

有効応力に着目した液状化の予測手法

豊橋技術科学大学 正員 河邑 眞
 豊橋技術科学大学 大学院 学生員 ○野瀬 達哉
 豊橋技術科学大学 大学院 学生員 市川 博康
 豊橋技術科学大学 学生員 新納 格

1. まえがき

砂質地盤の液状化予測手法としては全応力法や透水を考慮した有効応力法などが提案されており、それぞれの方法の適用性について種々の検討が行われている。本研究では、地盤内の透水を考慮した有効応力解析を行い、透水の効果について検討した。

2. 解析方法

図-1に示すような均質な砂地盤を集中質点系に離散化し、

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -\ddot{u}_g[M]\{I\} \quad \text{--- (1)}$$

なる運動方程式により動的応答解析を行う。地震動により地盤中に発生する過剰間隙水圧 u については、(1)式にもとづく応答計算値より算定した。過剰間隙水圧 u の排水に伴う時間的変化は、次式により計算した。

$$C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial u}{\partial t} \quad (C_v: \text{圧密係数}) \quad \text{--- (2)}$$

(2)式は、せん断ひずみの周期を時間ステップ Δt として、差分法により解くことができる。差分法はCrank-Nicolsonの陰解法によった。以上の解析方法を図-1に示すモデル地盤について適用し、基盤入力加速度 $\ddot{u}_g = 90 \sin 4\pi t$ (gal), 相対密度 $D_r = 45, 60, 75(\%)$, 透水係数 $k = 0.001, 0.04, 0.1(\text{cm/sec})$ の場合について検討した。また、砂の非線形性は、Seed-Idrissの方法によった。

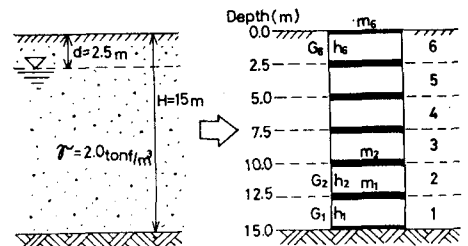


図-1. モデル地盤

3. 解析結果および考察

図-2は、 $D_r = 75\%$ で地盤の透水を考慮して計算した地表面の加速度・変位、深度11.25mの過剰間隙水圧経時変化を表わしたものであり、加速度応答倍率は3.7となっている。図-3は、 $D_r = 75\%$ の場合について透水の影響を調べるために、過剰間隙水圧比 u/σ'_{v0} (過剰間隙水圧 u / 初期有効応力 σ'_{v0}) の経時変化を異なる k の値に対してプロットしたものである。この図には、透水性を考慮しない解析 (非排水解析) の結果も示してある。透水を考慮した解析結果は、完全液状化 ($u/\sigma'_{v0} = 1.0$) が生じておらず、 $t = 4\text{sec}$ 付近から以後は消散過

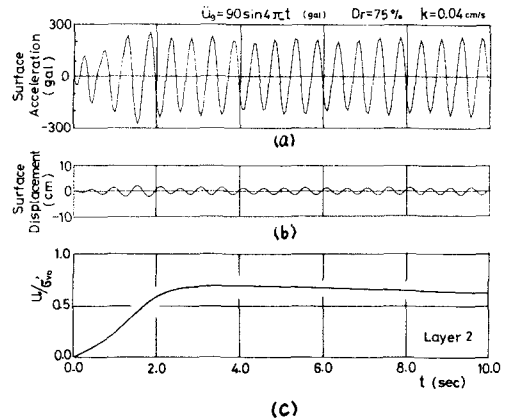


図-2. 応答の一例

程に転じている。また、透水係数の大きいものが消散効果を大きく表わしている。 $t_d=0.04\text{ cm/sec}$ の場合について、相対密度による排水効果の相違を調べるために、 D_r の値を変えて計算した結果を示したものが図-4(a)であり、同時に非排水解析を行ったものが図-4(b)である。これより、 D_r が大きいほど過剰間隙水圧の上昇速さが遅くなり、 u/g_0 のピーク値が減少することがわかる。すなわち、 D_r が大きいほど透水効果が高い。一方、同一の D_r の場合について排水・非排水解析の結果を比較すると、初期の過剰間隙水圧上昇速さはほぼ同一とみなすことができ、 $t > 2\text{ sec}$ において排水・非排水の差が生じていると言える。図-5は $t_d=0.04\text{ cm/sec}$ の場合における過剰間隙水圧の上昇速さ C_1 ・消散速さ C_2 と D_r との関係を示したものである。これより、 D_r の増大にしたがって C_1 は減少しているのに対して、 C_2 はほぼ一定である。また、 $C_1=0.2\sim 0.9(1/\text{sec})$ であるのに比べて $C_2=0.01\sim 0.02(1/\text{sec})$ となり、 C_2 は C_1 に比して極めて小さな値である。図-6は、図-3中で $t=3.8\text{ sec}$ の時の鉛直方向の u の分布である。ここで、 t_d が小さい場合、曲線のふくらみが小さくなっており、非排水解析の場合、深度11.25mで完全液状化している。図-7は、図-6と同条件の場合のせん断ひずみ分布である。これから、排水解析の例に比し非排水解析の方が卓越しており、深度11.25mでは $\gamma=5.3\times 10^{-3}$ となっている。

4. 結言

透水を考慮した有効応力解析を行った結果、解析に用いたモデル地盤では、液状化に与える透水の効果が大きい。すなわち、局部的に上昇した過剰間隙水圧の周辺への再配分効果が大きいことが認められた。また、 $D_r \geq 60\%$ では、完全液状化に達しないという結果が得られた。

(参考文献) Finn, W.D.L., et al: An Effective

Stress Model for Liquefaction, ASCE, GT6, 1977

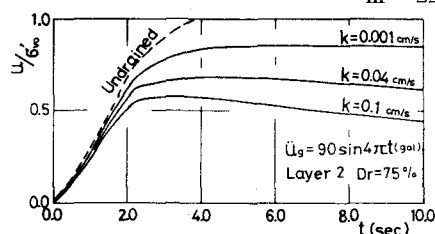
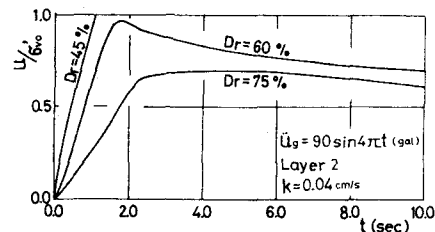
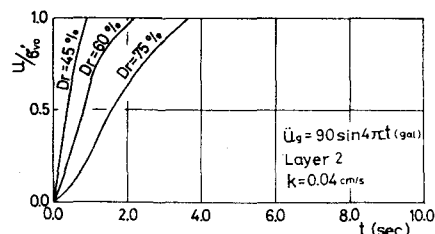


図-3 過剰間隙水圧比の排水条件による影響



(a) 排水解析



(b) 非排水解析

図-4 過剰間隙水圧比の相対密度による影響

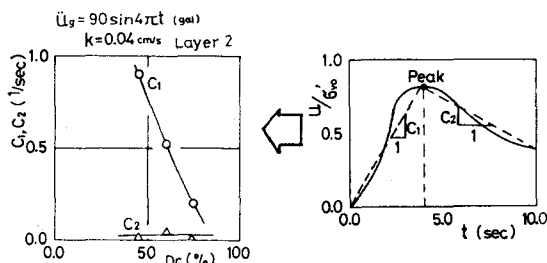


図-5 相対密度と過剰間隙水圧の上昇速さ・消散速さとの関係

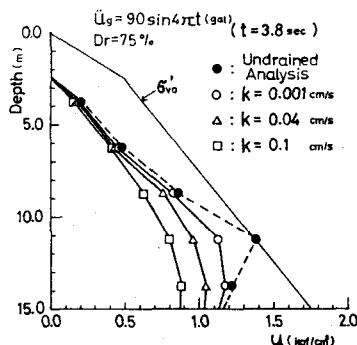


図-6 過剰間隙水圧の鉛直分布

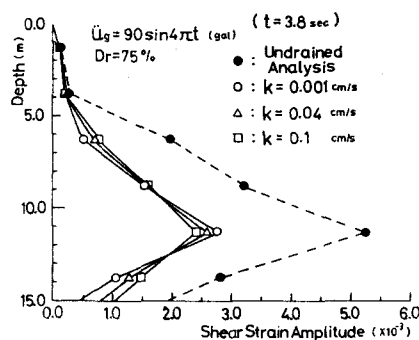


図-7 せん断ひずみの鉛直分布