

地震動を受けるステンレス鋼製矩形水槽の動水圧に関する解析的研究
(その1, 解析と実験による検証)

森松工業株式会社 正会員 ○青木 大祐, 行田 聡
森松工業株式会社 正会員 増井 龍也

1. はじめに

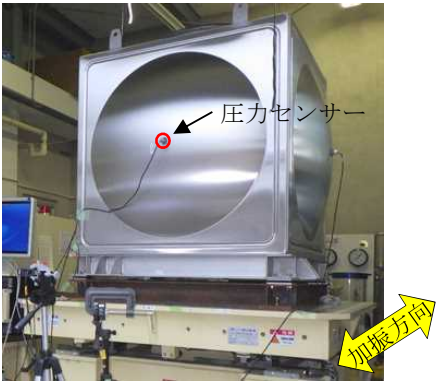
近年, ステンレス鋼製矩形水槽は, 衛生面や耐久性に優れている点から, 貯水槽等に数多く採用されている. この矩形水槽の固有周期が地震の卓越周期と同調すると, スロッシング振動やバルジング振動が発生することが知られている. スロッシング振動に関しては, 現象解明からその対応策まで数多くの研究が行われている. バルジング振動においては石油タンクを想定した鋼製円筒水槽の動水圧に着目した実験と解析を比較した研究例¹⁾はあるが, 鋼製矩形水槽では少ない. また, 両者で発生する動水圧はバルジング振動によるものが大きく, 地震時における水槽壁面の損傷の一因となりやすい.

本研究では, ステンレス鋼製矩形水槽内の動水圧に及ぼすバルジング振動の影響を数値解析で求め, 振動特性の把握とともに解析手法の妥当性を実験結果と比較検証した.

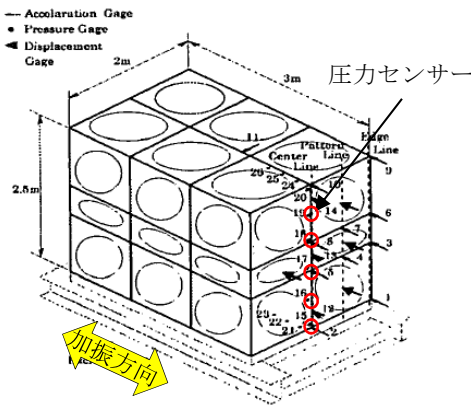
2. 実験及び解析条件

図-1 a) に, 検討に用いたステンレス鋼製矩形水槽を示す. 水槽側壁の中央部に圧力センサーを設置して JMA KOBEN S 波を入力した際の圧力の変化を測定した²⁾. 図-1 b) は, 箕輪ら³⁾が行った実験の水槽である. 加振方向に直交する水槽壁面の中間部の高さ方向に圧力センサーを 500 mm 間隔で 5 カ所に設置し, JMA KOBEN S 波 85% を入力した際の各点の最大動水圧を測定している.

表.1 に, 解析諸元を示す. 解析には, 3 次元 FEM 解析ソフト ADINA を用いた. 本ソフトでは流体部と構造部を連成させて計算することができる. 特に, 水要素をポテンシャル流体 (非圧縮性, 非粘性で熱伝導や熱膨張が起こらないとする) とみなすことで解析に要する時間が大幅に短くなる. 解析には, 時刻歴応答解析で一般的に用いられる数値積分 Newmark β 法 ($\beta=1/4$) を使用した. 減衰は質量と剛性に比例する Rayleigh 減衰 (5 %) とし, 解析ステップは 0.01 s とした. 液面は静止水面条件とした.



a) 1 m³ 水槽 (1×1×1 m)



b) 15 m³ 水槽 (3×2×2.5 m)

図-1 検討に用いたステンレス鋼製矩形水槽

表.1 解析諸元

1 m ³ 水槽	寸法: 1×1×1 m (水深: 0.9 m)
材料(弾塑性)	SUS444-1.5 mm ($E=2.00\times10^5$ N/mm ² , $\rho=7,750$ kg/m ³ , $\nu=0.3$)
内部補強材	無し
要素	内容水: ポテンシャル要素 ($\rho=1,000$ kg/m ³) 側板・天井・底板-シェル要素
拘束条件	底板全面: 完全固定
要素分割	要素寸法: 50×50 メッシュ
要素数	46,000
15 m ³ 水槽	寸法: 3×2×2.5 m (水深: 2.2 m)
材料(弾塑性)	天井板・側板上段: SUS444-1.5 mm 側板中, 下段, 底板: SUS444-2.0 mm ($E=2.00\times10^5$ N/mm ² , $\rho=7,750$ kg/m ³ , $\nu=0.3$)
内部補強材	有り
要素	内容水: ポテンシャル要素 ($\rho=1,000$ kg/m ³) 側板・天井・底板-シェル要素 補強材: 梁要素
拘束条件	底板全面: 完全固定, 補強材: 剛結合
要素分割	要素寸法: 80×80 メッシュ
要素数	93,000

3. 結果及び考察

図-2 に、固有値解析により求めた両水槽のバルジング1次固有振動モードを示す。1 m³水槽は、1m×1mのパネル材のみの構造に対し、15 m³水槽は、パネル材の継ぎ目に山型鋼の補強がジャングルジム状に配置されている。両水槽共に、水槽側壁の中央部が外側に大きく変形し、対称面の側壁が内側に变形するバルジング振動モードが確認できる。1 m³水槽のバルジング固有振動数の実測値が9.0 Hzに対し、解析値は9.1 Hzと良い一致を示している。一方、15 m³水槽は、実測値が5.7 Hzに対し、解析値は6.1 Hzと解析値の方がやや高くなるが、概ね一致する。

図-3 に、1 m³水槽の時刻歴応答解析結果と実測値の時刻歴波形を示す。最大動水圧を比べると、実測値1.27 kPaに対して解析値は1.06 kPaとやや低いものの、実測値の大略を良好に再現している。

図-4 に、15 m³水槽の動水圧分布を示す。各点の最大動水圧は、槽高さの中間部において解析値の方が実測値よりやや高くなるものの、同程度の動水圧になる。高さ2 mの実測値が解析値より高くなる理由として、箕輪ら³⁾は、側壁上部においてはスロッシングインパクトにより生じた水圧の影響で測定値が大きな値を示すことを挙げている。

4. おわりに

本研究では、ステンレス鋼製矩形水槽内の動水圧に及ぼすバルジング振動の影響を数値解析により求め、解析の妥当性を実験と比較検証した。検討に用いた1, 15 m³水槽において槽内部の構造形式が異なるものの、バルジング固有振動数及び側壁に生ずる動水圧の実測値と解析値が概ね一致することが確認された。本解析手法を用いれば、これまで複雑とされてきた弾性体水槽の壁面に生ずる流体と構造の連成問題を比較的容易に計算することが可能となる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり岐阜工業高等専門学校准教授・渡邊尚彦様から実験に関するご助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1) 坂井藤一：液体貯槽の耐震設計研究に関する現状と課題，土木学会論文集，No. 362，p.1-11，1985。

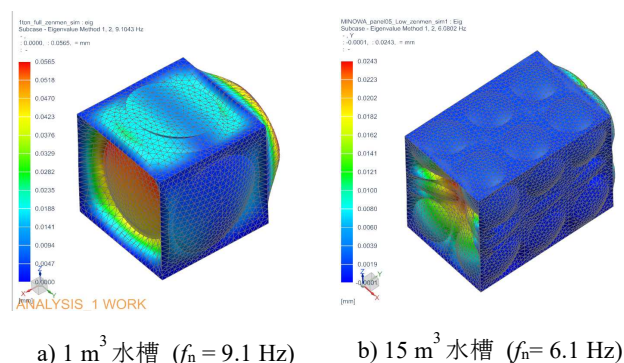


図-2 バルジング固有振動モード

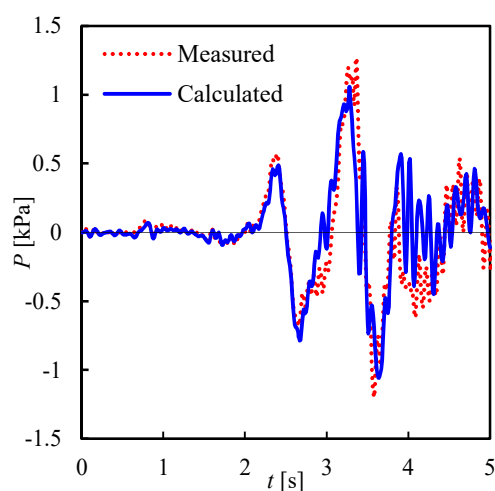


図-3 時刻歴応答解析結果と実測値の時刻歴波形（1 m³水槽）

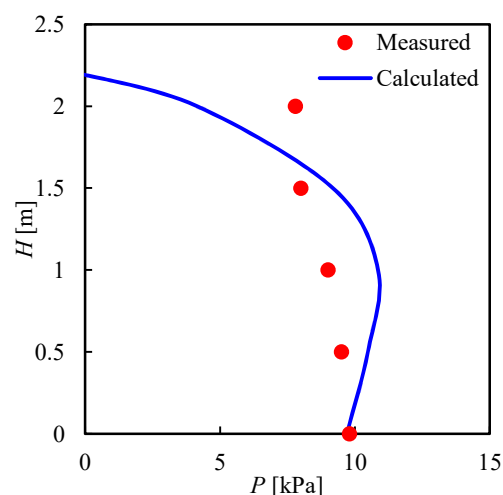


図-4 動水圧分布（15 m³水槽）

- 2) 渡邊尚彦，宮崎泰樹，行田聡，青木大祐，坂東芳行：高減衰ゴムを配置した矩形貯水槽のバルジング応答推定，土木学会論文集 A2(応用力学)，Vol. 75, No. 2 (応用力学論文集 Vol. 22)，I_83-I_92，2019. 12。
- 3) 箕輪親宏，清水信行，鈴木純人：長方形ステンレスパネル水槽の振動台実験，日本機械学会論文集(C 編) Vol. 68, No. 668，pp. 1056-1063，2002. 4。