

## CPT を利用した地盤改良工法の施工管理

## Engineering of Soil Improvement Method Utilizing Cone Penetration Test

相馬啓 Hiroshi SOMA (ケミカルグラウト株)

近年、BCP に対する意識の高まりから事業の拠点となる重要構造物等の耐震・液状化対策の工事が増加している。その際、設計・施工業者には顧客が要望する性能を規準とした技術仕様が求められるようになり、調査・設計・施工・品質確認を一括管理することが必要となってきている。筆者らは、電気式静的コーン貫入試験 (CPT) の持つ簡便性、迅速性といった特徴を生かしつつ、適用範囲を拡大して、地盤改良の品質も評価できる調査方法の開発を進めている。使用する調査機は、小型軽量のパイプロ付ボーリングマシンで、狭隘な現場や硬質な土層が介在する場所にも適用可能である。地盤改良の品質評価に関する実験的検証や耐震工事への適用事例について述べる。

キーワード：コーン貫入試験、地盤改良、品質確認、耐震補強 (IGC : C-3, C-8, H-7)

## 1. はじめに

BCP とは事業継続計画であり、災害や事故等の予期せぬ事態に対して、限られた経営資源で事業を継続するために、事前に策定する計画のことを言う。日本は地理的に地震が多く発生する国であり、2004 年 10 月の新潟県中越地震や 2007 年 7 月の新潟県中越沖地震をきっかけに、震災に対する BCP が注目されるようになり、対策が比較的容易な地上部の補強だけでなく、構造物基礎や地盤の補強に対する認識も高まってきた。構造物基礎や地盤の耐震補強工法として、薬液注入工法や高圧噴射攪拌工法がある。小規模な設備で広範囲の地盤を改良できることから既設構造物基礎の補強に対して有力な工法である。しかし、これらの工法は原地盤の性状に大きく影響されるため、改良の効果について不確定要素が多く、結果として、品質にバラツキが生じてしまう傾向が見られる。特に近年では、構造物に求められる性能を所有者あるいは管理者との協議の上で明確化し、構造物の保有性能が要求性能を満足していることを確認する設計体系<sup>1)</sup>が注目されており、高度な技術的判断のために、構造物基礎や地盤に関して、より多くの情報を収集する必要がある。このような状況において、地盤改良工法の設計・施工では、各土質への対応や支持層位置の把握等、ピンポイントで適切な対応が必要とされる。特に耐震補強を目的とする場合、周辺地盤の性状と改良体の品質が密接に関わり合うため、土質調査、設計、施工、及び品質確認に至るまでの各工程の詳細な情報を、一括管理することが望ましい。そこで、筆者らは地盤調査法である電気式静的コーン貫入試験(以下、CPT)に注目し、地盤改良の効果確認方法としての適用を試みた。

CPT は、地盤特性を連続的かつ経済的にリアルタイムで把握できる試験法であり、ヨーロッパを中心に地盤調査、設計に広く用いられている。日本でも、1995 年に地盤工学会により基準化されている。近年では、せん断波速度が

計測できるサイズミックコーンや地盤の密度が計測できるラジオアイソトープコーンも使用されている<sup>2)</sup>。しかし、日本では地盤の評価手法として標準貫入試験の N 値が一般的であること、さらに、CPT は玉石や砂礫層に適用できないことから、あまり普及していないのが現状である。

構造物基礎や地盤の耐震補強工事では、軟弱な地盤が対象となるため、CPT の適用が可能となるケースが多い。従来は、数ヶ所の調査ボーリングを行い、現場全体の土質構成を補間していた。しかも調査位置が、実際に施工する場所から離れていることが多かった。CPT であれば、簡易的な作業であるため、短時間でジャストポイントの調査を行うことができる。さらに、CPT を利用して地盤の改良効果を判定すれば、調査から品質確認までの一括管理が可能となる。そこで、CPT の適用範囲を拡大して、薬液注入工法や高圧噴射攪拌工法の改良効果を判定するための実験を行い、データを収集した。

コーンの貫入機として、パイプロ付の自走式小型ボーリングマシンを選定した。これにより、CPT のセンサーからの情報だけでなく、パイプロの振動数や押し込み力による貫入エネルギーから、介在する硬い層や比較的低強度の改良体の評価も可能となると考え、ボーリングマシンの貫入エネルギーと、改良体を評価する数値として最も一般的である一軸圧縮強度との相関を試みた。また、CPT による薬液注入工法におけるボーリング孔を利用した透水性の確認、高圧噴射攪拌工法における造成直後の改良径の推定も行った。

本報告では、パイプロの振動数や押し込み力によるボーリングマシンの貫入エネルギーから一軸圧縮強度を推定する方法の検証、CPT を利用した薬液注入工法と高圧噴射攪拌工法の改良効果確認手法の実験的検証、及び、実際に大規模な構造物基礎の耐震補強工事において、CPT を利用して、土質調査、設計、施工、改良効果の確認を一括管理した事例について述べる。

## 2. 地盤改良の品質評価

### 2.1 貫入エネルギーによる一軸圧縮強度の推定

高圧噴射攪拌工法による改良体が設計上必要な強度を満足しているか判定する基準として、一般的に一軸圧縮強度が用いられる。そこで、ボーリングマシンの貫入エネルギーから一軸圧縮強度を簡易的に推定するために、両者の相関性を求める実験を行った。貫入機の諸元を図-1に示す。本実験で使用したコーンは、センサーのないダミーコーンである。実験では、供試体にコーンを一定の貫入速度  $2.0 \times 10^{-2}$  [m/sec] で 1m 貫入して、ボーリングマシンの押し込み力、パイプロの起振力、振動数のデータを 10ms 間隔で収集し、平均化した。供試体への貫入状況を写真-1に示す。供試体は、飽和含水状態の砂にセメントを添加して作成した。完成した供試体を写真-2に示す。セメントの添加量を調整して、一軸圧縮強度を約  $100 \sim 700 \text{ kN/m}^2$  で変化させた。供試体の一軸圧縮強度は、深度方向へ3サンプルをモールドに採取し、一軸圧縮試験により求めた。一軸圧縮強度の増加に伴いバラツキが大きくなったが、標準偏差は平均に対して 10%程度で微小であると判断し、供試体の一軸圧縮強度として平均値を使用した。

これらの供試体へ貫入した結果、一軸圧縮強度で  $300 \text{ kN/m}^2$  まではパイプロなしで貫入が可能であった。表-1に供試体の一軸圧縮試験の結果とコーンの貫入方法を示す。また、一軸圧縮強度が高くなるにつれて、ボーリングマシンの押し込み力は増加するが、パイプロの起振力・振動数は、先端のコーンが一定速度で押し付けられることにより拘束されて低下することが分かった。パイプロの振動数が減少したことによるエネルギー損失量と、供試体に亀裂が発生したことにより解放される弾性ひずみエネルギーが等しい<sup>3)</sup>と考えると、以下のように説明できる。

パイプロドリルによる 1 回当たりの衝突エネルギー  $E_i$  については、(1)式のようにエネルギー保存則が成立する。

$$\frac{1}{2} m V^2 = mgH + FH = E_i \quad (1)$$

ただし、

- $m$ : 振動部質量
- $V$ : 速度
- $F$ : 起振力
- $H$ : 振幅
- $g$ : 重力加速度

振動数  $f$ 、時間  $t$  の衝突エネルギー  $E$  は(2)式となる。

$$E = f \cdot t \cdot E_i \quad (2)$$

長さ  $2a$  の亀裂を取り囲む円形部分から、供試体の弾性ひずみエネルギーが解放されると考えると、解放されるエネルギー  $U$  は(3)式となる。

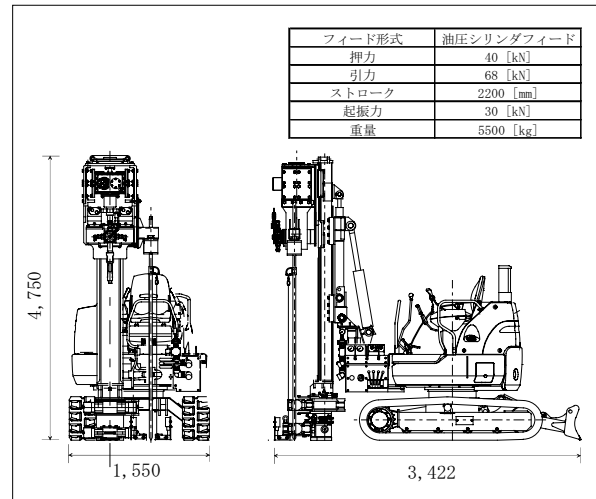


図-1 貫入機諸元

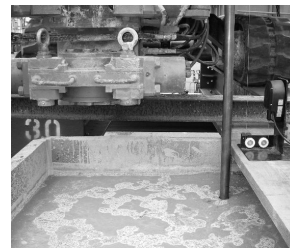


写真-1 コーン貫入状況



写真-2 供試体側面

表-1 供試体の一軸圧縮強度 [kN/m<sup>2</sup>] と貫入方法

サンプル1	サンプル2	サンプル3	平均	標準偏差	貫入方法
140	127	122	130	9	パイプロなし
122	140	140	134	10	
157	168	139	155	15	
185	152	172	170	17	
173	188	173	178	9	
173	192	170	178	12	
286	311	321	306	18	パイプロあり
351	338	318	336	17	
354	294	389	346	48	
435	410	389	411	23	
441	452	467	453	13	
511	445	432	463	42	
458	612	567	546	79	
624	606	652	627	23	
774	674	621	690	78	

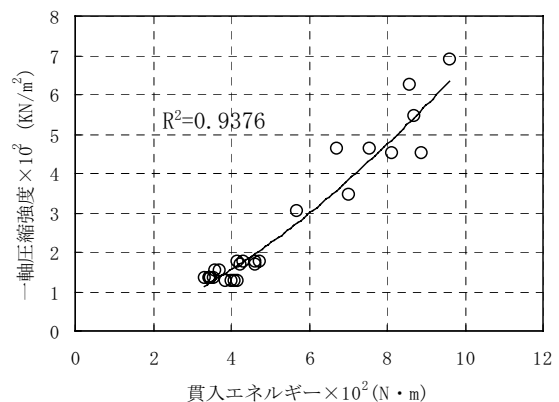


図-2 貫入エネルギーと一軸圧縮強度の相関

$$U = 2\pi a^2 \cdot \frac{\sigma_0}{2E_c} \cdot n \quad (3)$$

ただし、

$\sigma_0$ : 垂直応力

$E_c$ : ヤング率

$n$ : 亀裂の数

従って、振動数が貫入により、 $f_0 \rightarrow f'$ となったときのエネルギー保存則は(4)式となる。

$$f_0 \cdot t \cdot E_i - f' \cdot t \cdot E_i = 2\pi a^2 \cdot \frac{\sigma_0^2}{2E_c} \cdot n \quad (4)$$

ところで、コンクリートのヤング率  $E_c$  は、ACI(American Concrete Institute)では(5)式で示されるので、これを(4)式に代入すれば、振動数と一軸圧縮強度の関係式が求まる。

$$E_c = 4270\sqrt{\rho^3 \sigma_c} \quad (5)$$

ただし、

$\rho$ : 密度

$\sigma_c$ : 一軸圧縮強度

そこで貫入エネルギーを、ボーリングマシンの押し込み力、パイプロの起振力・振動数、ロッド重量等をパラメータとして(6)式で定義し、一軸圧縮強度との相関性を検証した。

$$E = (f_0 - f) \cdot h \cdot \{mg + (F_{V0} - F_V)\} + F_P \cdot s + mg \cdot s \quad (6)$$

ただし、

$E$ : 貫入エネルギー

$f$ : 振動数

$h$ : 振幅

$m$ : 質量

$g$ : 重力加速度

$F_V$ : 起振力

$F_P$ : 押し込み力

$s$ : 貫入長

貫入エネルギーと一軸圧縮強度の関係を図-2 に示す。

図-2 の相関係数より、非常に相関性が高いことが分かった。貫入中のコーン周辺土層の変状パターンはほとんど同一である<sup>4)</sup>ことから、対象物を改良体に限定せず、実際の地盤にも適用した。図-3 は貫入エネルギーからの推定値とサンプリング試料による試験結果との比較を示している。サンプリング試料のデータは、同一場所にて行われた地盤工学会 CPT 研究委員会の「CPT 一斉試験」<sup>3),4)</sup>のものを使用した。図-3 より、強度の深度方向に対する変化の傾向が概ね一致することは確認できたが、低強度の地盤への適用に関しては、精度向上に向けた改善が必要である。

## 2.2 薬液注入工法における透水性の検証

薬液注入工法による砂地盤の透水性の改良効果を、CPT により判定する方法を検証した。実験を実施した現場は、図-4 に示すように地下水のない砂地盤に、ゲルタイムが

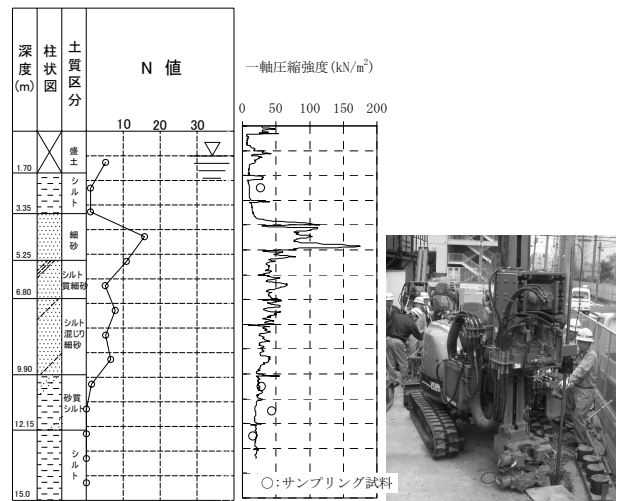


図-3 原地盤及びサンプリング試料との比較

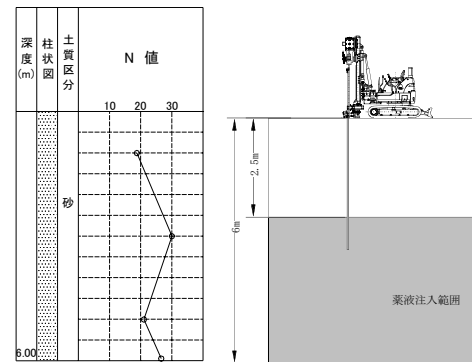


図-4 現場の土質と実験概要

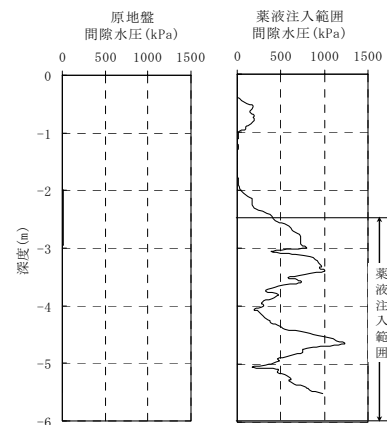


図-5 間隙水圧の比較

約 10 秒のアルカリ系溶液型の注入材を、約 3,500m<sup>3</sup> 注入する大規模な現場であり、実験時は約 70%の施工範囲で注入を完了していた。薬液注入で使用したボーリング孔に注水してコーンを一定の貫入速度 2.0×10<sup>-2</sup>[m/sec]で貫入し、間隙水圧の計測値を薬液注入範囲外と、薬液注入範囲内で比較した。図-5 に示すように薬液注入範囲内の間隙水圧が非常に上昇していることから、砂地盤中に注入材が浸透し、非透水性の地盤に改良されたことが分かる。

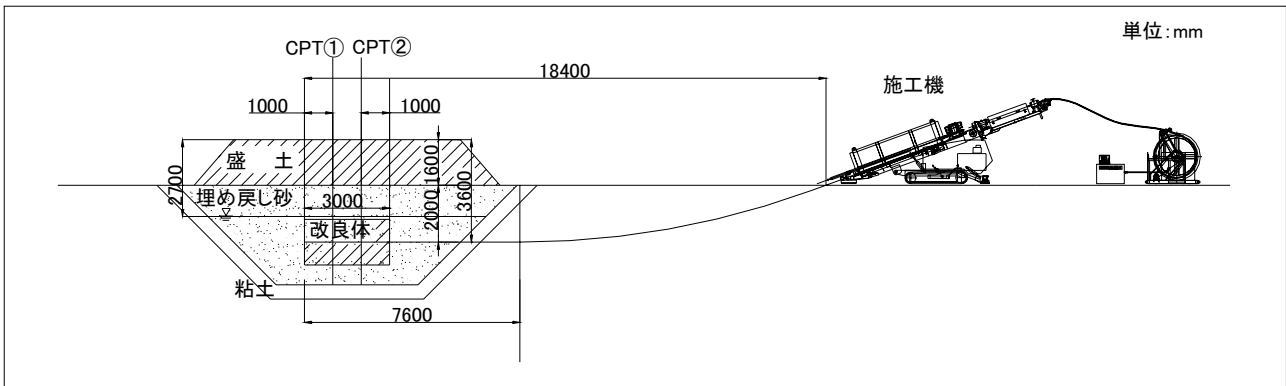


図-6 高圧噴射攪拌工法の水平施工実験概要

### 2.3 高圧噴射攪拌工法の改良径の推定

高圧噴射攪拌工法は、ジェット噴流により地盤を一時的に緩める工法であるから、改良体の造成直後にコーンを貫入することで、ジェット噴流によって切削された地盤の境界部の状態から改良径を推定することができる。これを高圧噴射攪拌工法により水平方向の改良体を造成する実験工事で検証した。実験概要を図-6 に示す。

まず曲がりボーリングにより、計画線に合うように曲線状にボーリングを行い、排泥管と二重管ロッド及び噴射モニターを埋め戻し砂内の所定の位置に到達させた。次に、固化材を高圧噴射しながら、二重管ロッドを引上げ、3~6mの改良体を造成した。地下水位は、盛土天端から2.7mの位置で保持した。高圧噴射中の改良体内部圧力と有効応力をバランスさせるため、人工砂地盤上に盛土を行った。

高圧噴射攪拌工法で水平方向に改良体を造成する際、最も懸念されることは、上部地盤の緩みや改良体境界面の地山崩落により、改良径や強度が得られないことである。造成直後にこれを検知できれば、追加施工や上部地盤への薬液注入等の対策を迅速に講じることができる。そこで盛土天端からCPTを行い、改良体の上部境界面周辺の性状を確認した。使用したコーンは、先端抵抗、周面摩擦、間隙水圧、傾斜、温度が計測できるものである。CPTによる造成直後の計測結果を図-7、図-8に示す。図-7、図-8より、改良範囲の境界面で、先端抵抗と周面摩擦抵抗の数値が急激に減少し、数値が0を示していることが分かる。また、間隙水圧が静水圧を示す点線よりも大きいことから、比重・粘性の高い固化材で満たされていることも確認できる。地下水位より上で間隙水圧が高いのは、盛土がローム、粘土を多く含む含水量の高い土質であったことによると思われる。

人工砂地盤を掘削し、掘り出した改良体を写真-4に示す。計画の通り、φ1.2mの改良体が掘り出された。改良体の天端位置は、CPTで先端抵抗、周面摩擦抵抗が急激に低下し、間隙水圧が上昇し始めた位置と一致した。従来は、改良体の径を確認するために、コアサンプリングを行っていたが、CPTを利用すれば、造成直後に改良径の判定が可能となる。造成直後に評価ができることは、現場にて即時に計画や仕様反映できるため、非常に有利である。

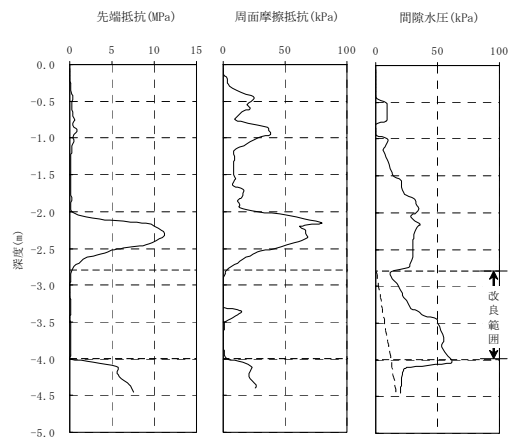


図-7 造成直後のCPT①結果

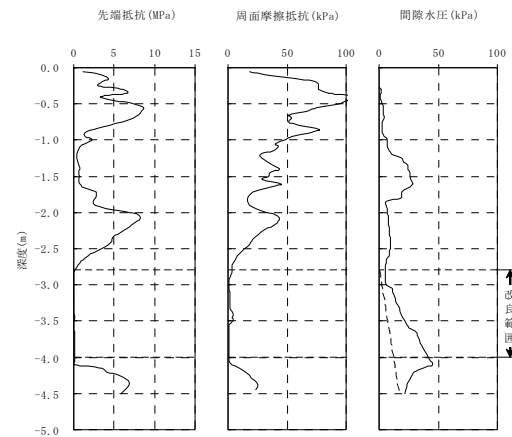


図-8 造成直後のCPT②結果



写真-4 掘り出した改良体



### 3. 実工事への適用

本報告の日本コーンスターチ(株)衣浦事業所における地盤耐震工事は、東海・東南海地震を想定し、工場の既存杭が地震時に受ける水平力の一部を高圧噴射攪拌工法の改良体が負担することで工場の基礎を守り、BCPの考え方に基づいて、災害時においても工場の操業を停止させないことを目的として施工された。この現場は、**図-9**に示すとおり、全長約500m、幅約100mの広大な敷地を有する。**図-9**中で着色した建屋に対して、高圧噴射攪拌工法による杭状の改良体を約700本造成した。

#### 3.1 CPTによる施工前土質調査

耐震補強の設計を行うため、工事着手前の7月と11月にボーリング調査を合計9ヶ所で行った。調査位置を**図-9**中のNo.1~No.5, D-1~D-4で示す。ボーリング調査の結果では、N=0~2の軟弱な粘性土の下にN=9の沖積砂質土が存在する土質であることを示していた。しかし、これらの調査位置は、実際に耐震補強を行う構造物から離れており、さらに広範囲の現場を補間するには、相互の位置が離れすぎていた。本工事の目的は耐震補強であり、改良体を建屋の杭と一体として機能させるために、支持層の位置や改良範囲の土質を明確する必要があった。そこで、実際の施工範囲を補間すべく、追加調査を行う必要があったが、中央の通路や建屋の出入口付近は、工場の車両が頻繁に通行するため、機材の設置から撤去まで1ヶ所当たり2日間要する従来のボーリング調査では、工場の業務に支障を来す恐れがある。CPTであれば、1ヶ所当たり20分程度の作業で土質調査を行うことができる。そこで、CPTにより合計10ヶ所の追加調査を行った。調査位置を**図-9**中のCPT①~CPT⑩に示す。使用したコーンは、先端抵抗、周面摩擦、間隙水圧、傾斜、温度が計測できるものであり、貫入速度を $2.0 \times 10^{-2}$  [m/sec]とした。

CPT①の結果を**図-10**に、CPT⑤の結果を**図-11**に示す。先端抵抗、周面摩擦抵抗、間隙水圧から、**図-12**の計算方法により、土質分類指数<sup>2)</sup>と換算N値<sup>7)</sup>を算出した。**図-10**、**図-11**中の土質分類指数を比較すると、場所によって土質が大きく異なることが分かる。高圧噴射攪拌工法において、液体で土が切れるのは、超高圧噴流の持つ運動エネルギーが地盤の組織構造を破壊することで土粒子を移動させ空間を作るためであるが<sup>8)</sup>、地盤の粘着力が高い場合、土粒子の移動が十分でなく、排泥が閉塞して、必要な径や強度が得られないことや、周辺地盤が隆起することがある。対策として混和剤を添加する方法や、プレジェットと言われる、固化材を噴射する前に予め水噴射で地盤を切削し、流動化を促進する方法を適用する場合がある。

CPTで土質調査を行う際、既往の土質分類評価法の基礎データは対象としている地盤と同じ性状を示すとは限らないため、補正が必要となる<sup>2)</sup>。そこで、ボーリング調査D-1とCPT①で土質区分を補正し、**図-13**に示す土質推定断面図を作成した。

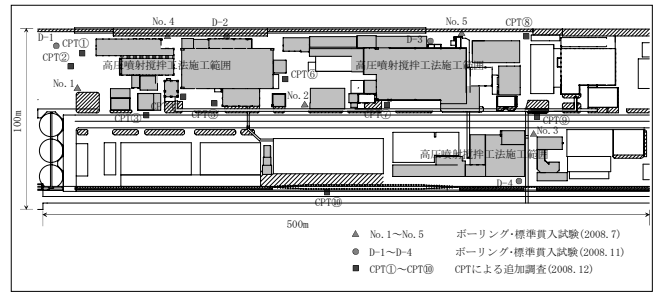


図-9 現場全体図

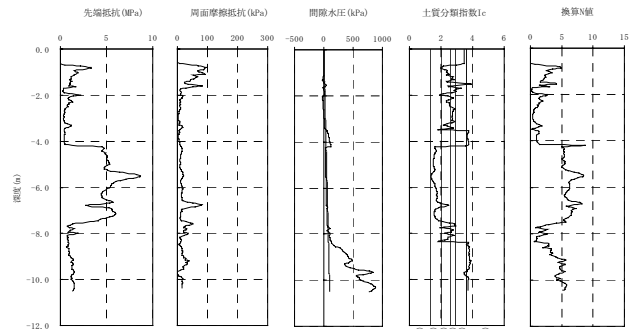


図-10 CPT結果 (CPT①)

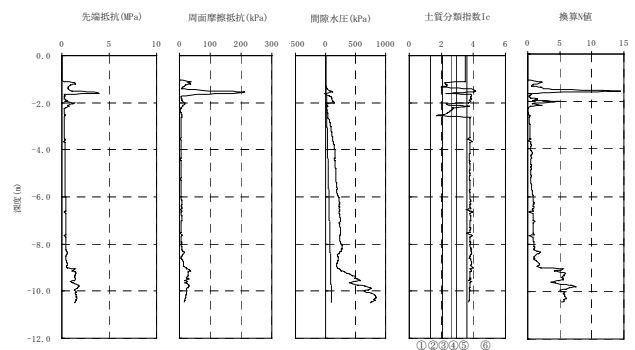


図-11 CPT結果 (CPT⑤)

表-2 土質分類表

図中No.	土質分類	指数 $I_c$
-	非常に硬質な細粒土	-
-	非常に硬質な砂、粘土混じり砂	-
①	砂~礫混じり砂	$I_c < 1.31$
②	シルト質砂~きれいな砂	$1.31 < I_c < 2.05$
③	シルト混じり砂~砂質シルト	$2.05 < I_c < 2.60$
④	粘土混じりシルト~シルト質粘土	$2.60 < I_c < 2.95$
⑤	粘土~シルト質粘土	$2.95 < I_c < 3.60$
-	有機質土~PEAT	$3.60 < I_c$
-	鋭敏粘土	-

土質分類指数  $I_c = \left\{ (3.47 - b g_{10} Q_t)^2 + (\log_{10} F_r + 1.22)^2 \right\}^{0.5}$

規準化先端抵抗  $Q_t = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma_{v0}}$

周面摩擦比  $F_r = \frac{f_s}{(q_t - \sigma_{v0})} \times 100(\%)$

$q_t$  : 先端抵抗 [kN/m<sup>2</sup>]  
 $f_s$  : 周面摩擦 [kN/m<sup>2</sup>]  
 $u$  : 間隙水圧 [kN/m<sup>2</sup>]

$u_0$  : 静水圧 [kN/m<sup>2</sup>]  
 $\sigma_{v0}$  : 鉛直全応力 [kN/m<sup>2</sup>]  
 $\sigma'_{v0}$  : 鉛直有効応力 [kN/m<sup>2</sup>]

換算N値  $N_C = 0.341 I_c^{1.94} (q_t - 0.2)^{1.34 - 0.0927 I_c}$  ( $q_t > 0.2 \text{ MPa}$ )  
 $N_C = 0$  ( $q_t \leq 0.2 \text{ MPa}$ )

図-12 計算方法

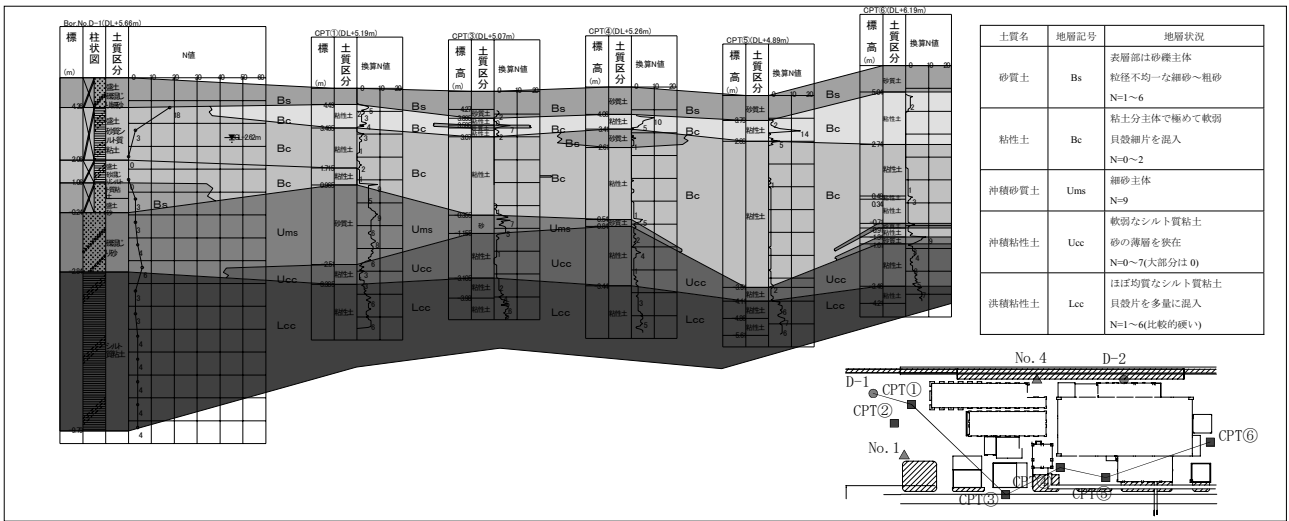


図-13 土質推定断面図

図-13より、ボーリング調査D-1で確認した沖積砂質土層は現場中央に向かって薄くなり、軟弱な粘性土とシルト質粘土へ変わることが分かった。また、CPTでは5cm間隔でデータを収集できるため、支持層となる洪積粘性土層の深度が現場中央に向かって下り勾配となっていることも明確となった。CPTの追加調査の結果に基づいて、高圧噴射攪拌工法の実施計画を行った。施工範囲の粘性土層とシルト質粘土層では、排泥の粘性が高く、排出が困難となることが予想されたため、図-14に示すように、コアチューブによる表層ガラを削孔後、水を噴射しながら所定の深度まで地盤を切削し、固化材を噴射しながら引き上げる、2段階で噴射、切削する手順とした。施工深度はポイント付近の各土質推定断面図に基づいて設定した。

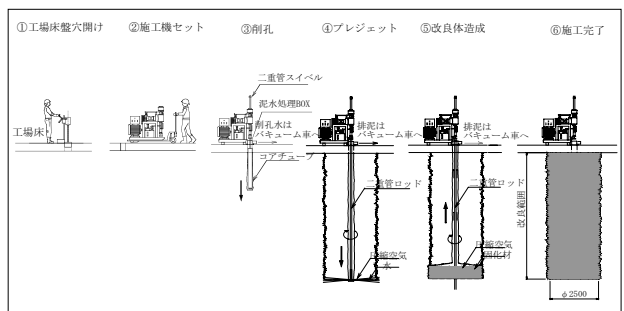


図-14 施工手順

### 3.2 CPTによる改良径の推定

改良径を確認するために、従来は、改良体が固化するまで少なくとも一週間程度経過してから、ボーリングによってコアを採取し、出来形を確認していた。CPTであれば、造成直後の一時的に地盤を緩めた状態で改良径を推定することが可能である。そこで、本施工前の確認施工において、改良体造成から1時間半後に、設計上の改良体の境界部付近で、CPTによる計測を行った。確認施工を実施した場所は、図-13中のボーリング調査D-1付近であった。改良径の確認方法の概要とD-1の土質柱状図を図-15に示す。先端抵抗、周面摩擦抵抗、間隙水圧、傾斜、温度が計測できるコーンを使用し、鉛直性を確認しながら、 $2.0 \times 10^{-2}$  [m/sec]で貫入した。貫入位置は改良体の中心から1.25mと1.35mの2ヶ所とした。また、改良体の固化後、中心から1.25mの位置でコアを採取し、一軸圧縮試験を行った。

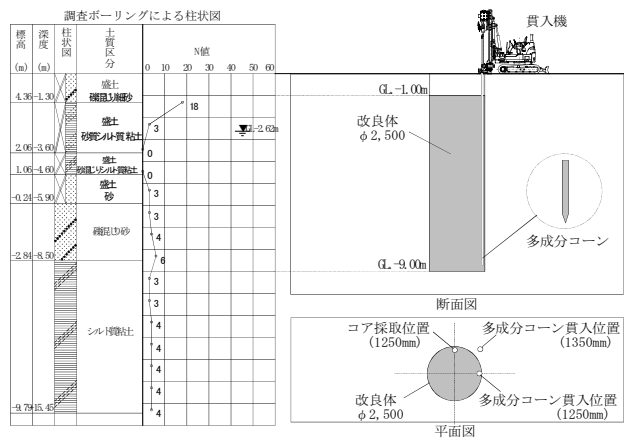


図-15 改良径の確認方法

図-15の土質柱状図と図-16の造成前の原地盤のCPT計測結果から判断すると、原地盤は、大部分が粘性土と軟弱なシルト質粘土で、深度約5mから6mに沖積砂質土が介在する土質であった。改良体の中心から1.25mと1.35mの改良体境界部付近で行ったCPTの計測結果を図-17と図-18に示し、原地盤のCPTの計測結果と比較した。

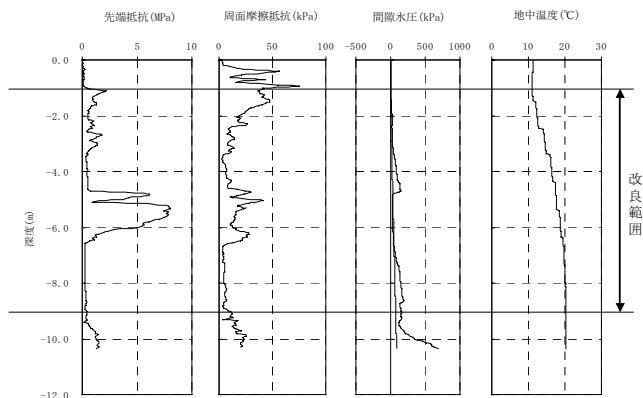


図-16 造成前の調査結果

図-17から、先端抵抗、周面摩擦抵抗、間隙水圧がともに低下し、温度が上昇していることが分かる。これは、ジェット噴流により原地盤が切削されたことにより、中間の沖積砂質土層では、先端抵抗と周面摩擦抵抗が減少し、粘性土層やシルト質粘土層では、拘束されていた水圧が解放されて低下したものと考えられる。また、全体的な温度の上昇は、固化材の固化熱による影響と考えられる。図-18では、先端抵抗、周面摩擦抵抗が図-17と比較して高い傾向を示し、間隙水圧の低下と温度の上昇は、図-17と同様であった。図-18の先端抵抗と周面摩擦抵抗の値は、図-16の原地盤の値とも異なっており、特に原地盤における沖積砂質土層の下部で高い値を示したことから、この深度において、ジェット噴流は到達したものの地盤の切削、攪拌が十分でなく、必要な強度が得られていないことが考えられる。しかし、間隙水圧の低下と温度の上昇の傾向からジェット噴流によって乱された地盤の間隙は固化材で満たされていると推定できるため、固化後に境界部が緩むことはないと思われる。中心から1.25mの位置で地盤が切削されていることから、改良体の径がφ2.5mであると推定した。写真-5に中心から1.25mの位置で採取したコアサンプルを示す。一軸圧縮試験の結果、 $3\text{MN/m}^2$ 以上であることが分かり、CPTの計測結果と一致した。

### 3.3 施工結果

改良体の造成は、全体を3工区に分割して、各工区2セット昼夜作業で、約3ヶ月掛けて実施した。事業所の操業を止めない、機器・配管は工事のために移設しないという施工上の制約条件があった中で、設備に囲まれた狭隘な場所での施工となったが、薬液注入クラスの小型マシン等を改造して現場に持ち込み、地盤改良を行った。CPTによる施工前土質調査により、施工位置付近の土質が軟弱な粘性土であることが判明し、排泥の流動化を促進する施工手順を適用したことで、排泥の噴発や床盤の隆起を発生することなく、順調に施工を完了した。工場内での施工状況を写真-6に示す。本工事の品質管理は、改良体が高強度であったことから、貫入エネルギーから一軸圧縮強度を推定する方法ではなく、コアサンプリングで行った。その結果、一軸圧縮強度  $3\text{MN/m}^2$  以上の設計値に対して平均  $4.13\text{MN/m}^2$  であり、設計値を満足していることを確認した。

実施工程表を図-19に示す。工程に余裕がなく、詳細設計を進めながらの施工であったが、2009年3月31日までの工期を守り、必要な品質も確保することができた。今回の工事では、調査、設計、施工を自社で一括して管理した。CPTは、調査場所が限定されない、短時間で連続的な計測が可能である、試験後直ちに結果の判定が行えるといった利点があり、制約条件の多い現場においても自由度が大きく、必要な調査位置の設定や設計した改良体配置の調整等、各工程間の連携が非常に円滑であった。改良体の出来形が原地盤の性状に大きく影響される高圧噴射攪拌工法では、CPTを利用した詳細な土質情報により、現場に応じた最適な施工管理が可能となる。調査状況を写真-7に示す。

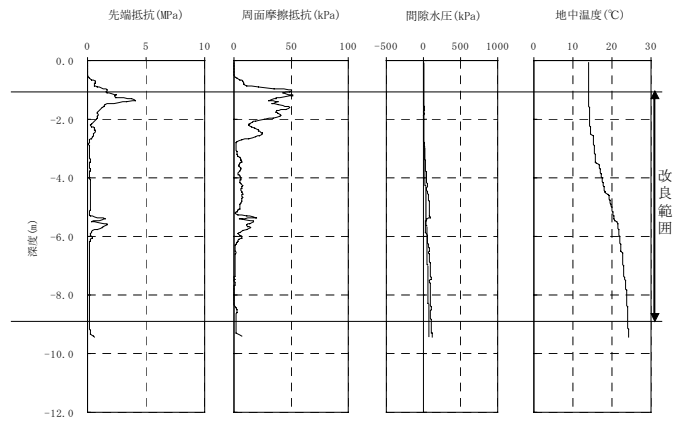


図-17 造成後の調査結果(中心より1250mm)

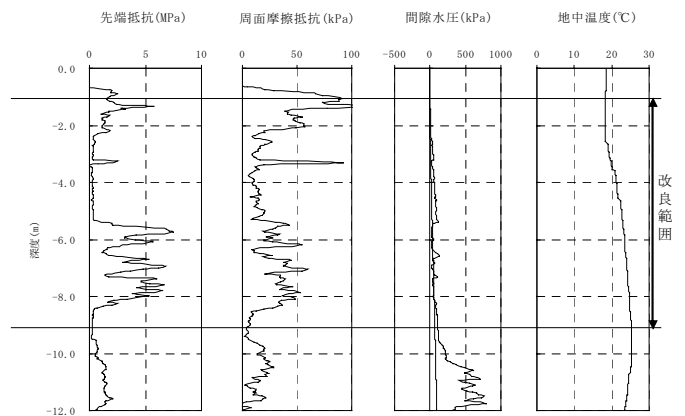


図-18 造成後の調査結果(中心より1350mm)

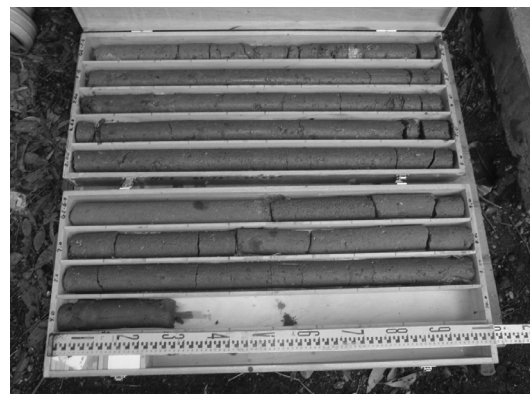


写真-5 境界部で採取したコア

工種	平成20年			平成21年		
	10月	11月	12月	1月	2月	3月
現地踏査	●	●	●			
現地測量	●	●	●			
地質調査		●	●			
調査ボアリング		●	●			
CPT		●	●			
試験配合			●	●	●	●
試験施工			●	●	●	●
耐震補強工事			●	●	●	●
整地・後回工			●	●	●	●
設計	●	●	●	●	●	●
		基本設計			詳細設計	

図-19 実施工程



写真-6 工場内での施工状況



写真-7 調査状況

#### 4. まとめ

CPT を利用して、地盤改良工法の効果確認を行うための実験的な検証と、CPT を実際の現場で活用した実施例について述べた。耐震補強や液状化対策が必要な軟弱な地盤に調査の対象を絞り込めば、小型のボーリングマシンでも十分にコーンの貫入が可能であり、広範囲で複雑な地盤を適切に評価できる。改良体の評価手法として、ボーリングマシンの貫入エネルギーと一軸圧縮強度を相関させる方法や、施工直後の緩んだ状態でコーンを貫入して、先端抵抗、周面摩擦抵抗、間隙水圧等の計測値から改良径や透水性を推定する方法を実験的に検証し、地盤調査と同様に、コーン貫入によって得られる情報から、改良体の性状も確認できた。日本コーンスターチ㈱における地盤耐震対策工事では、調査から効果確認までを一括管理する中で、施工前の土質調査の期間を3割程度にまで短縮できただけでなく、結果を即時に詳細設計に反映できたという面において、CPT の迅速性が大いに生かされ、平均強度で設計値を上回る高品質な改良体の造成に大きく寄与した。

仕様設計から性能設計への移行を背景として、不確定要素の多い地盤を対象とした地盤改良工事では、より多くの情報が必要とされる。それと同時に、情報を読み取る能力も求められる。今後も CPT を幅広く適用し、広く普及させられるように、データを収集していく所存である。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会関東支部:基礎構造の設計, pp.5-14,2003.
- 2) 地盤工学会:地盤調査法, pp.301-309, 2003.
- 3) 荻原芳彦・鈴木秀人:よくわかる破壊力学, オーム社, pp. 50-73, 2005.
- 4) 室町忠彦:静的コーンペネトロメーターの軟弱地盤調査への適用に関する実験的研究, 鉄道技術研究報告, pp. 32-69, 1971.
- 5) CPT委員会(2008)WG-1:CPT一斉試験2007-その1:地盤概況-, 第43回地盤工学研究発表会, pp.239-240, 2008.
- 6) CPT委員会(2008)WG-1:CPT一斉試験2007-その2:試験結果の比較-, 第43回地盤工学研究発表会, pp.241-242, 2008.
- 7) 鈴木康嗣, 時松孝次, 實松俊明:コーン貫入試験結果と標準貫入試験から得られた地盤特性との関係, 日本建築学会構造系論文集, 第566号, pp. 73-80, 2003.
- 8) 八尋暉夫:最新ウォータージェット工法, pp.98-99, 1996.

(2009年6月29日 受付)