

特集／曲線推進工法 PART-1

■ 総論

曲線推進工法の現状と課題

木村 宏一

機動建設工業(株)
会長



はじめに

今回、曲線推進工法の特集が企画されたが、曲線推進工法を一般的に論じたり、計画的に設計して施工することが試みられるようになったのは、推進工法の歴史から見れば、比較的最近の事である。

しかし、筆者の知る限りにおいて、最初に曲線推進工事が計画的に施工されてから、すでに20年以上を経過し、多少未完な点はあるにしても、理論的な考察が幾何学的曲線管路形成に関する問題にとどまらず、力学的な考察特に内応力と推力伝播に関する考察も少なくとも定性的には、かなりの程度行われている。ここで重要なことは、計算式を取り扱う上でやむを得ないことであるが、推進管体周囲の媒質すなわち土砂を均質等方性のものと仮定せざるを得ないことや計算を簡単にするための仮定が設けられた考察が大部分であるので、現場での挙動と理論的考察との関係を更に明確にするために、現状ではまだ不十分と考えられる施工法的研究を進め、状況の更に仔細な観察検討を行い、一日も早く完成された工法として確立されることが望ましい。とは言いながら、かなり深い理論的考察が進められており、一方相当数の曲線

推進工事が設計計画され、成功している事例も次第に増加しているので、完全な実用工法としての地位を確立するのも、そう遠い将来ではないと確信している。

そこで今回の企画に対して、曲線推進工法というものが、推進工法の発展過程でどのように行われて、又進歩して来たかを私なりに概説し、現段階での問題として解決すべき事項を指摘し、若干の検討を試みることにする。ただし、過去の事例に対する認識不足や誤りも必ずしもない訳ではなく、又曲線推進に対する考え方について異論もあろうかと考えるので、これらの点については容赦願いたく、あるいは新たな別な考え方について指摘し論説されんことを願うものである。

1. わが国最初の曲線推進工事

推進工法は、発進立坑内から油圧ジャッキを用いて、管渠内の土砂を掘削搬出しながら管体を推進埋設する工法であるが、計画線上をまっすぐに推進することは大変困難なことで、必ずと言ってよい程、上下方向も左右方向も計画線から逸脱する。これを本来の計画線に戻す努力が当初から行われてきたが、この技術は方向修正技術と言って大変むづかしい経験を伴う技術であり、幾つかの

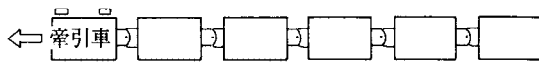


図-1 トレーラーの前進運転

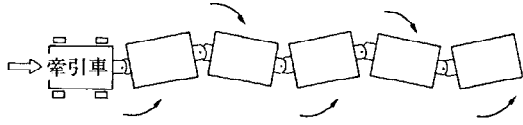


図-2 トレーラーの後退運転

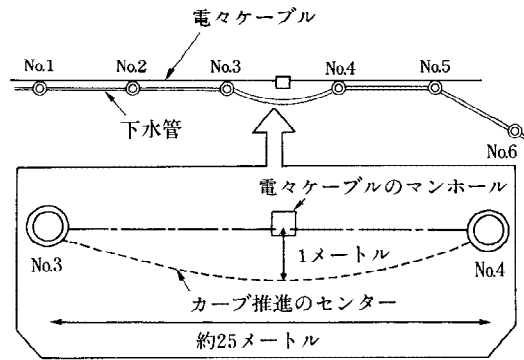


図-3

試みや実務結果がある程度成功して、方向修正が比較的容易に行える仕組みや、優秀な技術者、技能者集団のできたのは、昭和40年前後のことである。

それでも、現在に至るまで、すべての施工条件に対して完全と言い切れないことは、我々の常に経験するところであるが、これは今後の問題として後述するように、本来推進工法の宿命として、非常に長い多数の管体を自由支承で接続しただけの管列を、後方から推進して押し進めるという工法であることから、いわば管列推進の駆動部が後方にある、先頭に駆動部を有するような牽引式でないということに起因している。すなわち、トレーラーの前進運転と、後退運転の関係のようなもので、更に長い長い何台も連結したトレーラーの後退運転を想定すれば、容易に想像できる。尤も、推進工法では管体の接続がトレーラーのように、ピン連結ではなくて面接続であることや、地中を推進するので管体周辺の土圧拘束力もある程度期待できる等の若干めづまれた条件は存在するが、基本的にはかなり困難な問題であることは間違いない。しかし、このことが方向修正技術からひいては曲線推進工法に役立つ数多くの創意工夫を産み出したことも、又事実である。

このように、当初は如何にして一直線に推進するかが問題であったが、ある程度方向修正が自由にできるようになると、曲がるものが直せるのなら曲げることも、それでも計画的に曲げることもできる筈だと言う考えも出てきてはいた。しかし、当時は如何にしてまっすぐに推進するかに腐心し

ていたので、理屈はともかく推進工法は直線であるべきだと言う考え方が根強く、安易に曲線推進を考える情勢ではなかったように思う。それでも次第に技術的發展をとげる推進工法は、何れは部分的であっても曲線推進が要請されると考えられていた。

ところが、以外に早く何とか曲げて推進する曲線推進ができないかという要請がでてきて、これが計画的に施工された曲線推進の第1号工事となった。この工事は、昭和40年度の熊本市内水前寺公園前の縦断工事で工事名は「V号幹線下水道築造工事」(現在この路線が水前寺1号幹線になっている)と言い、内径1,200mmのヒューム管5スパンの全延長221.25mの推進工事であった。土被は1.5~2.0mと比較的浅く、上部にNTTの電話地中線がありその下方に下水道管を推進埋設するものであるが、図-3のように、No.3立坑とNo.4立坑の間に電話地中線のマンホールがあり、このマンホールの底部が下水道管の上部より深く。どうしても突き当たる恰好になっていた。一方下水道管路も前後の関係から、これ以上深くすることはできないので、このNo.3立坑とNo.4立坑の間だけ電話の地中線マンホールを避ける形でカーブさせることになった。そしてヒューム管の継輪の羽根(当時の継輪は全くフランジ型ではなくて、外継輪に今のフランジを5~10枚の羽根板として継輪の前後への滑り止めとしていた)の左右の厚さを変えることによって、折れ線の曲線路を作る方式の推進工事が施工され、ほぼ計画どおり成功した。この時の曲線の半径は約79mであり、継

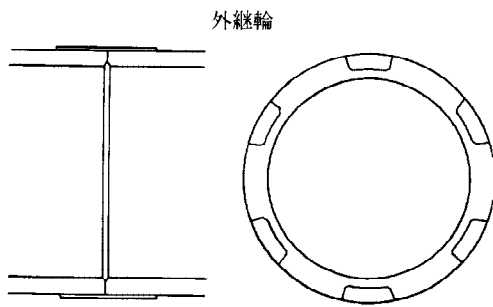


図-4

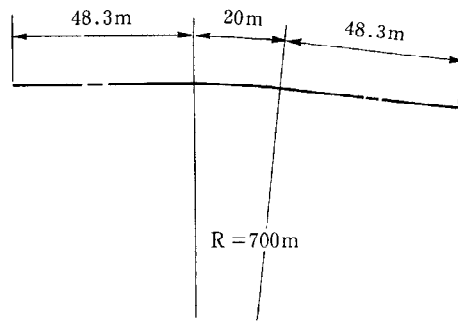


図-5

輪の羽根板の左右の厚さの差を約36mm とすることによって、計画方向右側に向かって発進し、継輪の羽根板の左右の厚さの差による折れ線のカーブセットがなされて、次第に管路は左方向に向きを変え、約25m 推進したところで No. 4 立坑に戻って完成している。

このことは、曲線推進工法の最も基本である折れ線のカーブセット、すなわち管と管との接続部の左右に、幾何学的に計算された厚さの異なる挿入物を入れることによって、近似円弧の曲線管列を造れば、曲線推進は可能であるということを立証したものとして、注目すべき工事であった。しかしながらこの工事は、立坑間を円弧のみでつなぐ曲線推進工事であり、昨今計画され施工されている直線推進から曲線推進へ、そして再び直線へと言った種類の曲線推進工事ではないので、当然ながら成功率も高かった事が考えられる。この頃より発注者からの曲線推進に関してのその可能性を具体的な工事現場について打診される事が次第に増加し、具体的な記録はないが、筆者の記憶では数件の曲線推進について、軽度のものの実施や検討書提出があったものの、現在我々が保有している資料によれば、直線から曲線そして再び直線という現在の形の曲線推進工事は、昭和43年に施工されている。その工事は、昭和43年度三鷹市下水道築造工事第1工区(その1)工事で、管径1,800mm、総延長116.6mの推進工事であった。この工事は図-5にそのカーブ形状を示すとおり、発進して48.3mの直線推進そしてカーブ延長20

m、曲線半径700mの曲線推進の後、再び48.3mの直線推進が行われた。以来今日まで筆者の会社で施工したものだけで150件を超える曲線推進工事が実施されているので、全国的には相当な数にのぼる曲線推進工事が既に施工されていることは、明らかである。

さて、筆者が現在保有する資料によれば以上の経緯になるが、これは筆者の知り得ることにしか過ぎないので、曲線推進について更に別の事実を承知されている各位には、是非それをお知らせ願いたく、以下の稿についても同じく願う次第である。

2. 曲線推進工法に関する文献

曲線推進工法に関する理論的考察に関する文献や、施工報告に関する文献は最近次第に数多くなってきたが、筆者の見解で特に興味あるものの幾つかと、その内容の傾向を説明する。

一般に、古くは理論的な考察が多く、最近では施工法と施工報告に関するものの比重が次第に増加しているので曲線推進工法も次第に本物になりつつあることが伺える。

さて、いわゆるメモ類を除き最初に発注者向けに「中押リモートコントロール装置を使用したヒューム管のカーブ推進について」という説明書が昭和47年に公にされている。内容は、管の配列に関する幾何学的考察と曲線推進に要する拡幅切削の問題および曲線推進抵抗と推力伝達に関する事項が論ぜられているが、推進管に作用する曲線推進なるが故の内応力の問題は論じられていない。

しかしながら、内容的には、現在数多く見る曲線推進理論の基礎をなすものと考えられるが、これは現機動建設工業株式会社相談役の林裕貴氏の筆になるもので、林氏は曲線推進の可能性と、その考え方について最も古くから取り組んでいた一人である。

さて、曲線推進の理論的な解説をとりまとめた書に南野建設株式会社専務取締役南野輝久氏の筆になる「カーブ推進工法の設計と施工」が昭和59年9月に発刊されている。曲線推進だけを専門的にとりあげた専門書としては珍しいものであり、先に述べたように計算を簡便するための仮定は勿論設定されているが、曲線推進の一つの施工法である四点で各管渠に推力を賦与し、左右の開口差で曲線推進を実施する工法についての詳細な検討がなされている。問題は、施工現場での推進管路の挙動と理論的考察の成果が定性的にはともかく、定量的にどの程度までの相関性が期待できるかであって、やはり施工法の研究を相俟って今後の現場データとの対比研究が必要であろう。

さて、曲線推進についてはこの他に日本プロジェクトリサーチで昭和63年4月に発刊された「カーブ推進における計画と施工上のポイント」が最近の曲線推進の施工上の技術紹介をしており、参考になる。ここに掲載されているのは、ほんの一部分にすぎないが、今後の曲線推進施工法についての問題点や、研究開発項目のヒントを与えるには充分であろう。

その他、最も我々が知りたくもあり又、大いに参考になると思われるのは、曲線推進工事を自社で施工している各社の社内技術資料である。これには恐らく各社における理論構成や、施工上のノウハウを含めた基準、手引等が極めて要領よくまとめられていると考えられるし、又、日時を追った資料によって、曲線推進の進歩改善にあとが理論的考察についても、施工上の問題にしても明らかになって興味深いものがある。今後の問題点の一つとして筆者が指摘したい施工法の研究開発には、是非各社の資料の公開が望まれるところである。

先の文献と同じ種類の文献ではないが、工業所有権の出願について見れば、古くは昭和47年6月

に「曲線管路を含むときに用いる推進工法」なるものが見当るが、概してシールド機にかかるものと、測量装置を除いては曲線推進そのものの出願は案外少なく、以下の程度である。

- 昭和48年8月出願 「推進式埋設装置における埋設推進方向制御作動装置」
 - 昭和52年10月出願 「鋼管を地中に弧状に挿入する方法」
 - 昭和53年8月出願 「地中に鋼管を弧状に敷設する方法」
 - 昭和55年10月出願 「曲線推進工法」
 - 昭和56年3月出願 「曲線地中敷設装置」
 - 昭和56年9月出願 「曲線推進工法」
 - 昭和56年9月出願 「曲線状に敷設可能な管の推進工法と装置」
 - 昭和56年10月出願 「ガスカート」
 - 昭和57年1月出願 「曲線推進工法」
 - 昭和57年6月出願 「曲線推進工法」
 - 昭和57年6月出願 「曲線推進装置」
 - 昭和57年11月出願 「管体を曲線状に敷設する推進工法および該工法に使用する開口調整部材」
 - 昭和58年8月出願 「ヒューム管」
 - 昭和58年8月出願 「地中推進管における推進伝播装置」
 - 昭和60年5月出願 「推進管の曲線推進工法」
- ほか。

3. 曲線推進施工上の諸問題

曲線推進工事を施工する時に必要な諸工程については、現在画一的に必ずしも定まっていない。従って、その意味では施工法として改良発展段階にあることになるが、主な工程について取りまとめてみよう。

(1) 方向変換の工程

現在、曲線推進で直線部から曲線部に移行する場合には先ず最初に先頭管又は先導体の方向を変換する操作が行われる。この方法は、先頭管に装着された刃口を偏向させたい方へ向けるか、或いは先導体後部のジャッキのうち、変換させようとする方向の反対側のジャッキを伸長する方法によって行われ、先ず最初に先頭管或いは先導体とそ

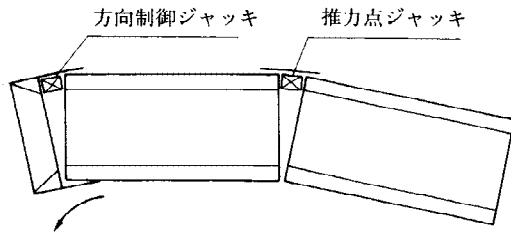


図-6 刃口の偏向による推進方向変換

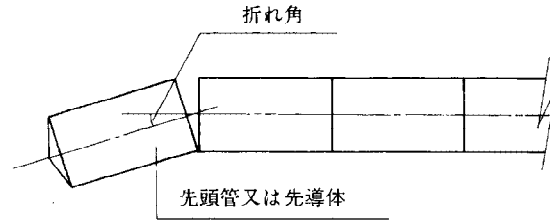


図-8

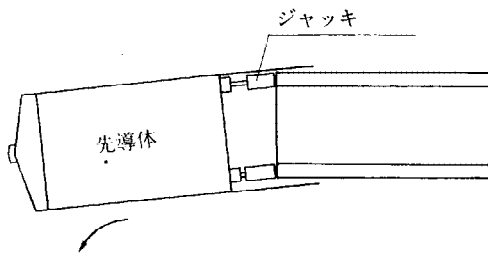


図-7 先導体の推進方向変換

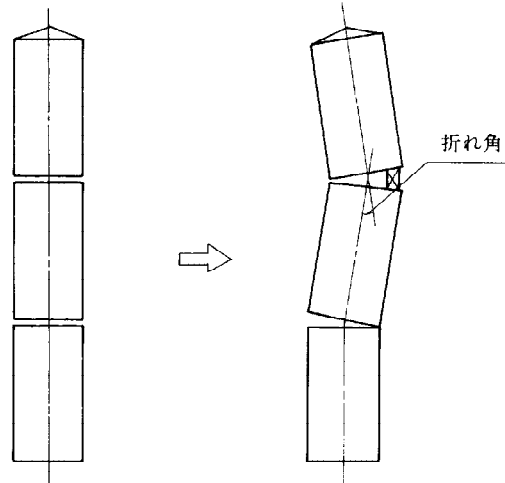


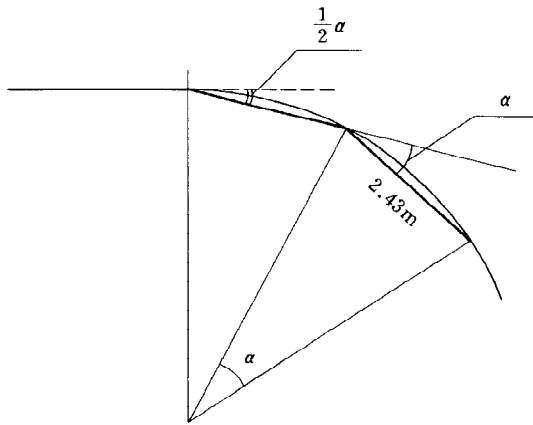
図-9

の後続管との間に折れ角を生じさせる工程から始まるが、この操作工程は、直線推進の場合の方向修正と全く同じ操作である。現在用いられている管路の推進方向を方向修正の目的であれ、曲線推進の目的であれ、変換するための操作方法は、殆んど上述の方法によっているが、このような方法が、管路の推進方向の変換に有効であるとして実際に現場で使用されるようになったのは昭和29年からの事で、実に30年以上この方法以外の原理によるものは、幾つか試みられた事はあるが、有効な方法として実用化されたものはない。これは、上述の方法が比較的簡易でかつかなり有効だからであるが、この操作の挙動が充分解明されておらず、従って定性的な域に止り、定量化された領域には到達していない。従って、現状の曲線推進においては、機種、土質等によって操作者(オペレーター)の経験と勘に頼らざるを得ない部分を多く残しているのである。

さて、この推進方向変換の操作の工程で特に注意すべきことは、先頭管又は先導体とその後続の管との間に必要な折れ角を作る時の、これら両者の挙動である。方向修正についてはこの操作は必須のものとして長期間行われてきたし、又各管渠

に挙動を推進工事の進展に伴って反復測量される事が多いのでその結果によれば、先頭管又は先導体を例えば左へ方向変換操作を行って、その後続管との間に折れ角を作る場合、必ずと言ってよい程、後続管は右へ向きを変えている。その結果、例えば曲線推進において計算上必要な折れ角が、先頭管又は先導体とその後続の管との間に形成されても、先頭管又は先導体の方向は、必ずしも将来の曲線路を形成するに必要な方向に向きを変換していないのである。従って重要な事は必ず先頭管又は先導体の位置と方向を常に測量等によって把握し、計画曲線とどのような関係にあるかを知っておかなければならないのである。この先頭管又は先導体の推進中の方向変換挙動を理論的にも現場的にも更に詳細に知り得たら、曲線推進の計画路線の設計が更に実態に則したものと可能になるのではないかと考える。

さて、もう一つの点は、直線部から直線円弧に入る曲線推進の設計に一考を要するのではないか



第一10

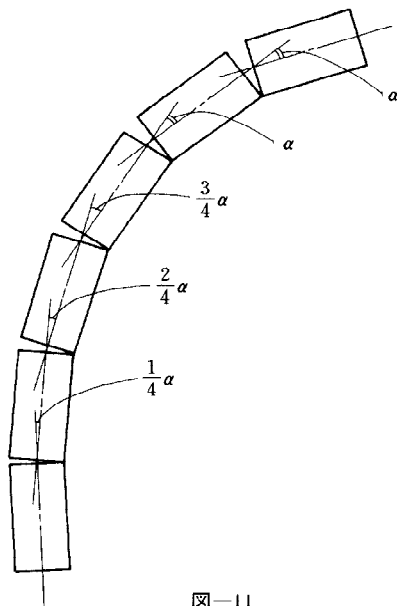


図-11

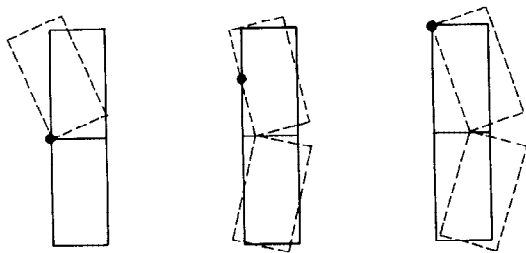


図-12

と言う点である。下水道の管路の設計図では、その管路の中心線は現在、直線とそれに接する円弧で書かれている。これは開削工法ではそのように設計図に示されたとおりに各管渠を配列して置いて行けば良いので問題ないが、推進工法で曲線管路を形成させるには、直線と円弧との間に緩和曲線的なものの配慮が望ましい。曲線推進で埋設された管渠の管列は、例えばヒューム管の場合であれば、ヒューム管一本の長さを弦とする折れ角をもった管渠配列となる。従って、直線部から曲線部へ入る管渠は、その曲線路を形成するに必要な一般の折れ角の1/2で折れ曲り、以後は、一般の折れ角で曲った形となる。このような管列を最終的に形成させるためには、曲線推進において直線部から曲線部に入る時に、ヒューム管に一本の長さ、すなわち2.43m 推進する間に、必ず計算上必要な折れ角(曲線路の一般的折れ角の1/2)が形成されると同時に、先頭管又は先導体が所定の方角に向きを変換しなければならないが、後続管との関係や、土質、曲線半径等によって、必ずしも確実にできるとは限らない。

そのために、一つの考え方として、例えば設計上は、曲線路を形成するに必要な折れ角の1/3とか1/4をひとつの単位に考えて、緩和曲線的に充分施工上の余裕をもった折れ角として、例えば曲線管路を形成する折れ角の1/4から入って、次の一本では2/4に、そして次は3/4として最後四本目から必要な折れ角そのものになるような曲線推進の設計も一考されて如何かと考えるものである。

やや重複のきらいはあるが、先頭管又は先導体に向きを変えるときにそれらの支点又は回転の中心は、先端なのか、後端なのか、その途中なのかと言う事については、推進進行中に次第に向きを変える結果となるので実態を把握し難いが、推進進行に対して細かい測量を行って挙動の様々な形態を熟知しておく事は、特に曲線推進工事の施工技術としては重要なことである。

(2) 各管渠の推力支点と接続方法

各管渠の接続は直線推進の場合でも曲線推進の場合でも「つぎわ」方式が一般的であり、これは当分別な方式に急に代ることは考え難い。それは、推進工法がわが国で始まって以来40年間常に「つぎ

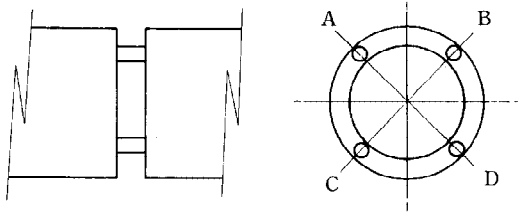


図-13

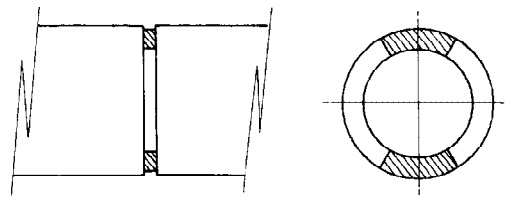


図-14

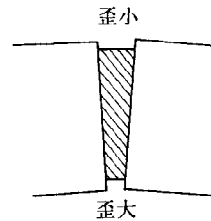


図-15

わ」方式の接続が実施されてきたことから、これにまさる方式は急には開発されないことではないかということと、「つぎわ」方式の持つ簡便かつ確実さからである。この場合、特に曲線推進では止水リングの問題がある。これは現在、直線推進を前提として考えられた推進用管の止水リングを含めた規格の管渠を、そのまま曲線推進に利用する場合には、どうしても脱落の問題を含めて、曲線半径等に制限がある。本来ならば、必要な曲線半径の曲線推進の設計を行い、管渠についてもそれに必要な設計が行われるべきである。従って、もし現在の規格管渠で充分間に合う時は、そのまま利用すればよいし、もし、不十分な時は、その曲線推進用の管渠又は「つぎわ」等に特別の配慮なり設計がなされなければならない。

さて、次に施工の方法も含めて、各管渠への推力の伝達の方法が問題となる。推力の伝達方法によって、曲線推進の施工の方法も、考え方も、設計も異なってくる。古くは、上下左右45°の4点で推力伝達する方法が使用されていた。この方法の利点は、図-13でA-BとC-Dの組合せで上下を又、A-CとB-Dの組合せで左右を、と何れの方角にも推力伝達を選択できることであるが、一方推力分散を図るための適切なクッション材を用いても力学的に4点への均等伝達は困難で、特定の

点に集中するために管渠の管端面破壊を引き起し易い。これに対して、図-14のような上下2点のピン伝達方式では、少なくとも左右に関しては、必要な折れ角形成とその維持について、4点伝達方式よりはるかに安定している。しかし、実際に各管渠ごとに、必要な推力伝達断面を保持するピン接続装置を配置することは、手間と費用の点で実用性に乏しい。そこで最近では、低発泡のスチレンフォームを上下必要断面に対象的に挿入して、その応力と塑性変形領域をうまく利用して、図-15のようにして、図-14のピン接続と同じ挙動と作用を行わせ、更に2点ピン接続の欠点である上下方向に傾いた時に上又は下の一点だけに推力が集中するのを、ある程度うまく逃して上下2点に分散させている。この方法が次第に施工時の主力を占めるようになってきた。しかし、この方法にも管渠の剪断破壊等いろいろ配慮すべきことがあるが、これらについては、特に現場での施工を通じて次第に完成されていくであろう。

(3) その他の問題点

実際の現場での施工においては、直線推進であれ、曲線推進であれ、管渠が常に設計計画線上を推進されることはない。そして、最も施工時に重要なことは、先ず現在の先頭管又は先導体の先端の位置と計画線との関係を正確に知ることである。

次に一定距離の推進、例えばヒューム管一本分2.43m更に推進進行した時点での先頭管又は先導体の先端のめざすべき位置を定め、その位置(実際にはX-Y座標で示すのが便利)へ向かって、先頭管又は先導体を操縦して到達させるように操作施工し、必要距離だけ推進が進行したら、その時点で再び現在位置の確認認識と、次の目標位置の決定、そして施工と、この工程の繰り返し反復が、現場での施工の実態である。これが最も正確な推進工事の施工の方法である。これまで述べてきたことは、このような反復操作施工が実施し易い設計計画や施工方法についての提案や問題点の指摘を行ったものである。

最後に、理論や設計だけが如何程進歩しても、実地に施工する方法が適切に行われないと曲線推進による管渠埋設は保証されない。最も配慮すべきは、現場の施工である。本稿のまとめとして、このような観点から、現在現場で最も必要としている技術と装置は次のとおりである。

- ① 即座に先頭管又は先導体の先端の位置を確定する測量計測技術と装置。
- ② 先頭管又は先導体の定量的かつ正確な方向制御変換技術と装置。
- ③ 進行中の先頭管又は先導体の方向変換操作中に先頭管又は先導体が何れの方向に、どの程度

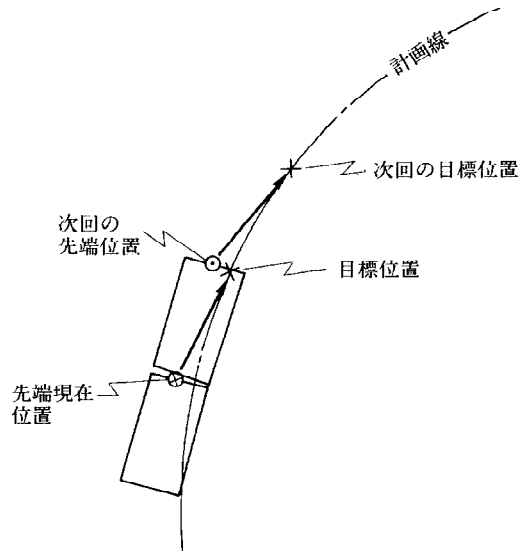


図-16 推進工法施工の現場操作図

づつ方向変換しつつあるかを連続的に計測監視する技術と装置……(これは、ピッチング計を附加したジャイロコンパスがその役割を果たしつつある。)

今回の企画では有益な曲線推進の施工記録が披露される筈で、その前提として本文を読み流されたい。

