

解説 進化発展した技術

特殊な施工条件下で活躍する推進管材

あそ のぶよし
阿曾 伸悦

日本ゼネスパイプ株式会社
常務取締役技術本部長
(本誌編集委員)



1 はじめに

現在、我が国で使用されている主な推進工法用の管材は、(社)日本下水道協会の規格に制定の、鉄筋コンクリート管、ダクタイル鋳鉄管、硬質塩化ビニル管、レジンコンクリート管等があります。これらの規格された管材のほか、管材メーカーが独自に開発した特殊推進管材があります。推進工事の施工条件によっては、規格された管材と特殊推進管材を組み合わせる使用するか、さらに厳しい施工条件の場合は、特殊推進管材のみを使用するケースも増えてきています。近年の推進技術の進展は目覚ましいものがありますが、管材メーカーは推進技術とコラボしながら、より安全・安心な推進管材をめざして努力をしてきました。

そこで、本稿では特殊な施工条件下で使用される管材を(1)急曲線(2)長距離(3)特殊な性能重視型と大きく3つに分類して、現状の背景やポイントを記述しました。本稿が、今後のLCC低減に向けて、最終管路としての役目、施工コスト、メンテナンスコスト等を総合し検討する際の参考になれば幸いです。

2 特殊推進管材

2.1 急曲線(超急曲線)に使用される管材

急曲線に対応する管材は、滑らかな曲線を描くために、有効長を短くし、曲線区間における開口長(目地開き)をできるだけ小さく一定に保つのが理想です。しかし有効長を短くすればするほど、管の剛性は低くなり、ひび割れなどのリスクが増加します。そのために、管長を短くして剛性を増す方法、管材本体に可とう部を設ける方法、管材の継手に特殊継手を用いる方法等があります。

どの管材、方法を選択するかは条件としては、推進施工中の曲線部の応力

集中と曲線外側の地盤反力を含めた管の耐荷力をどう考えるか、また、最終管路としての継手水密性能等が要求されます。曲線推進工事を安全に行うためには、管材の強度と管材継手部分での推力伝達材の役割や考え方を重ね合わせて検討することが重要なポイントとなります。

(1) SR推進管(写真-1、図-1)

通常、曲線推進に使用される管材は、①曲線部分の側方反力に対する管の耐荷力、②継ぎ手部の抜け出し量、③推力伝達に対する軸方向耐荷力の組み合わせで検討しています。曲線推進の線形は、管自体の直線部と目地開きによって成り立っているため、全断面均等に推力が伝わらず、推力伝達材の応

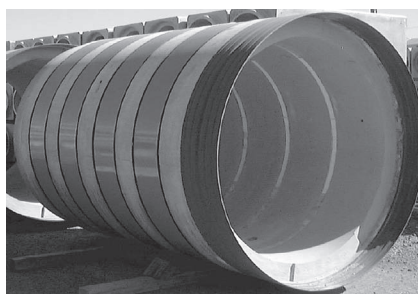


写真-1 SR推進管φ1650(可とう部4箇所)

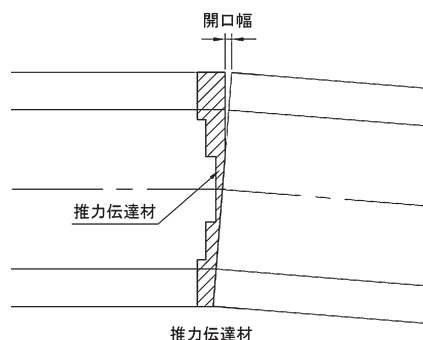


図-1 推力伝達材の配置



写真-2 急曲線施工事例（目地開口抑制付）

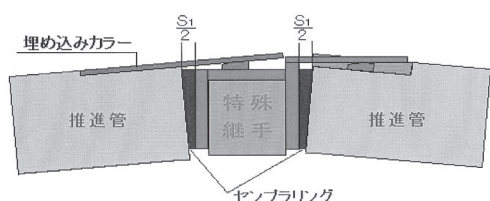


図-2 急曲線用特殊継手概要図

力度が変化します。これに対応する構造としてSR推進管は、鉄筋コンクリート管本体（管の有効長）に複数（0～4箇所）の可とう部を設け、その部分に推力伝達材を埋め込んで1本の管材を構成しています。可とう部分の考え方は、曲線部の推力伝達面積を増やし、有効に推力を伝達する方法として、線形の検討をした左右対称のくさび状の推力伝達材がコンクリートに埋め込まれていることです。つまり、1本の標準長さの管でありながら、可とう部を設けることにより短尺管を用いた効果があり、推力伝達面も大きく確保できる管材となっています。

(2) 合成鋼管・MAX推進管（写真-2）

合成鋼管はPC管のような高い外圧強度をめざし、大深度対応、高水密性確保を特長として開発された管であり、MAX推進管は電力用サヤ管におけるJカーブ推進対応用（急曲線対応）の短尺管として開発されました。両者とも管の外周面を鋼管で保護した合成構造となっており、有効長を短くしても剛性が確保できるために、急曲線推進に使用される例が増えています。

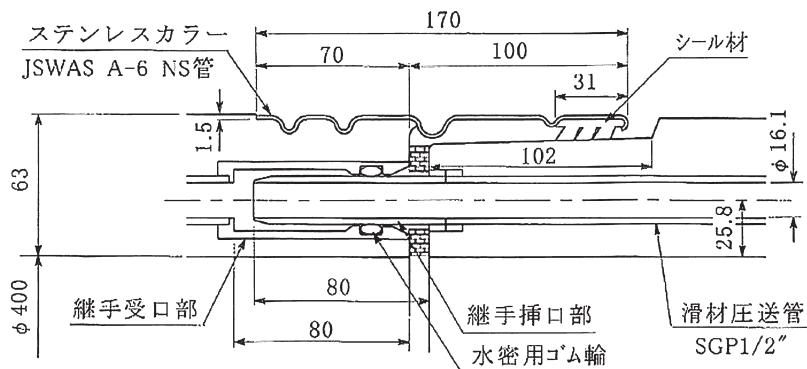


図-3 S型推進管継手詳細図

これらの管材は、一般的な下水道推進工法用の管材（以下、代表管材として鉄筋コンクリート管と明記）とは異なり、管の有効長が1200mm

未満の長さでも対応でき、超急曲線で使用する場合には最短の有効長で400mmまで対応できます。

過去の使用実績として口径別に取り上げますと、中口径ではφ800×480mmを使用した曲率半径R=10mの急曲線、大口径ではφ1500×400mmを使用した曲率半径R=18mで4つのカーブを有する複合曲線、φ2400×400mmを使用した曲率半径R=25mの急曲線等が挙げられ、他にも過酷な線形において数多くの使用実績があります。ただし、これらの急曲線施工実績は施工時の確実な施工管理や目地の開口抑制対策等を含めた上での話であることは言うまでもありません。

(3) 急曲線用特殊継手（図-2）

超急曲線の場合には管継手部の屈曲が大きくなり、曲線部のせり出しが発生しやすくなる問題があり、その問題を解消するために特殊継手が開発されました。

特殊継手は管材の継手部に設置する事により、継手部の開口箇所が2箇所となり、通常の管の開口長の1/2の開

口長とする事ができます。また、継手部の屈曲を小さくすることは、曲線外側の地盤反力及び管材の応力集中を低減することができます。

すなわち、小さな屈曲で急曲線の線形を可能にし、かつ鉄筋コンクリート管でも安全に曲線施工ができるようになります。なお、超急曲線の施工に対応する場合には、1箇所の継手部に複数個の特殊継手を設置する場合もあります。

(4) ミクロ工法60R型用推進管

（S型推進管）（図-3）

S型推進管とは、小口径の曲線推進や長距離推進で推力低下を目的に開発された管材で呼び径400・500・600mmがあります。これは、推進管材内部に滑材圧送管（SGP1/2"）を予め配置した管材と、任意の位置に滑材注入をする“滑材吐出管”の組合せで使用します。管の継手部分は、R=60mにおける止水性能を確保するために伸縮可とう性を有する継手構造をしています。

また、推進中の先導体部分のローリングを防止するため、管材端面にロックピンを配置する構造を備えている管材もあります。施工条件によって、“ロックピン付きの管”、“規格の管”、“S型推進管”の組合せで使用されることもある小口径推進管材です。

2.2 長距離推進(超長距離)に 使用される管材

長距離推進では多くの場合、曲線区間を伴うことから、曲線対応の管材要件と切り離すことができないが、長距離推進としての要件を追加するならば、滑材注入の材料・方法・考え方が大きな要因を占めます。管材においては、管周面抵抗を減少するために管材外表面の摩擦軽減処理と各推進工法による専用の滑材注入専用管があります。

また、長距離推進を可能にする要素として、不可欠なのが中押し管の考え方にあります。そこには、中押し管が安易に距離を伸ばす手段としての管材ではなくなっていることです。近年の推進工事においては、中押しの位置付けや役割を明確にした設備として設計をしないと本来の役割が達成できません。ここでは、中押し設備の考え方の一例だけを紹介します。

(1) スーパーマニキュア管(写真-3)

施工時の推力は先端抵抗と周面抵抗

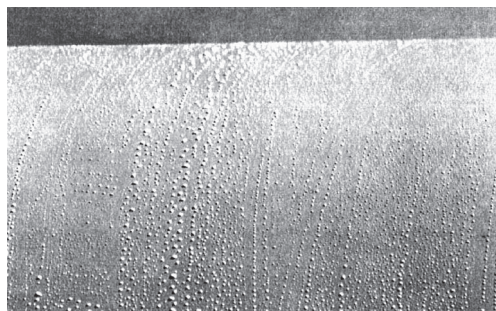


写真-3 スーパーマニキュア管の撥水状況

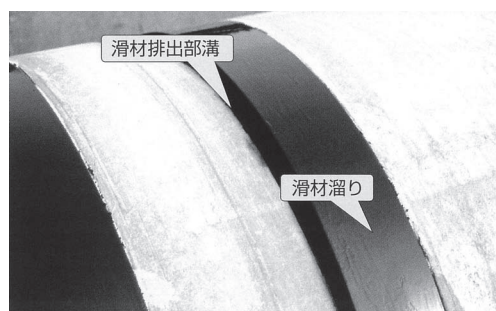


写真-4 滑材注入専用管の排出孔(一例)

の和で算出されます。推進工事において周面抵抗が上昇する場合があります、その要因の一つとして構築したテールボイドが縮小・劣化して鉄筋コンクリート管を締め付ける事が挙げられます。また他の要因として、滑材の種類によっては無水層下での鉄筋コンクリート管外面に起こる吸水・吸着による現象が挙げられます。このことを踏まえ、本管は地山から締め付けられても地山と鉄筋コンクリート管の摩擦力を小さく維持する事や、滑剤中の水分を鉄筋コンクリート管に吸水・吸着させない事を目的に開発されました。

本管では撥水性変成シリコン樹脂を鉄筋コンクリート管外面に塗布する事で常に土質との摩擦力を抑え、撥水性も保持していることより周面抵抗の上昇抑制に寄与しております。また撥水性変成シリコン樹脂の特性による耐摩耗性にも優れております。

なお、過去の使用実績としては、SSP90N ϕ 1000 $\times$ 2430mmと中押管を併用した施工延長1447mをはじめ、数多くの実績があります。

(2) 滑材注入専用管 (写真-4)

一般的に施工時の推力を低減させるために、注入孔より管外周面に向けて滑材を注入します。ただし、注入孔の設

置数は標準管(L=2430mm)で2箇所、半管(L=1200mm)で1箇所あり、荷下ろしの関係上、注入孔は上部を向けたまま施工されるケースがほとんどです。

長距離推進における推力の低減は重要な項目であるものの、滑材注入においては労力がかかる割には滑材の排出部が円周で1箇所という事から、滑材の有効活用に対し課題があると考えられます。

この事を踏まえ、本管は滑材の性能を「より簡便に」「より有効に」引き出すために、管外の排出孔を円周上に複数配置し、管外周面に滑材がまわる事を目的に開発されました。

この滑材注入専用管に関して、各協会によって様々な形状・仕様がありますが目指す目的は同一であると考えられます。

(3) 中押管(中押推進設備)(写真-5)

中押管は「推進工法体系Ⅱ計画設計・施工管理・基礎知識編」にも記載されている通り、中押推進設備を構成している要素の一つであり、元押推力を軽減して推進延長を増大するために使用されます。また、管体間で推進力を加える装置(中押ジャッキ)を設置するためにも用いられます。本管は通常の管材とは異なり、中押ジャッキによる揺動が激しい管材であり、施工中の管材への負荷はかなり大きいと考えられます。

一般的な中押管においては、配置や動作は直線部で行うのが基本であり、形状はその施工条件に基づき考えられたものです。しかし、近年の複合曲線、急曲線施工時において、何の対策も取らずに一般的な中押管の形状を採用して問題が発生しているケースもあり

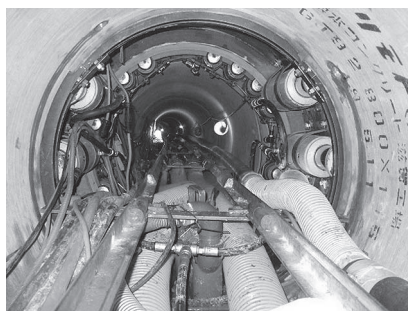


写真-5 現場に応じた特殊仕様の中押管(一例)

高水密用ゴム輪

水と反応して膨張し、止水性を高めます。

接合用ゴム輪

スムーズな接合を行えます。

水膨張部

継手用ゴム輪

まずこのゴム輪で止水します。

滑剤及び止水剤用注入孔

図-4 高水密Wジョイント管概要図



写真-6 SSP3種(6P)φ2800×2430L内圧試験状況

ます。これに対して、最近では各工法により現場に応じた特別な仕様を加える場合が多く出てきており、急曲線通過対応仕様や長距離対応用にポンプ基地を設置する仕様、またテールボイド再構築設備を搭載した仕様など、設備的・施工的要素を大きく加味した事例などがあります。

従って、今後の中押管の考え方としては、具体的な中押しの目的と作業方法・止水性能・中押しジャッキストロークと推力材伝達材のひずみ等の問題を解決した推進設備工法の一環として、推進工法と合わせた設計及び使用されることが望ましいと考えます。

2.3 特殊な性能重視に対応する管材

(1) 高耐外水圧対応の推進管(図-4)

近年の大深度に伴い管材に作用する地下水圧も大きくなっており、一般的な下水道推進工法用鉄筋コンクリート管の継手水密性能である0.2MPa(水頭差20m)以上を要求される場合があります。0.2MPaを越える場合には、高水密Wジョイント管・合成鋼管・MAX推進管のように0.4MPa(水頭差40m)以上に対応できる継手水密性能を有した管材にて対応しています。特に高水密Wジョイント管(0.4MPa対応管)はベースが鉄筋コンクリート管のため、管材の随所に浸水に対する工夫を施すとともに、シーラ材を3列に増やし水膨張部の採用により高水密性能を可能にしています。なお、過

去の使用実績としてはφ2200×2430mmと中押管を併用した施工延長1166mの海底横断等の実績が挙げられます。

高水密性能を要求される場合には、シーラ材の形状・性能向上だけではなく、管材本体の性能向上も必須条件となってきます。

(2) 内圧対応型の推進管(写真-6)

一般的に内圧管に使用される管材として、鋼管、鉄筋コンクリート管(外圧管2K~6K)、ダクタイル鋳鉄管、硬質塩化ビニル管、強化プラスチック複合管等が挙げられます。これらの管材は、設計水圧(高圧・低圧)に対し内圧対応型の管材です。しかし、内圧対応型の推進管は、開削管の内圧管と違って推進管と内圧管の両面の性能がそれぞれ必要です。コンクリート部材の構造における内圧性能は、コンクリートの品質向上と内圧試験による検証が必要になってきます。

近年の異常気象に伴うゲリラ豪雨の多発により、都市部においては浸水等の問題が発生しています。これらの浸水対策として貯留管や圧送低圧雨水排出など(共に低内圧管路)の検討が行われるようになりました。この検討該当地域は都市部が多く占めるため、施工に関する制約(ヤード確保の制約、立坑径の制限、周辺住民への配慮など)

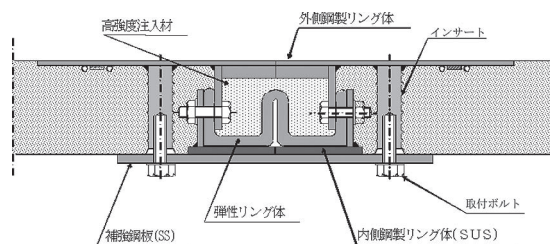


図-5 可とう管の構造図(一例)

が多数あることから、施工を推進工事で行う事例が増えています。

この低内圧管路および推進工事という条件に対し、多数の管材から比較的安価なガラス繊維鉄筋コンクリート管(最大管体内圧0.6MPa)が採用されるケースが増えてきています。

(3) 可とう管(図-5)

有数の地震国である我が国では、過去に多発した数多くの地震により、管路の一部が破損してライフラインの機能を寸断された経緯があります。この経験を生かし、地震時に生じる剪断変位や曲げ変位により、管路が破損する前に先行して可とう部の破断を起こし、確実な流下機能の確保に努めることを目的とし、可とう管は開発されました。

基本的に、地震時の変位が異なる立坑付近の設置実績が多いですが、極端な地盤変化点でも、地震時の変位は異なると考えられるので可とう管は有効に働くと考えられます。

1997年に「下水道施設の耐震対策

指針と解説」が発刊され、それ以降、管路の耐震設計が定着し、その設計に応じた可とう管が多数使用されています。

(4) 防食性能を有する管材

【サルファーコンクリート推進管】

サルファー（硫黄）コンクリートとは、石油精製時に発生する硫黄副産物を有効利用した材料で、硫黄ポリマー・碎石・珪砂等を140℃視前後の高温で融解混練して冷却固化したものを言います。

性能としては、高耐酸性をもって粗度係数0.01のリサイクル可能な管材で、LCCの低減を目指しています。この小口径推進管は、呼び径250～500mmでJSWSA-6に準拠しています。

【複合推進管】

ライニング管と呼ばれるもので、管内面に防食被覆層を形成して防食性能をもたすものです。

【耐食性コンクリート推進管】

コンクリートの腐食抑制技術で、普通コンクリートに混和材を用いることによって、コンクリートの硫酸劣化に対する防食効果を増す製品です。

(5) 礫対応型推進管（図－6）

日本各地においては、砂層やシルト、礫や岩など様々な土質が存在しておりますが、その中でもN値の低い砂層と礫や岩等の硬質地盤層は推進施工で苦慮する地盤であります。

特に、礫や岩では地山が硬すぎて掘進すること自体が大変ではありますが、それにも増して掘削残骸として存在する礫の破片がクサビ状に鉄筋コンクリート管の継手に噛み込み、推力の上昇や管路を損傷させる場合があります。基本的には、管継手部は必ず隙間が発生する構造になっているので、必然的に礫の破片が噛み込み易い箇所であると言えます。

そこで、本管材は挿し口の継手部から立ち上がる角度を通常より緩くす

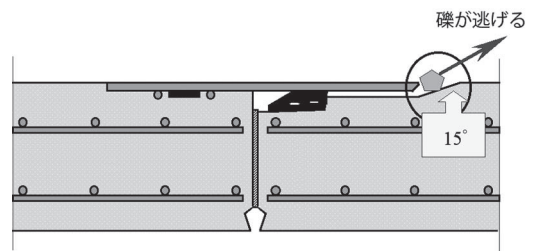
る事で礫の破片が噛み込み難く改良しています。これにより仮に礫の破片が噛み込んだも、管材が到達側へ進むと礫の破片が容易に管外面に逃げる構造となっています。これらの事より、礫対応型推進管は礫や岩等の硬質地盤に適した管材であると言えます。

(6) 断面二ズに対応する管材（写真－7）

推進工法で使用される管材断面形状には、円形・矩形・馬蹄形等で主たる実績があります。この多様な断面が必要な理由としては、特に都市地下空間の「制約」と「効率」が考えられます。地下構造物は、余程の理由がないと途中で更新することがないので地下空間の上下・左右の用地条件に「制約」が出てきます。また、地下の必要空間は、掘削効率及び機能・利便性の効率を上げる事によって維持管理費の低減にもつながります。

矩形及び馬蹄形断の設計方法で、運搬限界の制限によって現地組立てをした実績はありますが、円形で現地組立する「組立式超大口径推進管」は新しい試みです。呼び径3500～5000mmで、構造形式の区分ではRC部材とPC部材があります。この管材は、浸水対策等の都市の重要なライフラインに用いられるケースを期待しています。推進延長の定量的な判断を示すことはできませんが、施工実績として約200m以内/1スパンが3件あります。

今後の超大口径推進工事の推進延長は、元押し推進力を受け止める支圧壁や背面地盤の問題が課題になってきますが、トンネル工法全体の技術向上に寄与していくものと考えています。



図－6 礫対応型推進管断面図



写真－7 組立式超大口径推進管φ3500×2300L運搬状況

3 最後に一言！

60余年を経過した推進工法の特許条件下に使用される管材をご紹介しました。これらの管材は、わが国の社会資本整備に基づいた公共事業計画から生まれました。このような技術開発は、安全・安心な社会の構築・防災・経済活動を支える社会基盤のストックを作ってきました。

近年の事業仕分けのもとで行われる公共事業の議論は、経済対策や失業対策等の目的で単年度の公共事業費のためのフローの議論であり、ストックの議論が何もしなされていないように感じます。「コンクリートから人へ」のワーディングは、わが国のことを何も考えていないところからの発想だという感じがします。今後も社会基盤を取巻く環境を受け止めながら、公共事業の効用を議論して技術開発が継続的に可能になるような環境であって欲しいと希望します。