

日本鋼管(株) 正員 岡本 隆

" " 榊 信昭

" " 吉田 映

1. 概要

軟弱地盤上の地上式低温貯槽を有限要素法を用い、液体-貯槽殻-群杭-地盤を連成させた系として、モデル化し、地震時の挙動を求めた。

2. 解析方法

2.1 液体-貯槽殻-群杭-地盤連成振動モデル

低温貯槽の振動モデルとして、図-1に示す有限要素モデルを設定する。液体は、非圧縮性の完全流体¹⁾、貯槽は、薄肉弾性シェル、群杭は、各一本を梁、地盤は履歴減衰をもつ等価線形体とし、^{2), 3), 4)}地盤の有限要素遠方境界には、半無限に広がっている地盤を表わす境界条件を設ける。^{5), 6)}この時貯槽・地盤が軸対称構造物であること、また、地上式貯槽ではかなり空に杭が配置され近似的に軸対称構造物とみなせることから、軸対称構造物の非軸対称振動問題として、円周方向(θ 方向)に Fourier 級数で展開する方法により解析を行った。⁷⁾

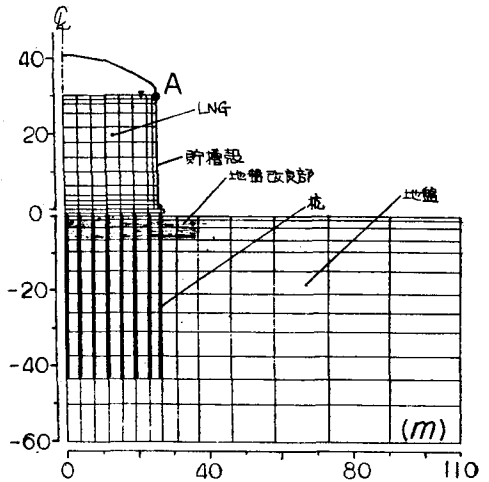


図-1 有限要素モデル

2.2 群杭の軸対称モデル

群杭は、図-2に示すように同一円周上に配置されているものと考え、杭の変位 U 、回転角 ϕ については、 i 番目の杭の r, θ 座標を r_i, θ_i とし (1) 式の形に展開する。従って、群杭の剛性行列は、(2) 式の形で表わされる。

$$\{U\} = [T(\theta_i)] \{U\}$$

$$\begin{Bmatrix} U_r \\ U_\theta \\ U_z \\ \phi_r \\ \phi_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & & & & \\ & \sin \theta_i & & & \\ & & \cos \theta_i & & \\ & & & \sin \theta_i & \\ & & & & \cos \theta_i \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_r \\ U_\theta \\ U_z \\ \phi_r \\ \phi_z \end{Bmatrix} \quad (1) \quad \sum_{i=1}^n [T(\theta_i)]^T [K_{beam}^e] [T(\theta_i)] \quad (2)$$

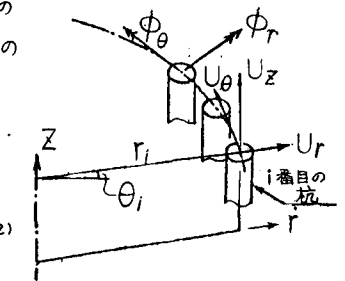


図-2 群杭モデル

2.3 時刻歴応答解析

本解析では、土の応力-歪関係式が定常状態で定義される履歴減衰を持つ等価線形表示によっているため、地震波を Fourier 変換し、過渡応答を求めた。

2.4 定常振動運動方程式

液体-貯槽殻-群杭-地盤連成系の定常振動運動方程式は、次の形に書くことができる。円振動数を ω 、貯槽殻・群杭・地盤の節点変位を $\{U(\omega)\}e^{i\omega t}$ 、液体の節点動液圧を $\{P(\omega)\}e^{i\omega t}$ 、地盤に作用する外力を $\{F(\omega)\}e^{i\omega t}$ とすると、

$$(-\omega^2 [M_s] + i [D_s] + [K_s]) \{U(\omega)\} = [F(\omega)] + [B] \{P(\omega)\} \quad (3)$$

$$(-\omega^2 [M_F] + [K_F]) \{P(\omega)\} = -\omega^2 [A] \{U(\omega)\} \quad (4)$$

ここに、 $[M_s], [K_s]$ は貯槽殻・群杭・地盤の質量、剛性行列、 $[D_s]$ は貯槽殻・群杭の減衰及び地盤の履歴減衰を表わす行列、 $[M_F], [K_F]$ は、流体の運動に関する行列である。また $[B] \{P(\omega)\}$ は動液圧による貯槽への荷

重, $-\omega^2[A]\{U(\omega)\}$ は、液体が接触している貯槽の加速度が液体の運動に及ぼす影響を表す項である。

3. 解析結果

地震波は、EL-CENTRO N-S 最大加速度 150 gal を G.L. -60m に入力した。

図-3 に入力地震波加速度波形及び 図-1 A点における貯槽側壁のモーメント M_s , 自由表面上の液高 η の時刻歴応答を示す。また、図-4 に貯槽液圧の最大値分布、図-5 に最外周筋のモーメント M_θ が最大・最小値をとる時刻における M_θ と変位 U_r の分布を示す。

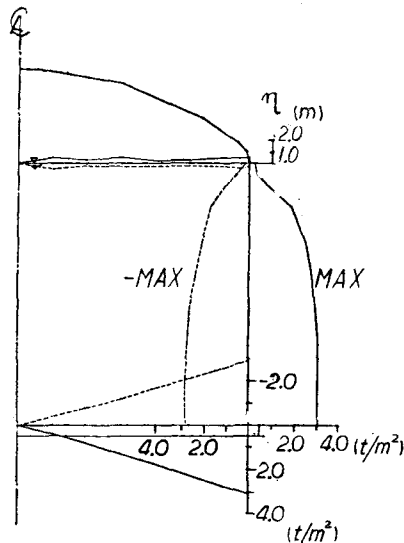


図-4 貯槽液圧の最大値分布

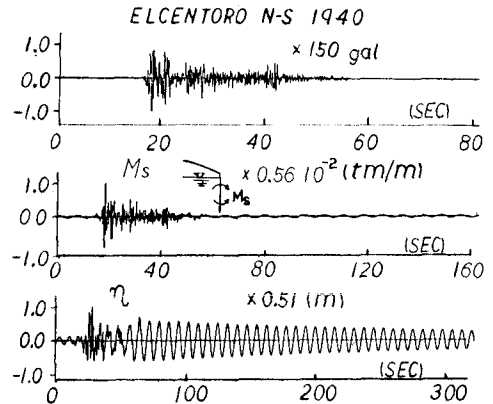


図-3 入力地震加速度波形及び時刻歴応答
 M_θ 分布 U_r 分布

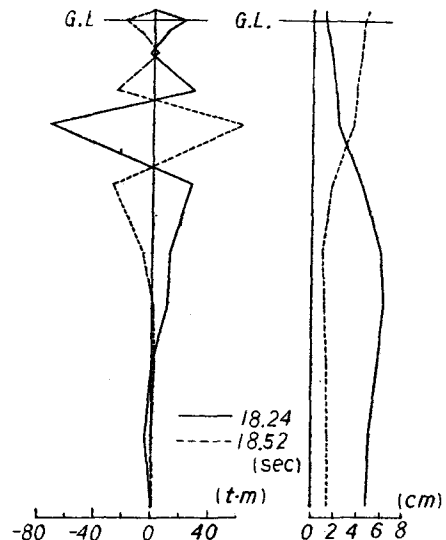


図-5 M_θ , U_r 分布図

4. まとめ

ここでは、低合金鋼二重殻貯槽の地震応答解析手法を示した。解析モデルは、液体-貯槽殻-群杭-地盤の四者を連続させ、特に、解析精度に大きな影響を与える地盤については、土質動力学で主流となっている等価線形表示の土の弾塑性応力-歪関係を用い、有限要素の遠方境界には、透散減衰を表す境界条件を用いた。また、群杭は空に配置されていることから近似的に軸対称構造物として取扱った。この解析手法を用いた地震応答解析結果の一例を示した。

5. 参考文献

- 1) 例えは, C.Y. Liaw and A.K. Chopra (1975): Earthquake Analysis of Axisymmetric Tower Partially Submerged in Water. Int. J. Earth. Engng. Struct. Dyn., 2: 143-160
- 2) 工質工学会編 (1973): 土と構造物の動的相互作用, 工質工学会. PP. 24-42, PP. 54-66.
- 3) 石原研而 (1976): 土質動力学の基礎, 鹿島出版会. PP. 7-34, PP. 136-208
- 4) 高田豊善 (1972): 構造材料の内部摩擦による減衰振動. 土木学会誌, 57: 3: 62-67
- 5) R.L. Kuhlemeyer (1969): Vertical Vibration of Footings Embedded in Layered Media. Ph.D. Thesis. Univ. Calif., Berkeley.
- 6) J. Lysmer and R.L. Kuhlemeyer (1969): Finite Dynamic Model for Infinite Media. Proc. A.S.C.E., J. Eng. Mech. Div., 95: EM4: 859-877
- 7) O.C. Zienkiewicz (1971): The Finite Element Method in Engineering Science, McGraw-Hill. PP 254-273