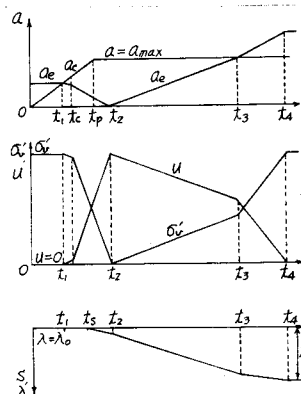


京都大学工学部 正員 石原藤次郎
京都大学工学部 正員 〇辰島 勝

① まえがき 振動・衝撃あるいは地震などの対する砂質地盤の安定性は、静的荷重に対するそれと異なると考えられ、従って、動的時における砂のせん断強度を支配する要素としては、振動方向・振動数・加速度などの入力特性と砂の比重・内部摩擦角・粒度分布・間隙率・こう束圧などの地盤特性とが考えられるが、飽和砂層の場合にはさらに間隙水の存在とその動的性状と重要な要素として考慮しなければならない。われわれは、飽和砂層の不安定現象である液状化現象を、加速度場における砂層構造の破壊および再配列の過程としてとらえ、過剰間隙水圧の発生・消散過程に対比してその機構を考察した。本論文では、液状化現象の発生予測を行うための基本的な考え方を述べる。

② 液状化過程 振動加速度 a 、励起加速度 a_e 、過剰間隙水圧 u 、有効応力 σ_v 、間隙率 e （空隙率 S ）の時間的変化を模式的に示したのが図1である。時刻 t_1 で u が増加し始め、それとともに σ_v が減少するが、 u が増大して σ_v がゼロになればその点は完全液状化の状態になる。その後時間の経過とともに u は消散し砂層が収縮して間隙率 e は減少する。 a_e は砂の粒子構造が緊密であるほど大きい性質を持つとして $a_e = \sigma_v \cdot \varphi(\lambda)$ と仮定したから、 t_1 から減少し始めて t_2 でゼロになり、その後増大して t_3 で振動加速度 a と等しくなる。このとき u はまだ残存しており、その後消散するから a_e はさらに増大する。液状化過程における諸量の定性的な説明は、以上のようなものである。

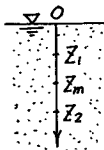


③ 液状化発生の予測 時刻 t_1 から u が増加し始め、液状化の進行が始まるから、液状化の発生あるいは砂層の安定性の予測を行うことは、励起加速度 a_e を適確に定めることに帰着される。この仮定量の科学的意味と吟味すれば、つぎのようなものである。

$$a_e = \sigma_v \cdot \varphi(\lambda) = (\sigma_v(z) - u(z, t)) \cdot \varphi(\lambda(z, t)) = (\sigma_v^0 + p_0 - u(z, t)) \cdot \varphi(\lambda(z, t)) \quad (1)$$

で表されること、一般には、有効上載圧 $(\sigma_v^0 + p_0)$ 、過剰間隙水圧 u 、間隙率 e の諸量に関連し、したがって場所と時間によって異なる。ところで、せん断強度は、 $\tau = (\sigma_v - u) \cdot \tan \theta$ で表わされ、内部摩擦角 θ は砂層密度や間隙率によって変わるから、 a_e は時々刻々のせん断強度に比例した物理量と考えることができよう。換言すれば、 a_e は液状化過程における時々刻々のせん断強度を表わす指標ということができる。この a_e は実験によって決定しなければならないが、直接的に決定することはむづかしく、つぎのような方法を用いる。

座標 z を右図のようにとり、過剰間隙水圧の測点 z_1, z_2 の中点 z_m における過剰水圧こう配 $\partial u(z_m, t) / \partial z$ と $\partial u(z_m, t) / \partial z = (u(z_1, t) - u(z_2, t)) / (z_1 - z_2)$ と近似する。この値は、点 z_m がまだ液状化していない場合はゼロであり、完全液状化の状態に至れば、砂の水中単位体積重量 γ' に等しい。したがって、振動力によって砂粒子間の動的平衡が破れて $\partial u / \partial z$



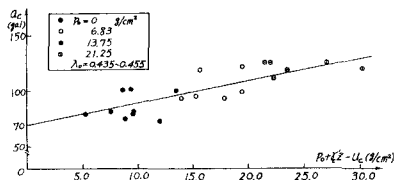
の値がゼロから正に移行する限界状態の加速度 a_c と励起加速度 a_e との間にはつぎの関係がある²⁾。

$$a_c = a_{ec} - \frac{g_c}{g_c - 1} \cdot \frac{g}{R g_c} K_c^2 \left[\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right]_c \doteq (\delta_c z + \rho_c - u_c) \varphi(\lambda_c) - \frac{g}{R g_c} K_c^2 \left[\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right]_c \quad (2)$$

∴ $K_c = \left(\frac{m}{\rho} \right) \frac{2(1-\lambda_c)}{\lambda_c} + 1$, $K_c^2 = \frac{K C^2}{g_c g}$, R : 液状化速度係数, K : 透水係数, C : 水中音速, g : 重力加速度であり, 添字 c は限界状態での諸量であることを意味する。

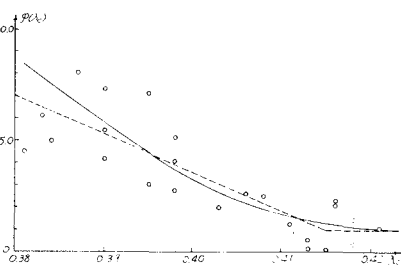
過剰間隙水圧発生初期の限界状態では, 図-1からわかるように λ_c は, 初期間隙水率 λ_0 に等しく, また u_c も小さいから, 式(2)の関係から決定される a_{ec} は, 初期砂層状態での励起加速度 K に等しいと考えるよい。したがって, $\varphi(\lambda_c) = \varphi(\lambda_0)$ と, $\frac{g}{R g_c} K_c^2 \left[\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right]_c$ が決定できれば, a_{ec} を決定するこ

4) a_{ec} 決定の一実験とその考察 豊浦標準砂を用いた実験から得た a_c と $(\delta_c z + \rho_c - u_c)$ の関係を示したのが図-2である。



図に示された実験値は, $\lambda_0 = 0.435 \sim 0.455$ の比較的中るぐわの砂層について整理したものである。図中に示すように比例直線と定めれば, a_c 軸の切片の値から式(2)の右辺才 2 項 $-\frac{g}{R g_c} K_c^2 \left[\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right]_c$ が決定できる。こ

こで λ_0 の値は, 透水係数 K の変化には影響されるが間隙水率 λ の変化にはほとんど影響されないから, 同一砂層については同じであるとみなしてもよからう。この値と a_c から差引き $(\delta_c z + \rho_c - u_c)$ で除した値, すなわち $\varphi(\lambda_c)$ と λ_c の関係を示したのが図-3である。 $\varphi(\lambda_c)$ は λ_c の増大とともに減少しており, これは才1近似として折線(破線)で近似し, $\varphi(\lambda_c) = 72 - 171 \lambda_c$, ($\lambda_0 \leq 0.415$), $\varphi(\lambda_c) = 1$,



($\lambda_0 > 0.415$)とした。したがって, a_{ec} , a_c としてつぎの関係式を得た。

$$\left. \begin{aligned} a_{ec} &= (\sigma_v - u_c) \cdot (72 - 171 \lambda_c) \\ &= (\sigma_v - u_c) \cdot 1 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} a_c &= (\sigma_v - u_c) \cdot (72 - 171 \lambda_c) + 70 \\ &= (\sigma_v - u_c) \cdot 1 + 70 \end{aligned} \quad \begin{aligned} \lambda_0 &\leq 0.415 \\ \lambda_0 &> 0.415 \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)の関係は, a_c の決定法を厳密に1)前較に示した値とさらに修正改良したものである。

こで, 前述したように $\lambda_c = \lambda_0$ であり, u_c も σ_v に比して無視しうるほど小さいから, 砂層の λ_0 を知るだけでその砂層が振動に対して不安定になる加速度を推定できる。

5) あとがき 飽和砂層の液状化過程を過剰間隙水圧の発生・消散過程として説明し, その発生予測の基本となる励起加速度 a_e の決定方法について述べた。このような方法を適用すれば, 砂層の初期間隙水率と初期・水中単位体積重量を知るだけで a_e を推定できるから, その砂層地盤に予測される地震あるいは振動に対し, 液状化の危険性を予測することも可能とならう。

1) 尾島・古賀: "飽和砂層の液状化機構について," 昭和45年度関西支部年次学術講演会講演概要, Ⅱ-28, 昭和45年5月。

2) 尾島: "飽和砂層の液状化機構に関する理論的研究" 土木学会論文報告集, 投稿中。