

報文 CPTによる宅盤の評価事例（液状化判定）

高田 徹*

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災では、東北～関東地方にかけた広い範囲で過去に類を見ないほどの大規模な液状化現象が発生し、住宅地にも多大な被害を及ぼした。家屋の修復には、今後相当な時間がかかってしまうが、家屋も簡単に修復するよりも液状化層の存在（深さ・厚み・液状化強度など）を調査して、それに見合った復旧を被災者とともに計画したいものである。

古い家屋では、液状化層の有無やそれによる建物への被害程度を予測して建設されたものは少ない。多くの被災者は、自身の宅地に液状化層があることすら認識していなかったりする。

この背景に対し、筆者は三成分コーン貫入試験（以下、CPTと略記する）が経済的に優れ、かつ調査精度を兼ね備えていることから宅盤に適していると考え、CPTを実施して液状化評価から修正計画を進めてきた。なぜなら、一般に精細な液状化判定を実施するにはボーリング調査が必要となり、この調査は比較的高価で、また狭い宅地によっては調査できないからである。本稿は、CPTによる液状化評価手法と調査事例を示したものである。

2. CPTの概要と液状化判定

CPTは電気式静的コーン貫入試験の一種で、先端抵抗 q_n 、間隙水圧 u に加えて周面摩擦 f_s を測定できるコーンをロッドに取り付けて圧入するだけで、地盤性状が把握できる調査法である（図-1）。

CPTデータを用いた液状化判定は、簡易法の1つである F_L 法を用いた判定法が一般的で、建築基礎構造設計指針¹⁾でも採用されている。

また液状化による危険度評価手法は、その対象構造物の重要度に応じて各種協会・学会などで指針や基準が立案されている。小規模建築物基礎設計指針（以下、小規模指針と略記する）²⁾では、スウェーデン式サウンディング（SWS）データで判定できる簡易な評価手法として、①微地形からの概略

判定と、②液状化の影響が地表面に及ぶ被害程度を液状化層厚 H_2 と非液状化層厚 H_1 の比で推定する簡易判定法を示している。

一方、建築基礎構造設計指針では F_L 値判定を利用した液状化指数（ P_L ）、地表面動位的変位（ D_g ）といった表層地盤全体としての液状化程度を評価する指標が示されている。

本稿では、これらすべての評価手法を対象として結果を整理してみた。なお、CPTデータによる液状化判定の詳細については文献²⁾、³⁾を参照されたい。

3. 液状化地盤でのCPT事例

3.1 調査事例1

調査場所：千葉県浦安市入船

建物：木造2F、布基礎

地盤補強：なし

不同沈下量：26cm

図-2に当敷地の建物四隅で実施したSWS結果を示す。図より、4測定の貫入抵抗値に大きなばらつきはなく、地層傾斜が見られないことがいえる。おおむね深度1～2.5m、4～5.5m付近に自沈層が認められる。

図-3に当敷地のCPT結果を、図-4にCPT結果で推定した F_L 値と土質分類指数 I_c の深度分布を示す。図-3中に示す q_n は、SWSの貫入抵抗値（図-2）とほぼ類似

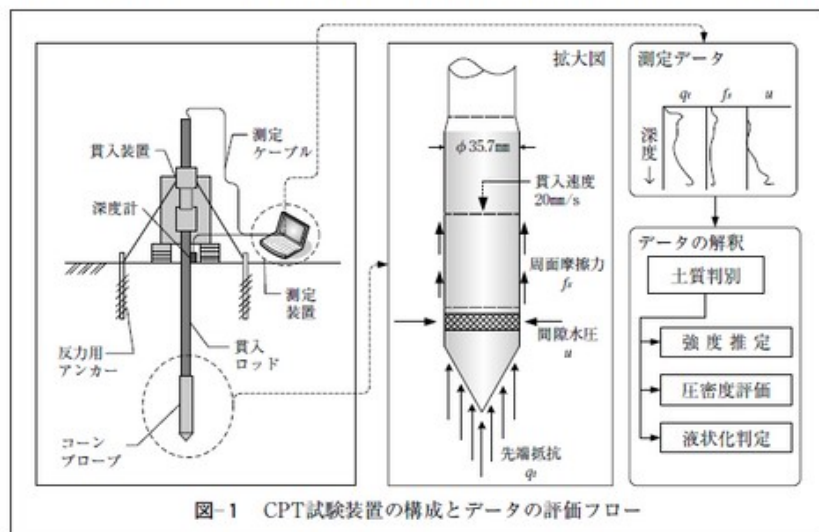


図-1 CPT試験装置の構成とデータの評価フロー

*TAKATA Toru 株式会社設計室ソイル 部長、技術士(建設部門) | 東京都中央区日本橋3-9-12 第6中央ビル7F

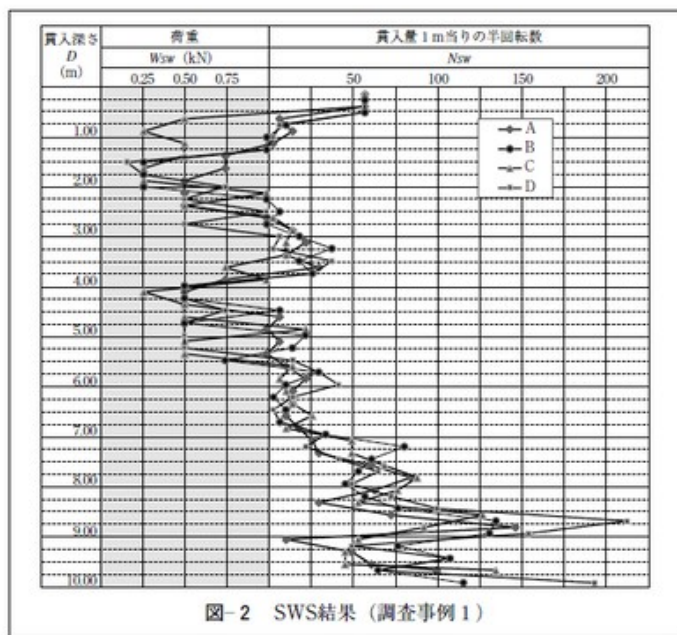


図-2 SWS結果（調査事例1）

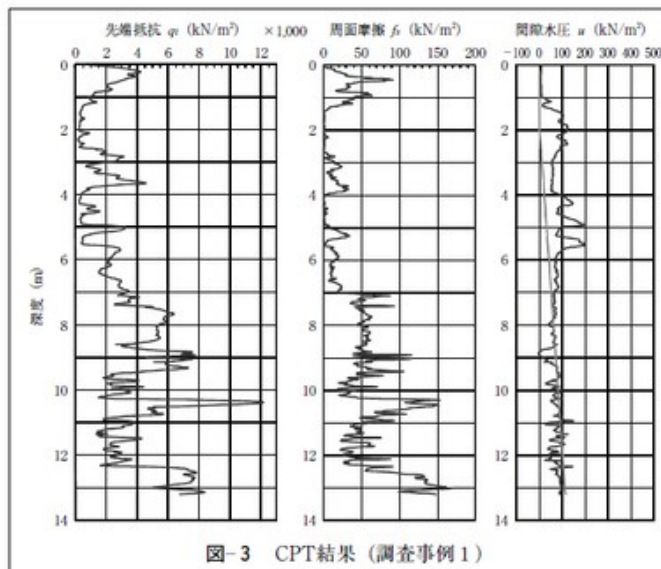
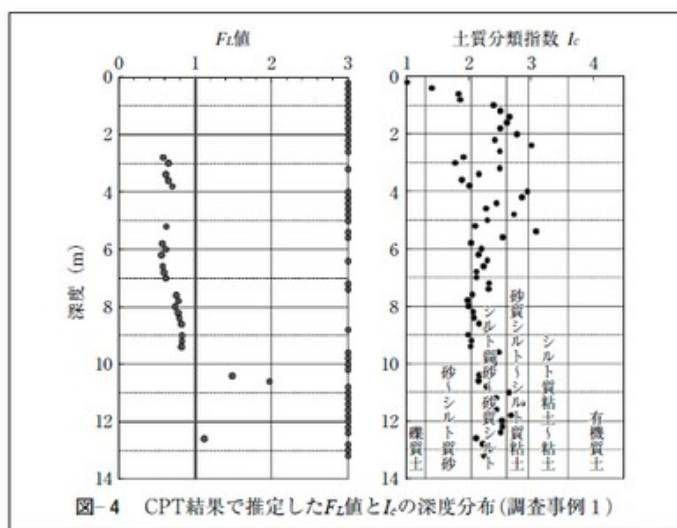


図-3 CPT結果（調査事例1）


 図-4 CPT結果で推定した F_L 値と I_c の深度分布（調査事例1）

した傾向を示している。また間隙水圧 u は、ほぼ砂質土系の地盤ということもあり、静水圧（地下水位1.9m）と類似した挙動を示している。図-4中の I_c の深度分布は、深度6mまでは粘性土と砂・礫質土が互層状に介在し、深度6～13mはシルト質砂～砂質シルトの範囲に入っている。また図-4より液状化層（ $F_L < 1$ ）は、深度2.8～3.8m、深度5.8～9.6mに認められる。なお解析に用いた地震動は、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。

この F_L 値を用いて液状化による危険度評価手法を行なったところ、 $P_L=9.09$ （危険度：大）、 $D_{cy}=6.70$ （危険度：小）となった。また、小規模指針に示す深度5m内で液状化層厚 H_2 と非液状化層厚 H_1 の比で評価すると、危険度は小と判断できる。

沈下修正工法には鋼管圧入工法、耐圧版工法、注入工法、嵩上げ工法などがあるが、当宅地の被災程度、基礎構造より鋼管圧入工法、耐圧版工法が選定される。耐圧版工法は液状化層より上部で修正するため、液状化に対する抜本的な対策にはならない。また鋼管圧入工法であれば、液状化層を貫くように深度10mまで鋼管を圧入したいところであるが、液状化層が厚いため液状化層内で高止まりして修正されることが予想され、これも液状化対策とはなり難い。結局は、両工法の施工コストも考慮して耐圧版工法を提案せざるをえなかった。

3.2 調査事例2

調査場所：千葉県浦安市今川
建物：木造2F、布基礎
地盤補強：あり（長さ5.5m：細径鋼管）
不同沈下量：17cm

図-5に、当敷地の建物建設前に実施した建物四隅のSWS結果を示す。図より、4測点の貫入抵抗値は表層1mを除き大きなばらつきはなく、地層傾斜が見られないことがいえる。おおむね深度2.5～3.25m、4～5.5m付近に自沈層が認められる。

図-6に当敷地のCPT結果を、図-7にCPT結果で推定した F_L 値と I_c の深度分布を示す。図-6中に示す q_t は、SWSの貫入抵抗値（図-5）とはほぼ類似した傾向を示している。また、間隙水圧 u はほぼ砂質土系の地盤ということもあり、静水圧（地下水位1.1m）と類似した挙動を示している。図-7中の I_c の深度分布は、深度5.4mまでは粘性土と砂・礫質土が互層状に介在し、深度5.4～9.4mは砂～砂質シルトの範囲に入っている。また図-7より、液状化層（ $F_L < 1$ ）は深度1.1～1.8m、3～4m、5.4～9mに認められる。なお解析に用いた地震動は、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。

この F_L 値を用いて、液状化による危険度評価手法を行なったところ、 $P_L=14.82$ （危険度：大）、 $D_{cy}=8.4$ （危険度：小）となった。また、小規模指針

に示す深度5m内で液状化層厚 H_2 と非液状化層厚 H_1 の比で評価すると、危険度は大と判断できる。

沈下修正工法には3.1で述べた4工法などがあるが、当宅地の被災程度や基礎構造より鋼管圧入工法、耐圧版工法が選定される。ただし地下水位が浅いため、この両工法も施工的な工夫が必要となる。まだ工法の決定には至っていないが、液状化対策を含めた修復が難しい地盤といえる。

3.3 調査事例3

調査場所：東京都足立区綾瀬

建物：木造2F、ベタ基礎

本事例は新規建築物のための地盤調査である。

図-8に当敷地の建物四隅で実施したSWS結果を示す。図より、4測点の貫入抵抗値に大きなばらつきはなく、地層傾斜が見られないことがいえる。表層および深度1.5~3.0m、6.0~10.0mに自沈層が認められる。当該地は、資料調査より液状化が発生しやすい区域に該当したことから、液状化の危険度に関する追加調査としてCPTを実施した。

図-9に当敷地のCPT結果を、図-10にCPT結果で推定した F_L 値と I_c の深度分布を示す。図-9中に示す q_t は、SWSの貫入抵抗値(図-2)とはほぼ類似した傾向を示している。また地下水位は、0.8mと比較的浅い位置で認められた。図-10中の I_c の深度分布より、深度3~4.5m付近に砂質土を挟み、それ以外はおおむね粘性土である(資料調査結果より、表層~1.5mは過去の人工盛土と推定)。また F_L 値の深度分布では、この深度3~4.5mの砂質土層は液状化層と判断される。なお解析に用いた地震動は、損傷限界地震動を想定してマグニチュード7、地表面最大加速度 150cm/s^2 とした。

この F_L 値を用いて液状化による危険度評価手法を行なったところ、 $P_L=4.50$ (危険度：小)、 $D_{cy}=3.2$ (危険度：軽微)となった。また、小規模指針に示す深度5m内で液状化層厚 H_2 と非液状化層厚 H_1 の比で評価すると、危険度は小と判断できる。これらより、当建物の建設には液状化抑止対策を実施しなくてもよいと判断した。

なお図-10で示したように、深度6m以深に自沈層(粘性土)が連続するため、建物建設後に圧密沈下によって不同沈下を起こす可能性が懸念される。また、このSWSデータでは圧密未了層と解釈されるため、地盤補強の設計も難しくなる。図-11にCPTデータから推定した圧密降伏応力 p_c と鉛直有効応力 σ_{vo}' の深度分布を示すが、これを見てもわかるように、深度6~14mでは $\sigma_{vo}' < p_c$ となることから過圧密状態といえる。ただし、 σ_{vo}' と p_c の深度分布が深度6~14mではほぼ平行状態にある。これは、地下水位の季節変動などを考慮すると正規圧密状態と解釈できるため、設計では安全側に正規圧密粘土と仮定して、建物荷重による不同沈下量の計算を行なった。

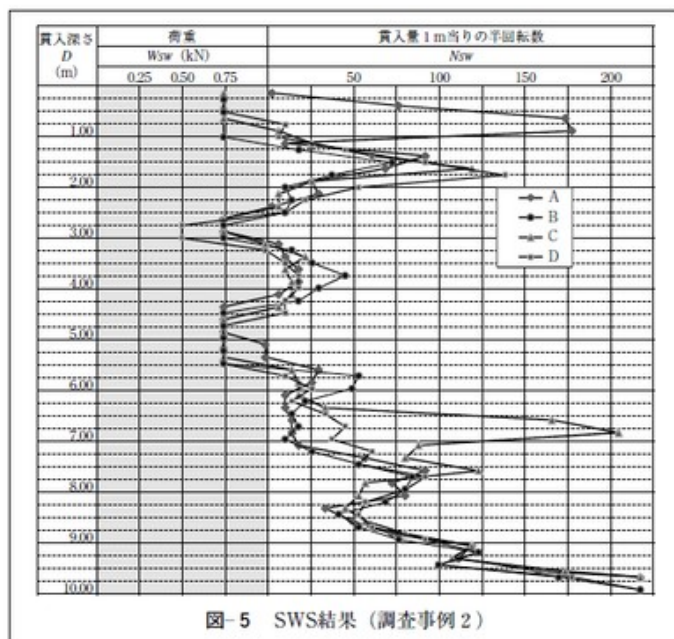


図-5 SWS結果(調査事例2)

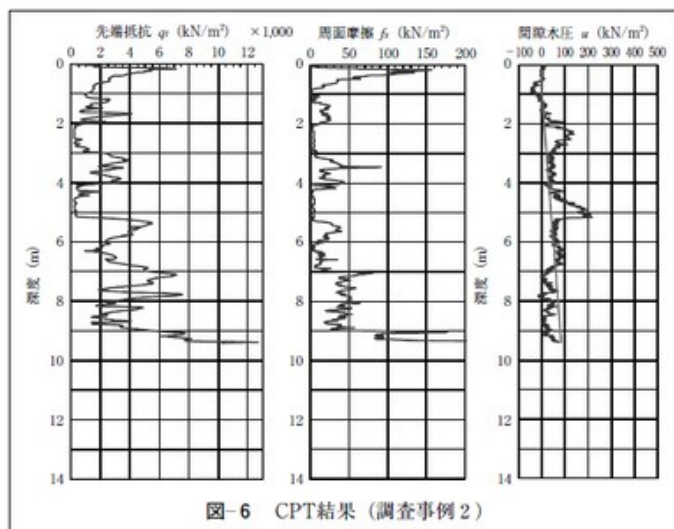


図-6 CPT結果(調査事例2)

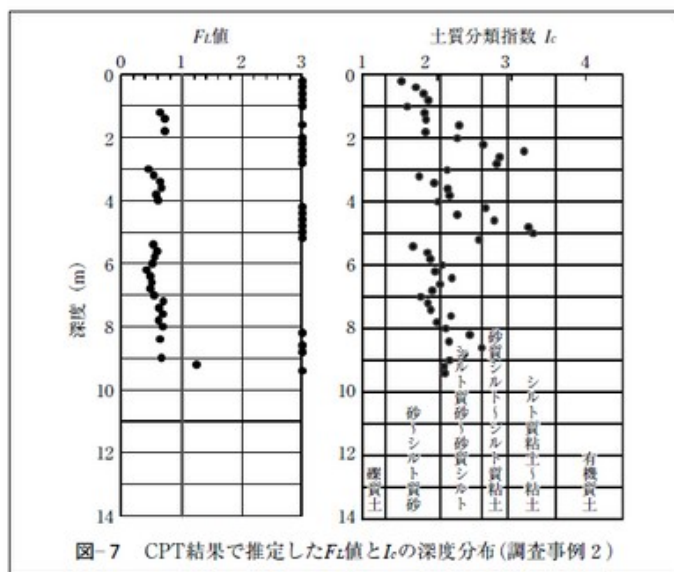


図-7 CPT結果で推定した F_L 値と I_c の深度分布(調査事例2)

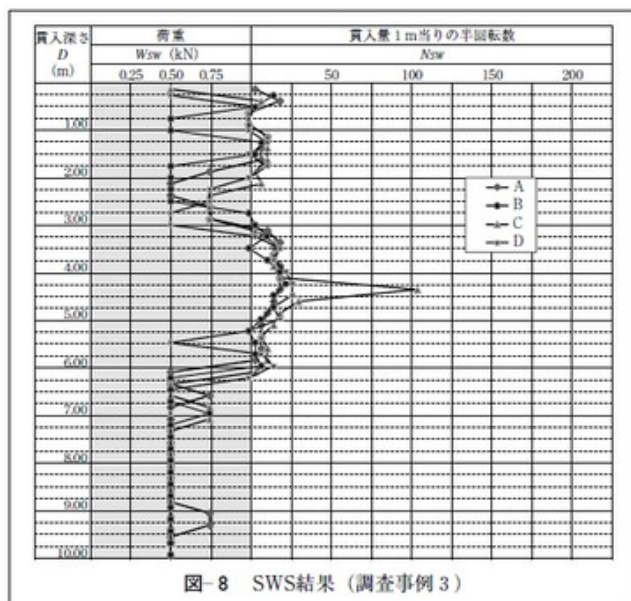


図-8 SWS結果（調査事例3）

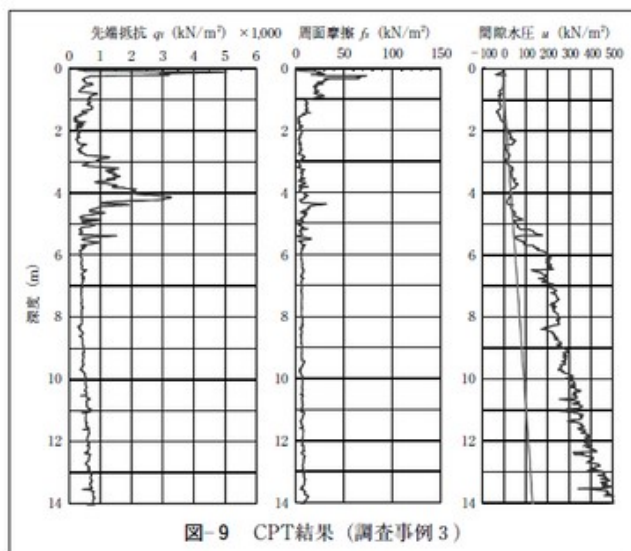


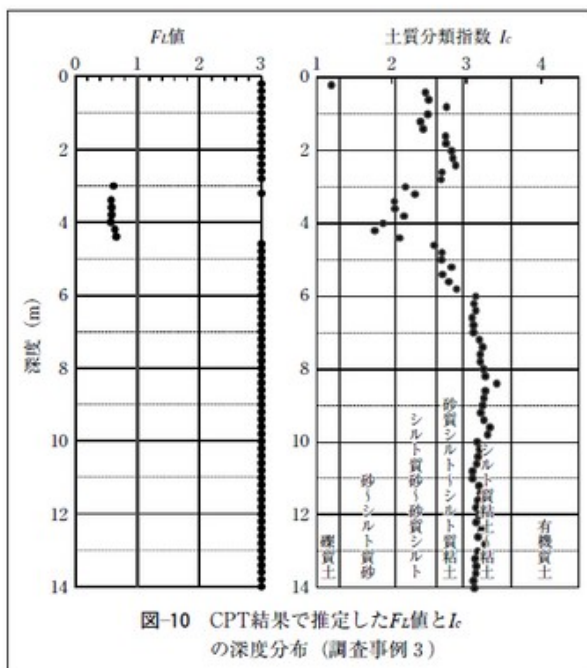
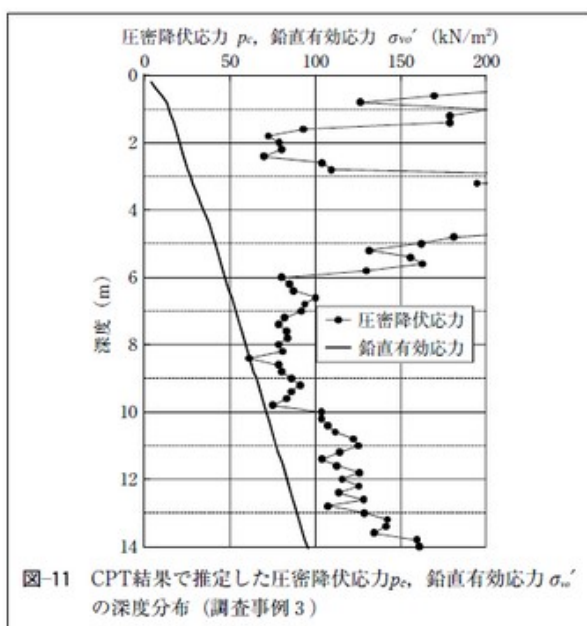
図-9 CPT結果（調査事例3）

最終的には、施主との協議により液状化層下部の圧密沈下抑止、および液状化による被害軽減も含めた地盤補強対策を実施することとした。

4. おわりに

本稿では、今回の地震で被災した宅地および液状化の発生が懸念される新規建設地でCPTを実施して液状化判定した調査事例を複数紹介した。CPTはサウンディングであることから、ボーリングや室内土質試験に比べると簡易法といえる。よって、ここで示した F_L 値や液状化による危険度の解析精度、およびボーリングデータで推定した F_L 値との差異など、今後データを蓄積してさらに明確にしたいと考えている。

また、今回の調査・設計で実感したこととして、これから新規に建設する宅地であれば、液状化による被害軽減対策はあるが、被災した既存家屋で液状化対策まで考えて修正工法を提案することは非常に難しいという点で


 図-10 CPT結果で推定した F_L 値と I_c の深度分布（調査事例3）

 図-11 CPT結果で推定した圧密降伏応力 p_c 、鉛直有効応力 σ'_{v0} の深度分布（調査事例3）

ある。そして、今なお十分な修正手段を提案できない状態にある。ただ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、そのうえで修正工法を選択してもらうには有効であった。住宅地盤では、液状化について今後ますます大きな課題となるが、CPTがその解決策の有力な調査法の1つになっていくと考えている。

■参考文献

- 1) 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.
- 2) 日本建築学会編：小規模建築物基礎設計指針，2008.
- 3) 高田徹，関平和，松本樹典，藤井衛，松下克也，佐藤隆：三成分コーン貫入試験による宅盤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.