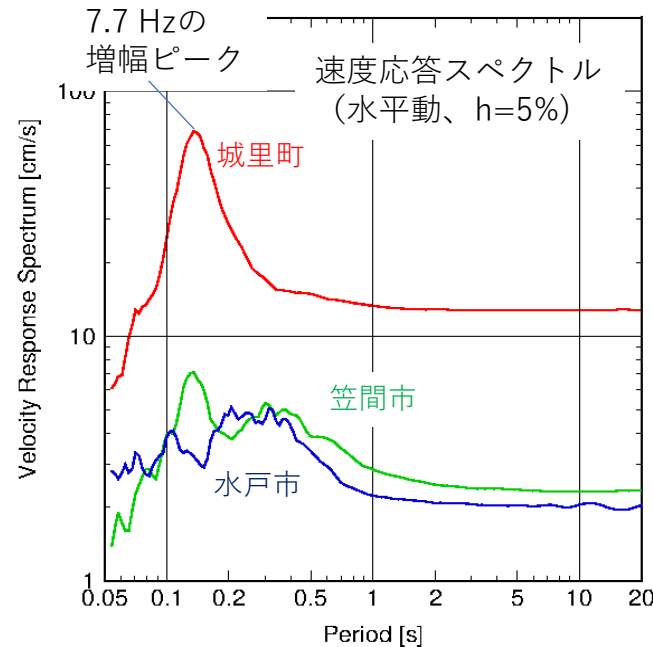
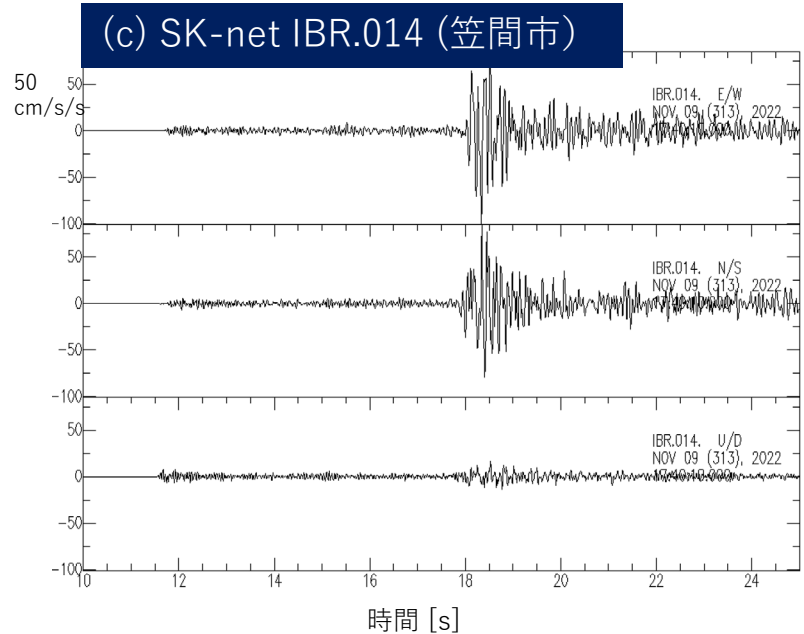
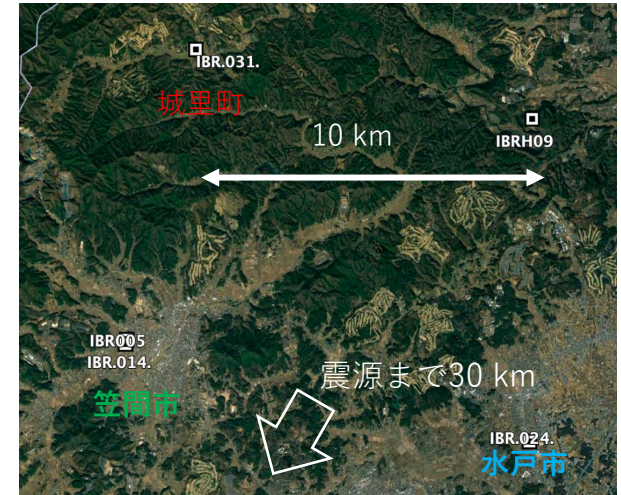
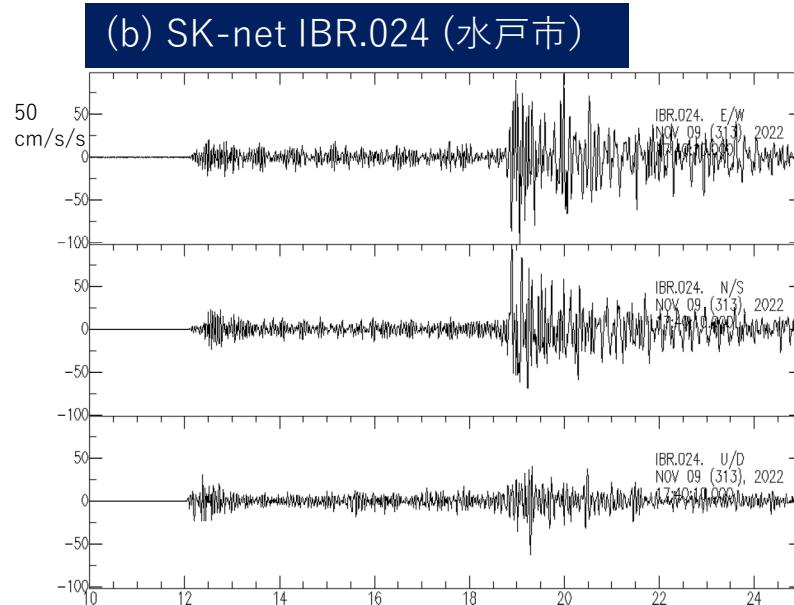
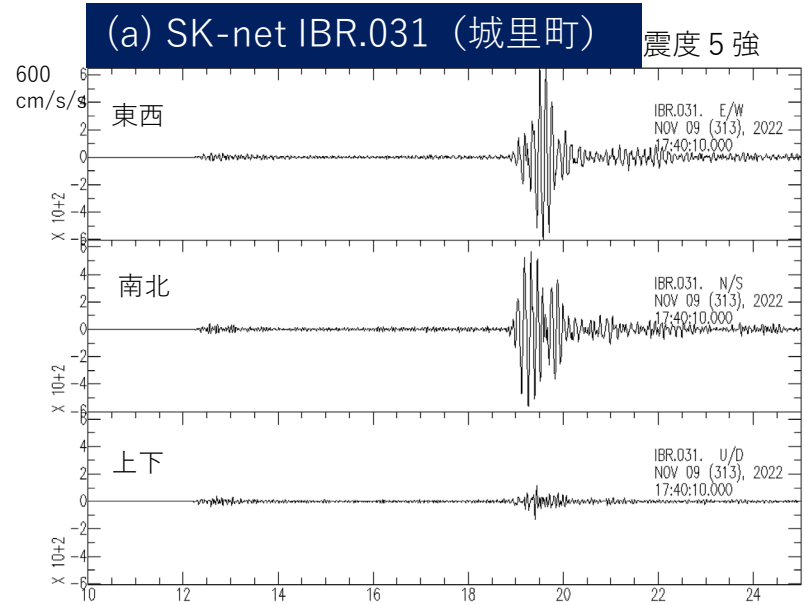


2022年11月9日 茨城県南部の地震（M5.1）における、茨城県城里町の強震動（震度5強）特性と増幅要因の検討

東京大学地震研究所

- 自治体震度計（茨城県城里町小勝）の波形データ（震度5強）を首都圏強震動総合ネットワーク（SK-net）より取得、防災科研KiK-netデータと合わせて解析した。
- 近傍の観測点（震度3～4）と比較して、7～8 Hzの強い増幅のピーク（以下、「8 Hz増幅ピーク」と言う）が特徴的。これが大きな震度の原因と考えられる。
- 8 Hz増幅ピークは、広域（50 km程度）にわたって観測され、地表下100m程度までの地盤による増幅が原因と考えられる。
- 8 Hz増幅ピークは、スラブ内地震など深い地震で発生し、浅い地震では見られない。

2022/11/9 茨城県南部の地震(M5.1) 城里町と近接観測点の波形比較



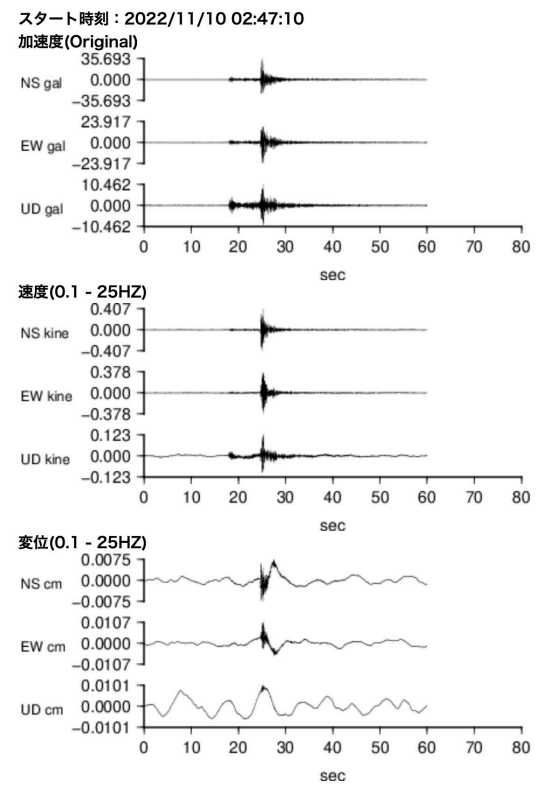
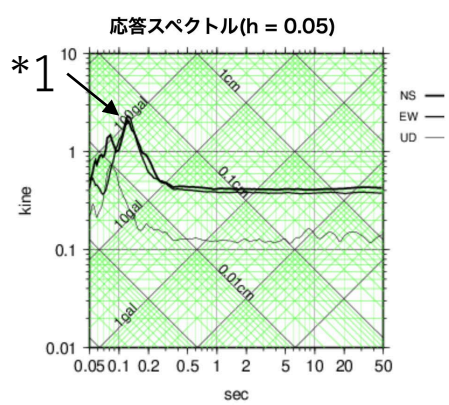
- 近接する3観測点の揺れを比べると、城里町では広い帯域で応答レベルが5倍程度大きい。
- 特に8 Hz (0.13s) 付近の増幅ピークが特徴的 → 地下100メートル程度のS波構造が影響。

余震にも見られる8Hz増幅ピーク

(a) 2022/11/10 余震 (M3.4)

地震名: 2022/11/10 02:47:18 SW IBARAKI PREF (36.191N 140.029E 51.1km) Mj 3.4V
 観測点: IBR.031 (茨城県 城里町) データ提供: 茨城県

波形数値データ(最大値)					
	N-S	E-W	U-D	水平	3成分
加速度(gal)	35.69	23.92	10.46	39.01	39.22
速度(kine)	0.41	0.38	0.12	0.47	0.48
変位(cm)	0.008	0.011	0.010	0.011	0.014
SI値	0.44	0.41	0.13	0.52	

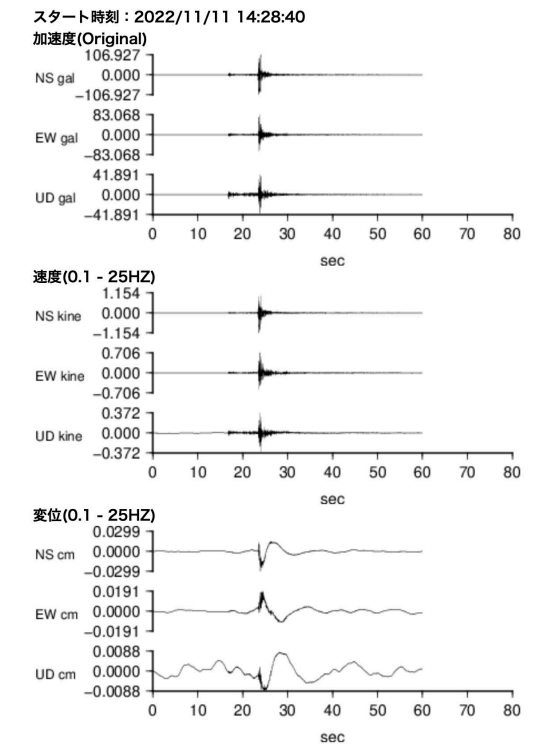
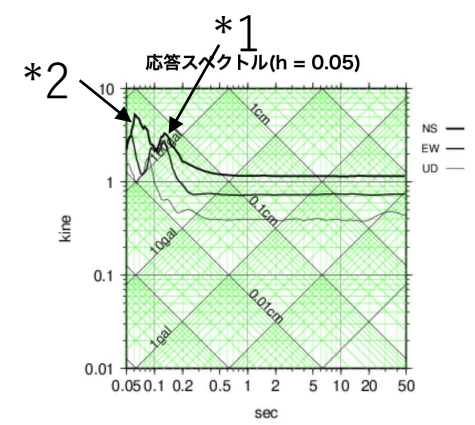


Seismic Kanto Project, ERI, Univ. Tokyo

(b) 2022/11/10 余震 (M3.7)

地震名: 2022/11/11 14:28:47 SW IBARAKI PREF (36.197N 140.022E 51.7km) Mj 3.7V
 観測点: IBR.031 (茨城県 城里町) データ提供: 茨城県

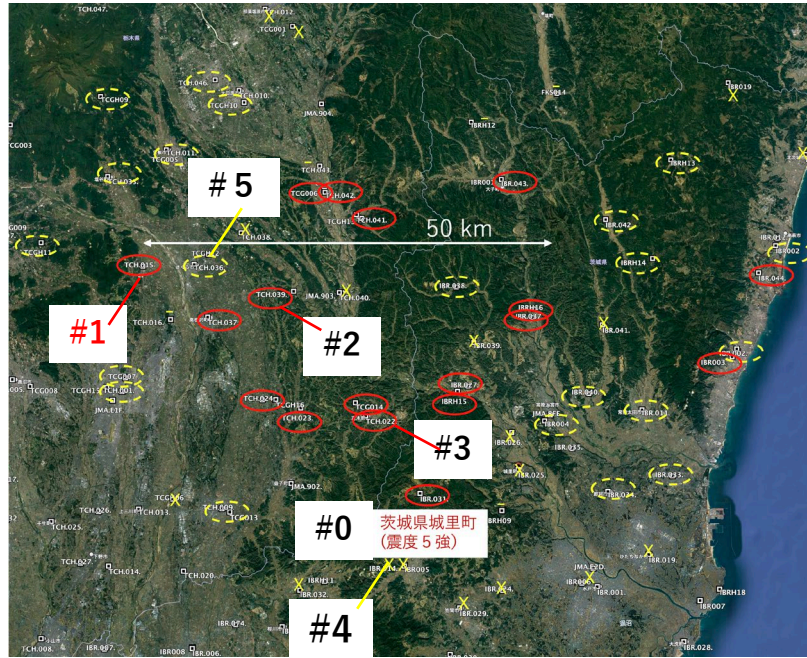
波形数値データ(最大値)					
	N-S	E-W	U-D	水平	3成分
加速度(gal)	106.93	83.07	41.89	109.89	110.72
速度(kine)	1.15	0.71	0.37	1.17	1.17
変位(cm)	0.030	0.019	0.009	0.032	0.032
SI値	1.21	0.74	0.41	1.23	



Seismic Kanto Project, ERI, Univ. Tokyo

- 余震でも同様に 8 Hz増幅ピーク(*1)が認められる
 →本震の震源特有の現象ではない
- Mが小さい地震では、より高周波数 (14 Hz) 側に第2の増幅ピーク(*2)が出現→浅層地盤での増幅

8 Hz増幅ピークが見える／見えない観測点

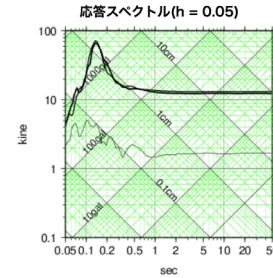


(a) 増幅ピークが明瞭

地震名：2022/11/09 17:40:12 SW IBARAKI PREF (36.186N 140.027E)
観測点：IBR.031 (茨城県 城里町) データ提供：茨城県

#0 茨城県城里町

波形数値データ(最大値)					
	N-S	E-W	U-D	水平	3成分
加速度(gal)	568.58	650.63	132.61	721.19	721.63
速度(kine)	12.28	13.42	1.53	14.32	14.33
変位(cm)	0.308	0.288	0.047	0.309	0.309
S値	13.33	14.12	1.71	15.58	



明瞭
不明瞭
不明

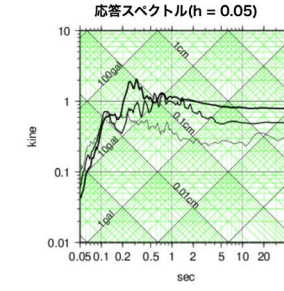
(b) 増幅ピークが不明瞭、増幅が別周期

観測点：IBR.004 (茨城県 古河市) データ提供：茨城県

観測点：TCH.036 (栃木県 さくら市) データ提供：栃木県

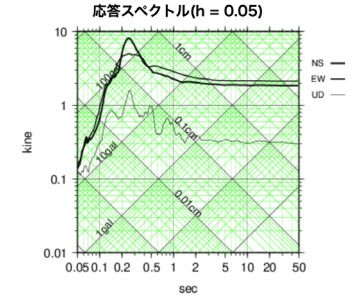
#4 茨城県古河市

波形数値データ(最大値)					
	N-S	E-W	U-D	水平	3成分
加速度(gal)	10.92	9.46	10.46	12.58	13.12
速度(kine)	0.83	0.49	0.26	0.86	0.86
変位(cm)	0.067	0.081	0.025	0.105	0.107
S値	0.83	0.61	0.28	0.89	



#5 栃木県さくら市

波形数値データ(最大値)					
	N-S	E-W	U-D	水平	3成分
加速度(gal)	48.04	50.66	11.00	51.34	51.73
速度(kine)	1.87	2.19	0.31	2.30	2.30
変位(cm)	0.111	0.140	0.025	0.157	0.157
S値	2.15	2.54	0.36	2.69	



観測点：TCH.015 (栃木県 宇都宮市) データ提供：栃木県

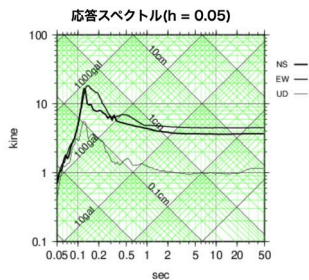
観測点：TCH.039 (栃木県 那須烏山市) データ提供：栃木県

観測点：KNT.TCG014 (栃木県 茂木) データ提供：K-net (防災科研)

Seismic Kanto Project, ERI, Univ. Tokyo

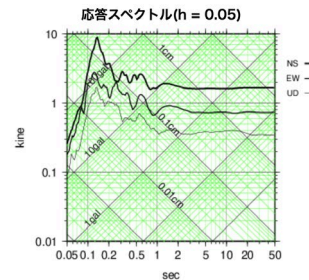
#1 栃木県宇都宮市

波形数値データ(最大値)					
	N-S	E-W	U-D	水平	3成分
加速度(gal)	137.62	186.96	59.21	203.26	203.37
速度(kine)	3.68	4.50	0.97	5.81	5.82
変位(cm)	0.177	0.148	0.038	0.196	0.197
S値	4.19	5.10	1.15	6.26	



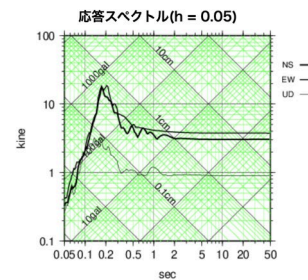
#2 栃木県那須烏山市

波形数値データ(最大値)					
	N-S	E-W	U-D	水平	3成分
加速度(gal)	73.46	30.67	16.48	73.79	73.96
速度(kine)	1.66	0.76	0.37	1.66	1.66
変位(cm)	0.062	0.039	0.020	0.064	0.065
S値	1.84	0.88	0.41	1.85	



#3 栃木県茂木

波形数値データ(最大値)					
	N-S	E-W	U-D	水平	3成分
加速度(gal)	109.80	114.16	34.15	115.16	115.26
速度(kine)	3.07	3.76	0.90	3.99	3.99
変位(cm)	0.124	0.130	0.026	0.155	0.155
S値	3.49	4.09	0.96	4.38	



- 城里町・他に見られる8 Hz増幅ピークは、茨城/栃木県境を跨がって、50 kmにわたって確認できる。
- 北西側(益子)では、増幅ピークが低周波数側(4 Hz)に移る。

→観測点近傍のローカルな地盤構造が原因ではなく、水平数十キロスケールの広域の地下構造の影響が考えられる。

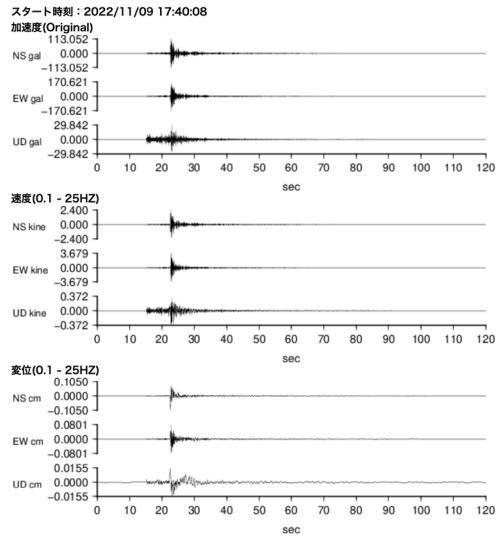
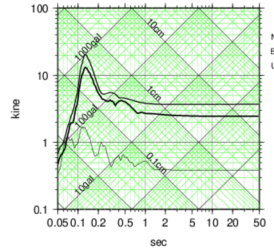
地表／地中記録の比較 (KiK-net IBRH15 (御前山)) 観測点

地震名 : 2022/11/09 17:40:12 SW IBARAKI PREF (36.186N 140.027E 51.4km) Mj 4.9D
 観測点 : KIK.IBRH15 (茨城県 御前山) データ提供 : KiK-net (防災科研)

地表地震計記録

波形数値データ(最大値)					
	N-S	E-W	U-D	水平	3成分
加速度(gal)	113.05	170.62	29.84	183.99	184.24
速度(kine)	2.40	3.68	0.37	3.93	3.94
変位(cm)	0.105	0.080	0.016	0.111	0.111
SI値	2.72	3.97	0.41	4.35	

応答スペクトル(h = 0.05)

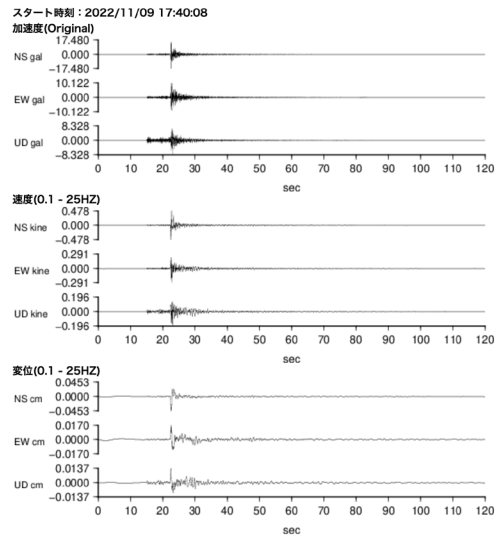
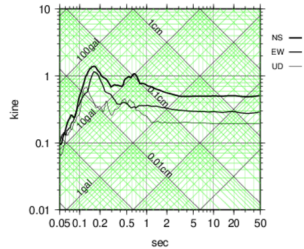


地中 (-107 m)地震計記録

地震名 : 2022/11/09 17:40:12 SW IBARAKI PREF (36.186N 140.027E 51.4km) Mj 4.9D
 観測点 : KIK.IBRH15b (茨城県 御前山) データ提供 : KiK-net (防災科研)

波形数値データ(最大値)					
	N-S	E-W	U-D	水平	3成分
加速度(gal)	17.48	10.12	8.33	19.18	19.20
速度(kine)	0.48	0.29	0.20	0.54	0.54
変位(cm)	0.045	0.017	0.014	0.048	0.048
SI値	0.59	0.33	0.20	0.65	

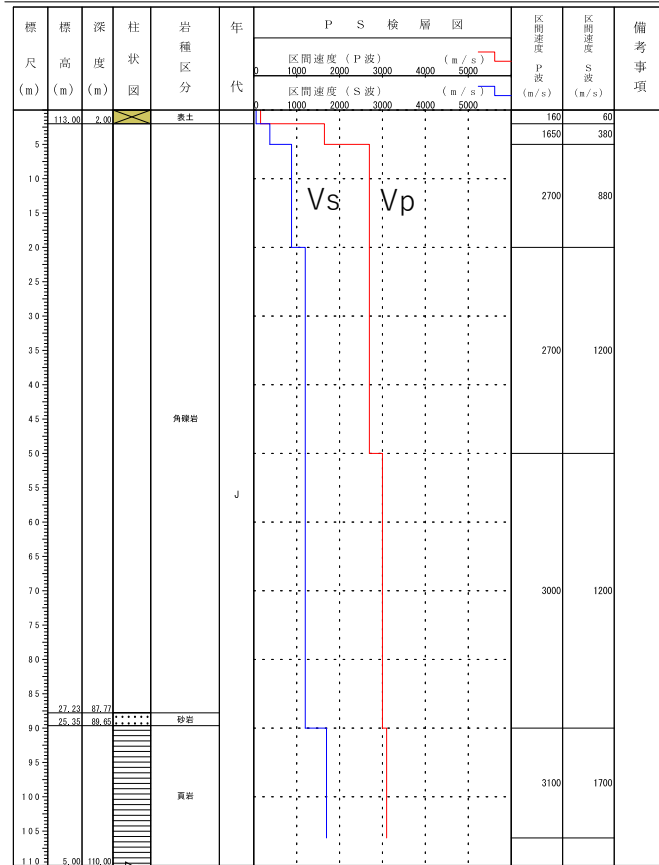
応答スペクトル(h = 0.05)



ボーリング柱状図

ボーリング柱状図(暫定版)

観測点名 : 御前山 (ごぜんやま)
 所在地 : 茨城県東茨城郡御前山村大字下伊勢畑字滝坂1188番5
 緯度 : 36° 33' 12.6"
 孔口標高 : +115m
 観測点コード : IBRH15
 経度 : 140° 18' 16.6"
 総掘進長 : 110.00m



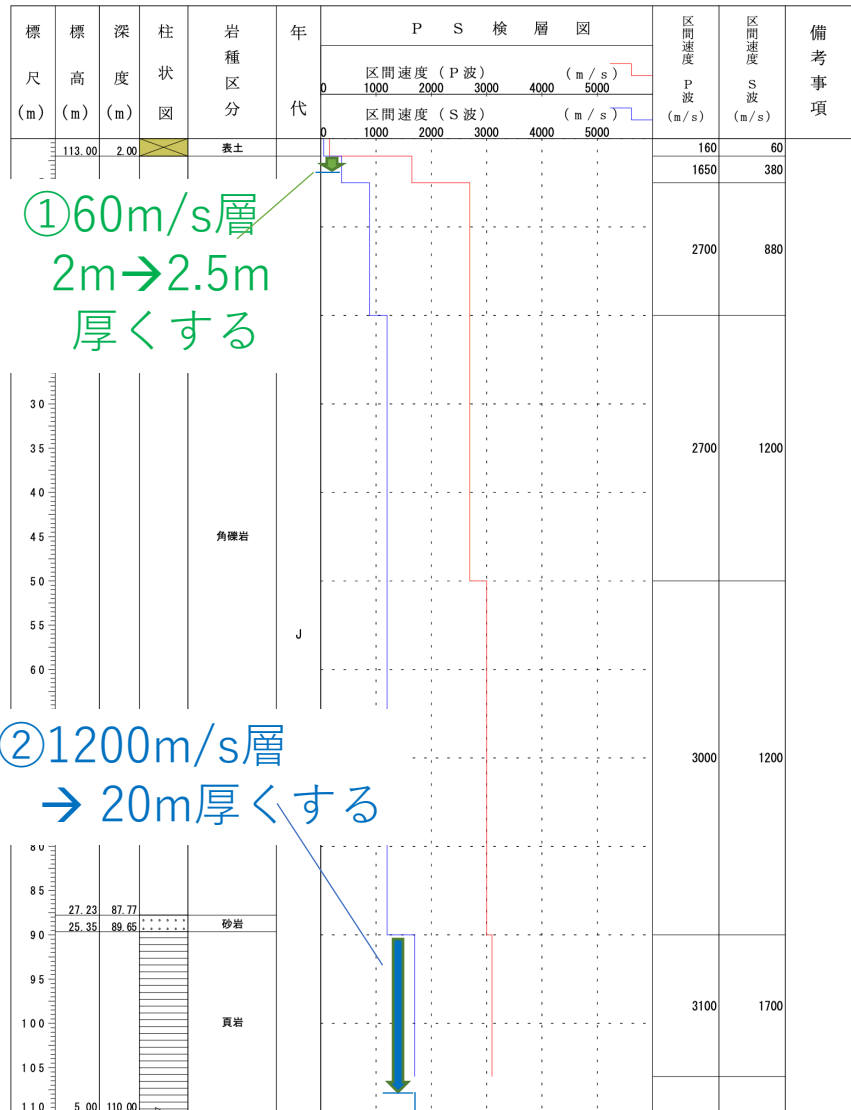
- 地中観測点でも 8 Hzの増幅がわずかに確認できる。
- 8 Hz増幅は、地表でさらに10倍に増幅される。
- その他の周期帯 (0.1~50s) においては、地中 = 地表

→ 8 Hz増幅ピークは、主として地中(-107m)~地表の地盤で発生。

KiK-net速度検層モデルを用いた地盤増幅の評価 (SH波の鉛直入射)

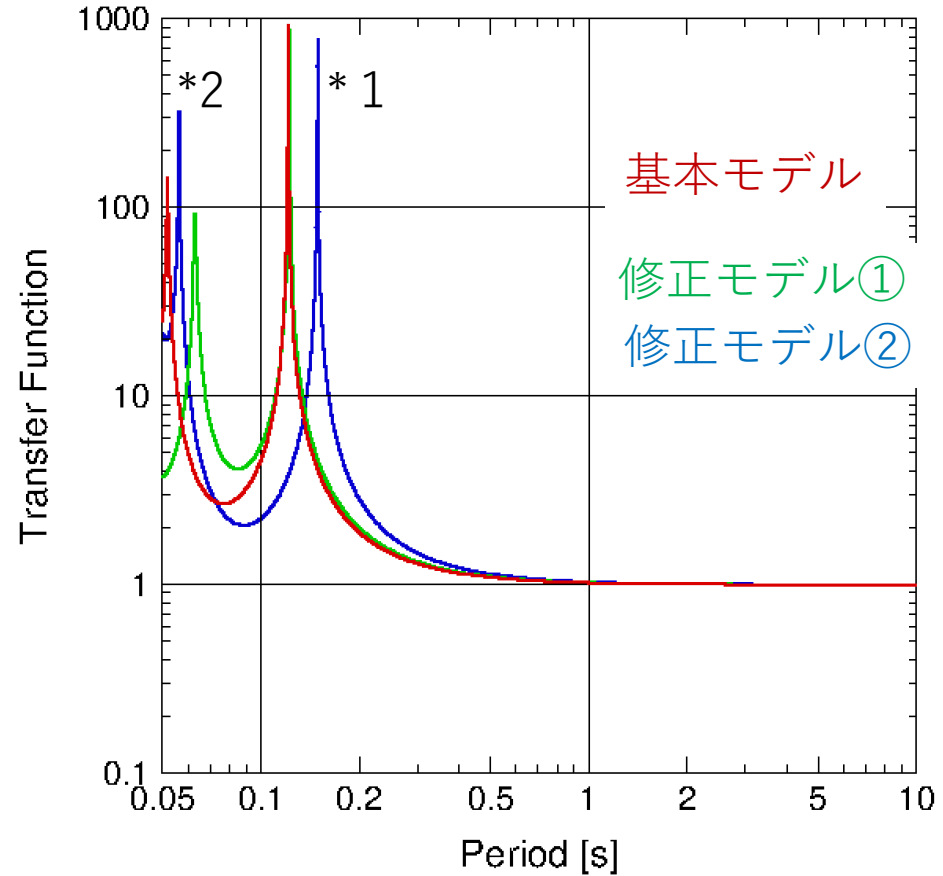
ボーリング柱状図 (暫定版) 速度構造モデルと修正

観測点名: 御前山 (ごぜんやま)
 所在地: 茨城県東茨城郡御前山村大字下伊勢畑字滝坂1188番5
 緯度: 36° 33' 12.6"
 観測点コード: IBRH15
 経度: 140° 18' 16.6"
 総掘進長: 110.00m
 標高: +113.00m



地表面 / 地中 増幅

KiK-net IBRH15



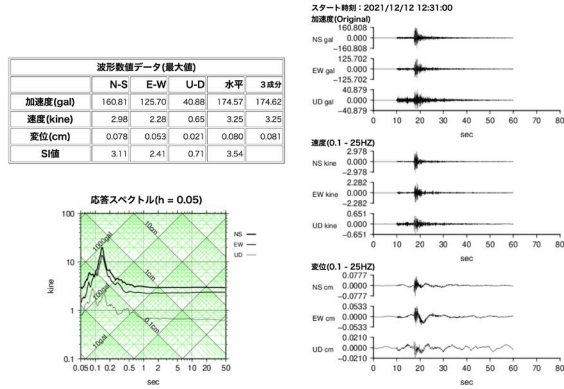
- 修正した速度構造モデル①②を用いた計算から、8 Hz (0.13 s) 増幅ピーク (*1) には、地表下100 m程度までのS波速度構造が影響することを確認。
- より高周波数 (16 Hz; 0.06s) の地震動増幅(*2)は、ごく表層地盤(60m/s, 2m厚) により発生。

深い地震/浅い地震における8 Hzピーク増幅の発生

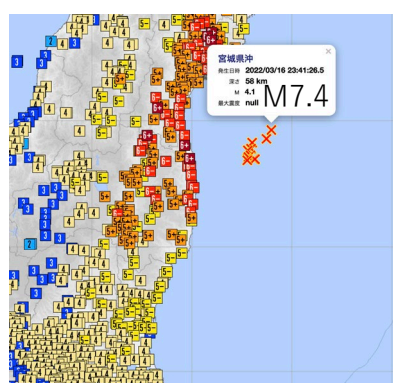
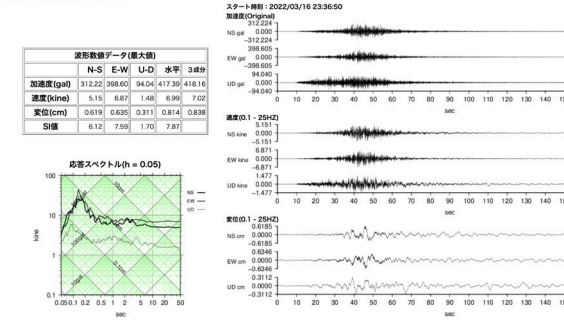
(a) 深いスラブ内地震



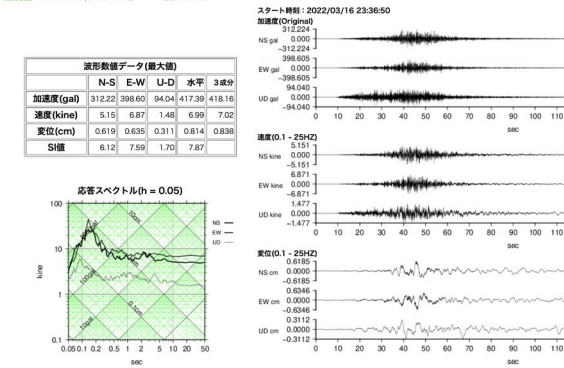
地震名: 2021/12/12 12:30:58 SW IBARAKI PREF (36.135N 139.853E 50.5km) Mj 5.0D
観測点: IBR.031 (茨城県 城東町) データ提供: 茨城県



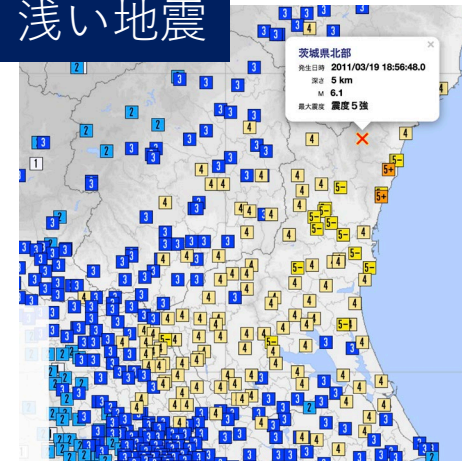
地震名: 2022/03/16 23:36:32 E OFF FUKUSHIMA PREF (37.697N 141.623E 56.6km) Mj 7.4D
観測点: IBR.031 (茨城県 城東町) データ提供: 茨城県



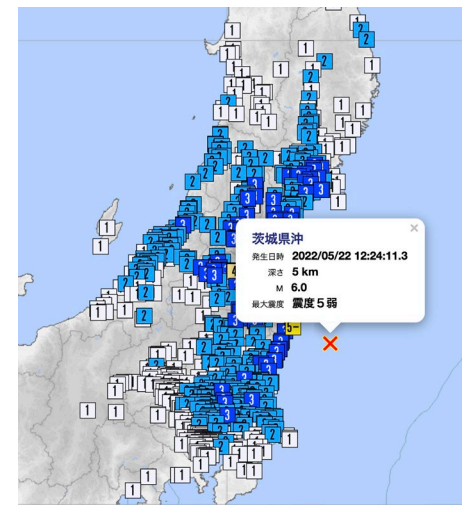
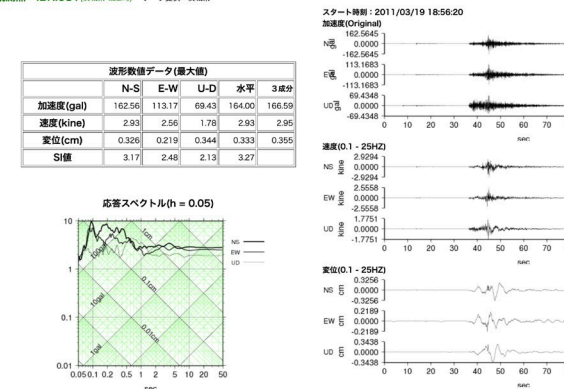
地震名: 2022/03/16 23:36:32 E OFF FUKUSHIMA PREF (37.697N 141.623E 56.6km) Mj 7.4D
観測点: IBR.031 (茨城県 城東町) データ提供: 茨城県



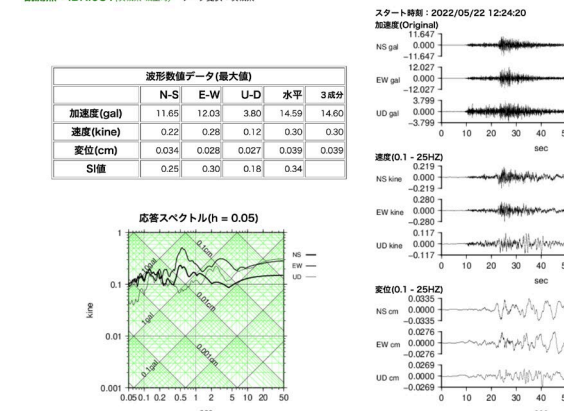
(b) 浅い地震



地震名: 2011/03/19 18:56 茨城県北部 (36.8N 140.6E 5.0km) Mj 6.1
観測点: IBR.031 (茨城県 城東町) データ提供: 茨城県



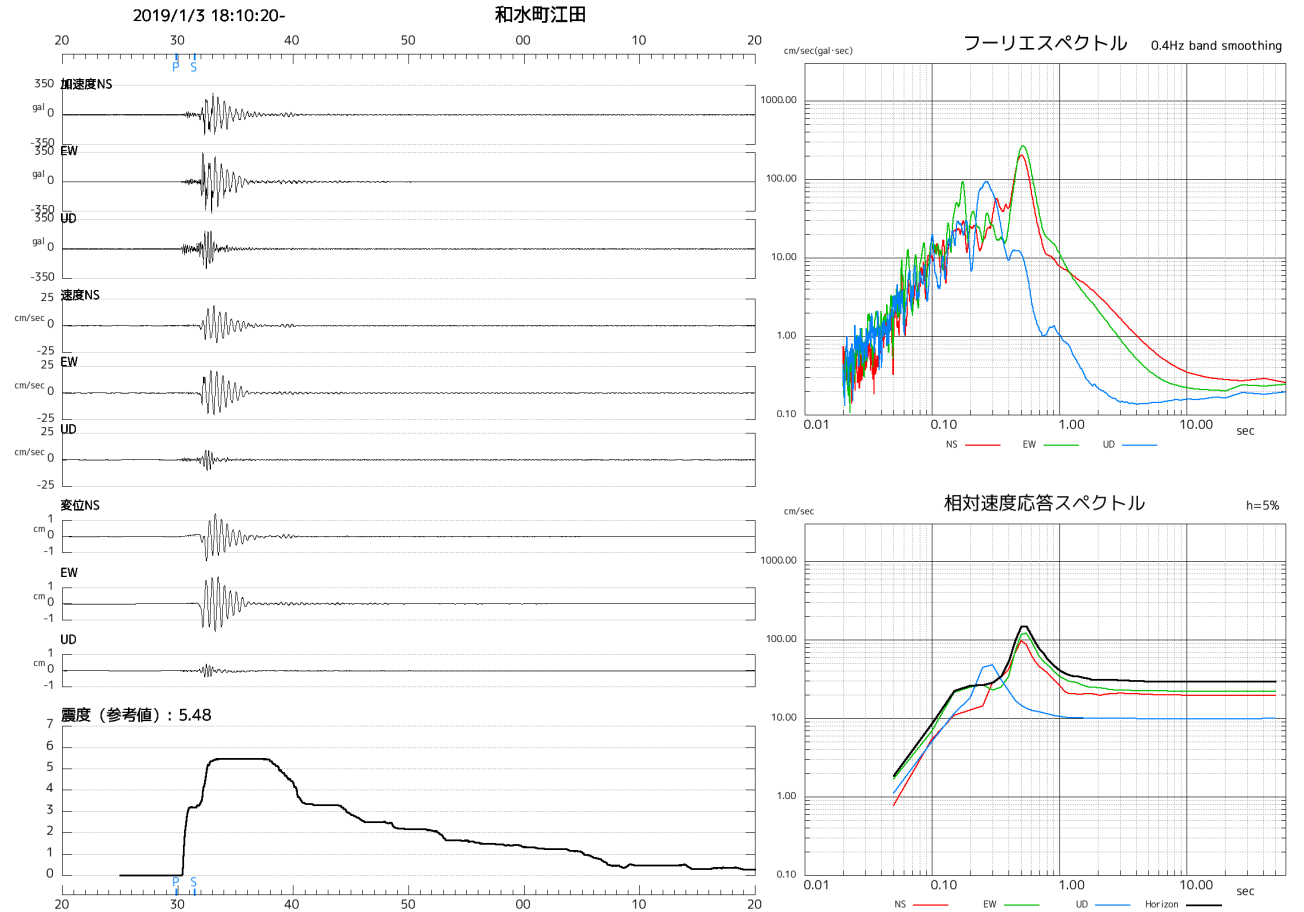
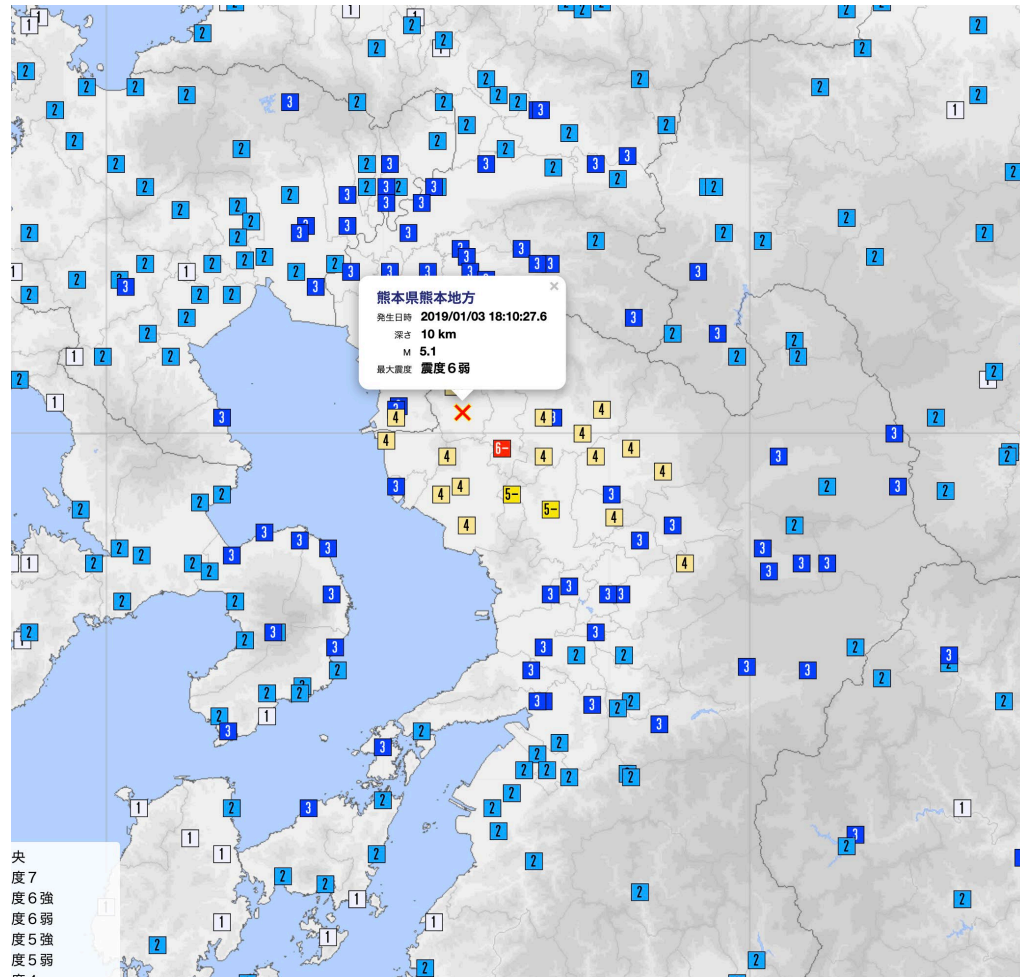
地震名: 2022/05/22 12:24:11 E OFF IBARAKI PREF (36.774N 141.404E 5.2km) Mj 6.0D
観測点: IBR.031 (茨城県 城東町) データ提供: 茨城県



- 8 Hz増幅ピークは、深いスラブ内地震で顕著だが浅い地震では不明瞭。
- 震源の高周波数(8 Hz)地震動の放射(スペクトル)特性、地表へのS波入射角が関係している可能性あり。

M5地震による強震動：類似の観測事例（2019年1月3日、熊本県の地震 M5.1, 最大震度6弱）

和水町江田（震度6弱）



- 熊本県の地震（2019/1/3）では、M5.1規模で最大震度6弱を観測（和水町江田）、当該観測点では2 Hzに強い増幅ピークが見られた。

→計測震度に敏感な周期帯に近い増幅であり、震度への影響がより大きかった。