

地下空間

中野 眞高

小口径管の高深度・長距離・曲線推進に挑戦する —新しい位置計測技術の開発とそれを用いた推進工法の施工事例—

日野 英 則・天野 敏 男

本報文で紹介するエースモール DL 工法は、先導体掘進機の位置計測に独自の電磁技術を採用することで、下水道分野において、小口径管推進で初めて長距離・曲線施工を可能にした工法である。しかし、この技術は、土被り 8.0 m 程度までの適用に限られるという制約条件がある。一方、小口径管推進の市場である下水道分野では、更なる高深度・曲線施工への対応が求められており、この課題に応えるために開発された技術が、レーザ、プリズムを用いた新位置計測技術である。

ここでは、エースモール DL 工法の概要、新位置計測技術の開発状況、システム概要、施工事例について報告する。
キーワード：小口径管推進工法、長距離・曲線推進、位置計測、電磁法、液圧差法、プリズム

1. はじめに

エースモール DL 工法は、「高耐荷力方式・泥土圧方式・圧送排土方式」に分類される小口径管推進工法（以下、本工法と略記）である。

昭和 62 年に NTT の研究成果を採り入れ、開発導入され、平成 15 年 12 月末での施工実績は 384 km、その内、下水道分野では 172 km に達している。

本工法は、独自の位置計測システムである「電磁法」「液圧差法」と掘削・排土システム「圧送排土方式」を開発し、200 m を超える長距離推進、玉石混り地盤および中硬岩までの広範囲な土質への対応、さらに小口径領域で、はじめての曲線推進を実現し、曲率半径 50 m の急曲線推進や S 字・複合曲線推進も実現している。

しかし、曲線推進時の水平位置計測に使用する「電磁法」は、推進土被りに制約を受ける。この制約を克服するため、新位置計測技術の開発に取り組んだ。

本報文では、エースモール DL 工法の長距離・曲線推進を可能にした技術および新位置計測技術を述べ、特長を活かした施工事例についても紹介する。

2. エースモール DL 工法の概要

(1) システム概要

本工法は、泥土圧方式・圧送排土方式の掘削・排土機構の採用により、崩壊性地盤や礫・玉石地盤、中硬

岩までの広範囲な土質に適用できる工法である。

先導体は、カット駆動機能、掘削・排土・方向修正機能、位置計測機能（レーザ受光装置、誘導磁界発生装置、液圧計測装置等を含む）を装備し、長距離、硬土質、曲線推進を可能にしている。

本システムは、先導体、元押し装置、地上ユニット、運転操作盤、添加材注入装置等により構成される。

図-1 にシステム構成を示す。

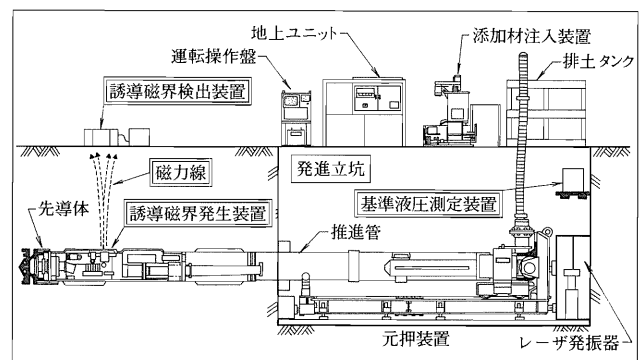


図-1 エースモール DL 工法システム構成

位置計測システムの搭載方法により、「レーザ・ターゲット方式」のみを搭載した L タイプ、「レーザ・ターゲット方式」と「電磁法・液圧差法方式」を搭載した EL タイプの 2 つのタイプがあり、線形により使い分けている。

(2) 工法の特長

本工法は、長距離・曲線・硬土質を特長とする工法であり、これらを可能にした独自技術に「掘削・排土

方式]、「位置計測方式」がある。

(a) 掘削・排土方式

掘削・排土のメカニズムの特長を以下に述べる。

また、図-2 に概要を示す。

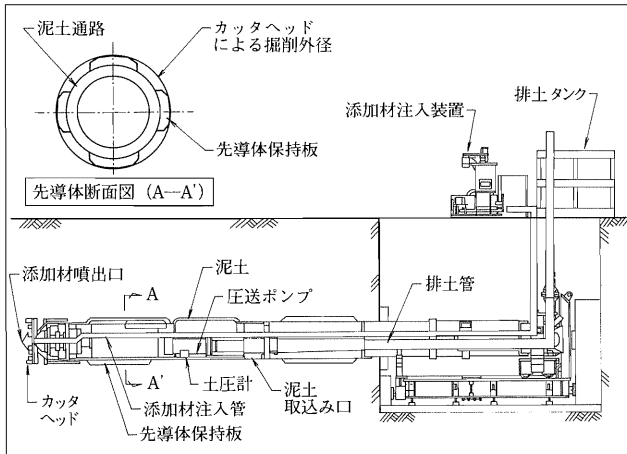


図-2 掘削・排土メカニズム

- ① 先導体の先端から添加材を噴出し、カッタヘッド部でこの添加材と掘削土砂を攪拌して、止水性と流動性のある泥土に変換する。
- ② 泥土を先導体外周の泥土通路により後方に移送する。
- ③ 泥土を土砂取込み口から内部に取り込み、圧送ポンプにより圧送排土する。
- ④ 先導体周辺の泥土圧と土圧、水圧のバランスをとることにより、幅広い土質条件へ対応できる。
- ⑤ 泥土が推進管周囲に充填され、管周面抵抗が減少し、推力が低下することから、長距離推進が可能となる。

(b) 位置計測方式

先導体の位置計測方式として、直線推進には「レーザ・ターゲット方式」を用いるが、曲線推進には、水平位置計測に「電磁法」、垂直位置計測に「液圧差法」を使用する。

詳細については、3章で述べる。

(3) 適用領域

(a) 適用管径

適用管径は鉄筋コンクリート管で呼び径φ250~700であり、鋼管では呼び径φ350~800である。

(b) 適用土質

適用土質はシルト・粘土の普通土質から崩壊性のある礫玉石地盤及び岩盤まで広範囲な土質に対応可能である。

(c) 適用推進延長

適用推進延長は、土質条件により決定されるが、概ね、 $L=80\sim 250$ m 程度である。

(d) 適用曲率半径

曲率半径 $R=75\sim 100$ m の曲線推進が可能であり、 $R=50$ m の急曲線、S 字曲線、複合曲線推進の実績もあるが、標準的には土質条件により決定する。

3. 曲線位置計測の現状

曲線推進には、水平位置計測に「電磁法」、垂直位置計測に「液圧差法」を使用し、その概略図を図-3 に示す。

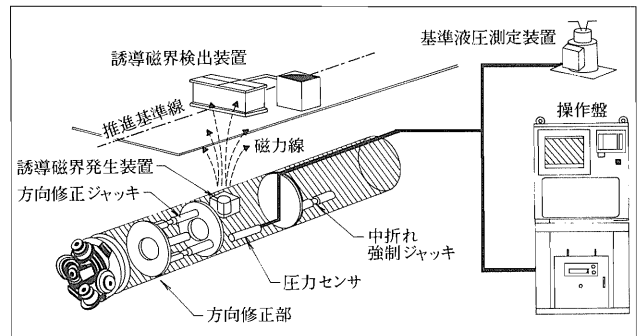


図-3 「電磁法」および「液圧差法」

(1) 水平位置計測技術

「電磁法」は、先導体に内蔵された誘導磁界発生装置（以下、発生装置）と地上で発生装置により発せられた電磁界による誘起電圧を計測する誘導磁界検出装置（以下、検出装置）により構成される。原理は、電磁誘導の法則を採用したもので、検出装置で受信した

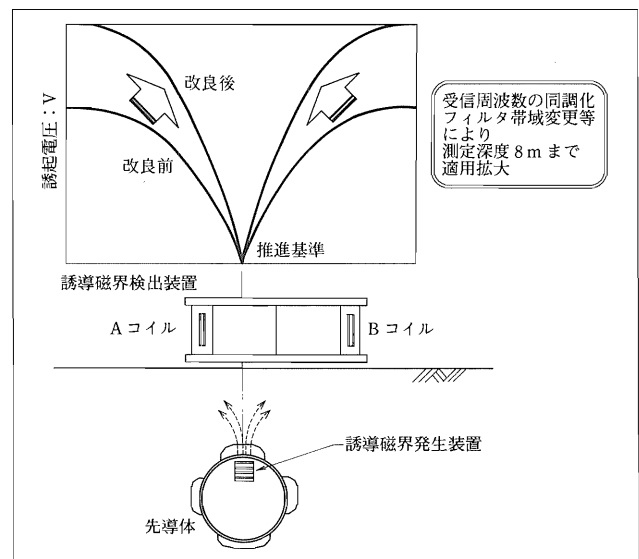


図-4 電磁法の原理

電圧やその変化量を測定し、発生装置の位置を計測するものである。

測定は、2個の電磁コイルを搭載した検出装置の中心を推進基線上に一致させて設置し、誘起電圧を測定する。検出装置で測定される誘起電圧の分布は、図一4に示すように発生装置直上がゼロになり、左右対象に増加する。先導体が推進基線上にある場合、左右の測定値は同値となり、推進基線上にない場合は、測定値に差が生じる。この差を演算することにより水平位置が算出できる。

従来、6mの土被りを超えると受信感度不足と雑波のため単独での計測が困難になっていたが、受信周波数の同調化による感度の向上、フィルタ帯域変更による雑波除去技術の向上等により、従来比で3割程度向上した。

しかしながら、周辺磁界に影響を受けることがあり、さらに、発生装置から発生させる磁界の強さ（誘起電圧）は、検知する深さの4乗に反比例して減衰する。現状では、土被り8mを超えると計測が困難になり、適用の制約条件としている。

誘起電圧(S)は、次式より算出される。

$$S = \alpha / D^4 \quad \alpha : \text{係数}, D : \text{土被り}$$

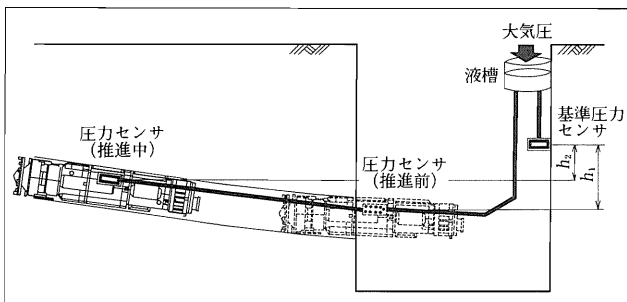
更なる高深度推進、高精度推進に向けて「電磁法」の開発・改良は、継続して進められているが、新技術の開発も求められていた。

(2) 垂直位置計測技術

「液圧差法」は、先導体内部に搭載した液圧センサと立坑部に設置した基準液圧センサ、両方のセンサに液体を供給する液槽、深度を演算し運転操作盤に表示する表示部等から構成されている。

測定原理は、図一5に示すように、発進立坑部に設置した基準液圧センサと先導体内部に搭載した液圧センサとの推進前の液圧差 h_1 と推進中の液圧差 h_2 との差を高低差に換算し、先導体の垂直位置を高精度に計測する。

液圧差法による測定誤差の主な原因として、



図一5 液圧差法測定原理

- ① 温度変化による液体の比重変化
- ② 延長ホース等への空気の混入

等が考えられるが、直射日光を避け、温度変化の受けにくい立坑内に液槽や各装置を設置するとともに、特にセンサ近傍に空気が混入しにくい構造や液体、延長ホースに空気が混入したときの対策および接続作業を標準化し、測定精度の向上を図っている。

4. 新しい曲線位置計測技術「プリズム」

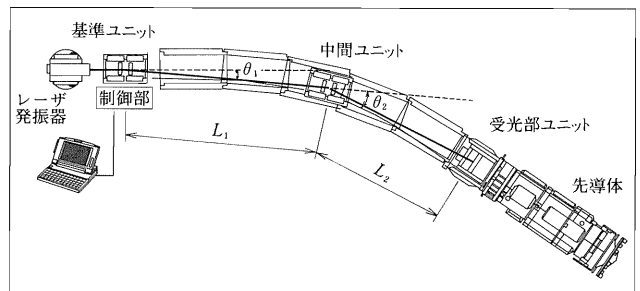
(1) 特 長

本システムは、レーザ、プリズムによる曲線推進に対応した位置計測システムであり、周辺磁界、埋設物等の影響や推進土被りに制限されることなく曲線推進が可能となる。また、路上での作業が不要となり、交通が頻繁な交差点での計測も容易になる。

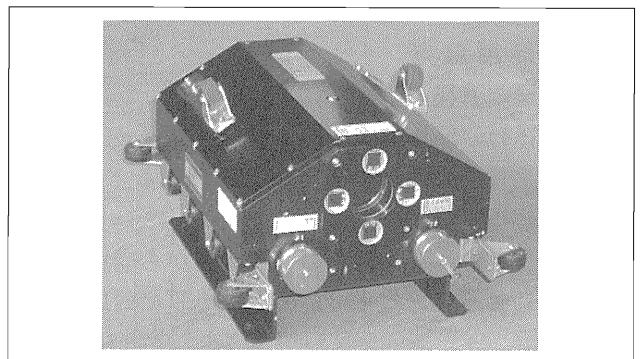
(2) システム概要

現行の直線推進時におけるレーザ・ターゲット方式と同様にレーザ発振器を発進立坑内に設置し、レーザ光を投射する。レーザ発振器直前に基準ユニットを設置し、曲率半径および曲線長によりあらかじめ計画された間隔で中間ユニットを設置していく。

レーザ光投射時に基準ユニットと各中間ユニットにできた各々の屈曲角と距離を算出、演算することにより、先導体の位置を計測する。



図一6 システム概要



写真一1 中間ユニット

図-6 にシステム概要を、写真-1 に中間ユニットの外観を示す。

(3) フィールド実験による検証

(a) 実験概要

実験用に埋設された既設管（鋼管 φ250 mm）を利用し、エースモール DL 工法用排土管に中間ユニット（試作品）を固定し、到達立坑側からワイヤロープで牽引し、移動（ $L=28.0$ m）させ、位置を計測した。

実験概要図および実験場所を図-7、写真-2 に示す。

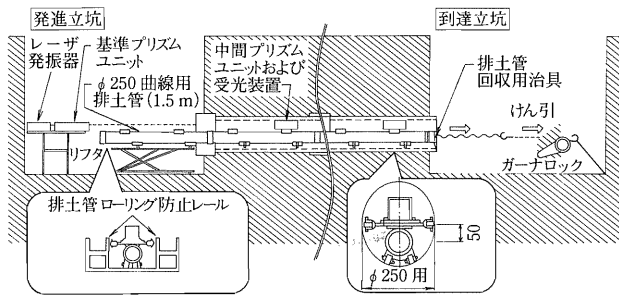


図-7 実験概要図

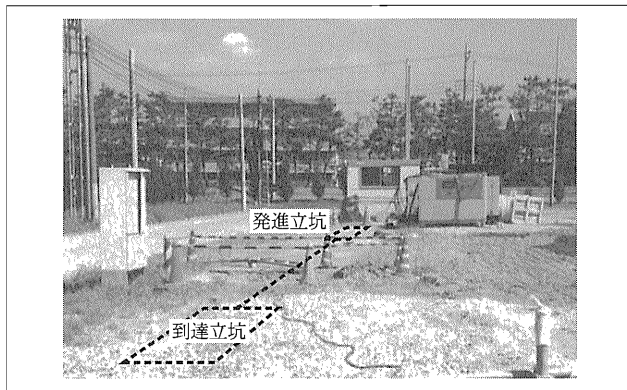


写真-2 実験場所

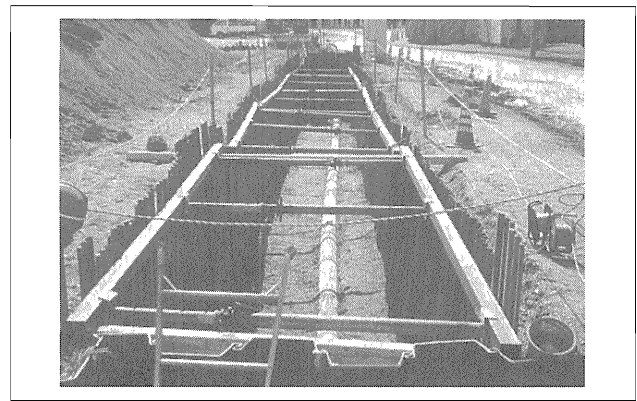


写真-3 既設管露出状況

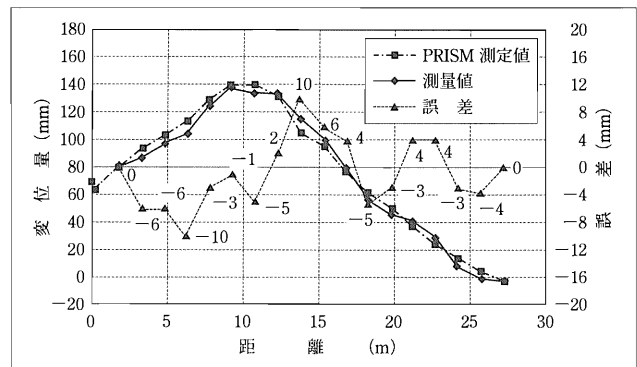


図-8 水平位置の比較

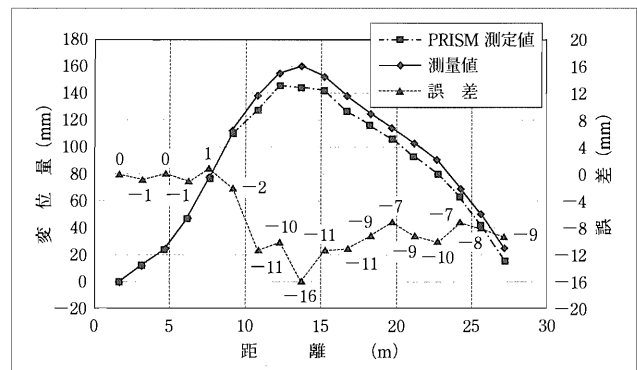


図-9 垂直位置の比較

(b) 実験結果

プリズムの計測結果を評価するために、既設管を露出させ、埋設位置を測量した。プリズム計測値と測量値を比較し評価した。

既設管露出状況を写真-3 に示す。

プリズム計測値と測量値を比較した結果、水平誤差最大+10 mm、垂直誤差最大-16 mm と位置計測装置として、十分対応できることを確認した。

比較結果を図-8~図-9 に示す。

(c) 技術的課題への対処

① 計測時間の短縮

導入当初、中間ユニット 1 基あたりの計測時間は、約 50 秒であった。作業性向上のため、計測時間を短

縮する必要がある、計測システムのソフトを改良することにより、計測開始位置と計測方法を変更して、1 基あたり約 15 秒に短縮することができた。

② 屈曲角の変更

推進の確実性、適用拡大（曲率半径、曲線長等）および中間ユニット個数の削減による施工コストの削減のため、形状をコンパクト化するとともに屈曲角を拡大させた。

(d) 今後の課題

① 中間ユニットの設置方法

中間ユニットは、排土管にあらかじめ固定する方法を採用している。この方法では、本来、必要のない直線区間にも配置しなければならない。そのため、中間

ユニットの設置個数が増加する。これを避けるため、移動式による設置・計測システムの開発を目指している。

② 操作制御への反映

本システムは、現在は、計測システムとして単独に動作させているため、先導体姿勢情報等とのインターフェイスがなされていない。これらの情報と計測結果をやり取りすることにより、線形管理や自動制御等への反映を目指している。

5. 特長を活かした施工事例

新曲線位置計測技術「プリズム」を使用した曲線施工実績は、現在、16 スパンあり、代表的な3例を紹介する。

(1) 既設埋設物下曲線推進事例

本工事は、推進位置直上にボックスカルバート(1,950 mm×1,170 mm)が埋設されており、「電磁法」による計測に影響を与えるため、「プリズム」を使用した事例である。

工事概要を表-1に、施工概要図を図-10に示す。

表-1 工事概要

施工場所	兵庫県内
推進距離	129.0 m
土質条件	玉石混じり砂礫土
推進線形	曲線 (R=150 m)
土被り	5.0 m
管種	鉄筋コンクリート管
管径	φ400 mm
機種	DL 50 EL-N

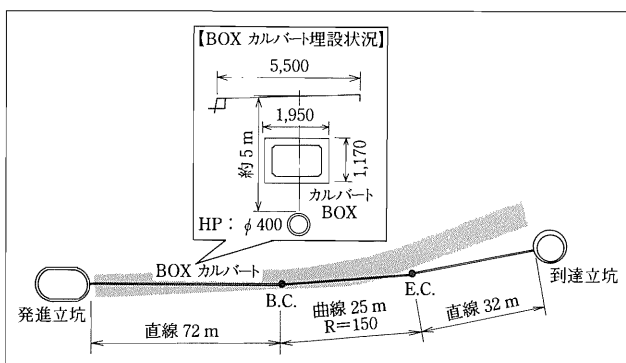


図-10 施工概要図

推進途中、先導体と玉石の競りによると考えられる上昇があったが元押推力は400 kN前後で推移し、水平垂直とも20 mm以内の精度で到達することができ

た。

(2) 河川横断曲線推進事例

本工事は、曲線区間が河川横断箇所を設定された推進線形となっており、「電磁法」による位置計測が不可能であったため、「プリズム」を使用した事例である。

工事概要を表-2に、施工現場状況を写真-4に示す。

表-2 工事概要

施工場所	山形県内
推進距離	95.5 m
土質条件	シルト
推進線形	曲線 (R=298 m)
土被り	8.5 m
管種	鉄筋コンクリート管
管径	φ600 mm
機種	DL 70 EL-N

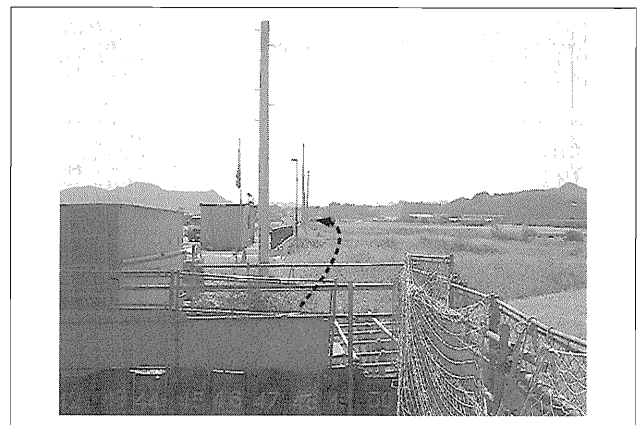


写真-4 施工現場状況

水平垂直とも25 mm以内の精度で到達することができた。

(3) 高土被り曲線推進事例

本工事は、高土被り(18.0 m)下での、曲線推進であったため、「プリズム」を使用した事例である。

表-3 工事概要

施工場所	東京都内
推進距離	105.8 m
土質条件	礫質土
推進線形	曲線 (R=200 m)
土被り	18.0 m
管種	鉄筋コンクリート管
管径	φ400 mm
機種	DL 50 L-C

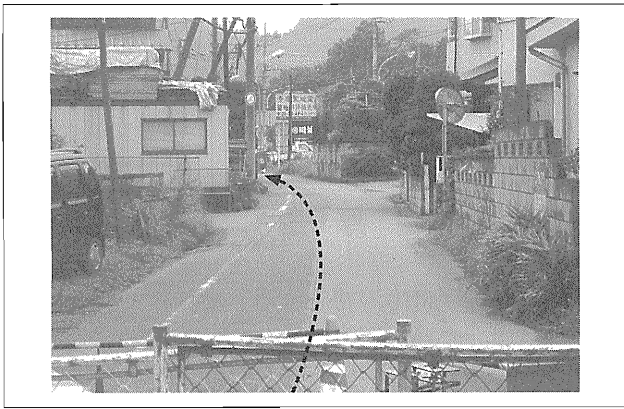


写真-5 施工現場状況

工事概要を表-3に、施工現場状況を写真-5に示す。

礫質土の曲線推進であったが、推進力は、最大450kNであり、水平垂直とも15mm以内の精度で到達することができた。

6. おわりに

現在、下水道整備は、大都市部においては都市再生、市町村部においてはインフラストラクチャの構築を中心に面的整備が進められている。

施工条件及び施工環境は益々厳しい状況にあり、

- ① 従来の立坑設置箇所数を減少し長距離推進を可能にする技術
- ② 道路形態に沿った管渠敷設が可能な曲線推進技

術は今後、小口径管推進工法にとって不可欠である。

しかしながら、長距離、曲線施工を可能にするためには位置検知技術が大きな役割をもち、位置検知精度の向上は重要であると考えている。

エースモールDL工法は、これらのニーズに未永く応えることができる工法を目指し、トータル的なコストダウンが図れる推進工法として、技術開発改良を進めていきたいと考えている。

JCMA

《参考文献》

- 1) エースモール工法協会：エースモールDL工法技術資料，平成15年4月
- 2) 島田・前田：推進条件に制限されない曲線位置計測技術「PRISM」の開発，第13回非開削技術研究発表会論文集，2002年11月

【筆者紹介】

日野 英則（ひの ひでのり）
エースモール工法協会
技術委員
（アイレック技建株式会社
筑波技術センター所長）



天野 敏男（あまの としお）
エースモール工法協会
技術担当
（アイレック技建株式会社
筑波技術センター
課長代理）



現場技術者のための

建設機械整備用工具ハンドブック

- ・建設機械整備用工具約180点の用語解説と約70点の使い方を収録。
- ・建設機械の整備に携わる初心者から熟練者まで幅広い方々の参考書として好適。

■ A5判 120頁

■ 定 価：会 員 1,050円（消費税込），送料420円

非会員 1,260円（消費税込），送料420円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館） Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289