

比抵抗を用いた液状化状態の消散過程に関する考察

産業技術総合研究所 地圏資源環境部門	正	○神宮司元治
産業技術総合研究所 地圏資源環境部門	正	国松 直
大成建設技術センター 土木技術研究所	正	泉 博允

1. はじめに

液状化現象の消散過程は、液状化発生後の液状化地盤の挙動を考慮する上で重要な液状化プロセスである。従来から、液状化現象の消散過程の観測には、間隙水圧の観測手法が行われてきたが、比抵抗を用いた液状化砂層の観測手法は、砂層の間隙率の変化から砂層の相対密度の変化を直接観測することができ、新しい液状化状態のモニタリング手法として期待できる。液状化状態の消散過程は、地震動によって上昇した過剰間隙水圧が時間とともに消散していく過程であるが、過剰間隙水圧の消散と同時に変化する液状化砂層の相対密度の変化についても同様に追跡していくことにより、より詳細な知見が得られることが期待できる。本報告では、比抵抗を用いて、液状化現象の消散過程における飽和砂層の比抵抗変化の観測を行い、さらに液状化現象の消散過程について検討を行ったものである。

2. 比抵抗計測を用いた液状化現象の消散過程のモニタリング及びメカニズム化

比抵抗を用いた液状化現象のモニタリングは、液状化に伴う砂層の間隙率の変化に伴い変化する砂層比抵抗を観測することによって行うものである。一般に、間隙水の比抵抗があまり大きくない場合において、砂層間隙率と比抵抗との間には、Archie の式¹⁾で表せる関係が成り立ち、砂層の比抵抗を計測することにより、砂層の間隙率及び相対密度を求めることができる²⁾。

図1は、液状化に伴う、比抵抗変化から算出した相対密度の変化の典型例である³⁾。

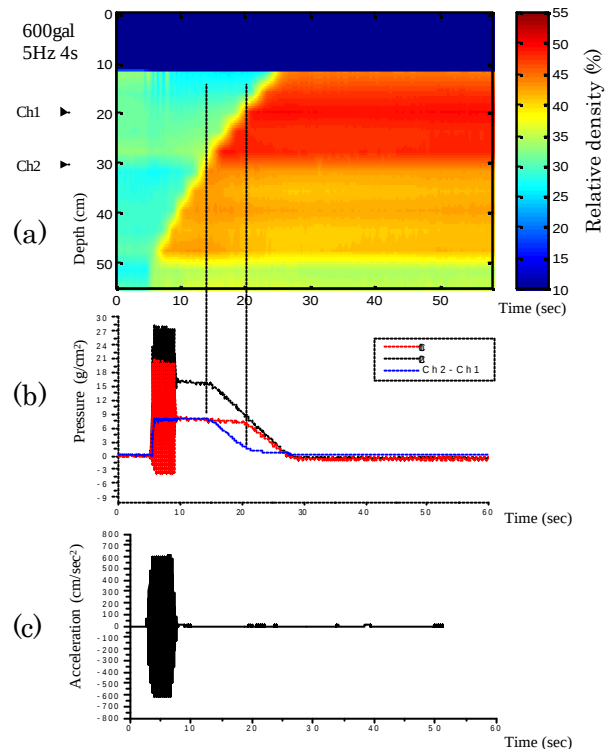


図1 液状化に伴う相対密度変化

図1から明らかなように、加振後、砂層の下部から上部に向かって、急激な砂層の収縮を伴う再堆積が生じる。再堆積は、砂層の上部に向かって進展する。ここで、再堆積が生じている領域を砂層収縮面と定義する。砂層収縮面の発生深度は、加振力に対応する。また、砂層収縮面より上部の領域では、相対密度が変化していない。さらに、砂層収縮面の通過とともに、間隙水圧が低下する。以上の観測結果から、以下のような現象のメカニズムが考えられる。

Key words: 液状化、比抵抗、消散過程、メカニズム

〒305-8569 茨城県つくば市 16-1 TEL 0298-61-8293, FAX 0298-61-8777, m.jinguuji@aist.go.jp

- 1) 加振後、液状化層下部から砂層収縮面が発生し、浅部に向かって進展する。
- 2) 砂層収縮面において、砂層の収縮に伴う排水が起り、この排水によって砂層収縮面上部の砂層に過剰間隙水圧が発生し、また、上向き浸透流が発生する。
- 3) 上向き浸透流によって、砂層の鉛直有効応力が 0 となり液状化現象を呈する。
- 4) 液状化現象は、砂層収縮面が液状化層上部に到達するまで持続される。

3. 液状化時の透水係数について

以上の考察より、液状化現象の消散過程における透水係数について検討する。今、砂層収縮面における微小な層厚を Δh とし、この境界面の収縮に伴う間隙水が上部に排出されるとする。砂層収縮面における層厚の減少分は、微小層厚の体積ひずみが ε_v である場合、 $\varepsilon_v \Delta h$ で表される。ここで、単位時間あたりの微小層厚の上昇速度が、 $\varepsilon_v \Delta h / \Delta t$ である場合、この体積減少分の間隙水が上部に向かって排出される。一方、砂層収縮面の砂層における動圧勾配は、限界動圧勾配であり、ダルシーの式より、以下の関係が導き出される。ここで、 k は砂層の透水係数であり、 i_{cr} は、砂層の限界動圧勾配である。

$$e_v \frac{dh}{dt} = k i_{cr} \quad (1)$$

上式で、 ε_v 、 k 、 i_{cr} が全砂層で一定の場合、液状化層厚を H 、液状化時間を T とした場合には、下式のように表される。

$$e_v H = k i_{cr} T \quad (2)$$

上式は、東畑⁴⁾らが示した式と同じである。 $\varepsilon_v H$ は、砂層の沈下量であるので、砂層が均一であるならば、沈下量および液状化層厚を求めることにより ε_v を算出することができる。また、砂層の沈下速度と収縮面上昇速度から、 ε_v を求めることも可能である。しかしながら砂層の沈下速度は、流動化を伴う場合などには、ほぼ計測不可能である。そこで、ここでは比抵抗の計測から求められる間隙比の変化から、上記の ε_v を推定することにする。今、比抵抗

計測により単位時間あたりに砂層の間隙比が e_1 から e_2 に変化したとする。この場合、体積ひずみ ε_v は、以下のように示される。

$$e_v = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \quad (3)$$

式 1 および式(3)より、砂層の透水係数は、以下のように表される。

$$k = \frac{1}{i_{cr}} \frac{(1 - f_1)}{(1 - f_2)} \frac{dh}{dt} \quad (4)$$

図 1 における豊浦標準砂を用いた実験の結果により、式(4)から液状化時の透水係数を算出してみる。図 1 より、深度 20cm 付近の間隙比は、0.8668 から 0.7929 に変化している。また、砂層収縮面上昇速度は、1.5cm/s である。また、限界動水傾度は、図 1 の(b)より 0.82 と求められる。これより、計算される透水係数は、(4) 式より、 7.2×10^{-2} cm/s となる。ちなみに、豊浦砂の透水係数は、 8.90×10^{-3} cm/s 程度である。

4. まとめ

小型土槽を用いた実験より、液状化時の消散過程における比抵抗観測を行い、その結果より、消散過程における液状化現象のメカニズムについて考察を行った。また、液状化時の透水係数についても、併せて考察を行った。その結果、求められた透水係数は、 7.2×10^{-2} cm/s と比較的大きな値となった。

参考文献

- 1) 茂木 透, 佐々宏一 : 砂のせん断特性及び透水性と比抵抗, 水曜会誌, 第 20 巻, 第 1 号, pp.100-108, 1983.
- 2) 神宮司元治, 国松 直 : 比抵抗による液状化現象の計測とその評価, 物理探査, 第 52 巻, 第 5 号, pp.439-445, 1999.
- 3) 神宮司元治, 国松 直, 泉 博允, 望月 : 比抵抗を用いた液状化時の相対密度遷移過程の可視化およびその考察, 土木学会論文集, 投稿中.
- 4) 東畑郁生, 川崎宏二 : 液状化による浅い基礎の沈下機構とその予測, 液状化メカニズム・予測法と設計法に関するシンポジウム, pp.477-482, 1999.