

2011 年東北地方太平洋沖地震における宮城県内受水槽・高置水槽被害と地震動特性

茨城大学工学部 正会員 ○井上 涼介
 FS 技術事務所 フェロー会員 坂井 藤一
 (株) 日水コン 正会員 大峯 秀一

1. 目的と概要

2011 年東日本大震災では、東北地方の太平洋側各県で水循環施設の被害が数多く報告されているが、土木学会水循環ネットワーク災害軽減対策研究小委員会（宮島委員長）ではこれを受けて昨年 6 月に給水タンク TF（坂井 TF 長；被害調査や耐震設計法の提言を行う）を立ち上げ、まず宮城県内の小中学校や病院などに受水槽・高置水槽の被災アンケート調査を行った。本稿では、その結果と最寄りの強震加速度記録による地震動特性と比べた概要を報告する。

2. 被災アンケートと強震加速度記録

昨年 10 月以降に宮城県各機関に、津波以外の原因で被災した水槽のデータ【被災写真や水槽諸元、中仕切りの有無、材質、設計震度、設置年、被災箇所、被災原因、補強法など】に関するアンケート調査を実施し、3 月 26 日現在、仙台市を中心とする、「かなり修理を要した」または「取替」や「廃棄」した約 70 の被災水槽に関する回答を得た。表-1 に施工年別、表-2 に被災モード別の各割合、表-3 に剛体矩形容器のスロッシング 1 次固有周期を示す。材質別には、FRP が 89%、ステンレスが 11%である。

表 - 1 施工年別割合

	1981年新耐震施行	1981年以前に施工	82～96年に施工	1995年阪神大震災以降に施工	不明	合計
施工年	1981年以前に施工	82～96年に施工	1995年以降に施工	不明	合計	
基数	9	30	5	26	70	
割合	12.9%	42.9%	7.1%	37.1%	100.0%	
FRP1996基準の SA(cm/s/s)*	地表0.2g 屋上0.3g	地表(2/3)g 屋上1g	地表1g 屋上1.5g			
FRP1996基準の PSV(cm/s)*	—	—	地表150 屋上375			

* 積水資料(1997)、FRP基準(1996)、アンケート回答などによる

表 - 2a 高置水槽の被災モード別割合

被災モード	剛体的移動に伴うもの	側板	側板と天板	天板	合計
基数	8	13	2	2	25
割合	32.0%	52.0%	8.0%	8.0%	100.0%

表 - 2b 受水槽の被災モード別割合

被災モード	側板	側板と天板	天板	合計
基数	32	11	5	48
割合	66.7%	22.9%	10.4%	100.0%

表 - 3 スロッシング 1 次固有周期

	全水槽	高置水槽	受水槽
基数	50	11	39
方向	100	22	78
平均(s)	2.20	2.05	2.25
標準偏差(s)	0.57	0.80	0.49

他方、同県では多くの強震記録が得られたが、ここでは本震に限定し、謝辞に記した各機関の県内 88 カ所の記録を用い、減衰定数 $h=0.5, 1, 2, 5\%$ 、周期 $T=0 \sim 5s$ 、に対して「絶対加速度応答スペクトル SA」と「疑似速度応答スペクトル PSV」を計算し、 h と T を固定するごとにそれらのコンター図を描いて被災タンク位置を重ね書きし、現行の耐震基準と比べた。

3. 既往の耐震設計基準

水槽の耐震基準は、施工年によって異なるが(表-1)、1995 年阪神大震災以降(1996 年 FRP 水槽耐震設計基準以降)は、受水槽の設計地震力の標準値として、(短周期動液圧は、Housner(1957)の剛体圧を容器が弾性体であることを考えて簡易的に 1.5～2 倍して、対応する)設計用水平震度 k_H を 1 ($SA=1g \approx 1000gal$)、貯液のスロッシングによる屋根などに加わる動液圧に対応する PSV を 150kine、と規定している。この内、短周期動液圧については、LNG タンク、石油タンクなどの円筒タンクを対象とした坂井らによる弾性体容器 - 速度ポテンシャル流体の流力連成 FEM 振動解析(1975, 1976)により、容器のバルジング振動によって Housner の剛体圧を大きく上回る動液圧が計算されており、この点は検討の余地がある。

4. バルジング振動の 1 次固有周期、同減衰定数

図-1 で内部補強無、水深 200cm(側板高さの 8 割)の場合の $f_1=4Hz$ 程度から、固有周期 T_1 を 0.25s 程度とし、減衰定数 h_1 はとりあえず 5%とした。

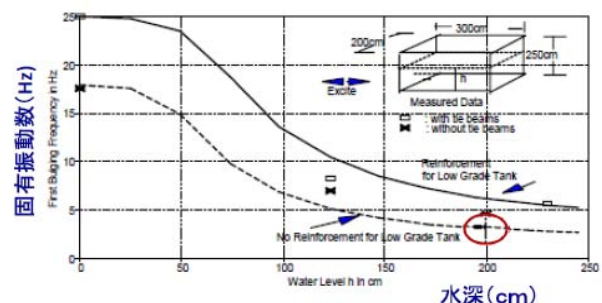


Fig.A1 Calculated 1st Bulging Frequencies of Water Tank With Tie Beam and without Tie Beam

図 - 1 バルジング 1 次モード固有振動数 (箕輪, 2000)

キーワード 東北地方太平洋沖地震, 受水槽, 高置水槽, スロッシング, バルジング, 耐震設計基準
 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学都市システム工学科 TEL 0294-38-5167

5. 解析結果と今後の課題

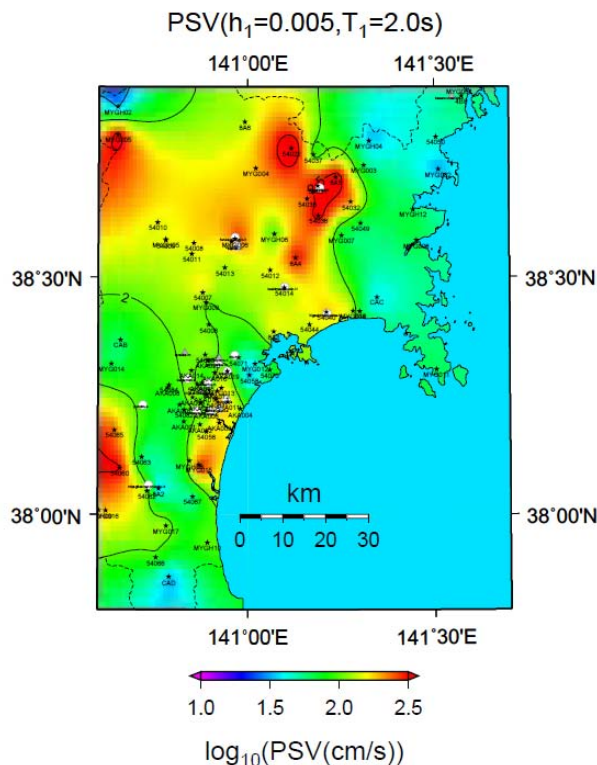


図-2 疑似速度応答 PSV*(0.5%,2.0s)のコンター図と
天板の被災地点(*水平2成分の幾何平均)

- ★: 強震観測点(K-net, KiK-net, 気象庁・自治体の震度計, Small-Titan)
- : 受水槽で天板に被害が出たもの
- △: 高置水槽で天板に被害が出たもの

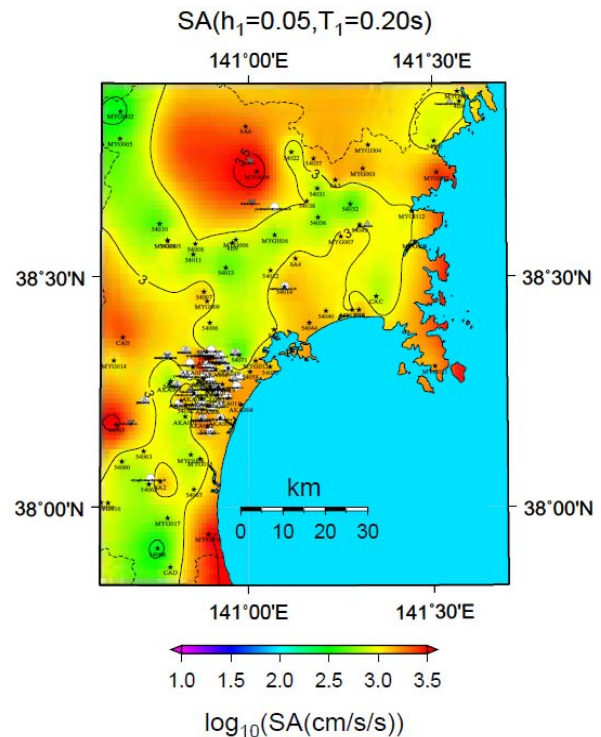


図-3(b) 絶対加速度応答 SA*(5%,0.2s)のコンター図と
側板の被災地点(*水平2成分の幾何平均)

- ★: 強震観測点(図-2と同じ)
 - : 受水槽で側板に被害が出たもの
 - △: 高置水槽で側板に被害が出たもの
 - ▽: 高置水槽で、水槽が剛体的に移動したり、ペントハウスのRC支柱が大破したもの(表-2aの2列目)
- (以上で、GMTの張力レベルを0.25として幾何学的に補間)

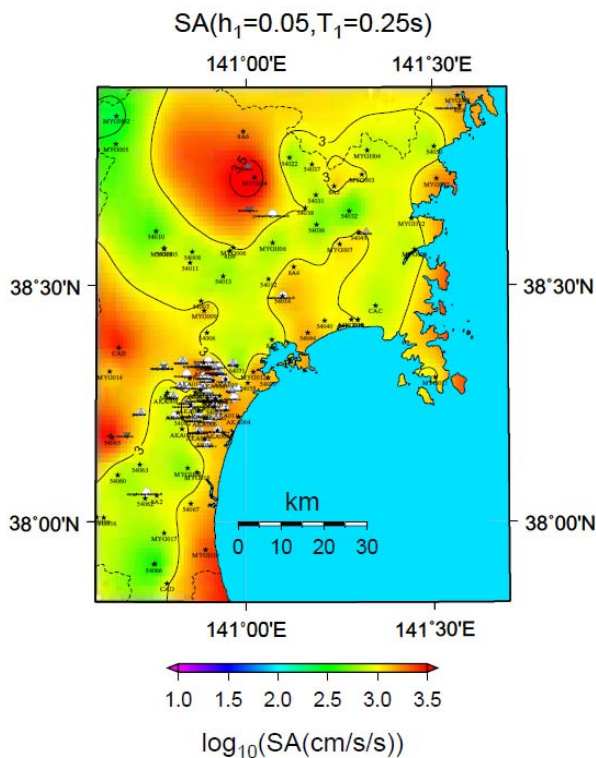


図-3(a) SA(5%,0.25s)のコンター図と被災地点
(詳しくは次図キャプションを参照)

粗い近似として、側板被害がSA($h=5\%$)に、天板被害がPSV($h=0.5\%$)に比例すると仮定すると、以上の3図より、大局的に見て、①現行の基準(1996～)に比べて応答スペクトルレベルが上回る範囲が広く存在し、そこで多くの水槽が被災していること、②被災モード別には、天板被害はPSVの大きい地点と、側板被害はSAの大きい地点と、それぞれ対応が良いこと、などが見て取れ、地震時の拠点となる重要施設の水槽の耐震基準を再検討すべきことが示唆される。

本TFでは今後、FEMによる数値シミュレーション解析を行い、本検討結果に入手可能な実大水槽の加振実験のデータも併せ、被災原因をより詳しく解明して対策を提言する方向で作業を進めて行く予定である。

謝辞 本検討にはK, KiK-net(NIED), 気象庁と自治体の震度計, Small-Titan(東北工大)の強震記録を使わせて頂いた。地図の作成に当たり、GMT(Wessel&Smith, 1998)を使用させて頂いた。本稿に係わるTF活動で、箕輪委員(元NIED), 平野教授(中央大), メーカーの方々から有益な情報を提供いただいた。