

内構材を有する矩形タンクのバルジング振動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, 学生会員 宮崎泰樹
森松工業株式会社 正会員 行田聡, 青木大祐, 坂東芳行

1. はじめに

近年, 地震波の短周期成分によって引き起こされるバルジングによる貯水槽の破損被害が報告されている。これまで平板で構成された矩形タンクのバルジングに関しては実験・解析の観点から研究が行われてきたが, 実際の貯水タンクにおいて剛性を高めるために取り付けられている内構材の影響については, 未だ明らかになっていない点が多い。本研究では模擬された内構材を有するステンレス製矩形タンクについて振動実験を行い, バルジング周波数と振動モードの観点から内構材の影響について検討した。

2. 実験条件

はじめに図1に計測の全体図を示す。タンクの寸法は500[mm]×500[mm]×500[mm]で, 板厚を1.5[mm]とした。実際の貯水タンクは側面に縦補強材が溶接され, これを引張材やトラス材で拘束する構造となっている。本実験では平板で構成されるタンクを Type1 とし, L型板4枚で側壁を構成したものを Type2 とした。また向かい合う壁面のつば部分同士をアングル材で接続し引張材を模擬したモデルを Type2+ とした。それぞれのモデルと計測位置を図2に示す(E:ひずみゲージ, Acc.: 加速度センサー)。加振は大変位地震動再現試験装置(サンエス社製 SPT3D-15K-85L-50T)を使用した。加振条件としては sweep 加振で得られたバルジング周波数周辺で固定周波数加振を行った。加速度振幅は0.2gである。サンプリングタイムは200[Hz]とした。

3. 実験結果および考察

各タンクの液位条件において目視で大きな振動が確認された周波数を表1に示す。Type2, 2+ではType1に比べて高周波数側でバルジング周波数が見られやすい傾向にあったが, これは側壁で短波長の変形モードとなったためと考えられる。しかし高液位においてはその差は小さくなっている。次に図3に液位80%における各Typeの応答曲線を例として示す。Type2, 2+でキーワード 矩形タンク, 内構材, バルジング, 接水振動, 付加質量



図1 計測の全体図

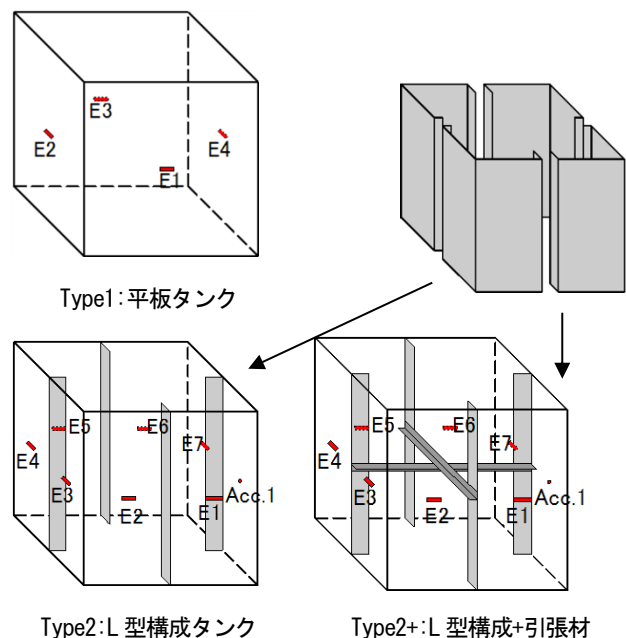


図2 各タンクと計測位置

はピークとなる周波数が幾つか見られ, どの計測位置でも局所的に高い値を取るが最大となる位置がそれぞれの周波数で異なるのが特徴的である。例えば Type2 では, 28[Hz], 30[Hz], 36[Hz]とでE7, E3, E1・5というように位置が移動している。他の液位においても同様の傾向は見られ, Type1 では壁面振動が各側壁で同時に見られるのに対し, Type2, 2+ではそれぞれの周波数に応じて振動位置が向かい合う面, 角, 対角といったように変化した。これらは加振中の水はね位置の移動によっても確認できた。次に引張材影響の検討として, 図4に液位0%, 40%における type2, 2+の sweep 加振結果を示す。液位0%では高周波数領域で引張材の有

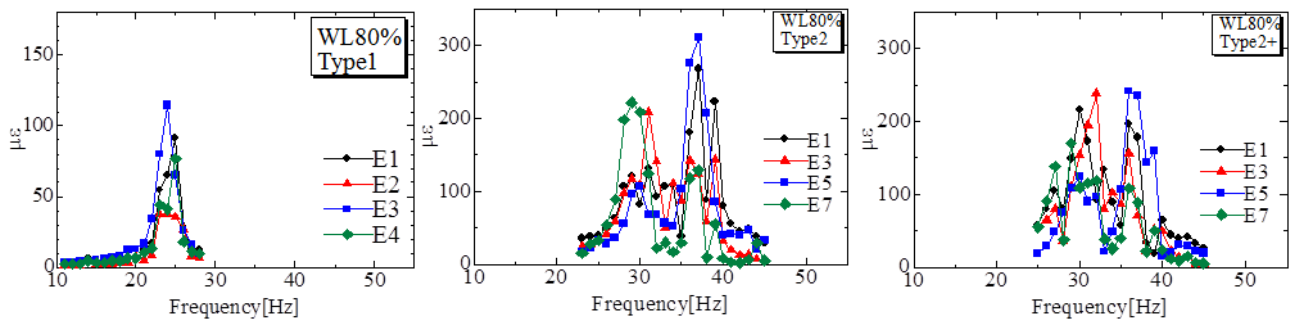


図3 固定周波数加振実験における応答曲線

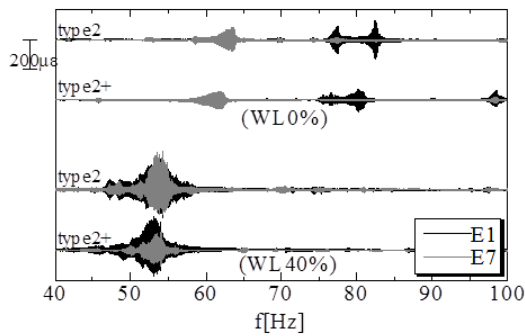


図4 引張材有無のバルジング周波数への影響

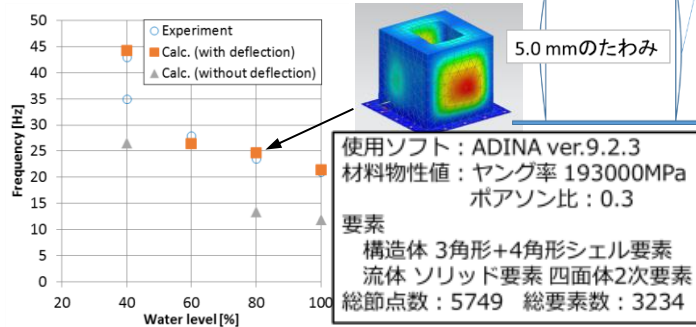


図5 固有値解析

無によるバルジング周波数の差が見られるが、液位40%では応答振幅に差があるものの周波数に差はほとんど見られない。ここから内部溶液がある場合に引張材はバルジング周波数にほとんど影響を与えないことが分かる。次にType1について各液位でのバルジング周波数を固有値解析の結果と比較したものを、解析条件とともに図5に示す。ここでは初期たわみなしのモデルと5[mm]の初期たわみを考慮したモデルで行った。結果より、初期たわみがバルジング周波数に強い影響を与えること、また初期たわみを考慮することで精度良い推定ができることがわかる。最後に付加質量を使用した簡易算定式の適用性を検討する。図6はtype2タンクの各液位 sweep 加振応答と、式(1),(2)により各液位でのバルジング周波数を予測した結果を比較したものである。ここで f_0 : パネル振動数, m_v : 付加質量, m_p : パネル質量, ρ_w : 水の密度, h : 液位である。 f_0 として計測された液位0%時と液位20%時のバルジング

表1 バルジング周波数

	Type1	Type2	Type2+
WL0%	48,53,56	62, 77, 82	60, 80, 98
WL20%	48,53,57	63, 72, 76-77, 98-100	63, 72, 75, 97-98
WL40%	35,43	45, 48, 51-54	50-54
WL60%	27-28	35-36, 39-41	36, 40
WL80%	23-24	28-30, 36-37	28-32, 36
WL100%	21	24-26,35-38	26-30, 35-38

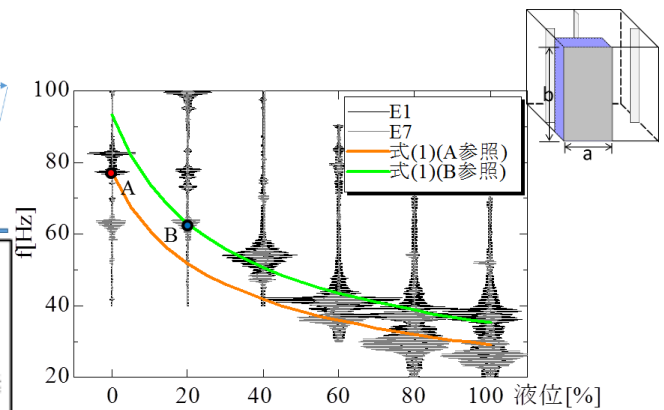


図6 付加質量によるバルジング周波数推定 (Type2)

$$f' = f_0 \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_v}{m_p}}} \quad (1)$$

$$m_v = \frac{\rho_w a}{\pi \sqrt{1 + (a/b)^2}} ah \quad (2)$$

周波数を参照し算出を行った。どちらも高液位までおよそのバルジング周波数予測ができることを示唆しているが、実験では0~40%の低液位において上に凸のカーブを示し全体としてS字曲線となっていることから、低液位周辺での付加質量モデルの調整が必要と考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- バルジング周波数へ影響を与える主要な内構材は引張材よりも縦補強材である。
- 側面初期たわみがバルジング周波数に影響を与える。
- 内構材を有するタンクでも付加質量による高液位時のバルジング周波数算定の適用性が示唆された。