

I-456

杭基礎形式の卵形消化槽の地震応答解析手法

清水建設（株）

正会員 清水 勝美

正会員 田 蔵

隆

正会員 若原 敏裕

1. 概 説

本報は動的サブストラクチャー法の考えに従い、杭基礎・地盤系を3次元弾性波動論に基づいてモデル化し、卵形消化槽を質点ばね系モデルとする杭基礎形式の卵形消化槽の地震応答解析手法について検討したものである。

2. 地震応答解析手法

図-1に示すような卵形消化槽の解析モデルについて考える。卵形消化槽は質点ばね系でモデル化し、杭基礎・地盤系は弾性波動論による連統系モデルとした¹⁾²⁾。変位成分は質点ならびにリング基礎の水平変位 u_1 、 u_0 とリング基礎の回転角 θ_0 である。応答 $\mathbf{u} = \{u_1 \ u_0 \ \theta_0\}^T$ が、質点ばね系モデルを除去した杭基礎・地盤系の応答 $\mathbf{u}^* = \{0 \ u_0^* \ \theta_0^*\}^T$ と質点ばね系が振動することによって生じる水平力 V およびモーメント M による応答 $\mathbf{u}^1 = \{u_1^1 \ u_0^1 \ \theta_0^1\}^T$ の和で表されるものとする。つまり、

$$\{u_1 \ u_0 \ \theta_0\}^T = \{0 \ u_0^* \ \theta_0^*\}^T + \{u_1^1 \ u_0^1 \ \theta_0^1\}^T \quad (1)$$

である。杭頭インピーダンス $K_{ij}(\omega)$ を導入することにより、杭頭変位 $\{u_0^1 \ \theta_0^1\}^T$ と外力 $\{V \ M\}^T$ との間の関係式として次式が成立する。

$$\begin{bmatrix} K_{11}(\omega) & K_{12}(\omega) \\ K_{21}(\omega) & K_{22}(\omega) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_0^1 \\ \theta_0^1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} V \\ M \end{Bmatrix} \quad (2)$$

なお、 $K_{ij}(\omega)$ の添字の1および2は、それぞれ水平動成分と回転動成分を表している。また、質点が振動することによって生じるリング基礎での水平力 V およびモーメント M は、次式のように書ける。

$$V = \omega^2 m_1 (u_0 + u_1 + \theta_0 H_1 + u_g) + \omega^2 m_0 (u_0 + u_g) - P_e \quad (3)$$

$$M = \omega^2 m_1 H_1 (u_0 + u_1 + \theta_0 H_1 + u_g) + \omega^2 J_0 \theta_0 \quad (4)$$

ここに、 P_e はリング基礎の側面に作用する土圧である。

(2)式と質点ばね系に関する振動方程式、

$$-\omega^2 m_1 (u_0 + u_1 + \theta_0 H_1 + u_g) + i \omega c_1 u_1 + k_1 u_1 = 0 \quad (5)$$

を連立させて解くことにより、 $\mathbf{u}^1 = \{u_1^1 \ u_0^1 \ \theta_0^1\}^T$ が得られる。地盤振動による杭基礎の応答 $\mathbf{u}^* = \{0 \ u_0^* \ \theta_0^*\}^T$ において、杭頭部の回転 θ_0^* は小さいものとして無視する。また、 u_0^* は次式で与えられる。

$$u_0^* = e_g \cdot u_g G(H, \omega) \quad (6)$$

ここに、 $G(H, \omega)$ は基盤変位 u_g に対する地盤のせん断振動による杭頭変位の増幅係数であり、係数 e_g は単杭と群杭基礎の変位の増幅度の差異を表す係数として導入したものである³⁾。

群杭基礎の杭頭インピーダンス $K_{ij}(\omega)$ は各杭のインピーダンスの総和に群杭効率を乗ずることによって定義できるものとした⁴⁾。

3. 数値解析例

容量 $6,000\text{m}^3$ のPC卵形消化槽に対して行った地震応答解析例について述べる。表-1は解析定数を示したものである。水平動と回転動に伴う動液圧のそれぞれの作用位置 e_s 、 e_θ およびその付着質量係数 α_s 、 α_θ は小坪・高西ら⁵⁾の研究に基づいて決定した。図-2は杭頭インピーダンス $K_{ij}(\omega)$ について示したもので

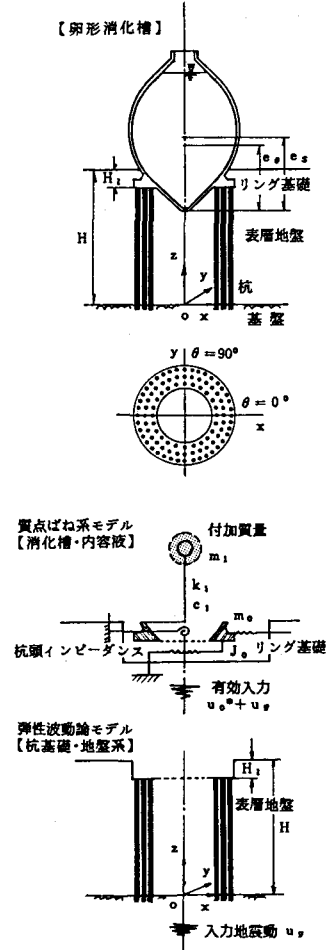


図-1 卵形消化槽の解析モデル

ある。周期0.8sec(1.25Hz)のところで杭頭インピーダンスが大きく変化しているが、この周期は地盤の1次固有周期に対応するものである。

地震応答解析は EL-CENTRO N-S 記録を用いて行った。なお、基盤からの入力最大加速度は100GALとした。図-3は消化槽およびリング基礎の時刻歴応答波形を示したものである。消化槽の前半部の応答波形では消化槽の回転動の固有周期に対応する0.4secの周期の波が卓越しており、応答波形の後半部は地盤の固有振動に対応する0.8secの波が卓越している。基礎杭の地震時ひずみの発生要因に関して検討した結果を図-4に示す。実線で示したものが卵形消化槽の慣性力によって発生したひずみであり、破線は地盤の振動によって発生したひずみを表している。図-4より、軸ひずみおよび杭頭部の曲げひずみは卵形消化槽の慣性力に支配されており、杭先端部の曲げひずみは地盤振動によって発生していることが分かる。

表-1 解析定数

解析定数	
地盤	$H = 30 \text{ m}$ $V_s = 150 \text{ m/sec}$ $\nu = 0.48$ $\rho_g = 1.4 \text{ tf/m}^3$ $h_g = 0.30$
杭	$N = 96 \text{ 本}$ $\phi = 600 \text{ mm}$ $t = 14 \text{ mm}$ $E = 2.1 \times 10^7 \text{ tf/m}^2$ $\rho_p = 7.85 \text{ tf/m}^3$
消化槽系	$a_s = 0.97 \text{ (水平動)}$ $e_s = 16.13 \text{ m}$ $a_\theta = 0.77 \text{ (回転動)}$ $e_\theta = 16.13 \text{ m}$ $m_0 = 142.3 \text{ tfsec}^2/\text{m}$ $m_1 = 776.1 \text{ tfsec}^2/\text{m}$ $k_1 = 1.564 \times 10^6 \text{ tf/m}$ $c_1 = 3483 \text{ tfsec/m}$ $h = 0.05$

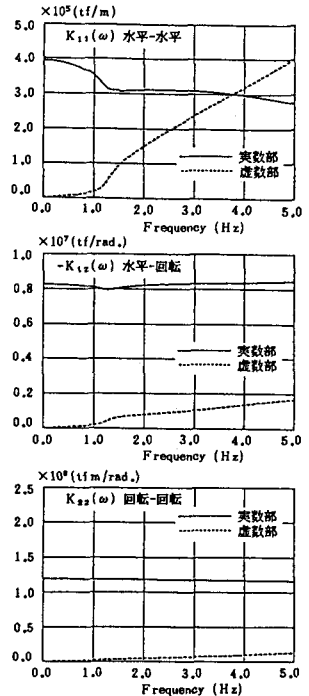


図-2 杭頭インピーダンス

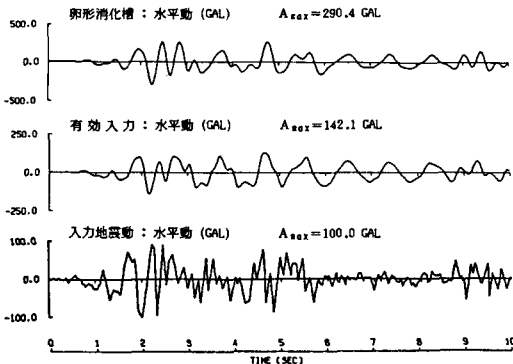


図-3 消化槽の時刻歴応答波形

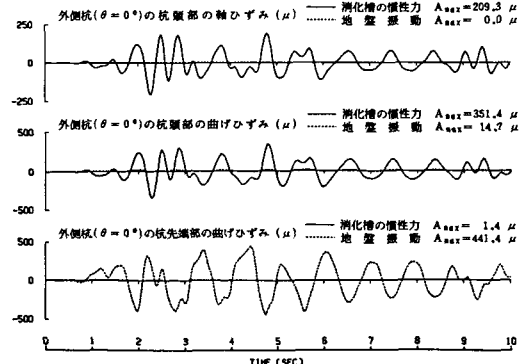


図-4 消化槽の慣性力と地盤振動による杭のひずみ

4. あとがき

卵形消化槽の全体的な地震応答を把握しようとした場合、本報で示した手法が有効であると考えられる。また、卵形消化槽本体の耐震解析を詳細に行う場合は、消化槽および内容液を有限要素法でモデル化し、弾性波動論に基づく杭基礎・地盤の連続系モデルから求まる杭頭インピーダンスを介して、動的サブストラクチャー法の理論に基づいて地震応答解析を行うことによって、より高い精度の解が得られると考えられる。なお、杭基礎・地盤系の地震応答解析手法の検討を行う上で、九州大学 小坪清真教授、鳥野 清助教授ならびに九州工業大学 高西照彦教授より御指導を賜った。記して深謝の意を表す次第である。

参考文献

- (1) 田蔵、中松、清水、若原：上部工の振動特性を考慮した杭基礎構造物の地震応答解析手法、第12回関東支部技術研究発表会、1985年3月。
- (2) 田蔵、中松、清水、木全、古川、若原：道路橋基礎杭の地震時挙動観測および解析、第18回地震工学研究発表会、1985年7月。
- (3) 田蔵、中松、清水、木全、古川、若原：基礎杭の地震時挙動を支配する外的要因の定量的検討、第18回地震工学研究発表会、1985年7月。
- (4) 大平、田蔵、中松、清水：軟弱地盤中の基礎杭の地震時挙動特性に関する研究、土木学会論文集、第362号/I-4、1985年10月。
- (5) 小坪、高西、吉岡、鳥野：卵形消化槽中の内容液による地震時壁面衝撃圧の一解法、土木学会論文集、第356号/I-3、1985年4月。