

浮屋根式円筒タンクのスロッシング挙動評価に関わる検討

(財) 電力中央研究所 正会員 ○佐藤 雄亮
(財) 電力中央研究所 正会員 豊田 幸宏

(財) 電力中央研究所 正会員 酒井 理哉
(財) 電力中央研究所 東 貞成

1. はじめに

現在、長周期地震をテーマとした研究が盛んに実施されてきており、浮屋根式タンクのスロッシング問題もその一つとして、多方面で研究が進められている。当所では、浮屋根式タンクのスロッシング挙動に対するポテンシャル理論を用いた解析評価の適用性について検討するため、 $\phi 3000\text{mm}$ の円筒タンク模型を用いた実験を実施し、解析との比較を試みている。今回、その途中経過として、 $\phi 3000\text{mm}$ の円筒タンク模型を用いた浮屋根式タンクのスロッシング実験の結果について報告する。

2. 実験概要

図 1 に実験で用いた円筒タンク模型の外観を示す。タンクは直径 3000mm、高さ 1200mm となっており、材質は SS400 を用いている。

次に、実験で用いた浮屋根模型を図 2 に示す。同図に示したとおり、浮屋根模型は平板の周辺に発砲スチロールを配置させた、シングルデッキ状の構造をしている。図 2 に浮屋根模型の断面図を示す。実験で用いた浮屋根模型は曲げ剛性に関する相似則を考慮し、直径 40m 級の浮屋根式タンクで一般的に用いられていると考えられるシングルデッキ型、およびダブルデッキ型浮屋根の 2 種類を相似則の対象とした。表 1 に実験用いた浮屋根模型の寸法を示す。なお、浮屋根模型の側面はタンクとの摩擦を低減させる為、発砲スチロール表面に摩擦低減加工を施した。

加振は、スイープ加振と自由振動の 2 種類の条件で実施した。自由振動は、スイープ加振で明らかとなった 1 次の固有振動数と一致する振動数を持ち、変位振幅を 3.0mm とした正弦波を 3 波連続で入力した。

タンク内の水深は 700mm の 1 ケースのみを実施した。

計測は、浮屋根模型について、鉛直変位、圧力、ひずみを計測した。計測配置は図 4 に示すとおり、加振方向と加振直交方向に対して、浮屋根中心、浮屋根端部、浮屋根端部と中心点の中間点を計測点とし、計 9 箇所計測を実施した。なお、ひずみは、浮屋根の 2 軸ゲージを用いて浮屋根平板の円周方向ひずみと軸方向ひずみを計測し、また、水面側と気中側の両面で計測を実施した。

3. 結果

実験結果のうち、スイープ加振の結果について図 5 に示す。同図は、入力加速度に対する浮屋根の加振方向端点において発生した変位の応答倍率で示している。円筒タンクのスロッシング固有周期の算出式(1)から、今回の実験条件における 1 次のスロッシング固有周期を求めると、2.17 秒（振動数に換算すると 0.46Hz）となる。スイープ加振結果から 1 次のキーワード 長周期地震動、浮屋根式タンク、スロッシング、振動台実験

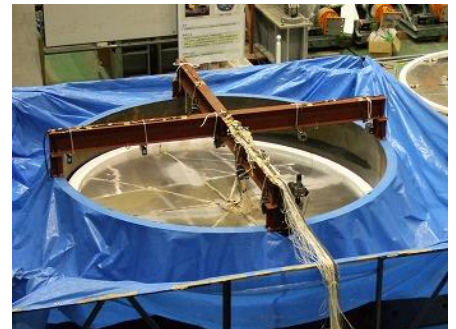


図 1 浮屋根式円筒タンク模型概観



図 2 浮屋根模型概観

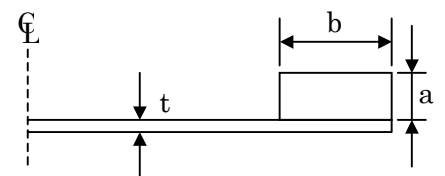


図 3 浮屋根模型パラメータ

	a	b	t
ケースA	34	75	0.2
ケースB	51	112	0.3

※単位：mm

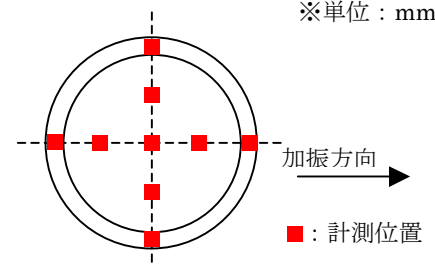


図 4 計測位置

連絡先：〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL:04-7182-1181 FAX:04-7183-2962 E-mail:satoy@criepi.denken.or.jp

固有振動数は、ケース A、ケース B とともに 0.46Hz となっており、算出式から求めた固有振動数をスイープ加振結果と比較すると、実験結果と算出式結果がほぼ一致していることが確認できる。

$$T_s = 2\pi \left(\frac{\pi \cdot g}{L} \tanh \left(\frac{\pi \cdot H}{L} \right) \right)^{-\frac{1}{2}} \dots (1)$$

また、2 次の固有振動数もケース A、ケース B で差がなく、0.9Hz 付近でピークが見られる結果となった。

次に、自由振動で得られた、データのうち、波高と圧力のデータについて、加振方向の浮屋根端部において計測した時刻歴波形を図 6 と図 7 に示す。同図から、最大波高はケース A と B で差はないが、減衰はケース B の方が大きくなっており、浮屋根の剛性が高いほど減衰が大きくなる傾向が得られていることがわかる。同図の曲線から対数減衰率の考え方をを用いて、減衰定数を算出した結果を表 2 に示す。一般的に、浮屋根式タンクの 1 次のスロッシング時に得られる減衰定数は 0.5～1.0% 程度とされているが、本実験で得られた結果はこれよりも小さな値となっている。しかし、別途実施した振幅 1.0mm の正弦波を用いた実験ではケース A で 0.5% 程度の減衰定数の値が得られており、減衰の振幅依存性による影響が出ていることが確認できる。

次に、同時刻の圧力時刻歴をみると、波形がほぼ正弦波の形状となっており、0.02kPa 程度の振幅となっていることが確認できる。なお、圧力の時刻歴で曲線全体がドリフトしている。これは、浮屋根の平板部分がアルミ板を貼り合わせた構造になっており、スロッシング挙動中に反りが生じたことによる影響であると考えられる。

4. まとめと今後の予定

今回、φ 3000 の円筒タンク模型を用いて、浮屋根式円筒タンクのスロッシング特性のうち、減衰や自由振動時に浮屋根下面に発生する圧力特性について把握した。本実験では、地震波を用いた実験も実施しており、今後は、さらに考察を加えるとともに、ポテンシャル理論を用いた有限要素解析によるスロッシング評価に関する検討を加える。

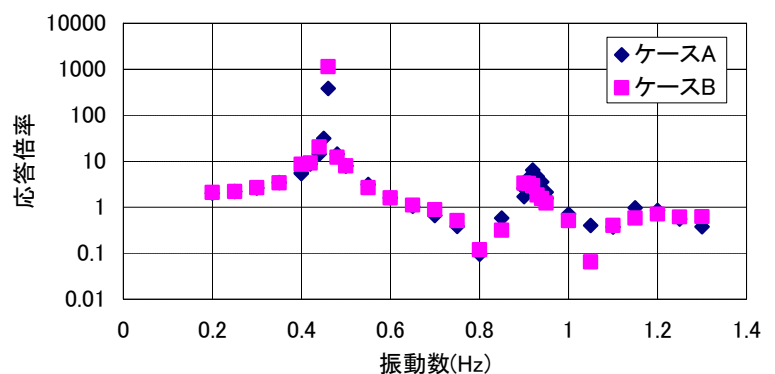


図 5 スイープ加振結果

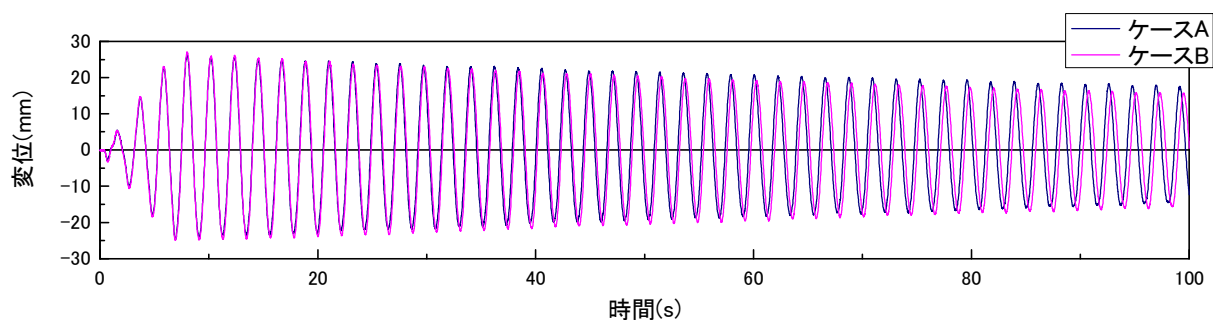


図 6 浮屋根端部の変位時刻歴

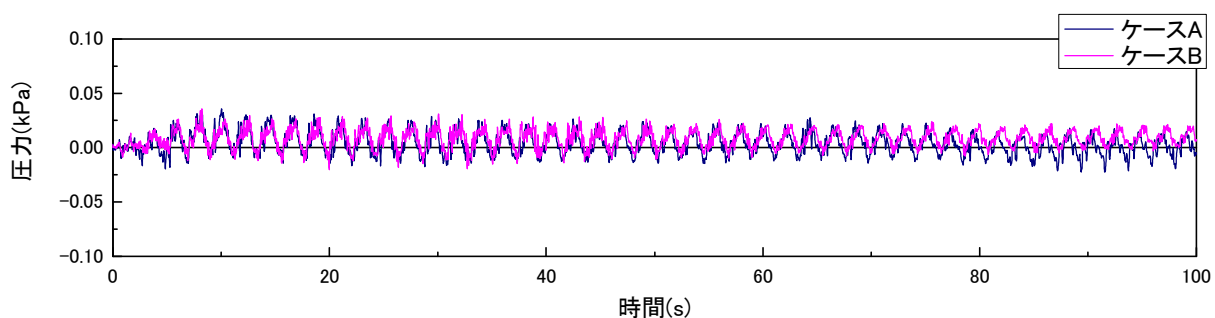


図 7 浮屋根端部の圧力時刻歴