

既往3地震における長周期地震動の特徴とエネルギー関連・貯蔵タンクのスロッシング予測

筑波大学大学院 学生会員 ○山本 鐘太 正会員 庄司学

1. 目的: 2018年9月6日3時7分に北海道胆振地方中東部を震源として北海道胆振東部地震が発生した。本地震ではエネルギー関連施設の中でも火力発電所に甚大な被害が発生した¹⁾。過去には2011年3月11日14時46分に宮城県沖を震源として発生した東北地方太平洋沖地震において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。また、2003年9月26日4時50分に十勝地方の沖合を震源として十勝沖地震が発生し多くのエネルギー関連・貯蔵タンクに甚大な被害が発生した。これらの既往3地震において長周期地震動による影響の比較・検討を行うことは重要である。本研究では、北海道胆振東部地震と十勝沖地震との比較を主に応答スペクトルの観点から行うと共に、これらの地震動を対象としてエネルギー関連・貯蔵タンクのスロッシングと液面上昇量との関係について考察を行う。併せて、東北地方太平洋沖地震の際にエネルギー関連・長周期構造物が立地するサイトで地震波及び応答スペクトルのデータ²⁾を用い、それらのサイトに同じく貯蔵タンクが位置すると仮定した場合のスロッシングによる液面上昇量の比較・検討を行った。

2. 分析対象とするエネルギー関連・貯蔵タンク: ここでは、発電所、燃料プラント、タワー、貯蔵タンクなどのエネルギー関連施設の中の貯蔵タンクを分析対象とする。これらの固有周期は2s~30sの長周期帯域で、減衰定数としては0.01以下の低い減衰特性を有するものとする。3地震の比較・検討を行う際には、気象庁観測地点である厚真鹿沼地点³⁾とK-NETの観測地点である苫小牧地点⁴⁾及び文献2)で東京湾岸グループに位置しているTP25を選定した。さらにスロッシングに関する液面上昇量の比較・検討の際には文献2)で取り上げられている日本海側グループ、太平洋グループ、茨城グループ、東京湾岸グループの他の24地点を対象とした。

3. 対象施設地点におけるスロッシング予測の方法: スロッシング固有周期 T_s をまず求め、次に算出した T_s と次章で求める速度応答スペクトルの値 S_v を用いて液面上昇量 W_h を算出する。日本の主な貯蔵タンクの直径 D は数mから100m程度であることからそれらの範囲を考察の対象とする。文献5)を参考に H/D を液面高さとした場合、 H/D を0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0の5パターンと設定し、タンク直径 D とスロッシング固有周期 T_s の関係を図-1のように規定した。文献5)を参考に T_s が10s以下の範囲では W_h が250cmを越える場合、 T_s が10s以上の範囲では W_h が100cmを越える場合にそれぞれ被害の可能性が高いものとする。

4. 北海道胆振東部地震の応答スペクトルの特徴: 図-2には北海道胆振東部地震の際に観測された地震動による応答スペクトルを示す。なお、減衰定数は0.005とする。対象地点は北海道全域とし、K-NET、KiK-net⁴⁾の強震観測点の中で震度4以上を示した56地点、並びに、気象庁の強震観測点³⁾の中で震度4以上を示した28地点の全84地点である。加速度応答スペクトルに関しては、固有周期が低い0.10sから1.00s付近で最大値を示す地点が多い。全地点の中の最大はIBUH01における固有周期0.35sで10,203.43cm/s²である。速度応答スペクトルに関しては、固有周期が0.10sから1.00s付近まで上昇傾向にある。さらに、0.50sから0.90s付近で最大を示す地点が多く、全地点の中の最大はHKD128における固有周期0.77sでの907.60cm/sである。変位応答スペクトルに関しては、固有周期が0.10sから急激な上昇を示し、全地点の中の最大値はHKD126における固有周期1.91sでの189.91cmである。

5. 3地震に対する応答スペクトルの観点からの比較・検討: 北海道胆振東部地震に対しては気象庁の厚真鹿沼地点とK-NETの苫小牧地点であるHKD129を、十勝沖地震では同様にHKD129を選定した。さらに東北地方太平洋沖地震では先述した文献2)における東京湾岸グループに属するTP25の地点を選定し、サイト波推定における振動数の再現精度の観点から全ての応答スペクトルに対して固有周期は5.0sから20.0sまでとした。図-3に3地震4地点の応答スペクトルの比較を示す。減衰定数に関しては0.005とする。

北海道胆振東部地震の応答スペクトルは、K-NET、KiK-netにおいては固有周期がおおよそ7s以上の長周期の帯域で相対的に低い値を示し、本研究で対象としているエネルギー関連・貯蔵タンクへのスロッシング被害のリスクは低いと考えられる。また、気象庁データにおいては、加速度応答スペクトルと変位応答スペクトルにおいて同様に7s以上の長周期の帯域で相対的に低い値を示し、同様にエネルギー関連・貯蔵タンクへのスロッシング被害のリスクは低い。速度応答スペクトルに関しては73~77cm/sを常に示しているものの、長周期帯域において低い値を示しているため、実際には被害は全く観察されなかった。それに比較して東北地方太平洋沖地震や十勝沖地震の応答スペクトルは、固有周期が10.0sから20.0sの長周期帯域において相対的に高い値を示している。すなわちエネルギー関連・貯蔵タンクへのスロッシング被害のリスクは高い。実際に十勝沖地震ではそれらの被害は観察され、東北地方太平洋沖地震では東京湾岸で関連した被害が観察された。

キーワード 北海道胆振東部地震、東北地方太平洋沖地震、十勝沖地震、長周期地震動、貯蔵タンク

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

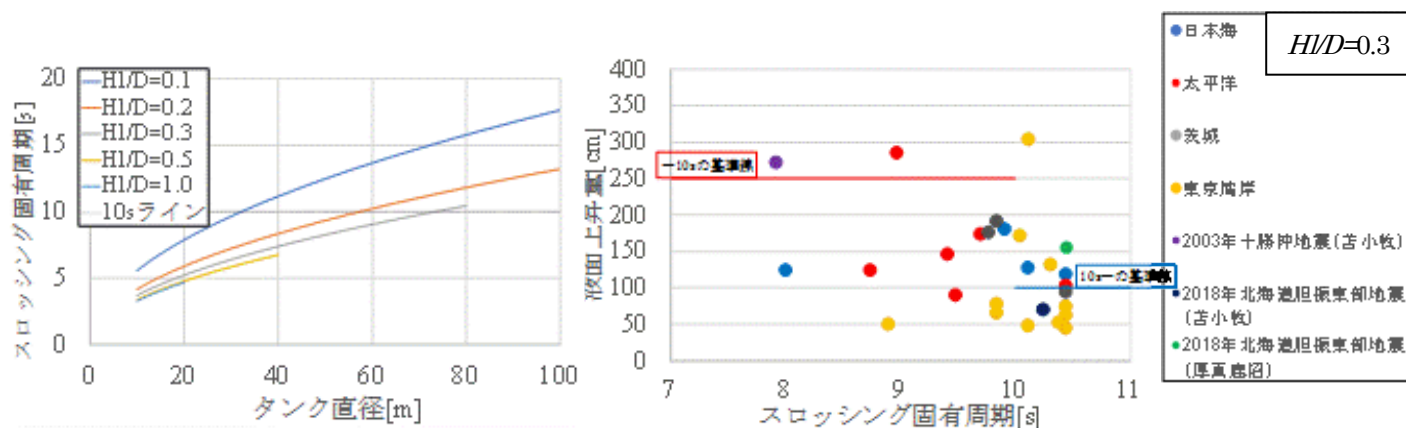
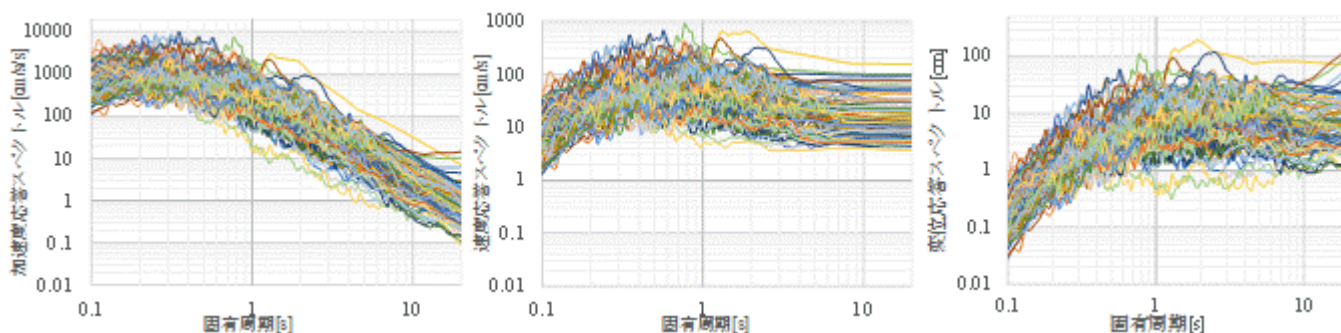
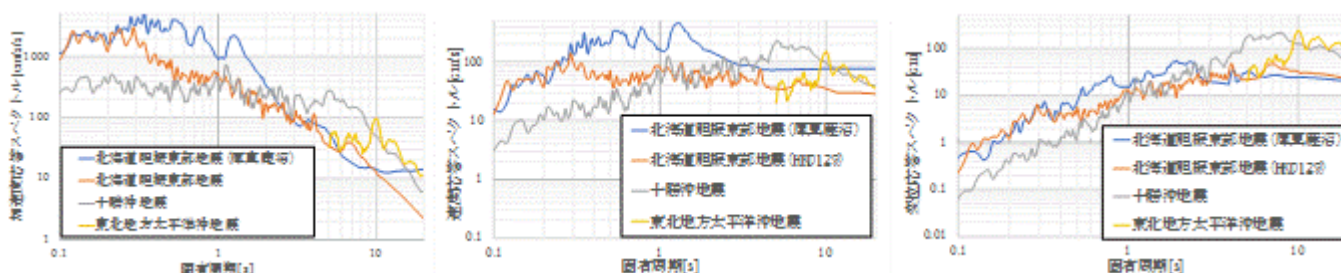


図-1 タンク直径とスロッシング固有周期

図-4 中大型タンクにおける液面上昇量とスロッシング固有周期の関係

図-2 2018年北海道胆振東部地震における応答スペクトル($h=0.005$)図-3 北海道胆振東部地震、十勝沖地震及び東北地方太平洋沖地震の応答スペクトルの比較($h=0.005$)

6. スロッシングによる液面上昇量の観点からの比較・検討：貯蔵タンクの諸元の一般性を考慮し $40 < D \leq 80\text{m}$ の範囲の中大型タンクについてスロッシング固有周期 T_s と液面上昇量 W_h の関係を算定した結果が図-4 の通りである。なお図-1 より中大型タンクを考慮してここでは $H/D = 0.2, 0.3$ の場合のみ考察する。中大型タンクの T_s の帯域は $7.91 \sim 11.80\text{s}$ である。それに伴う W_h については、 $42.84 \sim 303.53\text{cm}$ の範囲を示す。全体を通して3章で前述した基準の W_h を超える地点は、 $H/D = 0.2$ の場合には28地点中13地点、 $H/D = 0.3$ の場合には28地点中9地点である。北海道胆振東部地震の苫小牧地点では 10.24s で $W_h = 69.61\text{cm}$ の液面上昇量を示し、3章で示した基準である $W_h = 100.0\text{cm}$ を超えておらず、実際にスロッシングによる被害が生じなかった。一方、厚真鹿沼地点では $T_s = 10.44\text{s}$ で $W_h = 156.14\text{cm}$ と基準値である $W_h = 100\text{cm}$ を超えており、この地点に貯蔵タンクが存在した場合には被害が生じた可能性のあるレベルの応答を得る。十勝沖地震では $T_s = 7.91\text{s}$ で $W_h = 271.76\text{cm}$ の大きな液面上昇量を示し、基準値である液面上昇量 $W_h = 250.0\text{cm}$ を超えているためスロッシングによる被害が発生したことを反映している。

7. まとめ：本研究では、エネルギー関連・貯蔵タンクを対象に北海道胆振東部地震と東北地方太平洋沖地震及び十勝沖地震の既往3地震による長周期地震動の特徴を応答スペクトルの観点から比較・検討を行った上で、スロッシングによる液面上昇量の相違について比較・検討を行った。

謝辞：本研究を実施する上で湯山安由美氏にはエネルギー関連施設の位置情報の提供を頂きました。関連するすべての皆様方に謝意を表します。

参考文献：1) 電力広域的運営推進機関：平成30年度北海道胆振東部地震に伴う大規模停電に関する検証委員会 http://www.occto.or.jp/iinkai/hokkaido_kensho/index.html 2) 山本鐘太、庄司学：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、第38回地震工学研究発表会講演論文集、土木学会、C12-1262、2018.10 3) 気象庁：強震波形（胆振地方中東部の地震）、https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/1809060307_hokkaido-iburi-tobu/index.html 4) 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/> 5) 座間信作：石油タンクのスロッシング予測とやや長周期地震動の地域特性、安全工学、Vol.43, No.4, pp.222-228, 2004.