

鉛直加振時の円筒形液体貯蔵用タンク底板の動的挙動について

大阪府立高専 正員 宮脇幸治郎

1. はしがき 地震が直下型のような場合、鉛直成分も相当大きな値となりうる。いま液体を貯蔵しているタンク構造物にこのような鉛直加振が作用すれば、タンク中に発生する動流体圧、側板および底板に生じる変形量・断面力などおどのような挙動を呈するかの検討することは、工学上意味があると思われる。

このようなタンク構造物に対する検討方法には種々考えられるが、ここでは定常的な鉛直加振時に対して1次近似で解析的に取扱った。流体に関する解析手法で、流体はEulerの運動方程式と連続方程式とを用いて所定の境界条件に合うように解析した。つぎに、底板は弾性地盤上にあり、上方から流体圧が作用し、縁端部を単純支持または固定支持されているとして、板理論を用いて解析を行った。

数値計算による検討は、加振入力、底板の剛性および基礎地盤の剛性などについて行い、若干の結果を得た。

2. 解析手法 対象としたタンク底板および座標軸は、Fig.1に示すとおりである。流体に対する連続方程式および運動方程式を厳密に解くことは困難であるので、近似・仮定を行った。1) 方向の流体速度はz方向に一様であり、微小であるとし、また運動はz軸に対称であるとした。さらに液体高およびr方向の流速の1次微係数の2乗項を2次微係数項に比べて無視し、基盤速度と液面高の1次微係数も無視した。また境界条件として、1) $t=0$ で動流体圧が有意であり、2) $t=R_0$ でr方向の圧力勾配がなく、3) $z=H_0$ で動流体圧が液面高に等しいということを用いた。その結果、動流体圧は次式のようになる。

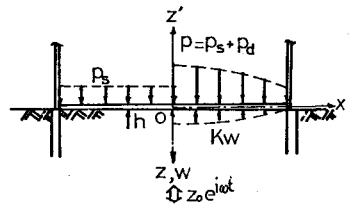
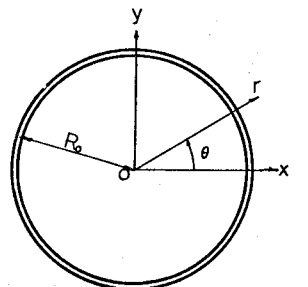


Fig.1 Illustration

$$\frac{p(r, z; t)}{\rho g H_0} = \left(1 - \frac{z'}{H_0}\right) + \frac{\omega^2 z_0}{2g} \left[1 - \left(\frac{z'}{H_0}\right)^2\right] e^{i\omega t} + \frac{z_0}{H_0} \left[1 - \frac{\lambda^2 R_0^2 - m_j^2}{\lambda^2 + m_j^2} \frac{J_1(m_j r/R_0)}{J_0(m_j)} \exp\left[\frac{m_j^2}{\lambda^2} \left(\frac{H_0}{R_0}\right)^2 \left(\frac{z'}{H_0}\right)^2 - 1\right]\right] e^{i\omega t} \quad (1)$$

ここに、 $\lambda = R_0 \sqrt{\omega^2 / D^*}$, m_j ; $J_1(m_j) = 0$ なる零点 ($j=1, 2, \dots$), z_0 : 加振振幅である。式(1)は、右辺の第1項が静的流体圧効果であり、第2項が流体内部に生じる動的内部流体圧効果であり、第3項が自由表面の液動によって生じる動的表面液流体圧効果であると解釈できる。

つぎに、円形底板の変形量に関する基礎式²⁾において、外力項は静的流体圧、地盤反力、動的流体圧および底板の慣性力などを考え、解法は静的なものと同動的なものに分けて取扱った。また底板に関する境界条件は、縁端部の支持条件によって異なる。両支持条件として $t=0$ において変形量の有意性であるという条件に、単純支持の場合には、 $t=R_0$ で変形量 w および曲げモーメント M_r がゼロであるとし、固定支持の場合は、 $r=R_0$ で変形量 w およびたわみ角 $\partial w / \partial r = 0$ がゼロであるという条件を用いた。その結果、底板の変形量 w および

曲げモーメント M_r は次式のようになる。

$$\omega = E_1 J_0(\tilde{\mu}_0 r/R_0) + E_2 I_0(\tilde{\mu}_0 r/R_0) + W_{z0} + \{F_1 J_0(\mu r/R_0) + F_2 I_0(\mu r/R_0) + W_{z0}\} e^{i\omega t} \quad (2)$$

$$M_r = -D \{d^2/dt^2 + (\omega/r)d/dt\} \omega \quad (3)$$

ここに、 $D = E h^3 / 12(1-\nu^2)$, $\mu_0^2 = K R_0^2 / D$, $\mu^2 = (K + \rho_0 \omega^2) R_0^2 / D$, $\tilde{\mu}_0 = e^{\beta i} \mu_0$, $\tilde{\mu} = e^{\beta i} \mu$, E_1, E_2, F_1, F_2 は境界条件によって定められる定数、 K は地盤反力係数、 W_{z0}, W_{z0} はそれぞれ静的・動的・特解 $J_0(8)$, $I_0(8)$ は 0 次の第 1 種、第 2 種のベッセル関数である。

3. 数値計算 Table 1 は数値計算に用いた諸量である。Fig. 2 は、震度を固定して加振振動数をパラメータとした場合と、加振振幅を固定して震度をパラメータとした場合との動的液体圧分布を図示したものである。この図から、動液体圧の発生は、震度が大きく影響していることを示す。Fig. 3 で、(a) は鋼製底板に対して、(b) ~ (d) は PC 製底板に対して変形量および曲げモーメントについて図示したものである。図から加振振動数・縁端部支持条件・基礎地盤の剛性・底板の剛性により底板諸量に大きく異なる。

4. あとがき 貯蔵液体タンクに鉛直加振が

Table 1 Dimensions of Liquid and Plate

Liquid	Kinematic Viscosity ν^*	m ² /s	1.5×10^{-3}
	Height H.	m	20
	Radius of Cylinder R/H		0.5, 2/3, 1, 2
Plate	Modulus of Elasticity	Steel	Kg/m ² 2.1×10^9
		PC	Kg/m ² 3.5×10^8
	Unit Weight γ	Steel	Kg/m ³ 7900
		PC	Kg/m ³ 2400
	Thickness h/H	Steel	0.0025
	PC	0.05	
	Poisson Ratio ν		0.3
	Modulus of the Foundation K	Kg/m ²	$2, 5, 10, 20 (x 10^4)$

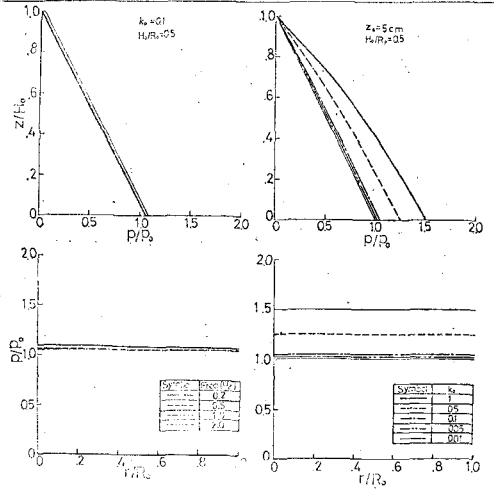


Fig. 2 Dynamic Liquid Pressure

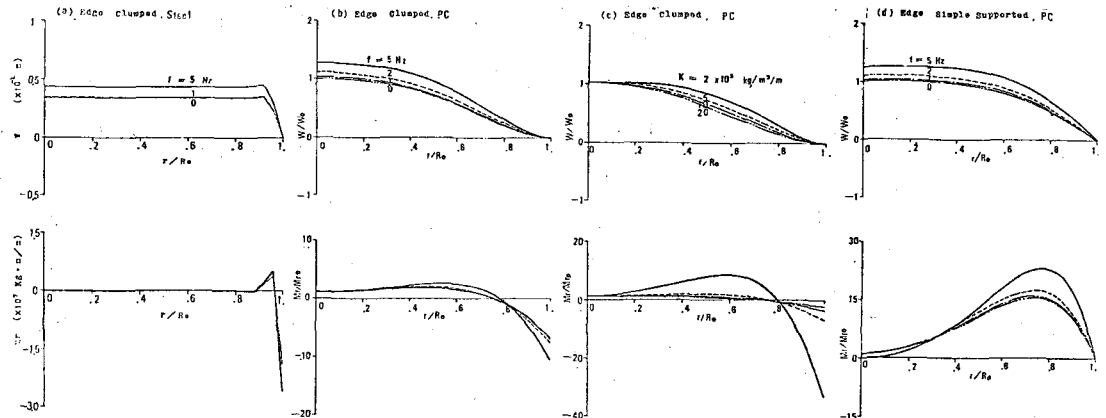


Fig. 3 Deflections and Bending Moments at $z/H_0 = 0.001$

加わったとき発生する動液体圧・底板の諸量について解析した。結果を要約すると、動液体圧は震度に影響し、底板には等分布圧力で、側板には液面高を通る 2 次曲線分布で作用し、底板は動液体圧など動的作用により、最も大きく変動し、とくに端部付近での変動が大きい結果を得た。

1) 石原・木間編：“応用水理学(上)”，丸善。

2) S.P. Timoshenko et al. "Theory of Plates and Shells", McGraw-Hill.