

小口径ヒューム管による 曲線推進工事の実施について

岡田 喜一

蒲郡市下水道部
工事課

白川 淳一

エースモール工法協会
技術部会委員

長沢 正英

センブラカーブ推進研究会
技術委員

1. まえがき

推進工事は、近年の道路交通事情、周辺環境への配慮に加え、路上工事の縮減政策や建設残土等の環境問題への対応から、今後ますます増加の傾向にある。

推進工法、とりわけ小口径推進の分野においては、100m程度以下の直線推進が一般的であるが、近年、立坑用地や作業用地の確保の困難化や立坑数の減少によるコストダウンのため、推進距離の長距離化が求められている。これに伴って、我が国の道路線形を考慮すると、1推進区間内に曲線部が発生する確率は高くなり、曲線推進に大きな期待がかかるようになってきている。

小口径ヒューム管の曲線推進を実現するためには、次に述べるような技術的課題を解決する必要がある。その一つは先導体が曲線造成機能を持つとともに、曲線推進下での位置確認機能を有することである。さらに、推進管の先導体に対する追随性を良くすること、及び曲線推進後でも管端部が破損せず、かつ所要の止水性を確保できることが必要となる。

これら必要条件を満たす方法として、エースモ

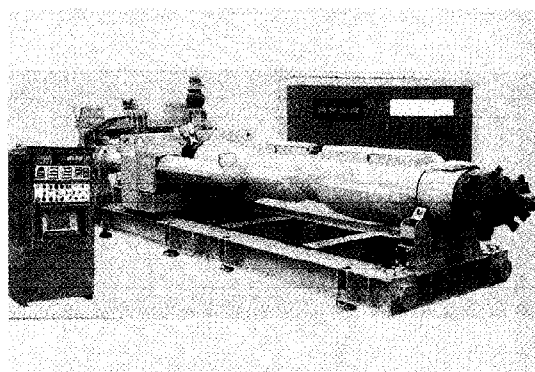


写真-1 エースモールDL工法システム構成

ール工法とセンブラカーブシステムを組合せ、蒲郡市における公共下水道の管路建設工事に初めて適用した。

本稿では、エースモール工法及びセンブラカーブシステムの技術概要について述べた後、施工結果を紹介する。

2. エースモールDL工法の概要

エースモールDL工法は、今までにない新たな泥土圧方式を採用した一工程方式の小口径管推進工法で、その特長は以下のとおりである。

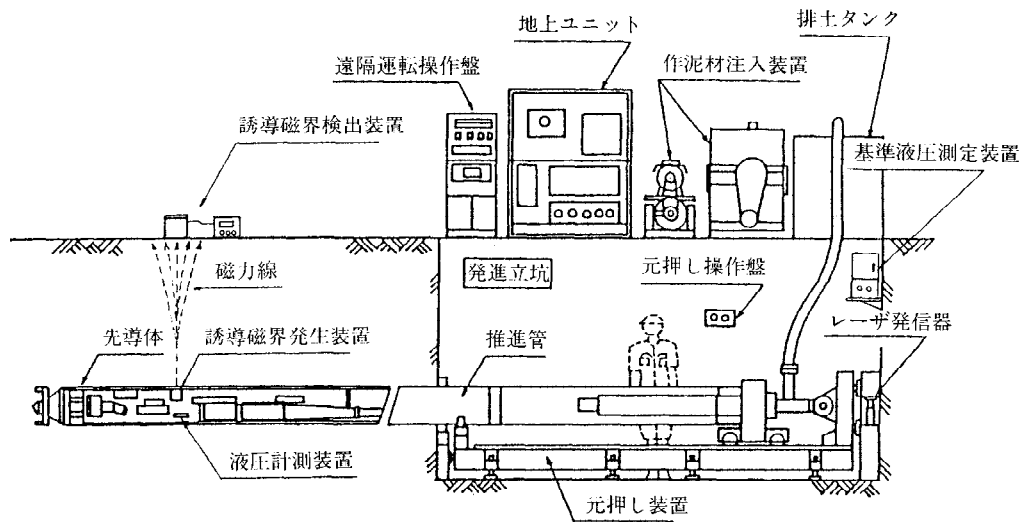


図-1 DL工法のシステム構成

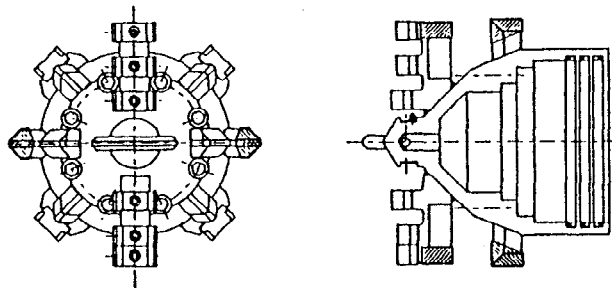


図-2 スポーク型カッタヘッド

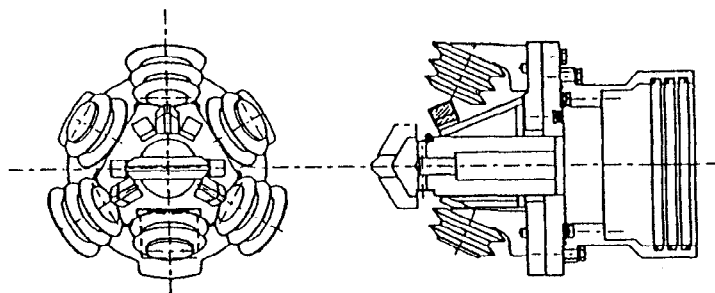


図-3 ローラビット型カッタヘッド

表-1 DL工法の仕様諸元

項 目		DL35			DL50		
適用ヒューム管（呼び径mm）		250	300	350	400	450	500
管 径 対 応 方 式		標準	拡張	拡張	標準	拡張	拡張
適用ヒューム管長（m）		2.00			2.43		
先 導 体	掘 削 外 径（mm）	400	450	500	580	640	700
	掘進機全長（mm）	2880			3275		
	掘進機重量（kg）	1040	1206	1274	2198	2439	2523
	先端カッタートルク	Max435kgm			Max845kgm		
	先端カッター回転数	Max 45rpm			Max 32rpm		
	圧 送 排 土 能 力	1.7m ³ /時			3.1m ³ /時		
元押装置	機 体 寸 法（mm）	長 4100×幅 1300×高 1500			長 4425×幅 1300×高 1500		
	機 体 重 量	3600kg			4300kg		
	元 押 ジャ ッ キ	60t×1450mm×2			80t×1450mm×2		
動力装置	機 体 寸 法（mm）	長 1850×幅 1250×高 1510					
	機 体 重 量	2760kg					
	カ ッ タ 系 動 力	2.2kw×4P×200V（50/60Hz 共用）					
	圧 送 ・ 元 押 系 動 力	18.5kw×4P×200V（50/60Hz 共用）					
	方 向 修 正 系 動 力	0.4kw×4P×200V（50/60Hz 共用）					
操 作 盤	機 体 寸 法	長 550×幅 510×高 1350			長 650×幅 510×高 1500		
	機 体 重 量	150kg			170kg		

①崩壊性地盤や礫、玉石混じり地盤を含む広範な土質条件に適用可能。

②推進管外周に泥土層を形成しながら推進するため、推進力が小さく長距離推進が可能。

③独自の位置検知技術である『電磁法』、『液圧差法』により曲率半径150m以上の推進が可能。

④簡単な拡張部品を取り付けることにより、一種類の先導体で3種類の管径に適用が可能。

⑤圧送排土方式採用により、掘削土砂が立坑上の土砂タンクまで直接圧送されるため、立坑内の汚れが少なく、クリーンな工事を実現。

2. 1 システム構成と適用領域

DL工法は、図-1、写真-1に示すように、先導体、元押装置、地上ユニット、作泥材注入装置、運転操作盤により構成されている。

先導体に取り付けるカッタヘッドは容易に交換

でき、一般土質に対しては、図-2に示すスポーク型のカッタヘッドを、玉石混じり地盤に対しては、図-3に示すローラビット型のカッタヘッドを用いる。

システムの仕様は表-1に示すとおりであり、その適用条件は表-2に示すとおりである。

2. 2 機能の概要

(1) 掘削・排土機能

DL工法は、図-4に示すように泥土圧方式のメカニズムを応用した掘削・排土機能を採用している。そのメカニズムを以下に述べる。

①先導体のカッタ回転により地山を掘削すると同時に作泥材を切羽面に注入し、掘削土を止水性と流動性を持った泥土に変換する。

②泥土化した掘削土を先導体外周の泥土通路を通して、先導体後部の泥土取り込み口まで移送する。

表-2 DL工法の適用条件

適用区分	土質種別			N 値	適用	記 事
軟弱土	粘性土	砂質土		$0 \leq N < 2$ $0 \leq N < 4$	△	・補助工法を検討 (地盤改良、スライズ等)
普通土	粘性土	砂質土		$N \leq 30$	○	
		砂礫土				(最大礫径10mm以下)
硬質土	粘性土	砂質土		$N \leq 50$	○	
		砂礫土				(最大礫径10mm以下)
軟岩	土	丹	岩	$N > 50$	△	・一軸圧縮強度により検討
礫質土	最大 粒径50 mm以下	粒径10mm～ 50mmの粗礫 の含有率	30% 以下 50% 以下	$N \leq 30$ $N > 50$ $N \leq 30$ $N > 30$	○ ○ ○ △	・注1参照 ・ローラビット型カッタヘッドを使用 (但し、粗礫の含有率5%以下はスボーク型の適用可)
玉石混じり土	最大玉石径 75mm 150mm を含む ・普通土 ・硬質土 ・礫質土	玉石混り土(1) (玉石2～3個/m以下) 玉石混り土(2) (玉石4個/m以上)		$N \leq 30$ $N > 30$ $N \leq 30$	○ △ △	・ローラビット型カッタヘッドを使用

〔凡例〕 ○：原則として適合 △：適用には検討要

注1：礫質土では、粒径 50mm～75mm の粗礫を $N \leq 30$ の場合には3%程度（掘削径φ500mmで18個/m程度）、 $N \leq 50$ の場合には1%程度（掘削径φ500mmで6個程度）まで含んでよい。

注2：150mmを越える玉石を含む地盤の場合は別途検討する。

注3：礫質土、玉石混じり土のN値はそれぞれマトリックスの値を示す。

③泥土取り込み口まで移送された泥土を先導体内部に取り込み、土砂圧送ポンプにより排土管を通して立坑外の排土タンクまで圧送排土する。排土管は、曲線推進に対応できるように継手部で屈曲可能な構造としている。

掘削土の取り込み量は、泥土通路に取り付けた土圧計が示す泥土圧を見ながらコントロールすることができる。また、泥土通路を通ることのできない礫、玉石等はカッタヘッドの回転力で外周側に押し退けられ地山に残置される。

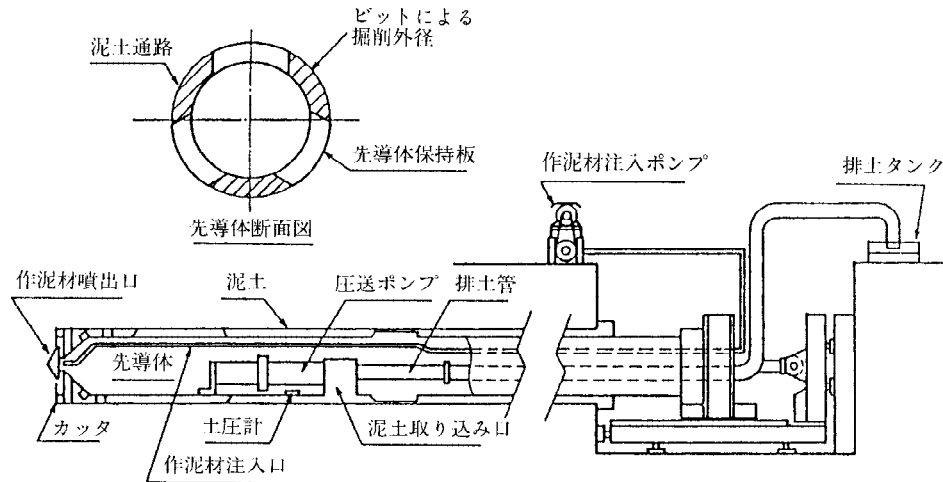


図-4 掘削・排土機能

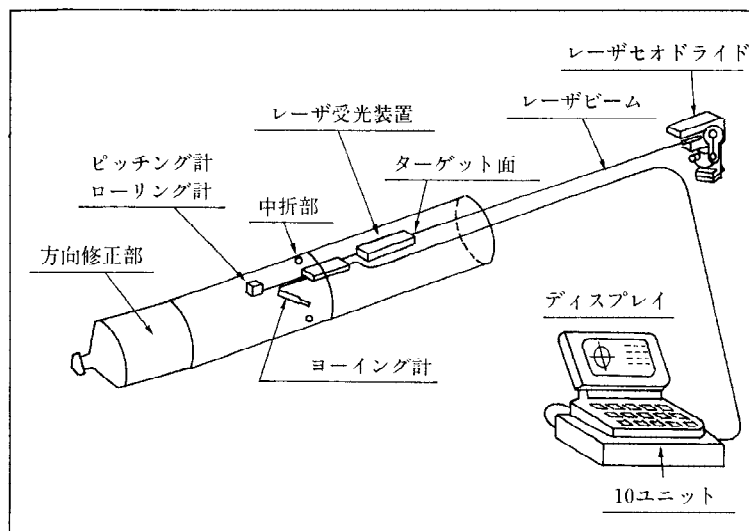


図-5 直線推進時の位置検知方式

④泥土通路内は常に泥土圧が発生しており、地山の土圧及び水圧に対抗し、切羽や坑壁の崩壊を防止している。また、推進管と地山坑壁との空隙部は泥土により過不足のない空隙充填が行われ、推進管外周に泥土層を形成しながら推進するので元押推力が小さく、長距離推進が可能である。

(2) 位置検知、方向修正機能

D L工法は、2種類の位置検知、方向修正システムを搭載しており、直線推進時と曲線推進時に

使い分けている。

①直線推進時

直線推進時の位置検知には、図-5に示すとおり、先導体内部に設置したレーザ受光装置(ターゲット)を用い、発進立坑内に設置したレーザ発光機からのレーザ光をターゲット面で受光し、その中心点を演算により求め、運転操作盤のディスプレイに表示している。表示は、図-6に示すようにターゲット面での受光点及び先導体内のピッ

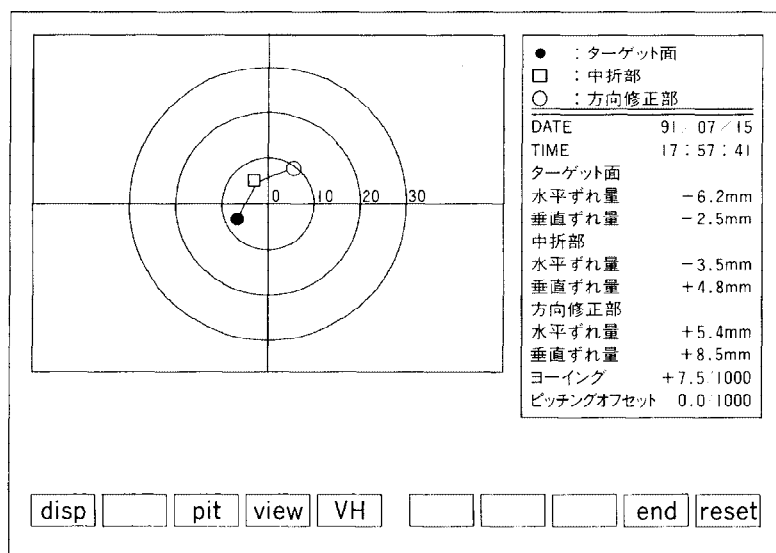


図-6 直線推進時のディスプレイ表示例

チング計、ローリング計、ヨーイング計により求めた先導体の姿勢をベクトルで示している。

方向修正は、図-7に示すように、運転操作盤のディスプレイに表示されるベクトルの動きに基づき、先導体の先端部を傾動させて行う。

②曲線推進時

曲線推進時には、図-8に示すように、先導体内に搭載された電磁コイルで形成される磁界の強度を、地上の受信コイルで測定することにより水平位置を検知し、先導体内部及び地上に設置した2個の圧力センサで液体の圧力差を測定することにより垂直方向の位置を検知する。

さらに、この位置検知データは、先導体の姿勢と演算処理し、直線推進時と同様に運転操作盤のディスプレイに図-9に示すような形式で表示される。したがってオペレータは、直線推進と同じ感覚で運転操作でき、高精度の曲線推進が可能となる。

3. センプラカーブシステムの概要

センプラカーブシステムは、推進管継手部毎に塑性領域の広い推力伝達材(センプラリング)を上下対称に設置(写真-2、図-10参照)することにより、推力の応力分布を管の中央部に維持し先導

体に対する追随性を良くするとともに、管端部の破損を防ぎ止水性も確保できることを特長とした技術である。

3. 1 推力伝達材(センプラリング)の性質

センプラリングには低発泡ポリスチレンを使用し、一度力に加わり歪むと、元へ戻らないという(塑性領域)性質を利用している。

その塑性領域は発泡倍率を変えることにより、図-11に示すとおり50kgf/cm²から200kgf/cm²位までコントロールでき、伝達推力の大きさと管径、曲率等により発泡倍率や設置面積を選択して使用している。

また、腐食に強く、耐薬品性も併せ持つため撤去の必要がなく小口径管にも使用できる。

3. 2 設計の考え方

各継手部毎にかかる応力は、先導体からの長さ(距離)に比例して増加するが、一定位置の管継手部ではその応力はほとんど変化せず、カーブ区間に入るとわずかに増え、BC点の通過直後が最大となる。この時、センプラリングがカーブ内側から塑性変形する。(図-12参照)

従って、その設計方法は曲率半径より、目地の開きを求め、推進管各継手部位置の伝達推力を計

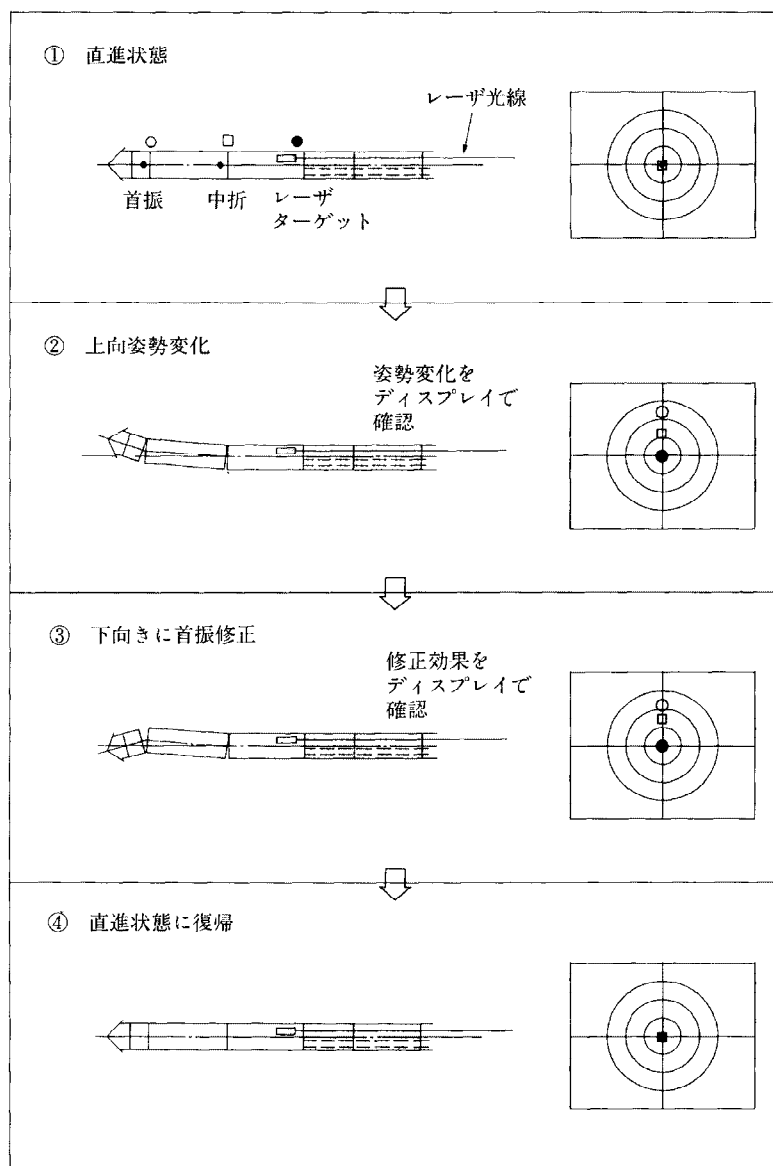


図-7 直線推進時の方向修正制御の例

算する。次に、センブラリングの応力と歪み量の関係から、

①伝達推力によりセンブラリングの歪み量は止水性が確保される目地の開き幅まで歪むか。

②センブラリングが歪み過ぎて管と管とが接触し、破損しないか。

を検討し、

1) センブラリングの面積を調整する。(90°、

60°、45°等の順番に検討)

2) センブラリングの発泡倍率を変える。

3) センブラリングの厚さを変える。

ことにより、カーブ区間を通過する推進管のそれぞれの継手部の位置に見合う応力で計画通り歪むセンブラリングを設計計算により選定する。

しかし、推進施工にあたっての管理も充分に行う必要がある。特に、重要な管理は推力を正確に

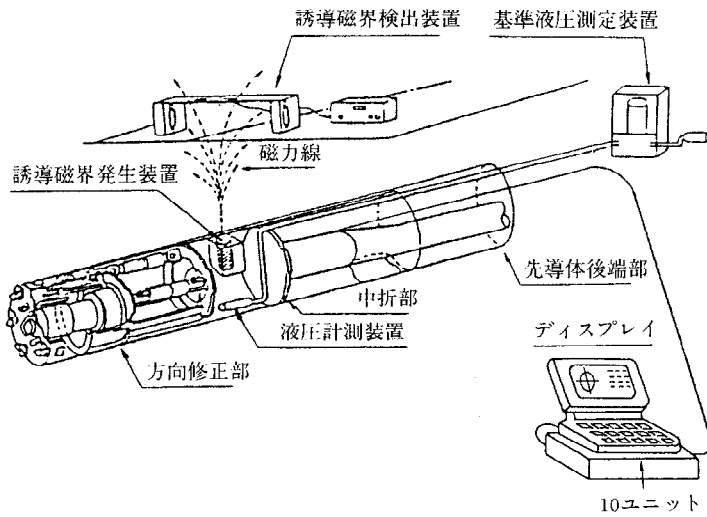


図-8 曲線推進時の位置検知方式

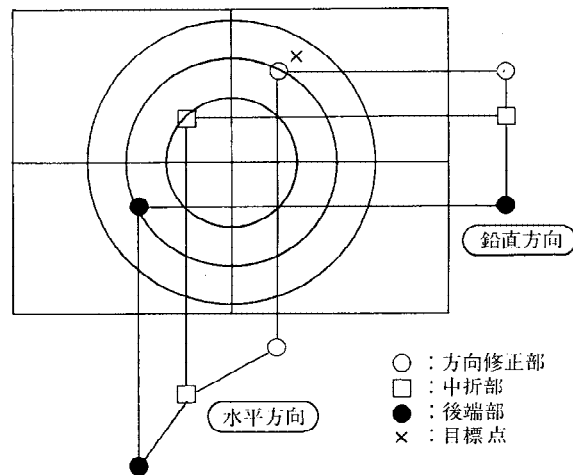


図-9 曲線推進時のディスプレイ表示例

把握することであり、計算上で得た応力の範囲内に入っているかを判断し対処する必要がある。

従って、応力の適用範囲をはずれる場合にはセンブラリングの発泡倍率、面積、厚みを変える必要がある。

4. 曲線推進施工結果

4.1 工事計画概要と曲線推進の必要性

本工事は蒲郡市街より南西に約3.7kmのところに位置する蒲郡市形原町北浜地内の污水支線工事

として計画された。工法選定にあたっては、管渠埋設深度がGL-3.7~5.5mに及ぶこと、土質が含水率の高い礫混じり土であるなど、経済性・施工性・安全性等から推進工法を採用した。

(1) 工事計画概要

1. 工事名 污水支線築造工事
2. 工事場所 蒲郡市形原町北浜地内
3. 管 径 $\phi 250\text{mm}$
4. 推進延長 430.15m(7スパン)

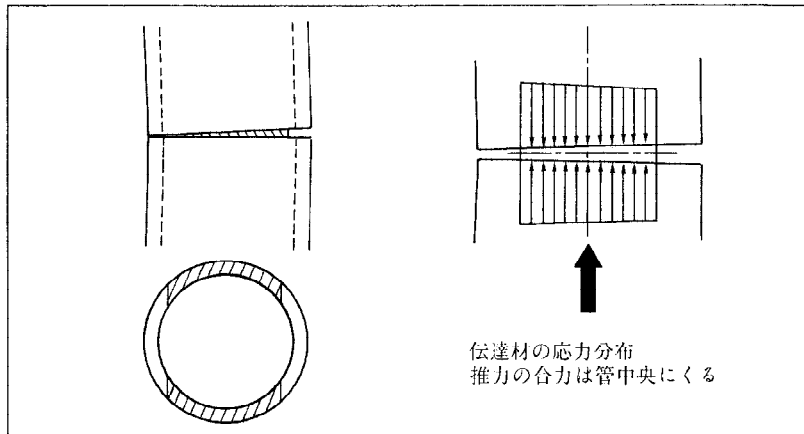


図-10 推力伝達状況想定図

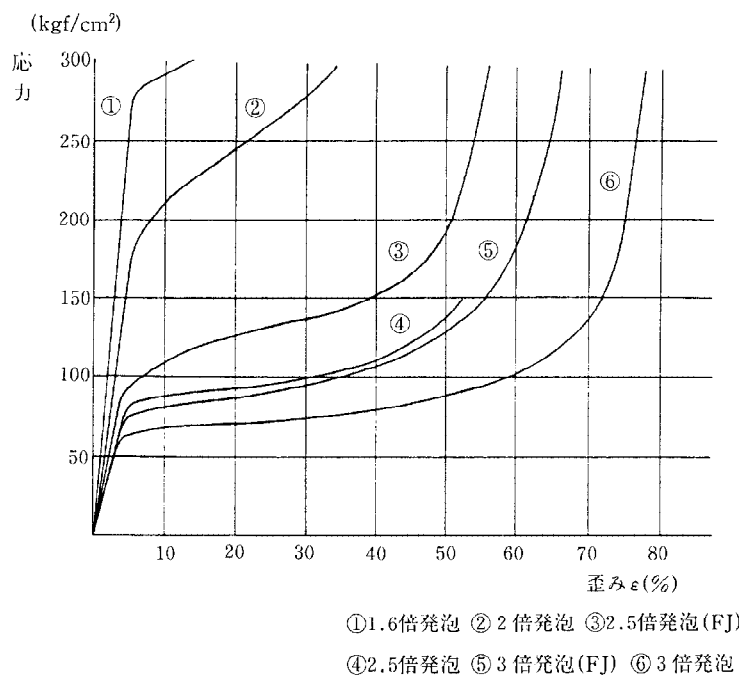


図-11 推力伝達材の応力～歪み関係図

5. 土 質 シルト混じり砂礫・玉石混じり砂礫

6. 土 被 り 3.74～5.54m

(2) 曲線推進の採用理由

計画した7スパン中2スパンにおいて、以下に述べる理由から曲線推進を採用した。

①スパン

車道上の計画路線から歩道側の既設マンホールへ到達させるに際し、N T Tマンホールを回避するため、中間立坑が必要となるが、曲線推進することにより削減できることから、写真-3に示すような線形とした。

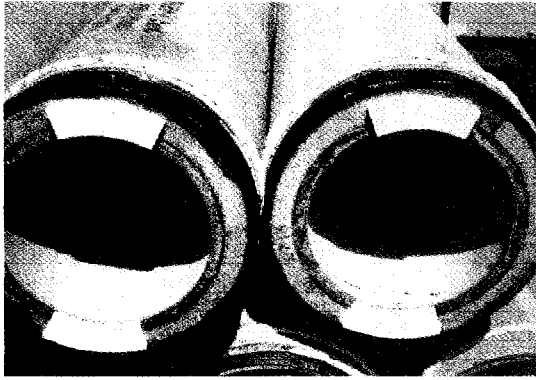


写真-2 推力伝達材の設置状況



写真-3 ①スパン現場状況

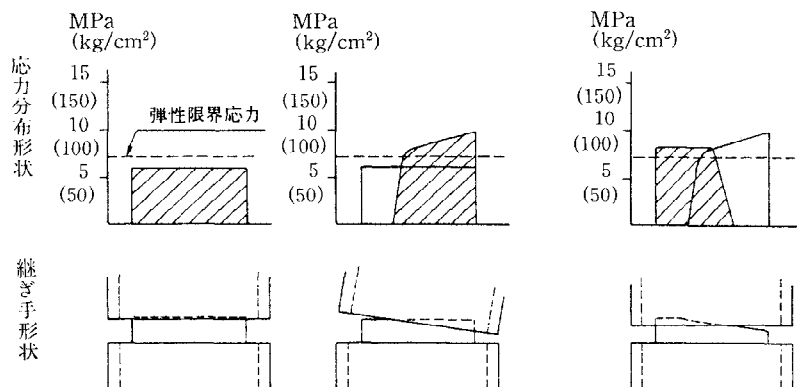


図-12 推力伝達材の内部応力分布の移り変わり

②スパン

道路が大きく右にカーブしており、直線施工の場合、中間立坑が必要となるが、既設埋設物等によりその築造が困難であった。そこで、写真-4に示すように曲線推進を採用し、84mを一気に推進することとした。

今回は、この2スパンの曲線施工のうち、主として①スパンについて以下に報告する。

4. 2 施工環境条件

(1) 施工条件

国道247号線沿いの車道部を占用し、工事終点

で歩道サイドの既設マンホール(φ1800mm)に到達させる線形である。ここで、直線線形では到達手前に位置するNTTマンホールに衝突するため、回避可能な曲率半径150mの曲線線形を設定した。図-13に平面図、縦断図を示す。

1. 推進長 86.48m
2. 平面線形 単曲線(R=150m、CL=47.12m)
直線区間(発進部L=34.37m・到達部L=4.99m)
3. 縦断線形 -1.5%の下り勾配
4. 推進管 JSWAS A-6 I類(φ250mm)

平面図

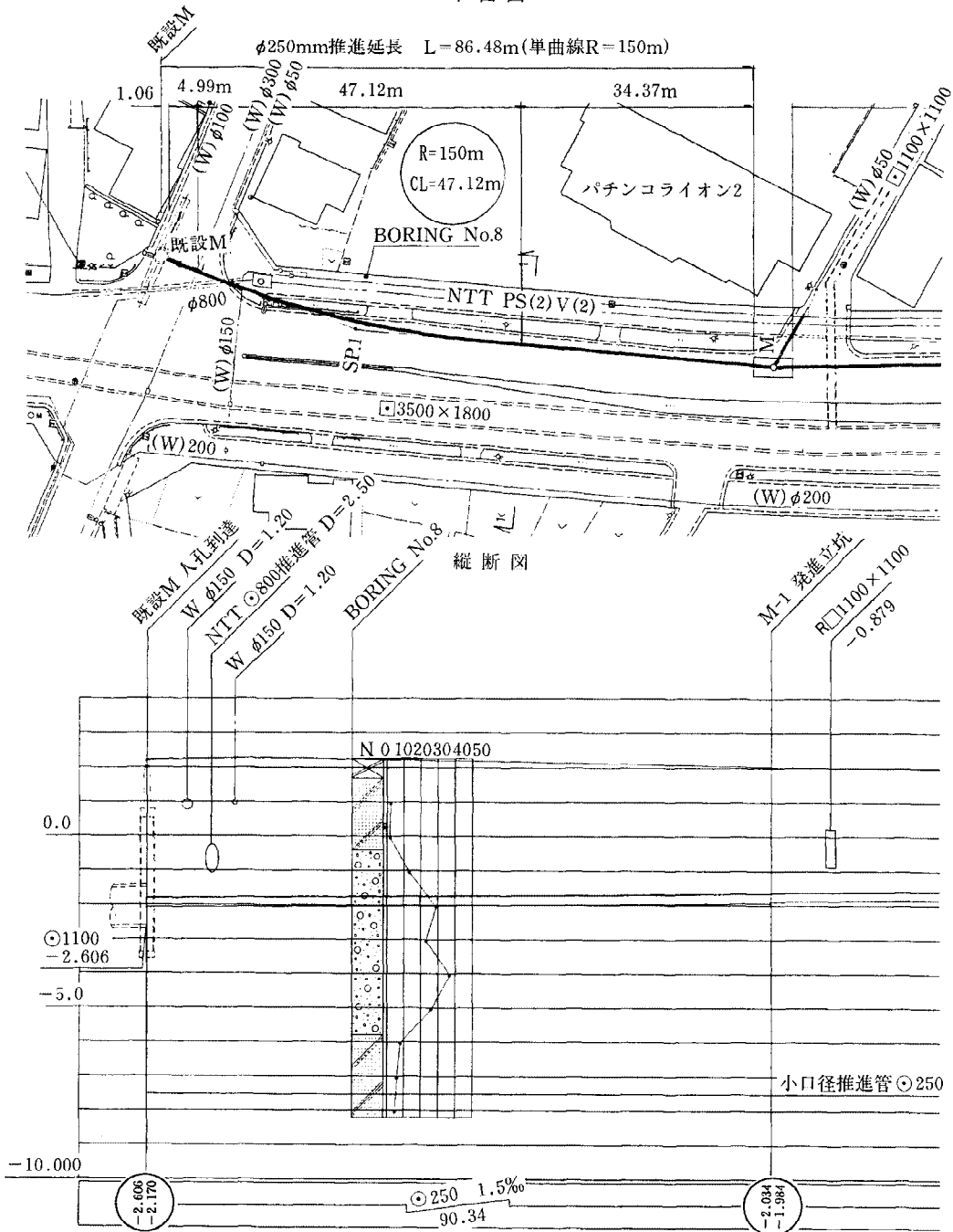


図-13 ①スパン平面図、縦断図



写真-4 ②スパン現場状況

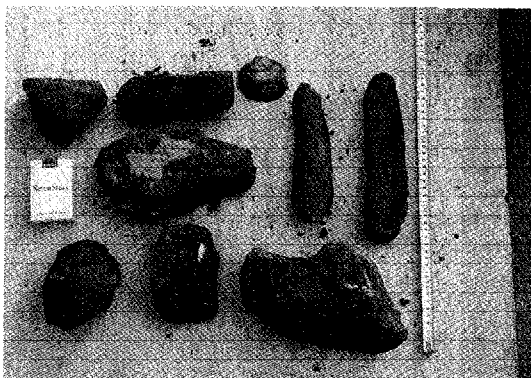


写真-6 立坑掘削時に出現した玉石状況

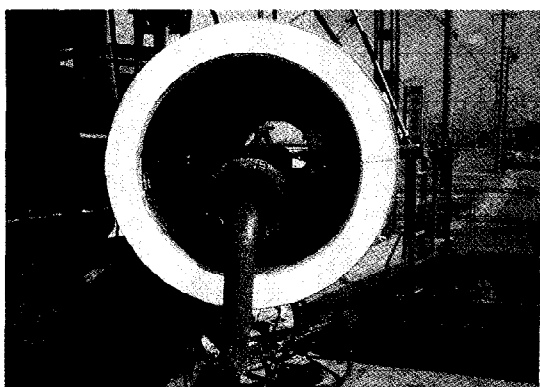


写真-5 センプラリング設置状況



写真-7 先導体全景

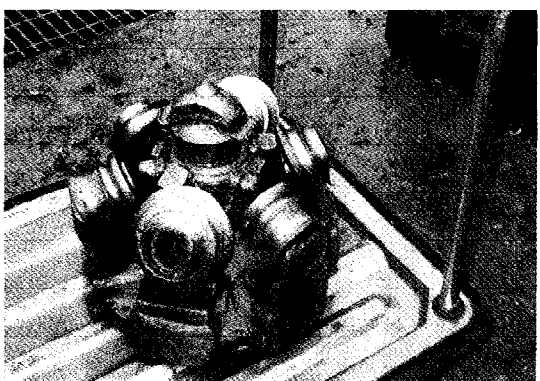


写真-8 ローラビット磨耗状況、フード変形状況

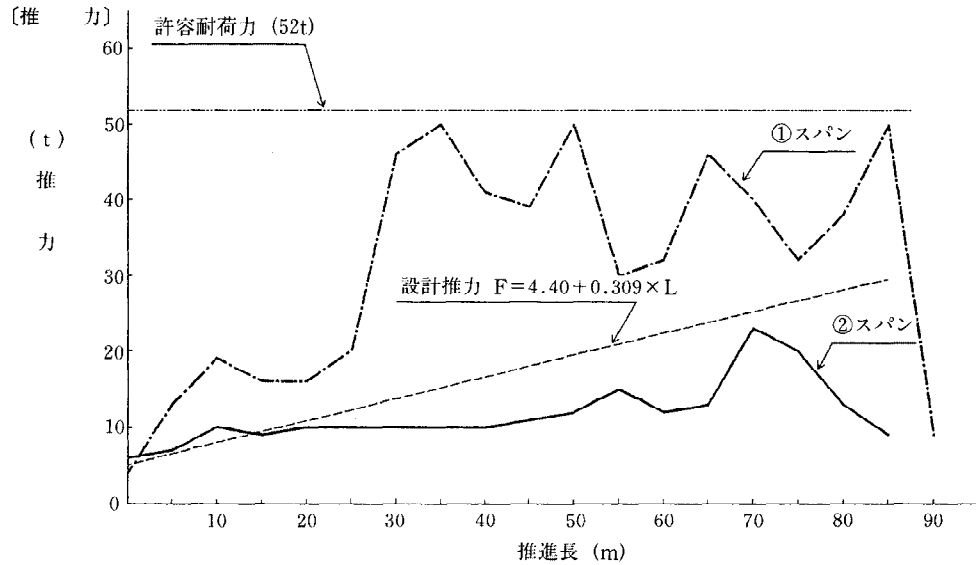


図-14 推力発生状況

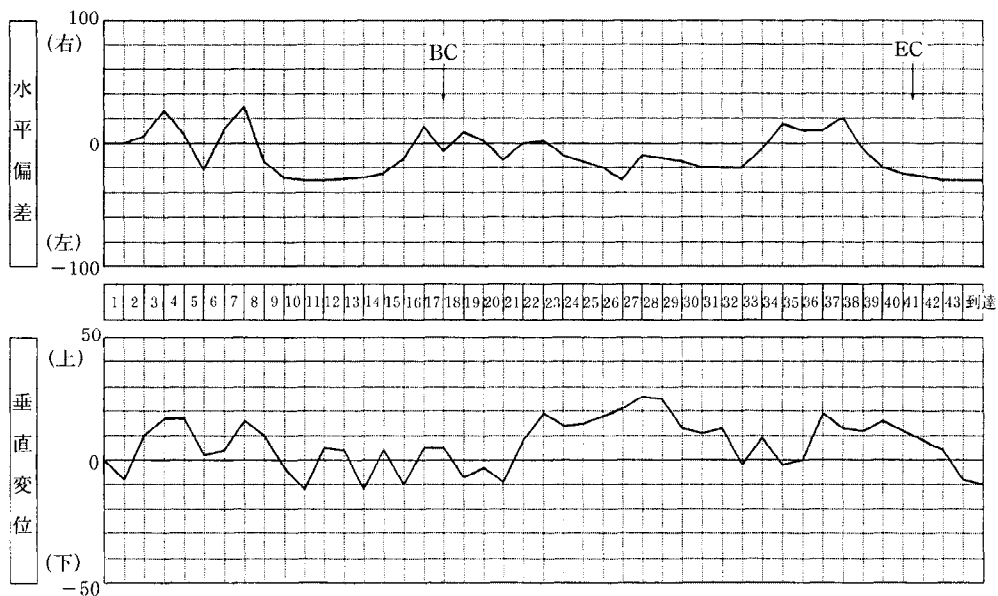


図-15 施工線形(位置検知による線形)

5. センプリング (写真-5 参照)

- ・発泡倍率 4 倍発泡
- ・設置面積 全周(360°)
- ・厚さ 2 枚重ね ($t = 4 \text{ mm} \times 2 = 8 \text{ mm}$)

(2) 土質条件

当該施工場所周辺の地質は、洪積層の高師原礫層が分布している。推進土質は玉石混じり砂礫($N = 20 \sim 30$)で礫率60%以上、最大礫径200~250mmの玉石が混入する過酷な土質条件であった。写真-6に立坑掘削時に出現した玉石状況を示す。

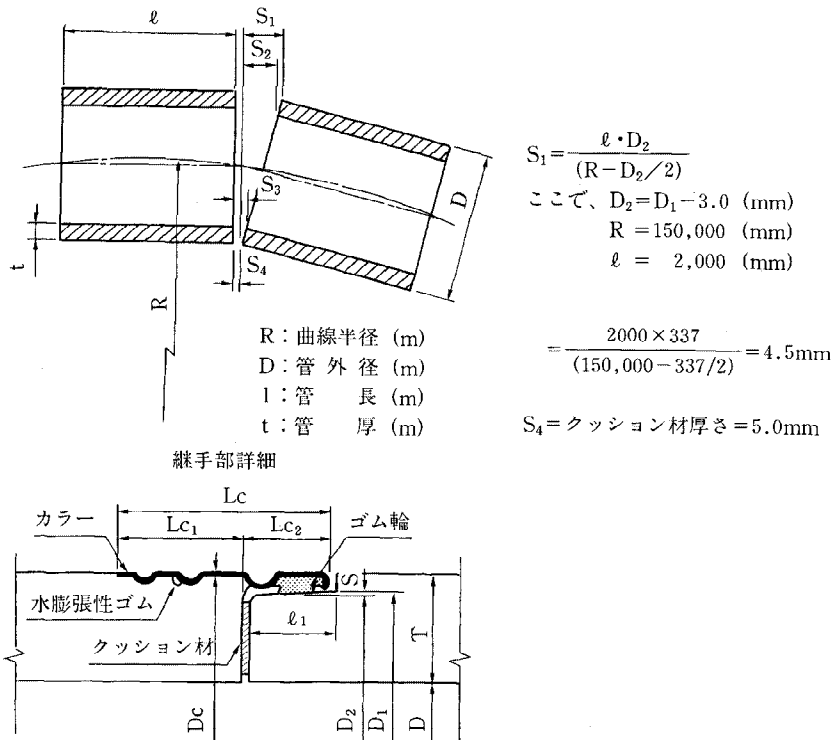


図-16 管目地の開口長

システムは管径からDL35システムを使用し、カッタに礫破碎性能を有するローラビット型カッタヘッドを採用した。また、先導体の方向性確保・泥土通路への礫径取り込み制限のためカッタヘッド後方にフードを装着した。写真-7に先導体全景を示す。

4. 3 施工結果と評価

(1) 推力の発生状況

推力の発生状況を②スパン(L=84.0m CL=66.9m 土質:シルト混じり砂)の場合と比較したデータとして図-14に示す。これから、以下のことが考えられる。

1) 今回報告する①スパンでは、推力は距離に比例せず34m付近で最大推力51tを記録している。到達後の空押し推力は9tで収まっており、推進途上の推力上昇は全て切羽先端抵抗に起因したものと考えられる。

推進土質が礫率の高い、玉石混じりの砂礫層で

あったため、ローラビットによる礫破碎に必要以上に押し付け力を要したこと、フードによる礫取り込み制限を設けたことによる土砂掃けの悪さが切羽先端抵抗の上昇を招いたものと推定する。

写真-8にローラビットの磨耗状況、フードの変形状況を示す。

なお、掘削排土状況は高礫率地盤で有りながら掘削トルク上昇以外は安定した掘進が確保でき、排土中にも20~30mmに破碎された礫片を多数含有し、高礫率地盤での適用性も実証された。

2) 曲線施工による推力の増加は、①スパンでは検証できないが、②スパンの推力状況から見て曲線区間に入っても横ばい状況である。カーブ後半で推力上昇しているのは、①スパン同様礫混じり土に遭遇し、切羽先端抵抗増大に起因したものと考えられる。距離に比例せず曲線区間でも低い値で安定した傾向を示しているのは、ポリマー系作泥材と充分攪拌された泥土層がヒューム管周囲に



写真-9 ①スパン既設マンホール内到達状況

形成され、地山との摩擦抵抗を低減している効果が現れたものと考えられる。

よって、曲線の影響については、 $R=150\text{m}$ 程度であれば、推力への影響は少ないものと思われる。

(2) 計画線形に対する精度の確保

計画線形に対する先導体位置の検知結果(施工線形)を図-15に示す。

1) 水平方向の施工精度

①発進からB C点(34.37m)までの直線区間はレーザーターゲット方式の位置検知により施工を行ったが、最大偏差量30mm程度であった。

②B C点から先の曲線区間では、レーザ視準不能のため、電磁法と先導体ヨーイング量累積に基づく位置検知により施工を行った。曲線区間での最大偏差量は30mm外側で全般的に計画線外側を辿った線形となった。到達精度は左(外側)30mmで既設マンホール内に無事到達できた。(写真-9参照)

推進線形が外側にふくれたのは、土質が砂礫地盤であったことによる、ア)方向修正時の拡張余掘り部の保持不十分、イ)切羽先端抵抗増大による管列の外側への移動が起因しているものと推定される。

2) 垂直方向の施工精度

直線区間及び曲線区間の双方を通じて、最大偏差量+26mmを記録したが、全般的に $\pm 20\text{mm}$ 以内と安定した精度が確保できた。最終的には下10mmの偏差量で到達できた。(図-15参照)

(3) 管目地開口長と管端状況

推進完了後、管内テレビカメラにより目地開口長と管端状況を調査した。

$\phi 250\text{mm}$ の小口径推進管(JSWAS A-6)では、抜けしろ(最大目地開口長)は20mmと規定されている。ここで、図-16に示す計算上から求まる $S_4 + S_1 = 9.5\text{mm}$ ($S_4 = 5\text{mm}$ 、 $S_1 = 4.5\text{mm}$)となる。曲線区間での調査の結果、内側 S_4 で3~5mm、外側 S_1 で7~10mmとほぼ計算結果に近い目地開口長であった。また、管端部は破損もなく良好な状況であった。

この結果、センプラカーブシステムが曲線推進時の管端面の防護、目地開口長さの保持、精度の良い曲線追随性を有していることが実証できた。

5. あとがき

本稿で紹介した施工事例は、小口径ヒューム管の曲線推進という最初の試みであり、無事完了することができ、小口径推進技術の分野において新たな1歩を刻むことができたと考えている。

今後、施工実績を重ねるごとに、技術の成熟度はさらに高まると期待されるが、この技術の課題として、現行の最小曲率半径150mをさらに小さくし、急曲線施工が可能な工法(推進機及び推力伝達機構)の技術開発が望まれる。

このレポートは、全国の下水道関係者が困難な施工条件をクリアする手法のひとつとして、ここで紹介した事例を少しでも参考にいただければと考え、設計・施工に携わったものが共同で執筆したものである。

参考文献

1) 白川淳一

「いろいろな分野で活躍する下水道推進技術 長距離・曲線推進を実現した小口径推進エースモデルDL工法」

月刊推進技術 Vol. 8 No. 6 1994

2) 井下博巳 中原和洋

「センプラカーブシステムによる曲線推進技術 下水道管渠用センプラカーブシステム」

月刊推進技術 Vol. 8 No. 6 1994