

京都大学防災研究所 正会員 砂坂善雄

同上 正会員 佐藤忠信

## 1. まえがき

鉄道盛土や道路盛土、河川堤防などの土構造物は、軟弱な地盤上に築造とれることが多いが、設計にあたっては十分に耐震性が考慮されていないのが実状である。これらの土構造物の地震による被害は、復旧は比較的容易ではあるが、その社会的影響は決して小さくない。本研究はこのような観点から、簡便な土構造物-地盤系の地震応答解析法について述べたものである。

## 2. 解析手法および考察

簡単のために、土構造物-地盤系を図-1のようにモデル化する。すなわち、土構造物は三角形の弾性せん断ばり、地盤は水平に堆積した成層地盤とし、土構造物と地盤の境界面でのせん断応力を一定であると仮定する。鉛直変位をゼロとした場合、基盤面における入射波の振幅を  $A_{n+1}$ 、波数を  $k_0$  とするとき、重複反射理論により、地表面の水平変位およびせん断応力の  $x$  についてのフーリエ変換  $\bar{u}_i(k)|_{z=0}$  と  $\bar{\tau}_i(k)|_{z=0}$  の間には次式のような関係がある。

$$\bar{u}_i(k)|_{z=0} = V(k) \delta(k-k_0) - W(k) \bar{\tau}_i(k)|_{z=0} \quad (1)$$

== には、

$$V(k) = \frac{2A_{n+1}}{T_{11}(k) + T_{21}(k)/i\mu_{n+1}P_{n+1}} \quad (2)$$

$$W(k) = \frac{T_{12}(k) + T_{22}(k)/i\mu_{n+1}P_{n+1}}{T_{11}(k) + T_{21}(k)/i\mu_{n+1}P_{n+1}} \quad (3)$$

ただし、 $\delta$  はディラックのデルタ関数、 $T_{11}$ 、 $T_{12}$ 、 $T_{21}$ 、 $T_{22}$  は波動伝達マトリクス  $[T]$  の各要素であり、 $[T]$ 、 $P$  は次式で与えられる。

$$[T] = \prod_{j=1}^n \begin{bmatrix} \cos p_j H_j & \sin p_j H_j / \mu_j p_j \\ -\mu_j p_j \sin p_j H_j & \cos p_j H_j \end{bmatrix} \quad (4), \quad p_j = \sqrt{\left(\frac{\omega}{\beta_j}\right)^2 - \left(\frac{\alpha_j}{\beta_j}\right)^2 k^2} \quad (5)$$

== には、 $\mu$  はせん断弾性定数、 $H$  は層の厚さ、 $\alpha$  は縦波速度、 $\beta$  は横波速度である。

土構造物の変位  $\bar{u}_0$  は、はりの曲げ理論によれば次式で表わされる。

$$\bar{u}_0(z) = \frac{J_0(k_0 z)}{J_0(k_0 H_0)} u_B \quad (6), \quad k_0 = \frac{\omega}{\beta_0} \quad (7)$$

ただし、 $J_0$  は 0 次の第 1 種 Bessel 関数、 $H_0$  は土構造物の高さ、 $\beta_0$  は土構造物の横波速度、 $u_B$  は土構造物底面の変位である。したがって、土構造物底面のせん断力  $Q$  と変位  $u_B$  との間に次式が求まる。

$$Q \equiv -2b \left. \frac{\partial \bar{u}_0}{\partial z} \right|_{z=H_0} = E(\omega) u_B \quad (8)$$

== には、

$$E(\omega) = \frac{2b\mu_0 k_0 J_1(k_0 H_0)}{J_0(k_0 H_0)} \quad (9)$$

ただし、 $J_1$  は 1 次の第 1 種 Bessel 関数、 $\mu_0$  は土構造物のせん断弾性定数、 $b$  は土構造物幅の 1/2 である。

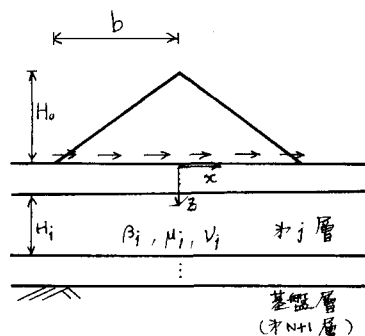


図-1. 系のモデル化

地表面における土構造物と地盤の境界条件は仮定によって次式で表わされる。

$$\begin{cases} \bar{u}|_{z=0} = 0 & ; -\infty < x < -b, \quad b < x < \infty \\ \bar{u}|_{z=0} = -Q/2b = \text{const} & ; -b \leq x \leq b \end{cases} \quad (10)$$

(10)式の $x$ についてのフーリエ変換を(1)に代入した後、(4)式を逆フーリエ変換することにより、土構造物底面中央の変位 $U_0$ は、

$$U_0 = U^* + D(\omega) \cdot Q \quad (11)$$

こゝに

$$U^* = V(k_0) \quad (12)$$

$$D(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{W(k)}{k b} \frac{\sin kb}{k b} dk \quad (13)$$

$U^*$ は土構造物がない場合の自由表面の変位に等しい。ここでは $D(\omega)$ は簡単のために留数定理を用いて近似的に求めるので、純虚数になっている。(8)式と(11)式より次式が得られる。

$$U_0 = \frac{1}{1 - D(\omega) \cdot E(\omega)} U^* \quad (14)$$

さらに、 $H(\omega)$ を土構造物の応答倍率とすると土構造物頂点の周波数伝達関数 $F(\omega)$ は次式で表わされる。

$$F(\omega) = \frac{H(\omega)}{1 - D(\omega) \cdot E(\omega)} \cdot U^* \quad (15)$$

上式より地盤との相互作用を考慮した土構造物の地震応答解析を行うことが出来る。

表-1で与えられた土構造物-地盤系に対して計算した結果について以下に示し考察を加える。図-3は、ポアソン比 $\nu$ パラメタとして、0.1, 0.2, 0.3と変化させたときの $D(\omega)$ の虚数部を示したものである。ポアソン比によって相似的に変化することがわかる。(11)式より、 $1/D(\omega)$ は複素剛性であることがわかる。いま $D(\omega)$ は純虚数であるから土構造物と地盤の境界上での相互作用を図-2のようなダッシュポットで置き換えたモデルに相当している。このダッシュポットの減衰係数を $c$ とすれば、

$$c = 1 / \omega D(\omega) \quad (16)$$

と表わされる。半無限地盤上に一樣応力が加わっているとその遠散減衰は $C_0 = \rho \beta_1$ で表わされるから、二つの比をとったのが図-4である。これより、土構造物の遠散減衰としては、 $C_0$ の20~50%をとるべきことがわかる。(14)式において、

$$\bar{u} = \frac{1}{1 - D(\omega) \cdot E(\omega)} \quad (17)$$

と置けば、二つは土構造物と地盤の動的相互作用を表わす関数であることがわかる。互の実数部および虚数部を図-5に示した。実数部は土構造物の剛性によるもの、虚数部は地盤の遠散減衰によるものと考えられる。

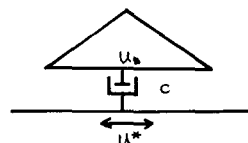


図-2. ダッシュポット

|               | 土構造物 | 第1層 | 第2層                          | 第3層 | 第4層 | 基礎層 |
|---------------|------|-----|------------------------------|-----|-----|-----|
| H (m)         | 10   | 10  | 15                           | 75  | 125 | -   |
| $\beta$ (m/s) | 180  | 180 | 300                          | 355 | 430 | 700 |
| $\nu = 0.3$   |      |     | $\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$ |     |     |     |

表-1. 系の土質条件.

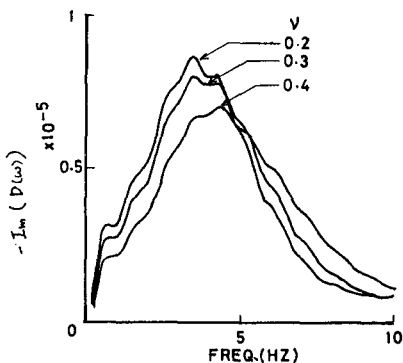


図-3.  $D(\omega)$ のポアソン比による変化.

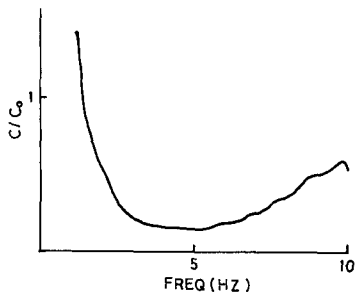


図-4. 減衰係数.

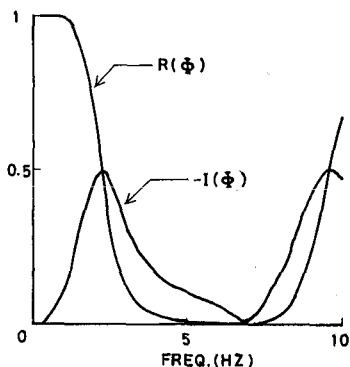


図-5. 相互作用関数 $\bar{u}$ .