

# 狭小地に対応する耐液状化地盤改良技術の開発と今後の展開

株式会社竹中土木 技術・生産本部 技師長

平井 卓

## 1 はじめに

竹中土木は、竹中工務店とともに地盤改良の黎明期より深層混合処理工法のパイオニアとして地盤改良工法の普及と技術開発、技術改良を進めてきました。一九七〇年代にはもっぱら海上から船を用いて海底を地盤改良するものでしたが、一九八〇年代からは陸上での施工も可能となってきました。当時の陸上型の地盤改良機は杭打ち機のベースマシーン（三点式）を用いた写真1のようなものでした。高度成長の中で支持力の高い土地が少なくなる中で土木構造物や建物の施工条件が軟弱地盤となることが多くなるにつれて、陸上での深層混合処理工法を用いた地盤改良のニーズも高まり、施工量を増やしていきました。特に一九九五年に発生した兵庫県南部地震（阪神大震災）においては、竹中工務店などともに開発した耐液状化格子状地盤改良工法「TOFT工法<sup>®</sup>」を施工した海上埋立地のホテルにおいて周囲の護岸構造物が液状化により損傷している一方で無被害であったことから（写真2）工法の

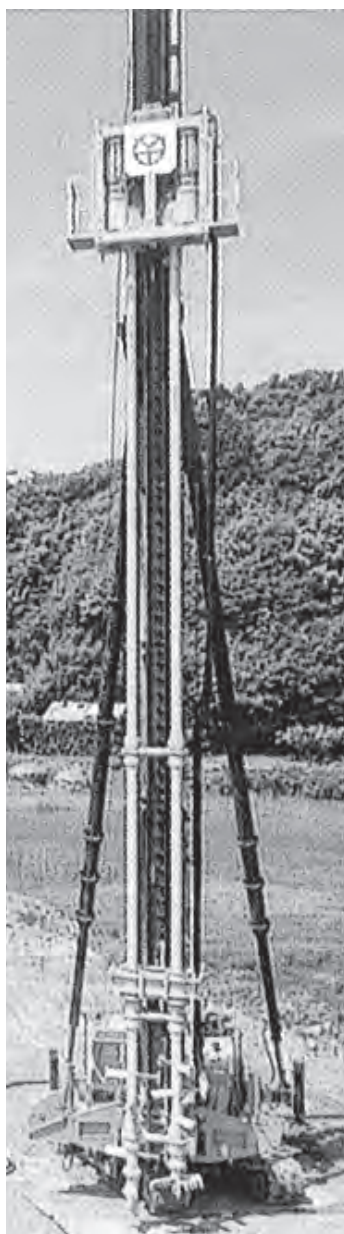


写真1 地盤改良施工機（陸上）

ニーズが高まり、施工量が増大しました。その後、様々な新工法の開発が他社でも進み競争が激化する中で、施工量の増加が鈍化し、新たな市場開拓と技術革新が必要となってきました。近年特に都市部では広いヤードの確保が困難で基礎杭なども狭所かつ低空頭対応の機械が活躍する状況となり、地盤改良機も小型化の必要があると考えました。そこで、大型の三点式の機械に負けない精度と施工能力を有し、かつバックホーサイズの小型地盤改良機の開発を行うこととしました。

## 2 陸上地盤改良を用いた工法の開発

陸上地盤改良の市場を開拓するためには、地盤改良を用いて新たな価値を生むことができ、他の方法に勝る工法の開発が必要です。前述の「TOFT工法<sup>®</sup>」は、当時、騒音や振動、周辺への影響の大きな締固め工法が主流であった液状化対策に対してこれらの欠点を大きく改善する画期的な工法でした。この工法は、円柱状の地盤改良を写真3のようにラップさせながら壁状に構築し平面形状が格子となるように配置する工法です。



写真2 阪神大震災で無被害のホテルと周辺護岸被害状況



このようにして構築された格子状の壁は、地震時に図1のように地盤の変形を拘束し、変形による砂の体積変化を抑制することで液状化を防止するものです。施工場所は格子壁の位置のみに限定され、地中で地盤とセメントスラリーを攪拌するだけなので、締め固め工法に比べて騒音振動が少なく、

護岸など周辺構造物への影響も小さいことが特徴です。地盤改良は、地盤にセメントスラリーを混合するものであり、事前に原位置採取土とセメントスラリーの室内配合試験を実施することで所定の強度に設定でき、軟岩程度の強度を発現可能なので、改良後の地盤の自立高さは一〇mを超える設計が可能です。このような性質に着目して開発されたのが「DOC工法」であり、地盤改良により自立土留めを構築することが可能となります（写真4）。このようにして構築された自立土留めは、

改良を一体化することで、地下水位が高い場合の盤膨れ対策や止水対策となり、切梁や中間杭を施工する必要が無くかつドライワークが可能となるため、矢板工法やソイル柱列壁に比べて重機の走行が妨げられず効率的に掘削作業、構造物構築作業が可能な工法です。



写真3 TOFT工法®(対液状化格子状地盤改良)

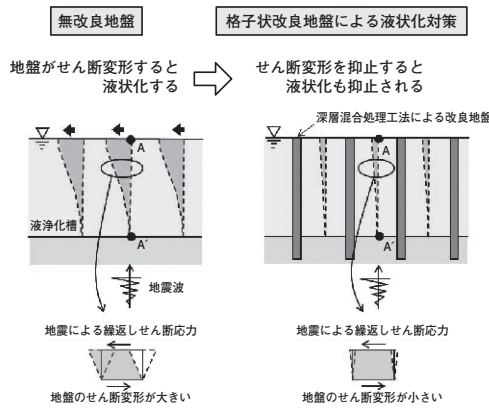


図1 TOFT工法®による液状化防止メカニズム



写真4 DOC工法（地盤改良自立土留）



写真5 四軸施工機

設計が可能です。このよう

### 3 施工機械の開発

利用目的を多様化する工法開発とともに、効率化と品質向上を目的とした施工機械の開発も進めてきました。前述した「TOFT工法®」を効率良く施工するためには、一回で施工できる地盤改良壁の延長を長くすることが有効と考え、写真5のような四軸機を開発しました。一方、効率だけでは無く施工品質の確保に向けた施工機械も開発



しました。GPSを用いて位置決めを行い、ジャイロセンサーによって鉛直精度をリアルタイムに管理できるものや、写真<sup>6</sup>のように単に鉛直精度を管理するだけでなくワイヤーによって施工軌跡を制御できる「パペット工法」の開発も実施しました。その後、輻輳した都市部での施工を可能とするために、小型の施工機械開発に着手しました。

#### 4 東日本大震災と小型機械開発

都市部での施工を見据えて開発を始めた小型施工機械でしたが、開発途中に東日本大震災が発生し転機を迎えました。千葉県浦安市で発生した既存地の深刻な液状化被害に対して今後の対策工として「TOFT工法<sup>®</sup>」が着目されましたが、従来の大型機械では施工ができませんでした。小型機による施工が必要不可欠となりました。当社は小型機械の開発をほぼ完成していた状況であったため、設計方法も含めた既存宅地型の液状化対策方法を新たに確立して対策を実施することができました。写真<sup>7</sup>に示す完成された施工機械「スマートコラム工法」は、攪拌翼に特徴があり、



写真6 パペット工法



写真7 スマートコラム工法



図2 スマートコラム工法による堤防の補強イメージ



写真8 盛土土肩におけるスマートコラム工法試験施工

大型機械に負けない鉛直施工精度と改良速度を有するものです。この既存宅地の液状化対策技術は二〇二〇年に「第二二回国土技術開発賞最優秀賞」を受賞することができました。

#### 5 小型機械の堤体補強への展開

既存宅地の液状化対策として実績を有する「スマートコラム工法」ですが、機械が小型でかつ施工精度も確保できるために、近年の地震や津波、豪雨よって損傷を受けることが多い海岸堤防、溜池などの堤防補強への適用が可能であると考えています(図2)。機械が小型であることで堤体への影響を最小限として地盤改良の特徴を生かした補強方法を提案しているところです。これらは、大学との共同研究や法面天端部での施工試験により有効性が明らかになっていきます(写真<sup>8</sup>)。小型機でありながら柱状の地盤改良体をラップ施工

して壁状の改良体を構築できるので、基礎部の液状化防止、堤体の止水性向上、堤体の自立性や安定性向上を図ることができます。

#### 6 おわりに

竹中土木は初期には竹中工務店とともに地盤改良技術の黎明期の開発を行い、様々な工法や施工機械の開発を実施してきました。近年特に異常気象や大地震といったいわゆる想定外といった災害が増加していますが、このような災害に対しても今まで培った経験と新たな開発によって、社会資本の機能維持と延命化を行い、老朽化に対処しつつ新たな社会資本構築に貢献することで、対応していきたいと考えています。また、最近特にニーズの高いDXやCNなどの技術に対しても例えば、地盤改良の自動化やCO<sub>2</sub>削減といった技術を積極的に開発して進化を続けているところであります。