

建設省土木研究所 正 員 栗林 栄一
建設省土木研究所 正 員 〇萩原 良二
建設省土木研究所 正 員 宮田 忠明

1. まえがき

地中構造物の地震応答を推算するに当たって、地震時の振動による慣性力、構造物の変形による復元力、地盤を介して生じる外力および反力の4つの要素を仮定した。このような仮定を置き、構造物の振動と地盤の振動が相互に及ぼし合う影響、すなわち構造物と地盤の剛性による動的相互作用を適切な方法で計算の過程に取り入れれば、地震応答をより正確に解析することができる。

半無限に広がる地盤中に建設されたクイのような梁的地中構造物の地震応答を考える場合、その質量は地盤に比べ微小であるため、クイの振動が地盤の振動に与える影響はわずかであり、動的相互作用としては地盤の振動がクイの振動に及ぼす影響だけを考慮して差し支えないものと思われる。ここでは、地盤のせん断振動による変位が地盤の剛性によって外力に変換され、地中梁に作用するものとして地震応答解析を行った。

2. 地震応答解析における地盤と地中梁の条件 (図-1)、記号の説明

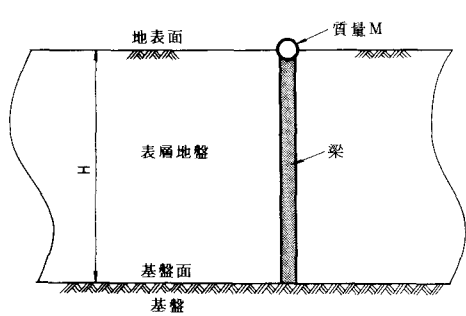


図-1 地盤と地中梁のモデル

- $\ddot{z}_0$: 基盤の地震動加速度
- u : 表層地盤の変位
- y : 地中梁の変位
- g : 重力加速度
- γ_s : 表層地盤の単位体積重量
- G_s : 表層地盤のせん断弾性係数
- H : 表層地盤の層厚 (地中梁の長さ)
- m : 地中梁の単位長さ当りの質量
- M : 地中梁の頭部の質量
- EI : 地中梁の曲げ剛性
- k : 地中梁の単位長さ当りの地盤反力係数
- C_s : 表層地盤の粘性減衰係数
- C_m : 地中梁の粘性減衰係数
- C_H : 地中梁頭部の粘性減衰係数
- ν : 地中梁の固有振動数

3. 表層地盤のせん断振動

変位: $u = \sum_{i=1}^{\infty} \xi_i(t) \cdot X_i(x) \dots\dots(1)$ 正規函数: $X_i(x) = \cos\left(\frac{2i-1}{2H} \pi x\right) \dots\dots(2)$

$\xi_i(t)$ に関する方程式: $\ddot{\xi}_i + Q_s \dot{\xi}_i + R_s \xi_i = F_s \ddot{z}_0 \dots\dots(3)$

ここで、 $Q_s = \frac{g}{\rho_s} C_s$, $R_s = \frac{8G_s}{\rho_s} \left\{ \left(\frac{2i-1}{2H} \right) \pi \right\}^2$, $F_s = - \frac{(-1)^{i-1} \cdot 4}{(2i-1) \pi}$

4. 地中梁の自由振動

		$k > m \nu^2$ の場合	$k < m \nu^2$ の場合
下端自由	振動数方程式	$2mEI\alpha^3 (-\sin^2\alpha H + \sin^2\alpha^2 H)$ $= M(k - 4EI\alpha^4) (-\sin\alpha H \cos\alpha H + \sin\alpha H \cos\alpha H) \dots\dots(4)$	$mEI\beta^3 (\cos\beta H \cosh\beta H - 1)$ $= M(k + EI\beta^4) (\sin\beta H \cosh\beta H - \cos\beta H \sinh\beta H) \dots\dots(8)$
	正規函数	$Y(x) = -\cos\alpha x \sinh\alpha x - C_1 \sin\alpha x \cosh\alpha x + C_2 \cos\alpha x \cosh\alpha x \dots\dots(5)$	$Y(x) = D_1 \sin\beta x + D_2 \cos\beta x + D_3 \sinh\beta x + D_4 \cosh\beta x \dots\dots(9)$
下端固定	振動数方程式	$2mEI\alpha^3 (\cos^2\alpha H + \cosh^2\alpha H)$ $= M(k - 4EI\alpha^4) (-\sin\alpha H \cosh\alpha H + \sin\alpha H \cosh\alpha H) \dots\dots(6)$	$mEI\beta^3 (\cos\beta H \cosh\beta H + 1)$ $= M(k + EI\beta^4) (\sin\beta H \cosh\beta H - \cos\beta H \sinh\beta H) \dots\dots(10)$
	正規函数	$Y(x) = -\cos\alpha x \sinh\alpha x + C_3 \sin\alpha x \cosh\alpha x + C_4 \cos\alpha x \cosh\alpha x \dots\dots(7)$	$Y(x) = D_5 \sin\beta x + D_6 \cos\beta x + D_7 \sinh\beta x + D_8 \cosh\beta x \dots\dots(11)$

$$\therefore \text{ここで, } C_1 = \left(\frac{\sin \alpha H}{\sinh \alpha H} \right)^2, \quad C_2 = \frac{1}{\tanh \alpha H} - \left(\frac{\sin \alpha H}{\sinh \alpha H} \right) \cdot \left(\frac{\cos \alpha H}{\cosh \alpha H} \right), \quad C_3 = \left(\frac{\cos \alpha H}{\cosh \alpha H} \right)^2, \quad C_4 = \tanh \alpha H - \left(\frac{\sin \alpha H}{\sinh \alpha H} \right) \cdot \left(\frac{\cos \alpha H}{\cosh \alpha H} \right)$$

$$D_1 = \sin \beta H \tanh \beta H + \cos \beta H - \frac{1}{\cosh \beta H}, \quad D_2 = -\sin \beta H + \cos \beta H \tanh \beta H, \quad D_3 = \sin \beta H \tanh \beta H - \cos \beta H + \frac{1}{\cosh \beta H}$$

$$D_4 = \sin \beta H \tanh \beta H + \cos \beta H + \frac{1}{\cosh \beta H}, \quad D_5 = \sin \beta H \tanh \beta H - \cos \beta H - \frac{1}{\cosh \beta H}$$

5. 地中梁の地震応答

$$\text{変位: } y = \sum_{i=1}^{\infty} \phi_i(x) Y_i(x) \quad \{Y_i(x): \text{正規函数}\} \quad \dots\dots(12)$$

$$\phi_i(x) \text{ に関する方程式: } \ddot{\phi}_i + Q_p \dot{\phi}_i + R_p \phi_i = F_p \ddot{z}_B + E_p \quad \dots\dots(13)$$

$$\therefore \text{ここで, } Q_p = \frac{C_m \int_0^H \dot{Y}_i^2 dx + C_m \{Y_i^2\}_{x=0}}{m \int_0^H \dot{Y}_i^2 dx + M \{Y_i^2\}_{x=0}}, \quad R_p = \frac{EI \int_0^H \left(\frac{d^2 Y_i}{dx^2} \right)^2 dx + E \int_0^H Y_i^2 dx}{m \int_0^H \dot{Y}_i^2 dx + M \{Y_i^2\}_{x=0}}, \quad F_p = \frac{-m \int_0^H Y_i dx - M \{Y_i\}_{x=0}}{m \int_0^H \dot{Y}_i^2 dx + M \{Y_i^2\}_{x=0}}, \quad E_p = \frac{E \int_0^H u Y_i dx}{m \int_0^H \dot{Y}_i^2 dx + M \{Y_i^2\}_{x=0}}$$

6. 数値計算結果

図-2および図-3に示すような地盤とクイの諸元を仮定し、地盤の変位 u は1次だけを考慮し、基盤に正弦波を入力した場合の数値計算結果を図-4に示した。ただし、 h_s 、 h_p は表層地盤およびクイの減衰定数を示す。

7. あとがき

この解析方法は、基盤上に均質な表層地盤がある場合を対象としているが、地盤と地中梁の動的相互作用として地盤の変位と剛性に基づく力を地中梁に外力として作用させており、クイのような梁の地中構造物の地震応答特性を調べる上で有効な方法と考えられる。

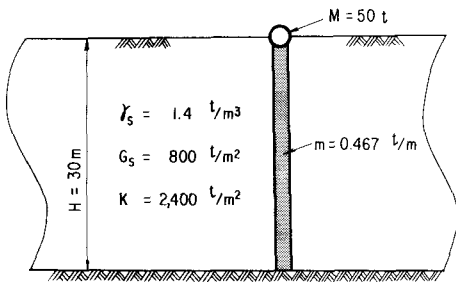


図-2 地盤とクイの諸元

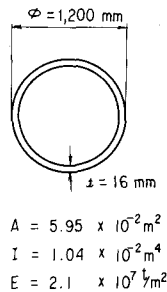


図-3 クイの諸元

参考文献

- (1) 栗林・川島・宮田：地震時における地盤の変形を考慮した基礎杭の応力算定法。土木研究所資料 第772号 昭49
- (2) 大川・天島・山崎：自由長のある杭の固有振動数について。第32回土木学会年次学術講演会講演概要集 I-238 昭52
- (3) 栗林・川島・萩原：頭部に質量をもつ杭の地盤変位入力による地震応答。第5回関東支部年次研究発表会講演概要集 I-5 昭53

変位応答倍率 ($M = 50 \text{ t}$, $h_s = 0.2$, $h_p = 0.1$)

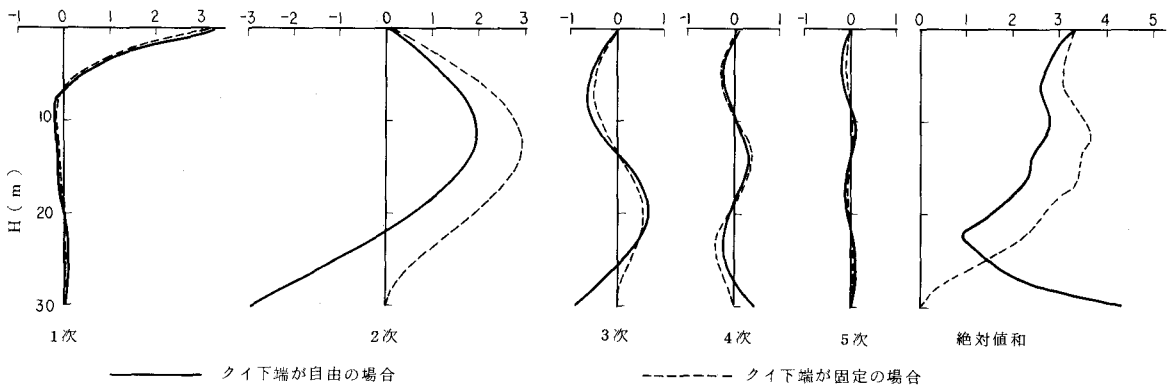


図-4 変位応答倍率〔地盤の1次固有振動数(0.62Hz)の正弦波を入力した場合〕