

I-543 底板の浮き上がりを考慮した

円筒タンクの振動実験

東京電機大学 佐々木利視

東京大学名誉教授 奥村敏恵

東京電機大学 井浦雅司

1. はじめに

地上に設置された平底円筒タンクの地震応答挙動に関しては、多くの研究が報告され、その成果は耐震設計基準にも取り入れられている。しかしながら、問題の複雑さのために、未だ解明されていない点も残されており、その一つに、底板の浮き上がり挙動が挙げられる。この現象は実際に観察されており、大事故に到る要因の一つと考えられており、実験的研究ばかりでなく解析的研究も報告されている。¹⁾

実験的研究においては、底板の浮き上がり状況を調べる目的で静的傾斜実験が行われ、解析値との比較もなされ良好な結果が得られている。しかしながら、静的実験においては、他の挙動との連成効果が無視されることから、必ずしも実際の現象を再現し得ない欠点を有している。そこで、動的実験も数多く行われている。California大学では²⁾実地震波を用いて比較的大規模なタンクの振動実験が行われ、埼玉大学でも様々な工夫の下で、スロッシング時におけるタンク底板の浮き上がりについて研究が行なわれている。³⁾しかしながら、実地震波により加振すると、その波特有の影響が出る事が予想され、タンク本体の基本的挙動を知る上では、さらに研究が必要と思われる。

本報告の目的は、地上にアンカーなしで設置された平底円筒タンクの地震時挙動について、特にタンク底板の浮き上がりに伴う動的挙動を中心に、フレキシブル模型タンクを用いて実験的に調べる事である。

2. 実験目的

既往の円筒タンクの研究は短周期応答と長周期応答に大別される。長周期応答においては、スロッシングが発生し、それに伴いタンク底板が浮き上がる事は既に文献(3)で指摘されている。一方、短周期応答においてはバルジングが発生するものの、タンク底板浮き上がりとの連成挙動は、文献(4)において簡単なモデルを用いて数値解析されているものの、本質的な解明はなされていない。そこで本実験では、一次スロッシング発生域を除外した領域において、タンク底板の浮き上がり現象を調べる事とする。用いる模型タンクは実構造物との相似則を満足していないために、必ずしも本実験の現象が実際のタンク構造物にも現れるとは限らないが、今後底板の浮き上がり現象を解明する際の手掛かりが得られるものと期待される。

3. 実験概要および結果

本実験で用いたタンクモデルの寸法を表1に示す。なお t は側板の厚さ、 D は内径、 H は側板の高さ、 d は水深を表しており、上フランジ厚と底板厚は共に125 (μm)である。タンクの材質はポアソン比が0.3、ヤング係数が380 (Kg/mm^2)であり、黄金色透明のフィルムである(宇部興産;商品名:ユービレックスR)。タンクに生じるひずみを測定するために、加振方向の一方にFig.1に示すように、ひずみゲージを貼り付けた。なお A_i はタンク底板より i cm 上方に位置している事を示す。

使用した振動台は、東京電機大学理工学部に設置された大型振動台(明石製作所株式会社;油圧式振動試験装置)を用いた。加振方向は水平一方向である。振動台には固定タンク(タンク底板を振動台に固定したもの)と自由タンク(タンク底板は振動台に固定しないもの)を同時に載せて加振する事とし、視覚的に両者の差異が明確になるようにした。なお、自由タンクにおいては滑動を防ぐために、振動台にサンドペーパーを貼り付け、その上にタンクをのせてある。本模型は薄肉フィルムからできているため、初期不整の影響が心配される。そこで本実験では、それぞれの寸法に対して、同一のタンクモデルを3本作製し、その影響を調べることにした。実験は2 Hz から始め、0.1 Hz 刻みで加速度を一定に保ち加振した。各周波数領域で、タンクの挙動が一定になった状態でひずみを測定した。代表的な周波数応答ひずみ曲線をFig.2,3に示す。なお、歪の値は A_5 における周方向表面歪の値である。

表1 タンクモデルの寸法

t (μm)	D (cm)	H (cm)	d (cm)
100	30	30	25, 20, 15, 10
		40	30, 25, 20, 15
125	30	30	25, 20, 15, 10
		40	30, 25, 20, 15

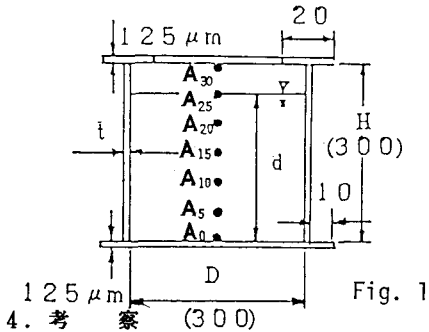


Fig. 1

本実験より得られた結果について考察を行う。

1) 固定タンクについては、バルジング振動の固有周期について、理論値と実験値は良い一致をしており、ひずみゲージを貼り付けたことによる剛性の増加は無視し得ることがわかった。

2) 固定タンクと自由タンクとのバルジング振動の固有振動数を比較すると (Fig.4)、自由タンクにおいては固有振動数が固定タンクに比べ低くなることわかる。このことは文献 (2) の結果と一致しており、底板の浮き上がりに起因するものと考えられる。

3) 自由タンクの周波数応答歪曲線においては (Fig.3)、スロッシングとバルジングとの間に、ひずみのピークが生じている。この時、底板が浮き上がっていることが観察されており、内容液は

自由水に近い状態を示しているものの、円筒シェルも一緒に動揺していることから、底板の浮き上がりが主体となる振動と考えられ、これがロッキング振動と思われる。なお、Fig.3 のB点においては底板の浮き上がりは顕著でなく、内容液も固定水に近い状態であり通常のバルジング振動と考えられる。

5. 終わりに

本実験の結果より、固定タンクについて求めたバルジング振動の固有周期を、自由タンクに適用する場合には修正が必要ながわかった。さらに、底板の浮き上がりが顕著となる周波数領域が存在することが観察された。このことは、本模型が、相似則などの点より、実際のタンクの挙動を再現していないものの、今後さらに究明すべき点と考えられる。なお、本実験を行うに当り、堅田茂昌、好多勝彦、黒沢猛、福沢健司氏の協力を得た。ここに記して感謝する。本研究の一部は、文部省科学研究費の補助を受けた。

(参考文献) (1) 坂井：土木学会論文集、1985,10. (2) Manos & Clough: EERC Rep., No. UCB/EERC-82/07, 1982 (3) 秋山、山口、阿部：構造工学論文集、Vol.32.A, 1986. (4) 坂井、小川：JSSCマトリックスシンポジウム、1982.

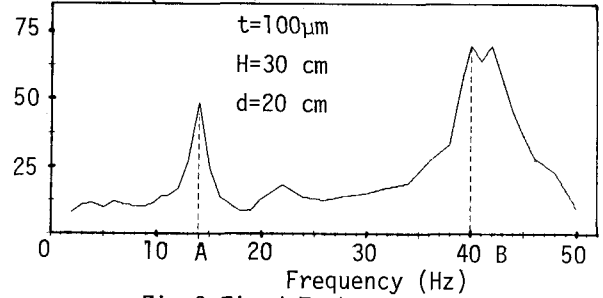
Strain ($\times 10^{-6}$)


Fig.2 Fixed Tank

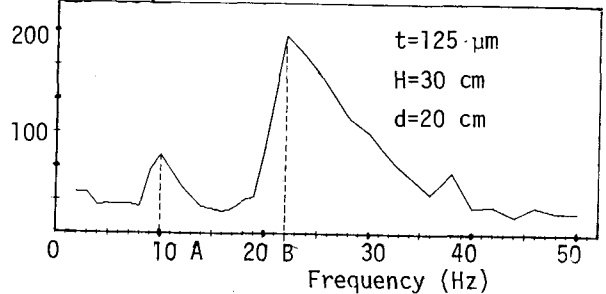
Strain ($\times 10^{-6}$)


Fig.3 Free Tank

Depth of Water (cm)

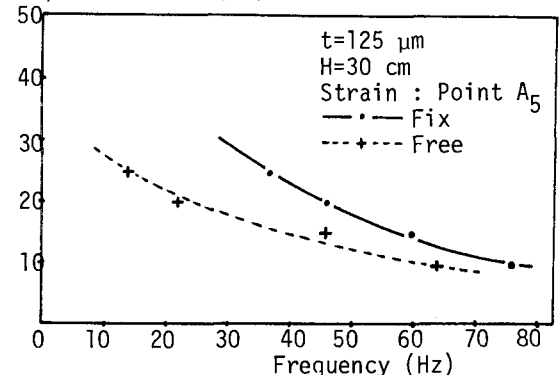


Fig.4 水深とバルジング発生周波数との関係