

FRP 製実機貯水槽での壁面構造の違いによる耐震性能の比較

○中央大学 学生員 友久 響 (株)十川ゴム 正会員 井田 剛史
中央大学 正会員 平野 廣和 中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

地震大国である我国では、兵庫県南部地震や十勝沖地震などで、貯水槽の破損被害などが発生している。また、東北太平洋沖地震(2011年)でも同様の被害が発生している。これらは、やや長周期地震動によるスロッシング現象、タンク壁面の固有振動数と連動して起こるバルジング現象等が、主な原因であるとされている¹⁾。そのため既往の研究²⁾では、貯水槽の壁面の構造や材質の違いによる耐震性能の比較が行われている。しかし、実機貯水槽は、壁面の素材の違い、スケール、補強材の有無、パネルの組み合わせ等、構造の違いが存在する。

そこで本研究ではスケールの異なる2種類のFRP製タンクを用い、壁面変位、動液圧変化、加速度等に注目しながら、パネルの剛性等、壁面の構造の違いによる耐震性能比較を行うこととする。

2. 実験概要

2.1 計測方法

加振実験は、写真-1の2m×1mのパネルと1m×1mのパネルがボルトで結合されて組み合わせて構成されている3m×3m×3mのFRP製タンク(以後3mタンク)、写真-2の2m×1mの上下一体構造のパネルを組み合わせて構成されている2m×2m×2mのFRP製タンク(以後2mタンク)の2種類を用いる。3mタンクは、水深を通常使用する水位である2700mmに設定する。図-1(a)に示すように、圧力計を壁面に3カ所、加速度計は壁面に3カ所、振動台に1カ所の計4箇所に、壁面の応答変位はレーザー変位計を壁面に5カ所、また振動台との相対変位を調べるために振動台に1カ所の計6箇所に、隅角部から1500mm離れた位置にそれぞれ設置する。

2mタンクでは水深を1400mmとする。図-1(b)に示すように、圧力計を壁面に3カ所に、加速度計は、壁面に3カ所、振動台に1カ所の計4カ所に、壁面の応答変位は壁面に1箇所、振動台に1箇所、計2箇所に隅角部から500mm離れた位置にそれぞれ設置する。また、本実験で用いる動液圧変化を式(1)に示し、ここで ΔP は動液圧変化、 P は全圧力、 P_0 は静水圧である。

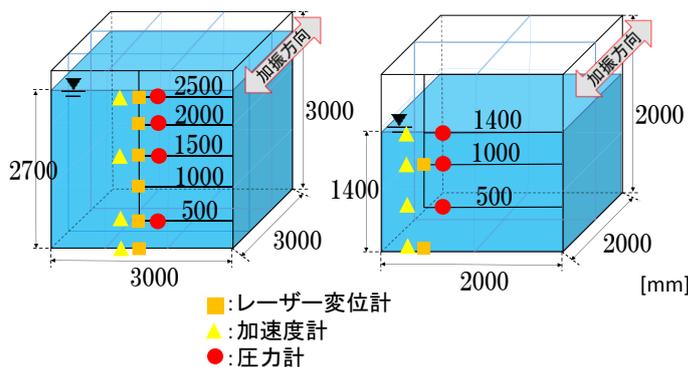
$$\Delta P = P - P_0 \quad (1)$$

2.2 加振実験

加振実験は、愛知工業大学に設置している大型振動台を使用し、入力地震波は兵庫県南部地震における神戸海洋気象台で観測されたJMA神戸NS方向観測波を使用する。大型振動台の性能から出力台変位50%相当で加振する。また、加振方向は、圧力計と加速度計を設置している壁面に対し、直行方向とする。



写真-1 3mFRP製タンク 写真-2 2mFRP製タンク



(a) 3mタンク (b) 2mタンク

図-1 計測器設置箇所

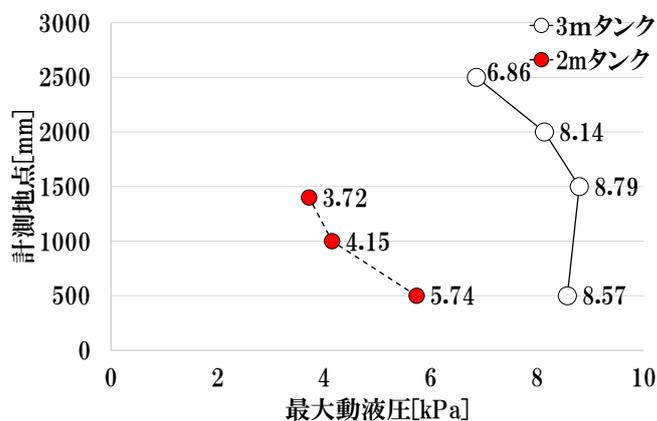


図-2 最大動液圧 ΔP

3. 実験結果

3.1 動液圧変化

図-2に2mタンク、3mタンクそれぞれの計測地点での最大動液圧変化を示す。2mタンクは、水深が深くなるほど動液圧の値が大きくなり、ほぼ線形に近い分布

キーワード：貯水槽タンク、壁面変位、動液圧変化、応答加速度

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 tel.03-3817-1816

fax.03-3817-1803

となっている。これに対して、3mタンクではパネルの結合部分に近い1500mm地点で最も大きな値を示し、500mmまではほぼ一定の値となっている。

3.2 加速度

図-3, 4にそれぞれのタンクでの応答加速度を示す。3mタンクでは1500mm地点で最大値 -14.0m/s^2 、2mタンクでは500mm地点で最大値 13.3m/s^2 を計測している。両者の最大加速度(絶対値)は、ほぼ同じ程度であり、さらに $2\text{m}\times 1\text{m}$ のパネルの下側から500mmの同じ位置で生じている。

3.3 壁面変位

図-5に2mタンク1000mm地点、3mタンクでは1000mm地点、そしてタンクの真中である1500mm地点における応答壁面変位を示す。それぞれの最大値は、2mタンク1000mm地点で 3.3mm 、3mタンク1000mm地点で 104.8mm 、1500mm地点で 92.8mm である。2つのタンクを比較すると約30倍以上の差が出ていることが分かる。図-6に3mタンクのそれぞれの計測地点での最大値を示す。1000mm地点で最大値 104.8mm を示し、パネル結合部分が膨らむような結果となった。

3.4 考察

3mタンクは2mタンクよりも剛性が低いことが考えられる。それは、2mタンクが上下方向にパネル一体構造であり、上下が固定されているため高い剛性が保たれているからである。これに対して3mタンクは、2種類の大きさの異なったパネルがボルト結合されているので、この結合部分の剛性が低くなっている。そのため動液圧変化、加速度では結合部分に近い1500mm地点で最大値を計測したと考えられる。また、壁面変位では結合部分を中心に2mタンクと比較すると約30倍以上の変位が計測されたと考えられる。この様に、結合部の剛性のあり方が、振動時の性能に大きく寄与していると考えられる。

4. おわりに

本研究では、2mFRP製タンクと3mFRP製タンクを用いて壁面構造の違いによる比較を行った。その結果、2mタンクは上下方向にパネルが一体構造のため剛性が高いのに対し、3mタンクは2枚の大きさが異なったパネルが結合されているので、この結合部が節となり変形し、結果的に剛性が低い構造となっている。

FRP製タンクにおいて、強化プラスチック協会がFRP水槽耐震設計基準³⁾を作成し、構造設計の指針を提示しているため、耐震設計基準には合致している。しかし、結合部分によって生ずる剛性の低下が、壁面変位の発生に寄与していることが確かめられた。そのため、パネルの結合部分での剛性を上げることが、耐震性能を向上させるためには必要と考えられる。例えば、FRPパネルを高さ方向に結合する場合には、壁面上下方向に剛性の高い鋼材等で補強し、十分な剛性を確保することである。また、隅角部の補強も必要である。さらに屋根部分は、現状では連結されていないが、ここを連結してラーメン構造として貯水槽全体の剛性を確保することなどが考えられる。

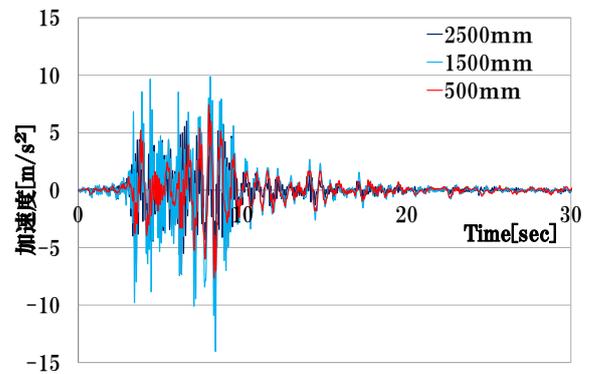


図-3 3mタンク応答加速度

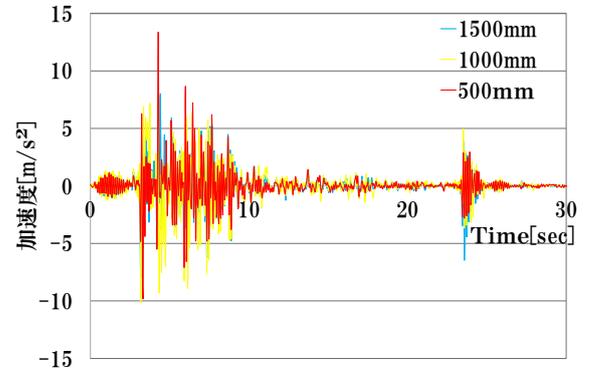


図-4 2mタンク応答加速度

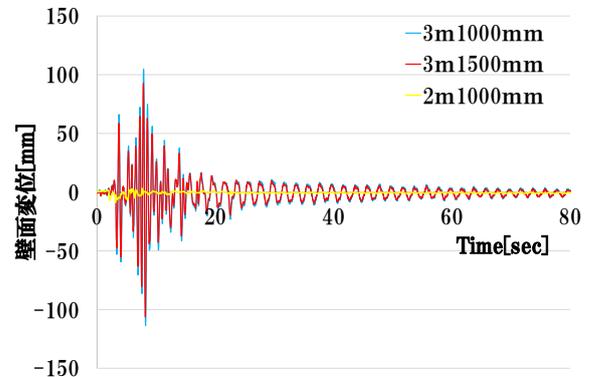


図-5 応答壁面変位

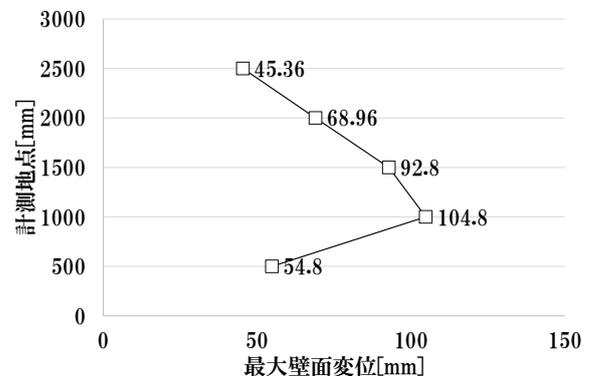


図-6 3mタンクでの最大壁面変位

参考文献

- 1) 例えば 水上邦夫:東日本大震災によせて一水槽の被害一,(社)埼玉建築設計監理協会会報, pp.10-15, No.110, 2012.3.
- 2) 塩野谷遼他:構造形式の異なる実機貯水槽の振動応答特性の比較,土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol.69. I-160.2014.
- 3) 一般社会法人プラスチック協会:FRP製水槽耐震設計基準,1996.