短周期振動を受ける矩形大型水槽の水圧低減装置に関する実験的検討

森松工業株式会社　正会員　○青木　大祐，坂東　芳行，行田　聡
愛知工業大学　学生会員　佐久間　真輝
愛知工業大学　正会員　　鈴木　森晶

1. 緒 言

受水槽・配水槽等に用いられているステンレス鋼製矩形水槽が地震動を受けた場合，長周期振動により水槽の水面が揺動するスロッシング現象や，短周期振動により水槽側壁と内容水が連成振動して側壁中央部から下部に大きな水圧が作用するバルジング現象が起こることが知られている．筆者らは，バルジング対策として比較的薄い高減衰ゴムと鋼板からなる制震装置を水槽底面に設置することを考案し，小型のステンレス鋼製矩形水槽（1,000 mm×1,000 mm×1,000 mm）を用いてその水圧低減効果を明らかにした[1)]．

本研究では，小型水槽に用いられた制震装置の大型水槽への適用の検証を目的として短周期振動実験を行い，本制震装置の水圧減少に及ぼす装置特性の効果について検討した．

2. 実験装置および方法

図-1 に，振動台に載せたステンレス鋼製矩形大型水槽を示す．水槽の寸法は 3,000 mm×3,000 mm×3,000 mm で，水深は常用水深である 2,700 mm とした．本水槽の 1 壁面に，1,000 mm×1,000 mm のパネル板が 9 枚溶接されている（壁面の厚さは上段から 1.5, 2.0 および 2.5 mm である）．小型水槽が無補強であった[1)]のに対し，本水槽ではパネル板材のみで水槽の剛性を保つことが困難であるので，その内部にステンレス鋼材からなる補強材が構築されて常時および地震時の水圧に対応する構造となっている．

図-1 振動台に載せた矩形大型水槽

図-2 に，実験装置の概略と計測部位を示す．加振方向に対して垂直な壁面中央部の高さ方向に 6 箇所の圧力センサーを設置した．小型水槽[1)]での実験と同様に，スイープ試験を行って各振動数におけるそれぞれの圧力センサーに生ずる水圧を測定した．加振方向は水平一軸方向，振幅を ±1 mm とし振動数を 2 ～ 6 Hz の間で変化させた．また，短周期の地震波として，2011 東北地方太平洋沖地震 今市 NS 波（20 % 相当）を入力した．この地震波の特徴として 3 ～ 5 Hz 帯に大きなエネルギーを持っており，非制震の状態であれば大型水槽にとって極めて厳しい条件となる．

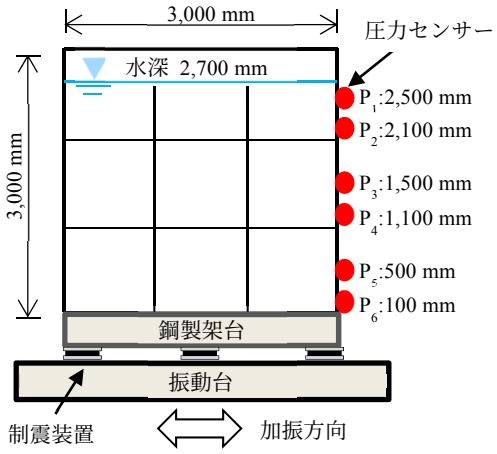

図-2 実験装置の概略と計測部位

制震装置は，正方形のゴム板の上下面にゴム板面積より一回り大きいステンレス鋼板（200 mm×200 mm，厚さ 10 mm）を接着する構造とした．**表-1** に，制震装置の諸条件を示す．制震装置の配置は水槽底面の外周に 8 枚（水槽角部および側壁中間部）とし，制震装置のゴム板の寸法および板厚を種々に組み合わせた．制震装置の上部鋼板と鋼製架台および下部鋼板と振動台をそれぞれボルト固定した．

表-1 制震装置の諸条件

Case	ゴム板寸法 [mm]	ゴム板厚 t_R [mm]	面圧 W [N/mm^2]	許容面圧 W_A [N/mm^2]	面圧比 W/W_A
1	150×150	10	1.43	4.31	0.33
2	120×120	10	2.24	2.81	0.80
3	180×180	10	0.99	6.15	0.16
4	150×150	5	1.43	16.84	0.08
5	150×150	15	1.43	1.99	0.72

3. 実験結果および考察

本測定範囲の振動数では，制震および非制震のいずれの場合でも水圧分布は P_3 ～ P_6 で最大値を示した．

図-3 に，各制震系における振動数に対する応答水圧の変化を示す．水圧には各水圧分布での最大値を選び，この水圧を各振動数における加振力で除した応答水圧を用いた．非制震では，バルジング固有振動数とみられる 4.5 Hz 付近に 0.7 Pa/N の高いピークが現れる．一方，制震装置を設置した場合，バルジング固有振動数はやや低振動数側に移るものの，いずれの制震系でも応答水圧は 0.2～0.3 Pa/N と非制震時よりかなり低く，応答水圧が大きく減少することがわかる．なお，面圧の増加（Cases 1，2，3），ゴム板厚の増加（Cases 1，4，5）とともに，応答水圧は低くなった．

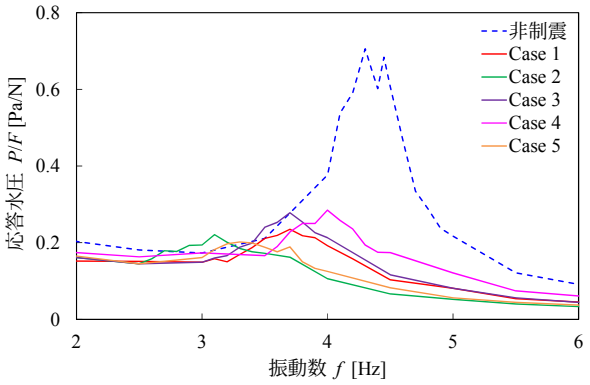

図-3 振動数に対する応答水圧の変化

図-4 に，制震装置の面圧比（ゴム板の許容面圧に対する面圧の比）W/W_A に対する水圧減少率 D_{wp}（＝(1-制震時の最大応答水圧/非制震時の最大応答水圧)×100 [%]）のプロットを示す．なお，小型水槽の結果[1]も併記した．本測定範囲での水圧減少率は60 ～ 70 %である．また，小型水槽の結果と比べると，水圧減少率は面圧比が低いとやや高く，面圧比が高いとやや低くなるように見られるが，水圧減少率は概ね同一線上に乗っている．この結果から，本制震装置の水圧減少率を次式で表した．

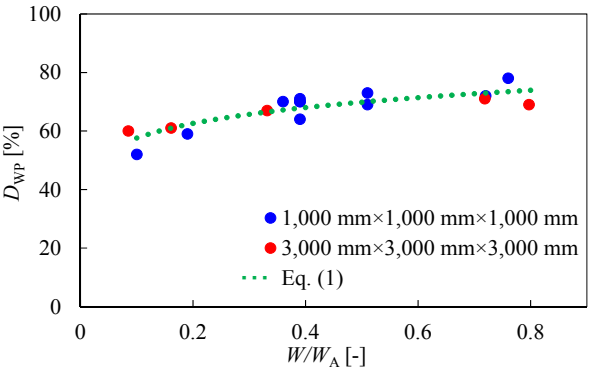

図-4 面圧比に対する水圧減少率のプロット

$$D_{WP} = 76\,(W/W_A)^{0.12} \quad [\%] \quad (0.1 \leqq W/W_A \leqq 0.8) \qquad (1)$$

上式は水圧減少率の実測値を± 10 % 以内の精度で再現しており，上式から所定の水圧減少率に対する本制震装置の面圧比を算出できる．

図-5 に，短周期地震動である 2011 東北地方太平洋沖地震における非制震時および制震時 (Case 1) での P_5 の水圧の時刻歴を示す．本制震装置の設置により，非制震時の最大水圧 14 kPa が 4 kPa 程度まで大きく低減されている．

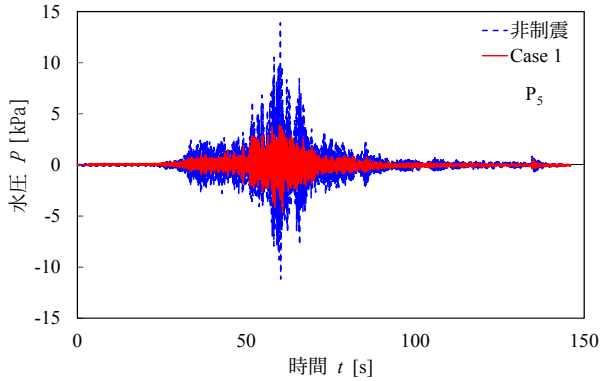

図-5 水圧の時刻歴（東北地方太平洋沖地震）

4. 結 言

制震装置を矩形大型水槽の底面に設置し，短周期地震動における水圧低減に関する実験的検討を行った．制震装置のゴム寸法と板厚を種々に組み合わせてスイープ加振および地震波加振を行い，水槽における水圧減少挙動について検討した結果，以下の結論を得た．

（1）本制震装置の設置により，バルジング固有振動数における応答水圧は 60 ～ 70 % 減少する．

（2）用いた大型水槽は小型水槽に比べると補強構造が大きく異なるが，水圧減少に及ぼす本制震装置の効果はほぼ同様であった．本制震装置の水圧減少率は，面圧比が高いほど大きくなり，(1) 式で精度よく再現される．

（3）本制震装置を設置することで，短周期地震動で生ずるバルジング水圧を大きく低減することができる．

参考文献

1) 行田，青木，坂東，渡邉：短周期振動を受ける矩形水槽に対する制震装置の開発，土木学会中部支部発表会, I-A3, 2018. 3.