

三次元削孔による耐震補強・液状化防止工法の現状

—カーベックス工法—

田中 龍夫・糸川 政則・小林 正志

近年、三陸沖北部、宮城県沖、首都直下型、東海地震、東南海地震、南海地震など太平洋沿岸地域で巨大地震が発生する危険性や確率を報道機関などで見るが多くなった。一方、事業継続計画（BCP）の必要性について認識が高まり、「工場・事業所」、「学校・病院などの社会資本ストック」などで、巨大地震対応の地盤補強工事が具現化してきている。本稿では、“堅坑不要”、“稼働中の施設を傷めず、直下の地盤補強が居ながら施工できる”三次元削孔を応用した「薬液注入工法による液状化防止工法の現状」と、「セメント系硬化材の高圧噴射工法による耐震補強工法」を紹介するものである。

キーワード：三次元削孔、構造物直下地盤改良、液状化防止、耐震補強、ジェットクリート工法、カーベックス工法、自在ボーリング

1. はじめに

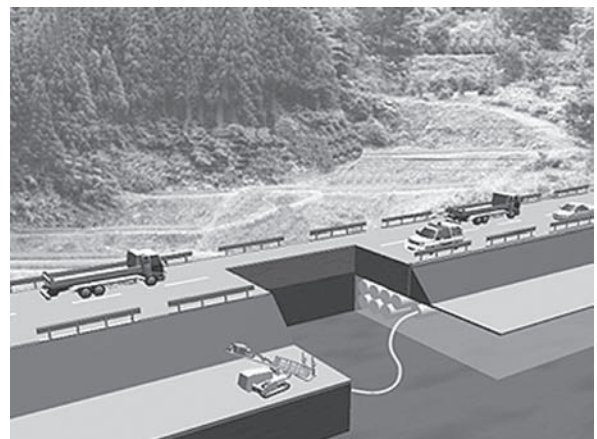
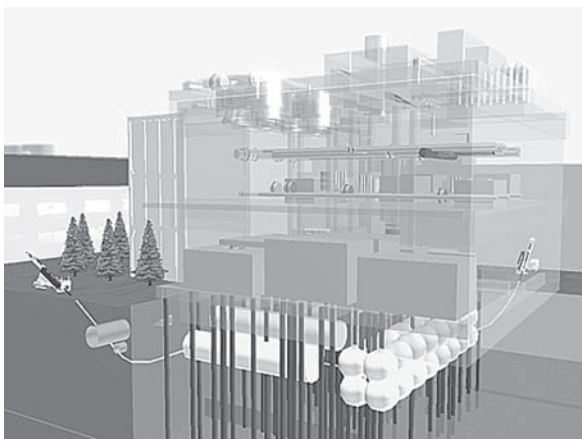
1995年（平成7年）1月17日に発生した兵庫県南部地震（阪神・淡路大地震）を教訓に、同年12月25日に「耐震改修促進法」が施行されてから、はや15年が経過している。地上構造物の耐震補強は、住宅メーカーやゼネコン等によって種々の工法が開発され普及が進んでいる。一方、地盤に関する耐震補強は、既設構造物直下の施工になる場合が多く、液状化対策を主とした工法が先行していた。しかし、2004年（平成16年）10月23日に発生した新潟県中越沖地震における柏崎刈羽原子力発電所のダメージで、地下の耐震補強の重要性が注目され、近年では、「工場・事業所」、「学校・病院などの社会資本ストック」などで、巨大

地震に対する液状化防止、耐震補強が具現化してきた。

本文では、地上から稼働中の施設を傷つけず、居ながら施工できる堅坑不要の三次元削孔技術と、それを応用した薬液注入工法による液状化防止工法の現状、並びに新たに開発した高圧噴射工法による耐震補強工法の概要を紹介する。図—1に、三次元削孔を応用した耐震補強・液状化防止施工イメージ図を示した。

2. 三次元削孔技術

ボーリング孔の削孔方向を自由に制御する技術は、米国で管類の敷設に広く用いられている。この方法は、地上から所定の線形でボーリング削孔を行い、到達地上に貫通させた後、敷設管をボーリングロッドに接続



図—1 三次元削孔による耐震補強・液状化防止施工イメージ図

し、ロッドを引き戻しながら管を敷設していくものであった。

米国の基本システムは元来、民家の密集していない道路沿いでの、比較的浅い位置に管類を敷設することを目的としたもの（以下、米国式と称す）で、建物や構造物が密集する我が国での地盤改良にそのまま導入することができなかった。

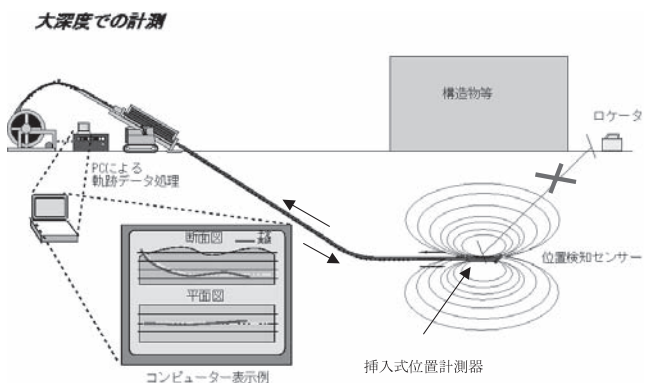
以下に、米国方式の問題点と地盤改良への応用を可能にした三次元削孔技術の概要を紹介する。

(1) 位置検知システム

米国方式は、磁場を利用したロケータでのシステムもしくは、方位計を利用したシステムで、地上から削孔位置を確認しながら方向を制御していくものである。この位置検知方法を地盤改良に応用するためには、次の問題があった。

- ・ 構造物直下の位置検知ができない
- ・ 改良位置付近に磁場を乱す高圧電線や鋼管杭などがあった場合、位置検知に支障がでる
- ・ 深度に比例して計測誤差が大きくなる

これらの問題点に対し、削孔ロッド内に計測器を直接挿入し、削孔軌跡が計測でき、磁場の影響を受けない計測システム（削孔ロッド内挿入式計測器）を開発した。これにより、構造物直下の施工、大深度削孔（深度15m以上）、鋼管杭間の削孔制御が可能になった。図一2に、削孔ロッド内挿入式計測器の計測システム概念図を示した。



図一2 削孔ロッド内挿入式計測による位置検知システム概念図

(2) 削孔ロッドと曲率半径

建物周辺の敷地条件面から、施工に必要な占有面積はできるだけ小さくした方が、工法の適用範囲が広がる。そのためには、曲がりの曲率を小さくし、地上からの削孔開始位置から水平削孔へ移行させる距離を短くすることが必要となる。米国方式の管類の敷設に使用する削孔ロッドは、小口径の光ケーブル敷設用から、

大口径ではガスの基幹パイプ敷設用までである。しかし、先に述べた環境での施工であるため、削孔ロッド径の曲がり曲率半径に適合した施工を行っており、占有面積に関する配慮はない。したがって、米国方式の削孔ロッドを用い、削孔ロッド内挿入式計測器に必要なロッド径（約φ70mm）で作業を行った場合は、その材質では強度的に削孔の曲率半径を大きくせざるを得ず、作業占有面積が大きくなる。この課題に対して、削孔ロッドの材料を特殊合金鋼にし、曲線状態での回転による曲げ引張りの繰返し荷重に耐え、削孔最小曲率半径30mの削孔ロッドを開発することで、解消することができた。

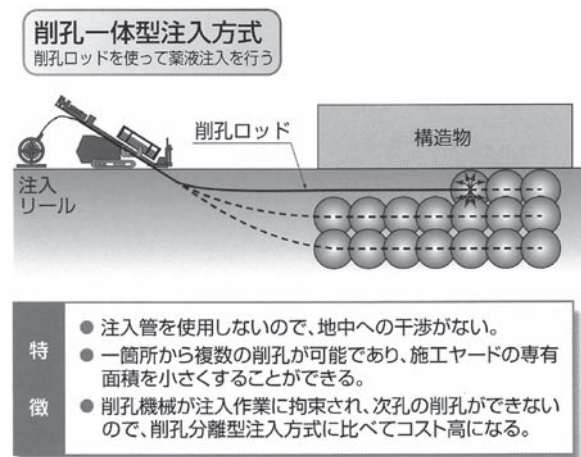
こうした三次元削孔技術の高度化により、従来、地上から施工できない既設構造物直下の液状化防止工法、耐震補強工法への応用展開が可能になった。

3. 注入工法による液状化防止工法

三次元削孔技術の地盤改良への応用は、1994年（平成6年）の危険物の規制に関する政令の改正による、旧法タンクの液状化防止対策や、既設護岸を対象として、薬液注入工法との組合せで、2006年（平成8年）に開発を始めた。しかし新潟県中越沖地震で、部品製造企業の工場が損傷を受け、完成商品の生産に大きな影響を与えたことから、近年では事業継続計画（BCP）の一つとして、民間施設の液状化防止工法としても需要が出てきた。

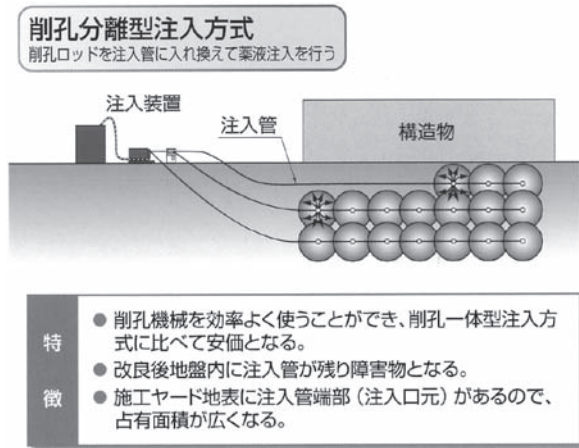
現在に至る開発経緯とその実績は以下のとおりである。

■ 2001年（平成13年）、図一3の削孔一体型注入方式概念図に示す、削孔用特殊ロッド内に注入管を挿入する注入方式を開発し、供用を開始した。



図一3 削孔一体型注入方式概念図

■ 2005年（平成17年），工程の短縮やコスト縮減を目的とした，**図一4**の削孔分離型注入方式（ダブルパッカーを有する注入内管使用）概念図に示す，削孔用特殊ロッド内に注入管外管を挿入し，地盤に残置して注入する方式を開発し，供用を開始した。



図一4 削孔分離型注入方式概念図

■ 2007年（平成19年），前記方式よりさらに長距離の施工を可能にし，注入外管が地中に残置されるといったデメリットを克服すべく，注入管を鋼製に変更し，地盤中にパッカーを効かせ注入を行いながら，注入管を引抜く削孔分離型鋼製注入管タイプを開発し，実施工に供用を始めた。

このように，三次元削孔を応用した液状化防止工法は，顧客の要求に合わせ様々な方式を取り揃え，現在に至っている。

表一1に，開発当初から現在進行中工事までの施

表一1 施工実績一覧表

工事目的	件数	施工本数 (本)	削孔延長 (m)	注入量 (kl)
削孔工事	4	39	2,278	-
一般注入工事	5	142	6,921	3,290
液状化対策工事	10	224	21,040	19,845
計	19	405	30,239	23,135

表一2 液状化対策工事注入方式別実績一覧表

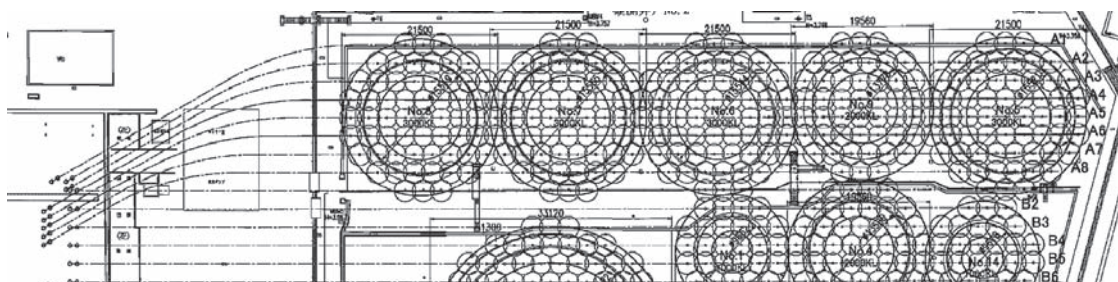
注入方式	件数	施工本数 (本)	削孔延長 (m)	注入量 (kl)
削孔一体型	1	4	172	26
削孔分離型 スリーブ管タイプ	6	89	5,565	4,919
削孔分離型 鋼製注入管タイプ	3	131	15,303	14,900
計	10	224	21,040	19,845

工実績を示した。削孔延長は約30,000m，注入量は約23,100klに達している。

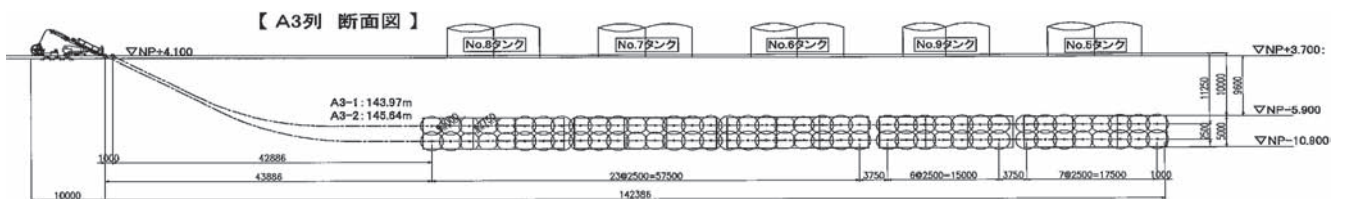
表一2に，液状化防止対策工事の注入方式別の実績を示した。現状では，削孔可能な距離の改善により，施工距離が長く取れ，注入管が回収できる削孔分離型の鋼製注入管タイプの適用が多くなっている。**図一5**，**6**に，その実施例を示した。

4. 高圧噴射工法による耐震補強工法

既設構造物直下の液状化防止工法としては，三次元削孔を応用した薬液注入工法による地盤改良が，す



図一5 実施例（計画平面図）



図一6 実施例（計画断面図）

に市場で定着している。しかし、地震時の地盤変形抑止を目的とする耐震補強工法については、これまで主に建物内から、高い強度が保証できるセメント系硬化材高圧噴射工法を鉛直に施工することで対処していた。しかし、この工法は建物内部からの施工であることから、施工中の騒音・振動や、余剰硬化材の取扱い、躯体への削孔、既設構造物供用時間との調整など、課題もあった。これを受けて、2008年末に長年開発が期待されていた建物の外から施工が可能となる、三次元削孔を応用した曲がり水平改良体造成による、耐震補強工法「ジェットクリート工法—水平型」が開発された。

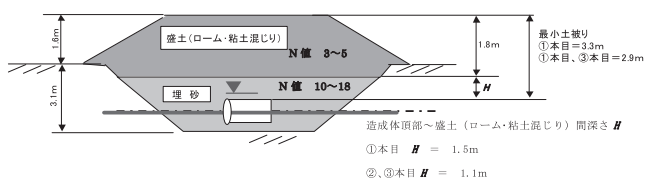
(1) 工法の基本仕様

噴射攪拌工法を水平に施工する場合、いかに地山を安定させるかが重要になる。以下に、そのための基本仕様を示す。

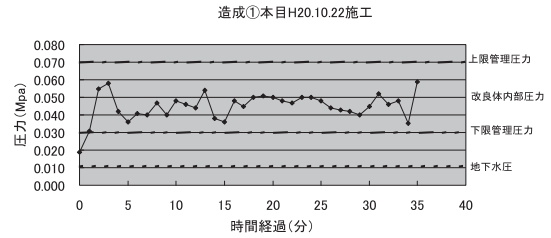
- ①噴射硬化材と切削地山の混合物（改良体）が粘度を有し、周辺地盤へ逃げづらく、ブリージングが抑制される特殊硬化材を用い、地山安定に必要な内部圧力に制御する。
- ②特殊硬化材に早期強度発現性をもたせ、混合物（改良体）を短時間に塑性体に移行させる。
- ③高圧噴射仕様は、エア無しで交差噴流とする。これにより、エア併用で起こり得る改良体頂部エア溜りの発生、エアブローの発生など、地山を弛める要因を排除するとともに、交差噴流の特長である一定径の確保と高い攪拌性能により、硬化材と地山の混合割合のバラツキを少なくし、改良体の品質が向上される。

(2) 試験施工

試験施工を、N値 ≤ 18 の砂地盤内かつ、最小土被り 2.9 m という条件下で、地山安定を確保しながら、曲率半径 R = 38 m の曲線改良体を含む径 φ1.2 m の水平改良体を造成する目的で実施した。図一七に施工地盤と改良体位置図、図一八に造成時の改良体内部圧力計測データ（図一八に示す右端改良体造成時）、図一八に改良体の出来形写真を示す。



図一七 施工地盤と改良体造成位置



図一八 造成時の改良体内部圧力



図一八 水平施工の改良体（左は R=38m の曲線施工）

地山安定に関する試験結果は、硬化材が地上に噴発することも無く、隆起はゼロ、沈下量は最大 2 mm が観測された。出来型形状は、R = 38 m の曲線施工（図一八の左側改良体）で圧力計測システムの単純トラブルにより所定の圧力制御ができなかった一区間を除き、50 cm ピッチでの断面の縦径／横径比は、0.97 ~ 1.07（平均 1.04）で、ほとんど潰れない円形状断面の改良体が造成されたことを確認した。改良体の品質の確認は、公的検査方法¹⁾に基づき実施した。コアの連続性は、全長に対するコア採取率、1 m ごとのコア採取率ともに 100%であった。一軸圧縮強さは、材令 28 日平均一軸圧縮強さ 14.6 MN/m²、変動係数 Cv は 18.4%であった。材令 1 年の一軸圧縮強さは、平均 16.4 MN/m²であった。

(3) 今後の展開

工法は、3年間にわたる理論の構築、要素技術の開発・基礎実験と、保有ジェットクリート技術を集積・高度化して完成した。今後さらに、耐震補強検討に必要な改良体の諸物性値の把握を行いながら、市場への早期展開を図っていく。

5. おわりに

三次元削孔を応用した、薬液注入工法による液状化防止対策工法やセメント系硬化材高圧噴射工法による耐震補強工法は、地下の地震対策の範疇のみならず、

既存の枠に囚われない地盤改良，構造物への応用などの様々な用途開発や，これまで施工面から制限された設計手法のダイナミックな展開が期待される。

今後，さらなる高度化，技術開発を進め，地下の総合エンジニアリングを結集して，社会貢献できることを望む次第である。



《参考文献》

- 1) “改訂版 建築物のための改良地盤の設計および品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層処理工法—日本建設センター平成14年11月” 品質のバラツキが事前に想定できない場合の検査方法

【筆者紹介】

田中 龍夫 (たなか たつお)
ケミカルグラウト(株)
技術本部 技術開発部
部長 (土木)



糸川 政則 (くめかわ まさのり)
ケミカルグラウト(株)
技術本部 技術開発部
課長 (機械)



小林 正志 (こばやし まさし)
ケミカルグラウト(株)
東日本支社 首都圏支店
技師長 (土木)



大口径岩盤削孔工法の積算

——平成 20 年度版——

■内 容

平成 20 年度版の構成項目は以下のとおりです。

- (1) 適用範囲
- (2) 工法の概要
- (3) アースオーガ掘削工法の標準積算
- (4) ロータリー掘削工法の標準積算
- (5) パーカッション掘削工法の標準積算
- (6) ケーシング回転掘削工法の標準積算
- (7) 建設機械等損料表
- (8) 参考資料

● A4 判 / 約 240 頁 (カラー写真入り)

● 定 価

非会員：5,880 円 (本体 5,600 円)

会 員：5,000 円 (本体 4,762 円)

※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせていただきます。

※送料は会員・非会員とも

沖縄県以外 450 円

沖縄県 340 円 (但し県内に限る)

● 発行 平成 20 年 5 月

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>