# 底面反力に着目した弾性円筒容器の振動台実験

電力中央研究所 正会員 高畠 大輔 正会員 豊田 幸宏

## 1.はじめに

石油貯蔵タンクの胴部は,半径板厚比が大きく薄肉構 造であるため,胴部の変形と内容水の挙動が相互に影 響する.一方,設計では,内容水の慣性力に基づく動 圧と,側壁の変形に基づく動圧を別々に評価し,SRSS 法により地震荷重が決められており<sup>[1]</sup>,胴部の変形と内 容水の挙動の相互作用は考慮されていない.このため, これらを考慮した場合,より実際的な評価になり,最 近の連成解析技術の発展は,この評価の一助となる. そこで,本報では弾性円筒容器の振動実験を実施し, 相互作用に基づく連成効果を検討するとともに,連成 解析の高度化を念頭に置いた実証用データを取得した.

# 2.振動実験の概要

弾性円筒容器の振動実験を実施した.実験の状況を 図1に示す.実験では,内径600mm,高さ900mm,厚 み1mmのポリエステルフィルム(縦弾性係数:1.673GPa, 密度:1.27g/cm<sup>3</sup>)製の円筒タンクを用いた.円筒上端 部は,真円度を向上させる観点からアルミ製のL型フ ランジを据付け,その上部にアクリル製の蓋を固定し, 円筒下端部はSS400製のフランジー体型底板で固定し た.ただし,空の状態の中段位置において,最大で3mm 程度,真円から乖離する箇所が見られた.L型フランジ や底板を含めた円筒模型の総質量は,235.8kgであった.

実験では,振動台,底板及び蓋の加速度,底面反力, 円筒胴部変位,水位,円筒内面の圧力を計測した.表1

> 表1 計測項目一覧 センサ 項目 位置 半導体型加速度計 蓋 加速度 底板 ひずみ式加速度計 振動台 ひずみ式加速度計 分力計 反力 底板下面 -ザ変位計 変位 円筒胴部 1/-水位 -ザ変位計 水面 圧力 円筒内面 圧力計 売っ 宝齢ケーフ

水位	入力波形	
	スイープ	人工地震波
空容器	35 ~ 45Hz(50gal)	0.5 倍,1.0 倍,1.5 倍
低水位	10~25Hz(50gal)	0.5 倍,0.75 倍,1.0 倍
高水位	10~25Hz(50gal)	0.5 倍,0.75 倍,1.0 倍

に計測項目,図2に計測位置と座標系の定義を示す.

実験ケースを表 2 に示す.内容水が無しの条件(以下,空容器)に加え,水位650mm(以下,低水位),850mm (以下,高水位)の3ケースに対し,スイープ波加振, 人工地震波加振による振動実験を実施した.尚,本実 験ではビーム振動に着目し,スイープ波加振で対象と した振動数は空容器で35~45Hz,低水位及び高水位で





キーワード 弾性円筒容器,有効質量比,振動台実験,スロッシング,オーバル振動 連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646 (一財)電力中央研究所 地球工学研究所 TEL04-7182-1181

10~25Hz とした.さらに,人工地震波には,加速度応 答スペクトルの卓越振動数が,スイープ加振で求めた 低水位のビーム振動の固有振動数と一致する波形を選 定した.図3に人工地震波の時系列波形を示す.尚, 図3を基本波形(最大加速度1000gal 程度)とし,その 0.5,0.75,1.0,1.5倍についての加振を行った.

# 3.実験結果と考察

図4に蓋上部の加速度に基づいた共振曲線を示す本 章では,空容器と低水位の結果について示す.空容器 では39.3Hz 及び40.8Hz に鈍い共振峰が見られるが,モ ード形状を判断できなかった.一方,低水位では20.4Hz, 高水位では14.5Hz で確認される明瞭なピークは,振動 形状よりビーム振動によるものであることが確認され た(図5(a)).一方,低水位では図5(b)に示す様に,ビ ーム振動の約1/2の振動数12Hz で花びら状の振動モー ド(オーバル振動)が確認された.

図6に人工地震波加振における加速度と反力の関係 を示す.ここで,容器を剛体とし,ある割合α(有効質 量比)の内容水が容器と一体となって振動すると考え ると,容器に作用する加速度 *a*[m/s<sup>2</sup>]と容器底面におけ る反力 *F*[kN]の関係は,次式で表せる.

$$F = a(m + \alpha m_w) \tag{1}$$

ここに, *m*[kg]は支持架台を含む容器の質量, *m*<sub>w</sub>[kg] は内容水全質量であり, α m<sub>w</sub>は固定水質量などと呼ば れる.空容器では, αm<sub>w</sub>=0であり,加速度と反力がほ ぼ比例関係にあることから, 容器がほぼ剛体として挙 動したものと考えられる.最小二乗法により1次の回 帰直線を算出すると,相関係数は0.943 でその傾きは 242 となり,支持架台を含む容器の質量 235.8 に比べて 5%程度大きいが概ね等しい.一方,低水位及び高水位 では, それぞれ相関係数が 0.57, 0.47 と小さく, 容器 及び内容水を剛体として評価するのは難しい.図7に 反力の時系列波形を示す.同図には,容器底板加速度 と式(1)に基づいて算出した慣性力も併せて示した表3 に容器を弾性体<sup>[1]</sup>及び剛体<sup>[2]</sup>として算出された有効質 量比αを示し、図7には前者のαを用いた.空容器では, 反力と慣性力は良く一致し,容器がほぼ剛体として挙 動していることが再確認できる.低水位や高水位では, 慣性力に比べて反力が大きくなっている.

# 4.まとめ

弾性円筒容器の振動実験により、容器の変形やそれ



図7 時系列波形の比較

に伴う荷重等のデータを取得した.今後は,これらを 検証用データとし,連成解析の高度化を目指す.

#### 参考文献

- [1] 日本建築学会:容器構造設計指針·同解説,丸善
- [2] Housner,G.W. : Dynamic Pressures on Accelerated Containers,B.S.S.A,Vol.47,pp.15-35,1957