

## 解説

### 「過酷な条件下での施工」と「70mを超える曲線施工」 —「矩形の函体を接触させて掘る」という発想—

高見澤 計夫

大成建設㈱  
土木技術部都市土木技術室参与



現在、都市部には「主要幹線道路の交差点」や「開かずの踏み切り」など交通渋滞の発生箇所が数多くあり、このような交通渋滞を解消する方法の一つとして、アンダーパスによる立体交差化事業が都市基盤の再構築の一環として進められている。

通常、市街地におけるアンダーパスの建設は主に開削工法で行われている。しかし、開削工法は供用中の道路などに広範囲に亘って作業帯を設置する必要があるため、既存車線の規制や車線数の減少、さらに、これらの規制により生じる交通渋滞が社会問題となっている。また、開削工法は、工事期間の長期化および夜間作業時の騒音や振動など、周辺環境に与える影響が大きいなどの課題を抱えており、これらを解決する新工法の開発が求められていた。

最近、幹線道路交差点の地下立体交差や横断地下通路などを非開削工法で施工する事例が増えてきている。しかし、従来の外殻先行型の非開削工法では曲線施工は不可能とされ、施工距離も50～60m程度が限界とされている。また、多大な機械設備費用を内包する大口径シールド工法は、土被りに制限を受け、コスト面でも劣ると言われ

ている。

このような背景のもと、従来の非開削工法や大断面シールド工法のもつ課題を解決する新しい工法としてハーモニカ工法が開発され、立体化事業等において実績を積み重ねつつある。本稿では、開発コンセプトや開発の経緯を中心に、「輻輳した地下埋設物下部横断」、「最大土被り約11m」、「最大地下水圧約120kPa」という条件下での施工事例と、「掘進延長73m」、「1.7mの小土被り」、「平面R=320m、縦断R=1000mの3次元曲線」といった条件下におけるハーモニカ工法の特長を立証した施工事例を紹介する。

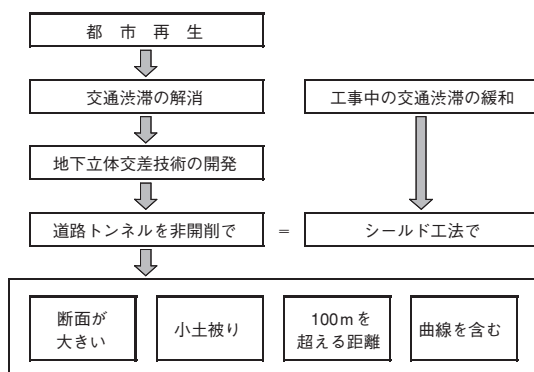
#### 1. ハーモニカ工法とは

ハーモニカ工法とは、矩形の大断面トンネルを複数の小断面に分割し、小型のシールドマシンにより繰り返し掘削した後、小断面トンネルを一体化し、その内部に構造物を作り上げる工法である。掘削を完了した坑口の形状が、ハーモニカの吹き口に似ていることからこの工法を「ハーモニカ工法」と命名した（図-1）。



図ー1 ハーモニカ工法概要図

#### 開発の背景



図ー2 開発コンセプト

### 1.1 開発コンセプト

従来の非開削工法やシールド工法のもつ課題を解消し両工法の長所を取り込んだ新工法の開発を、以下のコンセプト（図ー2）に基づいて行ない、新たなアンダーパス構築技術として、大断面分割シールド工法（ハーモニカ工法）を開発した。

開発コンセプトを以下に示す。

- ①交通渋滞を発生させる要因を極力削減する。
- ②大断面を分割して小型の機械を使用し、小土被りに対応可能な掘削機で施工する。
- ③シールド工法では可能だが、従来の非開削工法では対応できない曲線施工を可能とする。
- ④従来の非開削工法が不得意な100mを越える距離の掘削を行う。

### 1.2 ハーモニカ工法の概要

ハーモニカ工法は、アンダーパスなどの大断面トンネルを小断面に等分割し、小型の矩形掘削機を用いて、隣接する鋼殻同士を接触させた状態で掘削し、内部に躯体を構築することでトンネルを完成させる工法である。

掘削には切羽の安定性に優れている泥土圧式シールド機を用い、土圧管理と排土量管理とを適切に行うことで、地表面や上部埋設物への沈下などの影響を低減可能である。

### 1.3 ハーモニカ工法施工順序（図ー3）

まず始めにハーモニカマシンで下段端部より基準トンネル①を掘削する。この基準トンネルはア

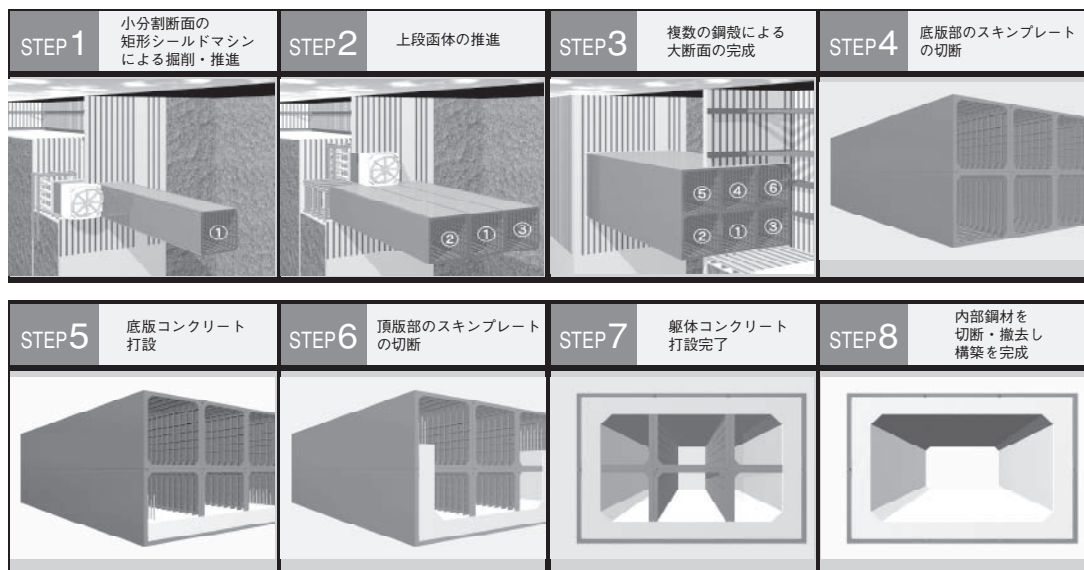
ンダーパスの基準となるため慎重な施工が要求される。引続き基準トンネル隣接するトンネル②～③を掘削する（STEP1）。次に構台を組み立て、上段トンネル④～⑥を順次掘削する（STEP2）。複数の鋼殻により断面が完成し（STEP3）、トンネル間の隙間に止水処理をした後、鋼殻の一部（スキンプレート・縦リブ：朱塗り部）を部分的に解体しながら鉄筋を組み立て、コンクリートを打設し大断面のトンネルを構築する（STEP4～STEP7）。コンクリートの養生後、内部の鋼殻（主桁・縦リブおよびスキンプレート）を切断・撤去し仕上げを行う（STEP8）。

トンネル同士を接触させながら掘削を行うため、立坑内で鋼殻を供給する推進方式となり、推進力の供給は元押しジャッキ方式と、元押しジャッキ+シールドジャッキ併用方式がある。

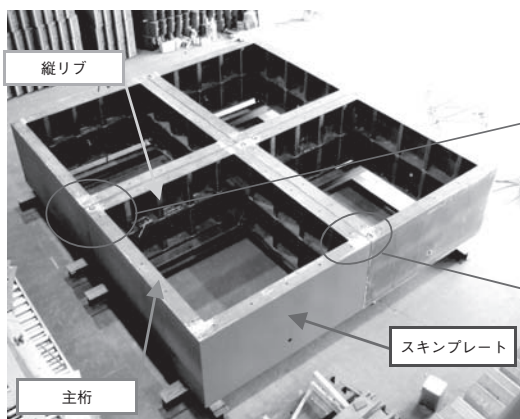
### 1.4 ハーモニカ工法に使用する用語の説明

ハーモニカ工法では、覆工部材として矩形の鋼殻を使用し、掘削機の後方に連結され元押しジャッキからの推進力を伝える。鋼殻は、主桁・縦リブ・スキンプレートおよび継手から構成される。

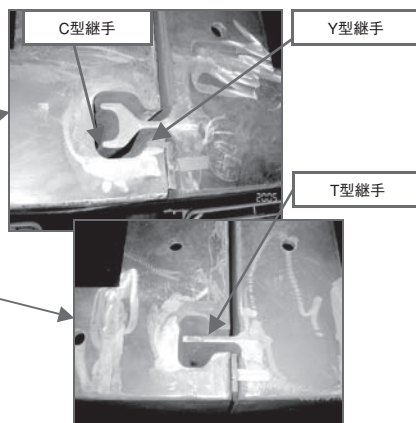
継手は、隣接する函体同士を接触させ離隔を制御しながら掘削するためと掘削完了後の止水ゾーンとして使用する。継手は、C型の溝形状とY型とT型の凸形状をしており、先行函体にはC型継手を、後行函体にはY型またはT型の継手とC型継手を設置する（写真ー1、2）。



図ー3 ハーモニカ工法施工順序図



写真ー1 鋼殻詳細



写真ー2 継手詳細

**鋼 殻：**矩形の鋼製セグメント。  
**函 体：**鋼殻を接続して出来上がった1本のトンネル。  
**主 桁：**鋼殻に作用する外部荷重に対抗する部材。  
**縦 リ ブ：**鋼殻に作用する推進力に対抗する部材。  
**スキンプレート：**主桁と縦リブの外部に貼られた鉄板。掘削空間と外部地山・地下水とを遮断する役目を持つ。

**特殊継手：**函体間を繋ぐ継手。隣接する函体間の隔離を制御するとともに止水ゾーンを確保する。

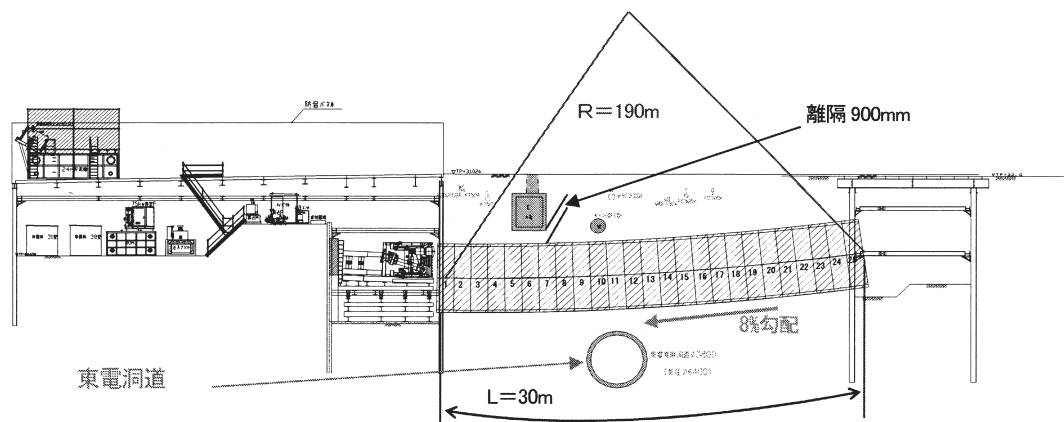
### 1.5 ハーモニカ工法の特長

ハーモニカ工法の主な特長を示す。

#### ①小土被り施工にも対応可能

掘削機が3～4mと小型のため、小土被りに対応可能である。

密閉型のシールド機を使用するため、10mを超える深度にも対応可能である。



図ー4 地下通路③掘削断面

## ②曲線施工が可能

方向修正装置を備えたシールド機と曲線に沿った形状の鋼殻を使用するため、単曲線施工が可能である。また、鋼殻に備えた特殊継手により函体同士の離隔を制御することが可能で、曲線への追従性が高まり構造物の線形に沿った最適な断面での掘削が可能となる。

## ③100mを超える掘削が可能

元押し装置による推進方式とシールドジャッキを併用することで従来の非開削工法を越える距離の掘削に対応可能である。このため、従来の非開削工法で必要だった中間立坑が不要となる。

## ④推進完了後は内部掘削が不要

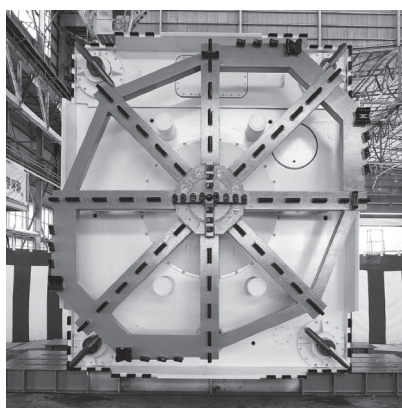
函体を接触させて順次掘削するため、各函体の掘削が終了するとトンネル部の土工事は完了する。また、鋼殻の主桁が中間杭や切梁支保工の役目を果たすため、新たな支保工の架設は不要となる。

## ⑤小規模の作業帯での施工が可能

小断面掘削機の使用により、クレーンなどの立坑設備や土砂搬出設備の小型化が可能となるため、占用作業帯が小規模となる。そのため交通渋滞の誘因を削減できる。

## 1.6 掘削機械および掘削方法

ハーモニカ工法で使用する掘削機械は、小土被りに対応可能な泥土圧式掘削機とし、掘削機のカッタは揺動型あるいは回転型とする。矩形掘削



写真ー3 矩形ハーモニカ工法掘削機（揺動型泥土圧式）

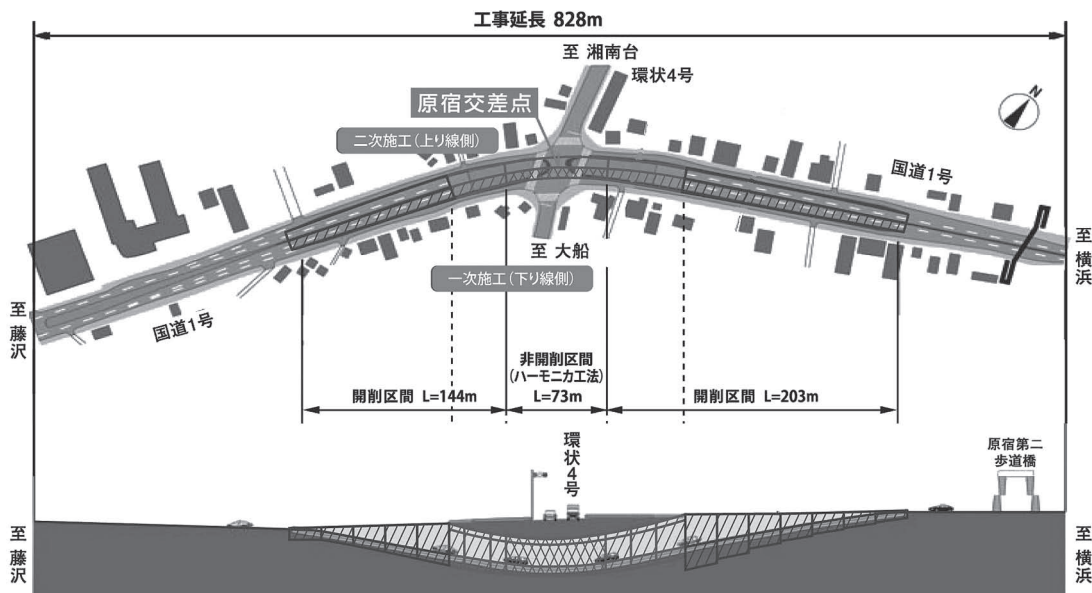
機の四隅にはコーナカッタを装備し矩形断面の未掘削部分を減少させる（写真ー3）。また、固着防止用にウォータージェットなどを適宜装備する。また、曲線施工と姿勢制御用に方向制御ジャッキならびに可動そり等を装備する。

掘削方式は、立坑内で鋼殻を組み立て元押しジャッキによる推進力で掘削する推進方式を原則とする。

## 1.7 施工実績／成果のまとめ

### ①曲線施工の成果

地下通路築造では上下の埋設物を避け8%のスロープを包含したVR = 190m曲線線形でL = 30mに亘って施工した（図ー4）。また、国道の立体化では平面HR = 320m、縦断VR =



図－5 原宿立体工事工事概要図

1000mの複合曲線を $L = 73\text{m}$ に亘って施工した（図－5）。

## ②工期の短縮と安全性向上に成果

土留壁工と内部掘削工程削減により、工期短縮と安全性が向上した（写真－4）。

また、非開削工法であり昼夜間施工による工期短縮も達成した。

## ③作業占用面積の縮小効果

小型掘削機械の採用で付帯設備を縮小することができ、作業帯幅の縮減につながった。結果、交通渋滞への影響を低減できた（写真－5）。

## ④路面などへの影響低減効果

推進方式により鋼殻を接触させての掘削が可能になり、余掘り量も少ないことから、道路面や埋設物への影響を低減でき、管理値内で施工完了した。

## ⑤埋設物下での小土被りトンネルの施工

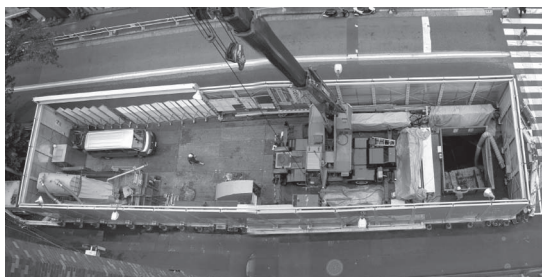
小断面の密閉型泥土圧シールドで、開削工法では困難な埋設物直下に構造物を築造できた。

## ⑥交差点内での作業の削減効果

非開削工であるため交差点内での作業はほとんど行なう必要がなかった。



写真－4 地下通路③掘削完了



写真－5 作業基地全景（地下通路③）

## 2. 施工実績

### 2.1 西大阪延伸線（阪神なんば線）建設工事（第3工区）：「過酷な条件下での施工」

#### (1) 工事概要

発注者：西大阪高速鉄道㈱

設計・施工管理：阪神電気鉄道㈱

施工者：大成／前田／五洋特定建設工事JV

工期：平成15年6月19日

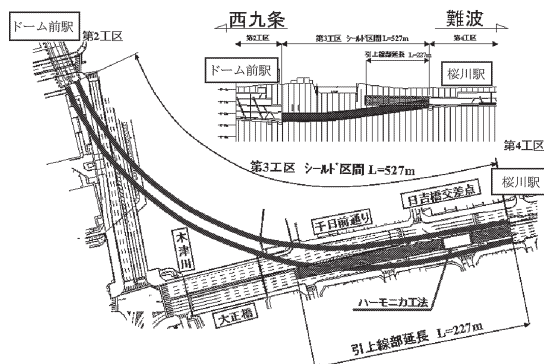
～平成21年3月31日

西大阪延伸線（阪神なんば線）建設工事（第3工区）は、桜川駅西側における汐見橋引上げ線とともに、ドーム前駅から桜川駅までの線路部（527m×2）をシールド工法（泥土圧式：単線Uターン方式）で施工するものである（図－6）。このうち、桜川駅西側における汐見橋引上げ線の施工では、日吉橋交差点部周辺の躯体上部を関西電力、NTT、上水道、下水道等の埋設物が横断している。さらに、下水道函横断部以西は、引上げ線躯体から南側2.7mのところと並行して敷設されており、埋設管の許容沈下量も小さい。また、汐見橋引上げ線完成後は、本線のシールドトンネルが引上げ線躯体から離隔2.0mで通過する（図－7）。

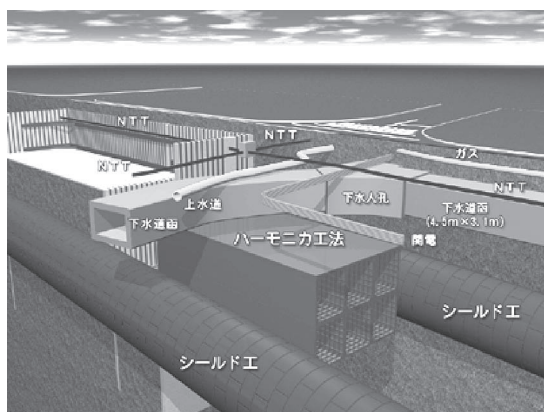
上記の条件のもとで、引上げ線部の施工は開削工法で設計されていたが、土留め壁の欠損巾が11mと非常に大きくなることから開削工法での施工は不可能なことが判明したため、シールド工法ならびに非開削工法での検討を行った。

全断面を掘削する大断面シールド工法と、非開削工法では、覆工体や土留材を仮設構造物として利用するパイプルーフ工法・ハーモニカ工法、および覆工函体を本体構造物として利用する工法HEP&JES工法、ならびにRC躯体を推進するフロンテジャッキ工法について比較した。その結果、

- ①本線シールドや並列する下水道函渠から1m程度の離隔内に立坑を設置できること。
- ②掘削時に周辺埋設物への影響が少ないこと。
- ③地上部交差点での作業を極力少なく出来ること。
- ④地下水位以下での施工が可能なこと。



図－6 西大阪延伸線（阪神なんば線）建設工事（第3工区）工事概要図



図－7 日吉橋交差点部埋設物状況図

などの理由から、本工区では引上線開削部のうち、日吉橋交差点部の延長21.5mの部分にハーモニカ工法を採用した。

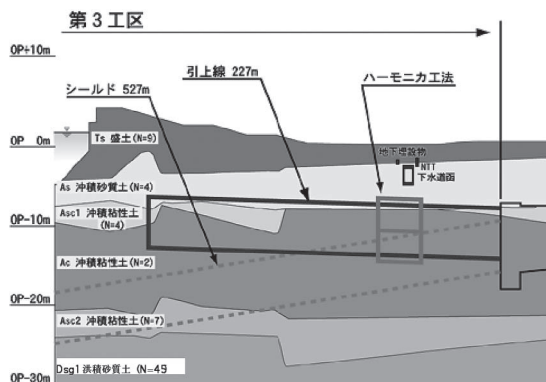
#### (2) ハーモニカ工法の施工概要

##### ①全体計画

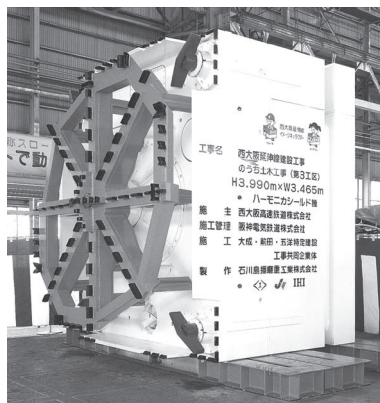
躯体の出来形寸法は、引上線躯体を包含した大きさとし、かつ推進精度を考慮して「高さ7.99m×幅10.415m」とし、この躯体を単体寸法「高さ3.99m×幅3.465m」の函体で6分割した。

##### ②土質条件

掘削対象土質は全般にN値＝2程度の沖積粘性土で構成されており、上床版付近は一部N値4程度の沖積砂質土となっており、埋設物は沖積砂質土に敷設されている。また、地下水位は「OP-1.940m」である（図－8）。



図－8 土層縦断面図



写真－6 ハーモニカ掘削機械

### ③ハーモニカ掘進機

掘進機は掘削時に周辺への影響が少ない密閉型の土圧式とし、外径は高さ3.99m×幅3.465mで矩形断面の未切削部分を極力少なくするために、揺動式カッタおよびコーナカッタを装備している。また、方向制御ジャッキを装備し、左右・上下共に0.5°の中折機構を装備した。推進設備は、2500kNジャッキを8本設置し、総推進力20、000kNとした（写真－6、表－1）。

### ④鋼殻（鋼製セグメント）

トンネルの覆工体は鋼殻とし、高さ3.99m×幅3.465m、単体鋼殻の標準長さを2.5mとした。また、個々の鋼殻間には、熱押鋼材で製作された継手部を設け、この継手部には函体間のガイド、および止水部等の機能も持たせた（写真－7）。

### ⑤推進工

函体の推進は約1週間、段取替も含めた推進1函体あたりのサイクルは、概ね1ヶ月を要した。

掘削推進力は19,000kN 程度の設計値に対し最大は13,000kN 程度であった。最大推進力の発生は掘削機の到達後、鏡切りを行った後に実施する最終押し出し時に発生した。地山推進時の推進力はB1函体を除いて5000kN程度であり、これは切羽前面の抵抗力和ほぼ同等の値である（図－9）。

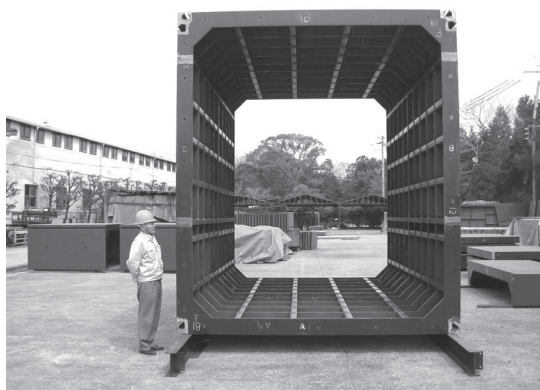
下段3函体目の到達状況を写真－8に示す。推進精度は隣接函に対して上下・左右共30mm前後であった。

表－1 ハーモニカ掘進機仕様一覧

| シールド     |                                                                |
|----------|----------------------------------------------------------------|
| シールド外径   | H3990mm × W3465mm                                              |
| 全 長      | (4375) mm                                                      |
| スキプレート長  | 2895 mm                                                        |
| 掘削断面     | 13.8 m <sup>2</sup>                                            |
| 方向制御ジャッキ | 1200kN × 34.3MPa × 150mm × 4本<br>1000kN × 34.3MPa × 200mm × 4本 |
| 最大折れ角    | 左右 0.5度、上下 0.5度                                                |

| 揺動カッタ   |                                                  |
|---------|--------------------------------------------------|
| 駆動方式    | 油圧駆動                                             |
| 装備トルク   | 最大 1144kN・m (トルク係数 $\alpha=18$ ( $D_n=3.99$ m時)) |
| カッタ回転数  | 0.75 rpm (相当) (20.6MPa時)                         |
| 90°回転時間 | 20 sec (20.6MPa時)                                |
| 揺動角     | 90°                                              |
| 揺動ジャッキ  | 1200kN × 34.3MPa × 895mm × 2本                    |

| コーナカッタ (φ680) |                              |
|---------------|------------------------------|
| 回転数           | 3.0 rpm                      |
| 掘削トルク         | 9.8kN × 4基 ( $\alpha=20.0$ ) |
| 旋回油圧モータ       | 9.8kN・m × 32.3MPa × 1台 × 4基  |



写真－7 鋼殻組立状況

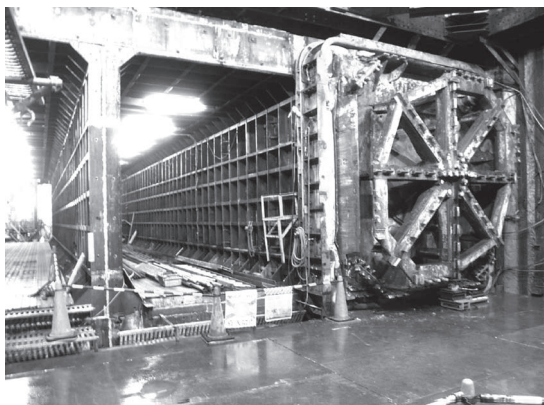


写真-8 掘進機到達状況（3函体目）

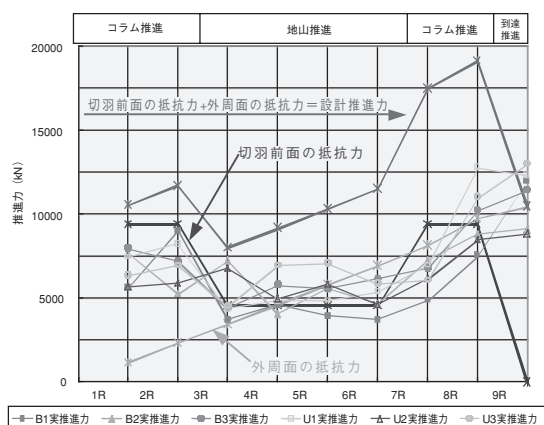


図-9 推進力-掘進長グラフ

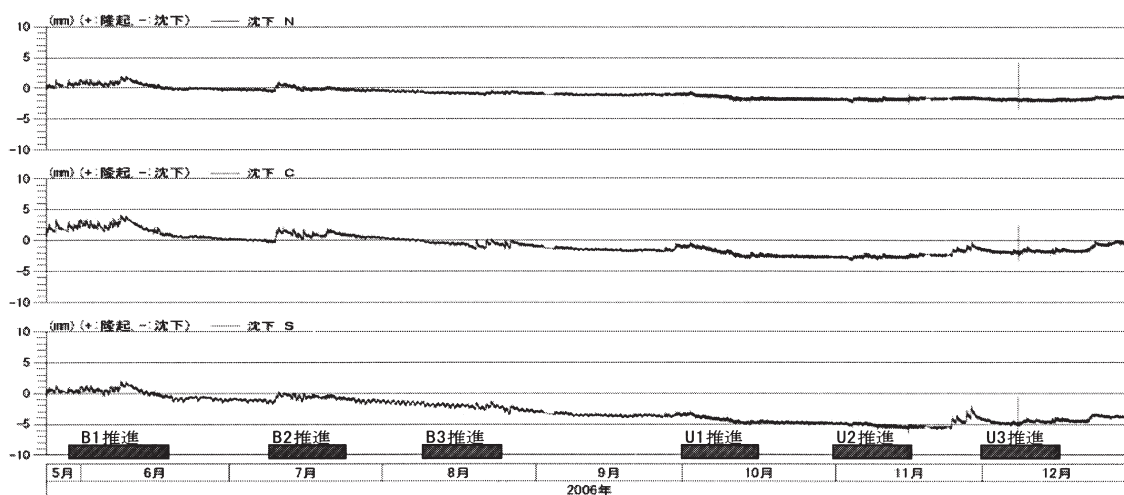


図-10 下水道函沈下量経時変化図

## ⑥下水道函変位

ハーモニカ函体の直上（上部函体からの離隔は約1.0m）を横断している下水道函の沈下管理値は7mmであったが、薬液注入による補助工法も一部行ないながら施工し、最終的に6mm程度の変位で施工完了した。

マシン通過中の地盤の変動は、函体の直上1.0mにおいて5mm程度であった。この地中変位量を元に、二次元弾性の平面ひずみモデルにモデル化し、FEM解析にて逆解析を行った結果、応力解放率は15%となりシールド工法と同程度の結果であった。このとき、砂質土の変形係数は $E = 2500 \text{ N (KN/m}^2\text{)}$ 、粘性土の変形係数は土質試験結果：E50より算出した（図-10）。

## ⑦躯体構築工

推進完了後の函体間継手部の止水注入を、止水性や水中不分離性を持つアクリル系止水剤を使用して行った。コンクリート打設は底版・側壁・頂版の3部分にわけ、頂版部は確実な充填が可能でかつ分離抵抗性に優れた高流動コンクリート（ビオクリート）を採用した。U字型とL字型のエア抜き管により順次隣の主桁間に送りエア溜まりをなくすようにした。さらに鋼殻内への充填は、小区画の4隅に光学式の充填センサを貼り付けて充填確認を行った。

## 2.2 国道1号原宿交差点立体工事（その1） ：「70mを超える曲線施工」

### （1）工事概要

発注者：国土交通省関東地方整備局

設計者：大成建設(株)

施工者：大成建設(株)

工期：平成18年3月18日

～平成21年3月31日

国道1号の横浜市戸塚区戸塚町～同区東俣野町区間は、藤沢、湘南以西と横浜以东を結ぶ路線で交通が集中し激しい混雑状況にある。なかでも、横浜市の主要幹線道路である環状4号と交わる原宿交差点の容量不足は著しく、渋滞の原因となっている。

本事業は、原宿交差点を通過する交通の約80%を占める国道1号側の直進車を地下立体化（図-5）して分離させることにより交通渋滞を軽減させるもので、平成22年末の全線開通を目指している。

原宿交差点部周辺の状況を図-11に示す。原宿交差点は10万台/日の交通量があり、交差点直下には、 $\phi 600\text{mm}$ の水道管、 $\phi 200\text{mm}$ のガス管、NTTの埋設管が横断している。

このような条件のもとで、

①開削工法で多発する車線規制をなくし、一般交通への影響を抑えられる工法。

②埋設物への掘削時の影響を少なく出来る工法。  
などから、原宿交差点部直下の延長73mの部分に非開削工法のハーモニカ工法を採用した。

### （2）ハーモニカ工法の施工概要

#### ①全体計画

躯体の出来形寸法「高さ7.250m×幅18.600m」に対して、「高さ3.980m×幅3.830m」の函体で縦に2段、横に5列に10分割した（その1工事においては縦2段、横3列の6分割を施工し、下段をB1～B3、上段をU1～U3とした）。また、立坑配置および道路線形の関係から、ハーモニカ工法区間延長を73mとした。鋼殻は、平面R=320m、縦断R=1,000mの3次元曲線とし、1函体の長さを1.25mとし、73mを58リングに分

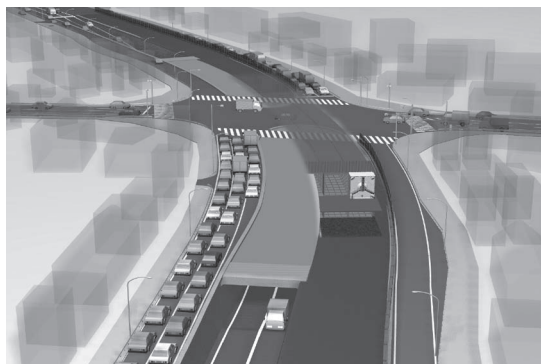


図-11 原宿交差点部その2工事施工概念図

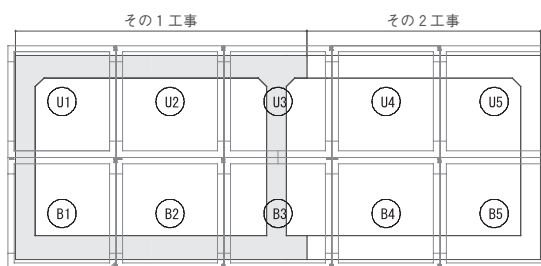


図-12 ハーモニカ工法分割状況および施工順序  
(B1→B2→B3→U1→U2→U3：その1)  
(B4→B5→U4→U5：その2)

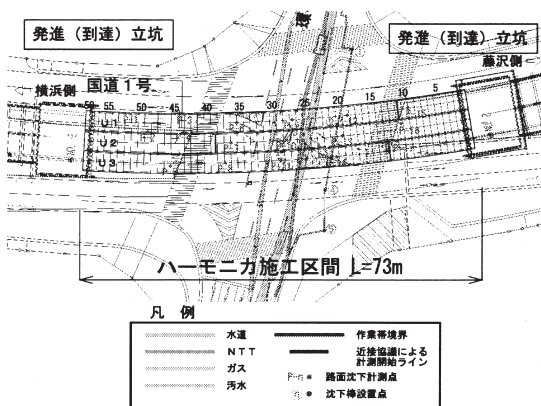


図-13 ハーモニカ工法平面図

割した。図-12に分割状況と施工順序を示す。

ハーモニカ施工部の上方には、重要埋設管が存在するが、最小離隔を0.25m（水道管 $\phi 600$ ）確保するように最小土被り1.7mと計画した（図-13）。

## ②土質条件

当該付近一帯は、多摩丘陵と相模原台地、相模川低地で形成され、工事位置は相模原台地に位置する。関東平野における丘陵、台地及び低地は、火山灰層が広く堆積し、一般に関東ローム層と名付けられている。当位置においても、上部は途中浮石層を挟むが、地上より約10～15mまで関東ローム層にて構成されている。その下部には段丘礫層が基盤岩の上に厚く堆積している。図－14にハーモニカ工法区間付近の土層縦断面図を示す。

掘削対象地盤は、全般的に関東ローム層が占め、N値6程度の粘性土で、地下水位（自由水）についてはGL-2.0m付近に存在する。

## ③ハーモニカ掘進機

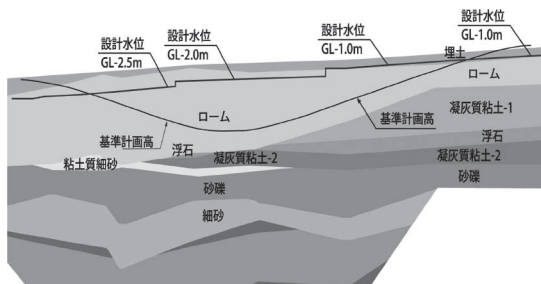
施工箇所は小土被りであるため、密閉型泥土圧式ハーモニカ掘進機を使用する（写真－9）。

掘進機の断面寸法は鋼殻と同一とし、曲線施工に適した余掘り分のフリクションカット量から決定する。曲線施工は、線形に合致した鋼殻の使用と、中折れ装置の付いた掘削機械の使用により施工可能である。ハーモニカ掘進機は主カッタを回転型として、矩形断面の未切削部分を極力少なくする為に、矩形の4隅にコーナカッタを装備した。また、方向制御ジャッキを装備し、左右・上下共に1.0°の中折れを可能とした。推進設備は、2,000KNジャッキを6本設置し、総推進力12,000KNとした。

## ④裏込め材・滑材注入の選定

上部埋設管への影響を最小限にするためには、裏込め材・滑材の注入方法及び材料の適切な選定も重要である。ハーモニカ工法では隣接推進等の特殊条件もあることから、一般的な要求性能に加え以下の観点から材料の選定を行った。

滑材注入は、推進と同時に注入を行ない、裏込め材注入は各函体の到達直後に行った。推進工法であるためマシン寸法と鋼殻寸法は等しいのでテールボイドは存在しないが、推進力の軽減及び曲線施工に必要な余掘り量確保を目的として少量のオーバカットを行っているの、オーバカット部分への充填を目的として裏込め注入を行った。



図－14 土質縦断面図（ハーモニカ工法付近）



写真－9 ハーモニカ掘進機

## 【裏込め材料】

短時間で必要な強度が得られること。隣接推進時に固結して支障とならないこと。長期的な耐久性をもつこと。

## 【滑材】

水により希釈されないこと。置換性が良好なこと。以上より裏込め材はCB充填材、滑材はアルティ Kを使用した。アルティ Kは、水溶性高分子剤で、ゼリー状の溶液である。

## ⑤計測計画

最小土被り1.7mかつ重要埋設物下での施工管理に資するために、図－13の位置において、地表面沈下測量を行った。地表面沈下測量はノンブリズム式トータルステーションによる常時計測とした。

また、重要埋設物には沈下棒を取り付け、沈下測量を行った。ハーモニカ施工完了後の沈下量は、重要埋設物（φ200mmガス管）で最大

35mmであり、埋設企業者との事前協議にて決定した許容値（50mm）内であった。

#### ⑥進捗実績

進捗実績を表一2に示す。掘削速度は30mm/分以下で、最大10m（8Ring）/日の進捗であった。U1函体推進には、4週間程度の日数を費やしたが、小土被りのため、不明埋設物等の支障物に遭遇し、その回収作業が発生したことによる。B2以降では、段取替えも含めた推進1函体あたりの施工サイクルは、概ね1ヶ月であった。

#### ⑦推進力

B1函体からU3函体推進までの掘削推進力の実績を図一15に示す。8,000KN程度の設計値に対し最大推進力は9,000KNであった。最大推進力は到達付近の掘進延長の最長点で発生した。これは、推進延長の増長に伴い、鋼殻の周面抵抗が増加したことが主因と考えられる。また、4面を地山と接触して掘削するB1函体と、B1函体に隣接して推進を行うB2・B3函体との推進力の比較

では特段の傾向はなかった。また、継手部分やマシンの競りなど、隣接推進の影響は特には見られなかった。

なお、設計推進力は、矩形推進であることを考慮して、「下水道協会の修正式」を基準として、滑材効果による低減率を粘性土：0.35として算定した。

#### ⑧施工精度

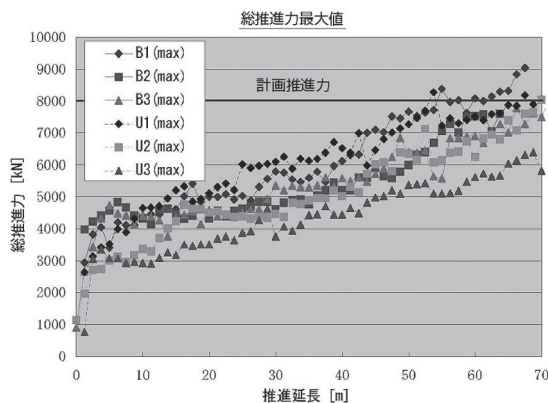
図一16、17に各函体の施工精度を示す。

水平変位・鉛直変位共、管理基準値内の精度で施工を行うことが出来た。鋼殻は隣接する鋼殻と継手にて接続されているので、B2～U3は、基準函となるB1にあわせて推進する必要がある。そのマシンの掘削精度は継手の余裕により規定され、50mm（±25mm）以内に収める必要がある。

このように、ハーモニカ工法においては、厳密な掘削管理が要求されるために、レーザトランシットと、ジャイロコンパスと液差圧レベル計測装置を組み合わせたリアルタイム計測システムにより、常時位置管理を行った。

表一2 ハーモニカ工法実施工程表

|       | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 |
|-------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| 推進準備工 | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■   | ■   |
| 推進工   |    | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■   | ■   |
| 到達工   |    | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■   | ■   |
| 段取替工  |    | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■   | ■   |



図一15 ハーモニカ工法掘削推力図

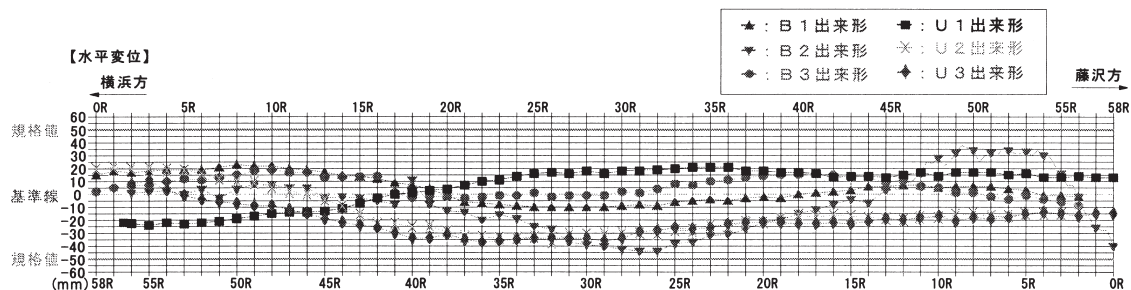
### 3. おわりに

ハーモニカ工法は、都市部における交通渋滞解消を目的として構築されるアンダーパス等を、安全かつ低コストで構築できる技術である。

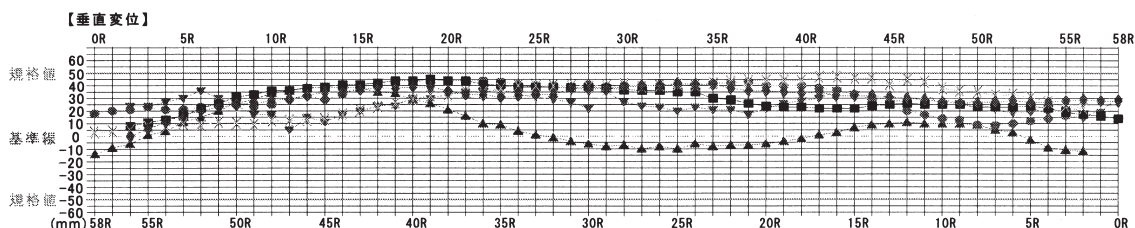
実績を重ねるに連れ、急曲線対応や高水圧下での止水対策などの施工技術もまた進化している。今後、大断面、大深度、急速施工など、更に厳しい環境下においての施工で、本工法の適用が期待される。

現在、ハーモニカ工法の適用実績は5件を数え、輻輳する地下埋設物直下（離隔1.6m）での施工を完了し、幹線道路の地下立体交差その1工事を完了し（写真一10）、引き続きその2工事において曲線施工（平面R=320m、縦断R=1,000mの3次元曲線）を施工中である。

今後も都市部での交差点や鉄道横断部におけるアンダーパス構築方法として広く採用されるよう努力したい。



図一16 鋼殻鉛直精度



図一17 鋼殻鉛直精度



写真一10 国道1号原宿立体工事（その1）  
トンネル完成写真

#### 【参考文献】

- ・湯口、服部、真柴：大断面分割シールドの開発（その2）、第59回土木学会年次学術講演会概要集
- ・下水道推進工法の指針と解説、(社)日本下水道協会、2005年2月
- ・大断面分割シールド工法によるアンダーパスの施工：金子研一、湯口正樹、大畑裕、門田克美、若林正憲、
- ・アーバンインフラテクノロジー推進会議第15回技術研究発表会、2004.2
- ・2005土木学会年次講演会金子他：大断面分割シールドの開発（その1）平成16年度第59回年次学術講演会 VI-062
- ・大断面分割シールド工法（ハーモニカ工法）の開発：大久保他(社)日本建設機械化協会東北支部新技術情報交換会投稿論文：平成20年度
- ・重光 達：西大阪延伸線建設工事（第3工区）の概要—都市の狭隘な施工条件下での大断面分割シールド工法の施工—、鉄建協423号
- ・加賀田健司他：輻輳する埋設物下での大断面分割シールド工法の施工《ハーモニカ工法》、土木学会土木建設シンポジウム2007
  - ・足立 英明他：大断面分割シールド工法の施工実績、土木学会第64回年次講演会（平成21年9月）
- ・小倉崇敬：輻輳する埋設物下での大断面分割シールド工法の施工（ハーモニカ工法）、日本トンネル技術協会第65回施工体験発表2009：JTA
- ・三木 洋人他：ハーモニカ工法（大断面分割シールド工法）による70mを越える曲線施工：土木建設技術発表会2009：土木学会
- ・下水道推進工法の指針と解説、(社)日本下水道協会、2005年2月