

4. 主な建物の本震の強震記録

4.1 検討対象建物と検討方法

本章では、東北地方太平洋沖地震の本震で得られた、36 棟の建物の強震記録について詳細に述べる。観測対象建物の特徴や観測体制によってまとめることを意図し、まず 4.2 節では、高さ 60 m 以上の超高層建物 9 棟の強震記録を取り扱う。次に 4.3 節では免震建物のうち、地表、あるいは地表に近い建物内の加速度計で震度 5 弱以上(計測震度 4.5 以上)が得られた 4 棟の建物を取り上げる。更に 4.4 節では、超高層や免震以外の建物の中で、地表にも加速度計を有し、地表で震度 5 弱以上を観測した 12 棟の建物の強震記録を扱う。4.5 節では、4.2 節から 4.4 節に述べた建物以外の、建物内に複数の加速度計を有する建物で、建物内の地表に近い加速度計で震度 5 弱以上が得られた 11 棟の建物を取り上げる。

以降の各節では、各観測地点について、加速度波形、地表あるいは地表に最も近い建物内の記録の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトル^{*2}、建物頂部の加速度記録の基礎部に対するフーリエ振幅スペクトル比^{*3}を示している。更に、地表に加速度計がある場合は地盤と建物の動的相互作用の影響を検討するため、建物基礎部の加速度記録の地表に対するフーリエ振幅スペクトル比と、建物頂部の加速度記録の地表に対するフーリエ振幅スペクトル比を追加している。また、免震建物では免震効果の確認のため、免震層の上下の加速度記録のフーリエ振幅スペクトル比を示している。

一部を除いて、加速度波形の描画時間は 300 秒間に統一している。すべての加速度記録はサンプル時間間隔 0.01 秒(サンプル振動数 100 Hz)で収録しているが、ここでの加速度波形は 0.05 秒間隔(20 Hz)に間引いて描画しているため、波形上の最大値が図中右上に示される最大加速度値と合わない場合がある。また、各強震計は時計を持っており、強震記録には時刻も同時に記録されているが、時刻校正の不安定さなどの原因で時計が正確ではない場合もあるため、ここでは絶対時刻は示さない。波形に関する議論は記録開始時からの経過時間を用いて行っている。

更に、いくつかの建物については、各加速度記録から算出した変位記録や、その 20 秒ごとの水平面内軌跡を示している。この時、変位は遮断振動数 0.1 Hz のローカットフィルターを用いた高速フーリエ変換(FFT)によって求めている。

*2 応答スペクトルは、ある減衰定数を有する 1 自由度の振動系を仮定し、解析対象の加速度記録が入力した場合の振動系の固有周期と最大応答値の関係をプロットしたものである。振動系の応答としては、絶対加速度応答、相対速度応答、相対変位応答の 3 種が考えられ、加速度応答スペクトル、速度応答スペクトル、及び変位応答スペクトルが固有周期 T の関数として得られる。減衰定数 $h=0\%$ の速度応答スペクトルは、その加速度記録のフーリエ振幅スペクトルとよい対応を示すことが知られており、応答スペクトルは建物などの振動系の最大応答値を表すとともに、地震動の周期特性を表すものとして、工学の分野で重用されている。加速度応答スペクトル(S_a)、速度応答スペクトル(S_v)、及び変位応答スペクトル(S_d)の間には固有周期 T を介して、 $S_a T/2\pi \cong S_v \cong 2\pi S_d/T$ の関係がある。擬似速度応答スペクトル(${}_p S_v$)は、この関係を用いて加速度応答スペクトルまたは変位応答スペクトルから換算した速度応答スペクトルである。すなわち、 ${}_p S_v = S_a T/2\pi$ または ${}_p S_v = 2\pi S_d/T$ で与えられる。本章では前者の関係から擬似速度応答スペクトルを算出している。また、擬似速度応答スペクトルを、横軸に周期を、縦軸に速度応答値を採って両対数軸グラフ上にプロットすれば、加速度応答値を左下がりの、変位応答値を右下がりの軸で与えることができる。このような描画を 3 軸表示と言ひ、ひとつのグラフからある周期の振動系の最大加速度、最大速度、最大変位を評価することができる。本章では 3 軸表示を採用しており、事例は次節以降(例えば図 4.2-3 など)を参照願いたい。

*3 フーリエ振幅スペクトル比は、2 つの記録のフーリエ振幅スペクトルの比を取ったもので、2 つの記録が入力と出力の関係にあればその間の伝達特性(振幅のみ)、あるいは増幅特性を表す。フーリエ振幅スペクトル比の

算出に用いた記録の時間は、加速度波形の描画に用いた時間と同じである。一部を除いて、フーリエ振幅スペクトル比は、幅 0.1Hz の Parzen Window によって平滑化したパワースペクトルから算出しており、横軸は擬似速度応答スペクトルと比較しやすいように、振動数の逆数を取って周期としている。

4.2 超高層建物の強震記録

本節では、高さ 60 m 以上の超高層建物を扱う。対象は表 4.2-1 に示す 9 棟の建物である。建築研究所の強震観測ネットワークの超高層建物は 9 棟あり、そのすべてで強震記録が得られている。立地による内訳は、仙台市に 1 棟、首都圏に 6 棟、大阪市に 2 棟となっており、建物の 1 階や地下階で得られた震度を見ると、仙台市では震度 5 強、首都圏では震度 4、大阪では震度 3 となっている。4.2.1 項以降に各超高層建物で得られた強震記録を示す。

表 4.2-1 対象建物一覧

項	記号	観測地点	計測震度	構造/階数	特徴
4.2.1	SND	仙台第 2 合同庁舎	5.2	S/15F+B2F	
4.2.2	SIT2	さいたま新都心合同庁舎 2 号館	4.4	S/26F+B3F	制振構造
4.2.3	SMD	墨田区庁舎	4.3	S/19F+B2F	
4.2.4	TKD	コーシャタワー佃	4.4	RC/37F+B1F	
4.2.5	CGC	中央合同庁舎 6 号館	4.4	S/20F+B3F	
4.2.6	CG2	中央合同庁舎 2 号館	4.2	S/21F+B4F	制振構造
4.2.7	YKH	横浜第 2 合同庁舎	-	S/22F+B3F	
4.2.8	OSK	大阪合同庁舎 3 号館	2.9	S/15F+B3F	
4.2.9	SKS	大阪府咲洲庁舎	3.0	S/52F+B3F	

注) 構造/階数: 構造は S が鉄骨造、RC が鉄筋コンクリート造を表す。階数は地上階+地下階。

4.2.1 仙台第2合同庁舎(SND)の強震記録

仙台第2合同庁舎は仙台市青葉区に立地する、地上15階、地下2階の鉄骨造庁舎建物である。震央距離は175 kmと、記録が得られた建築研究所の観測対象建物の中では最も近い。強震計は地下2階(B2F)、15階(15F)、及び建物直下の地中40 m(G40)に加速度計を有していたが、地中の加速度計は老朽化のため機能していない。図4.2-1と図4.2-2に、地下2階(B2F)と15階(15F)で得られた加速度記録を示す。地下2階(B2F)のN164°E(北から東回りに164°、南北に近い方位)方向の最大加速度は259 cm/s²となっており、地下2階(B2F)の記録から算出した計測震度は5.2(震度5強)であった。地下2階(B2F)の加速度記録には、30秒過ぎと80秒辺りに、ふたつの振幅の大きな波群が表れる。15階(15F)の水平方向の最大加速度はふたつ目の波群の後、100秒過ぎに記録され、N074°E方向で361 cm/s²、N164°E方向が346 cm/s²となっている。

図4.2-3に、地下2階(B2F)の記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線がN074°E方向、破線がN164°E方向、点線がUP(上下)方向に対応する。擬似速度応答スペクトルは方向によって様相が異なり、周期0.5秒辺りの短周期領域ではN164°E方向成分が、周期3秒辺りの長周期領域ではN074°E方向成分が優勢となっている。

15階(15F)の地下2階(B2F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図4.2-4に示す。フーリエ振幅スペクトル比には建物の固有振動が明瞭なピークとなって表れ、1次固有周期は両水平方向とも2秒弱となっている。

地下2階(B2F)と15階(15F)の加速度記録を積分して求めた変位記録(絶対変位)を、図4.2-5と図4.2-6に示す。地下2階(B2F)の変位は70秒付近の時刻で大きな振幅を記録し、最大変位はN074°E方向で30 cm近くに及ぶ。15階(15F)の変位は、更に建物の応答変位が加わり、N074°E方向の最大変位は40 cmを超える。図4.2-7と図4.2-8は、それぞれ地下2階(B2F)と15階(15F)の変位記録の水平面内軌跡を、20秒ごとに描画したものである。地下2階(B2F)の変位は、60秒から80秒の間に大きく東方向に揺れている。15階(15F)の変位は70秒から120秒の間が大きくなっており、建物の軸に対してほぼ斜め45°方向に揺れている。

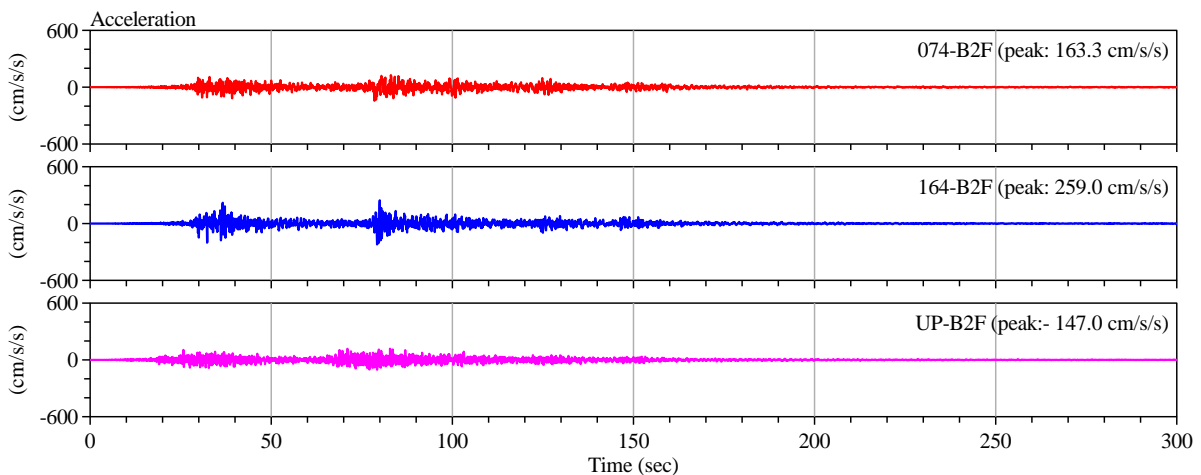


図 4.2-1 地下2階(B2F)の加速度記録

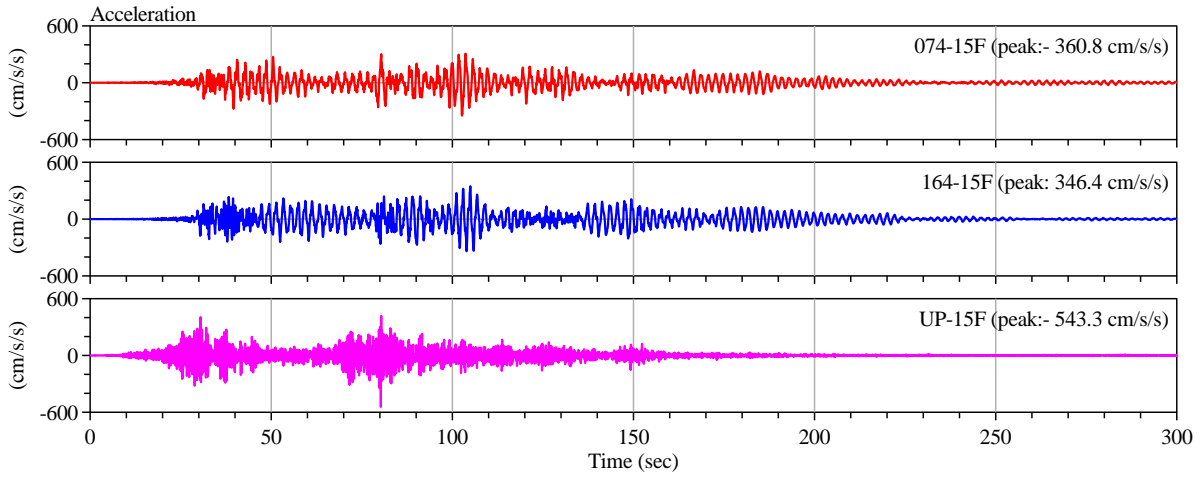


図 4.2-2 15 階(15F)の加速度記録

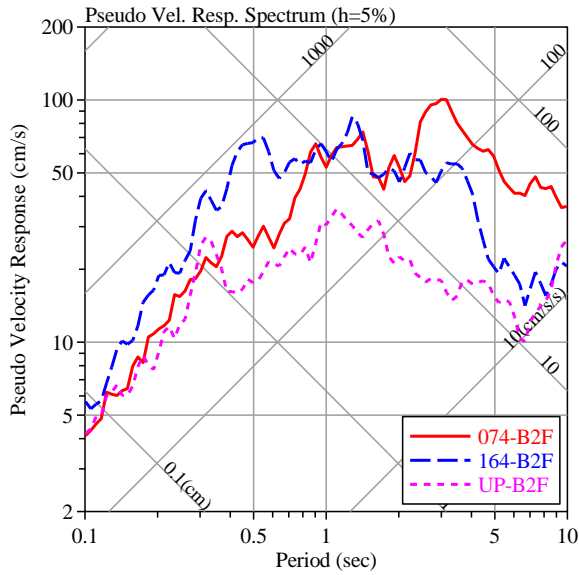


図 4.2-3 地下 2 階(B2F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

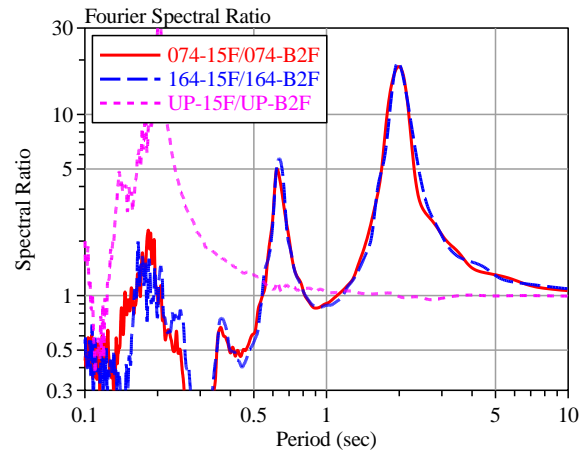


図 4.2-4 15 階(15F)の地下 2 階(B2F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

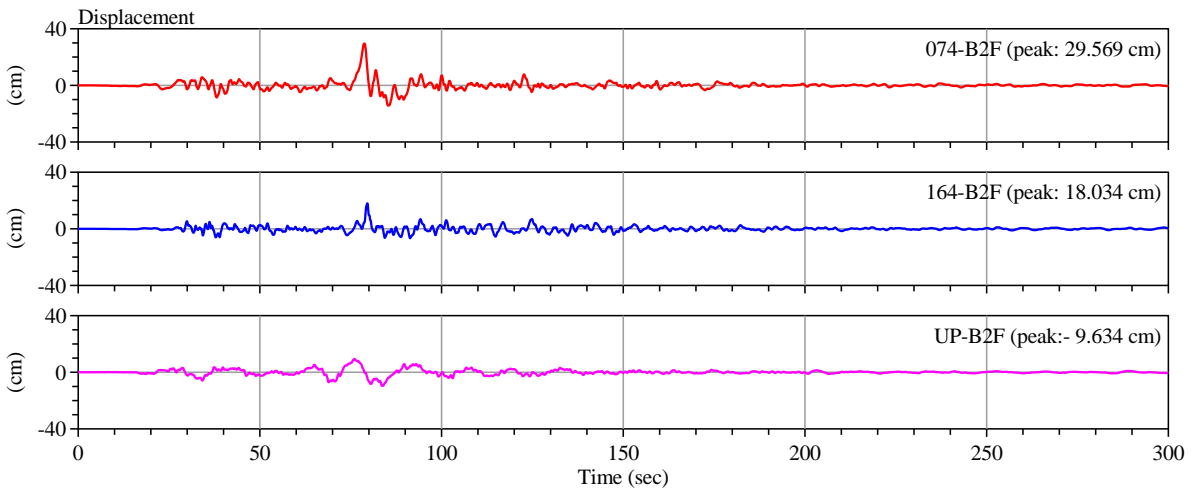


図 4.2-5 地下 2 階(B2F)の変位記録

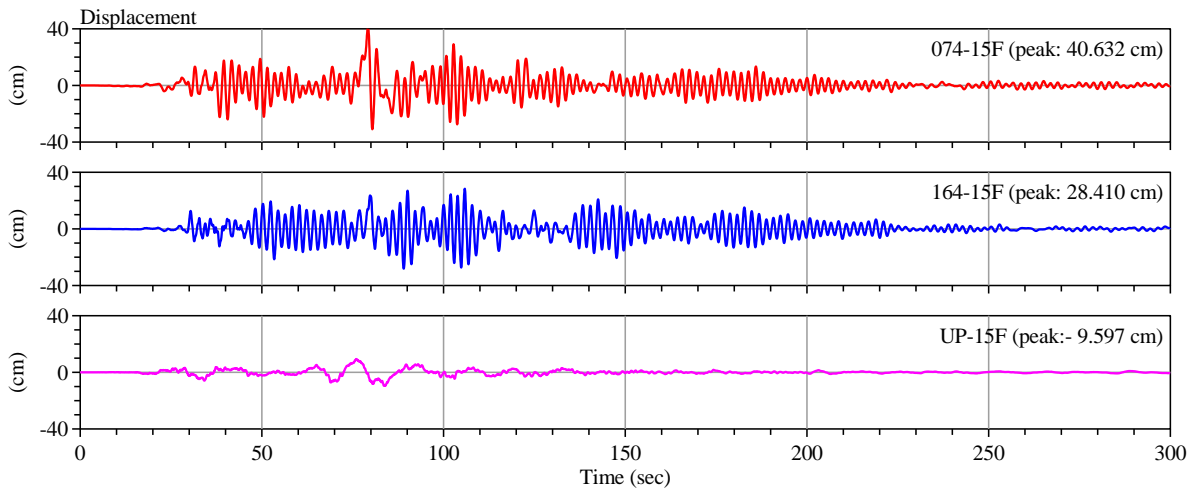


図 4.2-6 15 階(15F)の変位記録

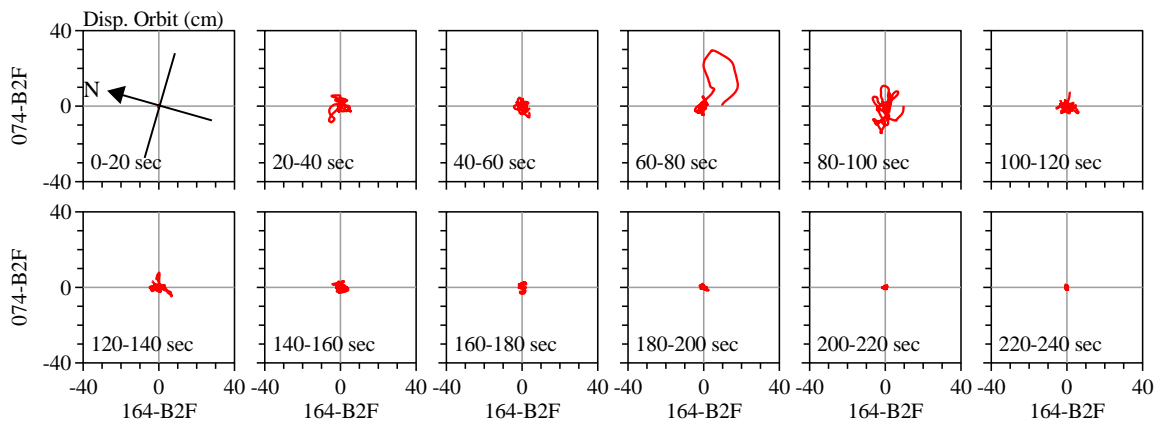


図 4.2-7 地下 2 階(B2F)の変位の水平面内軌跡

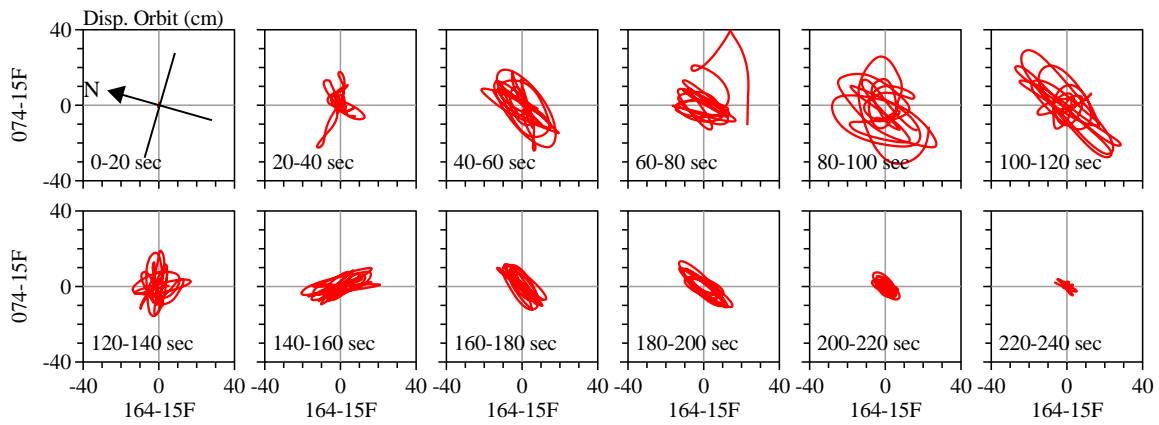


図 4.2-8 15 階(15F)の変位の水平面内軌跡

4.2.2 さいたま新都心合同庁舎 2 号館(SIT2)の強震記録

埼玉県さいたま市中央区のさいたま新都心合同庁舎 2 号館は、地上 26 階地下 3 階の鉄骨造建物で、極軟鋼制振壁を用いた制振構造となっている。ここでは、地下 3 階に 1 台(B3F)、10 階に 2 台(10FS と 10FN)、及び塔屋 1 階に 2 台(27FS と 27FS)の計 5 台の強震計を設置している。図 4.2-9 から図 4.2-11 に、地下 3 階(B3F)、10 階(10FS)、及び塔屋 1 階(27FS)で得られた加速度記録を示す。地下 3 階(B3F)の水平方向の最大加速度は 70 cm/s^2 前後で、地下 3 階(B3F)の記録から算出した計測震度は 4.4(震度 4)であった。一方、N340°E 方向の最大加速度は 10 階(10FS)で 119 cm/s^2 、塔屋 1 階(27FS)で 248 cm/s^2 と、それぞれ地下 3 階(B3F)の 1.6 倍と 3.4 倍になっている。更に、N070°E 方向の最大加速度は 10 階(10FS)で 138 cm/s^2 、塔屋 1 階(27FS)で 503 cm/s^2 と、それぞれ地下 3 階(B3F)の 2.2 倍と 8.0 倍と大きな値を示している。ただし、後述するように、塔屋 1 階(27FS)の N070°E 方向の大きな加速度は、高振動数の振動が信号が重畳したものである。

図 4.2-12 に、地下 3 階(B3F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N340°E 方向、破線が N070°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.6 秒辺りから若干右上がりの傾向を示し、N340°E 方向の周期 7 秒のピークは速度応答値は 50 cm/s を超える。

10 階(10FS)の地下 3 階(B3F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-13 に、塔屋 1 階(27FS)の地下 3 階(B3F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-14 に示す。スペクトル比から判断した 1 次固有周期は、N340°E 方向が 2.8 秒、N070°E 方向が 2.7 秒となっている。なお、塔屋 1 階(27FS)/地下 3 階(B3F)のフーリエ振幅スペクトル比の N070°E 方向には、0.1 秒から 0.3 秒の周期領域で N340°E 方向には見られない大きな増幅が表れている。塔屋 1 階(27FS)の N070°E 方向の加速度記録には、設置環境か、あるいは計測機器自体に起因する高振動数のノイズが乗っている可能性がある。

地下 3 階(B3F)と塔屋 1 階(27FS)の加速度記録を積分して求めた変位記録(絶対変位)を、図 4.2-15 と図 4.2-16 に示す。地下 3 階(B3F)の変位は 100 秒過ぎから振幅が大きくなり、揺れは 300 秒を過ぎても続いている。最大変位は N340°E 方向で 14 cm を超えている。建物の変位が加わった塔屋 1 階(27FS)の変位の最大値は、両水平方向で 26 cm 以上となっている。図 4.2-17 と図 4.2-18 は、それぞれ地下 3 階(B3F)と塔屋 1 階(27FS)の変位記録の水平面内軌跡を、20 秒ごとに描画したものである。塔屋 1 階(27FS)の変位軌跡を見ると、揺れの大きな時間帯では NS 方向の揺れが相対的に大きい。

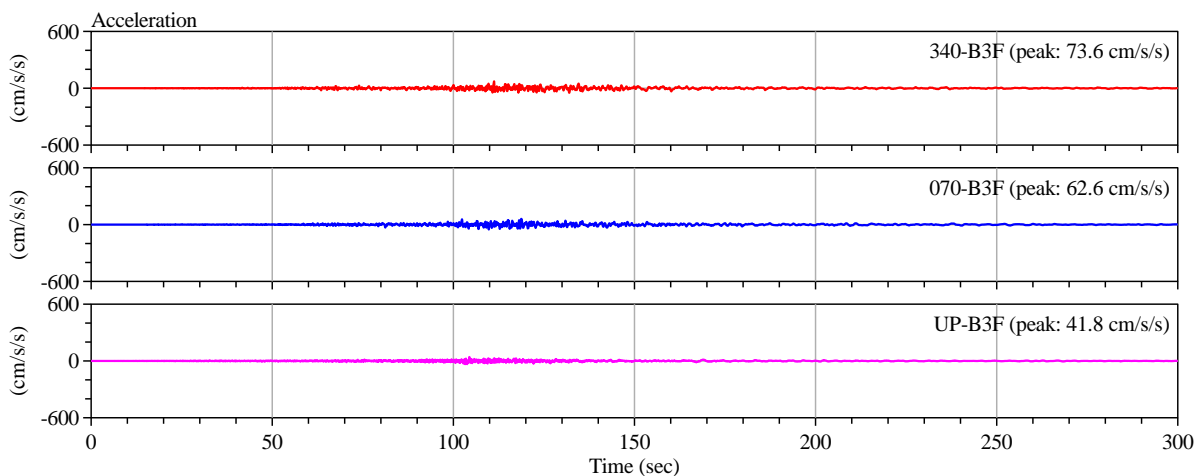


図 4.2-9 地下 3 階(B3F)の加速度記録

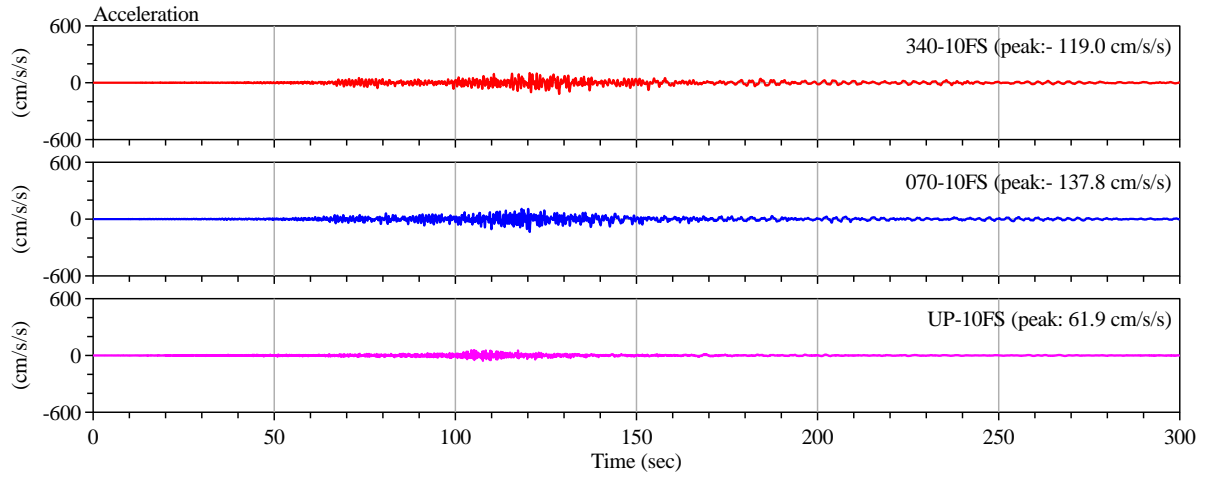


図 4.2-10 10階(10FS)の加速度記録

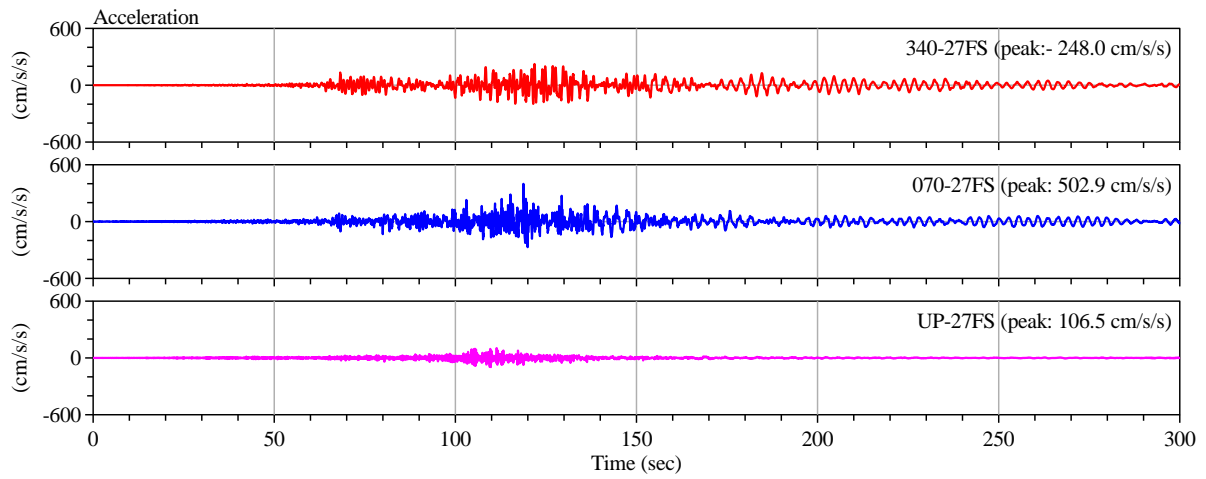


図 4.2-11 塔屋1階(27FS)の加速度記録

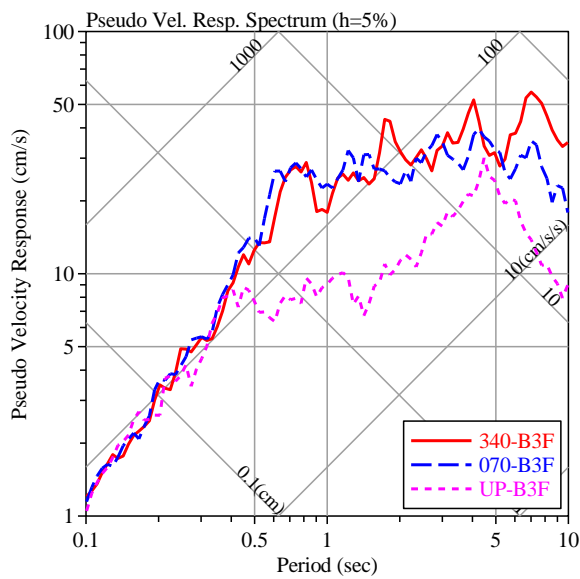


図 4.2-12 地下3階(B3F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

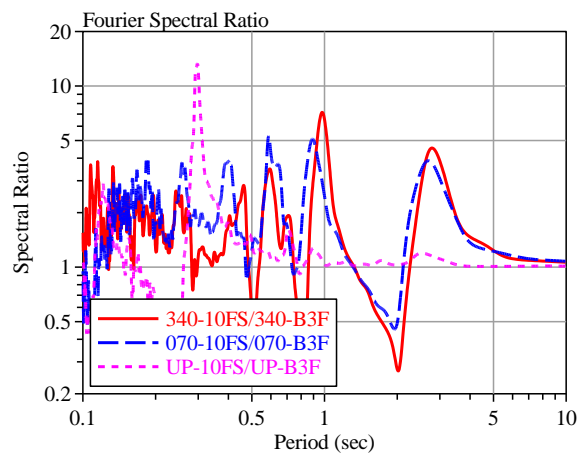


図 4.2-13 10階(10FS)の地下3階(B3F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

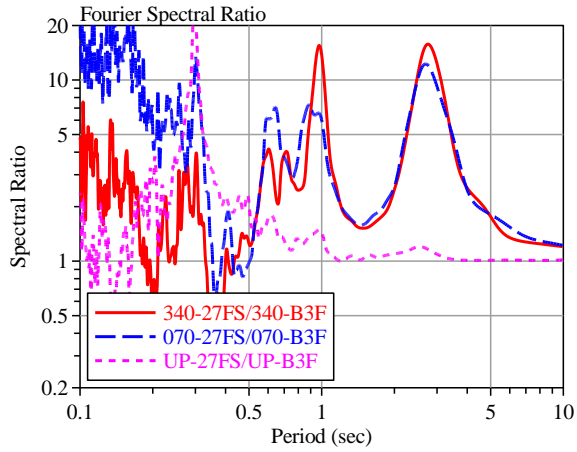


図 4.2-14 27階(27FS)の地下3階(B3F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

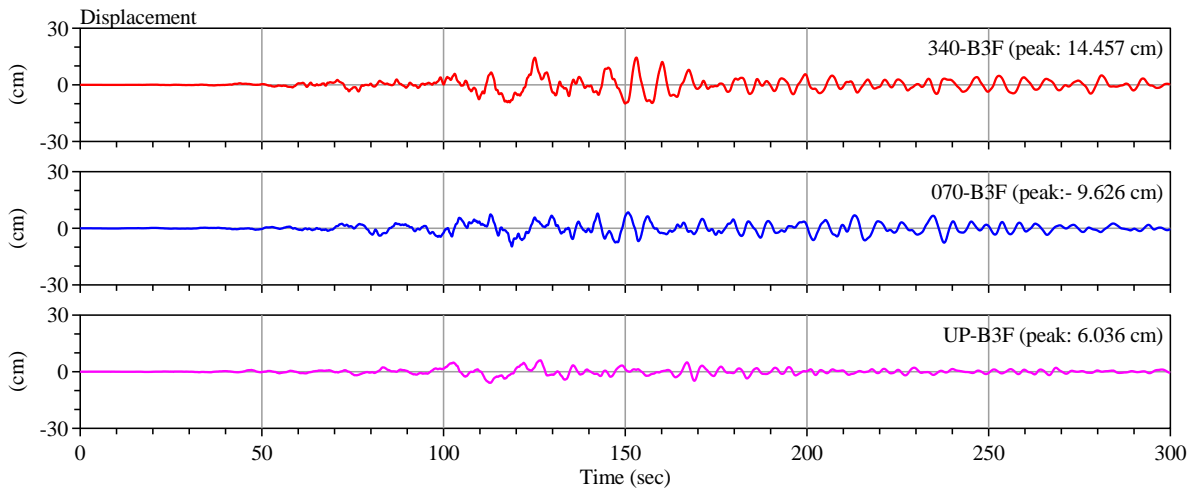


図 4.2-15 地下3階(B3F)の変位記録

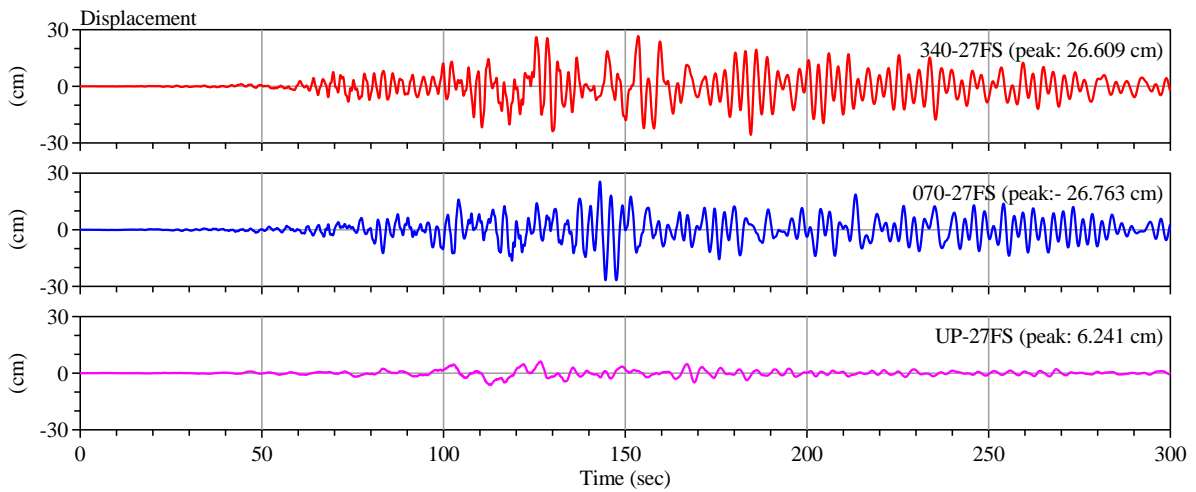


図 4.2-16 27階(27FS)の変位記録

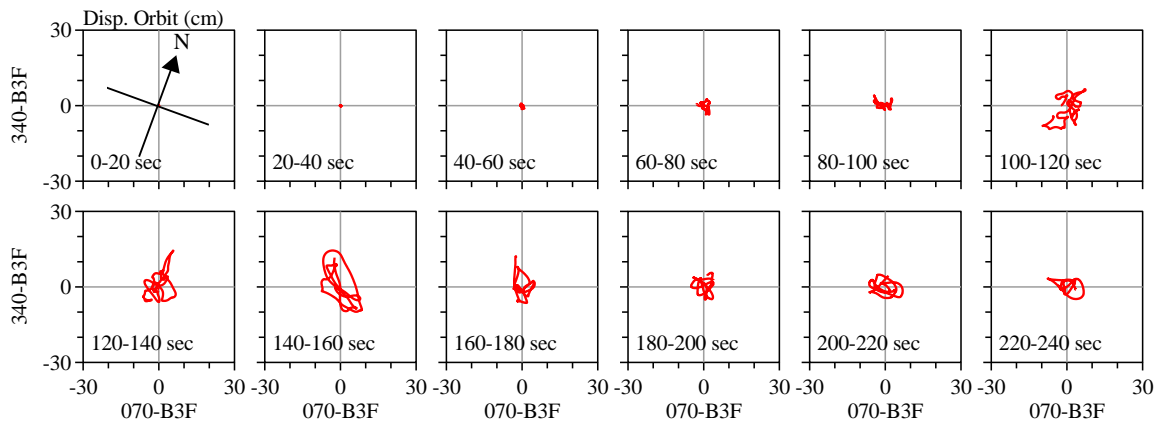


図 4.2-17 地下3階(B3F)の変位の水平面内軌跡

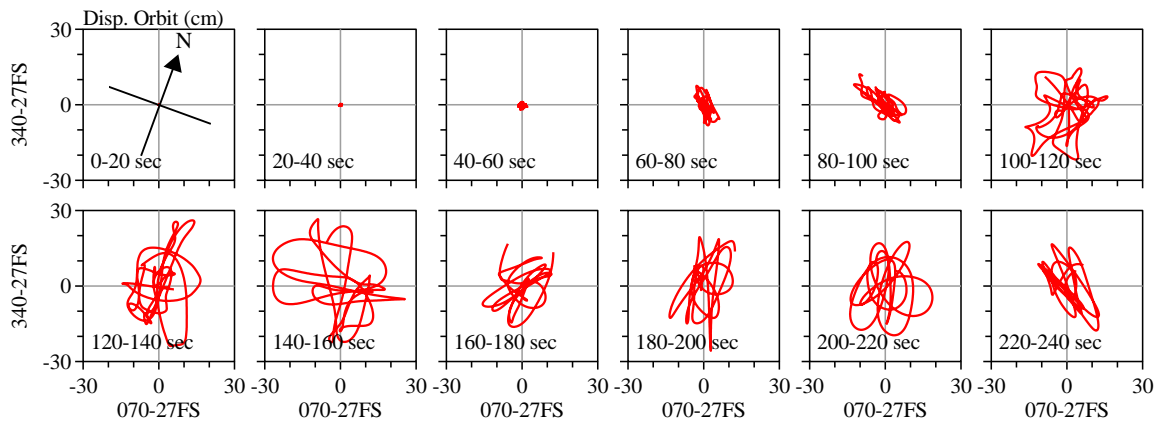


図 4.2-18 27階(27FS)の変位の水平面内軌跡

4.2.3 墨田区庁舎(SMD)の強震記録

東京都墨田区の墨田区庁舎は、地上 19 階地下 2 階の鉄骨造建物で、ここの強震計は地下 1 階(B1F)、8 階(08F)、及び塔屋 1 階(20F)に、計 3 台の加速度計を有している。図 4.2-19 から図 4.2-21 に、地下 1 階(B1F)、8 階(08F)、及び塔屋 1 階(20F)で得られた加速度記録を示す。地下 1 階(B1F)の水平方向の最大加速度は 70 cm/s^2 弱で、地下 1 階(B1F)の記録から算出した計測震度は 4.3(震度 4)であった。一方、N000°E 方向の最大加速度は 8 階(08F)で 262 cm/s^2 、塔屋 1 階(20F)で 385 cm/s^2 と、それぞれ地下 1 階(B1F)の 3.8 倍と 5.6 倍になっている。更に、N090°E 方向の最大加速度は 8 階(08F)で 197 cm/s^2 、塔屋 1 階(20F)で 290 cm/s^2 と、それぞれ地下 1 階(B1F)の 3.0 倍と 4.4 倍と、大きな増幅が認められる。

図 4.2-22 に、地下 1 階(B1F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N000°E 方向、破線が N090°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.7 秒辺りから長周期領域で緩やかな若干右上がりの傾向を示している。

8 階(08F)の地下 1 階(B1F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-23 に、塔屋 1 階(20F)の地下 1 階(B1F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-24 に示す。スペクトル比から判断した 1 次固有周期は、N000°E 方向が 1.9 秒、N090°E 方向が 1.8 秒となっている。

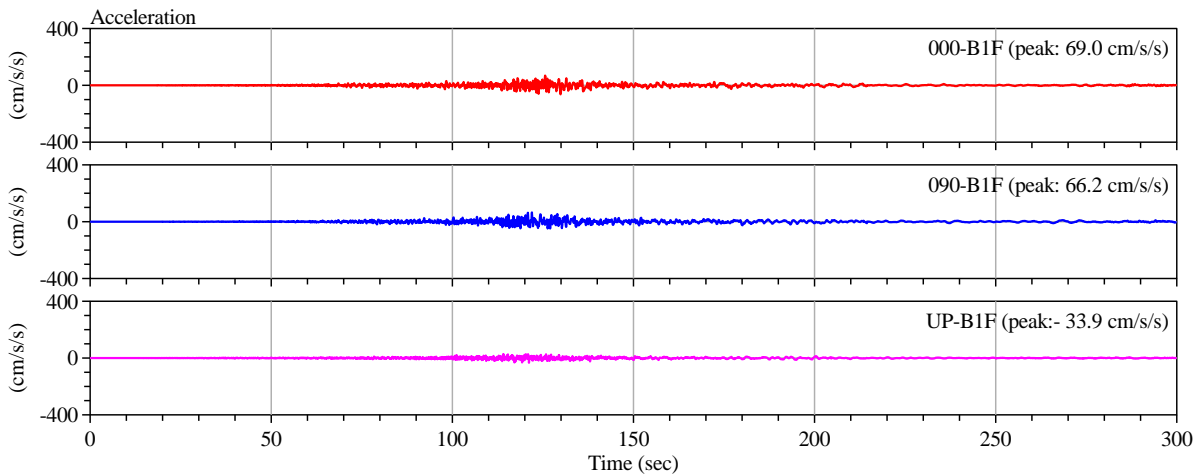


図 4.2-19 地下 1 階(B1F)の加速度記録

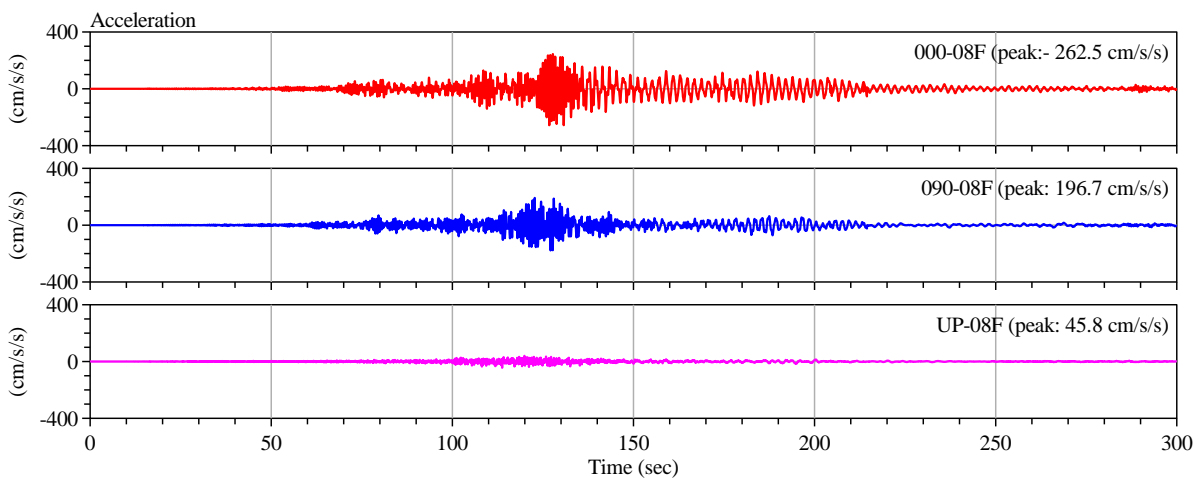


図 4.2-20 8 階(08F)の加速度記録

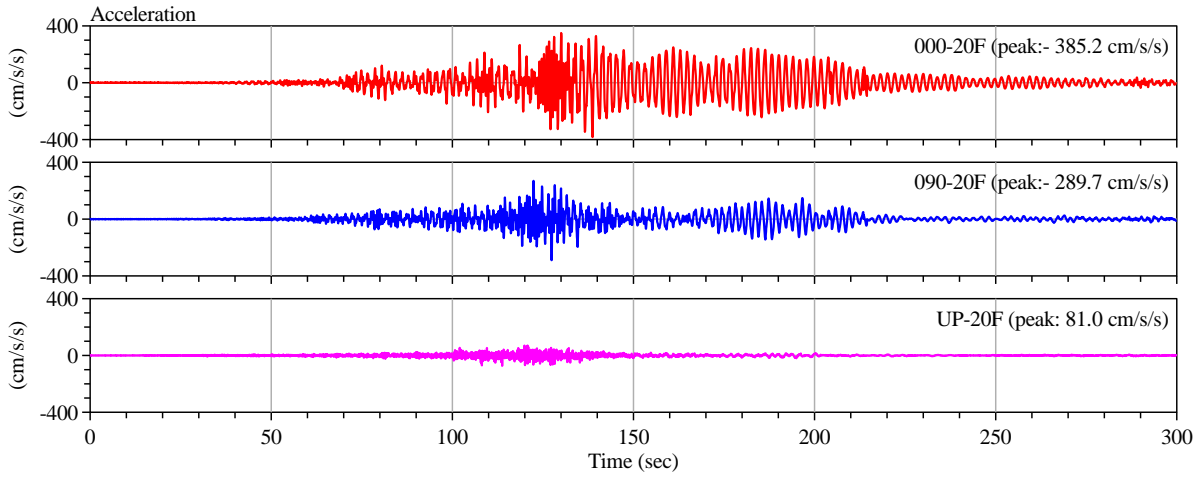


図 4.2-21 塔屋 1 階(20F)の加速度記録

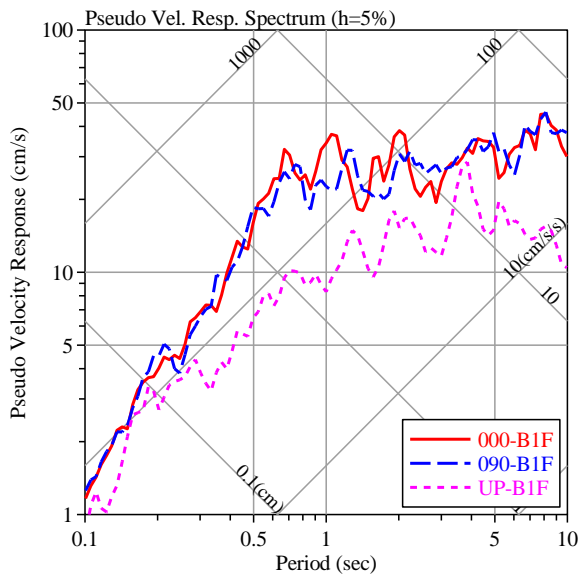


図 4.2-22 地下 1 階(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

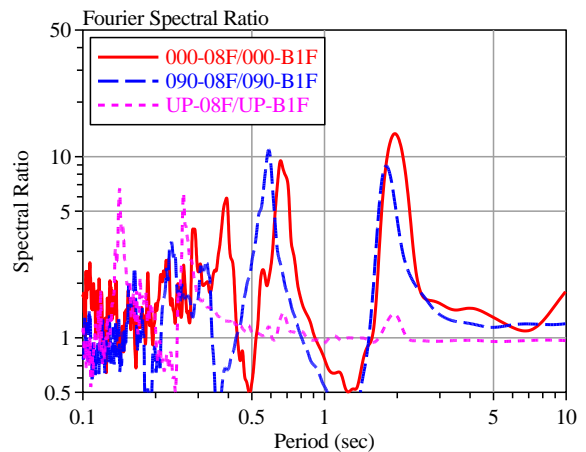


図 4.2-23 8 階(08F)の地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

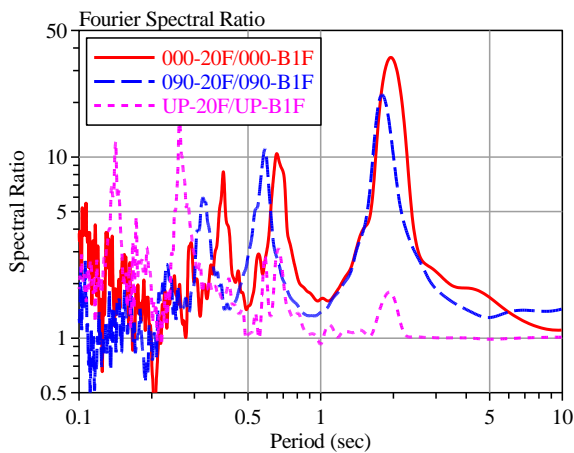


図 4.2-24 20 階(20F)の地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.2.4 コーシャタワー佃(TKD)の強震記録

コーシャタワー佃は、東京都中央区に位置する地上 37 階地下 1 階の鉄筋コンクリート造建物で、1 階(01F)、18 階(18F)、及び 37 階(37F)に計 3 台の加速度計を有している。図 4.2-25 から図 4.2-27 に、1 階(01F)、18 階(18F)、及び 37 階(37F)で得られた加速度記録を示す。1 階(01F)の水平方向の最大加速度は 87 cm/s^2 から 98 cm/s^2 で、1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 4.4(震度 4)であった。一方、N180°E 方向の最大加速度は、18 階(18F)で 118 cm/s^2 、37 階(37F)で 162 cm/s^2 と、それぞれ 1 階(01F)の 1.4 倍と 1.9 倍になっている。また、N270°E 方向の最大加速度は、18 階(18F)で 141 cm/s^2 、37 階(37F)で 198 cm/s^2 と、それぞれ 1 階(01F)の 1.4 倍と 2.0 倍となっている。

図 4.2-28 に、1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N180°E 方向、破線が N270°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルには、1 秒か 1.2 秒、3 秒強にピークがあり、更に N270°E 方向には 7 秒にもピークが表れている。

18 階(18F)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-29 に、37 階(37F)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-30 に示す。スペクトル比から判断した 1 次固有周期は、両水平方向とも 2.5 秒程度である。

1 階(01F)と 37 階(37F)の加速度記録を積分して求めた変位記録(絶対変位)を、図 4.2-31 と図 4.2-32 に示す。1 階(01F)の変位は 100 秒過ぎから振幅が大きくなり、揺れは 300 秒を過ぎても続いている。最大変位は N270°E 方向で 7 cm 程度である。建物の変位が加わった 37 階(37F)の変位の最大値は、両水平方向で 20 cm 弱となっている。図 4.2-33 と図 4.2-34 は、それぞれ 1 階(01F)と 37 階(37F)の変位記録の水平面内軌跡を、20 秒ごとに描画したものである。37 階(37F)の変位軌跡を見ると、時刻によって揺れの方向が変遷してゆく様子が窺える。

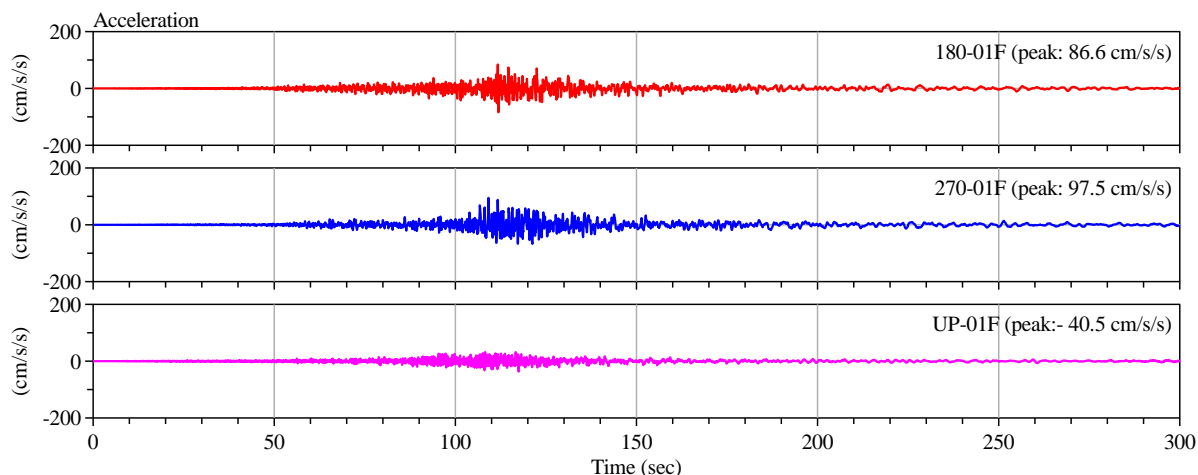


図 4.2-25 1 階(01F)の加速度記録

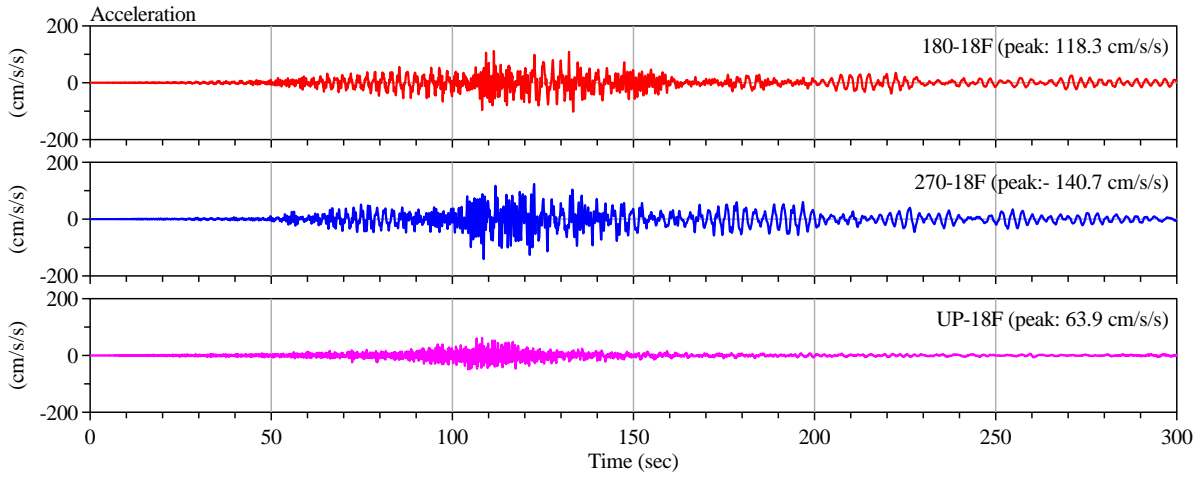


図 4.2-26 18階(18F)の加速度記録

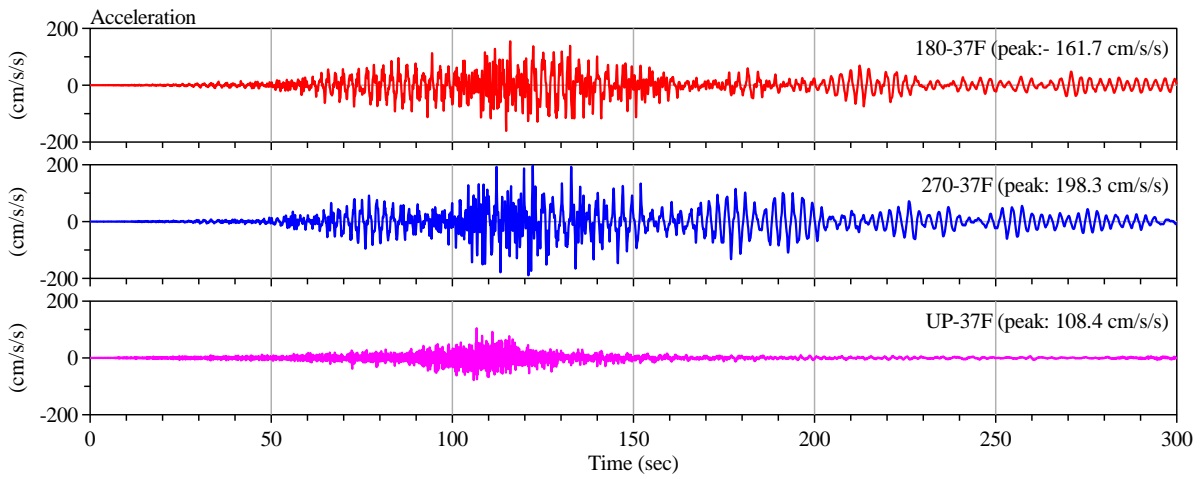


図 4.2-27 37階(37F)の加速度記録

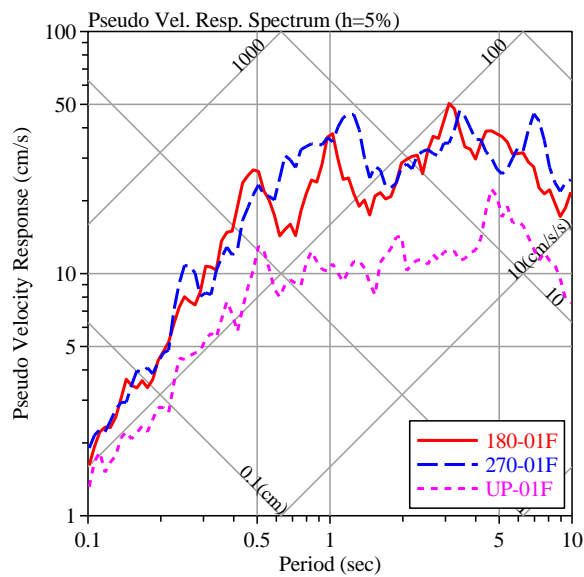


図 4.2-28 1階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

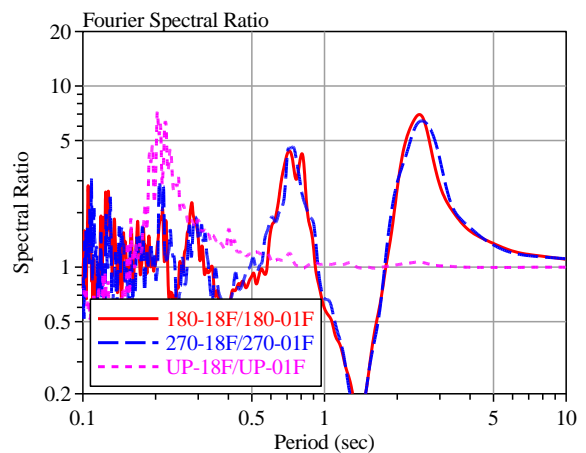


図 4.2-29 18階(18F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

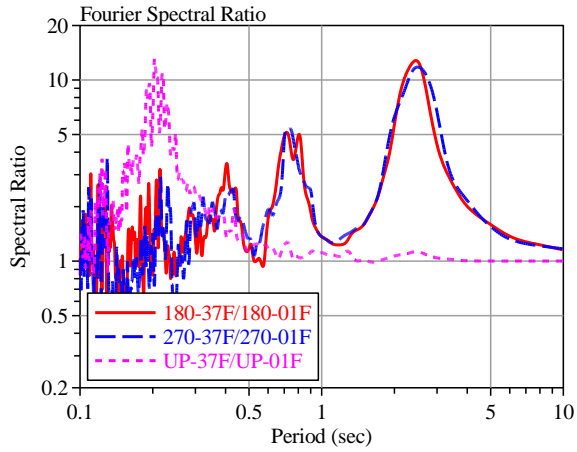


図 4.2-30 37階(37F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

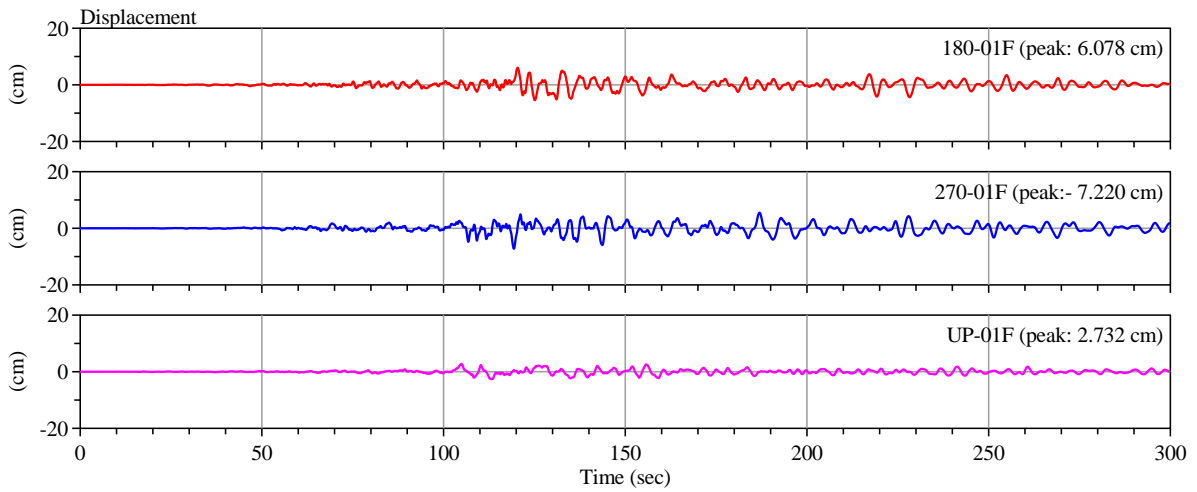


図 4.2-31 1階(01F)の変位記録

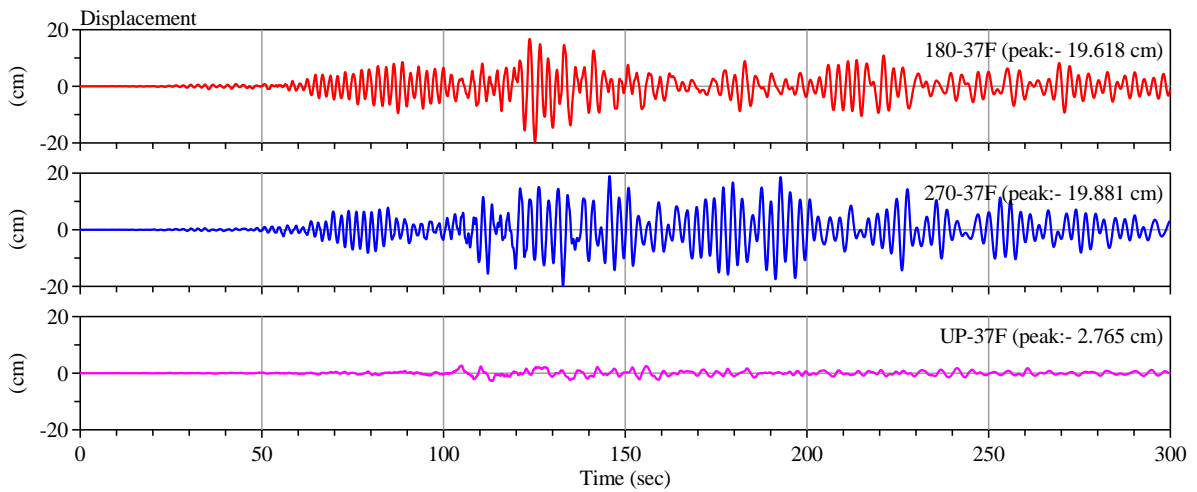


図 4.2-32 37階(37F)の変位記録

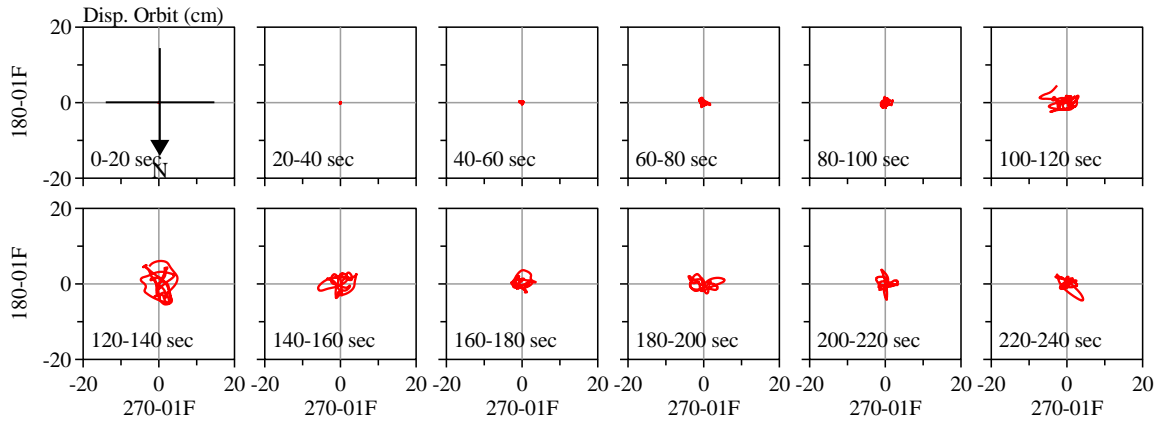


図 4.2-33 1階(01F)の変位の水平面内軌跡

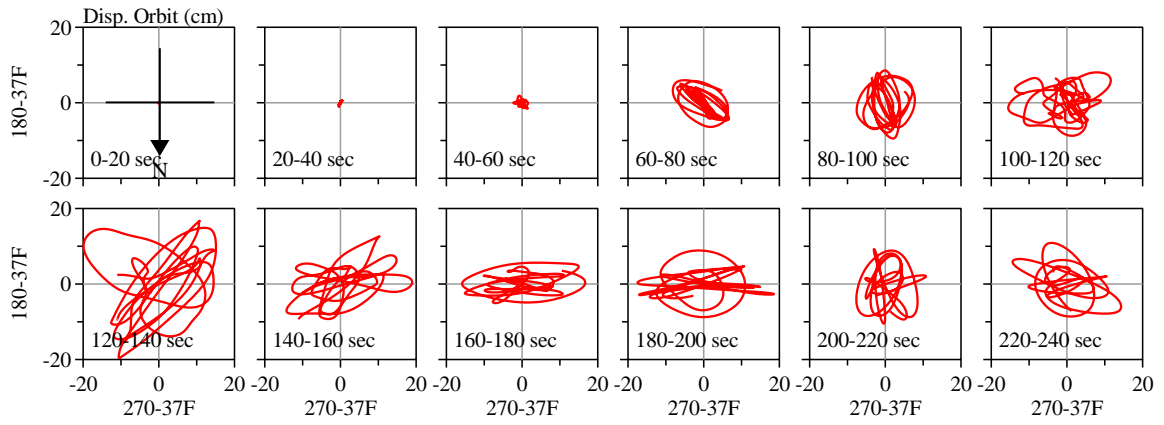


図 4.2-34 37階(37F)の変位の水平面内軌跡

4.2.5 中央合同庁舎 6 号館(CGC)の強震記録

中央合同庁舎 6 号館は東京都千代田区に位置する、地上 20 階地下 3 階のツインタワー(B 棟及び C 棟と呼ぶ)の鉄骨造建物である。加速度計は 1 階(01F)、B 棟 20 階(20B)、及び C 棟 19 階(19C)の計 3 カ所に設置されている。図 4.2-35 から図 4.2-37 に、1 階(01F)、B 棟 20 階(20B)、及び C 棟 19 階(19C)で得られた加速度記録を示す。1 階(01F)の水平方向の最大加速度は 90 cm/s^2 程度で、1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 4.4(震度 4)であった。B 棟 20 階(20B)の最大加速度は、N208°E 方向で 208 cm/s^2 、N298°E 方向で 148 cm/s^2 、C 棟 19 階(19C)の最大加速度は、N208°E 方向で 179 cm/s^2 、N298°E 方向で 133 cm/s^2 と、C 棟 19 階(19C)の方が若干小さめである。

図 4.2-38 に、1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N208°E 方向、破線が N298°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、方向によって若干起伏はあるものの、0.5 秒から長周期領域では、右上がりの傾向を持つ平坦な形状をしており、速度応答値は 20 cm/s から 40 cm/s 程度である。

B 棟 20 階(20B)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-39 に、C 棟 19 階(19C)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-40 に示す。スペクトル比から判断した 1 次固有周期は、B 棟及び C 棟とも、N208°E 方向で 2.0 秒、N298°E 方向で 1.8 秒程度である。

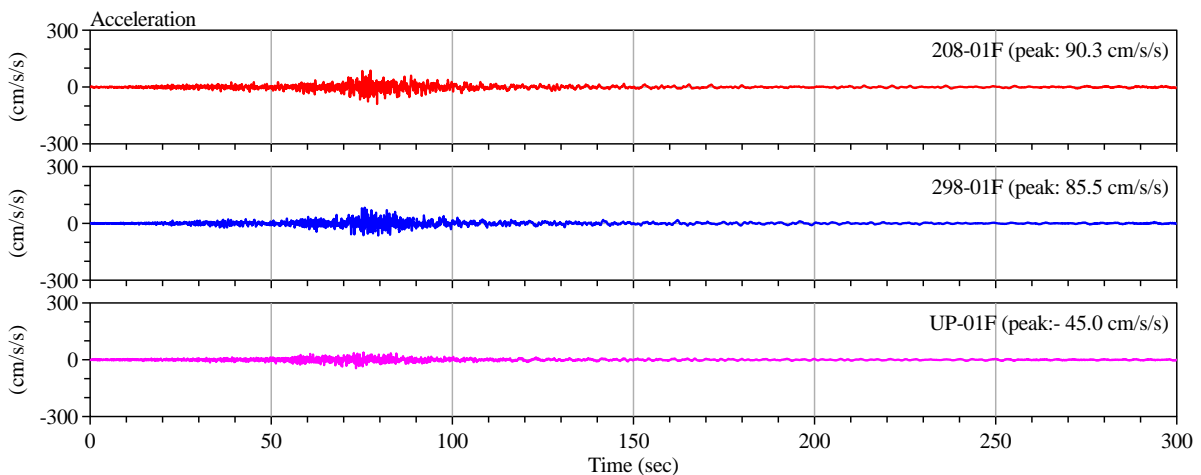


図 4.2-35 1 階(01F)の加速度記録

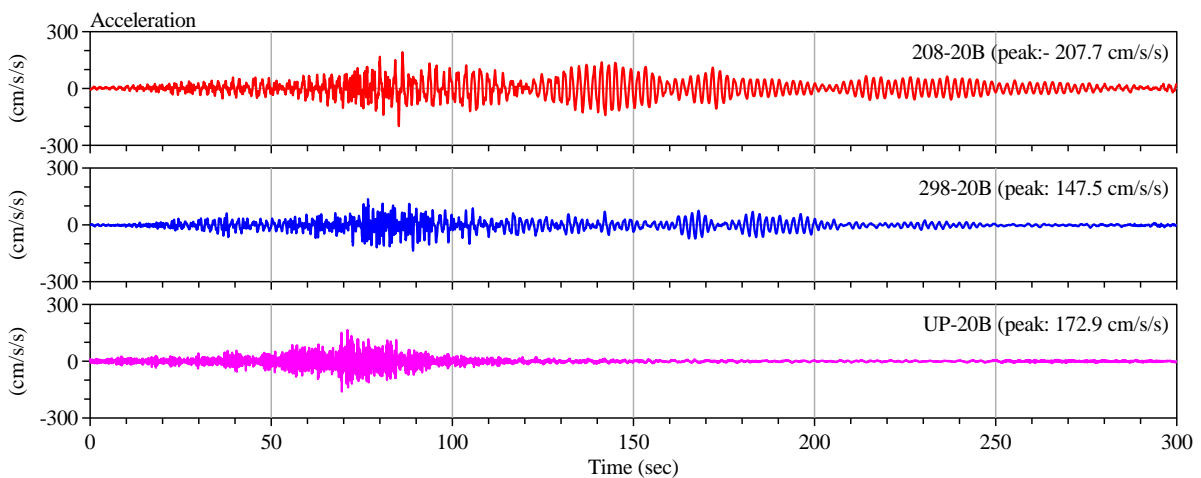


図 4.2-36 B 棟 20 階(20B)の加速度記録

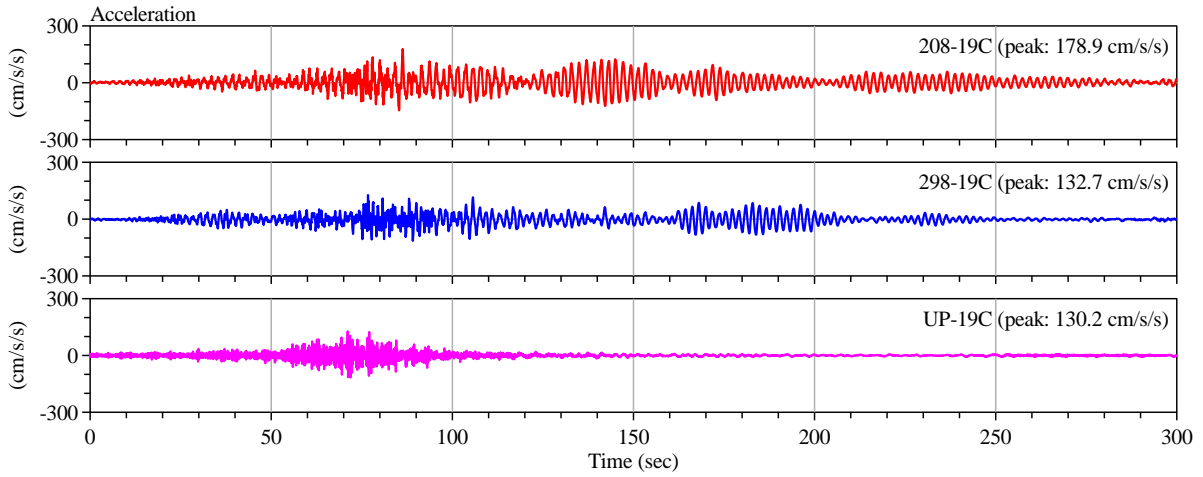


図 4.2-37 C 棟 19 階(19C)の加速度記録

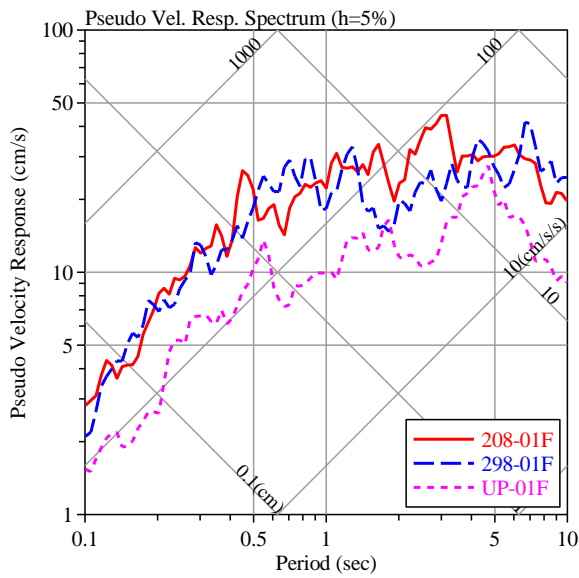


図 4.2-38 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

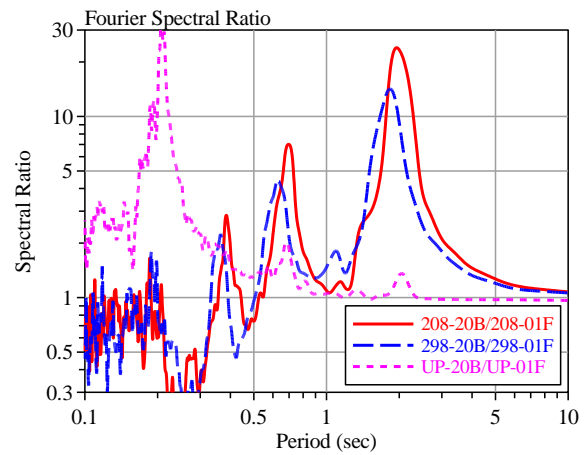


図 4.2-39 B 棟 20 階(20B)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

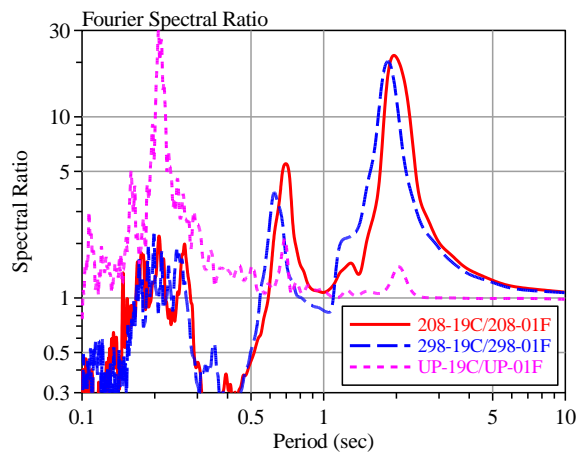


図 4.2-40 C 棟 19 階(19C)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.2.6 中央合同庁舎 2 号館(CG2)の強震記録

中央合同庁舎 2 号館は、東京都千代田区に位置する地上 21 階の鉄骨造建物で、極軟鋼制振壁と粘性体制振壁を配した制振構造となっている。この建物では、地下 4 階(B4F)、13 階(13F)、及び 21 階(21F)に計 3 台の加速度計を設置している。図 4.2-41 から図 4.2-43 に、地下 4 階(B4F)、13 階(13F)、及び 21 階(21F)で得られた加速度記録を示す。地下 4 階(B4F)の水平方向の最大加速度は 70 cm/s^2 強で、地下 4 階(B4F)の記録から算出した計測震度は 4.2(震度 4)であった。一方、N208°E 方向の最大加速度は、13 階(13F)で 137 cm/s^2 、21 階(21F)で 121 cm/s^2 と、それぞれ地下 4 階(B4F)の 1.8 倍と 1.6 倍になっている。また、N298°E 方向の最大加速度は、13 階(13F)で 113 cm/s^2 、21 階(21F)で 130 cm/s^2 と、それぞれ地下 4 階(B4F)の 1.6 倍と 1.8 倍となっている。

図 4.2-44 に、地下 4 階(B4F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N208°E 方向、破線が N298°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.5 秒から長周期側で漸増する傾向があり、N208°E 方向では 3.2 秒、N298°E 方向では 6.7 秒で速度応答値が最大となり、 40 cm/s を超えている。

13 階(13F)の地下 4 階(B4F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-45 に、21 階(21F)の地下 4 階(B4F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-46 に示す。スペクトル比から読み取った 1 次固有周期は、N208°E 方向が 1.9 秒、N298°E 方向が 2.0 秒である。

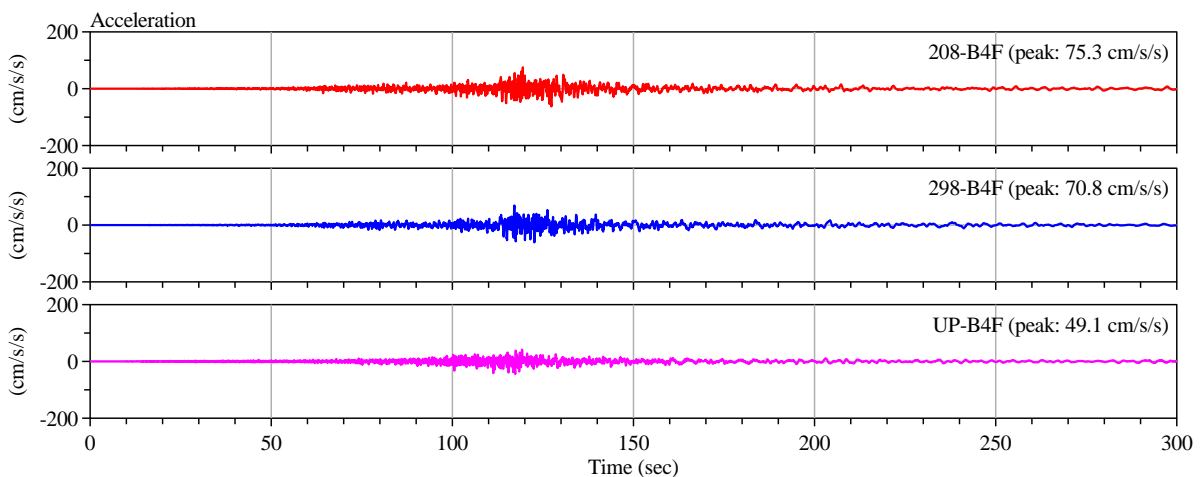


図 4.2-41 地下 4 階(B4F)の加速度記録

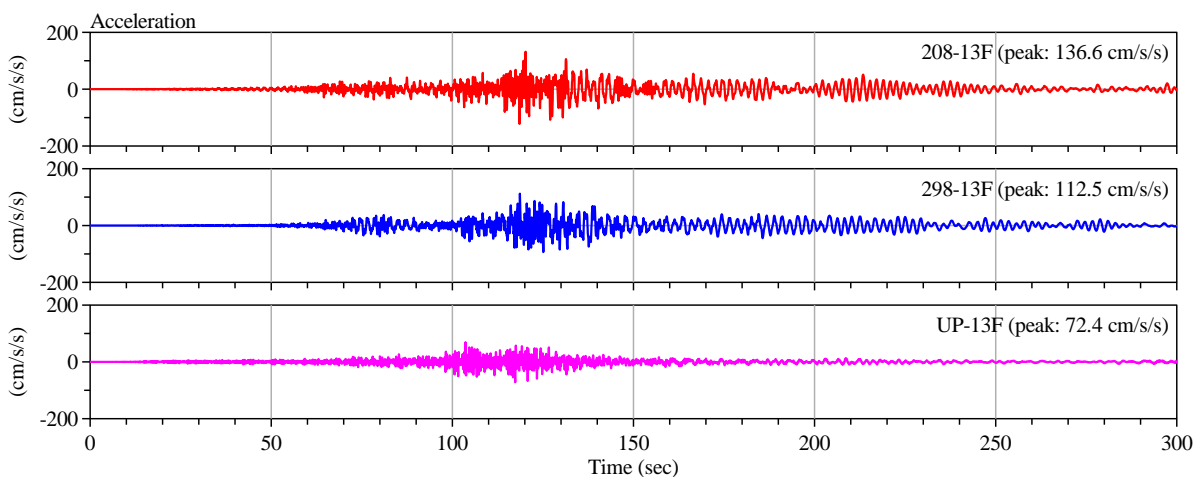


図 4.2-42 13 階(13F)の加速度記録

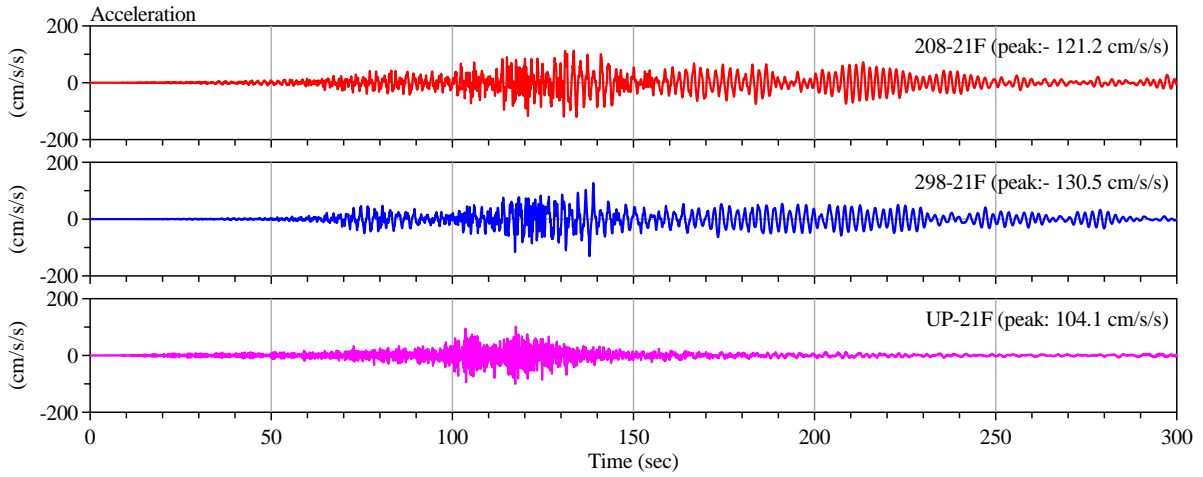


図 4.2-43 21 階(21F)の加速度記録

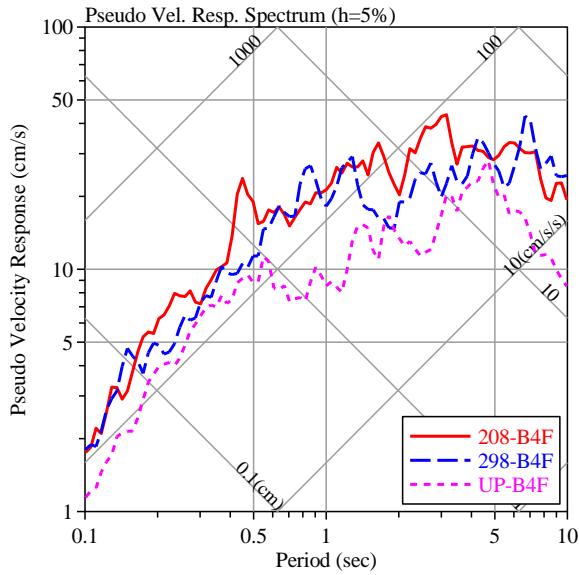


図 4.2-44 地下 4 階(B4F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

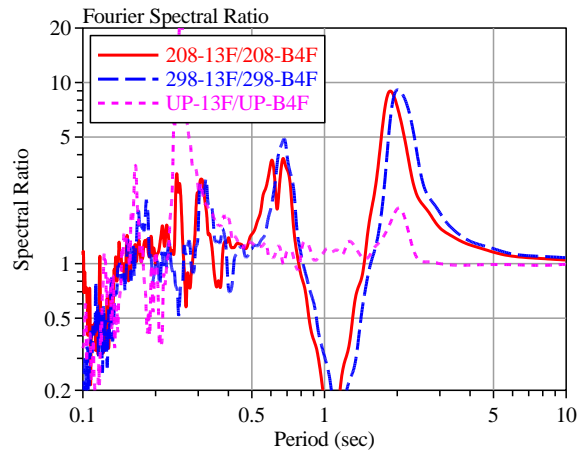


図 4.2-45 13 階(13F)の地下 4 階(B4F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

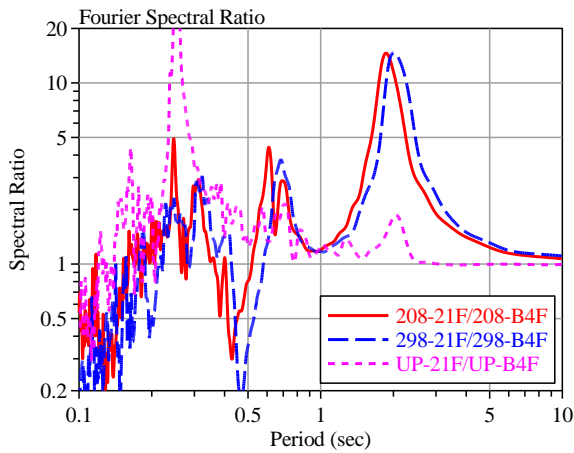


図 4.2-46 21 階(21F)の地下 4 階(B4F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.2.7 横浜第2合同庁舎(YKH)の強震記録

横浜第2合同庁舎は横浜市中区に立地する、地上23階地下3階の鉄骨造建物である。強震計は地下2階(B2F)と23階(23F)に加速度計を有している。図4.2-47と図4.2-48に、地下2階(B2F)と23階(23F)で得られた加速度記録を示す。なお、N303°E方向の記録は不良のため割愛する。地下2階(B2F)のN213°E方向の最大加速度は 60 cm/s^2 であった。一方、23階(23F)のN213°E方向の最大加速度は 162 cm/s^2 で、地下2階(B2F)に比べて2.7倍となっている。また、100秒以降の、地下2階(B2F)の加速度が小さくなった後も、大きな揺れが長く継続している。

図4.2-49に、地下2階(B2F)の記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線がN213°E方向、点線がUP(上下)方向に対応する。比較的長周期成分が優勢な擬似速度応答スペクトルの形状で、2.7秒の速度応答値は、 50 cm/s 弱である。

23階(23F)の地下2階(B2F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図4.2-50に示す。スペクトル比からは、N213°E方向の1次固有周期は2.3秒である。

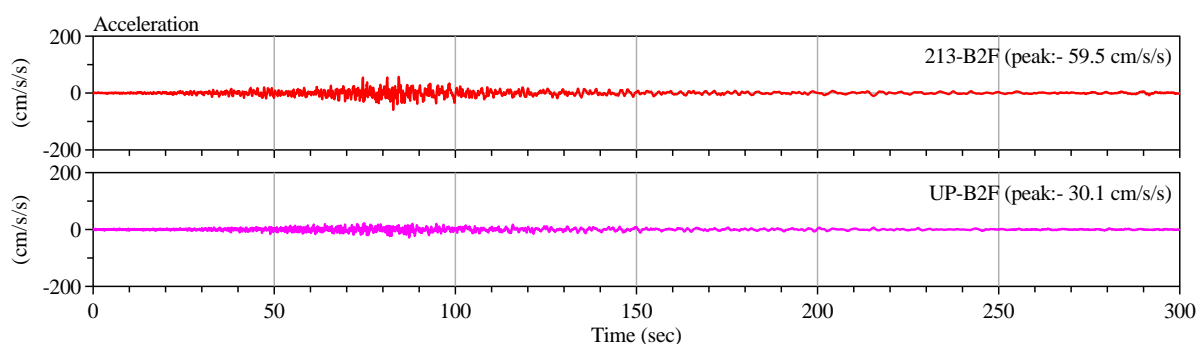


図 4.2-47 地下2階(B2F)の加速度記録

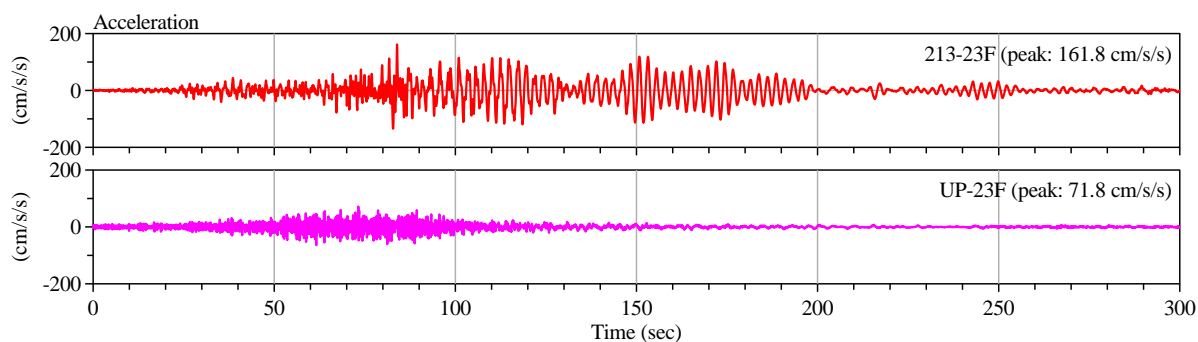


図 4.2-48 23階(23F)の加速度記録

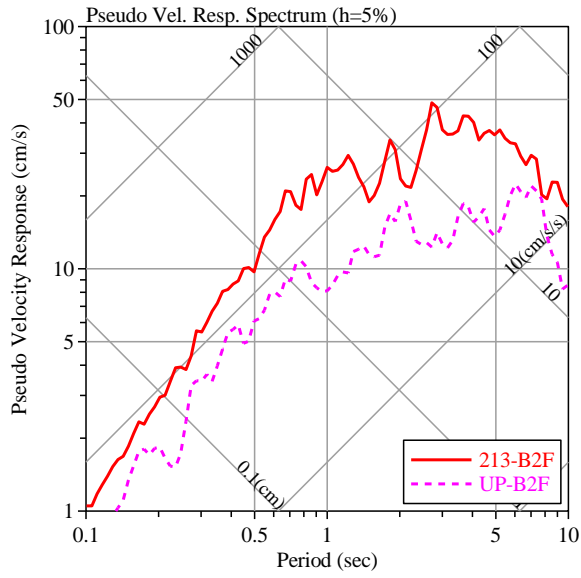


図 4.2-49 地下 2 階(B2F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

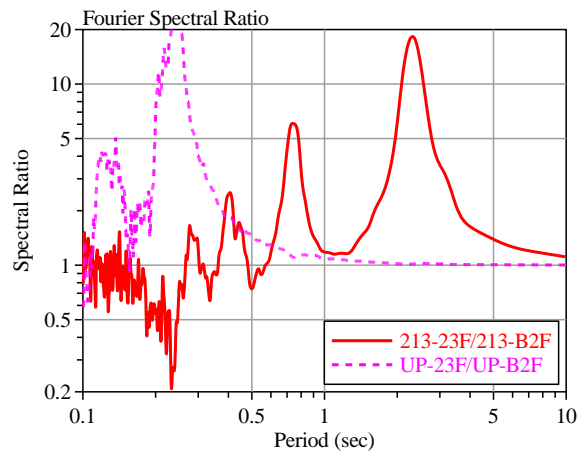


図 4.2-50 23階(23F)の地下 2 階(B2F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.2.8 大阪合同庁舎 3 号館(OSK)の強震記録

大阪合同庁舎 3 号館は大阪市中央区に立地する、地上 15 階地下 3 階の鉄骨造建物である。強震計は、地下 3 階(B3F)と塔屋 3 階(18F)に加速度計を有している。図 4.2-51 と図 4.2-52 に、地下 3 階(B3F)と塔屋 3 階(18F)で得られた加速度記録を示す。なお、ここの強震計は地下 3 階(B3F)の加速度計のトリガ(トリガレベル 4 cm/s^2)を掛けており、加速度レベルが小さかったため 157 秒間で記録が終了している。地下 3 階(B3F)の水平方向の最大加速度は 10 cm/s^2 程度で、地下 3 階(B3F)の記録から算出した計測震度は 2.9(震度 3)あった。一方、塔屋 3 階(18F)の最大加速度は、N189°E 方向で 65 cm/s^2 、N279°E 方向が 38 cm/s^2 と、地下 3 階(B3F)に比べて 5.9 倍から 4.3 倍と大きな増幅となっている。

図 4.2-53 に、地下 3 階(B3F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N189°E 方向、破線が N279°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。長周期成分が優勢な擬似速度応答スペクトルで、N189°E 方向では 2.5 秒、N279°E 方向では 4.9 秒に最大応答が表れている。

塔屋 3 階(18F)の地下 3 階(B3F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-54 に示す。スペクトル比から読み取った 1 次固有周期は、N189°E 方向で 1.7 秒、N279°E 方向で 1.4 秒となっている。

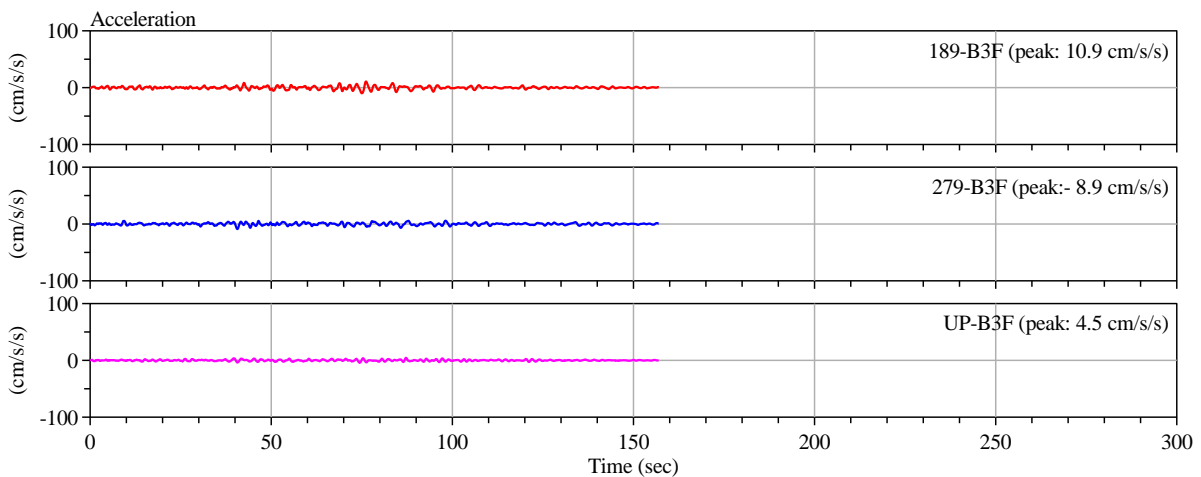


図 4.2-51 地下 3 階(B3F)の加速度記録

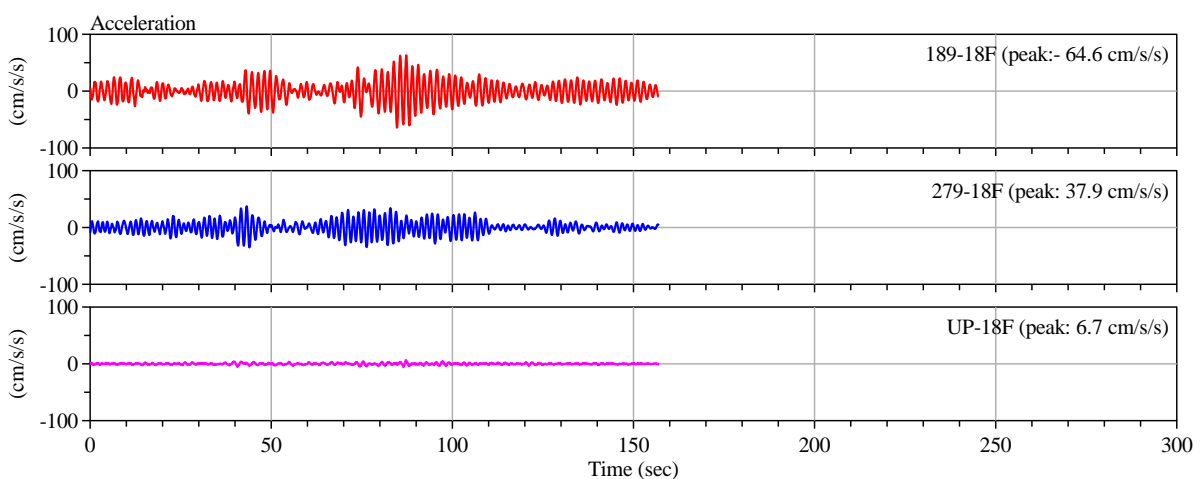


図 4.2-52 塔屋 3 階(18F)の加速度記録

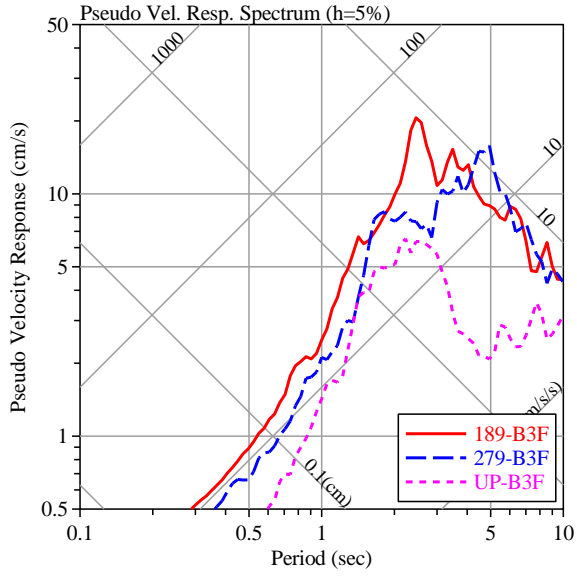


図 4.2-53 地下 3 階(B3F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

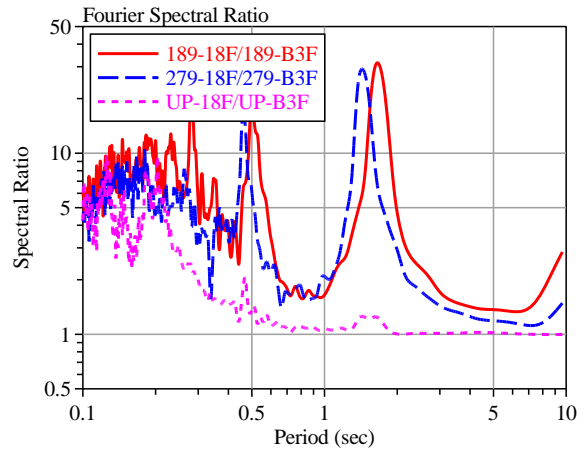


図 4.2-54 塔屋 3 階(18F)の地下 3 階(B3F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.2.9 大阪府咲洲庁舎(SKS)の強震記録

大阪府咲洲庁舎は、大阪市住之江区に建つ地上 52 階地下 3 階の鉄骨造建物で、ここには 1 階(01F)、18 階(18F)、38 階(38F)、及び 52 階に 2 台(52FN と 52FS)の計 5 台の強震計を設置している。この庁舎は、東北地方太平洋沖地震によって、内装材や防火戸等の一部に破損が生じた⁴⁾。図 4.2-55 から図 4.2-58 に、1 階(01F)、18 階(18F)、38 階(38F)、及び 52 階(52FN)で得られた加速度記録を示す。なお地震動の継続時間が長いため、時間軸を 800 秒に拡大している。1 階(01F)の水平方向の最大加速度は 30 cm/s^2 を超えるが、これには設備機器の衝突に起因するパルス状のノイズが含まれている。1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 3.0(震度 3)であった。一方、建物内の最大加速度は、N229°E 方向では、18 階(18F)で 41 cm/s^2 、38 階(38F)で 86 cm/s^2 、52 階(52FN)で 126 cm/s^2 と増幅している。また、N319°E 方向では、18 階(18F)で 39 cm/s^2 、38 階(38F)で 56 cm/s^2 、52 階(52FN)で 88 cm/s^2 と、最大加速度は N229°E 方向より小さめである。

図 4.2-59 に、1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。なお、周期軸は 0.2 秒から 20 秒の範囲に変更している。実線が N229°E 方向、破線が N319°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。長周期が極めて卓越した地震動特性となっており、N229°E 方向では 6.7 秒、N319°E 方向では 7 秒がピークとなっており、速度応答値はそれぞれ 42 cm/s と 35 cm/s となっている。7 秒前後の周期領域の速度応答値は、東京周辺と変わらないレベルにある。

18 階(18F)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-60 に、38 階(38F)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-61 に、52 階(52FN)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-62 に示す。なお、周期軸は 0.2 秒から 20 秒とし、平滑化のための Parzen Window の幅を 0.025Hz としている。スペクトル比から判断した 1 次固有周期は、N229°E 方向が 6.5 秒、N319°E 方向が 6.9 秒となっており、地震動の優勢な周期とほぼ一致する。また、いずれのスペクトル比でも、N319°E 方向の 1 次のピークと同じ周期に上下(UP)方向にもピークが表れている。52 階(52FN)の加速度計は長辺(N319°E)方向の北端に設置されており、上下方向のピークは建物の曲げ振動の影響と考えられる。

1 階(01F)と 52 階(52FN)の加速度記録を積分して求めた変位記録(絶対変位)を、図 4.2-63 と図 4.2-64 に示す。なお、図 4.2-63 と図 4.2-64 は振幅軸が異なることに留意されたい。1 階(01F)の変位は 200 秒過ぎから大きな振幅が 60 秒ほど続き、その後振幅は小さくなるものの揺れは 800 秒を超えて続いている。最大変位は N229°E 方向で 8 cm 程度となっている。52 階(52FN)の変位記録を見ると、その最大値は、N229°E 方向で 135 cm を超えており、52 階(52FN)の変位のほとんどは建物の変形による変位が占める。図 4.2-65 と図 4.2-66 は、それぞれ 1 階(01F)と 52 階(52FN)の変位記録の水平面内軌跡を、20 秒ごとに描画したものである。1 階(01F)の変位軌跡を見ると、200 秒から 260 秒の大きな振幅の時間帯は、主に南北方向に揺れていることがわかる。52 階(52FN)の変位軌跡を見ると、260 秒から 300 秒の時間帯では楕円を描くように揺れ、以降はほぼ N229°E 方向に振動している。

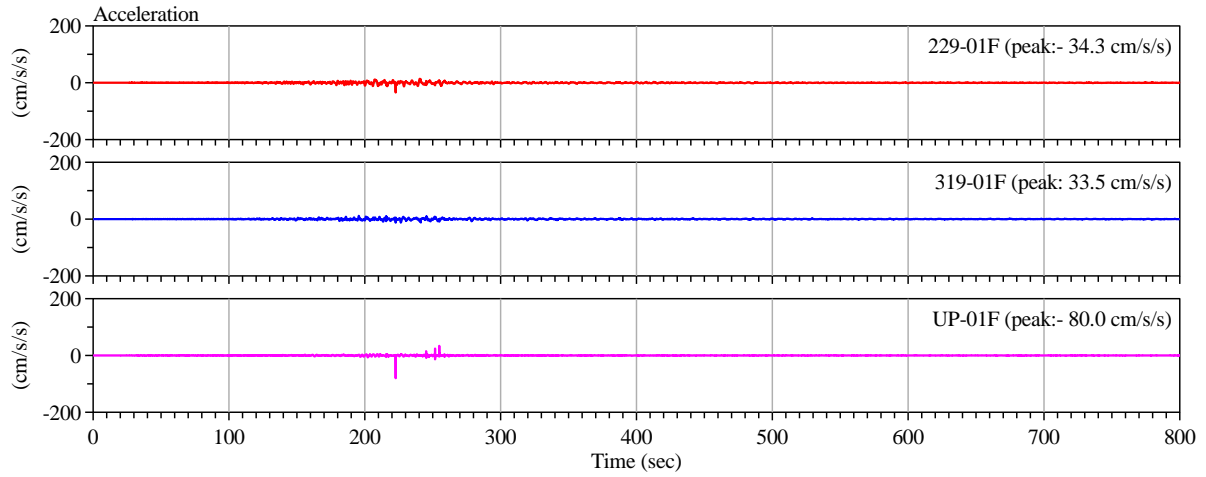


図 4.2-55 1階(01F)の加速度記録

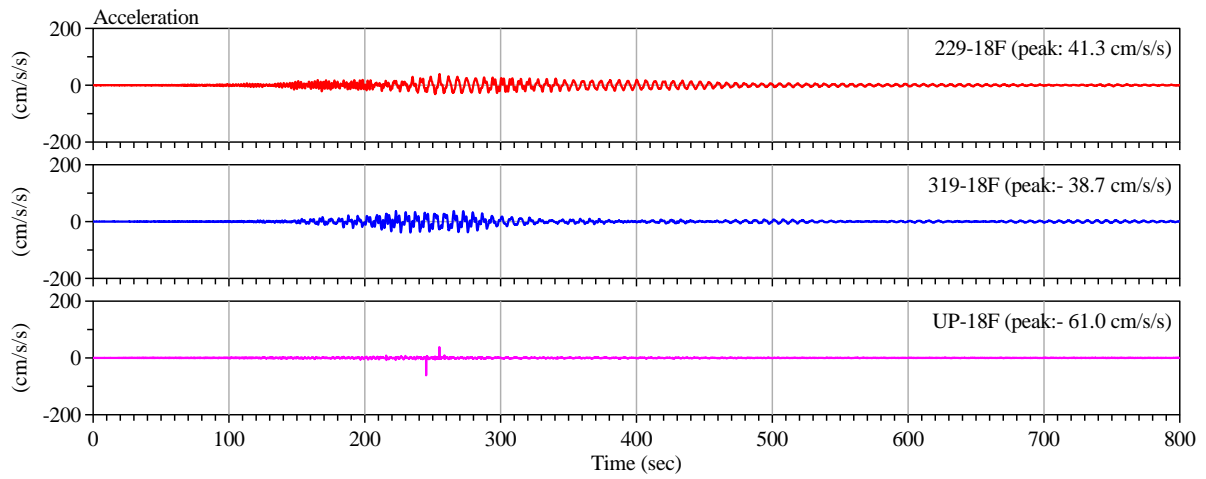


図 4.2-56 18階(18F)の加速度記録

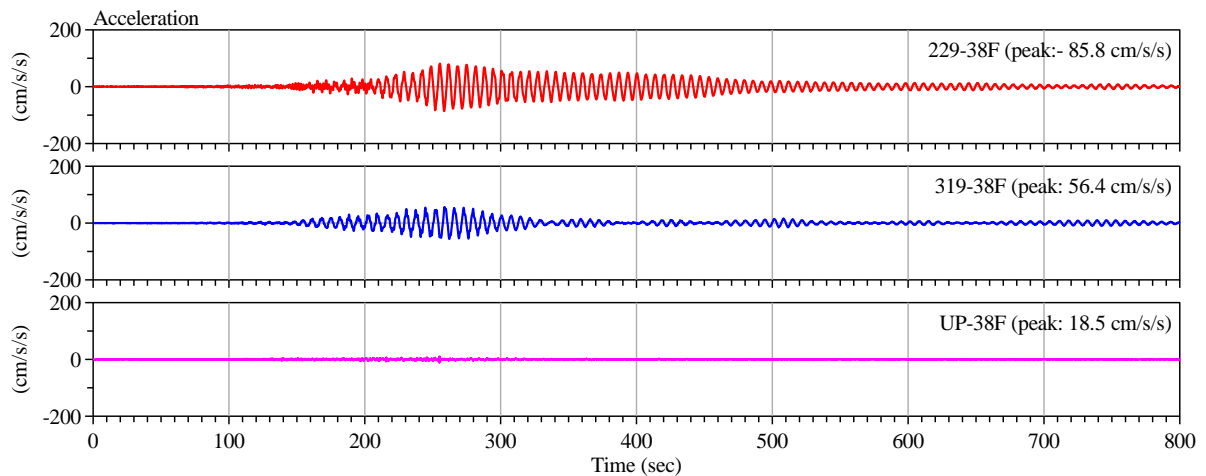


図 4.2-57 38階(38F)の加速度記録

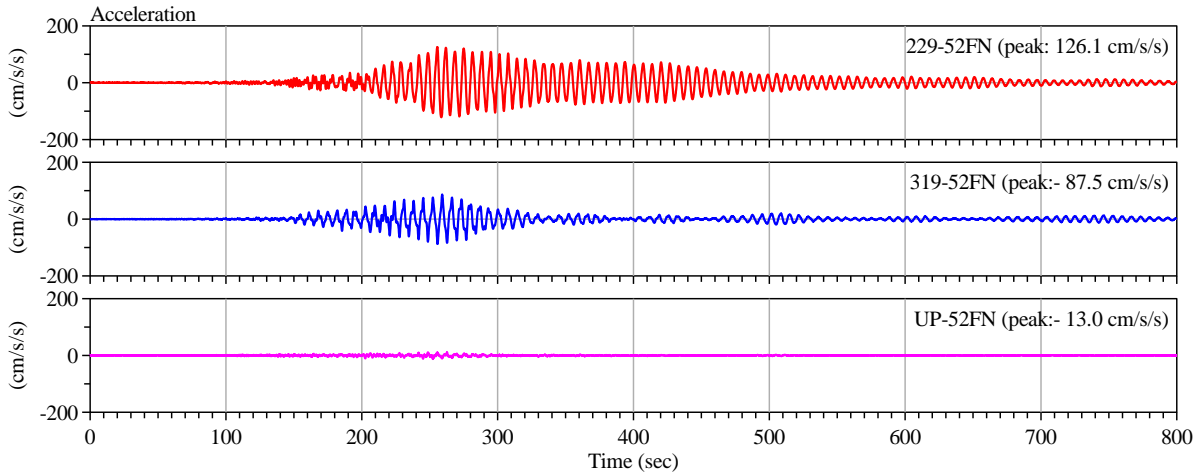


図 4.2-58 52 階(52FN)の加速度記録

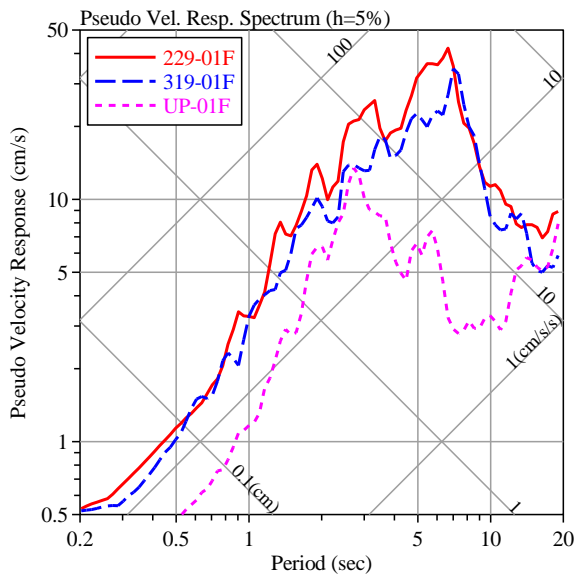


図 4.2-59 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

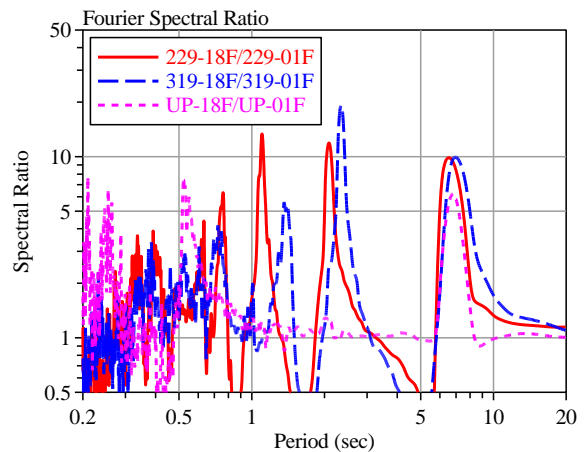


図 4.2-60 18 階(18F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

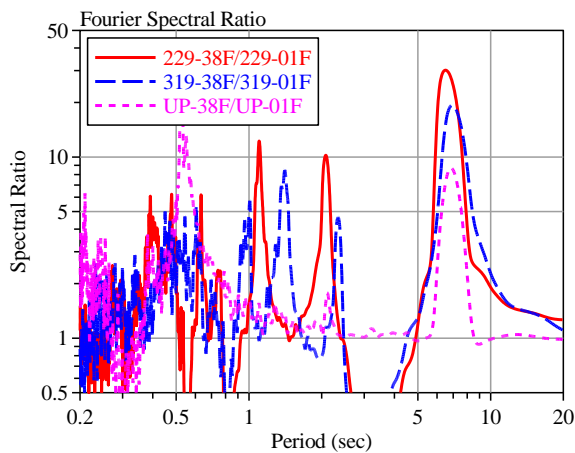


図 4.2-61 38 階(38F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

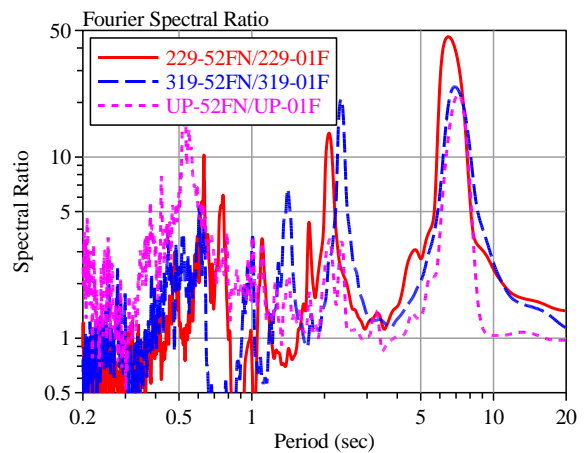


図 4.2-62 52 階(52FN)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

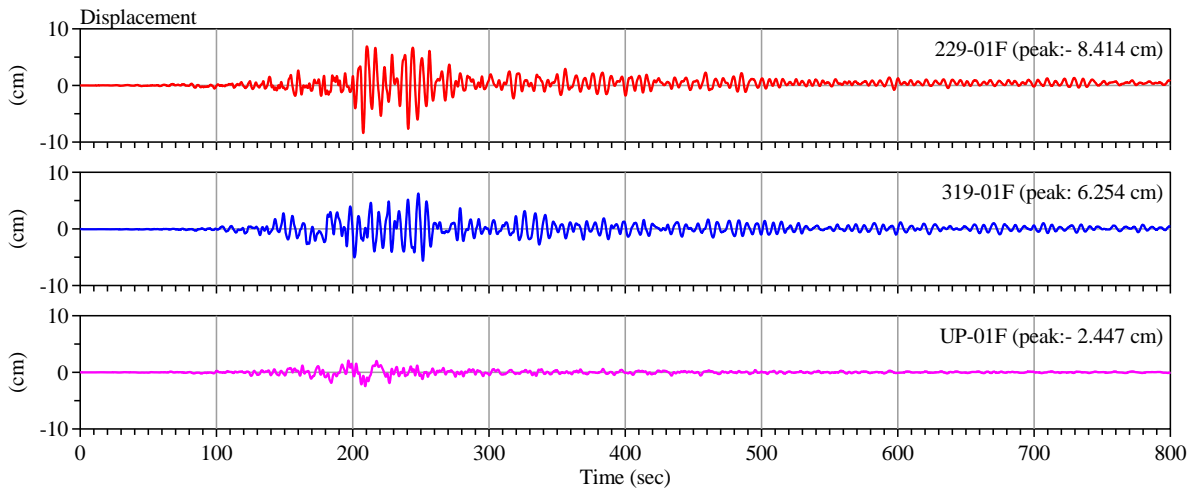


図 4.2-63 1 階(01F)の変位記録

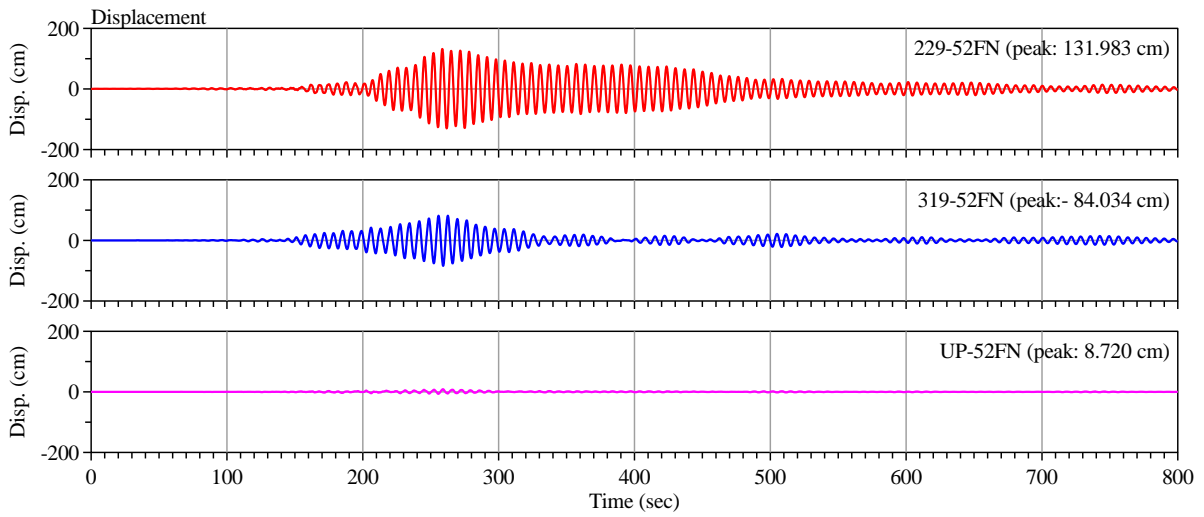


図 4.2-64 52 階(52FN)の変位記録

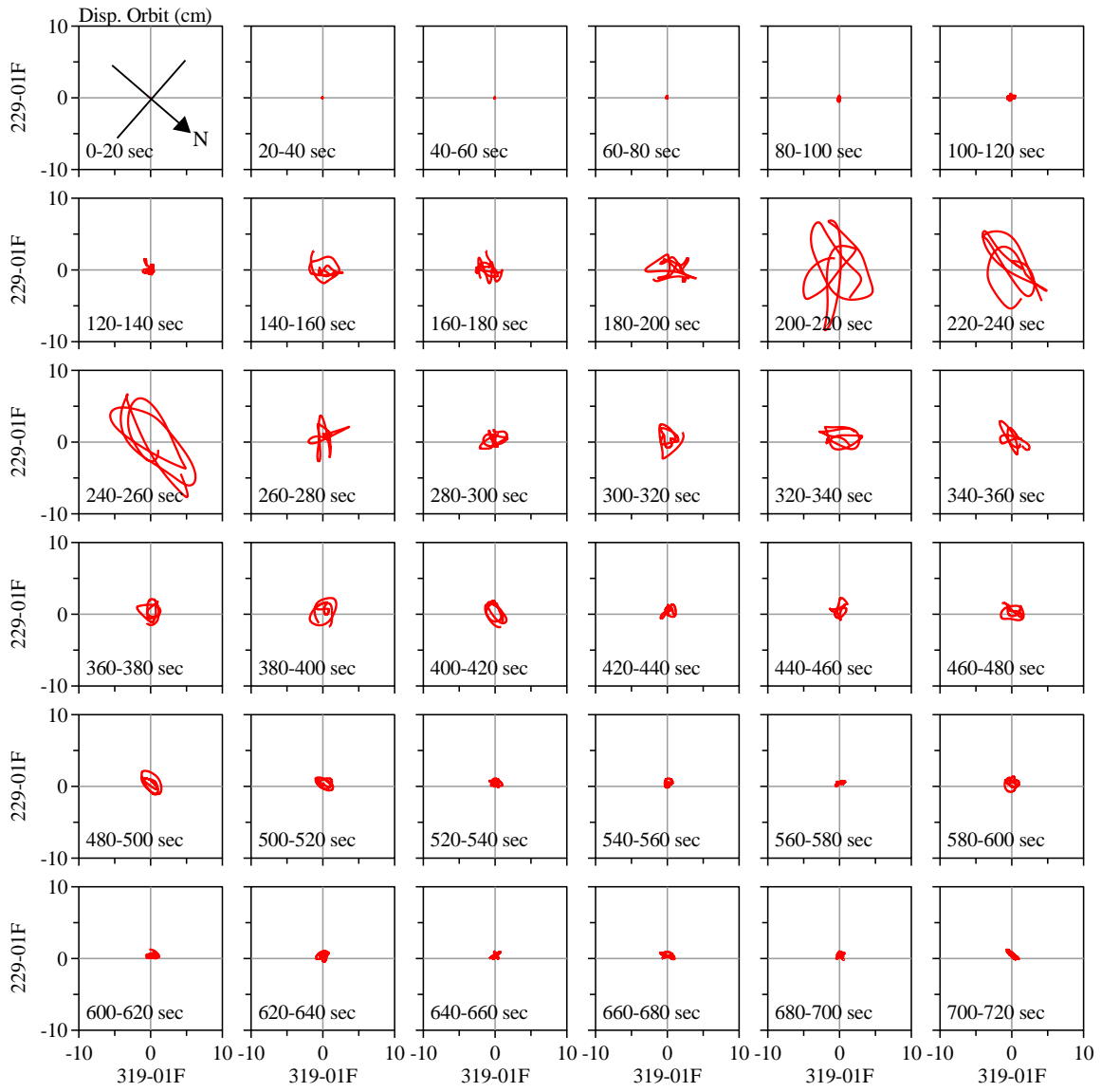


図 4.2-65 1 階(01F)の変位の水平面内軌跡

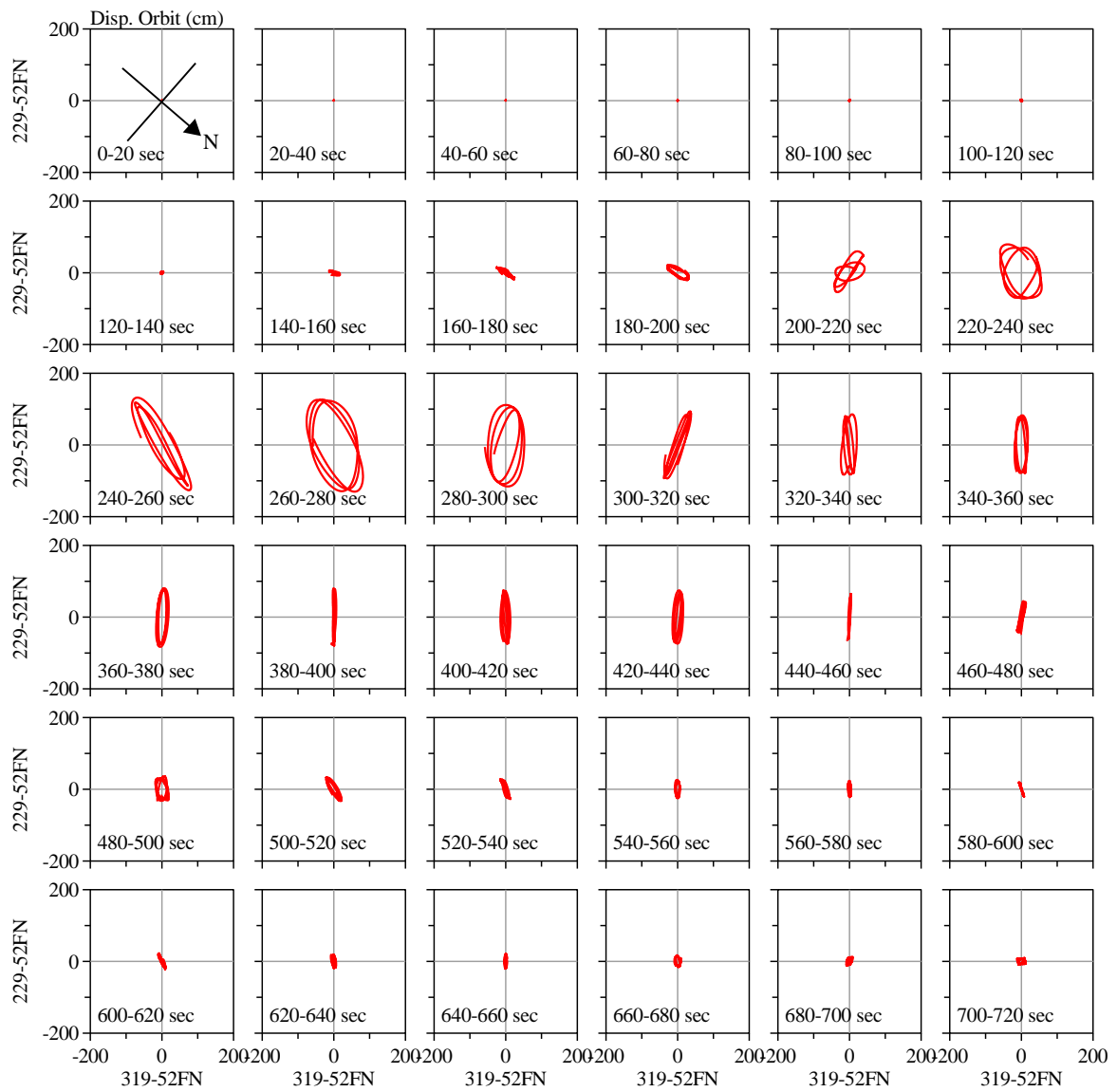


図 4.2-66 52 階(52FN)の変位の水平面内軌跡

4.3 免震建物の強震記録

本節では、建築研究所の強震観測ネットワークのうち、震度 5 弱以上が得られた免震建物を扱う。対象は表 4.3-1 に示す 4 棟の建物である。建築研究所の強震観測ネットワークの免震建物は 6 棟あり、このうち八戸市庁舎別館(HCN2)とつくば市庁舎(TKC)の 2 棟で震度 5 強を、国立西洋美術館(NMW)と中央合同庁舎 3 号館(CG3)の 2 棟で震度 5 弱を観測した。4.3.1 項以降に、各免震建物で得られた強震観測記録を示す。

表 4.3-1 対象建物一覧

項	記号	観測地点	計測震度	構造/階数	特徴
4.3.1	HCN2	八戸市庁舎別館	5.2	SRC/10F+B1F	地表・地中に加速度計あり
4.3.2	TKC	つくば市庁舎	5.2	PC/7F	
4.3.3	NMW	国立西洋美術館	4.8	RC/3F+B1F	免震改修、地表に加速度計あり
4.3.4	CG3	中央合同庁舎 3 号館	4.5	SRC/11F+B2F	免震改修

注) 構造/階数: 構造は RC が鉄筋コンクリート造、SRC が鉄骨鉄筋コンクリート造、PC がプレストレストコンクリート造を表す。階数は地上階+地下階。

4.3.1 八戸市庁舎別館(HCN2)の強震記録

八戸市庁舎別館は、青森県八戸市にある、地上 10 階建ての鉄骨鉄筋コンクリート造の免震建物である。強震計は地表(GL)、地中深さ 30 m(G30)、地中深さ 105 m(G105)、建物の基礎(免震層の下側、B1F)、1 階床梁下(免震層の上側、01F)、及び 10 階(10F)に計 6 台の加速度計を有している⁴⁾²⁾。図 4.3-1 から図 4.3-4 に、地表(GL)、建物基礎(B1F)、1 階(01F)、及び 10 階(10F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の最大加速度は、N164°E 方向で 286 cm/s²、N254°E 方向で 210 cm/s²となっており、地表(GL)の記録から算出した計測震度は 5.2(震度 5 強)であった。また、建物の基礎(B1F)の最大加速度は、それぞれ 100 cm/s²と 104 cm/s²となっており、地表(GL)に比べ 1/3 から 1/2 に減少している。免震層の上となる 1 階(01F)の最大加速度は、N164°E 方向で 91 cm/s²、N254°E 方向で 122 cm/s²と、建物基礎(B1F)と大きな差はない。建物の 10 階(10F)の最大加速度は、N164°E 方向で 120 cm/s²、N254°E 方向で 123 cm/s²となっており、建物内での加速度の増幅は大きくはない。

図 4.3-5 に、地表(GL)と基礎(B1F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が 1 階(01F)に対応し、実線が N164°E 方向、破線が N254°E 方向、点線が UP(上下)方向を表す。地表(GL)と基礎(B1F)の擬似速度応答スペクトルは、周期 0.8 秒から 0.9 秒に共通のピークを有しており、地表(GL)の速度応答値は 100 cm/s 近くに達する。しかしながら、基礎(B1F)の擬似速度応答スペクトルは、1.5 秒以下の周期領域で地表(GL)を下回り、0.4 秒前後の周期領域の差が特に顕著である。

図 4.3-6 に、基礎(B1F)の記録の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。水平方向のスペクトル比は 0.4 秒から 0.5 秒の間に深い谷が表れている。

図 4.3-7 は 1 階(01F)の基礎(B1F)に対するフーリエスペクトル比で、免震層の上下の記録を比較したものである。1 秒から 4 秒の間が若干盛り上がり、0.5 秒から 1 秒の周期領域が谷となっている。更に 0.3 秒付近に山があり、免震層の上下で加速度に差がない原因と考えられる。図 4.3-8 は 10 階(10F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比で、上部構造の特性を反映したものである。スペクトル比には、周期 0.7 秒辺りにピークが表れ、上部構造の 1 次固有周期と判断できる。図 4.3-9 は 10 階(10F)の基礎(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比で、免震建物として全体の特性を見たものである。0.7 秒から 0.9 秒の周期に緩やかなピークがあり、全体系の 1 次固有振動と考えられる。また、水平方向の 0.3 秒付近のピークは全体系の 2 次の固有振動に対応しており、その影響が図 4.3-7 にも表れている。全体系の 1 次と 2 次のピークの高さは 3 程度であり、結果として建物の応答は抑制されている。

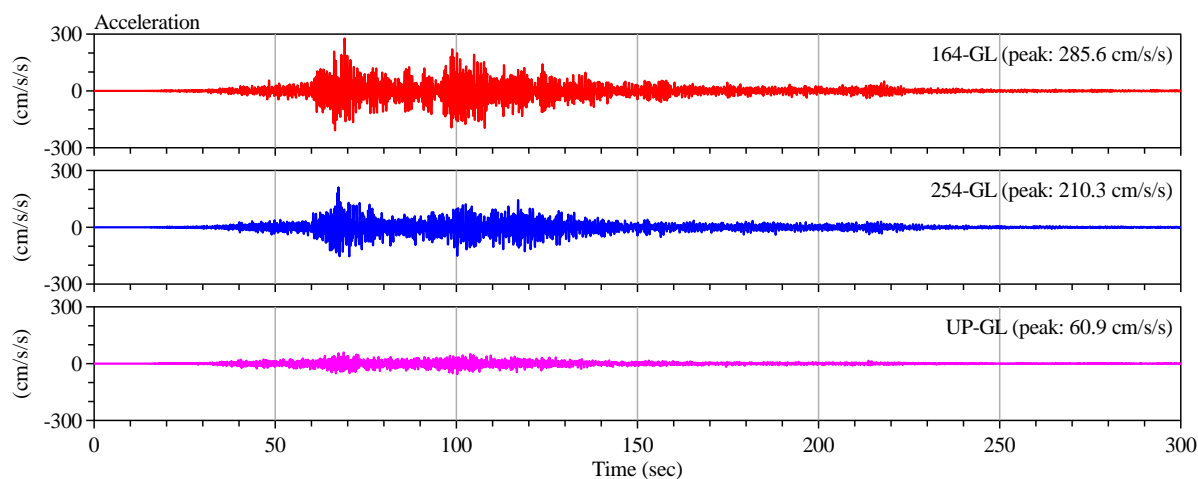


図 4.3-1 地表(GL)の加速度記録

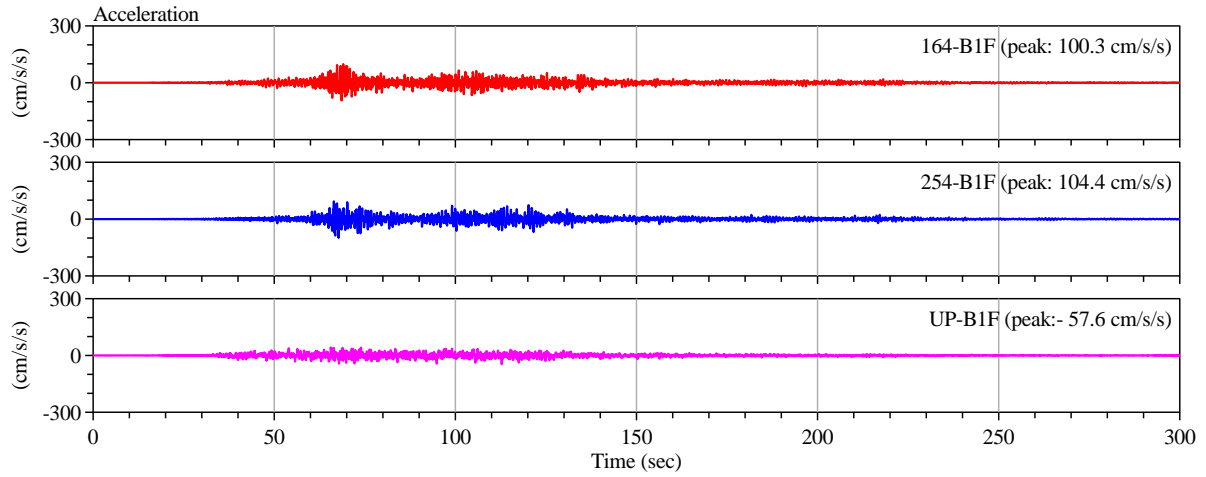


図 4.3-2 基礎上(B1F)の加速度記録

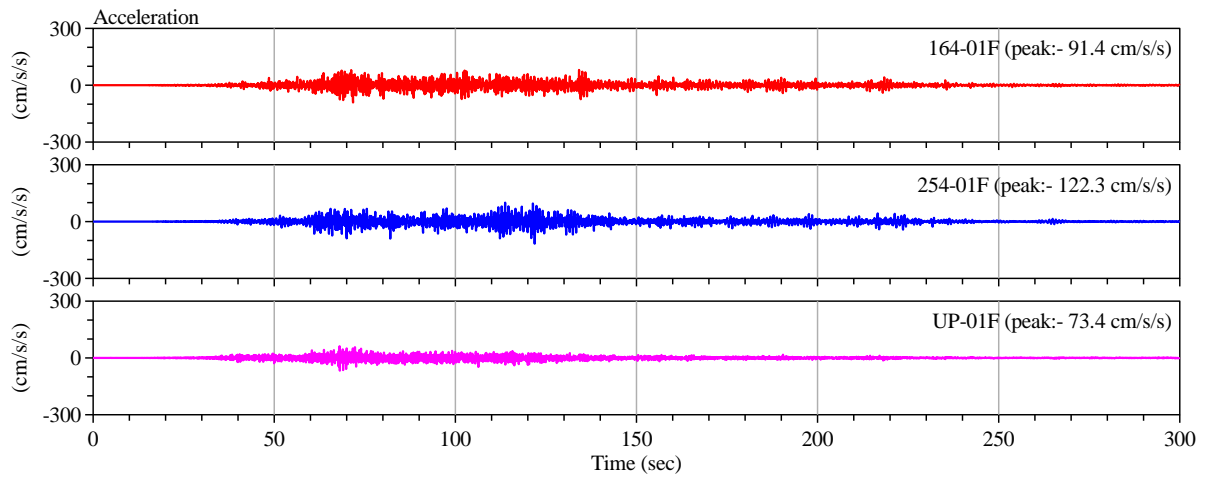


図 4.3-3 1階(01F)の加速度記録

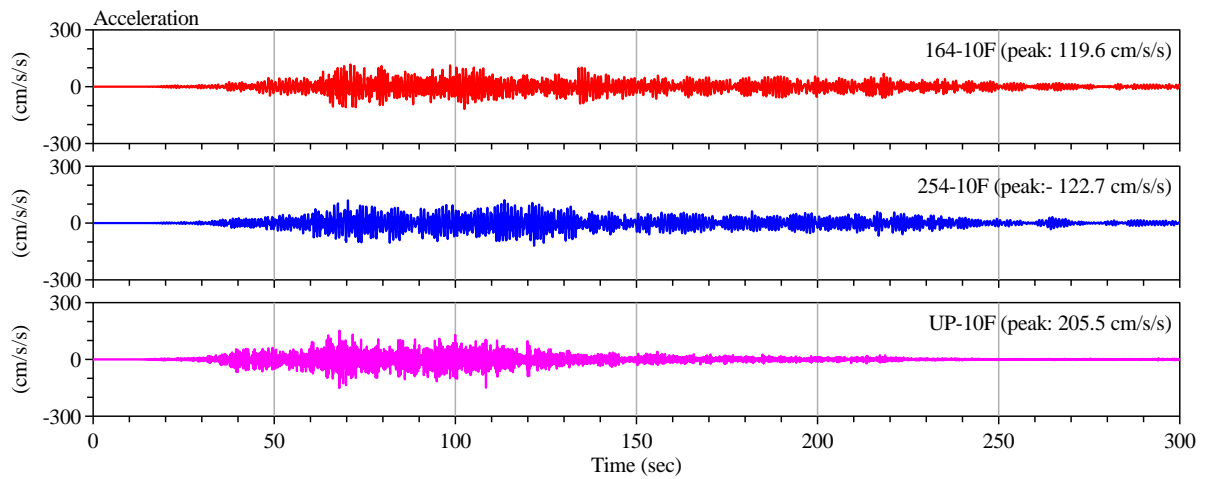


図 4.3-4 10階(10F)の加速度記録

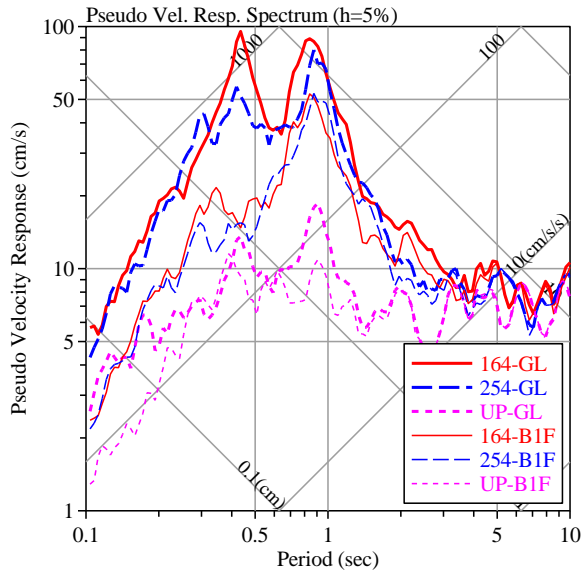


図 4.3-5 地表(GL)と基礎上(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

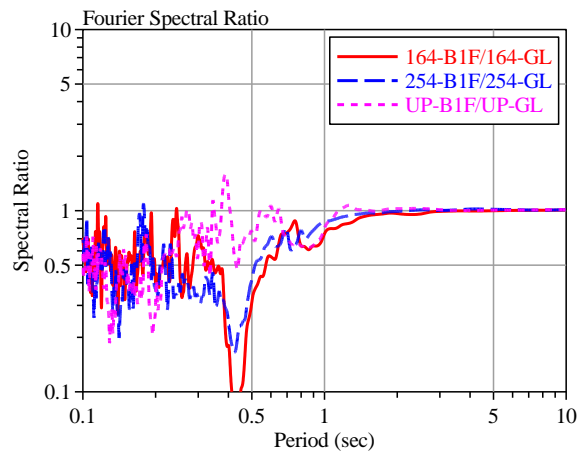


図 4.3-6 基礎上(B1F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

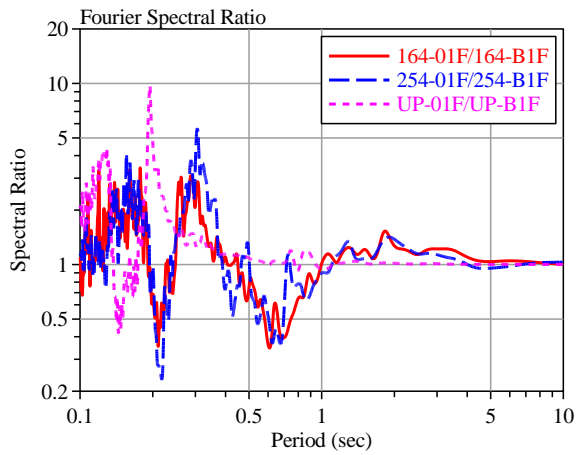


図 4.3-7 1階(01F)の基礎上(B1F)に対するフーリエスペクトル比

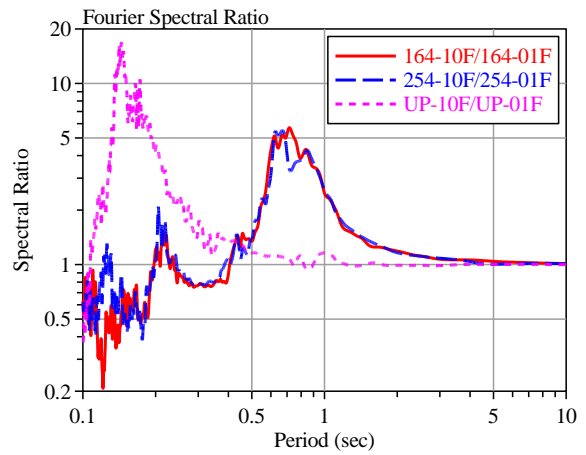


図 4.3-8 10階(10F)の1階(01F)に対するフーリエスペクトル比

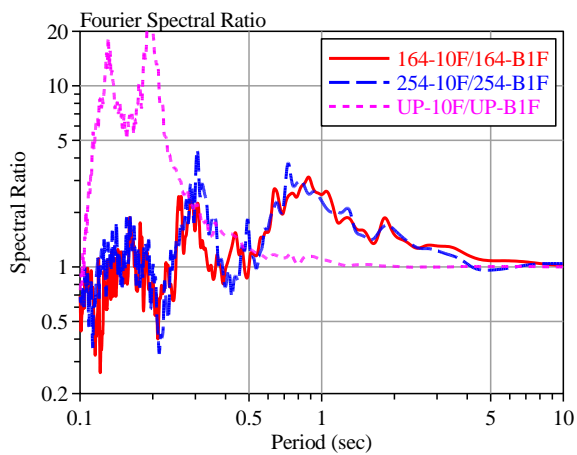


図 4.3-9 10階(10F)の基礎上(B1F)に対するフーリエスペクトル比

4.3.2 つくば市庁舎(TKC)の強震記録

つくば市庁舎は、茨城県つくば市に建つ、地上 7 階建てのプレキャストプレストレストコンクリート造の免震建物である。強震計は、建物基礎(免震層下部、B1F)、1 階(免震層上部、01F)、及び 6 階(06F)に、計 3 台設置している。図 4.3-10 から図 4.3-12 に、基礎(B1F)、1 階(01F)、及び 6 階(06F)で得られた加速度記録を示す。基礎(B1F)の記録から算出した計測震度は 5.2(震度 5 強)であった。基礎(B1F)に比べて 1 階(01F)の水平方向の最大加速度は、1/3 以下に低減されており、免震装置の効果と考えられる。6 階(06F)の最大加速度は 1 階(01F)に比べて若干大きくなっているが、その値は 1.4 倍から 1.2 倍程度である。

図 4.3-13 に、基礎(B1F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N004°E 方向、破線が N094°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。3.5 秒辺りの周期にピークが表れ、また、0.5 秒から 1.5 秒の周期領域で応答速度が 50 cm/s を超えている。同じつくば市内の、教員研修センター(NCTD)や建築研究所(ANX)の記録とも少々様相が異なる。

図 4.3-14 は 1 階(01F)の基礎(B1F)に対するフーリエスペクトル比で、免震層の上下の記録を比較したものである。2 秒辺りで若干盛り上がり、0.5 秒付近が深い谷となっている。図 4.3-15 は 6 階(06F)の 1 階(01F)に対するフーリエスペクトル比で、上部構造の特性を反映したものである。0.45 秒辺りに両方向とも明瞭なピークを有し、上部構造の 1 次固有周期と判断できる。図 4.3-16 は 6 階(06F)の基礎(B1F)に対するフーリエスペクトル比で、免震建物として全体の特性を見たものである。2 秒前後に周期に緩やかな山があり、全体系の 1 次固有振動と考えられる。上部構造の応答はほとんど増幅していない。

基礎(B1F)と 6 階(06F)の加速度記録を積分して求めた変位記録(絶対変位)を、図 4.3-17 と図 4.3-18 に示す。基礎(B1F)の変位は 100 秒から 150 秒過ぎの時間で大きく、最大変位は両水平方向とも 10 cm を超える。免震装置と建物の変位が加わった 6 階(06F)の変位の最大値は、水平方向で 13 cm から 11 cm と、基礎(B1F)と比べてそれほど大きくなっていない。図 4.3-19 と図 4.3-20 は、それぞれ基礎(B1F)と 6 階(06F)の変位記録の水平面内軌跡を、20 秒ごとに描画したものである。6 階(06F)の変位軌跡は基礎(B1F)より振幅が大きめだが、両者の様相はよく似ている。

図 4.3-21 に 1 階(01F)の基礎(B1F)に対する相対変位の時刻歴を、図 4.3-22 にその水平面内軌跡示す。1 階(01F)の変位から基礎(B1F)の変位を引いたもので、免震層の変位に相当する。免震層の最大変位は、N094°E 方向で 6 cm ほどで、水平面内でみると南東方向の 6.8 cm となる。

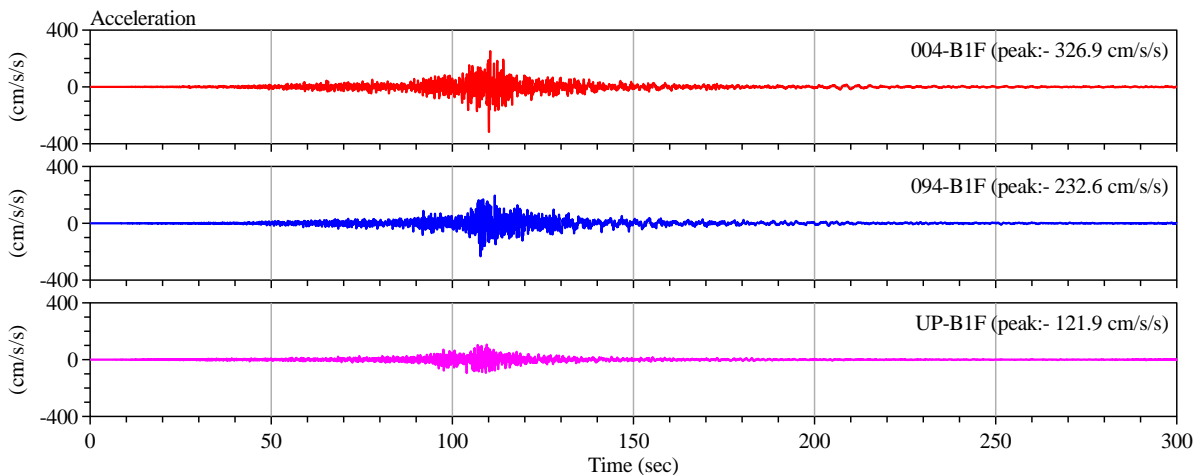


図 4.3-10 基礎(B1F)の加速度記録

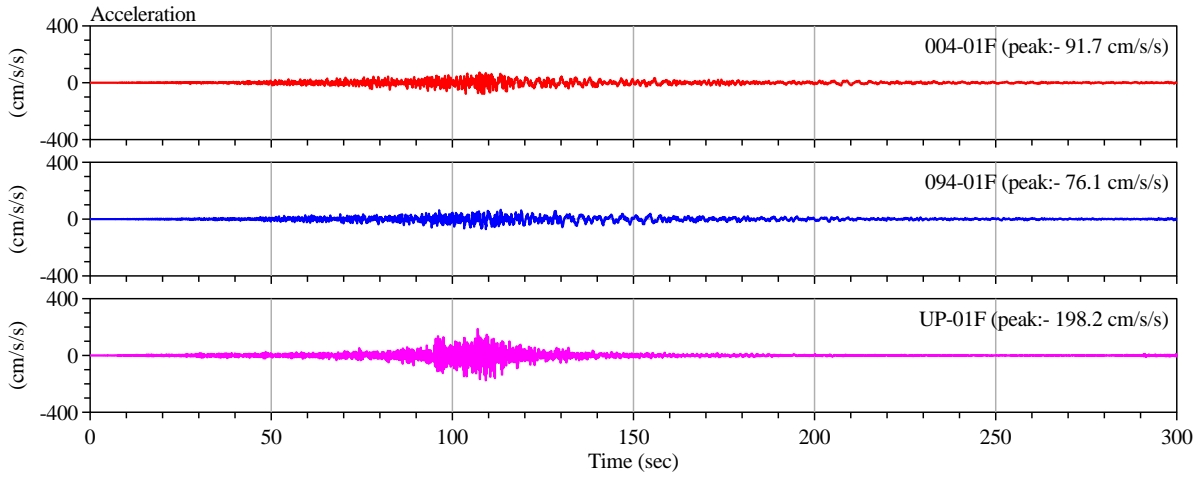


図 4.3-11 1階(01F)の加速度記録

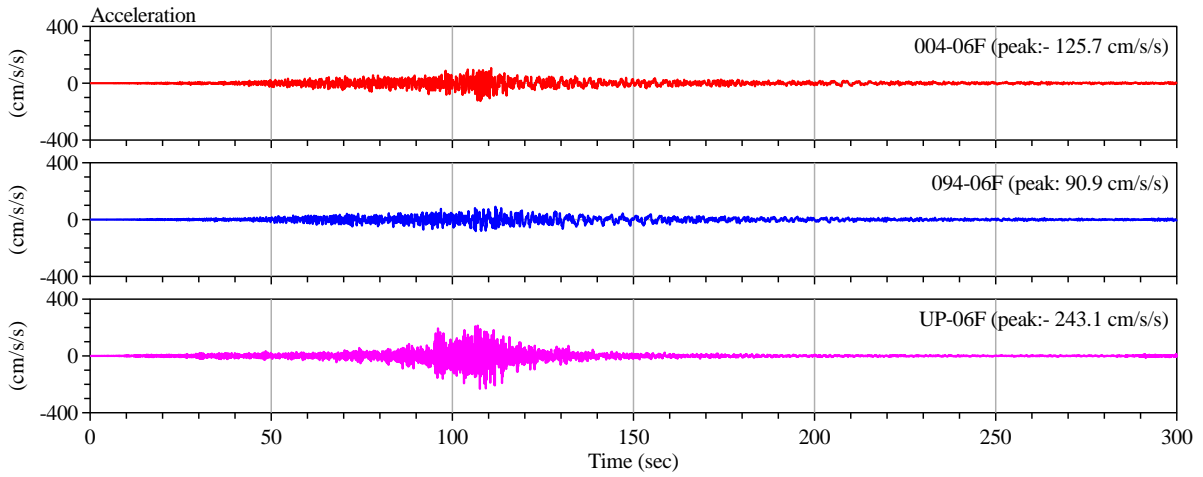


図 4.3-12 6階(06F)の加速度記録

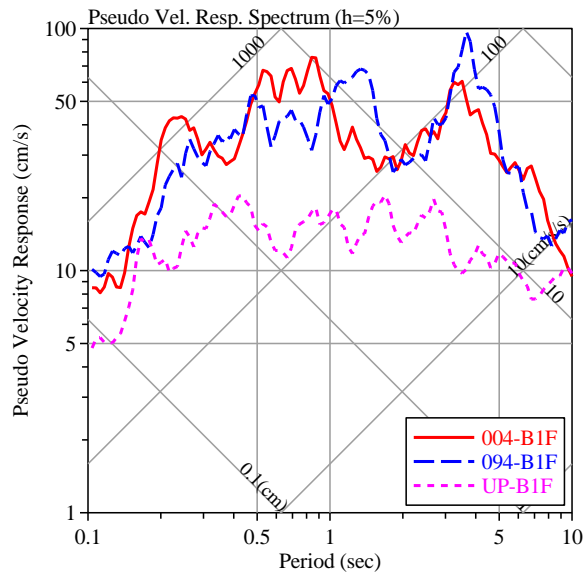


図 4.3-13 基礎上(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

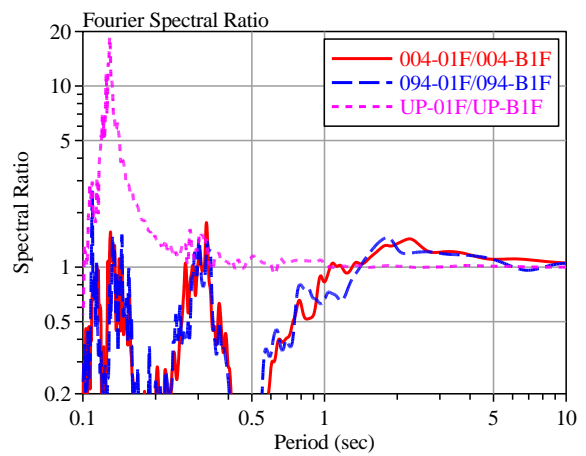


図 4.3-14 1階(01F)の基礎上(B1F)に対するフーリエスペクトル比

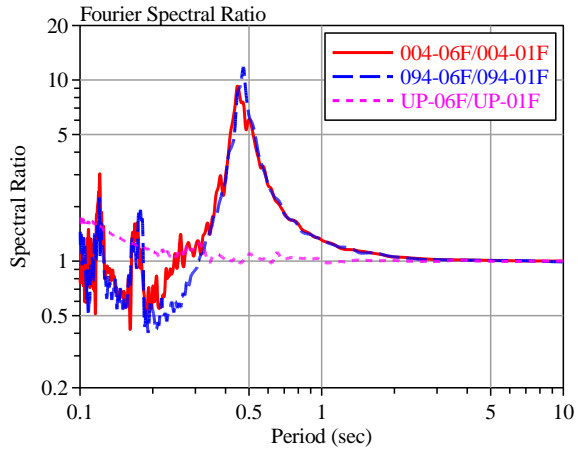


図 4.3-15 6階(06F)の1階(01F)に対するフーリエスペクトル比

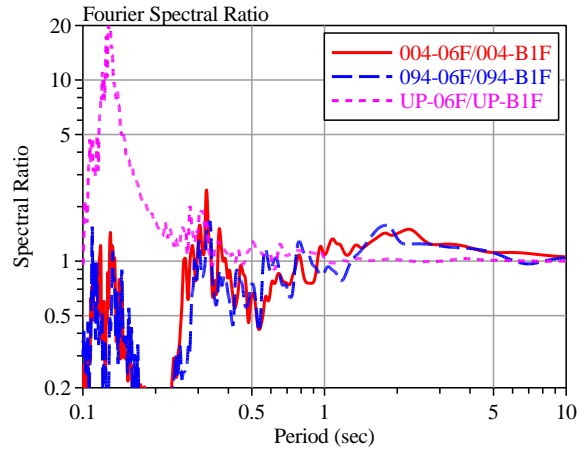


図 4.3-16 6階(06F)の基礎上(B1F)に対するフーリエスペクトル比

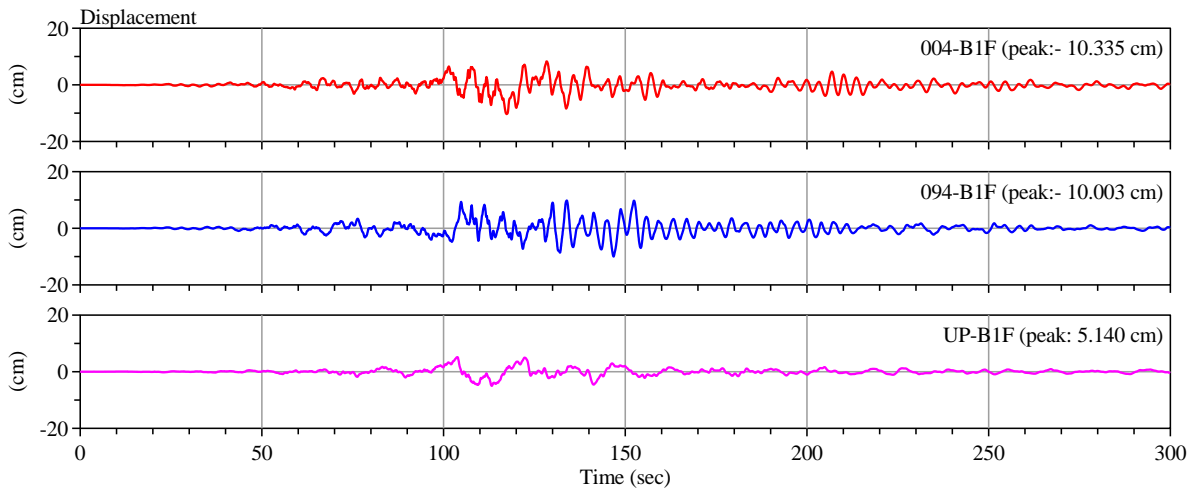


図 4.3-17 基礎上(B1F)の変位記録

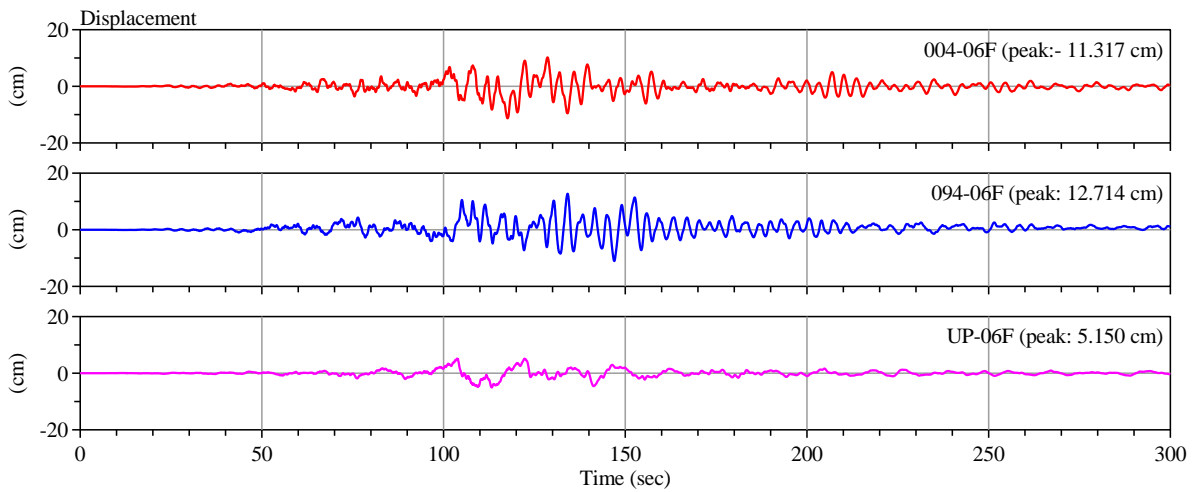


図 4.3-18 6階(06F)の変位記録

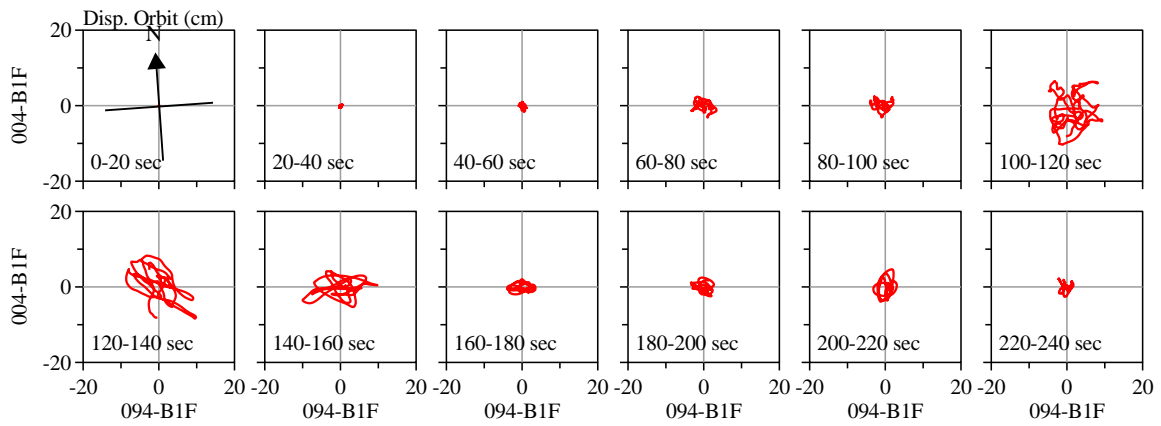


図 4.3-19 基礎上(B1F)の変位の水平面内軌跡

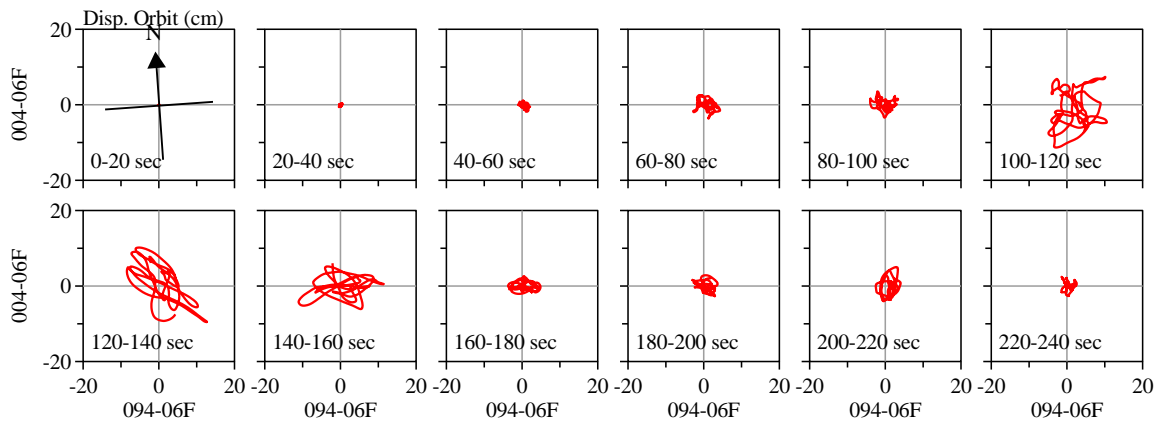


図 4.3-20 6階(06F)の変位の水平面内軌跡

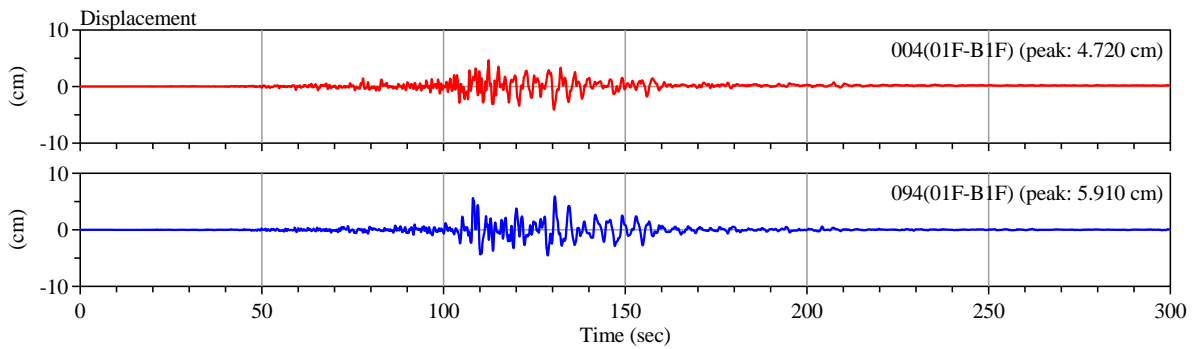


図 4.3-21 1階(01F)の基礎上(B1F)に対する相対変位(免震層変位)

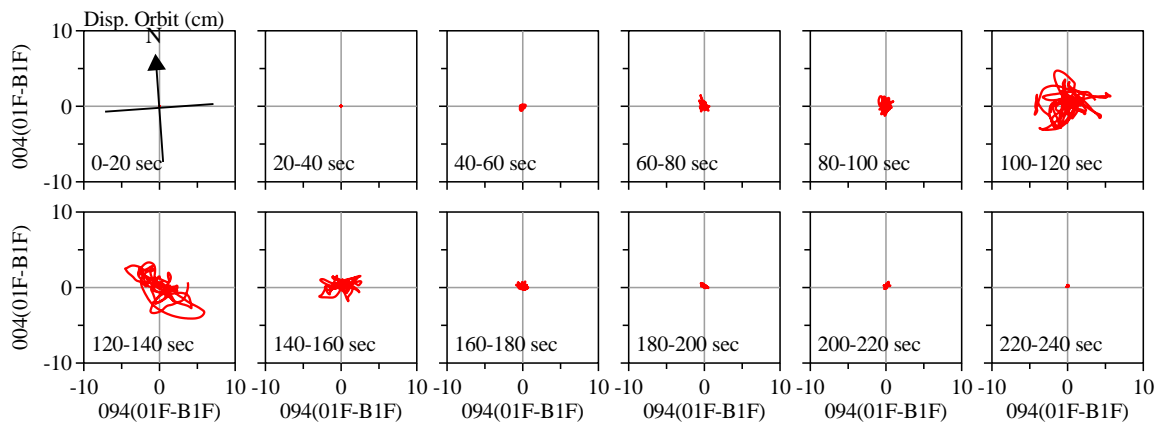


図 4.3-22 1階(01F)の基礎上(B1F)に対する相対変位(免震層変位)の水平面内軌跡

4.3.3 国立西洋美術館(NMW)の強震記録

国立西洋美術館は、東京都台東区に位置する、地上3階地下1階の鉄筋コンクリート造の免震建物である。強震計は地表(GL)1台、建物の基礎上に2台(B1FWとB1FE)、1階床梁下に2台(O1FWとO1FE)、及び屋上階(04F)に1台の、計6台の加速度計を有している^{4,3)}。図4.3-23から図4.3-26に地表(GL)、建物基礎(B1FW)、1階(O1FW)、及び屋上階(04F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の最大加速度は、N218°E方向で265 cm/s²、N308°E方向で194 cm/s²となっており、地表(GL)の記録から算出した計測震度は、4.8(震度5弱)であった。建物基礎上(B1FW)の最大加速度は、それぞれ100 cm/s²と79 cm/s²となっており、地表(GL)に比べていずれも4割ほどに減少している。1階(O1FW)の最大加速度は、N218°E方向で76 cm/s²、N308°E方向で89 cm/s²となっており、屋上階(04F)の最大加速度は、それぞれ100 cm/s²、76 cm/s²となっている。最大加速度で見ると、建物基礎(B1FW)から屋上階(04F)までの大きな増幅は認められない。

図4.3-27に、地表(GL)と基礎上(B1FW)の記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が基礎上(B1FW)に対応し、実線がN218°E方向、破線がN308°E方向、点線がUP(上下)方向に対応する。地表(GL)の擬似速度応答スペクトルは、周期0.2秒から10秒にかけての広い周期範囲で平坦な形状を示しており、平均的な速度応答値は30 cm/s程度である。

図4.3-28に、基礎上(B1FW)の記録の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。1秒から周期が短くなるにつれてスペクトル比は低下し、0.2秒から0.3秒で谷となっている。

図4.3-29は1階(O1FW)の基礎上(B1FW)に対するフーリエスペクトル比で、免震層の上下の記録を比較したものである。1.4秒付近に山があり、0.3秒から0.5秒の周期領域が深い谷となっている。図4.3-30は屋上階(04F)の1階(O1FW)に対するフーリエスペクトル比で、上部構造の特性を反映したものである。ピークの形状は少々複雑だが、0.3秒から0.4秒に上部構造の1次固有周期があると考えられる。図4.3-31は屋上階(04F)の基礎上(B1FW)に対するフーリエスペクトル比で、免震建物として全体の特性を見たものである。両水平方向ともスペクトル比の1.4秒付近に山があり、全体系の1次固有振動と考えられる。

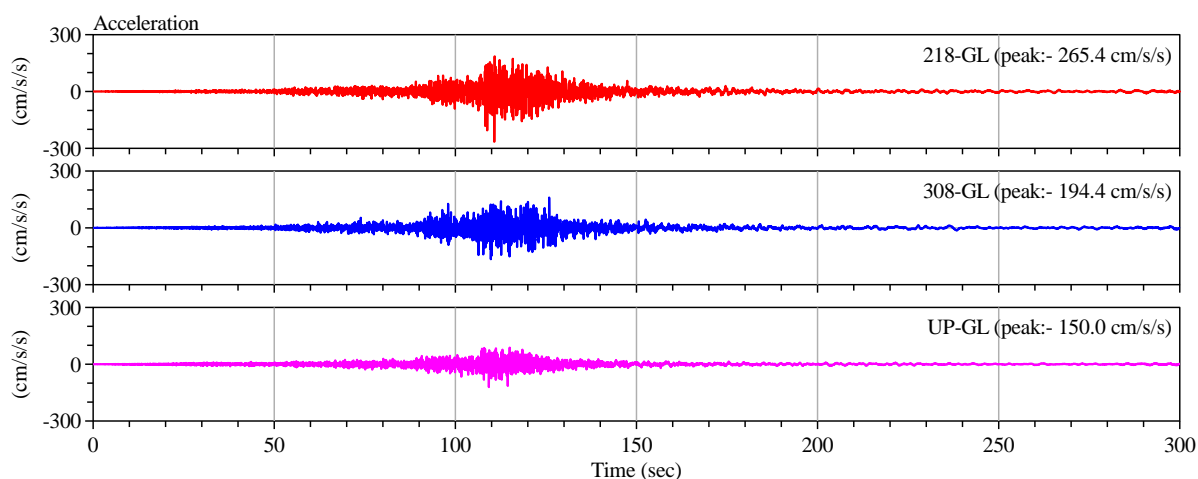


図 4.3-23 地表(GL)の加速度記録

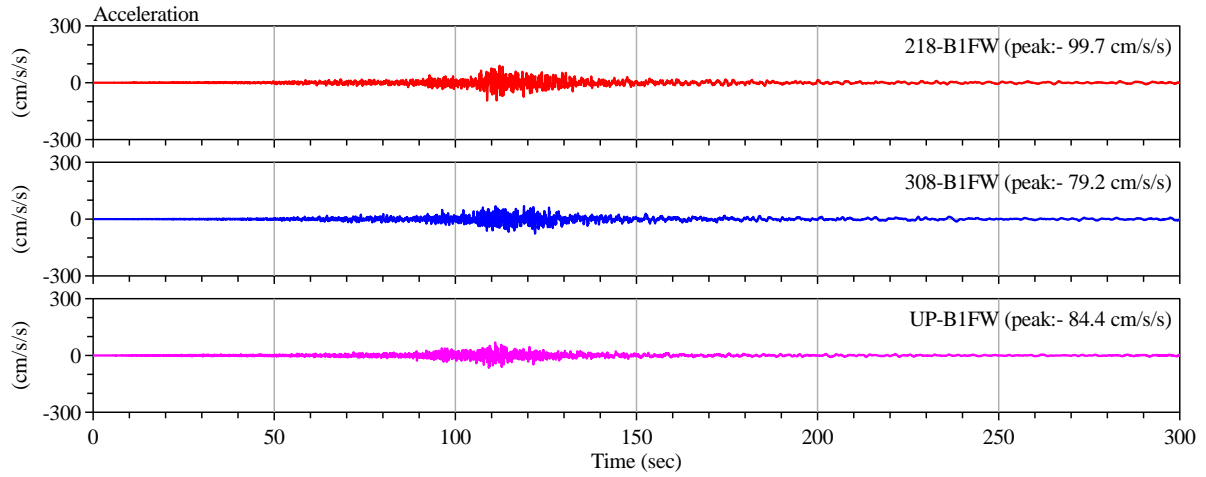


図 4.3-24 基礎上(B1FW)の加速度記録

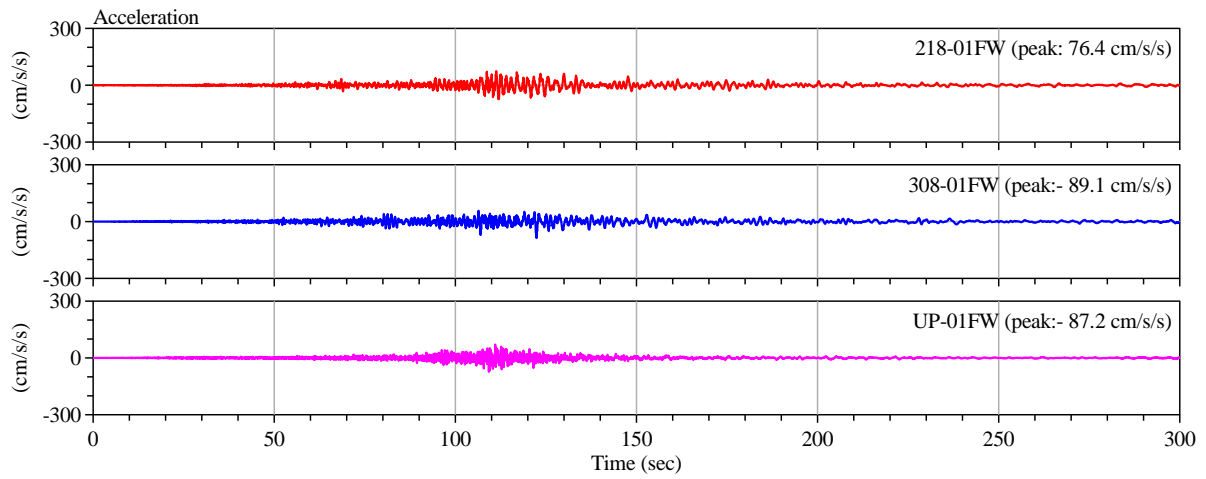


図 4.3-25 1階(01FW)の加速度記録

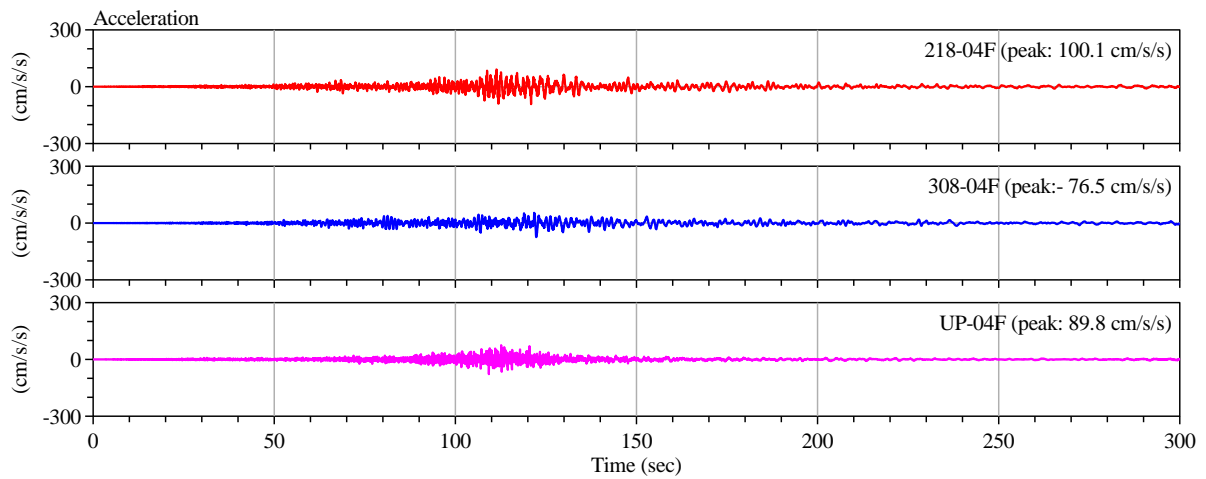


図 4.3-26 屋上階(04F)の加速度記録

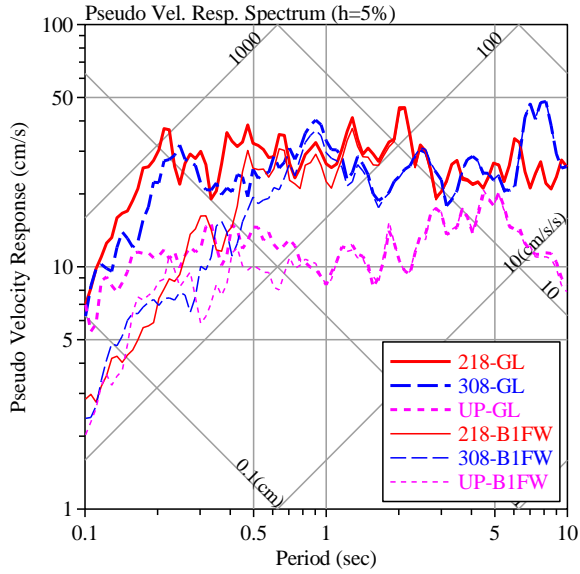


図 4.3-27 地表(GL)と基礎上(B1FW)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

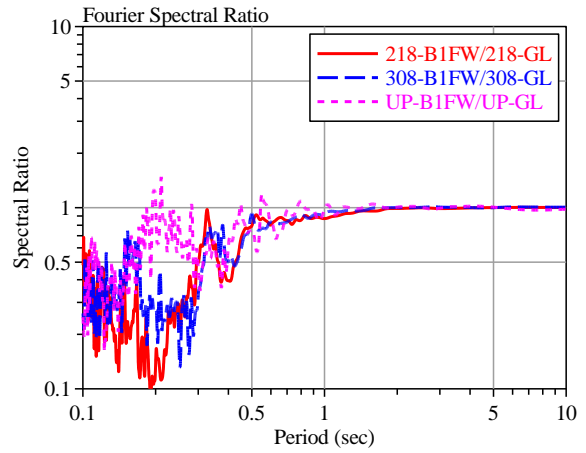


図 4.3-28 基礎上(B1FW)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

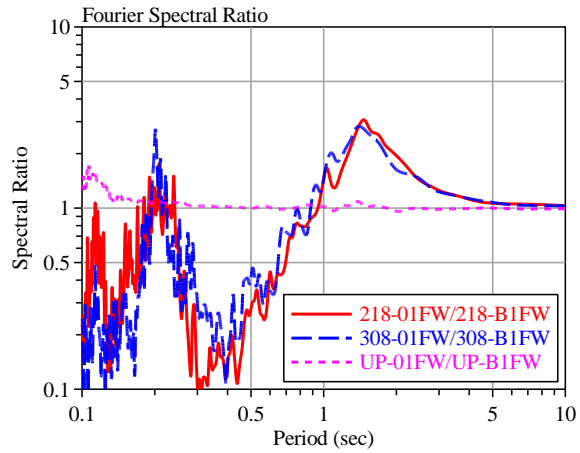


図 4.3-29 1階(01FW)の基礎上(B1FW)に対するフーリエスペクトル比

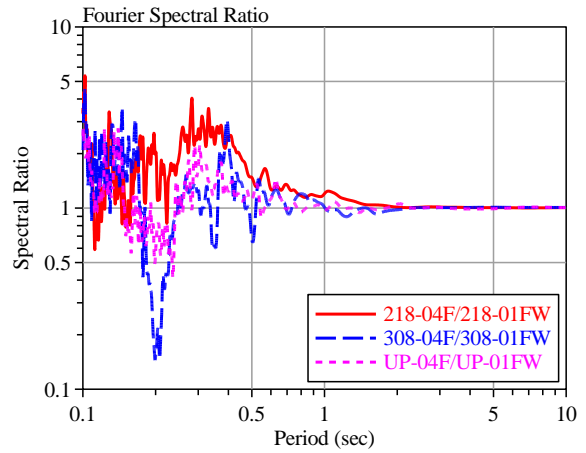


図 4.3-30 屋上階(04F)の1階(01FW)に対するフーリエスペクトル比

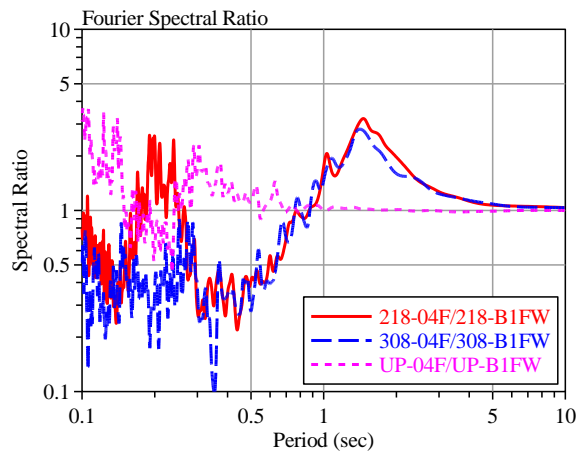


図 4.3-31 屋上階(04F)の基礎上(B1FW)に対するフーリエスペクトル比

4.3.4 中央合同庁舎 3 号館(CG3)の強震記録

中央合同庁舎 3 号館は、東京都千代田区に建つ、地上 7 階地下 2 階の鉄骨鉄筋コンクリート造の免震建物である。強震計は、免震層下部基礎上(B3F)、免震層上部(地下 2 階相当、B2F)、及び塔屋 1 階(08F)に、計 3 台の加速度計を有する。図 4.3-32 から図 4.3-34 に、基礎上(B3F)、地下 2 階(B2F)、及び塔屋 1 階(08F)にて得られた加速度記録を示す。基礎上(B3F)の水平方向の最大加速度は 100 cm/s^2 前後で、基礎上(B3F)の記録から算出した計測震度は、4.5(震度 5 弱)であった。免震層の上にあたる地下 2 階(B2F)の水平方向の最大加速度は 50 cm/s^2 前後で、基礎上(B3F)の半分程度に低減されている。また、塔屋 1 階(08F)の水平方向の最大加速度は、 100 cm/s^2 に満たない。

図 4.3-35 に、基礎上(B3F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N208°E 方向、破線が N298°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.5 秒から長周期側で漸増する傾向があり、N208°E 方向では 3.2 秒、N298°E 方向では 6.7 秒で最大となり、速度応答値が 40 cm/s を超えている。

図 4.3-36 は地下 2 階(B2F)の基礎上(B3F)に対するフーリエスペクトル比で、免震層の上下の記録を比較したものである。スペクトル比は 2 秒辺りで若干盛り上がり、0.8 秒から 0.9 秒付近が深い谷となっている。図 4.3-37 は塔屋 1 階(08F)の地下 2 階(B2F)に対するフーリエスペクトル比で、上部構造の特性を反映したものである。0.85 秒前後に両水平方向とも明瞭なピークを有し、上部構造の 1 次固有周期と判断できる。図 4.3-38 は塔屋 1 階(08F)の基礎上(B3F)に対するフーリエスペクトル比で、免震建物として全体の特性を見たものである。1 秒から 2 秒にかけての緩やかな山が全体系の 1 次固有振動に対応すると考えられる。

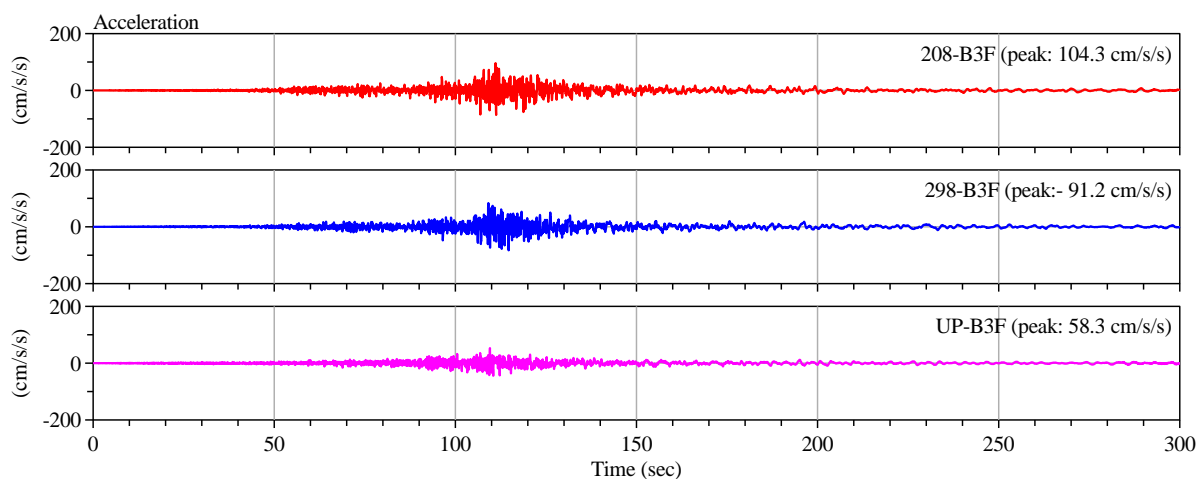


図 4.3-32 基礎上(B3F)の加速度記録

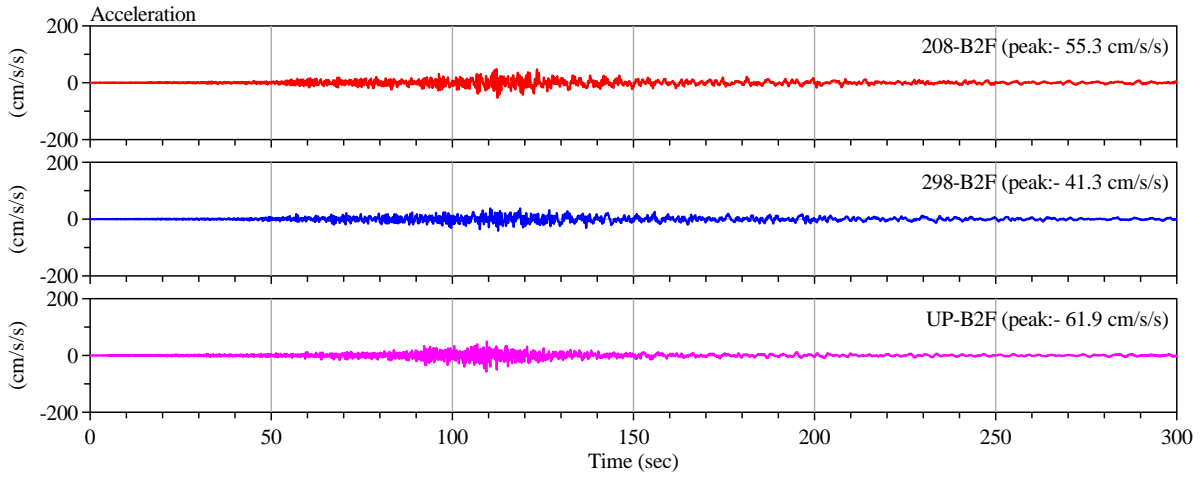


図 4.3-33 地下 2 階(B2F)の加速度記録

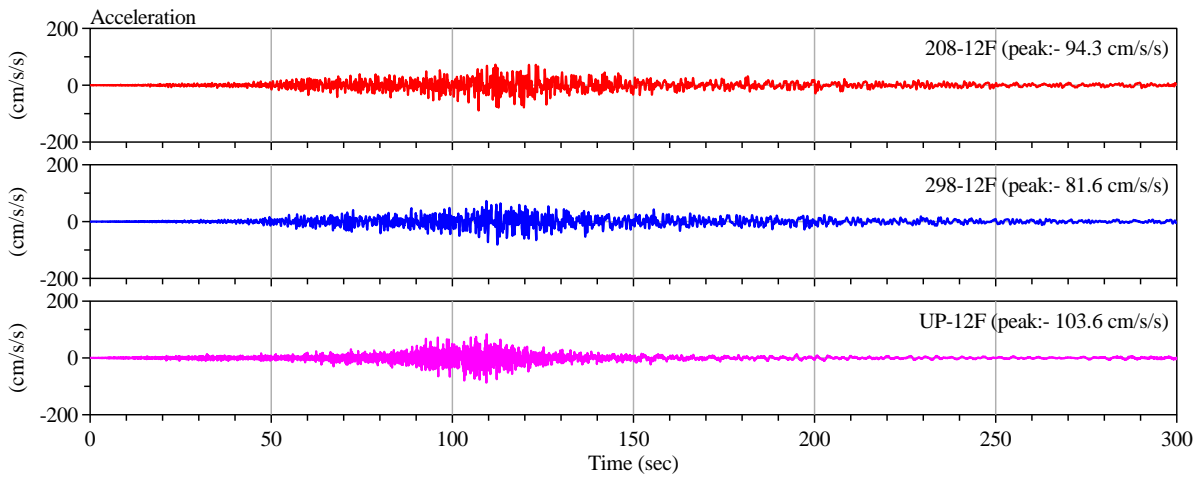


図 4.3-34 塔屋 1 階(12F)の加速度記録

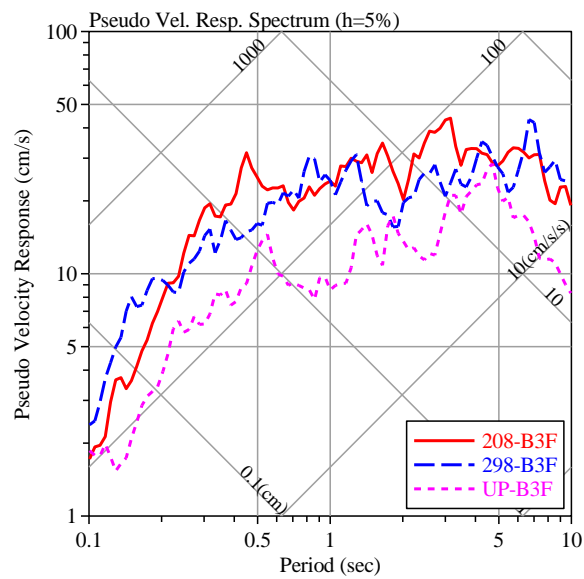


図 4.3-35 基礎上(B3F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

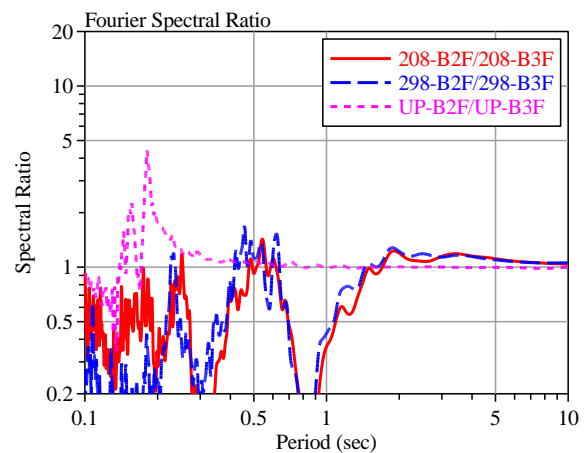


図 4.3-36 地下 2 階(B2F)の基礎上(B3F)に対するフーリエスペクトル比

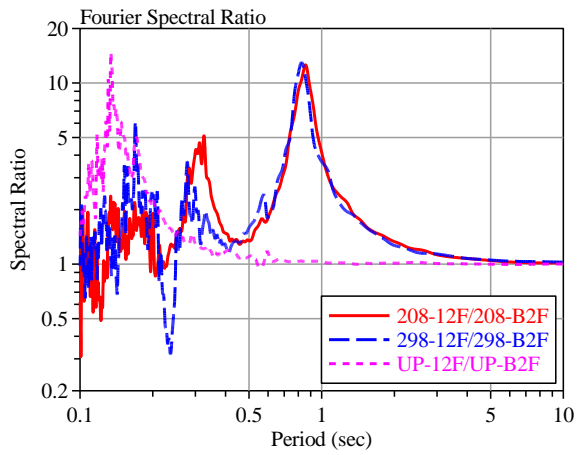


図 4.3-37 塔屋 1 階(12F)の地下 2 階(B2F)に対するフーリエスペクトル比

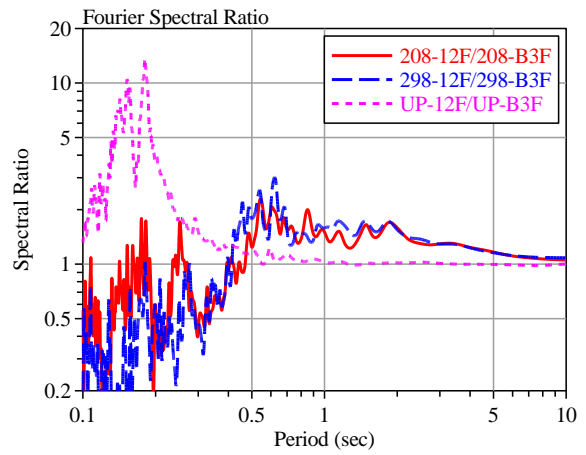


図 4.3-38 塔屋 1 階(12F)の基礎上(B3F)に対するフーリエスペクトル比

4.4 地表に加速度計を有する建物の強震記録

本節では、超高層や免震以外の建物のうち、地表に加速度計を設置している建物で、地表で観測された震度が5弱以上の建物の強震記録を取り扱う。対象となる建物を表4.4-1に示す。震度をみると、震度5強が6棟、震度5弱が6棟となっている。これらの建物では、上部構造の振動特性に加え、地表と建物基礎部の記録を比較することにより、地盤と建物の動的相互作用の影響を検討することができる。4.4.1項以降に、各建物で得られた強震観測記録を示す。

表 4.4-1 対象建物一覧

項	記号	観測地点	計測震度	構造/階数	特徴
4.4.1	MYK	宮古市庁舎	4.8	RC/7F	地震後に津波で被災
4.4.2	NCTD	教員研修センター	5.4	RC/7F	
4.4.3	ANX	建築研究所	5.3	SRC/8F+B1F	RC壁や仕上げ、エキスパンションジョイントに被害
4.4.4	YCY	八千代市庁舎新館	5.3	RC/6F+B1F	
4.4.5	NIT	日本工業大学	5.1	RC/6F	
4.4.6	MST	三郷市庁舎	4.9	SRC/7F+B1F	
4.4.7	FNB	船橋市総合教育センター	4.7	RC/8F	
4.4.8	CHB	千葉第2合同庁舎	4.9	SRC/8F+B1F	
4.4.9	TDS	戸田市庁舎	5.0	SRC/8F+B1F	
4.4.10	UTK	東京大学工学部11号館	4.7	SRC/9F	
4.4.11	TUF	東京海洋大学品川国際交流会館	5.0	SRC/7F	
4.4.12	KDI	国土交通大学校	4.6	RC/3F	

注) 構造/階数: 構造はRCが鉄筋コンクリート造、SRCが鉄骨鉄筋コンクリート造を表す。階数は地上階+地下階。

4.4.1 宮古市庁舎(MYK)の強震記録

宮古市庁舎は、岩手県宮古市に位置する、地上 7 階建ての鉄筋コンクリート造建物である。強震計は敷地内地表(GL)、建物の 1 階(01F)、及び 7 階(07F)に、計 3 台の加速度計を有している。図 4.4-1 から図 4.4-3 に地表(GL)、1 階(01F)、及び 7 階(07F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は両方向とも 174 cm/s^2 となっており、地表(GL)の記録から算出した計測震度は 4.8(震度 5 弱)であった。一方、1 階(01F)の最大加速度は、 $\text{N}167^\circ\text{E}$ 方向で 138 cm/s^2 、 $\text{N}257^\circ\text{E}$ 方向で 122 cm/s^2 となっており、地表(GL)と比較して 8 割から 7 割に減少している。建物 7 階(07F)の最大加速度は、 $\text{N}167^\circ\text{E}$ 方向で 246 cm/s^2 、 $\text{N}257^\circ\text{E}$ 方向で 197 cm/s^2 と、1 階(01F)の最大加速度の 1.8 倍から 1.6 倍となっている。また、地表(GL)の上下方向の加速度記録には、時刻 50 秒に大振幅の周期の短い波動が表れ最大加速度は 240 cm/s^2 に及んでいる。この波動は建物の中にも伝わって 7 階(07F)の最大加速度は 359 cm/s^2 に達している。

図 4.4-4 に、地表(GL)と 1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が 1 階(01F)に対応し、実線が $\text{N}167^\circ\text{E}$ 方向、破線が $\text{N}257^\circ\text{E}$ 方向、点線が UP(上下)方向を表す。いずれの記録の擬似速度応答スペクトルも、周期 1.2 秒辺りに応答速度が 70 cm/s に達するピークを有するが、他の周期領域では応答速度が 20 cm/s 前後と大きな値ではない。1 階(01F)と地表(GL)は 1 秒以下の短周期領域で違いが表れている。

1 階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-5 に示す。相互作用を含んだ 1 次固有周期(0.7 秒)辺りでスペクトル比は 1 を上回り、それより短い周期領域のスペクトル比は 1 を下回っている。ちなみに、上部構造のアスペクト比は、 $\text{N}167^\circ\text{E}$ 方向で 0.6、 $\text{N}257^\circ\text{E}$ 方向で 1.1 である。

図 4.4-6 と図 4.4-7 に、7 階(07F)の記録の地表(GL)と 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。7 階(07F)/1 階(01F)のフーリエ振幅スペクトル比(図 4.4-7)をみると、 $\text{N}167^\circ\text{E}$ 方向で 0.45 秒、 $\text{N}257^\circ\text{E}$ 方向で 0.59 秒に一次固有周期に対応するピークが表れるが、7 階(07F)/地表(GL)のフーリエ振幅スペクトル比(図 4.4-6)ではそれぞれ 0.73 秒と 0.71 秒に延びており、その差は地盤と建物の動的相互作用の影響が表れたものと考えられる。

なお、その後到来した津波によって庁舎は 2 階まで冠水し、地表と 1 階の加速度計は機能を失った。

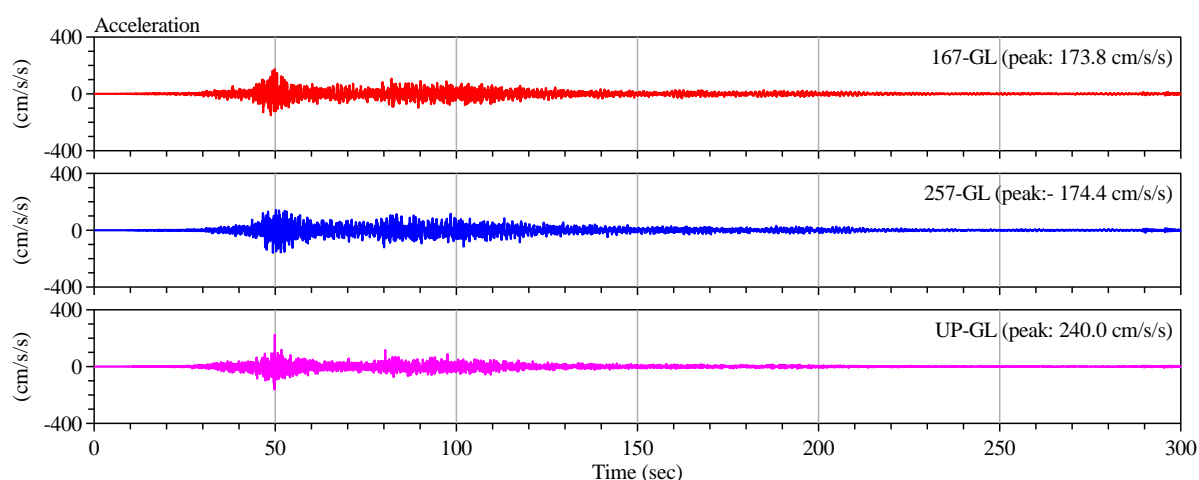


図 4.4-1 地表(GL)の加速度記録

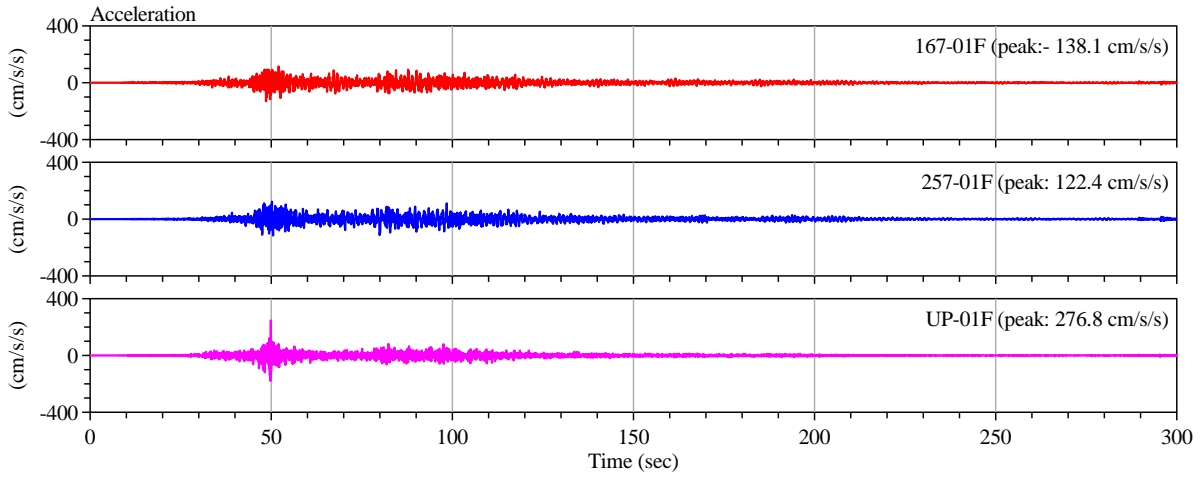


図 4.4-2 1 階(01F)の加速度記録

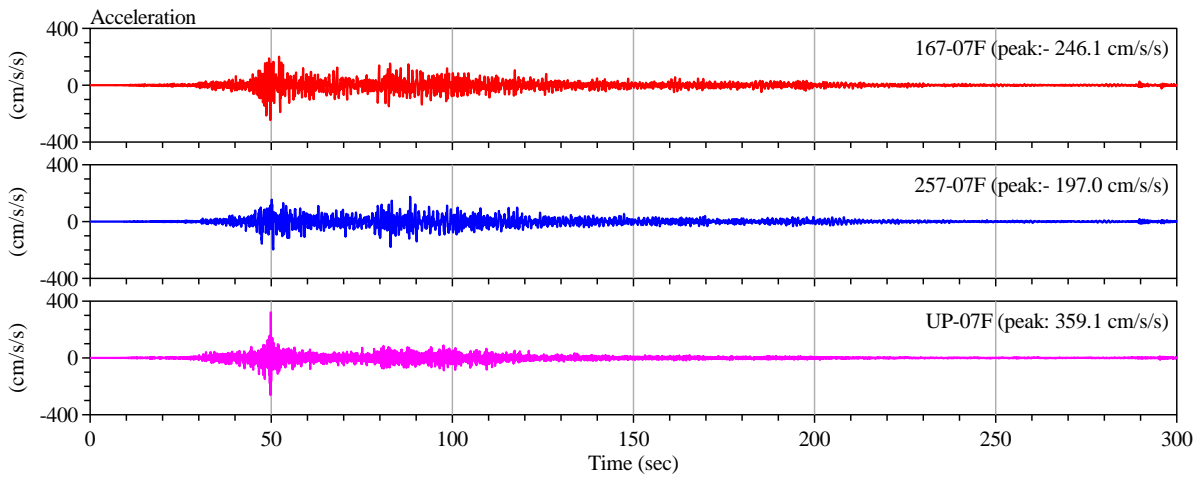


図 4.4-3 7 階(07F)の加速度記録

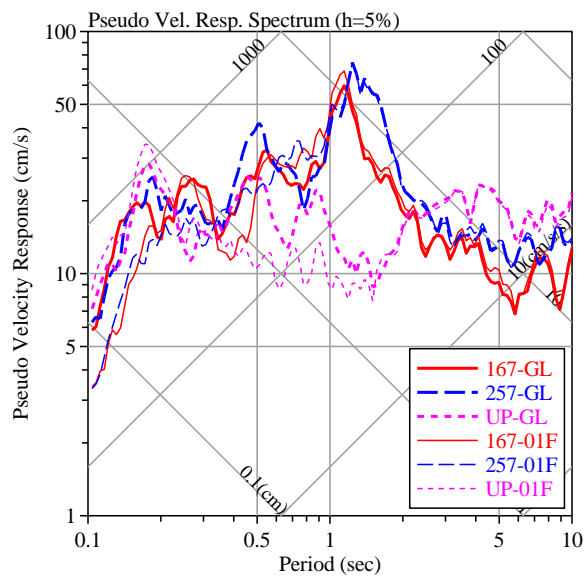


図 4.4-4 地表(GL)と 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

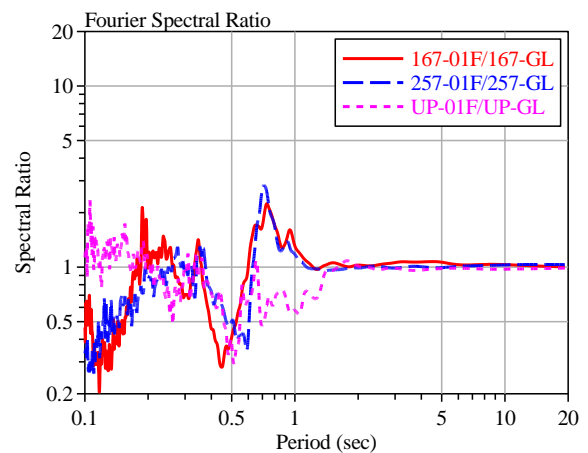


図 4.4-5 1 階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

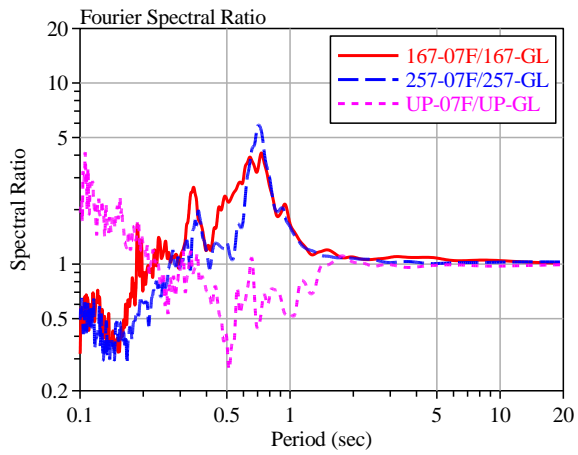


図 4.4-6 7階(07F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

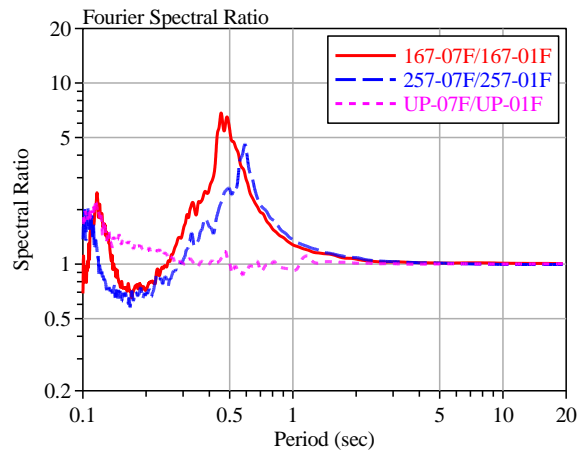


図 4.4-7 7階(07F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.2 教員研修センター(NCTD)の強震記録

教員研修センターは茨城県つくば市に位置し、強震観測の対象は地上 8 階建ての鉄筋コンクリート造の宿泊棟である。強震計は、地表(GL)、建物の 1 階に 3 台(1FE, 1FEs, 1FS)、8 階に 2 台(8FE, 8FW)の計 6 台設置されている⁴⁴⁾。建物は短辺(N350°E)方向が 9.6 m、長辺(N040°E)方向が 54.7 m と非常に細長い形状をしている。図 4.4-8 から図 4.4-10 に地表(GL)、1 階(1FE)、及び 8 階(8FE)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は両方向とも 370 cm/s²を超えており、地表の記録から算出した計測震度は 5.4(震度 5 強)であった。1 階(1FE)の加速度記録を見ると、N350°E 方向の最大加速度は 296 cm/s²と地表に比べ 8 割ほどに減少しているが、N080°E 方向の最大加速度は 374 cm/s²と地表と大きな差はない。8 階(8FE)の最大加速度は、N350°E 方向で 798 cm/s²、N080°E 方向で 593 cm/s²と、1 階(1FE)の 2.6 倍から 1.6 倍の値を示している。

図 4.4-11 に、地表(GL)と 1 階(1FE)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が 1 階(1FE)に対応し、実線が N350°E 方向、破線が N080°E 方向、点線が UP(上下)方向を表す。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、周期 1.3 秒と 3 秒に顕著なピークを有しており、N080°E 方向の周期 1.3 秒の応答は 100 cm/s を超えている。1 階(1FE)と地表(GL)の擬似速度応答スペクトルは 1 秒以上の周期領域ではほぼ一致しているが、1 秒以下の短周期領域では違いが表れている。

1 階(1FE)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-12 に示す。山谷の多い複雑な形状をしており、入力の低減効果は明瞭ではない。図 4.4-13 と図 4.4-14 に、8 階(8FE)の記録の地表(GL)と 1 階(1FE)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。N080°E 方向では、地盤と建物の相互作用による周期の伸びと減衰の増大が窺えるが、N350°E 方向の特性は複雑である。

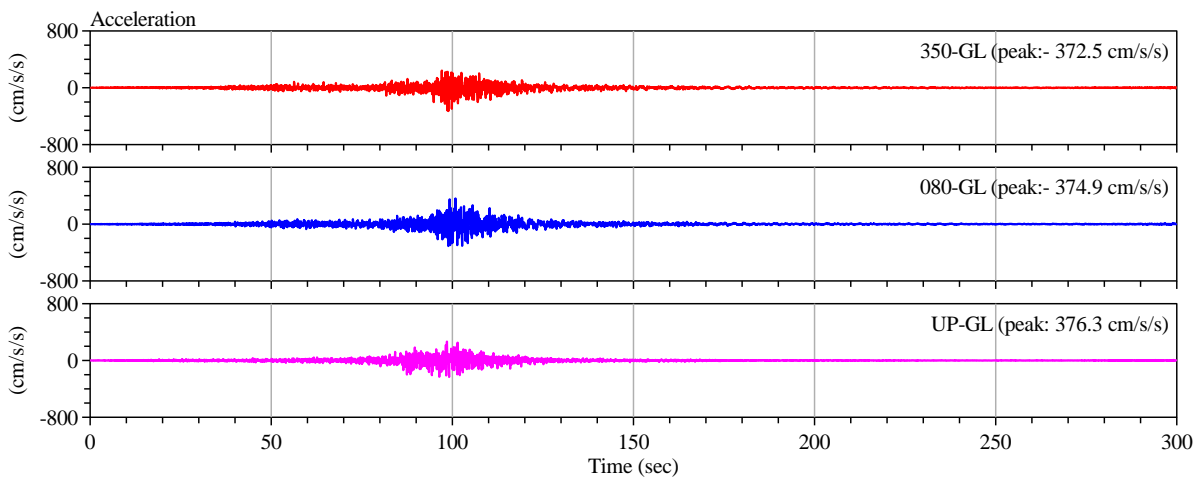


図 4.4-8 地表(GL)の加速度記録

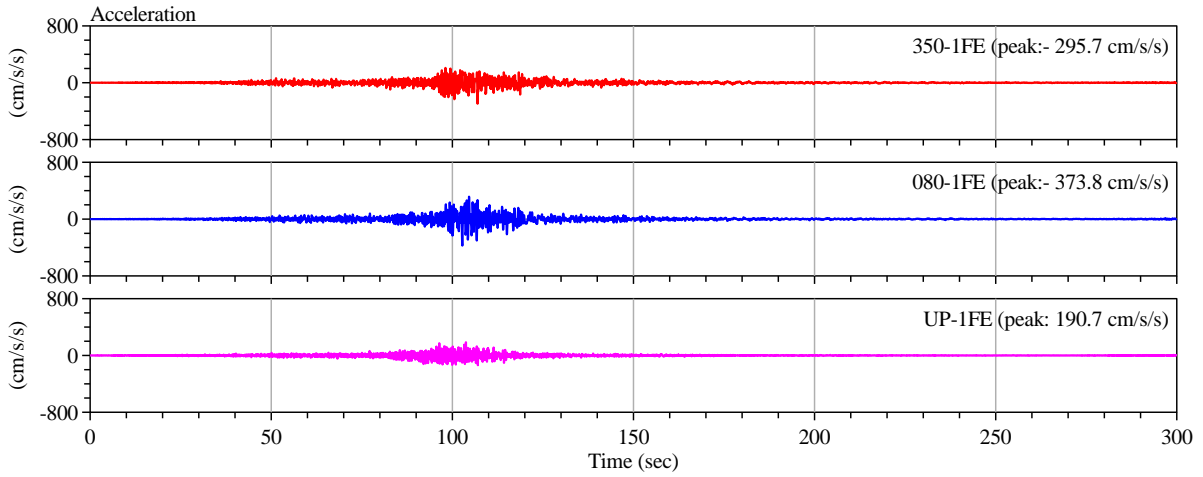


図 4.4-9 1階(1FE)の加速度記録

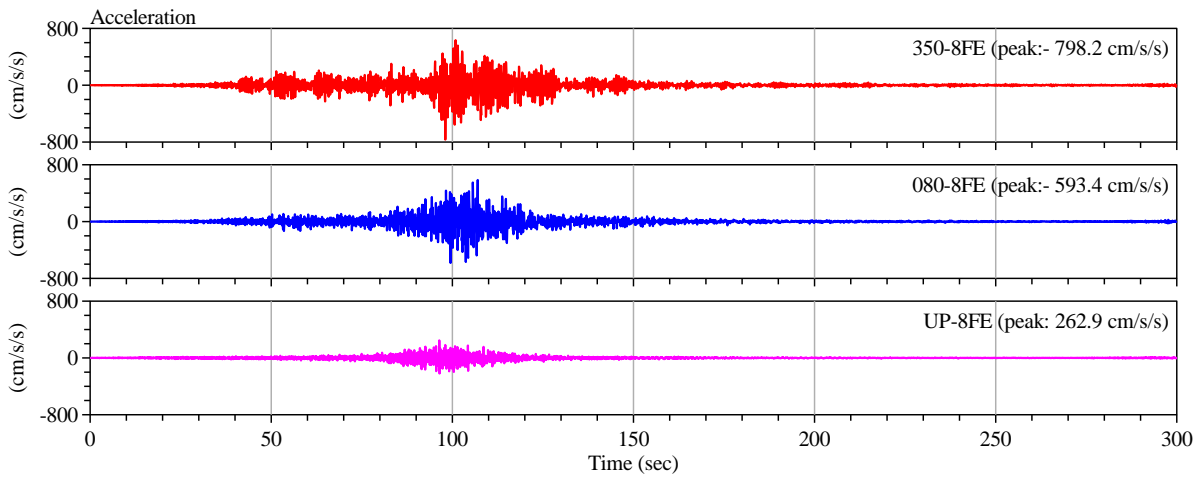


図 4.4-10 8階(8FE)の加速度記録

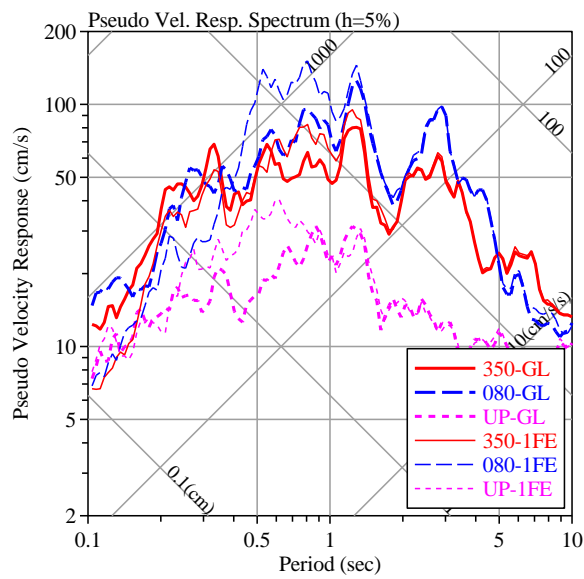


図 4.4-11 地表(GL)と1階(1FE)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

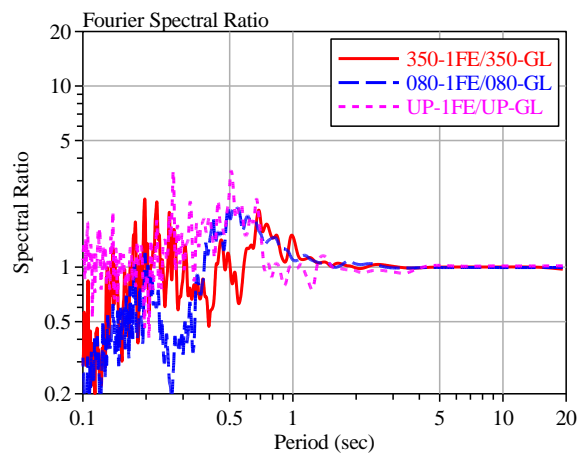


図 4.4-12 1階(1FE)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

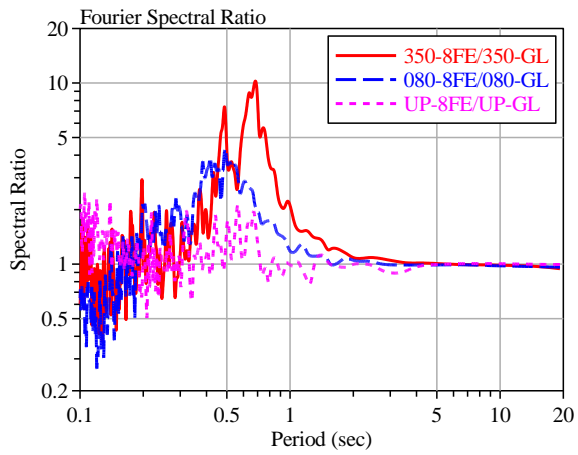


図 4.4-13 8階(8FE)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

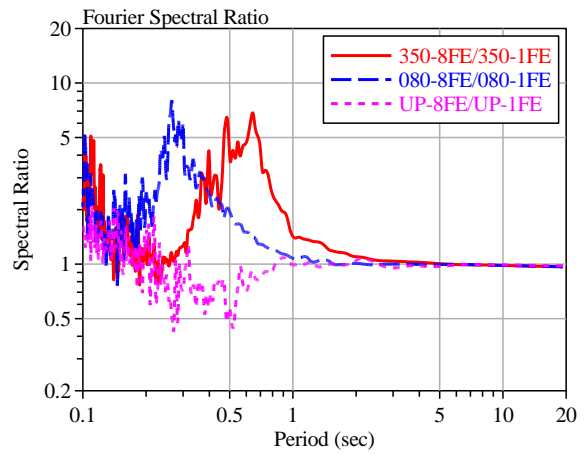


図 4.4-14 8階(8FE)の1階(1FE)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.3 建築研究所(ANX)の強震記録

茨城県つくば市の建築研究所での強震観測は、管理研究本館(以下本館と呼ぶ)と都市防災研究センター棟(以下新館と呼ぶ)の2棟の建物と敷地地盤を対象としている。本館は地上7階、地下1階の鉄骨鉄筋コンクリート造、新館は地上8階、地下1階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物で、エキスパンションジョイントを有する渡り廊下で接続されている。2011年東北地方太平洋沖地震では、新館本館とも、コンクリート壁の亀裂や、仕上げ材の亀裂・損傷、渡り廊下の天井材の落下など、非構造部材を中心に少なからぬ損傷を受けている^{4,5)}。強震計は、地盤上と地中に7台、新館建物内に11台、本館建物内に4台の加速度計を有している。本節では新館の記録について述べる。

図4.3-15から図4.3-17に地表(A01)、新館地下1階(BFE)、及び新館8階(8FE)で得られた加速度記録を示す。地表(A01)の水平方向の最大加速度はN180°E方向で 279 cm/s^2 となっており、地表の記録から算出した計測震度は5.3(震度5強)であった。地下1階(BFE)の最大加速度は、N180°E方向で 194 cm/s^2 、N270°E方向で 191 cm/s^2 と地表に比べ7割から8割に減少している。新館8階(8FE)の最大加速度は、N180°E方向で 597 cm/s^2 、N270°E方向で 506 cm/s^2 と大きな値を示し、地下1階(BFE)の3.0倍から2.6倍となっている。

図4.3-18に、地表(A01)と地下1階(BFE)の記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が地下1階(BFE)に対応し、実線がN180°E方向、破線がN270°E方向、点線がUP(上下)方向を表す。擬似速度応答スペクトルは、隣接する教員研修センター(NCTD)と同様に、周期1.3秒と3秒に顕著なピークを有しており、周期1.3秒の応答速度は両水平方向で 100 cm/s を超えている。また3秒のピークはN270°E方向で特に顕著で、応答速度はやはり 100 cm/s を超える。

地下1階(BFE)の地表(A01)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図4.3-19に示す。0.8秒より低い周期領域で、スペクトル比は緩やかに低下しており、地表に比べて地下1階で地震動入力が高減している様子が窺える。

図4.3-20と図4.3-21に、8階(8FE)の記録の地表(A01)と地下1階(BFE)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。8階(8FE)/地表(A01)と8階(8FE)/地下1階(BFE)のスペクトル比の形状はよく似ており、この場合、地盤と建物の相互作用の影響は、大きくないと考えられる。

地下1階(BFE)と8階(8FE)の加速度記録を積分して求めた変位記録(絶対変位)を、図4.3-22と図4.3-23に示す。地下1階(BFE)の変位は100秒から150秒辺りの時間で大きく、最大変位は両水平方向とも 10 cm を超える程度である。8階(8FE)の変位は、建物の応答変位が加わって、最大変位は両水平方向とも 15 cm を超える。図4.3-24と図4.3-25は、それぞれ地下1階(BFE)と8階(8FE)の変位記録の水平面内軌跡を、20秒ごとに描画したものである。地下1階(BFE)及び8階(8FE)の変位のいずれにも、特筆すべき振動の方向性は表れていない。

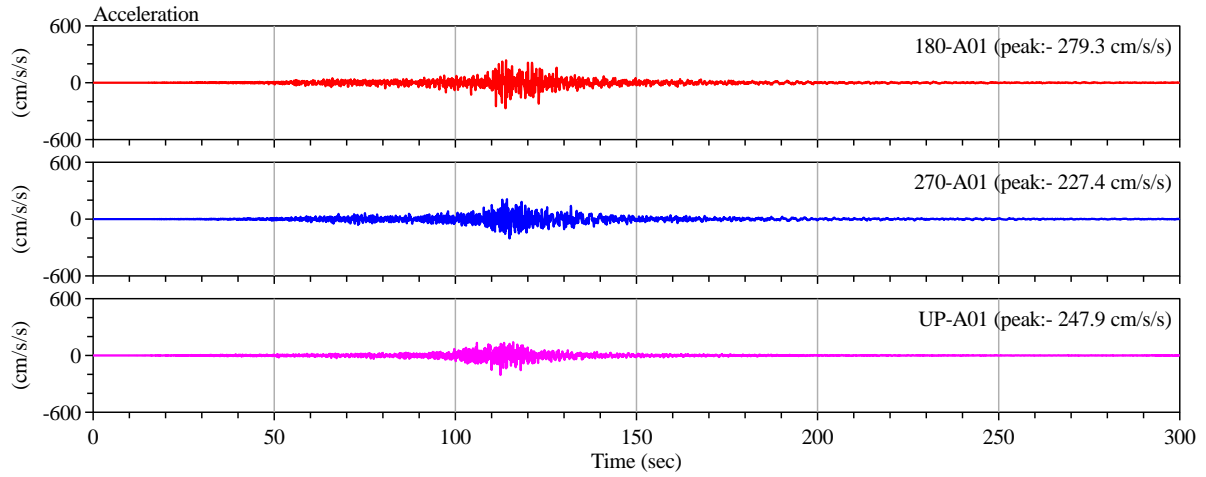


図 4.4-15 地表(A01)の加速度記録

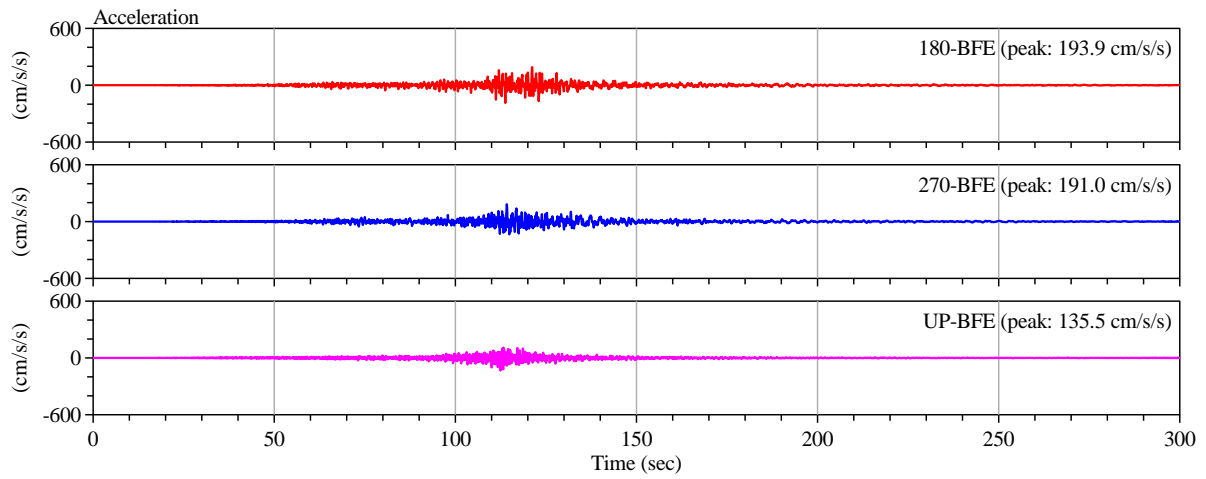


図 4.4-16 地下1階(BFE)の加速度記録

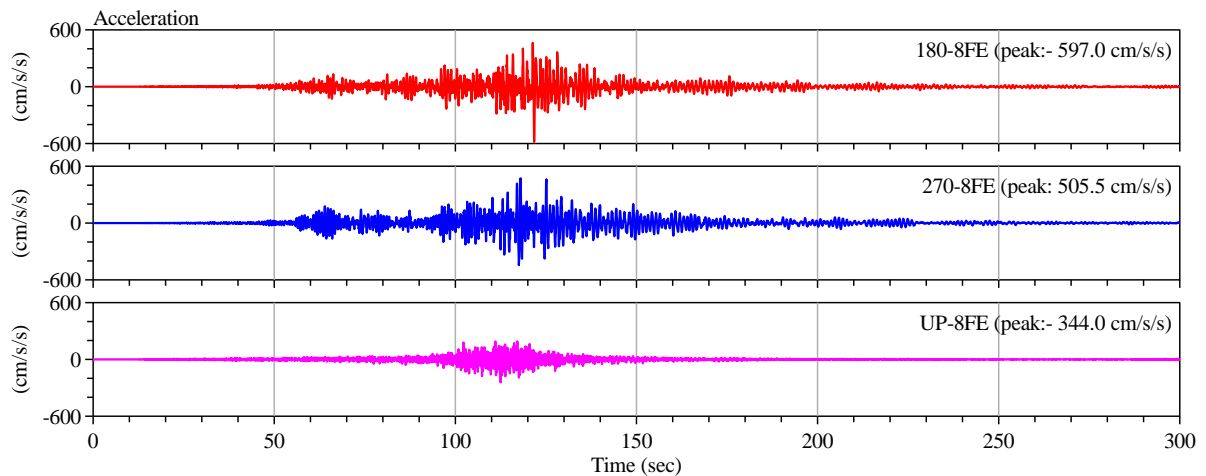


図 4.4-17 8階(8FE)の加速度記録

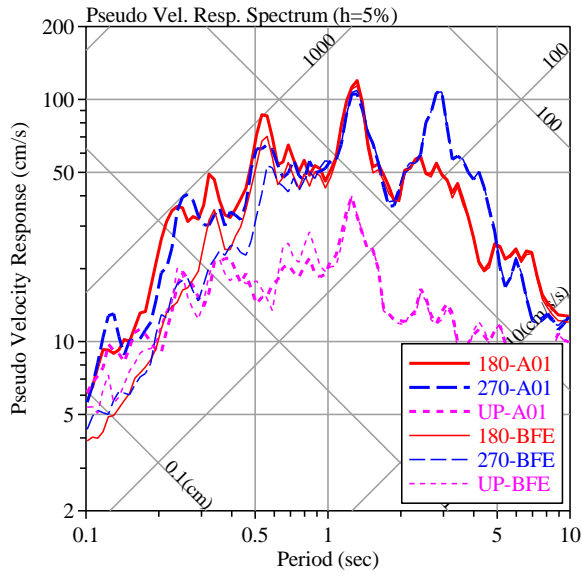


図 4.4-18 地表(A01)と地下 1 階(BFE)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

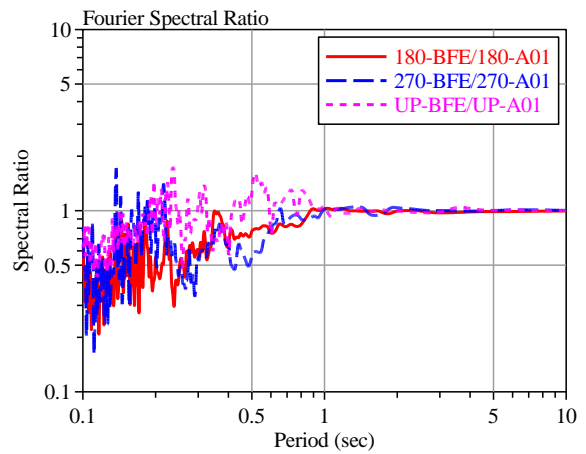


図 4.4-19 地下 1 階(BFE)の地表(A01)に対するフーリエ振幅スペクトル比

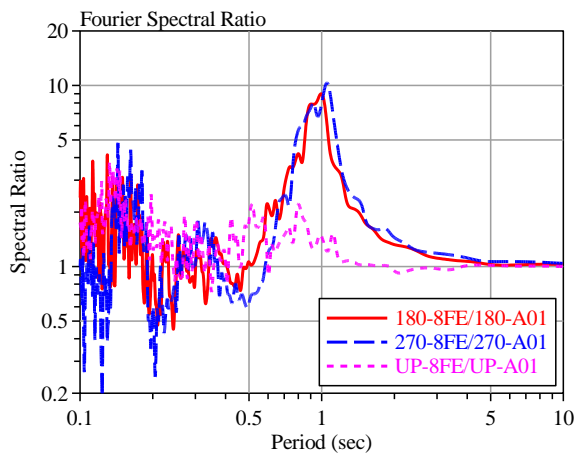


図 4.4-20 8 階(8FE)の地表(A01)に対するフーリエ振幅スペクトル比

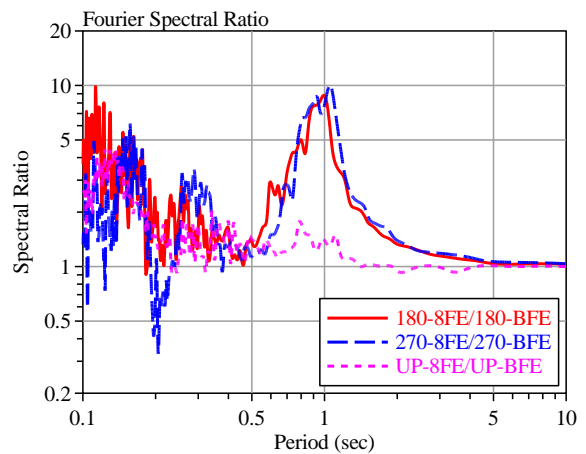


図 4.4-21 8 階(8FE)の地下 1 階(BFE)に対するフーリエ振幅スペクトル比

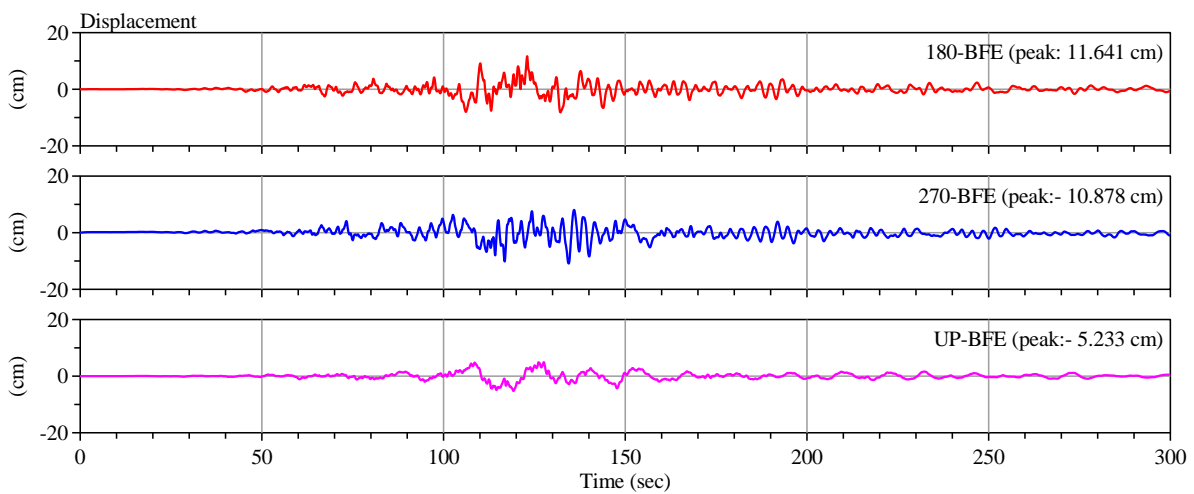


図 4.4-22 地下 1 階(BFE)の変位記録

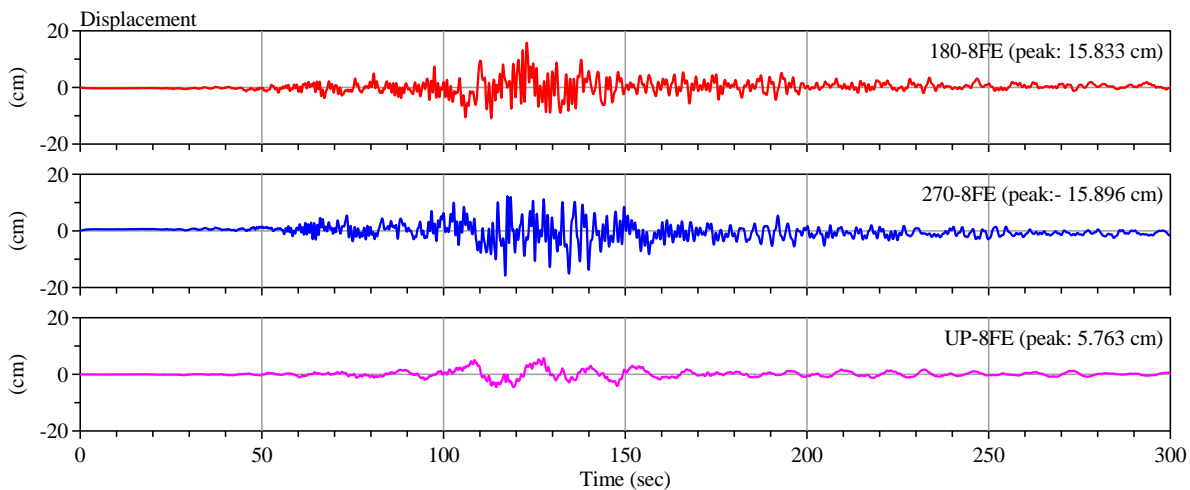


図 4.4-23 8階(8FE)の変位記録

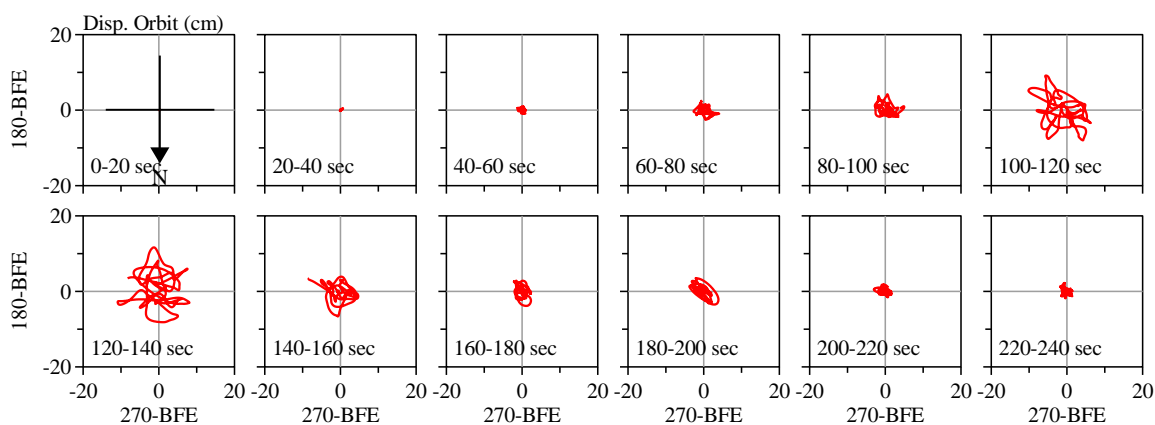


図 4.4-24 地下1階(BFE)の変位の水平面内軌跡

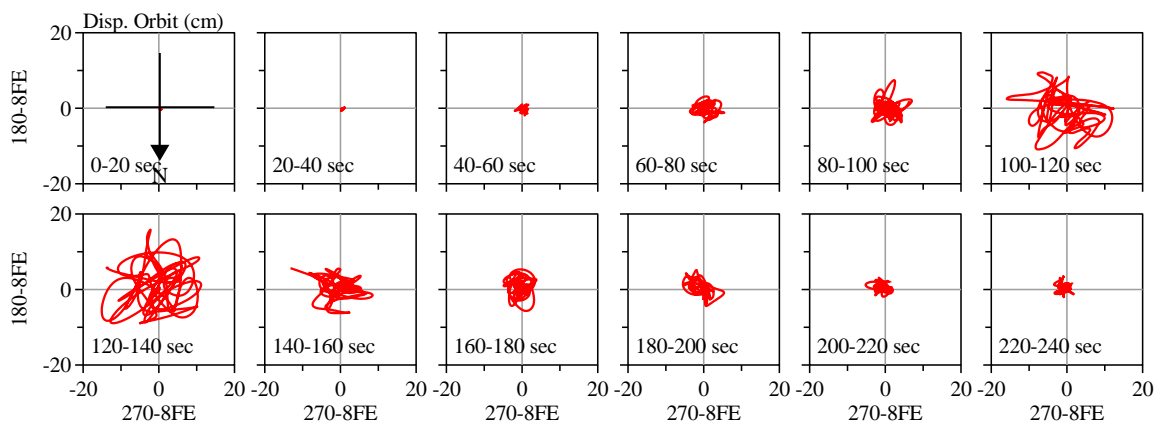


図 4.4-25 8階(8FE)の変位の水平面内軌跡

4.4.4 八千代市庁舎新館(YCY)の強震記録

千葉県八千代市の八千代市庁舎新館は、地上 6 階地下 1 階の鉄筋コンクリート建物である。強震計は、地表(GL)、建物の地下 1 階(B1F)、及び塔屋 1 階(07F)に加速度計を設置している^{4,6)}。図 4.4-26 から図 4.4-28 に地表(GL)、地下 1 階(B1F)、及び塔屋 1 階(07F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向で 279 cm/s^2 を超えており、地表(GL)の記録から算出した計測震度は 5.3(震度 5 強)であった。建物の地下 1 階(B1F)の最大加速度は地表(GL)の半分以下に減少しており、 140 cm/s^2 前後の値となっている。建物の塔屋 1 階(07F)の最大加速度は、N302°E 方向で 486 cm/s^2 、N032°E 方向で 359 cm/s^2 と地下 1 階(B1F)の 3.5 倍から 2.7 倍の値となっている。

図 4.4-29 に、地表(GL)と建物地下 1 階(B1F)の記録の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が地下 1 階(B1F)に対応し、実線が N302°E 方向、破線が N032°E 方向、点線が UP(上下)方向を表す。擬似速度応答スペクトルは、多少の起伏あるものの、0.3 秒より長い周期領域で比較的平坦な形状をしている。N032°E 方向の擬似速度応答スペクトルは、周期 0.35 秒で最大となり、速度応答値は 80 cm/s を超えている。

地下 1 階(B1F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-30 に示す。0.5 秒より長い周期領域ではスペクトル比は概ね 1 となっているが、0.5 秒より短い周期領域ではスペクトル比は急激に低下し、地震動入力の低減効果が窺える。図 4.4-31 と図 4.4-32 に、塔屋 1 階(07F)の記録の地表(GL)と地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。0.5 秒から 0.6 秒の周期に、1 次固有振動は表れているが、ピークの形状は幅を持ち、地震の間に振動特性が変動したと思われる。また、塔屋 1 階(07F)/地表(GL)と塔屋 1 階(07F)/地下 1 階(B1F)のフーリエ振幅スペクトル比を比べると、N032°E 方向では前者のピークが後者のピークより長周期側に移動しており、地盤と建物の動的相互作用の影響も表れている。

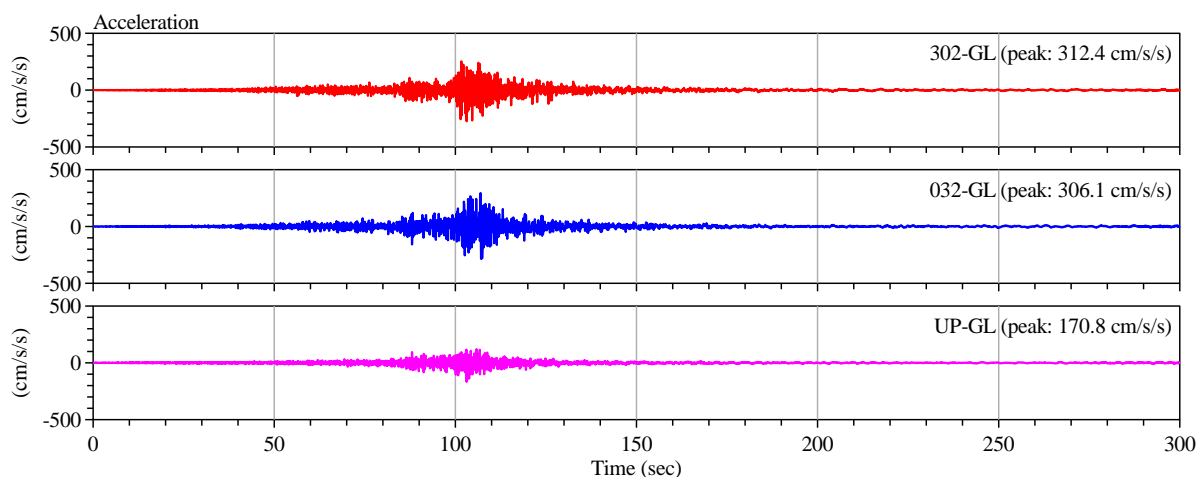


図 4.4-26 地表(GL)の加速度記録

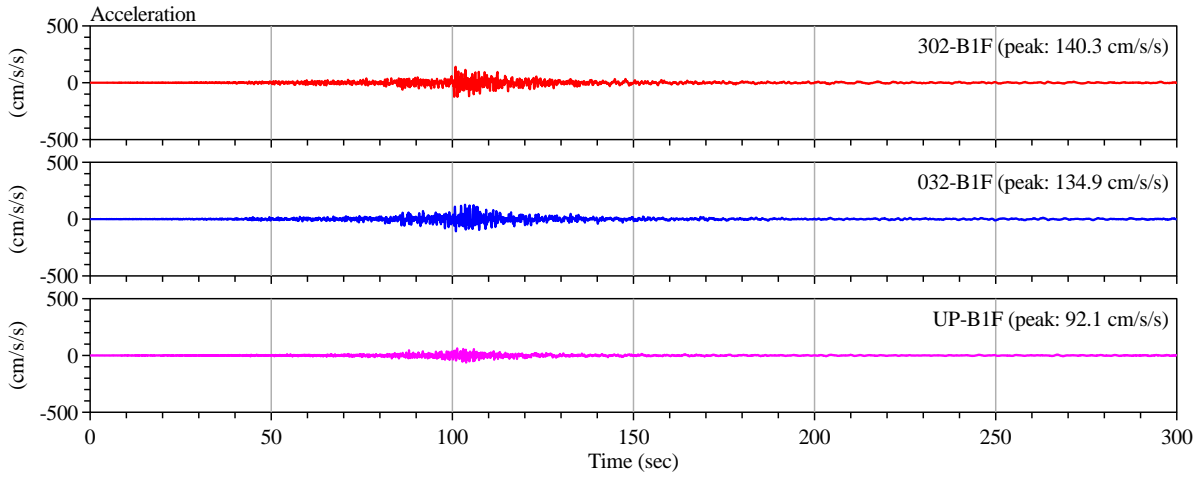


図 4.4-27 地下 1 階(B1F)の加速度記録

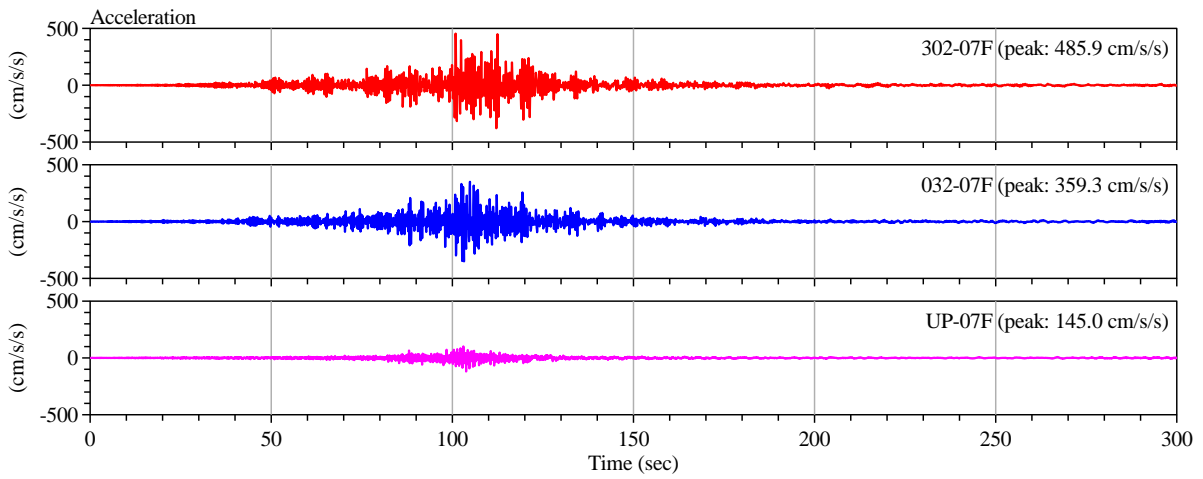


図 4.4-28 塔屋 1 階(07F)の加速度記録

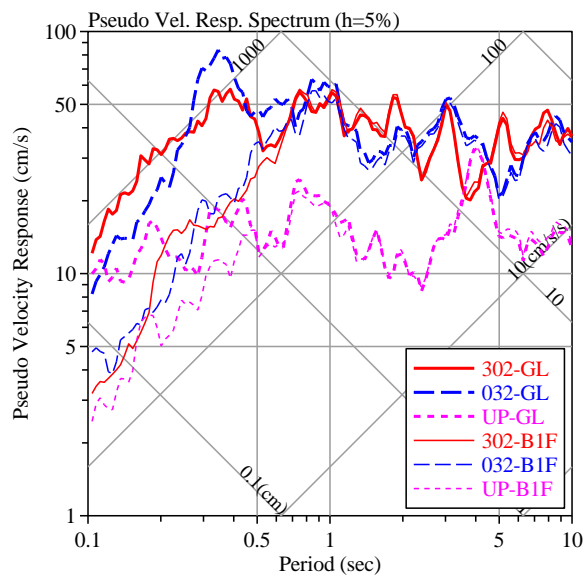


図 4.4-29 地表(GL)と地下 1 階(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

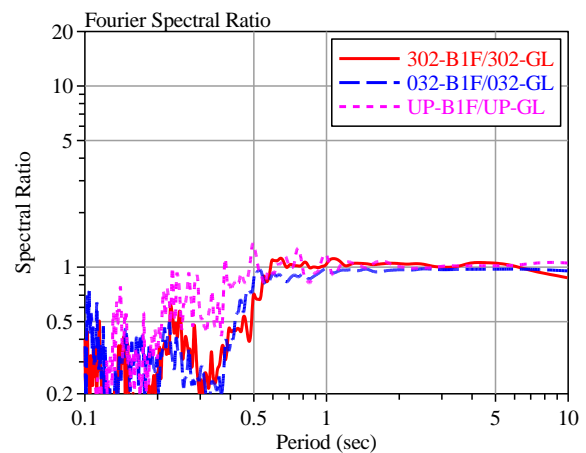


図 4.4-30 地下 1 階(B1F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

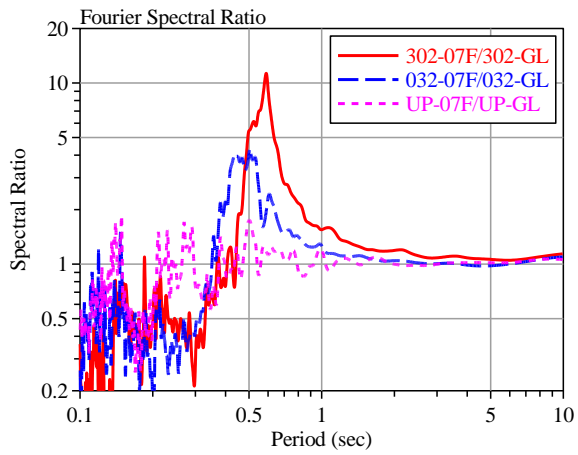


図 4.4-31 塔屋 1 階(07F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

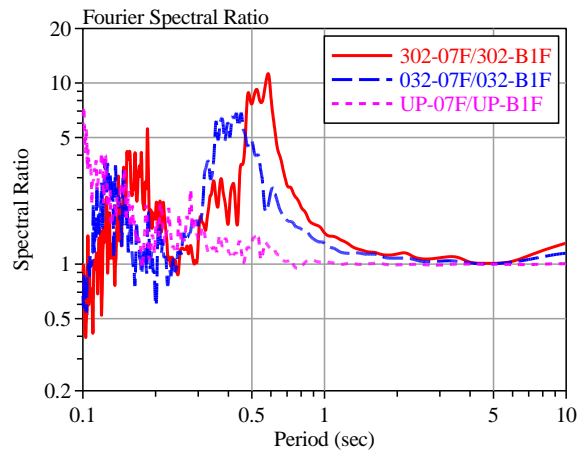


図 4.4-32 塔屋 1 階(07F)の地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.5 日本工業大学(NIT)の強震記録

日本工業大学の強震観測は、埼玉県南埼玉郡宮代町にある宮代キャンパスの建築デザイン学群棟を対象に行っている。建築デザイン学群棟は、地上6階建ての鉄筋コンクリート建物で、強震計は地表(GL)、1階(01F)、及び6階(06F)に加速度計を有している。図4.4-33から図4.4-35に地表(GL)、建物1階(01F)、及び6階(06F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)のN288°E方向の最大加速度は 230 cm/s^2 となっており、地表(GL)の記録から算出した計測震度は5.1(震度5強)であった。建物の1階(01F)の最大加速度はN288°E方向が 150 cm/s^2 、N018°E方向が 119 cm/s^2 と、地表(GL)の2/3以下に減少している。一方、建物の6階(06F)の最大加速度はN288°E方向が 283 cm/s^2 、N018°E方向が 322 cm/s^2 と、1階(01F)の最大加速度の1.9倍から2.7倍の値を示している。

図4.4-36に、地表(GL)と建物1階(01F)の記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が1階(01F)に対応し、実線がN288°E方向、破線がN018°E方向、点線がUP(上下)方向を表す。擬似速度応答スペクトルは、0.3秒より長い周期領域で概ね平坦な形状をしており、6秒前後の周期のピークが目立つ。N018°E方向の周期6.6秒の速度応答値は 80 cm/s を超えている。

1階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図4.4-37に示す。0.5秒より短い周期領域で、スペクトル比は大きく低下し、地震動入力の低減効果が表れている。図4.4-38と図4.4-39に、6階(06F)の記録の、地表(GL)と1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。6階(06F)/地表(GL)に比べ6階(06F)/1階(01F)のスペクトル比のピークは短周期側に表れ、またその高さも高くなっており、地盤と建物の動的相互作用の影響が表れている。

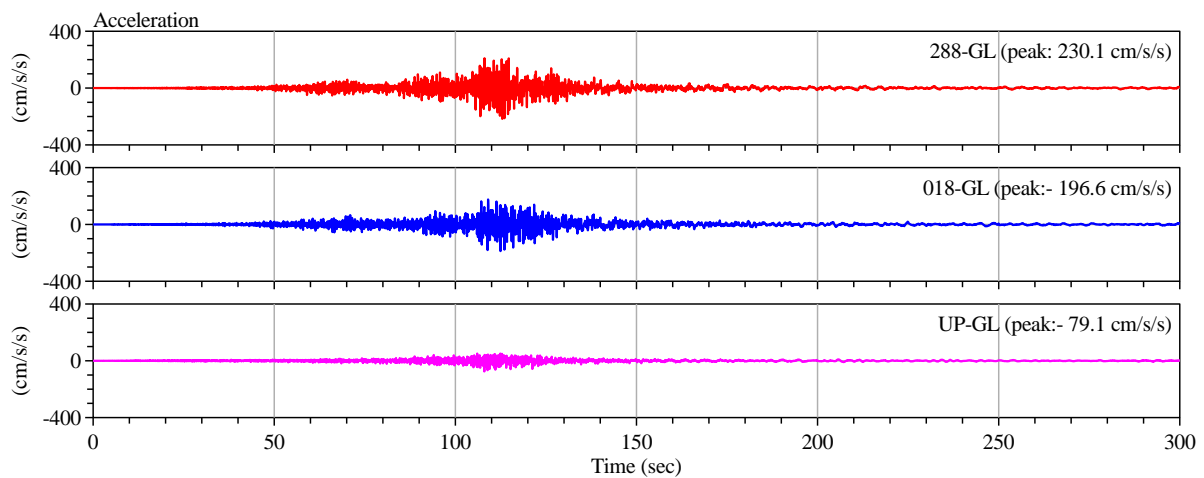


図 4.4-33 地表(GL)の加速度記録

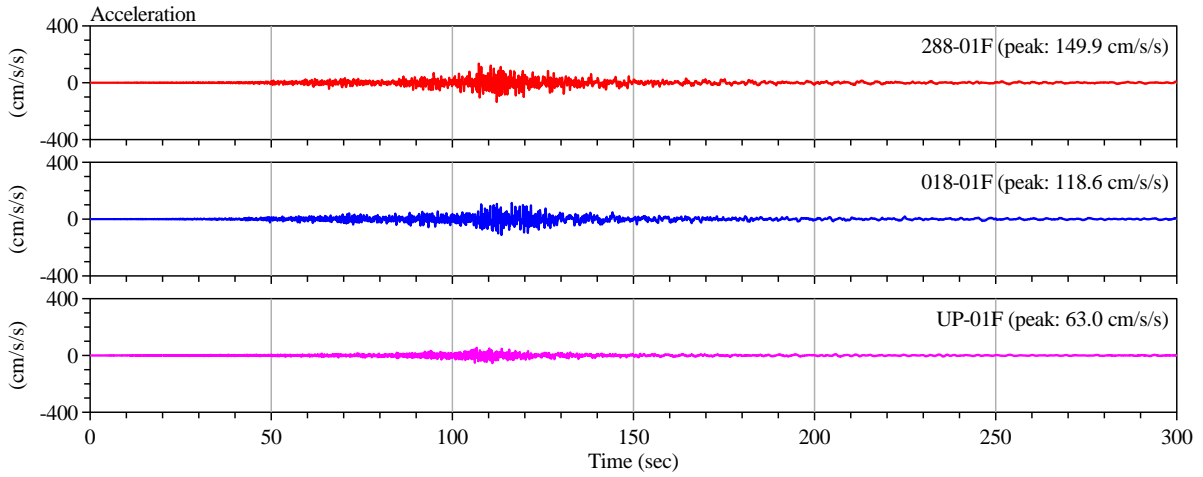


図 4.4-34 1階(01F)の加速度記録

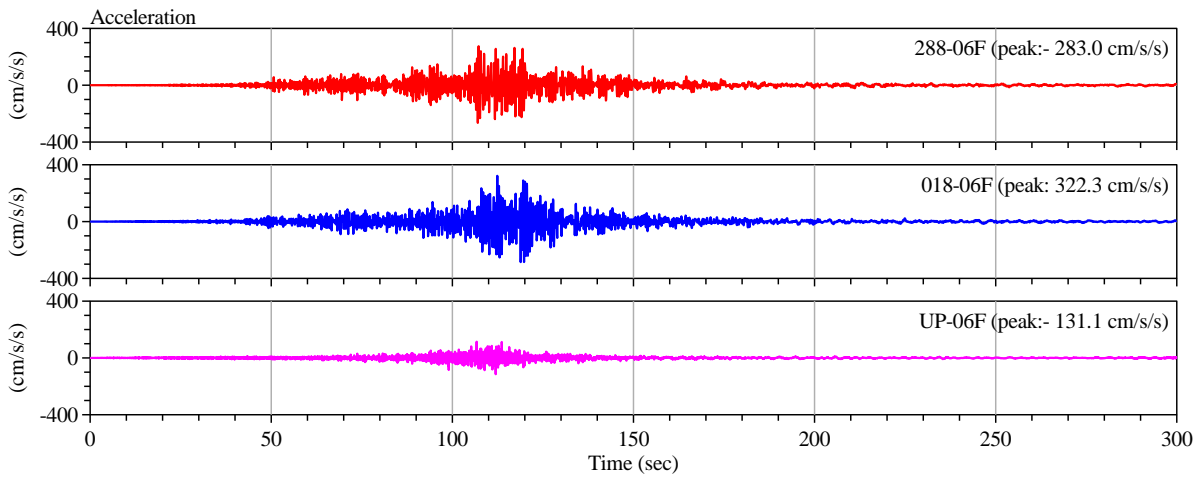


図 4.4-35 6階(06F)の加速度記録

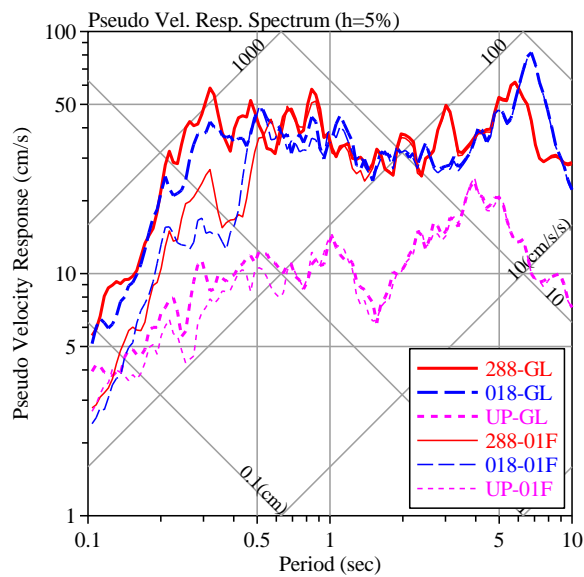


図 4.4-36 地表(GL)と1階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

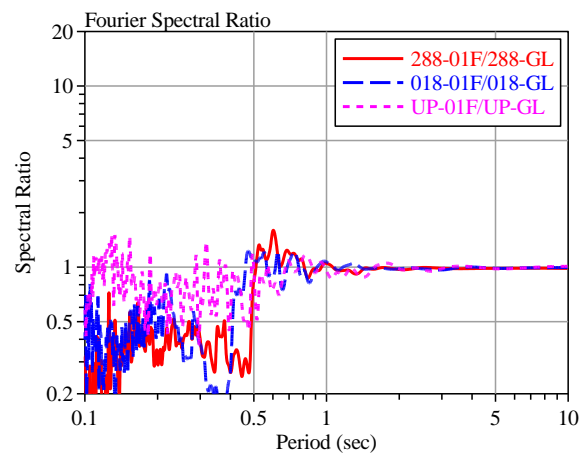


図 4.4-37 1階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

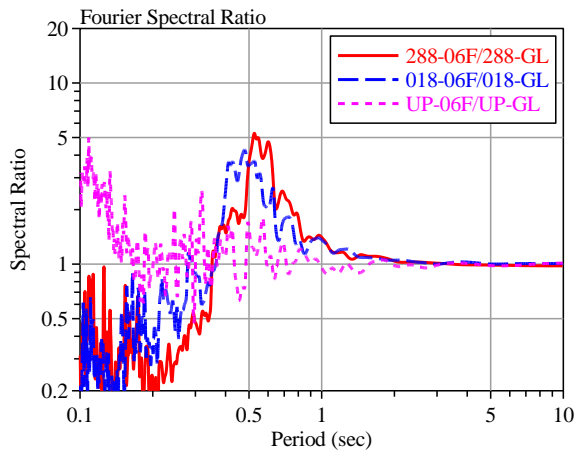


図 4.4-38 6階(06F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

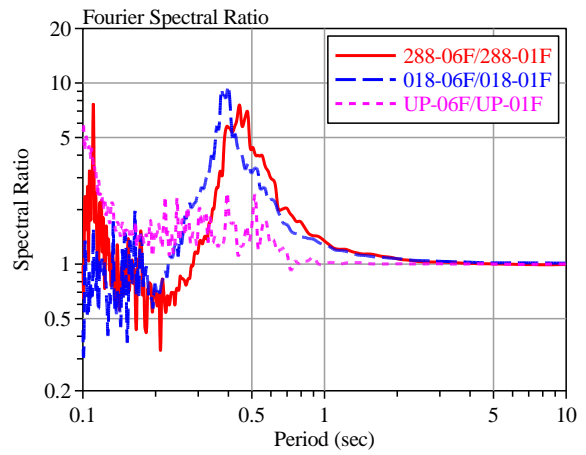


図 4.4-39 6階(06F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.6 三郷市庁舎(MST)の強震記録

埼玉県三郷市の三郷市庁舎は、地上7階地下1階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物で、強震計は地表(GL)、1階(01F)、及び7階(07F)に加速度計を有している。図4.4-40から図4.4-42に地表(GL)、建物1階(01F)、及び7階(07F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は 130 cm/s^2 弱となっており、地表(GL)の記録から算出した計測震度は4.9(震度5弱)であった。建物の1階(01F)の最大加速度は、地表(GL)の最大加速度の6割から8割に減少しており、N258°E方向で 72 cm/s^2 、N348°E方向で 104 cm/s^2 となっている。また、建物7階(07F)の最大加速度は、1階(01F)と比べて、N258°E方向では3.0倍の 219 cm/s^2 、N348°E方向は1.8倍の 190 cm/s^2 となっている。

図4.4-43に、地表(GL)と建物1階(01F)の記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が1階(01F)に対応し、実線がN258°E方向、破線がN348°E方向、点線がUP(上下)方向を表す。擬似速度応答スペクトルには、N258°E方向とN348°E方向で異なった傾向が認められ、N258°E方向では7秒辺りのピークが、N348°E方向では1秒強の山が特徴的である。地表(GL)と建物1階(01F)の擬似応答スペクトルは、0.8秒より長い周期領域で、ほぼ一致している。

1階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図4.4-44に示す。0.7秒より短い周期領域で、スペクトル比が低下していることが確認できる。図4.4-45と図4.4-46に、7階(07F)の記録の地表(GL)と1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。7階(07F)/1階(01F)のスペクトル比より、上部構造の固有周期はN258°E方向が0.54秒、N348°E方向が0.44秒と判断できる。7階(07F)/地表(GL)のスペクトル比は山が潰れ、相互作用を含んだ系の固有周期はかなり延びている。

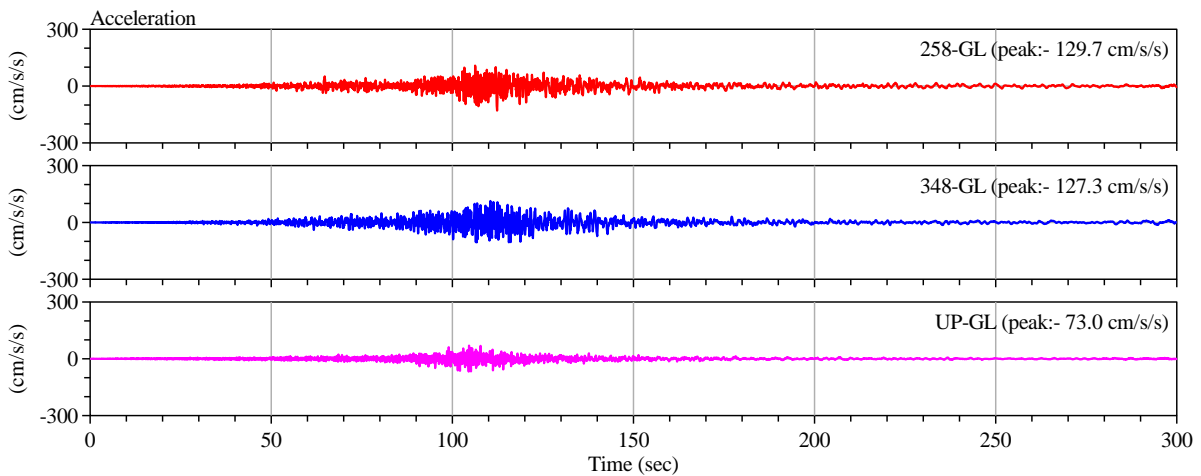


図4.4-40 地表(GL)の加速度記録

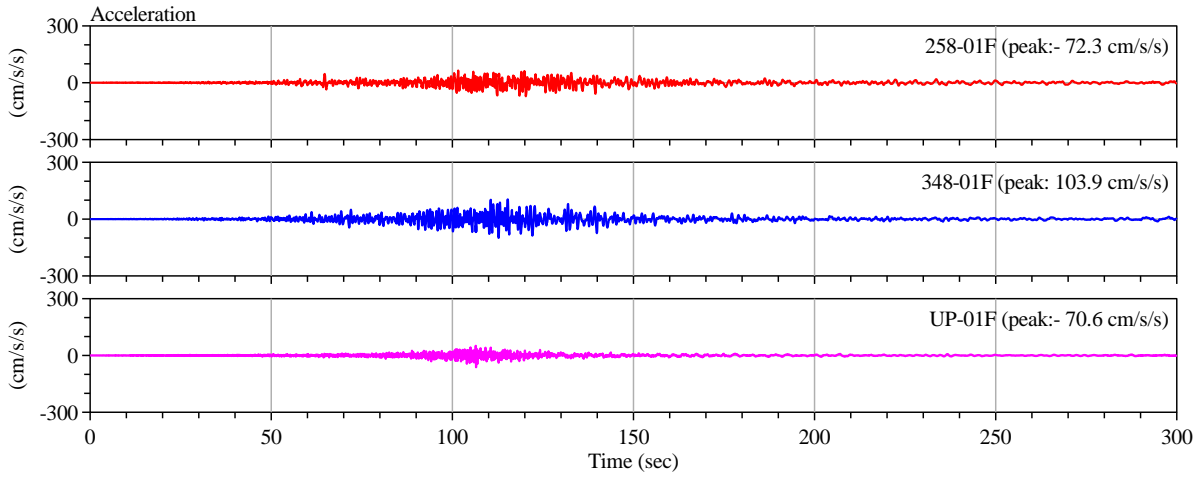


図 4.4-41 1階(01F)の加速度記録

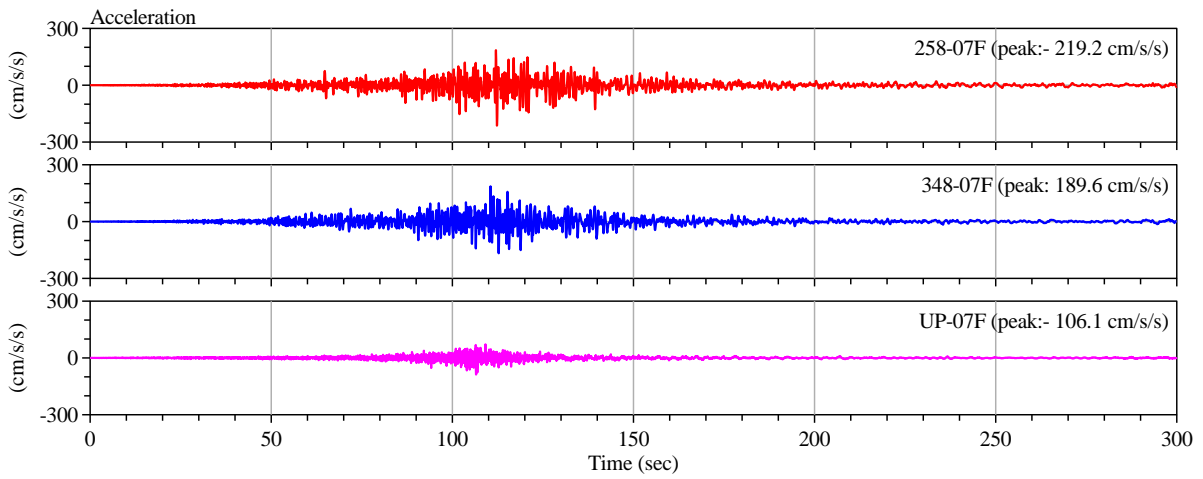


図 4.4-42 7階(07F)の加速度記録

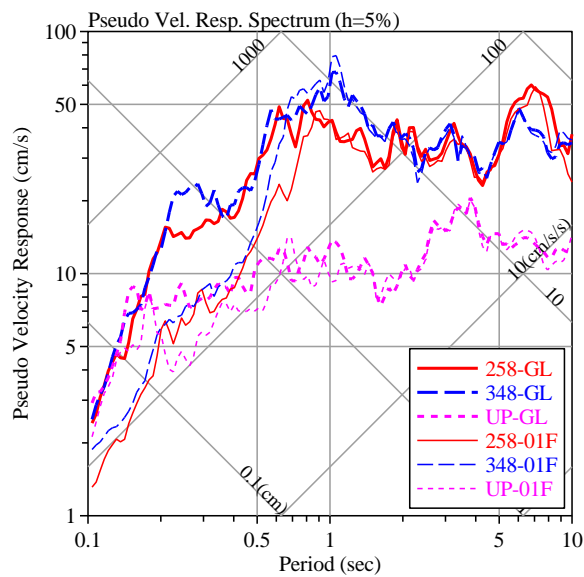


図 4.4-43 地表(GL)と1階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

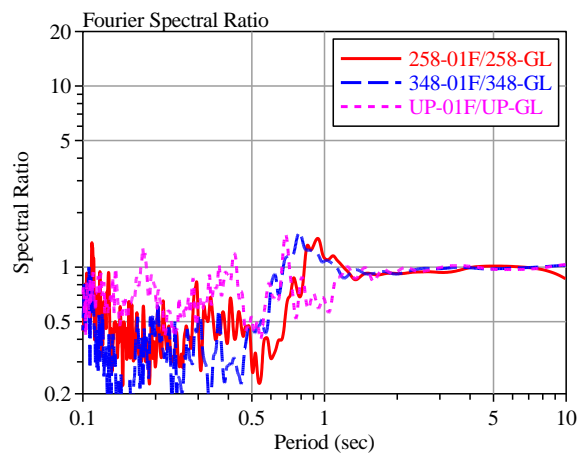


図 4.4-44 1階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

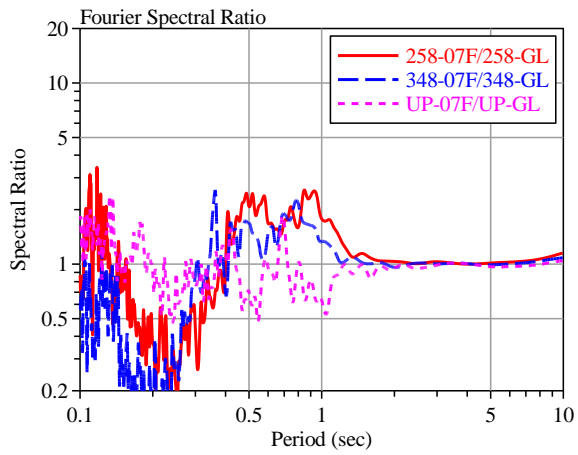


図 4.4-45 7階(07F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

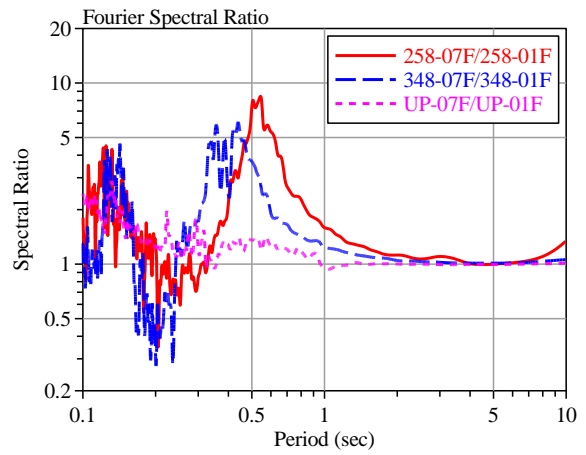


図 4.4-46 7階(07F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.7 船橋市総合教育センター(FNB)の強震記録

千葉県船橋市の船橋市総合教育センターは、地上 8 階建ての鉄筋コンクリート造建物で、地表(GL)、1 階(01F)、及び 8 階(08F)に加速度計を設置している。図 4.4-47 から図 4.4-49 に地表(GL)、建物 1 階(01F)、及び 8 階(08F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は、N357°E 方向が 133 cm/s^2 、N087°E 方向が 145 cm/s^2 となっており、地表(GL)の記録から算出した計測震度は 4.7(震度 5 弱)であった。建物の 1 階(01F)の最大加速度は、両水平方向とも地表(GL)より若干大きい。また、建物 8 階(08F)の最大加速度は、1 階(01F)の 2.3 倍から 2.5 倍となっている。

図 4.4-50 に、地表(GL)と建物 1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が 1 階(01F)に対応し、実線が N357°E 方向、破線が N087°E 方向、点線が UP(上下)方向を表す。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.2 秒辺りから長周期にかけて徐々に応答が大きくなる特徴的な形状で、1 秒辺りに小さなピークがある。

1 階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-51 に示す。0.5 秒から 1 秒の周期では 1 を上回り、0.5 秒以下の短い周期領域では 1 を下回る。その変動幅は大きなものではない。

図 4.4-52 と図 4.4-53 に、8 階(08F)の記録の地表(GL)と 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。8 階(08F)/1 階(01F)のスペクトル比より、上部構造の固有周期は両方向とも 0.5 秒程度と判断でき、8 階(08F)/地表(GL)のピークの位置は 8 階(08F)/1 階(01F)よりも若干長周期側にある。

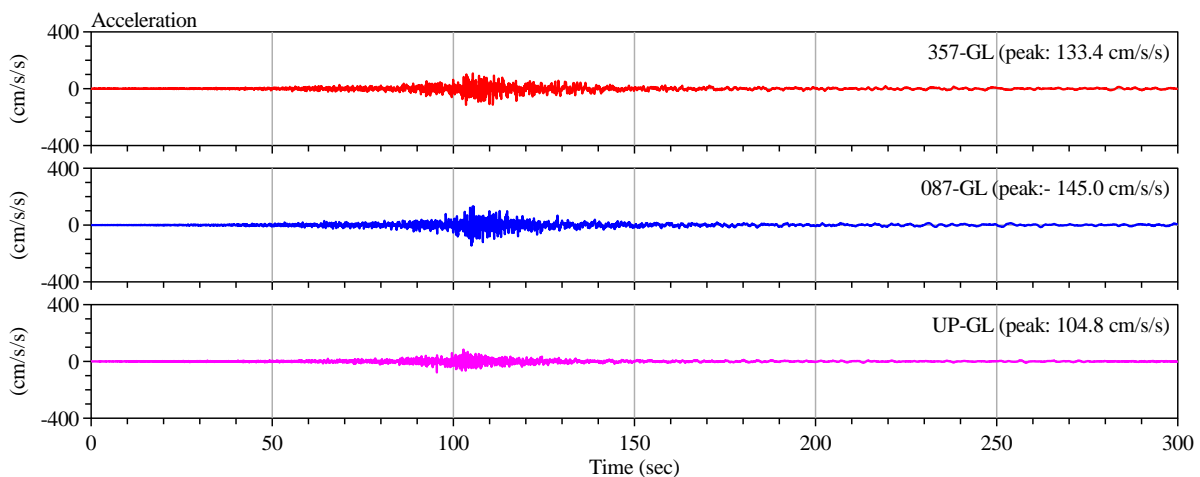


図 4.4-47 地表(GL)の加速度記録

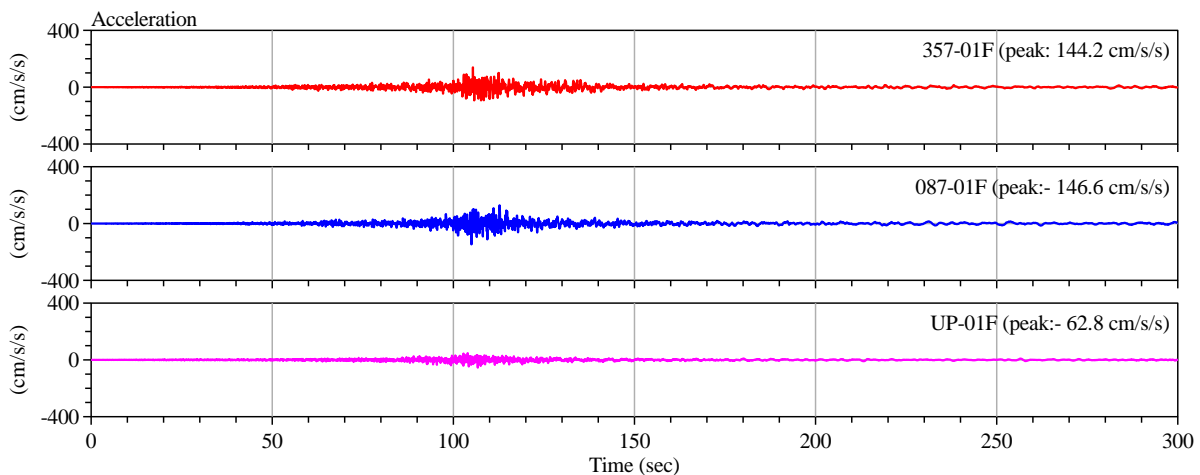


図 4.4-48 1 階(01F)の加速度記録

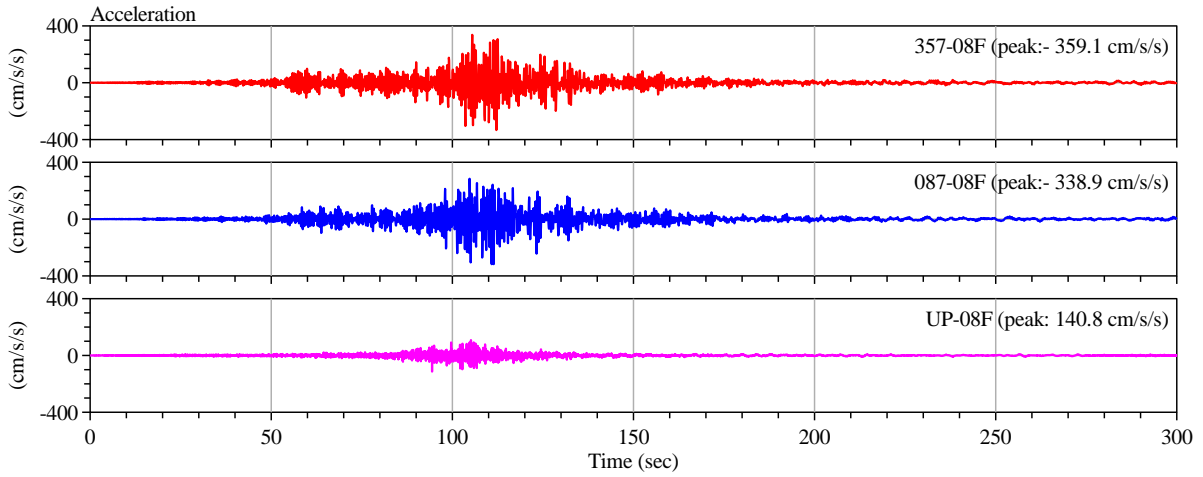


図 4.4-49 8階(08F)の加速度記録

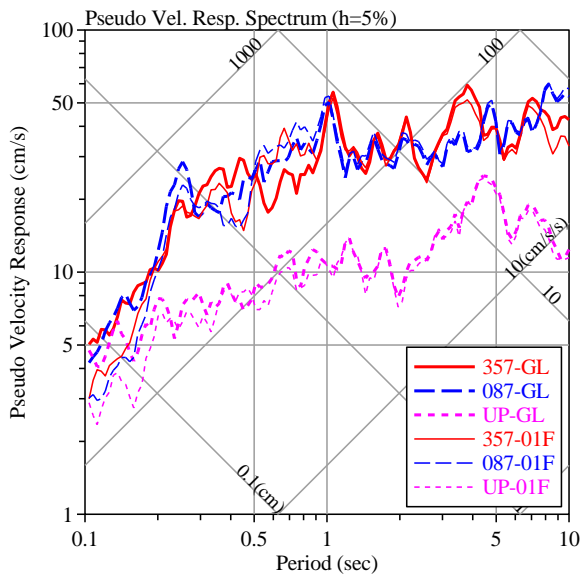


図 4.4-50 地表(GL)と1階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

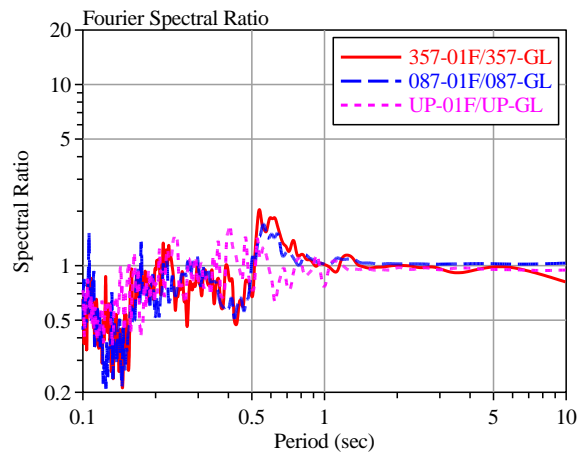


図 4.4-51 1階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

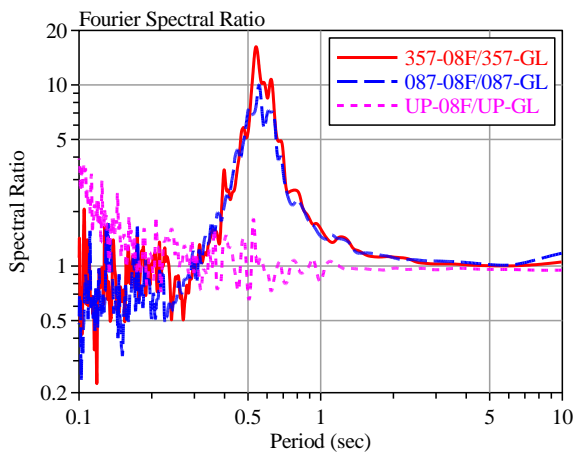


図 4.4-52 8階(08F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

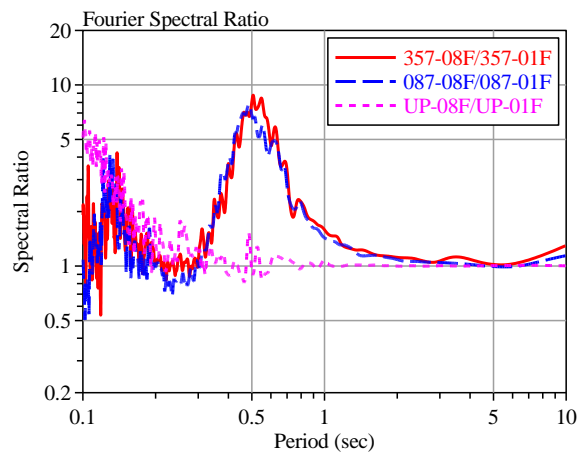


図 4.4-53 8階(08F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.8 千葉第2地方合同庁舎(CHB)の強震記録

千葉県千葉市中央区の千葉第2地方合同庁舎は、地上8階地下1階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物で、地表(GL)、建物地下1階(B1F)、及び8階(08F)に加速度計を設置している。図4.4-54から図4.4-56に地表(GL)、地下1階(B1F)、及び8階(08F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は 170 cm/s^2 前後であり、地表(GL)の記録から算出した計測震度は4.9(震度5弱)であった。建物の地下1階(B1F)の最大加速度は、地表(GL)の最大加速度の9割から7割の値となっている。一方、8階(08F)で得られた最大加速度は、N346°E方向で 375 cm/s^2 、N076°E方向で 284 cm/s^2 と、地下1階(B1F)の最大加速度の2.5倍から2.3倍の値となっている。

図4.4-57に、地表(GL)と地下1階(B1F)の記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が地下1階(B1F)に対応し、実線がN346°E方向、破線がN076°E方向、点線がUP(上下)方向を表す。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.5秒以上の長周期領域で概ね平坦な形状をしている。8秒より更に長周期にかけて応答が大きくなる様子が見られるが、この部分は加速度記録にノイズが乗っている可能性がある。地表(GL)と地下1階(B1F)の擬似速度応答スペクトルは、1秒より短い周期領域で違いが表れる。

地下1階(B1F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を、図4.4-58に示す。1秒以下の周期領域で山谷が表れ、平均的には1を下回っている。図4.4-59と図4.4-60に、8階(08F)の記録の地表(GL)と地下1階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。8階(08F)/地表(GL)のスペクトル比と8階(08F)/地下1階(B1F)のスペクトル比の間には、顕著な差は認められない。

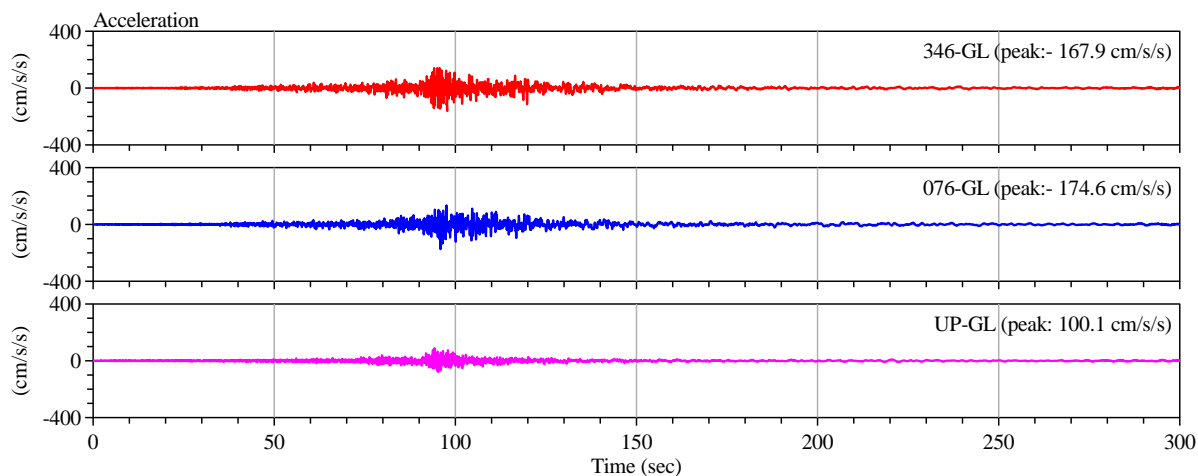


図 4.4-54 地表(GL)の加速度記録

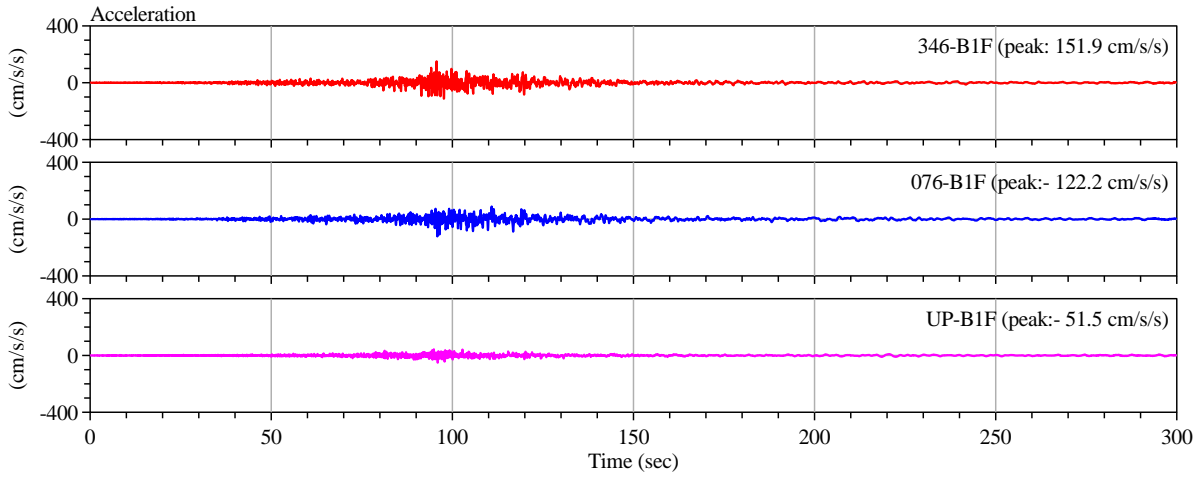


図 4.4-55 地下 1 階(B1F)の加速度記録

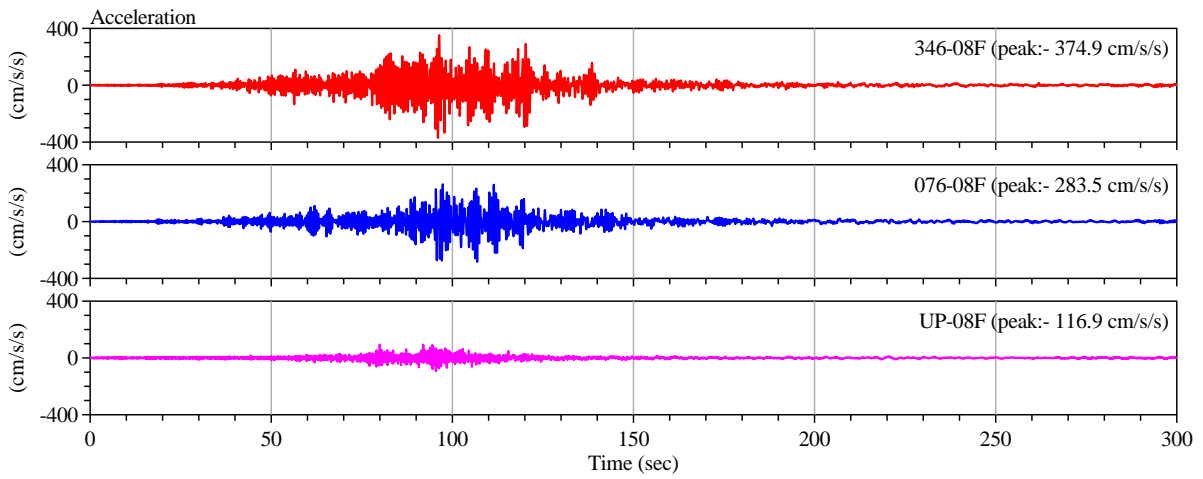


図 4.4-56 8 階(08F)の加速度記録

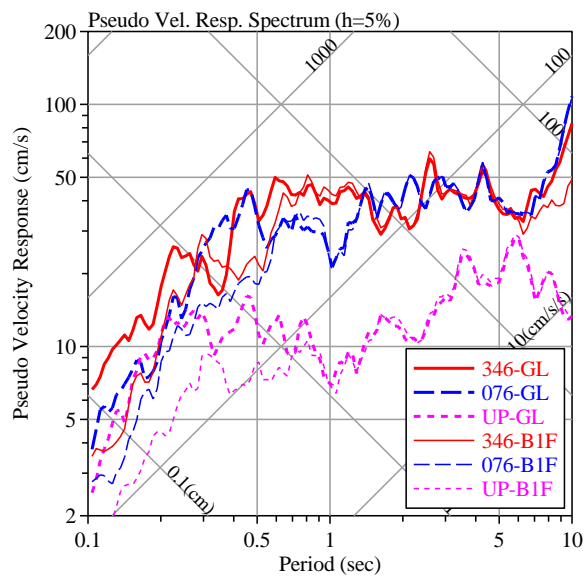


図 4.4-57 地表(GL)と地下 1 階(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

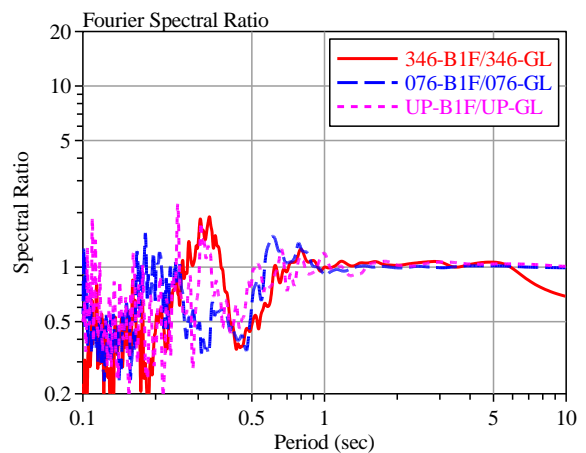


図 4.4-58 地下 1 階(B1F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

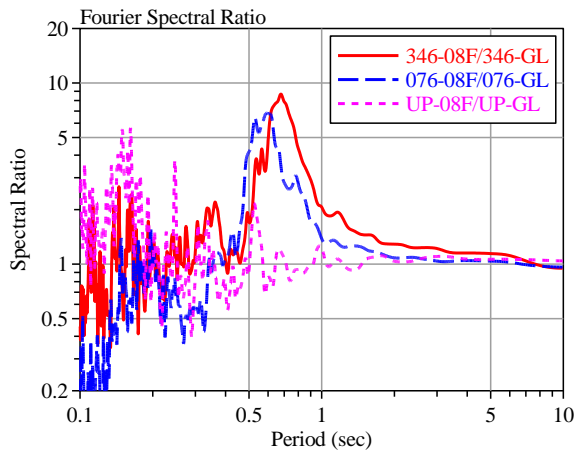


図 4.4-59 8階(08F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

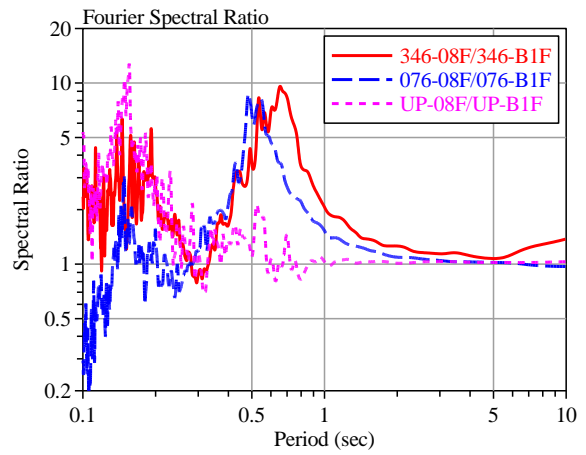


図 4.4-60 8階(08F)の地下1階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.9 戸田市庁舎(TDS)の強震記録

埼玉県戸田市の戸田市庁舎は、地上 8 階地下 1 階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物で、地表(GL)、地下 1 階(B1F)、及び 8 階(08F)に加速度計を設置している。図 4.4-61 から図 4.4-63 に地表(GL)、建物地下 1 階(B1F)、及び 8 階(08F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は 200 cm/s^2 を超えており、地表(GL)の記録から算出した計測震度は 5.0(震度 5 強)であった。一方、建物の地下 1 階(B1F)の最大加速度は、N354°E 方向で 140 cm/s^2 、N084°E 方向で 173 cm/s^2 と、地表(GL)の最大加速度の 7 割から 8 割強の値となっている。建物の 8 階(08F)では、N354°E 方向の最大加速度は 425 cm/s^2 、N084°E 方向の最大加速度は 531 cm/s^2 と、両方向とも地下 1 階(B1F)の最大加速度に比べて約 3 倍の値となっている。

図 4.4-64 に、地表(GL)と地下 1 階(B1F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が地下 1 階(B1F)に対応し、実線が N354°E 方向、破線が N084°E 方向、点線が UP(上下)方向を表す。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、1 秒付近に大きなピークを持ち、応答速度は 80 cm/s 近くに達する。N084°E 方向の擬似速度応答スペクトルには、更に 0.6 秒のピークも表れている。

地下 1 階(B1F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-65 に示す。水平方向のスペクトル比は、0.8 秒以下の周期領域で 1 を下回る。図 4.4-66 と図 4.4-67 に、8 階(08F)の記録の地表(GL)と地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。8 階(08F)/地下 1 階(B1F)のスペクトル比をみると、N084°E 方向では 0.65 秒に明瞭なピークが表れているが、N354°E 方向では山がつぶれて、明瞭ではない。8 階(08F)/地表(GL)のスペクトル比も同様の傾向を示している。

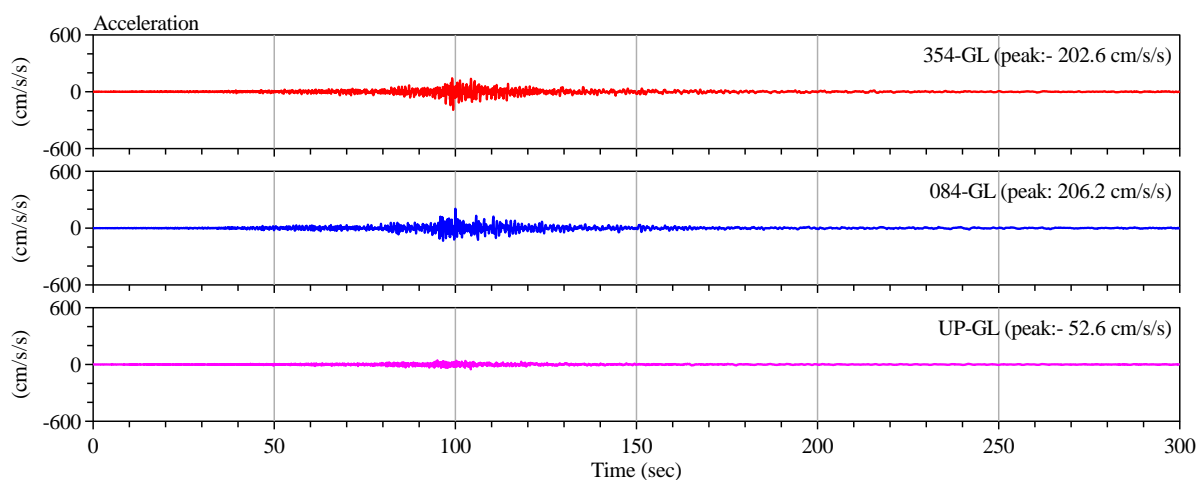


図 4.4-61 地表(GL)の加速度記録

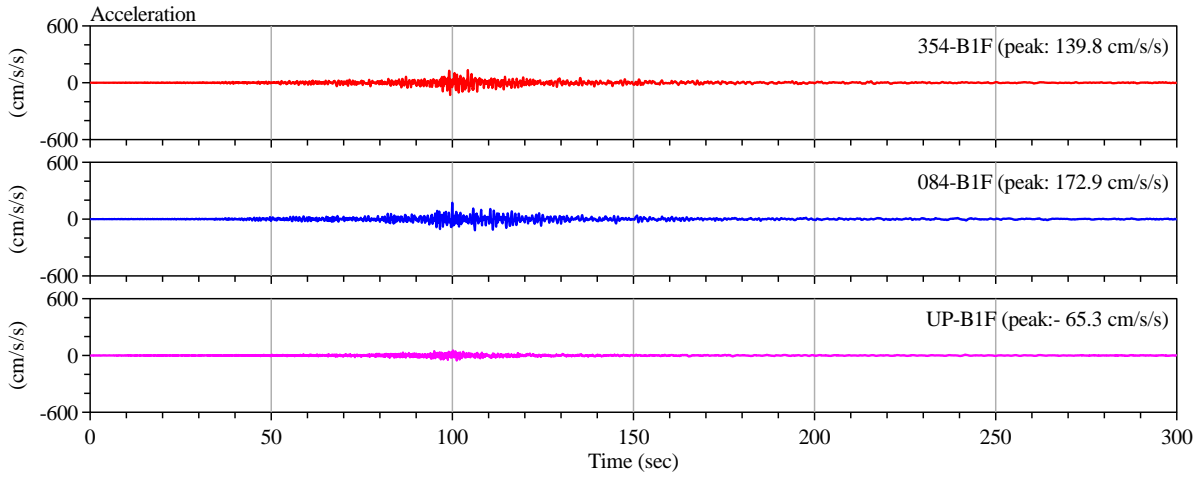


図 4.4-62 地下 1 階(B1F)の加速度記録

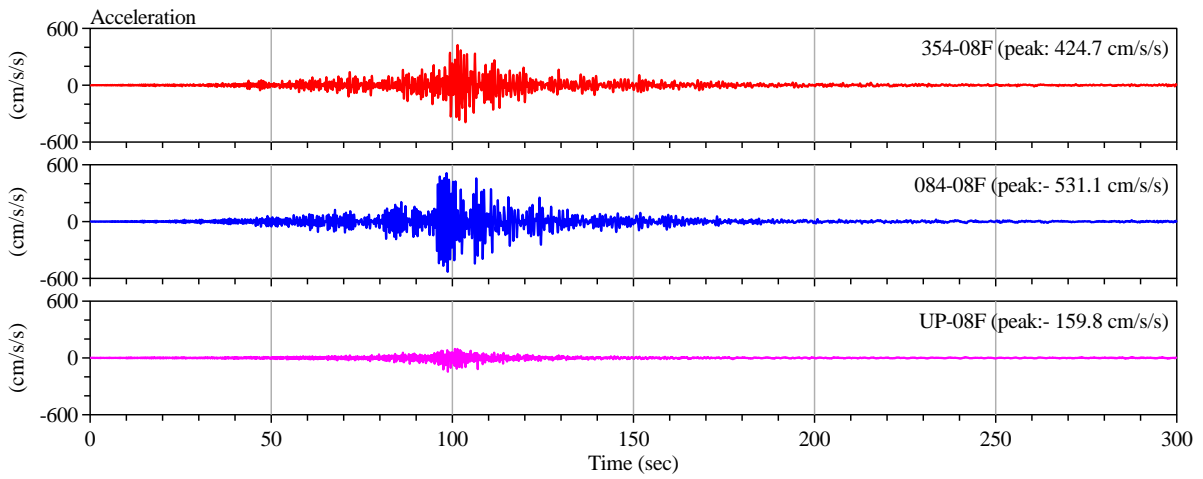


図 4.4-63 8 階(08F)の加速度記録

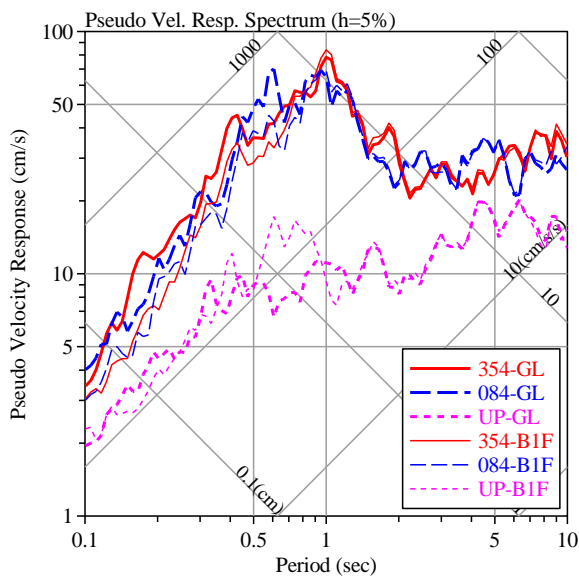


図 4.4-64 地表(GL)と地下 1 階(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

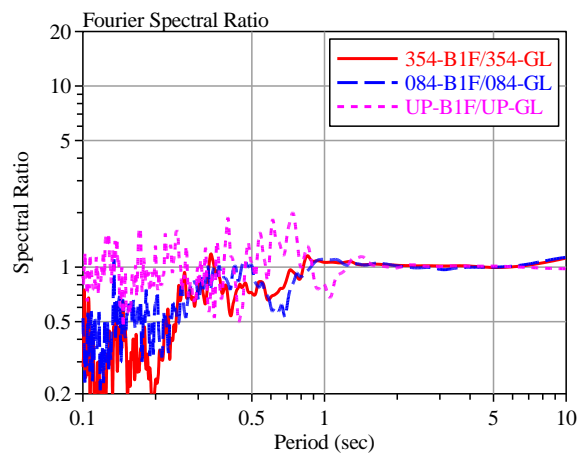


図 4.4-65 地下 1 階(B1F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

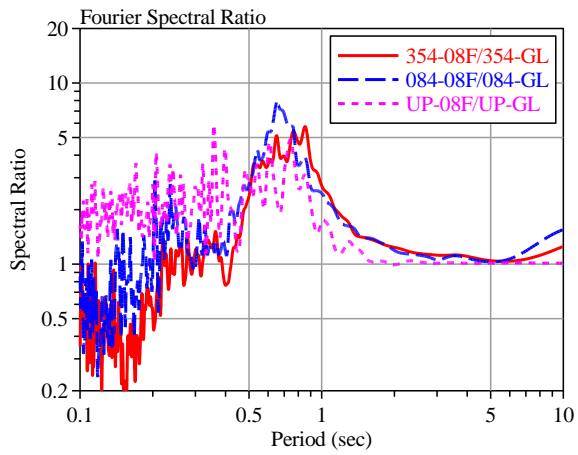


図 4.4-66 8階(08F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

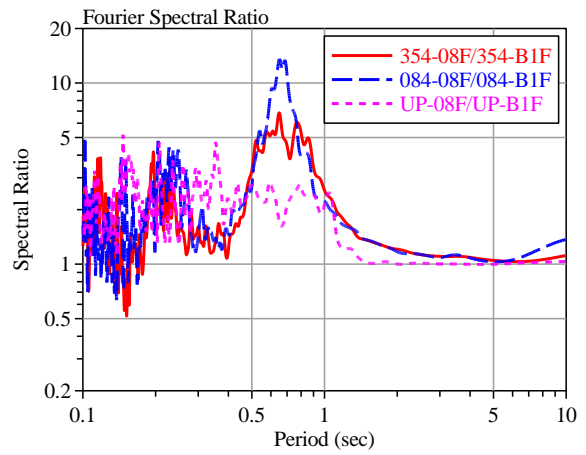


図 4.4-67 8階(08F)の地下1階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.10 東京大学工学部 11 号館(UTK)の強震記録

東京都文京区にある東京大学工学部 11 号館は、地上 9 階建ての鉄骨鉄筋コンクリート造建物で、2006 年に耐震改修工事が行われている。強震計は、地表(GL)、建物 1 階(01F)、及び 7 階に 2 台(07FN と 07FS)の計 4 台の加速度計を有している。図 4.4-68 から図 4.4-70 に地表(GL)、建物 1 階(01F)、及び 7 階(07FN)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は 200 cm/s^2 前後であり、地表(GL)の記録から算出した計測震度は 4.7(震度 5 弱)であった。建物の 1 階(01F)の最大加速度は、地表(GL)の 4 割から 7 割強の値となっている。また、建物の 7 階(07FN)の最大加速度は、 $\text{N}348^\circ\text{E}$ 方向が 181 cm/s^2 、 $\text{N}078^\circ\text{E}$ 方向が 212 cm/s^2 と、1 階(01F)の最大加速度の 2.5 倍から 1.4 倍となっている。

図 4.4-71 に、地表(GL)と建物 1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が 1 階(01F)に対応し、実線が $\text{N}348^\circ\text{E}$ 方向、破線が $\text{N}078^\circ\text{E}$ 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。地表(GL)の水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.25 秒から長周期領域にかけて平坦ながら右上がりの傾向を示している。

1 階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-72 に示す。水平方向のスペクトル比は、0.6 秒以下の周期領域で 1 を下回り、特に $\text{N}348^\circ\text{E}$ 方向の落ち込みが大きい。

図 4.4-73 と図 4.4-74 に、7 階(07FN)の記録の地表(GL)と 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。7 階(07FN)/1 階(01F)のスペクトル比(図 4.4-74)をみると、 $\text{N}348^\circ\text{E}$ 方向では約 0.5 秒、 $\text{N}078^\circ\text{E}$ 方向では約 0.6 秒にピークが表れて、上部構造の 1 次固有周期と考えられる。7 階(07FN)/地表(GL)のスペクトル比(図 4.4-73)をみると、ピークの位置は 7 階(07FN)/1 階(01F)と、ほとんど変わらない。

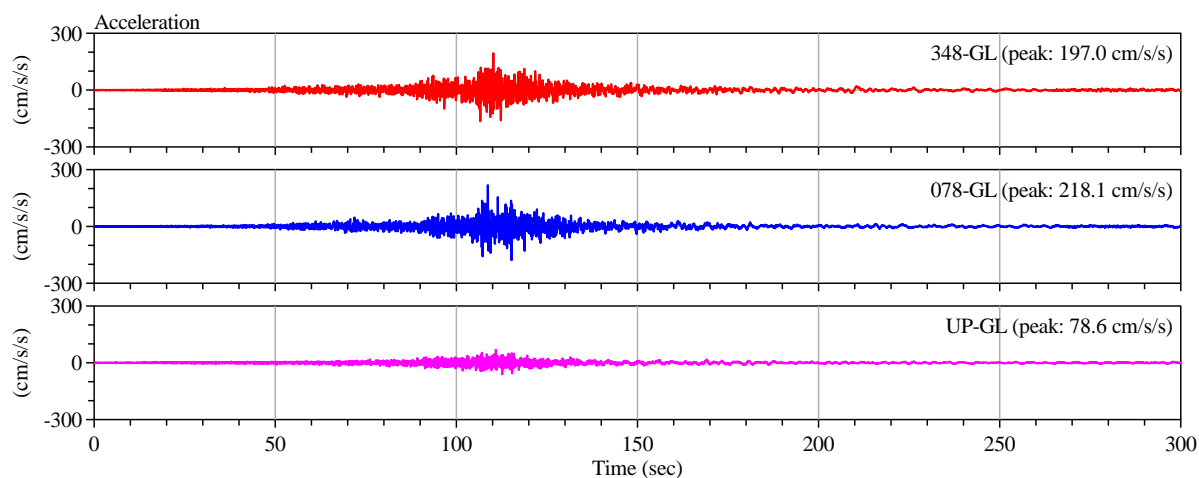


図 4.4-68 地表(GL)の加速度記録

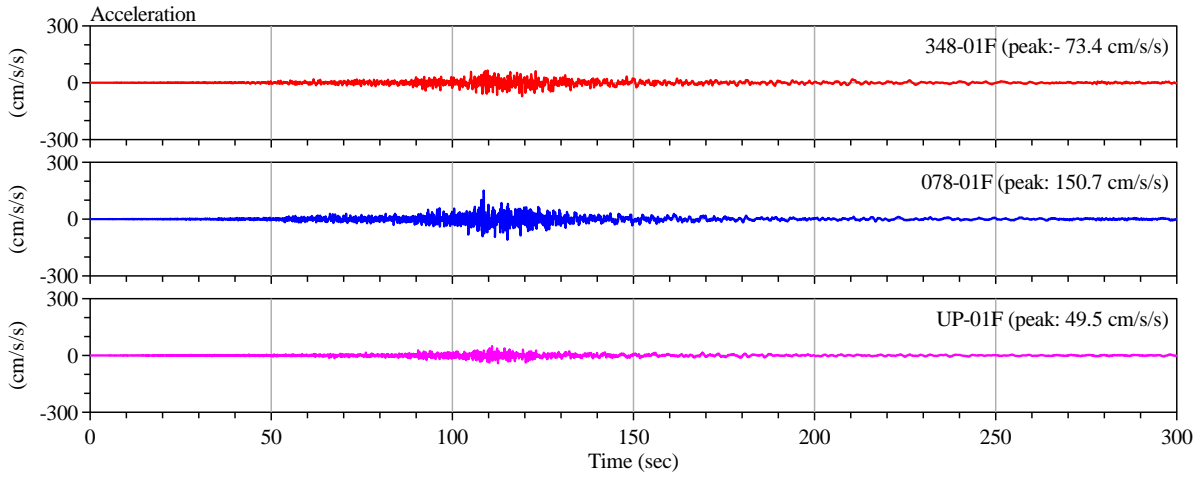


図 4.4-69 1階(01F)の加速度記録

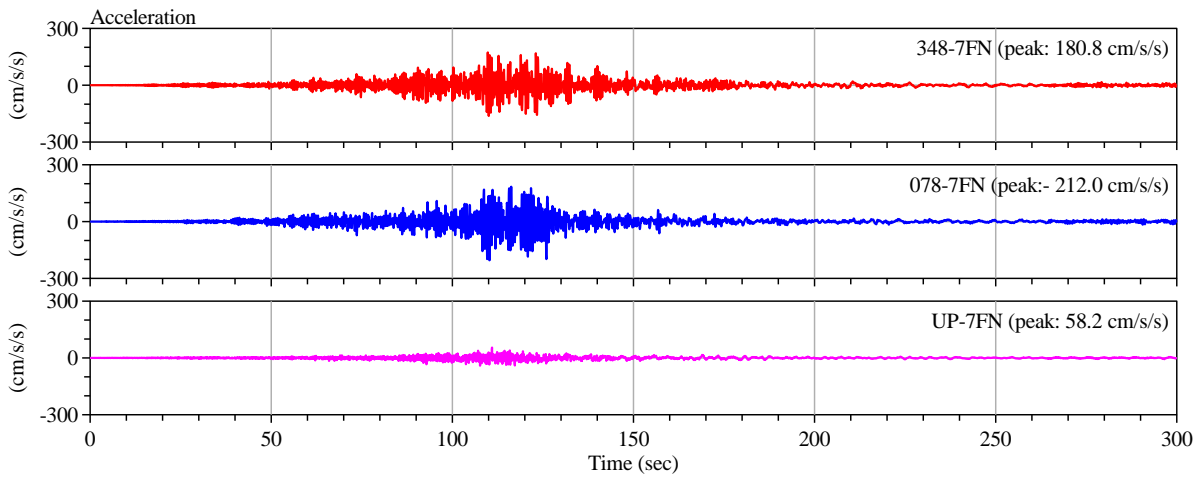


図 4.4-70 7階(07FN)の加速度記録

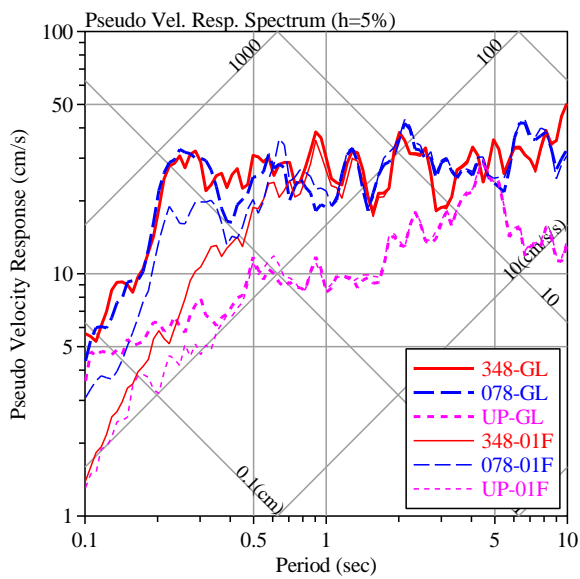


図 4.4-71 地表(GL)と1階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

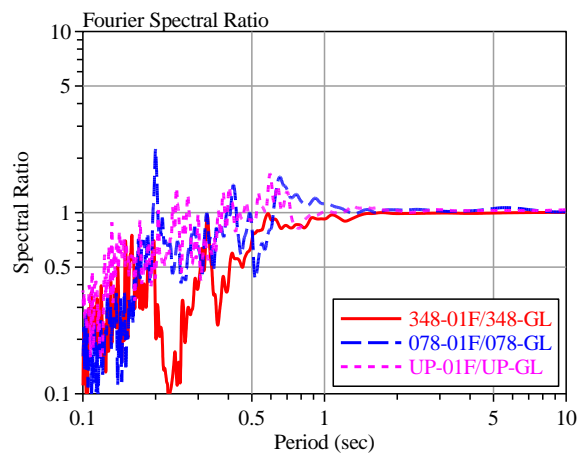


図 4.4-72 1階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

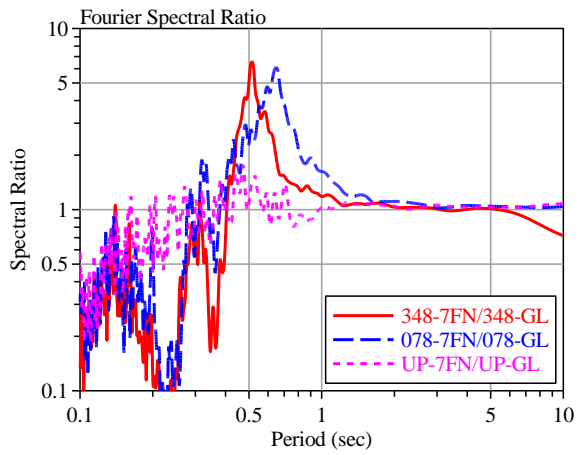


図 4.4-73 7階(07FN)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

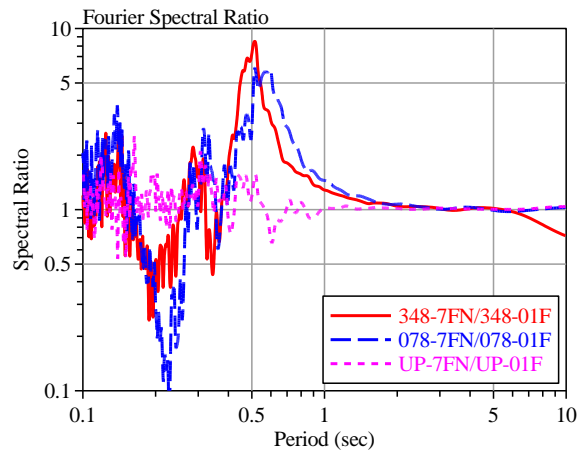


図 4.4-74 7階(07FN)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.11 東京海洋大学国際交流会館(TUF)の強震記録

東京海洋大学国際交流会館は、東京都港区にある東京海洋大学品川キャンパス内に立地する地上 7 階建ての鉄骨鉄筋コンクリート造建物である。強震計は、地表(GL)、建物 1 階(01F)、及び 7 階(07F)に加速度計を有している。図 4.4-75 から図 4.4-77 に地表(GL)、建物 1 階(01F)、及び 7 階(07F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は 180 cm/s^2 強であり、地表(GL)の記録から算出した計測震度は 5.0(震度 5 強)であった。建物の 1 階(01F)の最大加速度は地表より若干小さめである。7 階(07F)の最大加速度は、 $\text{N}000^\circ\text{E}$ 方向で 316 cm/s^2 、 $\text{N}090^\circ\text{E}$ 方向で 223 cm/s^2 であった。

図 4.4-78 に、地表(GL)と建物 1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が 1 階(01F)に対応し、実線が $\text{N}000^\circ\text{E}$ 方向、破線が $\text{N}090^\circ\text{E}$ 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。地表(GL)の水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.4 秒から長周期領域にかけて概ね平坦で、0.5 秒から 0.8 秒の周期領域では 1 階(01F)の応答が地表(GL)を上回っている。

1 階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-79 に示す。水平方向のスペクトル比は、0.5 秒強に山があり、0.3 秒前後に深い谷が表れる。

4.4-80 と図 4.4-81 に、7 階(07F)の記録の地表(GL)と 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。7 階(07F)/1 階(01F)のスペクトル比をみると、 $\text{N}000^\circ\text{E}$ 方向では約 0.36 秒に明瞭なピークが表れて、上部構造の 1 次固有周期と考えられる。一方、 $\text{N}090^\circ\text{E}$ 方向では 0.23 秒にピークが表れるが、位相特性から判断すると、1 次固有周期はもう少し長周期側にあると推察できる。7 階(07F)/地表(GL)のスペクトル比ではピークは長周期側にずれ、相互作用の影響が窺える。

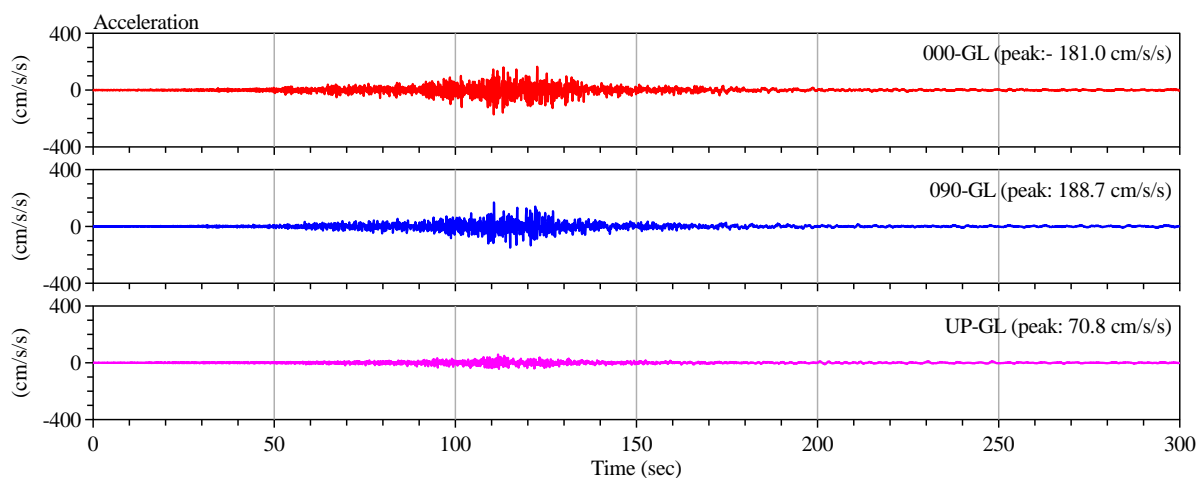


図 4.4-75 地表(GL)の加速度記録

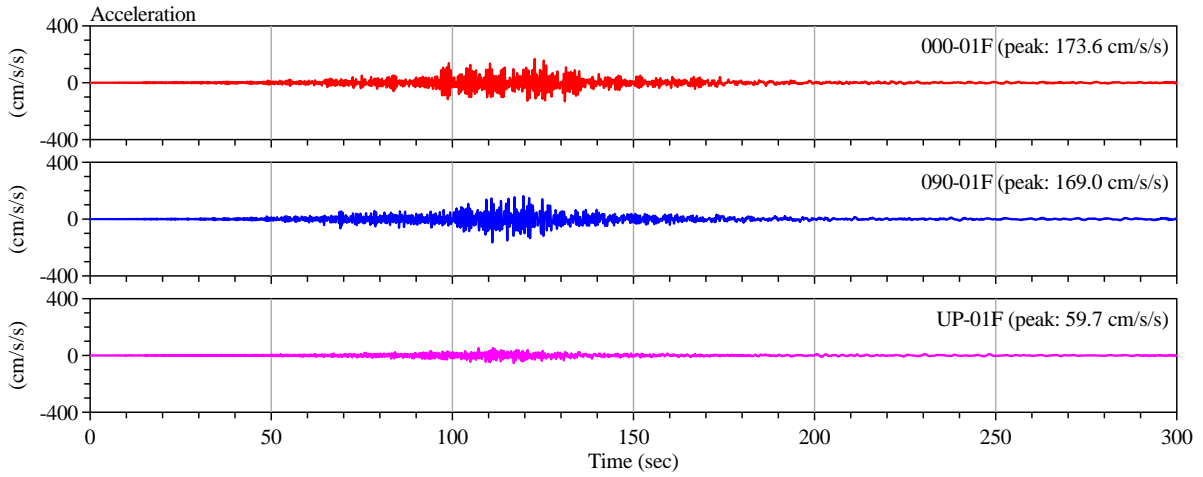


図 4.4-76 1階(01F)の加速度記録

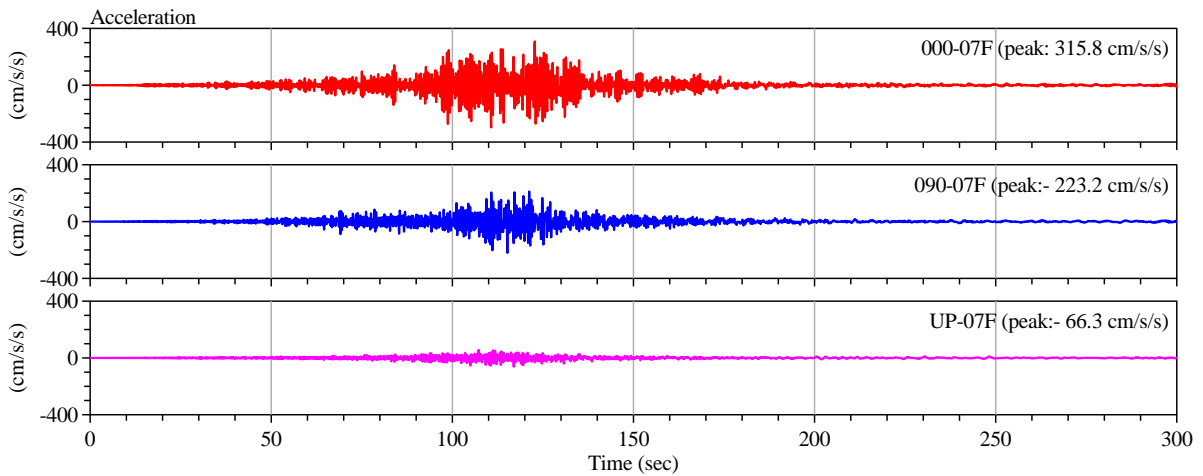


図 4.4-77 7階(07F)の加速度記録

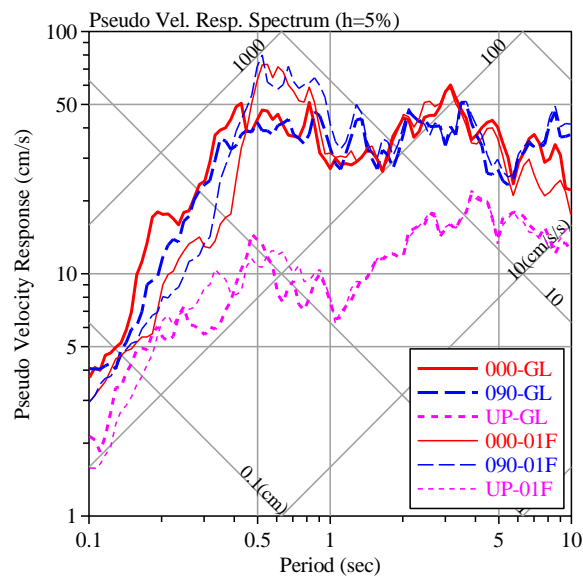


図 4.4-78 地表(GL)と1階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

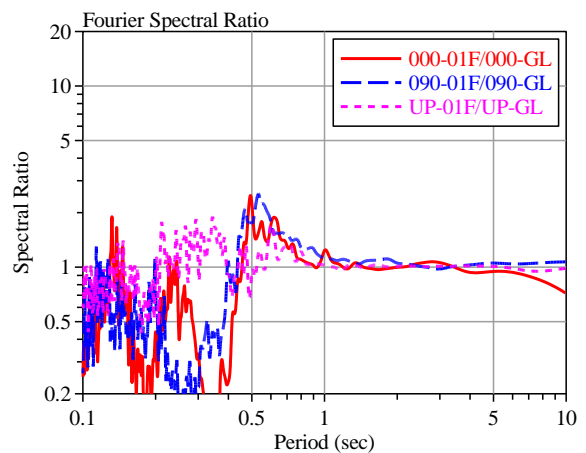


図 4.4-79 1階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

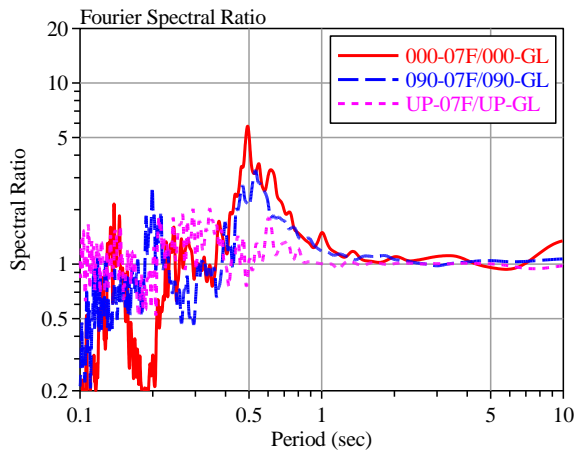


図 4.4-80 7階(07F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

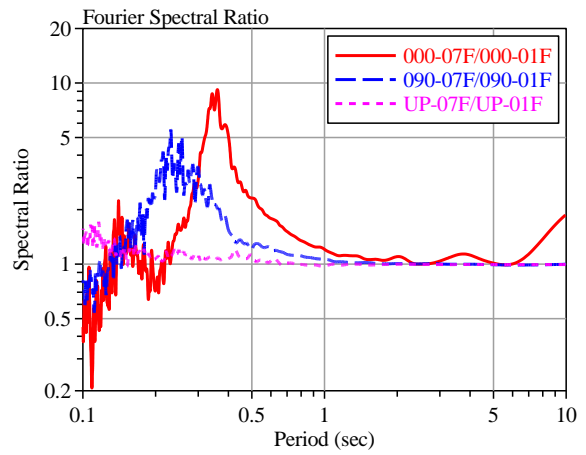


図 4.4-81 7階(07F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.12 国土交通大学校(KDI)の強震記録

国土交通大学校は、東京都小平市に立地し、観測対象は地上 3 階建ての鉄筋コンクリート造の管理厚生棟である。強震計は、地表(GL)、建物 1 階(01F)、及び 3 階(03F)に加速度計を有している。図 4.4-82 から図 4.4-84 に地表(GL)、建物 1 階(01F)、及び 3 階(03F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は 143 cm/s^2 から 167 cm/s^2 であり、地表(GL)の記録から算出した計測震度は、4.6(震度 5 弱)であった。建物の 1 階(01F)の最大加速度は、N090°E 方向では地表の 2/3 程となっている。また、建物の 3 階(03F)の最大加速度は、N090°E 方向で 129 cm/s^2 、N180°E 方向で 329 cm/s^2 と、1 階(01F)に比べ N180°E 方向で 2.4 倍に増幅している。

図 4.4-85 に、地表(GL)と建物 1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が 1 階(01F)に対応し、実線が N090°E 方向、破線が N180°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。地表(GL)の水平方向の擬似速度応答スペクトルは、短周期領域では起伏があり、0.2 秒強、0.4 秒弱にピークがある。長周期領域は比較的平坦で、周期 2.5 秒から 3 秒で 45 cm/s 程度の速度応答を示している。

1 階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-86 に示す。水平方向のスペクトル比は、0.5 秒以上の周期領域で 1 を示し、0.3 秒から 0.4 秒で盛り上がり、0.25 秒以下の周期領域で 1 を下回る。

図 4.4-87 と図 4.4-88 に、3 階(03F)の記録の地表(GL)と 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。3 階(03F)/1 階(01F)のスペクトル比をみると、N090°E 方向では約 0.13 秒に、N180°E 方向では 0.26 秒に明瞭なピークが表れて、上部構造の 1 次固有周期と考えられる。3 階(03F)/地表(GL)のスペクトル比では N180°E 方向ピークは長周期側にずれ、相互作用の影響が伺えるが、N090°E 方向のピークは不明瞭である。

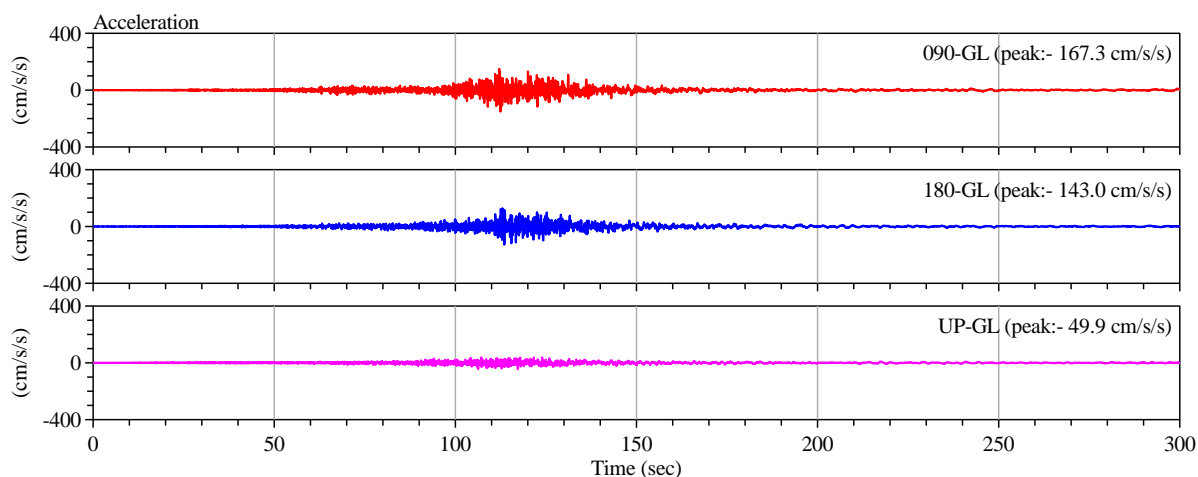


図 4.4-82 地表(GL)の加速度記録

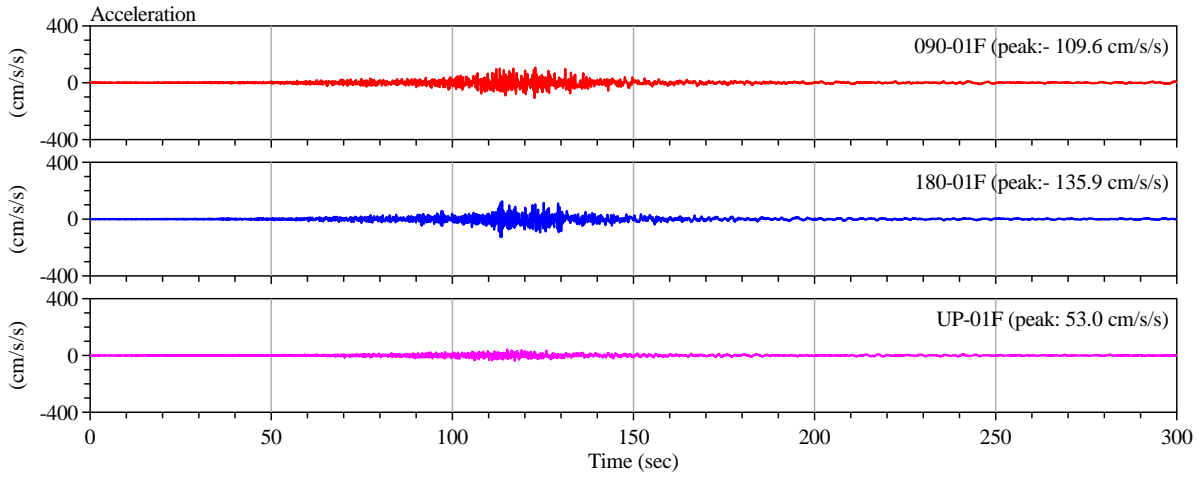


図 4.4-83 1階(01F)の加速度記録

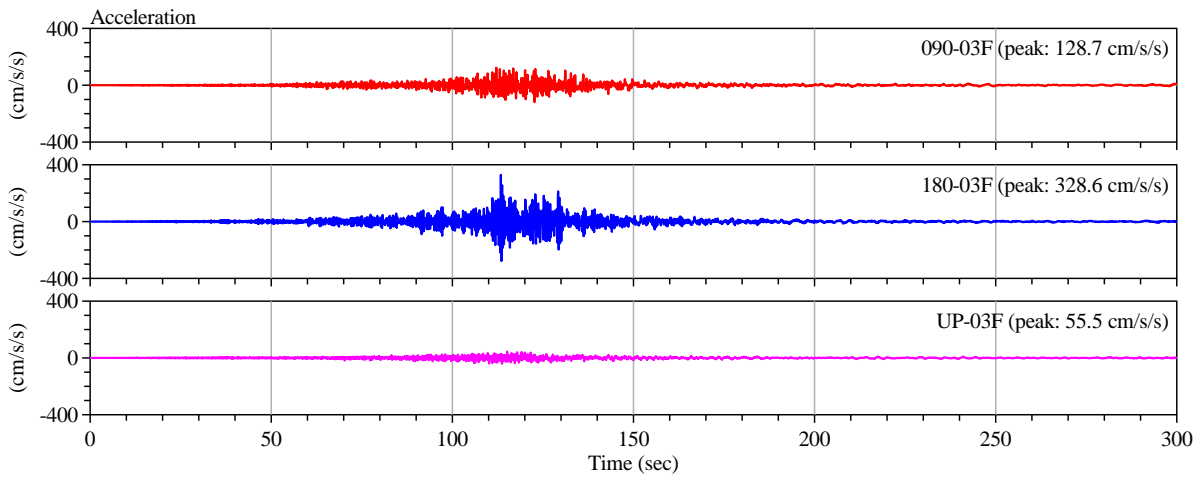


図 4.4-84 3階(03F)の加速度記録

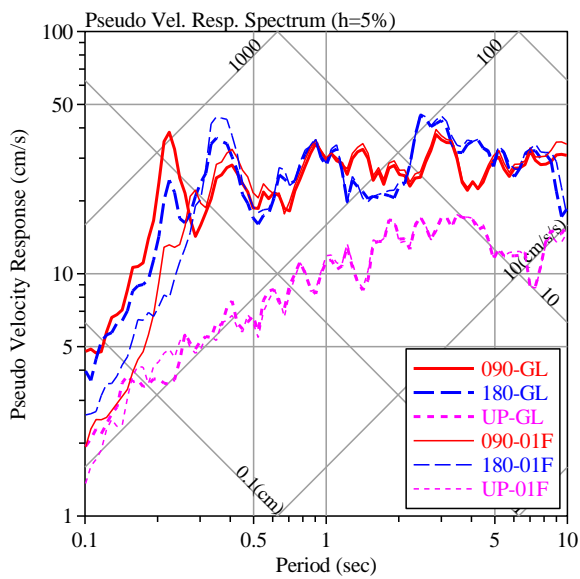


図 4.4-85 地表(GL)と1階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

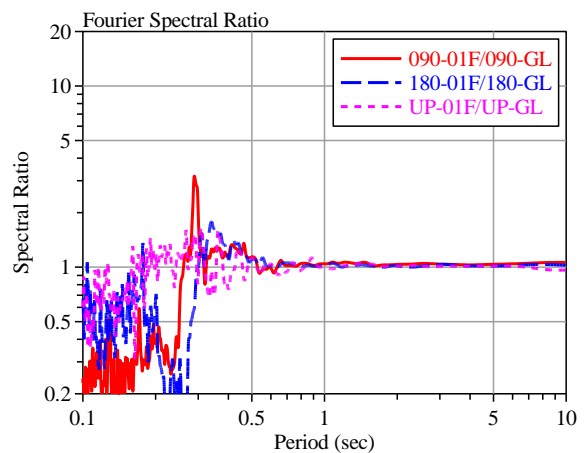


図 4.4-86 1階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

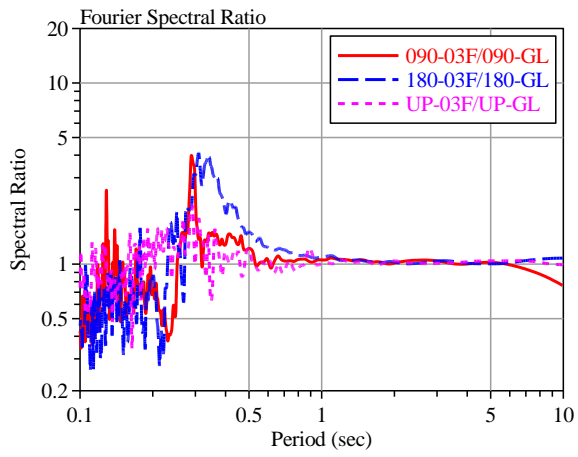


図 4.4-87 3 階(03F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

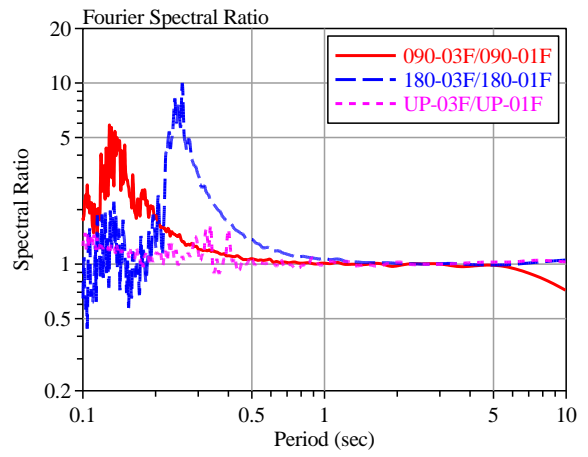


図 4.4-88 3 階(03F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5 建物内だけに複数の加速度計を有する建物の強震記録

本節では、超高層や免震以外の建物のうち、建物内だけに複数の加速度計を設置している建物で、地表に最も近い加速度計で震度 5 弱以上を計測した建物の強震記録を取り扱う。対象となる建物は表 4.5-1 に示す 11 棟である。震度の内訳をみると、震度 6 弱 1 棟、震度 5 強 2 棟、震度 5 弱 8 棟となっている。これらの建物には、少なくとも建物の基礎部と頂部に 2 台の加速度計が設置されているので、地震時の建物の応答特性の検討が行える。4.5.1 項以降に、各建物で得られた強震観測記録を示す。

表 4.5-1 対象建物一覧

項	記号	観測地点	計測震度	構造/階数	特徴
4.5.1	THU	東北大学人間環境系研究棟	5.6	SRC/9F	耐震壁が曲げ破壊し大破
4.5.2	IWK	いわき市庁舎	5.3	SRC/8F+B1F	RC 壁や仕上げに被害
4.5.3	HCN	八戸市庁舎本館	4.6	RC/6F+B1F	
4.5.4	ICK	市川市行徳図書館	5.2	RC/5F	
4.5.5	EDG	江戸川区庁舎	4.8	SRC/5F+B1F	
4.5.6	ADC	足立地方合同庁舎	4.8	RC/5F+B1F	
4.5.7	AKB	北区赤羽会館	4.6	SRC/7F+B2F	
4.5.8	NDLM	国立国会図書館本館	4.5	RC/6F+B1F(17S)	観測対象は 17 層の書庫棟
4.5.9	NDLA	国立国会図書館新館	4.5	RC/4F+B8F	深い地下階
4.5.10	NKN	東京法務局中野出張所	4.8	RC/5F	
4.5.11	KWS	川崎南労働基準監督署	4.7	S/7F	

注) 構造/階数: 構造は S が鉄骨造、RC が鉄筋コンクリート造、SRC が鉄骨鉄筋コンクリート造、PC がプレストレストコンクリート造を表す。階数は地上階+地下階。

4.5.1 東北大学人間環境系研究棟(THU)の強震記録

東北大学人間環境系研究棟は、仙台市青葉区の東北大学青葉山キャンパスに位置する、地上 9 階建ての鉄骨鉄筋コンクリート造建物である。この建物は東北地方太平洋沖地震で、連層耐震壁が曲げ破壊するなど大破した^{4,7)}。強震計は、建物の 1 階(01F)と 9 階(09F)に計 2 台の加速度計を有している。図 4.5-1 と図 4.5-2 に、1 階(01F)と 9 階(09F)で得られた加速度記録を示す。1 階(01F)の N192°E 方向の最大加速度は 333 cm/s^2 に達し、1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 5.6(震度 6 弱)であった。地震動の強さは、前節で述べた仙台第 2 合同庁舎より大きかったと言える。1 階(01F)の加速度記録を見ると、やはり大きな振幅のふたつの波群が 50 秒ほどの間隔をおいて表れ、ふたつ目の波群の振幅が若干大きい。9 階(09F)の加速度記録を見ると、N192°E 方向の最大加速度はふたつ目の波群に対応した時刻に表れているが、N282°E 方向では 10 秒ほど遅れて最大応答値を記録している。なお、N192°E 方向が建物の短辺方向で、曲げ破壊した連層耐震壁の配置方向に対応する。

1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを図 4.5-3 に示す。実線が N192°E 方向、破線が N282°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。N192°E 成分の擬似速度応答スペクトルは、周期 1 秒辺りのピークが特徴的となっており、速度応答値は 180 cm/s に達する。

図 4.5-4 は、9 階(09F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比である。フーリエ振幅スペクトル比には、N192°E 方向で周期 1.3 秒、N282°E 方向で周期 1.2 秒に 1 次固有周期に対応するピークが表れるが、その形状は緩やかで、建物が損傷を受けて地震の継続中に固有周期が変化した影響と考えられる。

1 階(01F)と 9 階(09F)の加速度記録を積分して求めた変位記録(絶対変位)を、図 4.5-5 と図 4.5-6 に示す。1 階(01F)の変位は 80 秒過ぎに大きな振幅を記録し、最大変位は N282°E 方向で 30 cm を超えている。9 階(09F)の変位は、更に建物の応答変位が加わり、最大変位は N192°E 方向で 33 cm、N282°E 方向で 35 cm となっている。図 4.5-7 と図 4.5-8 は、それぞれ 1 階(01F)と 9 階(09F)の変位記録の水平面内軌跡を、20 秒ごとに描画したものである。1 階(01F)の変位は、80 秒から 100 秒の間に大きく東方向に揺れており、4.2.1 項で述べた仙台第 2 合同庁舎の地下 2 階(B2F)の変位軌跡と調和的である。9 階(09F)の変位は 80 秒から 100 秒の間の揺れが特に激しい。

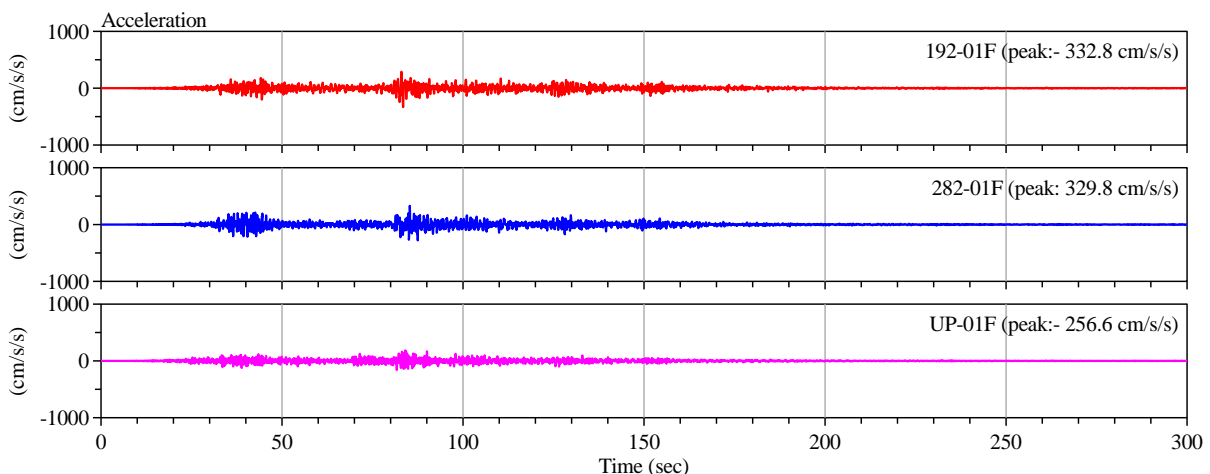


図 4.5-1 1 階(01F)の加速度記録

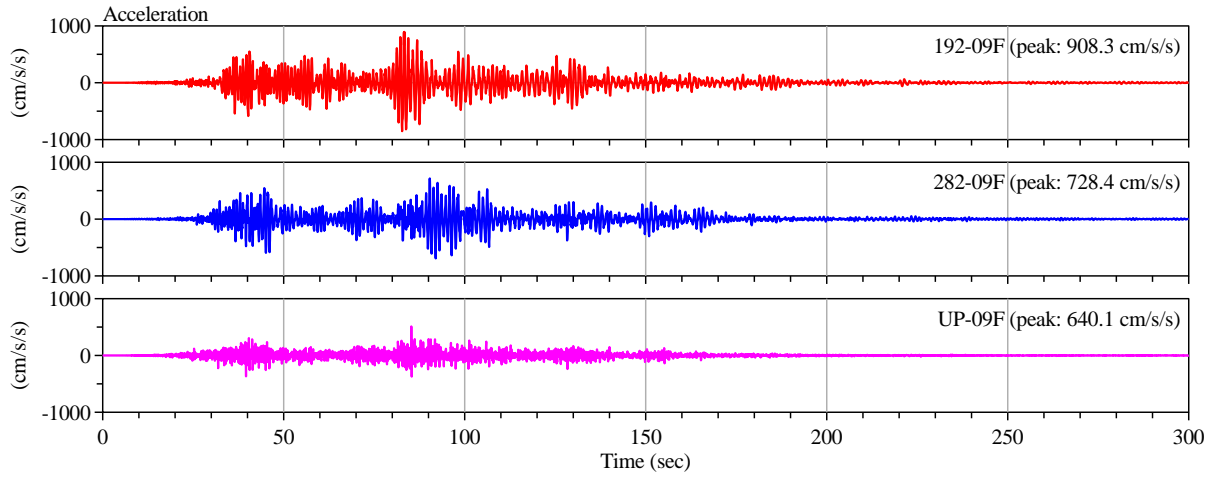


図 4.5-2 9階(09F)の加速度記録

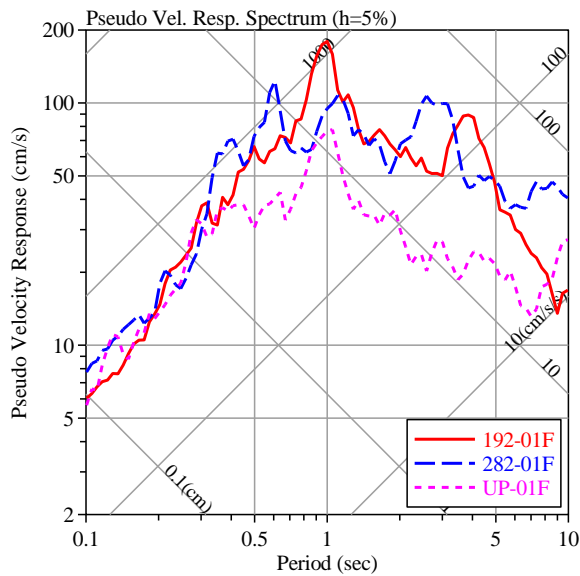


図 4.5-3 1階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

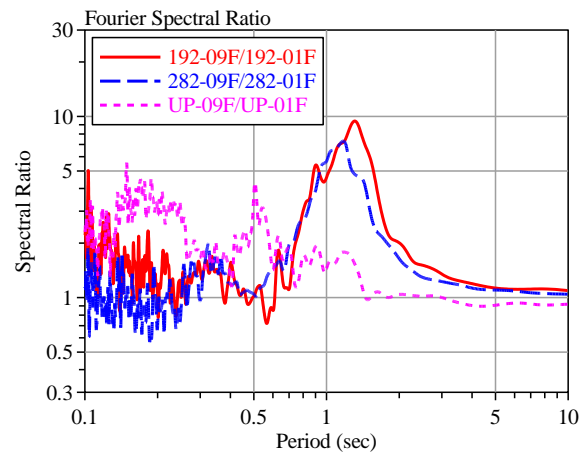


図 4.5-4 9階(09F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

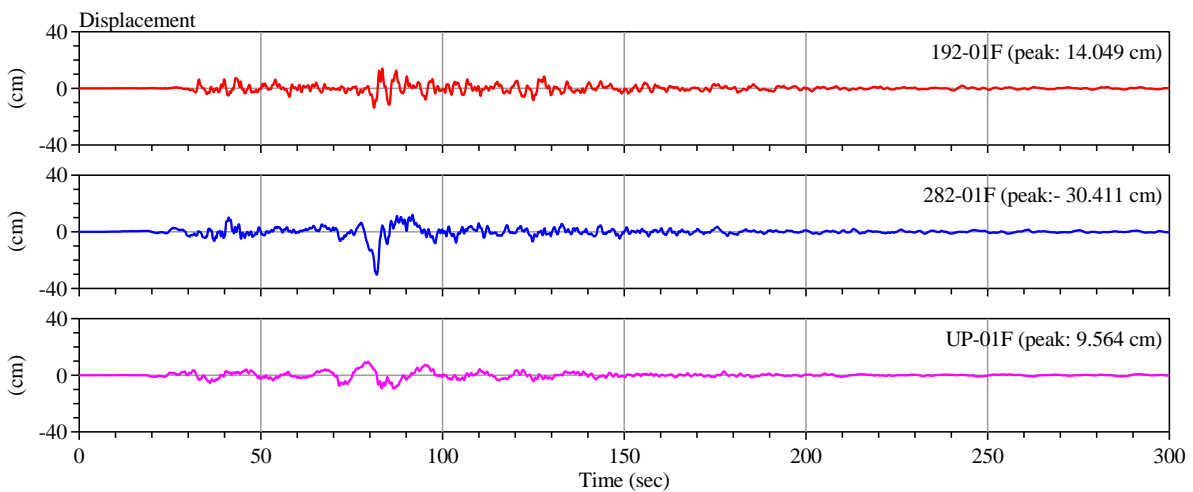


図 4.5-5 1階(01F)の変位記録

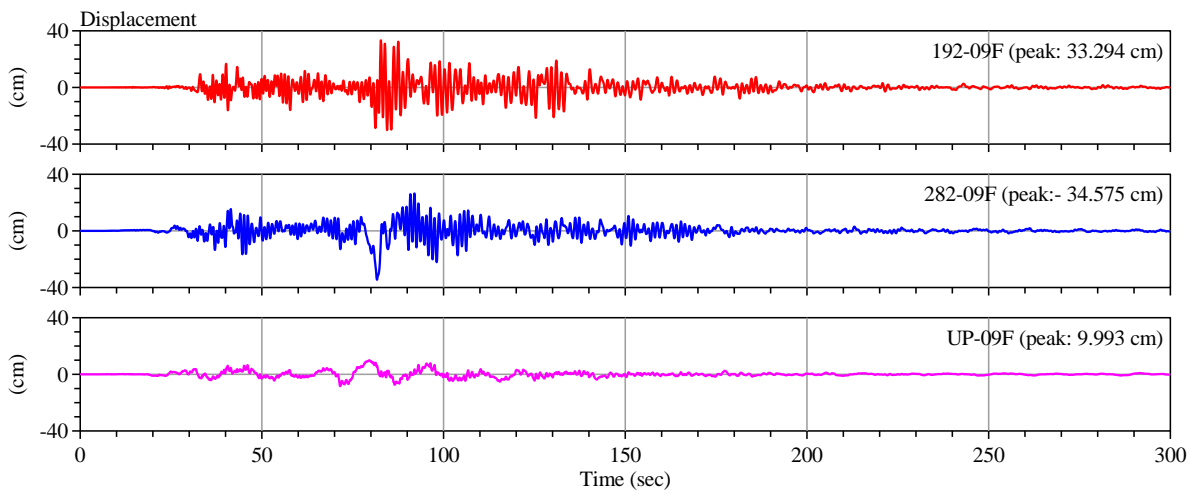


図 4.5-6 9階(09F)の変位記録

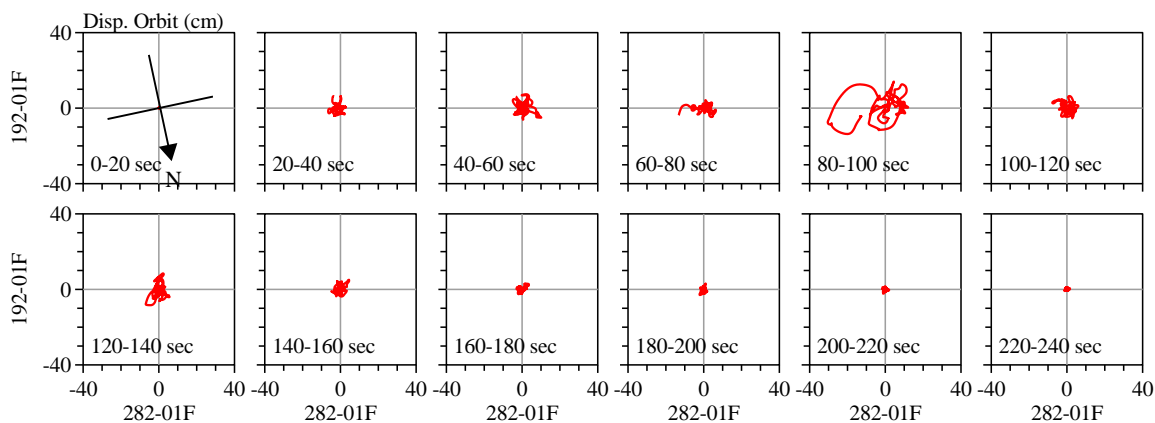


図 4.5-7 1階(01F)の変位の水平面内軌跡

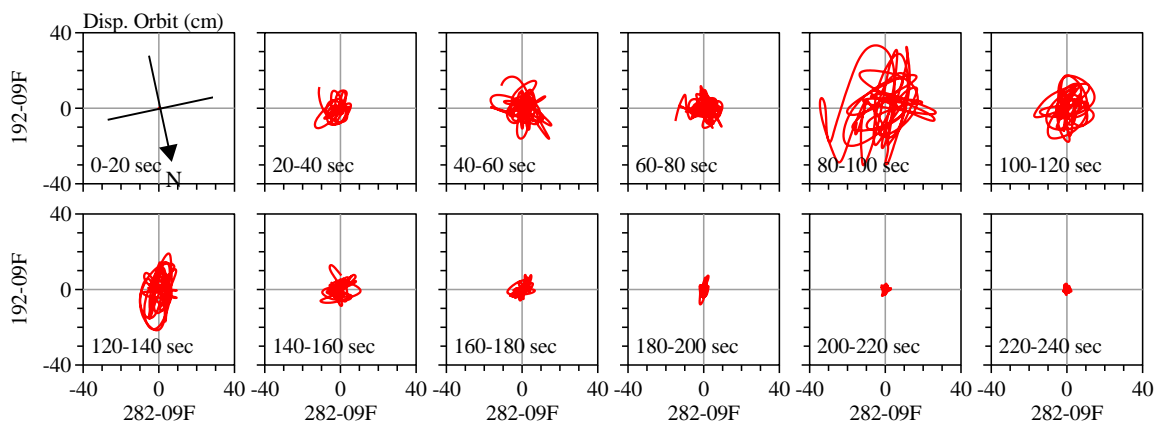


図 4.5-8 9階(09F)の変位の水平面内軌跡

4.5.2 いわき市庁舎(IWK)の強震記録

いわき市庁舎は福島県いわき市に立地する、地上 8 階、地下 1 階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物である。2011 年東北地方太平洋沖地震によって、庁舎はコンクリート壁の亀裂や仕上げ材の損傷などの被害を受けた⁴⁻⁸⁾。強震計は、地下 1 階(B1F)と塔屋 1 階(09F)に加速度計を有している。図 4.5-9 と図 4.5-10 に、地下 1 階(B1F)と塔屋 1 階(09F)で得られた加速度記録を示す。地下 1 階(B1F)の水平方向の最大加速度は 175 cm/s^2 前後であり、地下 1 階(B1F)の記録から算出した計測震度は 5.3(震度 5 強)であった。地下 1 階(B1F)の加速度記録には、仙台市内の記録に見られたような、明瞭なふたつの波群は認められないが、主要動が 30 秒辺りに到来し、更に大きな振幅の揺れが 70 秒から 120 秒に生じている。塔屋 1 階(09F)の加速度記録は、最初の主要動が到達したとみられる 30 秒辺りから大きな値を示しており、70 秒過ぎから更に大きな揺れを生じ、水平方向の最大加速度は N180°E 方向で 579 cm/s^2 、N270°E 方向で 449 cm/s^2 と、地下 1 階(B1F)の 3.3 倍から 2.5 倍となっている。

図 4.5-11 に、地下 1 階(B1F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N180°E 方向、破線が N270°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。1 秒から 3 秒の周期領域が優勢な形状をしており、応答速度の最大値は周期 2 秒付近で 100 cm/s を超えている。

塔屋 1 階(09F)の記録の地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-12 に示す。N180°E 方向で 0.88 秒、N270°E 方向で 0.60 秒に 1 次固有周期に対応するピークが表れており、低く幅の広い形状をしている。この形状は、地震動の継続中に周期特性が変化した影響と考えられる⁴⁻⁸⁾。

地下 1 階(B1F)と塔屋 1 階(09F)の加速度記録を積分して求めた変位記録(絶対変位)を、図 4.5-13 と図 4.5-14 に示す。地下 1 階(B1F)の変位は 90 秒過ぎに大きな振幅を記録し、最大変位は N180°E 方向で 24 cm を超えている。塔屋 1 階(09F)の変位は、更に建物の応答変位が加わり、最大変位は N180°E 方向で 35 cm となっている。図 4.3-15 と図 4.3-16 は、それぞれ地下 1 階(B1F)と塔屋 1 階(09F)の変位記録の水平面内軌跡を、20 秒ごとに描画したものである。地下 1 階(B1F)の変位は、80 秒から 100 秒の間に大きく南南東に揺れている。

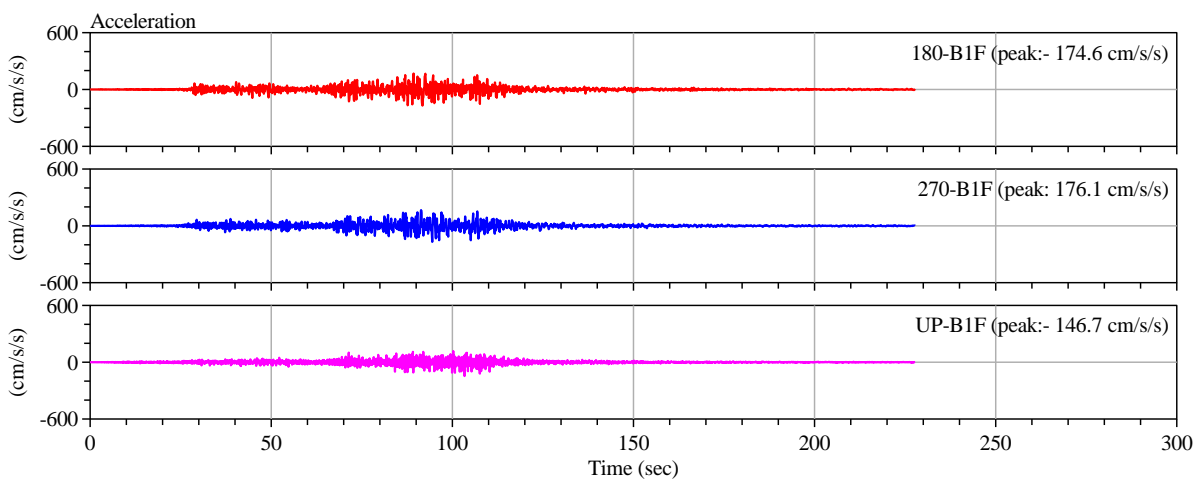


図 4.5-9 地下 1 階(B1F)の加速度記録

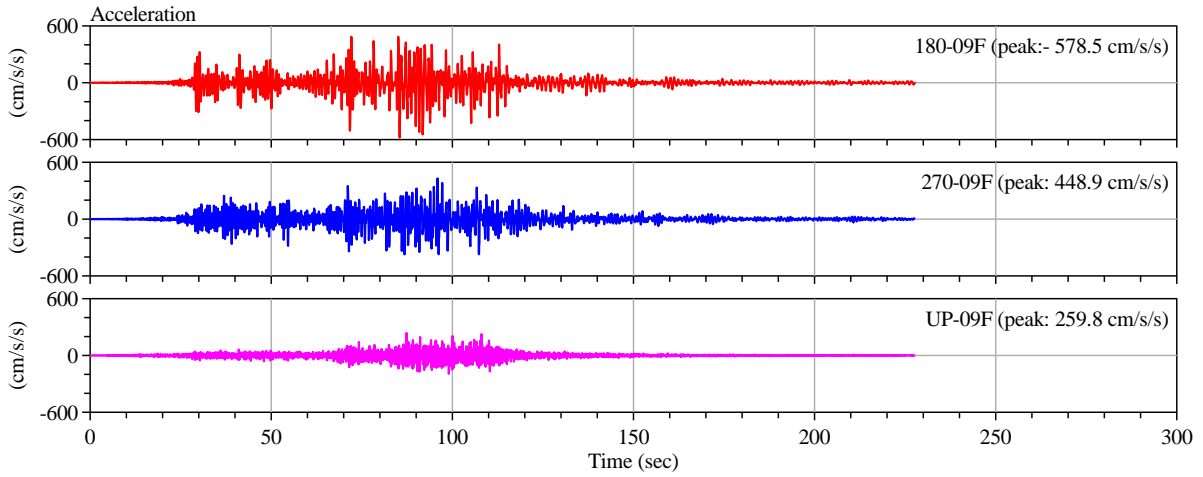


図 4.5-10 塔屋 1 階(09F)の加速度記録

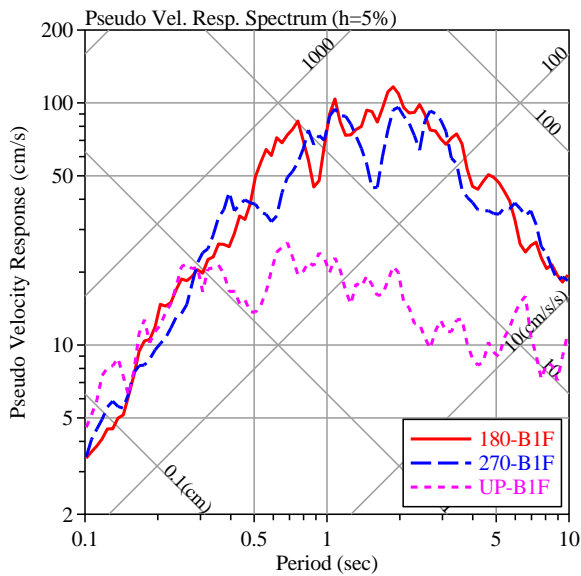


図 4.5-11 地下 1 階(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

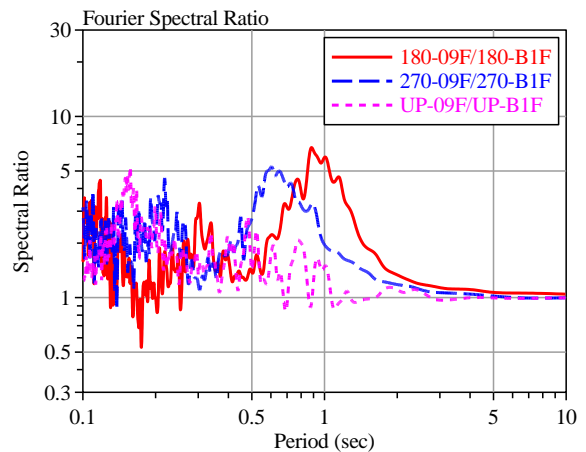


図 4.5-12 塔屋 1 階(09F)の地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

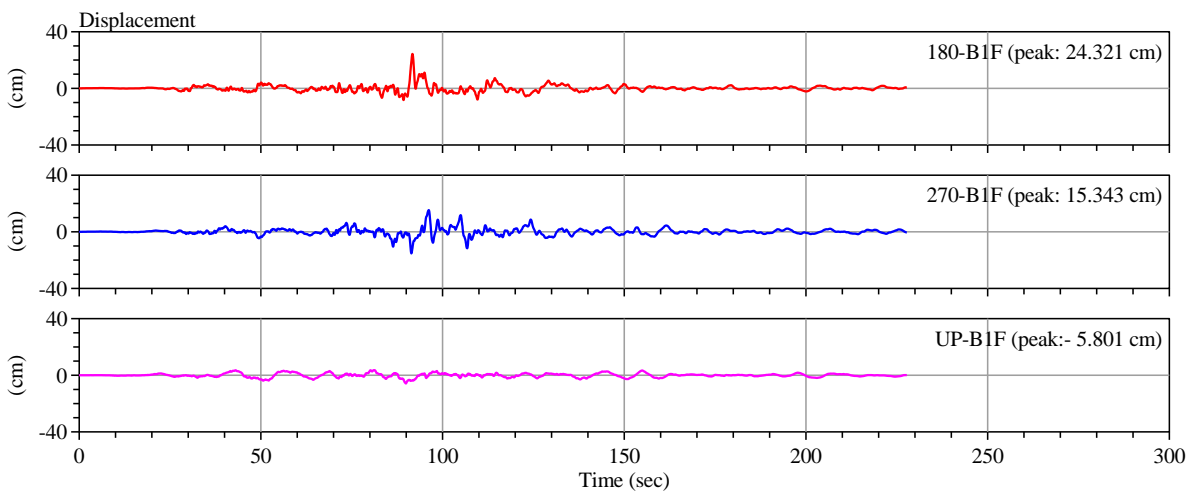


図 4.5-13 地下 1 階(B1F)の変位記録

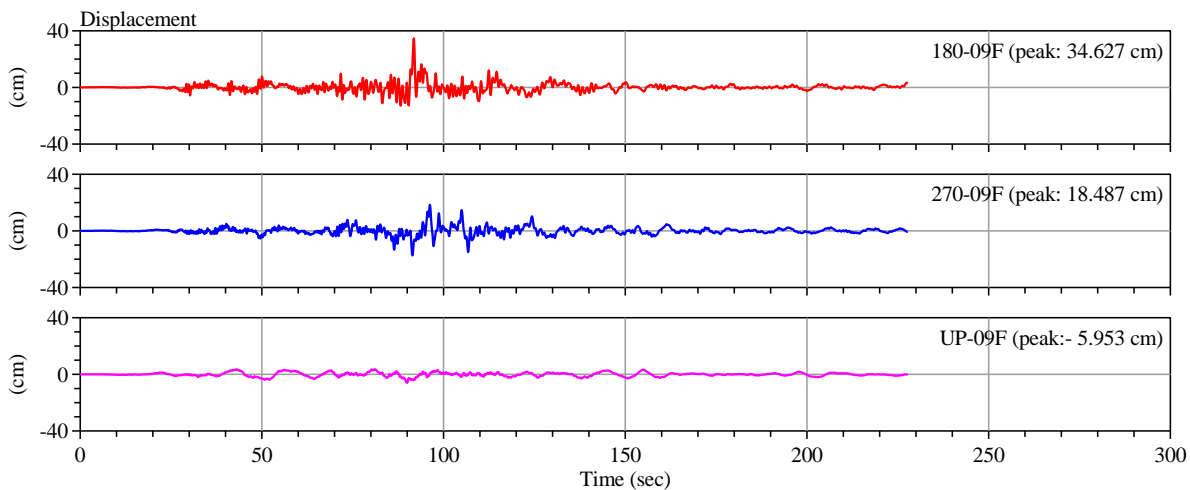


図 4.5-14 塔屋 1 階(09F)の変位記録

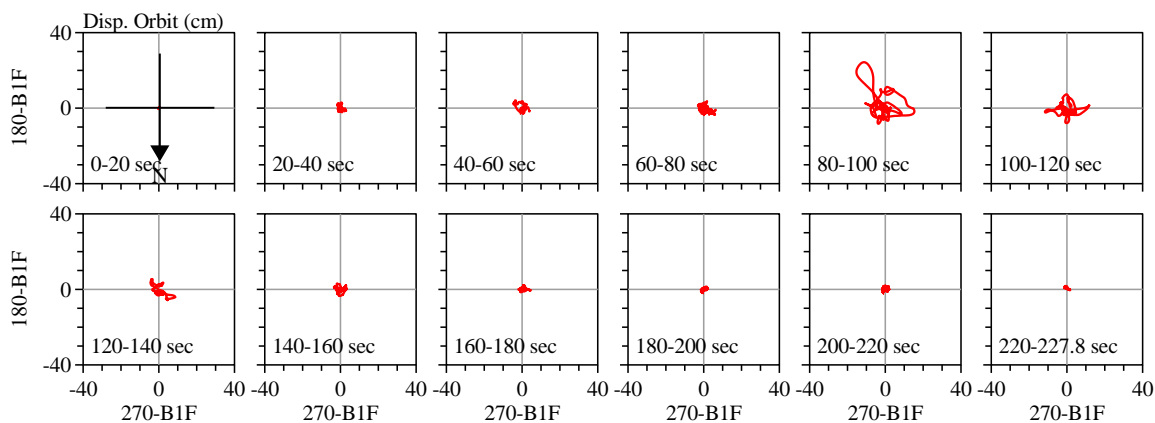


図 4.5-15 地下 1 階(B1F)の変位の水平面内軌跡

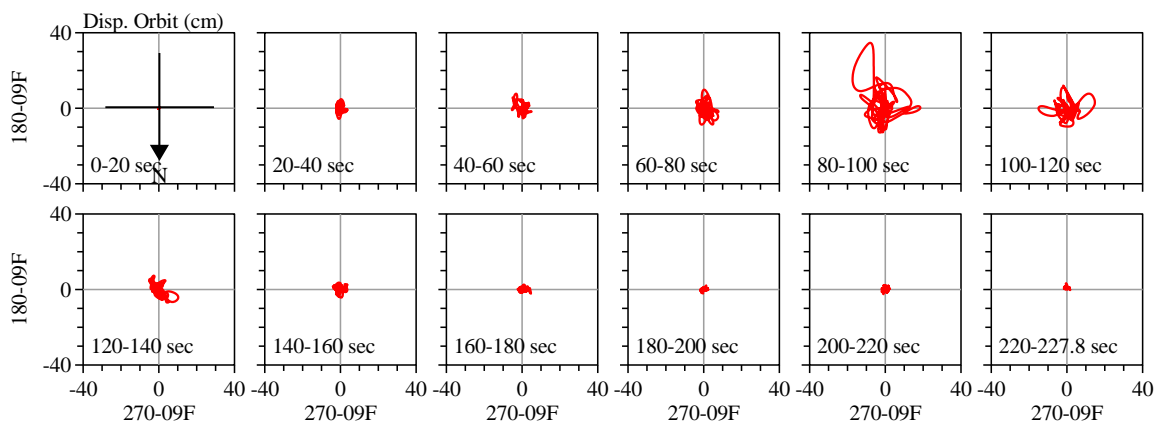


図 4.5-16 塔屋 1 階(09F)の変位の水平面内軌跡

4.5.3 八戸市庁舎本館(HCN)の強震記録

八戸市庁舎本館は、前節の八戸市庁舎別館と同じ敷地に建つ、地上 6 階、地下 1 階の鉄筋コンクリート造建物である。強震計は、地下 1 階(B1F)と 6 階(06F)に加速度計を有している。図 4.5-17 と図 4.5-18 に、地下 1 階(B1F)と 6 階(06F)で得られた加速度記録を示す。地下 1 階(B1F)の水平方向の最大加速度は 100 cm/s^2 前後であり、地下 1 階(B1F)の記録から算出した計測震度は 4.6(震度 5 弱)であった。建物の 6 階(06F)の最大加速度は N164°E 方向で 348 cm/s^2 、N254°E 方向で 335 cm/s^2 と、地下 1 階(B1F)の 3 倍程度の値となっている。

図 4.5-19 に、地下 1 階(B1F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N164°E 方向、破線が N254°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平 2 方向の擬似速度応答スペクトルに大きな差はなく、0.9 秒付近に大きな山を持つ形状となっている。

6 階(06F)の地下 1 階(B1F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-20 に示す。水平成分のスペクトル比には 1 次固有振動の明瞭なピークが表れ、固有周期は N164°E 方向で 0.41 秒、N254°E 方向で 0.43 秒となっている。

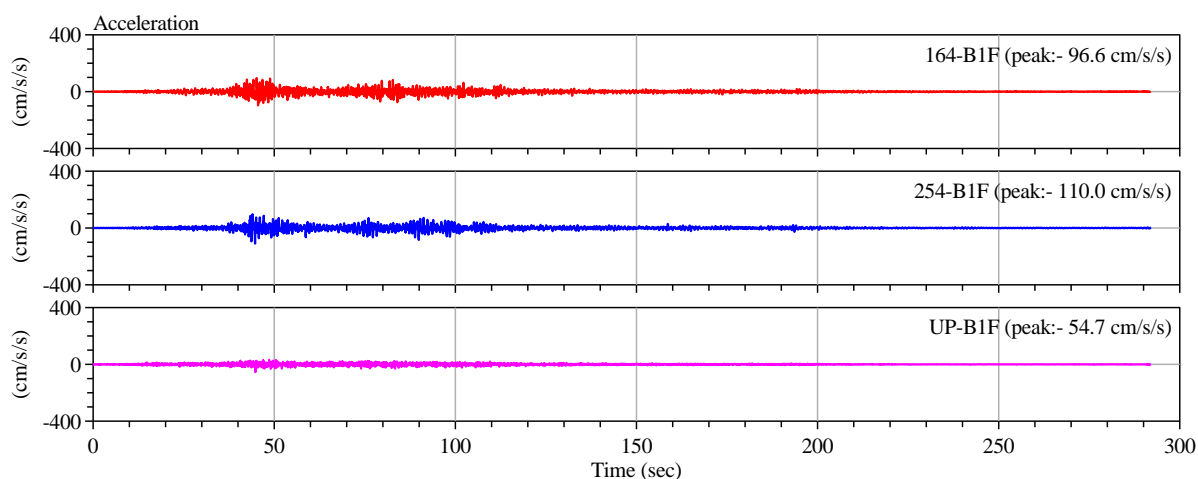


図 4.5-17 地下 1 階(B1F)の加速度記録

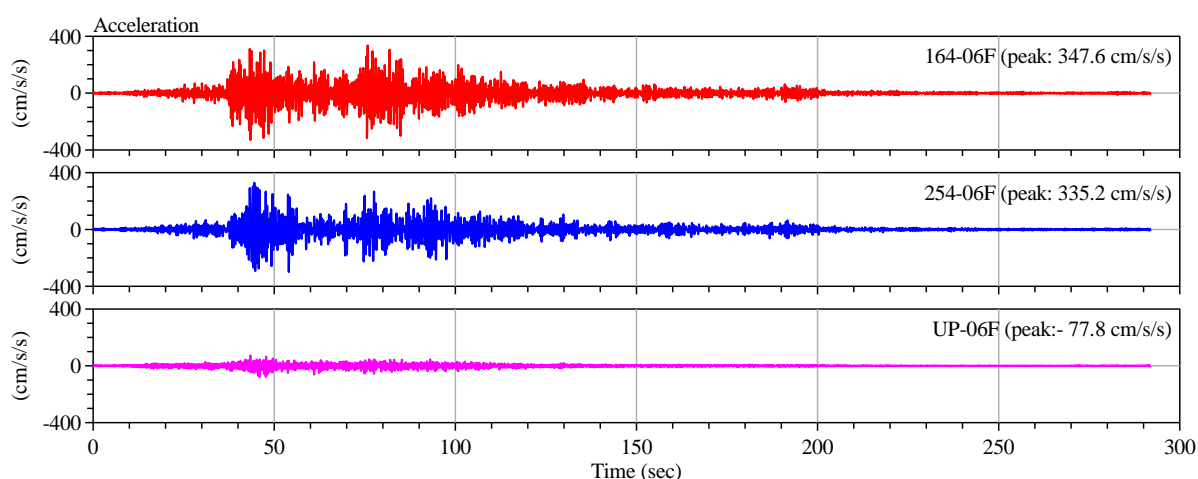


図 4.5-18 6 階(06F)の加速度記録

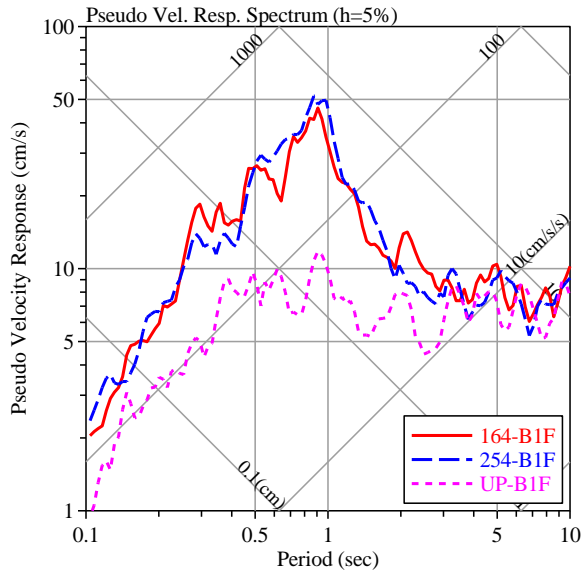


図 4.5-19 地下 1 階(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

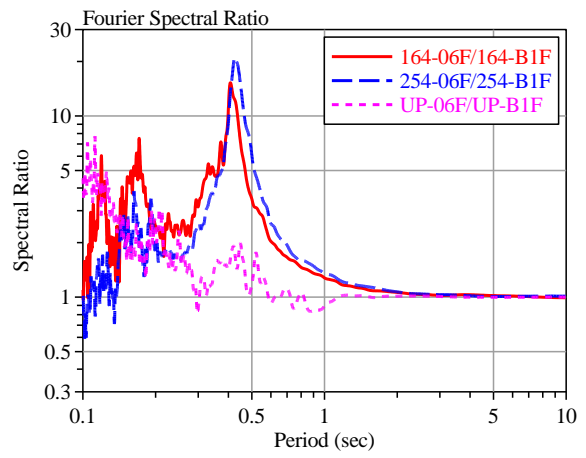


図 4.5-20 6 階(06F)の地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5.4 市川市行徳図書館(ICK)の強震記録

千葉県市川市の行徳図書館は、地上5階建ての鉄筋コンクリート造建物である。強震計は1階(01F)、2階(02F)、及び5階(05F)に加速度計を有している。図4.5-21と図4.5-22に1階(01F)と5階(05F)で得られた加速度記録を示す。1階(01F)の水平方向の最大加速度は 160 cm/s^2 強であり、1階(01F)の記録から算出した計測震度は5.2(震度5強)であった。一方、5階(05F)で得られた最大加速度は、N321°E方向で 240 cm/s^2 、N051°E方向で 300 cm/s^2 と、1階(01F)の1.5倍から1.8倍の値を示している。

図4.5-23に、1階(01F)の記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線がN321°E方向、破線がN051°E方向、点線がUP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルは0.7秒から0.8秒の応答が大きく、 100 cm/s 近くに達している。長周期領域では方向によって様相が異なり、N051°E方向の3秒強の山が特徴的である。

5階(05F)の1階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図4.5-24に示す。スペクトル比から判断した1次固有周期は、N321°E方向が0.39秒、N051°E方向が0.43秒であった。

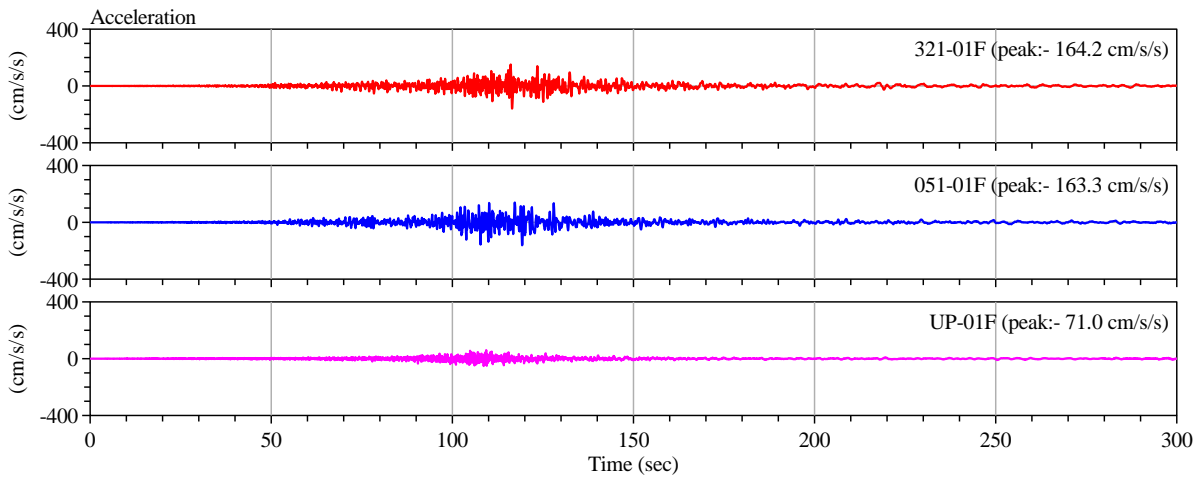


図 4.5-21 1階(01F)の加速度記録

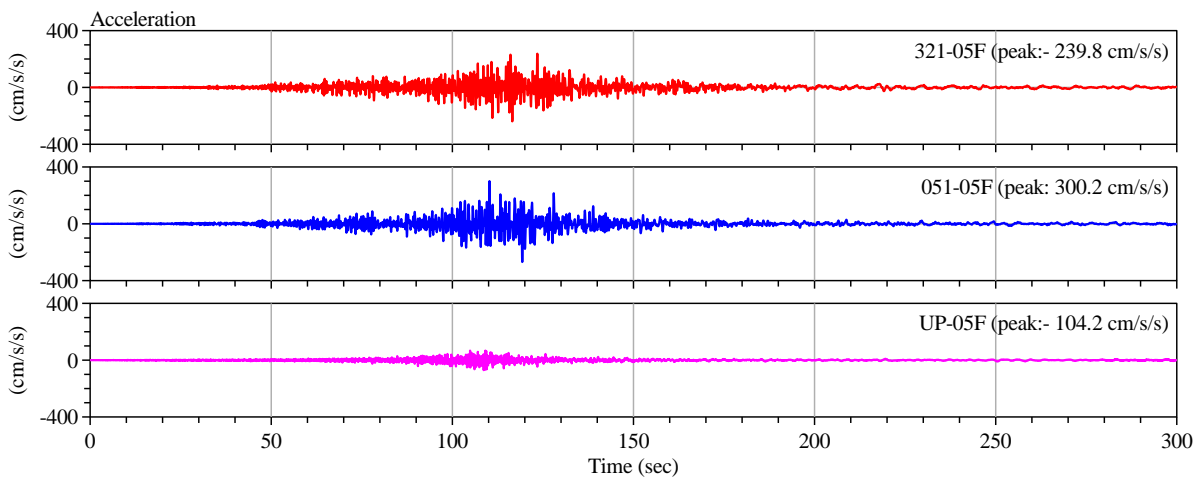


図 4.5-22 5階(05F)の加速度記録

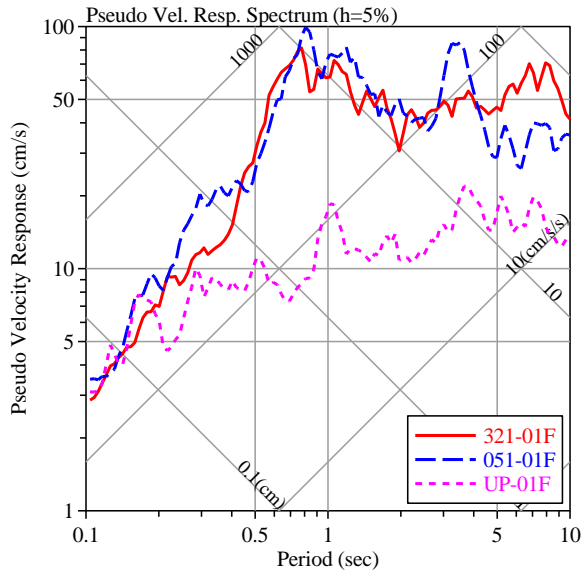


図 4.5-23 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

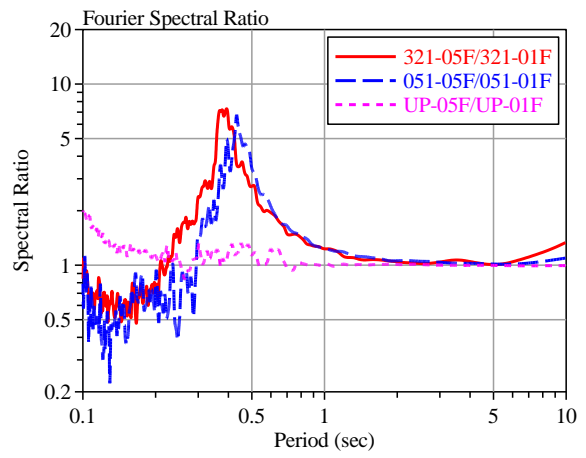


図 4.5-24 5 階(05F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5.5 江戸川区庁舎(EDG)の強震記録

東京都江戸川区の江戸川区庁舎は、地上 5 階地下 1 階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物である。強震計は 1 階(01F)と 5 階(05F)に加速度計を有している。図 4.5-25 と図 4.5-26 に 1 階(01F)と 5 階(05F)で得られた加速度記録を示す。1 階(01F)の水平方向の最大加速度は 110 cm/s^2 を超える程度で、1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 4.8(震度 5 弱)であった。一方、5 階(05F)で得られた最大加速度は、N003°E 方向で 256 cm/s^2 、N093°E 方向で 299 cm/s^2 と、1 階(01F)の 2.3 倍から 2.7 倍の値を示している。

図 4.5-27 に、1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N003°E 方向、破線が N093°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。N093°E 方向の擬似速度応答スペクトルは、1 秒以上の周期領域で概ね平坦な形状を示し、速度応答値は 50 cm/s 前後である。N003°E 方向の擬似速度応答スペクトルは、N093°E 方向のより起伏があり、周期 1.5 秒の応答速度は 80 cm/s を超えている。

5 階(05F)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-28 に示す。スペクトル比から判断した 1 次固有周期は、N003°E 方向が 0.22 秒、N093°E 方向が 0.27 秒であった。

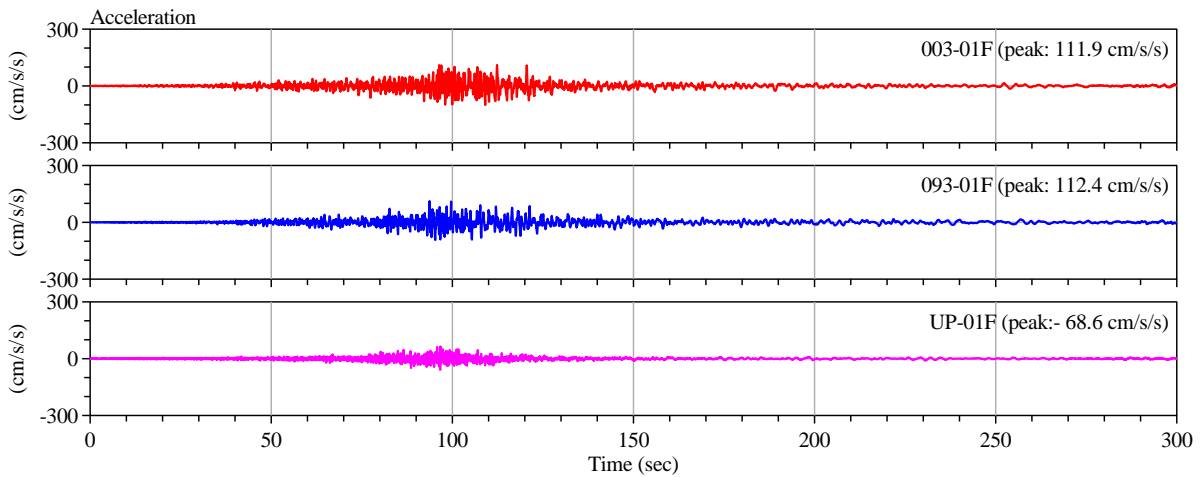


図 4.5-25 1 階(01F)の加速度記録

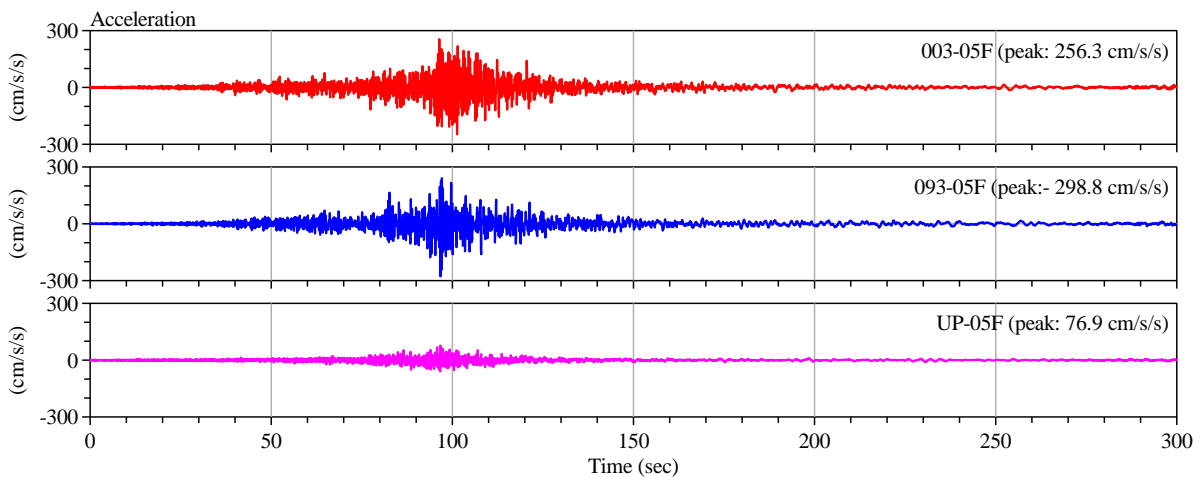


図 4.5-26 5 階(05F)の加速度記録

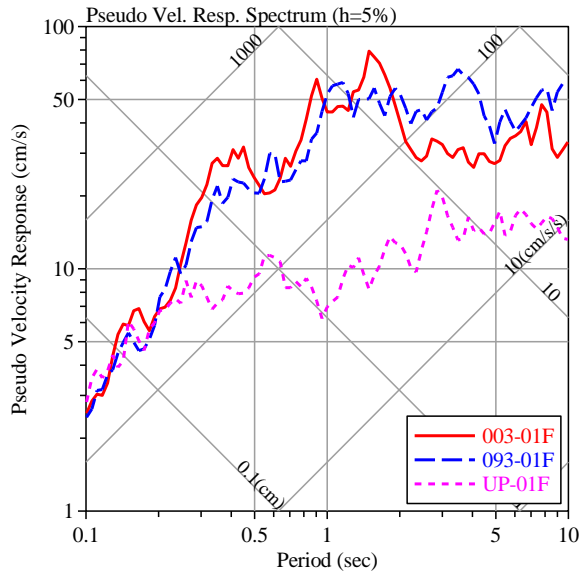


図 4.5-27 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

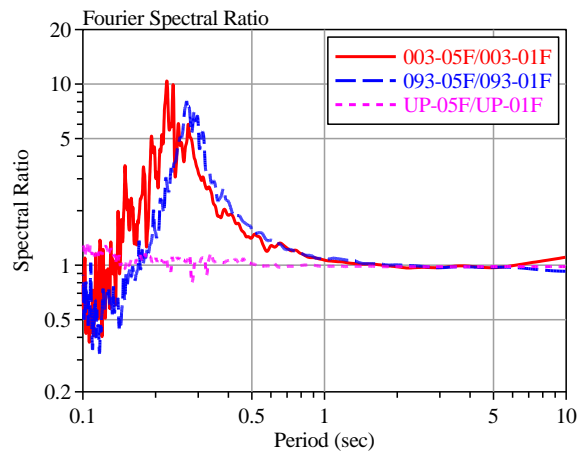


図 4.5-28 5 階(05F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5.6 足立地方合同庁舎(ADC)の強震記録

東京都足立区の足立地方合同庁舎は、地上 5 階地下 1 階の鉄筋コンクリート造建物である。強震計は 1 階(01F)と 4 階(04F)に加速度計を有している。図 4.5-29 と図 4.5-30 に、1 階(01F)と 4 階(04F)で得られた加速度記録を示す。1 階(01F)の水平方向の最大加速度は 100 cm/s^2 を超える程度で、1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 4.8(震度 5 弱)であった。一方、4 階(04F)で得られた最大加速度は、N102°E 方向で 266 cm/s^2 、N102°E 方向で 146 cm/s^2 と、それぞれ 1 階(01F)の最大加速度の 2.3 倍と 1.4 倍となっている。

図 4.5-31 に、1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N102°E 方向、破線が N102°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、1 秒前後の応答が大きく、N102°E 方向の速度応答値は 60 cm/s から 80 cm/s に及ぶ。

4 階(04F)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-32 に示す。スペクトル比から判断した 1 次固有周期は、N102°E 方向が 0.35 秒、N102°E 方向が 0.29 秒であった。

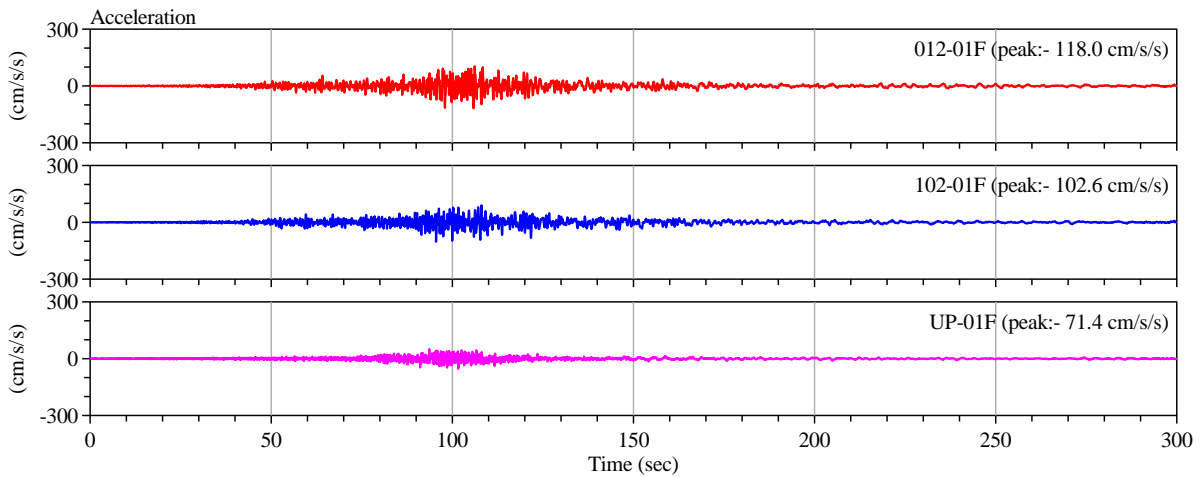


図 4.5-29 1 階(01F)の加速度記録

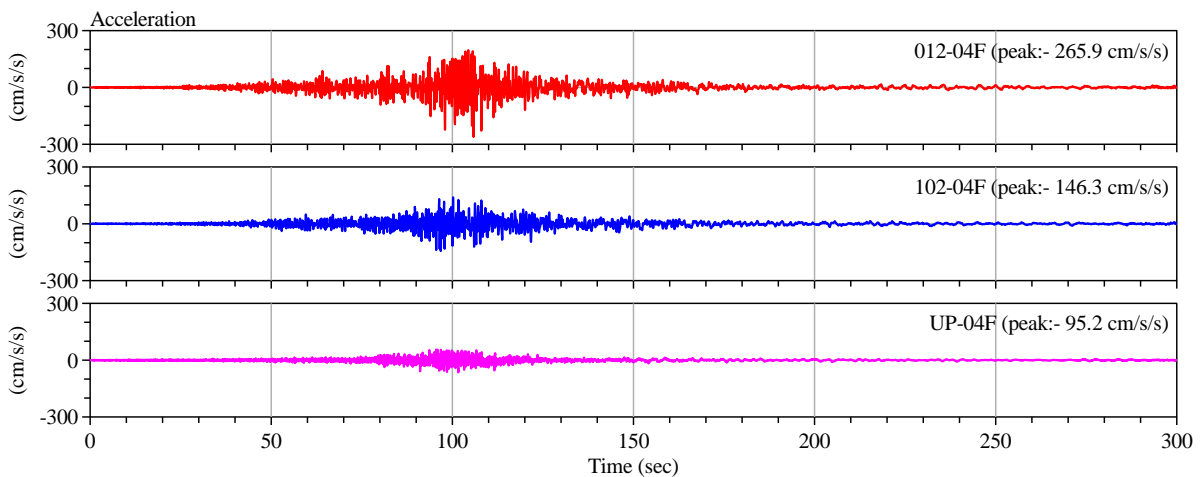


図 4.5-30 4 階(04F)の加速度記録

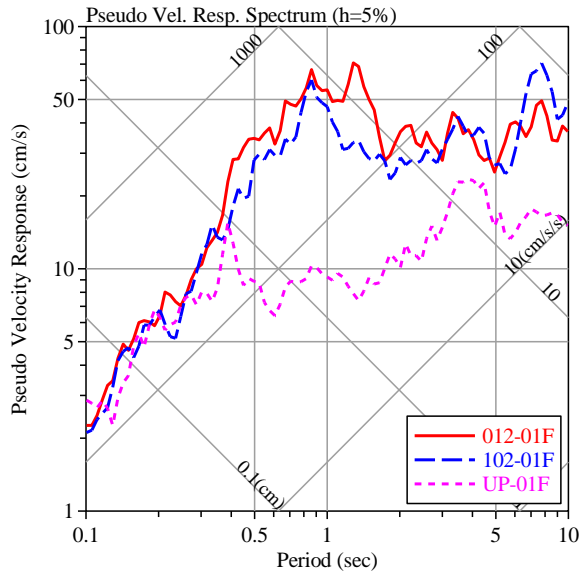


図 4.5-31 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

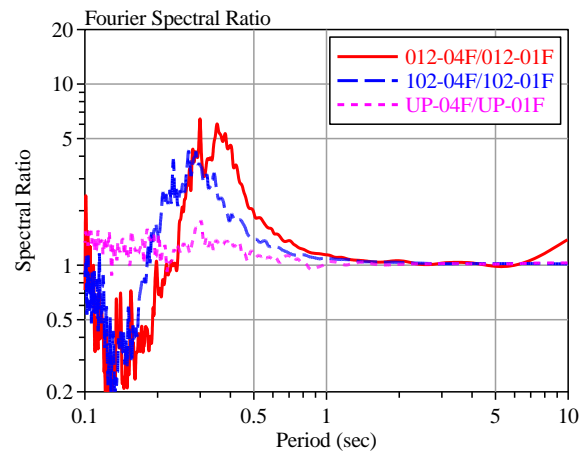


図 4.5-32 4 階(04F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5.7 北区赤羽会館(AKB)の強震記録

東京都北区の北区赤羽会館は、地上 7 階地下 2 階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物である。強震計は地下 1 階(B1F)と 6 階(06F)に加速度計を有している。図 4.5-33 と図 4.5-34 に、地下 1 階(B1F)と 6 階(06F)で得られた加速度記録を示す。地下 1 階(B1F)の水平方向の最大加速度は N354°E 方向で 85 cm/s^2 、N084°E 方向で 139 cm/s^2 となっており、地下 1 階(B1F)の記録から算出した計測震度は 4.6(震度 5 弱)であった。6 階(06F)で得られた加速度の最大値は、N354°E 方向で 180 cm/s^2 を、N084°E 方向で 250 cm/s^2 と、地下 1 階(B1F)の値の 2.0 倍から 1.8 倍であった。

図 4.5-35 に、地下 1 階(B1F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N354°E 方向、破線が N084°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.5 秒以上の周期領域で概ね平坦な形状を示し、応答速度値は 50 cm/s 以下である。

6 階(06F)の地下 1 階(B1F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-36 に示す。スペクトル比からは、N354°E 方向の 1 次固有周期は 0.30 秒程度と判断できるが、N084°E 方向には 0.3 秒強と 0.4 秒と 0.5 秒の間の 2 つのピークが表れている。

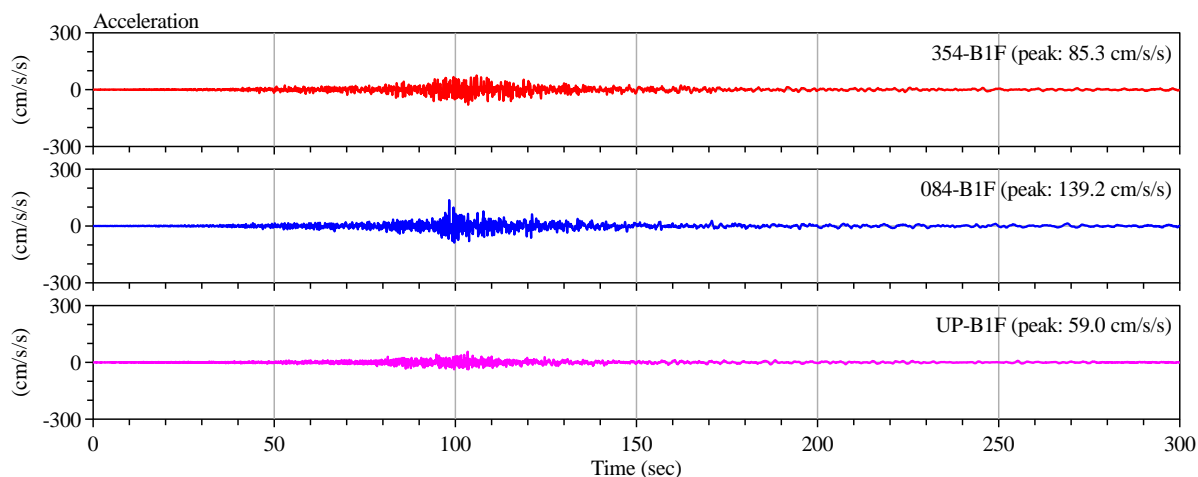


図 4.5-33 地下 1 階(B1F)の加速度記録

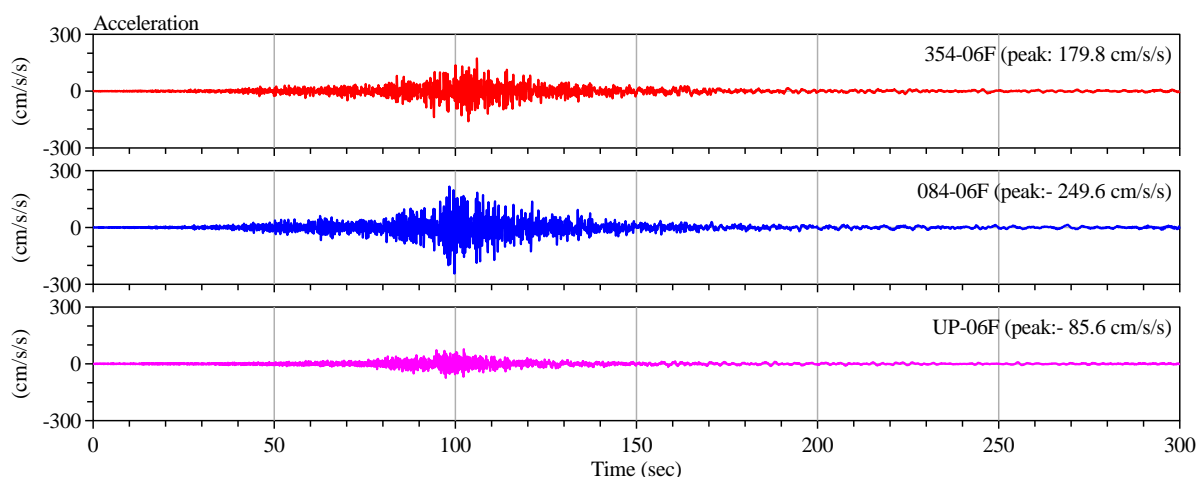


図 4.5-34 6 階(06F)の加速度記録

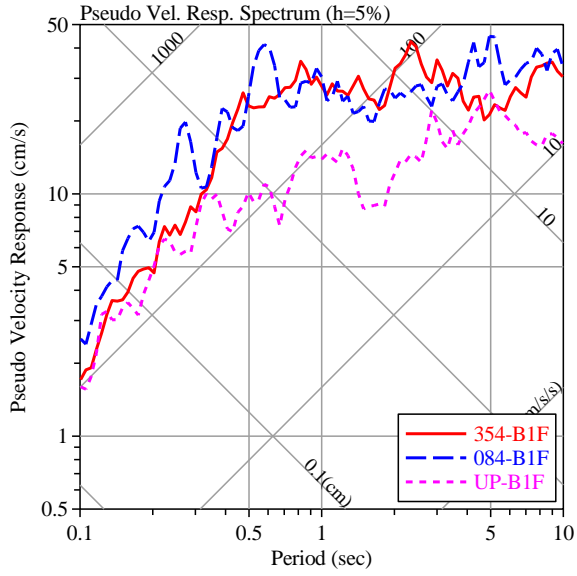


図 4.5-35 地下 1 階(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

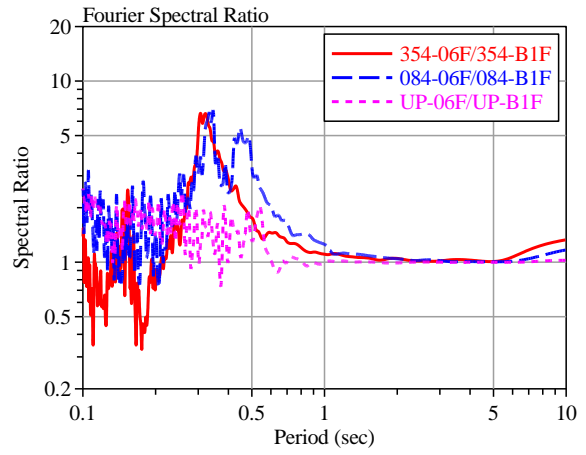


図 4.5-36 6 階(06F)の地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5.8 国立国会図書館本館(NDLM)の強震記録

東京都千代田区に位置する国立国会図書館本館は、地上 6 階地下 1 階の事務棟と、中央部に配置された 17 層の書庫棟で構成される鉄骨鉄筋コンクリート造建物である。なお、書庫棟の階高は、事務棟の 2/3 となるように設計されており、書庫棟の階と事務棟の階は対応しない。このため書庫棟の階は層と称されており最下層が 1 層、最上層が 17 層となっており、ここでの呼称もそれに準じる。強震計は書庫棟の 1 層(01S)と 17 階(17S)に設置されている⁴⁹⁾。図 4.5-37 と図 4.5-38 に、1 層(01S)と 17 層(17S)で得られた加速度記録を示す。1 層(01S)の水平方向の最大加速度は 100 cm/s^2 を下回り、1 層(01S)の記録から算出した計測震度は 4.5(震度 5 弱)であった。一方、17 階(17S)の加速度記録には大きな増幅が認められ、最大加速度は N345°E 方向で 458 cm/s^2 、N075°E 方向で 489 cm/s^2 と、1 層(01S)の最大加速度の 6.5 倍から 5.2 倍の値となっている。

図 4.5-39 に、1 層(01S)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N345°E 方向、破線が N075°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。N075°E 方向の擬似速度応答スペクトルは、1.3 秒に応答速度が 60 cm/s に近いピークを有するが、擬似速度応答スペクトルの形状は全般に平坦である。

17 層(17S)の 1 層(01S)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-40 に示す。スペクトル比は、N345°E 方向で 0.6 秒、N075°E 方向で 0.5 秒にピークを有し、1 次固有周期に対応すると考えられるが、その形状には幅がある。

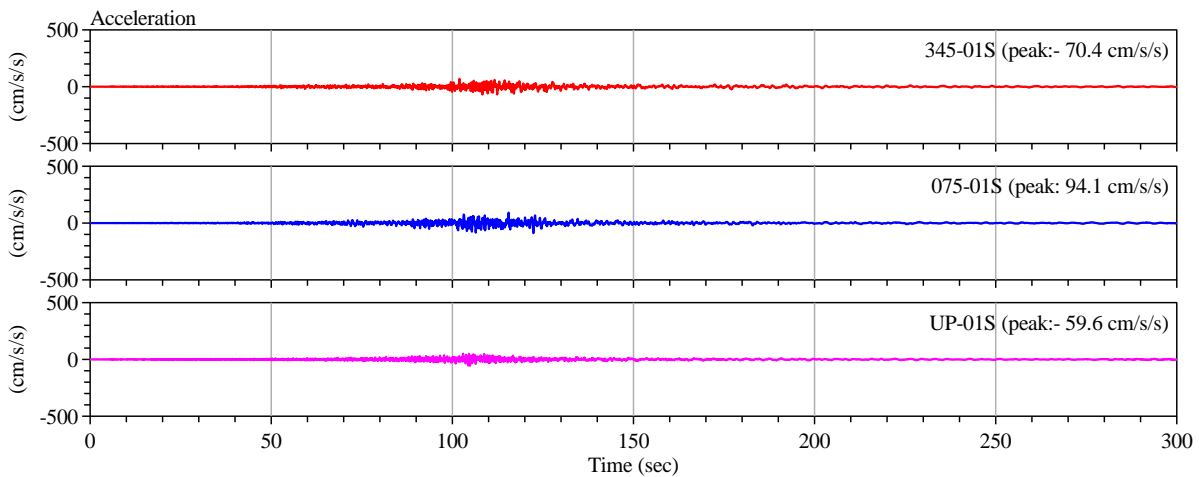


図 4.5-37 1 層(01S)の加速度記録

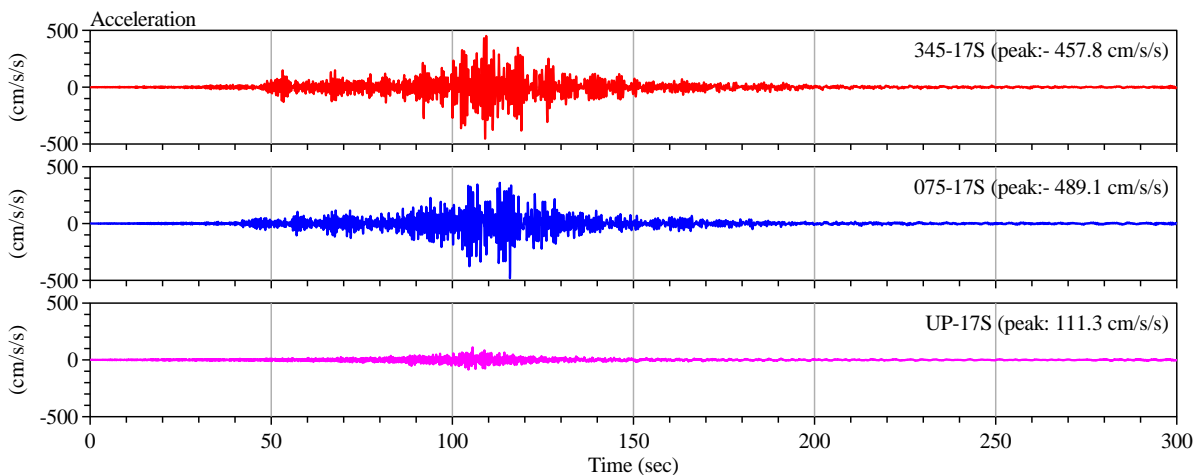


図 4.5-38 17 層(17S)の加速度記録

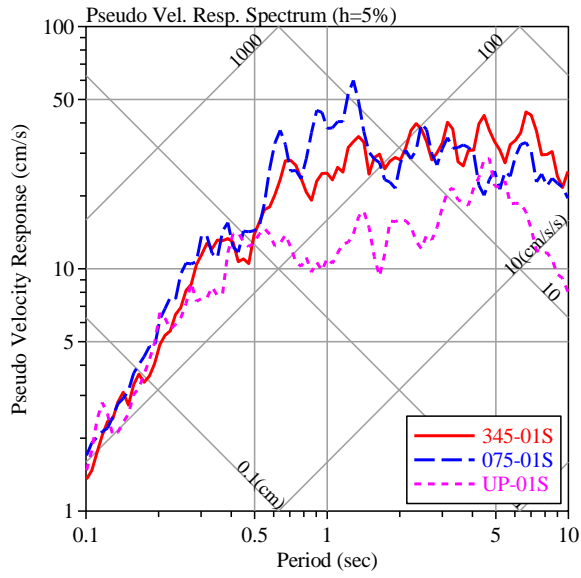


図 4.5-39 1層(01S)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

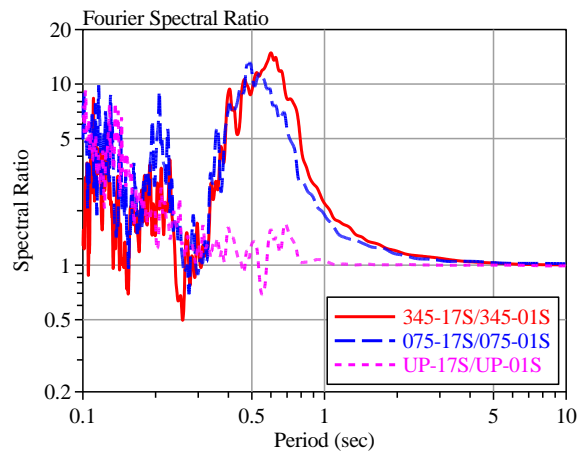


図 4.5-40 17層(17S)の1層(01S)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5.9 国立国会図書館新館(NDLA)の強震記録

東京都千代田区に位置する国立国会図書館新館は、地上 4 階地下 8 階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物である。強震計は地下 8 階(B8F)、地下 4 階(B4F)、1 階(O1F)、及び 4 階(O4F)に、計 4 台設置されている⁴⁻⁸⁾。図 4.5-41 から図 4.5-44 に、地下 8 階(B8F)、地下 4 階(B4F)、1 階(O1F)、及び 4 階(O4F)で得られた加速度記録を示す。1 階(O1F)の記録から算出した計測震度は、4.5(震度 5 弱)であった。

図 4.5-45 に、地下 8 階(B8F)と 1 階(O1F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地下 8 階(B8F)を、細線が 1 階(O1F)を表し、実線が N345°E 方向、破線が N075°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。N075°E 方向の擬似速度応答スペクトルは周期 1.3 秒に応答速度が 50 cm/s を超えるピークを有し、地下 8 階(B8F)と 1 階(O1F)の擬似速度応答スペクトルの違いは N345°E 方向では 1.0 秒、N075°E 方向では 0.8 秒より短い周期で表れている。

1 階(O1F)の地下 8 階(B8F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-46 に、4 階(O4F)の 1 階(O1F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-47 に、4 階(O4F)の地下 8 階(B8F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-48 に示す。N345°E 方向のスペクトル比は複雑だが、地下 8 階から 4 階までの全体を考えると 0.3 秒、地上部の構造だけを考えると約 0.15 秒が固有周期と思われる。N075°E 方向は 0.4 秒弱に共通のピークが認められ、地下階も含めた 1 次固有周期と判断できる。

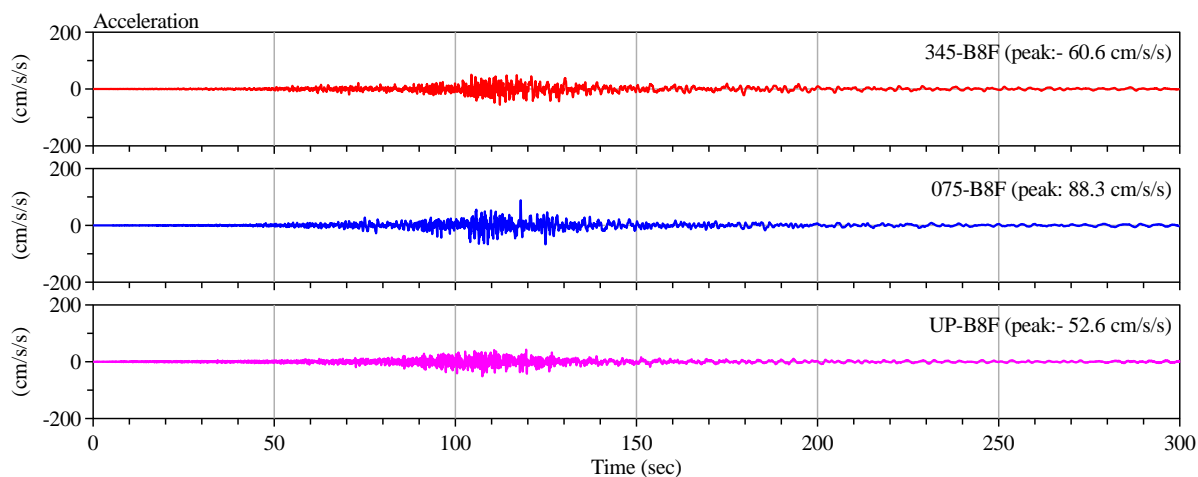


図 4.5-41 地下 8 階(B8F)の加速度記録

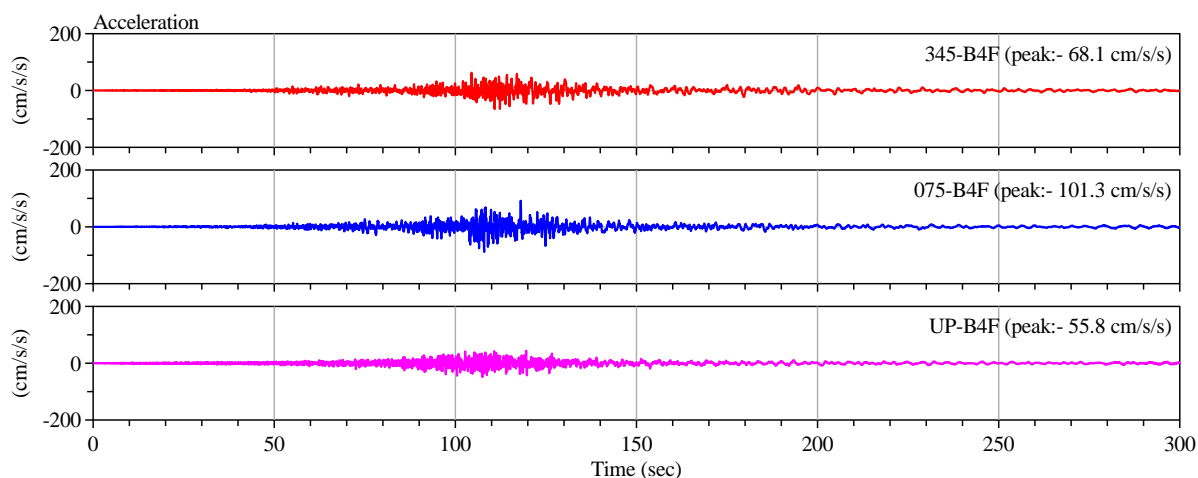


図 4.5-42 地下 4 階(B4F)の加速度記録

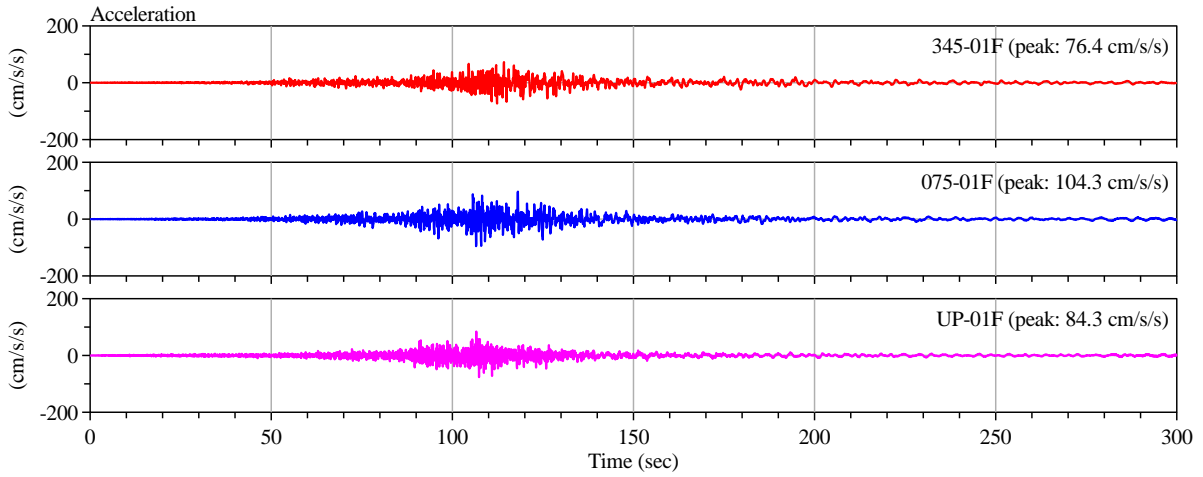


図 4.5-43 1階(01F)の加速度記録

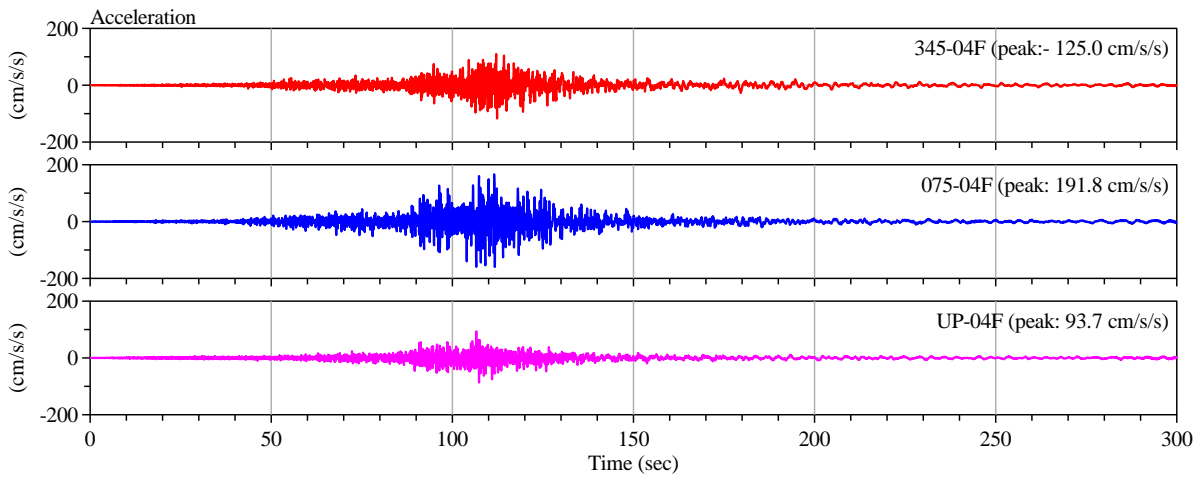


図 4.5-44 4階(04F)の加速度記録

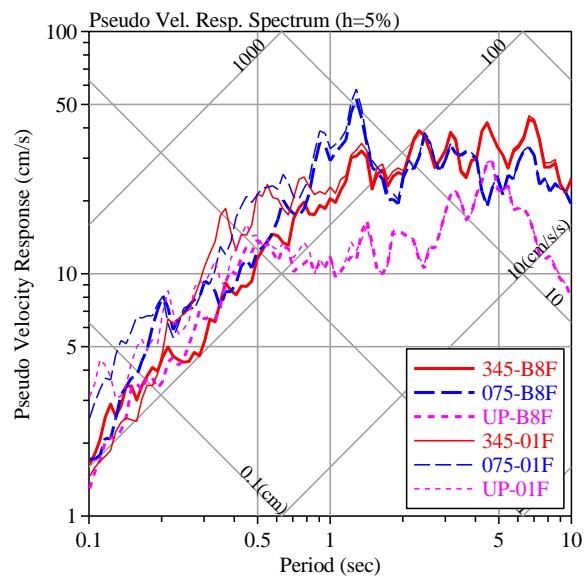


図 4.5-45 地下 8 階(B8F)と 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

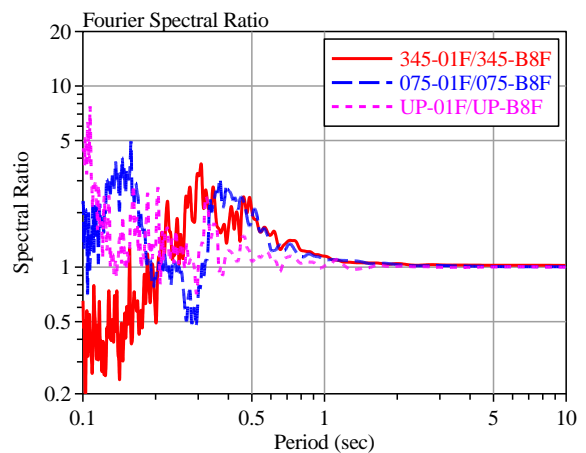


図 4.5-46 1階(01F)の地下 8 階(B8F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

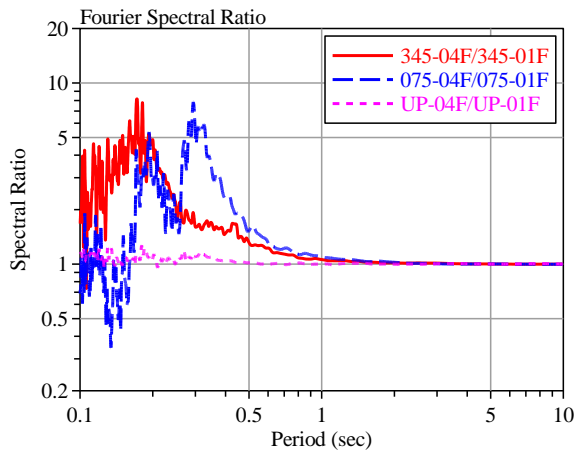


図 4.5-47 4階(04F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

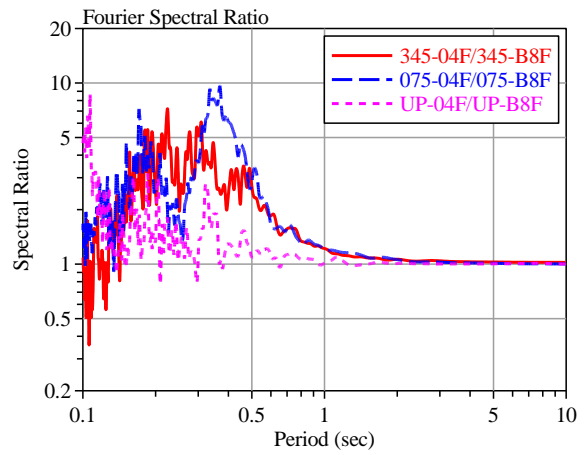


図 4.5-48 4階(04F)の地下8階(B8F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5.10 東京法務局中野出張所(NKN)の強震記録

東京都中野区の東京法務局中野出張所は、地上 5 階建ての鉄筋コンクリート造建物である。強震計は 1 階(01F)と塔屋 1 階(06F)に加速度計を有している。図 4.5-49 及び図 4.5-50 に、1 階(01F)及び塔屋 1 階(06F)で得られた加速度記録を示す。1 階(01F)の水平方向の最大加速度は 126 cm/s^2 から 158 cm/s^2 となっており、1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 4.8(震度 5 弱)であった。塔屋 1 階(06F)の最大加速度は、N359°E 方向が 172 cm/s^2 、N089°E 方向が 375 cm/s^2 と、N089°E 方向の応答が大きい。

図 4.5-51 に、1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N359°E 方向、破線が N089°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。N359°E 方向の擬似速度応答スペクトルは、周期 2.7 秒で、N089°E 方向は周期 0.4 秒で、応答速度値が、 50 cm/s を超えている。

塔屋 1 階(06F)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-52 に示す。スペクトル比からは、N359°E 方向の 1 次固有周期は 0.2 秒、N089°E 方向は 0.4 秒と推察される。

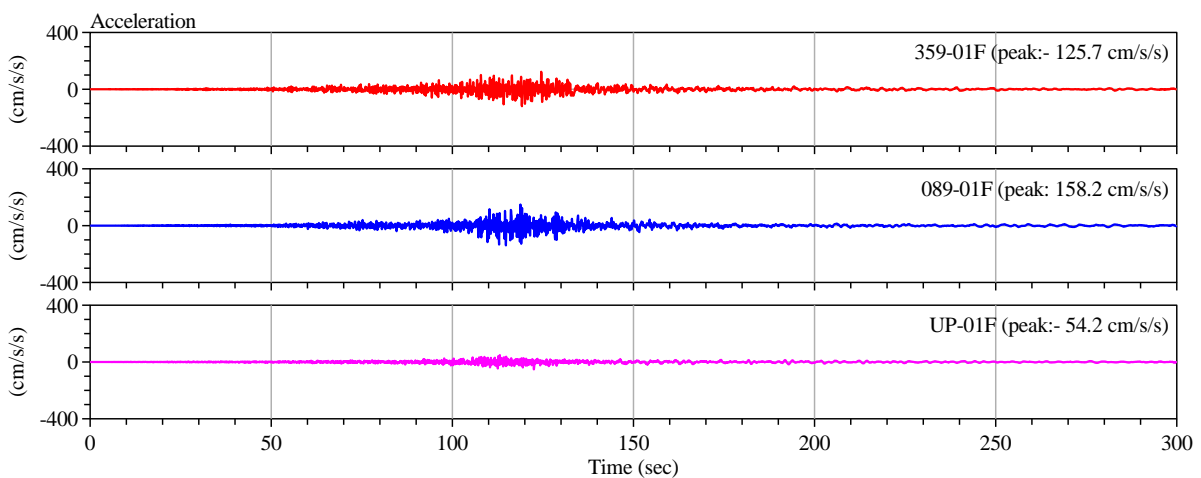


図 4.5-49 1 階(01F)の加速度記録

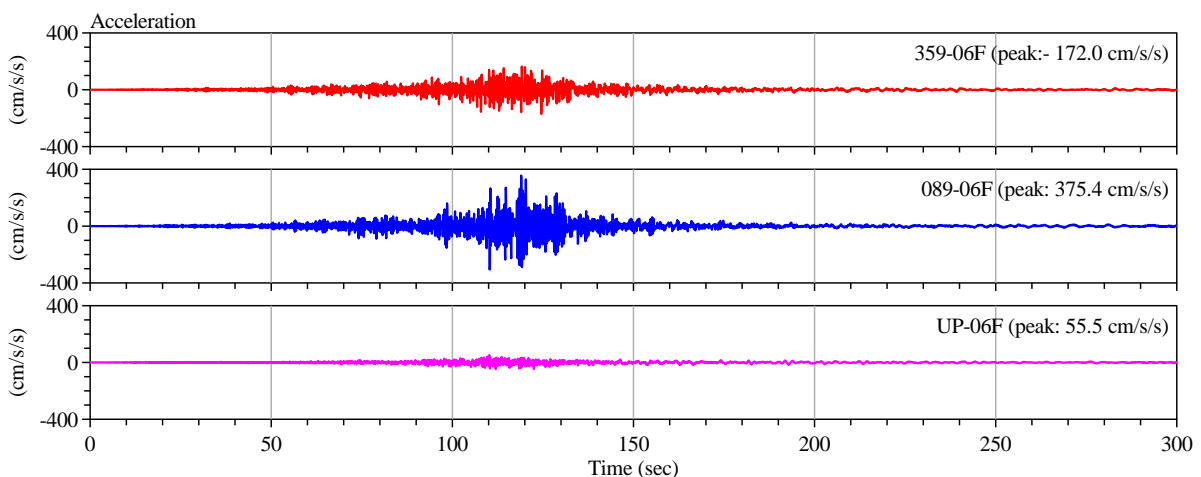


図 4.5-50 塔屋 1 階(06F)の加速度記録

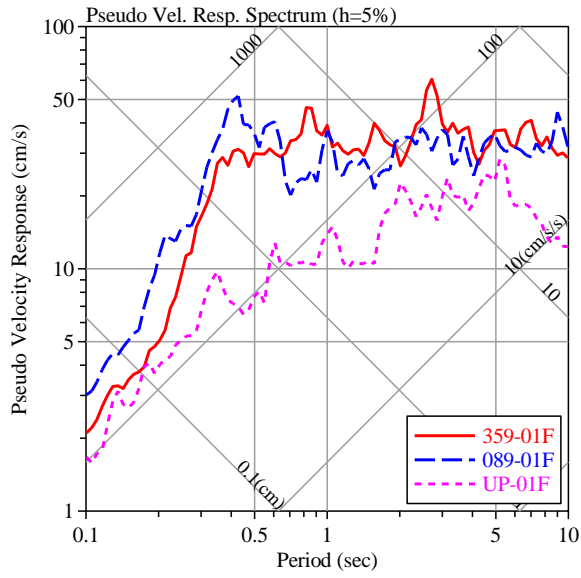


図 4.5-51 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

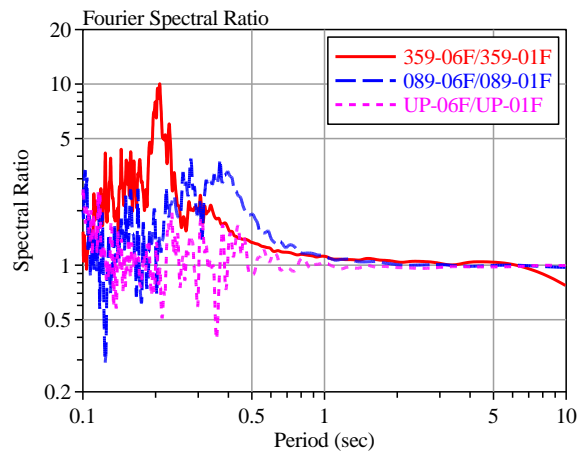


図 4.5-52 塔屋 1 階(06F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5.11 川崎南労働基準監督署(KWS)の強震記録

川崎南労働基準監督署は川崎市川崎区に位置する、地上 7 階建ての鉄骨造建物である。強震計は 1 階(01F)、2 階(02F)、及び 7 階(07F)に加速度計を有している。図 4.5-53 と図 4.5-54 に、1 階(01F)と 7 階(07F)で得られた加速度記録を示す。1 階(01F)の水平方向の最大加速度は、N045°E 方向と N135°E 方向で、それぞれ 107 cm/s^2 と 77 cm/s^2 であり、1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 4.7(震度 5 弱)であった。一方、7 階(07F)で得られた加速度記録の最大値は 366 cm/s^2 と 304 cm/s^2 で、1 階(01F)に比べ 3.5 倍と 3.9 倍となっている。

図 4.5-55 に、1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N045°E 方向、破線が N135°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。N045°E 方向の擬似速度応答スペクトルが N135°E 方向に比べて優勢で、0.8 秒と 2 秒から 3.5 秒の周期で 50 cm/s を超えている。

7 階(07F)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-56 に示す。スペクトル比には、N045°E 方向では周期 1 秒に、N135°E 方向では周期 0.9 秒に明瞭なピークがあり、1 次固有周期と考えられる。

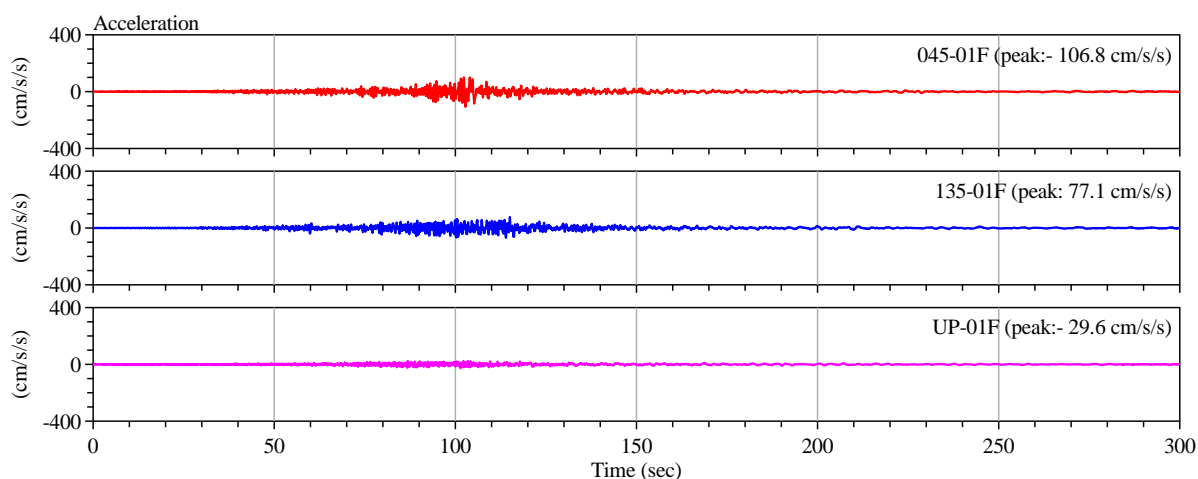


図 4.5-53 1 階(01F)の加速度記録

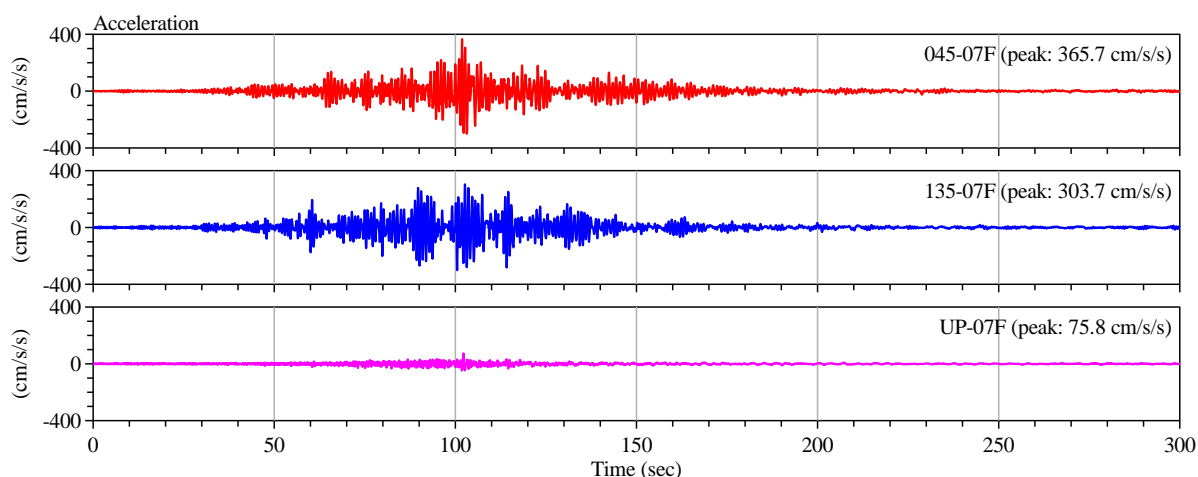


図 4.5-54 7 階(07F)の加速度記録

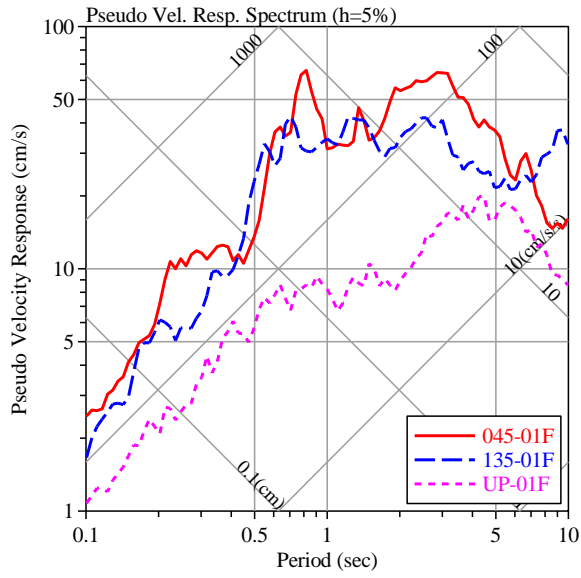


図 4.5-55 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

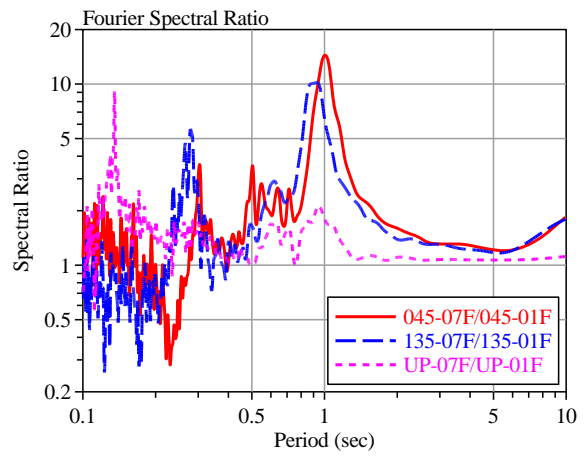


図 4.5-56 7 階(07F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

参考文献

- 4-1) 大阪府総務部: 咲洲庁舎の安全性等についての検証結果, <http://www.pref.osaka.jp/otemaemachi/saseibi/bousaitai.html>, 2011年5月
- 4-2) 鹿嶋俊英, 小山信, 飯場正紀, 大川出: 八戸市庁舎における強震観測, 第13回日本地震工学シンポジウム, pp.3998-4005, 2010年11月
- 4-3) 鹿嶋俊英, 大川出, 小山信, 飯場正紀: 免震耐震改修された国立西洋美術館本館の地震時挙動, 第12回日本地震工学シンポジウム(12JEES)論文集, pp.1194-1197, 2006年11月
- 4-4) 小山信, 飯場正紀, 保井美敏, 渡壁守正, 藤井睦: 細長い平面形状を有する建物の地震観測 その1地震記録, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2分冊, pp.553-554, 2009年8月
- 4-5) 鹿嶋俊英: 2011年東北地方太平洋沖地震の建築研究所建物の強震記録, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2分冊, pp.319-320, 2011年8月
- 4-6) 飯場正紀, 小山信, 鹿嶋俊英: 八千代市内建物における2011年東北地方太平洋沖地震前の卓越振動数の変化, 日本地震工学会大会-2011梗概集, pp.136-137, 2011年11月
- 4-7) 源栄正人, 三辻和弥, 田中匠子, 鹿嶋俊英, 大野晋: 2011年東北地方太平洋沖地震における被害建物の地震前後の振動特性の変化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2分冊, pp.45-46, 2011年8月
- 4-8) 鹿嶋俊英, 小山信, 石原直, 飯場正紀: いわき市庁舎における2011年東北地方太平洋沖地震の強震記録と余震観測, 日本地震工学会大会-2011梗概集, pp.294-295, 2011年11月
- 4-9) 鹿嶋俊英: 国立国会図書館東京本館の強震観測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2分冊, pp.9-10, 2010年9月