

換気立坑のスリップフォーム採用による急速施工

4方向大断面トンネル交差部のスリップフォームによる連続施工

多田博光

トルコ・イスタンブールにおいて、ボスポラス海峡を横断する鉄道トンネルが建設中である。ヨーロッパ側の最初の駅であるシルケジ駅に隣接する深さ約 55 m の換気立坑の施工に工程促進のため、スリップフォーム工法を採用した。換気立坑には、下部に4本のトンネルが接続している。本稿では、このトンネルの立坑との接合部分とアーチの構築を、スリップフォーム工法による側壁と同時施工を行い無事に1カ月で覆工を完成させた結果を報告する。

キーワード：立坑、工程短縮、スリップフォーム、大開口部

1. はじめに

ボスポラス海峡はトルコ北西に位置し、黒海からマルマラ海にいたる延長 30 km の海峡である。地理的にも経済的にも重要な場所である人口 1200 万人のトルコ最大の都市イスタンブールは、海峡によりアジア側とヨーロッパ側に隔てられている。海上交通は発達しているものの、東京などに比べると圧倒的に鉄道網が不足しており、交通手段は車に頼らざるを得ない状況にある。アジア側とヨーロッパ側を結ぶ手段としてすでに2本の長大道路橋がかけられているが、経済の発展に伴う交通需要の増加に対応しきれておらず、慢性的な交通渋滞を引き起こしているのが現状である。当プロジェクトは、この交通渋滞の緩和を目的としたイスタンブール大都市圏鉄道システムの向上を図る「マルマライ・プロジェクト」の一部で、アジア側とヨーロッパ側を結ぶ鉄道トンネルを建設するものである。

当該工事は、ボスポラス海峡下を横断する 13.6 km 区間に沈埋トンネル、シールドトンネル、山岳トンネル、開削トンネル等の各工法でトンネルや駅舎を建設するものである。図-1 にボスポラス海峡横断鉄道建設工事平面ルート図、図-2 にトンネル縦断模式図、図-3 にシルケジ地下駅位置図を示す。

また、シルケジ地下駅は旧市街地区と呼ばれる世界遺産となっているイスタンブールの中心街に位置し、ローマ帝国、ビザンチン帝国、オスマン帝国と 1500 年以上もの間、大帝国の首都として栄えた旧市街地は文字通りどこを掘っても遺跡に当たると言っても過言ではなく、各時代の遺跡が幾重にも重なって出土してい

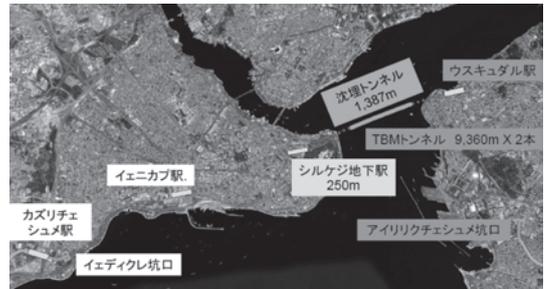


図-1 ボスポラス海峡横断鉄道建設 平面ルート図

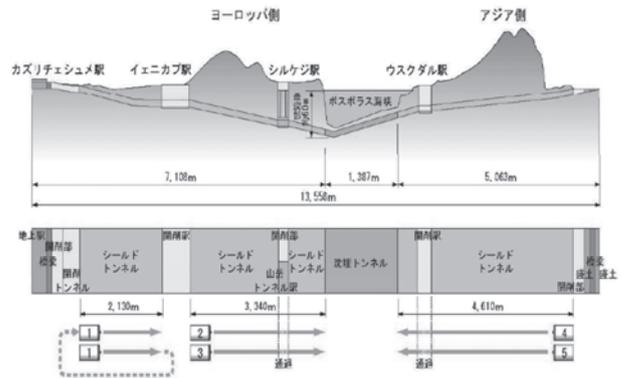


図-2 トンネル縦断模式図

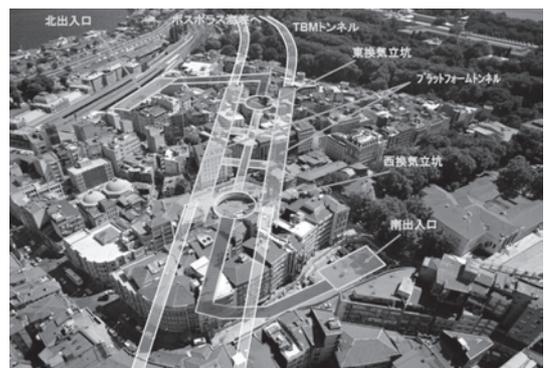


図-3 シルケジ地下駅位置図

る。

2004年の工事開始と同時に始まった遺跡調査の全てが終了したのは2012年8月であり、早期開業を目指す当プロジェクトは遺跡調査による遅延を取り戻すべくあらゆる工程促進策を実施している。本稿では、工程促進策として深度約55mの換気立坑をスリップフォーム工法によって覆工を行った施工について報告する。

2. 換気立坑の概要

シルケジ駅の換気立坑は、図-4のシルケジ駅鳥瞰図に示すように換気機能と南北プラットフォーム間を接続する連絡坑の機能も備えているため4方向にトンネル開口のある楕円形構造である。特に南北の接続トンネルは換気坑と連絡坑を一体化した約140m²の大断面開口となっている。東西の人道トンネルについても4連エスカレーターを包括するため、約75m²の開口となっている。駅天井となる換気スラブから上部については、地上部の制約から換気設備を全て立坑に

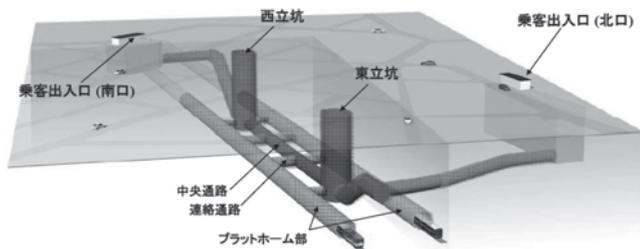


図-4 シルケジ駅鳥瞰図

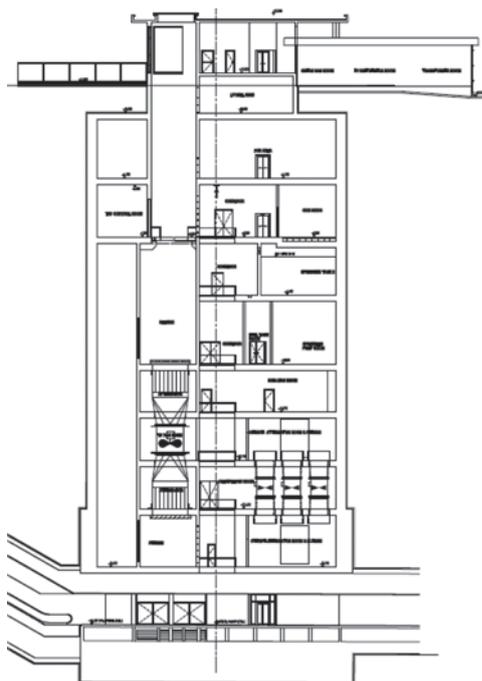


図-5 西換気立坑構造図

配置するため、9層構造で複雑な中壁で仕切られた構造となっている(図-5)。本工事の地下構造物は全てウォータータイト構造となっており、立坑についても外周側壁は防水シートにより遮水されている。工程促進のためにスリップフォーム工法を採用するには、4方向円形開口対策及び床版接合部の検討が必要であった。以下に立坑の諸元を示す。

内空断面積 350 m²、短辺 19.4 m、長辺 23.0 m、壁厚 1.0 m、底版厚 3.7 m、側壁コンクリート(側壁背面の埋め戻しコンクリート含め)約 6,000 m³、底版コンクリート約 2,000 m³

3. 開口部対策

スリップフォーム工法は、コンクリートに埋め込まれるロッドをヨーク材と呼ばれる型枠部材と一体化させ、そのロッドにセットしたジャッキで引き揚げることでスライドさせる。今回の開口部についてはロッドがコンクリート内に埋設されないためにロッドの挫屈によりスライドすることができないため、ロッドの固定方法の検討が必要であった。

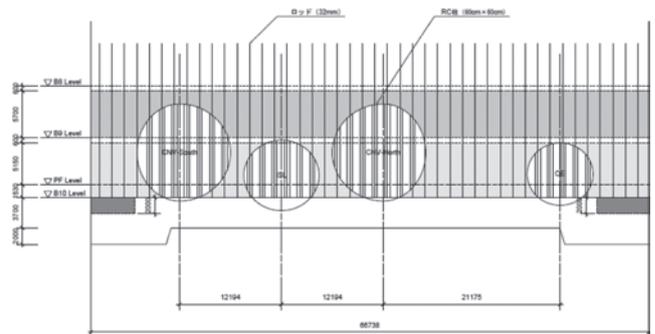


図-6 開口部仮支柱配置図

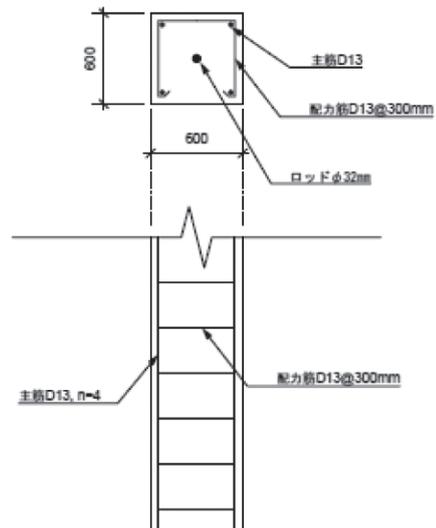


図-7 仮支柱構造図

対策として仮支柱をスリップフォーム打設と同時に打ち上げていくこととした。仮支柱は最大高さ約14 mと高くなるため、鉄筋コンクリート構造とした(図-6, 7)。

4方向への巻き込みアーチ部については、先行して防水シート、鉄筋組立を行いアーチ支保工を設置、アーチ型枠はスリップフォームと同時に25 cmの鋼製型枠を順次組み立てることとした。

当該立坑は楕円形状のため、ロッドピッチが1.436 mから1.701 mと等間隔ではなく、開口部補強の過密鉄筋区間を計画的に避けることが困難であるため、あらかじめラップ鉄筋を加工しておき対応した。図-8にスリップフォーム図を示す。

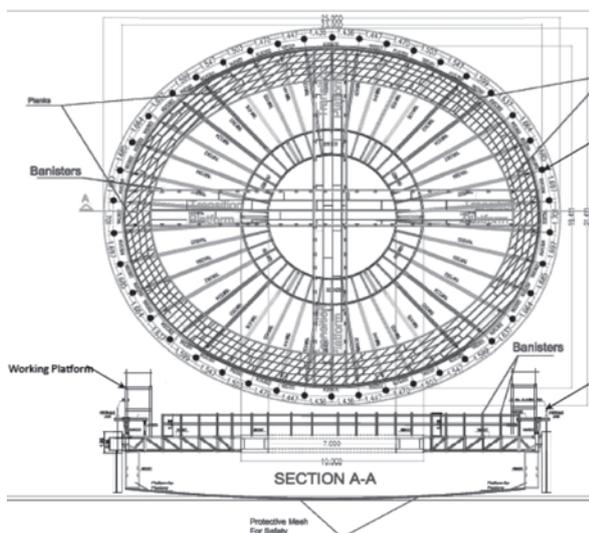


図-8 スリップフォーム図

4. スラブ鉄筋対策

スラブ鉄筋はスリップフォーム施工の妨げとなるため、型枠表面に突出しないよう側壁埋め込み方式を検討した。埋め込み方式として、メカニカルジョイント、折込鉄筋等を検討し、設置誤差、設置数量等を考慮し折込鉄筋方式を採用した。折込鉄筋については、曲げ戻し時の強度を事前試験により確認を行った。

5. スリップフォームの施工

底盤コンクリート打設完了後、底盤上でスリップフォームの組立を行った。また、同時に立坑部の防水シート、鉄筋組立、接続トンネル部のアーチ鉄筋、型枠支保工組立を行った(写真-1)。

スリップフォーム組立完了後、ヨーク材の支障となる鉄筋の切断を行い、補強鉄筋を用意しコンクリート

打設し、スリップフォーム上昇と同時にヨーク材下部にて鉄筋組立を行った(写真-2)。

打設開始から始まる開口部処理は、ロッドの仮支柱、円形開口部交点部の取り合い型枠等、複雑な型枠処理が必要となった(写真-3)。また、ウォータータイト構造物のトンネル接合部のため、過密鉄筋となっており、全体のロッドの配置からヨーク支柱をスライドさせるために鉄筋の切断加工が必要となり、コンクリート打設中の作業が輻輳し、コンクリート打設速度への影響が懸念されたが、打設速度を調整する程度で施工可能であった(写真-4)。

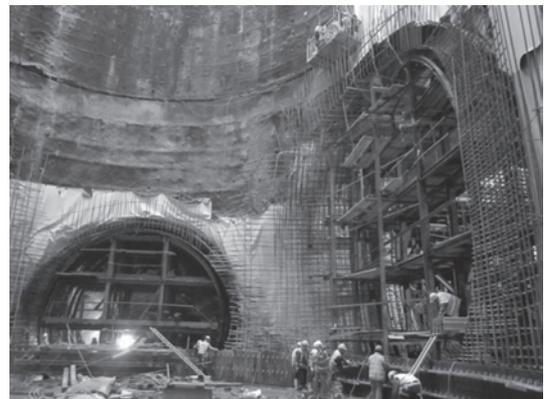


写真-1 接続トンネル部の鉄筋、支保工組立状況



写真-2 ヨーク材と鉄筋状況

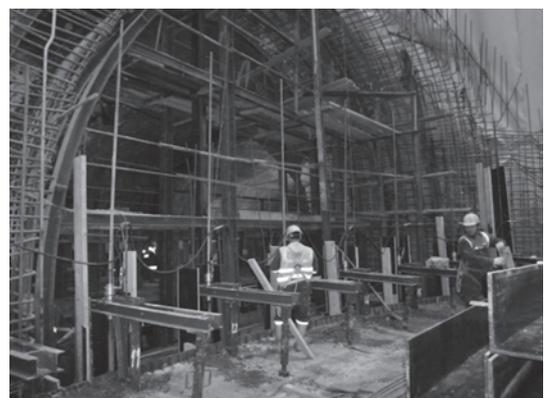
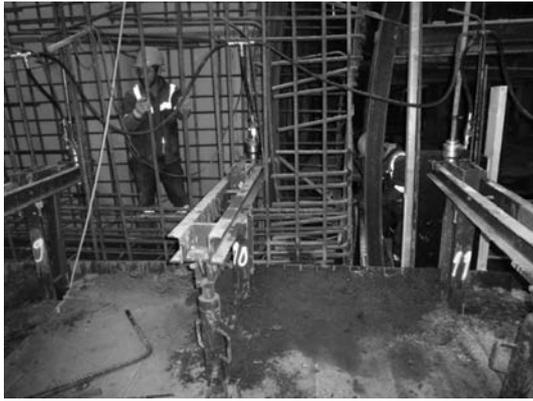


写真-3 開口部の施工状況



写真一4 コンクリート打設中の鉄筋組立状況



写真一7 南エントランス斜坑開口部

コンクリートの打設速度は初期8 cm / 時間とした。下部の部分はポンプ車による打ち下げの限界深度を超えているため、クレーンによる1 m³ ホッパー打設を行った。打設速度を確保するため、クレーンを2～3台使用した(写真一5)。



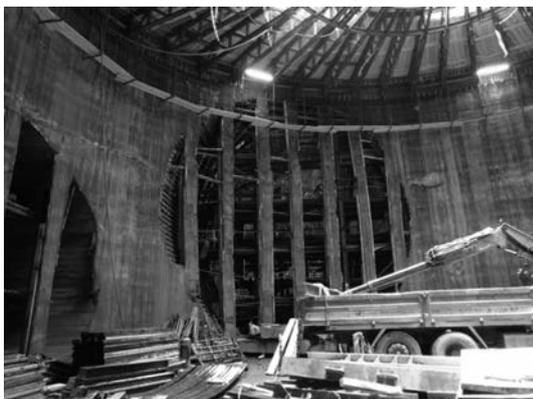
写真一5 コンクリートホッパー打設状況



写真一8 坑内換気連絡坑開口部

開口部に設置した仮支柱の状況を写真一6～8に示す。

開口部のコンクリート養生が終了した時点で、ジャイアントブレイカーにて仮支柱の撤去を行った(写真一9)。



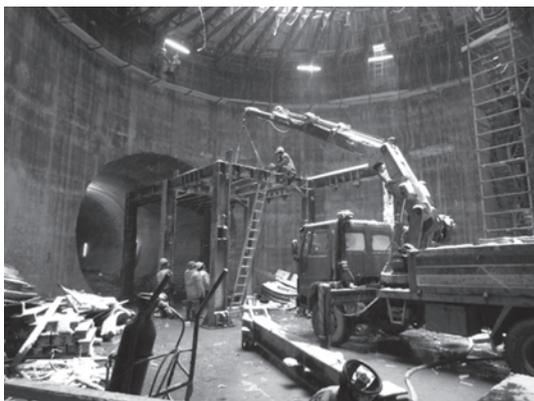
写真一6 換気連絡坑側仮支柱状況



写真一9 仮支柱撤去状況

西側開口部については、遺跡調査により遅れていた南エントランスへの斜坑掘削を開始するため、底版にプロテクターを設置し、下からの斜坑掘削もスリップフォーム施工中に開始した(写真一10)。

スリップフォームの位置・姿勢確認は、あらかじめスリップフォームにセットしたターゲットをトータルステーションで測量し監視した。スリップフォームは、凝結の始まったコンクリートをガイドに上昇していく



写真—10 斜坑掘削用プロテクター設置状況



写真—11 スリップフォーム施工状況（打設開始直後）

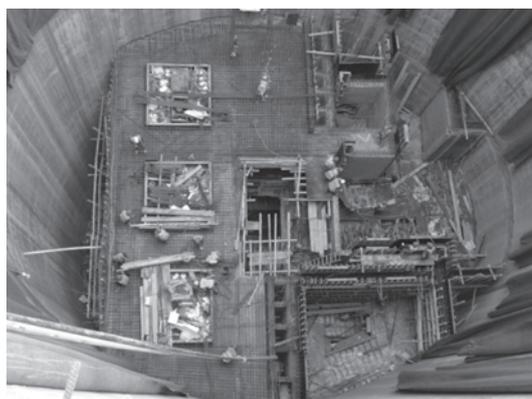


写真—12 スリップフォーム打設状況

ため、フォーム据付時の垂直性を重点的に管理を行った。ジャッキアップは昼夜各1名の責任者が全ジャッキ同時に作動を行った。スリップフォームの上昇管理は、簡易鉄筋棒挿入試験により、硬化状況を確認後、上昇速度を決定した。打設速度は8 cm ~ 12 cm / 時間となった（写真—11, 12）。

6. おわりに

今回、発注者からの限定列車の早期運行を要求され、限定運行にかかわる最低限の施設を早急に構築する必要から、換気立坑のスリップフォーム工法が発案された。ただし、大開口部等、構造物の複雑さ、ウォータータイト構造の水密性等を考慮し、一時は在来工法での施工を検討していたが、限定列車運行には一方の換気立坑が完成することが必須となり、立坑構築工程を大幅に短縮する必要が出てきたことで、スリップフォーム工法の本格的な検討を行った。実際の施工を終えて、開口部の仮支柱は有効に働きスリップフォームの施工に問題ないことが確認できた。工程は当初予定の1ヵ月で55 mの立坑を覆工する目的は達成された。現在折込み鉄筋をハツリ出ししながらスラブ、中壁等の内部構築の施工を6月の完成に向け継続している（写真—13）。



写真—13 内部構築施工状況

JCMA

《参考文献》

- 1) 田口, 小山, 今石: ポスボラス海峡横断トンネルの施工, トンネルと地下, 日本トンネル技術協会誌 Vol.39.No.1-17, 2008年1月
- 2) 岩野, 土屋, 金子, 田口, 松村: 都市部山岳工法による大規模地下駅の設計と施工, 第38回岩盤力学に関するシンポジウム, 2009年1月

【筆者紹介】

多田 博光 (ただ ひろみつ)

大成建設㈱

国際支店・ポスボラス海峡横断鉄道トンネル建設工事

作業所

工事課長

