

神栖市における地下水水位低下工法による不飽和化現地実験

液状化 不飽和 実験

千代田コンサルタント 正会員 橋本 隆雄

1. はじめに

2011年東日本大震災では関東の各地で液状化により住宅が甚大な被害を受けた。被災都市の復旧・復興にあたって、道路やライフラインの公共施設と宅地を一体化して地区全体の液状化対策を施すために「市街地液状化対策事業」を適用することが検討されている。現在各自治体で検討されている地区全体の液状化対策方法としては地下水水位低下工法や格子状改良工法などがあるが、その他の液状化対策工法が望まれている。そこで、短期間の地下水水位低下工法による不飽和化について液状化被害が顕著だった図-1の神栖市で現地実験を行った。この実験は、以下のように準備施工期間まで含めて平成25年3月～平成26年1月まで約11ヶ月間にわたり、再液状化層を対象に不飽和化実験を行った結果、不飽和化の効果があることが明らかとなった。

- ①地下水水位低下期間（図-2の不飽和化期間）：平成25年6月25日～8月1日（約40日間）
- ②復水後の観測期間（図-3）：平成25年8月1日～平成26年1月21日（約6ヶ月間）

2. 不飽和化現場実験の結果 不飽和化現場実験の観測期間中での地下水水位低下量及び土壌水分計による飽和度低下量の試験結果を取りまとめると次の通りとなる。

(1) 地下水水位低下観測結果

地下水低下は水位測定結果からGL-7.0m～GL-8.0mまでの低下が確認され、約1ヶ月継続した水位低下を確認できた。

(2) 土壌水分計観測結果

飽和度を観測するため土壌水分計を6箇所設置（GL-3m, 2箇所、GL-5.0m～7.0m, 4箇所）して観測を行った結果、地下水水位低下前の飽和度（ $S_r=96\sim100\%$ ）に対し、地下水低下後（復水後）の飽和度は $S_r=93\%$ 前後を示し約5%の飽和度の低下が認められる。特に自然水位に位置するGL-3mに設置した土壌水分計は、復水後大きな変化をきたし、最終的には $S_r=96\sim100\%$ を示しているのに対し、自然水位以下に設置したGL-5.0m～7.0mの4箇所は復水後の変化が非常に少なく $S_r=93\%$ 前後の値で平衡状態を保っている。また、平成25年10月16日の豪雨（日降雨量：260mm）に際しても、深度3mの土壌水分計は大きな変化を示しているのに対し、深度4m以深の土壌水分計は変化がない。これらのことから、今後もある一定期間内では飽和度の変化は少なく平衡状態を継続するものと想定される。

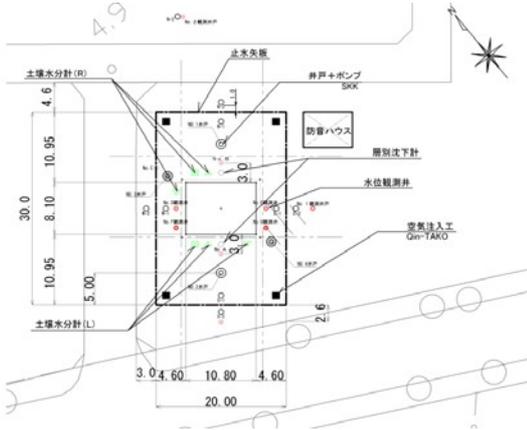


図-1 試験施工図

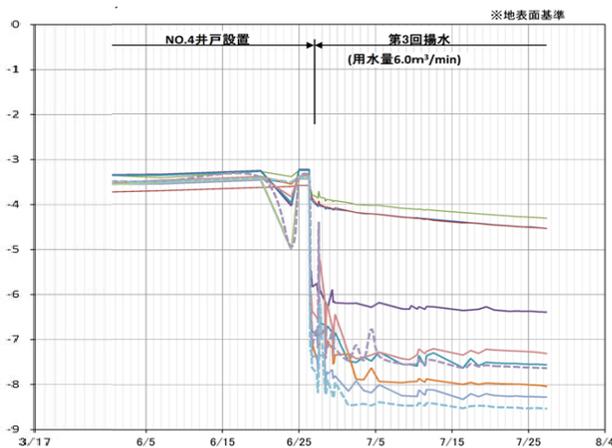


図-2 地下水水位低下観測の結果

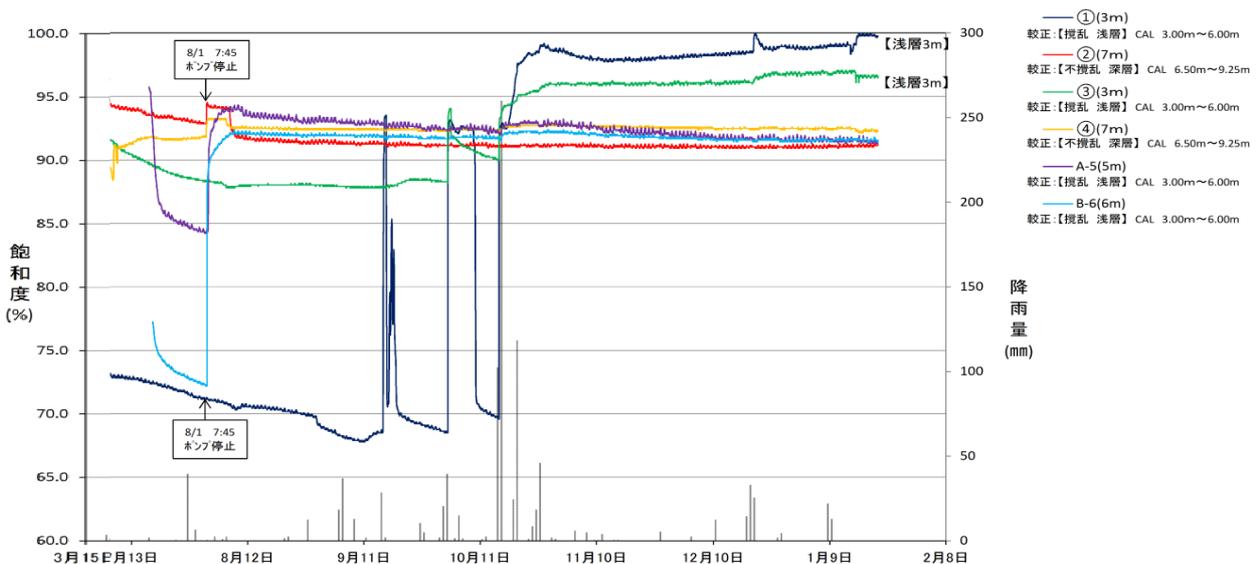


図-3 不飽和化現場実験の結果

Experiments in the field of desaturation by method Takao HASHIMOTO, Chiyoda Engineering  
of lowering the groundwater level in Kamisu Consultants. Co. Ltd  
- liquefaction / desaturation / experiment-

### 3. 室内土質試験結果

#### (1) 繰り返し強度試験

繰り返し強度試験は、飽和度が異なる4供試体を用い20回の繰り返し回数で応力を段階的に増加させ、飽和度の違いによる液状化強度比(R)の変化を調べた。その結果、図-4のようにB値95%(飽和度=100%)とB値25%での両振幅縦ひずみ1%での繰り返し軸応力( $\sigma_d$ )は、B値95%=30(kN/m<sup>2</sup>)、B値25%=43(kN/m<sup>2</sup>)を示し、飽和度が低下することで $\sigma_d=13$ (kN/m<sup>2</sup>)の軸応力の増加が認められた。これを応力比に換算すると「0.13」程度液状化応力比(R)が大きくなることを示すものである。

(2) 保水性試験 保水性試験は「飽和状態」～「脱水過程を経て不飽和状態」～「吸水過程を経て飽和状態」に戻すことによる「不飽和履歴の確認」を実施した。それによると、図-5のように飽和状態から排水し、その後吸水を行っても初期の飽和状態へは戻らないことが確認できた。これは、今回の実験のように一度不飽和化させた場合、初期状態には戻らない傾向を示すものである。

#### (3) 不飽和化前後のPS検層(サスペンション式)結果

一般的に水の弾性波速度(縦波:P波)は、ほぼ1,500(m/sec)と言われており、地下水探査では1,500(m/sec)の層が、ほぼ地下水面を表すとして扱われてきた。また、間隙水の中に気泡が入ると地山弾性波速度は著しく低下する傾向にある。今回の検層結果においても、不飽和化前の場合、GL-2.5m以深が「P波=1,550(m/sec)」を示し、地下水面とほぼマッチした値を示している。今回の地下水低下量は最大で概ね約7.5m~8.0m程度を示しており、不飽和化後のPS検層結果では、図-6のようにGL-7.5m付近までが「P波=1,240(m/sec)」を示し、P波速度の低下が確認された。復水後の水位がGL-3.0m付近まで回復していることを考えた場合、P波速度の結果においては「地下水低下による不飽和化」が認められるものと評価できる。

### 4. 不飽和化における再液状化の検証

不飽和化における再液状化の検証は、「地域で取り組む地盤の液状化対策のための地下水位低下の効果・影響簡易計算シート(国土交通省・国土技術政策総合研究所)」により算定を行った。このシートにおける「飽和度」の取り扱いには以下の文献より次式を採用している。また、再液状化における被害可能性の判定においては、「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術基準・同解説(H25.4国土交通省都市局)」の計算シートを用いて検証を行った。このシートの判定図は、深度5程度の中地震(M7.5,200gal相当)を対象とし、図-7のような判定図となっているが、ここでは、今次災害(M9.0,200gal)を想定し判定を行う。判定結果によると、不飽和化前における再液状化の可能性は全ての箇所において「顕著な被害の可能性が高い」と想定されるが、今回の不飽和化に伴う「飽和度=93%」とした場合、いずれの箇所も「顕著な被害の可能性が比較的低い~顕著な被害の可能性が低い」に分類され、「再液状化による被害の可能性が低い」と評価される。特に「H<sub>1</sub>~H<sub>2</sub>」の関係図では「液状化しやすい」から「液状化しにくい」に改善され、非液状化層厚(H<sub>1</sub>)がH<sub>1</sub>=4.0m程度確保できることになる。

### 5. まとめ

室内土質試験結果、PS検層結果、不飽和化における再液状化の検証結果より、①不飽和化に伴う液状化応力比の増加、②不飽和化に伴うP波速度の減少、③被害可能性判定結果の改善、等いずれも不飽和化に伴い再液状化の抑制が認められることから、「地下水低下に伴う不飽和化工法」も液状化対策の有効な対策工法と評価できるものと判断される。ただし、不飽和化に伴う液状化応力比の関係や不飽和化の維持期間については今後検討の必要があるものと考えられる。

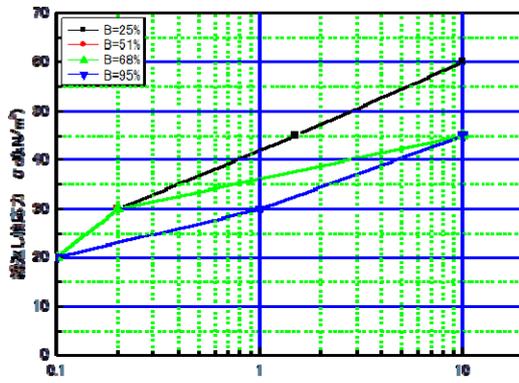


図-4 繰り返し強度試験

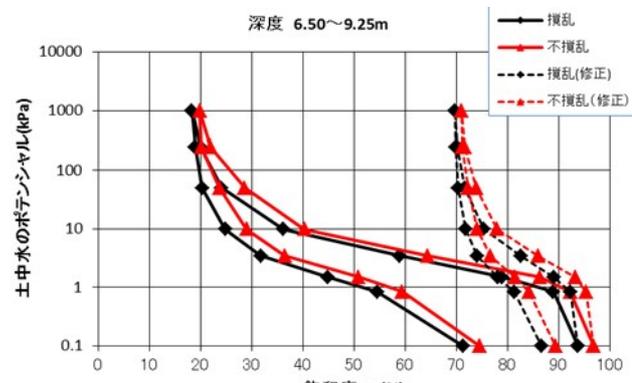


図-5 不飽和化現場実験の結果

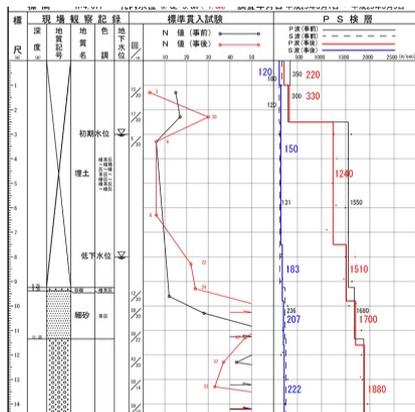
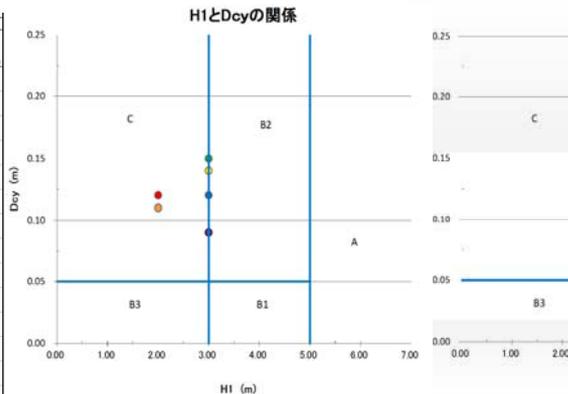
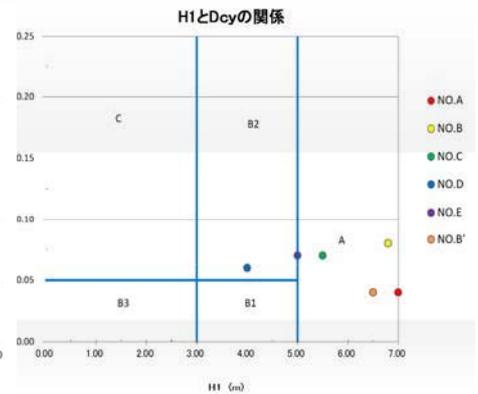


図-6 事前・事後のPS検層比較結果



(a) 再液状化判定結果



(b) 不飽和(93%)における判定結果

図-7 不飽和化における再液状化の検証(M9.0,200gal)