

# 東京港海の森トンネル ～沈埋トンネルの確実な接合に向けて～

高橋 和真

関東地方整備局 東京港湾事務所 整備第二課 (〒136-0082 東京都江東区新木場1-6-25)

東京港では、円滑な物流機能を確保するため、東京港臨港道路南北線の整備を実施している。また、東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会期間中の物流機能確保を目的に、開会までの供用開始が望まれている。2019年12月には、一般公募により海底トンネル部分の名称が「東京港海の森トンネル」に決定した。「東京港海の森トンネル」では、限られた工期で確実な施工を行うため、沈埋トンネルにおける新しい技術であるキーエレメント工法を採用し、3次元シミュレーションの活用や発注者、設計者、受注者からなる三者間会議を設置した。本論文では、施工精度確保のための取り組みを紹介するとともに施工精度の結果について報告する。

キーワード 臨港道路、沈埋函、キーエレメント工法、据付精度

## 1. はじめに

### (1) 東京港の概要

2010年、国土交通省は、「大型化が進むコンテナ船に対応し、アジア主要国と遜色ない港湾を整備する」ことを目的に、阪神港と京浜港を国際コンテナ戦略港湾に選定した。東京港は京浜港の一翼を担う港湾である。東京港のコンテナ取扱量は、年々堅調に増加しており、2019年は約511万TEUと、国内コンテナ港湾取扱量の約22%を占めている。また、外貿コンテナに限ると、21年連続で取扱量日本一である。

更なるコンテナ貨物増加への対応を求められる東京港では、中央防波堤外側地区に新たなコンテナターミナル(Y2, Y3)を整備しているところである(写真-1参照)。

一方で、中央防波堤地区と青海・有明地区とを結ぶ唯一の幹線道路である第二航路海底トンネルでは交通混雑が頻発している。コンテナターミナルの整備を含む中央防波堤地区の開発により見込まれる周辺交通量の増大に対応する円滑な物流機能の確保が喫緊の課題である。

### (2) 本事業の概要

東京港湾事務所では、第二航路海底トンネルの混雑を緩和し、背後圏との円滑な交通ネットワークを確保す

べく、有明地区と中央防波堤地区を結ぶ約2.5kmの臨港道路を整備している。本事業は、海底トンネル(東京港海の森トンネル)と、接続部及びアプローチ部からなる(図-1参照)。

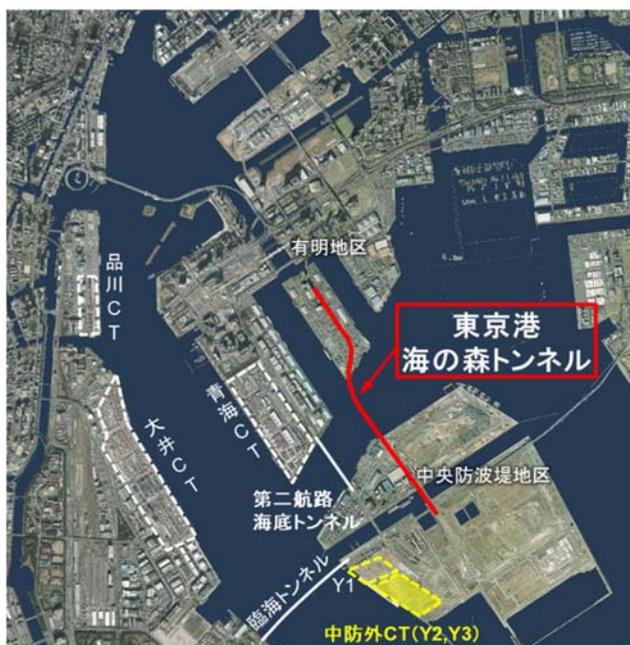


写真-1 海の森トンネル整備位置

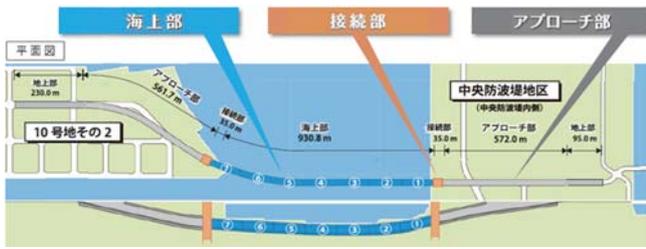


図-1 平面・縦断イメージ図

## 2. 沈埋トンネルの施工手順

海底トンネルの施工はシールド工法と沈埋工法が一般的である。経済性、施工性、工程等を考慮し、本事業においては沈埋トンネル工法を採用することとした。

沈埋トンネルの施工は、沈埋函設置場所を浚渫し、基礎マウンドを築造する。造船所等で沈埋函を製作し、トンネル位置まで曳航したのちに沈設を行う。全ての沈埋函の沈設が完了した後に埋戻しを行い完成。という手順からなる（図-2参照）。

当事業は工程短縮の観点から、日本最長となる1函134mの沈埋函を採用し、全7函の沈埋函を沈設した。沈設は、1号函から5号函まで順に行い、次に7号函、最後に6号函という順番で行った。



図-2 沈埋トンネルの施工手順

## 3. 確実な施工を行うための取り組み

前述のとおり、本事業は東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会開会前までの供用開始を目指すべく、非常に厳しい工期の設定となっている。通常、同規模の沈埋トンネルの整備には10年程度を要するが、南北線は約4年で整備する必要があった（表-1参照）。限られた工期で沈埋函を沈設し、接合を完了させるためには、計画された位置にいかにも早く、かつ、いかに高い精度で沈設するかが求められた。そこで本事業では、最終沈埋函（以下、最終函）の沈設にキーエレメント工法を採用するとともに、3次元シミュレーションを活用し、工程上のマイルストーンとなる最終函沈設への影響を確認した。

また、沈設協議会を設置して発注者、工事受注者、設計者の連携を図った。

表-1 同規模の沈埋トンネル事例

名称 (事業主体等)	場所	沈埋区間長 (m)	工事期間
川崎航路トンネル (首都高速道路公団)	川崎市 浮島～東扇島	1187	9
大阪港咲洲トンネル (国土交通省、大阪市)	大阪市	1025	8
大阪港夢咲トンネル (国土交通省、大阪市)	大阪市	806	9
東京港海の森トンネル (国土交通省、東京都)	東京都	933	4

## 4. キーエレメント工法

最終函の沈設には工程短縮を目指したキーエレメント工法を採用した（図-3参照）。当工法は2007年に初めて施工された新しい技術であり、国内4例目となる。従来工法による施工と比べ約3か月の短縮が可能となる。



図-3 キーエレメント工法

### (1) 工法の概要

従来工法では、最終函沈設後に最終継手工という工法をもってトンネルの貫通を迎える。最終継手工とは、全沈埋函を沈設した後に残る隙間に対して、最終継手と呼ばれるくさび型のブロックをはめ込み接合する工法である。一方で、キーエレメント工法は最終函に計測機器等を備えることで最終継手の機能を持たせ、最終継手工を省略した工法である。

また、従来工法において接合部に使用していたゴムを伸縮性を持ったゴムに変更することで、施工誤差を吸収しやすい構造となっている。

### (2) 施工方法

キーエレメント工法の施工手順を以下に示す（図-4.5参照）。

- ① 垂直に沈降を始め、最終函から支承ジャッキを伸ばし、基礎マウンド上に設置した仮支承台に着底する。

- ② 押出ジャッキと支承ジャッキを伸縮し、位置を微調整する。
- ③ 伸縮性止水ゴム内部にエアを注入して膨らませる。
- ④ 最終函と両既設函の隙間の止水を確認し、伸縮性止水ゴム内部にモルタルを注入する。
- ⑤ モルタル硬化後に支承ジャッキを縮め、最終函の重量を伸縮性止水ゴムに預ける。
- ⑥ 最終函と既設函の隙間の海水を排水し、水圧による接合を行う。
- ⑦ 沈埋函内部から伸縮性止水ゴム周辺の接合部を鋼材により剛結する。

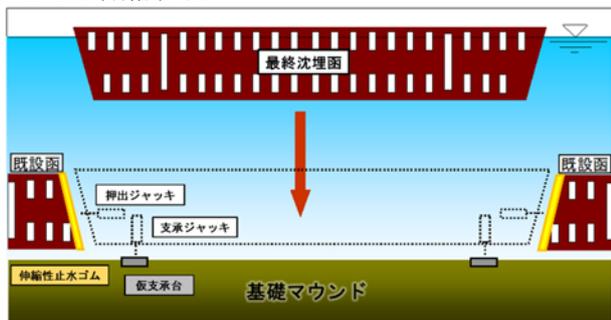


図4 最終函沈設イメージ

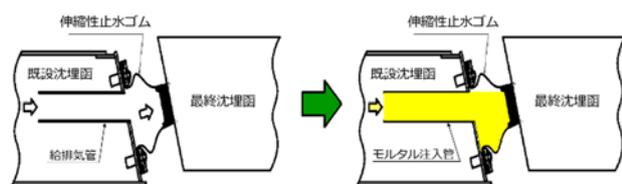


図5 伸縮性止水ゴム

## 5. 沈設協議会の設置

沈埋トンネルでは先行函の据付出来形が、後続函の沈設に大きく影響を与える。そのため、工事関係者による綿密な調整と、確実かつ迅速な意思決定を行うことを目的として、沈設協議会を設置した。協議会には、発注者、設計者、沈設を行う全ての工事受注者が参加した。

沈設協議会では、主に各函の沈設毎に方向修正のルールを策定し、それを基に実施するかどうかを判断した。

方向修正とは、沈設した沈埋函をジャッキで押し、位置を修正するものである(図-6参照)。沈埋函の接合時には、沈埋函の製作誤差、接合部のゴムの品質のばらつき等が原因で計画した法線からのずれが発生する(図-7参照)。方向修正は、このずれが、許容範囲を逸脱し、後続の沈埋函が接続不可となる際に行われる。

### (1) 方向修正実施のルール

「工程上、方向修正を行う回数は極力少なくする。」  
「各函沈設前には3次元シミュレーションを実施し、法線ずれの限界値を定める。」という基本方針の基に、3

つのルールを策定した。

- ① 沈設した函体の法線ずれ量が $\pm 75\text{mm}$ 超過した場合
- ② 各函沈設前のシミュレーション結果により、以下のいずれかが予測された場合
  - 法線ずれ量 $\pm 75\text{mm}$ 超過。
  - 最終函両側(5号函と7号函)の相対的な法線ずれ量 $\pm 50\text{mm}$ 超過。
  - シミュレーションで定まる許容値を超過。
- ③ 方向修正を行う場合、50mmを修正量の上限とする。

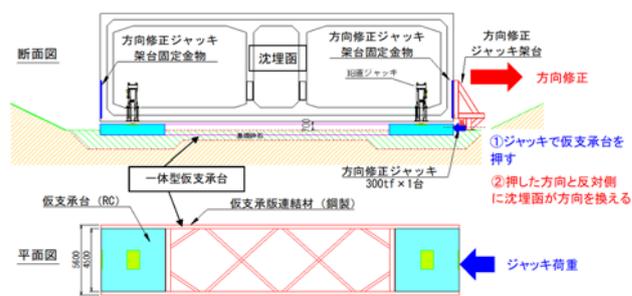


図-6 方向修正

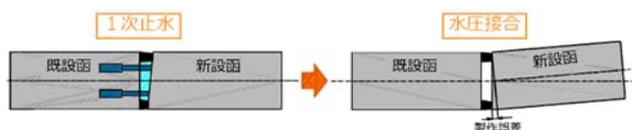


図-7 接合時のずれのイメージ

## 6. 3次元シミュレーションの活用

沈埋函製作時の出来形結果を図化するとともに、各函沈設前後に、先行して沈設した沈埋函の据付出来形を基に3次元シミュレーション(図-8参照)を実施し、将来予測をすることで最終函が接合可能かを確認した。確認にあたり検討した事項は以下のとおりである。

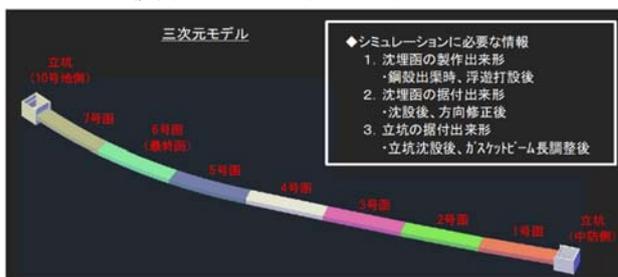


図-8 3次元シミュレーション

### (1) 最終沈埋函の据付位置

据付出来形、製作出来形、球面補正、温度補正を踏まえて延長誤差を確認し、最終沈埋函の据付位置及び伸縮性止水ゴムで吸収可能な範囲であるかを確認した。

### (2) 方向修正実施の許容値の設定

シミュレーションにより最終沈埋函が接続可能であるずれの量(許容値)を設定した。

### (3) 延長誤差を見越した最終沈埋函の加工

通常、最終沈埋函の製作は、先行して沈設する沈埋函の据付出来形結果より長さを決定した後にを行うが、製作期間が長くなってしまい、本事業の工期には適さない。そこで今回は、出来形誤差や据付誤差等を考慮して予め500mm長く製作し、2号函を沈設した直後のシミュレーションの結果により必要函体長を決定した。その結果、函長を375mm切断した。

## 7. 方向修正の実施

1号函から4号函にかけては、計画法線に対する据付精度が-17mmから+51mmとなっており、方向修正は不要と判断した。マイナス側は計画法線に対する西側のずれ、プラス側は東側のずれを意味する。

しかし、2019年4月に5号函を沈設した直後の据付出来形は、6号函側に計画法線から+63mmのずれが見られた。これはシミュレーションにより決定した許容値（-6mmから+44mm）を超えていた。7号函は+12mm～+13mmに据え付けられると予想されており、仮に方向修正を行わず、7号函が予想よりもマイナス側にずれたとき、5号函との相対的な法線ずれ量が±50mmを超えて最終函の接続が不可となるため、沈設協議会において沈設完了から2日後に方向修正を行うことを決定した。方向修正量は、計画法線に近づくようマイナス側に、沈設協議会で定めた限界値である50mmを目標値とした。

2019年5月に7号函を沈設した直後の据付出来形は、方向修正を実施した5号函と7号函の相対法線ずれ量が17mmとなり、7号函の方向修正は不要と判断した（表-2参照）。

表-2 各函の据付精度

沈設順序	沈埋函	据付精度	備考
①	1号函	(東)+51mm	
②	2号函	(東)+30mm	-17mm～+51mmの精度で方向修正必要なしと判断。 (法線ずれ量±75mm以下を確保)
③	3号函	(西)-17mm	
④	4号函	(東)+17mm	
⑤	5号函	(東)+63mm	7号函の沈設が-側（西側）にずれた時、最終函の接続が不可となる。 (最終函両側の相対的な法線ずれ量±50mmを超過)
5号函に方向修正を実施(西に49mm)			
		(東)+14mm	5号函と7号函の相対ずれ量は17mmとなり、最終函(6号函)接続可能
⑥	7号函	(西)-3mm	

## 8. 沈設精度の結果

2019年7月、無事に全7函の沈設が完了した。沈設精度は延長誤差と法線ずれ量で評価することができる。

### (1) 延長誤差

前述のとおり、2号函沈設時に3次元シミュレーションにより6号函の函長を375mm切断した。7号函沈設後の実

測で延長誤差は470mmであり、設計遊間である444mmから+26mm広がっていることが確認されたが、伸縮性止水ゴムが設計遊間から+117mmまで許容可能であったことから、問題なく最終函を沈設することができた。（図-9参照）



図-9 延長誤差

### (2) 法線ずれ量

計画法線からのずれの許容値は±75mmであった。全函の沈設で計画法線からのずれの最大値は+55mmであり、限られた工期の中で確実に沈設精度を確保することができた。（図-10参照）

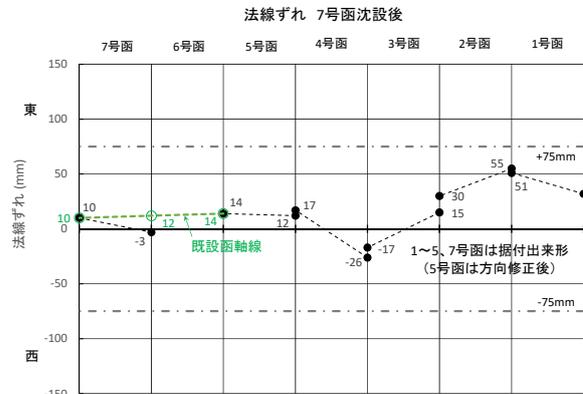


図-10 法線ずれ量

## 9. おわりに

本事業は、施工スピードと施工精度の確保の両立が必要な事業であった。新しい技術を活用するだけでなく、協議会を設けることで、急速かつ確実な施工を実現した。正確な予測を可能とした3次元シミュレーションと、全ての工事関係者が情報共有を行う協議会の設置は、工事の円滑な進捗に大きく寄与しており、あらゆる現場での積極的な採用を期待する。

私は、最終函の沈設作動訓練時に、沈埋函の操作を指揮するウィンチタワーに同乗した。沈設を開始し、逐一報告される計測値に対し、想定した出来形との比較を、発注者、工事受注者ともに確認し、沈設を進める様子を確認した。施工と同時に発注者が出来形確認を行っており、両者の一体感を感じることができた。

本事業は2019年7月に全ての沈埋函を沈設した後、設備工事や舗装工事を進めている。供用開始に向け、すべての工事関係者と、本事業へ注がれた熱意や変わらぬ一体感を継続させ、安全に工事を進めていく。