

解説

進化した推進技術

高耐荷力方式の最先端

たぐち よしあき
田口 由明

(株)エイト日本技術開発
保全・耐震・防災事業部
総合防災・保全分野分野統括
(本誌編集委員)



1 はじめに

わが国の小口径管推進技術は、下水道管路を中心とする施工経験の蓄積から、適用可能な土質、推進延長、曲線等の掘進・制御機能の信頼性、ならびに、そのオペレーション技術は高度なレベルにあり、市場拡大が期待される“水ビジネス”においても、世界の冠たる技術分野として注目を集めるに至っています。このうち「高耐荷力方式」は、昭和50年代に本格的に実施工に採用され、現在の小口径管推進工法の躍進の礎となった工法です。最近では「低耐荷力方式」に主役を奪われている感もありますが、都市の地下空間が高度利用され、地上からの開削が困難な場合の長距離や曲線といった難工事では欠くことのできない工法です。

また、地震対策の観点からは、掘削・埋め戻しを行わない推進工法の被害は全体的に少ない中、特に「高耐荷力方式」は、使用する管材料の断面積あたりの重量が他の管に比べ重く、液状化現象下での浮上・沈下に関しての優位性も推察されます。

本稿では、このような「高耐荷力方式」小口径管推進工法について振り返

り、設計・施工において克服すべき課題について述べてみたいと思います。

2 工法の分類

小口径管推進工法は、一般に図-1のとおり分類されています。最近の掘進機は、ほとんど方向修正機能を保有し高精度の施工が可能となっていますが、開発当初から高性能であったわけではなく、「大中小口径と異なり中間地点まで人が立ち入ることが制限されている」中で、「如何に対応可能な領域を広げるか」、「如何に信頼を高めるか」への果敢なチャレンジが多くの技術の開発・向上に繋がった結果であろうと考えます。各方式について、私的に解釈すれば次のとおりです。

2.1 圧入方式

圧入方式の基本は、「槍（鉋）で刺す」「押し込む」です。現在は、推進延長の長い二工程式が主流となりました。一工程目は狙った方向へ推し進めるために誘導管先端の槍や鉋に工夫を施し、二工程目はこの誘導管をガイドに所定の断面に押し広げる（拡張）ことを容易にするためにヘッドの形状や土砂の取り込み等を工夫しています。

2.2 オーガ方式

オーガ方式の狙いは、「固い地盤でもより長く推したい」です。このために、基礎杭工事で用いられたオーガ穿孔機を水平掘削に応用、更に土砂を管内に取り込むことで先端抵抗を小さくしています。さらに、シャフトや掘進機は、精度管理しやすいように工夫して現在に至っています。

2.3 泥水方式

泥水方式は、大中小口径管推進工法の技術を導入した「帯水砂層における切羽安定」を特長とする方式です。推進の安定性や長距離対応がより重視されるようになり採用が増えました。掘進機内に駆動装置を備える工法が主流ですが、送排泥や駆動装置のサイズや重量が課題でした。現在では、小型化、軽量化され、さらには、破碎や掘削の機能が高じて難易度の高い地盤に適用範囲も広がりました。

2.4 泥土圧方式

泥土圧方式には、オーガ方式の課題であった「切羽の安定性と排土の効率」を克服したタイプと、泥水方式の課題であった「地上設備の小型化」「残土の取り扱い」等について工夫したタイプがあります。開発経緯から駆動装置

が立坑内にあるものと掘進機内にあるものに区分されます。また、排土方式もスクリュ排土、圧送排土、吸引排土に区分され、多種多様な工法があります。このため、適用地盤、延長、線形等についても、工法により選択肢の多い方式です。

3 適用土質区分

各方式の適用土質区分について、「下水道推進工法の指針と解説」、「推進工法用設計積算要領小口径管推進工法高耐荷力方式編」で、表-1のように示されています。これは標準的な適用範囲であり、個別の工法では、これを超える巨石や岩盤、複雑な地層にも対応できるレベルにまで改良や工夫（差別化）が行われています。地盤の適用範囲を大きく広げた工法の例を、表-2に紹介します。推進工法に限らず、関連分野としての全体的な技術の向上に

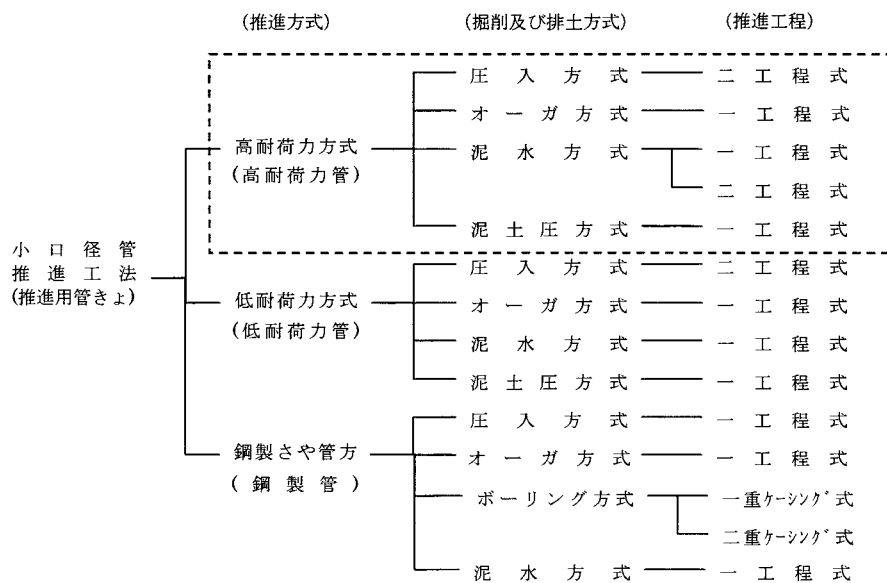


図-1 小口径管推進工法の分類¹⁾

は、開発メーカによる技術競争、切磋琢磨が欠かせないものとなります。このためには、各技術がより多くの施工現場に適用され、実績を踏まえて対応性、優位性を検証し、評価することが

重要となります。このことが、新たな改良・改善に繋がることとなります。また、各技術の特長を無用なトラブル無く最大限発揮させるためには、設計時点で施工条件等の適合性についての

表-1 高耐荷力方式の適用土質¹⁾

土質分類		土 質 性 状						高 耐 荷 力 方 式																										
		N値	含水比 (%)	地下水位 (kN/m ²)	最大粒径 (呼び径に対する比率)	れき (%) 混入率	透水係数 (cm/s)	圧 入 方 式		オーガ方式		泥 水 方 式				泥 土 圧 方 式																		
								二工程式		補助工法	補助工法	一工程式		補助工法	補助工法	二工程式		補助工法	補助工法	立坑内駆動方式		先導体駆動方式		圧送排土方式		吸引排土方式								
								無	有			無	有			無	有			無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有			
粘性土	腐食土	N ≤ 1	>200	—	—	—	—	△	○	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A						
	粘性土	N > 1	—	—	—	—	—	○	—	—	△	○	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A						
1 < N ≤ 5		—	—	—	—	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—						
5 < N ≤ 15		—	—	—	—	—	—	×	×	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—					
15 < N ≤ 50		—	—	—	—	—	—	×	×	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—					
砂質土	砂質土	N > 50	—	—	—	—	—	×	×	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—					
		N ≤ 10	—	—	≤ 10	—	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—					
		N ≤ 10	—	—	> 10	—	—	—	△	—	×	△	A	B	○	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—			
		N ≤ 10	—	—	> 10	—	—	—	△	—	×	△	A	B	○	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—			
		10 < N ≤ 50	—	—	≤ 10	—	—	—	×	×	○	—	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—		
		10 < N ≤ 50	—	—	> 10	—	—	—	×	×	△	○	A	B	○	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—			
		10 < N ≤ 50	—	—	> 10	—	—	—	×	×	×	△	A	B	○	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—			
		N > 50	—	—	≤ 10	—	—	—	×	×	△	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—				
N > 50	—	—	> 10	—	—	—	×	×	×	△	A	B	○	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—					
砂礫粗石	砂礫粗石	—	—	≤ 10	≤ 1/10	≤ 60	×	×	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—		
		—	—	≤ 10	≤ 1/10	> 60	×	×	×	×	×	△	A	B	○	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	
		—	—	≤ 10	≤ 1/3	≤ 60	×	×	×	×	※△	※○	A	B	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—		
		—	—	≤ 10	≤ 1/3	> 60	×	×	×	×	※△	※○	A	B	○	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	
		—	—	≤ 10	> 1/3	≤ 60	×	×	×	×	※△	※○	A	B	○	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	
		—	—	≤ 10	> 1/3	> 60	×	×	×	×	※△	※○	A	B	○	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	
		—	—	> 10	≤ 1/10	≤ 60	×	×	×	×	△	○	A	B	○	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—
		—	—	> 10	≤ 1/10	> 60	> 10 ⁻²	×	×	×	×	△	A	B	○	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	
		—	—	> 10	≤ 1/3	≤ 60	> 10 ⁻²	×	×	×	×	△	A	B	○	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	
		—	—	> 10	> 1/3	> 60	> 10 ⁻²	×	×	×	×	△	A	B	○	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	
		—	—	> 10	≤ 1/3	≤ 60	> 10 ⁻²	×	×	×	×	※△	※○	A	B	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	
		—	—	> 10	> 1/3	> 60	> 10 ⁻²	×	×	×	×	※△	※○	A	B	○	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A
		—	—	> 10	≤ 1/3	≤ 60	> 10 ⁻²	×	×	×	×	※△	※○	A	B	○	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A
		—	—	> 10	> 1/3	> 60	> 10 ⁻²	×	×	×	×	※△	※○	A	B	○	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A	×	△	A

(凡例)
 無：補助工法を使用しない場合
 有：補助工法を使用した場合
 ○：一般的に適用できる
 △：適用に当たっては検討を要する
 ×：一般的に適用できない
 —：補助工法を使用しなくてもよい
 ※：特殊仕様（破砕装置付等）の場合に可能
 A：薬液注入工法または高圧噴射攪拌工法
 B：地下水低下工法
 A B：AかBどちらかの工法

(注) 各方式毎に定める地下水位の上限値は次の通りとする。

推進方式	上限地下水位
圧入・オーガ方式	10kN/m ²
泥水方式	150kN/m ²
泥土圧方式	60kN/m ²