

解説 世界が認めた

最も効果的な推進力伝達方法として 普遍的に活用されている センプラカーブ推進システム

NO-DIG 94 AWARD WINNER



にしだ ひろはる
西田 広治

機動建設工業(株)
取締役常務執行役員

1 はじめに

NO-DIG AWARD は、非開削工法分野の技術に授与されるもので、これまでに様々な日本の企業や団体が受賞しています。いずれの技術も、「世界が認めた最高水準の推進技術」として、我が国の推進工法に幅広く使用されています。その中の一つである「センプラカーブ推進システム」も、曲線施工における推進力伝達に欠かせない方法として、ご活用いただいております。

写真-1は、(株)日本下水道管渠推進技術協会会長でもあった当社の故木村宏一元会長が Curved Pipejacking System (センプラカーブ推進システム) でNO-DIG 94 AWARDを受賞された

きのものです。写真-2は、授賞式後のJSTT日本非開削技術協会ブースでの一コマです。

本稿では、「センプラカーブ推進システム」がNO-DIG AWARDを受賞した経緯について執筆する機会をいただきました。すでに20年近く経過しており記憶も不確かですが、資料をもとに開発から受賞までの過程などを記したいと思います。

2 曲線推進工法の変遷

海外から日本の推進技術を視察に来られる方々は多数いらっしゃいますが、最近、曲線推進の施工例を紹介した際、異なる機関の方々から、「まっすぐな管

を曲げて推進できるわけがない」という疑問をいただいたことがありました。今では、ごく当たり前のように曲線推進が設計されていますが、初期の曲線施工は、前述の疑問と同じように、手探りの状態で始まったようです。

2.1 最初の曲線推進

当社における最初の曲線推進は、昭和40年(1965年)に熊本市で施工された事例があります。その内容は、内径1,200mmのヒューム管を5スパン計L=221.5m推進する工事において、推進路線途中に電話地中線のマンホールがあり、このマンホールを回避(横に約1m)するために、発進~到達立坑間の推進ラインを曲線半径R=79mの円弧状で推進したものです。この事例は設計段階から曲線推進を意図して計画した最初の施工でした。

当時はまだ推進管の規格が無く、B型管という両端部に段落ち部(リベート)の無い管が使用されており、管の接続には、カラー部を外に出した外継輪、またはカラー部を管内側にした内継輪が用いられていました。羽根板は、継輪が前後に移動することを防止するためのフランジに相当するものであり、図-1に示すように4~10枚程度の鉄



写真-1 NO-DIG 94 AWARD 受賞式



写真-2 NO-DIG 95 ドレスデン
JSTT日本非開削技術協会のブース

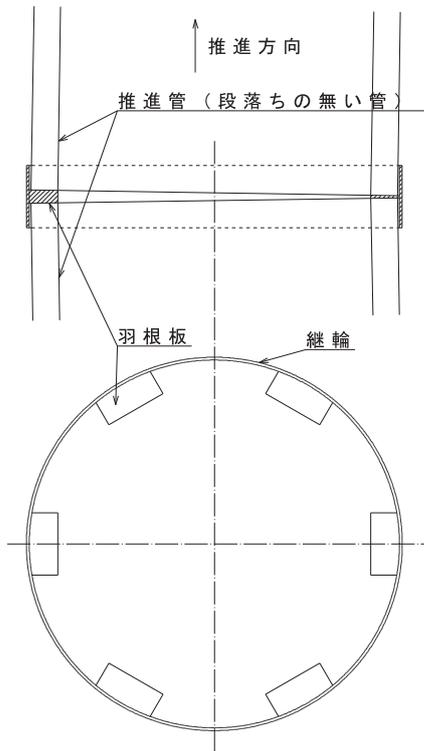


図-1 羽根継輪

図-2 手書きの曲線推進理論文書

No. 6.....

2 曲線はどうして造られるか

(1) 掘削初期

管が曲線中を推進する時、地盤は管外径Dより水平方向に広く掘削しなれば管が通過できない。この掘削の大きさδは次の式で与えられる。

$$\delta = r - \sqrt{r^2 - (\frac{\ell}{2})^2}$$

ここに r : 曲線半径 (内側の)
 ℓ : 管1本の長さ (2.43m)

ℓ = 2.43m において
 の各種 r に対する δ
 の値を表の通り

表-3 δの値の表 (単位 mm)

r (m)	25	50	75	100	150	200
11 δ (mm)	29	15	10	8	5	4

図-3

板を継輪に溶接していました。実施工では曲線半径に合わせて羽根板の厚みを変えるという方法を用い、左右で約36mmの差を設けました。

この曲線推進は発進から到達まで単一円弧上の推進でしたが、その後の曲線推進でも推進管接続部に鋼製のくさび(キャンバー)等を挿入して施工する事例が増え、左右の目地開きの差を適切に保持することによって折れ線形状の曲線を形成できることが実証されました。

2.2 曲線推進の理論化

その後、昭和43年(1968年)には、三鷹市で内径1,800mm、推進延長L=116.6mの推進工事において、直線から曲線(曲線半径R=700m、曲線長CL=20m)、そして再び直線になる曲線推進を施工しました。以降、昭和50年初頭までに刃口式で20箇所程度

の施工実績ができました。この実績を基に、昭和51年(1976年)7月に、社内で「ヒューム管の曲線推進の理論と実際」(図-2)が記されました。その内容は①曲線半径はどこまで取れるか②曲線はどうして造られるか(掘削掘削、曲線推進に伴う目地開口長の造成と保持)③曲線における推進抵抗④曲線推進の実際⑤測設、といったもので、この文書により、社内での曲線推進の設計手法と施工方法が確立されました。この文書に記載されている内容は現在の曲線推進設計の基本型にもなっています。

2.3 推進力伝達方法の変遷

現在の曲線推進の計画では、掘進方法の検討(掘進機の曲線造成能力検証、掘削掘削量の検討など)と推進管列の検討(推進管の選定、推進力伝達材の

選定、推進管強度の検証など)を行います。後者の推進管列の検討は、「許容範囲内の目地開き(許容開口長)を保持しつつ、推進管に過大な負荷をかけることなく適切な推進力を伝達し到達する」ことで、管路としての性能と品質を確保するために行うものです。

ただし、昭和50年当時は、推進力の伝達方法について明確に定まったものがなく、以下に記す様々な方法が試みられていました。

(1) くさびの挿入

初の曲線施工から昭和50年代半ばまでは、開口調整材に木製や鋼製のくさび(キャンバー)が用いられていました。また、鉄板を組み合わせて開口長を調整する方法や曲線から直線に戻るときに調整材を撤去できる方法なども考案されました。しかしながら、くさびでは

推進力の伝達面積が限られるため、部分的に負荷が集中し、往々にして管の破損を招くという問題がありました。

(2) ジャッキによる開口調整

昭和50年代に入ると、図-3に示すように、上下左右45度の4点に開口調整用のジャッキを配置し推進力を伝達する方法が開発されました。この方法は、ジャッキの組み合わせにより、上下・左右の何れの方向にも開口を調整して推進力を伝達できるという利点がありました。しかしながら、推進中の推進管の姿勢は刻々と変化するため、目地の開口長も変化し、推進力を4点に均等に伝達することは困難でした。また実用面では、開口調整ジャッキ用の長い継輪が必要になること、到達後に開口調整ジャッキを撤去しなければならないこと、などから汎用的に用いられるようにはなりません。

現在では、後述の推進力伝達材や緩衝材との組み合わせで使用されることもあるようです。

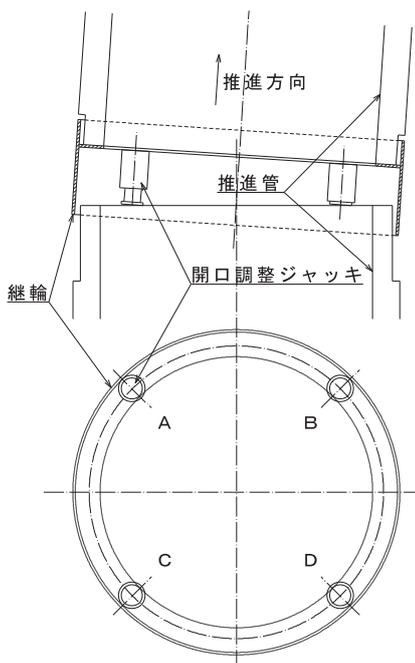


図-3 開口調整ジャッキ

(3) ピンによる伝達

泥濃式推進工法の開発当初に使用された方法で、図-4に示すように、上下2箇所のピン（ヒンジ構造）で推進力を伝達するものでした。この方法は、水平方向の曲線形成と推進力の伝達においては合理的であり、施工例も少なからずあったようです。しかしながら、実施工では上下方向の蛇行も発生するため、ピンの上または下のみで推進力を伝達することになる、という問題がありました。また、実用面では前述の開口調整ジャッキと同様に、ヒンジ装置を配置するための長い継輪が必要になること、到達後これらの装置を撤去しなければならないこと、などがあり、汎用的な方法にはならなかったようです。

(4) 曲線推進用管の開発

推進力伝達方法の様々な取り組みが進む中、昭和50年代半ばには図-5に示すように、継輪を推進管後端部に埋め込んだ推進管が開発されました。それまでは、推進管と継輪は別個のも

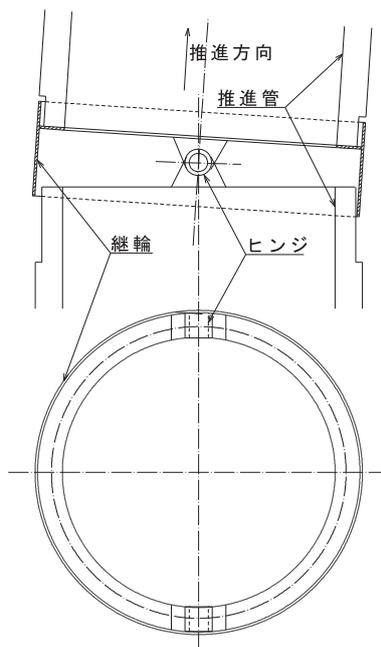


図-4 ヒンジ構造

ので、継輪はいわゆる町工場などで製作されていました。曲線施工ではほとんどの場合、継輪のフランジ部が推進方向前方の管に密着することが知られていましたが、礫地盤施工の際、まれに継輪前方部に礫が噛み込み、継輪がめくれあがるという事故が発生することがありました。埋め込みカラー方式の管は、このような事故を防止する上でも有効であり、急速に採用が広まりました。ただし、開発当初の曲線用推進管は、フランジ部分が無く、推進管接続部のコンクリート面が直接接触过いたために、管端面の破損等の問題があったようです。この対策として、合板が接続部端面の緩衝材として用いられるようになりました。合板は空隙を含んでいるため、圧縮変形しても推進管端面に引張り力が発生しない、また歪み（圧縮量）が増えても発生応力はほとんど増加しない、という特徴がありました。合板のこのような特徴は、目地開口差の保持および推進力の伝達という点では理想

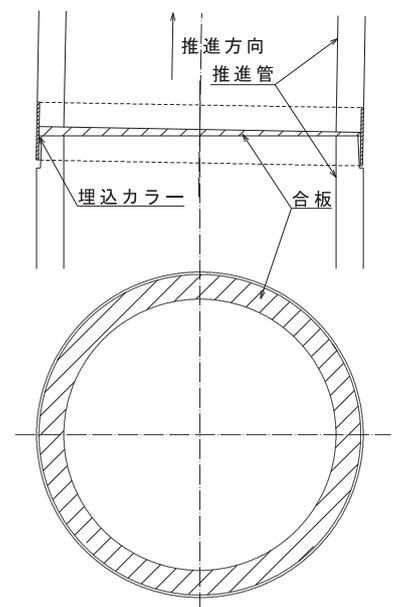


図-5 曲線用推進管

的であり、いくつかの曲線推進工事において管の破損を防止しつつ推進力を伝達できることが実証されました。ただし、経年による腐食の懸念があり、管路を構成する材料としては問題が残りました。

3 センプラカーブ推進システム

前述の状況の中で、昭和50年代後半には、合板に変わる緩衝材として樹脂製のものが使用されるようになり、樹脂性の緩衝材の中でも低発泡のポリスチレンを利用する方法が開発されました。

3.1 センプラリング（推進力伝達材）の開発

ポリスチレン（別称：発泡スチロール）は、ポリスチレンにブタン、プロパンなどの発泡剤を添加したものです。一般的な保冷材や緩衝材に用いられている発泡スチロールの発泡倍率は50～60倍以上といわれていますが、センプラリングに用いるポリスチレンの発泡倍率は2～3倍程度の低発泡のものです。

低発泡ポリスチレンには、図-6に示すように、「塑性領域が広く発泡倍率

を変える（1.7～5倍）ことにより弾性限界を変化させることができる」という特徴があります。

この低発泡ポリスチレンを、曲線形成のための推進力伝達材として、推進管継手部端面の上下に貼付け、上下を支点として、左右に自由に屈曲できるようにしたのが、図-7に示すセンプラリングです。

ちなみに、センプラは、Center Plastic Buffer Curve Systemの略称です。

3.2 推進力伝達の原理

センプラリングは、前述のようにある区間内で、歪みの増加にかかわらず応力がほぼ定常となる塑性変形を起こす領域があります。汎用的に用いられている2～3倍の発泡倍率では、図-6に示すように、圧縮応力が7～20N/mm²（70～200kg/cm²）の間で塑性変形状態になります。

この塑性変形の性質を利用すると、曲線区間で左右の目地開口長に差が生じた場合でも、管端面への応力集中を防止し、推進管にはほぼ均一な応力で推進力を伝達することができます。また、一般的な曲線であれば、センプラリングの貼付け角度を調整することにより、伝達される推進力の合力の中心を管の中央部に近づけることができるの

で、ちょうど中央の1点だけで支持されるピン接続と同じような効果が発生します。これにより管同士の回転力や管列の曲線外側へのせり出しが少なくなるので、管列は掘進機が通過した曲線軌道に追従しやすくなります。

センプラリングは、合板のような理想的な推進力の伝達ができること、腐食への耐久性が高いため推進完了後に撤去する必要が無いこと、などの利点があり、現在の曲線推進における主要な推進力伝達材になっています。

図-8は、発進後、直線→右カーブ→直線→左カーブ→直線で到達するまでの、No.1センプラリングの変形と応力発生状況を模式的に示しています。センプラリングは、上下を軸として左右対称に配置し、また、発生する推進力に対してセンプラリングの発泡倍率、設置角度および枚数を組み合わせて使用します。

3.3 センプラカーブ

シミュレーションソフト

計画された曲線軌道を維持するには、推進に伴うセンプラリングの圧縮（変形）量を適切に保つことが必要です。そのためには、各推進管に作用する推進力を求め、最適な推進管と最適なセンプラリングを選定しなければなりません。

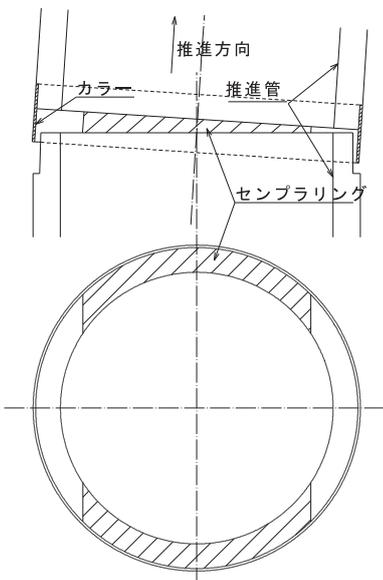


図-6 センプラリング（推進力伝達材）

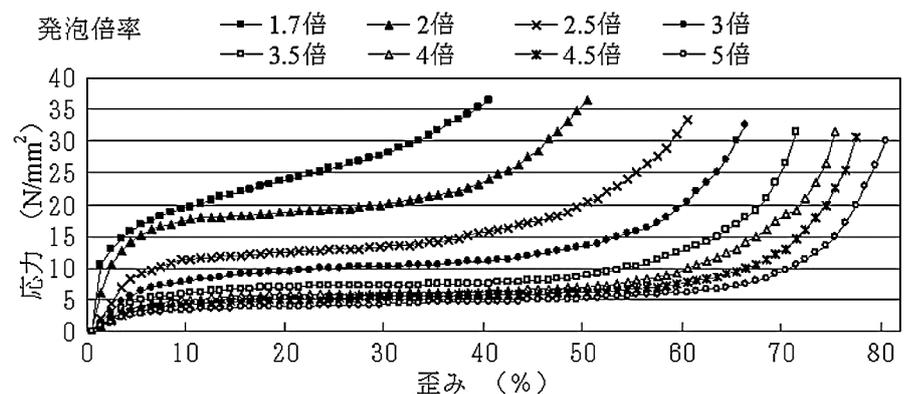


図-7 センプラリングの応力-歪み曲線

各推進管に作用する推進力の大きさは、曲線推進における推進抵抗力の算定方法により、比較的容易に求めるこ

とができます。しかしながら、推進管とセンプラリング（推進力伝達材）の選定については、推進管の①外圧強さ：

1種・2種等、②圧縮強度：50・70、③継手性能：JA・JB・JC、④管長：標準管・半管・1/3管等、またセンプラリングの①形状：120度・90度・60度等、②発泡倍率：2倍・3倍等、③厚さ：10mm・20mm・30mm等、選択肢が多く、非常に手間が掛かる計算になります。

これに対応するため、当社では、センプラシミュレーションプログラム（CPS）を開発し、設計の迅速化を図ってきました。開発当初のプログラムは、継手部1箇所ごとに計算するもので、それなりの時間を要していましたが、現在は、到達から発進までの全継手部を一度に短時間で計算できるようになっています。これは、プログラムの改良とパソコンの処理性能（CPU）の飛躍的な向上に負うところが大きいといえます。

例えば、現在のCPSは、100箇所の継手部計算（全管×100本とすれば、推進延長約240mに相当）に要する時間は1分程度、500箇所の継手部計算（半管×500本とすれば推進延長約600mに相当）でも数分でシミュレーションし、推進管とセンプラリングの最適な組合せを求めることができます。

図-9は、CPSによるシミュレーション結果の一部です。

なお、実施工においては、地盤条件や施工条件の変化、滑材効果の程度等により、実際の所要推進力と計画推進力に乖離が見られることがあります。この場合も、CPSに実際の推進力をフィードバックすることで、適切なセンプラリングを配置することができるので、複合急曲線推進であっても、安全で確実な曲線施工が実現できるようになりました。

4 NO-DIG AWARD 受賞までの道のり

昭和60年（1985年）にセンプラリングを用いた最初の現場実証施工に成

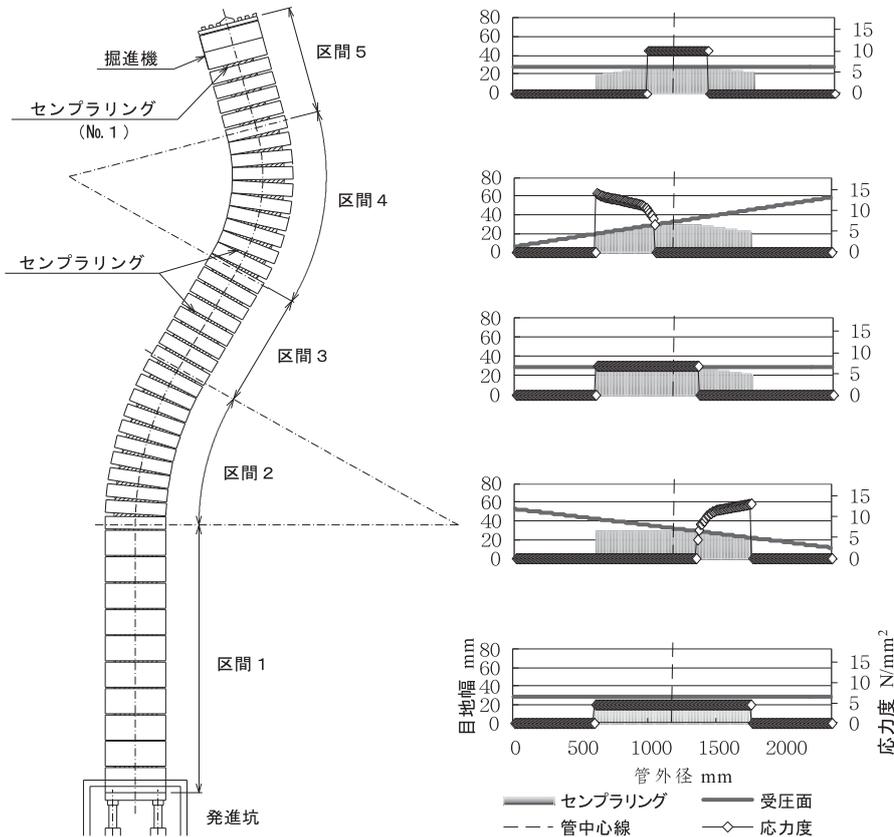


図-8 センプラリングの変形状況と応力発生の様式図

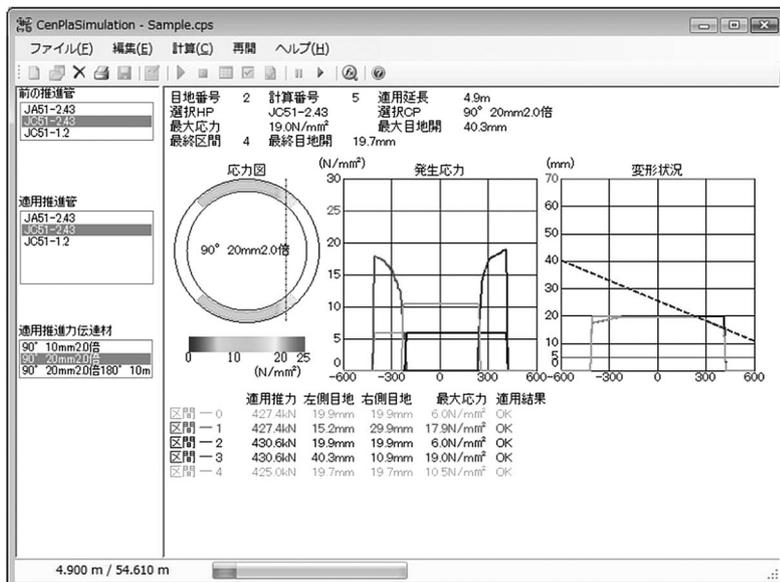


図-9 センプラ・シミュレーションプログラム

功した後、当社の全ての曲線推進工事をセンプラ方式で実施しました。その結果、平成3年（1991年）までに120件以上の現場施工を成功裏に収め、本方式の優れた実用性を確認することができました。この間、昭和62年にはセンプラリングを使用したカーブ推進施工マニュアルを作成し、「センプラカーブ推進システム」として確立しました。

4.1 センプラカーブ推進研究会発足

当社は、センプラカーブ推進システムの実績を基に、より安全で確実な曲線施工方法の普及と発展を目的として研究会設立の準備を進めました。そして、平成4年7月に、32の発起人会社、66社による設立総会を経て、「センプラカーブ推進研究会」を発足することができました。研究会は、その活動の中で、100社以上の会員にセンプラカーブシステムの特許技術を無償開放するとともに、他の工法協会と共同あるいは単独で毎年技術説明会等を開催し工法の普及を図りました。その成果が、現在の曲線推進における最も効果的な推進力伝達方法として、センプラカーブ推進システムの理論が普遍的に活用されて

いることにつながっていると考えます。

研究会は平成18年に発展的解散しその活動を終えましたが、センプラシミュレーションプログラム（CPS）等の中核技術は、アルティミット工法協会に引き継がれ、改良が図られています。

4.2 技術審査証明書交付

（公財）日本下水道新技術機構（旧：財下水道新技術推進機構）は、下水道事業における新技術の活用促進に寄与することを目的として、民間企業において研究開発された新技術を対象に技術的な審査を行い、その性能、特徴等を客観的に証明する活動を実施されています。

当社は、普及活動の一環として、平成5年にセンプラカーブ推進システムを新技術として申請しました。その開発の趣旨と開発目標は次のとおりです。

【開発の趣旨】

曲線推進施工において、塑性領域の広い推力伝達材を上下対称に設置することにより、曲線形成を容易にするセンプラカーブシステムを開発した。

【開発目標】

(1) 推進管の追従性の向上

曲線推進区間において、推進管が先導体の軌跡上に追従すること。

(2) 推進用標準管（埋込みカラー型）の止水性の確保

曲線推進区間において、推進用標準管（埋込みカラー型）継手部の止水性能が確保できること。

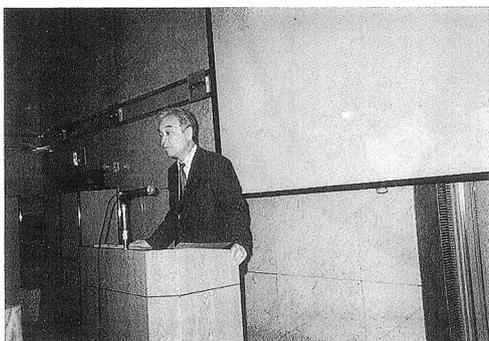
(3) 管端部の破損防止

曲線推進区間において、隣接する管が接触せず、管端部に破損が生じないこと。

学識経験者で構成される審査委員会の技術資料、施工実績、現地確認等の審査で、開発目標を達成していると認められ、平成6年3月15日付けで「技術審査証明書」が交付されました。

4.3 NO-DIG 94 AWARD受賞

NO-DIG AWARDは、非開削技術に関連する事業、施工者および関連システム・装置の開発者等を対象に、前年度において最も優れた技術に贈られる



センプラカーブ推進研究会 技術説明会

センプラカーブ推進研究会（会長 本村 昭彦）は、当社（建設技術）の技術説明会「最新の下水道推進工法」が去る11月19日、東京九段のアクアシアター市谷（市谷会館）において開催されました。この説明会は、センプラリングを備用したカーブ推進用に特製推進管の推進工事への設置採用の増大を主眼とした説明会で、関係団体コンサルタント会社を対象に年一回の予定で実施しております。今回の申し込み者は総数二四六名、内訳はコンサルタント関係一八八名、関係団体一三八名の沢山の参加を受け付けました。研究会技術委員、大角 健司の技術説明のあと質疑応答があり、参加者より、センプラリングの基本技術に関する熱心な質問が聞かれました。当研究会は、現在一〇六社の会員を擁しカーブ推進の高度化と技術の普及に努めております。

写真-3 センプラカーブ推進システムの普及活動

機動

第421号
平成6年5月15日 毎月15日発行
発行所
機動建設工業株式会社
大阪市福島区福島4丁目6番31号



「財団法人下水道新技術機構」は、当社の申請により、財団法人下水道新技術機構より「技術審査証明書」が交付されました。この証明書は、下水道推進工法の普及を図るための重要な技術資料として、関係団体の技術資料、施工実績、現地確認等の審査で、開発目標を達成していると認められ、平成6年3月15日付けで「技術審査証明書」が交付されました。

センプラカーブシステムに 技術審査証明書交付される



曲線推進区間において、推進管が先導体の軌跡上に追従すること。推進用標準管（埋込みカラー型）の止水性の確保。曲線推進区間において、推進管が隣接する管と接触せず、管端部に破損が生じないこと。

写真-4 技術審査証明書の交付

ものです。

当社は、NO-DIG 94 AWARDにセン
プラカーブ推進システムを、「Curved
Pipejacking System」として応募しまし
た。その結果が、冒頭に記しました用に、

NO-DIG 95 ドレスデン国際会議の最終
日（平成7年9月22日）の受賞発表で
報告されました。この受賞により、「セ
ンプラカーブ推進システム」が、世界
でも認められた技術になりました。

5 おわりに

本稿では、センプラカーブ推進シス
テムが、NO-DIG AWARDを受賞した背
景と経緯について書かせていただきま
した。センプラカーブ推進システムにつ
いては、今後も、より信頼性の高い技
術として改良を続けていきたいと考
えています。

また、この報文が、各社の持つ推進技
術のNO-DIG AWARDへの応募、国際
展開・普及等の一助となれば幸いです。

○お問い合わせ先

機動建設工業(株)技術本部
〒553-0003
大阪市福島区福島4-6-31 機動ビル
Tel：06-6458-6183
Fax：06-6545-0274
関東支店
〒101-0035
東京都千代田区神田紺屋町38
エスポワールビル6F
Tel：03-3289-4771
Fax：03-5294-1281
<http://www.kidoh.co.jp/>

The Kidoh No.438

機動

第438号
平成7年10月15日 毎月15日発行

発行所
機動建設工業株式会社
大阪市福島区福島4丁目6番31号



受賞の曲線形成を画にするために、推力の伝達を画の中上部に集中させ、画面の膨張及びひずり出しを防止させるセンプラカーブシステムを、今回推薦された「NO-DIG 95 ドレスデン」の国際会議のNO-DIG AWARDに応募していただきました。

NO-DIG AWARD (NO-DIG 賞) とは、非開削技術に関する専業、特許者及び関連システム・装置の開発等を対象に、前年度において最も優れた技術に贈られるものです。

そしてこの度、「NO-DIG 95 ドレスデン」の国際会議の最終日に、NO-DIG 賞を機動建設工業が受賞したことが報告され、世界で認められた技術となりました。

「センプラカーブシステム」 NO-DIG 賞を受賞!!

写真-5 NO-DIG 94 AWARD 受賞