

月刊推進技術

MAGAZINE, MICRO-TUNNELLING TECHNOLOGY

11

Vol.23 No.11
2009(平成21年)



特集／都市地下基盤の再構築 ②

平成21年度推進工事技士試験(実地)試験問題と合格者発表
平成21年度技術講習会のご案内

社団法人 日本下水道管渠推進技術協会

<http://www.suisinkyo.or.jp> e-mail:info@suisinkyo.or.jp

ロックマン工法協会の歩み

小谷 謙二

ロックマン工法協会会長
環境ソリューションズ㈱代表取締役



1. 工法協会設立と開発の歴史

1.1 協会設立に至る活動

ロックマン工法は平成2年に鋼製さや管を小判型立坑から泥水方式で推進する工法として、八千代エンジニアリング㈱と太閤テックス㈱の企業協力のもと、広島県佐伯郡大野町（現廿日市市）の岩盤推進工事で産声をあげた。

その後2年間の施工実績によって施工技術の検証を終え、社会資本整備の一端を担うパイプライン施設の整備拡充に貢献することを目的として、協会設立に向けて、岡田倭一氏や鈴江秀吉氏と共に多くの総合建設会社の協力をいただいて平成4年1月に東京において設立、総会を開催するに至った。

特に、設立に至るまでの施工実績の分析による技術・積算資料の作成については、一緒に努力いただいた秋山大一氏、大谷準一氏、事務局の船木能見氏、また、工法普及に尽力をいただいた藤井満基氏、森本博之氏、山下英明氏その他関係各位の下支えによって活動が積極化した。

設立当時の会員数はA会員20社、B会員8社、

賛助会員3社の総数31社であった。更に、翌年は39社へと増加し現在は63社となる。また、協会運営については苦難を伴う時期もありましたが特に中川成器氏、上村邦秀氏の尽力によってことなきを得たことが思い出せます。

なお、今日に至るまで大所高所で御指導をいただいた古城一省氏、石橋信利氏、宮原強氏、小田泰平氏のことを記述させていただきます。

1.2 工法開発の趣旨と特長

平成初期の時代、小中口径管推進において幅広い特長を持ち合わせた新工法が望まれており、時代の趨勢を組み入れた工法の開発を主眼としてロックマン工法は誕生した。

【工法の特長】

①幅広い適応土質

滞水砂地盤、礫、玉石、転石、軟岩、硬岩、コンクリートなどの掘削が可能であり、複合地盤にも威力を発揮できる。

②工期が短く経済的

先導駆動式なので動力効率が良く、特殊ビットによるスピーディな掘進と作業工程が容易なことにより経済的である。

③長距離推進が可能

ロックマン工法の特種ビットの耐力から考えて、硬岩Ⅱクラスで最大100mの掘進能力を有しており、岩級クラスが低くなるにしたがって長距離推進が可能である。

④高い精度

レーザによる方向測定並びに修正が地上に設置された操作盤による連続監視と修正機構により即時可能である。

⑤最小スペースでの立坑

発進立坑の推進設備がコンパクトであり、到達立坑では掘進機の3分割回収を行うので立坑は最小スペースで可能となる。

1.3 技術開発の歴史

①平成2年：

ロックマン工法φ600～800が鋼製さや管方式の小判型立坑で開始。

②平成3年：

ロックマン工法φ800がダクタイル管方式の小判型立坑で開始。但し、平成11年にダクタイル管製作中止。

③平成6年：

ロックマンエース工法φ400鋼製さや管方式の円形立坑（φ2000）で開始。

④平成10年：

ロックマンエース工法φ500鋼製さや管方式の円形立坑（φ2000）で開始。

⑤平成11年：

ロックマンエース工法φ600鋼製さや管方式の円形立坑（φ2500）で開始。

⑥平成13年：

ロックマンエース工法φ800鋼製さや管方式の円形立坑（φ2500）で開始。

⑦平成14年：

ロックマンエース工法φ400～800合成管方式の円形立坑（φ2000～2500）で開始。

⑧平成17年：

従来の推進ジャッキ最大1000KNに追加して長距離推進に向けた最大2000KNを開発。

⑨平成19年：

ロックマンエース工法φ250、300、350、ヒューム管方式、レジン管方式を円形立坑（φ2000）で開始。現在に至る。

更にヒューム管やレジン管の導入に伴ってビット回転によるトルク伝達用接続管やジョイント管を開発。

2. 開発当初から現在に至るまでの技術的改善

2.1 対応土質の拡大

～岩盤から玉石砂礫層～

ロックマン工法は、ロータリ推進機を原形として平成2年から『鋼管さや管工法』として開発をスタートした。開発当初の対応地盤は、岩盤層のみに特化し、一軸圧縮強度200MN/m²程度の硬岩が削孔可能であることを開発目標とした。

このため、岩盤を効率よく切削する方法としてトリコンビットを装備することで、岩盤への対応が可能となった。一方、下水道の普及に伴い、玉石砂礫層の施工に対する要望が増加するとともに、岩盤～玉石層の互層のケースも出現し、玉石層への対応を避けては通れない状況となった。

このため、平成9年より、対応土質として、土砂層（砂質土）～玉石砂礫層を追加し対応土質の拡大にあたり問題となった点は、第一に掘削ズリが従来の固形状の岩屑から、泥水状となった点、第二に切羽のバランスをとる必要が生じたことであった。すなわち、岩盤対応時は切羽の崩壊懸念がないことから、ズリの輸送及びビットの冷却を目的として清水を使用していたが、土砂層の追加に伴い切羽のバランスを取る必要から泥水を使用する必要に迫られた。

このため、泥水還流設備として送排泥ポンプの輸送力の増強、泥水処理設備の改良を行った結果、土砂層においても施工可能となった。

現在の施工延長では、玉石・砂礫層の延長が岩盤層をはるかに上回る状況となっており、玉石砂礫層の対策工法としてロックマン工法が採用される場合が多い。

【ロックマン工法の諸元】

表-1 掘削施工能力

| 土質分類 | | 標準推進延長 (m) | |
|--------------------|-------------|------------|---------|
| | | ロックマンエース工法 | ロックマン工法 |
| 砂質土・粘性土 | | 100～120 | 120～140 |
| 砂礫土 (I) (II) | | 80～100 | 90～120 |
| 玉石混じり土 (I) (II) | | 65～85 | 75～95 |
| 玉石・転石混じり石 (I) (II) | | 55～75 | 60～90 |
| 岩盤層 | 軟岩～中軟岩 | 100～120 | 90～130 |
| | 硬岩 (I) (II) | 80～100 | 80～110 |
| | 難掘進岩盤 | 当協会にご相談下さい | |

表-2 工法の種類

| 名称 | 管種 | 口径 (mm) | 工法の種類 |
|----------|---------------|-----------|-------------------------|
| ロックマンエース | 鋼管 合成管 | TRW-400 A | 鋼製さや管方式泥水式 高耐荷力方式泥水式 |
| | | TRW-500 A | |
| | | TRW-600 A | |
| | | TRW-800 A | |
| | ヒューム管 レジン管 | TRW-400 A | 高耐荷力方式泥水式 |
| | | TRW-500 A | |
| ロックマン | 鋼管 合成管 | TRW-400 | 鋼製さや管方式泥水式 高耐荷力方式泥水式 |
| | | TRW-500 | |
| | | TRW-600 | |
| | | TRW-800 | |

表-3 立坑寸法

| 名称 | 管種 | 機械種別 | 発進立坑 | | 到達立坑 | |
|----------|---------------|-----------|-------------|-------------|----------|--------|
| | | | ライナープレート | シートバイル | ライナープレート | 人孔到達 |
| ロックマンエース | 鋼管 合成管 | TRW-400 A | φ 2000 | — | φ 1300 | 1号人孔以上 |
| | | TRW-500 A | φ 2000 | — | φ 1300 | 2号人孔以上 |
| | | TRW-600 A | φ 2500 | — | φ 1500 | 3号人孔以上 |
| | | TRW-800 A | φ 2500 | — | φ 1700 | 3号人孔以上 |
| | ヒューム管 レジン管 | TRW-400 A | φ 2000 | — | φ 1300 | 1号人孔以上 |
| | | TRW-500 A | φ 2000 | — | φ 1300 | 2号人孔以上 |
| ロックマン | 鋼管 合成管 | TRW-400 | 2500 × 5640 | 2500 × 5500 | φ 1300 | 1号人孔以上 |
| | | TRW-500 | 2500 × 5640 | 2500 × 5500 | φ 1300 | 2号人孔以上 |
| | | TRW-600 | 2500 × 5640 | 2500 × 5500 | φ 1500 | 3号人孔以上 |
| | | TRW-700 | 2500 × 5640 | 2500 × 5500 | φ 1700 | 3号人孔以上 |

2.2 日進量の改定

～より速い施工を目指して～

日進量については当初は、マシンの施工実績に基づき設定していたが、施工延長の増加とそれに伴うマシンの改良により、掘進速度が向上してきたことを受けて、平成9年に日進量の初回改定を実施した。この結果、概ね20～30%程度の日進量の向上を実現した。

その後も土質分類の追加や施工実績の増大に

伴って施工技術や精度の向上も図られ、今日までに数回の改定を実施している。

2.3 適用管径の追加

～経済的なさや管径の選択～

ロックマン工法は、当初φ 600、800の二種類の口径でスタートした。その後φ 400を追加し、3種類の口径が定着した。下水道工事は、汚水管が主であることから、仕上がり内径はφ 300までが施工のほとんどを占めている状況にある。

鋼管さや管工法では、内管挿入後のグラウト充填のため、さや管径マイナス150mm程度を内管の最大径と考えてきた。したがって、 $\phi 400$ の鋼管では、内管径 $\phi 250$ までの対応となり、内管径 $\phi 300$ では鋼管径 $\phi 600$ を使用する必要があった。

このため、必要内径に対して鋼管径が過大となることから、新たに $\phi 500$ を加えて、現在の4種類体制($\phi 400$ 、500、600、800)となった。

2.4 ロックマンエースの開発

～立坑の小規模化を目指して～

ロックマン工法は平成6年当時、ロックマン工法とロックマンエース工法(写真-1)の2タイプで運用を行っていた。

ロックマンエース工法は、その当時の施工条件の制約から、より狭い立坑からの施工を目指し開発したものであり、これにより鋼管径 $\phi 400$ 、 $\phi 500$ は、立坑径 $\phi 2000$ から、鋼管径 $\phi 600$ 、 $\phi 800$ は立坑径 $\phi 2500$ からの施工が可能となった。

ロックマンエース工法では、小規模立坑からの発進を可能とするため、推進管の管長を $L=1.2\text{m}$ とするとともに、先導体の全面的な見直しを行った。

すなわち先導体を単に複数のパーツに区分する



写真-1 ロックマンエース工法

表-4 ロックマン工法とロックマンエース工法の採用内訳(平成15年データ:エース開発時～現在に至る中間点)

| 工法 | 件数 | 施工延長(m) |
|----------|-------|----------------------|
| ロックマンエース | 1,264 | 81,871.29 (77.7%) |
| ロックマン | 259 | 23,483.88 (22.3%) |
| 合計 | 1,523 | 105,355.17 |

ことにより、小規模立坑に対応するのではなく、あくまでも一体型の先導体で小規模立坑からの発進を開発目標とした。

平成15年時点では、表-4に示すようにロックマンエース工法が施工全体の78%を占めるに至り、当工法の主流となっている状況であった。その後も小規模立坑からの推進が増し続け、現在はほとんどがロックマンエース工法となっている。

2.5 合成鋼管(S-MAX管)の開発

～鋼管さや管工法から直押し工法へ～

ロックマン工法は、前述のとおり当初『鋼管さや管方式』として施工を行ってきたが、この方式の場合、内管とさや管の空隙を充填する『中込め注入』の工程が不可欠となっていた。

『中込め注入』は仕上がり推進精度確保の余裕代として機能してきた面もあるが、コストの増加要因となっているとの指摘もあった。

これまでの施工状況を調査したところ、施工精度上から直押しも可能と判断されたため、施工の簡略化によるコスト縮減を目的として、平成13年より直押し方式の開発に着手した。

直押しを行うに当たり、基本方針としたことは従来の先導体をそのまま使用可能とすることであった。

このため、外径の整合しない鉄筋コンクリート推進管を採用せずに、鋼管と外径が整合する新しい管材を開発することとなった。

ロックマン工法に使用する管材に求められる性能としては、岩盤、玉石層のような堅固な地盤で先導体に生じるローリングを確実に受け止めることが出来る管材であること、接合に際して溶接工程が不要となることなどであった。

このような経緯から、ロックマン工法専用推進管として合成鋼管S-MAX管(写真-2)を開発し、これにより従来の『鋼管さや管方式』から脱却し、直押し工法への展開を図っている。

合成鋼管S-MAX管は、主鋼管厚4.5～6.4mmの鋼管の内面に鉄筋を配置し、コンクリートを投入したのち、遠心力締め固めを行い常圧蒸気による促進養生で製造した管である。



写真-2 合成鋼管 (S-MAX)

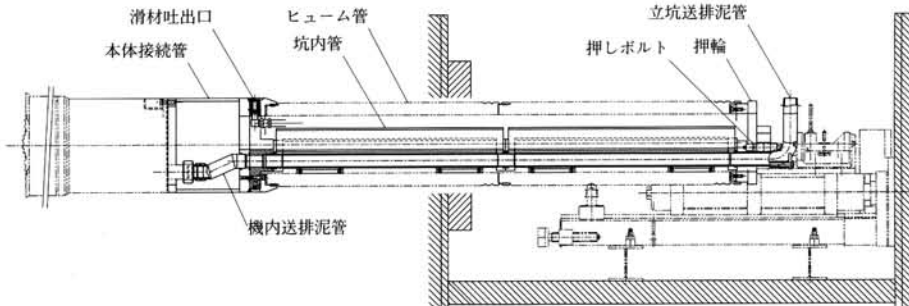


図-1 RM-LOOPER (新開発ジョイント管配置図)

2.6 ヒューム管、レジン管への対応

～同一機種から安価な推進へ～

ロックマン工法は従来「鋼製さや管方式」と「合成管方式」を主体として施工実績を重ねてきたが近年下水道予算も一段と厳しさを増すにつれ経済性が重要な要点となってきている。

このような状況の中で、同一先導体で色々な管種選択を可能とし、最適管種で最適地盤への対応は経済性に十分貢献出得るとの目標に向けて平成17年～18年にかけて準備を進めた。

今回の場合は従来管種と異なり、先導体のトルクを伝達させる接続管や連結管(図-1)が必要となり、送排泥も兼ねたRM-LOOPER(写真-3)を開発した。

2.7 ロックマンエースマルチジャッキの開発

～蛇行をなくして推進スパンをより長く～

長距離推進用として従来のジャッキ能力(1000KN)からマルチジャッキ(2000KN)への能力アップを図り必要推力によって使い分ける方法とした。



写真-3 RM-LOOPER

【マルチジャッキの特長】(写真-4)

- ① 推進位置を管中心と合わせ、蛇行が生じにくく、推進速度を速めた。
- ② 押輪の移動はエアリフト方式で安全で作業時間の短縮を図った。
- ③ 管材の設置スペースが広く管の吊り降ろしが簡単で安全である。
- ④ 同一ジャッキ台に1000KN、2000KNのいずれも装備可能となる。
- ⑤ 全ての管種に対応でき推進精度が良く長距離推進が可能となる。

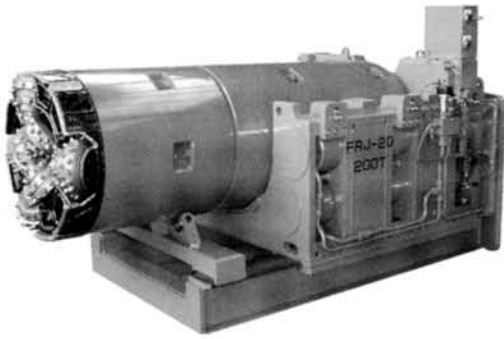


写真-4 マルチジャッキ

3. 推進施工実績

次に、本工法の推進実績等について紹介します。

① 推進実績

協会設立以降の推進実績は図-2に示すとおりで、平成20年度の単年度施工実績は約22kmであり平成20年度までの累計推進実績は272kmとなっている。

その他特筆すべき事項としては、平成6年からロックマンエース工法の導入を図り2年後の平成8年から従来工法を追い越すこととなる。

② 推進管種別施工状況

施工状況は図-3に示す通り鋼製さや管が主流ではあるが平成14年から導入した合成管や平成19年から新規参入したヒューム管方式、レジン管方式も採用を延ばしている。

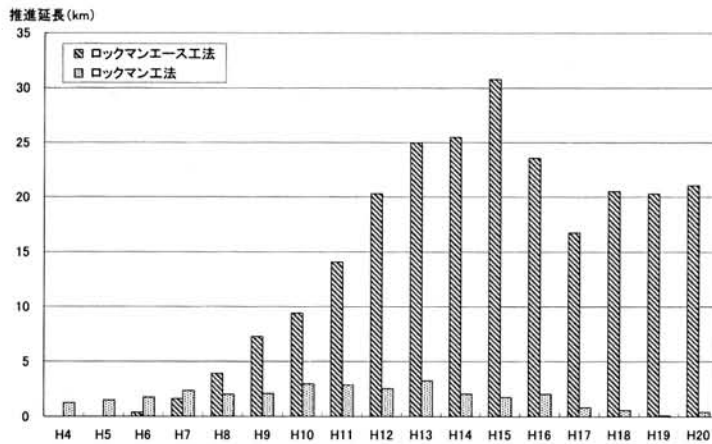


図-2 施工実績

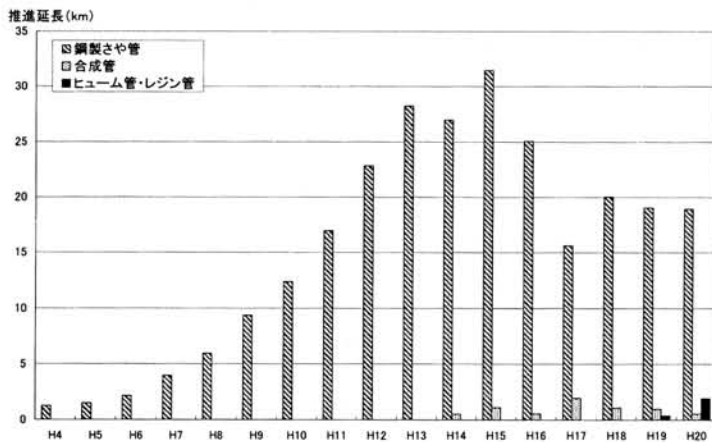


図-3 推進管種別施工状況

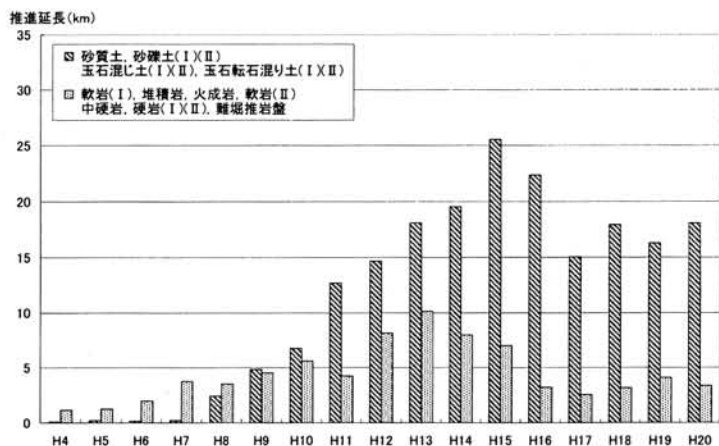


図-4 土質別施工状況

③土質別施工状況

施工状況は図-4に示すとおりであるが、特筆すべきは開発当初平成2年～9年末では岩盤が主流であったが、その後は砂礫～玉石への対応が多くなっている。

4. 施工事例

4.1 玉石,巨大転石地盤を克服した事例

①広島県安芸郡海田町における推進工事において転石の状況は立坑時に出現した状況(写真-5)からも推進径にすれば最大4倍にもなる巨大転石を含んだ地層であり、推進時の推進力の変動より推察するに、1m以上の転石に遭遇した箇所(写真-6)は多々あったものと思われる。以上の状況下において、ロックマン工法の現状は推進方向に有利な位置に存在する転石に対しては十分威力を発揮したが、周辺が軟弱な地盤に硬度の高い転石が推進方向に対し不利な位置に存在した場合は方向修正が操作困難となり、無理に方向修正をかけようとすると、推進時間が掛かり掘削土の取込み過ぎによる地盤沈下の恐れが発生した。以上の状況により推進周辺地盤改良の補助工法が必要となった。地盤改良の必要性がある場合として以下3点の状況が記述されている。

a. 泥水の逸泥及び切羽が安定しない場合



写真-5 立坑内巨大転石



写真-6 切削後転石

b. 玉石及び転石が転動する場合

c. 砂礫(土砂部)から岩盤部に推進する場合

当施工箇所補助工法が必要となった状況はc、における状況に適応するのではと思われる。

②施工結果

当施工箇所のような各地層が互層状に堆積して

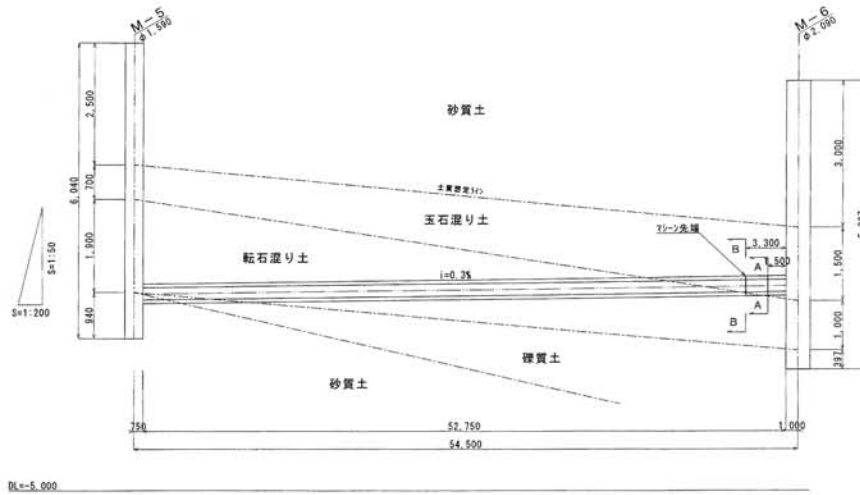


図-5 施工状況縦断面図

いる(図-5)崩積土層は、施工実績からも、工法比較検討結果のごとく現状では、補助工法併用のロックマン工法が最適であり、施工結果としては、地質の状況を操作盤データより推察し適切に補助工法併用にて推進できたと考える。

4.2 長距離施工に挑戦した事例

①山形県米沢市における推進工事において

高耐荷力(ヒューム管)方式で挑戦した概要を記述する。

a. 切羽深度の玉石出現、流木、粘土・シルトの互層

立坑掘削時に掘進予定深度から300mm大の玉石が確認された。写真-7に立坑掘削時の写真を示す。

- ・流木は切羽に対するバウンドが生じるので、切断するまでは推力を最小限として推進する。
- ・粘土層は清水に変えて比重が1.2以上となれば、バキューム処理をしながら推進する。(繰り返し作業となる)

b. 長い推進延長

立坑間隔100mと長く、本工法の分類「玉石混り土(I)(II)」の最大延長95mを上回る延長となっている。このため、掘進作業が可能であっても、所定の施工精度の



写真-7 立坑掘削状況

確保に留意する必要がある。図-6に当工事の縦断面図を示す。

②施工結果

坑口付近から玉石が存在しており、初期掘進時にマシンの動揺が激しいためマシンの動揺を抑制する作業を実施した。これにより、初期掘進の精度を確保することができた。図-7に本工事における精度管理図を示す。この図より、鉛直変位で最大38mm、水平変位で最大18mmであり、さや管と内管の余裕100mm(片側)に十分収まる精度で掘進することができた。区間中、特に変位量が大きい多い区間は、砂礫層と粘土層の互層区間であり、その他の区間については20mm内外の変位量であり、良好な施工ができた。

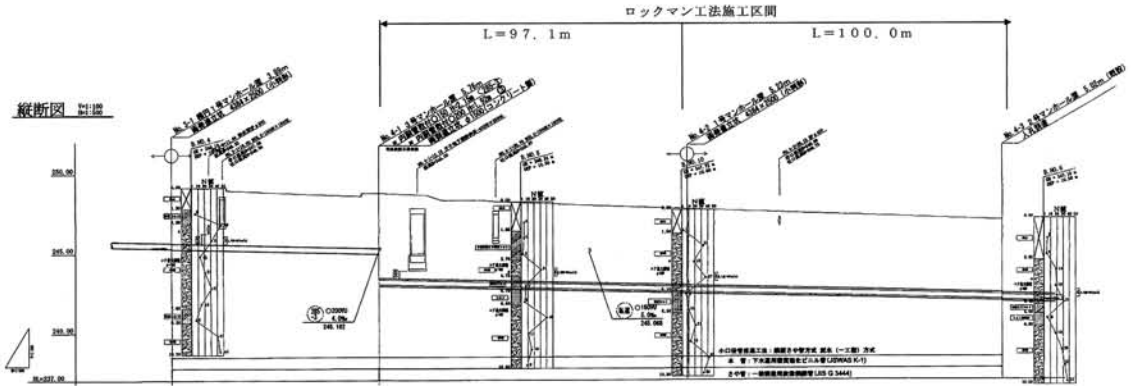


図-7 施工状況縦断面図

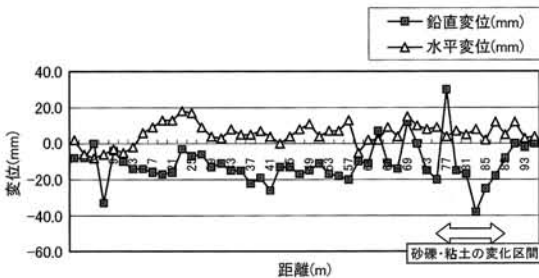


図-7 精度管理図

(追記)

多大の御協力をいただきました参考文献の執筆者の皆さまへ深く感謝申し上げます。

○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丁目13-20
(ディア・光町2F)

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

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

E-mail : rockman@alpha.ocn.ne.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 : 5948-4578

【参考文献】

- ①小谷謙二、秋山大一、船木能見
『小口径管推進工法鋼製さや管方式ロックマン工法』2003年1月
- ②豊田哲史、金弘嘉明、船木能見、秋山大一
『巨大転石を含む地層の下水道管布設工事の概要とロックマン工法施工実績について』2005年5月
- ③森本博之、秋山大一
『長距離施工に挑むロックマン工法』2008年2月

5. あとがき

工法検討に当たって最も重要な事項は土質内容を十分把握分析し、それに基づく適切な判断が必要となる。特に工法の選定においては、岩種、岩盤強度、互層の有無、玉石や転石径、粒度分布、透水係数が必要となり、補助工法の必要性の有無についても同様である。

ロックマン工法協会事務局には、工法パンフレット、積算資料、技術資料、工法説明用ビデオを準備していますので問合せ願いたい。

今後とも、一層の技術の向上並びに普及に努める所存です。

最後に今まで同様のご指導、ご鞭撻を賜ります様お願い申し上げます。