

千代田化工建設(株)

正会員

梅 林 澄 夫

正会員

山 本 鎮 男

河 野 和 間

1. はじめに

円筒貯槽の耐震設計を行なう際、その減衰定数の設定が設計上重要な要素となる。平底円筒貯槽の減衰機構は、履歴減衰、構造減衰、地下伝散減衰等から構成されると考えられるが、平底貯槽のように接地面積が大きな構造物では、地下伝散による減衰が支配的であると考えられ、その量もかなり大きいと予想される。そこで、筆者らは、この地下伝散減衰に着目し、図-1のような平底円筒貯槽に対して、既往の振動理論による方法^{1),2)}、近耳、ATC-3より提案された方法⁴⁾、および、波動伝散を加味した有限要素法による貯槽-内容液-地盤の連成系に対する数値解析による方法⁵⁾等より、検討を行なった。

2. 平底円筒貯槽の地下伝散減衰

(1) 半無限弾性体上の円形剛体基礎

いま、図-1の平底円筒貯槽を、半無限弾性体上の円形剛体基礎として考える。この剛体基礎の水平振動、鉛直振動、ロッキング振動およびねじり振動に対する地下伝散減衰に等価な減衰定数の解は、修正質量比をパラメータとして、図-2のように与えられる¹⁾。水平およびロッキングに対する修正質量比、 B_x 、 B_θ は、それぞれ以下になる。

$$B_x = \frac{7 - 8\nu_s}{32(1 - \nu_s)} \cdot \frac{m}{\rho_s R^3} \quad \text{----- (1)}$$

$$B_\theta = \frac{3(1 - \nu_s)}{8} \cdot \frac{I_\theta}{\rho_s R^5} \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 m ：円形剛体基礎の質量($=\rho_l \cdot \pi R^2 H$)

I_θ ：基礎底面の水平軸まわりの質量慣性モーメント

図-1の諸値から、修正質量比 B_x 、 B_θ を計算すると、

$B_x = 0.173$ 、 $B_\theta = 0.0945$ を得る。これらの値を、図-2に照らすと、等価な粘性減衰として、水平動に対して、 $h_x = 69\%$ 、ロッキング動に対して、 $h_\theta = 45\%$ という値を得る。

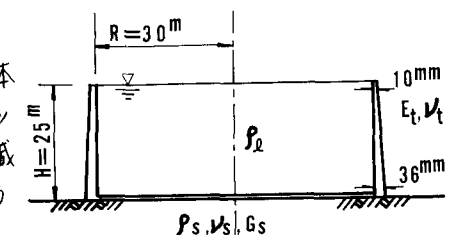
(2) 半無限弾性体上の均一せん断棒

つぎに、図-1の貯槽-内容液をまず、その連成を考慮した等価なバネマス系に置換し、さらに、その等価系の基礎固定の場合の固有周期(T_e)に一致し、かつ等価質量(m_e)に等しい、図-3のような均一せん断棒(質量 ρ_l 、せん断波速度 V)に置換することを考えた。せん断棒の高さ H_0 、貯槽の底面積を A_0 とすれば、

$$T_e = 4H_0/V \quad \text{----- (3)}$$

$$m_e = \rho_l A_0 H_0 \quad \text{----- (4)}$$

$$\therefore \rho_l V = 4m_e/A_0 T_e \quad \text{----- (5)}$$



平底貯槽	内容液密度	$\rho_l = 600 \text{ kg/m}^3$
	ヤング率	$E_t = 2.06 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
	ポアソン比	$\nu_t = 0.3$
地盤	密度	$\rho_s = 1800 \text{ kg/m}^3$
	ポアソン比	$\nu_s = 0.4$
	せん断弾性係数	$G_s = 1.8 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
	せん断波速度	$V_s = 100 \text{ m/s}$

図-1. 解析対象とした貯槽の概要

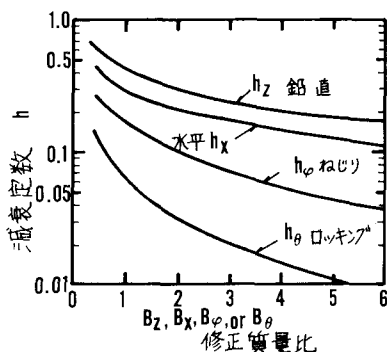


図-2. 半無限弾性体上の円形剛体基礎の等価粘性減衰定数

図-3の均一せん断棒の1次の等価粘性減衰は、次式で与えられる。²⁾

$$h_1 = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\rho_e V}{\rho_s V_s} \quad \text{----- (6)}$$

いま、式(5)に、 $m_e = 0.47 m_L$ ³⁾ (m_L : 内容液の全質量)、 $T_e = 0.317$ ³⁾ を代入し、 $\rho_e V \div 88960 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ を得る。 $\rho_s V_s = 1.8 \times 10^5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ であるから、これを式(6)に代入すれば、図-3の均一せん断棒の地下遷散減衰に等価な1次の粘性減衰(h_1)として、 $h_1 \div 31\%$ を得る。

(3) ATC-3に提案された方法による貯槽の減衰定数

ATC-3⁴⁾ には、構造物をバネ-マス系でモデル化し、構造物と地盤との連成を考慮した場合の減衰定数の算定法が示されている。この考え方を平底貯槽に拡張、適用した場合の検討結果を示す。文献(4)によれば、地盤への遷散減衰による減衰定数 β_0 は、図-4のように与えられる。図-4で、 T は基礎固定とした場合の固有周期で、この場合、(2)の T_e に相当し、 $T = T_e = 0.317 \text{ sec}$ である。また、図中の $\bar{h}/r$ ($\bar{h}$: 等価高さ、 r : 構造物の半径) の値は、 $\bar{h} = 0.4H = 10 \text{ m}$ (基礎固定として求めた) であるから、 $\bar{h}/r = 0.33 \leq 1$ となる。したがって、 $\bar{T}/T = 1.75$ ($\bar{T}$ は、地盤-構造物連成系の固有周期で、(4)で述べように、この場合、 $\bar{T} = 0.56 \text{ sec}$) となり、この値を図-4の $\bar{T}/T \leq 1$ の曲線に照すと、 β_0 として、 $\beta_0 = 22 \sim 26\%$ を得る。

(4) 3次元薄層要素法⁵⁾ に基づく、内容液-貯槽-地盤の連成系による平底貯槽の減衰定数

図-5のような、内容液-貯槽-地盤の連成系を考えた。このモデルには、5種類の要素が用いられている。①および②は、内容液および地盤をモデル化するための軸対称ソリッド要素、③は、平底貯槽をモデル化するための軸対称シェル要素、④および⑤は、半無限地盤をモデル化するエネルギー伝達境界要素である。図-6に、平底貯槽の側板基部と頂部における水平変位応答曲線を示す。この図から、連成系の固有周期は、 $\bar{T} = 0.56 \text{ sec}$ (1.8 Hz) であり、基礎固定の固有周期 $T_e = 0.317 \text{ sec}$ より大きくなっている。また、このときの減衰定数 h は、 $1/\sqrt{2}$ 法で求めると、 $h = 9\%$ となる。

3. おわりに

本検討によれば、平底貯槽の減衰定数として10%以上が期待できるが、なお、地盤の成層条件、地盤の減衰特性等の検討ならびに、それらの実験・実測といった実証アプローチが必要である。

参考文献 1) F.E. Richart 他 (岩崎、嶋津英訳) 土と基礎の振動 鹿島出版会

2) 山本 "産業施設の耐震設計" 日本機械学会誌, Vol.79, No.689, 1976

3) 清水 他 "円筒タンクの耐震設計法に関する研究" 機械学会関西支部大会, 1981.3

4) Applied Technical Council "Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Building", 1978 (建研院報告 No.253)

5) 清水 他 "Three Dimensional Dynamic Analysis of Soil-Structure System..."

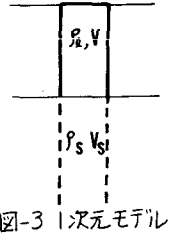


図-3 1次元モデル

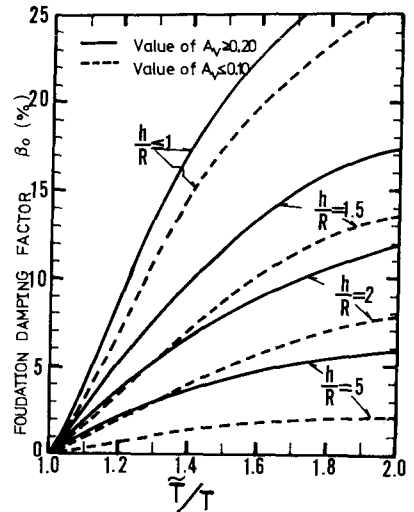


図-4. ATC-3に提案された減衰定数

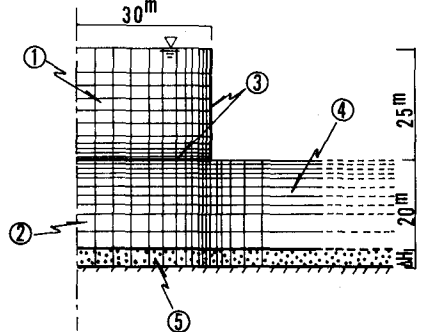


図-5.有限要素法モデル

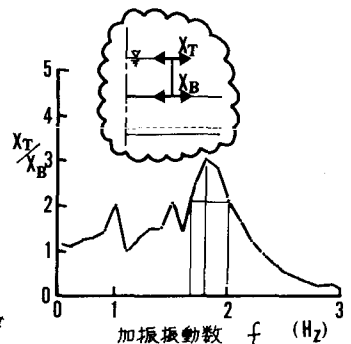


図-6.平底貯槽の応答曲線