

比抵抗を用いた液状化現象の可視化

資源環境技術総合研究所	正	神宮司元治
資源環境技術総合研究所	正	国松 直
大成建設(株)	正	泉 博允
株式会社 篠塚研究所	正	望月 智也

1. はじめに

液状化現象は、緩い砂層が地震動により繰り返しせん断力を受け、次第に粒子のかみ合わせがはずれ粒子構造が破壊されていく過程で生じる現象と考えられている。また、砂層が上向き浸透流により液状化状態となる現象は、ボイリング現象としてよく知られている。これらの液状化状態を観測する手法として、主に間隙水圧の計測が行われてきたが、砂層の間隙率及び相対密度を直接観測することができ、多点で計測できる比抵抗を用いた手法¹⁾は、液状化状態の発生及び消散過程を観測し、分析する上で有効な計測手法であると考えられる。本報では、比抵抗計測手法を用いた液状化現象の可視化手法について検討を行い、垂直方向に多数の電極を配置した円筒土槽で行った実験の結果及びその結果観測された液状化収縮フロントおよびその挙動に関して考察する。

2. 間隙率と比抵抗との関係

岩石や土が水で飽和している場合、次のような Archie の法則が成立することが知られている²⁾。

$$F = j_t / j_w = a n^{-m}$$

ここで、 j_t は岩石や土の比抵抗、 j_w は間隙水の比抵抗、 n は間隙率であり、 a や m は実験で定められる定数である。 F はフォーメーションファクタと呼ばれ、間隙率の変化に応じて、岩石や土の比抵抗が変化することが分かる。図1は茂木ら¹⁾により、豊浦砂を含むクリンサンドに対して室内実験で求められた関係である。このような関係を使用して、筆者らは飽和砂試料の間隙率、液状化実験において飽和砂試料が液状化に至る過程での間隙率の変化および液状化状態が終了して飽和砂試料の剛性が回復するまでの一連の液状化過程での間隙率変化を図2のような装置を用いて計測した³⁾。

比抵抗値から間隙率が求められれば、間隙比が算出でき、その砂の最大間隙比及び最小間隙比を用いて、相対密度へ変換することが可能である⁴⁾。

3. 液状化可視化実験及び考察

液状化に用いた実験試料は、豊浦標準砂を用い、砂層の厚さを50cmとした。また、実験試料は、ボイリングを用いて作製した。計測器には、千葉電子研究所(有)およびネオサイエンス(有)に制作依頼した15チャンネル連続比抵抗計測器を使用した。本

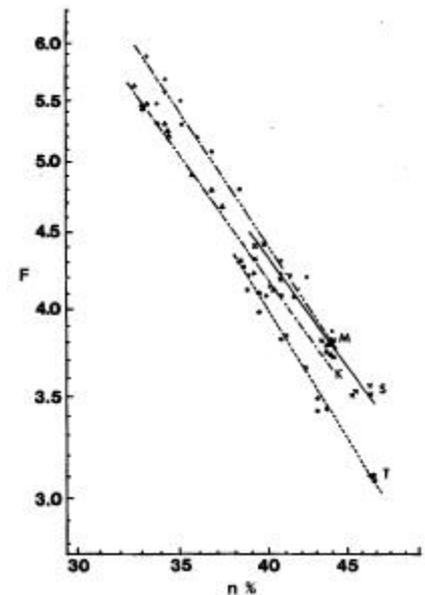


図1 フォーメーションファクタと間隙率との関係

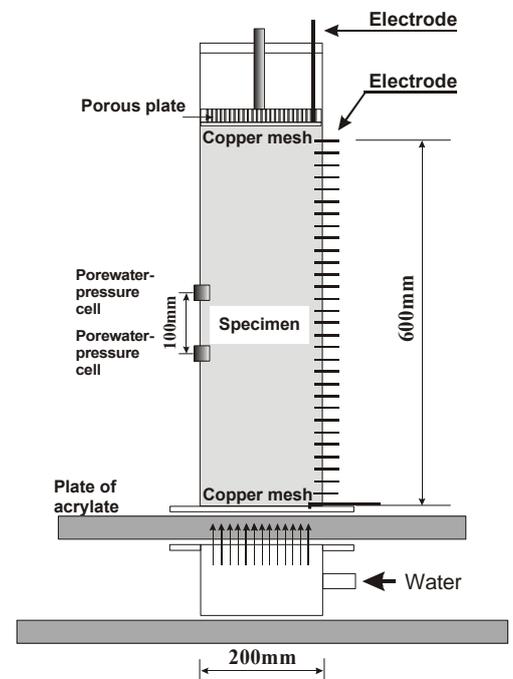


図2 飽和砂試料の比抵抗計測用実験装置

Key words: 液状化、比抵抗、可視化、相対密度

〒305-8569 茨城県つくば市小野川 16-3 TEL 0298-61-8777, FAX 0298-61-8758, jinguuji@nire.go.jp

計測器は、サンプリング速度 250 sec で、15チャンネルの比抵抗値をリアルタイムに計測することが可能である。電流電極には、上部の銅金網と下部の銅金網の間に交替電流を流し、垂直方向に設置された電極を使って、砂層の比抵抗を計測した。また、起振機には、サンエス製電磁式振動加振器 SSV 725 ((株) 鴻池組所有) を使用した。さらに、本円筒土槽下部には、分散板 (パールコン) が設置されており、作製試料の相対密度はボイリングにより調整した。試料の垂直方向における相対密度の均一性は、垂直方向の比抵抗分布により評価した。なお、円筒容器の基部、中部および上部には、加速度計が取り付けられており、加振の際の加速度をモニターし、鉛直方向の加速度分布の違いについて監視した。図3に600gal、5Hz、4sの加振を加えた場合の、実験装置内試料の相対密度 (a)、間隙水圧 (b)、加振波形 (c) の時間経過を示す。加振と同時に、間隙水圧が上載圧に達し、液状化状態に達していることが分かる。また、加振と同時に実験試料下部から上部に向けて相対密度が増加するフロントが上部に向けて上昇していく様子が確認された。ここで、この相対密度が増大するフロントを液状化収縮フロントと呼ぶことにする。液状化収縮フロントでは、相対密度が急激に増加するが、フロント到達前では、表層部近傍 (ボイリングによる相対密度の現象が認められる) を除いて、相対密度の変化は見られない。また、液状化収縮フロントの到達と同時に間隙水圧が低下することが確認された。液状化現象の間隙水圧の消散に関しては、吉見により自重による一次元圧密問題としてとらえられているが、これまでの室内実験の結果から、上向き浸透流の過剰間隙水圧勾配が液状化状態継続中には、限界動水勾配に達することが明らかになっている。そこで、本実験条件 (砂の粒子比重 2.7、水の密度 1、砂層の厚さ 10 cm 間隙率 50%) から砂層 10 cm 間の限界動水勾配に対応する差圧は、 8.5 g/cm^2 と計算される。この値は、図3 (c) の二つの間隙水圧の差圧と等しく、上向き浸透流が限界動水勾配に達しており、このことから砂層が液状化状態に達していると考えられる。また、一次元圧密問題に関連して、液状化収縮フロントの存在は、一般的な Terzaghi (テルツァーギ) 型圧密理論では説明できない間隙水圧の消散過程を説明するために導入された、有効応力ががすかに増えたときに大きな体積圧縮を起こす (沈降現象) モデル⁵⁾ を明確に裏付けている。

参考文献：

- 1) 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.
- 2) 茂木 透・佐々宏一：砂のセン断特性及び透水性と比抵抗, 水曜会誌, Vol.20, No.1, pp.439-445, 1983.
- 3) 神宮司元治・国松 直・泉 博允・望月智也：均一土槽実験試料の作製方法及び比抵抗を用いたその評価方法, 第1回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム, pp.71-74, 2000.
- 4) 国松 直・神宮司元治：比抵抗を用いた液状化現象の可視化, 平成12年度土木学会年講, 2000.
- 5) 地盤工学会編：地盤工学ハンドブック, pp.207-208.

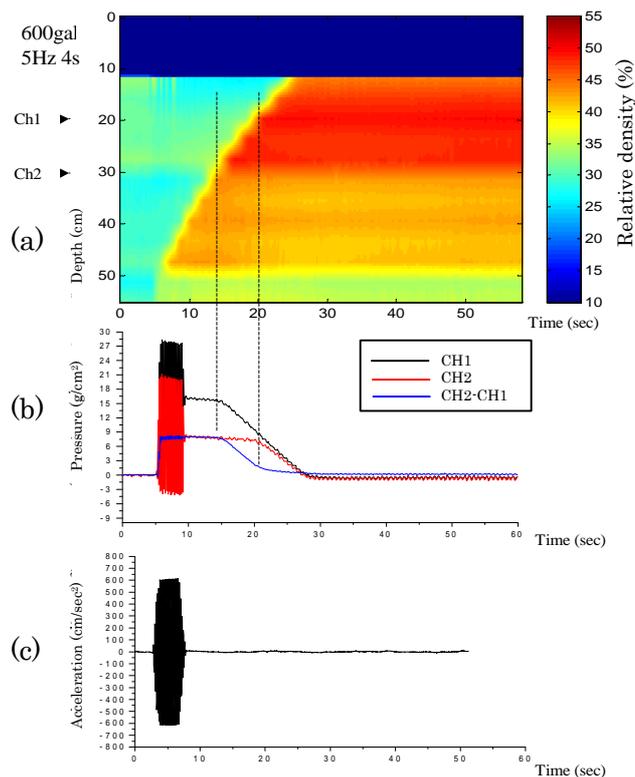


図3 液状化可視化実験の結果