

狭隘な施工エリアにおける函体推進工事（SFT 工法）

清水建設（株） 正会員 ○上嶋 靖治
清水建設（株） 正会員 竹村 瑞元

東日本高速道路（株） 宗像 慎也
清水建設（株） 正会員 浦島 理

1. はじめに

東京外かく環状道路は、都心から半径 15 km の位置を環状に結ぶ、計画延長約 85 km の幹線道路である（図-1）。首都圏中央連絡自動車道（圏央道）および首都高速道路中央環状線と併せて首都圏 3 環状道路を形成し、既設の放射道路と連絡することで、首都圏の慢性的な渋滞の緩和・環境改善、都市間の円滑なネットワークの実現などを目的に計画されている。

本工事は、東京外環自動車道大和田工事のうち、京葉ジャンクションのランプ建設に伴う京葉道路の拡幅により、隣接する市道の付替えを行うものである（図-2）。跨道橋（市道）の下を横断する市道を、アバット背面盛土内に非開削工法の一つである SFT 工法（推進形式）で構築する工事である（図-3）。

2. 工事概要

東京外環自動車道大和田工事のうち、市道付替工事のみの工事概要を以下に示す。

工事場所：千葉県市川市鬼高 3 丁目

施工期間：2015(平成 27)年 9 月～

2018(平成 30)年 6 月

発注者：東日本高速道路株式会社

施工者：清水・前田・東洋特定建設工事共同企業体

工事数量：表-1 に示す。

表-1 主要工事数量

函体築造工	コンクリート構造物（ボックスカルバート）	199.2	m ³
鋼矢板工	SP-Ⅲ型	1,855.5	m
	SP-Ⅳ型	2,032.0	m
山留工	タイケーブル設置工 φ135mm	382.5	m
薬液注入工	二重管ストレーナー工法（複層式）	373.8	m ³
立坑築造工	発進立坑 掘削土量	930.7	m ³
	到達立坑 掘削土量	383.4	m ³
反力体築造工	H鋼杭打込工（H-300×300×10×15）	310.5	m
	横矢板工	192.7	m ²
	盛土工	896.0	m ³
	タイケーブル設置工	1.0	式
箱形ルーフ推進工	□1000×1000 t=25mm	58.5	m
	□1000×800 t=25mm	14.6	m
	掘削土量	281.7	m ³
函体推進工	推進延長	16.0	m
	土砂排土量	253.8	m ³
SFT工法仮設工事	ルーフ架台工、反力工、FCプレート定着工他	941.5	t
準備工	試掘工、伐採工、ヤード整備工他	1.0	式
復旧工	石積復旧工、舗装工他	1.0	式



図-1 外環道路計画図 1) に加工作成

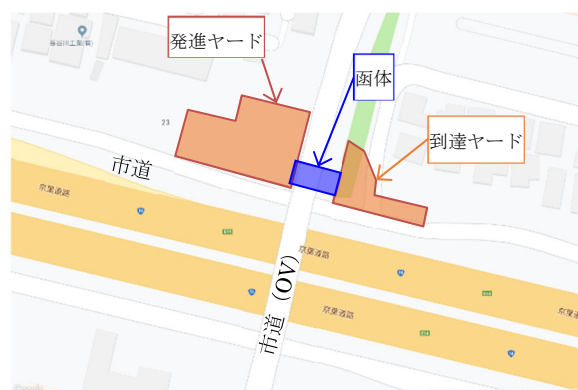


図-2 工事位置図

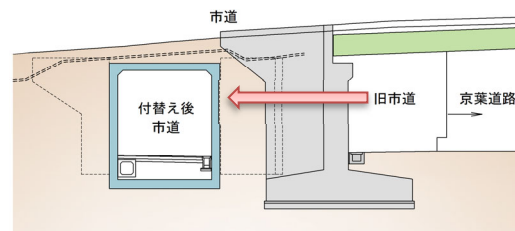


図-3 工事箇所断面図

(1) 函体断面

函体は RC 構造で、高さ 6.94m、幅 6.04m、延長 14.3m である。また、函体の最小土被りは約 0.9m の低土被りである。

(2) 施工方法の選定

付替えを行う市道の上部は、交通量の非常に多い道路である。そのため、上部道路の規制が必要とな

キーワード 非開削工法、SFT 工法、函体推進、箱形ルーフ

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設株式会社土木総本部土木技術本部 TEL03-3561-3877

る開削工法では、長期間の交通規制が必要となり現実的ではなく、本工事は非開削工法での施工となった。

非開削工法は、函体の構築工法により、以下の3つに大別される。

①支保工トンネル系

パイプルーフで道路下および側面を門型に防護する。支保工および支持杭を設置しながらパイプルーフの下を掘削し、現場打ちでRC 躯体を構築する。

該当する工法：パイプルーフ工法

②エレメント系

鋼製エレメントを道路下に口型に推進工法で設置

する。鋼製エレメント内部にコンクリートを打設して構造物を構築する。その後、函体内部を掘削し、内装を行う。

該当する工法：URT 工法，PCR 工法，HEP&JES 工法

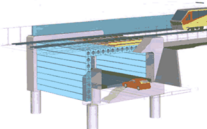
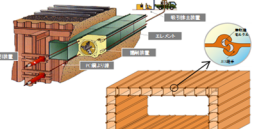
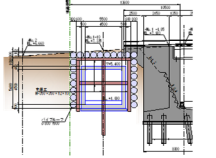
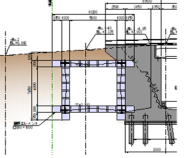
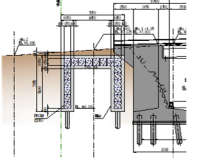
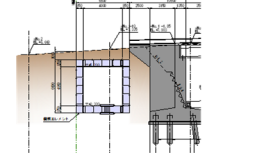
③函体系

ルーフで道路下を防護し、けん引用PC 鋼線を水平ボーリングで設置する。あらかじめ立坑で函体を製作し、所定の位置まで函体をけん引（推進）する。

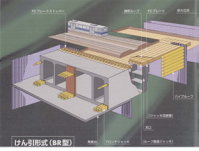
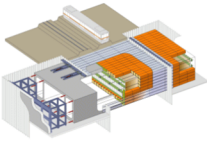
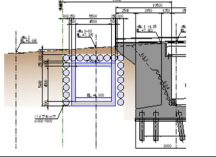
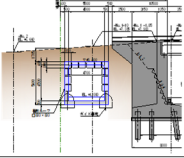
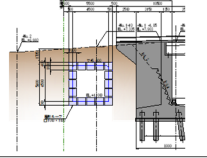
該当する工法：フロンテジャッキング工法，R&C 工法，SFT 工法

それぞれの工法比較表を表-2 に示す。比較の結果、既設橋台との干渉を回避できるSFT 工法を採用した。

表-2 非開削工法比較表

工 法	非開削 支保工トンネル系		非開削 エレメント系	
	パイプルーフ工法 (支保工方式)	URT 工法 (横締め方式)	PCR 工法 (下路桁形式)	HEP&JES 工法
概 要 図 (イメージ)				
横 断 図 ※				
工 法 概 要	・パイプルーフで道路下および側面を門型に防護する。 ・支保工および支持杭を設置しながらパイプルーフの下を掘削する。 ・現場打ちでRC 躯体を構築する。	・鋼製エレメントを道路下に口型に推進で設置する。 ・鋼製エレメント内部に高流動コンクリートを打設する。 ・鋼製エレメントをPC で緊張し、PC 構造物を構築する。 ・函体内部を掘削し、内装を行う。	・鋼製エレメントを道路下に推進で設置する。 ・鋼製エレメントを押しぬきながらPCR 桁を挿入する。 ・PCR 桁を支持する橋台を現場打ちコンクリートで打設する。 ・函体内部を掘削し、内装を行う。	・鋼製エレメントをHEP 工法で道路下に牽引する。 ・鋼製エレメントの継手 (JES 継手) にグラウトを行う。 ・鋼製エレメント内部に高流動コンクリートを打設し、本体構造 (JES 構造体) とする。 ・函体内部を掘削し、内装を行う。
本 工 事 へ の 適 用	敷地境界、橋台との 離隔	×	×	×
	構造形式・品質	△	×	×
	施工実績 (道路下)	○	△	△
総 合 評 価	縦断線形を下れば採用できるが、 SFT 工法より劣る	△	△	×

※ 横断図の寸法はあくまでも参考値であり、設計計算等で決定したものではない

工 法	非開削 函体系		
	フロンテジャッキング工法 (相互牽引方式)	R & C 工法 (BR (牽引) 工法)	SFT 工法
概 要 図 (イメージ)			
横 断 図 ※			
工 法 概 要	・パイプルーフで道路下および側面を防護し、牽引用のPC 鋼線を水平ボーリングで設置する。 ・あらかじめ側面の立坑で函体を製作する。 ・反対側の函体を反力として、フロンテジャッキにより函体を相互牽引し、函体前面の土砂を掘削しながら所定の位置で接続する。	・箱形ルーフで道路下および側面を防護し、牽引用のPC 鋼線とガイド導坑を設置する。 ・あらかじめ立坑で函体を製作する。 ・反力体を反対側の立坑で製作し、箱形ルーフを押抜きながら函体をジャッキで牽引する。 ・函体前面の土砂を掘削しながら函体牽引を行う。	・箱形ルーフで函体外周を防護し、牽引用のPC 鋼線を水平ボーリングで設置する。 ・あらかじめ立坑で函体を製作する。 ・反力体を反対側の立坑で製作し、箱形ルーフを内部の土砂と一緒に押抜きながら函体を牽引する。 ・鋼線間に挿入された箱形ルーフと土砂を撤去する。
本 工 事 へ の 適 用	敷地境界、橋台との 離隔	×	○
	構造形式・品質	○	○
	施工実績 (道路下)	○	○
総 合 評 価	縦断線形を下れば採用できるが、 SFT 工法より劣る	△	◎

※ 横断図の寸法はあくまでも参考値であり、設計計算等で決定したものではない

(3) SFT 工法

SFT 工法では、まず上部道路の防護工として矩形断面の箱形ルーフを交差区間の全長に人力掘削による推進工法にて設置する。箱形ルーフは、函体の上面・側面・下面の外縁に合致させる。その後、発進ヤードにて函体を構築し、箱形ルーフと函体を結合し、一体化する。その後、箱形ルーフと箱形ルーフで囲まれた内面の土砂を函体とともに押し出すことで函体を所定の位置に設置する工法であり、函体前面での切羽掘削作業が発生しないことが大きな特徴である(図-4)。図-5 に工事全体の施工フローを示す。

函体の周囲に位置する箱形ルーフには、周辺地盤との縁切りを目的としたフリクションカットプレート(以下「FCプレート」)を設置し、函体がFCプレートの内部を推進していくことで、推進時の周面摩擦を低減した。併せて、函体との置換時に、FCプレートを地中に残置することで、周辺地盤の変状を抑制した。

SFT 工法には推進方式とけん引方式がある(図-6)。本工事の到達ヤードは、移設不可能な埋設管や住宅に囲まれており、施工設備を設置することが困難な狭隘なスペースであった。そのため、広いスペースのある発進ヤードで全ての設備を設置し、施工が可能な推進方式を採用した。

3. 函体推進時の工夫

(1) 反力盛土の構築

通常、非開削工法は路下での施工が多いため、箱形ルーフおよび函体の推進時の反力は、立坑背面の地山から取ることが一般的である。しかし、本工事は盛土内に函体を推進する工事のため、地表面上での作業となる。よって、本工事では発進ヤードの背面から反力を取ることが出来ないため、矩形の反力盛土を仮設構造物として築造した。

反力盛土は土留壁を用いて構築した。箱形ルーフおよび函体推進時の反力が作用する面は鋼矢板にて、その他の3面は親杭H形鋼を打設し、地表面から段階的に横矢板とタイケーブルを設置しながら土留め壁内部の埋戻しを行い、高さ約6.0mの反力盛土を構築した(図-7)。盛土材は、各推進時の反力を受ける受働土圧を確保する目的で、セメント系固化材により改良した。

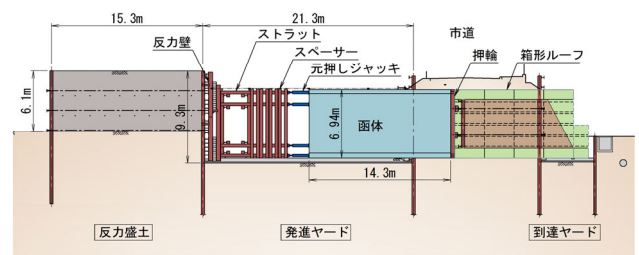


図-4 SFT 工法概要図

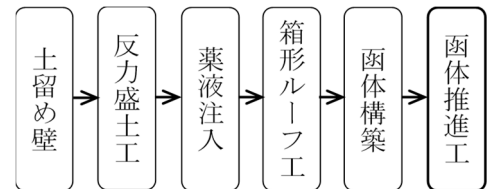
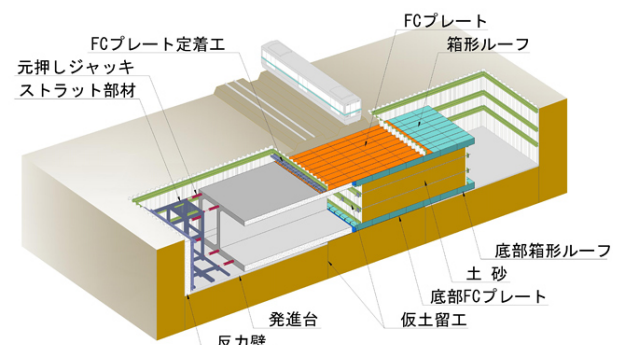
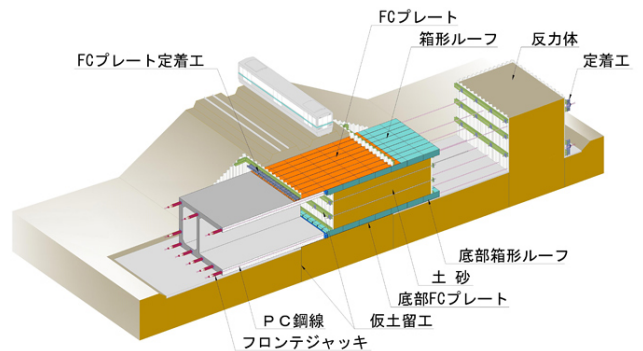


図-5 施工フロー図



推進方式概要図



けん引方式概要図

図-6 SFT 工法 方式別概要図²⁾

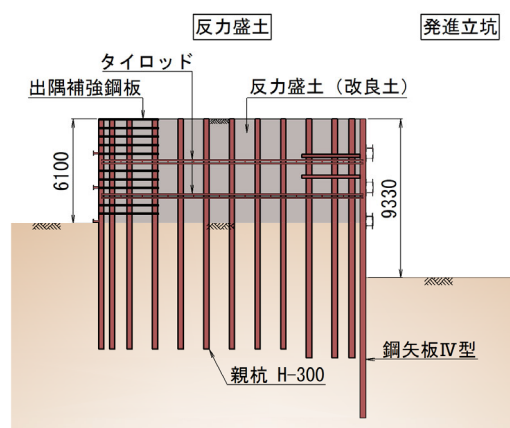


図-7 反力盛土構造図

(2) 切羽斜面安定工

SFT 工法では、函体の推進に伴い押し出された箱形ルーフの撤去および箱形ルーフで囲まれた地山の排土を到達ヤードにて行う。本工事箇所の到達ヤードは、移設不可能な工業用水管や雨水路、住宅に囲まれており、狭隘なスペース（奥行き約 5.6m）への設置となった。これにより箱形ルーフで囲まれた地山の排土時の勾配は約 63 度とした（図-8）。この切羽勾配に対して斜面安定解析を行い、常時安全率 1.20 を確保するための必要粘着力を算出した。必要粘着力は $C=15\text{kN/m}^2$ であり、薬液注入（2 重管ストレーナ工法）にて改良した。

(3) 箱形ルーフの撤去方法

通常 SFT 工法では、箱形ルーフおよび箱形ルーフで囲まれた地山を全て到達ヤードに押し出した後に撤去するか、箱形ルーフ 1 本 ($L=3.0\text{m}$) 分が地山から押し出されると 1 本ずつ撤去する。しかし、本工事では前述のとおり到達ヤードの大きさに制限があったため、全ての段において箱形ルーフ 1 本 (3.0m) 分を押し出して撤去することは不可能であった。そこで、到達ヤードに全長引き出すことのできない下方 2 段分は 1.5m ごとにガス溶断して撤去した。

なお、底版部の箱形ルーフ下辺は、均しコンクリートと接しているため、溶断に時間を要することが予想された。そこで、溶断作業を行う範囲には、均しコンクリートにあらかじめ切欠きを設けて、溶断作業の効率化を図った。

4. 箱形ルーフ工

箱形ルーフの推進は、発進ヤード内に H 鋼材を組み立てた推進用架台から行った。水平部の箱形ルーフは、3 本 1 組で推進した。それぞれのルーフ先端の切羽の緩み範囲が重ならないように、推進長に差をつけて推進することで、上部に対する変状抑制対策とした。垂直部の箱形ルーフは、2 本 1 組とし、 $\square 2000 \times 1000$ の大型の刃口を使用して、上下 2 本同時に推進した。推進順序を図-9 に示す。

鏡切り工は、ルーフ管セット後に、ガス切断機等で土留めの鏡部を箱形ルーフ管の外周より 30mm 程大きく切断し、ルーフ管が偏心しないよう鏡部にガイド鋼材を設置した。

ルーフ管推進では、箱形ルーフの先端に掘削作業員を配し、人力掘削とルーフ推進ジャッキにより推

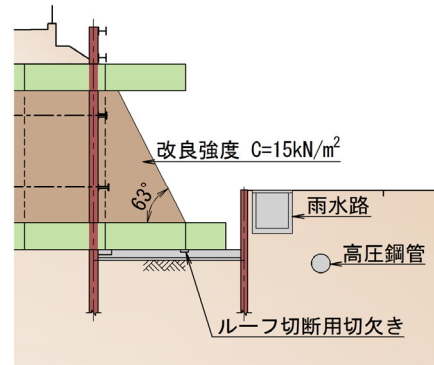


図-8 到達ヤード排土時概要図

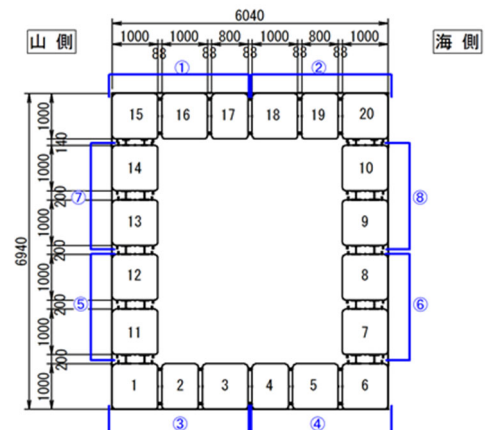


図-9 箱形ルーフ施工順序

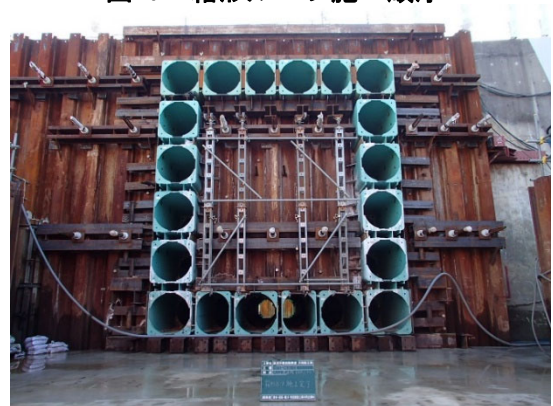


写真-1 箱形ルーフ推進完了状況

進を繰返し行った。箱形ルーフの推進は、施工精度がその後の函体推進精度にも影響することから、特に基準管は地山をよく確認しながら精度よく施工を行った。

ルーフ管が到達側鏡部付近まで達した後に、到達側で鏡切りを行い、ルーフ管を所定の位置まで推進した。箱形ルーフの推進完了状況を写真-1 に示す。

箱形ルーフ推進完了後には、ルーフ管周囲の余掘りに裏込め材を注入することで上部道路の変状を抑制とした。

5. 函体推進工

(1) 函体推進

作業時間は、昼間 7:00~20:00 の 2 交替で施工

した。1回の函体推進量は、ジャッキストロークの関係から約1.0m程度である。函体推進後、函体後方にできたスペースに、スペーサ（L=940mm）を設置する。その後、推進を再開するという一連のサイクルを繰り返し行った。所定の位置まで推進させたのちに、スペーサとストラット（L=3,000mm）を盛替え、さらに繰り返し函体推進を行った（写真-2）。

到達ヤード側では、箱形ルーフが押し出される状況を監視し、ジャッキ操作員と連絡を密に取り、不測の事態にはすぐに作業を中止できるようにした。

（2）函体推進力

函体推力は、①函体の周面摩擦力、②箱形ルーフの周面摩擦力で決定される。

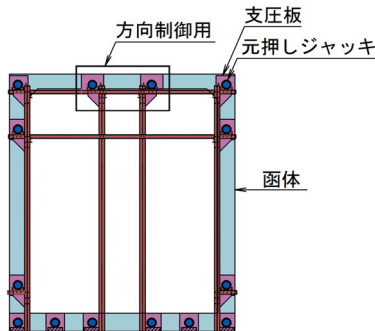


図-10 推進ジャッキ配置図

設計推力は12,000kN

であり、1,500kN油圧ジャッキを14台設置した。そのうち、頂版中央部に配置した2台は函体の方向制御用のものであり、函体の誤差が生じた際に使用するものとして設置した（図-10）。

推力は、ジャッキ操作盤に装備されている圧力計により計測を行った。実推力と設計推力との比較を日々行いながら施工した。設計推力よりも実推力が超過する恐れが出てきた場合には、函体外周に設けた注入孔から滑材の注入などを行う計画としていたが、実推力は最大で設計値の約80%程度であり、対策工を実施することなく函体推進を行うことができた（図-11）。

6. 上部道路の計測管理

本工事範囲と交差している市道に対する影響範囲は、道路延長で約19.5mとなる。道路は絶対値管理とし、道路管理値（±40mm）の50%を1次管理値、80%を2次管理値として、計測管理フローを定めて管理した。なお、道路上での計測となるため、ノンプリズム方式とし、合計32点の測点を自動追尾式トータルステーションで常時監視した。

携帯端末での計測状況確認や管理値超過時のEメール通知など情報化施工の体制を構築した。1次管理値を超過することはあったものの、2次管理値を超過することはないと、路面の健全性を確保した。

7. まとめ

函体推進工事は交差する道路へ大きな影響を与えることなく、推進力も想定された範囲内で施工を終えた。本稿が同種工事の参考になれば幸いである。

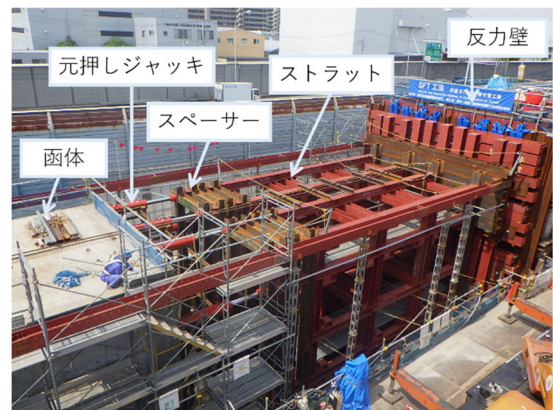


写真-2 函体推進状況

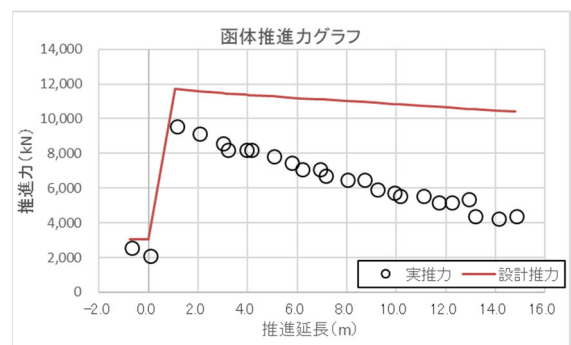


図-11 函体推力グラフ



写真-3 完成全景（発進側）

参考文献

- 1) 東京外かく環状国道事務所：計画の概要、ルートと構造

(<http://www.ktr.mlit.go.jp/gaikan/gaiyo/index.html>)

- 2) アンダーパス技術協会：SFT工法

(<http://underpass.info/sft.html>)