

# さや管口径の縮小化を実現した非開削による 耐震パイプラインの構築

株式会社クボタ 山本 竜也

## 1. はじめに

農業水利施設におけるパイプラインを含む基幹的水路は、おおよそ5万 km が整備されている<sup>1)</sup>。これらの基幹的水路は戦後から高度経済成長期にかけて集中的に整備されたため、法定耐用年数を越えた水路の割合が2022（令和4）年時点で45%を超えている<sup>1)</sup>。さらには、農業水利施設における突発事故の発生件数も増加傾向にあり、そのうちの7割をパイプラインが占めるとい調査結果も報告されている<sup>2)</sup>。また、近年では2024（令和6）年能登半島地震のような大規模地震の発生リスクが高まってきており（図-1）、地震に耐えうる強靱なパイプラインの構築も同時に求められている。

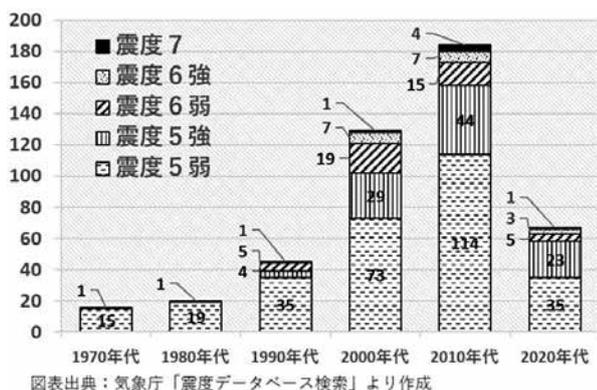


図-1 大規模地震発生件数(2024(令和6)年10月時点)

パイプラインの健全な性能維持には計画的な更新および耐震化が急がれるが、農村における交通網の発達やそれに伴う都市化・混住化により、地上からの開削を伴う工事が困難な環境が増加している。このような環境では非開削工法による工事が行われるが、パイプラインは屈曲を伴い、さらには長距離であることも少なくな

いため、施工の制約が多い非開削工法では施工困難、もしくは施工コストが過大になってしまうケースがあった。

本稿では、これらの課題解決に資する非開削工法の DXR 工法および DXR 工法開発の基礎技術となったミニシールド工法について述べる。

## 2. DXR 工法

### 2.1 DXR 工法の概要

DXR 工法は、シールド工法の長所を生かしながら小口径化を実現した管路更新のための二重管渠築造工法である。専用に開発された小口径の DXR シールドでさや管を構築し、その内部に耐震管である PN 形ダクタイル鉄管（以下「PN 形管」という）を持ち込み配管する。なお、PN 形管の DXR 工法における適用範囲は呼び径 700 ～ 1,500 である。

### 2.2 DXR シールドの特長

DXR シールドは、DXR 工法用に開発された密閉型の泥土圧シールドである。一次覆工材であるセグメントは呼び径 1,000 ～ 2,000 の四分割鋼製セグメントを適用し、その組立はセグメント運搬台車もしくはシールドマシンに装備されたエレクターにより行う。

以下に DXR シールドの特長を述べる。

#### (1) さや管口径の縮小を実現

一般的なシールド工法（以下「従来シールド工法」という）の最小口径は呼び径 1,650 であ

るが、DXR シールドは呼び径 1,000 まで対応可能である。従来シールド工法に用いられるシールドマシンは、マシン後方に動力台車やポンプ台車など掘削に必要な設備を備えた後続台車の接続が必要であり、これが一定量のトンネル空間を占めている。したがって、従来シールド工法の施工に必要な最小限のトンネル空間は、後続台車が支配する空間に加え、セグメント運搬台車が後続台車の横を通過できる空間が必要となる。トンネル全空間に対する後続台車の占める割合は、トンネルが小口径になるにつれ大きくなり、従来シールド工法での小口径化の制約要因となっていた。

これに対して DXR シールドでは、図-2 に示すように、掘進に必要な後続台車をシールドマシン機内に収めることで呼び径 1,000 までの小口径化を実現するとともに、後続台車構築の工程を省略することによって、初期掘進の期間も従来シールド工法に比較して短縮できる。

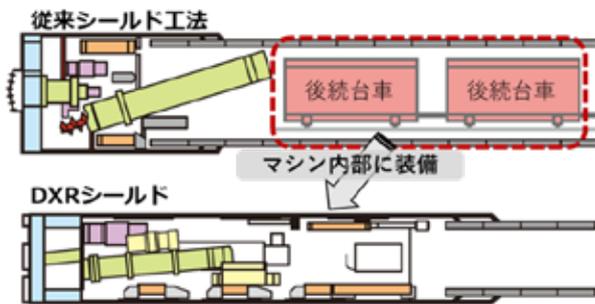


図-2 後続台車配置図

### (2) 急曲線施工が可能

シールド工法による急曲線施工においては、シールドマシン機長が短いほうが好ましい。しかし、DXR シールドは後続台車をシールドマシン機内に収めることでマシン機長が従来シールド工法に比較して長くなっている。

これに対しては図-3 に示すように、マシン機内に装備されている方向制御用の油圧ジャッキと、分割されたマシン胴体部から成る中折れ装置を備えることで最小曲率半径  $R=15m$  の急曲線施工を可能としている。



図-3 中折れ装置

### (3) 長距離施工が可能

都市化・混住化が進む農村地域において、非開削でパイプラインを構築するにあたっては、立坑の設置数を減らすなど、地上への影響を最小限に抑える必要がある。しかし農業用パイプラインにおいては屈曲を伴う管路が多く、また施工延長が 1km を超える長距離管路の布設も珍しくないため、工法の選定には制約が多い。

これに対して DXR シールドは従来シールド工法同様、長距離施工が可能であり、さらに急曲線施工にも対応しているため、立坑の数も最小限に抑えながらさや管の構築が可能である（図-4）。

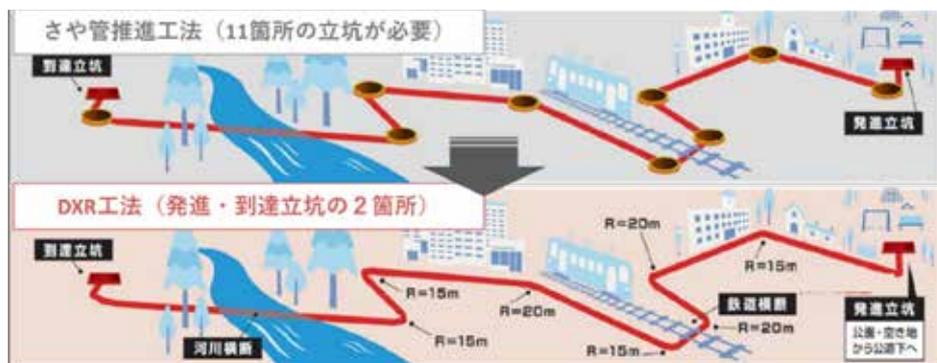


図-4 DXR 工法による長距離施工

#### (4) 土質による制約が少ない

DXR シールドのカッターヘッドには様々なラインナップが用意されており、普通土・硬質土・砂礫・岩盤などの幅広い土質地盤に対して施工が可能である。また、図-5に示すように、カッターヘッドに取り付けられた掘削部品であるカッタービットを交換することで、掘進途中での土質変化にも対応できる。なお、カッタービットの交換はシールドマシン機内から行える構造となっており、地山が自立している場合は補助工法無しでの交換作業が可能である。



図-5 カッターヘッド

#### (5) 優れた経済性

従来シールド工法を用いた二重管渠築造は、本管に対してさや管径が過大になってしまう場合がある。例えば、呼び径 800 の本管を布設する場合、従来シールド工法ではさや管の最小口径は呼び径 1,650 となり本管に対して7口径差である。その場合は、それに伴うシールドマシンの製作費や掘削土の処理費、立坑構築費の増加等の経済的課題がある。

これに対して、DXR シールドの場合はさや管呼び径 1,100 で構築することができる。掘削断面はおおよそ半減し、中込充填量は 65% 減となることから、この場合のトータル施工コストは施工条件によるが、15% 程度低減可能となる。

### 2.3 PN 形ダクタイトイル鉄管の特長

PN 形管は、さや管内部に管路を構築することを前提に開発された耐震管である。以下にその特長を述べる。

#### (1) 優れた耐震性

PN 形管の継手構造は、図-6に示すようにゴム輪・押輪・ボルト・スプリング・ロックリングから成り、地盤変状が生じた際は管長の 1% の伸びに対応できる。最終的にはロックリングが引っ掛かり、継手の離脱を防止する。具体的には 3DkN (D:呼び径) の離脱防止力を有し、呼び径 1,000 の場合は 3,000kN までの離脱防止力を備える。これは、長さ 100m に相当する管の周面摩擦力に耐えうる性能であり、離脱防止性能としては最高ランクの A 級に該当する<sup>3)</sup>。

また、継手に許容曲げ角度を有し、これらの伸び・離脱防止力・可とう性によって優れた耐震能力を発揮する。

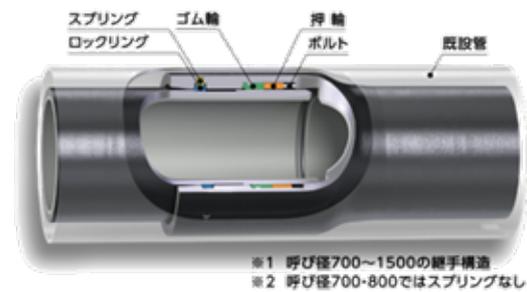


図-6 PN 形ダクタイトイル鉄管継手構造

#### (2) 外径寸法

PN 形管は、当初からさや管の内部に配置することを念頭に開発しているため、呼び径 300 ~ 1,100 の直部外径は、水輸送用塗覆装鋼管と同じとしており、管受口の外径も K 形管などの一般埋設用のダクタイトイル鉄管と比較して1周り小さい寸法となっている。これにより、さや管と新管のクリアランスを十分に保つことができ、最適な口径差での設計と安全な管内運搬を実現している。

#### (3) 新管内部で接合が完結

一般的なダクタイトイル鉄管の布設は開削工法を前提としているため、継手の接合には管外側からの作業が一般的である。一方で PN 形管はさや管内部に配管されるため、図-6に示すよう

に管内側から接合作業を行える構造となっている。

なお、PN形管の布設は、DXRシールドの掘進で使った設備と機械を流用し、管運搬台車にてトンネル内に搬入して行う。

### 2.4 DXR工法の施工実績

DXR工法は農業用パイプラインと同様の圧力管路である上水道や工業用水で多くの実績がある。2021（令和3）～2022（令和4）年度の10件の施工実績を表-1に示す。

表-1 DXR工法実績

年度	都道府県	口径(mm)		延長(m)
		さや管口径	新管口径	
2021年度	福岡県	1,350	1,000	2,009
	秋田県	1,100	800	594
	大阪府	1,100	800	2,273
	兵庫県	1,100	800	1,442
	兵庫県	1,100	800	685
	神奈川県	1,000	700	1,488
2022年度	長崎県	1,000	700	1,399
	埼玉県	1,500	1,100	1,423
	埼玉県	1,500	1,100	1,609
	東京都	1,000	700	731

## 3. ミニシールド工法

### 3.1 ミニシールド工法の概要

ミニシールド工法はDXR工法の開発の際に応用された小口径シールド工法である。使用するセグメントは、呼び径1,000～2,000の鉄筋コンクリート製の本設仕様であり、無圧環境での供用が可能である。

### 3.2 ミニシールド工法の特長

#### (1) ボルトレス三等分割セグメント

従来シールド工法で施工されるセグメントの組立にはボルト継手が用いられることが多い。一方でミニシールド工法に用いられるセグメントは、三等分割で図-7に示すように幾何学的に安定した構造となっているため、継手にボルトを必要としない。セグメント同士が接する面が凹状あるいは凸状となっており、互いを噛み

合わせるのみで施工が完了し、かつ、特殊な工具を必要としないため、施工性が非常に優れている。

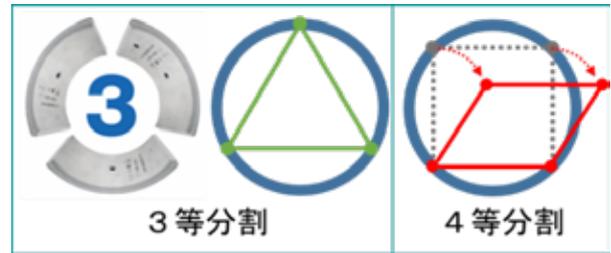


図-7 三等分割セグメント

#### (2) 耐久性が高い

一次覆工材であるセグメントには、土荷重による曲げモーメントや施設の長期供用によってコンクリートにひび割れが生じる。ひび割れが鉄筋に到達した場合、鉄筋の腐食が進行することがあるが、ミニシールド工法に用いる鉄筋には、施設の長寿命化・LCC削減の観点からエポキシ樹脂塗装を施し耐久性を向上させている(図-8)。セグメントの力学的性能は試験により確認済みであり、日本下水道協会規格として規定されている<sup>4)</sup>。

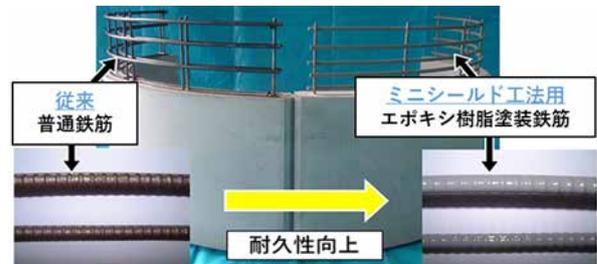


図-8 エポキシ樹脂塗装鉄筋

#### (3) 内面二次覆工の省略が可能

従来シールド工法に用いるセグメントの接合には、ボルトを使用することが多く、接合後は内面に金属が露出する。また、ボルトを締結するためのくぼみ（ボルトボックス）が必要となり、内面が平滑にならない。したがって、ボルトの保護および内面平滑性向上のためコンクリートで二次覆工を施すことが一般的であるが、ミニシールド工法ではボルトがないため二次覆工が不要である。

### 3.3 ミニシールド工法の耐震性能

ミニシールド工法は優れた耐震性能を有している。表-2に示すとおり、1995（平成7）年の阪神淡路大震災および2011（平成23）年の東日本大震災においても、管路の破損率は十分に低かった。

表-2 被災状況調査結果

	東日本大震災	阪神淡路大震災
場所	宮城県東松島市	兵庫県内16か所
管路概要	φ1200mm 延長1,341m	延長7,500m 11,400リング
震災概要	震度6強 津波による浸水水没	震度7
調査結果	◆セグメント破損 0.00% ◆目地材剥離率 0.05% ◆侵入水率 0.05%	◆セグメント破損 0.02% ◆目地材剥離率 0.13% ◆侵入水率 0.07%

## 4. おわりに

近年では農村の都市化・混住化が進み、開削での管布設が困難な環境が増加している。また、著しい人口減少や激甚化する災害等を背景に見直された食料・農業・農村基本法では、新たに

施設の保全に関する記述が追加されるなど、施設の強靱化・長寿命化の重要性がクローズアップされている。

DXR 工法およびミニシールド工法による耐震パイプラインの構築は、施設の長寿命化を実現できるとともに、強靱な管路の構築により突発事故の発生や二次災害リスクの低減に貢献できる。これら工法の農業用水市場における施工実績は多くはないものの、今後の普及促進を通じて、農業生産基盤の安全性向上や、農業農村の持続的な発展に寄与する所存である。

## 引用文献

- 1) 農林水産省大臣官房（2024（令和6）年）：令和5年度食料・農業・農村白書
- 2) 農林水産省（2024（令和6）年）：農業水利施設におけるストックマネジメントの取組について
- 3) 財団法人 国土開発技術センター（1977（昭和52）年）：地下埋設管路耐震継手の技術基準（案）
- 4) 公益社団法人 日本下水道協会（2005（平成17）年）：JSWAS A-7「下水道ミニシールド工法用鉄筋コンクリートセグメント」