

今、直面する推進工事の課題
“解決への具体策を探る”

工種 M13-2 地下鉄道工事
玉石寸法 高さ
GL - 7.5M
W = 1000



φ1000を超える巨石が点在する到達立坑掘削状況

目 次

～都市再整備における取り組み～

課題の多い難工事における推進施工対応 マッドマックス工法 ... 1

(株) イセキ開発工機 営業技術部 部長 佐藤 徹
(株) ハンシン建設 推進事業部 工事課長 福田 浩司

巨礫・玉石層における長距離推進施工

- ラムサス工法の適用性と施工事例 - 15

ラムサス工法協会 技術委員 森 勇二
ラムサス工法協会 技術委員 渡邊 剛

大深度に挑む最新の推進技術 25

アルティミット工法技術とその実施例

機動建設工業(株) 関東支店 工事部長 船橋 透
機動建設工業(株) 関東支店 工事課長 荒木 大介

小土被りにおける泥濃式推進工法の地盤への影響と実態 36

(株) アルファシビルエンジニアリング 技術開発部部長代理 松元文彦
(株) アルファシビルエンジニアリング 技術開発部技術課長 森田 智

長距離推進工事におけるコスト縮減と

電磁波による到達位置誘導システム 51

ヤスタエンジニアリング(株) 工事部次長 杉本 理
ヤスタエンジニアリング(株) 開発部部長 濱田 十郎
ヤスタエンジニアリング(株) 設計部課長 富田 昌晴

近接施工における課題と難工事への取り組み 63

中川企画建設(株) ECO SPEED SHIELD 工法協会事務局技術員 檜皮 安弘

近接施工における課題と難工事への取り組み

中川企画建設（株） ECO SPEED SHIELD 工法協会事務局技術員 檜皮 安弘

§ 1. はじめに

近年、都市部の地下では、上下水道、ガス、電力、通信等のライフライン施設が数多く埋設され、さらに新規の管路施設を構築するためには、既設の地下構造物や埋設物への影響を配慮し、設計提案及び施工を行わなければならない。特に、下水管路では、自然流下が原則であることから、施工においては高い精度が要求されている。

推進工法では、近接した地下構造物や埋設物への影響が小さいと考えられているが、以下のファクターによって、与える影響が異なることは周知の通りである。

- ①既設構造物の種類
- ②既設構造物の機能、使用目的、経年
- ③既設構造物の基礎形式
- ④既設構造物の規模、重要度
- ⑤既設構造物と新設管路の距離、位置関係
- ⑥新設管路周辺及び管路上部の土質状況
- ⑦新設管路の施工方法

以上のファクターを基に、施工性、安全性、経済性、工期、環境条件等を考慮するとともに、過去の近接施工事例と照査して、それぞれの現場状況に応じた適切な方法を選定しなければならない。

しかし、推進工法では、多数の近接施工事例が存在するにもかかわらず、周辺地盤への影響、近接構造物の鉛直、水平変位量や変形量、ひずみ量等の調査がほとんど行われてこなかったことが現状である。そのため、過去の施工事例が適正であるかを判断することが難しく、厳密には近接構造物への影響がほとんど検証されていないにもかかわらず、施工事例があるということが独り歩きし、施工可否の裏付けとなってきた。

シールド工法では、『近接施工』、『地中送電線土木工事における構造物近接部設計・施工指針』、『近接施工技術総覧』等の図書で、各企業体の指針や施工事例の中に詳細な管理手順が紹介されている。推進工法では、各企業体の指針を転用しているが、施工呼び径が小さいことや工事の規模から軽視されている気がする。

本稿では、近接施工の基本的な考え方を紹介し、近接施工は推進工法の大きな課題であることから、設計者の立場として、近接施工の提言を行う。さらに、特殊な近接施工について紹介する。

また、推進工法では、超長距離、超急曲線、多曲線施工の実績が多くなり、ほとんどの施工が可能であると考えられているが、推進工事における難題はまだ多く存在することから、施工事例を交え、設計者の観点から難題への取り組みについて報告する。

§ 2. 近接施工に関する事項

2.1 近接施工の定義

近接施工には、大別して次の2種類があると考えられている。

- ①新設工事にともない施工機械や資材が近接構造物等に直接的に損傷を与える恐れがある場合。また、広義には工事による振動、騒音、地下水位低下、水質汚濁等により直接的に周辺住民に被害を与える場合。
- ②新設工事の施工中または竣工後に、地盤の変位変形により、近くの既設構造物を変位、変形させ間接的に損傷を与える恐れのある場合。

以上のような見地から近接施工の対象として、開削工、基礎工、トンネル工、盛土工、地

盤改良工が挙げられている。

2.2 近接施工の指針

既設構造物に対しては、自らの手で施工を行う際の施工上の制限を基準化しようとするもの、あるいは相手の施工に対し自分の構造物を保守するために制限を定めているものである。

最も古いものは、日本国有鉄道『近接橋台橋脚の設計施工指針（案）』（昭和42年3月）であり、他の指針も基本的に、これに準じている。一般的に、以下のファクターを考慮し、近接施工に対処している。

- ①構造物の重要度に応じて、近接施工の協議のうえ許可条件として処理する。
- ②新設構造物の掘削底面より45°程度の線を引き、その範囲内に既設構造物があればすべて近接施工の対象として取り扱い、特別な検討を行う。
- ③検討は有限要素法（FEM）等で施工時の地盤内の影響範囲を求める。また、地中の変位を推定し、作用力を逆算して既設構造物の応力を照査する。
- ④近接施工では、計測管理を義務づけ、たえず構造物を管理しながら施工する。
- ⑤近接施工の協議の主体は、既設構造物の防護について行われる。

2.3 近接程度の判定

近接程度は、既設構造物から判定する方法と新設構造物側から判定する方法がある。

1) 既設構造物側からの近接程度の判断方法

新設構造物施工時の既設構造物周辺地盤の地中応力分布、支持力機構の変化、すなわち地盤の緩みに着目し、周辺地盤、既設構造物の安定、破壊の危険性、変位量等に基づき判定する方法。

2) 新設構造物側からの近接程度の判断方法

新設構造物の施工にともなって生じる周辺地盤の変位の発生領域に着目し、これらの地盤の変位、変形を引き起こす原因別及び施工段階ごとに近接程度の範囲を判断する方法。

以上のことから、前者は既設構造物の近傍に設定する制限領域を新設構造物が侵すかどうかによって判定するのに対して、後者は新

設構造物の施工にともなう地盤変位の発生領域内に既設構造物が位置するかどうかによって判断する方法である。

2.4 設置位置の計画

新設構造物の計画にあたっては、既設構造物への影響ができる限り小さくなるように、その設置位置を選定しなければならない。そのためには、まず相互の離隔距離をできる限り大きく確保することが基本である。離隔距離が大きいほど既設構造物に及ぼす影響が減少して、防護対策のためのコストを減ずることができると、一方、離隔距離が大きくなると新設構造物の機能を満足することが困難な場合や、機能を補償するための経費が増大することも多い。このため、両者の損失を勘案して、適切な距離を決定する必要がある。

既設と新設構造物の相対的な位置関係によつても、影響の程度が大きく変化する。断面的な位置関係では、一般には既設に対して新設が「下方」に位置する場合に最も影響が大きく、次に「側方」「上方」の順に影響が軽減されると考えられている。平面的な位置関係では、道路、鉄道、水路、ライフライン等線状の構造物同士であれば、「平行」の場合が最も影響区間が長く、次に「斜交」「直交」の順に影響が軽減されると考えられている。

以上のように、設置位置の計画にあたっては、新設構造物の設置位置の動かせる制約条件の範囲内で、既設構造物への影響を最小限に抑えるために必要となる対策費等を最小にするように検討しなければならない。

※近接施工に関する事項は、『近接施工』、『地中送電線土木工事における構造物近接部設計・施工指針』、『近接施工技術総覧』の抜粋である。

§ 3. 近接施工の提言

近接程度の判定で述べたように、既設構造物から判定する方法と新設構造物側から判定する方法がある。協会や施工者の立場で判断を行う場合、後者の考え方方が用いられている。ほとんどの場合において、離隔が設定されており、推進施工の可否についてのみを判断しているためである。

『トンネル標準示方書』の中で、シールド工法は、離隔が $2D$ (D はセグメントリング外径) 以上の場合、無条件範囲（影響範囲外）と考えられている。推進工法においては、ほとんど記載が見つからない。そこで、当協会が考える判断基準を以下に示す。但し、 D は掘進機外径とする。

1) 既設構造物との離隔が $0.5D$

直線施工の場合、施工精度は問題ないが、既設構造物への影響は大きい。曲線施工の場合、施工精度に問題が生じるケースがある。既設構造物への影響を無視すれば、直線施工は可能である。重要な既設構造物の場合、離隔の見直しまたは防護（地盤改良）が必要である。

2) 既設構造物との離隔が $1D$

直線・曲線施工ともに施工精度の問題はないが、土質条件や既設構造物の性状により、既設構造物へ影響を及ぼす場合がある。しかし、このようなケースは少ないため、 $1D$ 以上の離隔が適切であると考える。

3) 既設構造物との離隔が $1.5D$ 以上

無条件範囲（影響範囲外）と考える。

以上のように、当協会では、ランク分けを行っている。しかし、推進工法はシールド工法と異なり、近接施工から裏込注入が完了するまでの期間、既設構造物に影響を与え続ける可能性があるため、慎重な判断が必要である。さらに、施設管理者と十分な協議を行い、離隔を決定しなければならない。

§ 4. 併設施工について

ここでは、管路を近接して併設する場合について考えてみたい。推進工事における近接施工は、ほとんどの場合、過去に構造物が埋設されており、その構造物に対する影響を考慮し、新設管路の埋設位置が決められている。

しかし、パイプルーフ工法は特殊で、新設管路同士が近接施工となり、最小で 20 cm 程度の離隔で施工が行われている。メガネ施工も同様に、特殊なケースである。新設管路を左右、あるいは上下に埋設する場合、適切な離

隔及び施工順について考えてみる。

4.1 新設管路を左右に埋設

1) 左右の離隔

先行のスパンで、周辺地盤が乱され不均一になっており、裏込注入時に裏込材料が浸透し、固結している可能性があるため、その影響範囲を考慮し、離隔を設定する。また、軟弱地盤では、後続のスパンが先行のスパンに影響を及ぼす恐れがあるため、その影響範囲を考慮し、離隔を設定する。

『トンネル標準示方書』は、2本以上のシールドを一定区間併設して施工する場合には、地山の条件、シールド形式、シールド断面、離れ等を考慮して相互の影響を検討し、十分安全な施工方法をとらなければならないと解説し、離隔が $1D$ (D はセグメントリング外径) 以下の場合としている。

2) 施工順

他の既設構造物が存在しない場合、施工順は関係ない。

4.2 新設管路を上下に埋設

1) 上方を新設管路とした場合の離隔

左右の場合と同様に、裏込注入を考慮し、離隔を設定する。また、下方の施工時に上部地盤が乱され不均一になっており、上方が地盤沈下を起こさないように離隔を設定する。さらに、上方の荷重が下方に作用するため、それを考慮し、管種の検討及び離隔を設定する。

2) 下方を新設管路とした場合の離隔

左右の場合と同様に、裏込注入を考慮し、離隔を設定する。また、上方の施工時に下部地盤が乱され不均一になっており、下方の施工にともなって、上方が地盤沈下及び蛇行を起こさないように離隔を設定する。下方の管種については、下方にかかる荷重を考慮し、選定を行う必要がある。

3) 下方にかかる荷重の考え方

下記に4種類の考え方を示す。

- ①上方の管路を無視し、テルツァギーの緩み土圧で算出する方法

- ②上方の管路を無視し、テルツァギーの緩み
土圧と直土圧の総和で算出する方法
 - ③上方の管路を考慮し、テルツァギーの緩み
土圧で算出する方法
 - ④上方の管路を考慮し、テルツァギーの緩み
土圧と直土圧の総和で算出する方法
- ①から順に安全性が高くなる。①は、十分な離隔がある場合に、適用できる。②は、上方の管路の施工時に、地盤が乱され不均一となつたため、地山のアーチング効果が期待できないことから、上方と下方の管路間を直土圧として取り扱う方法である。③は、上方の管路の重量または管路の重量及び管内水重が下方の管路に作用すると考えた場合の方法である。④は、最も安全に②と③を考慮した方法である。しかし、これらの考え方の中で、最も適合する方法を判断するのは、非常に難しい。地盤の乱れによって、地山のアーチング効果の期待度が変化すると推察されることから、慎重に検討が必要と考えている。

4) 施工順

- ①上方から施工を行った場合、下方の施工時に上方が地盤沈下、隆起、蛇行の恐れがある。上方周辺地盤が安定している場合は、影響が小さく安全である。しかし、軟弱地盤の場合は、上方が地盤沈下を起こし、下方に荷重が作用する。さらに、下方周辺地盤も軟弱地盤の場合、影響は加速する。
 - ②下方から施工を行った場合、上方の施工中に地盤沈下、蛇行の恐れがある。上方周辺地盤が安定している場合は、影響が小さく安全である。しかし、軟弱地盤の場合は、上方が地盤沈下を起こし、下方に荷重が作用する。
- このように、土質条件を考慮し、施工順を決めるべきであるが、一般的には、設置位置の計画で述べたように、既設構造物の上部が最も影響が小さいことから、下方からの施工が望ましいと考えられる。

4.3まとめ

以上のように、メガネ施工では、左右及び上下によって、影響の度合い、必要な離隔、施工方法などが異なるため、慎重に取り扱わなければならない。

けれども、Dは掘進機外径とする。

1) 左右に埋設する場合

直線・曲線施工ともに、1D以上で影響範囲外とする。直線施工で、周辺地盤への影響が少ない土質であると判断できる場合、併設して発進坑口が取付けられる最小離隔での施工が可能である。

2) 上下に埋設する場合

安定した土質の場合、1D以上で影響範囲外とし、軟弱地盤の場合、1.5D以上とする。これより小さくする場合は、十分な検討を行い必要に応じて、防護（地盤改良）を行う。下方の管種については、下方にかかる荷重を考慮し、選定を行う必要がある。

以上のように、当協会では、基準を設けているが、根拠は存在しない。

§ 5. その他の近接施工

ここでは、井戸の近接施工、官民境界との離隔、基礎杭の切断について考えてみたい。留意点や基準値について述べる。

5.1 井戸の近接施工

推進施工時に、地下水や水質汚濁等が懸念される。事前調査によって、位置、深さ、利用状況、年間の水位変化、水質等が確認されていても、推進施工中の適切な切羽圧力管理と使用材料の調整という程度で、ほとんど有効な手段がない。トラブルの最大の要因は、管路に対して、井戸のくみ上げ位置にある。

- ①くみ上げ位置が管路位置に対して下方
- ②くみ上げ位置と管路位置が同じ
- ③くみ上げ位置が管路位置に対して上方

推進工法では、切羽の安定を図るために、地下水圧以上の泥水圧で保持している。そのため、井戸と管路の離隔によって、影響は異なるが、①のようにくみ上げ位置が管路の下方では、影響が最も小さい。一方、③のようにくみ上げ位置が管路の上方では、最も影響を受けやすい。②の場合、水みち（局所的な地下水の流れ）、透水性、泥水圧等により、影響

の度合いが異なる。

したがって、ほとんどの場合において、事前調査のみで判断することは難しく、離隔の基準値を設けることは、困難である。

5.2 官民境界との離隔

官民境界との離隔の基準値を設けている発注者は、少ないと思われる。新設管路の埋設位置が限定される場合、施工精度のみで、施工可否の判断が行われることが多い。一方、事前家屋調査では、立坑掘削底面及び推進管の接線より45度の影響線によって、影響範囲の判断基準としている。

1) 官民境界との離隔が0.5m以内

施工精度は問題ないが、影響範囲内の既設構造物への影響は大きい。特に、官民境界ぎりぎりの構造物に対しては、掘進機の振動や泥水圧によって、構造物の変形・破損等が生じる可能性が高いため、管路上部及び側部に防護（地盤改良）が必要である。

2) 官民境界との離隔が1.0m以上

一般的には、1.0m以上の離隔が望ましい。但し、土質条件や土被りによって、防護（地盤改良）が必要な場合がある。

官民境界との離隔の基準値は、1.0m以上が望ましいが、現場状況に即した対策により、それ以下も可能である。

5.3 基礎杭（木杭）の切断

基礎杭は、主に軟弱な地盤における構造物の建設で、浅い基盤では構造物を支えることができない場合に、使用されている。支持方式により、支持杭と摩擦杭に分けられ、支持杭は先端を支持層に到達させ、先端に上向きに働く先端支持力によって荷重を支える。一方、摩擦杭は先端を支持層まで到達させず、杭の側面と地盤との間に働く周面摩擦力によって荷重を支える。したがって、基礎杭の役割は非常に重要である。しかし、新設管路の埋設によって、基礎杭の切断をともなう場合がある。そこで、基礎杭の切断方法と留意点について述べる。

まず基礎杭の出現位置について考える。

① 基礎杭の水平位置

② 基礎杭先端の鉛直位置

①は、掘進機カッタヘッドの右側、中心、左側の任意の位置に遭遇することを示す。カッタヘッドの右側及び左側の最外周に遭遇した場合、杭の切断が難しく、杭を避けて精度不良に陥る場合がある。

②は、掘進機カッタヘッドの上部、上部から中心、上部から下部までが遭遇することを示す。カッタヘッドの上部及び上部から中心までが遭遇した場合、杭の切断が難しく、杭を避けて精度不良に陥る場合や掘進不能に陥る場合がある。

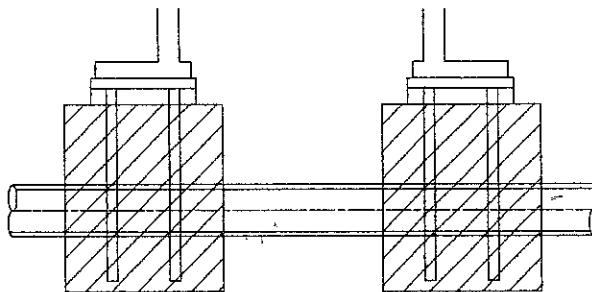


図-1 地盤改良方法

そこで、当協会では、基礎杭の固定及び切断後の基礎杭の補強のために、地盤改良（図-1）を推奨している。基礎杭の切断面に生じる荷重によって、管路の沈下及び蛇行、破損が懸念される。さらに、基礎杭の切断にともなって構造物の沈下や変形等も懸念されるため、地盤改良が有効である。地盤改良で基礎杭が固定されることにより、カッタヘッドに切削ビットを装備すれば、低速で切断が可能である。

5.4 まとめ

今回は、井戸の近接施工、官民境界との離隔、基礎杭の切断を取り上げたが、他にも近接施工は多く存在する。機会があれば、紹介したい。

§ 6 . ESS工法の概要

ECO SPEED SHIELD (ESS) 工法は発足以来、推進・シールド併用タイプ（特殊推進工法）とシールドタイプを展開してきたが、この度、K-1 推進工法の巨礫破碎型泥濃式推進工法及び既設構造物到達型泥濃式推進工法を当

協会で引き継ぐ運びとなり、新たに推進タイプが追加された。

6.1 巨礫破碎型泥濃式推進工法

従来の泥濃式の特長である礫を丸ごと排出する機能を生かし、前面ヘッドで取り込みができる巨礫を大割することで、巨礫地盤の推進を可能とした工法である。必要以上の破碎を行わないことで、掘削ビットの負担を軽減するとともに推進力低減システム（ESシステム）の採用により、巨礫地盤での超長距離推進施工を可能にした。特長は以下の通りである。写真-1に、カッタヘッドを示す。

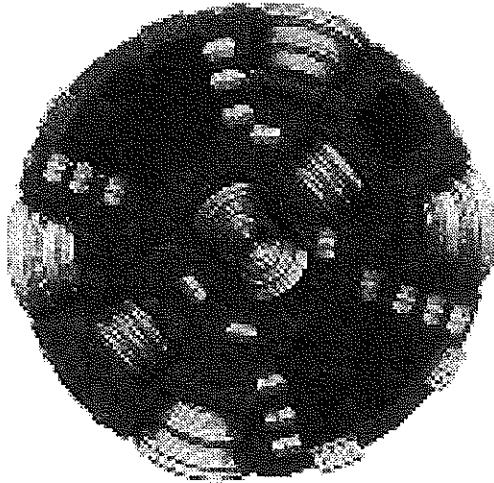
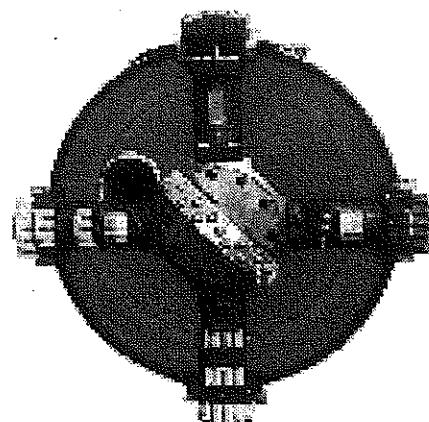


写真-1 巨礫破碎型

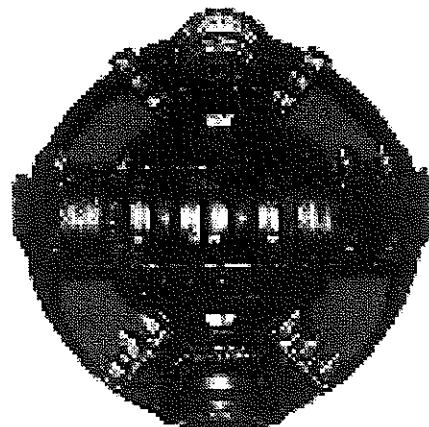
- ①大型ローラービットの適正配置により、巨礫・玉石層から軟岩層まで対応できる。
- ②土質に見合った面盤の選択が可能である。
- ③巨礫を大割して、大開口部から取込み、二次破碎なしで排土することにより、日進量の確保し、ビットの磨耗を軽減して、コストダウンを実現した。
- ④積極的なオーバーカットにより、急曲線施工が可能である。
- ⑤ESシステムの併用により、推進力の低減が図れるために、長距離推進（500m以上）が可能である。

6.2 既設構造物到達型泥濃式推進工法

従来の泥濃式推進工法の理論に基づいている。既設構造物到達型は、掘進機を直接既設構造物に到達させ、掘進機内の機器を取り外し、スキンプレートを既設構造物内で切断撤



標準



破碎

写真-2 既設構造物到達型掘進機
カッタヘッド

去する。写真-2に、カッタヘッドを示す。
①既設人孔到達、小型立坑等、到達立坑を選ばずに施工可能である。
②掘進機本体内径を充分に確保することにより、機能・作業性の充実。
③機器撤去を容易にし、低コスト化を実現。
④土質に応じて、標準タイプと破碎タイプの選択が可能である。
⑤ESシステムの併用により、推進力の低減が図れるために、長距離推進（500m以上）が可能である。

6.3 推進・シールド併用タイプとシールドタイプ

仕上り内径1,000mm～2,400mmを対象とした工法である。推進工法によって、管耐荷力の限界もしくは急曲線手前の任意の地点まで施工を行って、立坑を築造することなくシールド工法に切替え可能な『推進・シールド併用タイプ（特殊推進工法）』（図-2）と全区間

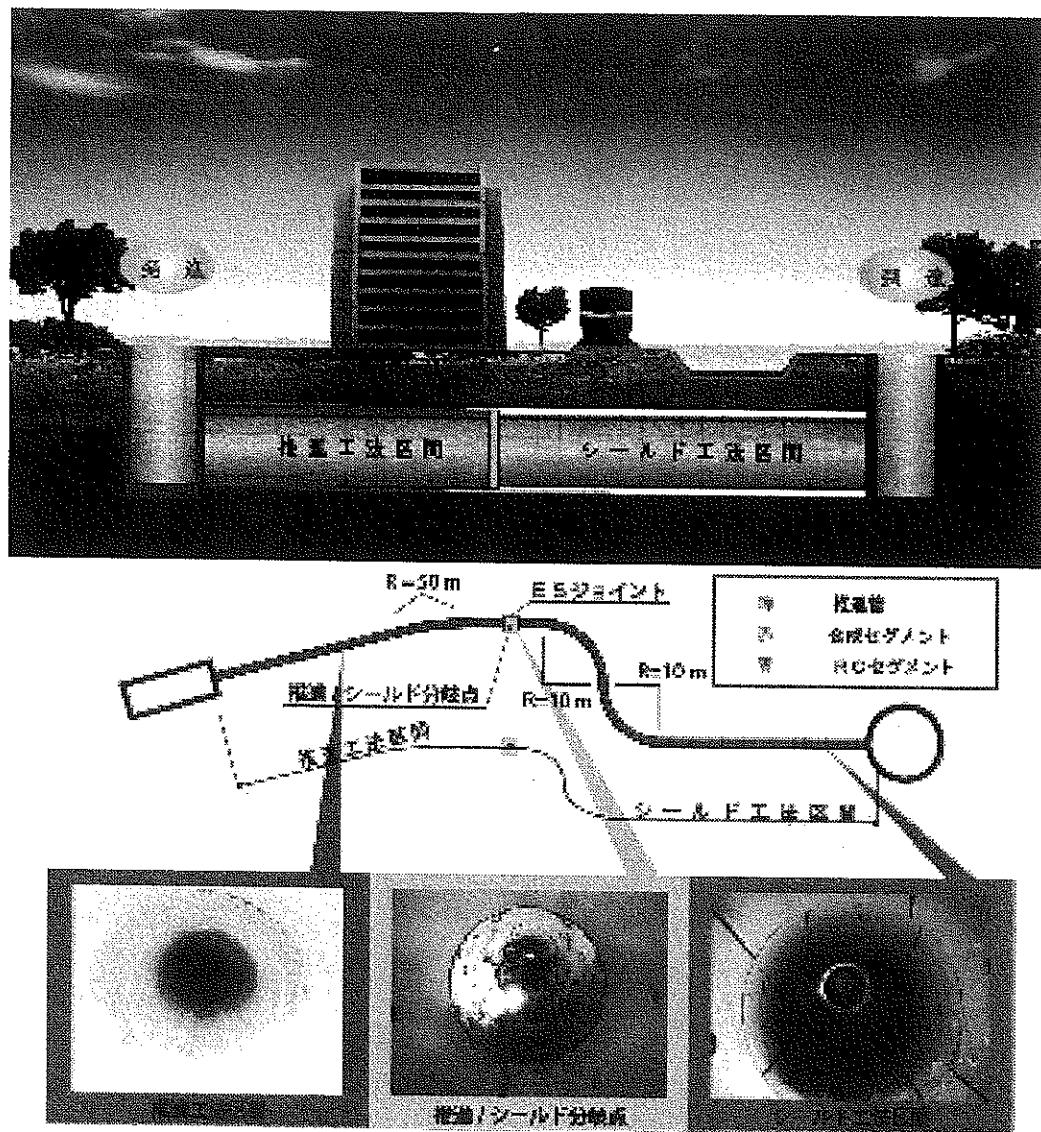


図-2 推進・シールド併用タイプ概要図

をシールド工法によって施工する『シールドタイプ（小口径シールド工法）』の2種類から、施工条件に応じて選択することが可能である。

§ 7. 広島県広島市の施工事例

K-1 推進工法の施工事例を紹介する。

7.1 工事の特徴

本工事は、太田川と根の谷川に挟まれた地域であり、過去の河川の氾濫による巨礫・玉石の堆積が予測される。発進立坑周辺のボーリングではシルト混り砂であるが、到達立坑付近では玉石混り砂礫である（図-5）。

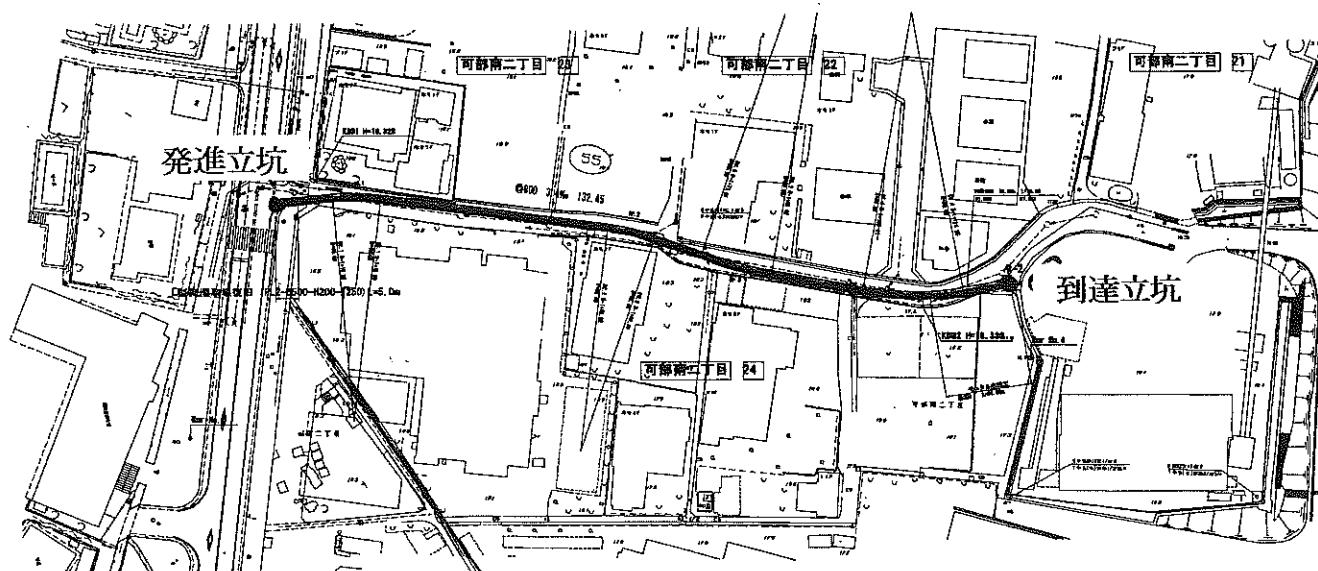
また、多曲線で曲線半径が小さく、無水層であることから難易度の高い施工であると予測された。

7.2 工事概要

- ・工事名：可部南地区下水道築造21-5号工事
- ・発注者：広島市安佐北区役所農林建設部下水道課
- ・施工者：三興建設株式会社
- ・工事場所：広島市安佐北区可部南二丁目地内
- ・工 法：巨礫破碎型泥濃式推進工法
- ・管 径： $\phi 800\text{ mm}$
- ・推進延長： $L = 127.40\text{ m}$ (1スパン)
- ・曲線半径： $R = 40\text{ m} \cdot 40\text{ m} \cdot 80\text{ m} \cdot 50\text{ m}$
- ・土 質：シルト混り砂～玉石混り砂礫
- ・N 値： $8 \sim 65$
- ・礫 率：最大 67.3%
- ・最大礫径： $600 \sim 1000\text{ mm}$
- ・土被り： $3.28\text{ m} \sim 2.97\text{ m}$



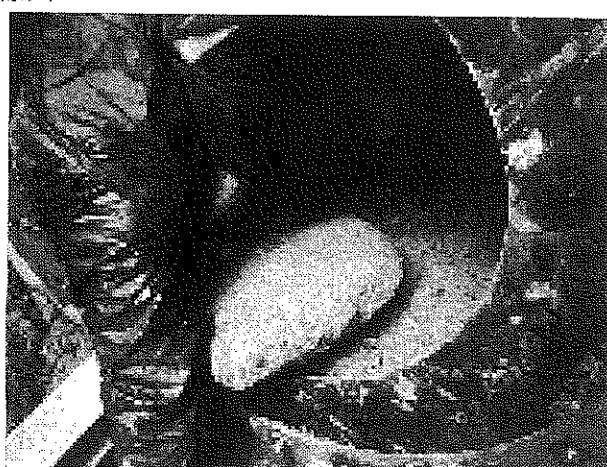
図一3 施工位置図



図一4 路線図

深度 m	柱 径 mm	土質 区分	N 値						孔内水位
			0	10	20	30	40	50	
0.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
1.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
2.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
3.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
4.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
5.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
6.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
7.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
8.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
9.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
10.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
11.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
12.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
13.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
14.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
15.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
16.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
17.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
18.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
19.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
20.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
21.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
22.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
23.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
24.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
25.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
26.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
27.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
28.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
29.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
30.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
31.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
32.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
33.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
34.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
35.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
36.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
37.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
38.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
39.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
40.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
41.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
42.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
43.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
44.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
45.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
46.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
47.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
48.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
49.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	
50.00	100	砂質土	100	100	100	100	100	100	

図一5 ボーリングデータ



写真一3 発進坑口鏡切り時の玉石状況

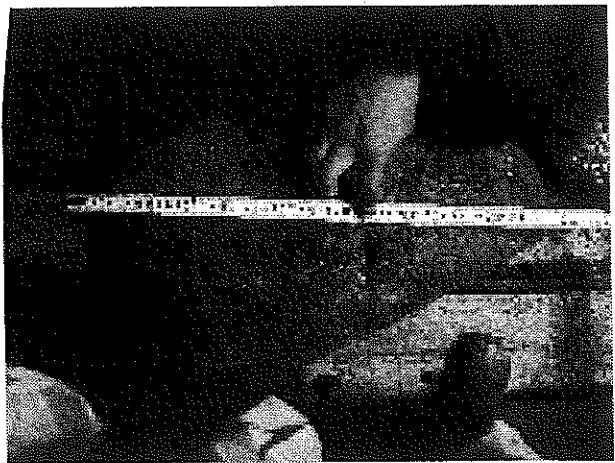


写真-4 玉石の大きさ

・地下水位：GL-4.95m～-4.03m（無水層）
高礫率の玉石層、曲線半径が小さい多曲線、無水層と施工条件が厳しく、課題の多い施工であった。図-3の施工位置図のように、2つの河川に挟まれた地域での施工のため、玉石の大きさ・強度が懸念された。

K-1推進工法の巨礫破碎型が設計採用されており、設計通りに施工を行った。

7.3 課題とその対策

本工事では、以下のような課題が挙げられた。

- ①対象土質への対応
- ②曲線半径が小さい多曲線施工への対応
- ③無水層への対応

本工事の対象土質は、シルト混り砂及び玉石混り砂礫で計画されていたが、発進立坑周辺のボーリングデータを使用しており、立坑掘削時、管路部は玉石混り砂礫であった。そのため、当初計画に比べて、推進力、使用材料の注入量等の増加が懸念された。

急曲線施工では、管端部における推進力の伝達方法が重大な課題である。推進力の伝達方法が不十分な場合、管に曲げモーメントが発生し、曲線内側に推進力の集中が生じ、管端部でのポイントタッチが発生する。あるいは、曲線外側に反力集中が生じ、クラック及び胴割れが発生する。また、本工事のように砂礫層では、巨礫・玉石によって、推進管外周の削れ、グラウト孔への詰み込み、座屈を起こす。このような現象が発生する可能性が多分にあった。さらに、無水層という難易度の高い地盤であった。

1) 対象土質への対策

6.1 巨礫破碎型泥濃式推進工法で述べたように、ビットの耐磨耗性の向上を図るために礫を大割りした状態で素早く機内に取り込むことをコンセプトとしている。

しかし過去には、大量に取り込まれた大割礫塊により、チャンバー内の攪拌が困難となって閉塞に至った事例や、大きな礫を人力にて搬送する場合に支障があった事例が見られた。そこで本工事では面盤開口部に若干の制限を加えることにした。しかし、開口制限の措置により、ビットの磨耗は激しくなることが予測されたが、本工事では推進延長が短いことから、実施することにした。

①開口部の制限

通常仕様では189mm程度の玉石の取り込みが可能であるが、制限を増設（図-6）することにより130mm程度の取り込みとした。取り込まれた玉石を写真-5に示す。

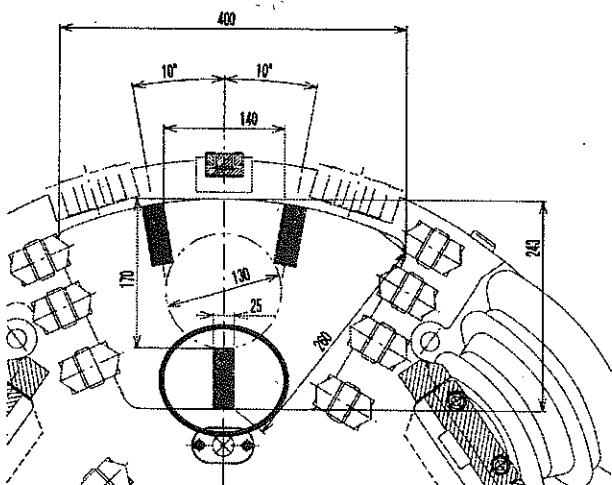


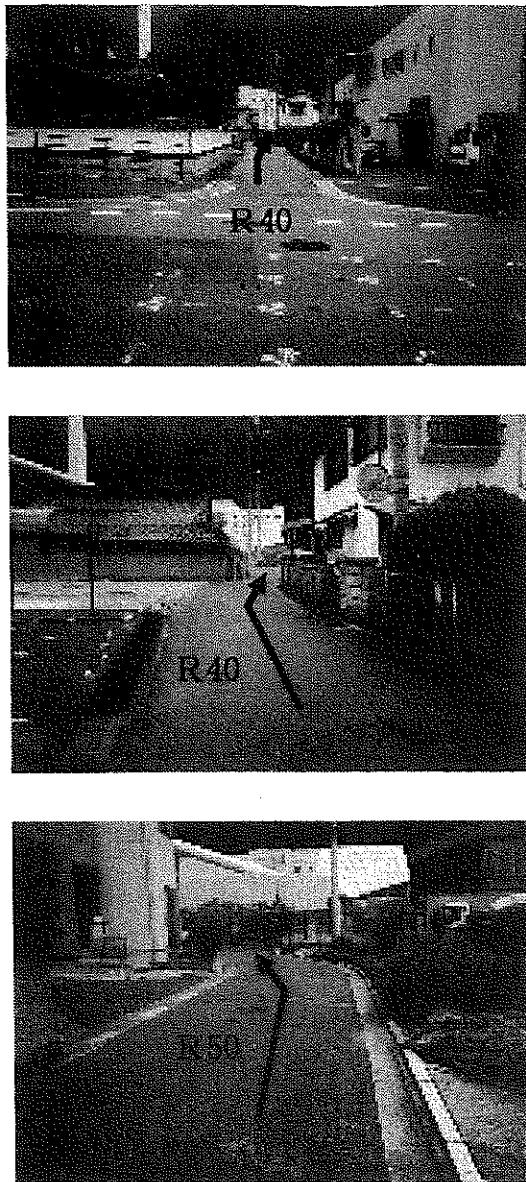
図-6 制限された開口部



写真-5 取り込まれた玉石

2) 曲線半径が小さい多曲線施工への対策

本工事では、R40・R40・R80・R50の多曲線施工（写真一6）であり、最小でR40の急曲線を含んでいた。



写真一6 施工路線

① 使用管種の検討

本工事では、発進直後にR40があることからBC点での推進力は1123.6kNと非常に高い。曲線施工では、使用管種の選定が最も重要である。

側方荷重に対する管の強度（曲線部の許容推進力）を算出してBC点（曲線の始点）での推進力と照査が必要である。曲線部の許容推進力とは管が地山側から受ける側方荷重（反力）の限界（許容）値を示す。すなわち管にそれ以上の地盤反力が作用すれば管の破損が生じる限界値である。

曲線部の許容推進力の算出方法は、旧式と新式の2種類がある。旧式と新式の大きな相違点は、側方荷重の分布長と管の許容等分布側圧の考え方である。側方荷重の分布長は、旧式では管長の1/4としており、新式では呼び径と管長の関係から算出している。次に、管の許容等分布側圧は、旧式では120°分布しているが新式では90°分布としている。

この結果、R40における曲線部の許容推進力は、1種管を使用した場合、旧式では671kNに対し、新式では1449kNとなり、その差は2倍以上となる。当工法は、礫・玉石層を対象土質とした場合、管にかかる負担を考慮し、旧式を採用している。

本工事の場合、BC点での推進力（1124kN）<2種管での曲線部の許容推進力（1260kN）となり、1種管と2種管を使用した。

表一1 旧式と新式の比較

	旧式	新式
側方荷重の分布長	管長の1/4	呼び径と管長より算出
管の許容等分布側圧	120°分布	90°分布
R40の許容推進力	671 k N	1449 k N

② 管端部における推進力伝達方法

曲線区間では、推進管が折れ線状となっているため、推進管は曲線の内側で接触する状態となり、内側が推進力の伝達経路となる。この部分は、接触面積が減少して応力が集中し、管が破損しやすい。この対策としては、特別な推進力伝達材を挿入する方法があり、推進力及び曲線半径に応じて用いる。推進力伝達材は、曲線区間及び曲線区間を通過する推進管の継手部に左右を空隙として上下に挿入し、推進力伝達材の塑性変形と弾性変形を利用し、推進力を上下に分散して、接触面積減少を抑制する。推進力伝達材は、ラワン合板、パーティクルボード、発泡プラスチック等があり、コンクリートの許容応力度以下で塑性変形するものが好ましいとされている。

また、材質及び発泡倍率等により圧縮性状が異なるため個々の圧縮性状を把握して適切に使用する必要がある。

推進力伝達材の面積は、直線で推進管端部面積の約1/2程度となり曲線ではそれ以下となるため、管の耐荷力の低下を考慮する必要がある。管の耐荷力が不足する場合、推進管端部面積を増すために、管長を短くして折れ角を小さくする方法、高強度の管種を使用する方法、上下と左右で発泡倍率の異なる推進力伝達材を使用する方法等が挙げられる。

本工事では、設計段階からFJリングが採用されており、設計通りに施工を行った。

表-2 クッション材の貼り方

位置	クッション材
到達～R 50	全周 パーティクルボード1枚 上下 FJ 2倍2枚
～R 40	全周 パーティクルボード1枚 上下 FJ 2倍2枚 左右 FJ 2倍1枚
～R 40	上下 FJ 2倍3枚 左右 FJ 2倍2枚
～発進	全周 パーティクルボード1枚

③拡幅余掘りの検討

余掘り量は、推進中に増減することができないため、施工計画時に曲線形と掘進機の寸法・形状を検討して、適正な余掘り量を設定する必要がある。しかし、当掘進機では基本オーバーカット量を50mmとしており、余掘り量は十分であると判断した。

④地盤補強の検討

曲線施工は、推進力の曲線外側方向への分力により管列が外側に張り出そうとする。これに対して、地盤に十分な強度（地盤反力）がない場合は、精度の維持が出来なくなる。

本工事では、発進直後に急曲線があるため、推進力が非常に高く、曲線外側方向への分力も大きい。しかし、対象土質から地盤反力が十分であると判断した。むしろ、礫・玉石による管側部への集中（ピンポイント）荷重が懸念された。

3) 無水層への対応

無水層では、テールボイドの保持が最も重要な課題である。

①テールボイドの保持

泥濃式では、一般的に高濃度泥水をテールボイドに圧送充満させてテールボイドの保持を行っているが、無水層では高濃度泥水の水分が地山及び推進管に吸収され、テールボイドの収縮を起こす。また、水分を吸収された高濃度泥水は、推進管の周りに吸着し、管外周面の粗度が上がり、管外周抵抗力の増加の原因となる。

K-1推進工法では、推進力低減システムの併用でこれらの問題に対応している。注入材は、粘度が高いため、逸散防止効果に優れている。また、注入材のそのほとんどが水分であることから常に補足注入を行うことでテールボイドの保持が行える。しかし、無水層ではボイド充填材の逸散箇所・量が予測不可能なため、テールボイドの必要な箇所に注入するのは難しい。そこで注入管のピッチ幅を狭めることができ有効なので、本工事では注入管を切羽から10m後方に設置し、それ以降は20mピッチで配置を行った。

表-3 推進力の結果

計画	
総推進力	1152kN
先端抵抗力	245kN
周面抵抗力	898kN
管外周抵抗力	2.29kN/m ²

実施	
最大推進力	882kN
①到達時推進力	882kN
②空押し推進力	784kN
①-②(先端抵抗力)	98kN
管外周抵抗力	2.00kN/m ²

7.4 経過と結果

多曲線が最大の課題となっていたが、施工精度は水平で左32mm～右13mm、垂直で15mm～-16mmと想定内の結果であった。平均日進量は4.0m/9hを記録した。

この施工精度より急曲線施工への対策が十分であったと評価している。

計画と土質条件が異なっており、推進力の上昇が懸念されたが、到達時推進力が計画よりもかなり低く、管の破損もなく、無事に施工

を完了することができた。したがって、事前の対策が正しかったと言える。

§ 8. 和歌山県和歌山市の施工事例

K-1 推進工法の施工事例を紹介する。

8.1 工事の特徴

和歌山市では、平成 17 年に「和歌山市合流式下水道緊急改善計画」を策定し、公共水域の水質改善を行うため、自然放流されている雨水吐き口において、貯留管設置工事を行っている。本工事は、その第一弾であり、引き続き整備する計画があることから、構造面、機能面及び施工面において、十分検討しておく必要があり、非常に重要な工事であった。

8.2 工事概要

- ・工事名：堀詰橋第1、本町合流式下水道改善工事
- ・発注者：和歌山市建設局下水道部南下水道建設課
- ・施工者：西村工業株式会社
- ・工事場所：和歌山市湊本町1丁目～十三番丁地内
- ・工 法：泥濃式推進工法
- ・管 径： $\phi 1350 \text{ mm}$
- ・推進延長： $L = 287.86 \text{ m}$ (1スパン)
- ・曲線半径： $R = 100 \text{ m} \cdot 120 \text{ m} \cdot 20 \text{ m}$
- ・土 質：礫混り砂
- ・N 値：23
- ・礫 率：33.8%
- ・最大礫径：19 mm
- ・土 被 り： $8.99 \text{ m} \sim 6.76 \text{ m}$
- ・地下水位：GL-3.30 m

K-1 推進工法が設計採用されており、設計時の考え方から施工までの報告を行う。

8.3 設計時の考え方

本工事に即した線形を決定し、図-7 の設計フローに基づいて、検討を行った。

本工事における総推進力は、R20 の影響を受け、非常に大きな数値を示した。そこで、推進力低減システムを採用することで、管種を下げ、さらに R20 部分の地盤改良が不要であることから、設計採用された。

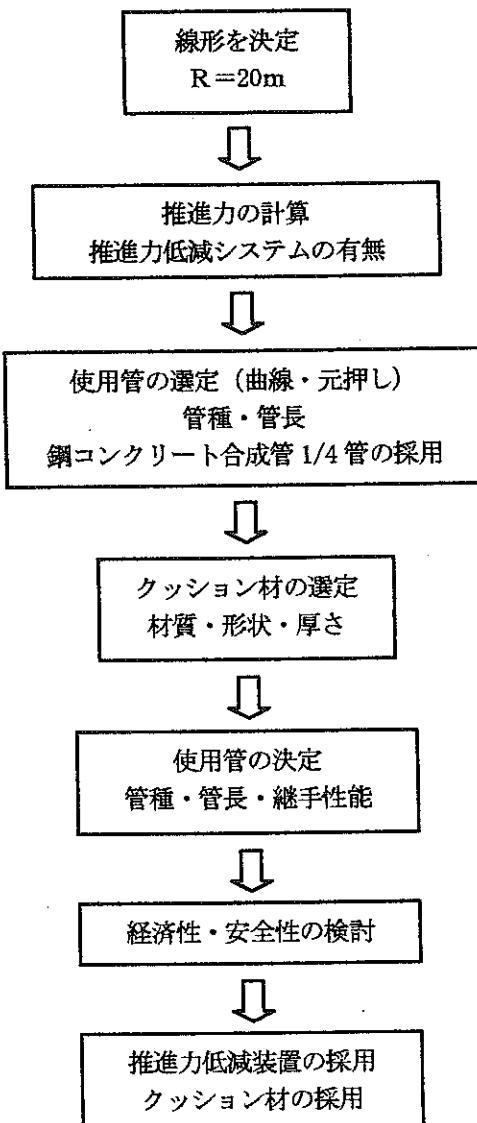


図-7 設計フロー図

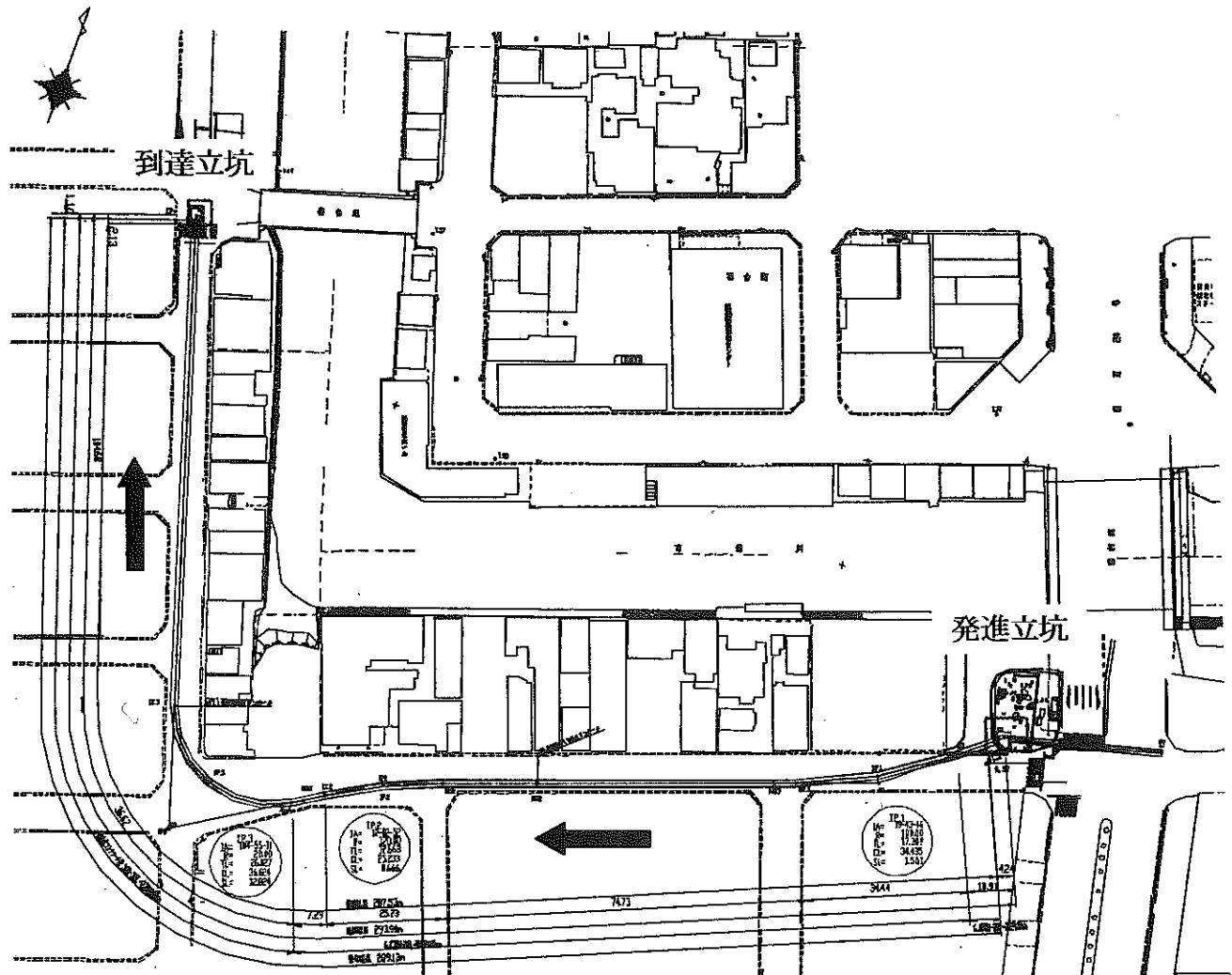
8.4 課題とその対策

本工事では、以下のような課題が挙げられた。

- ① R20 の対応
- ② R20 部の地盤反力
- ③ 発進直後の R100 の対応
- ④ 推進力低減方法
- ⑤ 可とう管と取り付け管の位置

本工事の対策を以下に示す。

- ① R15 対応の掘進機を使用した。
- ② 曲線部で追加ボーリングを行い、地盤反力を再検討したが、地盤改良は不要であった。
- ③ 発進直後の曲線には、推進力が大きく作用することから、クッション材の再選定を行い、設計数量より 105 組多く使用した。クッション材の貼り方を表-4 に示す。



図一8 路線図

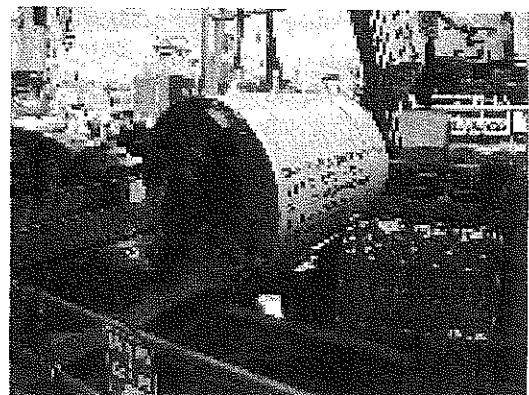
④本工事では、推進力低減システムにより、テルボイドを保持することで推進力の低減を図った。注入管の配置は、先頭を 10 m として、45 m ピッチで配置を行ったが、ピンポイントでの滑材注入を想定し、注入孔の位置を変更した。本工事では、 $L = 600 \text{ mm}$ の M AX 管が 3 本セット（写真一7）で搬入されることから、外側の 2 本は管吊り降しに

表一4

グラウト孔を利用するため、真ん中の管のグラウト孔位置をそれぞれ 45° 135° 225° 315° とする 4 タイプを組合せて、ピンポイントでの注入を可能とした。しかし、施工では滑材注入を行うことなく、裏込注入時に使用した。

⑤本工事では、可とう管が 4 箇所、取り付けが 1 箇所あるため、クッション材を考慮した管の配置が重要となった。想定通りの目

位 置	クッション材
到達～R 20	上下 FJ 2倍 3枚 左右 パーティクルボード 1枚 + FJ 2倍 1枚
～R 120	上下 FJ 2倍 2枚 左右 FJ 2倍 1枚
～R 100	上下 FJ 2倍 2枚 左右 FJ 2倍 1枚
～発進	全周 パーティクルボード 1枚



写真一7 掘進機搬入



写真一 8 注入管

地開口であったことから、調整がほとんど不要であった。

8.4 経過と結果

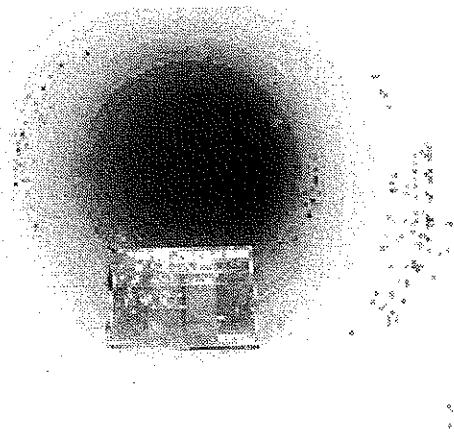
推進力は、低推移を維持し、R20 を通過以降に推進力が上昇したが、最終的には、計画推進力 = 2634kN に対して、実推進力 = 2254kN となり、約 85% となった。

施工精度は、水平で左 23 mm～右 26 mm、垂直で -25 mm～20 mm と想定内の結果であった。今回、推進力が計画の 85% であったにもかかわらず、管 285 本を推進し、20 cm 以内の伸びに収まったことは、驚くべきことであった。

最後に、本工事では、施工上の課題以外にも、直接的に日進量にかかわる測量や管目地の状況確認（施工管理）に費やされた時間が、ほとんど設計に反映されていないことが挙げられる。日進量の見直しが必要であると考えられる。

§ 9. 難工事への取り組み

広島市、和歌山市の施工事例を通じて、難易度の高い施工では、設計段階から十分な検討が必要であることを知って欲しい。コストの縮減と受注環境の悪化にともなって、設計段階での事前調査が不十分である場合が増加している。そのため、適切な情報が得られないまま設計が行われているのが現状である。また、施工に関しても同様で、元請業者のダンピング受注にともなって、適切な施工単価での受注は困難となっている。最近では、提案方式の発注が増え、コスト面は緩和されてきているが、技術面は競争力のある低コスト



写真一 9 管内状況

の技術提案に止まっている気がする。

当協会では、発注者並びに設計者に、検討案件の難易度を理解・判断して頂くために、様々な提案を行っている。特に、以下の事項については、重要である。

1) 管路の埋設位置

平面に関しては、できる限り曲線半径を大きくし、近接施工は避ける。

縦断に関しては、N 値が大きく異なる層や性質が大きく異なる層を跨がない方がよい。推進力、泥水材料、日進量の判断が難しく、施工も困難である。

2) スパン延長

立坑築造が可能であれば、500 m 以内が望ましい。超長距離施工では、排泥の吸引能力の低下、推進力の急激な上昇等のリスクがともなうため、推進力低減システムの採用及び昼夜連続作業が望ましい。さらに超長距離施工及び昼夜連続作業が困難な場合、当協会の推進・シールド併用タイプが望ましい。また、発進直後の超急曲線で不経済となる場合も、推進・シールド併用タイプが望ましい。

3) 管種の選定

土質に合わせて、適切な管種の選定が必要である。普通土と砂礫土では、安全性が異なる。継ぎ手性能は、クッション材を考慮し、選定を行う。推進管は、構造物として埋設されるため、コスト面だけではなく、安全性を考慮し、選定を行う。

4) クッショング材の選定

パーティクルボードでの施工の可否を含めて、適切なクッショング材の選定を行う。クッショング材のみで対応ができない場合、高強度の管種を使用する方法、管長を短くする方法が有効である。

5) 曲線部の地盤反力の検討

軟弱地盤では、計算結果と異なり、地盤反力が不足する場合がある。当協会では、N値が0～1の場合、呼び径の150倍以下の曲線については、地盤改良を推奨する。硬質地盤では、地盤改良が不要と考えられているが、推進力が大きい場合、要検討である。また、急曲線施工の場合、要検討である。

6) 日進量の算定

超長距離施工では、排泥の吸引能力の低下にともなって、日進量が極端に低下する場合があるため、長距離補正が必要である。多曲線施工では、和歌山市の施工事例で述べたように、測量及び管目地の状況確認に費やされる時間が大きいため、補正が必要である。

これらの項目を参考に、設計に反映して頂けることを熱望する。

§ 10. おわりに

本稿では、近接施工の定義、指針、考え方を述べたが、既設構造物が受ける影響は、既設構造物の構造特性、強度、用途等により異なる。また、既設構造物の種類や施設管理者によって、その許容変位量が異なるはずであるが、明示されていない。さらに、周辺地盤への影響やその範囲もほとんど明確になっていない。このような状況でも、設計においては、施工事例の有無だけで判断が行われている。推進工法における近接施工の指針の確立は、重要なことである。そのためには、トラブルを含めた様々な情報を持ち寄り、今後の

近接施工で積極的に調査を行い、発注者、設計者、施工者の協力により、施工のリスクに配慮した指針の確立を目指して欲しい。

難工事への取り組みでは、経済性の観点だけではなく、施工性・安全性の向上、優れた技術の導入を提案している。今回、設計者の観点から、推進工事の難題について解説したが、現在の建設業界の冷え込みの中で、戦っていくためには、技術力の向上及び新たな技術の開発が必須である。また、競争力の少ない分野で、特化した技術がなければ、生き残りは難しい。

今回の施工に關係頂いた発注者並びに施工関係者に、厚く御礼申し上げるとともに、今後ともなお一層のご指導を賜りますように、御願い申し上げます。

最後に、本稿の作成で資料の提供を頂きました関係各社に、心から感謝致します。

参考文献

1. 下水道推進工法の指針と解説（財）日本下水道協会
2. 推進工法用設計積算要領「泥濃式推進工法編」（社）日本下水道管渠推進技術協会発行
3. 推進工法用設計積算要領「推進工法応用編（長距離・曲線推進）」（社）日本下水道管渠推進技術協会発行
4. 曲線推進時における推進管軸方向耐荷力の検証（社）日本下水道管渠推進技術協会発行
5. 近接施工 社団法人 土質工学会発行
6. 地中送電線土木工事における構造物近接部設計・施工指針社団法人 日本トンネル技術協会発行
7. 近接施工技術総覧 近接施工技術総覧編集委員会発行
8. トンネル標準示方書 土木学会発行
9. ECO SPEED SHIELD 工法 設計積算資料（推進タイプ）

第35回「最新の推進工法施工技術」講習会

**今、直面する推進工事の課題
"解決への具体策を探る"**

平成22年10月1日発行
(10.10.01)

(有)日本プロジェクト・リサーチ

千葉県白井市堀込1-6-7-202 (〒270-1424)
TEL 047(491)9731 FAX 047(491)9627

○本書の内容の一部あるいは全部を無断で転載または複写複製することは、出版者の権利の侵害となりますので、必要な場合は予め当社の許可を求めて下さい。