

埼玉大学 学生員 山本吉道
埼玉大学 正員 池田駿介
埼玉大学 正員 中村広昭

1. 始めに

土木構造物の耐震性に対する基礎地盤の影響は無視出来ないと言われている。そこで弾性層上の貯液タンクが水平振動を受けた時、内部液体の挙動へ弾性層がどのように影響するか研究することにした。

2. 理論解析の概要

○表面波について：ラプラスの方程式を、弾性層を無視して、

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{z=-h} &= 0, \quad \frac{\partial \phi}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = A\omega \cos \omega t \cdot \cos \theta \\ \frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{z=0} + \frac{1}{g} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \Big|_{z=0} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

なる境界条件のもとで解き、次の水面変位(S)と動水圧(P)を得る。

$$S = \frac{\omega^2}{g} \cos \theta \left[r + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2r_0 \omega^2 J_1(\lambda_n r / r_0)}{J_1(\lambda_n)(\lambda_n^2 - 1)(\omega_n^2 - \omega^2)} \right] \cdot A \sin \omega t$$

$$P = \rho \omega^2 \cos \theta \left[r + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2r_0 \omega^2 J_1(\lambda_n r / r_0) \cos \theta (\lambda_n (z+h) / r_0)}{J_1(\lambda_n)(\lambda_n^2 - 1)(\omega_n^2 - \omega^2) \cos \theta (\lambda_n h / r_0)} \right] \cdot A \sin \omega t$$

φ: 速度ポテンシャル
A sin ωt: 入力変位
J₁(λ_n): 第1種ベッセル関数
λ_n: J₁(λ_n) = 0 の根
ω_n: g $\frac{\lambda_n^2}{2} \tanh(\frac{\lambda_n h}{r_0})$

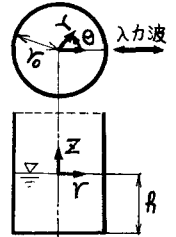


図-1 タンク概要図

○「スキミング」を伴う水平振動について：重心(G)の水平変位(X)と重心周りの回転変位(φ)を持つ2自由度系として求めた運動方程式

$$\left. \begin{aligned} M \ddot{X} + M \omega_0^2 (X - l \cdot \varphi) &= 0 \\ J \ddot{\varphi} + K \cdot \varphi - M \omega_0^2 (X - l \cdot \varphi) \cdot l &= 0 \end{aligned} \right\}$$

と解き、次の式を得る。

$$X = \frac{2}{5} \sqrt{\frac{M \omega^2 S}{(\eta_s^2 - \omega^2)^2 + 4 d_s^2 \eta_s^2 \omega^2}} \cdot \frac{Z_s^2}{M Z_s^2 + J}$$

$$\varphi = \frac{2}{5} \sqrt{\frac{M \omega^2 S}{(\eta_s^2 - \omega^2)^2 + 4 d_s^2 \eta_s^2 \omega^2}} \cdot \frac{Z_s^2}{M Z_s^2 + J}$$

$$\eta_s = \frac{K + M \omega_0^2 l^2 + J \omega_0^2}{2J} \pm \sqrt{\left(\frac{K + M \omega_0^2 l^2 + J \omega_0^2}{2J} \right)^2 - \frac{K \omega_0^2}{J}}$$

M: タンク重量
J: 慣性モーメント
K: 地盤反力係数
ω₀: $\frac{E \cdot A_r}{3MH}$
E: 地盤弾性係数
A_r: タンク底面積
S: 弾性層上水平変位
Z_s: $\frac{l \omega^2}{\omega_0^2 - \eta_s^2}$

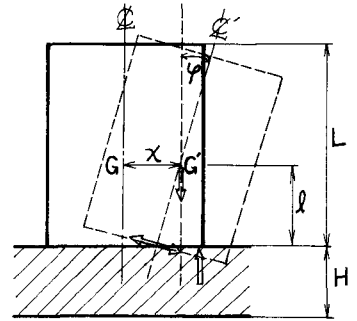


図-2 タンクの運動図

3. 実験の概要

○模型について：模型タンクは直径40cm、壁厚0.5cmの剛体と考えられる透明なアクリル樹脂性のものを使用し、内部液体には水道水を利用した。

弾性層はホモゲル(アクリルアミド系薬剤)及びプラスチケルを使用し、広さを200cm×200cmとした。弾性係数、層厚は相似則を考慮し、層と内部液体の固有振動数を近づける様に、表-1のように決定した。

○実験方法について：図-3のようにタンクを載せ、変位制御で正弦波を入力して、タンクの応答変位、水面変位、動水圧を表-1の様に測定した。

①, ②, ③ 加速度(チェック用)

表-1 実験条件

弾性層の弾性係数(E)及び寸法	水深(A)	測定振動数(F)
①: 弾性層なしの場合	20cm	1 ~ 9 Hz
②: E = 42 g/cm ² (200×200×10cm)	20及び30cm	"
③: E = 469 g/cm ² (200×200×7cm)	"	"
④: E = 763 g/cm ² (200×200×10cm)	"	"
⑤: 上層を③, 下層を④とした2層の場合	"	"

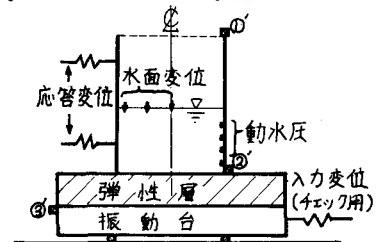


図-3 実験概要図

4. 実験の結果

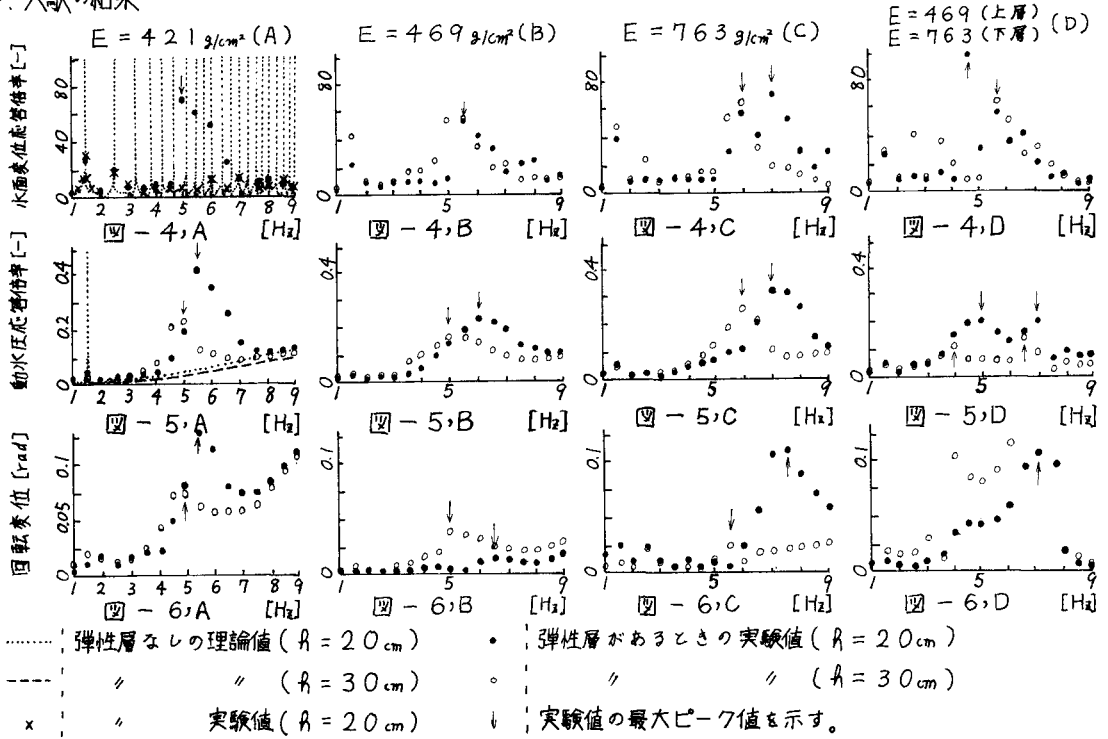


図-4は入力波両振幅に対する水面変位 ($r = 18 \text{ cm}$, $\theta = 0$) の応答倍率のグラフ。

図-5は静水圧に対する動水圧 (側壁, $\theta = 0$, タンク高さ 5 cm) の応答倍率のグラフ。

図-6は回転変位 (タンク上部と下部の水平応答変位から計算をして求めた。) のグラフ。

そして、A, B, C, D は表-1 の②, ③, ④, ⑤ の場合のグラフであることを意味している。(ただし、理論値等のグラフが載せてある図もある。)

これらのデータから判ること下記に示す。

- (1) 図-4, 5 から、入力波の振動数が低い間は、弾性層なしの理論値と実験値が比較的良好に一致しているが、振動数が高くなってくると、弾性層なしの場合には見られない激しい運動が弾性層のある場合に生じてくる。
- (2) 全般的に、回転変位と水面変位、動水圧のピーク時の共振振動数が良く一致している。ただし、これらの図の水面変位、動水圧の第1次共振振動数 1.5 Hz は、内部液体の1次共振点である。
- (3) 全般的に、弾性係数が大きくなるにつれて、ピーク時の共振振動数が高い方へ移る傾向がある。
- (4) 図-4, 5, 6 のDから、2層の場合は、大きなピークが2つ存在する傾向がありそうである。
- (5) 全般的に、水深が大きくなると、質量が増加するため、ピーク時の共振振動数が低い方へ移る傾向がある。
- (6) 図-5から、動水圧は水深が大きくなると、いくらか小さくなる傾向がある。

5. 結論

弾性層がある場合、入力波との共振以外に、内部液体と弾性層の運動が互いに連成して、弾性層なしの場合には見られなかった激しい運動を生じ、大きなピーク量を示すようになる。すなわち、実際の耐震設計において、地盤の影響を無視出来ない。

本研究は文部省53年度科学研究費一般研究費 (代表者 奥村敏恵教授) の補助を受けたものである。なお、実験に際しては中島広人、浅野俊和の援助を受け、又、秋山成興教授には有益な助言をいただいた。記して謝意を表します。