

2. 長周期地震動特性について

2.1 被災地周辺での地震動特性

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（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。

本地震の観測では、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と見られている。

観測地震動については、防災科学技術研究のK-NET、KiK-netをはじめとして、気象庁、大学、自治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が、建築研究所による強震観測では、主として建築物を対象に観測を行っており、やはり多数の大振幅強震記録を得ている。

2.2 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。

被災地域の宮城県を中心とする東北地域の代表的な観測記録の5%減衰擬似速度応答スペクトルを図2.2-1に示す。同図は地盤上のK-NET観測点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秒程度までの応答スペクトルを重ね書きしているが、K-NET観測記録は地盤上の記録で、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、特段大きなレベルではない。

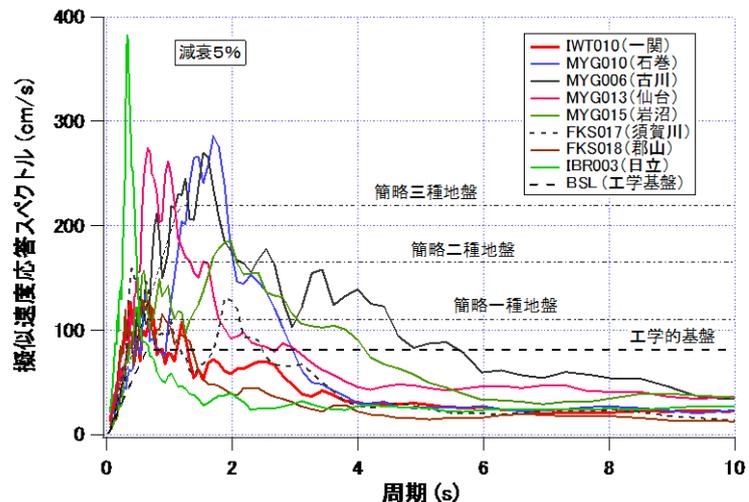


図 2.2-1 被災地の K-NET 観測点での擬似速度応答スペクトル

図 2.2-2 は建築研究所が実施する、建物の強震観測記録のうち、東北地方の中心都市における建物1階、地下階あるいは地表位置での観測記録の擬似速度応答スペクトル（減衰 5%）の比較である。仙台や八戸、秋田、宮古、いわきなどの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 秒の地震動スペクトルレベルが告示スペクトルを少し上回った程度であるが、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スペクトルレベルが上回るほどである。地震規模（ 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。擬似速度応答スペクトルだけでなく、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 10%）についても同じ地震動を図 2.2-3 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て各観測点でのエネルギースペクトルと比較した。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。

さらに本震による揺れの継続時間が非常に長いのが、今回の地震の特徴となっている。

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。

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 2.2-4 に、1978 年宮城県沖地震と今回の記録の波形を比較した。今回の地震における継続時間の長さをよく理解することができる。

2.3 首都圏における長周期地震動

図 2.3-1 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

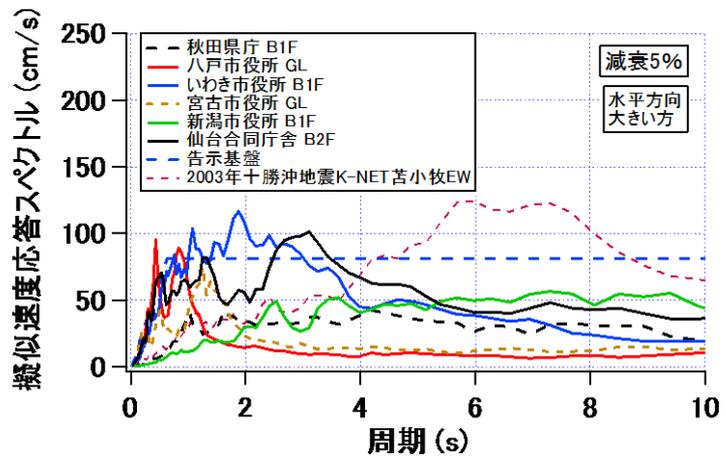


図 2.2-2 被災地の BRI 観測点での擬似速度応答スペクトル

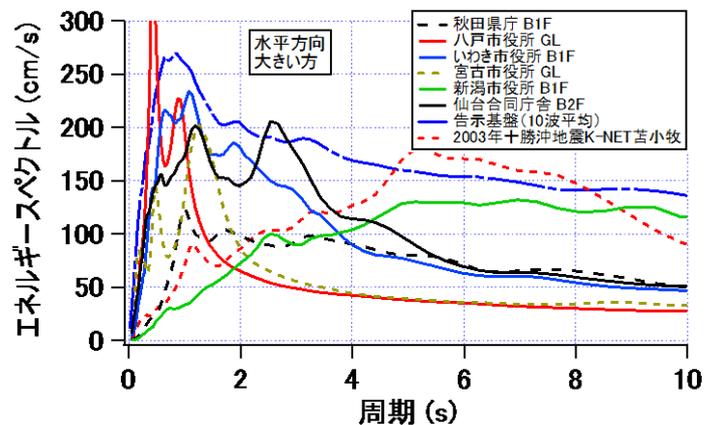


図 2.2-3 被災地の BRI 観測点でのエネルギースペクトル

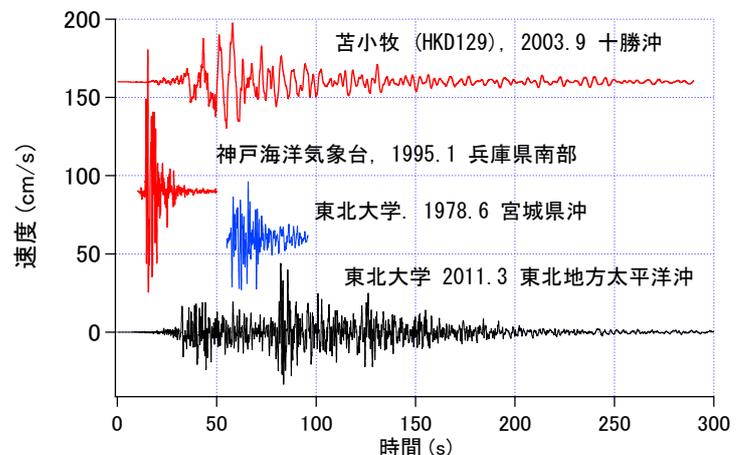


図 2.2-4 主要地震動の時刻歴の時間長さの比較

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、スペクトルレベルとしては大きいところでもせいぜい 80kine 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 2.3-2 に同じ記録のエネルギー Spektral 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 2.3-1、2.3-2 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 Spektral も加えてあるが、同記録はこの周期帯域では比較的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 Spektral レベルは、図 2.3-3、図 2.3-4 に示した。擬似速度応答、エネルギー Spektral について、市川地点で周期 3.5 秒と 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 Spektral レベルのほぼ半分程度である。さらに図 2.3-5、図 2.3-6 で東京山手から同西部について同様に示すが、両 Spektral 共に告示レベルの半分程度で、長周期の明瞭

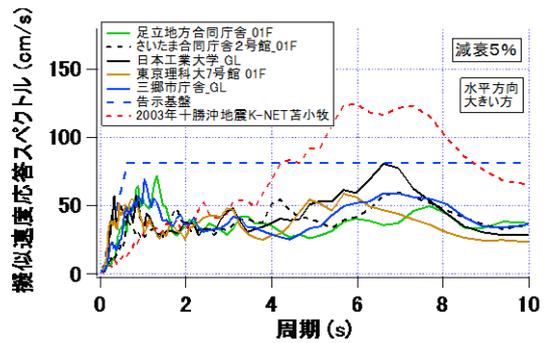


図 2.3-1 東京都北部から埼玉における擬似速度応答 Spektral の観測点間の比較

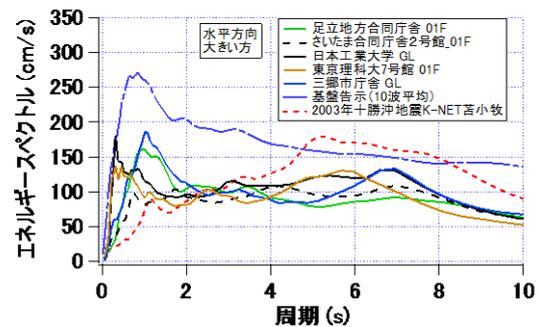


図 2.3-2 東京都北部から埼玉におけるエネルギー Spektral の観測点間の比較

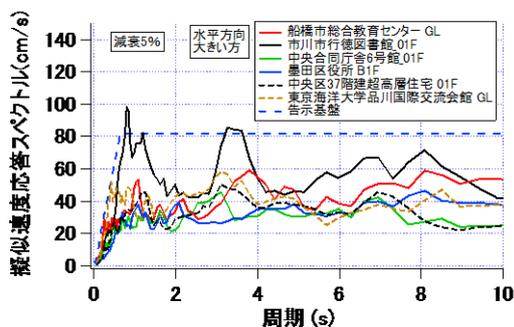


図 2.3-3 東京都東部から千葉、東京湾岸における擬似速度応答 Spektral の観測点間の比較

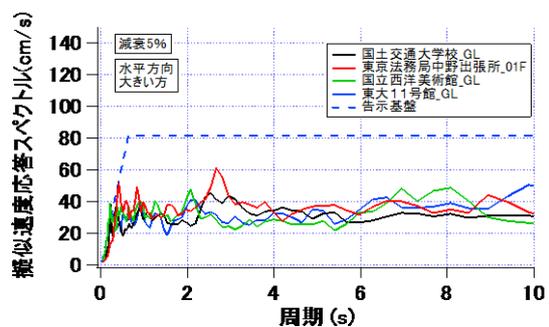


図 2.3-5 東京山手及び西部における擬似速度応答 Spektral の観測点間の比較

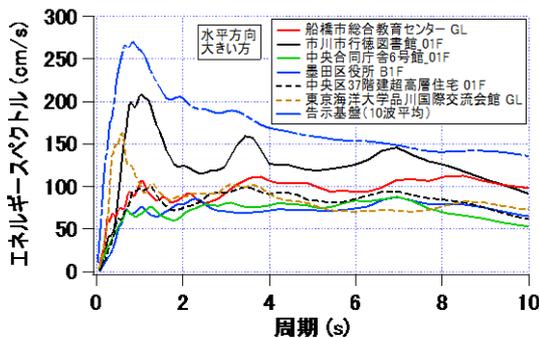


図 2.3-4 東京都東部から千葉、東京湾岸におけるエネルギー Spektral の観測点間の比較

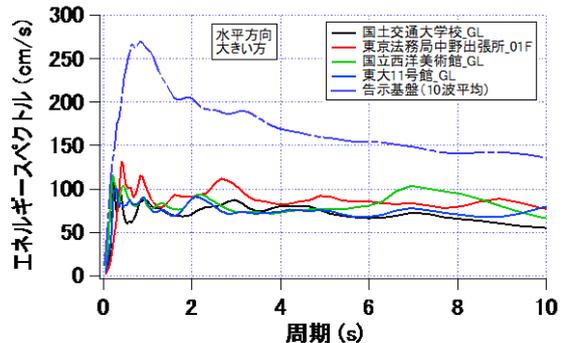


図 2.3-6 東京山手及び西部におけるエネルギー Spektral の観測点間の比較

な卓越はなくほぼ様なレベルとなっている。

2.4 各地の長周期地震動に関するまとめ

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発生した 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、当地に建設された西日本最大級の超高層建築物の上層階で大きなゆれが観測され、エレベーター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。これは、深い地盤構造の増幅によって生じた継続時間が長く、特定の周期が卓越した地震動と建築物との共振現象があげられている。そのほか、新潟市、三重県四日市市、東京湾岸や横浜市、埼玉県東部の久喜市などでの今回の地震における地震動レベルを見たのが図 2.4-1 である。震源と各地点との距離により振幅の違いはあるものの、三重県四日市観測点では、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。

わが国で最も高いクラスの超高層建築物の一次固有周期が約 6 秒強である。図 2.4-1 でその周期帯域を眺めると、同じ大阪でも湾岸 (KiK-net 此花) と内陸部 (K-NET 大阪の柴島地点) とでは、その地震動レベルに非常に大きな差があることがわかる。また、大阪湾岸に加えて四日市、新潟、さらには苫小牧各観測地点での記録からも、これらの地点が長周期地震動を増幅させやすい地点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 (東京) においても、それほど高レベルの長周期地震動とはなっていないものの、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と考えられ、設計実務においてもそれらの性質を考慮することが必要である。

最初に示したように、大規模地震では強いレベルの長周期の地震動が震源に生じる。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しないで遠くまで到達する。

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、地盤に入射し地表の構造物に届く過程で地盤の増幅作用を受け、構造物に作用するまでに地盤の卓越周期成分を多く含む地震動となって、構造物に入射すると考えられる。仮に地盤の卓越周期が構造物の固有周期に近いと共振状態に近い状況が生まれることになる。

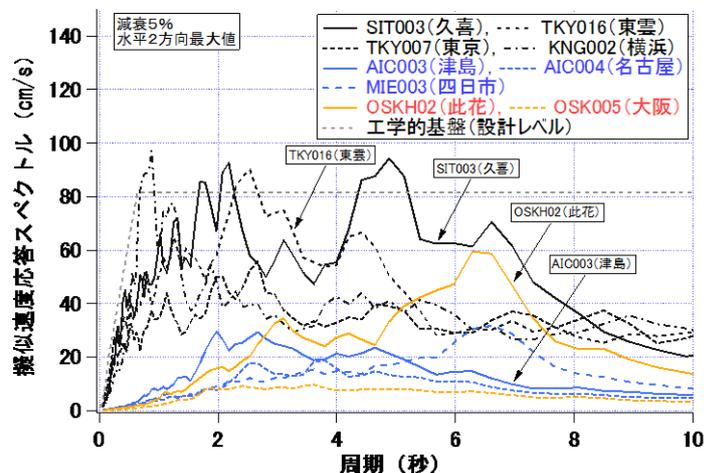


図 2.4-1 被災地以外での主要観測地点における擬似速度応答スペクトルの比較