

液状化における発生過剰間隙水圧に及ぼす地盤加速度の影響について

東海大学大学院 学生会員○久志本 直人
東海大学工学部 正会員 本間 重雄

1.はじめに

近年、震度 6 強～7 の内陸直下型の地震が相次ぎ、地盤の液状化及び液状化に伴う地盤の流動化による被害が報じられている。液状化は地震動によって誘発される地盤内のせん断応力とその繰り返しによる地盤のせん断歪みの増幅によって生じることから、通常周波数 0.1～0.5Hz のもとでの土要素に対する動的三軸圧縮試験や動的せん断試験を通じた液状化発生機構に関する研究が数多く行われてきた¹⁾。しかし、液状化の誘発地震外力が直下型地震のようにきわめて大きい場合には、地震の初期振動により地盤の全面的あるいは部分的な液状化が生ずる可能性が指摘されている²⁾。本研究では、堆積密度の異なる飽和砂地盤の液状化発生に及ぼす最大加速度の影響と正弦振動の繰り返しによる液状化の発達を振動土槽を用いた室内実験を通じて検討した。

2.実験概要

実験装置は図-1 に示す油圧サーボからの制御圧力によって振動台上の土槽を水平および鉛直同時に加振できるもので、連結したコンピューター制御により任意の加振振幅、周波数による振動実験が可能なるものである。振動土槽底部には水平・鉛直方向の変位・加速度計(CH1～4)が、土槽中央背面には間隙水圧計(CH5～7、容量 30kPa)が3ヶ所に設置してある(図-2)。この土槽内に豊浦砂(約 200kg)を投入し、土槽下部から水道水を吹き上げながら加振を行い、相対密度 D_r ほぼ一定の飽和砂地盤を作成した。このモデル地盤に対し、1)水平方向に周波数・振幅の異なる一周期の正弦波を加えた場合、2)同周波数・振幅の正弦波のサイクル数を増加させた場合の実験を行い、モデル地盤の加速度、地盤内各位置の発生過剰間隙水圧を計測した。

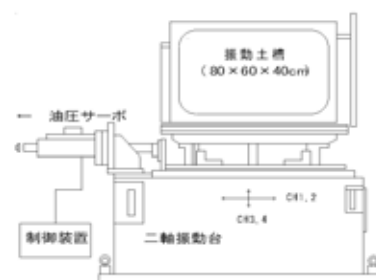


図-1 実験装置

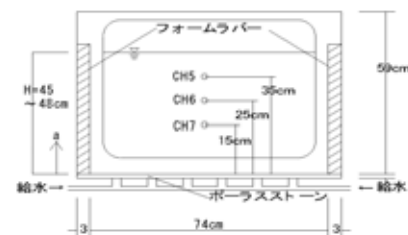


図-2 間隙水圧計の設置位置

3.液状化発生に及ぼす加速度の影響と発生過剰間隙水圧

図-3 は $D_r=10\%$ のゆる詰め砂に周波数 3Hz、振幅 5mm の正弦波を一周期加えた場合の水平変位・加速度および発生間隙水圧の測定データである。正弦波による加振は、図-3(a)の A 点の位置から開始すると加振と同時に加速度無限となるため、B 点の位置から加振を行った。

間隙水圧 P は、図-3(c)の CH5 では加振と同時に上昇し、深部の CH7 では一周期の加振を通じて大きく上昇する。また、CH7 では加振の終了とともに間隙水圧は減少に転ずるが、CH5、CH6 では発生間隙水圧がそのまま維持され、液状化状態がしばらく継続する。このことから、有効上載圧の小さい砂層表面近くでは加振と同時に瞬間的な液状化状態が発現するが、有効上載圧が増加するにつれ加振による砂層のせん断変形の増大によって過剰間隙水圧が誘発され、その結果生じる上昇流によって表層部では液状化状態が継続するものと考えられる。

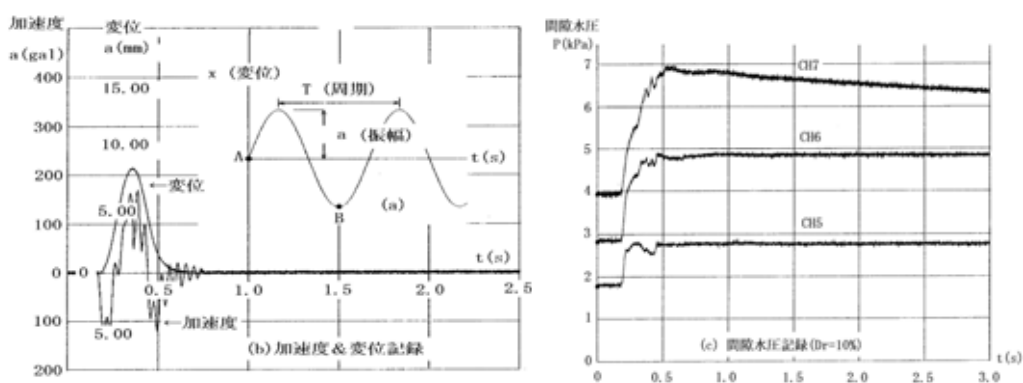


図-3 正弦波一周期による加速度と発生間隙水圧

の加振を通じて大きく上昇する。また、CH7 では加振の終了とともに間隙水圧は減少に転ずるが、CH5、CH6 では発生間隙水圧がそのまま維持され、液状化状態がしばらく継続する。このことから、有効上載圧の小さい砂層表面近くでは加振と同時に瞬間的な液状化状態が発現するが、有効上載圧が増加するにつれ加振による砂層のせん断変形の増大によって過剰間隙水圧が誘発され、その結果生じる上昇流によって表層部では液状化状態が継続するものと考えられる。

【キーワード】液状化 過剰間隙水圧 加速度

【連絡先】東海大学工学部 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117 TEL 0463-58-1211 FAX 0463-50-2186

図-4 は $Dr=10\%$, 50% の砂層に対し、周波数 1～5Hz, 振幅 1～5mm に変化させた一周期加振実験を行った時の最大加速度 α_{max} と有効応力比 u/σ'_0 (発生過剰間隙水圧/初期鉛直有効応力) の関係を示したものである。CH5 では $\alpha_{max}=100\sim150gal$, CH7 では 300gal 前後で有効応力比は上限に達している。有効応力比の上限値は、CH5 の位置では $u/\sigma'_0 \approx 0.7$, CH6, 7 と深部に行くに従い上昇するが、

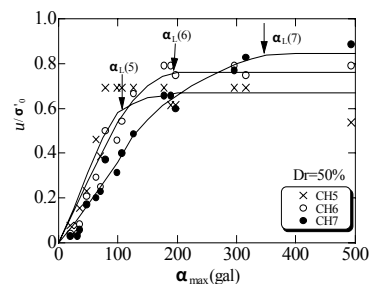
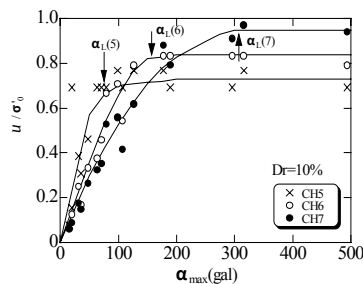


図-4 最大加速度と有効応力比の関係

これは砂層表面部では加振と同時に間隙水の部分的な排水が生じ、完全な非排水状態にないためと考えられる。有効応力比が上限に達する砂層の最大加速度 α_L は有効上載圧が増すほど大きくなるが、浅層部の CH5 では $100\sim150gal$ であり、これは現行の液状化予測法の地表面における最大加速度の大きさ ($\alpha_{max}=150gal$) と一致している。また、 u/σ'_0 は図-4 の α_L までは加速度に比例して増加しており、 α_L の大きさおよび α_{max} に対する u/σ'_0 の増加率は測定位置(深度)および砂層の相対密度によって異なる。図-5 は間隙水圧測定位置における初期鉛直有効応力 σ'_0 に対する有効応力比の増加率 $(u/\sigma'_0)/\alpha_{max}$

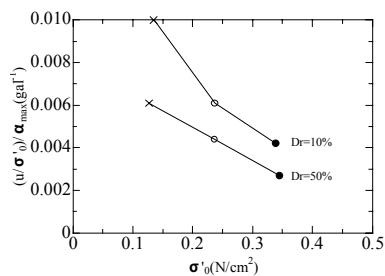


図-5 σ'_0 と $(u/\sigma'_0)/\alpha_{max}$ の関係

を示したもので、増加率は有効応力の増加に伴い減少して行き、相対密度が小さいほど大きく減少していく。

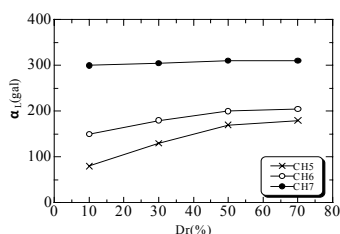


図-6 Dr と α_L の関係

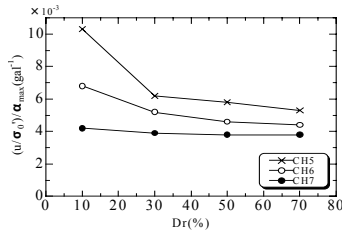


図-7 Dr と $(u/\sigma'_0)/\alpha_{max}$ の関係

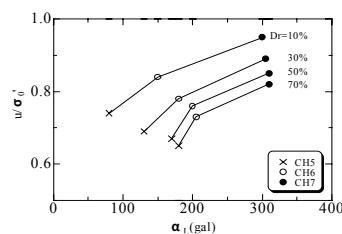


図-8 α_L と u/σ'_0 の関係

以上より、一周期の急激な加振によっても有効上載圧の小さい砂層表面部では瞬間型の液状化が発生し、その大きさ(有効応力比)は砂層表面の加速度に比例する。

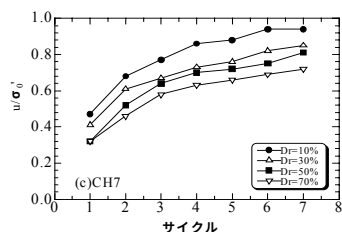
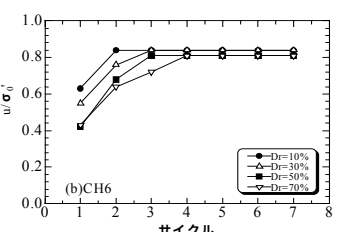
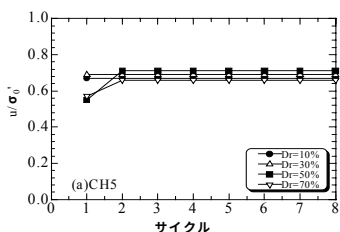


図-9 加振サイクル数による有効応力比の変化

図-6, 図-7 は α_L および $(u/\sigma'_0)/\alpha_{max}$ に及ぼす相対密度の影響を見たもので、砂層上部 (CH7→CH5) に向かうほど Dr の影響がみられるが、その影響は $Dr=50\%$ 程度までである。

図-8 は α_L と u/σ'_0 の関係を相対密度ごとにみたもので、砂層上部(CH5)では Dr の影響は最大加速度の上限値 α_L に対して強く現れ、底部(CH7)では有効応力比 u/σ'_0 に対して大きく影響することが分かる。図-9 は周波数 3Hz, 振幅 3mm の正弦波振動 ($\alpha_{max}=106gal$) の加振サイクル数を増加させた場合の各測定位置における有効応力比の変化を示したものである。CH5 では $Dr=50, 70\%$ を除き、加振と同時に有効応力比は一定値 ($u/\sigma'_0 \approx 0.7$) に達するが、砂層深部に行くにつれ正弦波の繰り返しによる有効応力比の増加が顕著となり、 Dr の u/σ'_0 に及ぼす影響も顕著となる。

4.まとめ

本研究を通じて次の事が明らかになった。液状化を発生させる地盤の最大加速度は、有効上載圧が小さい砂層上部では $100\sim150gal$ 程度で一周期の振動によって直ちに液状化が誘発され、砂層の相対密度の影響をさほど受けないこと、砂層深部では加振サイクル数の増加すなわち砂層のせん断変形の進行につれて有効応力比が次第に増加し、その大きさと増加率は地盤の相対密度の影響を大きく受けることが示された。

【参考文献】1) 岡 二三生:地盤液状化の科学, 近未来社, 2001. 2) 松尾 修:道路橋示方書における地盤の液状化判定法の現状と今後の課題, 土木学会論文集 No.757/III-66, pp.1-20, 2004. 3) 石原 研而:土質動力学の基礎, 鹿島出版会