

概要

工事名称: Contract T219 Construction of Orchard Station and Tunnels for Thomson-East Coast Line
 工期: 2014年7月25日~2022年5月15日
 発注者: Land Transport Authority of Singapore (シンガポール陸上交通省)
 施工者: Penta-Ocean・BACHY SOLETANCHE JV
 施工場所: シンガポール、オーチャード
 主な工事内容: 駅舎部、地下連絡通路、待機所の構築および2本のトンネルの構築



トムソン イースト・コーストライン地下鉄工事 T219 新駅と既設駅舎を地下で結ぶ地下鉄建設 道路下、駅舎下を、工法駆使し掘り進める

事前に土質を調べ、リスクを想定して工事に挑むが、目に見えない地下では完璧な予測は難しい。地下鉄工事の難しさは「地下を掘る」ことにある。駅構築と既設駅舎を地下で結ぶT219工区の工事でも、さまざまな課題に立ち向かった。既設構造物への影響を抑える工法を駆使し、道路下、駅舎下を着実に掘り進めた。



Orchard Station & Tunnels for Thomson-East Coast Line
 トムソンライン地下鉄工事 T219

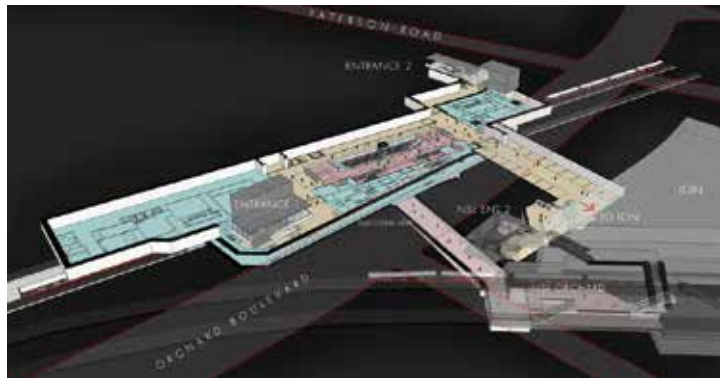
当工事の所長を務めた国際土木本部土木事業部の藤田恭三は、固唾をのんで見守っていた。場所はシンガポールの目抜き通りであるオーチャードロード。既存の商業施設や駅舎が立ち並び、水道、電気、ガスなどの埋設インフラが多数存在するが、それらの正確な情報は乏しい。慎重な施工が求め

られる。

幹線道路の下に地下連絡路を構築するため、幅18m・高さ10mで約35mにわたって掘り進め手探りの施工が続く。支保工をある程度設置し終えるまでは気が休まらない。最初の支保工を設置するために、発進立坑の地中連続壁のコンクリート



トンネルの内径は5800mm、延長は約860m。上り下りの2本を、TBM(トンネルボーリングマシン)を用いた泥水式シールド工法で掘り進め、プレキャストコンクリートセグメントを組み合わせて仕上げた



駅舎の完成イメージ。「Orchard Boulevard」を挟んで向かい側にある商業施設「ION Orchard」やその直下にある地下鉄 North South Lineの「Orchard 駅」との間を、それぞれ地下連絡路で結ぶ

をはつる。その先には、地山が現れる。

そこから水が出てこないか、その地山は良い状態にあるか……。事前調査の結果に問題はなかったものの、地下工事では何が起きるか分からない。藤田は気をもんでいた。

幸い何事もなく、掘削面の保護用の吹き付けコンクリート、支保工の設置まで終えるその作業を、一つ二つ、と繰り返す。「見えたな」。藤田は安堵の息をつく。ここまで問題が生じなければ、残りの区間は同じ作業を繰り返していだけ。事前に実施していた地盤改良工事のおかげで、水に悩まされることはなかった。道路を挟んで向かい合う発進立坑と到達立坑は、こうして無事に結ばれた。

◎建設地の地下を熟知しているのが強み

施工者は、五洋建設とフランスの建設会社である SOLETANCHE BACHY (以下、BACHY) の共同企業体 (JV) だ。「MRT (Mass Rapid Transit)」と呼ばれる地下鉄の一部区間と、区間内の新駅、待避所などの建設工事を受注し、2014年7月に着工していた。この地下連絡路は、その新駅と最寄りの既設駅舎を結ぶものである。

発注者は、交通政策を担当するシンガポール陸上交通省 (LTA)。地下鉄5路線の整備を終え、6路線目として「Thomson-East Coast Line」の工事と整備を進めていた。

競争入札では当社とBACHYのJVが一番札の競争を退け、受注に至った経緯がある。

優位性を発揮できたポイントの一つは、建設地周辺の土質を熟知している点だ。新駅の場所は、目抜き通り沿いに立つ商業施設「ION Orchard」の向かい。しかも、その直下に位置する既設駅舎と地下連絡路で結ばれる。「ION Orchard」の建設を手掛けた当社の経験が評価された。

2つ目のポイントは、BACHYとJVを組んだ点にある。「同社はこの現場で用いる地中連続壁工法の施工を得意とし多くの実績を持っている。それが競

争入札の中でアドバンテージとして働いた」。国際土木本部の内田桂司は回想した。互いの強みを生かす戦略が当たったのである。

トンネル工事の延長は約860m。上下線2本のトンネルを、泥水式TBM (トンネルボーリングマシン) を用いた泥水式シールド工法で施工。また、新駅と待避所は地中連続壁工法を用いて地下35mまでと同20mまでを開削し設置する。

一番の難所は、新駅と既設駅舎をつなぐ地下連絡路の施工である。新駅から幹線道路の下をくぐり (パイプルーフ工法)、既設駅舎の真下に入り込む形 (アンダーピニング工法) でつながる。既設構造物に影響を与えず掘り進める必要がある。建設地の地下を熟知する当社の腕の見せどころだ。

道路下にはライフラインの埋設管など障害物が多く、開削工法では支障がある。この部分は、入札時から非開削工法による施工が要求されていた。また、掘削深度が地下32mであり、仮設土留めの設計上のリスクは高い。

入札時に提案したパイプルーフ工法は、地下連絡路の外側に水平方向に打ち込んだ鋼管で地山の緩みを防ぐ。隣合う鋼管は、継手をつながれる。

現場の事前土質調査から、地下連絡路の下半分に硬い岩が存在することが分かった。これではパイプルーフ用の推進機が地中で身動きが取れなくなる可能性がある。

そこでまず、鋼管の径を見直した。当初の設計では、径800mm程度を想定していた。それを作業員が中に入って作業が出来る1200mmまで広げた。藤田は「転石の存在は承知していた。推進機の前進が妨げられたら、推進機先端部をいったん抜き、代わりに作業員が鋼管の中に入って、削岩機で岩を破砕できる」と解説する。

発進立坑に仮設構台を設置し、そこから推進機で鋼管を水平に打ち込んでいく。ガイダンスシステムを用いて1本目を正確に打ち込めれば、2本目以降は継手を頼りに精度を出せる。

155本もの鋼管杭打設で既設駅舎の変位を最小限に

鋼管の打設後、冒頭に紹介した断面の掘削が始まる。到達側の立坑まで貫通すれば、そこにコンクリート構造物を施工して完成となる。

地下連絡路はそこから、既設駅舎の真下に増設するリンクウェイへとつながる。増設するリンクウェイは延長90m、幅15m、高さ8m。これだけの空間を、供用中の既設駅舎の荷重を受け替えながら掘り進めないといけない。既設構造物に大きな変位を与えないための配慮も施工計画上で欠かせない点である。

そこで採用したのが、アンダーピニング工法である。パイプルーフ工法の終点である到達立坑が掘削の起点。既設駅舎への影響を最小限に抑えるため、工区を分割したうえで掘削していく。

調査を進めると既設駅舎の杭が部分的に少ないことが分かる。「このまま掘削すると構造上持たない。現地盤の改良が必要である」。国際土木本部の松本英嗣は指摘する。リスクの高い箇所にはまず、掘削前に水平方向に地盤改良を施した。

掘削を進めながら、既設杭の間には「マイクロパイル」と呼ばれる直径550mmの鋼管を芯材にしたセメントミルク杭を打設し、鋼管の上端部に設置した油圧ジャッキで既設駅舎の荷重を受け替える。

マイクロパイルの芯材は、限られた地下空間での作業のため、複数の鋼管をつないでの施工となった。現場溶接による接合では時間がかかるため、鋼管の端部をネジ切りして、カップラー継手を使用する接続方法を採用した。



● BIMを活用し既設杭との干渉を回避

苦労したのはアンダーピニングの入口での施工。間口が狭く、機械を1台ずつ入れ替える作業。藤田は「輻輳作業は出来ないため、いかに段取り良く作業を進めるかをいつも心掛けていた」と明かす。

マイクロパイルを設置しながら地下を掘り進める段階では、既設杭の位置・形状を把握し、将来構造物との干渉を確認する必要がある。

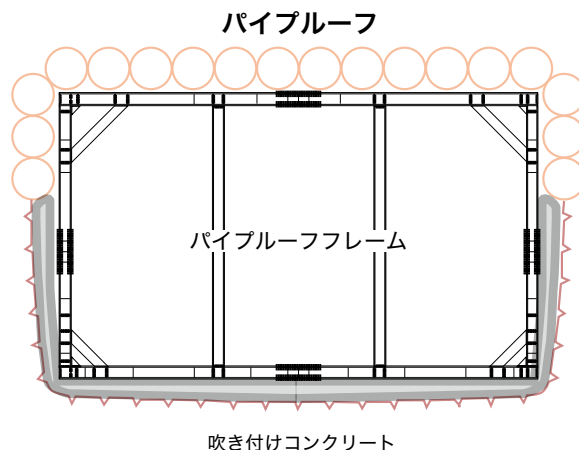
そこで、BIM (Building Information Modeling) モデルを作成する一方で、既設杭の位置・形状をレーザースキャナーで計測。これらを重ね合わせることで干渉をチェックした。

「既設杭は場所打ち杭であり、形状が歪なものも多く、位置も設計図面と異なるのは、珍しくない。それを掘削過程で把握し、事前に解決することで、

2017年11月の現場。パイプルーフの立坑が道路を挟んで位置する。駅舎と退避所が広い範囲で施工中

TEC 01 | パイプルーフ工法 / 地山の崩壊を防ぎながら道路下を掘る

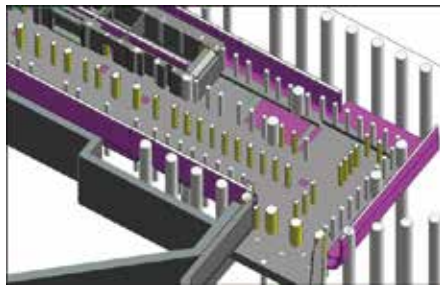
パイプルーフ工法とは、トンネルの周囲を鋼管で覆い、地山の緩みを抑制し、上方に存在する地下埋設物および幹線道路表面への影響を最小限にしつつ、作業の安全性を確保する工法。図が示すように、硬い岩が事前調査で分かっていた側面下方は、鋼管を配置せずに、吹き付けコンクリートによる地山の安定を図るよう計画を変更した。



発進側の立坑内に組み上げた仮設の構台から推進機を用いて鋼管を打ち込むところ。1本目を高い精度で打設し終われば、2本目以降は継手を頼りに打ち込んでいくことができる。この継手によって鋼管同士がつながる



BIMモデル



躯体作業がスムーズに取り掛かることができた」。藤田はBIM/CIM活用のメリットを説く。

アンダーピニング工法による掘削工事には2年余りを費やした。マイクロパイルはほぼ2m間隔で4列設置して、計155本に達した。

この工法の採用により既設駅舎の変位は最小限に抑えられた。施設管理者側が定めた基準値の要観察基準7mm、作業中止基準15mmに対し、設置したリアルタイム計測器の測定値は5mm程度であった。

2020年3月には、地下構造物の多くは完成し、既設駅との接続作業を残すのみとなっている（新駅

は2020年12月の竣工を目指していたが、新型コロナウイルスの影響で延期を余儀なくされた）。

発注者であるLTAでは、2030年までに全国民が地下鉄駅との間を徒歩10分以内で行き来できる住宅の割合を80%に引き上げる目標を掲げていた。営業キロ数でいえば、同じくLTAで整備を担当するモノレール（LRT）を含め、約360km。延伸中のThomson-East Coast Line開業時からさらに、1.5倍にまで延ばす計画だ。地下鉄の建設工事は、今後も継続発注される見通し。内田は「強みを補完できる他社とJVを組むことも考えながら受注を目指す」と気を吐く。

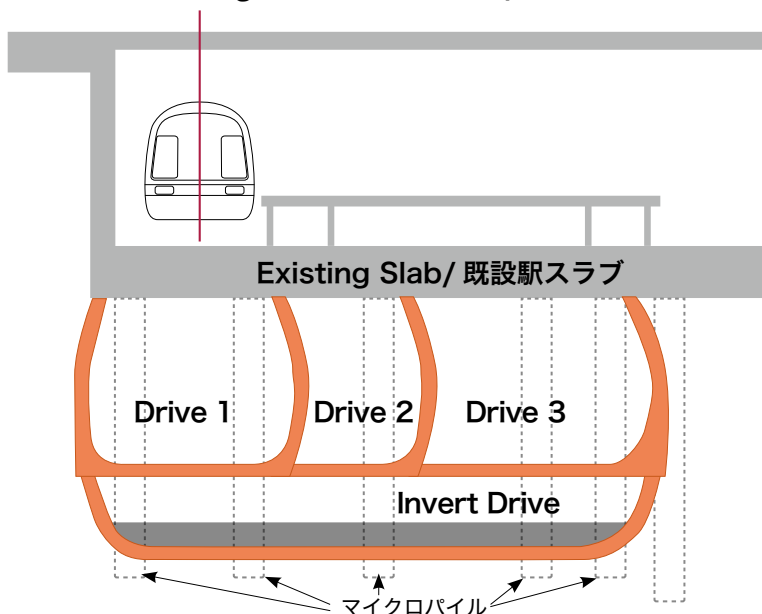
求められるのは、現場スタッフを束ねるプロジェクトディレクター（所長）のマネジメント力だ。この現場でその役割を果たした国際土木本部土木事業部のチャン・チュン・オンは「JVでは各社の方針や進め方が異なるため、構成員同士の信頼関係がないと、工事はうまく進まない。関係づくりに向けたマネジメントがその成否を分ける」と総括した。

TEC
02

アンダーピニング工法

既設駅舎への影響を抑え地下連絡路を構築

■ Existing MRT Centre Line/ 既設軌条設備



アンダーピニング工法とは、既設構造物に影響を与えないように新設杭でその荷重を受け替えながら、その下に別の構造物を新設する工法。この現場では既設駅舎の直下にリンクウェイを増設するため、この工法を採用。図に示すとおり、掘削範囲を「Drive1」～「Drive3」と「Invert Drive」の4つに分割し、「マイクロパイル」を呼ぶ場所打ち杭を立てながら掘り進んだ。



既設駅舎の下を掘り進める前に実施した水平方向の地盤改良の様子



マイクロパイル (L=18m)

マイクロパイルの打設状況。中ほどに見える連結器で上下2本の鋼管をつなげている