

不飽和化改良地盤におけるコーン打撃時の過剰間隙水圧発生に関する模型実験

佐藤工業	正会員	永尾 浩一
防災科学技術研究所	正会員	○中澤 博志
復建調査設計	正会員	高木 俊男
ジオックコンサルタント	非会員	林 久夫

1. はじめに

地盤不飽和化液状化対策工法は、安価かつ施工がシンプルなことから、住宅の液状化対策としての利用を考えている。本工法は既に施工性の確認はなされている¹⁾ものの、出来型の確認手法は計測孔や注入孔を利用した土壌水分計 (TDR) や比抵抗計測など部分的な飽和度の確認までに留まっており、改良範囲内の全体的な評価を行うことは難しい。そこで、著者らは 2011 年の東北地方太平洋沖地震で液状化が確認された千葉県浦安市の運動公園内で実施された地盤の不飽和化のためマイクロバブル (MB) 水を注入した改良地盤を対象に、間隙水圧計測を伴う動的コーン貫入試験 (PDC) を実施し、簡易的に不飽和化の確認を試みた。ここで得られた PDC による過剰間隙水圧計測結果を検証するため、本報告では室内土槽地盤を用い簡易的なコーン打撃による打撃時の地盤の間隙水圧応答特性把握を行ったので報告する。

2. 現地確認試験

千葉県浦安市の運動公園内の試験施工箇所は埋立地盤であり、図-1 の事前ボーリングと不飽和化前後の PDC の結果に示すとおりである。また、地下水位は、潮位により変動するが概ね GL-2m 程度であった。MB 水注入深度は、それぞれ GL-3.5m 以深、1m ピッチの 5 深度とし、注入前後の TDR により、飽和度 S_r は、MB 水注入後の PDC 実施時に、およそ 80~90% まで低下していた。なお、試験施工の詳細は参考文献¹⁾に詳しく述べられている。

図-1 に示す MB 水注入前後における PDC から得られた N_d 値の深度分布を見ると、両者は良く一致しており、注入時の地盤の乱れ等は確認されなかった。先端コーンに内蔵された間隙水圧計が測定した PDC 一打撃辺りの最大過剰間隙水圧 Δu_{max} の深度分布は、土質に拘わらず、全体的に MB 水注入後の応答値が著しく大きくなっている。

図-2 に GL-5.25m 付近における打撃時の間隙水圧及び貫入量の時刻歴答の一例を示すが、MB 水注入前後でコーン先端の貫入挙動や残留過剰間隙水圧には違いが確認できないが、不飽和化地盤では、 Δu_{max} を示すピーク値が大きくなっており、飽和度低下の影響を捉えているものと考えられる。

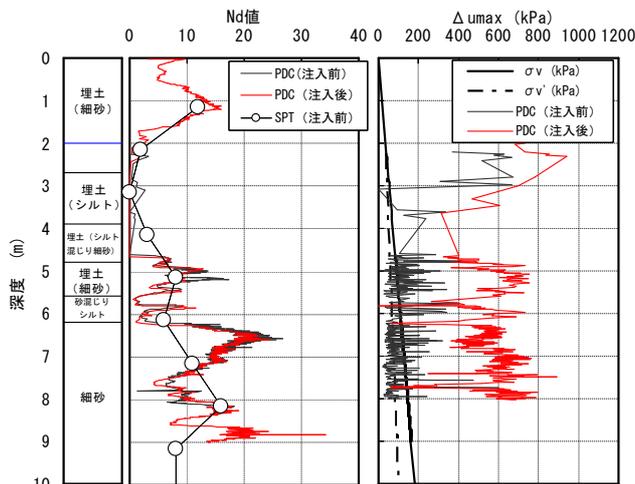


図-1 試験施工時の地盤調査結果

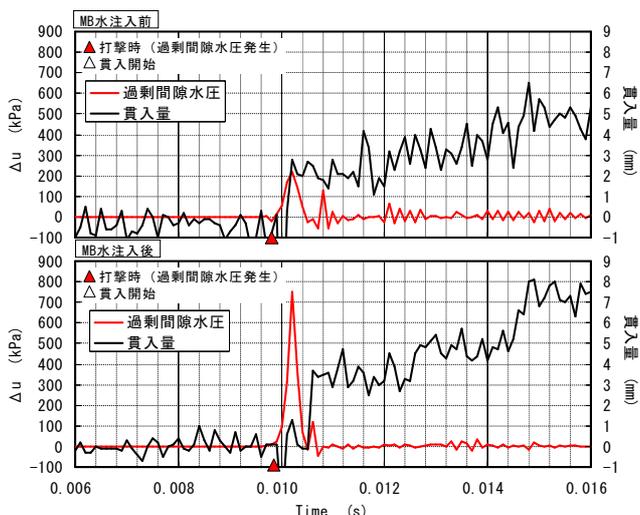


図-2 GL-5.25m 付近における打撃時の時刻歴

キーワード 不飽和, 過剰間隙水圧, 動的コーン貫入試験, 液状化対策, 模型実験

連絡先 〒101-0032 東京都千代田区岩本町 3-8-15 復建調査設計東京支社 TEL 03-5835-2631

3. 室内模型実験

上述の現場試験では、地盤の飽和度低下時の様相を PDC により捉えているが、定量的な説明には不明な点が多いため、コーン打撃時の過剰間隙水圧の発生メカニズムを調べることを目的に、土槽実験を実施した。PDC と同じ先端コーンを簡易的に手動（一打撃 1cm 程度）でハンマーで打撃し、先端コーン内部および模型地盤内の間隙水圧計（PDC から約 3~5cm）により間隙水圧応答を調べた。図-3 に模型実験概要および計測位置を示す。模型地盤は、飯豊硅砂 6 号 ($G_s=2.621\text{g/cm}^3$, $e_{max}=0.858$, $e_{min}=0.543$, $D_{50}=0.299\text{mm}$, $U_c=2.2$) を空中落下法により相対密度 D_r を約 60% で作製し、土槽下部から、脱気水を浸透させ飽和地盤とした。その後、MB 水を注入し不飽和化を図ったが、TDR による注入後 S_r は 90% 程度であった。別途実施した PANDA による地盤作製後、飽和後および MB 注入後の動的コーン貫入抵抗 q_d および PDC 打撃時の最大過剰間隙水圧応答値の深度分布を図-4 に示す。乾燥、飽和および不飽和の各地盤において、 q_d の分布は大きく変わらないことから、模型地盤の状態は同様であったものと判断できる。また、図-5 に示す通り、打撃時の先端コーンで計測された過剰間隙水圧が正負で発生することから、 Δu_{max} に加え最小過剰間隙水圧として Δu_{min} (<0) の深度分布をまとめた。図より、乾燥地盤で正負過剰間隙水圧を発生させているが、間隙空気の衝撃伝播による影響であることが推察される。また、飽和および不飽和地盤では、 Δu_{min} は -400kPa 程度まで深度方向に漸増し、一方、 Δu_{max} は間隙水圧計の容量オーバーとなってしまうピーク値の確認が出来なかったが、少なくとも $|\Delta u_{min}|$ よりも大きな値を示している様子が見られる。図-1 と Δu_{min} からの推察になるが、飽和度が低下することで、発生する正の過剰間隙水圧も大きくなっているものと思われる。

図-5 に模型地盤に設置した間隙水圧計深度である GL-20cm 付近で計測した過剰間隙水圧時刻歴を示す。コーン内の過剰間隙水圧は、乾燥地盤では正負で明瞭に発生するが、飽和および不飽和化地盤では若干の負圧も発生しつつ正の過剰間隙水圧が顕著となる。一方、飽和および不飽和化地盤に生じた過剰間隙水圧は、飽和度が下がるとピーク値が若干下がり、打撃時から打撃後の消散過程における挙動が緩やか変化している様子が見られる。

4. まとめ

現場試験結果と模型実験結果は、土被り圧や動的貫入条件が異なるため直接的な比較が出来ないが、飽和・不飽和地盤において、PDC コーン内とコーン近傍で発生する間隙水圧応答特性が異なることがわかった。

参考文献：1)永尾浩一他：浦安市地盤における戸建て住宅を対象としたマイクロバブル水液状化対策工法の実証実験，佐藤工業技術研究所報 No.38, pp.27-34, 2013.12

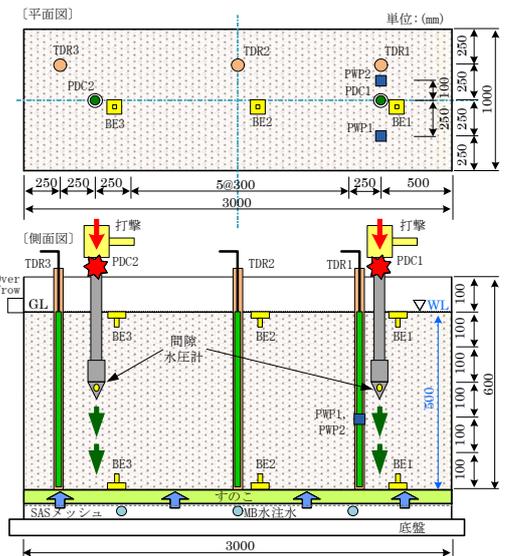


図-3 模型実験概要

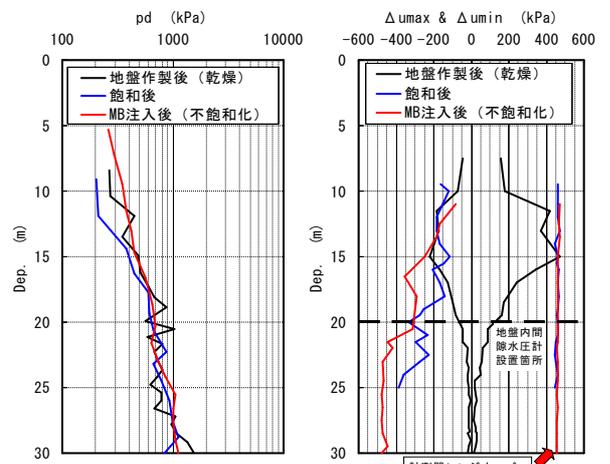


図-4 動的コーン貫入試験(PANDA)および過剰間隙水圧計測結果

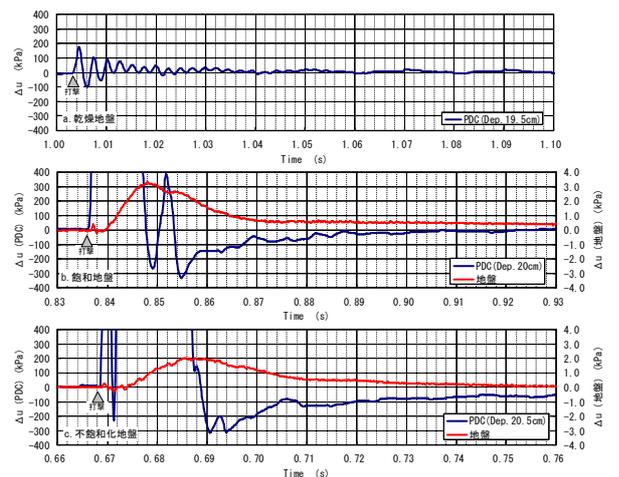


図-5 過剰間隙水圧時刻歴