

解説

用途が広がるロックマン工法

なかがわ じゅん
中川 順
グルンボ興機株式会社
(山形営業所)



あきやま だいいち
秋山 大一
ロックマン工法協会
(八千代エンジニアリング株式会社)



1 はじめに

我が国の下水道ストックは平成29(2017)年末、管路延長47万km以上、処理場数2,200箇所となった。下水道処理人口普及率は平成29(2017)年度末で78.8%となり国民10人のうち8人は下水道による衛生的な環境を享受できることとなった。しかしいまだに1,200万人が污水处理施設を利用できない状況にある。

一方で、下水道処理人口普及率100%を目指すためには、今後相当程度の管路整備が必要となるものと推定される。その理由は未普及地区の多くは、接続件数の割に管路延長が長くなる傾向にあるためである。

またこれらの地区には大型重機の搬入が困難な狭隘地や、岩盤・巨礫等土質的な困難な箇所など地形・地質的に施工の難しい地域が多く残されているものと予想される。このような状況下において、ロックマン工法はこれまで「困難な土質への対応」「狭隘な場所への対応」「困難な土質での長距離施工への対応」を目標として開発を続け、多くの現場を克服してきた。この結果、平成29(2017)年3月末現在で、施工件数5,731件、施工延長約410kmとなった。

本稿ではロックマン工法のこれまでの開発経緯と、工法の特徴を説明するとともに本工法を使用した近年の施工事例である山形県鶴岡市大綱七五三掛地区における

地滑り対策工事の事例を紹介させていただくこととする。

2 ロックマン工法の開発経緯

(1) さく井用ボーリングマシンを水平に使う

ここでは、ロックマン工法の開発経緯について説明する。昭和60年代の推進工法は普通土対応の機械が主流であり岩盤層や巨礫層の推進工事では、やむをえず「刃口式推進工法」を用いることが主流であった。

刃口式推進工法は推進管の先端に刃口と呼ばれる管端防護金物を装着しただけの全面開放型の工法である。掘削作業は管内に作業員が入り人力で切羽を掘削する方法であった。こうした方法は、作業環境が劣悪であることはいうまでもなく、作業安全上極めて危険な作業となっていた。

このような中、ロックマン工法は平成2(1990)年より「鋼製さや管工法」として開発をスタートした。中国地方は風化花崗岩層や石灰岩層が多く分布する地域であり、下水道工事を阻む岩盤層に対応可能な推進工法の要望が多く寄せられていた。このことから井戸のさく井用を使用していたボーリングマシンを水平方向に転用するという発想からロックマン工法が誕生した。

開発当初の適用地盤は岩盤層のみに特化し、一軸圧縮強度200MN/m²(2000kgf/cm²)程度の硬岩が

削孔可能であることを開発目標とした。

さく井用ボーリング機械ではすでに広く使用されていたが、トリコンビットを配置したカッターヘッドは当時珍しく、超硬チップの材質、カッタの取付け角度や配置など度重なる試行と改良を重ね、岩盤を効率よく切削することが可能となった。

一方、下水道工事の増加に伴い、帯水砂礫層の施工に対する要望が増加し、ロックマン工法は帯水砂礫層への対応を避けては通れない状況となった。

岩盤層では切羽の安定に不安がないことから、掘削ズリの搬出とビットの冷却およびクリーニングのために清水を使用することで十分対応可能であった。しかし帯水砂礫層を掘進するためには次の3つの課題に直面することとなった。

- ①掘削ズリが固形状の岩屑から泥水状となったこと。
- ②切羽地山の安定を確保する必要が生じたこと。
- ③地下水との切羽バランスをとる必要が生じたこと。

この3つの課題を解決するため、ロックマン工法は従来の清水式から泥水式へと改良を行うこととなり、比重の高い泥水を還流するため送排泥ポンプの圧送力増強、礫分と細粒分を分級する泥水処理設備の改良により、帯水砂礫層においても安定した掘進が可能となった。

現在の施工実績では、玉石・砂礫層の延長は岩盤層をはるかに上回る状況となり、玉石・砂礫層の対策工法として広く、ロックマン工法を採用いただけるようになった。

3 ロックマン工法の近年の動向

ロックマン工法は当初より下水道工事をターゲットとして開発したものであるが、近年では本工法の特徴を活かして下水道以外での利用も拡大している。ここでは近年のロックマン工法の動向について説明する。

(1) 鋼製さや管のスペースを利用する

鋼製さや管の場合、さや管内のスペースを有効利用する方法として、水道管を複数条敷設する事例や水道管と下水道管の異種管を収納する事例が生じている。特に軌道横断部などにおいては、軌道を横断する埋設物の集約は今後の課題となっている。

(2) 鋼製さや管工法は引き抜き可能

鋼製さや管では掘進中にトラブルが生じた場合、地上から回収立坑を掘削することなく、さや管を引き抜くことで掘進機（先導体）回収が可能である。このことを利用して、軌道横断部や河川横断等の重要施設直下を通過する場合において採用される事例が増えている。

(3) 幅広い適用土質で活躍

ロックマン工法は普通土から岩盤まで幅広い土質に対して対応可能であり、対応礫径にも制限がないことから、地滑り対策工事などで多様な土質が混在し、地質データにばらつきの多い崩積土層内の推進工事への採用も近年の動向である。

4 工法の概要

4.1 ロックマン工法の概要

(1) 工法の分類

ロックマン工法は図-1に示すように（公社）日本推進技術協会の分類における「鋼製さや管推進工法の泥水式」「高耐荷力管推進工法の泥水式」に分類される工法である。

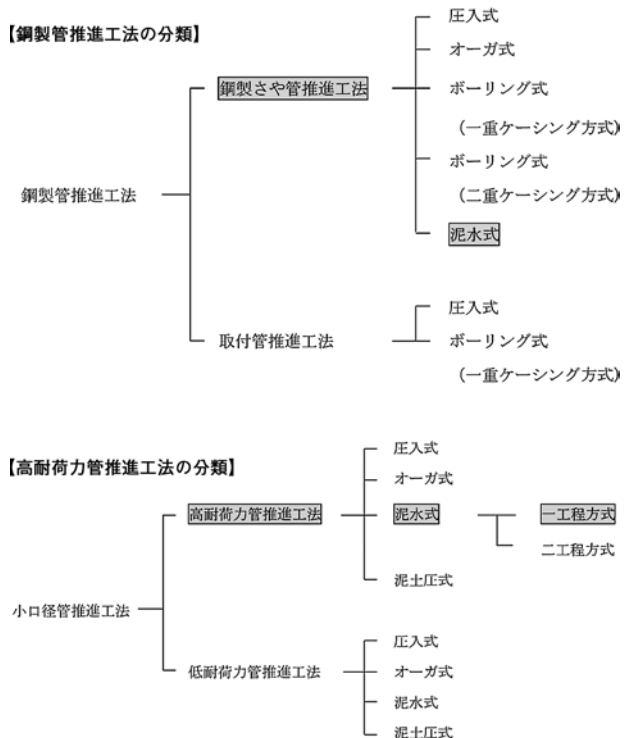


図-1 ロックマン工法の分類

(2) 適用管種

ロックマン工法は、管長3mの管材を使用するロックマン工法と、短尺管（半管）を用いることで小規模立坑からの発進を可能にしたロックマンエース工法がある。それぞれの適用管種は表-1に示すとおりである。ロックマン工法では1種類の先導体でできるだけ多くの管種に対応可能とすることで、コスト縮減を図っている。また各管種別の適用管径を表-2に示す。

(3) 立坑寸法(ロックマンエース工法)

ロックマンエース工法では鋼管、合成管を使用する場合の発進・到達立坑寸法を表-4に、ヒューム管を使用する場合を表-5示す。またレジンコンクリート管を使用する場合は表-6に示すヒューム管呼び径との対応表

に基づいて表-5により立坑寸法を選択する。

(4) 立坑寸法(ロックマン工法の場合)

ロックマン工法では鋼管、合成管を推進することが可能であり、発進立坑寸法、到達立坑の寸法は表-7に示すとおりである。

(5) 適用土質

ロックマン工法およびロックマンエース工法の適用土質を表-8に示す。また適用岩盤層を表-9に示す。

4.2 適用上注意が必要な土質および岩盤について

ロックマン工法では、すべての土質、岩盤に適用可能に思えるが、これまでの施工経験より次に挙げる土質、岩種においては適用が困難であり注意が必要である。

表-1 ロックマン工法の適用管種

工法種別	適用管種	ロックマン工法の分類	
		ロックマン	ロックマンエース
鋼製さや管推進工法	一般構造用鋼管 (STK-400)	○ (3m 管)	○ 半管 ※1
高耐荷力管推進工法	推進工法用鉄筋コンクリート管 (JSWAS A-6)	—	○ 半管 ※2
	推進工法用レジンコンクリート管 (JSWAS A-12)	—	○ 半管 ※2
	合成管 (S-MAX 管)	○ (3m 管)	○ 半管 ※1

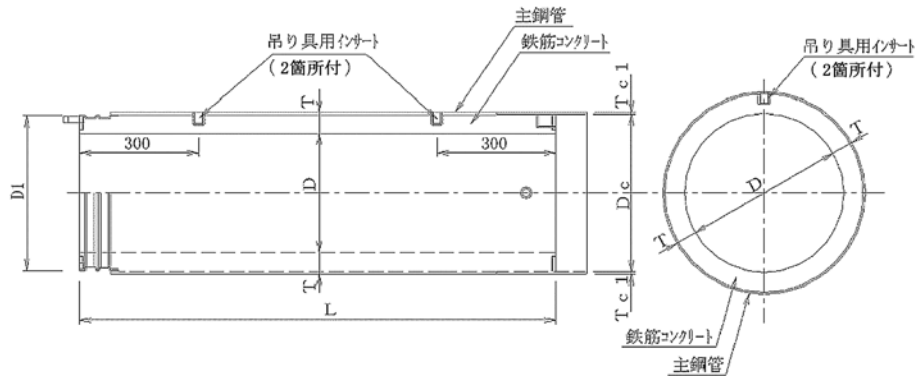
※1 半管の管長:呼び径400、500はL=1.2m、呼び径600、800はL=1.5m

※2 半管の管長:呼び径250、300はL=1.0m、呼び径350はL=1.2m

表-2 ロックマン工法の管種別の適用管径

名称	管種	掘進機呼び径	仕上り内径	工法の種類
ロックマンエース	鋼管	400	—	鋼製さや管推進工法 泥水式一工程方式
		500		
		600		
		800		
	合成管 S-MAX 管	400	300	高耐荷力管推進工法 泥水式一工程方式
		500	400	
ヒューム管 (レジンコンクリート管)	400	250	高耐荷力管推進工法 泥水式一工程方式	
	500	300		
ロックマン	鋼管	400	—	鋼製さや管推進工法 泥水式一工程方式
		500		
		600		
		800		
	合成管 S-MAX 管	400	300	高耐荷力管推進工法 泥水式一工程方式
		500	400	
	600	500		
	800	700		

※ 合成管 (S-MAX 管) の詳細は図-2、表-3および写真-1を参照のこと



合成管は、鉄筋コンクリートの外部を鋼板により補強することで、耐荷性能、止水性能を向上させた管材である。

図-2 合成管の寸法図

表-3 合成管の詳細寸法

(単位: mm)

掘進機呼び径	仕上り内径 D	D ₁	厚さ T	有効長 L (mm)		主鋼管厚	継手部		参考重量 (kg)		許容耐荷力 (kN)
				ロックマンエース	ロックマン		T _{c1}	D _c	ロックマンエース	ロックマン	
400	φ300	391	53	1,200	3,000	6.4	4.5	397	240	600	1,188
500	φ400	493	54						310	780	1,593
600	φ500	595	55	1,500		601			980	1,898	
800	φ700	805	60			811			1,580	2,350	

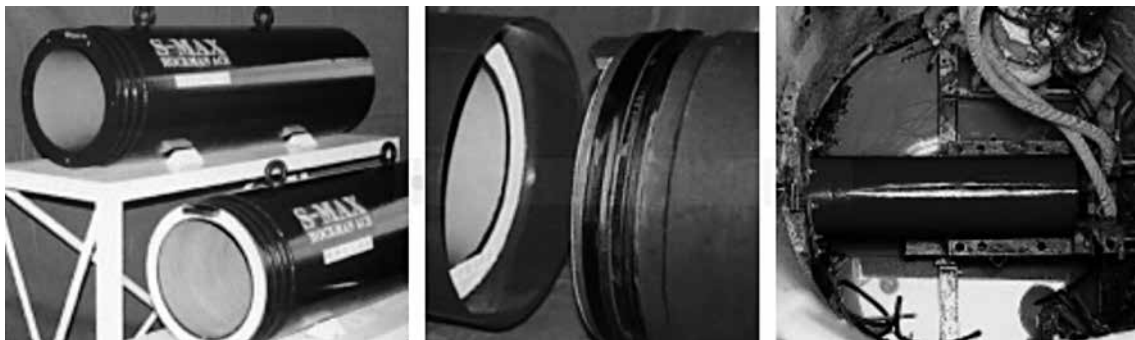


写真-1 合成管 (S-MAX管) ※ 栗本コンクリート工業(株)より

表-4 ロックマンエース工法(鋼管、合成管)の立坑寸法

	さや管呼び径	立坑寸法 (ライナープレート、ケーシング) (φ・mm)
発進立坑	400	2,000 (立坑内径で1,940以上確保)
	500	2,000 (立坑内径で1,940以上確保)
	600	2,500 (立坑内径で2,440以上確保)
	800	2,500 (立坑内径で2,440以上確保)
到達立坑	400	1,300 (立坑内径で1,240以上確保)
	500	1,300 (立坑内径で1,240以上確保)
	600	1,500 (立坑内径で1,440以上確保)
	800	1,700 (立坑内径で1,640以上確保)

表-5 ロックマンエース工法(ヒューム管)の立坑寸法

	ヒューム管呼び径	立坑寸法 (ライナープレート、ケーシング) (φ・mm)
発進立坑	250	2,000 (立坑内径で1,940以上確保)
	300	
	350	
到達立坑	250	1,300 (立坑内径で1,240以上確保)
	300	
	350	

表一六 ヒューム管とレジン管の対応表

ロックマンエース		400A		500A
ヒューム管 (呼び径)		250	300	350
レジン管 (呼び径)	RT型	250	300	350
	RS型	300	350	400
	RM型	290	340	390
管外径 (mm)		360	414	470
管延長 (mm)		1,000		1,200

表一七 ロックマン工法(鋼管、合成管)の立坑寸法

	さや管呼び径	立坑寸法 (ライナープレート、ケーシング)
発進立坑	400	矩形立坑 2,500×5,500mm 小判型立坑 2,500×5,640mm
	500	
	600	
	800	
到達立坑	400	φ1,300mm (立坑内径でφ1,240mm以上確保)
	500	φ1,300mm (立坑内径でφ1,240mm以上確保)
	600	φ1,500mm (立坑内径でφ1,440mm以上確保)
	800	φ1,700mm (立坑内径でφ1,640mm以上確保)

(1) 一般土質で注意が必要な土質

粘着性の高い粘土の場合、粘土がカッタに装着したビットの周囲に付着しビット突出部分を埋めてしまう現象が生じる。ビット部分は清水を噴射する設備によりクリーニングを行う機構となっているが、いったんこびりついた粘土は、掘進に伴い増幅し、やがてビットが機能しなくなり開口部を閉塞させてしまう恐れがあるので注意が必要である。

(2) 岩盤層で注意が必要な岩種

岩盤層では堆積岩に属するシルト岩、粘板岩等には注意が必要である。切削中に発生したズリが岩盤を形成する前の粘土に戻りビットの周囲に付着する現象が懸念される。ビットの突出部が埋まってしまうとビットの貫入深が失われ掘進速度が著しく低下することがある。

また、溶結性の凝灰岩においては内部のガラス質が緻密かつ硬質なためビットの切削が浅くなり、ビットの摺動による亀裂が発生し難い岩種である。このため推進速度が著しく低下するとともに、長時間の摺動によりビットの摩耗が顕著となり掘進が困難になるので注意が必要である。

表一八 ロックマン工法・ロックマンエース工法の適用土質【一般土質】

土質分類	適用条件
砂質土・粘性土	・N値50以下 ・最大礫径：20mm以下
砂礫土 (I)	・最大礫径：0.1D以下
砂礫土 (II)	・最大礫径：0.1D～0.3D以下
玉石混り土 (I)	・最大礫径：0.3D～0.5D以下
玉石混り土 (II)	・最大礫径：0.5D～0.7D以下
玉石・転石混り土 (I)	・最大礫径：0.7D～1.0D以下
玉石・転石混り土 (II)	・最大礫径：1.0D超

注1) Dは掘進機呼び径である

注2) 最大礫径0.1D以下の場合は、ビットによる破碎は少なく先導体面板開口部から直接礫の取り込みが可能

表一九 ロックマン工法・ロックマンエース工法の適用土質【岩盤層】

岩質分類	圧縮強度 δ_c (MN/m ²)	弾性波速度 (I) Vp (km/s)	弾性波速度 (II) Vp (km/s)	岩分類
				(III)
軟岩 (I)	$\delta_c \leq 40$	1.5以下	1.4以下	C _L 以下
軟岩 (II)	$40 < \delta_c \leq 80$	1.5～2.5	1.4～2.0	C _M
中硬岩	$80 < \delta_c \leq 120$	2.5～3.3	2.0～2.6	C _N
硬岩 (I)	$120 < \delta_c \leq 160$	3.3～4.2	2.6～3.6	B
硬岩 (II)	$160 < \delta_c \leq 200$	4.2以上	3.6以上	A
難掘進岩盤	—	—	—	—

注1) 弾性波速度 (I) 火成岩の古生層——風化の程度による

注2) 弾性波速度 (II) 堆積岩——密度による

注3) 岩分類 (III) 田中の分類による (1964年)

注4) 200MN/m²を超えた硬岩については協会事務局において応相談

注5) 難掘進岩盤とは圧縮強度II関係なくロックマン工法が掘進困難な岩盤

5 施工事例 —地滑り対策工事への採用事例—

鋼製さや管推進工法は、一般土質から礫、玉石、岩盤などの硬質層まで幅広く対応可能であることから、近年では下水道以外の工事にその用途が広がっている。本稿では、ロックマン工法が地滑り対策工事に採用された山形県鶴岡市山大綱七五三掛地区の事例を紹介する。

5.1 工事の概要

発注者：農林水産省東北農政局

庄内あさひ農地保全事業所

工事名：庄内あさひ農地保全事業

集水井排水工 (その2) 工事

元請業者：(株)新東京ジオ・システム

施工業者：グランド興機(株)
 工期(推進)：平成30年6月～11月
 呼び径：400(鋼管t=7.9mm)
 推進距離：下記3スパン
 1号推進：97.5m
 2号推進：107.1m
 3号推進：119.2m

施工場所：山形県鶴岡市大網七五三掛地区内
 (図-3)



図-3 施工位置(yahoo地図より)



図-4 施工区間

山形県鶴岡市大網は庄内地方の南部に位置し施工箇所の七五三掛地区は月山にほど近く、庄内と内陸を結ぶ旧六十里越街道の要衝として栄えた。また江戸時代には、松尾芭蕉が「奥の細道」の旅路の途中で立ち寄ったとされている場所でもある。

七五三掛地区は平成3(1991)年10月農林水産省農村振興局所管「七五三掛地区地すべり防止区域」に指定され、当初は県によって対策工事が行われてきた。

現在までに国土交通省、農林水産省、山形県による大規模な対策工事が行われている。平成21(2009)年に発生した大規模地滑りをきっかけに、今回農林水産省で実施する地すべり対策工事の一環として図-4に示す集水井を連結する排水管の工事をロックマン工法で施工することとなった。

5.2 地すべり地区の地質構造

当地区の地質構造について図-5を用いて説明する。当地区は標高250～350mの地区に位置し、斜面は南南西に向かい緩やかな勾配(約10%)を呈している。

地質としては新第三紀中新世の大網層が分布している。主な構成地質は下位より凝灰角礫岩、泥岩、凝灰質泥岩層である。大網層には粗粒玄武岩が板状貫入岩体として当該地の広い範囲に潜入している状況である。

特に粗粒玄武岩層は水を通しやすい性質を有しており、地下水が下層の泥岩に浸透し、すべり面を形成している。このため集水ボーリングは泥岩層付近に配置され、下流へ向かう排水管は泥岩、砂泥互層、凝灰角礫岩、粗粒玄武岩等を推進することとなる。

5.3 施工上の課題

本工事における施工上の課題を整理すると以下のとおりである。

(1) 集水井内(φ3,500mm)のスペースから施工可能であること

推進工法に使用する立坑は集水井を流用するため、立坑内径はφ3,500mmに限定される。推進工事は深さに関係なくこのスペースより発進、到達が可能であることが求められる。

(2) 掘進深度の深い推進工事

本工事では、地滑り面付近の地下水を排水するため、図-6に示すように発進立坑深36.3m、18.2m、14.6m、

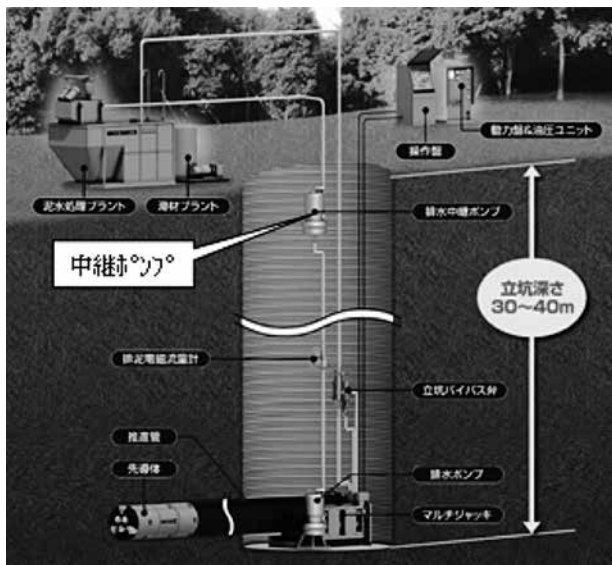


図-7 立坑内中継ポンプ設置

- ・高い地下水圧にもバランスをとりながら安定した掘進が可能で推進工法である。
- ・掘進不能となった場合でも、鋼管を溶接しているため掘進機の引き戻しが可能である。

5.4 施工結果

本工事は平成30(2018)年8月現在、2号推進区間を完了し1号・3号推進区間を同時掘進中である。立坑φ3,500mmの狭い作業環境や、崩積土に混入する礫の破碎についてもロックマン工法の持つ強力な礫破碎能力により支障なく掘進中である(写真-2~4)。

また本工事では以下に述べる対策を行うことで安定した掘進が可能となった。

(1) 立坑内中継ポンプの設置

立坑が深いので坑内の排泥ポンプだけでは揚程が不足する事態となった。このため図-7に示すように立坑内に中継ポンプを設置することで、排泥の円滑な輸送が可能となった。

(2) 面板清掃用の高圧ジェットの利用

泥岩層に混入する粘土状の風化岩はビットに付着すると破碎能力が著しく低下する。このためロックマン工法では面板のクリーニングを目的として高圧ジェットを装備している。本工事ではこの高圧ジェットを改良し、礫に付着した粘土をクリーニングすることで破碎能力を低減することなく掘進が継続できた。

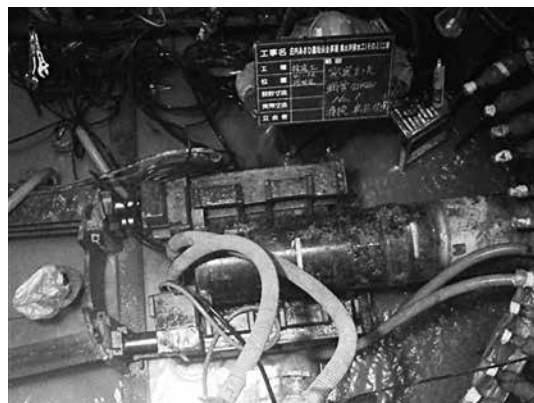


写真-2 掘進状況



写真-3 ロックマン工法のカタビット



写真-4 発進立坑の構築状況

(3) 逸泥対策

土質の性状が不均一な砂泥互層区間では部分的に透水性が高い箇所が存在しており、逸泥が生じる原因となりうる。このため推進管内に滑材注入ポートに加えて、薬液注入用ポートを設置することとした。これにより、もし逸泥が生じた場合、緩結・瞬結を交互に注入する

ことで回避できるような対策をした。

(4) 砂泥互層への対応

泥岩互層内の推進工事では、土質の性状が目まぐるしく変化する。岩盤内の風化程度の低いコア部の干渉による線形の逸脱、粘土の面板への付着や透水性の高い部分からの逸泥など、あたかも複数の現場を同時にこなすような技量が求められる。こうした複雑な工事を安全に完了するためには掘進機の性能のみならずオペレータの技量によるところも大きい。

6 おわりに

ロックマン工法・ロックマンエース工法について開発の経緯、工法の概要および下水道以外の用途への適用事例として地滑り対策の施工事例について報告させていただいた。

ロックマン工法は、これまで高強度の岩盤、巨礫といった自然障害物への対応を主として行ってきた。しかし近年では都市部を中心に錯綜する埋設物の中で管路を再構築する需要も増加している。

今後は、既設管、残置された土留め材といった人工障害物への対応ニーズも徐々に増加してくるものと予想

される。ロックマン工法を下水道以外の様々な用途に幅広くご採用いただくためにもこうした鋼製の障害物への対応等も今後の課題であると考えている。

ロックマン工法はより困難な施工条件に立ち向かうため、これまで多くの先進的な技術や工夫をいただいた協会の協力のもと、より一層の技術向上に努めて参りますので発注者、施工者の皆様よりご指導を賜りますよう協会一同お願いいたします。

○お問い合わせ先

ロックマン工法協会

[本部事務局]

〒732-0052

広島市東区光町1-13-20

ディア・光町2F

Tel : 082-261-5923 Fax : 082-261-5925

E-mail : rockman@alpha.ocn.ne.jp

URL : <http://www.rockman.gr.jp>

[東日本支部]

〒105-0012

東京都港区芝大門1-4-10 大蔵ビル5F

Tel : 03-3431-4501 Fax : 03-5948-4578

