

シンガポール・クロスアイランド線ブンゴル分岐線 (P103 工区) 工事

湯上 繁 信

シンガポールでは、2040年までの長期的な陸上交通計画を立案し、①移動時間の短縮、②バリアフリー化の推進、③歩行者の安全と健康の向上という3つの陸上交通政策目標を掲げている。「移動時間の短縮」では、公共交通の充実を図ることにより、ラッシュ時の通勤・通学時間を45分以内という目標がうたわれている。これを実現するための重要施策が、都市高速鉄道(MRT)の新線開通や既存路線の延伸であり、2030年台前半で総延長を約360kmの完成を目指している。今回は、その整備計画の一つであるブンゴル分岐線工事を紹介する。

キーワード：設計施工、大断面シールド、汚染土壌掘削、小土盛り、都市土木、道路切替、Civil Defence Shelter Station

1. はじめに

クロスアイランド線は、シンガポール東部に位置するチャンギ空港と西部のジュロン地域を結ぶ全長約50kmの地下鉄新線で、図-1のとおり3フェーズに分割して発注される。ブンゴル分岐線は、そのクロスアイランド線のフェーズ1にて整備されるパシリス駅から分岐し、地下鉄北東線ブンゴル駅(営業駅)に交差して接続する新駅までの7.3kmの新線である。

2. 工事の概要

P103工区は、3工区に分割されて発注されるブンゴル分岐線の内、駅舎構築(幹線道路直下での施工となるリビエラ駅:延長380m×幅50m×深さ35m)、開削トンネル構築(引込線用開削トンネル1カ所:延長213m×幅24m×深さ25m、発進立坑2ヶ所を引込線用開削トンネル両端に配置:延長87m×幅24m×深さ28m×2カ所)、大断面シールドトンネル(内径11.3m、桁高0.45m、L=4.3km、複線鉄道)を施



図-1 事業全体平面図

工する工事である。沿線には利便性向上を求め早期開業を望む4万世帯の居住区域、公共施設及び軍関係施設等が隣接し、非常に工期の厳しい、難易度の高い大型の設計施工一括の都市土木工事となる(図-2)。

1) シールド工事は、掘削対象土質は土砂山(洪積世堆積土、軟弱粘土と非常にルーズな砂層からなる沖積土)互層で土被り7~40m程度で

①工程促進対策 ②急曲線施工対策 ③汚染土壌区間の掘削対策 ④主要道路直下で小土被り区間掘削対策 ⑤各種構造物や埋設物との近接影響対策が技術課題のキーポイントとなる。

2) 駅舎構築・開削トンネル工事は、

①リビエラ駅

i) 主要道路直下での各種埋設物が輻輳する中を、路面覆工にて作業帯を切替しながら、トップダウン(逆巻き)方式での施工

ii) 周辺には住宅、学校、商業施設、消防署、高架鉄道があり、きめ細やかな配慮と変状対策や公害抑制対策が必須

②引込線用開削トンネル+両端に2箇所の発進立坑

i) 制限また制約事項の多い軍事訓練施設に近接しているため、綿密な協議が必要

ii) 発進立坑1の工程促進
以上が技術課題のキーポイントとなる。

3. シールドトンネル工事

引込線用(クリプル・サイディング)開削トンネルの両側に発進立坑を設け、大口径EPB TBM(泥土圧シールド、掘削外径12.66m)1機で複線鉄道トンネルを2本構築する計画である。

*ドライブ1: 開削トンネルの西端発進立坑1からブンゴル駅までの全長約3.4km。

*ドライブ2: 開削トンネルの東端発進立坑2からイライアス駅までの全長約0.9km。

総掘削距離は約4.3kmとなる。

掘削断面の地質はN値10から100以上の粘土と砂からなる洪積世堆積土(Old Alluvium: OA)を主体に、軟弱粘土と非常にルーズな砂層からなるKallang formationと呼ばれる沖積土(沖積砂質土:F1, 沖積層粘土:F2, 腐植土:E+埋戻し土:Fill)の互層で、土被りは約7mから34mに及ぶ(図-3)。

(ドライブ1)

シールド機は、軍事訓練施設(パシリスキャンプ)



図-2 P103 工区全体平面図

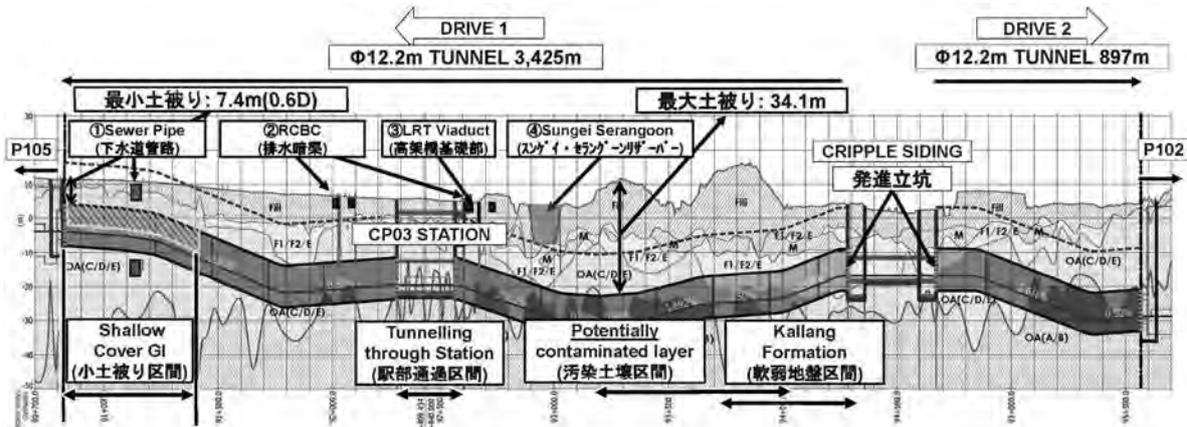


図-3 シールド施工縦断面図

に隣接するクリプル・サイディング開削トンネルの西端にある発進立坑1からリビエラ駅へ向けて発進する。リビエラ駅部はシールド機が連壁や先行地中梁を直接切削しながら通過し、その後ブンゴル駅へ向けて掘進を続ける。駅部のセグメントは、駅部の開削工事の際に撤去する予定である。

掘削距離は、発進立坑からリビエラ駅までが約2 km、リビエラ駅からブンゴル駅までが約1.4 kmである。

ブンゴル駅にある他社施工の到達立坑に到達した後、シールド機、後続台車、その他の関連機械を解体し、クリプル・サイディング開削トンネルの東端にある発進立坑2に輸送する。

(ドライブ2)

輸送されたシールド機は発進立坑ヤードで整備・再組立された後にイライアス駅に向けて発進する。発進立坑2から到達立坑までの掘進延長は約0.9 kmあり、到着した後、シールド機、後続台車、その他の関連機械類を解体する。

到達部は他社施工の到達立坑であり、シールドトンネルの到達時期及び期間が設定されているため、精度の高い工程管理もこのプロジェクトの重要な課題の1つである。

シールドトンネルの施工において、考慮すべき重要課題と対策を以下に列記する。

ドライブ1 - クリプル・サイディングからブンゴル駅まで

1) 工程促進対策

- ①シールド掘削と同時にインバートコンクリート打設と中壁設置を施工するため、特殊インバート栈橋の使用や中壁設置用に開発したウォールセッターを使用する (図-4)。
- ②リビエラ駅部のシールドトンネル先行施工
駅部の直接切削用 GFRP 連壁及び先行地中梁 (無筋の地中連壁) が完了した段階で、シールドトンネルを通過させる。さらに駅部通過のための仮設鋼製トンネルを設置することで、シールド工事と駅掘削工事の同時施工を可能にし、大幅な工程促進を達成する (図-5)。

2) 半径 310 m のタイトなカーブの建設

急曲線施工では、緩和曲線及び単曲線におけるシールド機とセグメントリングの相対位置及び組立計画の検討を綿密に行い、通常部 2.0 m 幅のセグメントに対し 1.5 m 幅のセグメントを使用することで対応する。また、テーパ量を最適化することにより 1 種類のセグメントでスムーズな曲線施工を実現する。

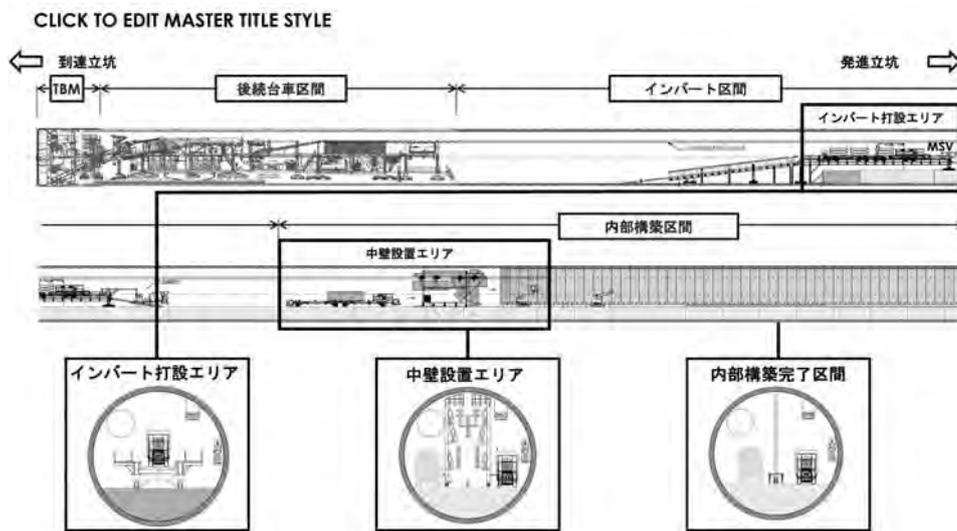


図-4 内部構築工 施工状況図

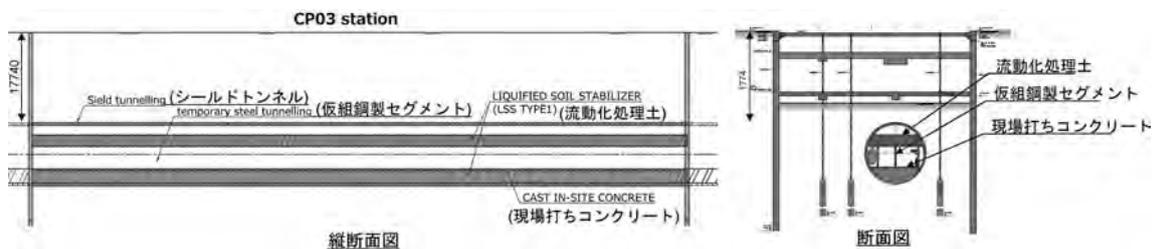


図-5 駅部掘削縦断面図および横断面図

3) ロロン・ハルス湿地帯における汚染埋立地の直下でのシールドトンネルの築造

①セグメントとガスケットの耐久性の検証（120年耐用）

土質調査結果に基づき、最終仕様を決定する。セグメントに関しては、使用セメントの規定・水セメント比 45%以下・純被り 45 mm 以上・エポキシ樹脂でのコーティングで対応する。ガスケットに関しては現位置での地下水を採取しその水にて耐久性を確認する。

②トンネル内の有毒ガス、可燃性ガスへの対策
有毒ガス、可燃性ガスを坑外へ排出するための換気システムを採用することで対応する。

具体的には、スクリュウコンベヤゲートから 37 m の土砂搬出用ベルトコンベアにカバーを施し、有毒ガス、可燃性ガスが検出された場合、強制的に坑外まで排出することで対応する（図—6）。

4) 主要幹線道路プンゴルセントラル直下 1D 未満の小土被り区間を約 600 m 掘削

TBM 上半断面を地盤改良することで地盤変状を抑制する（図—3）。

5) 隣接する既存のユーティリティや構造物等について（図—3 参照）

掘削影響解析、保護、モニタリングの実施に基づき、影響緩和計画を策定する必要がある。

①下水道管路（上越し：1 箇所、下越し：3 箇所）

②排水暗渠ボックスカルバート（4 箇所）

基礎杭先端調査により支障するとなれば、事前に迂回排水路を建設し、基礎杭を撤去する。

③ LRT 高架橋基礎部との交差

影響解析により必要となれば補助工法を実施する。また、胴体注入、切羽土圧管理及び計測管理で影響を抑制する（図—3）。

④スンゲイ・セラランゲーンリザーバーの直下を掘削

（川幅約 170 m）

切羽土圧管理と適切な添加剤の注入管理で取込み異常を防止する。

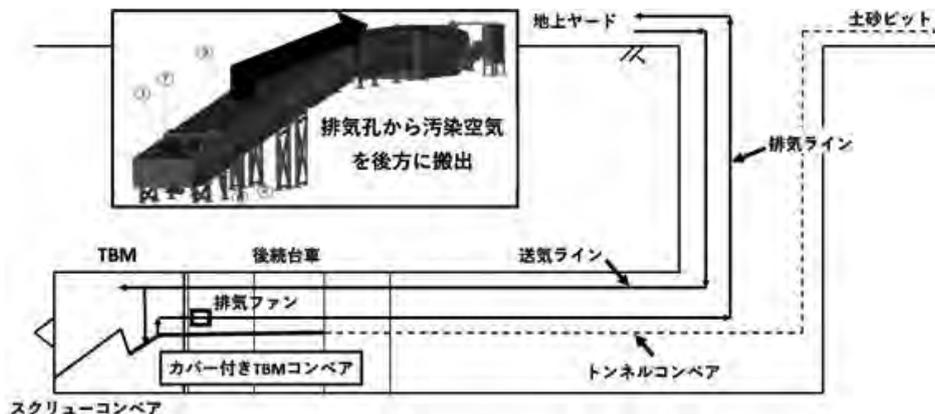
4. 発進立坑及び引込線用開削トンネル（クリプル・サイディング）工事

軍事訓練施設に近接したクリプル・サイディングは、森林や魚の養殖場跡地を造成し、両端に TBM 用の 2 つの発進立坑と開削トンネルを構築（幅約 26 m、長さ約 380 m）する。4 車線構造となっており、地上からの出入り口等は計画されていないが、緊急時の待避線としての役割を果たす。RC 地中連壁工事の進捗に合わせて、後続の逆巻き工事及び順巻き工事が昼夜施工で行われるため、工事の騒音低減を目的として軍事訓練施設側には 12 m 高の防音壁を設置し工事を進める。

また、発進立坑 1 の工程はシールド工事と直結し、当工事のクリティカルパスで、受注後 18 カ月以内の完成が求められているため、綿密な渉外管理、安全管理と工程管理が求められる。

土留め壁には RC 地中連壁を採用し、単独壁として本体利用する。底版や頂版の鉄筋は、予め地中連壁の鉄筋籠に埋め込まれた鉄筋カップラーにて接続する。

発進立坑は順巻き工法で施工し、掘削に伴い上から 3 段の RC 切梁支保工と 3 段の鋼製切梁支保工を設置しながら床付けまで掘削する。上部 3 段に RC 切梁支保工を採用した理由は、中間杭の省略、また後続の TBM 工事用と軌道工事用として大きな開口部を設ける必要がある為である。底版打設完了後に鋼製切梁支保工を撤去し、TBM 工事に一旦引渡し、TBM 作業終了後に仕切り壁、化粧壁及び頂版を施工しながら埋戻しを行う。頂版には、軌道工事や設備工事用の資機材投入用の開口部を設置し、その開口部を維持できる



図—6 有毒ガス、可燃性ガス排出換気システム図

ように地上まで坑口を立ち上げその後は埋戻す。軌道工事や設備工事完了後、開口部を閉塞し埋戻して完了となる。

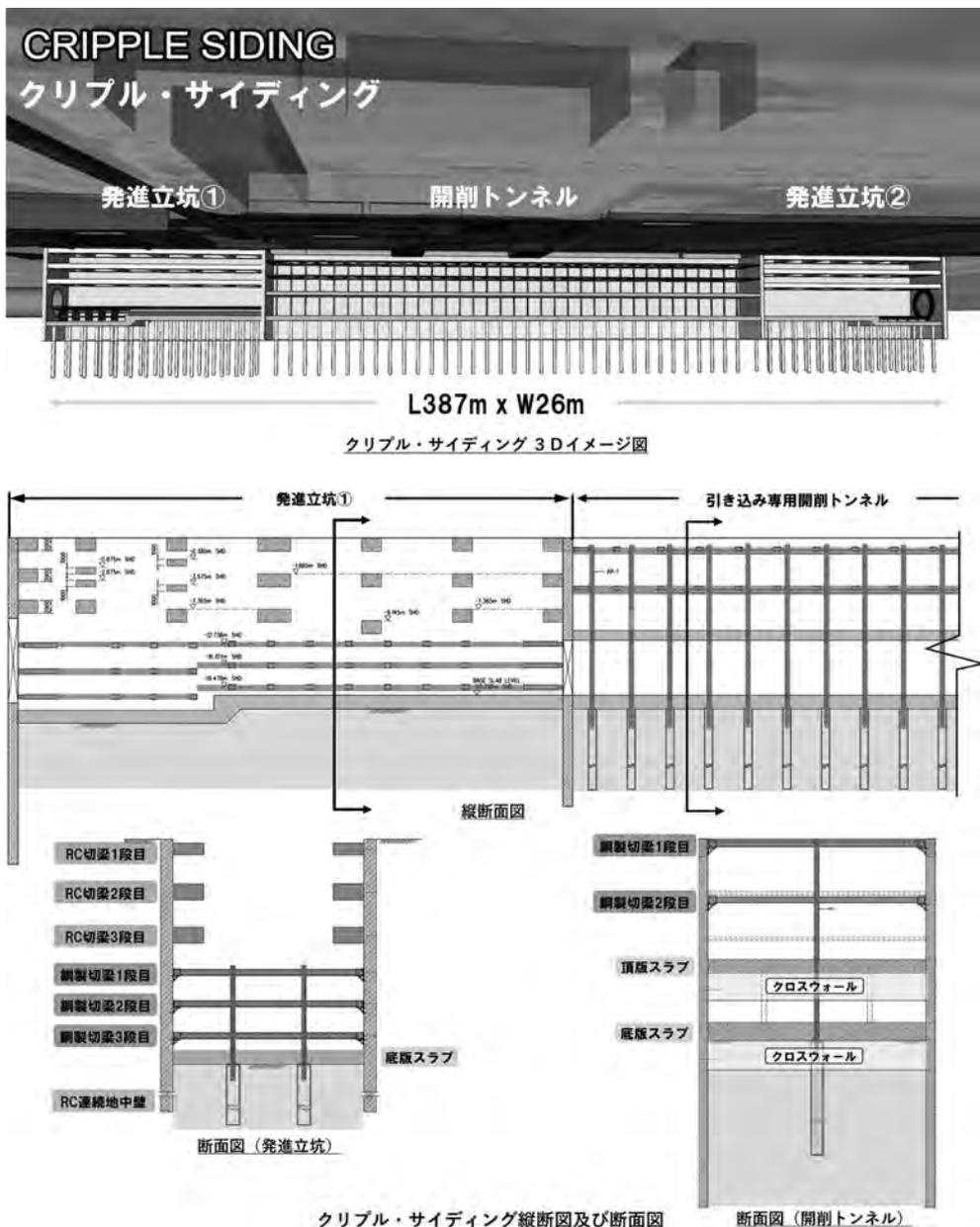
開削トンネルは逆巻き工法にて施工し、掘削に伴い上から2段の鋼製切梁支保工を設置し頂版部の掘削床付け後、頂版を施工する。その後、頂版に設けた工事用仮設開口部を利用して頂版下の掘削を継続する。底版部の床付け掘削までは、事前に地上部から設置した先行地中梁（無筋の地中連壁）を撤去しながら掘削を進める。底版を打設完了後に鋼製切梁支保工を撤去し、仕切り壁、化粧壁を施工し、開口部閉塞後埋戻す（図一7）。

5. リビエラ駅工事

リビエラ駅は、密度の高い居住地域、主要幹線道路直下で各種埋設物が輻輳する中を、一部路面覆工設置して作業帯を約6回大きく切替しながら、逆巻き工法で施工する。4ヶ所の出入口、2か所の換気口を含む3層構造（改札階、中二階、軌道階）の新駅を構築する。

周辺には住宅、学校、商業施設、消防署、LRT高架橋が近接しており、きめ細やかな施工と変状や公害抑制対策等が求められる（図一8、9）。

近年シンガポールでは、居住地域での工事に起因する騒音振動が非常に大きな社会問題として取り上げら



図一7 クリプル・サイディング パース図，縦断・断面図

れ、苦情による工事一時中断や作業時間の制限が NEA（環境省）から課されるケースが多く発生しており、工事を施工する際の公害抑制対策が工事の成否を握るといっても過言ではない。住宅、学校、商業施設、消防署に面する工事施工箇所には、クリプル・サイディング同様に 12 m 高の防音壁を設置し、さらにクリティカルな場所においては、ノイズキャンセラーなどの日本の技術を採用し、また音の発生源を局所的に日本製防音パネルで囲う等の対策を施し、工事騒音を低減させる。そして、工事影響を極力排除した居住者にやさしい施工計画を実現することで、工事を円滑に進める。また、地域代表者らと協議し住民説明会を開催、SNS を利用した情報発信、地域イベントへの参加、地域との交流イベントの開催等により居住者の工

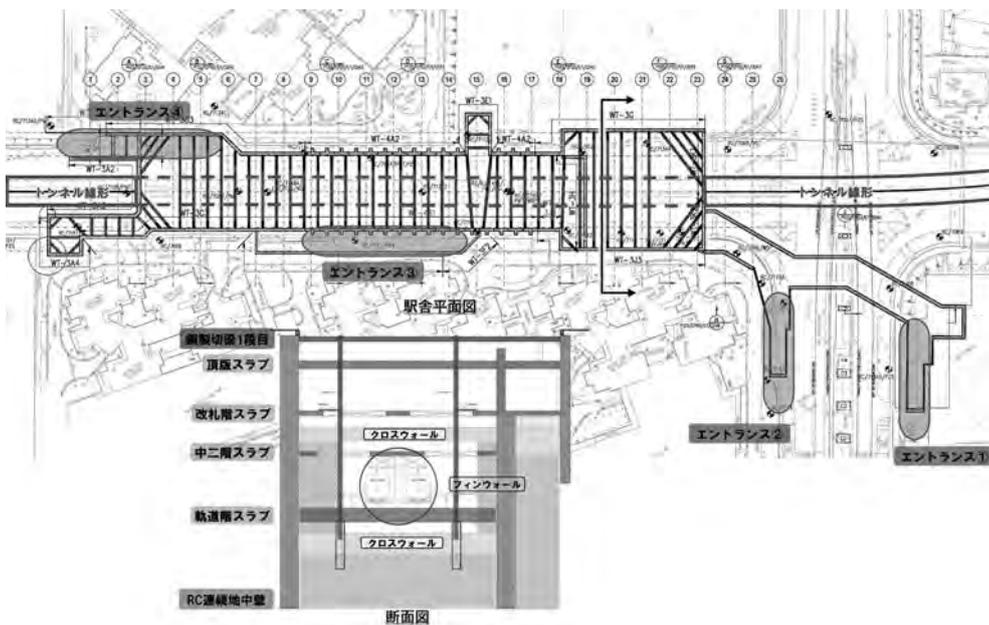
事への理解を得ていきたい。

6. おわりに

今回の工事は、工期としては非常にタイトに設定されているため、設計方針を決定し設計承認を早期に得ること、工事を施工するための各種許認可申請業務の早期着手と申請承認が求められている。シンガポールの法規制に則り業務を円滑に進めるには、経験と労力が必要であることは承知の上だが、承認までのやり取りの多さで想定していた以上に時間を要していることを痛感している。現在、受注して約 1 年が経過し何とか軌道に乗り始めてきたところである。工程の遅れはあるものの、24 時間 / 日、7 日 / 週で施工することで

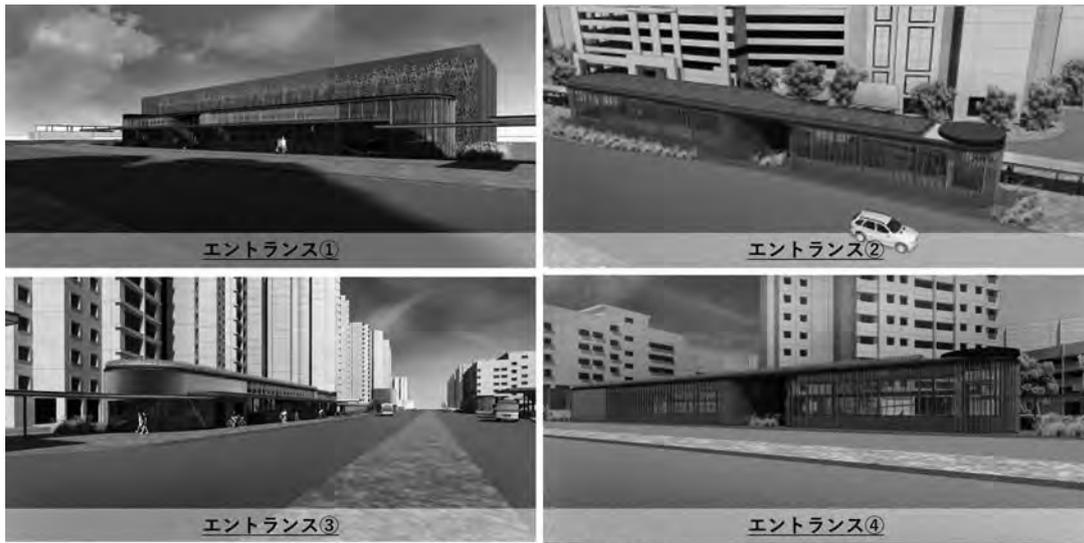


駅舎 3D イメージ図

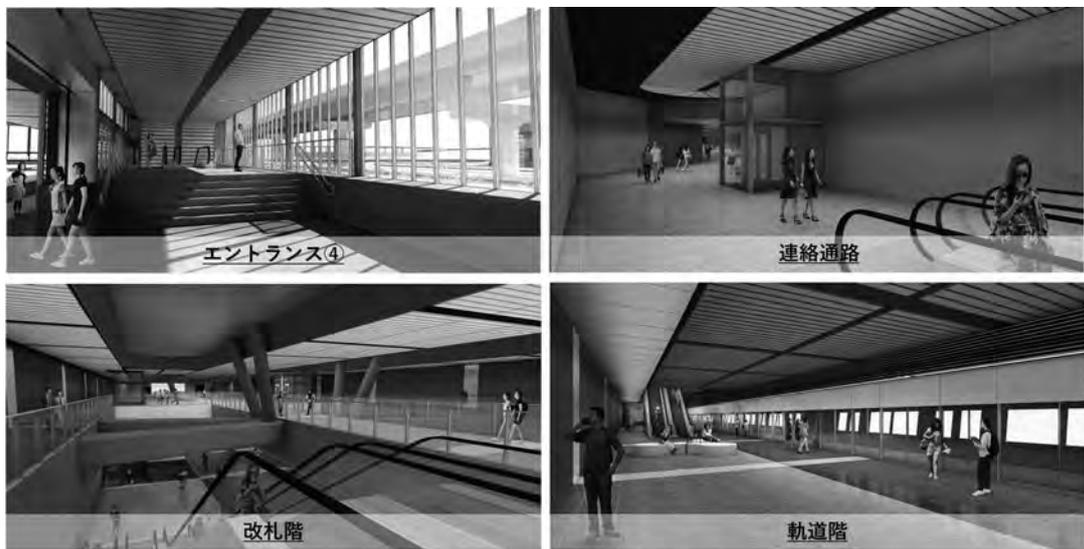


駅舎平面図及び断面図

図一8 駅舎パース図、平面・断面図



エントランス完成イメージ図



駅内完成イメージ図

図一 9 完成イメージ図

早期にキャッチアップしていく。一見近年の総労働時間短縮の方向に逆行しているようだが、必要なマンパワー及び資源の確保・投入を行うことで、安全最優先で健全な労働環境を整備し、工期短縮を図っていきたい。前途多難ではあるが、問題を一つ一つ丁寧に解決していき、2032年度の開業を目指して尽力していきたい。

JCMA



【筆者紹介】
 湯上 繁信 (ゆがみ しげのぶ)
 大成建設(株) 国際支店
 シンガポール・クロスアイランド線
 プンゴル分岐線 (103 工区) 工事
 作業所長