

変動水圧による緩い堆積砂層の進行性液状化過程

岡山大学大学院	学生員	于	月増
岡山大学大学院	学生員	伊野	同
岡山大学環境理工学部	正 員	前野	詩朗
岡山大学環境理工学部	正 員	名合	宏之

1, まえがき

間隙率 λ が0.48程度の緩い堆積砂層に変動水圧を作用させると、平均間隙水圧の上昇を伴う持続的な砂層の液状化が発生する。この液状化砂層は、時間の経過とともに砂層下部より高密度化し、ある時間が経過すると平均間隙水圧の上昇分は消失し、有効応力が回復する。その後は、変動水圧の1周期内のある時間帯でのみ液状化が見られるようになる¹⁾。ある程度時間が経過した後に発生する一時的な液状化現象の力学機構についてはすでに明らかにしてきた²⁾。ここでは、変動水圧を作用し始めたときに発生する持続的な液状化の機構を明らかにするため、鉛直1次元砂層を対象として理論的かつ実験的に検討した。

2, 数学モデル

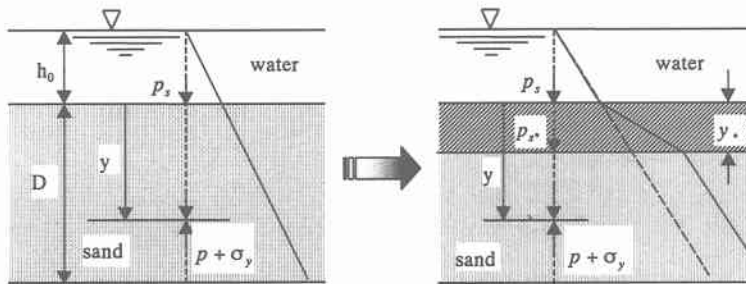
図1に示される鉛直1次元砂層内の間隙水圧 p 及び有効応力 σ_y は多孔弾性体内の流れの解析に用いられる次式によって解析される。また、砂層中にある点では有効応力と間隙水圧の和が上載荷重と釣り合っているとする。すなわち、

$$-\alpha \frac{\partial \sigma_y}{\partial t} + \left(\beta \lambda_w + \frac{\lambda_a}{P} \right) \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{k}{\rho g} \frac{\partial^2 p}{\partial y^2}, \quad \sigma_y + p = p_s + \gamma_s y$$

ここに、 $\gamma_s = \rho_s g(1 - \lambda) + \rho g \lambda_w$ 、 $p = p_{s*} + \rho g((y - y_*) + h')$ 、 $p_{s*} = p_s + \gamma_s y_*$ 、 $p = \rho g h$ 、

$\sigma_y + \rho g h' \approx (\rho_s - \rho)g(y - y_*)(1 - \lambda)$ である。これらの式に含まれる記号は以下のようなものである。

y_* : 液状化深さ、 h : 間隙水圧水頭、 h' : 過剰間隙水圧水頭、 p_{s*} : 液状化していない砂層表面に作用する水圧。 ρ : 水の密度、 ρ_s : 砂の密度、 g : 重力加速度、 α : 砂層の圧縮率、 β : 水の圧縮率、 k : 砂層の透水係数、 λ_a : 空気含有率、 λ_w : 水の含有率、 P : 砂層中の絶対圧力。



(a) 砂層が液状化していない状態 (b) 砂層の一部が液状化した状態

図1 砂層モデル

進行性液状化過程の解析においては、変動水圧の作用により砂層の一部が液状化すると、その液状化領域内は密度が γ_s の混合流体となって、それより下層の砂層に圧力を及ぼすと考え（図1(b)）。

このような仮定のもとで境界条件として、

$$\begin{cases} y=0 \text{ あるいは } y=y_* \text{ で} & h' = 0, \quad \sigma_y = 0 \\ y=D \text{ で} & \frac{\partial h'}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0 \quad (u_y: \text{変位}) \end{cases}$$

を用い、変動水圧 p_s が作用した場合の砂層内の間隙水圧、有効応力、液状化深さが解析される。

3. 数値解析

1) 解析条件

砂層の表面に作用する水圧としては、実験によって得られた水圧を用いる。対象とした実験では、平均水圧 h_0 が 100cm であり、変動水圧の振幅は 80cm、周波数は 1.0Hz である。また、砂層厚さ D は 320cm である。解析に用いるその他のパラメーターとしては以下の値を採用した。 $\lambda_a=0.0012$, $k=0.0335(\text{cm/s})$, $\lambda_w=0.48$, $\alpha=8\text{E-}09(\text{m}^2/\text{N})$, $\beta=4.3\text{E-}10(\text{m}^2/\text{N})$, $\rho_s=2.65(\text{t/m}^3)$ 。計算では、時間差分 Δt を 0.02(sec.) とし、鉛直方向の距離差分 Δy を 0.53(cm) とした。

2) 実験結果との比較

間隙水圧の数値解析結果を実験結果と対照して図2に示している。また、液状化深さの時間変化を図3に示している。

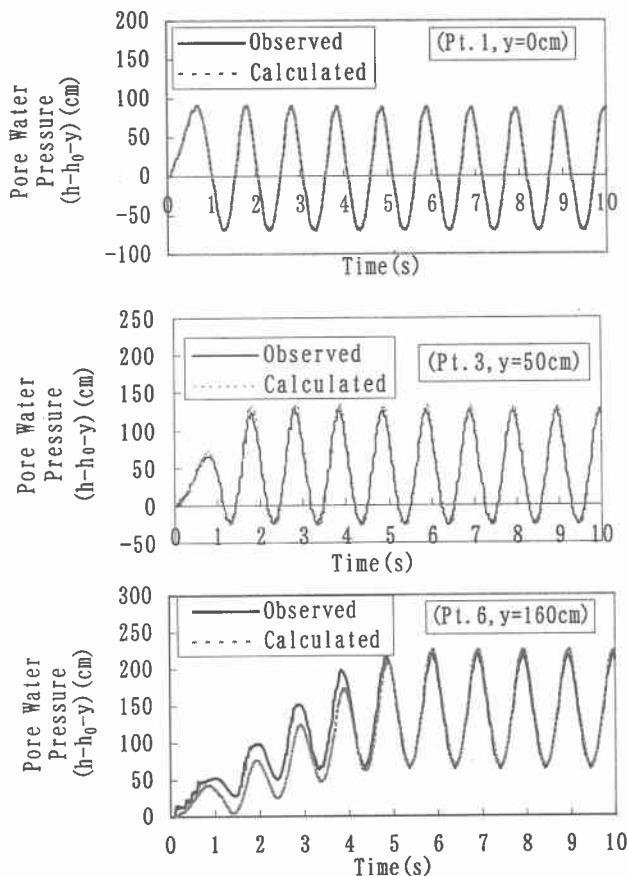


図2 間隙水圧の時間変化

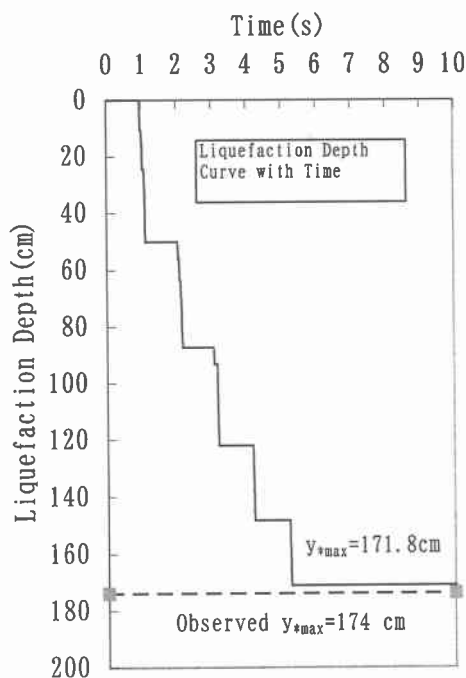


図3 液状化深さの時間変化

図2より、間隙水圧の解析結果は実験結果をよく説明していることが分かる。また、図3より、最大液状化深さについても解析値は観測値とよく一致している。

4. 結論

本研究で示した数学モデルにより、緩い堆積砂層の進行性液状化現象の性質はほぼ明らかにすることが出来た。しかし、砂層深部においては、間隙水圧変化を十分説明するには至っていない。この点については、モデル中に含まれる諸係数特に砂層の圧縮率や間隙率などについてさらに検討する必要がある。

参考文献

- 1) Hiroshi NAGO et al(1993): Liquefaction and Densification of Loosely Deposited Sand Bed under Water Pressure Variation, Proceedings of the Third International Offshore and Polar Engineering Conference, Singapore, pp.578-584.
- 2) Hiroshi NAGO (1981): "Liquefaction of Highly Saturated Layer under Oscillating Water Pressure", Memoirs of the School of Engineering, Okayama University, Vol.16, No.1, pp.91-104.