

東京港の国際競争力向上に資する 海底トンネルの建設

—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—

吉田 誠、浅野 菜穂 (五洋・東洋・新日鉄住金エンジ特定建設工事共同企業体)

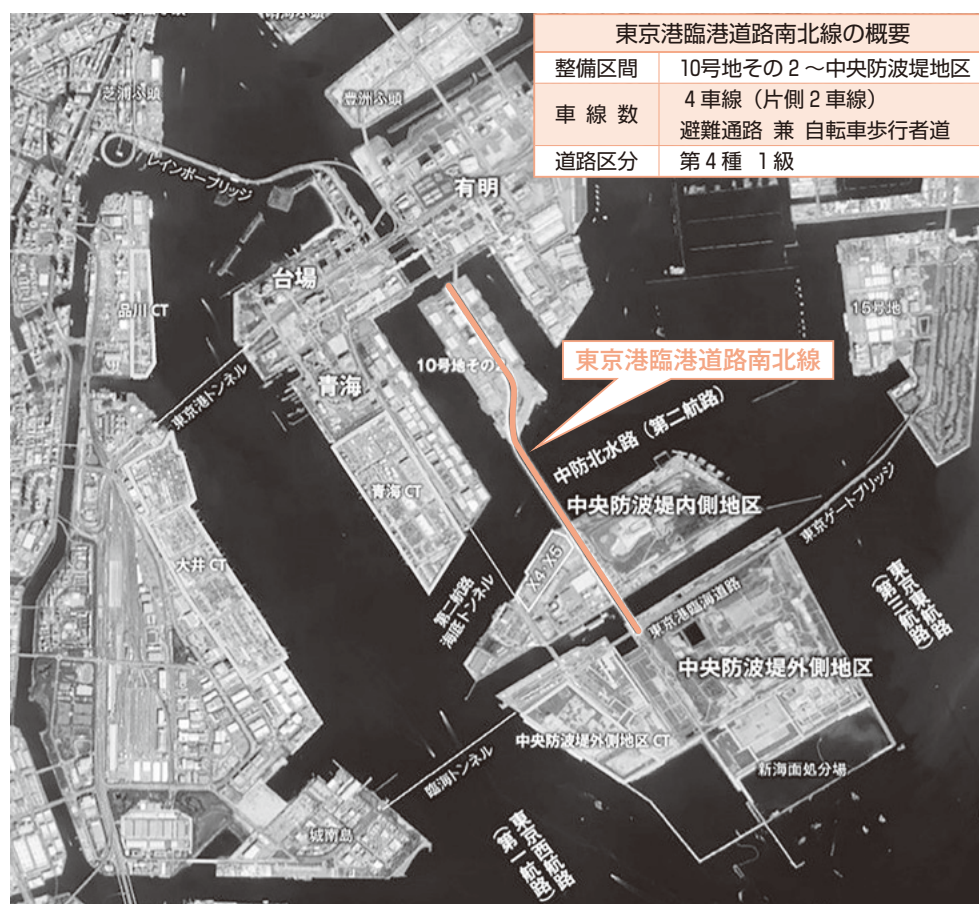


写真-1 東京港全景写真

東京港は2010年に国際コンテナ戦略港湾に選定され、国際競争力強化に向けた整備が進められています。近年、外貿コンテナ貨物量の増加に対応するため、中央防波堤外側地区において新たな国際海上コンテナターミナルの整備が進められています。しかしながら、有明・青海から中央防波堤地区を結ぶ幹線道路は、現在、青海縦貫道路(第二航路海底トンネル)のみであるため、コンテナ車両等の集中による交通混雑が予想されます。

このような状況の中、中央防波堤地区への新たなアクセスルートとして東京港臨港道路南北線の整備が進められています(写真-1)。東京港の南北軸を強化することで、交通混雑を緩和し、港湾関連交通の円滑化や背後圏とのアクセス向上による物流機能の効率化が期待されます。また、2020年の東京オリンピック・パラリンピック開催期間中は大会関係者の輸送ルートとしての活用も想定されています。

1 工事概要

東京港臨港道路南北線（以下、「南北線」と称す）は10号地その2（有明地区）と中央防波堤地区を結ぶ延長約2.5kmの道路を新設する事業です。南北線は海上部（沈埋トンネル）、アプローチ部（開削トンネル）、これらをつなぎ接続部（ニューマチックケーソン）より構成されます（図-1）。

海上部は、沈埋トンネル工法が用いられ、沈埋函と呼ばれる箱形の鋼コンクリート合成ブロックを海底に沈めて接合し、トンネルを完成させます。

本事業の沈埋トンネルは沈埋函7函で構成され、1函当りの長さ134mは国内最長です（図-2）。沈埋函は1号函から順次沈設し、最後に沈設する6号函には最終継手工としてキーエレメント工法が採用されています（2章参照）。

当工事は、沈埋函7函のうち4・5・6号函の製作・築造工事を行うものであり、併せて設備工事や電気室棟の建築工事なども行います（表-1）。

沈埋函は、横浜港および千葉港の造船ドックで鋼殻を製作し、若洲（東京都）、船橋（千葉県）の岸壁まで引船4隻で曳航しました。曳航後、沈埋函を岸壁に係留し、沈埋函を浮遊させた状態で鋼殻内部に高流動コンクリートを打設しました（図-3、写真-2、写真-3）。

表-1 工事内容

工 事 名	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
発 注 者	国土交通省 関東地方整備局
受 注 者	五洋・東洋・新日鉄住金エンジニアリング 特定建設工事共同企業体
工 期	平成29年4月13日～令和2年4月3日
工事場所	東京都江東区青海地先
工事内容	本土工、潜水探査工、磁気探査工、床掘工、土砂運搬工、基礎工、撤去工、埋戻し工、付帯工、一次艀装工、一次曳航工、沈埋函仮置工、二次艀装工、二次曳航工、沈埋函沈設工、函外工、函内工、仮設備工、仮設工、設備工、電気室棟建築、耐火・内装板工、内部構築工、調査工

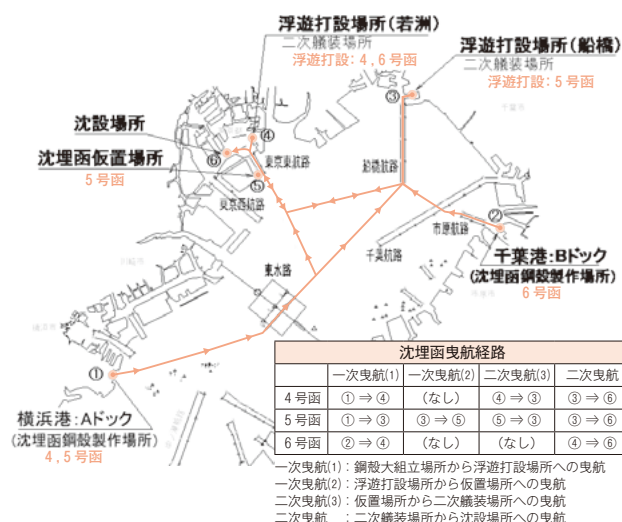


図-3 施工場所

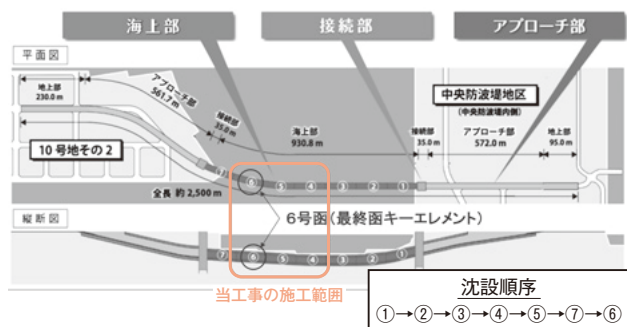


図-1 南北線概要図

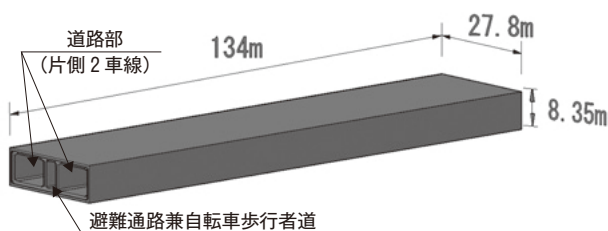


図-2 沈埋函概念図



写真-2 沈埋函鋼殻製作状況（造船ドック）



写真-3 沈埋函高流動コンクリート打設状況（浮遊打設）

2 工法概要

(1) 沈埋トンネル工法

沈埋トンネル工法は、海底トンネルの代表的な構築方法です。本工法は、ドライドックなどで製作した沈埋函を順次水に浮かべて曳航し、あらかじめ掘削した海底のトレンチ内に沈設・接合後、埋め戻しを行うことでトンネルを完成させます（図-4、写真-4）。沈埋函の接合は、水圧接合方式により行われます。これは、トンネル軸方向に作用する静水圧を利用し、沈埋函端部に取り付けたゴムガasketを圧縮することにより、接合部を止水し連結する方法です（図-5）。

(2) キーエレメント工法

6号函には最終継手工としてキーエレメント工法が採用されています。これは、キーエレメントと称するくさび形の最終函（両端部の継手を鉛直に対し15度傾斜させた構造）を自重と水圧を利用して既設函に密着させる工法です（図-6）。さらに本工法では、既設函（5、7号函）に伸縮性止水ゴムを取り付けることで止水を行うとともにトンネル延長誤差を吸収することができます。

伸縮性止水ゴムは、中空構造で内部にエアおよびモルタルを注入することにより伸長します。ゴムの伸縮による延長誤差吸収可能量は $\pm 60\text{mm}$ であり、両継手に用いて $\pm 120\text{mm}$ のトンネル延長誤差に対応することが可能です（図-7）。

本工法により、最終函沈設後に別途施工が必要であった最終継手工を省略できるため、工期短縮を図ることができます。



写真-4 沈埋函沈設状況（6号函）

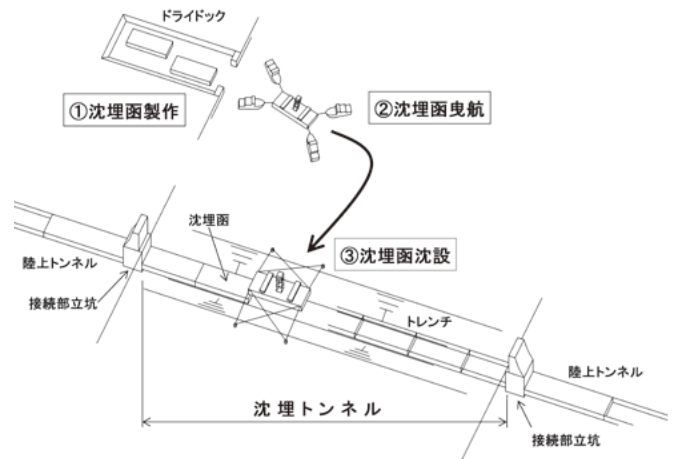


図-4 沈埋トンネル工法概念図

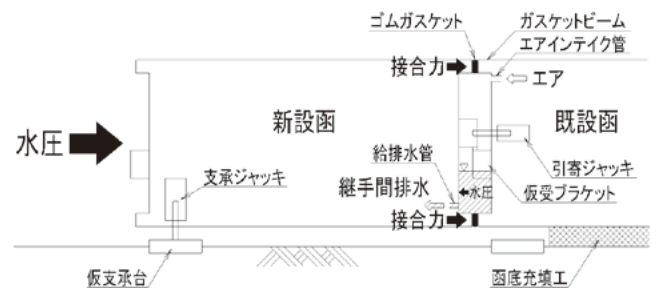


図-5 水圧接合概念図

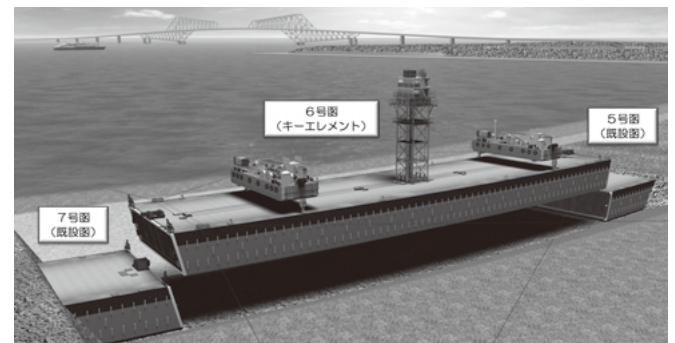


図-6 キーエレメント工法概念図

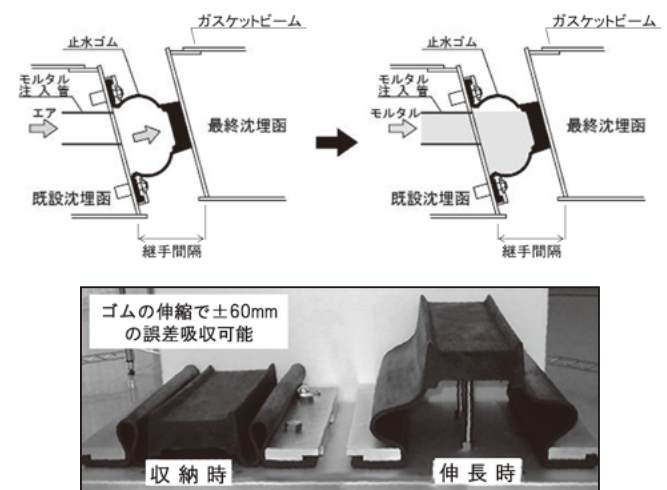


図-7 伸縮性止水ゴム

3 課題と対策

最終函(6号函)を確実につなげて沈埋トンネル全体の線形を確保するためには、沈埋函の延長誤差と法線ずれを許容値以内に収めるように管理する必要があります。また、当事業の工事期間は約4年と短かったため、早い時期での対策が求められていました。

そこで本事業では、沈埋トンネルの線形確保のため、発注者、受注者、設計者による協議会を設置し、トンネルの線形管理、対策案の検討を行いました。

協議会での検討内容を以下に示します。

(1) 三次元モデルによるシミュレーションの実施

沈埋トンネルは、曲線区間(5～7号函)が含まれているため、三次元モデルを用いた沈設シミュレーションを行い、沈埋函・立坑の製作・据付誤差により生じる延長誤差、法線ずれを確認し(図-8)、許容値を超える誤差の発生に備えてその対策について検討しました。

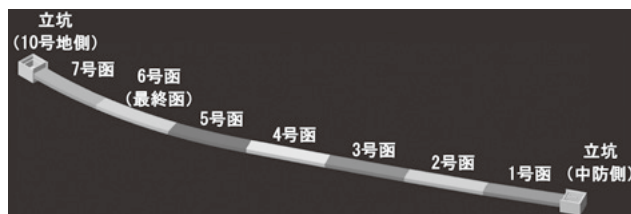


図-8 三次元シミュレーション例

(2) 延長誤差の対策

最後に沈設する6号函を確実につなげるためには、6号函両端部の継手間隔の誤差を、伸縮性止水ゴムによる誤差吸収可能量である $\pm 120\text{mm}$ (両継手)以内に収める必要があります。

そこで、トンネル延長を確保するための対策として、沈埋函や立坑の沈設後の延長誤差に応じて、函体の長さを調整する対策を行いました。

対策の内容を図-9に示します。同図によると、沈設後の延長は基本的に不足する傾向を示したことから、6号函と立坑を長くする対策を講じました。中防側立坑は、沈設直後にガasketビーム長の調整を行い、後に発生する誤差が小さくなるように立坑の回転も修正しました。

6号函の長さ調整は2段階とし、1段階目は2号函沈設後に鋼殻本体の長さを125mm長くし、2段階目は3号函沈設後に端部でのガasketビームを32mm長くしました(図-10)。最後に、4号函沈設後に10号地側立坑のガasketビームを20mm長くしました。

沈設にともなうトンネル延長不足に対し、沈埋函と立坑の長さを合計177mm長くする対策を実施した結果、6号函沈設直前において予想される延長誤差は-71mm(延長不足)となり、伸縮性止水ゴムの誤差吸収可能量である $\pm 120\text{mm}$ 以内に収めることができました。

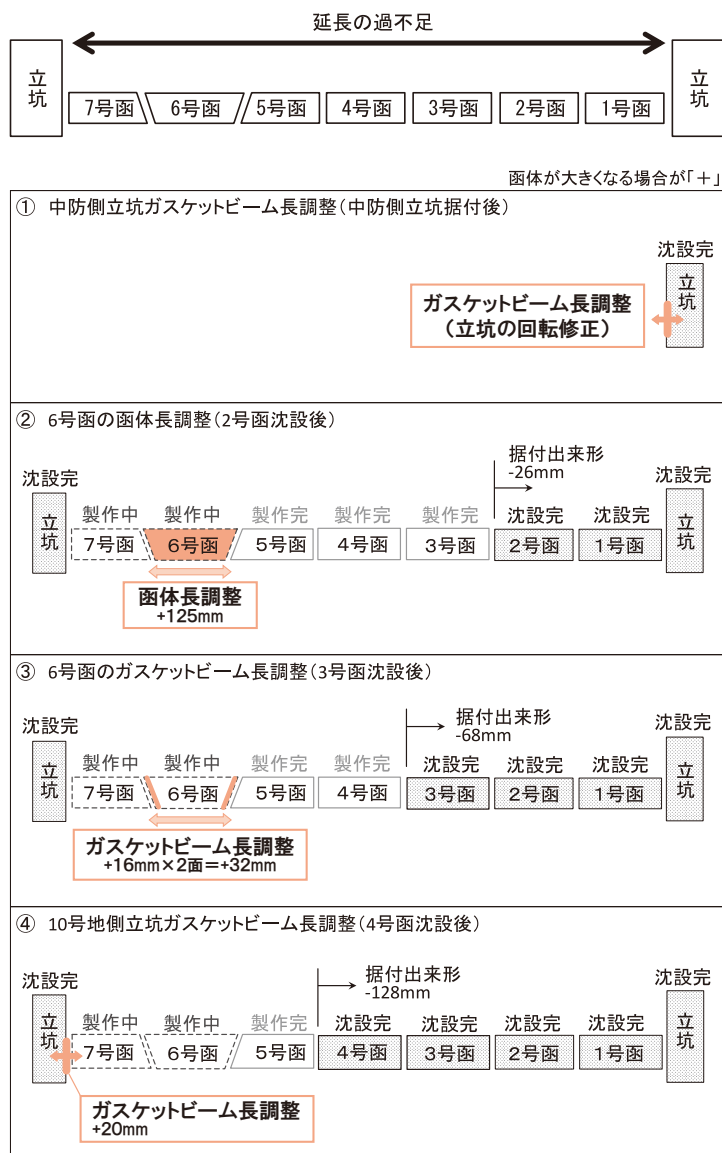


図-9 延長誤差への対策

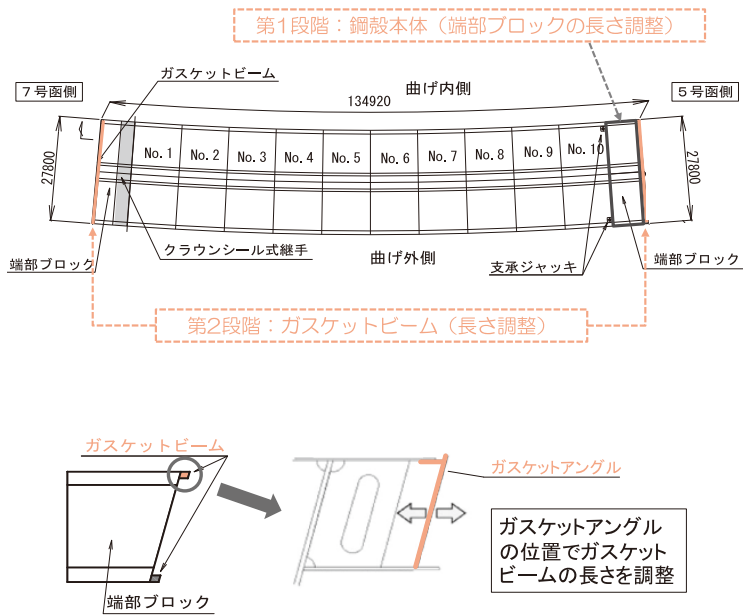


図-10 6号函の長さ調整

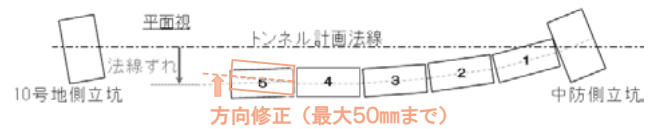


図-11 法線ずれおよび方向修正の概念図

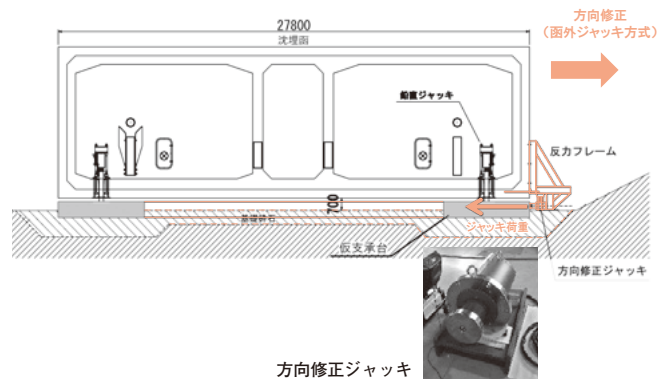


図-12 方向修正方法

(3) 法線ずれの対策

トンネル法線を確保するための対策として、過大な法線ずれが生じた場合には、函外ジャッキ方式による方向修正を行うこととしました(図-11)。

方向修正は、沈埋函の側面にジャッキを取付け、沈埋函下部に事前に設置した仮支承台と呼ばれるコンクリート板をジャッキで押すことにより、沈埋函を回転させる工法です(図-12)。

方向修正の実施有無の判断および方向修正量は、以下のルールに従いました。

- I 沈設した函体の法線ずれが $\pm 75\text{mm}$ を超えた場合に方向修正を行う
- II 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に方向修正を行う
 - ・法線ずれ量が $\pm 75\text{mm}$ を超える
 - ・6号函沈設時の5号函と7号函の相対的な法線ずれ量が 50mm を超える
- III 方向修正を行う場合は、修正量を最大 50mm とする

沈埋函の法線ずれの実績を図-13に示します。5号函沈設後において5号函と7号函の相対的な法線ずれ量が 50mm を超えるおそれがあったため、5号函の方向修正を行いました。西側へ 49mm 方向修正した結果、5号函(6号函側)の東側への法線ずれは 63mm から 14mm に減少し、7号函との相対的な法線ずれを 50mm 以下に収めることができました。

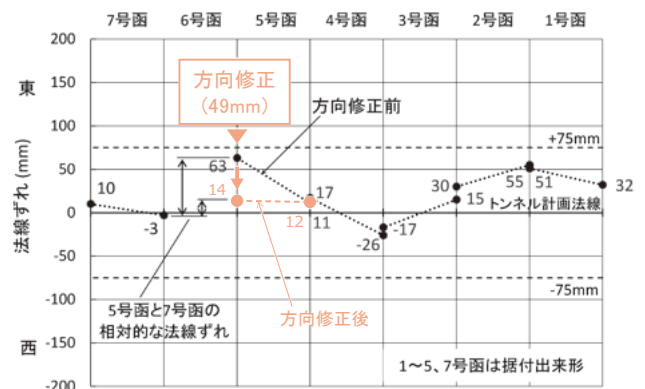


図-13 沈埋函の法線ずれおよび5号函の方向修正の実績

4 おわりに

沈埋函の延長誤差および法線ずれの対策を実施した結果、最終6号函の沈設・接合が無事完了し、トンネル全体の線形を確保することができました。

今後は、函内工、埋戻し工、設備工、建築工事などの工事を進めて行き、厳しい工程の中、安全・品質を確保しながら工期内の完成を目指してまいります。

最後に、発注者である関東地方整備局東京港湾事務所ならびに関係者の皆様のご指導、ご協力に対し、感謝の意を表します。