

解説

大土被りを可能とした 新曲線位置計測システム、施工技術の事例報告

滝口 正洋

エースモール工法協会



1. はじめに

エースモールDL工法（以下、本工法）は、小口径管推進工法で、昭和62年に通信分野での適用を目的に開発導入し、近年では下水道分野で多用され約340kmの施工実績（平成20年11月末現在）を有し、通信分野の実績を加算すると約530kmに達する。

本工法は、独創的な掘削・排土システム「圧送排土方式」や独自の位置計測システム「電磁法」・「液圧差法」を装備し、200mを越える長距離推進、広範囲な土質へ適応可能な性能を有し、小口径管推進で初めての曲線推進を実現する等技術革新の先駆的な役割を担ってきた。

近年では、曲線施工の適用領域を、曲線半径50mの急曲線推進やS字・複合曲線推進へ拡大するほか、立坑の更なる小型化（φ2500mm→φ2000mm）へ拡張するなど市場ニーズを反映した技術開発・改善を進めてきている。

本稿では、増加する大土被りの施工環境で長距離・曲線を実現するため開発した新曲線位置計測技術”プリズム”と施工事例の紹介と、その他の

施工課題への対策事例について紹介する。

2. エースモールDL工法の概要

本工法は、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で、標準的な仕様性能、適用領域は次のとおりである。

2.1 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。

システムは、先導体、元押装置、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。

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）を装備している。

2.2 適用領域

(1) 適用管種・管径

適用管種は鉄筋コンクリート管、鋼管、レジン

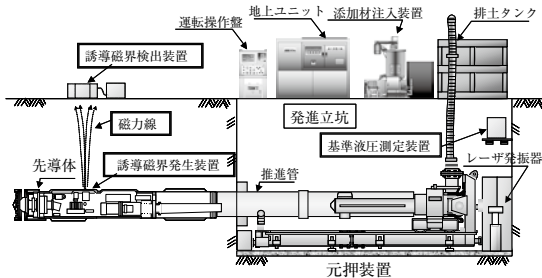


図-1 エースモールDL工法システム構成

コンクリート管、ダクトイル鋳鉄管等の高耐荷力管で、適用管径は、鉄筋コンクリート管の場合呼び径 ϕ 250～700mm、鋼管では呼び径 ϕ 350～850mmである。

(2) 適用土質

適用土質は、シルト・粘土の普通土から崩壊性の礫玉石地盤および岩盤である。

(3) 適用推進延長

適用推進延長は、土質条件により異なるが、最大250m程度である。

(4) 適用曲線半径

曲線半径は $R = 75 \sim 100$ mを標準とし、最小 $R = 50$ mの急曲線やS字曲線、複合曲線など数多くの曲線施工の実績を有する。

(5) 適用土被り

曲線推進での適用土被りは、これまで最大8mである。この度、適用制限を克服した新技術（以下、prism）を導入している。

3. 大土被りへの技術上、施工上の課題

大土被り施工では築造費用が高額な立坑数を削減することが重要な課題である。このため、推進延長の長距離化、長距離化に伴う道路線形に適合した曲線線形への対応など表-1に示すような技術・施工課題に対して対策が要求される。

本工法においてこれら課題への対処した内容を以下に報告する。

表-1 大土被り施工での新たな課題

検討要素	検討項目
曲線施工	土被り制約のない位置計測技術
掘削能力	土質に適合したカットヘッド性能
排土能力	立坑高低差に対応した排土技術
装備推進力	推進力の低減対策
その他	施工時不測の事態への対策（引戻し）

4. 曲線位置計測技術への対応

4.1 これまでの位置計測技術

これまでの曲線位置計測技術は、水平方向を電磁法、垂直方向を液圧差法により測定している。その概要を以下に示す。

(1) 水平位置計測技術

電磁法は、図-2に示すとおり、先導体に内蔵された誘導磁界発生装置（以下、発生装置）と、発生装置からの電磁界により誘起された電圧を地上で計測する誘導磁界検出装置（以下、検出装置）から構成される。

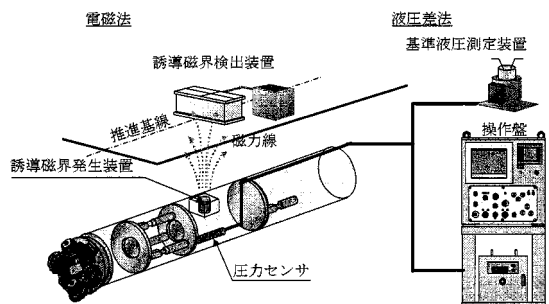
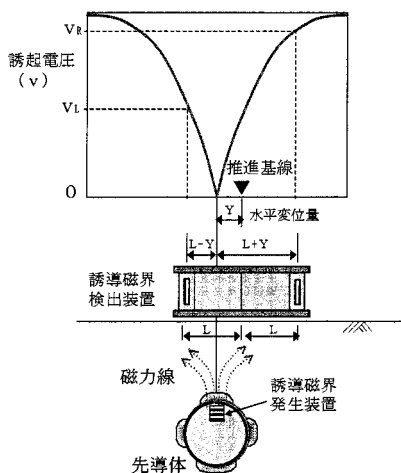


図-2 従来の曲線位置計測技術

原理は、電磁誘導の法則を採用したもので、検出装置により測定した受信電圧やその変化量から、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-3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



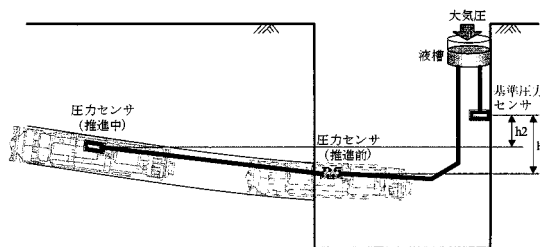
図－3 電磁法の原理

は同値となり、推進基線からずれている場合は差が生じる。この差を演算して水平位置を算出する。

(2) 垂直位置計測技術

液圧差法は、先導体内部に搭載した圧力センサと、立坑に設置した基準圧力センサの両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る。

原理は、図－4に示すように、基準圧力センサと先導体内部の圧力センサとの液圧差について、推進前の値 h_1 と推進中の値 h_2 との高低差から、先導体の垂直位置を計測する。



図－4 液圧差法の測定原理

(3) 従来の位置計測技術の問題点

電磁法は、土被り6mを超えると受信感度の不足とノイズにより計測が困難になっていた。このため、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ノイズ除去効果の向上などの技術改良を図り、受信感度を従来比で約3割向上させ、適用土被りを6mから8mへの高深度化を図ってきた。

しかしながら、土被り8mを超える曲線推進への問合せも多く、喫緊の課題として電磁法に代る新たな位置計測技術が求められてきた。

4.2 新曲線位置計測技術prism

(1) 特長

電磁法に代えて、新しく開発した計測技術prismは、推進土被りの制限や周辺磁界・埋設物等に影響されることなく曲線位置計測が可能で、電磁法で必要であった路上計測作業が不要となり、交差点など交通が頻繁な環境でも、作業の効率化、安全性の向上が図れるという特長を有している。

(2) prismシステム構成

prismシステムは、発進立坑に設置したレーザ発振器、基準プリズムユニット、推進管内に設置しレーザ光を屈曲させながら中継する中間プリズムユニット、先導体後部に設置しレーザ光を受光する受光器ユニット、これら機器を制御する操作制御盤および電源を供給する計測コントロール盤から構成される。このシステム構成を図－5に示す。

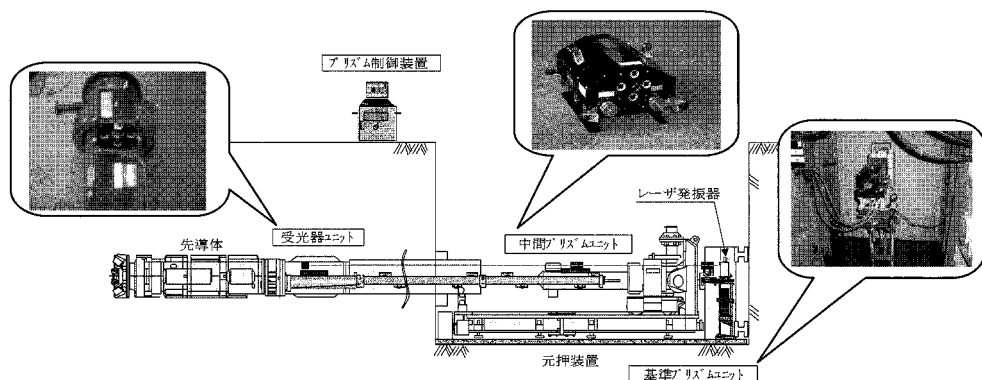
(3) 計測原理

レーザ発振器から投射されたレーザ光は、基準プリズムユニット介して、推進管内に配置された中間プリズムユニットに向けて順次を照射される。各中間プリズムユニットと受光器ユニットは、受光面に搭載された四箇所の光電センサでレーザ光を感知し、受光面の中心にレーザ光を移動させる。その際、各々の中間プリズムユニットに生じた屈曲角(θ_i)を測定し、中間プリズムユニット間の距離(L_i)を用いて演算し、先導体の位置を計測する。

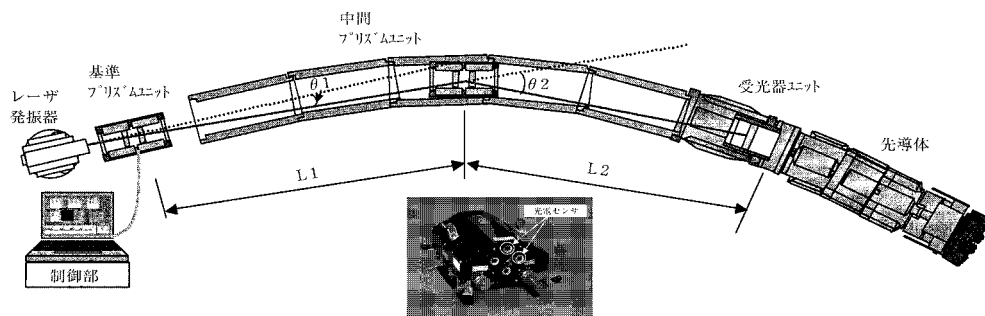
図－6に計測原理を示す。

(4) prism適用条件

prismシステムは、電磁法の適用が困難な以下の場合に適用し、標準的な適用条件は表－2に示すとおりである。



図－5 prismシステム構成



図－6 prism計測原理

- ①電磁法の磁界強度が減衰し精度の確保が困難な8mを越える土盛りの場合
- ②河川・軌道越し、交差点等の環境条件で、電磁法による計測が困難な場合
- ③電氣的ノイズの発生源が推進区間にある場合

表－2 適用条件

項 目	適用条件
呼び径	400以上（鉄筋コンクリート管の例）
推進延長	180m以下
曲率半径	R = 100m以上（※）

※100mを下回る場合は個別検討とする。

4.3 prismシステムの更なる高度化

(1) これまでのprism技術的課題

従来のプリズム方式（以下、固定方式）では、BC点を通過する区間全てに、中間プリズムユニットを一定間隔で配置する必要がある。このた

めBC点を通過する区間が長い事例では、中間プリズムユニットの使用数量が増大し工事コストの増加となり、その数量が一定量を超える場合にはprismシステムの適用が制限されていた。また、推進開始から到達までの全期間に渡って中間プリズムユニットの設置が必要であり、経済性の面からも改善が求められていた。

さらに、中間プリズムユニットは排土管へ固定するため、故障が生じた場合、推進管も同時に立坑まで引き戻す必要があり、工期に影響を与える恐れがあった。

(2) prism新方式の導入（移動式）

固定式の課題を解決するため、排土管にレールを装着し、中間プリズムユニットが走行可能な方式（移動式）へ見直しを図った。

これにより中間プリズムユニットの配置を主に曲線区間に限定でき使用数量の削減を図る効果と

ともに、中間プリズムの設置期間も、先導体がBC点に到達する直前から到達までに短縮化が可能となり、固定式に比べて移動式は工事コストの削減が可能となった。

また、故障対応では中間プリズムユニットを独立して引戻し可能となり、工期への影響を最小限とすることが可能となるとともに、施工状況に応じた最適な中間プリズムユニットの配置や到達後の早期回収により、稼働効率化も図れた。

移動方式と固定方式の比較を図-7及び表-3に示す。

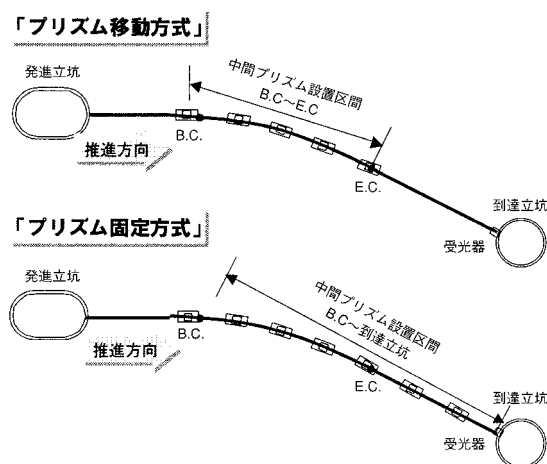


図-7 移動方式と固定方式の比較

表-3 移動方式と固定方式の比較

	「prism 移動方式」	「prism 固定方式」
中間プリズム設置区間	「BC～E.C.」 ※移動方式は、中間プリズム設置区間が短いため、中間プリズム数を少なくできる	「BC～到達立坑」
プリズムによる位置計測実施区間	「BC～到達」区間 ※移動方式は、「発進～B.C.」の直線区間に中間プリズムを設置する必要がないため、位置計測が不要であり、その分稼働を削減できる	「発進～到達」区間
中間プリズムの移動	中間プリズムを任意の位置に移動でき、配置替えも可能 ※計画線からのズレに対し、柔軟に中間プリズムの設置位置を変更できる	排土管に固定するため、任意の位置への移動は不可能
トラブル発生時	中華プリズムを引き戻し、回収可能 ※中間プリズムの回収が容易なため、工期への影響が少ない	推進管及び先導体まで引き戻す必要がある

(3) レーザ中継器の導入

レーザ発振器から照射されたレーザ光は、推進管内の温度変化による空気の揺らぎ等により150～180m程度で拡散し検知し難い場合が多い。

また、prismでは複数の中間プリズムユニットを介してレーザ光を先導体まで誘導させることからレーザ光の減衰がさらに増加する傾向にある。

大土被りで180mを超える推進延長でも、レーザ光を減衰させず高精度でprismシステムを活用するため、レーザ中継器を開発した。

レーザ中継器は中間プリズムユニットとレーザ発振器の両機能を有する装置で、中間プリズムユニットの間に配置して使用する。その外観を写真-1に示す。



写真-1 レーザ中継器

5. 掘削、排土技術など大土被りの対応

(1) カッタヘッドの磨耗対策

土質により異なるカッタヘッドの磨耗対策として、工法適用土質内での適用推進延長を超える特殊条件に対し、ローラ3型タイプを母材硬度の増加、チップ配列の見直しにより磨耗低減対策を施している。

(2) 高揚程へのドレン対策

地上ユニット内のドレンポンプは最大揚程約15mの仕様である。このため、土被り15mを超える大土被りでは、図-8に示すとおり立坑内にドレン回収用ポンプを追加し、最大土被り30mの施工実績を有する。

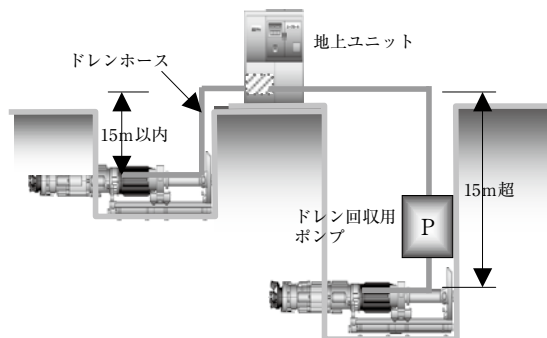


図-8 土被り15m超現場のドレン対策

(3) その他

本工法は、長距離推進上で発生する不測事態への対応として、先導体引戻し機能を有しているが、大土被り施工では更なる強化のためPC鋼棒を装着し牽引能力の向上を図っている。

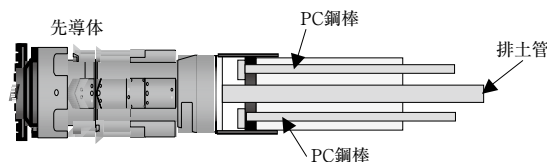


図-9 先導体へのPC鋼棒取付状況

6. 大土被り施工実績と施工事例

6.1 土被り10m以上の施工実績

prismシステムが試行導入された平成13年度以降に施工された、土被り10m以上の施工実績は全60スパン、最大実績は土被り27.9mである。図-10、11に経年別実績件数と土被り別工事分布を示す。

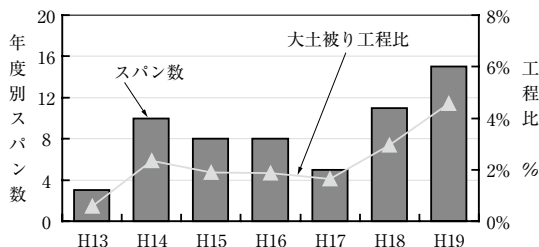


図-10 年度別大土被り施工実績

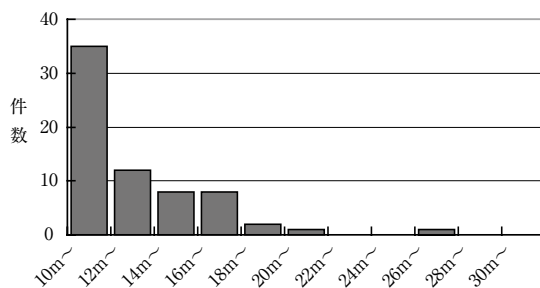


図-11 工事件数分布（土被り10m以上）

6.2 東京都下での曲線施工事例

本工事は、最大玉石径150mmの玉石混り砂礫土 ($20 < N \leq 40$) において、土被り11~18mの本工法による事例である。この事例では12スパン、立坑13基の標準設計に対し、図-12のとおり長距離推進と曲線施工 (prismシステム適用4スパン) を提案し、立坑を4基削減し大幅なコスト削減に貢献した。

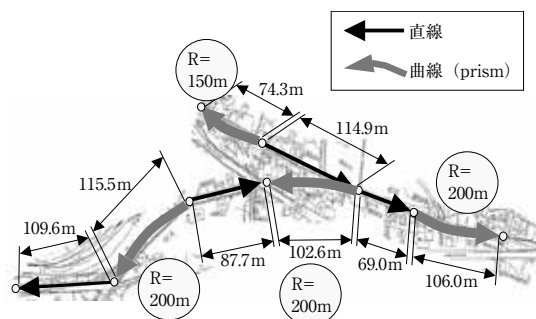


図-12 東京都下での大土被り平面図

prismシステムを用いた4スパンのうち、土被り18m立坑からの曲線施工の概要を表-4に、施工現場状況を写真-2に示す。

当該スパンは礫質土の曲線推進であったが、推進力は最大450kNであり、プリズムによる位置計測により水平垂直ともに15mm以内の精度で到達することができた。

表－４ 工事概要

施工場所	東京都内
推進距離	102.6m
土質条件	玉石混じり礫質土
推進線形	曲線 (R = 200m)
土 被 り	18.0m
管 種	鉄筋コンクリート管
管 径	φ 400mm
機 種	DL50L-C



写真－２ 施工現場状況（発進立坑）

7. おわりに

大土被り環境では、曲線施工や長距離推進の適用により大きな経済性を提供できた。特に貢献度の高い、土被りに制限されず曲線施工が可能な prism システムは、推進先導体の姿勢等オペレーション情報とシステム連動となっていない。これらの情報と計測結果を連動させることにより、一元的な線形管理や自動制御等への反映を目指し、タイムリーなオペレーションに向けて適時な計測情報を提供しより高精度な推進を確立していきたい。

【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20年4月
- 2) 天野敏男：進化を続ける曲線位置計測技術・さらなる高深度曲線推進に向けて（エースモールDL工法）、月刊推進技術 VOL.21 NO.10 2007
- 3) 村越福雄：更なる長距離・曲線・高深度施工を可能とした曲線位置計測技術 prism」エースモールDL工法、季刊No-Dig Today NO.65 2008

○お問い合わせ先

エースモール工法協会

〒111-0041 東京都台東区元浅草3-18-10

上野NSビル3階アイレック技建(株)内

Tel：03-3845-8815 Fax：03-3845-8816