

4. 地震および地震動

4.1 地震の概要と特徴

平成28年(2016年)熊本地震の特徴としては、内陸の活断層の活動に因ること、地表に地震断層が出現したこと、誘発された地震を含めた余震の活動域が九州をほぼ横断する長さを持つこと、極めて強い揺れ(震度7)が観測されたこと、また震源の近くでは強い揺れに何度も襲われた地区があること、が挙げられる。

4.1.1 地震諸元

平成28年(2016年)熊本地震とは、4月14日21時26分以降に発生した熊本県を中心とする一連の地震活動を指す^{4.1-1)}。7月12日10時現在、震度1以上を観測する地震が1,879回発生した。震度5弱以上の地震は19回(震度7:2回、震度6強:2回、震度6弱:3回、震度5強:4回、震度5弱:8回)である。震度6弱以上を観測した地震の諸元を表4.1-1に示す。最大規模は4月16日1時25分に発生した地震のマグニチュード(M)7.3である。

表4.1-1 震度6弱以上を観測した地震の諸元^{4.1-1)、4.1-2)}
(7月12日10時現在、Mは気象庁マグニチュード)

発生時刻	震央	深さ	M	最大震度
4月14日21時26分	熊本県熊本地方(32°44.5'N 130°48.5'E)	11km	6.5	7
4月14日22時07分	熊本県熊本地方(32°46.5'N 130°50.9'E)	8km	5.8	6弱
4月15日00時03分	熊本県熊本地方(32°42.0'N 130°46.6'E)	7km	6.4	6強
4月16日01時25分	熊本県熊本地方(32°45.2'N 130°45.7'E)	12km	7.3	7
4月16日01時45分	熊本県熊本地方(32°51.7'N 130°53.9'E)	11km	5.9	6弱
4月16日03時55分	熊本県阿蘇地方(33°01.5'N 131°11.4'E)	11km	5.8	6強
4月16日09時48分	熊本県熊本地方(32°50.8'N 130°50.1'E)	16km	5.4	6弱

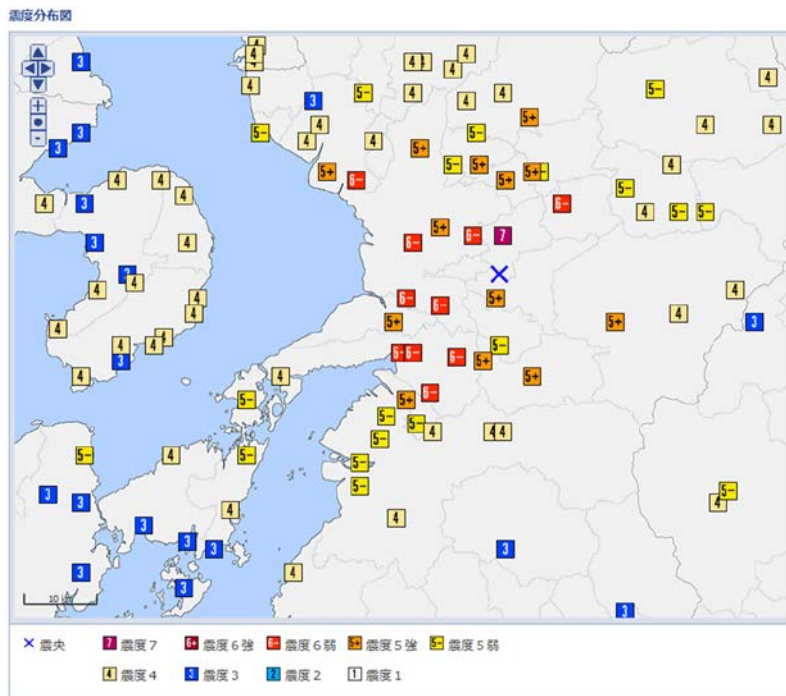
4.1.2 震度分布

4月14日21時26分に発生した前震(以下、前震)および4月16日01時25分に発生した本震(以下、本震)により最大震度7が観測された。加えて最大震度6強の地震が2回(4月15日00時03分および4月16日09時48分)、6弱の地震が3回観測された(4月14日22時07分、4月16日01時45分、および4月16日09時48分)^{4.1-3)}。前震と本震の震源断層が比較的近かった為、益城町および周辺地区では、何度も強い揺れに襲われた。益城町宮園にある熊本県の震度情報ネットワークの震度計(以後、自治体震度計)では、前震および本震で震度7が観測された。

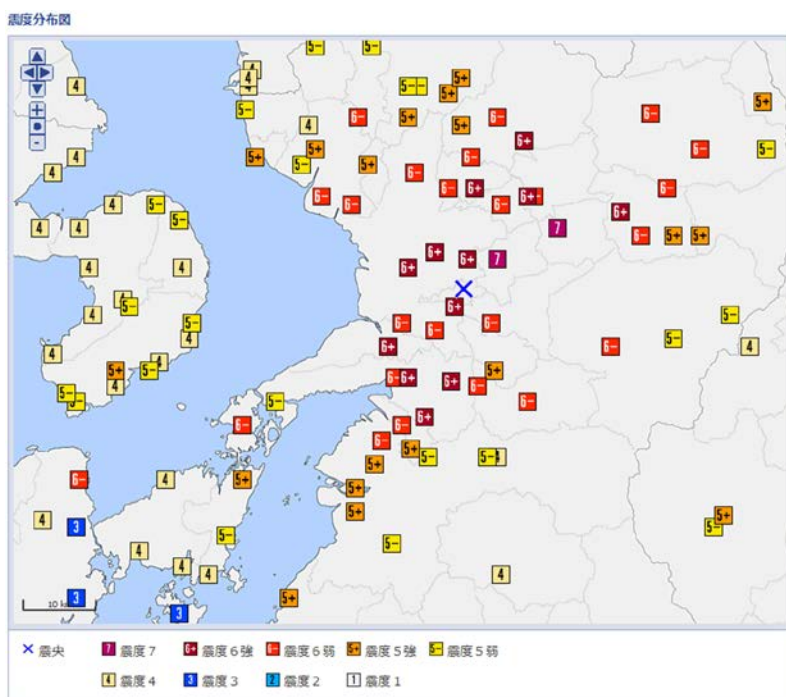
図4.1-1に前震と本震の震度分布図を示す^{4.1-4)}。前震に際しては、益城町宮園でのみ震度7が記録されており、震度6強は無く、震度6弱が熊本市、玉名市、宇城市、西原村で観測された。本震に際しては、震度7が益城町宮園、西原村で観測された。なお、KiK-net 益城の強震記録(地表)も計測震度6.5(震度7相当)を記録した。震度6強が南阿蘇村、菊池市、宇土市、大津町、嘉島町、宇城市、合志市、熊本市、震度6弱は南阿蘇村、阿蘇市、八代市、玉名市、菊池市、大津町、菊陽町、御船町、熊本市、宇城市、山都町、氷川町、合志市、和水町、上天草市で観測された。

益城町・西原村・南阿蘇村河陽地区は震源断層のほぼ直上に位置するため、地表での地震動の振幅が非常に大きく、震度6強～7が観測された。一方、震源断層から少し離れた熊本市（約7km）、宇城市（約30km）および周辺地域では、平野部の地盤で地震波が増幅されることにより、地表での地震動の振幅が非常に大きくなり、震度6強が観測された。

なお、本震は九州に限らず西日本全域で広範に観測され、特に平野部では近隣の山間部より顕著に大きな震度が観測された。また、大阪平野と濃尾平野で震度3が、さらに遠方の関東平野でも震度2が観測された。



(a) 前震 (4月14日 21時26分)



(b) 本震 (4月16日 01時25分)

図 4.1-1 平成 28 年（2016 年）熊本地震の震度分布（気象庁 震度情報データベース^{4.1-4} より）

4.1.3 震源モデル

多くの機関の研究者が種々の地震波データや地殻変動データを解析して、震源モデル（断層面状のすべり分布）を提案している。地震波のデータとしては、遠地震記録や近地の強震記録等がある。また、地殻変動データとしては、GNSS（全球測位衛星システム）データや合成開口レーダー等が利用可能である。

ここでは既に論文として出版されている筑波大学の八木博士のグループによる本震の震源モデル^{4.1-5)}を紹介する（図 4.1-2）。彼らは広帯域遠地震記録を用いた逆解析を行った。推定された地震モーメントは $5.1 \times 10^{19} \text{ Nm}$ （モーメントマグニチュード $M_w = 7.1$ ）で、断層長は 40km、断層の幅は 15km である。本震は震央から北東におよそ 30 km 伝播して、火山活動が活発な阿蘇山北西付近で停止した。

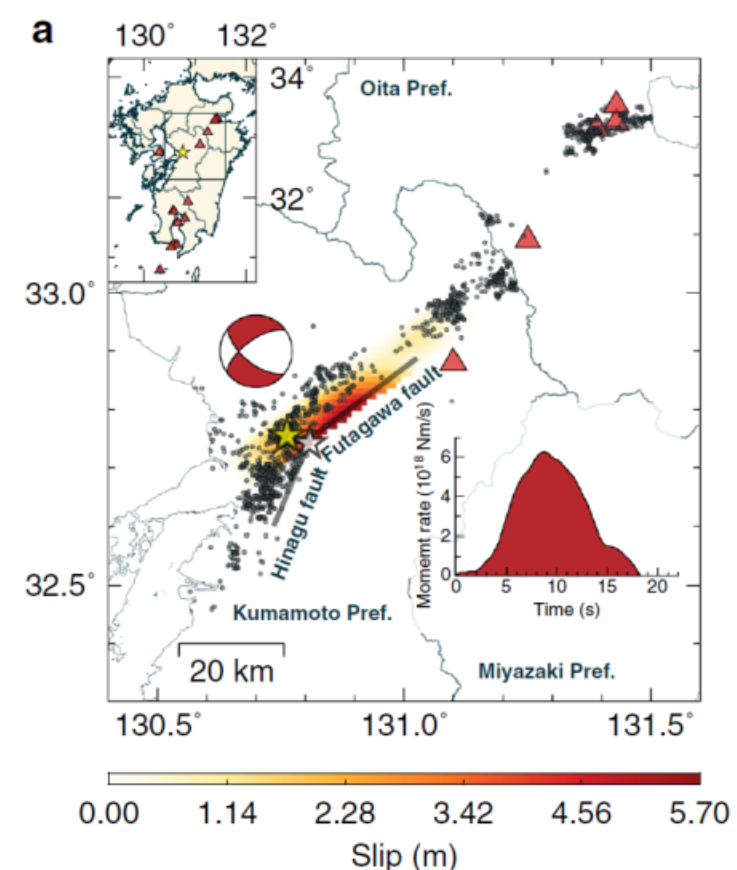


図4.1-2平成28年（2016年）熊本地震の全体像^{4.1-5)}。黄色と白色の星印は、気象庁により決められた本震と最大前震の震央を示す。また、本震の発震機構と震源時間関数を示す。黒点は本震後の最初の3日間に発生した余震の震央を示す。赤三角は活火山を示す。

4.1.4 地表に現れた地震断層

平成 28 年（2016 年）熊本地震の発生を受けて、複数の大学、研究機関および民間企業の研究者が日奈久断層帯および布田川断層帯に沿った地表地震断層の現地調査を実施した。国立研究開発法人産業技術総合研究所による調査（図 4.1-3）によると、日奈久断層帯北東部（玉名郡和水町高野-上益城郡甲佐町白旗）の約 6km の範囲、布田川断層帯と日奈久断層帯の接合部西側約 3km から阿蘇カルデラ内に至る約 28km の範囲において、地表地震断層の出現が確認された。日奈久断層帯において確認された地表地震断層の分布は

既知の活断層の位置とほぼ一致しており、最大変位量は約 75cm（上益城郡御船町高木地区）である。一方、布田川断層帯では従来指摘されていた活断層だけでなく、主断層と平行に並ぶ断層および地表変形が確認された。また、上益城郡益城町堂園地区では 2m を超える右横ずれの地表地震断層が確認された（写真 4. 1-1）。全体的に右横ずれ変位を示す地表断層が確認されたが、阿蘇郡西原村出ノロ地域周辺では左横ずれ成分を含む変位が確認された。島根大学による調査^{4.1-7)}では、阿蘇カルデラ西部（阿蘇市二重峠周辺）において東西方向の断層露頭および亀裂、カルデラ内の北西地域において北東方向の亀裂群が確認された。北東方向の亀裂群については、断層活動に伴うものであるか否か現時点で不明である。

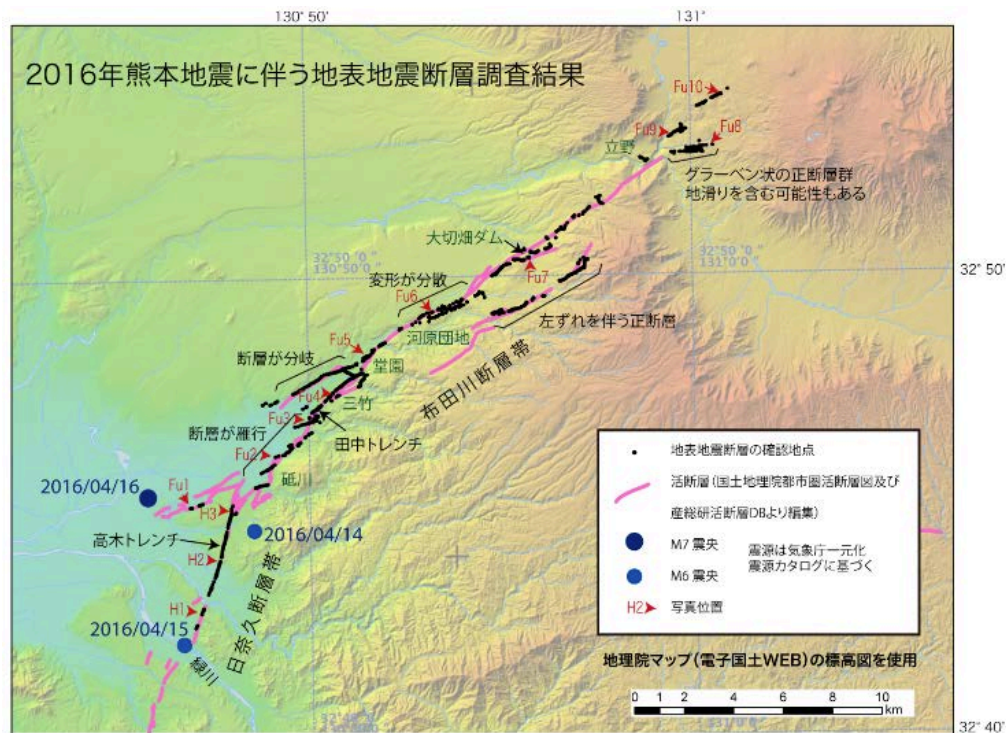


図4. 1-3 地表地震断層の分布（地震調査研究推進本部発表資料^{4. 1-6)}）



写真 4.1-1 益城町堂園で確認された地表変位（箱尺の長さは2m）

参考文献

- 4.1-1) 「平成28年（2016年）熊本地震」について（第41報），平成28年7月，
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1607/12a/kaisetsu201607121030.pdf>
- 4.1-2) 平成28年4月 地震・火山月報（防災編），
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/monthly/201604/201604monthly.pdf>
- 4.1-3) 気象庁 報道発表資料「平成28年（2016年）熊本地震」について（第33報）、平成28年4月
- 4.1-4) 気象庁 震度情報データベース、平成28年7月閲覧
(<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>)
- 4.1-5) Yagi, Y., R. Okuwaki, B. Enescu, A. Kasahara, A. Miyakawa, and M. Otsubo, Rupture process of the 2016 Kumamoto earthquake in relation to the thermal structure around Aso volcano, Earth, Planets and Space 2016 68:118
- 4.1-6) 地震調査研究推進本部、平成28年(2016年)熊本地震の評価、平成28年5月
http://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2016/2016_kumamoto_3.pdf
- 4.1-7) 一般社団法人日本地質学会、2016年熊本地震の地質学的背景と地震後の断層調査報告（日本学術会議主催公開シンポジウム 熊本地震・三ヶ月報告会資料）、平成28年7月
http://janet-dr.com/11_saigaiji/160716kyushu_houkokukai/20160716pdf/00_160716_all.pdf

4.2 被災地域の地形および地質

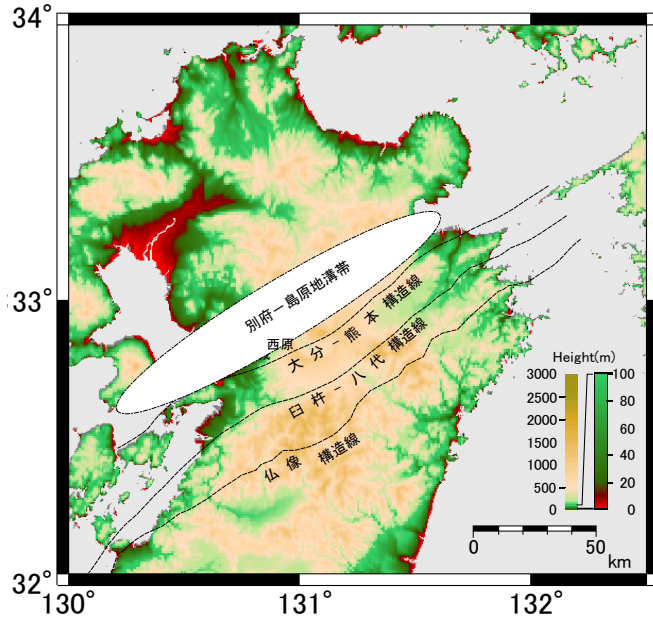
平成28年(2016年)熊本地震は、「5.地震動による建築物等の被害」で述べているように、熊本県益城町を中心に甚大な被害をもたらした。これらの被災地を含む九州中央部の地形図を図4.2-1に、被害が集中した熊本市、益城町、西原村の表層地質を図4.2-2^{4.2-1)}に示す。図4.2-1に示すように、熊本市、益城町、西原村は、別府-島原地溝帯に重なる。別府-島原地溝帯は、関東平野から群馬、長野、和歌山、徳島県などを経て九州まで続く全長1千キロ以上の大断層である中央構造線の延長部とみられている臼杵-八代構造線と平行する大分-熊本構造線の北側に位置する。今回の地震で地表に地震断層が現れた布田川断層帯は、大分-熊本構造線に沿っている^{4.2-2)}。

地形・地質は、西側の有明海から東に掛けて沖積低地、河成段丘、火砕流台地、溶岩台地、阿蘇火山(カルデラ)と続いている。沖積低地は、阿蘇カルデラの水を集める白川と阿蘇カルデラ南側外輪山より発する緑川が運搬/堆積してつくった自然堤防や三角州と人工的な干拓地からなり、狭義の熊本平野に相当する^{4.2-2),3)}。河成段丘は大きく保田窪段丘と託麻段丘の2つに区分され、前者は約3~8万年前、後者は1~2万年前の間に形成されたと推定されている^{4.2-2)}。阿蘇カルデラは、27万年前から9万年前に起きた4つの火砕流の噴出に伴う活動で形成された。陥没したカルデラには湖が形成され、湖成層が堆積した。その厚さは、一の宮町(現阿蘇市)ではカルデラの火口原から-320mまで、白水村(現南阿蘇村)では-800mまで確認されている^{4.2-4),5)}。

益城町の地形は、秋津川より北側の台地、木山川流域の平野、南東側の山地の3つに大きく分けることができる^{4.2-6)}。台地は、上記の託麻段丘と高遊原台地に区分される。高遊原台地は阿蘇くまもと空港のある台地で、標高は150~200m、西原村大峰山が形成された際(およそ9万年前)に流出した溶岩(高遊原溶岩)で形成されている。益城町で木造建築物の被害が甚大であった県道28号から秋津川に掛けての範囲は、文献により名称は異なるが、図4.2-2では上記の託麻段丘の形成年代にはほぼ相当する凡例170、国土調査昭和57年7月10日指定土地分類基本調査図表層地質図(御船)^{4.2-7)}では上記の保田窪段丘の形成年代に相当する「段丘堆積物-3」、同地形分類図(御船)^{4.2-8)}では「段丘面4」、の区域にはほぼ一致している。

参考文献

- 4.2-1) シームレス地質図3D、平成28年8月閲覧
(<https://gbank.gsj.jp/seamless/cesium/index.html#>)
- 4.2-2) 町田洋・ほか編、日本の地形7九州・南西諸島、東京大学出版会、2001.12.
- 4.2-3) 石堂稔、山本毅、大内正之、田島恒美：主要都市の土質と基礎、九州の土質と基礎(特集)、土と基礎、地盤工学会、pp21-28、1988.3.
- 4.2-4) 日本の地質「九州地方」編集委員会編、日本の地質9九州地方、共立出版、1992.7.
- 4.2-5) 松本幡郎、藤本芳男、阿蘇カルデラ内の注目すべきボーリング結果について、火山.第2集14(1)、1-7、1969.4.
- 4.2-6) 黒川哲雄、益城町の地質と教材、熊本地学会誌40、5-18、1972.06.
- 4.2-7) 国土調査昭和57年7月10日指定土地分類基本調査図表層地質図(御船)、平成28年8月閲覧(<http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/tochimizu/F3/data/G/4306G.jpg>)
- 4.2-8) 国土調査昭和57年7月10日指定土地分類基本調査図地形分類図(御船)、平成28年8月閲覧(<http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/tochimizu/F3/data/L/4306L.jpg>)

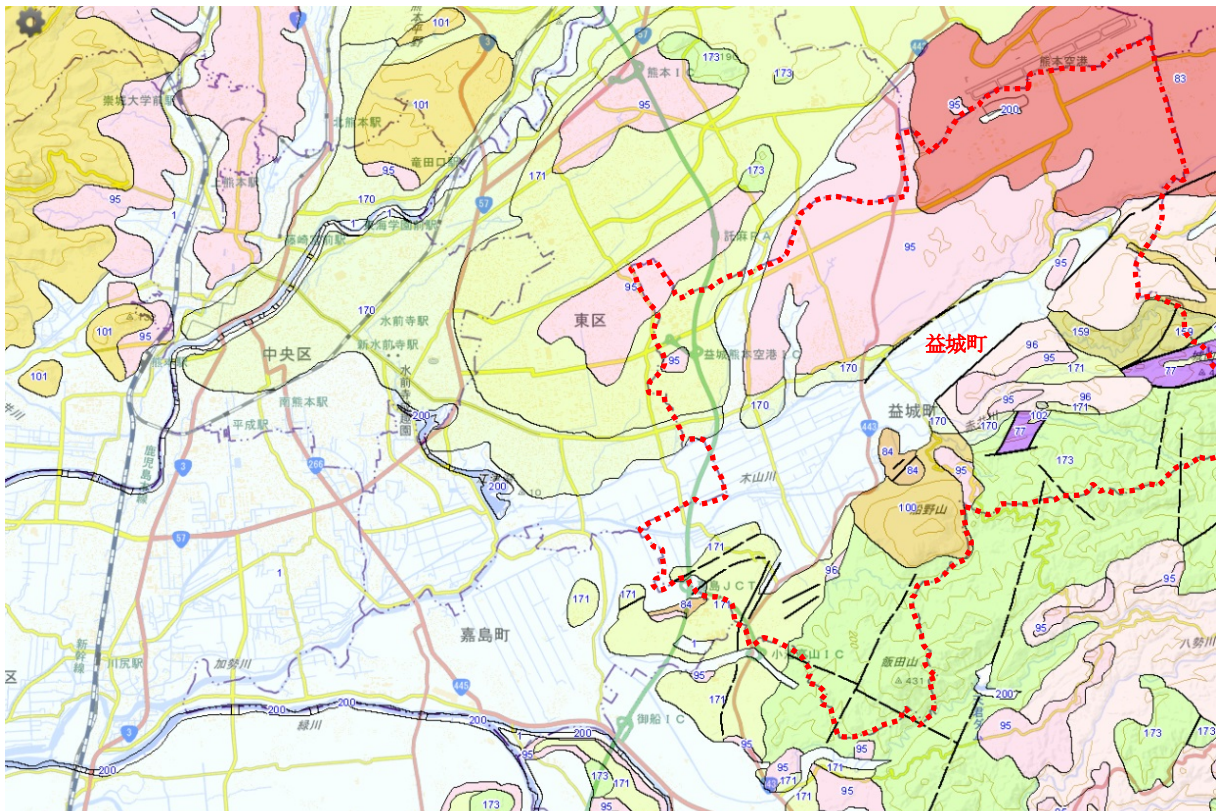


大分-熊本構造線：
中央構造線を西方に伸ばした位置にある構造線

臼杵-八代構造線：
領家帯（北側）と秩父累帯（南側）を境する地質構造線

仏像構造線：
秩父累帯（北側）と四万十帯（南側）を境する地質構造線

図 4.2-1 九州中央部の地形図と構造線



凡例

- 1：約 1 万 8000 年前～現在までに形成された最も新しい時代の地層
- 83：約 15 万年前～現在に噴火した火山の岩石(デイサイト・流紋岩類)
- 95：約 15 万年前～現在に爆発的噴火により高速で流れ下った軽石や火山灰(火砕流)
- 170：川沿いの低地に分布している約 7 万年前～1 万 8000 年前に形成された段丘層
- 171：川沿いのやや高い所に分布している約 15 万年前～7 万年前に形成された段丘層
- 173：約 1 億年前～6500 万年前に川や湖で形成された地層

益城町

図 4.2-2 熊本市、益城町、西原村の表層地質（文献 4.2-1 に加筆）

4.3 前震および本震の地震動特性

平成28年(2016年)熊本地震では、気象庁の震度計、国立研究開発法人防災科学技術研究所のK-NETやKiK-netの強震計、および自治体震度計で多くの強震観測記録(加速度)が得られ公開されている。これらの本震における強震記録のうち、K-NET、KiK-net^{4.3-1)}、気象庁^{4.3-2)}、熊本県、大分県、佐賀県、宮崎県の震度計^{4.3-3)}で観測された本震の強震記録のうち、地表で震度5強以上が観測された地点における最大加速度・最大速度等を表4.3-1に示す。表中の最大速度は、公開されている加速度記録に遮断振動数0.1Hzのローカットフィルターを適用し、高速フーリエ変換によって積分した速度記録から求めた。これらの記録より、3成分を合成した最大速度分布を図4.3-1に示す。図4.3-1から、震源近傍において速度が大きい傾向にあること、表4.3-1から西原村小森のEW方向の最大速度は239cm/sと非常に大きいことが分かる。

表4.3-1 本震時に地表で震度5強(計測震度5.0)以上が観測された強震記録一覧

記号	観測地点	距離 (km)	計測 震度	最大加速度 (cm/s ²)			最大速度 (cm/s)		
				NS	EW	UD	NS	EW	UD
93050	嘉島町上島	1.9	6.2	565	597	474	88.8	61.2	14.7
KMM006	K-NET 熊本	4.7	6.0	827	616	534	66.4	90.7	32.6
93021	熊本南区城南町	6.0	5.9	681	522	803	55.8	59.3	15.3
93049	御船町御船	6.1	5.7	466	441	354	44.9	43.7	16.5
93012	熊本中央区大江	6.3	6.0	627	478	403	57.8	56.2	22.4
93051	益城町宮園	6.6	6.7	776	825	669	94.1	177.0	51.5
KMMH16	KiK-net 益城	7.3	6.4	653	1157	873	85.5	129.1	48.8
47819	熊本西区春日	7.9	6.0	606	552	405	71.0	41.4	15.5
93022	熊本南区富合町	8.8	5.9	427	412	591	97.8	61.3	16.8
KMM008	K-NET 宇土	12.1	6.2	651	771	422	65.5	83.8	13.2
93052	甲佐町豊内	12.7	5.2	475	551	434	30.1	22.2	11.9
93025	宇城市豊野町	13.1	6.1	573	575	725	85.3	52.7	28.1
KMMH14	KiK-net 豊野	13.2	5.7	457	402	539	60.6	42.1	24.4
93026	熊本美里町馬場	13.3	5.9	402	527	355	51.7	48.6	13.6
93044	菊陽町久保田	13.4	5.8	824	498	566	54.9	69.2	40.8
42511	宇城市松橋町	13.8	6.0	493	343	314	76.7	51.1	16.5
93045	合志市竹迫	14.6	6.2	399	691	307	74.1	87.1	31.6
93047	合志市御代志	14.8	5.6	401	572	468	39.9	52.9	22.1
93020	宇城市不知火町	14.9	5.9	539	442	517	66.4	37.8	12.6
93048	西原村小森	16.0	6.6	742	770	531	113.7	239.0	128.7
93096	大津町大津	17.0	6.1	1380	1740	595	77.9	70.6	52.6
KMM005	K-NET 大津	17.4	5.7	526	482	397	55.5	55.4	51.2
93040	熊本北区植木町	17.5	5.8	672	878	530	38.3	41.9	14.0
KMM011	K-NET 砥用	18.0	5.6	598	602	255	28.8	29.0	8.5
93046	菊池市泗水町	18.5	5.6	485	339	182	50.8	42.2	19.1
93024	宇城市小川町	19.0	6.0	390	369	233	77.8	46.7	12.8
93030	玉名市天水町	19.7	5.7	308	202	137	62.0	41.9	10.6
93057	氷川町島地	21.0	5.7	301	313	206	49.4	43.6	9.2
93031	玉東町木葉	21.8	5.4	236	237	177	27.0	19.2	6.5
KMM009	K-NET 矢部	22.3	5.7	777	640	187	32.3	26.7	12.4
93042	菊池市旭志	22.9	6.4	799	857	536	127.2	84.9	35.6
93029	玉名市横島町	23.3	5.6	231	197	104	52.5	27.7	5.8

表 2.2-1 本震時に地表で震度 5 強 (計測震度 5.0) 以上が観測された強震記録一覧 (続き 1)

記号	観測地点	距離 (km)	計測 震度	最大加速度 (cm/s ²)			最大速度 (cm/s)		
				NS	EW	UD	NS	EW	UD
93058	氷川町宮原	23.5	5.2	205	152	232	20.3	19.1	17.1
93041	菊池市七城町	23.7	5.1	197	204	129	38.1	43.1	10.9
93056	八代市鏡町	23.9	5.5	354	285	354	47.6	30.0	9.1
93039	山鹿市鹿央町	25.2	5.1	220	178	234	26.4	19.1	10.3
93011	南阿蘇村河陽	25.3	6.2	1112	955	654	130.1	119.2	56.7
93017	菊池市隈府	25.3	5.7	415	294	302	56.0	37.4	18.4
93010	南阿蘇村河陰	26.5	5.7	920	558	361	60.9	54.6	39.5
93038	山鹿市鹿本町	27.2	5.0	204	194	211	22.9	24.2	9.4
93055	八代市千丁町	27.4	5.3	207	204	112	35.7	34.6	6.8
KMMH03	KiK-net 菊池	28.0	6.1	787	228	403	80.4	20.9	15.3
KMM003	K-NET 玉名	28.3	5.0	177	217	69	18.8	17.4	4.0
93032	和水町江田	28.5	5.7	264	509	136	22.2	37.0	6.7
93037	山鹿市菊鹿町	30.2	5.1	261	305	210	23.7	23.7	9.1
KMM012	K-NET 八代	31.1	5.2	197	165	130	27.0	20.6	8.2
93009	南阿蘇村吉田	31.1	5.3	418	412	186	69.7	43.6	28.1
KMMH09	KiK-net 泉	32.2	5.0	240	200	109	12.8	13.5	6.7
47821	南阿蘇村中松	32.4	5.9	794	607	653	53.8	65.7	44.5
41509	八代市平山新町	34.1	5.1	172	176	83	20.7	25.5	7.5
93035	長洲町長洲	34.5	5.1	163	110	54	21.7	17.7	5.0
KMM007	K-NET 高森	34.7	5.3	279	420	302	33.0	42.4	22.4
93002	阿蘇市内牧	35.7	5.8	512	165	318	94.3	50.6	23.9
42514	上天草市大矢野町	36.1	5.5	262	334	122	24.0	24.2	8.5
KMM004	K-NET 一の宮	39.0	5.5	261	347	268	72.9	79.7	21.3
93083	上天草市松島町	40.5	5.1	199	214	125	13.3	17.6	4.5
93003	南小国町赤馬場	47.8	5.4	286	313	122	39.0	48.6	14.7
KMM013	K-NET 田浦	49.2	5.0	155	138	73	19.2	13.4	6.9
95019	椎葉村下福良	49.3	5.0	256	217	101	13.5	11.7	5.4
KMMH02	KiK-net 小国	49.7	5.5	303	660	286	35.8	37.5	14.5
KMM001	K-NET 小国	49.9	5.1	164	220	92	35.3	31.8	14.0
93005	産山村山鹿	50.3	5.4	241	362	91	32.1	30.6	10.7
42520	高千穂町三田井	51.3	5.0	203	144	71	18.6	14.5	12.4
94054	日田市前津江町	52.5	5.0	170	230	117	13.6	19.4	8.8
94049	竹田市荻町	53.9	5.0	195	180	89	27.0	28.5	14.6
FK0015	K-NET 柳川	56.4	5.0	162	207	59	16.8	23.8	5.7
42512	芦北町芦北	56.4	5.0	139	125	41	19.3	18.0	2.9
93091	天草市五和町	60.1	5.5	282	219	62	27.4	23.4	3.9
94052	九重町後野上	66.0	5.4	285	317	106	23.0	26.3	7.3
41505	久留米市津福本町	66.1	5.0	126	167	66	12.4	20.6	5.0
91026	神崎市千代田	67.8	5.4	183	154	62	30.9	27.8	7.6
94051	竹田市直入町	68.4	5.1	157	149	111	25.7	22.6	11.9
91035	上峰町坊所	69.9	5.3	167	202	47	18.6	28.7	3.6
95014	宮崎美郷町田代	71.5	5.0	227	284	49	12.9	13.0	4.6
91022	佐賀市久保田	71.8	5.0	108	111	32	19.2	18.9	3.7
KMMH11	KiK-net 九重	72.4	5.5	559	519	272	22.2	19.5	7.5
94040	豊後大野市清川町	74.2	5.0	200	142	101	20.3	13.2	11.3

表 2.2-1 本震時に地表で震度 5 強 (計測震度 5.0) 以上が観測された強震記録一覧 (続き 2)

OIT009	K-NET 湯布院	78.0	6.0	528	717	475	52.4	81.1	11.4
94048	由布市湯布院町川上	79.3	5.9	479	369	466	58.6	37.7	20.2
47380	別府市天間	88.5	5.0	261	169	83	32.8	19.4	10.0
41510	別府市鶴見	90.4	5.5	831	806	861	42.3	17.1	12.0

気象庁、自治体震度計の計測震度はそれぞれ文献 4.3-2)、4.3-3) の値、K-NET、KiK-net の計測震度は「平成 8 年気象庁告示第 4 号によって定められた方法」^{4.3-4)} に基づいて計算した値、による。

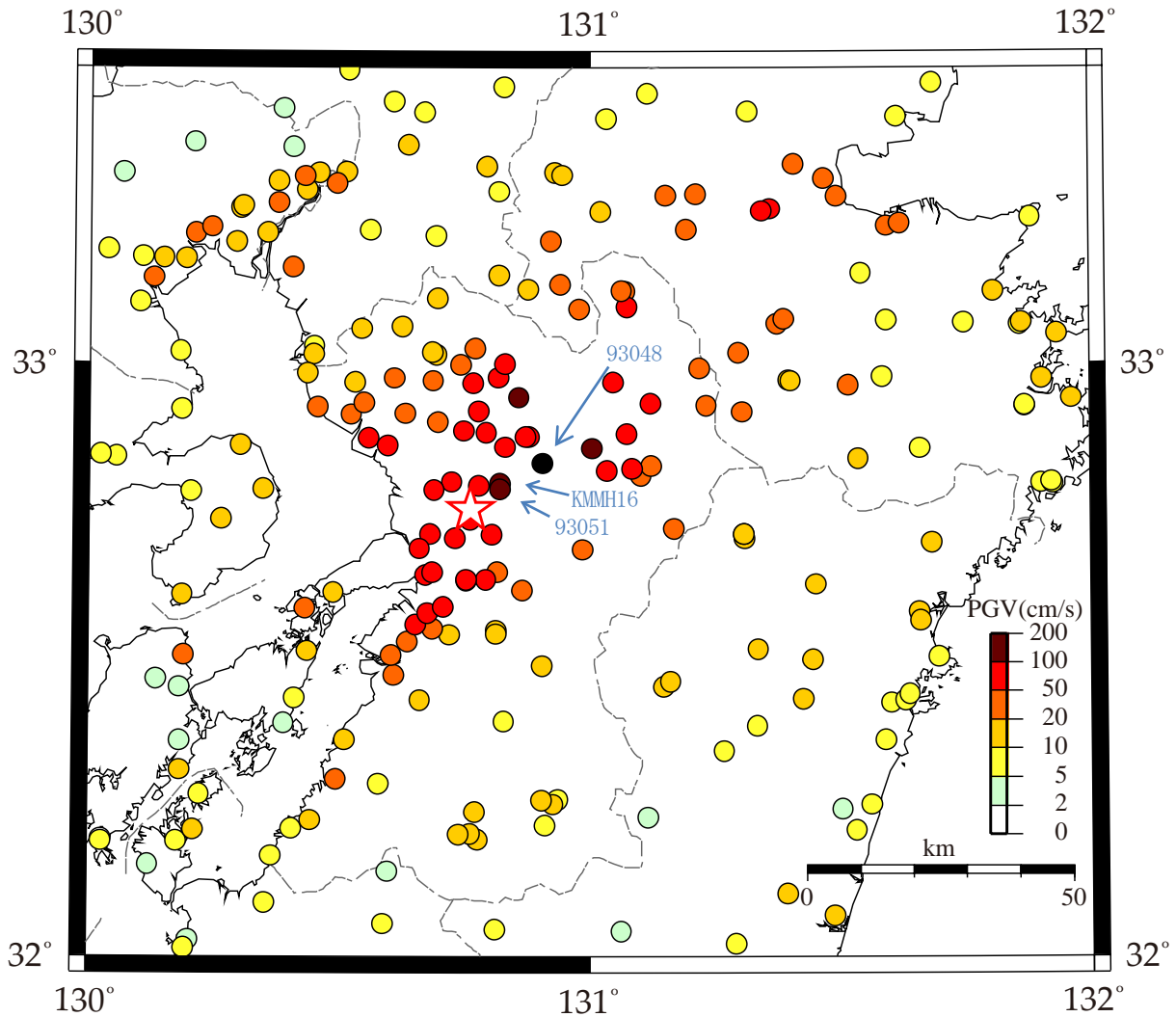
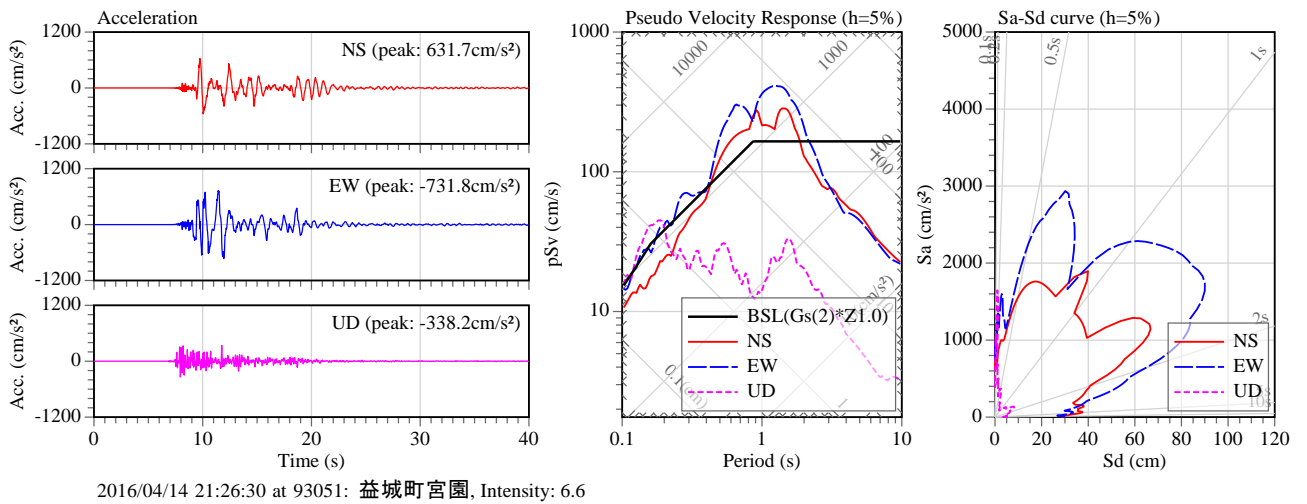


図 4.3-1 強震観測地点と本震の最大速度分布 (3 成分合成)

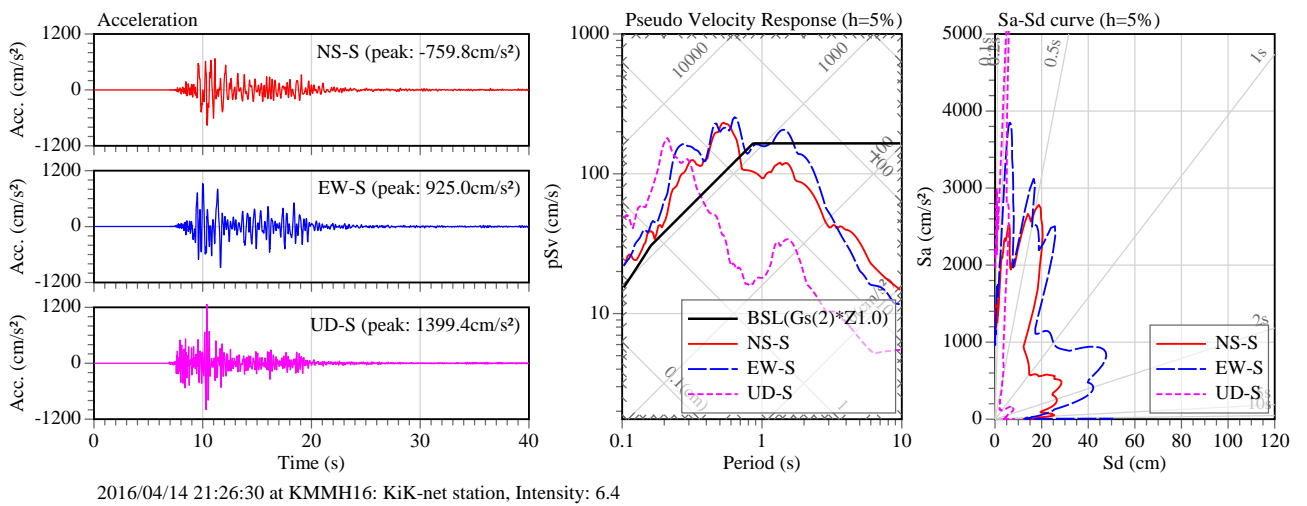
4.3.1 観測記録に基づいた地震動特性

図 4.3-2 および図 4.3-3 に震度 7 が観測されている地点を含めた代表的な 3 地点 (益城町宮園、KiK-net 益城、西原村小森) における前震および本震の観測記録を示す。加速度波形を見ると、前震、本震ともに継続時間は 10 秒程度となっており、1995 年兵庫県南部地震や 2004 年新潟県中越地震などの過去の内陸地殻内地震と同様に継続時間は比較的短い。擬似速度応答スペクトル (減衰 5%) を見ると、益城町宮園および KiK-net 益城では周期 1 秒付近で大きな値となっている。また、西原村小森の記録は本震時に周期 3 秒付近の成分が卓越していることがわかる。周期 0.5 秒以下では、前震と本震でおおむね同等のレベルとなっている。

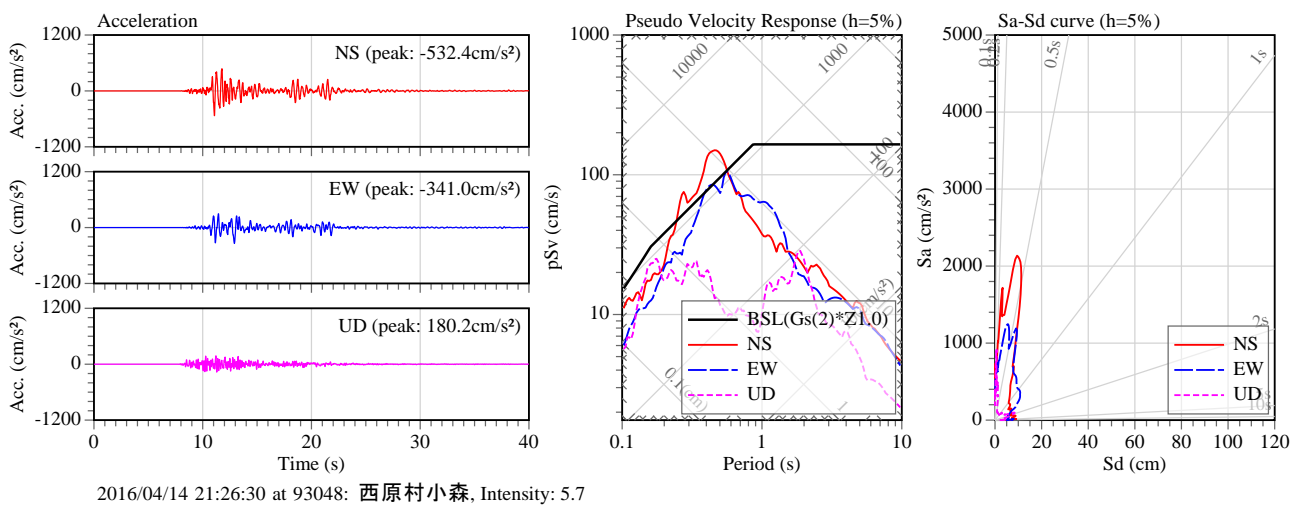
図 4.3-4 に過去地震の記録との擬似速度応答スペクトルの比較を示す。益城町宮園（益城町役場の 1 階）で観測された本震の記録は、周期 0.6 秒～1.8 秒付近において 1995 年兵庫県南部地震で観測された JR 鷹取の記録を超えていることがわかる。ただし、益城町役場の観測記録は庁舎 1 階で得られたものであるため、地盤と建物の動的相互作用の影響が含まれている可能性がある。すなわち、当該地点の観測記録には入力損失効果や上部構造の応答の影響も含まれていること等が考えられるため、周辺の地震動（地表）とは異なっている可能性があることに留意されたい。



i) 益城町宮園 (益城町役場 (93051)、地震計位置: 庁舎 1 階)

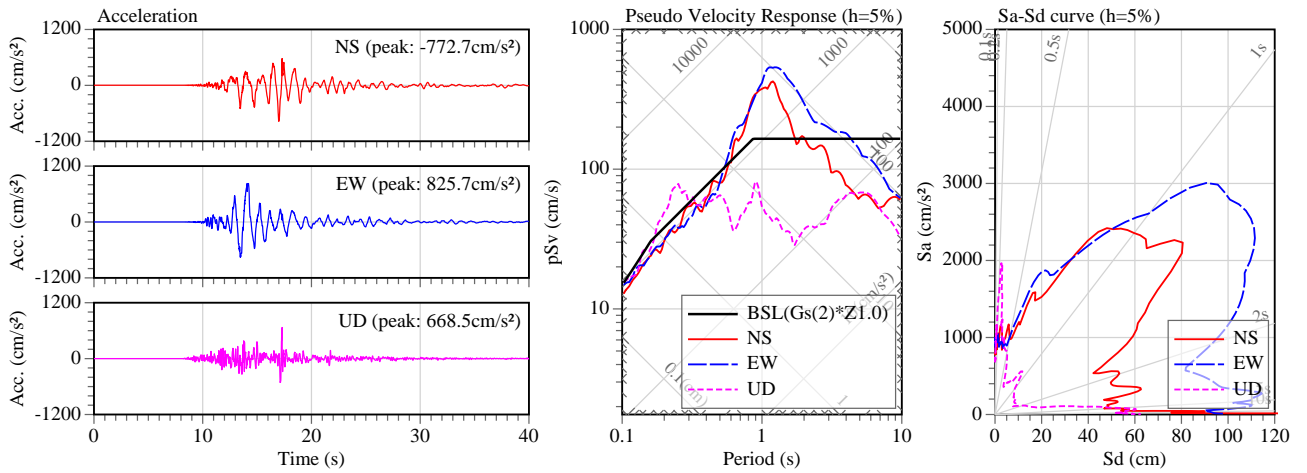


ii) KiK-net 益城 (KMMH16、地震計位置: 地表)

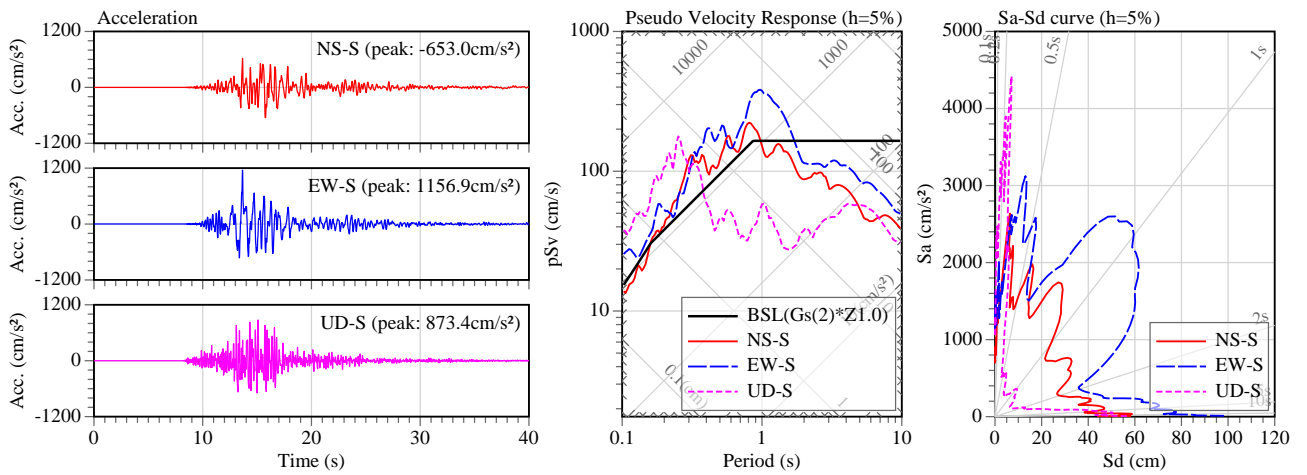


iii) 西原村小森 (西原村役場 (93048)、地震計位置: 地表)

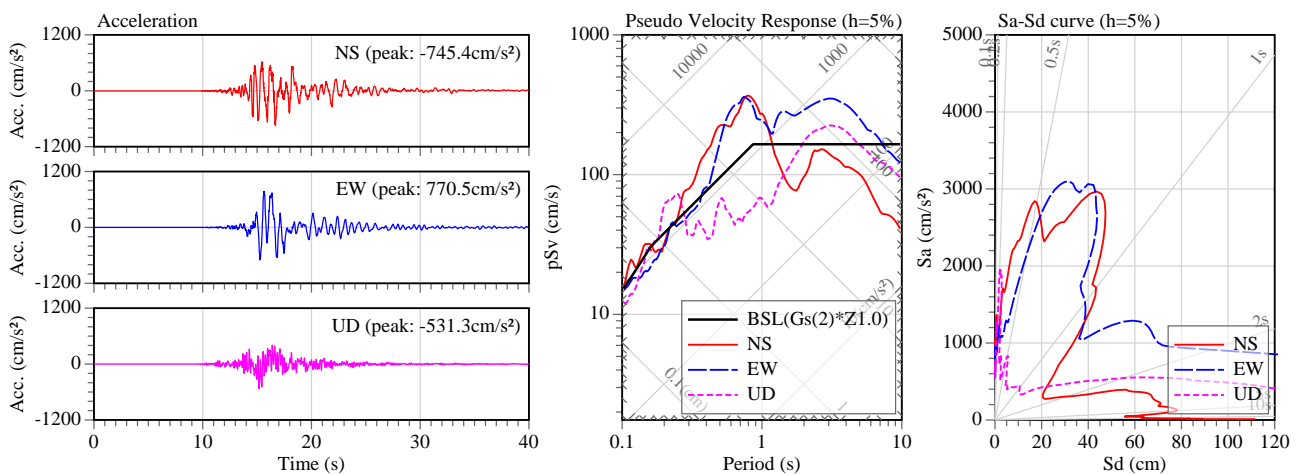
図 4.3-2 熊本地震の前震 (4 月 14 日) の観測記録例



i) 益城町宮園 (益城町役場(93051)、地震計位置: 庁舎1階)



ii) KiK-net 益城 (KMMH16、地震計位置: 地表)



iii) 西原村小森 (西原村役場(93048)、地震計位置: 地表)

図 4.3-3 熊本地震の本震 (4月16日) の観測記録例

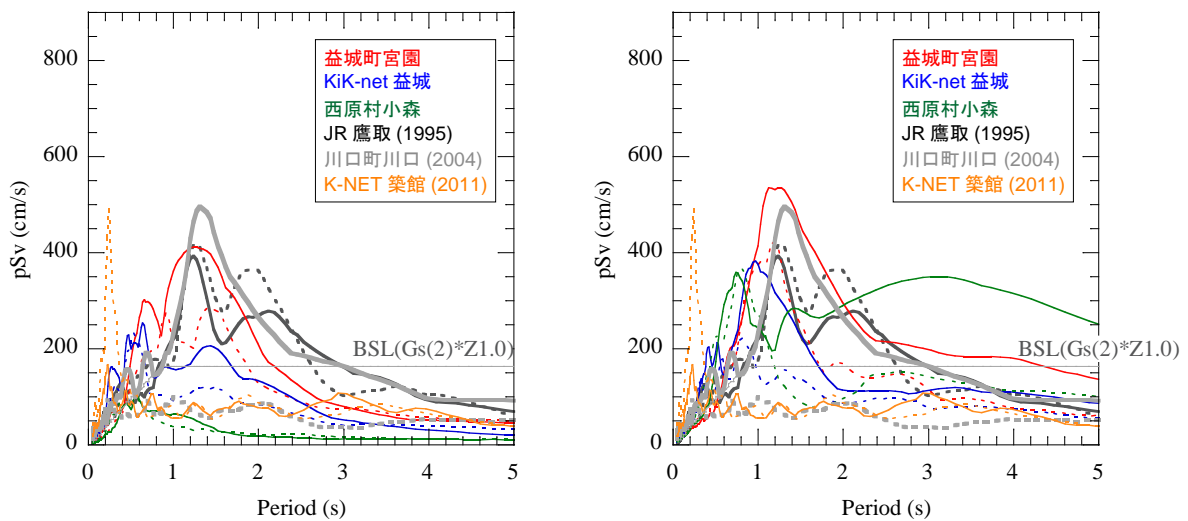


図 4.3-4 擬似速度応答スペクトルの比較

(左：前震、右：本震、破線は NS 方向、実線は EW 方向を表す)

益城町宮園にある自治体震度計では、震度 7 が前震および本震で 2 度観測された。2 回の地震動を一連の地震動と考えた場合の地震動特性を検討した。用いた地震記録は、上記と同じ益城町宮園、KiK-net 益城、西原村小森における前震および本震の観測記録である。図 4.3-5 に、3 地点で得られた前震と本震の地震記録を繋げた場合（以降、前震+本震と記す）の加速度波形、擬似速度応答スペクトル、エネルギースペクトル（10%）を示す。また、前震、本震、前震+本震のエネルギースペクトルを図 4.3-6 に示す。加速度波形長が異なるのは、元波形の長さが KiK-net 益城は 300 秒、益城町宮園と西原村小森は 120 秒であるものを調整せずにつなげているためである。

図 4.3-2、3 に示す擬似速度応答スペクトルと、図 4.3-5 のそれを比較する。前震+本震の擬似速度応答スペクトルは、前震と本震のそれを包絡した形状をしていた。一方、図 4.3-6 のエネルギースペクトルは、エネルギースペクトル振幅は地震入力エネルギーの平方根に比例することから、前震のエネルギースペクトル振幅の 2 乗と本震のエネルギースペクトル振幅の 2 乗の和が前震+本震のスペクトル振幅の 2 乗とほぼ一致していた。

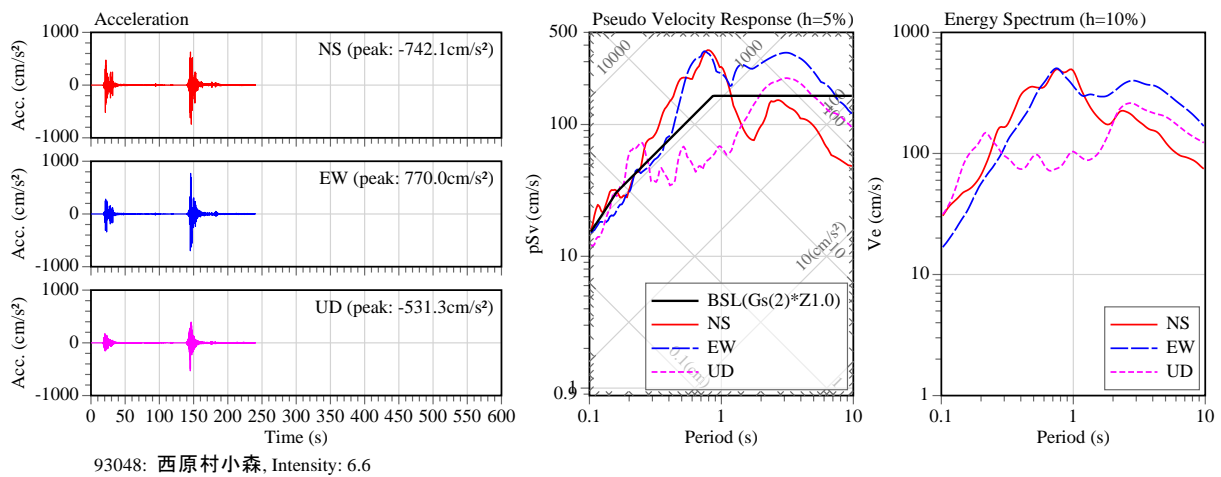
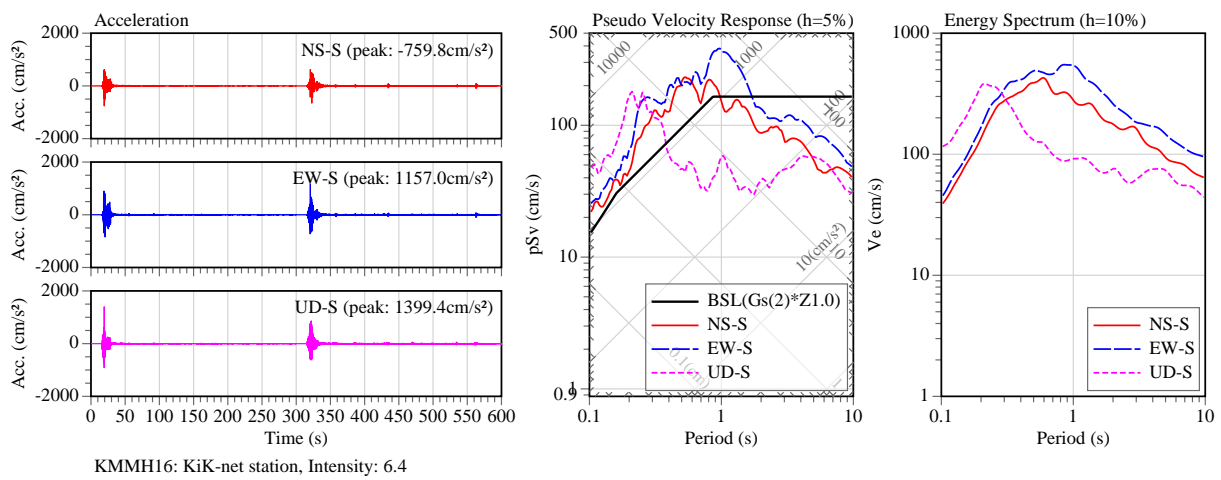
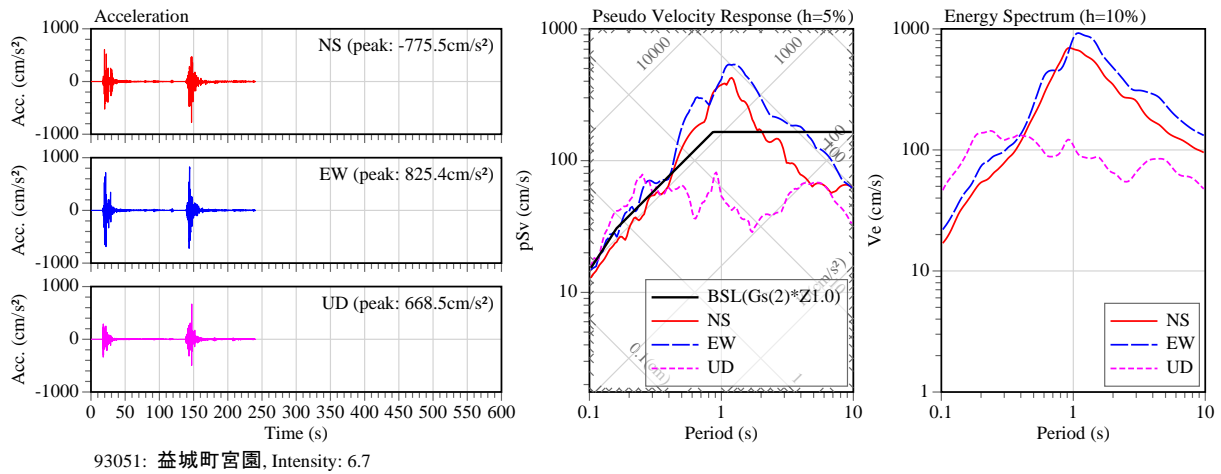


図 4.3-5 前震+本震の加速度波形、擬似速度応答スペクトル、エネルギースペクトル

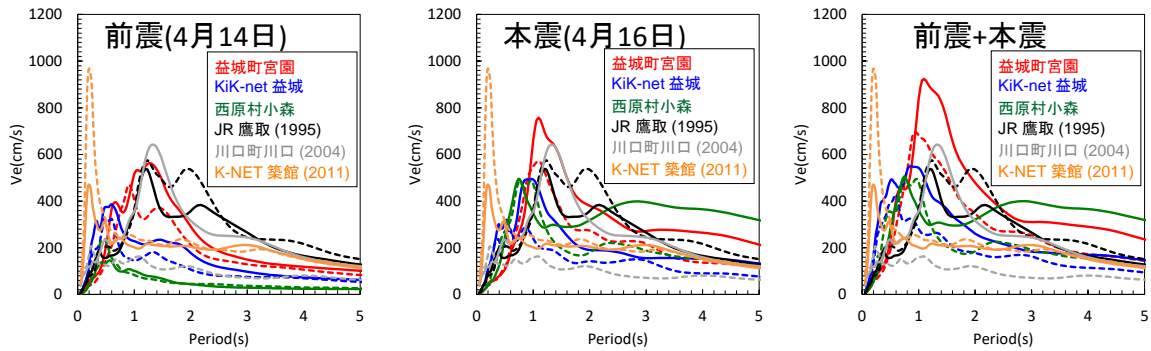


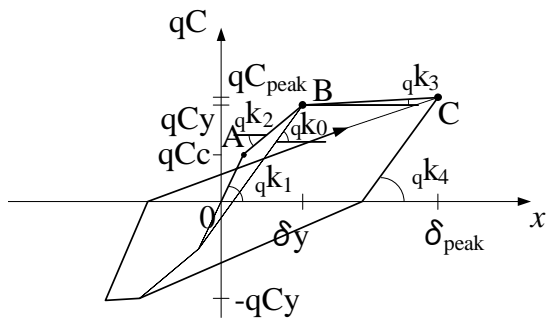
図 4.3-6 前震、本震、前震+本震のエネルギースペクトル

4.3.2 弾塑性応答解析に基づいた特徴

建築物に地震力が作用した場合、水平変形と水平方向の復元力が建築物に生じる。この変形と復元力の関係は、復元力特性と言われ、変形の小さいうちは、弾性関係にあり、変形が大きくなるにつれて、建築物の一部分の塑性化が進むことにより、弾塑性関係となる。復元力特性は、建築物の構造種別、構造形式、部材等に応じて異なるが、建築物全体を1質点に模擬した1質点時刻歴弾塑性応答解析を行うことにより、建築物の水平変形を大まかに推定することができる^{4.3-5)}。そこで、自治体震度計の熊本県益城町宮園 EW、西原村小森 EW と、KiK-net 益城の地表観測波 EW2 (以降、KiK-net 益城 EW2) の前震および本震の観測地震波の水平1方向を外力とし、1質点弾塑性時刻歴解析により変位応答スペクトル(cm)を求めた。

図 4.3-7 に、復元力特性を示す。復元力特性は、鉄筋コンクリート部材実験を基に作成され、最大点指向型のトリリニア武田モデルとした。このモデルの特徴は、ひび割れ点 A、降伏点 B で剛性が低下すること、降伏点後の除荷時剛性 qk_4 がピーク点の変位 δ_{peak} に応じて低下することである。他の設定は、これまでの応答値の検討結果により、降伏点のせん断力係数 (qCy) を 0.2 (-)、剛性低下率を 1/1000 (-)、減衰定数 (h) を 5 (%) 等とする^{4.3-6)}。地震波の継続時間は、データが用意されている時間 (120、300 秒) とする。

図 4.3-8 は、式(4.3-1)により定まる周期 0.1~5.0(s) について求めた変位応答時刻歴のうち、絶対値の最大値 (peak 値) をスペクトル表示している。周期 0.5 秒において比較すると、本震の益城町宮園は低層建築物の固有周期と考えられる周期 0.5 秒程度において変位応答が最大を示し、次いで前震の益城町宮園 EW、本震の KiK-net 益城 EW2、本震の西原村小森 EW、前震の KiK-net 益城 EW2、前震の西原村小森の順に大きい。なお、本震の益城町宮園 EW、西原村小森 EW、KiK-net 益城 EW2 の変位応答は周期 5 秒を超えた解析結果でも増大しているが、同じ傾向は 2015 年カトマンズ地震の観測波 (CESMD, USGS 提供) でも見られた^{4.3-7)}。観測地震波は観測点周辺の地盤や構造物の影響も記録しており、特に柔らかい地盤で観測された地震波の変位応答スペクトルは長周期において大きくなる傾向にあることが知られている。



トリリニア武田モデル

降伏点後の除荷時剛性: ${}_q k_4 = {}_q k_0 \left(\frac{\delta y}{\delta_{peak}} \right)^{0.4}$

他の関係式:

$${}_q k_1 = 2.2 \cdot \frac{{}_q C_y}{\delta y} \quad {}_q k_2 = \frac{{}_q k_1}{3}$$

$${}_q k_3 = \frac{1}{1000} \frac{{}_q C_y}{\delta y} \quad \frac{{}_q C_y}{\delta y} = \frac{k_y}{mg} = {}_q k_y$$

$${}_q C_c = 0.4 \cdot {}_q C_y$$

注)

(1) ${}_q C$: せん断力係数

$$\left({}_q C = \frac{\text{せん断力}(Q)}{\text{重量}(m \cdot g)} \right)$$

(3) ${}_q C_{peak}$: ピーク点Cにおけるせん断力係数

(5) ${}_q k_1, {}_q k_2, {}_q k_3$: 剛性係数 (1/cm)

$$\left({}_q k_i = \frac{\text{初期剛性 } k_i}{\text{重量}(m \cdot g)} \right)$$

(7) h : 減衰定数 $h (= 0.05)$

(2) ${}_q C_c, {}_q C_y$: ひび割れ点A, 降伏点Bにおけるせん断力係数

(${}_q C_y = 0.1, 0.2$)

(4) Q : せん断力 (kN) (= $k \cdot x$)

(6) 剛性低下率: 1/1000

$$\left({}_q k_3 = \frac{1}{1000} \times {}_q k_y \right)$$

(8) g : 重力加速度 (=980 (cm/sec²))

図 4.3-7 トリリニア武田モデルの復元力特性^{4.3-6)}

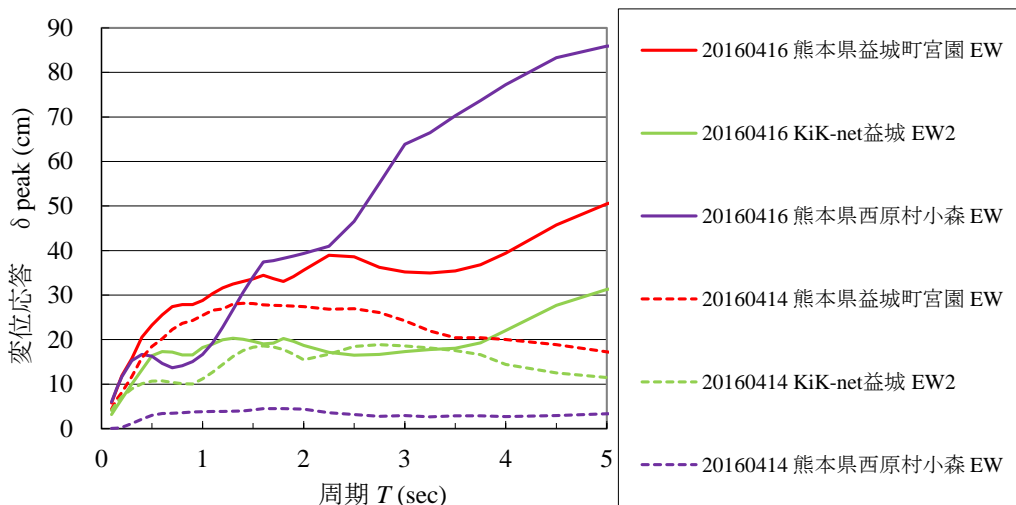


図 4.3-8 前震および本震による変位応答スペクトル(${}_q C_y=0.2, h=0.05$)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_y}} = \frac{2\pi}{\sqrt{{}_q k_y \cdot g}} = 2\pi \sqrt{\frac{\delta y}{{}_q C_y \cdot g}} \quad \text{式(4.3-1)}$$

前震および本震の地震波と、他の地震波とを比較するため、過去の地震波 9 波 (2011 年東北地方太平洋沖地震時の建築研究所強震観測点 [BRI 東北大-1FN192E]、K-NET の 2 地点 [K-NET 築館 NS、K-NET 仙台 NS]、JMA 強震観測点 [JMA 涌谷町新町 EW]、2007 年新潟県中越沖地震時の K-NET 柏崎 NS、2004 年新潟県中越地震時の新潟県川口町川口 EW、K-NET 小千谷 EW、1995 年兵庫県南部地震時の JMA 神戸中央区中山手 NS、JR 鷹取駅 NS、および人工地震波である (一財) 日本建築センター模擬波

[BCJ-Level2 (bedrock)] による変位応答スペクトルを図 4.3-9、図 4.3-10 に示す。

図 4.3-9 より、周期 0.5 秒程度において、前震の益城町宮園 EW は過去の地震波等よりも大きな変位応答を示している。図 4.3-10 より、周期 0.5 秒程度において、本震の益城町宮園 EW および西原村小森 EW は過去の地震波等よりも大きな変位応答を示し、本震の KiK-net 益城 EW2 は 2004 川口町 EW または 1995 鷹取駅 NS と同程度に大きい。さらに、周期 5 秒では、本震の益城町宮園 EW および西原村小森 EW は 2007K-NET 柏崎 NS よりも大きな変位応答を示している。一方、限界変形時の層間変形角は、超高層建築物の時刻歴応答解析または限界耐力計算において一定値以下となることが設計規基準で求められている^{4.3-8)}。例えば、階高が 3m の場合、限界耐力計算における安全限界時の層間変位は、木造以外では 4cm 以下、木造では 10cm 以下となる。周期 0.5~1.5 秒において、変位応答が 10cm を超えていた地震波は、前震の益城町宮園 EW、KiK-net 益城 EW2、本震の 3 波 (益城町宮園 EW、西原村小森 EW、KiK-net 益城 EW2)、2011K-NET 仙台 NS、2011JMA 涌谷町新町 EW、2004 新潟県川口町川口 EW、2004K-NET 小千谷 EW、1995JMA 神戸中央区山手 NS、1995JR 鷹取 NS である。

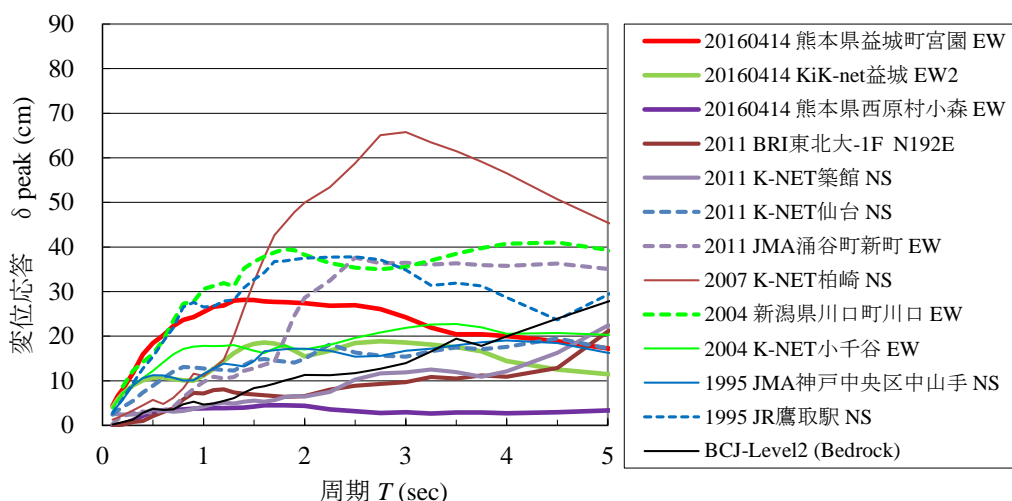


図 4.3-9 前震と過去の観測波等による変位応答スペクトル($qC_y=0.2, h=0.05$)

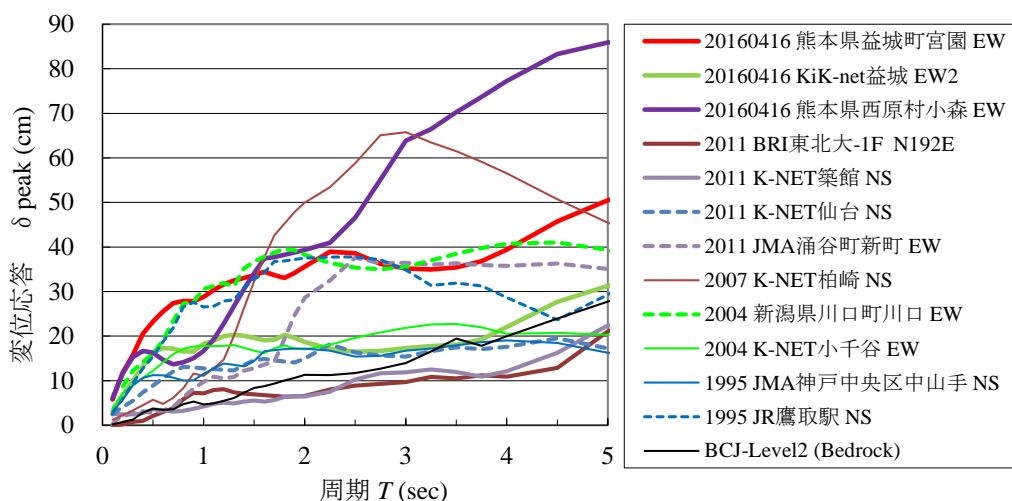


図 4.3-10 本震と過去の観測波等による変位応答スペクトル($qC_y=0.2, h=0.05$)

平成 28 年 (2016 年) 熊本地震では、前震の 2 日後に本震が発生したことから、これらの 2 波を継続した地震波についても、1 質点弾塑性時刻歴解析により変位応答スペクトルを求める (図 4.3-11)。

益城町宮園および西原村小森の観測波は、前震、本震ともに継続時間 120 秒であり、KiK-net 益城の継続時間は 300 秒であることから、前震および本震を継続した地震波の継続時間はそれぞれ 240 秒、600 秒としている。図 4.3-11 より、益城町宮園およびKiK-net 益城の前震+本震(20160414+16)が、周期 0.1~4 秒において、本震の変位応答よりも大きい。それに対して、西原村小森の前震+本震の変位応答は、周期 1 秒以下で、本震よりも小さい。なお、前震+本震では、地震波を継続しているため、本震開始時に、解析モデルの原点に戻らず、前震の解析終了時点から続けて、本震を解析している。そのため、前震+本震の解析結果が、本震と異なる場合があり、変位応答が大きくなる場合と、わずかなが、小さくなる場合の両方がある。

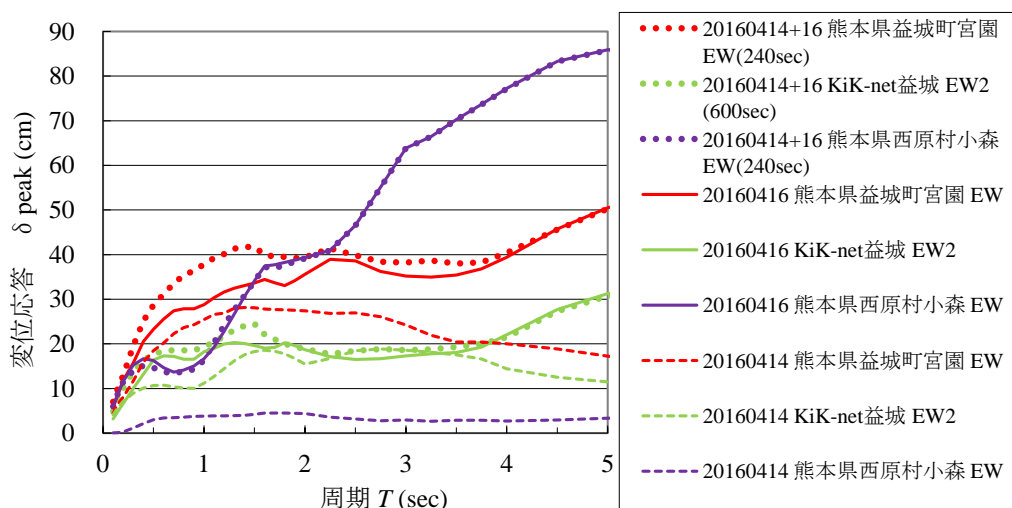


図 4.3-11 前震、本震および前震と本震の 2 波継続(20160414+16)の変位応答スペクトルの比較 (qCy=0.2, h=0.05)

参考文献

- 4.3-1) 国立研究開発法人防災科学技術研究所 強震観測網(K-NET, KiK-net)、平成 28 年 8 月閲覧 (<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/>)
- 4.3-2) 気象庁 強震波形 (熊本県熊本地方の地震)、平成 28 年 8 月閲覧 (http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/1604160125_kumamoto/index.html)
- 4.3-3) 地方公共団体震度計の波形データ、平成 28 年 8 月閲覧 (http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/1604160125_kumamoto/index2.html)
- 4.3-4) 気象庁、計測震度の算出方法、平成 28 年 8 月閲覧 (http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/kaisetsu/calc_sindo.htm)
- 4.3-5) 国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所：平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震被害調査報告、国土技術政策総合研究所資料 No. 674、建築研究資料 No. 136、2012 年 3 月
- 4.3-6) Inukai M., Kashima T., Saito T., Azuhata T. : Predominant periods of multi-degree-of-freedom system analysis and dynamic soil-structure interaction for building structures, Proceedings of the VI International Conference on Coupled Problems in Science and Engineering, International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE) Barcelona, Spain, E-book, May 2015, pp.278-289

- 4.3-7) Inukai M., Azuhata T., Morita K., Noguchi K., Tani M.: Out-of-plane Dynamic Test of Unreinforced Masonry Walls Retrofitted and Response Values of Recent Acceleration Records, Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago Chile, Jan. 2017 (Publishing)
- 4.3-8) 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会: 2015年版建築物の構造関係技術基準解説書、全国官報販売協同組合、2015年6月

4.4 建築研究所強震観測ネットワークの強震記録

建築研究所では、全国 85 か所の地点で、強震観測を行っている。観測の対象は主に建築物である。平成 28 年（2016 年）熊本地震では、東京から西の 18 の観測地点で強震記録が得られた。得られた計測震度と最大加速度の一覧を表 4.4-1 に、観測地点位置を図 4.4-1 に示す。なお建築物の場合、建築物の軸に合わせて設置方位（北から時計回りの角度）で示した方向に強震計を設置しており、図 4.4-2 から図 4.4-24 の凡例の 3 桁の数字はその方位を表している。建築研究所の強震観測網の中では、宮崎県の延岡県税・総務事務所の 1 階で、計測震度が 5.0（震度 5 強）と最大を記録した。他の九州の観測地点では震度 4、中国、四国、関西、そして名古屋では震度 2 から 3、東京周辺では震度 1 であった。以下、震央に近い 5 つの観測地点で得られた強震記録について、詳細にみる。

宮崎県延岡県税・総務事務所の 1 階および 4 階で得られた加速度波形を図 4.4-2 と 4.4-3 に、1 階の記録の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを図 4.4-4 に、4 階の記録の 1 階の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-5 に示す。加速度波形を見ると、主要動の継続時間は 10 秒弱と短く、55 秒過ぎには、別の地震によると思われる波群が見える。フーリエ振幅スペクトル比は幅 0.1Hz の Parzen Window によって平滑化し、横軸を周期として描画している。1 階の記録の擬似速度応答スペクトルは、周期 1 秒辺りに大きな山を有し、応答速度は 100cm/s 近くと大きな値となっている。フーリエ振幅スペクトル比には、0.17 秒と 0.12 秒に建築物の 1 次固有周期とみられる明瞭なピークが表れている。

大分市庁舎の 1 階および 9 階で得られた加速度波形を図 4.4-6 と 4.4-7 に、1 階の記録の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを図 4.4-8 に、9 階の記録の 1 階の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-9 に示す。主要動の継続時間は 40 秒超と長くなっており、直後に発生した大分県中部の地震の影響が大きいと考えられる。1 階の記録の擬似速度応答スペクトルには、N264E 方向の周期 7 秒辺りに緩やかなピークがあり、比較的長周期が卓越した地震動であった。フーリエ振幅スペクトル比の 0.66 秒と 0.54 秒の鋭いピークが、建築物の 1 次固有周期対応する。

福岡第 2 合同庁舎の地表、地下 1 階および 10 階で得られた加速度波形を図 4.4-10 から図 4.4-12 に、地表および地下 1 階の記録の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを図 4.4-13 に示す。また、地表と地下 1 階、地表と 10 階、および地下 1 階と 10 階の記録のフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-14 から図 4.4-16 に示す。主要動の継続時間は 30 秒程度で、大分市庁舎よりは短く見える。地表および地下 1 階の記録の擬似速度応答スペクトルは、比較的平坦な形状で、応答値は 10cm/s 以下である。地表と 10 階、および地下 1 階と 10 階のフーリエ振幅スペクトル比には、建築物の固有 1 次周期に対応する 0.69 秒と 0.80 秒に明瞭なピークが表れる。

宮崎県庁 1 号館の 1 階および 9 階で得られた加速度波形を図 4.4-17 と 4.4-18 に、1 階の記録の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを図 4.4-19 に、9 階の記録の 1 階の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-20 に示す。加速度波形を見ると、加速度波形を見ると、主要動の継続時間はやはり 30 秒程度である。1 階の記録の擬似速度応答スペクトルは、両水平方向とも周期 0.7 秒から 1 秒辺りに卓越がみられる。フーリエ振幅スペクトル比には、0.55 秒と 0.64 秒に 1 次固有周期と思われるピークが見られる。

広島第 2 合同庁舎の地下 1 階および 11 階で得られた加速度波形を図 4.4-21 と 4.4-22 に、地下 1 階の記録の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを図 4.4-23 に、11 階の記録の地下 1 階の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-24 に示す。揺れの継続時間は優に 80 秒を超えている。地下 1 階の記録の擬似速度応答スペクトルは、0.8 秒と 10 秒辺りの卓越が特徴的である。フーリエ振幅ス

ペクトル比には、両水平方向とも1秒弱に明瞭なピークが表れ、建築物の1次固有周期に対応する。

表 4. 4-1 強震記録一覧(1/2)

記号	観測地点	Δ (km)	計測 震度	設置 方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
						H1	H2	V	
NBO	宮崎県延岡県税・総務 事務所	87	5.0	358°	01F*	102.2	122.8	35.0	RC/3F+P1F
					04F	140.4	141.2	41.9	
OIT	大分市庁舎	96	4.2	174°	01F*	55.4	56.7	36.9	SRC/9F+B2F +P1F
					09F	287.7	113.2	102.9	
FKO	福岡第2合同庁舎	98	3.7	233°	GL*	44.4	55.1	16.5	SRC/10F+B1 F+P2F
					B1F	25.8	35.7	11.7	
					10F	85.4	68.3	24.6	
MYZ	宮崎県庁1号館	112	4.3	177°	01F*	66.5	57.0	20.7	SRC/9F+B1F +P1F
					09F	167.3	240.1	55.0	
HRS	広島第2合同庁舎	241	2.7	287°	B1F*	10.7	9.3	4.7	RC/3F+B1F+ P2F
					11F	53.9	40.4	10.3	
HMD	島根県浜田合同庁舎別 館	267	2.3	160°	01F*	5.4	8.6	2.2	RC/3F+P1F
TKM	高松国税局	352	2.4	188°	GL*	6.9	4.4	2.3	SRC/8F+B1F +P1F
					B1F	5.7	4.0	2.2	
					09F	10.2	18.9	2.4	
YNG	米子市庁舎	380	2.9	040°	B1F*	10.5	9.4	1.4	RC/5F+B1F+ P1F
SKS	大阪府咲洲庁舎	479	2.4	229°	01F*	6.1	6.6	2.6	S/52F+B3F+ P3F(制振)
					18F	14.6	24.0	3.6	
					38F	21.1	56.8	3.3	
					52FN	34.3	71.3	6.7	
					52FS	35.9	71.1	15.9	
OSK	大阪合同庁舎3号館	490	2.2	189°	B3F*	4.4	4.2	2.1	S/15F+B3F+ P3F
					18F	28.0	32.6	3.3	
OS1	大阪合同庁舎1号館	490	2.3	007°	GL*	4.6	4.6	2.2	SRC/8F+B1F +P2F(免震)
					B1F	4.8	4.6	2.1	
					01F	5.2	5.0	2.1	
					08F	5.7	5.6	2.1	
MTS	三重県松阪庁舎	572	1.6	216°	01F*	1.3	2.3	1.0	SRC/6F+P1F
					07F	1.9	2.3	1.0	
KNY	金山南ビル	625	1.7	026°	B2F*	3.2	2.2	1.5	S/31F+B4F
					11F	11.9	6.7	1.8	
					22F	25.8	13.7	1.8	
					30F	37.5	17.4	2.3	
HSG	アーバンラフレ星ヶ丘 10号棟	633	1.4	000°	GL*	1.9	1.1	0.7	RC/25F
					01F	2.2	1.1	0.6	
					25F	3.2	2.4	0.6	
YKH2	横浜第2合同庁舎	870	0.9	213°	B2F*	1.6	1.0	0.5	S/23F+B3F+ P1F
					12F	2.8	4.2	0.5	
					23F	3.9	7.1	0.5	

Δ: 震央距離, 計測震度は*位置の記録から算出, 最大加速度のH1は設置方位の方向, H2は設置方位+90°の方向, Vは鉛直方向, 備考欄は構造/階数を表す

表 4.4-1 強震記録一覧(2/2)

記号	観測地点	Δ (km)	計測 震度	設置 方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
						H1	H2	V	
CG7	中央合同庁舎 7 号館	887	0.5	294°	01F*	1.1	1.1	0.5	S/32F+B2F+ P1F(制振)
					B2F	1.1	1.2	0.4	
					16F	3.7	3.3	0.6	
					32F	5.9	6.6	0.5	
CG2	中央合同庁舎 2 号館	888	0.8	208°	B4F*	0.0	1.7	0.7	S/21F+B4F+ P1F(制振)
					13F	3.2	2.4	0.8	
					21F	4.3	3.4	1.0	
TKD	コーシャタワー佃	891	1.0	180°	01F*	1.7	1.4	0.7	RC+SRC/37F +B1F
					18F	4.3	3.2	0.8	
					37F	7.0	6.2	0.8	

Δ : 震央距離, 計測震度は*位置の記録から算出, 最大加速度の H1 は設置方位の方向, H2 は設置方位 +90°の方向, V は鉛直方向, 備考欄は構造/階数を表す

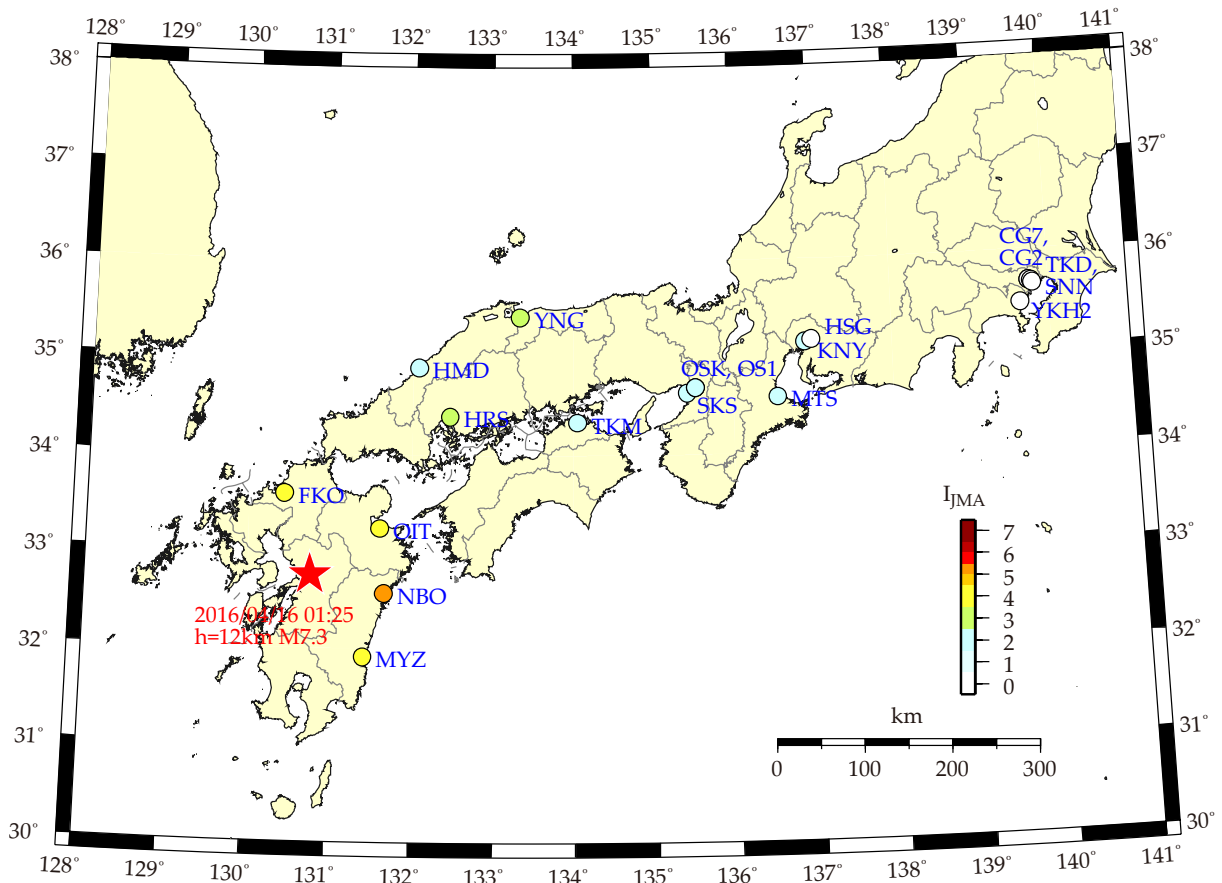


図 4.4-1 震央位置(★)と強震観測地点

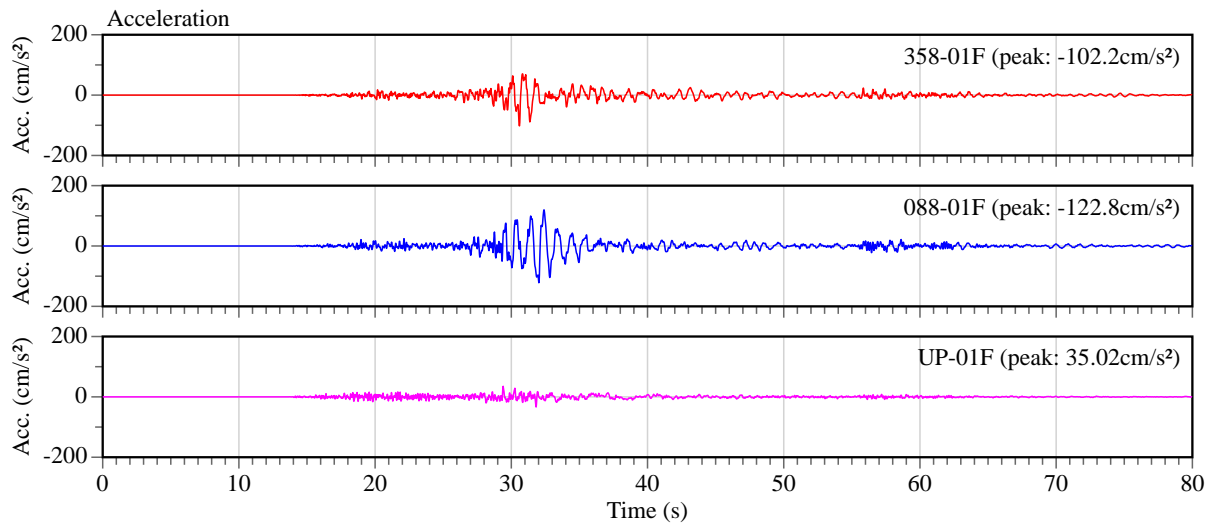


図 4.4-2 宮崎県延岡県税・総務事務所 1 階(01F)の加速度波形

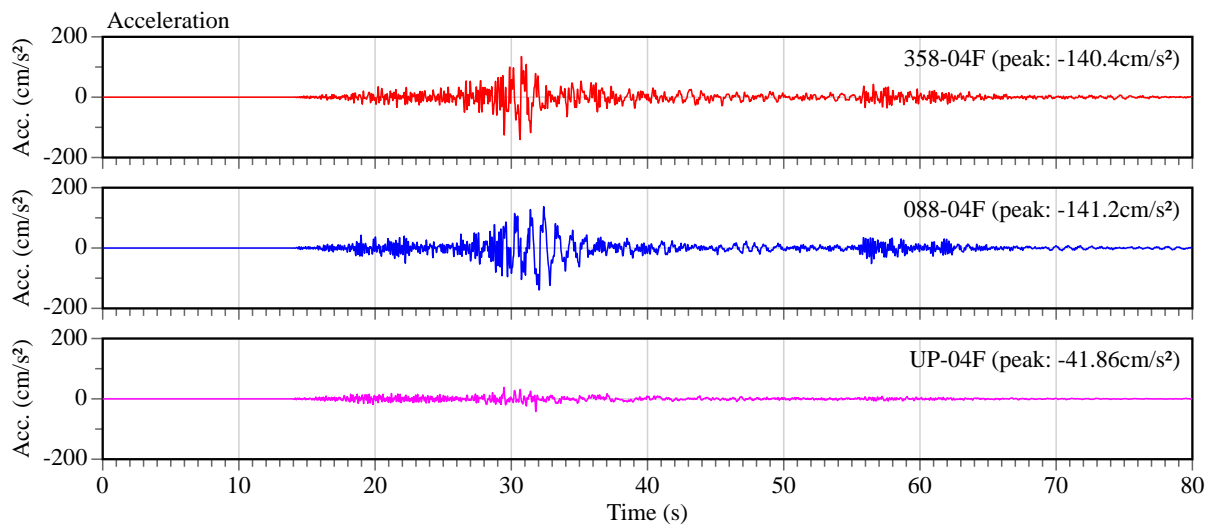


図 4.4-3 宮崎県延岡県税・総務事務所 4 階(04F)の加速度波形

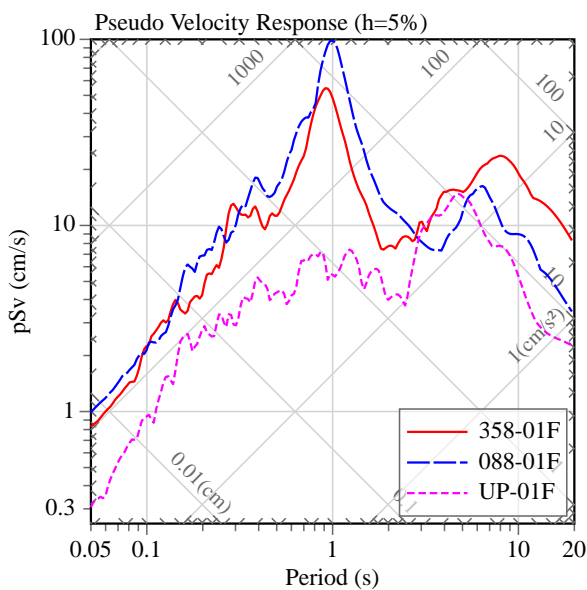


図 4.4-4 延岡県税・総務事務所 1 階(01F)の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

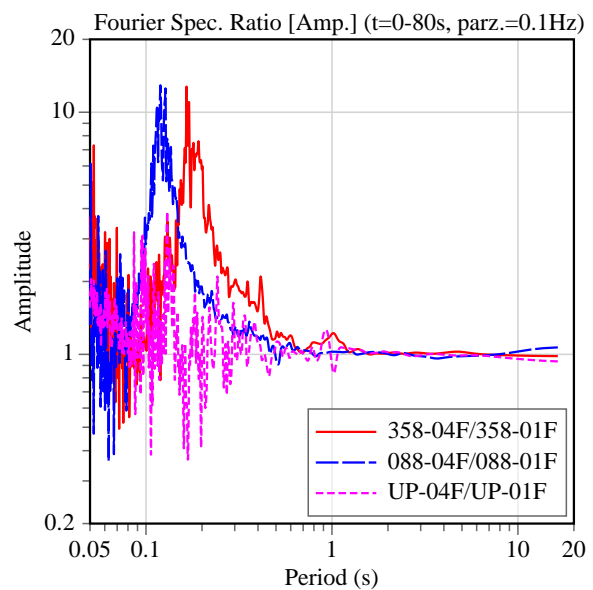


図 4.4-5 延岡県税・総務事務所のフーリエ振幅スペクトル比(04F/01F)

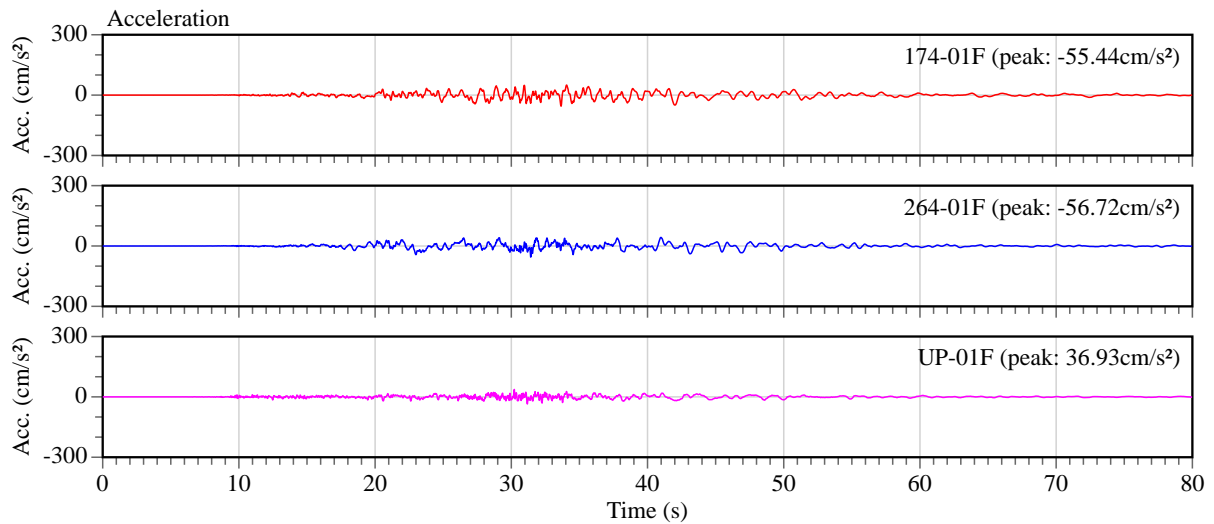


図 4.4-6 大分市庁舎 1 階(01F)の加速度波形

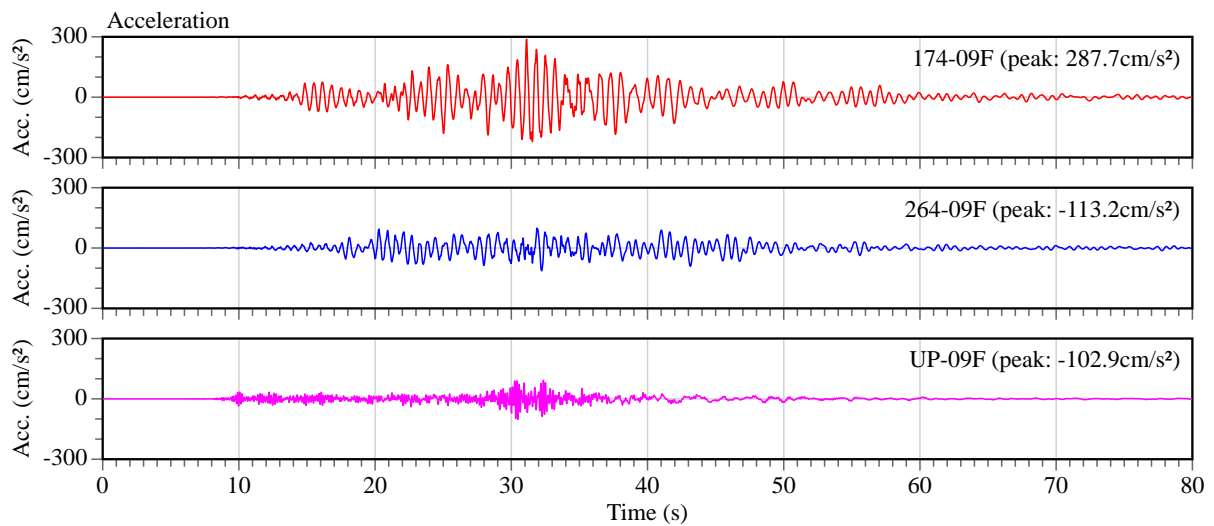


図 4.4-7 大分市庁舎 9 階(09F)の加速度波形

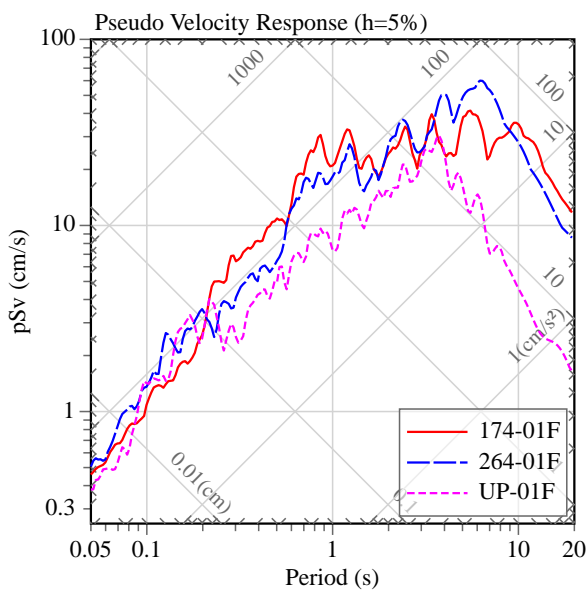


図 4.4-8 大分市庁舎 1 階(01F)の擬似速度応答スペクトル (h=5%)

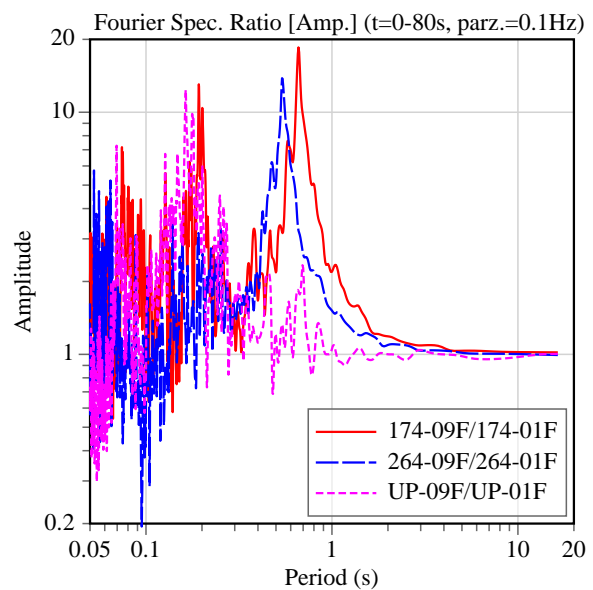


図 4.4-9 大分市庁舎のフーリエ振幅スペクトル比 (09F/01F)

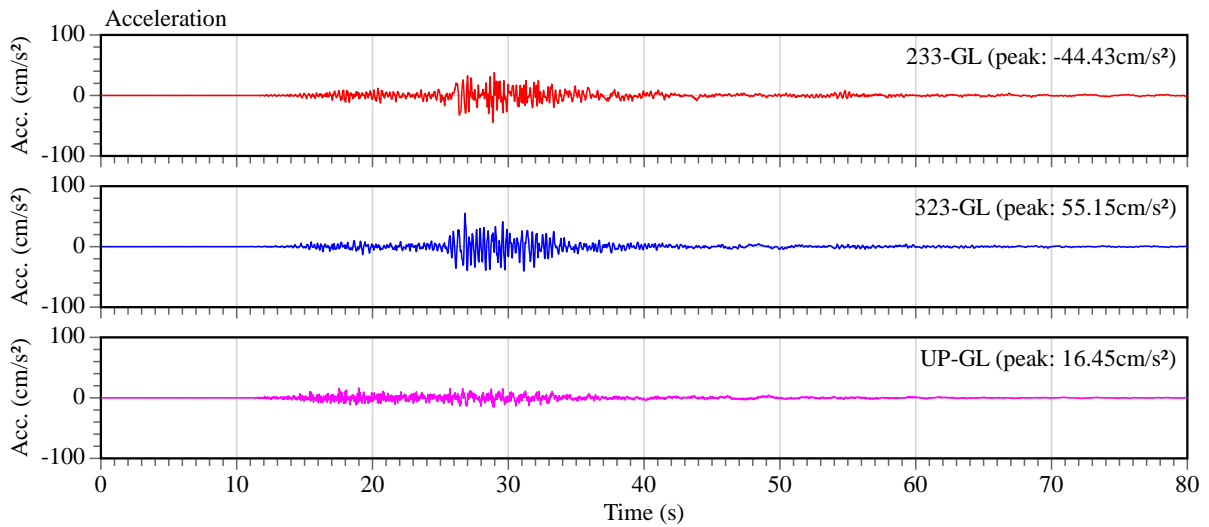


図 4.4-10 福岡第2 合同庁舎地表 (GL) の加速度波形

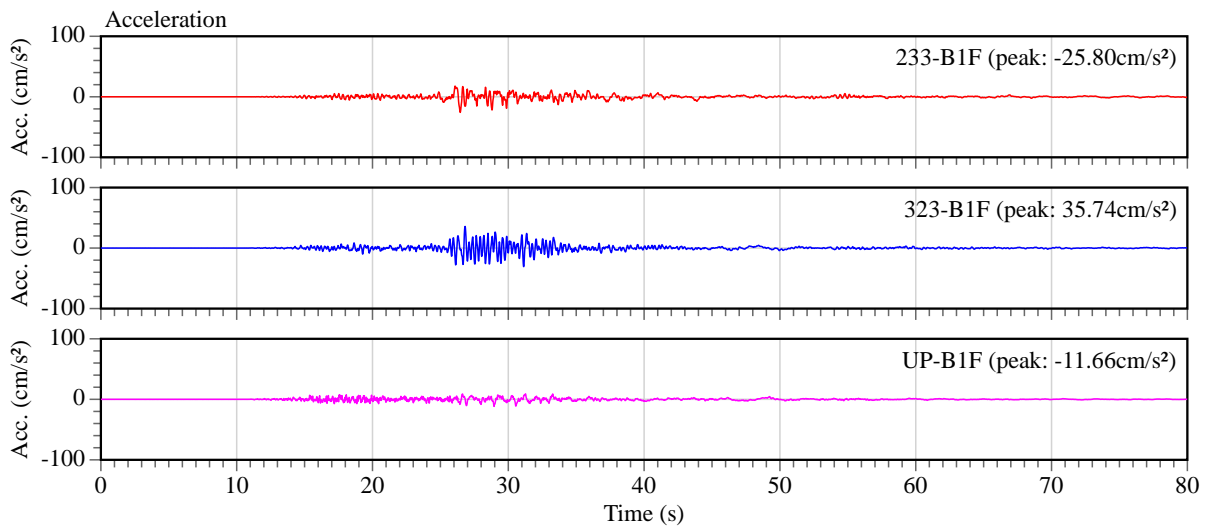


図 4.4-11 福岡第2 合同庁舎地下1 階 (B1F) の加速度波形

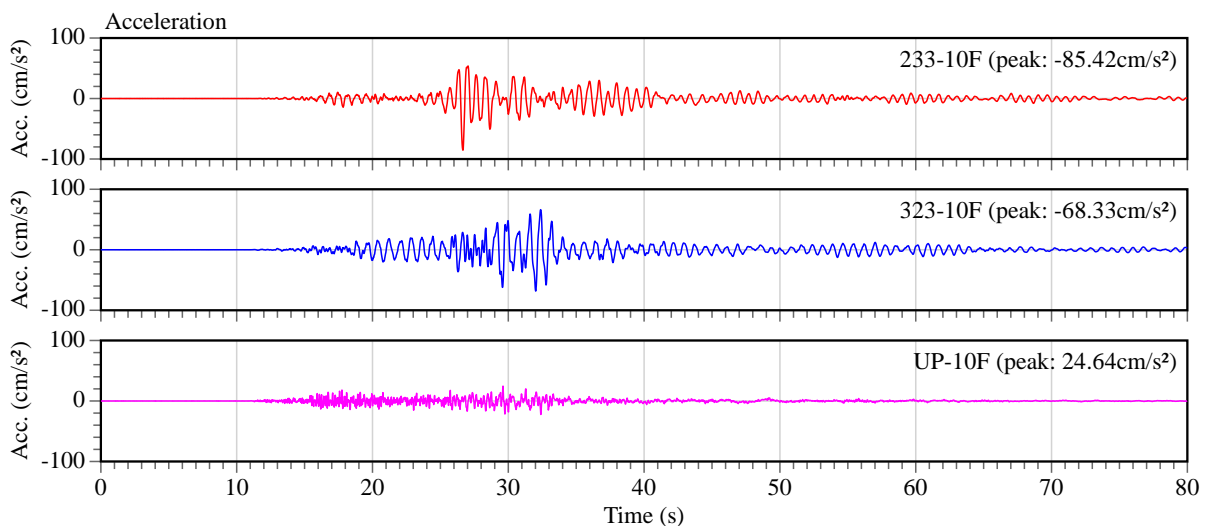


図 4.4-12 福岡第2 合同庁舎10 階 (10F) の加速度波形

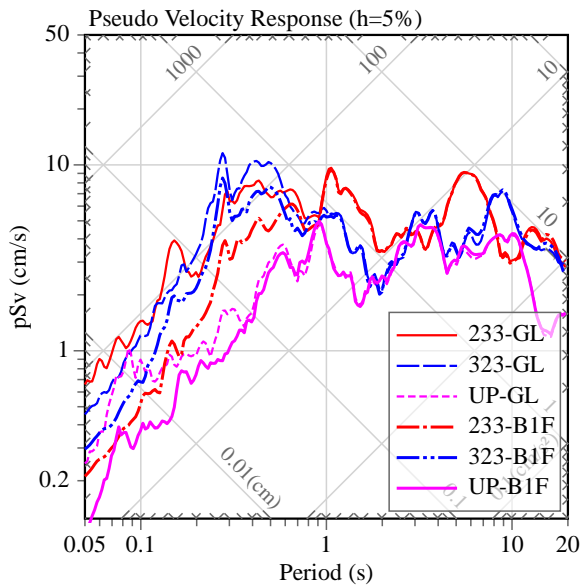


図 4.4-13 福岡第2合同庁舎地表 (GL) と地下1階 (B1F) の擬似速度応答スペクトル (h=5%)

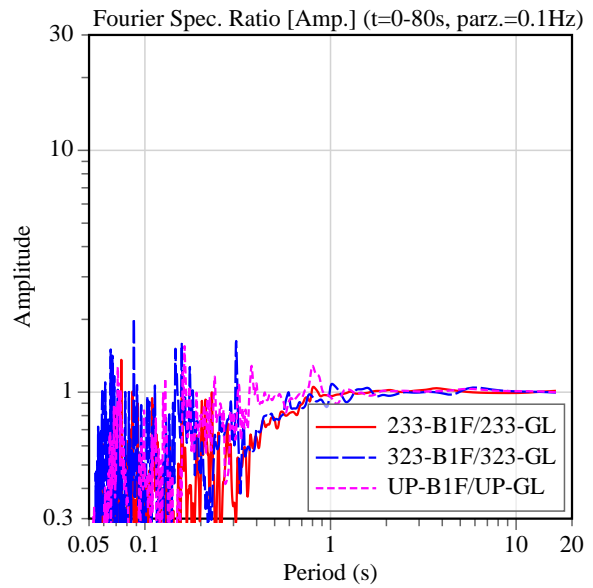


図 4.4-14 福岡第2合同庁舎のフーリエ振幅スペクトル比 (B1F/GL)

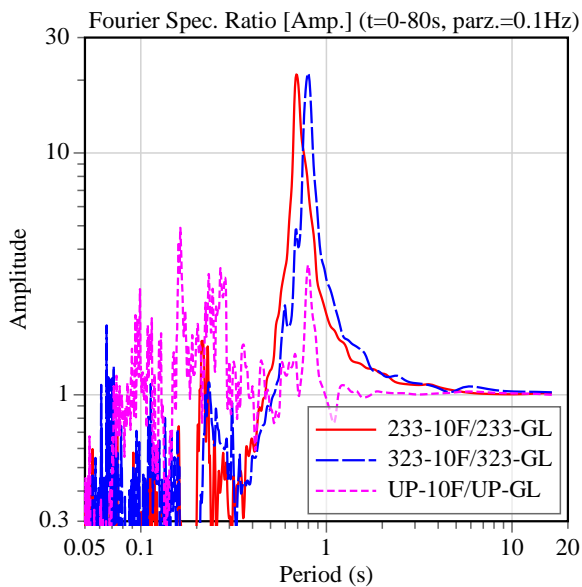


図 4.4-15 福岡第2合同庁舎のフーリエ振幅スペクトル比 (10F/GL)

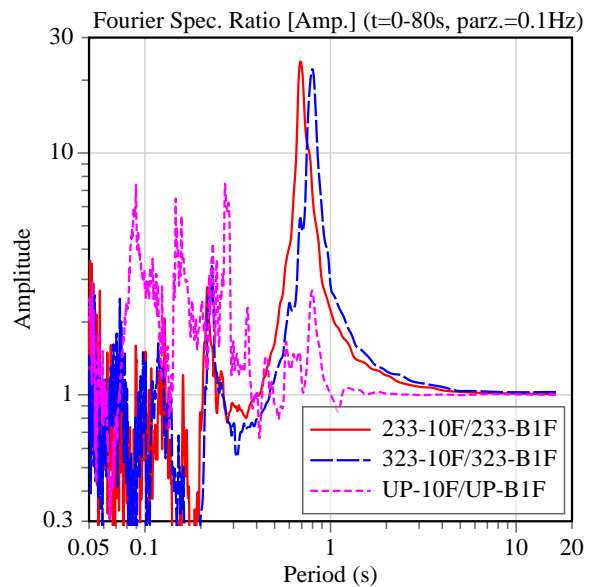


図 4.4-16 福岡第2合同庁舎のフーリエ振幅スペクトル比 (10F/B1F)

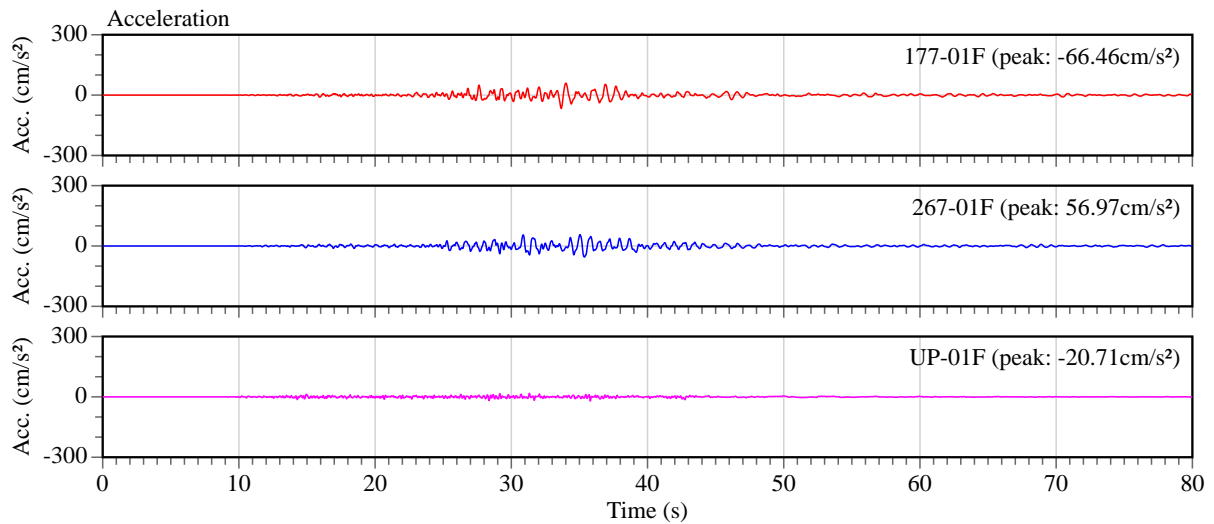


図 4.4-17 宮崎県庁 1 号館 1 階 (01F) の加速度波形

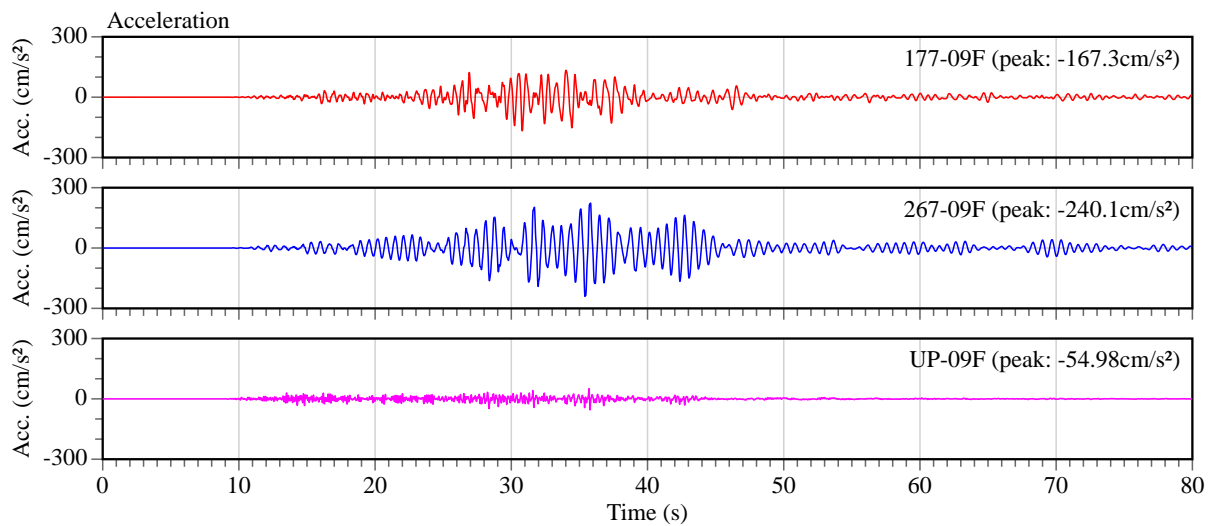


図 4.4-18 宮崎県庁 1 号館 9 階 (09F) の加速度波形

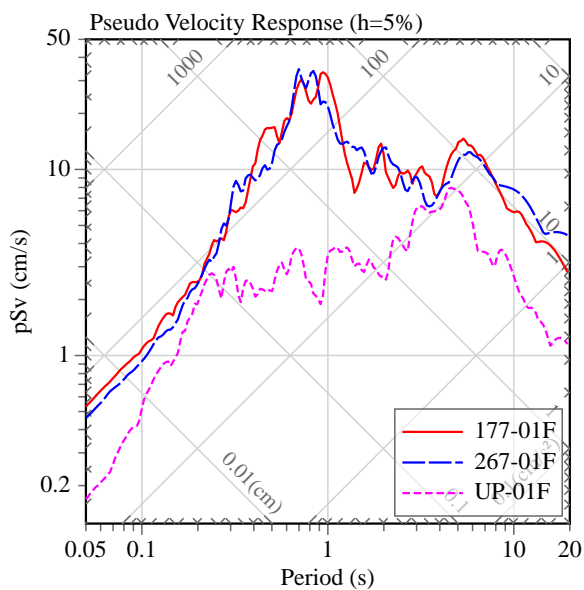


図 4.4-19 宮崎県庁 1 号館 1 階 (01F) の擬似速度応答スペクトル (h=5%)

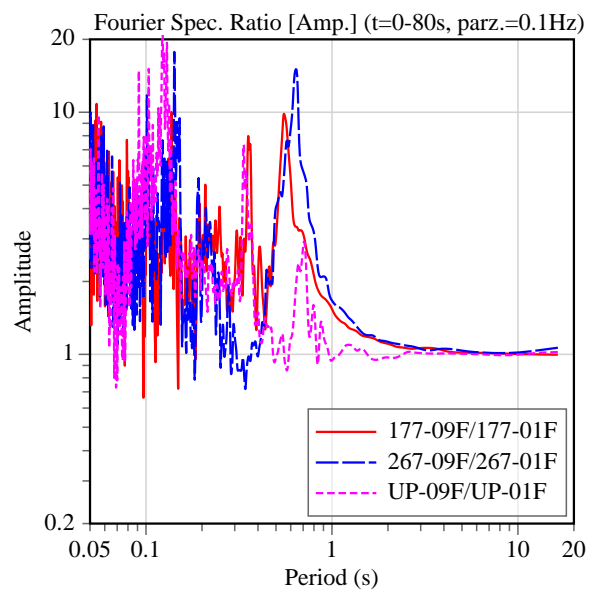


図 4.4-20 宮崎県庁 1 号館のフーリエ振幅スペクトル比 (09F/01F)

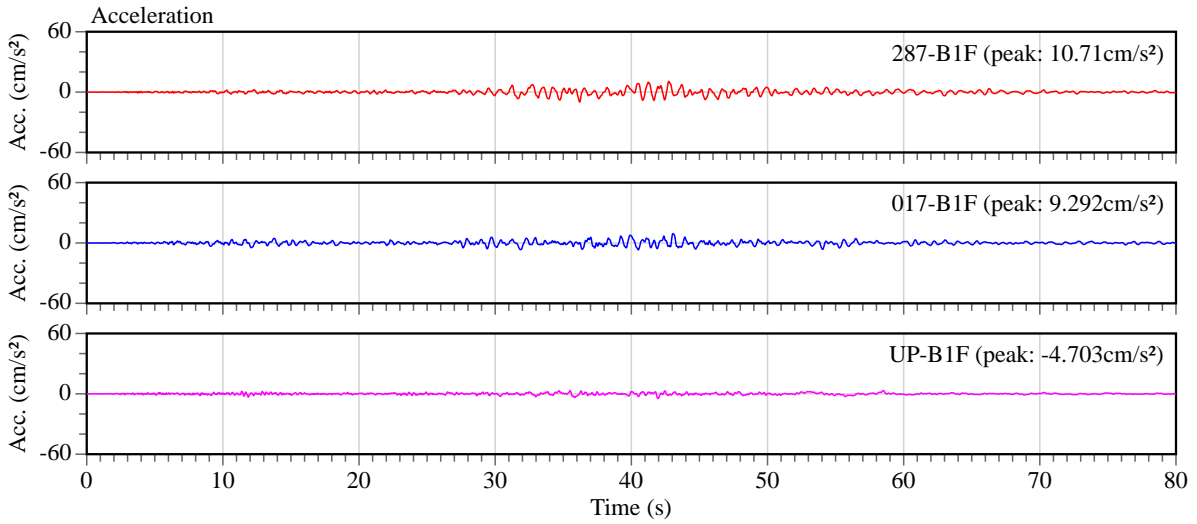


図 4.4-21 広島第2 合同庁舎地下1 階(B1F)の加速度波形

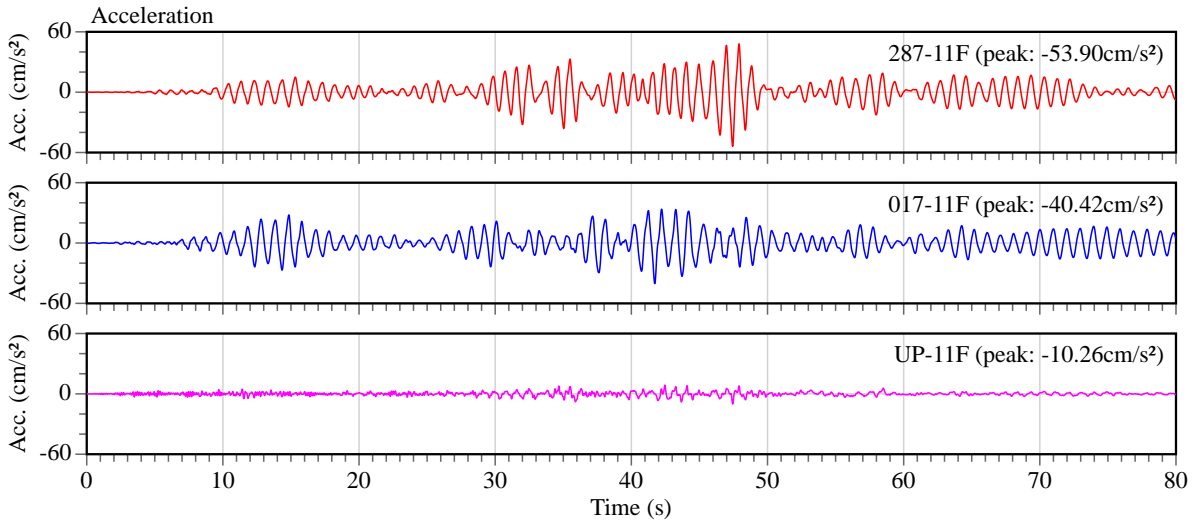


図 4.4-22 広島第2 合同庁舎11 階(11F)の加速度波形

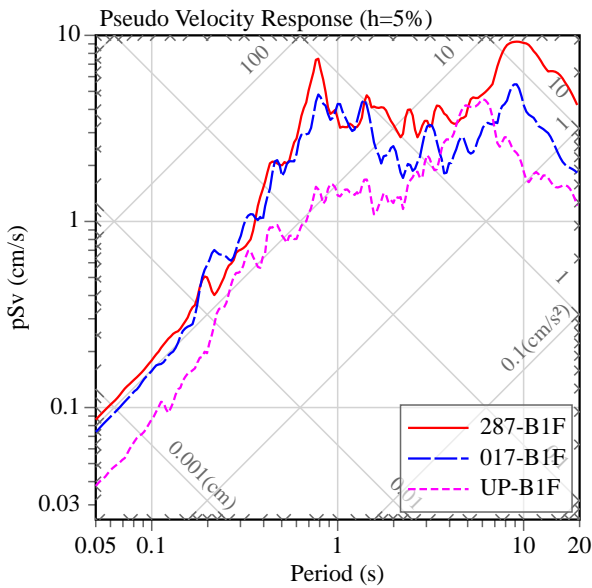


図 4.4-23 広島第2 合同庁舎 B1 階(B1F)の擬似速度応答スペクトル (h=5%)

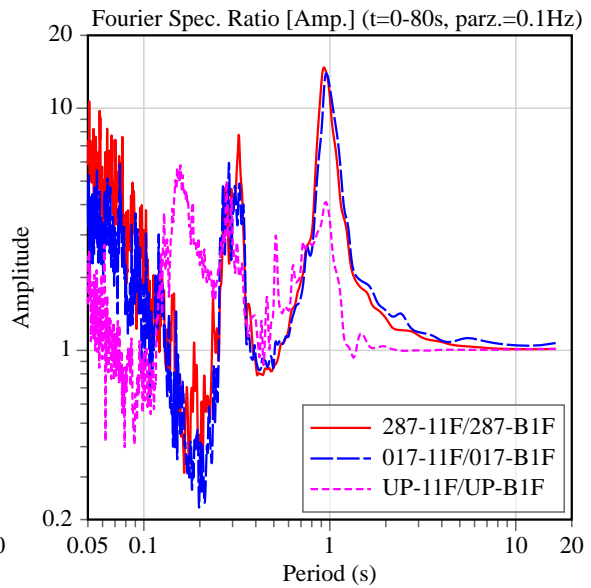


図 4.4-24 広島第2 合同庁舎のフーリエ振幅スペクトル比(11F/B1F)

4.5 まとめ

本章における検討結果を、以下のようにまとめる。

平成 28 年（2016 年）熊本地震の特徴は、内陸の活断層の活動に因ること、震源の近くでは強い揺れに何度も襲われた地区があること（最大震度 7 が複数回あるいは複数地点で観測された）、地表に地震断層が出現したこと、誘発された地震を含めた余震の活動域が九州をほぼ横断する長さを持つこと、が挙げられる。

被災地域の地形および地質は、甚大な被害を受けた熊本市、益城町、西原村は別府－島原地溝帯に重なること、益城町で木造建築物の被害が甚大であった県道 28 号から秋津川に掛けての範囲は周辺とは区別・分類されている区域とほぼ一致していること、が挙げられる。

気象庁の震度計、防災科学技術研究所の K-NET や KiK-net の強震計、および熊本県等の震度情報ネットワークの震度計で多くの強震観測記録が得られ公開されている。震度 7 が観測された益城町および西原村で得られた地震動は、擬似速度応答スペクトル（減衰定数 5%）において過去地震および建築基準法令で規定する地震動（告示波）と比較した場合、周期 1～2 秒の範囲で、前震については過去地震と同程度以下であったが、本震については過去地震（J R 鷹取 (1995)、川口町川口 (2004)）を超える記録が観測されている。前震および本震を一連の地震動と考えた場合、擬似速度応答スペクトルは前震と本震のそれを包絡した形状、エネルギースペクトルは前震のスペクトル振幅の 2 乗と本震のスペクトル振幅の 2 乗の和が前震＋本震のスペクトル振幅の 2 乗とほぼ一致していた。弾塑性応答解析に基づいた弾塑性変位応答スペクトルにおいても、特定の周期帯域に限定すれば、過去の地震における大きなレベルのものと同程度または超えるものであった。

建築研究所強震観測ネットワークは、東京から西の 18 の観測地点で強震記録が得られた。震央距離が最も短い宮崎県の延岡県税・総務事務所 1 階で最大の計測震度 5.0 (震度 5 強) を記録したほか、他の九州の観測地点では震度 4、中国、四国、関西、そして名古屋では震度 2 から 3、東京周辺では震度 1 であった。