

報文 三成分コーン貫入試験(CPT)による液状化予測例

高田 徹*

1. はじめに

東日本大震災により甚大な液状化被害が宅地に生じたことで、より経済性と調査精度を兼ね備えた地盤調査法や液状化評価法が望まれている。これに対し建設者側では、通常のスウェーデン式サウンディング試験 (SWS) の孔を利用した土質試料採取装置や地下水位測定装置を駆使して液状化を評価したり¹⁾、ハザードマップなどを充実させ、危険度の高い区域ではボーリング調査を実施するなどの工夫がなされている。また一方では、主に間隙水圧を取付けたコーンを静的または動的にサウンディ

ングすることで液状化を評価する流れもある²⁾。

筆者は、震災以前より安価に多様な地盤情報が得られる三成分コーン貫入試験 (CPT) が宅盤調査に適切と考え、SWS結果で基礎検討が困難な場合の追加調査としてCPTを提案してきた³⁾。本稿は、東日本大震災で液状化した区域の土地を (震災前に) 購入されたお客様に対してCPTを実施し、その結果から液状化予測と基礎補強計画を提案したので、その内容を示すものである。

2. 調査地の概要と調査計画

調査地は千葉県我孫子市布佐である (図-1)。ここは我孫子市内で最も激しい液状化被害のあった区域であるが、この顕著な液状化現象は限定した範囲で出現している。この理由に関しては、各研究機関などで調査結果がまとめられている。それらの報告⁴⁾によれば、過去、利根川流域に直結するような細長い水部 (沼地) が1947年撮影の米軍空中写真 (写真-1) で認められている。しかし、1962年撮影の空中写真 (写真-2) では、その水部に該当する箇所が埋立てられ、住宅地や商業地となっている。この液状化被害は、この旧沼地部分に建設された宅地や道路が顕著であり、そこから1本隣の通りでは急に被害が減少するといった傾向からしても、旧沼地部分が液状化と関連している可能性が高いものと推測されている。

今回調査した宅地は、厳密には旧沼地部分に属さない



図-1 土地条件図 (図中の丸は液状化被害の大きい箇所)



写真-1 過去の我孫子市布佐空中写真⁴⁾ (米軍1947年撮影空中写真USA-M675-1)



写真-2 現在の我孫子市布佐空中写真⁴⁾ (国土地理院1962年 (MKT62-1 C11-17) (SA-M675-1))

*TAKATA Toru 株式会社設計室ソイル 技術部長、博士(工学) 技術士(建設部門) | 東京都中央区日本橋3-3-12

表-1 調査内容

調査名	数量	備考
CPT	1ポイント	敷地中央
ボーリング	1ポイント	敷地中央で、CPT位置と1mの離隔を設けた
SPT	10回	
粒度試験	2試料	深度3.15~3.45m 深度4.15~4.53m
土粒子の密度試験	2試料	深度3.15~3.45m 深度4.15~4.53m
SWS	5ポイント	敷地4隅+中央

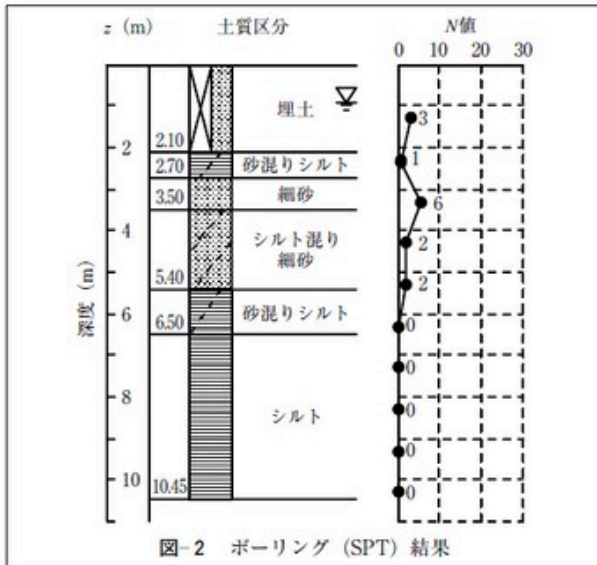


図-2 ボーリング (SPT) 結果

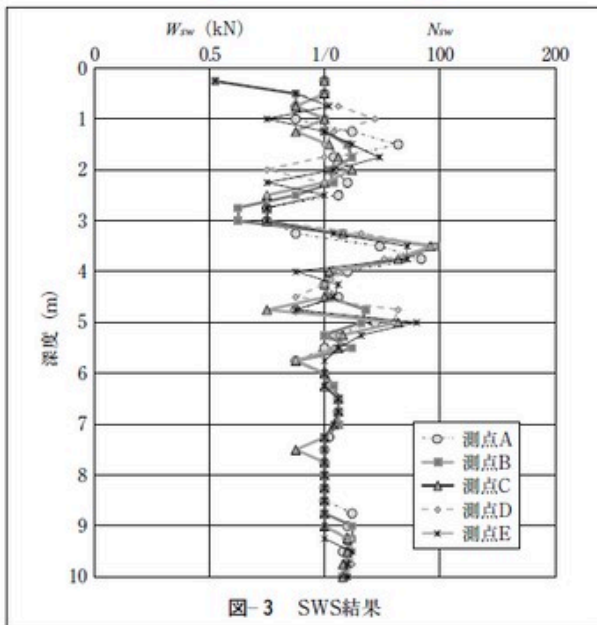


図-3 SWS結果

ものの、その沼地の境界部に位置する。聞き取り調査によると、震災当時、当宅地は旧水部と直行するように地割れが生じ、そこから噴砂も認められていた。今回、この宅地建設に当り、何らかの液状化対策が必要との見方がなされたため、表-1に示すように、従来のSWSに加えてCPTを実施した。今回は、CPT結果の比較検討用にボーリング調査も実施した。

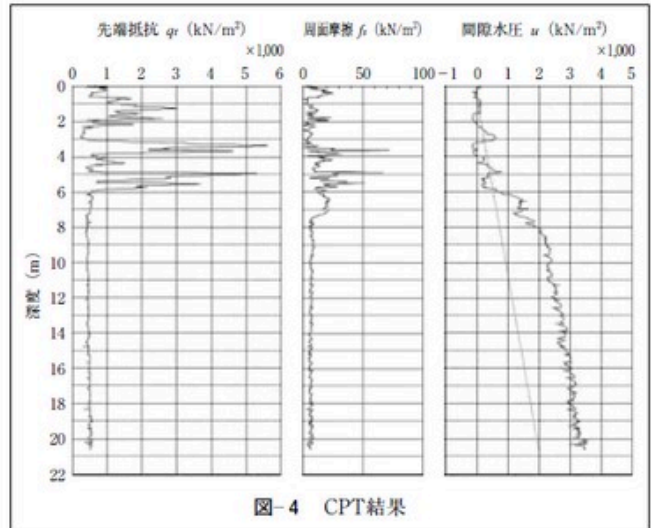
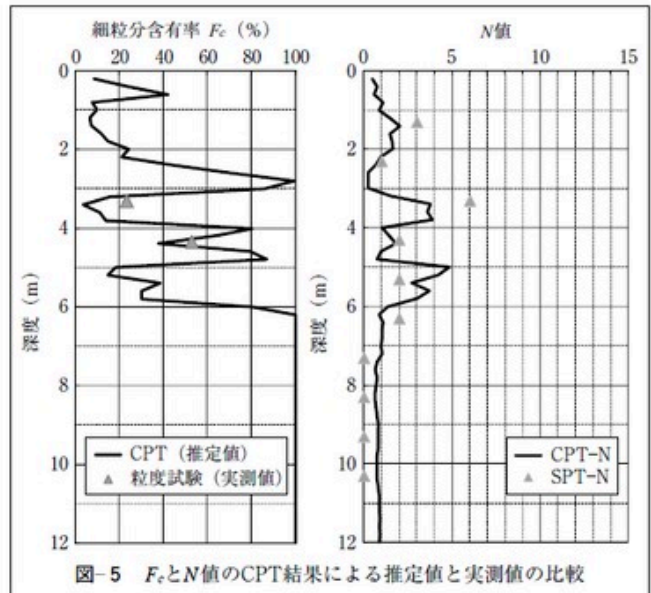


図-4 CPT結果

図-5 F_c とN値のCPT結果による推定値と実測値の比較

3. 調査結果と考察

図-2に敷地中央で実施したボーリング結果を示す。図より、地下水位はGL-0.9mに認められ、深度2.1mまで砂質土主体の埋土、深度2.7~5.4mまでがN値6以下の細砂、シルト混り細砂、深度5.4~10.45mはN=0の砂混りシルト、シルトであった。

図-3にSWS結果を示す。5測点のSWS結果は、ほぼ同様な傾向を示すことから、敷地内で地層の傾斜は少なく、また強度差も少ない宅地だといえる。

図-4にCPT結果を示す。深度6mまで先端抵抗が大きく変動するが、それ以深では低い抵抗値の状態に安定している。また間隙水圧は深度6mまでは静水圧のラインを挟みながら変動しているが、それ以深では静水圧よりも過剰な水圧が働いている。このような特徴を踏まえて、図-5にCPT結果に基づく細粒分含有率 F_c とN値の深度分布を、図-6に土質分類指数 I_c と過圧密比の深度分布を示す。用いた各推定式については、参考文献3)を

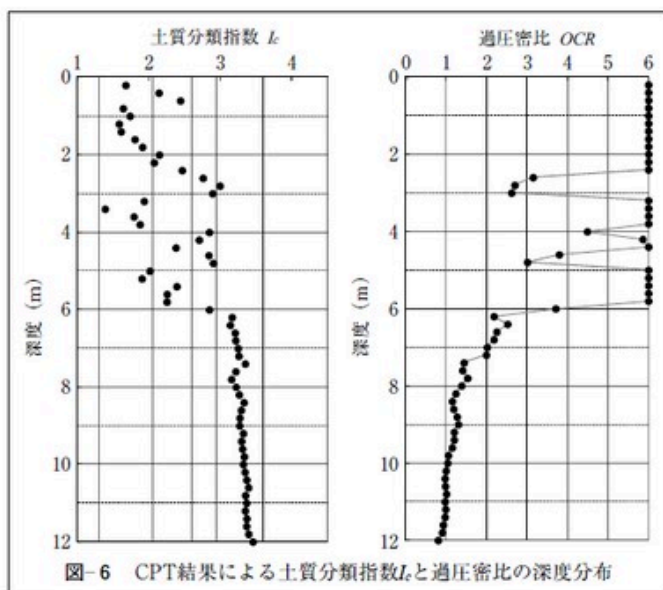


図-6 CPT結果による土質分類指数 I_c と過圧密比の深度分布

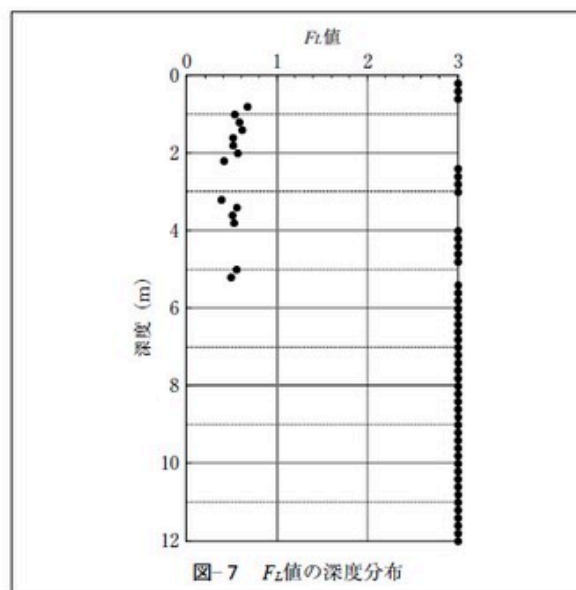


図-7 F_L 値の深度分布

表-2 I_c による土質分類の方法⁵⁾

I_c	土質分類
1.31以下	礫質土
1.31~2.05	砂~シルト質砂
2.05~2.60	シルト質砂~砂質シルト
2.60~2.95	砂質シルト~シルト質粘土
2.95~3.60	シルト質粘土~粘土
3.60以上	有機質土

参照されたい。なお I_c とは、CPT結果から得られる土質分類の指標でその数値により、おおむね表-2のように分類できる。

図-5より、CPT結果で推定した F_L および N 値は、各実測値とはほぼ類似した数値を示していた。また図-6に示す I_c の深度分布より、深度6m以浅では砂質土と粘性土が1~2mの層厚にて互層状になっているが、それ以下ではシルト質粘土~粘土の範囲に I_c がプロットされており、図-2に示したボーリング柱状図とはほぼ類似した土質区分ができています。また過圧密比では、深度10mまでは過圧密、深度10~11.8mまでが正規圧密、深度11.8m以下は圧密未了と判断される。

図-7にCPT結果から推定した F_L 値の深度分布を示す。なお F_L 値の算出は建築基礎構造設計指針に準拠した。この F_L 算出に用いた地震動は、損傷限界地震動を想定してマグニチュード7.5、地表面最大加速度 200cm/s^2 とした。図より、液状化層は地下水位以下の埋土部分（深度0.8~2.2m）、および深度3.2~4.0m、深度5.0~5.4mの砂質土層と判断された。この F_L 値を用いて液状化による危険度評価を行なったところ、 $P_L=11.54$ 、地表面動的変位 $D_y=9.5$ と評価できた。

4. 基礎補強の選定

今回実施した地盤調査結果に基づき液状化対策を検討した。更地なため、液状化対策には多種多様な対策が考えられるが、抜本的な対策は施工側でかけられる予算からすると困難であったので、格子状の柱状改良および単

杭の柱状改良の2種類で検討した。

なお単杭の柱状改良計算では、今回の震災の被災事例を教訓として、液状化層より上部での杭周囲の摩擦力を低減して1本当りの杭の軸力を算出し、かつ液状化層よりも下部まで柱状体を造成するよう設計した。

5. おわりに

現在、当宅地は設計段階にあり、建設はこれからである。CPTを実施して、施主に液状化層および危険度を理解してもらい、そのうえで基礎補強工法を設計・選択してもらうには有効であった。今後は、さらにCPTデータを蓄積して推定精度などを見極めたいと考えている。

最後に1点、液状化対策に関する課題をあげておく。それはたとえばCPTなどで液状化層を見極め、それに対応した基礎補強を設計しても、地震時の地盤保証を付けて提案できないことにある。そうすると、なぜそこまで費用をかけて建設する必要があるのかといった素朴な疑問を持たれてしまう。現状では、別途地震保険などの加入を推奨しているが、より安価でかつ保証対象ができるような液状化対策の開発も必要である。

参考文献

- 1) 金哲鎭他：スウェーデン式サウンディング試験孔を利用した有孔パイプによる地下水位の測定法、日本建築学会大会学術講演梗概集、2009、8。
- 2) 例えは澤田俊一：間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その9 液状化後の沈下量—、土木学会第62回年次学術講演会、pp. 451~452、2007。
- 3) 高田徹他：三成分コーン貫入試験による宅地の評価手法に関する考察、地盤工学ジャーナル、Vol. 4、No. 2、pp. 157~170、2009。
- 4) 小荒井衛：東日本大震災における液状化被害と時系列地理空間情報の利活用、国土地理院時報、No.122、2011。
- 5) Jefferies, M.G. and Davies, M.P.: Use of CPTu to estimate equivalent SPT N60, ASTM Geotechnical Testing Journal, Vol. 16, No. 4, pp. 458~467, 1993。
- 6) 日本建築学会編：建築基礎構造設計指針、日本建築学会、pp. 61~72、1988。