

9. 礫地盤完全対応の小口径管推進工法 “ガイドボーリング工法”の開発

飛鳥建設(株)：松島 洋・野瀬 達哉
 (株)吉田鉄工所：市丸 道雄

1. はじめに

近年、下水道の面整備がすすめられるに伴ない、地方都市における礫・玉石層での小口径管推進工事が多くなっており、工法も多く開発されている。これらの工法の選定・適用は地質調査から得た礫・玉石の礫径、礫率、強度等の情報を手がかりに行なうわけであるが、実施工の場面では、実際の地質が事前調査結果と異なっていたり、適用工法が地質の変化に対応しきれなくなり、難工事を強いられる例が未だに多い。著者らは、礫地盤での完全機械化施工の実現に向けてガイドボーリング工法を開発した。本工法の開発により、礫径、礫率に左右されない掘進を可能にし、また地質の変化や滞水層への対応も可能にした。本稿では、本工法の概要を説明し、人工礫土槽での実証実験について述べる。

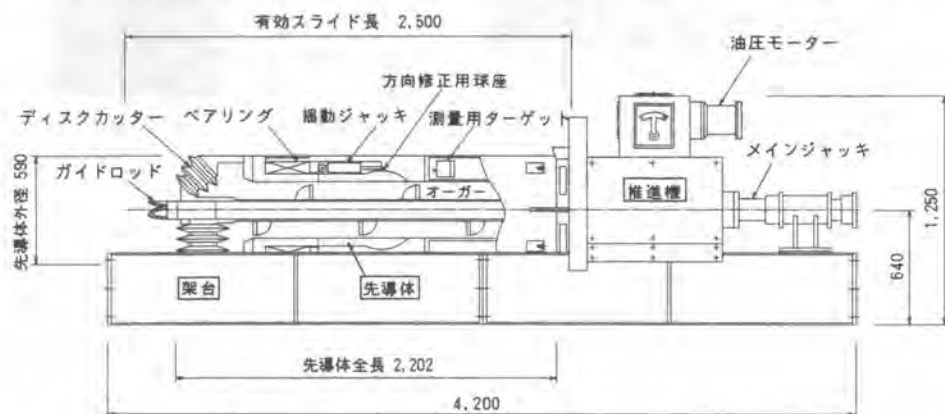


図-1 ガイドボーリング工法 全体システム図

2. システム概要

本工法は、鞘管二工程方式の小口径管推進工法である。排土はオーガーにて行ない、高推力による推進を可能にするため、鞘管推進前に仮管（特殊2重鋼管）を掘進させる。全体システムを図-1に示す。また、施工法の概要を表-1に示す。

2-1 掘削システム

礫径、礫率を問わずに礫地盤を高精度で掘削できる工法とするために、まず第1の方法

表-1 ガイドボーリング工法 施工法概要

施工方法	鞘管二工程方式（先導体外径 φ590mm）
	仮管（外径φ558mm 特殊2重鋼管）推進
	鞘管（外径φ558mm 鋼管）に置換
	本管（塩ビ管）を鞘管内に挿入 鞘管と本管との間をIEMAN等で充填
適応管径	仕上り径 φ450mm 以下（塩ビ管）
推進長	標準 50m
排土方式	オーガー方式

として独自の二重掘削システムを考案した。本システムは、図-2に示すように、「ガイドボーリング」及び「面板掘削」の2種類の掘削方法を繰り返し行う方式を特徴としている。先導体の外観を写真-1に示す。

[ガイドボーリング]・・・先端にトリコンビットを装備したガイドロッドを予め先方地盤に1m程度掘進させ、面板掘削時の方向案内役を担わせる。また、ガイドボーリングは、面板掘削時の心抜き効果も果たす。

[面板掘削]・・・先行させたガイドロッドに沿って、ディスクカッターを装備した面板を掘進させる。

2-2 方向修正システム

方向修正は、先導体内に装備した揺動ジャッキにより先導体を中折れさせることにより行なう。この中折れ機構と二重掘削システムが相まって、より確実な方向修正を行なえる。

2-3 面板洗浄システム

ディスクカッター等の隙対応ビットの場合、粘土・シルト層に遭遇するとビットに粘土分が貼り付き、掘進できなくなる例が多い。本工法では、この問題に対処するため、図-3に示すように、ガイドロッドを面板位置よりも先行させて面板に高圧水を吹き付ける（逆噴射）システムを考案した。これにより、地盤中の粘土分を洗い流すと同時に、面板に付着した粘土分も洗浄する事ができる。

2-4 薬液注入システム

帯水層において被圧力が高い場合や透水係数が大きい場合、薬液注入が必要とされる。この薬液注入は通常地上から行なわれるが、この場合、注入機械の移設が必要になり総掘削長が長くなる。本工法では、図-3に示すように、ガイドロッドを利用して瞬結タイプの水平薬液注入を行なうことができる。これにより、注入機械の移設をする必要がなく、また総掘削長を短くする事ができ、経済的な注入を行える。また、地表面付近の既設埋設物に影響されない注入を行えるため、試掘等の手間を省くことができる。薬液は、瞬結アルカリ溶液型を標準として使用する。

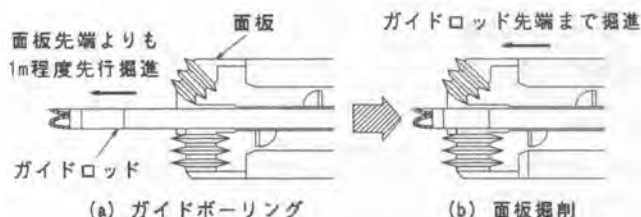


図-2 二重掘削システム



写真-1 先導体外観

ガイドロッドを面板から1m程度先行させた状態で固定し、ガイドロッドと面板を同時掘進

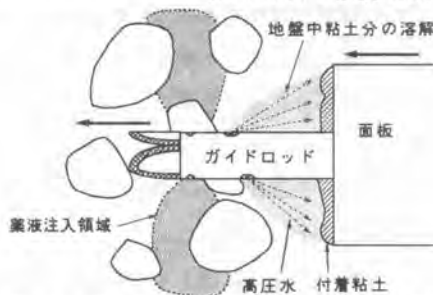


図-3 面板洗浄・薬液注入システム概念図

表-2 実証実験項目

実験 NO.	地盤種別	実験項目
実証実験Ⅰ	人工地盤Ⅰ	薬液注入実験
実証実験Ⅱ	人工地盤Ⅱ	礫地盤掘進実験
		粘土地盤掘進実験

3. 実証実験

2. で示したシステムの性能を確認するため、人工的に地盤を造成し、表-3 に示す実証実験を行なった。人工地盤は、図-4 に示すように2種類を造成し、それぞれの仕様を表-4 に示す如くとした。ここで、栗石には、碎石を切り出す玄武岩質の原石山において、深部の無風化部分を発破採取し、それを直接使用した。この栗石の一軸圧縮強度は、最大1,800kgf/cm²である。

3-1 実証実験Ⅰ

人工地盤Ⅰにおいて実証実験Ⅰを行った。人工地盤Ⅰは、図-4 (a) に示すように、細粒礫部分と粗粒礫部分に分けて造成し、それぞれの礫部分は粘土部分で隔壁を設けて相互の干渉がないように配慮した。また、それぞれの礫部分には水を満たし、滞水層に見立てた。薬液は瞬結アルカリ溶液型（ゲルタイム10秒）を使用し、二重管混合1.5ショット方式で注入を行った。

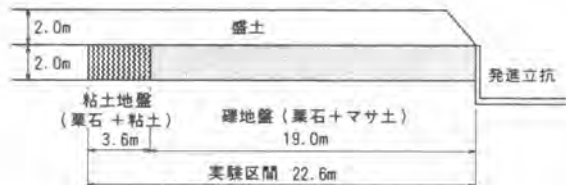
注入の結果、図-5 に示すような断面を持つ改良体が得られ、細粒礫部分ならびに粗粒礫部分において概ねガイドロッドの管軸を中心にして面板の断面以上の注入領域が得られる事がわかった。これより、ガイドロッドを利用した水平薬液注入による滞水層での止水が可能である事が明らかになった。尚、注入ロッド先端部のモニターには閉塞の様子は見られず、懸濁型薬液の注入も十分可能と考え

表-3 人工礫地盤の仕様

地盤種別	区分	構成材料	重量混合率
人工地盤Ⅰ	細粒礫部分	栗石 (Dmax:300mm)	50%
		マサ土	50%
人工地盤Ⅱ	礫地盤	栗石 (Dmax:500mm)	40%
		碎石 (0~40mm)	30%
	粘土地盤	マサ土	30%
		栗石 (Dmax:300mm)	20%
	粘土	80%	



(a) 人工地盤Ⅰ [実証実験Ⅰ用]



(b) 人工地盤Ⅱ [実証実験Ⅱ用]

図-4 実証実験で使用した人工礫地盤

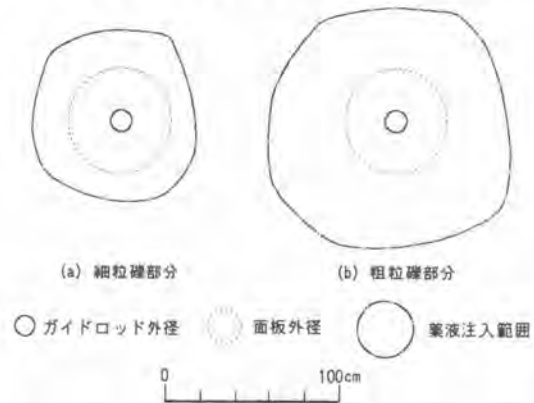


図-5 薬液注入実験における改良体断面

られた。ガイドロッド先端部からの薬液の吐出の状況を写真-2に示す。

3-2 実証実験II

人工地盤IIにおいて実証実験IIを行った。人工地盤IIは、図-4(a)に示すように、礫地盤と粘土地盤に分けて造成し、礫地盤掘進実験及び粘土地盤掘進実験を行った。

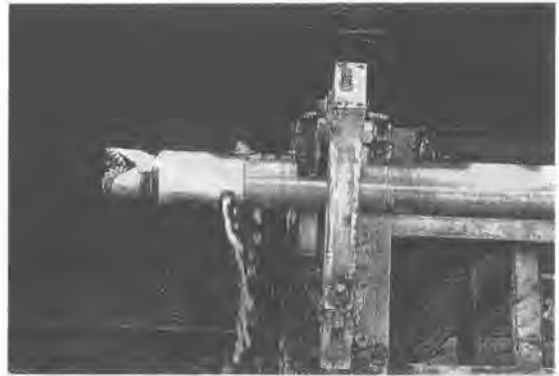


写真-2 薬液吐出状況

①礫地盤掘進実験

ガイドボーリング時及び面板掘削時の回転数をそれぞれ30rpm、13rpmに設定して礫地盤掘進実験を行った。この結果を表-5に示す。

<推力>

ガイドボーリング時の推力はほぼ一定であるのに対して、面板掘削時の推力 F (tf)は、図-6に示すように、掘進距離 L (m)に応じて変化している。この変化は、概ね、次式で表わされる。

$$F = 10 + L \quad (\text{先端抵抗: } 10 \text{ tf}, \text{ 周辺抵抗: } 1 \text{ tf/m})$$

実験に使用した先導体のオーバカット量は5mm程度であり、これを増やすことにより推力の低減をはかれるものと考えている。

<回転トルク>

ガイドボーリング時の回転トルクはほとんど要しないものの、面板掘削時の回転トルクは最大 $1 \text{ tf}\cdot\text{m}$ に達している。地盤条件と面板構造によってはさらに高回転トルクを要することもあると思われた。この回転トルクは図-7に示すディスクカッターの突出量 H に大きく左右され、 H が大きいと面板前面の礫をディスクカッターが乗り越えられない確率が高くなる。よって、発生最大回転トルクと掘進効率との兼ね合いを十分吟

表-4 礫地盤掘進実験結果

掘削種別	掘進精度 (mm)	実掘進速度 #1 (m/hr)		推力 (tf)	回転トルク (tf·m)
		巨礫部 #2	細礫部 #3		
ガイドボーリング (30rpm)	X方向 左6~右21 最終:右16 (1/1,000)	0.5~1.5 (平均1.0)	1.5~4.5 (平均3.0)	2~4	0.03 ~0.1
面板掘削 (13rpm)	Y方向 下8~上19 最終:上7 (1/2,300)	0.5~1.5 (平均1.0)	1.5~3.5 (平均2.5)	発進時 3~10 16m地点 19~27	0.3 ~1.0

#1管接続時間は含まない #2巨礫部: $\phi 300\text{mm}$ 以上 #3細礫部: $\phi 300\text{mm}$ 以下

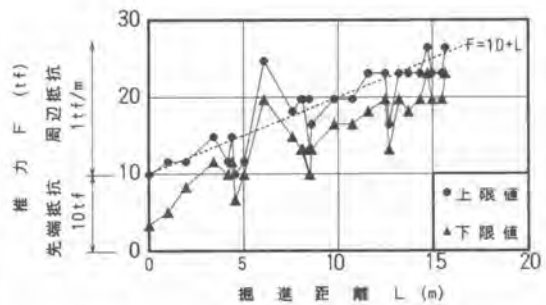


図-6 面板掘削時の推力変化

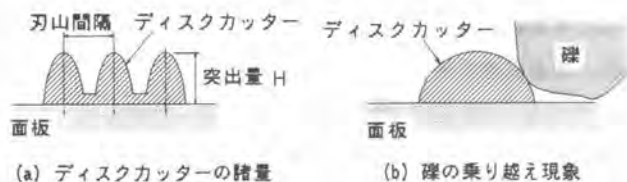


図-7 ディスクカッター説明図

味しながらIIを決定する必要があり、さらにディスクカッターの刃山間隔も重要な因子になると考える。

<掘進精度>

掘進終了時の偏位（計画線からのズレ）を掘進距離で除した値は、水平方向1/1,000、鉛直方向1/2,300となっており、下水道用として十分な値が得られた。掘進距離に応じた偏位の変化を図-8に示す。これによると、先導体の中折れ状態に応じて忠実に偏位が変化していることがわかる。これは、図-9に示すように、ガイドロッドが方向修正に対して有用に機能していることを意味している。

特に、相対密度が小さく礫の噛み合いが弱い礫地盤の場合、全断面の掘削システムに比べて有利になると考える。この場合、面板前面の礫の遊びにより先導体自体も揺動するため方向修正が難しくなりがちだが、本工法では、希望方向に先導体を向かせた後ガイドボーリングを行えば、ガイドロッドに沿って面板を掘進することができる。これにより、面板前面の礫の遊びに左右されず高精度な掘進ができる。

<礫破砕能力>

先に説明した二重掘削システムにより、礫径、礫率に左右されない掘進を可能にした。写真-3に示すように、人工地盤中に介在した巨礫（φ800mm程度）も貫通することができ、礫対応小口径管推進工法の最大の課題であった転石にも十分対応可能であることを確認した。

②粘土地盤掘進実験

ガイドロッドを利用した面板洗浄システムの性能を確認するため、掘進実験を行なった。実験前に考えていた粘土地盤での掘進方法は、面板に粘土が付着したらガイドロッドから高圧水を逆噴射させて面板を洗浄する事をその都度繰り返す方法であった。しかし実際には、ガイドロッドを面板よりも先行させた状態でガイドロッドと面板を一緒に掘進させる

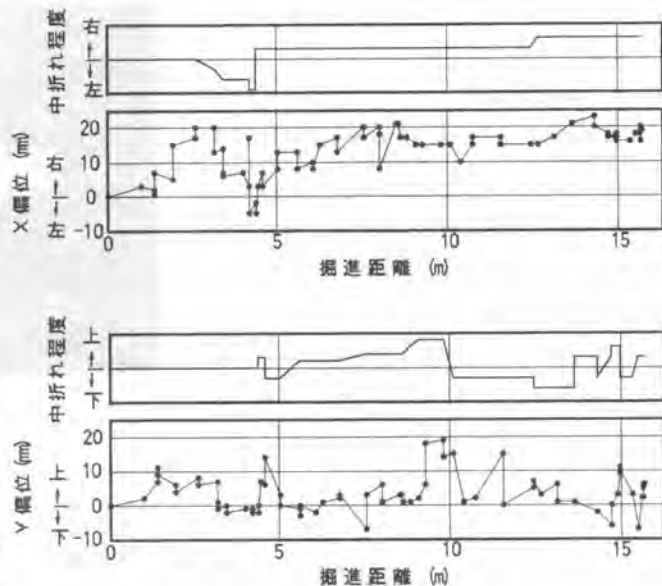


図-8 実証実験II・礫地盤掘進実験 掘進精度

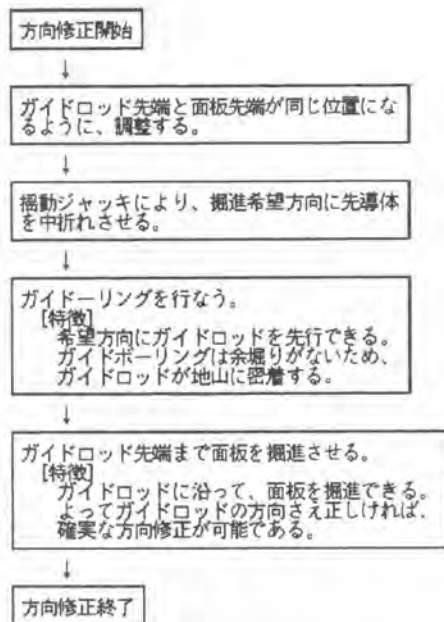


図-9 方向修正方法

方が高効率で施工できることがわかった。これにより、地盤中の粘土分を高圧水で溶解させると同時に面板に付着した粘土分を洗浄することができ、地盤中に粘土が介在していても礫対応ビットを装備したままでの掘進を可能とした。高圧水の仕様は、

圧力：30 kgf/cm²程度
流量：100 l/min程度

で十分であると判断された。写真-4に、ガイドロッドから高圧水噴射状況を示す。



写真-3 巨礫貫通状況

4. まとめ

本工法の最大の特徴は、二重掘削システムにあり、これにより、礫径、礫率に左右されない高精度掘進を可能にし、実証実験でこのことを確認した。

さらに、変化する地盤状況に対応できるように、ガイドロッドを利用した水平薬液注入システム及び面板洗浄システムも開発したが、これらの性能も実証実験において確認できた。



写真-4 面板洗浄システム

5. あとがき

礫・玉石層での推進工事というと、従来、刃口推進工法が多用されてきた。しかし、現在では特殊工も数少なくなり、また安全面及び作業環境の面から考えると、決して万全な工法とは言えないであろう。幸い、礫地盤対応の機械化工法が数多く開発されてきており、安全・確実な機械化施工をすすめる環境は整ってきている。今後、さらに努力し、礫地盤での機械化施工をより一層推進するべきであると考えらる。

尚、本工法は、建設省主管の官民連帯共同研究「小口径管推進工法の高度化に関する研究」の一環として開発された。関係者の方々に紙面を借りて厚く御礼申し上げる次第である。

(参考文献)

- 1) 苗村正三他：礫対応の小口径管推進工法（ガイドボーリング工法）の開発，第2回非開削技術研究発表会論文集，pp.5-8，1991
- 2) 田中貢他：「小口径管推進工法の高度化に関する研究」超小口径管推進工法の開発，月刊推進技術，Vol.6，No.11，pp.59-67，1992