

地震時における FRP 製タンク側壁の応答に関して

○(株)エヌ・ワイ・ケイ 正会員 小野 泰介 (株)十川ゴム 正会員 井田 剛史
 中央大学 正会員 平野 廣和 (株)十川ゴム 正会員 河田 彰

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震において、給水タンクに関する広域アンケートが実施され、合計 163 基の顕著な被害を分析した。その結果、バルジングによる側板等の破壊がスロッシングによる天端破壊よりも 4:1 の比率で多いことがわかった¹⁾。また、熊本地震における被害は、給水タンクで 21 基、配水タンクで 9 基の被害報を入手した。また、バルジングとスロッシングの被害比率は 2:1 と兵庫県南部地震と同程度であった²⁾。

これらをもとに地震発生時の貯水槽の動的な挙動を把握し、ライフラインとして重要な役割を担う貯水槽の被害を防ぐことは非常に有意義である。そこで本報では、貯水槽として最も多くの設置実績のある FRP 製タンクの地震時の応答の確認を行うものである。具体的には 3×3×3m の FRP 製タンクを用いて兵庫県南部地震と熊本地震の地震波一軸加振実験を行い、壁面の変位、加速度、圧力、ひずみに着目する。

2. 実験概要

2.1 計測項目

地震時の給水タンクの応答を検証するために、写真-1に示すFRP製タンクにおいて、水深は常用水深である 2700mmにて加振実験を行う。図-1に示すように、レーザー変位計により壁面5か所と振動台変位、加速度計により壁面5か所と振動台の加速度、圧力計により壁面4か所に作用する圧力変化、ひずみゲージにより4か所のひずみを計測し、地震波加振時の応答を明らかにする。

変位計は、(株)KEYENCE製のIL-600を用い、加速度計は(株)共和電業製の小型低容量加速度センサ変換器AS-5GBを用い、圧力計は(株)共和電業製の低容量圧力センサ変換器PGM-1KGを用いる。本実験においてタンクの膨らむ方向を正(+), 凹む方向を負(-)とする。また、タンクに水を満たした状態をゼロとして計測することで、それぞれの圧力計の設置位置における圧力変化を計測する。

2.2 加振実験

加振実験には、2013年に中央大学と愛知工業大学が共同で設置した大型振動装置を用いる。入力地震波には、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。この観測波は図-2に示す変位30%で加振する。また、熊本地震における宇土NS方向観測波も使用する。この観測波は図-3に示す変位50%で加振する。これらの地震波は振動装置の能力の都合上、加振できるものを採用する。これらのパワースペクトルを図-4、図-5に示す。このパワースペクトルは振動台に設置した加速度計より得たものである。加振方向は計測面に直角に加振する。

3. 実験結果

以下、壁面が膨らむ方向を(+), 凹む方向を(-)とする。図-6に壁面の変位を示す。(a)の神戸NS30%では設



写真-1 FRP製タンク

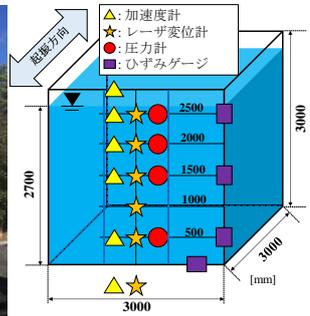


図-1 計測機器設置位置

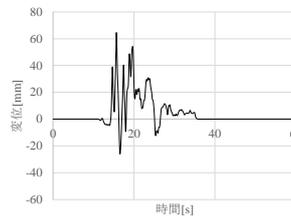


図-2 神戸 NS30%変位

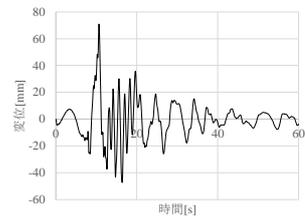


図-3 熊本宇土 NS50%変位

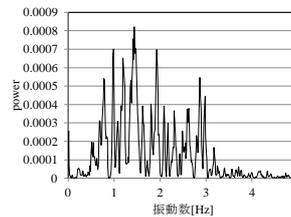


図-4 神戸 NS30%スペクトル

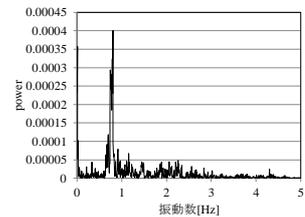


図-5 熊本宇土 NS50%スペクトル

置位置 1000mm において膨らむ方向に 24.3mm 変位している。この設置位置 1000mm において一番変位が現れたのは、3mFRP 製タンクが写真-1のように 1×1m パネルと 2×1m パネルから成り立ち、その継ぎ目であることから一番変位したと考えられる。特に熊本宇土 NS50%では、神戸 NS30%より加振力が大きいため変位分布が+に移行している。設置位置 1000mm において 43.2mm の最大変位を示している。(b)に着目すると、神戸 NS30%と熊本宇土 NS50%も設置位置 1500mm で一番凹んでおり、それぞれ-31.2mm, -71.8mm である。

図-7に壁面の加速度を示す。(c)の神戸 NS30%では設置位置 2500mm において最大 9.3m/s²を示している。熊本宇土 NS50%では設置位置 2000mm において最大 12.2m/s²の加速度を示している。このように地震波によって最大加速度を示す位置が異なっている。(d)に着目すると、神戸 NS30%では設置位置 2000mm において最大-14.7m/s²を示している。熊本宇土 NS50%では設置位置 1500mm において最大-14.3m/s²の加速度を示している。このように膨らむ方向と凹む方向でも異なった設

置位置で最大加速度が現れることがわかる。

図-8 に壁面の圧力を示す。(e)に着目すると、神戸 NS30%と熊本宇土 NS50%のどちらも圧力分布は設置位置が低くなるにつれて大きくなるのがわかる。これは短周期地震波特有の圧力分布であり、バルジング発生時に見られる。圧力の値は設置位置 500mm において、神戸 NS30%では最大 4.2kPa、熊本宇土 NS50%では最大 8.8kPa を示している。このようにタンクの側面底部に圧力を及ぼしており、実際の地震動においてもこの個所が破壊されることが多いと推察される。(f)に着目すると、圧力の値は設置位置 1500mm において、神戸 NS30%では最大-7.2kPa、熊本宇土 NS50%では最大-12.6kPa を示している。これは(d)の壁面の加速度と同様に一番凹んだ位置において負の圧力も発生したと考えられる。

図-9 に壁面のひずみを示す。(g)に着目すると、設置位置 0mm において大きなひずみが生じていることがわかる。ひずみの値は設置位置 0mm において、神戸 NS30%では最大 286.2 $\mu\epsilon$ 、熊本宇土 NS50%では最大 957.1 $\mu\epsilon$ と大きな値を示している。このようにタンクの最下部に大きな負担が掛かっていることがわかる。(h)に着目すると、設置位置 0mm において神戸 NS30%では最大-138.5 $\mu\epsilon$ 、熊本宇土 NS50%では-215.7 $\mu\epsilon$ を示している。設置位置 0mm の他に設置位置 1500mm においても神戸 NS30%では-114.2 $\mu\epsilon$ 、熊本宇土 NS50%では最大-226.3 $\mu\epsilon$ を示している。実際の給水タンクや配水タンクにおいては最下部の破損による水漏れ等が確認されていることから本実験を説明できる。実際の地震力を考えると本実験は神戸 NS30%、熊本宇土 NS50%で加振しているため、実地震動の 1/3, 1/2 程度の加振力である。これが 2 倍, 3 倍である地震が発生すれば、タンクに大きな損傷を与えることが確実である。

4. おわりに

FRP 製タンクを用いての地震波一軸加振実験による検証を行った。FRP 製タンクはパネルの継ぎ目が大きく変形しており、タンク中央から底部に圧力を及ぼし、最下部でひずみが増大していた。このように地震動により破壊する箇所がほぼ特定できた。

謝辞: 本研究の一部は、(独)日本学術振興会科学研究費・基盤研究 (C)及び (独)科学技術振興機構研究成果展開事業地域産学バリュープログラムの給付を受けたこと

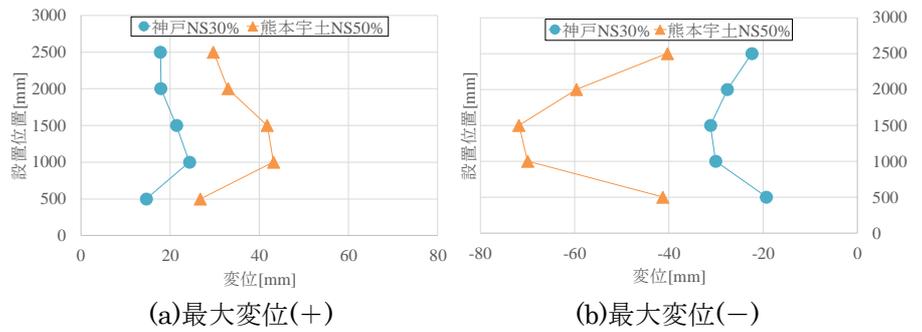


図-6 壁面の変位

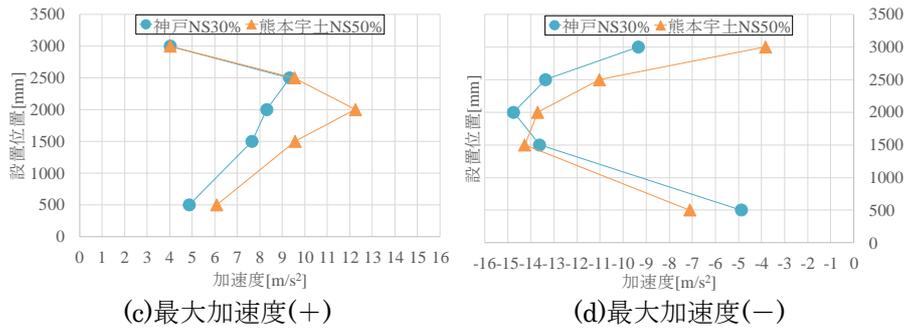


図-7 壁面の加速度

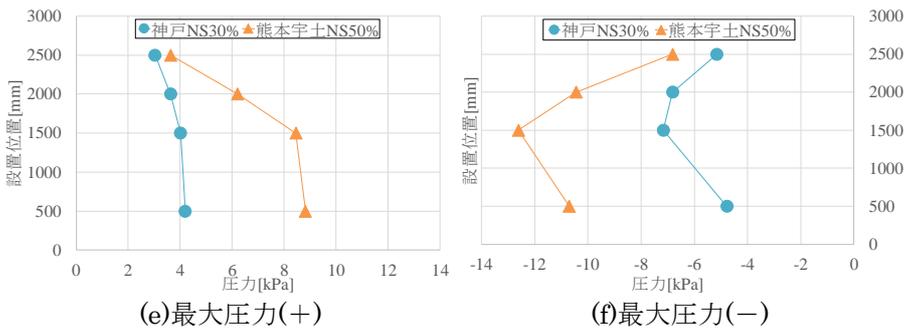


図-8 壁面の圧力

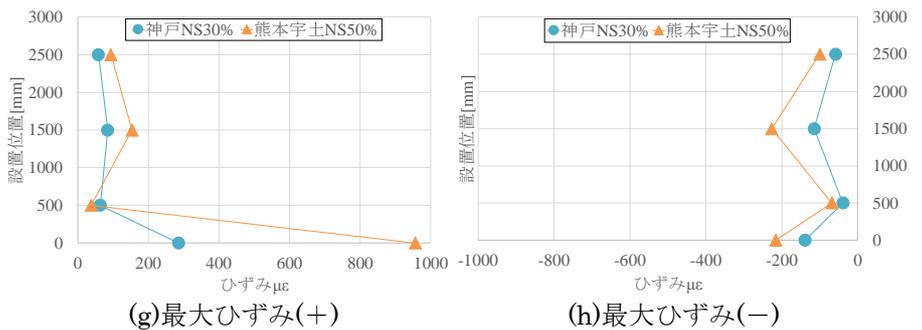


図-9 壁面のひずみ

を付記する。

参考文献

- 1) 井上涼介 他：2011 年東北地方太平洋沖地震における水槽の広域被害および地震動特性との関連の分析，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），No.71, Vol.4, pp.764-773, 2015.
- 2) 井上涼介 他：2016 年熊本地震における水槽被害および地震動特性との関連について，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），No.73, Vol.4, pp.711-720, 2017