

東日本大震災で液状化被害のあった採掘跡地の液状化対策

和田 陽介

WADA Yousuke
株式会社千代田コンサルタント
東京事業部
社会システム部
防災まちづくり室



はじめに

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、マグニチュード9.0という今までに経験したことのない大地震であり、津波により甚大な被害を受けた。東京湾岸部から利根川下流域の広範囲にわたる埋立地や旧河道・旧池沼等では液状化が発生し、道路や上下水道などのライフライン、家屋が甚大な被害を受けた。

茨城県鹿嶋市平井東部地区では砂利採取により最大15mまで掘削された箇所が点在していた。この採掘跡地を砂が主体である鹿島港の浚渫土で埋め戻し、後に宅地化した。ここでも東日本大震災による液状化被害が発生している。今後同じような地震が発生した場合、この採掘跡地が再液状化による被害が発

生することが懸念されている。本稿では、この再液状化の検証と対策について行ったプロジェクトを紹介する。

鹿嶋市の地形概要

鹿嶋市は茨城県の南に位置し、東側は太平洋、西側は鰐川に面している。東側の低地は砂丘砂が堆積した地盤が広がり、西側の内陸に向かって台地となっている。西側の鰐川沿いは低地であり、谷底平野・氾濫平野が広がっている。台地から低地に向かって緩やかな傾斜地となっており、そこに宅地が広がっている。図2に青枠で示した砂丘地盤や谷底低地を盛土した人工地盤において、液状化被害が集中している。平井東部地区は海沿いにある平井海岸地区の西側に位置し、地

区の西側は台地に向かって高くなっているが、南北方向にはほとんど高低差がない。

平井東部地区の地盤と被害

図3に明治18年と平成21年（東日本大震災前）の地形図を示す。明治18年には東側の海沿いに民家が建ち並んでいるが、西側の台地（平井東部地区）には民家はなく、平成21年には区画整理事業で宅地化されている。

この平井東部地区は、洪積砂丘砂質土層と洪積砂礫層からなり、砂利碎石を採掘した跡地は、N値（地盤の強度を表す数値。大きいほど固い）が概ね10以下の緩い砂質土で埋め戻されている。地下水位はGL（地盤面）-0.2~3.2mであるが、概ねGL-1.5mに位置しており、東日本大震災により緩い砂地盤が液状化し、噴砂や家屋への被害が多く見られた（写真1）。

図4の掘削跡地を示すピンク色の範囲と、Google Earthより判読した図5にオレンジの点で示した噴砂箇所を比較すると、噴砂箇所は地区内に広く点在しているが、概ね採掘跡地と同じ位置となっている。震災前後の地盤高について、航空測量によるDEM（数値標高モデル）デ

ータを用いて比較を行った結果、図6に示す通り採掘跡地が大きく沈下しており、噴砂箇所と合わせると採掘跡地で液状化したことにより噴砂が発生して地盤が沈下したことが分かる。

対策工法

平井東部地区は地下水位が高く、掘削跡地の緩い砂地盤で被害が発生している。被害を軽減するためには非液状化層厚を増加させ、噴砂や建物基礎付近で液状化が発生しないようにすることが必要である。この液状化の対策工法として、地下水位低下工法を次の4つの理由で採用した。

- ① 砂質地盤であり地下水位を低下させやすい
- ② 地下水位を低下させたことによる地盤の荷重が増加しても、圧密沈下の発生が懸念される粘性土がない
- ③ 道路内に設けた対策工で公共施設と宅地内の水位低下を一体的に図れ、宅地内での工事が不要である
- ④ 対策工工事による住民への負担がない

地下水位低下工法は道路内に碎石で囲んだ暗渠排水管を敷設し、地下水を暗渠管に集水・排水することにより、道路および周辺の宅地内の地下水位の低下を図り、平井東部地区ではGL-3.0mまで低下させることとした。全ての道路に暗渠管を敷設することで平井東部地区全体の地下水位低下を図った。暗渠排水は自然流下で下流側の雨水排水施設まで排水させることとした。

再液状化の検証

液状化による地盤強度の変化については、図7に示される試験結果

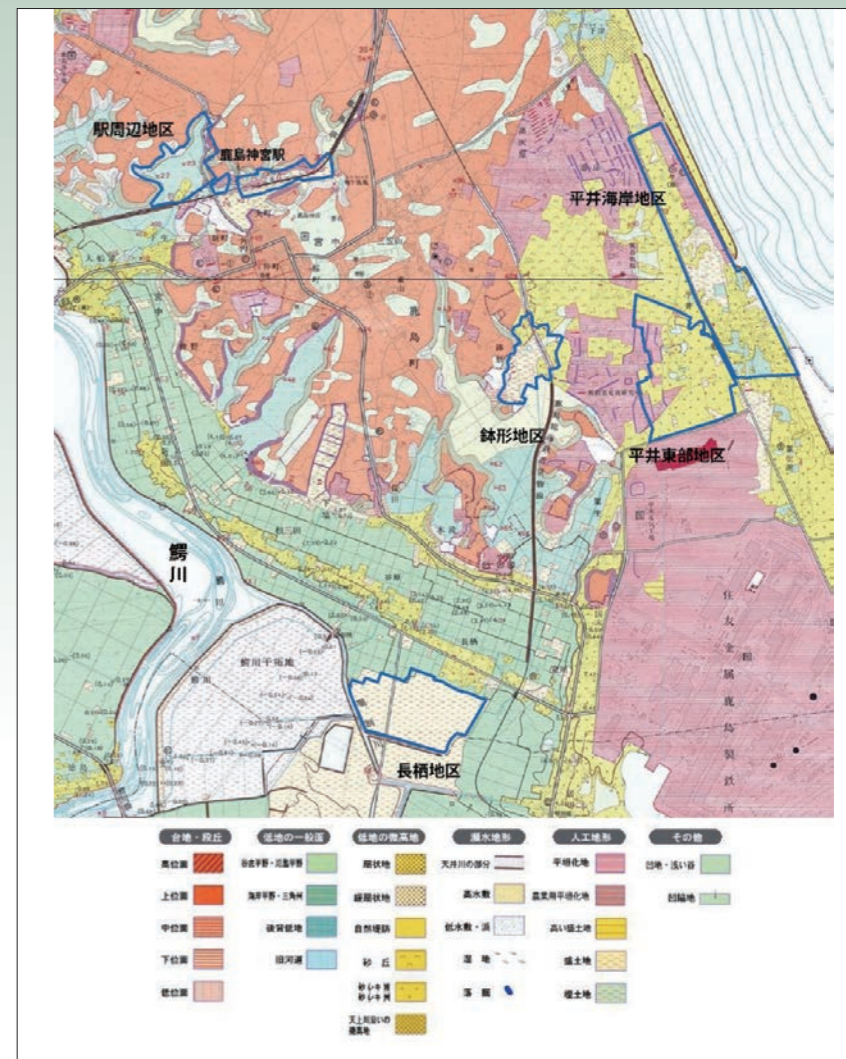


図2 土地条件図¹⁾



図3 明治18年と平成21年の地形図¹⁾



図4 採掘跡地位置図¹⁾ 図5 噴砂発生箇所図¹⁾



図1 鹿嶋市の位置図 写真1 平井東部地区の液状化被害

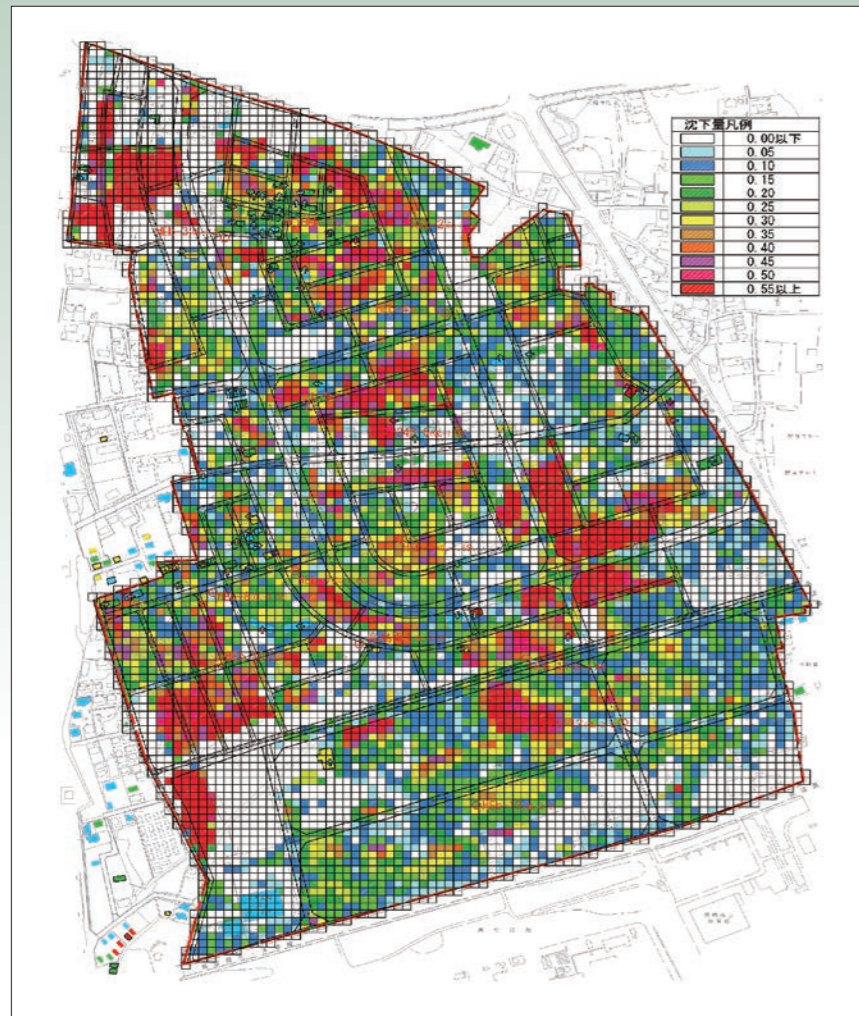


図6 東日本大震災の液状化による沈下量図¹⁾

のように、液状化層の深層部では地盤強度が増加しており浅層部では強度が減少している。東日本大震災による液状化によって、掘削跡地の埋め土の深層部では強度の増加が同様に発生している可能性がある。地盤強度の変化は震災前後のボーリング調査結果を比較することにより確認できるが、同じ位置で調査を行っていないため直接ボーリング調査結果から判断することは出来なかった。このため、DEMデータによる沈下量とボーリング調査結果による液状化層厚の関係を、図8に震災前後でそれぞれプロットした。

震災前の調査による液状化層厚と沈下量の相関が見られ、液状化層厚に対する沈下量は概ね4%であ

り、震災後の液状化層が震災前と比べて1.5m薄くなっている。これは、同じ沈下量の地盤で震災前後を考えた時、震災前の液状化層厚が液状化で沈下し、深層部の地盤強度が増加したために震災後の地盤は液状化層厚が薄くなったと考えられる。また、地下水位低下工法により浅層部の非液状化層を増加させるため、液状化層厚はさらに薄くなり、残った液状化層厚が今後起こる地震に対して再液状化し地盤沈下が発生する。DEMデータのメッシュ毎に再液状化層厚、再液状化による沈下量を算出し、メッシュ図にプロットしたものを図9に示す。

東日本大震災で発生した地盤沈下量と液状化対策後の地盤沈下量

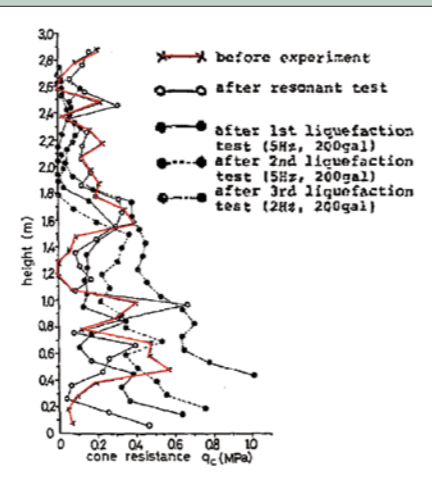


図7 液状化による地盤抵抗の変化²⁾

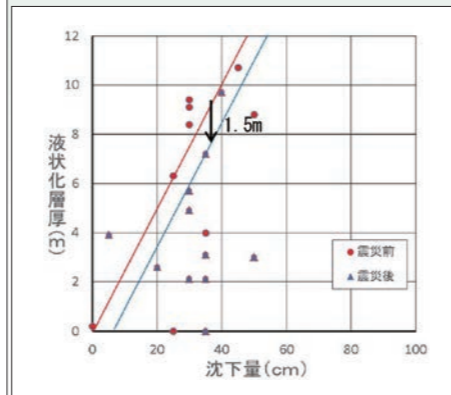


図8 液状化層と沈下量相関図¹⁾

を比較すると、沈下量が10cm以下となった区域は地区全体の49%であったが、対策後は68%にまであがっており、対策による効果がみられた。

試験施工

地下水位低下工法について試験施工を行い、平井東部地区で採用できるかどうかについての確認を行った。図10に示すように、暗渠管は街区幅を想定した35mの間隔でGL-3.5mの深さに配置し、南側の流末に設けた人孔(マンホール)よりポンプアップして西側の道路に埋設されている既設の雨水排水管に排水した。暗渠管と暗渠管の間に模擬家屋を配置することにより、地下水位低下による家屋への影響について確認を行った。また、地下水位低下工法による地下水位低下を

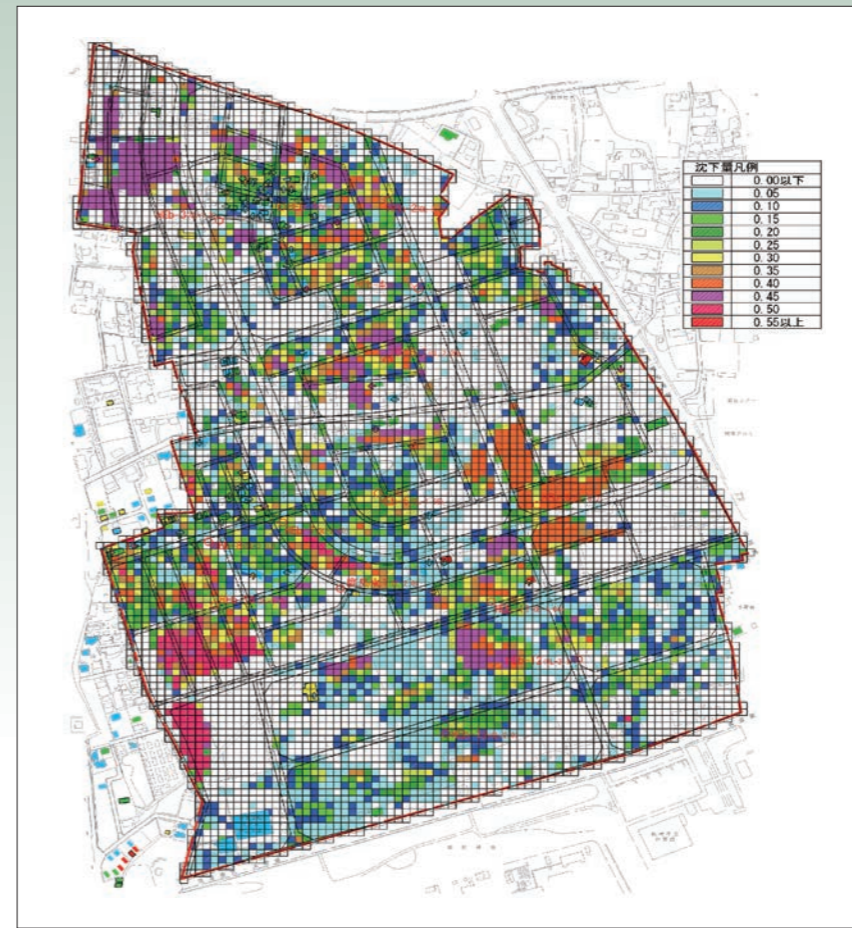


図9 再液状化による沈下量図¹⁾

確認するため、暗渠排水管近傍と両暗渠管の中間、また試験施工区間の外側にもそれぞれ水位計を設置し水位の変動を観測した。

その結果、図11に示すように、6月27日の地下水位低下開始直後

から水位低下が始まり、3日ほどでGL-2.5~3.0mまで低下している。降雨により一時的に水位は上がるが、その後速やかに低下している。暗渠管に挟まれた範囲だけでなく、外側に設置した水位計でも水位低下が

確認でき、地下水位低下工法の効果を確認した。

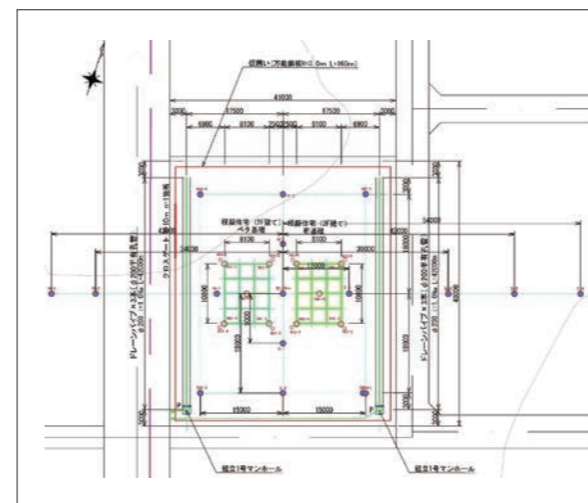


図10 試験施工配置図¹⁾

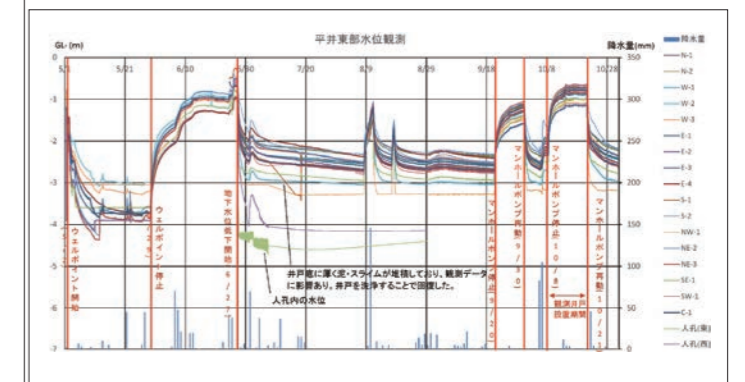


図11 水位観測結果¹⁾

模擬家屋周辺で地下水位低下による地盤沈下が、基礎の傾斜を発生させないかを確認するため、平成26年6月から月1回、基礎付近の地盤高および基礎の天端高の計測を行った。平成27年1月の計測結果では最大4mmの沈下量であったが、これはほとんど家屋には影響のない値であり、地下水位低下による沈下の影響はないことを確認した。

地下水位低下を行うための流量は、マンホール内のポンプを停止し、30cmの水位上昇にかかる時間を計測することにより算出した。その結果、暗渠管から排水される流出量は0.0264m³/secであった。このときの地下水位低下による水位の影響範囲について水位計を用いて観測した結果、13.36haに及んでいた。これらから平井東部地区の推定流出量は0.0025m³/sec/haとなった。

まとめ

平井東部地区における液状化対策工は、再液状化の検討および試験施工の結果から、対策効果が確認された地下水位低下工法を採用することになった。

<参考資料>

- 1) 鹿嶋市液状化対策検討委員会 資料
- 2) 土質工学論文報告集 vol.22: 佐々木康、谷口栄一 SHKING TABLE TESTS ON GRAVEL DRAINS TO PREVENT LIQUEFANCTION OF SAND DEPOSITS