

中大口径管推進工法・総論



1. はじめに

わが国の推進工法は、平成10年をピークに年度ごとの発注管渠延長は右肩下がりの状態となっている。推進部門に携わっている関係者にとっては、虚脱感に満ち溢れた、目標の定まらない日々を送られているのではないかと思う。推進工法の90%以上が下水道関係であることから、下水道工事そのものが消滅していくのではないのかといった感じを受けておられるのではないかと思う。しかし、推進工事は現在従事されている方がこの業務から退かれた将来もなくなることはない。

そのような、寂しい環境の中でも、難しい工事に挑戦してこの時代を乗り越えようと努力されている関係者が多いのも事実であり、これからの推進工事は従来

とは桁違いの難関工事を乗り越えた人達だけに光りが届くような予感もする。逆に従来の誰でも施工が可能というしがらみから脱却できなければこの世界では生き延びることができないだろう。推進技術協会としては日々努力されている関係者のために、そして、これから推進工法に従事しようとする方々のために、より正確な情報を伝達しなければと考えている。わが国では昭和20年代前半に産声をあげた推進工法が今ではどこまで成長したのか、また何が不足しているのか、中大口径管推進工法にテーマを絞って今後どうあるべきか触れてみたい。

2. 推進工法の現状

推進工法の分類は、以下のようにになっている。

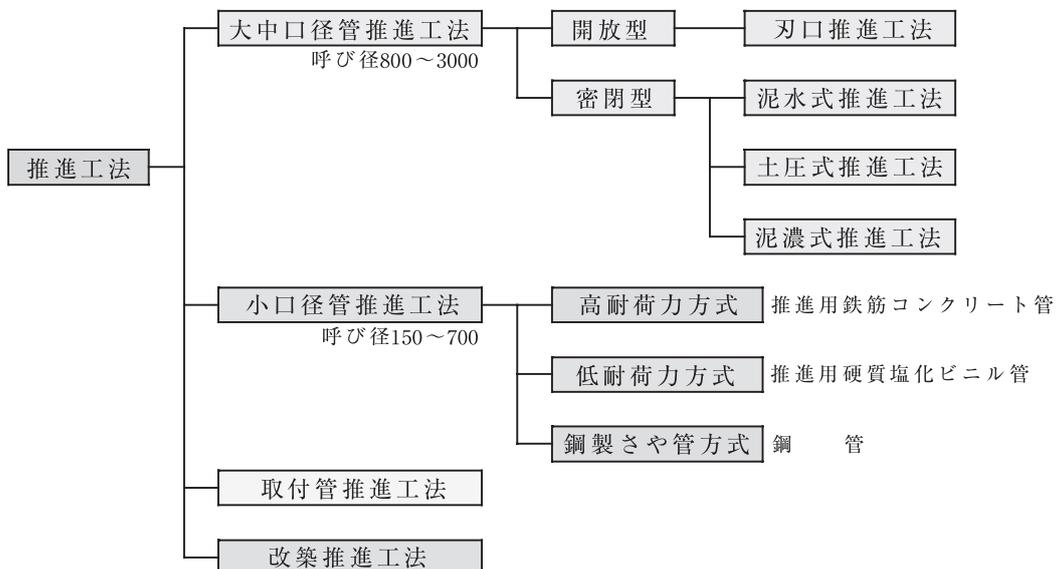


図-1 推進工法の分類

大口径管推進工法は、このように呼び径800～3000までを範囲としており、その内、密閉型としては泥水、土圧および泥濃方式に分類されている。昭和41年に泥水方式が、昭和54年に土圧方式そして昭和56年に泥濃方式が我が国で初めて採用され、現在もそれぞれの工法の持ち味を生かしながら実績を積み上げている。現在はさらに、既設管の老朽管を新管と置き換える改築推進工法や分割型推進管を用いた呼び径3000を超える超大口径管推進工法が採用実績を示し始めている。

2-1 最近の大口径管推進工法の特徴

現在、大口径管推進工法は、平成15年度の発注延長において、推進工法全体の22%程度となっている。その内、小口径管推進工法が80%近く占めている。大口径管推進工法の最近の特長としては、長距離や曲線施工それに礫・玉石地盤で、推進工法にとっては非常に難関な条件下での施工が特徴的だと言える。また、従来はシールド工法の領分であった呼び径3000を超える管渠を推進工法で行おうとする超大口径管推進工法の開発も行われており、昨年千葉市や横浜市で相次いで施工された。シールド工法を採用するまでには至らない距離の比較的短い管渠の敷設に向けた本工法の特長が生かされた好例であったと言える。

道路下に布設する下水管は道路線形に沿ったものとなるが、推進機の発進・到達用の立坑を構築する場所は制約を受け、必然的に長距離・曲線施工の需要が増すこととなる。現状では「推進延長が推進管呼び径の250倍を超えた場合、又は500mを超えた場合」を長距離推進としての定義としている。例えば呼び径1000では250mを超える場合は、長距離ということになる。現在までわが国では、1スパン1kmを超える推

進工事の実績がこれまで3件ある他、1スパン500m以上でも相当数の実績を有している。このような長距離推進やそれに伴う曲線施工を問題なくクリアできるためには、滑材や推進管の破損防止、精度管理に対する工夫を随所にほどこす必要がある。

2-2 長距離推進のための工夫

1kmを超える長距離推進が成功裏に終了している背景として、推進時の管理と精度管理をいずれも現場に応じて工夫しながら行っているのが挙げられる。推進工法は発進立坑において通常は1本2.43mの推進管を接続し、それを推進ジャッキによって推進機とともに押し出し、1本分を押し出した後に、伸びたジャッキを縮め、そこにまた新しい推進管を接続する。この作業を繰り返すことで、所定の区間に推進管を布設することができる。このように推進工法では推進完了まで、すべての推進管と推進管の先端にある掘進機が絶えず移動する形態となっている。このため、推進距離が長くなるほど地山と推進管との接触面が多くなり、その接触面が抵抗力となって必要推進力が増大することとなる。

1kmを超える工事では、長距離推進を可能にする要因としてこの推進抵抗を極力減らすための努力がなされている。滑材の充填方法や滑材を長期間安定して管と地山との空隙に保持させる方法が優れていたから1kmを超える距離が可能となったと言えよう。また、一般的に、推進精度は長距離になると測量誤差が累積して低下することが予想されるが、自動測量システムを有効に利用して短時間に管内測量を完了するよう工夫することで問題を解決している。長距離推進はこの推進抵抗や推進精度が大きな課題であるが、作業の安全管理についても疎かにできず、これらに対する配慮

表一1 1スパン1kmを超える長距離推進

	施工事例1	施工事例2	施工事例3
施工時期	平成11年6月～平成12年3月	平成15年5月～8月	平成16年7月～12月
用途	下水	下水	燃料パイプライン
呼び径	1100	1350	1000
推進延長(m)	1009.6	1010.05m	1265.03m
土被り(m)	3.4～4.3	11.2～12.6	17～24
土質	粘性土、砂質土N値2～4	砂～シルト混じり砂、N値8～29	砂および砂礫
工法	泥水式推進工法	泥水式推進工法	泥水式推進工法
推進力低減のための対応	推進管にシリコン系材料でマニユキア加工させることで、滑材中の水分を推進管が吸収することを防止し、滑材の本来の性状を維持して管の外周抵抗の増大を防止した。	掘進機の直後に配置した滑材注入装置から管外周に滑材をまんべんに注入すると同時に地山と滑材を攪拌混合して、地山をせん断抵抗の小さな土質に改良。100m間隔で推進管を多孔管とした中間注入装置を設置して、さらに管外周に滑材を注入。注入は推進速度と連動して自動的に行う。	推進管の外径に合わせて掘削径を変更できる掘進機と管径の異なる2種類の推進管および管外周の潤滑層を確実に保持するための滑材注入システムを用いることで長距離推進を可能としている。

が計画時点で十分なされていることが長距離推進では必須条件と言える。表-1に1スパン1kmを超えた施工事例を示すが、表-2では、現在長距離推進を行うために種々の工夫をしている各工法の概要を紹介する(月刊推進技術平成17年10月, 11月から)。

一昔前では想像できなかった長距離施工が現実なものとなっているが、実は、現在、大口径管推進工法で長距離推進が可能かどうかを図る物差しは存在しない。推進力の算定に用いられている式(大口径管推

進工法では泥水・土圧は修正式I, 泥濃方式では参考式I)では、1スパン1000mを超える長距離推進は中押しを組み込まなければ不可能という結果になる。この点では、各工法協会とも長距離推進においては独自の滑材注入システムを採用することで、推進力の算定も、前記の修正式Iや参考式Iを基本に、より現実的で長距離推進にふさわしい推進力算定式を提案している。

表-2 長距離推進のための滑材管理手法

工法名	概要
アルティミット滑材充填 ULISシステム	3種類の専用滑材と注入方式を用いることを特徴としている。滑材は二液混合滑材のアルティクレイ、高吸水性樹脂を主成分とした一液性アルティーK、アルティーKと同成分で粘性を抑えたS2Kを使用。アルティクレイは専用混合器を用いて攪拌混合してゲル化しても固化せず、長期間テールボイドに残る。アルティーKは目摘め効果、アルティーKは低粘性で細い配管から圧送ができるよう低粘性。
TRSシステム	本システムは、テールボイドの長期的な安定を図る目的で、本システムに装着された排土板を用いることで、緩んで置き換わったテールボイドを地山側に押し戻し、新しいテールボイドを再構築し、集中管理盤により排土板の出入量、推力、ジャッキ速度、管外周抵抗値、注入量・圧を表示できる。
MGSシステム	コマンド工法に用いる。滑材注入用推進管(MG)管とMG滑材を使用する。本システムは注入制御盤、坑内注入装置、MG剤流出防止装置、圧送装置、専用注入管で構成されている。MG管は50m間隔で設置する。
SMCシステム	従来の一次注入と再構築のための二次注入を特徴としている。50m間隔に設置した注入管から全方向に注入し、推力モニター管を用いることで、推力増大箇所や周面抵抗の解析を行うことができる。会社のパソコンのように遠隔地からの操作・閲覧が可能。専用滑材(AZ-1)は1液性で吸水性樹脂による緩衝効果に優れる。
DKIシステム	掘進機後部の全周方向滑材注入システムにより、可塑性滑材(DKI α 材)を推進速度に合わせて注入する。その後、推力検知システムによりリアルタイムで摩擦抵抗が増大した場合、液性滑材(DKI β)を注入。注入は地上の滑材注入コンローラで推進管の応力センサーなどの情報をもとに自動管理する。
管周混合システム	掘進機の直後に滑材を地山と混合させる機能を有する滑材注入装置を設け、推進速度と連動させて場所を変えながら注入する。滑材注入装置には固定式と回転式があり、地山と滑材を混合させる。
アングルモール工法	掘進機の滑材吐出口を下げることで、テールボイドに滑材を均等に充填できる構造となっている。特殊な滑材は使用しない。掘進機は通常のアングルモール工法よりも片側10mm程度テールボイドを大きくするよう掘削できるビットを装備している。
コスミック工法	泥水、または泥濃方式において摩擦低減装置を用いて摩擦力を低減する方法。掘進機の後方に設置した複数のビットを装備したローラチェーンチェーンを回転させることにより、溝内の注入口から注入された滑材を土砂と混合して、混合層を造成して摩擦力を低減する。
GIMSYS	テールボイドの確保と滑材効果を持続させるため、高粘性ゲル型滑材と液状滑材の2種類の滑材を使用して地山への流出を図る。2液滑材被膜形成装置を掘進機の後方に設置して注入する。
A.G.Aシステム	超高压ジェットノズルから超高压水を噴射しながら切羽に出現した障害物を破碎しながら推進するSJM工法において、特殊で残存率の高いNT滑材と専用の注入管を推進管の途中に100~150m間隔で設置し、推進管の摩擦抵抗を検知する軸力検知装置により、滑材の注入量を自動的に制御させる。
スーパーエル工法	掘進機の後方に接続した制御管から固結型の滑材を一次注入し、その後制御管に接続した推進管から液状型の二次滑材を注入する。この工法は二層滑材推進工法と呼ばれ、固結型の注入により二次滑材の地山への流出を防止することで推進抵抗を減少させることができる。
FRDシステム	泥濃式推進工法である超泥水加圧推進工法において、注入孔ごとに注入量と注入圧を設定して自動注入する。滑材が切羽部に流出することを防止するため滑材流出防止装置を装置している。
T.B.Kシステム	テールボイドの圧力を測定しながら、その状態を確認し、専用滑材(T.B)を充填する。推進管の全方向に同圧で同時に注入できるよう、専用管と集中管理のT.B.K装置を用いてテールボイドの圧力を保持する。
NUCSシステム	DS(ダブルショット)方式でテールボイド全体を不透水性の滑材層で充填する。
LVSシステム	泥濃式推進工法で、掘進機後方からテールボイド全周に可塑性滑材を注入する。注入は低圧ポンプで専用の注入管から行う。可塑性均一混合システムとの併用により外周面の地山の緩み防止やテールボイドの固化および劣化を防止。
UNLGシステム	二次滑材の注入を多方向から注入できる注入管を用いて行う。管内に圧力センサーを設置して自動注入する。管理圧を状況に応じて設定する。滑材注入管はWジョイント管を用いる

2-3 曲線推進

曲線推進については、「立坑から次々に管を押し出した管がなぜ道路線形と同じようにカーブできるのか理解できない」という人がいる。以下に、簡単に曲線の施工方法を述べる。曲線施工では、先端の推進機に取り付けられた方向制御ジャッキを用いて、掘進方向を変更する。切羽に向かって推進機を右に向けたいとき左側のジャッキを伸ばし、左に向けるときは右側のジャッキを伸ばす。推進管の継手部の構造は、図-2のように差込方式となっていることから、曲線推進時には周辺地盤の反力にフレキシブルに反応して、管体の応力集中を防ぐことができる。また、隣接する管体が方向性である程度拘束力を及ぼしながら、管体間で推力伝達が行えるようになっている。後続の推進管は地盤からの反力を受けながら推進機の軌跡を追従することになる。曲線部では、この継手部の目地については外側が内側よりより広く開口する。この開口差は、まず推進機と先頭管の間から生じて、地盤反力の影響を受け、また、カラーに拘束されながら順次後続する推進管へと伝達される。開口差は、呼び径と管長および曲線半径によって異なるが、BC点に推進機が到達した時点から、推進機の方角変化に伴い、徐々に開口差を拡大していき、最終的にはその曲率にあった開口差を維持することで、所定の曲線施工が可能となる。写真-1のようにS字曲線でも推進は可能になるわけである。

推進管は曲線部を通過する際に、曲線半径が小さいほど、地盤から大きな反力を受けることになる。この反力の大きさから逆に許容推進力を決めて、それ以下の推力となるように管理している。ただし、現実的には曲線部では隣接する管は互いに端部で接触している（現実的には管と管の接触ではなく、クッション材を

介しての接触)。クッション材の材質や接触長さ、推進管の許容耐荷力など、明確になっていないことも多く、未だにこれからの許容推進力は提案されていない

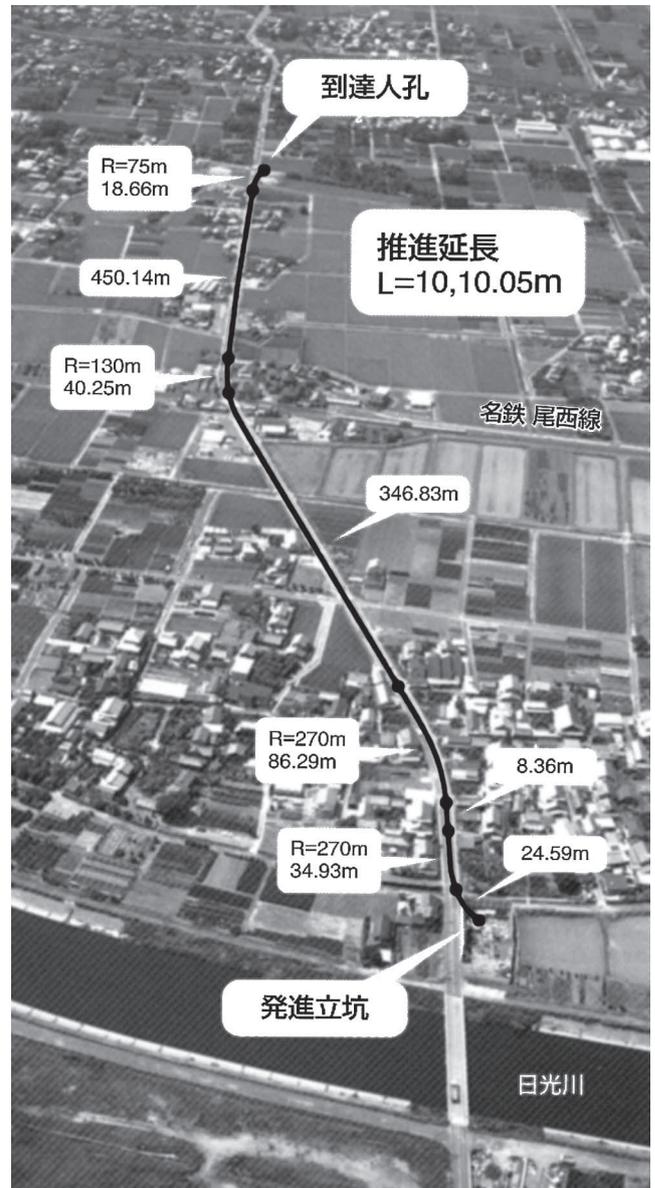


写真-1 1スパン1kmを超える推進と曲線線形

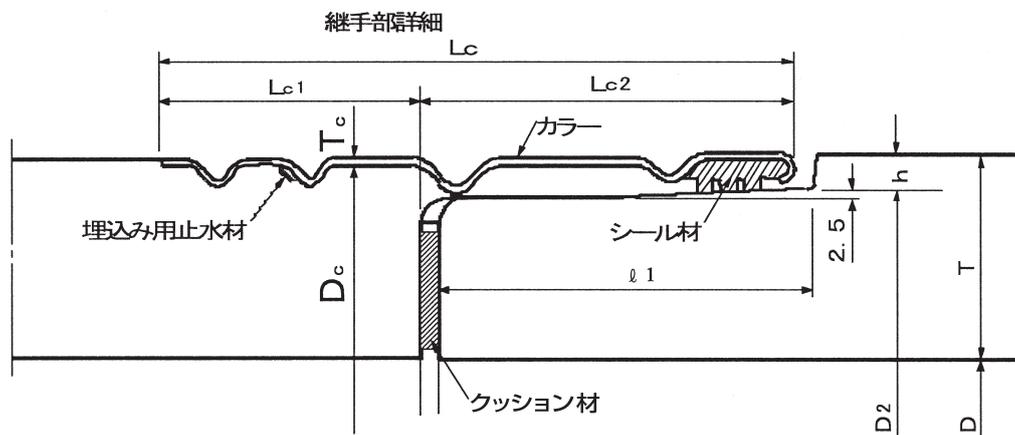


図-2 推進管継手構造 (JSWAS A-2) NS推進管

のが実情である。

この曲線推進の施工に際しては、各施工会社では、独自の施工管理で曲線部において推進管の破損を防止する手だてを工夫している。クッション材を推進管と推進管と推進管の上下に挟む他、円周方向の位置に厚さの異なるクッション材を貼付けることで、管端部の応力集中を防止することが可能となる（図-3、4）。

薄いクッション材よりも厚いクッション材の方がより管端部の防護に有利になる。現状では、クッション材の重要性は管材メーカーや施工者は理解できても、設計者の理解が得られていないのが実情であろう。いまだに通常の緩衝材のままで曲線推進が可能と考えている設計者がいる。本協会ではこの重要性を今後執拗に訴えたいと考えている。現在では呼び径1800でもR=15mという急曲線が施工されている。この場合、管の推進方向耐荷力の大きい合成鋼管を用いることになる。この合成鋼管は大深度での耐水性能も優れている。

2-4 開口長の制約

推進管の継手部は、止水ゴムによって外部からの土砂や地下水の流入を防止できる構造となっているが、管外側部目開き量S1は下記に示す式からも曲線半径が小さいほど大きくなる。目開き量が大きくなると止水ゴムの効果がなくなるので、現在では継手性能規定により抜き長として制約がある。下記の式ではS4を差し引いたものが抜き長であるが、大口径

管A2規格では曲線用として用いられる推進管JBで40mm、JCで60mmとなっている。小口径管A6規格ではSJBが20mmとなっている。曲線半径と推進管長および管径から開口差S1は定まる。

$$S_1 = \frac{L \cdot D}{R - D} + S_4 \quad \text{の式で求めることができる。}$$

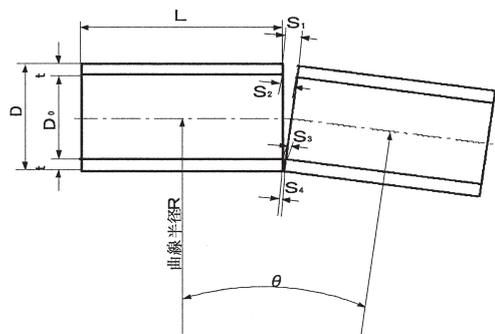


図-5 曲線時目開き量

3. 超大口径管推進工法について

推進工法はシールド工法と異なり、1本2.43mの推進管を立坑で接続しながら地山に押し込んで行く工法である。使用する管の寸法は運搬に適した高さ（道路交通法では一般的には道路面からの高さ3.8m以下）に納まるよう規定している。従って現在の推進管は標準的には呼び径3000が最も大きいサイズとなっている

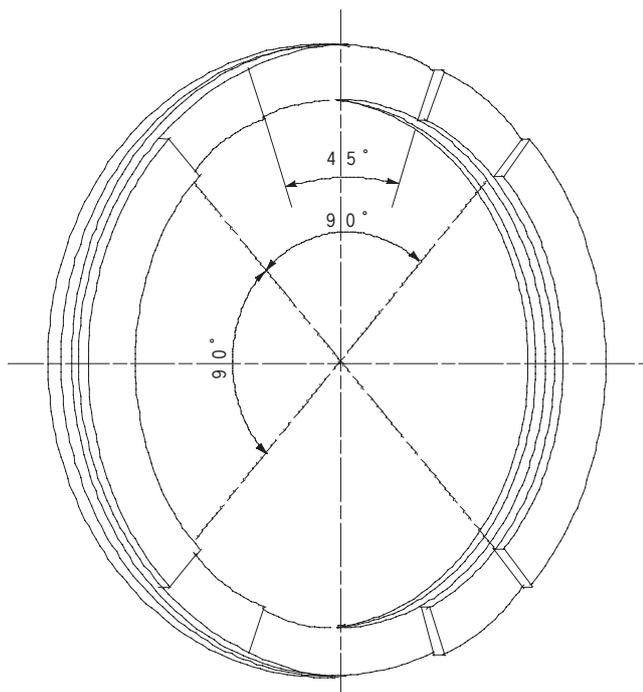


図-3 SR推進管クッション材

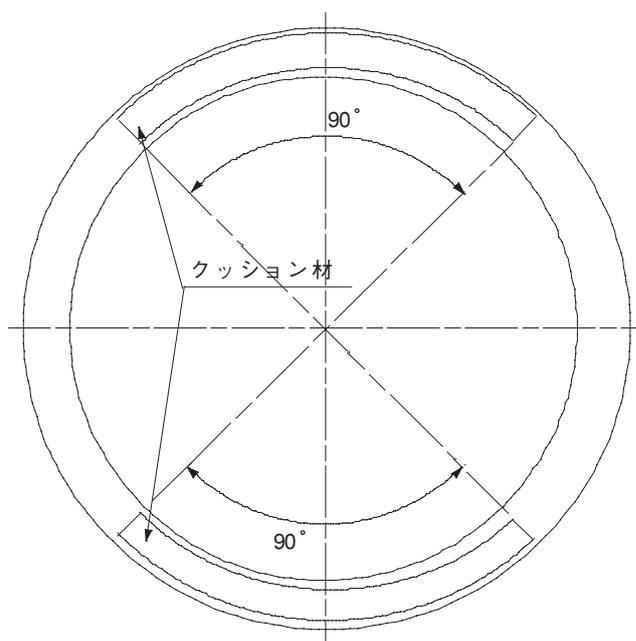


図-4 センブラリング90°の例

る。これ以上大きい推進管は、運搬時は分割されたものでなければならない。特殊車両の通行許可が必要となる。

平成16年6月、当推進協会に超大口径管推進工法研究会が設立され、東京、大阪、横浜、名古屋の各地方自治体、コンサルタント、現在主体となって開発してきた分割型超大口径管推進工法であるRCとPCのそれぞれの管材メーカ、施工会社によって、工法の標準化をめざした検討を進めている。本年末までに「超大口径管推進工法の指針と解説」が提示される予定となっている。本工法は、当面、掘進機を回収できるメリットを生かしながら、数100m程度の短い距離での推進を行うことが第1の目標であろう。また、超大口径の推進管の場合、従来の設計手法にとられることなく、より現実的な対応で取り組む必要があるとともに、いかに施工のサイクルタイムを短縮できるかが今後の課題として取り組まなければならないところである。平成17年の夏季に横浜市と千葉市においていずれも雨水幹線で、この超大口径管推進工法による施工実績があった。それぞれの工事概要を下記に示す。いずれも特に問題なく、施工を完了している。

4. 改築推進工法

下水道の普及率が68%を超えるわが国の下水道事業において、今後間違いなく取り組まなければならないのが、管渠の老朽化への対応である。老朽化した管

路には、内面の更正だけで良い場合と本来の機能を満たすことができず、敷設替を余儀なくされているものがある。改築推進工法はこの敷設替を推進工法で行うものである。敷設替工法としては改築推進工法の他に開削工法があるが、輻輳した現代社会の道路事情は管渠が数十年前に敷設された当時とは大きく様変わりしている。開削工法で敷設替ができる場所はより少なくなっているのではないと思われる。現在、下水道管渠を対象とした改築推進工法は図-6のように分類することができる。従来の推進工法をベースに改築仕様に開発されたものが主流を占めているが、要求される管路の状態にすべて対応できる工法は残念ながら今のところない。改築推進の難しさは何もないところに管を敷設する従来の推進工法と異なり、障害物を除去しながら推進するところにある。当協会では現在、「改築推進工法の手引き」を作成して紹介しているが、本年はさらに最近開発された改築推進工法を含めて、分類方法を再編成しながら秋期の技術講習会で提案したいと考えている。

5. まとめ

以上、推進工法の現状について記述したが、紙面の都合上、一部の工法については説明を省略しなければならなくなった。特に、最近の工事例では難関工事として砂礫・玉石地盤での施工があげられる。このような地盤では一日当たりの掘進速度はカッタビットの切

表-3 超大口径管推進工法の工事例

	用途	呼び径	推進距離	推進管	推進方式	土被り (m)	土質
横浜市	雨水幹線	3500	194.5m	RC	泥土圧方式	3	砂礫
千葉市	雨水幹線	3500	187.6m	PC	泥土圧方式	1.9~11.7	粘性土・埋め土



写真-2 呼び径3500超大口径管分割型RC推進管



写真-3 呼び径3500超大口径管分割型PC推進管

削能力によるところが大きいですが、カッタービットは時間の経過と共に摩耗は避けられず、現状ではビットの交



写真-4 推進工法による管渠の改築（環状切削推進工法）

換時期の判断は非常に難しいと言えよう。

現在の推進は、苦い経験と奥深い専門的な技術開発があったからこそここまで発展してきた。密閉型の掘進機では地山の状況を目視することなく、各種センサーがその情報をトンネル外部の操作員に知らせてくれる。ただ、自動化が進んでいるとは言え、施工規模が小さい故にシールド工法のように管理のために多額の設備費をかけられないという事情がある。現実にはまだ相当解決すべき課題を抱えた状態であると考えた方がよい。現状では、依然として現場技術者の判断力が工事の良否を左右している例が多い。

推進工法ではそこが今後のキーポイントではないかと考える。

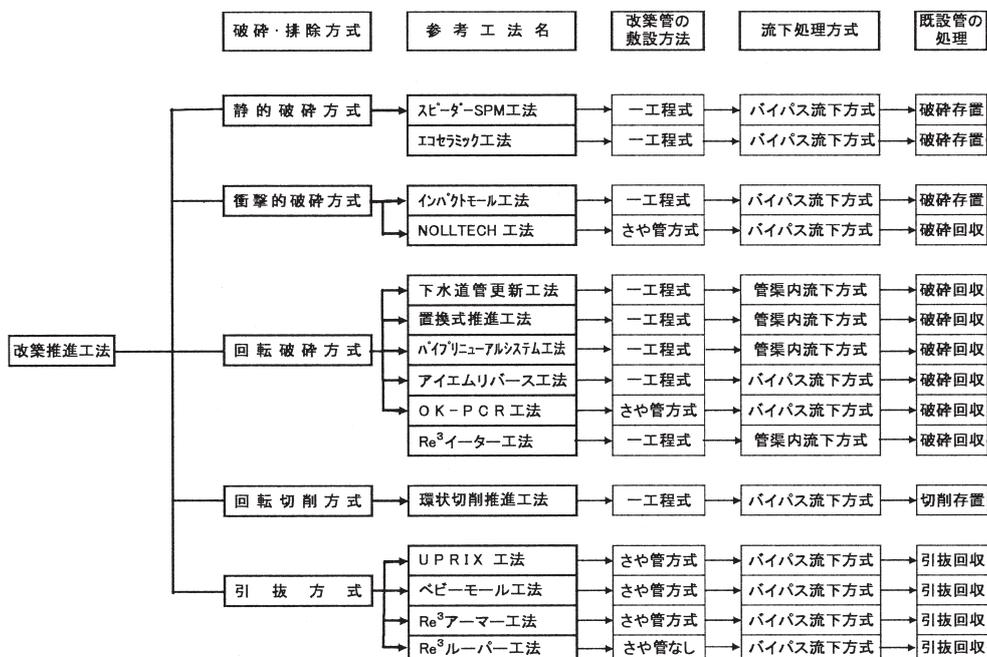


図-6 改築推進工法の種類