

超急曲線推進用推進管の開発

Development of Jacking Pipe for Pipeline with Ultra Sharp Curve

宮原 強*

野辺 修*

田中 浩*

Tsuyoshi Miyahara,

Osamu Nobe,

Hiroshi Tanaka

近年の推進工法の技術開発動向は、推進延長800m程度の超長距離推進とR15m前後の超急曲線推進である。

我々は業界に先駆けて、超急曲線推進用の推進管を開発したところ、推進工事の施主と施工業者の3社で電力用推進管の共同開発に発展した。本稿では超急曲線推進の必要性和開発目標や問題点を述べ、開発した技術の内容とそれにより生じた問題点とその対策ならびに施工実例などについて報告する。

Recently, the pipe thrusting method has tended to technology development of a ultra long distance thrusting method in such pipeline length of approximately 800m totally and pipe thrusting method with ultra sharp curve such as approximately 15m radius. So, we initially developed a jacking pipe for the later aforementioned in the trade. In result of this development, we, our client and a contractor of works could cooperatively expand to develop a jacking pipe for electrical wiring works by using its technology. In this paper, we describe the necessity, developing aim and problems regarding above mentioned development, and also report developed technical details and the problems caused by this development and countermeasures against them, executed example, and etc.

1. はじめに

電力・水道・下水・通信・ガスなどのライフラインの幹線地下埋設工事は、推進工法やシールド工法で施工されている。開削工法による埋設工事は、道路交通量の増加でほとんど採用されていない。

従来φ3,000mm以下の埋設管工事において、シールド工法と推進工法は各々棲み分けていた。シールド工法は延長600m以上の長距離とR15m~20m前後の超急曲線施工が要求される様な困難な施工条件の場合に採用され、推進工法は延長500m以下の短距離と、路線形状がほぼ直線の様な施工条件下に採用されていた。

推進工法の業界はこの棲み分けを打破するために、超長距離推進施工と超急曲線推進施工技術の開発を行い、我々管材メーカーもその工法に見合う最適な推進管の開発を行ってきた。

この開発は、近年の建設工事のコストダウンという社会的要求に合致し、シールド工法に比べ工事費が安い推進工法で、超長距離・急曲線推進工法が全国各地で採用され所期の成果を納めることが出来た。

2. 超急曲線推進について

2.1 従来の曲線推進 (R=60m~100m)

推進工法の定義は「推進管を地中に真直ぐに押す」とされていた。しかし道路は直線ばかりではなく、推進工法も曲線施工が要求され、種々の工夫をしてR=60m~100m程度の曲線施工が出来る様になった。この工夫は図1に示す様に先頭の掘削機で大きく余掘り（掘削機や推進用管の外形よりも大きな断面を掘ること）、クサビやジャッキで頭を振り、曲線を設定し、後続の推進用管

の接続部にクサビを入れて曲線になるようにすると共に、推進用管の長さも半分 ($2.43/2 \approx 1.2\text{m}$) の半管を使用して曲がり易いようにしたものである。

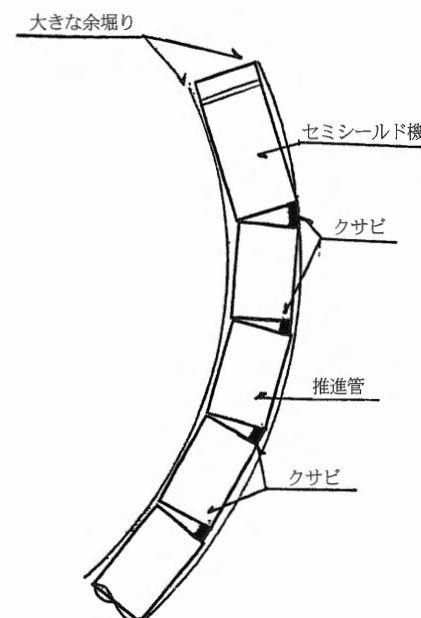


図1 従来の曲線推進の施工法

Fig. 1 Previous pipe thrusting method of pipeline with curve

2.2 超急曲線推進に要求される曲線の曲率

R=60m~100mの曲線では、道路の曲線線形に追従する程度で、交差点を直角に曲がることは出来ず、路線が直角に曲がっている場合は交差点の中に到達立坑が必要になる。この点が問題となり推進工法は採用されにくく、超急曲線施工方法を確立しているシールド工法が採用さ

* 栗本コンクリート工業㈱

れてきた。

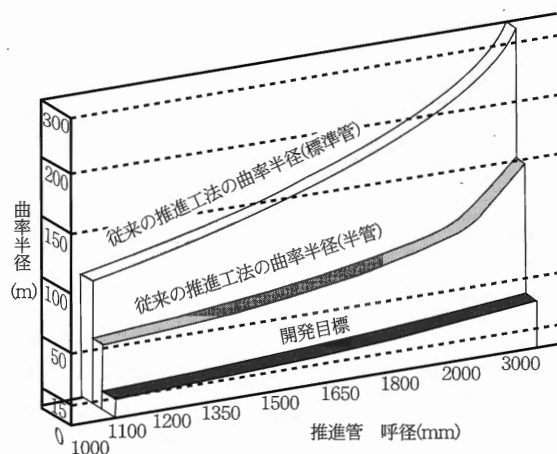
交差点部を直角に推進するために必要な曲率はおおよそ $R=15m \sim 20m$ 程度である。この技術が確立すると推進工法の採用は飛躍的に増大する。

2.3 開発目標

交差点を直角に推進できる曲率を目標とする推進管の呼び径による施工性を考慮し $\phi 1,200$ 、 $\phi 2,000$ 、 $\phi 3,000mm$ での目標曲率は $R=15$ 、 25 、 $30m$ とする。

目標曲率と従来の曲線推進の実績を表1に示す。

表1 開発目標と従来の実績
Table 1 Developing aim and previously executed results



3. 超急曲線推進施工法開発の技術課題

3.1 技術課題

- 1) $R15m \sim 20m$ 程度の超急曲線を作るセミシールド機。
- 2) セミシールド機が掘削した曲線部の地山が崩壊しないように保持すると共に、掘削した穴の周囲の壁が後続の推進用管をしっかりとガイドの役割をはたす地盤改良技術。
- 3) 推進用管の継手部で、管に悪影響を与えずに推力を

伝達し、止水力を保持し、かつ、曲線に追従する装置。

4) 超急曲線に追従する推進用管。

これらの技術の内、セミシールド機と地盤改良の技術は、すでにシールド工法により確立されており、この技術を推進工法に流用するだけで解決する。また、推進管の継手部の推力伝達装置は、クッション材のメーカーにより既に開発済みであった。

3.2 推進用管の技術的問題点

推進管を、 $R15m \sim 20m$ 程度の超急曲線に追従させるために要求されることと、それによる問題点は以下の様である。

- 1) 継手部の曲げ角度を大きくする必要がある。

問題点：止水性を確保する曲げ角度の制御

(抜けだし量の制御)

(図2の推進管の目地を参照)

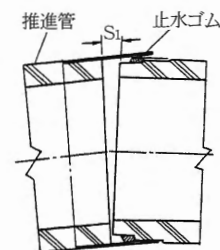


図2 推進管の目地

Fig. 2 Joint part of jacking pipe

- 2) 推進用管の長さを短くする必要がある。

問題点：推進力に対して管体の強度が低下する

(短尺推進用管の製造方法の検討)

3.3 超急曲線用セミシールド機

昭和50年頃より、シールド機メーカーは中折れが可能なシールド機を開発した。従来単胴であったシールド機の胴体を、2分割あるいは3分割しジャッキで所定の角度(所

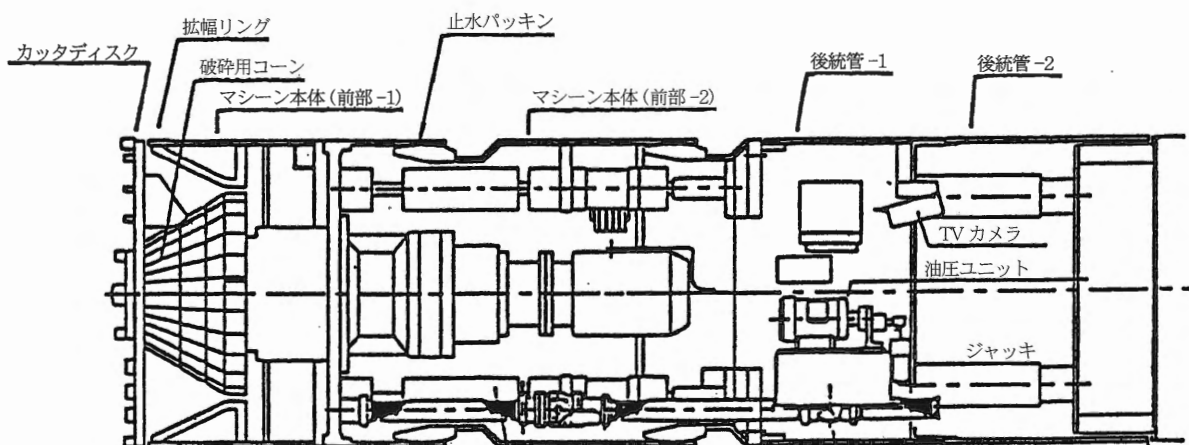


図3 超急曲線推進用セミシールド機 ($\phi 1,200$ 、3折構造)

Fig. 3 Semi-sealed machine for pipeline with ultra sharp curve
($\phi 1,200$, 2-spherical-hinge type)

定の弧状) におり曲げられる様にしたものである。この装置のおかげで曲線掘削は容易になり余堀量も減少した。この開発の究極が球面中折れ構造であり、セミシールド機に流用したのが図3および図4に示すものである。

下図のセミシールド機で $R=15m$ の超急曲線推進をするためには、セミシールド機の機長を5mとすると約20度折り曲げる必要があり、1折で10度曲げるようにしたものである。



図4 セミシールド機
Fig. 4 Semi-sealed machine

3.4 超急曲線推進周辺地盤の改良（地盤強化）

この技術も既に確立されている。改良の目的は

- 1) 曲線推進部は少し多めの余堀が必要であり、余堀部の土砂の崩壊・地盤沈下を防止する。
- 2) 推進管は後ろから押されて、曲線の外側に移動しようとする。これを防止し外周面の強化地盤が曲線のガイドとなるようにする(図5参照)。

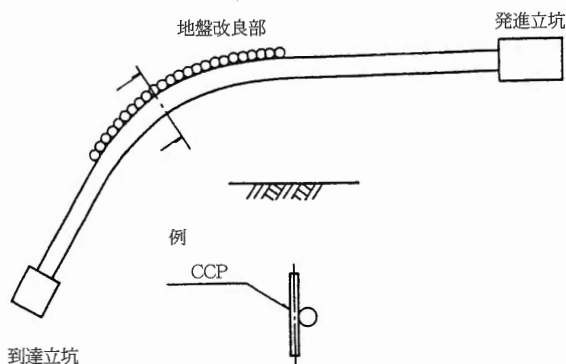


図5 曲線部の地盤改良
Fig. 5 Ground improvement at curved part

3.5 推進用管の接続部で推力を伝達し、かつ曲線に追従する装置

推進用管の接続部は、直線部でも曲線部でもクッション材を介して推進力を伝達させる。管の端面同士が接触するとポイントタッチとなり応力集中によってクラックや破損が発生する。

超急曲線推進用のクッション材は図6に示す様に管の上部と下部にの4分の1断面に低発泡ポリスチレン樹脂の板を厚さ5cm程度取り付けける。

推進力の伝達と、管の曲線内外の目開きの差に追従状態は図6に示す通りである。

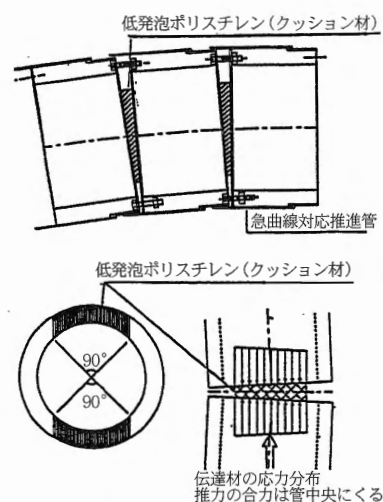


図6 推進力伝達機構
Fig. 6 Transmitting mechanism of thrusting force

4. 超急曲線推進用管の開発

4.1 超急曲線推進用管について

仮に、 $\phi 1,200mm$ の推進用管で $R=15m$ の直角推進をすると仮定し必要な管の形状寸法を定める。

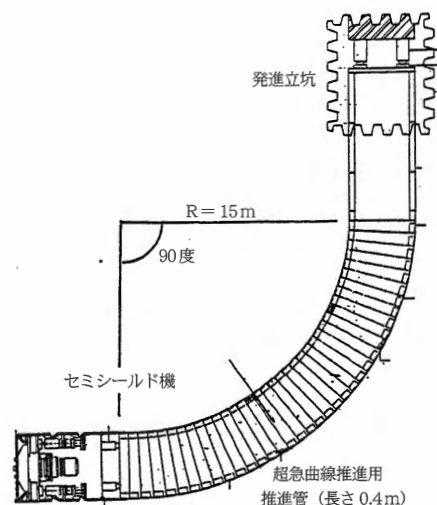


図7 直角推進計画図
Fig. 7 Planning of proceeding to rectangular direction

51

4.3 短尺推進管の問題点

通常の長さ（ $L=2.43\text{m}$ ）の推進管に比べ、短尺管は、作用する荷重に対して脆弱な構造である。特に超急曲線推進部では推進力の伝達を管の上下に集中させていることと、急曲線施工中の推進抵抗は、管後方からの曲線の外側方向の分力による管外壁面と地山との摩擦抵抗が負荷され推進抵抗は増大する（図9参照）。

推進用管を梁と見なして、推進力を荷重、周辺地盤の拘束力を支承と考え、通常の推進用管の場合は長厚肉の梁となり、曲げモーメントは発生せず、せん断力に対しても梁が厚いので問題は無い。一方、短尺の推進用管は梁の様な形状になり曲げモーメントやせん断力が発生する。

この問題を解決するために、次項に示す計算と強度試験を実施して、推進耐力の規格値を決定した（図10参照）。

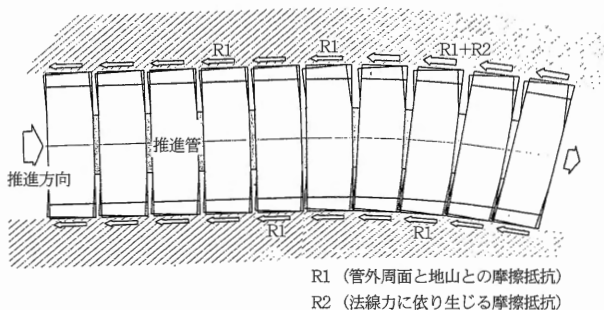


図9 推進管に作用する地山の摩擦力

Fig. 9 Underground friction force working on jacking pipe

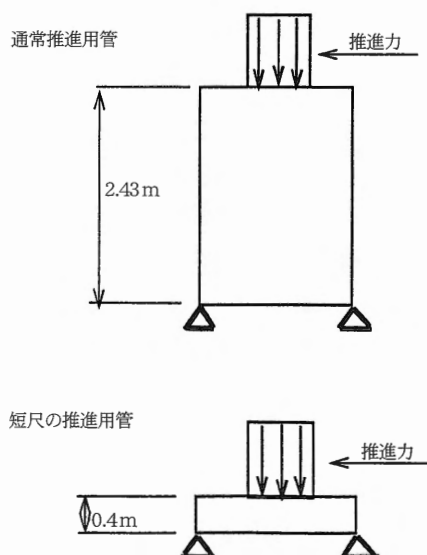


図10 推進管に作用する荷重

Fig. 10 Load working on jacking pipe

5. 短尺推進管に作用する荷重と強度試験

5.1 曲線で推進管の外周面の1/4に作用する荷重

1) 管外周面と地山との摩擦抵抗（ P_t ）

$$P_t = (\pi/4) B_c \cdot \tau \cdot L$$

B_c : 管外径(1.43m)

τ : 摩擦抵抗(4.9N/m² {0.5tf/m²})

L : 管長 (m)

$L=0.4\text{m}$ の場合 $P=2.16\text{N}$ {0.22tf}

$L=0.6\text{m}$ の場合 $P=3.33\text{N}$ {0.34tf}

$L=0.8\text{m}$ の場合 $P=4.41\text{N}$ {0.45tf}

2) 法線力に依り生じる摩擦抵抗（ F_t ）

$$F_t = k \cdot F \sin \alpha$$

k : 0.5~0.7

F : 推進管に作用する最大推力

5,076N {518tf}

α : 折れ角

$F_t=70.85\text{N}$ {7.23tf}

3) 推進管の外周面の1/4に作用する荷重（ P ）

$$P = P_t + F_t$$

$R=15\text{m}$, $L=0.4\text{m}$ の場合

$P=2.16+70.85=73.01\text{N}$

{ $P=0.22+7.23=7.45\text{tf}$ }

$R=22.5\text{m}$, $L=0.6\text{m}$ の場合

$P=3.33+70.85=74.18\text{N}$

{ $P=0.34+7.23=7.57\text{tf}$ }

$R=30\text{m}$, $L=0.8\text{m}$ の場合

$P=4.41+70.85=75.26\text{N}$

{ $P=0.45+7.23=7.68\text{tf}$ }

5.2 強度試験

5.2.1 試験の目的

推進管は鋼板とコンクリートの合成管とし、応力解析が困難であったので、実物により強度試験を実施して先の計算で求めた偏荷重の値を検証することにした。

5.2.2 試験方法

推進管に曲げモーメントとせん断力が作用するように載荷荷重と支持は直角方向にした。

試験はコンクリートにクラックが発生（ひび割れ強度）する荷重を求めた。

供試管の寸法形状は表2、試験方法と試験状態は図11と図12に示す通りである。

表2 実験供試体の寸法形状
Table 2 Figure of testing pipe

番号	形状	寸 法
No1	合成管	呼び径1200×管長 $L=400\text{mm}$
No2	合成管	呼び径1200×管長 $L=600\text{mm}$
No3	合成管	呼び径1200×管長 $L=800\text{mm}$
No4	標準管	呼び径1200×管長 $L=1200\text{mm}$
No5	標準管	呼び径1200×管長 $L=2430\text{mm}$

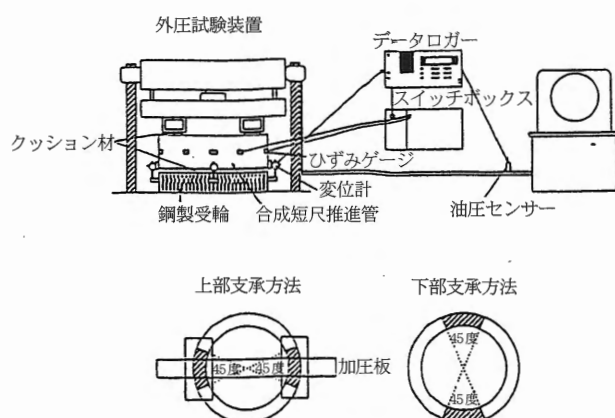


図11 載荷試験方法
Fig. 11 Loading test method

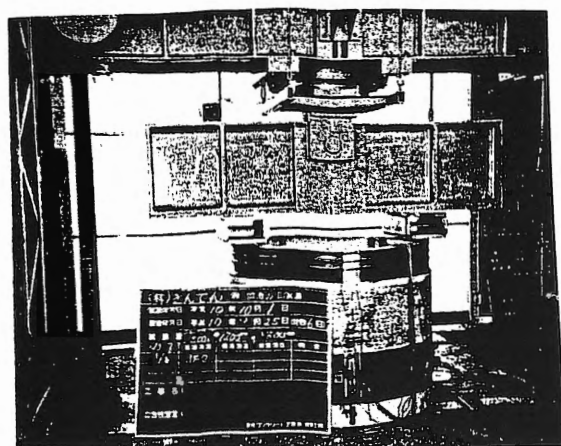


図12 載荷試験状況
Fig. 12 Loading test

5.2.3 試験結果

試験結果と先に計算した推進管に作用する偏荷重と、計算値の安全率を表3に示す。

この試験結果より超急曲線推進用 $L=400\text{mm}$ の推進管でも、適切な折れ曲がり角で施工されれば1.5の安全率を有することを確認した。

この結果を用いて、各種の管径、管長の超急曲線推進用推進管の使用規格値を決定した(表3参照)。

表3 試験結果と推進管の安全率
Table 3 Tested results and safety factor of jacking pipe

試験結果			計算結果	
管長 mm	強度 N {tf}		計算結果 N {tf}	安全率 試験/計算
1 400	112.7 {11.5}		73.0 {7.45}	1.5
2 600	149.5 {15.25}		74.2 {7.57}	2.0
3 800	169.1 {17.25}		75.3 {7.68}	2.2
4 1200	387.1 {39.5}		—	—
5 2430	686.0 {70.0}		—	—

6. 合成管に発生が予想されるトラブルとその対策

6.1 電力ケーブルによる鉄損の発生とその対策

6.1.1 鉄損の発生とその影響

合成管は管の外周を鉄板で被覆して補強している。この合成管で構築した洞道に単芯の大サイズの電力ケーブルを敷設し大容量の通電を行うと、電力ケーブルの周りに生じる磁束が合成管の鉄板部に流れた場合、その電流の周波数に応じてその磁束が変化する。磁束が変化すると渦電流損やヒステリシス損などのいわゆる鉄損が発生し、送電による電気エネルギー損失の大きな原因となる。

6.1.2 対策

渦電流損やヒステリシス損を防止するためには、合成管の被覆部を非磁性体のステンレス鋼で製作すれば解決するがこれでは著しいコストアップになる。そこでリング形状の磁性体(合成管の被覆鉄板)の一部を切断すれば鉄損が発生しないのではと考え、関西電力に問い合わせたところ同意を得た。次の問題は合成管の被覆の一部を非磁性体にするのである。

各種の方法を検討し、被覆の鉄板の一部(幅10cm程度)をステンレス鋼にすることにした。鉄板とステンレス鋼の溶接技術は協力会社が保有しており容易に製作することが出来た。

図13の合成管の外側の左側に色違いになっている部分がステンレス鋼で残りは鉄板である。この効果は理論的には証明されており、近々関西電力の研究所で実証試験が行われる予定である。



図13 電力用超急曲線推進管 (KSCパイプ)
Fig. 13 Jacking pipe for electrical wiring works (KSC Pipe)

6.2 合成管継手部の抜けだし防止

6.2.1 問題点

超急曲線推進は短尺の合成管の各継手部が、ほぼ均等に許容値一杯に折れ曲がり（抜けだし）曲線を形成する。しかし折れ曲がり（抜けだし）が一部の継手部に集中する恐れがあり、これが発生すると継手部は離脱し、管路内に流砂・漏水の事故が発生する。

6.2.2 対策

合成管の継手部の目地の開きを制限するストップを設けることで対応した。この形状や取り付け状態は、図14や図15に示す通りである。

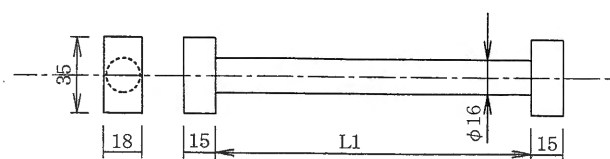


図14 目地開きストップ
Fig. 14 Joint stopper

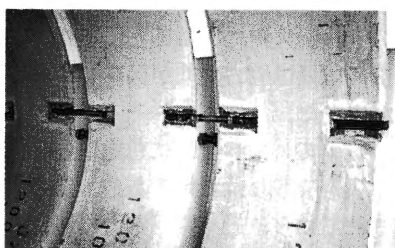


図15 目地開きストップの取り付け状況
Fig. 15 Setting state of joint stopper

7. 実施例ならびに問題点

7.1 実施例

電力洞道として既に10現場（総推進延長約3 km）下水道幹線に3現場使用されている。

図16に電力洞道の施工例と図17に完成した洞道を示す。

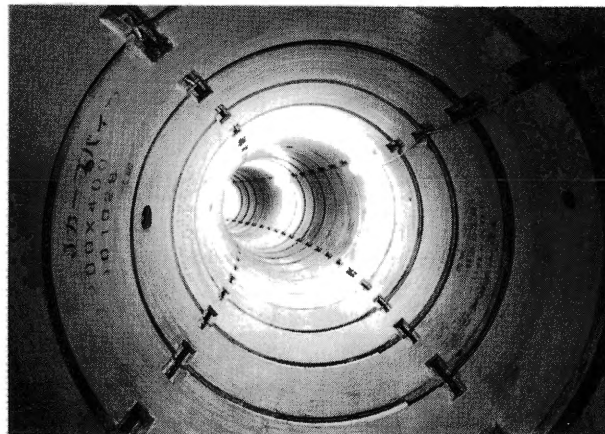


図17 R=15m超急曲線推進完了後の洞道
Fig. 17 Inside of jacking pipe route of 15m radius after completion of thrusting work

7.2 問題点

超急曲線推進は図17に示す様に、通常の直線推進に比べて、ジョイントの開きが大きく、かつその数が著しく多い。

電力洞道に使用する場合は、電力ケーブル敷設後、洞道内はモルタルなどで充填されるので、これらの目地は問題無い。しかし下水道幹線の場合は、この目地を全て樹脂モルタルなどで間詰する。万一この樹脂モルタルが

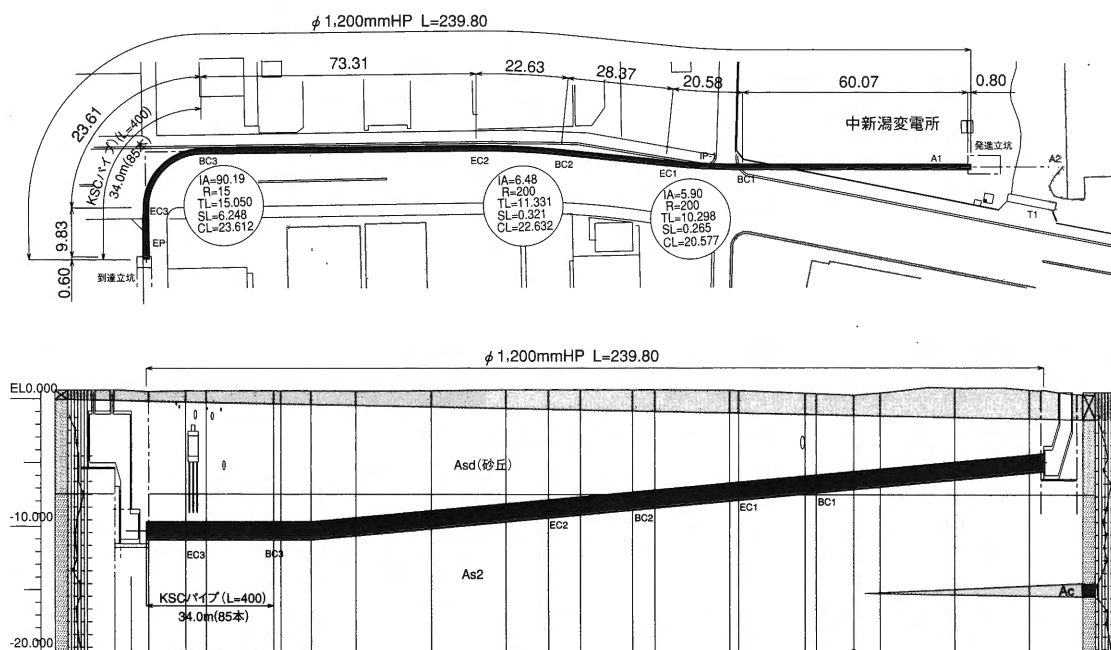


図16 施工実施例
Fig. 16 Executed example

剥離すると、継手カラーに影響を与える。

現時点では、対応策は継手カラーの防食以外に無く今後の検討課題である。

8. おわりに

下水道超急曲線推進用の合成管とその電力用合成管の開発以来、全国的に多くの現場で使用され所期の成果を収めている。今後はこれらの成果をふまえさらに改良していきたいと考えている。

この成果は共同開発した(株)きんでん殿ならびに機動建設工業(株)殿のご指導によるもので、厚く御礼を申し上げます。また、全国の送配電線の架空から地中への切札的存在にKSCパイプがならんことを夢見ています。

執筆者

宮原 強

Tsuyoshi Miyahara

昭和36年(株)4月栗本鐵工所入社

同年栗本コンクリート工業(株)に転出



野辺 脩

Osamu Nobe

昭和36年(株)3月栗本鐵工所入社

同年栗本コンクリート工業(株)に転出



田中 浩

Hiroshi Tanaka

平成11年3月栗本コンクリート

工業(株)入社

技術士(建設部門)



栗本トピックス

融雪システム「面状式ロードヒーティングシステム」を販売開始

当社では、路面の雪を解かして凍結を防止する融雪システムの開発を進めてきたが、この度、特殊な発熱体をゴムで覆う方式による融雪システムの実証実験で当初の成果が得られたので、本格的に販売を開始した。

標記の「面状式ロードヒーティングシステム」は、特殊な発熱体をゴムで覆った構造で、アスファルト舗装の表層と基層との間に挟み込むように敷設し、これに通電して発熱させ、表層部分を暖めて雪を解かず仕組みとなっている。

面状式ヒータの発熱部分はそれ自体が特殊ゴムでコーティングされているため、引張り、曲げ、圧縮などの強度に優れている。このため、むき出しのニクロム線を単に道路の中に埋め込む方式とは異なり、断線が起らないのが特徴である。従って、施工時にトラックやコンクリートミキサなどの施工車両が、直接ヒータ上を走行しても問題がない。

発熱温度は路面温度センサなどにより自動的に制御され、最も効率的な温度に設定されるため、省エネルギー効果が高い。

この融雪システムのラインアップを充実するために、現在当社ではさらにグラファイトファイバーを発熱体を利用し、表面を耐熱合成ゴムで被膜したケーブル状の発熱体をもつ「線状式ロードヒーティングシステム」の開発も進めており、用途に応じた最適なシステムを提供できるような体制を整え、融雪システムの受注拡大を目指している。