

## 特別報文

## 大断面分割シールド工法（ハーモニカ工法）

大久保 英也・武田 伸児・山田 紀之

大断面分割シールド工法（以後、ハーモニカ工法）は、小型の泥土圧式シールド機にて掘削した小断面のトンネルを積み上げて、大断面のトンネルやアンダーパスを構築する非開削工法である。掘削完了時の坑口の仕上がり形状がハーモニカの吹き口に似ていることから「ハーモニカ工法」と命名された。このハーモニカ工法は、都市部などにおいてトンネルやアンダーパスを短期間で経済的に構築する技術として注目されており、現在までに施工中のものを含めて5本の施工実績がある。

本報告では、この新しい非開削技術であるハーモニカ工法の概要、特徴、施工方法、および現在までに施工した各工事の技術的特長について報告する。

キーワード：非開削技術、アンダーパスによる立体交差化技術、泥土圧式矩形揺動型掘削機、鋼製セグメント（鋼殻）、工期短縮、周辺環境への影響低減

## 1. はじめに

都市部には「主要幹線道路の交差点」や「開かずの踏切」など交通渋滞の発生箇所が数多く存在している。

例えば東京都を例にすると、23区内の幹線道路における交通渋滞発生箇所の渋滞損失額を合計すると、都内全渋滞損失の約50%である5,700億円に相当するとの報告もある。このような交通渋滞を解消する対策の一つとして、アンダーパスによる立体交差化が進められている。

通常、市街地におけるアンダーパスやトンネルなどの建設は、主に開削工法にて施工が行われている。しかし開削工法は供用中の道路上などに広範囲にわたって作業帯を設置する必要があるため、既存車線の交通規制や車線数の削減、さらには、こうした規制に起因する新たな交通渋滞や、工事期間の長期化、夜間作業時における近隣への騒音や振動など、施工箇所周辺的环境に与える影響が大きいなどの問題が生じており、非開削による施工法の実施が求められていた。

既存の非開削工法によるアンダーパスやトンネルの構築方法としては、PCR工法やHEP & JES工法などの外殻先行方式や全断面シールド方式などが用いられてきたが、外殻先行方式は技術的に曲線線形を持つ構造物を施工するには、立坑を深く構築し線形全体を包括できるような必要以上に大きな断面で掘削を行う必要があ

ること、また施工延長が100mを超えるような場合は、途中で中間立坑を設ける必要があることなどから、工期やコストが増大するという課題が生じていた。

一方、全断面シールド方式を用いる場合には、機械設備が高額になるという課題が生じていた。

ハーモニカ工法は、これら既存技術の課題を解決する新たな非開削技術として開発された工法である。

## 2. ハーモニカ工法の概要

## (1) ハーモニカ工法の概要

ハーモニカ工法は、大断面のアンダーパス、もしくは

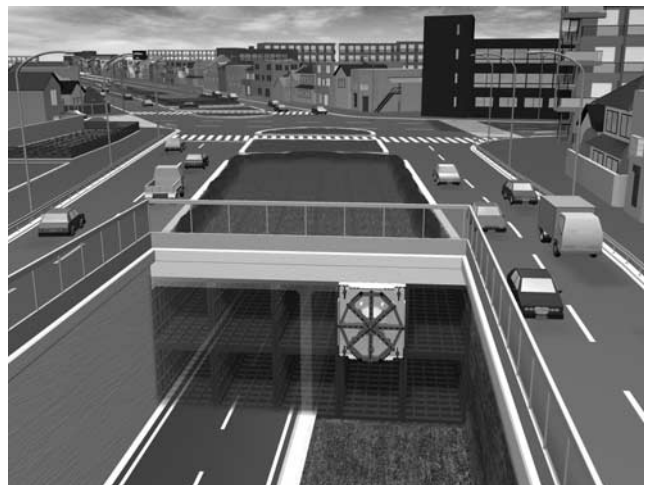


図-1 ハーモニカ工法

はトンネルを3～4mの矩形で格子状のブロックに等分割した後、各ブロックを矩形の泥土圧式掘削機を複数回使用して掘削する。掘削方法として推進方式を採用することで、各函体の覆工として用いている鋼製セグメント（以後、鋼殻）同士を接触させた状態で掘削して、地中に函体を積み上げるように大断面のトンネルを掘削する工法である。掘削が完了した後、内部の躯体を構築して大断面の地下構造物を構築する。掘削完了後の坑口形状がハーモニカの吹き口に似ていることから「ハーモニカ工法」と命名した（図—1）。

## (2) ハーモニカ工法の特徴

ハーモニカ工法は外殻先行方式と比較した場合、以下の特徴を持つ。

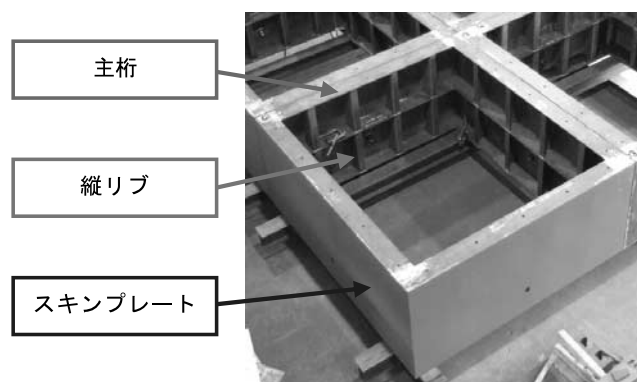
- ①掘削にシールド機を使用するので曲線施工が可能となり、構造物に沿った最適な線形での掘削が可能。
- ②100mを超える掘削が可能のため、外殻先行方式で100mを超える掘削を行う場合に必要となる中間立坑の施工が不要。
- ③鋼殻が土留め支保工の役割を果たすため、支保工の架設が不要。
- ④掘進工事が完了するとトンネル掘削が全て完了するため、内部掘削が不要。

また、全断面シールド方式と比較した場合、以下の特徴を持つ。

- ①小型掘削機を使用するため、低土被りでの施工が可能。また、機械設備費も少なくなる。
- ②機械設備が小型になり、作業基地面積の小規模化が可能。
- ③掘削方式は、立坑内にてセグメントを組立てる推進方式のため、テールボイドが少なく、地表面に与える影響が少ない。

## (3) 鋼殻

ハーモニカ工法では、覆工として鋼殻を使用する。



写真—1 鋼殻（鋼製セグメント）

この鋼殻は、外周部を覆うスキムプレート、矩形で土水圧などの外力に抵抗する役目を果たす主桁、推力を伝える部材である縦リブから構成される（写真—1）。

ハーモニカ工法は、隣接する函体同士を接触させた状態で掘削を行うため、函体間に凹凸方の特殊形状の継手を配置して函体同士の離隔を制限するとともに、掘削完了後は、この継手部に止水材を注入して函体間の止水性能を高めることができる。

## (4) 分割断面数、鋼殻サイズの検討

鋼殻の断面形状や分割数は、構造物の寸法、現場条件、躯体構築時の作業条件、掘削機や鋼殻の運搬条件や到達立坑における掘削機の回収方法などの要素により決定する。

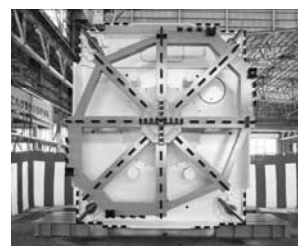
断面の分割数を増やすと、掘削機が小型になり掘削機本体の価格や、諸設備が小型になり安価となるが、施工時の段取り回数が増すため工期が長期化する。また、躯体構築時の作業性が低下し、躯体構築後に撤去する鋼材量が増加するなどの課題があるため、これらを総合的に勘案して決定する。

## (5) 掘削機械

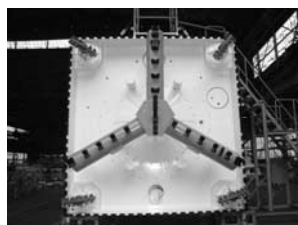
ハーモニカ工法で使用する掘削機は、切羽の安定に優れ地表面への影響が少ないとされる密閉型の泥土圧式シールド機を主に採用している。函体同士を接触させた状態で掘削を行うという工法の特徴から、掘削機内でセグメントを組立てるシールド方式ではなく、推



東京都内地下通路①、③  
密閉式 揺動型



大阪府内鉄道工事  
密閉式 揺動型



神奈川県内アンダーパス工事  
密閉式 回転型



千葉県内鉄道工事  
開放型

写真—2 掘削機械の例

進方式を採用した。

ハーモニカ工法は計画中の物件を含めて、現在までに5本のアンダーパス、もしくはトンネルを施工した実績があり、各々の現場の特徴によって、4つの異なる型の掘削機を開発し施工を行った。

写真—2に実際の施工で使用した掘削機の写真を示す。また、各掘削機の諸元について表—1にまとめた。

(6) ハーモニカ工法の施工手順

矩形トンネルの断面を6分割した状況を仮定して、施工手順を説明する(図—2)。

①発進立坑内で掘削機、元押しジャッキ、その他掘削に使用する諸設備を組立てた後、基準函体(B1)を掘削する。基準函体の掘削完了後、掘削機械を到

達立坑にて解体搬出し、発進立坑内に投入、再組立て後、後行函体(B2, B3)の掘削を行う。

後行函体は基準函体をガイドにして、基準函体に接触した状態で掘削を実施する(STEP1)。

②下部函体掘削後、発進立坑内に架台を組立て、同様の手順で上部函体を掘削する(STEP2)。

③6函体掘削完了。隣接する函体間の継手部に止水処理を行い、水密構造とする(STEP3)。

④躯体構築に先立ち、鉄筋の配筋に支障となる部分のスキンプレートや縦リブを撤去する(STEP4)。

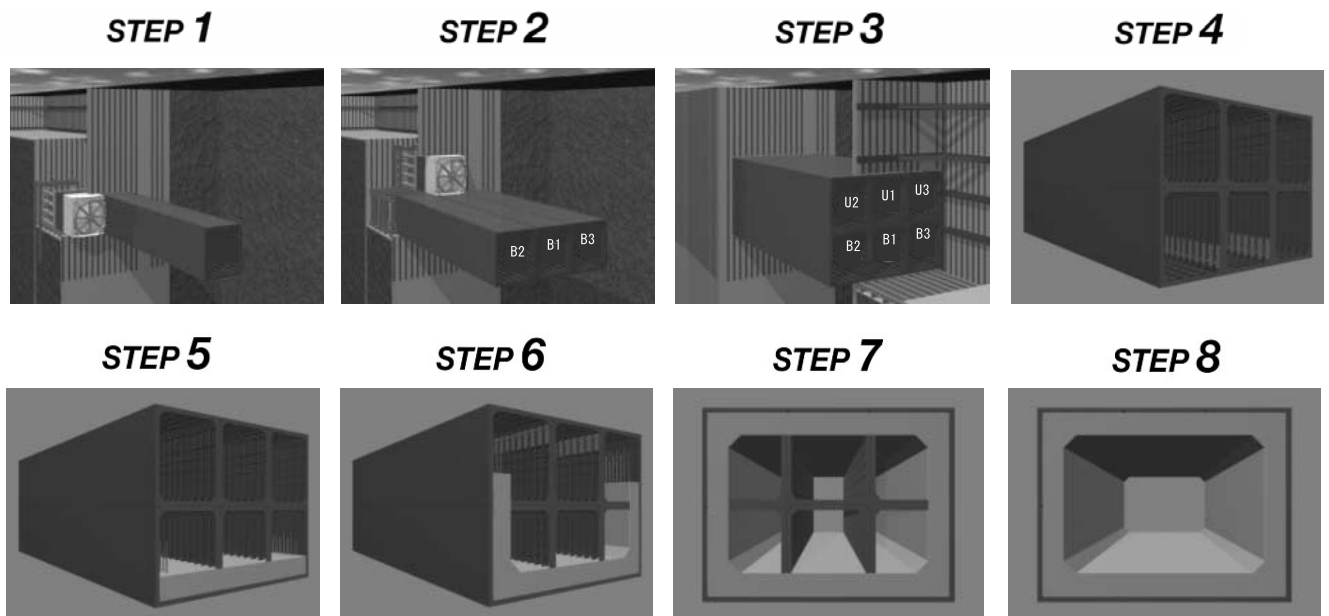
⑤鉄筋組立て後、底版コンクリート打設(STEP5)。

⑥底版コンクリート養生後、同様の手順で側壁コンクリート、スラブコンクリートを施工する(STEP6)。

⑦スラブコンクリート養生後、内部に残されている鋼材を撤去する(STEP7)。

表—1 掘削機械の諸元

工事分類	東京都内 地下通路③工事	東京都内 地下通路①工事	大阪府内 鉄道工事	神奈川県内 アンダーパス工事	千葉県内 鉄道工事
マシン外形(横×縦) 全長:mm(機長:mm)	2,950 mm × 2,670 mm 3,980 mm(3,375 mm)	2,670 mm × 2,950 mm 3,980 mm(3,375 mm)	3,465 mm × 3,990 mm 4,375 mm(2,285 mm)	3,830 mm × 3,980 mm 4,445 mm(3,260 mm)	3,548 mm × 3,809 mm 1,800 mm
方向修正ジャッキ	800 kN × 8本	800 kN × 8本	1,200 kN × 4本 1,000 kN × 4本	1,200 kN × 8本 1,000 kN × 4本	—
カッタ形式	一軸揺動型	一軸揺動型	回転揺動型+コーナーカッター	一軸回転型+コーナーカッター	開放型機械掘削
現在の状況	施工完了	施工完了	施工完了	施工中	施工中
掘削機の形状					



図—2 施工手順

⑧躯体構築工完了。この後、内部の仕上げ工などを実施し、施工を完了する（STEP8）。

### 3. ハーモニカ工法の施工実績と技術的特長

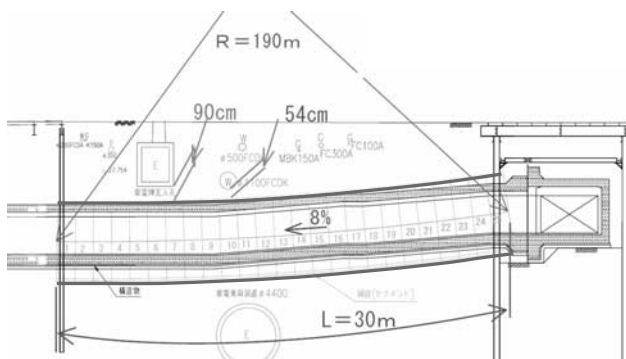
以下に、ハーモニカ工法の施工実績と技術的特長を示す（表一2）。

表一2 ハーモニカ工法の施工実績

工事全般	延長(m)	函体割付	用途	鋼殻横(mm) × 縦(mm)	施工上の特記事項	備考
東京都内地下通路③工事	30.0	4	地下通路	2,950 × 2,670	曲線施工(縦断方向)	竣工
東京都内地下通路①工事	40.0	6	地下通路	2,670 × 2,950	地下埋設物近接, 同一掘削機転用	竣工
大阪府内鉄道工事	21.5	6	鉄道	3,470 × 3,990	大型埋設物下での掘削	ハーモニカ工法は完了
神奈川県内アンダーパス工事	73.0	10	道路	3,830 × 3,980	曲線施工(水平縦断方向)	施工中
千葉県内鉄道工事	38.0	4	鉄道	3,530 × 3,800	開放型掘削	施工中

#### (1) 東京都内 地下通路工事③, 地下通路工事①

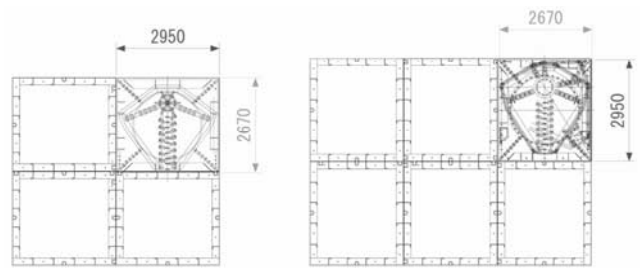
本工事の施工箇所は、交通量の多いT字交差点直下で、日本有数の繁華街の近くである六本木に位置していることもあり、路上における作業帯の設置に制約があった。また、構築される地下通路の形状がバリアフリーの観点から8%の勾配を持つスロープと踊り場を含む複雑な形状であったことから、これを従来の非開削技術である外殻先行方式で施工しようとする、既存の地中埋設物と干渉してしまうことから、曲



図一3 曲線施工概要図

線施工の可能な非開削技術であるハーモニカ工法を提案して施工を行った（図一3）。

また、本工事では地下通路③（幅5.5m × 高さ4.0m × 全長30m）と地下通路①（幅7.45m × 高さ5.3m × 長さ40m）と、縦横のサイズが異なるトンネルを構築したが、これを2台の掘削機で施工するのではなく、縦×横のサイズの異なる掘削機を90°横転させ、掘削機の縦横を入れ替えて使用することで、1台の掘削機で2つの異なる断面の掘削を行う計画を立案して施工を行った。また、曲線施工対応として、方向修正用ジャッキを設けた（図一4）。



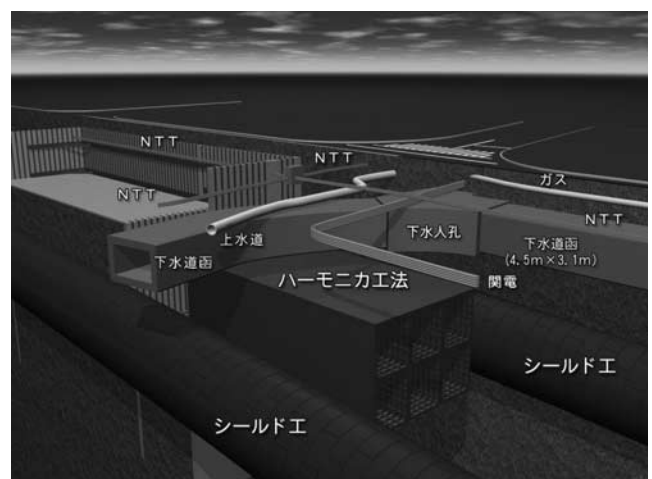
地下通路③施工時

地下通路①施工時

図一4 掘削機械の転用例

#### (2) 大阪府内 鉄道工事

本工事では、幅9.80m × 高さ7.35m × 全長227mの引上げ線部を当初の計画では開削工法で施工する予定であったが、以下の理由から、施工区間のうち交差点部21.5mの区間にハーモニカ工法を採用した（図一5）。



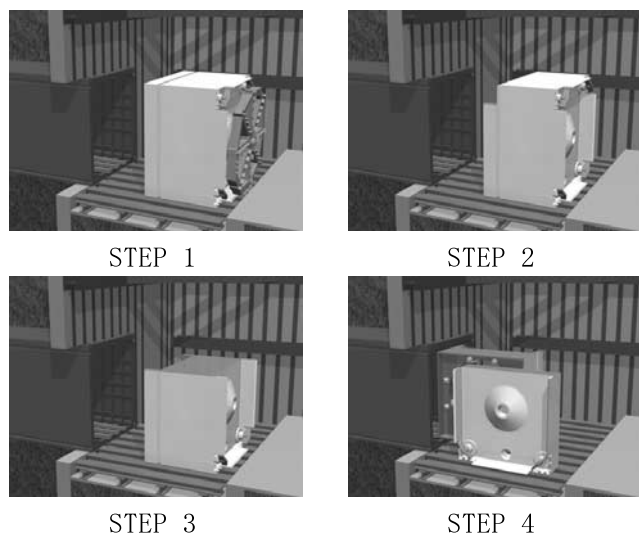
図一5 ハーモニカ工法施工位置状況図

①交差点部を幅4.5m × 高さ3.1mの下水道管渠（昭和10年頃に施工）、NTT、関電、水道などの埋設間が横断しており、下水人孔も近接していることな

どから開削工法の実施が困難であり、非開削工法が望まれた。

- ②将来施工されるシールドトンネルとも近接していることから、非開削工法施工時の立坑幅に制限を受けるため、躯体外側から1m程度の離隔での施工が条件であった。
- ③掘削時の埋設物への影響を低減する必要があった。
- ④地上交差点部での作業を低減する必要があった。  
掘削機の転用方法としては下記方法がある。
- ①到達立坑からクレーンで掘削機を吊り上げ発進立坑に再投入する方法。
- ②到達立坑でUターンして掘削を行う方法。
- ③到達立坑で掘削機を解体し函体内を発進立坑へ引き戻す方法。

本工事では、地上部が交差点であるため掘削機の引上げに大きなクレーンを設置することができないことや、到達側が開削区間であり再発進時の反力が取れないことなどを考慮して、到達立坑にて掘削機を解体し、掘削が完了した函体内を到達立坑から発進立坑側へ引き戻し再度発進立坑内で組立てるという方法を採用し、分割、再組立ての可能な構造とした(図一6)。



図一6 掘削機械転用手順

### (3) 神奈川県内 アンダーパス構築工事

本工事では、全長420mのアンダーパス施工区間のうち、幅18.4m×高さ7.15m×全長73.0mのボックスカルバート区間をハーモニカ工法によって曲線施工(水平縦断方向)で施工する(図一7)。本工事では、鋼殻の形状が正方形に近いことから、回転型カッタの掘削機を採用した。

### ハーモニカ工法 施工区間



図一7 施工箇所状況図

### (4) 千葉県内 鉄道工事

本工事では、擁壁基礎杭(PHC杭)の切断撤去があるという現場条件から、従来のハーモニカ工法で採用してきた密閉型泥土圧式掘削機を採用せずに、初めて開放型の掘削方法を採用した(写真一3, 4)。



写真一3 開放型刃口部



写真一4 発進立坑状況  
(刃口部と鋼殻1R目)

### 4. おわりに

ハーモニカ工法は、東京都内の地下通路構築工事、大阪府内の鉄道工事に続き、今年度もさらに2件の施



写真一5 掘削完了状況(大阪府内鉄道工事)

工が行われている。

今後も、都市部の交差点や鉄道横断部におけるアンダーパス構築法として、非開削による施工のニーズが益々高まるものと考ええる。

ハーモニカ工法は、周辺環境への影響低減や地下埋設物など複雑な条件を抱える都市部において実施されるアンダーパス工事において、工事の省力化、コストダウン、工期短縮、既存車線の交通規制や規制に伴う交通渋滞および地表面に与える影響など、周辺環境への影響低減に貢献する最適な工法であると考ええる。

JCMA



【筆者紹介】

大久保 英也 (おおくぼ ひでや)  
大成建設  
技術センター 土木技術開発部  
地下空間開発室  
課長



武田 伸児 (たけだ しんじ)  
大成建設  
横浜支店 土木工事作業所  
課長



山田 紀之 (やまだ のりゆき)  
大成建設  
土木本部 土木技術部  
都市土木技術室  
課長代理

## 建設の施工企画 2006年バックナンバー

### 平成18年1月号(第671号)～平成18年12月号(第682号)

1月号(第671号)  
夢特集

5月号(第675号)  
施工現場の安全特集

10月号(第680号)  
情報化施工とIT特集

2月号(第672号)  
環境特集 温暖化防止に向けて  
(大気汚染防止・軽減)特集

6月号(第676号)  
リサイクル特集

11月号(第681号)  
ロボット・無人化施工特集

3月号(第673号)  
環境特集 環境改善(水質浄化・土壌浄化)

7月号(第677号)  
防災特集

12月号(第682号)  
基礎工事特集

4月号(第674号)  
特集 品確法 公共工事の品質  
確保

8月号(第678号)  
標準化特集

■体裁 A4判  
■定価 各1部840円  
(本体800円)

9月号(第679号)  
維持管理・延命化・長寿命化特集

■送料 100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 <http://www.jcmanet.or.jp>