



概要
 工事名称：東京港臨港道路南北線沈埋函（4号函・5号函・6号函）製作・築造等工事
 工期：2017年4月13日～2020年5月29日
 発注者：国土交通省関東地方整備局
 施工者：五洋・東洋・新日鉄住金エンジニアリング
 施工場所：東京都江東区青海地先
 主な工事内容：沈埋函の製作・沈設、設備工、電気室棟建築
 受賞：キーエレメント工法：第11回国土技術開発賞最優秀賞（2009年）、国土技術開発賞20周年記念大賞（2018年）、クラウンシール継手：平成16年度土木学会技術開発賞（2005年）

東京港海の森トンネル

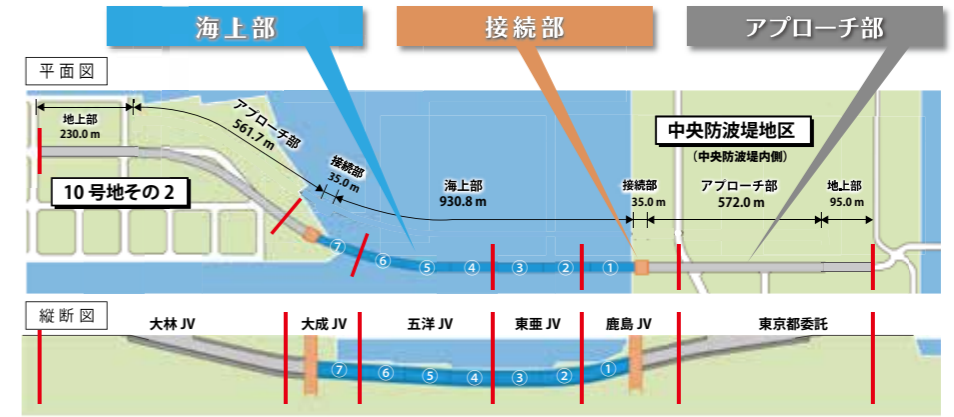
2020年6月までの開通目指し土木・建築で協業 通常の半分の工期で最終函まで精度良く沈設

東京港海の森トンネルは東京・有明と中央防波堤地区との間を結ぶ延長約930mの沈埋トンネルだ。同地区に整備中だったコンテナターミナルの貨物輸送需要に対応するため、内陸側との間を結ぶ2本目の道路として計画された。工期は非常に厳しく、2020年7月に開催予定だった東京オリンピック・パラリンピックまでの完成が必須だった。

最大の課題は、約4年という短い工期内で工事を終わらせるにはどうするか、という点だった。東京臨海部の有明地区と中央防波堤地区を、海を隔てて結ぶ延長約2.5kmの東京港臨港道路南北線（以下、南北線）。整備の狙いは円滑な物流の確保、慢性化した渋滞の緩和だが、それだけではない。計画当時、第32回オリンピック競技大会（2020/東京）・東京2020パラリンピック競技大会（以下、東京2020大会）が2020年7月に開催される予定だった。中央防波堤地区内には、馬術やボート・カヌーの会場がある。大会を円滑に運営し成功に導くうえ

でも、この道路は欠かせない。沈埋トンネル部分は約930mに達することから、工期は通常8～10年に及ぶ。これでは東京2020大会に間に合わない。通常の数倍にあたる急速施工が求められた。

◎2020年6月開通をブランド技術で実現
 この難題の解決のため、国交省による設計段階から五洋建設が保有する豊富な経験を通じて培った技術を提案、採用に至り実工事に取り組んだ。まず工期短縮を狙って採用されたのが、沈埋トンネル

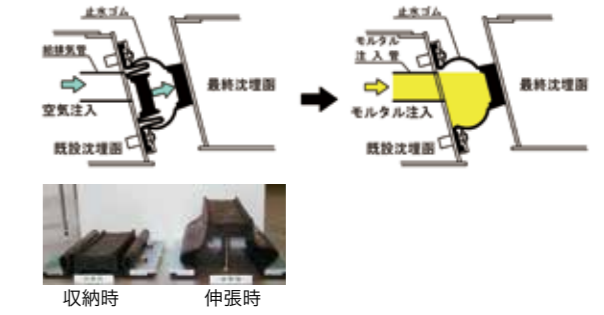
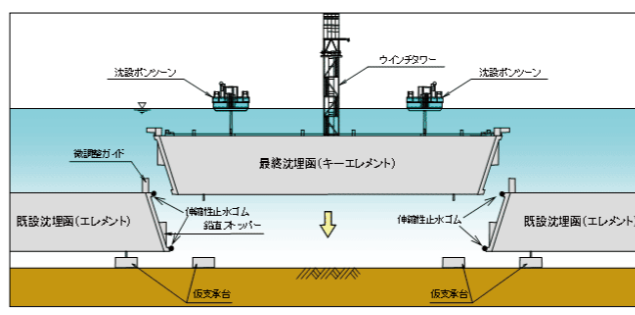


当社JVで請け負った工事の範囲は、沈埋函4・5・6号函の製作・築造のほか、沈埋トンネル全体の耐火・内装板工、アプローチ部まで含めたトンネル設備工、主副電気室棟の建築工、と多岐にわたる

技術の集大成ともいえる最終継手不要のキーエレメント工法である。当工事では、5号函と7号函の間に最終継手の役割を兼ねる6号函を沈設することで、トンネルを1本につなげる。沈埋函の全長は国内最長の134mに設定され、函体の数は計7函に抑えた。これだけの規模を持つ沈埋函を、水深20mを超える海底に高精度で沈設するには、高度な施工技術が欠かせない。このトンネルで採用されたキーエレメント工法は、規模の大きな沈埋函を最終継手代わりにする工法であることから、線形確保に向け、ミリ単位の沈設精度が要求される。そこで求められるのは、最終函であるキーエレメントの製作出来形を、立坑や先行して沈設するほかの沈埋函の出来形を踏まえて決めることだ。延長誤差はまず、この段階で吸収を試みる。工区は4つ。ほかの3工区を担当する共同企業体（JV）との連携が欠かせない。そのため、「沈設精度協議会」の設置を提案し、その仕組みを最大限に活用した。さらにキーエレメントの沈設時には、両サイドに隣

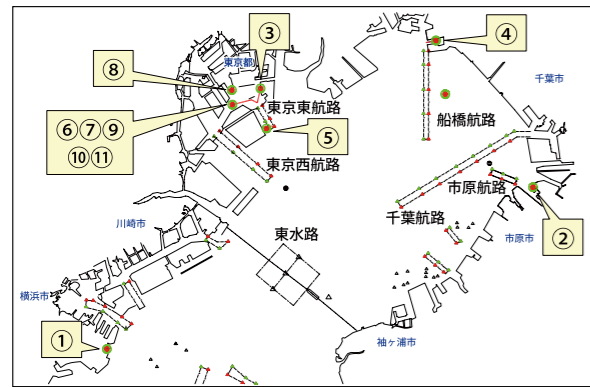
り合う沈埋函は据付済み。土木営業本部土木プロジェクト部の段塚隆雄は「既設函があるため、ほかの沈埋函より高い据付精度が要求される。既設函の四隅との間が均等になるように、5号函と7号函の間ど真ん中に据付けなければならない」と、施工の難しさを説明する。さらに機器を用いた測量や潜水士による直接測量を基に、据付位置をジャッキ操作によって調整・確定させていかなければならない。沈設後には、キーエレメント工法で延長誤差を吸収する役割を担う伸縮性止水ゴムの作業が待つ。ゴムを膨らませ、止水を確認したら、ゴム内部の空気を無収縮モルタルに入れ替え、硬化させるのである。仮設の工程とはいえ、失敗の許されない一発勝負。モルタルの流動性を見るための事前実験、手順の周知、施工時のチェック体制などが不可欠だ。本番の手順は、伸縮性止水ゴムの成否を分ける。段塚はその周知の必要性をこう説く。「最初は水圧内でゴムを膨らませるため、空気を高圧で送る。次にその空気を逃がしながら、そこにモルタルを注入していく。パルプの開け閉めがカギを握ることになるため、

TEC 01 キーエレメント工法 工期短縮へ、最終函に最終継手を兼ねさせる

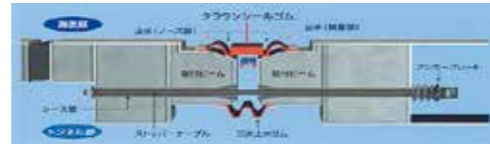


沈埋トンネルで最終継手を不要にすることで工期短縮を図る工法。従来、最終函を沈設してから、既設函との間を止水パネルやVブロックといった最終継手でふさいできた。キーエレメント工法では最終函が最終継手を兼ねることで、これらの工程を省くことができる。この最終函を「キーエレメント」と呼ぶ。ただ、規模の大きな沈埋函でトンネル全体の精度を

調整する必要があるため、線形管理と延長管理が欠かせない。また最終函そのものにも高い沈設精度が要求される。その沈設後に生じる延長誤差は、両サイドの既設函側に取り付ける伸縮性止水ゴムで吸収する。図と写真で示したように、中空構造の内部にエアを入れて最終函に圧着し、止水を確認したら無収縮モルタルに置き換え、仮設の止水構造を造る。



- ①②: 鋼殻製作場所
- ③④: 浮遊打設および二次艤装ヤード
- ⑤: 沈埋函置き場所
- ⑥⑦: 沈設場所 (海上と函内)
- ⑧: 艤装品等置きヤード
- ⑨: 10号地側主電気室棟
- ⑩: 中防側副電気室棟
- ⑪: 南北線航行安全情報管理室



クラウンシール継手の断面。2つの鋼殻ブロックをストッパーケーブルでつなぎ、クラウンシールゴムや二次止水ゴムで止水する。地震や沈下などの外力が働いた場合、この継手部分に変位に追従することで、トンネル本体の損傷を防ぐ

工期が限られていたことから沈埋函の製作期間も短縮を図るため、作業場所を分けて複数箇所でも並行して進めた。千葉県市原市と横浜市内のドックで鋼殻を組み立て、東京湾内2カ所のふ頭に曳航してコンクリートの浮遊打設や艤装工事を済ませ、沈設場所まではそこから曳航した。施工場所は図中の11カ所に点在したため、工事関係者の情報共有や作業調整に努めた

沈埋トンネルのブランド技術を総動員し短工期で完成

その手順を徹底しなければならない。

伸縮性止水ゴムと同様、独自に開発した大変形追従継手「クラウンシール」も採用され、立坑近くの函体に取り付けられた。通常、函体同士は剛継手構造で連結される。ところが地震や沈下など外力を受けると、剛継手はそれに抵抗するため、トンネル本体には大きな断面力が作用し、損傷を受けかねない。クラウンシールは、それを防ぐものだ。

この継手は、函体を構成する鋼殻ブロック2つを、隙間を空けてクラウンシールゴムやストッパーケーブルなどの部材でつなぎ合わせる。外力を受けると、函体が軸方向とせん断方向に動くことで変形に追随する、という造りだ。

このクラウンシールを千葉県市原市内のドックで製作した4函に組み込んだ。洋上風力事業本部建設部の桑原直樹は「ドックには最大吊り能力300tの門型クレーンが備えられている。鋼殻ブロックをクラウンシールでつなぎ合わせる作業にこの設備を生かした」と話す。

●短期間ながら精度の高い施工で臨む

沈埋函は、全国10カ所の工場で作成した部材を市原市内と横浜市内のドックに集約し、鋼殻の組立まで並行して進めた。これも工期短縮のための取組の一つだ。組立を終えると、東京湾内2カ所のふ頭に曳航し、製作期間の短縮を図るため、海上に係留したまま高流動コンクリートを打設する「浮遊打設」でコンクリートを充てんする一方、沈設に必要な設備を取り付ける艤装工事を進めた。

「鋼殻の製作段階で艤装工事を一部先行して進めることで、艤装工事を切り詰めることができた」。洋上風力事業本部船舶部の西村行雄は、急

速施工への工夫の一端を明かす。

精度の確保に向け、施工段階でもJV間の連携は不可欠。沈設精度協議会では、3次元シミュレーションを活用し、精度の向上に努めた。段塚は「沈埋函の据付出来形を基に、それ以降の据付位置を3次元シミュレーションで割り出す。それによって沈設精度に関する情報を共有し、修正の必要性を見極めた」と話す。

法線ずれの修正には国内初となる函外ジャッキ方式を採用した。函外に設置したジャッキで沈埋函の方向を修正し、一定の範囲内に収めるというものだ。

修正の対象は、法線ずれが75mmを超える場合と最終函であるキーエレメントの両サイドとなる5号函と7号函の法線ずれが50mmを超える場合だ。計測の結果、5号函と7号函の法線ずれが基準を上回ったため、函外ジャッキで5号函の向きを修正した。最終的には、キーエレメントの法線ずれは、わずか17mmに抑えられた。

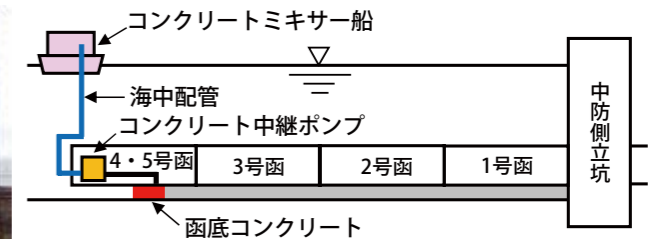
沈埋函の据付を終えると、残された期間内で内部構築工事や設備工などを進めた。まず函体のフタにあたるバルクヘッドや、水をためて据付時の重りとして用いるバラストタンクの撤去である。並行して函底コンクリートや道床コンクリートを打設していった。

土木本部土木部の阿部哲良は「函内から打設するには1号函側から資材を搬入することになるため、ほかの工区との間で工程の調整が欠かせない。海上からコンクリートミキサー船を利用して打設するのなら、その調整がいらなくなるため、作業を迅速に進められる」と話す。

こうして始まった函内工事は約1年。昼夜兼行で工期内の完成を目指した。さらに効率を高めるため、工区内を一定の大きさに区切って、工種ごとに作業エリアを定める工夫も施した。総括所長を務めた土



鋼殻ブロックの断面。中央は自歩道部で、左右は車道部。この鋼殻の内部に高い流動性と材料分離抵抗性を備えた高流動コンクリートを打設する。車道部の外側にはおもり代わりの水をためておくバラストタンクのスペースがある



函内工事で打設するコンクリートをほかの工区との調整なしに沈埋函に供給できるように、コンクリートミキサー船を用いた。さらに函体のフタにあたるバルクヘッドや水をためておもりとして用いるバラストタンクの撤去を夜間作業に回すことで、函内作業の工程を短縮した

木本部の羽田宏は「昼夜作業しない限り、工期を守ることは不可能だった。作業員のモチベーションを落とさないように、昼夜の連携確保に努めた」と、苦労を振り返る。

●建築部門とも連携しコロナ禍を乗り越える

国土交通省関東地方整備局では工区を4つに分け、沈埋函の製作・沈設を発注したが、設備工や建築工、舗装工などの後続工事は各工区に追加し、分離発注で生じる受注者間調整などの工程ロスを省いた。

さらに当社は他工区の設備工事も含めて一括で引き受けたため、建築・設備職の職員も確保する必要が生まれた。そこで、現場から働きかけ、東京建築支店や建築本部に協力を要請。建築・設備職の職員も携わった。「工期順守と利益確保が可能になったのはまさに、こうした部門間連携の成果」と羽田は考える。

当社では最終継手工法であるVブロック工法を開発したとき、マリコンの矜持として沈埋トンネルの施

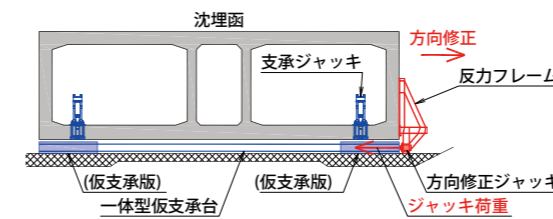
工で実績を上げていくことを目標に掲げた。以降、関連技術は脈々と受け継がれ、ついにはキーエレメント工法として集大成を迎える。そして厳しい工期の設定されたこの東京港海の森トンネルで、それまでに培った関連技術を総動員して工期内の完成を成し遂げた。

「供用開始を予定通りに迎えられ、達成感は大きい。新型コロナウイルス感染症の拡大防止のため工事が一時中断に追い込まれる可能性もあっただけに、なおさらだ」。羽田は感慨深げにこう振り返る。

この工事には、大阪港夢咲、那覇うみそら、若戸の各沈埋トンネルでキーエレメント工法の経験を持つ職員5人が招集され、沈埋トンネルの施工を経験したことのない多くの若手・中堅職員と共に工事にあたった。社内では、その技術継承に向けたテキスト作成も、これら経験者の手によって進む。羽田は「未経験の若手にも沈埋トンネルを身近に感じてもらい、将来の案件受注に備えていきたい」と力を込める。

TEC 02 方向修正ジャッキ

法線ずれ修正に函外ジャッキを採用し工期短縮



法線ずれは従来、既設函との接合部に函内からジャッキを設置して修正してきた。いわゆる函内ジャッキ方式である。これに対して函外ジャッキ方式は、沈埋函の側面に写真のような方向修正ジャッキや反力フレームを設置し、左の図で示したように函体を一時的に支えている仮支承版にジャッキで荷重をかけることによって逆方向に函体を動かし方向修正を加える。潜水作業を伴うもののジャッキの設置・撤去が容易で、かつ函内工事の輻輳を排除できるため、20日程度の工期短縮につながる。下の図のように、このトンネルでは5号函で法線ずれが基準として定めていた50mmを超えたことから、沈設2日後に函外ジャッキ方式で1回当たりの方向修正量の最大値として定めていた50mmの方向修正を加えた。

