

# 自在ボーリングを用いた既設構造物直下の地盤改良

## —グランドフレックスモール工法—

石井裕泰・松井秀岳・檜垣貫司

斜め・曲がり・水平方向の制御が可能な自在ボーリング技術を用いた地盤改良工法を紹介する。構造物の直下に注入管を敷設し、上部の利用を妨げることなく地盤の注入固化を施すことができる。また、土壌浄化への利用や、専用の装備を利用して空洞充填、噴射攪拌改良を行う技術など、種々の地盤改良も可能になっている。本報では、削孔・地盤改良に関する本工法の特長と、改良体の掘り出し調査を含む施工試験、旧法タンクの液状化対策工事を目的とした実施事例を紹介する。

キーワード：地盤改良，薬液注入，空洞充填，自在ボーリング，液状化対策，既設構造物，旧法タンク

### 1. はじめに

近年の大規模地震発生やそれに伴う耐震基準の改正などをうけ、既設構造物の耐震性を向上させるニーズが高まっている。また、資源の有効活用、ひいてはCO<sub>2</sub>の排出抑制に対する意識の高まりから既存建物の有効活用が望まれ、地盤や構造物の修繕技術の必要性が益々高まりつつあるとも言える。本文でも触れる旧法令に準じて建設された屋外タンクの液状化対策は、その具体例として挙げられる。加えて施設・建物を所有する事業主や住民にとっては、日常の利用を妨げられることなく直下の地盤改良を実施できることが望ましい。

本グランドフレックスモール工法はこのような背景から開発された工法であり、斜め、曲がり、水平の方向制御が可能な自在ボーリングを用いた削孔技術と地盤改良技術とを組み合わせた工法である<sup>1), 2)</sup>。特に削孔技術に関しては、1本の削孔延長が50mを超えるような大規模施工や、礫の介在も含む固めの地盤での施工に対処できるよう配慮がなされている。

本報では、自在ボーリング、地盤改良手順、応用技術を述べるとともに、施工試験の内容と適用事例を紹介する。

### 2. 工法の概要

#### (1) 削孔手順

写真-1に専用削孔機を、図-1に削孔手順の概要を示す。自在ボーリングにおいては、削孔管先端に

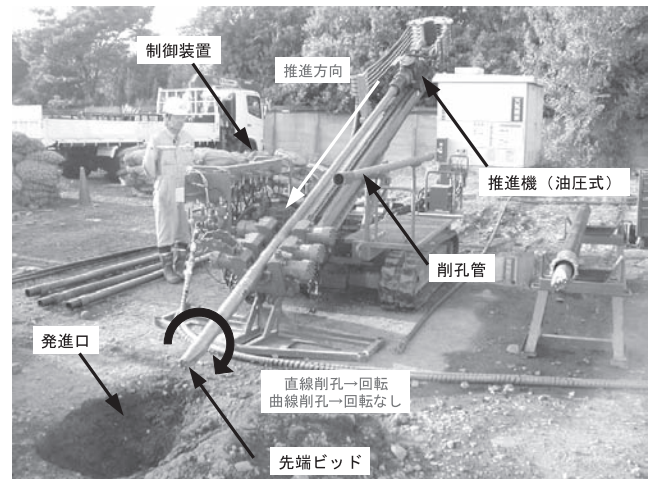
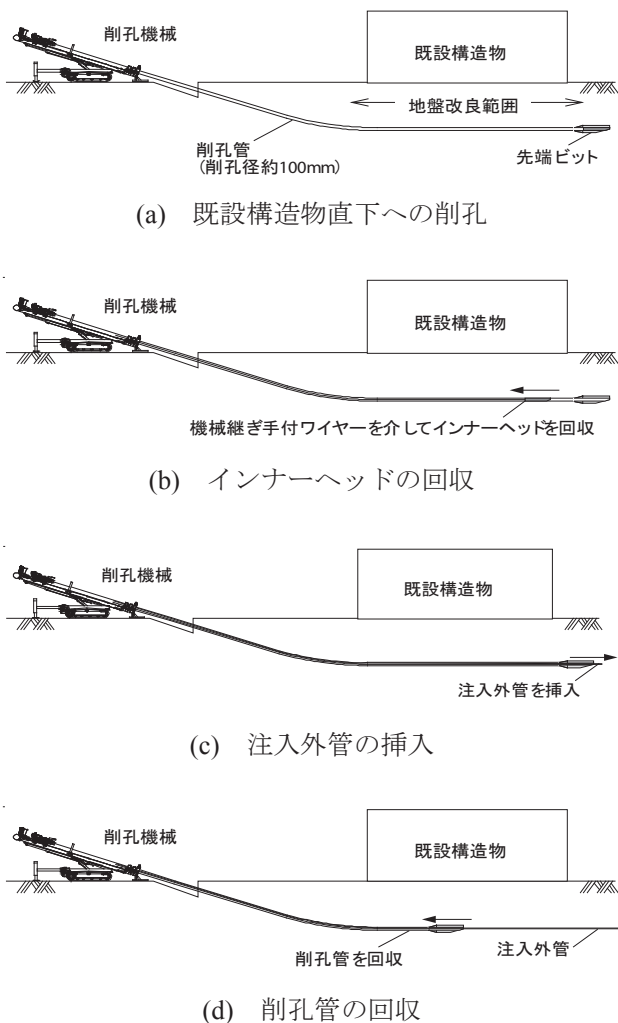


写真-1 専用削孔機

方向制御のためのへらを持つ先端ビットが取り付けられており、直線方向に削孔する場合には回転させながら削孔管を推進する。方向修正をする場合にはへらの方向を固定し、先端部で一定方向に偏る土圧抵抗を受けながら推進させる。先端ビット部は二重構造になっているが、ボーリングが完了したのちは、インナーヘッドを回収することで先端部を開放することができる。このような状態で削孔管内に注入用の管を挿入し削孔管を回収すれば、注入用の管のみが地中に残り、薬液注入等の地盤改良が行えることになる。

注入に先立つ削孔は、确实に行えることが地盤改良を行う前提となる。削孔中には必要に応じてパーカッション（打撃貫入）の併用が可能で、事前の地盤調査では判明しなかった固い地盤、コンクリートや転石を貫通する際の确实性を高めている。また、長距離削孔



図一 削孔手順

や作業時間に制限が課された場合に想定される中断後の再削孔でも、パーカッションにより地盤を緩める効果が期待でき、推進不能に陥る事態を極力避けることができる。

なお、削孔中および完了後の位置確認は、先端部から発信される信号を地上で受信する方式、削孔管内にジャイロを挿入する方式を採用する。

(2) 注入手順

削孔後の注入改良では、従来から用いられるダブル

パッカー方式とともに、自在ボーリング用に開発したセルフパッカー方式 (図一2) の利用が可能である。本方式では、注入外管内に密閉された注入元を確保する際、注入内管に取り付けられたパッカーを薬液自身で膨らませることが特徴である。そのため、従来方式のようにパッカーを膨らますための独立した圧力供給経路を必要とせず、注入管の構造が単純かつ小型となっており、曲線状のボーリング孔への挿入に適している。また、複数同時注入が可能のため注入作業の効率化にも有効である。

(3) 応用技術

上記の標準的な施工方法に加えて、種々の地盤改良方式の利用が可能になっている。

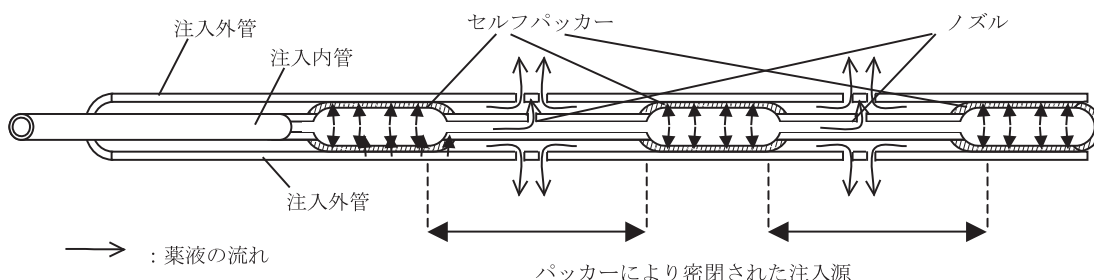
土壌浄化への応用では、自在ボーリングにより浄化用の管を地中に敷設する。エアスパーキングによる浄化の検討では、浄化範囲と効果を確認している<sup>3)</sup>。地中の空洞部の充填では、先端部で二液を混合する機能を持つ先端ビットを装着する。セメントおよびベントナイトを削孔管中の独立した経路で供給し、両者を直前に混合した上で先端部より充填用セメントベントナイトを注入する<sup>2)</sup>。また、セメントミルクを地中で噴射し地盤と攪拌混合する噴射攪拌方式を自在ボーリングに搭載する技術を開発している。自在ボーリングに装着可能な噴射装置を用いて地中で円柱状改良体を造成した試験施工では、一軸圧縮強さで  $1 \text{ MN/m}^2$  を超える高強度を確認している<sup>4)</sup>。さらには、先端ビット背部に取り付けた計測機で得られた削孔管の傾斜、方向データを無線通信で地上に送信する、位置計測システムも実用化に至っている<sup>5)</sup>。

3. 施工試験

(1) 施工試験 1

(a) 試験概要

千葉県館山市の沿岸部の敷地にて、試験を実施した。図一3に試験の概要を示す。ここでは、注入方式の



図一2 セルフパッカーを用いた注入方式

みに着目しその有効性を確認するため、人工地盤作成時に注入管を埋設した上で、セルフパッカー式注入内管を通して浸透注入を行った。人工地盤には浅間山砂 ( $\rho_s = 2.71 \text{ g/cm}^3, F_c = 8.1\%, D_{50} = 0.24 \text{ mm}$ ) を用い、注入外管にそった薬液の逸走を防止する目的で、注入地点をはさんだ位置に地山パッカーを設置した。

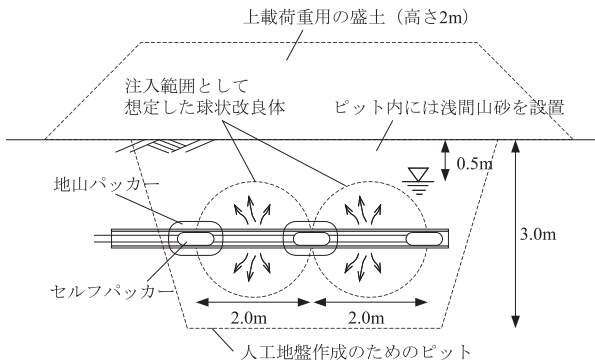


図-3 試験施工1の概要

薬液の注入に先立ち、水を用いて吐出量と有効注入圧力の関係を調べ、限界注入速度<sup>6)</sup>を判定した。ここで、両者が概ね比例関係となり、薬液が徐々に浸透すると判断される範囲は、図-4に示すように、1改良体あたり吐出量 8L/min 以下であった。注入対象がゆるい人工地盤であることから可能な限り吐出速度を落とすことが望ましいと判断し、1改良体あたり 6 L/min, 2改良体同時に合計 12 L/min で浸透注入を行った。計画改良体径を 2.0 m とし、1改良体あたり 1,885 L の注入を行った。

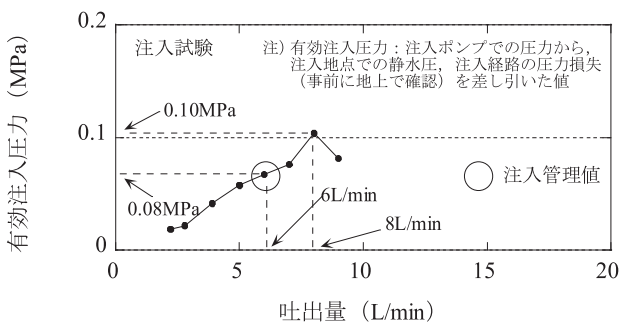


図-4 限界注入速度試験 (試験施工1)

(b) 試験結果

注入開始当初は注入圧の上昇が見られたものの、ノズルの洗浄を行った後は安定し、約6時間で2改良体分の注入を完了した。地中でそのまま養生後地盤を掘削し、写真-2に示すような改良体を観察した。隣接する2改良体ではほぼ等しい大きさの改良体が造成されたことを確認するとともに、採取コアを用いた一軸

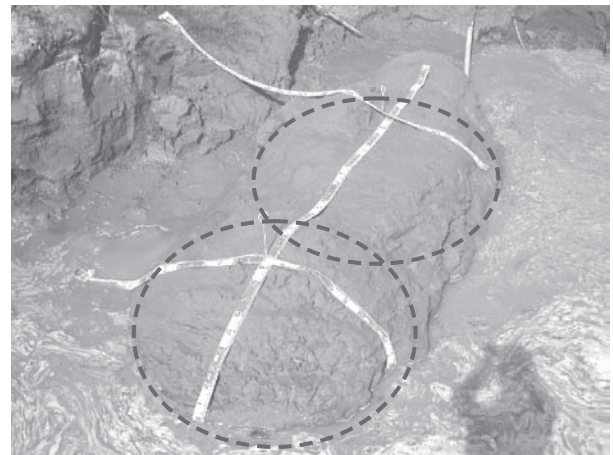


写真-2 改良体の観察状況 (試験施工1)

圧縮試験では、一般的に液状化対策に必要な圧縮強度 0.1 MPa 程度に対して概ね 0.2 MPa を得た。

(2) 施工試験2

(a) 試験概要

茨城県神栖市の工場内敷地にて試験を実施した。図-5に試験の概要を示す。ここでは、セルフパッカーの有効性に加えて、工法全体の施工性を確認することを目的に、自在ボーリングによる削孔を行った上で浸透注入を実施した。

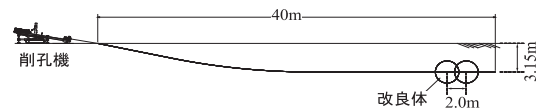


図-5 試験施工2の概要

水平距離で 40 m, 深さ 3.15 m の地点を狙って削孔を実施し、注入外管を設置後、浸透注入を行った。対象地盤は N 値 20 程度、細粒分含有率  $F_c = 11 \sim 31\%$  の沖積砂層であった。

薬液の注入に先立ち、図-6に示すとおり、吐出圧と有効注入圧力が概ね比例する範囲として 14 L/min 以下を確認した。これを参照して、施工時は 1改良

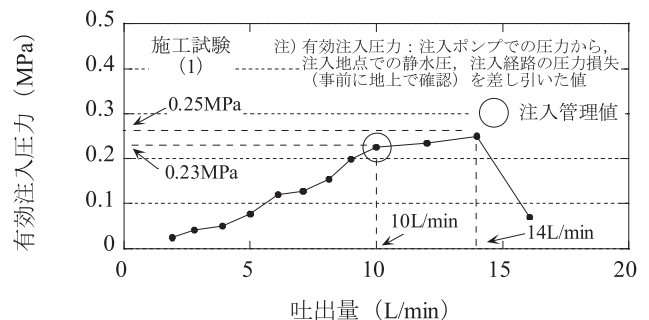


図-6 限界注入速度試験結果 (試験施工2)

体あたり 10 L/min, 2 改良体同時注入で 20 L/min を管理値として定めた。計画改良体径を 2.48 m とし, 1 改良体あたり 4,640 L の注入を行った。

(b) 試験結果

一時的に薬液の逸走が見られたが, 注入圧, 注入量ともに安定し, 約 7.5 時間で計画量の注入を完了した。地中で養生後にコア採取を行い, 改良体の一軸圧縮強さとして概ね 0.15 MPa を得た。削孔から注入管の敷設, 注入作業にいたるまで滞りなく実施でき, システム全体の有効性を確認できた。

4. 適用事例

(1) 施工概要

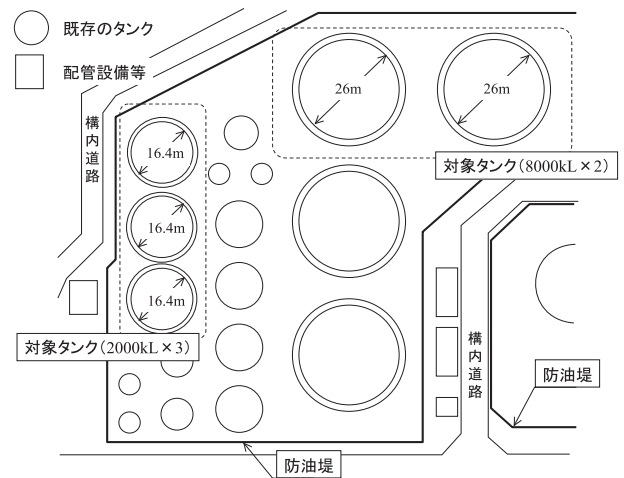
本事例は, 屋外貯蔵タンクの液状化対策工事に関するもので, 互いに隣接する 8,000 kL タンク 2 機, 2,000 kL タンク 3 機を対象とした。タンク直下の地盤 GL-2.0 m ~ GL-4.0 m の緩い砂質土層 (埋土) が改良対象で, 施工中もタンクを利用し続ける必要があることから薬液注入による基礎地盤改良が計画された。防油堤外部に立坑を設けそこから水平削孔を行う案が併せて検討されたが, 安全性, 工期, 工費の優位性, さらにはタンクの稼動に関わる資材運搬路の確保のために, 本グラッドフレックスモール工法が採用されることになった。

表一 1 に計画工事数量を, 図一 7 に現場平面図,

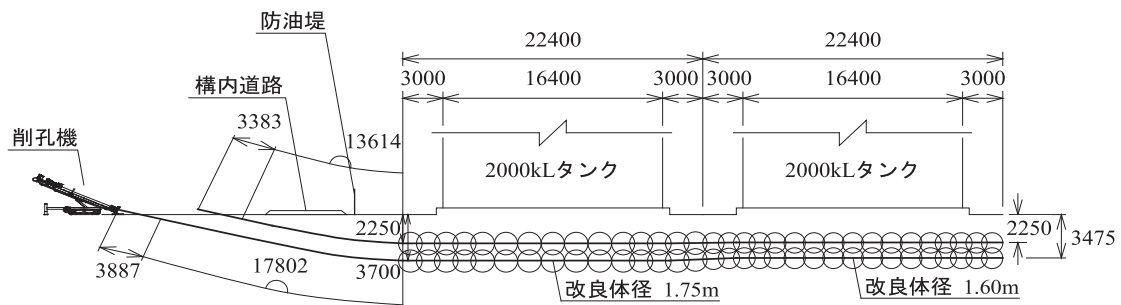
図一 8 に計画断面図の一例を示す。削孔機は防油堤の外側に配置し, もともと存在する構内道路は概ねそのまま使えるように削孔線を定めた。事前の試験施工で 100 m 程度の削孔が可能であることを確認の上, 2,000 kL タンク 2 基については最大削孔長さ 79.6 m で一括して施工し, 削孔総延長および作業時間の短縮

表一 1 計画工事数量

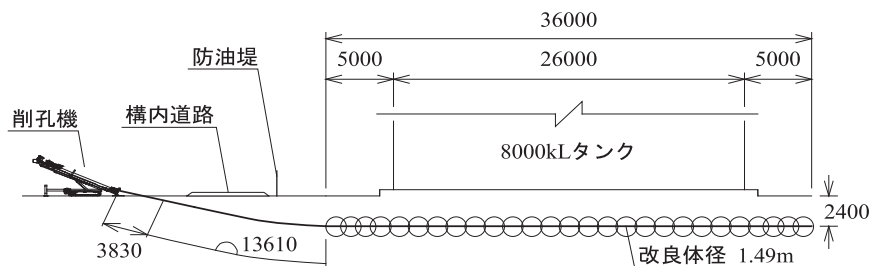
総削孔延長	4,769.4 m
削孔本数	92 本
注入薬液量	1,776,429 L
改良球体数	2,019 個



図一 7 施工平面



(a) 2000kL タンク



(b) 8000kL タンク

図一 8 計画断面の一例 (旧法タンクの液状化対策)

を図った。

### (2) 地表面変状管理

削孔・注入時のタンクの変位量は、水盛式沈下計によって管理した。対象タンク外周部の4方向に計器を設置し、それらの変位を一定時間毎に自動計測し、現場事務所内に設置したコンピューターに表示するシステムを採用した。注入作業時には一次管理値としての隆起量 17.5 mm、傾斜± 8.0 分を設け、その値を超えた場合は隆起が収まるまで一時作業を中止することとした。

### (3) 削孔結果

削孔機は2セットを投入し、全工程をほぼ計画どおりの約3ヶ月で終了した。計画線に対する実際の削孔線との差は全体を通して30 cm程度に収まった。削孔中は転石や薄いコンクリート板に遭遇することがあったが、適宜パーカッションを併用し問題なく施工することができた。また、周辺住民への配慮から作業時間は昼間のみに定められたため、削孔途中で作業を終了し、一晩地中に残置後に再開することが度々あった。パーカッションを使用しながら、推進不能に陥ることなく、計画線にそって削孔を完了した。

### (4) 注入結果

注入改良には恒久グラウトのパーマロックを用い、セルフパッカー方式で1点あるいは2点同時注入を行った。本報執筆時点で約40%の注入を完了しているが、地表面変状に対する一時管理値を超えた箇所は限定的で、全体として対象タンクの変位を微小に抑え、施工中も通常通りタンクを稼動することができている。改良効果は、段階的に採取したボーリングコアを用いて一軸圧縮試験で確認しているが、これまでに、28日材齢を過ぎた複数の地点で設計強度 60 kN/m<sup>2</sup> を満たすことを確認している。

## 5. まとめ

自在ボーリングを併用した既設構造物直下の地盤改良工法であるグランドフレックスモール工法について、工法の特徴と、二つの試験施工の内容、適用事例

を示した。今後も本工法の特徴を活かしながら、耐震性の向上等に役立てていきたい。特に貯油タンクなどの健全性の確保は、各企業、事業所が災害発生時に備えて策定する事業復旧、継続計画にも大きく関わるものである。日常の事業活動を妨げることなく足元の地盤をしっかりと固めるという有効な手法を提供していくことで、事業主や社会に貢献していきたいと考える。

なお、本グランドフレックスモール工法は、大成建設(株)、(株)キャプティ、三信建設工業(株)、強化土エンジニアリング(株)、成和リニューアルワークス(株)との共同開発技術である。記して関係各位の尽力に謝意を表す。

JICMA

#### 【参考文献】

- 1) 石井裕泰, 檜垣貫二, 川井俊介, 三和信二, 小泉亮之祐, 小山忠雄. 自在ボーリングによる地盤改良に適した浸透注入方式の開発と実証試験. 土木学会論文集F, Vol64, No3, p.272-282, 2008.
- 2) 石井裕泰, 檜垣貫司. 既設構造物直下の地盤改良工法の開発. 電力土木, No.326, p.70-73, 2006.11.
- 3) 下村雅則, 中島秀也, 樋口雄一, 今村聡. 水平井戸を用いたエアスパーキングによる構造物下部の浄化効果, 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究会, 第10回講演集, p.351-354, 2004.
- 4) 石井裕泰, 松井秀岳. 自在ボーリングを併用した高圧噴射攪拌による現位置地盤改良工法. 電力土木, No.344, p.115-117, 2009. 11
- 5) 石井裕泰, 檜垣貫司, 川上純, 三和信二, 小泉亮之祐, 小山忠雄, 安部章正. 誘導式水平ボーリング技術を用いた薬液注入工法—急速浸透注入方式および無線式リアルタイム位置検知システムの開発—, 大成建設技術センター報, 第39号, 2006.
- 6) 沿岸開発技術研究センター, 浸透固化処理工法マニュアル, 2003.

#### 【筆者紹介】

石井 裕泰 (いしい ひろやす)  
大成建設(株)  
技術センター 土木技術研究所  
地盤岩盤研究室 地盤環境チーム  
主任研究員



松井 秀岳 (まつい ひでたけ)  
大成建設(株)  
技術センター 土木技術研究所  
地盤岩盤研究室 地盤環境チーム  
研究員



檜垣 貫司 (ひがき かんじ)  
大成建設(株)  
技術センター 土木技術研究所  
地盤岩盤研究室 地盤環境チーム  
主事

