

円形セグメントとパイプルーフを用いた 非開削トンネル工事の高速化・省人化

スーパーリング K-UP 工法の開発

増田 昌弘

都市部において道路や鉄道の下をアンダーパスする際に用いられる非開削工法では、狭隘な地下空間における周辺環境に配慮しながらの施工となるため、多くの時間と労力を要する。その課題を解決するために、円形に打設したパイプルーフと円形セグメントを用いたフルプレキャスト工法を組み合わせた「スーパーリング K-UP (Kajima Under Pass) 工法」(以下「本工法」という)を開発した。形状を円形にすることで構造と施工を簡素化し、アンダーパス工事の高速化・省人化を図るものである。本稿ではその概要を紹介する。

キーワード：都市土木、非開削トンネル、アンダーパス、円形、プレキャスト工法、パイプルーフ工法、パイプルーフアーチ工法、スーパーリング工法

1. はじめに

交通量の多い都市部では近年、渋滞緩和、輸送能力の増強を目的として、立体交差事業やバイパス道路の新設が行われている。既に過密状態にある既存の交通網を避けてこれらの事業を推進するために、非開削工法によるアンダーパス工事が広く行われている。

アンダーパス工事においては、一般に横断対象物の両側に立坑を設けてトンネル掘削と躯体構築を行うが、地上に影響を与えないための支保工や補助工法が必要であり、本体の躯体構築も狭隘な地下空間で行わなければならない、工事が長期化する傾向にある。また、

近年の建設労働者不足は深刻で、特にアンダーパス工事のように特殊な技能労働者を長期間拘束する建設工事においては、省人化や生産性の向上は喫緊の課題となっている。

そのような課題を克服するために開発した本工法は、立坑から円形に打設したパイプルーフによって地山を支えながら、そこに円形のフルプレキャスト部材をスライド挿入してトンネル本体を構築する工法である。自立した地下空間に躯体を挿入するシンプルな施工法であるため、従来の非開削工法と比較して、大幅な工期短縮と現地作業の軽減が可能となる。図-1に本工法のイメージを示す。

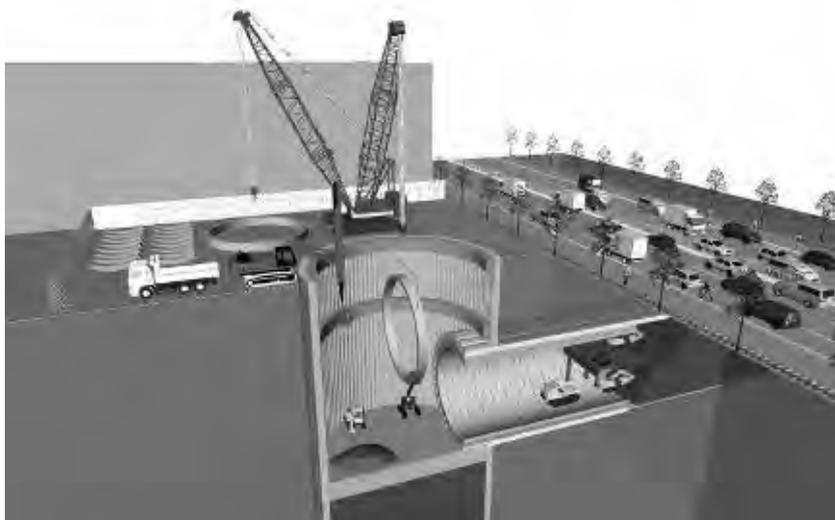


図-1 本工法イメージ図

2. 施工手順と施工法の詳細

(1) 全体施工手順

図-2に構造図を、図-3に施工手順を示す。はじめに、立坑内から円形にパイプルーフを打設し、必要に応じてその外周に止水のための薬液注入を行う。

[STEP-1,2]

次に、パイプルーフの内側を掘削しながらパイプルーフ間にモルタルを打設して、周辺土圧を支える鋼・モルタル合成リングを形成する(=パイプルーフアーチ工法)。
[STEP-3,4]

さらに、地上で地組みし、円周方向にプレストレスを導入して一体化した円形セグメント(=スーパーリング)を立坑内に吊り下ろし、先行リングと連結し、順次トンネル内にスライドさせて、パイプルーフアー

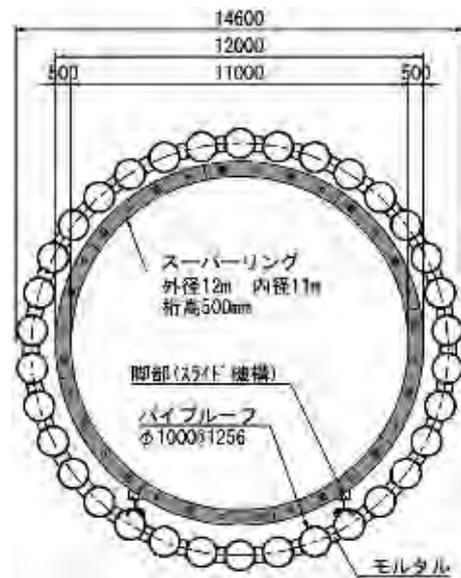


図-2 本工法構造図

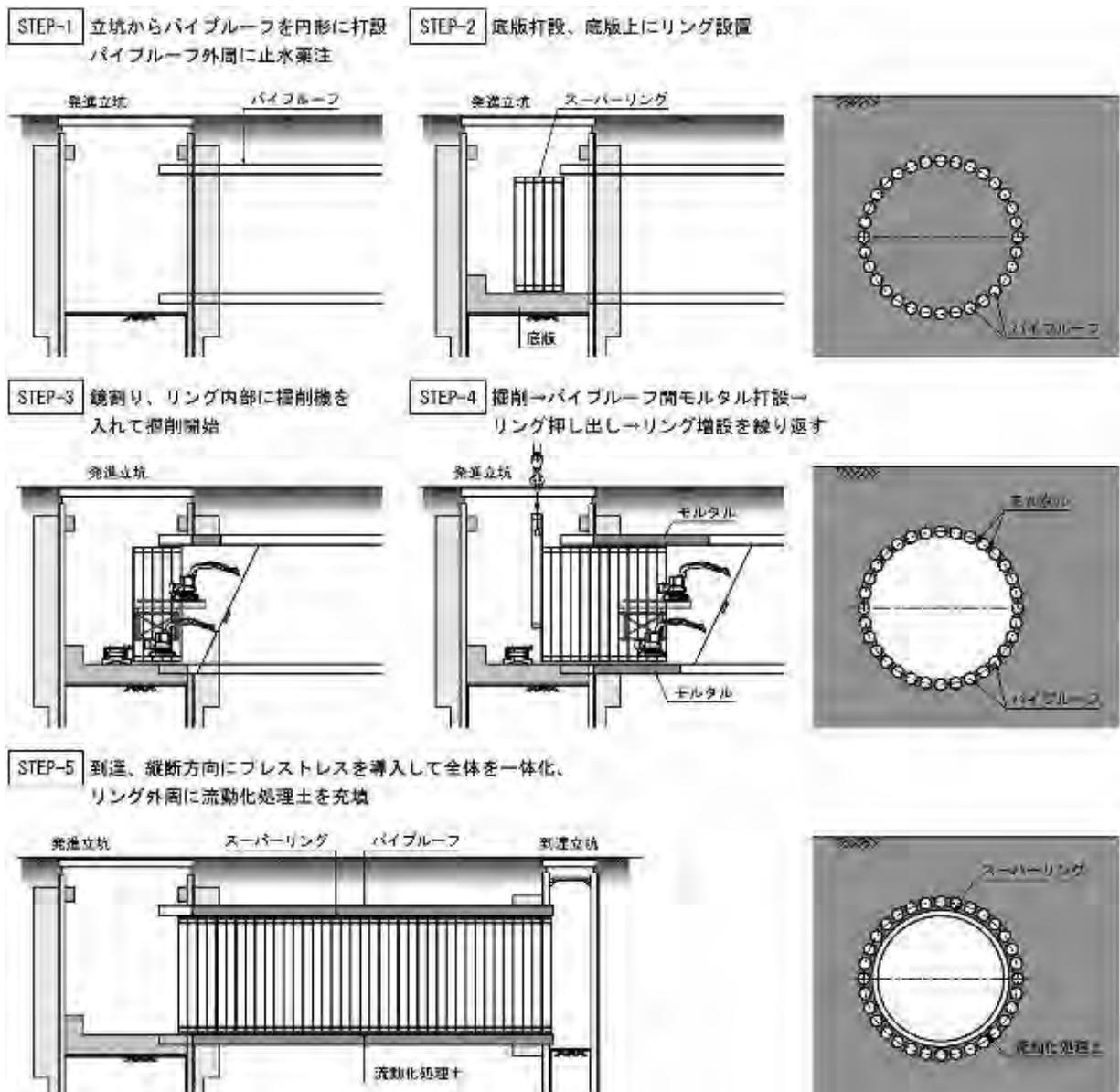


図-3 施工手順図

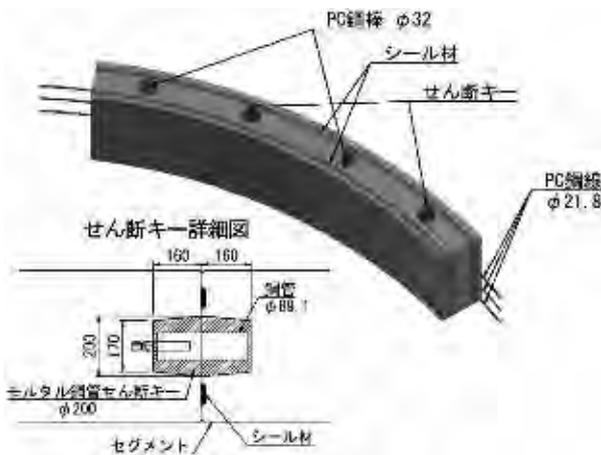
チの内部空間にトンネル本体を構築する。パイプルーフ内の掘削とスーパーリングの挿入を交互に行う。[STEP-3,4]

到達後に、縦断方向にPC鋼材を通して緊張、全体を一体化し、スーパーリングとパイプルーフの隙間に流動化処理土を充填して固定する。[STEP-5]

次節以降に主要工種の詳細を述べる。

(2) スーパーリング

トンネル本体をなす円形プレキャストで、シールド工法のように複数の円弧状のセグメントを組み合わせて1リングを形成する。セグメントの構造概要を図一



図一 4 セグメント構造図

4に示す。地上で水平に置いた状態で組み立て、円周方向にPCケーブルを通して緊張し一体化する。セグメント間の継手は緊張力の導入によりボルト類が不要となるため、平滑な突合せ継手としている。リング間には、地震時に目開きしてもせん断力が伝達できるようせん断キーを設ける。継手面にはシール材を貼付し、それを緊張力で潰して止水性を確保する。

写真一1は、開発過程で実施した施工実験の様相である。外径12m(厚さ500mm, 8等分割)のセグメントを4リング製作し、地組み→吊上げ→設置→スライド→連結という一連の作業を行い、下記のような良好な結果を得た。

- ①目違いなくほぼ真円に地組みできた(内径最大誤差; 地組み時4.16mm, 立起し時15.65mm)
- ②施工中の応力度, 変形, 継手の目開きは予測の範囲内であった
- ③止水実験で漏水は認められなかった
- ④7人という少人数で全ての工程を円滑に施工できた(1日/リング)

(3) パイプルーフアーチ

周囲からの土圧・水圧を支え、スーパーリングを挿入するための自立した円形空間を生み出すのがパイプルーフアーチ工法である。この工法は、首都高中央環状品川線五反田出入口工事で採用され(写真一2),



(1) 地組み

(2) 立起し

(3) 4リング組立完了

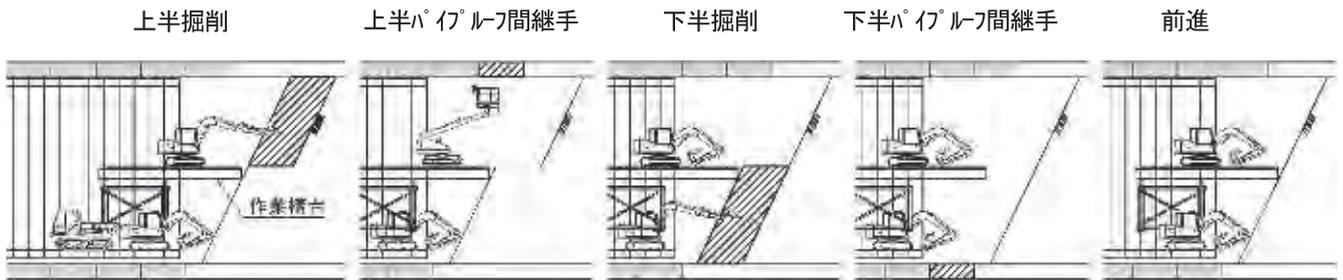
写真一1 スーパーリング工法施工実験



(a) 構造図

(b) 掘削完了時

写真一2 パイプルーフアーチ工法の実績



図一五 掘進詳細手順図

アーチのみで大空間を安定して保持し、地表への影響もわずかであった。

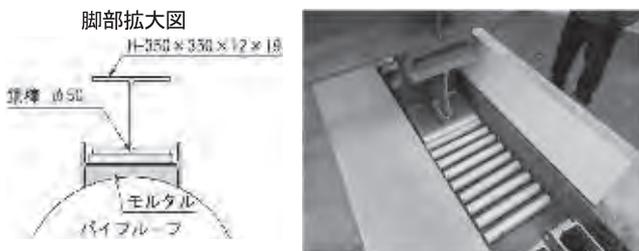
本工法では、内部掘削後、直ちにパイプ間での土砂を洗浄除去し、型枠を設置してモルタルを充填する。詳細手順を図一五に示す。この作業は掘進3mごとに行う。

(4) 掘進、スライド

道路トンネルのような大断面では作業の安全に配慮して、図一五のような作業構台を用いて上下2段で掘削を行う。作業構台はリング本体の先端部に固定し、リングとともに前進する。残土の搬出にはキャリアダンプやベルトコンベアを用いる。

掘進とパイプ間での継手の施工は交互に行う。上下2段施工の場合には、上半掘削→上半パイプ間継手→下半掘削→下半パイプ間継手→前進を繰り返す(図一五参照)。

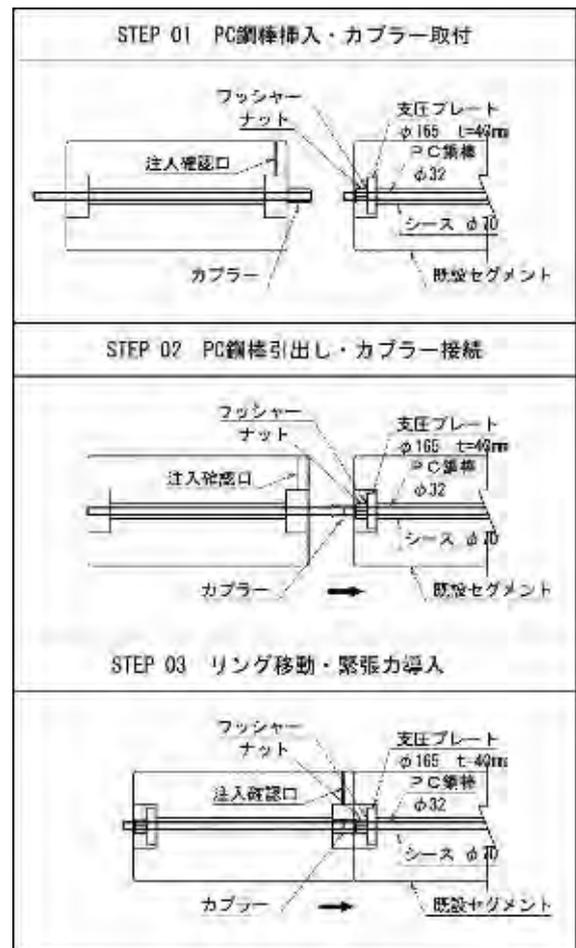
リングのスライド方法には、ベアリング球方式、テフロン板方式、チルトタンク方式などがある。施工実験ではコストと走行安定性から鋼棒方式を採用した。これは溝状のレール内に鋼棒を敷き、その上を転がす方法である。図一六にその概要を示す。実験ではリングの総重量約190tに対し、摩擦係数 $\mu \approx 0.05$ で移動することができた。



図一六 スライド機構(鋼棒方式)

(5) リングの連結

リングは掘進時には1リングずつカブラーで鋼棒を連結、緊張し(仮連結)、全てのリングの設置終了後、PC鋼材を挿入し端部で緊張・定着する(本連結)。



図一七 仮連結手順図

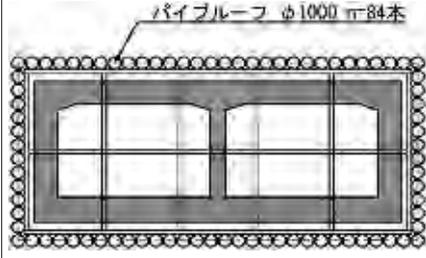
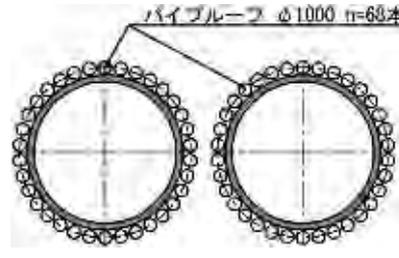
仮連結の手順を図一七に示す。外径12mのリングであれば、連結孔は全16ヶ所で、そのうち4ヶ所程度を仮連結に使用する。

3. 本工法の特長

(1) 躯体構造の合理化(軽量化)

地中において円形は力学上合理的な形状であるため、部材を薄くできる。2車線の道路トンネルと比較した場合、矩形断面では部材厚が1.0~1.5mとなるのに対し、円形構造では厚さを500mmに抑えることができ、その結果、躯体重量は約1/4に軽量化できる

表一 従来工法との比較

	従来工法 (パイプルーフ+場所打ちコンクリート)	本工法
形状		
躯体重量	371 t/m	92 t/m (46 t × 2)
工期	1.0	0.6
必要人員(躯体)	100	10

(表一参照)。このことは、施工の高速化・省人化以外に、コンクリート量の縮減によりコスト上昇を抑える効果も生み出す。

(2) 施工の高速化・省人化

- ①プレキャスト工法で大断面の地下構造物を構築する場合、重量的な制約から幾つかのピースに分割し、地下で組み立てる必要があり、狭隘な地下空間での組立作業に多くの人手と時間を要する。本工法では、躯体を軽量化したことで、1リング単位で地組み、吊降しができ、地下での組み立て作業が不要となる。
- ②従来の函体推進工法においては、地山や外周ルーフと函体との摩擦を切って函体を圧入する必要があり、ジャッキや反力受け設備等が大掛かりとなり、施工速度も制約される。本工法では、自立した円形空間の中にリングをスライド挿入するため抵抗が少なく、施工がスムーズで施工速度が速い。また、推進設備も軽微ですむ。
- ③従来の函体推進工法は、立坑内で函体を組立てた後、切羽で掘削しながら圧入する方法が一般的である。それに対して本工法は、地上のリング地組み作業と地下の掘削作業を同時にできるため、工程を短縮できる。

上記①～③の特長により、従来の非開削工法と比較して工期を6割に、躯体構築人員を1/10に低減できる(表一参照)。

(3) 耐震性・止水性に優れた地下躯体

力学的に有利な円形構造であることに加えて、円周方向にプレストレスを与えて各セグメントを強固に一体化することで、耐震性に優れたトンネルとなる。

また、工場製作したセグメントを平置きした状態で地組みするため、セグメント間、リング間の完全な面タッチが可能で、目開きや目違いがほとんどないこと、継手面に貼付したシール材をプレストレスで均等に潰せることなどから、止水性に優れた躯体となり、外防水は不要である。

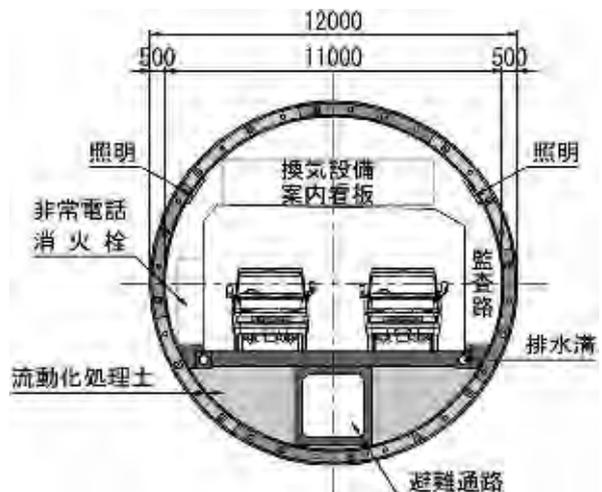
(4) 道路トンネルとしての機能

(a) 道路設備

道路トンネルに適用した場合の一例を図一8に示す。換気設備、案内看板、照明、非常電話、消火栓、監査路などの設備は、上方または側方の空きスペースに配置する。また、路面下のスペースを避難通路やケーブル・配管ダクトとして有効利用することもできる。

(b) 耐火性能

耐火性能は一般のシールドトンネルと同様に、セグメント内面の耐火吹付け、耐火パネルの設置や、耐火型セグメントなどで確保する。



図一8 道路トンネルの一例

(c) 維持管理

維持管理の点検項目、点検方法は、通常のシールドトンネルと同様である。PC 鋼線の腐食に対しては、PC 橋梁の考え方を踏襲し、シース管内のグラウト充填を確実にすることで、基本的にはメンテナンスフリーとしている。

4. 今後の展開

本工法スーパーリング K-UP 工法は、道路トンネルのような大型地下構造物はもとより、中・小口径にも適用できる。また、円周方向にプレストレスを導入す

るため、水路等の内圧管や貯留管にも適用可能で、幅広い応用が期待できる工法である。今後は、早期に実工事への適用を図り、都市部の交通問題など社会的課題の解決に寄与していきたい。

JICMA

【筆者紹介】

増田 昌弘 (ますだ まさひろ)
鹿島建設㈱
東京土木支店 土木部
専任役

