

短周期振動を受けるステンレス鋼製矩形水槽に対する制震装置の実証

森松工業株式会社 正会員 ○青木大祐
 森松工業株式会社 正会員 行田 聡
 森松工業株式会社 正会員 坂東芳行
 愛知工業大学 正会員 鈴木森晶

1. 緒言

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、長周期地震動によるスロッシング現象¹⁾や短周期地震動によるバルジング現象²⁾が発生することが知られている。スロッシング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が、バルジング現象に関しては円筒形水槽を対象としたものが多く矩形水槽についての報告例はほとんど見当たらない。とくにバルジングによって生ずる動水圧は非常に大きく、地震時の矩形水槽破損の主因となることがある。

本研究では、ステンレス鋼製の矩形水槽を用いて振動実験を行い、振動現象を観察した。また、その際の水圧低減対策として簡単な構造の制震装置を提案し、その性能について評価した。

2. 実験装置および方法

写真-1 に、本実験に用いた振動台およびステンレス鋼製矩形水槽を示す。実験水槽の寸法は 3,000 mm×3,000 mm×3,000 mm (厚さ 1.5 ~2.5 mm, 材質 SUS304) で、水深は 2,700 mm (常用水深) で一定とした。

制震装置として高減衰ゴム (内外ゴム株式会社 ハネナイ ト) を用いた。図-1 に示すように、ゴムの種類 (硬度)・厚みおよびゴムの上下面へのステンレス鋼板設置の有無を組み合わせた 4 種類の制震装置を用い、水槽架台下面の周囲の 8 箇所を設置した。ゴムの上下面への鋼板の設置 (③, ④) は、予備実験で観察されたゴムのはらみだしを防止するのが主目的である。なお、鋼板とゴムは接着材を用いて接着をした。以下、制震装置を設置した場合を「制震」、設置しない場合を「非制震」と呼ぶ。

愛知工業大学所有の屋外大型振動台を使用し、正弦波による定常波加振および地震波による 1 軸加振を行った。定常波加振では、振動数を 2 ~ 6 Hz の範囲で 0.5 Hz 刻み、共振点付近では 0.1 Hz 刻みとして振動数を変え (スイープ試験)、加振振幅は ±1 mm とした。地震波加振には、短周期の地震波として東北地方太平洋沖地震 NS 波 (変位 20 % 相当) と、長周期の地震波として十勝沖地震 NS 波 (変位 80 % 相当) を用いた。

水槽底面から 100, 500, 1,100, 1,500, 2,100 および 2,500 mm の位置の側壁に圧力センサーを設置し、サンプリングタイム 1 ms で水圧の経時変化を測定した。

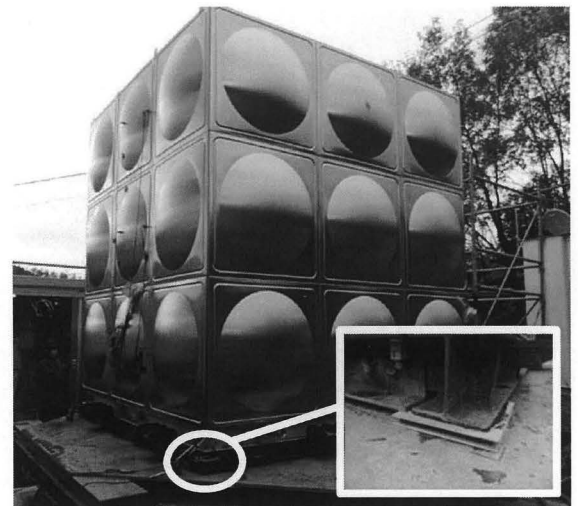


写真-1 ステンレス鋼製矩形水槽

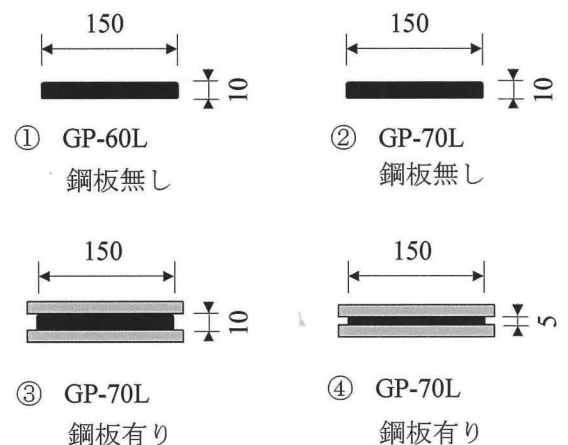


図-1 使用した制震装置

3. 実験結果および考察

3.1 定常波加振

図-2 に、非制震時および制震時の振動数に対する底面から 500 mm の位置での応答水圧の変化を示す。各振動数で加振力が異なるので、縦軸には水圧を各振動数における加振力で除した応答水圧を示した。

非制震時のバルジング振動数は 4.4 Hz 付近に存在し、応答水圧の鋭いピーク（最大値）が現れる。一方、いずれの制震装置を設置した場合でも、応答水圧の最大値の現れる振動数は 4.1 Hz 付近へ移動し、若干長周期化する傾向が窺える。また、応答水圧の最大値は非制震時の約半分であり、矩形水槽下面に数 mm のゴム板からなる制震装置を設置することで水圧が大きく低減することがわかる。これは、高減衰ゴムの特徴である運動エネルギーを熱エネルギーに変換して発散することにより、水槽の振動が抑えられるためと考えられる。なお、図-1 に示した 4 種の制震装置を使用したがる、長周期化や水圧抑制効果に有意な差異は見られない。

3.2 地震波加振

図-3 に、短周期地震波である東北地方太平洋沖地震 NS 波（変位 20 % 相当）における非制震時および制震時（図-1 の③）での底面から 500 mm の位置での応答水圧のパワースペクトルを示す。非制震時ではバルジング振動数である 4.4 Hz 付近でピークが現れるが、制震装置を設置することにより同振動数付近の水圧は大きく低減する。

図-4 に、長周期地震波である十勝沖地震 NS 波（変位 80 % 相当）における同条件での応答水圧のパワースペクトルを示す。非制震時の 4.4 Hz 付近でのバルジング振動数域の水圧は低減する。一方、本水槽のスロッシング振動数である 0.5 Hz（理論値）付近で水圧のピークが現れるが、制震装置の設置により同振動数での水圧が助長されることはない。

4. 結言

実矩形水槽を用いて振動現象を観察し、提案した制震装置の性能を評価した結果、以下の知見を得た。

- 1) 非制震の場合、バルジング振動数は 4.4 Hz 付近で応答水圧の鋭いピークが現れる。
- 2) 制震装置の設置により、応答水圧の最大値が現れる振動数は 4.1 Hz 付近へ移動し（長周期化）、応答水圧の最大値は非制震時の約半分になる。
- 3) 地震波加振でも、制震装置の設置により本貯水槽のバルジング振動数域での水圧が大きく低減する。

謝辞

本実験では愛知工業大学学生の山内裕生氏と増田友輔氏の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 青木大祐, 鈴木森晶, 黒田亮: 実物大貯水槽における耐震性能向上のためのフィルター設置に関する実験的研究, 土木学会論文集 A2, Vol. 71, No. 2 (応用力学論文集 Vol. 18), pp. I 49-I 58, 2015. 2.
- 2) 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実験, 日本機械学会論文集 (C 編) Vol. 68, No. 668, pp. 1056-1063, 2002. 4.

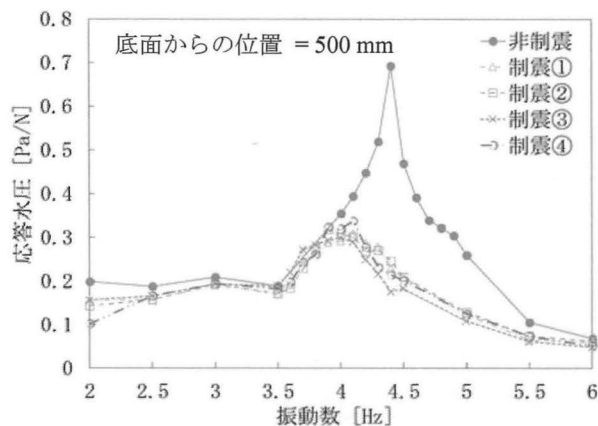


図-2 振動数に対する応答水圧の変化

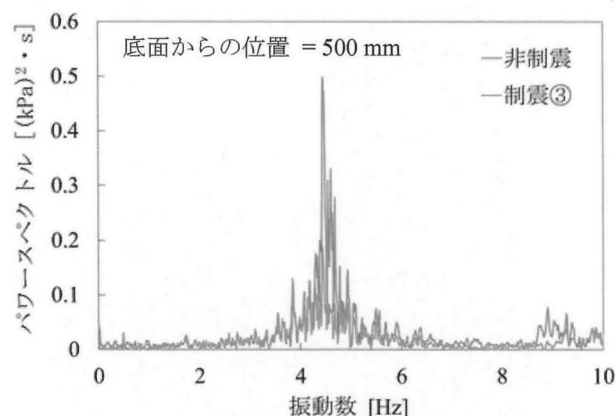


図-3 応答水圧のパワースペクトル
(東北地方太平洋沖地震 NS 波, 変位 20 %)

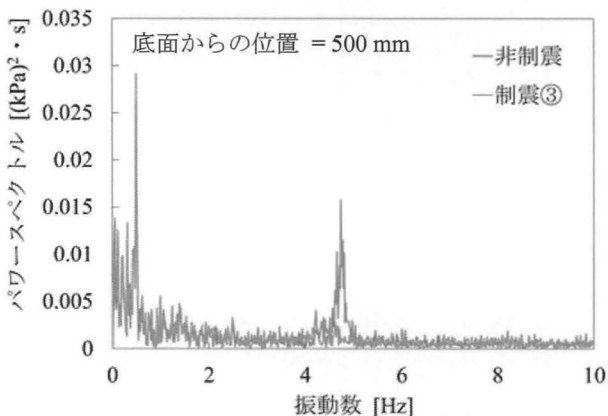


図-4 応答水圧のパワースペクトル
(十勝沖地震 NS 波, 変位 80 %)