

エネルギー関連・長周期構造物に作用する地震波の推定とその特徴に関する考察

筑波大学 学生会員 ○山本 鐘太 正会員 庄司学

1. 目的：東北地方太平洋沖地震では東日本の沿岸部に位置するエネルギー関連施設に甚大な被害が生じた¹⁾。本研究では、このようなエネルギー関連施設の中でも燃料プラント、タワー、貯蔵タンクなどの長周期構造物を対象として、東北地方太平洋沖地震の際にそれらの構造物に作用した地震波の特徴を明らかにする。不連続格子を用いた空間4次、時間2次精度の有限差分法²⁾を適用して対象施設下の工学的基盤（せん断波速度 $V_s=350\text{m/s}$ 相当）に作用した地震波を推計する。

2. 有限差分計算におけるモデル：震源断層は、文献3)に基づき走向195度、傾斜角13度の断層面に計119のサブフォールトでモデル化した(図1)。各サブフォールトにおいて6秒幅のSmoothed ramp functionを3秒おきに25個並べて震源時間関数をモデル化した。地下構造の物性値は全国1次地下構造モデル⁴⁾により設定し、 V_s が3km/sを越える地震基盤面を計算領域で走査し確認をして不連続面の深度を8kmとした(図2)。最上層における V_s は350m/sで上限周波数を0.2Hzと定めた結果、計算の安定性の観点から不連続面以浅は水平方向200m四方、鉛直方向100mの格子サイズ、不連続面以深はその3倍の格子サイズとした。吸収境界は反射波の吸収率と格子数の関係を踏まえ、格子数を文献2)で推奨された値の2倍、減衰定数をその値の1/2とした(表1、図2)。

3. 強震観測波形との比較：防災科学技術研究所のK-NET及びKiK-netの観測点における計算波形を観測波形と比較した結果、全ての観測点において極めて良好な再現性を得られた(図3)。なお、計算波形及び観測波形の加速度波形と速度波形に対しては、通過帯域0.02Hz-0.125Hz、阻止帯域0.01Hz以下及び0.3Hz以上、通過帯域リップル3dB、阻止帯域減衰量10dBのパタワースフィルタを施した。

4. 分析対象施設下における地震波の特徴：日本海側グループでは4地点ともに50s付近から波が開始している。TP2においては、EW方向、NS方向、UD方向ともに最大振幅は大きい値を示しており、具体的にはEW方向では11.62cm/s、NS方向では6.11cm/sとなっている。太平洋の6地点については、震源から近く、他の地点に比べ、波の開始が30sから40s付近と早まっている。TP3では、全ての地点の中のEW方向で最大である24.14cm/sとなり、周期25s程度の波が発生している。茨城の3地点では80s付近で波が始まり、200s付近で周期15s程度の波が存在している。またTP12のEW方向では11.83cm/sの最大振幅を示している。東京湾岸の12地点は、地震波の傾向が類似しており、全地点ともに100s付近で波が開始している。最大振幅についてはTP16、TP25を除く10点は同程度の値をとり、EW方向では5.09cm/sから6.41cm/s、NS方向では4.54cm/sから5.91cm/sとなる。200s付近で周期25s程度の波が大きく揺れ、その後短周期の波が発生している。

フーリエスペクトルの観点からは、日本海グループでは0.167Hz(5.99s)帯域において114.9cm/s・sの卓越した値を示す。また太平洋グループでは、同様に0.168Hz(5.95s)帯域において137.5cm/s・sの卓越した値を示している。茨城グループでは0.02Hz(50.0s)帯域で133.4cm/s・sの卓越した値を示し、0.10Hz(10.0s)帯域ではピークが3つあり、0.076Hz(13.16s)帯域で47.9cm/s・s、0.09Hz(11.1s)帯域で51.1cm/s・s、0.10Hz(10.0s)帯域で65.4cm/s・sとなる。東京湾岸グループでは、0.2Hz(50s)までの範囲では75cm/s・s以下の値を常にとり、0.025Hz(40s)帯域で70cm/s・sの値を示している。

5. 応答スペクトルの特徴：加速度応答、速度応答、変位応答の3種類ともにNS方向に比べEW方向はいずれの周期帯域においても大きな値をとる。しかし東京湾岸グループにおいては5sから10s付近の周期帯域で他グループより卓越している特徴がある。加速度応答スペクトルでは、いずれのグループにおいても5sから7sの帯域で卓越しており40cm/s²から80cm/s²付近の応答となる。茨城グループについては10s付近で他のグループより大きな50cm/s²を超える応答を示す。速度応答スペクトルについては、東京湾岸を除く3グループにおいて5sから30sの周期帯域で50cm/sを超える大きな応答を示す。東京湾岸グループについては50cm/sは超えないが周期10.23sで最大48.49cm/sの応答を示し、加速度応答に比べ比較的大きな値を示す。変位応答スペクトルについては、日本海、太平洋グループで類似した傾向を示す。その最大値は周期17.3s付近で240cmを超える非常に大きな応答となる。茨城グループでは周期9.76sで他グループより卓越した最大値185.18cmの応答を示す。全グループともに周期が高まるにつれて変位応答が大きくなる傾向を示し、周期帯域が25sを超える付近では100cmを超える大きな変位応答を示している。

謝辞：防災科学技術研究所の青井真氏には、Ground Motion Simulator(GMS)による計算を行う上で必要な、不連続面や吸収境界条件の設定等について多くの貴重な情報を頂きました。同じく、鈴木亘氏には震源断層モデルのデータを提供していただきました。湯山安由美氏にはエネルギー関連施設に関する情報の提供を頂きました。また、本研究は、文部科学省・首都圏を中心としたレジリエンス総合力向上プロジェクト「首都圏を中心としたレジリエンス総合力向上に資するデータ利活用に向けた連携体制の構築」(統括：田村 圭子・新潟大学教授、業務主任者：能島 暢呂・岐阜大学教授)の一部助成を得て実施されました。

キーワード 2011年東北地方太平洋沖地震、エネルギー関連施設、長周期構造物、地震波、工学的基盤、応答スペクトル
連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1 筑波大学大学院システム情報工学研究科 TEL029-853-7368

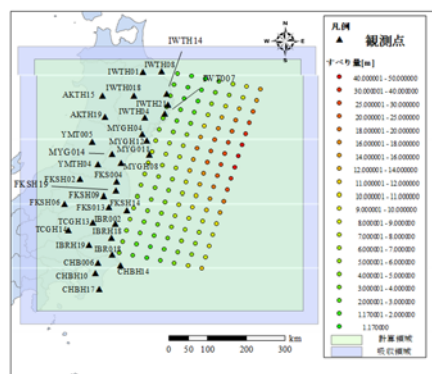


図1 震源断層モデルと観測点位置

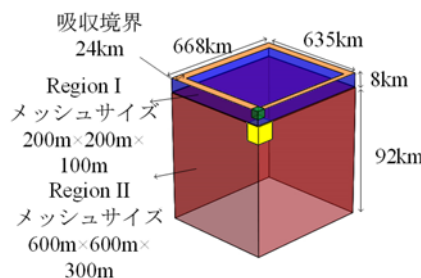


図2 計算領域

表1 計算条件

設定項目	設定値	
	RegionI	RegionII
上限周波数	0.2Hz	
サンプリング数	50000	
サンプリング周期	0.005[s]	
計算時間	250[s]	
メッシュサイズ	200×200 ×100	600×600 ×300
RegionIとIIの境界	8[km]	
吸収境界格子数	120	40
吸収境界領域の減衰定数	0.0025	0.0075

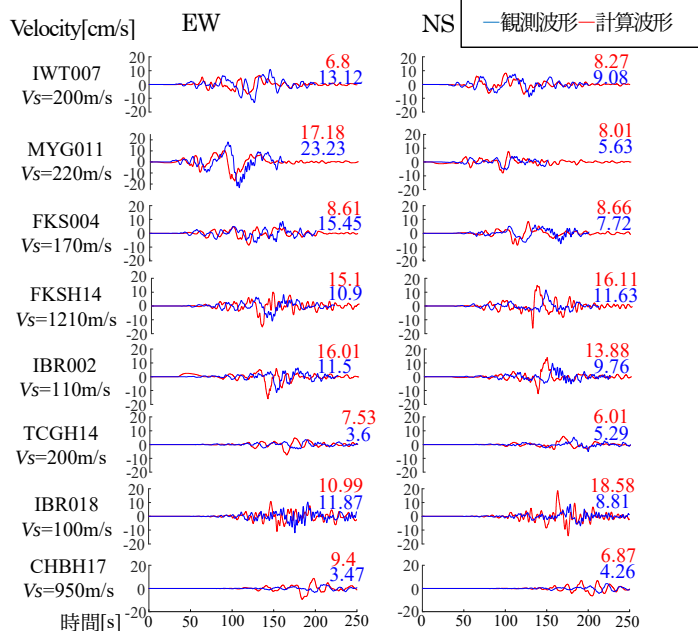


図3 強震観測点における計算波形と観測波形との比較

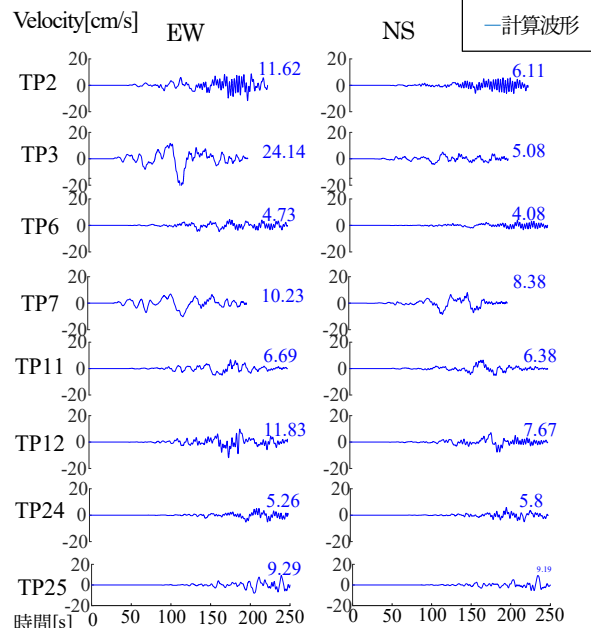


図4 エネルギー関連施設下における計算波形

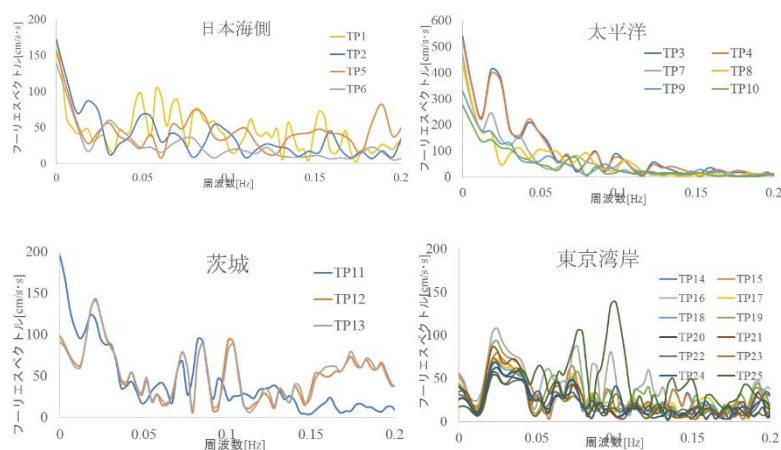


図5 各グループにおけるフーリエスペクトル(EW 方向)

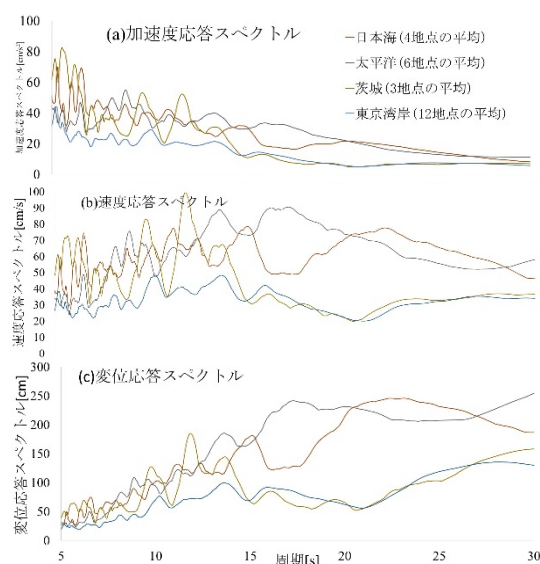


図6 EW 方向応答スペクトル(減衰定数=0.001)

参考文献: 1) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会: 第3章 機械設備の被害状況と耐震対策技術の有効性, 東日本大震災合同報告 機械類, 2013.7 2) 青井真, 藤原広行: 不連続格子を用いた4次精度差分法による波形合成, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, Vol.1, pp.875-880, 1998. 3) Suzuki, W., Aoi, S., Sekiguchi, H., and Kunugi, T.: Rupture process of the 2011 Tohoku-oki mega-thrust earthquake (M9.0) inverted from strong-motion data, *Geophysical Research Letters*, Vol.38, L00G16, 2011. 4) 地震調査研究推進本部: 全国1次地下構造モデル, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/12_choshuki/dat/ 5) 防災科学技術研究所: 強震観測網 (K-NET, KiK-net), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>