

宅地地盤液状化対策のためのマイクロバブル水注入による不飽和化した実地盤の持続性確認実験

佐藤工業 正会員 ○永尾 浩一

国土技術政策総合研究所 明石 達生

東京都市大学 正会員 末政 直晃

産業技術総合研究所 正会員 神宮司 元治

1. 目的

2011年3月東北地方太平洋地震での東京湾湾岸地域で発生した住宅地の液状化被害は広範囲に及んでおり、既設宅地のような入り組んだ場所でも簡易に液状化対策できる工法が必要とされる。本研究は、既設住宅の経済的な耐震改修として、宅地地盤にマイクロバブル水（以下 MB 水）を注入し地盤を不飽和化させ液状化対策を図る工法の確立・普及を目指すものである。著者らはこれまで実規模大のせん断土槽実験により、MB 水により不飽和化した N 値 6 程度の緩い砂地盤において震度 5 弱程度までの液状化抑止効果を確認し、さらに遠心載荷試験では N 値 16 程度の地盤であれば、飽和度を 90%程度とすることにより兵庫県南部地震相当の地震動に対しても防災対策としての効果が十分発揮出来ることを確かめた¹⁾。今回は、工法の実用性を検証する目的で実地盤へ MB 水の注入を行い、地盤を不飽和化させた後、地盤内空気の持続性を確認した。

2. 実験概要

実験は埼玉県三郷市の江戸川河川敷で行った。試験地盤注入対象層の地盤特性を表-1 に示す。試験地盤は GL. -10m までは N 値 20 以下の砂質系の沖積地盤であり、注入対象地盤は GL.-3.15m~GL.-5.90m の N 値 6~20 程度の細粒分の少ない粒径の揃ったシルト質細砂地盤である。なお、地下水位は GL. -2.1m 以浅で河川水位により変化した。

実験は、領域を (A) と (B) の 2 つに分け行った。

(A) は MB 水注入地盤の浸透領域の不飽和状態の確認を目的とし、距離や深度方向における飽和度変化を調べた。(B) は低層住宅を想定し、床下地盤の飽和度低下を目的とし、住宅側部より注入した住宅下部地盤の飽和度を調べた。

実験概要を図-1 に示す。MB 水は、地下水を利用し、マイクロバブルジェネレーター（以下 MBG）により生成した。図-2 に試験配置図を示す。領域(A)では、E1 の位置より薬液注入で使用する二重管注入法で注入を行った。注入深度は、GL.-4.35m とした。飽和度は、MB 水の浸透範囲での変化が分かるよう挿入式 TDR 土壌水分計を E1 から 0.5m, 1.5m, 4.0m 離れた位置に 3 箇所設置した (TDR1 から TDR3)。挿入式 TDR は、専用の計測管にプローブを挿入することにより、計測箇所の深度方向の飽和度の分布を計測することが出来る。さらに E1 から 0.5m 離れた BC にアクリル管を設置し、CCD カメラで地盤内空気を観測した。

領域(B)は幅 6m の低層住宅の床下地盤(図の斜線部の投影部)を不飽和化させることを目的とし、住宅敷地外の E2 より、床下地盤方向に斜めに二重管を挿入し注入した。また、実用的な工法として、施工が容易なミニラムサウンディングマシン（以下、ミニラム）を用い、住宅側部から注入を行った。注入深度は傾斜二重管注入が GL. -4.11m, ミニラム注入が GL. -4.05m とした。飽和度計測は、挿入式 TDR と定点で連続して飽和度の計測が出来る固定式の TDR で飽和度を計測した。挿入式 TDR 計測管は住宅中央部 TDR4 に設置し、固定式 TDR 計をミニラム注入より 0.5m 離れた位置と住宅下に 4 箇所設置した (TDR_F1 から TDR_F4)。また、間隙水圧計を固定式 TDR より 0.5m 上方に設置し、地下水位の変化を計測した。

なお、TDR 計測による飽和度の値は注入前の飽和度を 100%とし、変化率から算出した。また、挿入式 TDR の定期計測は、MB 水注入後 1 日、2 日、7 日、14 日、20 日、40 日、60 日、80 日、100 日、120 日、140 日の計 11 回行った。

表-1 地盤特性

土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.808
細粒分含有率 $F_c(\%)$	15.0
50%粒径 $D_{50}(\text{mm})$	0.170
飽和密度 $\rho_t(\text{g/cm}^3)$	1.644
間隙比 e	1.089
透水係数 $k(\text{m/s})$	8.67×10^{-7}

キーワード：マイクロバブル、不飽和、液状化対策、実地盤実験

連絡先：〒243-0123 神奈川県厚木市森の里青山 14-10 TEL：046-270-3091 FAX：046-270-3093

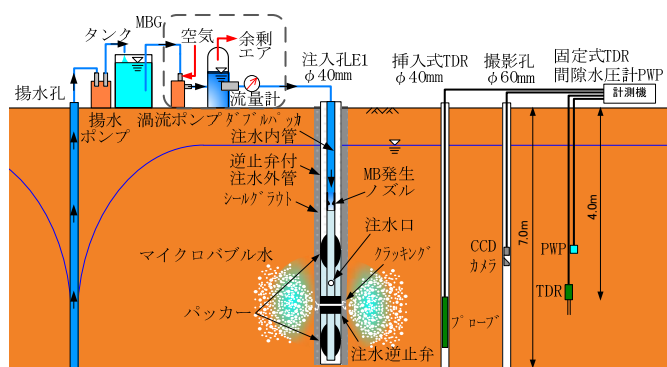


図-1 実験概要図

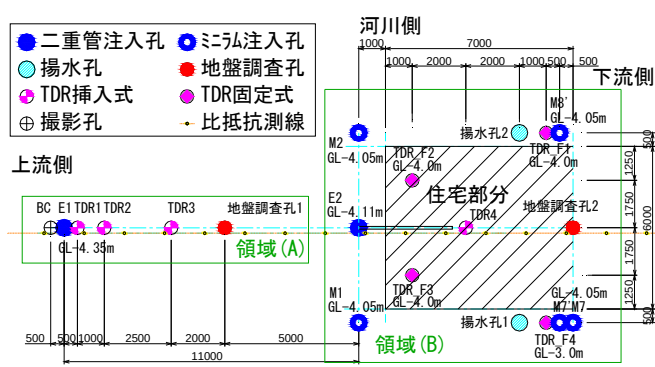


図-2 試験配置図

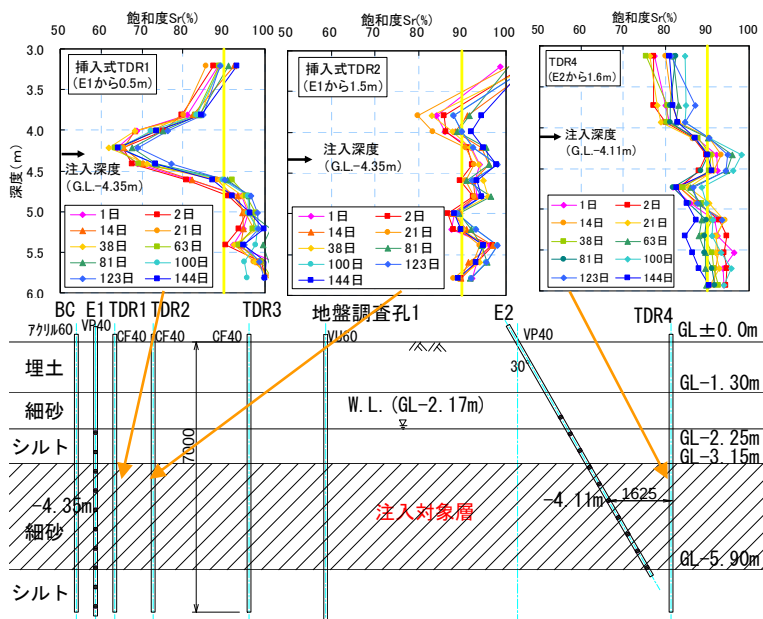


図-3 挿入式 TDR による飽和度計測結果と断面図

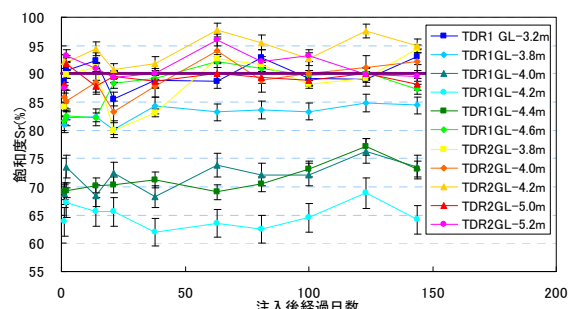


図-4 飽和度経時計測結果

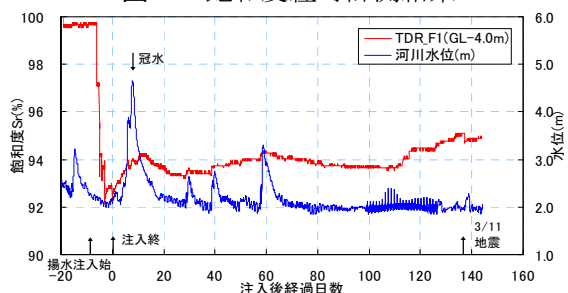


図-5 飽和度経時計測結果

3. 実験結果

図-3 に注入後に挿入式 TDR 計で計測した飽和度結果を示す。飽和度は注入後も低下し、TDR1 で最大 62%、TDR2 で最大 80%まで、TDR4 では最大 75%まで低下した。また、不飽和領域の分布は、離れるに従い上方向に広がる傾向となることが観測された。これは、MB 水が軽く、地盤が浅いほど生成時の圧力と地盤内の圧力の差が大きくなり溶存空気が気泡化するためと考えられる。

図-4 は注入後の飽和度が 90%以下となった深度の飽和度経過である。注入後飽和度が 90%程度のものは 60 日程度で 5%程度上昇したものもあるが、飽和度が 85%以下まで低下しているものは、144 日経過後でもほぼ横ばいの状態となった。また、図-5 は固定式 TDR 計測結果である。飽和度は 92%まで低下し、その後変動したが、概ね安定して飽和度が保たれた。また、同図には実験サイト付近の河川水位を記載したが、水位の変動が飽和度の変化に影響している可能性がある。

4. まとめ

地盤内空気の持続性は、ある程度の不飽和度を確保すれば注入後多少低下するが、その後ほぼ横ばいとなる傾向が観測された。今回の実験サイトが河川敷であり、地下水流(伏流水)が想定されることや大雨による冠水など、不飽和状態の耐久性には厳しい条件の中、約半年の期間不飽和状態の安定的持続を確認した。

謝辞：本研究は国土交通省総合技術開発プロジェクト『多世代利用超長期住宅及び宅地の形成・管理技術の開発』の一環として行った。実験にあたりご指導・ご協力をいただいた国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所および三郷出張所をはじめ検討委員会委員ならびに関係者の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所ホームページ, <http://www.nilim.go.jp/lab/jbg/takuti/takuti.html>