

# 液状化後の地盤に対する3成分コーン貫入試験

液状化 3成分コーン貫入試験

(株)地盤試験所 国際会員 ○西村 真二  
 (株)地盤試験所 正会員 岡 信太郎  
 (株)地盤試験所 正会員 北條 豊

## 1.はじめに

東日本大震災によって関東地方において甚大な液状化の被害が発生した。京葉地区東京湾沿岸部の埋め立て地において液状化が発生した地盤に対して3成分コーン貫入試験（以下CPT）を実施した。CPTは標準貫入試験と比較すると、省スペースで迅速に実施できる調査法であり測定データの客観性・再現性も高い。本稿ではCPTの結果に基づいて建築基礎構造設計指針(1998)<sup>1)</sup>（以下指針）の方法で液状化の判定をするとともに、液状化が発生したと推定される砂層に注目しRobertson(1990)<sup>2)</sup>が提案する土質分類チャート上での特徴を評価した。

## 2.CPT結果

試験地盤は京葉工業地帯の埋め立て地の工場敷地内で東日本震災により敷地全体が液状化した。杭基礎構造物とのレベルの比較によると30~50cmの地盤沈下が認められた。CPTは敷地内の積砂現象が見られた地点とそのすぐ脇の地点で実施した。両地点のCPTのプロファイルを図-1に示す。それによるとGL-7~-11mに液状化したと推定されるN値10前後の中間砂層がある。CPTは薄層を詳細に捉えており、積砂有り無しで比較すると積砂地点では上部の軟弱層に巻き上げられた砂の様子が明瞭に観察される。砂と判定された地層では間隙水圧が静水圧となっている。既往の柱状図と比較するとN値はやや下がっているように見えるが優位な差はないと考えられる。

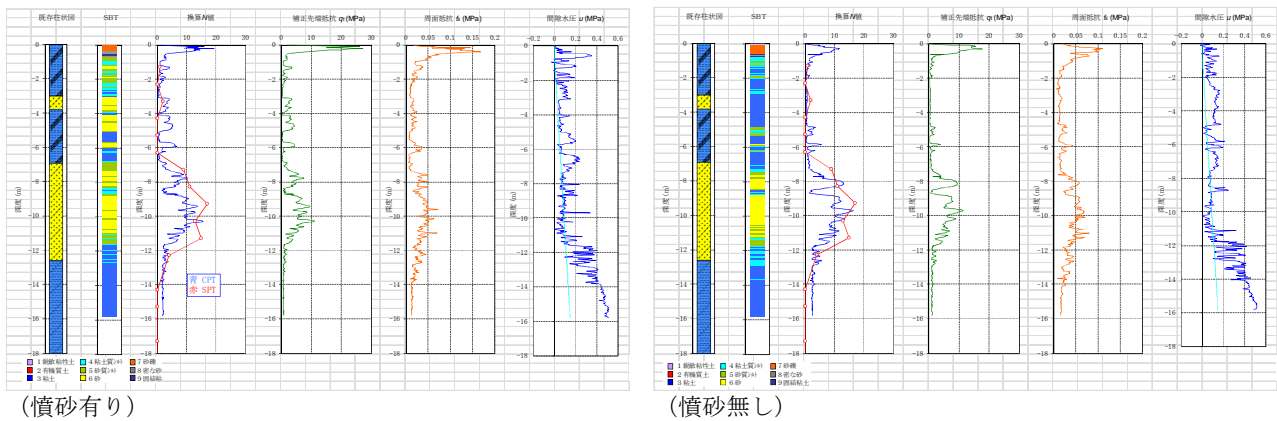


図-1 液状化地盤のCPT

## 3.CPTによる液状化判定

指針に記載されているCPTに基づいた液状化判定は鈴木他<sup>3)</sup>の研究成果に基づいて確立されたものである。CPTデータを液状化判定に用いるメリットとしては、①データの客観性・再現性が高い。②標準で2.5cmピッチの測定であり詳細なデータが得られる。③省スペース短時間で調査ができる。④先端抵抗と周面摩擦の組み合わせにより土のこう結性（粘性）を評価できる。⑤世界的に普及した試験方法であり解釈・解析方法について発展性が高い。などが挙げられる。指針の方法はCPTで得られた先端抵抗 $q_c$ を地盤の拘束圧と細粒分含有率に対応する挙動特性指数 $I_c$ を考慮して補正先端抵抗 $q_{c1}$ を求め現場観察から得られたせん断抵抗 $\tau d/\sigma'_z$ に対応させることで判定する。

$$q_{c1} = F(I_c) \frac{q_c}{C_N}$$

ここに、

$q_{c1}$  : 補正先端抵抗(kPa)

$F(I_c)$  : 補正係数 (図-3)

$I_c$  : 挙動特性指数

$$I_c = \left\{ (3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_R + 1.22)^2 \right\}^{0.5}$$

$$\text{正規化先端抵抗 } Q_t = (q_c - \sigma'_z) / \sigma'_z$$

$$\text{正規化周面摩擦力比 } F_R = f_s (q_c - \sigma'_z) \times 100$$

$$C_N : \text{補正係数 } C_N = (98 / \sigma'_z)^{0.5}$$

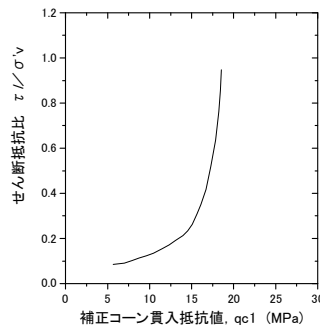


図-2 せん断抵抗比 vs  $q_{c1}$

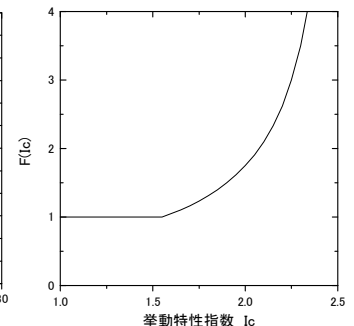
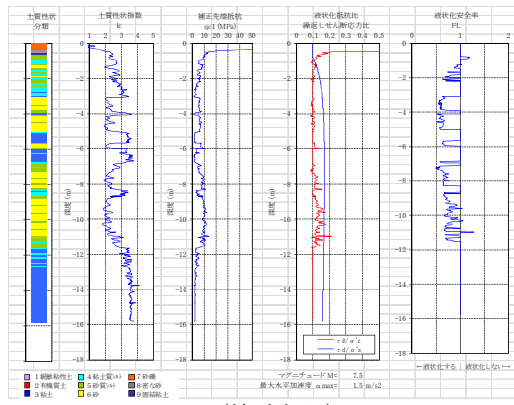
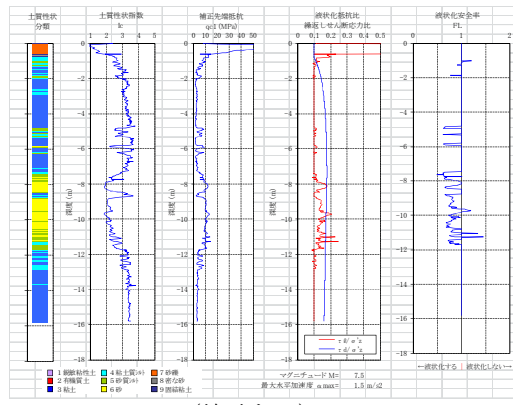


図-3 補正係数 F(Ic)

指針による液状化判定結果を図-5に示す。なお、せん断応力比 $\tau/\sigma'_z$ はマグニチュード $M=7.5$ 、地表面最大加速度 $\alpha_{max}=1.5m/s^2$ とした。それによると、砂地盤と判定された地層は全て液状化する可能性が高いと判定された。



(積砂あり)



(積砂なし)

図-4 液状化判定結果

#### 4. Robertson の土質分類チャート

Robertson のチャート (図-5) は CPT のデータに基づいて土を分類するもので、縦軸に正規化先端抵抗  $Q_t$  を横軸に正規化周面摩擦比  $F_r$  を取る。基本的な考え方は、相対的に先端抵抗 (強度) に対し周面摩擦 (粘着力) が高い性質を示す土が粘性土であるとして、チャート上の右下ほど軟弱な粘性土、左上ほど堅い砂質土となる。この傾向を定量的に表現しているのが挙動特性指標  $I_c$  で  $I_c > 2.6$  で粘性土とされている。また、左上~右下の対角線付近は正規圧密状態と判断される。そこから右上側へは固結度や地盤年齢が上がる。プロット位置により地盤の諸特性が読み取れるチャートである。今回は試みに図-2 から得られたせん断抵抗比  $\tau/d'\sigma'_z$  の曲線をチャート上に引いて、液状化した砂層のデータをプロットした。その結果を図-6 に示す。図は①積砂地点の上層へ巻き上げられた砂、②積砂地点の GI-7~11m の中間砂層、③積砂してない地点の中間砂層である。図中の実線がせん断抵抗比  $\tau/d'\sigma'_z=0.15$  (概ね  $M=7.5$ ,  $\alpha_{max}=1.5m/s^2$  に対応) の曲線である。対象層は砂が中心で砂質シルトに掛けて分布しており、 $\tau/d'\sigma'_z=0.15$  曲線の下にあり液状化の可能性が高いことが分かる。また、ほとんどが正規圧密領域に分布しており液状化後の沈降により現状の上載圧条件に収束した可能性を示している。さらに目を引くのが中間砂層の上部の違いで、積砂地点では吹き上げ現象により緩んだのか未圧密状態を呈していることが分かる。このように Robertson のチャート上にプロットすることにより液状化した地盤の特徴を幅広く読み取ることができることが分かった。

#### 6.終わりに

東日本震災で液状化が発生した地盤に対しCPTを実施した。指針による液状化判定をする中で判定曲線をRobertsonの地盤分類チャートにプロットすることにより、チャート上での判定に加えて液状化地盤の特性をより幅広く観察できることが分かった。今後はRobertsonのチャートを活用することにより、従来のFI法を補強したより精度の高い判定法とすることを進めていきたい。最後に、本試験の実施に際してご協力頂いた関係者各位に謝意を表す。

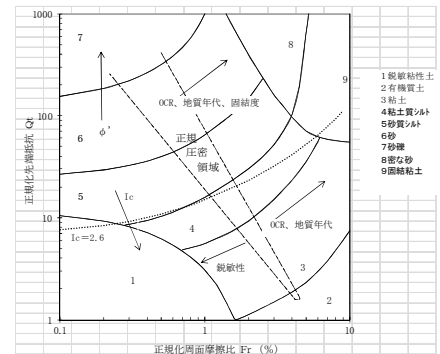
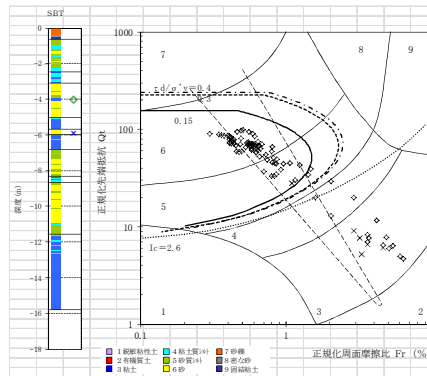
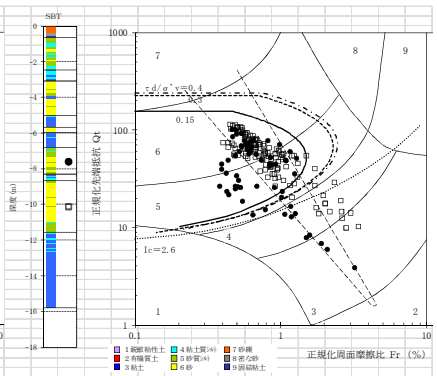


図-5 Robertson の分類チャート

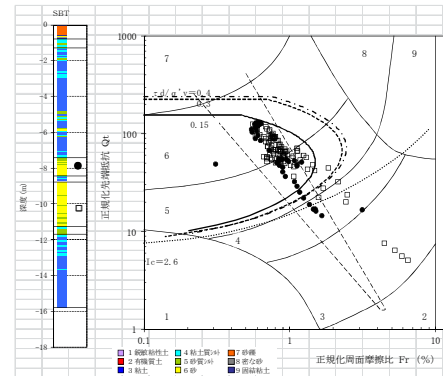
対象層は砂が中心で砂質シルトに掛けて分布しており、 $\tau/d'\sigma'_z=0.15$  曲線の下にあり液状化の可能性が高いことが分かる。また、ほとんどが正規圧密領域に分布しており液状化後の沈降により現状の上載圧条件に収束した可能性を示している。さらに目を引くのが中間砂層の上部の違いで、積砂地点では吹き上げ現象により緩んだのか未圧密状態を呈していることが分かる。このように Robertson のチャート上にプロットすることにより液状化した地盤の特徴を幅広く読み取ることができることが分かった。



① 積砂地点 (積砂)



② 積砂地点 (中間砂層)



③ 積砂なし (中間砂層)

図-6 Robertson の分類チャート上の液状化判定

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会:建築基礎構造設計指針, 1998
- 2) Robertson,P.K.:Soil classification using the cone penetration test., Canadian Geotechnical Journal,27(1), 1990
- 3) 鈴木他: 地震時の液状化事例とコーン貫入試験結果の関係,日本建築学会構造系論文集, 第571号, 2003