

# 函体推進工法における近接トンネルの同時施工

杉崎 光義<sup>1</sup>・神保 正信<sup>1</sup>・平 和男<sup>2</sup>・和田 明久<sup>3</sup>

<sup>1</sup>非会員 国土交通省関東地方整備局首都国道事務所（〒271-0072 千葉県松戸市竹ヶ花86）

<sup>2</sup>正会員 鹿島建設株式会社小塚山トンネルJV工事事務所（〒260-0013 千葉県千葉市中央区中央4-15-1）

E-mail:tairak@kajima.com

<sup>3</sup>非会員 鹿島建設株式会社小塚山トンネルJV工事事務所（〒260-0013 千葉県千葉市中央区中央4-15-1）

本工事は、「東京外かく環状道路」の一部で、千葉縣市川市内の小塚山公園の下に延長約130mの道路トンネルを作る工事である。

トンネルは、高速道路部4車線と国道部内回り線2車線を非開削工法で、土被りが薄い国道部外回り線2車線だけを開削工法で施工した。工事の課題として、厳しい工期であったことから高速道路部と国道部の函体の最大高低差7m、離隔2.9mでの同時推進が必要となったことであった。

そこで、特殊な函体推進工法やパイプルーフ工等の初めての工法を適用することにより、大きな問題もなく工事を無事完成させることができた。

**Key Words :** road tunnel, box-culvert driving tunneling method, sandy soil layer, pipe roof

## 1. はじめに

「東京外かく環状道路」（以下、外環道）は、都心から半径約 15km の地域を環状に結ぶ幹線道路である。全体延長約 85km のうち、千葉県区間の約 12.1km 区間については、国道 298 号 4 車線と高速道路部 4 車線を併設する計画となっており、現在も工事が続けられている。

小塚山トンネル工事は外環道の一部で、千葉縣市川市内の小塚山公園の下に延長約 130m の道路トンネルを作る工事である（図-1）。トンネルの施工法は、公園の樹木や鳥類を保護するという環境上の観点から、高速道路部と国道部内回り線を非開削工法で施工し、土被りが薄い国道部外回り線だけを開削工法で施工した（図-2）。

非開削工法としては、地盤条件や経済性等を比較検討した結果、函体推進工法（フロンテジャッキング+ESA 工法）を採用した。

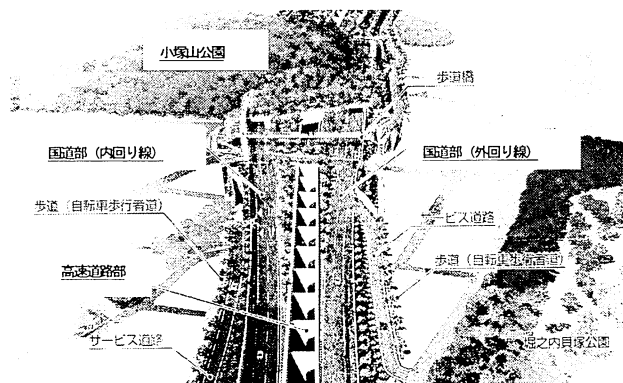


図-1 外環道完成イメージ

工事においては、厳しい工期の中で大規模な近接トンネルを函体推進工法で施工しなければならないこと、また周囲が閑静な住宅地域で騒音、振動に対する環境を維持する必要があることが主な課題であった。

これらの課題に対して、種々の工法を適用することにより、工期を遵守し、環境上もとくに大きな問題もなく、工事を無事完了することができたので、その結果について報告する。

## 2. 工事概要

本工事では、127m の 4 車線の高速道路部と 133m の 2 車線の国道部内回り線であり、しかも最大 7m の高低差（国道部内回り線の方が高い）があり、かつ 2 つのトンネルの離隔が 2.9m の近接トンネルという、函体推進工法としては、例のない工事であった。

1 函体は約 10m の長さで、高速道路部 12 函体、国道

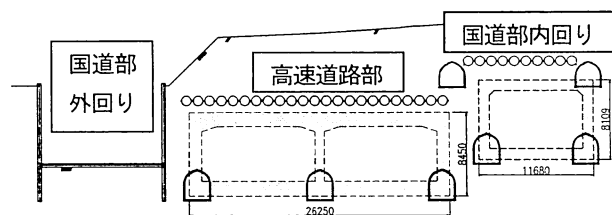


図-2 標準断面図

部内回り線 13 函体に分割した。高速道路部は 4%の勾配と 2 000m の曲線，国道部内回り線は両側から 1.6%程度の下り勾配で折れ曲がっており，かつ半径 2 000m の曲線であった。

工事内容：

|                |                          |
|----------------|--------------------------|
| 掘削工（非開削部のみ）    | 33 000 m <sup>3</sup>    |
| カルバート工（非開削部のみ） |                          |
| 高速道路部          | 幅 26.25×高さ 8.45 ×延長 127m |
| 国道部            | 幅 11.68×高さ 8.109×延長 133m |
| パイプルーフ工        |                          |
| 高速道路部          | 117m－23 本                |
| 国道部            | 130m－ 9 本                |
|                | 114m－ 1 本                |

3. 地盤条件

小塚山公園は，2 万年以上前に形成された洪積台地上に位置し，火山灰に起因する関東ローム層（Lm），Lm の下位に層厚 2m 程度の凝灰質粘土（Jc），それ以深は層厚 15～20m 程度の砂質土層（Ds）と層厚 3～10m 程度の粘性土層（Dc）の互層となっている（図-3）。

掘削対象土層は，砂質土層（Ds1）であり，均等係数 2～4，シルト以下の細粒分含有率が 4～12%の自立性の悪い層となっている。

自然地下水位は施工底面より高い位置にあり，周辺への地下水位低下の影響を極力少なくするために工事区間外周を遮水壁で囲い，その中の地下水を排水しながら施工した。

4. 函体推進工法および補助工法

函体推進工にはいくつかの工法があるが，函体製作立坑の大きさが 2～3 函体ずつしか製作できないこと，工程短縮のためにはパイプルーフを推進ケーブル挿入管として利用し，かつ高速道路部と国道部を同時推進するのが効率的であること等を踏まえて，

- ・ フロンテジャッキング+ESA 工法
- ・ バックフレーム工法（写真-1）
- ・ 高速道路部と国道部の同時推進工法

を採用した<sup>1)</sup>。

施工手順は図-4 に示すとおり，第 1～第 2 ステップの函体推進ではフロンテジャッキング工法により反対側の函体の自重も利用して推進し，第 3～第 4 ステップでは片側の函体だけの自重で推進できることから ESA 工法により，両立坑から独立して推進させた。

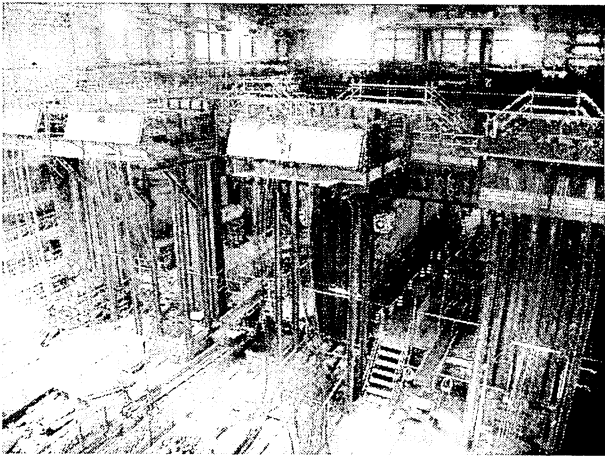


写真-1 バックフレーム工法

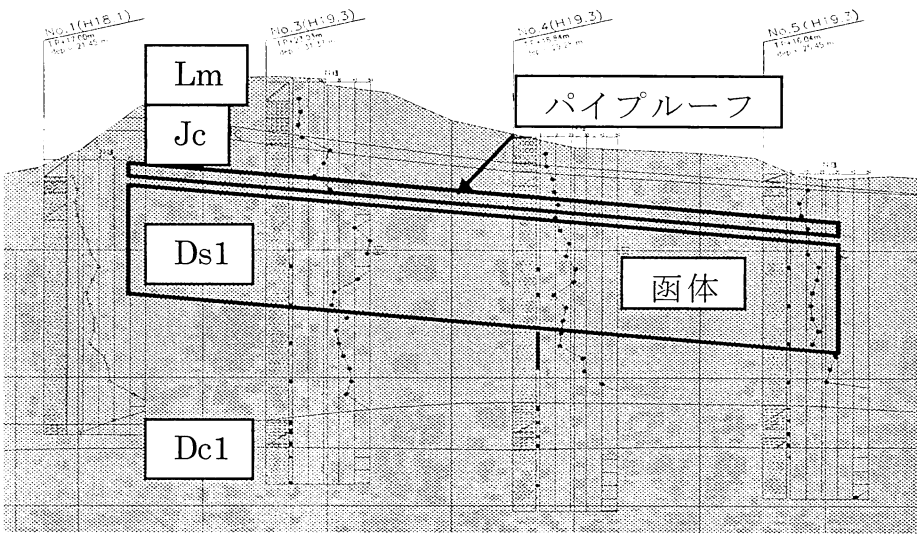


図-3 地質縦断面図

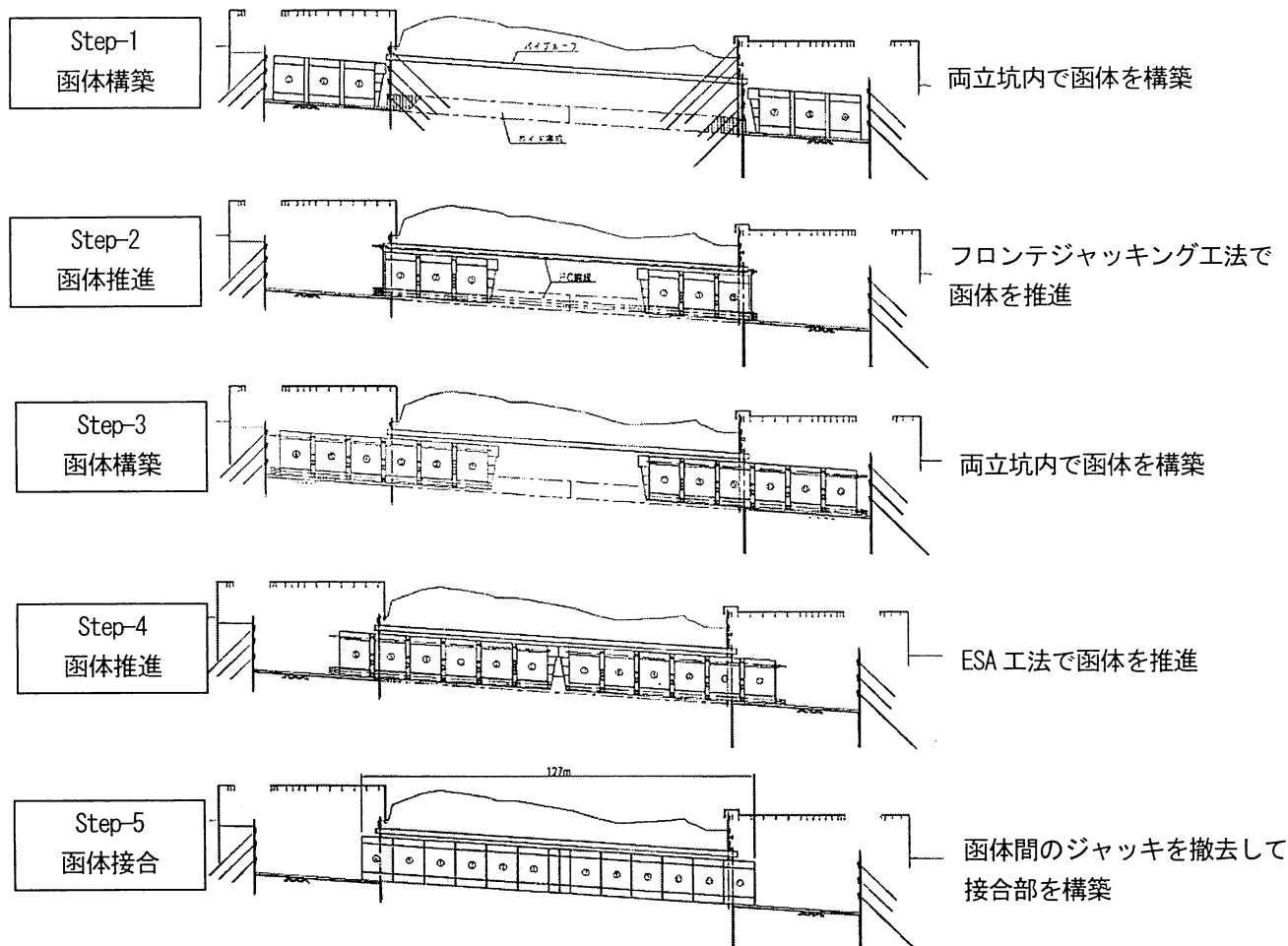


図-4 函体推進工法手順

使用したジャッキは推力 1 500kN、ジャッキストローク長 450mm で、土圧および周辺摩擦力から推進時の抵抗力を計算し、フロンテジャッキおよび函体間の中押しジャッキを高速道路部では 56 台、国道部では 26 台を配置した。

補助工法としては、函体推進工法での掘削時に、天端部が崩落するのを防止するために  $\phi 1\,000\text{mm}$  のパイプルーフを施工し、かつ自立性の悪い砂質土層の切羽崩落が懸念されたことから、掘削部の大部分の範囲を瞬結型溶液タイプの薬液で地盤改良するとともに、高速道路部と近接した国道部下部についても同様に地盤改良を行い、地盤強度の増加を図った (図-5)<sup>2)</sup>。

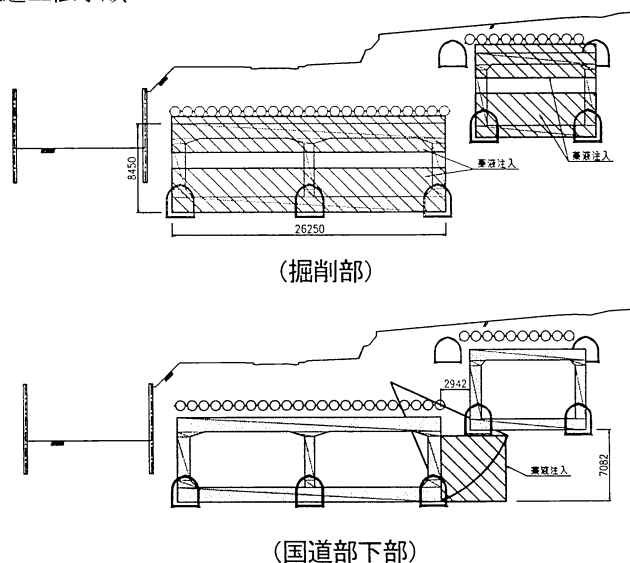


図-5 地盤改良断面図

## 5. 函体施工実績

本工事の全体工程および函体推進時の状況について、以下に示す。

### (1) 全体工程

全体工程は表-1 に示すとおりである。

本工事では、立坑掘削およびトンネルはすべて防音ハウス内で施工するため、以下の手順で施工した。

- ①防音壁設置
- ②立坑掘削，山留め工
- ③パイプルーフ工
- ④固結工
- ⑤函体構築と函体推進の施工
- ⑥接合部の函体構築

表-1 全体工程

| 工 種      |            |        | 平成18年 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 平成19年 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 平成20年 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 平成21年 |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 平成22年 |  |  | 摘要 |
|----------|------------|--------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-------|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|----|
|          |            |        | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1     | 2 | 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |       |  |  |    |
| 道 路 土 工  |            |        |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |       |  |  |    |
| 仮設工事     | 山留め・アンカー工事 |        |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |       |  |  |    |
|          | パイプルーフ工    |        |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |       |  |  |    |
|          | 固結工        |        |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |       |  |  |    |
|          |            |        |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |       |  |  |    |
| 防音ハウス設置工 |            |        |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |       |  |  |    |
| 立 坑 工    |            |        |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |       |  |  |    |
| 函体構築工    | 非開削部       | 高速道路部  |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |       |  |  |    |
|          |            | 国道部内回り |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |       |  |  |    |
|          | 開削部        | 国道部外回り |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |       |  |  |    |
| 函体推進工    | 非開削部       | 高速道路部  |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |       |  |  |    |
|          |            | 国道部内回り |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |       |  |  |    |

全体工程が厳しいため、パイプルーフ工と函体推進工において、以下のような工程短縮を行い、工期内で完成させることができた<sup>1)</sup>。

- ①パイプルーフの複数本同時施工（最大12本同時）
- ②緊張ケーブル管の代替としてパイプルーフ鋼管を利用し、バックフレーム工法を採用した。
- ③国道部の函体推進を先行したのち、高速道路部の函体推進を同時に行った。

## (2) 長距離推進

通常の推進延長は50m程度以下であるのに対し、本工事の推進延長は約130mと非常に長かった。

そのため、ジャッキ推力を伝達するPC鋼線の延長も長くなり、PC鋼線を除荷した際にたるみ、PC鋼線に所要の緊張力を導入した際の伸びも長くなり、推進力が導入できなくなるという課題があった。

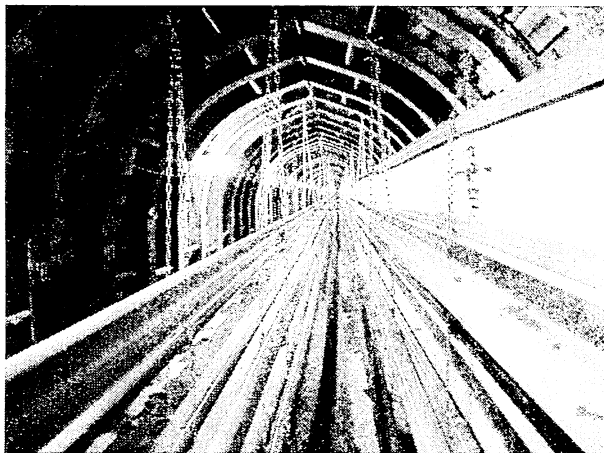


写真-2 緊張ケーブルの吊り下げ

この課題に対しては、ガイド導坑内のPC鋼線をφ75mmの塩ビ管に挿入し、2.4mごとにチェーンで吊り、たるみを抑制した（写真-2）。

## (3) 掘削時の切羽状況

薬液注入により、地盤強度は粘着力ゼロから70kN/m<sup>2</sup>に増加し、先行施工したパイプルーフによる先受け効果も合わせて、掘削中において地盤の崩壊は発生せず、安全な作業空間を確保することができた。

## (4) 同時推進時の地盤変状

本工事で構築する2本のトンネルは、離隔2.9mと非常に近接している上、最大高低差約7mという特殊な条件にもかかわらず、工期遵守のため、2本のトンネルを同時に推進する必要が生じた。

函体推進においては、各函体ののち部に設置されたジャッキにより推進することから、左右の側圧に偏りがある場合でも推進方向を制御することは可能である。しかし、函体の下部地盤が変位した場合、函体の沈下やローリングを制御することは不可能であるため、下部トンネル（高速道路部）の推進による上部トンネル（国道部）の地盤変位をいかに抑制するが本工事における最重要の課題となった。

そこで、上部トンネルの地盤変位を抑制するため、下記のとおり2段階の対策を実施した。

### 【対策1】すべりの防止

函体推進時には1回の推進分（400～450mm程度）を先掘りをするため、下部トンネルの先掘り時に上部トンネルの地盤に開放面ができ、すべりの発生が予測されたこ

とから、当該地盤に対して薬液注入を実施（図-5）し、すべりの防止に必要な抵抗力の増加を行った。

### 【対策2】 函体沈下の抑制

下部トンネル掘削時の余掘りや函体推進時の切削により、上部トンネルの函体周囲に緩み領域が発生し、上部トンネル下部の地盤の沈下が懸念された。

そこで、地盤の沈下が発生した際は、すぐに裏込め材を充填して緩み領域を抑制することにした。

また、地盤の沈下を常に把握するため、沈下計と傾斜計を設置し、地盤の変位を常時観測し、施工にフィードバックした。

沈下および傾斜についての計測結果は図-6 に示すとおりであるが、前述した対策を実施した結果、問題となるような変状を起こすことなく、国道部内回り線 13 函体、高速道路部 12 函体の推進を完了することができた（写真-3）。

函体推進時の推力は、図-7 に示すようであった。

坑口からの距離が短い区間では、想定推力よりも低い推力であったが、長距離になるに従って推力は増加し、想定推力とほぼ同等になった。

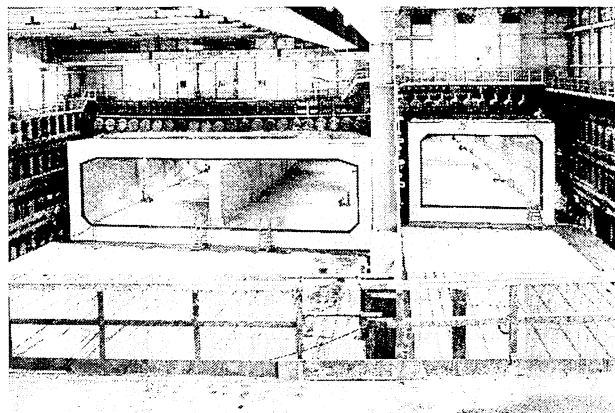


写真-3 函体推進完了

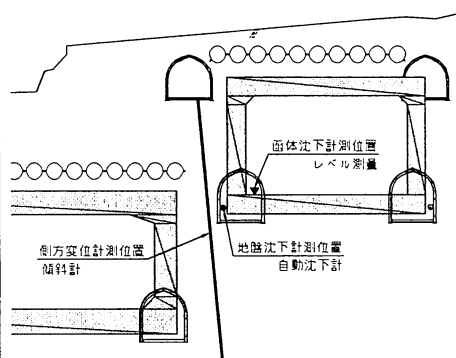
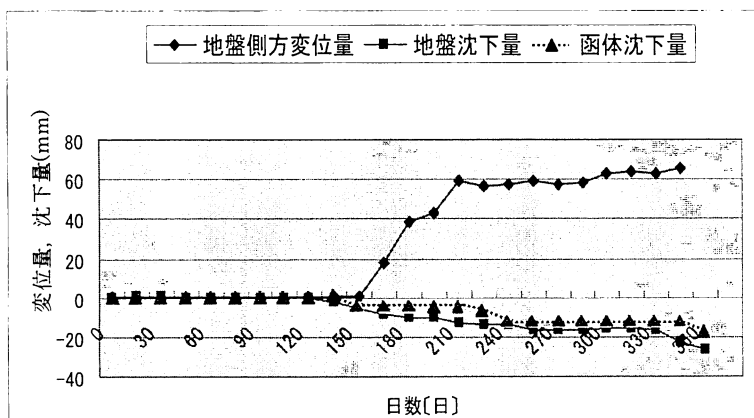


図-6 沈下、傾斜計測結果

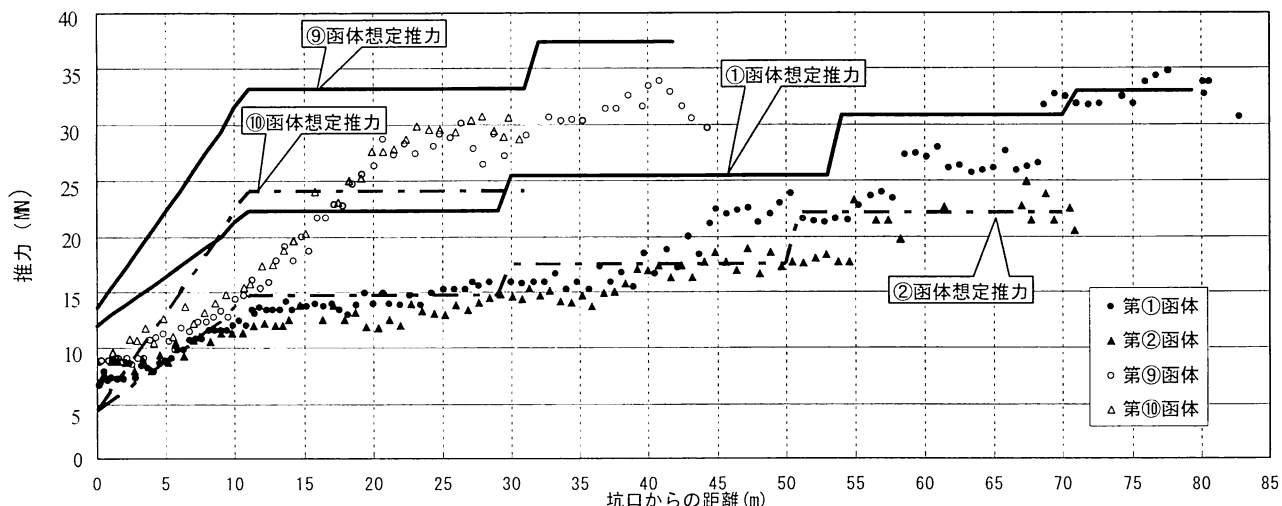


図-7 函体推力の推移（内回り）

これは、地盤改良した地山の自立性が向上して函体推進による周辺の緩みが少なくなり、想定推力よりも低くなっていたが、長距離になると函体自体のねじれも若干あって、推進力も徐々に増加して、想定推力程度になったものと考えられる。

#### (5) パイプルーフ工施工実績<sup>3)</sup>

パイプルーフは、トンネル掘削時の切羽崩落防止のために施工した。パイプルーフの長さは高速道路部が117m、国道部内回り線が130mと非常に長いものであった。

このような長距離推進においては高い精度が要求され、かつ地中障害物にも対応できる必要があるため、掘削方法を片押しでの人力掘削とし、鋼管内における作業性を考慮して、Φ1 016mmの鋼管を使用した。また、上部の土砂や雨水の浸入を防止するため、隣接鋼管をオスメス型の継手で接合した。

人力掘削では工期が長くなるため、基準管を含め、基本的に2本同時推進とした。そのため、基準管施工のちは、その両脇で2本ずつ、4本同時施工とし、高速道路部は23本あるため、2区間に分割し、2区間で4本同時施工を行い、最大12本同時の施工を行い、大幅な工期短縮を実現することができた。

パイプルーフの複数本同時施工においては、レーザートランシットによる精度管理を行いながら施工し、2区間に分割した高速道路部の最終管だけは継手を設けず、パイプルーフ間の土砂の崩落防止のプレートだけを溶接し、施工した。

施工状況を写真-4に示すが、6mの鋼管を溶接しながら、推力1 000kNのジャッキ4台で推進し、最長130mの施工で、最大誤差は200mm以内に収めることができた。

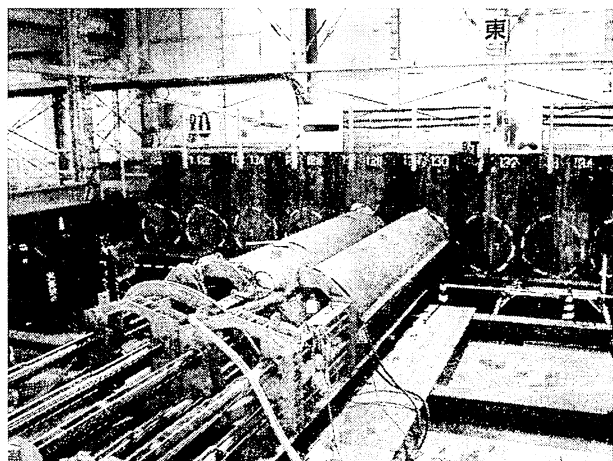


写真-4 パイプルーフ同時施工状況

## 5. おわりに

本工事は、「東京外かく環状道路」として千葉縣市川市の閑静な住宅地域での初めての大規模工事であり、できる限り騒音、振動等に対する環境を維持しながら、工事を進める必要があった。

施工法としては、高速道路部と国道部の函体を最大高低差7m、離れ2.9mで同時に推進することは、函体推進工法では初めての試みであり、また130mという長いパイプルーフを人力掘削で複数本同時施工することも初めてであったが、種々の検討および対策により、本工事を無事完了することができた。

今回のような長距離で近接施工という、函体推進工法で初めての工事を完成させ、函体推進工法の適用性を拡大した実績ができたことで、今後のトンネル工事における工法の一つとして活用されれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 杉崎光義，山崎裕樹，平和男，和田明久：近接したトンネルの函体推進工法による同時施工，日本トンネル協会，第67回施工体験発表会（都市），2010.
- 2) Yoshigi,T., Yamazaki,H., Taira,K.and Dake,N.: Challenge to Expand the Application of Box-Culvert Driving Tunneling Method, 第36回ITA総会およびコンGRESS, 2010.
- 3) 森澤雅昭，湊文孝，嵩直人，白井浩哲：100mを超える超距離パイプルーフの施工実績，土木学会平成20年度全国大会第63回年次学術講演会，2008

## CONSTRUCTION OF ADJACENT TUNNELS AT THE SAME TIME BY USING BOX-CULVERT DRIVING TUNNELING METHOD

Mitsuyoshi SUGIZAKI , Masanobu JINBO , Kazuo TAIRA and Akihisa WADA

Kozukayama tunnels with a length of about 130m are in a section of Tokyo Outer Ring Road and located under Kozukayama Park in Ichikawa city, Chiba Pref., Japan. One of these tunnels is a four-lane expressway road and the other is a two-lane road tunnel.

These tunnels were constructed by using a box-culvert driving tunneling method, while had some difficult conditions. One was the first attempt to drive two adjacent tunnels with a horizontal separation of 2.9m and maximum vertical difference of 7m, while the other was necessary to drive the two adjacent tunnels at the same time to meet the completion date.

We chose the first attempt of the special box-culvert driving tunneling method, piperroofing method, and successfully completed the construction without serious problems.