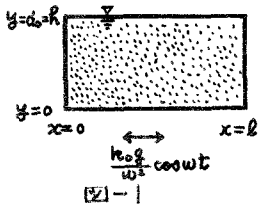


振動時の間げき水圧性状に関する研究

京都大学工学部 正員 石原藤次郎
 京都大学工学部 正員 尾島 勝
 京都大学大学院 学生員 樺田一雄

1. まえがき 本研究は、たとえばダムとか岸壁のように飽和砂と密接に関連し、その安全性を検討する場合に無視できない振動時の間げき水圧性状について若干の考察を行なつたものである。振動によつて飽和砂層中に間げき水圧が発生し、砂層の流動化が起こり、その後砂層が次第に沈下安定化していく過程を対象として、簡単な境界条件のもとで解析し、同時に振動実験により、振動力・境界条件の影響について検討した。

2. 基礎方程式と解 図-1 に示す2次元のモデルを考え外力として $(k_0 g / \omega^2) \cos \omega t$ を与える。解析に際し、1) 動的な間げき水圧は、間げき動水圧 (σ_1) と過剰間げき水圧 (σ_2) の二つに分けられ、この二つの発生機構は異なり独立の挙動を示す、2) 間げき水は圧縮性を持ち、その速度は微小である、で Darcy 則にしたがう粘性抵抗が働く。また、透水係数は場所的・時間的に変化しない、3) 砂粒子は均等均質であり、砂層と同一の水平振動を行ない、鉛直下方には座標 z には無関係に沈降する、4) 間げき率 (λ) は初期間げき率 (λ_0) とほぼ等しい、ということ仮定して、粘性流体に対する Navier-Stokes の運動方程式、水の示性式、非定常浸透流の連続方程式からつぎの基礎方程式が導びかれる。



$$\frac{\partial^2 \sigma_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma_2}{\partial y^2} - \rho_0 \beta \lambda_0 \frac{\partial \sigma_1}{\partial t} - \frac{\rho_0 \beta \lambda_0^2 g}{k} \frac{\partial \sigma_1}{\partial t} = 0 \quad (1) \quad \frac{\partial^2 \sigma_2}{\partial y^2} - \frac{\alpha}{g d_0} \frac{\partial^2 \sigma_2}{\partial t^2} - \frac{2 \lambda_0 \alpha}{k d_0} \frac{\partial \sigma_2}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

この式をつぎの境界条件 初期条件

$$i) \left(\frac{\partial \sigma_1}{\partial x} \right)_{x=0} = k_0 \rho_0 g \omega \omega t, \left(\frac{\partial \sigma_1}{\partial x} \right)_{x=l} = k_0 \rho_0 g \omega \omega t, \quad ii) \left(\frac{\partial \sigma_1}{\partial y} \right)_{y=0} = 0, \left(\frac{\partial \sigma_2}{\partial y} \right)_{y=0} = 0, \quad iii) (\sigma_1)_{y=d} = 0,$$

$$(\sigma_2)_{y=d} = 0, \quad iv) (\sigma_1)_{t=0} = 0, \left(\frac{\partial \sigma_1}{\partial t} \right)_{t=0} = 0, \quad v) (\sigma_2)_{t=0} = \delta'(d_0 - y), \left(\frac{\partial \sigma_2}{\partial t} \right)_{t=0} = f(0) \left(1 - \frac{y}{d_0} \right),$$

を用いて解くとつぎの解が得られる。壁面に作用する間げき動水圧は

$$(\sigma_1)_{x=0} = 4 k_0 \rho_0 g \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{(2m+1)\pi} \frac{1}{r_m^2 + \delta_m^2} \frac{1}{\cosh r_m l + \cosh \delta_m l} \cos \left(\frac{(2m+1)\pi}{2h} y \right) \left\{ (r_m \sinh r_m l + \delta_m \sinh \delta_m l) \cos \omega t + (r_m \sinh \delta_m l - \delta_m \sinh r_m l) \sin \omega t \right\} \quad (3)$$

$$= 1 \text{ に、 } \delta_m = \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ \left[\left(\frac{(2m+1)\pi}{2h} \right)^2 - \lambda_0 \left(\frac{\omega}{C} \right)^2 \right] + \sqrt{\left[\left(\frac{(2m+1)\pi}{2h} \right)^2 - \lambda_0 \left(\frac{\omega}{C} \right)^2 \right] + \left(\frac{\lambda_0^2 g \omega}{C^2 k} \right)^2} \right\}}$$

$$\delta_m = \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ \left[\left(\frac{(2m+1)\pi}{2h} \right)^2 - \lambda_0 \left(\frac{\omega}{C} \right)^2 \right] + \sqrt{\left[\left(\frac{(2m+1)\pi}{2h} \right)^2 - \lambda_0 \left(\frac{\omega}{C} \right)^2 \right] + \left(\frac{\lambda_0^2 g \omega}{C^2 k} \right)^2} \right\}} \frac{g}{\delta_m n} = \sqrt{\left(\frac{(2m+1)\pi}{2h} \right)^2 + \left(\frac{h\pi}{l} \right)^2} \frac{C^2}{\lambda_0} - \frac{1}{4} \left(\frac{\lambda_0 g}{k} \right)^2$$

であり、過剰間げき水圧は

$$\sigma_2 = \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \left(\delta' d_0 + \frac{f(0)}{y_n} + \frac{\delta' d_0 \lambda_0 g}{y_n k} \right) e^{(-\frac{\lambda_0 g}{k} + \delta_n^2) t} + \left(\delta' d_0 - \frac{f(0)}{y_n} - \frac{\delta' d_0 \lambda_0 g}{y_n k} \right) e^{(-\frac{\lambda_0 g}{k} - \delta_n^2) t} \right\} \left\{ 1 + \left(\frac{2}{(2n+1)\pi} + \left(\frac{2}{(2n+1)\pi} \right)^2 \right) \cos \frac{(2n+1)\pi}{2} y \right\}$$

$$+2e^{-\frac{\lambda_0 g}{k}x} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ (f'd_0) \cos g_n t + \left(\frac{f(0)}{g_n'} + \frac{f'd_0 \lambda_0 g}{g_n' k} \right) \sin g_n t \right\} \left\{ 1 - (-1)^n \frac{2}{(2n+1)\pi} + \left(\frac{2}{(2n+1)\pi} \right)^2 \right\} \cdot \cos \frac{(2n+1)\pi y}{2d_0} \quad (4)$$

二に: S ; $(\lambda_0 g/k) > ((2n+1)\pi/2d_0) \cdot g d_0/\alpha$ を満たす最大の n . β ; 木の圧縮率.
 ρ ; 木の密度, $C = \sqrt{1/\rho \beta}$; 水中音速, $f(0) = (\partial \zeta / \partial t)_{y=0}$, $d = 2d_0 g (\partial \zeta / \partial t) / f(0)$.

$$g_n = \sqrt{\left(\frac{\lambda_0 g}{k} \right)^2 - \left(\frac{(2n+1)\pi}{2d_0} \right)^2 \frac{g d_0}{\alpha}}, \quad g_n' = \sqrt{\left(\frac{(2n+1)\pi}{2d_0} \right)^2 \frac{g d_0}{\alpha} - \left(\frac{\lambda_0 g}{k} \right)^2}$$

d. $f(0)$ は過剰間げき木圧図と砂層次下時間図より求められる。

間げき動木圧の基礎方程式は中原氏が導びいた式と異なり、時間に関する微分項に間げき率 λ_0 が一つ多くかかっている。これは連続式として、系のすべての微小部分には木と砂粒子とが含まれていると考えたことによるものである。式(3)で与えられる間げき動木圧の共振は起こらず、 $\lambda_0 = 1$, $k = \infty$ のとき *Wenner-Sundquist* の解と一致する。詳細な理論解の数値計算結果については講演時にのべる。

3. 実験方法 振動台(松平式振動試験機)上に長さ 90^{cm} 、巾 30^{cm} 、深さ 30^{cm} のアクリライト製の砂槽を置き、長手方向に単弦振動を与えた。間げき木圧の測定は長手方向に垂直な壁面に巾 2^{mm} , 3^{mm} , 4^{mm} のマノメーターを17個とりつけ、水位上昇を2秒毎に写真にとった。また、真ちゅう製のスクリーンをつけ4個の電気式木圧計をその対岸壁中央にとりつけ、加速度計とともに電磁オシログラフによつて同時記録した。砂は相馬砂(A)(粒径 $0.59 \sim 1.19^{\text{mm}}$ 、真比重 2.640)と標準砂(B)(粒径 0.1^{mm} 程度、真比重 2.648)を使い、対岸距離(l)を 29^{cm} (I) と 59^{cm} (II)。砂厚(d)を 12^{cm} ($S1$) と 24^{cm} ($S2$)、水深(h)を 12^{cm} ($W1$) と 24^{cm} ($W2$) と変化させて実験を行なった。与える振動は、振動数 $700, 900, 1100$ c.p.m.、全振幅を $15 \sim 140 \times 10^{-2} \text{mm}$ に変化させ、加速度を $50 \sim 400 \text{gal}$ に変化させた。

4. 実験結果と考察

1) 定常状態における間げき動木圧は理論解の数値計算結果と実験結果はほぼ一致し、*Wenner-Sundquist* の値に近いものである。(図-2) 2) 過剰間げき木圧の発生した際、間げき動木圧は非定常な値を示し、その最大値は定常時よりも大きい。3) 砂の粒径が細かく、透水性係数が小さいとき、小さい加速度で過剰間げき木圧が発生する。標準砂では 160gal 、相馬砂では 400gal でその発生が認められ流動化した。(図-3) 4) 砂厚が水深の $1/2$ のとき標準砂では過剰間げき木圧が 300gal で発生し、流動化が起こった。二層の場合、一層より流動化は起こりにくいようであり、興味深い問題である。

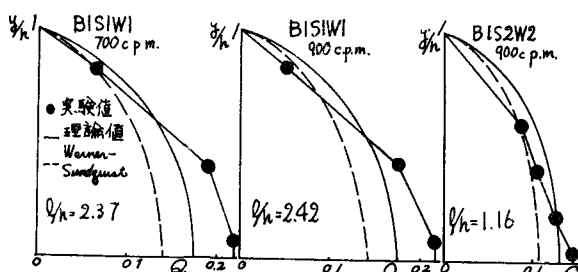


図-2 間げき動木圧分布形状図

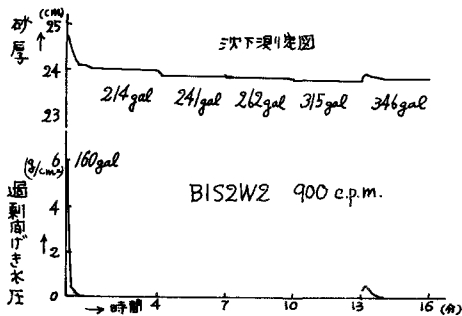


図-3 過剰間げき木圧、次下量-時間図