

傾斜板沈降装置の地震時における揺動特性について

積水アクアシステム 正会員 ○木曾 忠幸
 福井大学 正会員 伊藤 雅基
 福井大学 正会員 渡邊 洋
 福井大学 正会員 小嶋 啓介

1. はじめに

浄水場沈澱池において、水中に懸架された傾斜板沈降装置(以下、傾斜板装置)は複数の傾斜板を階層状に配置し、沈降面積を物理的に増やして、その水処理能力を向上させる。しかしながら、地震動で水面変動が生じた場合、水の流れに任せて揺動した傾斜板装置が沈澱池壁面に衝突し、損壊する被害(図-1 参照、点線丸枠部)の対策が喫緊の課題となっている。本研究では、沈澱池および傾斜板装置の縮小モデルを用いた振動実験を行い、傾斜板装置の振動特性の把握と被害低減対策について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

図-2 に沈澱池を模した矩形水槽と傾斜板モデルから成る実験装置の概要を示す。水槽内寸は加振方向横幅 1.4m×奥行 0.6m×高さ 0.9m であり、水深 0.65m とした上で傾斜板モデルの上端が水面下 50mm となる様に設置した。一方、傾斜板モデル(図-3)は、加振方向の横幅 0.12m×奥行 0.4m×高さ 0.4m であり、吊りボルトで水槽上部の懸架桁から懸架される。なお、矩形水槽に生じる加速度は 3 点の加速度センサーで、傾斜板モデルの挙動はビデオカメラで、それぞれ記録される。また、図-3 に示すように傾斜板モデルにはトラッキング用のマーカーを設置し、記録した動画映像とモーション解析ソフトを用いて、矩形水槽、傾斜板モデルおよび吊りボルトの変位の時刻歴を算出した。

3. 実験結果

矩形水槽の n 次モードの固有振動数 f は、次式で求められる¹⁾。すなわち、

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{(2n-1) \cdot \pi \cdot g}{L} \cdot \tanh\left(\frac{(2n-1) \cdot \pi \cdot H}{L}\right)} \quad (1)$$

ここに、 f : 固有振動数(Hz)、 H : 水深(m)、 L : 加振方向幅(m)、 g : 重力加速度(m/s^2)。なお、当該水槽で水深 0.65m とした 1 次および 2 次の固有振動数は、それぞれ 0.71Hz と 1.29Hz となる。

まず、規定水位まで水を満たした矩形水槽の固有振動数を調べるために、正弦波加振実験(振幅 10Gal)における入力周波数 f_i と最大応答波高 D_w (水位の最大変位量)の関係を図-4 に示す。同図より、加振時の最大応答波高は入力周波数 0.71 で最大となり、先述の矩形水槽の 1 次モードの固有周波数の理論値と実験値は良好に一致し、この周波数域による加振でスロッシングが発生する事を確認した。

次に、傾斜板モデル設置状態での固有振動数を検討する。傾斜板吊りボルトと懸架桁の接合条件は、既存浄水場での懸架状況を考慮し、図-5 に示す 2 種類を設定した。同図左の接合状態は、上部ナットのみで懸架された自由端の状態にあ

キーワード 傾斜板沈降装置、地震、スロッシング、耐震対策

連絡先 531-0076 大阪市北区大淀中 1-1-30(梅田スカイビル タワーウエスト 21F) TEL 06-6440-2512

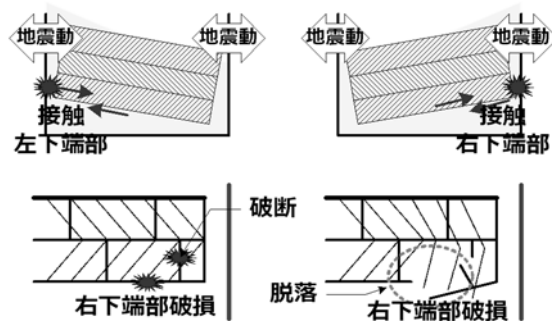


図-1 傾斜板装置の破損(沈澱池壁面の隣接部)

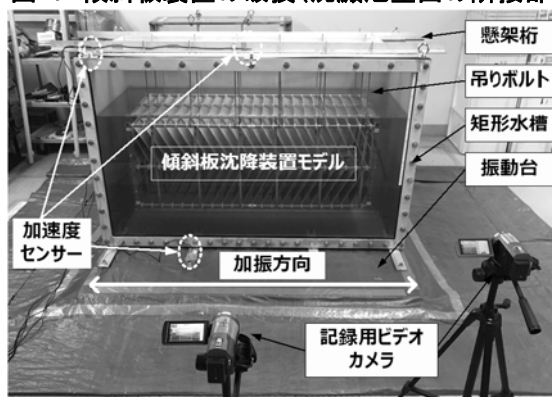


図-2 沈澱池を模した水槽と傾斜板装置の概観



図-3 縮小モデル傾斜板装置の外観

り、加振により回転的な動きを呈する。一方、同図右は吊りボルトを上部和下部からナットで締結した固定端の状態にあり、加振による揺動は吊りボルトの曲げや撓みに強く影響されると考えられる。

図-6 に正弦波加振実験結果(振幅 30Gal)から得た入力周波数 f_i と最大応答波高 D_w (水位の最大変位量)との関係を、自由端および固定端の接合状態について、それぞれ示す。同図より、吊りボルトの上端を自由端にした場合(◇)、最大応答波高を示した固有振動数は小さくなる(0.67Hz)傾向にあり、一方、固定端の場合(△)、最大応答波高は平滑化され、固有振動数が不明瞭となる。なお、傾斜板モデルを水中に懸架することで、 D_w は固定端で 1/4 程度、自由端で 1/2 程度に半減する事から、傾斜板装置の設置は、沈殿池のスロッシングを抑制する効果を発揮することが確認された。しかしながら、傾斜板モデルを水中で拘束(ここでは、固定端による懸架)し、揺動の自由度を下げる事でスロッシング抑制効果が高くなるが、それに応じて、傾斜板そのものや傾斜板装置を構成するフレーム等に動的な水圧が作用する事から、この結果のみで両者を単純に比較評価することは適切ではない。

図-7 に加振周波数 f_i と傾斜板モデルの最大水平変位の関係を示す。同図より、最大水平変位 D_H は自由端で固有周波数 0.67Hz の時に $D_H=65\text{mm}$ を、固定端で固有周波数 0.75Hz の時に $D_H=43\text{mm}$ を記録する。これにより自由端の固有振動数は約 0.67Hz で、固定端のそれは約 0.75Hz である事が推察できる。

図-8 に傾斜板モデルのフレームに設置したトラッキングマーカーより得た加振時の変位軌跡(水平変位 0mm、鉛直変位 0mm が実験開始の基準点とした水中内での移動履歴)を示す。なお、図中には吊りボルトの接合条件が自由端(入力周波数 $f_i=0.67\text{Hz}$)の結果(◇)および固定端(入力周波数 $f_i=0.75\text{Hz}$)の結果(△)を、それぞれ示した。同図より、自由端の吊りボルトで懸架された傾斜板モデルは、基準位置よりも主に左上側のエリアで揺動(水平方向-87~14mm 鉛直方向 0~15mm の範囲)し、固定端では基準位置を中心として概ね左右対称に揺動(水平方向-37~45mm 鉛直方向 0~2.5mm の範囲)している事が分かる。自由端のケースで基準点より左上の領域で揺動する要因は、傾斜板を配置する向きが左右対称ではなく、それに伴って流体が流動(変形)する自由度にも非対称性が生じる事に起因すると推察される。

4. おわりに

地震時における沈殿池内の傾斜板沈降装置の水中内での揺動について、縮小モデルを用いた振動実験から検討を行った。傾斜板装置の揺動を物理的に拘束することで、スロッシングの抑制効果は期待できるが、それに伴って生じる動水圧の増加は傾斜板装置そのものの破損を誘発する恐れがあることから、これらのバランスを図りながら、既存の傾斜板装置を有効活用する工夫が重要な視点となると考えられる。

参考文献: 池田達哉、井田剛史、平野廣和、佐藤尚次: 矩形断面容器におけるスロッシング 1 次・2 次モードの対策案に関する検討、応用力学論文集、vol.13、pp.659-666、2010.8

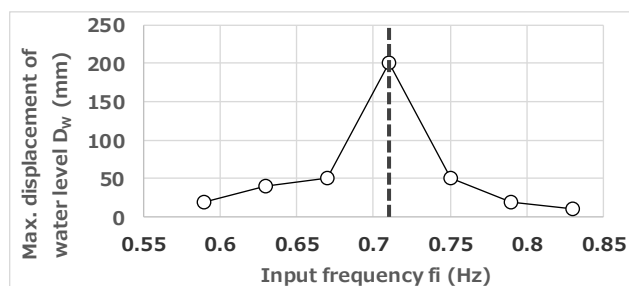


図-4 入力周波数と最大応答波高(水のみ)

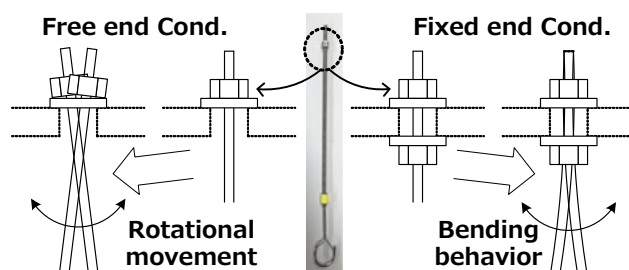


図-5 傾斜板モデルの吊りボルトの結合状態

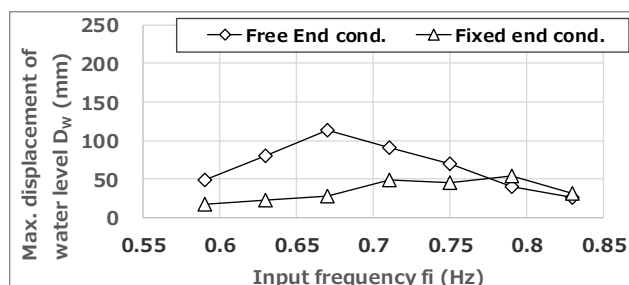


図-6 入力周波数と最大応答波高(水と傾斜板モデル)

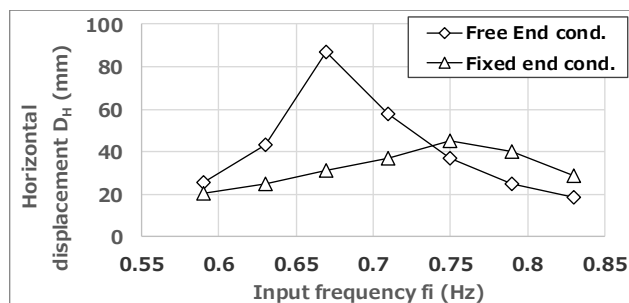


図-7 入力周波数と傾斜板モデルの最大水平変位

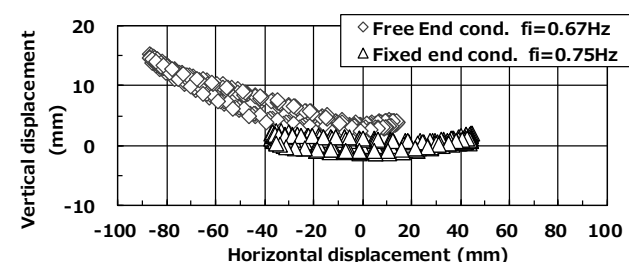


図-8 傾斜板モデルの変位分布