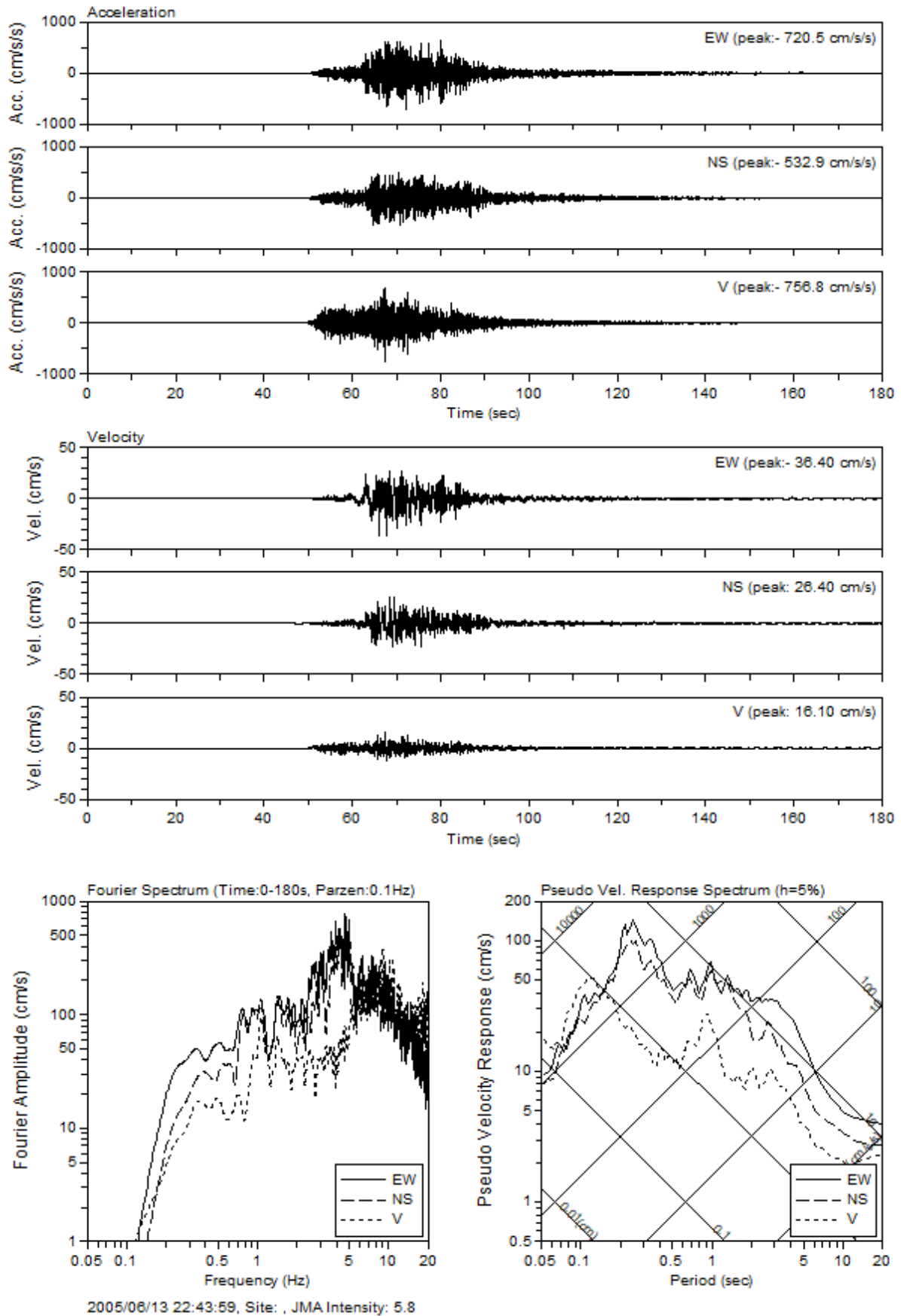


図 3.3.1-12 観測点 Pica における加速度、速度波形とフーリエ・速度応答スペクトル
3.3.1-13

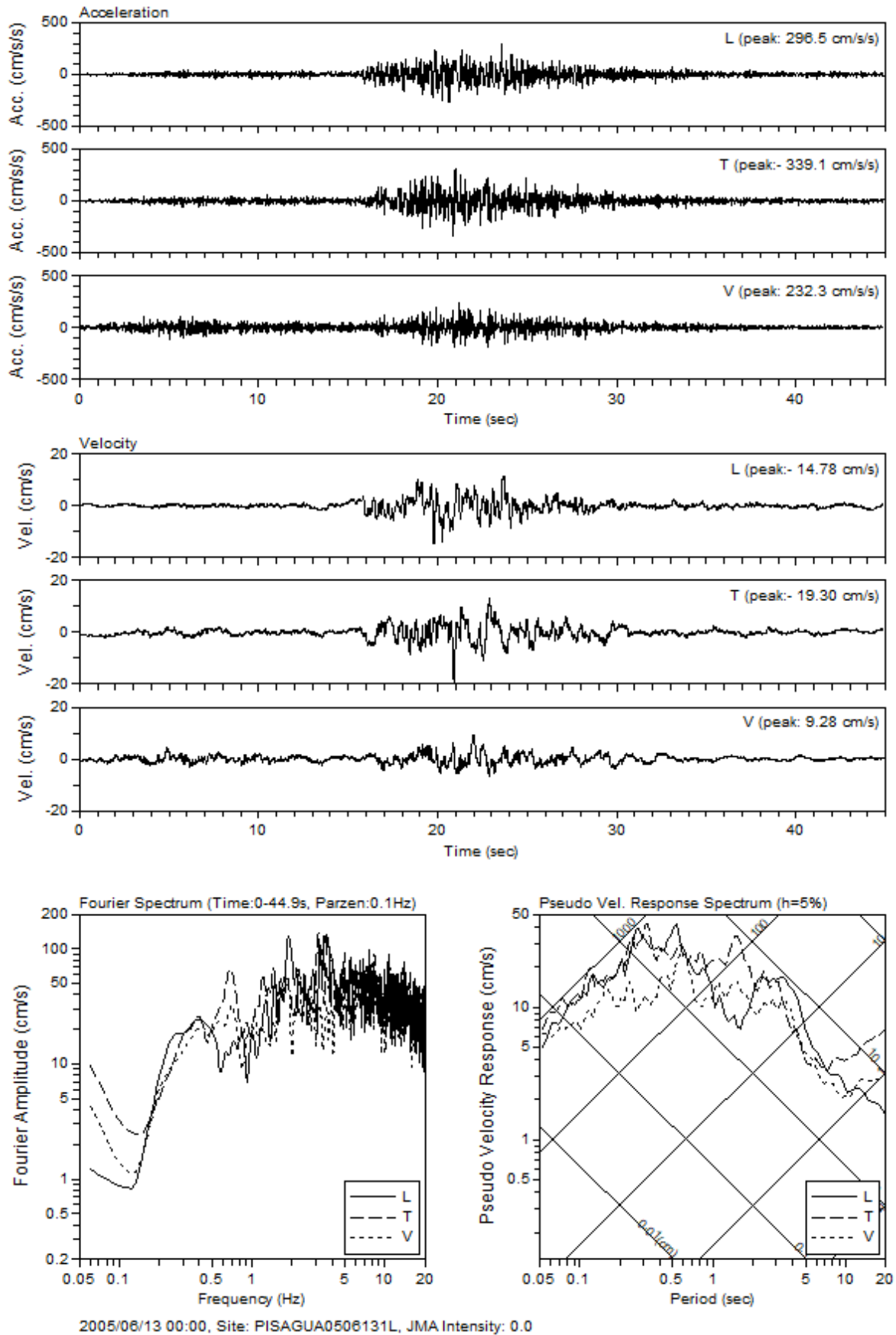


図 3.3.1-13 観測点 Pisagua における加速度、速度波形とフーリエ・速度応答スペクトル
3.3.1-14

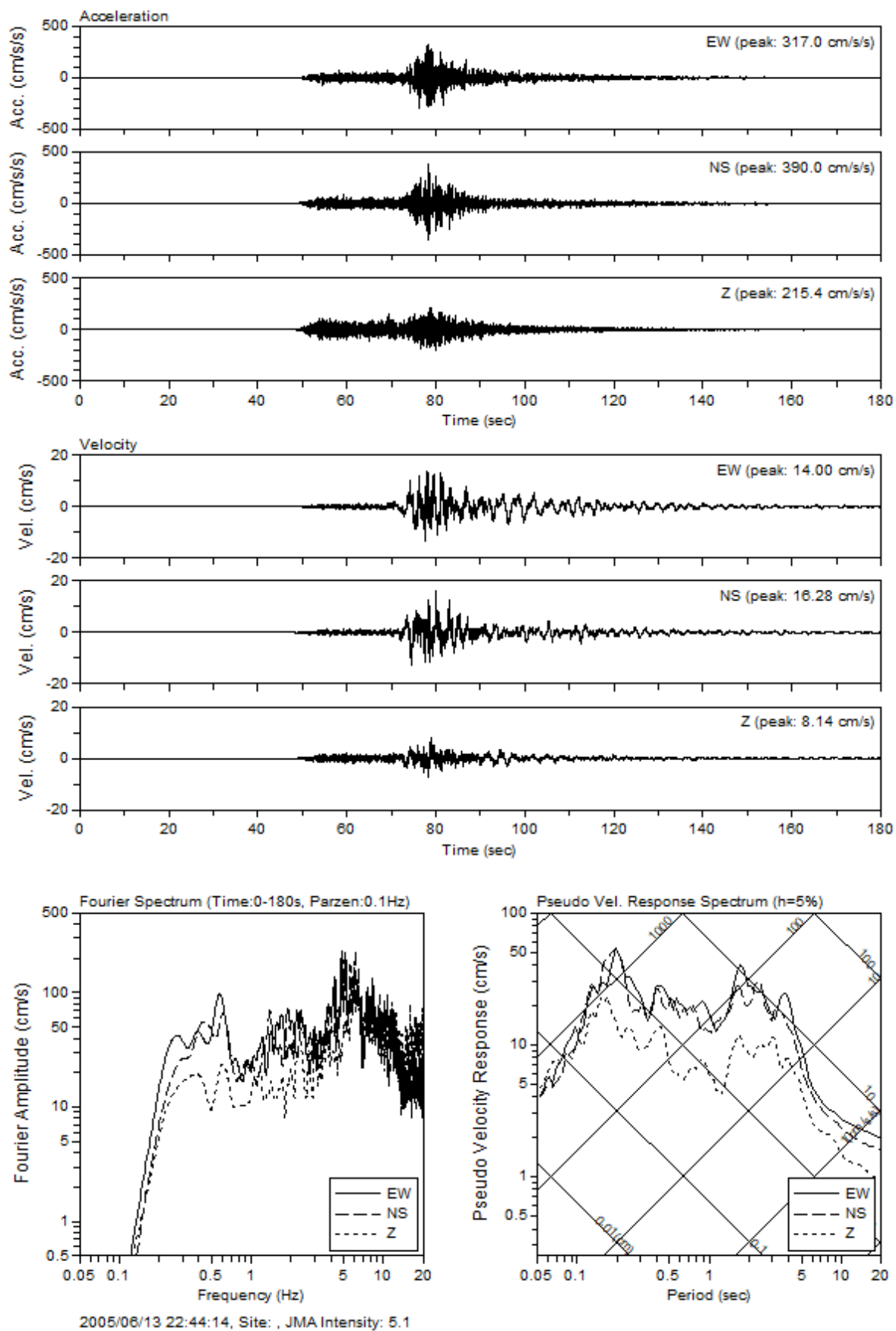


図 3.3.1-14 観測点 Poconchile における加速度、速度波形とフーリエ・速度応答スペクトル
3.3.1-15

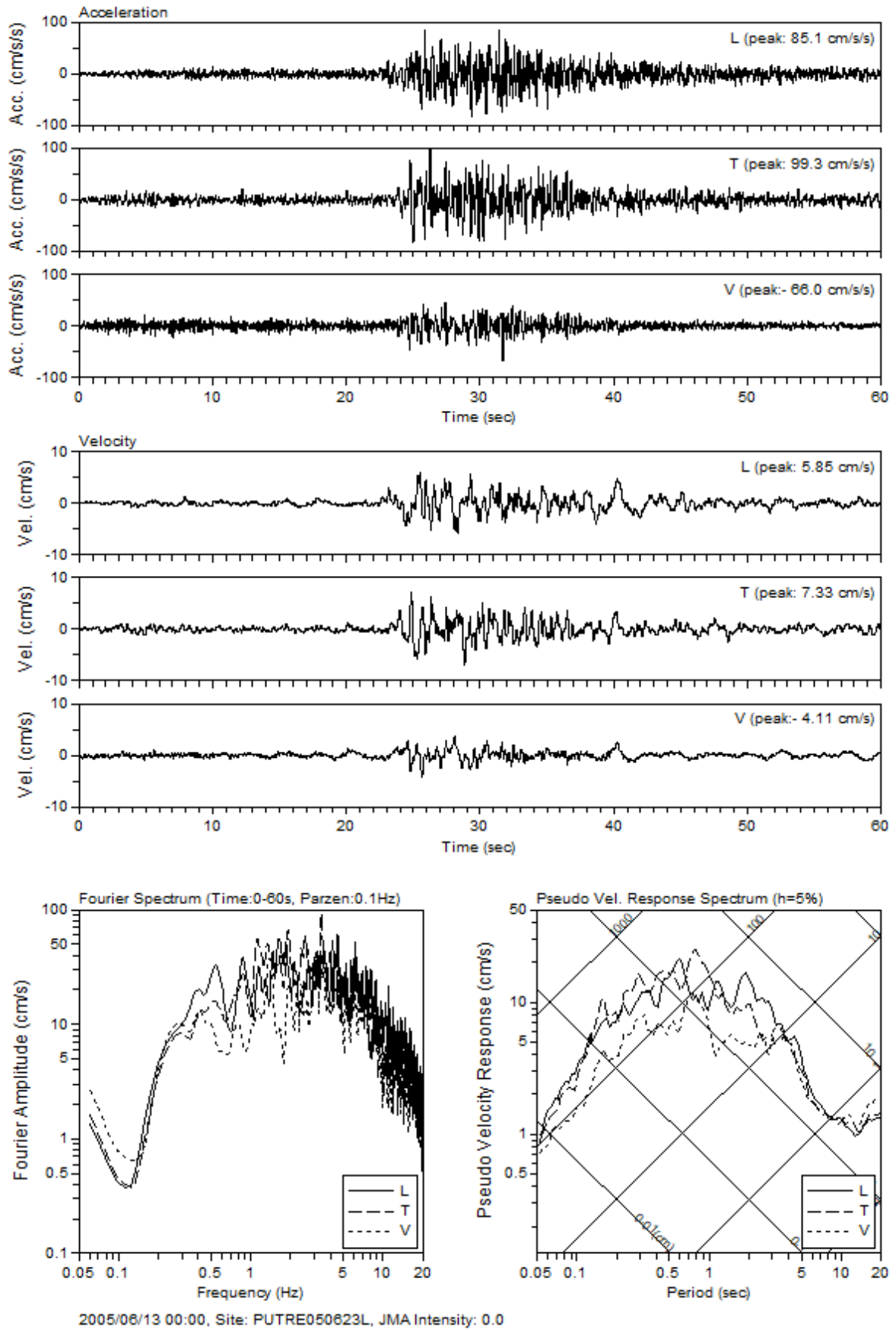


図 3.3.1-15 観測点 Putre における加速度、速度波形とフーリエ・速度応答スペクトル
3.3.1-16

3.3.2 2005年チリ Tarapaca 地震の震源モデルの設定

(1) Tarapaca地震の観測記録と経験的グリーン関数

2005年チリ Tarapaca地震の際に、図3.3.2-1に示す強震観測点で観測記録が得られている。これらの観測記録はすべて収集されており、波形処理を行っているところである。図3.3.2-2には、強震波形の一例として、本震断層に近いPica観測点（Lon=-69.3300、Lat=-20.4920）における加速度波形を示す。

また、Tarapaca地震の発生後、余震が発生している。そのうち下記2005/8/14 2:39:40の地震（Mw 5.8, Lon= -69.36, Lat= -19.89）の際に、Pica観測点において観測波形が公開されている。図3.3.2-3には、2005年8月14日地震の際にPica観測点で得られた観測記録の加速度波形を示す。本検討では、この余震の記録を経験的グリーン関数として用いることとした。ただし、この地震の震源深さについては決定精度低いと思われることから、検討の中では、当該地震の震源深さを変動させて解析を行うこととした。

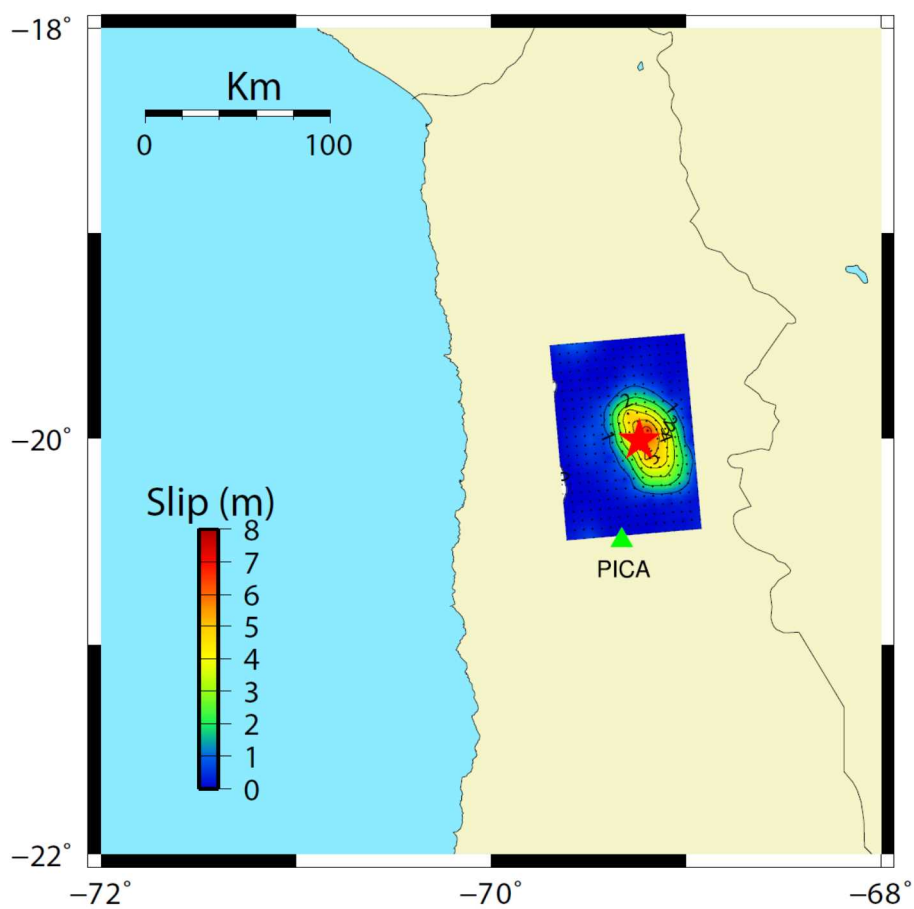


図3.3.2-1 2005年Tarapaca地震の震源位置と余震記録の得られているPica観測点の位置（断層モデルHayes et al. (2005, USGS)より引用）

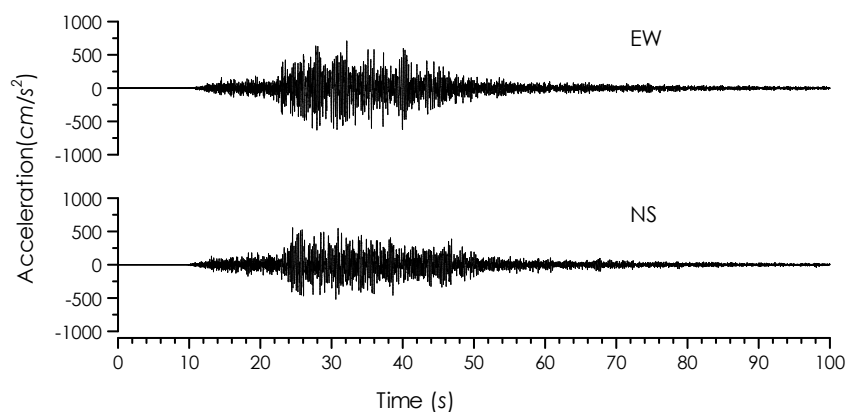


図3.3.2-2 2005年Tarapaca地震においてPica観測点における観測記録の加速度波形

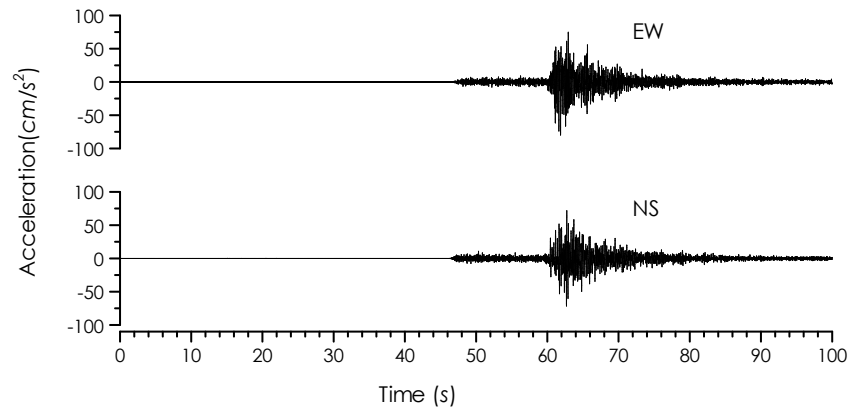


図3.3.2-3 2005年8月14日に発生した余震の際にPica観測点における観測記録の加速度波形

(2) Tarapaca地震の震源モデルの設定

経験的グリーン関数法により、Tarapaca地震の特性化震源モデルを推定するには、波形合成のための合成倍率と応力降下量比を決める必要がある。本研究では、Miyake and Irikura (2003)に従い、大地震と要素地震の距離補正を行ったフーリエスペクトル比により、波形合成のための合成倍率と応力降下量比について検討を行った。この方法では、まず、式(3.3.2-1)により、大地震と要素地震の観測記録により、両者のスペクトル比を計算される。次にこのスペクトル比に(3.3.2-2)式をフィッティングさせ、要素地震と大地震のコーナー周波数 f_{ca} と f_{cm} をそれぞれ決め、(3.3.2-3)式、(3.3.2-4)式より合成倍率 N 、応力降下量比をそれぞれ決められる。

$$\frac{S(f)}{s(f)} = \frac{O(f)/\frac{1}{R} \exp(-\pi f R / Q_s(f) V_s)}{o(f)/\frac{1}{r} \exp(-\pi f r / Q_s(f) V_s)} \quad (3.3.2 - 1)$$

$$SSRF(f) = \frac{M_o}{m} \frac{1 + \left(\frac{f}{f_{ca}}\right)^2}{1 + \left(\frac{f}{f_{cm}}\right)^2} \quad (3.3.2 - 2)$$

$$N = \frac{f_{ca}}{f_{cm}} \quad (3.3.2 - 3)$$

$$C = \frac{M_o}{m} \left(\frac{f_{cm}}{f_{ca}}\right)^3 \quad (3.3.2 - 4)$$

図3.3.2-4には、唯一余震記録の公開されているPica観測点におけるTarapaca地震本震、2005年8月14日余震の観測記録（EW、NS成分）のスペクトル比、それにフィッティングさせたSSRFを示す。なお、距離補正については、前震について震源距離を用いることにして、本震については断層最短距離を用いた。これにより、応力降下量の比が約1.5、合成倍率は8.75(9)と求まっている。これらの結果を参考に、特性化震源モデルの初期値として設定する。これらの結果を参考に、特性化震源モデルの初期値を表 3.3.2-1～表 3.3.2-3として設定した。

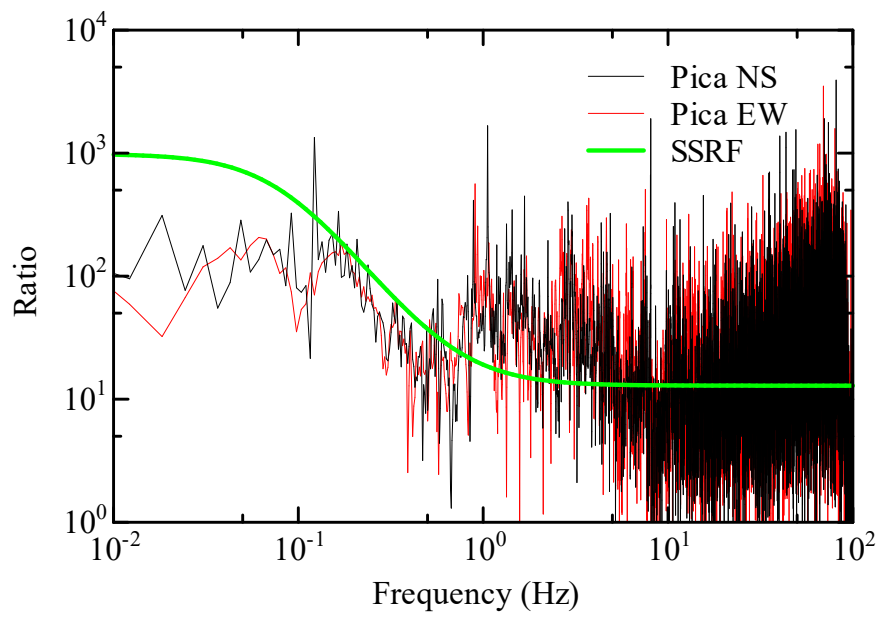


図3.3.2-4 震源スペクトル比とベストフィットのSSRFの比較

表 3.3.2-1 推定された C と N の値

大地震のコーナー周波数	f_{cl}	0.08 Hz
前震のコーナー周波数	f_{cs}	0.70 Hz
合成倍率	N	8.75
Cの値	C	1.5

表 3.3.2-2 本震断層のパラメータ

fault parameters	
M_{wl}	7.8
M_{0l} (N・m)	5.62E+19
S_l (km ²)	400
L_l (km) × W_l (km)	20 × 20
V_s, V_r (km/s)	4.6, 3.11
Q	450 * $f^{0.69}$
$\Delta\sigma_l / \Delta\sigma_s$	3.3
N	9

表 3.3.2-3 余震断層のパラメータ

fault parameters	
M_{ws}	5.8
M_{0s} (N・m)	5.44e+17
$\Delta\sigma_l / \Delta\sigma_s$	3.3
S_s (km ²)	-
L_s (km)	-
W_s (km)	-
D_s (m)	-
f_{cs} (Hz)	0.7

3.3.3 2005年チリ Tarapaca地震の地震動再現解析

3.3.2項で得られた大地震と小地震のスペクトル比と、Hayes et al. (2016)で得られた断層モデルを参考に、1つの強震動生成域SMGAからなる強震動評価のための断層モデルを図3.3.3-1に示すように設定した。この断層モデルに対して、SMGAを9×9×9で分割した。また、Hayes et al. (2016)に従い、 V_s 4.6km/s、立ち上がり時間は2.13秒、 V_r は3.11km/sとした。なお、試行錯誤により、最終的にアスペリティと要素地震の応力降下量の比は約3.3倍とした。また、経験的グリーン関数としている余震の深さを80km程度とした。設定したSMGAモデルでPicaにおける計算結果（速度応答スペクトルと波形）をEW、NSについてそれぞれ図3.3.3-2、図3.3.3-3に示す。これらの図から、いずれの場合でも短周期側の計算結果と観測記録が概ね整合することが確認できる。

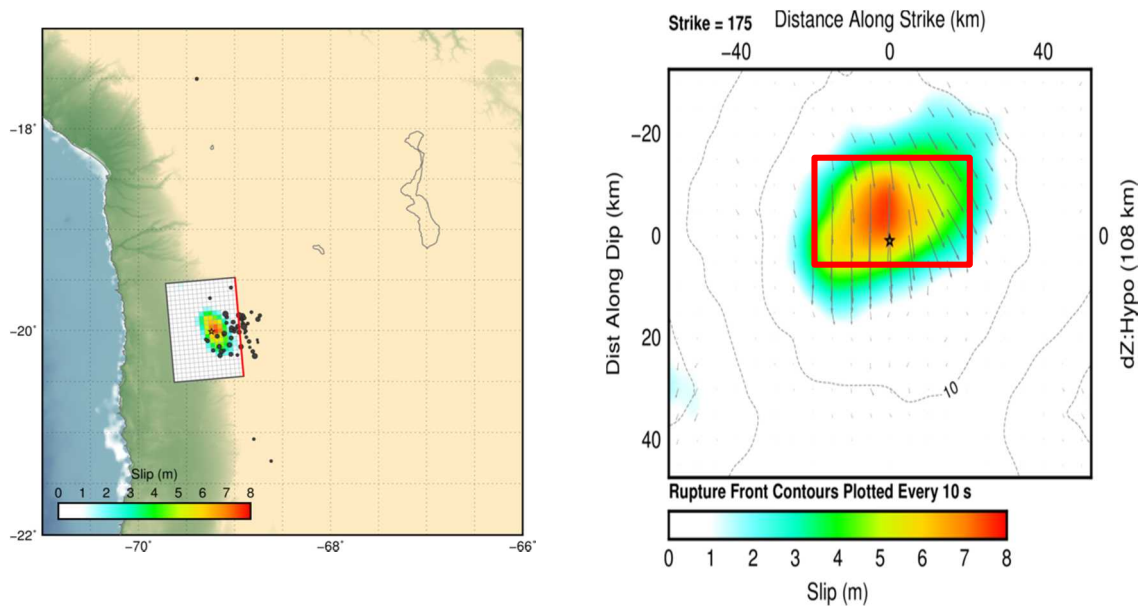


図3.3.3-1 強震動評価のためのアスペリティモデル（赤枠、Hayes et al. (2016)に加筆）

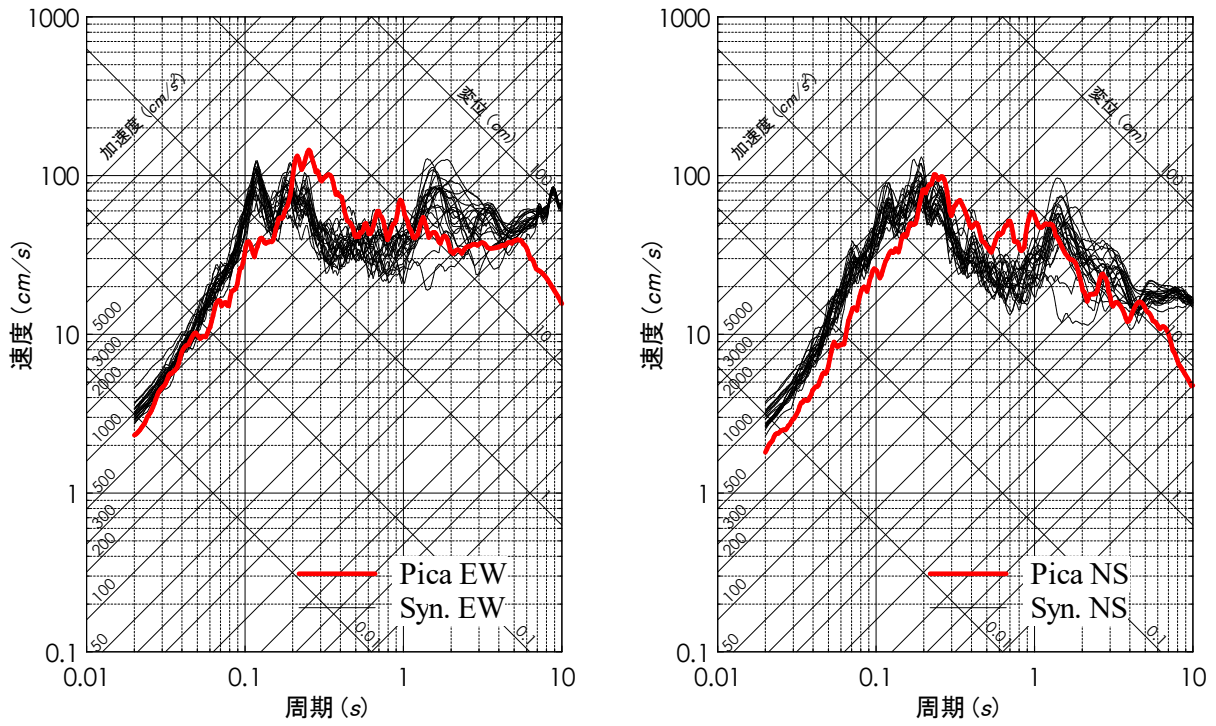


図3.3.3-2 Pica地点における計算結果と観測記録の比較

(EW、NS成分の速度応答スペクトル)

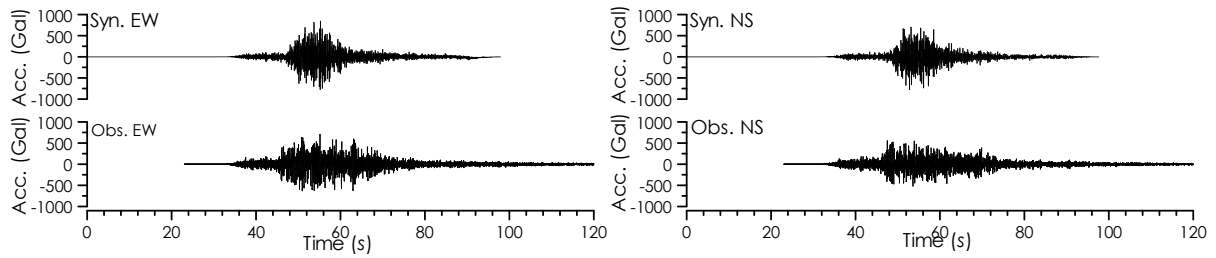


図3.3.3-3 Pica地点における計算結果と観測記録の比較 (EW、NS成分の加速度波形)

3.3.4 1986年ルーマニア Vrancea 地震の震源モデルの再検討

既往の研究（原子力規制庁，2017）で対象とした 1986 年ルーマニア Vrancea 地震について、震源モデルの再検討を行った。なお、既往の研究（原子力規制庁，2017）では、ターゲットの地震の震源モデルをクラックモデル（強震動生成域のみ）として解釈して断層パラメータを設定していたが、経験的グリーン関数法による波形合成時の断層モデルのメッシュの数が大きかったため（ $N=16$ ）、中間周期帯域の速度応答スペクトルが小さくなっていた。

そこで、本検討では、まず、波形合成時の断層モデルのメッシュの数を小さくして（ $N=5$ ）、クラックモデルによる地震動の再現結果の改善を行った。次に、地震調査研究推進本部によるスラブ内地震の「レシピ」と比較するために、背景領域も含む、アスペリティモデルとして考えた場合についても検討した。

(1) 対象地震

地震動再現解析の対象は、既往の研究（原子力規制庁，2017）と同様で、1986 年の Vrancea 地震（ M_w 7.1、以降、ターゲットの地震と呼ぶ）とし、要素地震として 1999 年の地震（ M_w 4.6）を用いた。ターゲットの地震の震央位置とメカニズム解、および要素地震の震央位置を図 3.3.4-1（2016 年度報告書の図 4.3-1 の再掲）に示す。

Oth *et al.* (2007)による、ターゲットの地震（ M_w 7.1）と要素地震（ M_w 4.6）の諸元を表 3.3.4-1（2016 年度報告書の表 4.3-1 の再掲）に、経験的グリーン関数法で使用された数値を表 3.3.4-2（2016 年度報告書の表 4.3-2 の再掲）に示す。

(2) クラックモデルおよび断層パラメータ

表 3.3.4-3 に、既往の研究（原子力規制庁，2017）の検討より設定したターゲットの地震の断層パラメータを、表 3.3.4-4 に要素地震の断層パラメータを示す。また、ターゲットの地震のクラックモデルによる震源モデルのうち、既往の研究（原子力規制庁，2017）の検討に用いた断層モデルのメッシュの数 $N=16$ の場合を図 3.3.4-2 の a)に、本検討に用いた断層モデルのメッシュの数 $N=5$ の場合を図 3.3.4-2 の b)に示す。ここに、巨視的断層面の走向と傾斜は、既往の研究（原子力規制庁，2017）では震源メカニズムのうち 39 度と 19 度と仮定したのに対して、本検討では Oth *et al.* (2007)の情報に基づいて、共役

の面である 240 度と 72 度とした。破壊伝播速度は $V_R=0.72\beta$ (β は S 波速度)、破壊開始点は断層面の中央とした。

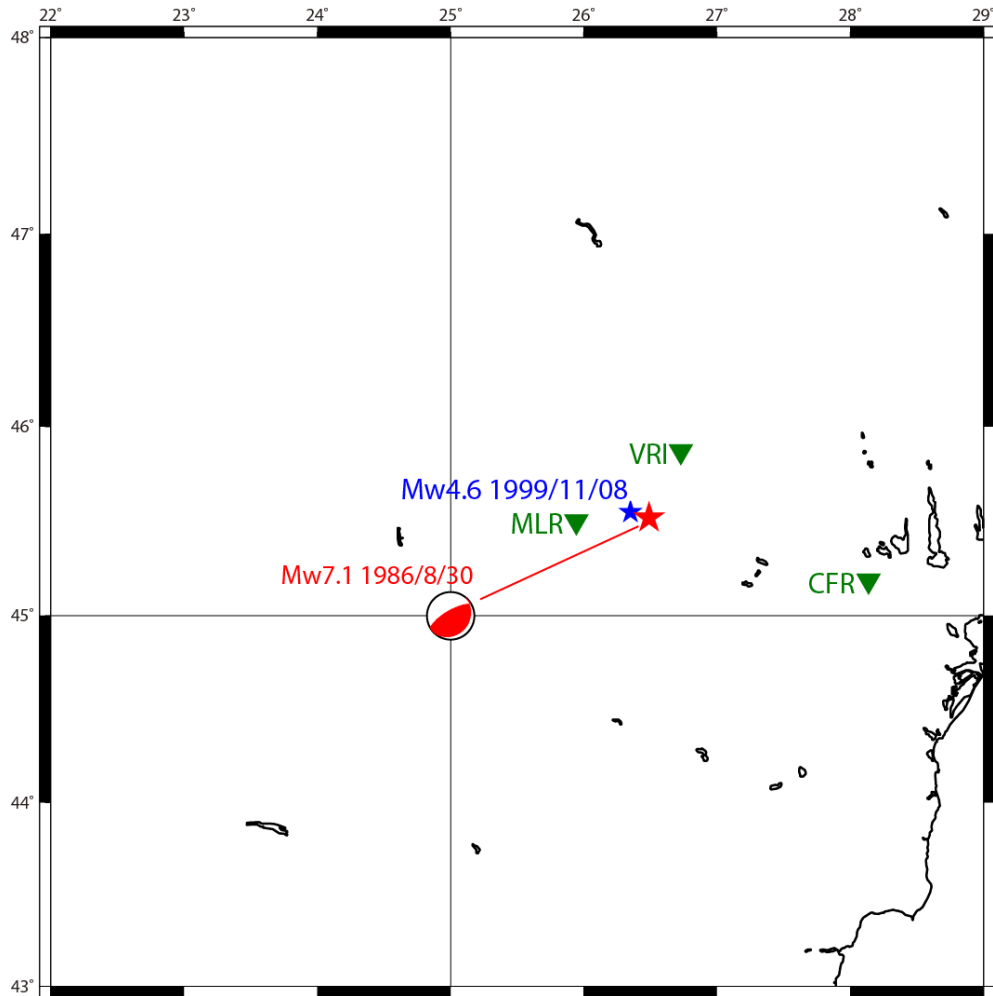


図 3.3.4-1 対象とした地震の震央位置および観測点の分布図

(赤★印：ターゲットの地震、青★印：要素地震、緑▼印：観測点)

(2016 年度報告書の図 4.3-1 の再掲)

表 3.3.4-1 Oth *et al.* (2007) による対象地震の諸元

(2016 年度報告書の表 4.3-1 の再掲)

Table 1

Hypocentral coordinates, moment magnitudes and origin times of the events used in this study

Event ID	Date	Origin time	Latitude (°)	Longitude (°)	Depth (km)	M_w
EGF-A200209	2002/09/06	05:04:02	45.64	26.43	105	4.1
EGF-A200211	2002/11/03	20:30:23	45.74	26.86	90	4.0
EGF-B19991108	1999/11/08	19:22:52	45.55	26.35	138	4.6
EGF-B19991114	1999/11/14	09:05:59	45.52	26.27	132	4.6
EGF-B200004	2000/04/06	00:10:39	45.75	26.64	143	5.0
EGF-C200410	2004/10/27	20:34:36	45.78	26.73	99	5.8
TARGET-A	2004/10/27	20:34:36	45.78	26.73	99	5.8
TARGET-B	1986/08/30	21:28:37	45.52	26.49	132	7.1
TARGET-C	1977/03/04	19:21:54	45.77	26.76	94	7.4

The smaller earthquakes used to generate the synthetics are characterized by the identification code EGF whereas the respective main shock is referenced to as TARGET. The information shown in this table was gathered from the ROMPLUS-catalogue (Oncescu *et al.*, 1999a).

表 3.3.4-2 Oth *et al.* (2007) において経験的グリーン関数法に使用された数値

(2016 年度報告書の表 4.3-2 の再掲)

Event ID	$\frac{M_0}{m_0}$	$f_{C,T}$ (Hz)	$f_{C,E}$ (Hz)	N	C	Number of stations
TARGET-A/EGF-A200209	211	1.7	8.3	5	1.7	12
TARGET-A/EGF-A200211	651	1.6	10.8	7	1.9	10
TARGET-B/EGF-B19991108	8144	0.3	4.0	16	2.0	5
TARGET-B/EGF-B19991114	7134	0.3	4.9	17	1.5	5
TARGET-B/EGF-B200004	914	0.3	3.1	11	0.7	4

表 3.3.4-3 1986 年の Vrancea 地震(ターゲットの地震)のクラックモデルの断層パラメータ

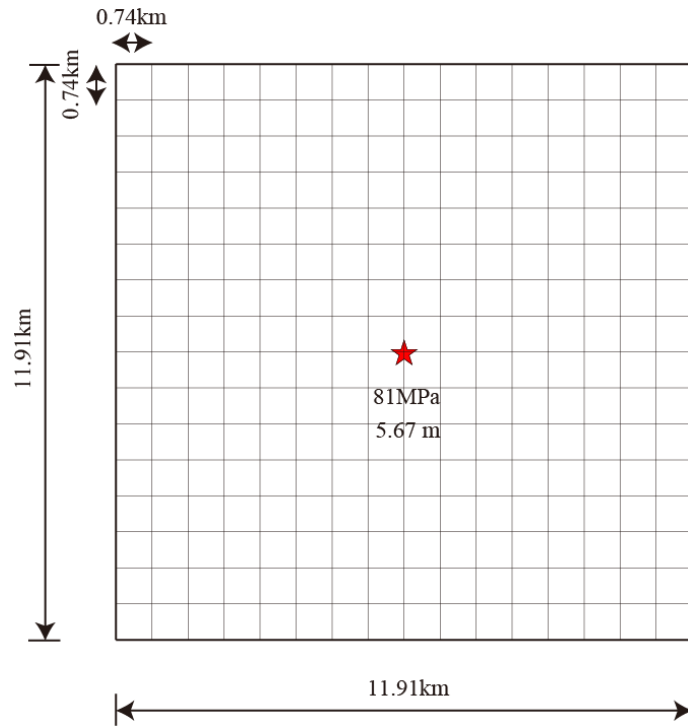
(2016 年度報告書の表 4.3-3 の再掲)

ターゲットの地震の断層パラメータ	設定方法
モーメントマグニチュード M_{wl}	7.1 Oth <i>et al.</i> (2007)の Table 1
地震モーメント M_{0l} (N・m)	5.62E+19 M_{0l} [N・m] = $10^{(1.5M_{wl}+9.1)}$
平均応力降下量 $\Delta\sigma_l$ (MPa)	81 $\Delta\sigma_l = C \Delta\sigma_s$, ここに C は Oth <i>et al.</i> (2007) より 2 とした。
断層面積 S_l (km ²)	141.75 $S_l = \pi (7/16 * M_{0l} / \Delta\sigma_l)^{2/3}$
断層長さ L_l (km)	11.91 $L_l = W_l = \sqrt{S_l}$
断層幅 W_l (km)	11.91 $L_l = W_l = \sqrt{S_l}$
平均すべり量 D_l (m)	5.67 $D_l = M_{0l} / (\mu S_l)$, ここに μ は Oth <i>et al.</i> (2007) より 7×10^{10} N/m ² とした。
コーナー振動数 f_{cl} (Hz)	0.25 $f_{cl} = \beta \sqrt{7/16 S_l}$, ここに β は Oth <i>et al.</i> (2007) より 4.5 km/s とした。
走向, 傾斜角, すべり角	39, 19, 70 (240, 72, 97) Global CMT 解

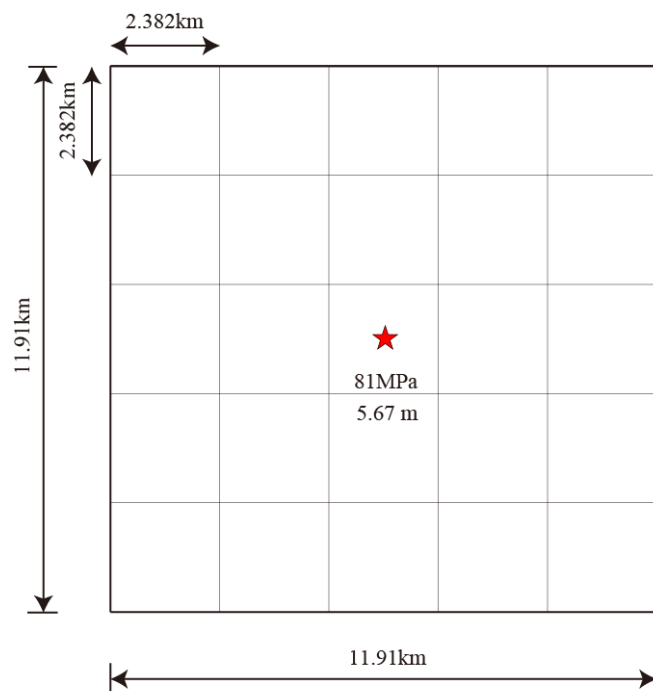
表 3.3.4-4 1999 年の Vrancea 地震(要素地震)の断層パラメータ

(2016 年度報告書の表 4.3-4 の再掲)

要素地震の断層パラメータ	設定方法
モーメントマグニチュード M_{ws}	4.5 $M_{ws} = (\log_{10}(M_{0s}[\text{N}\cdot\text{m}]) - 9.1) / 1.5$
地震モーメント M_{0s} (N・m)	6.86E+15 $M_{0s} = M_{0l} / (C \cdot N^3)$
平均応力降下量 $\Delta\sigma_s$ (MPa)	41 $\Delta\sigma_s = (7/16) [(M_{0s} / (S_s / \pi))^{1.5}]$
断層面積 S_s (km ²)	0.55 $S_s = (7/16) (\beta / f_c)^2$, ここに β は Oth <i>et al.</i> (2007) より 4.5 km/s とした。
断層長さ L_s (km)	0.74 $L_s = W_s = \sqrt{S_s}$
断層幅 W_s (km)	0.74 $L_s = W_s = \sqrt{S_s}$
平均すべり量 D_s (m)	0.18 $D_s = M_{0s} / (\mu S_s)$, ここに μ は Oth <i>et al.</i> (2007) より 7×10^{10} N/m ² とした。
コーナー振動数 f_{cs} (Hz)	4.0 Oth <i>et al.</i> (2007)の Table 2



a) 既往の研究（原子力規制庁，2017）の震源モデル（断層モデルのメッシュの数 $N=16$ ）



b) 本検討による震源モデル（断層モデルのメッシュの数 $N=5$ ）

図 3.3.4-2 1986 年の Vrancea 地震(ターゲットの地震)のクラックモデルによる震源モデル（赤★印：破壊開始点）

(3) アスペリティモデルおよび断層パラメータ

断層パラメータの設定では、ターゲットの地震のモーメントマグニチュード $M_w=7.1$ 、要素地震のコーナー振動数 $f_{cs}=4.0\text{Hz}$ 、経験的グリーン関数法による波形合成時に用いる重ね合わせ数 $N=16$ 、およびターゲットの地震と要素地震の応力降下量の比 $C=2.0$ の4つのパラメータを与条件として、地震調査研究推進本部によるスラブ内地震の「レシピ」に基づいて、ターゲットの地震のアスペリティモデルの断層パラメータを設定した。

地震調査研究推進本部(2016)でまとめられている強震動予測レシピによる、スラブ内地震のアスペリティモデルの設定の流れは図 3.3.4-3 のようになっている。

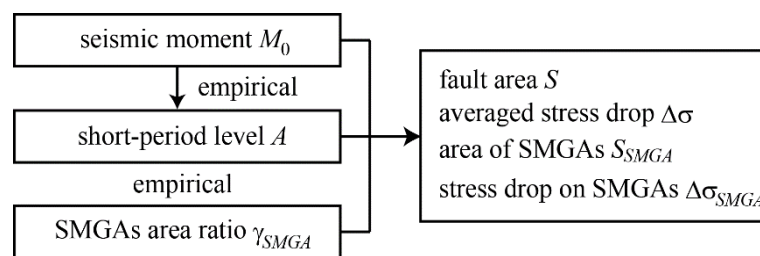


図 3.3.4-3 地震調査研究推進本部(2016)の強震動予測レシピによる
断層パラメータ算定手順

スラブ内地震のアスペリティモデルを記述する主なパラメータは、震源断層面積 S 、地震モーメント M_0 、短周期レベル A 、平均応力降下量 $\Delta\sigma$ 、強震動生成域(SMGA)の応力降下量 $\Delta\sigma_{SMGA}$ 、強震動生成域の面積 S_{SMGA} の6つである。

地震調査研究推進本部(2016)の強震動予測レシピでは、まず、対象地震の M_0 を与えると、(3.3.4-1)式～(3.3.4-3)式より、対象地震の短周期レベル A 、および強震動生成域の面積 S_{SMGA} の震源断層面積 S に対する比 γ_{SMGA} が求まる。ここに、(3.3.4-1)式は笹谷・他(2006)による地震モーメントと短周期レベルの経験式、(3.3.4-2)式は笹谷・他(2006)による地震モーメントとアスペリティの面積の経験式で、(3.3.4-3)式は(3.3.4-1)式と(3.3.4-2)式に基づく地震モーメントと強震動生成域の面積 S_{SMGA} の震源断層面積 S に対する比 γ_{SMGA} の経験式である。

その後、式(3.3.4-4)～式(3.3.4-6)の3つの関係式を用いて、震源断層面積 S 、平均応力降下量 $\Delta\sigma$ 、強震動生成域の応力降下量 $\Delta\sigma_{SMGA}$ 、および強震動生成域の面積 S_{SMGA} を算定する。ここに、(3.3.4-4)式は、Eshelby (1957)による円形クラックモデルにおける断層面

積 S と地震モーメント M_0 と平均応力降下量 $\Delta\sigma$ の理論的な関係式であり、(3.3.4-5)式は Madariaga (1979)によるアスペリティモデルの一般式、(3.3.4-6)式は円形クラックモデルを念頭においた Brune (1970)による経験式であるが、のちに Boatwright (1988)が断層の動力学的破壊シミュレーションよりアスペリティモデルにも適用できることを示した式である。

対象地震の短周期レベル A に関しては、(3.3.4-1)式の地震モーメントと短周期レベルの経験式より求めることもできれば、対象評価地域で過去に発生したスラブ内地震について短周期レベルが推定されている場合は、その情報を参照することもできるとしている。

$$A_{sasatani}[\text{N} \cdot \text{m} / \text{s}^2] = 9.84 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7 [\text{N} \cdot \text{m}])^{1/3} \quad (3.3.4-1)$$

$$S_{sasatani}[\text{km}^2] = 1.25 \times 10^{-16} \times (M_0 \times 10^7 [\text{N} \cdot \text{m}])^{2/3} \quad (3.3.4-2)$$

$$\gamma_{SMGA} = S_{SMGA} / S = (16 A_{sasatani}^2 S_{sasatani}^2) / (49 \pi^4 \beta^4 M_0^2) \quad (3.3.4-3)$$

$$\Delta\sigma = (7/16) M_0 / (S / \pi)^{1.5} \quad (3.3.4-4)$$

$$\Delta\sigma_{SMGA} = (S / S_{SMGA}) \Delta\sigma \quad (3.3.4-5)$$

$$A = 4 \pi \beta^2 (S / \pi)^{1/2} \Delta\sigma \quad (3.3.4-6)$$

ここでは、まず、Kanamori (1977)による(3.3.4-7)式より、ターゲットの地震の地震モーメント M_{0t} をモーメントマグニチュード M_{wt} から算出した。

$$M_{0t}[\text{N} \cdot \text{m}] = 10^{1.5M_{wt}+9.1} \quad (3.3.4-7)$$

ターゲットの地震の地震モーメント M_{0t} が得られたので、地震調査研究推進本部によるスラブ内地震の強震動予測レシピに基づいて、ターゲットの地震のアスペリティモデルにおける残りの5つの断層パラメータを求めることができる。その際、ターゲットの地震の短周期レベル A_t については、与条件として用いた Oth *et al.* (2007)による4つのパラメータから推定した値を直接用いることにした。

ターゲットの地震の短周期レベル A_t を推定するために、まず要素地震の短周期レベル A_s を求めた。Oth *et al.* (2007)が求めた C と N の値を(3.3.4-8)式に代入すると、要素地震の地震モーメント M_{0s} が決まる。次に、Brune(1970)の ω^{-2} モデルを仮定した場合の、(3.3.4-9)式によるコーナー振動数の値と、円形クラックの平均応力降下量を求める(3.3.4-10)式を用いて、要素地震の断層面積 S_s 、および要素地震の応力降下量 $\Delta\sigma_s$ を算定した。さらに、要素地震の断層面積 S_s 、および要素地震の応力降下量 $\Delta\sigma_s$ を用いて、(3.3.4-11)式より要素地震の短周期レベル A_s が求まる。

$$M_{0l} / M_{0s} = CN^3 = 8192 \quad (3.3.4-8)$$

$$f_{cs} = \beta \sqrt{(7/16) / S_s} = 4.0 \text{ Hz} \quad (3.3.4-9)$$

$$\Delta\sigma_s = (7/16)M_{0s} / (S_s / \pi)^{1.5} \quad (3.3.4-10)$$

$$A_s = 4\pi\beta^2 (S_s / \pi)^{1/2} \Delta\sigma_s \quad (3.3.4-11)$$

要素地震の短周期レベル A_s が求まったので(3.3.4-12)式よりターゲットの地震の短周期レベル A_l が求まる。

$$A_l / A_s = CN = 32 \quad (3.3.4-12)$$

ターゲットの地震の地震モーメント M_{0l} と短周期レベル A_l が分かったので、(3.3.4-3)式～(3.3.4-6)式より、ターゲットの地震における、強震動生成域の面積 S_{SMGA} の断層面積 S_l に対する比 γ_{SMGA} 、震源断層面積 S_l 、平均応力降下量 $\Delta\sigma$ 、強震動生成域の応力降下量 $\Delta\sigma_{SMGA}$ 、および強震動生成域の面積 S_{SMGA} が求まる。

ほかに、ターゲットの地震の平均すべり量 D_l は下記の(3.3.4-13)式より算定した。ここに、剛性率 μ は、Oth *et al.* (2007) より、 $7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ とした。

$$M_{0l} = \mu D_l S_l \quad (3.3.4-13)$$

また、強震動生成域の平均すべり量 D_{SMGA} は、断層面全体の平均すべり量の2倍とした。

$$D_{SMGA} = 2 \times D_l \quad (3.3.4-14)$$

最後に、背景領域の平均すべり量 D_{back} 、および実効応力 σ_{back} は下記の(3.3.4-15)～(3.3.4-16)式より算定した。ここに、 $W_{back} = W_l$ とし、 $W_{SMGA} = \text{sqrt}(S_{SMGA})$ とした。

$$D_{back} = (D_l S_l - D_{SMGA} S_{SMGA}) / (S_l - S_{SMGA}) \quad (3.3.4-15)$$

$$\sigma_{back} = (D_{back} / W_{back}) / (D_{SMGA} / W_{SMGA}) \cdot \Delta\sigma_{SMGA} \quad (3.3.4-16)$$

表 3.3.4-5 に、設定したターゲットの地震のアスペリティモデルの断層パラメータを示し、表 3.3.4-6 に要素地震の断層パラメータを示す。また、ターゲットの地震のアスペリティモデルによる震源モデルを図 3.3.4-4 に示す。

表 3.3.4-5 1986 年の Vrancea 地震(ターゲットの地震)のアスペリティモデルの
断層パラメータ

ターゲットの地震の断層パラメータ		設定方法
モーメントマグニチュード M_{Wl}	7.1	Oth <i>et al.</i> (2007)のTable 1
地震モーメント M_{0l} (N・m)	5.62E+19	$M_{0l}[\text{N}\cdot\text{m}] = 10^{(1.5M_{Wl} + 9.1)}$
短周期レベル A_l (N・m/s ²)	1.39E+20	$A_l = A_s CN$, ここに C と N は Oth <i>et al.</i> (2007)より2と16とした。
短周期レベル $A_{sasatani}$ (N・m/s ²)	8.12E+19	$A_{sasatani}[\text{N}\cdot\text{m/s}^2] = 9.84 \times 10^{10} \times [M_0 \times 10^7]^{1/3}$
強震動生成域の面積 $S_{sasatani}$ (km ²)	85	$S_{sasatani}[\text{km}^2] = 1.25 \times 10^{-16} \times [M_0 \times 10^7]^{2/3}$
強震動生成域の面積の震源断層の面積に対する比 γ_{SMGA}	0.12	$\gamma_{SMGA} = (16A_{sasatani}^2 S_{sasatani}^2) / (49\pi^4 \beta^4 M_0^2)$
断層面積 S_l (km ²)	403	$S_l = (7\pi^2 \beta^2 M_0) / (4A \gamma_{SMGA}^{0.5})$
断層長さ L_l (km)	20.1	$L_l = W_l = \text{sqrt}(S_l)$
断層幅 W_l (km)	20.1	$L_l = W_l = \text{sqrt}(S_l)$
平均すべり量 D_l (m)	1.99	$D_l = M_{0l} / (\mu S_l)$, ここに μ は Oth <i>et al.</i> (2007)より $7 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ とした。
平均応力降下量 $\Delta\sigma_l$ (MPa)	17	$\Delta\sigma_l = (7/16) [(M_{0l} / (S_l \pi))^{1.5}]$
強震動生成域の面積 S_{SMGA} (km ²)	50	$S_{SMGA} = S_l \times \gamma_{SMGA}$
強震動生成域の応力降下量 $\Delta\sigma_{SMGA}$ (MPa)	137	$\Delta\sigma_{SMGA} = (S_l \Delta\sigma_l) / S_{SMGA}$
強震動生成域のすべり量 D_{SMGA} (m)	4.0	$D_{SMGA} = 2D_l$
強震動生成域の地震モーメント M_{0SMGA} (N・m)	1.39E+19	$M_{0SMGA} = \mu S_{SMGA} D_{SMGA}$, ここに μ は Oth <i>et al.</i> (2007)より $7 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ とした。
背景領域の地震モーメント M_{0back} (N・m)	4.23E+19	$M_{0back} = M_{0l} - M_{0SMGA}$
背景領域の面積 S_{back}	353	$S_{back} = S_l - S_a$
背景領域のすべり量 D_{back} (m)	1.71	$D_{back} = (S_l D_l - S_a D_a) / S_{back}$
背景領域の実効応力 σ_{back} (MPa)	21	$\sigma_{back} = (D_{back} / W_{back}) / (D_{SMGA} / W_{SMGA}) \Delta\sigma_{SMGA}$
走向, 傾斜角, すべり角	39, 19, 70 (240, 72, 97)	Global CMT解

表 3.3.4-6 1999 年の Vrancea 地震(要素地震)の断層パラメータ
(2016 年度報告書の表 4.3-4 に加筆)

要素地震の断層パラメータ		設定方法
モーメントマグニチュード M_{Ws}	4.5	$M_{Ws} = (\log 10(M_{0s}[\text{N}\cdot\text{m}]) - 9.1) / 1.5$
地震モーメント M_{0s} (N・m)	6.86E+15	$M_{0s} = M_{0l} / (C \cdot N^3)$
応力降下量 $\Delta\sigma_s$ (MPa)	41	$\Delta\sigma_s = (7/16) [(M_{0s} / (S_s \pi))^{1.5}]$
断層面積 S_s (km ²)	0.55	$S_s = (7/16) (\beta / f_c)^2$, ここに β は Oth <i>et al.</i> (2007)より 4.5km/s とした。
断層長さ L_s (km)	0.74	$L_s = W_s = \text{sqrt}(S_s)$
断層幅 W_s (km)	0.74	$L_s = W_s = \text{sqrt}(S_s)$
平均すべり量 D_s (m)	0.18	$D_s = M_{0s} / (\mu S_s)$, ここに μ は Oth <i>et al.</i> (2007)より $7 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ とした。
コーナー振動数 f_{cs} (Hz)	4.0	Oth <i>et al.</i> (2007)のTable 2
短周期レベル A_s (N・m/s ²)	4.34E+18	$A_s = 4\pi\beta^2 (S_s / \pi)^{1/2} \Delta\sigma_s$

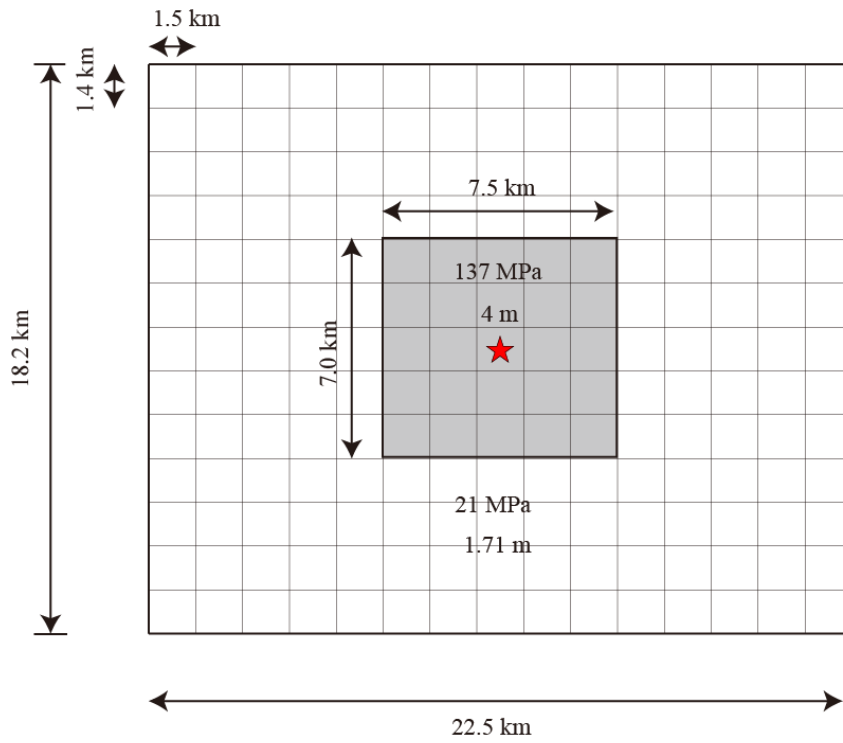


図 3.3.4-4 1986 年の Vrancea 地震(ターゲットの地震)のアスペリティモデルによる震源モデル (赤★印：破壊開始点)

3.3.5 1986年ルーマニア Vrancea 地震の地震動再現解析

(1)クラックモデルによる地震動再現解析

図 3.3.5-1 に 1986 年の Vrancea 地震(ターゲットの地震)のクラックモデルによる断層面と要素地震の震央の位置を示す。図中、星印は破壊開始点で、三角印は観測点である。また、図 3.3.5-2 には 1986 年の Vrancea 地震のクラックモデルによる震源モデルを示す。

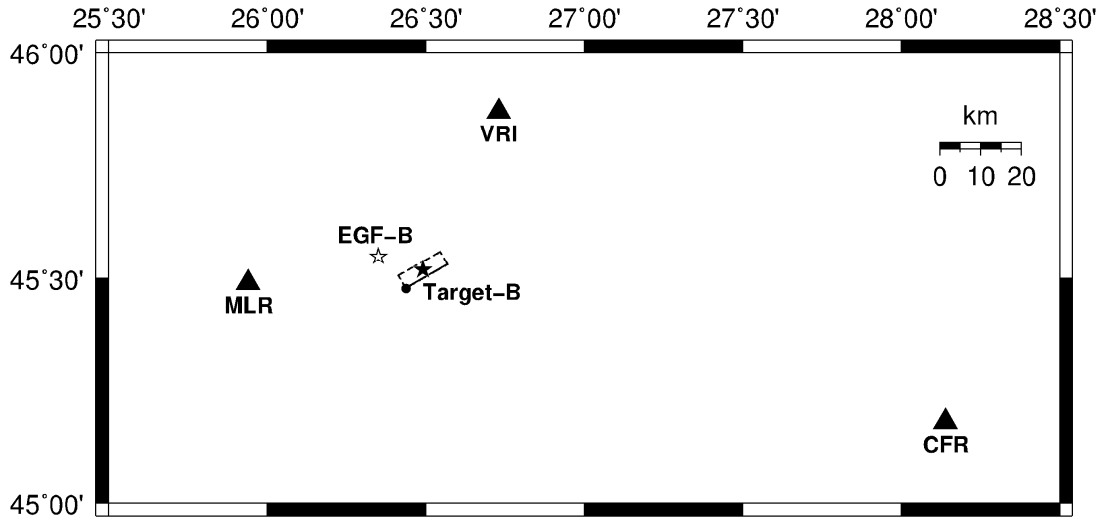


図 3.3.5-1 1986 年の Vrancea 地震(ターゲットの地震)のクラックモデルによる断層面と要素地震(EGF-B)の震央の位置 (図中、星印は破壊開始点、三角印は観測点)

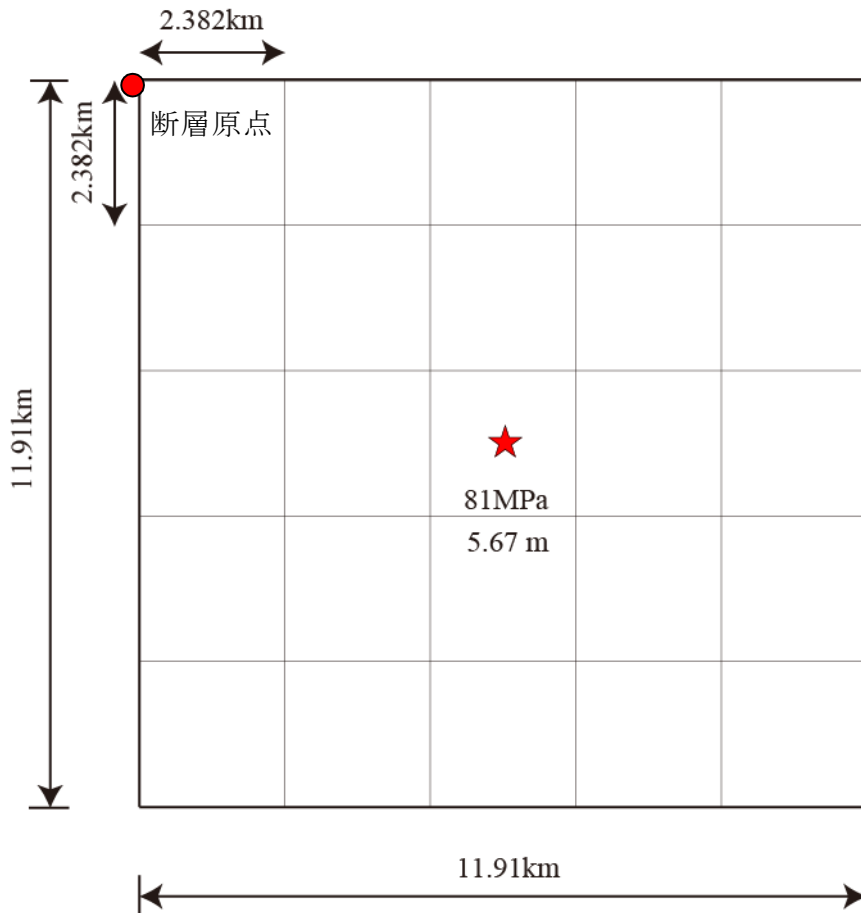
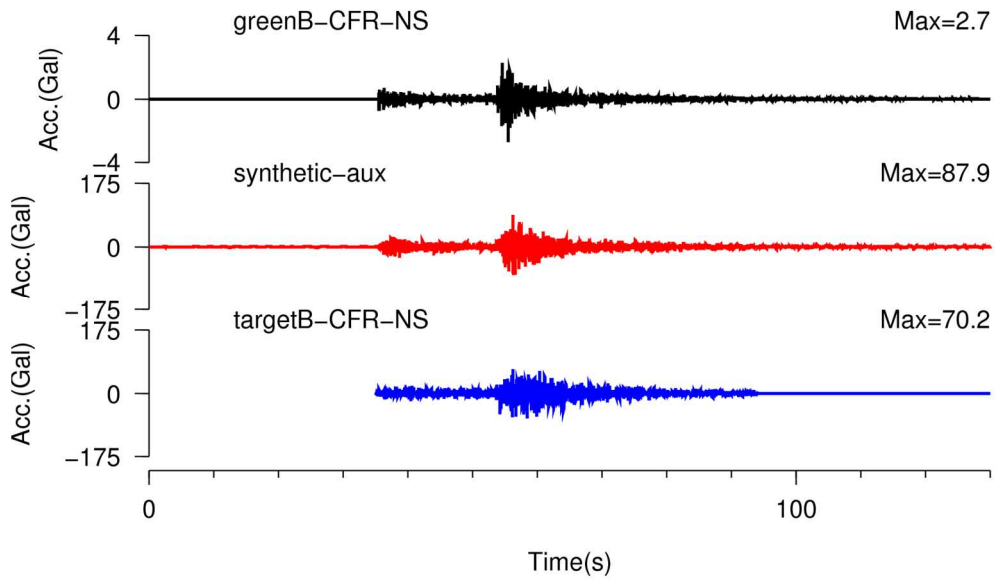


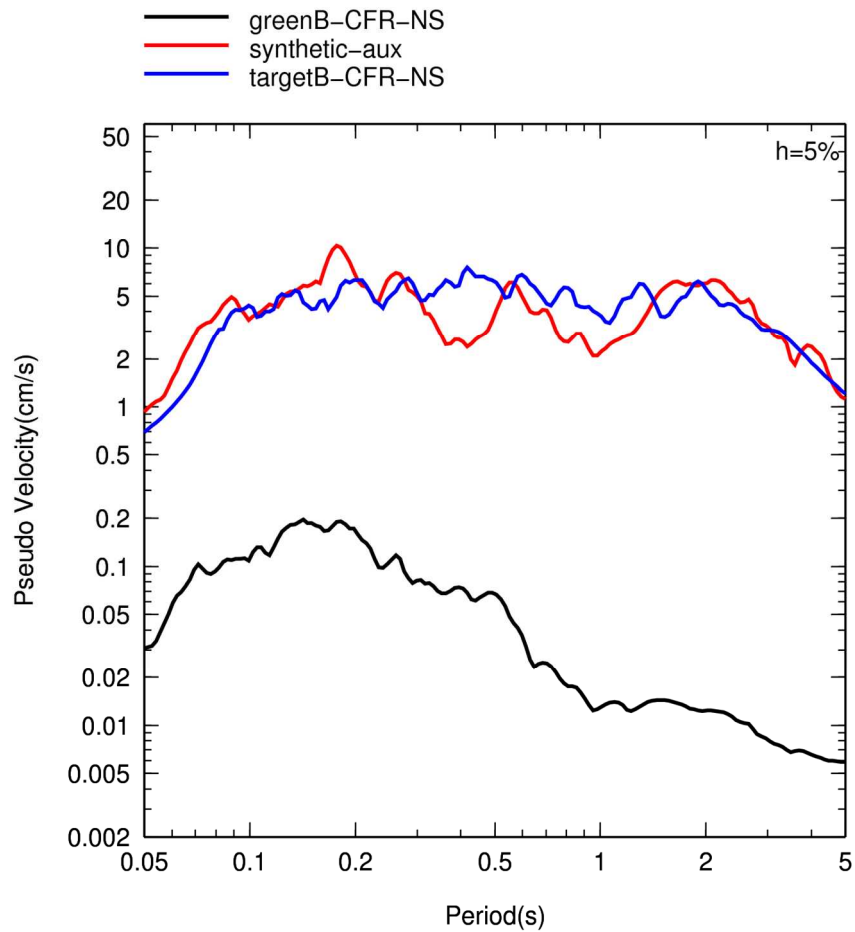
図 3.3.5-2 1986 年の Vrancea 地震(ターゲットの地震)のクラックモデルによる断層モデル

図 3.3.5-3 には CFR における NS 成分の計算結果を示す。また、図 3.3.5-4 と図 3.3.5-5 にはそれぞれ EW 成分と UD 成分の計算結果を示す。各図とも、(a)は加速度波形で、要素地震の記録、合成結果、ターゲットの地震の記録である。各図の(b)には減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。図 3.3.5-6 から図 3.3.5-8 には MLR における計算結果を示す。図 3.3.5-9 から図 3.3.5-11 には VRI における計算結果を示す。

経験的グリーン関数法による波形合成時に用いる断層モデルのメッシュの数を $N=16$ から $N=5$ に変更することによって、CFR における合成結果と VRI における計算結果ともに、減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルの中周期帯域での過小評価が改善され、全周期帯域で観測記録とよく一致するようになった。なお、MLR 観測点については、Oth 氏からの情報で種地震の観測記録に問題がある可能性が指摘されたため、考察対象から外した。



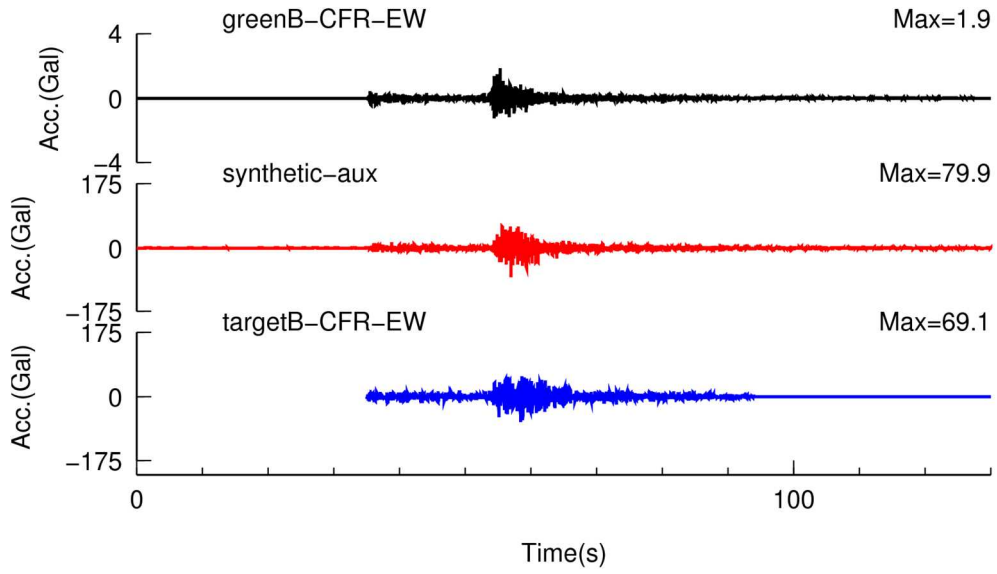
a) 加速度波形



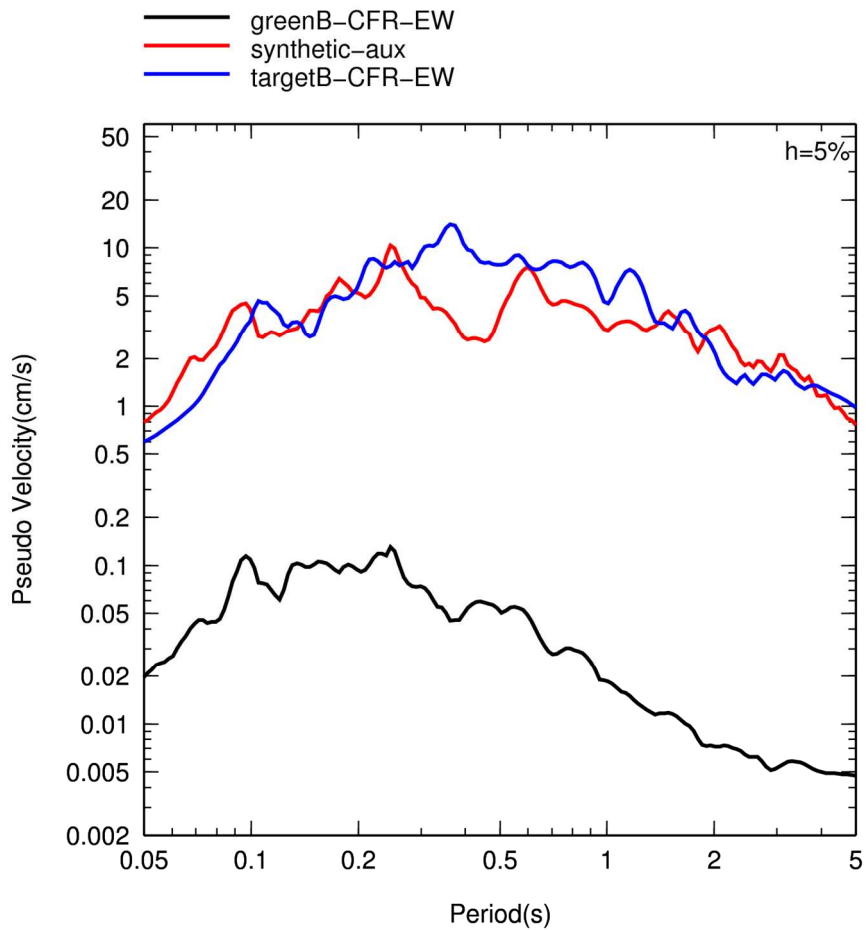
BaCR0505-CFR

b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-3 クラックモデルによる CFR における合成結果 (NS 成分)



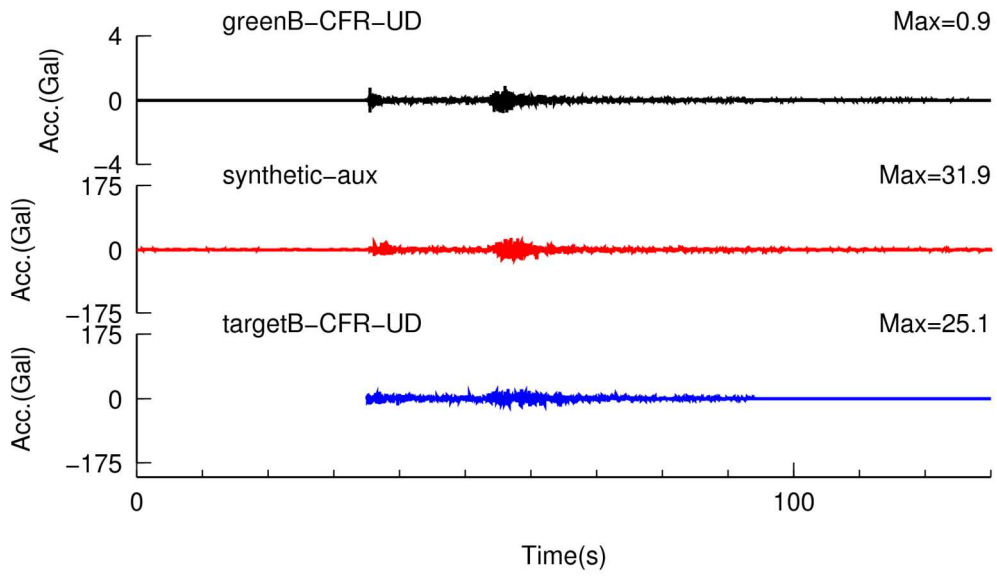
a) 加速度波形



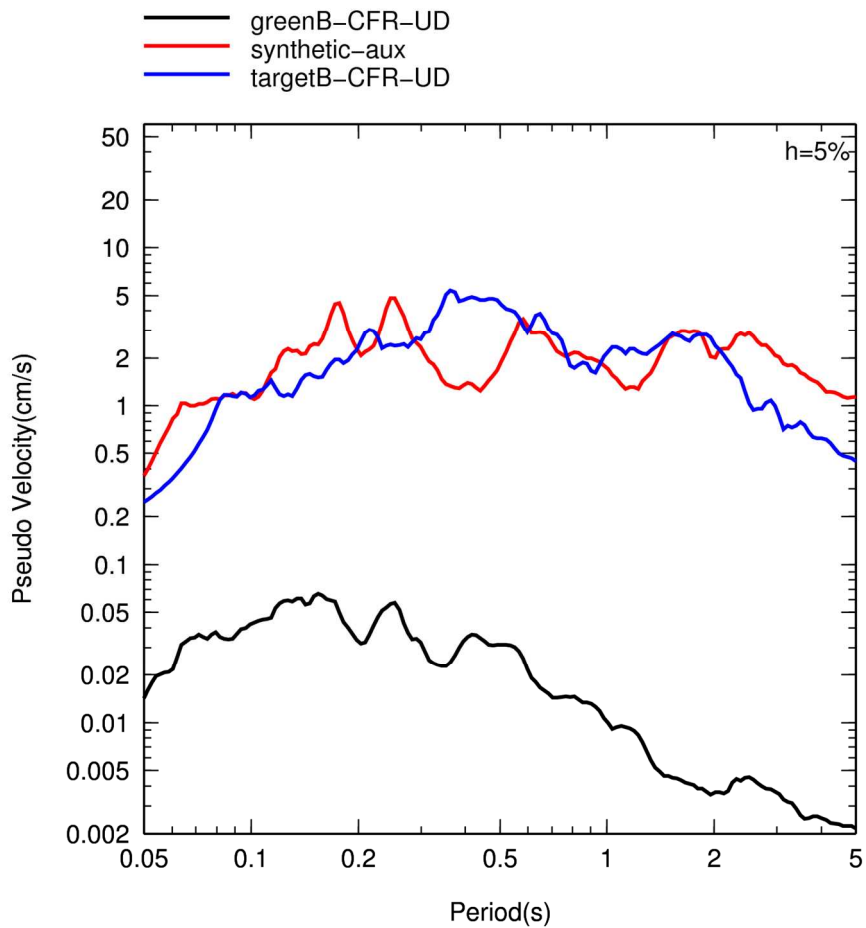
BaCR0505-CFR

b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-4 クラックモデルによる CFR における合成結果 (EW 成分)



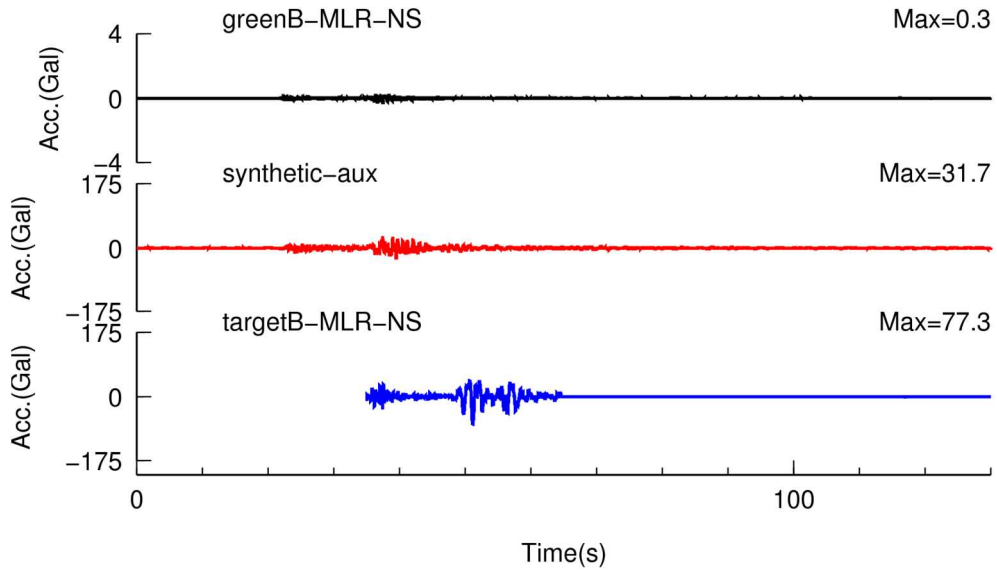
a) 加速度波形



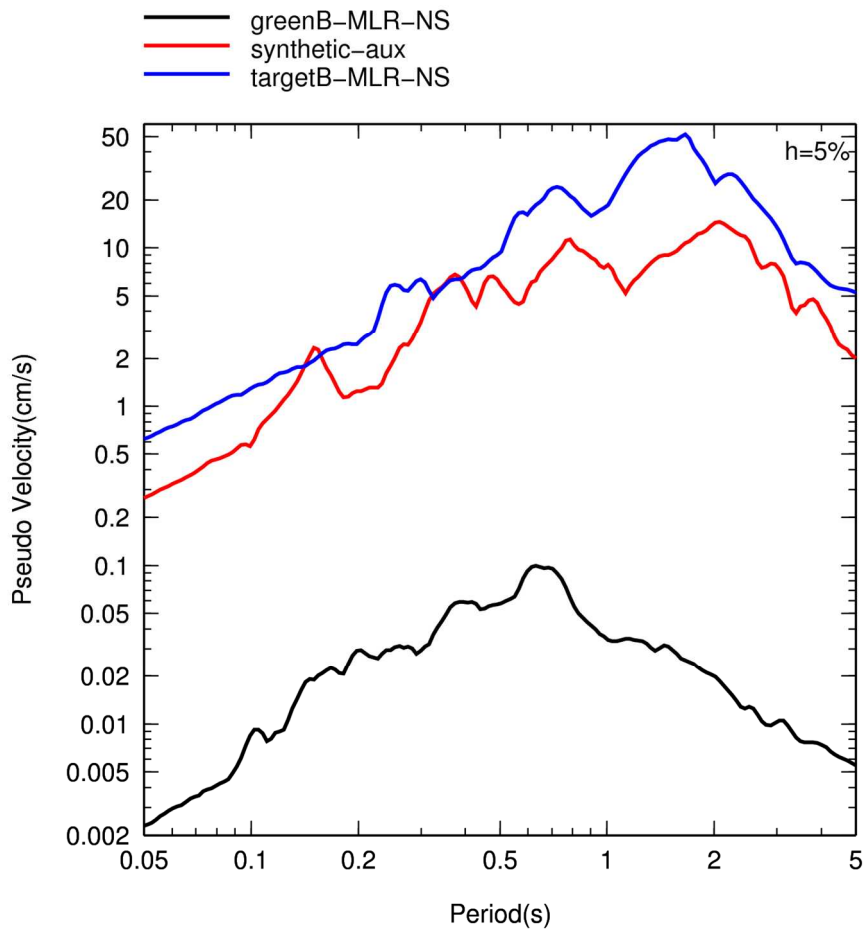
BaCR0505-CFR

b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-5 クラックモデルによる CFR における合成結果 (UD 成分)



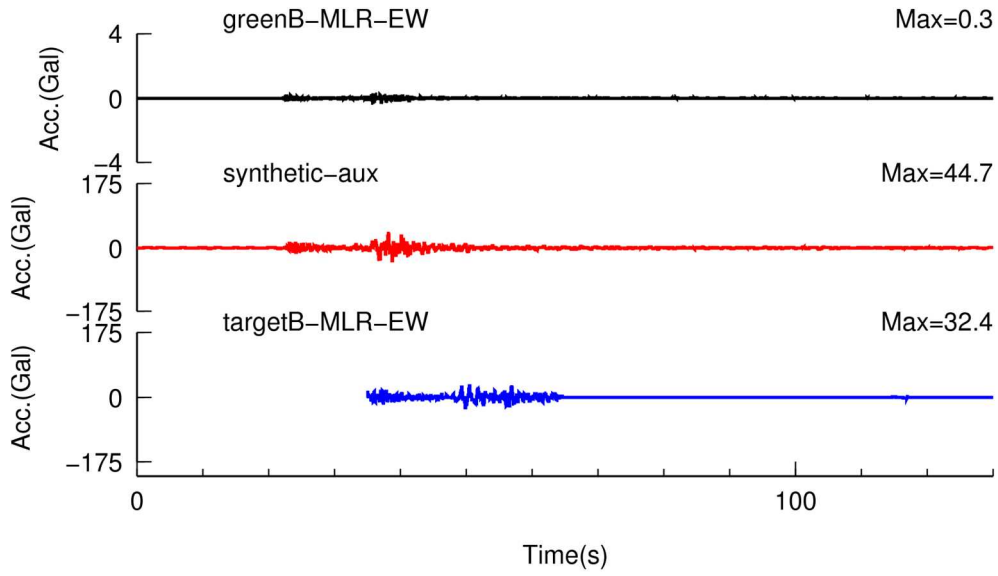
a) 加速度波形



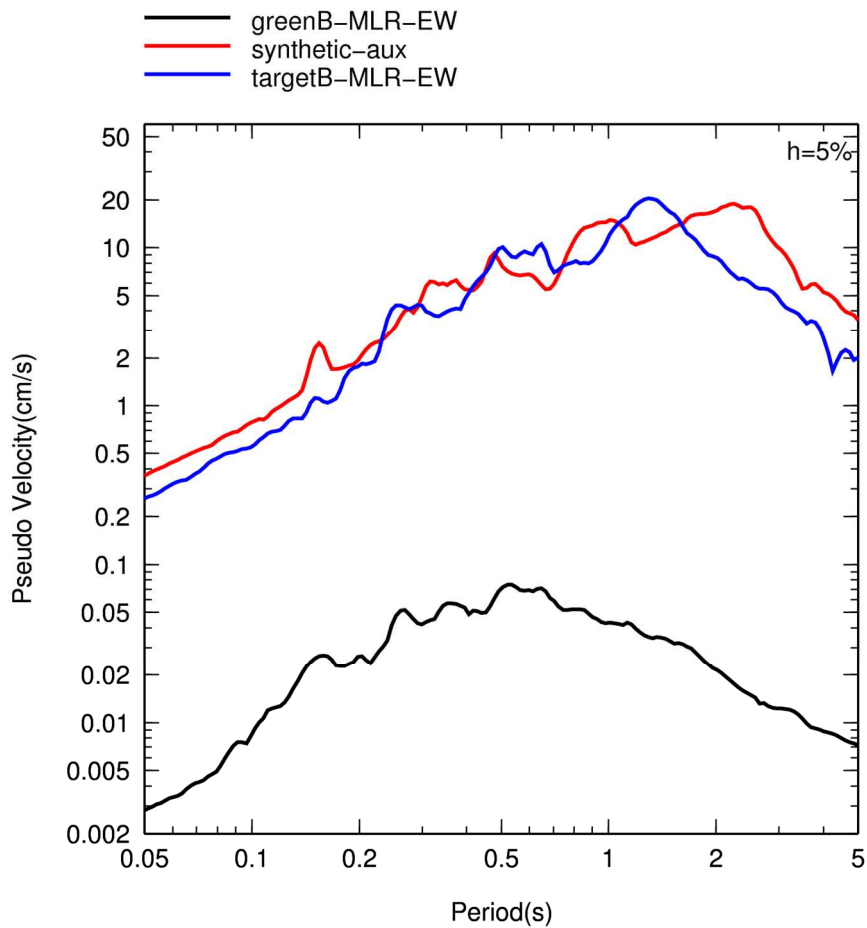
BaCR0505-MLR

b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-6 クラックモデルによる MLR における合成結果 (NS 成分)



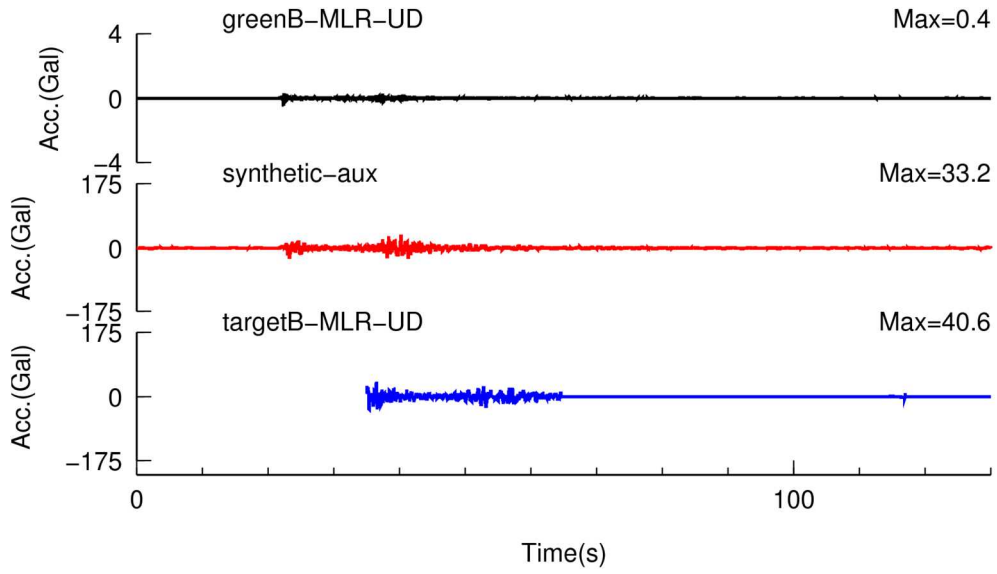
a) 加速度波形



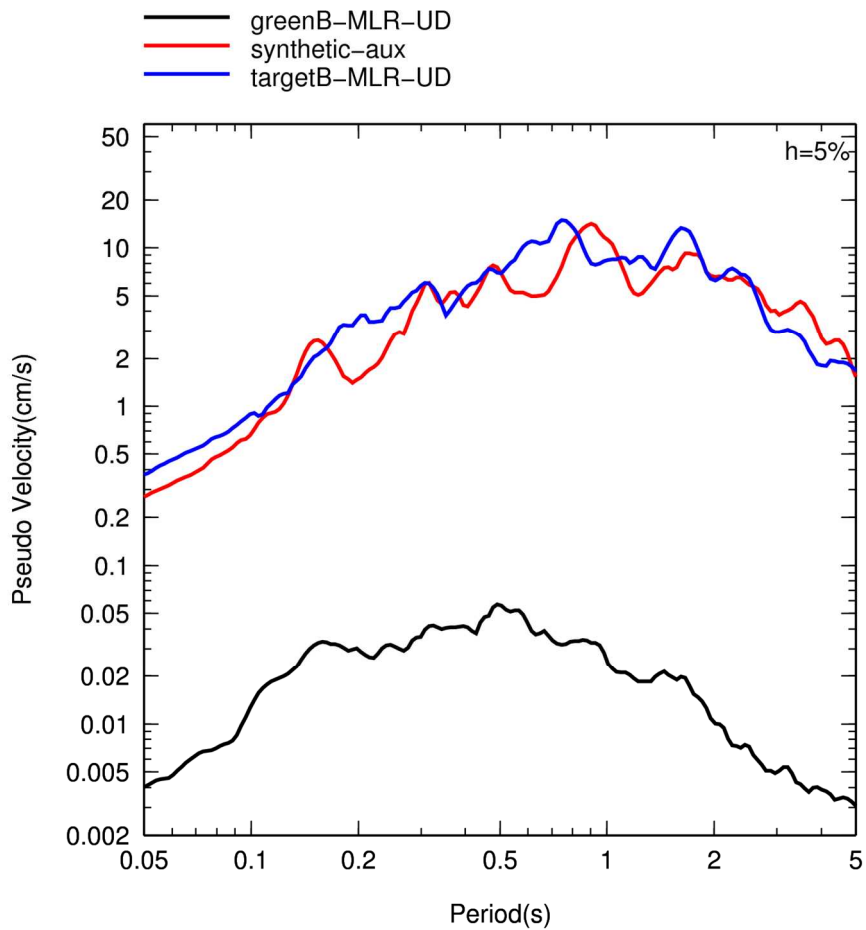
BaCR0505-MLR

b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-7 クラックモデルによる MLR における合成結果 (EW 成分)



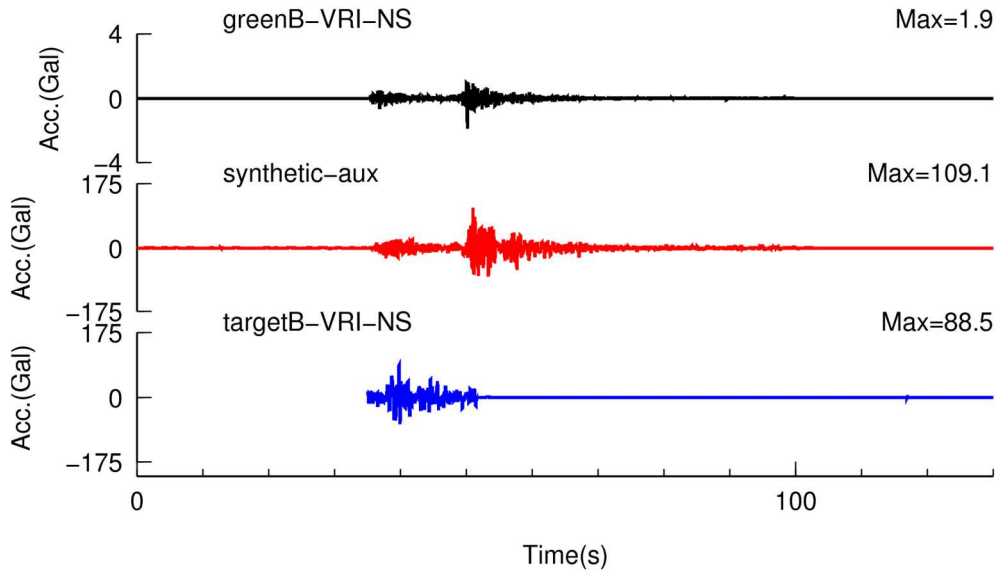
a) 加速度波形



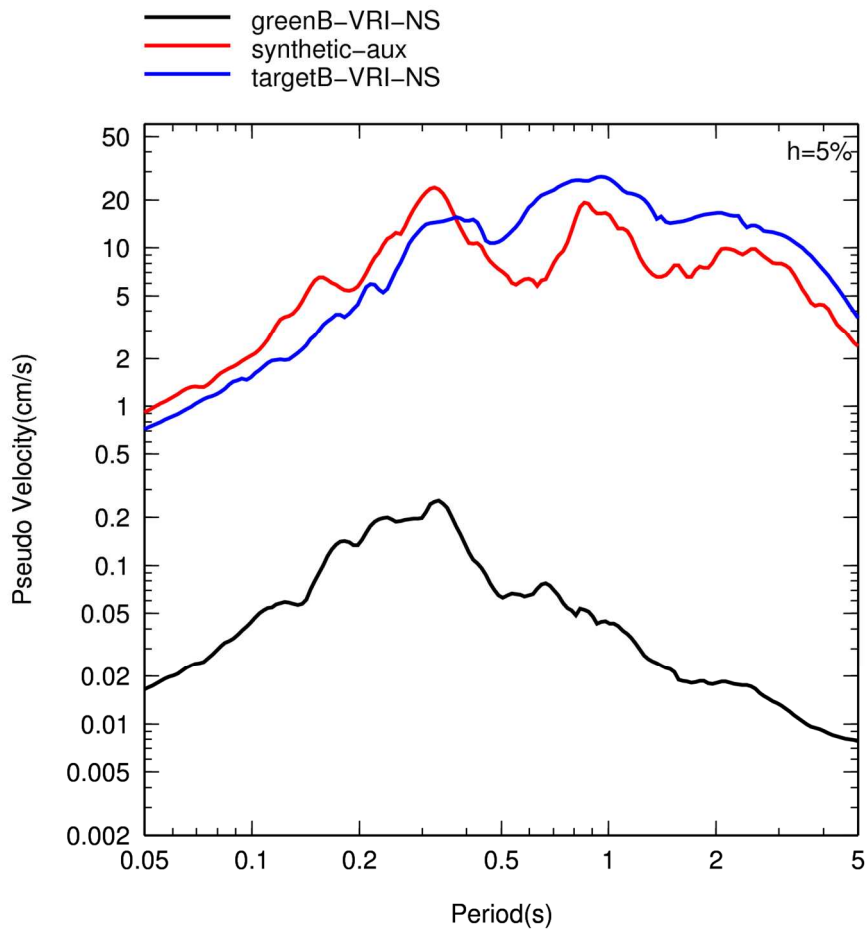
BaCR0505-MLR

b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-8 クラックモデルによる MLR における合成結果 (UD 成分)



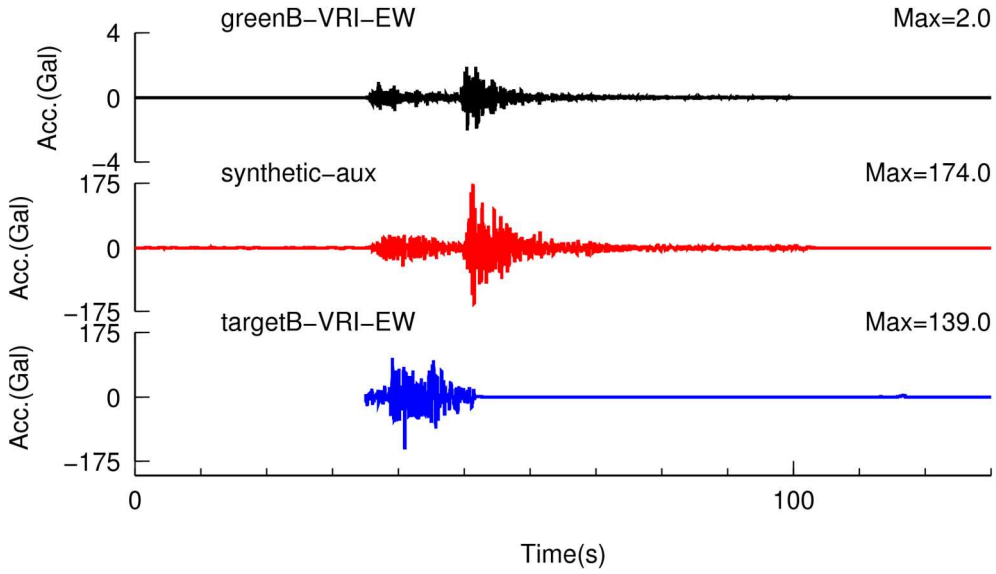
a) 加速度波形



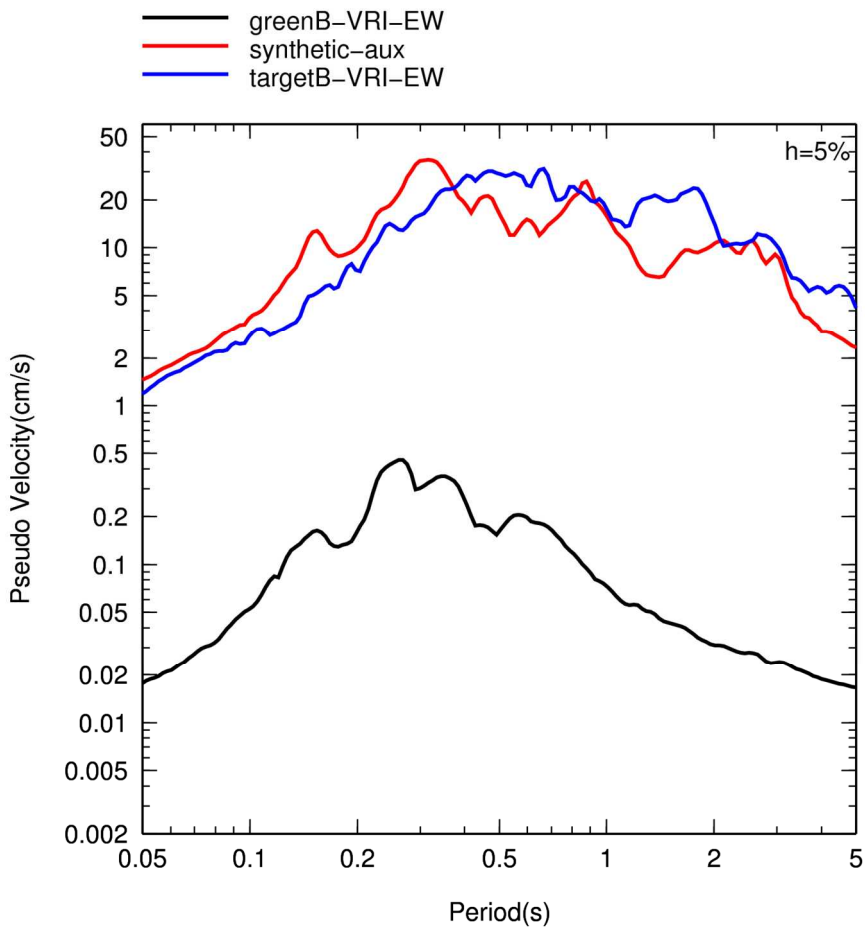
BaCR0505-VRI

b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-9 クラックモデルによる VRI における合成結果 (NS 成分)



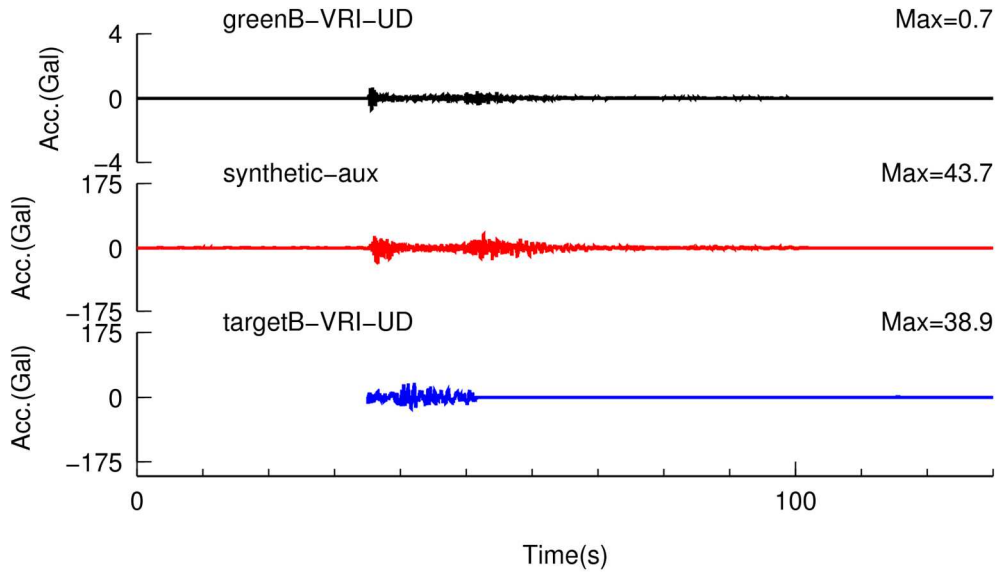
a) 加速度波形



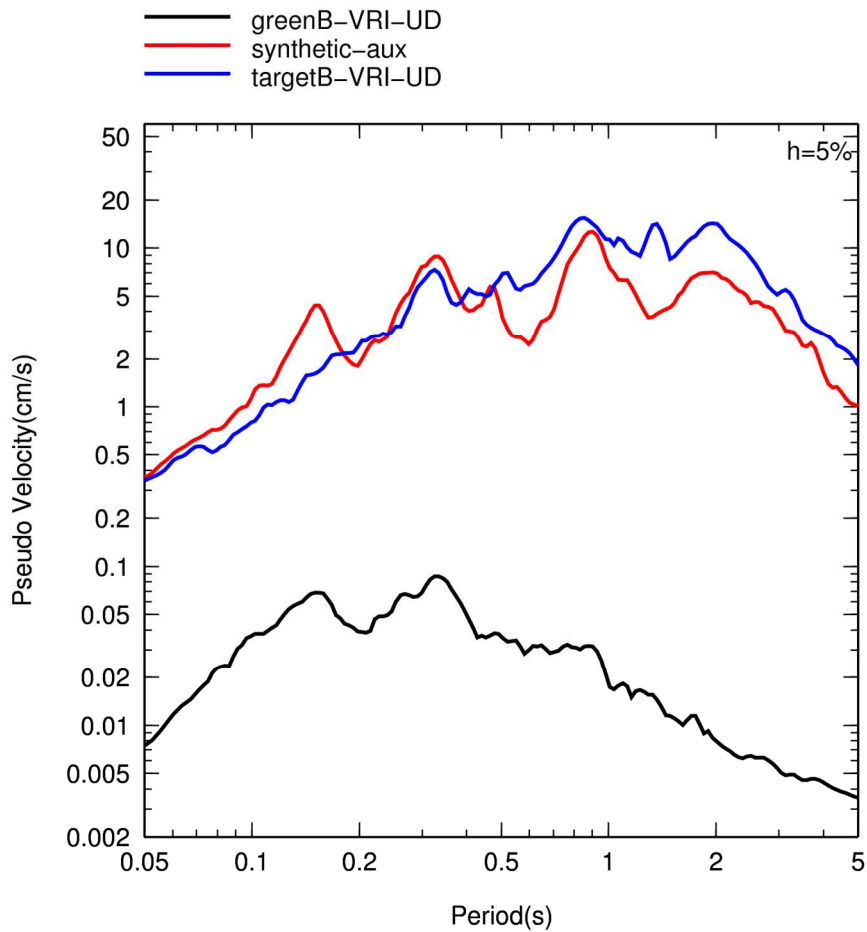
BaCR0505-VRI

b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-10 クラックモデルによる VRI における合成結果 (EW 成分)



a) 加速度波形



BaCR0505-VRI

b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-11 クラックモデルによる VRI における合成結果 (UD 成分)

(2)アスペリティモデルによる地震動再現解析

図 3.3.5-12 に 1986 年の Vrancea 地震(ターゲットの地震)のアスペリティモデルによる断面と要素地震の震央の位置を示す。図中、星印は破壊開始点で、三角印は観測点である。また、図 3.3.5-13 には 1986 年の Vrancea 地震のアスペリティモデルによる震源モデルを示す。

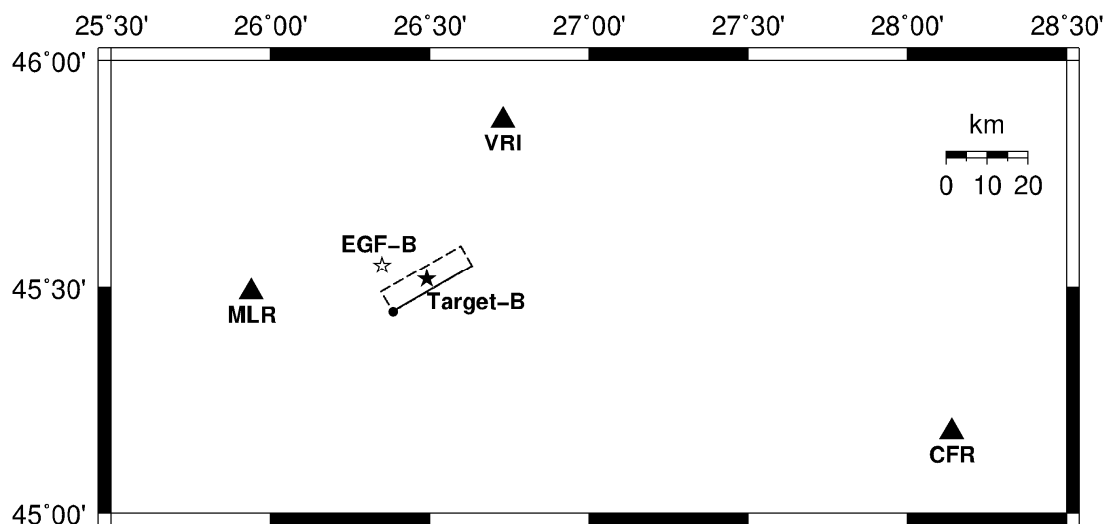


図 3.3.5-12 1986 年の Vrancea 地震(ターゲットの地震)のアスペリティモデルによる断層面と要素地震(EGF-B)の震央の位置 (図中、星印は破壊開始点、三角印は観測点)

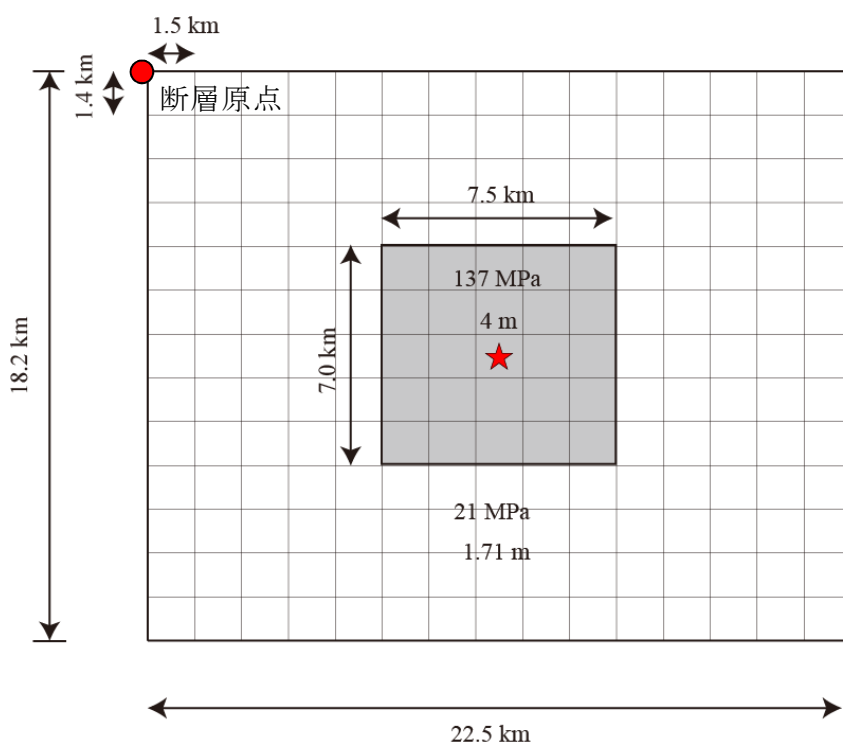


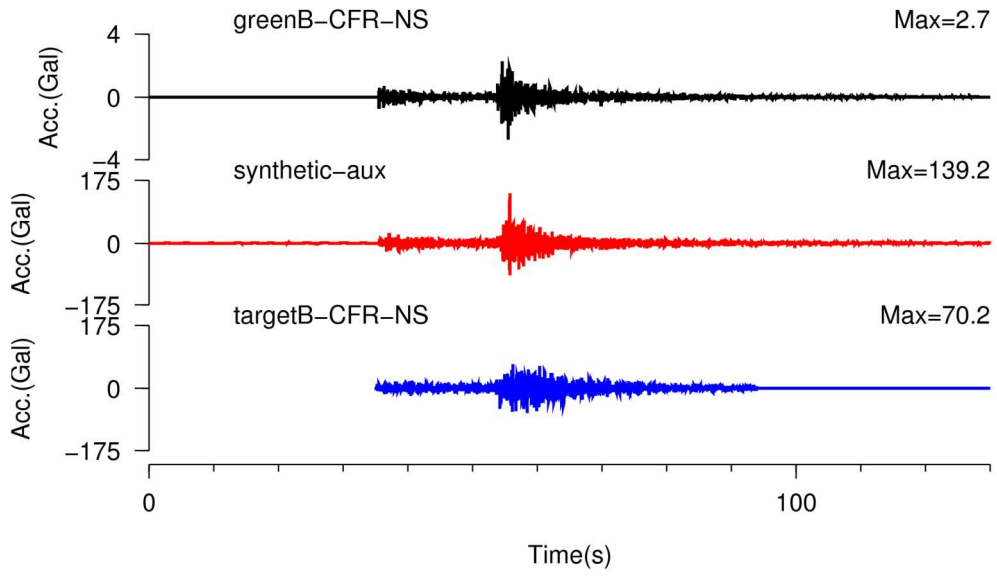
図 3.3.5-13 1986 年の Vrancea 地震(ターゲットの地震)のアスペリティモデルによる断層モデル

図 3.3.5-14 には CFR における NS 成分の計算結果を示す。また、図 3.3.5-15 と図 3.3.5-16 にはそれぞれ EW 成分と UD 成分の計算結果を示す。各図とも、(a)は加速度波形で、上から要素地震の記録、合成結果、ターゲットの地震の記録である。各図の(b)には減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを示す。また、図 3.3.5-17 から図 3.3.5-19 には MLR における計算結果を、図 3.3.5-20 から図 3.3.5-22 には VRI における計算結果を示す。

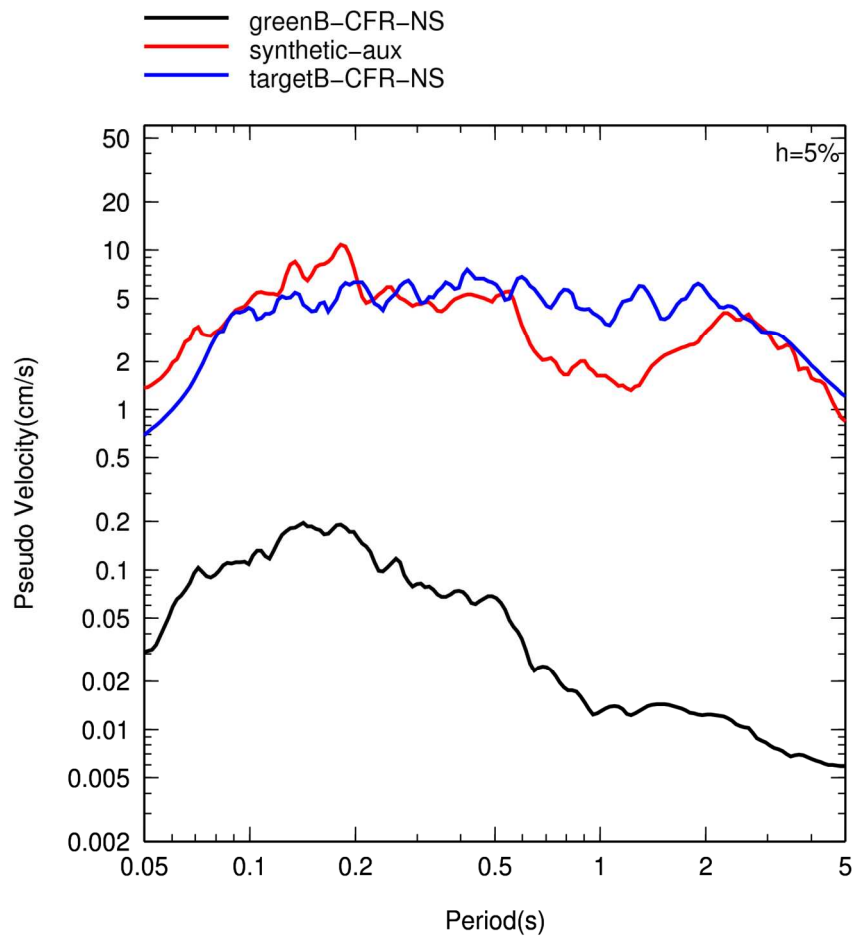
CFR 観測点の場合、NS 成分の最大加速度は少し大きい、EW 成分および UD 成分ともに最大振幅がほぼ整合しており、主要動部分の継続時間もよく再現できていることがわかる。また、減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルにおいては、0.3 秒から 2 秒の周期帯域で多少過小評価になっているが、0.3 秒より短い周期の再現性は高く、全体的に観測記録の擬似応答スペクトルとほぼ整合していると考えられる。

VRI 観測点の場合、CFR における合成結果と同様、最大加速度および主要動部分の継続時間はある程度再現できている。減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルは、0.3 秒より短い周期では再現性が高いが、0.3 秒より長い周期帯域では過小評価になっている。その原因については今後調査する必要がある。

なお、MLR 観測点については、Oth 氏からの情報で種地震の観測記録に問題がある可能性が指摘されたため、考察対象から外した。



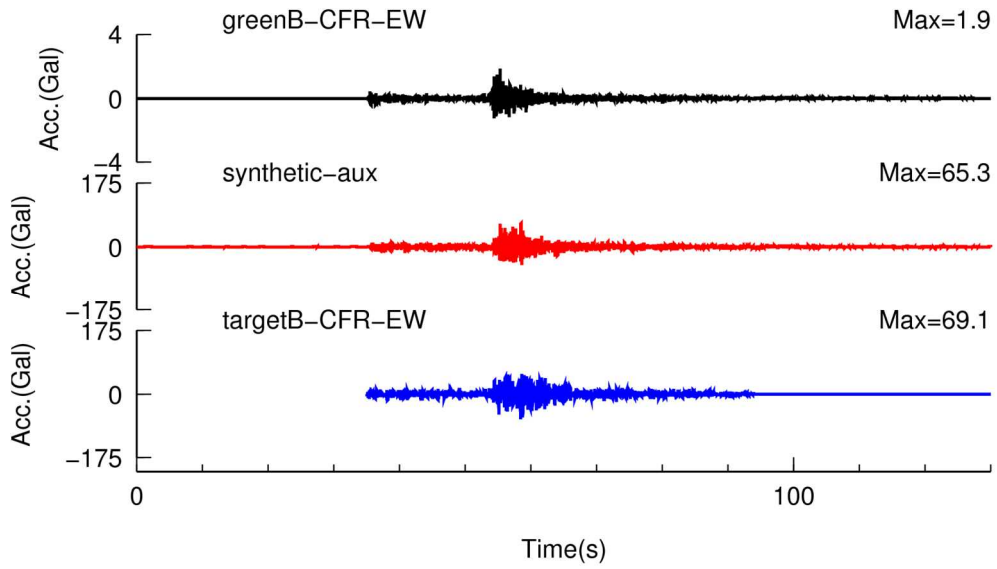
a) 加速度波形



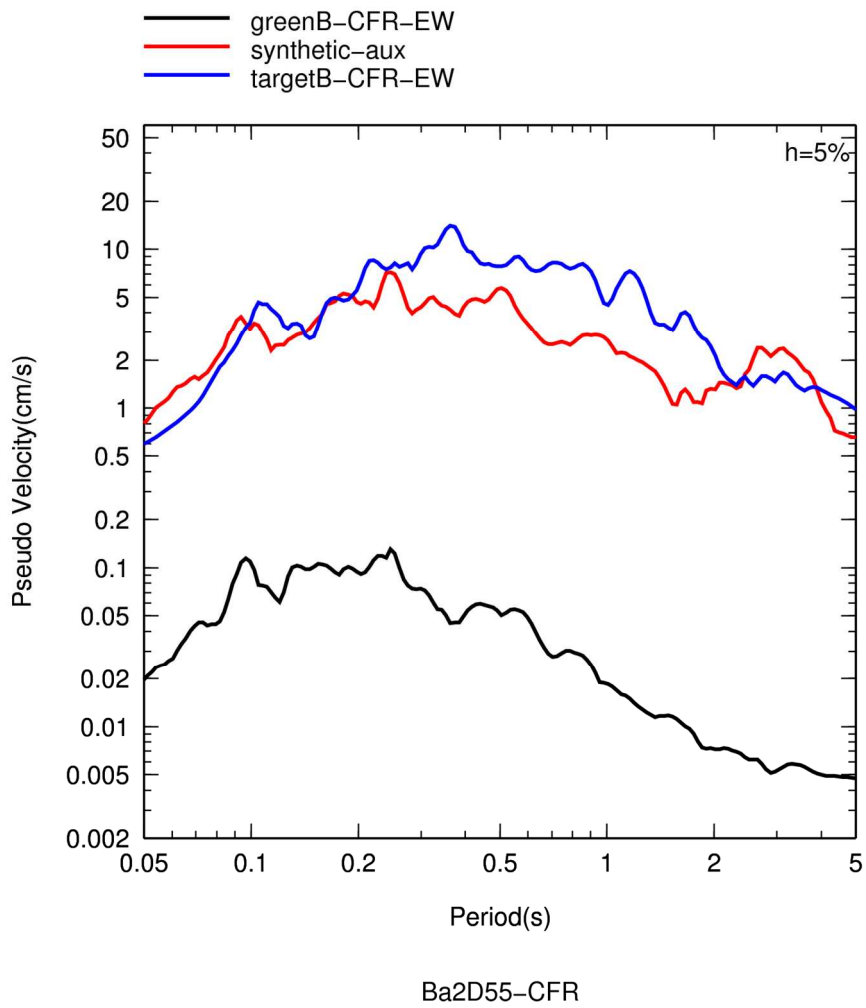
Ba2D55-CFR

b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-14 アスペリティモデルによる CFR における合成結果 (NS 成分)

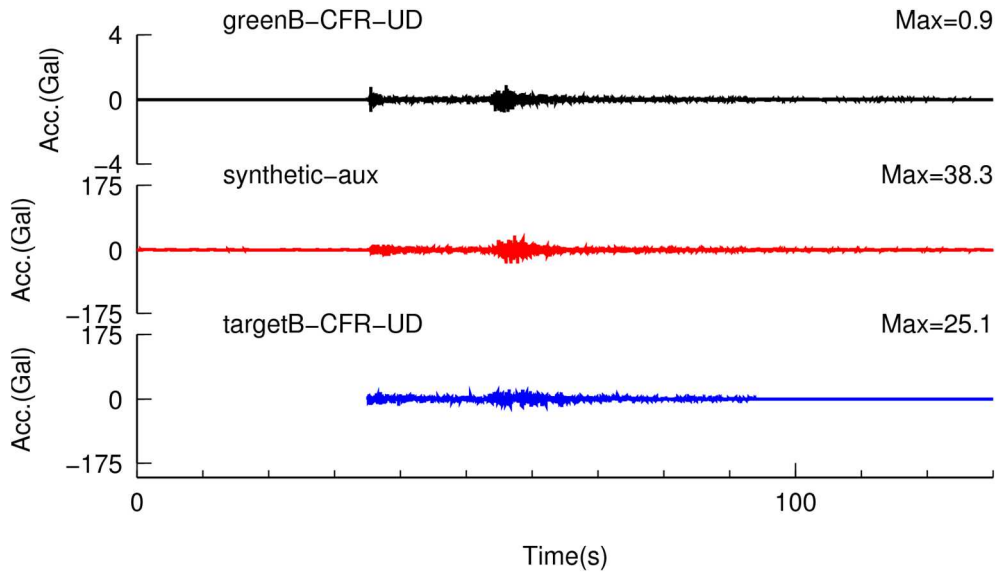


a) 加速度波形

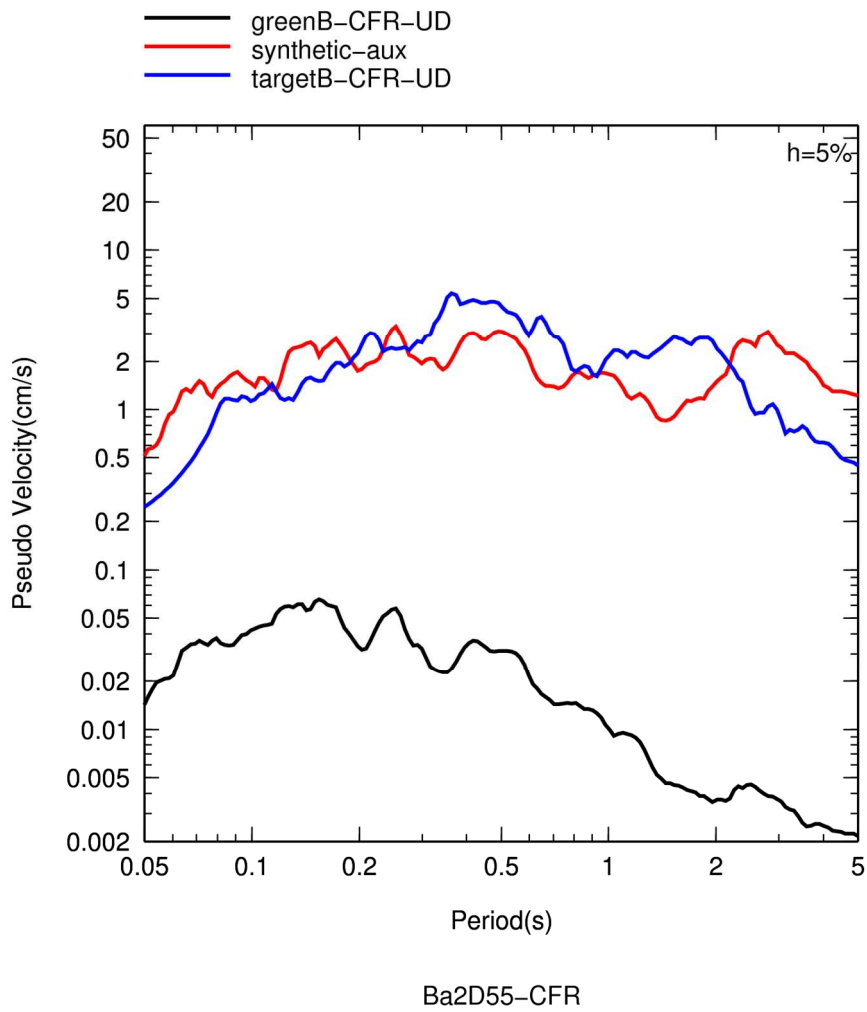


b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-15 アスペリティモデルによる CFR における合成結果 (EW 成分)

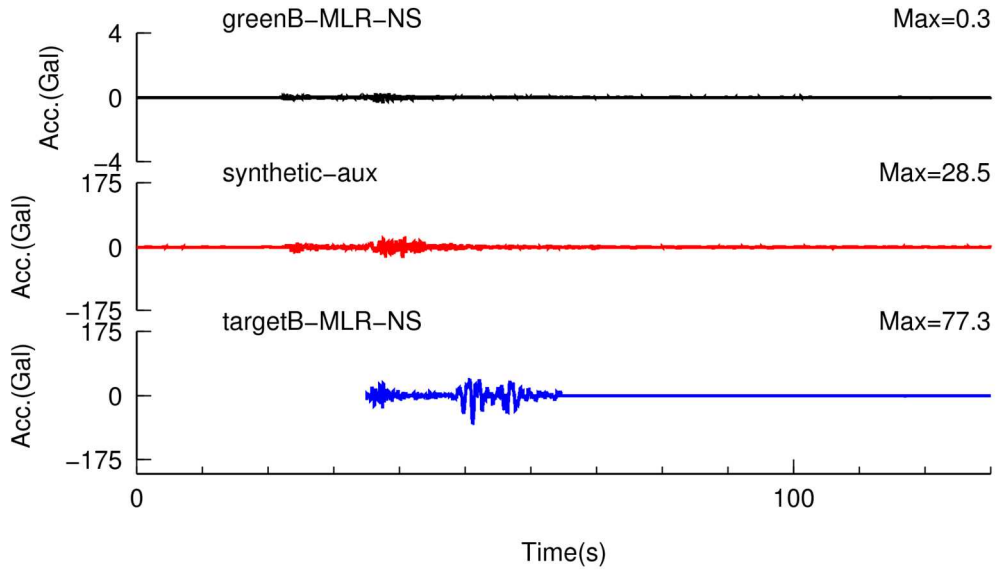


a) 加速度波形

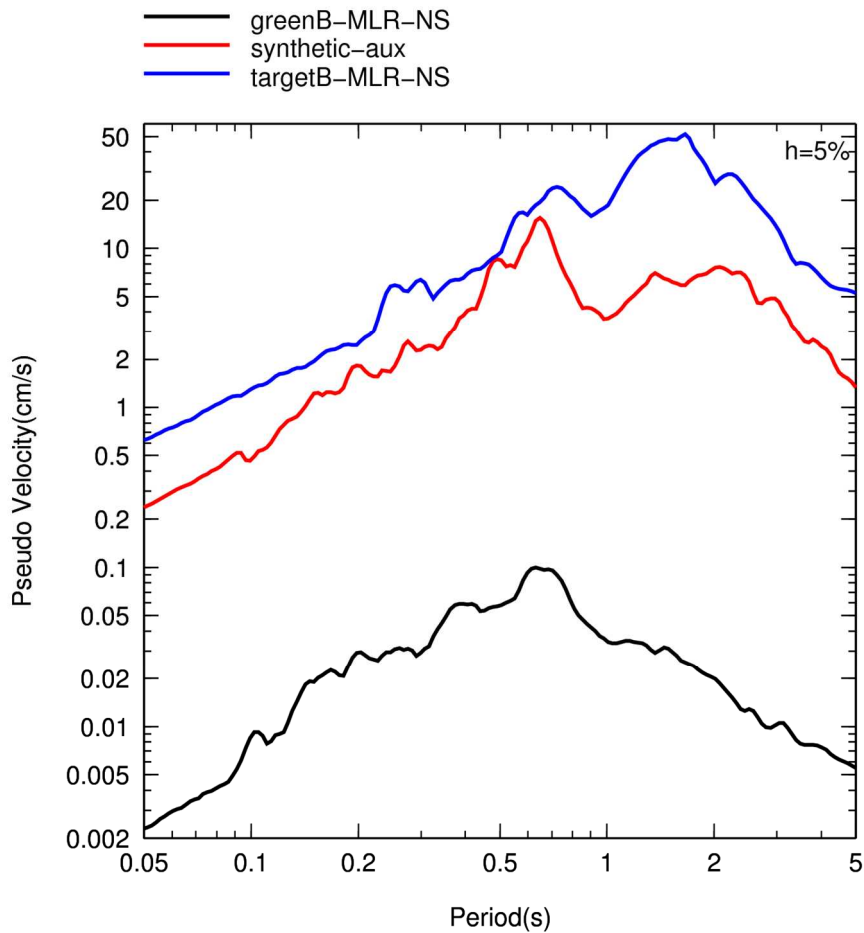


b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-16 アスペリティモデルによる CFR における合成結果 (UD 成分)



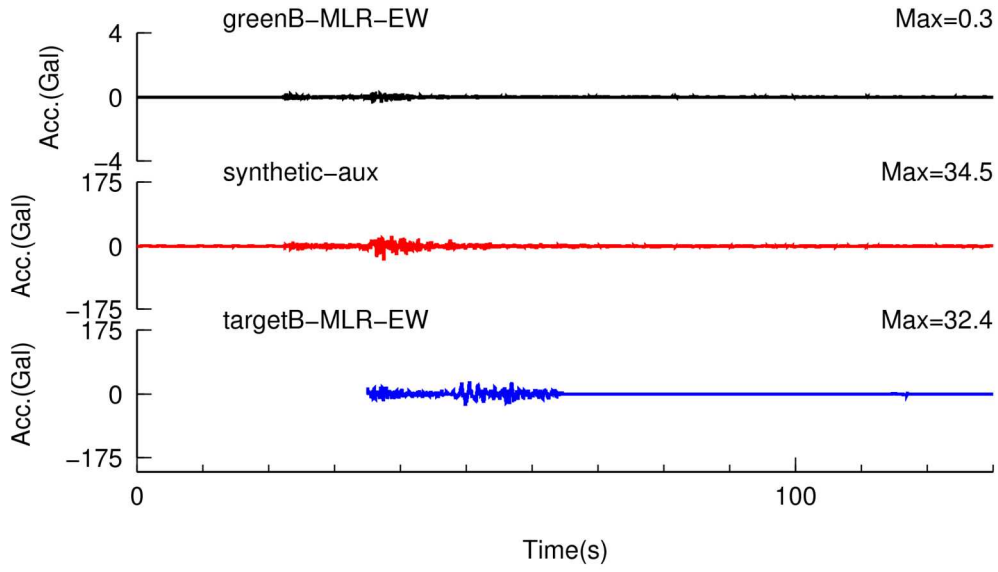
a) 加速度波形



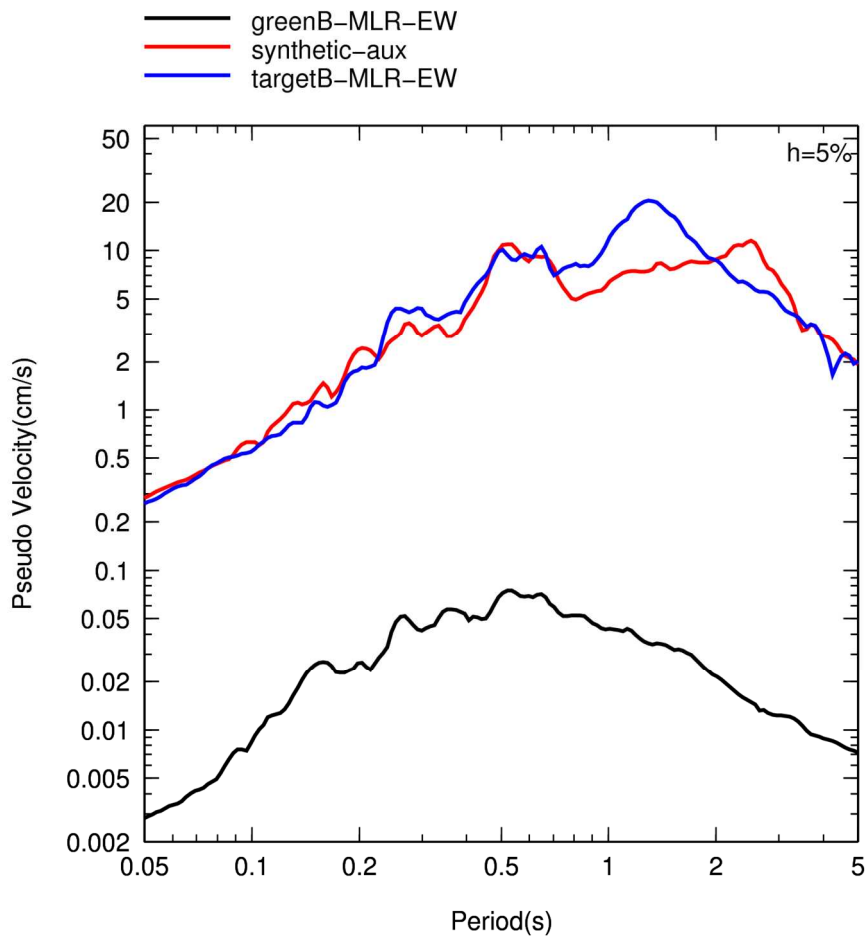
Ba2D55-MLR

b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-17 アスペリティモデルによる MLR における合成結果 (NS 成分)



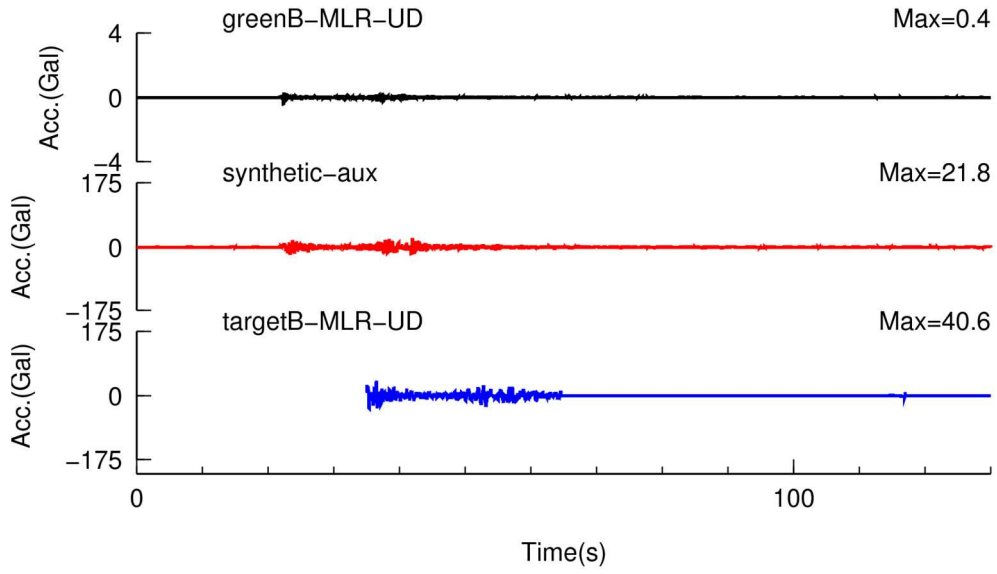
a) 加速度波形



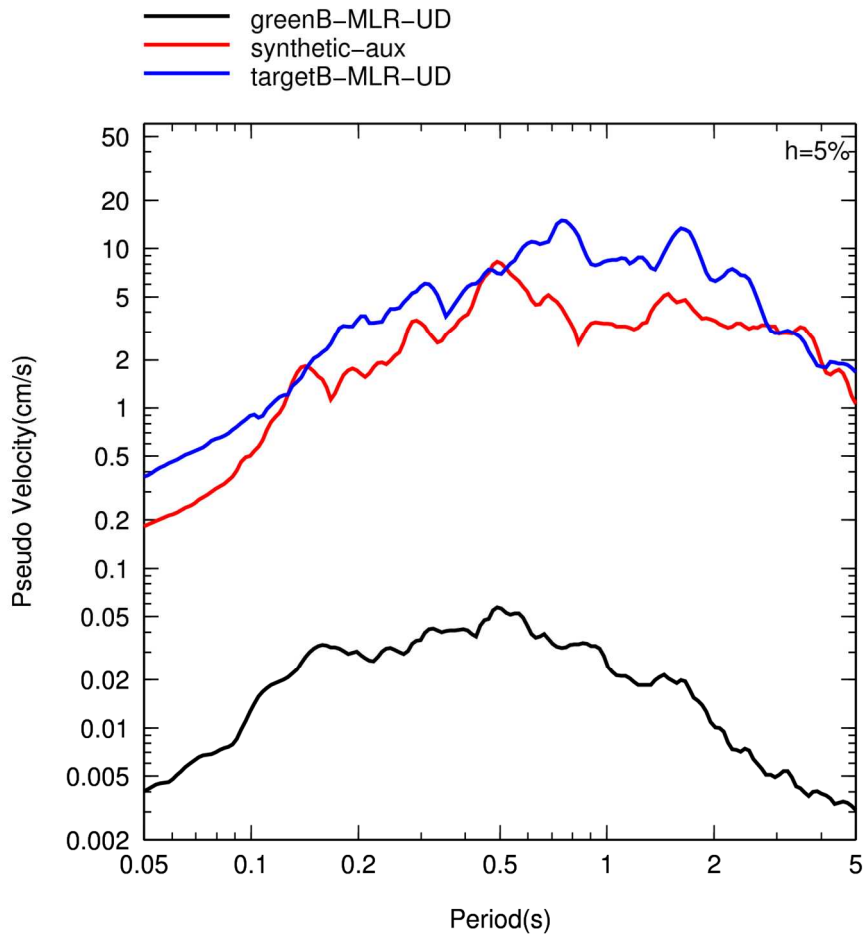
Ba2D55-MLR

b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-18 アスペリティモデルによる MLR における合成結果 (EW 成分)



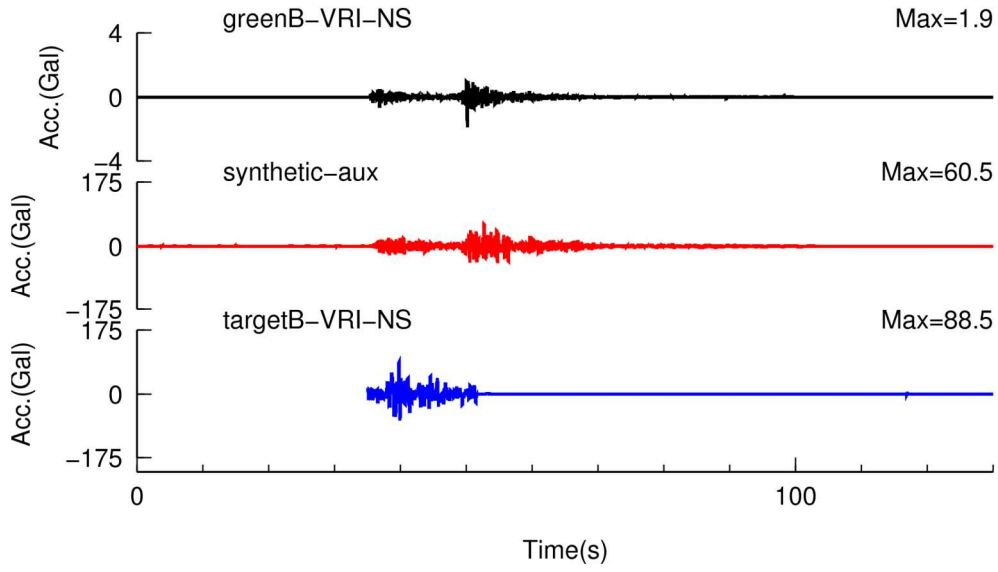
a) 加速度波形



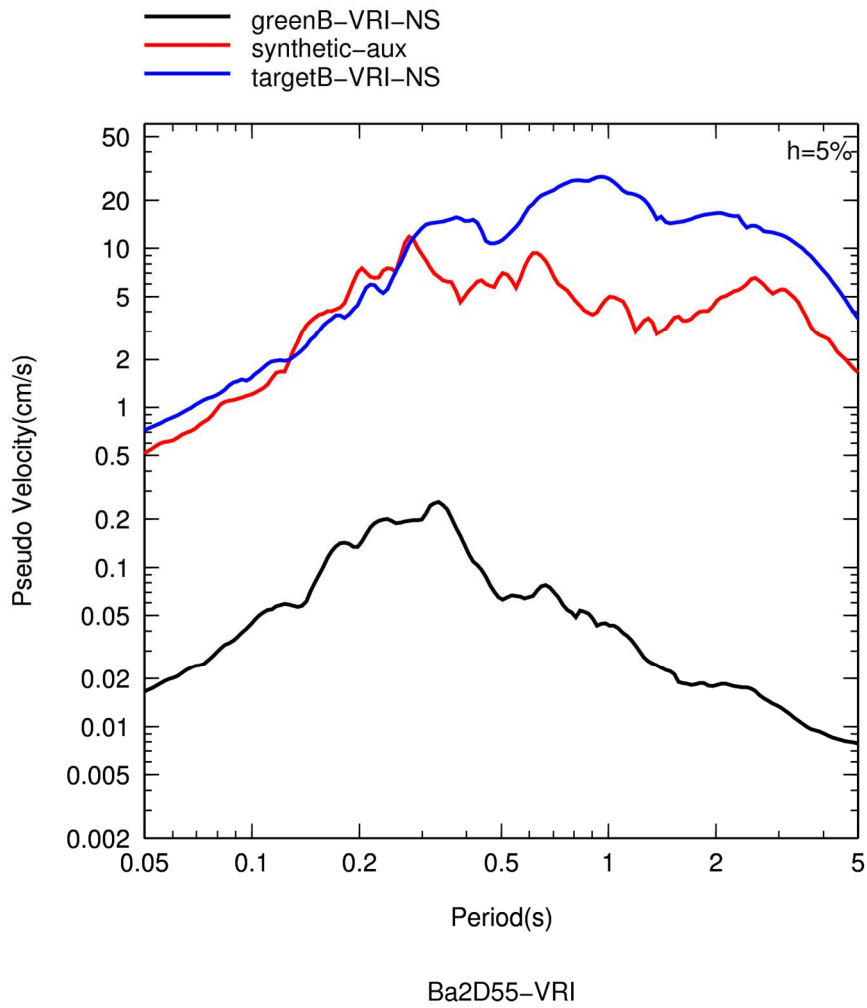
Ba2D55-MLR

b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-19 アスペリティモデルによる MLR における合成結果 (UD 成分)

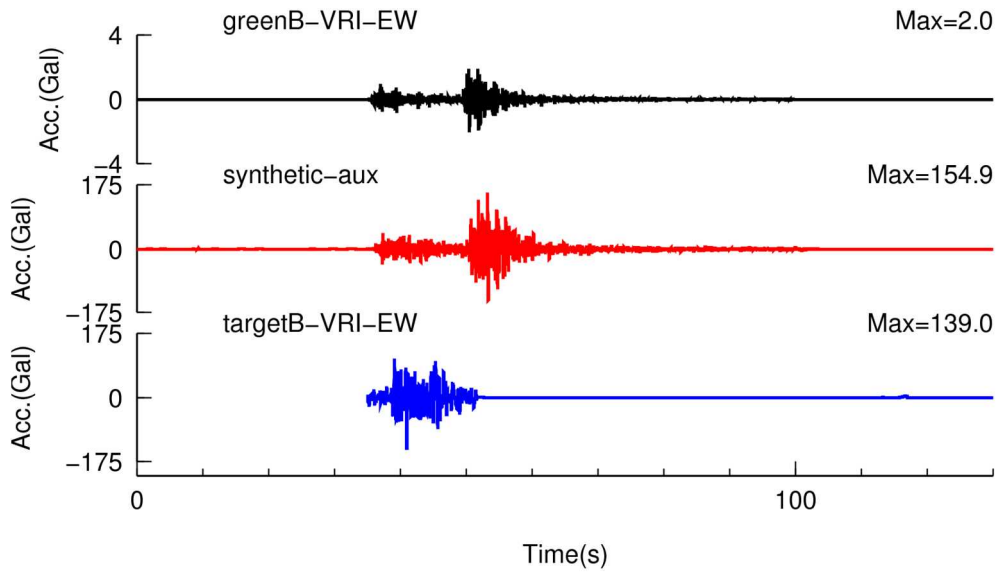


a) 加速度波形

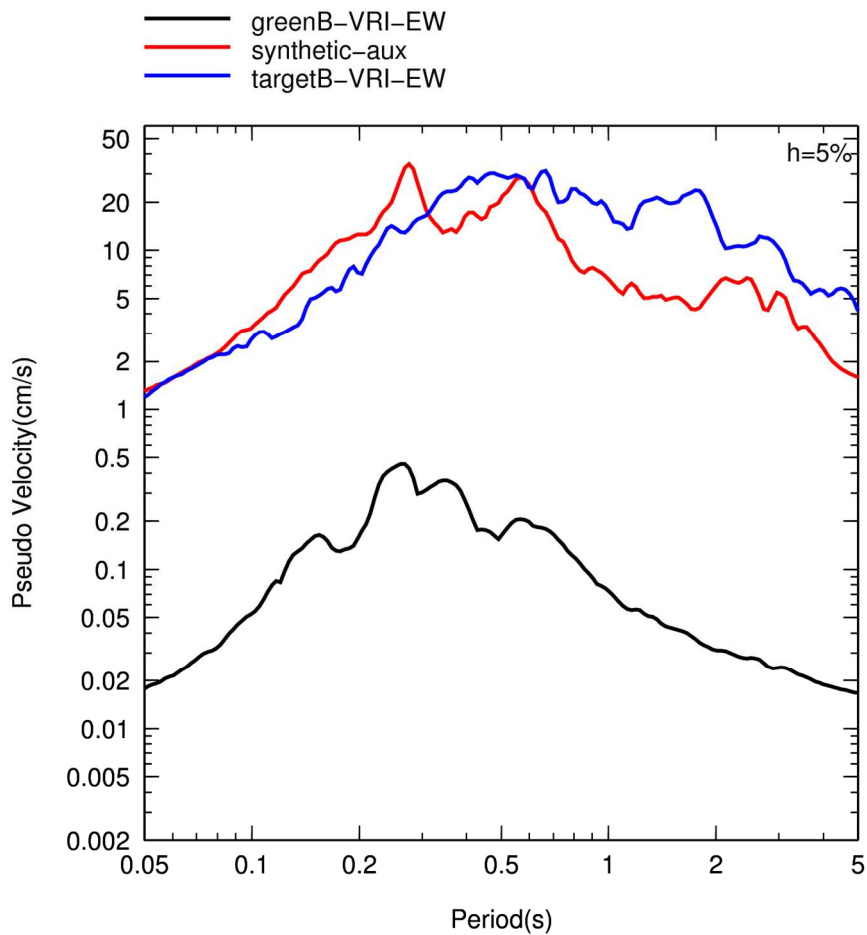


b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-20 アスペリティモデルによる VRI における合成結果 (NS 成分)



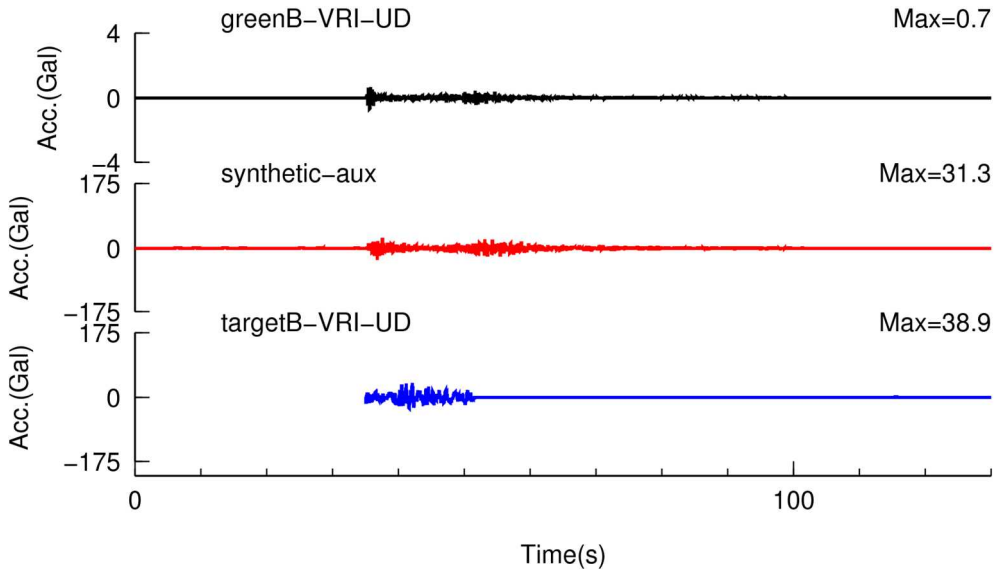
a) 加速度波形



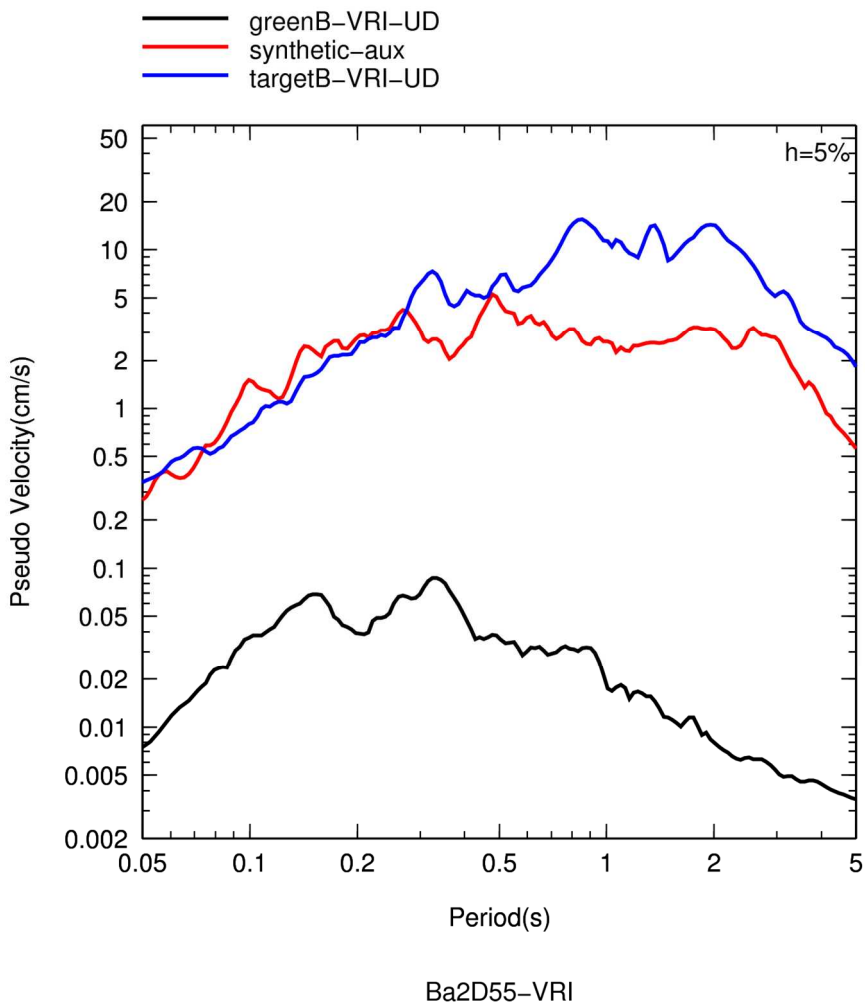
Ba2D55-VRI

b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-21 アスペリティモデルによる VRI における合成結果 (EW 成分)



a) 加速度波形



b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 3.3.5-22 アスペリティモデルによる VRI における合成結果 (UD 成分)

3.3 節の参考文献

- 1) Boatwright, J. (1988): The seismic radiation from composite models of faulting, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 78, No. 2, pp. 489-508.
- 2) Brune, J. N. (1970): Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 75, No. 26, pp.4997-5009.
- 3) Eshelby, J. D. (1957): The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems, *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*, Vol. 241, pp. 376-396.
- 4) Hayes, G.P., Myers, E.K., Dewey, J.W., Briggs, R.W., Earle, P.S., Benz, H.M., Smoczyk, G.M., Flamme, H.E., Barnhart, W.D., Gold, R.D., and Furlong, K.P., (2017): Tectonic summaries of magnitude 7 and greater earthquakes from 2000 to 2015: U.S. Geological Survey Open-File Report 2016–1192, 148 p., <https://doi.org/10.3133/ofr20161192>.
- 5) Kanamori, H. (1997): The energy release in great earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 82, No. 20, pp. 2981-2987.
- 6) Oth, Adrie, Friedemann Wenzel, and Mircea Radulian (2007): Source parameters of intermediate-depth Vrancea (Romania) earthquakes from empirical Green's functions modeling, *Tectonophysics*, Vol. 438, pp. 33-56.
- 7) Madariaga, Raul (1979): On the relation between seismic moment and stress drop in the presence of stress and strength heterogeneity, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 84, No. B5, pp. 2243-2250.
- 8) Miyake, H., T. Iwata, and K. Irikura (2003): Source characterization for broadband ground-motion simulation: Kinematic heterogeneous source model and strong motion generation area, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 93, 2531-2545, doi: 10.1785/0120020183.
- 9) 原子力規制庁 (2017): 平成 28 年度原子力規制庁安全研究, 原子力施設等防災対策等委託費 (海洋プレート内地震の地震動評価の調査) 事業業務報告書.
- 10) 地震調査研究推進本部 (2016): 震源断層を特定した地震の強震動予測手法 (「レシピ」), (http://www.jishin.go.jp/main/chousa/16_yosokuchizu/recipe.pdf 2017/2/22 アクセス).

- 11) 笹谷努・森川信之・前田宣浩 (2006): スラブ内地震の震源特性, 北海道大学地球物理学研究報告, No. 69, pp. 123-134.

4. 結 論

断層モデルを用いた手法による地震動評価の精度向上のため、国内外で起きた海溝型地震の地震動特性及び震源特性に関する研究を対象に文献調査や地震動解析等を実施した。

プレート間巨大地震の地震動評価手法の検討において、まず、国内外で起きたプレート間地震(マグニチュード7以上)を対象に、地震動特性の調査、スケーリング則の調査、震源特性パラメータの調査および分析を行った。プレート間地震の場合、断層がさらに長くなると、断層幅は150km~200km程度で一定となっており、地震規模がある程度大きくなると、断層面積 S は地震モーメント M_0 の1/2乗の勾配を仮定した田島・他(2013)とより整合することがわかった。これは、プレート境界地震も内陸地殻内地震と同様に、第2ステージ(断層幅が飽和)を有する知見(田島・他, 2013)とも整合する。プレート間地震の地震モーメント M_0 と短周期レベル A との関係は、平均的に壇・他(2001)の1倍から2倍の間であり、プレート間地震の経験的關係(佐藤, 2010)と整合的であることがわかった。

つぎに、2014年チリ Iquique 地震等を対象に、地震動解析事例の調査や観測記録の収集を行うとともに、2014年チリ Iquique 地震の長周期インバージョン解析および特性化震源モデルによる地震動再現解析を行った。長周期インバージョン解析では、2004年チリ Iquique 地震(M_w 8.1)は、海溝軸側まで壊れている第2ステージの地震の可能性があることがわかった。また、特性化震源モデルによる地震動再現解析では、アスペリティの位置が長周期インバージョンより得られた深部の大すべり域と一致しており、2014年チリ Iquique 地震の短周期側の地震動を概ね再現できることがわかった。

最後に、国内外のマグニチュード8クラスから9クラスのプレート間巨大地震による強震動又は津波の予測のための断層モデルの構築方法の調査を行った。その結果、円形クラック式に基づく、地震本部(2005)によるプレート間地震の強震動予測のレシピは、第1ステージを対象としたものであること、最近、第2ステージを対象とした設定方法(具・他, 2016)が提案されていることがわかった。

海洋プレート内地震の地震動評価手法の検討において、まず、国内外のスラブ内地震を対象に、地震動特性の調査、スケーリング則の調査、震源特性パラメータの調査および分析を行った。国内のスラブ地震の場合、地震モーメントと短周期レベルの関係、お

よび地震モーメントとアスペリティの面積の関係は笹谷・他(2006)による経験的關係式に、震源深さと短周期レベルの関係は佐藤(2013)による経験的關係式に概ね整合していることがわかった。国外のスラブ地震の場合、地震モーメントと短周期レベルの関係、および地震モーメントとアスペリティの面積の関係は笹谷・他(2006)による経験的關係式に、震源深さと短周期レベルの関係は佐藤(2013)による経験的關係式に概ね整合しており、ある程度のばらつきはあるがスラブ別の差は小さかった。

つぎに、国内外のアウトライズ地震を対象に、地震動特性の調査、スケーリング則の調査、震源特性パラメータの調査および分析を行った。その結果、アウトライズ地震の場合、地震モーメントと短周期レベルの関係、および震源深さと短周期レベルの関係は、短周期レベルの求め方の違いにより異なる傾向が見えるが、その原因は計算に用いられた Q 値の差と考えられ、アウトライズ地震の短周期レベルを精度良く調べるには、今後、海底地震計の観測記録を用いた Q 値の検討が必要であることがわかった。また、アウトライズ地震の地震モーメントとアスペリティの面積の関係は笹谷・他(2006)による経験的關係式に概ね整合していることもわかった。

最後に、2005年チリ Tarapaca 地震と 1986年ルーマニア Vrancea 地震を対象に地震動解析を行った。まず、2005年チリ Tarapaca 地震の特性化震源モデルによる地震動再現解析では、短周期側の地震動を概ね再現できた。つぎに、既往の研究で対象とした 1986年ルーマニア Vrancea 地震について、震源モデルの再検討を行った結果、波形合成時に用いる断層モデルのメッシュの数を小さくすることによって、クラックモデルによる地震動の再現結果が改善できた。また、1986年ルーマニア Vrancea 地震を対象にアスペリティモデルに基づく地震動再現解析を行った結果、地震本部(2016)によるスラブ内地震の強震動予測のレシピのルーマニア地震への適用性が検証された。