

### III - 23 土中の波動伝播に関する研究

東京大学生産技術研究所 正員 岡本舜三  
 農林省農業土木試験場 正員 山下 進  
 東京大学大学院 学生員 伊東孝之

土堤、堤防等のような土の構造物に於ては地震時には間隙水圧が変化しこれによる安定に影響をもつものと推定されるので、この問題を明らかにする必要があるが、こゝにはその第1段階として弾性波が砂中を伝播する場合に、土の間隙率及び含水率の伝播速度に如何なる影響をもつかを研究した。

#### 1. 圧縮波が伝播する場合の基礎理論

銭博士の論文によると、土及び水が非圧縮性の場合、水の飽和された土の基礎方程式は次の如く成立つ

$$\begin{aligned} \left( \eta \frac{\partial \sigma_z}{\partial t} + \sigma_z \right) &= \left[ 2G\eta + \eta \left( \theta - \frac{2}{3}G \right) \right] \frac{\partial \varepsilon_z}{\partial t} + G\sigma_z + \left( \eta \frac{\partial \sigma_z}{\partial t} + \sigma_z \right) \\ \eta \frac{\partial \sigma_z}{\partial t} &= \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} - (1-f) \frac{\partial P}{\partial z} + K \left( v_2 - \frac{\partial u_2}{\partial t} \right) - \sigma_z f \\ v_2 \frac{\partial v_2}{\partial t} &= -f \frac{\partial P}{\partial z} - K \left( v_2 - \frac{\partial u_2}{\partial t} \right) - \sigma_z f \\ f \frac{\partial v_2}{\partial z} &= (1-f) \frac{\partial \varepsilon_z}{\partial t} \end{aligned} \quad \text{----- (1)}$$

こゝで  $\eta$  = 粘性係数,  $\theta$  = 体積弾性率,  $G$  = 剛性率,  $f$  = 間隙率,  $v_2 = (1-f)v_1$

$v_2 = f v_2$ ,  $K = \frac{f^2 \rho_2 g}{K_f}$ ,  $\rho_1, \rho_2$ ; 土及び水の密度,  $K_f$  = 透水性係数

(1)式を解いて、圧縮波の伝播速度  $C$  を求めると、

$$C = \frac{1}{X \cos \gamma} \quad \text{----- (2)}$$

$$X = \sqrt{\frac{\{\alpha(1+r^2)\}^2}{B(1+r^2) + \eta \lambda^2 + \eta \lambda^2}} = \sqrt{\frac{\{k_1 \alpha(1+r^2)\}^2}{B^2 \{ [k_1(1+r^2) + \eta g^2 + r^2] \}}}$$

$$\tan 2\gamma = \frac{-r}{k_1(1+r^2) + r^2}, \quad B = \frac{3}{4}\theta = \frac{1}{2} \frac{(1+\nu)}{(1-2\nu)} G = KG$$

$$\alpha = \frac{3}{4}(1-f)(\rho_1 + \rho_2), \quad r = \frac{\eta \lambda}{G}, \quad \lambda = \text{円振動数}$$

乾燥砂の場合、 $\eta = 0$  とおくと、伝播速度  $C$  は

$$C = \sqrt{\frac{B}{\alpha}}, \quad \text{こゝで } B = \frac{3}{4}\theta, \quad \alpha = \frac{3}{4}(1-f)\rho_1$$

次に間隙水圧  $P$  は次式で表わされる。

$$P = B e^{i\lambda(t + ZX \cos \gamma)} e^{-Z\lambda X \sin \gamma} - \frac{\eta}{f} g z \quad \text{----- (3)}$$

$$\frac{|B|}{AC} = \left[ \left\{ \frac{\rho_2 g}{K_f} (1-2f) \right\}^2 + \left\{ \rho_2 \lambda \left( \frac{1}{f} - 1 \right) \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{こゝで } A = \text{振幅}, C = \text{伝播速度}$$

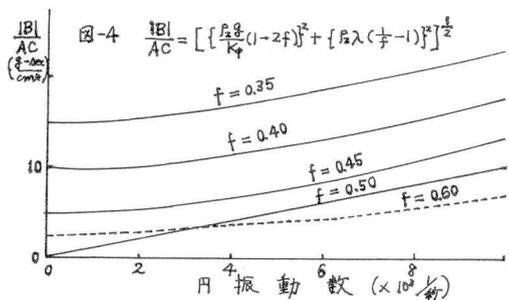
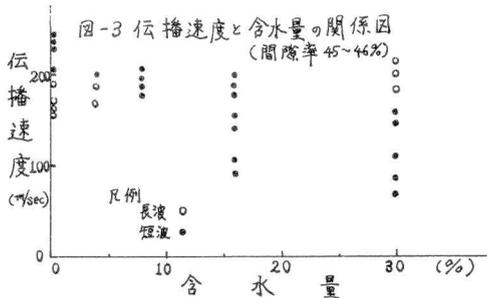
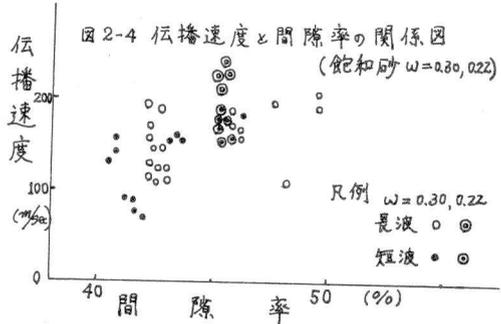
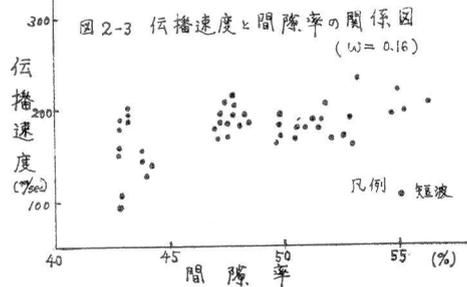
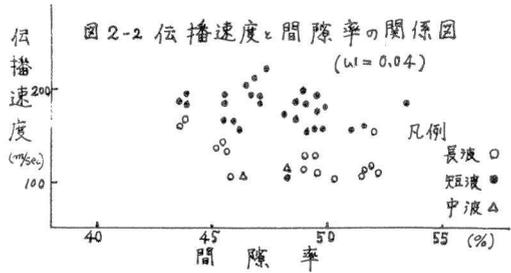
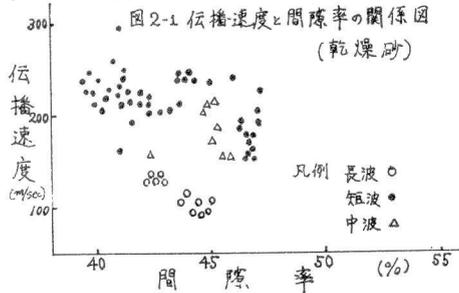
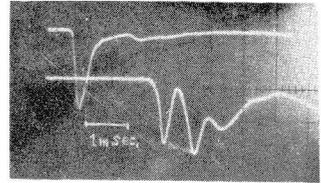
#### 2. 実験

秤量した砂を試料箱につめ、砂中の底面と上面には受圧計を設置しておく。衝撃荷重を落下高  $7 \sim 44 \text{ cm}$  の範囲で落下させ、それによって生ずる弾性波の両受圧計間を伝わるに要する時間をニ現象陰極線オシロスコープに取り付けられたカメラで撮影した写真から求め

予め測定した両受圧計間の距離とから伝播速度を算出した。

砂の間隙率と含水量及び弾性波の波長を変えて、この等が伝播速度に如何なる影響をもつかを調べ、更に(3)により間隙水圧の大きさを推定した。下にその関係図を示す。ここで長波、中波、短波とはその振動数が各R 80 C.P.S., 400 C.P.S., 800 C.P.S. である。

図-1 上,下受圧計の変位



### 3. 結論

- ① 乾燥砂は間隙が増すと体積弾性率は減少し間隙率が39-47%の範囲で体積弾性率は300%から250%であった。
- ② 含水量が少い時、間隙が増すと伝播速度は減少し、含水量が多い時間隙が増すと逆に伝播速度は増加する傾向にある。
- ③ 間隙率が一定の時、短波は含水量が増加すると伝播速度は減少し、長波は増加する傾向にある。
- ④ 間隙水圧の大きさは実験した振動数の範囲(800 C.P.S.以下)では振動数に関係なく大体一定であるが1000 C.P.S.以上では錢の理論によれば振動数が増せば間隙水圧は漸次増加することになる。
- ⑤ しかし錢の理論式と実験結果とを較べると一致しない点があるので種々の点で修正する必要があると思われる。