

外力の変化によるステンレス鋼製矩形水槽の減衰特性に関する実験的研究

愛知工業大学 学生会員 ○小林 健哉
 愛知工業大学 正会員 鈴木 森晶
 愛知工業大学 正会員 宗本 理

1. はじめに

我が国では、兵庫県南部地震、東北地方太平洋沖地震及び熊本地震などによって水槽が破損し、パネル接合部から水槽内の水が漏水し、避難所等に生活用水が供給できず、避難生活に多大な影響を及ぼしたという報告が多くされている¹⁾。今後南海トラフ巨大地震の発生によって水槽の被害が予想されるため水槽の漏水対策や耐震性能の向上は急務である。

これまで水槽の設計は、主に静的解析が行われてきたが、より正確な振動挙動を再現するために地震応答解析が求められるようになってきた。

現在行われている地震応答解析で使用している減衰定数は $h=0.05$ や吉原ら²⁾の実験で得られた $h=0.00312f$ と仮定している。

$h=0.05$ という値は円筒型水槽での実験結果であり、吉原らの実験で使用した水槽は現在主に使用されている水槽とは材質や構造が大きく異なる。このように水槽の形式や構造が変化すると減衰定数も異なることが予想されている。水槽は弾性問題として取り扱われているため、減衰定数の値が振動挙動に大きな影響を与えるが、矩形水槽の減衰特性に関する研究は行われておらず、減衰定数はまだ明確になっていないのが現状である。また、吉原らの実験ではスロッシング共振点、バルジング共振点付近のデータしかなく共振点以外の水槽の減衰特性も不明なままになっている。

そこで本研究では愛知工業大学所有の屋外振動台を使用し、周波数と振幅を変化させて正弦波加振を行い、水槽の側壁に与える外力を変化させることで各周波数における減衰定数を測定し、ステンレス鋼製矩形水槽の減衰特性を明らかにした。

2. 実験概要

2.1 試験体の概要

写真-1 に本実験に用いた森松工業株式会社製のステンレス鋼製矩形水槽を示す。寸法は縦 3000mm、横 3000mm、高さ 3000mm であり、材質は SUS304 とし、板厚は 1.5~2.5mm である。水槽には常用水深である高さの 90% の 2700mm まで水を入れた。



写真-1 実験に用いたステンレス鋼製矩形水槽

2.2 実験条件

本実験では愛知工業大学所有の屋外振動台を使用し、正弦波加振を行った。加振条件は高さ 1500mm 地点の変位 Q_2 と振動台の変位 Q_4 の応答変位 (Q_2-Q_4) を一定にすることで $F=kx$ より外力一定を再現した。応答変位は振動台の能力を考慮して、応答変位が 0.8mm、1.0mm、3.0mm、6.0mm になるときの周波数及び振幅を加振条件とし、表-1 に示す。なお、振動台の都合上、0.5Hz~3.0Hz の加振では加振停止直前に 1 周期

表-1 加振条件

水深	2700mm
加振方向角	0°
応答変位	0.8mm, 1.0mm, 3.0mm, 6.0mm
入力周波数	0.5Hz~5.0Hz
入力振幅	30mm~0.4mm

分のスローストップをかけて加振を行った。

測定する項目は変位及び水圧とし、計測器の設置個所は図-1 に示す。また減衰定数は加振終了時から5周期分の範囲で以下の式より算出した。

$$A(t) = A_0 \exp(-\omega_0 h t)$$

ここで、 A_0 は加振終了時の水圧または応答変位の値、 $A(t)$ は5周期後の水圧または応答変位の値、 ω_0 は固有角周波数、 h は減衰定数、 t は時間である。加振終了後の自由波形を図-2 に示す。

3. 実験結果

応答変位を変化させた時の応答変位より算出した周波数-減衰定数関係を図-3 に、水圧より算出した周波数-減衰定数関係を図-4 に示す。

図-3 及び 4 より減衰定数はスロッシング共振点の0.5Hz では $h=0.02$ 程度、バルジング共振点の4.5Hz 付近では $h=0.04 \sim 0.05$ 程度であるが、共振点から外れると高い数値を示す傾向があり、吉原の式のような単純な正比例関係ではなかったため、吉原の式を適応してよいとは言い難い結果となった。

また、応答変位が変化したときの減衰定数の値に変化があまり見られなかったことから、本実験で使用した水槽の減衰定数は水槽に与える外力によって変化しないと考えられる。

4. おわりに

本研究では、ステンレス鋼製矩形水槽の加振停止後の自由振動波形に着目し、水槽の側壁に応答変位を与え減衰定数を測定し、以下の結果を得た。

- 1) 本水槽の減衰定数は、スロッシング共振点の0.5Hz では $h=0.02$ 程度、バルジング共振点の4.5Hz 付近では $h=0.04 \sim 0.05$ 程度となった。
- 2) 本実験の範囲では、減衰定数は外力に依存しないと考えられる。
- 3) 吉原の式とは異なる傾向を示したことから従来通り使用可能とは言い難い。

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金(代表:中央大学・平野廣和)を受けて実施した。

参考文献

- 1) 小野泰介, 遠田豊, 竹本純平, 平野廣和:熊本地震におけるステンレスパネルタンクの被害調査とスロッシング発生時の損傷の検証, 構造工学論文集 Vol.66A(2020年3月) pp137_146
- 2) 吉原醇一, 安井謙:水槽の振動特性について-文献調査による実験データの検討-, Vol.24, pp42_46, 1982.

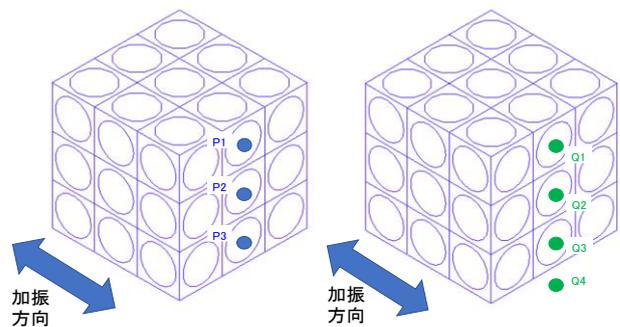


図-1 計測機器設置個所 (左: 変位 右: 水圧)

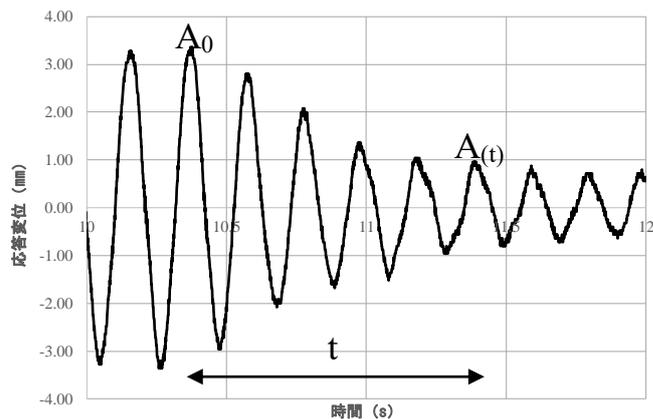


図-2 4.6Hz_0.8mm_20cycle (応答変位 3.0mm)

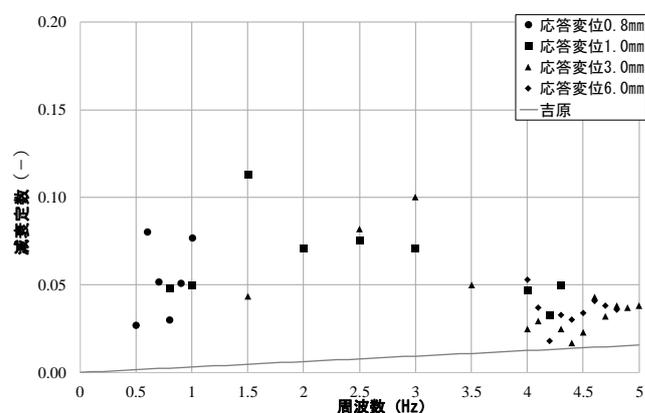


図-3 周波数-減衰定数 (応答変位 Q2-Q4)

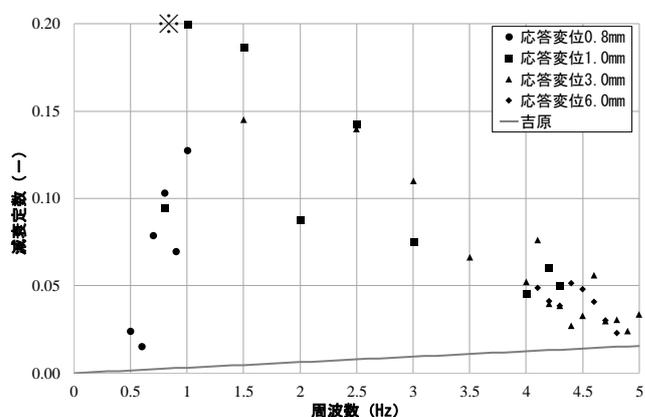


図-4 周波数-減衰定数関係 (水圧 P2) (*: $h=0.20$ 以上)