

II-137 水槽の振動に伴う水面の動揺防止についての基礎的研究 その3

埼玉大学工学部 学生会員 ○白 井 伸 一
 " 正 会 員 秋 山 成 興
 " " 中 村 広 昭

1 ま え が き

今日、多くの大型タンクが建設され、その際に、タンクのフレキシビリティを考慮する必要性が増大している。そこで筆者らは、地震時のタンク内の水面動揺及び内壁に作用する動水圧と、それらへのフレキシビリティの影響について模型実験を行ない以下の様な結果が得られたのでここに報告する。

2 理 論 式

2-1 速度ポテンシャル理論

図1の様な円筒タンク内の非圧縮性完全流体の

速度ポテンシャル ϕ は、

$$\nabla^2 \phi = 0$$

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial r} \right)_{r=a} = A \Omega \cos \Omega t \cdot \cos \theta$$

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)_{z=-H} = 0$$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0$$

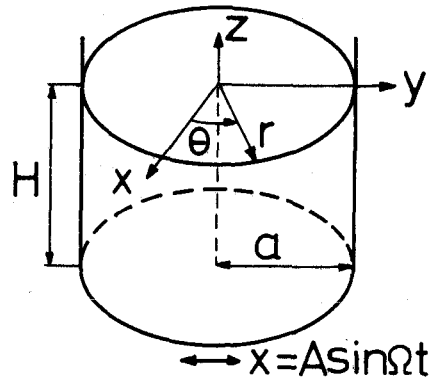


Fig 1

を解いて

$$\phi = \Omega a \cos \theta \left\{ \frac{r}{a} + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \left[\frac{\gamma_m^2}{1 - \gamma_m^2} \right] \left[\frac{J_1 \left(\frac{\epsilon_m}{a} r \right) \cos \left[\frac{\epsilon_m}{a} (Z + H) \right]}{(\epsilon_m^2 - 1) J_1(\epsilon_m) \cos \left(\frac{\epsilon_m}{a} H \right)} \right] \right\} \times A \cos \Omega t$$

ここで

J_1 ; 第1種ベッセル関数

ϵ_m ; $J_1' = 0$ の正根 ($0 < \epsilon_1 < \epsilon_2 < \dots$)

従って、自由表面形状 ζ 、及び静水圧からの変動圧 p は、それぞれ次の様になる。

$$\zeta = \frac{1}{g} \Omega^2 a \cos \theta \left\{ \frac{r}{a} + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \left[\frac{\gamma_m^2}{1 - \gamma_m^2} \right] \left[\frac{J_1 \left(\frac{\epsilon_m}{a} r \right)}{(\epsilon_m^2 - 1) J_1(\epsilon_m)} \right] \right\} \times A \sin \Omega t$$

$$p = \rho \Omega^2 a \cos \theta \left\{ \frac{r}{a} + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \left[\frac{\gamma_m^2}{1 - \gamma_m^2} \right] \left[\frac{J_1 \left(\frac{\epsilon_m}{a} r \right) \cos \left[\frac{\epsilon_m}{a} (Z + H) \right]}{(\epsilon_m^2 - 1) J_1(\epsilon_m) \cos \left(\frac{\epsilon_m}{a} H \right)} \right] \right\} \times A \sin \Omega t$$

2-2 Housner の理論

$$\text{衝撃圧 } P_1 = -\rho \dot{u}_b h \left\{ \frac{y}{h} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right\} \sqrt{3} \tanh \left(\sqrt{3} \frac{R}{h} \cos \phi \right)$$

$$\text{振動圧 } P_c = -\frac{R^3}{3} \frac{\partial \ddot{\theta}}{\partial y} \left(1 - \frac{\cos^2 \theta}{3} - \frac{\sin^2 \theta}{2} \right) \cos \phi$$

ただし

$$\theta = \theta_h \frac{\sinh \left(\sqrt{\frac{27}{8}} \frac{y}{R} \right)}{\sinh \left(\sqrt{\frac{27}{8}} \frac{h}{R} \right)} \sin \omega t$$

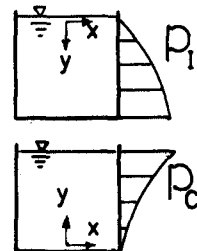


Fig 2

3 実験概要

実験に用いたタンクは表1の様な3種で、概要は図3に示してある。測定振動数の範囲は、タンクAについて0.7Hz～5.0Hz、タンクB、Cについては0.5Hz～20.0Hzであり、各共振点付近は細かく測定した。タンクAでは浮屋根を浮かせた実験も行なった。浮屋根は3種で、これをⅠ、Ⅱ、Ⅲとすると、材質はⅠ、Ⅱが塩化ビニール、Ⅲがベニヤで、重量はそれぞれ、399g、678g、2290gであった。この様な装置により、液面動揺の周波数特性、浮屋根による液面動揺防止効果、側壁に働く動水圧の大きさ及び分布とこれらへの側壁のフレキシビリティの影響を調べた。

	TANK A	TANK B	TANK C
直径 D cm	72	100	100
高さ H cm	72	100	100
壁厚 t mm	15	15	1.0
t / D	0.021	0.0015	0.001
測定水深 cm	45	30.5	30.5

Table 1

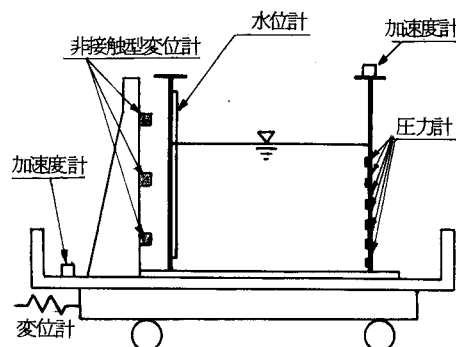


Fig 3 実験概要

4 結果・考察

(液面動揺周波数特性)

1. 低周波数、特に第1次共振点付近では、第1次スロッシングモードで液面が振動し、高周波数になると動揺は複雑である。

(浮屋根による液面動揺抑制効果)

1. 低周波数では、液面と共に浮屋根が揺れてしまうのであまり抑制効果はないが、高周波数になると動揺を抑制するかなりの効果がある。

(動水圧)

1. タンクAについては、2つの理論にかなり良く合う。すなわち、低周波数では液面の振動による圧力が主で、高周波数になると慣性力による圧力が主となる。
2. タンクB、Cについては、低周波数では剛体タンクの理論より求めた圧力とそれ程変わらないが、高周波数になると、剛体タンクに働く圧力の2～3倍大きくなり分布も、中ぶくれやギザギザした形に変わる。これが側壁のフレキシビリティの影響と考えられる。
3. 浮屋根による動水圧への影響は、低周波数において、重いベニヤ製の浮屋根の場合に幾分圧力が小さくなるが、高周波数では、いずれの浮屋根においても、その効果はあまり認められなかった。

(現象に関して)

1. 液面の第1次共振点付近で、内部液体が回転を起こすのが観察された。
2. タンクB、Cでは、高周波数で、内部液体と側壁とのcoupling現象が観察された。

5 あとがき

今回は、周波数の範囲を広くとり、動水圧の大きさ及び分布を調べた。今後は、より詳しい研究を行なってゆきたい。更に鉛直振動についても調べてみたい。又、フレキシブルタンクにおいては、側壁の変位や歪についても詳しく調べてみたい。最後に、本研究は文部省科学研究費補助金(自然災害 代表 本間仁教授)の補助を受けて行なったものである。ここに記して謝意を表す。