

II -63

変動水圧による緩い堆積砂層の液状化に関する研究

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

1.はじめに

間隙率が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¹⁾。著者らは、この液状化現象の力学機構について鉛直1次元砂層を対象として従来より研究をすすめ、その数学モデルを明らかにしてきた²⁾。本研究では、すでに明らかにした数学モデルを用いて、液状化現象の特性量の1つである最大液状化深さに及ぼす各種の物理量の影響を明らかにしようとするものである。

2.数学モデルの概要

図1に示される鉛直1次元砂層モデルにおいて、間隙水圧 p 及び有効応力 σ_y は多孔弾性体内の浸透流の解析に用いられる次式によって解析される。

$$-\alpha \frac{\partial \sigma_y}{\partial t} + \left(\beta \lambda_w + \frac{\lambda_a}{P} \right) \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{k}{\rho g} \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \quad \dots\dots(1), \quad \sigma_y + p = p_s + \gamma_s y \quad \dots\dots(2)$$

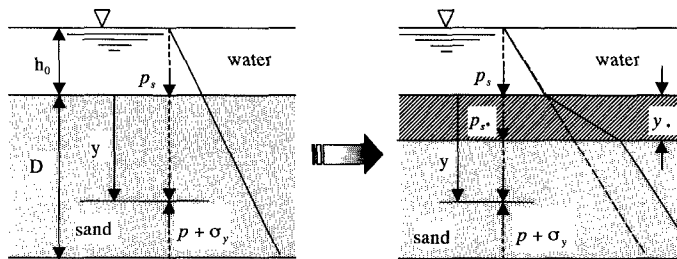
$$\text{式(2)は、 } p = p_s + \rho g((y - y_*) + h') \quad \dots\dots(3), \quad p_{s*} = p_s + \gamma_s y_* \quad \dots\dots(4), \quad \gamma_s = \rho_s g(1 - \lambda) + \rho g \lambda_w \quad \dots\dots(5)$$

を考慮すると、次式のように変形される。

$$\sigma_y + \rho g h' \approx (\rho_s - \rho) g (y - y_*) (1 - \lambda) \quad \dots\dots(6)$$

これらの式に含まれる記号は以下のとおりである。

y_* : 最大液状化深さ, 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, D : 砂層厚。



(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 鉛直1次元砂層モデル

なお、変動水圧の作用により液状化領域は徐々に下方に進行して行くが、その液状化領域内では砂層は密度が γ_s の混合流体となっており、それより下の砂層に圧力を及ぼすものとしている。(図(b))

上式を以下の境界条件のもとで解析する。

$$\left\{ \begin{array}{l} y=0 \text{ および } y=y_* \text{ で} \\ y=D \text{ で} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} h=0, \quad \sigma_y=0 \\ \frac{\partial h'}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0 \quad (u_y: \text{変位}) \end{array}$$

3. 解析結果及び考察

本解析では砂層面に作用する変動水圧として、平均の静水圧が ρgh_0 、変動振幅が ρga_0 、変動周波数が f の次式で示される正弦波を用いた。

$$p_s / \rho g = h_0 + a_0 \sin 2\pi ft \dots\dots(7)$$

最大液状化深さに及ぼす各種因子の影響を解析するにあたって基準となる状態として以下の条件を設定した。

$\lambda_w=0.003$, $k=3.3 \times 10^4 \text{m/s}$, $\alpha=3.5 \times 10^3 \text{m}^2/\text{N}$, $D=10\text{m}$, $\lambda_w=0.48$, $a_0=2.5\text{m}$, $\rho_s=2.65\text{t/m}^3$, $\beta=4.3 \times 10^{10} \text{m}^2/\text{N}$, $h_0=10\text{m}$, $f=0.2\text{Hz}$, $a_0=2.5\text{m}$, $\rho=1000\text{kg/m}^3$

(1) 空気含有率 λ_a の影響

図2は、空気含有率 λ_a に対する最大液状化深さ y_s の変化を表したものである。この図より、 λ_a が増加するに従い、 y_s も増加する傾向にあるのがわかる。これは、変動水圧が砂層内を伝播する際、空気含有率 λ_a の値が大きな砂層では、振幅の減衰が顕著に起こるためである。

(2) 透水係数 k の影響

図3は、透水係数 k に対する最大液状化深さ y_s の変化を表したものである。この図より、 k が増加するに従い、 y_s は逆に減少する傾向にあるのがわかる。これは、変動水圧が砂層内を伝播する際に、透水係数 k の値が大きな砂層では、振幅の減衰が起きにくいためである。しかし、透水係数は間隙率と密接な関係があるため、実際には基準状態の値から大きく変化することはないと考えられる。

(3) 砂層の圧縮率 α の影響

図4は、砂層の圧縮率 α に対する最大液状化深さ y_s の変化を表したものである。この図より、 α の実際的な変化の範囲では、ほとんど y_s は変化しない傾向にあることがわかる。

(4) 砂層厚 D の影響

図5は、砂層厚 D に対する最大液状化深さ y_s の変化を表したものである。この図より、 D が増加するに従い、線形的に y_s も増加する傾向にあるのがわかる。このとき、砂層厚 D の増加に対し、液状化の進行速度には大きな変化は見られないが、最大液状化深さ y_s に達するまでの時間 t_s が増加しており、その結果、最大液状化深さ y_s が増加したといえる。

4. あとがき

本研究により、変動水圧による緩い砂地盤の液状化深さの特性をある程度明らかにすることができた。最大液状化深さは、量的には、より締め固まった砂層において周期的に発生する液状化の深さ（変動水圧の振幅程度）に比べてかなり大きくなるが、これは変動水圧が繰り返されることによって、液状化領域が進行していくためである。本解析では最も単純なモデルとして1次元砂層を対象としたが、今後はより実際的な問題を想定して、表面波を対象とした2次元的な解析をすすめていく必要がある。

【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) 于 月増 他(1999) : 変動水圧による緩い堆積砂層の進行性液状化過程, 土木学会中国支部年講

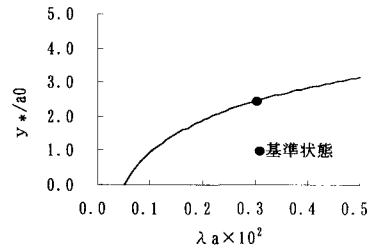


図2 λ_a と y_s の関係

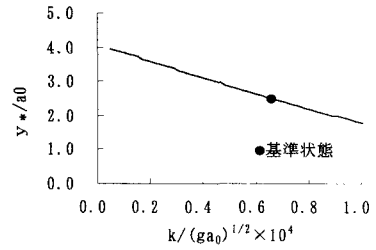


図3 k と y_s の関係

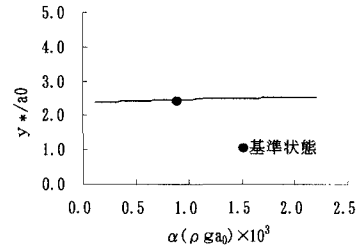


図4 α と y_s の関係

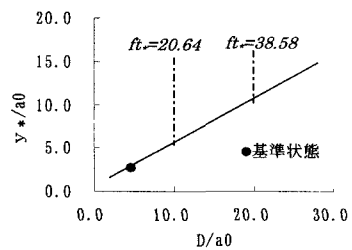


図5 D と y_s の関係