

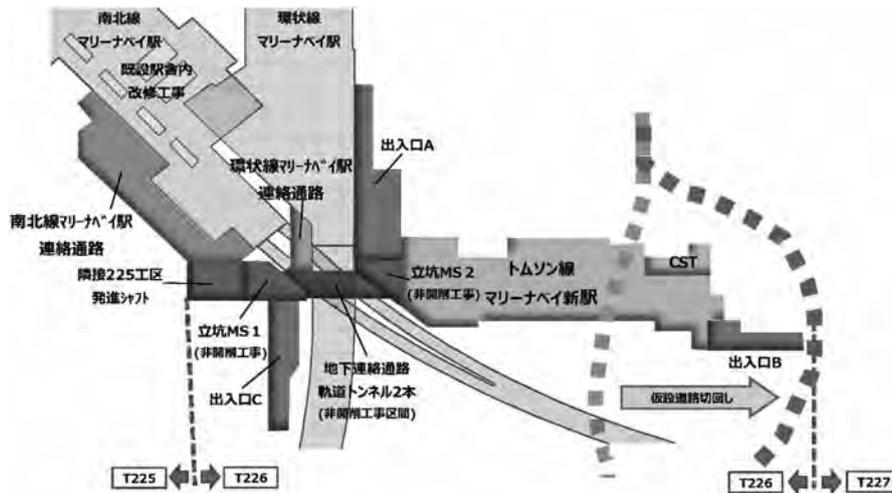
され、路線沿いの交通渋滞の緩和が期待されている。また近年廃止されたマレーシア鉄道に代わる路線としても位置づけされている。2016年1月にはトムソン線をさらにチャンギ国際空港まで延伸する区間が着工され、トムソン・イーストコースト線として全長約43km、31駅からなる路線へと拡大した。

2. 工事概要

(1) 工事概要

当工事の全体平面図を図一2、全体工事工程表を図一3、また全体縦断図を図一4に示す。

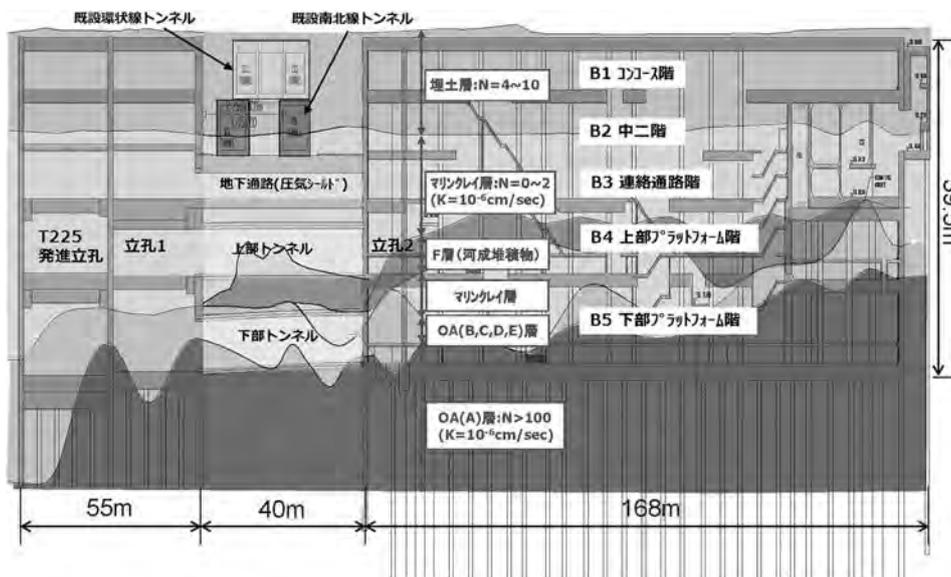
工事名称：シンガポール・トムソン線建設工事 226 工区



図一2 プロジェクト全体平面図

項目	2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020	
	4	8	12	4	8	12	4	8	12	4	8	12	4	8
土木工事	着工													
	駅舎完成													
	完工													
その他工事	[Bar chart showing construction progress for: 駅舎工事, 非開削工事, 道路工事(本復旧), 設備・軌道工事, 建築仕上げ工事, 改修工事, 許認可申請]													

図一3 全体工事工程表



図一4 全体縦断図

工事場所：シンガポール共和国 南部・マリーナベイ地区

発注者：シンガポール陸上交通庁 (Land Transport Authority of Singapore)

設計者：(本設設計) ARUP Singapore Pte. Ltd, (仮設設計) Kiso-Jiban Singapore Pte. Ltd

契約形態：施工 (仮設設計は施工者所掌)

工期：2014年2月21日～2020年12月30日(82ヶ月)

(2) 駅舎・出入口部主要工事数量

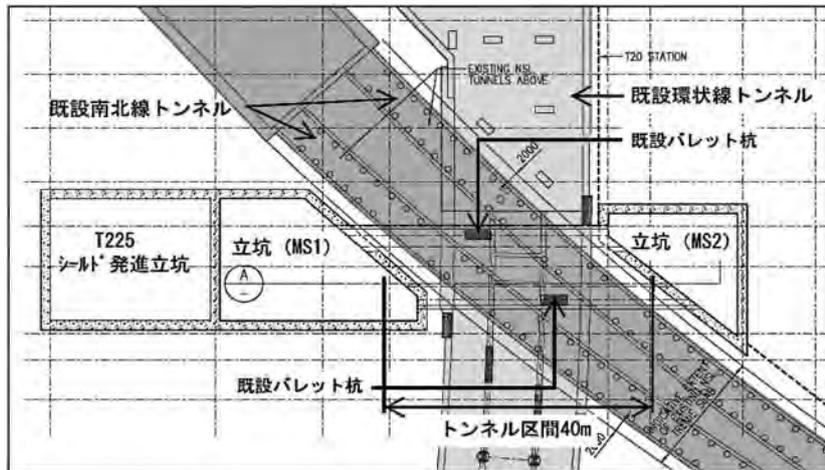
- 掘削工：342,500 m³
- 地盤改良工：147,600 m³
- 地中連続壁工 (以下, 連壁)：89,600 m³
- コンクリート躯体工：109,700 m³
- 仮設山留め支保工：22,900 t
- 既設道路切り回し工事：一式
- 既設駅舎改修工事：一式
- 建築仕上げ工事 (設備工事一部含む)：一式

(3) 非開削工事 (リンクウェイトンネル, 軌道トンネル) 主要施工数量

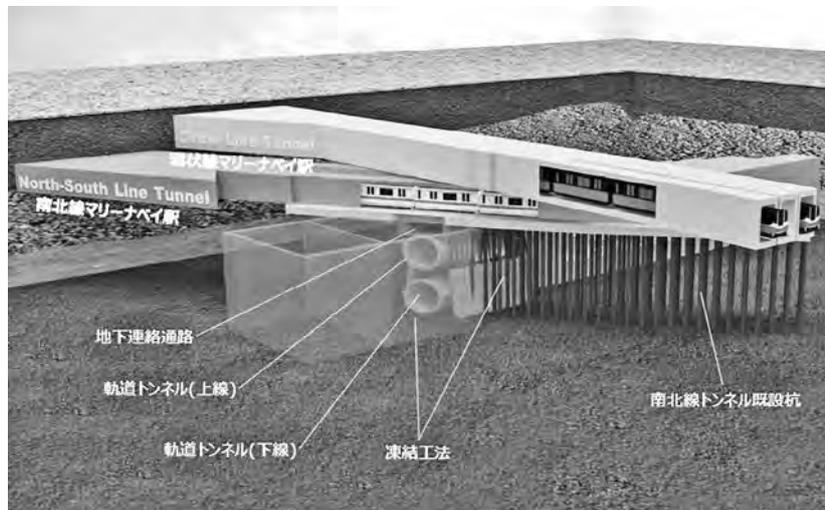
- 水平地盤改良工：φ 800 mm × 8 m (平均) × 720 本
- 鉛直地盤改良工：12,200 m³
- 圧気併用開放型矩形シールド(高さ5.22 m × 幅4.37 m)：40 m × 2 本
- コンクリート躯体工：2,000 m³
- 凍結工：凍結管打設 104 本, 測温管打設 20 本
- SCL (Sprayed Concrete Lining) トンネル工事：掘削外径 7 m × 40 m × 2 本

非開削工事は, 2つの既設営業線トンネル (南北線, 環状線) の直下に新駅から既設2駅舎への接続通路となるリンクウェイトンネル(歩行者連絡地下通路)と, さらにその直下に上下線2本の軌道トンネルを構築する SCL トンネル工事である。トンネル工事全体平面図を図一5, 非開削工事完了時点 3D イメージ図を図一6 に示す。

リンクウェイトンネルの施工は大きく3つに分割さ



図一5 トンネル工事全体平面図



図一6 トンネル工事 3D イメージ図

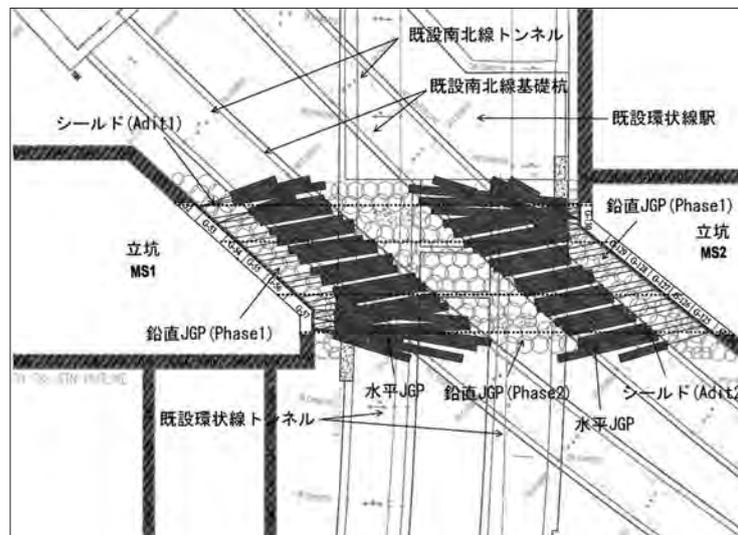
れる。まず矩形シールド掘進工により仮設 Adit1（鋼製セグメント覆工）を施工し，Adit1 内でトランスファービーム（将来のリンクウェイの片側の外壁となる部分）を構築する。さらに2本目の矩形シールド掘進工により Adit2を施工，同様にトランスファービーム（もう片側の外壁）を構築する。最後に残りの中央部の掘削を行い，トランスファースラブ（リンクウェイの頂版）およびベース（底版）を構築して完成となる。ここでは，Adit1 施工に使用した圧気併用開放型矩形シールド機とその掘進結果について紹介する。

3. 水平 JGP（Jet Grouting Pile）によるマリクレイ地盤改良工

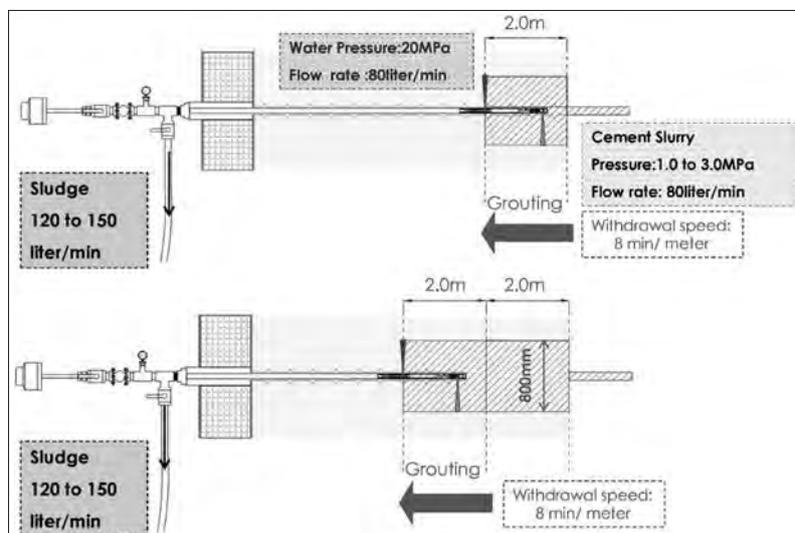
リンクウェイトンネル施工レベルには，図一4に示すように先述したマリクレイと呼ばれる海洋性堆

積物である超軟弱地盤層がトンネル縦断全体にわたって存在している。マリクレイ層はN値が0～2と非常に軟弱で，この層を高さ5.22m×幅4.37m×長さ7.50mの開放型矩形シールド機を使用していかに安全に掘進するかが大きな課題であった。超軟弱地盤対策として，マリクレイを鉛直 JGP および水平 JGP によって事前に地盤改良を行い強度増加を施すことが計画された。地盤改良平面図を図一7に示す。

非開削工事の基点となる両側立坑と既設2線トンネル間は，鉛直 JGP（Phase1）によって地上部から施工した。また，南北線トンネル間は，環状線トンネルに設けられた既設のアクセスシャフトより掘り下げ，鉛直 JGP（Phase2）を路下にて施工した。南北線直下は鉛直 JGP での施工が不可能で，このエリアは両側立坑より水平 JGP により地盤改良を行った。水平 JGP による改良範囲は，シールド掘進断面の外側 2m



図一7 地盤改良平面図



図一8 水平 JGP 施工手順図



写真一 水平 JGP 施工状況

とした。水平 JGP の設計径は 800 mm、施工間隔は縦・横とも 600 mm を基本としてレイアウトを計画した。これらの条件により 12 段×30 本=360 本を両側立坑から施工、計 720 本の水平 JGP を施工した。JGP の設計強度は、鉛直・水平共に $Cu = 300 \text{ KPa}$ である。

水平 JGP の施工手順を図一 8、施工状況写真を写真一 1 に示す。特徴としては、圧縮空気を使用せず水切り後の削孔部にセメントグラウトを置換する工法である。グラウト後の孔の閉塞には LW（セメント+水ガラス）を使用した。水平 JGP 施工中はグラウト圧によるヒービングにより南北線トンネルに影響を与えることの無いよう、排泥管理、変位監視を徹底して施工を行った。結果、施工中のトンネル変位は認められなかった。

4. 圧気併用開放型矩形シールド機

(1) 開放型矩形シールド機

シールド機全景写真を写真一 2 に示す。シールド機的设计・製作にあたり、①シールド掘進後、組み立てたセグメント（Aduit）内でトランスファービームを構築する必要があるため、作業に必要なスペースが確保できる大きさであること、②掘進断面は全長にわたり JGP 改良体であること、③掘進中、既設南北線トンネルの RC 基礎杭（直径 1 m）を 10 本撤去する必要があること、が要求された。特に②③の要求を満たすため、掘削方式はバケットではなく、ブレイカーを装備した。また研った JGP や基礎杭のコンクリート殻を集めるため、スライド式の平バケットをブレイカー背面に設けた。排土はベルトコンベアーで背後に搬出する方式を採用した。セグメントは鋼製で 1 リング 9 分割、桁高 306 mm、セグメント幅は 1.2 m とした。組立後のリング外寸法は高さ 5,020 mm × 幅 4,170 mm である。セグメント組立は半自動式の回転式エレクトーを

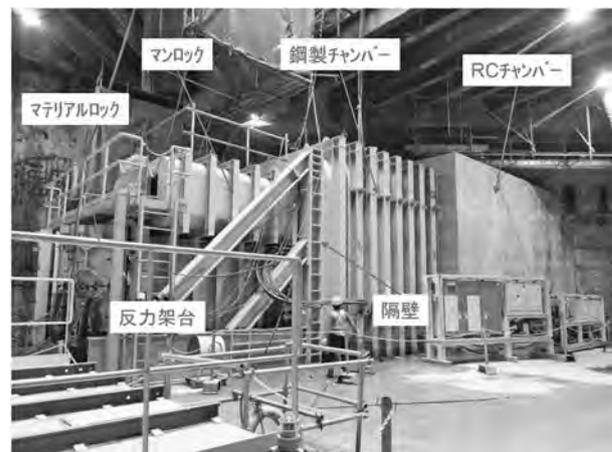


写真二 開放型矩形シールド機全景

採用し、隅角部のセグメント組立時にはエレクトー腕部が伸縮して所定の位置まで届くよう工夫した。シールドジャッキは 100 トンジャッキを 20 本装備した。

(2) 圧気設備

開放型シールド機を採用しているため、シールド機自体を圧気下に置く必要があった。写真一 3 に示すように圧気チャンバーを先行して構築し、シールド機を圧気チャンバー内に格納後、隔壁・反力フレーム・マテリアルロック・マンロックを順次設置した。発進部の鏡部（立坑土留め）が斜めに構えているため、圧気チャンバーは鏡側に RC 構造、一般部に鋼製構造を用い各々を接続する形式を取った。設計圧気圧は 1.45 bar であり、チャンバー他設備は安全係数を考慮し、2.17 bar まで耐えうる構造とした。



写真三 シールド圧気設備

5. 圧気併用シールド掘進および既設トンネル基礎杭撤去

(1) 計測管理項目

既設営業線トンネル直下でのシールド掘進、また掘

表一 計測管理項目

No.	計測項目	計測方法	管理値	備考
1	既設トンネル変位	トンネル内設置の反射プリズムをトータルステーションで自動計測	(AL) 11 mm (WSL) 15 mm	南北線および環状線
2	既設トンネル振動	トンネル内設置の振動計で自動計測	(WSL) 15 mm/sec	南北線および環状線 上限値のみ規定
3	既設トンネル軌道傾斜	トンネル内設置の傾斜計で自動計測	(AL) 1/1500 (WSL) 1/1000	南北線および環状線
4	地表面沈下	測点を設置後、レベル測量	(解析予測値) 20 mm	20 mm を超える場合 対策を協議

進中に既設南北線トンネルの基礎杭を 10 本撤去する超近接施工であることから、既設構造物他の計測管理は徹底して行われた。計測管理項目を表一に示す。シンガポールでの地下鉄工事では、計測管理は別途工事として別発注されるのが一般的である。計測工事請負業者からの計測値の入手と確認は、日々開かれる計測会議およびメール、またウェブサイトを通じてリアルタイムで共有された。計測値が AL (Alert Level: 警戒レベル)、さらに WSL (Work Suspension Level: 作業中止レベル) に達した場合は、発注者を含む関係者の携帯電話に SMS が自動送信される仕組みとなっている。

(2) 圧気併用シールド掘進

シールド掘進に先立ち、発注者と協議の上、圧気使用の条件を策定した。掘進線形の全範囲は JGP にて改良しているものの、既設基礎杭背面の JGP 未改良部、また南北線トンネル施工時 (30 年前) の均しコンクリート下に敷設された砂層からの不測の出水・土砂流入が懸念された。策定した圧気使用の条件としては、切羽からの湧水量が 100 L/min を超えた場合、また未改良部のマリンクレイがはらみ出した場合、切羽にクラックが入りだすなどの異変が現れた場合とした。切羽の状況は、現地目視確認は当然のことながら、シールド機前方に CCTV を 2 台設置し、パソコンまたはスマートフォンにて常時監視を可能とした。掘進は昼夜 2 交替、24 時間体制で行った。

掘進中の切羽の例を写真一 4 に示す。結果、湧水は最大で 7 L/min、JGP の改良状況も良好であったため、圧気は初期段階のみの使用にとどまった。

(3) 既設トンネル基礎杭撤去

既設基礎杭は直径 1 m の RC 構造で、外周を厚さ 8 mm の鋼板で覆われていた。シールド掘進中に撤去が必要な 10 本の既設南北線トンネルの基礎杭切断には、直上に位置する既設トンネル構造物へ与える影響



写真一 4 掘進切羽と既設基礎杭

を考慮し振動を極力抑える工法の選択が要求された。ダイヤモンドワイヤーソウを使用して切断する方法と連続したコアリングによって切断する方法を比較検討した。シールド機前方の非常に狭隘なスペースでの切断作業となることから、ワイヤーソウは配置上の制約ならびに安全面で劣る結果となり、コアリングによる撤去を選択した。写真一 5 に示すように、鋼板を取り除いた後に直径 100 mm のコアリングを 13 列行うことで既設構造物からの切断・切り離しを行った。最終の切り離しは夜間、地下鉄運行停止時間内に行った。既設トンネルから切り離された基礎杭は、表面の鋼板を全て取り除き、更に 600 mm 間隔でコアリング



写真一 5 杭切断および静的破砕機使用状況

を行い、静的破碎機によりクラックを発生させた。その後シールド機装備のブレイカーで取り壊した。この方法により、安全かつ既設トンネルに影響を与えることなく無事に10本の基礎杭を切断撤去することができた。

(4) 既設南北線トンネル変位

計測工事請負業者によるトンネル変位計測と並行して、切断前・中・後において切断する杭の近傍でトンネル下端の沈下をレベル測量により常時監視したが、沈下は認められなかった。また事前の3次元有限要素解析によるシールド完了時の既設南北線トンネルの予測変位量に対して、計測結果は変位量が0mm～-1mmであり、掘削による影響を最小限に抑えることができた。これは、既設南北線トンネル直下に施した鉛直および水平JGPによる地盤改良体の変位防止に大きく寄与したためと考えられる。

6. おわりに

既設営業線の直下で、かつ既設トンネルを支える基礎杭を撤去しながらの開放型シールド機による掘進については、計画段階から非常に綿密かつ大胆なアプローチが要求された。施工の不慣れから1本目の基礎

杭撤去には時間を要したが、その後は計画から大きな逸脱もなく無事に完了することができた。2017年1月末現在、Adit1内では後続のトランスファービーム構築作業が予定通り進んでいる。またAdit2で2本目のシールド掘進が開始しており、Adit1同様に既設南北線トンネル基礎杭を10本切断撤去する。引き続き、既設トンネルの計測管理を徹底し、安全・無事に施工を進めて行く所存である。

JICMA

《参考文献》

- 1) LTA 公式ホームページより抜粋
<https://www.lta.gov.sg/content/ltaweb/en/public-transport/projects/tel.html>

【筆者紹介】

橋田 薫 (はしだ かおる)
 大成建設㈱
 シンガポール地下鉄トムソン線 226 工区作業所
 工事長



多田 博光 (ただ ひろみつ)
 大成建設㈱
 シンガポール地下鉄トムソン線 226 工区作業所
 作業所長

