

中之島線建設工事

- 大阪都心の地盤を掘削する -

長 瀧 元 紀*

技術解説

Nakanoshima Line subway construction project
- Excavation works in the central area of Osaka -

Key Words : Open-cut method, Earth retaining wall, Soil mixing wall (SMW)
UD-HOMET, Shield tunneling method

1. はじめに

今秋、大阪都心の中之島地区に新しい鉄道「中之島線」が開業する。当路線は、中之島西部の玉江橋付近から京阪天満橋駅に至る延長約2.9kmの地下鉄道であり、中之島地区の再開発進展に伴い発生する交通需要への対応と、東西方向の交通軸整備による公共交通ネットワークの充実のために建設された。中之島地区には新たに4つの駅が誕生し、京阪電車が国際観光都市である京都まで直通運転を行う。

中之島線の地下駅舎やトンネルなどの鉄道施設の建設と保有は第三セクターである中之島高速鉄道(株)が、路線の営業は京阪電気鉄道(株)が担当する。工事は平成15年度に本格着工し、今般、鉄道施設が完成し、営業運転開始の運びとなった。

本稿では、地下駅舎とトンネルの掘削工事の概要について紹介する。

2. 路線計画の概要

路線ルートや駅位置については、開発の計画が進められている中之島西部地区や公共施設へのアクセス性、効果的な交通ネットワークの構成、工事の施工性や用地確保などを考慮し、現在の計画が採用された。(図-1)

平面的には、中之島駅～なにわ橋駅間で中之島北岸の東西方向の道路区域(中之島通り)および公園、

河川区域等の公共用地を通っている。なにわ橋駅～京阪天満橋駅間では、中之島東端付近の中之島公園内から島外へ向けて土佐堀川の河底下を斜めに横過し、対岸の天満橋駅につながる。

縦断的には、既存の大阪市営地下鉄3路線(四つ橋線、御堂筋線、堺筋線)の下部を通過するため、中之島駅以外は比較的深い駅となっており、最深部であるなにわ橋駅では掘削深さが約G.L. - 34mである。また、なにわ橋駅～京阪天満橋駅間では、天満橋駅が半地下構造で比較的浅く、交差する地下鉄堺筋線が深いことや、土佐堀川の河底とトンネルとの離隔確保の必要性から、鉄道としてはやや急な4%の最急勾配となっている。

京阪本線と接続する天満橋駅には、この駅を始点として京都方面へ向かう2本の線路があり、これを活用して新線を接続した。ただし、新線と既設の淀屋橋行き線の位置関係から、まず既設線を付け替え、その後新線の接続工事を行った(図-2, 図-3)。営業中の地下線に近接しての工事であったが、列車運行に影響を与えることなく工事を完了している。

なお、京阪本線終端である淀屋橋駅からの中之島線の整備については、すぐ西側に地下鉄御堂筋線の構造物がほぼ同じ深さにあり、そのまま西へ線路を延伸することが難しいため、現計画を採用した。

3. 施工方法と現場状況

中之島線の地下駅舎と駅間トンネルの完成イメージを図-4に示す。

地下駅舎は、列車の走行空間に加え、旅客乗降のためのプラットホーム、改札やコンコース、駅務諸室、空調機等の電気・機械設備の設置スペースが必要である(図-5)。このため、地下2～4層箱形構造の鉄筋コンクリート造とし、地上から地盤を掘り下げていく「開削工法」により施工した。



* Motonori NAGATAKI

1962年1月生
京都大学工学部土木工学科卒業(1986年)
現在、京阪電気鉄道株式会社 鉄道事業部 建設課長
TEL : 072-843-3770
FAX : 072-843-3704
E-mail : nagataki-m@keihan.co.jp

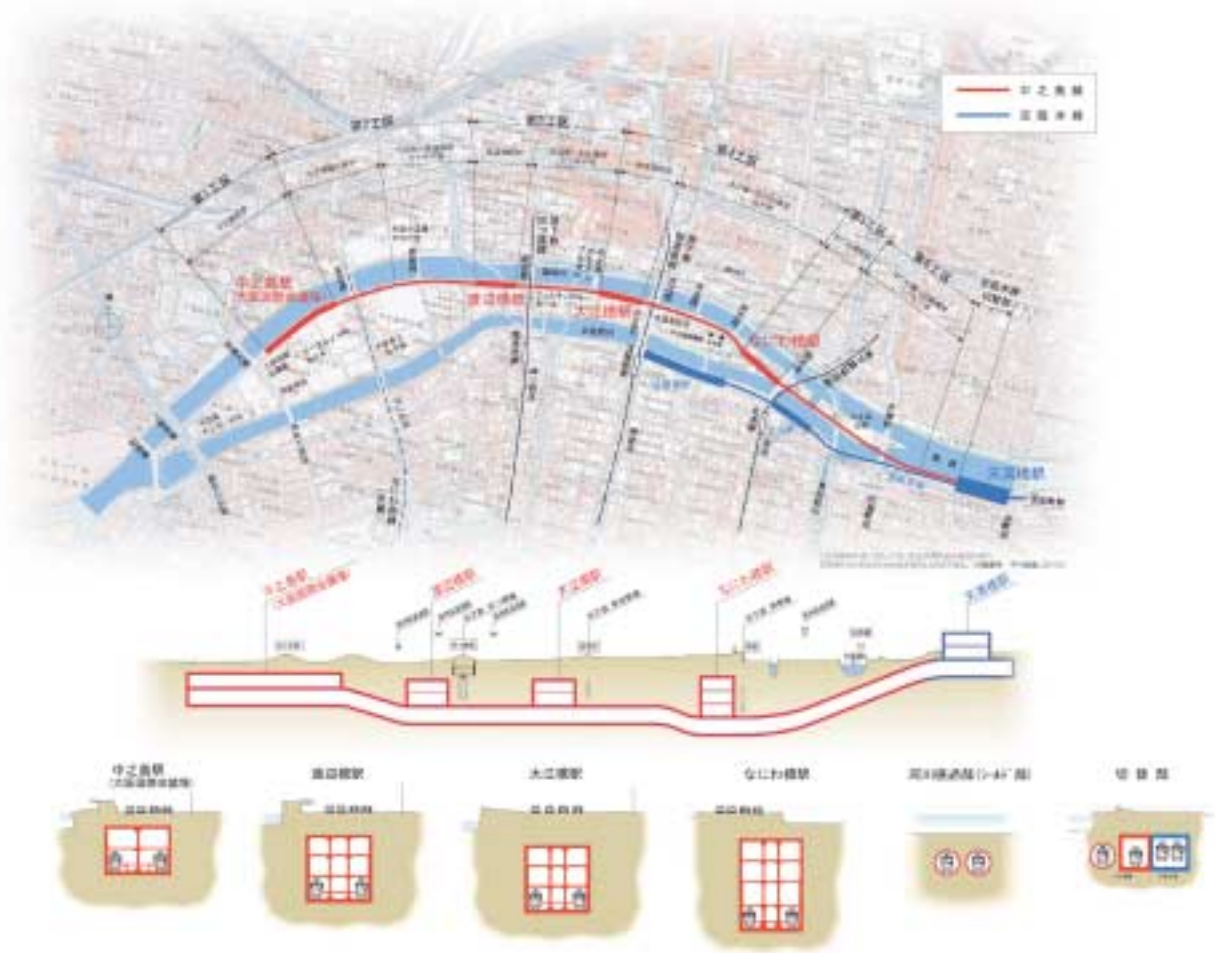


図1 路線概要図



図2 線路配線図(京阪本線切替と新線接続)



図3 京阪本線切替部施工順序図

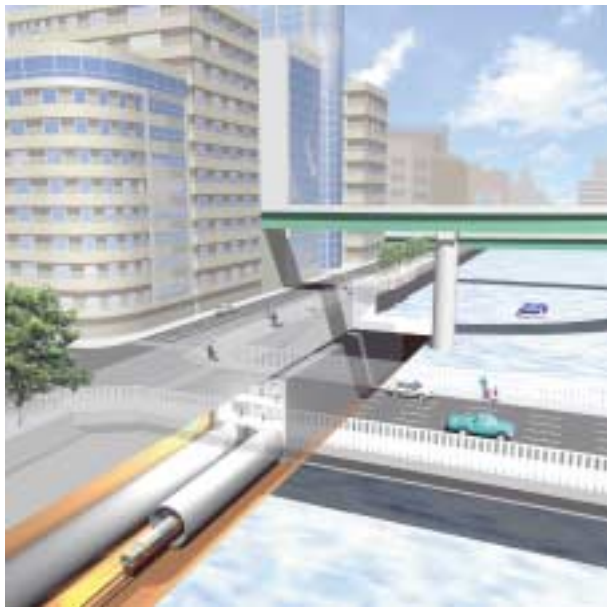


図4 地下駅舎と駅間トンネルの完成イメージ (渡辺橋駅付近)

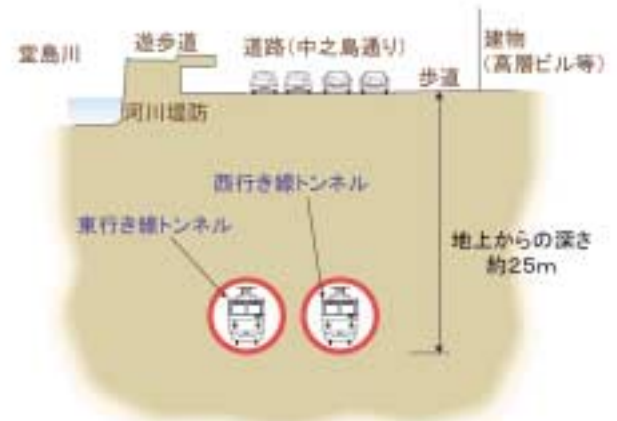


図6 駅間トンネル横断面図(渡辺橋駅~大江橋駅間)

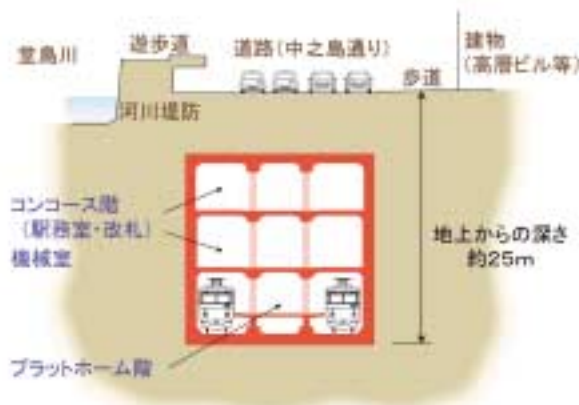


図5 地下駅舎横断面図(渡辺橋駅)

また、駅間トンネルについては、西行き線および東行き線の各々の列車走行空間として、2本の円形断面の並列トンネルを設けた(図-6)。施工については「シールド工法」を採用し、シールドマシンと呼ばれる円筒状の掘削機により地中を横方向に掘り進んだ。

これらの施工方法は、地下鉄道の建設工事では一般的なものである。しかしながら、今回の工事区域は、両側を河川と高層ビル等の建物に挟まれた交通量の多い道路下であり、橋梁の橋台や既存地下鉄との近接や交差、河川との浅い位置での斜め横過もある上に、現地地盤は軟弱な粘土層や地下水の豊富な砂礫層が混在するなど、より慎重な施工を要する現場条件となっている。

4. 地下駅舎工事

(1) 開削工法の概要

開削工法は、地下構造物を構築する際に、地上から所定の深さまで地盤を掘り下げて工事を行う方法である。今回は下記の手順で進めた(図-7)

中之島線の各駅は、概ね河川に近接する道路・公園区域に位置しており、まず、工事に着手する準備として地上の道路・公園・河川施設や地中のライフライン施設等を撤去・移設する。次に、掘削時の周辺地盤の崩壊防止のために、あらかじめ掘削範囲を取り囲むように土留壁と呼ばれる仮設壁を造成する。

バックホウ等の重機で掘削する。掘り進むにつれて、周辺地盤から土留壁にかかる土圧を支えるために支保工と呼ばれる鋼材を設置する。掘削した土砂は、土運船やダンプカーで大阪北港の仮置き場に運搬集積し、さらに海上輸送で関西国際空港二期工事等の埋立地へ搬入した。



図7 開削工法施工手順

所定の深さまで掘削が完了すると、鉄筋コンクリートで箱型の地下駅舎躯体を構築する。鉄筋を配置し型枠を組み立て、コンクリートを流し込んで養生し、下床版、壁・柱、上床版の順に作業を進めていく。

地下駅舎躯体の上部を埋め戻す。また、地上への出入口工事や道路・河川の諸施設の復旧工事を行う。

(2) 地下水への対応

掘削工事において注意を要する事項の一つに地下水への対応がある。これは、躯体構築作業時にドライな施工空間を確保するためだけではなく、安全な施工に必要な土留壁の設計にも大きく関係する。

中之島地区の地盤は、海底で形成された軟弱な粘土層(土粒子が細かい)と硬い砂礫層(土粒子が粗い)により構成されている(図-8)。砂礫層は土粒子の間の空隙が比較的大きく、そこに地下水が存在し高い透水性を有している。この地下水は単に溜まっているだけではなく、地表面近くの水面高さに相当する水圧を持っており、供給量も豊富である。

地下水への対応としては、工事前の深井戸で揚水し、地下水位を下げながら工事を行う方法もあるが、かつて大阪では、地下水のくみ上げにより地盤沈下を起こしたこともあり、今回は遮水性を持つ土留壁を採用し、掘削現場内に地下水を湧出させないようにした。

また、掘削を行うと、掘削底面では地盤の荷重が除荷されるため、土圧や水圧のバランスが崩れ、掘

削底面が膨れ上がったり(盤ぶくれ)、地下水の湧出により掘削底面が崩壊(ポイリング)し、周辺地盤の沈下や掘削現場自体が崩壊してしまう恐れがある。このため、掘削底面から十分な深さにある透水性の低い粘土層まで土留壁を造成して側方と下方からの地下水圧の影響を絶ち、掘削底面下部からの地下水圧の影響を抑える必要がある。これらの検討の結果、中之島駅から大江橋駅までの各開削部では経済的なSMW(ソイルミキシングウォール)工法を採用し、掘削深さ約G.L. - 16m ~ G.L. - 25mに対し、土留壁をG.L. - 40m付近の粘土層(Ma12)まで造成した(図-8)

SMW工法は、攪拌翼のついた3本の軸(錐)を持つ施工機を用い、地中の土とセメントミルク(セメントを水に溶かし粥状にしたもの)を練り混ぜて円柱の連続体(ソイルセメント)を造成し、補強のため円柱内にH形鋼を挿入したものである。今回の工事ではSMW工法の施工機を改良したUD-HOMET工法(図-9、写真-1)も使い、従来よりも高精度の土留壁施工を実現している。この工法は錐を駆動させるモータが錐の先端に近いので、動力伝達ロスが少なく低騒音で、錐の固定軸部分に取り付けたセンサーで削孔時のリアルタイム計測が可能であること等により、削孔精度をより向上できるものである。

一方、なにわ橋駅については掘削深さが約G.L. - 34mであり、盤ぶくれに対する安全を確保するためにはG.L. - 78m付近の粘土層(Ma11-1層)まで土留壁を造成する必要があった(図-8)。土留壁にかかる土圧、水圧や施工精度等において前述の

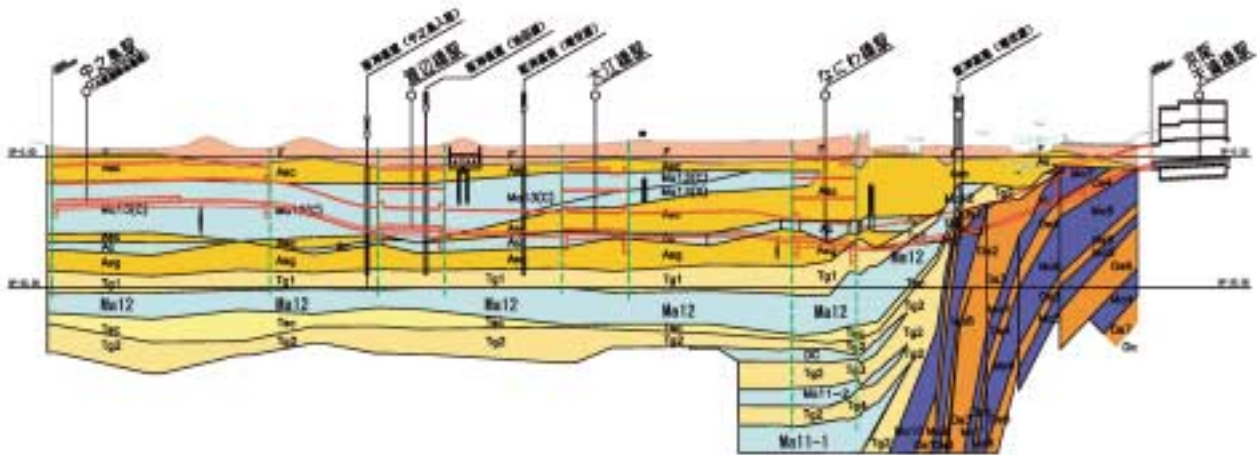


図8 路線縦断面方向の地盤概要図 (Ma: 粘土層, Tg: 砂礫層, 淡色破線が土留壁施工位置)



図9 UD-HOMET工法



写真1 UD-HOMET工法施工機

SMW工法の適用範囲を超えているため、SC地中連続壁工法を採用した。

これは、厚さ1.1mのコンクリート壁に芯材として大型のH形鋼(H-800×300)を0.48mピッチで配置するもので、SMW工法で造成するソイルセメントと違い、純然たるコンクリートを使用するため高い強度を有している。施工には、箱型の掘削ユニットを持つハイドロフリーズ掘削機(写真-2)を用い、幅(厚さ)1.1m、深さが約78mのいわば“溝”を掘っていく。溝の崩壊を防ぐため、安定液と呼ばれる濃い泥水のような液体を満たしながら所定深さまで掘削し、安定液の中に芯材となるH形鋼を吊り降ろす。最後に、溝の下部までコンクリートを送り込む管を下ろして、下から安定液と置き換えるようにコンクリートを打設するものである。



写真2 ハイドロフリーズ掘削機

なお、本格的な土留工事に着手する前に、原位置地盤における土留工法の比較検証調査を実施し、これらの工法を決定した。また、各開削部の掘削にあたっては、周辺地盤への影響を極力抑えるよう、FEM解析を用いたシミュレーション等を実施し、その結果を基に、事前に軟弱地盤の地盤改良を行った。

さらに、掘削現場において重大な変状や地下水の異常出水が起こっていないかを常に把握するため、土留壁の変位や支保工にかかる軸力や、また広域に設けた地下水位測定点等の計測データを情報統合するシステムを構築し、現場の挙動を監視した。

これらの事前検討、施工管理により、開削部での掘削工事を順調に進めることができ、極めて良好な

状態で躯体構築作業に取り掛かることができた。

5. 駅間トンネル工事

(1) シールド工法の概要

シールド工法は、円形、多円形あるいは矩形断面を持つシールドマシンを用いて地中を掘り進む方法であり、開削工法のように地上部の掘削を行うことなく施工が可能である。マシンの前面に取り付けられたカッターヘッドを回転させて地盤を掘削し、マシン後部の内側でセグメントと呼ばれるブロックをリング状に組み立ててトンネルの壁とする。マシン自体は防水構造になっており、セグメントについても、組立接合面に水膨潤性の止水シールを取り付けて、地下水の漏水を防いでいる。

今回使用したのは、掘削機本体の直径約7m、長さ約8m、各種設備ユニットを含む全装備重量約300トン以上の円筒状の泥土圧式シールドマシンである(写真3)



写真3 泥土圧式シールドマシン

重工業メーカーあるいは造船メーカー等で工場製作され、一旦仮組立して検査を行った後、再度分割して現場に搬入する。駅の端部に設けた立坑部の地上開口から大型クレーンで部材を吊り降ろし、駅最下階の掘削発進位置で本組立を行う。

セグメントは内径6.2～6.3m、部材厚0.25～0.3mで、1リングのトンネル方向の長さは1.2mで、地盤・土圧条件等に応じてダクタイル鋳鉄製あるいは鉄筋コンクリート製のものを使用した。重要構造物に近接、あるいはトンネル位置が深いことにより

セグメントにかかる土圧が大きい区間では、同じ部材厚でも強度を持たせる設計が可能なダクタイル鋳鉄製を採用し、それ以外の区間では経済的な鉄筋コンクリート製を採用した。

泥土圧式シールドマシンによるトンネル掘削の方法は図10のとおりであり、下記の手順で進める。

まず、シールドマシン前面の地盤に水や薬剤等を注入して泥土状にし、カッターヘッドを回転させる。

施工済のセグメントに反力を取り、油圧のシールドジャッキでマシンを前進させる。同時に、泥土状の土砂はマシン内部に取り込まれ、スクリーコンベアから排泥管を通して、地上の排土ピットまで土砂ポンプで圧送して搬出する。この土砂は泥土化の際に薬剤等を使用しており、産業廃棄物として処分場へ搬入した。

シールドジャッキはマシンの円周方向に20数基装備しており、これらを細かく操作することにより、方向制御を行う。ジャッキ等の操作は、マシンの後方あるいは地上等の制御室に設けたタッチパネルで行う。なお、マシンが前進すると施工済のセグメントがマシン後部から“押し出される”かたちとなり、この時、セグメントの周囲にマシンの外板厚(約5cm)に相当する隙間が生じるが、この部分にはマシンの前進と同時にセメント系の裏込材を充填し、地盤の崩壊を防いでいる。

シールドジャッキを元の位置に縮める。

その後、できた空間にセグメントをリング状に組み立てる。エレクターと呼ばれるトンネルの円周方向に回転する揚重組立装置でセグメントブロックを持ち上げ、人力作業で設置済みのブロックとボルト・ナットで固定する。これらの作業を繰り返してトンネルを構築する。

作業は昼夜2交代制(各8時間勤務)で行い、順調に掘進が進んだ場合、1日に8リング程度(1.2m×8リング=9.6m)の施工を行った。

今回の工事では、4箇所の駅間に対して5台のシールドマシンを投入した。中之島、渡辺橋、大江橋の各駅からは、まず東向きにシールドマシンを発進させて単線トンネルを掘削し、隣駅でマシンを転回させ、もう1本の単線トンネルを施工した。一方、なにわ橋駅～京阪本線切替部間については、工程や

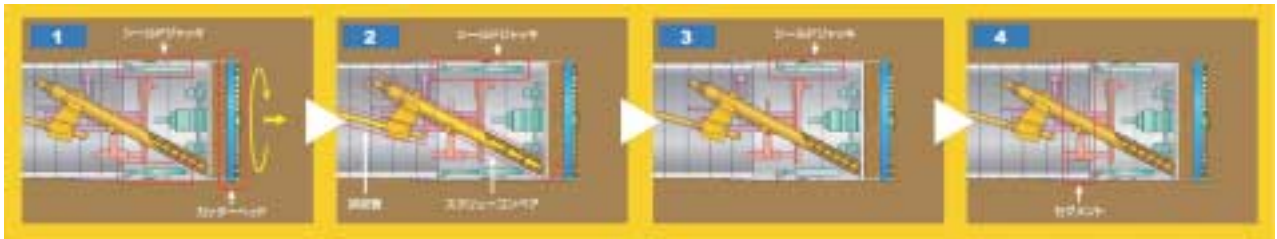


図10 シールド工法施工手順

施工延長，施工条件を勘案し，東向きに2台のシールドマシンを順次発進させて各々1本ずつトンネルを掘削した。

なお、掘削の終わったシールドマシンは、トンネルの最後の部分で“それ自体がトンネル”になる。マシンの外板を残して内部の機器を撤去し、セグメントではなく、現場打ちの鉄筋コンクリートでトンネルの壁を作って工事は完了する。

(2) 掘削管理

シールド工法のメリットは、地上部への影響を小さくできることであるが、そのためにはシールドジャッキ推力等の適切な制御による掘削管理が要求される。

シールドマシンで地盤を掘削する際、前面の地盤は緩んで崩れようとするが、これを押さえるのがシールドジャッキの推力である。推力が強すぎると地盤を隆起させるし、弱いと地盤を沈下させてしまう。また、土質によって“崩れやすさ”も違うため、地盤の特性に応じた最適な推力を与える必要がある。さらに、土砂を取り込みながら掘り進んでいくので、土砂の取り込み量も加味して力をバランスさせなくてはならない。

このため、事前に十分な土質調査を行い、地盤に応じた掘削管理計画を策定するとともに、マシン前面の土圧を正確に把握できるようセンサーの配置を検討したり、土砂の取り込み量をセンサー計測だけではなく、地上の排土ピット等で実測しダブルチェックするなど、掘削管理に必要な情報の精度を高める工夫をしている。

また、シールドマシンによる掘り始めの一定区間では、掘削制御のトライアルを行って当該地盤に最適なジャッキ推力等のデータを収集し、それを基に本格的な掘削を行った。

7. おわりに

工事は順調に進み、昨年10月末には全区間でトンネルが貫通し、その後も予定通り、軌道敷設や電気・設備工事および各駅の内装工事を進めることができた。これも関係者各位のご理解とご支援、ご協力の賜と感謝している。

最後に、中之島線の顔となる駅の内装デザインについて紹介する。

駅の内装については、大阪の文化・ビジネスの中心であり、水都大阪のシンボルゾーンでもある中之島エリアにふさわしいものにするため『水都大阪のゲートステーションの構築 - 水辺への導入空間 -』をテーマに検討を重ね、木材(無垢)やガラス等を主な素材に用いた仕様とすることにした。

ガラスについては、そのきらめきから川面を流れる水を象徴する素材として、木材(無垢)については、公園の木々や街路樹などを表現するのに加え、国際都市であるがゆえに求められる「和」の感覚や、落ち着いた「大人の街」中之島にふさわしい駅を象徴する素材として使用している(写真・4)。また、各駅のホーム対向壁には、それぞれの街を象徴する素材を使用することで、各駅個別の“風景”を演出することとした(写真・5)。なお、今回用いる木材は、薬剤を加圧注入することにより不燃処理を施しており、地下駅舎での使用が実現した。

さて、開業に向けての準備は最終段階に入っており、すでに列車の試運転も始まっている。スケジュール通りに工程が進んでいけば、皆様のお手元に本誌が届くころには開業間近となっているはずである。開業に合わせ、京都まで直通運転を行う快速急行の新造車両もデビューする。中之島線の開業により、大阪のみならず関西経済が大いに活性化することを願っている。

皆様も、どうぞ『水都大阪のゲートステーション』

へお越しいただき、便利になった大人の街，中之島を体感してください。



写真4 木とガラスを内装に用いたコンコース（中之島駅）



写真5 各駅のプラットフォーム対向壁
（中之島：木， 渡辺橋：金属， 大江橋：石， なにわ橋：陶板）