

(株)総合技術コンサルタント 正員・西森 孝三
 関西電力(株)総合技術研究所 藤 征雄
 同上 阿部 守

1. はじめに 土岐⁽¹⁾、神山⁽²⁾によれば、表面波による地表面近くの地盤ひずみは、SH波による最大ひずみと同程度又はそれ以上になる場合があり、地表面近くに限れば、表面波によるひずみが支配的であると報告されている。大型円筒地下タンクは、その底版は比較的良い地盤に支持され、その周辺は軟弱地盤と考えられる。側壁の剛性は、底版近くに比して地表面近くで相対的に小さく、より地盤の変形に支配される。

ここでは、地盤を2層に理想化し、表面波のうち、Love波に注目し、洪田⁽³⁾らの方法を参考にし、地下タンクの応答解析を行なった1例を報告するものである。

2. 解析条件 図1に示すRC製の4万kl貯油タンクが、洪積地盤($V_s=300\sim700=500\%$)に支持され、その周辺は軟弱地盤($V_s=100\sim300=200\%$)に囲まれた状態を想定する。解析方法としては、シェル要素を用いたFEMにより、地盤変位をバネを介して強制変位としてタンクに与えることにより、タンクの変形と応力とを算定する方法とする。なお側壁と底版とは剛結合とする。

2-1. 入力地盤変位 図2に示す座標系を考えると、Love波の波動方程式は式(1)、解は式(2)となる。

$$\frac{1}{V_s^2} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \quad (1)$$

$$v = W(z) \cdot \exp i(kx - \omega t) \quad (2)$$

ここに、 v : y 方向変位、 V_s : せん断波速度、 $k = \omega/V_L$ 、 V_L , ω : Love波の位相速度と円振動数、 $W(z)$: z の任意関数、 t : 時間、 i : 虚数。ひずみ及び応力と変位との関係は、図3を参照して、

$$\gamma_{yz} = \partial v / \partial z, \quad \tau_{yz} = G \gamma_{yz} \quad (3)$$

$$\gamma_{xy} = \partial v / \partial x, \quad \tau_{xy} = G \gamma_{xy} \quad (4)$$

ここに、 G : せん断定数

となる。式(2)と式(1)とから式(5)を得、 $z = H_1$, $z = -\infty$

$$\frac{\partial W}{\partial z^2} - \left(\frac{V_L^2}{V_s^2} - 1 \right) k^2 W = 0 \quad (5)$$

で、 $\tau_{yz} = 0$ 、及び $z = 0$ での応力と変位の連続条件から、表層、基盤に対し式(6)、(7)を得、分散性を示す式(8)とそれぞれ得る。

$$W(z) = A \cos \sqrt{\alpha} \cdot k (z - H_1) \quad (6)$$

$$W_0(z) = A \cos \sqrt{\alpha} \cdot k H_1 \cdot \exp(\sqrt{\beta} \cdot k z) \quad (7)$$

$$\tan(\sqrt{\alpha} \cdot k H_1) = \frac{G_0}{G_1} \frac{\sqrt{\beta}}{\sqrt{\alpha}} \quad (8)$$

ここに、 A : 任意の係数、 $\alpha = V_L^2/V_{s1}^2 - 1$ 、 $\beta = 1 - V_L^2/V_{s0}^2$

Love波の分散性の基本モードを想定地盤について示すと図4ようになる。又、せん断ひずみ(γ_{xy})と変位の振幅は式(6)、(7)より地表面で最大となり、係数 A は γ_{xy} と k とから定まる。今Love波の周期と表層のそれと同じと仮定すると、 $T = 4H_1/V_{s1} = 0.44$ 秒となり、位相速度は図4より350%となる。 $k = \omega/V_L = 2\pi/L$ の関係より波長(L)は154mとなる。最大せん断ひずみ(γ_{xy})は2~4 $\times 10^{-3}$ 程度であり、ここでは10と仮定して、 $t=t_0$ のある時刻に図5のような状態を考えると $A = 2.45 \text{ cm}$ となる。このことから図5の状態を入力地盤変位と仮定する。

2-2. 地盤バネ定数 ここでの想定地盤では、道示ケーソン基礎編では、 $K_H = 2.5 \text{ kg/cm}^2$ 、国鉄耐震設計指針では $K_H = 3.9 \text{ kg/cm}^2$ となるため、半径方向地盤反力係数(K_r)として平均を採り $K_r = 3.2 \text{ kg/cm}^2$ とし、接線方向バネ(K_θ)は、 $K_\theta = 1/2 K_r$ と仮定する。

3. 解析結果および考察 変形状態は図6に示すように楕円形となり側壁天端で最大1.8cm、底版付近では変形は小さく円形に近づく。この結果から、底版が変形を大きく拘束している様子がうかがわれる。図7~9に発生応力を示す。円周方向応力は側壁天端付近で最大 $\pm 19 \text{ kg/cm}^2$ 、また側壁上部では応力の変化が小さく、円筒モデルの可能性を示唆している。鉛直方向応力は側壁中部から下部にかけて大きく最大 $\pm 15 \text{ kg/cm}^2$ である。そして底版近くで応力の方向が変り、剛結の影響が現われている。せん断応力は底版近くで最大となり28%生じている点が注

目に値する。

以上の点を勘案すると、構造上底板と側壁にピン結合を採用した場合、その部分に間隙の生ずることは極力避ける必要があり、これに対する対策を考慮したとしても、耐震上の観点からは剛結の方が望ましいと言えよう。しかし底板近くに生ずる28%のせん断力はRC構造に対して配慮する必要があり、これに抵抗する鉄筋の配置等が重要となる。これらについては今後

充分に検討する必要があると考えられる。

4. あとがき 本解析では多くの仮定の上で計算を行なっている。地盤条件として平均的な剛性を採ったため、結果的にはかなり良い地盤を想定したことになった。地盤バネ定数に關しても、地震時にはそのひずみ依存性等のため評価が難しい。又、表面波に關しても今なお不明な点が多く、実施設計に結びつけるためには、今後さらに検討する必要がある。

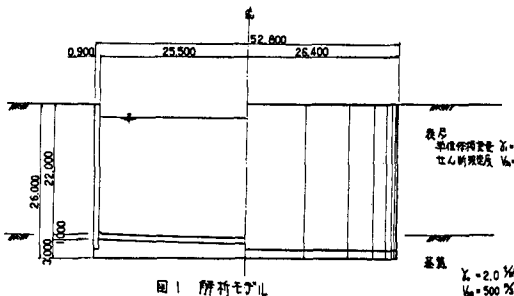


図1 解析モデル

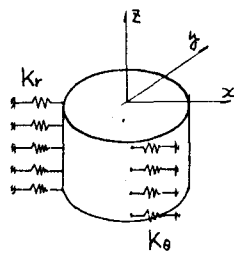


図2 座標系

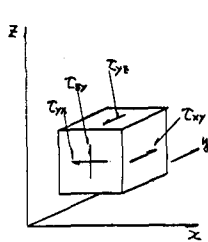


図3 Love波による応力

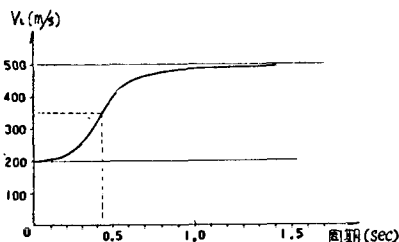


図4 Love波の分散性

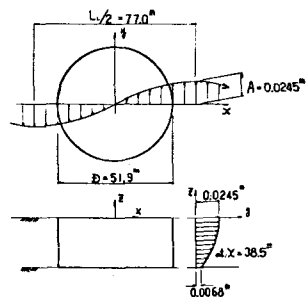


図5 uの位置値

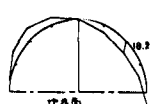


図6 変位図 (単位mm)

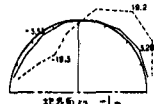


図7 側面せん断力図 (単位mm)

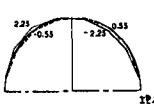


図8 前面せん断力図 (単位mm)

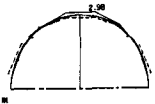


図9 せん断力図 (単位mm)

参考文献

1) Toki, K:

Proc. U.S. Japan Seminar on Lifeline System, 1976

2) 神山真:

地震時における地盤内の応力、ひずみの評価、土木学会論文報告集

250号, 1976年

3) 浜田政則:

大型地下タンクの地震時挙動の観測と解析、土木学会論文報告集

273号, 1978年