ベトナム初の都市鉄道開業を目指す道のり
～ホーチミン市におけるインフラ輸出の最前線～

THE WAY FORWARD FOR THE COMMENCEMENT OF FIRST MRT IN VIETNAM
～ ON THE FRONTIER OF JAPAN'S INFRASTRUCTURE EXPORTS IN HO CHI MINH CITY ～

張　洋 * ・菅原　春 **
Yang ZHANG and Shun SUGAWARA

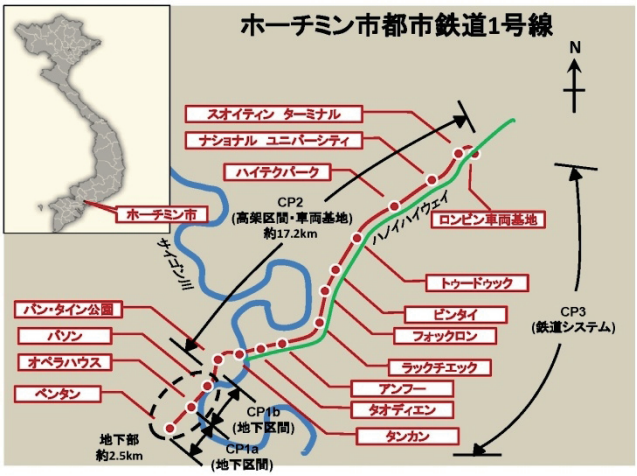
The first MRT in Vietnam is the Ho Chi Minh City Urban Railway Construction Project. The construction supervision work for a section of Line 1 (Ben Thanh - Soui Tien) is being implemented by a joint venture consisting of 7 consultant corporations known as NJPT Association. The commencement of Line 1's construction work was in 2012, and on-going work continues for underground station, cut and cover tunnel, launching gantry for precast concrete girder works, etc.

This paper reports some typical construction works in this project, including their basic specification, construction procedures and progress.

Keywords : *ODA, Vietnam, MRT, construction works, construction supervision*

1. はじめに

ホーチミン市都市鉄道 1 号線は、ベトナム初の都市鉄道事業として、我が国の円借款によって実施されている。本事業は、本邦技術活用条件（STEP）が適用されており、入札参加者が日本とベトナムの企業に限定されて、および 30% 以上の物品・サービスが日本から調達される必要がある。また、日本の都市鉄道標準である STRASYA（鉄道システム）および国土交通省の鉄道技術省令の技術規定（火災防災基準も含めて）の適用が承認されていることより、我が国のインフラ輸出の典型的な案件と言える。



図－1　ホーチミン市都市鉄道1号線位置図

線路全長は約 19.7km であり、ホーチミン市の中心部であるベンタン市場前を起点として、国道 1 号線に沿って北東方向へ伸び、郊外のスオイティンまで繋ぐ。2012 年着工から 3 年が経ち、現在地下駅造成、開削トンネル工事から、高架区間の橋脚工事とプレキャストセグメントを用いたスパンバイスパン架設工法など、多彩な工事・工程の最盛期である。

本文は、当プロジェクトの最前線である施工現場に関して、地下区間と高架区間の工事概要を焦点に、いくつかのトピックについて紹介する。

2. プロジェクト概要

(1) 資金源

日本政府による円借款案件。本邦技術活用条件（STEP）が適用されている。

(2) 諸元

当案件の諸元は下表に示したとおりである。

(3) 実施機関

MAUR（Management Authority for Urban Railways）：都市鉄道管理機構（ホーチミン市人民委員会の一部局）

(4) コンサルタント

NJPT Association: 日本工営（幹事会社）、日本コンサル

*　コンサルタント海外事業本部　鉄道事業部　鉄道技術部
**　コンサルタント海外事業本部　ホーチミンMRT建設開発事務所

タンツ（JIC）、PB Japan（PBJ）、日本交通技術コンサルタント（JTC）、トーニチコンサルタンツ（TEC）、TEDI-South（ベトナムコンサル）、TRICC（ベトナムコンサル）の 7 社による企業連合体である。基本的な役割分担は**表－ 2** に示す。

(5) コントラクター

CP1a（地下区間）：未定
CP1b（地下区間）：清水・前田企業連合体
CP2（高架区間・車両基地）：住友商事 /CIENCO6
CP3（鉄道システム）：日立製作所

表－1　案件諸元

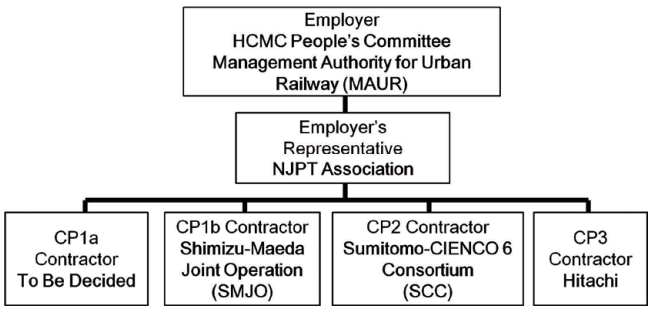
路線諸元	
総延長	19.7km（地下:2.5km、高架:17.2km）
駅数	14駅（地下駅: 3駅　高架駅:11駅）
軌間	1435mm（標準軌）
電化	1500V DC 架空電車線方式
運行速度	最高110km/h
想定開業時期	2020年
工事契約パッケージ（CP: Contract Package）	
CP1a（地下区間）	ベンタン駅 + ベンタン駅／オペラハウス駅間の開削トンネル
	契約約款: FIDIC ピンクブック（発注者が設計）
CP1b（地下区間）	オペラハウス駅、バソン駅 + オペラハウス駅／バソン駅間のシールドトンネルおよびバソン駅／CP2境界までの開削トンネル
	契約約款: FIDIC シルバーブック（請負者が設計と施工）
CP2（高架区間・車両基地）	高架区間、車両基地の土木・建築
	契約約款: FIDIC シルバーブック（請負者が設計と施工）
CP3（鉄道システム）	鉄道システム（軌道、電力、信号、指令システム、AFC、PSD、車両）の構築、および5年間のシステムの維持管理
	契約約款: FIDIC シルバーブック（請負者が設計と施工）

表－2　JV役割分担

	NK	JIC	PBJ	JTC	TEC	TEDI-S	TRICC
地下土木	○	○	○	○		○	○
高架土木	○	○	○	○		○	○
M&E		○				○	○
鉄道システム	○		○			○	○
車両	○	○	○			○	○
軌道		○				○	○
車両基地と工場					○	○	
マニュアル作成・訓練	○	○	○			○	○
事業者顧問		○	○			○	

(6) 組織

事業者と組織は下図に示したとおりである。



図－2　組織図

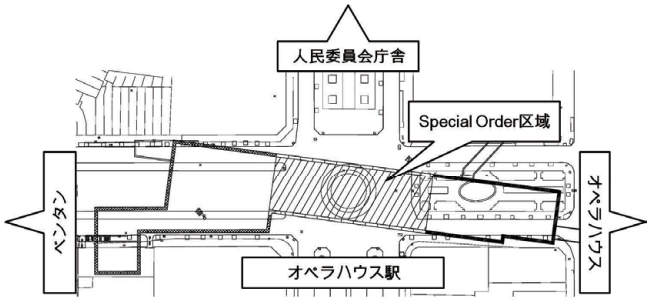
3. オペラハウス駅（Special Order 区域）の工事

図－ 3 に示す区域は、オペラハウス地下駅工事現場とホーチミン市人民委員会庁舎前道路が交差する部分である。当区域は、地下工区着工からの 8 ヶ月目、2015 年 4 月末に行ったベトナム南北統一 40 周年記念パレードが通過する区域であり、地下駅工事のほか、道路舗装・噴水の設置など他社による後続工事も予定したため、工事の早期完成が要求された。したがって、当区域の工事を Special Order の形で、地下工区 CP1b を担当する清水・前田企業連合体（SMJO）による突貫工事を実施した。現場は昼夜連続 24 時間の 2 交代制で稼働するほか、最盛期の 1 交代に約 100 人以上の現場作業員を投入した。僅か 5 ヶ月の間、地中連続壁、仮設鋼杭、上床版構築、観測施工など、多種な工事が実施された。

(1) 地中連続壁

1) 工法

オペラハウス地下駅構築中の土留め工は地中連続壁工法を採用した。クラムシェル掘削機によるパネルの溝の掘削後、鉄筋かごの建て込みとコンクリートの打設を行い、パネル単位で地中連続壁を構築することによって、掘削工事中に土留め・水止めの機能を果たす。当区域の構造物設計条件と地質・水文条件を基づいて、地中連続壁の壁厚を 1.5m、深度を



図－3　Special Order区域

44m に設計した。標準パネルの幅は 6m、当区域の地中連続壁は合計 27 枚のパネルによって構成された（**図－ 4**）。

2）地中連続壁の施工時間

図－ 5 に当区域の施工記録（合計 27 パネル）から求めた作業別の平均所要時を示す。1 パネルの構築には平均約 3 日が掛かり、当初想定した 3 ～ 4 日の作業時間内に収まった。

（2）駅本体工事

1）工法

a. 一般事項：地下駅の本体構築工法として、一般的には床付までの掘削工事を完成後、下床版から上床版に向けて順に本体を構築する順巻き工法と、掘削と本体構築を上部から交互に繰り返す逆巻き工法の二つがある。

b. 特有の条件：当区域は市繁華街にあるため、作業ヤードとしての占用期間をできるだけ短縮し、道路の早期開通が望ましい。同時に、ヤード周辺に商業施設が多数存在するため、各工法の掘削工事による周辺地盤への影響を考慮する必要がある。

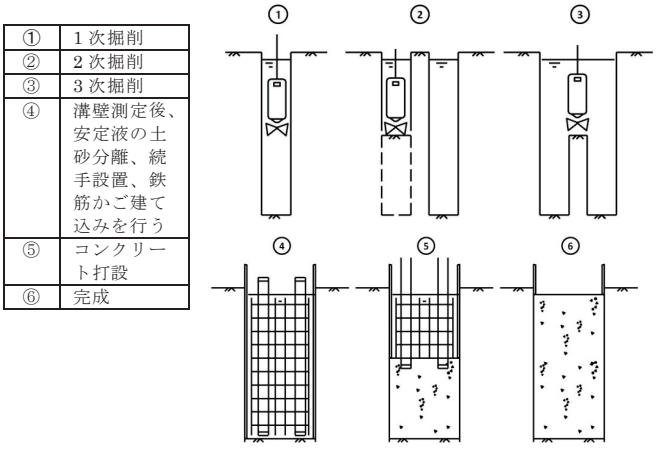
c. 対応策：逆巻き工法を当駅の建設工法として採用した。ポイント 1）通常の逆巻工法では、完成した床版の下を掘削することになるため、仮設開口を設置し、仮設開口を通して残土搬出・材料搬入を行う必要があり、開口およびその周辺の作業は地上の土地を占用しなければならない。そのため、Special Order 区域では上床版に仮設開口を一切設置せず、上床版下の掘削工事は両側のヤードから貫通する形で行う。残土搬出・材料搬入もすべて両側のヤードの床版の仮設開口を通して行う。このような対策によって、Special Order 区域の上床版と埋め戻しが完成した後、その上での作業はなくなり、早期の完全開通が可能になった。ポイント 2）切梁より剛性の大きいコンクリート床版が地中連続壁を早期拘束したことによって、地中連続壁の水平変位を最小に抑える。

d. 結果：当区域では着工から約 5 ヶ月の短期間に所定の工事を完成し、上部道路が開通できた。期限内で工事を完了させることで記念パレードは無事に開催され、ホーチミン市人民委員会から感謝状をいただいた。

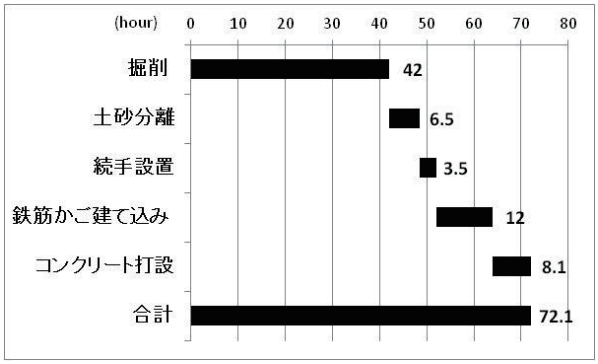
上床版以下の掘削・本体構築工事は、両側のヤードでの工事を先に進め、地下経由で当区域を貫通してから後続の逆巻き施工を行う（**図－ 6**）。

2）上床版の施工時間

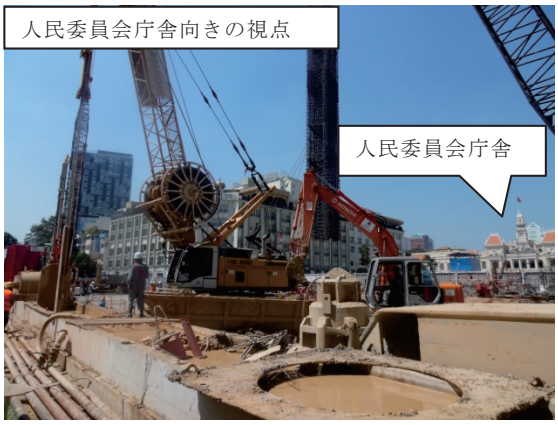
Special Order 区域の総面積約 2,080m^2、当区域におけ



図－4 地中連続壁施工工程



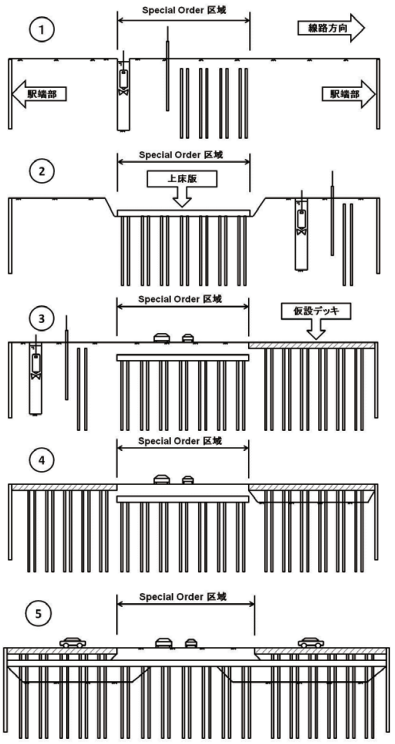
図－5 1パネルの作業内訳および平均作業時間



写真－1 掘削と鉄筋かごの建て込み工事

写真－2 完成後の地中連続壁

①	Special Order区域の地中連続壁構築、仮設鋼杭設置
②	開削、上床版構築。両側区域の地中連続壁構築、仮設鋼杭設置
③	上床版完成後、埋め戻すことによってSpecial Order区域の道路を開通。両側区域に仮設デッキを構築
④	仮設デッキ完成後、下部への掘削、上床版の構築。
⑤	全区域の上床版完成後、両側の道路の一部を仮開通。下部への掘削を継続



図－6　本体構築工程

る開削深度最大は6.21m、掘削土量合計約10,764m^{3}に達した。**写真－3**および**写真－4**に示す上床版は厚さ800mmの場所打RC構造であり、開削工事と防水工を含めて、構築には56日かかった（**図－7**）。当初の予定より約3週間の早期完成が達成できた。2015年8月時点では、当駅の地下連続壁、仮設デッキ・支持鋼杭の構築およびSpecial Order区域における工事が全て完了し、両側ヤードでの掘削工事が行われている。

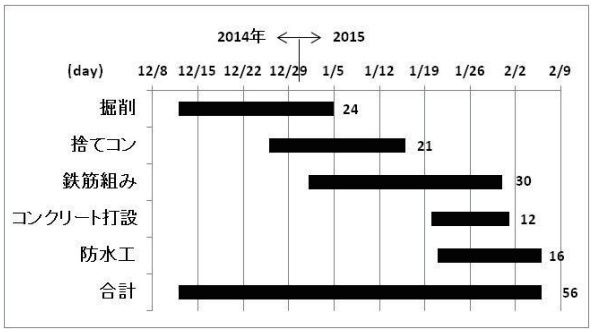
(3) 情報化施工

1) 背景

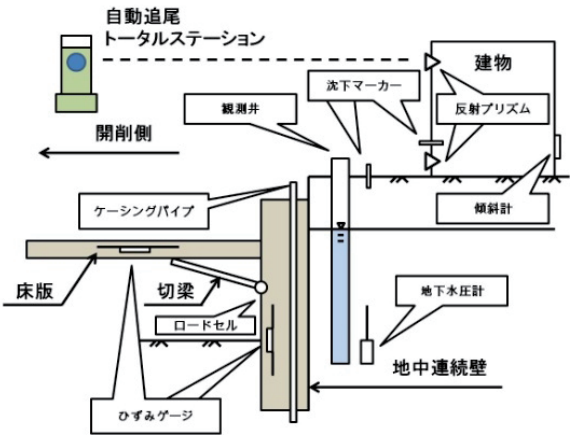
大規模な開削と伴い、過大な荷重による支保工の座屈、地盤変動による周辺建物の不等沈下などの危険性が潜んでいるため、適切な支保構造の設計のほか、施工時の地盤・地下水・支保構造の実挙動の動態観測から、危険性予知と逆解析による対策工が必要な箇所の特定も求められている。当工区では、地盤・建物の沈下観測、建物傾斜観測、鉄筋と構造の荷重・応力観測、地下水位・水圧観測が行われている（**図－8**）。なお、当駅の近隣には、ホーチミン市重要な文化財であるオペラハウスが存在しており、基礎が脆弱のほか、歴史的・文化的価値を考慮して、開削による当建物の傾斜・沈下などの障害には迅速な問題把握・対応が求められている。そこで、アラーム機能付きの自動追尾型のトータルステーションを用いた自動観測およびデータ収集システムを構築し、24時間の動態観測が行われている。共有サーバーにアクセスすることによって、現在の計測値を閲覧することができる。

写真－3　上床版の鉄筋工

写真－4　完成後の上床版



図－7　上床版構築期間



図－8　観測設備の設置位置

2）観測機器の概略諸元

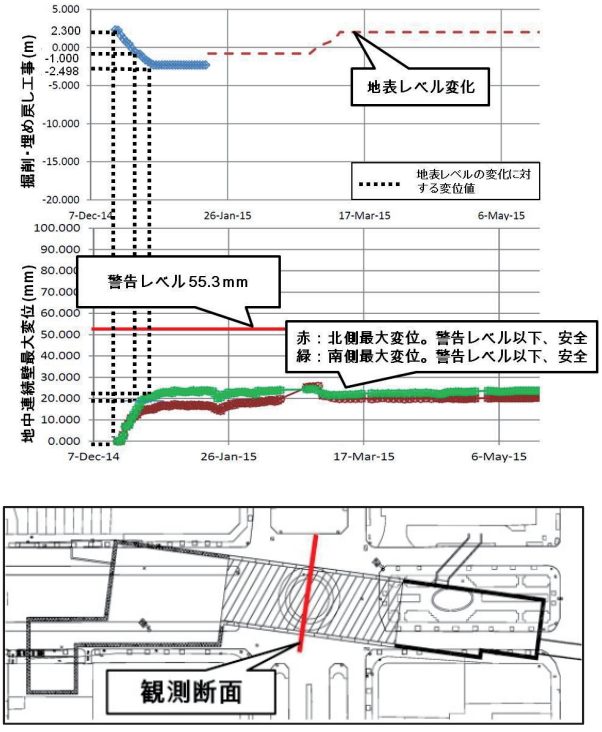
各種の観測設備の設置位置は**図－ 8** に示した。

3）観測結果

図－ 9 は Special Order 区域で行われていた開削・埋め戻し工事の進捗と地中連続壁の挙動を示している。計測値の管理基準は、弾塑性解析による予想変位値を許容値にして、許容値の 80% を警告レベルとして設定した。地中連続壁の変位は開削工事の開始とともに進行し始めて、EL+2.3m ～ EL－1m 間の開削では、連続壁の変位が最大 20mm に達した。その後、EL－1m ～ EL－2.498m（支持杭箇所は－3.910m）の開削では、連続壁の変位速度は減り、前段と比べて約 20% の開削深度に対して、およそ 10% の変位量をもたらした。開削工事の完成と同時に、連続壁の変位も止まった。工事中、計測された連続壁の最大変位はすべて警告レベル以下である

表－3　観測設備の種類と目的

種類	目的
観測井 水圧計	地下水位観測
孔内傾斜計	地中連続壁、地盤変動観測
ひずみゲージ、 ロードセル	鉄筋の応力 切梁の荷重 床版の荷重の観測
沈下マーカー	地盤、建物の沈下観測
反射プリズム、傾斜計	建物の傾斜観測（自動追尾トータルステーションによる自動観測）



図－9　地中連続壁の挙動

ことが確認できた。このように、行われていた工事活動と観測データの比較から、今後の工事活動による影響を想定できるほか、影響が著しい工事に対しての事前対策を適用することも可能になる。

4. 地盤改良工事

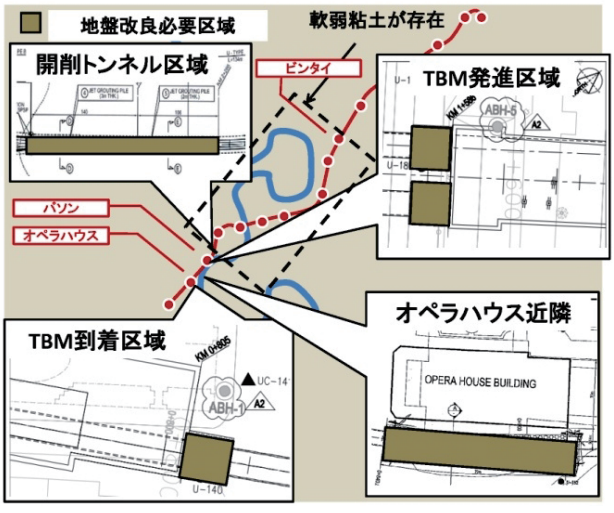
（1）地質条件

1 号線が横断する区域の土質条件として、ベンタン駅とバソン駅の間の都市部における土質は比較的に良好な砂層である。しかし、バソン駅の先からビンタイ駅間におよそ 30m ～ 40m 厚さの軟弱粘土（N 値＜2）が堆積している。ビンタイ駅から先は軟弱粘土層が薄くなり、良好な強度を有する土層に戻る。

（2）改良区域

開削トンネル区域（**写真－ 6**）は、地下部から地上部への移行帯に属する。この区域は、**図－ 10** に示した軟弱粘土層が始まる部分にあって、掘削の際に掘削底面にヒービング現象が発生する恐れがあるため、ジェットグラウト工法による地盤改良工事を行った。この区域を越えて軟弱粘土層がビンタイまで続くが、高架構造物・施工への影響が少ない（支持力が充分のほか、橋脚の施工では大深度の掘削を行わない）と判断されたため、地盤改良は行わないこととした。

開削トンネル区域のほか、オペラハウス駅とバソン駅間のトンネル構築は TBM 工法を採用したため、発進区域では地中連続壁の開口により、土圧・水圧による開口部の崩壊、到着区域での浸水問題が発生する恐れがある。通常、発進・到着区域では地盤改良を行う必要がある。当区域の改良工事を担当したライト工業（日本企業）は、独自開発した OPT ジェット工法を採用した（**写真－ 5**）。当工法は従来のジェット工法に比べて工期が短いほか、約 30%～70% の排泥量低減でき、周辺地盤・連続壁への変位影響を抑制できる利点を有してい



図－10　各地盤改良区域

る。オペラハウスの近隣には、将来通過するTBMからオペラハウスに対する影響を抑えるため、同じ改良工事を行う予定である。その際、当工法を採用することによって、改良工事の影響の低減も期待できる。

表－4　地盤改良諸元

区域	TBM 発進・到着区域	開削トンネル区域
設計改良面積	オペラハウス駅側： 11.9 × 13.73＝163.4m^2 バソン駅側： 10.7×11.13×2＝338.2m^2	2984.3m^2
設計改良深度	オペラハウス駅側：25.13m バソン駅側：11.13m	2m & 3m
改良工法	ジェットグラウト工法	ジェットグラウト工法
改良材	セメント系硬化材	セメント系硬化材
設計改良円柱の径	3m & 3.5m	0.9m & 1.5m
改良目標強度	q_u = 0.6 MPa	q_u = 1 MPa
改良目標浸水率	1 × 10^{-7}m/s	
通常施工速度	1 本／日	18 ～ 20 本／日

(4) 工事写真

写真－5　TBM到着区域の地盤改良工事

写真－6　開削トンネル区域の地盤改良工事

(3) 改良諸元

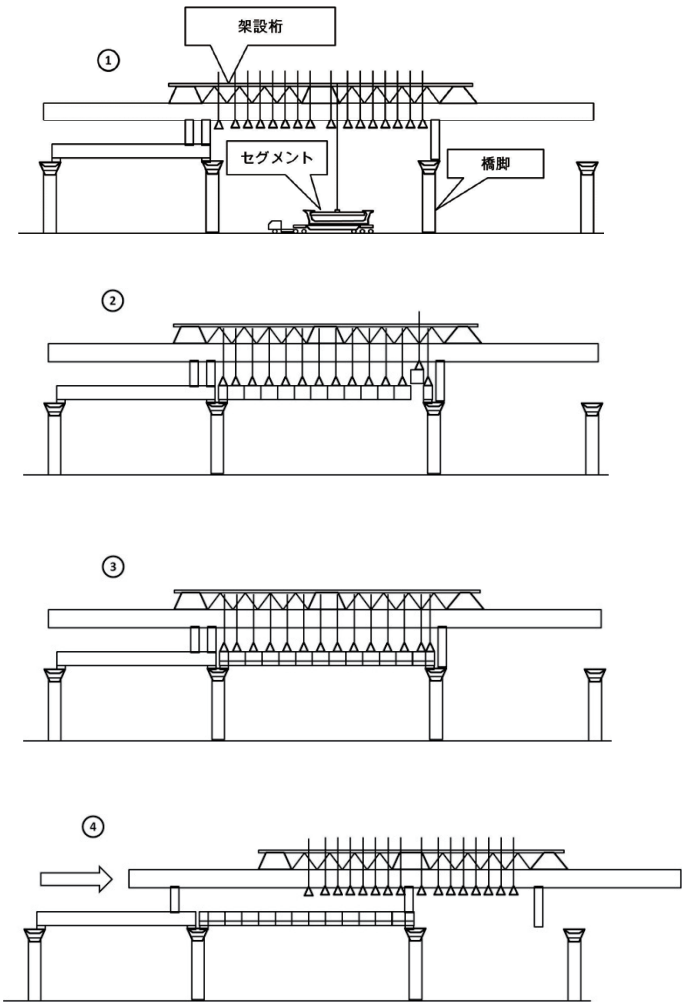
各区域の地盤改良諸元は表に示したとおりである。オペラハウス近隣の改良区域の改良諸元は、2015年11月の時点ではまだ検討中のため、本文には記載しない。

5. 高架区間のプレキャストセグメント橋架設工事

高架区間長約17.2km、一部特殊な区間を除き、主な高架橋はプレキャストセグメントを用いたスパンバイスパン架設工法によって構築する（**図－11**）。スパンバイスパン架設工法では、桁の構成部材であるセグメントを事前に工場で製作し、架橋地点で架設桁による吊上げ、仮結合、プレストレスを与えるなどの工程により一体化する（**写真－7、写真－8**）。ベトナムで架設桁によるセグメントの架設は、当プロジェクトが初めてである。なお、本工法はフランスの企業連合によって実施されている。

(1) プレキャストセグメント諸元

高架橋の基本支間長は35mであるが、支間長が最小15m



図－11　スパンバイスパン架設工法

から最大 37m まで変化している。桁断面は U 型であり、桁は両端の橋脚セグメントと中間セグメントによって構成される。35m 支間では、標準橋脚セグメント長さが 1.775m、標準中間セグメント長さが 2.85m、全体で 13 個のセグメントで構成される。

(2) 施工工程

表－5 に示す所要期間は、1 桁の架設サイクルに該当する。この所要期間は当初想定した期間内に抑えている。しかし、桁架設が高架駅工事にも関連しており、2015 年 11 月の時点では工事全体が高架駅工事の遅れによりやや遅れてる。

表－5 主桁架設所要期間（1桁）

No	工程内容	時間
①	製作したセグメントの搬送、吊上げ	2 日
②	セグメントの仮結合	
③	PC ストランド挿入、プレストレス	1.5 日
④	仮設桁前進移動、設置	0.5 日

(3) 工事写真

写真－7 セグメントの吊上げ

写真－8 完成後の桁

6. おわりに

ホーチミン市都市鉄道 1 号線は、ベトナムでは初となる数多くの日本の技術・工法が結集されている。これから実施する JSTC-IHI による TBM マシンの製作、ジオスター社によるトンネルセグメント製作の技術支援、日立による日本製車両・鉄道システムの全面導入など、多くの日本企業・技術の活躍が目に浮かぶ。1 号線開通後、町に新たな風を吹き、都市の象徴として住民たちに快適、快速な交通環境を提供するだろう。日本工営にとっても、当プロジェクトは都市鉄道建設事業の設計施工契約におけるコンサルタントサービス提供の貴重な経験になる。今後、我々は都市鉄道建設事業のほか、交通ネットワークの形成、関連施設の開発・連携などの様々な需要の増加に応えるため、如何にこれまでの経験を活かし、そして新たな経験を積もっていくのが課題である。

謝辞：本稿の掲載について快諾をいただいた実施機関の MAURに謝意を表します。

参考文献

1） 永利将太郎：開削トンネルの順巻工法と逆巻工法との比較 －つくばエクスプレス 秋葉原駅－、鉄道・運輸機構鉄道建設本部技術研究会記録 1、pp.56-59、2003

2） 山田一夫、高村直幸：動態観測結果による盛土施工方法の合理化、国土交通省 北陸地方整備局ホームページ