

(財)電力中央研究所 正 駒田 広也
同上 正 中川加明-郎

1. まえがき

近年、クリーンエネルギー源としてのLNGの貯蔵施設として、大容量の地下式タンクが建設されている。この場合、連設した地下タンクでは、地震時において、地下タンクの相互干渉の影響により、単設地下タンクと異なる挙動を示すことが考えられる。したがって、連設地下タンクの地震時相互干渉の影響を調べ、適切な地下タンク間の離間距離を決定することは、LNG地下タンクの設計上必要である。この問題を解明する方法として、模型実験や数値解析などが考えられるが、ここでは、3次元震動応答解析による、双設地下タンクの地震時相互干渉を検討した結果を述べる。

2. 解析手法

双設地下タンクの地震時相互干渉を数値解析するには、地下タンクと地盤との連成震動解析する必要がある。ここでは無限地盤を考慮した3次元有限要素法による複素振動応答解析法を解析する。解析プログラムの検証のため、地盤の対称条件を考慮した地盤モデル(図-1)について、点加振荷重の場合の理論解と数値解の比較を行なった。解析上の地盤遠方境界は、半無限地盤と等価なエネルギー逸散を考慮した粘性反力境界とする。すなわち、境界面での応力を次式で仮定し、境界面をエネルギー反射が発生しないようにする。

$$\sigma = a \cdot \rho \cdot V_p \cdot \dot{w} \quad \tau = b \cdot \rho \cdot V_s \cdot \dot{u} \quad (1)$$

ここに、 \dot{w} および \dot{u} は境界面の法線および接線方向の速度である。

地表面点加振により、半無限地盤に加えられるエネルギーは、レイリー波が67%、せん断波が26%、疎密波が7%であると報告されている。したがって、式(1)におけるインピーダンス比 a , b は、レイリー波の伝達形態を十分考慮して定める必要がある。したがって、境界面は、図-2に示すように、地表面からの伏角 $0^\circ \sim 45^\circ$ まをレイリー境界として、 a , b を Lysmer の提案式で決定し、 $45^\circ \sim 90^\circ$ まを実体波境界として、 $a = b = 1$ とした。地盤の物理定数を、 $G = 2.0 \times 10^5 \text{ t/m}^2$, $\nu = 0.33$, $\rho = 0.2 \text{ t-sec}^2/\text{m}^4$, $V_s = \sqrt{G/\rho} = 1000 \text{ m/sec}$, 点荷重は、 $P(t) = P_0 \cdot e^{i\omega t}$, $P_0 = 10 \text{ t}$, $\omega = 50 \text{ rad/sec}$ とした場合の地表面の変位振幅について、理論解と数値解の比較を図-3に示す。参考として、境界を固定にした場合と、自由にした場合の数値解も示しておく。これより、粘性境界を考慮した数値解は理論解と良く一致していることがわかる。

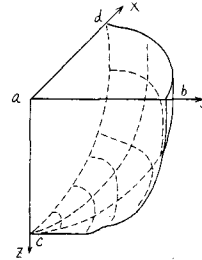


図-1 地盤の1/8球モデル

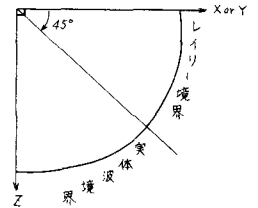


図-2 粘性境界

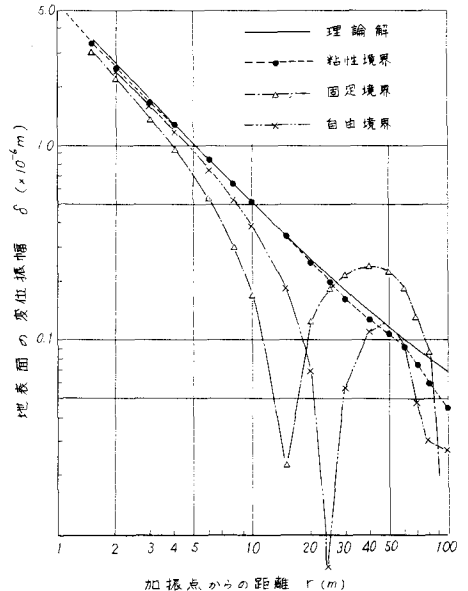


図-3 理論解と数値解の比較

3. 解析ケース(図-5)

(1) Case-1:

まず、図-4および表-1に示す双設地下タンクの小型模型振動実験と数値解を比較するため、この模型実験と同モデルを用いる。地下タンクの離間距離は、 $\alpha=20\text{cm}$ (実物50m)である。

(2) Case-2:

つまり、地下タンクの離間距離の違いによる相互干渉の影響を調べるために、 $\alpha=40\text{cm}$ (実物100m)にする。

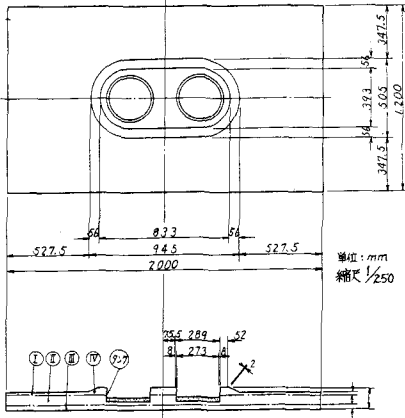


図-4 地盤-地下タンク系3次元模型
表-1 物性値

	E (kg/cm^2)	ρ (kg/cm^3)	μ (%)	ν (-)
タンク	2.70	1.50	10	0.30
① 埋立土	0.1	1.02	16	0.45
② 砂層	0.7	1.04	10	0.45
③ 基礎	2.8	1.07	10	0.45
④ 改良地盤	0.3	1.03	10	0.45

4. 結果 (図-6)

(1) 正弦波入力に対する周波数変位応答倍率についての模型実験と数値解 (Case-1) との比較は、両者ともに、13Hzがピーク応答周波数となるが、数値解析のピーク応答倍率は模型実験のそれよりも約20%小さい。模型材料の物性値とくに減衰定数の推定および計算上の要素分割などを考慮すれば、今回の数値解析法は、基本的には妥当と判断される。

(2) 離間距離20cm (Case-1) と離間距離40cm (Case-2) の応答倍率の比較は、タンク壁および盛土端部は、Case-2の応答倍率がCase-1のそれよりも20~40%減少している。しかし、双設タンク間の盛土の中央部は、Case-2が、Case-1よりも50%増加している。これは、タンクの間の盛土地盤の範囲が広く、盛土地盤が独自に振動しやすくなるためと考えられる。

5. あとがき

今回の2ケースの他に、パラメーターとしての離間距離、地盤条件、タンク形状などとの応答倍率の関係を調べる予定がある。

< 参考文献 >

- 1) Lysmer, J. etc, JSCE EM4 PR859-877 Aug. 1969
- 2) Miller, G.F. etc, Proc. Royal Society, London, A, V. 233, PP.55-69 1955
- 3) 田治見, 他「建築学系 - 地震工学」 PP. 91~105

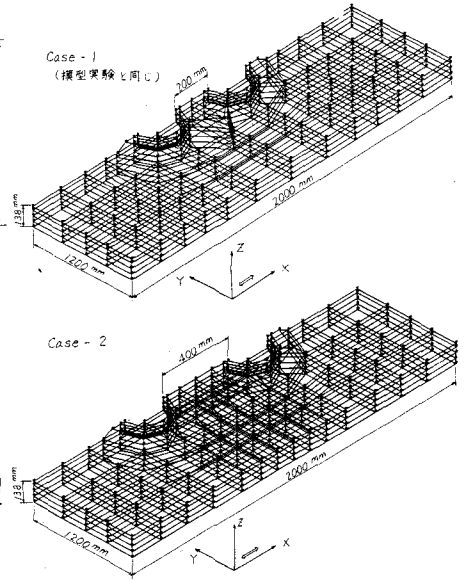


図-5 3次元解析モデル

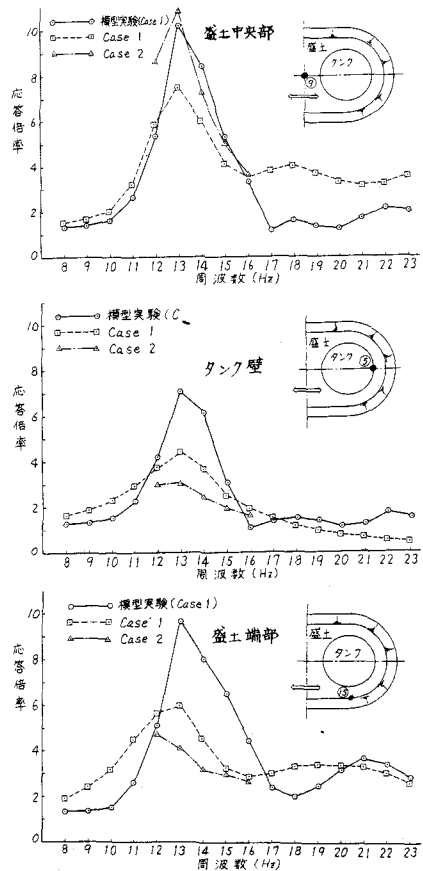


図-6 入力周波数に対する変位応答倍率