

加振方向角が矩形タンクバルジング応答に及ぼす影響に関する実験的研究

岐阜工業高等専門学校 正会員 ○渡邊尚彦, JR 東海コンサルタンツ 非会員 清水咲菜
森松工業株式会社 正会員 行田聡, 青木大祐, 増井龍也

1. はじめに

近年, 短周期地震動により貯槽本体と内部の液体が連成振動を起こすことで, 貯槽の側板に大きな水圧が作用するバルジングの被害が報告されており, バルジングに対する設計基準の確立が求められている. これまで矩形タンク側壁に対して垂直方向加振の条件での応答が検討されてきた事例が多いが, 矩形タンクの固有値解析において対角方向が主軸となるバルジングモードが現れることが観察されており, 設計時に検討する加振方向角を注意深く選択すべきであることが指摘されている¹⁾. 本研究では, 内構材を有する模型タンクを対象に加振方向角を変化させた振動台試験を実施し, 画像計測も用いて矩形タンクのバルジング応答特性の変化を総合的に検討することとした.

2. 実験装置および方法

模型タンクは各側壁が板厚 1.5mm の 50cm 角のステンレスパネル 4 枚 (SUS444) で構成され, 側壁の中央部に L70×30×3mm のアングル材 (SUS304) による柱補強をもつ 1m 角ステンレスタンクとした. 振動台は大変位地震動再現試験装置(サンエス社 SRT3D-15K85L-50T)を使用した. 模型タンクは加振方向に対してタンク側壁面が 90 度, 45 度となるように配置した(図-1). 模型タンク内部液位は, 実機の貯水タンクの運用上の最大貯水量を基に, 90%水位(900mm)に設定した.

加振方法として, バルジング周波数帯を中心とした sweep 加振試験を用いた. 定加速度振幅 0.1g とし, バルジング周波数帯である 14-16Hz を 0.2Hz 刻みで加振を行った. また実地震波加振としてスケーリングした東北地方太平洋沖地震日立波を用いた加振試験を行った. 入力模擬地震波は, 標準的な実ステンレスタンクのバルジング振動数や振動台制御能力を考慮し, 時間スケールを 1/4, 加速度振幅スケールを 1/6 とした.

計測方法として, 加速度・圧力センサー計測, 3 次元画像計測を用いた. 加速度・圧力センサー計測には, 図-2 に示すように, 加振方向の振動台およびタンク側壁の高さ 250mm 位置に加速度センサー計 3 点, タンク側壁隅角部付近に圧力センサー 5 点を設置し, 計測を行った. 3 次元画像計測

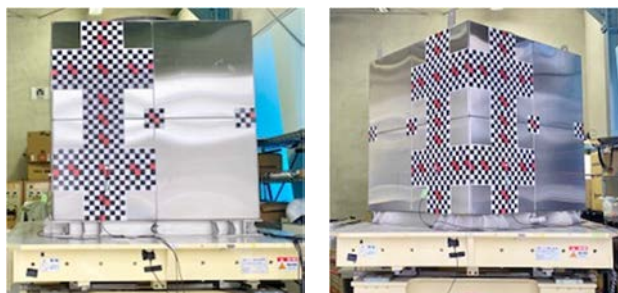


図-1 タンク配置概要

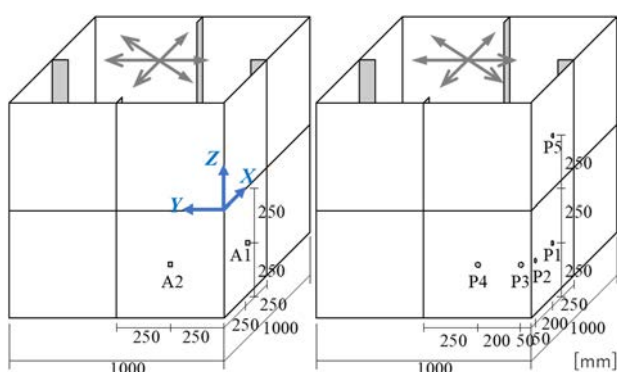


図-2 タンク計測点



図-3 タンク追尾点

には, 2 台のハイスピードカメラ(CASIO EXILIM EZ-ZR1000, 120fps, 640x480 pixels)を振動方向を捉えられるよう角度をつけて設置し, 動画を動画を撮影した. 動画に対し 3 次元画像処理ソフト DippMotionV/3D (Ditect 社製)を使用して, 図-3 に示すように画像内の特徴点を追尾し, 着目点の 3 次元運動を推定した.

3. 実験結果

図-4 に 90 度配置(X 方向加振), 45 度配置での周波数 14.0Hz の Sweep 加振条件における応答圧力時刻歴を例として示す.

キーワード 矩形貯水槽, バルジング, 接水振動, 画像計測

連絡先 〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑 2236-2 岐阜工業高等専門学校 TEL 058-320-1402

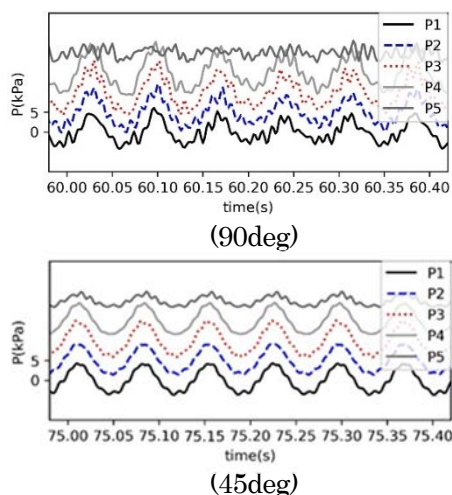


図-4 Sweep 加振応答時刻歴

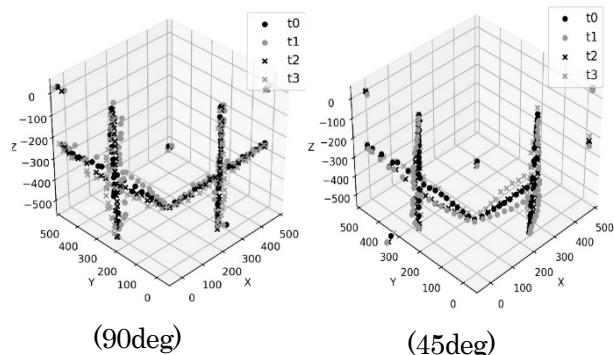


図-6 振動モード

図-5 に 90 度配置 (X 方向加振), 45 度配置での Sweep 加振時の応答圧力の毎周期 pk-pk の平均値から得られた応答曲線を示す. 圧力値は $P_0 = \rho a_0 l$ (ρ : 水の密度, a_0 : 加振加速度振幅, l : タンク奥行き長さ) で無次元化した. なお, バルジング周波数周辺では振動台の能力を超えてしまい, 安定した結果が得られなかったため, 15Hz 周辺の結果は載せていない. 90 度配置では各センサー位置で局所的なピークが観察された. 各位置での圧力振幅の大小関係は周波数によって入れ替わり, 狭い周波数帯で異なる振動モードが存在するバルジングの特性が見られたといえる. また, 隣接壁面では主要受圧面の 8-9 割程度の応答値が確認されており, バルジング時に隣接壁面の応答も考慮すべきことが分かる. 45 度配置では各センサー位置でほぼ同様な圧力振幅が観察されているが, 90 度配置と比較してバルジング周波数帯で応答圧力値が約 1.5~2 倍程度であり, 柱補強材のあるタンクにおいて隅角部周辺作用圧力に着目すると 45 度加振がタンクバルジングにとって厳しい条件となるといえる. 図-6 に 90 度配置, 45 度配置とした場合の周波数 f14.0 Hz 条件を例として 3 次元画像計測により得られた振動モードを示す. 図は変形を 30 倍に拡大し 1/60s ずつキャ

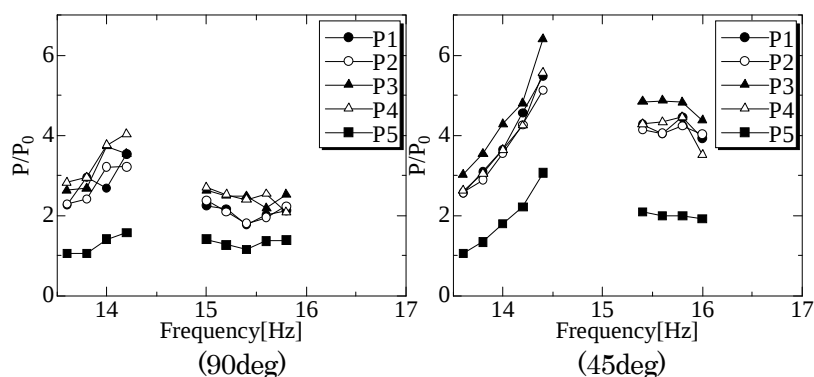


図-5 応答曲線

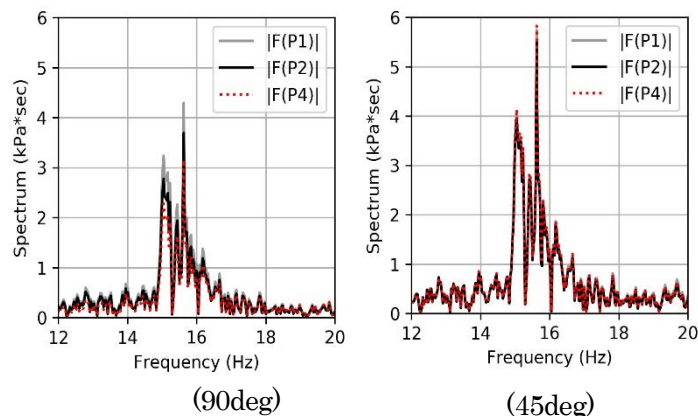


図-7 地震応答のフーリエスペクトル

プチャしたものを表示している. 90 度配置では主要受圧面の振動とともに, 隣接壁面の振動も観察されている. 45 度配置では隣接する 2 側壁面が開閉する振動として同程度の振幅で確認された. 図-7 に 90 度配置 (Y 方向加振), 45 度配置時の実地震波加振時の P1, P4 における応答圧力時刻歴のフーリエスペクトルを示す. 20Hz 周辺で周波数特性に若干違いが見られるものの, 加振方向角の違いに関わらずピークが 15Hz-16Hz で現れており, 今回の試験条件において加振方向角によるピーク周波数の移動はほとんど見られないといえる.

4. まとめ

内構材を持つ矩形タンクの加振方向角を変えたバルジング応答実験を行い, タンク対角方向加振では垂直方向加振よりも高い応答水圧が得られる部位が見られ, 隅角部における隣接壁面相互影響を考慮する必要が指摘された. 実地震波加振応答からは加振方向角によるピーク周波数移動は観察されなかった.

参考文献

- 1) 給水タンクの地震被害軽減対策の研究, 土木学会地震工学研究会, 「水循環ネットワーク施設災害軽減対策研究小委員会活動報告」, pp.TF_1_TF_65, 2015.