

曲線ボーリング技術を用いた新しい地下空間創出技術の開発

DEVELOPMENT OF NEW TECHNIQUE FOR CREATING UNDERGROUND SPACE USING CURVED BORING

(Development of curved roofing technique based on TULIP method)

粕谷太郎・小幡常雄..

Taro KASUYA, Tokio OBATA

New techniques have been developed for boring in the form of arc or pseudo-arc from limited underground work space. They enable, in combination with conventional techniques, construction or partial widening of large section underground structures. Using these techniques with curved pipes, freezing and injection methods have been developed and employed in project sites.

In addition, aiming at cost saving, development has been implemented on the curved roofing method which constructs earth retaining walls by embedding pipes provided with sectional joints, and on the pipe joining methods. This paper addresses the overview and performance of these techniques.

Keywords : creation of underground space, partial widening of underground structure, curved roofing joints of shape memory alloy, curved boring

1. はじめに

建設分野の技術革新が顕著な進歩を遂げるなか、大都市部におけるトンネルの構築技術は、自然環境、地上部の構造物や輻輳する地下施設に影響を及ぼすことなく、また地域の都市機能をできる限り阻害することのないように、かつ、効率よく建設することが望まれている。

このようなニーズのなか、限られた地下の小さな作業空間から曲線ボーリングを円弧状や疑似円弧状に施工し、既存工法との組合せにより大断面の地下空間構築や部分拡幅が可能な曲線ボーリング技術の開発が進んでいる。

著者らは本技術を用いて、曲線管を利用した凍結工法、注入工法の開発および実施工を進めている。

また、トンネル等の補助工法として用いる先受工に、鋼管を直線状に布設するパイプルーフ工法があるが、今回、これに対し、曲線ボーリングを応用して、道坑等から、管の横方向に継手が付いた曲線管を連続的に埋設し、曲線管が一体となったルーフ状の土留壁を構築する曲線ルーフ工の開発を行った。また、管の合理的な接合方法に関する研究、開発、試験も併せて進めている。これらは、新たな地下空間の創出技術およびトータルコスト縮減等の可能性を有している。本論文では、今回のこれらの成果について述べるものである。

「キーワード」地下空間創出、地下部分拡幅、曲線ルーフ工、形状記憶合金継手、曲線ボーリング

* 正会員 フェロー 技術士（建設部門） 鉄建建設（株） エンジニアリング本部

* * 鉄建建設（株） エンジニアリング本部

2. 曲線ボーリング技術の概要

本技術は限られた小さな作業空間において、曲線ボーリング装置を用いて単心円の円弧形状をした曲線管を精度良く埋設する技術である。また、疑似円も可能な指向性ボーリングを目指している。そして埋設した曲線管を利用して凍結工、注入工等の地盤改良工を施し、リング状の壁を造成することにより、シールドトンネルの地中接合やトンネルの拡幅分岐・合流、立坑の拡幅等の施工を可能とする。また、扁平長大断面トンネルの支保工等の補助工法としても利用可能であり、応用範囲が広い。

2.1 曲線ボーリングシステム

本システムは先端駆動のビットを装着した先端装置、曲線管（外管と内管）、推進装置および一定曲率を保持する架台、送水ポンプや排泥設備等の後続設備より構成される。

I 型、II 型タイプの装置があり、工事内容等により選定する。その主要部分の機構について概説する。

(a) 曲線ボーリング先端装置

図-1 の先端装置は所定の曲率を有した二重管構造であり、内管外径 190.7mm、外管外径 216.3mm で、その先端部分に、ビット駆動用オイルモータを内蔵した掘削機構がある。ビットは拡張型で、拡張量と余掘量は調整可能であり、回転は左右可能である。掘削時には先端部より水等を噴射し、掘削土砂は後方設備のバキューム等によって内管と外管のクリアランス(約 7mm)を利用して排出する構造である。先端装置はオイルモータ等により最小管径・曲率が決定される。現状では、外管外径 216.3mm において、最小曲率半径が 3m である。図-2 のタイプは先端装置と外管の把持に油圧チャックを用いて能力を向上したこと、小礫や高水圧に対応可能なこと、また、内管を小さくし、かつ掘削土砂の排泥管として用いたことを特徴とする。

(b) 曲線ボーリング推進装置

図-3 に示す推進装置は外管を油圧ホルダで固定して、一定の曲率をもった曲線管の接線方向に推進を繰返す油圧シリンダフィード方式である。この油圧ホルダは方向制御のために、曲線管と同一平面内で $\pm 5^\circ$ の回転および $\pm 7\text{mm}$ のスライドが可能である。推進架台には曲率に合わせて推進装置とガイドローラが配置されている。図-4 のタイプは油圧ホルダが2分割し、かつそのホルダが、所定の曲率をもつ推進架台(ベース)上を油圧シリンダでスライドさせていく架台とガイド機構が一体となった構造である。小さな空間(トンネル内径 3.0m 程度)でも作業が可能であり、ホルダの盛替作業を少なくすることを目的に開発した。

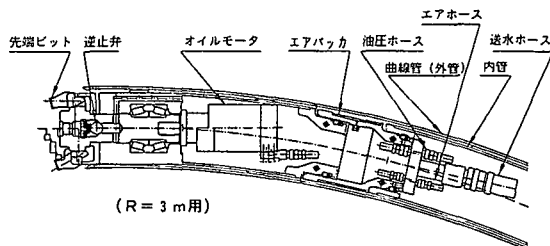


図-1 I型曲線ボーリング先端装置

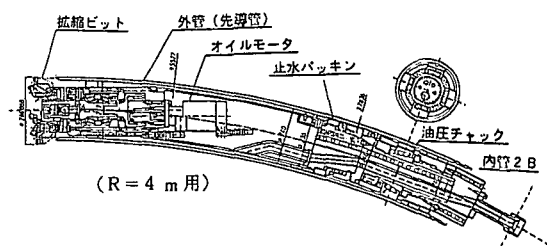


図-2 II型曲線ボーリング先端装置

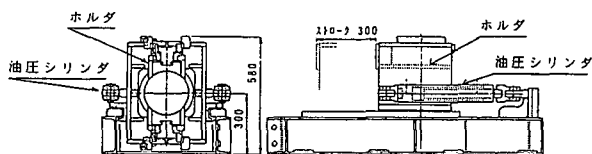


図-3 I型曲線ボーリング推進装置

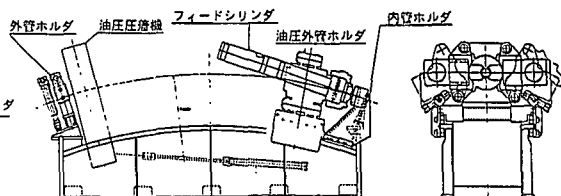


図-4 II型曲線ボーリング推進装置

2.2 本曲線ボーリング技術の主な適用・用途

本曲線ボーリング技術の適用が可能な例として、①～⑫がある。

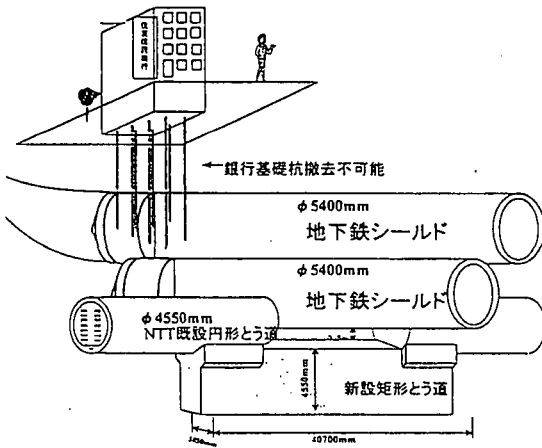
- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| ① 曲線管埋設 | ⑦ シールドトンネルの地中接合 |
| ② 曲線管を利用した地盤改良（凍結工，注入工） | ⑧ 鉄道トンネルの駅部拡幅等 |
| ③ 曲線ルーフ工 | ⑨ 道路トンネルの分岐合流，非常駐車帯部拡幅等 |
| ④ 立坑の地中拡幅等 | ⑩ 扁平大断面トンネルの支保工等 |
| ⑤ 大断面地下空間の支保工 | ⑪ トンネルの部分拡幅（排水ポンプ室等の築造） |
| ⑥ 地下街，地下駐車場 | ⑫ ケーブル等のさや管 |

2.3 地下空間創出の実例－地下鉄建設に伴う既設とう道支障移転工事（凍結工法）－

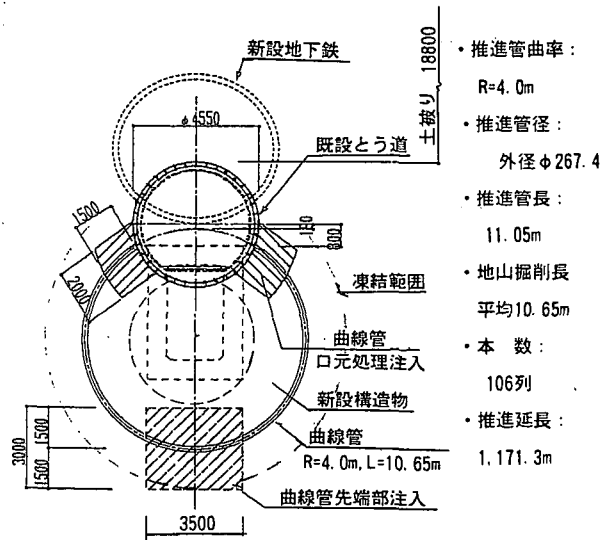
本工法を適用した実例の概要を示す。

- (1) 施工場所 兵庫県神戸市中央区 (2) 地 質 洪積層，砂と粘土の互層
(3) 工事概要

本工事は、図－5に示すように地下鉄シールドトンネルの推進計画線上に既設とう道があり、このとう道をシールドトンネルの推進に支障があるため、とう道の一部を撤去・新設する工事である。図－6に示すように、この工事に凍結工法が採用され、その新設とう道の掘削内に凍結管が露出することがない曲線ボーリング凍結工法が採用された。工事は既設とう道内に図－2，図－4に示す装置を設置し、曲線管（1列当り1.87m+1.33m/本×7本）を埋設し、凍結管のさや管として利用した。狭隘な空間での作業のため、曲線管を8本接続しながらの作業であったが、施工精度は、凍結管の鞘管として使用するための管理目標 1/30 以上に対し、曲線管用ジャイロによる計測結果の平均値は、深度方向の精度＝1/72，推進方向の精度＝1/57 であった。



図－5 概要図



図－6 横断断面

3. 曲線ルーフ工の開発

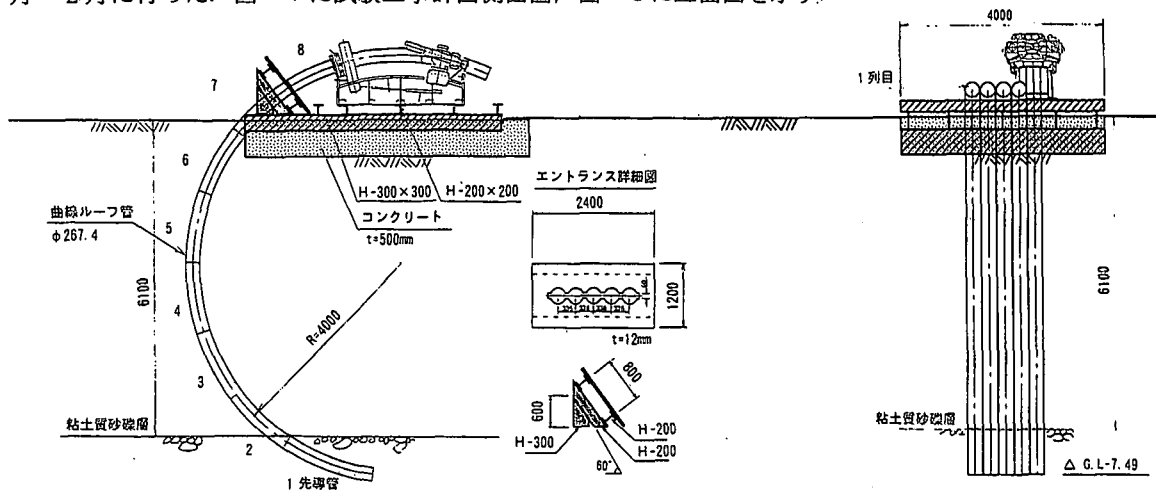
3.1 概要

地下空間の計画，開発の検討が進むなか，曲線管を連結し，地中構造物内より拡幅土留壁に利用する技術

開発のニーズが高まっている。このような背景の基に、曲線ボーリング技術を用いて、管の横方向に継手の付いた曲線管＝『セクションジョイント付き曲線管（S J 付き曲線管と呼ぶ）』を埋設し、連続的なルーフ状の土留壁を構築する曲線ルーフ工の研究・開発を進めている。ここでは、実証試験での施工性や今後の研究・開発すべき事項等について述べる。

3・2 実証試験内容

曲率半径 4.0m の S J 付き曲線管を 5 列埋設し、施工の連続性を検証するために、試験施工を平成 11 年 1 月～2 月に行った。図－7 に試験工事計画側面図、図－8 に正面図を示す。



図－7 試験工事計画側面図

図－8 試験工事計画正面図

(a) 実証試験場所の地質

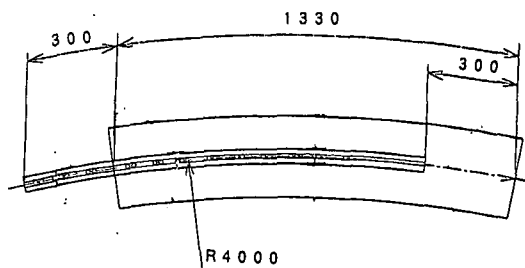
地質は、地表から順に、ロームおよび黒ボクよりなる埋土層、ローム層およびローム質粘土層で構成されている。その下部の GL－6.1m～8.5m は粘土質砂礫層となり、礫（礫径：φ2～50mm）が点在する。N 値は GL－5.0m までは、1～4 を示し、GL－6.1m で 35、GL－8.5m で 15 を示す。

(b) 曲線管、試験数量

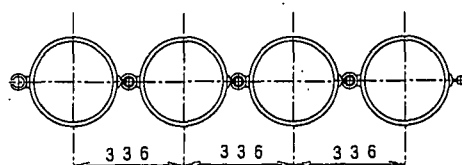
S J 付き曲線ルーフ用管の仕様、試験数量は下記のとおりである。試験の数量は施工の連続性を検証するため、5 列施工とした。

- ・曲線管：S J 付き曲線管
- ・鋼管：STK400, 250A, 外径 φ 267.4
重量(9.3t)59.2kg/m
- ・曲率半径：R = 4.0m
- ・先導管：12.7t × 1,800L
- ・後続曲線管：9.3t × 1,330L（図－9 参照）
- ・施工本数：5 列
- ・施工延長：(1.33m/本 × 6 本 + 1.80m) × 5 列 = 48.9 (m)

曲線管を 4 列連結した状態の断面を図－10 に示す。



図－9 S J 付き後続曲線管（両端溶接型）



図－10 S J 付き曲線管連結状態

3・3 曲線ルーフ工の主な研究開発・検討事項

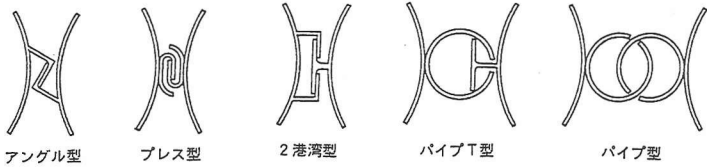
実証試験を実地するにあたり、研究開発・検討した主な事項について述べる。

(a) セクションジョイント（SJ）の形状

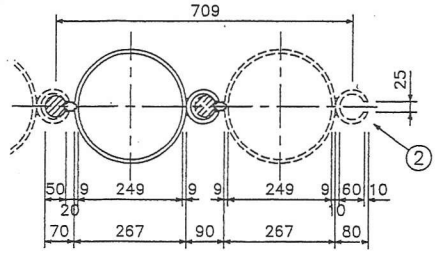
SJの形状は曲線ルーフ工を成功するか否かを決定する重要事項である。このため、通常のパイプルーフ工法に使用されている継手が曲線ルーフ工に適用可能かを検討して、形状の決定をし、平成9年に初期の実験を行った。これらの結果を踏まえて、今回の実証試験に使用する継手形状を決定した経緯をここに述べる。

(1) 通常継手の検討結果

通常の継手の形状は次の図－11のとおりである。



図－11 通常の継手形状

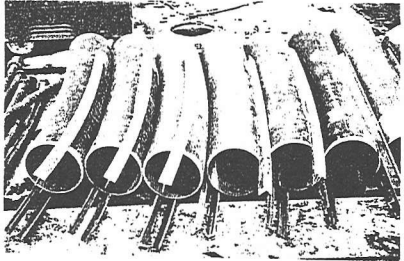


図－12 パイプ丸形鋼継手

この内、「アングル型」は曲線推進であることから、継手が外れる恐れがあるので使用できない。「プレス型」は曲線状の加工がむずかしい。「2港湾型」「パイプT型」「パイプ型」は管の加工は可能であるが、①接続時に後続管が滑らかに通過するか②接続作業が容易であるか③接続した後、段差が出来ないかの課題がある。そこで、①から③の課題を考慮し図－12のようなパイプ丸形鋼継手を考案した。このタイプはメス側継手が丸鋼なので、位置合わせの加工ができる。したがって、継手の接続時に突き合わせの位置合わせが容易、かつ、正確にできるので継手に段差等がでにくい。

(2) 初期実験時（平成9年9月）の継手形状

パイプ丸形鋼型継手は前述のような特徴があるが、現時点での技術では、加工が困難で高価過ぎ、実用化には問題があることが判明した。そこで、既存継手の中では曲線加工が容易で安価である写真－1のような2港湾型を少し改良し、初期実験を行った。



写真－1 2港湾型継手曲線管
（初期実験タイプ）

試験結果は、予測以上にトラブルが生じ、実験を中断した。

その大きな原因として、曲線管に溶接した時の継手自身と曲線管の変形や、取扱い時および施工時の変形は無視できないものであった（直線状の推進ではなく、曲線状の推進のため、推進力が継手の変形の一要因になる）。また、接続後の段差も無視できない等の問題があることが判明した。

表－1 試作継手比較表

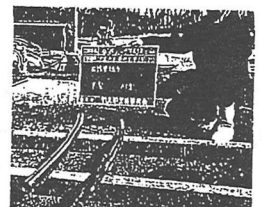
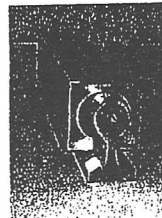
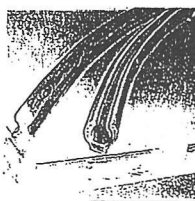
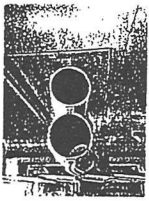
(3) 実証試験工事（平成11年1月～）継手形状

本試験工事の継手形状は、それまでの研究調査、初期実験結果より、実物大のサンプルを試作し、加工特性とコスト・納期、および施工時の留意点（対応）等を検討して決定した。その試作した継手を写真－2に示し、また、表－1に主な項目の比較結果を示す。総合評価は改良ミニパイプ型継手が一番優れていると判断し、実証試験工事に採用して、良好な成果を得た。

継 手 形 状	重 量(kg/1m)	曲げ加工性	溶接ひずみ	注 入	コスト	
CH 型	11.33	適正	1 * 1	不可	3 * 2	
パイプ型	26.03	過重	4	可	5	
ミニパイプ型	17.20	やや重	3	やや大	不可	4
カーテンレール型	19.00	やや重	2	やや大	不可	2
改良ミニパイプ型	14.20	適正	1	小	不可	1

* 1：1が一番加工しやすく、数字が大きくなるほど加工困難

* 2：1が一番安い（パイプ丸形鋼型はこれら試作品の数倍）、数量で少し変わる



① CH 型

② パイプ型

③ ミニパイプ型

④ カーテンレール型

⑤ 改良ミニパイプ型

写真-2 試作した各種継手

(b) 曲線鋼管の許容誤差

鋼管自体の製作精度や曲げ加工，セクション溶接等の加工精度も，本工法の施工の可否を左右する大きな要因である。以下に，加工コストや施工性等を検討して，決定した仕様の一部を示す。

① 鋼管自体の精度 (250A)

- ・ 外径: $267.4\text{mm} \pm 0.7\text{mm}$ (JIS $\pm 0.5\%$)
- ・ 肉厚 先導管: $12.7\text{mm} \pm 3\%$ (JIS+10%, -1.2mm)
- 後続管: $9.3\text{mm} \pm 3\%$ (JIS $\pm 10\%$)

② 鋼管の曲げ加工精度

- ・ 曲率: $R = 4,000\text{mm} \pm 5\text{mm}$
- ・ 外径: 横軸 $266.0\text{mm} \pm 1.0\text{mm}$
- 縦軸 $266.0\text{mm} \pm 1.0\text{mm}$

③ S J の加工精度: 曲率，長さは鋼管の精度に準拠。

④ S J 曲線管の精度: 仮組試験でスムーズに摺動すること。

当初の加工時には，許容誤差に入らない曲線管があり，④の試験時に滑らかに摺動しなかった。それ以後の許容誤差内の曲線管は滑らかに摺動し，上記の許容誤差の値が，施工性からは妥当と考える。

(c) 施工管理上の検討事項

本工法は，十分な施工管理が必要である。今回，特に検討・対処した主な事項は下記のとおりである。

① 現場持ち込み前に S J 付き曲線管自体の計測と仮組の検査の実地。

② 前記の加工精度の確認とともに，曲線管に上下左右（垂直，水平）の基準線，管番号，隣接管との合いマークを表記しておき，現場施工はそれに基づいて行う。

③ 架台の据え付けベースを H 鋼などの堅固なものとし，水平方向，推進方向の中心線を確実に合致させる。

④ 発進部の施工精度を上げるため，図-7のエントランス詳細図のような鉄板製一体型のもを採用する。

⑤ 管接合の位置合わせを容易にするため，セクションジョイントの端部に，オス側に凹凸，メス側にテーパの形状を付けておく。（図-13 参照）

⑥ 推進速度と送水量および排泥量のバランスの保持。

⑦ 管接続は曲率の保持，接続した後の段差ができない事等に注意する。（原寸定規等の使用）

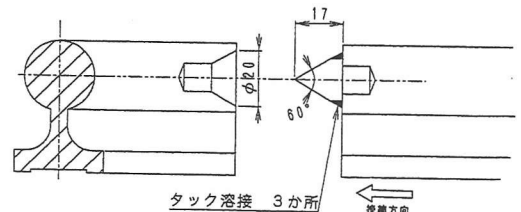
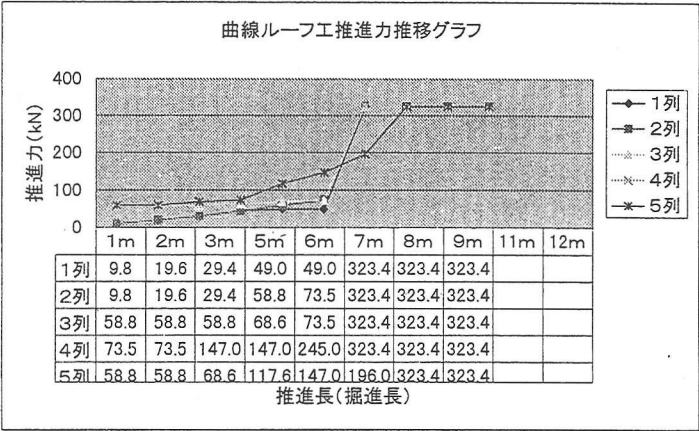


図-13 オス側 S J 位置あわせ凹凸

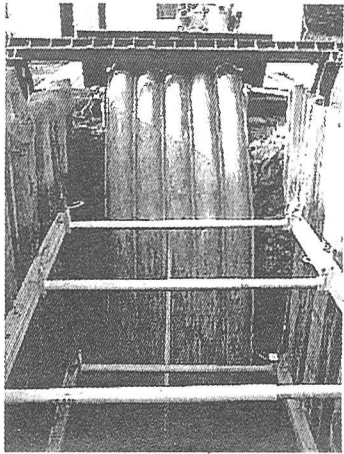
3・4 実証試験工事結果

本試験工事は前記の検討事項に十分留意しながら行い，5 列の施工が完了した。推進力の推移は図-14 に示すとおりで，1 列目の推進長（掘進長）が 6m までは $9.8 \sim 49\text{kN}$ と直線推進工法の理論値 F （推進力 $F = F_0 + R \cdot S \cdot L$ ここに， F_0 : 初期抵抗値， R : 土質係数， S : 管外周長 L : 推進長）と同程度である。7m から 323.4kN と急速に増大した。2 列目以降は 6m が $58.8 \sim 245.0\text{kN}$ となり，7m から $196.0 \sim 323.4\text{kN}$ となる。これらの大きな原因として GL - 6.1m（推進長約 7m）地点で粘土質砂礫層に変わり，N 値もそれまでの 1

～ 4 程度から 35 と変化することや推進力と管の推進方向が逆になり、土および S J の抵抗の増大等があげられる。また、固結粘土層での排泥が閉塞気味になることによる推進力の増大も大きな原因であると考えられる。2 列目の推進力は 1 列目と比較して、ほぼ同程度あり、この結果からは S J の抵抗が、極めて小さいと判断できる。それと比較して 3 列目からの 1m 以深の推進力の増加は 2 列目の 6 本と 7 本の管の接続精度がやや低かったと考えられ、施工管理の重要性にあると判断した。なお、推進力 323.4kN は本推進装置の最大能力に近く、これらは推進速度のみで調整したが、本施工に際してはジャッキ能力のアップをする必要がある。曲線管の埋設状態を確認するため、掘削した時の状況を写真－3 に示す。



図－14 曲線ルーフ工推進力推移



写真－3 曲線管の埋設状況

3・5 主な試験工事の成果と今後の研究すべき事項

本工法の施工性、コストパフォーマンスをさらに向上するためには、曲線ルーフ工に適した機械の開発、曲線管の曲げ加工法、S J の形状・製造法の研究を深度化することが必要と考える。

4. 管の合理的接合技術の開発

曲線ボーリング技術の合理化施工を目指した周辺技術の一つとして、曲線パイプの合理的な接続法の開発が望まれている。従来、曲線ボーリング用の曲線管接合は現場円周電気溶接による接続法を主に採用していたが、この電気溶接による管接続方法は、①溶接時間、②接合内面の凹凸、③地下空間での換気、④冷間加工した曲線管の溶接時の入熱による変形、⑤溶接火花や高熱の発生により、曲線管内のボーリング先端装置用油圧ホース等の焼損および周囲の火災の恐れ、⑥技量のある溶接工が必要等の課題がある。

その解決技術として、①形状記憶合金継手、②アモルファス接合、③油圧圧着方式等の研究を進めている。

ここでは、強度、作業環境、施工性に優れている形状記憶合金(SMA : Shape Memory Alloy)を用いた技術の研究・開発成果の概要を述べる。

4・1 形状記憶合金の特性

形状記憶合金とは、この合金に変形を加えた後、ある温度に加熱すると、あたかもそれ自身が以前の形を覚えていたかのように、自力で変形前の形に戻ってしまう性質を示す金属のことをいう。日本で開発された鉄をベースとする Fe-28Mn-6Si-5Cr 形状記憶合金はチタン・ニッケル合金より経済的である。この成分の形状記憶合金は溶接性および加工性等もよい材料であり、その特性を図－15 と表－2 に示す。

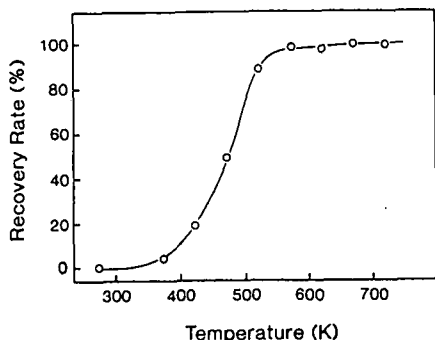


図-15 Fe-28Mn-6Si-5Cr 形状記憶合金の形状回復率温度特性

4.2 形状記憶合金 (SMA) 継手締結の概要

SMA 継手は形状が単純で、かつ、取扱いが容易である。パイプを円筒状に切削した部位に SMA 継手を装着したのち、一定温度(約 300℃)の高周波加熱により継手を収縮させ、短時間(約数分)で締結を完了する。

このための作業は熟練工でなくても可能であり、クリーンな作業環境も創造できる。また、曲線管での適用も可能である。図-16 に SMA 継手の製作と締結のフローを示す。

4.3 SMA 継手試験の種類

SMA 継手の性能確認試験は、引張強度を向上させる要素として継手の特性を、下記の 3 項目に着眼して行った。表-3 に平成 11 年 3 月までに実施した試験の一覧表を示す。

- (1) SMA 継手の特性：継手長、継手厚
- (2) 鋼管定着部の特性：鋼管定着部の外径、管厚
- (3) SMA 継手と鋼管定着部との特性：形状寸法(精度)、隙間、シール材、C 型リング(せん断キー)、点溶接

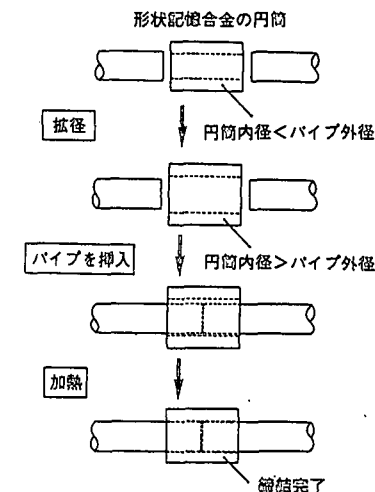


図-16 SMA 継手の製作と締結

表-3 SMA 継手の性能確認試験一覧表

試験	試験区分	鋼管径	数量	試験内容	継手機構
第1次	引張	8 インチ	6 体	継手長、隙間	摩擦接合
2	引張	8	12	継手厚、継手形状、シール材	摩擦接合
3	水密性	8	5	継手の水密性、シール材	摩擦接合
4	引張	4	18	継手長、継手厚、継手形状	摩擦接合
5	引張	2	19	継手形状 (6 種類)	継手機構の比較
6	引張	4	24	普通継手と継手形状 (C 型リング)	せん断キー接合
7	引張	10, 12	4	継手形状 (C 型リング)	せん断キー接合
8	引張	4	15	普通継手と継手形状 (C 型リング)	せん断キー接合
9	引張	4	21	C 型リングと溝の形状	せん断キー接合
(計)			124		

4.4 試験結果から得られた形状と強度の関係

SMA 継手は基本的に SMA 継手の収縮力による摩擦接合を応用した機械式継手である。表-3 の第 1 次から 4 次試験までは、摩擦接合による継手であるが、用途により強度不足となるため、継手の形状を工夫することとした。SMA 継手の継手形状は、現在までに検討あるいは試験を行ったものは図-16 に示すとおり。

りであり、これらを区分すると表-4のようになる。

表-4 SMA継手と鋼管定着部との継手形状

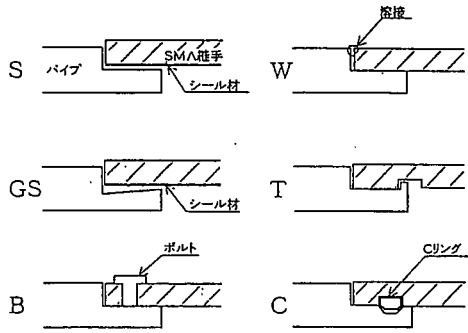


図-17 SMA継手の概略形状

記 号	締結条件	継 手 形 状	
		SMA継手	鋼管定着部
N	普 通	平行	平行
S	シー ル 材	平行/シー ル 材	平行
GS	シー ル 材	平行/シー ル 材	平行/逆T-ハ
B	ボ ル ト 締	平行/皿ボ ル ト	平行
W	点溶接	平行/点溶接	平行
T	突起付	平行/凹み	平行/突起付
C	Cリッパ	平行/凹み	平行/凹み

継手形状による強度向上の効果の評価方法として、継手形状が表-4に示す記号Nの引張強度を基準として同条件におけるその他継手形状の引張強度との倍率を相対的に比較した第5次試験結果を図-18に示す。

シー ル材および点溶接の強度向上は2倍以下である。一方、機械的な突起およびはC型リングは2倍以上の効果がある。ボルト締めはボルト先端に摩擦力が集中するが、ボルトの押し込み力が摩擦を減少させるため基準強度に達しなかったと推定される。以上の結果から、下記のことが言える。

- ①シー ル材は強度向上効果より、耐圧性用途のため有効である。
- ②スポット溶接は簡易的な現場における強度向上対策として有効である。
- ③C型リング継手は抜本的な継手強度向上に最も効果があることが判明した。また、せん断キーの効果があるC型リング型の高さが大きいものほど強度も比例的に大きくなるが、施工条件で決める必要がある。

その後の研究・開発で4インチ管において、C型リングの材質・形状（厚さ、幅）、溝の深さ、クリアランス等の改良により、第8、9次の引張強度試験結果では、母管強度の当初の40%台から70%台と向上している。

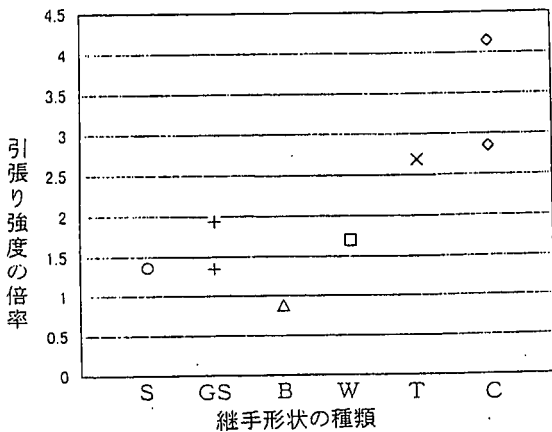


図-18 SMA継手の形状と強度との相対的比較

4.4 大口径SMA継手（C型リング継手）の試験結果

C型リングはSMA継手の強度向上に効果があることが判明している。ゆえに、強度の求められる大口径SMA継手としてC型リングの実用化試験を進めており、ここにその一部について述べる。写真-4は10インチ(250A)用 および 12インチ(300A)用 SMA継手の引張試験を行うにあたり、製作したC型リングを示す。引張試験は載荷治具の関係から大口径であるために9800kN圧縮試験機を用い、押し込み式載荷で4体の試験を行った。その試験結果の荷重-抜け出し量曲線を図-19に示す。この曲線から、300A用の引張強度はせん断キーの効果が発揮されたグラフであり、初期移動のあと荷重の上昇に伴い最終的に鋼管の溝部での損傷で試験を終了している。他方、250A(用)-150(継手長:mm)は摩擦接合の試験なのでこの程度の強度であるが250A(用)-180(継手長:mm)はC型リングと継手のバランスの問題からやや強度が小さくでている。

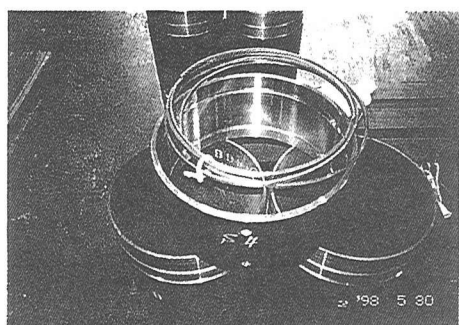


写真-4 300A SMA継手とC型リング

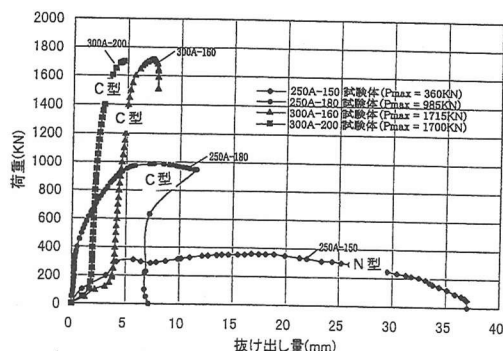


図-19 全試験体の荷重-抜け出し量曲線

4.5 SMA継手実用化と今後の研究課題

実用化に向けて、前述の曲線ルーフ工試験工事の一部にSMA継手の試験を組み入れた。第7次～9次試験結果と使用目的により、C型リングと溝の形状を決定して、次のようなSMA継手実用化試験を行った。

(a) 曲線ルーフ工用SMA継手

- ・適用曲線管：250A，肉厚9.3mm
- ・曲率半径：R=4.0m用
- ・曲線管1本の長さ：1.33m（後続管）
- ・SMA継手形状：C型リング，長さ150mm，肉厚8.5mm

上記のSMA継手は第7，9次の試験結果よりC型リングの高さの増大・溝幅の縮小と1mm程変更した。また，SJの継手部分等にも工夫をしている。写真-5にその状況を示す。



写真-5 曲線ルーフSMA継手試験状況

(b) 今後の研究

今回のSMA継手の実験は，施工性とその課題を検証するために行ったものであり，基本的には，その目的的成果（実用化の目処）は得られた。管の接合は，管の使用目的，管径，作業状況等に合わせて継手の形状（機能）を適合させる必要がある。そのために，SMA継手の基本特性の把握と併せて，製造コストの削減，規格の標準化，品質管理，加熱装置のコンパクト化・低コスト化等の研究をする必要がある。

5. まとめ

本曲線ボーリング技術は，経済的な既存技術を総合化およびシステム化することにより大断面地下空間の構築等を可能にする要素技術である。より合理的な工法として確立するためには，管の接合時間を大幅に短縮する等の合理化技術をはじめとする周辺技術の研究を行い，実プロジェクト対応に向けた技術開発の深度化をさらに進める必要がある。

6. 参考文献および資料

- 1) 曲線ボーリング装置(TULIP 工法)：建設機械化技術・技術審査証明報告書，(社)日本建設機械化協会，H6.8
- 2) 亀岡美友，粕谷太郎：曲線ボーリング工法(TULIP 工法)の開発：土木学会誌，1995年4月，pp.36-39
- 3) 粕谷太郎，小幡常雄，三木甫，丸山忠克：地下空間構築に用いる曲線ボーリング接合技術の開発：土木学会地下空間研究委員会，地下空間シンポジウム論文・報告集，1999年1月，第4巻 pp.275-282
- 4) 鎌田敏正他：地下空間シンポジウム論文・報告集，1998年1月，第3巻 pp.331-338