

最近の被害地震の強震観測例

大野 晋¹⁾

1) 東北大学災害制御研究センター，准教授

1. はじめに

本年度前半には，6月14日に岩手・宮城内陸地震（M7.2），7月24日に岩手県沿岸北部の地震（M6.8）と2つの被害地震が発生した。この2つの地震に対して，日本建築学会東北支部災害調査連絡会では建物強震記録の調査を行っている[1][2]。ここではこの調査報告および建築研究所の災害調査報告[3][4]に基づき，2つの被害地震の強震観測結果について報告する。

2. 2008年岩手・宮城内陸地震

2.1 地震の概要

平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震は，平成20年6月14日08時43分に発生し，震央は岩手県内陸南部（北緯39度01.7分，東経140度52.8分，深さ8km），気象庁マグニチュード $M_J=7.2$ である[5]。この地震により死者13名，行方不明者10名，負傷者450名の人的被害，全壊28棟，半壊112棟，一部損壊1,963棟の住家被害が報告されている[6]。

気象庁が発表した各地の震度階のうち，震度6弱以上の地点を表1に，震度分布を図1に示す。震度6弱が岩手県南部の一部と宮城県北部の広い範囲で観測されている。

表1 震度6弱以上の市町村[5]

6 強	岩手県	奥州市衣川区
	宮城県	栗原市一迫
6 弱	岩手県	奥州市胆沢区
	宮城県	栗原市栗駒，栗原市築館，栗原市高清水，栗原市鶯沢，栗原市金成，栗原市志波姫，栗原市花山，大崎市古川三日町，大崎市鳴子，大崎市古川北町，大崎市田尻

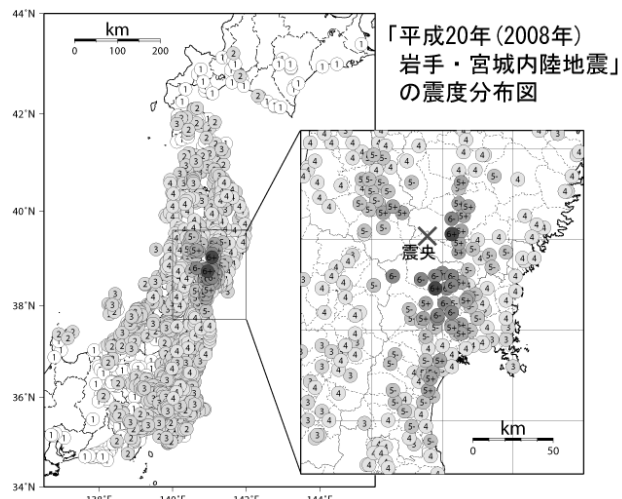


図1 震度分布[5]

2.2 地盤強震記録の特徴と被害との関係

図2に断層直上のKiK-net IWTH25(一関西)で得られた加速度波形と加速度応答スペクト

ルを示す。

地表 UD 成分で 4G 近い加速度が観測されており，観測小屋で棚が飛んだことが報告されている[7]。加速度応答スペクトルを見ると，地中では3成分ともあまり差はないものの，地表では 0.1 秒よりも短周期側で上下動が水平動を上回っていることがわかる。

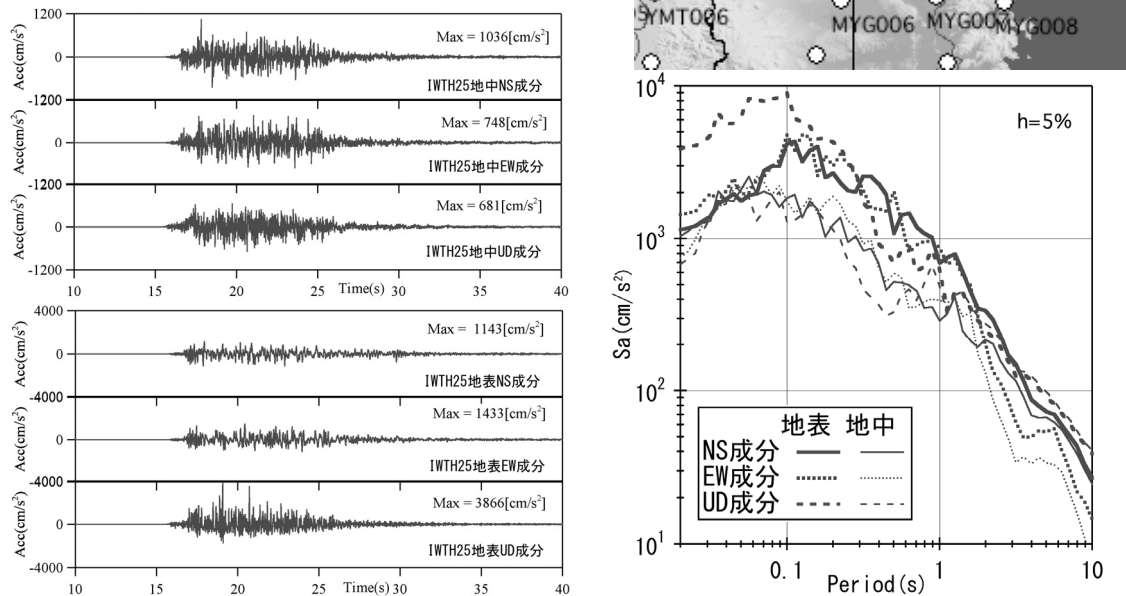


図2 Iwth25 観測点加速度波形・加速度応答スペクトル

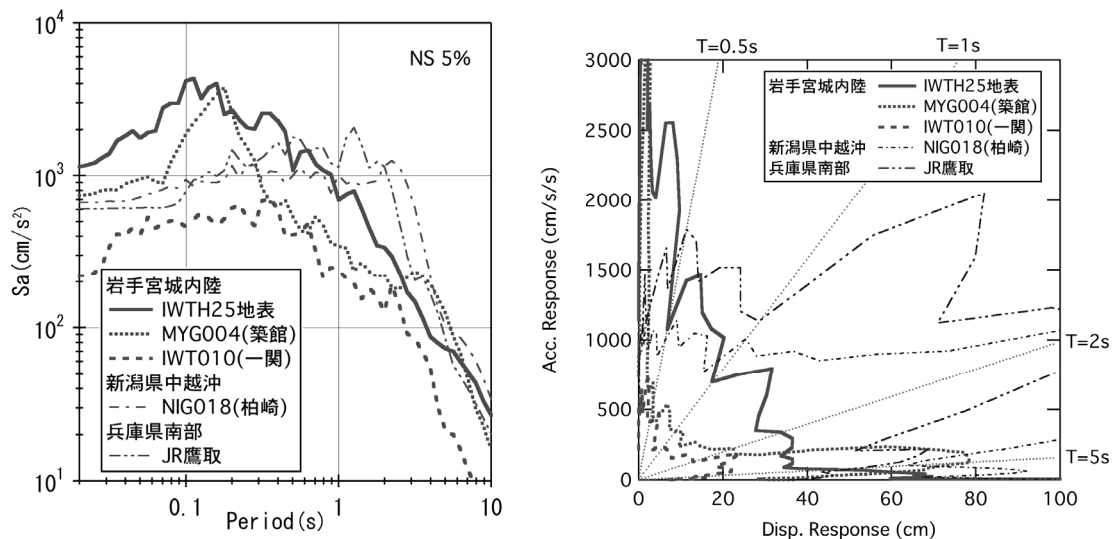


図3 過去の内陸被害地震の加速度応答・Sa-Sd スペクトルとの比較

図3に過去の内陸被害地震と岩手・宮城内陸地震について，震源域周辺の地震記録の加速度応答及び Sa-Sd スペクトルを示す。今回の地震記録は過去の被害地震と比べて，周期 0.3 秒程度以下の短周期帯域では上回る地点があるものの，周期 1 秒前後の帯域の成分が少ないことがわかる。なお，MYG004(K-NET 築館)では周期 4 秒程度の変位応答が大きくな

っているが、これは仙北平野内で増幅された表面波によるものと考えられる。このように、震源域を中心とした強い短周期成分の存在と、平野内で長周期成分が卓越する一方、その中間の周期帯の振幅が小さいことがこの地震の記録の特徴と言える。

この地震による建築物の構造被害は比較的少ないこと、一方天井・壁材など非構造材の被害が多く見られたことが報告されている[8]。入力側から見ると、前者は低層建物の被害に影響が大きいとされる周期1秒程度[9]を中心とした帯域の成分が少ないこと、後者は短周期が卓越した地震動だったことがそれぞれ原因と対応付けられる。

2.3 建物強震記録

建築学会東北支部災害調査連絡会では、仙台市内およびその周辺の免震6建物、制振3建物、一般15建物について、今回の地震の建物内観測記録を調査している[1]。これに建築研究所の免震建物調査報告[3]の1建物を加えて、免震、制振、一般建物にわけてそれぞれ観測結果の一例と最大加速度の階別分布を示す。個別建物の詳細については報告書[1][3]を参照されたい。

(1) 免震構造物

免震構造物としては、震源付近の一関市と仙台市内における強震観測結果が報告されている。仙台市内のシティービル仙台第一における観測結果を図4、図5に示す[1]。

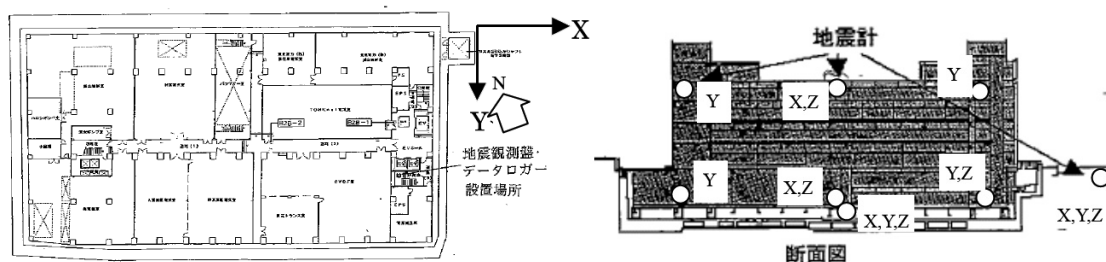


図4 シティービル仙台第一の平面と地震計設置位置

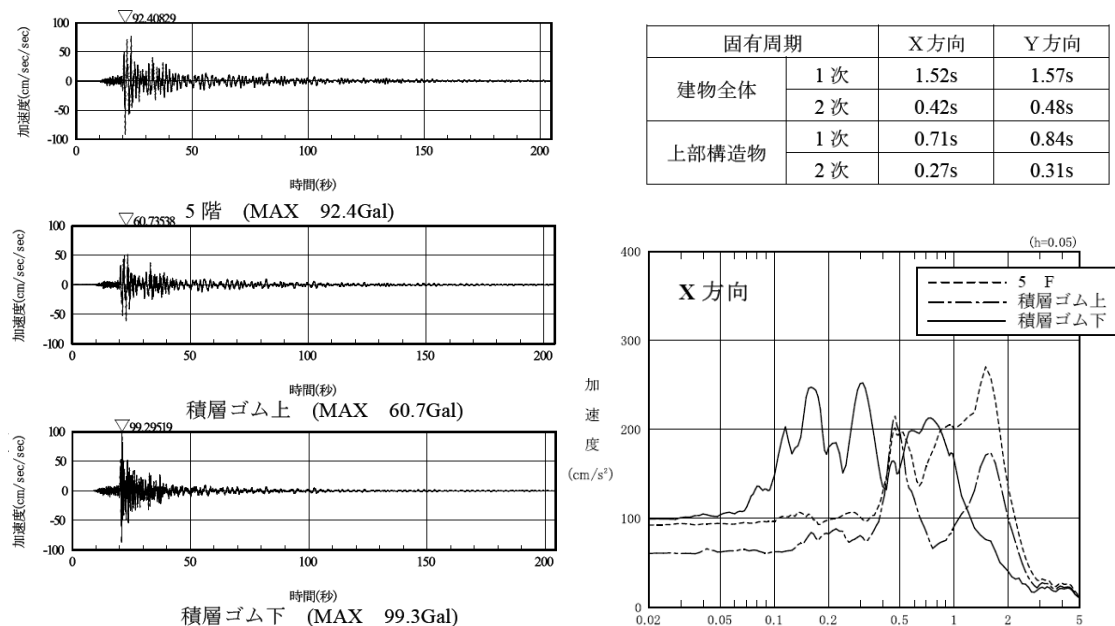


図5 シティービル仙台第一の観測波形・応答スペクトルと設計周期

この建物の主体構造はブレース付ラーメン構造（柱：鉄骨鉄筋コンクリート造，梁：鉄骨造）で，直接基礎（支持層 GL-12.5m）である。免震装置（高減衰積層ゴム）は地下 2 階下の免震層に 64 体設置されている。桁行方向(X 方向)の加速度波形と応答スペクトル，設計固有周期を図 5 に示す。

積層ゴム下の応答スペクトルは周期 1 秒以下の短周期成分が卓越している。積層ゴム下と比べて積層ゴム上・5 階では，建物全体の設計周期である 1.5s 付近で大きくなっているものの，短周期では低減していることが確認できる。

図 6 は，調べた免震建物全ての最大加速度の階別分布を示したものである。最下階（基礎階）は全て免震層の下に位置している。震源に近い一関では基礎階で概ね水平・上下とも 200cm/s^2 前後であるが，上部構造物では水平で 100Gal 以下に低減されていること，一方上下動は逆に大きく増幅していることがわかる。仙台周辺では，基礎階で概ね $50\text{-}100\text{cm/s}^2$ 前後であり，上下動を除いて最上階でも概ねその範囲内であることが見て取れる。

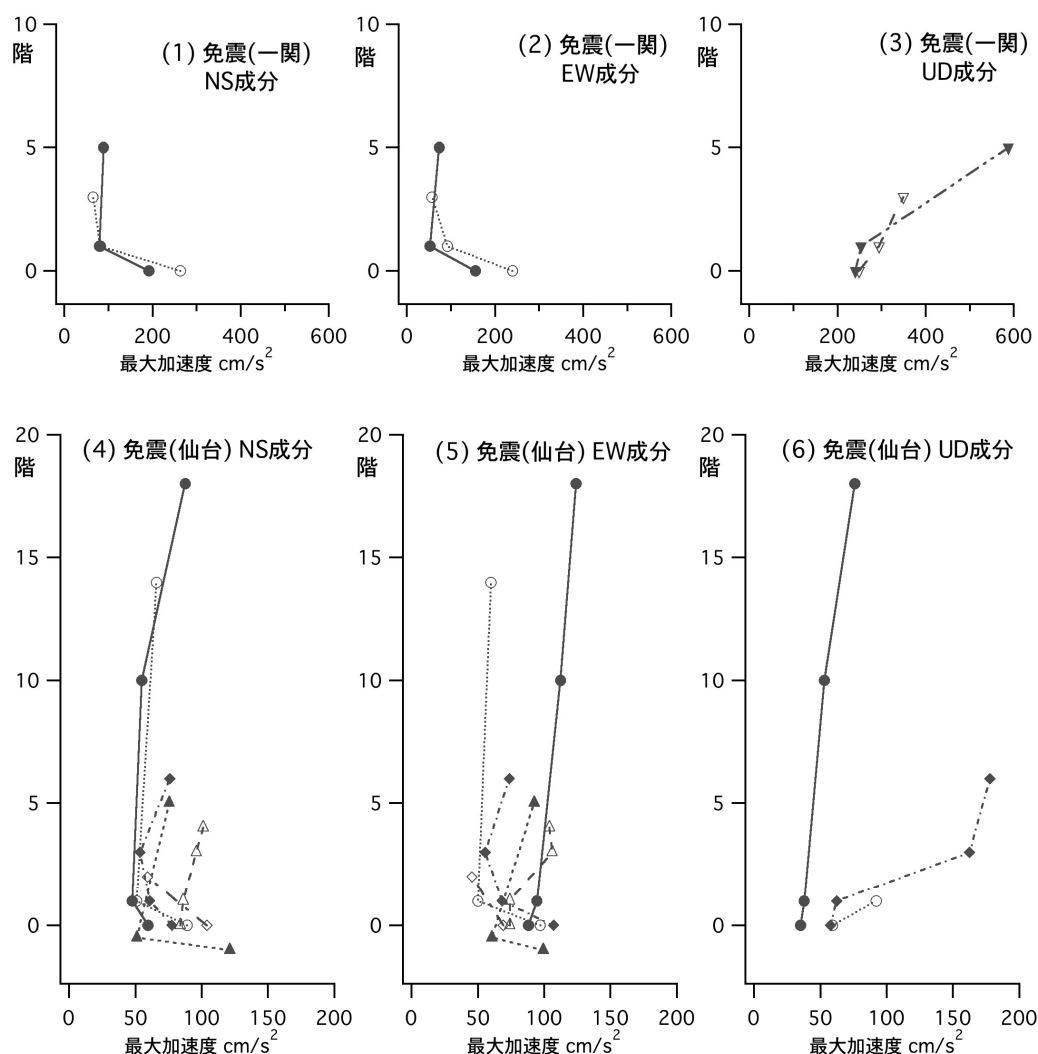


図 6 免震建物の最大加速度の階別分布（岩手・宮城内陸地震）

(2) 制振構造物

仙台駅前のAERにおける観測結果を図7, 図8に示す[1]。この建物は地上33階, 地下3階で, 構造は地上部S造, 地下部SRC造, 直接基礎であり, 強風時の建物の揺れの低減を目的とした制振装置(TMD)が最上階に設置されている。地震は制振対象外の外乱のため, 中大地震ではマスの変位が可動ストローク以上になるので, オイルバッファを周囲に設けて, 衝撃を与えることなく抑制するようになっている。今回の地震でもマスはバッファにあたって変位が抑制されている。

図8に桁行方向(X方向)の加速度波形とTMDの相対変位波形, 基礎(B3F)に対する32Fの周波数応答倍率を示す。図7の設計固有周期と比べ1次で若干小さいが近い値となっていることが確認できる。

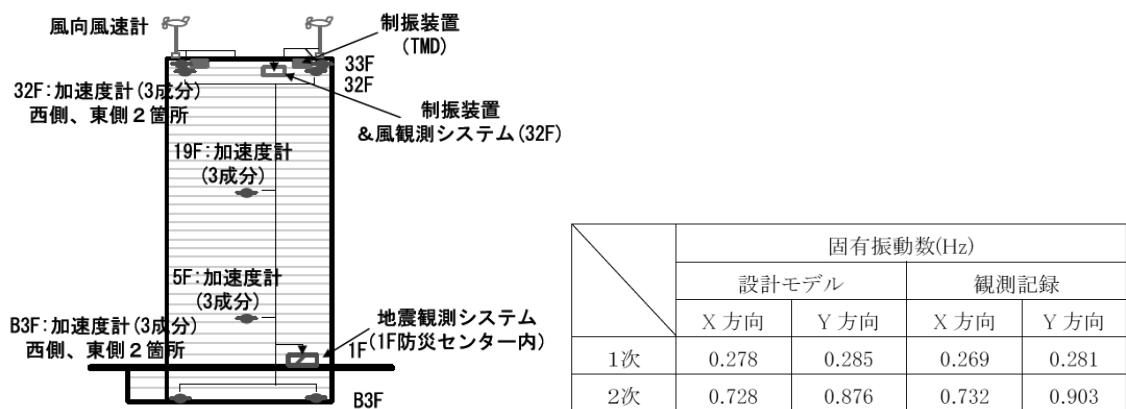


図7 AER地震計設置位置と固有周期

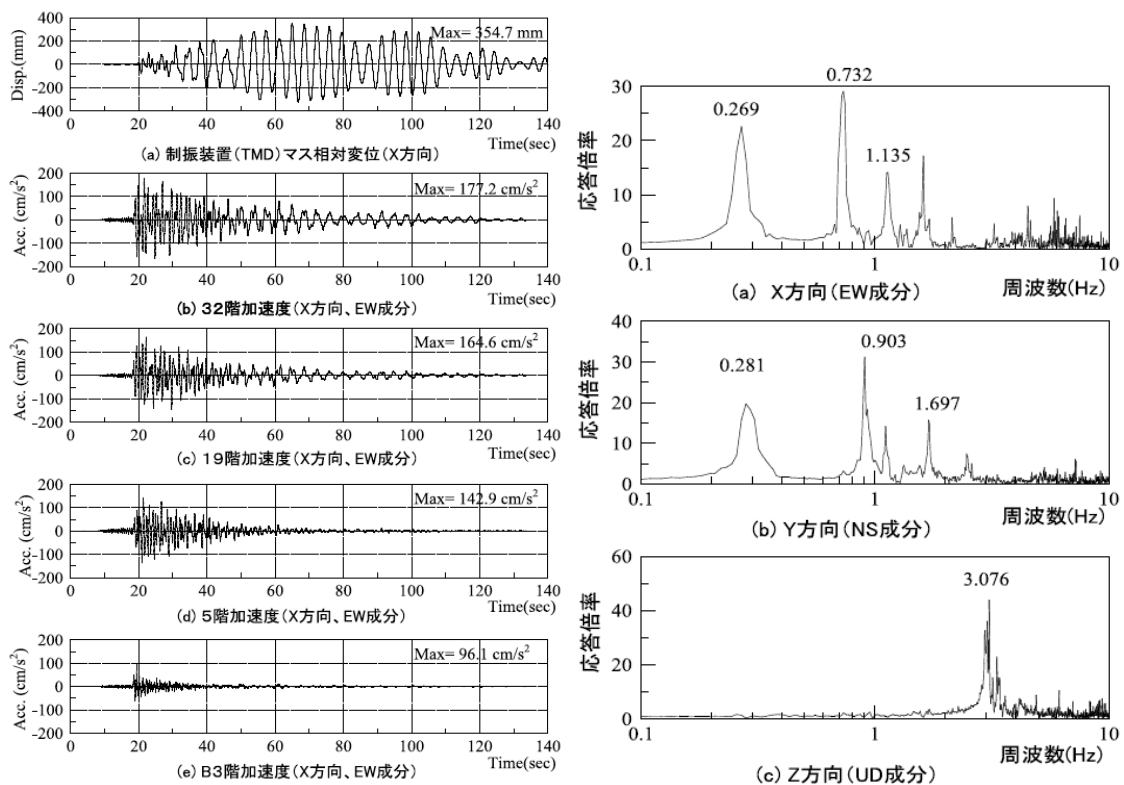


図8 AERの観測波形と周波数応答倍率(32F/B3F)

図9は、調べた3つの制振建物の最大加速度の階別分布を示したものである。基礎階では概ね水平 $50\text{--}100\text{cm/s}^2$ 、上下 50cm/s^2 前後であるが、最上階では水平 $100\text{--}250\text{cm/s}^2$ 前後、上下 100cm/s^2 程度に増幅している。

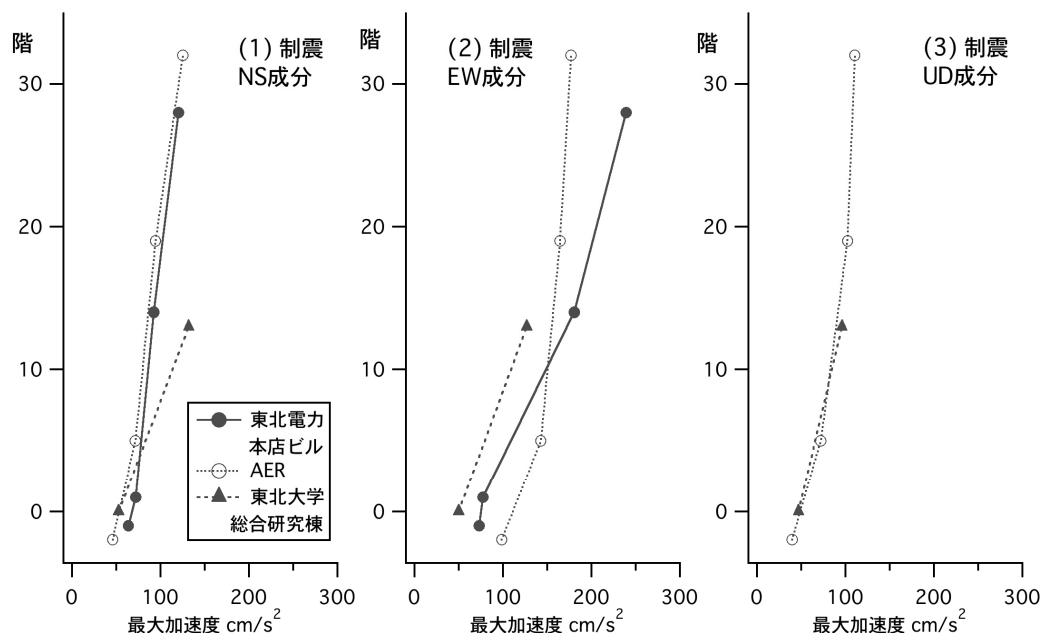


図9 制振建物の最大加速度の階別分布（岩手・宮城内陸地震）

(3) 一般構造物

東北大人間環境系建物における観測結果を図10、図11に示す[1]。この建物は地上9階（2階建低層部と9階建高層部）のSRC造，RCクロスパイル（長さ12m）を用いた独立基礎の建物で，図10に示すように，中央のコア周りと両妻面に耐震壁が設置されている。この建物は1978年6月の宮城県沖地震の際，9階で1040Galを観測し，構造部材が大きな損傷を負った[10]。2000年度に耐震改修が行われている[11]。

桁行方向(X方向)の加速度波形と応答スペクトルを図11に示す。1978年と2005年宮城県沖地震の記録も重ね書きしているが，今回の地震は78年の半分程度，05年と同等もしくはやや大きめの応答であった。

図12は，調べた一般建物全ての最大加速度の階別分布を示したものである。基礎階では概ね水平 $50\text{--}100\text{cm/s}^2$ 、上下 50cm/s^2 前後であるが，高層建物頂部で水平 200cm/s^2 、上下 100cm/s^2 前後に増幅している。一方低層建物頂部の加速度はより大きく，ばらつきが大きいものの水平 $200\text{--}700\text{cm/s}^2$ 前後，上下 $100\text{--}200\text{cm/s}^2$ 程度となっている。

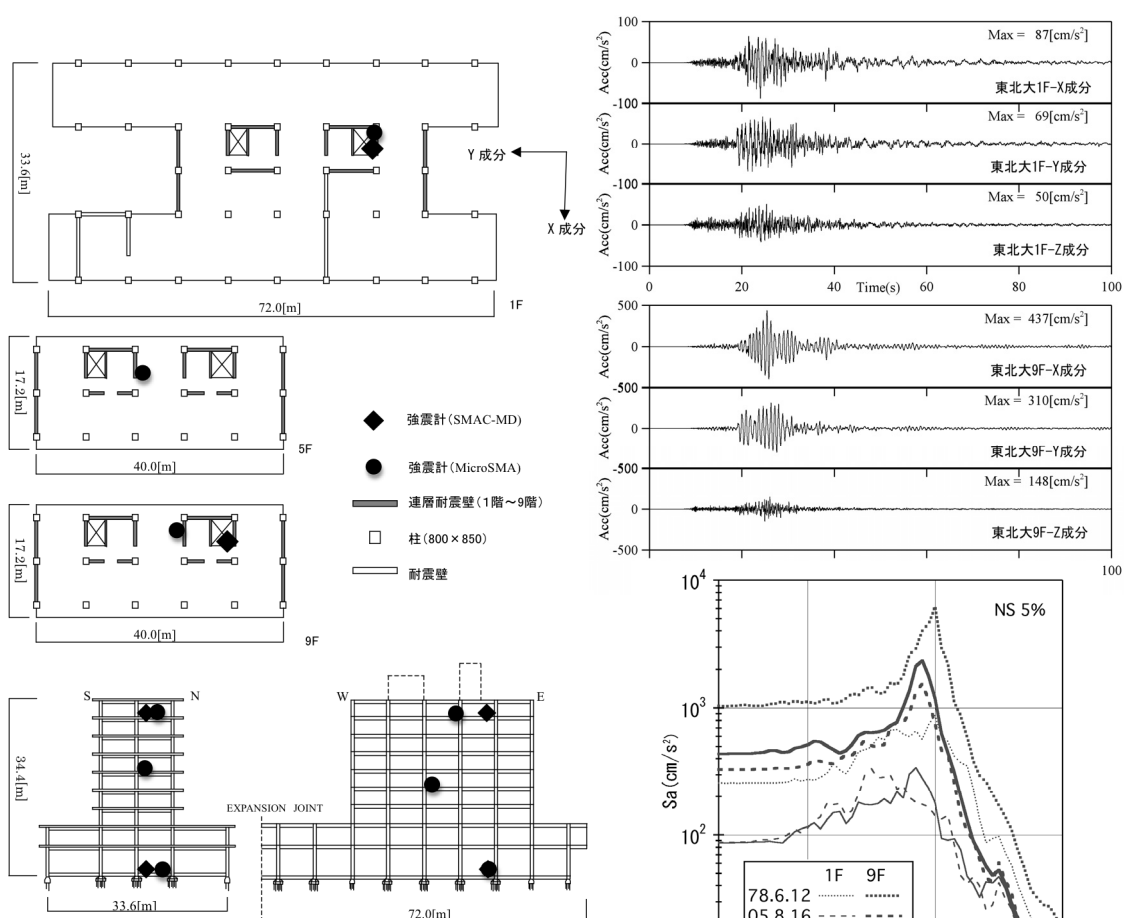


図 10 東北大人間環境系建物平面・断面・地震計設置位置

図 11 東北大人間環境系建物の加速度波形と応答スペクトル

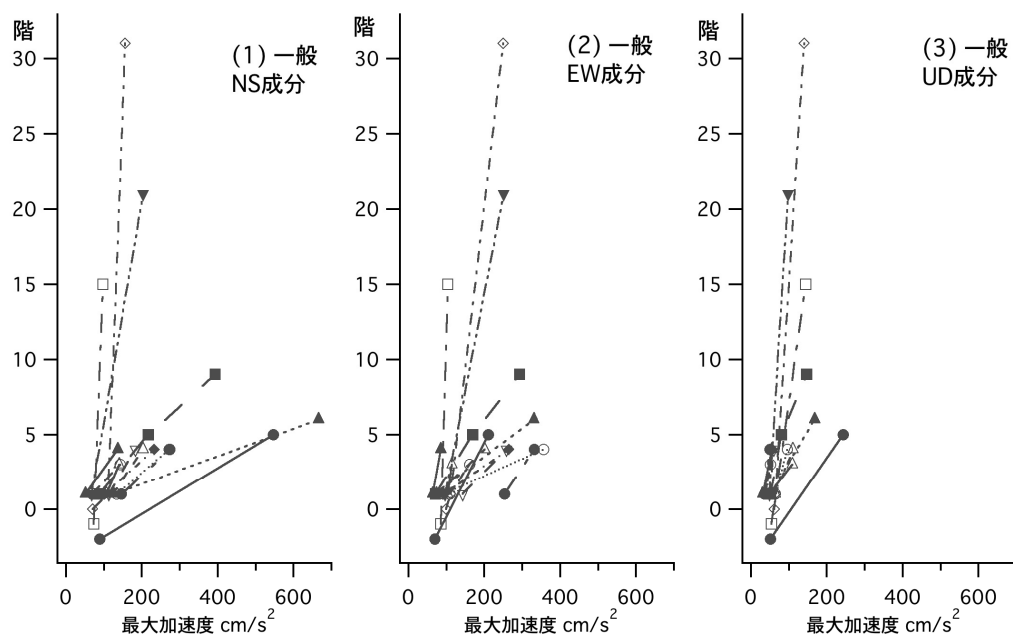


図 12 一般建物の最大加速度の階別分布（岩手・宮城内陸地震）

3. 2008 年岩手県沿岸北部の地震

3.1 地震の概要

平成 20 年 7 月 24 日岩手県沿岸北部の地震は，2008 年 7 月 24 日 00 時 26 分に発生し，震央は岩手県沿岸北部（北緯 39 度 43.9 分，東経 141 度 38.1 分，深さ 108km），気象庁マグニチュード $M_J=6.8$ である[12]。太平洋プレート内では二重深発面と言われる 2 つの地震面が報告されているが，今回の地震はそのうちの下面で起こっている（図 13）[13]。この地震により死者 1 名，負傷者 209 名の人的被害，全壊 1 棟，半壊 0 棟，一部損壊 318 棟の住家被害が報告されている[14]。

気象庁が発表した各地の震度階のうち，震度 6 弱以上の地点を表 2 に，震度分布を図 14 に示す。岩手県北部と青森県南部の一部で震度 6 弱が観測されている。なお，当初岩手県北部（岩手洋野町大野）で震度 6 強が報告されたが，臨時余震観測の結果その信頼性に疑問があるとして除外されている[15]。

表 2 震度 6 弱以上の市町村[15]

	岩手県	野田村野田
6 弱	青森県	五戸町古館，階上町道仏， 八戸市内丸，八戸市南郷区

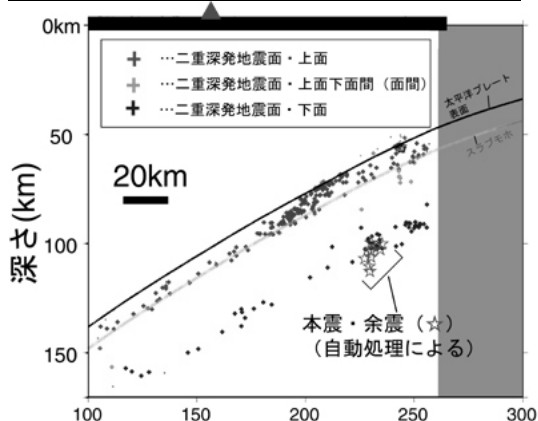


図 13 太平洋プレートと震源位置[13]

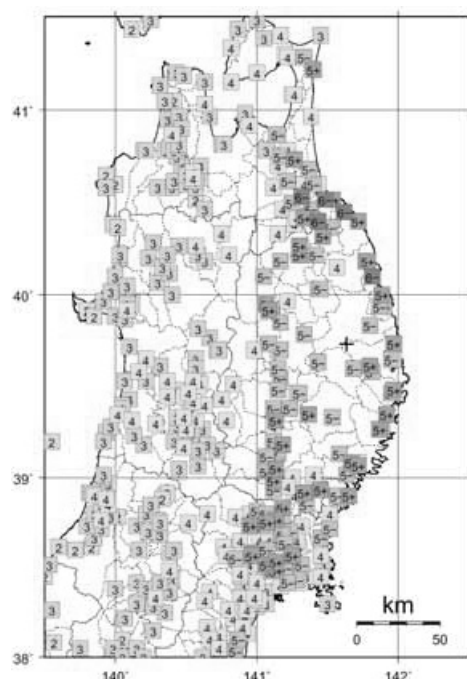


図 14 震度分布[15]

3.2 地盤強震記録の特徴と被害との関係

図 15 に震央西側の KiK-net IWTH02(玉山) で得られた加速度波形を示す。地表 NS 成分で 1G を超える加速度が観測されている。加速度応答スペクトルを見ると，地表では水平 0.2 秒，上下 0.1 秒に大きなピークがある。余震記録の解析と合わせて，この地盤増幅によるピークが大加速度の主要因と推定されている[16]。

図 16 に過去の内陸被害地震と岩手県沿岸北部の地震について，震央周辺の地震記録の加速度応答及び S_a-S_d スペクトルを示す。今回の地震記録は過去の被害地震と比べて，周期 0.3 秒程度以下の短周期帯域では上回る地点があるものの，0.3 秒以上の長周期帯域の成分が特に少ないことがわかる。このような短周期の卓越は沈み込むプレート内の深い地震によく見られる特徴であり，2003 年 5 月 26 日の宮城県沖の地震でも同様な傾向が報告されている[17]。

この地震も岩手・宮城内陸地震と同じく建築物の構造被害は軽微であったこと、一方非構造材の被害が多く見られたことが報告されている[8]。入力側から見ると、前者は低層建物の被害に影響が大きいとされる周期 1 秒程度[9]を中心とした帯域の成分が少ないこと、後者は短周期が卓越した地震動だったことがそれぞれ原因と対応付けられる。

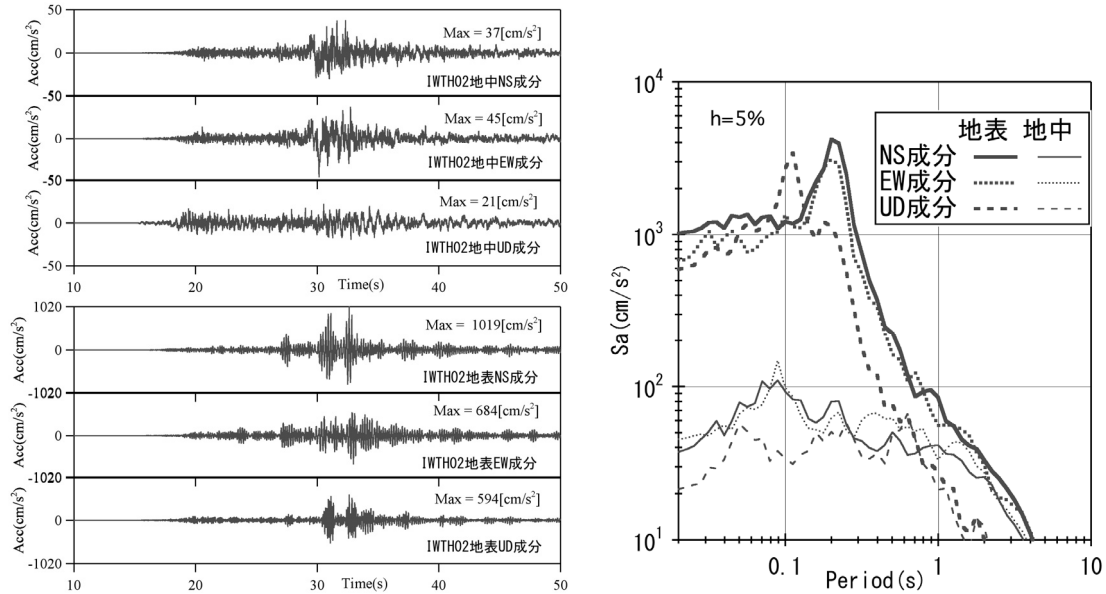


図 15 IWTH02 観測点加速度波形・加速度応答スペクトル

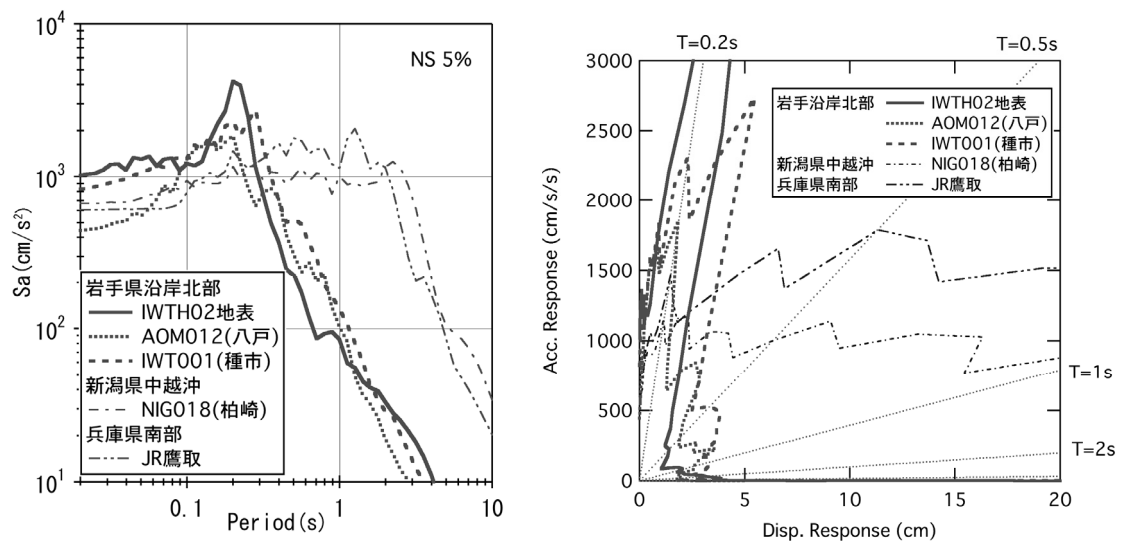


図 16 過去の内陸被害地震の加速度応答・Sa-Sd スペクトルとの比較

3.3 建物強震記録

建築学会東北支部災害調査連絡会では、八戸市内 2 建物、宮古市内 1 建物について今回の地震の建物内観測記録を調査している[2]。これに建築研究所の免震建物調査報告[4]の 1 建物を加えて、免震と一般建物にわけてそれぞれ観測結果の一例と最大加速度の階別分布を示す。個別建物の詳細については報告書[2][4]を参照されたい。

(1) 免震構造物

免震構造物としては、八戸市庁舎別館と二戸市（文献4のH建築物）における強震観測結果が報告されている。八戸市庁舎における観測例を図17、図18に示す[2]。

八戸市庁舎別館は、鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)造で2階建て低層部と免震構造である10階建て高層部で構成され、建物の地下1階と1階の間に14基の鉛プラグ入り積層ゴム(LRB)が設置されている。基礎は場所打ちコンクリート杭で地中31m以深の砂礫層に支持されている。

表3 八戸市庁舎最大加速度

観測地点	設置位置	最大加速度 (cm/s ²)		
		X	Y	UP
八戸市庁舎本館	B1F	198	159	127
	06F	983*	585	356
八戸市庁舎別館	GL	763	332	212
	G30	138	153	84
	G105	167	79	85
	B1F	228	207	234
	01F	167	137	137
	10F	202	139	570

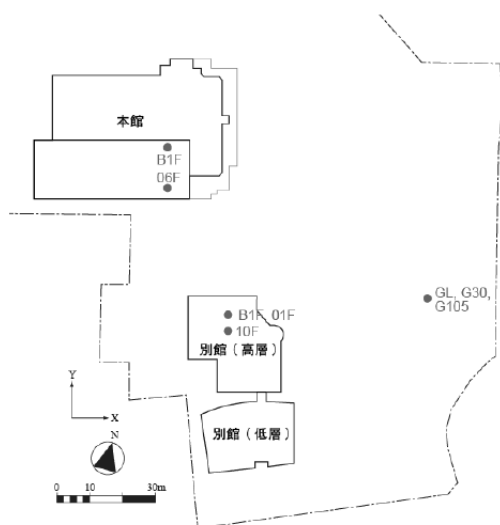


図17 八戸市庁舎と観測点

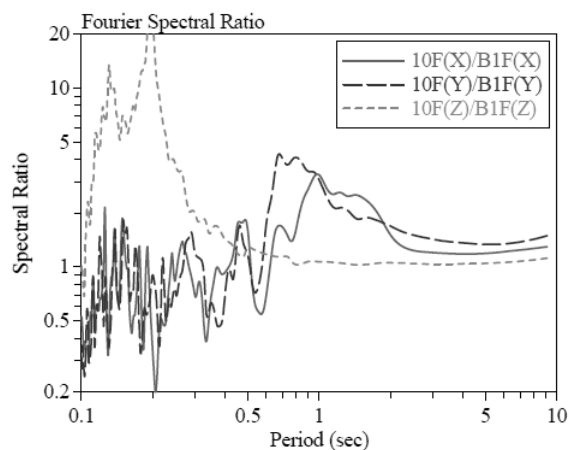


図18 フーリエスペクトル比(10F/B1F)

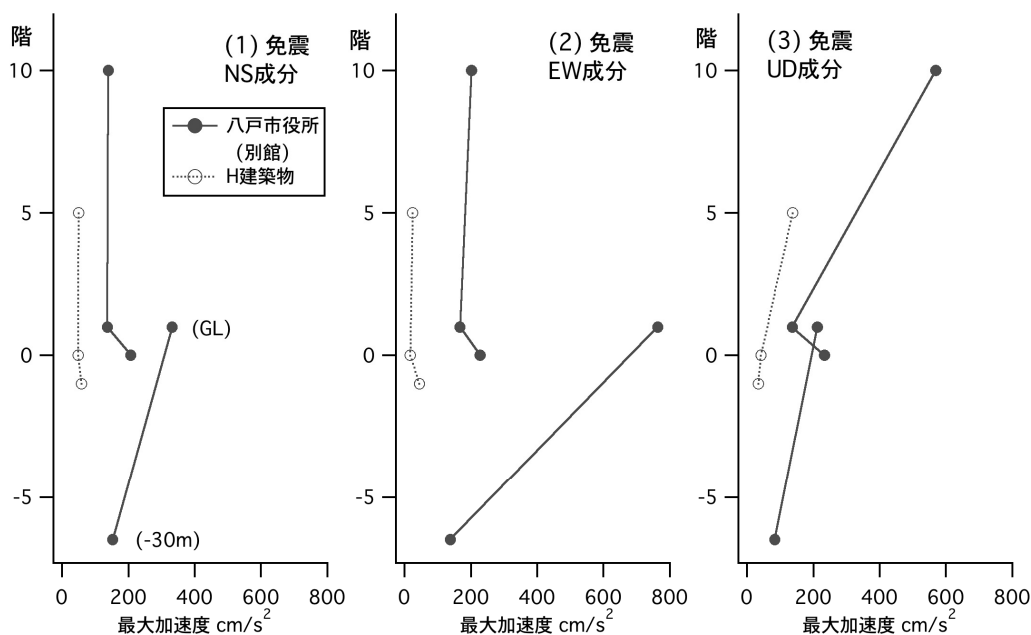


図19 免震建物の最大加速度の階別分布（岩手県沿岸北部の地震）

観測された最大加速度を表 3 に、基礎階(B1F) に対する最上階(10F)のフーリエスペクトル比を図 18 に示す。水平動は 1 秒前後に緩やかなピークがあるが、短周期領域ではスペクトル比は 1 を下回っている。一方、上下動は短周期で大きく増幅していることがわかる。

図 19 は、最大加速度の階別分布を示したものである。八戸市庁舎については地中観測結果も重ね書きしているが、自由地表面と比べて基礎階では加速度が大きく低減していることがわかる。またどちらの建物でも水平動ではほとんど建物内増幅は見られないこと、一方上下動は建物内増幅が大きいことが見て取れる。

(2) 一般構造物

八戸工業大学建築棟・増築棟における観測結果を図 20-図 21 に示す[2]。建築棟は 3 階建 RC 造で、約 18m の杭基礎によって支持されている。耐震壁は 1 階部分に多く配置されているが、階段室以外には 3 階まで連続する耐震壁は無い。1977 年の竣工以来、震度 V 以上の地震を複数回経験しており、1944 年三陸はるか沖地震では中破の被害を受けている。増築棟は杭基礎を持つ 3 階建 RC 造、PC 梁を設けたほぼ純ラーメン構造で、1991 年の竣工である。増築棟の三陸はるか沖地震での被害は小破程度であった。

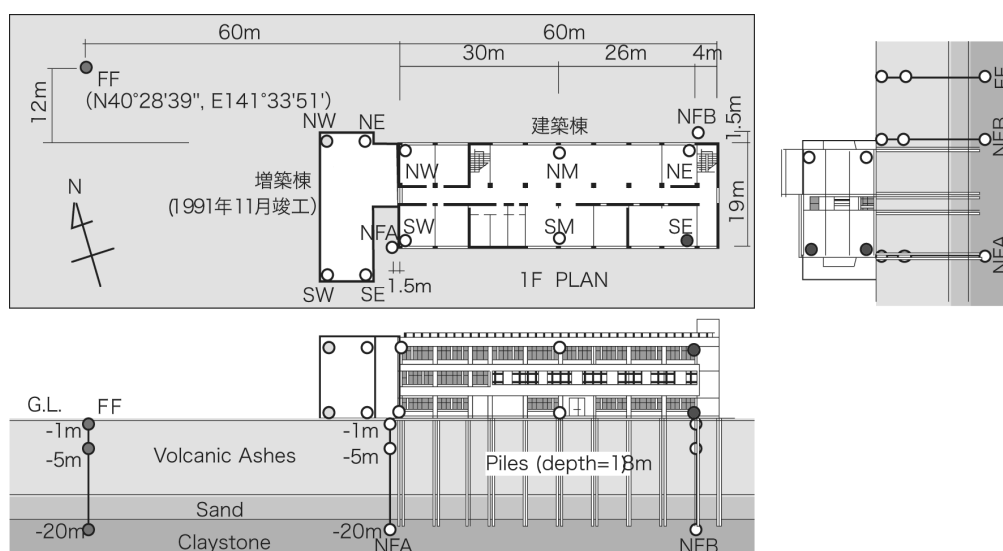


図 20 八戸工業大学建築棟・増築棟の強震観測点

増築棟 NW 位置の加速度波形と応答スペクトルを図 21 に示す。RF 階で EW 成分の振幅が大きいことがわかる。

図 22 は、調べた一般建物全ての最大加速度の階別分布を示したものである。なお、八戸市本庁舎 X 方向は $1g$ 以上となっており振り切れている。また八戸工大では図 20 に示すように高密度観測を行っているが、ここでは建築棟・増築棟別に成分毎に平均してプロットした。八戸では基礎階で概ね水平 $100\text{--}200\text{cm/s}^2$ 、上下 100cm/s^2 前後であるが、最上階では水平 $600\text{--}800\text{cm/s}^2$ 前後、上下 200cm/s^2 に増幅している。共通して EW 成分が大きなことが確認できる。

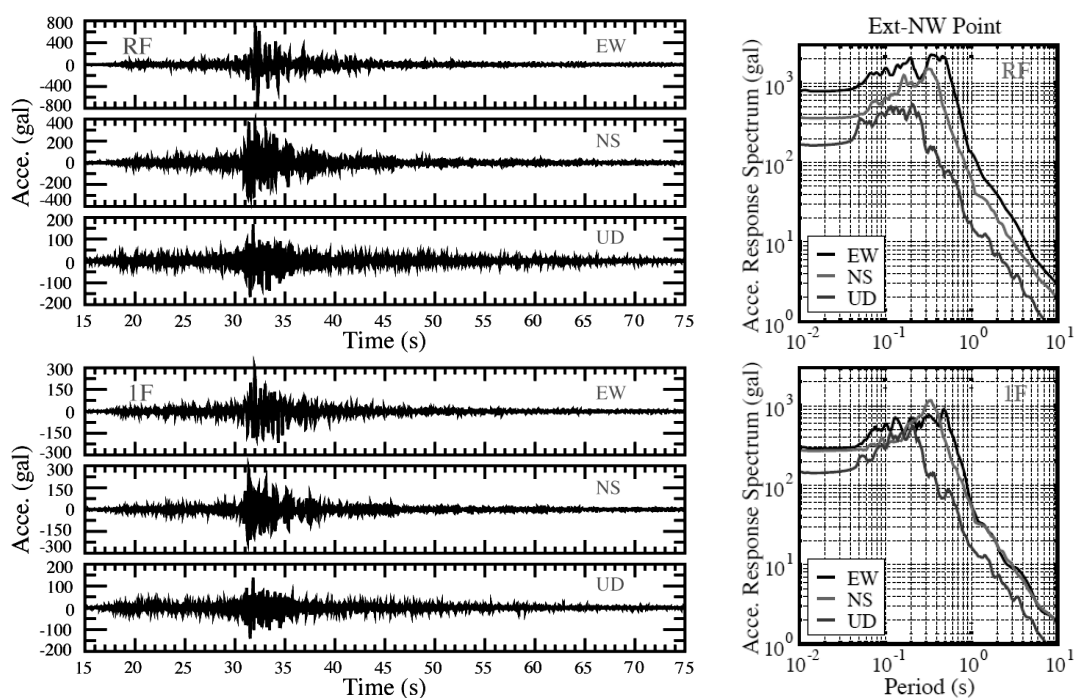


図 21 八戸工業大学の観測波形・応答スペクトル

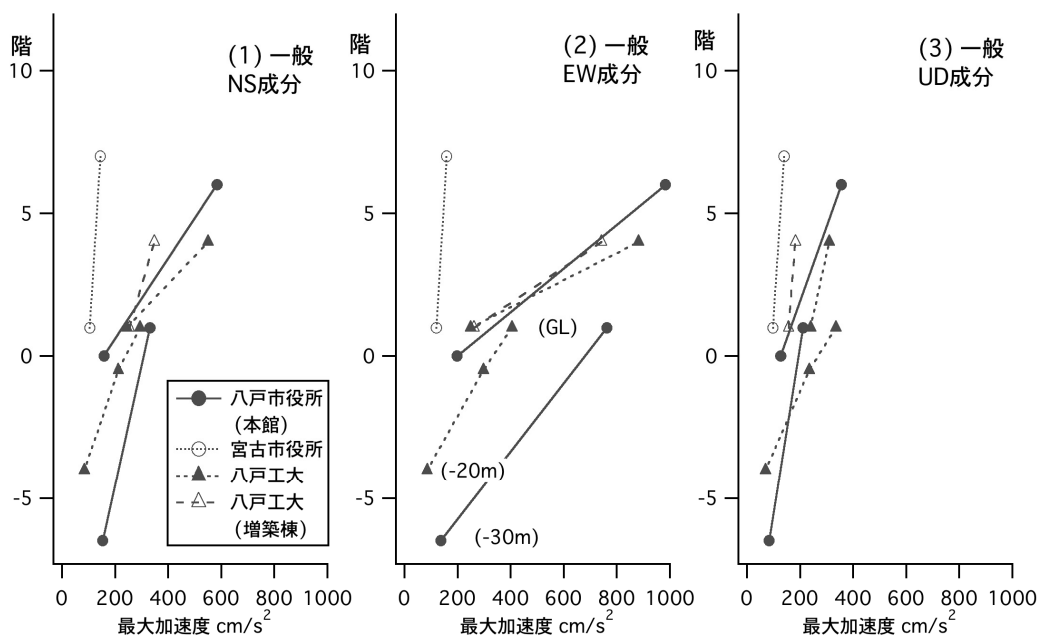


図 22 一般建物の最大加速度の階別分布（岩手県沿岸北部の地震）

4. まとめ

本年度前半におきた 2 つの被害地震である岩手・宮城内陸地震および岩手県沿岸北部の地震について、地震の概要、地盤系強震記録の特徴と被害との関係、建物系強震記録について述べた。2 つの地震とも短周期が卓越し、低層建物の被害に大きな影響を及ぼす周期 1 秒付近の振幅は小さかったため、構造的な被害は少なく、非構造材や外装材の被害が目立った。建物記録については、短周期が卓越したため一般低層建物における加速度の増幅

が顕著であった。また同じ理由から免震の効果が発揮されやすかったものと思われ、免震層よりも上部構造物での加速度の低減が確認された。

謝辞

防災科研の K-NET,KiK-net の記録を用いました。ここで例としてあげた建物のうち、シティービル仙台第一は東北電力菅原裕太氏、AER は高環境エンジニアリング中村佳也氏、八戸市庁舎は建築研究所鹿嶋俊英博士、八戸工業大学は同滝田貢教授の報告によるものです。日本建築学会東北支部災害調査連絡会報告書をご執筆いただいた各位に感謝します。

参考文献

- [1] 日本建築学会東北支部災害調査連絡会: 2008 年 6 月 14 日岩手・宮城内陸地震・建物における地震記録, <http://www.disaster.archi.tohoku.ac.jp/Saigai/tohoku/renrakukai.htm> (掲載予定)
- [2] 日本建築学会東北支部災害調査連絡会: 2008 年 7 月 24 日岩手県沿岸北部の地震,地震・地震観測記録, <http://www.disaster.archi.tohoku.ac.jp/Saigai/tohoku/renrakukai.htm> (掲載予定)
- [3] 建築研究所: 平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震建築物被害調査報告, 建築物被害調査報告, <http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/disaster/jishin/2008iwate/houkokusho/20080904-1/index.html>
- [4] 建築研究所: 岩手県沿岸北部の地震建築物被害調査報告, <http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/disaster/jishin/2008iwate/houkokusho/20080904-2/index.html>
- [5] 気象庁「平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震」の特集, www.jma.go.jp
- [6] 消防庁, 平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震(第 7 3 報)
- [7] 防災科研: 一関西観測点(IWTH25)において軽量棚が飛んだ形跡について, www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/Iwatemi-yaginairiku_080614/
- [8] 日本建築学会東北支部災害調査連絡会: 2008 年 6 月 14 日岩手・宮城内陸地震災害調査報告, 2008 年 7 月 24 日岩手県沿岸北部を震源とする地震災害調査報告, 42p, 2008.11.6
- [9] 境有紀・纈纈一起・神野達夫, 震度の高低によって地震動の周期帯を変化させた震度算定法の提案, 日本建築学会構造系論文集, No.585, 71-76, 2004.
- [10] 志賀敏男, 柴田明徳, 渋谷純一, 高橋純一: 東北大学工学部建設系研究棟における強震応答実測とその弾塑性応答解析, 日本建築学会論文報告集, 第 301 号, 119-129, 1981.3
- [11] 源栄正人, 鈴木博之, 佐藤健: 既存建物の耐震改修前後の起振機振動実験に基づく損傷度と補強効果の検討, 第 11 回日本地震工学シンポジウム, 2015-2020, 2002.
- [12] 気象庁, 平成 20 年 7 月 地震・火山月報(防災編)
- [13] 東北大学地震・噴火予知研究観測センター, 2008 年 7 月 24 日 岩手県沿岸北部の地震(M6.8)の特集, www.aob.geophys.tohoku.ac.jp
- [14] 消防庁, 岩手県沿岸北部を震源とする地震(第 2 3 報)
- [15] 気象庁, 平成 20 年 10 月 地震・火山月報(防災編)
- [16] 防災科研: 玉山観測点(IWTH02)における地盤増幅について, http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/iwate_20080724/main_20080724002620.html
- [17] 日本建築学会: 2003 年 5 月 26 日宮城県沖の地震災害調査報告, 2004.3

