

第8回 JAPAN コンストラクション国際賞 建設・開発プロジェクト部門 受賞

地下鉄トムソン線アッパートムソン駅 およびトンネル工事（T212 工区） ～本邦技術で既存インフラへの影響を最小限に抑え、 地下鉄の新駅・トンネルを施工～

シンガポール

佐藤工業株式会社 シンガポール支店 林 伸幸, 和 田 良太

はやし のぶゆき わ だ りょうた

1. はじめに

マレーオンで有名なシンガポールは、マレー半島最南端に位置する常夏の島国であり、マレーシアから独立して2025年8月に60周年を迎えた。

同国では独立以来、経済成長と国際競争力強化のためインフラ事業への積極的な投資がなされ、2025年10月時点で発注者であるLTA（Land Transport Authority：陸上交通庁）は、MRT（Mass Rapid Transit）において新線であるクロスアイランド線、ジュロンリージョン線に加え、

環状線第6期区間、トムソン・イーストコースト線延伸、ダウンタウン線延伸などのプロジェクトを進めている。

本稿で述べるアッパートムソン駅およびトンネル工事（以下、「T212 工区」という）は、2027年1月開業予定のジョホールバルーシンガポールRTS リンク鉄道のシンガポール側接続駅から8駅目のシンガポール中央部に位置しており（図-1）、その開業以降、旅客量の増大が見込まれている。

地下鉄工事以外のインフラでは、全盛期のノースサウスコリドー、およびチャンギノーザンコリ

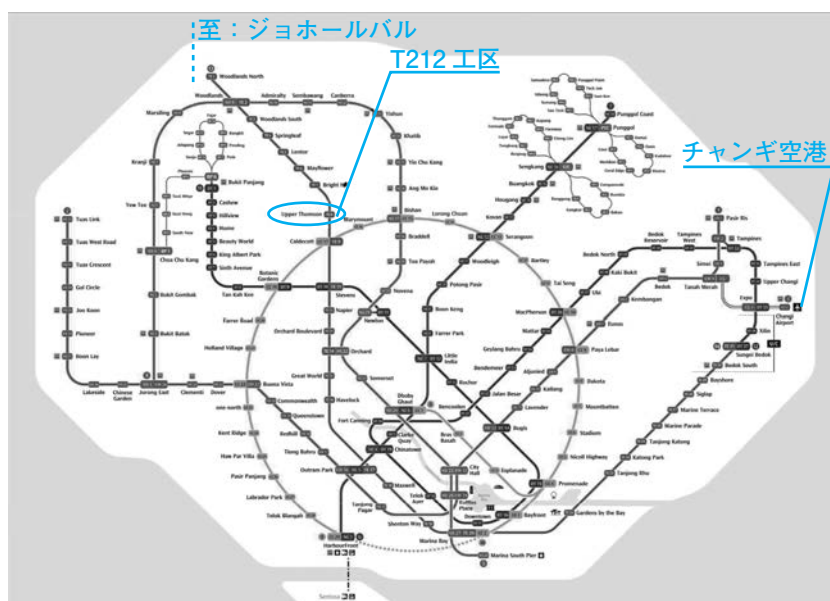


図-1 シンガポール MRT システムマップと T212 工区位置図（工事中区間含まず）

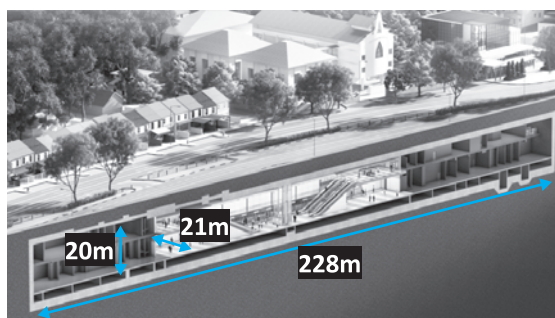
ドーの各高速道路工事やチャンギサウス幹線道路といった大型道路橋や道路トンネルのプロジェクトが進行中である。

また、チャンギ空港では世界的にも大規模な第5ターミナルの造成工事が開始され、既存のシンガポール建設市場における工事リソースおよびそれに関連する工事単価を圧迫し始めている。そのため、海外からの新規機械や仮設製品、高技能労務者など、シンガポール建設・労働市場への新規参入のチャンスであるとも言える。

2. プロジェクト概要

T212 工区は、アップパートムソン駅と掘進延長 3.8 km を超えるシールドトンネルを構築する地下鉄プロジェクトである。

アップパートムソン駅は、ショッピングモールや低層民家に隣接し、片側 3 車線の幹線道路直下に位置する地下 2 階層、延長 228 m 構造の地下駅である（図－2）。地下駅の構築工法としては、掘削中は土留め壁として利用する RC 地中連続壁（後に本体利用）、本設 RC コンクリートスラブを切梁腹起しの代わりとして掘削する逆巻き工法を適用した。



図－2 アップパートムソン駅 鳥瞰図

トンネル工事（外径 6,650 mm）は、3 台の泥水式シールドマシンを用いてアップパートムソン駅と隣接駅の間に設けた発進立坑から施工した。立坑からアップパートムソン駅までは 1 台のシールドマシンで掘進し（2 × 550 m）、隣接工区の駅までは 2 台で掘進した（2 × 1,300 m）（図－3）。

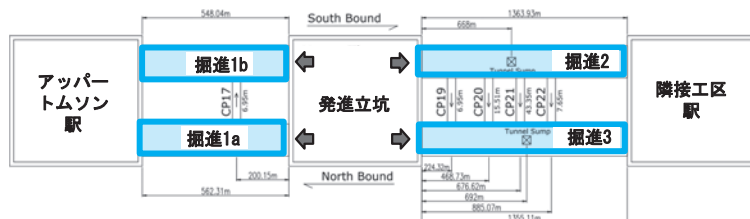
営業中の地下鉄トンネル直下を掘進するシールドトンネル工事は、シンガポールでも過去に事例があるが、延長 630 m にもわたり連続するのは T212 工区が初めてのことであった。トンネル発進立坑は、柱列式地中連続壁および 7 段の鋼製切梁腹起しにて深さ 30 m を掘削する計画で仮設計した。立坑は、上下線トンネル間に配置された 5 カ所の連絡坑を構築後、RC 構造の本設開削ト



写真－1 幹線道路直下の地下駅 施工状況



写真－2 泥水処理設備・3 シールドマシン同時掘進立坑状況



図－3 シールドトンネル等配置図

ンネルを内側に設置して閉塞した。

本工事は複雑な地盤条件に加え、幹線道路や民家に近接した狭隘な施工ヤード、大量の埋設物への対応や道路の切り回しが必要といった、難易度の高い工事だった（写真－1、2）。

表－1 にプロジェクトの諸元を示す。

表－1 プロジェクト概要

プロジェクト名		CONTRACT T212 CONSTRUCTION OF UPPER THOMSON STATION AND TUNNELS FOR THOMSON LINE
プロジェクト場所		シンガポール中部地区
発注者		シンガポール陸上交通庁（LTA）
契約工期		2013 年 11 月～2021 年 8 月（94 カ月）
契約請負金・形態		約 300 億円・施工のみ（仮設：施工者）
主要 直接 工事 諸元	地下駅	延長 228 m × 幅 21 m × 深さ 20 m
	出入口	4 カ所+設計変更指示 1 カ所
	地中連続壁	800 ～ 1,200 mm 厚 21,000 m³
	杭打ち工	800 ～ 1,200 mm 径 仮設 354 / 本設 60 本
	駅部掘削	逆巻き工法 114,000 m³
	駅部コンクリ	22,500 m³
	仮設工	切梁支保 1,500 t、覆工板 6,660 m²
	非開削	パイプルーフ延長 33 m × 幅 8.6 m × 高 6 m
	トンネル	泥水式シールドマシン 3 台 1,151 + 1,352 + 1,344 = 3,847 m
	発進立坑	矩形 41 m × 幅 25 m × 深さ 30 m 柱列式地中連続壁 1,500 mm 径 切梁腹起し 7 段
連絡坑	5 カ所	
建築仕上げ	1 式	

3. プロジェクトチャレンジ

(1) シールドトンネルの掘進マネジメント

4本のトンネルとも風化度合いが極端に異なるブキティマ花こう岩層（GⅡ（礫）～GⅣ（砂質））が同時にシールドマシン前面に出現する地盤条件であった。また、緩い砂層も含む沖積層が一部地上から深くまで風化花こう岩層の上部に堆積しており、シンガポールでは一般的にミックスフェー

ス（互層）と呼ばれるシールド掘進であった（図－4）。

トンネルクラウンから地上までの土被りは、図－3の掘進1aおよび1bが約11～20m、掘進2および3が約25～47.5mであった。

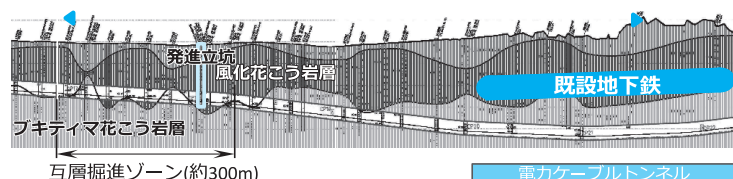
周辺地盤の沈下や変状を抑えるためには、主にトンネル掘進時のシールド前面天端部の体積減少をいかにコントロールするかが重要である。T212工区では、鉄道営業線近接作業が関連するため、シンガポールでは通常0.5%未満の（設計切羽土圧計算に用いる）体積減少許容値で管理するが、地盤条件が悪く実際の地盤解析結果から一部1.0%の許容値で管理することを、事前に関係官庁より許認可してもらった。

体積減少を管理するためには、地盤性状の適時把握、掘進速度・加圧泥水圧・地下水圧・切羽圧力などのリアルタイム監視（写真－3）による日常的な切羽安定管理はもちろん、掘削土の過剰取り込みの監視（土量管理）が非常に重要である。



写真－3 トンネル掘進管理システム（日系）

土量管理は、理論掘削土量（m³/リング）ならびに理論乾砂量（t/リング）を事前に各地盤性状ごとに計算してシステムへ入力、実際の掘削土量・乾砂量と比較して管理した。泥水式シールドマシンの掘削土量管理に関して、T212工区での

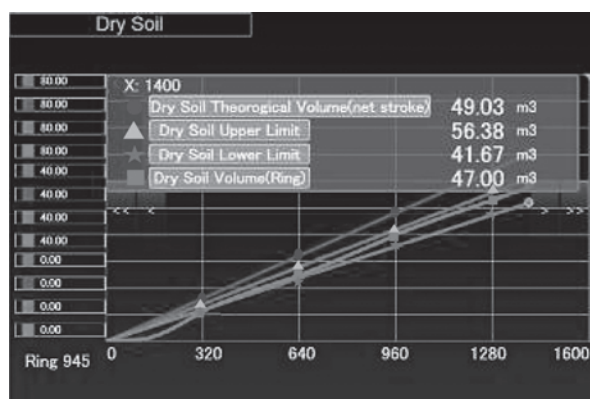


図－4 ブキティマ花こう岩・風化花こう岩のシールド掘進箇所の地盤状況図

実施項目を次に列記する。②は日本国内でも一般的である。

- ① ミックスフェースでの地山含水率 (wt%) の地盤調査、土質試験による詳細化
- ② 流体移送システムにおける流量計、 γ 線密度計により求めた送・排泥管の流量差から前記理論値と比較
- ③ 泥水処理プラント、ベルトコンベア上（礫と砂の処理装置および貯泥槽）の重量計により乾砂重量を求め、前記理論値と比較

泥水脱水処理プラント、泥水循環システムともに日系企業と協働して③についてリアルタイムで遠隔監視（写真－4）できるよう改良し、精度の高い掘削土量管理が可能となり、地表面沈下および陥没などを発生させることなく無事トンネルの掘進を完了できた。



写真－4 乾砂量 (t/リング) リアルタイム監視モニタ

また、鉄道営業線下部でのシールド掘進においては、地盤へのリチャージジュwelの追加設置や掘進土圧をさらに抑える（掘進速度を抑える）ことなど、追加のリスクマネジメントを実施して8カ月かけて無事通過できた。

T212 工区の岩盤区間のシールド掘進速度および掘進工程は、岩盤強度やディスクローラーカッター回転数、貫入量などをもとに計画した。しかしながら、岩盤のRQD 値と掘進速度を実地で確認したものが、より比例関係にあり実工程と合致した。また、カッター検査・交換作業に関して

も、シンガポールでは通常 100 ～ 150 m に 1 回程度のところ、T212 工区では最終計画 125 回 / 3,850 m（約 31 m に 1 回）に及ぶ圧気作業によるチャンバー内作業となり、工程に負荷をかけた（写真－5）。今後の課題としては、T212 工区での岩盤シールド掘進の経験を活かして、より精度の高いシールド計画を行うことである。



写真－5 シールドマシン工場検査

(2) 駅部工事－工期短縮に向けた対策

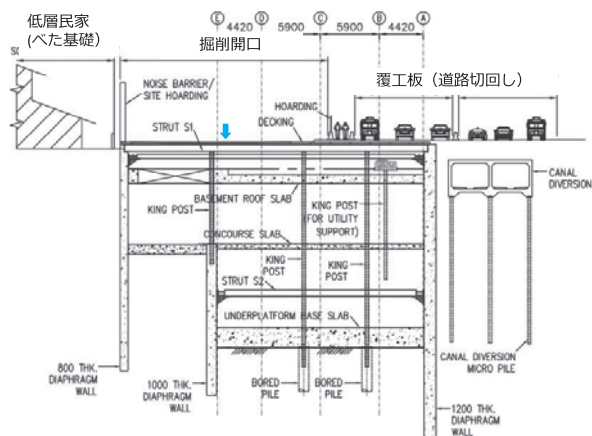
一般的にシンガポールでの MRT プロジェクトの設備業者への駅部引き渡しは、全体工期 94 カ月に対して 50 ～ 54 カ月（部分竣工）程度となっており、特に都市開発が完了して周辺道路や住宅地が密集する地域や埋設物・道路切り回しが必要な作業環境では非常に厳しい工期設定となっている。

T212 工区も埋設物切り回しの遅れや地盤変状に関する調整もあり、2016 年 7 月（32 カ月目）時点で 6 カ月以上全体工程に遅れが生じていた。

そのため、T212 工区で実施した工期短縮策を記載する。

① 民家地盤変位による断続した工事停止の回避策

図－5 の低層民家（べた基礎）に示すとおり、仮締切りが建物から平均離隔 1.5 m の位置に、図－6 の下部（南側）全体約 200 m にわたり配置されていた。地盤条件としては、駅部掘削深さ約 20 m に対して 5 ～ 15 m の厚みで N 値 10 以下の軟弱な沖積層が堆積していた。地盤沈下量が許容



図－５ アップパートムソン駅断面図



図－６ アップパートムソン駅位置図

値（25 mm 以下）を超えると、設計許認可機関である BCA（Building and Construction Authority：建築・建設庁）から工事中止命令が下される恐れがあり、さらなる遅延を防ぐために次の対策を行った。

- 1) 地下水位低下対策
 - 2) 変状地盤の改良
 - 3) 定期的な家屋調査（現地技術士 PE による）
- 1) については、リチャージウェルを 10 m 間隔で設置した。2) については、表－2 に内容を詳述する。

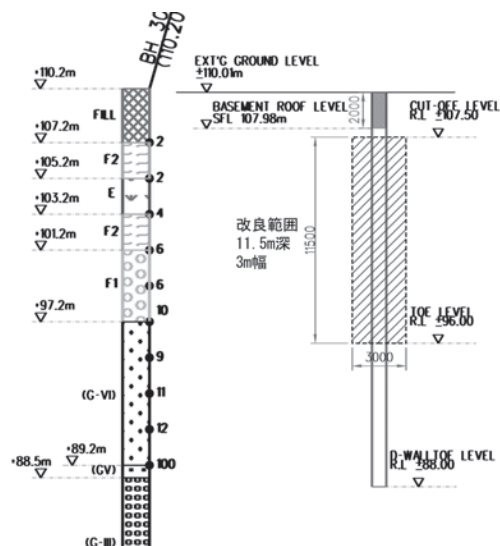
以上の対策により工事停止命令を回避し、将来の地盤沈下に対しても十分なリスクマネジメントが可能となった（実際には、その後 1,300 m³ 以上の薬液を注入した）。また、影響が及ぶ民家に足を運び説明を行う専任の近隣対応職員を配置することにより、住民からの理解と協力が得られ、工事の進捗に寄与した。

② 引抜型推進機の採用

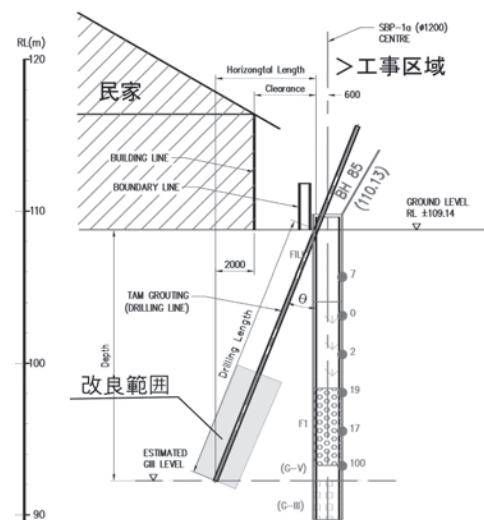
エントランス B から駅への地下連絡通路（図

表－2 変状地盤対策

箇 所	提 案 工 法	図表参照
連壁施工時の孔壁	セメント系柱状地盤改良（高圧噴射攪拌工法）	図－7
家屋下地盤空隙充填（沈下進行）	セメント系柱状地盤改良（ダブルパッカー工法）	図－8
家屋下地盤空隙充填（リスクマネジメント）	注入管設置（ダブルパッカー工法）	

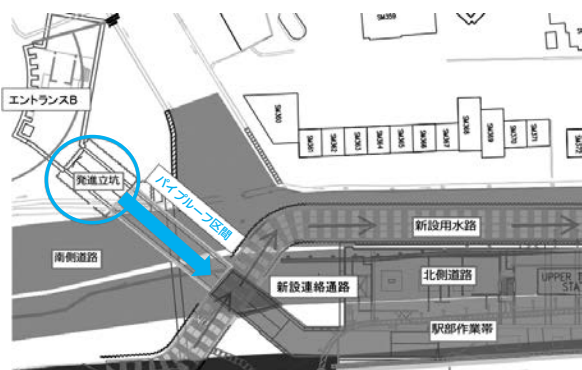


図－7 連壁孔壁改良範囲

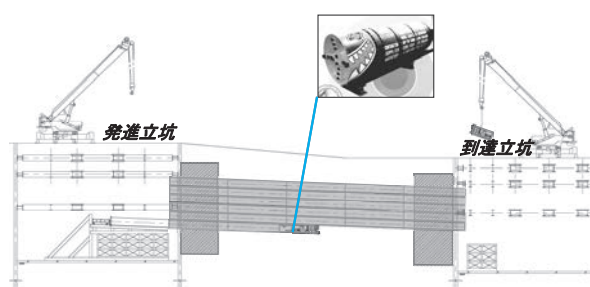


図－8 家屋下改良範囲

－9) の構築はパイプルーフ工法で計画され、当初は発進立坑と到達立坑を設けて一般的な推進機で施工（図－10）する予定であった。施工ヤードのうち到達立坑は、新設する水路の直下に位置し、到達立坑構築の遅れは土留め壁の構築と駅の掘削開始に必要な道路切り回しに大きな影響を与える。



図－9 地下歩道パイプルーフ工法施工平面図



図－10 パイプルーフ工法（変更前）

そこで、シンガポールで初となる日系引抜型推進機を採用（写真－6、可変カッタービット）することとし、これにより到達立坑の構築が不要となり、駅部を縦断する水路の切り回し工をクリティカルパスから切り離すことができ、駅部掘削に約3カ月早く着工した。



写真－6 引抜型推進機（パイプルーフ工法）

③ その他

逆巻き工法の施工速度には、地上の覆工板仮設開口の配置および数が大きく影響する。そのため、元計画の4カ所の開口に3カ所追加して7カ所とするVE提案を行い、承認を得た。これには

床付けを一部2m高くする変更も含まれたため、約2カ月程度の工期短縮につながった。

①～③のような工期短縮提案により、駅構築は6カ月の遅延を取り戻し、契約期限内での設備工事、軌道工事への引き渡しを達成させた。

4. プロジェクト組織内でのマネジメント

(1) 組織の掌握

シンガポールにおける作業所内の職掌には次のようなものがあり、その専門性と分業制で大規模工事がマネジメントされる。

- ・ Project Manager (PM：プロジェクトマネージャー)
- ・ Construction / Tunnel / M&E Manager (工事課長, トンネル課長, 本設設備課長)
- ・ Contract Manager (契約管理)
- ・ Quantity Surveyor (数量積算・会計管理)
- ・ Public Relationship Officer (地元住民担当)
- ・ Workplace & Health Safety Officer (安全担当)
- ・ Environmental Control Officer (環境担当)
- ・ BIM Manager (BIM/CIM 担当)
- ・ Archi Coordinator (建築コーディネーター)
- ・ Surveyor (測量士)

これら各職掌に属する職員を束ねるためには、PMはプロジェクトを多岐にわたり熟知している必要があり、日々変化する状況を膨大な書類はもとより、会議や議事録、各種会計レポートおよび個別のコミュニケーションから把握することがプロジェクトマネジメントのキモであった。

(2) ローカルスタッフの雇用

ローカルスタッフ（日本人以外の職員）を雇用する場合、T212工区では担当する上長が直接経歴書の確認、面接の実施、上級上長への推薦を行うようにした。そこには、担当上長が掌握するプロジェクト内の部署をスムーズに運営するためには、さまざまな国のスタッフがいるチーム内でのコラボレーション、能力に応じたメンターや指揮

者の設定を考えた上で雇用することもさることながら、次のような特殊なシンガポール事情も考慮する必要があったからである。

- ① 転職の際のキャリアアップで、過大に能力をアピールする傾向にあり、実務能力を確認する必要があること
- ② 雇用後に「担当範囲外である」、「得意ではない」と意思表示をされる場合があること
- ③ 組織が現在取り組んでいる緊急の業務より、個人の権利としての休暇を優先する傾向にあるため、チーム目標を共有する必要があること
また、雇用後も優秀なスタッフに対する確実な人事評価や、肩書などを意識した。

(3) 契約管理

元請負契約に関しては、シンガポールでは一般的に公共部門建設工事標準契約約款（PSSCoC：Public Sector Standard Conditions of Contract）を使用するが、LTA 発注の地下鉄工事では独自の契約約款（MRT CoC）が用いられる場合もある。建設業界の関係者間における契約書の基本的構造を理解して、契約図書（約款、図面、仕様書など）を細部まで熟知し、それらの変更を適時追いかけていくことが重要であった。

遅延が発生した場合、遅延損害金に加え、経費の増大、顧客からの信頼の喪失といったリスクを負うことになる。そのため契約に基づき、発生した事象（Relevant Event）に対する通知を行った上で、Mitigation measure（工期短縮技術提案）とRecovery Programme（修正工程）を提出しなくてはならない。

下請契約に関しては、SOP 法（Security of Payment Act：建設業界支払保全法）を意識する必要がある。下請業者が法的手段を取ることをある程度前提として、裁判で非合理に瑕疵を負わないよう注意が必要である。

(4) 工程マネジメント

前述したように、シンガポールの地下鉄工事では設備業者への引き渡しがあるため、躯体構築の

部分竣工である Basic Structure Completion（BSC）の達成が最重要視される。

全体工程は、入札時に提出した工程をもとに受発注者間で合意した Base Line Programme（BLP）で管理する。BLP は、プロジェクト管理ソフトウェアである Primavera で作成し、工事の進捗を毎週確認しながら更新を行う。プロジェクト全体の進捗は Project S-Curve で容易に確認でき、また工種ごとの遅れは具体的に日数で表示されるため、重点的かつ効率的な対策の検討が可能である。さらに、各工種の詳細工程を作成し、3 カ月工程、月間工程や週間工程と比較しながら工程管理を行った。

T212 工区では、リスクの高い工事に対し常にバックアッププランを持ち、適切なタイミングでの工期短縮策提案を行うことにより、現場の変化やチャレンジに対して迅速に対応できた。

(5) 設計統合管理（構造－意匠－設備－鉄道システム）

シンガポールの新規地下鉄事業の入札は、土木系プロジェクトから始まり、別発注の設備業者、路線単位のシステム（制御信号や高圧受電）・軌道業者・列車、そして最後に運行会社の順で国際競争入札として実施される。そのため、顧客である LTA は当然のように鉄道システム全体の設計調整を土木系請負業者がリードすることを期待している。

例えば、シールドトンネル覆工のプレキャストセグメントに関しても、4 年後の覆工表面にかかる本設備ケーブルの設置位置を把握しないと打ち込みアンカーなどの位置が決まってこない。また、駅部建築躯体の設計調整が必要（特に、逆巻き工法では早期に必要）であるが、換気ファンや高圧電力機器の各設備部屋への最終機器設置位置やケーブル類のルートが決まらなないと、コンクリートそのものが打設できないこともある。

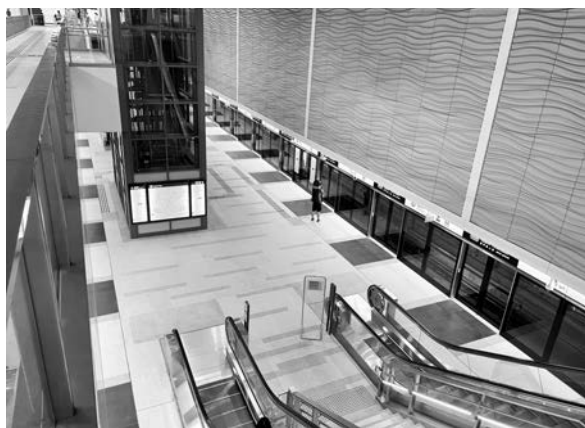
T212 工区では、2016 年よりシンガポールで試行され、現在成熟期にある BIM/CIM も活用して設備や建築意匠との統合ならびに調整を実施し

た。それら全体調整用の3Dとは別に、2D統合コンクリート施工図の作成、そしてそれを利用した設備業者との打設前の相互理解が高次で達成されたことにより手戻りを減らせた結果、工期内完工に結びついた。

5. おわりに

T212工区では、トンネル掘進管理システム、同泥水処理および循環システム、パイプルーフ引抜型推進機など本邦技術を積極的に採用した。これらの技術は、その後のシンガポールにおける新規プロジェクトでは標準仕様となり、技術および生産性向上に大きく貢献した。日系専門会社と協働ならびに実績を利用することでリスクを回避した事例は非常に多く、発注者からも高い評価を得、質の高いインフラ輸出を体現できた（写真－7、8）。

ここに改めて関係業者の協力を感謝を述べ、本年2025年に第8回 JAPAN コンストラクション国際賞 建設・開発プロジェクト部門の受賞に至ったことを報告したい。今後も海外事業継続のため、後進へのマネジメント技術継承など日系企業であることを意識して取り組んでいきたい。



写真－7 アップパートムソン駅構内



写真－8 トンネル内部

【関連文献】

- 1) シンガポール・地下鉄トムソン線アップパートムソン駅及びトンネル工事（T212工区） Ace 建設業界 2016年10月
- 2) T212-Upper Thomson Station & Associated Tunnels (Undercrossing existing live CCL tunnels) Underground Singapore (シンガポール地下工事協会) 2018年
- 3) シンガポール MRT トンネル岩盤掘削に置ける RQD 値とシールド機掘進速度について トンネル工学報告集 第28巻 2018年11月
- 4) シンガポールの公共事業－地下鉄工事における設計調整チーム管理・運営－ 土木学会誌 Vol.104, No.5 2019年5月
- 5) シンガポール地下鉄工事－鉄道設備・システムとの調整 電力土木 No.415 2021年9月
- 6) シンガポール公共工事 40 m スパンの仮設鋼構造トラス橋（歩道）の解体・撤去 建設機械施工 Vol.74, No.8 2022年8月
- 7) シンガポールでの地下鉄工事 トムソン線 T212 工区 土木施工 63 巻 12 号 2022 年 12 月
- 8) 幹線道路直下での地下駅の構築 シンガポール地下鉄トムソン線 T212 工区 建設機械施工 Vol.75, No.2 2023 年 2 月