

概要

工事名称：Shatin to Central Link Contract No. 1121-NSL Cross Harbour Tunnels

工期：2014年12月15日～2022年1月31日

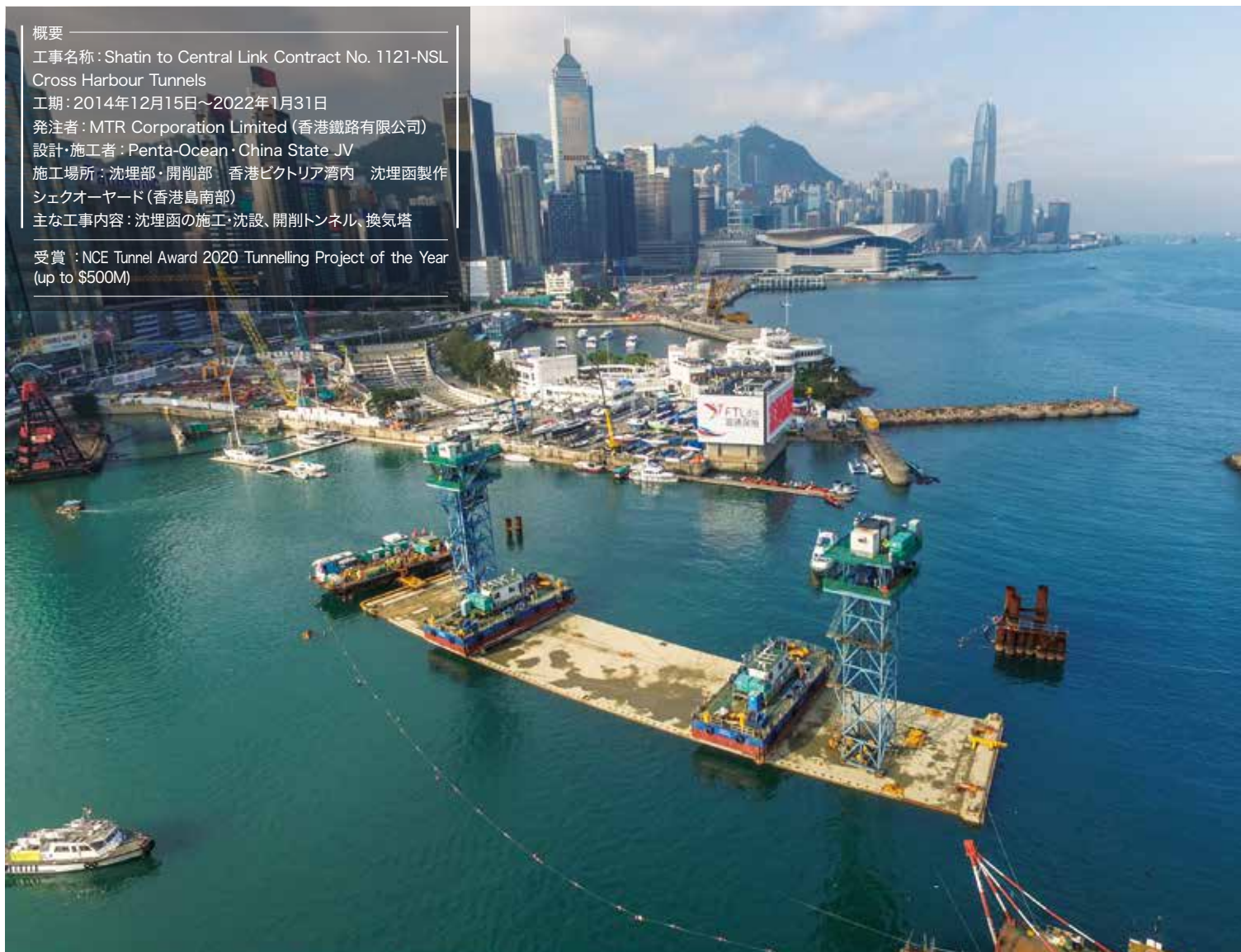
発注者：MTR Corporation Limited (香港鐵路有限公司)

設計・施工者：Penta-Ocean・China State JV

施工場所：沈埋部・開削部 香港ビクトリア湾内 沈埋函製作
シェクオーヤード(香港島南部)

主な工事内容：沈埋函の施工・沈設、開削トンネル、換気塔

受賞：NCE Tunnel Award 2020 Tunnelling Project of the Year
(up to \$500M)



沙田至中環線1121工区海底トンネル 競合ひしめく香港の沈埋トンネル工事 優れた技術提案で受注を勝ち取る

世界各国の建設会社がしのぎを削る香港の建設市場。入札段階から発注者と協議を重ねながら設計・施工の内容を検討するECI方式が採用されたのが、鉄道用の沈埋トンネル新設工事だ。国内外の総力を結集して受注を勝ち取り、この難工事を工期内の完成に導く。

Shatin to Central Link- NSL Cross Harbour Tunnels

MTR沙田至中環線1121工区海底トンネル

2014年8月、発注者である香港鐵路有限公司(MTR)に対する入札前の最終プレゼンテーションの日。当時、香港営業所長を務めていた執行役員、国際部門担当(兼)香港営業所担当の田口治宏らが、背水の陣を敷いて思い付いた技術提案のアイデアを披露する。

発注者側のこのプロジェクトのトップはその説明を聞き終わると、目の前のテーブルを軽くポンとたたき、こう言い放った。「やっと、本格協議に入れるな」。事

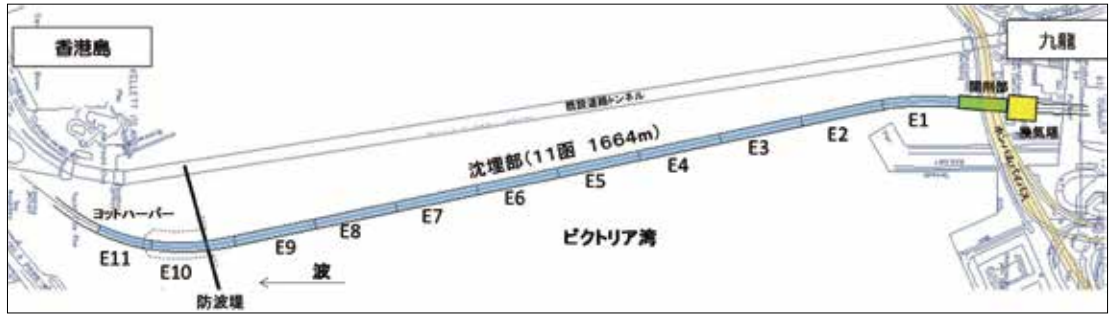
実上、受注を決めた瞬間だった。

◎ECI方式でより良い技術提案を求める

このプロジェクトは、MTRが2022年開通に向け事業を進める地下鉄新線、Shatin to Central Link (SCL：沙田至中環線) 1121工区。香港では約20年ぶりとなる沈埋トンネル新設工事である。請負業者の選定に向け、MTRとしては初となるECI方式が採用された。



11号函の沈設状況



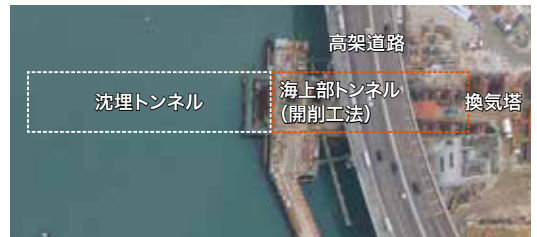
施工区間は、2022年に開通を控えた地下鉄新線の九龍側と香港島側を結ぶ約1.8kmの区間。11函の沈埋函は香港島東南部に位置するヤードで同時に製作し、艀装場所に曳航。そこで、ウインチタワーなど沈設に必要な艀装を施した後、沈設場所に曳航・沈設した

2013年12月、発注者が入札事前審査を開始した段階で入札参加を表明していた建設共同企業体(JV)は6グループ。香港国内では当時、10大インフラプロジェクトが進行中で、世界各国の建設会社がしのぎを削っていた。

審査を経て、入札参加者は次第に絞り込まれていく。求められたのは、香港島側の取付部に関して、MTRが想定していた原案よりコスト・工期面で有利な代替案を示すことだ。

香港島側取付部は防波堤に守られた静穏域。19世紀から続く名門ヨットクラブが運営するヨットハーバーとして利用されていた。MTRの想定では、海域をいったん埋立てて、そこに開削トンネルを築造し隣接工区の既設トンネルと接続したうえで、埋立地を撤去する、という手順だった。ただこの計画では、埋立地を築造・撤去するため、コストがかさみ、工期が長引く。

これに対して優れた技術提案を示すことができるか否か。そこが、受注の成否を分けるポイントであることは明らかだった。



九龍側取付部。写真で示したように、現場の上を横切る高架道路下に仮設構台を構築し、開削工法の締切構造で施工した

◎粘り強く代案を検討、起死回生の案が生まれた

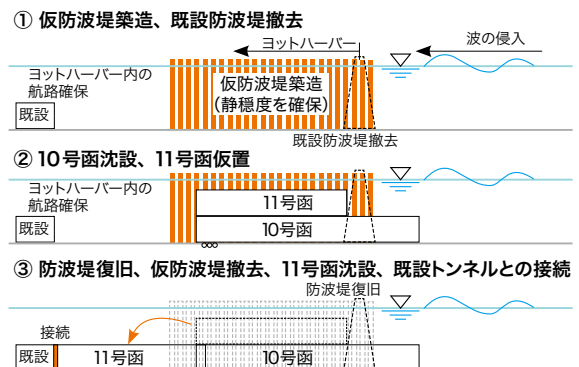
五洋建設は沈埋トンネルに関して日本で多くの実績を重ねてきたが、香港での実績は25年前に1函を製作・沈設したのみで、是が非でも取り組みたい工事だった。そこで当社がJVを組んだのが、中国建築。同社は、沈埋トンネルの実績はないものの、香港国内でMTRが想定していた原案と同じ施工を経験していた。しかも、香港島側取付部の地下で高速道路の建設を受注した経緯があり、ヨットハーバーの所有者と交渉した経験も持つ。「そうした経験を評価し、戦略的に手を組んだ」。田口は明かす。

TEC 01 親亀・子亀方式の採用

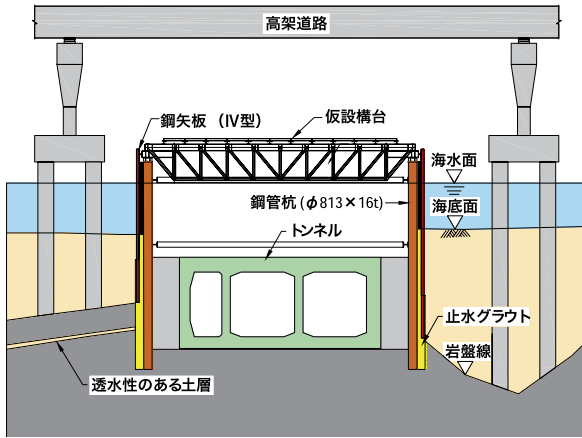
防波堤内に2函沈設する方式を編み出す



上の写真で湾曲している部分が、防波堤。その内部に10号函と11号函をどう沈設するかを検討する中で編み出したのが、親亀・子亀方式だ。手順は、図や写真に示した通り。防波堤の一部をいったん撤去する一方で仮防波堤を築造する。仮防波堤の外側に10号函を沈設し、11号函を子亀のように載せ



る。そのまま10号函をまたぐ形で元の防波堤を復旧する一方で仮防波堤を撤去。11号函を10号函の上から沈設し、既設トンネルと接続する。防波堤の内部を埋立てて、既設トンネルに接続するトンネルを開削工法で築造する当初の想定に比べると、コストの削減と工期の短縮につながった。



縮切構造の断面。岩盤層が浅く、その下に透水性のある土層も含まれていたため、鋼矢板の下にはグラウト材を注入し、土層部分から水が入り込むのを防いだ



沈埋函の製作ヤード。工程上の制約から1年半の製作期間で11函の沈埋函を製作しなければならなかった。使用した生コンクリートは8万m³。施工サイクルの短縮化を図るため、移動式の鋼製型枠を採用している。コンクリートの品質は耐久性・止水性に直結する。製作完了後には水密試験を実施するなど、品質確保には細心の注意を払った

高難度のプロジェクトを技術力と総合力で完工

国際部門の拠点を置くシンガポールや東京本社に応援を仰ぎ、社内体制を整えた。香港で過去に沈埋トンネルの施工などにあった経験者を雇い入れ、香港内での現場経験を取り込むこともした。

当初は発注者の期待に応えられなかった。田口は「発注者の原案は細部まで考えられており、埋立工事に必要な公聴会の手続きも終えていた。コスト・工期面でそれを上回るものはない、とあきらめの気持ちが芽生えていた」と振り返る。

しかし、田口らは代替の検討を続けた。そこで生まれたのが、プレゼンテーションで披露した技術提案である。名付けて、親亀・子亀方式――。

代案の基本は、発注者が想定していた埋立をやめ、香港島側取付部まで沈埋トンネルを延長する、というものだ。これによって、コスト・工期面で優位に立つことができる。

問題は、防波堤で守られているヨットハーバー内の静穏度を維持しながら、既設トンネルに接続する11号函と10号函をどう沈設するか。

防波堤の一部をいったん撤去する一方で仮防波堤を築造し、静穏度を維持しながら10号函を沈設することは可能だが、そのままでは仮防波堤が妨げになって11号函を沈設できない。沈埋函を沈設する順序は、10号函、11号函、と公聴会ですでに決められている。そこは変えられない。

考え抜いた末に思いついたのは、10号函を沈設した後、その上に11号函を仮置きする方式である。10号函の上に11号函を載せることから、親亀・子亀方式と呼ぶ。この方式なら、防波堤を復旧した後、その内側から11号函を沈設できる。

「これなら、いける」。田口は確信した。当初の想定に比べ環境負荷は小さく、公聴会の手続きはいらぬ。プレゼンテーション以降、発注者との協議はほとんど拍子に進み、4カ月後にあたる2014年12月には受注を決める。受注額は、香港営業所にとって過

去最大の額に上った。

沈埋函は計11函。1号函から10号函までは共通で全長156m、11号函だけ短めで104m。総延長は、香港島側取付部とその反対側にあたる九龍側取付部を結ぶ1664mに及んだ。沈設手順は10号函を沈設し、11号函を仮置きした後、1号函から順に7号函まで沈設。この段階で仮防波堤の撤去、防波堤の復旧を完成し11号函の沈設、8、9号函の沈設を行った。この沈設手順となったため、最終継手は9、10号函の間と、11号函と既設トンネルとの間の計2カ所で施工することになった。

● 砕石均し機の開発・利用と止水がポイント

現場を取り仕切ったのは、国際土木本部土木事業部の大石英一である。着工時に、まず驚いたことがあった。現場事務所はすでに発注者が用意してくれており、なんと発注者と同じフロアで、なんの仕切り壁もなかった。大石は発注者が公約していたパートナーリングを目にし、心が引き締まる思いがした。

大石は、沈埋函を据え置く直接基礎を築くための砕石均し機の開発・利用と、香港島側取付部やその対岸にあたる九龍側取付部などでの水のコントロール、つまり止水が施工上のポイントになると踏んでいた。

直接基礎を築く形式は、当初設計では耐震性が十分に担保できないため当社側で提案したものだ。同時に提案した砕石均し機は、砕石を投入するホッパーを前後左右に移動させながらマウンドを造成するものだ。日本で採用している沈設方式は、ジャッキを沈埋函に取り付けるため、設置した後でも高さが調整できる。しかし香港では沈埋函をそのまま据付けるため、高さは調整できない。いわば一発勝負である。均し作業には±40mmの精度が求められたものの、水深は約30mと深く潜水作業は困難、海底には勾配もある。

土木本部船舶機械部の松澤享は、「GPS（全地球

測位システム)などを用いて均し機の高さや傾きをリアルタイムで監視しながら、その動きを制御した。均し機を移動させるときには、築造したマウンドを乱すことなく真っすぐ上に持ち上げるように気を使った」と振り返る。

◎岩盤下の土層はグラウト材で水を止める

一方、九龍側取付部は香港島側とは異なり、開削工法の締切構造で施工する。そこに水が入り込まないように万全を期すうえで問題になったのは、地盤条件である。

施工箇所は岩盤層が浅く、その下には透水性のある土層が含まれていた。そのため、鋼矢板は岩盤層の上までしか到達せず、その下にある土層から水が入り込む恐れがある。そこで、岩盤層の下にはグラウト材を注入し、そこから締切構造内に水が入り込むのを阻止した。

締切内の掘削をするにあたっては、最接近点が3mしか離れていない高架道路橋脚への影響を抑えることが求められた。対策として、鋼矢板内側に鋼管杭を岩盤層内に打ち込み、堅牢な土留め構造とした。橋脚の変位については、発注者との協議の結果、水平方向に10mm以上動いた時点で工事を中断して対策を立てる、というルールが定められた。

橋脚の挙動を把握するため、30カ所以上の測点を橋脚に設け、自動追尾式のトータルステーションで24時間観測し続けた。

掘削深度が岩盤層に近づいたある日、観測結果が9mmに達した。「このままでは工事が止まってしまう」。

香港営業所の和泉敏幸は観測データを前に青ざめた。工事を止めないために何かしらの対策を立てなくてはならない。

本社土木部門に即座に事態を報告し、対応策を検討した。その結果、鋼管杭と橋脚の間にグラウト材で壁を築くことで、橋脚の挙動を止めるという対策を講じ、難局を乗り切った。「本社土木部門に相談を持ち掛け、その支援を受けながら、グラウト材を用いる対策に行き着いた。エキスパートの支援で安心感を持って挑めた」。和泉は明かす。

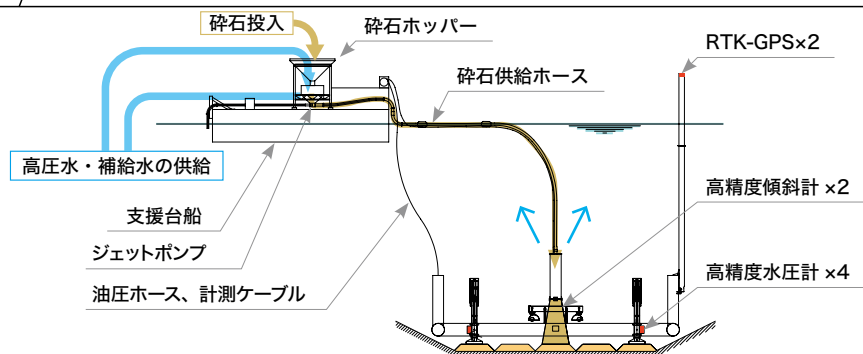
一方、香港島側取付部で止水を徹底するにあたって問われたのは、11号函と既設トンネルの間に設置する最終継手の底版部分を構成するコンクリートの質だ。海中で打設するコンクリートの質が悪いと、水が漏れる恐れがある。

この工区を担当した土木本部土木設計部の新明克洋は、打設に慎重な姿勢で臨んだという。海中での打設でもコンクリートと海水が混ざらず、全体に満遍なく行きわたるように、試験施工を繰り返した。万が一不良があった場合の対策について、本社土木部門からの知恵も借りた。施工結果は非常に良好で、確実にトンネルをつなぐことができた。

大石が課題に挙げていた難所を乗り越え、工事は2020年夏時点で終盤を迎えつつある。このプロジェクトの意義を、田口はこう総括する。「現地の職員を含め、現場に携わるスタッフが知恵を出し合い、日本国内の土木・建築両部門とも連携し、工事を進めてきた。結果として、当社でスローガンに掲げる臨海部と海外での強さを打ち出すことができた」。

TEC 02 基礎マウンドの機械化

出来形管理と工期短縮へ、砕石均し機を開発



この現場では耐震上の理由から、沈埋函の据え置きに直接基礎方式を採用した。砕石で基礎を築いた後は、そこに沈埋函を据え置くだけ。高さは調整できない。そのため、精度の高い出来形管理が求められる。また工程上の制約から、基礎工の期間はできるだけ短縮する必要があった。そこで開発したのが、写真のような、砕石の投入と敷き均しを同時に進められる

砕石均し機だ。精度の高い出来形管理には、均し機の位置、高さ、傾きを、正確に把握することが欠かせない。そこで本体に各種の計測機器を設置。遠隔制御でも±40mmという精度の高い敷き均しを実現した。また図に示した仕組みで砕石の投入と敷き均しを同時に行うことで、これらを別々に行う通常の方式に比べ、施工日数を5分の1程度に抑えた。