

第4章 強震観測記録に基づく地震動特性と建築物の挙動

4.1 地震動特性評価

4.1.1 本震および主な余震の地震動

(1) 地震諸元

東北地方太平洋沖地震は、 M_w (モーメントマグニチュード)9.0と日本の観測史上最大で、米国地質調査所(USGS)によれば、1900年以降世界で4番目の規模となる^{4.1-1)}。

2012年1月25日時点で、マグニチュード(M)5.0以上の余震は686回(内訳はM7.0以上6回、M6.0以上96回)発生し^{4.1-2)}、震度5弱以上を観測した地震は本震を含めて46回(内訳は震度7:1回、震度6強:2回、震度6弱:2回、震度5強:10回、震度5弱:31回)である^{4.1-3)}。なお気象庁発表のマグニチュードは、本震はモーメントマグニチュード(M_w)、他の地震は気象庁マグニチュード(Mj)の値である^{4.1-4)}。

表4.1-1に、東北地方太平洋沖地震の本震と、マグニチュード(M)7.0以上の前震と余震の地震諸元を示す。M7.0以上の余震は本震の発生から1時間以内に3回、4月に入って2回、7月10日1回の計6回発生している。最大の余震は、本震の約30分後に発生した茨城県沖を震源とするM7.6(最大震度6強)の地震であった。なお、本震の2日前に、M7.3(最大震度5弱)の前震が本震の近くで発生していた。

表4.1-1 本震とマグニチュード(M)7.0以上の前震と余震

	日時	震央	深さ	M	最大震度
前震	3月09日11時45分12.9秒	三陸沖 (38° 19.7' N, 143° 16.7' E)	8 km	Mj 7.3	5弱
本震	3月11日14時46分18.1秒	三陸沖 (38° 06.2' N, 142° 51.6' E)	24 km	M_w 9.0	7
余震	3月11日15時08分53.5秒	岩手県沖 (39° 50.3' N, 142° 46.8' E)	32 km	Mj 7.4	5弱
	3月11日15時15分34.4秒	茨城県沖 (36° 06.5' N, 141° 15.9' E)	43 km	Mj 7.6	6強
	3月11日15時25分44.4秒	三陸沖 (37° 50.2' N, 144° 53.6' E)	34 km	Mj 7.5	4
	4月07日23時32分43.4秒	宮城県沖 (38° 12.2' N, 141° 55.2' E)	66 km	Mj 7.2	6強
	4月11日17時16分12.0秒	福島県浜通り (36° 56.7' N, 140° 40.3' E)	6 km	Mj 7.0	6弱
	7月10日09時57分07.3秒	三陸沖 (38° 01.9' N, 143° 30.4' E)	6 km	Mj 7.3	4

Mj: 気象庁マグニチュード、 M_w : モーメントマグニチュード

(2) 震度分布・最大加速度

本震で観測された震度の分布を図4.1-1に示す。赤い星(★)は震央の位置を表す。なお、この図の震度は、気象庁によって精査された震度を反映したものである^{4.1-5)}。平成23年3月地震・火山月報(防災編)^{4.1-6)}によると、本震で震度5弱以上が観測された地点は736地点、内訳は表4.1-2に示すように震度7が1地点(気象庁震度観測点0、地方公共団体または独立行政法人防災科学技術研究所の震度観測点1、以下同様)、震度6強が38地点(4、34)、震度6弱が138地点(24、114)、震度5強が地点239(31、208)、震度5弱が320地点(40、280)であった。震度7は宮城県栗原市(K-NET観測点MYG004)で、震度6強は宮城県、福島県、茨城県、及び栃木県に及ぶ広い範囲で観測された。さらに震度6弱は、これに加え岩手県、群馬県、埼玉県、及び千葉県に広がる。

表4.1-1に示した余震のうち、3月11日15時15分、4月7日23時32分、及び4月11日17時16

分の地震の震度分布を図 4.1-2 から図 4.1-4 に示す。3 月 11 日 15 時 15 分の余震の最大震度は茨城県銚田市の 6 強、4 月 7 日 23 時 32 分の余震の最大震度は宮城県栗原市と仙台市宮城野区の 6 強、4 月 11 日 17 時 16 分の余震の最大震度は福島県中島村、古殿町、いわき市及び茨城県銚田市の 6 弱であった。いずれの余震でも震央の近傍で、震度 6 弱以上の激しい揺れを観測した。なお気象庁は、本震と 3 月 11 日 15 時 15 分の余震で 6 強、4 月 11 日 17 時 16 分の余震で 6 弱を記録した震度観測点「銚田市当間」として使われている K-NET 銚田の観測点について、「震度が周辺に比べ過大に観測されていると判断された観測点」として、「震度計の設置状況には異常が認められないため、震度観測自体は正常に行われていると考えられますが、地域代表性という観点から、防災対応のトリガーとして使用するの是不適切と判断し、地震情報への活用を停止する」と平成 23 年 4 月 21 日に発表した^{4.1-7)}。

図 4.1-5 は、岩手県北部から神奈川県 K-NET 観測点で得られた本震加速度波形の EW(東西)成分を並べたものである。加速度波形は福島県北部以北では大きく 2 つの波群で構成されているが、それより南部では 1 つの波群になっている。これは震源過程の複雑さを反映したものと考えられ、それぞれの位相を再現する震源モデルが提案されている^(例えば 4.1-6), 8)。

本震で震度 5 弱以上が観測された 736 地点のうち、最大加速度値が得られている地点は 733 地点である^{4.1-6)}。表 4.1-3 に、3 成分合成加速度値が大きな地点の 1～10 位を示す。栗原市築館で 2933.7cm/s/s (計測震度 6.6) が得られたほか、栗原市築館を含む 27 地点で重力加速度(980cm/s/s)を超える値が得られた。栗原市築館の加速度が大きな原因については、崖の上に位置することによる増幅の影響^{4.1-9)} や、地震計の浮き上がりによる影響の可能性が指摘されている^{4.1-10)}。

表 4.1-2 本震で震度 5 弱以上が観測された地点数

震度	7	6 強	6 弱	5 強	5 弱	計
気象庁震度観測点	0	4	24	31	40	99
地方公共団体または独立行政法人防災科学技術研究所の震度観測点	1	34	114	208	280	637
計	1	38	138	239	320	736

表 4.1-3 3 成分合成加速度値が大きな地点

観測点名	震度	計測震度	最大加速度 (gal=cm/s/s)				震央距離(km)
			合成	南北成分	東西成分	上下成分	
栗原市築館**	7	6.6	2933.7	2699.1	1268.9	1879.7	174.3
宮城川崎町前川*	6 強	6.2	2698.2	2691.9	962.1	727.1	193.8
塩竈市旭町**	6 強	6.0	2019.2	760.4	1969.4	500.8	162.3
日立市助川小学校**	6 強	6.4	1843.4	1598.8	1184.6	1165.6	258.1
銚田市当間**	6 強	6.4	1761.5	1352.3	1071.6	811.1	301.7
常陸大宮市山方*	6 弱	5.8	1684.2	1486.2	1202.8	427.3	272.5
高萩市本町*	6 強	6.0	1650.0	1644.3	823.1	857.3	244.9
城里町阿波山*	6 弱	5.9	1572.6	1365.8	1483.8	718.0	282.4
釜石市只越町	5 強	5.4	1503.7	1249.4	978.7	319.1	155.0
銚田市汲上*	6 弱	5.9	1502.7	1196.6	967.5	521.7	301.2

※観測点名の*印は地方公共団体、**印は独立行政法人防災科学技術研究所、無印は気象庁の震度観測点を示す。

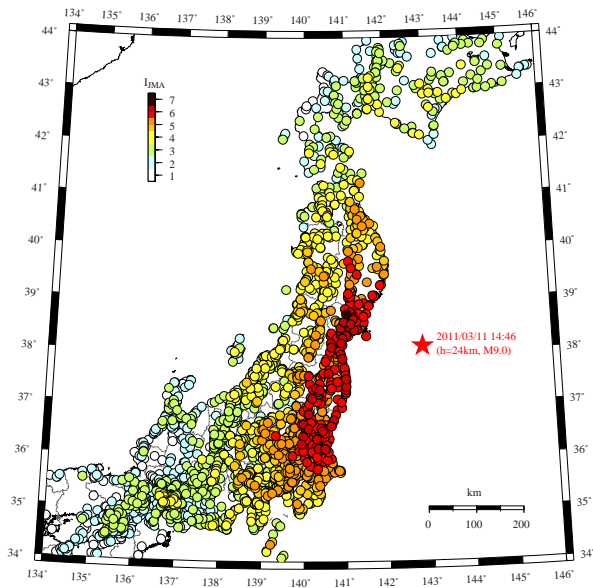


図 4.1-1 東北地方太平洋沖地震の震度分布

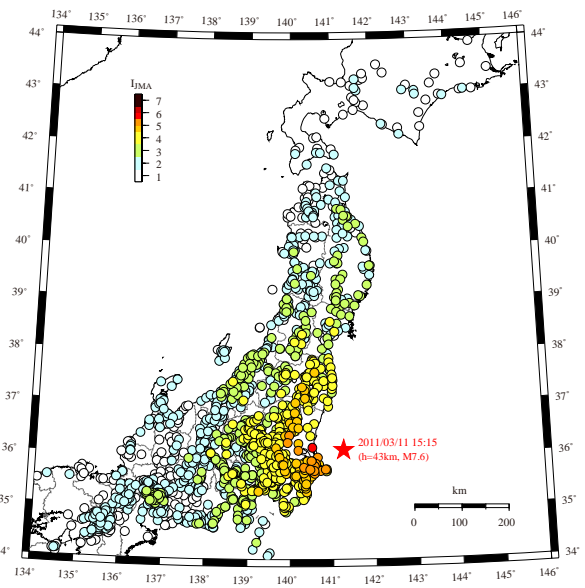


図 4.1-2 3月11日15時15分の余震の震度分布

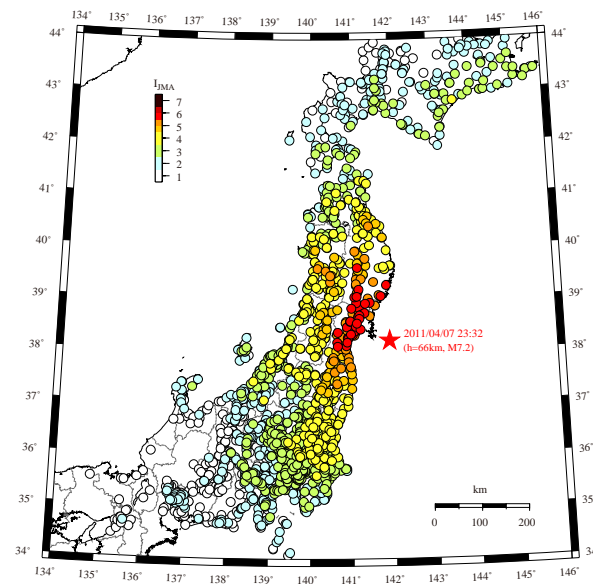


図 4.1-3 4月7日23時32分の余震の震度分布

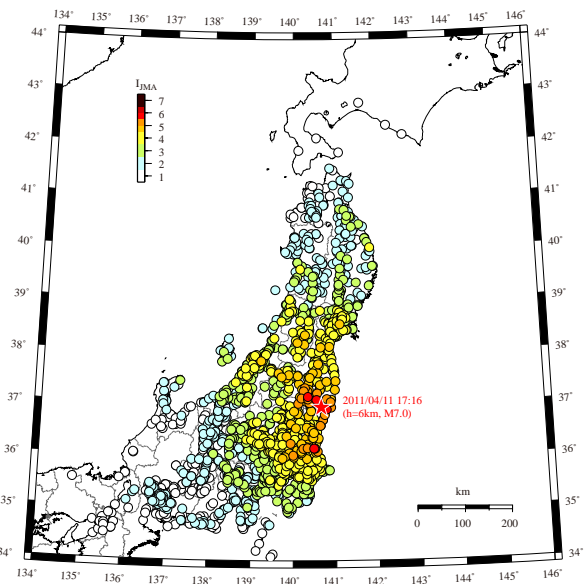


図 4.1-4 4月11日17時16分の余震の震度分布

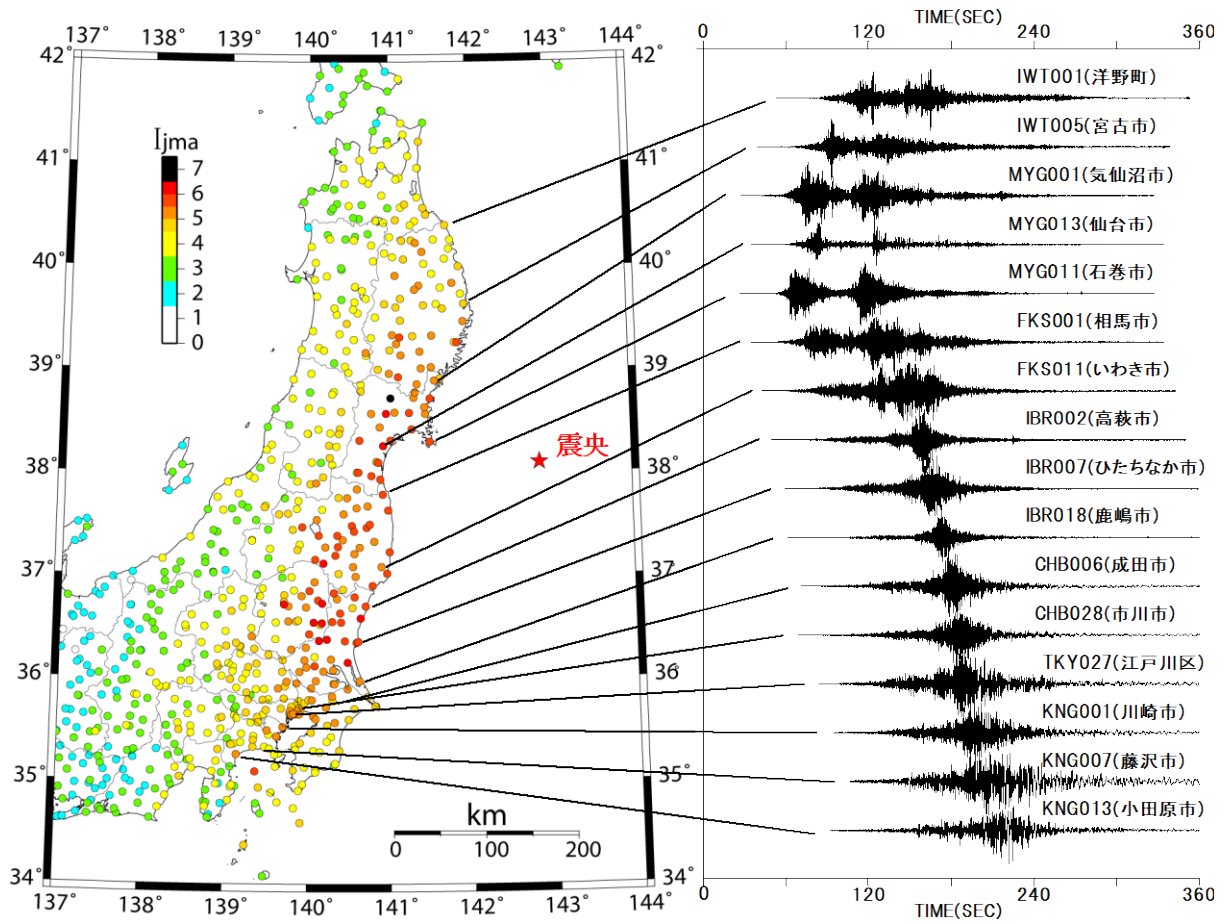


図 4. 1-5 東北地方太平洋沖地震の震度分布と EW(東西)成分加速度波形

4.1.2 本震の地震動特性

観測地震波については、建築研究所、防災科学技術研究所のK-NET、KiK-netをはじめとして、気象庁、大学、地方公共団体などの観測実施機関により、膨大な観測記録が得られ公表されている。

それらを基に、本節では、本震及び余震による各地の揺れの構造物への影響の程度を把握する上での参考とするため、非線形変位応答スペクトルを計算した。図 4.1-6、図 4.1-7 に、本震(2011年3月11日14時46分頃)の観測地震波の水平1方向成分を入力とし、1質点弾塑性時刻歴解析により求めた変位応答スペクトルを示す。1質点弾塑性時刻歴解析では、本稿では復元力特性を、バイリニア最大点指向型とし、降伏点のせん断力係数(C_y)を0.2、剛性低下率を1/1000、減衰定数(h)を5%とした。

一般に、時刻歴解析により求めた応答変位は、相対変位に相当し、弾塑性解析は強いレベルの強震動が作用した場合の建築物の実際の各層の応答に近いと言われている。本解析のように、1質点モデルにより応答変位を求めた場合、1階建て建築物の層間変位を求めることに相当する。ここでは、0.1~5.0(s)の各周期について求めた応答変位時刻歴のうち、絶対値の最大値をスペクトル表示している。

観測地震波は、観測点周辺の地盤や構造物の影響も記録しており、特に、軟らかい地盤で観測された地震動の変位応答スペクトルは、長周期領域において、大きくなる傾向にあることが知られている。

一方、応答時の最大層間変形角は、超高層建築物の時刻歴応答解析あるいは限界耐力計算において、一定値以下となることを満たすこととされている。超高層建築物の時刻歴解析(平成12年建設省告示第1461号関連)においては、地震時の層間変形角を1/100以下とする場合が多い。限界耐力計算(建築基準法施行令第82条の5関連)において、建築物の安全限界時の層間変形角は、平成12年建設省告示第1457号第6第2項によると、木造以外では1/75以下、木造では1/30以下となることが求められている。

本検討で用いた観測地震波として、建築研究所(BRI)強震観測点、防災科学技術研究所強震観測点(K-NET)及び気象庁(JMA)強震観測点のうちから、最大加速度が大きかった地点または変位応答スペクトルの大きかった地点の記録を用いた。観測3成分のうち、水平方向の最大加速度または変位応答スペクトルの大きい方の成分について、スペクトル表示した。

用いた観測記録の観測点名と方向成分は、震央に近い2箇所のBRI観測地点(東北大学人間環境系建物(THU)1F、北から東に192度回転した方向成分(N192°E)、仙台第2合同庁舎(SND)B2F、N164°E)、K-NETの6地点(一関(IWT010)NS、築館(MYG004)NS、塩竈(MYG012)EW、仙台(MYG013)NS、郡山(FKS018)EW、日立(IBR003)NS)、JMA強震観測点の8地点(奥州市水沢区大鐘町NS、登米市中田町EW、大崎市古川三日町NS、涌谷町新町EW、石巻市泉町EW、松島町高城NS、郡山市朝日EW、筑西市舟生EW)とし、合計16波である(図4.1-6、図4.1-7)。

本震の地震記録と、過去の地震の観測記録5波(2007年新潟県中越沖地震時のK-NET柏崎(NIG018)NS、2004年新潟県中越地震時の地方公共団体(L-Gov)川口町EW、K-NET小千谷(NIG019)EW、1995年兵庫県南部地震時のJMA神戸市中央区NS、JR鷹取駅NS)、及び、人工地震波である(一般財団法人)日本建築センター模擬波(BCJ-Level2)による変位応答スペクトルを、図4.1-8に比較して示した。

本震観測地震波のうち、周期1.0秒以下では、2011仙台NS、K-NETが最も大きく、次いで、2011大崎NS、JMAが大きい。

周期1.5秒以上では、2011涌谷EW、JMA、2011登米EW、JMA、2011大崎NS、JMAが大きい。また、過去の観測波と比べると、2011大崎NS、JMAの変位応答スペクトルは、K-NET小千谷EWのそれと同程度となる地震動であり、特に周期4秒以上で応答変位が大きくなる長周期成分を多く含む地震動であ

る。2011 東北大 1F N192° E, BRI、2011 仙台 B2F N164° E, BRI の変位応答が最大となる周期は、それぞれ、約 4.0 秒、約 3.5 秒であった。

一般に中低層の建築物の固有周期とされる 0.5~1.0 秒において、応答変位が 10cm を超えていた地震波は、2011 仙台 NS, K-NET、2011 大崎 NS, JMA、2004 川口町 EW, L-Gov、2004 小千谷 EW, K-NET、1995 神戸 NS, JMA、1995 鷹取 NS, JR であった。

以上の 1 質点系の非線形変位応答スペクトルにより、本震地震動による応答変位は、仙台 (MYG013), K-NET 及び大崎市古川三日町, JMA 等の観測点において、特定の周期域に限定すれば、過去に観測された地震動に劣らない非常に大きなレベルの応答変位を与える地震動であった。

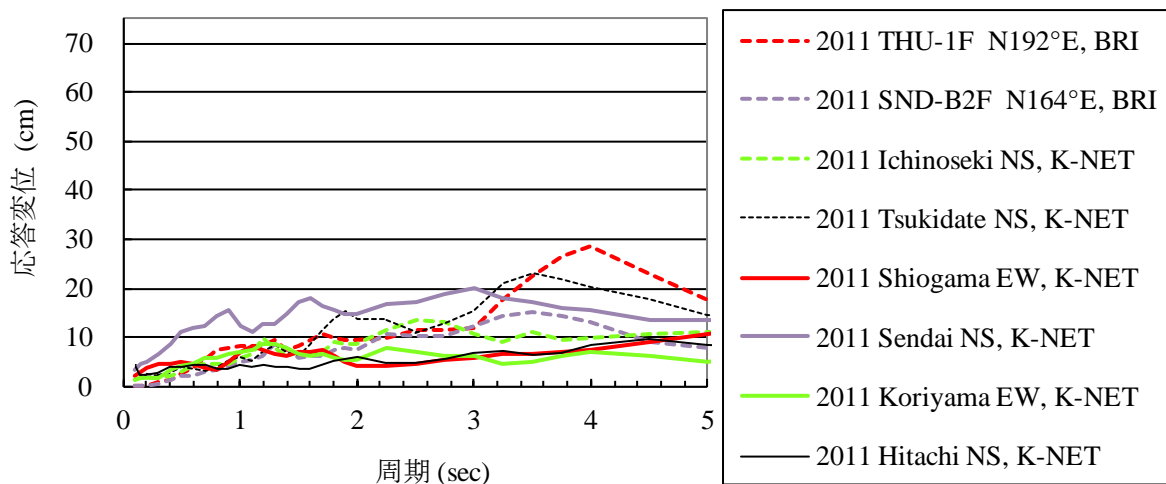


図 4.1-6 本震による変位応答スペクトル(BRI、K-NET) (Cy=0.2, h=0.05)

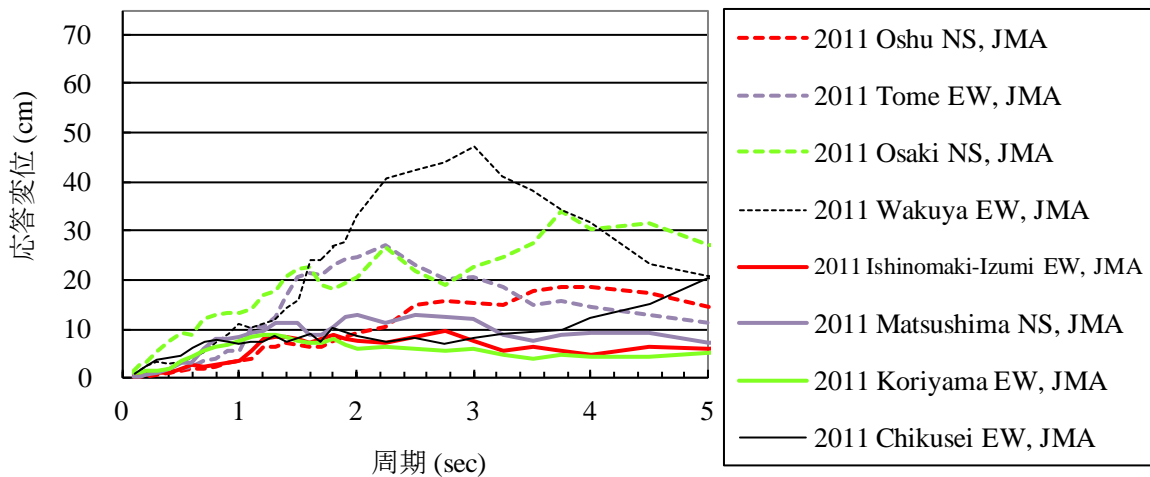


図 4.1-7 本震による変位応答スペクトル(JMA) (Cy=0.2, h=0.05)

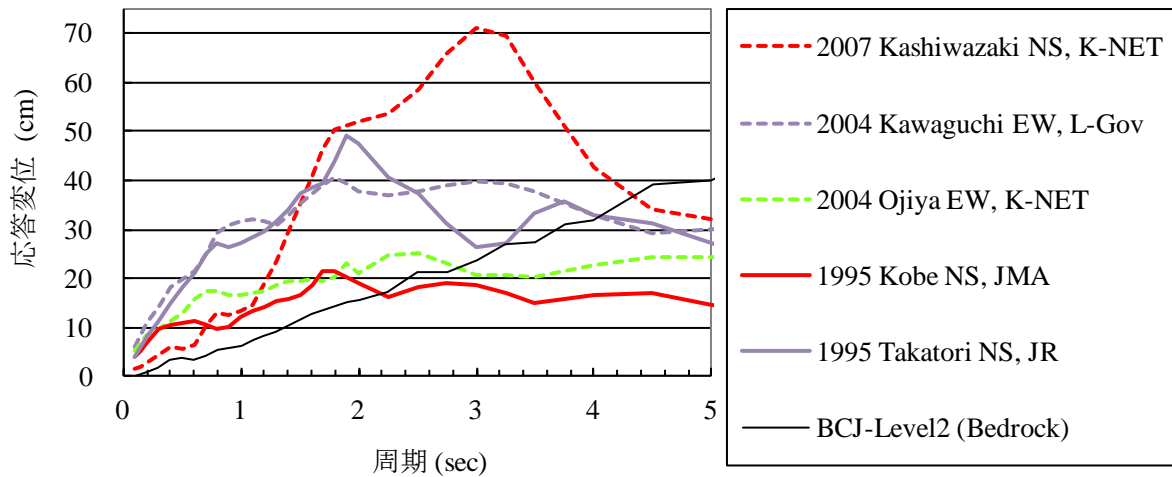
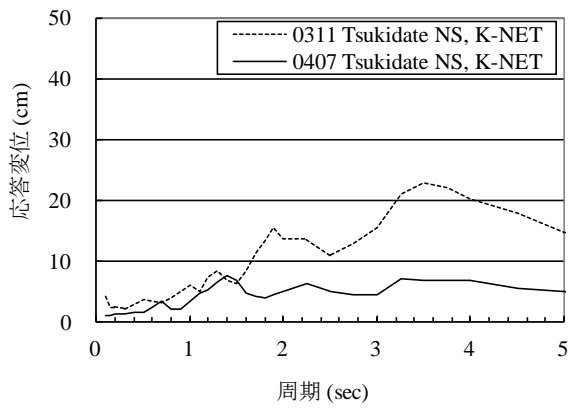


図 4.1-8 過去の大振幅観測記録等による変位応答スペクトル(Cy=0.2, h=0.05)

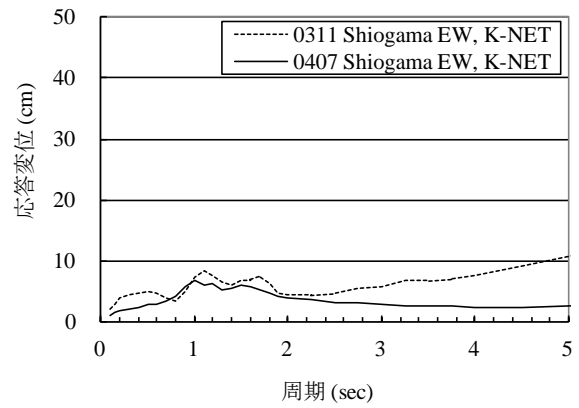
4.1.3 余震と本震の比較

三陸沖を震源とする余震のうち、最大震度 6 強を記録した余震(2011 年 4 月 7 日 23 時 32 分)の観測記録による変位応答スペクトルを求め、本震の変位応答スペクトルと比較した。

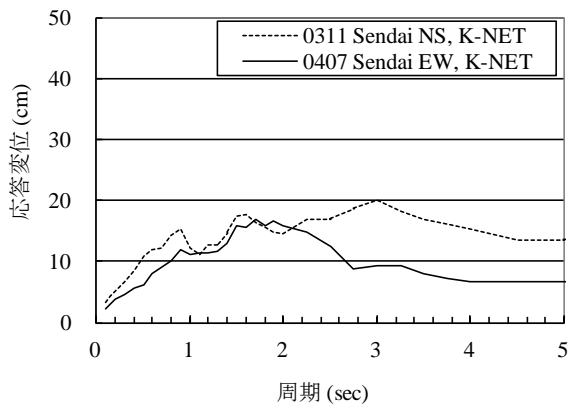
比較した地点は、K-NET の 4 地点(築館(MYG004)、塩竈(MYG012)、仙台(MYG013)、牡鹿(MYG011)) (図 4.1-9)、JMA の 4 地点(涌谷町新町、大崎市古川三日町、登米市中田町、松島町高城) (図 4.1-10)である。図 4.1-9(K-NET) 及び図 4.1-10(JMA) の凡例のうち、0311 で始まる地震波が本震、0407 で始まる地震波が余震である。周期域全体から見ると、余震に比べて、本震の応答変位の方が大きくなるが、一部余震における応答変位が本震のそれと同程度となる周期域が存在する。なお、図 4.1-9 に、牡鹿 K-NET を示したのは、余震(0407)の観測記録のうちで最大加速度を記録したためであるが、0407 牡鹿 NS, K-NET の応答変位は、周期 5 秒以下で、2.6cm 以下と小さかった。



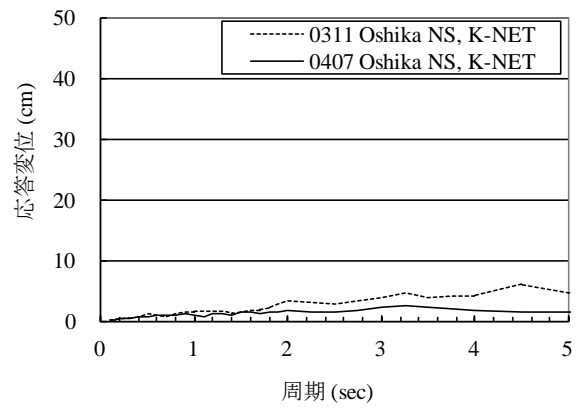
(1) 築館(MYG004), K-NET



(2) 塩竈(MYG012), K-NET

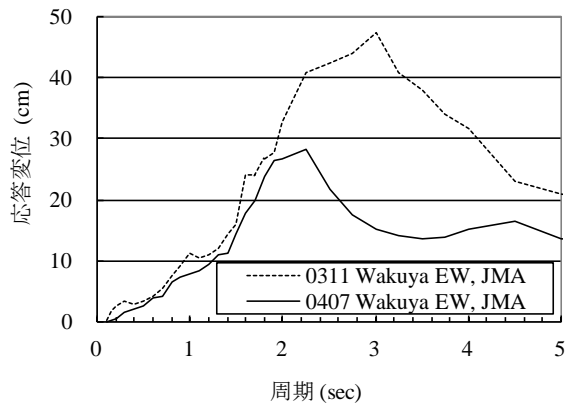


(3) 仙台(MYG013), K-NET

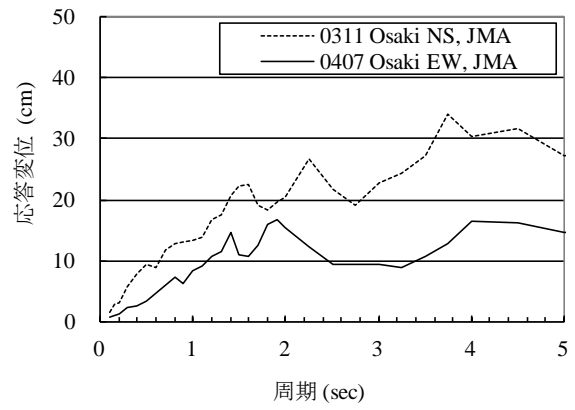


(4) 牡鹿(MYG011), K-NET

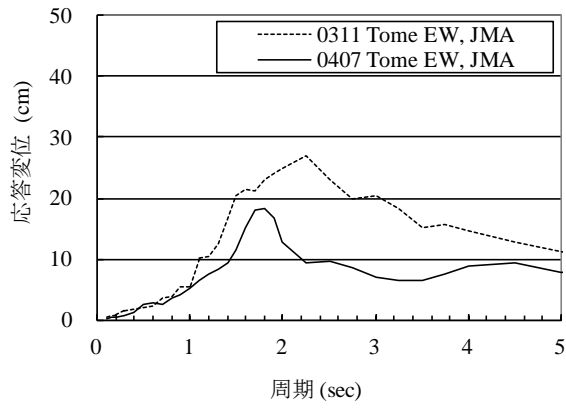
図 4.1-9 本震(0311)と余震(0407)の比較(K-NET) (Cy=0.2, h=0.05)



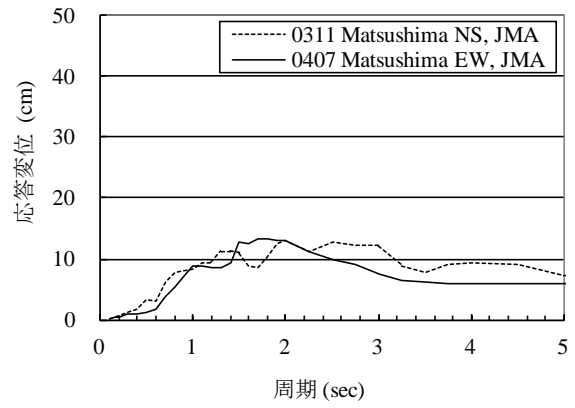
(1) 涌谷町新町, JMA



(2) 大崎市古川三日町, JMA



(3) 登米市中田町, JMA



(4) 松島町高城, JMA

図 4.1-10 本震(0311)と余震(0407)の比較(JMA) (Cy=0.2, h=0.05)

4.1.4 長周期地震動評価

東北地方太平洋沖地震における本震の長周期地震動特性について、被災地域（宮城、岩手、福島など）、首都圏、それ以外の大都市圏のそれぞれについて、強震記録に基づき、検討した。ただし、大振幅を記録した地点の地理的範囲が広く、いずれの地点の記録にも共通して継続時間が非常に長いことが認められる。これは、規模が大きく破壊が広域に及び、断層破壊が完了するまでに長い時間を要したことによるものである。

建築研究所では、4.2 に示すように建築物およびその周辺地盤での強震観測事業により、多数の大振幅強震記録を得ている。

(1) 被災地域における長周期地震動

被災地域では、地震動による被害と沿岸地方における津波被害があり、特に沿岸地域の建築物については津波による被害が支配的であり、同地域での地震動被害については、よく分かっていない。

宮城県を中心とする東北地域の代表的な観測記録の擬似速度応答スペクトル（5%減衰）を図 4.1-11 に示す。同図は地盤上の K-NET 観測点における記録について示したものである。長周期成分の卓越をみるため周期 10 秒までの応答スペクトルを重ね書きしているが、周期 2 秒以下で 200cm/s を上回る地点がある。ただし、周期 4 秒よりも長い周期域では、特段大きなレベルとはなっていない。

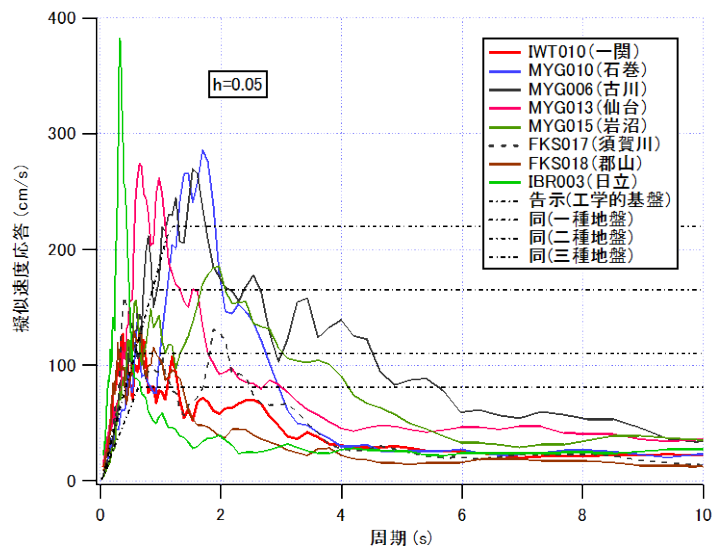


図 4.1-11 被災地域の K-NET 観測点での擬似速度応答スペクトル

図 4.1-12 は建築研究所が実施する建物の強震観測記録のうち、東北各地の中心部における建物基部（1 階、地階あるいは地表）での観測記録

の擬似速度応答スペクトル（減衰定数 5%）の比較である。（同じ色の 2 本の線は水平 2 成分を表している）仙台や八戸、秋田、宮古、いわきなどの観測記録の長周期成分のレベルを見たものであるが、仙台やいわきなどは周期 2～3 秒の速度応答レベルが告示スペクトルを少し上回っており、地震動レベルは比較的大きい。しかしながら、周期 4 秒以上では、それほど大きくなく、距離が遠い新潟地点の方がかえって速度応答レベルが大きくなる。地震マグニチュード（ M_w ）が 9.0 と大きく、その分長周期成分が卓越することが予想されたが、これらの地点では長周期成分の大きな増幅はみられない。

また累積塑性変形など、長継続時間や非線形応答への影響の程度をみるため、エネルギースペクトル（減衰定数 10% の 1 質点系への総エネルギー入力 の速度換算値）についても同じ地震動について図 4.1-13 で比較した。

エネルギースペクトルの比較の基準として、告示スペクトル(工学的基盤)に適合する継続時間120秒、ランダム位相の模擬地震動10波によるエネルギースペクトル平均値を図中に加えた。ここでも周期4秒程度以上においては、新潟の記録が大きくなっており、その他の観測点における地震動のエネルギースペクトルレベルはそれほど大きくないことがわかる。

仙台合同庁舎 B2F は周期3秒で大きくなるものの、周期4秒以降は、急激に減少し、周期6秒より長い領域では、広い地域で同等のレベルを示している。

エネルギースペクトルの増大には、地震動継続時間が影響しており、今回の地震での震源破壊に要した長い時間と被災地域での非常に長い揺れの時間からも推定できるが、6秒以上の長周期域では地震動レベルがそれほど大きくない。

1978年6月の宮城県沖地震で、上層階で1Gを超える加速度を記録した東北大学の校舎建物でも、今回強震記録が得られている。図4.1-14に、1978年宮城県沖地震と今回の記録の同じ観測地点での記録波形を比較した。また、長周期地震動の代表的記録とされる、2003年十勝沖地震と震源近傍地震動の代表的記録とされる1995年兵庫県南部地震での神戸海洋気象台の観測波形も同図に比較のために示した。

この図から明らかなように、本震による揺れの継続時間が非常に長いことが、今回の地震の特徴となっている。

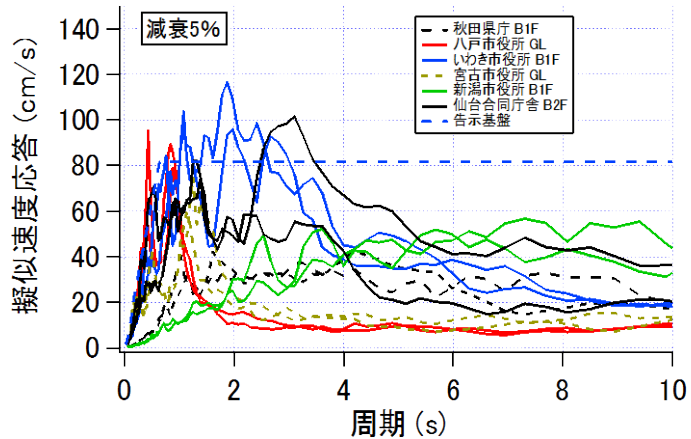


図 4.1-12 被災地域の B1 観測点での擬似速度応答スペクトル

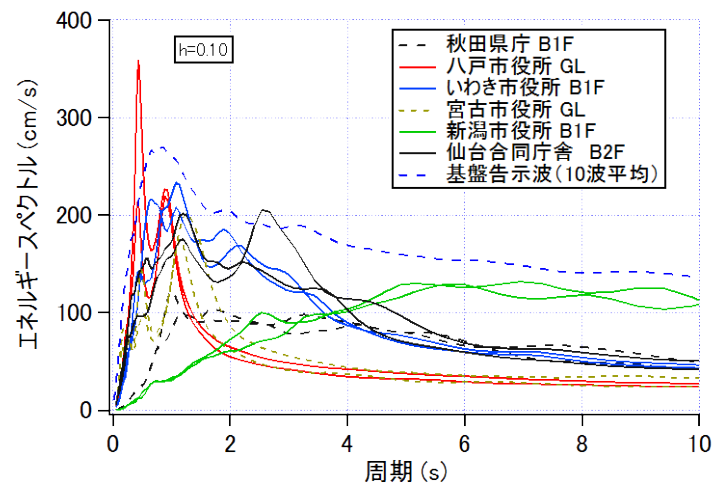


図 4.1-13 被災地域の B1 観測点でのエネルギースペクトル

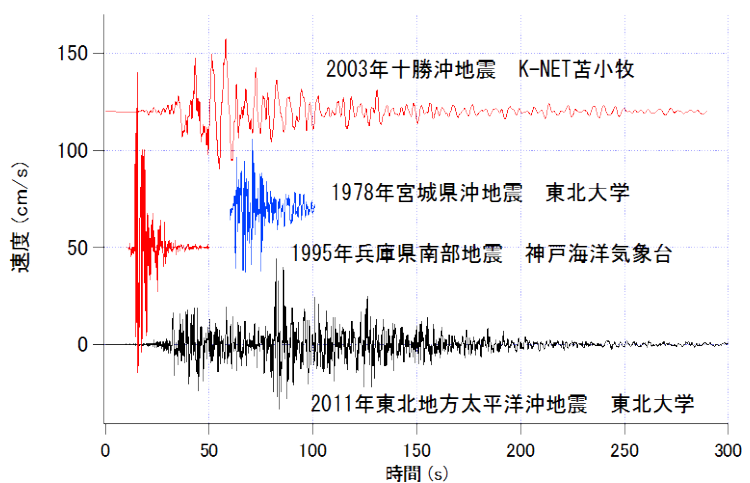


図 4.1-14 主要地震動の時刻歴の時間長さの比較

(2) 首都圏における長周期地震動

図 4.1-15 は、東京都北部から埼玉県での地震動スペクトルを比較したものであるが、擬似速度応答スペクトルでは周期 6~8 秒の成分がやや卓越していることがわかる。しかし、擬似速度応答スペクトルとしては大きいところでもせいぜい 80cm/s であり、この入力により過大な建物応答を生じるレベルではない。また、同様に図 4.1-16 に同じ記録のエネルギースペクトルを示したが、前掲の告示波平均レベルを下まわっている。なお、図 4.1-15, 4.1-16 には 2003 年 9 月の十勝沖地震の K-NET 苫小牧での東西成分のスペクトルも加えてあるが、同記録は 4 秒以上の周期帯域では大きいレベルであったことがわかる。

東京東部から千葉湾岸における同様の地震動スペクトルを、図 4.1-17、図 4.1-18 に示した。擬似速度、エネルギー両方について、市川地点で周期 3.5 秒と同 6~8 秒あたりでやや大きくなっているが、それ以外の地点では、告示スペクトルレベルのほぼ半分程度である。さらに図 4.1-19、図 4.1-20 で東京山手から同西部について同様に示すが、両スペクトル共に告示レベルの半分程度であり、長周期地震動の場合には、特定の卓越周期成分が支配的で選択性の高い、いわゆる後揺れが長時間続くことが特徴であることが多いが、今回の地震の記録では、震源域が広く、震源の破壊が完了するまでの時間が長かったため、短周期成分も長く継続しており、長周期まで含めた広い周期帯域で、同等な地震動レベルとなっているのが特徴である。

(3) その他の地域における長周期地震動

その他の地域での、長周期地震動を見てみると、2003 年十勝沖地震で、長周期地震動による石油タンク火災が出た K-NET 苫小牧地点、また大阪の湾岸地域 (KiK-net 此花など) も、長周期地震動を大きく増幅させる地点として知られている。東北地方太平洋沖地震では、大阪湾岸は震源からの距離が 750km を超えていたにもかかわらず、西日本最大級の超高層建築物の上層

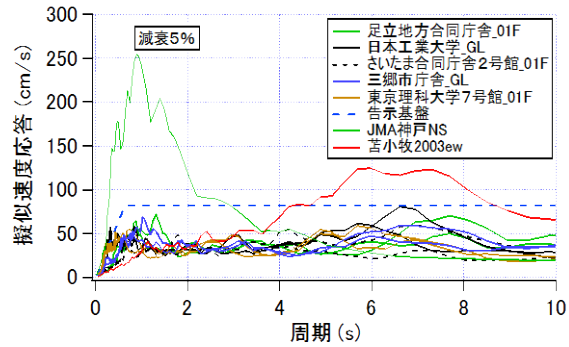


図 4.1-15 東京都北部から埼玉における擬似速度応答スペクトルの比較

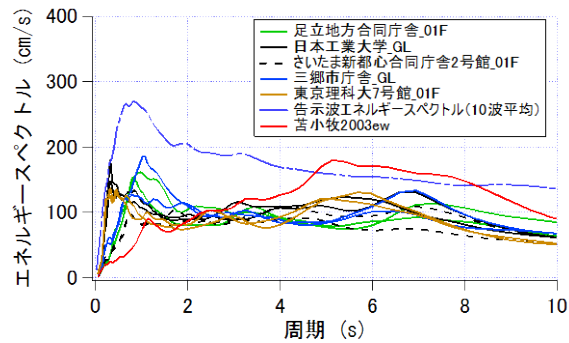


図 4.1-16 東京都北部から埼玉におけるエネルギースペクトルの比較

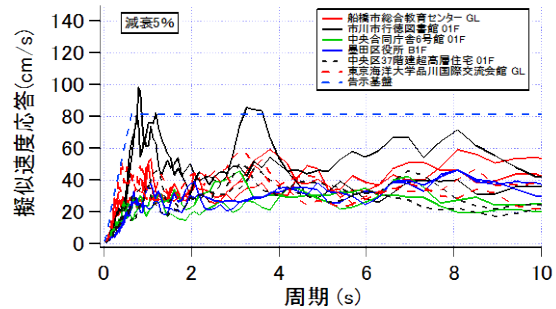


図 4.1-17 東京都東部から千葉湾岸における擬似速度応答スペクトルの比較

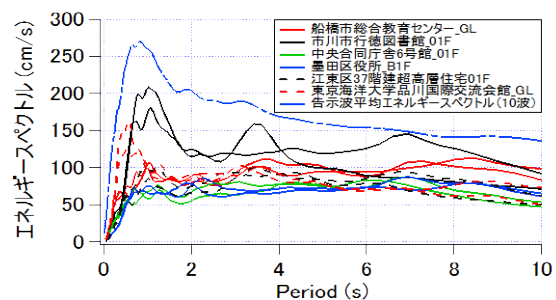


図 4.1-18 東京都東部から千葉湾岸におけるエネルギースペクトルの比較

階で大きなゆれが観測され、エレベータでの閉じ込めや防火扉、スプリンクラーの損傷など、非構造における被害が生じた。これらの地点の他に、新潟市についても、従来から長周期成分を大きく励起させる地下構造であることがわかってきたが、それらの地点での今回の地震における地震動レベルを見たのが図 4.1-21 である。三重県四日市観測点でも名古屋周辺部より周期 6 秒程度でのレベルが高くなっていることがわかる。

わが国で最も高い超高層建築物の一次固有周期が約 6 秒強である。図 4.1-21 でその周期帯域を眺めると、同じ大阪でも湾岸（此花）と内陸部（柴島）とでは、そのレベルに非常に大きな差のあることがわかる。また、今回の地震の震源からの距離を考えると、大阪湾岸に加えて四日市、新潟、さらには苫小牧各観測点でも、長周期地震動を増幅させる地域であることをあらためて認識した。東京、大阪、名古屋の大都市圏では、懸念されている南海地震や東南海地震などの巨大海溝地震による長周期地震動の予測に向けて、観測データによる各地点固有の揺れやすさの程度を検証する必要がある。

首都圏においても、それほど高レベルの長周期地震動となっていないが、地域内では長周期成分の表れ方にサイト固有の性質が現れている。長周期地震動は、その周期に応じて厚い堆積層が存在する各平野内で大きく増幅するものと考えられている。

今回の地震における代表的な強震記録と過去の同様の記録及び告示波など設計に用いられる地震動との比較を図 4.1-22 に示した。

宮城県内の振幅レベルが大きい記録を 4 個選んだ。長周期領域においては、2003 年 9 月の十勝沖地震の K-NET 苫小牧地点の記録が周期 6～8 秒で、過去最大レベルのものとなっている。今回の地震では同周期帯域でこれを上回る記録は示されていない。

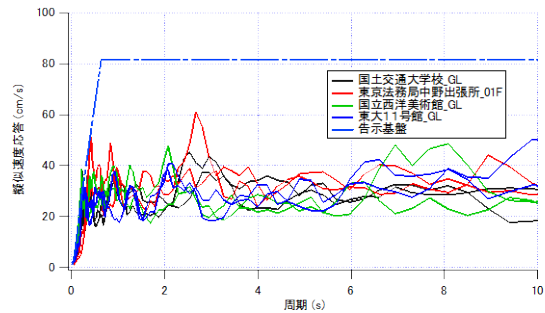


図 4.1-19 東京山手及び西部における擬似速度応答スペクトルの比較

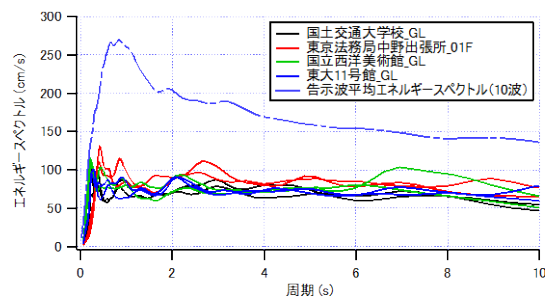


図 4.1-20 東京山手及び西部におけるエネルギースペクトルの比較

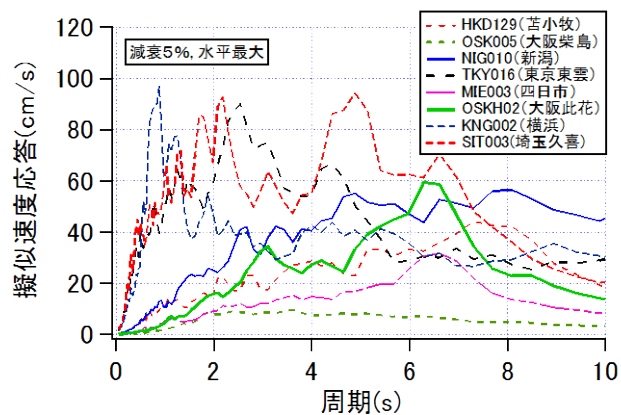


図 4.1-21 被災地以外での主要観測地点における擬似速度応答スペクトルの比較（水平各成分のスペクトル値の大きい方の値をとった）

(4) 長周期地震動
が現れた観測事例

長周期地震動に対する被害では、構造体がいわゆる共振状態かそれに近い状態に入ることが大きな応答を生じる主要因となる。

最初に示したように、大規模地震では震源断層のずれにより強いレベルの長周期の地震動が生じる。その地震動が四方へ伝播するが、長周期地震動は、短周期のものに比べて相対的に減衰の程度が小さく、遠くまで到達する。

対象構造物直下の深い地盤面に届いた長周期成分を多く含む地震動は、上層地盤に入射し地表の構造物に届くまでに地盤の増幅作用を受ける。地盤の卓越周期成分を多く含む地震動となり、構造物に作用する。

図 4.1-23 は、大阪湾岸の 55 階建て庁舎の S 造超高層建築物(高さ 256メートル)内で観測された強震記録である。立地地点は震源から 770km の距離にある。この事例では、震源からは遠いが、地震規模が大きかったことから、遠くまで到達した地震動が建物敷地直下の深部地盤の増幅を受け、かつその地盤周期が建物の固有周期に近かったため共振現象が生じたものと考えられる。また、さらに地震動の継続時間が長く、応答振幅の成長が顕著であったことなども大きな応答の原因となったと考えられる。

図 4.1-24 は大阪府が実施する震度観測データ⁴⁻¹⁰⁾を用いて、東北地方太平洋沖地震時の大阪府下の揺れの分布を観測記録の周期 6.4 秒での擬似速度応答スペクトル値から推定したものである。同図から、湾岸地区と東部にも長周期を強く励起する地域があることがわかる。近年強震観測点が増加しているが、地方公共団体震度計のような高密度な観測データを利用して地域ごとの地盤卓越周期を予め把握しておくことも重要と考えられる。

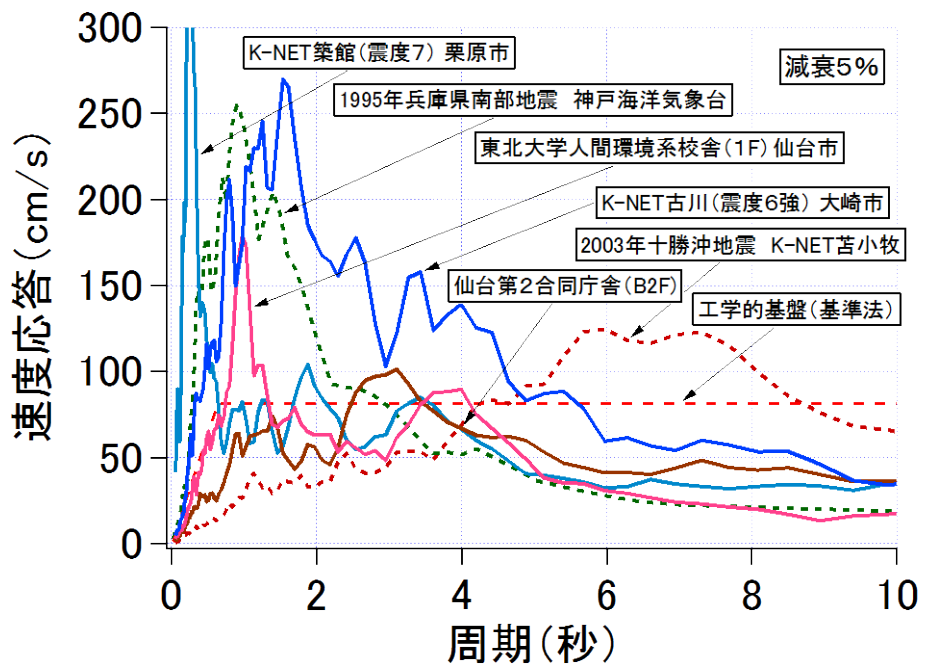


図 4.1-22 東北地方太平洋沖地震と既往強震記録の比較

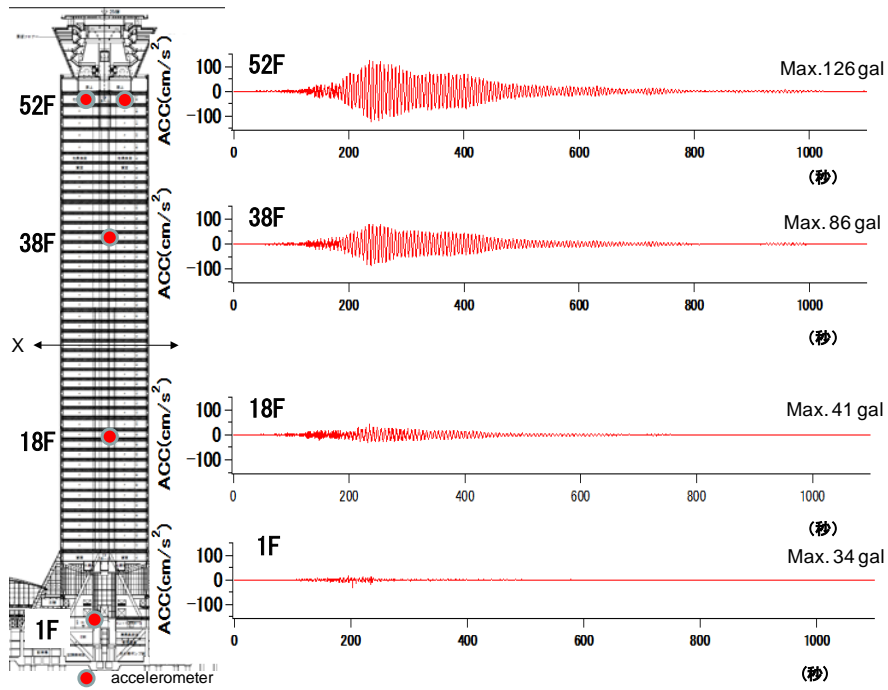


図 4.1-23 大阪湾岸庁舎建物における観測記録

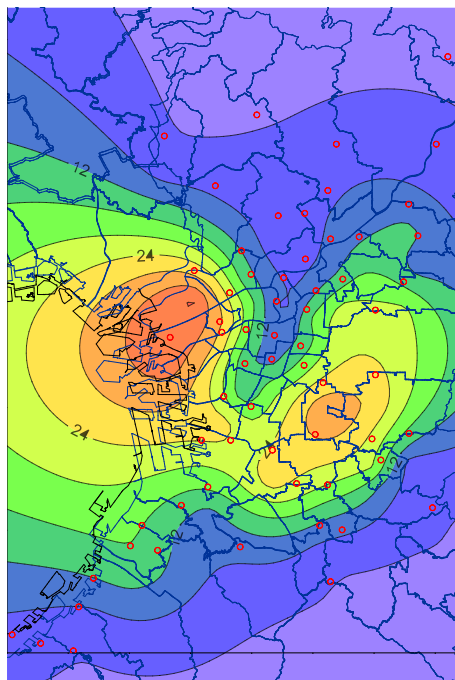


図 4.1-24 東北地方太平洋沖地震における大阪地域の揺れ分布(数字は、周期6.4秒の5%減衰の擬似速度応答スペクトル値(cm/s))

参考文献

4. 1-1) Historic World Earthquakes, Earthquake Hazards Program, U. S. Geological Survey (USGS),
<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/historical.php>
4. 1-2) http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2011_03_11_tohoku/aftershock/
4. 1-3) http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2011_03_11_tohoku/i5.pdf
4. 1-4) http://www.jma.go.jp/jma/press/1112/08a/1208magnitude_henkou.pdf
4. 1-5) 気象庁: 「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」により各地で観測された震度について, <http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/30d/201103301800.html>
4. 1-6) 平成 23 年 3 月地震・火山月報 (防災編), 2011. 3
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/gaikyo/monthly201103/20110311_tohoku_3.pdf
4. 1-7) 気象庁: 震度観測点の地震情報への活用停止等について, 2011. 4. 21
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1104/21a/201104211500.html>
4. 1-8) 川辺秀憲, 釜江克宏, 上林宏敏: 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源モデル, 日本地震学会講演予稿集, 2011 年秋季大会, B22-05, 2011. 10.
4. 1-9) 山中浩明, 津野靖士, 地元孝輔, 加藤圭, ヤダブ ダカール, 山田伸之, 福元俊一, 江藤公信: 2011 年東北地方太平洋沖地震で震度 7 が観測された地域での余震および微動観測, 日本地震学会講演予稿集, 2011 年度秋季大会, P2-31, 2011. 10.
4. 1-10) 源栄正人, Tsoggerel Tsamba: Investigation of High Acceleration Records at K-NET Tsukidate Station During the 2011 off the Pacific Coast Tohoku Earthquake, 日本地震工学会大会-2011 梗概集, 2011. 11.
4. 1-11) 大阪府危機管理室による震度計観測記録