

第5回 JAPAN コンストラクション国際賞 建設プロジェクト部門 受賞

MRT ダウンタウン線第3期工事 ベンクーレン駅・ベドックノース駅・マター駅及びトンネル工事 ～シンガポールインフラ事業発展への取り組み～

佐藤工業株式会社 シンガポール支店 おおなわ ひろたか かまだ ひろあき
大縄 泰平, 鎌田 洋明

1. はじめに

当社は1972年のシンガポール進出以来、同国の重要インフラの一つであるMRT（Mass Rapid Transit）と呼ばれる地下鉄工事を中心に、数多くのプロジェクトを手掛けてきた。

特にMRTについては、高架橋建設や既設営業線近接工事での実績が高く評価され、継続的に事業に参画している。現在では、新規路線となるクロスアイランド線タビストック工区や、LRT（Light Rail Transit）のセンカン車両基地拡張改修工事の2件の工事を施工中である。

2. プロジェクト概要

本稿にて紹介するベンクーレン駅・ベドックノース駅及びマター駅建設工事は、シンガポールMRTのダウンタウン線第3期工事として、シンガポール陸上交通庁（LTA：Land Transport Authority）より発注されたものである。

ダウンタウン線は、MRTにおける5番目の路線で、シンガポールの空の玄関口であるチャンギ空港が存在する東部地区と、住宅街が多く存在する北部地区を中心街であるマリーナベイ地区を経



図-1 シンガポール島全体（ダウンタウン線付き）

由してつなげる役割を持ち、総延長は42 kmにも及ぶ路線である（図-1）。

各工事の概要は、以下に示すとおりである。

(1) ベンクーレン駅工事

① 工事概要

- ・工事名：MRT ダウンタウン線（第3期）C936 ベンクーレン駅工事
- ・発注者：シンガポール陸上交通庁（LTA）
- ・請負業者：佐藤工業シンガポール株式会社
- ・工期：2011年4月29日～2016年12月30日

② 工事内容

- ・構築工法：逆巻工法
- ・山留め壁：柱列式地下連続壁
- ・道路切り回し工
- ・駅建築仕上げ工
- ・駅給排水設備工

(2) ベドックノース駅及びトンネル工事

① 工事概要

- ・ 工事名：MRT ダウンタウン線（第3期）C928
ベドックノース駅及びトンネル工事
- ・ 発注者：シンガポール陸上交通庁（LTA）
- ・ 請負業者：佐藤工業シンガポール株式会社
- ・ 工期：2011年2月25日～2016年12月30日

② 工事内容

- ・ 構築工法：順巻工法
- ・ 山留め壁：柱列式地下連続壁
- ・ シールド：泥土圧シールド（φ 6,630 mm）
- ・ トンネル延長：650 m（東行），794 m（西行）
- ・ 連絡坑：1カ所
- ・ 道路切り回し工
- ・ 駅建築仕上げ工
- ・ 駅給排水設備工

(3) マター駅及びトンネル工事

① 工事概要

- ・ 工事名：MRT ダウンタウン線（第3期）C932
マター駅及びトンネル工事
- ・ 発注者：シンガポール陸上交通庁（LTA）
- ・ 請負業者：佐藤工業シンガポール株式会社
- ・ 工期：2011年4月1日～2016年12月30日

② 工事内容

- ・ 構築工法：順巻工法
- ・ 山留め壁：地中連続壁
- ・ シールド：泥土圧シールド（φ 6,630 mm）
- ・ トンネル延長：1,354 m（東行），1,334 m（西行）
- ・ 連絡坑：1カ所

- ・ 道路切り回し工
- ・ 駅建築仕上げ工
- ・ 駅給排水設備工

3. ベンクーレン駅における マネジメント

本章にて紹介するベンクーレン駅は、ダウンタウン線の中でもシンガポール東部と北部を結ぶ中心に位置し、市街地の中に存在している（図-2）。

本工事は商業ビルが林立する狭隘な場所での施工となるため、駅の各階スラブを山留めとして利用する逆巻工法を採用し、既設道路であるベンクーレン道路直下において掘削及びスラブ施工を繰り返していった（写真-1）。最終掘削深さは46mとなり、現在シンガポールMRTの中でも最も深い駅である（図-3）。

また、景観の面においても、地上部では周囲の建物と調和する構造や色彩を採用、駅内部では地



写真-1 逆巻工法施工の全景



図-2 ベンクーレン駅位置



図-3 ベンクーレン駅縦断面イメージ



写真-2 ベンクーレン道路および駅メインエントランス



写真-3 ベンクーレン駅内部

下2階～6階の吹き抜け構造となり、見るものに印象的な美しさを与えている（写真-2, 3）。

本プロジェクトの特色としては、以下のものが挙げられた。

- ① 既設構造物が隣接する中での土留地中壁等の施工
- ② 転石層中での大深度掘削
- ③ 主要幹線道路を切り回しての施工

特に、転石層内での掘削は、発注者側からも難工事として認識されており、起工式での運輸大臣

の「難工事で時間がかかるだろう」との発言もあり、工事着手時から注目を集めた。

そこで、本プロジェクトでは、上記の特色をチャレンジとして位置づけ、以下に述べるような積極的な工法選定や設計変更提案を行い対処することとした。

チャレンジ1：既設構造物隣接区間（離隔2m～1m未満）での施工（写真-4）

- ① 図-4に示すように、本工事では既設構造物との離隔が2m～1m未満という近接区間が存在し、いかにして既設構造物との接触リスクを管理していくかが課題となった。
- ② ハード面では、工区境界部に設置された仮囲い高さを延長し、施工の際吊り荷の接触や現場打ち杭施工時の土砂の飛散防止といった措置を取った。



写真-4 連続柱列壁土留施工時の作業全景

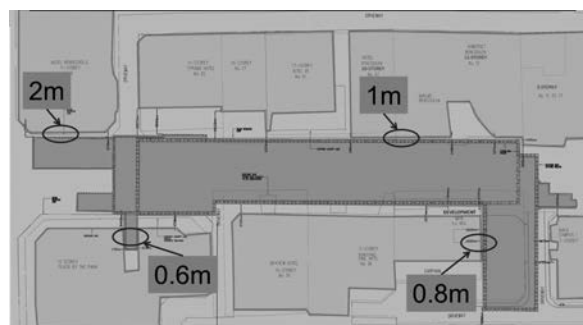


図-4 隣接構造物との離隔（平面図）

- ③ ソフト面においては、揚重作業時のシートパイルや鉄筋かご等の長尺物吊り込み・建て込み時に伴うクレーン移動ルートと旋回方向を事前に作業指示書に記載し、作業開始前のTBM（ツールボックスミーティング）でのリスク展開と揚重作業時、地切り後一時揚重停止しての安全確認実施など現地作業班や施工管理班への安全教育・啓発活動を行った。
- ④ また、周囲への影響確認措置として、既設構造物での沈下・変位測量を定期的を実施した。
- ⑤ 周辺構造物にはホテル、商業施設や学校が多く混在しているため、定期的に訪問して作業予定を連絡する等、ステークホルダーへのPR活動を積極的に実施した。
- ⑥ これらの活動が功を奏し、既設構造物隣接区間での作業中に周辺構造物への接触などの災害は発生しなかった。



写真－5 駅掘削時のFCBB層の全景



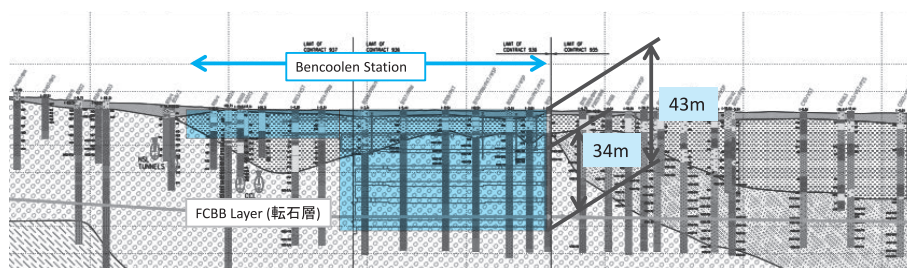
写真－6 静的破碎材の施工

チャレンジ2：転石層内での大深度掘削

- ① 本工事では、フォートカンニングボルダーベッド層（FCBB層）と呼ばれる硬質な巨大転石層が全体掘削量の80%を占めており、躯体構築完了後の駅本体引き渡しのマイルストーンが契約工程で決められている中で、46mという大深度掘削をどのようにして効率よく進めていくかが工程上の大きな鍵となった（図－5）。
- ② 転石は大きいもので10mを超えるものもあり、油圧ブレイカーなどの破碎機械を用いた施工方法のみでは作業効率が悪く、また破碎時に発生する振動・騒音を考慮し、別の工法を選定する必要がある（写真－5）。
- ③ そこで、発破など爆薬のような瞬間的な力ではなく、時間をかけて膨張させて硬質な対象物

を破碎する静的破碎材を用いての転石破碎、除去を計画することとなった。

- ④ この施工方法では、まず転石周りの硬質な粘土層等を除去して転石を露出させ、そこに削孔して薬剤を注入する必要があるため（写真－6）、掘削機を用いた機械掘削班と静的破碎材を用いた破碎班の連携が重要となった。そのため、両班の待機場所、連絡方法や入れ替わりのタイミングを事前に取り決め、当社の施工管理者が調整することでスムーズに作業を進めていき、無事に掘削を完了。続く躯体構築も完了し、駅



図－5 駅部地層断面

本体の引き渡しマイルストーンを達成することができた。

チャレンジ3：主要幹線道路直下での施工とそれに伴う道路切り回し

- ① 本工事では、本駅と隣接するシンガポールマネジメント大学との連絡通路建設のため、繁華街であるオーチャードから港湾地区のマリーナベイを結ぶ主要幹線道路であるブラスバサ道路（片側4車線）を切り回しながらの作業を行うこととなった（図-6）。
- ② 作業ヤードが10m前後という狭隘箇所に加え、公共交通機関を含む交通量の多い区間内でのシートパイル圧入や場所打ち杭施工など、制約が非常に大きい中での施工を余儀なくされたが（写真-7）、第三者災害の防止を念頭に置き、発注者と協議を重ねて交通量の少ない時間帯に作業ヤード隣接車線を占有し、材料搬入や車線近接部の施工など、公共交通近接箇所におけるリスク管理を行った。
- ③ ブラスバサ道路下では地下埋設物も非常に多く存在しており、土留壁であるシートパイル施工と埋設物切り回しを同時期に進める必要があったため、各関係機関と綿密なスケジュール調整を繰り返して施工に臨んだ。
- ④ また、当該施工箇所には地質的に地下水を伴う砂層（F1層）が存在しており、掘削時に出水による地盤沈下が危惧されたため、地盤改良を土留壁背面に行い対応した。その際、上記③にあるように地下埋設物が混在する中での地盤改良となったため、埋設物の事前露出や防護を行うことで、損傷のリスクを回避した。

4. ベドックノース駅におけるマネジメント

ベドックノース駅はシンガポール島北部の集合住宅地に位置する駅で、有事の際にシェルターとして使用できる防爆仕様となっている。そのため、駅本体の構造物として爆弾の直撃または間接

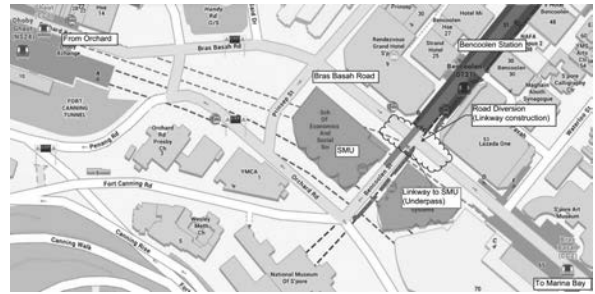


図-6 地下通路建設位置



写真-7 ブラスバサ道路内での施工状況

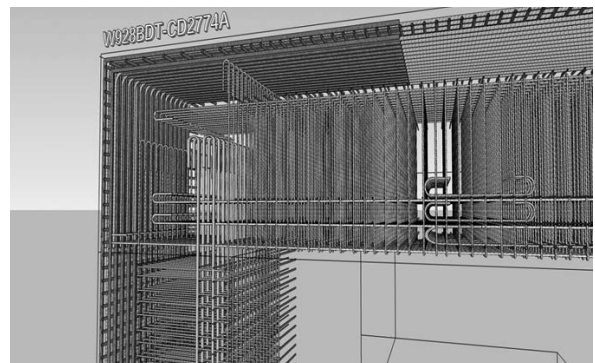


図-7 防爆設計 3D モデル配筋

的爆撃、爆風及び有害ガスに対する安全性が求められた。

駅の外壁と天井スラブは鉄筋量が 490 kg/m^3 （外壁部）、 390 kg/m^3 （スラブ）と強靱な構造になっており、工程管理の観点から施工性向上のために D32 以上の鉄筋の重ね継手部を機械式継手に変更。また、3D モデルによる配筋図を作成し、実施工時の問題点の洗い出し及び対策の立案を事前に行うことで作業効率の向上を図った（図-7）。

5. マター駅におけるマネジメント

マター駅工区は地下駅と上下線で計2.7kmのシールドトンネルを建設する工事で、トンネル工区では地下構造物の杭とシールド機との離隔1.0mでの近接施工、高速道路下横断、避難用立坑の土留壁（地下連続壁）の貫通など、高度な施工技術が要求された。

また、シンガポールの地下鉄トンネルは単線並列トンネルとして計画されており、災害時に備えてトンネル区間は避難坑や連絡坑が設置されるが、マター駅工区の場合は駅部から約250m地点にトンネル高さが5m以上異なる上下線トンネル間を通り抜ける連絡坑が計画されていた。

当初、この連絡坑は両トンネルの間を開削工法にて立坑を建設し、立坑を介して両側トンネルをつなげるものであったが、連絡坑が位置する地上部の用地が限られており、また多数の埋設管が立坑工事に支障となるため、工程に与える影響を考慮した結果、発注者及び設計者と協議の上連絡坑を非開削のNATMによる施工に変更した（図-8）。

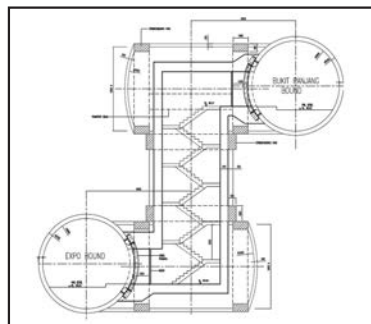
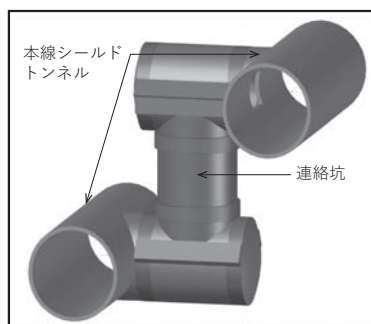


図-8 連絡坑イメージ

本線トンネル坑内から連絡坑への開削は幅1.4m、高さ2.2mと小さいため、小型掘削機を使用せず人力施工となったが、無事に工程確保を達成することができた。

6. おわりに

本プロジェクトは、いずれの工事においても土地利用の制約、地質条件などが重なり、困難を極めるものであった。

しかし、日本人スタッフの技術力と現地スタッフの実行力を合わせていくことで、工程・品質・安全・原価のマネジメントを適切に行うことができた。また、本プロジェクトを成功に導けたことは、スタッフ同士の積極的協力のみならず、発注者や協力会社、さらには近隣住民の協力の賜物であると確信する。

こうした日本企業の高い技術力を現地の特徴に合わせて落とし込む“Made by Japan”の取り組みが高く評価され、これら上記の3工区は、2022年にJAPANコンストラクション国際賞受賞の栄誉を賜った。

当社のシンガポールへの進出から今年で50年の節目を迎える現在、これまでに培ってきた技術や知識の継承、工事における安全・品質管理のマネジメントや工期遵守などはもちろんのこと、近年注目を集めるSDGsへの取り組みなど、さらなる成長と努力の継続、そして“Made by Japan”の精神をもってシンガポールの発展に貢献していきたい。