地震時にステンレス製パネル式貯水槽に生ずる流体揺動

○中央大学 学生員 小野 泰介 ㈱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、巨大地震による各種の 地震被害が懸念されている. その中, 東日本大震災 において、被害地域内の上水道配水施設での貯水槽 の破損被害が報告¹⁾されている.本大震災での貯水 槽被害は、周期 2~5 秒のやや長周期地震動による流 体揺動の励起であるスロッシング現象やバルジング 現象の発生が一つの原因であると推定されている. このため近い将来高い確率で発生が予想される東海 地震,東南海地震,南海地震や,直下型地震などの 巨大地震による災害へ向け対策を講ずる必要がある.

既往の実験¹⁾では,振動台の性能上,正弦波加振実 験のみしか扱えなかった.これを受けて本報では、 新たに振動台を製作して地震波加振実験が可能とな り、実現象に近い貯水槽の流体揺動を検討する.具 体的には実際に被害生じた実機の正方形ステンレス 製パネル式貯水槽(以下、タンク)を用いて、これ を振動台に設置し、兵庫県南部地震の神戸海洋気象 台で観測されたJMA神戸NS波による加振実験を行 う.これにより、タンク壁面の動液圧変化を計測し、 流体揺動現象であるスロッシングやバルジング挙動 がタンク壁面に与える影響を検討する.

2. 実験概要

2.1 ステンレス製パネル式貯水槽と圧力計設置位置 図-1に示す各辺3,000mmの正方形断面容器である タンクに通常の設定水位と同じである内容量90%の 水深2,700mmまで水を満たして加振実験を行う.こ のタンクは、実際の上水貯水のものと同一の仕様で ある. このタンクは実際に貯水槽として使用されて おり、この板厚はSUS444で天板、側板の上段と中段 が1.5mm, 側板下段と底板が2.0mmである.

圧力計設置位置は、図-2に示すように圧力計をタ ンクの底から高さ500mm, 1,500mm, 2,500mm及 び天井の3,000mmに2カ所ずつ合計8カ所の位置の 容器壁面に設置する.これにより,流体揺動がどの 水深まで影響を及ぼすか鉛直方向の比較検討をする. また、それぞれ隅角部から200mm離れた点をA(以 下,隅角部A),1,500mm離れた点をB(以下,中央 部B)とし、これから、流体揺動が同水深において 水平方向の比較検討を行う.

2.2 入力地震波 (JMA 神戸 NS 波)

加振実験には、愛知工業大学と中央大学が2013年 12月に共同で製作した専用の大型振動装置を用いる. 加振実験の入力地震波には 1995 年兵庫県南部地震 の神戸海洋気象台で観測された JMA 神戸 NS 波を使 用する.この入力地震波に関しては、図-3に入力変 位時刻歴, 図-4 に入力加速度時刻歴, 図-5 に入力加 速度のパワースペクトルを示す. なお、タンクの固 有振動数である1次モード0.49Hz,2次モード0.87Hz も併記する. この固有振動数を持つタンクを JMA



図-1 ステンレス製パネル式貯水槽 図-2 圧力計設置位置





図-5 入力加速度のパワースペクトル

表-1 実験条件

	1次モ・	ード	2 次モード
容器内壁幅 L	3,000mm		
水深 H	2,700mm		
スロッシング固有振動数	0.49Hz		0.87Hz
	10%	10% 58	
JMA 神戸 NS 波	30%	174Gal	
	50%		290Gal

神戸 NS 波の振幅の 10%, 30%, 50%で加振実験を行 う. タンクの加振方向は図-6のように圧力計の隅角 部Aと中央部Bがある壁面と直交方向に加振を行う.

この設定条件における加振時の加速度は、振幅 10%は58Gal相当,同30%は174Gal相当,同50%は 290Gal 相当となる.以上の実験条件をまとめて表-1 に示す.

実験結果

図-7(a)~(d)に地震動による最大動液圧変化の分布 であり, (a)(c)が正圧, (b)(d)が負圧の最大値を示す. いずれも地震動の振幅が増加することで、正圧、負 圧の動液圧変化の値が増加していることがわかる. ここから、振幅 50%の結果に着目し、比較を行う.

キーワード:スロッシング,バルジング,貯水槽,動液圧,地震波加振 連絡先:〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 tel. 03-3817-1816 fax. 03-3817-1803



直交する壁面の影響があると推測する. これは、タ ンク内部の内容液が壁面に近いほど抵抗となり、流 動しにくいと考える. このように, 圧力計設置位置 のある壁面に直交して加振する際、壁面の中央部に 動液圧変化を及ぼしている.この力により、タンク 全体に影響を及ぼすと考えられる.

パネル中央

こで本実験以上の地震動がタンク壁面に直交し て作用する場合には、このタンク壁面の中央部を起 点に破壊箇所となる可能性がある.本実験において 最大加速度は 290Gal 加振であるが, 兵庫県南部地震 は 848Gal, 東北地方太平洋沖地震は 2933Gal の最大 水平加速度が観測されている.このため、この形式 のタンクに被害事例が生じた可能性が考えられる.

4. おわりに

新たに製作した専用振動台により, JMA 神戸 NS 波による貯水槽の加振実験を行った.これにより, 動液圧変化を計測することで、壁面に与える影響を 実機の貯水槽で検討した.この結果から,正圧と負 圧の動液圧分布の形状がほぼ同じであることが確認 された.また,隅角部Aと中央部Bにより水平方向 の圧力計の設置位置の違いにより動液圧分布の形状 が異なることが確認できた.壁面に直行して加振す る際、壁面の中央部に大きな動液圧変化を及ぼして おり、タンク全体に影響を及ぼすと考えられ、本実 験以上の地震動に見舞われた際には、このようなタ ンク壁面の中央部を起点に破壊箇所となる可能性が あることを示唆できた.

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 (B) の給付を受けたことを付記する. 参考文献

- 小野泰介 他:スロッシング発生時に貯水槽壁面が受 1) ける動液圧変化に関する実物実験,地震工学論文集, Vol.33, 2014.
- 小野泰介 他:実機貯水槽における正弦波加振時の動 2) 液圧変化について,第40回土木学会関東支部技術研 究発表会, I-18, 2014.
- 箕輪親宏 他:ステンレス長方形水槽の耐震実験,日本 3) 機械学会, Dynamics and Design Conference 2000, 2000.

まず, 圧力計設置位置が同じ動液圧変化の正圧と 負圧の比較を行う. (a)の隅角部 A 正圧と(b)の隅角部 A 負圧に着目すると、動液圧分布の形状がほぼ同じ であることが確認できる. 隅角部Aにおいて, 鉛直 方向の圧力計設置位置にかかわらず、正圧、負圧共 に±6.5~9.1kPa を示している. このように、タンク壁 面全体的に動液圧変化を及ぼしていることから,水 面付近で局所的に動液圧変化を及ぼすスロッシング 挙動²⁾ではなく, 箕輪ら³⁾が指摘している図-8 に示 すような壁面の振動と内容液が連成して生じるバル ジング挙動が発生していると考えられる.

同様に,(c)の中央部 B 正圧と(d)の中央部 B 負圧に 着目すると、こちらも動液圧分布の形状がほぼ同様 であることが確認できる. 中央部 B において, 正圧, 負圧共に 2,500mm の圧力計設置では±6kPa 前後であ るのに対し, 1,500mm の圧力計設置では±10kPa 以上 となっている. このように、中央部 B では圧力計設 置位置が深いほど,動液圧変化の値も増大している. これもバルジング現象の特徴と考えられる.

次に,同じ動液圧変化の正圧と負圧で圧力計設置 位置の違いによる比較を行う.(a)の隅角部 A 正圧と (c)の中央部 B 正圧に着目すると, 2,500mm の圧力計 設置では、(a)の隅角部 A 正圧と(c)の中央部 B の違い にもかかわらず,動液圧変化は 7kPa 前後である.

500mm, 1,500mmの圧力計設置において, (a)の隅角 部 A では 7kPa, 9kPa である. その一方(c)の中央部 B では 11kPa, 12kPa である. 同様に, (b)の隅角部 A 負圧と(d)の中央部 B 負圧に着目すると、2500mmの 圧力計設置では、(b)の隅角部 A と(d)の中央部 B の 違いにもかかわらず,動液圧変化は6kPa前後である. 500mm, 1500mm の圧力計設置において, (b)の隅角 部 A では-7kPa, -9kPa である. その一方(d)の中央部 B では-10kPa, -9kPa である. このように水平方向の 圧力計の設置位置の違いにより動液圧分布の形状が 異なることが確認できる.

この理由としては、圧力計の設置してある壁面に