

解説

推進技術・最前線

軟弱地盤に求められている 推進工法と無排土推進工法の 進展について

さとう とおる
佐藤 徹

(株)イセキ開発工機
工事本部副本部長
(本誌編集委員)



1 はじめに

著者は、本特集で、地山・地盤への挑戦と題して、推進技術の進化と現状について述べてきた。

そして、克服されていない掘削困難な地山として、次のようなものを取り上げ、どのように進化・発展しているかについて記述している。

- ①崩壊性の高い地山、巨石混り地盤
- ②岩盤地盤
- ③粘土、砂、礫、岩盤層が混在する複合地盤
- ④土以外の地中物
- ⑤軟弱土

6年目の今回は、軟弱土への対応と軟弱土への最大の挑戦である無排土推進への取り組みについて、今後の推進技術の発展性について述べてみたい。

2 軟弱土への挑戦から始まった 推進工法の技術革新

近年では、あらゆる土質に対応可能である推進技術は土以外の地中物である鋼製物、木材にも対応可能となっている。このように技術の発展を進め、国外からも脚光をあびる我が国の推進工法であるが、最初に困難であるとさ

れた土質は軟弱土対応であった。周知のとおり、推進工法の最初は刃口式推進工法であり切羽は開放された状況での施工であった。当然、地山が緩い場合や地下水位以下においては、推進路線を薬液注入などで地盤改良を行わなければ施工が不可能な工法であった。

しかし、推進工法が多く利用する必要がある下水道管敷設普及が急務な地域は、主に東京、大阪の都市であり、それらの土質は、ほぼ沖積層であった。そこで、推進工法は地盤改良を行わずに軟弱な土質への対応が求められた。

そのような地山に対応するために、小口径管推進では圧入二工程推進工法が開発された。軟弱土のような方向制御が困難な地山において、一工程目にパイロット管を圧入推進することで精度を確保し、二工程目で推進管を敷設する工法である。圧入式の二工程目では、誘導管の重量が小さく、誘導管接続部は機械的に接続された剛体であるため、沈下がしにくく、方向性を高めやすい構造となっている。また、二工程目は掘削専用の機能となるため、比較的重量も軽く、一工程目に追従して推進されるため沈下しにくい施工方法となっている。

大口径推進では、沖積層における掘

進対策にシールド工法で使用されていた泥水式を推進工法に導入したことで、推進工法は地山が緩い場合や地下水位以下でも対応が可能となっていった。しかし普及の過程において、泥水式推進の技術だけでは地山の崩壊が防止できない地山があることが分かっていった。粒度が均等で細粒分が少ない耐水した砂質土や軟弱土である。緩い地山の崩壊速度に対して推進する速度が追いつかないことなどで発生する現象であった。しかし、そのような地山でも、掘削土の取り込み口の開閉を調整する掘進機や掘進機の面板を前後させ機械的に切羽を保持させる施工方法が開発され、軟弱土でも切羽安定を図りながらの推進が可能となっていった¹⁾。

そして、推進工法はこの30年で、軟弱土に対応できる密閉型推進工法も泥水式、泥土式、泥濃式と多彩に進化している。さらに近年では、これらの工法の長所をその土質に応じて組み合わせる施工ができるハイブリッド工法が開発され、さらに土質に柔軟に対応できる管路敷設工法として発展している²⁾。

3 N値が極端に少ない軟弱土への対応

軟弱土への対応については、密閉型推進工法を用いることで対応可能としていた推進工法であるが、N値が極端に少ない軟弱土（ $N \leq 1$ ）は、今でも困難な地盤である。掘進機本体が沈下する、方向制御が効かなくなるなどが、多く発生したことから、対応不可能としている工法は現在でも多く、地盤改良を必要とする工法が多い。表-1に高耐荷力方式推進工法の土質条件による適用選定表示す。

多くの工法が補助工法なしでは推進不可能としている背景には、軟弱地盤を単に貫入試験の値であるN値だけに捕らわれて判断している点があると考えられる。このような軟弱土においては、地山の含水量や鋭敏比などについても考慮した判断が必要であり、それらの考え方を踏まえた経験の積み重ねが安易に補助工法に頼らず施工が可能である工法を生み出すこととなると考える。そして、近年では軟弱土の技術対応を進化させ、軟弱地山でも補助工法を用いずに推進可能としている工法がある。

小口径では、N値が0においても施工可能であるとしているハイパー工法がある⁴⁾。ハイパー工法では鋭敏比に着目すべきとしている。ハイパー工法は圧入二工程式であり、一工程目では無排土圧入し、二工程目では余掘りをほとんど行わない推進を行うため、方向修正ヘッドを頻繁に動かし、余掘量の大きな他方式より地盤のみだれが小さくなるため、N値が0でも鋭敏比が低ければ施工可能としている。確かに、ほとんどの推進工法ではすべての工法でカットが全面で回転することが行われ、地山を乱すことがある。その中で推進することは掘進機の姿勢制御や方向修正が困難となるのは必然で、鋭敏比に着目するのは的を射ていると考える。鋭敏比が8以上の粘土を鋭敏粘土、10以上を超鋭敏粘土、16を超える粘土をクイッククレイと呼ぶ。このようなN値が低い軟弱土のなかでも特に、含水比、鋭敏比ともに高く乱れやすい土は、推進工法においても特に考慮すべき軟弱土であり、推進工法を採用する際にも留意したい土質である。また中口径では、CMT工法の掘進機が、殻構造設計

による機体の軽量化と機械の重心位置を考慮した掘進機で軟弱地山でも掘進機の自沈を発生させないとしている⁵⁾。

ハイパー工法、CMT工法は、軟弱土に対しての考え方を真摯にとらえ、自らの工法や適応の考え方を進展させることで施工可能である範囲を広げていると考える。

4 無排土推進工法への進展

推進工法での究極の技術革新は、あらゆる土質における無排土推進と考えるが、小口径φ300mm程度、軟弱土であれば、その施工はすでに多くの推進が実施されている。

前述した圧入二工程式推進工法も、一工程目の仮管推進は完全無排土で実施される施工方法である。圧入二工程式推進工法は、現在でも塩ビ管推進などで多く採用されている工法であり、そのことから軟弱地山での無排土施工は100mm程度の小口径管推進では施工は可能であることが分かる。

無排土で推進を施工できるメリットは、設備の縮小化、産業廃棄物の削

表-1 高耐荷力方式推進工法の土質条件による適用選定表³⁾

土質分類	N値	土質性状					高耐荷力方式											
		含水比	地下	最大	れき	透水	圧入方式				高耐荷力方式				高耐荷力方式			
		(%)	水圧	粒径	混入率	係数	二工程式				一工程式				二工程式			
			(kN/m ²)	(φ ₂₅ mmに 対する比率)	(%)	(cm/s)	無	有	排別	補助工法	無	有	排別	補助工法	無	有	排別	補助工法
粘性土	腐植土	$N \leq 1$	>200	—	—	—	△	○	A	—	△	○	A	△	△	△	A	△
		$N > 1$	—	—	—	—	△	○	A	△	△	△	A	△	△	△	A	△
	粘性土	$1 \leq N \leq 5$	—	—	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	○	—	○	—
		$5 < N \leq 15$	—	—	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	○	—	○	—
砂質土		$15 < N \leq 50$	—	—	—	—	x	x	—	○	—	—	○	—	○	—	○	—
		$N > 50$	—	—	—	—	x	x	—	○	—	—	○	—	○	—	○	—
	砂質土	$N \leq 10$	—	≤ 10	—	—	○	—	—	○	—	—	○	—	○	—	○	—
		$N > 10$	—	> 10	—	$\leq 10^{-3}$	△	—	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		$N \leq 10$	—	> 10	—	$> 10^{-3}$	△	—	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		$10 < N \leq 50$	—	≤ 10	—	—	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		$10 < N \leq 50$	—	> 10	—	$\leq 10^{-3}$	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		$10 < N \leq 50$	—	> 10	—	$> 10^{-3}$	x	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		$N > 50$	—	≤ 10	—	—	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
砂礫	粗石	$N > 50$	—	> 10	—	—	x	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		—	—	≤ 10	$\leq 1/10$	≤ 80	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		—	—	≤ 10	$\leq 1/10$	> 80	x	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		—	—	≤ 10	$\leq 1/3$	≤ 80	x	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		—	—	≤ 10	$\leq 1/3$	> 80	x	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		—	—	≤ 10	$> 1/3$	≤ 80	x	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		—	—	≤ 10	$> 1/3$	> 80	x	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		—	—	> 10	$\leq 1/10$	≤ 80	x	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		—	—	> 10	$\leq 1/10$	> 80	x	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		—	—	> 10	$\leq 1/3$	≤ 80	x	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		—	—	> 10	$\leq 1/3$	> 80	x	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		—	—	> 10	$> 1/3$	≤ 80	x	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△
巨石	巨石	—	—	> 10	$> 1/3$	> 80	x	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		—	—	> 10	$> 1/3$	> 80	x	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		—	—	> 10	$> 1/3$	≤ 80	x	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		—	—	> 10	$> 1/3$	> 80	x	x	x	△	△	△	△	△	△	△	△	△