

I-544

P C 卵形消化槽の地震応答特性

清水建設(株) 正会員 清水 勝美 正会員 田 蔵 隆
清水建設(株) 正会員 若原 敏 裕 正会員 時田 秀 往

1. ま え が き

本報は軸対称有限要素法により、杭基礎形式のP C卵形消化槽の地震応答について検討したものであり、群杭基礎のモデル化、消化槽内の内容液ならびに基礎杭の応答特性に関して考察した。

2. 解 析 モ デ ル

解析の対象としたP C卵形消化槽の容量は $6,000\text{m}^3$ であり、96本の鋼管杭($\ell=49\text{m}$ 、 $\phi=600\text{mm}$ 、 $t=14\text{mm}$)によって支持されている。図-1はその解析モデルについて示したものであり、解析定数ならびにモデル化に用いた要素種別などを表-1に示した。杭基礎構造物を軸対称モデルで解析する場合、基礎杭をどのようにモデル化するかが非常に重要な問題となる。ここでは基礎杭がリング状に配置されている点に留意し、図-2に示すi杭の変位 $\{u\}$ が、同じ半径 r_i 上にある $\theta=0^\circ$ の位置の杭の変位 $\{\bar{u}\}$ によって、

$$\{u\} = \begin{Bmatrix} u_r \\ u_\theta \\ u_z \\ \beta_r \\ \beta_\theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{u}_r \cos \theta_i \\ \bar{u}_\theta \sin \theta_i \\ \bar{u}_z \cos \theta_i \\ \bar{\beta}_r \sin \theta_i \\ \bar{\beta}_\theta \cos \theta_i \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & & & & \\ & \sin \theta_i & 0 & & \\ & & \cos \theta_i & & \\ 0 & & & \sin \theta_i & \\ & & & & \cos \theta_i \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_r \\ \bar{u}_\theta \\ \bar{u}_z \\ \bar{\beta}_r \\ \bar{\beta}_\theta \end{Bmatrix}$$

$$= [T_{\theta i}] \{\bar{u}\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

の形でフーリエ級数展開できるものと仮定した。これより半径 r_i 上の群杭の要素質量マトリックス $[Ma]$ および要素剛性マトリックス $[Ka]$ は次式のように与えられる。

$$[Ma] = \sum_{i=1}^N [T_{\theta i}] [T_{\theta i}] [M_b] \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$[Ka] = \sum_{i=1}^N [T_{\theta i}] [T_{\theta i}] [K_b]$$

ここに、 $[M_b]$ および $[K_b]$ はねじり成分を除いた3次元梁要素の要素質量および剛性マトリックスであり、 N は半径 r_i 上の杭本数である。

消化槽内の内容液はWilsonらの提案したLagrange型の液体要素¹⁾でモデル化した。また、地盤側方ならびに基盤の境界処理として、地盤側方にはエネルギー伝達境界、基盤には粘性境界を設けた。

3. 地 震 応 答 解 析

ここでは入力地震波として、EL-CENTRO N-S 記録を用いた地震応答解析結果について示す。図-3は解析によって得られた加速度応答波形であり、それぞれ消化槽天端、消化槽中央部、消化槽下端、リング基礎部および側方地盤地表部の5地点の水平動成分について示したものである。この解析は入力最大加速度を基盤で100GALとして行ったものであり、図-3より消化槽中央部での最大加速度の増幅率は約4.3倍になっていることが分かる。リング基礎部の加速度応答波形に見られる卓越周期0.85 secは地盤・杭基礎系の水平動1次周期に対応するものであり、また消化槽天端および消化槽中央部の加速度応答波形における0.15 secの短周期成分の卓越波は消化槽のバルジングによるものである。

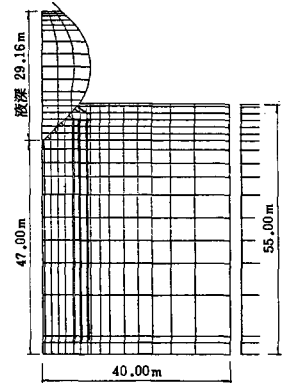


図-1 解析モデル

表-1 解析定数

部 位	軸対称要素	解 析 定 数	要素数
側 壁	非 通 合 シェール要素	$\gamma = 2.45 \text{ tf/m}^3$ $E = 3.50 \times 10^4 \text{ tf/m}^2$ $\nu = 0.167$ $h = 0.02$	32
リング基礎	ソリッド要素	同 上	8
内 容 液	9節点液体要素	$\gamma = 1.05 \text{ tf/m}^3$ $c = 2.3 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$ $a = 0.01$ $h = 0.0$	45
杭	3次元梁要素	$\gamma = 7.85 \text{ tf/m}^3$ $E = 2.10 \times 10^4 \text{ tf/m}^2$ $A = 2.577 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ $I = 1.107 \times 10^{-8} \text{ m}^4$ $h = 0.0$	42
地 盤	ソリッド要素	$Q_{1,-30\text{m}} \sim Q_{1,-50\text{m}}$ $V_s = 150 \text{ m/sec}$ $\gamma = 1.40 \text{ tf/m}^3$ $Q_{1,-30\text{m}} \sim Q_{1,-51\text{m}}$ $V_s = 340 \text{ m/sec}$ $\gamma = 1.80 \text{ tf/m}^3$ $Q_{1,-51\text{m}} \sim Q_{1,-55\text{m}}$ $V_s = 400 \text{ m/sec}$ $\gamma = 1.80 \text{ tf/m}^3$ $h = 0.0$ (全層一層)	251
側方境界	エネルギー伝達境界	同 上	17
基盤境界	粘性境界	$\gamma = 1.80 \text{ tf/m}^3$ $V_s = 400 \text{ m/sec}$	17

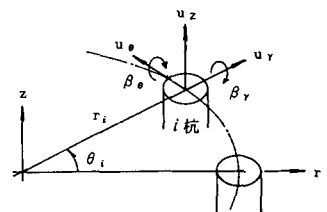


図-2 群杭の変位成分

図-4 はリング基礎との接続部における消化槽の断面力波形について示したものである。これらの断面力波形には図-3 の加速度応答波形に見られたパルシングの影響は顕著に現れていない。また、それぞれの波形の形はよく似ており、これらの波形の周期特性から消化槽の断面力応答は地盤・杭基礎系の応答に大きく支配されていることが分かる。

図-5 は内容液の最大動液圧分布および動液圧の加速度換算値を示したものである。最大動液圧は 4.98 tf/m^2 であり、スロッシングによる最大液圧は 0.11 tf/m^2 と小さく、パルシングの影響は消化槽中央部から上方で見られるが、その割合は比較的小さい。これより卵形消化槽に作用する動液圧は衝撃圧が支配的であることが分かる。また、内容液および消化槽の加速度分布と比較して、動液圧の加速度換算値の変動は小さい。

図-6 は基礎杭に発生する断面力の経時変化を見たものである。断面力は杭の位置および深さによって異なり、軸力および曲げモーメントはそれぞれ $\theta = 0^\circ$ 方向の外側杭の杭頭部、および $\theta = 90^\circ$ 方向の外側杭の杭頭部で最大になっている。また、曲げモーメントは地盤剛性が急変する位置でも大きくなることが分かる。

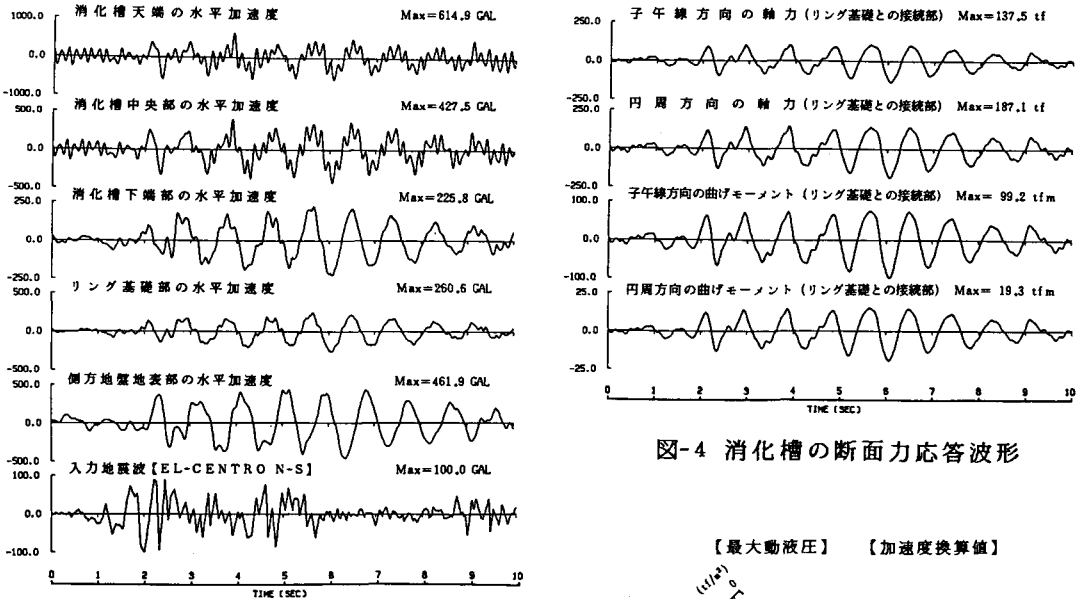


図-4 消化槽の断面力応答波形

図-3 消化槽および地盤の加速度応答波形

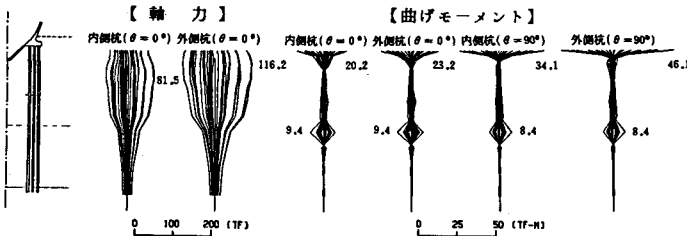


図-6 杭の断面力の経時変化

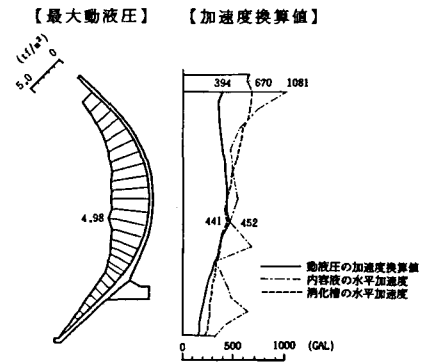


図-5 内容液の最大応答値分布

4. あとがき

上記の解析結果から、卵形消化槽の全体的な地震応答を把握する上では消化槽内の内容液は固定水として取扱っても良いと考えられる。また、基礎杭の地震応答は基礎杭の位置によって大きく異なり、杭基礎のモデル化においては杭配置を考慮したモデル化が必要である²⁾。

参考文献

- (1) E.L.Wilson and M.Khalvati: Finite Elements for the Dynamic Analysis of Fluid-Solid Systems, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol.19, 1983.
- (2) 清水、田蔵、若原、時田、渡辺: 卵形消化槽の地震応答解析手法、第21回土質工学研究発表会、1986年6月。